

# 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\*

唐天成<sup>1\*\*</sup> 张艳<sup>1</sup> 李程锦<sup>1</sup> 曹欣然<sup>2</sup> 陈珍珍<sup>1\*\*\*</sup> 许永玉<sup>1\*\*\*</sup>

(1. 山东农业大学植物保护学院昆虫学系, 泰安 271018; 2. 烟台农业技术推广中心, 烟台 264001)

**摘要** 【目的】为了研究中华通草蛉 *Chrysoperla sinica* (Tjeder) 幼虫和大草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur) 幼虫对黑刺粉虱 *Aleurocan spinifetus* (Quaintance) 若虫的捕食作用。【方法】在室内 (25±1) 条件下对 2 种草蛉的捕食功能反应模型进行了评估, 并对 2 种草蛉的 3 龄幼虫的种内干扰作用和自身密度作用的反应方程进行了拟合。【结果】2 种草蛉的捕食功能均属于 Holling II 反应模型, 捕食量均随黑刺粉虱若虫密度的增加而增加。中华通草蛉和大草蛉的自身密度方程分别为  $E=0.7530 \times P^{-0.1348}$  和  $E=0.6975 \times P^{-0.1646}$ , 种内干扰作用方程分别为  $A=2.3626 \times P^{-0.2318}$  和  $A=2.4296 \times P^{-0.2256}$ 。【结论】中华通草蛉和大草蛉对黑刺粉虱均具有较好的捕食作用。

**关键词** 中华通草蛉, 大草蛉, 黑刺粉虱, 捕食功能, 自身密度, 种内干扰

## Predatory responses of *Chrysoperla sinica* (Tjeder) and *Chrysopa pallens* larvae to *Aleurocan spinifetus* (Quaintance) nymphs

TANG Tian-Cheng<sup>1\*\*</sup> ZHANG Yan<sup>1</sup> LI Cheng-Jin<sup>1</sup> CAO Xin-Ran<sup>2</sup>  
CHEN Zhen-Zhen<sup>1\*\*\*</sup> XU Yong-Yu<sup>1\*\*\*</sup>

(1. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

2. Yantai Agricultural Technology Extension Center, Yantai 264001, China)

**Abstract** [Objectives] To study the predatory responses of *Chrysoperla sinica* (Tjeder) larvae and *Chrysopa pallens* (Rambur) larvae to *Aleurocan spinifetus* (Quaintance) nymphs. [Methods] Predatory responses of *C. sinica* and *C. pallens* larvae to *A. spinifetus* nymphs, and mutual interference among 3<sup>rd</sup> instar larvae, were measured at (25±1) under laboratory conditions. [Results] Predatory responses of all larval stages of *C. sinica* and *C. pallens* were of the Holling type, and the number of nymphs preyed on increased with increasing density. The density equations of *C. sinica* and *C. pallens* larvae were  $E=0.7530 \times P^{-0.1348}$  and  $E=0.6975 \times P^{-0.1646}$ , respectively and their intraspecific interference equations were  $A=2.3626 \times P^{-0.2318}$  and  $A=2.4296 \times P^{-0.2256}$ , respectively. [Conclusion] Both *C. sinica* and *C. pallens* larvae have substantial potential as biological controls for *A. spinifetus*.

**Key words** *Chrysoperla sinica* (Tjeder), *Chrysopa pallens* (Rambur), *Aleurocan spinifetus* (Quaintance), predation function, self-density, intraspecific interference

黑刺粉虱 *Aleurocan spinifetus* (Quaintance), 又名桔刺粉虱, 属半翅目粉虱科, 是近些年在茶园中普遍发生且危害严重的粉虱类害虫之一。以成虫、若虫群集叶背, 刺吸汁液为害, 并能分泌

蜜露诱发煤烟病, 严重影响树势生长 (黄建等, 1999)。黑刺粉虱通常栖息于茶株中下部叶片密集隐蔽处, 发育周期短, 世代重叠, 化学防治往往很难达到效果。且茶叶作为饮品, 高农药残留

