

Combination of Selenium and Silicon with Fungicides on Rice Pathogenic Fungi

Yanan Du^{1*}, Mian Hou^{1*}, Can Liu¹, Genjia Tan^{1#}, Daogui Liu²

¹Key Laboratory of Biology and Sustainable Management of Plant Diseases and Pests of Anhui Higher Education Institutes, School of Plant Protection, Anhui Agricultural University, Hefei Anhui

²Agricultural Technology Extension Center of Guichi District, Chizhou Anhui

Email: [#]tgj63@163.com

Received: June 18th, 2019; accepted: July 3rd, 2019; published: July 10th, 2019

Abstract

In order to realize the purpose of reducing of chemical pesticides, screen and use the fungicides for controlling rice disease scientifically, the inhibition of selenium, silicon, fungicides and their combinations on *Rhizoctonia solani*, *Magnaporthe oryzae* and *Ustilaginoidea virens* were determined by the bioassay method. The mixing proportion of selenium, silicon and fungicides with synergistic effect on main rice pathogens was screened. The results showed that: the inhibitory effect of silicon on *R. solani*, *M. oryzae* and *U. virens* was not significant. Selenium showed a good inhibitory effect on *M. oryzae*, while selenium showed poor inhibitory effects on *R. solani* and *U. virens*, the combinations of selenium and difenoconazole had synergistic effect on *R. solani*, and the range of synergistic coefficient was from 7.5766 to 29.2560, the combinations of selenium and difenoconazole and selenium and tricyclazole had synergistic effect on *M. oryzae*, and the ranges of synergistic coefficient were from 1.8484 to 5.7502 and 1.5433 to 6.6283, respectively. The combinations of selenium and tebuconazole had synergistic effect on *U. virens*, and the range of synergistic coefficient was from 3.5137 to 8.4665. The combinations of silicon and prochloraz, silicon and pyraclostrobin, silicon and tebuconazole had synergistic effect on *R. solani*, and the ranges of synergistic coefficient were from 16.7488 to 34.9892, 1.5287 to 2.5754 and 1.5102 to 1.5142, respectively. The combinations of silicon and pyraclostrobin, prochloraz, difenoconazole and tricyclazole had synergistic effect on *M. oryzae*, and the synergistic coefficient was 1.5189 - 2.7280, 3.6042 - 6.0069, 5.8652 - 36.5623 and 15.9847 - 26.4874, respectively. The combinations of silicon and pyraclostrobin had synergistic effect on *U. virens*, and the range of synergistic coefficient was from 1.5221 to 2.6170.

Keywords

Selenium, Silicon, Fungicide, Rice Pathogenic Fungi, Synergistic Effect

*共一作者。

#通讯作者。

硒和硅与杀菌剂复配组合对水稻病原菌毒力作用

杜亚楠^{1*}, 侯 冕^{1*}, 刘 灿¹, 檀根甲^{1#}, 刘道贵²

¹安徽农业大学植保学院, 植物病虫害生物学与绿色防控安徽普通高校重点实验室, 安徽 合肥

²贵池区农技推广中心, 安徽 池州

Email: #tgj63@163.com

收稿日期: 2019年6月18日; 录用日期: 2019年7月3日; 发布日期: 2019年7月10日

摘 要

为了实现化学农药减量控害增效的目的, 采用生物测定方法, 研究了硒和硅与杀菌剂混合使用对水稻纹枯病菌、稻瘟病菌和稻曲病菌具有增效作用的复配组合, 结果表明, 亚硒酸钠对稻瘟病菌表现出较好的抑制效果, 对水稻纹枯病菌和稻曲病菌的抑制效果较差, 硅对水稻纹枯病菌、稻瘟病菌和稻曲病菌抑制效果均较差。硒与苯醚甲环唑复配组合对水稻纹枯病菌和稻瘟病菌具有明显增效作用, 增效系数SR分别在7.5766~29.2560和1.8484~5.7502之间, 硒与三环唑复配组合对稻瘟病菌具有明显增效作用, 增效系数SR在1.5433~6.6283之间; 硒与戊唑醇复配组合对稻曲病菌具有明显增效作用, 增效系数SR在3.5137~8.4665之间。硅分别与咪鲜胺、吡唑醚菌酯和戊唑醇复配组合对纹枯病菌具有增效作用, 增效系数SR分别在16.7488~34.9892、1.5287~2.5754和1.5102~1.5142之间; 硅分别与吡唑醚菌酯、咪鲜胺、苯醚甲环唑和三环唑四种杀菌剂复配组合对稻瘟病菌具有增效作用, 增效系数SR分别在1.5189~2.7280、3.6042~6.0069、5.8652~36.5623和15.9847~26.4874之间; 硅与吡唑醚菌酯复配组合对稻曲病菌具有增效作用, 增效系数SR在1.5221~2.6170之间。

关键词

硒, 硅, 杀菌剂, 水稻病原菌, 增效作用

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水稻稻瘟病(*Magnaporthe oryzae*)、纹枯病(*Rhizoctonia solani*)和稻曲病(*Ustilaginoidea virens*)是水稻三大病害, 一旦发生流行, 会造成严重的经济损失。在水稻生产上, 水稻三大病害的防治方法主要是抗病品种の利用、栽培管理和药剂防治, 目前除稻瘟病具有高抗品种外, 纹枯病、稻曲病的防治主要依赖化学农药。然而, 稻瘟病抗病品种往往在推广几年后抗性就逐渐丧失, 纹枯病和稻曲病缺少高抗品种。在栽培过程中, 如果管理不当, 遇上适宜的天气, 极易引起水稻三大病害的流行。由于化学农药的大量及不合理使用, 使得原来防效很好的杀菌剂产生了抗药性, 不仅使得农药防效降低, 且造成农药残留和严

