

娄彻氏链霉菌 ZZ-9 与阿维菌素复配对南方根结线虫病的防治效果

黑雅娅, 杨树, 张欣, 陈军宏, 张扬, 薛应钰

(甘肃省农作物病虫害生物防治工程实验室·甘肃农业大学植物保护学院 兰州 730070)

摘要: 为筛选出对南方根结线虫毒杀效果好的药剂复配浓度和比例, 以南方根结线虫二龄幼虫、阿维菌素、娄彻氏链霉菌(*Streptomyces rochei*) ZZ-9 为试验材料, 开展了复配试验。结果表明, 阿维菌素质量浓度为 $1.0 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 二龄幼虫的校正死亡率最高, 为 30.60%; 将 ZZ-9 菌株发酵滤液原液与 $1.0 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 阿维菌素复配, 体积比为 3:1 时对南方根结线虫病的防治效果最佳, 48 h 校正死亡率为 54.44%, 比单一使用阿维菌素提高了 23.84%, 且药剂的使用量减少了 75%。可见, 娄彻氏链霉菌 ZZ-9 与阿维菌素 ($1.0 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) 3:1 复配可以显著提高根结线虫二龄幼虫的死亡率, 减少农药的使用量, 为南方根结线虫病的防治提供了理论依据。

关键词: 娄彻氏链霉菌; 南方根结线虫; 阿维菌素; 杀线活性

中图分类号: S641.2+S476 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2022)05-096-06

Management of *Meloidogyne incognita* by using the combination of *Streptomyces rochei* ZZ-9 and avermectin

HEI Yaya, YANG Shu, ZHAG Xin, CHEN Junhong, ZHANG Yang, XUE Yingyu

(Biocontrol Engineering Laboratory of Crop Diseases and Pests of Gansu Province/College of Plant Protection, Gansu Agricultural University/Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: The purpose of present study was to test the combination of *Streptomyces rochei* ZZ-9 and avermectin against *Meloidogyne incognita*. The second-stage juveniles (J2s) of *M. incognita*, *Streptomyces rochei* ZZ-9 culture filtration and avermectin were used to conduct the combination experiment. The results showed that the highest corrected mortality of *M. incognita* J2s 30.60% was for avermectin at the concentration of $1.0 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$. However, the combination of *S. rochei* ZZ-9 culture filtration and avermectin at volume ratio of 3:1 resulted in 54.44% mortality of J2s at 48 h after inoculation, 23.84% higher than use avermectin alone. This combination also reduced the use of avermectin by 75%. Therefore, the combination of *S. rochei* ZZ-9 culture filtration and abamectin ($1.0 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) at volume ration of 3:1 provides good management of root-knot nematode.

Key words: *Streptomyces rochei*; *Meloidogyne incognite*; Avermectin; Nematicidal activity

根结线虫 (*Meloidogyne* spp.) 是一类寄主范围十分广泛的植物病原线虫, 严重影响农业生产^[1]。近年来, 随着蔬菜种植面积的扩大, 南方根结线虫 (*Meloidogyne incognite*) 的发生呈蔓延趋势, 尤其是在温室栽培中发生最为严重^[2]。化学防治具有高效、经济和易操作等特点, 是控制南方根结线虫的主要方式之一。但是长期使用化学农药会使根结线虫产生抗药性, 农药残留问题日益凸显, 严重危害人类健康以及破坏生态环境。目前, 一些化学药

剂已被严格限用或禁用, 因此现在亟需找到一种安全、高效、对环境友好的新方法防治根结线虫^[3]。随着生物农药的研究应用以及绿色植保技术的推广, 生物防治将成为我国绿色农业发展的必然选择和趋势^[4]。

阿维菌素是由土壤微生物阿维链霉菌的代谢产物研制而成的微生物源农药, 近年来被广泛应用于农业生产, 对防治根结线虫具有良好效果^[5]。长期单一使用阿维菌素等农药会使害虫产生抗药性,

收稿日期: 2021-08-17; 修回日期: 2021-11-15

基金项目: 甘肃省自然科学基金(20JR5RA030); 甘肃省高校科研项目(2017A-028)

作者简介: 黑雅娅, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为植物病害生物防治。E-mail: 1037298185@qq.com

