

# 常用化肥与农药对昆虫病原线虫的影响

肖亚强<sup>1</sup>, 谷子寒<sup>1</sup>, 唐敏<sup>2</sup>, 欧阳艳<sup>1</sup>, 匡速苗<sup>1</sup>, 麻玉玲<sup>3</sup>

<sup>1</sup>衡阳市农业综合行政执法支队, 湖南 衡阳

<sup>2</sup>衡阳市农业农村局, 湖南 衡阳

<sup>3</sup>衡阳市蔬菜研究所, 湖南 衡阳

收稿日期: 2026年4月15日; 录用日期: 2026年5月14日; 发布日期: 2026年5月21日

## 摘要

目的: 探究常用农药与肥料对斯氏昆虫病原线虫 *Steinernema feltia* 0619HT 的影响。选用磷酸二氢钾、硫酸铵、多菌灵、乙基多杀菌素、青霉素、氟啶虫酰胺、硼锌锰铁铝钙镁、霜脲·氰霜唑、高效氯氟菊酯与阿维菌素十种药剂进行梯度稀释后与昆虫病原线虫进行共培养24 h后检测线虫的存活率。再选用其中对线虫存活率影响较大的几种药剂与线虫进行在土壤环境中的混用实验。结果表明, 磷酸二氢钾、硫酸铵对线虫的存活率无明显影响, 可与线虫共同使用; 多菌灵、乙基多杀菌素、青霉素、氟啶虫酰胺、硼锌锰铁铝钙镁、霜脲·氰霜唑、高效氯氟菊酯与阿维菌素对线虫有轻微致死作用, 其中高效氯氟菊酯与阿维菌素对线虫存活率的影响超过40%, 与线虫混用时浓度不宜过高, 要注意合适的使用量或者两者的施放间隔时间以达到最佳效果。在土壤环境下, 高效氯氟菊酯与阿维菌素对线虫的存活率仍存在一定影响, 但药剂对线虫存活率的影响明显小于在实验室中探究出的药剂对线虫存活率的影响, 因此探明水体环境下药剂对线虫存活率的影响后仍需要进一步探究在土壤环境下药剂对线虫的影响, 才能更系统地分析药剂对线虫影响。

## 关键词

斯氏昆虫病原线虫, 化学肥料及农药, 存活

# The Effects of Common Fertilizers and Pesticides on Entomopathogenic Nematodes

Yaqiang Xiao<sup>1</sup>, Zihan Gu<sup>1</sup>, Min Tang<sup>2</sup>, Yan Ouyang<sup>1</sup>, Sumiao Kuang<sup>1</sup>, Yuling Ma<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hengyang Agricultural Comprehensive Administrative Law Enforcement Detachment, Hengyang Hunan

<sup>2</sup>Hengyang Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Hengyang Hunan

<sup>3</sup>Hengyang Vegetable Research Institute, Hengyang Hunan

Received: April 15, 2026; accepted: May 14, 2026; published: May 21, 2026

## Abstract

**Objective:** To investigate the effects of commonly used pesticides and fertilizers on the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* 0619HT. Ten agents—monopotassium phosphate, ammonium sulfate, carbendazim, spinetoram, penicillin, flonicamid, boron-zinc-manganese-iron-molybdenum-calcium-magnesium (micronutrient mix), cymoxanil + cyazofamid, beta-cypermethrin, and abamectin—were selected. After gradient dilution, they were co-cultured with the entomopathogenic nematodes for 24 hours, after which the nematode survival rate was determined. Several agents that had a greater impact on nematode survival were then selected for mixed application experiments with nematodes in a soil environment. The results showed that monopotassium phosphate and ammonium sulfate had no significant effect on nematode survival and could be used in combination with the nematodes. Carbendazim, spinetoram, penicillin, flonicamid, the micronutrient mix, cymoxanil + cyazofamid, beta-cypermethrin, and abamectin exhibited slight lethal effects on the nematodes. Among them, beta-cypermethrin and abamectin reduced nematode survival by over 40%. When used in combination with nematodes, their concentrations should not be too high, and appropriate application rates or intervals between applications should be considered to achieve optimal efficacy. In the soil environment, beta-cypermethrin and abamectin still had some impact on nematode survival, but their effects were significantly less pronounced than those observed in laboratory studies. Therefore, after clarifying the impact of agents on nematode survival in an aqueous environment, further investigation into their effects in a soil environment is necessary to more accurately and systematically analyze the influence of agents on nematodes.

## Keywords

*Steinernema feltiae*, Chemical Fertilizers and Pesticides, Survival

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

就我国农业用肥用药方面而言：长期使用化学肥料及农药不仅会污染农田土壤，还会通过农田土壤造成对水体的有机污染、富营养化污染，还造成了地下水污染和空气污染，甚至影响人类健康。随着全球可持续发展潮流的兴起、有机食品概念的明确以及农药残留事件的发生，使人们不断深入关注相关的农业信息，要求农药必须向低毒、无公害方向发展。生物农药作为这样既满足绿色要求又对环境无害的绿色农药，它的利润增长率有超过化学农药的趋势[1]。与化学农药相比，生物农药具有选择性强、无污染、不易产生抗药性、不破坏生态环境且生产原料广泛等特点，应用前景广阔[2]。

如今的生物农药类型主要有五类：微生物农药、农用抗生素、植物源农药、生物化学农药和天敌昆虫农药等。昆虫病原线虫及其共生细菌也已经是走向产业化和商业化的一种生物防治制剂，是多种有害生物有效克星。昆虫病原线虫(*Entomopathogenic Nematodes*, EPNs)可以寄生昆虫，其中的斯氏属 *Steinernema* 和异小杆属 *Heterorhabditis* 线虫对地下害虫[3] [4]和一些钻蛀性害虫[5]都具有较好的防治效果，是一类新型高效生物杀虫剂。昆虫病原线虫可以主动搜寻寄主，具有杀虫范围广、易于人工培养、使用安全等优点[6]。昆虫病原线虫还可以与化学农药混用，在一些区域是可替代化学杀虫剂的环境友好型生防因子，已在世界上很多地区进行了商业化生产和销售[7] [8]。昆虫病原线虫与部分药剂混用时，可以对

昆虫病原线虫的活性起到加强作用，可以增强线虫活性及侵染力，通过筛选可以与昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系混用的药剂，共同防治土壤中的病虫害，将有利于提高防治效果，降低线虫使用量进而降低应用成本，同时保持生物制剂对人、畜、天敌昆虫和环境的安全性[9]。