重的生态环境污染问题[1] [2] [3] [4]。农药复配是经济有效的新品种开发途径，部分复配剂增效明显，而一些复配剂虽然不能明显增效，但能扩大防治靶标。使用剂量低的农药混剂，既可延缓病原菌抗药性，又能降低使用成本，符合农药零增长的要求[5] [6] [7] [8]。硒和硅作为植物生长的有益元素，对植物生长发育有重要的作用。适量的硒有助于促进新陈代谢、对矿质元素的吸收与转运、提高作物的产量与品质等。硅可以间接地通过改善土壤理化性质对植物产生影响或直接参与植物生理生化过程，从而影响植物生长发育。施硅和硒可以诱导水稻增强抗病性[9]-[15]。本文通过生物测定方法，探究硒和硅与杀菌剂混合使用对水稻纹枯病菌、稻瘟病菌和稻曲病菌具有增效作用的复配组合，以期达到减少化学农药使用量的同时，又能诱导水稻增强抗病能力，为水稻病害绿色防控和功能农业提供理论依据和技术支撑。

2. 材料与方法

2.1. 供试菌种

水稻纹枯病菌(*Rhizoctonia solani*)、水稻稻瘟病菌(*Magnaporthe oryzae*)、水稻稻曲病菌(*Ustilaginoidea virens*) (安徽农业大学植保学院植病流行与绿色防控实验室)。

2.2. 供试药剂

亚硒酸钠(Na_2SeO_3)，二氧化硅(SiO_2)。97%戊唑醇悬原药(安徽众邦生物工程有限公司)，97%吡唑醚菌酯原药(巴斯夫欧洲公司)，98%苯丙甲环唑原药(青岛海纳生物科技有限公司)，97%咪鲜胺原药(青岛海纳生物科技有限公司)，98%三环唑原药(巴斯夫欧洲公司)，98%噻呋酰胺原药(先正达公司)。

2.3. 试验方法

2.3.1. 菌株活化及孢子悬浮液制备

将实验室保存的水稻病原菌接于 PDA 培养基上，放入 28℃ 恒温培养箱中培养，备用。挑取培养 7 d 的稻曲病菌菌丝块，放入 50 ml PSB 液体培养基中，于摇床上 26℃，140 r/min，振荡培养 6 d 后用灭过菌的双层纱布过滤，将过滤所得孢子悬浮液稀释至 60~100 个孢子/视野(10×10)，置于 4℃ 冰箱备用。

2.3.2. 硒和硅与杀菌剂对水稻病原菌的毒力测定

采用生长速率法测定各药剂及组合对水稻纹枯病菌、稻瘟病菌菌丝生长的影响，采用孢子萌发抑制法测定各药剂及组合对稻曲病菌孢子萌发的影响。

用精密电子天平准确称取 Na_2SeO_3 0.100 g 和 SiO_2 0.100 g，然后分别用蒸馏水定容到 1000 ml，配制浓度为 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的母液。然后再用蒸馏水配制成不同浓度的 Na_2SeO_3 溶液和不同浓度的 SiO_2 溶液备用。准确称取药剂，配制成不同浓度梯度药液，用丙酮稀释原药，无菌水做为对照。将培养基按照药与培养基 1:10 比例配好，用移液枪取出 1 mL 药液于 90 mm 培养皿中，再取 9 mL 融化好的 PDA 培养基混合均匀，然后倒平板，放置凝固后备用。将培养好的病菌用直径 5 mm 打孔器打成菌碟，每个含药平板中心接入 1 片菌碟，每个处理均设 3 个平板重复。接种菌碟后放入 27℃ 恒温箱中，培养 5 d 后，用十字交叉法测量菌落直径，相对抑制率 = (对照菌落直径 - 处理菌落直径) / 对照菌落直径 $\times 100\%$ 。用 DPS V7.05 版软件对药剂浓度、抑制率求得杀菌剂毒力回归方程、 EC_{50} 、 EC_{90} 及 95% 置信限。

分别从低到高吸取不同浓度的药液 0.5 ml 加入含有 0.5 ml 稻曲病菌孢子悬浮液的试管中，充分摇匀，设无菌水加等量稻曲病菌孢子悬浮液为对照。用移液枪吸取 0.5 ml 混合液滴于已经冷却至凝固的 WA 平板上，用涂布器将混合液涂布均匀。将平板放置于 26℃ 培养箱中培养，24 h 后观察并记录孢子萌发数量，萌发标准为芽管长度超过孢子最大直径一半即为萌发，实验重复 3 次。毒力计算和数据处理同 1.3.2。

