

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第21期 Vol.32 No.21 **2012**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 21 期

2012 年 11 月 (半月刊)

## 目 次

白洋淀富营养化湖泊湿地厌氧氨氧化菌的分布及对氮循环的影响.....	王衫允,祝贵兵,曲冬梅,等 (6591)
造纸废水灌溉对滨海退化盐碱湿地土壤酶活性的响应.....	夏孟婧,苗颖,陆兆华,等 (6599)
图们江下游湿地生态系统健康评价.....	朱卫红,郭艳丽,孙 鹏,等 (6609)
适应白洋淀湿地健康评价的 IBI 方法.....	陈 展,林 波,尚 鹤,等 (6619)
基于 MODIS 的洞庭湖湿地面积对水文的响应.....	梁 婕,蔡 青,郭生练,等 (6628)
崇明东滩湿地不同潮汐带入侵植物互花米草根际细菌的多样性.....	章振亚,丁陈利,肖 明 (6636)
中国东部亚热带地区树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位变化的谐波分析.....	赵兴云,李宝惠,王 建,等 (6647)
甘肃臭草型退化草地优势种群空间格局及其关联性.....	高福元,赵成章 (6661)
川西亚高山/高山森林土壤氧化还原酶活性及其对季节性冻融的响应.....	谭 波,吴福忠,杨万勤,等 (6670)
模拟分类经营对小兴安岭林区森林生物量的影响.....	邓华卫,布仁仓,刘晓梅,等 (6679)
苹果三维树冠的净光合速率分布模拟.....	高照全,赵晨霞,张显川,等 (6688)
拟茎点霉 B3 与有机肥配施对连作草莓生长的影响.....	郝玉敏,戴传超,戴志东,等 (6695)
落叶松林土壤可溶性碳、氮和官能团特征的时空变化及与土壤理化性质的关系.....	苏冬雪,王文杰,邱 岭,等 (6705)
人工固沙区与流沙区准噶尔无叶豆种群数量特征与空间格局对比研究.....	张永宽,陶 冶,刘会良,等 (6715)
山地河流浅滩深潭生境大型底栖动物群落比较研究——以重庆开县东河为例.....	王 强,袁兴中,刘 红 (6726)
荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系.....	吴忠鑫,张 磊,张秀梅,等 (6737)
北黄海秋、冬季浮游动物多样性及年间变化.....	杨 青,王真良,樊景凤,等 (6747)
鄂尔多斯市土地利用生态安全格局构建.....	蒙古军,朱利凯,杨 倩,等 (6755)
村落文化林与非文化林多尺度物种多样性加性分配.....	高 虹,陈圣宾,欧阳志云 (6767)
不同生计方式农户的环境感知——以甘南高原为例.....	赵雪雁 (6776)
两种预测模型在地下水动态中的比较与应用.....	张 霞,李占斌,张振文,等 (6788)
四川黄龙沟少花鹤顶兰繁殖成功特征.....	黄宝强,寇 勇,安德军 (6795)
硝化抑制剂对蔬菜土硝化和反硝化细菌的影响.....	杨 扬,孟德龙,秦红灵,等 (6803)
新疆两典型微咸水湖水体免培养古菌多样性.....	邓丽娟,娄 恺,曾 军,等 (6811)
白洋淀异养鞭毛虫群落特征及其与环境因子的相关性.....	赵玉娟,李凤超,张 强,等 (6819)
双酚 A 对萼花臂尾轮虫毒性及生活史的影响.....	陆正和,赵宝坤,杨家新 (6828)
孵化温度对双斑锦蛇初生幼体行为和呼吸代谢的影响.....	曹梦洁,祝 思,蔡若茹,等 (6836)
黄玛草蛉捕食米蛾卵的功能反应与数值反应.....	李水泉,黄寿山,韩诗畴,等 (6842)
互惠-寄生耦合系统的稳定性.....	高 磊,杨 燕,贺军州,等 (6848)
超微七味白术散对肠道微生物及酶活性的影响.....	谭周进,吴 海,刘富林,等 (6856)
<b>专论与综述</b>	
氮沉降对森林生态系统碳吸存的影响.....	陈 浩,莫江明,张 炜,等 (6864)
全球 $\text{CO}_2$ 水平升高对浮游植物生理和生态影响的研究进展.....	赵旭辉,孔繁翔,谢薇薇,等 (6880)
跨界自然保护区——实现生物多样性保护的新手段.....	石龙宇,李 杜,陈 蕾,等 (6892)
<b>研究简报</b>	
会同和朱亭 11 年生杉木林能量积累与分配.....	康文星,熊振湘,何介南,等 (6901)
退化草地阿尔泰针茅生殖株丛与非生殖株丛的空间格局.....	任 珩,赵成章,高福元,等 (6909)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 326 \* zh \* P \* ¥70.00 \* 1510 \* 35 \* 2012-11



