



陈斌, 张伟, 刘兴旺, 黄英, 王玲, 李国慧, 彭秀丽. 不同龄期的草蛉对桃蚜的捕食作用 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (4): 830–837.

不同龄期的草蛉对桃蚜的捕食作用

陈斌¹, 张伟^{2*}, 刘兴旺³, 黄英³, 王玲⁴, 李国慧⁵, 彭秀丽⁶

(1. 四川省高县农业技术推广站, 四川宜宾 645150; 2. 宜宾学院农林与食品工程学部, 宜宾 644000;

3. 四川省绵阳市植保植检站, 四川绵阳 621000; 4. 四川省广元市利州区农业农村局, 四川广元 628017;

5. 四川省北川县植保植检站, 四川绵阳 622750; 6. 四川省夹江县农业农村局, 四川乐山 614100)

摘要: 草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur) 是我国分布较广、捕食能力较强的天敌昆虫。为明确草蛉对桃蚜 *Myzus persicae* 潜在的控制能力, 在室内研究了草蛉不同龄期幼虫和成虫对桃蚜的捕食作用, 以及种内干扰对草蛉捕食的影响。结果表明: 25℃ 恒温条件下, 草蛉成虫和幼虫对桃蚜的捕食功能反应可拟合 Holling II 圆盘方程, 在 24 h 内草蛉成虫、1 龄幼虫、2 龄幼虫和 3 龄幼虫对桃蚜理论最大捕食量分别为 370.4 头、21.5 头、112.4 头和 217.4 头。草蛉成虫和幼虫对桃蚜的捕食量均随着猎物密度的增加而增加, 当桃蚜数量增加到 150 头后, 草蛉成虫和幼虫捕食量的增加速度明显减缓。成虫及幼虫对桃蚜的搜寻效应随着猎物密度的增加而降低, 内干扰作用随着草蛉虫龄的增加而增强。试验结果表明草蛉对桃蚜具有较强的控害能力, 对研究桃蚜生物防治技术有重要参考价值。

关键词: 草蛉; 桃蚜; 功能反应; 种内干扰

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 04-830-08

Predation ability of *Chrysopa pallens* (Rambur) on *Myzus persicae*

CHEN Bin¹, ZHANG Wei^{2*}, LIU Xing-Wang³, HUANG Ying³, WANG Ling⁴, LI Guo-Hui⁵, PENG Xiu-Li⁶ (1. Agricultural Technology Extension Station of Gaoxian County, Yibin 645150, Sichuan Province, China; 2. Faculty of Agriculture, Forestry and Food Engineering, Yibin University, Yibin 644000, China; 3. Plant Protection and Plant Quarantine Station of Mianyang, Mianyang 621000, Sichuan Province, China; 4. Agriculture and Rural Bureau of Lizhou District, Guangyuan 628017, Sichuan Province, China; 5. Plant Protection and Plant Quarantine Station of Beichuan, Mianyang 622750, Sichuan Province, China; 6. Agriculture and Rural Bureau of Jiajiang, Leshan 614100, Sichuan Province, China)

Abstract: *Chrysopa pallens* (Rambur) is a natural enemy with wide distribution and strong predation ability in China. In order to determine the potential control ability of *C. pallens* on *Myzus persicae*, the predatory capacity of *C. pallens* on *M. persicae*, and the effects of intraspecific interference on predation of *C. pallens*, were studied in laboratory. The results showed that the functional response of *C. pallens* on *M. persicae* was belonged to Holling II. Within 24 hours, the theoretical maximum predation of adults, 1st instar, 2nd instar and 3rd instar larvae to *M. persicae* was 370.4, 21.5, 112.4 and 217.4, respectively. The predation of adults and larvae to *M. persicae* increased with the increase of prey

基金项目: 四川省科技计划重点研发项目 (2019YFN0180)

作者简介: 陈斌, 高级农艺师, 研究方向为病虫害绿色防控技术应用, E-mail: 316351802@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 张伟, 博士, 正高级农艺师, 主要研究方向为病虫害绿色防控技术开发, E-mail: 313297692@qq.com

收稿日期 Received: 2021-05-21; 接受日期 Accepted: 2022-05-06

density, and the predation of adults and larvae slowed down obviously when the number of *M. persicae* increased to 150. The searching effect of adults and larvae on *M. persicae* decreased with the increase of prey density, and the internal interference increased with the increase of the age of lacewings. The results showed that *C. pallens* had a strong ability to control *M. persicae* and had important reference value for biological control of *M. persicae*.

