

小黑瓢虫与两种猎物作用系统研究:选择捕食作用

荆 英¹, 黄 建², 韩巨才¹, 马瑞燕¹

(1. 山西农业大学农学院, 山西 太谷 030801; 2. 福建农林大学植保学院, 福建 福州 350002)

摘要:研究了小黑瓢虫与烟粉虱及红蜘蛛两种猎物作用系统中,小黑瓢虫雌成虫对两种猎物卵的选择捕食作用。结果表明:当两种猎物共存时,小黑瓢虫雌成虫对烟粉虱卵在低密度下不表现喜好性,而在中等密度和高密度下表现正喜好性,对红蜘蛛卵在各密度下均不表现喜好性。对烟粉虱卵的转换效应会由于总猎物密度的不同而呈现不同的效应,即在低密度(150粒)时无转换行为,在中等密度(300粒)时有负转换行为,在高密度(600粒)时有正转换行为。而对红蜘蛛卵则在各总猎物密度下均呈现负转换效应。同时组建了两种猎物共存时,小黑瓢虫雌成虫对猎物的总捕食作用方程及对每一种猎物类型的捕食作用方程,分析了两种猎物共存时,小黑瓢虫雌成虫对各猎物寻找效应的变化情况。

关键词:小黑瓢虫;烟粉虱;红蜘蛛;作用系统;选择捕食

Selective predation of *Delphastus catalinae* (Horn) on *Bemisia tabaci* (Gennadius) and *Tetranychus nr. fijiensis*

JING Ying¹, HUANG Jian², HAN Ju-Cai¹, MA Rui-Yan¹ (1. College of Agriculture, Shanxi Agriculture University, Taigu, Shanxi 030801, China; 2. College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 292~296.

Abstract: *Delphastus catalinae* (Horn) (formerly known as *Delphastus pusillus* (LeConte)) (Coleoptera: Coccinellidae) is the most important predator of *Bemisia tabaci* (Gennadius), which has become a major pest in numerous crops all over the world. It was introduced into China in order to combat *B. tabaci* in 1996, and inhabited successfully from then on. During the course of our study, we noticed that besides *B. tabaci*, the ladybird could also consumed *Tetranychus nr. fijiensis*. In spring and autumn, *B. tabaci* and *T. nr. fijiensis* may infest greenhouse crops simultaneously. In order to facilitate future utilization for whitefly control in confined environments, selective predation of the female adult of *D. catalinae* on both eggs of *B. tabaci* and *T. nr. fijiensis* was studied in the one-predator-two-prey system, and the results showed that the female adult beetle had no preference to eggs of *B. tabaci* in the low total prey density and positive preference in the middle and high total prey density, and no preference to eggs of *T. nr. fijiensis* in all degrees of total prey density. The female adult beetle also showed different switching to eggs of *B. tabaci* in different degrees of total prey density, that is, no switching in the density of 150 eggs, and negative and positive switching in the density of 300 eggs and 600 eggs, respectively, however the beetle showed negative switching to eggs of *T. nr. fijiensis* in all degrees of total prey density. The total amount of prey and the amount of each prey captured by the female adult beetle were simulated, and the searching efficiency of the female adult beetle to the eggs of the two preys was also analyzed.

Key words: *Delphastus catalinae* (Horn); *Bemisia tabaci* (Gennadius); *Tetranychus nr. fijiensis*; interactive system; selective predation

文章编号:1000-0933(2004)02-0292-05 中图分类号:Q968,S436 文献标识码:A

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30270904);山西省青年科学基金(20031045);山西省自然科学基金资助项目(20031068)

收稿日期:2003-06-07;修订日期:2003-10-20

作者简介:荆 英(1968~),女,山西省洪洞县人,博士,副教授,主要从事昆虫生态及害虫生物防治研究, E-mail: jy68915@yahoo.com.cn

Foundation item: the National Natural Science Foundation of China (NSFC grant No. 30270904) and the Provincial Youth and Natural Science Foundation of Shanxi (No. 20031045 and 20031068)

Received date: 2003-06-07; **Accepted date:** 2003-10-20

Biography: JING Ying, Ph.D., Associate professor, is mainly engaged in ecology of insect and biological control of pests. E-mail: jy68915@yahoo.com.cn

