

# 11 种杀菌剂对马铃薯软腐病的防治效果

梁欢, 徐进, 王晓宁, 张彤, 许景升, 张昊, 冯洁\*

(中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

**摘要** 由果胶杆菌属细菌 *Pectobacterium* spp. 引起的软腐病是世界范围内马铃薯生产上重要的细菌性病害之一。本研究分别采用碟片法和生长速率法探究了 11 种常用的杀菌剂对胡萝卜果胶杆菌胡萝卜亚种菌株 Pcc20181 的离体抑菌效果; 采用马铃薯半薯接种法评价了供试杀菌剂对马铃薯软腐病的防控效果。碟片法和生长速率法测定结果均显示: 11 种供试杀菌剂中 72% 农用硫酸链霉素 SP、0.3% 四霉素 AS 和 3% 噻霉酮 WP 离体抑菌效果最好, 抑菌圈直径介于 0.13~1.47 cm,  $EC_{50}$  介于 1.695~44.363 mg/L; 新鲜半薯接种法测定结果表明, 11 种供试杀菌剂中有 8 种对软腐病均有控病效果, 防效为 33.33~92.50%。其中, 3% 噻霉酮 WP 对马铃薯软腐病的防效最高为 92.50%, 随后依次为 72% 农用硫酸链霉素 SP (89.76%), 20% 叶枯唑 WP (58.81%), 0.3% 四霉素 AS (51.60%)。综合评价, 3% 噻霉酮 WP、20% 叶枯唑 WP 和 0.3% 四霉素 AS 对马铃薯软腐病具有较好的防控效果。

**关键词** 马铃薯软腐病; 果胶杆菌; 毒力测定; 防效; 杀菌剂

**中图分类号:** S 435.32 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019278

## Control effects of eleven bactericides on potato soft rot

LIANG Huan, XU Jin, WANG Xiaoning, ZHANG Tong, XU Jingsheng, ZHANG Hao, FENG Jie\*

(Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Beijing 100193, China)

**Abstract** Potato soft rot (PSR) caused by *Pectobacterium* spp. is one of the most important bacterial diseases of potatoes in the world. In this study, by means of disc diffusion and growth curve method, we evaluated the *in vitro* antibacterial activities of 11 commonly used bactericides on *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* strain Pcc20181. *In vitro* assay showed that the top three bactericides were streptomycin sulfate 72% SP, tetracycline 0.3% AS and benziethiazolinone 3% WP, with the diameter of inhibition zone ranging from 0.13 to 1.47 cm and the  $EC_{50}$  value from 1.695 to 44.363 mg/L. In order to determine the control efficacy of 11 bactericides against PSR, the half tubers inoculation assay was utilized. *In vivo* results indicated that eight candidates had control efficacy ranging from 33.33% to 92.50%. The control efficacy of benziethiazolinone 3% WP on PSR reached 92.50%, followed by streptomycin sulfate 72% SP (89.76%), bismethiazol 20% WP (58.81%) and tetracycline (51.60%). Taken together, tetracycline 0.3% AS, benziethiazolinone 3% WP and bismethiazol 20% WP are promising alternatives for controlling PSR.

**Key words** potato soft rot; *Pectobacterium*; toxicity test; control efficacy; bactericide

马铃薯是我国重要的粮食、经济兼用型作物, 其产量位居我国粮食作物的第四位<sup>[1]</sup>。由果胶杆菌科果胶杆菌属 *Pectobacterium* spp. 和迪基氏杆菌属 *Dickeya* spp. 细菌引起的软腐病 (blackleg and tuber soft rot of potatoes) 是世界范围内马铃薯生产上的第二大细菌病害。在我国, 该病广泛分布于马铃薯各优势产区, 严重影响了马铃薯的产量和品质,

成为制约我国马铃薯产业健康发展的重要瓶颈之一<sup>[2]</sup>。国内根据发病时期的不同, 习惯于将田间生育期引起马铃薯植株地下茎、块茎和地上茎基部组织产生黑色腐烂症状的病害称为黑胫病; 将储运期造成马铃薯块茎腐烂症状的病害称为软腐病。与青枯菌采用 III 型分泌系统致病的分子策略不同, 相关研究表明果胶杆菌属 *Pectobacterium* 细菌主要是通

收稿日期: 2019-06-05

修订日期: 2019-08-04

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFD0200802, 2017YFD0201600); 国家科技支撑计划 (2015BAD08B03); 国家自然科学基金 (31571975)

