

利用捕食功能模型评价波氏烟盲蝽对烟蚜、烟粉虱和西花蓟马的捕食能力

王利利, 邸宁, 黄宁兴, 刘俊秀, 张帆, 王甦*

(北京市农林科学院植物保护研究所, 北京 100097)

摘要: 为评价波氏烟盲蝽 *Nesidiocoris poppiusi* Carvalho 对害虫的捕食能力和控害潜能, 在室内条件下研究了波氏烟盲蝽对烟蚜、烟粉虱和西花蓟马三种常见农田小型害虫的捕食功能反应和搜寻效应。结果表明波氏烟盲蝽雌、雄成虫对所试三种害虫的捕食功能反应均拟合 Holling II 型。雌虫对烟蚜、烟粉虱和西花蓟马有较高的捕食能力, 理论日最大捕食量分别为 123.5、133.35 和 192.3 头。雄虫对三种害虫的捕食能力弱于雌虫, 理论日最大捕食量分别为 43.3、19.6 和 22.1 头。雌虫对烟蚜、烟粉虱和西花蓟马的瞬时攻击率分别为 1.065、1.037 和 0.810, 雄虫分别为 1.184、1.129 和 0.853。雌虫对烟蚜、烟粉虱和西花蓟马的处理时间分别为 0.0081 d、0.0075 d 和 0.0052 d, 均短于雄虫。波氏烟盲蝽对三种猎物的搜寻效应均随猎物密度增加而降低, 对烟蚜和烟粉虱的搜寻效应高于西花蓟马, 雄虫搜寻效应的下降趋势高于雌虫。本研究为波氏烟盲蝽对以上三种常见农业害虫的防控提供了理论基础和数据支撑。

关键词: 波氏烟盲蝽; 烟蚜; 烟粉虱; 西花蓟马; 捕食功能; 搜寻效应

中图分类号: S476.2 文献标识码: A 文章编号: 1005-9261(2023)04-0782-07

Evaluation of the Predatory Ability of Mirid *Nesidiocoris poppiusi* (Heteroptera: Miridae) on *Myzus persicae*, *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* using Functional Response Models

WANG Lili, DI Ning, HUANG Ningxing, LIU Junxiu, ZHANG Fan, WANG Su*

(Institute of Plant Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: To explore predatory capacity and biocontrol potential of *Nesidiocoris poppiusi* Carvalho, the functional response and searching efficiency to *Myzus persicae*, *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis*, were investigated under laboratory conditions. The results indicated that the functional response of both females and males fitted with the Holling II model. The females showed a high voracity to *M. persicae*, *B. tabaci* and *F. occidentalis*, with the estimated maximum daily predation rates of 123.5, 133.3 and 192.3 individuals, respectively, while the males displayed much less rates of 43.3, 19.6 and 22.1 individuals, respectively. The instantaneous attack rates of the females on *M. persicae*, *B. tabaci* and *F. occidentalis* were 1.065, 1.037 and 0.810, respectively, and those of the males were 1.184, 1.129 and 0.853, respectively. The handling time of the females for *M. persicae*, *Bemisia tabaci* and *F. occidentalis* was 0.0081 d, 0.0075 d and 0.0052 d, respectively, shorter than the counterpart of the males. The search efficiency of *N. poppiusi* for the three pests decreased with increasing prey density. *N. poppiusi* had higher search rates for *M. persicae* and *B. tabaci* than *F. occidentalis*, and the downward trend of the males was larger than that of the females. The results suggest the high potential control ability of *N. poppiusi* adults against the three pests and provide valuable information for its application in agriculture.

Key words: *Nesidiocoris poppiusi*; *Myzus persicae*; *Bemisia tabaci*; *Frankliniella occidentalis*; functional response; searching efficiency

收稿日期: 2022-05-17

基金项目: 北京市农林科学院博士后科研基金 (2021ZZ014); 国家自然科学基金 (31901945); 北京市科技计划项目 (Z201100008020014)

作者简介: 王利利, 博士, E-mail: sunrise3227@126.com; *通信作者, 博士, 研究员, E-mail: wangsu@ipepbaafs.cn.