\*资助项目 Supported projects :山东省茶叶产业技术体系项目 (SDAIT-19-04); 科技部国家重点研发计划试点专项 (2017YFD0201000)

\*\*第一作者 First author, E-mail: tangtc93@126.com

\*\*\*共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: xuyy@sdau.edu.cn; chenzz0327@163.com

收稿日期 Received: 2017-05-27, 接受日期 Accepted: 2017-08-23

会影响其品质。因此,利用生物防治手段控制茶园黑刺粉虱对于实现茶园的绿色化生产具有重要意义(郭蕾等,2007)。

生物防治是有害生物治理策略中对环境影响最小的防治手段(Batra,1982)。中华通草蛉 *Chrysoperla sinica* (Tjeder) 属脉翅目草蛉科,是各类粮食作物和经济作物上多种害虫的重要捕食性天敌,在我国分布广泛,对蚜虫、粉虱和螨类等多种害虫有很强的控制作用(许永玉等,1999),同时也是山东茶园中的优势天敌(朱雯等,2011)。大草蛉 *Chrysopa pallens* (Rambur) 同样属于脉翅目草蛉科,分布范围广,食性杂,捕食量大,其幼虫和成虫对蚜虫、害螨、粉虱等都具有较强的捕食作用(赵敬钊,1988),是农林生态系统中重要的捕食性天敌资源(Miller *et al.*,2004)。目前对黑刺粉虱的生物防治研究较少,仅赵琦(1995)测定了草间小黑蛛对黑刺粉虱成虫的捕食作用,并发现具有较强的捕食功能反应。本文主要利用 Holling II 模型(Holling,1959) Hassell & Varley 模型(Hassell,1969)和 Watt 模型(Watt,1959)分别对2种草蛉各龄期幼虫对黑刺粉虱若虫的捕食功能反应、2种草蛉3龄幼虫的种内干扰和自身密度的功能反应进行了测定和拟合,以期为合理利用两种草蛉对茶园中黑刺粉虱的防治提供理论依据和数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

中华通草蛉和大草蛉均为实验室室内长期饲养的稳定种群,供试的2种草蛉的1、2、3龄幼虫均为正常发育2d的幼虫,试验前均饥饿处理24h。

黑刺粉虱若虫采自山东省泰安市泰山区山口镇西太平村的碧霞春生态茶园(117°24'98"E,36°23'42"N)。采回后在室内(25±1)条件下静置半天后,人工挑选3龄期若虫进行捕食功能反应实验。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 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** 在培养皿( $\phi=98$  mm,  $h=18$  mm)中放入蘸水的脱脂棉保持湿润,将不同密度的黑刺粉虱3龄若虫分别与2种草蛉的各龄幼虫组合放置于培养皿中。与中华通草蛉幼虫相结合的猎物密度分别为:1龄,20、30、40、50头/皿;2龄,30、40、50、60头/皿;3龄,30、40、50、60头/皿;与大草蛉幼虫相结合的猎物密度分别为:1龄,20、30、40、50头/皿;2龄,30、40、50、60头/皿;3龄,40、50、60、70头/皿。用保鲜膜覆盖培养皿,防止试虫逃逸。并将培养皿置于(25±2)、RH=75%、L:D=16:8的空气流通处放置,以保证试验期间草蛉幼虫在最适宜环境下进行取食。试验组每组重复3次,并在试验结束24h后检查黑刺粉虱剩余的数量。

**1.2.2 中华通草蛉和大草蛉3龄幼虫的自身密度作用** 每个培养皿中放入200头黑刺粉虱3龄若虫及不同密度的中华通草蛉和大草蛉3龄幼虫,2种草蛉的密度均为1、2、3、4头/皿。每处理重复3次,24h后检查黑刺粉虱的剩余数量。

**1.2.3 中华通草蛉和大草蛉3龄幼虫的种内干扰试验** 每个培养皿中按(天敌:猎物=1:50)的比例放入1头草蛉50头黑刺粉虱;2头草蛉100头黑刺粉虱;3头草蛉150头黑刺粉虱;4头草蛉200头黑刺粉虱,每组处理重复3次,24h后检查黑刺粉虱的剩余数量。

