

大草蛉幼虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力评价

李萍, 李玉艳*, 向梅, 王孟卿, 毛建军, 陈红印, 张礼生*

(中国农业科学院植物保护研究所/中美合作生物防治实验室, 北京 100193)

摘要: 为明确大草蛉对草地贪夜蛾的控害潜能, 本试验在室内评价了大草蛉幼虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食及搜寻能力, 并观察总结了大草蛉的捕食行为特点。结果表明: 大草蛉2龄、3龄幼虫对草地贪夜蛾1龄、2龄幼虫均表现出积极的取食行为和较强的捕食能力, 尤其对草地贪夜蛾1龄幼虫的日均捕食量较大, 分别为78.5头、89.9头, 理论条件下日最大捕食量可达125头、167头, 其捕食功能反应均符合Holling II模型。大草蛉3龄幼虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食量、搜寻能力及控害效能均显著高于2龄幼虫, 对猎物的瞬时攻击率更强, 处理时间更短。本研究结果证实大草蛉幼虫对草地贪夜蛾低龄幼虫均具有较强的控害能力, 这对利用草蛉类天敌持续防治草地贪夜蛾具有重要的实践指导意义。

关键词: 大草蛉; 草地贪夜蛾; 捕食能力; 功能反应; 生物防治

中图分类号: S476.2 文献标识码: A 文章编号: 1005-9261(2020)04-0513-07

Predation Capacity of *Chrysopa pallens* Larvae to Young Larvae of *Spodoptera frugiperda*

LI Ping, LI Yuyan*, XIANG Mei, WANG Mengqing, MAO Jianjun, CHEN Hongyin, ZHANG Lisheng*

(USDA-ARS Sino-American Biological Control Laboratory/Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: The potential of *Chrysopa pallens* (Rambur) to control *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) was evaluated under laboratory conditions in this study, and the predation behavior was also observed. The results indicate that the 2nd and 3rd instar larvae of *C. pallens* showed active feeding behaviors and strong predatory ability against the 1st and 2nd instar larvae of *S. frugiperda*. In particular, both the 2nd and 3rd instar larvae of *C. pallens* had a large predatory capacity to the 1st instar larvae of *S. frugiperda*, with the average daily predation amount of 78.5 and 89.9, respectively, which corresponds to the maximum daily predation amount of 125 and 167, respectively, under theoretical conditions. All stages of *C. pallens* showed a type II functional response. The predation capacity, searching ability and controlling efficacy of *C. pallens* 3rd instar larvae to *S. frugiperda* young larvae were significantly higher than those of *C. pallens* 2nd instar larvae, respectively. And, the 3rd instar larvae of *C. pallens* had much higher attacking rate, but shorter handling time. This study confirms that *C. pallens* larvae have a strong ability to control the young larvae of *S. frugiperda*, which has an important practical meaning for the long-term sustainable control of *S. frugiperda* by the predatory insect lacewings.

Key words: *Chrysopa pallens*; *Spodoptera frugiperda*; predatory capacity; functional response; biological control

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 原产于美洲热带与亚热带地区, 是联合国粮农组织全球预警的重要迁飞性农业害虫^[1,2]。该害虫破坏性极强, 具有适生区

收稿日期: 2020-05-27

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0201000, 2017YFE0104900); 中国农业科学院重大科研任务(CAAS-ZDRW202007)

作者简介: 李萍, 硕士研究生, E-mail: liping3300@163.com; *通信作者, 李玉艳, 博士, 副研究员, E-mail: lyy129@126.com; 张礼生, 博士, 研究员, E-mail: zhangleesheng@163.com。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2020.04.013

域广、迁飞距离远、繁殖能力强、暴食杂食等特点,主要为害玉米、水稻、甘蔗、高粱等350多种植物,尤喜食禾本科粮食作物^[3-5]。草地贪夜蛾幼虫各龄均可受害,低龄幼虫群集为害,取食植物叶片造成孔洞、边缘缺刻等,高龄幼虫除为害叶片外,还取食心叶、叶鞘、穗轴及籽粒等,对玉米等作物生长发育造成严重影响,一般可造成玉米减产20%~40%,有的高达70%以上^[6,7]。

