

◆ 药效与应用 ◆

## 间甲氧基苯甲酸和噻唑膦复配对土传病原微生物的联合毒力评价

刘静怡,王 晴,方文生,李 园,曹焯程,王秋霞,颜冬冬\*

(中国农业科学院植物保护研究所,北京 100193)

**摘要:**为筛选出更适合作物土传病害防治的高效农药品种,在室内条件下分别测定了间甲氧基苯甲酸与噻唑膦单剂及其复配对青枯雷尔氏菌、尖孢镰刀菌和根结线虫的毒力,并采用Wadley法对复配药剂的联合毒力进行评价。结果表明,不同复配比混合物对土传病原物的活性有所差异。间甲氧基苯甲酸与噻唑膦体积比为1:1时,对青枯雷尔氏菌和南方根结线虫的增效作用最强,增效系数SR分别为1.67和1.83;而该体积比下对尖孢镰刀菌的SR同样最高,为1.16,表现为相加作用。间甲氧基苯甲酸和噻唑膦按体积比1:1复配可用于防治土传病原微生物引起的植物病害。

**关键词:**土传病原物;噻唑膦;间甲氧基苯甲酸;农药复配;增效作用

**中图分类号:**TQ 450.21<sup>+1</sup> **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1671-5284.2024.04.013

### Evaluation of co-toxicity on the mixtures of *m*-methoxybenzoic acid with fosthiazate against soil-borne pathogenic microorganisms

LIU Jingyi, WANG Qing, FANG Wensheng, LI Yuan, CAO Aocheng, WANG Qiuxia, YAN Dongdong\*

(Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

**Abstract:** In order to screen highly effective pesticide formulations for the control of soil-borne diseases of crops, the toxicities of *m*-methoxybenzoic acid, fosthiazate and their combinations on *Ralstonia solanacearum*, *Fusarium oxysporum*, and root-knot nematodes were determined under lab conditions. The results showed that the inhibitory activities of the mixtures of *m*-methoxybenzoic acid and fosthiazate on soil-borne diseases varied with the ratio changed. The mixture of *m*-methoxybenzoic acid and fosthiazate at the volume ratio of 1:1 showed the highest synergistic effects on *Ralstonia solanacearum* and root-knot nematodes, with the SR of 1.67 and 1.83, respectively. The SR on *Fusarium oxysporum* was 1.16, showed the additive effect. The combination of *m*-methoxybenzoic acid and fosthiazate in a certain proportion could be used for the control of crop diseases caused by soil-borne pathogenic microorganisms.

**Key words:** soil-borne pathogenic organism; fosthiazate; *m*-methoxybenzoic acid; pesticide combination; synergism

土传病害是由土壤中存留的病原体随病残体生活在土壤中,条件适宜时对作物造成侵染而引起的植物病害。这类病害对蔬菜、果树、大田作物生产均构成威胁,且在温室大棚中侵染尤为严重<sup>[1]</sup>。通常经过3~5年的温室或大棚种植后,作物会表现出连作障碍,产量会有明显下降,约有20%~40%的减产,严重时减产幅度会超过60%,甚至造成绝收<sup>[2]</sup>。随

着温室或大棚栽培面积的不断扩大和高附加值作物的连年栽培,使得土壤中累积大量的病原菌,枯萎病、根腐病、黄萎病、青枯病及根结线虫病等毁灭性土传病害连年发生,且逐年加重,造成巨大的经济损失<sup>[3]</sup>。

土壤熏蒸是在作物种植之前将挥发性化合物施用于土壤,通常用于控制土传真菌病原微生物、

收稿日期:2023-12-14

基金项目:国家重点研发计划(2022YFC3501502、2023YFD1701205)

