

昆虫病原线虫对韭蛆和土壤线虫群落的影响

安连菊^{1,2}, 贾令鹏³, 阮维斌^{1*}, 王欣¹, 陈龙飞¹, 宋东民¹, 许远蓓¹, 崔希洋¹, 郑连斌²

(1.南开大学生命科学学院, 天津 300071; 2.天津师范大学生命科学学院, 天津 300387; 3.山东东方誉源集团, 山东 寿光 262700)

摘要:防治韭菜的主要地下害虫韭蛆(迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga*)是造成韭菜农药残留超标主要原因。室内实验表明,生物天敌昆虫病原线虫 *Steinernema feltiae* 处理 60 h 后,韭蛆杀死率显著高于使用农药的对照组。2010 年 4 月 18 日在山东省寿光市丰城地区韭菜地施用昆虫病原线虫以防治韭菜的主要害虫韭蛆,同时以施用化学农药辛硫磷作为对照,处理后第 35 d 和第 175 d 调查结果表明,昆虫病原线虫处理组的昆虫病原线虫多度显著高于化学对照组,其中第 175 d 调查结果表明,经昆虫病原线虫处理后的韭菜鲜重比化学农药处理的对照组增加了 10.4%,但差异未达到显著效果。上述结果表明,昆虫病原线虫能够有效控制韭蛆危害。第 35 d 取样结果表明,昆虫病原线虫处理组的土壤线虫群落 Shannon 多样性指数高于化学农药处理组;第 175 d 调查结果表明,两种处理之间土壤线虫群落各指标相近。试验结果表明昆虫病原线虫能够有效防治韭蛆。

关键词:昆虫病原线虫;韭蛆;土壤线虫群落;生物防治

中图分类号:S154.36 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2012)05-898-06

Effect of Entomopathogenic Nematodes on Controlling *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang and Soil Nematode Community

AN Lian-ju^{1,2}, JIA Ling-peng³, RUAN Wei-bin^{1*}, WANG Xin¹, CHEN Long-fei¹, SONG Dong-min¹, XU Yuan-bei¹, CUI Xi-yang¹, ZHENG Lian-bin²

(1.College of Life Science, Nankai University, Tianjin 300071, China; 2.College of Life Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China; 3.Dongfangyuyuan Group, Shouguang 262700, China)

Abstract: Using pesticide to control *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang, the main pathogen for leek production, has caused high risk of pesticide contamination. We evaluated the effects of entomopathogenic nematodes (EPN) on controlling *B. odoriphaga* under laboratory and field conditions, and the pesticide was included as control. The field trial was set up on April 18th, 2010 in Fengcheng, Shouguang, Shandong Province, China. The results showed that the *Bradysia odoriphaga* mortality was significant higher at 60 h in EPN inoculation under laboratory condition. The number of EPN (No. per 100 g dry soil) in the EPN treatment was significantly higher than those in the pesticide treatment both at 35 days and 175 days after inoculation (DAI). The fresh weight of leek sampled at 175 DAI was not decreased in the EPN treatment, and even increased 10.4% as compared to the pesticide treatment although the difference was not significant. It indicated that EPN could successfully control the damage of *B. odoriphaga*. The Shannon diversity index in EPN treatment was significant greater than those in the pesticide treatment at 35 DAI but not at 175 DAI. The results showed that entomopathogenic nematodes (EPN) could effectively control *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang.