草地贪夜蛾自2019年1月由东南亚入侵我国云南后,快速向北扩散蔓延,到9月份已扩散至25省份,见虫面积100多万 hm^2 ^[8]。目前该虫已在西南、华南地区定殖,农业农村部专家预测2020年草地贪夜蛾将呈重发态势,严重威胁我国粮食及农业生产安全^[9]。为控制其扩散为害,各地区积极采取多项措施开展应急防控,包括理化诱控、化学防治、生态调控及生物防治技术等,其中利用天敌昆虫防控草地贪夜蛾,具有安全、有效、无污染、控害持久等优点,是生物防治的重要措施^[10]。自草地贪夜蛾入侵后,我国积极开展草地贪夜蛾的天敌资源挖掘和利用研究,取得了重要进展。目前,国内外已报道的能捕食草地贪夜蛾的天敌昆虫有248种^[7],我国报道能捕食或寄生草地贪夜蛾的天敌昆虫种类有20余种,包括蠋蝽 *Arma chinensis* (Fallou)、益蝽 *Picromerus lewisi* Scott、七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* Linnaeus、异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas)、夜蛾黑卵蜂 *Telenomus remus* Nixon、半闭弯尾姬蜂 *Diadegma semiclausum* Hellen、短管赤眼蜂 *Trichogramma pretiosum*^[6,11-15]等,在草地贪夜蛾的防控中具有重要的应用价值。

大草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur) 属脉翅目 Neuroptera, 草蛉科 Chrysopidae, 在我国广泛分布,是自然界中常见的重要捕食性天敌昆虫,可取食蚜虫、粉虱、蓟马、螨类、鳞翅目卵及低龄幼虫等多种农林害虫,在害虫生物防治中具有重要应用价值^[16-20]。已有研究表明大草蛉可捕食棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner)、红铃虫 *Pectinophora gossypiella* (Saunders)、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee、米蛾 *Corcyra cephalonica* (Stainton)等鳞翅目害虫,其防治效果良好^[19,20]。前期,本实验室开展了大草蛉对草地贪夜蛾的取食适合性测试,发现该天敌能捕食草地贪夜蛾卵和低龄幼虫,为进一步明确大草蛉对草地贪夜蛾的捕食能力和控害效果,本试验在室内条件下测定了大草蛉2龄、3龄幼虫分别对草地贪夜蛾1龄和2龄幼虫的捕食功能反应,评价了其捕食能力,同时观察了大草蛉捕食草地贪夜蛾的行为特点,为利用大草蛉防控草地贪夜蛾提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

草地贪夜蛾采自云南省农业科学院嵩明基地玉米田(102.76° E, 25.12° N),在室内建立稳定种群后用于试验。大草蛉为中国农业科学院植物保护研究所天敌昆虫研究组长期饲养种群,饲养条件为温度(25±1)°C,相对湿度(70±10)%,光周期16L:8D,食料为大豆蚜 *Aphis glycines* Matsumura,其具体饲养方法参照武鸿鹄等^[21]的文献。

1.2 试验条件

在直径15 cm、高度1.5 cm的培养皿内进行大草蛉2龄、3龄幼虫分别对草地贪夜蛾1龄、2龄幼虫的捕食功能反应试验。试验条件为温度(25±1)°C,光周期16L:8D,光强6600 lx,相对湿度(70±10)%。

1.3 试验方法

试验前将大草蛉幼虫置于上口直径16 cm、下口直径13 cm,高度6.5 cm的养虫盒内饥饿处理24 h,并放入浸湿脱脂棉保湿。24 h后,将饥饿处理的单头大草蛉2龄或3龄幼虫放入培养皿内(直径15 cm、高1.5 cm),并提供草地贪夜蛾1龄或2龄幼虫供其捕食,同时放入新鲜玉米叶,避免草地贪夜蛾幼虫自残。为大草蛉2龄幼虫提供的草地贪夜蛾幼虫密度梯度设置如下:1龄幼虫密度为30、60、90、120、200头/皿,2龄幼虫密度为5、10、15、20、30头/皿。大草蛉3龄幼虫提供的草地贪夜蛾幼虫密度梯度分别为:1龄幼虫30、60、90、120、200头/皿,2龄幼虫5、10、20、30、50头/皿。各密度梯度均设置对应空白对照。试验共20个处理,每个处理重复8次。将上述放置有大草蛉和猎物草地贪夜蛾的培养皿置于试验条件下任其取食24 h,之后检查草地贪夜蛾幼虫的存活数目,以草地贪夜蛾的自然死亡数校正各处理大草蛉幼虫的捕食量。试验过程中,在显微镜下观察并记录大草蛉幼虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食行为,总结其捕食特点。