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2022.11.005

捕食性蝽是一类广捕食性天敌昆虫,可捕食蚜虫、粉虱、蓟马、螨类、叶蝉、鳞翅目昆虫的卵和初孵幼虫等,是农林害虫的重要天敌,常用于害虫的生物防治,具有很大的经济价值^[1,2]。捕食性盲蝽是一类动植食性捕食蝽,在害虫缺少时可通过取食植物汁液维持较长的生命,田间定殖能力强,可弥补其他捕食性蝽田间定殖困难的问题,进而引起国内外学者的重视^[3]。目前国外多种盲蝽天敌已被开发并商品化应用,如烟盲蝽 *Nesidiocoris tenuis*、塔马烟盲蝽 *Dicyphus tamaninii*、暗黑长脊盲蝽 *Macrolophus caliginosus*、*M. pygmaeus*、*D. hesperus* 等^[4,5]。我国对应用于生物防治的盲蝽报道较少,主要集中在烟盲蝽、中华微刺盲蝽 *Campylomma chinensis*、中华淡翅盲蝽 *Tytthus chinensis*、黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis*、军配盲蝽 *Stethoconus japonicus* 等,所做的研究主要停留在它们的生物学特征的基础研究,极少实现开发应用^[5-8]。目前,我国只有烟盲蝽这一种盲蝽被商品化生产和使用^[5]。但是烟盲蝽的使用还存在一些不足,研究发现在猎物匮乏时烟盲蝽种群数量过高时会对植株造成危害^[9]。同时已报道的研究结果显示我国室内饲养的烟盲蝽产卵能力远低于国外报道的烟盲蝽^[10-13]。因此开发新的盲蝽天敌以丰富可应用的天敌种类是十分必要的。波氏烟盲蝽 *Nesidiocoris poppiusi*, 属半翅目 Hemiptera, 盲蝽科 Miridae, 单室盲蝽亚科 Bryocorinae, 烟盲蝽属 *Nesidiocoris*。波氏烟盲蝽是烟盲蝽的近缘种,两种昆虫的体型、体色非常相近,极易混淆^[14]。波氏烟盲蝽是我国的本土性天敌,在我国分布较广,已报道的分布地有台湾、海南、福建、云南、贵州、广西、河南、陕西、甘肃和四川等^[14-17]。研究发现波氏烟盲蝽捕食害虫的能力强于烟盲蝽,活动速度快于烟盲蝽,个体也普遍大于烟盲蝽,故此推测波氏烟盲蝽比烟盲蝽具有更大的应用潜能^[17]。目前国内外关于波氏烟盲蝽的研究报道极少且无关于波氏烟盲蝽控害潜能的相关研究。

烟蚜 *Myzus persicae*、烟粉虱 *Bemisia tabaci* 和西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 是三种重要的农田害虫,均具有个体小、寄主广、繁殖能力强、抗药性强等特点,是捕食性蝽类天敌的主要目标害虫。本研究选取波氏烟盲蝽捕食能力较强的雌、雄成虫,在室内条件下就其对烟粉虱、烟蚜和西花蓟马的捕食功能反应和搜寻效应进行测定与拟合,初步评价波氏烟盲蝽对小型刺吸式害虫的控害能力,为其开发和应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

波氏烟盲蝽: 采自云南省昆明市石林彝族自治县的烟田中,在室内(26±1)℃,相对湿度(60±5)%,光周期 16L:8D 的条件下,用烟苗进行饲养,每周提供两次杀胚的米蛾卵。随机挑选同日羽化个体大小相似的 3 日龄雌、雄成虫作为供试虫源。

西花蓟马: 采自北京市昌平区农田的豆科植物上,在温度(26±1)℃,相对湿度(70±5)%,光周期 16L:8D 的人工气候培养箱(三洋, MH351)中用新鲜四季豆豆荚继代饲养,挑取同代且大小一致的 2 龄若虫作为供试虫源。

烟粉虱: 采自北京市顺义区诺亚农场的番茄上,在室内(26±1)℃,相对湿度(60±5)%,光周期 16L:8D 的条件下,用烟苗进行多代饲养,挑取同代伪蛹作为供试虫源。

烟蚜: 采自北京市顺义区诺亚农场的辣椒上,在室内(26±1)℃,相对湿度(60±5)%,光周期 16L:8D 的条件下,用烟苗进行多代饲养,挑取 1~2 龄若虫作为供试虫源。

