

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.03.25

云南省玉溪地区昆虫线虫资源分布调查及应用初探

吴林林¹, 陈龙飞¹, 白光瑛¹, 王孝莹¹, 徐 华¹, 张立猛², 赵进龙²,
李林燕³, 赵念席¹, 谷星慧^{2*}, 阮维斌^{1*}

(1. 南开大学生命科学学院, 天津 300071; 2. 云南省烟草公司玉溪市公司, 云南玉溪 653100;

3. 玉溪红塔烟草劳动服务有限责任公司, 云南玉溪 653100)

摘要: 昆虫线虫尤其是昆虫病原线虫可以部分替代化学农药防治有害昆虫。本文通过大蜡螟诱捕法对云南省玉溪市8县1区的昆虫线虫资源进行了调查。从270份土壤样品中分别得到57个昆虫线虫样本, 分属于4个属, 包括小杆科 Rhabditidae 的3个属, 双胃科 Diplogasteridae 的1个属。结果表明, 线虫的分布与土壤类型和植被类型密切相关, 砂壤土、壤土中线虫检出率分别为100.0%、19.9%, 较粘土12.1%的检出率高。在未受干扰的地块(林地和未耕地)线虫检出率为20.4%, 受人类干扰的地块(烟田和农田)线虫检出率为16.1%, 说明砂壤土和壤土适合昆虫线虫种群的建立, 且在人类活动较少的地块中线虫分布较多。用本土线虫在实验室条件下利用大蜡螟和蛴螬(棕色鳃金龟幼虫)对分离到的线虫进行致病力测定, 结果表明: YN43 (*Oscheius* sp. 2) 是大蜡螟最敏感的昆虫线虫品系, 校正死亡率为76%; YN93 (*Oscheius* sp. 1) 对蛴螬致病力最强, 校正死亡率为54.5%, 在防治云南地下害虫蛴螬方面具有很大的潜力。

关键词: 昆虫线虫; 分布; 大蜡螟; 棕色鳃金龟; 生物防治

中图分类号: Q968.1; S476.15

文献标志码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 03-0618-10

Distribution and application of entomogenous nematodes in Yuxi district, Yunnan Province

WU Lin-Lin¹, CHEN Long-Fei¹, BAI Guang-Ying¹, WANG Xiao-Ying¹, XU Hua¹, ZHANG Li-Meng², ZHAO Jin-Long², LI Lin-Yan³, ZHAO Nian-Xi¹, GU Xing-Hui^{2*}, RUAN Wei-Bin^{1*} (1. College of Life Science, Nankai University, Tianjin 300071, China; 2. Yuxi Branch, Yunnan Tobacco Company, Yuxi 653100, Yunnan Province, China; 3. Yuxi Hongta Tobacco Labor Service Co., Ltd, Yuxi 653100, Yunnan Province, China)

Abstract: Entomogenous nematodes, especially entomopathogenic nematodes can control various soil-borne and leaf canopy insect pests as safer alternatives to pesticides. In the present study, *Galleria mellonella* bait technology was employed to investigate the distribution of entomogenous nematodes in Yuxi district, Yunnan Province, China. Entomogenous nematodes was found in 57 of 270 collected soil samples, belonging to 4 genera isolated from soil samples, among which 3 in Rhabditidae and 1 in Diplogasteridae. The results showed that the occurrence of nematodes was closely related to soil types and vegetation types, with the recovery rates 100.0%, 19.9%, 12.1% in sandy-loam, loam and clay, respectively. The recovery rate was 20.4% in non-cultivated lands (woodland and untilled land) and 16.1% in cultivated lands (tobacco

基金项目: 中国烟草总公司云南省烟草公司科技计划项目 (2014YN21); 天津市自然科学基金重点项目 (10JCZDJC7700); 天津市成果转化项目 (201001230)

作者简介: 吴林林, 女, 1991年生, 汉族, 山东济南人, 硕士研究生, 主要从事环境生态学研究, E-mail: wshwll34@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: guxinghui@163.com; ruanweibin2004@hotmail.com

收稿日期 Received: 2015-08-28; 接受日期 Accepted: 2015-10-30

field and other crop farmLands). It indicated that sandy-loam and loam soil was suitable for the population establishment of entomogenous nematodes, and entomogenous nematodes had high incidence in the natural area. YN43 (*Oscheius* sp. 2) had the highest virulence to *Galleria mellonella*, with the corrected mortality was 76%; YN93 (*Oscheius* sp. 1) had the highest corrected mortality 54.5% of white grub (*Holotrichia titanis* Reitter), indicating their great potentiality to control white grub in Yunnan Province.

Key words: Entomogenous nematodes; distribution; *Galleria mellonella*; *Holotrichia titanis* Reitter; biological control

昆虫线虫 (Entomogenous nematodes) 是一种重要的害虫生物防治资源, 目前已成为国内外的研究与应用重点。依据其是否有无共生细菌参与侵染过程, 可将昆虫线虫分为昆虫寄生线虫 (Entomoparasitic nematodes) 和昆虫病原线虫 (Entomopathogenic nematodes)。昆虫病原线虫包括斯氏线虫科 Steinemematidea、异小杆线虫科 Heteorhthaditidea 和其它科线虫。由于斯氏线虫科和异小杆线虫科具有独特的优越性而成为研究和商业应用的最主要对象, 其中多个品系已经商业化应用 (李长青等, 2011; Edwin and David *et al.*, 2012; 赵国玉等, 2013)。昆虫病原线虫作为昆虫的专化性寄生天敌, 具有以下优点: 寄主范围广, 毒力高, 寻觅宿主能力强, 易于大规模生产, 可循环利用, 对环境安全等, 可以防治一些其它方法不易控制的土栖性和钻蛀性害虫 (Mukuka *et al.*, 2010; Yan *et al.*, 2012, 2014; 雷利平等, 2013)。近年来, 研究者发现其它小杆目线虫和双胃科线虫也可以用于有害昆虫的防治。小杆科 Rhabditidae 的 *Oscheius* 线虫是一类分布广泛的线虫类群, 其中的一些种也有致死昆虫的特性, 但这类线虫对昆虫致死的机理还不清楚 (Ye *et al.*, 2010; 李星月, 2012), 已经证实为一类昆虫病原线虫 (Pervez *et al.*, 2013; Torrini *et al.*, 2015)。国内外对双胃科线虫防治有害昆虫的研究鲜有报道, 最新研究表明双胃科线虫 *Pristionchus aerivorus* 对昆虫寄主具有致病性, 是另一类有应用潜力的昆虫病原线虫 (Ye *et al.*, 2015)。

蛴螬是云南重要的地下害虫之一, 食性较杂, 可危害多种农作物、蔬菜及其他经济作物的地下部分 (Liu *et al.*, 2009), 如在云南蔗区, 受害蔗一般减产 30% - 50%, 严重时绝收, 大部分甘蔗只能留养宿根 1 年, 直接经济损失上亿元 (李文凤等, 2008)。目前蛴螬的防治主要采用化学药剂拌种处理或土壤处理, 常用的化学农药有甲基异

