

黑肩绿盲蝽捕食褐飞虱卵的功能与数值反应

黄林茂, 黄寿山*

(华南农业大学资源环境学院昆虫学系, 广州 510642)

摘要:褐飞虱作为水稻的重要迁飞性害虫, 至今未见有效的生物防治技术报道。黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵及低龄若虫有较强的捕食能力, 为评价黑肩绿盲蝽对褐飞虱的控害能力, 研究了黑肩绿盲蝽若虫各虫期和雌雄成虫对褐飞虱卵的捕食功能反应与数值反应。功能反应研究结果表明, 黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的捕食功能反应符合 Holling II 型方程, 捕食量在一定范围内随着猎物密度的增加而增加, 若虫的捕食能力大于成虫; 四龄若虫理论捕食量最大, 为 104.2 粒卵/d。数值反应研究结果表明, 不同褐飞虱卵密度对黑肩绿盲蝽的生长、发育、繁殖有着显著影响。随着猎物密度增大, 黑肩绿盲蝽若虫发育速率、雌虫产卵量、孵化率及雌性比增大, 成虫寿命减小, 最后趋于稳定。猎物密度 1、3、5 卵/d 分别是黑肩绿盲蝽若虫存活、成虫羽化及维持种群最低繁殖力的临界值。在天敌控害潜能的研究过程中, 数值反应的研究目的在于探讨捕食者对猎物密度的依赖程度, 探明能引起捕食者种群衰退的猎物密度临界值, 为大田释放捕食者时增补替代寄主, 增强捕食者持续控害能力提供理论依据。

关键词:黑肩绿盲蝽; 褐飞虱; 功能反应; 数值反应

Functional and numerical responses of the predacious plant bug on the rice brown planthopper egg

HUANG Linmao, HUANG Shoushan*

Department of Entomology, College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China

Abstract: The rice brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål (Hemiptera: Delphacidae) is an important pest of rice in China. Chemicals application for controlling the planthopper in practice has caused serious problems, such as resistance and resurgence of the pest, and environmental pollution as well. The predacious plant bug *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter (Hemiptera: Miridae) is a common and important natural enemy in paddy fields, feeding on eggs and nymphs of planthoppers, leafhoppers and other insects. In order to evaluate the potential control capability, functional and numerical responses of *C. lividipennis* (nymph and adult) on *N. lugens* (egg) were respectively carried out in laboratory.

The results showed that the functional response belonged to Holling Type II equation, but nymph of the bug had stronger predation ability than adult when both were feeding on eggs of the planthopper. The strongest predation ability was demonstrated by the 4th instar nymph, with estimated maximum predation as more as 104.2 eggs of the prey in a day. Result of the numerical response test showed that the predator's growth, development and reproduction were significantly influenced by the prey's densities. The nymphal developmental rate, female fecundity, hatching rate and female ratio of the predator increased with an increase of the prey's density, while adult longevity decreased. The minimum prey densities for nymphal survival, adult emergence and population maintenance with low fecundity of *C. lividipennis* were 1, 3 and 5 egg (s) per day, respectively. It would be concluded from the above results that the plant bug has a potential value to be considered as a biocontrol agent of the brown planthopper.

Both functional response and functional response are using as necessary study methods to evaluate the capability of natural enemies, but the functional response emphasis the predation of predator, while numerical response emphasis the dependence of prey density to the natural enemies population, and what impact that will happen to the predator population

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2008BADA5B02)

收稿日期:2009-10-05; **修订日期:**2010-05-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sshuang@scau.edu.cn

when prey density changes. As a research method, the combination study of functional response and numerical response can more detailed evaluate the predation of predator and the continuous ability to control pest. That is more meaningful than an unilateral study in the natural enemies use.

Key Words: *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter; *Nilaparvata lugens* Stål; functional response; numerical response; biological control

功能反应和数值反应是用来描述捕食者的作用及其数量如何依赖于猎物的密度而变化的。从而可以估价在猎物密度变动时捕食者的作用强度及其控制效果^[1]。黑肩绿盲蝽是褐飞虱等水稻害虫的卵和低龄若虫的重要捕食性天敌。黑肩绿盲蝽的捕食功能反应研究已有报道^[7-8],但是对数值反应却未有研究。数值反应是指当猎物密度变化时,对捕食者生长发育繁殖的影响。研究方法是考察捕食者一生对猎物密度梯度的反应。一般而言,猎物密度越高,捕食者生长发育越好;但猎物密度低至何种程度,会引起捕食者生长发育受到抑制?这才是研究目的所在,即:寻找猎物密度引起捕食者种群抑制的临界点。这也是为阐明天敌持续控害能力和设计适当的天敌持续利用方式所必须研究的问题。本文研究了黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的功能反应及数值反应,旨在说明不同猎物密度对黑肩绿盲蝽捕食功能及其生长、发育、繁殖力的影响,为利用黑肩绿盲持续控制稻飞虱提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* (Reuter) 与褐稻飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 均于 2008 年 6 月,采自华南农业大学跃进教学实习农场水稻田。黑肩绿盲蝽在室内以米蛾卵饲养至第二代供试;褐飞虱-水稻苗室内饲养至第二代供试。