通信作者: 薛应钰, 男, 副教授, 主要从事植物病害生物防治的研究工作。E-mail: xueyy@gsau.edu.cn

而盲目滥用农药也严重影响人类健康和农业绿色可持续发展^[6-7]。汤晗等^[8]对浙江省芹菜进行农药残留检测,94.7%的芹菜样品中有农药检出。韩明慧等^[9]研究发现新烟碱农药具有生殖毒性、肝毒性、神经毒性、遗传毒性和内分泌干扰效应,而且动物染毒剂量为 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 级别,高于一般人群 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 级别的暴露剂量。张巍等^[10]报道显示农药对环境的污染主要表现在大气污染、水体污染、土壤污染以及对生物的影响等方面。

近年来使用生防放线菌来防治植物病害已成为研究热点。放线菌是广泛分布于自然界中尤为重要的优势微生物类群,可以产生多种活性物质。链霉菌属是放线菌的一个主要类群,所产生的次级代谢产物结构种类多样,已经被广泛应用于农业生产中^[11]。胡栋等^[12]报道抗生素链霉菌(*Streptomyces antibioticus*)菌株 S205 对根结线虫的校正击倒率为 92.90%,盆栽防效达到 56.82%,且该菌在亚低温状态下依然能较好生长,抗性较强。周银丽等^[13]分离的壮观链霉菌(*Streptomyces spectabilis*)菌株 JS 1 可以有效杀死南方根结线虫二龄幼虫、抑制线虫卵孵化。此外还有研究表明,微白黄链霉菌(*Streptomyces albidoflavus*)菌株发酵培养液对根结线虫具有明显的抑制作用,杀线活性为 93.29%^[14]。由此可见,链霉菌可以产生多种防治根结线虫的活性物质,具有很高的研究价值。

本试验所用放线菌菌株为娄彻氏链霉菌(*Streptomyces rochei*)ZZ-9,是由甘肃农业大学植物病害生物防治实验室分离的具有自主知识产权的生防菌株。主要研究了娄彻氏链霉菌(*Streptomyces rochei*)ZZ-9 活菌液、发酵滤液的杀线活性以及菌株发酵液与阿维菌素以不同比例复配对南方根结线虫二龄幼虫的毒杀作用。以期通过本研究来减少化学农药的使用和延缓根结线虫抗药性产生,探索出一种新的方法来防治南方根结线虫病,对农业绿色可持续发展具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 供试生防菌株 娄彻氏链霉菌 ZZ-9(专利保存号:CGMCC No.15245)由甘肃农业大学植物病害生物防治实验室分离保存。

1.1.2 供试植株和药剂 使用的番茄品种为秦蔬毛粉 802,由西安秦蔬农业有限公司生产。供试药剂为 1.8%阿维菌素乳油,由山东省绿士农药有限公

司生产。

1.1.3 供试土壤 移栽病土于 2017 年 7 月采自甘肃省兰州市榆中县南方根结线虫发生较严重的番茄地块。选取每块田地的四角位置和中间位置为采集点,在植株周围选 3 处不同位置用铁铲挖 5~20 cm 处,每个位置取 100 g 左右的土壤并去除肉眼可见较大的石块或者腐质,然后装至自封袋中混合均匀,带回实验室备用。

1.1.4 供试线虫 南方根结线虫二龄幼虫从上述土样中分离。

1.1.5 培养基 高氏一号固体培养基、高氏一号液体培养基、小米浸汁培养基。

1.1.6 主要仪器 HZP-91R 恒温培养摇床,上海跃进医疗器械有限公司;VORTEX-5 漩涡混合器,海门市其林贝尔仪器制造有限公司;RQX-250 智能型人工气候箱,上海跃进医疗器械有限公司。

1.2 方 法

1.2.1 南方根结线虫的繁殖和二龄幼虫的获得 2019 年 6 月在甘肃农业大学植物病害生物防治实验室采用盆栽感病番茄繁殖南方根结线虫^[15-16]。将番茄种子催芽后播种于采集的病土土样中,繁殖南方根结线虫,每盆种 2 株番茄,共 10 盆。35 d 后,将番茄根取出并用流水冲洗表面泥土,用镊子挑取根部卵囊于培养皿中,用 0.5%次氯酸钠消毒 3 min,再用无菌水反复冲洗 3 次。将消毒后的卵囊置于灭菌的培养皿中,室温条件下孵化 2 d,每隔 24 h 用移液枪收集二龄幼虫于灭菌的三角瓶中,采用计数皿对二龄幼虫进行计数,并用无菌水将其配制成 $200 \text{条}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的线虫悬浮液,于 4 °C 冰箱保存备用。