Key words: *Chrysopa pallens* (Rambur); *Myzus persicae*; functional response; intraspecific interference

桃蚜 *Myzus persicae* 属半翅目蚜科, 是严重危害桃 *Prunus persica*、梨 *Pyrus* spp.、李 *Prunus salicina*、甘蓝 *Brassica oleracea*、萝卜 *Raphanus sativus*、辣椒 *Capsicum annuum* 和烟草 *Nicotiana tabacum* 等果蔬经济作物的重要害虫, 也是黄瓜花叶病毒 (*Cucumber mosaic virus*, CMV)、马铃薯 Y 病毒 (*Potato virus Y*, PVY) 等 115 种植物病毒的重要传播媒介, 其分泌的蜜露还能引起果树煤烟病 (赵荣乐等, 2003; 王化兵, 2015; 易齐等, 2020)。桃蚜在我国大部地区均有发生, 在华北地区年发生 10 余代 (司生云等, 2012), 在长江中下游地区年发生 20 ~ 30 代, 在上海、江苏、四川等气候适宜区发生尤为严重。目前, 防治桃蚜的主要措施是化学农药, 而长期连续多次、高剂量使用化学农药防治造成桃蚜抗药性迅速上升, 农药残留、污染环境、对人畜造成毒害等问题越来越突出, 迫切需要寻找新的治理措施 (姚洪渭等, 2002; 宫亚军等, 2011)。生物防治是解决桃蚜生态控制的重要措施, 保护和利用天敌昆虫是其中重要的组成部分。近年来, 随着农药减量控害概念的提出, 研究和利用昆虫天敌控制害虫成为研究热点, 30 年来我国利用天敌昆虫防治农业害虫取得了可喜的成果 (杨怀文, 2015a; 2015b)。我国天敌资源丰富, 据有关文献报道我国昆虫天敌仅寄蝇约有 450 种, 捕食螨约 200 种, 捕食性农田蜘蛛有 265 种, 仅广西壮族自治区捕食性昆虫有 313 种 (杨怀文, 2015a; 2015b)。

大草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur) 属脉翅目草蛉科, 是农业生产上重要的天敌昆虫之一 (Wyckhuys *et al.*, 2013), 因其食量大、分布广、数量多、对害虫控制效果好, 早在上世纪 80 年代就引起我国生防工作者重视并对其进行研究 (牟吉元等, 1980; 赵敬钊, 1988)。近十年来, 有关大草蛉对害虫捕食能力的研究发现, 大草蛉成虫及幼虫可以捕食蚜虫 (赵琴等, 2008; 程丽媛等, 2014)、粉虱及卵 (刘爽等, 2011; 王然等, 2016;

唐天成等, 2018)、蓟马 (唐良德等, 2017)、叶螨 (张欣等, 2012)、鳞翅目害虫卵及幼虫 (李姝等, 2019; 徐庆宣等, 2019; 曹雯星等, 2020), 大草蛉甚至还可捕食多异瓢虫 *Adonia variegata*、七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 等一些捕食性天敌昆虫的低龄幼虫 (阿力甫·那思尔等, 2014, 2015)。

大草蛉繁殖力高, 且人工繁育技术已较成熟 (党国瑞, 2013; 潘鹏旭, 2017), 卵即使长时间低温保存, 也有较高孵化率 (Zhang *et al.*, 2019), 有利于规模化繁殖。鉴于大草蛉广阔的生物防治应用前景, 为明确大草蛉对桃蚜的控害效果, 本文利用功能反应模型测定了大草蛉对桃蚜的捕食作用, 并分析了种内干扰对捕食作用的影响, 以期开展桃蚜生物防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

桃蚜和大草蛉采自四川宜宾高县田间。桃蚜采回后用甘蓝苗扩繁, 大草蛉从田间采回后用桃蚜作为饲料进行饲养 (王海建, 2015), 饲养条件均为温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $70\% \pm 10\%$ 、光周期 14 L:10 D。通过对蜕皮次数的观察, 得到 1 龄、2 龄、3 龄幼虫和成虫 (王海建, 2015)。

1.2 试验方法

1.2.1 不同龄期大草蛉对桃蚜的捕食功能反应

试验在光照培养箱内进行, 试验条件为温度 25°C 、光照时间 14 h、相对湿度 70%。将参试的大草蛉雌成虫 (交配后 1 d) 和 1 ~ 3 龄幼虫保存在 $4^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ 冷藏箱内, 饥饿处理 24 h。参照王海建 (2015) 的方法, 在直径为 25 cm 的大烧杯放入新鲜甘蓝叶片, 叶片下垫蘸水的脱脂棉保湿, 接入 1 日龄桃蚜若蚜后, 引入 1 日龄大草蛉 1 头。分别测定大草蛉雌成虫对桃蚜捕食功能反应时, 桃蚜密度设置为 50、100、150、200、250、300 头。分别测定大草蛉 1 龄、2 龄和 3 龄幼虫对

桃蚜捕食功能反应时, 桃蚜密度均设为 20、30、40、50、60、70 头。每杯引入大草蛉 1 头, 各处理均设 8 次重复, 并设仅放桃蚜的等量密度对照组一个。24 h 后观察并记录各处理剩余的桃蚜数量, 并以对照组自然死亡桃蚜数量进行校正, 建立捕食功能反应模型 (王海建, 2015)。用 Holling II 圆盘方程 $N_a = a' \cdot N \cdot T_i / (1 + a' \cdot N \cdot T_h)$ 拟合大草蛉成虫和不同龄期幼虫对桃蚜的捕食功能反应, 式中 N_a 为被捕食的桃蚜数量, a' 为瞬时发现率, N 为桃蚜密度, T_h 为处置时间, T_i 为试验持续时间 (试验为 24 h, 即 1 d, 取 $T_i = 1$); 参照吴坤君等的方法计算功能反应模型参数, 并对所建立方程进行 χ^2 检验 (李桂亭, 2002; 吴坤君等, 2004)。