1.2 试验方法

1.2.1 功能反应

取黑肩绿盲蝽初孵 1 龄若虫及饥饿 24h 的 2 到 5 龄若虫和雌雄成虫若干,单头放入底部有棉花球保湿的指形试管(直径 1cm、长 5cm),以产于 24h 内的褐飞虱卵为食。猎物密度处理如表 1,每个处理 5 个重复。恒温 28℃ 下捕食时间 $T = 24h$,24h 后计数被取食的褐飞虱卵粒数,记为被捕食量 N_a 值。

表 1 黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵功能反应的猎物密度设置

Table 1 Density setting of *N. lugens* eggs as the food for *C. lividipennis* in functional response

猎物密度(卵粒数) Prey density(number of prey eggs)	1 龄 First instar	2 龄 Second instar	3 龄 Third instar	4 龄 Fourth instar	5 龄 Fifth instar	雄成虫 Adult male	雌成虫 Adult female
处理 1 Treatment 1	2	5	10	15	20	20	30
处理 2 Treatment 2	5	10	20	25	30	30	40
处理 3 Treatment 3	10	20	30	40	40	40	50
处理 4 Treatment 4	20	40	50	60	60	60	70
处理 5 Treatment 5	30	60	70	80	80	80	90
处理 6 Treatment 6	60						

1.2.2 数值反应

取孵化 24h 内的黑肩绿盲蝽 1 龄若虫若干,单头饲养于底部有湿棉花球保湿的指形试管中(直径 1cm、长 5cm)。设置 7 个处理,分别连续每日供给新鲜褐飞虱卵 1,3,5,8,12,15,30 粒卵,每个处理 10 个重复。每日观察记录黑肩绿盲蝽捕食量、生长发育状况及龄期,羽化后雌雄配对,记录成虫寿命、产卵量及孵化率。

1.3 数据处理

1.3.1 功能反应

将 Holling II 模型方程 $N_a = \frac{aTN_o}{(1 + a \times Th \times N_o)}$, 转化为 $\frac{1}{N_a} = \frac{Th}{T} + \frac{1}{a'T} \frac{1}{N_o}$, 以 $\frac{1}{N_o}$ 为自变量, $\frac{1}{N_a}$ 为因变量, 从而

将其线性化^[3],再用 SAS9.0 数据处理系统编程进行单因素相关性分析,得到相关系数,从而求得参数 a 和 Th 值,拟合得到模拟方程。式中, Na 捕食量; N_0 为猎物密度; T 为发现寄主的时间(试验中为 1d); a 为瞬间攻击率; Th 为处置猎物时间。

1.3.2 数值反应

将 Holling II 方程和食物消化率方程 $I = \kappa Na$ 代入 Beddington 密度模型 $\frac{1}{D} = \alpha(I - B)$,得到猎物密度与捕食者发育速率的关系 $\frac{1}{D} = \alpha\left(\frac{\kappa \alpha N_0 T}{1 + aThN_0}\right)$,再将 Holling II 模型带入,得到线性方程 $\frac{1}{D} = \alpha\left(\kappa Na - \frac{1}{aT}\right)$,设 $\frac{1}{D} = V$,以 Na 为自变量, V 为因变量,用 SAS9.0 数据处理系统编程进行单因素相关性分析,得到相关系数,从而求得参数 α 、 κ ,拟合得到模拟方程。用 SPSS 进行数据差异性分析。

2 结果与分析

2.1 功能反应

黑肩绿盲蝽各龄若虫及成虫对褐飞虱卵的捕食功能反应曲线(图 1—图 7)表明,黑肩绿盲蝽各龄若虫及成虫的捕食量均随着猎物密度的增加而增加,当猎物密度增加到一定限度后,其捕食量增加速度变慢,趋近稳定值。

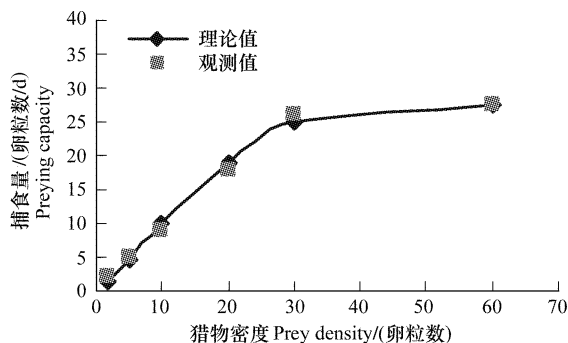


图 1 黑肩绿盲蝽 1 龄若虫对褐飞虱卵的捕食功能反应曲线图

Fig.1 Fitting curve of functional response of *C. lividipennis* 1st instar nymphs to *N. lugens* eggs

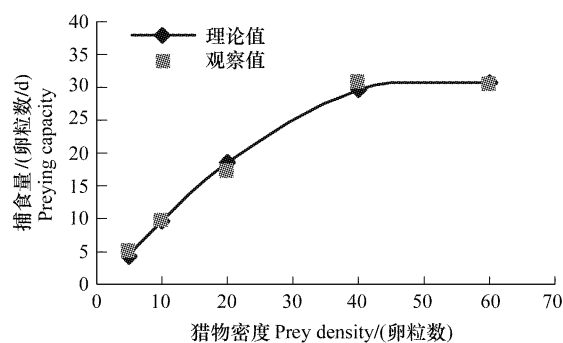


图 2 黑肩绿盲蝽 2 龄若虫对褐飞虱卵的捕食功能反应曲线图

Fig.2 Fitting curve of functional response of *C. lividipennis* 2nd instar nymphs to *N. lugens* eggs

