

解淀粉芽胞杆菌 WH1G 与咪鲜胺协同防治草莓炭疽病

谷春艳, 苏贤岩, 杨雪, 臧昊昱, 陈雨, 王学峰*

(安徽省农业科学院植物保护与农产品质量安全研究所, 合肥 230031)

摘要 通过室内测定 8 种化学药剂和拮抗细菌解淀粉芽胞杆菌 WH1G 对草莓炭疽病菌的毒力, 将毒力最强的化学药剂与 WH1G 进行复配, 探讨复配剂对草莓炭疽病菌的室内毒力及田间防治效果。室内生物测定结果表明, 8 种常见化学药剂中咪鲜胺对草莓炭疽病菌的毒力最强, 其 EC_{50} 为 0.045 3 mg/L, 在较低浓度下能有效抑制草莓炭疽病菌的生长, 与生防菌有较好的生物相容性; 解淀粉芽胞杆菌 WH1G 对草莓炭疽病菌菌丝生长具有较强的抑制作用, 含菌量为 1.0×10^{10} cfu/mL 时抑制率达 89%; 将咪鲜胺 (0.045 3 mg/L) 与解淀粉芽胞杆菌 WH1G (2.3×10^6 cfu/mL) 复配, $V(\text{咪鲜胺}):V(\text{WH1G})$ 配比为 5:5 时对病菌抑制的增效作用和防治效果最好, 毒性比率为 1.432, 防效为 69.94%。复配剂对草莓炭疽病的田间防效达 67.91%, 显著高于单剂防效, 且咪鲜胺使用量只有单剂使用量的 1/2, 表明二者复配不仅可以提高防效, 还能有效减少化学药剂的使用量。

关键词 草莓炭疽病; 解淀粉芽胞杆菌; 咪鲜胺; 协同防治

中图分类号: S 668.4 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2017209

Synergistic effect of antagonistic bacteria WH1G and prochloraz against strawberry anthracnose

GU Chunyan, SU Xianyan, YANG Xue, ZANG Haoyu, CHEN Yu, WANG Xuefeng

(Institute of Plant Protection and Agro-Products Safety, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract Toxicities of 8 fungicides and *Bacillus amyloliquefaciens* WH1G against strawberry anthracnose were tested in this study. The mixture of the fungicide with the strongest toxicity and antagonistic bacteria WH1G was detected for its laboratory toxicity and control effect in the fields against strawberry anthracnose. The results showed that the toxicity of prochloraz was the strongest among 8 fungicides with the EC_{50} value of 0.045 3 mg/L. It could effectively inhibit the mycelia growth of *C. gloeosporioides* under lower dosage, and was compatible with strain *B. amyloliquefaciens* WH1G. 1.0×10^{10} cfu/mL WH1G could strikingly inhibit the growth of *C. gloeosporioides* with the inhibition ratio of 89%. By combining 0.045 3 mg/L prochloraz with 2.3×10^6 cfu/mL *B. amyloliquefaciens* WH1G fermentation broth at the volume ratio of 5:5, the toxicity ratio and the control efficacy were 1.432 and 69.94%, respectively, prior to the rest of the tested reagent combinations. The control efficacy of compound biopesticide was 67.91% against strawberry anthracnose in the field, which was better than that when each of them used alone. Meanwhile, the amount of prochloraz was reduced by 50% compared to that when used alone. Therefore, the combination of prochloraz and strain WH1G can not only reduce the usage of chemicals, but also promote the biocontrol efficacy.

Key words strawberry anthracnose; *Bacillus amyloliquefaciens* WH1G; prochloraz; synergistic control

由炭疽菌 *Colletotrichum* spp. 引起的草莓炭疽病是草莓苗期和移栽期的重要病害, 该病主要危害

匍匐茎和根冠, 造成根冠腐烂, 最终导致植株萎蔫死亡^[1]。近几年来, 由于草莓地连作现象普遍、复种年

收稿日期: 2017-06-06 修订日期: 2017-06-21

基金项目: 安徽省农业科学院学科建设项目(16A1131)

* 通信作者 E-mail: feng.ahas@tom.com

限延长以及抗病品种缺乏,炭疽病蔓延迅速,已成为草莓苗期的主要病害,严重制约了草莓种植业的健康发展^[2]。

目前对草莓炭疽病的防治主要以化学防治为主,多采用咪鲜胺、苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯等化学药剂进行防治。使用化学药剂虽在短时期内能达到很好的防效,但同时也会造成果实农药残留、环境污染及病菌产生抗药性等问题^[3-4]。据报道,草莓炭疽病菌已对多种化学药剂产生了抗药性^[5-7]。生物防治不仅对人畜安全,而且具有绿色、环保、作用时间长、病菌不易产生抗药性等优点,因而日益受到人们的关注,但其也存在一些不足,如田间施用后药效发挥较慢、防治效果及防效稳定性差等,这些缺点严重制约了生防制剂的推广^[8]。目前针对草莓炭疽病生防菌的研究多数停留在拮抗菌的筛选、鉴定及生物学特性方面^[1,3,9],开发并已登记的生防菌中田间防治效果好的菌株屈指可数^[10-11]。

