

# 剑毛帕厉螨对韭菜迟眼蕈蚊的捕食作用

韩 双, 韩 冰, 赵文路, 宋清斌, 马 燕, 王湘峻, 范广华\*

(山东省德州市农业科学研究院, 德州 253015)

**摘要** 为明确剑毛帕厉螨 *Stratiolaelaps scimitus* 对韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang 的捕食潜能, 本试验研究了剑毛帕厉螨对韭菜迟眼蕈蚊卵、1龄幼虫和2龄幼虫的捕食功能反应。结果表明:剑毛帕厉螨对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的捕食功能反应都符合 Holling II型方程, 对3种不同虫态的捕食能力大小为:1龄幼虫>卵>2龄幼虫;对三者的理论日最大捕食量分别为18.76头、16.05粒和2.27头。对韭菜迟眼蕈蚊卵及1、2龄幼虫的寻找效应都随猎物密度的增加而降低;在0~3 h对卵和1龄幼虫捕食量最大, 捕食速率也最高, 在3~6 h对2龄幼虫的捕食量和速率最高。

**关键词** 剑毛帕厉螨; 韭菜迟眼蕈蚊; 功能反应; 捕食速率

中图分类号: S 476 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2017269

## Predation of *Bradysia odoriphaga* by *Stratiolaelaps scimitus*

HAN Shuang, HAN Bing, ZHAO Wenlu, SONG Qingbin, MA Yan, WANG Xiangjun, FAN Guanghua

(Dezhou Academy of Agricultural Sciences, Shandong 253015, China)

**Abstract** To identify the predation potential of *Bradysia odoriphaga* by *Stratiolaelaps scimitus*, the functional response of *S. scimitus* to three stages (egg, first-instar and second-instar larvae) of *B. odoriphaga* was examined. The results showed that the predation fitted well with Holling II type, and the control ability of *S. scimitus* to the three stages of *B. odoriphaga* was: first-instar larva>egg>second-instar larvae; the maximum potential predacious abilities were 18.76, 16.05 and 2.27, respectively, and the searching efficiency decreased with increasing prey density. In 0-3 h, the predation rates for eggs and first-instar larvae were significantly higher than in other times, and that for the second-instar larvae was the highest in 3-6 h.

**Key words** *Stratiolaelaps scimitus*; *Bradysia odoriphaga*; functional responses; predation rate

韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang 属双翅目, 长角亚目, 眼蕈蚊科, 迟眼蕈蚊属, 其幼虫俗称韭蛆<sup>[1]</sup>。韭蛆取食范围广, 可为害百合科、十字花科、葫芦科等7科30多种蔬菜的地下嫩茎、主根和其地面附近的皮下组织等, 是一种重要的蔬菜害虫<sup>[2-3]</sup>。生产中韭蛆的防治以施用化学农药灌根为主, 生产者为了达到良好的防治效果, 往往使用大量毒性较高的农药<sup>[4]</sup>, 造成产品和环境的污染<sup>[5]</sup>, 食用韭菜中毒现象时有发生。在施药过程中还存在连续使用同种或作用机制相同的农药或者随意增加使用浓度的现象, 造成韭蛆的抗药性增强。

剑毛帕厉螨 *Stratiolaelaps scimitus* 属于蜱螨亚纲 Acari 厉螨科 Laelapidae 下盾螨属 *Hypoaspis*, 是一种捕食性螨类<sup>[6]</sup>, 被广泛应用于昆虫防治

中。剑毛帕厉螨有较强的捕食能力, 在国外已被商品化生产<sup>[7]</sup>, 用于控制食用菌上发生的双翅目害虫、腐食酪螨 *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) 等有害生物, 效果显著<sup>[8]</sup>。剑毛帕厉螨还可捕食蕈蚊幼虫、蓟马蛹和幼虫、线虫、叶螨、跳甲、粉蚧等<sup>[9-10]</sup>, 但对韭菜迟眼蕈蚊的捕食功能研究尚未见报道。