根据 Holling II 圆盘方程拟合得到的黑肩绿盲蝽若虫及成虫对褐飞虱卵的捕食功能反应方程及其参数如表 2。结果显示,黑肩绿盲蝽 1 龄到 5 龄若虫捕食功能反应拟合方程与圆盘方程模型符合的很好,回归系数表明 $1/N_0$ 与 $1/Na$ 之间存在极显著线性关系, R^2 值均在 0.9 以上。雄虫的 $1/N_0$ 与 $1/Na$ 之间存在显著线性关系,模型拟合次于各龄期若虫。

表 2 中各龄期的 a 值和 Th 值表明,雄虫瞬时攻击率 a 最小。这和笔者在试验过程中发现,雄虫相对活跃、好动的现象相吻合;5 龄若虫和雌雄成虫猎物处置时间 Th 大于 1 到 4 龄若虫,分别为 0.0223、0.0205、0.0239。其中 4 龄若虫最短,为 0.0096。

由模拟方程推算出的各虫态最大日捕食量 Na_{max} 可以看出若虫期各龄的最大日捕食量大于成虫期,且比陈常铭等人^[5]推出的最大日捕食量高,其中 4 龄捕食量最大,达到 104.2 粒卵/d。

2.2 数值反应

经过对不同猎物密度条件下的黑肩绿盲蝽若虫的连续饲养观察,并整理数据得各参数如表 3 所示。由表 3 可看出,褐飞虱卵的密度设置对黑肩绿盲蝽的生长发育繁殖影响显著。当猎物密度设置为 1 卵/d 时,黑肩绿盲蝽在 3 龄时就死亡,且 3 龄历期不正常延长(根据刘家丽等人的研究,3 龄历期为 2.2d 左右^[6]),不能完成若虫期的发育;而猎物密度设置为 3 卵/d 时,虽然能成功羽化为成虫,但是成虫均为雄虫,不能正常繁殖;

猎物密度设置 5、8、12、15、30 卵/d 时,不同的猎物密度使黑肩绿盲蝽能正常生长发育和繁殖,但种群的性比、成虫寿命、产卵量及孵化率都有一定的差异。

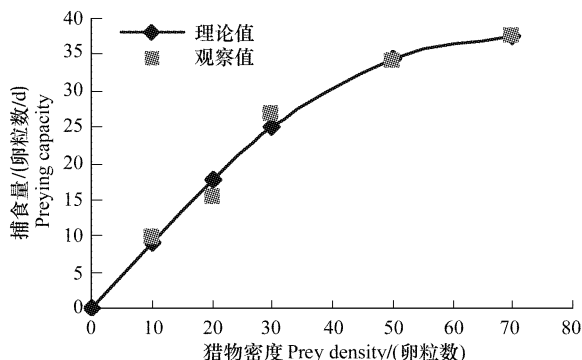


图3 黑肩绿盲蝽2龄若虫对褐飞虱卵的捕食功能反应曲线图

Fig.3 Fitting curve of functional response of *C. lividipennis* 3th instar nymphs to *N. lugens* eggs

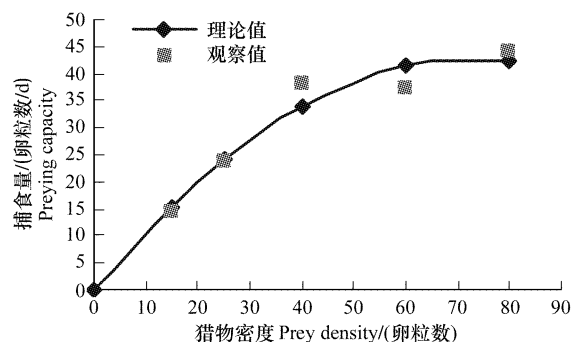


图4 黑肩绿盲蝽2龄若虫对褐飞虱卵的捕食功能反应曲线图

Fig.4 Fitting curve of functional response of *C. lividipennis* 4th instar nymphs to *N. lugens* eggs

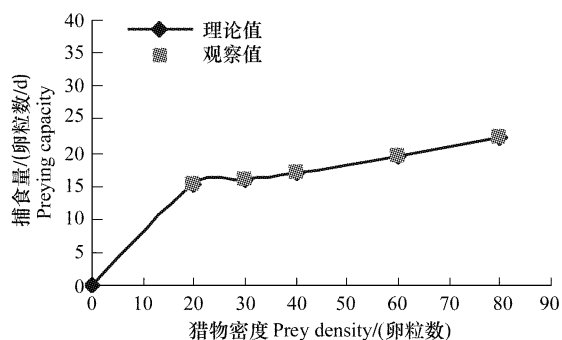


图5 黑肩绿盲蝽5龄若虫对褐飞虱卵的捕食功能反应曲线图

Fig.5 Fitting curve of functional response of *C. lividipennis* 5th instar nymphs to *N. lugens* eggs