作者简介:刘静怡(2001—),女,哈尔滨人,硕士研究生,主要从事熏蒸剂作用机制研究。E-mail:ljy27272022@163.com

通信作者:颜冬冬(1986—),男,湖北仙桃人,博士,研究员,主要从事新型熏蒸剂作用机制研究。E-mail:yandongdong@caas.cn

线虫和杂草的为害<sup>[4]</sup>。在作物播种之前对土壤进行熏蒸处理是非常有效、稳定的防治土传病害,以及解决连作障碍的方法之一<sup>[5]</sup>。土壤消毒分为化学方法和非化学消毒法。非化学消毒法(蒸汽消毒法、热水处理法、燃烧法等)对技术和设备的要求较高,难以大规模推广使用;化学消毒法是在土壤中施用熏蒸剂,对土传病原真菌、细菌及线虫引起的病害防治效果十分显著。1993年前,溴甲烷作为一种高效的土壤消毒剂在世界范围内广泛使用,但是由于它对臭氧层具有破坏作用,中国已经在2015年开始禁止在农业方面的使用。目前在全球范围内,有很多不同的替代溴甲烷土壤消毒剂获得了登记和使用,包括碘甲烷、氯化苦、硫酰氟、二甲基二硫、1,3-二氯丙烯、异硫氰酸丙烯酯、异硫氰酸甲酯及其前身棉隆和威百亩等。在中国,氯化苦、棉隆、威百亩和硫酰氟等4种消毒剂已经获得了登记并投入使用<sup>[6]</sup>。但在作物生长中后期如果受到土传病害的危害,则没有直接有效的方法进行控制。

青枯病是植物的一种破坏性病害,广泛发生。其由青枯雷尔氏菌(*Ralstonia solanacearum*)引起,寄主范围很广,对许多重要的经济作物,如辣椒、番茄、茄子、马铃薯、烟草和香蕉等<sup>[7]</sup>产生危害,最易感染的寄主是茄科作物<sup>[8]</sup>。尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)是既可侵染植物,又可在土壤中生存的兼性寄生真菌,可引起100多种植物发生枯萎病。它在全球广泛分布,寄主范围广,在生产中难以彻底控制,有利的环境条件下会导致作物歉收<sup>[9]</sup>。尖孢镰刀菌引起包括黄瓜和番茄在内许多作物的根和茎腐烂和萎蔫,从而产生了巨大的经济损失,是世界十大植物病原真菌之一<sup>[10-11]</sup>。根结线虫是一类重要的植物寄生线虫,超过100种线虫对中国农业、林业和重要经济作物造成严重危害,每年给全球农业造成约1 570亿美元的损失<sup>[12]</sup>。其被列为全球十大植物寄生线虫之首,是危害农作物的重要病原生物之一,广泛分布于世界各地<sup>[13-15]</sup>。此外,根结线虫在入侵时会造成植株根部的机械损伤产生伤口,而伤口是各种病原物侵染的重要途径<sup>[16]</sup>。线虫入侵后,受害根部产生大小不等的瘤状物或根结,地上部分生长缓慢,叶片变黄,植株矮小,甚至枯死<sup>[17]</sup>。

间甲氧基苯甲酸是一种合成医药、农药的中间体,对植物病原菌具有良好活性。其可从外来入侵杂草薇甘菊(*Mikania micrantha* Kunth)中提取得到<sup>[18]</sup>。薇甘菊具有抗氧化、抗炎、抗病原微生物、驱虫等作用<sup>[19]</sup>。李君等<sup>[20]</sup>采用活性追踪法,从薇甘菊叶氯仿提

取物中提取到间甲氧基苯甲酸和薇甘菊内酯,间甲氧基苯甲酸具有中等的杀线虫活性,能够降低根结线虫2龄幼虫对番茄的侵染,抑制卵囊孵化。噻唑膦为有机磷类杀虫剂,自2002年首次进入中国市场以来,其优良效果和极高的性价比使其迅速成为防治我国土壤根结线虫的主要化学农药。2005年,噻唑膦正式在国内完成登记,并被广泛应用于黄瓜、番茄、水稻、果树等多种农作物的根结线虫防控<sup>[21]</sup>。由于连续多年的使用,根结线虫在一定程度上对噻唑膦产生了抗性<sup>[22]</sup>。同时,过度依赖化学农药也会给生态环境及食品安全带来不良影响,国家提出了化学农药减施增效战略<sup>[23]</sup>。因此,本研究将天然产物间甲氧基苯甲酸与化学农药噻唑膦进行复配,测定其对几种土传病原微生物的联合毒力及增效系数,筛选出两者最佳配比,为日后土传病害的科学防治提供了参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试菌株:细菌青枯雷尔氏菌(*R. solanacearum*)、尖孢镰刀菌番茄专化型(*F. oxysporum*),均为中国农业科学院植物保护研究所保存菌种。供试病原菌株长期保存于低温环境中,在活性测定前需对供试病菌进行活化培养。尖孢镰刀菌的菌落活化需用到马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基,无菌条件下,用打孔器在尖孢镰刀菌菌落边缘沿同一圆周下打取直径为5 mm的菌饼,菌丝面朝下接入新的PDA平板中心。于28℃真菌培养箱中倒置培养5~7 d,待菌丝长至培养皿边缘,选取长势较好的菌落,重复以上步骤继代培养2~3次后用于活性测定。青枯雷尔氏菌活化需用到营养琼脂(NA)培养基,将长期冷冻保存于-80℃冰箱中的青枯雷尔氏菌冻存管取出,放置在室温下短时间自然解冻。将解冻后的冻存液全部转移到装有无菌NA培养基的锥形瓶中。将锥形瓶密封后,放入恒温摇床,在37℃条件下进行培养。初始阶段,将培养基于150 r/min慢速振荡,培养12~24 h,直到观察到菌液出现明显浑浊,表明细菌已经活化并且开始生长。经过初始复苏培养后,选取一部分已经活化的菌液,再次接种到新的液体NA培养基中进行继代培养,以进一步扩大菌种。