Keywords: entomopathogenic nematodes; *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang; nematodes community structures; biological control

韭菜蛆是迟眼蕈蚊 (*Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang) 的幼虫,常群集于韭菜根部,蛀食其假茎和鳞

茎,导致菜叶发黄甚至植株死亡^[1-2]。由于韭蛆栖息部位和危害场所隐蔽,抗药性强,加之害虫发生世代严重重叠,一般的化学农药很难达到理想的防治效果^[1,3]。为了防治韭蛆,菜农于每年清明前后和秋末初冬一次甚至多次喷洒辛硫磷和毒死蜱等农药,有的菜农甚至错误使用国家违禁的高毒农药,例如 2011 年河南和山东已经出现两起韭菜中毒的恶性食品安全事件。由

收稿日期:2011-05-20

基金项目:天津市自然基金重点项目(10JCZDJC7700);天津市成果转化项目(201001230);南开大学国家大学生创新项目

作者简介:安连菊(1982—),女,山东泰安人,硕士,主要从事线虫生态学研究工作。E-mail:anlianju918@163.com

* 通讯作者:阮维斌 E-mail:ruanweibin2004@hotmail.com

于韭菜是叶菜类,生长周期短,割后 20 d 左右下茬就可以销售,而辛硫磷地下使用时半衰期高达 16.4 d^[4],即使是低毒农药,由于使用次数较多及半衰期较长,也会导致韭菜农药残留超标,不仅带来严重的环境污染问题,而且对食品安全构成威胁。为了保护环境和我国居民蔬菜食用安全,寻找高效的生物防治措施来代替化学农药防治韭菜蛆,生产质量合格的韭菜,是当前韭菜生产中亟待解决的问题。

利用昆虫病原线虫进行生物防治的应用研究始于 20 世纪 30 年代^[5],但直到 70 年代初,全世界应用昆虫病原线虫防治害虫的研究才开始大规模展开。目前,昆虫病原线虫作为生物杀虫剂在欧美、澳大利亚、韩国、日本等广泛用于害虫的综合治理中^[6]。我国于 1978 年从国外引进昆虫病原线虫,并在利用昆虫病原线虫防治韭菜韭蛆等方面做了一系列有意义的工作。研究表明异小杆线虫对迟眼蕈蚊幼虫的致死率达 84.2%^[3];张宝恕等发现斯氏线虫 *Steinernema feltiae* 和异小杆属 *Heterorhabditis* 某些品系可感染韭蛆^[7];孙瑞红和李爱华尝试利用昆虫病原线虫与毒死蜱、辛硫磷、吡虫啉等杀虫剂联合防治韭蛆^[8]。但是,昆虫病原线虫施用后,对土壤中其他生物尤其是土壤线虫群落的影响如何,目前鲜有报道。另外,昆虫病原线虫防治韭蛆的技术目前还主要在实验室阶段,几乎没有大面积推广应用的报道。本次试验在近 1 500 m² 韭菜种植地上利用昆虫病原线虫来代替剧毒高残留的农药防治韭蛆,并探讨昆虫病原线虫施用后对土壤线虫群落的影响。

1 材料和方法

1.1 供试试验材料

昆虫病原线虫:采用大蜡螟诱捕法在南开大学院内土壤中得到供试昆虫病原线虫,通过显微镜初步观察以及 18S 分子检测比对,鉴定其为芜菁夜蛾线虫 *Steinernema feltiae*。室内经大蜡螟虫体繁殖备用。

大蜡螟:*Galleria mellonella* (天津双鹤鱼需有限公司)。韭菜蛆属于昆虫迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang 的幼虫。由山东寿光丰城大棚韭菜地中取被韭蛆危害的植株,从其鳞茎中挑取韭蛆供实验用。

1.2 昆虫病原线虫直接杀死韭蛆室内试验

在塑料培养皿(直径 3 cm)底部放置湿润的滤纸一张,把从新鲜韭菜鳞茎中挑取的 10 条韭蛆放到滤纸上,均匀加入 150 μ L 共 2 000 条昆虫病原线虫的水悬液。对照处理中每个培养皿加 150 μ L 蒸馏水,其

他试验过程和条件与线虫处理组一致。线虫处理和对照各设 10 次重复。随后将培养皿置于生化培养箱中(宁波江南公司)24 $^{\circ}$ C 培养,试验进行 60 h,每 12 h 计数各培养皿中的韭蛆死亡数。试验过程中根据需要补充水分,保持培养皿中滤纸湿润。

