

寒区昆虫病原线虫对韭菜迟眼蕈蚊的防治研究^{*}

李春杰^{1**} 王 义² 许艳丽^{1***} 张志明¹ 孟 洁¹
姚 钦¹ 宋 洁¹

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土区农业生态国家重点实验室 海伦农田生态系统国家野外观测研究站
哈尔滨 150081; 2. 美国 Rutgers 大学 新泽西 08901)

摘 要 结合室内生测、温室盆栽和大棚内小区试验的方法,探讨了寒区昆虫病原线虫(entomopathogenic nematode, EPN)对我国北方越冬韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang 的防治作用。室内生测的结果显示,在侵染剂量为 400 条侵染期线虫(IJs)每头 3 龄幼虫或蛹时,异小杆线虫 *Heterorhabditis bacteriophora* ZT(Hb-ZT, 哈尔滨市植物园分离株)、*H. bacteriophora* LG(Hb-LG, 辽宁分离株)、*H. bacteriophora* NJ(Hb-NJ, 美国新泽西分离株)和斯氏线虫 *Steinernema carpocapsae* All(Sc-All)对迟眼蕈蚊 3 龄幼虫的致死率于 72 h 后均达 100%,而对蛹的寄生效果则是 Hb-ZT 线虫最高;Hb-ZT 与 Sc-All(1:1)混用,对幼虫的室内寄生效果高于单独施用 2 个线虫的寄生效果;温室盆栽试验中喷施 Hb-ZT 与 Sc-All(1:1)的线虫混合液,施用剂量减半(50 万 IJs/m²),对韭蛆成虫羽化的控制效果稍高于单独施用 2 个线虫(100 万 IJs/m²)效果;不同时期防治韭蛆的试验结果表明,于韭菜棚内发现韭蛆成虫 5~10 d 内喷施线虫的防治效果较好;韭菜大棚内喷施剂量为 50 万 IJs/m² 的 Hb-ZT 与 Sc-All 线虫混合液对韭蛆幼虫防效达 100%,增产作用与常规化学药剂(辛硫磷)相当。

关键词 昆虫病原线虫, 韭菜迟眼蕈蚊, 寒区, 防效

Efficacy of a mixed formulation of *Heterorhabditis bacteriophora* ZT (Heilongjiang isolate) and *Steinernema carpocapsae* All against *Bradysia odoriphaga*

LI Chun-Jie^{1**} WANG Yi² XU Yan-Li^{1***} ZHANG Zhi-Ming¹
MENG Jie¹ YAO Qin¹ SONG Jie¹

(1. Key Laboratory of Mollisols Agroecology, National Observation Station of Hailun Agroecology System, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China;
2. Rutgers University, New Jersey 08901, USA)

Abstract The root maggot, *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang, is one of the most important insect pests of Chinese chives in northern China. To find alternatives to chemical pesticides for the insect, we have evaluated 3 isolates of *Heterorhabditis bacteriophora*, Hb-ZT (Heilongjiang), Hb-LG (Liaoning), and Hb-NJ (New Jersey, USA), and *Steinernema carpocapsae* All (Sc-All) against 3rd instars and pupae of *B. odoriphaga* in petri dish, pot and greenhouse assay. We found that the mixed formulation of Hb-ZT and Sc-All achieved 100%, 80.6%, and 100% host mortality in petri dish, pot, and greenhouse assay respectively, which is more effective than using each species alone. In both pot assay and greenhouse assay, the mixed formulation achieved better results with a dose of 0.5 million IJs/m² than each species alone at doses of 1 million IJs/m². Our results also shown that the best time for application of entomopathogenic nematodes is 5 to 10 days after the first adults are detected.