供试线虫:采集自北京市房山区黄瓜根结线虫重病区,经形态学鉴定为南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*)。于室内挑取植物根部的新鲜卵囊,加入少量无菌水培养2~7 d后,收取活力较高的2龄幼虫

供测试。

供试培养基:尖孢镰刀菌菌株培养所需培养基为马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基,细菌青枯雷尔氏菌所需培养基为营养肉汤(NB)培养基。PDA培养基及NB培养基购于北京奥博星生物技术有限责任公司。PDA培养基组成:马铃薯浸出粉3.0 g/L、葡萄糖20.0 g/L、琼脂14.0 g/L;pH为 $5.6 \pm 0.2$ 。称取PDA培养基37.0 g,加入1 L蒸馏水中,用玻璃棒不断搅拌,加热煮沸至溶解完全,分装于100 mL锥形瓶中并密封,于121℃高压灭菌锅中灭菌15 min,备用。NB培养基组成:牛肉浸出粉3.0 g/L、胨10.0 g/L、氯化钠5.0 g/L;pH为 $7.2 \pm 0.2$ 。称取NB培养基18 g,加入1 L蒸馏水中,加热煮沸至完全溶解并分装,于115℃温度下高压灭菌30 min备用。

供试药品:间甲氧基苯甲酸原药,湖北实兴化工有限公司;70%噻唑膦乳油,河北三农农用化工有限公司;二甲基亚砜(DMSO)、吐温80、NaClO(0.5%)、蒸馏水、无菌水等。

供试仪器设备:UVmini-1240紫外可见分光光度计,北京岛津医疗器械有限公司;超净工作台,北京东联哈尔仪器制造有限公司;THZ-C-1台式恒温振荡器,苏州培英实验设备有限公司;低温恒温培养箱MIR-254,松下健康医疗器械株式会社;立式压力蒸汽灭菌器,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;连续变倍体视显微镜,重庆奥特光学仪器有限公司;电子天平SQP,赛多利斯科学仪器有限公司;多孔生化测试板,康宁公司。

## 1.2 药剂配制与处理

间甲氧基苯甲酸以二甲基亚砜溶解,吐温80溶解稀释;70%噻唑膦乳油直接以蒸馏水稀释。间甲氧基苯甲酸和噻唑膦先配制成500 g/L的单剂母液,再分别以体积比5:1、3:1、2:1、1:1、1:2、1:3、1:5的比例混合成复配母液备用。

## 1.3 间甲氧基苯甲酸和噻唑膦复配的毒力测定

采用浑浊度法<sup>[24]</sup>测定对青枯雷尔氏菌的毒力,将在NA平板上生长48 h的供试菌株洗脱,配制成 $3 \times 10^8$  CFU/mL的菌悬液,取10  $\mu$ L菌液加入到含有2 mL NB培养基的5 mL离心管中,随后加入不同体积的供试药剂母液,使之形成4  $\mu$ g/mL、8  $\mu$ g/mL、16

$\mu$ g/mL、32  $\mu$ g/mL、64  $\mu$ g/mL、128  $\mu$ g/mL和256  $\mu$ g/mL的系列质量浓度梯度,置于28~30℃振荡培养(120 r/min)。所有处理菌液以紫外分光光度计测定600 nm波长下吸光值 $A_{600}$ 。处理菌液于摇床180 r/min、28℃条件下振荡培养至菌液 $A_{600}$ 为0.8~1.2(即进入对数生长期)。以只含药剂的NB培养基进行校准,测量各处理的 $A_{600}$ ,计算各药剂的抑菌活性。