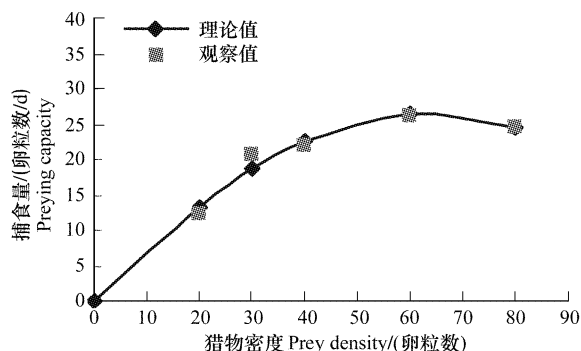


图6 黑肩绿盲蝽雄虫对褐飞虱卵的捕食功能反应曲线图

Fig.6 Fitting curve of functional response of *C. lividipennis* male to *Nilaparvata lugens* eggs

2.2.1 猎物密度对捕食者发育速率及历期的影响

由图8可以直观看出,猎物密度对黑肩绿盲蝽各虫期的发育速率并非呈简单的线性关系。在低猎物密度区间,各若虫期的发育速率随猎物密度增大而增大,历期变短,成虫的发育速率随猎物密度增大而减小,历期变长;各虫期发育速率最终均在高猎物密度区间时,逐渐趋于稳定。整个虫期的发育速率随着猎物密度增大而变小,随后趋于稳定。根据丁岩钦^[5]关于天敌-害虫作用系统中的数学模型和参数估计的方程转换,结合SAS9.0数据分析系统拟合求得各虫态猎物密度与发育速率的关系模型如表4。模型的回归系数检验发现,黑肩绿盲蝽发育速率与褐飞虱卵密度的相关性并不显著,说明黑肩绿盲蝽的发育速率并不符合丁岩钦由Beddington密度模型推算出来的猎物密度与发育速率的关系方程^[5]。

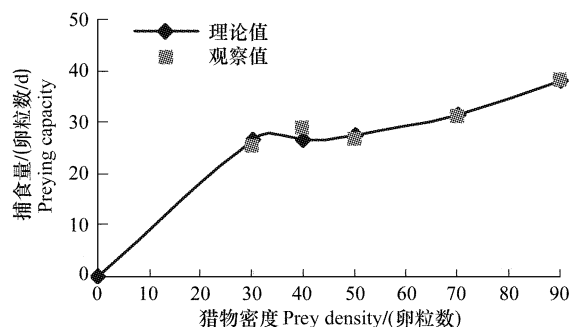


图7 黑肩绿盲蝽雌虫对褐飞虱卵的捕食功能反应曲线图

Fig.7 Fitting curve of functional response of *C. lividipennis* female to *N. lugens* eggs

表 2 黑肩绿盲蝽各龄若虫和成虫对褐飞虱卵捕食功能反应参数及数学模型

Table 2 Functional response parameters and mathematical models of <i>C. lividipennis</i> nymphae and imagines to prey <i>N. lugens</i> eggs							
黑肩绿盲蝽各虫态 Stages of <i>C. lividipennis</i>	模拟方程 Simulation equations	R^2	模型检验 Model checking	回归系数检验 Regression coefficient test	日最大捕食量 Na_{\max}^* Maximum daily number of preyed eggs	Th	a
1 龄 1st instar	$Na = \frac{1.0263 \times N_o}{1 + 1.0263 \times 0.0107N_o}$	0.9989	$F = 3683.11$ $P < 0.0001$	$T = 60.69$ $P < 0.0001$	93.5	0.0107	1.0208
2 龄 2nd instar	$Na = \frac{1.0726 \times N_o}{1 + 1.0726 \times 0.0125N_o}$	0.9980	$F = 1529.77$ $P < 0.0001$	$T = 39.11$ $P < 0.0001$	80.0	0.0125	1.0726
3 龄 3rd instar	$Na = \frac{1.0951 \times N_o}{1 + 1.0951 \times 0.0123N_o}$	0.9795	$F = 143.06$ $P = 0.0013$	$T = 11.96$ $P = 0.0013$	81.3	0.0123	1.0951
4 龄 4th instar	$Na = \frac{1.1550 \times N_o}{1 + 1.1550 \times 0.0096N_o}$	0.9686	$F = 92.61$ $P = 0.0024$	$T = 9.62$ $P = 0.0024$	104.2	0.0096	1.1550
5 龄 5th instar	$Na = \frac{1.5376 \times N_o}{1 + 1.5376 \times 0.0223N_o}$	0.9216	$F = 35.28$ $P = 0.0095$	$T = 5.94$ $P = 0.0095$	44.8	0.0223	1.5376
♂ male	$Na = \frac{0.09002 \times N_o}{1 + 0.09002 \times 0.0205N_o}$	0.8697	$F = 20.02$ $P = 0.0208$	$T = 4.47$ $P = 0.0208$	48.8	0.0205	0.9002
♀ female	$Na = \frac{2.0317 \times N_o}{1 + 2.0317 \times 0.0239N_o}$	0.7126	$F = 7.44$ $P = 0.0721$	$T = 2.73$ $P = 0.0721$	41.8	0.0239	2.0317

