

DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2025.0406

马铃薯疮痂病和大白菜软腐病室内药剂筛选

石珂¹, 徐莹², 韩松翰², 刘海旭¹, 石瑛¹, 陈宇飞²

(1. 东北农业大学农学院 哈尔滨 150030; 2. 东北农业大学植物保护学院 哈尔滨 150030)

摘要:为初步筛选对马铃薯疮痂病和大白菜软腐病有防治潜力的杀菌剂,本研究通过室内平板抑菌试验和离体防效试验,比较了化学杀菌剂(非铜)、铜制剂和生物杀菌剂共34种药剂对马铃薯疮痂病和大白菜软腐病的防治效果。结果表明,生物杀菌剂与铜制剂离体防效均显著高于化学杀菌剂(非铜)。针对马铃薯疮痂病和大白菜软腐病,防效最优的生物杀菌剂均为1000亿芽孢·g⁻¹枯草芽孢杆菌可湿性粉剂(离体防效分别为77.67%和83.53%),防效最优的铜制剂均为80%波尔多液可湿性粉剂(离体防效分别为71.88%和78.46%)。综上,1000亿芽孢·g⁻¹枯草芽孢杆菌可湿性粉剂和80%波尔多液可湿性粉剂可作为防治2种病害的优先选择药剂;田间筛选马铃薯疮痂病和大白菜软腐病防治药剂时,应优先考虑生物杀菌剂和铜制剂,为2种病害的绿色高效防控提供科学支撑。

关键词:马铃薯疮痂病;大白菜软腐病;平板抑菌试验;离体防效试验

中图分类号:S532+S634.1 文献标志码:A 文章编号:1673-2871(2026)03-201-11

Laboratory screening of fungicides against potato scab and Chinese cabbage soft rot

SHI Ke¹, XU Ying², HAN Songhan², LIU Haixu¹, SHI Ying¹, CHEN Yufei²

(1. College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China; 2. College of Plant Protection, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

Abstract: To preliminarily screen fungicides with potential control effects against potato common scab and Chinese cabbage soft rot, this study compared the control efficacy of 34 fungicides (including non-copper chemical fungicides, copper-based fungicides and biological fungicides) against the two diseases through indoor plate antibacterial tests and *in vitro* control efficacy tests. The results showed that the *in vitro* control efficacy of biological fungicides and copper-based fungicides were significantly higher than that of non-copper chemical fungicides. For potato scab and Chinese cabbage soft rot, the most effective biological fungicide was 1000 billion CFU · g⁻¹ *Bacillus subtilis* wettable powder (*in vitro* control efficacy of 77.67% and 83.53%, respectively), and the most effective copper based fungicide was 80% bordeaux mixture wettable powder (*in vitro* control efficacy of 71.88% and 78.46%, respectively). In conclusion, 1000 billion CFU · g⁻¹ *Bacillus subtilis* wettable powder and 80% bordeaux mixture wettable powder can be used as the preferred fungicides for the control of the two diseases. Priority should be given to biological fungicides and copper-based fungicides in field fungicide screening for potato scab and Chinese cabbage soft rot, which provides scientific support for the green and efficient management of the two diseases.

Key words: Potato scab; Chinese cabbage soft rot; Plate antibacterial test; *In vitro* control efficacy test

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是双子叶茄科茄属一年生草本植物,起源于南美洲的安第斯山脉地区^[1]。作为全球第四大粮食作物,对保障粮食安全起着关键作用^[2]。但随着马铃薯种植面积扩大,马铃薯土传病害也越发严重。马铃薯疮痂病(Potato scab)是由多种致病链霉菌引起的一种土传兼种

传病害^[3],目前已成为马铃薯生产上四大病害之一。在马铃薯表面形成凹陷或凸起的疮痂状粗糙硬斑块^[4],严重影响马铃薯的商品性及加工品质,给马铃薯产业带来巨大的经济损失^[5]。

大白菜(*Brassica rapa* var. *glabra* Regel)是十字花科芸薹属蔓菁的一个变种植物^[6],具有营养丰富、

收稿日期:2025-06-05;修回日期:2025-11-19

基金项目:国家现代农业产业技术体系专项(CARS-09);东北农业大学-黑龙江省农用微生物产业技术研究院支持

作者简介:石珂,女,在读硕士研究生,研究方向为马铃薯遗传育种。E-mail:shikeshike2023@163.com

通信作者:陈宇飞,女,教授,研究方向为中药材绿色防控。E-mail:chenyufei301@126.com

适应性强、产量高以及耐贮运等优点,在蔬菜供应中占据重要地位^[7]。但由于周年生产供应,病害频繁发生,尤其是大白菜软腐病(Chinese cabbage soft rot)对白菜品质的影响较大。胡萝卜软腐果胶杆菌是引起大白菜软腐病的主要致病菌^[8],病菌由根系伤口侵入,潜伏在维管束中危害^[9],造成白菜黏滑、软化、腐烂^[10]。

目前马铃薯疮痂病和大白菜软腐病的防治方法主要有化学防治、农业防治和生物防治等,其中以化学防治为主要手段^[11]。化学防治是目前应用最广泛的防治方法,主要通过施用化学杀菌剂有效控制农作物病害。化学杀菌剂能够迅速发挥作用,使用方法简单,不受地域和季节限制,便于大面积机械化防治,但长期使用不仅污染环境、危害人类健康,还会使病菌抗药性增强^[12-13]。铜制剂也是一类应用广泛且历史悠久的化学杀菌剂,可抑制多种病原菌的生长和繁殖,对多种农作物病害有良好的防治效果,持效期长,生产成本相对较低,但是铜制剂种类多,生产上使用混乱^[14-16]。生物防治是利用有益微生物或其代谢产物实现病虫害防治,也促进植物生长和土壤改良。植物病害的生物防治主要利用生物杀菌剂,生物杀菌剂具有对环境友好、安全无害、不易产生抗药性等优点,此外,生物杀菌剂能改善土壤结构、降解污染物并调节土壤微生物平衡,缓解连作障碍,还可诱导植物产生系统抗性^[7]。

本研究通过室内平板抑菌试验和离体防效试验筛选适宜药剂,比较不同类别杀菌剂对马铃薯疮痂病病菌和大白菜软腐病病菌的抑菌效果,为马铃薯疮痂病和大白菜软腐病的田间防控提供药剂参考,为提升马铃薯和大白菜的产量和品质,保障绿色食品安全和降低生产成本提供科学依据。

1 材料与方法

试验于2024年9—12月在东北农业大学农学院马铃薯研究所进行。

1.1 材料

1.1.1 供试病原菌与作物品种 本试验所用的马铃薯疮痂病病菌(*Streptomyces scabies*)、大白菜软腐病病菌(*Pectobacterium carotovorum*)均由东北农业大学植物保护学院病理教研室提供。供试马铃薯品种为东农310,由东北农业大学农学院马铃薯研究所提供;供试大白菜品种为结球大白菜,为市售商品种。

1.1.2 供试培养基 高氏一号培养基:可溶性淀粉

20 g,硝酸钾 1 g,三水磷酸氢二钾 0.5 g,七水硫酸镁 0.5 g,氯化钠 0.5 g,琼脂 20 g,加去离子水定容至 1 L,pH 为 7.4~7.6。LB 培养基:胰化蛋白胨 10 g,酵母提取物 5 g,氯化钠 10 g,定容至 1 L,pH 为 7。

