

# 博落回生物碱和茶皂素对4种蔬菜病原菌的室内联合毒力

杜晓静, 梁浩, 钱玺丞

(铜仁职业技术学院 药学院, 贵州 铜仁 554300)

**摘要:**为明确博落回生物碱与茶皂素混配对辣椒疫霉病菌、瓜果腐霉病菌、番茄晚疫病菌和番茄灰霉病菌的联合毒力, 以期博落回生物碱与茶皂素复配型植物源农药的开发提供依据, 采用生长速率法测定博落回生物碱和茶皂素单剂及其混剂对上述4种病原菌的 $EC_{50}$ 、毒力比率以及最佳配比的联合毒力。结果表明, 博落回生物碱对辣椒疫霉病菌、瓜果腐霉病菌、番茄晚疫病菌和番茄灰霉病菌的 $EC_{50}$ 值分别为29.3、89.0、24.8、29.6  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ; 茶皂素对4种病原菌的 $EC_{50}$ 值分别为90.0、90.3、55.2、83.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。毒力比率筛选结果表明, 博落回生物碱和茶皂素 $EC_{50}$ 剂量百分比为90:10、80:20、70:30、60:40、50:50和40:60时, 对辣椒疫霉病菌的毒力比率分别为1.30、1.38、1.45、1.33、1.29和1.28, 表现为增效作用;  $EC_{50}$ 剂量百分比为40:60和10:90时, 对瓜果腐霉病菌的毒力比率分别为1.26和1.28, 表现为增效作用;  $EC_{50}$ 剂量百分比为80:20和50:50时, 对番茄晚疫病菌的毒力比率分别为1.27和1.25, 表现为增效作用; 博落回生物碱和茶皂素复配对番茄灰霉病菌表现为相加作用。最佳配比的联合毒力筛选结果表明, 博落回生物碱与茶皂素质量比为1.0:3.1和1.0:4.6的混剂对辣椒疫霉病菌表现为增效作用, 增效系数分别为2.30和1.54; 质量比为1.0:1.5和1.0:9.1的混剂对瓜果腐霉病菌表现出较好的增效作用, 增效系数分别为1.67和2.12; 博落回生物碱与茶皂素混剂对番茄灰霉病菌的联合毒力主要表现为相加作用; 博落回生物碱与茶皂素质量比为1.8:1.0的混剂对番茄晚疫病菌表现出较好的增效作用, 增效系数为1.52。综上, 博落回生物碱与茶皂素复配对辣椒疫霉病菌、瓜果腐霉病菌和番茄晚疫病菌具有明显的协同增效作用, 对番茄灰霉病菌表现为相加作用。

**关键词:**博落回生物碱; 茶皂素; 病原菌; 生长速率法; 联合毒力

**中图分类号:** S482.2<sup>+</sup>92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2481(2024)03-0109-07

## Combined Toxicity of *Macleaya* Alkaloids and Tea Saponin against Four Vegetable Pathogens

DU Xiaojing, LIANG Hao, QIAN Xicheng

(College of Pharmacy, Tongren Polytechnic College, Tongren 554300, China)

**Abstract:** To determine the combined toxicity of the *Macleaya* alkaloids and tea saponin mixture against four vegetable pathogens, including *Phytophthora capsici*, *Pythium aphanidermatum*, *P. infestans*, and *Botrytis cinerea*, in order to provide a basis for the development of botanic pesticides of *Macleaya* alkaloids and tea saponin mixture, in this study, using the growth rate method, the  $EC_{50}$  values, toxicity ratios, and combined toxicity of the optimal ratio of the single agents of *Macleaya* alkaloids, tea saponin, and their mixture against the four pathogens mentioned above were determined. The results showed that the  $EC_{50}$  values for *Macleaya* alkaloids against *P. capsici*, *P. aphanidermatum*, *P. infestans*, and *B. cinerea* were 29.3, 89.0, 24.8, 29.6  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , respectively. The  $EC_{50}$  values for tea saponin against the same fungi were 90.0, 90.3, 55.2, 83.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . The screening results of toxicity ratios showed that when the  $EC_{50}$  percentage ratios of *Macleaya* alkaloids and tea saponin were at 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, the toxicity ratios against *P. capsici*, were 1.30, 1.38, 1.45, 1.33, 1.29, 1.28, respectively, indicating a synergistic effect. Similarly, the toxicity ratios of *Macleaya* alkaloids and tea saponin at the  $EC_{50}$  percentage ratios of 40:60 and 10:90 against *P. aphanidermatum* were 1.26 and 1.28, respectively, also indicating a synergistic effect. At the  $EC_{50}$  percentage ratios of 80:20 and 50:50, the toxicity ratio of *Macleaya* alkaloids and tea saponin against *P. infestans* were 1.27 and 1.25, respectively, showing a synergistic effect. The combination of the *Macleaya* alkaloids and tea saponin indicated an additive effect on *Botrytis cinerea*. The screening results of combined toxicity of the optimal ratio showed that the mixture with the mass ratios of *Macleaya* alkaloids and tea saponin with 1.0:3.1 and 1.0:4.6 had synergistic effects on *P.*

