

剑毛帕厉螨对韭蛆捕食功能反应的研究*

周春迎^{1,2**} 张倩^{1**} 李圆圆¹ 闫毅^{1***} 谢丽霞^{1***}

(1. 山东农业大学, 泰安 271018; 2. 南京农业大学, 南京 210095)

摘要 【目的】韭菜是广受人们喜爱的蔬菜, 韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* Yang & Zhang 是近年来危害韭菜的重要根部害虫, 长期过量施用剧毒化学农药已严重影响了人们的健康和造成环境的污染, 挖掘和筛选有效防控韭蛆的天敌迫在眉睫。剑毛帕厉螨 *Stratiolaelaps scimitus* 是一种与韭蛆栖境相同的捕食性天敌螨类。目前尚未有关于剑毛帕厉螨对韭蛆的捕食功能反应的研究。【方法】测定了剑毛帕厉螨对 1 龄韭蛆的捕食作用和种内干扰对其捕食能力的影响。【结果】该螨对 1 龄韭蛆的捕食功能反应符合 Holling II 型; 随着捕食螨密度的增加, 该螨成虫间存在相互干扰作用; 其搜寻效应随猎物密度的增加而下降, 表明猎物对捕食作用的干扰较明显。【结论】剑毛帕厉螨是一种有效防治韭蛆的天敌, 有较好的应用前景。**关键词** 剑毛帕厉螨, 韭菜迟眼蕈蚊, 生物防治, 捕食功能反应, 搜寻效应, 干扰作用

Functional response of *Stratiolaelaps scimitus* to *Bradysia odoriphaga*

ZHOU Chun-Ying^{1, 2**} ZHANG Qian^{1**} LI Yuan-Yuan¹ YAN Yi^{1***} XIE Li-Xia^{1***}

(1. Shandong Agriculture University, Taian 271018, China; 2. Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China)

Abstract 【Objectives】Leeks are a popular vegetable and *Bradysia odoriphaga* has recently become an important root pest of leek crops. Long-term excessive application of highly toxic chemical pesticides has seriously affected peoples' health and caused environmental pollution. Evaluating potential biological control agents for *B. odoriphaga* is therefore both timely and important. *Stratiolaelaps Scimitus* is a predator with the same habitat as *B. odoriphaga*. A predator's functional response is a key factor in the population dynamics of predation and predation systems. Although previous studies have shown that *S. scimitus* prefers feeding on larvae of *B. odoriphaga*, there is currently no published information on the predatory functional response of *S. scimitus* to *B. odoriphaga*. 【Methods】The functional response of *S. scimitus* to *B. odoriphaga* was studied in a laboratory. 【Results】The function responses of *S. scimitus* to *B. odoriphaga* approximated the Holling II equation. There was intraspecies interference among *S. scimitus* and its search efficiency decreased as prey density increased, which suggests that *B. odoriphaga* has an obvious interference effect on *S. scimitus*. 【Conclusion】*S. scimitus* is a natural predator of *B. odoriphaga* that has potential as a biological control for this pest.

Key words *Stratiolaelaps scimitus*, *Bradysia odoriphaga*, bio-control, predatory functional responses, searching efficiency, intraspecies interference

韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* Yang & Zhang 隶属双翅目 (Diptera)、长角亚目 (Nematocera)、眼蕈蚊科 (Sciaridae) (杨集昆和张学敏, 1985), 其幼虫俗称“韭蛆”, 是百合

科、菊科、十字花科和葫芦科等蔬菜的主要害虫之一 (李红等, 2007)。该害虫虫体小、繁殖快、世代重叠严重, 危害面积广, 一般集聚于韭菜地下的鳞状茎和柔嫩的茎部, 被其危害过的韭菜叶

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金项目 (31501847); 山东省重点研发计划项目 (2016GNC110012); 山东省重大科技创新工程 (2017CXGC0207); 山东省“双一流”奖补资金资助

