

柔毛镰刀菌的室内药效测定和田间药效筛选

祁娜¹, 王爱文², 许永锋³, 何树文³, 杨成德^{1*}

(1. 甘肃农业大学植物保护学院, 甘肃省农作物病虫害生物防治工程实验室, 甘肃 兰州 730070;

2. 张掖市农科院, 甘肃 张掖 734000; 3. 甘肃省张掖市植保植检站, 甘肃 张掖 734000)

摘要:【目的】筛选出防治玉米根部主要病原镰刀菌—柔毛镰刀菌(*Fusarium flocciferum*)的高效低毒杀菌剂。【方法】采用菌丝生长速率法测定了11种杀菌剂对柔毛镰刀菌的抑菌效果, 同时进行6个种子处理剂对玉米根部病害的防效试验。【结果】10%叶菌唑悬浮剂对菌丝生长抑制作用最强, EC_{50} 值为0.008 $\mu\text{g}/\text{mL}$; 抑菌效果较好的药剂为3%吡唑醚菌酯·噁霉灵颗粒剂和200 g/L氟酰胺·苯甲唑悬浮剂, EC_{50} 值分别为0.051 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 和0.093 $\mu\text{g}/\text{mL}$; 柔毛镰刀菌菌丝生长对50%福美双可湿性粉剂和25%氟烯菌酯悬浮剂最敏感, 斜率分别为3.76和3.49, 其次为15%多菌灵·福美双悬浮种衣剂, 斜率为1.92; 各种子处理剂对玉米根部镰刀菌根腐有一定的防治效果, 其中1000亿cfu/g枯草芽孢杆菌粉剂与种子的配比为1:200时防治效果最好; 200 mL 18%噻灵·咯·精甲FS配比100 kg种子及450 mL 11%精甲·咯·噻菌FS配比100 kg种子时防效较好。【结论】10%叶菌唑SC对柔毛镰刀菌菌丝的抑制作用最好, 在种子处理试验中1000亿cfu/g枯草芽孢杆菌DP与种子的配比为1:200时的防治效果最好, 该研究结果为玉米根部镰刀菌的化学防治药剂选择提供了依据。

关键词:柔毛镰刀菌; 生长速率法; 化学药剂; 药效; 测定; 田间防效

中图分类号:S435.4 文献标志码:A 文章编号:1009-5500(2024)04-0218-08

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2024.04.025



玉米(*Zea mays*)作为主要的粮食作物和饲料作物, 其籽粒营养价值高, 保健效果好, 可作为杂粮进行食用, 其秸秆总可消化养分含量、粗蛋白相对含量和钙含量较高, 产量丰富, 是优选的饲料, 并且可以制成青贮饲料, 经济效益明显^[1-3]; 玉米在食品和养殖业等方面都有广泛应用。我国是世界玉米生产大国, 甘肃省是我国玉米种植大省, 尤其河西走廊地区玉米制种产业发展迅速, 已经成为国家级玉米种子生产基地^[4-5]。但玉米生长可受到多种因素的影响和制约, 其中玉米病害是影响玉米高产稳产的重要因素之一^[6-7]。在玉米病害中, 镰刀菌属(*Fusarium*)真菌引

起的病害影响较大, 如禾谷镰刀菌(*F. graminearum*)可引起玉米茎腐病, 拟轮枝镰刀菌(*F. verticillioides*)可引起玉米枯萎病, 拟轮枝镰刀菌、层出镰刀菌(*F. proliferatum*)和禾谷镰刀菌可引起玉米穗腐病^[8-10]等。

国内外研究表明, 柔毛镰刀菌(*F. flocciferum*)主要侵染小麦、木瓜、豌豆和三七等^[11-14]。2021年在甘肃张掖首次发现柔毛镰刀菌可引起玉米根部病害, 表现为苗期受害玉米根部变黑, 严重时须根变黑腐烂, 有些根茎部剖开可以看到髓部变褐变黑; 成株期根部腐烂, 主茎初期表皮变黑, 后期茎秆髓部变黑; 发病严重时造成玉米果实籽粒稀疏。经调查此病害严重的品系(组合)病株率达到70%, 空秆率达到30%, 严重影响玉米的产量和品质。因此, 本试验利用供试的11种杀菌剂采用菌丝生长速率法对柔毛镰刀菌进行室内药效测定, 并通过大田试验进行防治效果验证, 以期在生产中的科学防控提供方法。

