

· 综述 ·

我国昆虫病原线虫生物防治应用研究进展

刘奇志¹ 赵映霞¹ 严毓骅¹ 王玉柱² Itamar Glazer³

(1 中国农业大学 植物保护学院, 北京 100094; 2 北京市农林科学院 林业果树研究所, 北京 100093;

3 以色列农业研究中心, 植物保护研究所 线虫系, 沃坎尼柏达冈 50250)

摘要 综述了国内昆虫病原线虫的优良品系筛选、防治对象、田间侵染力、耐药性方面的研究。我国已筛选出多个线虫品系, 用于田间防治。近期发现小杆科和双胃科的线虫有生防价值。国内研究集中于小卷蛾线虫、芜菁夜蛾线虫和异小杆线虫对 40 多种害虫的防治, 田间防效达 70% 以上。线虫施用技术、生活习性及搜索方式直接影响其侵染力。应用保湿剂、抗干燥剂及干燥脱水等技术为线虫的储运和防治食叶害虫提供了方便。低毒化学农药不影响线虫的存活和田间侵染力, 可以混合使用。我国还应进一步开发利用丰富的线虫资源。

关键词 昆虫病原线虫; 品系筛选; 生物防治; 田间影响因素; 耐药性; 环境污染监测

中图分类号 S476.15; S433

Progress of Applied Research on Entomopathogenic Nematodes in Biological Control in China

Liu Qizhi¹ Zhao Yingxia¹ Yan Yuhua¹ Wang Yuzhu² Itamar Glazer³

(1 Department of Entomology, College of Plant Protection, China Agricultural University;

2 Institute of Pomology and Forestry, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Science;

3 Department of Nematology, The Volcani Center, Agricultural Research Organization, Israel)

Abstract The progress of applied research on entomopathogenic nematodes (EPNs) in China was summarized. The strains in *Steinernema carpocapsae*, *S. feltiae* and *Heterorhabditis bacteriophora* have been mass-produced for pest control in China. More than 10 recent selected strains belonging to Rhabditidae and Diplogasteridae were excellent biocontrol agents against pests. Three of them were produced for field use. More than 40 pests were tested with EPNs. The field control effect was 70% or more. Applying techniques, pest search strategies and desiccation tolerance of EPNs were influence factors for sieging pests in field. EPNs' sensitive and tolerance to chemical pesticides were discussed. Lower poison chemical pesticides could be mixed with EPNs for pest control. We suggested that EPNs could be used as bio-monitors to inspect environmental pollution caused by chemical pesticides. The existed weak parts of research in China were pointed out.

Key words entomopathogenic nematodes; strain selection; biological control; affect factors; poison tolerance; environmental pollution monitoring

利用昆虫病原线虫进行生物防治的应用研究开始于 Glaser 对寄生在日本丽金龟 (*Popillia*

收稿日期: 2002-04-11

International Foundation for Science (IFS) 资助项目

* 刘奇志, 副教授, 研究方向为有害生物综合治理。北京圆明园西路 2 号



japonica) 幼虫体内线虫的发现^[1], 随后 Steiner 将该线虫命名为 *N. eoaplectana* (*S. teinernæna*) *glaseri*^[2], 在此基础上 1933 年 O Idham 提出用于害虫防治。昆虫病原线虫种类多、寄主广、主动寻找寄主、侵染率高、对人畜及环境安全、可大量繁殖, 多年的研究证明昆虫病原线虫是非常有价值的生物防治因子, 在环境污染日趋严重的今天, 无疑是害虫综合治理的需要, 也是农业可持续发展的需要。本文综述了我国在昆虫病原线虫应用领域的研究进展, 分析了目前我国存在的问题, 探讨其研究方向和发展前景。

1 昆虫病原线虫优良品系筛选

据不完全统计昆虫寄生线虫约有 1 000 多种, 分布于 27 个科, 研究较多的有斯氏科 (*Steinernematidae*) 和异小杆科 (*Heterorhabditidae*) 2 个科的 46 个种^[3]。近 5 年来新种数量成倍增长^[4]。现有文献记载用于农林害虫防治的昆虫寄生线虫主要分布于索科 (*Memphitidae*)、斯氏科 (*Steinernematidae*)、异小杆科和新垫刃科 (*Neotylenchidae*)。^[5]近年发现可用于农林害虫防治的线虫, 还有寄生于棉铃虫 (*Heliothis armigera*)、大蜡螟 (*Galleria mellonella*) 的小杆科 (*Rhabditidae*) 和双胃科 (*Diplogasteridae*) 线虫, 现正在进行分类学鉴定和生物学测定。