1.3 昆虫病原线虫防治韭蛆的田间试验

1.3.1 试验设计

2010 年 4 月 18 号,在山东寿光丰城丰二村大棚韭菜地布置试验。选择 10 个韭菜畦(150 m²·畦⁻¹)施用昆虫病原线虫(EPN),用量为 150 000 条·m⁻²。另外,选择各农户相邻的韭菜畦 9 个(150 m²·畦⁻¹),按照农户习惯使用化学农药辛硫磷防治韭蛆,用量 4.5 kg·667 m⁻² 作为对照(CK)。

1.3.2 样品采集

2010 年 4 月 18 号,对寿光丰城的韭菜地施用昆虫病原线虫,分别于处理后第 35 d(35DAI, days after inoculation)和第 175 d(175DAI)根据 S 型五点混样法用采集 0~25 cm 土壤样品 500 g 左右。土壤样品装入塑料封口袋,带回南开大学生命科学学院生态学实验室,4 $^{\circ}$ C 贮存。一部分土壤样品(约 50 g)用来进行土壤含水量测定(105 $^{\circ}$ C, 10 h),其余部分用来进行土壤线虫群落分析。第 175 d 在每一畦中随机选取 4 行韭菜,刈割每行中间长度为 20 cm 区间的地上部植株,立即称量韭菜鲜重,取 4 行鲜重的平均值用于统计分析。

1.3.3 土壤线虫分离与鉴定

称取 150 g 土壤样品,采用淘洗-过筛-蔗糖梯度密度离心法分离线虫^[9]。依据《中国土壤动物检索图鉴》^[10]和《植物线虫分类学》^[11]鉴定线虫种类并计数,一般鉴定到属,并根据土壤湿度折算成每 100 g 干土含有线虫的条数。根据形态学特征和取食生境,将土壤线虫划分为 4 个营养类群:植物寄生类线虫(Plant-parasites)、食细菌类线虫(Bacterivores)、食真菌类线虫(Fungivores)和杂食-捕食类线虫(Omnivores-predators)^[12]。

1.3.4 土壤线虫群落分析

采用土壤线虫生态学者普遍采用的指数来度量土壤线虫群落的多样性。依据土壤含水量,将土壤中线虫数量折算成每 100 g 干土含有线虫的条数。

$$\text{Shannon-Weiner 多样性指数: } H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(p_i)$$

$$\text{丰富度指数: } SR = (S-1)/\ln N$$

$$\text{均匀度指数: } J' = H'/\ln S, H'_{\max} = \ln S$$

优势度: $\lambda = \sum p_i^2$
反映环境受干扰程度的自由生活线虫成熟指数
(不包括植物寄生线虫): $MI = \sum c(i) \cdot p_i$
植物寄生线虫成熟指数(只包括植物寄生线虫):
 $PPI = \sum c(i) \cdot p_i$
以上公式中: S 指所鉴定属的总数; p_i 代表第 i 个
属的个体所占的比例($p_i = S_i/N$); $c(i)$ 指某个属的线虫
Colonizers-Persisters(c-p)值(1-5)^[13]。