### 1.3 数据分析

试验数据采用软件 SPSS 22.0 进行 ANOVA 方差分析,采用 Turkey 方程进行差异显著性检验。并用 SigmaPlot 13.0 对所有相关方程进行了拟合和线性回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 中华通草蛉各龄幼虫对黑刺粉虱的捕食作用

用 Holling 型功能反应模型  $N_a = aNT / (1 + aT_h N)$  对各龄幼虫的功能反应进行模拟,模拟结

果(表 1)表明,中华通草蛉各龄幼虫均呈现出较高的攻击率。

## 2.2 中华通草蛉 3 龄幼虫的自身密度作用

捕食者自身密度作用拟合公式为  $E=N_a/N \times P$  (式中  $E$  为捕食作用率,  $N_a$  为天敌的捕食数量,  $N$  为猎物密度,  $P$  为天敌密度)。用 Hassell-Verley (1969) 提出的  $E$  和  $P$  之间的关系公式  $E=QP^m$  (式中  $Q$  为寻找系数,  $m$  为互相干扰系数)进

行拟合,求得  $Q=0.7530$ ,  $m=0.1348$ , 故拟合公式为  $E=0.7530 \times P^{-0.1348}$ , 表明捕食作用率  $E$  与天敌数量呈负相关。该拟合公式的相关系数  $R=0.8244$ , 且  $\chi^2=0.120 < P_{0.05}=0.250$ , 说明该数学模型能准确地描述中华通草蛉的 3 龄幼虫的种内干扰对捕食功能的影响。随着中华通草蛉密度的增加,日均捕食黑刺粉虱的量显著增加,平均捕食率显著下降,中华通草蛉的捕食作用随幼虫的密度增大而减小。

表 1 中华通草蛉 1-3 龄幼虫对黑刺粉虱若虫的功能反应

Table 1 Functional response of *Chrysoperla sinica* larvae on *Aleurocan spinifetus* nymph at different stages

| 虫龄 Stage       | 圆盘方程<br>Holling equation  | $a$    | $T_h$  | $a/T_h$  | $R$    | $\chi^2$ | 日最大捕食量<br>Most predation number |
|----------------|---------------------------|--------|--------|----------|--------|----------|---------------------------------|
| 1 龄 1st instar | $N_a=0.9669N/(1+0.0097N)$ | 0.9669 | 0.0100 | 98.6469  | 0.9265 | 0.232    | 36                              |
| 2 龄 2nd instar | $N_a=1.2334N/(1+0.0135N)$ | 1.2334 | 0.0149 | 82.8870  | 0.9533 | 0.115    | 37                              |
| 3 龄 3rd instar | $N_a=1.2311N/(1+0.0135N)$ | 1.2311 | 0.0110 | 111.9686 | 0.9487 | 0.208    | 43                              |

$N_a$  为天敌的捕食量;  $a$  为瞬息攻击系数;  $N$  为猎物密度;  $T$  为试验持续时间,本试验中均为 24 h,  $T_h$  为天敌对猎物的处理时间;  $R$  为相关系数。表 4 同。

$N_a$ : Predation by natural enemy;  $a$ : Function coefficient;  $N$ : Density of prey;  $T$ : Experiment duration, it was 24 h during the research;  $T_h$ : Processing time;  $R$ : Correlation coefficient. The same as table 4.