昆虫寄生线虫中的斯氏和异小杆线虫由于侵染期幼虫消化道内携有引起昆虫致病的共生菌, 导致昆虫病害而被称为昆虫病原线虫。这种共生菌产生毒素并分解昆虫组织, 提供线虫所需营养, 还可产生抑制菌, 阻止虫尸腐败, 保证线虫在寄主体内繁殖。与斯氏线虫共生的嗜线虫杆菌 (*Xenorhabdus* sp.) 和与异小杆线虫共生的发光杆菌 (*Photorhabdus* sp.) 对线虫的大量繁殖起重要作用, 已受到各国广泛重视。

线虫品系的优劣直接影响田间防治效果。自 20 世纪 50 年代起, 我国陆续分离和筛选出一些优良线虫品系, 其中包括异小杆线虫泰山 1 号 *H. bacteriophora* 8406^[6]、格氏线虫 *S. glaseri* C85011^[7]、芜菁夜蛾线虫 *S. feltiae* Beijing 和斯氏线虫 *S. teinernæna* sp. CB-2y 品系^[8]等。目前国内可以提供大量田间需用的线虫为小卷蛾线虫 (*S. carpocapsae*)、芜菁夜蛾线虫 (*S. feltiae*) 和异小杆线虫 (*H. bacteriophora*)。

本研究室 1990 年开始在全国 10 多个省市采集了数百份土样, 调查线虫资源并筛选优良品系。目前已筛选出 14 个优良品系, 其中 3 个品系制剂已经小批量生产, 11 个品系线虫的室内与田间试验也正在进行。中国线虫资源丰富, 查清本土资源是筛选优良品系的前提。因此, 普查和筛选不同生态条件下的优良线虫品系应是今后研究的重点。

2 昆虫病原线虫防治对象

昆虫病原线虫喜潮湿隐蔽环境, 适于隐蔽性害虫 (钻蛀和土栖等害虫) 的防治, 国内在这方面的研究已取得了很大进展。

钻蛀性害虫是果树、林木和绿化树种中公认的难治害虫, 而昆虫病原线虫防治这类害虫有独特的优势。应用小卷蛾线虫防治危害杨树的小木蠹蛾 (*H. olcocerus insularis*), 有效率达 80% 以上, 并且有持续性效果^[8]。用斯氏线虫防治桃、杏的桃红颈天牛 (*Aramia bungii*) 的研究已获成功, 已筛选出 Beijing、A24、MK 等优良品系, 并研究出与桃红颈天牛生活习性和蛀道规律相适应的线虫施用技术, 已在生产上应用, 防治效果持续 5 年以上^[9-11]。对星天牛 (*Anoplophora chinensis*)、桑天牛 (*Apriona gemmarica*)、蠹蛾等多种林业蛀干害虫的研究表明小卷蛾、芜菁夜蛾及异小杆等品系的线虫是蛀干害虫的有效生物防治制剂, 田间效果可达 60% ~ 80%, 高者

达 90%^[5]。

昆虫病原线虫还适于防治土栖害虫。用斯氏线虫 *S. teinernae* sp. CB-2y 品系防治李实叶蜂 (*Hoplocampa fulvicornis*)，田间侵染效果达 70%^[12]。芜菁夜蛾线虫防治果园越冬代出土期桃小食心虫 (*Carposina niponensis*) 幼虫，卵果率可控制在 1% 以下，效果与化学农药相近^[13]。小卷蛾线虫对樱桃实叶蜂 (*Hoplocampa danfengensis*) 的田间侵染率达 70%^[14]。芜菁夜蛾线虫和小卷蛾线虫对核桃举肢蛾 (*Atrijuglans heterauhei*) 越冬幼虫的侵染率达 66.8% ~ 80.9%^[15]。此外，通过对花生地金龟子 (*Holotrichia parallela*)^[6]、东北大黑鳃金龟 (*Holotrichia dianphalia*)、白星花金龟 (*Potosia brevitarsis*)、向日葵螟 (*Heliothis virescens*)^[16, 17]、皮暗斑螟 (*Euzophera batangensis*)^[18]、竹直锥大象虫 (*Cyrtotrachelus longimanus*)^[8]、蔬菜黄曲条跳甲 (*Phyllotreta striolata*)^[19]、香蕉扁黑象甲 (*Odoiporus longicollis*)^[20]、板栗雪片象甲 (*Niphades castanea*)^[21]、小猿叶甲 (*Phaedon brassicae*)^[22]、沟眶象^[23]、小菜蛾 (*Plutella xylostella*)^[24]、斜纹夜蛾 (*Spodoptera litura*)^[25]、韭菜蕈蚊 (*Bradysia odoriphaga*)^[26]、枸杞负泥虫 (*Lema decempunctata*)^[27]、小地老虎 (*Agrotis ypsilon*)^[28]、八字地老虎 (*Amathes c-nigrum*)^[29]、豌豆蛀秆蝇、家蝇 (*Musca domestica*)^[30]、叶蜂^[31]、鞭角华扁叶蜂 (*Chinolyda flagellicornis*)^[32]、粘虫、甘蓝夜蛾、二十八星瓢虫、甘蔗突背黑蔗龟、甘蔗透翅蛾、葡萄黑象甲 (*Otiorynchus sulcatus*) 等 40 余种害虫的侵染研究表明，除家蝇外，用小卷蛾及芜菁夜蛾线虫防治的效果都在 80% 左右。