小黑瓢虫 *Delphastus catalinae* (Horn)(曾被误定为 *Delphastus pusillus* (LeConte)^[1,2])是最近几年国外发现的一种控制粉虱类害虫的新的捕食性天敌,研究表明小黑瓢虫对烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius)^[3]、银叶粉虱 *B. argentifolii*^[4~6]、温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)^[7]等粉虱类害虫有很大的抑制作用,是粉虱类害虫的优势种天敌之一,具有重要的利用价值。我国于 1996 年将小黑瓢虫引进大陆^[8],引进以后,以烟粉虱为猎物对其生物学及生态学特性进行了研究。在研究过程中发现,小黑瓢虫除取食烟粉虱外,还可取食替代猎物红蜘蛛 *Tetranychus nr. fijiensis*。在田间及温室内,烟粉虱和红蜘蛛在每年的春秋季节混合发生,为了充分发挥小黑瓢虫对粉虱类害虫的生物防治作用,有必要了解小黑瓢虫与烟粉虱及红蜘蛛“单种捕食者-两种猎物”作用系统中,小黑瓢虫对两种猎物的选择捕食作用。有关捕食者对多种猎物的选择捕食作用前人有一些研究^[9~11],并建立了捕食者对多种猎物选择捕食的模拟模型^[12,13],为此,在前人研究的基础上,研究了小黑瓢虫对烟粉虱及红蜘蛛的选择捕食作用,以期小黑瓢虫在粉虱害虫生物防治中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计

实验所用的猎物种类为烟粉虱卵和红蜘蛛卵,总猎物密度设为 3 个梯度,即 150、300、600 粒,在每一总猎物密度下,每种猎物占总猎物密度的比例变化采用周集中^[13]所用的方法,即每种猎物占总猎物密度的比例变化为 0.167、0.333、0.5、0.667、0.833,两种猎物密度呈互补状态变化。

1.2 实验材料及方法

实验所用的捕食者小黑瓢虫雌成虫,来自室内饲养的实验种群,实验前使其饱食 24h,然后饥饿 24h。实验所用的猎物种类烟粉虱卵和红蜘蛛卵,采自玻璃温室内的实验种群,所用寄主植物为甘薯。采集混合发生有两种猎物的甘薯叶片(主要是幼嫩叶片),使叶片上只留两种猎物的卵至所设计的密度梯度,接入经上述处理的瓢虫,置入玻璃瓶(15cm×10cm)中,然后放入空调室内,让其取食 24h 后,记录各密度梯度下两种猎物的被捕食量。每个处理重复 5 次。养虫室内的温度为 25±1℃,湿度 75%±5%,光照 14L:10D。

1.3 数据分析方法

1.3.1 喜好性与转换行为分析方法 Ivlev 提出测定多种猎物共存时,捕食者对各种猎物的喜好性方程为:

$$Q_i = \frac{1 + C_i}{1 - C_i} F_i \tag{1}$$

式中, Q_i 为捕食者对第 i 种猎物的捕食比例, F_i 为环境中第 i 种猎物的比例, C_i 为捕食者对第 i 种猎物的喜好性, $C_i=0$ 表示捕食者对第 i 种猎物没有喜好性, $0<C_i<1$ 表示捕食者对第 i 种猎物有正喜好性, $-1<C_i<0$ 表示捕食者对第 i 种猎物有负喜好性。

周集中^[12]提出了多种猎物共存时,捕食者对各种猎物的转换行为方程为:

$$Q_i = \frac{1 + c'_i}{1 - c'_i} F_i^{S_i+1} \tag{2}$$

式中, Q_i 与 F_i 的意义同上, c'_i 表示伪喜好性, S_i 表示捕食者对第 i 种猎物的转换程度, $S_i=0$ 表示捕食者对第 i 种猎物不存在转换行为, $S_i>0$ 表示捕食者对第 i 种猎物存在正转换行为, $-1<S_i<0$ 表示捕食者对第 i 种猎物存在负转换行为, S_i 的绝对值越大,表示转换程度越大。

(1)式与(2)式中,对喜好性 C_i 和转换行为 S_i 的统计值采用 t 测验法,与零假设($C_i=0$ 或 $S_i=0$)比较,看其差异是否显著。

1.3.2 捕食者对猎物总捕食作用分析方法 李超^[9]提出了单种捕食者对多种猎物的总捕食作用方程为:

$$N_a^* = \frac{T \sum_{i=1}^n \alpha_i F_i \sum_{i=1}^n N_i}{1 + \sum_{i=1}^n \alpha_i F_i \sum_{i=1}^n T_{hi} F_i \sum_{i=1}^n N_i} \tag{3}$$