## 2.3 中华通草蛉 3 龄幼虫的种内干扰作用

用 Watt 反应模型描述捕食者的捕食作用率  $A=a \times P^{-b}$  (式中  $A$  为竞争条件下的捕食量,  $a$  为常数(是在无竞争条件下每头天敌的捕食量估计),  $P$  为天敌密度,  $b$  为种内竞争参数)。进行拟合,求得  $a=2.3626$ ,  $b=0.2318$ , 故拟合公式  $A=2.3626 \times P^{-0.2318}$ , 表明捕食量  $A$  与天敌数量呈负相关。该拟合公式的相关系数  $R=0.9769$ , 且  $\chi^2=0.208 < P_{0.05}=0.250$ , 说明该数学模型能准确地描

述中华通草蛉的 3 龄幼虫自身密度对捕食功能的影响。随着中华通草蛉密度的增加,日均捕食黑刺粉虱的量显著增加,平均捕食率显著下降,中华通草蛉的捕食作用随幼虫的密度增大而减小。

## 2.4 大草蛉各龄幼虫对黑刺粉虱的捕食作用

用 Holling 型功能反应模型  $N_a=aNT/(1+aT_hN)$  对各龄幼虫的功能反应进行模拟,模拟结果(表 2)表明,大草蛉各龄幼虫均呈现出较高的攻击率。

表 2 中华通草蛉 3 龄幼虫捕食黑刺粉虱的自身密度反应

Table 2 Self-density effect of *Chrysoperla sinica* 3<sup>rd</sup> instar larvae on *Aleurocan spinifetus* nymph

| 虫口密度<br>Pest density | 天敌密度<br>The density of natural enemies | 日均捕食量<br>Daily predation amount | 被捕食比例<br>Predation ratio (%) | 平均捕食率<br>Average predation rate (%) | 自身密度方程<br>Self density equation                 |
|----------------------|--|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|---|
| 200                  | 1                                      | 48.00±4.58 d                    | 24.00±1.32 d                 | 24.00±1.32 a                        |   |
| 200                  | 2                                      | 73.00±2.00 c                    | 36.50±1.00 c                 | 18.25±0.29 b                        | $E=0.7530 \times P^{-0.1348}$<br>( $R=0.8244$ ) |
| 200                  | 3                                      | 102.33±6.43 b                   | 51.17±3.21 b                 | 17.05±0.62 bc                       |   |
| 200                  | 4                                      | 115.00±3.61 a                   | 57.50±1.80 a                 | 14.38±0.26 c                        |   |

$E$  为捕食作用率;  $P$  为天敌密度;  $R$  为相关系数。表 5 同。

$E$ : Predation rate;  $P$ : Density of natural enemies;  $R$ : Correlation coefficient. The same as table 5.

### 2.5 大草蛉 3 龄幼虫的自身密度作用

用 Hassell-Verley (1969) 提出的关系公式  $E=QP^m$  进行拟合, 求得  $Q=0.6975$ ,  $m=0.1646$ , 故拟合公式为  $E=0.6975 \times P^{-0.1646}$ , 表明捕食量  $A$  与天敌数量呈负相关。该拟合公式的相关系数  $R=0.9979$ , 且  $\chi^2=0.105 < P_{0.05}=0.250$ , 说明该数学模型能准确地描述大草蛉的 3 龄幼虫的种内干扰对捕食功能的影响。随着大草蛉密度的增加, 日均捕食黑刺粉虱的量显著增加, 平均捕食率显著下降, 大草蛉的捕食作用随幼虫的密度增大而减小。

### 2.6 大草蛉 3 龄幼虫的种内干扰作用

用 Watt 反应模型 (1959) 描述捕食者的捕食作用率  $A=a \times P^{-b}$  进行拟合, 求得  $a=2.4296$ ,  $b=0.2256$ , 故拟合公式  $A=2.4296 \times P^{-0.2256}$ , 表明捕食量  $A$  与天敌数量呈负相关。该拟合公式的相关系数  $R=0.8350$ , 且  $\chi^2=0.109 < P_{0.05}=0.250$ , 说明该数学模型能准确地描述大草蛉的 3 龄幼虫自身密度对捕食功能的影响。随着大草蛉密度的增加, 日均捕食黑刺粉虱的量显著增加, 平均捕食率显著下降, 大草蛉的捕食作用随幼虫的密度增大而减小。

