

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2020)05-0281-09

病虫害防治

# 10种杀菌剂对马铃薯黑胫病主要致病菌的室内毒力

冯志文, 曹亚宁, 孙清华, 李文思, 吴 健, 张若芳\*

( 内蒙古大学马铃薯工程技术研究中心, 内蒙古 呼和浩特 010070 )

**摘 要:** 近年来, 马铃薯黑胫病在中国马铃薯主产区广泛发生, 且呈逐年加重趋势。目前, 药剂防治仍是该病的主要防治方法。为筛选有效防治马铃薯黑胫病的药剂, 采用抑菌圈法进行室内毒力测定, 测定了10种杀菌剂对3种主要致病菌 *Pectobacterium atrosepticum* (Pa)、*P. carotovorum* subsp. *brasiliensis* (Pcb) 和 *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* (Pcc) 的抑制效果。结果表明, 50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂、21%中生·乙酸铜可湿性粉剂、46%氢氧化铜水分散粒剂、1.5%噻霉酮水乳剂、30%琥胶肥酸铜悬浮剂和2%春雷霉素水剂对马铃薯黑胫病有一定的抑制作用。进一步筛选出抑菌圈直径 > 10 mm 的杀菌剂室内毒力测定表明, 50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂、2%春雷霉素水剂和1.5%噻霉酮水乳剂对马铃薯黑胫病菌 Pa 抑制效果较好, EC<sub>50</sub> 值分别为 14.11, 8.63 和 2.17 μL/mL; 46%氢氧化铜水分散粒剂、30%琥胶肥酸铜悬浮剂和50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂对马铃薯黑胫病菌 Pcb 抑制效果较好, 其对 Pcb 的 EC<sub>50</sub> 值分别为 3.63, 8.06 和 14.69 μL/mL; 2%春雷霉素水剂、46%氢氧化铜水分散粒剂、21%中生·乙酸铜可湿性粉剂和1.5%噻霉酮水乳剂对 Pcc 的抑制效果较好, 其对 Pcc 的 EC<sub>50</sub> 值分别为 4.75, 1.18, 6.75 和 0.21 μL/mL。因此, 除春雷霉素水剂外, 高浓度的氯溴异氰尿酸可溶粉剂、氢氧化铜水分散粒剂、噻霉酮水乳剂、中生·乙酸铜可湿性粉剂和琥胶肥酸铜悬浮剂均具有广谱性, 对3种黑胫病菌 Pa、Pcb、Pcc 具有较好的抑制效果, 其中琥胶肥酸铜悬浮剂对 Pcb 和中生·乙酸铜可湿性粉剂对 Pcc 的抑制效果更佳。

**关键词:** 黑胫病致病菌; 杀菌剂; 毒力; EC<sub>50</sub>

## Toxicity Measurement of Ten Bactericides on *Pectobacterium* spp. in Potato

FENG Zhiwen, CAO Yaning, SUN Qinghua, LI Wensi, WU Jian, ZHANG Ruofang\*

( Inner Mongolia Potato Engineering and Technology Research Center, Inner Mongolia University,

Hohhot, Inner Mongolia 010070, China )

**Abstract:** In recent years, potato black leg has spread widely in the main potato planting regions in China and it will be aggravated year by year. Nowadays, chemical control is still the main control method of this disease. To select bactericides that could effectively control potato black leg, the antibacterial effect of ten bactericides on three pathogenic bacteria, *Pectobacterium atrosepticum* (Pa), *P. carotovorum* subsp. *brasiliensis* (Pcb) and *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* (Pcc) were determined using bacteriostatic circle method in laboratory. The inhibitory effect of six bactericides (50% chloroisobromine cyanuric acid SP, 3% zhongshengmycin + 18% copper acetate WP, 46% copper hydroxide WG, 1.5% benzisothiazolinone EW, 30% copper (succinate + glutarate + adipate) SC and 2% kasugamycin AS) on potato black leg were observed. The bactericides with inhibitory zone diameter above 10 mm were selected to determine their toxicity. Results further showed that 50% chloroisobromine cyanuric acid SP, 2% kasugamycin AS, and

收稿日期: 2020-06-04

基金项目: 国家重点研发计划项目课题(2018YFD0200806)。

作者简介: 冯志文(1987-), 男, 博士, 实验师, 从事马铃薯栽培研究。

\*通信作者(Corresponding author): 张若芳, 博士, 教授, 主要从事马铃薯病理与栽培研究, E-mail: ruofang\_zhang@163.com。

1.5% benzisothiazolinone EW inhibited *Pa* effectively, with  $EC_{50}$  being 14.11, 8.63 and 2.17  $\mu\text{L/mL}$ , respectively. 46% copper hydroxide WG, 30% copper (succinate + glutarate + adipate) SC and 50% chloroisobromine cyanuric acid SP inhibited *Pcb* effectively, with  $EC_{50}$  being 3.63, 8.06 and 14.69  $\mu\text{L/mL}$ , respectively. 2% kasugamycin AS, 46% copper hydroxide WG, 3% zhongshengmycin + 18% copper acetate WP, and 1.5% benzisothiazolinone EW inhibited *Pcc* effectively, with  $EC_{50}$  being 4.75, 1.18, 6.75 and 0.21  $\mu\text{L/mL}$ , respectively. Therefore, high concentration of chloroisobromine cyanuric acid SP, copper hydroxide WG, copper (succinate + glutarate + adipate) SC, zhongshengmycin + copper acetate WP and benzisothiazolinone EW except kasugamycin AS have a broad-spectrum on potato black leg and have better inhibition to *Pa*, *Pcb* and *Pcc*, which might be used in the field. Among them, the inhibition effect of 30% copper (succinate + glutarate + adipate) SC on *Pcb* and 3% zhongshengmycin + 18% copper acetate WP on *Pcc* are better, respectively.