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: 18351009398@163.com; 743223657@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: miteyy@163.com; xielixia2006@163.com

收稿日期 Received: 2018-04-24, 接受日期 Accepted: 2018-07-05

片枯黄萎蔫,腐烂,甚至成片死亡,可造成韭菜减产 40%-60% (姚树萍和贾丽,2017)。近年来,“毒韭菜”事件频发,危及人民群众的健康和影响韭菜产业的发展。因此,亟需挖掘、筛选天敌用于生物防治韭蛆。

剑毛帕厉螨 *Stratiolaelaps scimitus* 隶属于蜱螨亚纲 (Acari)、中气门目 (Mesostigmata)、厉螨科 (Laelapidae)、下盾螨亚科 (Hypoaspidae),生存于土壤、腐殖质、枯枝落叶层等环境中,冬季无滞育期,是生物防治中应用较广的一种天敌捕食螨,用于防治温室中的西花蓟马 (Wu *et al.*, 2014; Satio and Brownbridge, 2016; Moudén *et al.*, 2017; Xie *et al.*, 2018)、蘑菇中的蕈蚊 (Castilho *et al.*, 2009; Wen *et al.*, 2017) 及葱蓟马 (Rat-Moeis, 1999)。Jess 和 Kilpatrick (2000) 在大田条件检验了剑毛帕厉螨对菌菇菇蚊的防治能力,发现通过在食用菌菌料表层菌丝化阶段释放剑毛帕厉螨,菌菇菇蚊成虫数量可减少 87%。Freire 等 (2007) 研究了剑毛帕厉螨对一种迟眼蕈蚊 *B. matogrossensis* 的控制作用,在食用菌菌料中释放剑毛帕厉螨,能将迟眼蕈蚊种群数量控制在经济阈值之下 (王梓清, 2010)。

Holling I、II、III 型功能反应模型 (Holling, 1959; Shipp and Whitfield, 1991) 可以对不同猎物种群间天敌寄生 (Yao *et al.*, 2014; 赵海燕等, 2014) 或捕食效应 (汪小东等, 2014) 进行动态评估。研究表明,剑毛帕厉螨对 1 龄韭蛆有喜食偏好性 (韩冰, 2018), 但未有文献记载剑毛帕厉螨对韭菜迟眼蕈蚊的捕食功能反应。本研究通过拟合 Holling II 型功能反应模型,明确剑毛帕厉螨对韭菜迟眼蕈蚊 1 龄幼虫的捕食功能反应和搜寻效应,为进一步评价其对韭蛆的控制能力,为今后田间释放剑毛帕厉螨提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

剑毛帕厉螨引自北京首伯农生物技术有限公司,以腐食酪螨为食物,置于江南 RXZ-500B-

LED 型光照培养箱中,设置 $(25 \pm 1) 0^{\circ}\text{C}$ 、 $80\% \pm 5\% \text{RH}$ 无光照条件下稳定培养 10 代以上,备用。

韭蛆采自德州平原县黄河涯镇的韭菜地,以韭菜鳞茎为食物,置于江南 RXZ-500B-LED 型光照培养箱中,设置 $(25 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 、 $80\% \pm 5\% \text{RH}$ 无光照条件下培养,稳定繁殖 13 代以上,选取 1 龄韭蛆用于试验。

1.2 试验装置和仪器

1.2.1 试验装置 由 3 块亚克力板、黑滤纸和 4 个燕尾夹组成,从下至上依次为亚克力板 ($40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$),润湿的黑滤纸 ($35 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$)、中间带一圆孔 ($d=10 \text{ mm}$) 的亚克力板 ($40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$)、覆盖圆孔的亚克力板 ($40 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$),周围用 4 个燕尾夹固定。