Key words entomopathogenic nematode, *Bradysia odoriphaga*, control efficacy, Chinese chive and root maggot

^{*} 资助项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-YW-N-092);科技部农业科技成果转化资金项目(2007GB24910482)和黑龙江省青年科学基金项目(QC2010070)。

^{**}E-mail:lichunjie@neigaehrb.ac.cn

^{***}通讯作者,E-mail:xyll@neigaehrb.ac.cn

收稿日期:2011-11-07,接受日期:2012-06-03

韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang, 其幼虫俗称韭蛆, 是危害我国北方特色蔬菜韭菜的主要地下害虫 (陈栋等, 2005)。该虫以幼虫群集为害寄主的地下根茎, 造成地下部腐烂, 地上部成墩萎蔫、枯死, 严重影响韭菜的产量和质量 (杨集昆和张学敏, 1985)。目前生产上常用化学农药如甲拌磷 (3911)、甲胺磷、对硫磷、呋喃丹等进行灌根防治 (孙瑞红等, 2004), 导致韭菜中农药残留严重超标, 威胁着消费者的身体健康, 出口创汇受到很大影响 (姚建仁, 1999)。目前, 我国大力发展无公害蔬菜, 要求使用低毒农药和采取生物措施控制害虫。我们开展了利用昆虫病原线虫防治韭蛆的试验研究, 以期对韭蛆生物防治提供依据。

昆虫病原线虫异小杆属 *Heterorhabditis* 和斯氏属 *Steinernema* 作为新型的生物杀虫剂, 可有效地用于防治一般化学农药难以防治的地下害虫。杨怀文和张刚应 (1990) 报道异小杆线虫 D1 能够寄生韭菜迟眼蕈蚊幼虫和蛹, 张宝恕和王沈利 (1994) 发现斯氏线虫 *S. feltiae* Otio 品系和异小杆属 *Heterorhabditis* sp. CB15 品系可感染韭蛆, Sun 等 (2004) 测定了 27 个昆虫病原线虫种系, 从中筛选出对韭蛆比较敏感的异小杆属线虫 *H. indica* LN2 品系。许多学者通过室内试验证明了昆虫病原线虫对韭蛆幼虫和蛹的寄生作用, 为了探索其在田间应用效果, 开展盆栽和田间防治试验是十分必要的, 进行韭蛆的防治时期和线虫的混用效果研究更具实际应用意义。

温度一直是影响线虫寻找寄主行为的最主要因素, 不同种 (品系) 线虫寻找寄主行为的最适温度不同 (李慧萍和韩日畴, 2007)。不同线虫品系对温度的耐受差异可能与其最初的自然生长环境有关 (Strauth et al., 2000)。冷驯化可提高 3 种斯氏属线虫的耐寒能力 (Jagdale and Grewal, 2003), 低温驯化使 *H. bacteriophora* 的耐冻性增强 (Brown et al., 2002)。寄主的保护作用也可增强线虫的耐寒性 (Lewis and Shapiro-Ilan, 2002; Ansari et al., 2009)。杨秀芬和杨怀文 (1999) 试验证实了低温诱导有助于培育斯氏线虫 A54 适应 0℃ 以上的低温特性, 但返回 25℃ 培养 2 个侵染循环后这种特性有不同程度的丢失。这些学者通过各种方法均提高了昆虫病原线虫暂时的耐寒性, 而本研究采用的昆虫病原线虫是从我国寒冷地区——黑龙江

省分离得到, 本身具有很好的耐寒性。我国北方的韭菜根蛆每年 4、5 月份是为害盛期, 此时地温较低, 一般不耐低温的线虫防治效果很差, 因为低温不利于多数线虫侵染 (杨秀芬等, 2004)。如果从黑龙江省分离的昆虫病原线虫对韭蛆具有高致病力并有很好的田间防效, 该线虫将应用前景广阔, 可为今后北方韭蛆防治提供新材料。

1 材料与方法

1.1 试验材料

昆虫病原线虫 (entomopathogenic nematode, EPN), *H. bacteriophora* ZT (Hb-ZT) 从黑龙江省哈尔滨市分离, *H. bacteriophora* LG (Hb-LG) 从辽宁省盖州市分离, 该 2 个线虫品系由加拿大线虫博物馆鉴定; *H. bacteriophora* NJ (Hb-NJ) 和 *S. carpocapsae* All (Sc-All) 从美国引进。所用线虫均采用 White-Trap 法繁殖 (White, 1927), 新繁殖出来的感染期线虫储存于 10℃ 冰箱内, 7 d 内使用。