1.2 试验方法

根据前期室内观察到的波氏烟盲蝽对猎物的捕食情况,猎物烟蚜 1~2 龄若虫选取的密度梯度为 10、20、30、40、50、60、80 头,猎物西花蓟马 2 龄若虫选取的密度梯度为 5、10、20、30、40、50、80 头,猎物烟粉虱伪蛹选取的密度梯度为 5、10、20、30、50、70 头。试验器皿为直径 90 mm,高 15 mm 的一次性塑料培养皿,培养皿底层放两层直径约 4 cm 浸湿的滤纸,滤纸上方放一片番茄叶片用于接种猎物。先将波氏烟盲蝽羽化 3 d 的成虫置于培养皿中进行 24 h 饥饿处理,然后选取个体大小相似的雌虫或雄虫,单头置于各相应密度水平的培养皿中,置于人工气候箱中,气候箱条件参数同波氏烟盲蝽饲养条件参数,各处理重复 6 次,24 h 后统计各培养皿剩余的猎物数量。

1.3 数据处理

将在不同猎物密度下的捕食量以倒数法拟合 Holling 圆盘方程,通过卡方检验确定波氏烟盲蝽成虫对

三种猎物的捕食功能反应类型。其观察值拟合 Holling II 圆盘方程: $N_a = a'NT/(1 + a'T_hN)^{[18]}$, 式中 N_a 为被捕食的猎物数量, a' 为瞬间攻击率, N 为猎物密度, T 为捕食者可利用发现猎物的时间, 在本试验中 $T=1$ d, T_h 为处理时间, 即捕食者用于捕食猎物所需的时间。

利用拟合 Holling II 型功能反应模型所得参数, 估算波氏烟盲蝽对猎物的搜寻效应, $S = a'/(1 + a'T_hN)^{[19]}$, 式中 S 为搜寻效应值, a' 为瞬间攻击率, T_h 为处理时间, N 为猎物密度。

1.4 数据统计与分析

试验数据使用 Excel 2016 和 SPSS 20.0 分析处理数据并作图, 使用卡方检验分析波氏烟盲蝽雌虫和雄虫对烟粉虱、烟蚜和西花蓟马的取食是否拟合 Holling 模型。

2 结果与分析

2.1 波氏烟盲蝽成虫对三种猎物的捕食能力

波氏烟盲蝽雌成虫和雄成虫对不同密度烟蚜的捕食量如图 1 所示。随着烟蚜密度的增多, 雌、雄成虫的捕食量均增大。当烟蚜密度低时, 两种成虫的捕食量随着烟蚜密度的增多而增大, 雌成虫的增速高于雄成虫。当烟蚜密度达到一定程度时, 波氏烟盲蝽的日捕食量趋于稳定。烟蚜密度在 10~20 头时, 雌、雄成虫的捕食量差异不显著。当烟蚜密度增大时, 雌虫的捕食量显著高于雄虫。猎物密度在 80 头时, 雌虫的捕食量达到最大, 高达 43.2 头, 而雄虫此时的捕食量仅有 27.5 头。可见雌虫对烟蚜的捕食能力显著高于雄虫。

波氏烟盲蝽雌成虫和雄成虫对不同密度烟粉虱的捕食量如图 2 所示。随着烟粉虱密度的增多, 雌成虫和雄成虫的捕食量表现出相同的变化趋势。当烟粉虱密度不大时, 两种成虫的捕食量随着烟粉虱密度的增多而增大, 当烟粉虱密度达到一定程度时, 波氏烟盲蝽的日捕食量趋于稳定。烟粉虱在低密度 5 头时, 雌、雄成虫的捕食量差异不显著。当烟粉虱密度大于 5 头时, 雌成虫的捕食量显著高于雄成虫。猎物密度在 80 头时, 雌成虫的捕食量达到最大, 高达 43.7 头, 是雄成虫捕食量的 2.7 倍。

波氏烟盲蝽雌成虫和雄成虫对不同密度西花蓟马的捕食量如图 3 所示。随着西花蓟马密度的增多, 雌成虫和雄成虫的捕食量表现出相同的变化趋势。当西花蓟马密度不大时, 两种成虫的捕食量随着西花蓟马密度的增多而增大, 当烟粉虱密度达到一定程度时, 波氏烟盲蝽的日捕食量趋于稳定。西花蓟马在低密度 5~10 头时, 两种成虫的捕食量差异不显著。当西花蓟马密度大于 10 头时, 雌成虫的捕食量显著高于雄成虫。猎物密度在 80 头时, 雌成虫的捕食量达到最大, 高达 43.5 头, 是雄成虫捕食量的 3.2 倍。

