

化学杀虫剂对昆虫病原线虫侵染韭菜迟眼蕈蚊能力的影响*

武海斌^{1**} 辛力¹ 宫庆涛¹ 张坤鹏¹ 曹广平² 孙瑞红^{1***}

(1. 山东省果树研究所, 泰安 271000; 2. 山东种业集团股份有限公司, 济南 250100)

摘要 【目的】为提高昆虫病原线虫对韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* 的防治效果, 将昆虫病原线虫与环境友好型化学杀虫剂混用是一条有效途径。【方法】本研究测试了 70%吡虫啉水分散颗粒剂、40%毒死蜱乳油和 4.5%高效氯氰菊酯乳油对昆虫病原线虫 *Heterorhabdits bacteriophora* Taishan strain H06 品系、*Steinernema carpocapsae* strain SF-SN 和 All 品系存活及侵染率的影响, 及低剂量化学杀虫剂与昆虫病原线虫混用对韭蛆 3 龄幼虫的作用效果。【结果】高效氯氰菊酯 (含量为 2.00、0.40、0.20 和 0.10 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 和吡虫啉 (25.00、5.00、2.50 和 1.25 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 对 *H. bacteriophora* H06 和 *S. carpocapsae* All 的存活无显著影响, 3 品系线虫毒死蜱 (8.00 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 对 3 品系线虫的致死率均显著高于对照; 不同浓度的毒死蜱对 3 品系线虫的致死率存在显著差异。3 种药剂分别与 3 品系线虫混合后处理韭蛆, 韭蛆的死亡率明显高于线虫和杀虫剂单用处理。药后 3 d, SF-SN 与毒死蜱 (8.00 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)、吡虫啉 (25.00 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 和高效氯氰菊酯 (2.00 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 混合处理韭蛆, 分别比单用杀虫剂提高防效 34.20%、21.18%、54.99%, 优于另外两种线虫与 3 种药剂混用的效果。【结论】供试线虫中, SF-SN 品系与上述杀虫剂联合防治韭蛆效果最好。

关键词 昆虫病原线虫, 化学杀虫剂, 韭菜迟眼蕈蚊, 混合使用

Evaluation of the effects of infection by different entomopathogenic nematodes and chemical pesticides on *Bradysia odoriphaga*

WU Hai-Bin^{1**} XIN Li¹ GONG Qing-Tao¹ ZHANG Kun-Peng¹
CAO Guang-Ping² SUN Rui-Hong^{1***}

(1. Shandong Institute of Pomology, Taian 271000, China; 2. Shandong Seed Group CO. LTD, Jinan 250100, China)

Abstract 【Objectives】To increase the effectiveness of controlling *Bradysia odoriphaga* with entomopathogenic nematodes, and to screen pesticides as synergists for entomopathogens nematodes. 【Methods】The survival rate and infectivity of three entomopathogenic nematodes (*Heterorhabdits bacteriophora* Taishan strain H06, *Steinernema carpocapsae* strain SF-SN and All) was tested after dipping them in three kinds of commonly used pesticides (70% imidacloprid wettable granule agent, 40% chlorpyrifos emulsifying concentrate and 4.5% beta-cypermethrin emulsifying concentrate). Impacts on 3rd instar larvae of *Bradysia odoriphaga* of treatment with different combinations of the nematodes and low concentrations of pesticides were determined. 【Results】Beta-cypermethrin (2.00, 0.40, 0.20 and 0.10 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) and imidacloprid (25.00, 5.00, 2.50 and 1.25 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), had no effect on the survival of the nematodes. The lethality of a concentration of 8.00 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ chlorpyrifos

* 资助项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201303027); 济南市科技计划项目 (201211365); 泰安市科技专项 (20103070)

**E-mail: jinghaijiangxuan@126.com

***通讯作者, E-mail: sruihong@126.com

收稿日期: 2013-12-25, 接受日期: 2014-01-20

emulsifying concentrate to all three nematodes at was significantly higher than that of the control, and mortality of the three nematode species was significantly different when treated with different concentrations of chlorpyrifos emulsifying concentrate. After 3 d, mortality of *B. odoriphaga* treated with a combination of low concentration chlorpyrifos ($8.00 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), imidacloprid ($25.00 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) and beta-cypermethrin ($2.00 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) with SF-SN was higher than when treated with any one pesticide alone; lethality being improved by 34.20%, 21.18%, and 54.99% respectively. The mortality of *B. odoriphaga* treated with the SF-SN-insecticide combination was higher than that of those treated with the other combination. **[Conclusion]** The combination of SF-SN with the three kinds of insecticides appears an effective way of controlling *B. odoriphaga*.