\* 通信作者 E-mail: jfeng@ippcaas.cn

过 II 型分泌系统分泌果胶酶、纤维素酶、蛋白酶等致病因子破坏植物的细胞壁,利用植物组织内的养分,使寄主细胞死亡<sup>[3-5]</sup>。

土壤、病残体和带菌种薯是软腐病重要的初侵染来源。贮藏期内病原菌以潜伏侵染方式存活于种薯脐部、皮孔或较深的伤口内部,条件合适时引起块茎腐烂。种薯切块播种时,病原菌可以通过切刀扩散传播至健康种薯。播种后,如遇冷湿土壤条件,易造成母薯腐烂。病原菌或随即释放进入土壤经水传播形成二次侵染;或经伤口直接进入子代植株维管束组织形成系统侵染,再经匍匐茎从脐部进入子代块茎,成为翌年或下一季的初侵染源。据报道,2000年,该病害在福建省大面积发生,造成的损失达到20%以上;在贮藏和运输期间,损失率也有17%~25%。

迄今为止,我国尚未见由迪基氏杆菌属细菌引起软腐病的相关报道。已报道的能够引起马铃薯软腐病的果胶杆菌属细菌包括黑腐果胶杆菌 *P. atrosepticum*、胡萝卜果胶杆菌胡萝卜亚种 *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* 和胡萝卜果胶杆菌巴西亚种 *P. carotovorum* subsp. *brasiliense*<sup>[6]</sup>。其中胡萝卜果胶杆菌胡萝卜亚种 *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*(简称 Pcc)分布最为广泛,能够侵染马铃薯、风信子、山葵等作物,寄主范围较为广泛<sup>[7-8]</sup>。目前国内各主产区采用的马铃薯主栽品种中尚无对软腐病具有较好抗性的品种。采用农用链霉素进行种薯处理是生产中应用得较为普遍的马铃薯黑胫病/软腐病防控技术手段。但是2017年农用链霉素全面退市,筛选高效、低毒、低残留的农用链霉素替代杀菌剂成为马铃薯生产上亟待解决的问题。

本研究在室内条件下采用碟片法和生长速率法比较了11种常用杀菌剂对胡萝卜果胶杆菌胡萝卜亚种菌株 Pcc20181 的离体抑菌活性;继而采用马铃薯块茎接种法,评价了供试杀菌剂对马铃薯软腐病防控效果。以期筛选获得对马铃薯软腐病可有效防治的低毒杀菌剂,为马铃薯软腐病的科学防治提供更为有效、安全的药剂,为马铃薯产量和品质的提高提供技术支撑。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 供试杀菌剂

供试杀菌剂:20%叶枯唑可湿性粉剂(WP),广

东省东莞市瑞德丰生物科技有限公司;50%啶啉铜可湿性粉剂(WP),浙江海正化工股份有限公司;9%萘烯醇乳油(EC),斯托克顿有限公司;46%氢氧化铜水分散粒剂(WG),美国杜邦公司;20%噻唑唑悬浮剂(SC),浙江新农化工股份有限公司;20%春雷霉素水分散粒剂(WG),北京华戎生物激素厂;72%农用硫酸链霉素可溶粉剂(SP),华北制药股份有限公司;0.3%四霉素水剂(AS),辽宁微科生物工程股份有限公司;3%中生菌素可湿性粉剂(WP),广东省东莞市瑞德丰生物科技有限公司;3%噻霉酮可湿性粉剂(WP),陕西西大华特科技实业有限公司;枯草芽孢杆菌1000亿芽孢/g,中国农科院植保所廊坊杀菌剂中试厂。

#### 1.1.2 供试菌株

以本实验室分离保存的胡萝卜果胶杆菌胡萝卜亚种 Pcc20181 菌株作为试验材料。

#### 1.1.3 供试马铃薯

供试马铃薯为市售。

#### 1.1.4 供试培养基

NB培养基:葡萄糖10g、酵母浸膏粉0.5g、多聚蛋白胨5g、牛肉膏3g,定容至1000mL,pH=7,121℃灭菌20min。

NA培养基:NB培养基加入1.8%的琼脂。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 碟片法测定供试杀菌剂对 Pcc20181 菌株的抑菌活性

