

不同杀菌剂对3种蔬菜病原真菌的 抑菌活性及防效评价

张彤彤^{1,2}, 黄伟¹, 王芳芳¹, 张武¹, 吕和平³, 梁宏杰¹

(1. 甘肃省农业科学院马铃薯研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃一航薯业科技发展有限责任公司, 甘肃 定西 748201; 3. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 筛选能有效防治甘蓝菌核病、马铃薯茎基腐病和黄瓜灰霉病3种蔬菜真菌性病害的适宜杀菌剂, 为蔬菜病害防治提供低毒高效的杀菌剂选择, 缓解常用的多菌灵、菌核净、啞霉胺等杀菌剂的抗药性发展。采用菌丝生长速率法测定了25%吡唑醚菌酯悬浮剂、50%戊唑醇悬浮剂、240 g/L噻呋酰胺悬浮剂3种化学合成杀菌剂和0.2%白藜芦醇可溶液剂、0.5%小檗碱水剂以及1%蛇床子素水乳剂3种植物源杀菌剂对核盘菌、立枯丝核菌、灰葡萄孢3种蔬菜病原真菌的离体抑菌活性, 并对甘蓝、马铃薯、黄瓜3种蔬菜的盆栽防效作了初步评价。结果表明, 50%戊唑醇悬浮剂对灰葡萄孢和核盘菌抑菌效果最佳, 其次是25%吡唑醚菌酯悬浮剂; 240 g/L噻呋酰胺悬浮剂对立枯丝核菌的抑菌效果最佳, 盆栽防效均在77%以上, 其次是25%吡唑醚菌酯悬浮剂; 0.2%白藜芦醇可溶液剂、0.5%小檗碱水剂、1%蛇床子素水乳剂对核盘菌、立枯丝核菌的盆栽防效显著低于以上3种化学合成杀菌剂。综上所述, 25%吡唑醚菌酯悬浮剂和50%戊唑醇悬浮剂具有较好的广谱性, 均可防治核盘菌、立枯丝核菌、灰葡萄孢3种病原真菌; 240 g/L噻呋酰胺悬浮剂适合防治立枯丝核菌引起的病害; 其余3种植物源杀菌剂较低剂量不适合单独使用。

关键词: 核盘菌; 立枯丝核菌; 灰葡萄孢; 离体抑菌活性; 盆栽防效

中图分类号: S436.3

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2026)04-0367-07

[doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2026.04.013](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-2172.2026.04.013)

核盘菌 (*Sclerotinia sclerotiorum*)、立枯丝核菌 (*Rhizoctonia solani*)、灰葡萄孢 (*Botrytis cinerea*) 是引起蔬菜病害的3种主要病原真菌, 可以侵染甘蓝、马铃薯、黄瓜等蔬菜作物, 造成严重的经济损失^[1-6]。如核盘菌可以引起甘蓝等作物菌核病^[1], 立枯丝核菌可以引起马铃薯茎基腐病(黑痣病)^[2], 灰葡萄孢可以引起黄瓜的灰霉病^[5-6]。目前, 化学杀菌剂依旧是防治上述病害的主要措施, 多菌灵、菌核净、啞霉灵、啞霉胺等都是常用杀菌剂^[7-8]。杀菌剂不同于杀虫剂和除草剂等农药, 大多数情况下杀菌剂作为预防性的处理措施应用, 为保证对靶标生物的防效, 在一个农作物生产季使用次数高达10余次, 大幅增加了杀菌剂的总用量, 也在一定程度上加剧了环境压力和抗药性风险^[9-10]。尽管杀菌剂的使用采取了轮换用药、混合用药等多种防控策略, 但传统化学合成杀菌剂的不科学

使用仍然长期存在^[11-12], 不仅威胁着非靶标生物及环境安全^[13-15], 也导致了蔬菜病原真菌严重的抗药性, 常用的多菌灵、菌核净、啞霉胺已具有广泛的耐药性^[16-19]。特别是灰霉病具有危害范围广、易产生抗药性等特点, 在灰霉病的防治中抗药性、非靶标毒性等问题更加突出^[20-21]。为此, 我们选择低毒高效的化学合成杀菌剂吡唑醚菌酯、戊唑醇、噻呋酰胺和植物源杀菌剂白藜芦醇、小檗碱、蛇床子素为测试候选药剂, 通过菌丝生长速率法测定这6种具有不同作用机制的低毒杀菌剂的抑菌活性, 并开展核盘菌、立枯丝核菌、灰葡萄孢3种蔬菜病原真菌的盆栽防效初步评价。以期从中筛选出防治甘蓝菌核病、马铃薯茎基腐病和黄瓜灰霉病3种蔬菜真菌性病害的低毒高效杀菌剂, 为蔬菜病害防治提供可替代的药剂选择。同时, 缓解多菌灵、菌核净、啞霉胺等常用杀菌剂的抗