1.2.2 种内干扰对不同龄期大草蛉捕食率的影响

试验在光照培养箱内进行, 试验条件为温度 25℃、光照时间 14 h、相对湿度 70%。参照李新兵等的方法 (李新兵等, 2019), 在 6 个直径为 25 cm 的干燥洁净的培养皿放入新鲜甘蓝叶片, 叶片下垫蘸水的脱脂棉保湿, 以 50、100、150、200、250 头/皿桃蚜分别与 1、2、3、4、5 头/皿大草蛉成虫组合, 8 次重复, 并设仅放桃蚜的等量密度对照组。24 h 后观察并记录各组合桃蚜被捕食的数量, 并以对照组桃蚜自然死亡数量进行校正。采用 Hasse II 干扰反应模型 $E = QP^{-m}$ 拟合种内干扰对大草蛉捕食率的影响, 其中 E 为捕食率, Q 为搜索常数, P 为捕食者密度, m 为干扰系数 (Holling, 1959)。将方程取对数后线性化, 用最小二乘法求 P 、 m 值 (李秋荣等, 2020); 并对所建立方程进行 χ^2 检验 (Hassell, 1978)。

2 结果与分析

2.1 大草蛉成虫对桃蚜的捕食功能反应

当桃蚜密度在 150 头以下时, 大草蛉成虫的日均捕食量随桃蚜投放量增加而快速增加; 当桃蚜密度增加到 150 头以上时, 大草蛉捕食量的增加缓慢 (表 1)。通过对 Holling II 功能反应模型的拟合, 得到功能反应方程 $N_{a成} = 1.1389N / (1 + 0.0030N)$, 当 $N \rightarrow \infty$ 时, 在 24 h 内每头大草蛉理论上最多可捕食 370.4 头桃蚜, 捕食平均处置时间 $T_{h成} = 0.0027$ d。经卡方适合性检验, $\chi^2 = 3.21$ 小于 $\chi_{0.005}^2 = 16.75$, 说明大草蛉成虫对桃蚜的捕食功

能反应符合 Holling II 圆盘方程, 大草蛉成虫捕食量与猎物密度间呈密度制约关系。

表 1 大草蛉成虫对桃蚜的捕食功能反应

Table 1 Predatory capacity of adult of *Chrysopa pallens* to *Myzus persicae*

大草蛉数量 (头) Number of predators (P)	桃蚜投放量 (头) Number of hosts (N)	日均捕食量 (头) ± 标准差 Number of preyed hosts (N_a) ± SD
1	50	47.00 ± 3.27
1	100	91.28 ± 4.11
1	150	132.28 ± 5.35
1	200	137.57 ± 5.38
1	250	150.85 ± 7.38
1	300	171.86 ± 10.67

2.2 大草蛉幼虫对桃蚜的捕食功能反应

大草蛉 1 龄、2 龄和 3 龄幼虫对桃蚜的捕食量与成虫对桃蚜捕食量的变化趋势相同。其 1 龄、2 龄和 3 龄幼虫捕食功能反应模型分别为 $N_{a1} = 0.8633N / (1 + 0.0402N)$ 、 $N_{a2} = 0.6247N / (1 + 0.0058N)$ 和 $N_{a3} = 0.8486N / (1 + 0.0046N)$ 。当 $N \rightarrow \infty$ 时, 在 24 h 内每头大草蛉 1 龄、2 龄和 3 龄幼虫理论上分别可最多捕食桃蚜 21.5 头、112.4 头和 217.4 头, 捕食平均处置时间分别为 0.0465 d、0.0089 d 和 0.0046 d。经卡方适合性检验, χ^2 值分别为 0.08、0.31 和 1.37, 均小于 $\chi_{0.005}^2 = 16.75$, 说明大草蛉幼虫对桃蚜的捕食功能反应也符合 Holling II 圆盘方程。

2.3 种内干扰对大草蛉捕食率的影响

随着大草蛉数量的增加, 尽管总捕食量呈上升趋势, 但各龄试虫的平均捕食量都呈下降趋势, 其中成虫平均捕食量下降趋势最明显, 表明大草蛉捕食时存在种内干扰 (表 3)。不同龄期大草蛉的捕食干扰作用可用 Hasse II 干扰反应模型拟合, 得到方程分别为: $E_1 = 0.6863P^{-0.1647}$ 、 $E_2 = 0.6399P^{-0.2438}$ 、 $E_3 = 0.6193P^{-0.2542}$ 和 $E_{成虫} = 0.2924P^{-0.5790}$, χ^2 值分别为 2.09、1.79、1.35 和 1.59 均小于 $\chi_{0.05}^2 = 5.89$ 。干扰系数随着虫龄增加而增大, 搜索常数随着虫龄增加而减小, 说明大草蛉虫龄越大, 捕食时的种内干扰作用越强。