1.2.2 ZZ-9 菌株活菌液的制备 将放线菌 ZZ-9 采用划线法接种于高氏一号培养基上,于 28 °C 倒置培养 7 d。向 150 mL 三角瓶中加入 60 mL 高氏一号液体培养基,并将活化好的 ZZ-9 菌株菌饼(直径 5 mm)挑取到三角瓶中,每个三角瓶接 6 个菌饼,28 °C、180 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 振荡培养 72 h,制成种子液;按照 10%的接种量将种子液接入到 80 mL 的小米浸汁培养基中(150 mL 三角瓶),28 °C、180 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 振荡培养 4 d 后,即得活菌液。

1.2.3 ZZ-9 菌株发酵滤液的制备 将活菌液在 4 °C、10 000 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 条件下离心 20 min,取上清液,用 0.22 μm 微孔滤器过滤,即得无菌发酵滤液,存于 4 °C 冰箱,备用^[17-18]。

1.2.4 阿维菌素溶液的制备 将 1.8%阿维菌素乳油用无菌水分别配制成有效成分含量(ρ ,后同)为

0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的药液备用。

1.2.5 ZZ-9 菌株活菌液、发酵滤液杀线活性测定 将 ZZ-9 菌株活菌液和发酵滤液分别稀释 5 倍、10 倍、15 倍、20 倍后加入无菌 24 孔细胞培养板(直径 20.0 mm),每孔加入 300 μL ,再加入 10 μL 线虫悬浮液(200 条 $\cdot\text{mL}^{-1}$),以加入 300 μL 无菌水和 10 μL 线虫悬浮液为对照,随机区组设计,每个处理 3 次重复,密封后于 25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下保湿培养,每隔 24 h 观察并记录线虫的死亡情况,计算死亡率、校正死亡率^[19]。

$$\text{死亡率}/\% = \frac{\text{死亡线虫数}}{\text{供试线虫数}} \times 100;$$

$$\text{校正死亡率}/\% = \frac{\text{处理死亡率} - \text{对照死亡率}}{100 - \text{对照死亡率}} \times 100。$$

1.2.6 ZZ-9 菌株发酵滤液与阿维菌素以不同比例复配的杀线活性测定 将 ZZ-9 菌株发酵原液和 5 个浓度(ρ ,后同)梯度(0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)的阿维菌素溶液分别以 1:1、2:1、3:1 复配,利用混匀仪充分震荡使其混合均匀,每个处理 3 次重复,随机区组设计。按照 1.2.5 方法测定杀线活性。

1.3 线虫死亡情况的判断

采用“体态法”“挑针刺激法”和“NaOH 刺激法”^[20]判断线虫死亡情况。在光学显微镜下,观察不同条件处理后南方根结线虫二龄幼虫的存活情况。死亡的二龄幼虫虫体一般为僵直状态,存活的二龄幼虫虫体一般为弯曲状,且不断地游动。用挑针轻轻拨动虫体僵直的二龄幼虫,静止不动的即为死亡个体。最后 1 次观察时向细胞培养板孔中滴入 1% 的 NaOH 溶液,在显微镜下观察,静止不动的即为死亡个体^[21-22]。

1.4 数据处理

采用 Excel 2016 和 DPS 软件对数据进行统计分析,并用 SPSS 16.0 软件计算 LC_{50} ,用 Origin 9.0 绘图。

2 结果与分析

2.1 ZZ-9 菌株活菌液、发酵滤液杀线活性测定结果

2.1.1 ZZ-9 菌株活菌液杀线活性测定结果 不同浓度的 ZZ-9 菌株活菌液对南方根结线虫二龄幼虫均有明显的毒杀作用,其中活菌液原液对二龄幼虫毒杀效果最好,显著高于其他浓度处理,在 48 h 时达到 36.13%,24 h 时达到 15%,且 48 h 处理的校正死亡率总体均高于 24 h;但随着稀释倍数的增加,