本研究开展了剑毛帕厉螨对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的捕食功能反应模型、寻找效应及捕食速率的研究, 以期为正确评价剑毛帕厉螨对韭菜迟眼蕈蚊的捕食作用和进一步在田间利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 供试虫源

剑毛帕厉螨: 中国农业科学院植物保护研究所

收稿日期: 2017-07-24 修订日期: 2018-01-03

基金项目: 植物病虫害生物学国家重点实验室开放基金(SKLOF201520); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-24-G-12)

\* 通信作者 E-mail: guanghuafan@163.com

农业部作物有害生物综合治理重点实验室提供, 整个试验都采用成螨。

**韭菜迟眼蕈蚊:**本实验室饲养的不同虫态迟眼蕈蚊, 根据剑毛帕厉螨捕食喜好, 只选取韭菜迟眼蕈蚊卵、1 龄及 2 龄幼虫供试。

### 1.1.2 捕食试验小室

30 mm×20 mm×3 mm 塑料板(中间打一直径为 10 mm 的圆孔)及 25 mm×20 mm×1.5 mm 玻璃片若干。滤纸剪成 30 mm×30 mm。制作小室从下往上依次对齐放置玻璃片、滤纸、打孔塑料板, 玻璃片, 两端用大小合适的燕尾夹固定好, 中间形成的空腔即为捕食试验小室。滤纸的一侧与塑料板齐平, 另一侧露出一部分。将保鲜盒内放入吸了水的海绵, 捕食小室平放在海绵上, 这样露出的滤纸边缘可以吸收水分, 保持小室湿润。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 剑毛帕厉螨对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的捕食功能反应

试验在捕食试验小室中进行, 小室内单独放入迟眼蕈蚊卵、1 龄和 2 龄幼虫, 每个虫态设置梯度为 1、3、5、10、15、20 头/小室, 每个小室放入 1 头饥饿 24 h 的剑毛帕厉螨成螨, 同时每个梯度都设置只放对应虫态的韭菜迟眼蕈蚊作为对照, 以明确迟眼蕈蚊在无捕食者的情况下的死亡情况。小室放于温度 25℃、RH85% 的培养箱中, 24 h 后观察捕食韭菜迟眼蕈蚊的数量, 每个处理重复 10 次。

### 1.2.2 剑毛帕厉螨对韭菜迟眼蕈蚊各虫态在 24 h 内的捕食速率测定

试验在捕食试验小室中进行, 根据上述试验得出的理论日最大捕食量, 小室内分别放入多于日最大捕食量的韭菜迟眼蕈蚊卵 20 粒、1 龄幼虫 20 头、

2 龄幼虫 20 头, 每个小室放入 1 头饥饿 24 h 的剑毛帕厉螨, 同时以只放韭菜迟眼蕈蚊作为对照, 以明确迟眼蕈蚊在无捕食者情况下的死亡情况。小室放于 25℃、RH85% 的培养箱中, 分别在 1、3、6、12、18、24 h 后观察捕食量, 每个处理重复 10 次。

### 1.3 数据处理

计算死亡率: 死亡率 = 捕食韭菜迟眼蕈蚊数 / 韭菜迟眼蕈蚊初始数量 × 100%, 结果应用 DPS 7.05 数据处理系统处理, 差异性分析采用邓肯氏新复极差(DMRT)法。

数据采用 Holling II 型圆盘方程进行拟合:  $N_a = aT_i N / (1 + aT_h N)$ , 式中  $N_a$  为被捕食猎物的数量;  $a$  为攻击系数;  $T_i$  为捕食螨可利用于发现猎物的时间, 即试验持续时间, 本试验中  $T_i = 1$  d;  $N$  为猎物的初始数量;  $T_h$  为处置 1 头猎物所需的时间; 当  $N \rightarrow \infty$  时,  $1/T_h$  为理论每日最大捕食量。