注: $Na_{\max}^* = 1/Th$

表 3 不同褐飞虱卵密度下的黑肩绿盲蝽生长发育繁殖参数

Table 3 Growth and reproduction Parameters of <i>C. lividipennis</i> at different <i>N. lugens</i> eggs' densities							
处理 Treatment	猎物密度 No^*	各虫态历期/d Duration of <i>C. lividipennis</i> stages					
		1 龄 1st instar	2 龄 2ed instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	成虫 Adult
1	1	2.5	3	4	—	—	—
2	3	3.4	2	2.1	2.4	3.8	3
3	5	3.4	1.8	1.9	2.5	3.3	6.5
4	8	2.8	1.7	2	2.2	3.3	14.9
5	12	3.6	1.9	2.1	2	3.3	13.2
6	15	2.7	1.9	1.9	2.2	3.3	14.7
7	30	2.8	1.9	1.9	2.2	3	13.8

处理 Treatment	总历期/d Duration	雌性百分比/% Female ratio	♀ 平均寿命/d Female average period	♂ 平均寿命/d Male average Period	产卵量 (卵粒数/头) Egg laying amount (egg number/head)	子代卵孵化率/% hatching ratio
1	9.5	—	—	—	—	—
2	16.7	0.00	—	3	—	—
3	19.4	30.00	8.7	5.6	23.3	41.57
4	26.9	44.44	18.8	11.8	81.5	21.81
5	26.1	40.00	13.5	13	65	33.72
6	26.7	66.67	16.2	11.7	79.2	47.98
7	25.6	77.78	14.4	11.5	79.4	60.92

由表 5 的 $LSD_{0.05}$ 差异性分析可知,处理 1 与其他各处理都具有显著差异性,处理 2 和 3 与处理 4—7 的发育历期有显著差异性。对猎物密度与历期的关系进行曲线拟合如图 9,曲线方程为 $Y_1 = 1/(0.039539 + 0.351627 \times \exp(-No))$, $R^2 = 0.9323$ ($F = 82.6224$, $P = 0.0001$),其中 Y_1 为黑肩绿盲蝽发育世代历期, No 为猎物密度。由图可知,黑肩绿盲蝽的发育历期随着猎物密度增大而增长,并逐渐趋于稳定。

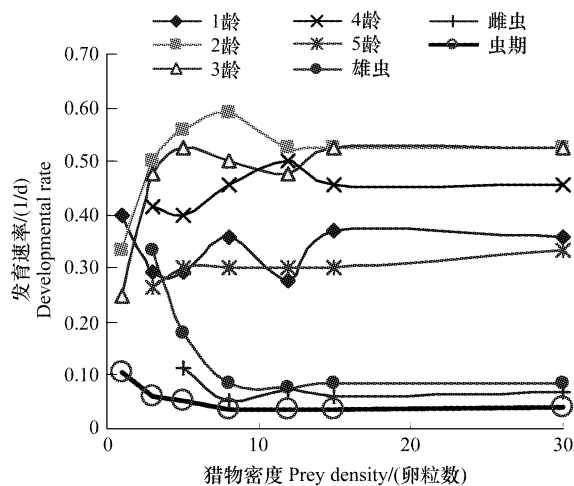


图8 不同褐飞虱卵密度下黑肩绿盲蝽的发育速率曲线图

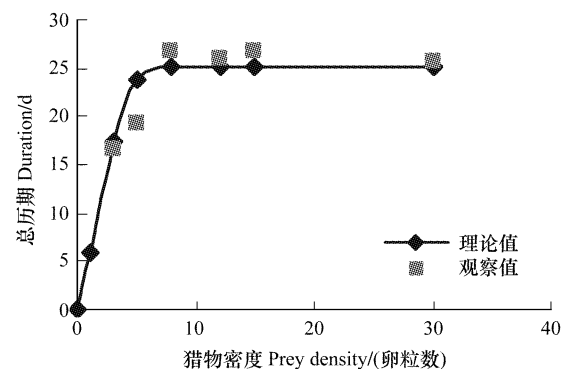
Fig. 8 Fitting curve of development rate of *C. lividipennis* at different *N. lugens* eggs densities

图9 黑肩绿盲蝽对不同褐飞虱卵密度的历期拟合曲线

Fig. 9 Fitting curve of *C. lividipennis* duration at different *N. lugens* eggs' densities

表4 黑肩绿盲蝽对不同褐飞虱卵密度的发育速率 Beddington 模型拟合

Table 4 Beddington model fitting of *C. lividipennis* development rate at the different *N. lugens* eggs' densities

虫态 Stages of <i>C. lividipennis</i>	拟合模型 Fitting model	α	κ	R^2	模型检验 Model checking		回归系数检验 Regression coefficient test	
					<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
1 龄 1st instar	$V = -0.3389 \times \left(\frac{-0.0038 \times 1.0263 \times N_0}{1 + 1.0263 \times 0.0107 \times N_0} - 0.9744 \right)$	-0.3389	-0.0038	0.0065	0.03	0.8636	0.18	0.8636
2 龄 2ed instar	$V = -0.4845 \times \left(\frac{-0.0186 \times 1.0726 \times N_0}{1 + 1.0726 \times 0.0125 \times N_0} - 0.9323 \right)$	-0.4845	-0.0186	0.2211	1.42	0.2870	1.19	0.2870
3 龄 3rd instar	$V = -0.4240 \times \left(\frac{-0.0236 \times 1.0951 \times N_0}{1 + 1.0951 \times 0.0123 \times N_0} - 0.9132 \right)$	-0.4240	-0.0236	0.3540	2.74	0.1588	1.66	0.1588
4 龄 4th instar	$V = -0.4761 \times \left(\frac{-0.0071 \times 1.1550 \times N_0}{1 + 1.550 \times 0.0096 \times N_0} - 0.8658 \right)$	-0.4761	-0.0071	0.3539	2.19	0.2129	1.48	0.2129
5 龄 5th instar	$V = -0.4135 \times \left(\frac{-0.0080 \times 1.5376 \times N_0}{1 + 1.5376 \times 0.0223 \times N_0} - 0.6503 \right)$	-0.4135	-0.0080	0.6447	7.26	0.0544	2.69	0.0544
♂ male	$V = -0.2828 \times \left(\frac{0.0739 \times 0.9002 \times N_0}{1 + 0.9002 \times 0.0205 \times N_0} - 1.1109 \right)$	-0.2828	0.0739	0.6587	7.72	0.0499	-2.78	0.0499
♀ female	$V = -0.2060 \times \left(\frac{0.0123 \times 2.0317 \times N_0}{1 + 2.0317 \times 0.0239 \times N_0} - 0.4922 \right)$	-0.2060	0.0123	0.2474	0.99	0.3939	-0.99	0.3939