1.4 数据统计与分析

功能反应方程： $N_e = aN_0T/(1 + aT_hN_0)$ [22]，搜寻效应方程： $S = a/(1 + aT_hN_0)$ [23]，式中 N_e 为捕食草地贪夜蛾幼虫的数量， a 为大草蛉幼虫对草地贪夜蛾的瞬时攻击率， N_0 是草地贪夜蛾幼虫的密度， T 是试验所用的总时间，为 1 d， T_h 是处理时间（即大草蛉幼虫捕食 1 头草地贪夜蛾幼虫所用的时间）， S 为搜寻效应。利用 Excel 2010 进行数据预处理，再使用 Graphpad Prism 6.01 进行统计分析并作图，差异显著性分析采用 t 检验或单因素方差分析法，多重比较采用 Tukey's HSD 法。

2 结果与分析

2.1 大草蛉对草地贪夜蛾的捕食行为观察

大草蛉幼虫为捕吸式口器，又称双刺吸式口器，捕食草地贪夜蛾的过程包括爬行、静息、搜寻、取食和清理行为。捕食时，幼虫先四处爬行寻找猎物，间或静息，静息持续时间不定且没有规律。大草蛉幼虫的上、下颚极为发达，左右形成一对钳状，发现草地贪夜蛾幼虫后，其张开上、下颚刺入幼虫体内，将幼虫紧紧钳住吸取猎物体液。取食过程中间或举起猎物以防止其逃走，直至将猎物取食殆尽只剩下表皮和头壳，然后将猎物残渣甩掉，清理后，继续寻找下一个猎物，或休息片刻后继续搜寻（图 1）。

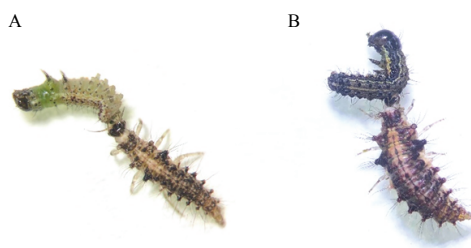


图 1 大草蛉 2 龄 (A) 及 3 龄幼虫 (B) 捕食草地贪夜蛾 2 龄幼虫

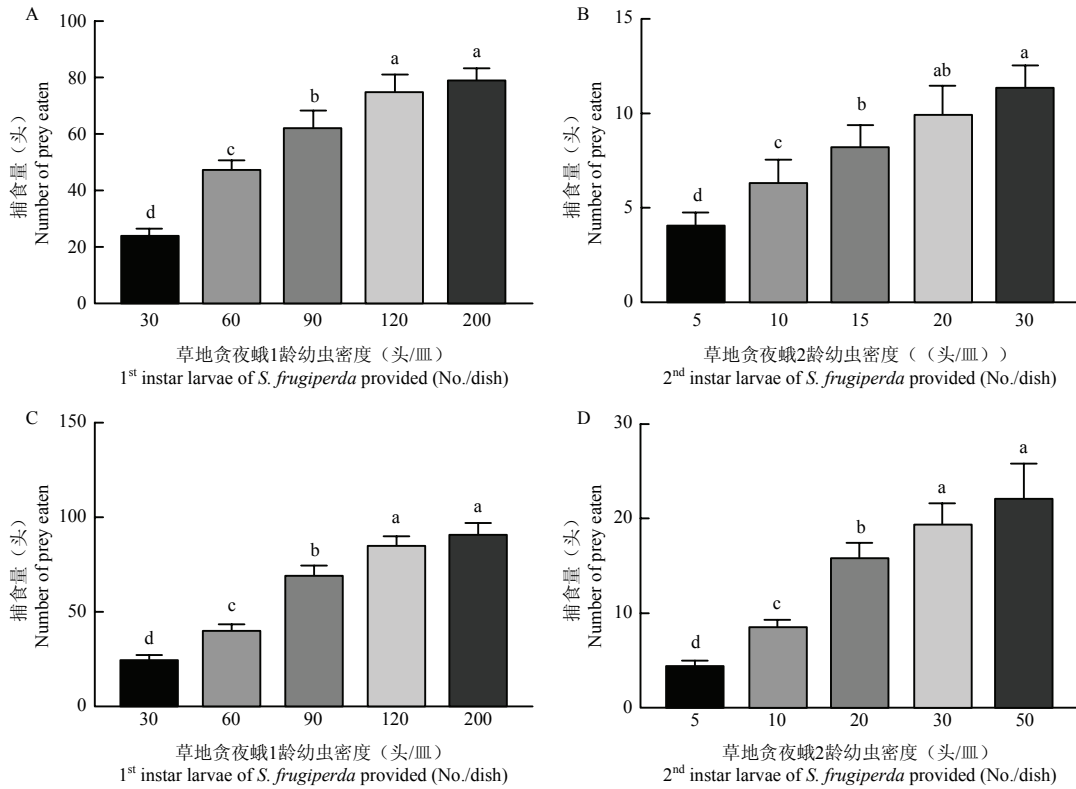
Fig. 1 The 2nd (A) and 3rd instar (B) larvae of *C. pallens* prey on the 2nd instar larvae of *S. frugiperda*