寻找效应估计方程:  $S = a / (1 + aT_h N)$ ,  $S$  为寻找效应, 其他参数同上。

## 2 结果与分析

### 2.1 剑毛帕厉螨对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的捕食功能反应

#### 2.1.1 剑毛帕厉螨对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的捕食量及功能反应模型

表 1 和图 1 为剑毛帕厉螨对各虫态不同密度韭菜迟眼蕈蚊的日捕食量及猎物死亡率, 可以看出, 在不放入猎物的对照处理中, 韭菜迟眼蕈蚊都没有死亡现象, 说明放入猎物是引起迟眼蕈蚊死亡的唯一因素。剑毛帕厉螨的捕食量随韭菜迟眼蕈蚊密度的增大而增大, 当猎物密度达到 10~15 头时, 捕食量增大速率开始变缓。

表 1 剑毛帕厉螨对各虫态不同密度韭菜迟眼蕈蚊的日捕食量和死亡率

Table 1 Predacious numbers and mortality of *Bradysia odoriphaga* at different stages and different densities by *Stratiolaelaps scimitus*

猎物 密度/头 Density	卵 Egg		1 龄幼虫 First instar larva		2 龄幼虫 Second instar larva	
	捕食数量/头 Predacious number	猎物死亡率/% Mortality	捕食数量/头 Predacious number	猎物死亡率/% Mortality	捕食数量/头 Predacious number	猎物死亡率/% Mortality
1	1.0	100.00 aA	1.0	100.00 aA	1.0	100.00 aA
3	3.0	100.00 aA	3.0	100.00 aA	1.0	37.04 bB
5	4.6	91.11 bA	5.0	100.00 aA	1.5	31.11 bcBC
10	6.6	65.56 cB	7.0	70.00 bB	3.2	34.44 bcBC
15	6.8	45.19 dC	7.2	47.41 cC	3.4	23.70 cdBC
20	7.2	35.56 eC	7.4	36.67 dD	3.8	18.33 dC
CK	—	0 fD	—	0 eE	—	0 eD

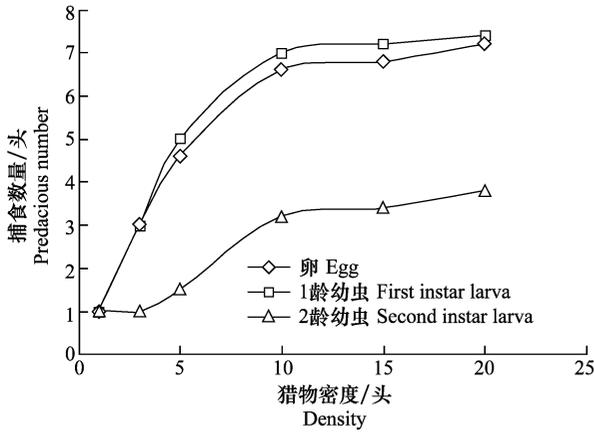


图 1 剑毛帕厉螨对各虫态韭菜迟眼蕈蚊捕食量

Fig. 1 Predacious numbers of *Bradysia odoriphaga* at different stages by *Stratiolaelaps scimitus*

表 2 剑毛帕厉螨对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的功能反应模型及参数

Table 2 Equation and parameters of predatory functional response of *Stratiolaelaps scimitus* to *Bradysia odoriphaga* at different stages

猎物虫态 Stage of prey	猎物密度 Density	$N_a$ (Mean±SD)	功能反应模型 Functional response equation	a	$T_h$	$1/T_h$
卵 Egg	1	1±0.21	$N_a=1.084\ 1N/(1+0.067\ 5N)$ $\chi^2=0.753\ 8$	1.084 1	0.062 3	16.05
	3	3±0.21				
	5	4.6±0.22				
	10	6.6±0.22				
	15	6.8±0.29				
1龄幼虫 First instar larva	20	7.2±0.29	$N_a=1.073\ 5N/(1+0.057\ 2N)$ $\chi^2=1.118\ 1$	1.073 5	0.053 3	18.76
	1	1±0.21				
	3	3±0.30				
	5	5±0.26				
	10	7±0.30				
2龄幼虫 Second instar larva	15	7.2±0.20	$N_a=1.317\ 3N/(1+0.484\ 8N)$ $\chi^2=1.890\ 6$	1.317 0	0.368	2.72
	20	7.4±0.22				
	1	1±0.21				
	3	1±0.21				
	5	1.5±0.17				
	10	3.2±0.33				
	15	3.4±0.31				
	20	3.8±0.36				