**封面图说:** 白洋淀是华北地区最大的淡水湖泊湿地。淀区内沟壕纵横交织错落,村庄、苇地、园田星罗棋布,在水文、水化学、生物地球化学循环以及生物多样性等方面,具有非常复杂的异质性。随着上游城镇污废水、农田径流进入水域,淀区富营养化日益加剧。复杂的水环境特点、高度的景观异质性和良好的生物多样性,使得该地区成为探索规模性厌氧氨氧化反应的良好研究地点(详见本期第 6591—6598 页)。

**彩图提供:** 王为东博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: wdwangh@yahoo.com

DOI: 10.5846/stxb201109201380

李水泉, 黄寿山, 韩诗畴, 李志刚, 叶静文, 徐英杰. 黄玛草蛉捕食米蛾卵的功能反应与数值反应. 生态学报, 2012, 32(21): 6842-6847.

Li S Q, Huang S S, Han S C, Li Z G, Ye J W, Xu Y J. Functional and numerical responses of *Mallada besalis* feeding on *Corcyra cephalonica* eggs. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(21): 6842-6847.

## 黄玛草蛉捕食米蛾卵的功能反应与数值反应

李水泉<sup>1,2</sup>, 黄寿山<sup>1</sup>, 韩诗畴<sup>2,\*</sup>, 李志刚<sup>2</sup>, 叶静文<sup>2</sup>, 徐英杰<sup>1</sup>

(1. 华南农业大学资源环境学院昆虫学系, 广州 510642; 2. 广东省昆虫研究所, 广州 510260)

**摘要:** 针对天敌控害潜能评价和天敌昆虫大量饲养的基础理论问题, 以一种重要的捕食性天敌黄玛草蛉 *Mallada besalis* Walker 捕食米蛾卵的功能反应和数值反应研究为例, 开展研究。结果表明, 黄玛草蛉幼虫对米蛾卵的捕食功能反应符合 Holling II 型方程, 其捕食量在一定范围内随着猎物密度的增加而增加, 最后趋近一个稳定值, 且与是否供水有关, 供水时 3 龄幼虫的理论捕食能力最大, 为 3205.1 粒卵/d。数值反应研究结果表明, 不同密度的米蛾卵对黄玛草蛉的生长、发育、繁殖有着显著的影响。随着猎物密度增大, 黄玛草蛉幼虫的发育速率、雌虫的产卵量、孵化率及雌性比增大, 成虫的寿命延长, 最后趋于稳定。米蛾卵密度 5、10、20、30、50 卵/d。分别是黄玛草蛉幼虫存活、幼虫化蛹、成虫羽化、后代卵孵化及世代延续的临界值。并讨论了功能反应和数值反应研究在天敌利用研究中的侧重点和重要性。

**关键词:** 黄玛草蛉; 功能反应; 数值反应

## Functional and numerical responses of *Mallada besalis* feeding on *Corcyra cephalonica* eggs

LI Shuiquan<sup>1,2</sup>, HUANG Shoushan<sup>1</sup>, HAN Shichou<sup>2,\*</sup>, LI Zhigang<sup>2</sup>, YE Jingwen<sup>2</sup>, XU Yingjie<sup>1</sup>

1 Department of Entomology, College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2 Guangdong Entomological Institute, Guangzhou 510260, China

**Abstract:** The functional and numerical responses of an important predator *Mallada besalis* Walker feeding on *Corcyra cephalonica* eggs were respectively carried out in laboratory. The results showed that the functional response conformed to Holling Type II equation. In a certain range, the predation of *M. besalis* larvae increased with an increase of the prey's density then tended to be a steady value. It was also related to whether there was water supply. When water was supported, the theoretical predation of the 3rd instar larvae was largest, it was 3205.1 *C. cephalonica* eggs per day. The results of numerical response research showed that the growth, development and reproduction of *M. besalis* larvae were significantly influenced by *C. cephalonica* egg's density. The developmental rate, female fecundity, hatching rate, female ratio of *M. besalis* larvae, and adult longevity increased with an increase of *C. cephalonica* egg's density, then tended to be steady. The *C. cephalonica* egg's density threshold for larvae survival, larvae pupation, adult emergence, offspring eggs hatching and population maintenance were respectively 5, 10, 20, 30 and 50 eggs per day. In the research of natural enemy large-scale breeding and control potential against pest, numerical response emphasized on the dependence of predators on prey density and the prey density thresholds would cause predator population to decline. This would provide theoretical basis for fodder allotment, cost control and enhanced the predator's capability of controlling pest when alternative host was added in field. It would be concluded from the above results that *M. besalis* has potential value to be considered as a biological control agent.