任何新的线虫种 - 农药组合都需要评估相容性，如郑惠中等人探究了氯氰菊酯乳油、吡虫啉可溶液剂和啉虫脒乳油对小卷蛾斯式线虫的存活的影响[10]；张晓波等人探究了高效氯氟氰菊酯对昆虫病原线虫的影响[11]。因此想将昆虫病原线虫与化学肥料、农药的混用不仅仅只是将两者进行混合施放，而必须进行对线虫安全性和适合度的相关试验，验证线虫与该药剂是否适合混用。由于昆虫病原线虫对于不同化学药剂的耐受能力不同，所以选择不会对线虫产生负面影响的化学药剂也是线虫与药剂混合施用成功的关键[12]。并且考虑到正常种植环境的土壤中植株需要的营养与各种病虫害不仅多而且还很复杂，在同一环境中为了提供植株所需营养、防治不同的病虫害常需要混合施放不同的化学肥料与农药，容易造成农民滥施药剂的现象，对环境和我们的健康问题都有着很大的安全隐患。将昆虫病原线虫与化学肥料与农药进行配合混用，不仅可以治理土壤中大部分病虫害、减少化学农药使用；还可以作为环境友好型生防因子，降低化学药剂对生态的污染、延缓土壤中大部分害虫对所施放的化学药剂产生抗药性的时间，是对农作物病虫害进行综合治理的有效手段。但目前有关药剂与线虫混合施用时，药剂对线虫存活率的影响的系统性研究仍然较少。为了更全面系统的研究常见化学肥料与农药对斯氏昆虫病原线虫存活率的影响，本实验即是在实验室中探寻所选用的十种常用化学肥料及农药对昆虫病原线虫的存活率影响，评估药剂与线虫的相容性，以期未来有更多相关研究形成更系统更深入的结果，让生物农药能更快更好地走遍各地的农田，使我国的环境保护工作和农药残留现象的减少不断推进。

## 2. 实验材料与方法

### 2.1. 实验材料

实验材料及来源如表 1 所示。

**Table 1.** Experimental materials table

**表 1.** 实验材料表

名称	来源
嵌段式聚醚 F-127	上海源叶生物科技有限公司
磷酸二氢钾	上海麦克林生化科技有限公司
乙基多杀菌素	科迪华农业科技有限责任公司
硫酸铵	江苏沙英喜实业有限公司
多菌灵	四川润尔科技有限公司
75%酒精	德州利兴消毒制品有限公司
24 孔板	上海碧云天生物技术有限公司
冰箱	青岛海尔股份有限公司
电子天平	上海舜宇恒平科学仪器有限公司
显微镜	重庆奥特光学仪器有限公司
移液器	艾本德生物科技有限公司
VD850 型桌上式净化工作台	济南森亚实验仪器有限公司
恒温培养箱	上海 - 恒科学仪器有限公司

续表

青霉素	山东海而三利生物化工有限公司
氟啶虫酰胺	石原(上海)化学品有限公司
硼锌锰铁铝钙镁	徐州亿农丰农化有限责任公司
霜脲·氰霜唑	浙江天丰生物科学有限公司
高效氯氟菊酯	广西安泰化工有限责任公司
阿维菌素	河北威远生物化工有限公司

## 2.2. 昆虫病原线虫悬浮液的获取

使用大蜡螟作为寄主昆虫，将两层滤纸垫于规格为 90 mm 的培养皿底部，放入十个生长状况、大小等基本一致的大蜡螟。购买市面上现有的斯氏昆虫病原线虫 *Steinernema feltia* 0619HT，选择其中活力较好的线虫制成悬浊液后，使用移液枪将线虫悬浮液淋洒至每个培养皿，直至滤纸湿润，但滤纸湿度不可过大。将上述做好的培养皿盖好放入恒温箱进行侵染培养。

选取规格为 90 mm 的培养皿，将两层滤纸垫于培养皿底部，将其放入规格为 150 mm 的培养皿中，加入适量蒸馏水于大培养皿中，并将死亡的大蜡螟放置在小培养皿内的滤纸上等待线虫爬出。待线虫大量爬入蒸馏水中时，收集蒸馏水即可获得昆虫病原线虫悬浮液。收集昆虫病原线虫悬浮液，并保存于 4℃ 冰箱。用于试验的线虫保存时间不得超过 15 d [11]。

## 2.3. 药剂对线虫存活率的影响

### 2.3.1. 供试化学农药及肥料

供试化学农药及肥料信息见表 2。在各自的最佳使用浓度的基础上，再分别用蒸馏水进行梯度稀释。

**Table 2.** Pesticides, fertilizers and their corresponding optimum application concentrations  
**表 2.** 农药、肥料及对应最佳使用浓度表

农药及肥料	推荐使用浓度	毒性
磷酸二氢钾	3.808 g/L	无毒
硫酸铵	6 g/L	无毒
乙基多杀菌素	1 mL/L	低毒
多菌灵	0.375 mg/L	低毒
青霉素	0.375 mg/L	低毒
氟啶虫酰胺	10 mg/L	低毒
硼锌锰铁铝钙镁	0.5 g/L	无毒
霜脲·氰霜唑	0.5 g/L	低毒
高效氯氟菊酯	0.8 g/L	中等毒
阿维菌素	0.427 mL/L	低毒

### 2.3.2. 实验方法

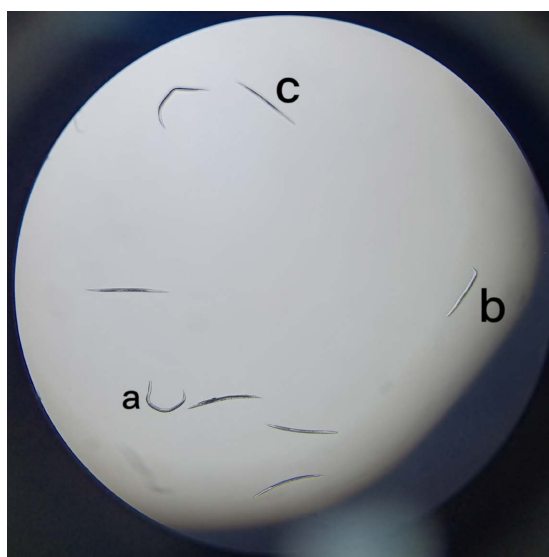
使用蒸馏水对昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系线虫进行稀释，控制其悬浮液的密度在 500 头/mL；将各药剂稀释成所需梯度浓度，备用(图 1)。