**Key Words:** *Pectobacterium* spp.; bactericides; toxicity;  $EC_{50}$

马铃薯黑胫病被认为是影响马铃薯生产最重要的细菌性病害之一, 在世界范围内广泛发生<sup>[1,2]</sup>。近年来, 随着马铃薯种植面积的不断扩大, 轮作倒茬困难, 种薯与产地间流通频繁, 导致黑胫病发生面积日趋扩大, 在中国北方一作区、西南混作区、中原二作区和南方冬作区马铃薯主产区均有不同程度的发生<sup>[3-5]</sup>, 且有逐年加重的趋势, 已经严重威胁马铃薯产业的健康发展。该病从出苗到生长后期均可发生, 以苗期最盛, 主要侵染主茎和块茎的维管束组织, 严重时引起缺苗断垄和块茎腐烂, 造成产量与品质大幅降低, 通常发病率在2%~5%, 严重时可达40~50%<sup>[6]</sup>。

据报道, 目前造成马铃薯黑胫病的主要致病菌为果胶杆菌属(*Pectobacterium* spp.)和狄基氏菌属(*Dickeya* spp.)的细菌。研究表明, 以黑腐果胶杆菌(*P. atrosepticum*)(*Pa*)<sup>[7]</sup>、胡萝卜软腐果胶杆菌巴西种(*P. carotovorum* subsp. *brasiliensis*)(*Pcb*)<sup>[8]</sup>和胡萝卜软腐果胶杆菌胡萝卜亚种(*P. carotovorum* subsp. *carotovorum*)(*Pcc*)<sup>[9]</sup>3种致病菌引起的黑胫病最为普遍, 除此之外, 还有*P. odoriferum*、*P. parmentieri*<sup>[10]</sup>、*P. peruvienne*<sup>[11]</sup>、*P. polaris*<sup>[12]</sup>、*P. punjabense*<sup>[13]</sup>、*D. chrysanthemi*、*D. dianthicola*、*D. zae*、*D. dadantii*、*D. paradisiaca*和*D. solani*<sup>[14-16]</sup>均可引起马铃薯黑胫病, 致病菌越来越复杂。中国马铃薯黑胫病的主要病原是*Pa*<sup>[17-21]</sup>, 近年来部分地区也发现有*Pcb*<sup>[22]</sup>和*Pcc*<sup>[23]</sup>引起的黑胫病发生。

目前, 中国马铃薯生产中对黑胫病的防治主要以预防为主<sup>[24,25]</sup>, 采用合格种薯、轮作以及化学防治

等措施, 其中药剂防治仍是采用的主要方法。药剂防治方法虽然简单快捷, 但是目前关于该病的药剂防治的研究尚少, 田间试验筛选的几种药剂在实际生产中的防控效果不佳。因此, 有必要从主要致病菌入手, 筛选出防治马铃薯黑胫病的有效药剂。本文测定了10种杀菌剂对3种马铃薯黑胫病菌的室内毒力, 筛选出最佳防治药剂及其使用浓度, 旨在为生产用药提供理论依据与技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试菌种

马铃薯黑胫病菌(*Pectobacterium* spp.): 从包头市达茂旗采集马铃薯病株分离得到的黑腐果胶杆菌(*P. atrosepticum*)(*Pa*), 从张家口市张北县采集马铃薯病株分离得到的胡萝卜软腐果胶杆菌巴西种(*P. carotovorum* subsp. *brasiliensis*)(*Pcb*), 从固原市原州区采集马铃薯病株分离得到的胡萝卜软腐果胶杆菌胡萝卜亚种(*P. carotovorum* subsp. *carotovorum*)(*Pcc*), 经分子生物学鉴定与致病性测定, 保存于内蒙古大学植物病理实验室。

### 1.2 供试培养基

营养琼脂培养基(NA培养基)。

### 1.3 供试药剂

50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂(河北上瑞生物科技有限公司)、21%中生·乙酸铜可湿性粉剂(福建凯立生物制品有限公司)、46%氢氧化铜水分散粒剂(美国杜邦公司)、30%琥胶肥酸铜悬浮剂(河北中保绿农作物科技有限公司)、40%噻唑锌悬浮剂(浙江新

农化工股份有限公司)、1.5%噻霉酮水乳剂(陕西西大华特科技实业有限公司)、2%春雷霉素水剂(江门市植保有限公司)、1%香菇多糖水剂(北京三浦百草绿色植物制剂有限公司)、3%氨基寡糖素水剂(河南三浦百草生物工程有限公司)和100万孢子/g寡雄腐霉可湿性粉剂(捷克生物制剂股份有限公司)。

#### 1.4 测定方法

采用抑菌圈法开展试验。用无菌水将已培养好的供试菌株配置成浓度为 $10^7$  cfu/mL的悬浮液,取200  $\mu$ L均匀涂抹在NA培养基平板上。用无菌水将各供试药剂分别配成有效成分含量为0.10%、1.00%、10.00%(有效成分含量不足10.00%时以药剂最高有效成分含量计)3种浓度,将直径6 mm的无菌滤纸片在配置好药剂中完全浸湿,在超净台中风干,置于涂有病原菌的平板中央,每皿1片。在28℃的培养箱中培养1 d后,采用十字交叉法测量抑菌圈的直径。以无菌水浸没滤纸片作为对照,每个处理重复3次,初步筛选出对3种病原菌有效的供试药剂。

在已筛选的供试药剂基础上,根据美国国家临床实验室标准化委员会药物敏感实验判定标准,从低浓度到高浓度筛选出抑菌圈直径>10 mm(中度敏感)的药剂进一步开展毒力比较。每种供试药剂设置6~7个浓度,有效成分含量高于10.00%的药剂用无菌水分别配置成有效成分含量为0.50%、1.00%、1.25%、2.50%、5.00%和10.00% 6个浓度,有效成分含量为2.00%的药剂用无菌水分别配置成有效成

分含量为0.50%、0.75%、1.00%、1.25%、1.50%和2.00% 6个浓度,有效成分含量为1.50%的药剂用无菌水分别配置成有效成分含量为0.05%、0.10%、0.50%、0.75%、1.00%、1.25%和1.50% 7个浓度。经培养后,按照上面的方法,测量抑菌圈的直径。每个处理重复3次,以无菌水为对照。

#### 1.5 数据处理

采用以下公式计算抑制率(%):

$$\text{抑制率}(\%) = (\text{处理抑菌圈直径} - \text{对照抑菌圈直径}) / (\text{处理抑菌圈直径}) \times 100$$