1.2.2 仪器 RXZ-1000B 型培养箱,宁波江南仪器厂;Olympus SZX10 体视显微镜,日本奥林巴斯公司。

1.3 试验方法

1.3.1 剑毛帕厉螨雌成螨的捕食功能反应 在小室中韭蛆设 5、10、15、20、25、30、35 头共 7 个密度,放入一头饥饿 24 h 的捕食螨雌成螨,24 h 后观察并记录被捕食的猎物数量,同时以不放捕食螨为对照用于矫正自然死亡率,每处理重复 10 次。

1.3.2 剑毛帕厉螨雌成螨对自身密度的干扰反应 在实验小室中放入 1 龄韭蛆 40 头,后按 1、2、3、4 头/室 4 个密度接入饥饿 24 h 的捕食螨雌成螨,24 h 后观察并记录死亡的韭蛆数量,以不放捕食螨为对照用于校正死亡率,每处理重复 10 次。

1.4 数据统计与分析

1.4.1 剑毛帕厉螨对韭蛆密度的捕食功能反应 采用 Juliano (2001) 的方法判断该捕食功能反应的类型:

$$\frac{N_e}{N_0} = \frac{\exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}{1 + \exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}$$

N_0 为供试猎物密度, N_e 为被捕食的猎物数量, 用 P_1 和 P_2 的值来确定捕食功能的类型, 当 $P_1 < 0$ 时, 表示该捕食功能反应属于 Holling II 型, 当 $P_1 > 0$, $P_2 < 0$ 时属于 Holling III 型。用 Holling II 型圆盘方程 $N_a = aN_0T/(1+aT_hN_0)$ 拟合功能反应试验, 式中 a 为瞬时攻击率, T_h 为处置 1 头猎物时间; T 为总的处理时间。其中, N_a 、 N_0 和 T 为已知量, a 、 T_h 为未知量。当 $N_0 \rightarrow \infty$ 时, N_a 值为理论最大捕食量。

1.4.2 剑毛帕厉螨自身密度对韭蛆的寻找效应的影响

天敌的寻找效应采用 $E = QP^{-m}$ (Hassell and Varley, 1969) 方程进行描述, 式中: P 为捕食者的密度; Q 为搜寻常数, m 为干扰系数。捕食作用率用 $E = N_a / (N_0 \times P)$ 拟合。分摊竞争强度公式为: $I = (E_1 - E_p) / E_1$ (邹运鼎等, 1996)。其中 E 为捕食作用率, E_1 为 1 头天敌的捕食作用率, E_p 为密度为 P 的天敌捕食作用率, I 为分摊竞争强度。将公式线性化, 用最小二乘法估算参数 Q 、 m 的值, 得出数学模型。

各模拟方程的理论值采用 SPSS 25.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 剑毛帕厉螨对韭蛆密度的捕食功能反应

剑毛帕厉螨雌成虫对韭蛆的日捕食量 (N_a) 随着韭蛆密度 (N_0) 的增大而增加, 当韭蛆密度为 25 头时, 捕食量趋于平缓 (图 1)。 P_1 为 -0.147, P_2 为 0.005, P_1 小于 0, 表明剑毛帕厉螨雌成虫对韭蛆的捕食功能反应符合 Holling II 模型 (表 1)。

表 1 剑毛帕厉螨对韭蛆迟眼蕈蚊 1 龄幼虫的捕食功能逻辑斯蒂回归参数估计

Table 1 The logistic regression parameter estimation of *Stratiolaelaps scimitus* on 1st larva of *Bradysia odoriphaga*

	P_0	P_1	P_2	P_3	R^2
系数 Coefficient	2.475	-0.147	0.005	-0.000	0.895
标准误差 Standard erreur	1.138	0.437	0.018	0.000	