Key words entomopathogens nematodes, chemical pesticides, *Bradysia odoriphaga*, combination

迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* 是危害韭菜的重要害虫 (杨怀文和张刚应, 1990), 其幼虫 (俗称韭蛆) 主要群集于韭菜根部, 蛀食假茎和鳞茎而造成死苗。该虫在华北露地每年发生 4~6 代, 世代重叠严重, 以幼虫在韭菜鳞茎内或韭根周围 3~4 cm 表土层休眠越冬, 春、秋两季发生最重。在保护地韭菜栽培中, 温湿度条件适合韭蛆的生长发育, 故其仍持续发生危害韭菜 (王贵香等, 2012)。目前, 生产上防治仍以化学杀虫剂为主, 常使用辛硫磷、吡虫啉和毒死蜱等进行灌根。化学农药不当使用不但污染韭菜产品和环境, 而且还会因连续多次使用导致韭蛆产生抗药性, 使防治韭蛆更加困难 (杨秀芬等, 2004)。

昆虫病原线虫 (Entomopathogenic nematodes, EPNs) 是一类专门寄生昆虫的线虫, 以 3 龄感染期幼虫通过害虫身体的自然孔口或节间膜侵入寄主体内, 释放携带的共生细菌, 使其在害虫体内繁殖后产生毒素, 导致害虫患病死亡 (张中润等, 2004)。目前, 全球已有 40 个国家在研究和利用昆虫病原线虫防治害虫, 商品化生产的线虫品系近达百种 (丛斌等, 1999; 董国伟等, 2001)。与化学杀虫剂相比, 昆虫病原线虫杀虫效果缓慢且不稳定 (Georgis and Gaugler, 1991; Klein, 1993)。为克服这一缺点, 将昆虫病原线虫与环境友好型化学杀虫剂混用是一个有效途

径, 并在一些相关研究中获得肯定。王玉东等 (2012) 将低浓度的吡虫啉与 *Steinernema longicaudum* X-7 线虫混用后处理暗黑金龟 2 龄幼虫, 杀虫效果明显提高。除虫脲与 *Steinernema longicaudum* X-7 线虫混用处理卵圆齿爪鳃金龟 *Holotrichia ovata* 3 龄幼虫, 表现为增效作用 (张中润等, 2006)。王果红等 (2007) 利用小卷叶蛾斯氏线虫 *Steinernema carpocapsae* All 品系与毒死蜱、吡虫啉混用防治褐纹甘薯象 *Rhabdoscelus lineaticollis* 明显优于杀虫剂单用的防效。为此, 本文探讨了低剂量化学杀虫剂与不同品系的昆虫病原线虫混用对韭蛆的作用效果, 旨在找到一个高效组合应用于田间。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫、昆虫病原线虫

韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga*: 从山东泰安韭菜田采集幼虫, 在室内饲养 3 代后进行试验; 大蜡螟幼虫 *Galleria mellonella*: 室内人工饲养, 用于昆虫病原线虫的扩繁; 昆虫病原线虫 *Heterorhabdits bacteriophora* Taishan strain H06 (简称 H06) 来自作者实验室由大蜡螟活体繁殖。*Steinernema carpocapsae* SF-SN 品系 (简称 SF-SN)、*Steinernema carpocapsae* All 品系 (简称 All) 由广东省昆虫研究所提供。

1.2 供试杀虫剂

70%吡虫啉水分散颗粒剂,拜耳公司生产;40%毒死蜱乳油,浙江永农生物科学有限公司生产;4.5%高效氯氰菊酯乳油,江门市大光明农化有限公司生产。参照慕卫等(2004)、陈建明等(2006)的研究结果,将上述3种杀虫剂对韭蛆 LC_{50} (简称LC)设为基础浓度,在此基础浓度上再分别用蒸馏水稀释5倍、10倍和20倍(简称1/5 LC、1/10 LC和1/20 LC);即吡虫啉为25.00、5.00、2.50和1.25 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$,毒死蜱为8.00、1.60、0.80和0.40 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$,高效氯氰菊酯为2.00、0.40、0.20和0.10 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。

1.3 线虫的耐药性测定

用蒸馏水将供试线虫稀释为1 000 IJS $\cdot\text{mL}^{-1}$,以1:100的比例分别加入1.2标明的浓度药液均匀混合,每个处理设3次重复,以蒸馏水配制的线虫悬浮液作空白对照。在(25±1)°C的条件下放置24 h,显微镜下每个处理随机检查0.1 mL混合液中线虫的存活数量,计算存活率。若药剂对线虫的致死作用或者亚致死作用没有超过10%,则继续测定该药剂对线虫侵染率的影响。

参照魏洪义等(1991)判定昆虫病原线虫对药剂的反应标准:(1)死亡:身体僵直或卷曲,不活动,对针刺无反应;(2)亚致死:身体卷曲,由于药剂麻痹作用引起痉挛性或抽搐性活动,对针刺无反应或反应非常迟缓;(3)不受药剂影响:与对照线虫一样,身体活动舒展或静止不动,静止的线虫经探针触碰后反应迅速。