收稿日期:2023-02-21; 修回日期:2023-04-12

基金资助:玉米病害综合防治技术研究(GSAU-JSYF-2021)

作者简介:祁娜(1995-), 女, 甘肃陇西人, 硕士研究生。

E-mail:1052625303@qq.com

*通信作者。E-mail:yangcd@gsau.edu.cn

1 材料和方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试病原菌 供试菌株柔毛镰刀菌保存于甘肃农业大学植物保护学院植物病原细菌及生物多样

性实验室。

1.1.2 供试培养基 采用马铃薯葡萄糖琼脂培养基 (potato dextrose agar, PDA) 进行试验^[15]。

1.1.3 供试杀菌剂 供试杀菌剂共11种(表1)。

表1 杀菌剂及生产企业

Table 1 Fungicides and manufacturers

序号	药名	剂型	生产厂家
1	50% 福美双	WP	山东百士威作物保护有限公司
2	3% 吡唑醚菌酯·噁霉灵	GR	佛山市盈辉作物科学有限公司
3	11% 精甲·咯·啞菌	FS	河北博嘉农业有限公司
4	325 g/L 苯甲·啞菌酯	SC	先正达南通作物保护有限公司
5	500 g/L 甲基硫菌灵	SC	江苏蓝丰生物化工股份有限公司
6	43% 氟菌·肟菌酯	SC	拜尔作物科学(中国)有限公司北京分公司
7	15% 多菌灵·福美双	FS	武威春飞作物科技有限公司
8	18% 噻灵·咯·精甲	FS	瑞士先正达作物保护有限公司
9	200 g/L 氟酰胺·苯甲唑	SC	瑞士先正达作物保护有限公司
10	10% 叶菌唑	SC	上海茵欧农业科技有限公司
11	25% 氰烯菌酯	SC	江苏省农药研究所股份有限公司

注:WP为可湿性粉剂;SC为悬浮剂;GR为颗粒剂;FS为种子处理悬浮剂。

1.2 室内药效测定

采用菌丝生长速率法测定杀菌剂对柔毛镰刀菌的抑菌效果。供试菌株在PDA培养基上活化后,25℃黑暗条件下培养3d,在无菌条件下用无菌打孔器在菌落边缘打取5mm菌饼备用;按预试验结果,将杀菌剂用无菌水配置成5个浓度梯度,将所需浓度稀释供试杀菌剂后,将1份稀释药液加入灭菌后降温到50℃左右的49份培养基中迅速摇匀,立即倒于9cm的培养皿中制成平板,以无菌水代替药液作为对照;用接种针将菌饼接种于含药平板中央,菌丝面朝下,重复3次,置于25℃培养箱中培养6d后,用十字交叉法垂直测量菌落直径^[16],取其平均值,并按以下公式计算抑菌率:

抑菌率=(空白对照菌落半径-药剂处理菌落半径)/空白对照菌落半径×100%^[17]

1.3 田间药效试验

田间药效试验在甘肃省张掖市甘州区新墩镇北闸村进行,本试验采用种子处理方法进行试验。田间供试药剂及其与种子的配比见表2。采用小区试验,每个小区大小为13m×10m,共3个小区,合计面积

390m²,药剂间设保护行。在玉米拔节期和大喇叭口期分别调查发病率及严重度,计算病情指数和防治效果,每个小区调查10株以上。根据病害发生情况制定以下分级标准。

0级:根上部横截面无病斑;

1级:根上部横截面有零星的病斑,病斑覆盖根上部横截面0~25%;

3级:病斑覆盖根上部横截面25%~50%;

5级:病斑覆盖根上部横截面50%~75%;

7级:病斑覆盖根上部横截面75%~100%;

9级:病斑覆盖根上部横截面100%,且外表有表现形状。

发病率、病情指数及防治效果计算公式如下:

发病率=(发病植株/调查总株数)×100%

病情指数=Σ(各级病株数×相应级别数)/(调查总株数×最高级值)×100^[18]