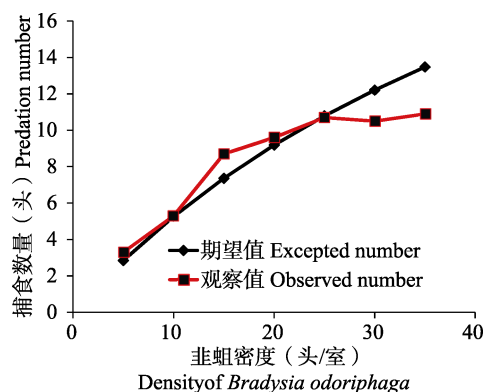


图 1 剑毛帕厉螨对韭蛆迟眼蕈蚊 1 龄幼虫捕食功能的反应曲线

Fig. 1 The fitting curve about the functional response of *Stratiolaelaps scimitus* on 1st larva of *Bradysia odoriphaga*

剑毛帕厉螨雌成虫对不同密度的 1 龄韭蛆的功能反应参数见表 2。剑毛帕厉螨捕食 1 头韭蛆所需的时间为 0.028 0 d, 瞬时攻击率 a 为 0.617 7, 日最大捕食量为 15 头/d。 R^2 为 0.998 0, 表明经实测值估算出的理论模型拟合度较高。

2.2 剑毛帕厉螨自身密度对韭蛆寻找效应的影响

天敌寻找效应是指在捕食过程中捕食者对猎物攻击的一种行为效应, 与其自身密度相关, 随着天敌数量增加, 相互间干扰作用增强, 天敌的寻找效应将降低。结果表明, 剑毛帕厉螨对韭蛆的搜寻效应随着猎物密度增加而降低 (图 2), 可见, 猎物的增加对捕食者来说存在明显的搜寻干扰作用。

随着剑毛帕厉螨自身密度的增大, 其对韭蛆的平均捕食量逐渐减少, 捕食作用率逐渐降低 (表 3, 图 3)。剑毛帕厉螨捕食韭蛆的自我干扰方程为: $E = 0.369 9P^{-0.474}$ ($Q=0.369 9$, $m=0.474$), 相关系数为 0.987 4, 表明捕食作用率与捕食者密度显著相关。剑毛帕厉螨对韭蛆的竞争均为分摊竞争, I 与 $\ln P$ 之间的关系式为 $I = 0.351 7 \ln P + 0.012 4$, 其相关系数为 0.875 8, 表明分摊竞争强度与捕食者密度显著相关, 该模型方程能够较好地描述剑毛帕厉螨捕食韭蛆过程的分摊竞争情况, 即在捕食韭蛆的过程中,

表 2 剑毛帕厉螨对韭菜迟眼蕈蚊 1 龄幼虫的功能反应参数
Table 2 The parameter values and theoretical formula of functional response of *Stratiolaelaps scimitus* on 1st larva of *Bradysia odoriphaga*

猎物密度 Density of prey	$\bar{N}_a \pm SE$	模型 Model	a	T_h	R^2	日最大捕食量 Number of maxium predation
5	3.3±0.90 (10)	$N_a = 0.6177 N_0 / (1 + 0.01728 N_0)$	0.6177	0.0280	0.9980	5
10	5.3±0.90 (10)					7
15	8.7±1.10 (10)					12
20	9.6±1.36 (10)					12
25	10.7±1.79 (10)					14
30	10.5±1.11 (10)					15
35	10.9±1.77 (10)					13

表中平均捕食量数据均为平均数±标准误。括号内为重复数。

Data (mean±SE) in the same row are average predation of predatory mites under different prey density conditions. Repeat number in the brackets.