表 2 大草蛉幼虫对桃蚜的捕食功能反应
Table 2 Predatory capacity of larvae of *Chrysopa pallens* to *Myzus persicae*

大草蛉数量 (头)	桃蚜投放量 (头)	日均捕食量 (头) $\pm$ 标准差 Number of preyed hosts (N_a) $\pm$ SD		
Number of predators	Number of hosts (N)	1 龄 1 st instar	2 龄 2 nd instar	3 龄 3 rd instar
1	20	9.75 $\pm$ 1.04	11.88 $\pm$ 1.46	18.86 $\pm$ 1.77
1	30	12.00 $\pm$ 1.31	15.25 $\pm$ 2.12	21.29 $\pm$ 2.69
1	40	12.38 $\pm$ 1.41	20.75 $\pm$ 2.92	26.14 $\pm$ 3.62
1	50	14.75 $\pm$ 3.11	22.88 $\pm$ 2.70	31.57 $\pm$ 2.37
1	60	15.38 $\pm$ 1.60	29.88 $\pm$ 2.03	42.29 $\pm$ 4.68
1	70	15.63 $\pm$ 1.41	30.75 $\pm$ 1.83	51.28 $\pm$ 5.79

表 3 种内干扰对大草蛉捕食作用的影响
Table 3 Intraspecific interference on *Chrysopa pallens* predation rates

虫龄	捕食者数量 (头)	猎物数量 (头)	总捕食量 (头)	平均捕食量	干扰系数	搜索常数
Instar	Number of predators	Number of hosts (N)	Number of preyed hosts (N_a)	Average number of preyed hosts	(m)	(Q)
1 st instar	1	50	15.38 $\pm$ 2.33	15.38 $\pm$ 2.33	0.1647	0.6863
	2	100	28.50 $\pm$ 1.41	14.25 $\pm$ 0.71		
	3	150	39.13 $\pm$ 3.09	13.04 $\pm$ 1.03		
	4	200	50.88 $\pm$ 2.64	12.72 $\pm$ 0.67		
	5	250	62.38 $\pm$ 3.46	12.48 $\pm$ 0.69		
2 nd instar	1	50	27.13 $\pm$ 2.23	27.13 $\pm$ 2.23	0.2438	0.6399
	2	100	40.25 $\pm$ 2.49	20.13 $\pm$ 2.49		
	3	150	45.25 $\pm$ 3.69	15.08 $\pm$ 3.69		
	4	200	52.75 $\pm$ 4.20	13.19 $\pm$ 4.21		
	5	250	63.38 $\pm$ 3.70	12.68 $\pm$ 0.74		
3 rd instar	1	100	56.13 $\pm$ 3.56	56.13 $\pm$ 3.56	0.2542	0.6193
	2	200	94.75 $\pm$ 3.45	47.38 $\pm$ 3.45		
	3	300	115.38 $\pm$ 3.29	38.46 $\pm$ 3.29		
	4	400	115.63 $\pm$ 8.98	28.91 $\pm$ 2.25		
	5	500	122.00 $\pm$ 8.05	24.40 $\pm$ 1.61		
成虫 Adult	1	100	88.38 $\pm$ 3.93	88.38 $\pm$ 3.93	0.5790	0.2924
	2	200	150.25 $\pm$ 5.20	75.13 $\pm$ 2.60		
	3	300	155.50 $\pm$ 6.16	51.83 $\pm$ 2.05		
	4	400	156.00 $\pm$ 4.84	39.00 $\pm$ 1.21		
	5	500	167.50 $\pm$ 5.37	33.50 $\pm$ 1.07		

3 结论与讨论

近年来,天敌昆虫对桃蚜的捕食作用研究较多。大肩突瓢虫 *Synonycha grandis* (Thunberg) (欧善生等,2008)、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (李英梅等,2015) 和四斑广盾瓢虫 *Platynaspis maculosa* (陈燕等,2015) 在实验室内对桃蚜均有较好的控制效果,理论日最大捕食量分别为 277.4 头、200.0 头和 81.3 头,但均低于本研究中大草蛉成虫对桃蚜的理论日最大捕食量,表明大草蛉对桃蚜有较强的控制潜能。

