◆ 药效与应用 ◆

氰烯菌酯与3种药剂复配对尖孢镰刀菌草莓专化型的毒力

许巧楠,杭 林,关路遥,孙 畅

(江苏恒生检测有限公司,南京 210046)

摘要:采用菌丝生长速率法分别测定了氰烯菌酯与咯菌腈、噻菌灵和戊唑醇3种杀菌剂不同配比混剂对尖孢镰刀菌的室内联合毒力。结果表明:氰烯菌酯、咯菌腈、噻菌灵、戊唑醇对尖孢镰刀菌草莓专化型的EC_{50}分别为1.555 3、0.008 9、0.708 1、0.031 0 mg/L。氰烯菌酯与咯菌腈以体积比2∶1、1∶1、1∶3和1∶5复配,氰烯菌酯与噻菌灵以体积比8∶1、7∶1、6∶1、5∶1、4∶1、3∶1和2∶1复配,氰烯菌酯与戊唑醇以体积比5∶1、1∶1、1∶5、1∶10和1∶15复配具有增效作用,其中以氰烯菌酯与噻菌灵7∶1复配的增效作用最好,共毒系数为223.81。

关键词:尖孢镰刀菌;氰烯菌酯;联合毒力;增效作用

中图分类号:TQ 450.2^{+}1 **文献标志码**:A **doi**:10.3969/j.issn.1671-5284.2025.01.015

Laboratory toxicities of the mixtures of phenamacril and three fungicides on *Fusarium oxysporum*

XU Qiaonan, HANG Lin, GUAN Luyao, SUN Chang

(Jiangsu EverTest Co., LTD., Nanjing 210046, China)

Abstract: The toxicities of phenamacril, fludioxonil, thiabendazole, tebuconazole and their mixtures to *Fusarium oxysporum* were determined by mycelium growth rate method. The results of the test showed that the EC_{50} of phenamacril, fludioxonil, thiabendazole, tebuconazole were 1.555 3, 0.008 9, 0.708 1, and 0.031 0 mg/L, respectively. The mixtures of phenamacril and fludioxonil with the volume ratio of 2∶1, 1∶1, 1∶3 and 1∶5, the mixtures of phenamacril and thiabendazole with the volume ratio of 8∶1, 7∶1, 6∶1, 5∶1, 4∶1, 3∶1 and 2∶1, the mixtures of phenamacril and tebuconazole with the volume ratio of 5∶1, 1∶1, 1∶5, 1∶10 and 1∶15, all had synergism effects. Among them, the mixture of phenamacril and thiabendazole with the volume ratio of 7∶1 had the best synergism effect, and its co-toxicity coefficient was 223.81.

Key words: *Fusarium oxysporum*; phenamacril; combined toxicity; synergism effect

草莓枯萎病的致病菌为尖孢镰刀菌草莓专化型(*Fusarium oxysporum* Schlecht. f. sp. *fragariae* Winks et Williams),属于半知菌亚门瘤座菌目镰孢属。该病菌可通过病株和病土传播,菌丝体或厚垣孢子在土壤或种子上越冬,在病株分苗时传播蔓延[1]。植株一旦发病将会造成果实品质下降、产量大幅度降低,严重影响了草莓产业的经济效益与可持续发展。

草莓枯萎病的防治措施包括农业措施、物理防治、生物防治和化学防治等[2]。农业措施主要包括选用抗病品种、栽植无病壮苗、实行轮作等,生产成本较高。物理防治主要采用及时清除病株及残株落叶,减少病原菌基数,需要较多劳动力;田间土壤消毒技术存在消毒范围有限,成本高等问题[3]。生物防治以诱导植株产生抗逆性为主,虽然前景较好,但田间效果不稳定、药效发挥慢等不足制约了生物制剂的推广和应用。因此,对该病害的防治仍以化学防治为主。

长期以来,单一使用化学药剂导致了病原菌产

收稿日期:2024-02-01

作者简介:许巧楠(1990—),女,助理农艺师。研究方向:杀菌剂生物学。E-mail:xuqiaonan@evertest.cn

生抗药性，防治效果逐渐降低。因此，化学防治宜将不同作用机制的杀菌剂进行复配使用。氰烯菌酯为2-氰基丙烯酸酯类杀菌剂，与禾谷镰刀菌的肌球蛋白-5结构域结合，干扰其活性，影响肌动蛋白组装，从而造成菌体的死亡或生长缺陷[4]。咯菌腈属于苯基吡咯类杀菌剂，通过抑制葡萄糖磷酰化有关的转移，进而抑制病原菌菌丝体的生长，最终导致病菌死亡[5]。噻菌灵属于苯并咪唑类杀菌剂，作用于真菌细胞内的微管蛋白，影响纺锤体的形成，使细胞有丝分裂中止[4]。戊唑醇为三唑类杀菌剂，通过抑制病原真菌的麦角甾醇合成，进而影响其生长和繁殖[4]。将不同作用机制的杀菌剂进行复配可提高防治效果，更有效地控制病害的发生与蔓延，同时能够延缓病原菌抗药性的发生与发展，延长药剂使用寿命。