收稿日期: 2025-02-19; 修订日期: 2026-03-19

基金项目: 甘肃省农业科学院农业科技自主创新专项重点研发计划项目(2023GAAS20、2022GAAS29); 甘肃省科技厅乡村振兴专项(25CXNA038)。

作者简介: 张彤彤(1987—), 男, 甘肃武山人, 助理研究员, 研究方向为作物病虫害与种薯繁育。Email: 466046423@qq.com。

通信作者: 黄伟(1978—), 男, 甘肃秦安人, 助理研究员, 研究方向为马铃薯栽培和病害防控。Email: 87921692@qq.com。

药性发展。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 杀菌剂 供试杀菌剂为25%吡唑醚菌酯悬浮剂，由山东中新科农生物科技有限公司生产；50%戊唑醇悬浮剂，由山东青岛东生药业有限公司生产；240 g/L噻呋酰胺悬浮剂，由四川润尔科技有限公司生产；0.2%白藜芦醇可溶液剂，由内蒙古清源保生物科技有限公司生产；0.5%小檗碱水剂，由山东圣鹏科技股份有限公司生产；1%蛇床子素水乳剂，由山东惠民中联生物科技有限公司生产。其中吡唑醚菌酯、戊唑醇、噻呋酰胺属于化学合成类杀菌剂，白藜芦醇、小檗碱、蛇床子素属于植物源杀菌剂。

1.1.2 病原真菌 供试病原真菌核盘菌 (*Sclerotinia sclerotiorum*)、立枯丝核菌 (*Rhizoctonia solani*)、灰葡萄孢 (*Botrytis cinerea*) 均为田间分离菌株，均由甘肃省农业科学院植物保护研究所提供。菌种经活化后存放在4℃冰箱中，备用。离体培养基为PDA培养基(马铃薯200 g、葡萄糖20 g、琼脂粉15~20 g、无菌水1 000 mL)。

1.2 杀菌剂对病原菌的离体抑菌活性测定

采用菌丝生长速率法测定^[2]。25%吡唑醚菌酯悬浮剂、50%戊唑醇悬浮剂、240 g/L噻呋酰胺悬浮剂分别按照有效成分剂量0.05、0.10、0.20、0.40、0.80、1.60、3.20 μg/mL进行测定，240 g/L噻呋酰胺悬浮剂对灰葡萄孢的剂量增加至6.4、12.8、25.6 μg/mL；0.2%白藜芦醇可溶液剂按照有效成分剂量为1.0、2.0、4.0、8.0、16.0 μg/mL进行测定；0.5%小檗碱水剂按照有效成分剂量为1.0、2.5、5.0、8.0、10.0、20.0、40.0、80.0、

160.0、320.0 μg/mL进行测定；1%蛇床子素水乳剂按照有效成分剂量为16.0、32.0、64.0、128.0、256.0 μg/mL进行测定。先将各药剂分别用无菌蒸馏水稀释为有效成分1 000.0、10 000.0 μg/mL的母液备用，测定时用移液枪吸取适量母液至熔融的PDA中，使PDA中药剂有效成分剂量达到设定值。另外，各药剂设置3.2、16.0 μg/mL的剂量，用于比较抑制率。待菌丝长至培养皿2/3后，用十字交叉法测量菌丝生长直径，计算抑制率，重复3次。

抑制率= [(对照组菌落直径-处理组菌落直径) / (对照组菌落直径-菌饼直径)] × 100%

1.3 杀菌剂对病原菌的盆栽防效测定

采用盆栽蔬菜植株叶片接菌饼法测定防效^[22]。所有杀菌剂均按照有效成分剂量为100 μg/mL进行测定，设空白对照(CK)，重复3次，每个处理用药液20 mL。核盘菌采用盆栽甘蓝、立枯丝核菌采用盆栽马铃薯、灰葡萄孢采用盆栽黄瓜测定防效。选取生长45 d、长势一致健康植株，将药液均匀喷施到整株植株，12 h后将新鲜的菌饼接种到植株叶片，25℃、光照16 h、黑暗培养8 h，共培养72 h，十字交叉法测量病斑直径，计算防效。