1.4 统计分析

韭蛆致死率和线虫群落数据均采用 SPSS13.0 进
行 t-test 检验分析。

2 结果与分析

2.1 昆虫病原线虫在韭蛆中的繁殖及其杀蛆效应

昆虫病原线虫处理后可以杀死线虫, 在处理 60 h
后, 死亡率显著高于对照(图 1)。

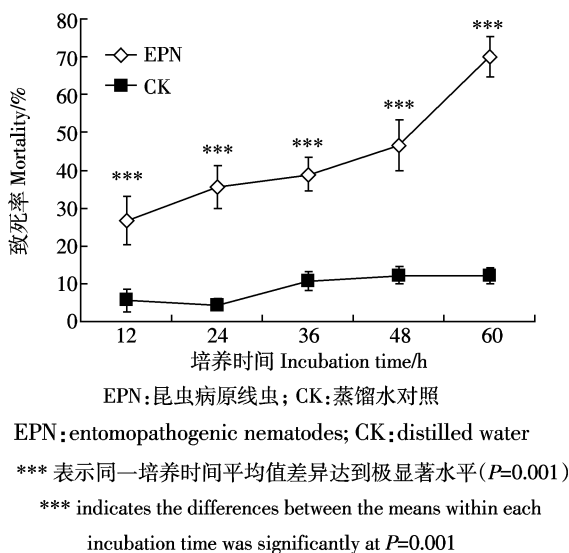


图 1 昆虫病原线虫杀死韭蛆的效应
Figure 1 The larvae mortality of *Bradysia odoriphaga* in EPN and CK

2.2 土壤含水量

从表 1 可以看出, 第 35 d 对照组和处理组含水量
差异极显著。第 175 d 取样时, 对照组和处理组的
含水量没有显著差异。

2.3 韭菜鲜重和农药施用情况

施用昆虫病原线虫处理 35 d 后畦韭菜长势明显
好于对照畦, 这在处理后 175 d 仍然可以明显观察到。
处理 175 d 后, 鲜重测量结果(表 2)表明 EPN 处理组
韭菜鲜重比化学农药组增加 10.4%, 差异则不显著。但
是可以明显观察到处理组韭菜长势良好, 叶片葱绿、黄

表 1 接种后 35 d 和 175 d 的土壤理化性状
Table 1 Soil characteristics sampled at 35DAI and 175DAI

	35DAI		175DAI	
	CK(n=9)	EPN(n=10)	CK(n=9)	EPN(n=10)
含水量/% Water content/%	13.4±0.32	17.8±0.48***	14.5±0.40	15.7±0.86

注: “***”表示不同的处理间差异显著($P=0.001$)。
Note: “***” indicates significant difference in means between CK and
EPN treatments at $P=0.001$.

表 2 防治韭蛆农药的施用及韭菜地上部鲜重
Table 2 The extent of the damage caused by *Bradysia odoriphaga*,
the status of pesticide application, and aboveground biomass of leek

处理	韭蛆危害 Extent of Damage	农药施用 Pesticide application	韭菜地上部鲜重/kg·m ⁻² Aboveground biomass of leek (Fresh weight)
CK(n=9)	—	施用	8.905±0.926
EPN(n=10)	—	无	9.827±1.028

注: “—”表示没有观察到韭蛆危害; 第 175 d 取样的测定值。
Note: “—” indicates the obvious damage caused by *B. odoriphaga* was
not observed Sampled at 175 DAI.

叶不多, 化学农药组韭菜叶枯黄且长势不好。

2.4 不同处理下土壤线虫群落的相对多度

本试验共检测到 9 科 22 属土壤线虫(表 3), 包括
10 属植物寄生线虫, 其中盘旋属(*Rotylenchus*)是各个
样地线虫群落中的优势属, 螺旋属(*Helicotylenchus*)、
垫刃属(*Tylenchus*)、细纹垫刃属(*Lelenchus*)、纽带属
(*Pararotylenchus*)、矮化属(*Tylenchorhynchus*)是 2 种
样地的共有属; 8 属食细菌类线虫, 其中板唇属
(*Chiloplacus*)是优势属, 丽突属(*Acrobeles*)、拟丽突属
(*Acrobeloides*)、板唇属(*Chiloplacus*)、真头叶属
(*Eucephalobus*)、未知小杆属是 2 种样地的共有属; 1
属食真菌类线虫; 3 属杂食-捕食类线虫。