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项项目(200803023); 公益性行业(农业)科研专项项目(201103026)

收稿日期: 2011-09-20; 修订日期: 2012-02-01

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hancs@gdei.gd.cn



And we discussed the importance and emphasis of functional and numerical responses in the natural utilization.

**Key Words:** *Mallada besalis*; functional response; numerical response

昆虫天敌的控害潜能评价与 3 个基本反应有关,即:对寄主(或猎物)密度的功能反应、猎物(或寄主)密度变化对捕食者(或寄生者)生长发育的影响——数值反应,以及捕食者(或寄生者)对空间异质性的反应<sup>[1]</sup>。这 3 个反应决定了天敌昆虫的控害效能大小以及天敌的利用方式,也是天敌昆虫大量饲养必须注意的重要技术环节。

功能反应是指一个捕食者在单位时间内对给定的不同猎物密度所能捕食猎物数量的变化;数值反应是猎物密度的变化对捕食者的生长发育、生殖、死亡等方面的影响<sup>[2]</sup>。在天敌昆虫的利用中,为了使天敌的种群不会因食料缺乏而衰退,就需要研究天敌昆虫的数值反应,以便及时补充猎物,以保持天敌的种群数量,发挥其持续控害作用。

黄玛草蛉属于完全变态昆虫,是多种害虫的捕食性天敌,繁殖力强,食性杂,捕食量大。其幼虫能够取食各种粉蚧(Pseudococcidae)、粉虱(Aleyrodidae)、蜡蝉(Fulgoridae)幼虫、米蛾卵等,特别对于我国近年发现的入侵性害虫-螺旋粉虱(*Aleurodicus dispersus*)具有很好的防治效果;成虫在实验室饲养时基本不取食米蛾卵,但需要提供啤酒酵母粉和蜂蜜水补充营养,产卵量大,在保证充足食物的情况下能够大量繁殖,是生物防治中重要的有效天敌昆虫。

国内外学者主要研究了中华草蛉、丽草蛉、叶色草蛉、黄玛草蛉、大草蛉等的生物学、生理学、生态学及人工饲养技术<sup>[3-5]</sup>,草蛉的捕食功能反应已有报道<sup>[3-4]</sup>,数值反应却未有研究。数值反应研究捕食者一生对猎物密度梯度的反应,一般猎物密度越高,捕食者生长发育越好;猎物密度低时会影响捕食者的生长发育<sup>[6]</sup>。基于此,寻找能够引起捕食者种群抑制的临界点的数值反应,是天敌规模化饲养及持续控害能力与利用方式所必须研究的问题。本文研究了黄玛草蛉对米蛾卵的功能反应及数值反应,旨在说明不同猎物密度对黄玛草蛉捕食功能及其生长、发育、繁殖力的影响,为黄玛草蛉规模化饲养中饲料配给、成本控制;田间应用增补替代寄主,增强捕食者的持续控害能力提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

黄玛草蛉采自海南省文昌市果园的番石榴上,在室内(温度  $T=(25\pm1)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度  $RH=(75\pm5)\%$ 、光照  $L:D=16:8$ )用米蛾 *Corcyra cephalonica* 卵连续饲养 5 代后用于实验。米蛾用米糠饲养,其卵饲养黄玛草蛉前用紫外灯照射 30min,杀死其胚胎。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 功能反应

取草蛉初孵幼虫及饥饿 24 h 的 2、3 龄幼虫单头放入培养皿( $\Phi=9\text{ cm}$ )中,以杀胚后的米蛾卵为食。饥饿处理及喂食米蛾卵时,分提供水、不提供水两种情况(旨在说明黄玛草蛉在缺水情况下的捕食能力,并与供水情况下黄玛草蛉的捕食能力进行比较),提供水的处理以棉花蘸水放入培养皿中供水。猎物密度处理如表 1,1 龄幼虫 10 个重复,2、3 龄幼虫 5 个重复。恒温  $(25\pm1)^{\circ}\text{C}$  下捕食时间  $T=24\text{ h}$ ,24 h 后计数被取食的米蛾卵粒数,记为被捕食量  $Na$  值<sup>[6]</sup>。

#### 1.2.2 数值反应

取孵化 24 h 内的黄玛草蛉 1 龄幼虫若干,单头饲养于底部有湿棉花球保湿的培养皿( $\Phi=9\text{ cm}$ )中。设置 7 个处理,分别连续每日供给新鲜米蛾卵 5,10,20,30,50,80,120 粒,每个处理 10 个重复。每日观察记录黄玛草蛉幼虫捕食量、生长发育状况及龄期,成虫羽化后不再供给米蛾卵,饲喂啤酒酵母粉和蜂蜜水,并将成虫在培养皿中雌雄配对,记录成虫寿命、产卵量及孵化率。试验环境温度  $(25\pm1)^{\circ}\text{C}$ ,  $RH=(70\pm5)\%$ ,  $L:D=16:8$ 。