防治效果=[(对照病情指数-处理病情指数)/对照病情指数]×100%

1.5 数据分析与处理

采用Microsoft Excel 2010和SPSS 24.0软件对

表2 种子处理所需药剂及其信息

Table 2 Agents required for seed treatment and their information

序号	处理药剂	剂型	配比	生产厂家
1	11% 精甲·咯·啞菌	FS	450 mL/100 kg 种子	河北博嘉农业有限公司
2	1 000 亿 cfu/g 枯草芽孢杆菌	DP	1 kg/10 kg 种子	武汉科诺生物科技股份有限公司
			1 kg/50 kg 种子	
			1 kg/100 kg 种子	
			1 kg/200 kg 种子	
3	25 g/L 咯菌腈+10g/L 精甲霜灵	SC	400 mL/100 kg 种子	瑞士先正达作物保护有限公司
4	18% 噻灵·咯·精甲	FS	200 mL/100 kg 种子	瑞士先正达作物保护有限公司
5	15% 多菌灵·福美双	FS	200 mL/100 kg 种子	武威春飞作物科技有限公司
6	50% 福美双	WP	500 g/100 kg 种子	山东百士威作物保护有限公司
7	空白对照			

数据进行分析。将抑菌率换算成抑制几率值,药剂质量浓度转化为对数值,并用回归法求毒力回归方程和相关系数,计算各杀菌剂的抑制中浓度 EC_{50} 值。

2 结果与分析

2.1 杀菌剂对柔毛镰刀菌菌丝生长的抑制作用

11种杀菌剂对柔毛镰刀菌均有不同程度的抑制作用,且随着浓度增大抑菌率增高,其中,15%多菌灵·福美双 FS 和 10% 叶菌唑 SC 在浓度分别为 3 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 和 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时抑菌率均达到 100%,抑菌效果最好;各杀菌剂中,当 3% 吡唑醚菌酯·噁霉灵 GR

浓度为 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、11% 精甲·咯·啞菌 FS 浓度为 5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、25% 氰烯菌酯 SC 浓度为 15 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、15% 多菌灵·福美双 FS 和 18% 噻灵·咯·精甲 FS 浓度均为 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时,抑菌率均介于 90%~100% 之间,抑菌效果较好,但 500 g/L 甲基硫菌灵 SC 浓度为 0.05 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 以及 25% 氰烯菌酯 SC 浓度为 0.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时抑菌率分别为 4.99% 和 4.73%,该浓度药剂几乎对柔毛镰刀菌菌丝生长无抑制作用。因此,15% 多菌灵·福美双 SC 和 10% 叶菌唑 SC 对柔毛镰刀菌菌丝的生长均有较好的抑制效果(图1)(表3)。

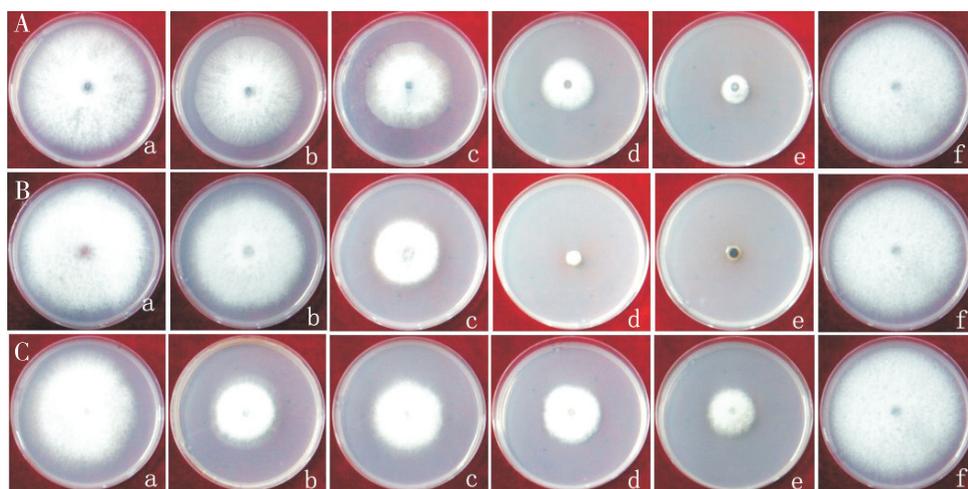


图1 药剂对柔毛镰刀菌菌丝生长的抑菌作用

Fig. 1 Antibacterial effect of the agent on the growth of *F. flocciferum* hyphae