利用生物防治与化学防治相结合的防治策略,既能减少化学药剂的施用量、提高生物防治的稳定性,又能达到有效控制病害的效果,综合运用了生物防治与化学防治方法的优点,因此在植物病害防治领域日益受到重视,且取得了较好的进展^[12-15],但目前利用生防菌与化学药剂协同防治草莓病害的研究还少有报道^[8,16]。据此,本研究拟从农业生产常用的化学药剂中筛选出对草莓炭疽病防效较好并和解淀粉芽胞杆菌生物相容性好的化学药剂进行复配,探讨化学药剂与解淀粉芽胞杆菌协同防治草莓炭疽病的效果,为生产中生物农药与化学农药的综合防治提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

解淀粉芽胞杆菌 *Bacillus amyloliquefaciens* WH1G,由安徽省农业科学院植物保护与农产品质量安全研究所水稻病害防治课题组分离获得^[17]。采用改良的 NA 培养基(1.0 g 牛肉浸膏,5.0 g 酵母膏,5.0 g 蛋白胨,5.0 g NaCl,10.0 g 蔗糖,20.0 g 琼脂和 1 000 mL 蒸馏水,pH 6.8~7.0),在恒温恒湿培养箱 28℃ 中培养。

草莓炭疽病菌 *Colletotrichum gloeosporioides* CF8G,由安徽省农业科学院植物保护与农产品质量安全研究所水稻病害防治课题组分离获得。病菌用

PDA 培养基(马铃薯 200.0 g,葡萄糖 20.0 g,琼脂 20.0 g 和蒸馏水 1 000 mL),在恒温恒湿培养箱 28℃ 中培养。

化学药剂:9 种化学药剂的含量、剂型及生产厂家见表 1。

表 1 9 种化学药剂的含量、剂型及其生产厂家
Table 1 Manufacturer, type and concentration of 9 different fungicides

药剂 Fungicide	生产厂家 Manufacturer
97%咪鲜胺 TC prochloraz 97% TC	湖北晟隆化工有限公司
96%苯醚甲环唑 TC difenoconazole 96% TC	广西南宁绿丰化工有限公司
98%氟啶胺 TC fluazinam 98% TC	扬州远华化工有限公司
97%氟环唑 TC epoxiconazole 97% TC	江苏辉丰农化股份有限公司
97%戊唑醇 TC tebuconazole 97% TC	江苏建农农药化工有限公司
95%腈菌唑 SC myclobutanil 95% SC	江苏耕耘化学有限公司
95%啶酰菌胺 TC boscalid 95% TC	湖北康宝泰精细化工有限公司
97%吡唑醚菌酯 TC pyraclostrobin 97% TC	广西南宁绿丰化工有限公司
50%咪鲜胺 WP prochloraz 50% WP	江苏辉丰农化股份有限公司

1.2 药剂毒力测定

采用菌丝生长速率法^[18]。分别用 97%咪鲜胺原药等 8 种供试药剂配制含不同梯度浓度药剂的 PDA 平板。其中 97%咪鲜胺原药、98%氟啶胺原药在 PDA 培养基中的系列梯度浓度设计为 0.025、0.05、0.1、0.2、0.4 mg/L;97%氟环唑原药及 97%戊唑醇原药的梯度浓度设计为 0.1、0.2、0.4、0.8、1.6 mg/L;96%苯醚甲环唑原药的梯度浓度设计为 0.125、0.25、0.5、1.0、2.0 mg/L;95%啶酰菌胺原药、95%腈菌唑悬浮剂及 97%吡唑醚菌酯原药的梯度浓度设计为 1.0、2.0、4.0、8.0、16.0 mg/L,将草莓炭疽病菌菌块(直径 5.0 mm)放在含药平板中央,放置于 28℃ 培养箱中培养。采用无菌水作为对照,各处理重复 3 次。待对照菌落长满培养皿 2/3 时,采用十字交叉法量取各处理的菌落直径,计算平均抑制率。