式中, N_a^* 为总捕获猎物数, α_i 、 T_{hi} 分别为捕食者对第 i 种猎物的寻找效率或攻击率和处置时间, T 表示捕食者可利用的总时间, N_i 为第 i 物种的数量, F_i 为环境中第 i 种猎物的比例, n 为猎物数。

2 结果与分析

2.1 两种猎物共存时,小黑瓢虫雌成虫对猎物的总捕食作用

两种猎物共存时,小黑瓢虫雌成虫对猎物总捕食量的实验结果见表 1。由此可知,在各总猎物密度下,小黑瓢虫雌成虫对两种猎物的总捕食量均随烟粉虱卵量的增加而增加,而随红蜘蛛卵量的增加而减少。根据小黑瓢虫雌成虫对烟粉虱卵和红蜘蛛卵的功能反应参数,即 $a_1=1.2782$, $T_{h1}=0.0015$ 和 $a_2=0.9325$, $T_{h2}=0.0013$,由方程(3)计算所得小黑瓢虫雌成虫对两种猎物总捕食量的理论值如表 1,由此可知,观察值与理论值十分吻合,经对模拟方程作适合性检验($\sum x^2=1.834$),证明用方程(3)能

很好地模拟两种猎物共存时,小黑瓢虫雌成虫对烟粉虱卵和红蜘蛛卵的总捕食量。

表 1 小黑瓢虫雌成虫对烟粉虱卵及红蜘蛛卵的捕食量

总猎物密度 Total density of prey	猎 物 种 类 Prey species						总捕食量 Total amount of preys captured	
	烟 粉 虱 卵 Eggs of <i>B. tabaci</i>			红 蜘 蛛 卵 Eggs of <i>T. nr. fijiensis</i>			观察值 Experimental value	理论值 Simulated value
	初始密度 Initial density	观察值 Experimental value	理论值 Simulated value	初始密度 Initial density	观察值 Experimental value	理论值 Simulated value		
150	25	19.2	21.2	125	97.2	77.0	116.4	124.0
	50	44.2	44.1	100	91.0	64.3	135.2	129.4
	75	68.6	68.9	75	60.0	50.2	128.6	134.6
	100	96.0	95.4	50	41.8	34.7	137.8	139.6
	125	121.6	123.2	25	18.2	18.0	139.8	144.3
300	50	38.8	40.2	250	179.6	132.2	218.4	212.8
	100	83.6	82.8	200	140.0	109.4	223.6	219.9
	150	134.8	128.0	150	90.6	84.4	225.4	226.5
	200	177.8	175.4	100	51.8	57.8	229.6	232.6
	250	227.2	224.3	50	18.0	29.7	245.2	238.2
600	100	74.4	66.9	500	261.0	187.0	335.4	331.5
	200	118.2	136.0	400	224.0	152.7	342.2	338.1
	300	231.2	207.7	300	109.2	116.4	340.4	343.9
	400	285.4	281.0	200	60.6	78.7	346.0	348.9
	500	331.6	355.2	100	26.2	39.9	357.8	353.1

2.2 两种猎物共存时,小黑瓢虫雌成虫对各种猎物的捕食比例

用方程(1)、(2)配合表 1 实验资料,其结果见表 2,从表 2 中决定系数一栏可知,方程(2)能很好地描述两种猎物共存情况下的选择捕食实验结果。由统计检验可知,当两种猎物共存时,在 3 种总猎物密度下,小黑瓢虫雌成虫对红蜘蛛卵均没有喜好性,对烟粉虱卵在低密度(150 粒)时,不表现喜好性,而在适中密度(300 粒)和高密度(600 粒)时,表现正喜好性。在各总猎物密度下,对红蜘蛛卵均有负转换行为,而对烟粉虱的卵在低密度(150 粒)时无转换行为,在适中密度(300 粒)时有负转换行为,而在高密度(600 粒)时有正转换行为。