采用平皿法<sup>[25]</sup>测定对尖孢镰刀菌的毒力。在无菌操作条件下配制含药培养基,分别取适量的单剂、复配母液加入到灭菌后冷却的PDA培养基中,分别配成含系列质量浓度(31.25  $\mu$ g/mL、62.5  $\mu$ g/mL、125  $\mu$ g/mL、250  $\mu$ g/mL、500  $\mu$ g/mL、1 000  $\mu$ g/mL)单剂及混合物的含药培养基。将混合后的培养基均匀倒入直径为9 cm的培养皿内,待培养皿冷却凝固后,即制成带毒培养皿<sup>[26]</sup>。将活化后的尖孢镰刀菌打取直径为7 mm的菌饼,带菌面朝下,放到带毒培养皿的中央,每皿1个菌饼,置于25℃培养箱中黑暗培养。待空白对照中的菌落充分生长后,以十字交叉法测量各处理的菌落直径。

采用浸虫法<sup>[27]</sup>测定对南方根结线虫的毒力。供试药剂浓度梯度的配制与抑制尖孢镰刀菌试验相同。在体视显微镜下挑取发病番茄根系的新鲜卵囊,放入直径9 cm的培养皿内,用质量分数0.5%的NaClO表面消毒3 min,无菌水洗3次,在25℃左右孵化2龄幼虫供测试。取多孔生化测试板,每孔加入配制的不同浓度的药剂,再加入等体积的线虫悬浮液,加盖,于25℃条件下恒温保湿培养,分别在处理后的不同时间于体视显微镜下用针刺法判断线虫的死活,统计死亡情况。试验设置DMSO对照与无菌蒸馏水对照,每个变量4次重复。

## 1.4 数据统计分析

按公式(1)计算对青枯雷尔氏菌的生长抑制率(%),计算结果保留至小数点后2位。

$$P/\% = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

式中: $P$ —生长抑制率,%; $A_0$ —空白对照浑浊度增加值; $A_1$ —药剂处理浑浊度增加值。

以十字交叉法测量尖孢镰刀菌各处理的菌落直径,采用公式(2)计算菌落直径增长(mm),取其平均值。采用公式(3)计算抑制率(%)。

$$\text{菌落直径增长} = \text{菌落直径} - \text{菌饼直径} \quad (2)$$

$$\text{菌丝生长抑制率}/\% = \frac{\text{对照菌落直径增长} - \text{药剂处理菌落直径增长}}{\text{对照菌落直径增长}} \times 100 \quad (3)$$



按照公式(4)、公式(5)计算南方根结线虫死亡率和校正死亡率。

死亡率/%=死亡线虫数/处理线虫数 × 100 (4)

校正死亡率/%=(处理死亡率-对照死亡率)/(100-对照死亡率) × 100 (5)

采用Microsoft Excel 2016和IBM SPSS Statistics 27软件对药剂浓度对数值与抑制率几率值进行回归分析,计算药剂EC<sub>50</sub>、LC<sub>50</sub>及95%置信区间。根据Wadley法<sup>[28]</sup>来评价间甲氧基苯甲酸与噻唑膦混用对青枯雷尔氏菌等的联合作用类型、增效系数(SR),计算方式如式(6)、式(7)。

混剂理论EC<sub>50</sub>= (混剂A质量分数+混剂B质量分数) / (混剂A质量分数/A的EC<sub>50</sub> + 混剂B质量分数/B的EC<sub>50</sub>) × 100 (6)

增效系数(SR)=混剂理论EC<sub>50</sub>/混剂实测EC<sub>50</sub> (7)

式中:A、B分别为间甲氧基苯甲酸和噻唑膦

原药。

SR<0.5为拮抗作用;0.5≤SR≤1.5为相加作用;SR>1.5为增效作用。

2 结果与分析

2.1 间甲氧基苯甲酸和噻唑膦复配对青枯雷尔氏菌的联合毒力

从表1可知:间甲氧基苯甲酸和噻唑膦对青枯雷尔氏菌EC<sub>50</sub>分别为344.77、782.13 μg/mL。其不同配比混合物对青枯雷尔氏菌表现出不同抑制作用。间甲氧基苯甲酸与噻唑膦体积比为1:1时,表现为增效作用,EC<sub>50</sub>为386.42 μg/mL,增效系数为1.67;体积比为5:1、2:1、1:2、1:3时,增效系数分别为0.65、0.94、0.70、1.00,表现为相加作用;体积比为3:1、1:5时,增效系数分别为0.12、0.49,表现为拮抗作用。