表 3 中华通草蛉 3 龄幼虫捕食黑刺粉虱的种内干扰作用

Table 3 Intraspecific interference effect of *Chrysoperla sinica* 3<sup>rd</sup> instar larvae on *Aleurocan spinifetus* nymph

| 虫口密度<br>Pest density | 天敌密度<br>The density of natural enemies | 日均捕食量<br>Daily predation amount | 被捕食比例<br>Predation ratio (%) | 平均捕食率<br>Average predation rate (%) | 种内干扰方程<br>Intraspecific interference equation   |
|----------------------|--|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|---|
| 50                   | 1                                      | 33.33±2.89 d                    | 66.67±3.33 a                 | 66.67±3.33 a                        | $A=2.3626 \times P^{-0.2318}$<br>( $R=0.9769$ ) |
| 100                  | 2                                      | 52.67±2.52 c                    | 52.67±1.45 bc                | 26.33±0.73 b                        |   |
| 150                  | 3                                      | 74.33±3.06 b                    | 49.55±1.18 c                 | 16.52±0.39 c                        |   |
| 200                  | 4                                      | 115.00±3.61 a                   | 57.50±1.04 b                 | 14.38±0.26 c                        |   |

$A$  为竞争条件下的捕食量;  $P$  为天敌密度;  $R$  为相关系数。表 6 同。

$A$ : The amount of prey under competitive conditions;  $P$ : Density of natural enemies;  $R$ : Correlation coefficient. The same as table 6.

表 4 大草蛉 1-3 龄幼虫对黑刺粉虱若虫的功能反应

Table 4 Functional response of *Aleurocan spinifetus* nymph on *Chrysopa pallens* nymph at different stages

| 虫龄 Stages                  | 圆盘方程<br>Holling equations | $a$    | $T_h$ (d) | $a/T_h$   | $R$    | $\chi^2$ | 日最大捕食量<br>Most predation number |
|----------------------------|---------------------------|--------|-----------|-----------|--------|----------|---------------------------------|
| 1 龄 1 <sup>st</sup> larvae | $N_a=1.0906N/(1+0.0096N)$ | 1.0906 | 0.0088    | 124.4068  | 0.9769 | 0.242    | 38                              |
| 2 龄 2 <sup>nd</sup> larvae | $N_a=1.2728N/(1+0.0195N)$ | 1.2728 | 0.0153    | 83.0500   | 0.9584 | 0.155    | 37                              |
| 3 龄 3 <sup>rd</sup> larvae | $N_a=0.7532N/(1+0.0004N)$ | 0.7532 | 0.0005    | 1364.0940 | 0.9503 | 0.130    | 54                              |

表 5 大草蛉 3 龄幼虫捕食黑刺粉虱的自身密度作用

Table 5 Self density effect of *Chrysopa pallens* 3<sup>rd</sup> instar larvae on *Aleurocan spinifetus* nymph

| 虫口密度<br>Pest density | 天敌密度<br>The density of natural enemies | 日均捕食量<br>Daily predation amount | 被捕食比例<br>Predation ratio (%) | 平均捕食率<br>Average predation rate (%) | 自身密度方程<br>Self density equation                 |
|----------------------|--|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|---|
| 200                  | 1                                      | 52.33±0.88 c                    | 26.17±0.44 c                 | 26.17±0.44 a                        | $E=0.6975 \times P^{-0.1646}$<br>( $R=0.9979$ ) |
| 200                  | 2                                      | 87.33±1.45 b                    | 43.67±0.73 b                 | 21.83±0.36 b                        |   |
| 200                  | 3                                      | 104.00±4.04 a                   | 52.00±2.02 a                 | 17.33±0.67 c                        |   |
| 200                  | 4                                      | 110.33±1.76 a                   | 55.17±0.88 a                 | 13.80±0.22 d                        |   |