收稿日期: 2023-07-29

基金项目: 贵州省千层次创新型人才培养项目(2020-[2018]-025号); 贵州省高等学校科技创新团队项目(黔教技[2023]097号); 国家民委中兽药重点开放实验室招标课题([2021]006号); 武陵山民族药资源综合利用重点实验室(铜市科研[2021]34号)

作者简介: 杜晓静(1985-), 女, 陕西宝鸡人, 副教授, 硕士, 主要从事植物源农药开发与应用研究工作。

通信作者: 梁浩(1987-), 男, 河北保定人, 教授, 博士, 主要从事药用植物有效成分开发及应用研究工作。

*capsici* with a synergistic coefficient of 2.30 and 1.54, respectively. Additionally, the mixture with the mass ratios of *Macleaya* alkaloids and tea saponin with 1.0:1.5 and 1.0:9.1 showed a distinct synergistic effect on *P. aphanidermatum*, with a synergistic coefficient of 1.67 and 2.12, respectively. The combined toxicity of the *Macleaya* alkaloids and tea saponin mixture against *B. cinerea* was mainly additive. Finally, the mixture with the mass ratios of *Macleaya* alkaloids and tea saponin with 1.8:1.0 showed an obvious synergistic effect on *P. infestans*, with a synergistic coefficient of 1.52. Therefore, the combination of *Macleaya* alkaloids and tea saponin had an obvious synergistic effect on *P. capsici*, *P. aphanidermatum*, and *P. infestans*, while it showed an additive effect on *B. cinerea*.

**Key words:** *Macleaya alkaloids*; tea saponin; pathogen; growth rate method; combined toxicity

农药残留已成为影响我国农产品安全的主要问题之一<sup>[1]</sup>。安全无污染的植物源农药受到广泛关注<sup>[2]</sup>,截至 2019 年底,我国植物源农药登记共计 28 种,单剂 247 个,混剂 36 个,母药/原药 41 个<sup>[3]</sup>。尽管筛选出具有开发价值的植物资源很多,但由于原料加工、制剂、储存等特殊要求,生产成本相对较高,导致其在使用和推广上存在很大障碍<sup>[4]</sup>。

博落回是罂粟科博落回属多年生草本植物,是一种具有较大开发利用价值的植物资源<sup>[5-6]</sup>,其有效成分为博落回生物碱,使用后易降解,对环境污染小,不产生病虫害抗性,对人畜安全可靠<sup>[7-8]</sup>。因此,将之开发为一种新型的植物源农药,对充分利用其进行病虫害绿色综合治理具有重要意义。博落回的主要化学成分为异喹啉生物碱,其中血根碱和白屈菜红碱最高,在抗菌活性方面博落回生物碱对水稻白叶枯病菌、姜瘟病菌、稻瘟病菌、苹果炭疽病菌和烟草黑胫病菌等多种细菌和真菌均有较好的抑制作用<sup>[9-10]</sup>;在杀虫活性方面,对黄守瓜菜青虫<sup>[11]</sup>、小菜蛾<sup>[12]</sup>、菜粉蝶<sup>[13]</sup>等均有较好的防治作用。小果博落回总生物碱在 0.75 mg/mL 时对番茄灰霉病的保护和治疗作用分别为 73.6% 和 43.1%<sup>[14]</sup>;对辣椒疫霉病菌(*P. capsici*)具有较强的抑制作用<sup>[15]</sup>。满汉云<sup>[16]</sup>等研究发现,博落回总生物碱水分散粒剂对番茄疫病具有较好的防治效果。贾长青<sup>[17]</sup>等研究发现,血根碱衍生物在供试浓度 50 μg/mL 时对瓜果腐霉的抑制率为 63.8%。

博落回生物碱与其他农药复配在病虫害的防治方面已取得一定进展。谷清义等<sup>[18]</sup>研究表明,博落回生物碱与苏云金芽孢杆菌复配对小菜蛾防治效果较好。闫瑞坤等<sup>[19]</sup>研究博落回生物碱与垂序商陆提取物复配对松梢螟幼虫的联合毒力表明,复配比例在 1:3 时表现出明显的增效作用。王锐等<sup>[20]</sup>研究发现,苦参碱与博落回生物碱复配对多种瓜果和蔬菜害虫均有防治效果。通过与其他农药复配,博落回生物碱对病虫害的防效和防治谱均有较好的提升。截至目前,博落回生物碱复配研究主要集

中在杀虫剂开发,博落回生物碱复配型杀菌剂的研究较少。

茶皂素作为一种植物源农药,虽然自身抑菌活性不高,但研究表明其对多种农药都表现出较好的增效作用,通过其与其他农药复配,可大大减少农药的用量。本研究采用生长速率法,通过测定博落回生物碱和茶皂素单剂及其混剂对辣椒疫霉病菌、瓜果腐霉病菌、番茄晚疫病菌和番茄灰霉病菌 4 种蔬菜病原菌的毒力比率筛选具有增效作用的配比,进一步测定具有增效作用配比混剂的联合毒力,旨在为博落回生物碱与茶皂素复配型植物源农药的开发提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

