

大草蛉幼虫对不同寄主植物上烟粉虱卵的捕食功能反应与搜寻效应

王 然 王 甦 渠 成 李济航 陈支芹 张 帆*

(北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097)

摘要: 为了研究不同寄主上大草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur) 幼虫对烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 卵的捕食功能反应与搜寻效应,在室内条件下评估了大草蛉捕食功能反应模型,并研究了大草蛉 3 龄幼虫对棉花、烟草和辣椒上烟粉虱卵的搜寻效应和控害潜能。结果显示,在 3 种寄主植物上大草蛉 3 龄幼虫捕食量均随猎物密度的增加而升高,在烟草、棉花、辣椒上的捕食量分别为 7.6~28.4、5.4~23.2、6.0~18.8 粒;3 种寄主植物上的大草蛉捕食功能反应均拟合 Holling II、III 功能反应模型;在烟草上大草蛉的瞬间攻击率最大,为 0.470,处理时间最短,为 0.021;在 3 种寄主植物上大草蛉 3 龄幼虫搜寻效应均随猎物密度的增加而下降,当猎物密度相同时,在烟草上的搜寻效应高于棉花和辣椒。研究表明,不同寄主植物能够影响大草蛉 3 龄幼虫对烟粉虱卵的瞬间攻击率及其搜寻效应。

关键词: 大草蛉; 烟粉虱; 寄主植物; 捕食功能

The predatory functional response and searching effect of *Chrysopa pallens* larvae to *Bemisia tabaci* eggs on different host plants

Wang Ran Wang Su Qu Cheng Li Jihang Chen Zhiqin Zhang Fan*

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

Abstract: To clarify the predatory functional response and searching effect of *Chrysopa pallens* larvae to *Bemisia tabaci* eggs on different host plants, the functional response model was evaluated in the laboratory, and the searching effects and control potentials of *C. pallens* against *B. tabaci* were studied on three host plants, including *Nicotiana tabacum*, *Gossypium hirsutum* and *Capsicum annuum*. The results showed that the predatory capacities of *C. pallens* larvae to *B. tabaci* eggs on three host plants enhanced with increasing prey density. The predatory capacities of *C. pallens* 3rd-instar larvae on *N. tabacum*, *G. hirsutum* and *C. annuum* were 7.6–28.4, 5.4–23.2 and 6.0–18.8, respectively. The functional response of *C. pallens* 3rd-instar larvae on *B. tabaci* eggs on three host plants fitted to Holling II & III formula. The instantaneous attacking rate on *N. tabacum* was 0.470, higher than that on the other hosts. The handling time on *N. tabacum* was 0.021, shorter than that on others. The searching effects on three host plants decreased with increasing prey density, and *N. tabacum* showed the larger drop than the other hosts under the same prey density. The results indicated that different host plants could affect both instantaneous attacking rate and searching effect of *C. pallens* 3rd-instar larvae on *B. tabaci* eggs.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2013CB127600),北京市科技计划项目(D141100000914000),北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20140101)

* 通讯作者(Author for correspondence), E-mail: zff6131@263.net

收稿日期: 2015–08–13

Key words: *Chrysopa pallens*; *Bemisia tabaci*; host plants; predatory function

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 是半翅目胸喙亚目粉虱科的杂食性害虫,其寄主超过 600 余种,包括棉花、烟草、蔬菜以及观赏植物和花卉等 (Oliviera et al., 2001; Liu et al., 2007),可直接为害寄主植物,也可通过传播病毒对作物造成严重损失 (de Barro et al., 2011)。烟粉虱是一个处于快速进化中的复合种群,存在许多隐种,各隐种间存在生殖隔离,传毒能力以及抗药性等方面存在差别 (Dinsdale et al., 2010; de Barro et al., 2011)。20 世纪 90 年代末,烟粉虱 MEAM1 隐种通过花卉及苗木调运侵入我国,相继在多地暴发成灾并取代当地烟粉虱,烟粉虱 MED 隐种首次于 2003 年在云南省发现 (Chu et al., 2006),随后迅速扩散,目前,烟粉虱 MED 隐种已成为多地的主要隐种 (Chu et al., 2010; Hu et al., 2011)。