表 6 大草蛉 3 龄幼虫捕食黑刺粉虱的种内干扰作用

Table 6 Intraspecific interference effect of *Chrysopa pallens* 3<sup>rd</sup> instar larvae on *Aleurocan spinifetus* nymph

| 虫口密度<br>Pest density | 天敌密度<br>The density of natural enemies | 日均捕食量<br>Daily predation amount | 被捕食比例<br>Predation ratio (%) | 平均捕食率<br>Average predation rate (%) | 种内干扰方程<br>Intraspecific interference equation     |
|----------------------|--|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|---|
| 50                   | 1                                      | 34.67±2.52 d                    | 69.33±2.91 a                 | 69.33±2.91 a                        | $A=2.429 6 \times P^{-0.2256}$<br>( $R=0.835 0$ ) |
| 100                  | 2                                      | 54.33±2.52 c                    | 53.33±1.45 c                 | 27.17±0.73 b                        |   |
| 150                  | 3                                      | 93.00±3.61 b                    | 62.00±1.39 b                 | 20.67±0.46 c                        |   |
| 200                  | 4                                      | 110.33±3.06 a                   | 55.17±0.89 c                 | 13.80±0.22 d                        |   |

### 3 讨论

中华通草蛉和大草蛉的幼虫活动能力强,对猎物的搜索效率也比较高(林克剑等,2006)。从拟合的圆盘方程分析可以得出,大草蛉幼虫的捕食量大于中华通草蛉幼虫的捕食量。周集中和陈常铭(1986)提出可以用  $a/T_h$  值作为一个指标来衡量天敌对猎物的控害能力,其比值越大,天敌对其控制的能力越强。研究结果表明,2 种草蛉幼虫对黑刺粉虱的控制能力均呈现出 3 龄 > 1 龄 > 2 龄的态势,且中华通草蛉和大草蛉对黑刺粉虱的捕食作用均受到天敌和猎物密度的共同影响。在相同的生存环境下,若猎物密度不变,2 种草蛉的平均取食量随自身密度的增加而下降,且大草蛉 3 龄幼虫的自身密度干扰作用 ( $m=0.164 6$ ) 强于中华通草蛉 3 龄幼虫的自身密度干扰作用 ( $m=0.134 8$ ); 而当黑刺粉虱和草蛉密度同时增加时,草蛉幼虫之间又会表现出种内干扰作用,但中华通草蛉 3 龄幼虫的种内竞争参数 ( $b=0.231 8$ ) 高于大草蛉 3 龄幼虫的种内竞争参数 ( $b=0.225 6$ )。所以,当 2 种草蛉在田间作为黑刺粉虱天敌进行释放时要根据调查的黑刺粉虱若虫的密度来确定释放比例,才能达到较好的效果;同时,在实际应用时,天敌的释放数量还要根据建立的模型进行估算,以达到最佳的控害效果(王媛等,2015)。由于试验是在稳定封闭的实验室环境中进行的,与自然存在诸多差异;并且所有捕食反应均是在培养皿这样简单的封闭系统中进行的,限制了捕食者对猎物的处置行为(许静杨等,2012)。天敌昆虫在自然环境中对害虫的捕食,除了试验中涉及的自身特

性外,还受到空间分布、环境因素和昆虫信息素等多种因素的影响(Heinz and Nelson, 1996)。国外还有部分学者指出,不同天敌组成的混合种群更能有效地控制害虫的种群数量(Lee and Kang, 2004)。因此,若要实现 2 种草蛉在茶园的实际应用,还需要进行在田间实际释放中华通草蛉和大草蛉对黑刺粉虱若虫种群进行防治的研究。

### 参考文献 (References)

- Batra SWT, 1982. Biological control in agroecosystem. *Science*, 215: 134-139.
- Guo L, Qiu BL, Wu HJ, Ren SX, 2007. Occurrence, damage of *Aleurocanthus spiniferus* (Homoptera: Aleyrodidae) and its biological control in China. *Natural Enemies of Insects*, 29(3): 7-10. [郭蕾, 邱宝利, 吴洪基, 任顺祥, 2007. 黑刺粉虱的发生、为害及生物防治国内研究概况. 昆虫天敌, 29(3): 7-10.]
- Hassell MP, 1969. New induction population model for insect parasites and its bearing on biological control. *Nature*, 223: 1113-1137.
- Holling CS, 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Can. Ent.*, 91(7): 385-398.
- Huang J, Luo XN, Huang BK, Zhang XY, 1999. Studies on *Aleurocanthus spiniferus* Quaint. and its natural enemies. *Entomological Journal of East China*, 8(1): 35-40. [黄建, 罗肖南, 黄邦侃, 1999. 黑刺粉虱及其天敌的研究. 华东昆虫学报, 8(1): 35-40.]
- Heinz KM, Nelson JM, 1996. Interspecific interactions among natural enemies of Bemisia an inundative biological control program. *Biol. Control*, 6(3): 384-393.
- Lee J, Kang TJ, 2004. Functional response of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) to *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) in the laboratory. *Biol. Control*, 31 (3):