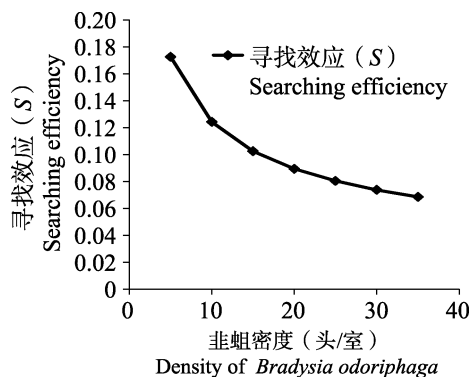


图 2 剑毛帕厉螨对韭菜迟眼蕈蚊 1 龄幼虫的寻找效应

Fig. 2 Searching efficiency of *Stratiolaelaps scimitus* on 1st larva of *Bradysia odoriphaga*

表 3 剑毛帕厉螨对韭菜迟眼蕈蚊 1 龄幼虫的捕食作用率及分摊竞争强度

Table 3 Predation rate and intensity of scrambling competition of *Stratiolaelaps scimitus* on 1st larva of *Bradysia odoriphaga*

捕食螨密度 (头/室) Density of prey (one/room)	平均捕食量 (头) Average predation (head)	捕食作用率 (E) Predation rate (E)	分摊竞争强度 (I) Shared competitive intensity
1	14.8	0.370	0.000
2	10.85	0.271	0.267
3	8.40	0.210	0.432
4	7.875	0.197	0.468



图 3 剑毛帕厉螨捕食韭菜迟眼蕈蚊 1 龄幼虫
Fig. 3 *Stratiolaelaps Scimitus* prey on 1st larva of *Bradysia odoriphaga*

剑毛帕厉螨之间存在明显的种内竞争和相互干扰作用。

3 结论与讨论

剑毛帕厉螨对韭蛆捕食能力、瞬时攻击性强，作为天敌捕食韭蛆的能力非常明显，可作为防治韭蛆的生防制剂，有较好的应用前景。

韭蛆之所以难防，主要原因是该虫栖息于土壤中，受土壤的“保护”，农药喷洒的防治效果不明显。而剑毛帕厉螨，与韭蛆栖境相同。国内外的学者对该螨的害虫防治应用做过一些研究。本研究比较了剑毛帕厉螨对不同密度韭蛆的捕食作用及剑毛帕厉螨种内干扰作用。该捕食作用

属于 Holling II 型。该模型在很多捕食螨中较常见, 例如钝绥螨对烟粉虱的捕食(杨静逸等, 2018)。

捕食功能反应是评价天敌对害虫控制效能的一项基础性研究。日捕食量、平均捕食量、瞬时攻击率和处理猎物时间之比(a/T_h), 是衡量天敌作用的重要参数, 以上参数比值越大表明对害虫的控制能力越强。剑毛帕厉螨捕食 1 龄韭蛆的最大捕食量 15 头/d, 平均捕食量能达到 14.80 头/d, 捕食 1 头韭蛆仅需 0.028 0 d, 瞬时攻击率 0.617 7。捕食速率随猎物密度的增加而增加且与猎物对捕食作用的干扰密切相关。剑毛帕厉螨随着自身密度的增大而对韭蛆的平均捕食量逐渐减少, 搜寻效应逐渐下降, 捕食作用率逐渐降低, 表明捕食者之间存在明显的分摊竞争。因此在田间释放剑毛帕厉螨时, 应调节天敌的释放密度, 以使其达到最佳防治效果。

本试验针对剑毛帕厉螨的雌成螨进行了功能反应试验, 未对雄螨和其他虫态进行试验。原因如下: 1. 雌螨寿命长, 研究其捕食能力更具有代表性; 2. 雄螨主要负责交配, 维持后代, 其个体小, 所需营养少, 1-2 头韭蛆足够其所需, 捕食量低。本试验是在室内限定条件下进行的, 不能代表在复杂的自然环境中剑毛帕厉螨的捕食能力, 捕食能力除了受猎物种类与密度的限制, 还与田间温度、湿度和天气等因子密切相关, 因此自然界中人工剑毛帕厉螨种群的建立和剑毛帕厉螨对韭蛆种群的影响尚需进一步研究。

参考文献 (References)