不同浓度处理对二龄幼虫的毒杀作用不成规律性,这可能是由于菌液中的活菌体在各处理中分布不均导致的(图 1)。

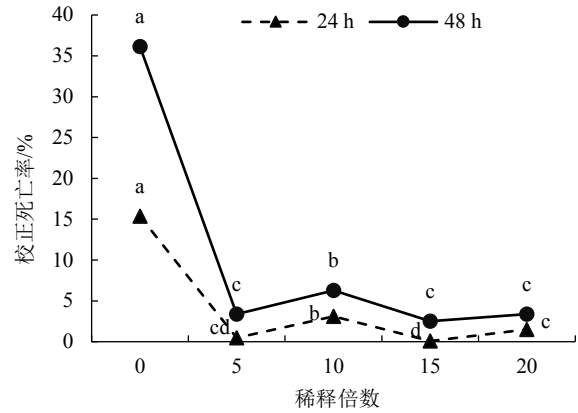


图 1 ZZ-9 菌株活菌液对二龄幼虫的毒杀作用

2.1.2 ZZ-9 菌株发酵滤液杀线活性测定结果 通过不同浓度梯度的 ZZ-9 菌株发酵滤液对根结线虫二龄幼虫的毒杀作用测定,可知在一定范围内,随着发酵滤液稀释倍数的增加,校正死亡率逐渐降低;且 48 h 处理的校正死亡率总体均高于 24 h 处理,南方根结线虫二龄幼虫的校正死亡率最高为 11.87%,但 48 h 时不同稀释倍数之间变化差异不显著;在 24 h 时发酵滤液原液和稀释 5 倍液对二龄幼虫的毒杀效果显著高于其他稀释倍数处理,但 2 个时间处理均为发酵液原液表现出最强的杀线活性。因此,选择发酵滤液原液进行下一步试验(图 2)。

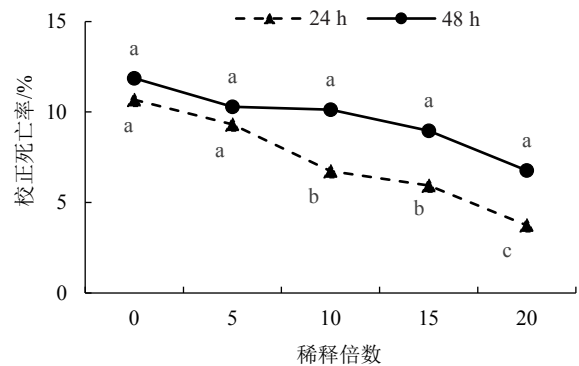


图 2 ZZ-9 菌株发酵滤液对二龄幼虫的毒杀作用

2.1.3 阿维菌素溶液对二龄幼虫的毒杀作用结果 由图 3 可知,南方根结线虫二龄幼虫的校正死亡率随着阿维菌素溶液浓度的增大而逐渐升高,当浓度为 1.0 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时的杀线效果最好;且 48 h 处理的校正死亡率总体均高于 24 h 处理,最高达到 30.60%;从图 3 中可看出两个时间点都是浓度为

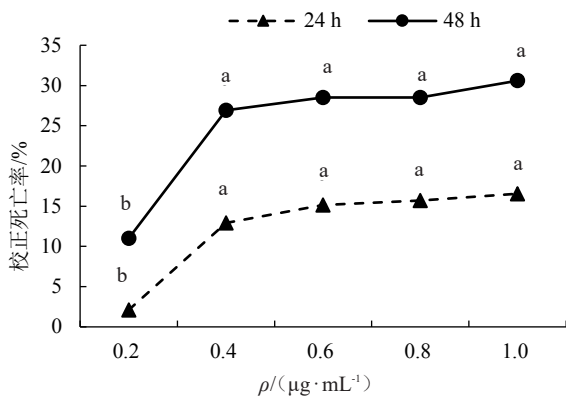


图3 阿维菌素溶液对二龄幼虫的毒杀作用

0.2 μg·mL⁻¹的校正死亡率显著低于其他浓度处理, 当在 24 h 时浓度为 0.2 μg·mL⁻¹的校正死亡率比其他浓度处理分别低了 10.82%、13.05%、13.58%和 14.44%, 48 h 时 0.2 μg·mL⁻¹的校正死亡率比 1.0 μg·mL⁻¹低了 19.59%。可见, 作为市面上防治根结线虫的主要产品, 阿维菌素对南方根结线虫二龄幼虫的防治较为理想。