1　供试材料

1.1　供试菌株

尖孢镰刀菌草莓专化型（*Fusarium oxysporum* Schlecht. f. sp. *fragariae* Winks et Williams），由国家南方农药创制中心江苏基地生测研究室保存。

1.2　供试药剂

95%氰烯菌酯原药，江苏省农药研究所股份有限公司；98%咯菌腈原药，江苏耕农化工有限公司；99%噻菌灵原药、95%戊唑醇原药，江苏省农用激素工程技术研究中心有限公司。

1.3　供试培养基

PDA培养基：马铃薯200 g，葡萄糖20 g，琼脂15～20 g，加水至1 000 mL。

2　试验方法

2.1　药剂配制

2.1.1　单剂配制

称取氰烯菌酯原药、咯菌腈原药、噻菌灵原药、戊唑醇原药，分别用丙酮溶解、定容，制备质量浓度为1 000 mg/L的药液。再用0.1%的吐温-80水溶液逐级稀释。氰烯菌酯质量浓度为10、5、2.5、1.25、0.625 mg/L，咯菌腈质量浓度为0.1、0.025、0.006 25、0.001 562 5、0.000 390 625 mg/L，噻菌灵质量浓度为1.2、1、0.8、0.6、0.4、0.2 mg/L，戊唑醇质量浓度为1、0.5、0.25、0.125、0.062 5、0.031 25 mg/L。

2.1.2　混剂的配制

将相同质量浓度的单剂溶液（1 000 mg/L）按照不同体积混合，得到不同质量浓度、不同配比的混剂。各混剂分别设定7个配比（体积比）。氰烯菌酯与咯菌腈体积比分别为5∶1、4∶1、3∶1、2∶1、1∶1、1∶3、1∶5，其中5∶1、4∶1、3∶1、2∶1混剂的药剂质量浓度分别为0.5、0.25、0.062 5、0.015 625、0.003 906 25 mg/L，1∶1、1∶3、1∶5混剂的药剂质量浓度分别为0.2、0.05、0.012 5、0.003 125、0.000 781 25 mg/L；氰烯菌酯与噻菌灵体积比分别为8∶1、7∶1、6∶1、5∶1、4∶1、3∶1、2∶1，其中8∶1、7∶1、6∶1、5∶1混剂的药剂质量浓度分别为0.5、0.25、0.062 5、0.015 625、0.003 906 25 mg/L，4∶1、3∶1、2∶1混剂的药剂质量浓度分别为0.2、0.05、0.012 5、0.003 125、0.000 781 25 mg/L；氰烯菌酯与戊唑醇体积比分别为15∶1、10∶1、5∶1、1∶1、1∶5、1∶10、1∶15，其中15∶1、10∶1、5∶1混剂的药剂质量浓度分别为5、2.5、1.25、0.625、0.312 5 mg/L，1∶1、1∶5、1∶10、1∶15混剂的药剂质量浓度分别为0.2、0.05、0.012 5、0.003 125、0.000 781 25 mg/L。

2.2　含药培养基制备

在无菌操作条件下，将30 mL预先灭菌并冷却至45℃的培养基加入50 mL无菌锥形瓶中，用移液枪吸取不同浓度的测试药剂及混剂，分别加入上述锥形瓶中，摇匀。将其等量倒入3个平皿中，制成相应浓度的含药平板。以不加药剂的空白PDA为对照。

2.3　毒力测定

采用菌丝生长速率法[6]。用直径为5 mm的打孔器，选取在25℃黑暗条件下培养120 h的尖孢镰刀菌草莓专化型菌落，沿其边缘打孔切取菌饼，然后用接种针挑取菌饼，分别接种于不同药剂浓度的PDA平板上。将各平板置于生化培养箱内，25℃黑暗条件下培养至空白对照菌落布满培养皿2/3以上时，测量并记录菌落直径。每个菌落按十字交叉法测量2次，以其平均值代表菌落的大小。