随着新品系的不断筛选、生物学特性研究的不断深入及剂型的不断改进，昆虫病原线虫作为生物防治制剂的应用范围在未来的农业生产中将不断扩大。

3 影响昆虫病原线虫田间侵染力因素

影响昆虫病原线虫侵染力的因素有环境条件、田间施用技术和线虫特性。只有明确各因素的作用，才能充分发挥其控制害虫的潜力。首先，施用技术直接影响防治效果。田间施用位置越接近害虫，防治效果越佳。Kaya 等用与喷洒化学农药相似的方法施用线虫，效果较好。根据桃红颈天牛排粪习性选择施用线虫的最佳时间 7:00—19:00，防治效果可达 80% ~ 90%，否则为 20% ~ 30%^[34, 35]。

其次，线虫生活习性和搜索害虫方式决定了防治对象。斯氏线虫 (*S. carpocapsae*) 多数个体趋于土壤表层，以埋伏守候方式攻击寄主，能有效地寄生土壤表层的小地老虎 (*Agrotis ypsilon*)；异小杆线虫 (*H. bacteriophora*) 在土壤较深层积极搜索寄主，能有效侵染危害作物近根系的葡萄黑象甲 (*Otiorynchus sulcatus*) 幼虫^[33]。

线虫对干燥的敏感性限制它的应用范围。为提高线虫的耐干燥力，近年开展了田间施用线虫保水剂、保湿剂及抗蒸发剂等保护性辅助剂的研究，发现线虫和保护剂一起施用可加强线虫对田间不良环境因素的耐受力，延长存活期，提高田间持续侵染力和害虫死亡率^[36]。粘合剂作为线虫载体，已成功用于防治亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Pyralidae)；A₂₄ 品系线虫与粘合剂混用防治龟背天牛、桑天牛的田间效果比单用线虫制剂提高 10% ~ 25%^[37]；加入防紫外线剂和抗干燥剂的线虫制剂已成功防治叶面害虫。

为减少干燥对昆虫病原线虫的不利影响，国内外正在研究线虫干燥脱水诱导技术，以提高田间抗干旱能力。对斯氏及异小杆线虫的若干品系的抗干燥能力测定表明，抗干燥能力与品系有关^[38, 39]。研究发现异小杆线虫 (*H. bacteriophora*) HP88 品系进入脱水休眠的最佳条件是

RH 97% 或 93% 96 h, RH 88% 是该线虫的抗干燥域值, 85% RH 为干燥死亡区; 缓慢干燥诱导脱水效果好于快速脱水, 经慢速脱水诱导的线虫可以在 RH 85% 干燥死亡区休眠 12 d, 快速诱导脱水的线虫可休眠 2 d, 未经诱导的线虫则不能存活^[39]。A₂₄品系线虫在 97% RH 条件下脱水处理 72 h, 产生一种特异蛋白使线虫抗干燥能力增强^[40], 这一发现为分子水平培育抗旱线虫新品系打下基础。本实验室正用干燥诱导技术研制抗干燥线虫制剂, 初步看出经干燥诱导的 F₁ 代线虫存活率比自然种群高。抗干燥线虫的有关生理生化机理正在研究中。