防效= [(对照组病斑直径-处理组病斑直径) / (对照组病斑直径-菌饼直径)] × 100%

1.4 数据处理

采用SPSS 26.0软件计算EC₅₀值及毒理方程。

2 结果与分析

2.1 不同杀菌剂防治靶标分析

采用的6种杀菌剂杀菌机制各不相同，在中国登记的防治靶标也有所区别。从表1可知，以灰葡萄孢为防治靶标登记的杀菌剂分别为25%吡唑醚

表1 杀菌剂活性成分在中国登记的主要防治靶标情况

杀菌剂	登记主要防治靶标	病害致病菌 ^①
25%吡唑醚菌酯悬浮剂	灰霉病、霜霉病、白粉病、赤霉病、立枯病、晚疫病等	灰葡萄孢、立枯丝核菌
50%戊唑醇悬浮剂	白粉病、立枯病、斑点落叶病、黑穗病、赤霉病等	立枯丝核菌
240 g/L噻呋酰胺悬浮剂	纹枯病、黑痣病等	立枯丝核菌
0.2%白藜芦醇可溶液剂	灰霉病	灰葡萄孢
0.5%小檗碱水剂	灰霉病、白粉病、角斑病、疫霉病等	灰葡萄孢
1%蛇床子素水乳剂	白粉病、霜霉病、纹枯病、立枯病等	立枯丝核菌

①防治对象涉及本研究中的3种病害致病菌。

菌酯悬浮剂、0.2%白藜芦醇可溶液剂、0.5%小檗碱水剂, 以立枯丝核菌为防治靶标登记的杀菌剂分别为25%吡唑醚菌酯悬浮剂、50%戊唑醇悬浮剂、240 g/L噻呋酰胺悬浮剂、1%蛇床子素水乳剂, 这6种杀菌剂还未以核盘菌为防治靶标进行登记。从登记信息来看, 25%吡唑醚菌酯悬浮剂具有较广的杀菌谱, 登记的防治靶标最多。

2.2 不同杀菌剂对病原菌的离体抑菌活性

杀菌剂有效成分 EC_{50} 值的结果(表2)显示, 25%吡唑醚菌酯悬浮剂、50%戊唑醇悬浮剂、0.5%小檗碱水剂、1%蛇床子素水乳剂分别对核盘菌、立枯丝核菌、灰葡萄孢的 EC_{50} 值95%置信限有重合, 毒力在不同菌种之间无显著差异; 240 g/L噻呋酰胺悬浮剂对3种病原菌的 EC_{50} 值95%置信限无重合, 毒力差异显著, 毒力由高到低依次为立枯丝核菌、核盘菌、灰葡萄孢; 0.2%白藜芦醇可溶液剂对核盘菌的毒力显著高于立枯丝核菌和灰葡萄孢(EC_{50} 值95%置信限无重合), 而对立枯丝核

菌与灰葡萄孢的毒力相当(EC_{50} 值95%置信限重合)。结果表明, 对核盘菌和灰葡萄孢的抑制活性最高的是50%戊唑醇悬浮剂, 其次是25%吡唑醚菌酯悬浮剂; 240 g/L噻呋酰胺悬浮剂和50%戊唑醇悬浮剂对立枯丝核菌抑制活性相当(EC_{50} 值95%置信限重合), 且活性较高, 其次是25%吡唑醚菌酯悬浮剂; 植物源杀菌剂中, 0.2%白藜芦醇可溶液剂、0.5%小檗碱水剂对核盘菌、立枯丝核菌、灰葡萄孢具有较好的抑制活性。

如表3所示, 当杀菌剂浓度为3.2 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时, 50%戊唑醇悬浮剂对核盘菌的抑制率达100%, 显著高于其他杀菌剂; 25%吡唑醚菌酯悬浮剂和0.2%白藜芦醇可溶液剂较高, 抑制率均在83%以上; 其余杀菌剂抑制率较低, 特别是1%蛇床子素水乳剂几乎没有抑菌活性。240 g/L噻呋酰胺悬浮剂3.2 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 处理对立枯丝核菌抑制率达100%, 25%吡唑醚菌酯悬浮剂抑制率为83.54%, 0.5%小檗碱水剂和1%蛇床子素水乳剂抑制率不足30%。