**Figure 1.** 24-well plate containing nematode suspension and pesticide mixture  
**图 1.** 装有线虫悬浮液与药剂混合液的 24 孔板

分别取 1 mL 线虫悬浮液与 1 mL 不同梯度的药剂混合均匀后移入 24 孔板中, 使用封口膜封口, 将封口完成的 24 孔板置于 $(25 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 培养箱中, 在黑暗环境下培养 24 h, 每个处理随机取 300  $\mu\text{L}$  线虫悬浮液, 在显微镜下记录混合液中线虫的数量, 计算其存活率。以添加等量蒸馏水的线虫悬浮液作为对照, 每个处理设 6 个重复[13][14]。

药剂处理昆虫病原线虫后其表现为 3 种不同的反应[15]: (1) 药剂无影响: 线虫身体可灵活活动而且不断舒展, 静止的线虫在使用探针碰触后可以迅速做出反应, 以图 2 中 a 为参考; (2) 亚致死: 使用探针碰触后线虫反应迟缓或者没有反应, 线虫身体呈现卷曲状态, 并且由于药剂麻痹作用会有痉挛性或抽搐性活动, 以图 2 中 b 为参考; (3) 死亡: 探针碰触没有任何反应, 虫体呈现僵直或卷曲状态, 线虫无活动, 以图 2 中 c 为参考。



**Figure 2.** Typical entomopathogenic nematodes observed  
**图 2.** 所观到的较典型的昆虫病原线虫

## 2.4. 在土壤环境中药剂对线虫存活率的影响

### 2.4.1. 含有定量线虫的土壤处理

在农田中随机选取不同地区土壤，去除杂质及大颗粒后混合，进行灭菌处理。将处理后的土壤装入清洗干净的容器(高 17 cm)中。

使用蒸馏水对昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系线虫进行稀释，使其悬浮液的密度控制在 500 头/mL，从容器上方缓慢将 50 mL 线虫悬浮液加入土壤中。

选用 2.4 实验中对线虫存活率影响最大的药剂，按照药剂的推荐施用浓度释放于上述处理好的含有定量线虫的土壤中。以未添加药剂的含有定量线虫的土壤为对照，分别在容器 5 cm、10 cm、15 cm 处取样 100 g 进行线虫与土壤的分离，记录线虫数量，每组重复 3 次实验(图 3)。



Figure 3. Container with soil before adding pesticide  
图 3. 还未加入药剂的装有土壤的容器

### 2.4.2. 线虫与土壤分离方法

使用贝尔曼漏斗法(modified Baermann funnel method)进行分离：在口径为 20 cm 的漏斗末端处连接一段橡皮管，将橡皮管后端使用弹簧夹夹紧后按照一层铁丝网、两层纱布、一层线虫滤纸的顺序放置在漏斗内。取样 100 g，将其均匀铺在滤纸上，加水浸没土壤后置于 20℃ 室温条件下进行分离。分别在 24 h、36 h、48 h 时打开弹簧夹，将橡皮管内的水放入小烧杯中。使用 300 目、400 目、500 目的三个网筛，将它们套在一起，将小烧杯内的水倒入筛网后用水冲洗，最后将三个筛网里的线虫分别洗到带平行横纹的塑料培养皿中，置于立体解剖镜下计算活线虫数量[16]。

## 2.5. 数据处理

数据处理及分析、绘图全部在 EXCEL 软件(版本为 EXCEL2019.0 for Windows)以及 ORIGIN 软件(版本 ORIGIN2022.0 for Windows)中进行。

化学及农药对昆虫病原线虫存活率的影响用存活率(%)表示：

$$\text{存活率}(\%) = \text{线虫存活虫数} / \text{处理总虫数} \times 100$$

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 药剂对昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 的影响

##### 3.1.1. 青霉素对昆虫病原线虫的影响

青霉素对昆虫病原线虫的影响如图 4 所示,随着青霉素浓度的增加,昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系的存活率呈上下波动趋势,线虫存活率与对照组基本无大的差异。平均波动值为 3.32%,最大波动幅度为 13%。通过以上分析可知:青霉素对线虫有较轻微致死作用,与线虫混用时浓度不宜过高,要注意合适的使用量或者两者的施放间隔时间以达到最佳效果。