2.3.3. 硒和硅与杀菌剂复配增效组合的筛选

根据亚硒酸钠和杀菌剂单剂毒力测定结果,分别将亚硒酸钠与各杀菌剂按照(1:1; 1:2; 2:1; 1:3; 3:1) 5个比例进行复配,分别命名为(硒:某杀菌剂 A、B、C、D、E)。实验将亚硒酸钠与吡唑醚菌酯、苯醚甲环唑、戊唑醇、咪鲜胺杀菌剂按比例复配进行对水稻纹枯病菌药剂联合毒力测定;将亚硒酸钠与吡唑醚菌酯、苯醚甲环唑、戊唑醇、咪鲜胺、三环唑杀菌剂按比例复配进行对水稻稻瘟病菌药剂联合毒力测定;将亚硒酸钠与吡唑醚菌酯、戊唑醇、咪鲜胺杀菌剂按比例复配进行对水稻稻曲病菌药剂联合毒力测定。按照 Wadely 方法,通过计算并比较增效系数(SR)大小来评估复配组合的联合毒力作用。当 $SR \leq 0.5$ 为拮抗作用;SR 在 0.5~1.5 之间为相加作用;SR ≥ 1.5 为增效作用[16] [17]。计算公式如下:

$$EC_{50}(\text{理论值}) = \frac{(a+b)}{a/EC_{50}A + b/EC_{50}B}$$

$$\text{增效系数}(SR) = \frac{EC_{50}(\text{理论值})}{EC_{50}(\text{实际值})}$$

A、B 分别代表两种组分;a、b 代表 A、B 两种试剂在复配组合中的比值。

根据二氧化硅和杀菌剂单剂毒力测定结果分别将二氧化硅与各杀菌剂按照(1:2; 1:3; 1:4; 1:5) 4个比例进行复配,分别命名为(硅:某杀菌剂 F、G、H、I)。实验将二氧化硅与吡唑醚菌酯、戊唑醇、噻呋酰胺、咪鲜胺杀菌剂按比例复配进行对水稻纹枯病菌药剂联合毒力测定;将二氧化硅与吡唑醚菌酯、苯醚甲环唑、戊唑醇、咪鲜胺、三环唑杀菌剂按比例复配进行对水稻稻瘟病菌药剂联合毒力测定;将二氧化硅与吡唑醚菌酯、戊唑醇、咪鲜胺杀菌剂按比例复配进行对水稻稻曲病菌药剂联合毒力测定。增效系数(SR)计算方法同上 1.3.3。

3. 结果与分析

3.1. 硒和杀菌剂及复配组合对水稻纹枯病菌毒力作用

结果表明(表 1),亚硒酸钠对水稻纹枯病菌的抑制效果较差,EC₅₀ 值为 9.8693 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。硒与咪鲜胺、戊唑醇和吡唑醚菌酯三种杀菌剂复配的各个组合增效系数均小于 0.5,表现出拮抗作用。硒与苯醚甲环唑各复配组合 A、B、C、D 和 E 对水稻纹枯病菌均表现出较强的增效作用,增效系数分别为 19.9939、25.1179、25.5484、7.5766 和 29.2560,均明显大于 1.5。

Table 1. Inhibitory effect of the combination of selenium and fungicides on *Rhizoctonia solani*

表 1. 硒和杀菌剂及复配组合对水稻纹枯病菌毒力作用

药剂	配比	毒力回归方程	相关系数(r)	EC ₅₀ ($\mu\text{g}/\text{mL}$) 95%置信区间	增效系数(SR)
硒		$y = 3.9503 + 1.0557x$	0.9786	9.8693 (5.0085~15.8976)	
吡唑醚菌酯		$y = 5.4601 + 0.6686x$	0.9774	0.2050 (0.0803~0.5235)	
苯醚甲环唑		$y = 4.4224 + 0.4327x$	0.9826	21.6114 (9.5481~48.9169)	
戊唑醇		$y = 5.6024 + 0.6614x$	0.9565	0.1228 (0.0277~0.5451)	
咪鲜胺		$y = 4.6753 + 0.7005x$	0.9706	2.9076 (1.5729~5.3751)	
硒: 苯醚甲环唑	A	$y = 4.8828 + 0.3502x$	0.9749	1.0809 (0.4849~2.4093)	19.9939
	B	$y = 4.9050 + 0.4031x$	0.9945	0.8604 (0.8604~0.8604)	25.1179
	C	$y = 4.5478 + 0.6056x$	0.9705	0.8459 (0.1916~3.7475)	25.5484
	D	$y = 4.6063 + 0.5206x$	0.9810	2.8524 (1.6645~4.8879)	7.5766
	E	$y = 4.9333 + 0.3936x$	0.9855	0.7387 (0.3801~1.4358)	29.2560

Continued

硒: 咪鲜胺	A	$y = 4.0017 + 0.6052x$	0.9762	27.6781 (13.6908~55.9557)	0.1051
	B	$y = 3.1157 + 0.9652x$	0.9652	58.5641 (27.6981~123.826)	0.0496
	C	$y = 2.9756 + 1.0230x$	0.9848	47.6321 (29.9941~75.6422)	0.0610
	D	$y = 3.1820 + 0.9990x$	0.9441	32.3784 (11.8241~88.6634)	0.0898
	E	$y = 3.6189 + 0.7212x$	0.9544	41.1119 (18.6449~90.6513)	0.0707
硒: 戊唑醇	A	$y = 4.9293 + 1.0348x$	0.9820	0.5852 (0.2668~1.2836)	0.2098
	B	$y = 5.1266 + 0.9965x$	0.9547	0.3732 (0.0913~1.5257)	0.3290
	C	$y = 4.8952 + 1.0869x$	0.9804	0.6243 (0.2783~1.4001)	0.1967
	D	$y = 5.1637 + 0.8859x$	0.9899	0.3267 (0.1675~0.637)	0.3759
	E	$y = 4.7922 + 1.2011x$	0.9844	0.7447 (0.374~1.4827)	0.1649
硒: 吡唑醚菌酯	A	$y = 4.4756 + 1.0250x$	0.9933	1.6239 (1.1251~2.3439)	0.1262
	B	$y = 4.6685 + 0.9275x$	0.9738	1.1382 (0.5074~2.5532)	0.1801
	C	$y = 4.5574 + 0.9235x$	0.9983	1.5073 (1.2500~1.8176)	0.1360
	D	$y = 4.6215 + 1.0278x$	0.9868	1.1673 (0.6641~2.0520)	0.1756
	E	$y = 4.3993 + 0.9581x$	0.9948	2.1183 (1.5659~2.8655)	0.0968