平均抑制率=[(对照组菌落直径平均值-处理组菌落直径平均值)/(对照组菌落直径平均值-5.0)]×100%。

1.3 解淀粉芽胞杆菌 WH1G 对草莓炭疽病菌抑菌活性测定

将解淀粉芽胞杆菌 WH1G 接种于 5 mL 改良 NA 液体培养基中,置于 28℃ 摇床 180 r/min 培养 48 h 后用无菌水稀释成菌含量 1.0×10^{10} cfu/mL,采用平板对峙法^[9]测定其对草莓炭疽病菌的抑制活性。用直径为 5 mm 的无菌打孔器在草莓炭疽病菌菌落边缘打取菌饼,接种于 PDA 平板中央,在距离中心 3 cm 处对称放置 4 个直径为 5 mm 的滤纸片,其中 3 个滤纸片加 2 μ L 解淀粉芽胞杆菌 WH1G 菌悬液,另外一个滤纸片滴加 2 μ L NA 液体培养基,另设清水对照,每处理设 3 次重复,将平板置于 28℃ 恒温箱内培养。待对照菌落长至培养皿 2/3 时,用十字交叉法测量菌落直径,计算平均抑制率。

1.4 化学药剂对解淀粉芽胞杆菌 WH1G 生物活性的影响

将 1.2 筛选出来的对草莓炭疽病菌毒力较强的化学药剂分别配成质量浓度为 50、100、150、200 mg/L 的改良 NA 培养基平板,将 10 μ L 解淀粉芽胞杆菌 WH1G 的菌悬液滴在含药平板中央,用玻璃棒均匀涂布于培养基表面,每处理重复 3 皿,以加同体积的无菌水为对照,28℃ 恒温箱内培养 2 d。分别采用平板稀释法检测菌体生长情况,统计并记录菌落数量。

1.5 咪鲜胺与解淀粉芽胞杆菌 WH1G 复配剂的毒力测定

1.5.1 单剂对草莓炭疽病菌的毒力测定

用无菌水将解淀粉芽胞杆菌 WH1G 的菌悬液配制成不同含菌量的菌悬液,分别为 1.0×10^5 、 1.0×10^6 、 1.0×10^7 、 1.0×10^8 、 1.0×10^9 cfu/mL。同时将 97% 咪鲜胺 TC 配制成不同质量浓度梯度的药液,分别为 0.025、0.05、0.1、0.2、0.4 mg/L。

采用生长速率法测定单剂毒力。用十字交叉法测量炭疽菌在含不同质量浓度的咪鲜胺平板及不同含菌量的解淀粉芽胞杆菌 WH1G 平板上的菌落直径,根据各处理的平均菌落直径计算抑制率。将抑制率换算成抑制几率值。分别根据咪鲜胺质量浓度对数(X)与抑制几率值(Y)、生防菌浓度对数(X)与抑制几率值(Y),采用 DPS 数据处理系统计算出各处理的回归方程 $Y = aX + b$ 、 EC_{50} 及相关系数 r 。

1.5.2 复配剂对草莓炭疽病菌的毒力测定

根据 97% 咪鲜胺 TC 及解淀粉芽胞杆菌 WH1G 单剂的毒力测定结果,分别配制两种单剂的

有效中浓度为药液。再将咪鲜胺与生防菌 WH1G 按体积比为 10:0、9:1、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7、2:8、1:9、0:10 配成 10 种配比的复配液。以加入等量无菌水为空白对照,每处理设 3 次重复。测量各处理平板的菌落直径,计算平均抑制率、预期抑制生长率及毒性比率。根据毒性比率值,判断不同配方的协同作用效果。

毒性比率 > 1 , 表示为增效作用;毒性比率 < 1 , 表示为拮抗作用;毒性比率 = 1, 表示为相加作用^[19]。其计算公式为:

毒性比率 = 实际抑制生长率 / 预期抑制生长率。

预期抑制生长率 = 生防菌 WH1G 菌悬液 EC_{50} 剂量实际抑制率 \times 配比中的百分率 + 咪鲜胺 EC_{50} 剂量实际抑制率 \times 配比中的百分率。

1.6 复配剂协同防治草莓炭疽病菌的田间效果测定

根据 1.5 试验结果,分别以单剂 50% 咪鲜胺可湿性粉剂及解淀粉芽胞杆菌 WH1G 的 EC_{50} 、咪鲜胺与 WH1G 复配剂(体积比 5:5)的 EC_{50} 为使用浓度进行田间防效测定,以清水喷雾为对照,验证复配剂对草莓炭疽病的协同防治效果。供试草莓品种为‘红颜’,于草莓苗移栽 40 d 后,病害发生初期施药,每 667 m² 兑水 50 kg 均匀喷雾。每处理 4 次重复,小区面积 20 m²,试验随机区组设计,连续喷洒 3 次,间隔期 10 d。