表2 不同杀菌剂对3种病原菌的毒力

杀菌剂	病原菌	EC_{50} / $(\mu\text{g}/\text{mL})$	95%置信限 / $(\mu\text{g}/\text{mL})$	相关系数 (R^2)	毒力方程
25%吡唑醚菌酯悬浮剂	核盘菌	0.611 1	0.450 5 ~ 0.832 5	0.986 4	$y = 1.759 4x + 5.426 8$
	立枯丝核菌	0.778 7	0.643 1 ~ 0.956 8	0.978 1	$y = 1.370 9x + 5.222 1$
	灰葡萄孢	0.546 0	0.247 1 ~ 1.186 8	0.929 0	$y = 0.750 3x + 5.287 5$
50%戊唑醇悬浮剂	核盘菌	0.037 4	0.008 6 ~ 0.075 2	0.957 1	$y = 0.865 7x + 6.268 8$
	立枯丝核菌	0.140 8	0.064 6 ~ 0.233 6	0.980 7	$y = 0.457 7x + 5.389 0$
	灰葡萄孢	0.125 2	0.040 2 ~ 0.233 5	0.968 4	$y = 0.764 6x + 5.706 9$
240 g/L噻呋酰胺悬浮剂	核盘菌	2.013 9	1.540 5 ~ 2.832 4	0.996 2	$y = 1.247 5x + 4.612 0$
	立枯丝核菌	0.140 7	0.051 0 ~ 0.255 3	0.978 7	$y = 0.841 9x + 5.684 7$
	灰葡萄孢	10.756 9	6.541 8 ~ 21.598 4	0.990 3	$y = 1.437 6x + 3.581 7$
0.2%白藜芦醇可溶液剂	核盘菌	1.111 2	0.851 3 ~ 1.362 4	0.974 1	$y = 3.940 7x + 4.730 7$
	立枯丝核菌	2.132 5	1.811 2 ~ 2.453 2	0.991 4	$y = 2.066 9x + 4.327 6$
	灰葡萄孢	1.963 3	1.576 8 ~ 2.337 2	0.991 0	$y = 1.702 6x + 4.503 1$
0.5%小檗碱水剂	核盘菌	2.566 2	1.322 3 ~ 3.921 5	0.949 7	$y = 2.503 2x + 4.020 7$
	立枯丝核菌	5.014 5	1.762 5 ~ 8.836 4	0.935 2	$y = 0.877 9x + 4.412 1$
	灰葡萄孢	5.087 5	1.723 5 ~ 8.736 4	0.940 7	$y = 1.303 0x + 4.110 5$
1%蛇床子素水乳剂	核盘菌	46.720 5	38.695 0 ~ 55.520 5	0.999 7	$y = 1.598 6x + 2.331 3$
	立枯丝核菌	54.832 5	49.157 6 ~ 65.716 2	0.983 0	$y = 2.075 6x + 1.390 4$
	灰葡萄孢	54.234 6	46.586 8 ~ 62.827 7	0.995 6	$y = 1.699 7x + 2.075 2$

50%戊唑醇悬浮剂3.2 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 处理对灰葡萄孢抑制率达100%，25%吡唑醚菌酯悬浮剂抑制率为81.51%，其余杀菌剂抑制率均低于60%。

当处理浓度达到16.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时，各杀菌剂抑制率均大幅提升，其中25%吡唑醚菌酯悬浮剂、50%戊唑醇悬浮剂对3种病原菌的抑制率均达到100%；240 g/L噻呋酰胺悬浮剂对核盘菌和立枯丝核菌的抑制率达到了100%，对灰葡萄孢的抑制率不足67%；0.2%白藜芦醇可溶液剂对核盘菌的抑制率达到了100%，对立枯丝核菌和灰葡萄孢的抑制率均超过93%；0.5%小檗碱水剂对核盘菌的抑制率达到了100%，对立枯丝核菌和灰葡萄孢的抑制率均超过70%；1%蛇床子素水乳剂对3种病原菌的抑制率虽然也有大幅提升，但仍不足25%。

2.3 不同杀菌剂对3种蔬菜病原菌的盆栽防效

从表4可知，不同杀菌剂处理下3种蔬菜病原菌的病斑直径均小于CK。其中50%戊唑醇悬浮剂的核盘菌病斑直径最小，为8.50 mm；25%吡唑醚菌酯悬浮剂较小，为9.50 mm；1%蛇床子素水乳