韭菜迟眼蕈蚊幼虫和蛹由中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土区农业生态院重点实验室农田有害生物控制学科组在温室采用盆栽法饲养。盆栽土壤取自河北省香河县安头屯镇前独立村韭菜蛆密度较大的地块, 移栽健康的韭菜根后, 每盆罩以 80 目的防虫网。

1.2 试验方法

1.2.1 室内生测方法

1.2.1.1 不同种 (品系) EPN 对韭蛆室内侵染效果 采用室内生测滤纸法, 在直径 6.0 cm 培养皿盖内平垫两张同样大小的滤纸, 然后向滤纸上加入 0.5 mL 蒸馏水, 放入 10 头 3 龄韭蛆幼虫或蛹, 再放入 3 段 2 cm 的韭菜根供幼虫取食, 倒扣皿底。线虫侵染剂量为 400 条侵染期线虫 (IJs)/头 3 龄幼虫或蛹, 用真空泵抽吸含有 4 000 条 IJs 的悬浮液于 2 cm² 滤纸上, 将滤纸倒扣于生测皿内, 以蒸馏水为对照, 置于 (25 ± 0.5)℃ 培养箱中。处理有 Hb-NJ、Hb-ZT、Hb-LG、Sc-All、空白对照 (CK), 每个处理 (线虫品系) 重复 3 次。侵染后 24、48 和 72 h 调查幼虫和蛹死活数量, 先每天向皿内滴加水, 保持滤纸饱和吸水。因韭蛆喜黑暗环境, 故在培养皿外周罩上黑布, 避免韭蛆向皿外爬行。

1.2.1.2 不同侵染剂量 EPN 对韭蛆室内寄生效果 根据 1.2.1.1 试验中线虫 Hb-ZT 对韭蛆的寄

生效果好于 Hb-NJ 和 Hb-LG,所以异小杆属线虫只选择 Hb-ZT 进行下一步室内生测。该试验选用线虫 Hb-ZT、Sc-All、Sc-All + Hb-ZT(剂量各减半)。侵染剂量设有 10、50、100 和 200 IJs/头幼虫,不加线虫的空白对照(CK),每处理重复 3 次,滤纸生测法同 1.2.1.1。

1.2.2 盆栽试验方法

1.2.2.1 不同品种(系)对韭蛆防效 盆栽用线虫有 Hb-NJ、Hb-ZT、Hb-LG、CK,每处理 3 盆(面积 0.1 m²),盆内沙土比例为 1:4,每盆移栽 8 株韭菜。接入韭蛆 3 龄幼虫 230 头/盆,同时喷施线虫,按照 100 万 IJs/m²,则浇灌 10 万条线虫/盆,然后每盆罩上 80 目的防虫网。接入韭蛆幼虫和施用线虫 30 d 后,调查每盆网内成虫数,扣盆调查每 100 cm³沙土中幼虫数量,计算不同品系线虫对韭蛆的成虫减退率和幼虫防效。

由于线虫 Hb-ZT 对韭蛆的盆栽效果均好于 Hb-NJ 和 Hb-LG,所以下一步盆栽试验仅选用 Hb-ZT,以进一步验证与 Sc-All 的混用效果。线虫 Sc-All、Hb-ZT 均按照施用剂量为 100 万 IJs/m²、Sc-All 与 Hb-ZT(1:1)混合按照 50 万 IJs/m²、CK 各 3 盆,每盆接入 3 龄韭蛆幼虫 760 头,其他方法同上,每 3 d 调查盆内成虫数量,计算线虫对韭蛆成虫减退率。

1.2.2.2 EPN 不同施用时期对韭蛆防效 由于上一试验 Sc-All 和 Hb-ZT 混用效果较好,2 种线虫仍按 1:1 混用,施用剂量 50 万 IJs/m²。盆栽方法同 1.2.2.1,每盆接入韭蛆成虫雌性 10 头,雄性 5 头,设接入成虫 0、5、10、15 和 20 d 浇灌线虫悬液。浇灌线虫 45 d 后调查韭菜黄苗率、每盆成虫数和幼虫数量。