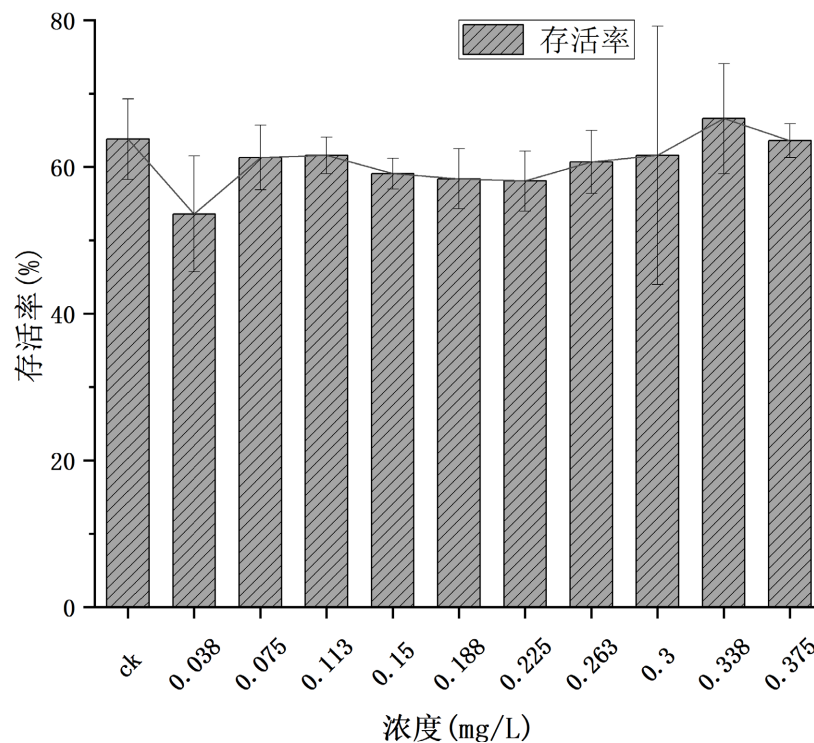


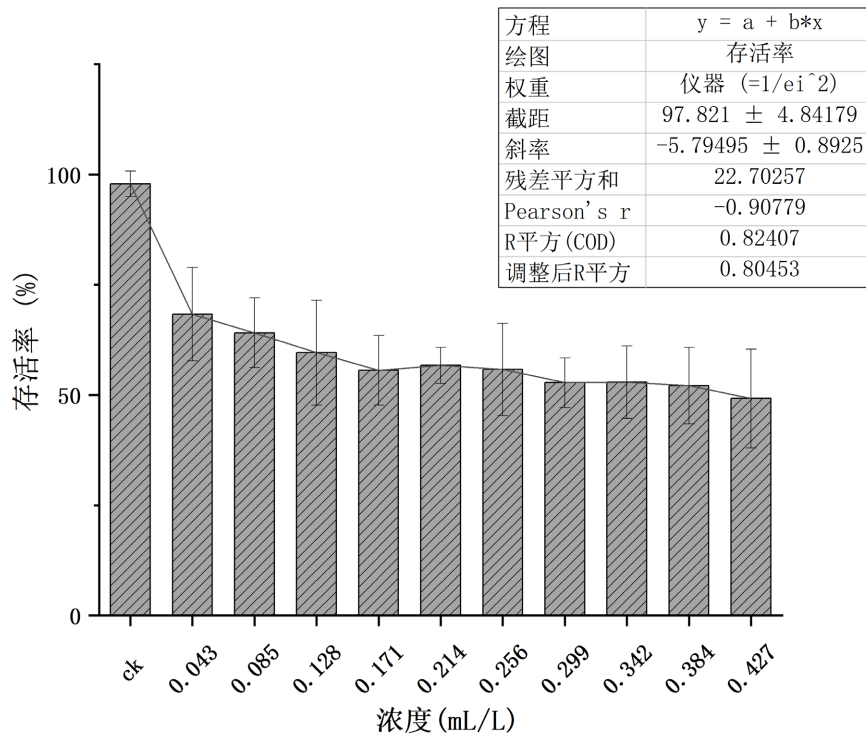
Figure 4. Effects of different concentrations of penicillin on the survival rate of entomopathogenic nematodes  
图 4. 不同浓度青霉素对昆虫病原线虫存活率的影响

##### 3.1.2. 阿维菌素对昆虫病原线虫的影响

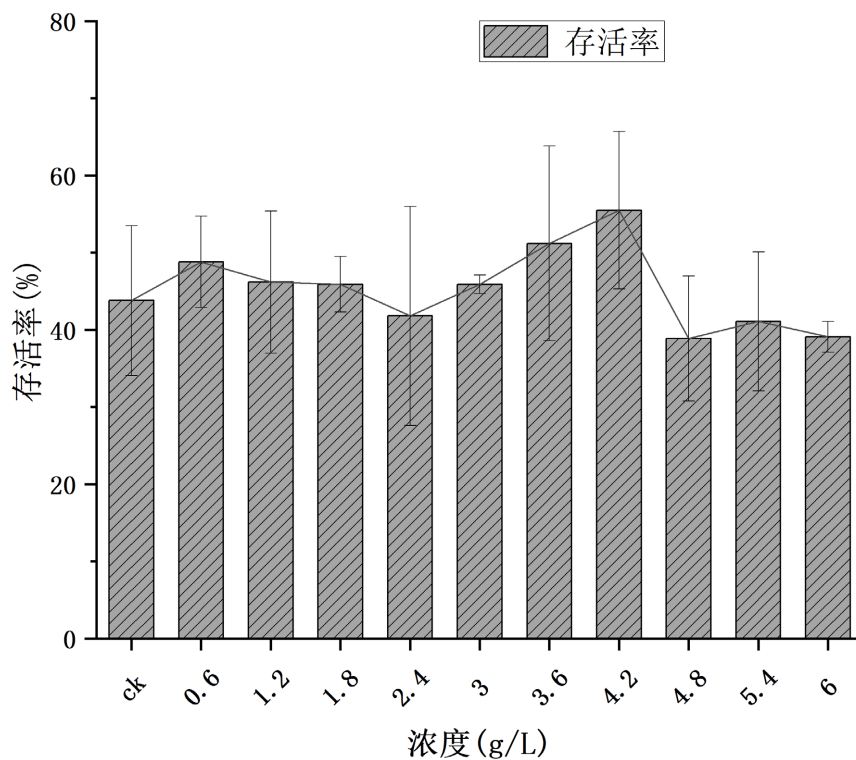
阿维菌素对昆虫病原线虫的影响如图 5 所示,随着阿维菌素浓度的增加,昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系的存活率持续下降,且下降幅度巨大。平均波动值为 5.11%,最大波动幅度为 48.7%。其回归方程为:  $y = -5.79495x + 97.821$ ,  $r = 0.80453\%$ 。通过以上分析可知:阿维菌素对线虫有轻微致死作用,与线虫混用时浓度不宜过高,要注意合适的使用量或者两者的施放间隔时间以达到最佳效果。

##### 3.1.3. 磷酸二氢钾对昆虫病原线虫的影响

磷酸二氢钾对昆虫病原线虫的影响如图 6 所示,随着磷酸二氢钾浓度的增加,昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系的存活率下降。其中:当磷酸二氢钾浓度低于 2.666 mg/mL 时,线虫存活率大于对照组活性;当其浓度等于 2.666 mg/mL 与 3.427 mg/mL 时,线虫存活率与对照组基本一致;高于 3.427 mg/mL 时,线虫存活率下降明显。存活率平均波动值为 4.57%,最大波动幅度为 24.7%。通过以上分析可知:磷酸二氢钾对线虫的存活率无明显影响,可与线虫共同使用。



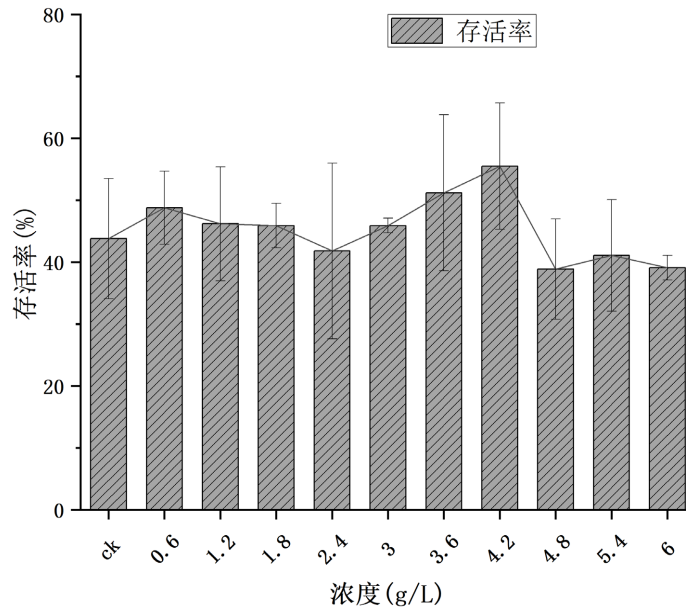
**Figure 5.** Effects of different concentrations of avermectin on the survival rate of entomopathogenic nematodes  
**图 5.** 不同浓度阿维菌素对昆虫病原线虫存活率的影响



