

不同杀菌剂对拟枝孢镰刀菌的毒力测定及田间防效

潘龙其^{1,2} 张丽¹ 袁庆华^{1*} 王瑜¹ 苗丽宏¹ 马甲强¹

(1. 中国农业科学院 北京畜牧兽医研究所,北京 100193;

2. 宜昌市农业科学研究院,湖北 宜昌 443004)

摘要 为筛选高效防治紫花苜蓿根腐病的药剂,选用不同杀菌剂对拟枝孢镰刀菌进行室内毒力测定,盆栽药效试验和紫花苜蓿根腐病的大田防治试验。室内毒力测定结果表明:抑菌效果较好的分别是98%咯菌腈和98%戊唑醇,质量浓度为1.25 μg/mL时,它们的抑菌率分别为90.11%和83.68%,抑菌效果较差的分别是98%啞菌酯和97%恶霉灵。盆栽试验结果表明:98%咯菌腈的EC₅₀值最小,为2.060 3 μg/mL,对紫花苜蓿拟枝孢镰刀菌的抑制作用最大。15个复配组合除组合4、8、9和10表现为相加作用外,其余组合均表现为增效作用。大田试验结果表明:50%咯菌腈和43%戊唑醇以有效剂量250 g/hm²的防效较好,其防效分别为69.42%和66.78%,50%咯菌腈和43%戊唑醇以有效剂量125和125 g/hm²复配具增效作用的同时防效较好,为71.39%。咯菌腈和戊唑醇等可作为大田防治紫花苜蓿根腐病的首选药剂。

关键词 紫花苜蓿根腐病;拟枝孢镰刀菌;毒力测定;防效

中图分类号 S 435.4

文章编号 1007-4333(2016)01-0087-10

文献标志码 A

Toxicity measurement and field control of alfalfa root rot *Fusarium sporotrichioides*

PAN Long-qi^{1,2}, ZHANG Li¹, YUAN Qing-hua^{1*}, WANG Yu¹, MIAO Li-hong¹, Ma Jia-qiang¹

(1. Institute of Animal Sciences of CAAS, Beijing 100193, China;

2. Yichang Academy of Agricultural Sciences, Yichang 443004, China)

Abstract The results showed that the fungicides of 98% fludioxonil and 98% tebuconazole had significant inhibitory effect on *Fusarium sporotrichioides* growth. The optimum concentration of these two fungicides was 1.25 μg/mL and their inhibitory effects were 90.11% and 83.68%, respectively. However, the fungicides of 98% azoxystrobin and 97% hymexazol had lower inhibitory effect. Pot experiments indicated that 98% fludioxonil had significant inhibitory effect on *F. sporotrichioides*, and its EC₅₀ was 2.06 μg/mL. All fungicides combinations had synergy effect except combination 4, 8, 9 and 10. Field experiments indicated that the optimum concentrations of 50% fludioxonil and 43% tebuconazole to inhibit *F. sporotrichioides* growth was 250 g/hm², which had higher control effect (69.42% and 66.78%) in field. While the combination of 50% fludioxonil (125 g/hm²) and 43% tebuconazole (125 g/hm²) had synergistic effect and better control effect, and its average control efficacy was 71.39%.

Keywords Alfalfa root rot; *Fusarium sporotrichioides*; toxicity measurement; field experiment

紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)根腐病是苜蓿上普遍发生的一种世界性病害,尤其在美国、澳大利亚、阿根廷、加拿大、日本和俄罗斯等国发生严重^[1],我国自1991年首次发现该病以来,先后在新疆、甘

肃、青海、四川等地陆续报道^[2]。据统计,全世界每年由该病造成苜蓿20%左右的产量损失,发生的严重地块甚至达到了40%^[3]。陈耀等^[4]和王雪薇^[5]发现新疆由苜蓿根腐病引起的苜蓿死亡达60.08%

收稿日期:2015-01-30

基金项目:公益性行业(农业)科研专项项目(201303057)

第一作者:潘龙其,硕士研究生,E-mail:gsaupanlongqi@126.com

通讯作者:袁庆华,研究员,硕士生导师,主要从事牧草遗传资源、草地保护及育种等研究,E-mail:yuanqinghua@iascaas.net.cn

~73.45%。李敏权等^[6]在甘肃定西地区田间调查的发病率达43%。近年来随着苜蓿种植面积不断增加与种植年限的延长,病害问题尤为突出,紫花苜蓿根腐病已然成为制约苜蓿产业发展的重要限制性因素之一^[7]。国内外许多学者对苜蓿根腐病进行了大量的研究,均认为引起根腐病的病原较为复杂,但大多与镰刀菌有关。对于该病的防治,Michand等^[8]、Salter等^[9]、李敏权^[10]和丁守彦^[11]采取了以抗病品种选育和应用为主的农业措施,陈三凤等^[12]、赵永强等^[13]对其生物防治也进行了不少探索,但化学防治仍是控制该类病害的有效途径,李敏权等^[14]用甲基硫菌灵、多菌灵、枯萎绝和枯腐宁4种杀菌剂对锐顶镰刀菌、尖孢镰刀菌和半裸镰刀菌进行了室内毒力测定,结果表明复配剂枯萎绝和枯腐宁具有较好的效果。本试验通过选用不同杀菌剂对拟枝孢镰刀菌(*Fusarium*

sporotrichioides)进行室内毒力测定、盆栽药效以及对紫花苜蓿根腐病的防治效果,旨在得到高效防治紫花苜蓿根腐病的药剂,且为其防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试病原菌