注:A:50% 福美双;A-a:10 $\mu\text{g}/\text{mL}$, A-b:30 $\mu\text{g}/\text{mL}$, A-c:50 $\mu\text{g}/\text{mL}$, A-d:70 $\mu\text{g}/\text{mL}$, A-e:90 $\mu\text{g}/\text{mL}$, A-f:CK; B:15% 多菌灵·福美双;B-a:0.01 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B-b:0.3 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B-c:0.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B-d:1 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B-e:3 $\mu\text{g}/\text{mL}$, B-f:CK; C:200 g/L 氰烯菌酯·苯甲唑;C-a:0.005 $\mu\text{g}/\text{mL}$, C-b:0.01 $\mu\text{g}/\text{mL}$, C-c:0.08 $\mu\text{g}/\text{mL}$, C-d:0.2 $\mu\text{g}/\text{mL}$, C-e:0.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$, C-f:CK。

表 3 杀菌剂对柔毛镰刀菌菌丝生长的抑制作用

Table 3 Inhibition of hyphae growth of *F. flocciferum* with fungicides

序号	杀菌剂	处理浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$	菌落直径/cm		抑菌率/%
			对照	处理	
1	50% 福美双 WP	10	8.32	7.52	10.23
		30		6.33	25.45
		50		5.08	41.43
		70		3.43	62.53
		90		1.63	85.55
2	3% 吡唑醚菌酯·噁霉灵 GR	0.005	8.32	6.50	23.27
		0.001		5.08	41.43
		0.001		3.92	56.27
		1.000		2.63	72.76
		10.000		1.18	91.30
3	11% 精甲·咯·嘧菌 FS	0.010	8.32	7.78	6.91
		0.200		5.87	31.33
		0.500		4.97	42.84
		1.000		3.93	56.14
		5.000		1.15	91.69
4	325g/L 苯甲·嘧菌酯 SC	0.010	8.32	6.92	17.90
		0.050		5.85	31.59
		0.500		3.75	58.44
		3.000		2.52	74.17
		10.000		1.43	88.11
5	500g/L 甲基硫菌灵 SC	0.050	8.32	7.93	4.99
		0.500		7.13	15.22
		5.000		5.15	40.54
		8.000		2.97	68.41
		10.000		1.73	84.27
6	43% 氟菌·肟菌酯 SC	0.005	8.32	6.62	21.74
		0.050		5.58	35.04
		5.000		4.53	48.47
		10.000		4.08	54.22
		15.000		3.82	57.54
7	15% 多菌灵·福美双 FS	0.010	8.32	7.55	9.85
		0.300		6.10	28.39
		0.500		4.00	55.24
		1.000		1.08	92.58
		3.000		0.50	100.00
8	18% 噻灵·咯·精甲 FS	0.005	8.32	7.48	10.74
		0.050		6.17	27.49
		0.100		5.15	40.54
		0.500		2.55	73.79
		5.000		1.10	92.33
9	200g/L 氟酰羟·苯甲唑 SC	0.005	8.32	7.23	13.94
		0.010		6.08	28.64
		0.080		4.67	46.68
		0.200		3.65	59.72
		0.500		2.77	70.97
10	10% 叶菌唑 SC	0.005	8.32	6.02	29.41
		0.008		4.08	54.22

续表 3

序号	杀菌剂	处理浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	菌落直径/cm		抑菌率/%
			对照	处理	
11	25% 氰烯菌酯 SC	0.010	8.32	3.05	67.39
		0.200		1.75	84.02
		1.000		0.50	100.00
		0.500		7.95	4.73
		0.800		6.27	26.21
		1.000		4.98	42.71
		3.000		1.83	82.99
		15.000		1.03	93.22

注:表中数据为第6 d用十字交叉法所测菌丝生长3次重复的平均值。

2.2 不同杀菌剂对柔毛镰刀菌的室内毒力

不同杀菌剂对玉米柔毛镰刀菌的毒力存在明显差异(表4)。10% 叶菌唑 SC 的 EC_{50} 值最小,为 0.008 $\mu\text{g}/\text{mL}$,表明该杀菌剂的毒力最强,药效最好;杀菌剂毒力较强的是 3% 吡唑醚菌酯·噁霉灵 GR 和 200 g/L 氟酰胺·苯甲唑 SC,其 EC_{50} 值分别为 0.051 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 和

0.093 $\mu\text{g}/\text{mL}$; 18% 噻灵·咯·精甲 FS、325 g/L 苯甲·嘧菌酯 SC、15% 多菌灵·福美双 FS 和 11% 精甲·咯·嘧菌 FS 的 EC_{50} 值介于 0.15 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ~0.56 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 之间,表明以上杀菌剂的抑菌效果较好;而 50% 福美双 WP 的 EC_{50} 值最大,达到 49.272 $\mu\text{g}/\text{mL}$,对柔毛镰刀菌的抑菌效果最弱。