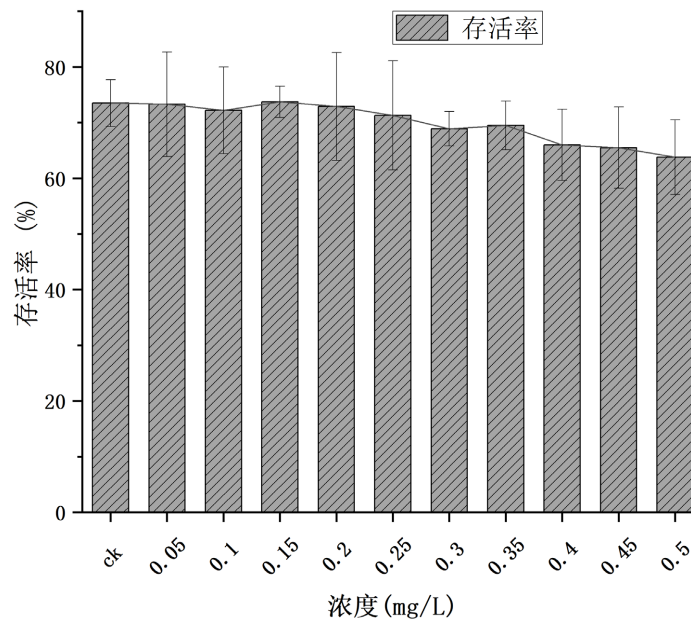
**Figure 6.** Effects of different concentrations of potassium dihydrogen phosphate on the survival rate of entomopathogenic nematodes  
**图 6.** 不同浓度磷酸二氢钾对昆虫病原线虫存活率的影响

### 3.1.4. 硫酸铵对昆虫病原线虫的影响

硫酸铵对昆虫病原线虫的影响如图 7 所示,随着硫酸铵浓度的增加,昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系的存活率存在波动,其中:当硫酸铵浓度低于等于 4.2 g/L 时,昆虫病原线虫存活率基本高于对照组;当其浓度高于 4.2 g/L 时,线虫存活率下降。平均波动值为 4.65%,最大波动幅度为 16.6%。通过以上分析可知:硫酸铵对线虫的存活率无明显影响,可与线虫共同使用。



**Figure 7.** Effects of different concentrations of ammonium sulfate on the survival rate of entomopathogenic nematodes  
**图 7.** 不同浓度硫酸铵对昆虫病原线虫存活率的影响



**Figure 8.** Effects of different concentrations of boron-zinc-manganese-iron-molybdenum-calcium-magnesium on the survival rate of entomopathogenic nematodes

**图 8.** 不同浓度硼锌锰铁钼钙镁对昆虫病原线虫存活率的影响

### 3.1.5. 硼锌锰铁钼钙镁对昆虫病原线虫的影响

硼锌锰铁钼钙镁对昆虫病原线虫的影响如图 8 所示,随着硼锌锰铁钼钙镁浓度的增加,昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系的存活率持续下降。当硼锌锰铁钼钙镁浓度平均波动值为 1.39%,最大波动幅度为 9.9%。其回归方程为:  $y = -1.0064x + 76.0927$ ,  $r = 0.856.79\%$ 。通过以上分析可知:硼锌锰铁钼钙镁对线虫有较轻微致死作用,与线虫混用时浓度不宜过高,要注意合适的使用量或者两者的施放间隔时间以达到最佳效果。

### 3.1.6. 乙基多杀菌素对昆虫病原线虫的影响

乙基多杀菌素对昆虫病原线虫的影响如图 9 所示,随着乙基多杀菌素浓度的增加,昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系的存活率持续下降,线虫存活率均低于对照组。平均波动值为 2.03%,最大波动幅度为 15.9%。其回归方程为:  $y = 1.8791x + 51.4109$ ,  $r = 0.921.38\%$ 。通过以上分析可知:乙基多杀菌素对线虫有较轻微致死作用,与线虫混用时浓度不宜过高,要注意合适的使用量或者两者的施放间隔时间以达到最佳效果。

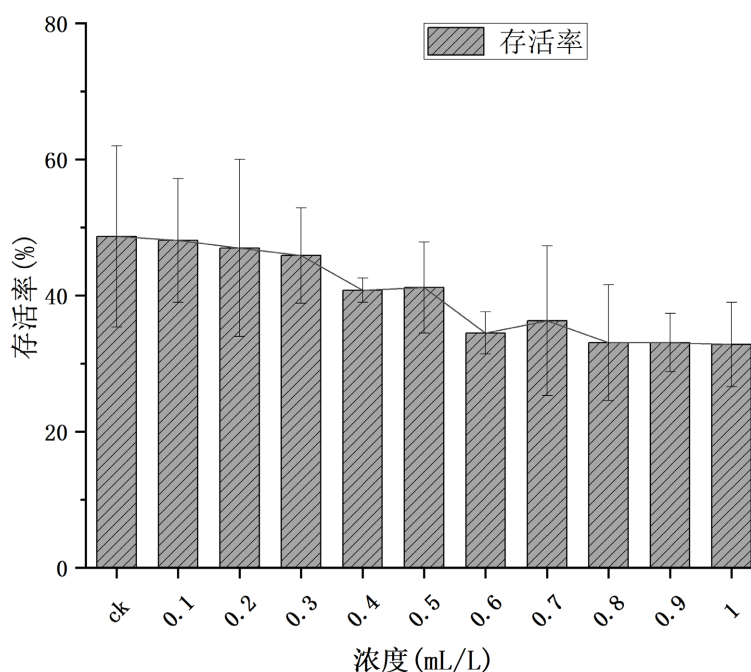


Figure 9. Effects of different concentrations of spinetoram on the survival rate of entomopathogenic nematodes  
图 9. 不同浓度乙基多杀菌素对昆虫病原线虫存活率的影响