处理后第 35 d 调查结果表明, 昆虫病原线虫处
理组的昆虫病原线虫数量显著高于化学农药处理组。
同时, 土壤线虫群落的多样性 H' 、均匀度 J' 、丰富度
 SR 、食细菌线虫的比例($BF\%$)和捕食杂食线虫比例
($OP\%$)显著高于化学农药处理, 而植物寄生线虫的比
例($PP\%$)和食真菌线虫比例($FF\%$)显著下降, 对土壤
线虫群落指数有显著影响(表 4)。

处理后第 175 d 调查结果同样表明, 昆虫病原线
虫处理组的昆虫病原数量显著高于化学农药处理。土
壤线虫群落的植物寄生线虫指数 PPI 、自由生活线虫
指数 MI 、 PPI/MI 指数两组间没有显著性差异。植物寄
生线虫的比例($PP\%$)显著高于化学农药处理组, 而食

表 3 处理后 35 d 和 175 d 土壤线虫的相对多度(%)

Table 3 The relative abundance of nematode in soils under different treatments sampled at 35DAI and 175 DAI as expressed as percentage of total(%)

属 genus	c-p 值	35DAI		175DAI	
		CK	EPN	CK	EPN
植物寄生类线虫 Plant-parasites					
根结属 <i>Meloidogyne</i>	3	0.00	0.00	0.15	0.71
螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>	3	2.76	3.67	1.54	1.10
盘旋属 <i>Rotylenchus</i>	3	77.3	54.2	27.7	38.6
拟盘旋属 <i>Pararotylenchus</i>	3	0.52	3.26	0.37	0.00
垫刃属 <i>Tylenchus</i>	2	0.16	0.08	0.89	1.11
剑尾垫刃属 <i>Malenchus</i>	2	0.00	0.00	0.98	7.30
细纹垫刃属 <i>Lelenchus</i>	2	0.57	4.08	1.06	0.84
丝尾垫刃属 <i>Filenchus</i>	2	0.16	0.07	0.00	0.72
纽带属 <i>Pararotylenchus</i>	2	1.31	1.87	0.38	0.23
矮化属 <i>Tylenchorhynchus</i>	2	1.09	1.55	1.00	2.53
食细菌类线虫 Bacterivores					
丽突属 <i>Acrobeles</i>	2	3.00	4.07	2.26	1.15
拟丽突属 <i>Acrobelloides</i>	2	1.76	2.18	9.92	7.61
板唇属 <i>Chiloplacus</i>	2	4.30	4.22	36.4	26.1
真头叶属 <i>Eucephalobus</i>	2	1.73	1.76	3.05	2.31
头叶属 <i>Cephalobus</i>	2	0.00	0.00	1.47	0.61
小杆属 <i>Rhabditis</i>	1	0.00	3.96	1.05	3.67
未知小杆属	1	0.15	1.20	7.59	1.92
斯氏属 <i>Steinernema</i>	1	0.33	2.68	0.00	0.85
食真菌类线虫 Fungivores					
真滑刃属 <i>Aphelenchus</i>	2	2.67	0.67	3.04	1.80
杂食-捕食类线虫 Omnivores-predators					
矛线属 <i>Dorylaimus</i>	5	0.31	2.64	0.22	0.23
孔咽属 <i>Aporcelaimus</i>	5	0.90	4.18	0.34	0.23
<i>Vanderlindia duplopapillata</i>	5	0.15	1.72	0.57	0.15

表 4 不同处理第 35 d 和 175 d 土壤线虫群落指标

Table 4 Nematode community characteristics under different treatments sampled at 35DAI and 175 DAI