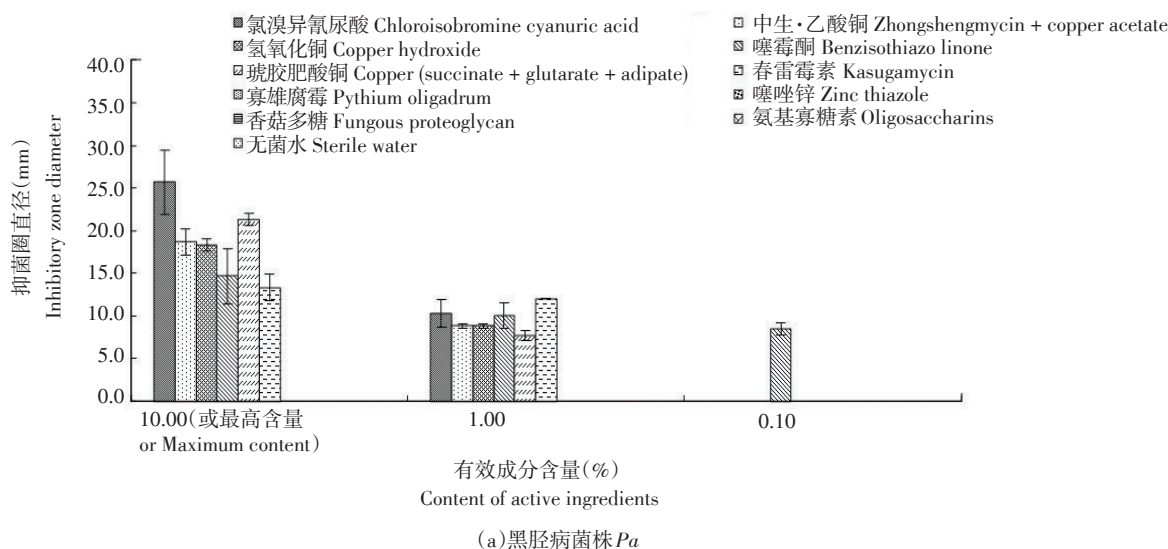
式中,对照抑菌圈直径为无菌滤纸片的直径。

以药剂浓度的对数( $x$ )为自变量,以抑制率的机率值( $y$ )为因变量,建立毒力回归方程,求出各药剂的致死中浓度( $EC_{50}$ ),比较供试药剂对3种致病菌的毒力。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同杀菌剂对马铃薯黑胫病菌的抑制作用

通过室内初步毒力测定表明,10种供试杀菌剂中有6种对马铃薯黑胫病菌有抑制作用,其他4种无抑制作用(图1)。由图1可知,氯溴异氰尿酸可溶粉剂、中生·乙酸铜可湿性粉剂、氢氧化铜水分散粒剂、噻霉酮水乳剂和琥胶肥酸铜悬浮剂在含量高于1.00%时对3种马铃薯黑胫病菌*Pa*、*Pcb*和*Pcc*均表现出较好的抑制效果,抑菌圈直径均在8.8 mm以上。春雷霉素水剂在含量高于1.00%时对马铃薯黑胫病菌*Pa*和*Pcc*均表现出较好的抑制效果,抑菌圈直径分别在12.0和