将室温条件下保存于灭菌水中的 Pcc20181 菌株在 NA 培养基上划线,28℃培养48~72h,挑取 NA 培养基上典型的 Pcc20181 单菌落转接于 NB 培养液中,180 r/min 振荡培养至 OD<sub>600</sub> 为 0.8~1.0,采用比浊法<sup>[11]</sup>制备成终浓度为 3×10<sup>8</sup> cfu/mL 的菌悬液。取 1 mL 菌悬液加入到 100 mL 冷却至 45℃ 左右的 NA 培养基中,混匀、倒板。待其凝固后,将直径为 7 mm 的灭菌(121℃,20 min)滤纸片放入含有 Pcc20181 菌的平板中,每皿放置 5 个,分别置于平板中心和距中心等距离分布的 4 个点位。位于圆周的 4 个滤纸片加 10 μL 不同稀释倍数的供试杀菌剂母液,中心点加无菌水作为对照。各处理重复 3 次,28℃培养 48 h 后,采用十字交叉法测量抑菌圈直径。

### 1.2.2 生长速率法测定供试杀菌剂对 Pcc20181 菌株的抑菌活性

在灭菌的 5 mL 离心管中加入 10 μL 配制好的浓度为 3×10<sup>8</sup> cfu/mL 的 Pcc20181 菌悬液,2 mL

NB 培养液,随后加入 20  $\mu\text{L}$  不同浓度的供试杀菌剂母液,以加入 20  $\mu\text{L}$  的无菌水作为对照组,28 $^{\circ}\text{C}$  条件下 180 r/min 振荡培养。各处理重复 3 次,供试药剂的浓度梯度见表 1。当对照组的菌液培养至对数期(即  $\text{OD}_{600}$  为 0.8~1.2)时,以只含药剂的 NB 培养

液进行校准,测量各处理的  $\text{OD}_{600}$ 。计算各药剂对 Pcc20181 菌株的抑菌活性。参照张大明<sup>[12]</sup>的方法计算。

抑制率=(阳性对照  $\text{OD}_{600}$ -处理组  $\text{OD}_{600}$ )/阳性对照  $\text{OD}_{600} \times 100\%$ 。

表 1 供试杀菌剂的浓度

Table 1 Concentration of the tested bactericides

药剂名称 Bactericide	浓度梯度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Concentration							推荐浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
	1	2	3	4	5	6	7	Recommended concentration
20%叶枯唑 WP bismertiazol 20% WP	15.63	31.25	62.50	125.00	250.00	500.00	1 000.00	6 666.67
50%噻咪铜 WP oxine-copper 50% WP	87.79	131.69	197.53	296.30	444.44	666.67	1 000.00	1 000.00
9%萜烯醇 EC terpenol 9% EC	87.79	131.69	197.53	296.30	444.44	666.67	1 000.00	6 666.67
46%氢氧化铜 WG copper hydroxide 46% WG	167.77	209.72	262.14	327.68	409.60	512.00	640.00	1 250.00
20%噻唑锌 SC zinc thiazole 20% SC	334.90	401.88	482.25	578.70	694.44	833.33	1 000.00	10 000.00
20%春雷霉素 WG kasugamycin 20% WG	55.82	66.98	80.38	96.45	115.74	138.89	166.67	1 000.00
72%农用硫酸链霉素 SP streptomycin sulfate 72% SP	1.20	1.32	1.45	1.59	1.75	1.93	2.12	1 666.67
0.3%四霉素 AS tetramycin 0.3% AS	6.66	7.33	8.06	8.87	9.76	10.73	11.81	5 000.00
3%中生菌素 WP zhongshengmycin 3% WP	56.27	57.96	59.70	61.49	63.34	65.24	67.19	1 666.67
3%噻霉酮 WP benziothiazolinone 3% WP	41.02	41.84	42.67	43.53	44.40	45.29	46.19	5 000.00
100 亿芽孢/g 枯草芽孢杆菌 WP <i>Bacillus subtilis</i> 10 billion spore/g WP	—	—	—	—	—	—	—	3 330.00