1.4 对韭蛆作用效果测定

设药剂单独处理、线虫(200条/虫)单独处理、线虫(200条/虫)与药剂混合处理和清水对

照。用蒸馏水将供试的3种药剂配制成LC、1/5 LC、1/10 LC和1/20 LC的稀释液。采用培养皿滤纸法(孙瑞红和李爱华,2007),即在直径9 cm的玻璃培养皿中放两张中速滤纸,放入20头3龄韭蛆和适量韭菜茎段,分别滴加各处理液1.5 mL。置于温度(22±1)°C、湿度(60±10)%的培养箱内。每处理重复3次,于处理后3 d、5 d用小毛笔尖轻触虫体,不动者记为死亡,计算死亡率和校正死亡率。

1.5 数据分析

试验数据用DPS软件进行统计分析,不同处理之间经方差分析后,用Duncan's新复极差法进行多重比较的差异显著性测定。

由 χ^2 独立性检验判断线虫与化学药剂对韭蛆的联合作用类型(张中润等,2006;王玉东等,2012)。 $M = [M_N + M_I(1 - M_N)]$; $M_E = M \times N$; $\chi^2 = (M_{NI} - M_E)^2 / M_E$,其中, M 、 M_E 分别表示线虫与各药剂混用对供试昆虫的期望致死率及致死数; M_N 和 M_I 分别为线虫和各药剂单独处理供试昆虫的校正死亡率; M_{NI} 为线虫与各药剂混用对供试昆虫的实际校正死亡率; N 为供试昆虫总数。

线虫与各药剂混用后联合作用类型的判断依据为:当 $\chi^2 < 3.84$ ($df=1$ 和 $P=0.05$)时,显示两种杀虫因子混用表现为相加作用(Additivity),即两种杀虫因子混用后的毒力和各因子毒力的总和相似;当 $\chi^2 \geq 3.84$ ($df=1$ 和 $P=0.05$)及 $M_{NI} < M_E$ 时,显示两种杀虫因子混用表现为拮抗作用(Antagonism),即两种杀虫因子混用后的毒力明显低于各因子毒力的总和;当 $\chi^2 \geq 3.84$ ($df=1$ 和 $P=0.05$)及 $M_{NI} > M_E$ 时,显示两种杀虫因子混用表现为增效作用

(Synergism), 即两种杀虫因子混用后的毒力明显超过各因子毒力的总和 (王玉东等, 2012)。

2 结果与分析

2.1 杀虫剂对昆虫病原线虫存活的影响

分别用吡虫啉、毒死蜱和高效氯氰菊酯药液连续浸泡 3 品系供试线虫, 24 h 检查发现, 在试验浓度内 3 种杀虫剂对供试线虫均无亚致死作用, 只有不同程度的死亡现象, 但死亡率均低于 3%, 并随各药剂浓度降低, 线虫死亡率随之降低。其中毒死蜱对线虫 SF-SN 品系致死率最高, 死亡率为 2.63%, 高效氯氰菊酯次之, 吡虫啉对线虫最安全。

3 品系线虫对不同药剂的耐药性有差异。毒死蜱 $8.00 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 和吡虫啉 $25.00 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 分别处理 SF-SN 引起的死亡率显著高于 All 和 H06。而 3 种药剂低浓度处理 3 品系线虫死亡率差异不显著, 但毒死蜱引起的死亡率较其他两药剂高。在 3 品系线虫中 SF-SN 品系耐药性最差, All 品系对毒死蜱和高效氯氰菊酯耐药性较强, H06 品系对吡虫啉耐药性最强。

2.2 线虫与杀虫剂对韭蛆的交互作用

2.2.1 毒死蜱与线虫混用对韭蛆的致死作用 表 2

结果表明, 毒死蜱单用处理韭蛆, 随药剂浓度降低防治效果随之下降。药后 3 d, 线虫与 LC (含量为 $8.00 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 混用处理的韭蛆死亡率

表 1 不同浓度的化学杀虫剂对线虫死亡率的影响
Table 1 Mortality of nematodes after treated with different concentrations of chemical pesticides