1.1.3 供试药剂 34 种杀菌剂分别为化学杀菌剂(非铜)(7 种)、生物杀菌剂(15 种)和铜制剂(12 种)。用无菌水将待测杀菌剂按照说明书推荐最适浓度进行配制,各种杀菌剂名称及来源见表 1。

1.2 方法

1.2.1 病原菌的活化 将马铃薯疮痂病菌株与大白菜软腐病菌株通过划线法分别接种至高氏一号培养基和 LB 培养基上,28 °C 黑暗恒温培养(马铃薯疮痂病菌株培养 48 h,大白菜软腐病菌株培养 24 h),每个菌株 5 个培养基。

1.2.2 室内平板抑菌试验 采用滤纸片法进行药室内筛选^[18]。分别将活化后的马铃薯疮痂病病菌和大白菜软腐病病菌菌株用无菌水配制成 10^8 CFU·mL⁻¹ 菌悬液,涂布于培养基平板上,待其晾干将直径为 5 mm 滤纸片放置于平板中央,分别在滤纸片上滴加 15 μL 配制好的杀菌剂,以在滤纸片上滴加等量的无菌水作为对照,封口膜密封后,于 28 °C 黑暗恒温培养,7 d 后用十字交叉法^[19]测定抑菌圈直径(mm),分别观察各处理对马铃薯疮痂病病菌和大白菜软腐病病菌的抑制效果。共 70 个处理,每个处理 3 次重复,每次重复为 1 个独立培养皿。

1.2.3 室内离体防效试验 将马铃薯(大白菜)切成 5 mm × 5 mm 组织块,75%酒精消毒 1 min,用无菌水冲洗 3 次,无菌滤纸吸干水分后备用。每个培养皿铺设 3 层湿润滤纸,均匀放置 4 个马铃薯(大白菜)组织块,将带有马铃薯疮痂病菌饼倒扣在马铃薯块中间(用移液枪枪头在大白菜切块上戳出同等大小的 4 个伤口,伤口深为 1~2 mm,每个伤口加 5 μL 大白菜软腐病原菌悬浮液),4 h 后分别吸取 15 μL 配制好的杀菌剂滴加在菌饼和马铃薯相接处,以滴加等量的无菌水作为对照[4 h 后分别从化学杀菌剂(非铜)(7 种)、生物杀菌剂(15 种)和铜制剂(12 种)吸取 5 μL 杀菌剂滴加在白菜伤口处,以滴加等量的无菌水作为对照],用封口膜密封,于 28 °C 恒温培养,培养期间保持滤纸湿润。7 d 后观察各处理发病情况,每个处理 3 次重复,每次重复为 1 个独立培养皿。

马铃薯疮痂病病害分级方法:参考赵远征等^[20]的划分标准。分级标准如下:0 级,薯块上没有病斑;1 级,疮痂病斑面积占薯块面积的 1% 以下;2

表1 供试药剂
Table 1 Tested agent

药剂类别 Pharmaceutical category	序号 No.	供试药剂 Tested agent	生产公司 Production company
化学杀菌剂 (非铜) Chemical fungicide (non-copper)	1	50%三氯异氰尿酸可溶粉剂 50% trichloroisocyanuric acid soluble powder (SP)	天津博客百胜科技有限公司 Tianjin Bokebest Technology Co., Ltd.
	2	50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂 50% chlorobromoisocyanuric acid SP	南京南农农药科技发展有限公司 Nanjing Nannong Pesticide Technology Development Co., Ltd.
	3	25%吡唑醚菌酯乳油 25% pyraclostrobin emulsifiable concentrate (EC)	巴斯夫植物保护(江苏)有限公司 BASF Plant Protection (Jiangsu) Co., Ltd.
	4	80%乙蒜素乳油 80% ethylcin EC	南阳市新丰达生物有限公司 Nanyang Xinfengda Biology Co., Ltd.
	5	25%溴菌腈微乳剂 25% bromothalonil microemulsion (ME)	江苏托球农化股份有限公司 Jiangsu Tuoqiu Agrochemicals Co., Ltd.
	6	1.26%辛菌胺醋酸盐水剂 1.26% xinjunan acetate aqueous solution (AS)	西安近代科技实业有限公司 Xi'an Jindai Technology Industry Co., Ltd.
	7	30%噻唑锌悬浮剂 30% thiazole zinc suspension concentrate (SC)	浙江新农化工股份有限公司 Zhejiang Xinnong Chemical Co., Ltd.
生物杀菌剂 Biological fungicide	8	50亿CFU·g ⁻¹ 多黏类芽孢杆菌可湿性粉剂 5 billion CFU·g ⁻¹ <i>Paenibacillus polymyxa</i> wettable powder (WP)	山西省临猗中晋化工有限公司 Shanxi Linyi Zhongjin Chemical Co., Ltd.
	9	1000亿芽孢·g ⁻¹ 枯草芽孢杆菌可湿性粉剂 1000 billion spores·g ⁻¹ <i>Bacillus subtilis</i> WP	山东秀邦生物科技有限公司 Shandong Xiubang Biotechnology Co., Ltd.
	10	8亿个·g ⁻¹ 蜡质芽孢杆菌可湿性粉剂 800 million CFU·g ⁻¹ <i>Bacillus cereus</i> WP	山东泰诺药业有限公司 Shandong Tenov Pesticides Co., Ltd.
	11	5亿芽孢·g ⁻¹ 荧光假单胞杆菌可湿性粉剂 500 million spores·g ⁻¹ <i>Pseudomonas fluorescens</i> WP	山东泰诺药业有限公司 Shandong Tenov Pesticides Co., Ltd.
	12	10亿芽孢·g ⁻¹ 解淀粉芽孢杆菌可湿性粉剂 1 billion spores·g ⁻¹ <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> WP	陕西先农生物科技有限公司 Shaanxi Xiannong Biotechnology Co., Ltd.
	13	80亿芽孢·g ⁻¹ 甲基营养型芽孢杆菌可湿性粉剂 8 billion spores·g ⁻¹ <i>Bacillus methylotrophicus</i> WP	陕西恒田生物农业有限公司 Shaanxi Hengtian Biological Agriculture Co., Ltd.
	14	4%小檗碱硫酸盐水剂 4% berberine sulfate AS	内蒙古清源保生物科技有限公司 Inner Mongolia Qingyuanbao Biotechnology Co., Ltd.
	15	1%香芹酚水剂 1% carvacrol AS	内蒙古清源保生物科技有限公司 Inner Mongolia Qingyuanbao Biotechnology Co., Ltd.
	16	5%大蒜素微乳剂 5% allicin ME	成都新朝阳作物科学股份有限公司 Chengdu New Sun Crop Science Co., Ltd.
	17	0.2%补骨脂种子提取物微乳剂 0.2% psoralea corylifolia seed extract ME	沈阳同祥生物农药有限公司 Shenyang Tongxiang Biopesticide Co., Ltd.
18	5%氨基寡糖素可溶液剂 5% amino-oligosaccharin soluble concentrate (SL)	青岛弘海生物技术有限公司 Qingdao Honghai Biotechnology Co., Ltd.	
19	6%春雷霉素水剂 6% kasugamycin AS	山东成欣生物科技有限公司 Shandong Chengxin Biotechnology Co., Ltd.	
20	0.3%四霉素水剂 0.3% tetramycin AS	辽宁微科生物工程股份有限公司 Liaoning Wkioc Bioengineering Co., Ltd.	
21	1%申喹霉素悬浮剂 1% shenqinmycin SC	上海农乐生物制品股份有限公司 Shanghai Nongle Biological Products Co., Ltd.	
22	3%中生菌素可湿性粉剂 3% zhongshengmycin WP	深圳诺普信农化股份有限公司 Shenzhen Noposion Agrochemicals Co., Ltd.	
铜制剂 Copper-based fungicide	23	86.2%氧化亚铜可湿性粉剂 86.2% cuprous oxide WP	天津市绿亨化工有限公司 Tianjin Lüheng Chemical Co., Ltd.
	24	77%硫酸铜钙可湿性粉剂 77% copper sulfate calcium WP	墨西哥英吉利工业公司 Ingil de México, S.A. de C.V.
	25	80%波尔多液可湿性粉剂 80% bordeaux mixture WP	美国仙农有限公司 Shannon USA, Inc.