生物防治是通过应用生物或生物代谢产物对病虫害草害进行防治的技术,是可持续发展害虫防控体系的重要环节 (陈学新, 2010)。作为节肢动物杂食性捕食者,草蛉科昆虫能够捕食多种害虫,已被作为生物防治天敌在各地推广 (Tauber et al., 1999)。研究表明,红通草蛉 *Chrysoperla rufilabris* 能够捕食烟粉虱,并且生长环境的差异对其发育存在不同程度的影响 (Tauber & Tauber, 1983; Breene et al., 1992)。通过对天敌昆虫进行 Holling 模型评估,能够相对准确且客观地衡量其对害虫的捕食能力, Holling 模型的拟合结果能反映捕食者在不同猎物密度时捕食能力的变化情况 (Holling, 1959),通过拟合天敌捕食功能反应模型,可以对天敌在不同猎物种群密度下的捕食能力进行动态评估 (刘爽等, 2011)。

目前,关于草蛉对多种害虫的捕食率、捕食功能反应类型及控害潜能的研究报道较多,林克剑等 (2006) 通过研究中华草蛉 *Chrysopa sinica* 对烟粉虱 MEAM1 隐种若虫的捕食功能反应,认为其捕食功能反应曲线符合 Holling II 型方程,且与异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 及龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* 的捕食功能反应拟合结果相似;张欣等 (2012) 和程丽媛等 (2014) 研究了大草蛉 *C. pallens* 对二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 和豌豆修尾蚜 *Megoura japonica* 的捕食能力;刘爽等 (2011) 报道了大草蛉 3 龄幼虫对烟粉虱卵、若虫及伪蛹的捕食功能反应模型;然而以上各研究使用的寄主植物均为植株的离体叶片,

并未使用活体植株进行试验。同时,不同寄主植物对天敌的捕食功能有影响,如莫利锋等 (2012) 发现在不同寄主植物上南方小花蝽 *Orius similis* 对西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 的捕食功能和搜寻效应均存在差异。

因此,本试验在室内条件下,研究了大草蛉 3 龄幼虫对捕食辣椒 *Capsicum annuum*、棉花 *Gossypium hirsutum*、烟草 *Nicotiana tabacum* 共 3 种活体寄主植物,烟粉虱卵的捕食功能反应模型,通过拟合 Holling II 及 III 型功能反应模型,明确大草蛉在不同寄主植物上对烟粉虱捕食能力的差异,分析探讨寄主植物和猎物密度对其控害潜能的影响,以期为天敌控害功能评价及田间应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物:辣椒品种为中椒 5 号,棉花品种为邯鄹 33 号,烟草品种为 MS 云烟 87,番茄 *Lycopersicon esculentum* 品种为中杂 9 号,各植物种子均由中国农业科学院蔬菜花卉研究所惠赠。辣椒、棉花、烟草 3 种寄主植物均种植于 1.5 L 营养钵中,每钵 1 株,置于自然光照、 $26 \pm 2^\circ\text{C}$ 的温室内栽培。

供试昆虫及仪器:烟粉虱 MED 隐种,由中国农业科学院蔬菜花卉研究所惠赠,在室内以无虫番茄盆栽为寄主饲养多代备用;大草蛉采自北京市农林科学院玉米试验田中,室内用豌豆修尾蚜饲养多代,豌豆修尾蚜为本实验室室内多代繁殖,大草蛉养至 3 龄初期,将幼虫单头移至直径为 15 cm 的培养皿内,饥饿 24 h 后备用。各供试昆虫均在温度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度 (65 ± 5) %、光周期 L 16 h : D 8 h 条件下饲养。Motic sfc-11 型解剖镜,厦门麦克奥迪实业集团有限公司。

1.2 方法

1.2.1 大草蛉幼虫对烟粉虱卵的捕食能力

分别选取 13 ~ 15 片真叶期的辣椒苗, 8 ~ 10 片真叶期的棉花苗及 4 ~ 6 片真叶期的烟草苗置于温度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度 (65 ± 5) %、光周期 L 16 h : D 8 h 的人工气候箱中饲养,将植株叶片按数量平均分为上、中、下 3 层,用直径 3 cm 微虫笼分别夹住每个植株中层活体叶片 2 ~ 3 片,随机挑选 15 头烟粉虱成虫接入笼中,笼内烟粉虱均正常交配产卵,产卵 24 h 后去除烟粉虱成虫,3 种寄主植物苗上分别保