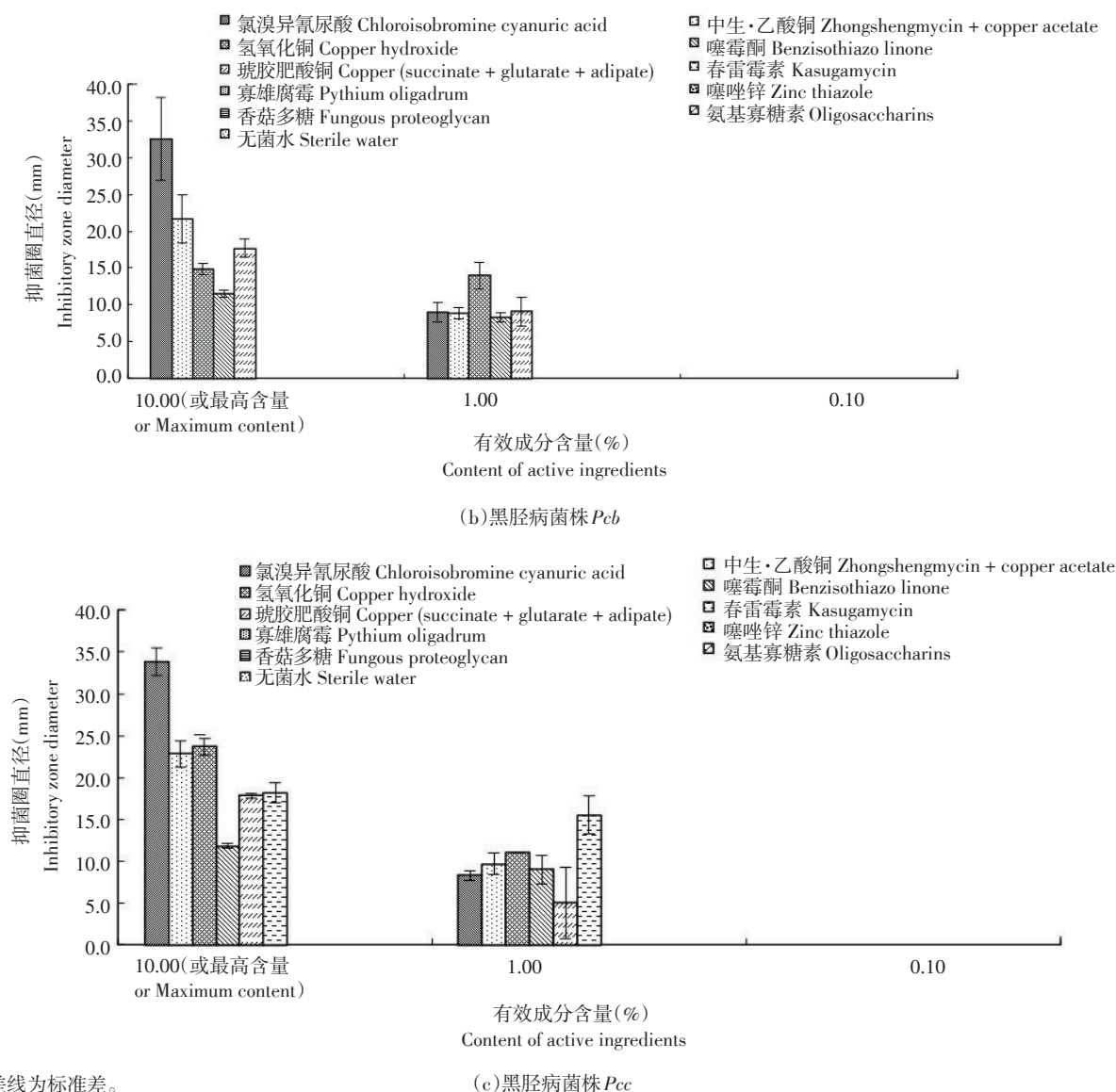


图1 10种杀菌剂对3种马铃薯黑胫病菌的初步毒力测定  
Figure 1 Toxicity measurement of ten bactericides on *Pa*, *Pcb* and *Pcc* in potato

15.5 mm 以上, 但对 *Pcb* 没有抑制作用。值得说明的是, 噻霉酮水乳剂在含量 0.10% 时, 对 *Pa* 也能表现出较好的抑制效果, 平均抑菌圈直径达到 8.5 mm。

在考虑杀菌剂有效性的基础上, 充分考虑杀菌剂的成本与田间可操作性等因素, 并根据美国国家临床实验室标准化委员会药物敏感实验判定标准, 从低浓度到高浓度筛选出抑菌圈直径 >10 mm (中度敏感) 的杀菌剂进一步开展室内毒力测定。依此标准

筛选出的 6 种杀菌剂对 3 种黑胫病菌 *Pa*、*Pcb* 和 *Pcc* 的抑制效果 (图 2), 认为 50% 氯溴异氰尿酸可溶粉剂、2% 春雷霉素水剂和 1.5% 噻霉酮水乳剂对马铃薯黑胫病菌 *Pa* 有效, 46% 氢氧化铜水分散粒剂、30% 琥胶肥酸铜悬浮剂和 50% 氯溴异氰尿酸可溶粉剂对马铃薯黑胫病菌 *Pcb* 有效, 2% 春雷霉素水剂、21% 中生·乙酸铜可湿性粉剂、46% 氢氧化铜水分散粒剂和 1.5% 噻霉酮水乳剂对马铃薯黑胫病菌 *Pcc* 有效,

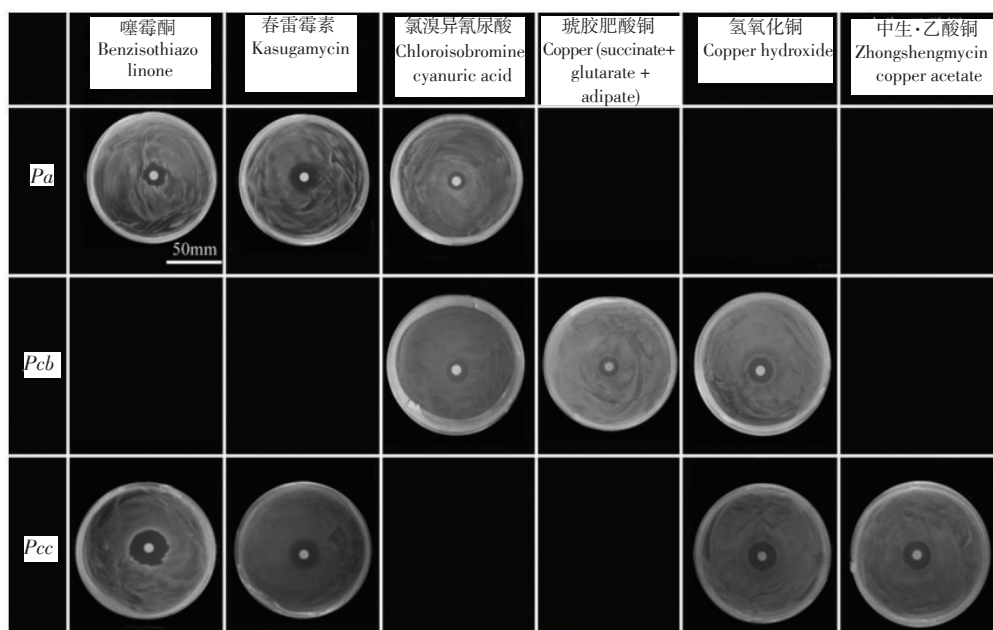


图2 6种杀菌剂对3种马铃薯黑胫病菌的抑制效果比较

Figure 2 Comparison of inhibitory zone diameter for six bactericides on *Pa*, *Pcb* and *Pcc* in potato

并进一步开展接下来的毒力测定。

## 2.2 不同杀菌剂对马铃薯黑胫病菌的毒力测定

由表1可知,随着有效成分浓度的增加,2%春雷霉素水剂、50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂和1.5%噻霉酮水乳剂3种杀菌剂均表现出对*Pa*的抑制作用逐渐增强,抑菌圈逐渐增大。2%春雷霉素水剂对*Pa*的 $EC_{50}$ 值为 $8.63 \mu\text{L/mL}$ ,在浓度为 $10.0 \mu\text{L/mL}$ 时抑菌圈为15.8 mm,抑制率达到62.1%,显著高于低药剂浓度对*Pa*的抑制作用,并随着有效成分浓度的增加,各药剂浓度对*Pa*的抑制作用开始不明显,直至浓度达到 $20.0 \mu\text{L/mL}$ 时,对*Pa*的抑制作用才显著提高,即至多稀释2倍才能有较好地抑制效果。50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂对*Pa*的 $EC_{50}$ 值为 $14.11 \mu\text{L/mL}$ ,在浓度为 $25.0 \mu\text{L/mL}$ 时,抑菌圈为16.2 mm,抑制率为62.9%,并随着有效成分浓度的增加,各药剂浓度对*Pa*的抑制作用差异显著,即稀释5~20倍后就可达到较好地抑制效果。1.5%噻霉酮水乳剂对*Pa*的 $EC_{50}$ 值为 $2.17 \mu\text{L/mL}$ ,在浓度为 $5.0 \mu\text{L/mL}$ 时抑菌圈为15.7 mm,抑制率达到61.7%,并随着有效成分浓度的增加,各药剂浓度对*Pa*的抑制作用并未显著增加,即至多稀释3倍才能有较好的抑制效果。