柳磷、辛硫磷、甲拌磷、毒死蜱等高毒性、长残留、对人畜极度不安全的农药 (张美翠等, 2014), 长期使用不仅有害人体健康, 污染环境, 还易使蛴螬产生抗药性 (Wu *et al.*, 2014)。因此, 寻找新的生物防治措施替代化学农药防治蛴螬, 显得尤为紧迫而必要。近几年, 国内外应用昆虫线虫代替化学农药防治多种害虫 (杨怀文和陈松笔, 1999; Shapiro *et al.*, 2011; Koshel *et al.*, 2014; 颜珣等, 2014)。可见, 应用昆虫线虫来防治蛴螬将是一个比较好的选择。国内外有关昆虫病原线虫防治蛴螬的相关报道比较多 (Khatri *et al.*, 2011; Guo *et al.*, 2013; Wu *et al.*, 2014)。但是, 与蛴螬的严重危害相比, 我国应用昆虫线虫防治蛴螬的研究还相当匮乏 (刘奇志等, 2009; 刘树森等, 2010)。

有研究表明不同种或不同品系的昆虫病原线虫的生物学和生态学特性存在显著的不同, 其侵染力、存活力和寄主搜索能力存在差异 (Hatting *et al.*, 2009; 张安邦等, 2015)。每个地区的昆虫线虫资源分布也不尽相同。另外, 由于线虫的寄生专一性和对发生地环境条件的适应性不同, 诱捕和筛选当地的昆虫病原线虫, 随后将高毒力昆虫病原线虫再投放到田间, 将更好地发挥当地昆虫病原线虫控制有害昆虫的作用 (Bedding, 1990)。云南省地理环境复杂, 生物多样性相当丰富 (王孟宇, 2006), 在云南省进行昆虫病原线虫多样性研究将丰富我国昆虫病原线虫的资源, 并有助于当地甚至相邻地区有害昆虫的生物防治。因此, 本文首先诱捕云南玉溪市 8 县 1 区的昆虫病原线虫资源, 然后评价了它们对大蜡螟和蛴螬的致病力, 以期能筛选出适合云南地区应用的昆虫病原线虫, 为地下害虫的生物防治提供一定的理论和应用技术基础, 促进云南省农业有害昆虫的绿色防控。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试线虫: 云南省玉溪市诱捕的 57 个昆虫线虫样本、斯氏线虫 *Steinernema carpocapsae* 和异小杆线虫 *Heterorhabditis bacteriophora*。上述线虫均用大蜡螟 *Galleria mellonella* 活体繁殖获得侵染期幼虫 (infective juvenile, IJs)。

供试昆虫: 大蜡螟幼虫, 购自天津惠裕德生物科技有限公司; 棕色鳃金龟 *Holotrichia titanis* Reitter 2 龄幼虫, 采自云南省玉溪市烟田。

1.2 试验方法

1.2.1 土壤采集

在云南省玉溪市 8 县 1 区 (易门、峨山、元江、澄江、新平、华宁、红塔、江川、通海) 进行土样采集, 分别在每个镇里的烟田、农田、林地、荒地 4 个地点采样。取土时刮去表面干燥层, 用土钻 (内径: 3.6 cm) 取约 0–20 cm 深处的土壤, 每点取土约 200 g, 5 点取样, 把取来的土装进双层黑色塑料袋中, 封口, 防止水分蒸发, 标明采集时间、地点、植被类型和经纬度, 然后带回室内处理, 分离线虫。分析土壤质地和理化指标 (由云南同川农业分析测试技术有限公司分析)。

1.2.2 线虫诱捕 (室内)

采用大蜡螟诱集法 (Bedding and Akhurst, 1975), 并加以改进。用四分法称取 180 g 的土样, 用土壤湿度计调整土壤湿度为 10%, 然后装入杯口直径 7.5 cm、杯底直径 4.8 cm、高 8 cm 一次性带盖塑料杯中, 每杯放 5 头大蜡螟幼虫, 每份土样重复两次。将杯子放入避光纸盒中, 在室温条件下, 每隔 3 d 检查一次大蜡螟幼虫死亡情况。将死亡的大蜡螟幼虫单头挑入 White trap 装置中收集侵染期线虫 (IJs), 将收集的 IJs 再次侵染大蜡螟幼虫获得大量的侵染期线虫, 贮存于 13℃–15℃ 冰箱内储存备用。诱捕到的线虫通过分子测序进行初步鉴定 (未发表结果)。

1.2.3 不同品系线虫对大蜡螟的致病力测定

在直径 6 cm 的塑料培养皿中加入灭菌的石英砂 15 g, 加入云南 57 个线虫样本的线虫悬液 2 mL (内含约 100 条 IJs), 体重相近的大蜡螟幼虫 5 头。对照组中只加入等量的灭菌水。将培养皿用封口膜封好, 扎孔通气, 室温条件下避光培养。在开

始侵染后, 每隔 12 h 记录大蜡螟的死亡情况, 72 h 后结束。每份线虫重复 5 次。本试验进行两次。

1.2.4 不同品系线虫对烟田地下害虫蛴螬 (棕色鳃金龟 2 龄幼虫) 的致病力测定

采用改进的 One on one 方法 (Yadav and LalramLiana, 2012; 张思佳等, 2013): 试验所用的线虫为云南诱捕到的 6 份 *Oscheius* spp. 线虫, 斯氏线虫 *S. carpocapsae* 和异小杆线虫 *H. bacteriophora*, 存于 15℃, 黑暗环境, 试验前将侵染期线虫提前放在室温下 1 h 适应环境。采用 6 cm 培养皿, 内放 15 g 灭菌沙。配制 200 IJs/mL 的线虫悬液, 将线虫悬液用移液枪取 1 mL 均匀撒布于沙子上。每个培养皿里放入 1 头蛴螬, 10 g 土豆片。每个品系的线虫作为一个处理, 以等量灭菌水作为对照。每处理 10 头供试昆虫, 5 次重复。封口膜封口并扎眼, 25℃ 黑暗环境下培养。每 24 h 记录蛴螬的死亡情况, 连续观察 1 周。将死亡的蛴螬放置在湿的滤纸上, 培养 3 d 后解剖镜检, 观察线虫是否侵入 (Guo et al., 2014)。本试验进行两次。

1.2.5 数据统计分析

所有数据进行单因素方差分析 (ANOVA), 用 LSD (费舍尔最小显著差异法) 对平均值进行多重比较。P ≤ 0.05 为差异显著。所有数据利用 SPSS 20 进行统计分析。线虫对各昆虫的致病力均用其幼虫的校正死亡率表示。

2 结果与分析

2.1 云南省玉溪市线虫的种类与分布

通过对玉溪市 270 份土样进行大蜡螟活体诱捕, 在 48 个土壤样品中诱捕到昆虫寄生或病原线虫样本 57 个, 线虫检出率为 17.78%。由图 1 可知, 检出的 57 个线虫样本在易门、峨山、元江、澄江、新平、华宁、红塔、江川和通海 9 个地区均有分布。其中, 玉溪地区南部线虫资源较为丰富, 而在北部尤其是易门分布相对较少。