剂最大，为14.67 mm。240 g/L噻呋酰胺悬浮剂的立枯丝核菌病斑直径最小，为8.67 mm；50%戊唑醇悬浮剂较小，为9.83 mm；0.5%小檗碱水剂最大，为15.67 mm。50%戊唑醇悬浮剂的灰葡萄孢病斑直径最小，为9.17 mm；25%吡唑醚菌酯悬浮剂较小，为9.33 mm；1%蛇床子素水乳剂最大，为14.17 mm。

3种蔬菜病原菌的盆栽防效结果（表4）显示，25%吡唑醚菌酯悬浮剂、50%戊唑醇悬浮剂具有较好的蔬菜盆栽防效和一定的广谱性，对3种蔬菜病害核盘菌、立枯丝核菌和灰葡萄孢的防效均高于70%；240 g/L噻呋酰胺悬浮剂对立枯丝核菌防效突出，达86.67%，对核盘菌和灰葡萄孢表现一般；相对于化学合成杀菌剂，植物源杀菌剂0.2%白藜芦醇可溶液剂、0.5%小檗碱水剂和1%蛇床子素水乳剂盆栽防效普遍较差，最高为64.79%。

3 讨论与结论

吡唑醚菌酯通过抑制线粒体呼吸作用发挥杀菌作用，戊唑醇能够抑制真菌麦角甾醇的生物合

表3 杀菌剂剂量对3种病原菌的抑制率^①

杀菌剂	3.2 $\mu\text{g}/\text{mL}$			16.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$		
	核盘菌	立枯丝核菌	灰葡萄孢	核盘菌	立枯丝核菌	灰葡萄孢
25%吡唑醚菌酯悬浮剂	83.68±1.82 b	83.54±1.84 b	81.51±2.38 b	100 a	100 a	100 a
50%戊唑醇悬浮剂	100 a	73.00±1.73 c	100 a	100 a	100 a	100 a
240 g/L噻呋酰胺悬浮剂	60.62±1.47 c	100 a	20.81±0.00 e	100 a	100 a	66.35±1.46 d
0.2%白藜芦醇可溶液剂	87.93±1.99 b	61.32±1.33 d	58.75±1.02 c	100 a	95.19±1.11 b	93.53±1.65 b
0.5%小檗碱水剂	45.26±1.22 d	28.65±1.16 e	43.66±1.35 d	100 a	70.24±1.06 b	76.32±1.52 c
1%蛇床子素水乳剂	2.62±0.42 e	5.54±0.78 f	3.12±0.55 f	22.92±0.80 b	15.01±1.12 c	20.59±1.70 e

①不同小写字母表示有效成分浓度不同的不同杀菌剂对同一病原菌的抑制率差异显著 ($P < 0.05$)，下同。

表4 不同杀菌剂对3种蔬菜病原菌的盆栽防效

杀菌剂	病斑直径/mm			防效/%		
	核盘菌	立枯丝核菌	灰葡萄孢	核盘菌	立枯丝核菌	灰葡萄孢
空白对照 (CK)	18.33±1.37 a	19.50±1.05 a	18.83±1.17 a			
25%吡唑醚菌酯悬浮剂	9.50±0.55 e	10.67±0.52 d	9.33±0.82 e	77.94±4.83 b	70.67±4.13 b	80.28±6.90 a
50%戊唑醇悬浮剂	8.50±0.84 f	9.83±0.75 d	9.17±0.75 e	86.76±7.38 a	77.33±6.02 b	81.69±6.36 a
240 g/L噻呋酰胺悬浮剂	11.00±0.89 d	8.67±0.82 e	12.50±0.55 c	64.71±7.89 c	86.67±6.53 a	53.52±4.63 c
0.2%白藜芦醇可溶液剂	12.50±0.55 c	13.83±0.75 c	11.17±0.75 d	51.47±4.83 d	45.33±6.02 c	64.79±6.36 b
0.5%小檗碱水剂	12.17±0.75 c	15.67±0.52 b	12.83±0.75 c	54.41±6.64 d	30.67±4.13 d	50.70±6.36 c
1%蛇床子素水乳剂	14.67±1.03 b	13.50±0.84 c	14.17±0.98 b	32.35±9.11 e	48.00±6.69 c	39.44±8.30 d