在第 2 次防治前记录发病基数,第 3 次防治后 10 d 调查各处理叶片的发病情况,计算病情指数及防治效果。

$$\text{病情指数} = \frac{\sum(\text{各级叶片数} \times \text{病级值})}{\text{调查总叶片数} \times \text{最高病级}} \times 100;$$

$$\text{防治效果} = \frac{\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}}{\text{对照病情指数}} \times 100\%。$$

草莓炭疽病严重度分级标准为:0 级,叶片无病斑;1 级,病斑直径 ≤ 5 mm;2 级,病斑直径 6~10 mm;3 级,病斑直径 11~15 mm;4 级,病斑直径 > 15 mm。按 5 点取样法每小区随机调查 20 穴,每穴取 15 个老叶,新出的叶片不记录。

2 结果与分析

2.1 8 种常用化学药剂对草莓炭疽病菌的毒力分析

由表 2 可知,8 种化学药剂对草莓炭疽病菌的菌丝生长均有不同程度的抑制作用,药剂的毒力均随着药剂质量浓度增加而增强,但不同药剂对草莓

炭疽病菌的抑制效果不同。

在供试药剂中,咪鲜胺、苯醚甲环唑、氟啶胺对草莓炭疽病菌菌丝生长均有较强的抑制作用,在较低浓度下均能有效抑制草莓炭疽病菌的生长,其 EC_{50} 分别

为 0.045 3、0.062 7 及 0.093 1 mg/L,而啶酰菌胺对病菌的抑制效果最差, EC_{50} 为 20.261 5 mg/L,约为咪鲜胺的 447 倍。故选择这 3 种化学药剂进行下一步试验,测定其与生防菌 WH1G 的生物相容性。

表 2 8 种药剂对草莓炭疽病菌的毒力测定

Table 2 Toxicity determination of 8 different fungicides to the pathogen of strawberry anthracnose

药剂 Fungicide	毒力回归方程 Regression equation	相关系数(r) Correlation coefficient	$EC_{50}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	95%置信区间/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 95% confidence interval of EC_{50}
咪鲜胺 prochloraz	$Y=7.0337+1.5137X$	0.9483	0.0453	0.0312~0.0658
苯醚甲环唑 difenoconazole	$Y=6.5892+1.5411X$	0.9970	0.0627	0.0513~0.0767
氟啶胺 fluazinam	$Y=6.5892+1.5411X$	0.9964	0.0931	0.0841~0.1029
氟环唑 epoxiconazole	$Y=5.4370+0.8212X$	0.9750	0.2937	0.2252~0.3829
戊唑醇 tebuconazole	$Y=5.3649+1.0382X$	0.9928	0.4452	0.3859~0.5136
腈菌唑 myclobutanil	$Y=4.3379+1.2458X$	0.9991	3.4002	3.2190~3.5916
吡唑醚菌酯 pyraclostrobin	$Y=4.0857+1.2110X$	0.9887	5.6882	4.4497~7.2715
啶酰菌胺 boscalid	$Y=3.9941+0.7698X$	0.9497	20.2615	9.9847~41.1154

2.2 解淀粉芽胞杆菌 WH1G 菌悬液对草莓炭疽病菌的抑制作用测定

室内平板对峙试验(图 1)显示,解淀粉芽胞杆菌 WH1G 菌悬液对草莓炭疽病菌菌丝的生长有较强的抑制作用,当菌悬液含菌量为 1.0×10^{10} cfu/mL 时,对病菌菌丝生长的抑制率高达 89%。

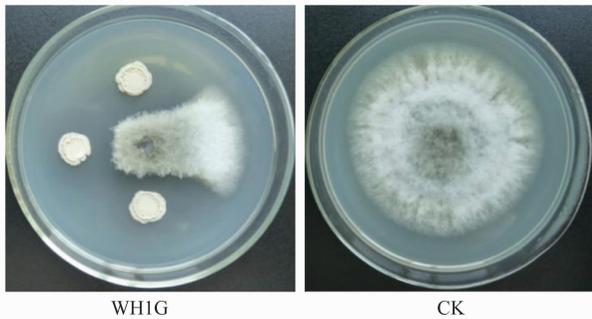


图 1 WH1G 对草莓炭疽病菌的抑菌活性

Fig. 1 Antimicrobial activity of the WH1G strains against strawberry anthracnose

2.3 化学药剂对解淀粉芽胞杆菌 WH1G 生物活性影响的测定

通过测定咪鲜胺、苯醚甲环唑及氟啶胺这 3 种化学药剂对生防菌 WH1G 菌落形成的影响(表 3)可得出如下结论:3 种化学药剂与生防菌 WH1G 的相容性均较好,当制剂含量为 50~100 mg/L 时,生防菌均能正常生长;其中以咪鲜胺与生防菌的相容性最好,当质量浓度高达 200 mg/L 时,生防菌仍可以正常生长;其次为苯醚甲环唑,当制剂的质量浓度为 150 mg/L 时,生防菌在平板上可以正常生长,但