表 4 11种杀菌剂对柔毛镰刀菌的室内毒力

Table 4 Indoor virulence of 11 fungicides against *F. flocciferum*

序号	杀菌剂	毒力回归方程 $Y=$	相关系数(R^2)	$EC_{50}/(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$
1	50% 福美双	$3.76x-6.26$	0.891	49.272
2	3% 吡唑醚菌酯·噁霉灵	$0.96x+1.23$	0.964	0.051
3	11% 精甲·咯·嘧菌	$1.76x+0.6$	0.946	0.558
4	325 g/L 苯甲·嘧菌酯	$1.13x+0.7$	0.991	0.247
5	500 g/L 甲基硫菌灵	$1.13x-0.26$	0.885	2.054
6	43% 氟菌·肟菌酯	$0.41x-0.24$	0.969	3.8
7	15% 多菌灵·福美双	$1.92x+1.26$	0.724	0.315
8	18% 噻灵·咯·精甲	$1.58x+1.33$	0.988	0.151
9	200 g/L 氟酰胺·苯甲唑	$1.25x+1.28$	0.967	0.093
10	10% 叶菌唑	$1.24x+2.67$	0.721	0.008
11	25% 氰烯菌酯	$3.49x-0.9$	0.869	1.468

2.3 柔毛镰刀菌对不同杀菌剂的敏感性

根据回归方程的斜率可以看出(表3),在11种杀菌剂的中斜率最大的是 50% 福美双可湿性粉剂和 25% 氰烯菌酯悬浮剂,分别为 3.76 和 3.49,表明柔毛镰刀菌菌丝对其敏感性最强;15% 多菌灵·福美双 FS、11% 精甲·咯·嘧菌 FS、18% 噻灵·咯·精甲 FS、200 g/L 氟酰胺·苯甲唑 SC、10% 叶菌唑 SC、325 g/L 苯甲·嘧菌酯 SC 及 500 g/L 甲基硫菌灵 SC 的斜率依次减小,7种药剂的敏感性依次降低;斜率为 0.41 的 43% 氟菌·肟菌酯 SC 和斜率为 0.96 的 3% 吡唑醚菌酯·噁霉灵 GR 的敏感性最弱。

2.4 田间药效筛选

6种种子处理剂在玉米拔节期均具有一定的防治效果(表5),其中 1 000 亿 cfu/g 枯草芽孢杆菌粉剂与种子配比为 1:200 时病情指数最小,为 33.33,防效为 47.83%,防治效果最好;其次是 450 mL 11% 精甲·咯·嘧菌种子处理悬浮剂配比 100 kg 种子时,其病情指数为 41.67,防治效果相对较好。6种种子处理剂在大喇叭口期的防治效果均较差,说明种子处理的药效不能持续到大喇叭口期。

3 讨论

国内首次报道的柔毛镰刀菌于 2015 年 4 月在山

表5 种子处理对玉米镰刀根腐病的田间防效

Table 5 Field efficacy of seed treatment against *Fusarium* root rot of maize

处理药剂	配比	拔节期		大喇叭口期	
		病情指数	防效/%	病情指数	防效/%
11% 精甲·咯·啞菌	450 mL/100 kg 种子	41.67	34.78	44.40	17.32
	1 kg/10 kg 种子	55.56	13.04	60.00	0
1000 亿/克 枯草芽孢杆菌	1 kg/50 kg 种子	55.56	13.04	73.30	0
	1 kg/100 kg 种子	42.22	33.92	51.10	4.84
	1 kg/200 kg 种子	33.33	47.83	46.70	13.04
25g/L 咯菌腈+10g/L 精甲霜灵	400 mL/100 kg 种子	44.44	30.44	60.00	0
18% 噻灵·咯·精甲	200 mL/100 kg 种子	44.44	30.44	47.20	12.10
15% 多菌灵·福美双	200 mL/100 kg 种子	52.78	17.39	65.10	0
50% 福美双	500 g/100 kg 种子	55.56	13.04	53.30	0.74
空白对照		63.89		53.7	

