

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2019.04.014

# 普通肉食螨对粗脚粉螨的捕食功能研究

孙为伟<sup>1,2</sup>, 贺培欢<sup>1</sup>, 曹 阳<sup>1</sup>, 唐培安<sup>2</sup>, 伍 祎<sup>1</sup>

(1. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 粮食储运国家工程实验室, 北京 100037; 2. 南京财经大学 食品科学与工程学院, 江苏高校粮油质量安全控制及深加工重点实验室, 江苏 南京 210023)

**摘要:** 普通肉食螨广泛分布于粮库及仓储场所, 是理想的天敌资源, 对害螨及储粮害虫的卵和低龄幼虫有很好的防治潜能。为明确普通肉食螨对害螨的防控能力, 以粗脚粉螨为对象, 研究普通肉食螨原若螨、后若螨、雌成螨三种螨态对粗脚粉螨卵、幼螨、若螨和成螨的捕食功能反应。结果表明, 普通肉食螨三种螨态对粗脚粉螨各螨态的功能反应均属于 Holling II型, 普通肉食螨三种螨态中, 雌成螨对粗脚粉螨卵、幼螨、若螨和成螨的攻击能力最强, 攻击系数分别是 0.913、1.030、1.017 和 0.989; 普通肉食螨喜食粗脚粉螨幼螨, 最大捕食效能为 42.436 头/d; 在捕食能力方面, 除粗脚粉螨卵以外, 普通肉食螨对粗脚粉螨的捕食能力大小均为: 雌成螨>后若螨>原若螨, 普通肉食螨对粗脚粉螨具有很好的防治潜能。本研究为普通肉食螨防治储粮害螨奠定了基础参数, 为进一步应用普通肉食螨控制害虫害螨提供参考。

**关键词:** 普通肉食螨; 粗脚粉螨; 功能反应; 生物防治

**中图分类号:** S379.5    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1007-7561(2019)04-0073-05

## Study on predatory function of *Cheyletuseruditus* (Schrank) on *Acarussiro* (Linnaeus)

SUN Wei-wei<sup>1,2</sup>, HE Pei-huan<sup>2</sup>, CAO Yang<sup>2</sup>, TANG Pei-an<sup>1</sup>, WU Yi<sup>2</sup>

(1. National Engineering Laboratory of Grain Storage and Logistics, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037; 2. College of Food Science and Engineering, Key Laboratory of Grain & Oil Quality Safety Control and Deep Processing of Jiangsu Universities, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing Jiangsu 210023)

**Abstract:** *Cheyletuseruditus* (Schrank) is widely existed in grain depots and warehouse, which is an ideal natural enemy resources with control potential against pests and mites, especially for eggs and young larvae. In order to evaluate its biological control potential to *Acarussiro* (Linnaeus), functional response analyses were conducted of three *C. eruditus* stages, protonymph, deutonymph and female adult to four *Acarussiro* stages, eggs, larvae, nymphs and adult. The results showed that the predation function of *C. eruditus* protonymphs, deutonymphs and female adult all belonged to the Holling type to four stages of *Acarussiro*. The predation ability of female adult was the highest, and its attacking efficiency on different stages of *Acarussiro* was 0.913 (egg), 1.030 (larva), 1.017 (deutonymph), 0.989 (adult) respectively. The female adult of *C. eruditus* preferred to the larvae, with the maximum predatory efficiency 42.436 larvae per day. In terms of the predatory capacity of *C. eruditus* to *Acarussiro*, female

收稿日期: 2019-03-15

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0401004-2)

作者简介: 孙为伟, 女, 1994 年出生, 硕士.

通讯作者: 伍祎, 女, 1980 年出生, 副研究员.

adult showed the highest potential in preying different stages of *Acarussiro* except for the eggs, then was deutonymph. *C.eruditus* was the mostpotential native Phytoseiid species that might be used in *Acarussiro* control. This study laid a foundation parameter for the control of stored grain pest and mites by *C. eruditus*, and provided a reference for the further application of *C. eruditus* to control pest insects and mites.