2.2 Holling II 功能反应模型拟合效果

利用 Holling II 圆盘方程将波氏烟盲蝽雌成虫和雄成虫对烟蚜、烟粉虱和西花蓟马的捕食量数据进行拟合, 并建立 Holling II 功能反应模型, R 值均大于 0.9, 经卡方检验后比较理论值与观测值差异不显著 ($\chi^2 < \chi^2_{0.05}$), 拟合效果较好 (表 1)。通过比较 Holling II 功能反应各参数可知, 波氏烟盲蝽雌虫对三种猎

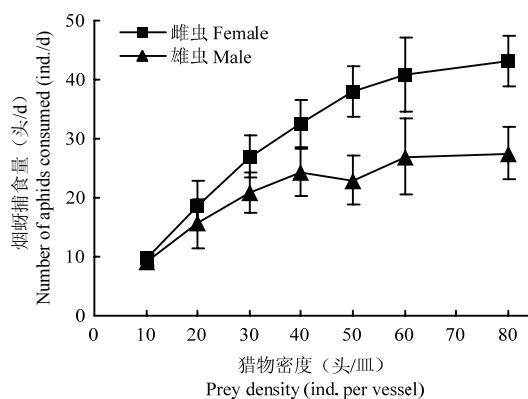


图 1 波氏烟盲蝽成虫对烟蚜的捕食量

Fig. 1 The amount of *Myzus persicae* consumed by *Nesidiocoris poppiusi* adults

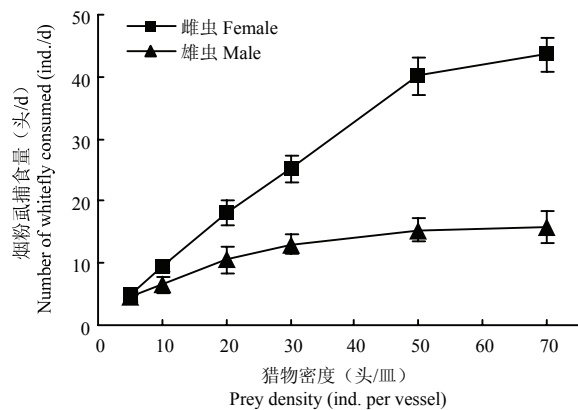


图 2 波氏烟盲蝽成虫对烟粉虱的捕食量

Fig. 2 The amount of *Bemisia tabaci* consumed by *Nesidiocoris poppiusi* adults

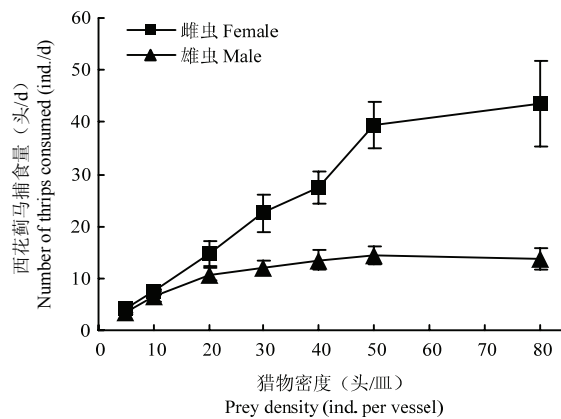


图 3 波氏烟盲蝽成虫对西花蓟马的捕食量

Fig. 3 The amount of *Frankliniella occidentalis* consumed by *Nesidiocoris poppiusi* adults

物的瞬时攻击率 a' 均大于雄虫。同一性别的成虫对烟蚜的瞬时攻击率最高，其次是烟粉虱，西花蓟马最小。波氏烟盲蝽雌虫对三种猎物的处理时间 T_h 均小于雄成虫。雌成虫对烟蚜的处理时间最长，烟粉虱次之，西花蓟马最短。雄成虫对烟粉虱的处理时间最长，西花蓟马次之，烟蚜最短。猎物密度 $N \rightarrow \infty$ 时，单头波氏烟盲蝽日最大捕食量为 $1/T_h$ 。波氏烟盲蝽雌成虫对烟蚜、烟粉虱和西花蓟马的理论日最大捕食量分别为 123.5 头、133.3 头和 192.3 头。波氏烟盲蝽雄成虫对烟蚜、烟粉虱和西花蓟马的理论日最大捕食量分别为 51.3 头、22.1 头和 18.9 头。