化学杀虫剂 Chemical pesticide	线虫 Nematode	亚致死 Sublethal	CK	LC	1/5 LC	1/10 LC	1/20 LC
亚致死剂 Sublethal	H06	—	0.83±0.17 b	1.92±0.17 aAB	1.42±0.33 aB	1.08±0.26 bA	0.87±0.19 bA
	All	—	0.78±0.15 b	1.75±0.29 aB	1.47±0.22 aB	1.16±0.31 aB	0.97±0.14 aB
	SF-SN	—	0.67±0.17 c	2.63±0.14 aA	1.57±0.30 bA	1.24±0.19 bcA	1.10±0.15 bcA
	H06	—	0.83±0.17 ab	1.25±0.23 aA	0.91±0.16 aA	0.95±0.15 aA	0.80±0.08 aA
高效氯氟氰戊酯 Beta-cypermethrin	All	—	0.78±0.15 a	1.19±0.24 aA	0.89±0.33 aA	0.80±0.05 aA	0.67±0.08 aA
	SF-SN	—	0.67±0.17 b	1.85±0.37 aA	1.34±0.29 aB	1.09±0.15 aB	0.81±0.09 bA
	H06	—	0.83±0.17 ab	1.08±0.17 aB	0.79±0.14 aA	0.59±0.16 aA	0.39±0.10 aA
	All	—	0.78±0.15 a	1.19±0.14 aAB	0.91±0.17 aA	0.75±0.29 aA	0.58±0.16 aA
吡虫啉 Imidacloprid	SF-SN	—	0.67±0.17 b	1.88±0.16 aA	1.00±0.12 bA	0.88±0.25 bA	0.62±0.17 bA

同行数据后不同小写字母者在 0.05 水平上差异显著；同一药剂对 3 品系线虫死亡率数据后的不同大写字母者表示在 0.05 水平上差异显著。

Data with different small letters in the same row are significantly different at 0.05 level, while with different capital letters in the same pesticides are significantly different at 0.05 level.

* 资助项目：公益性行业（农业）科研专项（201303027）；济南南科计划项目（20131211365）；泰安市科技专项（20103070）

**E-mail: jingchuanliangxuan@126.com

***通讯作者 E-mail: srhuihong@126.com

收稿日期：2013-12-25，接受日期：2014-01-20

表 2 3 品系线虫与毒死蜱混用对韭菜迟眼覃蚊的交互作用
Table 2 Interaction of three kinds of nematodes and chlorpyrifos against *Bradysia odoriphaga*

线虫 N	浓度 C	CK	D_1 (%)		D_N (%)		D_{NI} (%)		M_E		M_{NI}		χ^2		作用类型 Effect			
			3 d	5 d	3 d	5 d	3 d	5 d	3 d	5 d	3 d	5 d	3 d	5 d	3 d	5 d		
H06	LC	0	66.67±3.50	87.50±1.79	11.86±1.70	28.57±3.54	87.72±4.64	a	96.42±1.78	a	42.97	54.64	52.88	57.86	2.29	0.19	相加 A	相加 A
	1/5 LC	0	19.30±2.78	51.78±3.09	11.86±1.70	28.57±3.54	42.11±3.04	b	80.35±6.43	ab	18.77	39.33	26.44	48.21	3.13	2.00	相加 A	相加 A
	1/10 LC	0	3.51±3.15	32.14±1.78	11.86±1.70	28.57±3.54	31.58±3.04	bc	73.21±9.28	b	10.70	30.91	20.33	43.93	8.67	5.48	增效 S	增效 S
	1/20 LC	0	0	17.85±1.95	11.86±1.70	28.57±3.54	26.32±3.11	c	66.07±1.52	b	8.91	24.79	17.29	39.64	7.87	8.90	增效 S	增效 S
	LC	0	66.67±3.50	87.50±1.79	19.30±3.51	55.36±6.43	89.47±6.07	a	98.21±1.79	a	43.86	56.65	53.68	58.93	2.20	0.09	相加 A	相加 A
SF-SN	1/5 LC	0	19.30±2.78	51.78±3.09	19.30±3.51	55.36±6.43	49.12±4.19	b	82.14±3.57	ab	20.92	47.08	29.47	49.28	3.49	0.10	相加 A	相加 A
	1/10 LC	0	3.51±3.15	32.14±1.78	19.30±3.51	55.36±6.43	42.11±2.11	b	75.25±7.78	bc	13.28	41.82	25.26	44.99	10.82	0.24	增效 S	相加 A
	1/20 LC	0	0	17.85±1.95	19.30±3.51	55.36±6.43	35.09±1.75	b	64.28±4.72	c	11.58	37.99	21.05	38.57	7.75	0.01	增效 S	相加 A
	LC	0	66.67±3.50	87.50±1.79	13.56±5.09	26.78±4.72	76.27±1.69	a	100	a	43.30	54.51	45.76	60.00	0.14	0.55	相加 A	相加 A
All	1/5 LC	0	19.30±2.78	51.78±3.09	13.56±5.09	26.78±4.72	50.85±4.48	b	80.36±6.43	b	19.56	38.82	30.51	48.21	6.12	2.27	增效 S	相加 A
	1/10 LC	0	3.51±3.15	32.14±1.78	13.56±5.09	26.78±4.72	32.20±4.21	c	73.21±9.28	b	11.65	30.19	19.32	43.93	5.05	6.25	增效 S	增效 S
	1/20 LC	0	0	17.85±1.95	13.56±5.09	26.78±4.72	23.72±5.08	c	66.07±1.78	b	9.89	23.92	14.24	39.64	1.91	10.35	相加 A	增效 S