由表2可知,随着有效成分浓度的增加,46%氢

氧化铜水分散粒剂、30%琥胶肥酸铜悬浮剂和50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂3种杀菌剂同样表现为对*Pcb*的抑制作用逐渐增强,抑菌圈逐渐增大。3种杀菌剂对*Pcb*的 $EC_{50}$ 值分别为3.63, 8.06和 $14.69 \mu\text{L/mL}$ 。尽管46%氢氧化铜水分散粒剂的 $EC_{50}$ 值很低,但其浓度在 $5.0 \mu\text{L/mL}$ 时的抑菌圈仅为12.2 mm,抑制率也仅为50.7%,随着氢氧化铜浓度的提高,浓度为 $100.0 \mu\text{L/mL}$ 时抑菌圈为19.7 mm,抑制率达到69.5%,明显高于其他药剂浓度处理,表明只有加大杀菌剂的施用量(即低稀释倍数,4.6倍)才能有较好地抑制效果。30%琥胶肥酸铜悬浮剂和50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂也表现出与46%氢氧化铜水分散粒剂对*Pcb*相似的抑制规律,即高药剂浓度时才有较好的抑制效果,在浓度为 $100.0 \mu\text{L/mL}$ 时,抑菌圈分别为17.5和30.0 mm,抑制率分别达到65.7%和80.0%。

2%春雷霉素水剂、46%氢氧化铜水分散粒剂、21%中生·乙酸铜可湿性粉剂和1.5%噻霉酮水乳剂4种杀菌剂随着有效成分浓度的增加,表现为对*Pcc*的抑制作用逐渐增强,抑菌圈逐渐增大(表3)。2%春雷霉素水剂对*Pcc*的 $EC_{50}$ 值为 $4.75 \mu\text{L/mL}$ ,在浓度为 $7.5 \mu\text{L/mL}$ 时抑菌圈为15.5 mm,抑制率达到61.3%,并随着有效成分浓度的增加,抑制作用增

表1 3种杀菌剂对马铃薯黑胫病菌 *Pa* 的室内毒力测定  
Table 1 Toxicity measurement of different concentrations of bactericides to *Pa*

| 药剂<br>Bactericide                                         | 有效成分浓度(μL/mL)<br>Concentration of active ingredients | 抑菌圈直径(mm)<br>Inhibitory zone diameter | 毒力回归方程<br>Toxic regression equation | 相关系数<br>Correlation coefficient | EC <sub>50</sub><br>(μL/mL) |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 2%春雷霉素水剂<br>2% kasugamycin AS                             | 5.0                                                  | 8.0 d                                 | $y = 0.775\ 3x + 3.329\ 4$          | 0.811 2                         | 8.63                        |
|                                                           | 7.5                                                  | 13.0 c                                |                                     |                                 |                             |
|                                                           | 10.0                                                 | 15.8 b                                |                                     |                                 |                             |
|                                                           | 12.5                                                 | 16.3 b                                |                                     |                                 |                             |
|                                                           | 15.0                                                 | 17.3 ab                               |                                     |                                 |                             |
|                                                           | 20.0                                                 | 19.2 a                                |                                     |                                 |                             |
| 50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂<br>50% chloroisobromine<br>cyanuric acid SP | 5.0                                                  | 8.3 e                                 | $y = 0.475\ 1x + 3.742\ 3$          | 0.985 0                         | 14.11                       |
|                                                           | 10.0                                                 | 10.8 d                                |                                     |                                 |                             |
|                                                           | 12.5                                                 | 11.9 d                                |                                     |                                 |                             |
|                                                           | 25.0                                                 | 16.2 c                                |                                     |                                 |                             |
|                                                           | 50.0                                                 | 22.6 b                                |                                     |                                 |                             |
|                                                           | 100.0                                                | 30.6 a                                |                                     |                                 |                             |
| 1.5%噻霉酮水乳剂<br>1.5% benzisothiazolinone EW                 | 0.5                                                  | 8.6 c                                 | $y = 0.253\ 3x + 4.803\ 5$          | 0.916 5                         | 2.17                        |
|                                                           | 1.0                                                  | 11.7 bc                               |                                     |                                 |                             |
|                                                           | 5.0                                                  | 15.7 ab                               |                                     |                                 |                             |
|                                                           | 7.5                                                  | 16.2 a                                |                                     |                                 |                             |
|                                                           | 10.0                                                 | 16.5 a                                |                                     |                                 |                             |
|                                                           | 12.5                                                 | 17.3 a                                |                                     |                                 |                             |
|                                                           | 15.0                                                 | 18.7 a                                |                                     |                                 |                             |

注: 不同小写字母表示同一药剂不同浓度在0.05水平上差异显著, 新复极差法测验。下同。

Note: Different small letter(s) are used to indicate significant difference at 0.05 level of different concentrations of same bactericides as tested using Duncan's new multiple range method. The same below.

表2 3种杀菌剂对马铃薯黑胫病菌 *Pcb* 的室内毒力测定  
Table 2 Toxicity measurement of different concentrations of bactericides to *Pcb*