留 20、40、60、80、100、120、140、160、180 粒共 9 个猎物密度烟粉虱卵,每株苗接入 1 头饥饿 24 h 大草蛉 3 龄幼虫进行捕食。每株苗上为 1 个猎物密度,每个处理重复 5 次。24 h 后在解剖镜下观察并记录不同猎物密度下大草蛉 3 龄幼虫的捕食量。

1.2.2 大草蛉对烟粉虱的捕食功能及搜寻效应

将 1.2.1 中所获得在不同猎物密度下的捕食量以倒数法拟合 Holling 圆盘方程,通过卡方检验确定大草蛉 3 龄幼虫捕食烟粉虱卵的捕食功能反应类型,其观察值拟合 Holling II 圆盘方程: $Na = aNT / (1 + aT_h N)$, 式中 Na 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 $T = 24$ h, T_h 为处理时间,即捕食者用于捕食猎物所需的时间; Holling III 型功能反应模型: $Na = a \exp(-b/N)$, 式中 Na 为相应密度下的捕食量, a 为最大捕食量, b 为捕食者的最佳寻找密度, N 为猎物密度。将 Holling III 型功能反应方程中猎物密度 N 进行倒数处理后方程转化为指数模型: $Na = a \exp(-bT)$, $T = 1/N$; 利用 SPSS 11.0 将不同密度下的捕食量与各猎物密度倒数进行曲线拟合并获得 Rsq 值, Rsq 值为相关系数的平方和,代表数据的拟合程度, Rsq 值越大说明拟合效果越好。

利用拟合 Holling II 型功能反应模型所得参数,估算大草蛉对烟粉虱卵的搜寻效应, $S = a / (1 + aT_h N)$, 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。

1.3 数据分析

试验数据采用软件 SPSS 11.0 进行 ANOVA 方差分析,采用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验。利用 Excel 2010 对大草蛉 3 龄幼虫的搜寻效应与猎物密度之间进行线性回归分析。

2 结果与分析

2.1 大草蛉 3 龄幼虫对烟粉虱卵的捕食能力

大草蛉 3 龄幼虫在不同寄主植物上对烟粉虱卵的捕食量不同,在烟草、棉花、辣椒上的捕食量依次为 7.6 ~ 28.4、5.4 ~ 23.2、6.0 ~ 18.8 粒。除猎物密度为 20 粒外,在其它猎物密度下,大草蛉 3 龄幼虫在烟草上的捕食量均显著高于辣椒;在猎物密度为 40、60、140 粒下,在烟草上的捕食量均显著高于棉花。同一寄主植物不同猎物密度下,大草蛉 3 龄幼虫对烟粉虱卵的捕食量均存在差异。猎物密度为 20 ~ 140 粒时,在不同寄主植物上大草蛉 3 龄幼虫的捕食量均随猎物密度增加而上升(表 1)。

表 1 大草蛉 3 龄幼虫在不同猎物密度下的捕食量(粒)

Table 1 The predacious quantity of *Chrysopa pallens* 3rd-instar larvae under different prey densities (eggs)

猎物密度 Prey density	烟草 <i>N. tabacum</i>	棉花 <i>G. hirsutum</i>	辣椒 <i>C. annuum</i>
20	7.6 ± 1.1 aA	5.4 ± 0.5 aA	6.0 ± 0.9 aA
40	15.6 ± 1.4 aB	9.2 ± 1.4 bAB	9.2 ± 1.6 bAB
60	17.8 ± 1.5 aBC	13.0 ± 1.4 bBC	10.8 ± 1.0 bAB
80	19.8 ± 1.8 aBCD	16.4 ± 1.6 abCD	12.8 ± 1.9 bcBC
100	23.6 ± 3.5 aCDE	18.6 ± 1.9 abDE	14.2 ± 1.8 bcBC
120	25.8 ± 3.7 aDE	19.8 ± 2.0 abDE	16.4 ± 1.5 bcCD
140	28.4 ± 2.8 aDE	21.0 ± 1.6 bDE	18.2 ± 1.8 bD
160	27.4 ± 1.9 aE	22.8 ± 1.4 abE	18.8 ± 2.2 bcD
180	28.2 ± 2.9 aE	23.2 ± 1.4 abE	18.2 ± 1.9 bcD