在 200 mg/L 的含药平板上虽然可以生长,但比对照的菌落数少;而在氟啶胺平板上,当制剂含量为 150 mg/L 时,生防菌菌落比对照有所减少,但仍可以生长,但在 200 mg/L 时菌落形成严重受影响。综合考虑 3 种药剂对草莓炭疽病菌的抑制效果及与生防菌的生物相容性,选择咪鲜胺与生防菌 WH1G 进行复配。

表 3 3 种化学药剂对解淀粉芽胞杆菌 WH1G 菌落生长的影响¹⁾

Table 3 Effects of 3 different fungicides on the growth of antagonistic bacteria WH1G

药剂 Fungicide	质量浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Pesticide concentration	菌体生长情况 State of bacteria growth	含菌量/ $\text{cfu}\cdot\text{mL}^{-1}$ Bacteria content
咪鲜胺 prochloraz	50	+++	2.03×10^{10}
	100	+++	1.74×10^{10}
	150	+++	1.03×10^{10}
	200	+++	9.93×10^9
苯醚甲环唑 difenoconazole	50	+++	1.87×10^{10}
	100	+++	1.27×10^{10}
	150	+++	9.89×10^9
氟啶胺 fluazinam	200	++	8.23×10^8
	50	+++	1.89×10^{10}
	100	+++	1.54×10^{10}
CK	150	++	2.48×10^9
	200	+	1.98×10^7
CK	—	+++	2.18×10^{10}

1) +++表示生长正常;++表示能生长,但较对照菌落数少;+表示生长受抑制,菌落数较少。所有数值均为平均值。

+++ : WH1G grew normally; ++ : WH1G could grow, but the number of colonies was less than control; + : Growth of WH1G was inhibited, the number of colonies was less. All values were average.

2.4 咪鲜胺与解淀粉芽胞杆菌 WH1G 复配对草莓炭疽病菌的联合毒力分析

2.4.1 生防菌 WH1G 对草莓炭疽病菌的毒力测定
单剂 WH1G 对草莓炭疽病菌的毒力测定结果(表 4)表明:含菌量为 $1.0 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^9$ cfu/mL

表 4 生防菌 WH1G 对草莓炭疽病菌的毒力测定¹⁾

Table 4 Toxicity of antagonistic bacteria WH1G to the pathogen of strawberry anthracnose

生防菌 WH1G 浓度/cfu · mL ⁻¹ Bacteria content	浓度对数(X) Logarithm value of concentration	抑制率/% Inhibition ratio	抑制几率值(Y) Inhibitory probability value	回归方程 Regression equation	EC ₅₀ /cfu · mL ⁻¹	r
1.0×10^5	5	28.7 ± 0.19	4.437 8	Y=0.392 6X+2.447 3	2.3×10^6	0.996 0
1.0×10^6	6	39.1 ± 0.18	4.723 3			
1.0×10^7	7	60.5 ± 0.35	5.266 3			
1.0×10^8	8	71.8 ± 0.48	5.576 9			
1.0×10^9	9	83.5 ± 0.57	5.974 1			

1) 表中抑制率为平均值。下同。

All values of inhibition ratio were average. The same below.

2.4.2 咪鲜胺与解淀粉芽胞杆菌 WH1G 复配对草莓炭疽病菌的联合毒力测定

根据以上试验结果,将 0.045 3 mg/L 的咪鲜胺与 2.3×10^6 cfu/mL 的解淀粉芽胞杆菌 WH1G 菌悬液,按不同体积进行配比测定联合毒力。结果如表 5 所示,当咪鲜胺与 WH1G 体积比分别为 7:3、6:4、5:5、4:6 和 3:7 时具有增效作用,实际防治效果分别为 51.28%、58.64%、69.94%、68.56%、52.53%。其中当其体积比为 5:5 时,增效作用最强,防治效果最好。因此选择咪鲜胺和生防菌 WH1G 体积比为 5:5 作为复配的最佳配比。

2.5 咪鲜胺与解淀粉芽胞杆菌 WH1G 复配剂田间防治草莓炭疽病的效果

将 0.045 3 mg/L 的咪鲜胺与 2.3×10^6 cfu/mL 的解淀粉芽胞杆菌 WH1G 菌悬液按 5:5 体积比进行复配,于草莓苗发病初期进行喷雾,经过 3 次施药后,计算田间防治效果。结果如表 6 所示:空白对照小区草莓炭疽病发病严重,病情指数为 33.78,而复配剂处理的病情指数仅为 10.84,对草莓炭疽病的防效最好,