3.2. 硒和杀菌剂及复配组合对稻瘟病菌毒力作用

结果表明(表 2), 亚硒酸钠对水稻稻瘟病菌的抑制效果较好, EC_{50} 值为 $0.9899 \mu\text{g/mL}$ 。硒与苯醚甲环唑各复配组合以及硒与三环唑各复配组合对水稻稻瘟病菌均表现出较强的增效作用, 硒与苯醚甲环唑复配组合增效系数分别为 2.9510、2.1351、4.1045、1.8485 和 5.7502, 硒与三环唑复配组合增效系数分别为 2.7791、5.7252、3.0269、6.6283 和 1.5433, 均大于 1.5。

Table 2. Inhibitory effect of the combination of selenium and fungicides on *Magnaporthe oryzae*

表 2. 硒与杀菌剂复配对水稻稻瘟病菌的抑制作用

药剂	配比	毒力回归方程	相关系数(r)	EC_{50} ($\mu\text{g/mL}$) 95%置信区间	增效系数(SR)
硒		$y = 6.8594 + 1.1041x$	0.9866	0.9899 (0.1243~1.3213)	
吡唑醚菌酯		$y = 6.0466 + 0.8958x$	0.9911	0.0682 (0.0323~0.1441)	
苯醚甲环唑		$y = 4.1158 + 1.9671x$	0.9698	2.8153 (2.0377~3.8895)	
戊唑醇		$y = 5.7746 + 0.5484x$	0.9879	0.0387 (0.0170~0.0882)	
咪鲜胺		$y = 5.6205 + 0.5838x$	0.9941	0.0865 (0.0520~0.1437)	
三环唑		$y = 5.7496 + 0.7153x$	0.9731	0.7437 (0.0315~0.2543)	
硒: 吡唑醚菌酯	A	$y = 5.0770 + 1.1676x$	0.9971	0.8592 (0.6402~1.1530)	0.0794
	B	$y = 5.3103 + 1.0432x$	0.9594	0.5041 (0.1355~1.8758)	0.1353
	C	$y = 5.4384 + 1.2392x$	0.9634	0.4428 (0.1223~1.603)	0.1540
	D	$y = 4.7776 + 1.5296x$	0.9964	1.3977 (1.0479~1.8643)	0.0488
	E	$y = 5.1086 + 2.2754x$	0.9179	0.8959 (0.1710~4.6936)	0.0761

Continued

硒: 苯醚甲环唑	A	$y = 5.0212 + 1.0390x$	0.9663	0.9540 (0.4241~2.1461)	2.9510
	B	$y = 4.8614 + 1.1540x$	0.9659	1.3186 (0.6300~2.7598)	2.1351
	C	$y = 5.1887 + 1.1524x$	0.9520	0.6859 (0.2336~2.0143)	4.1045
	D	$y = 4.7904 + 1.1470x$	0.9685	1.5230 (1.6645~4.8879)	1.8485
	E	$y = 5.2960 + 0.9544x$	0.9632	0.4896 (0.1657~1.4468)	5.7502
硒: 戊唑醇	A	$y = 5.6533 + 1.0548x$	0.9156	0.2403 (0.02991.9336)	0.1610
	B	$y = 5.7330 + 1.0387x$	0.9765	0.1969 (0.0654~0.5931)	0.1965
	C	$y = 5.5886 + 1.1727x$	0.9557	0.3149 (0.0809~1.2269)	0.1229
	D	$y = 5.8191 + 0.8190x$	0.9177	0.1000 (0.0079~1.2682)	0.3870
	E	$y = 5.4682 + 1.0856x$	0.9565	0.3705 (0.1024~1.3400)	0.1045
硒: 咪鲜胺	A	$y = 5.7173 + 1.0202x$	0.9771	0.1981 (0.088~0.4459)	0.4366
	B	$y = 5.5509 + 1.1260x$	0.9574	0.3241 (0.1178~0.8920)	0.2669
	C	$y = 5.5741 + 1.1851x$	0.9716	0.3278 (0.1473~0.7295)	0.2639
	D	$y = 5.9445 + 1.1431x$	0.9544	0.1492 (0.0408~0.5452)	0.5798
	E	$y = 5.7423 + 0.6795x$	0.9893	0.0808 (0.0396~0.1649)	1.0705
硒: 三环唑	A	$y = 5.5649 + 0.9868x$	0.9632	0.2676 (0.0739~0.9690)	2.7791
	B	$y = 5.7134 + 0.8047x$	0.9544	0.1299 (0.0230~0.7318)	5.7252
	C	$y = 5.5100 + 0.8366x$	0.9521	0.2457 (0.0540~1.1184)	3.0269
	D	$y = 5.8678 + 0.9135x$	0.8956	0.1122 (0.0066~1.9221)	6.6283
	E	$y = 5.2858 + 0.9016x$	0.9694	0.4819 (0.1323~1.683)	1.5433