表 2 小黑瓢虫雌成虫对两种猎物的喜好性和转换程度

总猎物密度 Total density of prey	猎物种类 Prey species	喜好性 (C_i) Preference	伪喜好性 (C'_i) Pseudo preference	转换程度 (S_i) Switching	决定系数 (r^2) Coefficient
150	烟粉虱卵 Eggs of <i>B. tabaci</i>	0.0121	-0.0300	-0.0444	0.9987
	红蜘蛛卵 Eggs of <i>T. nr. fijiensis</i>	-0.0399	-0.0205	-0.1355 *	0.9992
300	烟粉虱卵 Eggs of <i>B. tabaci</i>	0.0611 *	-0.0738	-0.0398 *	0.9972
	红蜘蛛卵 Eggs of <i>T. nr. fijiensis</i>	-0.1457	-0.0388	-0.3362 *	0.9986
600	烟粉虱卵 Eggs of <i>B. tabaci</i>	0.0941 *	-0.0864	0.0203 *	0.9679
	红蜘蛛卵 Eggs of <i>T. nr. fijiensis</i>	-0.1926	-0.0145	-0.3499 *	0.9873

* 表示在 $\alpha=0.05$ 水平上,统计检验显著 Denotes the statistical significance at the level of 0.05

2.3 两种猎物共存时,小黑瓢虫雌成虫对各猎物类型的捕食作用

将方程(1)与方程(3)相乘得:

$$N_{ai} = \frac{T \sum_{i=1}^n \alpha_i F_i \sum_{i=1}^n N_i}{1 + \sum_{i=1}^n \alpha_i F_i \sum_{i=1}^n T_{hi} F_i \sum_{i=1}^n N_i} \cdot \frac{1 + C_i}{1 - C_i} F_i \tag{4}$$

其中 N_{ai} 表示捕食者捕获第 i 种猎物的数量。

根据功能反应参数和表 2 中选择捕食实验结果,方程(4)的计算值与观察值如表 1。由此可知,在各总猎物密度下,用方程(4)计算所得的对烟粉虱卵的理论捕食量与实际捕食量十分吻合 ($\sum x^2 = 8.185$);对红蜘蛛卵的理论捕食量与实际捕食量的

吻合程度不高($\sum x^2 = 122.905$),但从理论值与观察值的比较可知,在各总猎物密度下,当红蜘蛛卵的密度在总猎物密度中所占比例处于 50% 以下时,吻合性较好,密度大于 50% 时,理论值均较观察值偏小,且观察值与理论值的差值约为理论值的 30%~40%。因而,在实际应用中,可用方程(4)预测两种猎物共存时,小黑瓢虫雌成虫对烟粉虱卵的总捕食量;对红蜘蛛卵的预测则可视其在总猎物密度中所占的比例进行适当调整,当所占比例大于 50% 时,在用方程(4)预测值的基础上适当增加 30%~40%,以减小误差。

2.4 两种猎物共存时,小黑瓢虫雌成虫对各猎物类型的寻找效应

由寻找效应的定义 $E = Na/(N \times P)$ 和方程(4)求得小黑瓢虫雌成虫对两种猎物卵的寻找效应,并将其绘成图 1~3。由图 1 可知,当两种猎物共存时,在同一总猎物密度下,小黑瓢虫雌成虫对烟粉虱卵的寻找效应(E)随其在总猎物密度中所占比例的增大而增加,对红蜘蛛卵的寻找效应(E)则随其在总猎物密度中所占比例的增大而减小,在每一总猎物密度下,对烟粉虱卵的寻找效应(E)均大于对红蜘蛛卵的寻找效应。由图 2 和图 3 可知,当总猎物密度不同,而各猎物在总猎物密度中所占比例相同时,捕食者对两种猎物的寻找效应(E)均随总猎物密度的增加而下降,并且随总猎物密度的增大,下降率逐渐增大。

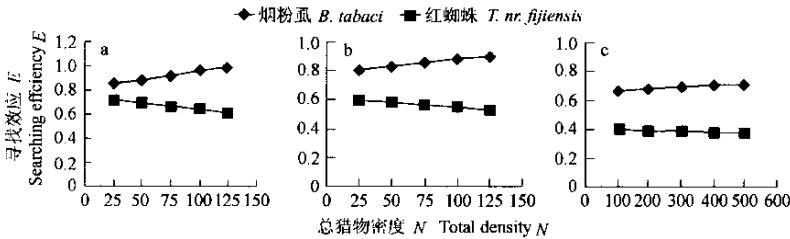


图 1 两种猎物共存时,小黑瓢虫雌成虫对两种猎物卵的寻找反应(a、b、c 分别表示总猎物密度为 150、300、600 时的寻找效应)
Fig.1 Searching efficiency of female adult of *D. catalinae* to eggs of *B. tabaci* and *T. nr. fijiensis* in the coexistence of two preyspecies
(a, b, c illustrate searching efficiency in the total prey number of 150, 300 and 600 respectively)