的 WH1G 对草莓炭疽病菌均有一定的抑制作用,抑制率在 28.7%~83.5% 之间,当含菌量为 1.0×10^9 cfu/mL 时,抑制率最高,为 83.5%,WH1G 的抑制中浓度 EC₅₀ 为 2.3×10^6 cfu/mL。

为 67.91%,极显著高于单剂咪鲜胺和解淀粉芽胞杆菌 WH1G 的防效,而两个单剂的防效差异不显著。

表 5 解淀粉芽胞杆菌 WH1G 与咪鲜胺复配对草莓炭疽病菌的联合毒力测定

Table 5 Co-toxicity of *Bacillus amyloliquefaciens* WH1G and prochloraz to the pathogen of strawberry anthracnose

$V_{\text{咪鲜胺}}:V_{\text{WH1G}}$ $V_{\text{prochloraz}}:V_{\text{WH1G}}$	实际抑制率/% Actual inhibition rate	预期抑制率/% Expected inhibition rate	毒性比率 Toxicity ratio
10:0	49.50 ± 0.38	49.50	1.00
9:1	46.64 ± 0.29	49.37	0.945
8:2	48.90 ± 0.24	49.24	0.993
7:3	51.28 ± 0.31	49.11	1.044
6:4	58.64 ± 0.17	48.98	1.201
5:5	69.94 ± 0.49	48.85	1.432
4:6	68.56 ± 0.51	48.72	1.407
3:7	52.53 ± 0.28	48.59	1.081
2:8	46.73 ± 0.21	48.46	0.964
1:9	47.32 ± 0.15	48.33	0.979
0:10	48.20 ± 0.19	48.20	1.00

表 6 解淀粉芽胞杆菌 WH1G 与咪鲜胺复配剂对草莓炭疽病的田间防治效果¹⁾

Table 6 Control effect of the mixture of *Bacillus amyloliquefaciens* WH1G and prochloraz on strawberry anthracnose in the fields

处理 Treatment	剂量 Dosage	病情指数 Disease index	防效/% Efficacy
咪鲜胺+WH1G prochloraz+WH1G	0.045 3 mg/L+ 2.3×10^6 cfu/mL	(10.84 ± 0.03)cC	67.91 aA
咪鲜胺 prochloraz	0.045 3 mg/L	(15.96 ± 0.19)bB	52.75 bB
WH1G	2.3×10^6 cfu/mL	(16.95 ± 0.12)bB	49.82 bB
CK	—	(33.78 ± 0.24)aA	—

1) 病情指数均为平均值。同列数据后标不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著,标大写字母表示在 $P < 0.01$ 水平差异显著。

All values of disease index were average. The different lowercase and capital letters in the same column showed significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels, respectively.

3 结论与讨论

草莓炭疽病是我国草莓产区的重要病害,随着草莓种植面积的日益扩大及连作年限的延长,草莓炭疽病的发生日趋普遍和严重,给草莓种植户造成了严重的损失^[20-22],但国内对草莓炭疽病的研究多限于病原菌的鉴定、生物学特性研究、杀菌剂毒力测定及防治药剂筛选^[4,21,23],而关于利用生防菌防治草莓炭疽病的报道却很少,影响生防菌剂推广应用的重要原因是生物农药田间防效差、效果不稳定、发挥作用慢等缺点^[8,12]。因此,探索如何有效利用生防菌防治草莓炭疽病的新方法就显得格外重要。

目前生产上主要采用化学防治的方法防治草莓炭疽病,本研究突破单独利用化学药剂防治病害的局限性,尝试采用生防菌与低毒化学药剂复配达到协同防治草莓炭疽病的作用。室内毒力测定及田间防效验证结果表明,咪鲜胺(0.045 3 mg/L)与解淀粉芽胞杆菌 WH1G(2.3×10^6 cfu/mL)菌悬液按 5:5 体积比进行复配,对草莓炭疽病的抑制有明显的增效作用,毒性比率为 1.432,田间防治效果为 67.91%,防效极显著高于两个单剂的防治效果,且复配剂中化学农药咪鲜胺的使用量仅为正常施用量的一半。说明利用生物—化学协同防治策略,在提高防治效果的同时还能有效减少化学药剂的使用量,给生产上草莓炭疽病的防治提供了一种有效可行的方法,具有重要的应用价值。

已有研究结果^[24-27]表明,化学药剂有助于生防微生物克服自然环境中的各种障碍,弥补生防菌发挥作用慢、田间防效不稳定等缺点,从而更好地发挥生物防治作用。但是对于生防微生物的安全性、质保期、使用规范及实现化学药剂和生防菌协同增效的具体作用机制还有待于深入研究,从而为菌剂更好地开发利用提供指导作用。

草莓炭疽病的防治只有坚持“预防为主、综合防治”的植保方针,以农业防治为基础,运用生物防治和高效低毒农药协同防治的多种措施才能达到理想的防治效果。

参考文献

[1] 李娟,刘丹梅,王东来,等. 草莓炭疽病拮抗放线菌 DTJ-24 的筛

选及鉴定[J]. 西南农业学报,2015,28(5):2086-2089.