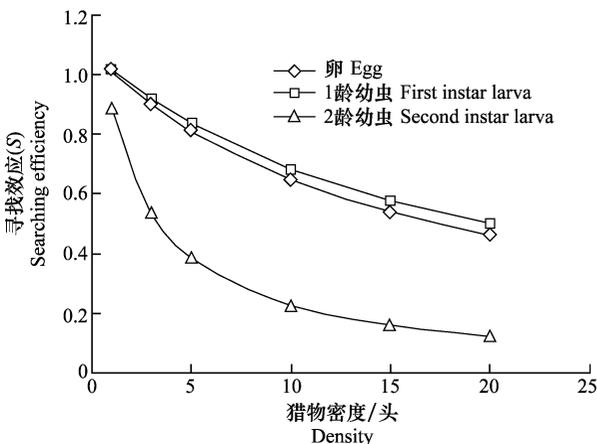


图 2 剑毛帕厉螨对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的寻找效应  
Fig. 2 Searching efficiency of *Stratiolaelaps scimitus* for *Bradysia odoriphaga* at different stages

表 2 为剑毛帕厉螨对韭菜迟眼蕈蚊卵、1 龄幼虫、2 龄幼虫的捕食作用拟合结果, 对表中各方程进行卡方检验, 得出  $\chi^2$  为 0.753 8~1.890 6,  $\chi^2 < \chi^2_{(0.05,4)} = 9.488$ , 表明理论值与观测值差异不显著, 拟合的 Holling II 型圆盘方程可以较好地描述试验数据。剑毛帕厉螨对韭菜迟眼蕈蚊卵的理论日最大捕食量 ( $1/T_h$ ) 是 16.05 粒, 对 1 龄幼虫的理论日最大捕食量为 18.76 头, 对 2 龄幼虫的理论日最大捕食量为 2.72 头。

### 2.1.2 剑毛帕厉螨对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的寻找效应

根据功能反应参数 a、 $T_h$  计算剑毛帕厉螨对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的寻找效应 (S), 如图 2 可知, 剑毛帕厉螨对这三种虫态韭菜迟眼蕈蚊的寻找效应都随猎物密度的增加而降低。

## 2.2 剑毛帕厉螨对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊在 24 h 内的捕食速率测定

### 2.2.1 剑毛帕厉螨对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊 24 h 内不同时段的捕食结果

剑毛帕厉螨在 24 h 内不同时段对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的捕食结果见表 3, 可以看出, 不同时间段之间的捕食量差异比较大, 通过表内数据计算得出剑毛帕厉螨成螨对韭菜迟眼蕈蚊卵捕食量的模型为  $N_a = 20 / (1 + e^{-0.091\ 02t + 2.362\ 6})$ , 对 1 龄幼虫捕食量的模型为  $N_a = 20 / (1 + e^{-0.083\ 9t + 2.180\ 3})$ , 对 2 龄幼虫捕食量的模型为  $N_a = 20 / (1 + e^{-0.117\ 1t + 4.082\ 5})$ , 式中  $N_a$  为起始时间第  $i$  小时的累计捕食量,  $t$  为第  $i$  小时,  $k$  为 20。

表 3 剑毛帕厉螨 24 h 内对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的捕食量

Table 3 Predacious numbers of *Bradysia odoriphaga* at different stages by *Stratiolaelaps scimitus* in 24 hours