3.3. 硒和杀菌剂及复配组合对稻曲病菌毒力作用

结果表明(表 3), 亚硒酸钠对水稻稻曲病菌的抑制效果较差, EC_{50} 值为 28.9895 $\mu\text{g/mL}$ 。硒与戊唑醇各复配组合对水稻稻曲病菌均表现出较强的增效作用, 硒与戊唑醇复配组 A、B、C、D 和 E 增效系数分别为 6.1625、7.5109、3.5137、7.3794 和 8.4665, 均明显大于 1.5。硒与其他杀菌剂复配组合对水稻稻曲病菌没有增效作用。

Table 3. Inhibitory effect of the combination of selenium and fungicides on *Ustilaginoidea virens*

表 3. 硒与杀菌剂复配对水稻稻曲病菌的抑制作用

药剂	配比	毒力回归方程	相关系数(r)	EC_{50} ($\mu\text{g/mL}$) 95%置信区间	增效系数(SR)
硒		$y = 2.2018 + 1.9136x$	0.9603	28.9895 (17.8501~47.0803)	
吡唑醚菌酯		$y = 5.2909 + 1.5805x$	0.9756	0.6545 (0.3408~1.2573)	
戊唑醇		$y = 5.1651 + 1.3757x$	0.9438	0.7586 (0.2635~2.1838)	
咪鲜胺		$y = 3.5291 + 1.3554x$	0.9840	12.1686 (8.6912~17.0373)	
硒: 吡唑醚菌酯	A	$y = 4.8724 + 0.5054x$	0.9596	1.7883 (0.8369~3.8214)	0.3660
	B	$y = 5.1287 + 0.5219x$	0.9427	0.5667 (0.2070~1.5513)	1.1549
	C	$y = 4.5094 + 0.8447x$	0.9784	3.8094 (2.1655~6.7014)	0.1718
	D	$y = 5.0349 + 0.5067x$	0.9730	0.8533 (0.4417~1.6483)	0.7670
	E	$y = 5.0929 + 0.4625x$	0.9717	0.6296 (0.3098~1.2794)	1.0395

Continued

硒：戊唑醇	A	$y = 5.7183 + 0.7897x$	0.9353	0.1231 (0.0245~0.6178)	6.1625
	B	$y = 5.7737 + 0.7772x$	0.9657	0.1010 (0.0319~0.3201)	7.5109
	C	$y = 5.6150 + 0.9239x$	0.9377	0.2159 (0.0540~0.8641)	3.5137
	D	$y = 5.7358 + 0.7446x$	0.9834	0.1028 (0.0467~0.2263)	7.3794
	E	$y = 5.7263 + 0.6933x$	0.9706	0.0896 (0.0287~0.2796)	8.4665
硒：咪鲜胺	A	$y = 4.2089 + 0.7845x$	0.9515	10.1940 (5.6539~18.3797)	1.1937
	B	$y = 4.0358 + 0.8255x$	0.9086	14.7212 (6.0875~35.6023)	0.8266
	C	$y = 4.4394 + 0.5239x$	0.9829	11.7538 (5.4137~25.5188)	1.0353
	D	$y = 4.0890 + 0.7926x$	0.9327	14.1064 (0.2070~1.5513)	0.8626
	E	$y = 4.1655 + 0.5708x$	0.9483	28.9783 (6.7529~29.4675)	0.4199

3.4. 硅和杀菌剂及复配组合对水稻纹枯病菌毒力作用

结果表明(表 4)，二氧化硅对水稻纹枯病菌的抑制效果较差， EC_{50} 值为 95.4703 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。硅与咪鲜胺各复配组合对水稻纹枯病菌均表现出较强的增效作用，硅与咪鲜胺复配组 F、G、H 和 I，增效系数分别为 16.7488、24.5574、34.9892 和 25.5726，均明显大于 1.5。硅与吡唑醚菌酯复配组合 F、H 和 I 对水稻纹枯病菌表现出增效作用，增效系数分别为 1.5287、2.3590 和 2.5754。

Table 4. Inhibitory effect of the combination of silicon and fungicides on *Rhizoctonia solani*