### 1.2.3 新鲜半薯接种法测定供试杀菌剂对马铃薯软腐病的防治效果

采用新鲜半薯接种法<sup>[13-14]</sup>测定供试杀菌剂对马铃薯软腐病的防治效果。将供试马铃薯清洗干净,以 75%乙醇表面消毒,晾干。纵向切开,室温放置 24 h 后挑选剖面大小均一的半薯材料,均匀喷施 2 mL 新鲜配制的供试杀菌剂(表 1 推荐浓度)于马铃薯的纵切面,确保剖面表面湿润,以无菌水作为对照,室温放置 2~3 h,待药剂晾干后用微量移液器将新鲜配制的浓度为  $3 \times 10^8$  cfu/mL 的 Pcc 20181 菌悬液接种于半薯的髓部,每处理接种 20  $\mu\text{L}$ ,各处理重复 3 次,28 $^{\circ}\text{C}$  培养 72 h,称重,记录,用高压喷雾器清洗掉发病腐烂的部位,称重,记录,计算损失率及防效。

损失率=(清洗前的重量-清洗后的重量)/清洗前的重量 $\times 100\%$ ;

防效=(对照的损失率-处理的损失率)/对照的损失率 $\times 100\%$ 。

### 1.3 数据处理

用 SPSS 22.0 软件对试验数据进行回归分析、方差分析,计算各药剂对胡萝卜果胶杆菌胡萝卜亚种菌株 Pcc20181 的  $\text{EC}_{50}$ 、卡方值、 $P$  值以及 95%置信限。

## 2 结果与分析

### 2.1 碟片法抑菌活性的测定结果

11 种供试杀菌剂对 Pcc20181 菌株的抑菌活性见表 2,结果表明:不同杀菌剂之间抑菌效果差异明显。其中 72%农用硫酸链霉素 SP 抑菌效果最好,稀释 600 倍时(推荐浓度),抑菌圈直径为 0.53 cm;其次为 0.3%四霉素 AS,稀释 200 倍时(推荐浓度),其抑菌圈直径为 0.47 cm(图 1);3%噻霉酮 WP,稀释 200 倍液时(推荐浓度),为 0.35 cm;而 3%中生菌素 WP 和 20%春雷霉素 WG 稀释 100 倍时(高于推荐浓度),抑菌圈直径依次为 0.20、0.30 cm。20%叶枯唑 WP、50%噻咪铜 WP、9%萜烯醇 EC、46%氢氧化铜 WG、20%噻唑锌 SC、100 亿芽孢/g 枯草芽孢杆菌 WP 在远高于推荐浓度时仍没有抑菌效果(未列出)。

### 2.2 生长速率法抑菌活性的测定结果

采用生长速率法测定 10 种杀菌剂对 Pcc20181 菌株的抑菌效果。表 3 结果表明,供试杀菌剂对 Pcc20181 菌株的抑制效果存在一定的差异。抗生素类的杀菌剂和有机铜类杀菌剂的防治效果明显高于噻唑类的杀菌剂和铜制剂,抗生素类杀菌剂和有机铜

类杀菌剂中防效最好的是 72%农用硫酸链霉素 SP: EC<sub>50</sub> 为 1.70 mg/L; 其次是 0.3%四霉素 AS, EC<sub>50</sub> 为 12.30 mg/L; 3%噻霉酮 WP, EC<sub>50</sub> 为 44.36 mg/L; 3%中生菌素 WP, EC<sub>50</sub> 为 64.47 mg/L; 20%春雷霉素 WG, EC<sub>50</sub> 为 105.97 mg/L; 而噻唑类杀菌剂中 20%

叶枯唑 WP, EC<sub>50</sub> 为 120.03 mg/L, 抑菌效果相对较好; 20%噻唑锌 SC, EC<sub>50</sub> 为 650.89 mg/L, 抑菌效果相对较差; 铜制剂和植物源类的杀菌剂: 46%氢氧化铜 WG, EC<sub>50</sub> 为 322.03 mg/L; 9%萜烯醇 EC, EC<sub>50</sub> 为 334.78 mg/L; 50%喹啉铜 WP, EC<sub>50</sub> 为 587.14 mg/L。

表 2 5 种杀菌剂对胡萝卜果胶杆菌胡萝卜亚种菌株 Pcc20181 的抑制作用

Table 2 Inhibition of five bactericides on potato soft rot Pcc20181

稀释倍数 Dilution factor	抑菌圈直径/cm Inhibition zone diameter				
	3%噻霉酮 WP benzothiazolinone 3% WP	20%春雷霉素 WG kasugamycin 20% WG	3%中生菌素 WP zhongshengmycin 3% WP	0.3%四霉素 AS tetracyclin 0.3% AS	72%农用硫酸链霉素 SP streptomycin 72% sulfate SP
	50	0.70	0.47	0.33	1.30
100	0.60	0.30	0.20	0.67	1.27
150	0.50	0.27	0.10	0.57	1.13
200	0.35	0.20	—	0.47	1.03
250	—	—	—	0.40	0.90
300	—	—	—	0.37	0.83
350	—	—	—	0.30	0.80
400	—	—	—	0.27	0.77
450	—	—	—	0.23	0.67
500	—	—	—	0.20	0.60
550	—	—	—	0.17	0.57
600	—	—	—	0.13	0.53