**Key words:** *Cheyletuseruditus* (Schrank); *Acarussiro* (Linnaeus); functional response; biological control

普通肉食螨 *Cheyletus eruditus* (Schrank) 隶属于蜱螨亚纲 Acari、肉食螨科 Cheyletidae, 是我国储粮中常见的一种捕食螨, 能捕食粉螨、叶螨和储粮害虫的卵及低龄幼虫等<sup>[1-2]</sup>。粗脚粉螨 *Acarus siro* (Linnaeus) 隶属于蛛形纲 Arachnida、真螨目 Acariformes、粉螨科 Acaridida, 是世界性仓储物品重要害螨之一<sup>[3]</sup>。该螨喜食谷物的胚芽部分, 使谷物的营养价值和发芽率明显下降<sup>[4-5]</sup>, 是为害我国储粮的一种常见害螨, 在粮库、面粉及食品加工厂等环境中经常发生, 能引起慢性哮喘、粉螨性皮炎皮疹, 同时可导致肺螨病、肠螨病等<sup>[6-9]</sup>。

目前, 我国对粗脚粉螨的防控主要是通风干燥、熏蒸剂及高效低毒的杀虫剂<sup>[10]</sup>。然而由于化学熏蒸剂不合理使用, 导致害螨害虫产生抗药性, 防治难度日趋增大。捕食螨作为一类粮库和仓储场所潜在的生防天敌, 以其繁殖速度快、种群增长迅速及较强的捕食力等特点得到了人们广泛的重视。近年来, 在农作物上, 胡瓜新小绥螨 *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans)、巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* (Hughes)、智利小植绥螨 *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) 等已经成功应用, 对果树害螨<sup>[11]</sup>、蔬菜及花卉叶螨<sup>[12]</sup>等起到了很好的防治作用。在储粮捕食螨方面, 已经报到了马六甲肉食螨 *Cheyletus malaccensis* (Oudemans) 对害嗜鳞螨 *Lepidoglyphus destructor* (Schrank) 的捕食效应<sup>[13]</sup>, 研究了在不同温度下, 普通肉食螨对椭圆食粉螨 *Aleuroglyphus ovatus* (Zachvatkin) 及腐食酪螨 *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) 的捕食效能<sup>[14-15]</sup>, 以及普通肉食螨的饲养和对常见储粮害虫的捕食虫谱和能力<sup>[2]</sup>, 为普通肉食螨作为生物防治提供了重要的参考。

功能反应是指每个捕食者的捕食率随猎物密度而变化的反应, 由此可估计在猎物密度变化时捕食者作用的强度及其对猎物的控制效果<sup>[16]</sup>。功

能反应是评价捕食性天敌对猎物捕食能力大小的经典方法<sup>[17-18]</sup>, 了解捕食者与猎物种群之间相互关系的重要基础, 为生物防治提供依据。常见的捕食模型包括直线关系的 Holling I 型、无脊椎动物 Holling 型和脊椎动物 Holling III 型。本研究以粮库中的优势天敌种普通肉食螨为对象, 研究其对分布广泛的害螨——粗脚粉螨的捕食功能, 采用无脊椎动物 Holling 型, 通过拟合普通肉食螨不同螨态对粗脚粉螨不同螨态的捕食功能反应, 分析普通肉食螨不同螨态对粗脚粉螨捕食能力的差异, 探讨不同猎物密度、猎物不同龄期对普通肉食螨捕食能力的影响, 为普通肉食螨释放时间及释放比例提供参考, 以期更有效的服务于捕食螨的实仓应用。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

#### 1.1.1 实验试虫

试虫由国家粮食与物资储备局科学研究院培养, 试虫来源如下:

粗脚粉螨, 2014 年采集于海南海口, 以全麦粉 燕麦粉 酵母=5 5 1 均匀混合配成其饲料, 在 28℃、75%RH 的黑暗环境下进行饲养。

普通肉食螨, 2015 年采集于江西南昌, 以粗脚粉螨作为其饲料, 在 28℃、75%RH 的黑暗环境下进行饲养。

#### 1.1.2 仪器与设备

饲养器<sup>[19]</sup> (边长为 20 mm 的正方形, D<sub>上孔</sub>×D<sub>下孔</sub>=8 mm×4 mm); Memmert HPP 750 恒温恒湿培养箱; ST70 双目体视显微镜: 舜宇仪器有限公司; SB16001 电子秤: 梅特勒-托利多仪器有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 普通肉食螨对粗脚粉螨的捕食功能反应

在每个饲养器中分别接入 1 头普通肉食螨原

若螨、后若螨及雌成螨，普通肉食螨均饥饿处理 24 h，再分别加入不同密度的粗脚粉螨的卵、幼螨、若螨及成螨作为猎物。粗脚粉螨各螨态密度分别设置 6 个梯度，1、3、5、8、11、15 头/组，每个处理设置 12 个平行和 3 个对照组。实验于温度 28℃、相对湿度 (75±2)% 的全黑暗恒温恒湿培养箱中进行，24 h 后检查、记录并计算普通肉食螨对粗脚粉螨不同螨态的捕食量。