成, 噻呋酰胺是琥珀酸酯脱氢酶抑制剂^[23-25]。吡唑醚菌酯尚未在我国登记防治菌核病, 研究发现其对菌核病具有很好的防效, 且与常用的多菌灵、菌核净无交互抗性, 是防治菌核病的潜在杀菌剂^[8]。戊唑醇在菌核病、灰霉病防治中还未登记使用, 本研究结果显示其对菌核病、灰霉病具有很好的抑制活性, 可以进一步开展相关研究^[8]。本研究中噻呋酰胺与登记信息相符, 对立枯丝核菌引起的病害有特效, 是防治立枯病的优秀杀菌剂。

白藜芦醇是一种天然多酚类化合物, 广泛存在于葡萄、花生、蓝莓等70余种植物或其果实中^[26]。小檗碱又称黄连素, 是从黄连等中草药中分离提取得到的一种异喹啉类生物碱^[27]。蛇床子素属于香豆素类化合物, 已经用于防治人参、黄连、金银花和菊花等中药材上的白粉病、灰霉病和炭疽病等^[28]。植物源杀菌剂因其作用机制独特、非靶安全性高、易降解, 且资源丰富以及可再生等优点, 受到了广泛的关注^[29-30]。特别是在蔬菜、水果等农作物病害防治中, 植物源杀菌剂大有可为, 可以充分发挥其优点^[31]。未来植物源杀菌剂的应用研究可重点聚集与化学合成杀菌剂的配合使用, 探索在杀菌剂使用中实现减毒增效^[32-34]。

本研究分别测定了3种化学合成杀菌剂和3种植物源杀菌剂对甘蓝核盘菌、马铃薯立枯丝核菌、黄瓜灰葡萄孢的离体抑菌活性, 初步评价了对这3种蔬菜的盆栽防效。结果表明, 25%吡唑醚菌酯悬浮剂、50%戊唑醇悬浮剂对灰葡萄孢具有很好的抑菌活性; 50%戊唑醇悬浮剂对核盘菌抑菌效果最佳, 其次是25%吡唑醚菌酯悬浮剂; 240 g/L噻呋酰胺悬浮剂对立枯丝核菌的抑菌效果最佳, 盆栽防效均在77%以上。0.2%白藜芦醇可溶液剂、0.5%小檗碱水剂、1%蛇床子素水乳剂对核盘菌、立枯丝核菌的盆栽防效低于3种化学合成杀菌剂, 而0.5%小檗碱水剂对灰葡萄孢的盆栽防效与240 g/L噻呋酰胺悬浮剂相当。表明25%吡唑醚菌酯悬浮剂与50%戊唑醇悬浮剂可作为防治甘蓝菌核病、马铃薯茎基腐病和黄瓜灰霉病的优选高效杀菌剂; 240 g/L噻呋酰胺悬浮剂适用于马铃薯茎基腐病害的专项防控; 3种植物源杀菌剂在低剂量下不宜单独使用, 可与化学杀菌剂配合使用, 延缓化学杀菌剂抗药性发展。

参考文献:

- [1] 杨清坡, 刘万才, 黄冲. 近10年油菜主要病虫害发生危害情况的统计和分析[J]. 植物保护, 2018, 44(3): 24-30.
- [2] 侯作鹏, 惠娜娜, 李继平, 等. 6种杀菌剂对马铃薯黑痣病菌的毒力和拌种防效[J]. 植物保护, 2022, 48(2): 260-265.
- [3] 骆丹, 田慧, 张彩霞, 等. 植物立枯丝核菌根腐病研究进展[J]. 中国植保导刊, 2020, 40(3): 23-31.
- [4] 李绕勇, 董奎奎, 杨阔, 等. 特基拉芽孢杆菌KXF 6501对猕猴桃灰霉病的防控效果及诱导果实抗性研究[J]. 中国生物防治学报, 2023, 39(4): 933-941.
- [5] 刘永春, 祁之秋. 大樱桃灰霉病防治药剂筛选与应用[J]. 农药, 2023, 62(7): 521-522; 533.
- [6] 李丽丽, 姜亚娟, 李立华, 等. 四霉素与噁霉灵混配制剂对水稻立枯病的防治效果[J]. 微生物学杂志, 2017, 37(1): 83-87.
- [7] 中国农药信息网. 农药登记数据[EB/OL]. (2023-10-25)[2025-01-22]. <http://www.icama.org.cn>.
- [8] SHARMA M, MAHESHWARI N, KHAN, F H, et al. Carbendazim toxicity in different cell lines and mammalian tissues[J]. Journal Biochemical and Molecular Toxicology, 2022, 36(12): e23194.
- [9] LEROUX P. Chemical control of *Botrytis* and its resistance to chemical fungicides[M]//Elad Y, Williamson B, Tudzynski P, et al. *Botrytis: Biology, pathology and control*. Dordrecht: Springer, 2004.
- [10] MATTHIAS H. The rising threat of fungicide resistance in plant pathogenic fungi: *Botrytis* as a case study[J]. Journal of Chemical Biology, 2014, 7(4): 133-141.
- [11] SUMAN A, RAM H U, MICHAEL H, et al. Occurrence of unapproved pesticides and their ecotoxicological significance for an agriculturally influenced reservoir and its tributaries in nepal[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2023, 234: 565.
- [12] BRENT K J, HOLLOMON D W. Fungicide resistance: the assessment of risk[M]. 2nd ed. FRAC Monograph No.2. Brussels: Global Crop Protection Federation, 2007.
- [13] ALEKSIĆ M, STANISAVLJEVIĆ D, SMILJKOVIĆ M, et al. Pyrimethanil: Between efficient fungicide against *Aspergillus* rot on cherry tomato and cytotoxic agent on

- human cell lines[J]. *Annals of Applied Biology*, 2019, 175(2): 228-235.
- [14] MENG Y, ZHONG K, XIAO J, et al. Exposure to pyri-methanil induces developmental toxicity and cardiotoxicity in zebrafish[J]. *Chemosphere*, 2020, 255: 126889.
- [15] 纪明山, 祁之秋, 王英姿, 等. 番茄灰霉病菌对啞霉胺的抗药性[J]. *植物保护学报*, 2003(4): 396-400.
- [16] 宋佳露, 程星凯, 刘鹏飞, 等. 植物病原菌对杀菌剂多药抗性的发生现状[J]. *植物保护*, 2021, 47(6): 28-33; 65.
- [17] 陈炳蔚. 人参灰霉病菌对多菌灵、异菌脲及啞霉胺抗性检测和抗药性机制研究[D]. 北京: 北京协和医学院, 2021.
- [18] LIU S, ZHANG Y, JIANG J, et al. Carbendazim resistance and dimethachlone sensitivity of field isolates of *Sclerotinia sclerotiorum* from oilseed rape in Henan Province, China[J]. *Journal of Phytopathology*, 2018, 166(10): 701-708.
- [19] LIANG H J, DI Y L, LI J L, et al. Baseline sensitivity of pyraclostrobin and toxicity of SHAM to *Sclerotinia sclerotiorum*[J]. *Plant Disease*, 2015, 99(2): 267-273.
- [20] DEAN R, KAN J A, PRETORIUS Z A, et al. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology [J]. *Molecular Plant Pathology*, 2012, 13(4): 414-430.
- [21] WILLIAMSON B, TUDZYNSKI B, TUDZYNSKI P, et al. *Botrytis cinerea*: the cause of grey mould[J]. *Molecular Plant Pathology*, 2007, 8(5): 561-580.
- [22] LIANG H, LV H, ZHANG W. Preparation and antifungal activity evaluation of hinokitiol emulsifiable concentrate against *Sclerotinia sclerotiorum*[J]. *Natural Product Research*, 2024, 39(18): 1-8.
- [23] 王 翀, 刘 薇, 丁 声. 戊唑醇对油菜菌核病菌作用机制的探讨[J]. *中国油料作物学报*, 2010, 32(3): 436-440.
- [24] 尚佃龙, 姜兴印, 刘 玉, 等. 山东省玉米纹枯病菌对啞唑酰胺的敏感性及其抗性突变体的生物学性状[J]. *农药学报*, 2018, 20(6): 735-742.
- [25] BOSTANGHADIRI N, PORMOHAMMAD A, CHIRANI A S, et al. Comprehensive review on the antimicrobial potency of the plant polyphenol Resveratrol[J]. *Bio-medicine & Pharmacotherapy*, 2017, 95: 1588-1595.
- [26] HOU D, YAN C, LIU H, et al. Berberine as a natural compound inhibits the development of brown rot fungus *Monilinia fructicola* [J]. *Crop Protection*, 2010, 29(9): 979-984.
- [27] 刘杰才, 李亚辉, 岳建英, 等. 中药蛇床子活性成分蛇床子素对温室番茄灰霉病菌的抑制作用[J/OL]. *分子植物育种*, 1-10(2023-06-14)[2023-10-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20230613.1601.016.html>.
- [28] 吴翠霞, 王金信, 侯 珍, 等. 白藜芦醇及其衍生物对植物病原真菌的抑菌活性[J]. *农药学报*, 2012, 14(3): 283-290.
- [29] 王帆帆, 唐 涛, 郭 杰, 等. 植物源杀菌剂对白术叶斑病菌的室内毒力和田间防效[J]. *中国植保导刊*, 2020, 40(9): 77-80.
- [30] 刘 刚, 吴 耀. 我国水果中农药最大残留限量标准新进展[J]. *农药科学与管理*, 2023, 44(3): 1-6; 10.
- [31] 潘丽英, 王 强, 杨桂玲, 等. 5种杀菌剂在大棚和露地韭菜上的残留消解动态及膳食风险评估[J]. *农药*, 2023, 62(9): 651-656.
- [32] 李培玲, 黄 瑾, 孙振宇, 等. 吡唑醚菌酯与生物农药混配对小麦条锈病防控及增产效果评价[J]. *寒旱农业科学*, 2025, 4(8): 762-767.
- [33] 李 丽, 吕兆明, 沈渭明, 等. 9种杀菌剂对甜瓜细菌性果斑病的田间防效[J]. *寒旱农业科学*, 2024, 3(3): 272-275.
- [34] 杜 蕙, 蒋晶晶. 生物农药与化学杀菌剂对葡萄霜霉病的联合作用效果[J]. *甘肃农业科技*, 2020(1): 25-29.