本实验室2013年从内蒙阿鲁科尔沁旗巴雅尔草业基地苜蓿上分离得到拟枝孢镰刀菌(*Fusarium sporotrichioides*)BYE27-2-5菌株(另文发表),该菌在PSA平板上纯化,并在4℃下保存备用。

1.1.2 供试药剂

1)室内毒力测定。供试原药10种,药剂名称、生产厂家及试验质量浓度(药剂浓度均为有效成分含量)见表1。

表1 10种杀菌剂原药的来源以及试验质量浓度

Table 1 Source and concentration of 10 original fungicides

药剂 Fungicide	生产厂家 Source	试验质量浓度/($\mu\text{g}/\text{mL}$) Concentration
98%啞菌酯 Azoxystrobin	上海禾本药业有限公司	12.50、25.00、50.00、100.00、200.00
97%恶霉灵 Hymexazol	烟台鑫润精细化工有限公司	12.50、25.00、50.00、100.00、200.00
85.8%代森锰锌 Mancozeb	南通宝叶化工有限公司	1.60、3.20、6.25、12.50、25.00
95%福美双 Thiram	天津红森化工有限公司	6.25、12.50、25.00、50.00、100.00
96%丙环唑 Propiconazol	广西田园研究所	0.10、0.20、0.40、0.80、1.60
97.18%三唑酮 Triadimefon	江苏剑牌农药化工有限公司	6.25、12.50、25.00、50.00、100.00
98%咯菌腈 Fludioxonil	招远三联远东化学有限公司	0.08、0.16、0.31、0.63、1.25
98%戊唑醇 Tebuconazole	泰州百力化学股份有限公司	0.08、0.16、0.31、0.63、1.25
98.1%多菌灵 Carbendazim	安徽广信农化股份有限公司	0.08、0.16、0.31、0.63、1.25
95%百菌清 Chlorothalonil	江苏新河农用化工有限公司	0.63、1.25、2.50、5.00、10.00

2)温室盆栽药效试验。以室内毒力测定为基础筛选:供试原药单剂共5种,药剂名称和试验质量浓度如表2所示(生产厂家同表1),供试3种原药复配比例如表3所示。

3)田间防治试验。以温室盆栽药效试验为基础筛选:供试药剂共3种,药剂名称、剂型、生产厂家和单剂试验剂量见表4,复配比例见表5。

1.2 方法

1.2.1 不同原药对病原菌的室内毒力测定

利用平皿生长速率法^[15]测定各供试原药对拟枝孢镰刀菌菌丝生长的抑制效果。用丙酮或二甲基

表2 5种杀菌剂原药单剂的试验质量浓度

Table 2 Concentration of 5 original fungicides

药剂 Fungicide	试验质量浓度/($\mu\text{g}/\text{mL}$) Concentration
98%咯菌腈 Fludioxonil	1.6、3.1、6.3、12.5、25.0
98%戊唑醇 Tebuconazole	1.6、3.1、6.3、12.5、25.0
98.1%多菌灵 Carbendazim	1.6、3.1、6.3、12.5、25.0
96%丙环唑 Propiconazol	1.6、3.1、6.3、12.5、25.0
95%百菌清 Chlorothalonil	3.1、6.3、12.5、25.0、50.0

表 3 3 种杀菌剂原药的复配比例

Table 3 Mixed proportion of 3 original fungicides

序号 Number	咯菌腈 : 戊唑醇 Fludioxonil : Tebuconazole	序号 Number	咯菌腈 : 多菌灵 Fludioxonil : Carbendazim	序号 Number	戊唑醇 : 多菌灵 Tebuconazole : Carbendazim
1	1 : 1	6	1 : 1	11	1 : 1
2	1 : 3	7	1 : 3	12	1 : 3
3	1 : 5	8	1 : 5	13	1 : 5
4	3 : 1	9	3 : 1	14	3 : 1
5	5 : 1	10	5 : 1	15	5 : 1

表 4 3 种杀菌剂的来源、剂型以及试验浓度

Table 4 Source, dosage form and concentration of 3 fungicides

药剂 Fungicide	剂型 Dosage form	生产厂家 Source	试验剂量/(g/hm ²) Concentration
50% 咯菌腈 Fludioxonil	可湿性粉剂(WP)	瑞士先正达作物保护有限公司	63,125,250
43% 戊唑醇 Tebuconazole	悬浮剂(SE)	山东曹达化工有限公司	63,125,250
50% 多菌灵 Carbendazim	可湿性粉剂(WP)	苏州遍净植保科技有限公司	125,250,500

表 5 3 种杀菌剂的复配比例

Table 5 Mixed proportion of 3 fungicides

序号 Number	咯菌腈(WP) : 戊唑醇(SE) Fludioxonil (WP) : Tebuconazole (SE)	序号 Number	戊唑醇(SE) : 多菌灵(WP) Tebuconazole (SE) : Carbendazim (WP)
1	1 : 1	11	1 : 1
2	1 : 3	12	1 : 3
3	1 : 5		

亚砷将供试原药配制成高倍母液,将高倍母液按照系列稀释的方法^[16]加入融化后冷却至 45 ℃ 左右的马铃薯蔗糖培养基(PSA)中,药剂与培养基按 1 : 9 混匀后制成相应质量浓度梯度(表 1)的含药平板培养基。以加入等量无菌水为空白对照,每处理 5 次重复。