表 1 间甲氧基苯甲酸和噻唑膦混合物对青枯雷尔氏菌的毒力

| 处理         | 毒力回归方程       | 相关系数 | EC <sub>50</sub> /(μg/mL) | 95%置信区间/(μg/mL)   | SR   | 评价 |
|------------|--------------|------|---------------------------|-------------------|------|----|
| 间甲氧基苯甲酸(A) | y=2.50+0.99x | 0.92 | 344.77                    | 292.77~369.79     |      |    |
| 噻唑膦(B)     | y=2.23+0.94x | 0.96 | 782.13                    | 658.52~841.96     |      |    |
| A+B(5:1)   | y=2.76+0.81x | 0.90 | 581.03                    | 476.19~632.75     | 0.65 | 相加 |
| A+B(3:1)   | y=3.53+0.42x | 0.87 | 3 214.97                  | 2 186.32~3 792.69 | 0.12 | 拮抗 |
| A+B(2:1)   | y=2.61+0.90x | 0.92 | 450.52                    | 376.73~486.42     | 0.94 | 相加 |
| A+B(1:1)   | y=1.64+1.30x | 0.97 | 386.42                    | 341.29~407.54     | 1.67 | 增效 |
| A+B(1:2)   | y=1.56+1.19x | 0.95 | 780.78                    | 681.95~827.40     | 0.70 | 相加 |
| A+B(1:3)   | y=2.74+0.81x | 0.92 | 592.55                    | 486.11~645.03     | 1.00 | 相加 |
| A+B(1:5)   | y=3.01+0.67x | 0.93 | 972.68                    | 763.32~1 079.15   | 0.49 | 拮抗 |

2.2 间甲氧基苯甲酸和噻唑膦复配对尖孢镰刀菌的联合毒力

从表2可以看出:间甲氧基苯甲酸和噻唑膦对尖孢镰刀菌的EC<sub>50</sub>分别为927.75、2 578.70 μg/mL。二者体积比为5:1~1:5时,对尖孢镰刀菌的增效

系数为0.17~1.16。其中,复配体积比为1:1的效果最好,增效系数最高,为1.16,表现为相加作用;复配体积比为1:2与1:3时,增效系数均为0.73,表现为相加作用;但复配体积比为5:1、3:1、2:1、1:5时表现为拮抗作用。

表 2 间甲氧基苯甲酸和噻唑膦混合物对尖孢镰刀菌的毒力

| 处理         | 毒力回归方程        | 相关系数 | EC <sub>50</sub> /(μg/mL) | 95%置信区间/(μg/mL)    | SR   | 评价 |
|------------|---------------|------|---------------------------|--------------------|------|----|
| 间甲氧基苯甲酸(A) | y=-1.20+2.01x | 0.96 | 927.75                    | 858.83~958.96      |      |    |
| 噻唑膦(B)     | y=2.25+0.81x  | 0.96 | 2 578.70                  | 2 111.83~2 809.15  |      |    |
| A+B(5:1)   | y=2.79+0.55x  | 0.92 | 10 603.63                 | 7 910.10~12 022.64 | 0.17 | 拮抗 |
| A+B(3:1)   | y=2.40+0.67x  | 0.92 | 7 573.29                  | 5 956.11~8 394.48  | 0.26 | 拮抗 |
| A+B(2:1)   | y=1.90+0.90x  | 0.93 | 2 800.79                  | 2 342.01~3 023.97  | 0.49 | 拮抗 |
| A+B(1:1)   | y=-0.42+1.84x | 0.96 | 896.58                    | 821.19~930.97      | 1.16 | 相加 |
| A+B(1:2)   | y=1.33+1.16x  | 0.90 | 1 507.84                  | 1 311.44~1 600.77  | 0.73 | 相加 |
| A+B(1:3)   | y=2.04+0.93x  | 0.88 | 1 613.28                  | 1 357.57~1 737.12  | 0.73 | 相加 |
| A+B(1:5)   | y=1.66+0.95x  | 0.96 | 3 435.11                  | 2 896.98~3 695.33  | 0.47 | 拮抗 |