- Castilho RC, Moraes GJ de, Silva ES, 2009. The predatory mite *Stratiolaelaps scimitus* as a control agent of the fungus gnat *Bradysia matogrossensis* in commercial production of the mushroom *Agaricus bisporus*. *International Journal of Pest Management*, 55(3): 181–185.
- Ding YQ, 1994. *Mathematical Ecology of Insects*. Beijing: Science Press. 303–330. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 303–330.]
- Freire RAP, Moraes GJ, Silva ES, Vaz AC, Castilho RC, 2007. Biological control of *Bradysia matogrossensis* (Diptera: Sciaridae) in mushroom cultivation with predatory mites. *Experimental and Applied Acarology*, 42(2): 87–93.
- Han B, Han S, Ma Y, Song QB, Zhao WL, Wang XJ, Fan GH, 2018. The predation selectivity of *Stratiolaelaps scimitus* on *Bradysia odoriphaga* of different ages. *Vegetables*, (1): 56–59. [韩冰, 韩双, 马燕, 宋清斌, 赵文路, 王湘峻, 范广华, 2018. 剑毛帕厉螨对不同虫龄韭蛆的捕食选择性. 蔬菜, (1): 56–59.]
- Hassell MP, Varley GC, 1969. New induction population model for insect parasites and its bearing on biological control. *Nature*, 223: 1113–1137.
- Holling CS, 1959. Some characteristics of simple type of predation and parasitism. *Canadian Entomologist*, 91(7): 385–398.
- Jess S, Kilpatrick M, 2000. An integrated approach to the control of *Lycoriella solani* (Diptera: Sciaridae) during production of the cultivated mushroom (*Agaricus bisporus*). *Pest Management Science*, 56(5): 477–485.
- Juliano SA, 2001. Non-linear curve fitting: predation and functional response curves// Scheiner SM, Gurevitch J (eds.). *Design and Analysis of Ecological Experiments*, 2nd edn. Oxford: Oxford University Press. 178–216.
- Li H, Zhu F, Zhou XM, Li N, Lei CL, 2007. Biological Characteristics and Prevention of *Bradysia odoriphaga* in Watermelon Seedling. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(6): 834–836, 951. [李红, 朱芬, 周兴苗, 黎娜, 雷朝亮, 2007. 危害西瓜幼苗的韭菜迟眼蕈蚊的生物学特性及防治. 昆虫知识, 44(6): 834–836, 951.]
- Ma X, Wei DY, Zhao Q, 1996. A study on the predation effects of six spot ladybug on orange aphid. *Tillage and Cultivation*, (3): 55–57. [马骁, 韦党扬, 赵琦, 1996. 六斑月瓢虫对桔蚜捕食作用的研究. 耕作与栽培, (3): 55–57.]
- Mouden S, Sarmiento KF, Klinkhamer PGL, Leiss KA, 2017. Integrated pest management in western flower thrips: Past, present and future. *Pest Management of Science*, 73(5): 813–822.
- Rat-Morris E, 1999. Biological control of *Thrips tabaci* on protected leek seed crops. *IOBC/WPRS Bulletin*, 22: 201–204.
- Saito T, Brownbridge M, 2016. Compatibility of soil-dwelling predators and microbial agents and their efficacy in controlling soil-dwelling stages of western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Biological Control*, 92: 92–100.
- Shipp JL, Whitfield GH, 1991. Functional response of the predatory mite, *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae), on western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Environmental Entomology*, 20(2): 694–699.
- Wang XD, Zhang JH, Huang YQ, Yuan XP, He M, Li Q, Zhao YY, 2014. Predation of *Neoseiulus californicus* on *Tetranychus truncate*. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 23(2): 39–43. [汪小东, 张建华, 黄艳勤, 袁秀萍, 何淼, 李倩, 赵伊