表 1 黄玛草蛉幼虫对米蛾卵功能反应的猎物密度设置

Table 1 Density setting of *Corcyra cephalonica* eggs as the food for *Mallada besalis* in functional response

猎物密度 Prey density (grain)	提供水 Support water			不提供水 No support water		
	1 龄 First instar	2 龄 Second instar	3 龄 Third instar	1 龄 First instar	2 龄 Second instar	3 龄 Third instar
处理 1 Treatment 1	10	50	250	10	30	300
处理 2 Treatment 2	15	70	350	15	70	400
处理 3 Treatment 3	20	90	450	20	110	500
处理 4 Treatment 4	25	110	550	25	150	600
处理 5 Treatment 5	30	150	650	30	200	700

### 1.3 数据处理

#### 1.3.1 功能反应

将 Holling II 模型方程  $Na = \frac{aTNo}{(1 + a \times Th \times No)}$ , 转化为  $\frac{1}{Na} = \frac{Th}{T} + \frac{1}{a'TNo}$ , 以  $\frac{1}{No}$  为自变量,  $\frac{1}{Na}$  为因变量,

从而将其线性化, 再用 SAS9.2 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。式中,  $Na$  捕食量;  $No$  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

直接统计法, 用 Excel 函数对数值反应数据进行统计。

## 2 结果与分析

### 2.1 功能反应

根据 Holling II 圆盘方程拟合得到的黄玛草蛉幼虫对米蛾卵的捕食功能反应方程及其参数如表 2。结果显示, 黄玛草蛉 1 龄到 3 龄幼虫捕食功能反应拟合方程与圆盘方程模型符合的很好,  $R^2$  值均在 0.95 以上, 均达到显著水平。

表 2 两种情况下幼虫瞬时攻击率均为  $a_1 > a_3 > a_2$ ; 1 龄幼虫的猎物处置时间  $Th$  最大。由模拟方程推算出的各虫态最大日捕食量  $Na_{max}$  可以看出 2、3 龄幼虫的最大日捕食量很大, 作为天敌昆虫具有较好的控制效用, 但也给室内规模化饲养中饲料的供给带来困难。

表 2 黄玛草蛉幼虫对米蛾卵捕食功能反应参数及其数学模型

Table 2 Functional response parameters and mathematical models of *Mallada besalis* larvae to pray *Corcyra cephalonica* eggs

供水情况 Support water or Not	黄玛草蛉 幼虫各虫态 Stages of <i>Mallada besalis</i> larvae	模拟方程 Simulation equations	$R^2$	模型检验 Model checking	$Na_{max}^*$ Maximum daily amount of prey (grain)	$Th$	$a$
有 Yes	1 龄 1st instar	$Na = \frac{1.3382 \times No}{1 + 1.3382 \times 0.03117No}$	0.9929	$F=419.43$ $P=0.0003$	32.1	0.03117	1.3382
	2 龄 2nd instar	$Na = \frac{0.8316 \times No}{1 + 0.8316 \times 0.00128No}$	0.9904	$F=309.79$ $P=0.0004$	781.9	0.00128	0.8316
	3 龄 3rd instar	$Na = \frac{1.0034 \times No}{1 + 1.0034 \times 0.00031No}$	0.9683	$F=91.51$ $P=0.0024$	3205.1	0.00031	1.0034
无 No	1 龄 1st instar	$Na = \frac{1.4415 \times No}{1 + 1.4415 \times 0.03678No}$	0.9534	$F=61.34$ $P=0.0043$	27.2	0.03678	1.4415
	2 龄 2nd instar	$Na = \frac{0.8670 \times No}{1 + 0.8670 \times 0.00089No}$	0.9694	$F=95.08$ $P=0.0023$	1118.6	0.00089	0.8670
	3 龄 3rd instar	$Na = \frac{1.3994 \times No}{1 + 1.3994 \times 0.00119No}$	0.9526	$F=60.33$ $P=0.0044$	837.5	0.00119	1.3994

$Na_{max}^* = 1/Th$

由于黄玛草蛉幼虫取食量比较大,为使图形更准确的反应黄玛草蛉取食米蛾卵的实际,模型取值后在等式两边取对数,如图1—图3。黄玛草蛉幼虫取食米蛾卵的捕食功能反应曲线表明,黄玛草蛉幼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程度后,其捕食量增加速度变慢,趋近稳定值,提供水的取食结果趋近的稳定值比不提供水的稳定值小。