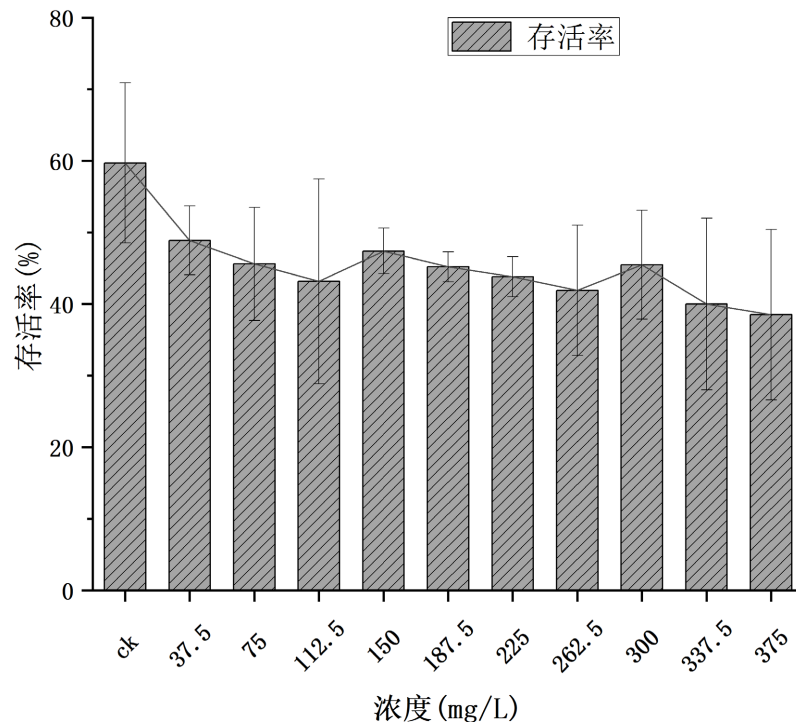
### 3.1.7. 多菌灵对昆虫病原线虫的影响

多菌灵对昆虫病原线虫的影响如图 10 所示,随着多菌灵浓度的增加,昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系的存活率持续下降。平均波动值为 3.68%,最大波动幅度为 21.2%。其回归方程为:  $y = -1.3464x + 53.5055$ ,  $r = 0.587.26\%$ 。通过以上分析可知:多菌灵对线虫有较轻微致死作用,与线虫混用时浓度不宜过高,要注意合适的使用量或者两者的施放间隔时间以达到最佳效果。

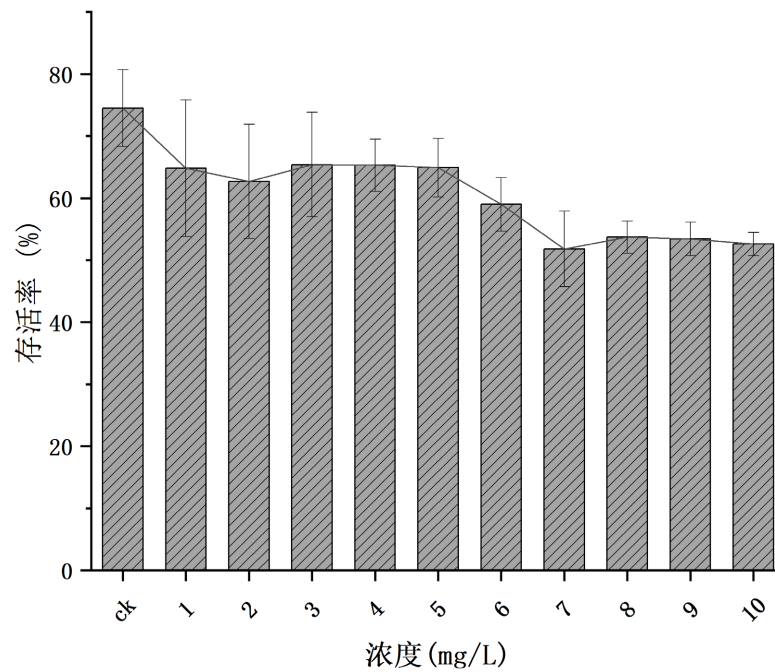
### 3.1.8. 氟啶虫酰胺对昆虫病原线虫的影响

氟啶虫酰胺对昆虫病原线虫的影响如图 11 所示,随着氟啶虫酰胺浓度的增加,昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系的存活率持续下降。平均波动值为 3.11%,最大波动幅度为 22.7%。其回

归方程为： $y = -1.96x + 72.4964$ ， $r = 0.788.15\%$ 。通过以上分析可知：氟啶虫酰胺对线虫有较轻微致死作用，与线虫混用时浓度不宜过高，要注意合适的使用量或者两者的施放间隔时间以达到最佳效果。



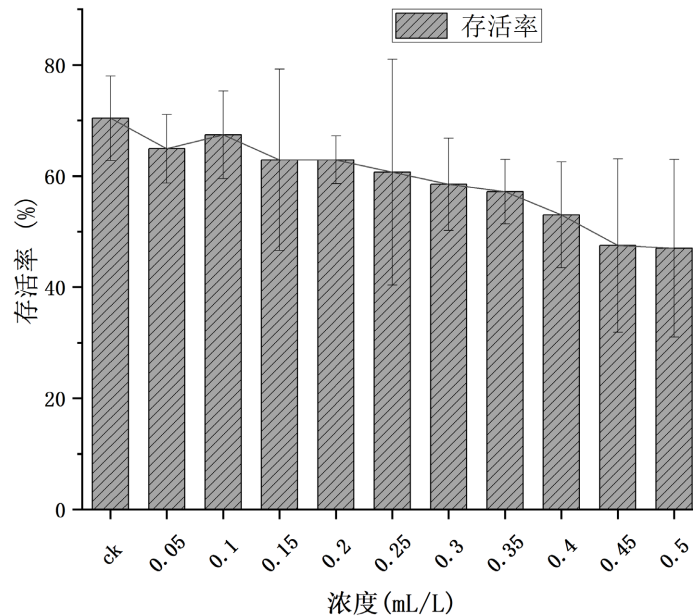
**Figure 10.** Effects of different concentrations of carbendazim on the survival rate of entomopathogenic nematodes  
**图 10.** 不同浓度多菌灵对昆虫病原线虫存活率的影响