1.2.3 EPN 对越冬韭蛆的棚室防治试验 试验小区设在河北省香河县安头屯镇前独立村韭菜大棚内。试验设有 5 个处理,施用线虫 Sc-All 和 Hb-ZT(1:1)混合液 3 个剂量,100、75、50 万/m²、空白对照(CK,同体积清水)、常规对照(辛硫磷)。将化学药剂和线虫分别加入 6 kg 水中,浇灌 1 个池子,池子大小为 2.1 m×6.25 m=13.125 m²。17 d 后收割第一茬韭菜前随机调查 3 点韭菜黄苗率、株高、产量和每 100 cm³土壤中幼虫数量,3 次重复。

1.3 数据统计与分析

试验中所调查的原始数据经 Excel 整理、DPS9.5 软件统计和分析,计算所得百分数经反正弦平方根转换,然后用 Duncan 新复极差法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 EPN 对韭蛆室内寄生效果

2.1.1 不同种(品系)EPN 对韭蛆室内侵染效果

通过室内生测调查结果表明(图 1),所用异小杆属 3 个品系和斯氏属 1 个品系线虫对韭蛆 3 龄幼虫的寄生效果都非常好。侵染 72 h 时,韭蛆幼虫校正死亡率均达到 100%。24 h 时,Hb-ZT 对幼虫的致死率好于其它 3 个线虫,48 h 时各处理间的幼虫校正死亡率差别不大。

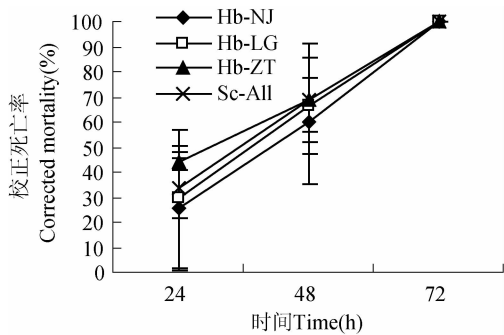


图 1 不同种(品系)EPN 对韭蛆 3 龄幼虫的侵染效果
Fig.1 Efficacy of different nematode species (strains) against *Bradysia odoriphaga* 3rd instar larvae in petri dish assay

异小杆属 Hb-ZT 对蛹的寄生效果好于线虫 Hb-NJ、Hb-LG 和 Sc-All(图 2),24 h 使韭蛆蛹的校正死亡率为 60%,48 h 校正死亡率为 69.2%,72 h 为 76.9%,均高于其它 3 个线虫。试验中 Hb-LG 对韭蛆蛹的致死率一直低于其它 3 个线虫。从试验中可以看出所有处理在 72 h 时对蛹的寄生效果不如对幼虫的寄生效果。

从异小杆属 3 个品系线虫 Hb-NJ、Hb-ZT、Hb-LG 对韭蛆 3 龄幼虫和蛹的寄生效果看,Hb-ZT 对韭蛆控制作用好于另 2 个异小杆属线虫 Hb-NJ 和 Hb-LG,所以此后室内生测试验异小杆属线虫只选用 Hb-ZT。

2.1.2 不同侵染剂量 EPN 对韭蛆幼虫的侵染效果 室内生测调查结果显示(表 1),Sc-All 侵染剂

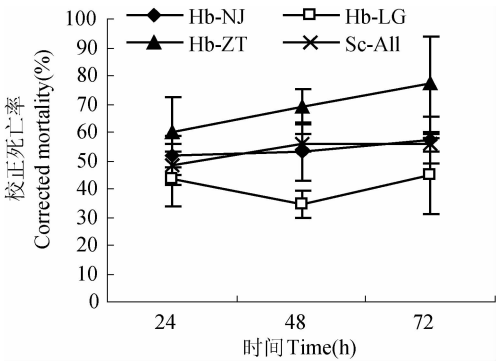


图 2 昆虫病原线虫对韭蛆蛹的侵染效果

Fig.2 Efficacy of different nematode species (strains) against *Bradysia odoriphaga* pupae in petri dish assay