表 1 波氏烟盲蝽对三种猎物的捕食功能反应 (Holling II)

Table 1 Predatory functional response of <i>Nesidiocoris poppiusi</i> to <i>Myzus persicae</i> , <i>Bemisia tabaci</i> and <i>Frankliniella occidentalis</i> (Holling II)									
天敌 Predator	猎物 Prey	捕食功能反应方程 Holling equation	R	a'	T_h (d)	a'/T_h	$1/T_h$	χ^2	P
雌虫 Female	烟蚜	$N_a=1.064N/(1+0.0086N)$	0.996	1.064	0.0081	131.393	123.457	1.234	0.975
	烟粉虱	$N_a=1.037N/(1+0.0078N)$	0.999	1.037	0.0075	138.227	133.333	0.456	0.994
	西花蓟马	$N_a=0.810N/(1+0.0042N)$	0.999	0.810	0.0052	155.816	192.308	1.657	0.948
雄虫 Male	烟蚜	$N_a=1.184N/(1+0.0274N)$	0.989	1.184	0.0231	51.255	43.290	0.532	0.997
	烟粉虱	$N_a=1.129N/(1+0.0577N)$	0.987	1.129	0.0511	22.100	19.569	0.138	0.999
	西花蓟马	$N_a=0.853N/(1+0.0385N)$	0.990	0.853	0.0452	18.872	22.124	0.687	0.995

注： R 代表相关系数， a' 代表瞬时攻击率， T_h 代表处理时间， a'/T_h 代表捕食效能， $1/T_h$ 代表日最大捕食量。
Note: R , correlation coefficient; a' , instantaneous attack rate; T_h , handling time; a'/T_h , predation capacity; $1/T_h$, daily maximum prey consumed.

2.3 波氏烟盲蝽对三种猎物的搜寻效应

波氏烟盲蝽雌成虫和雄成虫对烟蚜、烟粉虱和西花蓟马的搜寻效应均随猎物密度的增加而逐渐下降（图 4~6）。雌成虫对猎物的搜寻效应高于雄成虫，同时雄成虫搜寻效应的下降趋势高于雌成虫。相同猎物密度下，波氏烟盲蝽对烟蚜和烟粉虱的搜寻效应明显高于西花蓟马。特别是在低猎物密度下（ ≤ 10 头），波氏烟盲蝽雌成虫对烟蚜和烟粉虱表现出非常高的搜寻效应。烟蚜密度为 10 头/皿时，雌成虫的搜寻效应达到 0.960，烟粉虱密度为 5 头/皿时，雌成虫的搜寻效应高达 0.997。

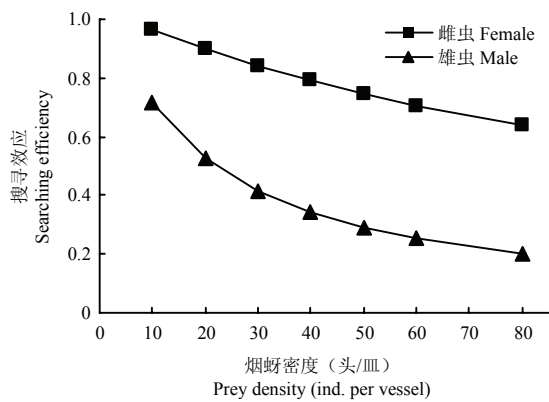


图 4 波氏烟盲蝽成虫对不同密度烟蚜的搜寻效应

Fig. 4 Searching efficiency of *Nesidiocoris poppiusi* adults for different densities of *Myzus persicae*

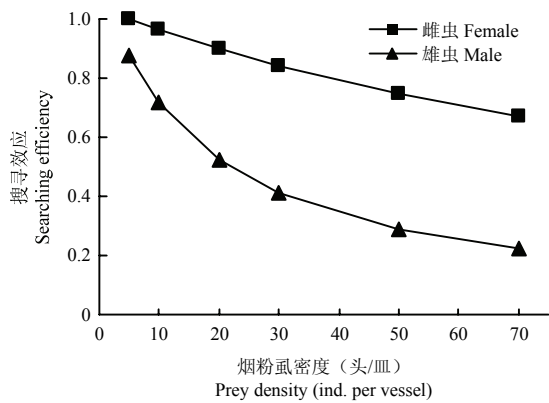


图 5 波氏烟盲蝽成虫对不同密度烟粉虱的搜寻效应

Fig. 5 Searching efficiency of *Nesidiocoris poppiusi* adults for different densities of *Bemisia tabaci*