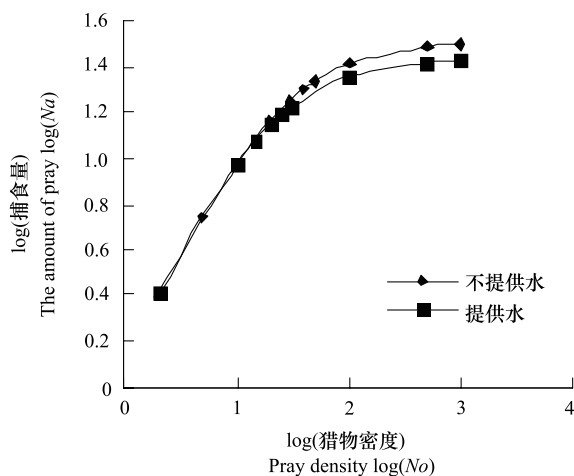


图1 黄玛草蛉1龄幼虫对米蛾卵的捕食功能反应曲线图

Fig.1 Fitting curve of functional response of *Mallada besalis* 1st instar larvae to *Corcyra cephalonica* (Stainton) eggs

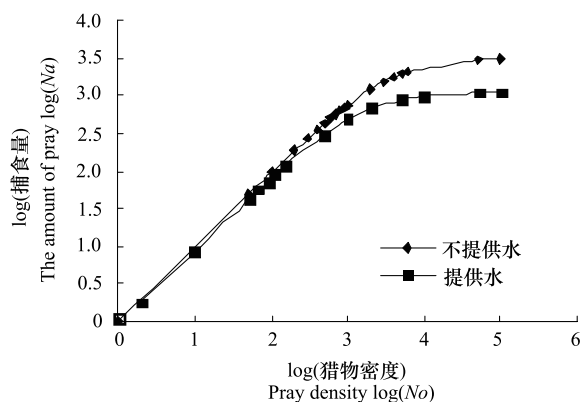


图2 黄玛草蛉2龄幼虫对米蛾卵的捕食功能反应曲线图

Fig.2 Fitting curve of functional response of *Mallada besalis* 2nd instar larvae to *Corcyra cephalonica* (Stainton) eggs

## 2.2 数值反应

经过对不同猎物密度条件下的黄玛草蛉的连续饲养观察,并整理数据得各参数如表3。

由表3可看出,米蛾卵的密度设置对黄玛草蛉的生长发育繁殖影响显著。当猎物密度设置为5粒/d时,黄玛草蛉在3龄时死亡,不能化蛹,且2龄历期不正常延长;而猎物密度设置为10粒/d时,能完成幼虫期发育,能够化蛹,但为死蛹,且3龄历期不正常延长;猎物密度设置为20粒/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;猎物密度设置为30粒/d时,有雌性成虫成功羽化,但产卵量很低,且子代卵不能孵化,黄玛草蛉的世代不能延续;猎物密度设置50、80、120粒/d时,不同的猎物密度使黄玛草蛉能正常生长发育和繁殖,种群的性比、成虫寿命、产卵量及孵化率有一定的差异,但差异不显著,与CK(食物充足)差异不显著。

## 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<sup>[6]</sup>。结果表明,黄玛草蛉对米蛾卵具有较大的捕食量,供水时3龄幼虫日最大捕食量可达3205.1粒卵。数值反应研究结果表明:在饲养黄玛草蛉时,日供给米蛾卵低于50粒就会引起其生长发育受阻,日供50粒米蛾卵是室内饲养黄玛草蛉时种群维持必须的临界值。在田间应用时更应参照害虫的密度情况,适当补充猎物,以维持草蛉种群,发挥其持续控害作用。

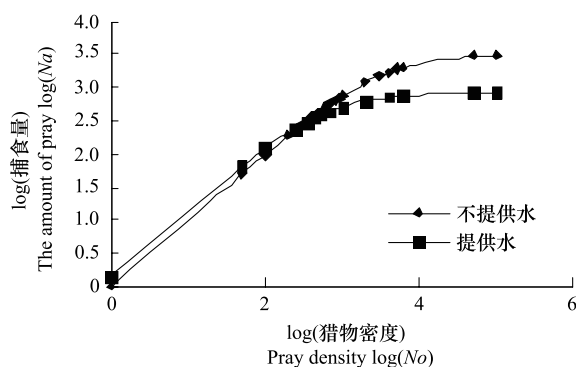


图3 黄玛草蛉3龄幼虫对米蛾卵的捕食功能反应曲线图

Fig.3 Fitting curve of functional response of *Mallada besalis* 3rd instar larvae to *Corcyra cephalonica* (Stainton) eggs

表 3 不同米蛾卵密度下的黄玛草蛉生长发育繁殖参数

Table 3 Growth and reproduction Parameters of *Mallada besalis* at different *Corcyra cephalonica* eggs' densities