1.1.1 病原菌 辣椒疫霉病菌(*Phytophthora capsici*)、瓜果腐霉病菌(*Pythium aphanidermatum*)、番茄晚疫病菌(*Phytophthora infestans*)和番茄灰霉病菌(*Botrytis cinerea*)均由中国农业科学院植物保护研究所提供。

1.1.2 试剂 博落回总生物碱(含量为 76%),参照贾长青等<sup>[21]</sup>报道方法自制;茶皂素(65%)上海源叶生物科技有限公司生产;葡萄糖、琼脂粉等其他试剂均为分析纯,市购。

1.1.3 主要仪器设备 超声波清洗机(KQ800E,昆山市超声仪器有限公司)、超净工作台(SW-CJ-2FD,苏州净化工作台设备有限公司)、恒温恒湿箱(HWS450B,杭州绿博仪器有限公司)、立式压力蒸汽灭菌器(YM50,上海三申医疗器械有限公司)。

### 1.2 试验方法

1.2.1 室内离体活性测定 用无菌水将 2 种药剂分别配制成 100 μg/mL 的溶液,以杀菌剂多菌灵和吡唑醚菌酯作对照。在含药马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA)平板中央分别接种供试菌种的新鲜菌丝块直径 5 mm 的菌饼,菌丝面朝下(每个处理 3 次重复)。将接菌培养皿放置于 25 °C 恒温恒湿箱中

培养,每隔24 h观察1次,直至空白对照组菌落直径超过70 mm,采用十字交叉法测菌落直径,取其平均值。

抑制率=(对照菌落增长直径-药剂处理菌落增长直径)/对照菌落增长直径×100% (1)

### 1.2.2 博落回生物碱与茶皂素对4种蔬菜病原菌

的室内毒力测定 测定博落回生物碱与茶皂素对4种蔬菜病原菌的 $EC_{50}$ 时,采用菌丝生长速率法。设置空白对照和5个浓度梯度(表1)。参照1.2.1测定的各个浓度下对病原菌的抑制率,计算博落回生物碱与茶皂素对4种蔬菜病原菌的 $EC_{50}$ 。

表1 博落回生物碱与茶皂素供试浓度  
Tab.1 Different test concentrations of *Macleaya* alkaloids and tea saponin

病原菌 Pathogen	药剂质量浓度/( $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) Mass concentrations of antifungal agents											
	博落回生物碱 <i>Macleaya</i> alkaloids						茶皂素 Tea saponin					
辣椒疫霉病菌 <i>Phytophthora capsici</i>	0	8	16	32	64	128	0	8	16	32	64	128
瓜果腐霉病菌 <i>Pythium aphanidermatum</i>	0	8	16	32	64	128	0	8	16	32	64	128
番茄晚疫病菌 <i>Phytophthora infestans</i>	0	2	4	8	16	32	0	8	16	32	64	128
番茄灰霉病菌 <i>Botrytis cinerea</i>	0	2	4	8	16	32	0	64	128	256	512	1024

1.2.3 博落回生物碱与茶皂素最佳配比筛选 测定采用 Horsfal 方法<sup>[22-23]</sup>进行混配比例设计。以博落回生物碱与茶皂素2种单剂的 $EC_{50}$ 为基础浓度,将2种药剂 $EC_{50}$ 药液按照体积比和空白对照共设置12个处理进行测定(表2),每处理3次重复,采用

十字交叉法参照1.2.1计算各配比的抑制率,根据以下判断毒力比率与增效效果(毒力比率 $>1.25$ 为增效作用;毒力比率 $<0.75$ 为拮抗作用; $0.75 \leq$ 毒力比率 $\leq 1.25$ 为相加作用)。选择毒力比率 $>1.25$ 的配比进行联合毒力测定。

表2 各处理中博落回生物碱与茶皂素 $EC_{50}$ 剂量占比  
Tab.2 The percentage ratios of  $EC_{50}$  doses of *Macleaya* alkaloids and tea saponins in each of treatments %

处理 Treatment	$EC_{50}$ 剂量占比 Percentage ratios of $EC_{50}$ doses		处理 Treatment	$EC_{50}$ 剂量占比 Percentage ratios of $EC_{50}$ doses	
	博落回生物碱 <i>Macleaya</i> alkaloids	茶皂素 Tea saponin		博落回生物碱 <i>Macleaya</i> alkaloids	茶皂素 Tea saponin
T <sub>1</sub>	100	0	T <sub>7</sub>	40	60
T <sub>2</sub>	90	10	T <sub>8</sub>	30	70
T <sub>3</sub>	80	20	T <sub>9</sub>	20	80
T <sub>4</sub>	70	30	T <sub>10</sub>	10	90
T <sub>5</sub>	60	40	T <sub>11</sub>	0	100
T <sub>6</sub>	50	50	CK	0	0

预期抑制率=(博落回生物碱 $EC_{50}$ 剂量实际抑制率×配比中博落回生物碱 $EC_{50}$ 剂量)+(茶皂素 $EC_{50}$ 剂量实际抑制率×配比中茶皂素 $EC_{50}$ 剂量)×100% (2)