由表 1 可知, 57 个线虫样本, 经鉴定 *Oscheius* spp. 的线虫最多, 为 30 个, 占线虫总数比例为 52.63%, 其中 *Oscheius tipulae*、*Oscheius* sp. 1 和 *Oscheius* sp. 2 的样本数分别为 1、13、16, 占线虫总数比例分别为 1.75%、22.81%、28.07%。*Pristionchus pacificus* 次之, 有 22 个线虫样本, 占

表 1 玉溪市昆虫线虫种类与分布

Table 1 Strains and distribution of entomogeneous nematodes in Yuxi city

地区 Area	线虫样本数 Number of nematode populations	线虫品系 Nematode strains					
		<i>Oscheius</i> <i>tipulae</i>	<i>Oscheius</i> sp. 1	<i>Oscheius</i> sp. 2	<i>Pristionchus</i> <i>pacificus</i>	<i>Caenorhabditis</i> <i>briggsae</i>	<i>Entomelas</i> <i>kazachstanica</i>
易门 Yimen	2	0	0	0	2	0	0
峨山 Eshan	4	0	1	1	1	1	0
元江 Yuanjiang	10	0	1	5	3	0	1
澄江 Chengjiang	6	0	0	1	4	1	0
新平 Xinping	10	0	4	3	3	0	0
华宁 Huaning	7	1	0	2	4	0	0
红塔 Hongta	5	0	2	2	1	0	0
江川 Jiangchuan	7	0	3	1	1	1	1
通海 Tonghai	6	0	2	1	3	0	0

注: 以上内容基于测序结果给出。Note: The above content was given based on the sequencing results.

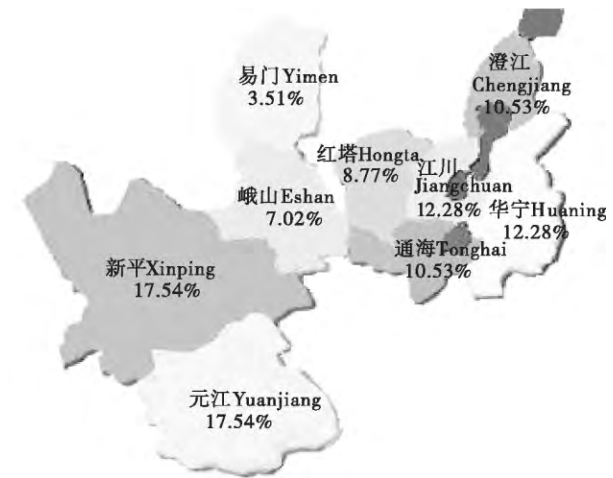


图 1 昆虫线虫在云南省玉溪市的分布

Fig. 1 Entomogenous nematode distribution in Yuxi ,Yunnan

线虫总数比例为 38.60%; 而 *Caenorhabditis briggsae* 和 *Entomelas kazachstanica* 的样本数较少, 仅为 3 个和 2 个, 分别占线虫总数比例为 5.26%、3.51%。

在玉溪市 *Pristionchus pacificus* 线虫在 9 个地区均有分布, 说明 *Pristionchus pacificus* 线虫适应环境能力强, 适合玉溪市各区不同的气候条件, 为玉溪市的优势种。其次为 *Oscheius* spp. 线虫, 除在易门没有诱捕到, 在其他 8 个地区均有分布, 而且样本总数最多, 也为玉溪市的优势种。而 *C. briggsae* 和 *E. kazachstanica* 这两种线虫分别仅在峨山、澄江、江川, 元江、江川分布, 且数量较少。

2.2 昆虫线虫的分布与土壤类型的关系

如图 2 所示, 玉溪市的土壤主要是壤土, 在 270 份土样中所占比例为 68.89%, 其次为粘土, 所占比例为 30.74%, 砂壤土数量最少, 所占比例为 0.37%。从不同土壤类型的线虫检出率来看, 砂壤土、壤土、粘土的昆虫线虫检出率分别为 100%、19.89% 和 12.05%。虽然砂壤土只有 1 份, 但检出了 *Pristionchus pacificus* 和 *Oscheius* sp. 1。

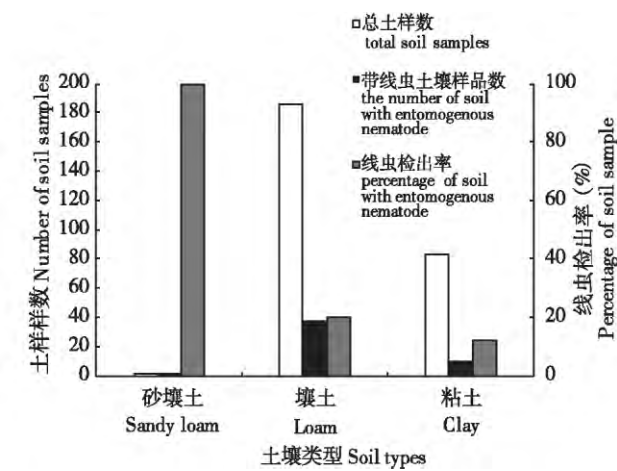


图 2 不同土壤类型的昆虫线虫检出率

Fig. 2 Percentage of entomogenous nematodes under different soil types

2.3 昆虫线虫的分布与土壤植被的关系

从图 3 可知, 未耕地、林地、农田、烟田的线虫检出率分别为 24.07%、16.67 %、16.67 % 和 15.74%。

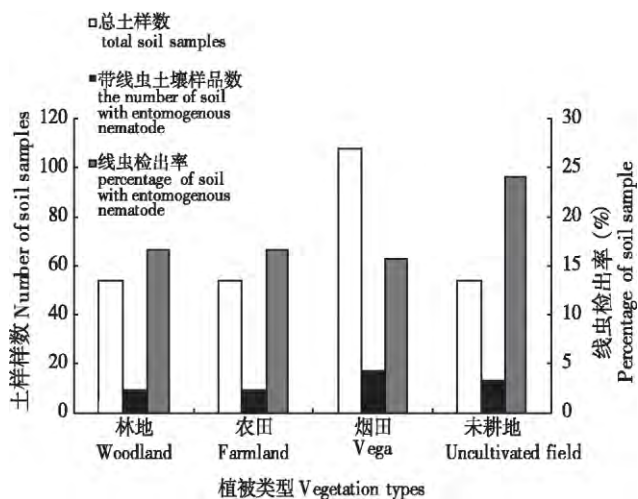


图3 不同植被类型的昆虫线虫检出率

Fig. 3 Percentage of entomogenous nematodes under different vegetation types

2.4 不同品系线虫对大蜡螟致病力的测定

根据 57 份线虫对大蜡螟的致死结果 (表 2) 可以得出, 校正死亡率为 6% – 60%, 变异较大。

总的来说, 死亡率随着时间延长不断增加。其中校正致死率超过 50% 的线虫品系为 YN43 (*Oscheius* sp. 2) (76%)、YN32 (*Oscheius* sp. 1) (56%)、YN50 (*Pristionchus pacificus*) (52%)、YN78 (*Pristionchus pacificus*) (60%)。