Index	35DAI			175DAI		
	CK	EPN	P	CK	EPN	P
H'	0.908±0.180	1.539±0.172	0.022	1.681±0.079	1.588±0.108	0.500
J'	0.402±0.069	0.634±0.064	0.024	0.651±0.026	0.608±0.034	0.337
SR	1.596±0.218	2.256±0.205	0.041	1.921±0.076	1.963±0.135	0.795
λ	0.636±0.074	0.387±0.065	0.021	0.281±0.022	0.318±0.037	0.414
MI	2.494±0.151	2.259±0.116	0.242	1.986±0.025	1.960±0.046	0.625
PPI	2.860±0.062	2.953±0.029	0.204	2.758±0.094	2.758±0.098	0.999
PPI/MI	1.192±0.086	1.330±0.056	0.211	1.390±0.046	1.409±0.051	0.775
EPN	0.69±0.456	2.37±0.828	0.103	0±0.000	4.78±1.671	0.015
PP%	83.89±0.045	69.04±0.058	0.063	34.11±0.061	53.18±0.046	0.021
BF%	11.28±0.028	21.21±0.029	0.025	61.73±0.057	43.56±0.044	0.020
FF%	2.68±0.009	0.67±0.003	0.041	3.04±0.005	1.80±0.004	0.083
OP%	1.36±0.006	8.54±0.032	0.051	1.12±0.004	0.604±0.003	0.280

H': Shannon-Weiner diversity index; J': Evenness; SR: Species richness; λ: Dominance; MI: Maturity index; PPI: Plant-parasites index

细菌线虫的比例(BF%)和食真菌线虫比例(FF%)显著低于化学农药处理组。

3 讨论

本文通过室内试验和田间试验证实昆虫病原线虫可以替代化学农药有效控制韭蛆对韭菜的危害。

室内试验结果表明昆虫病原线虫能够有效杀死韭蛆(图1)。有研究表明,不同品系线虫的昆虫病原线虫对韭菜韭蛆的毒力不同^[1]。本文研究表明,2010年4月开始施用昆虫病原线虫,处理35 d后,韭菜长势明显好于化学农药对照。第175 d后仍然在昆虫病原线虫处理土壤检测到昆虫病原线虫,且韭菜产量略有增加。可见,昆虫病原线虫能够寻找并杀死韭蛆,而田间施用昆虫病原线虫可以有效防治韭蛆危害,因此能够替代化学农药,降低农药残留,提高蔬菜食用的安全性。

处理第35 d取样时对照组和处理组含水量差异显著,这与处理组施加昆虫病原线虫后立即浇水有关。化学农药对照组并没有浇水,当地通常是将韭菜基部土刨开,将化学农药喷洒在韭菜基部后再把土覆盖上。随着时间推移,这种差异不断在缩小,175 d取样时对照组和处理组的含水量没有显著差异。

近年来,国内外科学家已经用土壤线虫作为指示生物评价土壤健康。与化学农药处理相比,第35 d昆虫病原线虫处理组土壤线虫群落具有高的多样性指数H'、SR指数、BF%、OP%,并且差异显著,表明昆虫病原线虫处理组土壤线虫群落稳定,土壤质量较好。化学农药施用后,虽然杀死了韭蛆,但也不可避免地对其他土壤生物造成负面影响。Pen-Mouratov和Steinberger^[14]在沙漠生态系统的研究表明,化学农药施用后能够造成食细菌线虫数量下降,线虫丰富度下降,线虫群落结构和多样性受到负面影响,与本研究结果一致。第175 d取样结果表明,昆虫病原线虫处理和化学农药处理组的多样性H'和物种丰富度SR没有差异,说明处理后随着时间的延长、农药降解等因素,两种处理之间在土壤线虫群落方面的差别逐渐缩小。植物寄生线虫和食细菌线虫是土壤线虫群落主要优势类群。化学农药处理中,35 d土壤样品中植物寄生线虫与食细菌线虫的比例(7.43)是175 d土壤样品中二者比例(0.55)的13.5倍左右。昆虫病原线虫处理中,35 d土壤样品中植物寄生线虫与食细菌线虫的比例(3.25)是175 d土壤样品中二者比例(1.22)的2.66倍左右。虽然随着季节变化,土壤线虫各类群

有一定的变化^[15],但过大的变化增加了群落的不稳定性,从而影响土壤生物功能的发挥。施用昆虫病原线虫处理中,175 d土壤样品中的昆虫病原线虫种群密度比35 d土壤样品中的大,这可能也与季节变化有关^[16]。