捕食功能反应模型反映了天敌和害虫种群动态变化过程 (Solomon, 1949), Holling 提出 3 个经典的功能反应模型,即 Honlling I 型、Holling II 型和 Honlling III 型 (Honlling, 1959)。Holling II 圆盘方程模型是最常见的捕食者-猎物功能反应模型,大量昆虫天敌对害虫的捕食效应都符合该模型。日本通草蛉 *Chrysoperla nipponensis*、大草蛉、叶色草蛉 *Chrysopa phyllochroma*、丽草蛉 *Chrysopa formosa*、黄玛草蛉 *Mallada basalis*、白面叉草蛉 *Pseudomallada albifrons* 等草蛉科天敌对害虫的功能反应绝大部分都符合 Holling II 圆盘方程模型 (赖艳等,2020)。本研究结果显示大草蛉成虫和幼虫对桃蚜的捕食功能反应均符合 Holling II 圆盘方程模型,即随着桃蚜投放量的增加,大草蛉捕食量呈加速增长趋势,但当桃蚜投放量超过 150 头后,大草蛉成虫捕食量增长速度趋缓,1 龄、2 龄和 3 龄幼虫捕食量增长情况也呈相似趋势。该结果与大草蛉对夹竹桃蚜 *Aphis nerii* (赵琴等,2008)、麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* (李桂亭等,2002)、桃粉大尾蚜 *Hyloperus amygdali* (孙丽娟等,2013)、牛蒡长管蚜 *Uroleucon gobonis* (孙丽娟等,2013)、豆蚜 *Aphis craccivora* (唐良德等,2017) 和桃粉蚜 *Hyloperus arundinis* (张安盛等,2004) 等蚜虫的功能反应一致。而大草蛉对烟粉虱 *Bemisia tabaci* (刘爽等,2011)、西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Sarkar et al., 2019) 等比蚜虫个体更小的害虫的捕食功能反应则符合 Honlling III 型,这可能与大草蛉对不同猎物取食偏

好 (Sarkar et al., 2019) 以及猎自身的逃逸能力有关 (Zhang et al., 2010)。

瞬时发现率 a' 与处置时间 T_h 的比值,反映了天敌对猎物的消耗效率, a'/T_h 比值越大说明天敌对害虫的控制能力越强 (周集中等,1986)。大草蛉 1 龄幼虫、2 龄幼虫、3 龄幼虫和成虫 a'/T_h 比值分别为 20.6、107.7、184.5 和 379.6, Holling II 圆盘方程模型拟合的理论日最大捕食量也随着虫龄的增加而增加,表明大草蛉成虫对桃蚜的捕食能力最强。该结果与大草蛉对桃粉大尾蚜 *Hyloperus amygdali* (Blanchard)、绣线菊蚜 *Aphis citricola* van der Goot 和牛蒡长管蚜 *Uroleucon gobonis* (Matsumura) 的捕食效果一致 (孙丽娟等,2013)。大草蛉成虫期对上述 3 种蚜虫的捕食量显著高于幼虫期,其中对绣线菊蚜的理论日最大捕食量可达 766.0 头。尽管大草蛉成虫捕食量大,但在生防应用中普遍存在定殖性差的问题 (武鸿鹄等,2014),在生产中应用大草蛉控制桃蚜为害时,应优先考虑释放幼虫。

大量室内研究表明,捕食者密度的增加,捕食者之间将产生相互干扰,导致捕食效应下降,这一现象被称为种内干扰 (Butler et al., 1979; 王保平等,2001)。大草蛉捕食草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 低龄幼虫 (曹雯星等,2020)、黑刺粉虱 *Aleurocan spinifetus* (唐天成等,2018) 等害虫存在种内干扰现象。本研究结果证明大草蛉在捕食桃蚜时也存在种内干扰,且随着虫龄的增加种内干扰作用增强。种内干扰不仅与天敌密度相关,还与猎物密度有关 (邱海燕,2020),因此在田间释放大草蛉控制桃蚜时,必须综合考虑害虫种群密度和大草蛉的种内干扰作用,恰当掌握天敌释放数量,达到控制害虫危害及维持天敌种群持续生存的目标。

本研究结果表明,应用大草蛉开展桃蚜生物防治有较好前景。但本研究是在实验室条件下进行的,田间天敌昆虫对害虫的防治效果还受到环境温湿度 (贾静静等,2019)、寄主植物 (王甦等,2016)、天敌性别 (金剑雪等,2011)、农药施用 (李锐等,2014) 等多种因素的影响,其田间释放技术还需要进一步深入研究。

参考文献 (References)