将待测定的 BYE27-2-5 菌株接种于 PSA 平板上 25 ℃ 黑暗培养,5 d 后用无菌的打孔器在其菌落边缘取下直径 0.5 cm 的菌饼,接种于含药 PSA 和空白 PSA 平板中央,每药剂 6 处理,25 ℃ 恒温箱培养,5 d 后用十字交叉法测量菌落直径,计算抑制率。

利用 DPS 7.05 进行统计分析,将抑制率转换成几率值作为纵坐标,以药剂质量浓度对数作为横坐标,得到各药剂的毒力回归方程式、毒力回归曲

线^[17]、斜率^[18]和相关系数,计算各药剂对病原菌的有效中质量浓度 EC₅₀。

1.2.2 不同原药的温室盆栽药效试验

1) 育苗。将用 0.1% 升汞消毒的中苜一号种子在无菌的培养皿中萌发 2 d,萌发后移栽到装有无菌的草炭和沙壤土(比例 1 : 2)的塑料花盆中,每盆 10 株。温室育苗 60 d 后进行接菌。

2) 接种。采用拟枝孢镰刀菌的孢子悬浮液(无菌水配制为 1 × 10⁶ 个/mL)制成米粒接种体^[11],25 ℃ 黑暗培养,4 d 后室温条件下,在花盆中的中苜一号幼苗周围 1 cm 处用无菌解剖刀垂直插入灭菌土壤制造出宽 0.5 cm 左右的空隙,将米粒接种体均匀地分散于其中(10 粒/株),覆灭菌土 5 mm,3 次重复。

3) 施药处理。从室内毒力测定结果中选择抑菌

效果较好的原药,进行盆栽药效试验,试验设5个单剂,每单剂5个质量浓度梯度处理(表2);设3种单剂按质量浓度比进行15组复配,每复配5个质量浓度梯度处理(表3)。共100个处理,每处理3个重复,每重复10株。将高倍母液按照系列稀释的方法,分别配制成表2和表3相应的浓度,接菌1d(预试验得)后,每盆灌施200 mL,以灌施等量无菌水的植株为对照。

4) 病害调查。在施药处理15 d后进行病情调查,病害分级标准如下

0级:健康无病。

1级:1/3初生根尖出现坏死斑点,不腐软。

2级:1/3~1/2初生根尖出现变色腐烂,不腐软。

3级:1/2~3/4根尖出现腐烂和变软。

4级:3/4以上根部腐烂和变软。

5) 防治效果统计分析。根据调查数据,计算各处理的病情指数和防治效果^[19]。

$$X = \sum (N_i \times i) / N \times 5 \times 100$$

式中: X 为病情指数; N_i 为各级病株数; i 为相对级数值; N 为调查苜蓿根总数。

$$P = \frac{CK - PT}{CK} \times 100$$

式中: P 为防治效果; CK 为对照病情指数; PT 为处理病情指数。

根据各药剂浓度对数值及对应的防效几率值作回归分析,并计算各药剂对病原菌的有效中浓度 EC_{50} 。进行药剂联合毒力测定时,根据Wadley法计算混剂的增效系数(SR),评价混剂的联合作用类型^[20]。

1.2.3 不同药剂的田间防治试验

1) 试验地概况。2014年8—10月于河北省沧州黄骅市南大港三分区六分厂二十七队沧州实验基地进行田间防治试验,地处 $38^{\circ}29'14''N$, $117^{\circ}34'11''E$,海拔1 m。试验所用苜蓿田土质为砂壤土,土壤pH偏碱性,2012年建植,种植面积 13.33 hm^2 ,种植品种为中苜一号。

2) 试验设计。选择地势平坦、栽种相对一致的发病地块划分试验小区。小区面积为 9 m^2 ($3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$),每处理3次小区重复,随机区组排列,每组小区外围都设有保护行,每组小区间东西方向走道宽30 cm,南北方向走道宽30 cm。

从盆栽药效试验结果中获得防效较好的原药,

用其对应的商品药剂,进行田间防治试验,结合不同药剂的作用机理、成本以及田间生产实际情况,按照农药混合使用、提高防效的原则,将农药按一定质量浓度比例进行复配。试验设3个单剂,每单剂3个计量梯度处理(表4);设3种单剂按质量比进行5组复配,每复配3个计量梯度处理(表5)。每处理3重复。

3) 施药处理。将药剂分别配制成表4和表5相应的计量,每小区灌施4 L,以灌施清水的植株为对照。间隔7 d施药,连续施药3次。

4) 病害调查。30 d后采用对角线法5点取样,每小区取样10株,3次重复。

5) 防治效果统计分析。根据取样调查数据,计算病情指数和防治效果。并根据Abott公式^[21]计算复配剂的增效系数。

1.3 数据处理及统计分析

使用Excel 2010、DPS 7.05软件进行数据处理及统计分析。

2 结果与分析

2.1 原药对拟枝孢镰刀菌的室内毒力测定

2.1.1 不同原药对拟枝孢镰刀菌的抑制作用

从表6看出,供试的10种原药对拟枝孢镰刀菌菌丝生长抑制效果有所不同。抑菌效果最好的是98%咯菌腈,当质量浓度分别为0.08、0.16、0.31、0.63和1.25 $\mu\text{g/mL}$ 时,抑菌率分别为61.18%、69.58%、73.05%、78.24%和90.11%;其次是98%戊唑醇,其抑菌率分别为31.01%、40.41%、45.10%、65.63%和83.68%。抑菌效果最差的是98%啞菌酯和97%恶霉灵,当它们质量浓度均为12.50、25.00、50.00和100.00 $\mu\text{g/mL}$ 时,其抑菌率分别为36.94%、41.15%、51.78%、62.41%和12.71%、19.39%、32.99%、61.92%。