有研究表明,施用昆虫病原线虫*Heterorhabditis bacteriophora*后,经过23个月仍能够检测到昆虫病原线虫^[17]。另一长期定位试验结果表明,施用后36个月仍然可以检测到昆虫病原线虫,个别品系*Steinernema feltiae*甚至在5 a后还存活^[18],而本试验的品系是斯氏属线虫*Steinernema*,这在一定程度解释了本试验中昆虫病原线虫控制韭蛆效果持续175 d的原因。

本次试验的主要目的就是探讨用天敌昆虫病原线虫代替化学农药来防治韭蛆,并观察其对土壤线虫群落的影响。试验结果表明,单独施用昆虫病原线虫可以有效控制韭蛆。天敌昆虫病原线虫侵染率与寄主昆虫的种群密度存在一定的关系,昆虫病原线虫对不同发育阶段的昆虫的侵染率也存在差异^[19]。夏季高温,韭蛆种群密度下降^[20],高温和寄主种群密度的下降,可能会对昆虫病原线虫种群稳定具有一定的负面影响。另外施肥等带来的卵以及成虫迁入产卵都容易增加韭蛆的密度。韭蛆一旦暴发,即可在较短时间内取食韭菜鳞茎和根,造成植株枯死甚至绝产,虽然本试验昆虫病原线虫控制韭蛆效果持续1 a,但为了保持产量和降低韭蛆危害的潜在风险,我们建议每年至少投放1次昆虫病原线虫。

在本试验布置时,昆虫病原线虫处理组因满足线虫生存需要,在昆虫病原线虫施用后立即浇水,而农药对照处理只是随着农药施用喷洒少量水。如果昆虫病原线虫处理组不浇水,则线虫容易死而偏离试验的主要目的。而如果给化学农药组浇水,则稀释化学农药,必然降低农药防治效果,也不适合做对照。因此,本试验中化学农药对照组比昆虫病原线虫处理组少浇灌1次水。这个差别可能对35 d调查结果有影响,的确是本文设计中的缺憾,故需要进一步合理设计试验而证实浇水的影响。

随着昆虫病原线虫使用技术的不断改进,昆虫病原线虫能够持续稳定防治韭蛆并得到广泛应用,我国韭菜的安全性将得到有效改善。但是由于昆虫病原线虫防治韭蛆的成本高于化学农药治理的成本,大大限制了这一生物防治措施的推广应用。如何筛选到对韭蛆有高毒力的昆虫病原线虫品系,降低昆虫病原线虫