毒力比率=实际抑制率/预期抑制率 (3)

1.2.4 最佳配比的联合毒力测定 采用文献[24]定量筛选,根据筛选出的最佳配比(1.2.3试验结果),将有增效作用的体积配比进行混合测定联合毒力并计算混剂的增效系数(SR;SR $>1.5$ 为增效;0.5 $\leq$ SR $\leq 1.5$ 为相加;SR $<0.5$ 为拮抗),利用公式计算SR并评价复配剂增效比。

$$B=(a_1+a_2)/[a_1/A_1+a_2/A_2] \quad (4)$$

$$SR=B/A \quad (5)$$

式中, $A_1$ 、 $A_2$ 分别代表混剂中博落回生物碱和茶皂素的 $EC_{50}$ 实测值; $A$ 表示 $EC_{50}$ 实测值、 $B$ 表示 $EC_{50}$ 理论值; $a_1$ 表示博落回生物碱的百分含量、 $a_2$ 表示茶皂素在混剂中的百分含量。

### 1.3 数据分析

采用 Origin 9.1 软件对数据进行统计,计算各处理平均菌落直径和平均抑制率;采用 SPSS 26 软件对药剂浓度对数值及对应的菌丝生长抑制率概率值进行回归分析,求出各单剂及其不同配比混剂的

毒力回归方程、相关系数  $r$  和  $EC_{50}$  [20]。

## 2 结果与分析

### 2.1 博落回生物碱和茶皂素对 4 种植物病原菌菌丝生长抑制活性

抑菌活性测定结果表明(表 3),博落回生物碱

对 4 种蔬菜病原菌的抑制活性优于茶皂素。与常规杀菌剂多菌灵和吡唑醚菌酯相比,博落回生物碱和茶皂素单剂抑菌活性较差,因此,如用单剂进行田间防治,需要较大剂量的博落回生物碱和茶皂素。

表 3 博落回生物碱与茶皂素对 4 种病原菌离体活性  
Tab.3 *In vitro* activity of *Macleaya* alkaloids and tea saponins against four pathogens

病原菌 Pathogen	菌丝生长抑制率 Mycelial growth inhibition rates			
	博落回生物碱 <i>Macleaya</i> alkaloids	茶皂素 Tea saponin	多菌灵 Carbendazim	吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin
辣椒疫霉病菌 <i>P. capsici</i>	64.9	48.5	92.4	100.0
瓜果腐霉病菌 <i>P. aphanidermatum</i>	58.0	56.5	92.8	76.8
番茄晚疫病菌 <i>P. infestans</i>	61.3	49.3	98.7	92.0
番茄灰霉病菌 <i>B. cinerea</i>	77.3	57.6	84.9	31.8

### 2.2 博落回生物碱与茶皂素对 4 种病原菌的室内毒力

由表 4 可知,博落回生物碱对辣椒疫霉病菌、番茄晚疫病菌和番茄灰霉病菌菌丝生长的  $EC_{50}$  值,分别为 29.3、24.8、29.6  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,低于茶皂素对辣椒

疫霉病菌、番茄晚疫病菌和番茄灰霉病菌的  $EC_{50}$  值(分别为 90.0、55.2、83.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ );博落回生物碱与茶皂素对瓜果腐霉病菌的  $EC_{50}$  相当,分别为 89.0、90.3  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

表 4 博落回生物碱与茶皂素对 4 种蔬菜病原菌的室内菌丝生长毒力  
Tab.4 Toxicity of *Macleaya* alkaloids and tea saponins against mycelial growth of four vegetable pathogens

供试药剂 Test agents	病原菌 Pathogens	毒力回归方程 Regression equation of toxicity	相关系数( $r$ ) Correlation coefficient	$EC_{50}/(\mu\text{g}/\text{mL})$	95% 置信限 Confidence limit
博落回生物碱 <i>Macleaya</i> alkaloids	辣椒疫霉病菌	$y=1.071x-1.607$	0.958	29.3	19.0~43.9
	瓜果腐霉病菌	$y=2.143x-4.214$	0.989	89.0	70.2~122.6
	番茄晚疫病菌	$y=1.786x-2.357$	1.000	24.8	16.1~34.4
	番茄灰霉病菌	$y=2.857x-3.571$	0.999	29.6	22.8~42.9
茶皂素 Tea saponin	辣椒疫霉病菌	$y=3.571x-6.857$	0.888	90.0	41.0~183.2
	瓜果腐霉病菌	$y=3.571x-6.857$	0.969	90.3	55.4~272.9
	番茄晚疫病菌	$y=2.143x-3.714$	0.996	55.2	43.7~73.4
	番茄灰霉病菌	$y=2.500x-5.000$	0.980	83.0	58.9~104.9

### 2.3 博落回生物碱与茶皂素最佳配比筛选

以单剂博落回生物碱与茶皂素的近似  $EC_{50}$  为基础,采用交互测定法进行最佳配比的筛选,试验结果表明(表 5),在测试配比中, $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 、 $T_6$  和  $T_7$  处理对辣椒疫霉病菌的毒力比率分别为 1.30、1.38、1.45、1.33、1.29 和 1.29,表现为增效作用,其他配比表现为相加作用,混剂的毒力比率随博落回生物碱含量的降低,呈先增加后降低趋势。因此,取  $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 、 $T_6$  和  $T_7$  共 6 个比例作下一步的联