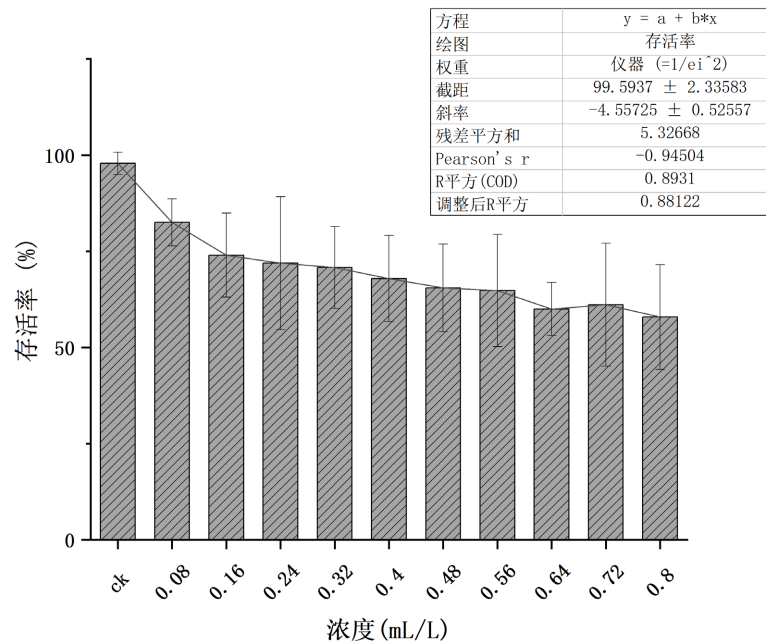
**Figure 11.** Effects of different concentrations of flonicamid on the survival rate of entomopathogenic nematodes  
**图 11.** 不同浓度氟啶虫酰胺对昆虫病原线虫存活率的影响

### 3.1.9. 霜脍·氰霜唑对昆虫病原线虫的影响

霜脍·氰霜唑对昆虫病原线虫的影响如图 12 所示, 随着霜脍·氰霜唑浓度的增加, 昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系的存活率持续下降。平均波动值为 2.84%, 最大波动幅度为 23.4%。其回归方程为:  $y = -2.2327x + 72.7055$ ,  $r = 0.93339\%$ 。通过以上分析可知: 霜脍·氰霜唑对线虫有较轻微致死作用, 与线虫混用时浓度不宜过高, 要注意合适的使用量或者两者的施放间隔时间以达到最佳效果。



**Figure 12.** Effects of different concentrations of cymoxanil-cyazofamid on the survival rate of entomopathogenic nematodes  
**图 12.** 不同浓度霜脍·氰霜唑对昆虫病原线虫存活率的影响



**Figure 13.** Effects of different concentrations of beta-cypermethrin on the survival rate of entomopathogenic nematodes  
**图 13.** 不同浓度高效氯氰菊酯对昆虫病原线虫存活率的影响

### 3.1.10. 高效氯氰菊酯对昆虫病原线虫的影响

高效氯氰菊酯对昆虫病原线虫的影响如图 13 所示, 随着高效氯氰菊酯浓度的增加, 昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系的存活率持续下降, 且下降幅度巨大。平均波动值为 4.21%, 最大波动幅度为 40%。其回归方程为:  $y = -4.55725x + 99.5937$ ,  $r = 0.881.22\%$ 。通过以上分析可知: 高效氯氰菊酯对线虫有轻微致死作用, 与线虫混用时浓度不宜过高, 要注意合适的使用量或者两者的施放间隔时间以达到最佳效果。

## 3.2. 土壤环境下药剂对昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 的影响

### 3.2.1. 不同时间、不同土壤深度环境下昆虫病原线虫的分布

实验结果表明: 随着取样时间的增加, 处于 5 cm 土壤中昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系的数量仍然明显高于 10 cm 和 15 cm 处的线虫数量, 说明昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系线虫更趋向于生存在表层的土壤中(表 3)。

**Table 3.** Nematode quantities at different depths and different sampling times

**表 3.** 在不同取样时间不同深度的线虫数量

取样时间/h	深度/cm	24	36	48
5		20,712 ± 417	17,311 ± 237	13,367 ± 349
10		4,093 ± 321	5,602 ± 315	9,900 ± 212
15		114 ± 72	1,393 ± 309	2,848 ± 263

### 3.2.2. 在不同土壤深度环境下高效氯氰菊酯对昆虫病原线虫的影响

由实验可知, 在不同土壤深度环境下高效氯氰菊酯对昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系的轻微致死影响仍然存在, 但药剂对线虫的影响明显减弱; 且随着取样时间的增加, 线虫的垂直分布数量趋势与未添加药剂的空白组中线虫的垂直分布数量趋势一致, 同样为处于 5 cm 土壤中线虫的数量明显高于 10 cm 和 15 cm 处的线虫数量。说明在实验室中探究出药剂对线虫的影响不够准确, 仍需要进一步探究在土壤环境下药剂对线虫的影响, 才能更准确地分析药剂对线虫影响(表 4)。

**Table 4.** Nematode quantities at different depths and different sampling times after beta-cypermethrin treatment

**表 4.** 使用高效氯氰菊酯处理后在不同取样时间不同深度下线虫数量

取样时间/h	深度/cm	24	36	48
5		18,716 ± 156	15,078 ± 323	11,317 ± 277
10		3,575 ± 230	4,022 ± 327	9,080 ± 355
15		109 ± 62	1,001 ± 167	2,450 ± 226

### 3.2.3. 在不同土壤深度环境下阿维菌素对昆虫病原线虫的影响

由实验可知, 在不同土壤深度环境下阿维菌素对昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系的轻微致死影响仍然存在, 但药剂对线虫的影响明显减弱, 并且其对线虫的影响仍大于高效氯氰菊酯对线虫的影响。同时, 随着取样时间的增加, 线虫的垂直分布数量趋势与未添加药剂的空白组中线虫的垂直分布数量趋势一致, 同样为处于 5 cm 土壤中线虫的数量明显高于 10 cm 和 15 cm 处的线虫数量。得出结果与 3.2.2 中一致(表 5)。

**Table 5.** Nematode quantities at different depths and different sampling times after abamectin treatment  
**表 5.** 使用阿维菌素处理后在不同取样时间不同深度下线虫数量

取样时间/h	深度/cm		
	24	36	48
5	16,047 ± 323	12,812 ± 288	10,495 ± 274
10	3,111 ± 177	4,078 ± 195	8,709 ± 215
15	94 ± 33	946 ± 152	1,891 ± 294

#### 4. 总结

根据药剂对线虫存活率的影响实验所得数据分析可知, 本研究测试的 10 种药剂对供试线虫(昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系)存在不同影响。其中磷酸二氢钾、硫酸铵对线虫的存活率无明显影响, 可以与线虫混用; 多菌灵、乙基多杀菌素、青霉素、氟啶虫酰胺、硼锌锰铁钼钙镁、霜脲·氰霜唑、高效氯氰菊酯与阿维菌素对线虫有轻微致死作用, 其中高效氯氰菊酯与阿维菌素对线虫存活率的影响超过 40%, 在混用时应当注意所使用化肥及农药的浓度, 谨防线虫侵染率受到负面影响。研究发现, 昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系与某些无毒或低毒的化学化肥与农药可以混用, 但仍存在有某些中高等毒的化学化肥与农药对昆虫病原线虫的存活感染率存在不良影响[17]-[21]。如敌敌畏高毒有机磷酸类杀虫剂对昆虫病原线虫具有明显致死效果[22]。因此, 在进行不同化学农药及肥料与不同品系昆虫病原线虫混用前都需要进行评估相容性。因此线虫与杀虫剂混用并非简单地将两者混配, 而必须通过对线虫安全性和适合度的相关试验来验证。