### 1.2.2 数据处理方法

实验所有数据采用 SPSS 软件进行数据统计分析，其中在 SPSS 软件中用 Holling 圆盘方程

$N_a = aN_o / (1 + aT_h N_o)$  拟合， $N_a$  为普通肉食螨对猎物的捕食量， $a$  为瞬间攻击系数， $N_o$  为猎物的初始密度， $T_h$  为普通肉食螨捕食单位猎物的时间，即为平均处理时间。

## 2 结果与分析

### 2.1 普通肉食螨对不同螨态粗脚粉螨的捕食量

普通肉食螨三种螨态对不同密度下粗脚粉螨的卵、幼螨、若螨和成螨的捕食量见图 1，随着猎物密度的增加，普通肉食螨三种螨态对粗脚粉螨卵、幼螨、若螨和成螨的捕食量均呈上升趋势。

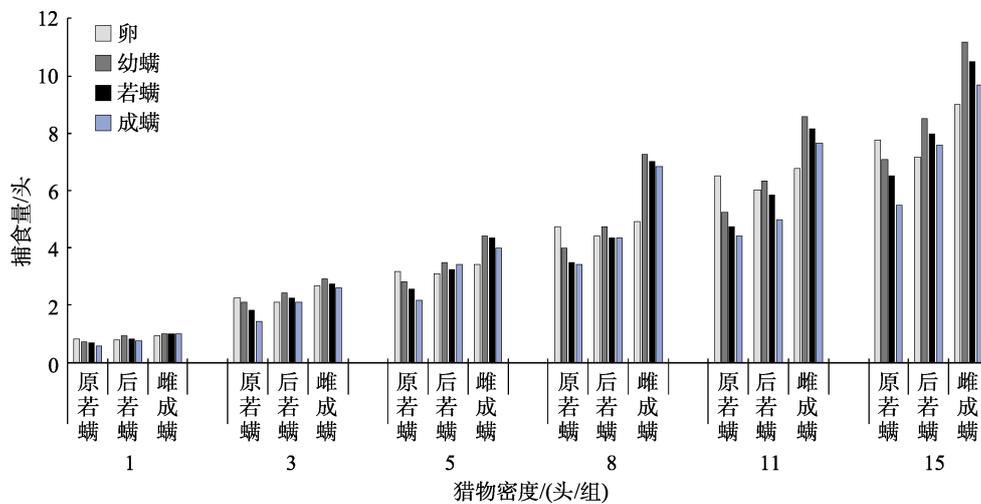


图 1 普通肉食螨对粗脚粉螨四种螨态的捕食量

在相同猎物密度下，普通肉食螨三种螨态对于粗脚粉螨幼螨、若螨和成螨的捕食量大小均为雌成螨>后若螨>原若螨；对粗脚粉螨卵的捕食量大小则为雌成螨>原若螨>后若螨，雌成螨对粗脚粉螨四种螨态的捕食量均为最大，雌成螨在设置的最大猎物密度下对粗脚粉螨卵、幼螨、若螨和成螨的日捕食量分别为 9.0、11.2、10.5、9.7 头。

在设置的六个猎物密度梯度下，普通肉食螨后若螨和雌成螨对于粗脚粉螨幼螨的捕食量均高于对粗脚粉螨其余螨态的捕食量，在最大猎物密度下，普通肉食螨后若螨和雌成螨对粗脚粉螨幼螨的日捕食量分别高达 8.5 头、11.2 头；普通肉食螨原若螨取食偏向粗脚粉螨的卵，最高日捕食量为 7.8 头。