表中数据为平均数 ± 标准误。不同大、小写字母表示同一寄主不同猎物密度和同一猎物密度不同寄主上捕食量经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean ± SD. Different uppercase or lowercase letters indicate significant difference in predacious quantity among different prey density on the same host or different hosts under the same prey density at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.2 Holling II 功能反应模型拟合效果

大草蛉 3 龄幼虫在烟草、棉花和辣椒 3 种寄主植物上对烟粉虱卵的捕食功能均拟合 Holling II 型功能反应模型, Rsq 值均大于 0.9, 说明拟合效果好。大草蛉 3 龄幼虫在烟草上的瞬间攻击率最高, 为

0.470, 而在棉花上最低, 为 0.307; 大草蛉 3 龄幼虫在烟草上的处理时间最短, 为 0.021, 而在辣椒上最长, 为 0.042; 大草蛉在烟草、棉花和辣椒上的日最大捕食量分别为 36、27 和 26 粒(表 2)。

表2 大草蛉3龄幼虫在不同寄主植物上捕食烟粉虱卵的功能反应模型拟合结果

Table 2 The results of the functional response model estimation of the *Chrysopa pallens* 3rd-instar larvae on eggs of *Bemisia tabaci* in each host plant

寄主植物 Host plant	Holling II 功能反应模型					Holling III 功能反应模型			
	Holling II functional response model					Holling III functional response model			
	功能反应 方程 Functional response equation	Rsq	瞬间 攻击率 Momentary attacking rate	处理时间 Handling time	日最大 捕食量 Daily most consumed amount	功能反应 方程 Functional response equation	Rsq	日最大 捕食量 Daily most consumed amount	最佳寻找 密度 Best searching density
烟草 <i>N. tabacum</i>	$Na = 0.4699N / (1 + 0.0099N)$	0.981	0.470	0.021	36	$Na = 32.068\exp(-29.43/N)$	0.976	32.068	29.43
棉花 <i>G. hirsutum</i>	$Na = 0.3073N / (1 + 0.0072N)$	0.998	0.307	0.023	27	$Na = 25.751\exp(-33.54/N)$	0.957	25.751	33.54
辣椒 <i>C. annuum</i>	$Na = 0.3896N / (1 + 0.0163N)$	0.985	0.390	0.042	26	$Na = 19.574\exp(-25.74/N)$	0.916	19.574	25.74

2.3 Holling III 功能反应模型拟合效果

大草蛉3龄幼虫在烟草、棉花和辣椒3种寄主植物上对烟粉虱卵的捕食功能均拟合 Holling III 功能反应模型,且 Rsq 值均大于0.9,说明拟合效果好。结果显示,以 Holling III 模型计算的大草蛉3龄幼虫在3种寄主植物上对烟粉虱的日最大捕食量与 Holling II 模型有所不同。大草蛉在烟草寄主上捕食烟粉虱卵的日最大捕食量最高,为32.068粒,在辣椒上最低,为19.574粒;大草蛉3龄幼虫在棉花上捕食烟粉虱卵时的最佳寻找密度最高,为33.54,辣椒最低,为25.74(表2)。从拟合 Holling II 模型方程可知,在3种寄主植物上大草蛉3龄幼虫的捕食量随猎物密度增加而增加。与 Holling II 模型相似,当猎物密度增加到一定密度时,变化趋于平稳,即功能反应将达到平稳期。

2.4 大草蛉在不同寄主上对烟粉虱卵的搜寻效应

在3种寄主植物上大草蛉3龄幼虫对烟粉虱卵的搜寻效应均随猎物密度的增加而下降。将大草蛉3龄幼虫对烟粉虱卵的搜寻效应与猎物密度之间进行线性回归分析,结果显示,二者之间呈线性相关,大草蛉3龄幼虫在烟草上的搜寻效应随猎物密度增加下降趋势最大,搜寻效应与猎物密度之间的线性方程为 $y = -0.0267x + 0.3871$, $R^2 = 0.9442$;在辣椒上二者间的线性方程为 $y = -0.0226x + 0.2797$, $R^2 = 0.9085$;在棉花上搜寻效应随猎物密度增加下降趋势最小,二者的线性方程为 $y = -0.0163x + 0.2695$, $R^2 = 0.9617$ 。当猎物密度相同时,大草蛉3龄幼虫在烟草上的搜寻效应高于在棉花和辣椒上(图1)。