2.4　数据统计分析方法

根据测量所得数据，采用公式（1）计算药剂对菌丝生长的抑制率，计算结果保留小数点后2位。

$$\text{菌丝生长抑制率}/\% = \frac{\text{空白菌落直径}-\text{药剂处理菌落直径}}{\text{空白菌落直径}-5} \times 100 \quad (1)$$

采用DPS统计软件对各单剂及不同配比混剂的浓度对数值和相应抑制率几率值进行回归分析，计算各药剂的EC_{50}、EC_{90}及95%置信限。

根据孙云沛法计算混剂的共毒系数（CTC）[7]。CTC≥120，该混剂具有增效作用；CTC≤80，表现为拮抗作用；80＜CTC＜120，表现为相加作用。

毒力指数、共毒系数按公式(2)～公式(4)计算，计算结果保留小数点后2位。

$$ATI=\frac{S}{M}\times 100 \quad (2)$$

式中：ATI—混剂实测毒力指数；S—氰烯菌酯的EC_{50}，mg/L；M—混剂的EC_{50}，mg/L。

$$TTI=TI_A\times P_A+T1_B\times P_B \quad (3)$$

式中：TTI—混剂理论毒力指数；TI_A—A药剂毒力指数；P_A—A药剂在混剂中的体积分数，%；TI_B—B药剂毒力指数；P_B—B药剂在混剂中的体积分数，%。

$$CTC=\frac{ATI}{TTI}\times 100 \quad (4)$$

式中：CTC—共毒系数；ATI—混剂实测毒力指数；TTI—混剂理论毒力指数。

3　结果与分析

3.1　4种单剂对尖孢镰刀菌草莓专化型的毒力

氰烯菌酯、咯菌腈、噻菌灵、戊唑醇4种杀菌剂对尖孢镰刀菌草莓专化型的有效抑制中浓度(EC_{50})分别为1.555 3、0.008 9、0.708 1和0.031 0 mg/L。4种药剂对尖孢镰刀菌草莓专化型均具有较好的抑制效果。其中，咯菌腈对尖孢镰刀菌草莓专化型菌丝生长的抑制效果最好，毒力最高，结果见表1。

表 1　4 种单剂对尖孢镰刀菌草莓专化型的毒力影响

药剂	毒力回归方程	EC_{50}(95% CL)/(mg/L)	EC_{90}(95% CL)/(mg/L)	相关系数
氰烯菌酯	y=4.725 5+1.431 0x	1.555 3(1.238 0～1.953 9)	12.228 7(8.272 0～18.077 1)	0.983 3
咯菌腈	y=7.161 5+1.054 4x	0.008 9(0.005 3～0.015 1)	0.146 4(0.055 7～0.384 6)	0.972 5
噻菌灵	y=5.721 3+4.812 4x	0.708 1(0.624 3～0.803 2)	1.307 4(1.049 5～1.628 8)	0.961 8
戊唑醇	y=6.362 5+0.903 3x	0.031 0(0.023 8～0.040 4)	0.813 5(0.638 5～1.036 6)	0.991 9

3.2　混剂对尖孢镰刀菌草莓专化型的毒力及复配效应

不同配比的混剂对尖孢镰刀菌草莓专化型的毒力如表2。由表中数据可见，氰烯菌酯与咯菌腈以2∶1、1∶1、1∶3、1∶5的体积比复配，氰烯菌酯与噻菌灵以8∶1、7∶1、6∶1、5∶1、4∶1、3∶1、2∶1的体积比复配，氰烯菌酯与戊唑醇以5∶1、1∶1、1∶5、1∶10、1∶15的体积比复配，均具有增效作用。