2.2 大草蛉幼虫对草地贪夜蛾 1 龄、2 龄幼虫的捕食能力

大草蛉 2 龄、3 龄幼虫均能取食草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫，其捕食量均随猎物密度增加而显著增大。大草蛉 2 龄幼虫分别对草地贪夜蛾 1 龄幼虫 ($F_{4,35} = 147.9, P < 0.0001$)、2 龄幼虫 ($F_{4,35} = 42.33, P < 0.0001$)，以及大草蛉 3 龄幼虫分别对草地贪夜蛾 1 龄幼虫 ($F_{4,35} = 223.7, P < 0.0001$)、2 龄幼虫 ($F_{4,35} = 92, P < 0.0001$) 的捕食量在不同猎物密度梯度之间均有显著差异（图 2）。在最大猎物密度下，大草蛉 3 龄幼虫对相同龄期草地贪夜蛾幼虫的捕食量均显著高于 2 龄幼虫（取食 1 龄幼虫： $t = 3.827, df = 14, P = 0.0019$ ；取食 2 龄幼虫： $t = 7.619, df = 14, P < 0.0001$ ）。当提供的草地贪夜蛾 1 龄幼虫密度为 200 头时，大草蛉 2 龄、3 龄幼虫每日分别最多可捕食 85 头、98 头，日均捕食量分别为 (78.5 ± 4.69) 头、 (89.9 ± 6.98) 头；当草地贪夜蛾 2 龄幼虫密度为 30 头时，大草蛉 2 龄幼虫日均捕食量为 (11.3 ± 1.28) 头；当草地贪夜蛾 2 龄幼虫密度为 50 头时，3 龄幼虫每日最多可捕食 26 头，日均捕食量为 (22 ± 3.78) 头（图 2）。

大草蛉幼虫对草地贪夜蛾 1 龄、2 龄幼虫的捕食功能反应均符合 Holling II 模型（图 3）。当猎物密度足够大时，大草蛉 2 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的理论日最大捕食量分别为 125.0 头、21.7 头；大草蛉 3 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄、2 龄幼虫的日最大捕食量分别为 166.7 头、32.3 头，其捕食能力显著高于 2 龄幼虫。大草蛉 3 龄幼虫对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的瞬时攻击率最大，但对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的处理时间最短（表 1）。

在捕食功能反应中，控害效能 (a/T_h) 是衡量天敌作用的参数之一，其数值越大，天敌对害虫的控制能力越强。大草蛉 2 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的控害效能为 152.75，是其对草地贪夜蛾 2 龄幼虫控害效能的 8 倍；大草蛉 3 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的控害效能最强，为 191.333，是其对草地贪夜蛾 2 龄幼虫控害效能的 4.5 倍。说明大草蛉 2 龄、3 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的控害效能更高，3 龄幼虫的控害能力尤为突出（表 1）。



注: 数据为平均值±标准差, 不同小写字母表示 $P < 0.05$ 水平时差异显著。

Note: Values were mean ± SD. Different lowercase letters indicate significantly different at $P < 0.05$.