2.2 发酵滤液与阿维菌素溶液不同比例复配杀线活性测定结果

2.2.1 发酵滤液与阿维菌素溶液 1:1 复配对二龄幼虫的毒杀作用 ZZ-9 菌株发酵滤液与阿维菌素溶液 1:1 复配后对二龄幼虫有较强的毒杀作用, 随着阿维菌素溶液浓度的增大, 复配溶液对二龄幼虫的毒杀效果也越好; 而且 48 h 处理的校正死亡率总体均高于 24 h, 其 LC₅₀ 值分别为 0.648 3 μg·mL⁻¹和 1.399 2 μg·mL⁻¹; 当阿维菌素浓度为 0.2 μg·mL⁻¹时的校正死亡率分别为 24.85%(48 h)和 18.30%(24 h)显著低于其他浓度处理; 此外, 当阿维菌素浓度为 1.0 μg·mL⁻¹时对二龄幼虫的毒杀效果最好, 48 h 时二龄幼虫的校正死亡率为 48.87%, 比 0.2 μg·mL⁻¹高 24.02%(图 4)。

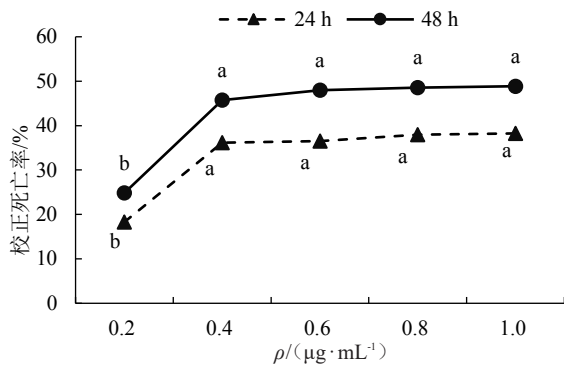


图4 ZZ-9 菌株发酵滤液与阿维菌素溶液 1:1 复配对南方根结线虫二龄幼虫的毒杀作用

2.2.2 发酵滤液与阿维菌素溶液 2:1 复配对二龄幼虫的毒杀作用 由图 5 可知, ZZ-9 菌株发酵滤液与阿维菌素溶液 2:1 复配后对二龄幼虫有较强的毒杀作用, 48 h 处理的校正死亡率总体均高于 24 h, 其 LC₅₀ 值分别为 1.417 6 μg·mL⁻¹和 2.641 4 μg·mL⁻¹; 当阿维菌素溶液浓度为 1.0 μg·mL⁻¹时复配溶液对二龄幼虫的毒杀效果最好, 48 h 时校正死亡率为 39.10%, 显著高于其他浓度处理, 其中比 0.2 μg·mL⁻¹高了 29.72%。

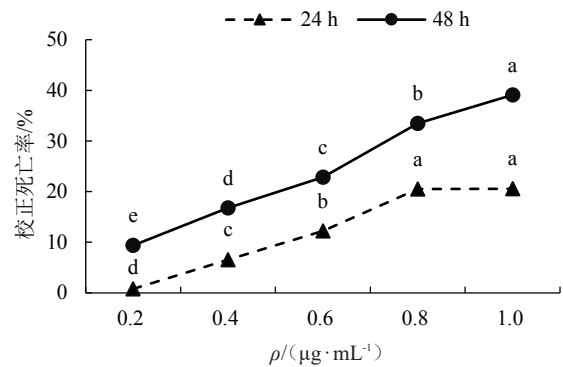


图5 ZZ-9 菌株发酵滤液与阿维菌素溶液 2:1 复配对二龄幼虫的毒杀作用

2.2.3 发酵滤液与阿维菌素溶液 3:1 复配对二龄幼虫的毒杀作用 ZZ-9 菌株发酵滤液与阿维菌素溶液 3:1 复配后对二龄幼虫的毒杀效果显著。48 h 时, 随着溶液浓度的增大南方根结线虫的校正死亡率也逐渐增大; 当阿维菌素浓度为 1.0 μg·mL⁻¹时复配溶液对二龄幼虫的毒杀效果最好, 校正死亡率分别为 54.44%(48 h)和 34.42%(24 h), 显著高于其他浓度处理。其中, 比 0.2 μg·mL⁻¹分别高了 53.35%和 33.03%(图 6)。此外, 24 h 和 48 h 的 LC₅₀ 值分别为 1.801 1 μg·mL⁻¹和 0.964 0 μg·mL⁻¹。