同列数据后标有不同小写字母者表示在 0.05 水平上差异显著; N: Nematode; C: Concentration; A: Additivity; S: Synergism; CK: 清水对照; D_1 , D_N 和 D_{NI} 分别表示化学农药、线虫、化学农药+线虫混用下韭菜迟眼覃蚊的校正死亡率; 下表同。

Data with different small letters in the same column are significantly different at 0.05 level; N: Nematode; C: Concentration; A: Additivity; S: Synergism; CK: Water control; D_1 , D_N and D_{NI} represent corrected mortality rate of *Bradysia odoriphaga* treated with chemical pesticide, nematodes, chemical pesticide+ nematodes, respectively. The same below.

显著高于其他混用的死亡率; 药后 5 d, 所有处理的韭蛆死亡率提高, H06 和 SF-SN 与 LC 混用的死亡率显著高于与 1/20 LC ($0.40 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 混用的死亡率, 但与 1/5 LC ($1.60 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 混用的死亡率差异不显著。不同浓度毒死蜱分别与线虫混用的杀虫效果 (D_{NI}) 比毒死蜱同等浓度单用 (D_{I})、线虫单用 (D_{N}) 均明显提高。毒死蜱分别与 H06、SF-SN 和 All 混用比同等浓度药剂单用或线虫单用的致死效果提高 10.19%~166.27%、12.24%~154.51% 和 14.28%~163.47%, 表现出相加或增效作用; 其中 LC 与 All 混用对韭蛆的死亡率提高 14.28%, 其作用效果达到了 100%, 高于与 H06 和 SF-SN 混用的防效。LC 分别与 3 品系线虫混用对韭蛆的致死效果均为相加作用, 而低剂量与 3 品系线虫混用的致死效果则为增效作用。

2.2.2 吡虫啉与线虫混用对韭蛆的致死作用 表 3 结果表明, 与毒死蜱一样, 吡虫啉单用处理韭蛆, 韭蛆的死亡率与药剂浓度成正相关。药后 3 d 和 5 d, H06 和 All 线虫与 LC ($25.00 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 混用的致死效果显著高于两低浓度混用的效果。SF-SN 与吡虫啉混用对韭蛆的防效高于 H06、All。药后 5 d, 不同浓度吡虫啉分别与线虫混用的杀虫效果 (D_{NI}) 比吡虫啉单用 (D_{I})、线虫单用 (D_{N}) 均明显提高。吡虫啉分别与 H06、SF-SN 和 All 混用比单用的致死效果分别提高 6.23%~128.67%、10.28%~75.65% 和 6.22%~125.00%, 属相加作用。

2.2.3 高效氯氰菊酯线虫混用对韭蛆的致死作用 表 4 结果表明: 线虫分别与 LC ($2.00 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 混用的致死效果显著高于两低剂量混用的效果, 且 SF-SN 与高效氯氰菊酯的混用对韭蛆的

致死效果高于 H06、All。药后 5 d, 高效氯氰菊酯各浓度与线虫混用的杀虫效果明显高于二者单用的效果。高效氯氰菊酯分别与 H06、SF-SN 和 All 混用后的致死效果比两者单用的提高 21.32%~100.08%、23.59%~68.73% 和 21.32%~107.13%, 其中 1/20 LC ($0.10 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) 与 H06、All 混用对韭蛆的致死效果为增效作用。而其他剂量与线虫混用的致死效果则为相加作用。

3 讨论

昆虫病原线虫对不同化学杀虫剂的耐受能力不同, 选择对线虫安全的杀虫剂是混用成功的关键 (王玉东等, 2012)。本研究中, 3 种杀虫剂对供试线虫均无亚致死作用, 而且致死率很低。但不同药剂对不同昆虫病原线虫的致死效果存在差异, 其中吡虫啉对 3 种线虫最安全, 高效氯氰菊酯次之。同样, 不同线虫对不同药剂的耐药性也存在差异, 其中 SF-SN 品系对 3 种药剂的耐药性最低, All 品系对毒死蜱和高效氯氰菊酯耐药性较强, H06 品系则对吡虫啉耐药性强。3 品系线虫分别与 3 种杀虫剂混用后的杀虫效果比两者单用的效果明显高, 其中线虫与杀虫剂 LC 剂量混用后均表现相加作用, 与 1/10 LC 和 1/20 LC 剂量混用则表现增效作用。由此可以推测, 低剂量的化学杀虫剂更有助于昆虫病原线虫侵害韭蛆。其最佳混用剂量和作用机理还需进一步研究。