2.3 间甲氧基苯甲酸和噻唑膦复配对南方根结线虫的联合毒力

从表3可以看出:间甲氧基苯甲酸和噻唑膦对南方根结线虫的LC<sub>50</sub>分别为295.10、256.93 μg/mL。复配体积比为1:1时,LC<sub>50</sub>最小,为146.38 μg/mL。间甲氧基苯甲酸与噻唑膦复配体积比为5:1~1:5

时,增效系数为0.38~1.83。其中,复配体积比为1:1时,增效作用最为明显,增效系数最高,为1.83;体积比为1:2时,增效作用也较明显,增效系数为1.80,LC<sub>50</sub>为153.03 μg/mL;复配体积比为5:1、2:1、1:3、1:5时,表现为相加作用;体积比为3:1时,表现出拮抗作用。

表 3 间甲氧基苯甲酸和噻唑膦混合物对南方根结线虫的毒力

| 处理         | 毒力回归方程       | 相关系数 | LC <sub>50</sub> /(μg/mL) | 95%置信区间/(μg/mL) | SR   | 评价 |
|------------|--------------|------|---------------------------|-----------------|------|----|
| 间甲氧基苯甲酸(A) | y=1.65+1.36x | 0.99 | 295.10                    | 254.87~341.68   |      |    |
| 噻唑膦(B)     | y=2.56+1.01x | 0.99 | 256.93                    | 234.51~281.50   |      |    |
| A+B(5:1)   | y=1.59+1.28x | 0.99 | 472.29                    | 391.71~569.44   | 0.61 | 相加 |
| A+B(3:1)   | y=1.45+1.24x | 0.99 | 751.31                    | 621.42~908.35   | 0.38 | 拮抗 |
| A+B(2:1)   | y=1.80+1.35x | 0.99 | 239.66                    | 223.69~256.78   | 1.17 | 相加 |
| A+B(1:1)   | y=2.54+1.14x | 0.99 | 146.38                    | 128.33~166.97   | 1.83 | 增效 |
| A+B(1:2)   | y=2.27+1.25x | 0.97 | 153.03                    | 116.83~200.44   | 1.80 | 增效 |
| A+B(1:3)   | y=2.74+0.96x | 0.99 | 224.25                    | 206.15~243.95   | 1.18 | 相加 |
| A+B(1:5)   | y=1.58+1.41x | 0.99 | 268.85                    | 220.12~328.37   | 0.98 | 相加 |

3 结论与讨论

目前间甲氧基苯甲酸的复配剂使用较少;噻唑膦作为应用最广泛的线虫防治药剂,与其他药剂复配使用较多,是一种很好的非熏蒸性杀线虫剂<sup>[29]</sup>。本试验将间甲氧基苯甲酸和噻唑膦进行复配,不同的复配组合对土传植物病原细菌青枯雷尔氏菌、土传植物病原真菌尖孢镰刀菌、植物寄生线虫南方根结线虫的抑制活性具有一定的差异,以体积比为1:1时对青枯雷尔氏菌和南方根结线虫的增效作用最强,SR分别为1.67和1.83。二者复配对尖孢镰刀菌并未表现出增效作用,SR最大仅为1.16,表现为相加作用。

由于噻唑膦容易被光解和水解,在土壤中的防治效果不稳定。随着时间的推移,噻唑膦可能会失去活性,从而无法持续地对目标病虫害进行有效控制,种植户往往会加大用药量以达到较好的杀虫效果,但噻唑膦的过量使用,可能会造成环境污染问题。过多的农药残留在土壤中可能会渗入地下水或流入河流、湖泊等水体中,并对生态系统产生负面影响。此外,长期积累的农药残留还可能危及人类健康。因此,关于噻唑膦与生物农药的复配研究开展较多。李君等<sup>[18]</sup>将从薇甘菊中提取得到的间甲氧基苯甲酸与生物农药氨基寡糖素进行不同比例的复配,当体积比为1:1时,对青枯病、细菌性角斑病、番茄溃疡病等植物细菌性病害有较好的防治效

果。王泊理等<sup>[30]</sup>将噻唑膦与生物农药几丁聚糖或苦参碱进行复配,复配剂对植物线虫的防治效果较好,此外还显著增强了作物抗逆性,减少了农药用量,降低了残留。噻唑膦与生防菌木霉菌<sup>[31]</sup>、链霉菌<sup>[32]</sup>等进行复配,对根结线虫也起到了较好的防治效果。本研究将间甲氧基苯甲酸与噻唑膦农药进行复配,2种药物间的协同效应可以最大限度地发挥药效,并在防治土传病原微生物方面能够产生明显的协同增效作用,有助于减少用药量并降低总体用药成本。

参考文献

[1] YAN D, WANG Q, SONG Z, et al. Activation effect of soil available nitrogen, manganese and cobalt after addition of different fumigants[J]. Environmental Research Communications, 2022, 4 (4): 041002.