2.2.4 不同溶液对二龄幼虫杀线活性比较 由图 7 可以得出, ZZ-9 菌株发酵滤液与阿维菌素溶液以不

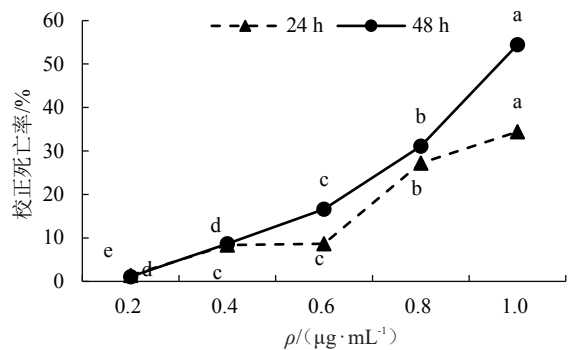


图6 ZZ-9 菌株发酵滤液与阿维菌素溶液 3:1 复配对二龄幼虫的毒杀作用

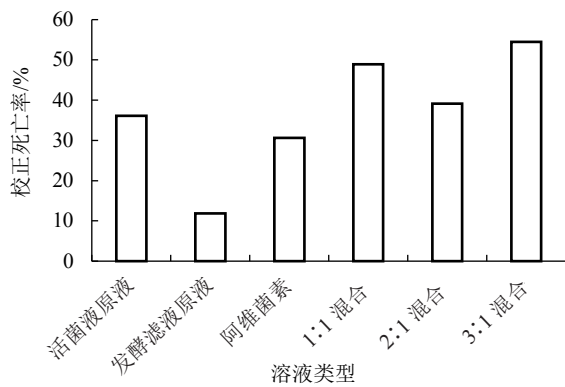


图7 不同溶液对二龄幼虫的杀线活性比较(阿维菌素浓度为 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)

同比例复配后对二龄幼虫均有较强的毒杀作用。当发酵滤液与阿维菌素溶液(浓度为 $1.0 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)以3:1复配时毒杀效果最好,处理48h时,二龄幼虫的校正死亡率高达54.44%,比单一使用阿维菌素的校正死亡率提高了23.84%,且药剂使用量仅有单一使用量的25%;2:1复配处理48h时,二龄幼虫的校正死亡率达39.10%,比单一使用阿维菌素高8.5%;1:1复配处理48h时校正死亡率为48.87%,比单一使用阿维菌素的校正死亡率高18.27%。

ZZ-9菌株发酵滤液与阿维菌素溶液不同比例复配的杀线活性相比较没有表现出一定的规律性,但均高于单一使用发酵滤液原液(校正死亡率为11.87%)或单一使用阿维菌素(校正死亡率为30.60%)。可见,ZZ-9菌株发酵滤液和阿维菌素溶液可以相互兼容,具有一定协同作用,复配使用有助于提高对南方根结线虫病的防治效果。

3 讨论与结论

随着蔬菜长期连作等现象的出现,根结线虫病的发生日益严重,制约着蔬菜产业的发展。生产上防控根结线虫主要以化学防治为主,具有高效、快速等特点,但是由于不合理的使用方法以及长期大量、单一的使用农药而造成了资源浪费和环境污染等问题,更直接影响了蔬菜的产量与品质。因此亟需探寻出一种新的方法来防治植物病害。

近年来生物防治已成为研究热点,链霉菌属生防放线菌对多种植物病害都有防治效果,但容易受环境条件的影响^[23]。而将生防菌与杀线剂复配可以弥补二者各自的不足,既可以增强生防菌防效的稳定性,充分发挥生防菌与杀线剂的协同作用,又可以减少农药的使用量,减缓线虫抗药性的产生^[24]。阿维菌素是目前防治根结线虫使用最多的药剂,张