- [2] 吉沐祥,杨敬辉,吴祥,等. 草莓炭疽病的生物防治[J]. 江苏农业学报,2012,28(6):1498-1500.
- [3] 李娟,宋洁,姜路路,等. 草莓炭疽病拮抗芽胞杆菌 TJX-012 的筛选与鉴定[J]. 辽东学院学报(自然科学版),2015,22(1):23-26.
- [4] 吴祥,吉沐祥,陈宏州,等. 句容地区草莓炭疽病病原菌的鉴定及防治药剂筛选[J]. 江苏农业学报,2013,29(6):1510-1513.
- [5] BERNSTEIN B, ZEHR E I, DEAN R A, et al. Characteristics of *Colletotrichum* from peach, apple, pecan, and other hosts [J]. Plant Disease, 1995, 79: 478-482.
- [6] SMITH B J, BLACK L L. Greenhouse efficacy of fungicides for control of anthracnose crown rot of strawberry [M]// AD-AM D, JAMES J L. The strawberry into the 21st century. Portland: Timber Press, 1991: 221-226.
- [7] LAMONDIA J. Inhibition with benomyl to growth *in vitro* of *Colletotrichum acutatum* and *C. fragariae* and strawberry fruit infection by benomyl-resistant isolates of *C. acutatum* [J]. Advances in Strawberry Research, 1995, 14: 25-30.
- [8] 姚克兵,张玉军,王劲根,等. 枯草芽胞杆菌和吡唑醚菌酯协同防治草莓病害[J]. 西南农业学报,2016,29(10):2397-2401.
- [9] 魏彩燕,毛雪琴,柴荣耀,等. 草莓炭疽病生防菌株 MT-06 的鉴定及生物学特性[J]. 菌物学报,2010,29(4):481-487.
- [10] 张雪,张志宏,刘月学,等. 木霉菌剂提高“红颜”草莓炭疽病抗性的效应[J]. 西北农业学报,2010,19(8):153-156.
- [11] FREEMAN S, MINZ D, KOLESNIK I, et al. *Trichoderma* biocontrol of *Colletotrichum acutatum* and *Botrytis cinerea* and survival in strawberry [J]. European Journal of Plant Pathology, 2004, 110: 361-370.
- [12] 常有宏,刘邮洲,王宏,等. 噁霉胺与枯草芽胞杆菌 B-916 协同防治梨黑斑病[J]. 江苏农业学报,2010,26(6):1227-1232.
- [13] 韩丽,常建民,张柏林,等. 枯草芽胞杆菌 B26 与化学药剂协同防治木材蓝变[J]. 东北林业大学学报,2013,41(4):126-130.
- [14] 黄小琴,刘勇,张蕾,等. 烟草青枯病生防芽胞杆菌协同防治药剂的筛选和复配[J]. 农药,2015,54(11):848-851.
- [15] 周子燕,李昌春,胡本进,等. 多黏类芽胞杆菌和井冈霉素 A 配比对水稻纹枯病菌的室内毒力测定及田间药效[J]. 农药,2014,53(7):528-530.
- [16] 胡德玉,钱春,刘雪峰. 草莓炭疽病研究进展[J]. 中国蔬菜,2014(12):9-14.
- [17] 谷春艳,张爱芳,杨雪,等. 水稻稻瘟病拮抗细菌 WH1G 的筛选鉴定及其抑菌活性[J]. 植物保护,2016,42(4):48-55.
- [18] SCHWINN F. Recommended methods for the detection and measurement of resistance of plant pathogens to fungicides: method for fungicide resistance in late blight of potato [J]. Plant Protection Bulletin, 1982, 30: 69-71.
- [19] 尹敬芳. 生物-化学协同防治辣椒疫病菌药合剂初步研究[D]. 北京:中国农业大学,2006.

(下转 226 页)

[10] GASNIER C, DUMONT C, BENACHOUR N, et al. Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines [J]. *Toxicology*, 2009, 262(3): 184.