2.1.2 不同原药的毒力比较

根据室内毒力测定结果,求得毒力回归方程(表7)。10种原药对拟枝孢镰刀菌抑制的 EC_{50} 顺序为:恶霉灵>啞菌酯>代森锰锌>福美双>三唑酮>百菌清>丙环唑>多菌灵>戊唑醇>咯菌腈,其中咯菌腈的 EC_{50} 最小,只有0.0387 $\mu\text{g/mL}$,所以抑制作用最大,而恶霉灵的 EC_{50} 最大,为53.6358 $\mu\text{g/mL}$,抑制作用最弱。10种原药的相关系数均为0.9062~0.9980,表明药剂浓度与抑制作用呈显著正相关(表6、表7)。

表 6 10 种原药对菌丝生长的抑制作用

Table 6 Inhibition effect of 10 original fungicides on *Fusarium sporotrichioides*

药剂 Fungicide	终质量浓度 1/ ($\mu\text{g}/\text{mL}$) Concentration 1	平均抑制率/ % Inhibition	终质量浓度 2/ ($\mu\text{g}/\text{mL}$) Concentration 2	平均抑制率/ % Inhibition	终质量浓度 3/ ($\mu\text{g}/\text{mL}$) Concentration 3	平均抑制率/ % Inhibition
98% 啞菌酯 Azoxystrobin	12.50	36.94	25.00	41.15	50.00	51.78
97% 恶霉灵 Hymexazol	12.50	12.71	25.00	19.39	50.00	32.99
85.8% 代森锰锌 Mancozeb	1.60	3.07	3.20	17.16	6.25	19.88
95% 福美双 Thiram	6.25	29.03	12.5	45.60	25.00	67.11
96% 丙环唑 Propiconazol	0.10	25.57	0.20	32.49	0.40	43.13
97.1% 三唑酮 Triadimefon	6.25	40.16	12.50	52.27	25.0	68.10
98% 咯菌腈 Fludioxonil	0.08	61.18	0.16	69.58	0.31	73.05
98% 戊唑醇 Tebuconazole	0.08	31.01	0.16	40.41	0.31	45.10
98.1% 多菌灵 Carbendazim	0.08	8.51	0.16	10.98	0.31	25.07
95% 百菌清 Chlorothalonil	0.63	34.47	1.25	54.75	2.50	62.91
药剂 Fungicide	终质量浓度 4/ ($\mu\text{g}/\text{mL}$) Concentration 4	平均抑制率/ % Inhibition	终质量浓度 5/ ($\mu\text{g}/\text{mL}$) Concentration 5	平均抑制率/ % Inhibition		
98% 啞菌酯 Azoxystrobin	100.00	62.41	200.00	66.37		
97% 恶霉灵 Hymexazol	100.00	61.92	200.00	96.29		
85.8% 代森锰锌 Mancozeb	12.50	38.67	25.00	45.35		
95% 福美双 Thiram	50.00	86.65	100.00	94.81		
96% 丙环唑 Propiconazol	0.80	57.96	1.60	75.77		
97.1% 三唑酮 Triadimefon	50.00	74.28	100.00	85.66		
98% 咯菌腈 Fludioxonil	0.63	65.63	1.25	83.68		
98% 戊唑醇 Tebuconazole	0.63	65.63	1.25	83.68		
98.1% 多菌灵 Carbendazim	0.63	29.53	1.25	86.15		
95% 百菌清 Chlorothalonil	5.00	65.88	10.00	69.58		

表7 10种原药对拟枝孢镰刀菌室内毒力测定的结果

Table 7 Toxicity measurement results of 10 original fungicides to *Fusarium sporotrichioides*

药剂 Fungicide	毒力回归方程(Y=) Regression equation	相关系数 r Correlation coefficient	斜率 K Slope	EC ₅₀ / (μg/mL)
98% 啉菌酯 Azoxystrobin	0.681 6x+3.887 2	0.987 7	0.681 6	42.910 0
97% 恶霉灵 Hymexazol	2.331 5x+0.967 8	0.946 8	2.331 5	53.635 8
85.8% 代森锰锌 Mancozeb	1.399 8x+3.066 3	0.957 0	1.399 8	24.067 2
95% 福美双 Thiram	1.853 1x+2.912 8	0.998 0	1.853 1	13.377 1
96% 丙环唑 Propiconazol	1.118 1x+5.368 1	0.985 5	1.118 1	0.468 6
97.1% 三唑酮 Triadimefon	1.070 9x+3.902 1	0.994 9	1.070 9	10.598 9
98% 咯菌腈 Fludioxonil	0.763 6x+6.078 3	0.956 2	0.763 6	0.038 7
98% 戊唑醇 Tebuconazole	1.208 7x+5.710 0	0.967 0	1.208 7	0.258 5
98.1% 多菌灵 Carbendazim	1.880 1x+5.397 5	0.906 2	1.880 1	0.614 6
95% 百菌清 Chlorothalonil	0.703 2x+4.913 8	0.922 6	0.703 2	1.326 1

2.2 不同原药的温室盆栽药效试验

从表8中显然可以看出,5种杀菌剂中,咯菌腈的EC₅₀值最小,为2.060 3 μg/mL,对紫花苜蓿拟枝孢镰刀菌根腐病的抑制作用最大,其次是戊唑醇和多菌灵,他们的EC₅₀值分别为7.474 4 μg/mL和8.871 0 μg/mL,而百菌清的EC₅₀值最大,12.862 4 μg/mL,对紫花苜蓿拟枝孢镰刀菌根腐