A、B、C、D和E分别代表50倍液、100倍液、150倍液、200倍液 and CK  
A, B, C, D and E represent 50 times solution, 100 times solution, 150 times solution, 200 times solution and CK, respectively

图 1 农用硫酸链霉素、四霉素与噻霉酮(从左至右)对胡萝卜果胶杆菌胡萝卜亚种菌株 Pcc20181 的抑制作用

Fig. 1 Inhibit activity of streptomycin sulfate, tetracycline and benzothiazolinone (from left to right) against the pathogen of potato soft rot Pcc20181

表 3 供试杀菌剂对马铃薯软腐病原菌菌株 Pcc20181 的 EC<sub>50</sub><sup>1)</sup>

Table 3 EC<sub>50</sub> value of tested bactericides against *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* strains Pcc20181

药剂名称 Bactericide	b 值±标准误差 b±SE	χ <sup>2</sup> Chi-square (df=5)	P	EC <sub>50</sub> / mg·L <sup>-1</sup>	95% 置信限/mg·L <sup>-1</sup> 95% confidence interval	损失率/% Loss rate	防效/% Control efficacy
20%叶枯唑 WP bismethiazol 20% WP	1.673±0.186	7.667	0.105	120.03	65.759~194.023	2.62 bc	58.81
50%喹啉铜 WP oxine-copper 50% WP	5.466±0.435	1.079	0.956	587.14	536.978~648.053	4.24 bc	33.33
9%萜烯醇 EC terpenol 9% EC	3.994±0.307	5.573	0.350	334.78	301.854~372.190	6.54 b	-2.89
46%氢氧化铜 WG copper hydroxide 46% WG	8.122±0.695	5.328	0.255	322.03	303.915~340.080	15.43 a	-14.25

续表 3 Table 3(Continued)

药剂名称 Bactericide	b 值±标准误差 b±SE	$\chi^2$ Chi-square (df=5)	P	EC <sub>50</sub> / mg·L <sup>-1</sup>	95% 置信限/mg·L <sup>-1</sup> 95% confidence interval	损失率/% Loss rate	防效/% Control efficacy
20%叶 20%噻唑锌 SC zinc thiazole 20% SC	5.264±0.553	1.629	0.898	650.89	606.58~703.71	5.88 b	7.55
20%春雷霉素 WG kasugamycin 20% WG	12.646±1.038	5.541	0.236	105.97	101.97~110.48	3.60 bc	43.49
72%农用硫酸链霉素 SP streptomycin sulfate 72% SP	27.888±2.406	2.478	0.479	1.70	1.66~1.73	0.65 c	89.76
0.3%四霉素 AS tetramycin 0.3% AS	11.099±1.360	1.69	0.890	12.30	11.60~13.42	3.08 bc	51.60
3%中生菌素 WP zhongshengmycin 3% WP	42.071±3.936	0.432	0.994	64.47	63.82~65.26	3.55 bc	44.18
3%噻霉酮 WP benzothiazolinone 3% WP	39.329±4.889	7.176	0.208	44.36	43.95~44.87	0.47 c	92.50
100 亿芽孢/g 枯草芽孢杆菌 WP <i>Bacillus subtilis</i> 10 billion spore/g WP	—	—	—	—	—	4.15 bc	34.69
CK	—	—	—	—	—	6.36 b	—

1) 采用邓肯氏新复极差检验,不同小写字母表示差异显著( $P<0.01$ )。负值代表没有防效。

The different lowercase letters indicate significant difference at 0.01 by Duncan's new multiple range test. Negative value means no prevention effect.