表 4. 硅与杀菌剂复配对水稻纹枯病菌的抑制作用

药剂	配比	毒力回归方程	相关系数(r)	EC_{50} ($\mu\text{g}/\text{mL}$) 95%置信区间	增效系数(SR)
硅		$y = 0.0730 + 2.4888x$	0.9449	95.4703 (44.0702~206.6479)	
吡唑醚菌酯		$y = 5.4601 + 0.6686x$	0.9774	0.2050 (0.0803~0.5235)	
噻呋酰胺		$y = 6.1582 + 0.9304x$	0.9661	0.0569 (0.0146~0.2215)	
戊唑醇		$y = 5.6024 + 0.6614x$	0.9565	0.1228 (0.0277~0.5451)	
咪鲜胺		$y = 4.6753 + 0.7005x$	0.9706	2.9076 (1.5729~5.3751)	
硅：吡唑醚菌酯	F	$y = 5.6114 + 0.7007x$	0.9788	0.1341 (0.0575~0.3126)	1.5287
	G	$y = 5.5185 + 0.7908x$	0.9956	0.2211 (0.1573~0.3106)	0.9276
	H	$y = 5.8322 + 0.7845x$	0.9921	0.0869 (0.1916~3.7475)	2.3598
	I	$y = 5.9715 + 0.8841x$	0.9874	0.0796 (0.0387~0.1639)	2.5754
	F	$y = 5.9255 + 0.8482x$	0.9539	0.0811 (0.0185~0.355)	1.5142
硅：戊唑醇	G	$y = 5.9454 + 0.9303x$	0.9638	0.0963 (0.0276~0.3359)	1.2752
	H	$y = 6.1873 + 1.0918x$	0.9580	0.0818 (0.0175~0.3814)	1.5012
	I	$y = 5.8194 + 0.8631x$	0.9673	0.1124 (0.0359~0.352)	1.0925
	F	$y = 5.5888 + 0.7743x$	0.9843	0.1736 (0.0875~0.3446)	0.3278
	G	$y = 5.7991 + 0.7963x$	0.9842	0.0992 (0.0457~0.2153)	0.5736
硅：噻呋酰胺	H	$y = 5.8635 + 0.7482x$	0.9913	0.0701 (0.0379~0.1297)	0.8117
	I	$y = 5.9152 + 0.7525x$	0.9934	0.0608 (0.035~0.10552)	0.9359
	F	$y = 5.7018 + 0.6674x$	0.9977	0.1736 (0.0659~0.1196)	16.7488
	G	$y = 5.6265 + 0.6762x$	0.9991	0.1184 (0.0998~0.1406)	24.5574
	硅：咪鲜胺	H	$y = 5.7005 + 0.6484x$	0.9993	0.0831 (0.0707~0.0977)
I		$y = 5.6720 + 0.7116x$	0.9977	0.1137 (0.0855~0.1511)	25.5726

3.5. 硅和杀菌剂及复配组合对稻瘟病菌毒力作用

结果表明(表 5), 二氧化硅对水稻稻瘟病菌的抑制效果较差, EC_{50} 值为 $106.0198 \mu\text{g/mL}$ 。硅与吡唑醚菌酯、咪鲜胺、苯醚甲环唑和三环唑四种杀菌剂各复配组合对水稻稻瘟病菌均表现出较强的增效作用, 硅与吡唑醚菌酯各复配组增效系数分别为 2.0419、1.5189、2.7280 和 2.0856, 硅与咪鲜胺各复配组增效系数分别为 4.3909、6.0069、3.6042 和 4.5526, 硅与苯醚甲环唑各复配组增效系数分别为 36.5623、18.1632、13.4639 和 5.8652, 硅与三环唑各复配组增效系数分别为 16.0547、15.9847、19.9375 和 26.4874, 增效系数均大于 1.5。硅与戊唑醇各复配组合对水稻稻瘟病菌表现出拮抗作用。

Table 5. Inhibitory effect of the combination of silicon and fungicides on *Magnaporthe oryzae*

表 5. 硅与杀菌剂复配对水稻稻瘟病菌的抑制作用

药剂	配比	毒力回归方程	相关系数(r)	EC_{50} ($\mu\text{g/mL}$) 95%置信区间	增效系数(SR)
硅		$y = 2.0226 + 1.4700x$	0.9811	106.0198 (66.8232~168.2082)	
吡唑醚菌酯		$y = 6.0466 + 0.8958x$	0.9911	0.0682 (0.0323~0.1441)	
苯醚甲环唑		$y = 4.1158 + 1.9671x$	0.9698	2.8153 (2.0377~3.8895)	
戊唑醇		$y = 5.7746 + 0.5484x$	0.9879	0.0387 (0.0170~0.0882)	
咪鲜胺		$y = 5.6205 + 0.5838x$	0.9941	0.0865 (0.0520~0.1437)	
三环唑		$y = 5.7496 + 0.7153x$	0.9731	0.7437 (0.0315~0.2543)	
硅: 吡唑醚菌酯	F	$y = 6.5338 + 1.0388x$	0.9982	0.0334 (0.0236~0.0472)	2.0419
	G	$y = 6.2627 + 0.9370x$	0.9931	0.0449 (0.0239~0.0845)	1.5189
	H	$y = 6.5504 + 0.9681x$	0.9953	0.025 (0.0139~0.0450)	2.728
	I	$y = 6.4592 + 0.9824x$	0.9932	0.0327 (0.0167~0.0639)	2.0856
硅: 戊唑醇	F	$y = 5.5351 + 0.9111x$	0.8975	0.2586 (0.0441~1.5154)	0.1497
	G	$y = 5.5915 + 1.3141x$	0.9101	0.9101 (0.0441~1.5154)	0.0425
	H	$y = 5.5329 + 0.9801x$	0.9183	0.2859 (0.0765~1.6454)	0.1354
	I	$y = 5.5567 + 0.8719x$	0.8689	0.2299 (0.0281~1.8831)	0.1683
硅: 咪鲜胺	F	$y = 6.1981 + 0.7029x$	0.9564	0.0197 (0.0029~0.1366)	4.3909
	G	$y = 6.0154 + 0.5513x$	0.9795	0.0144 (0.0036~0.0574)	6.0069
	H	$y = 6.1845 + 0.7312x$	0.9634	0.024 (0.0044~0.1308)	6.0069
	I	$y = 6.2005 + 0.6975x$	0.9793	0.019 (0.0051~0.0712)	4.5526
硅: 苯醚甲环唑	F	$y = 5.5635 + 0.5062x$	0.9501	0.077 (0.0174~0.3419)	36.5623
	G	$y = 5.6619 + 0.5255x$	0.9924	0.155 (0.0301~0.1005)	18.1632
	H	$y = 5.4087 + 0.6013x$	0.9945	0.2091 (0.1419~0.3086)	13.4639
	I	$y = 5.2277 + 0.7143x$	0.8978	0.4856 (0.0707~3.2579)	5.8652
硅: 三环唑	F	$y = 6.1213 + 0.8365x$	0.9836	0.0457 (0.0172~0.1214)	16.0547
	G	$y = 6.1618 + 0.8681x$	0.9678	0.0459 (0.0115~0.1837)	15.9847
	H	$y = 6.2681 + 0.8838x$	0.9637	0.0368 (0.0078~0.1728)	19.9375
	I	$y = 5.8194 + 0.8398x$	0.9483	0.0277 (0.0038~0.2011)	26.4874