合毒力验证;博落回生物碱和茶皂素  $EC_{50}$  剂量比例  $T_7$  和  $T_{10}$  时对瓜果腐霉病菌的毒力比率分别为 1.26 和 1.28,表现为增效作用,其他配比表现为相加作用,由毒力比率可知,混剂的随博落回生物碱含量的降低,抑菌活性无明显变化,因此,取  $T_7$  和  $T_{10}$  这 2 个比例进行联合毒力验证。 $T_3$  和  $T_6$  处理对番茄晚疫病菌的毒力比率分别为 1.27 和 1.25,表现为增效作用,其他配比表现为相加作用,因此,取  $T_3$  和  $T_6$  这 2 个比例进行联合毒力验证;博落回生物碱和

茶皂素复配对番茄灰霉病的毒力比率均介于 0.75~1.25,均表现为相加作用,不必要进行联合毒力的增效系数测定。

表5 博落回生物碱与茶皂素不同比例混剂对4种蔬菜病原菌的毒力比率  
Tab.5 Toxicity ratio of the mixture of *Macleaya* alkaloids and tea saponins in different proportions against four vegetable pathogens

处理 Treatment	辣椒疫霉病菌 <i>P. capsici</i>			瓜果腐霉病菌 <i>P. aphanidermatum</i>			番茄晚疫病菌 <i>P. infestans</i>			番茄灰霉病菌 <i>B. cinerea</i>		
	实际抑菌率/% Observed inhibition rate	预期抑菌率/% Expected inhibition rate	毒力比率 Toxicity ratio	实际抑菌率/% Observed inhibition rate	预期抑菌率/% Expected inhibition rate	毒力比率 Toxicity ratio	实际抑菌率/% Observed inhibition rate	预期抑菌率/% Expected inhibition rate	毒力比率 Toxicity ratio	实际抑菌率/% Observed inhibition rate	预期抑菌率/% Expected inhibition rate	毒力比率 Toxicity ratio
T <sub>1</sub>	30.8	30.8	1.00	65.2	65.2	1.00	54.7	54.7	1.00	48.5	48.5	1.00
T <sub>2</sub>	43.1	33.3	1.30	62.1	63.3	0.98	52.0	51.6	1.01	51.5	48.2	1.07
T <sub>3</sub>	49.3	35.7	1.38	63.6	61.5	1.03	56.0	44.2	1.27	50.0	47.9	1.04
T <sub>4</sub>	55.4	38.2	1.45	60.6	59.7	1.02	46.7	45.5	1.027	47.0	47.6	0.99
T <sub>5</sub>	53.9	40.6	1.33	60.6	57.9	1.05	46.7	42.4	1.10	40.9	47.3	0.87
T <sub>6</sub>	55.4	43.1	1.29	60.6	56.1	1.08	49.3	39.3	1.25	43.9	47.0	0.94
T <sub>7</sub>	58.5	45.5	1.28	68.2	54.3	1.26	40.0	36.3	1.10	49.9	46.7	1.07
T <sub>8</sub>	58.5	48.0	1.22	56.1	52.4	1.07	36.0	33.2	1.08	43.9	46.4	0.95
T <sub>9</sub>	49.2	50.5	0.98	53.0	50.6	1.05	32.0	30.1	1.06	36.4	46.1	0.79
T <sub>10</sub>	52.3	52.9	0.99	57.6	45.0	1.28	28.0	27.1	1.03	37.9	45.8	0.83
T <sub>11</sub>	55.4	55.4	1.00	47.0	47.0	1.00	24.0	24.0	1.00	45.5	45.5	1.00

#### 2.4 最佳配比联合毒力测定

结合两单剂的EC<sub>50</sub>,根据Wadley法计算博落回生物碱与茶皂素不同比例混剂理论上的EC<sub>50</sub>,并与实际观察的EC<sub>50</sub>(理论)比较,计算增效系数(SR)。由表6可知,T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>处理对辣椒疫霉病菌的增效系数为0.54、0.65、1.10和1.00,均介于0.5~1.5,表现为相加作用,T<sub>6</sub>和T<sub>7</sub>处理对辣椒疫

霉病菌的增效系数为2.30和1.54,大于1.5,表现为增效作用;T<sub>7</sub>和T<sub>10</sub>处理对瓜果腐霉病菌的增效系数分别为1.67和2.12,均大于1.5,表现为增效作用;T<sub>6</sub>处理对番茄晚疫病菌的增效系数为0.93,均介于0.5~1.5,表现为相加作用,T<sub>3</sub>处理对番茄晚疫病菌的增效系数为1.52,大于1.5,表现为增效作用。

表6 博落回生物碱与茶皂素不同比例混剂对3种蔬菜病原菌的联合毒力  
Tab.6 Combined toxicity of mixture in different proportions of *Macleaya* alkaloids and tea saponin against three vegetable pathogens