Evaluation of Antifungal Activities and Control Effects of Different Fungicides Against 3 Vegetable Pathogenic Fungi

ZHANG Tongtong^{1,2}, HUANG Wei¹, WANG Fangfang¹, ZHANG Wu¹, LÜ Heping³, LIANG Hongjie¹

(1. Potato Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Gansu Yihang Potato Industry Technology Development Co., Ltd., Dingxi Gansu 748201, China; 3. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: To screen suitable fungicides for effectively controlling fungal diseases in 3 vegetable crops (cabbage, potato, cucumber), provide low-toxicity and high-efficiency fungicide alternatives for vegetable disease management, and to mitigate the development of pathogen resistance to commonly used fungicides such as carbendazim, dimethachlon, and pyrimethanil, the *in vitro* antifungal activities of 3 chemically synthesized fungicides, namely 25% pyraclostrobin suspension concentrate (SC), 50% tebuconazole SC, 240 g/L thifluzamide SC, as well as 3 plant-derived fungicides, namely 0.2% resveratrol soluble concentrate (SL), 0.5% berberine aqueous solution (AS), and 1% osthole emulsion in water (EW), against 3 vegetable pathogenic fungi (*Sclerotinia sclerotiorum*, *Rhizoctonia solani*, and *Botrytis cinerea*) were determined using the mycelial growth rate method, and their pot control efficacies on the 3 vegetables (cabbage, potato and cucumber) were preliminarily evaluated. Results showed 50% tebuconazole SC exhibited the best antifungal activity against *B. cinerea* and *S. sclerotiorum*, followed by 25% pyraclostrobin SC. The 240 g/L thifluzamide SC showed the best antifungal activity against *R. solani*, and its control efficacy in pot experiments was above 77%, followed by 25% pyraclostrobin SC. The pot control efficacy of 0.2% resveratrol SL, 0.5% berberine AS, and 1% osthole EW against *S. sclerotiorum* and *R. solani* were significantly lower than those of the above 3 chemically synthesized fungicides. In summary, 25% pyraclostrobin suspension concentrate and 50% tebuconazole suspension concentrate showed good broad-spectrum activity and could both be used to control the 3 pathogenic fungi, *S. sclerotiorum*, *R. solani*, and *B. cinerea*. The 240 g/L thifluzamide suspension concentrate is suitable for controlling diseases caused by *R. solani*. The other 3 plant-derived fungicides at lower dosages are not suitable for separate application.

Key words: *Sclerotinia sclerotiorum*; *Rhizoctonia solani*; *Botrytis cinerea*; *In vitro* antifungal activity; Pot control efficacy