| 药剂<br>Bactericide                                                 | 有效成分浓度(μL/mL)<br>Concentration of active ingredients | 抑菌圈直径(mm)<br>Inhibitory zone diameter | 毒力回归方程<br>Toxic regression equation | 相关系数<br>Correlation coefficient | EC <sub>50</sub><br>(μL/mL) |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 46%氢氧化铜水分散粒剂<br>46% copper hydroxide WG                           | 5.0                                                  | 12.2 d                                | $y = 0.143\ 0x + 4.851\ 6$          | 0.932 8                         | 3.63                        |
|                                                                   | 10.0                                                 | 14.3 c                                |                                     |                                 |                             |
|                                                                   | 12.5                                                 | 14.0 c                                |                                     |                                 |                             |
|                                                                   | 25.0                                                 | 15.2 bc                               |                                     |                                 |                             |
|                                                                   | 50.0                                                 | 16.0 b                                |                                     |                                 |                             |
|                                                                   | 100.0                                                | 19.7 a                                |                                     |                                 |                             |
| 30%琥胶肥酸铜悬浮剂<br>30% copper (succinate + glutarate +<br>adipate) SC | 5.0                                                  | 10.5 d                                | $y = 0.190\ 4x + 4.602\ 6$          | 0.905 1                         | 8.06                        |
|                                                                   | 10.0                                                 | 13.2 c                                |                                     |                                 |                             |
|                                                                   | 12.5                                                 | 13.2 c                                |                                     |                                 |                             |
|                                                                   | 25.0                                                 | 14.5 b                                |                                     |                                 |                             |
|                                                                   | 50.0                                                 | 17.7 a                                |                                     |                                 |                             |
|                                                                   | 100.0                                                | 17.5 a                                |                                     |                                 |                             |
| 50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂<br>50% chloroisobromine cyanuric acid SP            | 5.0                                                  | 7.8 f                                 | $y = 0.463\ 5x + 3.754\ 5$          | 0.919 6                         | 14.69                       |
|                                                                   | 10.0                                                 | 11.4 e                                |                                     |                                 |                             |
|                                                                   | 12.5                                                 | 13.3 d                                |                                     |                                 |                             |
|                                                                   | 25.0                                                 | 15.5 c                                |                                     |                                 |                             |
|                                                                   | 50.0                                                 | 19.2 b                                |                                     |                                 |                             |
|                                                                   | 100.0                                                | 30.0 a                                |                                     |                                 |                             |

强，但直到 15.0 μL/mL时才出现显著差异，即至多稀释 2.7 倍才能有较好地抑制效果。46%氢氧化铜水分散粒剂和 21%中生·乙酸铜可湿性粉剂对 *Pcc* 的 EC<sub>50</sub>值分别为 1.18 和 6.75 μL/mL，但其只有在高药剂浓度时才有明显地抑制效果，在浓度为 100.0 μL/mL 时，抑菌圈分别为 22.7 和 26.0 mm，抑制率分别达到 73.5%和 76.9%。1.5%噻霉酮水乳剂对 *Pcc* 的 EC<sub>50</sub>值为 0.21 μL/mL，在浓度仅为 5.0 μL/mL时抑菌圈就达到 21.0 mm，抑制率达到 71.4%，并随着有效成分浓度的增加至 7.5 μL/mL后各药剂浓度对 *Pcc* 的抑制作用并未显著增加，因此，稀释 2~3 倍才能取得较好的

抑制效果。

综上所述，筛选出的有效药剂只有在高浓度(即稀释 2~20 倍)时，才能发挥出较好的抑制效果。氯溴异氰尿酸可溶粉剂、氢氧化铜水分散粒剂和噻霉酮水乳剂具有广谱性，对 3 种马铃薯黑胫病菌 *Pa*、*Pcb*、*Pcc* 均表现出较好的抑制效果。中生·乙酸铜可湿性粉剂和琥胶肥酸铜悬浮剂虽也具广谱性，但中生·乙酸铜可湿性粉剂对 *Pcc* 抑制效果更佳，而琥胶肥酸铜悬浮剂则对 *Pcb* 的抑制效果更佳。春雷霉素水剂仅对马铃薯黑胫病菌 *Pa* 和 *Pcc* 均表现出较好的抑制效果，但对 *Pcb* 没有抑制作用。

表 3 4 种杀菌剂对马铃薯黑胫病菌 *Pcc* 的室内毒力测定  
Table 3 Toxicity measurement of different concentrations of bactericides to *Pcc*

| 药剂<br>Bactericide                                              | 有效成分浓度(μL/mL)<br>Concentration of active ingredients | 抑菌圈直径(mm)<br>Inhibitory zone diameter | 毒力回归方程<br>Toxic regression equation | 相关系数<br>Correlation coefficient | EC <sub>50</sub><br>(μL/mL.) |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 2%春雷霉素水剂<br>2% kasugamycin AS                                  | 5.0                                                  | 11.3 d                                | $y = 0.420\ 7x + 4.344\ 9$          | 0.899 1                         | 4.75                         |
|                                                                | 7.5                                                  | 15.5 c                                |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 10.0                                                 | 16.5 bc                               |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 12.5                                                 | 18.3 abc                              |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 15.0                                                 | 18.8 ab                               |                                     |                                 |                              |
| 46%氢氧化铜水分散粒剂<br>46% copper hydroxide WG                        | 20.0                                                 | 20.5 a                                | $y = 0.144\ 9x + 4.976\ 1$          | 0.977 1                         | 1.18                         |
|                                                                | 5.0                                                  | 14.3 d                                |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 10.0                                                 | 16.0 c                                |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 12.5                                                 | 16.0 c                                |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 25.0                                                 | 19.2 b                                |                                     |                                 |                              |
| 21%中生·乙酸铜可湿性粉剂<br>3%zhongshengmycin + 18%<br>copper acetate WP | 50.0                                                 | 20.3 b                                | $y = 0.271\ 9x + 4.480\ 8$          | 0.997 4                         | 6.75                         |
|                                                                | 100.0                                                | 22.7 a                                |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 5.0                                                  | 11.3 d                                |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 10.0                                                 | 12.8 d                                |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 12.5                                                 | 14.0 d                                |                                     |                                 |                              |
| 1.5%噻霉酮水乳剂<br>1.5% benzisothiazolinone EW                      | 25.0                                                 | 16.8 c                                | $y = 0.184\ 6x + 5.291\ 6$          | 0.924 9                         | 0.21                         |
|                                                                | 50.0                                                 | 20.3 b                                |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 100.0                                                | 26.0 a                                |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 5.0                                                  | 21.0 b                                |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 7.5                                                  | 24.7 a                                |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 10.0                                                 | 25.5 a                                |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 12.5                                                 | 25.8 a                                |                                     |                                 |                              |
|                                                                | 15.0                                                 | 27.3 a                                |                                     |                                 |                              |

3 讨 论

铜制剂中的铜离子可与病原菌细胞膜表面上的 K<sup>+</sup>、H<sup>+</sup>等阳离子进行交换，造成病原菌细胞膜上的蛋白质凝固；也可渗透进入病原菌细胞内与某些酶