时间/h Time	卵 Egg		1 龄幼虫 First instar larva		2 龄幼虫 Second instar larva	
	$N_a$ (Mean±SD)	$\ln(k-N_a)/N_a$	$N_a$ (Mean±SD)	$\ln(k-N_a)/N_a$	$N_a$ (Mean±SD)	$\ln(k-N_a)/N_a$
1	(0.9±0.23)eD	3.06	(1.2±0.13)eE	2.75	(0.2±0.13)dD	4.60
3	(2.5±0.27)dC	1.95	(2.8±0.25)dD	1.82	(0.4±0.16)dD	3.89
6	(4.2±0.42)cB	1.32	(4.3±0.30)cC	1.30	(1.4±0.16)cC	2.59
12	(6.3±0.43)bA	0.78	(6.6±0.27)bB	0.71	(1.7±0.26)cC	2.38
18	(6.8±0.45)abA	0.66	(7.1±0.28)aAB	0.60	(2.5±0.22)bB	1.95
24	(7.2±0.29)aA	0.58	(7.4±0.22)aA	0.53	(3.4±0.31)aA	1.59

### 2.2.2 剑毛帕厉螨 24 h 内对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的捕食速率

剑毛帕厉螨 24 h 内对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的捕食速率结果见表 4, 对卵和 1 龄幼虫的捕食量和捕食速率变化规律大体相同, 都是在 0~3 h 时间段捕食量最大, 捕食速率也最高; 6~12 h 时间段捕

食量次之, 应该是捕食螨在这个时段再次饥饿引起。而对 2 龄幼虫在 0~3 h 捕食量和速率都较低, 最高捕食量和速率是出现在较晚的 3~6 h 这个时间段。2 龄幼虫和 1 龄幼虫相比, 总体被捕食量较少, 但是在后期, 2 龄幼虫被捕食量和速率大于 1 龄幼虫。

表 4 剑毛帕厉螨 24 h 内对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的捕食速率

Table 4 Predacious rate of *Bradysia odoriphaga* at different stages by *Stratiolaelaps scimitus* in 24 hours

时间/h Time	卵 Egg		1 龄幼虫 First instar larva		2 龄幼虫 Second instar larva	
	$N_a$ (Mean±SD)	V	$N_a$ (Mean±SD)	V	$N_a$ (Mean±SD)	V
0~3	2.5±0.27	0.830	2.8±0.25	0.93	0.4±0.16	0.13
3~6	1.7±0.34	0.570	1.5±0.22	0.50	1±0	0.33
6~12	2.1±0.23	0.350	2.3±0.15	0.38	0.3±0.21	0.05
12~18	0.5±0.17	0.083	0.5±0.17	0.08	0.8±0.20	0.13
18~24	0.4±0.16	0.067	0.3±0.15	0.05	0.9±0.28	0.15

## 3 讨论

本试验表明: 剑毛帕厉螨对韭菜迟眼蕈蚊具有捕食能力, 功能反应符合 Holling II 型方程, 剑毛帕厉螨的捕食量随韭菜迟眼蕈蚊密度的增加而增大, 当猎物密度达到 10~15 头时, 捕食量增大速率开始变缓, 对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的捕食能力大小为: 1 龄幼虫 > 卵 > 2 龄幼虫。

天敌对害虫种群的寻找效应是捕食者在捕食过程中对寄主攻击的一种行为特征, 寻找效应的高低不仅关系到对害虫种群的抑制作用的大小, 而且关系到天敌自身种群在自然界的繁盛程度<sup>[1]</sup>。剑毛帕厉螨对韭菜迟眼蕈蚊卵和 1、2 龄幼虫的寻找效应都随猎物密度的增加而降低, 而受自身密度的影响有待于进一步研究。

研究剑毛帕厉螨在室温下 24 h 内对韭菜迟眼蕈蚊的捕食速率, 对卵和 1 龄幼虫捕食速率最快是第一个时间段(0~3 h), 而对 2 龄幼虫捕食速率最快则是第二个时间段(3~6 h), 可能是因为 2 龄幼虫表皮较厚, 捕食难度大, 也可进一步解释对 2 龄幼虫捕食数量较少这个现象。