### 2.2 普通肉食螨对不同螨态粗脚粉螨的捕食功能反应

在所设置的猎物密度范围内，普通肉食螨各

螨态对粗脚粉螨各螨态的捕食功能反应见图 2。普通肉食螨各螨态对猎物的捕食量均随猎物密度的上升而增加，并趋于稳定，即捕食量与猎物密度的关系呈现出逆密度制约趋势，此结果与 Holling 模型相符合，以 Holling 圆盘方程拟合普通肉食螨对粗脚粉螨不同螨态的捕食情况，由功能反应参数表 1 可知，普通肉食螨雌成螨对粗脚粉螨各个螨态的攻击系数均大于普通肉食螨后若螨和原若螨，其中普通肉食螨雌成螨对粗脚粉螨各螨态的攻击系数大小为幼螨 (1.030) > 若螨 (1.017) > 成螨 (0.989) > 卵 (0.913)；普通肉食螨后若螨对粗脚粉螨各螨态的攻击系数为幼螨 (0.903) > 若螨 (0.823) > 卵 (0.797) > 成螨 (0.770)；而普通肉食螨原若螨对粗脚粉螨各螨态的攻击系数为卵 (0.829) > 幼螨 (0.728) > 若螨 (0.656) > 成螨 (0.553)。

在 Holling 模型中， $a$  和  $T_h$  是反映捕食者

作用大小的重要参数， $a/T_h$  值则更全面显示捕食者对猎物的捕食效能大小， $a/T_h$  值越大，则表明天敌对猎物的捕食能力越强，处理猎物的时间越短。从普通肉食螨捕食粗脚粉螨不同螨态分析，普通肉食螨雌成螨的  $a/T_h$  值明显高于后若螨与原若螨（表 1），具有最高的捕食效能。普通肉食螨

雌成螨对粗脚粉螨四种螨态的捕食效能大小为幼螨>若螨>成螨>卵，最高为 42.436 头/d。由此可见，普通肉食螨雌成螨对粗脚粉螨的控制能力最强，尤其是对粗脚粉螨幼螨的控制作用显著，在投放应用时，应主要投放发育为成螨的普通肉食螨。

