

387—391

第14卷 第4期
1994年12月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 14, No. 4
Dec., 1994

七星瓢虫幼虫对两种麦蚜的数值反应*

董应才 汪世泽

(西北农业大学, 陕西杨陵, 712100)

S476.2

Q968.1

A

摘 要 本文研究了七星瓢虫各龄幼虫在不同麦蚜密度下的捕食量与其发育速率和增长率的关系。结果表明,七星瓢虫各龄幼虫的捕食量与其发育速率和增长率均为线性关系,符合 Beddington 模型;猎物密度与各龄瓢虫的增长率皆呈逻辑斯蒂曲线增长;求出了捕食者对两种麦蚜的最佳捕食量和最佳猎物密度;比较了捕食者对两种麦蚜的捕食作用差异。

关键词: 七星瓢虫, 麦蚜, 数值反应。

天敌

功能反应是描述捕食者捕食猎物的数量与猎物密度、自身密度及猎物分布的关系;数值反应是研究猎物作为食物消耗对捕食者的生长发育、生殖、死亡等方面产生的影响。两种反应均用来描述捕食者的作用及其数量是如何依赖于猎物的密度而变化的,进而估计在猎物密度变动时捕食者作用的强度和控制效果。因此,猎物密度作为联系功能反应、数值反应及其两者合成反应的重要参数,在研究捕食作用机理和系统分析中起着非常重要的作用。

过去,作者曾就 Holling-2 型方程的改进,提出了 Holling-3 型新方程,并就七星瓢虫捕食蚜虫的功能反应和选择性进行了研究,在捕食者最佳寻找效应密度方面进行了初步尝试^[1-5]。本文拟就数值反应中的一些问题,探讨七星瓢虫捕食两种麦蚜的最佳捕食量和最佳猎物密度,为正确地评价天敌昆虫作用和合理地指导生物防治提供依据。

由于麦蚜不象棉蚜只有一个种,而是往往以 3 种蚜虫的混合群体出现。因此,研究七星瓢虫捕食麦蚜的捕食作用,必须在比较单个种的基础上,方能提出捕食麦蚜的具体反应,功能反应研究如此^[6],数值反应研究也当如此。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1990 年 4 月初从油菜地里采回第一代七星瓢虫成虫,室内成对饲养。将同一天产的卵置于 20℃ 恒温箱内孵化,试验采用孵化整齐一致的初孵一龄幼虫。两种麦蚜——麦长管蚜 (*Macrosiphum avenae* Fabr) 和禾谷缢管蚜 (*Rhopalosiphum padi* L.) 均选 2—3 龄无翅若蚜,体重范围分别为 208.2±76.6μg/头和 220.9±81.8μg/头。

1.2 试验条件

试验容器为直径 1.8cm,高 18cm 的试管,用尼龙纱网捆口,试管内每天更换新鲜麦叶,将其置于 18±0.5℃ 的恒温箱内。采用 6 支 15W 日光灯光照,每天 14h。

* 国家自然科学基金资助项目。

我校九〇届张怡同学做了部分研究工作,在此致谢。

收稿日期:1993 06 18,修改稿收到日期:1993 12 02。

1.3 试验方法

取孵化整齐一致的七星瓢虫初孵一龄幼虫,每一头为1组,记录其孵化时间,分别称重后放入试管内。两种麦蚜密度分别在七星瓢虫一龄、二龄、三龄和四龄幼虫期每天饲以:(1)2、10、20、25头;(2)4、15、25、35头;(3)6、25、35、45头;(4)8、30、40、50、55头;(5)10、35、45、65头5个处理,每个处理均重复10次,每天定时检查统计一次各处理下被食的麦蚜数量,称瓢虫体重,记录瓢虫幼虫的发育情况,同时补充麦蚜至相应的密度,试验直至瓢虫幼虫化蛹为止。