研究捕食螨对韭菜迟眼蕈蚊的捕食功能对利用天敌防治该害虫具有重要意义, 虽然现阶段只是在实验室证明了具有捕食功能, 但这是田间自然环境下广泛利用的基础。本试验未对剑毛帕厉螨自身干扰反应和在不同温度下的捕食能力进行研究, 另外, 在自然条件下, 环境因子的影响也比较复杂, 因此建议继续在改变其他环境因子的条件下进行深入研究, 以期提供防治韭菜迟眼蕈蚊的有效方法。

## 参考文献

- [1] 杨集昆, 张学敏. 韭菜蛆的鉴定迟眼蕈蚊属二新种(双翅目: 眼蕈蚊科)[J]. 北京农业大学学报, 1985, 11(2): 153-157.
- [2] 冯慧琴, 郑方强. 韭蛆发生规律及防治研究[J]. 山东农业大学学报, 1987, 18(1): 71-80.
- [3] 陈浩, 王玉涛, 周仙红, 等. 韭菜迟眼蕈蚊生物防治研究现状与展望[J]. 山东农业科学, 2016, 48(3): 158-161.
- [4] 张思佳, 许艳丽, 潘凤娟. 韭菜迟眼蕈蚊研究进展[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(S1): 82-84.
- [5] 尹怀富, 王秀峰. 地下滴灌对韭蛆发生和韭菜产量的影响[J]. 山东农业科学, 2006(1): 54-56.
- [6] 王梓清, 王伯明, 胡小叶, 等. 温湿度对剑毛帕厉螨生长发育的影响[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(6): 1039-1043.

分, 这些除草剂都有各自不同的杀草谱, 但是没有一种除草剂、甚至除草剂复配组合能够对本文调查中的所有杂草具有高活性。杂草多样性意味着不同田块具有不同的草相, 需要不同的化学除草剂策略体系。这对于马铃薯种植农户而言是艰难的选择。此外, 不同杂草种类具有不同的生态习性<sup>[12, 16-17]</sup>, 因而对非化学杂草防控措施而言, 也有不同的适应性。

另一方面, 杂草种类多样性丰富对于马铃薯田可持续生产带来机遇。例如, 当马铃薯遭遇严重生物灾害或者非生物灾害时, 我们可以从伴生杂草中找到一些独特的抗逆性, 并利用现代分子生物学技术手段, 挖掘相应的功能基因, 用于作物遗传育种。此外, 马铃薯田杂草种类多样性是生物多样性的重要组成部分, 对于马铃薯田病虫害综合防控具有潜在的正面利用价值。越来越多的研究表明维持农田生态系统的杂草多样性对于农作物可持续生产具有正面意义<sup>[18]</sup>。

海拔高度对气候的影响巨大, 进而对杂草群落结构具有明显的影响。本研究发现贵州不同地区马铃薯田杂草群落结构表现出较大的差异, 与刘维曄等研究结果相似<sup>[19]</sup>。例如, 位于低海拔地区的习水县马铃薯田表现出马兰单种优势的现象, 而在海拔较高的水城县(1 825 m)调查样田中, 优势种主要为粗毛牛膝菊、卷茎蓼、马唐。此外, 前茬为禾本科作物(玉米、高粱)或者阔叶类作物(白菜、荞麦)对所调查马铃薯田杂草群落结构的影响相对较小, 例如杂草群落类群 3 相关的马铃薯田前茬作物包括玉米、白菜、荞麦。为准确阐明马铃薯田杂草群落结构与生态、地理、农作措施等因子的关系, 今后宜进一步展开调查研究, 在空间和时间两个维度上持续积累相关数据。此外, 针对贵州马铃薯田, 研究区域特色恶性杂草的成灾机制和防控技术等工作也亟待开展。