俊龙等^[25]研究结果显示,1.8%阿维菌素乳油对南方根结线虫表现出较好的室内活性,其 LC_{50} 值为 $14.9263 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。朱卫刚等^[26]试验结果表明,1.8%阿维菌素乳油对南方根结线虫具有很强的杀线活性,其 LC_{50} 为 $1.48 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。而本研究结果显示当ZZ-9菌株发酵滤液原液与1.8%阿维菌素乳油(浓度为 $1.0 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)以3:1复配时对南方根结线虫病的防治作用较强,其 LC_{50} 为 $0.964 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。可见生防菌ZZ-9与阿维菌素有潜在的相容性,复配方案可以提高阿维菌素对根结线虫的防治效果。

大量研究表明生防菌与杀菌剂等药剂复配可以防治多种植物病害,并且能充分发挥二者间的协同作用。JI等^[27]研究表明,枯草芽孢杆菌*B. subtilis* DJ-6与吡唑醚菌酯1:1配比时对草莓枯萎病抑制增效作用最大。赵广等^[28]研究证明枯草芽孢杆菌9A与啞菌酯、咪鲜胺、吡唑醚菌酯、多菌灵复配可有效防治芒果炭疽病,其防效均显著高于单一化学农药处理及单一菌液处理,可以减少化学农药的使用量。毛雪琴等^[29]研究发现将生防菌MT-06与甲霜锰锌混配可提高甲霜锰锌对小麦赤霉病的防效。还有研究表明,印楝素与5%阿维菌素复配施用,防治效果显著高于单一使用^[30];其次,叶田会等^[31]研究结果显示,永卫®168与淡紫拟青霉联合施用的防效为75.83%,较单一处理的防效提高了23.75%~28.89%。笔者在研究中也发现将生防菌和药剂复配使用对南方根结线虫病的防效均高于单一使用阿维菌素及单一使用菌株发酵液,可见将生防菌与药剂复配可增强生防菌防效的稳定性,提高药剂的防治效果,这与前人研究结果相一致。因此,采用生防菌与药剂复配防治植物病害具有一定的可行性。

综上所述,本试验通过室内防效试验筛选出了最佳复配方案,当ZZ-9菌株发酵滤液原液与阿维菌素(浓度为 $1.0 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)以3:1复配时对南方根结线虫二龄幼虫的防治作用最强,48h时的校正死亡率为54.44%。试验结论初步发现将生防菌与农药复配可提高单一使用药剂或生防菌的防治效果,减少农药使用量,为萎彻氏链霉菌ZZ-9的进一步开发利用提供了更广阔的思路,但其田间防效及实际推广应用还需进一步试验研究。

参考文献

- [1] 张洁,夏明聪,朱文倩,等.蔬菜根结线虫生防芽孢杆菌的筛选及作用机理研究[J].生物技术通报,2021,37(7):175-182.
- [2] 刘勇鹏,张涛,王秋岭,等.生物菌剂防治设施蔬菜根结线虫研