图 2 大草蛉 2 龄 (A, B)、3 龄 (C, D) 幼虫对草地贪夜蛾 1 龄 (A, C)、2 龄 (B, D) 幼虫的日均捕食量

Fig. 2 The average daily predation amount of the 2nd (A, B) and 3rd (C, D) instar larvae of *C. pallens* to the 1st (A, C) and 2nd (B, D) instar larvae of *S. frugiperda*

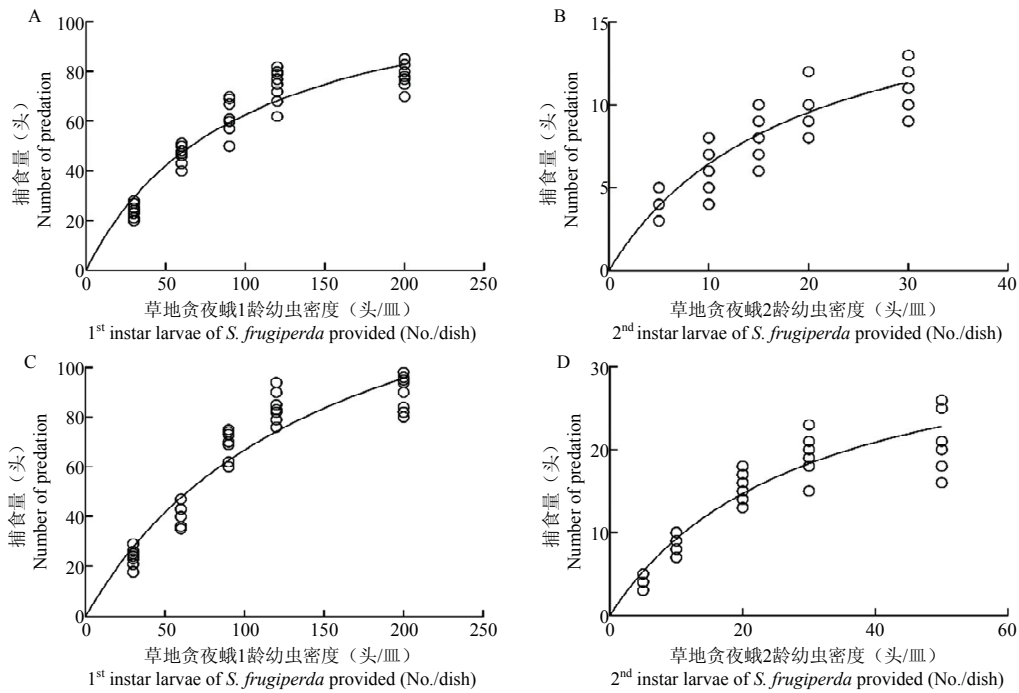


图 3 大草蛉 2 龄 (A, B)、3 龄 (C, D) 幼虫分别对草地贪夜蛾 1 龄 (A, C)、2 龄 (B, D) 幼虫的捕食功能反应曲线

Fig. 3 Functional response curves of the 2nd (A, B) and 3rd (C, D) instar larvae of *C. pallens* to the 1st (A, C) and 2nd (B, D) instar larvae of *S. frugiperda*

表 1 大草蛉幼虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应方程及参数
Table 1 Functional response parameters of *C. pallens* larvae to young larvae of *S. frugiperda*

大草蛉 <i>C. pallens</i>	猎物 <i>S. frugiperda</i>	捕食功能反应方程 Functional response equation	瞬时攻击率 Attacking efficiency, a	处理时间 Handling time, T_h (d)	控害效能, 日最大捕食量 a/T_h Max predation, T/T_h	R^2	F	P	
2 龄幼虫 2 nd instar larvae	1 龄幼虫 1 st instar larvae	$Ne=1.222 N_0/(1+0.01 N_0)$	1.222	0.008	152.75	125.0	0.8963	198.892	<0.0001
2 龄幼虫 2 nd instar larvae	2 龄幼虫 2 nd instar larvae	$Ne=0.870 N_0/(1+0.04 N_0)$	0.870	0.046	18.913	21.7	0.8704	154.527	<0.0001
3 龄幼虫 3 rd instar larvae	1 龄幼虫 1 st instar larvae	$Ne=1.148 N_0/(1+0.007 N_0)$	1.148	0.006	191.333	166.7	0.8840	175.316	<0.0001
3 龄幼虫 3 rd instar larvae	2 龄幼虫 2 nd instar larvae	$Ne=1.305 N_0/(1+0.04 N_0)$	1.305	0.031	42.097	32.3	0.8746	160.450	<0.0001