- Butler GD, May CJ. Laboratory studies of the searching capacity of larvae of *Chrysopa carnea* for eggs of *Heliothis* spp. [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1971, 64 (6): 1459–1461.
- Cao WX, Zhang T, Yang H, et al. Evaluation of predatory function of *Chrysopa pallens* to larvae of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2020, 47 (4): 839–844. [曹雯星, 张韬, 杨欢, 等. 大草蛉对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食功能评价 [J]. 植物保护学报, 2020, 47 (4): 839–844]
- Cheng LY, Liao XJ, Xu LX, et al. Two-sex life table and predation of *Chrysopa pallens* (Rambur) feeding on *Megoura japonica* (Matsumura) [J]. *Journal of Plant Protection*, 2014, 41 (6): 680–686. [程丽媛, 廖先骏, 徐龙祥, 等. 以豌豆修尾蚜为猎物的大草蛉两性生命表和捕食率 [J]. 植物保护学报, 2014, 41 (6): 680–686]
- Dang GR. Effects on the Survival and Reproduction of *Chrysopa pallens* (Rambur) Adults of Artificial Diets Contained Different Insect Components [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Master Thesis, 2013. [党国瑞. 含不同昆虫成分的人工饲料对大草蛉成虫生存和繁殖的影响 [D]. 北京: 中国科学院硕士论文, 2013]
- Gong YJ, Wang ZH, Shi BC, et al. Resistance status of *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) populations to pesticide in Beijing [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44 (21): 4385–4394. [宫亚军, 王泽华, 石宝才, 等. 北京地区不同桃蚜种群的抗药性研究 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (21): 4385–4394]
- Hassell MP. The Dynamics of Arthropod Predator-Prey Systems [M]. Princeton: Princeton University Press, 1978: 1–237.
- Holling CS. Some characteristics of simple types of predation and parasitism [J]. *The Canadian Entomologist*, 1959, 91 (7): 385–398.
- Jia JJ, Fu YG, Zhang FP, et al. Effects of temperature on predatory functional responses of *Neoseiulus californicus* to *Eutetranychus orientalis* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2019, 35 (3): 382–389. [贾静静, 符悦冠, 张方平, 等. 温度对加州新小绥螨捕食东方真叶螨功能反应的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2019, 35 (3): 382–389]
- Jin JX, Li FL, Cheng Y, et al. Functional response of *Coccinella septempunctata* to *Aphis craccivora* [J]. *Plant Protection*, 2011, 37 (4): 68–71. [金剑雪, 李凤良, 程英, 等. 七星瓢虫对豆蚜的功能反应 [J]. 植物保护, 2011, 37 (4): 68–71]
- Lai Y, Liu XY. The natural enemy species of Chrysopidae from China and their applications in biological control: A review [J]. *Journal of Plant Protection*, 2020, 47 (6): 1169–1187. [赖艳, 刘星月. 中国草蛉科天敌昆虫及其生防应用研究进展 [J]. 植物保护学报, 2020, 47 (6): 1169–1187]
- Li GT, Zou YD, Zhou XZ, et al. Effect of mutual interference and spatial heterogeneity on predation of *Chrysopa septempunctata* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13 (4): 433–434. [李桂亭, 邹运鼎, 周夏芝, 等. 干扰作用及空间异质性的对大草蛉雄成虫捕食作用的影响 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (4): 433–434]
- Li QR, Qi QM, Lai YP. Study on predation of *Coccinella undecimpunctata* Linnaeus on *Aphis gossypii* Glover [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42 (6): 1472–1481. [李秋荣, 祁全梅, 来有鹏. 十一星瓢虫对枸杞棉蚜的捕食作用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (6): 1472–1481]
- Li R, Li N, Liu J, et al. The effect of low-dose of pesticide on predation of spider and its preliminary mechanisms [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34 (10): 2629–2637. [李锐, 李娜, 刘佳, 等. 低剂量杀虫剂对星蜘蛛捕食效应的影响及其机理 [J]. 生态学报, 2014, 34 (10): 2629–2637]
- Li S, Wang J, Guo XJ, et al. Research progress and prospects of *Chrysopa pallens* (Rambur) (Hemiptera: Chrysopidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (2): 241–252. [李姝, 王杰, 郭晓军, 等. 天敌昆虫大草蛉的研究进展与展望 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (2): 241–252]
- Li XB, Han SP, Liang C, et al. Functional response of *Harmonia axyridis* (Pallas) adults to *Semiaphis heraclei* (Takahashi) [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (2): 61–63. [李新兵, 韩世鹏, 梁超, 等. 异色瓢虫成虫对胡萝卜微管蚜的捕食作用 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39 (2): 61–63]
- Li YM, Tan Q, Zhang F, et al. The predation functional response of *Harmonia axyridis* to *Myzus persicae* in greenhouse [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (5): 1081–1084. [李英梅, 谭巧, 张锋, 等. 异色瓢虫对设施栽培桃树桃蚜的捕食功能反应研究 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (5): 1081–1084]
- Liu S, Wang S, Liu BM, et al. The predation function response and predatory behavior observation of *Chrysopa pallens* larva to *Bemisia tabaci* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44 (6): 1136–1145. [刘爽, 王甦, 刘佰明, 等. 大草蛉幼虫对烟粉虱的捕食功能反应及捕食行为观察 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (6): 1136–1145]
- Mu JY, Wang NC, Fan YG. Study of the life history and habits of four species of grasshoppers [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1980, 7 (1): 1–8. [牟吉元, 王念慈, 范永贵. 四种草蛉生活史和习性的研究 [J]. 植物保护学报, 1980, 7 (1): 1–8]
- Naser A, Hasan A, Meng L, et al. Intraguild interactions between *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) and *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae) at different life stages [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2015, 58 (9): 997–1004. [阿力甫·那思尔, 艾山·阿布都热依木, 孟玲, 等. 不同虫态及虫龄大草蛉与七星瓢虫之间的集团内互作 [J]. 昆虫学报, 2015, 58 (9): 997–1004]
- Naser A, Zumlati A, Roiman A, et al. Intraguild predation among predatory insects *Hippodamia variegata*, *Coccinella septempunctata* and *Chrysopa pallens* at different stages [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34 (22): 6560–6567. [阿力甫·那思尔, 祖母拉提·