表1 (续)
Table 1 (Continued)

药剂类别 Pharmaceutical category	序号 No.	供试药剂 Tested agent	生产公司 Production company
	26	46%氢氧化铜水分散粒剂 46% copper hydroxide water-dispersible granules(WG)	美国杜邦公司 DuPont de Nemours, Inc.
	27	30%王铜悬浮剂 30% copper oxychloride SC	江西禾益化工股份有限公司 Jiangxi Heyi Chemical Co., Ltd.
	28	15%络氨铜水剂 15% copper ammonium complex AS	山西永合化工有限公司 Shanxi Yonghe Chemical Co., Ltd.
	29	20%噻菌铜悬浮剂 20% thiodiazole copper SC	浙江龙湾化工有限公司 Zhejiang Longwan Chemical Co., Ltd.
	30	20%噻森铜悬浮剂 20% thiacloprid copper SC	浙江东风化工有限公司 Zhejiang Dongfeng Chemical Co., Ltd.
	31	33.5%喹啉铜悬浮剂 33.5% quinoline copper SC	上海沪联生物药业股份有限公司 Shanghai Hualian Biopharmaceutical Co., Ltd.
	32	20%松脂酸铜水乳剂 20% copper rosinate emulsion in water(EW)	青岛海纳生物科技有限公司 Qingdao Haina Biotechnology Co., Ltd.
	33	20%乙酸铜可湿性粉剂 20% copper acetate WP	山东潍坊双星农药有限公司 Shandong Weifang Shuangxing Pesticide Co., Ltd.
	34	30%琥珀胶肥酸铜可湿性粉剂 30% copper succinate WP	黑龙江省齐齐哈尔市四有化工有限公司 Heilongjiang Qiqihar Siyou Chemical Co., Ltd.

级,疮痂病斑面积占薯块面积的1%~10%;3级,疮痂病斑面积占薯块面积的11%~20%;4级,疮痂病斑面积占薯块面积的21%~50%;5级,疮痂病斑面积占薯块面积的50%以上。

大白菜软腐病病害分级方法:参考李伟明等^[2]的划分标准。分级标准如下:0级,无病斑;1级,病斑面积占整个组织面积的5%以下;2级,病斑面积占整个组织面积的5%~10%;3级,病斑面积占整个组织面积的11%~20%;4级,病斑面积占整个组织面积的21%~50%;5级,病斑面积占整个组织面积的50%以上。

分别统计马铃薯疮痂病和大白菜软腐病的病情指数,并计算防治效果(简称,防效)。

病情指数= $\frac{\sum(\text{各级样本数} \times \text{相对级数值})}{(\text{调查总样本数} \times \text{最高发病级别})} \times 100$; (1)

防效/%= $\frac{(\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数})}{\text{对照病情指数}} \times 100$ 。 (2)

1.3 数据分析

采用SPSS 26.0软件对试验数据进行统计分析,选用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验,显著性水平设为 $P < 0.05$;采用R 4.3.1软件,根据抑菌圈直径和离体防效对杀菌剂进行系统聚类分析;采用多元方差分析探究病害种类与药剂类型对抑菌圈直径和离体防效的联合影响。

2 结果与分析

2.1 马铃薯疮痂病室内药剂筛选

2.1.1 室内平板抑菌筛选 对34种不同类型杀菌剂的马铃薯疮痂病菌抑菌圈直径进行聚类分析,结果如图1所示。3类杀菌剂对马铃薯疮痂病菌的抑菌圈直径存在明显差异,其中化学杀菌剂(非铜)整体抑菌圈直径较大,表现出较强的抑菌效果,80%乙蒜素乳油的抑菌效果最佳,抑菌圈直径达5.86 cm。生物杀菌剂的抑菌圈直径多处于中高水平,部分集中在2~4 cm之间,以0.3%四霉素水剂效果最好,抑菌圈直径为4.80 cm。铜制剂的抑菌效果较弱,其中80%波尔多液可湿性粉剂表现最优,抑菌圈直径为2.01 cm。单因素方差分析结果如图2所示,化学杀菌剂(非铜)抑菌圈直径显著大于生物杀菌剂和铜制剂,而生物杀菌剂与铜制剂之间无显著差异。

2.1.2 室内离体防效筛选 对34种不同类型的杀菌剂对马铃薯疮痂病的离体防效进行聚类分析结果如图3所示,3类杀菌剂的防效呈现出明显差异。铜制剂的防效表现优异,防效均在57%以上,其中80%波尔多液可湿性粉剂和33.5%喹啉铜悬浮剂等药剂效果尤为突出,防效分别为71.88%和68.95%。生物杀菌剂的防效次之,多处于中高水平,如1000亿芽孢·g⁻¹枯草芽孢杆菌可湿性粉剂和