结合，影响酶活性<sup>[26]</sup>，因此，铜制剂杀菌剂是一种良好的保护性杀菌剂，在中国马铃薯黑胫病防治中使用较多。据报道，马铃薯播种前采用 30%琥胶肥酸铜悬浮剂 400 倍液进行浸种对马铃薯黑胫病的防效达到 75%以上<sup>[6]</sup>。每隔 7~10 d 50%琥胶肥酸铜湿性

粉剂或95%乙酸铜水剂500倍叶面喷施一次, 喷施2~3次, 也可有效防治黑胫病的发生<sup>[27]</sup>。马铃薯喷施40%可杀得(氢氧化铜)600~700倍液可显著降低了冬作区马铃薯黑胫病的发病率, 防效显著<sup>[28]</sup>。室内毒力测定也证实, 30%琥胶肥酸铜可湿性粉剂和56.7%氢氧化铜水分散粒剂对黑胫病菌*Pa*有一定的防效, 仅为45%和46%<sup>[29]</sup>。本研究也表明, 氢氧化铜水分散粒剂和琥胶肥酸铜悬浮剂则对3种黑胫病菌均有抑制作用, 且琥胶肥酸铜悬浮剂对*Pcb*的抑制效果更佳。无论是氢氧化铜水分散粒剂还是琥胶肥酸铜悬浮剂, 只有有效成分浓度高于2.50%(即稀释12~20倍以下)时, 抑制率才能达到60%以上。通常, 铜制剂在田间应用浓度较低, 且施用后受外界环境与植株状态影响较大, 这可能是其在田间应用效果欠佳的主要原因之一。

氯溴异氰尿酸可溶粉剂经溶解后叶面喷施到作物表面, 会缓慢释放出次溴酸, 具有强烈地杀灭细菌、真菌的能力, 不仅造成病原菌细胞死亡, 还可封闭植物伤口。经过内吸传导释放次溴酸后的母体形成三嗪二酮和均三嗪还具有强烈的杀病毒作用。氯溴异氰尿酸可溶粉剂对多种作物多种真细菌病以及病毒病具有较好地防治效果<sup>[30]</sup>, 但在马铃薯病害的防治上未见报道。本研究表明, 氯溴异氰尿酸可溶粉剂对3种马铃薯黑胫病菌*Pa*、*Pcb*、*Pcc*均表现出较好的抑制效果, 在高的药剂浓度时, 抑制率可达80%以上。在保证马铃薯正常生长的情况下, 该药剂在田间对抑制黑胫病菌侵染的效果如何还需进一步研究。另外, 氯溴异氰尿酸虽能杀死病原菌, 但其也可能杀死其他植物内生有益菌, 并可能对植株产生一定的伤害, 在这方面也需进一步研究。

噻霉酮是近年来研制的一种新型的广谱性杀菌剂, 据报道, 其主要通过破坏病原菌的细胞核结构, 干扰病原菌细胞的新陈代谢, 致使病原菌因生理紊乱而死亡<sup>[31]</sup>。室内毒力测定指出3%噻霉酮悬浮剂对马铃薯黑胫病菌*Pa*的抑制效果较好,  $EC_{50}$ 值为38.18  $\mu\text{g/mL}$ <sup>[32]</sup>。本研究表明, 1.5%噻霉酮水乳剂不仅对马铃薯黑胫病菌*Pa*的抑制效果较好,  $EC_{50}$ 值为2.17  $\mu\text{L/mL}$ , 而且对黑胫病菌*Pcb*、*Pcc*( $EC_{50}$ 值为0.21  $\mu\text{L/mL}$ )也有一定的抑制效果。尽管噻霉酮在室内毒力测定中对黑胫病菌表现出良好的抑制效果, 但其在田间如何施用以及防治效果如何还需进一步研究。

春雷霉素和中生菌素等农用抗生素主要通过抑制细菌蛋白质的合成而广泛用来防治作物细菌性病害<sup>[33]</sup>。室内抑菌圈测定表明, 2%春雷霉素可湿性粉剂对黑胫病菌*Pa*的抑制效果较好,  $EC_{50}$ 值为5.27  $\mu\text{L/mL}$ <sup>[29]</sup>。本研究则认为, 春雷霉素水剂对马铃薯黑胫病菌*Pa*和*Pcc*均表现出较好的抑制效果,  $EC_{50}$ 值分别为8.63和4.75  $\mu\text{L/mL}$ , 而对*Pcb*没有抑制作用。这表明, 春雷霉素对黑胫病菌的抑制具有一定的选择性, 在生产中应用时要注意病原菌的种类。孙彦敏<sup>[32]</sup>认为, 3%中生菌素对黑胫病菌*Pa*的抑制效果较差,  $EC_{50}$ 值为445  $\mu\text{g/mL}$ 。本研究中, 中生·乙酸铜可湿性粉剂具广谱性, 总体抑制效果一般, 对*Pcc*抑制效果更佳, 这可能是中生菌素抑制蛋白质合成与乙酸铜中铜离子共同发挥作用的结果。