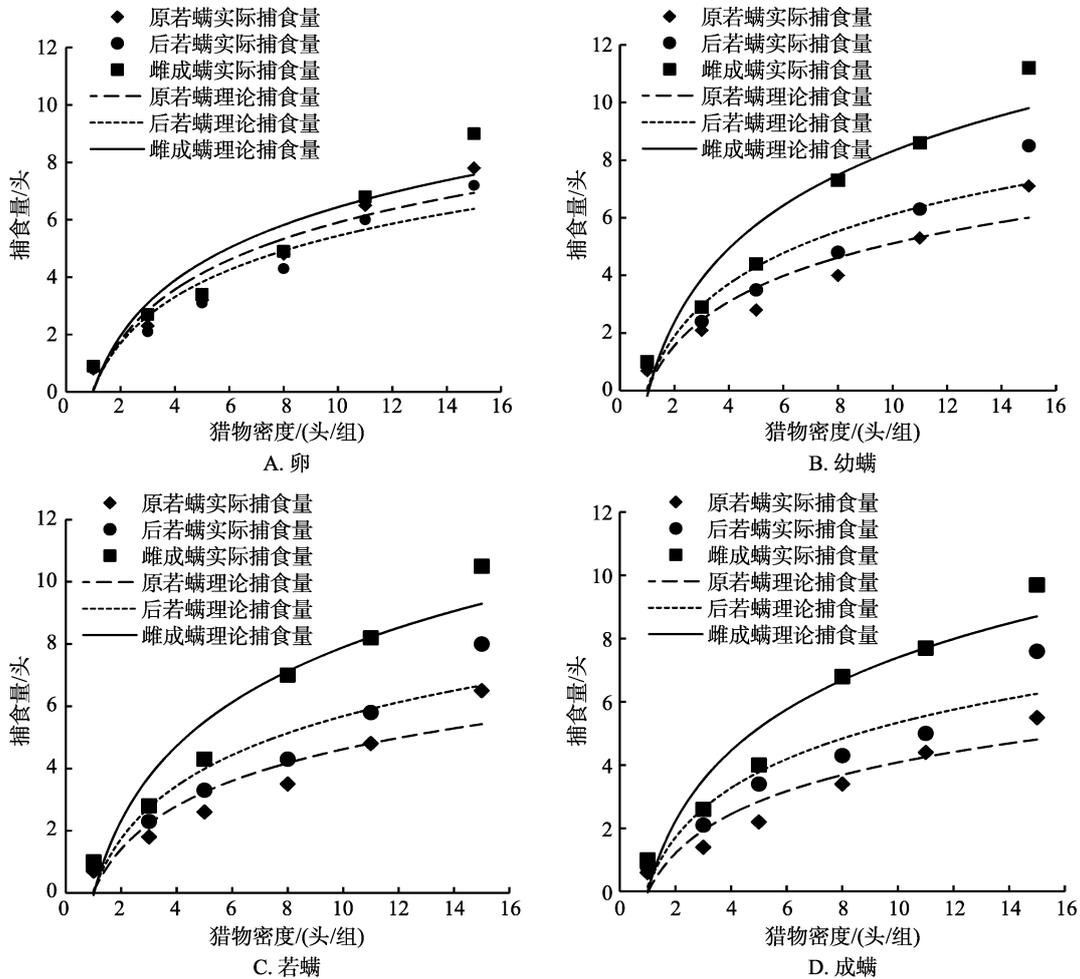


图 2 普通肉食螨三种螨态对粗脚粉螨四种螨态的捕食功能反应

表 1 普通肉食螨三种螨态对粗脚粉螨四种螨态的捕食功能反应参数

普通肉食螨螨态	粗脚粉螨螨态	功能反应方程	a	$T_h/d$	$a/T_h$ 值	$1/T_h$
原若螨	卵	$Na=0.829No/(1+0.042No)$	0.829	0.051	16.363	19.738
	幼螨	$Na=0.728No/(1+0.043No)$	0.728	0.059	12.325	16.930
	若螨	$Na=0.656No/(1+0.043No)$	0.656	0.066	10.008	15.256
	成螨	$Na=0.553No/(1+0.036No)$	0.553	0.065	8.495	15.361
后若螨	卵	$Na=0.797No/(1+0.047No)$	0.797	0.059	13.515	16.957
	幼螨	$Na=0.903No/(1+0.048No)$	0.903	0.053	16.988	18.813
	若螨	$Na=0.823No/(1+0.045No)$	0.823	0.055	15.052	18.289
	成螨	$Na=0.770No/(1+0.043No)$	0.770	0.056	13.788	17.907
雌成螨	卵	$Na=0.913No/(1+0.042No)$	0.913	0.046	19.847	21.738
	幼螨	$Na=1.030No/(1+0.025No)$	1.030	0.024	42.436	41.200
	若螨	$Na=1.017No/(1+0.030No)$	1.017	0.029	34.476	33.900
	成螨	$Na=0.989No/(1+0.034No)$	0.989	0.034	28.768	29.088

### 3 结论与讨论

Holling 于 1959 年提出的天敌昆虫的捕食功能反应已成为研究捕食者捕食能力的重要指标,可以反映捕食者与猎物系统种群动态,可用于预测捕食者用于生物防治的有效性<sup>[20-21]</sup>。本研究发

发现普通肉食螨三种螨态对粗脚粉螨都有一定的捕食能力,其功能反应均属于 Holling 型。其中雌成螨的捕食能力最强,其次为后若螨、原若螨。在本研究中,综合考虑攻击系数、最大捕食量和捕食效能,普通肉食螨随着个体发育,其对粗脚粉螨各螨态的捕食效能有所改变。从原若螨对粗脚粉螨的捕食效能为卵>幼螨>若螨>成螨,到普通肉食螨雌成螨的捕食效能为幼螨>若螨>成螨>卵,且普通肉食螨雌成螨具有最大的捕食效能。原因可能是受捕食螨活动能力的影响,普通肉食螨原若螨活动能力相对较差,因此会选择捕食静止的粉螨的卵,随着普通肉食螨的发育,其活动能力增强,更喜食具有一定活动且体壁更易穿透的粗脚粉螨幼螨。雌成螨是捕食量最大的螨态,主要是因为雌成螨需要大量的猎物以维持自身能量及后期生长生育和活动的需要,故其攻击系数最大、捕食量和捕食效能均为最高。

前期研究表明普通肉食螨原若螨、后若螨和雌成螨对嗜卷书虱卵和 1 龄若虫的捕食功能也符合 Holling 型,攻击系数、捕食上限和捕食效能最高分别为 0.515、8.485 和 4.239 粒/d<sup>[2]</sup>。本研究中普通肉食螨原若螨、后若螨和雌成螨对粗脚粉螨的攻击系数在 0.553 到 1.030 之间,对各螨态的粗脚粉螨的最大捕食量均在 14.000 头/d 以上,普通肉食螨雌成螨对粗脚粉螨的捕食上限是 41.200 头/d,由此可见,普通肉食螨更喜食活动力弱且更易刺吸的微小虫螨。在实际应用中,普通肉食螨对微小害虫害螨的低龄幼虫应有更好的防治效果,具体应用时,考虑投放时机,根据粮库温度回升情况,应用捕食螨防治越冬代的害虫和大规模爆发前的卵和幼虫,通过有效防治害虫卵和低龄幼虫减少其种群密度,达到有效控制。