- 英, 2014. 加州新小绥螨对截形叶螨的捕食作用. 西北农业学报, 23(2): 39–43.]
- Wang ZQ, 2010. Studies on predatory mites of *Lycoriella* sp. . Doctor dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [王梓清, 2010. 厉眼蕈蚊天敌捕食螨的研究. 博士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Wen MF, Chi H, Lian YX, Zheng YH, Fan QH, You MS, 2017. Population characteristics of *Macrocheles glaber* (Acari: Macrochelidae) and *Stratiolaelaps scimitus* (Acari: Laelapidae) reared on a mushroom fly *Coboldia fuscipes* (Diptera: Scatopsidae). *Insect Science*, DOI: 10.1111/1744-7917.12511.
- Wu PJ, Sheng CF, Gong PY, 2004. The function reaction equation and its parameter estimation of predatory insect. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41 (3): 267–269. [吴坤君, 盛承发, 龚佩瑜, 2004. 捕食性昆虫的功能反应方程及其参数的估算. 昆虫知识, 41(3): 267–269.]
- Wu S, Gao Y, Xu X, Wang E, Wang Y, Lei Z, 2014. Evaluation of *Stratiolaelaps scimitus* and *Neoseiulus barkeri* for biological control of thrips on greenhouse cucumbers. *Biocontrol Science and Technology*, 24(10): 1110–1121.
- Xie LX, Yan Y, Zhang ZQ, 2018. Development, survival and reproduction of *Stratiolaelaps scimitus* (Acari: Laelapidae) on four diets. *Systematic and Applied Acarology*, 23(4): 779–794.
- Yang JK, Zhang XM, 1985. Notes on the fragrant onion gnats with description of two new species of *Bradysia* (Sciaridae: Diptera). *Journal of Beijing Agricultural University*, 11(2): 153–157. [杨集昆, 张学敏, 1985. 韭菜蛆的鉴定迟眼蕈蚊属二新种(双翅目: 眼蕈蚊科). 北京农业大学学报, 11(2): 153–157.]
- Yang JY, Sheng FJ, Song ZW, Lu JL, Xu XN, LI DS, Wang ED, 2018. Functional responses of *Amblyseius orientalis* and *A. tsugawai* to eggs and 1st instars of *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Biological Control*, 34(2): 214–219. [杨静逸, 盛福敬, 宋子伟, 吕佳乐, 徐学农, 李敦松, 王恩东, 2018. 东方钝绥螨与津川钝绥螨对烟粉虱卵及 1 龄若虫的功能反应比较. 中国生物防治学报, 34(2): 214–219.]
- Yao H, Zheng W, Tariq K, Zhang H, 2014. Functional and numerical responses of three species of predatory phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) to *Thrips flavidulus* (Thysanoptera: Thripidae). *Neotropical Entomology*, 43(5): 437–445.
- Yao SP, Jia L, 2017. The occurrence and prevention of the larvae of *Bradysia odoriphaga*. *Northwest Horticulture (Synthesize)*, (3): 42–44. [姚树萍, 贾丽, 2017. 韭菜迟眼蕈蚊幼虫发生与防治. 西北园艺(综合), (3): 42–44.]
- Zhao HY, Zeng L, Liang GW, Lu YY, 2014. Parasitical efficiency of *Pachycrepoideus vindemmiae* Rondani on the pupae of *Bactrocera dorsalis*. *Journal of Environmental Entomology*, 36(1): 122–126. [赵海燕, 曾玲, 梁广文, 陆永跃, 2014. 蝇蛹金小蜂对桔小实蝇蛹的寄生功能反应. 环境昆虫学报, 36(1): 122–126.]
- Zhou YD, Geng JG, Chen GC, Meng QL, Wang GM, 1996. Predation of *Harmonia axyridis* nymph on *Schizaphis graminum*. *Journal of Applied Ecology*, 7(2): 197–200. [邹运鼎, 耿继光, 陈高潮, 孟庆雷, 王公明, 1996. 异色瓢虫若虫对麦三叉蚜的捕食作用. 应用生态学报, 7(2): 197–200.]