[11] 王长方, 游泳, 王俊, 等. 2,4-D 丁酯水剂防除水葫芦的效果及其在水中的残留动态[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(5): 1719 - 1724.

[12] KOSCHNICK T J, HALLER W T, CHEN A W. Carfentrazone-ethyl pond dissipation and efficacy on floating plants 1 [J]. *Journal of Aquatic Plant Management*, 2004, 42(7): 103 - 108.

[13] MUDGE C R, NETHERLAND M D. Response of invasive floating plants and nontarget emergent plants to foliar applica-

tions of imazamox and penoxsulam [J]. *Journal of Aquatic Plant Management*, 2014, 52: 1 - 7.

[14] LACOUL P, FREEDMAN B. Environmental influences on aquatic plants in freshwater ecosystems [J]. *Environmental Reviews*, 2006, 14(2): 89 - 136.

[15] 蔡英杰, 陈丽玲, 刘学东. 防除水葫芦除草剂的筛选[J]. *杂草科学*, 2008(4): 73 - 74.

[16] 王险峰, 辛明远. 除草剂安全应用手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.

[17] 贾洪亮, 农日升, 魏国余. 广西湿地外来入侵植物调查初报 [J]. *南方农业学报*, 2011, 42(12): 1493 - 1496.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 189 页)

[20] 王春花. 草莓炭疽病在东港地区的发生及防治[J]. *北方果树*, 2013(2): 38.

[21] 姚红燕, 张庆, 张松柏. 宁波地区草莓炭疽病菌株分离和生物学特性研究[J]. *浙江农业科学*, 2010(2): 376 - 379.

[22] 向发云, 韩永超, 曾祥国, 等. 湖北省草莓育苗期炭疽病病害调查[J]. *湖北农业科学*, 2012, 51(24): 5650 - 5653.

[23] 杨敬辉, 陈宏州, 肖婷, 等. 草莓炭疽病病原鉴定及其 12 种杀菌剂的毒力测定[J]. *西南农业学报*, 2015, 28(6): 2527 - 2531.

[24] 陈志谊, 刘永锋, 陆凡. 井冈霉素和生防菌 Bs-916 协同控病作用及增效机理[J]. *植物保护学报*, 2003, 30(4): 429 - 434.

[25] 刘邮洲, 陈志谊, 刘永锋, 等. 枯草芽孢杆菌 sf628 和咪鲜胺锰盐协同作用防治番茄枯萎病[J]. *江苏农业学报*, 2011, 27(6): 1249 - 1253.

[26] KLOEPPER J W, LEONG J, TEINTZE M, et al. Enhance plant growth by siderophores produced by plant growth promoting *Rhizobacteria* [J]. *Nature*, 1980, 286: 885 - 886.

[27] WELLER D M. Biological control of soil-borne plant pathogens in the *Rhizosphere* with bacteria [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 1988, 26: 397 - 407.

(责任编辑: 杨明丽)



《葡萄健康栽培与病虫害防控》



中国农业科学院植物保护研究所王忠跃研究员主编的《葡萄健康栽培与病虫害防控》于 2017 年 11 月由中国农业科学技术出版社出版。该书由吴孔明院士作序,分绪论和上中下三篇,共十六章,78 万字,彩图 336 幅,全书 557 页,精装。该书首先综述了植物健康概念及发展的历史脉络,并从植物健康概念出发,提出了葡萄健康栽培的技术路线;按照这个技术路线,从葡萄种植的健康(包括:在种植区域或种植地块和品种的选择、土壤消毒和处理、葡萄的种植与营养生长管理、葡萄的树体管理和花果管理等)入手,全面介绍了土壤健康的维护(包括:土壤消毒、土壤管理、肥料科学施用和水分管理)和葡萄病虫害防控技术(包括我国葡萄病虫害重要种类及它们的发生规律和防控技术、病虫害防控基础知识和农药的科学使用等),并重点总结和介绍了葡萄健康栽培的周年管理技术,即在一个生育周期或年周期中如何进行病虫害的规范化防控、树体管理和花果管理、肥水管理等。

该书由五十多位从事葡萄育种、栽培、土壤管理、植物病理学、农业昆虫学、农药学等科研和教学的专家教授及从事一线葡萄生产的优秀从业者共同协作完成,提供了葡萄品种选择、葡萄栽种、树体管理、病虫害防控和土肥水管理的全面技术资料,不但总结了我国近几年或十几年发展起来的新技术,且注重实用、关注田间、立足产业、贴近生产,是葡萄种植者、从事葡萄学相关的教学和科研人员、基层技术干部等的一本很好工具性参考书,尤其是对生产一线的葡萄生产者科学使用农药化肥、生产优质葡萄,具有很好的指导作用。