- 阿布都热依木, 热依曼·阿迪, 等. 多异瓢虫与七星瓢虫、大草蛉不同虫态间的集团内捕食 [J]. 生态学报, 2014, 34 (22): 6560–6567]
- Ou SS. Predation of *Synonycha grandis* (Thunberg) adult on peach aphid [J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2008, 36 (3): 974–975. [欧善生. 大突肩瓢虫成虫对桃蚜的捕食作用 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36 (3): 974–975]
- Pan PX. Biological characteristics and rearing and utilization of *Chrysopa pallens* [J]. *Journal of Modern Gardening*, 2017, 5: 16–17. [潘鹏旭. 大草蛉生物学特性及饲养利用 [J]. 现代园艺, 2017, 5: 16–17]
- Qiu HY, Fu BL, Ma XT, et al. Functional response and searching efficiency of *Orius tantillus* against *Thrips hawaiiensis* [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (6): 84–89. [邱海燕, 付步礼, 马晓彤, 等. 淡翅小花蝽对黄胸蓟马的捕食功能反应与搜寻效应 [J]. 植物保护, 2020, 46 (6): 84–89]
- Sarkar SC, Wang ED, Zhang ZK, et al. Laboratory and glasshouse evaluation of the green lacewing, *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae) against the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2019, 54 (1): 115–121.
- Solomon ME. The natural control of animal populations [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1949, 18 (1): 1–35.
- Sun LJ, Yi WX, Zhao CD, et al. Predatory capacity of *Chrysopa pallens* (Rambur) [J]. *Plant Protection*, 2013, 39 (5): 153–157. [孙丽娟, 衣维贤, 赵川德, 等. 大草蛉对 3 种蚜虫的捕食能力研究 [J]. 植物保护, 2013, 39 (5): 153–157]
- Sun RH, Jiang LL, Wu HB, et al. The development of chemical control and resistance of green peach aphid in China [J]. *Agrochemicals*, 2020, 59 (1): 1–5. [孙瑞红, 姜莉莉, 武海斌, 等. 中国桃蚜防治药剂及抗性发展 [J]. 农药, 2020, 59 (1): 1–5]
- Tang LD, Wang XS, Zhao HY, et al. The predation function response and development of *Chrysopa pallens* larva on *Megalurothrips usitatus* and *Aphis craccivora* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2017, 33 (1): 49–55. [唐良德, 王晓双, 赵海燕, 等. 大草蛉幼虫捕食豆大蓟马和豆蚜的功能反应及生长发育 [J]. 中国生物防治学报, 2017, 33 (1): 49–55]
- Tang TC, Zhang Y, Li JC, et al. Predatory responses of *Chrysoperla sinica* (Tjeder) and *Chrysopa pallens* larvae to *Aleurocan spinifetus* (Quaintance) nymphs [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (2): 217–222. [唐天成, 张艳, 李程锦, 等. 中华通草蛉和大草蛉幼虫对黑刺粉虱若虫的捕食功能反应 [J]. 应用昆虫学报, 2018, 55 (2): 217–222]
- Wang HB. Control of aphids on peach tree [J]. *Journal of Deciduous Fruit Tree*, 2015, 47 (4): 18. [王化兵. 桃树蚜虫的防治 [J]. 落叶果树, 2015, 47 (4): 18]
- Wang HJ. Study on the Ecological Control Mechanism of *Aphis glycines* in Maize-soybean Nesting System [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University Doctor Thesis, 2015. [王海建. 玉米/大豆套作系统大豆蚜生态控制机理研究 [D]. 成都: 四川农业大学博士论文, 2015]
- Wang R, Wang S, Qu C, et al. The predatory functional response and searching effect of *Chrysopa pallens* larvae to *Bemisia tabaci* eggs on different host plants [J]. *Journal of Plant Protection*, 2016, 43 (1): 149–154. [王然, 王甦, 渠成, 等. 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 [J]. 植物保护学报, 2016, 43 (1): 149–154]
- Wu HH, Chen HY, Zhang LS. Effect of temperature and release height on dispersal behavior of *Chrysopa pallens* (Rambur) and *Chrysopa formosa* Brauer adults [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2014, 30 (5): 587–592. [武鸿鹄, 张礼生, 陈红印. 温度与释放高度对大草蛉和丽草蛉成虫扩散行为的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2014, 30 (5): 587–592]
- Wu KJ, Sheng CF, Gong PY. Equation of predator functional response and estimation of the parameters in it [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2004, 41 (3): 267–269. [吴坤君, 盛承发, 龚佩瑜. 捕食性昆虫的功能反应方程及其参数的估算 [J]. 昆虫知识, 2004, 41 (3): 267–269]
- Wyckhuys KAG, Lu YH, Morales H, et al. Current status and potential of conservation biological control for agriculture in the developing world [J]. *Biological Control*, 2013, 65 (1): 152–167.
- Xu QX, Wang S, Tian RB, et al. Study on the predation potential of *Chrysopa pallens* on *Spodoptera frugiperda* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (4): 754–759. [徐庆宣, 王松, 田仁斌, 等. 大草蛉对草地贪夜蛾捕食潜能研究 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (4): 754–759]
- Yang HW. Review in utilization of insect natural enemies during the period from 1985 to 2015 in China (part 1) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2015, 31 (5): 603–612. [杨怀文. 我国农业害虫天敌昆虫利用三十年回顾 (上篇) [J]. 中国生物防治学报, 2015, 31 (5): 603–612]
- Yang HW. Review in utilization of insect natural enemies during the period from 1985 to 2015 in China (part 2) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2015, 31 (5): 613–619. [杨怀文. 我国农业害虫天敌昆虫利用三十年回顾 (下篇) [J]. 中国生物防治学报, 2015, 31 (5): 613–619]
- Yao HW, Ye GY, Cheng JA. Advances in study on resistance of homopteran pests to chemical insecticides [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2002, 14 (2): 63–70. [姚洪渭, 叶恭银, 程家安. 同翅目害虫抗药性研究进展 [J]. 浙江农业学报, 2002, 14 (2): 63–70]
- Yi Q, Jiang KY. Handbook for Pest Control of Vegetable Pests and Diseases in Greenhouse [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 121–145. [易齐, 姜克英. 保护地蔬菜病虫害防治手册 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 121–145]
- Yin Z, Li JP, Dong M, et al. Research on predation capacity and preference of *Orius sauteri* against western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*), two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) and peach aphid (*Myzus persicae*) [J]. *China Plant Protection*, 2017, 37 (8): 17–19. [尹哲, 李金萍, 董民, 等.]