量为 200 条在 120 h 和 144 h 时,韭蛆 3 龄幼虫的死亡率为 43.7% ;Hb-ZT 侵染剂量 200 条 120 和 144 h 时,对韭蛆的致死率均为 62.3% ;Hb-ZT

与 Sc-All(1:1)混合 200 条在 120 h 时韭蛆的校正死亡率达 84.4% ,144 h 达 100% ,所以混用侵染效果明显好于 1 个线虫的单独效果。

2.2 EPN 对韭蛆的盆栽防效

2.2.1 不同品种(系)EPN 对韭蛆盆栽防效 盆栽试验结果表明(表 2),异小杆属 3 个品系线虫对土壤中韭蛆幼虫防效都很好,虫口减退率均达 90% 以上;对成虫羽化率抑制效果不如幼虫,但 Hb-ZT 使成虫减退率最高。成虫虫口数量的减少,主要是由于线虫对土壤中幼虫和蛹的寄生所致。线虫 Hb-ZT 使成虫和幼虫减退率均最高,结合室内生测,进一步证实了异小杆属线虫 3 个品系中 Hb-ZT 对韭蛆的控制效果最好,所以在此后的试验中异小杆属线虫选用 Hb-ZT。

表 1 不同剂量线虫对韭蛆幼虫的侵染效果

Table 1 Efficacy of different dosage of EPN against *Bradysia odoriphaga* 3rd instar larvae in petri dish assay

线虫品种 EPN strains	剂量 Dosage (IJs/larvae)	校正死亡率 Corrected mortality(%)					
		24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h
Sc-All	10	0	4.7	4.7	2.0	7.1	7.1
	50	0	0	3.8	1.1	1.1	10.3
	100	10.7	9.1	19.9	18.8	29.5	35.0
	200	13.3	16.7	28.0	43.7	43.7	43.7
Hb-ZT	10	0	3.5	15.3	16.6	16.6	25.0
	50	7.2	12.5	17.3	29.4	29.4	29.4
	100	21.4	30.8	38.4	41.6	45.8	50.0
	200	7.4	20.9	30.4	29.4	62.3	62.3
Sc-All + Hb-ZT	10	0	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
	50	7.4	14.8	26.9	27.8	27.8	27.8
	100	3.2	9.1	17.3	10.3	10.3	10.3
	200	5.0	7.6	35.8	61.2	84.4	100.0

表 2 不同品系线虫对韭蛆幼虫和成虫盆栽防效

Table 2 Efficacy of different nematode strains against *Bradysia odoriphaga* larvae and adult emergence reduction

线虫品系 Nematode strains	幼虫减退率 Reduction of larvae(%)	成虫减退率 Reduction of adult emergence(%)
Hb-LG	97.8 ± 10.3 a	36.0 ± 2.4 b
Hb-ZT	100.0 ± 0 a	72.0 ± 6.3 a
Hb-NJ	90.4 ± 5.9 a	68.0 ± 8.7 a

注:同列数据后具有不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著 (DPS9.5 数据处理系统软件中 Duncan 新复极差法)。下表同。

Data followed by the different letters in the same column indicate significantly different at 0.05 level by Duncan’s multiple range test. The same below.

线虫对韭蛆成虫羽化率控制效果的盆栽试验结果显示(表3),施入线虫第3天和第6天时3个处理的防治效果均在40%以下,第9 d时 Hb-ZT + Sc-All 对韭蛆成虫羽化率抑制效果好于2个线虫单独施用效果,但差异不显著($P > 0.05$),均达

67%以上。主要是因为线虫将幼虫期韭蛆杀死,从而导致成虫减少。由于 Hb-ZT + Sc-All(1:1)的混合施用剂量是2个线虫单独施用剂量的二分之一,剂量小,防效高,所以田间试验采用 Hb-ZT 和 Sc-All 按 1:1混用。