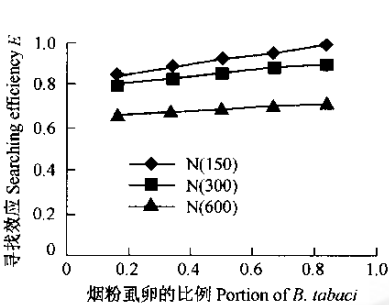


图 2 在同一总猎物密度下,小黑瓢虫雌成虫对烟粉虱卵的寻找效应随烟粉虱卵占总猎物密度比例的变化情况
Fig. 2 Changes of searching efficiency of female adult of *D. catalinae* to eggs of *B. tabaci* with changes of the portion of *B. tabaci* in the total prey densities

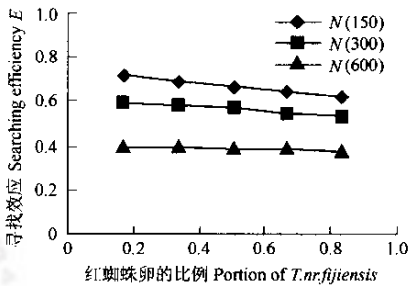


图 3 在同一总猎物密度下,小黑瓢虫雌成虫对红蜘蛛卵的寻找效应随红蜘蛛卵占总猎物密度比例的变化情况
Fig. 3 Changes of searching efficiency of female adult of *D. catalinae* to eggs of *T. nr. fijiensis* with changes of the portion of *T. nr. fijiensis* in the total prey densities

3 讨论

由于小黑瓢虫有多种猎物,那么在小黑瓢虫与其猎物作用系统中必然会出现“单种捕食者-单种猎物”作用系统和“单种捕食者-多种猎物”作用系统。在小黑瓢虫分别与烟粉虱和红蜘蛛的“单种捕食者-单种猎物”作用系统中,小黑瓢虫对同种猎物不同虫态的取食均具有选择性;在小黑瓢虫与烟粉虱和红蜘蛛的“单种捕食者-两种猎物”作用系统中,小黑瓢虫对两种猎物的取食也具有选择性,即两种猎物共存时,小黑瓢虫对烟粉虱卵的捕食在总猎物密度较低时不表现喜好性,而在总猎物密度较高时表现正喜好性;对红蜘蛛卵的捕食在各总猎物密度下均不表现喜好性。在比较研究烟粉虱和红蜘蛛对小黑瓢虫实验种群增长的综合影响时发现,小黑瓢虫以红蜘蛛为猎物时,其种群增长指数及内禀增长率远远小于以烟粉虱为猎物时的种群增长指数及内禀增长率,由此看来,捕食者对猎物种类的选择捕食有利于其种群增长,是物种经过长期自然选择的结果。

周集中万寿数据多种猎物共存时,捕食者对第 i 种猎物的捕食作用方程为:

$$N_{ai} = \frac{T \sum_{i=1}^n \alpha_i F_i \sum_{i=1}^n N_i}{1 + \sum_{i=1}^n \alpha_i F_i \sum_{i=1}^n T_{hi} F_i \sum_{i=1}^n N_i} \cdot \frac{1 + c'_i}{1 - c'_i} F_i^{s_i+1}$$

(5)

用方程(5)模拟拟环纹狼蛛 *Lycosa pseudoannulata* 对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 的捕食作用时,拟合精度较高^[13],用此模型模拟小黑瓢虫对烟粉虱及红蜘蛛的捕食作用时,拟合精度不如方程(4)的拟合精度,这可能是由于喜好性与转换行为对捕食者选择捕食的影响程度不同所致,再者由于捕食性天敌对多种猎物的选择捕食是一个复杂的过程,不同的天敌种类对多种猎物选择捕食的过程也有所不同,所以在实践中要根据具体的天敌种类探索精度高的模型。

References:

[1] Gordon R D. South American Coccinellidae (Coleoptera) III. taxonomic revision of the western hemisphere genus *Delphastus* Casey. *Frustula Entomology*, 1994, **17**: 71~133.