3.6. 硅和杀菌剂及复配组合对稻曲病菌毒力作用

结果表明(表 6), 二氧化硅对水稻稻曲病菌的抑制效果较差, EC_{50} 值为 $647.8783 \mu\text{g/mL}$ 。硅与吡唑醚菌酯各复配组合对水稻稻曲病菌均表现出较强的增效作用, 硅与吡唑醚菌酯复配组 F、G、H 和 I, 增效系数分别为 2.6170、1.5535、1.5221 和 2.3021 均大于 1.5。硅与其他杀菌剂复配组合对水稻稻曲病菌没有增效作用。

Table 6. Inhibitory effect of the combination of silicon and fungicides on *Ustilagoideae virens*

表 6. 硅与杀菌剂复配对水稻稻曲病菌的抑制作用

混剂	配比	毒力回归方程	相关系数(r)	EC_{50} ($\mu\text{g/mL}$) 95%置信区间	增效系数(SR)
硅		$y = 1.9774 + 1.0751x$	0.9857	647.8783 (310.3742~1352.3880)	
吡唑醚菌酯		$y = 5.2909 + 1.5805x$	0.9756	0.6545 (0.3408~1.2573)	
戊唑醇		$y = 5.1651 + 1.3757x$	0.9438	0.7586 (0.2635~2.1838)	
咪鲜胺		$y = 3.5291 + 1.3554x$	0.9840	12.1686 (8.6912~17.0373)	
硅: 吡唑醚菌酯	F	$y = 6.1698 + 1.9438x$	0.9419	0.2501 (0.0712~0.8798)	2.6179
	G	$y = 5.5264 + 1.4024x$	0.9973	0.4213 (0.3311~0.5362)	1.5535
	H	$y = 5.4941 + 1.3479x$	0.996	0.4345 (0.3244~0.5699)	1.5221
	I	$y = 5.6855 + 1.2551x$	0.9608	0.2843 (0.1028~0.7861)	2.3021
硅: 戊唑醇	F	$y = 4.8379 + 0.5732x$	0.9805	1.9175 (1.1414~3.2215)	0.3956
	G	$y = 4.6455 + 0.4676x$	0.9496	5.7295 (2.2530~14.5705)	0.1324
	H	$y = 4.9679 + 0.4375x$	0.9772	1.1843 (0.6640~2.1122)	0.6405
	I	$y = 4.6687 + 0.4876x$	0.931	4.7792 (1.6254~14.0528)	0.1587
硅: 咪鲜胺	F	$y = 3.4802 + 0.9812x$	0.9897	35.3936 (24.8425~50.4156)	0.3438
	G	$y = 3.7638 + 0.7993x$	0.9706	35.2064 (19.2327~64.4470)	0.3456
	H	$y = 3.8865 + 0.8013x$	0.9777	24.5251 (15.3366~39.2188)	0.4962
	I	$y = 3.9353 + 0.7224x$	0.9997	29.7797 (28.2171~31.4289)	0.4086

4. 小结与讨论

采用生物测定方法, 研究了硒和硅与杀菌剂混合使用对水稻纹枯病菌、稻瘟病菌和稻曲病菌具有增效作用的复配组合, 结果表明, 亚硒酸钠对稻瘟病菌表现出较好的抑制效果, 对水稻纹枯病菌和稻曲病菌的抑制效果较差, 硅对水稻纹枯病菌、稻瘟病菌和稻曲病菌抑制效果均较差。硒与苯醚甲环唑复配组合对水稻纹枯病菌和稻瘟病菌具有明显增效作用, 增效系数 SR 分别在 7.5766~29.2560 和 1.8484~5.7502 之间, 硒与三环唑复配组合对稻瘟病菌具有明显增效作用, 增效系数 SR 在 1.5433~6.6283 之间; 硒与戊唑醇复配组合对稻曲病菌具有明显增效作用, 增效系数 SR 在 3.5137~8.4665 之间。硅分别与咪鲜胺、吡唑醚菌酯和戊唑醇复配组合对纹枯病菌具有增效作用, 增效系数 SR 分别在 16.7488~34.9892、1.5287~2.5754 和 1.5102~1.5142 之间; 硅分别与吡唑醚菌酯、咪鲜胺、苯醚甲环唑和三环唑四种杀菌剂复配组合对稻瘟病菌具有增效作用, 增效系数 SR 分别在 1.5189~2.7280、3.6042~6.0069、5.8652~36.5623 和 15.9847~26.4874 之间; 硅与吡唑醚菌酯复配组合对稻曲病菌具有增效作用, 增效系数 SR 在 1.5221~2.6170 之间。