2.5 不同品系线虫对棕色鳃金龟 2 龄幼虫的致病力测定

测定结果 (图 4) 表明: 侵染剂量为每头幼虫 200 IJs 时, 8 份线虫对棕色鳃金龟 2 龄幼虫都有致病能力且差异显著 ($P < 0.05$), 校正死亡率在 18.89% – 54.45%, 其中云南品系 YN93 对棕色鳃金龟幼虫的累积校正死亡率最高, 为 54.45% ,

表 2 昆虫线虫 (57 份) 对大蜡螟的致病力

Table 2 Virulence of 57 entomogenous nematodes against *Galleria mellonella*

线虫编码 Code of nematodes	种类 Species	累积死亡率 (%) Cumulative mortality rate					
		12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
YN02	<i>Oscheius</i> sp. 2	2 ± 2.00	2 ± 2.00	2 ± 2.00	4 ± 2.67	4 ± 2.67	14 ± 6.70
YN03	<i>Oscheius</i> sp. 1	4 ± 2.67	4 ± 2.67	6 ± 3.06	16 ± 6.53	26 ± 8.46	26 ± 8.46
YN04	<i>Pristionchus pacificus</i>	2 ± 2.00	2 ± 2.00	6 ± 4.27	8 ± 4.42	14 ± 5.21	16 ± 4.99
YN05	<i>Oscheius</i> sp. 2	2 ± 2.00	2 ± 2.00	6 ± 4.27	8 ± 4.42	12 ± 4.42	14 ± 5.21
YN06	<i>Pristionchus pacificus</i>	0 ± 0.00	10 ± 4.47	16 ± 4.99	20 ± 5.96	20 ± 5.96	22 ± 6.29
YN09	<i>Oscheius</i> sp. 2	1 ± 1.00	6 ± 3.28	10 ± 3.70	15 ± 4.07	16 ± 4.00	19 ± 3.97
YN11	<i>Oscheius</i> sp. 1	2 ± 2.00	2 ± 2.00	12 ± 4.42	14 ± 6.00	14 ± 6.00	14 ± 6.00
YN12	<i>Oscheius tipulae</i>	0 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00	6 ± 4.27	10 ± 4.47	12 ± 4.42
YN16	<i>Entomelas kazachstanica</i>	0 ± 0.00	2 ± 2.00	6 ± 3.06	10 ± 3.33	20 ± 5.96	20 ± 5.96
YN19	<i>Pristionchus pacificus</i>	0 ± 0.00	0 ± 0.00	2 ± 2.00	4 ± 2.67	6 ± 3.06	6 ± 3.06
YN20	<i>Pristionchus pacificus</i>	2 ± 2.00	2 ± 2.00	4 ± 2.67	10 ± 4.47	12 ± 5.33	12 ± 5.33
YN22	<i>Oscheius</i> sp. 1	2 ± 2.00	6 ± 3.06	12 ± 4.42	20 ± 5.16	24 ± 4.99	32 ± 6.80
YN23	<i>Caenorhabditis briggsae</i>	2 ± 2.00	2 ± 2.00	2 ± 2.00	2 ± 2.00	6 ± 3.06	8 ± 3.27
YN24	<i>Pristionchus pacificus</i>	0 ± 0.00	0 ± 0.00	4 ± 2.67	12 ± 4.42	14 ± 5.21	18 ± 4.67
YN27	<i>Oscheius</i> sp. 1	0 ± 0.00	2 ± 2.00	12 ± 3.27	16 ± 4.00	18 ± 4.67	26 ± 6.70
YN28	<i>Pristionchus pacificus</i>	4 ± 2.67	4 ± 2.67	6 ± 3.06	12 ± 3.27	14 ± 4.27	14 ± 4.27
YN32	<i>Oscheius</i> sp. 1	22 ± 8.14	34 ± 7.92	38 ± 6.96	46 ± 5.21	52 ± 5.33	56 ± 7.18
YN34	<i>Oscheius</i> sp. 2	12 ± 4.42	16 ± 4.99	16 ± 4.99	28 ± 6.11	30 ± 5.37	30 ± 5.37
YN35	<i>Pristionchus pacificus</i>	10 ± 3.33	12 ± 3.27	12 ± 3.27	22 ± 6.96	28 ± 6.80	32 ± 7.42
YN37	<i>Oscheius</i> sp. 2	6 ± 3.06	6 ± 3.06	10 ± 5.37	14 ± 5.21	14 ± 5.21	16 ± 5.81
YN38	<i>Oscheius</i> sp. 1	2 ± 2.00	4 ± 4.00	10 ± 5.37	16 ± 5.81	20 ± 5.96	24 ± 7.77