表3 混用线虫对韭蛆成虫羽化率盆栽控制效果
Table 3 Efficacy of mixed species against *Bradysia odoriphaga* adult emergence

线虫品种 EPN species	控制效果 Efficacy (%)		
	3 d	6 d	9 d
Sc-All	39.7 ± 8.1 a	33.3 ± 11.4 a	67.2 ± 9.3 a
Hb-ZT	32.3 ± 14.4 a	38.9 ± 6.8 a	70.4 ± 13.9 a
Hb-ZT + Sc-All	25.4 ± 7.7 a	32.3 ± 10.2 a	77.0 ± 8.5 a

2.2.2 EPN 不同施用时期对韭蛆的防治效果
盆中接入韭蛆成虫5 d时,浇灌线虫 Sc-All 和 Hb-ZT 混合悬浮液,韭蛆成虫和幼虫减退率均最高,分别为70%和80.6%。其次是接入韭蛆成虫10 d时施混合线虫防治效果较好,其他时间施用线虫

效果都较差,这2个处理使韭菜的黄苗率也显著低于其他处理。通过该试验可以看出,韭菜棚室内发现韭蛆成虫5~10 d内用病原线虫防治效果较好(表4)。

表4 EPN 不同施用时期对韭蛆控制效果
Table 4 Impact of application time on efficacy of EPN against *Bradysia odoriphaga* in greenhouse trial

接入韭蛆成虫天数 Days post-inoculation	黄苗率 Yellow plant rate(%)	成虫减退率 Reduction of adult emergence(%)	幼虫减退率 Reduction of larvae(%)
0 d	97.0 ± 13.3 a	20.0 ± 8.7 a	—
5 d	83.3 ± 10.7 b	70.0 ± 11.4 a	80.6 ± 18.4 a
10 d	88.9 ± 9.8 b	25.0 ± 9.1 a	47.2 ± 14.6 a
15 d	96.4 ± 16.5 a	10.0 ± 3.3 a	11.1 ± 4.8 b
20 d	95.7 ± 11.2 a	30.0 ± 5.6 a	27.8 ± 7.6 b
CK	96.9 ± 4.3 a	—	—

2.3 EPN 对越冬韭蛆的棚室防治效果

由于该棚内上一年用辛硫磷防治韭蛆,导致次年土壤中韭蛆基数较少,空白对照中每100 cm³平均仅有1.7头,所有处理防效均达100%。喷施病原线虫100万/m²增产效果最好,可增产47.4%,其次是75万/m²,增产36.8%,两处理差异不显著($P < 0.05$),均高于常规对照辛硫磷的增产率(24.2%)。线虫100万/m²和75万/m²的株高较高,也是增产的主要原因。病原线虫施用剂量为50万/m²的韭菜产量相当于常规化学药剂辛硫磷的产量。施用昆虫病原线虫的3个处理区,未发现韭菜黄株现象,均呈墨绿色,棚内长势良

好。

3 结论与讨论

通过室内生测、盆栽试验和棚内小区试验研究可以看出,从黑龙江省哈尔滨市分离的线虫 *H. bacteriophora* ZT(Hb-ZT)对韭蛆的防治很有推广应用的潜力。室内生测表明 Hb-ZT 线虫对韭蛆3龄幼虫和蛹的寄生效果较好,Hb-ZT 与 Sc-All(1:1)混用,对幼虫的室内寄生效果高于单独施用2个线虫的寄生效果;温室盆栽试验显示喷施 Hb-ZT 与 Sc-All(1:1)的线虫混合液,施用剂量减半(50万 IJs/m²),对韭蛆成虫羽化的控制效果稍高

表 5 EPN 对越冬韭蛆的防治效果

Table 5 Dose effect of mixed nematode species against overwintering *Bradysia odoriphaga*