2.2.2 猎物密度对捕食者繁殖力的影响

对各处理产卵量及孵化率做 $LSD_{0.05}$ 分析,结果如表 5 所示。处理 3—5 之间单雌平均产卵量没有显著差异,但两者与处理 6—7 有显著差异性。对猎物密度与单雌平均产卵量关系进行曲线拟合如图 10,符合 S 曲线特征,拟合方程 $Y_2 = 1/(0.012900 + 3.8159 \times \exp(-N_0))$, $R^2 = 0.9703$ ($F = 196.1974$, $P = 0.0001$), Y_2 为单雌平均产卵量, N_0 为猎物密度。由图可知,在一定褐飞虱卵范围内,黑肩绿盲蝽单雌产卵量随着猎物密度增大而增大,最后达到稳定值。孵化率在不同猎物密度间也有显著差异性,由图 11 的拟合曲线可知,在一定猎物密度范围内,孵化率也是随着猎物密度增大而增大,拟合方程 $Y_3 = 1.0194 \times N_0/(N_0 + 19.9175)$, $R^2 = 0.8167$ ($F = 26.7284$, $P = 0.0021$),其中 Y_3 为子代卵孵化率。同时,猎物密度还影响到黑肩绿盲蝽种群的雌性比率,如图 12 所示:雌性比在一定范围内随着猎物密度增大而增大,拟合方程 $Y_4 = 1.4439 \times N_0/(N_0 + 23.5037)$, $R^2 = 0.9120$ ($F = 62.1563$, $P = 0.0002$),其中 Y_4 为雌性比。由此可知,猎物密度通过影响黑肩绿盲

蝽的产卵量、孵化率及性比,从而对其种群的繁殖力产生影响。

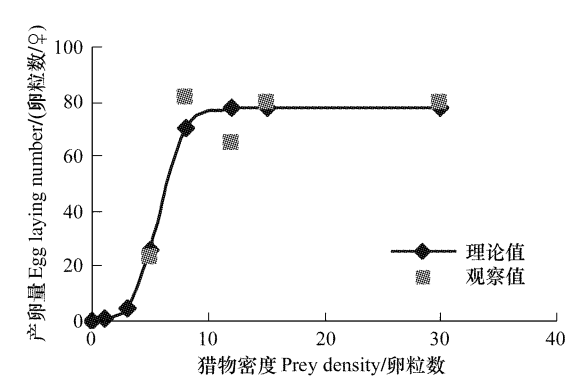


图 10 黑肩绿盲蝽对不同褐飞虱卵密度的产卵量拟合曲线
Fig. 10 Fitting curve of *C. lividipennis* egg laying amount at different *N. lugens* eggs' densities

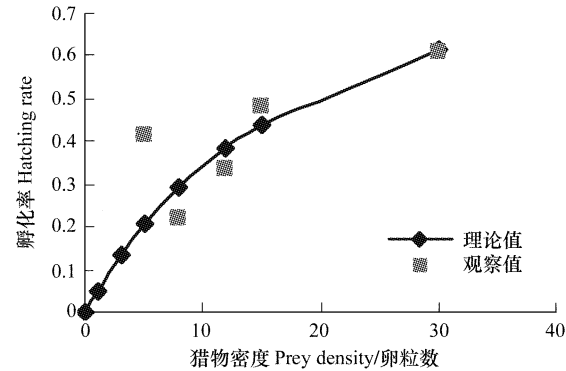


图 11 黑肩绿盲蝽对不同褐飞虱卵密度的孵化率拟合曲线
Fig. 11 Fitting curve of *C. lividipennis* hatching rate at different *N. lugens* eggs' densities

3 讨论

功能反应和数值反应两者均用来描述捕食者的捕食作用及其数量是如何依赖于猎物密度而变化的,其中猎物密度是联系二者的重要参数。本文的研究结果表明,黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵具有较强的捕食能力,日最大捕食量可达 104.2 粒卵,高龄若虫捕食能力比成虫强。这和周集中^[7-8]等人的研究有差异,他们的研究认为雌虫捕食能力最强。但是在自然条件下,黑肩绿盲蝽的捕食功能受到多种环境因素影响。黑肩绿盲蝽喜欢攻击产在稻株上部的褐飞虱卵^[9],喜欢被褐飞虱成虫咬伤过的水稻苗,其次是褐飞虱若虫咬过的水稻苗,再者是健康的水稻苗^[10]。水稻含氮量不同,褐飞虱产卵部位不同,导致黑肩绿盲蝽的搜索效率改变,影响捕食能力^[11-12]。