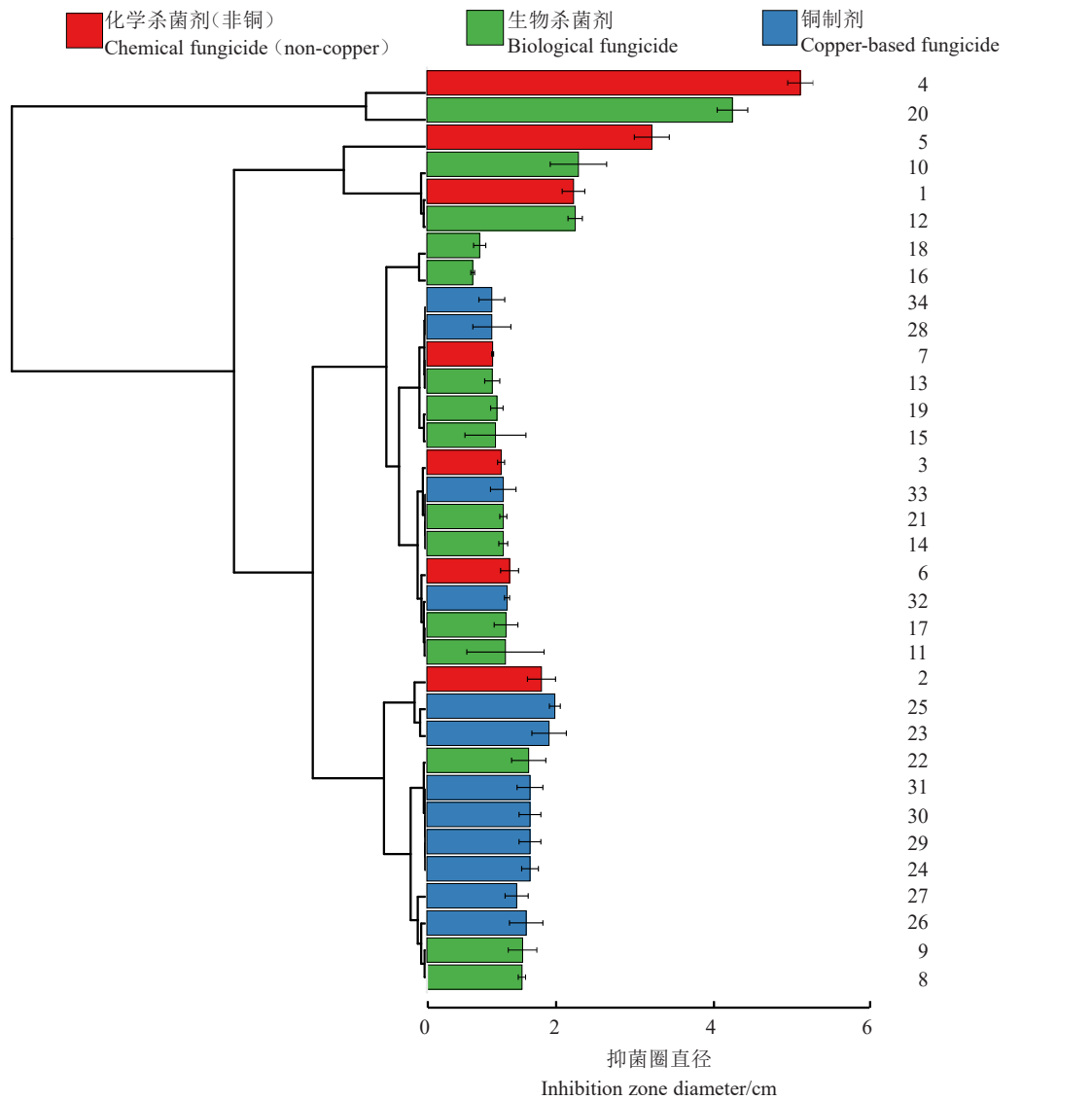
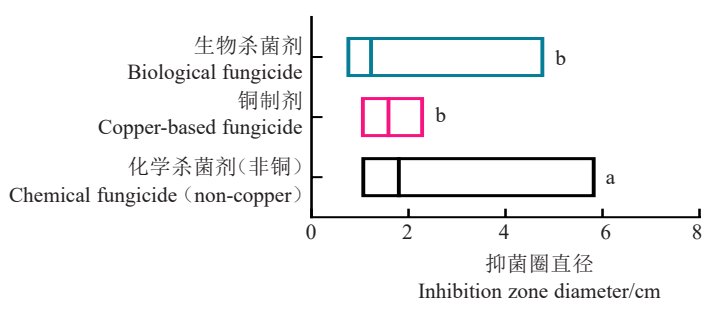


图1 不同类型杀菌剂的马铃薯疮痂病菌抑菌圈直径聚类分析
Fig. 1 Cluster analysis of inhibition zone diameters of different types of fungicides against the pathogen of potato common scab



注:不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。
 Note: Different small letters indicate significant difference between different treatments ($P < 0.05$). The same below.

图2 不同类型杀菌剂的马铃薯疮痂病菌抑菌圈直径比较
Fig. 2 Comparison of inhibition zone diameter of different types of fungicides against potato common scab pathogen

5 亿芽孢·g⁻¹ 荧光假单胞杆菌可湿性粉剂的防效均超过 70%。化学杀菌剂(非铜)的整体防效较低,多数药剂防效集中于低值区间,50%三氯异氰尿酸可

溶粉剂和 30%噻唑锌悬浮剂防效相对较高,均超过 50%,但其余大部分药剂的防效均低于 30%。单因素方差分析结果如图 4 所示,生物杀菌剂与铜制剂

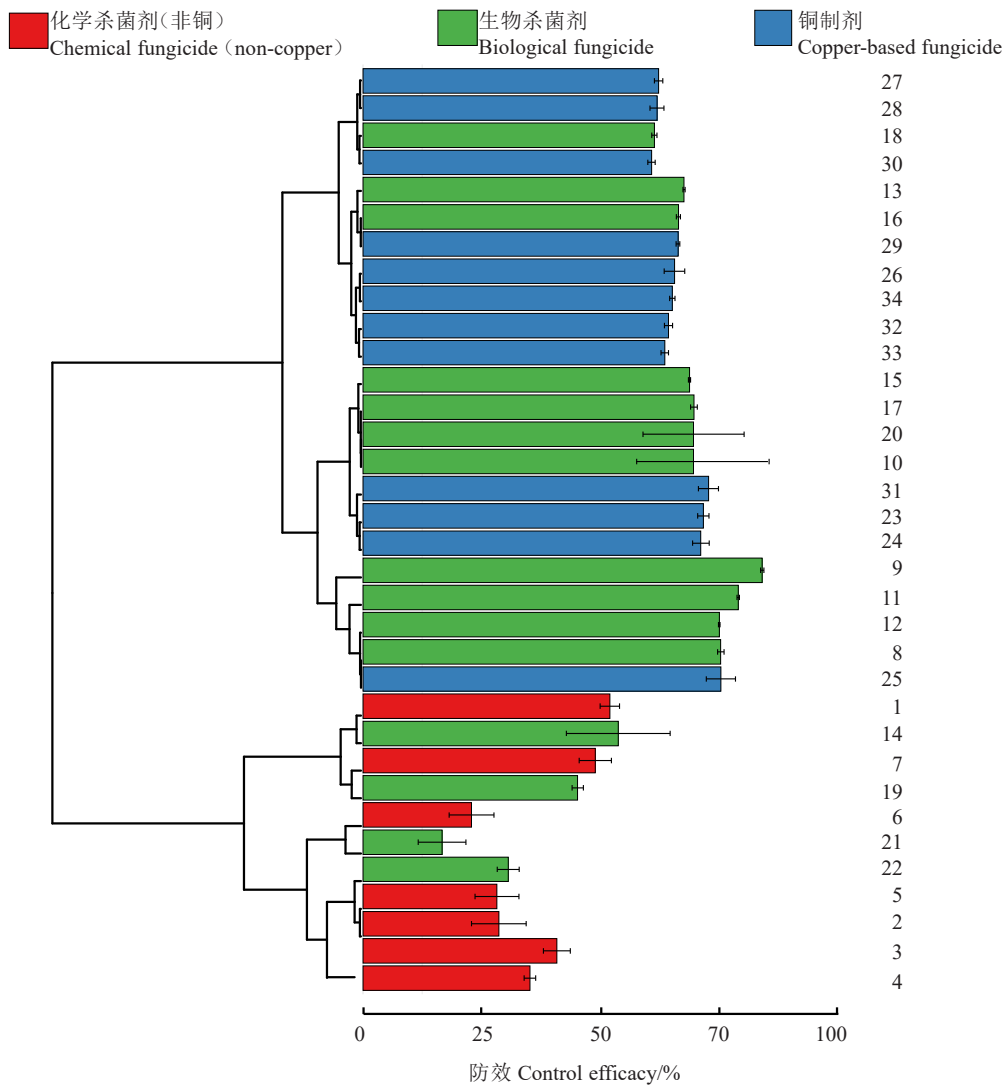


图3 不同类型杀菌剂对马铃薯疮痂病离体防效的聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of *in vitro* control efficacy of different types of fungicides against potato common scab