- 306–310.
- Lin KJ, Wu KM, Liu SB, Zhang YJ, Guo YY, 2006. Functional responses of *Chrysopa Sinica*, *Propylaea japonica* and *Leis axyridis* to *Bemisia tabaci*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(3): 111–113. [林克剑, 吴孔明, 刘山蓓, 张永军, 郭予元, 2006. 中华通草蛉、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): 111–113.]
- Miller GL, Oswald JD, Miller DR, 2004. Lacewings and scale insects: a review of predator/prey associations between the Neu-ropterida and Coccoidea (Insecta: Neuroptera, Rphidioptera, Hemiptera). *Annals of the Entomological Society of America*, 97(6): 1103–1254.
- Wang Y, Chen Y, Zhang ZY, Zeng R, Xian JD, 2015. Study on preying potential of different stages of nymphs and adults of *Harmonia axyridis* Pallas on *Myzus persicae* (Sulzer). *Journal of Environmental Entomology*, 37(5): 1075–1080. [王媛, 陈越, 张拯研, 曾峰, 洗继东, 2015. 不同龄期异色瓢虫对烟蚜的捕食潜能研究. *环境昆虫学报*, 37(5): 1075–1080.]
- Watt KEF, 1959 A mathematical model for the effect of densities of attacked and attacking species on the number attack. *Can. Entomol.*, 91(3): 129–144.
- Xu JJ, Gu XS, Xu WH, Bai YC, Liu BM, Hu X, 2012. Predation of 5<sup>th</sup> instars of *Nesidiocoris tenuis* on nymph of vegetable aphids. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 40 (9): 5319–5320 [许静杨, 谷希树, 徐维红, 白义川, 刘佰明, 胡霞, 2012. 烟盲蝽 5 龄若虫对菜蚜低龄若蚜的捕食效能. *安徽农业科学*, 40(9): 5319–5320.]
- Xu YY, Mu JY, Hu C, 1999. Study and application of *Chrysoperla sinica* Tjeder. *Entomological Knowledge*, 36(5): 313–315. [许永玉, 牟吉元, 胡萃, 1999. 中华通草蛉的研究与应用. *昆虫知识*, 36(5): 313–315.]
- Zhao Q, 1995. Observation and function reaction of *Erigonidium graminicolum*. *Journal of Guangxi Citrus*, 4(1): 2–5. [赵琦, 1995. 草间小黑蛛捕食黑刺粉虱功能反应的室内观察研究. *广西柑桔*, 4(1): 2–5.]
- Zhao JZ, 1988. Studies on the bionomics of *Chrysopa Septemfuntata*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 15(2): 123–127. [赵敬钊, 1988. 大草蛉生物学特性研究. *植物保护学报*, 15(2): 123–127.]
- Zhou JZ, Chen CM, 1986. Predation of wolf spider, *Lycosa Pseudoannulata* on brown planthopper *Nilaparvata Lugens*, and its simulation model. I. functional response. *Chinese Journal of Biological Control*, 2(1): 2–9. [周集中, 陈常铭, 1986. 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. *生物防治通报*, 2(1): 2–9.]
- Zhu W, Liu Y, Zhang LX, Yang C, Li WW, 2011. The natural resources investigation in Shandong tea garden. *Tea Science and Teachology*, 1(1): 12–17. [朱雯, 刘玉, 张丽霞, 杨超, 李巍巍, 2011. 山东茶园天敌资源调查. *茶叶科学技术*, 1(1): 12–17.]