一些研究者认为, 杀虫剂与昆虫病原线虫混用后, 一方面可降低害虫对线虫的防御能力, 利于线虫侵入; 另一方面可能是药剂刺激线虫的感受神经, 致使线虫兴奋, 运动增加, 导致线虫对

韭蛆的搜索和攻击能力增强 (Koppenh and Kaya, 1998); 还可能是低剂量杀虫剂刺激目标昆虫代谢活动的变化, 使其释放物如 CO_2 、分泌物等增多, 线虫对这些物质做出敏感反应 (Koppenh *et al.*, 2000; Triggiani and Poinar, 1976)。3 种杀虫剂与线虫混用后造成韭蛆死亡率提高可能与上述因素有关。

研究发现不同品系线虫与不同类型的杀虫剂混用对韭蛆防效有所差异。在 3 种供试线虫中, SF-SN 品系与 3 种杀虫剂混用对韭蛆致死效果高于 H06、All 与杀虫剂的混用效果。因此 SF-SN 品系可作为优选品系, 进一步研究其在田间条件下与上述杀虫剂混用对韭蛆的防治效果。

表 3 3 品系线虫与吡虫啉混用对韭菜迟眼蕈蚊的交互作用
Table 3 Interaction of three kinds of nematodes and imidacloprid against *Bradysia odoriphaga*

	CK	$D_{\text{N}}(\%)$			$D_{\text{NI}}(\%)$			M_{E}			M_{NI}			χ^2			作用类型 Effect		
		3 d	5 d	3 d	5 d	3 d	5 d	3 d	5 d	3 d	5 d	3 d	5 d	3 d	5 d	3 d	5 d	3 d	5 d
N	0	69.94±2.94	89.09±2.92	11.86±1.70	28.57±3.54	84.75±5.87 a	94.64±3.09 a	44.13	55.25	50.85	56.79	1.02	0.04	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A
	0	8.47±2.73	30.36±1.11	11.86±1.70	28.57±3.54	27.12±5.87 b	58.93±1.78 b	12.41	30.15	16.27	35.36	1.20	1.38	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A
	0	3.39±2.17	14.29±2.68	11.86±1.70	28.57±3.54	20.34±7.38 b	48.21±6.43 c	9.76	23.27	12.20	28.93	0.61	1.38	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A
	0	0	7.14±2.57	11.86±1.70	28.57±3.54	15.25±1.69 b	41.07±9.20 c	8.00	20.20	9.15	24.64	0.17	0.98	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A
SF-SN	0	69.94±2.94	89.09±2.92	19.30±3.51	55.36±6.43	84.75±3.07 a	98.25±3.04 a	45.72	57.13	50.85	58.94	0.57	0.06	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A
	0	8.47±2.73	30.36±1.11	19.30±3.51	55.36±6.43	33.90±3.39 b	87.72±4.64 a	17.18	41.99	20.33	52.63	0.58	2.69	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A
	0	3.39±2.17	14.29±2.68	19.30±3.51	55.36±6.43	27.12±7.11 b	68.42±6.07 b	14.80	37.84	16.27	41.05	0.14	0.27	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A
	0	0	7.14±2.57	19.30±3.51	55.36±6.43	23.73±7.71 b	61.40±4.64 b	13.22	35.99	14.24	36.84	0.08	0.02	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A
All	0	69.94±2.94	89.09±2.92	13.56±5.09	26.78±4.72	86.44±1.69 a	94.64±3.34a	44.18	55.13	58.98	56.79	1.34	0.05	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A
	0	8.47±2.73	30.36±1.11	13.56±5.09	26.78±4.72	30.51±1.03 b	64.28±6.43 b	12.53	29.41	24.41	38.57	2.66	2.86	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A
	0	3.39±2.17	14.29±2.68	13.56±5.09	26.78±4.72	23.73±2.93 bc	51.79±4.72 bc	9.89	22.35	14.24	31.07	1.91	3.41	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A
	0	0	7.14±2.57	13.56±5.09	26.78±4.72	16.95±3.39 c	41.07±6.43 c	8.14	19.21	10.17	24.64	0.51	1.54	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A

* 资助项目：公益性行业（农业）科研专项（20130302）；济南市科技计划项目（20131365）；泰安市科技专项（20103070）

**E-mail: jinghaijiangxuan@126.com

***通讯作者, E-mail: srhuihong@126.com

收稿日期：2013-12-25，接受日期：2014-01-20

表 4 3 品系线虫与高效氯菊酯混用对非菜迟眼蕈蚊的交互作用
Table 4 Interaction of three kinds of nematodes and beta-cypermethrin against *Bradysia odoriphaga*