续上表

线虫编码 Code of nematodes	种类 Species	累积死亡率 (%) Cumulative mortality rate					
		12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
YN43	<i>Oscheius</i> sp. 2	48 ± 9.04	56 ± 8.84	74 ± 7.33	76 ± 6.53	76 ± 6.53	76 ± 6.53
YN45	<i>Pristionchus pacificus</i>	2 ± 2.00	4 ± 2.67	6 ± 3.06	14 ± 6.00	16 ± 6.53	20 ± 9.89
YN46	<i>Oscheius</i> sp. 1	0 ± 0.00	8 ± 4.42	16 ± 4.99	22 ± 5.54	34 ± 6.70	42 ± 8.14
YN47	<i>Pristionchus pacificus</i>	2 ± 2.00	4 ± 2.67	6 ± 3.06	6 ± 3.06	24 ± 10.67	26 ± 10.35
YN48	<i>Pristionchus pacificus</i>	4 ± 1.84	13 ± 3.33	16 ± 3.73	22 ± 3.81	29 ± 4.47	33 ± 5.67
YN50	<i>Pristionchus pacificus</i>	0 ± 0.00	10 ± 4.47	16 ± 4.00	48 ± 9.52	50 ± 9.07	52 ± 8.54
YN51	<i>Oscheius</i> sp. 2	0 ± 0.00	4 ± 2.67	6 ± 3.06	16 ± 4.00	20 ± 4.22	26 ± 6.00
YN52	<i>Oscheius</i> sp. 1	0 ± 0.00	2 ± 2.00	6 ± 3.06	14 ± 4.27	16 ± 4.99	18 ± 5.54
YN53	<i>Oscheius</i> sp. 2	2 ± 2.00	2 ± 2.00	6 ± 3.06	22 ± 5.54	30 ± 6.15	36 ± 4.99
YN54	<i>Oscheius</i> sp. 2	0 ± 0.00	4 ± 2.67	12 ± 8.00	18 ± 8.14	24 ± 9.80	28 ± 10.41
YN55	<i>Entomelas kazachstanica</i>	0 ± 0.00	8 ± 3.27	8 ± 3.27	14 ± 6.00	16 ± 5.81	16 ± 5.81
YN56	<i>Oscheius</i> sp. 2	2 ± 2.00	6 ± 4.27	6 ± 4.27	6 ± 4.27	16 ± 5.81	18 ± 6.96
YN58	<i>Pristionchus pacificus</i>	3 ± 2.19	7 ± 2.66	18 ± 4.08	28 ± 6.87	40 ± 7.95	46 ± 8.22
YN59	<i>Oscheius</i> sp. 2	0 ± 0.00	10 ± 6.83	12 ± 6.80	22 ± 6.97	26 ± 7.92	42 ± 10.09
YN60	<i>Pristionchus pacificus</i>	0 ± 0.00	4 ± 2.67	4 ± 2.67	18 ± 6.29	22 ± 6.29	28 ± 5.33
YN61	<i>Oscheius</i> sp. 2	18 ± 9.64	20 ± 9.43	22 ± 9.17	28 ± 9.98	34 ± 9.45	36 ± 9.80
YN62	<i>Oscheius</i> sp. 2	0 ± 0.00	4 ± 2.67	12 ± 5.33	24 ± 5.81	30 ± 5.37	30 ± 5.37
YN63	<i>Oscheius</i> sp. 1	0 ± 0.00	3 ± 1.64	6 ± 2.10	7 ± 2.19	9 ± 2.70	13 ± 3.33
YN66	<i>Caenorhabditis briggsae</i>	0 ± 0.00	4 ± 2.67	6 ± 3.06	10 ± 3.33	10 ± 3.33	10 ± 3.33
YN67	<i>Caenorhabditis briggsae</i>	4 ± 2.67	8 ± 3.27	10 ± 4.47	14 ± 5.21	22 ± 6.97	34 ± 7.92
YN68	<i>Pristionchus pacificus</i>	2 ± 2.00	4 ± 2.67	8 ± 4.42	12 ± 5.33	24 ± 7.77	36 ± 9.80
YN71	<i>Pristionchus pacificus</i>	2 ± 2.00	8 ± 3.27	8 ± 3.27	12 ± 4.42	14 ± 5.21	20 ± 5.96
YN73	<i>Pristionchus pacificus</i>	0 ± 0.00	0 ± 0.00	2 ± 2.00	4 ± 2.67	8 ± 4.42	10 ± 4.47
YN74	<i>Oscheius</i> sp. 2	0 ± 0.00	2 ± 2.00	6 ± 3.06	24 ± 8.33	28 ± 8.54	28 ± 8.54
YN76	<i>Oscheius</i> sp. 2	21 ± 6.24	25 ± 6.47	32 ± 6.87	35 ± 6.79	38 ± 6.94	42 ± 6.79
YN78	<i>Pristionchus pacificus</i>	20 ± 7.89	38 ± 6.96	44 ± 8.33	46 ± 8.46	58 ± 6.96	60 ± 7.30
YN79	<i>Oscheius</i> sp. 1	3 ± 1.64	5 ± 1.99	10 ± 3.08	17 ± 3.33	20 ± 3.55	24 ± 3.73
YN82	<i>Pristionchus pacificus</i>	2 ± 2.00	2 ± 2.00	6 ± 4.27	8 ± 4.422	10 ± 4.47	12 ± 4.42
YN83	<i>Oscheius</i> sp. 2	0 ± 0.00	2 ± 2.00	4 ± 2.67	6 ± 3.06	10 ± 3.33	16 ± 5.81
YN86	<i>Pristionchus pacificus</i>	0 ± 0.00	0 ± 0.00	2 ± 2.00	2 ± 2.00	6 ± 4.27	18 ± 6.29
YN87	<i>Pristionchus pacificus</i>	0 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00	4 ± 2.67	4 ± 2.67	6 ± 4.27
YN89	<i>Oscheius</i> sp. 1	0 ± 0.00	4 ± 2.67	6 ± 3.06	12 ± 4.42	14 ± 4.27	28 ± 9.52
YN93	<i>Oscheius</i> sp. 1	0 ± 0.00	4 ± 2.67	8 ± 3.27	24 ± 4.99	26 ± 5.21	34 ± 5.21
YN96	<i>Pristionchus pacificus</i>	6 ± 3.06	6 ± 3.06	10 ± 4.47	16 ± 4.00	22 ± 5.54	24 ± 4.99
YN104	<i>Pristionchus pacificus</i>	2 ± 2.00	6 ± 3.06	10 ± 3.33	16 ± 4.99	18 ± 4.67	18 ± 4.67
YN106	<i>Oscheius</i> sp. 1	0 ± 0.00	0 ± 0.00	4 ± 2.67	14 ± 5.21	20 ± 5.96	22 ± 5.54

注: 表中数据为平均值 ± 标准误。Note: Data are means ± SE.

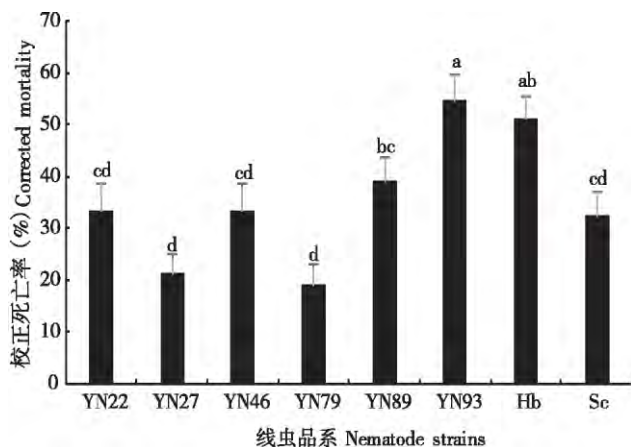


图4 昆虫线虫(8份)对棕色鳃金龟2龄幼虫的致病力

Fig. 4 Virulence of 8 entomogenous nematodes against 2nd instar larvae of *Holotrichia titanis* Reitter

注: 图中数据为平均值 ± 标准误。不同小写字母表示在 5% 的水平上差异显著。Note: Data are means ± SE. The bars with different letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

其次为 *H. bacteriophora*, 51.12%, 但两者之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

由云南品系 YN93 (*Osccheius* sp. 1) 与 *H. bacteriophora* 对棕色鳃金龟 2 龄幼虫的致病力比较结果 (图 5) 可以看出, 两者的致死规律不同: 在侵染 120 h 之前, *H. bacteriophora* 校正死亡率一直高于 YN93; 在 120 h 以后, 两者几乎接近; 在 168 h 时二者分别达到最大, 致死率均在 50% 以上。