病的抑制作用最小。这一结论与室内毒力测定结果相一致。

由表9可知,15组复配的增效系数可以分为2类:复配组合4、8、9和10(表3)的增效系数(SR)分别为1.451 9、1.235 8、0.898 8和0.975 4,表现为相加作用;其余组合的增效系数在6.304 7~1.791 6之间,表现为增效作用(表8、表9)。

表8 5种原药对拟枝孢镰刀菌盆栽试验的结果

Table 8 Pot experiment results of 5 original fungicides to the *Fusarium sporotrichioides*

药剂 Fungicide	毒力回归方程(Y=) Regression equation	相关系数 r Correlation coefficient	EC ₅₀ / (μg/mL)
98% 咯菌腈 Fludioxonil	0.830 6x+4.739 2	0.970 6	2.060 3
98% 戊唑醇 Tebuconazole	1.130 0x+4.012 8	0.985 9	7.474 4
98.1% 多菌灵 Carbendazim	1.185 1x+3.875 6	0.976 8	8.871 0
96% 丙环唑 Propiconazol	1.120 9x+3.928 1	0.940 2	9.140 2
95% 百菌清 Chlorothalonil	1.065 1x+3.818 4	0.977 8	12.862 4

2.3 不同药剂的田间防效试验

从表10中可以看出,不同药剂及其不同剂量对紫花苜蓿根腐病有不同程度的防效,且差异显著(P<0.05)。从整体来看,复配剂的防效大于单剂防效;从单剂来看,咯菌腈和戊唑醇以有效剂量250

g/hm²的防效最好,其防效分别为69.42%和66.78%;从复配剂来看,有6种复配剂的防效达60%以上,其中以咯菌腈和戊唑醇以有效剂量125和125 g/hm²复配防效最高,防效达71.39%,其次是戊唑醇和多菌灵以有效剂量125和125 g/hm²复

表 9 不同配比原药对拟枝孢镰刀菌的毒力测定结果及增效系数(SR)

Table 9 Pot experiment results of mixed proportion of different original fungicides and synergistic effect to *Fusarium sporotrichioides*

序号 Number	毒力回归方程(Y=) Regression equation	EC ₅₀ /(μg/mL)		SR Synerisitic ratio
		理论值 Excepted	实际值 Observed	
11	0.561 3x+5.012 4	5.948 5	0.943 5	6.304 7
12	0.528 5x+4.941 8	7.121 6	1.288 8	5.525 7
3	0.594 9x+4.963 7	5.197 9	1.150 7	4.517 1
2	0.655 9x+5.000 3	4.510 9	0.999 0	4.515 4
1	0.480 6x+5.049 4	3.230 2	0.789 4	4.092 0
13	0.798 1x+4.645 5	7.622 6	2.780 7	2.741 3
15	0.367 5x+4.872 8	4.877 3	2.218 3	2.198 7
14	0.757 2x+4.706 4	5.107 2	2.441 9	2.091 5
5	0.625 0x+4.957 7	2.343 2	1.168 5	2.005 3
7	0.541 1x+4.781 6	4.857 0	2.533 0	1.917 5
6	0.687 8x+4.813 6	3.344 0	1.866 5	1.791 6
4	0.761 2x+4.818 3	2.515 9	1.732 8	1.451 9
8	0.389 2x+4.741 0	5.719 7	4.628 4	1.235 8
10	0.559 7x+4.784 9	2.362 6	2.422 2	0.975 4
9	0.942 7x+4.573 1	2.549 7	2.836 8	0.898 8

配防效达 68.76%；从复配增效方面来看,除咯菌腈和戊唑醇以有效剂量 20.8 和 104.2 g/hm² 复配,戊唑醇和多菌灵以有效剂量 15.7 和 47.3 g/hm² 复配,戊唑醇和多菌灵以有效剂量 31.3 和 93.7 g/hm² 复配,戊唑醇和多菌灵以有效剂量 62.5 和 187.5 g/hm² 复配的复配增效系数为 1.0 表现相加作用外,其余的复配及其剂量均表现为增效作用,与盆栽药效试验结果基本一致。综上所述,咯菌腈和戊唑醇以有效剂量 125 和 125 g/hm² 复配具有增效作用的同时防效最好。戊唑醇和多菌灵以有效剂量 125 和 125 g/hm² 复配,咯菌腈和戊唑醇以有效剂量 62.5 和 62.5 g/hm² 复配,咯菌腈和戊唑醇以有效剂量 62.5 和 187.5 g/hm² 复配,咯菌腈和戊唑醇以有效剂量 41.7 和 208.3 g/hm² 复配,戊唑醇和多菌灵以有效剂量 62.5 和 62.5 g/hm² 复配具有增效作用的同时防效紧次于咯菌腈和戊唑醇以有效剂量 125 和 125 g/hm² 复配的防效,防效在 64.28%~71.39%之间(表 10)。