处理 Treatment		1	2	3	4	5	6	7	8
猎物密度(粒) $N_0$ * (Grain)		5	10	20	30	50	80	120	Ck
各虫态历期/d	1 龄 1st instar	4.5	4.2	4.1	4.5	4.2	3.2	3.1	3.2
Duration of	2 龄 2nd instar	7.7	5.1	3.6	3.1	3.2	3.1	3.0	3.1
<i>Mallada besalis</i>	3 龄 3rd instar	—	18.3	6.9	5.5	4.1	3.0	3.0	3.7
	蛹 Pupa	—	—	12.0	12.1	11.5	10.7	10.3	10.2
	成虫 Adult	—	—	33.0	32.0	31.6	35.0	35.8	37.9
总历期 Duration/d		12.2	27.7	59.5	57.3	54.6	55.0	55.3	58.1
雌性百分比 Female ratio/%		—	—	0.00%	50.00%	60.00%	40.00%	50.00%	50.00%
♀ 平均寿命 Female average period/d		—	—	—	47.0	36.3	46.0	43.7	41.5
♂ 平均寿命 Male average Period/d		—	—	33.0	17.0	24.5	27.7	28.0	34.3
产卵量(粒/头)		—	—	—	20.0	299.7	307.5	331.0	333.5
Egg laying amount (Number/Head)		—	—	—	—	—	—	—	—
子代卵孵化率 Hatching ratio/%		—	—	—	0.00%	71.42%	73.72%	72.04%	72.4%

Toth 等 Glen, Wratten 等一些早期的生态工作者在数值反应研究方面做了不少努力, Crauley 与 Boddington 从理论研究数值反应,就捕食者如何依赖于猎物密度而生长、发育、繁殖,进行了一系列研究,提出了正密度反应和无密度反应的数学模型<sup>[5]</sup>。丁岩钦根据 Boddington 模型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<sup>[7]</sup>。Solomon<sup>[8]</sup>、深谷昌次<sup>[7]</sup>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。根据定义,本实验中黄玛草蛉的产卵量、历期、孵化率及雌性比对米蛾卵的密度反应属于正密度反应。在不同米蛾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。

功能反应和数值反应研究旨在评价天敌的控害能力,同时也是天敌规模化饲养中饲料供给的理论依据。在生物防治应用中,希望天敌的释放能够达到“一次释放、持续控害”的效果,害虫密度必须保持在维持天敌种群持续生存的数量水平<sup>[6]</sup>。田间应用时黄玛草蛉的食物密度过低,黄玛草蛉幼虫的发育,成虫的羽化及种群繁殖力都将受到严重影响。大田释放时,需要考虑补充替代寄主(米蛾卵),以维持黄玛草蛉的种群不至于消退,田间食物密度低至多少会对黄玛草蛉生长发育产生影响;田间应用时,黄玛草蛉什么时间释放,如何释放,释放什么虫态有待进一步研究。规模化饲养时,饲料不足也将影响黄玛草蛉幼虫的发育,成虫的羽化及种群繁殖力,更甚的是发生严重的自相残杀行为,使得黄玛草蛉繁殖的质量下降,规模饲养不能成功。因为黄玛草蛉食量大,饲料不足,严重影响规模化饲养,本实验室研究人员正在进行人工饲料的研究。

本文中数值反应研究得出的 5 个临界值可为黄玛草蛉田间释放、补充替代寄主及饲料供给提供参考依据。可见,数值反应和功能反应同步研究比单方面研究,对于天敌的田间应用及规模化饲养更具参考意义。

**致谢:**黄玛草蛉由中国科学院动物研究所杨星科研究员鉴定,特此致谢。

## References:

- [1] Li C, Ding Y Q, Ma S J. Studies on predation and simulation model of dwarf spider *Erigonidium graminicolum* to cotton bollworm *Heliothis armigera* I. Studies on predator-one prey system. *Acta Ecologica Sinica*, 1982, 2(3): 239-254.
- [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] Liu Y, Guo G X, Chen J L, Ni H X. Behavioral and electrophysiological responses of four predatory insect species to semiochemicals of wheat. *Acta Entomologica Sinica*, 2005, 48(2): 161-165.