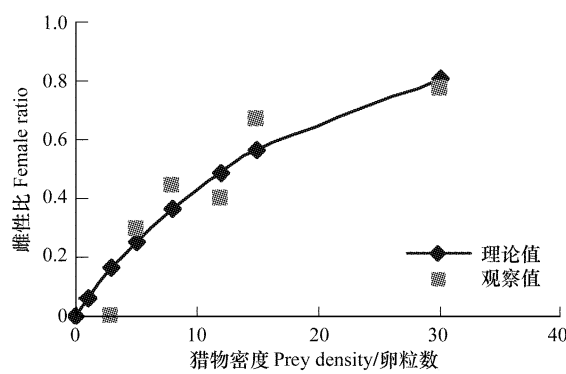


图 12 黑肩绿盲蝽对不同褐飞虱卵密度的雌性比拟合曲线
Fig. 12 Fitting curve of *C. lividipennis* female rate at different *N. lugens* eggs' densities

表 5 对数值反应各处理的黑肩绿盲蝽历期、产卵量、孵化率的差异性分析

Table 5 Variance analysis for duration, egg laying amount and hatching rate of *C. lividipennis* in the numerical response test

处理 Treatment	猎物密度/ (卵粒数/d) Prey density	总历期/d Duration		产卵量/(卵粒数/头) Egg laying amount		孵化率 Hatching rate	
		均值 Mean	差异显著性 Significant difference	均值 Mean	差异显著性 Significant difference	均值 Mean	差异显著性 Significant difference
1	1	9.5	a	—	—	—	—
2	3	16.7	b	—	—	—	—
3	5	19.4	b	23.3	a	41.57%	a
4	8	26.9	c	81.5	ab	21.81%	b
5	12	26.1	c	65.0	ab	33.72%	ab
6	15	26.7	c	79.2	b	47.98%	ac
7	30	25.6	c	79.4	b	60.92%	c

注:表内同列中具相同字母表示在 $LSD_{0.05}$ 水平上差异不显著

Solomon^[13]、深谷昌次^[14]将数值反应分为3种主要方式:行为数值反应、发育数值反应和繁殖数值反应。丁岩钦^[5]又将数值反应分为正密度反应、无密度反应和负密度反应。正密度反应即在一定时间内捕食者的捕食量随猎物密度的增大而增加,最后趋于饱和;无密度反应指在一定时间内捕食者的捕食量不随猎物密度的增大而变化或作无规则变化;负密度反应指在一定时间内捕食者的捕食量随猎物密度的增大反而呈现减少的趋势。Beddington等首先提出了正密度反应和无密度反应的数学模型^[5]。本实验中黑肩绿盲蝽在不同褐飞虱卵密度下的产卵量和发育历期情况属于繁殖和发育数值反应,同时根据定义,产卵量、历期、孵化率及雌性比褐飞虱卵的密度反应属于正密度反应。但是发育速率并不太符合丁岩钦根据Beddington模型推导的方程式。各学者在研究捕食者的数值反应时^[2,15-18],根据Beddington模型,得到捕食量 Na 与其生长发育繁殖的曲线关系也不尽相同。

功能反应和数值反应研究旨在评价天敌的控害能力。天敌昆虫不是农药,在生物防治利用中,天敌释放到大田,不仅希望其在当代发挥控制害虫的作用,而且期望该天敌能继续存活,形成稳定种群,发挥持续控害功能。为保障天敌的持续存活,害虫密度必须保持在维持天敌种群持续生存的数量水平,从而达到天敌“一次释放、持续控害”的效果,这才是生物防治追求的目标。对于黑肩绿盲蝽而言,田间释放时不仅可以选成虫,也可以选择高龄若虫,其捕食能力不逊于成虫。在天敌控害潜能的研究过程中,数值反应的研究目的在于探讨捕食者对猎物密度的依赖程度,探明能引起捕食者种群衰退的猎物密度临界值,为大田释放捕食者时增补替代寄主,增强捕食者持续控害能力提供理论依据。黑肩绿盲蝽的持续控害能力则依靠猎物的密度大小,田间的褐飞虱卵密度过低时,黑肩绿盲蝽若虫的发育,成虫的羽化及种群繁殖力都受到严重影响。在大田释放中,此时需要考虑补充替代寄主(米蛾卵),以维持黑肩绿盲蝽的种群不至于消退。本文中数值反应研究得出的3个临界值可为黑肩绿盲蝽田间释放及补充替代寄主提供参考依据。可见,数值反应和功能反应同步研究比单方面研究,对于天敌的田间利用更具参考意义。

References:

- [1] Xu R M. Insect Population Ecology — Basis and Front. Beijing: Science Publishing House, 2005: 369-375.
- [2] Zhang Y X, Lin J Z, Ji J, Kang Y M, Chen X. Analysis of numerical responses and main life parameters for determining the suppression of *Amblyseius cucumeris* on *Panonychus citri*. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(12): 1866-1873.
- [3] Holling C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *Can Entomol*, 1959, 91: 385-398.
- [4] Ding Y Q. Mathematical model of the predators-insects system and its main parameters estimation. *Insects Knowledge*, 1983, 20(4): 120-124.
- [5] Chen C L, Xiao T G, Hu S H. Preliminary study of *Cyrtorhinus lividipennis* (Reuter). *Plant Protection Journal*, 1985, 12(1): 69-72.
- [6] Liu J L, Yang B, Lu Y T, Huang S S. An improvement on life table of experimental population: example from *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter (Hemiptera: Miridae). *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 3206-3212.
- [7] Zhou Jizhong, Chen Changming. Study of cyrtorhinus Pentatomidae predation on the eggs of brown planthopper and its simulation model. *Hunan Agricultural Science*, 1986, 6: 22-25.
- [8] Wu Guangzhong, Chen Xiu. Studies on the biology of the *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter (Hemiptera: Miridae) and its efficacy as a predator. *Acta Agriculturae Universitatis Zhejiangensis*, 1987, 13(2): 216-221.
- [9] Song Y H, Ha T K, Chung D Y. The predatory behavior of green mired bug brown planthopper eggs in different temperature conditions. *Appl. Entomol Zool*, 1995, 34: 234-242.
- [10] Lou Y G, Cheng J A. Role of rice volatiles in the foraging be-haviour of *Cyrtorhinus lividipennis* (Reuter). *Entomologia Sinica*, 2001, 8(3): 240-250.
- [11] Lu Z X, Yu X P, Villareal S, Heong K L, Hu C. Effects of nitrogen nutrient on the behavior of feeding and oviposition of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, on IR64. *Agriculture&Life Sciences*, 2005, 31(1): 62-70.
- [12] Lu Z X, Yu X P, Heong K L, Hu C. Effects of nitrogenous fertilization in rice fields on the predatory function of *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter to *Nilaparvata lugens* Stål. *Acta Entomologica Sinica*, 2005, 48(1): 48-56.
- [13] Solomon M E. The natural control of animal population. *J. Anim. Ecol*, 1949, 18(1): 1-32.
- [14] Fukaya Masatsugu, Kirigaya Keiji. *Xin Jieliu Trans. Comprehensive Prevention and Treatment*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1980: 97.

- [15] Zhao D X. The numerical responses of coccinellid beetle, *Scymnus hoffmanni* to cotton aphid, *Aphis gossypii* glover. *Acta Ecologica Sinica*, 1987, 7 (2): 146-153.
- [16] Zhe J R, Ren S X. The Functional Response and Numerical Response of *Amblyseius cucumeris* (Acari Phytoseiidae) on *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera Thripidae). *Journal of South China Agricultural University*, 2006, 27(3): 35-38.
- [17] Zhou Y, Lei C L, Jiang Y, Li T F, Deng J H. numerical responses of *Orius similis* to *Myzus persicae* (Sulzer). *Tobacco Science & Technology*, 2000, 10: 41-42.
- [18] Cheng L S, Zhang X M, Sha L H, Lu A N, Chen P. Functional and numerical response of *Amblyseius largoensis* to *Aceria litchi*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2005, 26(1): 52-59.

参考文献:

- [1] 徐如梅. 昆虫种群生态学-基础与前沿. 北京: 科学出版社, 2005: 369-375.
- [2] 张艳璇, 林坚贞, 季洁, 康玉妹, 陈霞. 数值反应和实验种群生命表分析胡瓜钝绥螨对柑橘全爪螨的控制能力. *中国农业科学*, 2004, 37 (12): 1866-1873.
- [4] 丁岩钦. 天敌-害虫作用系统中的数学模型及其主要参数的估计. *昆虫知识*, 1983, 20(4): 120-124.
- [5] 陈常铭, 肖铁光, 胡淑恒. 黑肩绿盲蝽的初步研究. *植物保护学报*, 1985, 12(1): 69-72.
- [6] 刘家莉, 杨斌, 陆永跃, 黄寿山. 改进实验种群生命表编制的方法——以黑肩绿盲蝽为例. *生态学报*, 2009, 29(6): 3206-3212.
- [7] 周集中, 陈常铭. 黑肩绿盲蝽对褐飞虱卵的捕食作用及其模拟模型的研究. *湖南农业科学*, 1986, 6: 22-25.
- [8] 吴光荣, 陈琇. 黑肩绿盲蝽的生物学特性及其捕食作用的研究. *浙江农业大学学报*, 1987, 13(2): 216-221.
- [12] 吕仲贤, 俞晓平, Heong Kong-Lue, 胡萃. 稻田氮肥施用量对黑肩绿盲蝽捕食功能的影响. *昆虫学报*, 2005, 48(1): 48-56.
- [14] 深谷昌次, 桐谷圭治. (忻介六译). 综合防治. 上海: 上海科学技术出版社, 1980: 97.
- [15] 赵鼎新. 黑襟毛瓢虫对棉蚜的数值反应. *生态学报*, 1987, 7(2): 147-153.
- [17] 周游, 雷朝亮, 姜勇, 李天飞, 邓建华. 南方小花蝽对烟蚜的数值反应. *烟草科技/病虫害防治*, 2000, 10: 41-42.
- [18] 程立生, 张先敏, 沙林华, 卢安能, 陈攀. 拉哥钝绥螨对荔枝瘤瘿螨的功能和数值反应. *热带作物学报*, 2005, 26(1): 52-59.