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	增加 Increasing(%)	产量 Yield (kg/m ²)	增加 Increasing(%)	幼虫数 Larvea number (larvae/100cm ³)	防效 Control efficacy(%)
100 万/m ²	30.7 ± 7.1 a	19.0 ± 5.5 a	2.8 ± 0.6	47.4 ± 11.4 a	0 ± 0 b	100 ± 0 a
75 万/m ²	28.1 ± 9.6 b	8.9 ± 6.4 b	2.6 ± 0.3	36.8 ± 6.8 a	0 ± 0 b	100 ± 0 a
50 万/m ²	27.6 ± 9.2 b	7.0 ± 6.1 b	2.3 ± 0.4	21.1 ± 7.7 b	0 ± 0 b	100 ± 0 a
化学药剂对照 Chemisty CK (辛硫磷 / Phoxim)	27.0 ± 8.3 b	4.7 ± 5.7 b	2.4 ± 0.3	24.2 ± 6.4 b	0 ± 0 b	100 ± 0 a
空白对照 Blank CK	25.8 ± 10.8 b		1.9 ± 0.5		1.7 ± 0.7 a	-

于单独施用 2 个线虫 (100 万 IJs /m²) 效果,且在棚室内发现韭蛆成虫 5 ~ 10 d 施用昆虫病原线虫效果更佳。大棚试验 Sc-All 和 Hb-ZT (1:1) 混合施用剂量为 75 万/m² 的韭菜产量显著高于常规化学药剂辛硫磷的产量,50 万/m² 的韭菜产量相当于常规化学药剂的产量,对韭蛆的防效均为 100%。为了降低成本,认为喷施剂量为 50 万/m² 即可。Hb-ZT 与 Sc-All 混用更高效,施用剂量低,防效高。分析其原因可能是 *H. bacteriophora* 为攻击型线虫,*S. carpocapsae* 为潜伏型 (李慧萍和韩日畴, 2007), 这样 Hb-ZT 线虫能攻击在深层土壤的韭蛆, Sc-All 线虫可侵染潜伏在土壤表层的韭蛆,使得土壤中更多的韭蛆被寄生。张宝恕和王沈利 (1994) 和马娟等 (2011) 研究表明 *S. feltiae* 对韭蛆幼虫和蛹的寄生效果非常好,由于 *S. feltiae* 是介于攻击型和潜伏型中间类型的线虫,而我们选用的两种类型的线虫混用恰好达到这个目的,且用从我国北方筛选的线虫更适应北方的低温环境。

虽然筛选对某一害虫最为敏感的线虫种类是害虫防治的关键因素,但影响昆虫病原线虫应用效果的因素还有很多,除了受其本身特性决定的内因影响外,外部环境的影响也很大,如温度、湿度、寄主的免疫反应和天敌及太阳辐射因子等都会影响线虫防治害虫的效果 (李秋剑和韩日畴, 2001; McCoy *et al.*, 2002)。此外,线虫的储存期、运输方式、携带共生菌的菌型等也是影响线虫应用效果的因素。若能根据目标害虫的生长发育特点和为害习性来选择线虫喷施时间、场所、剂量、次数和合适的喷雾器等,能更好地提高防治效果。

在韭蛆发生严重地块,同时还可利用糖醋液 (梅增霞等, 2003) 或用粘板法 (任向辉等, 2010) 诱杀成虫,对韭蛆的防效更好。

在害虫综合治理的理论和实践中,人们一直都很重视生物制剂和化学杀虫剂的混用问题。已有研究表明生物农药结合低毒农药可提高防治效果。张思聪等 (2011) 已筛选出了一些对韭蛆的低毒农药,孙瑞红和李爱华 (2007) 研究已证实了昆虫病原线虫与低毒化学药剂混用效果更好。该实验室通过使用异小杆 *H. bacteriophora* 北方分离株和 *S. carpocapsae* 混合施用在花盆内和保护地均达到了化学药剂的防治效果,为韭菜害虫无公害防治提供了一条可行性途径。

参考文献 (References)

Ansari MA, Hussain MA, Moens M, 2009. Formulation and application of entomopathogenic nematode-infected cadavers for control of *Hoplia philanthus* in turfgrass. *Pest Manag. Sci.*, 65 (4): 367 – 374.