3 结论与讨论

室内毒力测定结果表明,抑菌效果较好的是 98% 咯菌腈和 98% 戊唑醇,质量浓度为 1.25 μg/mL 时,其抑菌率分别为 90.11% 和 83.68%,抑菌效果较差的是 98% 嘧菌酯和 97% 恶霉灵;盆栽试验结果表明,98% 咯菌腈的 EC₅₀ 值最小,为 2.060 3 μg/mL,对紫花苜蓿拟枝孢镰刀菌根腐病的抑制作用最大,恶霉灵的 EC₅₀ 最大,为 53.635 8 μg/mL,抑制作用最弱。15 个复配除组合 9 和 10、4 和 8 分别表现为拮抗作用和相加作用外,其余组合均表现为增效作用;大田试验结果表明,50% 咯菌腈(WP)和 43% 戊唑醇(悬浮剂,SC)。以有效剂量 250 g/hm² 的防效较好,其防效分别为 69.42% 和 66.78%,50% 咯菌腈(WP)和 43% 戊唑醇(SC)以有效剂量 125 和 125 g/hm² 复配具增效作用的同时防效较好,为 71.39%。温室盆栽药效试验中米粒接种体接种的苜蓿发病率和病情指数均偏高,大田防效试验

表 10 不同药剂对紫花苜蓿根腐病的田间防效试验

Table 10 Control effect of field plot trials of different fungicides to root rot of alfalfa

药剂 Fungicide	有效剂量/ (g/hm ²) Effective dose	平均病情指数/% Disease index	实际防效/% Observed	理论防效/% Excepted	SR Synerisitic Ratio
CK	蒸馏水	55.76±0.49 aA	0.00±0.88 rS		
50%咯菌腈 Fludioxonil	63	28.16±0.11 gG	49.50±0.20 lM		
	125	20.57±0.05 mM	63.11±0.09 fG		
	250	17.05±0.01 qR	69.42±0.01 bB		
43%戊唑醇 Tebuconazole	63	30.25±0.09 eEF	45.74±0.17 nNO		
	125	22.46±0.06 lL	59.72±0.10 gH		
	250	18.53±0.05 oO	66.77±0.09 dE		
50%多菌灵 Carbendazim	125	36.39±0.15 cC	34.74±0.27 pQ		
	250	30.42±0.01 eE	45.45±0.02 nO		
	500	25.65±0.17 jJ	54.00±0.30 iJ		
50%咯菌腈:戊唑醇 Fludioxonil: Tebuconazole	31+31	26.27±0.06 iI	52.89±0.11 jK	41.96	1.3
	62.5+62.5	18.09±0.01 pOP	67.56±0.02 cDE	51.99	1.3
	125+125	15.95±0.06 rS	71.39±0.10 aA	56.51	1.3
50%咯菌腈:43%戊唑醇 Fludioxonil: Tebuconazole	15.7+47.3	29.69±0.17 fF	46.76±0.30 mN	42.44	1.1
	31.3+93.7	23.59±0.01 kK	57.50±0.02 hI	53.50	1.1
	62.5+187.5	17.94±0.10 pPQ	67.83±0.18 cCD	58.75	1.2
50%咯菌腈:43%戊唑醇 Fludioxonil: Tebuconazole	10.5+52.5	29.75±0.06 fF	46.64±0.10 mN	43.23	1.1
	20.8+104.2	25.77±0.15 jIJ	53.78±0.27 iJK	55.05	1.0
	41.7+208.3	19.92±0.05 nN	64.28±0.09 eF	60.78	1.1
43%戊唑醇:50%多菌灵 Tebuconazole: Carbendazim	31+31	27.34±0.08 hH	50.97±0.14 kL	36.27	1.4
	62.5+62.5	19.77±0.05 nN	64.55±0.09 eF	45.80	1.4
	125+125	17.42±0.01 qQR	68.76±0.01 bBC	51.37	1.3
43%戊唑醇:50%多菌灵 Tebuconazole: Carbendazim	15.7+47.3	37.30±0.20 bB	33.59±0.36 qR	34.52	1.0
	31.3+93.7	30.99±0.25 dD	44.41±0.45 oP	43.93	1.0
	62.5+187.5	28.19±0.15 gG	49.45±0.27 lM	50.43	1.0

注:不同大、小写字母分别表示在 0.01 与 0.05 水平上有差异。

Note: Different capital and lowercase letters represented that there were significant differences at 0.01 and 0.05 levels.

中的紫花苜蓿根腐病可能为各种镰刀菌复合侵染,两者防效均不太理想,还需进一步验证。

刘传德等^[22]发现戊唑醇和丙环唑等三唑类高效内吸性杀菌剂能有效控制镰刀菌等土传病害的发生。李敏权等^[14]、张志红等^[23]和马辉等^[24]发现单一药剂的使用可能刺激土壤部分微生物生长,改变

土壤生物群落结构,造成药剂防治效果的不理想,所以土壤微生物群落结构越丰富,物种越均匀,多样性越高,抑制病原菌能力越强。徐林波等^[25]发现 75%百菌清(WP)、50%扑海因(WP)、50%施菌克(WP)、50%多菌灵(WP)和 45%敌磺钠(可溶性粉剂,SP)等药剂虽然在高浓度时表现出对苜蓿茄镰

孢菌较强的抑制作用,但随药剂浓度的下降,其抑制率变化幅度却呈现出较大的波动,本研究有类似结论。

紫花苜蓿根腐病菌主要分布于土表以下,根部受害不易发现给根腐病的防治带来不少困难,故有效防治根腐病的方法甚少。目前朱亚峰等^[26]、王燕等^[27]均利用药剂灌根来防治根腐病,但药剂灌根的防效受药剂的溶解性、内吸性和土壤特点等因素影响。李建明等^[28]研究表明,药剂受到土壤孔隙度及水溶性限制,导致药效不能有效发挥,从而大大降低防效。其次种植户多采用滴灌系统进行施药,其药剂浓度远远小于实际需要值,从而达不到预期防治效果。