[2] REN L, LI W, ZHANG D, et al. Silica modified copper-based alginate/chitosan hybrid hydrogel to control soil fumigant release, reduce emission and enhance bioactivity[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 244: 125132.

[3] 曹塍程, 刘晓漫, 郭美霞, 等. 作物土传病害的危害及防治技术[J]. 植物保护, 2017, 43(2): 6-16.

[4] CASTELLANO-HINOJOSA A, BOYD N S, STRAUSS S L. Impact of fumigants on non-target soil microorganisms: a review[J]. Journal of Hazardous Materials, 2022, 427: 128149.

[5] 曹塍程, 方文生, 李园, 等. 我国土壤熏蒸消毒60年回顾[J]. 植物保护学报, 2022, 49(1): 325-335.

[6] 王秋霞, 颜冬冬, 王献礼, 等. 土壤熏蒸剂研究进展[J]. 植物保护学报, 2017, 44(4): 529-543.

- [7] MAMPHOGORO T, BABALOLA O, AIYEGORO O. Sustainable management strategies for bacterial wilt of sweet peppers (*Capsicum annuum*) and other Solanaceous crops[J]. Journal of Applied Microbiology, 2020, 129(3): 496-508.
- [8] 唐艺玮. 青枯病对植物的为害及其生物防治研究[J]. 种子科技, 2023, 41(2): 105-107.
- [9] ZHANG D, REN L, WANG Q, et al. Systematic assessment of the antifungal mechanism of soil fumigant methyl isothiocyanate against *Fusarium oxysporum*[J]. Environmental Pollution, 2023, 341: 122791.
- [10] 王宇鹏, 杨帆, 赵华. 致病性尖孢镰刀拮抗菌的筛选与鉴定[J]. 中国酿造, 2018, 37(9): 94-99.
- [11] DEAN R, KAN V J A L, PRETORIUS Z A, et al. The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology[J]. Mol Plant Pathol, 2012, 13: 414.
- [12] WANG Q, REN L, ZHANG D, et al. Synergistic activity of dimethyl disulfide mixtures with two chemical compounds against *Meloidogyne incognita*[J]. Sustainability, 2022, 14(24): 16711.
- [13] 李运朝, 李洪涛, 及华, 等. 不同生物制剂对南方根结线虫杀虫活性与防治效果[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(12): 2810-2816.
- [14] 赵鸿, 彭德良, 朱建兰. 根结线虫的研究现状[J]. 植物保护, 2003, 29(6): 6-9.
- [15] 金娜, 陈永攀, 刘倩, 等. 我国蔬菜根结线虫发生、致害和绿色防控研究进展[J]. 植物保护学报, 2022, 49(1): 424-438.
- [16] 金娜, 刘倩, 简恒. 植物寄生线虫生物防治研究新进展[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(5): 789-800.
- [17] 贤振华, 王昱莎, 艾辉建, 等. 不同药剂复配对南方根结线虫增效作用[J]. 农药, 2014, 53(6): 449-452.
- [18] 李君, 曹塆程, 毛连纲, 等. 一种含有间-甲氧基苯甲酸和氨基寡糖素的生物复配制剂及其应用: ZL, 201510064635.2 [P]. 2017-06-06.
- [19] ALI KHAN M, EL-KERSH D M, ISLAM M S, et al. *Mikania micrantha* Kunth: an ethnopharmacological treasure trove of therapeutic potential[J]. Chemistry & Biodiversity, 2023, 20(11): 202300392.
- [20] 李君, 李奕, 曹塆程, 等. 薇甘菊杀线虫活性成分及其对番茄生长的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(19): 70-74.
- [21] 马娟, 李秀花, 高波, 等. 噻唑膦与氨基寡糖素联合应用对甘薯茎线虫病的防治效果[J]. 河北农业科学, 2022, 26(6): 50-55.
- [22] HUANG B, QIAN W, GUO M X, et al. The synergistic advantage of combining chloropicrin or dazomet with fosthiazate nematicide to control root-knot nematode in cucumber production[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2019, 18(9): 2093-2106.
- [23] 徐长春. “十三·五”国家重点研发计划农药减施增效类项目述评[J]. 植物保护, 2018, 44(5): 91-94; 175.
- [24] 中华人民共和国农业部. 农药室内生物测定试验准则 杀菌剂 第16部分: 抑制细菌生长量试验 浑浊度法: NY/T 1156.16—2008 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [25] 中华人民共和国农业部. 农药室内生物测定试验准则 杀菌剂 第2部分: 抑制病原真菌菌丝生长试验 平皿法: NY/T 1156.2—2008 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [26] 刘浩, 张娜, 阴春晖, 等. 两种测定化合物对真菌菌丝生长抑制活性方法的比较[J]. 天然产物研究与开发, 2009, 21(4): 577-580.
- [27] 中华人民共和国农业部. 农药室内生物测定试验准则 杀线虫剂 第1部分 抑制植物病原线虫试验 浸虫法: NY/T 1883.1—2009 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [28] WADLEY F M. Experimental statistics in entomology [M]. Washington: Graduate School Press, 1967: 387.
- [29] 黄加诚, 朱植银, 陈龚莉, 等. 阿维菌素与噻唑膦复配药剂防治生姜根结线虫病药效研究[J]. 现代农业科技, 2018(9): 137-138; 140.
- [30] 王泊理, 耿帅峰. 一种含有噻唑膦的杀线虫组合物: ZL, 201611010668.X [P]. 2018-03-13.
- [31] 刘晓宇, 王媛媛, 范海燕, 等. 桔绿木霉Snef1910联合噻唑膦防治根结线虫减施增效研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2020, 51(6): 755-761.
- [32] 张欣, 杨树, 苟攀宁, 等. 萎伪氏链霉菌与噻唑膦复配对南方根结线虫的防治效果[J]. 中国蔬菜, 2021, 394(12): 85-89.