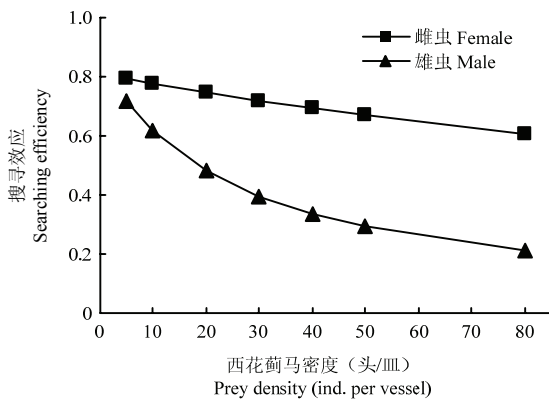


图 6 波氏烟盲蝽成虫对不同密度西花蓟马的搜寻效应

Fig. 6 Searching efficiency of *Nesidiocoris poppiusi* adults for different densities of *Frankliniella occidentalis*

3 讨论

捕食能力是分析天敌应用潜力的主要标准, 捕食功能反应是室内研究天敌捕食能力的重要途径。本研究主要通过分析波氏烟盲蝽对三种重要农田小型害虫的捕食功能反应来评估其捕食潜能。

烟蚜是一种常见的农田害虫, 目前可用瓢虫、草蛉、食蚜蝇、捕食蝽等捕食性天敌进行防治^[20]。本研究结果显示波氏烟盲蝽的雌虫对烟蚜有较高的捕食能力, 猎物密度最高(80 头/皿)时对烟蚜低龄若虫的日捕食量达到43.2头, 略高于盲蝽科天敌 *D. cerastii* 和烟盲蝽的日最大捕食量^[21,22]。国外已有研究表明盲蝽科天敌 *M. pygmaeus* 可用于防治早期为害的甜椒烟蚜, 而 *M. pygmaeus* 与烟盲蝽属昆虫具有相似的形态特征和捕食习性, 由此可推测波氏烟盲蝽具有类似的应用前景^[23-25]。

烟粉虱, 是热带和亚热带地区的重要害虫之一, 由于新生生物型(B型)的出现, 以及抗药性的迅速发展, 已成为许多国家蔬菜、棉花和园林花卉等植物的主要害虫^[26]。生物防治已经成为控制烟粉虱为害的重要手段, 而捕食性蝽常被用于烟粉虱的生物防治^[27-29]。本研究结果表明猎物密度最高(80 头/皿)时波氏烟盲蝽雌虫对烟粉虱伪蛹的日捕食量为43.7头。这一结果与 Madbouni 等^[30]研究的烟盲蝽对烟粉虱伪蛹的捕食功能反应结果类似, 其研究结果表明, 猎物密度70头时25℃和35℃条件下烟盲蝽雌虫对烟粉虱伪蛹捕食量分别为34.4头和42.2头。由此可初步推测波氏烟盲蝽对烟粉虱的捕食能力略高于烟盲蝽, 这一推测有待田间试验验证。

西花蓟马是一种世界性入侵害虫, 由于其繁殖快、寄主范围广、食性杂、抗药性强等特点, 对农作物尤其是蔬菜和花卉产业造成惨重损失^[31]。西花蓟马常在叶背面、嫩芽或花朵内集中为害, 个体小隐匿性强, 再加上其抗药性的增强, 一般的化学防治方法很难对其进行有效防治。捕食性蝽类如东亚小花蝽 *Orius sauteri*、微小花蝽 *O. minutes* 常被用来防治蓟马类害虫。微小花蝽与东亚小花蝽对西花蓟马有很强的捕食潜能, 对西花蓟马成虫的理论日捕食量分别达到42.8头和51.3头^[32,33]。盲蝽科天敌对西花蓟马也有较好的捕食潜能, 在较高猎物密度条件下 *D. tamaninii* 和 *M. caliginosus* 在6h内至少可捕食9头西花蓟马2龄若虫^[34]。本研究结果表明, 在高密度猎物条件下波氏烟盲蝽雌虫对西花蓟马2龄若虫的日捕食量可达43.5头, 理论日捕食量高达192.3头, 由此可见, 波氏烟盲蝽对西花蓟马的捕食潜能不弱于东亚小花蝽、*D. tamaninii*、*M. caliginosus* 等天敌。