紫花苜蓿根腐病原自身具有复杂性,除可能由镰孢属的不同种混合侵染造成,还有其他种病原菌复合侵染。该病为土壤传播病害,且在苜蓿各个生育期均有发生,在生产上给苜蓿根腐病的防治带来很大困难。在防治上应采取以选育抗病品种、加强栽培管理和合理灌水和施肥等农业防治为主,结合化学防治等综合防治措施,从而达到防治苜蓿根腐病的目的,以保障苜蓿产业的丰产稳收。

参 考 文 献

- [1] 黄宁,卢欣石. 苜蓿叶部与根部病害研究的评价进展[J]. 中国农学通报, 2012, 28(5): 1-7
Huang N, Lu X S. Research and resistance evaluation progress on alfalfa leaf and root diseases [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(5): 1-7 (in Chinese)
- [2] 刘海波, 王永雄. 紫花苜蓿根腐病研究进展[J]. 草原与草坪, 2006(3): 3-13
Liu H B, Wang Y X. Research progress in root rot of alfalfa [J]. *Grassland and Turf (Bimonthly)*, 2006(3): 3-13 (in Chinese)
- [3] 梁庆伟, 孙德欣, 乌艳红, 吕宁, 杨秀芳, 那日苏, 陈玲玲. 赤峰市苜蓿种植存在的问题与建议[J]. 饲料研究, 2014(3): 68-70
Liang Q W, Sun D X, Wu Y H, Lv N, Yang X F, Na R S, Chen L L. The problems and suggestion of alfalfa in Chifeng [J]. *Feed Research*, 2014(3): 68-70 (in Chinese)
- [4] 陈耀, 闵继涛, 肖凤. 新疆苜蓿根腐病研究初报[J]. 中国草地, 1989(2): 71-73
Chen Y, Min J C, Xiao F. The Preliminary study on root rot diseases of alfalfa in Xinjiang uygur autonomous region [J]. *Grassland of China*, 1989(2): 71-73 (in Chinese)
- [5] 王雪薇. 新疆阿勒泰新垦区苜蓿病害调查与分析[J]. 新疆农业大学学报, 1996, 19(3): 40-44
Wang X W, Wang C L, Zhou G, et al. Investigation and analysis on lucerne diseases from altay newly-established areas in Northern Xinjiang [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 1996, 19(3): 40-44 (in Chinese)
- [6] 李敏权, 李金花, 柴兆祥, 董云霞, 张丽萍, 张自和. 定西地区苜蓿根和根颈腐烂病的研究[J]. 草地学报, 2003, 11(1): 83-86
Li M Q, Li J H, Chai Z X, Dong Y X, Zhang L P, Zhang Z H. Identification pathogens of crown and root rot of alfalfa in Dingxi China [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2003, 11(1): 83-86 (in Chinese)
- [7] 胡清泉. 紫花苜蓿根腐病的发生现状与防治措施[J]. 内蒙古草业, 2009, 21(1): 37-40
Hu Q Q. The occurring status and control measure of alfalfa root rot [J]. *Inner Mongolia Prataculture*, 2009, 21(1): 37-40 (in Chinese)
- [8] Salter R, Miller-Garvin J E, Viands D R. Breeding for resistance to alfalfa root rot caused by *Fusarium* species [J]. *Crop Science*, 1994, 34: 1213-1217
- [9] Michand R, Richard C. Evaluation of alfalfa cultivars for reaction to crown and root rot [J]. *Canada Journal Plant Science*, 1985, 65: 95-98
- [10] 李敏权. 苜蓿根和根颈腐烂病原致病性及品种抗病性研究 [J]. 中国草地, 2003, 25(1): 39-43
Li M Q. Studies on pathogens and resistance to crown and root rot in alfalfa [J]. *Grassland of China*, 2003, 25(1): 39-43 (in Chinese)
- [11] 丁守彦. 不同苜蓿品种对镰刀菌的抗性鉴定及诱导抗性研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010
Ding S Y. Studied on alfalfa varieties resistance and induced resistance to *Fusarium* [D]. Lanzhou: Gansu Agriculture University, 2010 (in Chinese)
- [12] 陈三凤, 李季伦. 作物根际和叶围中产几丁质酶微生物的分布及其抑制真菌作用 [J]. 生物防治通报, 1994, 19(2): 58-61
Chen S F, Li J L. Studies on the chitinase producing microorganisms at crop rhizosphere and phyllosphere and their antifungal activities [J]. *Chinese journal of biological control*, 1994, 19(2): 58-61 (in Chinese)
- [13] 赵永强, 孙厚俊, 陈晓宇, 邢继英, 谢逸萍. 6种生物源杀菌剂对甘薯根腐病菌的室内毒力测定 [J]. 江西农业学报, 2011, 23(2): 115-116
Zhao Y Q, Sun H J, Chen X Y, Xing J Y, Xie Y P. Toxicity test of six biogenic fungicides to sweet potato root rot in laboratory [J]. *Acta Agriculture Jiangxi*, 2011, 23(2): 115-116 (in Chinese)
- [14] 李敏权, 杨宝生, 侯军, 张自和. 四种杀菌剂对苜蓿根和根颈腐烂病菌的室内毒力测定 [J]. 草地学报, 2002, 4(10): 270-273
LI M Q, Yang B S, Hou J, Zhang Z H. Toxicity measurement of carbendazim on *Fusarium* spp. in alfalfa [J]. *Acta agrestia sinica*, 2002, 4(10): 270-273 (in Chinese)
- [15] 方中达. 植病研究法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998
Fang Z D. *The Method on Studies of Plant Pathology* [M].