(编辑: 顾林玲)

(上接第 43 页)

- 药学报, 2024, 26(1): 69-76.
- [2] 刘荣荣, 郭庆, 刘慧君, 等. 氯氟醚菌唑在黄瓜上的残留及膳食风险评估[J]. 植物保护, 2024, 50(1): 225-231.
- [3] 刘鹏飞, 兰杰, 李志念, 等. 氯氟醚菌唑(Mefentrifluconazole)的合成及生物活性[J]. 农药, 2020, 59(4): 256-257.
- [4] 张志刚, 张奎祚, 郑晓迪, 等. 氯氟醚菌唑合成方法述评[J]. 现代农药, 2019, 18(4): 24-26.
- [5] DIETZ J, RIGGS R, BOUDET N, et al. Fungicidal substituted 2-[2-halogenalkyl-4-phenoxy]-phenyl]-1-[1,2,4] triazol-1-yl-ethanol compounds: WO, 2013007767 [P]. 2013-01-17.
- [6] ZIERKE T, GEBHARDT J, SCHAFER P, et al. Process for the preparation of substituted oxiranes and triazoles: WO, 2014108286 [P]. 2014-07-17.
- [7] LOHMANN J K, HADEN E, STROBEL D, et al. Compositions comprising a triazole compound: WO, 2014095994 [P]. 2014-06-26.
- [8] GEBHARDT J, EHRESMANN M, CHIODO T, et al. Process for the preparation of substituted oxiranes and triazoles: WO, 2016005211 [P]. 2016-01-14.
- [9] GEBHARDT J, SAELINGER D, EHRESMANN M, et al. Preparation of 2-[4-(4-chlorophenoxy)-2-(trifluoromethyl)phenyl]-1-(1,2,4-triazol-1-yl)propan-2-ol: WO, 2017102905A1 [P]. 2017-06-22.
- [10] GEBHARDT J, LOHMANN J K, ANDERSON D, et al. Process for the preparation of substituted phenoxyphenyl alcohols: WO, 2018229027A1 [P]. 2018-12-20.
- [11] VOGELBACHER U J, GEBHARDT J, RACK M, et al. Process for the preparation of substituted phenoxyphenyl ketones: WO, 2015091045A1 [P]. 2015-06-25.
- [12] GRAMMENOS W, BOUDET N, MUELLER B, et al. Substituted [1,2,4] triazole Compounds: WO2015185708 [P]. 2014-06-06.

(编辑: 顾林玲)