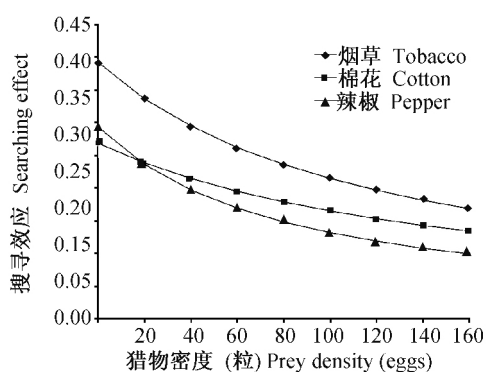


图1 大草蛉3龄幼虫在不同猎物密度下的搜寻效应

Fig. 1 Searching effect of *Chrysopa pallens* 3rd-instar larvae under different prey densities

3 讨论

利用天敌昆虫防控农业害虫是安全有效的防治策略(陈学新等,2013),已有较多关于重要天敌昆虫在防控害虫中捕食功能反应的研究报道(闫占峰等,2012;王然等,2014;张文秋等,2014),通过研究天敌昆虫的捕食功能反应和搜寻效应,能够更有效地防控害虫。已有研究表明,天敌昆虫在不同猎物密度下对猎物的捕食量会有显著差异(王文娟和贺汉达,2006;张欣等,2012)。林克剑等(2006)报道中华草蛉、龟纹瓢虫和异色瓢虫对烟粉虱若虫的捕食量均随着猎物密度增加而上升,当猎物密度增加到一定水平时捕食量趋于稳定;张文秋等(2014)报道了异色瓢虫捕食量随着豆蚜 *Aphis craccivora* 密度升高而增加缓慢直至稳定。本研究表明也有相似结果,大草蛉幼虫在中、低猎物密度时捕食量增长幅度

显著,但在较高猎物密度时,其捕食量增幅减缓并趋于稳定,甚至降低。

刘爽等(2011)报道大草蛉幼虫在离体番茄叶片上捕食烟粉虱的捕食功能反应均可拟合 Holling II 和 Holling III 模型,本试验显示大草蛉 3 龄幼虫在 3 种寄主植物上对烟粉虱卵捕食功能均拟合 Holling II 和 Holling III 功能反应模型,与以上结果相似。李艳艳等(2013)认为在不同寄主植物上多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 对瓜蚜 *Aphis gossypii* 的捕食功能反应存在显著影响,且在不同寄主植物上其猎物处理时间、瞬间攻击率和最大捕食量均存在差异;本试验发现大草蛉 3 龄幼虫在烟草、棉花、辣椒上对烟粉虱卵的瞬间攻击率和处理时间均不同,且在烟草上的瞬间攻击率最大,处理时间最短,说明大草蛉 3 龄幼虫在烟草上对烟粉虱卵的控害能力更强,表明不同寄主植物对天敌昆虫的捕食功能反应具有影响。

王玉洁等(2015)发现各龄期广斧螳 *Hierodula patellifera* 若虫在捕食荔枝蜡 *Tessaratomia papillosa* 若虫时,其搜寻效应随着猎物密度增加而降低,其中 9 龄广斧螳若虫捕食荔枝蜡 5 龄若虫时的搜寻效应随猎物密度增加下降趋势最大,与本研究结果相似,即大草蛉 3 龄幼虫在不同寄主植物上对烟粉虱卵的搜寻效应均随猎物密度增加而降低,表明捕食性天敌昆虫的搜寻效应在不同猎物密度下会发生显著变化。同时,本试验还发现,在相同猎物密度下大草蛉 3 龄幼虫在烟草寄主上的搜寻效应高于棉花和辣椒,可能是由于大草蛉幼虫的寄主偏好性以及植物叶片表面物理构造导致的(Price et al., 1980)。

与离体植物相比较,活体寄主植物对猎物及其天敌昆虫的控害能力均存在影响(莫利锋等, 2012)。本研究中使用的寄主植物均为活体植株,更接近于实际情况,但仅在室内侧重观察了 3 种活体寄主植物对大草蛉幼虫的捕食功能反应与搜寻效应的影响,关于大草蛉在田间不同寄主植物上对烟粉虱的捕食功能还需进一步研究,从而能够更合理地评价大草蛉在田间防治烟粉虱的应用潜能。