根据在土壤环境中药剂对线虫存活率的影响实验所得数据分析可知, 昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 0619HT 品系多数趋于土壤表面; 且在水环境中探究出药剂对线虫的影响与在土壤环境下药剂对线虫的影响存在较大差异, 建议进行水环境下药剂与线虫的相容性实验后要进一步进行土壤环境下药剂与线虫的相容性实验, 并以土壤环境下药剂与线虫相容性试验结果为参照进行药剂与线虫的混合施放。

#### 参考文献

- [1] 周蒙. 中国生物农药发展的现实挑战与对策分析[J]. 中国生物防治学报, 2021, 27(1): 84-192.
- [2] 邱德文. 生物农药的发展现状与趋势分析[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(5): 679-684.
- [3] 李根, 许文君, 王新中, 等. 不同品系昆虫病原线虫对烟草小地老虎的致病力[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(5): 1025-1031.
- [4] 李而涛, 曹雅忠, 张帅, 等. 昆虫病原线虫 *Heterorhabditis beicherriana* LF 品系与 Bt HBF-18 菌株混用对华北大黑鳃金龟幼虫的防治效果[J]. 昆虫学报, 2019, 62(5): 602-614.
- [5] 张中润, 王金辉, 黄海杰, 等. 昆虫病原线虫对腰果小翅斑螟的室内致病力[J]. 植物保护, 2017, 33(1): 210-213.
- [6] 孙瑞红, 武海斌, 宫庆涛, 利用昆虫病原线虫防治几种果树害虫的关键技术[J]. 落叶果树, 2018, 50(5): 40-41.
- [7] Khatri-Chhetri, H.B., Timsina, G.P., Manandhar, H.K. and Moens, M. (2011) Potential of Nepalese Entomopathogenic Nematodes as Biocontrol Agents against *Holotrichia longipennis* Blanch. (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Pest Science*, **84**, 457-469. <https://doi.org/10.1007/s10340-011-0370-5>
- [8] Shapiro-Ilan, D.I., Cottrell, T.E., Mizell, R.F. and Horton, D.L. (2016) Curative Control of the Peachtree Borer Using Entomopathogenic Nematodes. *Journal of Nematology*, **48**, 28-33. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2017-024>
- [9] Lacey, L.A., Rosa, J.S., Simoes, N.O., Amaral, J.J. and Kaya, H.K. (2001) Comparative Dispersal and Larvicidal Activity of Exotic and Azorean Isolates of Entomopathogenic Nematodes against *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae). *European Journal of Entomology*, **98**, 439-444. <https://doi.org/10.14411/eje.2001.064>
- [10] 郑惠中, 杨开朗, 覃艳妮, 郭文娟, 温俊宝. 三种杀虫剂对昆虫病原线虫侵染臭椿沟眶象幼虫能力的影响[J]. 环境昆虫学报, 2021, 43(5): 1312-1320.

- [11] 张晓波, 杨建春, 钱秀娟. 5%高效氯氟氰菊酯对异迟眼蕈蚊及昆虫病原线虫的毒力毒性测定[J]. 甘肃农业大学学报, 2022, 57(4): 84-87+95.
- [12] 王玉东, 肖春, 尹姣, 等三种化学杀虫剂对病原线虫侵染暗黑鳃金龟能力的影响[J]. 中国生物防治学报, 2012, 28(1): 67-73.
- [13] Ma, J., Chen, S., Moens, M., De Clercq, P., Li, X. and Han, R. (2013) Characterization in Biological Traits of Entomopathogenic Nematodes Isolated from North China. *Journal of Invertebrate Pathology*, **114**, 268-276. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2013.08.012>
- [14] Qiu, L., Lacey, M.J. and Bedding, R.A. (2000) Permeability of the Infective Juveniles of *Steinernema Carpocapsae* to Glycerol during Osmotic Dehydration and Its Effect on Biochemical Adaptation and Energy Metabolism. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, **125**, 411-419. [https://doi.org/10.1016/s0305-0491\(99\)00178-9](https://doi.org/10.1016/s0305-0491(99)00178-9)
- [15] 金立新, 董代幸, 张佩胜, 等. 昆虫病原线虫及其与药剂混用对青菜黄曲条跳甲的防治效果[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(3): 443-445.
- [16] 毛小芳, 李辉信, 陈小云, 等. 土壤线虫三种分离方法效率比较[J]. 生态学杂志, 2004, 23(3): 149-151.
- [17] Tagliente, F., Heinzpeter, E.W., Rovesti, L. and Deseö, K.V. (1988) Compatibility of Pesticides with the Entomopathogenic Nematode *Heterorhabditis Bacteriophora* Poinar (Nematoda: Heterorhabditidae). *Nematologica*, **34**, 462-476. <https://doi.org/10.1163/002825988x00422>
- [18] Rovesti, L. and Deseö, K.V. (1990) Compatibility of Chemical Pesticides with the Entomopathogenic Nematodes, *Steinernema Carpocapsae* Weiser and *S. Feltiae* Filipjev (Nematoda: Steinernematidae). *Nematologica*, **36**, 237-245. <https://doi.org/10.1163/002925990x00202>
- [19] Zimmerman, R.J. and Cranshaw, W.S. (1990) Compatibility of Three Entomogenous Nematodes (Rhabditida) in Aqueous Solutions of Pesticides Used in Turfgrass Maintenance. *Journal of Economic Entomology*, **83**, 97-100. <https://doi.org/10.1093/jee/83.1.97>
- [20] Zhang, L., Shono, T., Yamanaka, S. and Tanabe, H. (1994) Effects of Insecticides on the Entomopathogenic Nematode *Steinernema Carpocapsae* Weiser. *Applied Entomology and Zoology*, **29**, 539-547. <https://doi.org/10.1303/aez.29.539>
- [21] 张中润, 韩日畴, 许再福. 草坪常用化学药剂对昆虫病原线虫存活和侵染率的影响[J]. 中国生物防治, 2005, 21(3): 172-177.
- [22] 赵国玉, 郭文秀, 颜珣, 等. 韭菜田中常用化学农药对昆虫病原线虫存活及感染力的影响[J]. 环境昆虫学报, 2013, 35(4): 458-465.