### 2.3 供试杀菌剂对马铃薯软腐病的防治效果

采用新鲜半薯接种法测定 11 种杀菌剂对 Pcc20181 菌株的防治效果。由表 3 结果分析,喷施杀菌剂后再接种 Pcc20181 菌悬液,3%噻霉酮 WP 的防治效果最好,防效可达 92.50%(图 2),72%农用硫酸链霉素 SP 的防治效果仅次于 3%噻霉酮 WP,为 89.76%,其次为 20%叶枯唑 WP 防效

(58.81%)>0.3%四霉素 AS 防效(51.60%)>3%中生菌素 WP 防效(44.18%)>20%春雷霉素 WG 防效(43.39%)>枯草芽孢杆菌 WP 防效(34.69%)>50%啶啉铜 WP 防效(33.33)%。而 20%噻唑锌 SC 的抑菌效果较差,防效仅为 7.55%,9%萘烯醇 EC、46%氢氧化铜 WG 没有保护效果。



a: 对照; b: 3%噻霉酮可湿性粉剂; c: 0.3%四霉素水剂  
a: CK; b: benzothiazolinone 3% WP; c: tetramycin 0.3% AS

图 2 不同药剂对马铃薯软腐病的防效

Fig. 2 Control effect of different bactericides on potato soft rot

### 3 结论和讨论

农用链霉素是氨基寡糖类的广谱抗生素,已经在农业领域应用了 50 多年,可有效防控柑橘细菌性溃疡病、大白菜软腐病、水稻白叶枯病和黄瓜细菌性

角斑病等多种革兰氏阴性细菌引起的植物病害<sup>[15]</sup>。在马铃薯生产上农用链霉素常被用于青枯病、环腐病、黑胫病和疮痂病等土传、种传病害的防治。但是,基于农产品质量安全、生态安全和公共安全的考量,2017 年最后一个农用链霉素的产品登记到

期后,我国已经全面禁止了农用链霉素的销售和使用。

国内针对马铃薯软腐病防控技术的相关报道尚不多见,且目前取得正式农药登记用于马铃薯软腐病防治的杀菌剂也仅有春雷霉素一种。因此,本研究以农用硫酸链霉素为对照,采用了室内离体抑菌活性和块茎致病生物学测定的方法评价了10种常用杀菌剂对马铃薯软腐病的控病效果,并通过研究证实了包括农用硫酸链霉素、噻霉酮、叶枯唑、四霉素、中生菌素、春雷霉素、枯草芽孢杆菌和喹啉铜在内的8种杀菌剂对马铃薯软腐病具有防控效果。

作为本研究中唯一的微生物源杀菌剂,枯草芽孢杆菌制剂(冠蓝<sup>®</sup>)虽然在离体毒力测定中对供试病原细菌无明显的抑菌活性,但是在半薯法接种生测试验中表现出了一定的生防效果,其防效为34.69%,高于噻唑锌、萆烯醇和氢氧化铜。芽孢杆菌 *Bacillus* spp. 和假单胞菌 *Pseudomonas fluorescens* 等微生物农药的生防作用机制主要包括位点与营养竞争、拮抗和诱导植物产生系统抗性。此外,枯草芽孢杆菌不仅可以有效防治有机番茄根部病害的发生,还具有促进番茄的增产作用<sup>[21]</sup>。因此推测本研究采用的枯草芽孢杆菌的可能生防作用机理是诱导寄主马铃薯产生了系统抗性。农业部2015年相继印发了“农业部关于打好农业面源污染防治攻坚战实施意见”和“到2020年农药使用量零增长行动方案”,包括生防菌在内的生物源农药是取代化学农药,构建绿色安全、生态友好病害防控技术体系的重要组成部分。

本研究中采用的四霉素、噻霉酮、噻唑锌和氢氧化铜登记的防治对象是黄瓜细菌性角斑病。其中,噻霉酮和四霉素在离体抑菌活性和接种防效测定中均表现出较理想的效果。噻霉酮是一种安全低毒,对真菌病害<sup>[16]</sup>具有较好防治效果的杀菌剂。但其防治细菌性病害的相关报道较少,在本研究中,其对马铃薯软腐病防控效果最好。四霉素水剂对黄瓜细菌性角斑病以及柑橘溃疡病等细菌性病害的室内离体抑菌效果显著,但实际防效不佳<sup>[17-18]</sup>。本研究结果同样显示:无论采用碟片法或是生长速率法,四霉素的室内离体抑菌活性表现优异,仅次于对照农用硫酸链霉素,高于其他9种供试杀菌剂,但防病生测