参 考 文 献 (References)

Breene RG, Meagher RL, Nordlund DA, Wang YT. 1992. Biological control of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in a greenhouse using *Chrysoperla rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae). *Biological Control*, 2: 9–14

Chen XX. 2010. Recent progress, existing problems prospects in biological control of insect pests in China. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(4): 615–625 (in Chinese)

陈学新. 2010. 21 世纪我国害虫生物防治研究的进展、问题与展望. *昆虫知识*, 47(4): 615–625

Chen XX, Ren SX, Zhang F, Cai WZ, Zeng FR, Zhang WQ. 2013. Mechanism of pest management by natural enemies and their sustainable utilization. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(1): 9–18 (in Chinese)

陈学新, 任顺祥, 张帆, 彩万志, 曾凡荣, 张文庆. 2013. 天敌昆虫控害机制与可持续利用. *应用昆虫学报*, 50(1): 9–18

Cheng LY, Liao XJ, Xu LX, Sun L, Chen JJ, Xu YY. 2014. Two-sex life table and predation of *Chrysopa pallens* (Rambur) feeding on *Megoura japonica* (Matsumura). *Journal of Plant Protection*, 41(6): 680–686 (in Chinese)

程丽媛, 廖先骏, 徐龙祥, 孙蕾, 陈珍珍, 徐永玉. 2014. 以豌豆修尾蚜为猎物的大草蛉两性生命表和捕食率. *植物保护学报*, 41(6): 680–686

Chu D, Zhang YJ, Brown JK, Cong B, Xu BY, Wu QJ, Zhu GR. 2006. The introduction of the exotic biotype Q of *Bemisia tabaci* from the Mediterranean region into China on ornamental crops. *Florida Entomologist*, 89(2): 168–174

Chu D, Zhang YJ, Wan FH. 2010. Cryptic invasion of the exotic *Bemisia tabaci* biotype Q occurred widespread in Shandong Province of China. *Florida Entomologist*, 93(2): 203–207

de Barro PJ, Liu SS, Boykin LM, Dinsdale AB. 2011. *Bemisia tabaci*: a statement of species status. *Annual Review of Entomology*, 56(1): 1–19

Dinsdale A, Cook L, Riginos C, Buckley YM, de Barro P. 2010. Refined global analysis of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Sternorhyncha: Aleyrodoidea: Aleyrodidae) mitochondrial cytochrome oxidase 1 to identify species level genetic boundaries. *Annals of the Entomological Society of America*, 103(2): 196–208

Holling CS. 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist*, 91(7): 385–389

Hu JA, de Barro P, Zhao H, Wang J, Nardi F, Liu SS. 2011. An extensive field survey combined with a phylogenetic analysis reveals rapid and widespread invasion of two alien whiteflies in China. *PLoS ONE*, 6(1): e16061

Li YY, Zhou XR, Pang BP. 2013. Effect of host plants on the functional response of *Hippodamia variegata* (Goeze) to *Aphis gossypii* Glover. *Journal of Environmental Entomology*, 35(5): 688–693 (in Chinese)

李艳艳, 周晓榕, 庞保平. 2013. 瓜蚜寄主植物对多异瓢虫捕食功能反应的影响. *环境昆虫学报*, 35(5): 688–693

Lin KJ, Wu KM, Liu SP, Zhang YJ, Guo YY. 2006. Functional responses of *Chrysopa sinica*, *Propylaea japonica* and *Leis axyridis* to *Bemisia tabaci*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(3): 339–343 (in Chinese)

林克剑, 吴孔明, 刘山蓓, 张永军, 郭予元. 2006. 中华草蛉、龟纹瓢虫和异色瓢虫对 B 型烟粉虱的捕食功能反应. *昆虫知识*, 43(3): 339–343