搜寻效应是捕食性天敌捕食猎物过程中对猎物的一种行为效应。天敌对猎物的捕食作用大小与自身的寻找能力有关。波氏烟盲蝽对猎物的搜寻效应与烟盲蝽、瓢虫、小花蝽、草蛉等捕食性天敌类似, 均随猎物密度的增加而逐渐下降^[32-37]。波氏烟盲蝽雌虫在烟蚜低密度条件下表现出非常高的搜寻能力, 搜寻效应值达到0.96, 高于异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 搜寻效应^[36]。波氏烟盲蝽对烟粉虱也表现出极高的搜寻能力, 猎物密度为5头/皿时, 雌虫搜寻效应达到0.997, 明显高于东亚小花蝽, 与中华微刺盲蝽相当^[37,38]。虽然波氏烟盲蝽对西花蓟马若虫表现出较高的捕食能力, 但是搜寻能力不及东亚小花蝽^[33]。

本研究是在室内条件下对波氏烟盲蝽捕食烟蚜、烟粉虱和西花蓟马的控制能力进行了评价。波氏烟盲蝽作为一种广捕食性天敌, 对三种害虫均具有较高的捕食能力, 对烟蚜和烟粉虱的搜寻效应高于西花蓟马。对波氏烟盲蝽的控害潜能的进一步研究将会考虑结合波氏烟盲蝽密度因素、环境因子及田间释放等方面来进行。

参 考 文 献

- [1] 刘丰姣, 曾凡荣. 捕食性蝽类昆虫人工饲料研究进展[J]. 中国生物防治学报, 2013, 29(2): 294-300.
- [2] 徐学农, 王恩东. 国外昆虫天敌商品化现状及分析[J]. 中国生物防治, 2007, 23(4): 373-382.
- [3] Pérez-Hedo M, Riahi C, Urbaneja A. Use of zoophytophagous mirid bugs in horticultural crops: current challenges and future perspectives[J]. Pest Management Science, 2021, 77(1): 33-42.
- [4] 路慧, 陈红印, 王孟卿, 等. 广食性盲蝽的研究现状及生物防治前景//成卓敏主编. 科技创新与绿色植保——中国植物保护学会2006学术年会论文集[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006, 530-532.
- [5] 王孟卿, 张礼生, 陈红印. 捕食性天敌昆虫资源评估与扩繁利用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2020, 179-182.
- [6] 罗优, 肖峰, 赵如娜, 等. 军配盲蝽对五种网蝽捕食作用研究[J]. 应用昆虫学报, 2020, 57(2): 413-420.