的使用成本,尚需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 杨秀芬, 简恒, 杨怀文, 等. 用昆虫病原线虫防治韭菜蛆[J]. 植物保护学报, 2004, 31(1): 33-37.
YANG Xiu-fen, JIAN Heng, YANG Huai-wen, et al. Using entomopathogenic nematodes for control of chive maggot, *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang [J]. *Acta phytophylacica Sinica*, 2004, 31(1): 33-37.
- [2] 孙瑞红, 李爱华, 韩日畴, 等. 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[J]. 昆虫天敌, 2004, 26(4): 150-154.
SUN Rui-hong, LI Ai-hua, HAN Ri-chou, et al. Factors affecting the control of *Bradysia odoriphaga* with entomopathogenic nematode *Heterorhabditis indica* LN2[J]. *Natural Enemies of Insects*, 2004, 26(4): 150-154.
- [3] 杨怀文, 张刚应. 异小杆线虫 D1 对迟眼蕈蚊感染力的研究[J]. 生物防治通报, 1990, 6(3): 110-112.
YANG Huai-wen, ZHANG Gang-ying. Study of *Heterorhabditis* D1 against *Bradysia odoriphaga* infection[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 1990, 6(3): 110-112.
- [4] 李东鸿, 赵惠燕, 梁宗锁, 等. 2 种农药在丹参根内与土壤中的降解过程及规律的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003 (S1): 32-34.
LI Dong-hong, ZHAO Hui-yan, LIANG Zong-suo, et al. Study on the degradation process and law of two pesticides in *Salvia miltiorrhiza* and soil[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and forest (Natural Science Edition)*, 2003(S1): 32-34.
- [5] Glaser RW, Fox H. A nematode parasite of the Japanese beetle (*Popillia japonica* Newm.)[J]. *Science*, 1930, 70: 16-17.
- [6] Shapiro-Ilan DI, Gaugler R. Production technology for entomopathogenic nematodes and their bacterial symbionts[J]. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 2002, 28: 137-146.
- [7] 张宝恕, 王学利, 陈晓文, 等. 昆虫病原线虫防治韭菜根蛆的研究[J]. 天津农业科学, 1994(2): 4-6.
ZHANG Bao-shu, WANG Xue-li, CHEN Xiao-wen, et al. Study of entomopathogenic nematodes against *Bradysia odoriphaga*[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 1994(2): 4-6.
- [8] 孙瑞红, 李爱华. 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[J]. 农药学报, 2007, 9(1): 66-70.
SUN Rui-hong, LI Ai-hua. Studies on combination effect of entomopathogenic nematode H06 and insecticide against *Bradysia odoriphaga* [J]. *Journal of Pesticide Science*, 2007, 9(1): 66-70.
- [9] 刘维志. 植物线虫学研究技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1995.
LIU Wei-zhi. Technology for nematological research[M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1995.
- [10] 尹文英. 中国土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
YIN Wen-ying. Soil animals of China[M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [11] 谢辉. 植物线虫分类学[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2000.
XIE Hui. Taxonomy of plant nematodes[M]. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 2000.
- [12] Yeates GW, Bongers T, De Goede RGM. Feeding habitats in soil nematode families and genera—an outline for soil ecologists[J]. *Journal of Nematology*, 1993, 25(3): 315-331.
- [13] Bardgett RD, Cook R. Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grasslands[J]. *Applied Soil Ecology*, 1998, 10: 263-276.
- [14] Pen-Mouratov S, Steinberger Y. Responses of nematode community structure to pesticide treatments in an arid ecosystem of the Negev Desert[J]. *Nematology*, 2005, 7: 179-191.
- [15] Giat E, Kaspi R, Anderson CA. Seasonal population dynamics of the plant-parasitic nematode, *Anguina pacifica* on golf course putting Greens in California[J]. *Journal of Nematology*, 2008, 40: 252-257.
- [16] Puza V, Mracek Z. Seasonal dynamics of entomopathogenic nematodes of the genera *Steinernema* and *Heterorhabditis* as a response to abiotic factors and abundance of insect hosts[J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2005, 89: 116-122.
- [17] Susurluk A, Ehlers RU. Field persistence of the entomopathogenic nematode *Heterorhabditis bacteriophora* in different crops[J]. *Biocontrol*, 2008, 53: 627-641.
- [18] Dillon AB, Rolston AN, Meade CV. Establishment, persistence, and introgression of entomopathogenic nematodes in a forest ecosystem[J]. *Ecological Applications*, 2008, 18: 735-747.
- [19] McGraw BA, Koppenhofer AM. Population dynamics and interactions between endemic entomopathogenic nematodes and annual bluegrass weevil populations in golf course turfgrass[J]. *Applied Soil Ecology*, 2009, 41: 77-89.
- [20] 梅增霞, 吴青君, 张友军, 等. 韭菜迟眼蕈蚊的生物学、生态学及其防治[J]. 昆虫知识, 2003, 40: 396-398.
MEI Zeng-xia, WU Qing-jun, ZHANG You-jun, et al. The biology, ecology and management of *Bradysia odoriphaga* [J]. *Entomological Knowledge*, 2003, 40: 396-398.