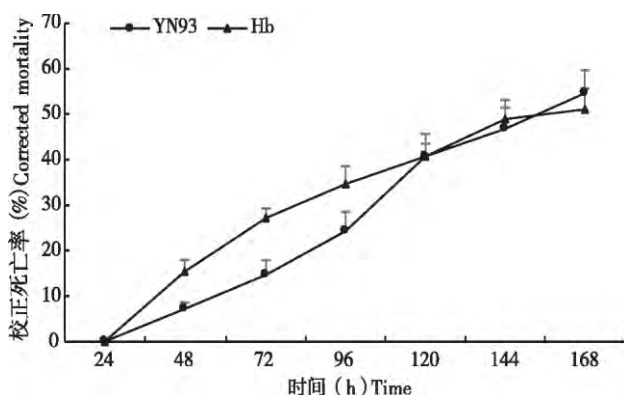


图5 云南品系 YN93 与 *Heterorhabditis bacteriophora* 对棕色鳃金龟 2 龄幼虫的致病力

Fig. 5 Virulence of Yunnan strain YN93 and *Heterorhabditis bacteriophora* against 2nd instar larvae of *Holotrichia titanis* Reitter

3 结论与讨论

不同地区土壤昆虫线虫检出率变化较大 (6%–35%) (Garcia and Palomo, 1996; Stock *et al.*, 1999; 钱秀娟等, 2014)。本文通过对云南省玉溪市昆虫线虫资源的调查, 得到 57 个昆虫线虫样本, 线虫检出率为 17.78%, 共鉴定为 2 个科的线虫品系, 包括小杆科 Rhabditidae 的 *Osccheius* spp.、*Caenorhabditis* spp. 和 *Entomelas* spp., 双胃科 Diplogasteridae 的 *Pristionchus* spp.。其中鉴定到种的线虫有 4 个, 分别是 *Osccheius tipulae*、*Pristionchus pacificus*、*Caenorhabditis briggsae*、*Entomelas kazakhstanica*。其中 *Osccheius*、*Pristionchus* 已经被证实为昆虫病原线虫。本研究分别在土壤样品中分离到 *Osccheius* spp. 线虫 30 份和 *Pristionchus* spp. 线虫 22 份, 说明云南省昆虫病原线虫多样性丰富。

通过对大蜡螟幼虫的室内生测表明, 57 个昆虫线虫样本均对大蜡螟幼虫有一定的致病力。其中 YN43 (*Osccheius* sp. 2) 致死大蜡螟的速率最快, 致死率最高 (76%)。将从云南诱捕出的 6 份 *Osccheius* spp. 线虫同实验室培养的 *S. carpocapsae* 和 *H. bacteriophora* 进行对云南烟田蛴螬致病力的比较, 结果显示云南品系 YN93 (*Osccheius* sp. 1) 对金龟幼虫的致病力最高, 为 54.45%, 说明云南线虫更适合云南的环境, 其生防能力能够得到更好的发挥。

对于本地区诱捕出的 57 个昆虫线虫样本, 在易门、峨山、元江、澄江、新平、华宁、红塔、江川、通海 9 个地区均有分布, 说明玉溪市不仅具有适宜线虫生存的环境条件, 同时在土壤中还存在大量的适宜寄主。但此次调查没有诱捕到斯氏线虫科和异小杆线虫科等昆虫病原线虫, 与其他学者的调查结果不同 (周凯, 2006; Malan *et al.*, 2008)。经分析, 原因可能是线虫分布存在高度聚集现象, 而土样采集随机性大; 此次调查采用的是大蜡螟诱集法, 存在一定的局限性, 只能发现寄主范围广并且仅能侵染鳞翅目幼虫的线虫, 不能发现寄主专一性的线虫 (如: *Stenernema captersici* 不能在大蜡螟体内繁殖); 此次采样时间只集中在 8 月份, 温度较高, 不一定能反映线虫的发生规律 (栾军波等, 2004)。

昆虫线虫的分布也与土壤类型有关 (Toepfer

et al., 2010)。在 57 个线虫样本中, 80.70% 的线虫出自壤土, 其中砂壤土样品仅有 1 份, 但线虫检出率为 100%, 并含有 *Pristionchus pacificus* 和 *Osccheius* sp. 1 两种线虫, 而只有 19.30% 线虫出自于粘土。说明疏松的壤土能够更好地保持水分, 土壤颗粒之间能形成水膜, 通气性更好, 使线虫能表现出活跃的生活状态, 有利于寻找寄主, 而粘土相对比较板结, 阻力大, 不利于线虫活动, 因此粘土中的线虫检出率仅为 12.05%。在爱尔兰 (Griffin *et al.*, 2001)、比利时 (Miduturi, 1996)、土耳其 (Hazir *et al.*, 2003) 和中国其他地区的 (陈书龙等, 2006; 钱秀娟等, 2014) 壤土中线虫检出率也高。同时, 云南地区粘土分布相对较多 (30.74%), 这也可能影响斯氏线虫科和异小杆线虫科线虫在这一地区的分布 (Rosa *et al.*, 2000)。但是 270 份土壤样品, 都没有诱捕到斯氏线虫科和异小杆线虫科等昆虫病原线虫, 除以上原因外, 是否存在其他原因还需进一步分析。

植被也是影响线虫分布的主要因素。本研究结果表明, 未受人类干扰地块 (未耕地和林地) 较受人类干扰的地块 (农田和烟田) 的线虫检出率高, 其中, 未耕地的线虫检出率最高, 烟田最低。原因有可能是在未受人类干扰的地块杂草丛生、生态环境复杂、昆虫种类多, 有利于线虫的繁衍; 同时土壤翻动次数较少, 有利于线虫在土壤中存活。此结果与陈书龙等 (2006) 的调查结果相同, 而与张刚应等 (1992) 和栾军波等 (2004) 分别在北京和辽宁地区的调查结果相反, 具体什么原因造成不同研究间的差异, 需要进一步探讨分析。

57 份线虫对大蜡螟均有致死力, 且能够利用大蜡螟繁育下一代, 说明这些线虫确实具有寄生能力和程度不一的致病性。不同品系的线虫对大蜡螟幼虫的致死效果不同。YN43 (*Osccheius* sp. 2) 对大蜡螟的致病力最强, 致死率自 12 h 以后一直居高不下, 但在 48 h 后致死率没再增加, 而 YN50 (*Pristionchus pacificus*) 在侵染初期致死率最低, 但在 48 h 后致死率增长速率最快。因此, 对于线虫的综合利用, 不仅要考虑其致病力, 其致死速率也是关键因素之一。

试验过程中发现, 从玉溪诱捕到的昆虫线虫在实验室条件下, 它们对大蜡螟的侵染力逐代下降 (未发表结果), 在蛴螬的生测实验中选用的 *Osccheius* spp. 线虫是经过逐代培养后致病力最高的