- 东亚小花蝽对西花蓟马、二斑叶螨和桃蚜的捕食能力及捕食选择性研究 [J]. 中国植保导刊, 2017, 37 (8): 17–19]
- Zhang AS, Feng JG, Yu Y, et al. The functional response of *Coccinella septempunctata* and *Chrysopa septempunctata* to *Hyalopterus amygdali* [J]. *Entomological Journal of East China*, 2004, 13 (1): 69–71. [张安盛, 冯建国, 于毅, 等. 七星瓢虫、大草蛉对桃粉蚜捕食功能研究 [J]. 华东昆虫学报, 2004, 13 (1): 69–71]
- Zhang SZ, Jiang RX, Zhang F, et al. Suitability of *Aphis craccivora* (Hemiptera: Aphididae) and *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype-B as prey for *Chrysopa pallens* (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2010, 20 (9): 961–971.
- Zhang TT, Zhang GC, Zhang LS, et al. Effects of cold storage on quality of *Chrysopa pallens* and recovery of fecundity by insulin [J]. *Scientific Reports*, 2019, 9 (1): 5311.
- Zhang X, Li XL, Liang ZS, et al. Tential management capacity investigation of *Chrysopa pallens* (Hymenoptera: Chrysopidae) to *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae) on the host plant sealwort in different environmental temperatures [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2012, 34 (2): 214–219. [张欣, 李修炼, 梁宗锁, 等. 不同环境温度下大草蛉对黄精主要害虫二斑叶螨的控害潜能评估 [J]. 环境昆虫学报, 2012, 34 (2): 214–219]
- Zhao JZ. Studies on the bionomics of *Chrysopa septempunctata* [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1988, 15 (2): 123–127. [赵敬钊. 大草蛉生物学特性研究 [J]. 植物保护学报, 1988, 15 (2): 123–127]
- Zhao Q, Chen J, Liu FX, et al. Predation of *Chrysopa pallens* on *Myzus persicae* and *Aphis nerii* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2008, 30 (3): 220–223. [赵琴, 陈婧, 刘凤想, 等. 大草蛉对桃蚜和夹竹桃蚜的捕食作用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2008, 30 (3): 220–223]
- Zhao RL, Zheng GY. *Myzus persicae* can transmit zucchini yellow mosaic virus-xj with high efficiency [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2003, 39 (3): 382–385. [赵荣乐, 郑光宇. 桃蚜可高效率地传播小西葫芦黄化花叶病毒新疆株 [J]. 北京师范大学学报 (自然科学版), 2003, 39 (3): 382–385]
- Zhou JZ, Chen MC. Predation of wolf spider, *Lycosa pseudoannulata* on brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, and its simulation model: I. functional response [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 1986, 2 (1): 2–9. [周集中, 陈常铭. 拟环纹狼蛛对褐飞虱的捕食作用及其模拟模型的研究 I. 功能反应 [J]. 生物防治通报, 1986, 2 (1): 2–9]