西省忻州市五台县种植花椒的褐土中分离得到^[19]。而在印度,报道小麦穗部病害和根腐病中分离得到两株柔毛镰刀菌,作为致病菌首次侵染小麦^[11];此菌可对单一和混合天然酚类化合物进行降解,也可利用该菌对铜、镉和镍的生物吸附能力处理工业废水^[20-21];此菌也是有效的酶生产者,可通过固态发酵来增加OC的营养价值,从而对动物饲料进行增值^[22]。因此该菌既是病原菌,也是资源菌。但本试验首次对柔毛镰刀菌进行室内药效测定以及对该病原引起的玉米病害利用种子处理试验进行田间防治,为玉米绿色生产提供了科学依据。

目前,由镰孢霉属真菌引起的病害越来越多,对于镰刀菌的室内药效测定也相对较多。邢会琴等^[23]报道在甘肃河西地区97%多菌灵WP对拟轮枝镰刀菌抑菌效果最好;杜鹃等^[24]报道在西藏自治区苯醚甲环唑对燕麦镰刀菌(*F. avenaceum*)具有最好的抑制作用;范祥梅等^[25]报道苯甲·丙环唑EC对半裸镰刀菌(*F. semitectum*)和尖孢镰刀菌(*F. oxysporum*)的EC₅₀值最小,毒力最强;耿妍等^[26]报道80%乙蒜素AS对腐皮镰刀菌(*F. solani*)的抑菌效果最好;蒋成全^[27]报道50%甲基硫菌灵WP对为害岷县当归的腐皮镰刀菌的抑制作用最大,30%噁霉灵AS对尖孢镰刀菌的EC₅₀值最小,毒力最强。因此,唑类杀菌剂和噁唑类杀菌剂对镰刀菌菌丝生长有明显的抑制效果。宁楠楠等^[28]报道在青海省为害马铃薯的三线镰刀菌(*F. tricinctum*)对50%硫磺·多菌灵WP最敏感,尖孢镰刀菌对60 g/L戊唑醇SC较敏感,木贼镰刀菌对60%唑醚·代森联WG相对敏感;李梦姣等^[29]报道在河南省

为害芝麻的尖孢镰刀菌对400 g/L氟硅唑EC敏感性较强;杜若琛等^[30]报道山西省为害西瓜的尖孢镰刀菌对万寿菊杀菌素EW敏感性高;陈圆等^[31]报道在海南省为害百香果的腐皮镰刀菌对450 g/L咪鲜胺EW最敏感。因此,不同镰刀菌对杀菌剂的敏感性不同,并且同种镰刀菌在不同地区对杀菌剂的敏感性也不同,这可能与不同环境条件导致生物学特性等的差异有关。

目前,国内外报道的防治玉米病害的有效种子处理药剂并不多,郭宁等^[32]报道8%吡唑醚菌酯FS+20%精甲霜灵FS+25 g/L咯菌腈FS(5+1+2.5)g/(100 kg)混合使用时对玉米茎腐病的防效最高;董民堂等^[33]报道20%吡·福·戊唑种子处理悬浮剂与种子配比为1:50时对玉米丝黑穗病的防治效果最好,防效可达86.9%;杨克泽等^[34]报道当28%灭菌唑FS与40%福亮FS的混合剂与种子配比为1:500时,防治玉米瘤黑粉病效果最好,防效为56.4%,说明多个有效成分混配药剂可有效防治玉米病害。

4 结论

11种杀菌剂对柔毛镰刀菌菌丝抑制效果最强的为10%叶菌唑SC,其次为3%吡唑醚菌酯·噁霉灵GR和200 g/L氟酰胺·苯甲唑SC;而柔毛镰刀菌菌丝对50%福美双WP和25%氰烯菌酯SC最敏感;在田间防效中,6种种子处理药剂在拔节期和大喇叭口期时,1 000 亿 cfu/g 枯草芽孢杆菌DP与种子配比为1:200以及450 mL 11%精甲·咯·啞菌FS配比100 kg种子时防治效果较好。

参考文献:

- [1] 刘勇,周俗,刘丽,等. 不同青贮玉米品种抗病性评价[J]. 草原与草坪,2019,39(2):91—95.
- [2] 马淑敏,焦婷,师尚礼,等. 乳酸菌制剂对灌溉区不同品种青饲玉米青贮发酵品质的影响[J]. 草业科学,2022,39(8):1653—1663.
- [3] 李岫峰,王奕晟,孙旸,等. 我国玉米秸秆资源现状及其饲料化研究进展[J]. 饲料研究,2022,45(18):129—132.
- [4] 王晓鸣,段灿星. 玉米病害和病原名称整理及其汉译名称规范化探讨[J]. 中国农业科学,2020,53(2):288—316.
- [5] 陈海鹏. 张掖市国家级杂交玉米种子生产基地发展现状与建议[J]. 现代农业科技,2020,(12):60—61.
- [6] Li E L, Wang L W, Xie Q J, *et al.* A novel deep learning method for maize disease identification based on small sample—size and complex background datasets [J]. *Ecological Informatics*,2023,75:102011.
- [7] Fang S D, Wang Y F, Zhou G X, *et al.* Multi—channel feature fusion networks with hard coordinate attention mechanism for maize disease identification under complex backgrounds [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2022,203:107486.
- [8] Karupiah V, He A, Lu Z X, *et al.* Trichoderma asperellum GDFS1009 - mediated maize resistance against *Fusarium graminearum* stalk rot and mycotoxin degradation [J]. *Biological Control*,2022,174:105026.
- [9] Mamatha Ch, Mallaiiah B, Nandappa C, *et al.* Studies on Cultural, Morphological and Pathogenic Variability among the Isolates of *F. verticillioides* Associated with Maize Stalk Rot in Telangana State, India [J]. *International Journal of Environment and Climate Change*, 2022, 12 (11) : 283—294.
- [10] 郭聪聪,付萌,庞民好,等. 杀菌剂对玉米穗腐病菌的毒力及毒素产生的影响[J]. 植物保护学报,2015,42(6):1036—1043.
- [11] Dehghanpour—Farashah S, Taheri P, Falahati—Rastegar M. Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. , the causal agent of wheat crown and root rot in Iran [J]. *Journal of plant pathology*, 2020, 102(1) : 143—154.
- [12] Helal RB, Hosen S, Shamsi S. Mycoflora associated with post—harvest disease of papaya (*Carica papaya* L.) and their pathogenic potentiality [J]. *Bangladesh journal of botany*, 2018, 47(3) : 389—395.
- [13] Šišić A, Bačanović—Šišić J, Schmidt H, *et al.* First Report of *Fusarium flocciferum* Causing Root Rot of Pea (*Pisum sativum*) and Faba Bean (*Vicia faba*) in Germany [J]. *Plant Disease*, 2020, 104(1).
- [14] Miao C P, Qiao X G, Zheng X G, *et al.* First Report of *Fusarium flocciferum* Causing Root Rot of Sanqi (*Panax notoginseng*) in Yunnan, China [J]. *Plant Disease*, 2015, 99(11) : 1650—1651.
- [15] 迟晓红,盖辛,李卉梓,等. 不同杀菌剂对黄瓜靶斑病菌室内药效测定[J]. 吉林农业科学,2013,38(5):54—55+65.
- [16] 马金慧,杨克泽,吴之涛,等. 14种杀菌剂对玉米藤仓镰孢菌室内毒力测定[J]. 山东农业科学,2020,52(3):102—106.
- [17] 苏静,李双明. 土传病原真菌及其生防细菌的分离鉴定 [J]. 草原与草坪,2019,39(3):79—84+91.
- [18] 杨小利,杨成德,陈秀蓉,等. 甘肃省定西市马铃薯晚疫病发生及品种抗性评价[J]. 草原与草坪,2016,36(4):82—86.
- [19] 洪坚平,郭明霞,贺运春,等. 镰刀菌属一个中国新记录种[J]. 菌物研究,2007,(3):129—130+133.
- [20] Chebaibi S, Grandchamp M L, Burge G, *et al.* Improvement of protein content and decrease of anti—nutritional factors in olive cake by solid—state fermentation: A way to valorize this industrial by—product in animal feed [J]. *Journal of bioscience and bioengineering*, 2019, 128(3) : 384—390.
- [21] Mendonça E, Martins A, Anselmo A M. Biodegradation of natural phenolic compounds as single and mixed substrates by *Fusarium flocciferum* [J]. *Electronic Journal of Biotechnology*, 2004, 7(1) : 38—46.
- [22] Delgado A, Anselmo A M, Novais J M. Heavy Metal Biosorption by Dried Powdered Mycelium of *Fusarium flocciferum* [J]. *Water Environment Research*, 1998, 70(3) : 370—375.
- [23] 邢会琴,马建仓,毛涛,等. 防治玉米苗枯病室内药剂筛选[J]. 中国农学通报,2010,26(9):319—322.
- [24] 杜娟,申李旖琦,聂丽妍,等. 西藏青稞穗腐病原菌鉴定与室内药剂筛选[J]. 江苏农业科学,2022,50(14):108—114.
- [25] 范祥梅,徐秉良,梁巧兰. 白菜型冬油菜根腐病的室内药剂筛选和药效试验[J]. 草原与草坪,2014,34(3):31—35+41.
- [26] 耿妍,韩翠仙,张爱香,等. 马铃薯枯萎病的药剂筛选及