本研究中使用的是 Holling 模型直接拟合普通肉食螨对粗脚粉螨的捕食功能,显示了较高的拟合度,后期研究如能进一步细化猎物密度梯度,

充分考虑环境因子、种群密度及空间大小等因素的影响,拟合出的功能反应方程将更符合在自然条件下的捕食功能评价,对捕食螨天敌生防起到更有效的指导。

#### 参考文献:

- [1] WOODROFFE G E, VOODROFFE, G E. An ecological study of insects and mites in the nests of certain binests of certain birds in Britain[J]. Bull. ent. Res. 1953, 44: 72-739.
- [2] 贺培欢, 张涛, 伍祎, 等. 普通肉食螨对 9 种储粮害虫的捕食能力研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(11): 112-117.
- [3] COTTER M, SIEBERS R, PIKE A, et al. Storage mites in flour samples in Wellington, New Zealand[J]. Journal of Investigational Allergology & Clinical Immunology, 2011, 21(5): 410-411.
- [4] CEVIZCI S, GÖKÇE S, BOSTAN K, et al. A view of mites infestation on cheese and stored foods in terms of public health[J]. Turkiye Parazitoloj Derg, 2010, 34: 191-199.
- [5] 朱万春, 诸葛洪. 居室内粉螨孳生及分布情况[J]. 环境与健康杂志, 2007(4): 210-212.
- [6] 王洪慧, 赵福河, 皮平祥, 郝学安, 李桂峰. 济宁市不同职业人群肺螨病患病情况调查及治疗评价[J]. 预防医学论坛, 2009, 15(07): 584-586.
- [7] 崔玉宝, 何珍, 李朝品. 居室环境中螨类的孳生与疾病[J]. 环境与健康杂志, 2005(6): 101-103.
- [8] 姜盛, 李朝品, 许礼发. 粉螨的变态反应性疾病及其免疫治疗研究进展[J]. 中国病原生物学杂志, 2010, 5(2): 141-142+145.
- [9] GRIFFITHS, D A. A revision of the genus *Acarus* (Acaridae, Acarina)[J]. Bull. Brit. Mus. (nat. Hist.) (Zool.), 1964, 11: 64-413.
- [10] 周祥. 粉螨的特性及其防治技术[A]. 河南省昆虫学会. 华中昆虫研究(第十卷)[C]. 河南省昆虫学会, 2014: 4.
- [11] 张辉元, 马明, 董铁, 等. 南瓜钝绥螨对苹果全爪螨的生物防治效果[J]. 应用生态学报, 2010, 21(1): 191-196.
- [12] 张艳璇, 林坚贞, 池燕斌, 等. 应用智利小植绥螨控制露天草莓园神泽氏叶螨[J]. 中国生物防治, 1996, 12(4): 188-189.
- [13] 张艳璇, 林坚贞. 马六甲肉食螨对害嗜鳞螨捕食效应研究[J]. 华东昆虫学报, 1996(1): 65-68.
- [14] 夏斌, 罗冬梅, 邹志文, 等. 普通肉食螨对椭圆食粉螨的捕食功能[J]. 昆虫知识, 2007(4): 549-552.
- [15] 夏斌, 龚珍奇, 邹志文, 等. 普通肉食螨对腐食酪螨捕食效能[J]. 南昌大学学报(理科版), 2003(4): 334-337.
- [16] 沈佐锐. 昆虫生态学及害虫防治的生态学原理[M]. 中国农业大学出版社, 2009.
- [17] SOME C S. Characteristics of simple types of predation and parasitism[J]. Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385-398.
- [18] FENLON J S, FADDY M J. Modelling predation in functional response[J]. Ecological Modelling, 2006, 198(1): 154-162.
- [19] 贺培欢, 曹阳, 伍祎, 等. 一种储粮螨类和昆虫饲养观察装置[P]. 中国专利: 201520476487.0, 2015-09-20.
- [20] HOLLING C S, HOLLING, C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism[J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385-398.
- [21] FATHI S A A, NOURI-GANBALANI G. Assessing the potential for biological control of potato field pests in Ardabil, Iran: functional responses of *Orius niger*(Wolf.) and *O. minutus* (L.) (Hemiptera: Anthocoridae)[J]. Journal of Pest Science, 2010, 83(1): 47-52. ☉