6 份。Khatri 等 (2011) 的研究表明, 不同龄期的金龟幼虫对线虫的敏感性和抵抗能力不同, 3 龄幼虫较 2 龄幼虫具有更强的免疫力, 因此本次研究选用 2 龄幼虫进行测定。本次研究结果表明, 6 份 *Osccheius* spp. 线虫、*S. carpocapsae* 和 *H. bacteriophora* 对金龟幼虫均有一定的致病力。其中云南品系 YN93 (*Osccheius* sp. 1) 对金龟幼虫的致病力高于 *H. bacteriophora*, 说明本土线虫确实更适合云南环境。David 等 (2012a) 的研究也表明, 本土线虫对本土环境适应性强, 将更有利于线虫在土壤中定居和发挥持续性作用。但由于影响线虫应用效果的因素除受其本身特性决定的内因影响之外, 环境条件对于线虫防治效果的影响也较大, 如土壤温湿度、土壤质地、天敌和太阳辐射等 (刘树森等, 2010; David *et al.*, 2012b)。因此, 为了更好地防治蛴螬, 下一步应开展田间实验, 验证 YN93 (*Osccheius* sp. 1) 在大田中的防治效果。

另外, 鉴于大蜡螟诱集法只能诱捕一些寄主非专一性线虫和以鳞翅目作为寄主的线虫, 因此有必要考虑用鞘翅类及双翅类等昆虫作为诱集虫, 收集寄主专一性的昆虫线虫 (谷黎娜, 2008)。采用多种寄主昆虫进行昆虫线虫诱捕, 有利于相应昆虫的针对性防治, 希望今后能够加强此方面的工作。

参考文献 (References)

- Bedding RA, Akhurst RJ. A simple technique for the detection of insect parasitic rhabditidae nematodes in soil [J]. *Nematologica*, 1975, 21: 109–110.
- Bedding RA. Logistics and strategies for introducing entomopathogenic nematode technology into developing countries. In: *Entomopathogenic Nematodes in Biological Control* [M]. 1990, 233–46.
- Chen SL, Li XH, Shi JH. Occurrence of entomopathogenic nematodes in Hebei Province [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2006, 1: 40–44. [陈书龙, 李秀花, 史均环. 河北省昆虫病原线虫资源调查 [J]. *中国生物防治*, 2006, 1: 40–44]
- David I, Shapiro – Ilan, Richou, *et al.* Entomopathogenic nematode production and application technology [J]. *Journal of Nematology*, 2012a, 44 (2): 206–217.
- David I. Shapiro – Ilan, Denny J, *et al.* Principles of epizootiology and microbial control. In: *Insect Pathology* [M]. 2012b: 29–72.
- Edwin EL, David JC. Nematode parasites and entomopathogens. In: *Insect Pathology* [M]. 2012: 395–424.
- Guo W, Yan X, Zhao C, *et al.* Efficacy of entomopathogenic *Steinernema* and *Heterorhabditis* nematodes against White grubs (Coleoptera: Scarabaeidae) in peanut fields [J]. *Journal of*

- Economic Entomology*, 2013, 106 (3): 1112–1117.
- Guo W, Yan X, Zhao G, *et al.* Efficacy of entomopathogenic *Steinernema* and *Heterorhabditis* nematodes against *Holotrichia oblita* [J]. *Journal of Pest Science*, 2014, 88 (2): 359–368.
- Garcia PF, Palomo A. Natural occurrence of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae and Heterorhabditidae) in Spanish soils [J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 1996, 68 (1): 84–90.
- Griffin CT, O'Callaghan KM, Dix L. A self-fertile species of *Steinernema* from Indonesia: Further evidence of convergent evolution amongst entomopathogenic nematodes [J]. *Parasitology*, 2001, 122 (2): 181–186.
- Gu LN. Fauna of Entomopathogenic Nematodes and Biology of its Fine Strains in Gansu Province [D]. Gansu Agricultural University, 2008. [谷黎娜. 甘肃省昆虫病原线虫区系及优良品系生物学特性研究 [D]. 甘肃农业大学, 2008]
- Hatting J, Patricia SS, Hazir S. Diversity and distribution of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae, Heterorhabditidae) in South Africa [J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2009, 102 (2): 120–128.
- Koshel EI, Aleshin VV, Eroshenko GA, *et al.* Phylogenetic analysis of entomoparasitic nematodes, potential control agents of flea populations in natural foci of plague [J]. *Biomed Research International*, 2014 (1): 135218–135218.
- Khatri-Chhetri HB, Timsina GP, Manandhar HK, *et al.* Potential of Nepalese entomopathogenic nematodes as biocontrol agents against *Holotrichia longipennis* Blanch (Coleoptera: Scarabaeidae) [J]. *Journal of Pest Science*, 2011, 84 (4): 457–469.
- Li CQ, Wang Y, Han RC, *et al.* Infection measurement of entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* All to three kinds of insect pests [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2011, 33 (4): 512–516. [李长青, 王媛, 韩日畴, 等. 昆虫病原线虫 *Steinernema carpocapsae* All 对三种害虫的致病力测定 [J]. 环境昆虫学报, 2011, 33 (4): 512–516]
- Lei LP, NanGong ZY, Li LT, *et al.* Efficacy of entomopathogenic nematodes against *Athetis lepigone* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35 (2): 171–175. [雷利平, 南宫自艳, 李立涛, 等. 昆虫病原线虫对二点委夜蛾致病力的研究 [J]. 环境昆虫学报, 2013, 35 (2): 171–175]
- Luan JB, Cong B, Wang H, *et al.* Distribution of entomopathogenic nematodes in Liaoning Province of China [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2004, 20: 97–100. [栾军波, 丛斌, 王欢, 等. 辽宁地区昆虫病原线虫分布调查 [J]. 中国生物防治, 2004, 20: 97–100]
- Li XY, Liu QZ, Tang DW. Biocontrol potential of *Caenorhabditis* sp. CNM strain discovered from the compost of *Agaricus bisporus* [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2012, 6: 1058–1063. [李星月, 刘奇志, 杨道伟. 双孢蘑菇基质中隐杆线虫 *Caenorhabditis* sp. CNM 生防潜力研究 [J]. 浙江农业学报, 2012, 6: 1058–1063]
- Liu Q, Du X, Zhang L, *et al.* Effectiveness of *Steinernema longicaudum* BPS for chafer grub control in peanut plots [J]. *Plant Protection*, 2009, 35 (6): 150–153.
- Li WF, Huang YK, Lu WJ, *et al.* The cause for rampage of underground sugarcane pests in Yunnan and its control strategies [J]. *Plant Protection*, 2008, 2: 110–113. [李文凤, 黄应昆, 卢文洁, 等. 云南甘蔗地下害虫猖獗原因及防治对策 [J]. 植物保护, 2008, 2: 110–113]
- Liu QZ, Wang WQ, Zhang LJ, *et al.* Determination on biological characteristics of nematode *Rhabditis* (*Oscieus*) sp. [J]. *Agricultural Science & Technology*, 2009, 6: 138–140. [刘奇志, 王玖琦, 张丽娟, 等. 小杆线虫 *Rhabditis* (*Oscieus*) sp. 生物学特性测定 [J]. *Agricultural Science & Technology*, 2009, 6: 138–140]
- Liu SS, Li KB, Liu CQ, *et al.* Virulence of *Heterorhabditis bacteriophora* strain Cangzhou to larvae of *Holotrichia parallela* [J]. *Plant Protection*, 2010, 5: 96–100. [刘树森, 李克斌, 刘春琴, 等. 嗜菌异小杆线虫沧州品系对暗黑鳃金龟幼虫的致病力 [J]. 植物保护, 2010, 5: 96–100]
- Malan AP, Nguyen KB, Waal JY, *et al.* *Heterorhabditis safricana* n. sp. (Rhabditida: Heterorhabditidae), a new entomopathogenic nematode from South Africa [J]. *Nematology*, 2008, 10 (2): 139–151.
- Midturi JS, Moens M, Hominick WN, *et al.* Naturally occurring entomopathogenic nematodes in the province of West-Flanders, Belgium [J]. *Journal of Helminthology*, 1996, 70: 319–327.
- Mukuka J, Strauch O, Hoppe C, *et al.* Fitness of heat and desiccation tolerant hybrid strains of *Heterorhabditis bacteriophora* (Rhabditidomorpha: Heterorhabditidae) [J]. *Journal of Pest Science*, 2010, 83 (3): 281–287.
- Pervez R, Eapen SJ, Devasahayam S, *et al.* A new species of entomopathogenic nematode *Oscieus gingeri* sp. n. (Nematoda: Rhabditidae) from ginger rhizosphere [J]. *Archives of Phytopathology & Plant Protection*, 2013, 46 (5): 526–535.
- Qian XJ, Gu LN, Xing YF, *et al.* Occurrence of entomopathogenic nematodes in Gansu Province [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2014, 03: 593–599. [钱秀娟, 谷黎娜, 邢玉芳, 等. 甘肃省昆虫病原线虫区系研究 [J]. 草地学报, 2014, 03: 593–599]
- Rosa JS, Bonifassi E, Amaral J, *et al.* Natural occurrence of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinemema, Heterorhabditis) in the azores [J]. *Journal of Nematology*, 2000, 32 (2): 215–222.
- Stock SP, Pryor BM, Kaya HK. Distribution of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) in natural habitats in California, USA [J]. *Biodiversity & Conservation*, 1999, 8 (4): 535–549.
- Shapiro DI, Leskey TC, Wright SE. Virulence of entomopathogenic nematodes to plum curculio, *Conotrachelus nenuphar*: Effects of strain, temperature, and soil type [J]. *Journal of Nematology*, 2011, 43 (3–4): 187–195.
- Toepfer S, Kurtz B, Kuhlmann U. Influence of soil on the efficacy of entomopathogenic nematodes in reducing *Diabrotica virgifera virgifera* in maize [J]. *Journal of Pest Science*, 2010, 83 (3): 257–264.