- 室内毒力测定[J]. 河北北方学院学报(自然科学版), 2019, 35(11): 36-39.
- [27] 蒋成全. 十种杀菌剂对当归根腐病菌的室内毒力测定[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(5): 54-55+60.
- [28] 宁楠楠, 刘俏, 咸文荣, 等. 5种杀菌剂对马铃薯干腐病菌的室内毒力测定[J]. 青海大学学报, 2021, 39(1): 31-37.
- [29] 李梦姣, 王振军, 刘红彦. 8种杀菌剂对芝麻尖孢镰刀菌的室内毒力测定[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(16): 5010-5011.
- [30] 杜若琛, 王金胜. 西瓜枯萎病菌分离、鉴定及室内毒力测定[J]. 广东农业科学, 2013, 40(5): 71-72.
- [31] 陈圆, 赵志祥, 严婉荣, 等. 百香果茎基腐病原鉴定及室内毒力测定[J]. 中国南方果树, 2022, 51(6): 90-94.
- [32] 郭宁, 于淑晶, 孙华, 等. 不同配方吡唑醚菌酯包衣对玉米茎腐病的防治试验[J]. 农药, 2023, 62(2): 154-156.
- [33] 董民堂, 王学雄, 李凌雨, 等. 药剂拌种对玉米丝黑穗病的防治效果[J]. 山西农业科学, 2012, 40(7): 763-764+767.
- [34] 杨克泽, 马金慧, 任宝仓. 种子包衣防治玉米瘤黑粉病药效试验[J]. 农药, 2016, 55(10): 764-766.

Indoor efficacy determination and field efficacy screening of *Fusarium flocciferum*

Qi Na¹, WANG Ai-wen², XU Yong-feng, HE Shu-wen, YANG Cheng-de^{1*}

(1. Laboratory of Biocontrol Engineering of Crop Pests and Diseases in Gansu Province, College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China. 2. Zhangye Academy of Agricultural Sciences, Zhangye 734000, China. 3. Zhangye Station of Plant Protection and Quarantine, Zhangye 734000, China)

Abstract: [Objective] To screen for highly effective and low-toxicity fungicides against *Fusarium flocciferum*, the main pathogen affecting maize roots. [Method] This study employed the mycelial growth rate method to determine the inhibition effect of 11 fungicides against *F. flocciferum*. Six seed treatments were tested for their effectiveness in controlling maize root diseases. [Result] The results showed that Carbendazole 10% SC had exhibited the strongest inhibitory effect on mycelial growth, with an EC₅₀ value of 0.008 μg/mL. Fungicides with notable fungal inhibition included Pyraclostrobin hymexazol 3% GR and pydiflumetofen difenoconazole 200 g/L SC, with EC₅₀ values of 0.051 μg/mL and 0.093 μg/mL, respectively. The hyphae growth of *F. flocciferum* was most sensitive to Thiram 50% WP and Phenamacril 25% SC, with slopes of 3.76 and 3.49, respectively, followed by carbendazim•thiram 15% FS with a slope of 1.92. Various seed treatments effectively controlled *Fusarium* root rot in maize with the most effective being 100 billion cfu/g *Bacillus subtilis* powder at a seed-to-treatment ratio of 1:200. Additionally, seed treatment using 200 mL/100 kg of seeds with thiabendazole fludioxonil metalaxyl-M 18% FS and 450 mL/100 kg of seeds with metalaxyl-M fludioxonil azoxystrobin 11% FS showed good preventative effects. [Conclusion] Carbendazole 10% SC provided the best inhibition of *F. flocciferum* mycelium, while the seed treatment with 100 billion cfu/g *Bacillus subtilis* DP to seed of 1:200 achieved the most effective control. These findings offer a basis for selecting chemical control agents for managing *Fusarium* in maize roots.

Key words: *Fusarium flocciferum*; growth rate method; chemical agent; efficacy; test; field efficacy

(责任编辑 康宇坤)