2.3 大草蛉幼虫对草地贪夜蛾 1 龄、2 龄幼虫的搜寻效应

根据 $S=a/(1+aT_hN_0)$ 公式可计算出大草蛉 2 龄、3 龄幼虫对草地贪夜蛾 1 龄、2 龄幼虫的搜寻效应。由图 4 看出大草蛉幼虫对草地贪夜蛾幼虫的搜寻效应随着草地贪夜蛾幼虫密度的增加而降低，当草地贪夜蛾 1 龄幼虫密度高于 200 头/皿，2 龄幼虫密度高于 20 或 50 头/皿时，大草蛉 2、3 龄幼虫的搜寻效应均低于 0.5。当草地贪夜蛾 1 龄、2 龄幼虫的设置密度相同时，各密度梯度下大草蛉 3 龄幼虫的搜寻效应均高于 2 龄幼虫。

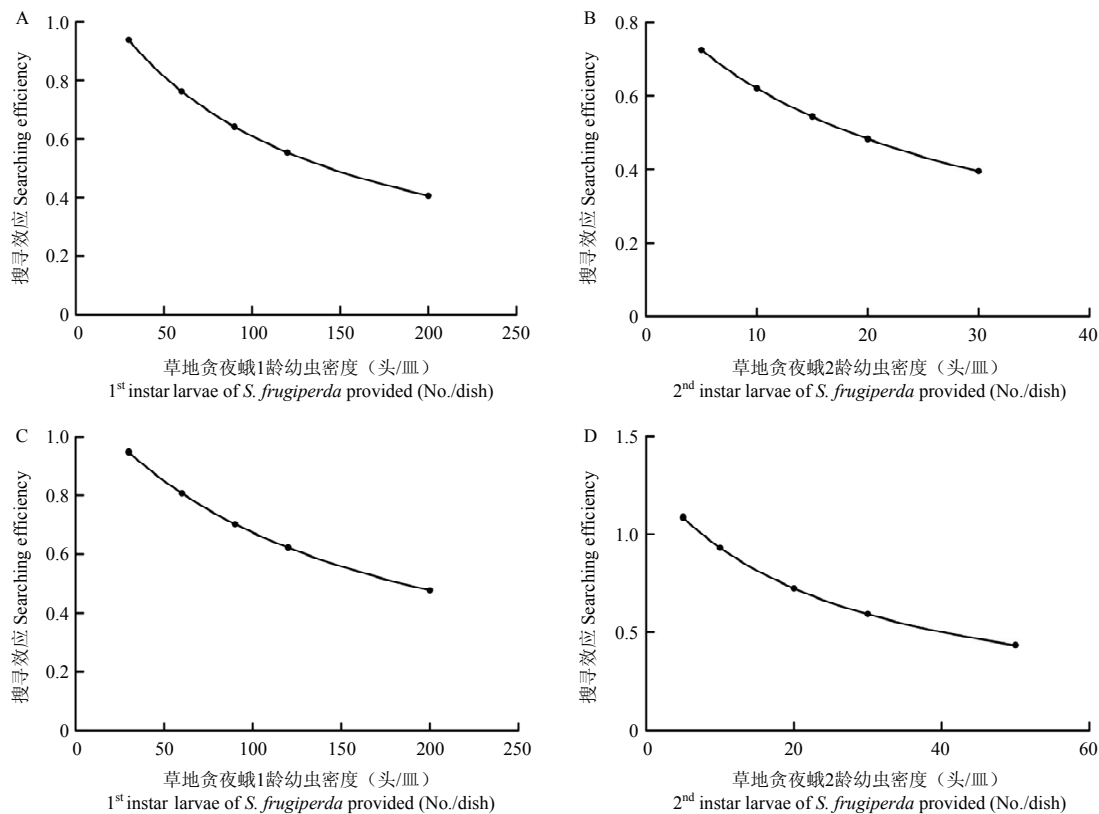


图 4 大草蛉 2 龄 (A, B)、3 龄 (C, D) 幼虫分别对草地贪夜蛾 1 龄 (A, C)、2 龄 (B, D) 幼虫的搜寻效应曲线
Fig. 4 Searching efficiency of the 2nd (A, B) and 3rd (C, D) instar larvae of *C. pallens* to the 1st (A, C) and 2nd (B, D) instar larvae of *S. frugiperda*

3 讨论

大草蛉是国内外普遍应用的重要捕食性天敌昆虫，对多种农林害虫具有较强的自然控制作用。大草蛉幼虫捕食草地贪夜蛾的行为总体包括爬行、静息、搜寻、捕食和清理过程，与草蛉科其他种类的草蛉如丽