4 昆虫病原线虫耐药性

昆虫病原线虫与其他生物防治制剂一样, 见效较慢, 如果能够与化学农药混用, 将发挥各自的优点, 但这一防治策略需要明确线虫的耐药性, 我国在这方面的研究报道极少。74 种常用化学农药 (24 种杀菌剂、25 种除草剂、18 种杀虫剂、5 种杀螨剂、2 种杀线剂) 对异小杆线虫 (*H. Bacteriophora* 和 *H. heliothis* T327) 的生命力、侵染力及活动力进行的测试发现, 它们对大多数化学药剂有耐受性, 但对 16 种高毒药剂敏感。即使常规浓度或更低浓度的高毒杀菌剂 (薯瘟锡、多果定、多菌灵)、除草剂 (草不绿、百草枯)、杀虫剂 (一六五、甲拌磷、特布磷、地虫磷、辛硫磷、涕灭威、虫螨威或呋喃丹、灭多虫)、杀螨剂 (氟杀螨) 和杀线剂 (威百亩、克线磷) 对异小杆线虫也会产生毒害^[41]。斯氏线虫 (*S. feltiae*) 对敌百虫和乐果具有一定耐受性, 但对双硫磷、避蚊胺和庚烯磷的耐受力却很差, 植物叶片上农药残留不影响该线虫对南美斑潜蝇 (*L. irianya huidobrensis*) 的侵染力^[42]。

因此, 作者认为生产中昆虫病原线虫可以与低毒化学农药混用。高毒化学农药会杀伤土壤线虫及其他有益生物。昆虫病原线虫是良好的土壤生物指示剂及监测剂, 可用于化学农药毒力测定及环境污染程度监测。

参 考 文 献

- 1 Poinar G O Jr. Taxonomy and biology of Steinernematidae and Heterorhabditidae. In: Gaugler R, Kaya H K, eds. Entomopathogenic Nematodes. In: Biological Control CRC Press, FL, USA, 1990, 24
- 2 Steiner G. *Neoplectana glaseri* (Oxyuridae), a new nematode parasite of the Japanese beetle (*Popillia japonica* Newm.). J Washington Academy of Sciences, 1929, 19: 436~ 440
- 3 徐洁莲. 昆虫病原线虫 (斯氏科和异小杆科) 分类研究近况. 昆虫天敌, 1998, 20(3): 124~ 128
- 4 Liu J, Poinar G O Jr. Control of insect pests with entomopathogenic nematodes: the impact of molecular biology and phylogenetic reconstruction. Ann Rev of Entom, 2000, 45: 287~ 306
- 5 杨怀文, 陈松笔. 昆虫寄生线虫与林业害虫的防治. 林业科学, 1999, 35(6): 103~ 109
- 6 李素春, 丁文道, 韩文胜. 昆虫病原线虫泰山 1 号防治花生地蛴螬的方法及其效果. 植物保护学报, 1993, 20(1): 55~ 60
- 7 刘南欣, 梁梅芳, 张振英, 等. 格氏线虫中国品系 (C85011) 防治竹象虫的施用技术及与农药混用的研究. 昆虫天敌, 1990, 12(3): 142~ 148
- 8 杨怀文, 张刚应, 张善稿, 等. 芜菁夜蛾线虫对小木蠹蛾侵染能力的研究. 生物防治通报, 1989, 5(3): 97~ 100
- 9 刘奇志, 王玉柱. 斯氏线虫防治桃红颈天牛田间试验. 生物防治通报, 1993, 9(2): 59
- 10 刘奇志, 王玉柱, 佟付泉, 等. 斯氏线虫对桃红颈天牛侵染力的研究. 见: 张芝利, 朴永范, 吴钜文编. 中国有害生物综合治理论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1996, 816~ 820
- 11 刘奇志, 王玉柱, 周海鹰. 应用昆虫病原线虫防治杏园桃红颈天牛. 华北农学报, 1997, 12(1): 97~ 101