效果低于噻霉酮、农用硫酸链霉素和叶枯唑,因此建立四霉素配套施用技术或研发其他剂型或复配剂型,可进一步提高四霉素对马铃薯软腐病害的防治效果。中生菌素、春雷霉素、叶枯唑和萆烯醇等登记的是番茄青枯病、水稻稻瘟病等其他细菌性病害。据相关报道,中生菌素对大白菜软腐病、姜瘟病等细菌性病害有较好的防效;而叶枯唑和春雷霉素的复配对黄瓜细菌性角斑病有较好的防效<sup>[17,19-20]</sup>,本研究中叶枯唑、中生菌素和春雷霉素对马铃薯软腐病均具防控效果。

新鲜半薯法接种生测试验中,本研究是通过称量清洗前后的薯块重量,计算差值、损失率以及防效的方法,不同于国内常用的测量直径的评价方法<sup>[13-14]</sup>。病原菌的侵染是向四周空间呈半球形扩散,因此通过损失率计算防效能够更加精确的评价杀菌剂的防治效果。此外,本研究在薯块处理过程中,供试马铃薯块茎纵向剖开后先放置24h再喷施杀菌剂是考虑到田间实际生产过程中种薯切块后通常需晾晒一段时间以形成新的表皮。

综上,供试7种杀菌剂噻霉酮、叶枯唑、四霉素、中生菌素、春雷霉素、枯草芽孢杆菌和喹啉铜均可替代农用硫酸链霉素作为防控马铃薯软腐病的种薯处理药剂。

## 参考文献

- [1] 罗其友,刘洋,高明杰,等. 中国马铃薯产业现状与前景[J]. 农业展望,2015,11(3):35-40.
- [2] 钟鑫,蒋和平,张忠明. 我国马铃薯主产区比较优势及发展趋势研究[J]. 中国农业科技导报,2016,18(2):1-8.
- [3] CHAN Y C, WU Huangpin, CHUANG D Y. Extracellular secretion of Carocin S1 in *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* occurs via the type III secretion system integral to the bacterial flagellum [J/OL]. BMC Microbiolog, 2009; 9: 181. DOI: 10.1186/1471-2180-9-181.
- [4] 阳留科. 胡萝卜软腐果胶杆菌中VI型分泌系统功能的研究[D]. 南京:南京农业大学,2015.
- [5] SCHELL M A. Control of virulence and pathogenicity genes of *Ralstonia solanacearum* by an elaborate sensory network [J]. Annual Review of Phytopathology, 2000, 38(92): 263-292.
- [6] 冯洁. 植物病原细菌分类最新进展[J]. 中国农业科学, 2017, 50(12): 2305-2314.
- [7] CZAJKOWSKI R, PÉROMBELON M C M, JAFRA S, et al. Detection, identification and differentiation of *Pectobacterium* and