表 2　不同混剂对尖孢镰刀菌草莓专化型的毒力影响

药剂	体积比	毒力回归方程	EC_{50}(95% CL)/(mg/L)	EC_{90}(95% CL)/(mg/L)	相关系数	CTC	联合作用类型
氰烯菌酯＋咯菌腈	5∶1	y=6.303 9+0.974 4x	0.061 7(0.039 0～0.097 5)	0.953 3(0.418 5～2.171 8)	0.974 4	84.14	相加
	4∶1	y=6.219 6+0.853 5x	0.037 3(0.017 1～0.081 0)	1.182 1(0.258 3～5.409 9)	0.935 3	116.63	相加
	3∶1	y=6.256 9+0.863 7x	0.035 1(0.020 7～0.059 3)	1.068 0(0.394 8～2.889 0)	0.969 3	99.71	相加
	2∶1	y=6.600 1+0.947 4x	0.020 5(0.014 3～0.014 3)	0.461 1(0.283 3～0.750 5)	0.988 2	128.77	增效
	1∶1	y=6.600 6+0.817 0x	0.011 0(0.006 8～0.017 7)	0.406 9(0.154 6～1.070 6)	0.977 9	160.90	增效
	1∶3	y=6.448 5+0.665 8x	0.006 7(0.003 1～0.003 1)	0.561 3(0.086 5～3.641 5)	0.944 3	176.78	增效
	1∶5	y=6.647 1+0.797 9x	0.008 6(0.005 1～0.014 5)	0.348 2(0.112 0～1.082 2)	0.974 0	124.04	增效
氰烯菌酯＋噻菌灵	8∶1	y=5.904 6+5.612 5x	0.690 0(0.607 7～0.783 4)	1.167 2(0.964 9～1.412 0)	0.962 0	198.96	增效
	7∶1	y=6.123 8+5.141 3x	0.604 5(0.539 5～0.677 3)	1.073 2(0.935 6～1.231 0)	0.975 0	223.81	增效
	6∶1	y=5.805 4+8.070 1x	0.794 7(0.748 2～0.844 0)	1.145 5(1.054 6～1.244 2)	0.987 7	167.14	增效
	5∶1	y=5.961 3+6.000 8x	0.691 5(0.582 6～0.820 9)	1.130 8(0.883 3～1.447 6)	0.933 7	187.52	增效
	4∶1	y=5.141 3+9.014 6x	0.964 5(0.866 7～1.073 4)	1.338 1(1.103 5～1.622 6)	0.963 6	130.12	增效
	3∶1	y=5.285 0+6.924 7x	0.909 6(0.768 9～1.076 0)	1.392 9(0.988 3～1.963 2)	0.907 8	131.62	增效
	2∶1	y=5.273 1+7.135 4x	0.915 6(0.781 6～1.072 6)	1.384 6(1.006 8～1.904 3)	0.917 6	121.44	增效
氰烯菌酯＋戊唑醇	15∶1	y=5.298 5+1.020 7x	0.510 0(0.425 8～0.610 8)	9.186 8(6.393 0～13.201 4)	0.997 8	74.87	拮抗
	10∶1	y=5.452 2+0.939 6x	0.330 2(0.250 8～0.434 6)	7.631 7(4.919 8～11.838 4)	0.983 8	86.11	相加
	5∶1	y=5.669 2+0.674 2x	0.101 7(0.085 1～0.121 6)	8.095 9(6.751 6～9.708 0)	0.997 3	166.32	增效
	1∶1	y=5.991 6+0.735 7x	0.044 9(0.036 2～0.055 6)	2.478 0(2.018 2～3.042 6)	0.970 6	135.39	增效
	1∶5	y=6.212 5+0.755 4x	0.024 8(0.023 6～0.026 1)	1.234 5(1.173 9～1.298 2)	0.999 7	149.40	增效
	1∶10	y=6.259 0+0.770 5x	0.023 2(0.018 9～0.028 6)	1.069 7(0.885 0～1.292 8)	0.996 0	146.69	增效
	1∶15	y=6.332 7+0.837 5x	0.025 6(0.021 5～0.030 5)	0.868 9(0.745 8～1.012 3)	0.996 9	129.00	增效

其中，氰烯菌酯与噻菌灵以7∶1的体积比复配时，增效作用最好。氰烯菌酯与咯菌腈以5∶1、4∶1、3∶1的体积比复配，氰烯菌酯与戊唑醇以10∶1

(下转第 88 页)

3　结论与讨论

本研究比较了在常规喷雾条件下4种生产上大量使用的杀菌剂对水稻细菌性条斑病的防控效果。从试验结果看，所有试验药剂对水稻细菌性条斑病均表现出一定的防治效果，且安全性较好，特别是40%噻唑锌悬浮剂750 mL/hm²，其常规喷雾的防效在85%以上，优于40%春雷·噻唑锌悬浮剂的防效。主要原因可能是噻唑锌难溶于水和大多数有机溶剂，而40%噻唑锌悬浮剂为纳米级农药，喷雾时具有更好的分散性和渗透性。