病原菌 Pathogen	博落回生物碱与茶皂素EC <sub>50</sub> 剂量百分比的比例 Percentage ratios of EC <sub>50</sub> dose between <i>Macleaya</i> alkaloids and tea saponin in mixture	混剂中博落回生物碱与茶皂素实际含量的比例 Actual content ratios of <i>Macleaya</i> alkaloids and tea saponin in mixture	毒力回归方程 Regression equation of toxicity	EC <sub>50</sub> / (μg/mL) (observation)	95%置信限 95% Confidence limit	EC <sub>50</sub> / (μg/mL) (theory)	增效系数 Synergistic ratio
辣椒疫霉病菌 <i>P. capsici</i>	90:10	2.9:1.0	$y=1.600x-2.600$	66.0	46.1~107.2	35.6	0.54
	80:20	1.3:1.0	$y=1.786x-3.286$	64.6	49.2~86.5	42.0	0.65
	70:30	1.0:1.3	$y=2.800x-4.500$	43.2	32.9~54.1	47.3	1.10
	60:40	1.0:2.0	$y=1.786x-2.643$	53.2	40.6~66.4	53.2	1.0
	50:50	1.0:3.1	$y=3.333x-4.667$	26.0	14.0~39.1	59.8	2.30
	40:60	1.0:4.6	$y=2.000x-3.200$	42.8	17.7~64.7	65.7	1.54
瓜果腐霉病菌 <i>P. aphanidermatum</i>	40:60	1.0:1.5	$y=1.429x-2.714$	53.9	38.1~71.6	89.8	1.67
	10:90	1.0:9.1	$y=0.857x-1.571$	42.6	16.0~62.1	90.1	2.12
番茄晚疫病菌 <i>P. infestans</i>	80:20	1.0:8.1	$y=2.857x-3.643$	20.4	17.1~24.8	31.0	1.52
	50:50	1.0:2.2	$y=2.857x-5.286$	43.1	27.4~84.6	40.0	0.93

### 3 结论与讨论

张家美等<sup>[25]</sup>研究表明,农药合理混配不但可以延缓药剂抗性的发生和发展,亦可扩大防治谱,提高防效、降低单位面积内的用药。将不同作用机理的杀菌剂复配表现出优于单剂的防治效果,极大地促进复配杀菌剂的快速发展<sup>[26]</sup>。茶皂素通过与其他农药复配,可大大减少农药的用量,具有良好的复配利用基础<sup>[27-29]</sup>。本试验研究了博落回生物碱与茶皂素复配的协同增效作用。针对辣椒疫病菌,最佳配比混剂中博落回生物碱抑制中浓度含量从 29.3  $\mu\text{g}/\text{mL}$  降至 6.3  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ; 针对瓜果腐霉,最佳配比混剂中博落回生物碱抑制中浓度含量从 89.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$  降至 4.2  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ; 针对番茄晚疫病菌,最佳配比混剂中博落回生物碱抑制中浓度含量从 29.6  $\mu\text{g}/\text{mL}$  降至 2.2  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,博落回生物碱的用量明显降低,博落回生物碱与茶皂素复配对番茄灰霉病菌表现出相加作用,可能是由于两种药剂对番茄灰霉的作用机理相同<sup>[26]</sup>。文献报道茶皂素对多种杀菌剂都有较好的增效作用,研究表明茶皂素的抑菌增效机制主要是其可改善杀菌剂的理化性质,改变靶标病原菌体内生物酶的活性,增强靶标病原菌对杀菌剂的敏感性;田间增效机制主要是茶皂素作为一种非离子型表面活性剂,可提高药液的润湿沉积和对靶标作物的附着力、润湿力及有效沉积量,从而延长药效期,提高农药的田间防治效果<sup>[30]</sup>。因此茶皂素对博落回生物碱的田间防效增效作用有待进一步深入研究。

本试验研究结果表明,博落回生物碱与茶皂素混配对辣椒疫病菌、瓜果腐霉病菌、番茄晚疫病菌和番茄灰霉病菌均具有一定的增效或相加作用。由增效系数可知,针对辣椒疫病菌,博落回生物碱与茶皂素质量比为 1.0:3.1 的增效系数最大,可作为最佳配比;针对瓜果腐霉病菌,博落回生物碱与茶皂素质量比为 1.0:9.1 时增效系数最大,可作为最佳配比;针对番茄晚疫病菌,博落回生物碱与茶皂素质量比为 1.0:8.1 的增效系数最大,可作为最佳配比。该研究结果为植物源农药博落回生物碱对蔬菜病原菌的田间防治提供了科学依据。

#### 参考文献:

[1] 廖金梅,邓业成,邓志勇,等. 黄皮等 23 种植物提取物的抑菌活性研究[J]. 河南农业科学,2022,51(5):84-95.  
LIAO J M, DENG Y C, DENG Z Y, et al. Studies on the antimicrobial activity of extracts from 23 plants including *Clausena*