Liu S, Wang S, Liu BM, Zhou CQ, Zhang F. 2011. The predation

- function response and predatory behavior observation of *Chrysopa pallens* larva to *Bemisia tabaci*. *Scientia Agricultura Sinica*, 44(6): 1136–1145 (in Chinese) 刘爽, 王甦, 刘佰明, 周长青, 张帆. 2011. 大草蛉幼虫对烟粉虱的捕食功能反应及捕食行为观察. *中国农业科学*, 44(6): 1136–1145]
- Liu SS, de Barro PJ, Xu J, Luan JB, Zang LS, Ruan YM, Wan FH. 2007. Asymmetric mating interactions drive widespread invasion and displacement in a whitefly. *Science*, 318(5857): 1769–1772
- Mo LF, Zhi JR, Zhang CR. 2012. Effect of host plants on predatory of *Orius similis*, *Frankliniella occidentalis*. *Guizhou Agricultural Sciences*, 40(9): 136–139 (in Chinese) 莫利锋, 郑军锐, 张昌容. 2012. 寄主植物对南方小花蝽捕食西花蓟马的影响. *贵州农业科学*, 40(9): 136–139]
- Olivera MRV, Henneberry TJ, Anderson P. 2001. History, current status and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection*, 20(9): 709–723
- Price PW, Bouton CE, Gross P, McPherson BA, Thompson JN, Weis AE. 1980. Interactions among three trophic levels: influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11: 41–65
- Tauber MJ, Tauber CA. 1983. Life history traits of *Chrysopa cornea* and *Chrysopa rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae): influence of humidity. *Annals of the Entomological Society of America*, 76(2): 282–285
- Tauber MJ, Tauber CA, Daane KM, Hagen KS. 1999. Commercialization of predators: recent lessons from green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae: Chrysoperla). *American Entomologist*, 46(1): 26–38
- Wang R, Wang XL, Wang S, Zhang F. 2014. Evaluation of the potential biocontrol capacity of *Orius sauteri* (Hemiptera, Anthracoridae) on *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera, Thripidae). *Journal of Environmental Entomology*, 36(6): 983–989 (in Chinese) 汪然, 王晓灵, 王甦, 张帆. 2014. 东亚小花蝽对西花蓟马的控害能力评价. *环境昆虫学报*, 36(6): 983–989]
- Wang WJ, He HD. 2006. Research of the control role of three primary natural enemies to *Tetranychus urticae* Koch. *Journal of Agricultural Sciences*, 27(1): 16–19 (in Chinese) 王文娟, 贺汉达. 2006. 三种主要天敌对二斑叶螨 (*Tetranychus urticae* Koch) 的控制作用研究. *农业科学研究*, 27(1): 16–19]
- Wang YJ, Wu J, Zhao YN, Li RX, Zhao DX. 2015. Functional response and searching rate of giant Asian mantis *Hierodula patellifera* (Serville) nymphs to litchi stink bug *Tessaratoma papillosa* (Drury) nymphs. *Journal of Plant Protection*, 42(3): 310–315 (in Chinese) 王玉洁, 吴娇, 赵怡楠, 黎荣欣, 赵冬香. 2015. 广斧螳若虫对荔枝椿若虫的捕食功能反应与搜寻效应. *植物保护学报*, 46(3): 310–315
- Yan ZF, Zhang C, Wang ZY, He KL, Bai SX. 2012. Predatory function response of *Propylaea japonica* on *Rhopalosiphum maidis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 28(1): 139–142 (in Chinese) 闫占峰, 张聪, 王振营, 何康来, 白树雄. 2012. 龟纹瓢虫捕食玉米蚜功能反应研究. *中国生物防治学报*, 28(1): 139–142]
- Zhang WQ, Guo XH, Hou ZR, Wang L, Yin Z, Hao SD, Guo YY, Wang JZ, Zhang ZY. 2014. The predation functional response of *Harmonia axyridis* Pallas to *Aphis craccivora*. *Journal of Environmental Entomology*, 36(6): 965–970 (in Chinese) 张文秋, 郭喜红, 侯峥嵘, 王璐, 尹哲, 郝少东, 郭宇阳, 王进忠, 张志勇. 2014. 异色瓢虫对豆蚜的捕食功能反应. *环境昆虫学报*, 36(6): 965–970]
- Zhang X, Li XL, Liang ZS, Li JJ. 2012. Potential management capacity investigation of *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae) to *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae) on the host plant sealwort in different environmental temperatures. *Journal of Environmental Entomology*, 34(2): 214–219 (in Chinese) 张欣, 李修炼, 梁宗锁, 李建军. 2012. 不同温度环境下大草蛉对黄精主要害虫二斑叶螨的控害潜能评估. *环境昆虫学报*, 34(2): 214–219]

(责任编辑: 王璇)