- Beijing: Chinese Agricultural Press, 1998 (in Chinese)
- [16] 马超, 刘峰, 慕卫, 陈召亮, 韩志任, 翟茹环. 常用杀菌剂生物测定种稀释母液的配制方法[J]. 现代农药, 2006, 4(5): 15-18
Ma C, Liu F, Mu W, Chen Z L, Han Z R, Zhai R H. Preparation of water dilutions of fungicides in lab toxicity bioassay [J]. *Modern Agrochemicals*, 2006, 4(5): 15-18 (in Chinese)
- [17] 赵志祥, 陈圆, 肖敏, 肖彤斌, 陈绵才. 几种杀菌剂对薯蓣茎腐病菌的室内毒力测定[J]. 湖南农业大学学报, 2013, 39(1): 67-73
Zhao Z X, Chen Y, Xiao M, Xiao T B, Chen M C. Several fungicides to yam stem rot fungus of toxicity measurement [J]. *Journal of Hunan Agricultural University*, 2013, 39(1): 67-73 (in Chinese)
- [18] 陈小均, 何海永, 谭清群, 徐峰, 吴石平, 吴明开, 王莉爽, 杨学辉, 袁洁. 11种杀菌剂对白术根腐病病菌的室内毒力测定[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(3): 84-85
Chen X J, He H Y, Tan Q Q, Xu F, Wu S P, Wu M K, Wang L S, Yang X H, Yuan J. 11 kinds of fungicides toxicity measurement of atractylodes root rot pathogen [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(3): 84-85 (in Chinese)
- [19] 丁守彦, 李敏权, 赵慧. 不同苜蓿品种对镰孢菌的抗性鉴定[J]. 植物保护, 2011, 37(1): 110-114
Ding S Y, Li M Q, Zhao H. Identification of disease resistance of different varieties of alfalfa to *Fusarium* spp. [J]. *Plant Protection*, 2011, 37(1): 110-114 (in Chinese)
- [20] 农业部农药检定所生测室. 农药室内生物测定试验准则[M]. 北京: 中国标准出版社, 2000: 14-17
Institute for the Control of Agrochemicals. *Pesticide Bioassay Test Criteria* [M]. Beijing: Standards Press of China, 2000: 14-17 (in Chinese)
- [21] 雒富春. 苜蓿锈病的化学防治技术研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2014.
Luo F C. Study on chemical control of alfalfa rust disease [D]. Lanzhou: Gansu Agriculture University, 2014 (in Chinese)
- [22] 刘传德, 王培松, 王继秋, 宫本义, 尹国香. 三唑类杀菌剂及其在小麦病害防治中的应用研究进展[J]. 山东农业大学学报, 2005(2): 57-160
Liu C D, Wang P S, Wang J Q, Gong B Y, Yin G X. Research advances in triazole fungicides and used to control wheat diseases [J]. *Journal of Shandong Agricultural University*, 2005(2): 57-160 (in Chinese)
- [23] 张志红, 彭桂香, 李华兴, 蔡燕飞, 张新明, 赵兰凤. 生物肥与甲壳素和恶霉灵配施对香蕉枯萎病的防治效果[J]. 生态学报, 2011, 31(4): 1149-1156
Zhang Z H, Peng G X, Li H X, Cai Y F, Zhang X M, Zhao L F. Effects on controlling banana *Fusarium* wilt by bio-fertilizer, chitosan, hymexazol and their combinations [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4): 1149-1156 (in Chinese)
- [24] 马辉, 马国良, 沈雪萍. 不同浓度及药剂处理对萝卜陈种子发芽及田间成苗的影响[J]. 北方园艺, 2011, (23): 35-38
Ma H, Ma G L, Shen X P. Impact on germination and field emergence of aged radish seed from various concentration of chemical treatment [J]. *Northern horticulture*, 2011, (23): 35-38 (in Chinese)
- [25] 徐林波. 苜蓿根腐性病害的研究进展[J]. 中国草地, 2007(1): 143-147
Xu L B. Research progress in root rot of alfalfa [J]. *Grassland of China*, 2007(1): 143-147 (in Chinese)
- [26] 朱亚峰, 李平, 金玉华, 张莉. 北疆地区打瓜镰刀菌根腐病药剂防治研究[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(7): 1271-1276
Zhu Y F, Li P, Jin Y H, Zhang L. Study on fungicides for controlling root rot of seed watermelon in Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2013, 50(7): 1271-1276 (in Chinese)
- [27] 王燕, 王春伟, 高洁, 崔丽丽, 吕雁斌. 24种杀菌剂及其相关配比对人参根腐病菌的毒力测定及田间防效[J]. 农药, 2014, 53(1): 61-65
Wang Y, Wang C W, Gao J, Cui L L, Lv Y B. toxicity test and field control effects of 24 fungicides and related Proportions against *Fusarium solani* [J]. *Agrochemicals*, 2014, 53(1): 61-65 (in Chinese)
- [28] 李建明, 李宝聚, 谢学文, 石延霞. 灌根与拌土防治蔬菜土传病害的比较[J]. 中国蔬菜, 2011(11): 22-24
Li J M, Li B J, Xie X W, Shi Y X. The compared with root-irrigation and puddling treatment to control soil-borne disease of vegetable [J]. *China Vegetables*, 2011(11): 22-24 (in Chinese)

责任编辑: 苏燕