在田间马铃薯黑胫病发病初期, 若能快速准确地对致病菌进行分离鉴定, 就可有针对性的选择有效的药剂进行防治, 做到精准施药。本研究表明, 可选择50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂、2%春雷霉素水剂和1.5%噻霉酮水乳剂防治马铃薯黑胫病菌*Pa*, 选择46%氢氧化铜水分散粒剂、30%琥胶肥酸铜悬浮剂和50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂防治马铃薯黑胫病菌*Pcb*, 选择2%春雷霉素水剂、46%氢氧化铜水分散粒剂、21%中生·乙酸铜可湿性粉剂和1.5%噻霉酮水乳剂防治马铃薯黑胫病菌*Pcc*。然而, 目前还没有建立起马铃薯黑胫病致病菌快速检测体系, 从病株取样到分离鉴定至少需要5~7 d, 这无疑拖延了黑胫病防治的有效时间。因此, 在田间刚出现黑胫病病株时, 建议选择对3种马铃薯黑胫病致病菌具有广谱性的杀菌剂。根据本研究结果, 氯溴异氰尿酸、氢氧化铜、琥胶肥酸铜、中生·乙酸铜和噻霉酮对3种黑胫病菌*Pa*、*Pcb*、*Pcc*具有较好的抑制效果, 具有相对广谱性, 建议在田间进一步验证后选择施用。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Campos H, Ortiz O. The potato crop: its agricultural, nutritional and social contribution to humankind [M]. Berlin: Springer, 2019.
- [2] 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.
- [3] 王立春, 盛万民, 朱杰华, 等. 马铃薯品种黑胫病抗性筛选与评价 [J]. 黑龙江农业科学, 2012(11): 5–7.
- [4] 高玉林, 徐进, 刘宁, 等. 我国马铃薯病虫害发生现状与防控策略 [J]. 植物保护, 2019, 45(5): 106–111.
- [5] 王炳森, 王丽, 陈惠兰. 山东省马铃薯病害调查 [J]. 中国马铃薯, 2017, 31(2): 104–112.
- [6] 李建军, 刘世海, 惠娜娜, 等. 马铃薯黑胫病田间防治药剂筛选 [J]. 植物保护, 2010, 36(4): 181–183.
- [7] Gardan L, Gouy C, Christen R, *et al.* Elevation of three subspecies of *Pectobacterium carotovorum* to species level: *Pectobacterium atrosepticum* sp. nov. *Pectobacterium betavascularum* sp. nov. and *Pectobacterium wasabiae* sp. nov. [J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2003, 53(2): 381–391.
- [8] Duarte V, de Boer S H, Ward L J, *et al.* Characterization of atypical *Erwinia carotovora* strains causing blackleg of potato in Brazil [J]. Journal of Applied Microbiology, 2004, 96(3): 535–545.
- [9] de Haan E G, Dekker-Nooren T C, van den Bovenkamp G W, *et al.* *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* can cause potato blackleg in temperate climates [J]. European Journal of Plant Pathology, 2008, 122(4): 561–569.
- [10] Khayi S, Cigna J, Chong T M, *et al.* Transfer of the potato plant isolates of *Pectobacterium wasabiae* to *Pectobacterium parmentieri* sp. nov. [J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2016, 66(12): 5379–5383.
- [11] Waleron M, Misztak A, Waleron M, *et al.* Transfer of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* strains isolated from potatoes grown at high altitudes to *Pectobacterium peruviense* sp. nov. [J]. Systematic and Applied Microbiology, 2017, 41(2): 85–93.
- [12] Dees M W, Lysøe E, Rossmann S, *et al.* *Pectobacterium polaris* sp. nov. isolated from potato (*Solanum tuberosum*) [J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2017, 67(12): 5222–5229.
- [13] Sarfraz S, Riaz K, Oulghazi S, *et al.* *Pectobacterium punjabense* sp. nov., isolated from blackleg symptoms of potato plants in Pakistan [J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2018, 68(11): 3551–3556.
- [14] Toth I K, Wolf J M V D, Saddler G, *et al.* *Dickeya* species: an emerging problem for potato production in Europe [J]. Plant Pathology, 2011, 60(3): 385–399.
- [15] 焦彬彬, 张慧丽, 栗寒, 等. 马铃薯黑胫病菌概述 [J]. 植物检疫, 2017, 31(1): 69–72.
- [16] 周佳暖, 姜子德, 张炼辉. 细菌性软腐病菌 *Dickeya* 致病机理的研究进展 [J]. 植物病理学报, 2015, 45(4): 337–349.
- [17] 王旭, 罗来鑫, 李健强. 内蒙古马铃薯黑胫病原菌的鉴定 [C]// 中国植物病理学会 2008 年学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008: 47.
- [18] 余小漫, 蓝国兵, 何自福, 等. 广东马铃薯黑胫病的病原鉴定 [J]. 植物病理学报, 2015, 45(5): 449–454.
- [19] 王信, 程亮, 王亚艺, 等. 青海省马铃薯黑胫病原菌的鉴定 [J]. 浙江农业学报, 2018, 30(8): 1369–1375.
- [20] 林燕文, 陈妙英, 毛露甜, 等. 马铃薯黑胫病菌的分离、纯化及 PCR 检测 [J]. 中国马铃薯, 2016, 30(3): 169–174.
- [21] 杨松, 胡林双, 吕文河, 等. 实时定量荧光 PCR 法检测马铃薯黑胫病菌 [J]. 中国马铃薯, 2009, 23(1): 1–5.
- [22] 田艳丽, 胡旭东, 赵玉强, 等. 内蒙古马铃薯黑胫病原菌的分离和鉴定 [J]. 植物病理学报, 2018, 48(6): 721–727.
- [23] 黄宁, 会芳, 张景欣, 等. 广东冬种马铃薯软腐病发生与病原菌鉴定 [J]. 广东农业科学, 2012, 39(20): 58–59.
- [24] Wyatt G M, Lund B M. The effect of antibacterial products on bacterial soft rot of potatoes [J]. Potato Research, 1981, 24(3): 315–329.
- [25] 孙彦良, 孟兆华. 马铃薯黑胫病的发生及防治方法 [J]. 中国马铃薯, 2008, 22(6): 371–372.
- [26] 毛润乾, 彭月珍, 王海峰, 等. 琥胶肥酸铜·霜脲氰防治荔枝霜霉病试验 [J]. 广西园艺, 2007(1): 35–37.
- [27] 孙秀梅. 黑龙江省马铃薯黑胫病的发生与防治 [J]. 中国农村小康科技, 2005(12): 46.
- [28] 何新民, 谭冠宁, 唐洲萍, 等. 冬作区马铃薯黑胫病防控药剂筛选研究 [J]. 农业科技通讯, 2014(2): 63–65.
- [29] 韩娜, 张鑫玉. 8 种杀菌剂对马铃薯黑胫病病毒或细菌毒力的测定研究 [J]. 集宁师范学院学报, 2019(4): 14–16.
- [30] 天农. 氯溴异氰尿酸对疑难病害有特效 [J]. 农村新技术, 2018(1): 41.
- [31] 宋根苗, 蒋家珍, 邱立红, 等. 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.
- [32] 孙彦敏. 马铃薯黑胫病病菌、初侵染来源及药剂防治的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- [33] 陈敏纯, 廖美德, 夏汉祥. 农用抗生素作用机理简述 [J]. 世界农药, 2011, 33(3): 13–16.