线虫 N	浓度 C	CK	D ₁ (%)			D _N (%)			D _{NI} (%)			M _E			M _{NI}			χ ²			作用类型 Effect		
			3 d	5 d		3 d	5 d		3 d	5 d		3 d	5 d		3 d	5 d		3 d	5 d		3 d	5 d	
H06	LC	0	33.90±1.94	60.34±1.48	11.86±1.70	28.57±3.54	44.06±2.93 a	73.21±3.09 a	25.04	42.71	26.44	44.48	0.08	0.07	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A
	1/5 LC	0	27.12±2.13	29.31±3.16	11.86±1.70	28.57±3.54	37.28±1.69 ab	51.78±8.18 ab	21.45	29.17	22.37	32.06	0.04	0.29	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	
	1/10 LC	0	10.17±1.15	18.97±1.69	11.86±1.70	28.57±3.54	22.03±7.38 c	55.36±9.44 ab	12.49	24.66	13.22	34.13	0.04	3.64	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	
	1/20 LC	0	3.39±2.14	8.62±3.17	11.86±1.70	28.57±3.54	23.73±2.93 bc	46.43±3.09 b	8.91	20.15	14.23	28.97	3.18	3.86	相加 A	增效 S	相加 A	增效 S	相加 A	增效 S	相加 A	增效 S	
SF-SN	LC	0	33.90±1.94	60.34±1.48	19.30±3.51	55.36±6.43	52.54±4.48 a	84.21±3.03 a	29.08	49.38	31.53	50.52	0.21	0.03	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	
	1/5 LC	0	27.12±2.13	29.31±3.16	19.30±3.51	55.36±6.43	45.76±1.69 a	71.93±4.64 ab	25.91	41.07	27.46	43.15	0.09	0.11	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	
	1/10 LC	0	10.17±1.15	18.97±1.69	19.30±3.51	55.36±6.43	32.20±4.48 b	68.42±5.26 ab	17.98	38.30	19.32	41.05	0.10	0.20	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	
	1/20 LC	0	3.39±2.14	8.62±3.17	19.30±3.51	55.36±6.43	28.81±2.93 b	64.90±7.02 b	14.81	35.53	17.29	38.95	0.42	0.33	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	
All	LC	0	33.90±1.94	60.34±1.48	13.56±5.09	26.78±4.72	50.86±7.89a	73.21±3.09 a	25.72	42.27	30.51	43.93	0.89	0.06	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	
	1/5 LC	0	27.12±2.13	29.31±3.16	13.56±5.09	26.78±4.72	42.37±4.48a	60.71±1.08 ab	22.20	28.40	25.42	36.43	0.47	2.27	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	
	1/10 LC	0	10.17±1.15	18.97±1.69	13.56±5.09	26.78±4.72	27.11±4.48b	55.35±2.08 ab	13.41	23.78	16.27	33.21	0.61	3.74	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	相加 A	
	1/20 LC	0	3.39±2.14	8.62±3.17	13.56±5.09	26.78±4.72	27.11±1.69 b	42.86±6.89 b	9.89	19.15	16.27	25.71	4.11	2.25	增效 S	相加 A	增效 S	相加 A	增效 S	相加 A	增效 S	相加 A	

参考文献 (References)