- 究进展[J]. 中国瓜菜, 2020, 33(10): 9-14.
- [3] 舒洁, 张仁军, 梁应冲, 等. 植物源与微生物源生物制剂复配防治根结线虫病[J]. 生物技术通报, 2021, 37(7): 164-174.
- [4] 李磊, 赵俊杰, 刘莹莹, 等. 高效根结线虫生防真菌筛选及其性能研究[J]. 生物学杂志, 2021, 38(6): 70-74.
- [5] 曾定玲, 方长发, 顾亚萍, 等. 大气压化学电离质谱法快速测定四种果蔬中阿维菌素农药残留[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(6): 276-280.
- [6] 覃国新, 劳水兵, 莫仁甫, 等. 超高效液相色谱法测定甘蓝和橙子中的阿维菌素残留[J]. 现代食品科技, 2018, 34(4): 227-231.
- [7] HUANG Y, HONG Y H, HUANG Z Q, et al. Avermectin induces the oxidative stress, genotoxicity, and immunological responses in the Chinese Mitten Crab, *Eriocheir sinensis*[J]. PLoS One, 2019, 14(11): e0225171.
- [8] 汤晗, 吴园园, 成亚菲, 等. 浙江省芹菜中农药多残留水平及累积急性膳食摄入风险初评[J]. 农药学报, 2021, 23(5): 947-955.
- [9] 韩明慧, 方虹霁, 王园平, 等. 新烟碱类农药污染和人体暴露及有害效应研究[J]. 上海预防医学, 2021, 33(6): 534-543.
- [10] 张巍, 于宇, 沈淑霞. 农药污染对生态环境的影响分析与可持续治理对策[J]. 价值工程, 2020, 39(19): 103-104.
- [11] 胡小京, 敖飞雄, 石乐娟, 等. 两株链霉菌对非洲菊生长和生理生化指标的影响[J]. 应用生态学报, 2021, 32(9): 3321-3326.
- [12] 胡栋, 何欢, 李洪涛, 等. 亚低温条件下防控番茄南方根结线虫生防菌株的筛选与鉴定[J]. 微生物学通报, 2017, 44(8): 1891-1898.
- [13] 周银丽, 杨艳丽, 袁绍杰, 等. 石榴枯萎病菌拮抗放线菌对南方根结线虫的毒力[J]. 植物保护, 2016, 42(5): 58-64.
- [14] 马喆. 根结线虫拮抗放线菌 NZ-5 菌株的鉴定及其发酵条件优化[J]. 北方园艺, 2019(13): 59-67.
- [15] 朱晓峰, 段玉玺, 李颂, 等. 黑曲霉发酵液中有机酸的分析及对植物线虫的影响[J]. 农药, 2009, 48(2): 137-139.
- [16] 陈秀菊, 李惠霞, 徐志鹏, 等. 3 株生防真菌的杀线虫活性及种类鉴定[J]. 大豆科学, 2019, 38(4): 576-583.
- [17] 范万泽, 薛应钰, 张树武, 等. 拮抗放线菌 ZZ-9 菌株发酵液的抑菌谱及稳定性测定[J]. 西北农业学报, 2017, 26(3): 463-470.
- [18] 薛应钰, 范万泽, 张树武, 等. 苹果树腐烂病菌拮抗放线菌的筛选、鉴定及防效[J]. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3379-3386.
- [19] 张树武, 徐秉良, 薛应钰, 等. 长枝木霉对南方根结线虫致死和寄生作用的显微观察及测定[J]. 植物保护, 2013, 39(4): 46-51.
- [20] 方中达. 植病研究方法[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 1998: 307-320.
- [21] CHEN S Y, DICKSON D W. A technique for determining live second- stage juveniles of *Heterodera glycines*[J]. Journal of Nematology, 2000, 32(1): 117-121.
- [22] 段玉玺, 靳莹莹, 王胜君, 等. 生防菌株 Snek 85 的鉴定及其发酵液对不同种类线虫的毒力[J]. 植物保护学报, 2008, 35(2): 132-136.
- [23] 谷春艳, 苏贤岩, 杨雪, 等. 解淀粉芽孢杆菌 WH1G 与咪鲜胺协同防治草莓炭疽病[J]. 植物保护, 2018, 44(2): 184-189.
- [24] 黄慧婧, 罗坤. 芽孢杆菌与杀菌剂复配防治植物病害的研究进展[J]. 微生物学通报, 2021, 48(3): 938-947.
- [25] 张俊龙, 罗艳梅. 4 种杀线虫剂对南方根结线虫的室内活性测定[J]. 现代农药, 2016, 15(2): 48-53.
- [26] 朱卫刚, 胡伟群, 陈定花. 阿维菌素对南方根结线虫的生物活性[J]. 现代农药, 2008(4): 38-39.
- [27] JI M X, YAO K B, LI G P, et al. Bacteriostatic activity of *Bacillus subtilis* DJ-6 and pyrazole ether ester and their mixture against strawberry fusarium wilt in laboratory and growth promotion and control in field[J]. Agricultural Science & Technology, 2014, 15(11): 2020-2025.
- [28] 赵广, 郭堂勋, 李其利, 等. 枯草芽孢杆菌 9A 与 4 种药剂混配对芒果炭疽病防控研究[J]. 南方园艺, 2015, 26(5): 1-6.
- [29] 毛雪琴, 彭志荣, 邱海萍, 等. 生防菌株 MT-06 发酵条件及复配杀菌剂对小麦赤霉病的防效[J]. 浙江农业科学, 2013(7): 821-824.
- [30] 高玉红, 闫生辉, 赵卫星. 印楝素与不同杀虫剂混配对根结线虫的防治效果[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(7): 133-135.
- [31] 叶田会, 闫芳芳, 张瑞平, 等. 永卫®168 与淡紫拟青霉联合防治烟草根结线虫病的效果评价[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(4): 132-133.