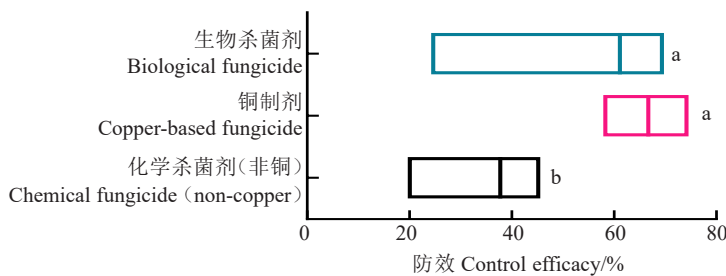


图4 不同类型杀菌剂对马铃薯疮痂病的离体防效比较

Fig. 4 Comparison of *in vitro* control efficacy of different types of fungicides against potato common scab

防效均显著高于化学杀菌剂(非铜),但两者之间的防效无显著差异。

2.2 大白菜软腐病室内药剂筛选

2.2.1 室内平板抑菌筛选 对34种不同类型杀菌剂的大白菜软腐病病菌抑菌圈直径进行聚类分析,结果如图5所示,3类杀菌剂的大白菜软腐病病菌

抑菌圈直径存在明显差异。铜制剂抑菌圈直径较大,以80%波尔多液可湿性粉剂表现最佳,为2.1 cm,86.2%氧化亚铜可湿性粉剂和20%噻菌铜悬浮剂次之,抑菌圈直径分别为1.92和1.80 cm。化学杀菌剂(非铜)的整体抑菌圈直径处于中等范围,多数集中在1~2 cm之间,其中80%乙蒜素乳油的抑菌效

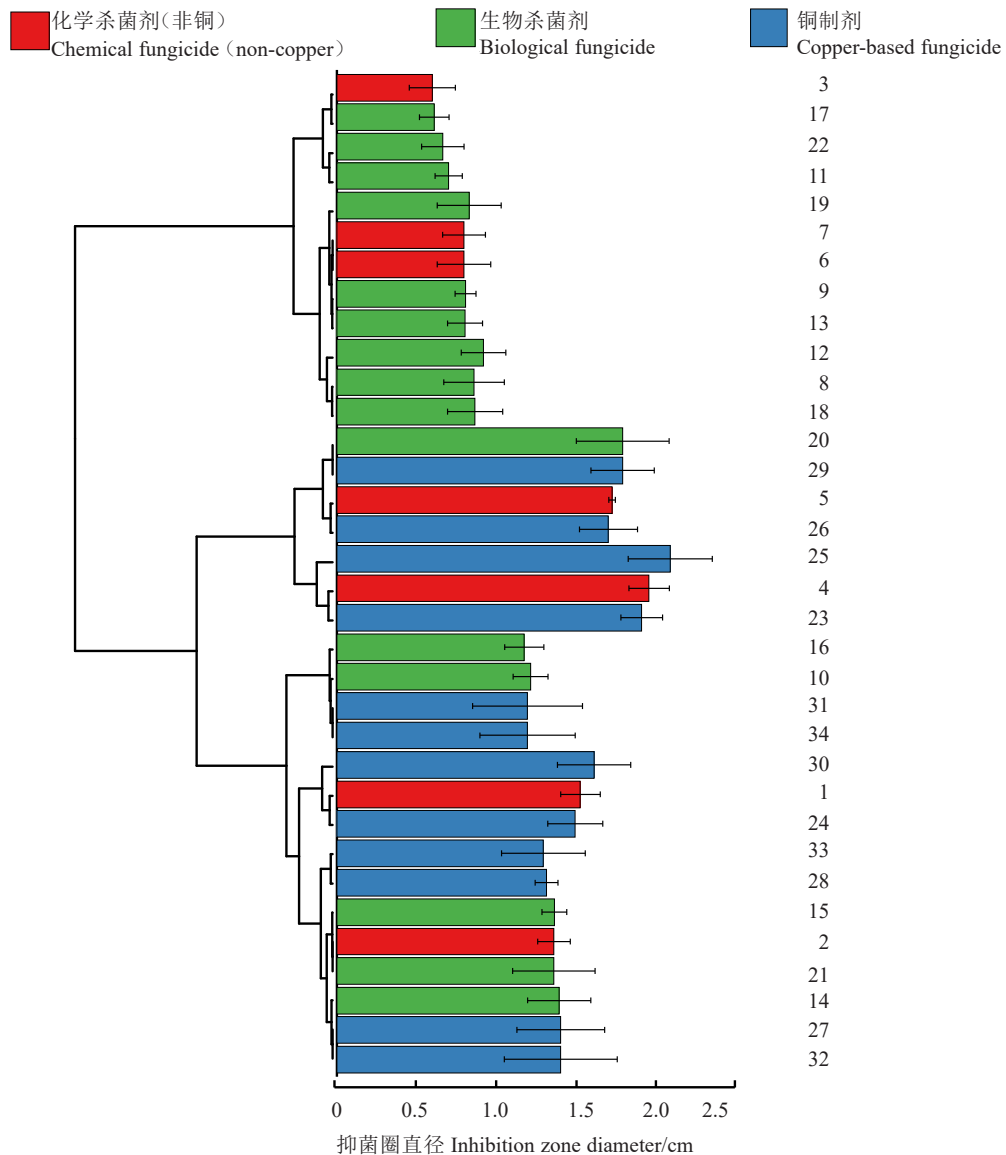


图5 不同类型杀菌剂的大白菜软腐病菌抑菌圈直径聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of inhibition zone diameter of different types of fungicides against the pathogen of Chinese cabbage soft rot

果最佳,抑菌圈直径为 1.97 cm。生物杀菌剂的抑菌圈直径普遍较小,多数在 1 cm 左右,其中 0.3%四霉素水剂抑菌效果最好,抑菌圈直径达 1.80 cm,部分药剂如 4%小檗碱硫酸盐水剂、1%香芹酚水剂和 1%申嗪霉素悬浮剂的抑菌圈直径均接近 1.50 cm。单因素方差分析结果如图 6 所示,铜制剂的抑菌圈直径显著大于化学杀菌剂(非铜)和生物杀菌剂,而化学杀菌剂(非铜)又显著大于生物杀菌剂。

2.2.2 室内离体防效筛选 对 34 种不同类型的杀菌剂对白菜软腐病的离体防效进行聚类分析,结果如图 7 所示,3 类药剂的防效呈现出明显差异。生物杀菌剂的防效部分表现优异,如 1000 亿芽孢·g⁻¹

枯草芽孢杆菌可湿性粉剂、10 亿芽孢·g⁻¹解淀粉芽孢杆菌可湿性粉剂和 5 亿芽孢·g⁻¹荧光假单胞杆菌可湿性粉剂的防效均超过 80%,分别达到 83.53%、82.92%和 81.52%。铜制剂的防效整体表现较好,均于中高水平,80%波尔多液可湿性粉剂效果最好,防效为 78.46%,86.2%氧化亚铜可湿性粉剂次之,防效为 76.87%。化学杀菌剂(非铜)的整体防效较低,其中 50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂的防效最佳,为 63.95%,30%噻唑锌悬浮剂和 80%乙蒜素乳油次之,分别为 61.24%和 60.95%,其余大部分药剂防效低于 50%。单因素方差分析如图 8 所示,生物杀菌剂和铜制剂的防效均显著高于化学杀菌剂(非铜),