草蛉 *Chrysopa formosa* Brauer、中华草蛉 *Chrysoperla sinica* 捕食其他害虫的捕食行为相似^[24,25]。本试验结果表明,大草蛉2龄、3龄幼虫对草地贪夜蛾1龄、2龄幼虫均表现出积极的取食行为和较强的捕食能力,尤其对草地贪夜蛾1龄幼虫的日均捕食量较高,在试验设置最大密度下,日均可捕食78.5头、89.9头,理论条件下日最大捕食量分别可达125头和167头。徐庆宣等^[26]报道大草蛉3龄幼虫对草地贪夜蛾1龄幼虫的理论日最大捕食量为358头,与本试验结果差异较大,这可能与计算方法不同有关。徐庆宣等^[26]用 a/T_h 计算得到的值作为理论日最大捕食量,而本研究中用 T/T_h 计算获得最大捕食量,而 a/T_h 代表的是控害效能。此外,若试验用的大草蛉3龄幼虫日龄不同,其捕食量也存在差异,本研究中采用的是蜕皮1日龄的3龄幼虫,刚蜕皮的3龄初期幼虫捕食量相较于更高日龄的幼虫为低。大草蛉3龄幼虫的捕食能力显著高于2龄幼虫,无论对草地贪夜蛾1龄或2龄幼虫均表现出较高的捕食量和控害效能,对猎物的处理时间也显著为短。草地贪夜蛾暴食为害期为3龄以上幼虫,且高龄幼虫有钻蛀行为,因此在其暴食期前利用大草蛉防治1、2龄幼虫可达到较好的防治效果,可有效压低害虫种群数量,一定程度上能明显降低后期防治难度。

大草蛉幼虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食功能反应符合 Holling II 模型,这与草蛉科其他种类如丽草蛉、中华草蛉的捕食功能反应模型一致^[24,25]。大草蛉幼虫捕食棉铃虫、牛蒡长管蚜 *Uroleucon gobonis* (Matsumura)等的功能反应类型也符合 Holling II 模型^[16,20]。根据功能反应方程及参数,可以看出大草蛉3龄幼虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的日最大捕食量、处理时间和控害效能均优于大草蛉2龄幼虫,已有报道也表明大草蛉3龄幼虫捕食桃蚜 *Myzus persicae* 和夹竹桃蚜 *Aphis nerri*、豆大蓟马 *Megalurothrips usitatus* (Bagnall)幼虫的能力显著强于2龄幼虫,控害效果更佳^[27,28]。本研究中大草蛉3龄幼虫对草地贪夜蛾1龄、2龄幼虫的瞬时攻击率分别为1.148和1.305,均高于大草蛉对棉铃虫1龄(0.945)、2龄幼虫(0.751)的瞬时攻击率^[20],说明大草蛉对新入侵我国的草地贪夜蛾具有较高的取食倾向,其防控潜力较大。

寻找效应是捕食者在捕食猎物过程中对猎物攻击的一种行为效应,本研究中大草蛉2龄、3龄幼虫对猎物的寻找效应随着猎物密度的增加而降低,这与大草蛉幼虫对烟蚜、烟粉虱的搜寻效应结果类似^[17,29]。在应用时,为充分发挥大草蛉各龄幼虫的搜寻和捕食能力,根据室内测得的搜寻效应和捕食能力,可考虑在草地贪夜蛾1龄幼虫密度低于120时,释放大草蛉2龄和3龄幼虫进行防治;在草地贪夜蛾2龄幼虫密度低于15头或30头时,分别释放大草蛉2龄、3龄幼虫防治,此时大草蛉对草地贪夜蛾的搜寻能力能达到50%以上,且捕食量相对较高。

本试验通过研究大草蛉幼虫对草地贪夜蛾幼虫的捕食功能反应和搜寻效应,明确了大草蛉幼虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力及控害效能,这为利用大草蛉防控草地贪夜蛾提供了参考依据。但在实际应用时,由于田间环境条件、作物种类及发育时期、猎物密度及其空间分布等与室内模拟试验不同,需要在室内试验基础上,进一步开展田间条件下大草蛉幼虫对草地贪夜蛾的捕食控害能力研究,综合室内外研究提出科学合理的释放应用对策。此外,为充分发挥不同天敌的防控效能,可针对田间草地贪夜蛾种群的结构特点,研发大草蛉与其他捕食性天敌或寄生性天敌如蠋蝽、瓢虫、黑卵蜂、赤眼蜂等联合释放应用技术,以防控不同虫态的草地贪夜蛾,提高防治效果。