本研究通过测定硒或硅与杀菌剂联合使用对水稻三大病原菌的毒力作用, 通过计算增效系数(SR),

筛选出了具有抑制水稻病原菌生长的增效作用复配组合, 相比于使用单一的杀菌剂不容易产生抗性, 可以减少农药使用量, 减少农药给环境带来的污染。已有研究表明, 长期使用同一种药剂, 会产生抗性 [1] [3] [6], 如水稻纹枯病菌对井冈霉素已经产生抗性。但室内生物测定实验完全是在没有寄主植物的条件下展开进行的, 复配组合的增效作用, 应该在经过田间试验的检测条件下, 才可以对复配组合的作用进行药效评价。

硅是一种有益元素, 在作物抗病性方面发挥着一定的重要作用, 同时施硅还可以提高作物产量 [9] [10]。国内外已有的研究表明, 在相同环境条件下, 通过施用硅肥, 不论水稻品种抗性是否有差异, 水稻稻瘟病及纹枯病的发病率和病斑大小相比于不施用硅肥的水稻植株明显降低, 植株硅含量有不同程度的增加 [11] [12] [13] [14]。硒可以增强植物对病虫害及不同逆境的抵抗能力。因此把硒和硅与农药复配使用可以诱导水稻增强抗病能力, 提高杀菌剂的防病效果, 可以为水稻病害绿色防控和化学农药减量控害增效提供理论依据。

基金项目

安徽省重点研发项目水稻主要病虫害绿色防控及农药减施增效关键技术研究(1804a07020139)和国家重点研发项目长江中下游水稻化肥农药减施增效技术集成研究与示范项目(2016YFD0200806)资助。

参考文献

- [1] 姚树萍, 贾丽, 何玲, 等. 我国水稻稻瘟病菌对三环唑抗性研究现状[J]. 农药科学与管理, 2017, 38(6): 13-17.
- [2] 郭晓刚, 王晓梅, 候志广, 等. 15 种杀菌剂及其相关配比对水稻稻瘟病菌的室内毒力及田间防效[J]. 农药, 2015, 54(3): 223-226.
- [3] 张杨, 侯东艳, 祁之秋, 等. 稻瘟病菌对三环唑抗性风险研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2009, 40(1): 99-102.
- [4] 董丽英, 赵秀兰, 刘树芳, 李迅东, 杨勤忠. 28% 三环唑·啉菌酯悬浮剂对水稻稻瘟病的防治效果[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 226-229.
- [5] 陈银凤, 张云, 陈夕军, 等. 水稻病虫害防治化学农药减量控害技术[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(12): 2231-2234.
- [6] 杜宜新, 李科, 阮宏椿, 等. 稻瘟病菌对稻瘟灵、异稻瘟净和三环唑的敏感性[J]. 植物保护学报, 2017, 38(5): 455-460.
- [7] 李雪婷, 徐梦亚, 郑少兵, 等. 水稻纹枯病研究进展[J]. 长江大学学报(自科版), 2017, 14(14): 15-18+77.
- [8] 唐正合, 汪汉成, 王建新, 等. 丙环唑对水稻纹枯病菌的抑制作用及对纹枯病的防治效果[J]. 植物保护, 2012, 38(1): 158-161+165.
- [9] 孙正祥, 王瑞霞, 周焱, 等. 植物诱导抗病性研究进展[J]. 中国植保导刊, 2010, 30(10): 15-17.
- [10] 宁东峰, 梁永超. 硅调节植物抗病性的机理: 进展与展望[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1280-1287.
- [11] Seebold, K.W., Kucharek, T.A., Datnoff, L.E., *et al.* (2001) The Influence of Silicon on Components of Resistance to Blast in Susceptible, Partially Resistant, and Resistant Cultivars of Rice. *Phytochemist*, **91**, 63-69. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2001.91.1.63>
- [12] Rodrigues, F.A., Korndorfer, G.H., Seebold, K.W., *et al.* (2001) Effect of Silicon and Host Resistance on Sheath Blight Development in Rice. *Plant Disease*, **85**, 827-832. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.8.827>
- [13] Rodrigues, F.A., Vale, F.X.R., Datnoff, L.E., *et al.* (2003) Effect of Rice Growth Stages and Silicon on Sheath Blight Development. *Phytopathology*, **93**, 256-261. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2003.93.3.256>
- [14] Zhang, G.L., Dai, Q.G. and Zhang, H.C. (2006) Silicon Application Enhances Resistance to Sheath Blight (*Rhizoctonia solani*) in Rice. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, **32**, 600-606.
- [15] 吴永尧, 卢向阳, 彭振坤, 等. 硒在水稻中的生理生化作用探讨[J]. 中国农业科学, 2000(1): 103-106+116.
- [16] 黄星, 周明国, 张传清, 等. 三环唑与咪鲜胺混剂抑制稻瘟病菌增效作用的研究[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2005, 23(3): 294-298.
- [17] 刘学敏, 李立军. 杀菌剂混剂的增效作用[J]. 农药科学与管理, 2002, 23(5): 12-15.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjas@hanspub.org