- Dickeya* species causing potato blackleg and tuber soft rot: a review [J]. *Annals of Applied Biology*, 2014, 166(1): 18 - 38.
- [8] HAAN E G D, DEKKER-NOOREN T C E M, GÉ W V D B, et al. *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Carotovorum* can cause potato blackleg in temperate climates [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2008, 122(4): 561 - 569.
- [9] 马宏. 我国马铃薯软腐病防治的研究进展[J]. *生物技术通报*, 2007(1): 42 - 44.
- [10] CZAJKOWSKI R, PÉROMBELON M. C. M, VEEN J A V, et al. Control of blackleg and tuber soft rot of potato caused by *Pectobacterium* and *Dickeya* species: a review [J]. *Plant Pathology*, 2011, 60(6): 999 - 1013.
- [11] 严益民. 比浊法在测定发酵液菌体浓度中的应用[J]. *抚顺石油学院学报*, 2001, 21(1): 23 - 26.
- [12] 张大明. 黄姜粗提物对植物病原真菌及细菌抑制效果的初步研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005.
- [13] 张学君, 王金生, 方中达. 马铃薯品种抗软腐病测定条件的研究[J]. *南京农业大学学报*, 1989, 12(1): 67 - 72.
- [14] ONKENDI E M, MOLELEKI L N. Characterization of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* and *brasiliense* from diseased potatoes in Kenya [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2014 139(3): 557 - 566.
- [15] 徐习习. 生态环境中农用链霉素残留的光电化学传感分析[D]. 镇江: 江苏大学, 2018.
- [16] 宋根苗, 蒋家珍, 邱立红. 噻霉酮和苯醚甲环唑混配对4种不同病原菌的增效作用[J]. *植物保护*, 2012, 38(4): 171 - 174.
- [17] 刘兆良, 袁忠林, 罗兰. 8种杀菌剂对黄瓜细菌性角斑病的防治效果[J]. *山东农业科学*, 2017, 49(6): 107 - 111.
- [18] 吴明琼, 韩宁宁, 廖咏梅. 4种杀菌剂对柑橘溃疡病菌的室内毒力测定[J]. *广西植保*, 2018, 31(1): 14 - 16.
- [19] 韩凤英, 胡慧, 杨向黎, 等. 4种杀菌剂对白菜软腐病的田间防效[J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(20): 125 - 126.
- [20] 姜珊珊, 辛志梅, 吴斌, 等. 春雷霉素与叶枯唑对黄瓜细菌性角斑病菌的联合毒力[J]. *山东农业科学*, 2016, 48(9): 103 - 106.
- [21] 王震, 谢晓霞, 施晓艳, 等. 有机番茄生产中“10亿芽孢/克枯草芽孢杆菌可湿性粉剂”的应用效果[J]. *食品安全导刊*, 2017(33): 144 - 145.
- (责任编辑: 杨明丽)
- 
- (上接 285 页)
- [22] 秦启联, 程清泉, 张继红, 等. 昆虫病毒生物杀虫剂产业化及其展望[J]. *中国生物防治学报*, 2012, 28(2): 157 - 164.
- [23] 陈万斌, 李玉艳, 王孟卿, 等. 草地贪夜蛾的昆虫病原微生物资源及其应用现状[J]. *植物保护*, 2019, 45(6): 1 - 9.
- [24] 张海波, 王凤良, 陈永明, 等. 核型多角体病毒对玉米草地贪夜蛾的控制作用研究[J]. *植物保护*, 2020, 46(2): 254 - 260.
- [25] SPARKS A N. A review of the biology of the fall armyworm [J]. *The Florida Entomologist*, 1979, 62(2): 82 - 86.
- [26] 2020 Wheat insect control recommendations [R/OL]. (2020 - 1 - 15) [2020 - 04 - 01]. [http://www.utcrops.com/cotton/cotton\\_insects/pubs/PB1768-all.pdf](http://www.utcrops.com/cotton/cotton_insects/pubs/PB1768-all.pdf).
- [27] MICHAUD J P, WHITWORTH R J, SCHWARTING H N. Wheat insect management [R]. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. MF845, 2015. 01.
- [28] SCHAFFER J A, PALM E, MUNSON R. Barley [R/OL]. Extension University of Missouri. MF845. 1993. 10. <https://extension2.missouri.edu/g4312>.
- [29] STUDEBAKER G E, KRING T, LORENZ G, et al. Wheat insect management and control [R/OL]. University of Arkansas Cooperative Extension Service Printing Services. FSA7016-PD-11-04RV.
- [30] PORTER P. Fall armyworm [R/OL]. TEXAS A & M Agrilife Extension Entomology. <https://extensionentomology.tamu.edu/insects/fall-armyworm>.
- [31] YU S J. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 1991, 39(1): 84 - 91.
- [32] YU S J. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1992, 85(3): 675 - 682.
- [33] YU S J, NGUYEN S N, ABO - ELGHAR G E. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2003, 77(1): 1 - 11.
- [34] CARVALHO R A, OMOTO C, FIELD L M, et al. Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* [J/OL]. *PLoS ONE*, 2013, 8(4): e62268. DOI: 10.1371/journal.pone.0062268.
- [35] 吴孔明, 郭予元. 棉铃虫种群的地理型分化和区域性迁飞规律[J]. *植物保护*, 2007, 33(5): 6 - 11.
- [36] FAVETTI B M, BRAGA - SANTOS T L, MASSAROLLI A, et al. Pearl millet: a green bridge for lepidopteran pests [J]. *Journal of Agricultural Science*, 2017, 9(6): 92 - 97.
- [37] 和伟, 赵胜园, 葛世帅, 等. 草地贪夜蛾种群性诱测报方法研究[J]. *植物保护*, 2019, 45(4): 48 - 53.
- [38] 赵胜园, 杨现明, 和伟, 等. 草地贪夜蛾卵巢发育分级与繁殖潜力预测方法[J]. *植物保护*, 2019, 45(6): 28 - 34.
- [39] 姜玉英, 刘杰, 杨俊杰, 等. 2019年草地贪夜蛾灯诱监测应用效果[J]. *植物保护*, 2020, 46(3): 118 - 122.
- (责任编辑: 杨明丽)