- 12 刘奇志, 王玉柱, 等. 斯氏线虫 CB-2y 品系对李实蜂的侵染试验. 昆虫天敌, 1993, 15(2): 84~ 87
- 13 黎颜, 刘峥, 张桂兰, 等. 芜菁夜蛾线虫在防治桃小食心虫上的应用. 植物保护学报, 1993, 20(4): 337~ 342
- 14 殷坤. 利用小卷蛾线虫防治樱桃实蜂. 中国生物防治, 1998, 14(2): 85~ 86
- 15 王永宏, 孙益知, 殷坤. 斯氏线虫防治核桃举肢蛾的研究初报. 中国果树, 1996, (4): 12~ 14
- 16 潘洪玉, 席景会, 张浩. 昆虫病原线虫对隐蔽性害虫控制作用的研究. 吉林农业大学学报, 2000, 22(1): 41~ 44
- 17 郝德军, 张海林, 孙家宝. 几种昆虫病原线虫对苗圃地下害虫的毒力测定. 林业科技, 2001, 26(2): 22~ 23
- 18 黄金水. 斯氏线虫对皮暗斑螟控制能力的研究. 华东昆虫学报, 1995, 4(1): 65~ 70
- 19 魏洪义, 王国汉. 斯氏线虫对黄曲条跳甲田间种群的控制作用. 植物保护学报, 1993, 20(1): 61~ 64
- 20 徐洁莲, 杨平, 伍锡湛. 应用苹果蠹蛾线虫防治香蕉蔗黑象甲的研究. 热带作物学报, 1992, 12(2): 77~ 82
- 21 殷坤. 利用小卷蛾线虫防治栗雪片象. 中国生物防治, 1998, 14(3): 141
- 22 潘克鑫, 陆小军, 刘南欣, 等. 小卷蛾线虫对小猿叶甲幼虫的敏感性试验初报. 昆虫天敌, 1999, 21(2): 93~ 95
- 23 佟振亮, 高文呈, 曹琦, 等. 芜菁夜蛾线虫对沟眶象和臭椿沟眶象侵染力的研究. 生物防治通报, 1993, 9(4): 173~ 175
- 24 杨平, 刘南欣, 林锦英. 应用昆虫病原线虫防治小菜蛾的研究. 昆虫天敌, 1999, 21(3): 107~ 112
- 25 王晓容, 李素春, 梁关生, 等. 泰山 1 号对斜纹夜蛾的致死作用. 仲恺农业技术学院学报, 1994, 7(2): 28~ 32
- 26 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. 天津农业科学, 1994, 128(2): 4~ 6
- 27 程惠珍, 陈君, 杨军. 应用昆虫病原线虫防治枸杞负泥虫的研究. 中草药, 1998, 29(2): 119~ 121
- 28 杨建全, 李芳, 陈家骅, 等. 小卷蛾斯氏线虫对小地老虎的侵染性试验. 福建农业大学学报, 2000, 29(2): 201~ 205
- 29 赵奎军, 宋捷, 张丽坤, 等. 斯氏线虫对两种地老虎的侵染效果. 东北农业大学学报, 1995, 26(3): 242~ 246
- 30 杨怀文, 张善稿, 张刚应. 小卷蛾线虫对家蝇幼虫的室内侵染试验. 中国生物防治, 1994, 10(2): 98
- 31 李平淑, 张善稿, 张刚应, 等. 利用昆虫病原线虫防治蛀干害虫和叶蜂. 生物防治通报, 1987, (3): 139~ 140
- 32 肖育贵, 郭亨孝. 昆虫病原线虫对鞭角华扁叶蜂致死能力的测定. 四川林业科技, 1999, 20(3): 19~ 21
- 33 Kaya H K, Burlando T M, Thurston G S. Two entomopathogenic nematode species with different search strategies for insect suppression. Environ Entom, 1993, 22(4): 859~ 864
- 34 刘奇志, 王玉柱, 周杰良. 桃红颈天牛蛀道及排粪特性的研究. 中国农业大学学报, 1999, 4(5): 87~ 90
- 35 刘奇志, 王玉柱, 佟付泉, 等. 昆虫病原线虫防治桃红颈天牛施用技术的研究. 中国农业大学学报, 1998, 3(1): 17~ 21
- 36 Baur M E, Kaya H K. Effects of adjuvants on entomopathogenic nematode persistence and efficacy against *Plutella xylostella*. Biocontrol Sci and Techn, 1997, 7(4): 513~ 525
- 37 徐洁莲, 杨平. 昆虫病原线虫与粘合剂混用的增效试验. 昆虫天敌, 2000, 22(1): 6~ 10
- 38 陈松笔, 杨怀文, 等. 昆虫病原线虫抗干燥能力研究. 中国生物防治, 1999, 115(3): 100~ 103
- 39 Liu Q izhi, Glazer I. Factors affecting desiccation survival of the entomopathogenic nematodes, *Heterorhabditis bacteriophora* HP88. Phytoparasitica, 2000, 28: 331~ 340
- 40 Solomon A, Papern, I, Galzer I. Desiccation survival of the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae*: induction of anhydrobiosis. Nematology, 1999, (1): 61~ 68
- 41 Rovesti L, Deseo K V. Compatibility of pesticides with the entomopathogenic nematode, *Heterorhabditis heliothidis*. Nematologica, 1991, 37(1): 113~ 116
- 42 Head J, Walters K F A, Langton S. The compatibility of the entomopathogenic nematode, *Steinernema feltiae*, and chemical insecticides for the control of the South American leaf miner, *Liriomyza huidobrensis*. Bio Control, 2000, 45(3): 345~ 353