Brown IM, Lovett BJ, Grewal PS, 2002. Latent infection: a low temperature survival strategy in Steinernematid nematodes. *J. Therm. Biol.*, 27 (6): 531 – 539.

Jagdale GB, Grewal PS, 2003. Acclimation of entomopathogenic nematodes to novel temperatures: trehalose accumulation and the acquisition of thermotolerance. *Intern. J. Parasitol.*, 33 (2): 145 – 152.

Lewis EE, Shapiro-Ilan D, 2002. Host cadavers protect entomopathogenic nematodes during freezing. *J. Invert. Pathol.*, 81 (1): 25 – 32.

McCoy CW, Stuart RJ, Duncan LW, Nguyen K, 2002. Field efficacy of two commercial preparations of entomopatho-

- genic nematodes against larvae of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae) in alfisol type soil. *Fla. Entomol.*, 85(4):537–544.
- Strauth O, Niemann I, Neumann A, 2000. Storage and formulation of the entomopathogenic nematodes *Heterorhabditis indica* and *H. bacteriophora*. *Biocontrol*, 45(4):483–500.
- Sun RH, Han RC, Li AH, 2004. Efficacy of entomopathogenic nematode against *Bradysia odoriphaga* (DIP, Mycetophilidae). Proceedings of the 15th International Plant Protection Congress, Beijing, China. 515.
- White GF, 1927. A method for obtaining infective nematode larvae from cultures. *Science*, 66(1709):302–303.
- 陈栋, 张思聪, 张龙, 2005. 昆虫生长调节剂和生物农药防治韭蛆田间药效试验. 植物保护, 31(1):82–84.
- 李慧萍, 韩日畴, 2007. 昆虫病原线虫感染寄主行为研究进展. 昆虫知识, 44(5):637–642.
- 李秋剑, 韩日畴, 2001. 昆虫病原线虫与其他杀虫因子之间相互作用的研究进展. 昆虫天敌, 23(4):170–180.
- 马娟, 李秀花, 陈书龙, 2011. 利用昆虫病原线虫防治韭菜迟眼蕈蚊. 植保科技创新与病虫防控专业化——中国植物保护学会 2011 年学术年会论文集, 苏州. 487–490.
- 梅增霞, 吴青君, 张友军, 花蕾, 2003. 韭菜迟眼蕈蚊的生物学、生态学及其防治. 昆虫知识, 40(5):396–398.
- 任向辉, 李卫海, 王运兵, 2010. 迟眼蕈蚊粘板诱捕效果的灰色关联度分析. 广东农业科学, 9:142–143.
- 孙瑞红, 李爱华, 韩日畴, 曹莉, 刘秀玲, 2004. 昆虫病原线虫 *Heterorhabditis indica* LN2 品系防治韭菜迟眼蕈蚊的影响因素研究. 昆虫天敌, 26(4):150–155.
- 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. 农药学报, 9(1):66–70.
- 杨怀文, 张刚应, 1990. 异小杆线虫 D1 对迟眼蕈蚊侵染力的研究. 生物防治通报, 6(3):110–112.
- 杨集昆, 张学敏, 1985. 韭菜蛆的鉴定迟眼蕈蚊属二新种. 北京农业大学学报, 11(2):153–156.
- 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.
- 杨秀芬, 杨怀文, 1999. 低温诱导培养对夜蛾斯氏线虫 A54 品系适低温特性的影响. 植物保护, 25(3):8–10.
- 姚建仁, 1999. 食用蔬菜中毒事故的原因与对策. 中国蔬菜, (1):54–56.
- 张宝恕, 王沈利, 1994. 昆虫病原线虫防治韭菜根蛆的研究. 天津农林科技, (2):4–6.
- 张思聪, 张肖肖, 张安盛, 李丽莉, 门兴元, 周仙红, 于毅, 2011. 几种不同药剂对韭菜迟眼蕈蚊的室内生物测定. 植保科技创新与病虫防控专业化——中国植物保护学会 2011 年学术年会论文集, 苏州. 482–486.