- Georgis R, Gaugler R, 1991. Predictability in biological control using entomopathogenic nematodes. *J. Econ. Entomol.*, 84(3): 713–720.
- Klein MG, 1993. Biological control of scarabs with entomopathogenic nematodes // Bedding RA, Akurst RJ, Kaya HH(eds.). *Nematodes and the Biological Control of Insect Pests*. Melbourne, Australia: CSIRO Publications. 49–58.
- Koppenhöfer AM, Brown IM, Gaugler R, Grewal PS, Kaya HK, Klein MG, 2000. Synergism of entomopathogenic nematodes and imidacloprid against white grubs: greenhouse and field evaluation. *Biol. Control*, 19(3): 245–251.
- Koppenfer AM, Kaya HK, 1998. Synergism of imidacloprid and an entomopathogenic nematode: a novel approach to white grub control in turfgrass. *J. Econ. Entomol.*, 91(3): 618–623.
- Triggiani O, Poinar Jr GO, 1976. Infection of adult lepidoptera by *Neoaplectana carpocapsae* (Nematoda). *J. Invert. Pathol.*, 27(3): 413–414.
- 陈建明, 陈忠其, 俞晓平, 郑许松, 陈列忠, 张珏锋, 2006. 九种无公害农药对铜绿金龟子和韭菜迟眼蕈蚊的毒力测定. *浙江农业学报*, 18(5): 321–324. [CHEN JM, CHEN ZQ, YU XP, ZHENG XS, CHEN LZ, ZHANG YF, 2006. Determination on the toxicity of 9 kinds safety insecticides to the larvae of *Anomala corpulenta* Motschulsky and *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang in the laboratory. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 18(5): 321–324.]
- 从斌, 刘维志, 杨怀文, 1999. 昆虫病原线虫研究和利用的历史、现状与展望. *沈阳农业大学学报*, 30(3): 343–353. [CONG B, LIU WZ, YANG HW, 1999. Advances on the research and application of entomopathogenic nematodes. *Journal of Chenyang agricultural university*, 30(3): 343–353.]
- 董国伟, 刘贤进, 余向阳, 董健, 2001. 昆虫病原线虫研究概况. *昆虫知识*, 38 (2): 107–111. [DONG GW, LIU XJ, YU XY, DONG J, 2001. Review of the researches on Entomopathogens Nematodes. *Entomological Knowledge*, 38 (2): 107–111.]
- 慕卫, 刘峰, 贾仲明, 2004. 杀虫剂对韭菜迟眼蕈蚊毒力与药效相关性研究. *农药学学报*, 6(3): 53–55. [MU W, LIU F, JIA ZM, 2004. Study on correlationship between toxicity and field control effect of insecticides to *Bradysia odoriphaga*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 6(3): 53–55.]
- 孙瑞红, 李爱华, 2007. 昆虫病原线虫 H06 与化学杀虫剂对韭菜迟眼蕈蚊的联合作用. *农药学学报*, 9(1): 66–70. [SUN RH, LI AH, 2007. Studies on combination effect of etomolopathogenic nematode H06 and insecticide against *Bradysina odoriphaga* *Chinese Journal of Pesticide Science*, 9(1): 66–70.]
- 王桂香, 潘运国, 朱继宏, 2012. 韭蛆的生物学特性及综合防治技术. *育种与栽培*, 23(6): 180–181. [WANG GX, PAN YG, ZHU XH, 2012. Biological characteristics of integrated control technology of *Bradysia odoriphaga*. *Breeding and cultivation*, 23(6): 180–181.]
- 王果红, 韩日畴, 陈静华, 曹莉, 2007. 利用昆虫病原线虫与化学农药混用防治褐纹甘薯象. *中国生物防治*, 23(3): 218–222. [WANG GH, HAN RC, CHEN JH, CAO L, 2007. Combined efficacy of entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* all and Pesticide against *Rhabdoscelus lineaticollis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 23(3): 218–222.]
- 王玉东, 肖春, 尹姣, 曹雅忠, 李克斌, 2012. 三种化学杀虫剂对病原线虫侵染暗黑鳃金龟能力的影响. *中国生物防治学报*, 28(1): 67–73. [WANG YD, XIAO C, YI J, CAO YZ, LI KB, 2012. Evaluation of the impacts on infection ability of entomopathogens nematodes to grub *Holotrichia parallela* for three chemical pesticides. *Chinese Journal of Biological Control*, 28(1): 67–73.]
- 魏洪义, 王国汉, 庞雄飞, 1991. 几种杀虫剂对斯氏线虫的毒力. *昆虫天敌*, 13(2): 92–95. [WEI HY, WANG GH, PANG XF, 1991. Toxicity of three insecticides to the entomopathogens nematodes *Steinernemd fectiae*. *Natural Enemies of Insects*, 13(2): 92–95.]
- 杨怀文, 张刚应, 1990. 异小杆线虫 D-1 对迟眼蕈蚊感染力的研究. *生物防治通报*, 6(3): 110–112. [YANG HW, ZHANG GY, 1990. Infectivity of the entomopathogens nematodes, *Heterorhabditis* sp. D-1 to *Bradysia odoriphaga*. *Chinese Journal of Biological Control*, 6(3): 110–112.]
- 杨秀芬, 简恒, 杨怀文, 刘峥, 袁京京, 2004. 用昆虫病原线虫防治韭菜蛆. *植物保护学报*, 31(1): 33–37. [YANG XF, JIAN H, YANG HW, LIU Z, YUAN JJ, 2004. Using entomopathogens nematodes for control of chive maggot *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang. *Acta Phytophylacica Sinica*, 31(1): 33–37.]
- 张中润, 韩日畴, 许再福, 2004. 草坪地下害虫蛴螬的生物防治研究进展. *昆虫知识*, 41(5): 387–392. [ZHANG ZR, HAN RC, XU ZF, 2004. Biological control of grubs in the turfgrass. *Entomological Knowledge*, 41(5): 387–392.]
- 张中润, 曹莉, 刘秀玲, 王果红, 许再福, 韩日畴, 2006. 昆虫病原线虫 *Steinernema longicaudum* X-7 增效药剂的筛选. *昆虫知识*, 43(1): 68–73. [ZHANG ZR, CAO L, LIU XL, WANG GH, XU ZF, HAN RC, 2006. Screening of insecticides as synergists for entomopathogenic nematodes *Steinernema longicaudum* X-7. *Entomological Knowledge*, 43(1): 68–73.]