*lansium*[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2022, 51(5):84-95.  
[2] 王荣,郑瑞端,马力,等. 5 种植物提取物对小菜蛾的生物活性[J]. 山西农业科学,2024,52(1):115-123.  
WANG R, ZHENG R R, MA L, et al. Insecticidal activity of five plant extracts against *Plutella xylostella*[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2024, 52(1):115-123.  
[3] 刘双清,张亚,廖晓兰,等. 我国植物源农药的研究现状与应用前景[J]. 湖南农业科学,2016(2):115-119.  
LIU S Q, ZHANG Y, LIAO X L, et al. Research status and application prospects of botanical pesticides in China[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2016(2):115-119.  
[4] 张正炜,郝厚诚,常文程,等. 我国植物源农药商品化应用现状及产业发展建议[J]. 世界农药,2020,42(12):6-15.  
ZHANG Z W, XI H C, CHANG W C, et al. Current situation of commercialized application of plant-derived pesticides in China and suggestions for industrial development[J]. World Pesticides, 2020, 42(12):6-15.  
[5] 陈伟,张锐,雷思敏,等. 博落回化学成分及其药理活性研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志,2020,26(3):243-250.  
CHEN W, ZHANG R, LEI S M, et al. Advances in chemical constituents and bioactivities of *Macleaya cordata*[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2020, 26(3):243-250.  
[6] 梁浩,杜晓静,郁建生. 一种采用熔融法制备博落回水分散软颗粒剂的方法:CN110037019A[P]. 2019-07-23.  
LIANG H, DU X, YU J S. Method for preparing herba *macleaya cordata* aqueous dispersion soft granula by fusion method: CN110037019A[P]. 2019-07-23.  
[7] 张小艳,黄红梅,汪尚坤,等. 博落回的研究进展[J]. 现代农业科技,2014(23):157-158,162.  
ZHANG X Y, HUANG H M, WANG S K, et al. Research progress of *Macleaya cordata*[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(23):157-158,162.  
[8] ZHONG M, WANG Y H, WANG L, et al. Preparation and application of magnetic molecularly imprinted polymers for the isolation of chelerythrine from *Macleaya cordata*[J]. Journal of Separation Science, 2018, 41(16):3318-3327.  
[9] 胡美忠,郁建平,郁建生. 博落回生物碱对烟草黑胫病的抑制作用[J]. 黑龙江畜牧兽医,2010(11):137-139.  
HU M Z, YU J P, YU J S. Inhibitory effect of *Macleaya cordata alkaloids* on tobacco black shank disease[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2010(11):137-139.  
[10] 高红梅,付小草,何婷,等. 博落回生物碱对 12 种植物病原菌的抑制活性研究[J]. 安徽农业科学,2014,42(18):5810-5812.  
GAO H M, FU X C, HE T, et al. Antimicrobial activity of total alkaloids from *Macleaya cordata* against twelve kinds of phytopathogen[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(18):5810-5812.  
[11] 张胜菊,柯治国,南玉生. 博落回提取物对黄守瓜、菜青虫的田间药效评价[J]. 华中农业大学学报,2003,22(5):450-451.  
ZHANG S J, KE Z G, NAN Y S. Effects of organic extract of *Macleaya cordata* (willd) R. Br. on the controls of cucumber beetle and cabbage caterpillar in field[J]. Journal of Huazhong Agricultural, 2003, 22(5):450-451.  
[12] 周琼,魏美才,欧晓明,等. 苍耳倍半萜内酯和博落回生物碱