- [ 4 ] Solomon M E. The natural control of animal populations. *Journal of Animal Ecology*, 1949, 18(1): 1-35.
- [ 5 ] Beddington J R, Hassell M P, Lawton J H. The components of arthropod predation. II. The predator rate of increase. *Journal of Animal Ecology*, 1976, 45(1): 165-185.
- [ 6 ] Huang L M, Huang S S. Functional and numerical responses of the predacious plant bug on the rice *Brown planthopper* egg. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4187-4195.
- [ 7 ] 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.
- [ 8 ] Yano E. Recent development of biological control and IPM in greenhouses in Japan. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2004, 7(1): 5-11.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] Zhou Y, Lei C L, Jiang Y, Li T F, Deng J H. numerical responses of *Orius similis* to *Myzus persicae* (Sulzer). *Tobacco Science and Technology*, 2000, (10): 41-42.
- [ 11 ] Liu J L, Yang B, Lu Y T, Huang S S. An improvement on life table of experimental population: example from *Cyrtorrhinus lividipennis* Reuter (Hemiptera: Miridae). *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 3206-3212.
- [ 12 ] Xu R M. *Insect Population Ecology — Basis and Front*. Beijing: Science Publishing House, 2005: 369-375.
- [ 13 ] Shu M, Liu W W, Feng L K, Mou L S, Ma N, Wang P L. Study on the functional response of *Chrysopa Sinica* Tjeder to predation of the Eggs of *Leptinotarsa decemlineata* Say. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2011, 48(2): 328-333.
- [ 14 ] Li M, Sun Z W, Wang J X, Mu L Y. Effects of sublethal dosages of eleven insecticides on larval cocooning and adult emergence of *Chrysopa sinla* (Jieder). *Natural Enemies of Insects*, 2003, 25(1): 20-23.
- [ 15 ] Li Z G, Zhen J H, Ye J W, Li S Q, Han S C. Functional response and searching rate of *Mallada* sp. larvae on *Aleurodicus dispersus* Russell nymphs. *Journal of Environmental Entomology*, 2011, 33(2): 209-212.
- [ 16 ] Masatsugu F, Keiji K. *Comprehensive Prevention and Treatment*. Xin J L, Trans. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1980: 97-97.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 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 I. 捕食者-单种猎物系统的研究. *生态学报*, 1982, 2(3): 239-254.
- [ 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.
- [ 3 ] 刘勇, 郭光喜, 陈巨莲, 倪汉祥. 瓢虫和草蛉对小麦挥发物组分的行为及电生理反应. *昆虫学报*, 2005, 48(2): 161-165.
- [ 6 ] 黄林茂, 黄寿山. 黑肩绿盲蝽捕食褐飞虱卵的功能与数值反应. *生态学报*, 2010, 30(15): 4187-4195.
- [ 7 ] 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.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] 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*, 2000, (10): 41-42.
- [ 11 ] 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.
- [ 12 ] 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.
- [ 13 ] 舒敏, 刘伟伟, 冯丽凯, 牟刘森, 马宁, 王佩玲. 中华草蛉幼虫捕食马铃薯甲虫卵的功能反应研究. *新疆农业科学*, 2011, 48(2): 328-333.
- [ 14 ] 李美, 孙作文, 王金信, 慕立义. 十一种杀虫剂的亚致死剂量对中华草蛉幼虫结茧的羽化和影响. *昆虫天敌*, 2003(1): 20-23.
- [ 15 ] 李志刚, 郑基焕, 叶静文, 李水泉, 韩诗畴. 玛草蛉幼虫对螺旋粉虱若虫的捕食功能反应与搜寻效应. *环境昆虫学报*, 2011, 33(2): 209-212.
- [ 16 ] 深谷昌次, 桐谷圭治. *综合防治*. 忻介六, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1980: 97-97.