试验中小区试验田位于整块大田的边缘，最外侧田埂是农户农事操作的主要路径，第1次用药时，田间只是零星发生，靠近田埂的保护行发病较早且较重；至第2次用药时，经多次人为传播，靠近田埂的2行保护行叶片病害发生更重，甚至枯死。这也证明，频繁接触水稻的农事活动促进了病害的传播，加重了危害[3]。利用植保无人机施药可以避免人员下田，减少因农事操作导致的病害传播和危害加重，且作业效率高、施药成本低[4-5]。40%噻唑锌悬浮剂是一种适用于无人机飞防作业的高效纳米级杀菌剂。2024年，该药剂首次试用无人机进行大面积飞防施药，因飞防施用药液浓度是常规喷雾药液浓度的20～30倍，操作不当易发生药害。因此，在大面积示范推广用药前，选用40%噻唑锌悬浮剂登记的最低推荐剂量750 g/hm²（登记剂量750～1 125 g/hm²），在发病较早的卢集镇范家湖村进行了预实验，田间未发生药害且防效良好。基于前期无人机飞防试验参数，采用750 mL/hm²的剂量，将药剂经2次稀释，喷施药液量15 kg/hm²，连续施药2次，2个示范点的防效为83.29%～86.61%，与常规喷雾施药的防治效果基本一致。大面积无人机飞防示范试验结果表明，40%噻唑锌悬浮剂750 mL/hm²防效稳定，安全性好，仅少数发病较早的发病中心叶片呈红褐色，2次用药后病害基本停止发展。

经小区常规喷雾试验和大面积无人机飞防示范试验证实，40%噻唑锌悬浮剂（碧火）适用于无人机飞防施药。本试验明确了无人机施药技术参数，对水稻细菌性条斑病的飞防具有重要借鉴作用。此外，水稻细菌性条斑病等作物细菌性病害防控的关键是发病早期用药。无论采用何种药剂及施药方式防治水稻细菌性条斑病，都要把握好用药时间，必须在发病初期用药，尤其需要做好对发病中心的喷药防治工作。此外，根据天气状况和病情发展及时进行2次用药，以取得良好的防治效果。

参考文献

[1] 张荣胜, 陈志谊, 刘永锋. 水稻细菌性条斑病研究进展[J]. 江苏农业科学, 2014, 30(4): 901-908.
[2] 白志坤, 陈兵, 高山, 等. 农用无人机施药技术应用研究现状[J]. 中国农机化学报, 2024, 45 (9): 54-61.
[3] 徐树林, 杨国兆, 张绍国. 泗阳县水稻细菌性条斑病防控工作总结与思考[J]. 现代农业科技, 2016(4): 140-141.
[4] 徐广春, 徐鹿, 石伟山, 等. 植保无人机施药防治水稻病虫害德研究进展[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(7): 1-7.
[5] 吴彩玲. 无人机和电动喷雾器防治水稻细菌性条斑病效果的比较研究[J]. 农业开发与装备, 2019(3):103-104.

（编辑：顾林玲）

（上接第 84 页）

的体积比复配具有相加作用。

4　结论

通过生长速率法测定了氰烯菌酯与咯菌腈、氰烯菌酯与噻菌灵、氰烯菌酯与戊唑醇的混剂对尖孢镰刀菌草莓专化型的毒力，明确了上述复配对尖孢镰刀菌草莓专化型具有增效或相加作用。因此，可通过氰烯菌酯与咯菌腈、噻菌灵、戊唑醇复配或混用，阻止或延缓尖孢镰刀菌对氰烯菌酯与咯菌腈、噻菌灵、戊唑醇抗药性的发生与发展，但实际效果尚需进行田间验证。

参考文献

[1] 伊海静, 陈艳, 刘正坪, 等. 草莓枯萎病菌的分离鉴定及防治药剂筛选[J]. 西北农业学报, 2016, 25(4): 626-635.
[2] 吉沐祥, 杨敬辉, 吴祥, 等. 大棚草莓主要病害发生规律与绿色防控措施[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(10): 114-117.
[3] 糜林, 杨金辉, 霍恒志, 等. 土壤高温还原消毒法克服草莓黄萎病试验[J]. 江苏农业科学, 2010(5): 179-180.
[4] 彭钦, 苗建强, 刘西莉. 重要内吸性杀菌剂的作用靶标及其登记应用和抗药性现状[J]. 现代农药, 2024, 23(2): 1-12.
[5] 王栓, 陈金鹏, 付刘元, 等. 4种杀菌剂及其复配剂对禾谷镰孢菌的毒力影响[J]. 现代农药, 2021, 20(5): 51-55.
[6] 中华人民共和国农业部. 农药室内生物测定试验准则 杀菌剂 第2部分：抑制病原真菌菌丝生长试验 平皿法: NY/T 1156.2—2006[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
[7] 中华人民共和国农业部. 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: NY/T 1156.6—2006[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006.

（编辑：顾林玲）