参 考 文 献

- [1] International Plant Protection Convention. Fall Armyworm-an Emerging Food Security Global Threat[EB/OL]. 2018. <https://www.ippc.int/en/news/fall-armyworm-an-emerging-food-security-global-threat/>.
- [2] Todd E L, Poole R W. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera guenee* from the Western Hemisphere[J]. Annals of the Entomological Society of America, 1998, 73(6): 722-738.
- [3] Johnson S J. Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in the western hemisphere[J]. Insect Science and Its Applications, 1987, 8: 543-549.
- [4] Ashley T R, Wiseman B R, Davis F M, et al. The fall armyworm: a bibliography[J]. Florida Entomologist, 1989, 72(1): 152-202.
- [5] Willis K J. State of the World's Plants 2017[R]. United Kingdom: Royal Botanic Gardens, Kew, 2018.
- [6] 唐艺婷, 李玉艳, 刘晨曦, 等. 蠋蝽对草地贪夜蛾的捕食能力评价和捕食行为观察[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 65-68.
- [7] 陈万斌, 李玉艳, 王孟卿, 等. 草地贪夜蛾的天敌昆虫资源应用现状及存在的问题与建议[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(5): 658-673.

- [8] 中华人民共和国农业农村部. 农业农村部就草地贪夜蛾防控工作举行新闻发布会[EB/OL]. (2019-9-20). [2019-9-17]. http://www.moa.gov.cn/hd/zbft_news/cdtyefk/.
- [9] 吴孔明. 中国草地贪夜蛾的防控策略[J]. 植物保护, 2020, 46(2): 1-5.
- [10] Shylesha A N, Jalali S K, Ankita G, *et al.* Studies on new invasive pest *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera:Noctuidae) and its natural enemies[J]. Journal of Biological Control, 2018, 32(3): 1-7.
- [11] 唐艺婷, 王孟卿, 陈红印, 等. 益蝽对草地贪夜蛾高龄幼虫的捕食能力评价和捕食行为观察[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(5): 698-703.
- [12] 孔琳, 李玉艳, 王孟卿, 等. 七星瓢虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力评价[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(5): 715-720.
- [13] 孔琳, 李玉艳, 王孟卿, 等. 多异瓢虫和异色瓢虫对草地贪夜蛾低龄幼虫的捕食能力评价[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(5): 709-714.
- [14] 朱凯辉, 周金成, 张柱亭, 等. 短管赤眼蜂和夜蛾黑卵蜂防治草地贪夜蛾田间竞争的初步评价[J]. 植物保护, 2020, 46(2): 267-271.
- [15] 汤印, 郭非菲, 王勤英, 等. 云南省德宏州发现3种草地贪夜蛾幼虫寄生蜂[J]. 植物保护, <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2020072>.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 魏洪义, 詹根祥, 沈荣武, 等. 大草蛉对桑蓟马捕食作用初报[J]. 江西农业大学学报, 1994, 16(6): 84-86.
- [19] 赵敬钊. 大草蛉生物学特性研究[J]. 植物保护学报, 1988, 5(2): 123-127.
- [20] 黄红, 晏建章, 李代芹. 大草蛉对棉花害虫捕食作用的研究[J]. 昆虫天敌, 1990, 12(1): 7-12.
- [21] 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.
- [22] Holling C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism[J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385-398.
- [23] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994, 257-258, 303-304.
- [24] 南俊科, 宋丽文, 左彤彤, 等. 丽草蛉和异色瓢虫对美国白蛾的捕食作用研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2019, 50(2): 161-166.
- [25] 买合甫皮古丽·阿不力米提, 热孜万古丽·阿布都哈尼, 李京, 等. 中华草蛉对烟粉虱的捕食功能反应及捕食行为观察[J]. 新疆农业大学学报, 2013, 36(2): 112-117.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 唐良德, 王晓双, 赵海燕, 等. 大草蛉幼虫捕食大豆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.
- [29] 陈新, 贺钟麟, 张运慈. 大草蛉对烟蚜种群密度的功能反应及控制能力研究[J]. 河南农业大学学报, 1990, 24(4): 444-454.