- 对3种蔬菜害虫的活性比较[J]. 植物保护, 2008, 34(3): 78-82.
- ZHOU Q, WEI M C, OU X M, et al. Comparative activity of sesquiterpene lactones from *Xanthium sibiricum* and alkaloids from *Macleaya cordata* against insect pests[J]. Plant Protection, 2008, 34(3): 78-82.
- [13] 王亚维, 张国洲. 杀虫植物博落回对害虫的生物活性与有效成分分析[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(12): 136-138, 141.
- WANG Y W, ZHANG G Z. Bioactivity and effective components of *Macleaya cordata*, a pesticidal plant[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2011, 39(12): 136-138, 141.
- [14] 冯岗. 小果博落回杀虫杀菌作用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- FENG G. Studies on insecticidal and antifungal activity of *macleaya microcarpa*[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2008.
- [15] 王斌, 程辟, 陈巨莲, 等. 博落回中季铵类苯并吡啶类生物碱的提取及其硫酸氢盐的抗菌活性和急性毒性[J]. 农药学报, 2013, 15(3): 299-304.
- WANG B, CHENG P, CHEN J L, et al. Extraction of quaternary benzophenanthridine alkaloids (QBAs) from *Macleaya cordata* and antibacterial activity, acute toxicity of the QBAs bisulfate[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2013, 15(3): 299-304.
- [16] 满汉云, 满孜孜, 满意. 博落回总生物碱水分散粒剂杀菌剂及其制备方法: CN102318601B[P]. 2013-08-07.
- MAN H Y, MAN Z Z, MAN Y. *Macleaya cordata* total alkaloids water dispersion granule disinfectant and preparation method thereof: CN102318601B[P]. 2013-08-07.
- [17] 贾长青, 马瑞, 梁浩. 一种具有杀虫、抗菌的5-亚氨基取代衍生物及制备方法和应用: CN112457322B[P]. 2022-06-17.
- JIA C Q, MA R, LIANG H. Insecticidal and antibacterial 5-imino substituted derivative as well as preparation method and application thereof: CN112457322B[P]. 2022-06-17.
- [18] 谷清义, 聂淑君, 马润红, 等. 博落回生物碱与Bt复配对小菜蛾的毒力增效作用[J]. 长江蔬菜, 2023(2): 25-29.
- GU Q Y, NIE S J, MA R H, et al. Toxicity synergism effects of *Macleaya cordata* alkaloids compounded with Bt on *Plutella xylostella*[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2023(2): 25-29.
- [19] 闫瑞坤, 周国英, 伍南. 3种植物提取物复配对松梢螟幼虫的联合毒力作用[J]. 中国农学通报, 2012, 28(7): 27-31.
- YAN R K, ZHOU G Y, WU N. Common-toxicity of mixture of three plant extracts to the larvae of *Dioryctria splendidella* [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(7): 27-31.
- [20] 王锐, 张兴, 冯俊涛. 一种含苦参碱和博落回生物碱的植物源复配增效杀虫剂及其制备方法: CN102578164B[P]. 2013-11-27.
- WANG R, ZHANG X, FENG J T. Compounded botanical synergistic pesticide containing sophocarpidine and *macleaya* alkaloids and preparation method of compounded botanical synergistic pesticide: CN102578164B[P]. 2013-11-27.
- [21] 贾长青, 马瑞, 钱玺丞, 等. 高速逆流色谱法分离制备博落回血根碱与白屈菜红碱[J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 39-46.
- JIA C Q, MA R, QIAN X C, et al. Separation and preparation of sanguinarine and chelerythrine from *Macleaya cordata* root by high speed counter-current chromatography[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(1): 39-46.
- [22] 凌金锋, 周娟, 彭埃天, 等. 吡唑醚菌酯与代森锰锌对两种果树病原菌的联合毒力[J]. 植物保护, 2016, 42(5): 246-250.
- LING J F, ZHOU J, PENG A T, et al. Synergistic toxicity of pyraclostrobin and mancozeb against *Peronophythora litchii* and *Pseudocercospora musae*[J]. Plant Protection, 2016, 42(5): 246-250.
- [23] 鄢海峰, 周宗山. 异菌脉与戊唑醇、吡唑醚菌酯复配对苹果斑点落叶病菌的联合毒力[J]. 中国果树, 2021(6): 19-23.
- YAN H F, ZHOU Z S. Synergistic interaction of the mixtures of iprodione with pyraclostrobin or tebuconazole on *Alternaria alternata* f.sp.mali[J]. China Fruits, 2021(6): 19-23.
- [24] 农业部农药检定所. 农药室内生物测定试验准则: NY/T 1156.6—2006[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- ICAMA. Guidelines for indoor bioassay of pesticides-fungicides: NY/T 1156.6-2006[S]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2006.
- [25] 张家美, 桑维钧, 刁朝强, 等. 中草药提取物与杀菌剂复配对烟草赤星病菌的抑制效果[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(4): 59-62.
- ZHANG J M, SANG W J, DIAO C Q, et al. Inhibition effect of Chinese herb extracts and fungicide mixture against *Alternaria alternata*[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2017, 45(4): 59-62.
- [26] 牛慧慧. 啶酰菌胺与烯炔菌酯复配对灰葡萄孢毒力增效作用及机理初探[D]. 保定: 河北农业大学, 2019.
- NIU H H. Preliminary study on synergistic activity and mechanisms of mixtures of boscalid and enestroburin against *Botrytis cinerea*[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2019.
- [27] 邹东霞, 廖旺姣, 黄华艳, 等. 茶皂素及茶多酚对2种植物病原菌的联合毒力[J]. 西部林业科学, 2018, 47(4): 41-44, 58.
- ZOU D X, LIAO W J, HUANG H Y, et al. Co-toxicities of tea saponin and tea polyphenol on 2 plant pathogens[J]. Journal of West China Forestry Science, 2018, 47(4): 41-44, 58.
- [28] 郝卫宁, 曾勇, 胡美英, 等. 茶皂素与甲霜灵混配对黄瓜疫病菌的增效作用[J]. 农药, 2010, 49(10): 765-767.
- HAO W N, ZENG Y, HU M Y, et al. Synergism of tea saponin and metalaxyl against *Phytophthora melonis*[J]. Agrochemicals, 2010, 49(10): 765-767.
- [29] 宋应芳, 洪黄熙, 李卓丽, 等. 茶皂素控害及其增效作用研究进展[J]. 中国农学通报, 2022, 38(31): 119-124.
- SONG Y F, HONG H X, LI Z L, et al. Tea saponin: research progress on its effect of pest control and synergism[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2022, 38(31): 119-124.
- [30] 张慧勤. 茶皂素对两种杀菌剂抗茶树轮斑病菌的增效作用及其机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- ZHANG H Q. Synergistic action of tea saponin to two fungicides against *Pestalotiopsis theae* and its mechanism[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.