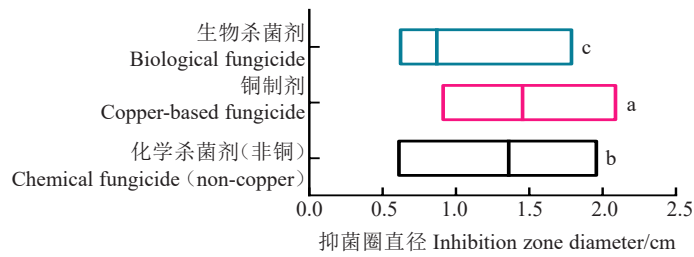


图6 不同类型杀菌剂的大白菜软腐病病菌抑菌圈直径比较

Fig. 6 Comparison of inhibition zone diameter of different types of fungicides against the pathogen of Chinese cabbage soft rot

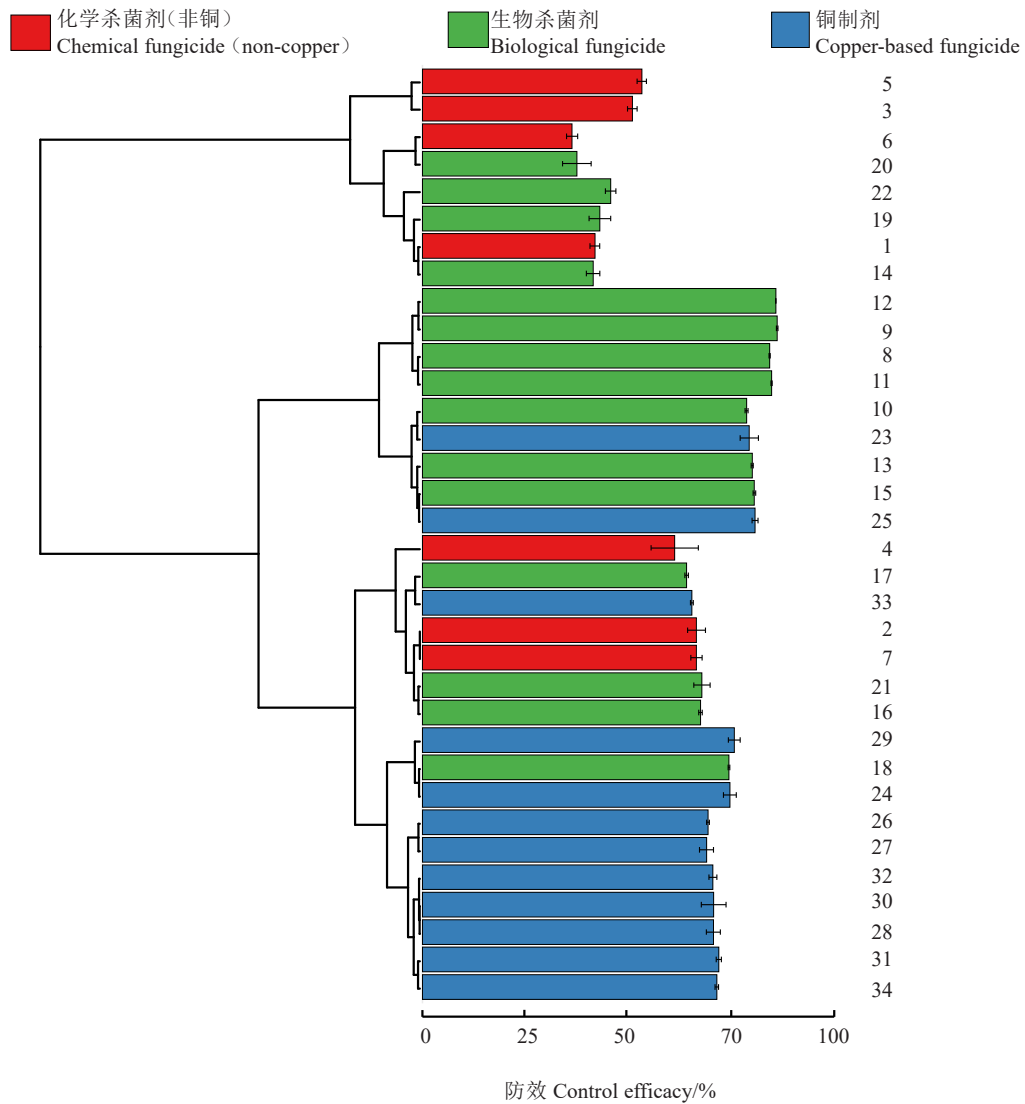


图7 不同类型杀菌剂对大白菜软腐病离体防效的聚类分析

Fig. 7 Cluster analysis of *in vitro* control efficacy of different types of fungicides against Chinese cabbage soft rot

但两者之间的防效无显著差异。

2.3 不同杀菌剂对马铃薯疮痂病和大白菜软腐病的作用效应及机制解析

本研究通过多元方差分析探究了病害种类与药剂类型对抑菌圈直径和离体防效的联合影响,结果如表2所示。病害种类($P=0.001$)和药剂类型

($P<0.001$)均对抑菌圈直径与离体防效有极显著影响,而两者交互作用未达显著水平($P=0.108$)。单变量分析显示,病害种类对抑菌圈直径($P=0.007$)和离体防效($P=0.008$)均具有极显著影响;药剂类型对离体防效影响极显著($P<0.001$),但对抑菌圈直径无显著影响($P=0.111$);两者交互作用对抑菌圈

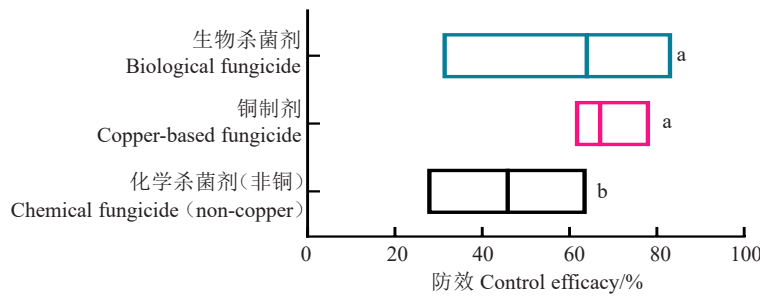


图8 不同类型杀菌剂对大白菜软腐病的离体防效比较

Fig. 8 Comparison of *in vitro* control efficacy of different types of fungicides against Chinese cabbage soft rot

表2 病害种类和杀菌剂类型对抑菌圈直径及离体防效的多元统计分析

Table 2 Multivariate statistical analysis of disease type and bactericide type on inhibition zone diameter and *in vitro* control efficacy

分析维度 Analysis dimension	因素 Factor	指标 Index	值 Value	显著性 Significance(P)	效应量(偏 Eta 平方) Effect size (Partial Eta squared)
多变量整体效应 Multivariate overall effect	病害种类 Disease type	威尔克 λ 值 Wilks' λ value	0.786	0.001	0.214
	药剂类型 Pesticide type	威尔克 λ 值 Wilks' λ value	0.619	0.000	0.213
	病害种类×药剂类型 Disease type× Pesticide type	威尔克 λ 值 Wilks' λ value	0.884	0.108	0.060
单变量细分效应 Univariate subdivided effect	病害种类 Disease type	抑菌圈直径 Inhibition zone diameter	F=7.855	0.007	0.112
		离体防效 <i>In vitro</i> control efficacy	F=7.557	0.008	0.109
	药剂类型 Pesticide type	抑菌圈直径 Inhibition zone diameter	F=2.282	0.111	0.069
		离体防效 <i>In vitro</i> control efficacy	F=15.425	0.000	0.332
	病害种类×药剂类型 Disease type×Pesticide type	抑菌圈直径 Inhibition zone diameter	F=2.792	0.069	0.083
		离体防效 <i>In vitro</i> control efficacy	F=0.995	0.375	0.031
模型拟合优度 Model goodness of fit	抑菌圈直径模型 Inhibition zone diameter model	调整 R ² Adjusted R ²	0.144		
	离体防效模型 <i>In vitro</i> control efficacy model	调整 R ² Adjusted R ²	0.336		

注: P<0.05 表示处理间差异显著, P<0.01 表示处理间差异极显著, P>0.05 表示处理间无显著差异。

Note: P<0.05 indicates significant difference among different treatments, P<0.01 indicates extremely significant difference among different treatments, P>0.05 indicates no significant difference among different treatments.