CONTENTS

Widespread of anaerobic ammonia oxidation bacteria in an eutrophic freshwater lake wetland and its impact on nitrogen cycle .....	WANG Shanyun, ZHU Guibing, QU Dongmei, et al (6591)
Responses of soil enzyme activities of degraded coastal saline wetlands to irrigation with treated paper mill effluent .....	XIA Mengjing, MIAO Ying, LU Zhaozhua, et al (6599)
Wetland ecosystem health assessment of the Tumen River downstream .....	ZHU Weihong, GUO Yanli, SUN Peng, et al (6609)
An index of biological integrity: developing the methodology for assessing the health of the Baiyangdian wetland .....	CHEN Zhan, LIN Bo, SHANG He, et al (6619)
MODIS-based analysis of wetland area responses to hydrological processes in the Dongting Lake .....	LIANG Jie, CAI Qing, GUO Shenglian, et al (6628)
The diversity of invasive plant <i>Spartina Alterniflora</i> rhizosphere bacteria in a tidal salt marshes at Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary .....	ZHANG Zhengya, DING Chengli, XIAO Ming (6636)
Analyzing the azimuth distribution of tree ring $\delta^{13}\text{C}$ in subtropical regions of eastern China using the harmonic analysis .....	ZHAO Xingyun, LI Baohui, WANG Jian, et al (6647)
In the process of grassland degradation the spatial pattern and spatial association of dominant species .....	GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (6661)
Activities of soil oxidoreductase and their response to seasonal freeze-thaw in the subalpine/alpine forests of western Sichuan .....	TAN Bo, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (6670)
Simulating the effects of forestry classified management on forest biomass in Xiao Xing'an Mountains .....	DENG Huawei, BU Rencang, LIU Xiaomei, et al (6679)
The simulation of three-dimensional canopy net photosynthetic rate of apple tree .....	GAO Zhaoquan, ZHAO Chenxia, ZHANG Xianchuan, et al (6688)
The effect of <i>Phomopsis</i> B3 and organic fertilizer used together during continuous cropping of strawberry ( <i>Fragaria ananassa</i> Duch) .....	HAO Yumin, DAI Chuanchao, DAI Zhidong, et al (6695)
Temporal and spatial variations of DOC, DON and their function group characteristics in larch plantations and possible relations with other physical-chemical properties .....	SU Dongxue, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (6705)
Comparisons of quantitative characteristics and spatial distribution patterns of <i>Eremosparton songoricum</i> populations in an artificial sand fixed area and a natural bare sand area in the Gurbantunggut Desert, Northwestern China .....	ZHANG Yongkuan, TAO Ye, LIU Huiliang, et al (6715)
Comparison study on macroinvertebrate assemblage of riffles and pools: a case study of Dong River in Kaixian County of Chongqing, China .....	WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong (6726)
Nekton community structure and its relationship with main environmental variables in Lidao artificial reef zones of Rongcheng .....	WU Zhongxin, ZHANG Lei, ZHANG Xiumei, et al (6737)
Zooplankton diversity and its variation in the Northern Yellow Sea in the autumn and winter of 1959, 1982 and 2009 .....	YANG Qing, WANG Zhenliang, FAN Jingfeng, et al (6747)
Building ecological security pattern based on land use: a case study of Ordos, Northern China .....	MENG Jijun, ZHU Likai, YANG Qianet al (6755)
Additive partition of species diversity across multiple spatial scales in community culturally protected forests and non-culturally protected forests .....	GAO Hong, CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun (6767)
Environmental perception of farmers of different livelihood strategies: a case of Gannan Plateau .....	ZHAO Xueyan (6776)
Application and comparison of two prediction models for groundwater dynamics .....	ZHANG Xia, LI Zhanbin, ZHANG Zhenwen, et al (6788)
Pollination success of <i>Phaius delavayi</i> in Huanglong Valley, Sichuan .....	HUANG Baoqiang, KOU Yong, AN Dejun (6795)
Mechanism of nitrification inhibitor on nitrogen-transformation bacteria in vegetable soil .....	YANG Yang, MENG Denglong, QIN Hongling, et al (6803)
Archaea diversity in water of two typical brackish lakes in Xinjiang .....	DENG Lijuan, LOU Kai, ZENG Jun, et al (6811)
Abundance and biomass of heterotrophic flagellates in Baiyangdian Lake, as well as their relationship with environmental factors .....	ZHAO Yujuan, LI Fengchao, ZHANG Qiang, et al (6819)
Effects of bisphenol A on the toxicity and life history of the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i> .....	LU Zhenghe, ZHAO Baokun, YANG Jiaxin (6828)
Effect of incubation temperature on behavior and metabolism in the Chinese cornsnake, <i>Elaphe bimaculata</i> .....	CAO Mengjie, ZHU Si, CAI Ruoru, et al (6836)
Functional and numerical responses of <i>Mallada besalis</i> feeding on <i>Coreyra cephalonica</i> eggs .....	LI Shuiquan, HUANG Shoushan, HAN Shichou, et al (6842)
Stability analysis of mutualistic-parasitic coupled system .....	GAO Lei, YANG Yan, HE Junzhou, et al (6848)
Effect of ultra-micro powder qiweibaishuan on the intestinal microbiota and enzyme activities in mice .....	TAN Zhoujin, WU Hai, LIU Fulin, et al (6856)
<b>Review and Monograph</b>	
The effects of nitrogen deposition on forest carbon sequestration: a review .....	CHEN Hao, MO Jiangming, ZHANG Wei, et al (6864)
Effect of enhanced CO <sub>2</sub> level on the physiology and ecology of phytoplankton .....	ZHAO Xuhui, KONG Fanxiang, XIE Weiwei, et al (6880)
Transboundary protected areas as a means to biodiversity conservation .....	SHI Longyu, LI Du, CHEN Lei, et al (6892)
<b>Scientific Note</b>	
The energy storage and its distribution in 11-year-old chinese fir plantations in Huitong and Zhuting .....	KANG Wenxing, XIONG Zhengxiang, HE Jienan, et al (6901)
Spatial pattern of sexual plants and vegetative plants of <i>Stipa krylovii</i> population in alpine degraded grassland .....	REN Heng, ZHAO Chengzhang, GAO Fuyuan, et al (6909)

# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 21 期 (2012 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 21 (November, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元