[2] Liu T X, Stansly P A. Searching and feeding begavior of *Nephaspis oculatus* and *Delphastus pusillus* (Coleoptera; Coccinellidae), predators of *Bemisia argentifolii* (Homoptera; Aleyrodidae). *Environmental Entomology*, 1999, **28**(5): 901~906.

[3] Hoelmer K A, Osborne L S, Yokomi R K. Reproduction and feeding behavior of *Delphastus pusillus* (Coleoptera; Coccinellidae), a predator of *Bemisia tabaci* (Homoptera; Aleyrodidae). *Journal of Ecomonic Entomology*, 1993, **86**(2): 322~329

[4] Heinz K M, Parrella M P. Biological control of *Bemisia argentifloii* (Homoptera; Aleyrodidae) infesting *Euphorbia pulcherrima*: Evaluations of releases of *Encarsia luteola* (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Delphastus pusillus* (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology*, 1994, **23**(5): 1346~1353.

[5] Heinz K M, Brazzle J R, Pickett C H, *et al.* *Delphastus pusillus* as a potential biological control agent for sweetpotato (siverleaf) whitefly. *California Agriculture*, 1994, **48**(2): 35~40.

[6] Heinz K M, Brazzle J R, Parrella M P, *et al.* Field evaluations of augmentative releases of *Delphastus catalinae* (Horn) (Coleoptera; Coccinellidae) for suppression of *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring (Homoptera; Aleyrodidae) infesting cotton. *Biological Control*. 1999, **16**: 241~251.

[7] Hulsas-Jordan PM, Van Lenteren JC. The parasite-host relationship between *Encarsia Formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) XXX. Modeling population growth of greenhouse whitefly on tomato. *Agricultural University Wageningen Papers*, 1989, **89**(2): 1~54.

[8] Huang J, Xu L Y, Fu J W. Commercialization of natural enemy products abroad and introduction of *Delphastus pusillus* (LeConte) (Coleoptera;Coccinellidae) into China. *Entomological Journal of East China*, 1998, **7**(1): 101~104.

[9] Li C, Ding Y Q, Ma S J. Studies on predation and simulation model of dwarf spider *Erigonidium graminicolum* to cotton bollworm *Heliothis armigera* III. studies on one-predation-multi-prey species interacting system. *Acta Ecologica Sinica*, 1982, **2**(4): 363~373.

[10] Ding Y Q, Chen Y P. Predation pattern of the green lacewing, *Chrysoperla* (*Chrysopa*) *sinica* on cotton aphid and cotton bollworm. *Chinese Journal of Biological Control*, 1986, **2**(3): 97~102.

[11] Dong Y C, Wang S Z. The selectivity of spider *Pardosa T-insignita* (Boes. et Str.) on multiprey species in cotton field. *Natural Enemies of Insects*, 1991, **13**(2): 66~70.

[12] Zhou J Z, Chen C M. Quantitative measurement of selectivity of predator for prey. *Acta Ecologica Sinica*, 1987, **7**(1): 50~56.

[13] Zhou J Z, Chen C M. Predation of wolf spider *Lycosa pseudoannulata* to brown planthopper *Nilaparvata lugens* and simulation models III. selective predation. *Acta Ecologica Sinica*, 1987, **7**(3): 228~237.

参考文献:

[8] 黄建,徐离永,傅建伟. 国外害虫天敌产品的商品化及小黑瓢虫的引种利用. 华东昆虫学报,1998, **7**(1):101~104.

[9] 李超,丁岩钦,马世骏. 草间小黑蛛对棉铃虫幼虫的捕食作用及其模拟模型的研究 III. 捕食者-多种猎物系统的研究. 生态学报,1982, **2**(4):363~373.

[10] 丁岩钦,陈玉平. 中华草蛉对棉蚜与棉铃虫的捕食作用研究. 生物防治通报,1986, **2**(3):97~102.

[11] 董永才,汪世泽. 丁纹豹蛛对棉田多种猎物的选择效应. 昆虫天敌,1991, **13**(2):66~70.

[12] 周集中,陈常铭. 捕食者对猎物选择性的数量测定方法. 生态学报,1987, **7**(1):50~56.

[13] 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 III. 选择捕食作用. 生态学报,1987, **7**(3):228~237.