直径(P=0.069)与离体防效(P=0.375)影响均未达显著水平。模型拟合优度分析表明,离体防效模型(调整 R²=0.336)优于抑菌圈直径模型(调整 R²=0.144),说明离体防效能更稳定地反映药剂与病害间的作用关系。

3 讨论

马铃薯疮痂病和大白菜软腐病分别是马铃薯、大白菜生产中危害最严重的病害之一,其中马铃薯疮痂病主要是由疮痂链霉菌(放线菌)引起的,大

白菜软腐病是由胡萝卜软腐果胶杆菌(细菌)导致的,2种病害的暴发流行严重制约了我国马铃薯和大白菜产业的健康发展。本研究通过室内平板抑菌试验和室内离体防效试验测定了3类共34种杀菌剂对2种病害抑菌圈直径的效应和防治效果。结果显示,不同类型杀菌剂对同一病害的防控效果存在显著差异,同一类型杀菌剂对2种病害的防控效果也有所不同。

在离体防效方面,生物杀菌剂与铜制剂对马铃薯疮痂病和大白菜软腐病的防治效果整体显著优

于化学杀菌剂(非铜),但在抑菌圈直径上,部分化学杀菌剂(非铜)表现出一定优势,这与两类试验原理及不同杀菌剂作用机制密切相关:室内平板试验仅反映药剂对病原菌的直接抑菌活性,而离体防效试验更贴近田间实际,能综合体现药剂对病害扩展的抑制能力^[23]。生物杀菌剂兼具抑菌与诱导抗病,铜制剂依靠释放铜离子实现杀菌防护,化学杀菌剂(非铜)则因作用方式相对单一、易使病原菌产生抗药性等问题,综合防治效果相对有限。例如:化学杀菌剂(非铜)中80%乙蒜素乳油对2种病害平板抑菌效果均最好,但离体防效均不及平板抑菌效果,这可能是由于离体试验缺乏植物组织响应,限制了药剂分布与渗透,不能激活植物免疫系统,难以完全抑制病害扩展,平板乙蒜素浓度高能快速抑制单一菌落^[23]。所以田间筛选马铃薯疮痂病和大白菜软腐病防治药剂时,应优先考虑生物杀菌剂和铜制剂。

由马铃薯疮痂病与大白菜软腐病室内平板抑菌试验和离体防效试验结果可知,多数铜制剂对2种病害均表现出较好的防效,可能与铜制剂可通过释放铜离子使病原菌细胞膜、蛋白质等结构和功能受损,抑制其生长繁殖,施用于作物表面后,能形成一层保护膜预防病菌侵染有关。无机铜制剂有较高的水溶性,能够快速释放铜离子,在短期内达到较高杀菌浓度,特别适合暴发性病害的应急防控,其中本研究中表现优异的80%波尔多液可湿性粉剂和86.2%氧化亚铜可湿性粉剂即为典型的无机铜制剂,其水溶性强,能快速释放铜离子,短期内形成有效杀菌浓度^[24],对马铃薯疮痂病和大白菜软腐病防效较突出,是2种暴发性病害应急防控的优选药剂;有机铜制剂如20%噻菌铜悬浮剂和33.5%喹啉铜悬浮剂通过创新的分子设计,实现了铜离子的可控释放,兼具速效性和持久性优势。生物杀菌剂中,0.3%四霉素水剂、1000亿芽孢·g⁻¹枯草芽孢杆菌可湿性粉剂、10亿芽孢·g⁻¹解淀粉芽孢杆菌可湿性粉剂和5亿芽孢·g⁻¹荧光假单胞杆菌可湿性粉剂对2种病害防效较好。其中,0.3%四霉素水剂^[25]是一种高效、低毒的微生物源农药,对靶标作物安全,对环境影响小,是一种新型的杀菌剂,可防治大部分由真菌或细菌引起的病害。宁楠楠等^[26]已证实0.3%四霉素水剂对马铃薯疮痂病具有良好的防治效果,与本研究结果一致;1000亿芽孢·g⁻¹枯草芽孢杆菌可湿性粉剂防效突出,与其产抗生素、诱导植物系统抗性等多

样生防机制有关^[27];解淀粉芽孢杆菌可能通过空间竞争、抗菌物质分泌和诱导植物抗性等作用机制减轻病害发生^[28];荧光假单胞杆菌可通过分泌抗菌产物、竞争生态位,抑制病原菌生长^[29]。化学杀菌剂(非铜)中,80%乙蒜素乳油、30%噻唑锌悬浮剂、50%三氯异氰尿酸可溶粉剂和50%氯溴异氰尿酸可溶粉剂对2种病害的防治效果较好。其中,80%乙蒜素乳油因二硫戊环结构具有优异的膜穿透性,可高效抑菌杀菌^[30];噻唑锌是噻二唑类有机锌杀菌剂,具有对真菌和细菌病害的防治作用,其作用机制包括保护和内吸杀菌,其含有的噻唑基团对细菌有良好的防效,且锌离子可对作物补锌。吴阅兵等^[31]的研究已证实噻唑锌对马铃薯疮痂病具有良好的防治效果,与本研究结果一致。氯溴异氰尿酸对细菌、真菌、病毒均具有很好的抑制活性,同时兼具内吸和保护作用^[32],三氯异氰尿酸以内吸作用为主,保护作用较弱,二者核心共性是均能释放次氯酸,发挥广谱抑菌、杀菌作用。

通过多元方差分析发现,病害种类对离体防效具有显著影响($P < 0.01$),这可能与马铃薯疮痂病病菌(放线菌)和大白菜软腐病病菌(细菌)在分类地位及侵染机制上的差异密切相关。同时,离体防效模型对变异的解释能力(调整 $R^2 = 0.336$)优于抑菌圈模型(调整 $R^2 = 0.144$),表明离体防效更能可靠地反映药剂的真实防控潜力,建议在药剂筛选中予以优先考虑。2种病害对药剂的响应差异还可能受到寄主组织特性的影响,如马铃薯块茎皮层较厚,而大白菜组织相对柔薄,可能导致药剂在不同系统中的渗透与分布表现不一致。需要指出的是,本研究仅基于室内试验,尚未开展田间验证及药剂复配研究。今后可进一步探究铜制剂与生物杀菌剂的复配效应、剂型优化以及抗药性机制,以推动该类药剂在实际生产中的应用。