- [7] 白月亮. 高温对两种捕食性盲蝽的影响及黑肩绿盲蝽的基因组分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- [8] 李青超, 王立达, 赵秀梅, 等. 烟盲蝽和丽蚜小蜂协同防治设施蔬菜温室白粉虱技术研究[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(4): 144-145, 152.
- [9] Arnó J, Castañé C, Riudavets J, *et al.* Risk of damage to tomato crops by the generalist zoophytophagous predator *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae)[J]. Bulletin of Entomological Research, 2010, 100(1): 105-115.
- [10] 邵莉, 秦西云, 孙玉桐, 等. 烟草盲蝽生物学特性研究[J]. 烟草科技, 1997(3): 45-46.
- [11] 陈凤玉, 杨绪纲. 烟盲蝽(*Cyrtopols tenuis* Reuter)生活史及生活习性的研究[J]. 西南农业大学学报, 1985(4): 88-92.
- [12] Nakaishi K, Fukui Y, Arakawa R. Reproduction of *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) on sesame[J]. Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology, 2011, 55(4): 199-205.
- [13] Urbaneja-Bernat P, Alonso M, Tena A, *et al.* Sugar as nutritional supplement for the zoophytophagous predator *Nesidiocoris tenuis*[J]. BioControl, 2013, 58(1): 57-64.
- [14] 穆怡然. 中国盲蝽科三亚科的系统学研究(半翅目: 异翅亚目)[D]. 天津: 南开大学, 2013.
- [15] Poppius B H. Sauter's formosa-ausbeute: Nabidae, Anthocoridae, Termitophylidae, Miridae, Isometopidae und Ceratocombidae (Hemiptera)[J]. Archiv für Naturgeschichte, 1915, 80(8): 1-80.
- [16] 刘国卿, 穆怡然, 许静杨, 等. 中国动物志半翅目盲蝽科(三)[M]. 北京: 科学出版社, 2022, 111-113.
- [17] 苟怀术. 烟盲蝽及其近缘种的种群遗传学研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.
- [18] Holling C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism[J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385-389.
- [19] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994, 303-304.
- [20] 陈相, 蒙祥旭, 王定福, 等. 烟蚜天敌的利用与研究进展[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(2): 117-122.
- [21] Abraços-Duarte G, Ramos S, Valente F, *et al.* Functional response and predation rate of *Dicyphus cerastii* Wagner (Hemiptera: Miridae)[J]. Insects, 2021, 12(6): 530.
- [22] 官宝斌, 陈家骅, 陈乾锦, 等. 烟盲蝽对斜纹夜蛾幼虫和烟蚜的捕食功能反应[J]. 中国烟草学报, 1999(4): 21-24.
- [23] De Backer L, Wäckers F L, Francis F, *et al.* Predation of the peach aphid *Myzus persicae* by the mirid predator *Macrolophus pygmaeus* on sweet peppers: effect of prey and predator density[J]. Insects, 2015, 6(2): 514-523.
- [24] Castañé C, Agustí N, Arnó J, *et al.* Taxonomic identification of *Macrolophus pygmaeus* and *Macrolophus melanotoma* based on morphometry and molecular markers[J]. Bulletin of Entomological Research, 2013, 103(2): 204-215.
- [25] Yasunaga T. Three new species of *Nesidiocoris* Kirkaldy from Japan, with a taxonomic review of the tribe *Dicyphini* for eastern Asia (Heteroptera: Miridae: Bryocorinae)[J]. Tijdschrift voor Entomologie, 2017, 160(1): 25-40.
- [26] De Barro P J, Liu S S, Boykin L M, *et al.* *Bemisia tabaci*: a statement of species status[J]. Annual Review of Entomology, 2011, 56: 1-19.
- [27] 任豪辉, 郭佩佩, 帕提玛·乌木尔汗, 等. 释放不同密度东亚小花蝽对温室茄子烟粉虱的控制作用[J]. 新疆农业大学学报, 2020, 43(5): 336-341.
- [28] Alomar O, Riudavets J, Castañé C. *Macrolophus caliginosus* in the biological control of *Bemisia tabaci* on greenhouse melons[J]. Biological Control, 2006, 36(2): 154-162.
- [29] Kheirodin A, Simmons A M, Legaspi J C, *et al.* Can generalist predators control *Bemisia tabaci*?[J]. Insects, 2020, 11(11): 823.
- [30] Madbouni M A Z, Samih M A, Namvar P, *et al.* Temperature-dependent functional response of *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae) to different densities of pupae of cotton whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae)[J]. European Journal of Entomology, 2017, 114: 325.
- [31] 吕要斌, 张治军, 吴青君, 等. 外来入侵害虫西花蓟马防控技术与示范[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(3): 488-496.
- [32] 李向永, 陈福寿, 赵雪晴, 等. 微小花蓟马的发生及其对西花蓟马的捕食作用[J]. 环境昆虫学报, 2011, 33(3): 346-350.
- [33] 庄乾营, 张安盛, 于毅, 等. 东亚小花蓟马成虫对西花蓟马的捕食功能反应与搜寻效应[J]. 山东农业科学, 2009(5): 70-72.
- [34] Montserrat M, Albajes R, Castañé C. Functional response of four heteropteran predators preying on greenhouse whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) and western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae)[J]. Environmental Entomology, 2000, 29(5): 1075-1082.
- [35] 白微微, 高海峰, 张航, 等. 普通草蛉幼虫对麦二叉蚜和麦长管蚜的捕食功能反应与搜寻效应[J]. 应用昆虫学报, 2021, 58(2): 408-414.
- [36] 喻会平, 王召, 龙贵云, 等. 不同虫态异色瓢虫对3种蚜虫的捕食功能反应[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(18): 86-90.
- [37] 王洪亮, 秦雪峰, 余昊, 等. 东亚小花蓟马对 MEAM1 烟粉虱伪蛹的捕食作用[J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(1): 132-135.
- [38] 余金咏, 蓝超跃, 吴伟坚, 等. 中华微刺盲蝽对烟粉虱的捕食功能反应[J]. 湖北农学院学报, 2003(1): 5-7.

(责任编辑: 张莹)