## 参考文献

- [1] 黄冲, 刘万才, 刘家骧, 等. 中国马铃薯晚疫病监测与防控[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017: 3.
- [2] 徐建飞, 金黎平. 马铃薯遗传育种研究: 现状与展望[J]. 中国
- [3] 唐建锋, 苏跃, 焦明姚等. 贵州省马铃薯晚疫病数字化监测预警系统建设与应用[J]. 耕作与栽培, 2014(5): 47-48.
- [4] 江锡瑜, 杨力, 杨昌达, 等. 贵州马铃薯品种现状及合理布局研究[J]. 种子, 2008, 27(6): 65-71.
- [5] 梁玉娥, 宾光华, 黄主龙, 等. 冬植马铃薯田杂草种类调查[J]. 广西植保, 2015, 28(2): 25-26.
- [6] 叶文斌. 甘肃省西和县马铃薯田间杂草调查及其防治技术[J]. 生物灾害科学, 2015, 38(4): 328-332.
- [7] 王亚洲. 黑龙江省马铃薯田杂草种类及其化学防除[J]. 中国马铃薯, 2005, 19(4): 232-233.
- [8] 谢春晖, 李存桂. 湟中县马铃薯田间杂草发生及防除技术[J]. 植物保护, 2016, 43(2): 34-35.
- [9] 张玉慧, 康爱国, 赵志英, 等. 冀西北马铃薯田杂草群落分布及防控对策[J]. 杂草科学, 2014, 32(2): 10-13.
- [10] 陈国奇, 冯莉, 田兴山. 广东中部地区高温季节蔬菜田杂草群落特征[J]. 生态科学, 2015, 34(5): 115-121.
- [11] 张金屯. 数量生态学(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 73.
- [12] 郭水良, 李扬汉. 农田杂草生态位研究的意义及方法探讨[J]. 生态学报, 1998, 18(5): 496.
- [13] MENG Jie, LI Lijun, LIU Haitao, et al. Biodiversity management of organic orchard enhances both ecological and economic profitability [J]. PeerJ, 2016: 4e2137.
- [14] CHEN Guoqi, ZHANG Chaobin, MA Ling, et al. Biotic homogenization caused by the invasion of *Solidago canadensis* in China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(5): 835-845.
- [15] CHEN Guoqi, HE Yunhe, QIANG Sheng. Increasing seriousness of plant invasions in croplands of eastern China in relation to changing farming practices: A case study [J]. PLoS ONE, 2013, 8: e 74136.
- [16] 陈国奇, 冯莉, 田兴山. 不同控草措施对高温季节华南地区蔬菜田杂草群落的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(22): 7444-7453.
- [17] 陈国奇, 郭水良, 印丽萍. 外来入侵植物学性状和环境因子间关系的典范对应分析[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2008, 34(5): 571-577.
- [18] CIERJACKS A, POMMERANZ M, SCHULZ K, et al. Is crop yield related to weed species diversity and biomass in coconut and banana fields of northeastern Brazil? [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2016, 220: 175-183.
- [19] 刘维曄, 王杰, 王勇, 杨帆. 三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异[J]. 生态学报, 2012, 32(17): 5454-5466.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 113 页)

- [7] 兰清秀. 福建食用菌螨类调查及原毛绥螨个体发育形态学研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [8] 王梓清, 刘杨曦, 陈宏, 等. 剑毛帕厉螨与黔下盾螨种间相残的研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(4): 862-867.
- [9] FREIRE R A P, MORAES G J, SILVA E S, et al. Biological control of *Bradysia matogrossensis* (Diptera: Sciaridae) in mushroom cultivation with predatory mites[J]. Experimental

and Applied Acarology, 2007, 42: 87-93.

- [10] 王梓清. 厉眼覃蚊天敌捕食螨的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [11] 丁岩钦, 兰仲雄, 陈玉平. 天敌-害虫系统中寻找效应数学建模的研究[J]. 生态学报, 1983, 3(2): 141-147.

(责任编辑: 田 喆)