4 结论

本研究以马铃薯疮痂病和大白菜软腐病为研究对象,经室内平板抑菌试验、室内离体防效试验及多元方差分析,探究化学杀菌剂(非铜)、铜制剂、生物杀菌剂3类药剂的作用差异及病害-药剂关联特征。结果显示,2种病害对药剂响应存在显著特异性,且药剂抑菌能力与离体防效未呈一致关联:在离体防效试验中,铜制剂与生物杀菌剂对2种病害离体防治效果均显著优于化学杀菌剂(非铜),但在平板抑菌试验中,对马铃薯疮痂病化学杀菌剂

(非铜)表现突出,而对大白菜软腐病则以铜制剂表现最优。

多元方差分析显示,病害种类与药剂类型对抑菌圈直径、离体防效的综合影响显著,药剂类型对离体防效调控影响极显著但对抑菌圈直径无显著作用;离体防效模型拟合优度更优,可作为可靠的药剂筛选指标。筛选得出,对马铃薯疮痂病和大白菜软腐病防效最佳的生物杀菌剂均为 1000 亿芽孢·g⁻¹ 枯草芽孢杆菌可湿性粉剂(离体防效分别为 77.67% 和 83.53%),防效最佳的铜制剂均为 80%波尔多液可湿性粉剂(离体防效分别为 71.88%和 78.46%)

综上,1000 亿芽孢·g⁻¹ 枯草芽孢杆菌可湿性粉剂和 80%波尔多液可湿性粉剂可作为防治 2 种病害的优先选择药剂;田间筛选马铃薯疮痂病和大白菜软腐病防治药剂时,应优先考虑生物杀菌剂和铜制剂,本研究为 2 种病害的田间精准选药提供了理论支撑。平板抑菌试验结果与离体防效试验结果存在一些差异,初步筛选出的药剂,还需进行田间药效试验进一步验证。

参考文献

- [1] 张成龙. 施氮量、栽培密度及追肥种类对马铃薯产量和品质的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2023.
- [2] 闫嘉琦,郎贤波,吴京姬,等. 5 种杀菌剂对马铃薯疮痂病的田间防治效果及安全性分析[J]. 农业科技通讯,2022(12):130-133.
- [3] 陈宇飞,石瑛,张丽莉,等. 10 种杀菌剂不同施药方式对马铃薯生长和疮痂病防效影响[J]. 中国马铃薯,2021,35(3):262-271.
- [4] 夏善勇,盛万民. 我国马铃薯疮痂病及其防治研究进展[J]. 植物保护,2022,48(1):7-16.
- [5] 夏善勇,牛志敏,李庆全,等. 马铃薯疮痂病菌及防控手段研究进展[J]. 中国瓜菜,2022,35(8):12-17.
- [6] 覃诗扬,陆凌晨,谢学文,等. 生防菌 ZF510 的分离鉴定及其对白菜细菌性软腐病的防治效果研究[J]. 中国生物防治学报,2024,40(1):146-156.
- [7] 王建军. 我国大白菜生产现状及发展对策[J]. 中国果菜,2020,40(7):80-82.
- [8] 高天一,任锡亮,孟秋峰,等. 不同环境因子对不结球白菜软腐病发生的影响[J]. 湖南农业科学,2023(6):70-72.
- [9] 王超,李宏伟,王翠,等. 防治大白菜软腐病细菌菌株的筛选与鉴定[J]. 江苏农业科学,2013,41(12):114-117.
- [10] 魏林. 大白菜软腐病的综合防治方法[J]. 湖南农业,2023(2):15.
- [11] 杨冰,平原,杜春梅. 马铃薯疮痂病的致病机制及防治研究进展[J]. 中国农学通报,2021,37(18):131-137.
- [12] 刘燕敏. 黄芩和茵陈上两种新病害的鉴定及其化学杀菌剂和生防菌筛选[D]. 北京:北京协和医学院,2024.
- [13] 罗佑红. 橡胶树红根病拮抗内生细菌筛选及化学杀菌剂协同防效研究[D]. 湖北荆州:长江大学,2024.
- [14] 杨志毅,王惠林,王瑞,等. 六种铜制剂对主要甜瓜生长指标、产量和品质的影响[J]. 新疆农业科学,2023,60(12):3008-3017.
- [15] 何梦秀,黄志琼,秦和生,等. 4 种铜制剂防治沃柑溃疡病的田间药效试验[J]. 现代农业科技,2023(6):110-113.
- [16] 高娜莹. 防治柑橘溃疡病的铜制剂筛选与防效评价[D]. 长沙:湖南农业大学,2022.
- [17] 郭静怡. 两种白芨病原真菌的鉴定及室内杀菌剂筛选[D]. 南宁:广西民族大学,2024.
- [18] 王玥,马永强. 马铃薯黑腐果胶杆菌分离鉴定及室内药剂筛选[J]. 干旱地区农业研究,2025,43(1):241-249.
- [19] 赵兴丽,李佳,刘思睿,等. 马铃薯早疫病病原鉴定及室内药剂筛选[J]. 贵州农业科学,2025,53(11):52-59.
- [20] 赵远征,徐利敏,聂峰杰,等. 不同马铃薯品种抗疮痂病的田间鉴定与评价[J]. 北方农业学报,2020,48(1):81-86.
- [21] 李伟明,秦俊,焦加国,等. 间作大蒜配施农残净对大白菜软腐病防治效果、品质及产量的影响[J]. 长江蔬菜,2020(14):71-74.
- [22] 郑莫非. 3 种杀菌剂及其复配剂对香梨树腐烂病防效评价及 2 种诱抗剂增效作用[D]. 新疆阿拉尔:塔里木大学,2022.
- [23] 苏晓州,常翠莲,高承宇,等. 乙蒜素对苹果树腐烂病的防治效果与其作用机理[J]. 植物保护学报,2024,51(4):863-874.
- [24] 罗子罗珑,李洋. 农业细菌性病害及其防治进展[J]. 世界农药,2024,46(9):15-22.
- [25] 张晖,许晓丹. 0.3%四霉素水剂防治杨树溃疡病试验[J]. 现代化农业,2012(12):4-5.
- [26] 宁楠楠,咸文荣,马永强,等. 0.3%四霉素水剂防治马铃薯疮痂病田间药效试验[J]. 青海农林科技,2020(3):86-88.
- [27] 张万强,任立瑞,折红军,等. 枯草芽孢杆菌生防机制与剂型加工及联用研究进展[J]. 农药,2024,63(8):547-553.
- [28] 范盈盈,戴莹莹,张媛媛,等. 解淀粉芽孢杆菌脂肽提取物对番茄链格孢菌的抑菌机制研究[J]. 广东农业科学,2025,52(3):1-13.
- [29] 潘俊,毛忠顺,李霞,等. 利用枯草芽孢杆菌和荧光假单胞杆菌防治石榴枯萎病的初步研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2013,28(1):27-31.
- [30] 马娟,王佳丽,彭功银. 4 种常用杀菌剂对烟草根黑腐病的田间防效[J]. 农技服务,2025,42(12):48-51.
- [31] 吴阅兵,马旭阳,蔡雨卿,等. 榆林地区马铃薯疮痂病防治药剂筛选[J]. 西北农业学报,2025,34(12):2358-2364.
- [32] 李思博,王斌,孙芹. 几种杀细菌剂对黄瓜细菌性角斑病和大白菜软腐病的防治效果[J]. 农药,2026,65(2):140-144.