- Torrini G, Mazza G, Carletti B, et al. *Oscheius onirici* sp. n. (Nematoda: Rhabditidae): A new entomopathogenic nematode from an Italian cave [J]. *Zootaxa*, 2015, 3937 (3): 533–548.
- Wu S, Youngman RR, Kok LT, et al. Interaction between entomopathogenic nematodes and entomopathogenic fungi applied to third instar southern masked chafer white grubs, *Cyclocephala lurida* (Coleoptera: Scarabaeidae), under laboratory and greenhouse conditions [J]. *Biological Control*, 2014, 76 (3): 65–73.
- Wang MY. Yunnan agricultural situation and development [J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2006, 4: 5–9. [王孟宇. 云南农业的现状与发展思考 [J]. 云南农业科技, 2006, 4: 5–9]
- Yang HW, Chen SB. Utilization of entomopathogenic nematodes for control of forest insect pests [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 36 (6): 103–109. [杨怀文, 陈松笔. 昆虫寄生线虫与林业害虫的防治 [J]. 林业科学, 1999, 36 (6): 103–109]
- Yan X, Guo WX, Zhao GY, et al. Research advances in subtropical pest control by entomopathogenic nematodes [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (6): 1018–1024. [颜珣, 郭文秀, 赵国玉, 等. 昆虫病原线虫防治地下害虫的研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (6): 1018–1024]
- Yan X, Wang XD, Han RC, et al. Utilisation of entomopathogenic nematodes, *Heterorhabditis* spp. and *Steinernema* spp., for the control of *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera, Noctuidae) in China [J]. *Nematology*, 2014, 16 (1): 31–40.
- Yan X, Moens M, Han RC, et al. Effects of selected insecticides on osmotically treated entomopathogenic nematodes [J]. *Journal of Plant Diseases & Protection*, 2012, 119 (4): 152–158.
- Ye WM, Torres-Barragan A, Cardoza YJ. *Oscheius carolinensis* n. sp. (Nematoda: Rhabditidae), a potential entomopathogenic nematode from vermicompost [J]. *Nematology*, 2010, 12 (1): 121–135.
- Ye WM, Yu Q, Kanzaki N, et al. Characterisation of, and entomopathogenic studies on, *Pristionchus aerivorus* (Cobb in Merrill & Ford, 1916) Chitwood, 1937 (Rhabditida: Diplogastridae) from North Carolina, USA [J]. *Nematology*, 2015, 17 (5): 567–580.
- Yadav AK. Evaluation of the efficacy of three indigenous strains of entomopathogenic nematodes from Meghalaya, India against mustard sawfly, *Athalia lugens proxima* Klug (Hymenoptera: Tenthredinidae) [J]. *Journal of Parasitic Diseases*, 2012, 36 (2): 175–180.
- Zhang AB, Nangong ZY, Song P, et al. Efficacy of entomopathogenic nematodes against *Agrotis segetum* larvae [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (3): 591–597. [张安邦, 南宫自艳, 宋萍, 王勤英. 昆虫病原线虫对黄地老虎致病力的研究 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (3): 591–597]
- Zhang MC, Yin J, Li KB, et al. Research progress on the occurrences of white grub and its control [J]. *China Plant Protection*, 2014, 10: 20–28. [张美翠, 尹姣, 李克斌, 等. 地下害虫蛴螬的发生与防治研究进展 [J]. 中国植保导刊, 2014, 10: 20–28]
- Zhang SJ, Qian XJ, Li CJ, et al. Pathogenicity of entomopathogenic nematode on *Xestia c-nigrum* in soybean field [J]. *Soybean Science*, 2013, 1: 63–67. [张思佳, 钱秀娟, 李春杰, 等. 昆虫病原线虫对大豆田八字地老虎幼虫致病力的研究 [J]. 大豆科学, 2013, 1: 63–67]
- Zhang GY, Yang HW, Zhang FG, et al. Preliminary investigation of naturally occurring situation of entomopathogenic nematodes in the Beijing area [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 1992, 8 (4): 157–159. [张刚应, 杨怀文, 张蕃稿, 等. 北京地区昆虫病原线虫的自然发生情况初步调查 [J]. 生物防治通报, 1992, 8 (4): 157–159]
- Zhao GY, Guo WX, Yan X, et al. Effects of chemical insecticides used in chive fields on the survival and infectivity of entomopathogenic nematodes [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35 (4): 458–465. [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]