2 结果与分析

2.1 七星瓢虫幼虫捕食麦蚜的最少捕食量测定

Beddington 就捕食者是如何依赖于猎物密度而生长、发育、繁殖,进行了一系列的研究^[6]。他发现:一龄瓢虫(*Adalia bipunctata*)的存活率与猎物密度呈逻辑斯蒂曲线形式变化;一、二龄华盖蛛(*Linyphia triangularis*)的存活率与猎物密度呈单调增函数关系;而作为摄食率的函数的蚤状蚤(*Daphnia pulex* var. *pulicaria*)的繁殖率,在猎物消耗量超过某个临界水平以上时才呈线性关系。赵鼎新研究黑襟毛瓢虫(*Scymnus hoffmanni*)捕食棉蚜的生物量与各龄幼虫发育速率的关系得出,无论哪龄幼虫,它们在一定的捕食量上(阈值)其发育速率才呈近似线性的增长^[7]。因此,本实验首先对七星瓢虫各龄幼虫进行连续定量饲养,测定出七星瓢虫幼虫捕食禾谷缢管蚜完成各龄期发育的最少捕食量为:一龄 0.67 头/d;二龄 1.08 头/d;三龄 6.67 头/d;四龄 12.33 头/d,具体实验安排见表 1。

表 1 七星瓢虫幼虫捕食禾谷缢管蚜的下限阈值
Table 1 The predaceous threshold of larval stages of *Coccinella septempunctata* to *Rhopalosiphum padi*

龄 Instar	每龄饲蚜数(头/龄) Amount of feeding <i>Rhopalosiphum padi</i> of per instar of lady bird				
	处理 I Treatment I	II	III	IV	V
1	1	2	3	4	5
2	5	7	9	10	11
3	8	15	17	19	21
4	15	20	25	35	45

2.2 七星瓢虫各龄幼虫的捕食量与其发育速率和增长率的关系

Beddington 提出猎物密度对捕食者发育速率影响的模型为^[6]:

$$\frac{1}{d} = \lambda \left\{ \frac{KaNT}{1+aT_aN} - B \right\} \\ = \lambda(KNa - B) \quad (1)$$

其中 $1/d$ 为捕食者发育速率; T_a 为处理时间; a 为成功搜索率; N 为猎物密度; Na 为被捕食的猎物数; λ 、 K 、 B 均为常数。

由于捕食者在特定年龄期必须捕获一定的猎物才能够得以完成基本的新陈代谢,超过一定的量(阈值)才能够正常生长。因此,用于捕食者生长的能量与摄取的食物量在捕食量阈值以上时也呈线性关系。

$$g = \sigma \left\{ \frac{KaNT}{1+aT_aN} - C \right\} = \sigma(KNa - C) \quad (2)$$

式中 g 为生长率; Na 为被捕食的猎物; σ 、 K 、 C 均为常数。

根据测定七星瓢虫各龄幼虫的最少捕食量(下限阈值),本研究所设猎物密度均在下限阈值以上,可以用(1)、(2)式拟合。

从表 2 结果可以看出,七星瓢虫各龄幼虫捕食两种麦蚜的捕食量与其发育速率和增长率均为线性关系,符合 Beddington 模型。

2.3 猎物密度与七星瓢虫各龄幼虫增长率的关系

如前所述,瓢虫取食蚜虫的增长率与每日供给的蚜量呈逻辑斯蒂曲线增长。因此,采用优选 K 的方法(0.618 法),模拟了七星瓢虫各龄幼虫增长率与猎物密度的关系,结果见表 3。采用使瓢虫增长率达最大值的猎物密度计算出七星瓢虫各龄幼虫捕食禾谷缢管蚜的饱和捕食量分别为:一龄 2.18 头/d;二龄 14.79 头/d;三龄 27.78 头/d;四龄 57.97 头/d。据此推论,七星瓢虫捕食麦蚜的数值反应应为 S 型。

表 2 七星瓢虫各龄幼虫的捕食量与其发育速率和增长率的关系

Table 2 The relationship between the biomass of the aphids consumed and the development rate, the growth rate of larval stages of *Coccinella septempunctata*

龄 Instar	捕食禾谷缢管蚜 Predation <i>R. padi</i>	r Correlation coefficients	捕食麦长管蚜 Predation <i>M. avenae</i>	r Correlation coefficients
1	$1/d=0.0252Na+0.2014$ $g=0.1473Na-0.0634$	0.9629 0.8492	$1/d=0.0174Na+0.2145$ $g=0.1846Na-0.1240$	0.9522 0.9455
2	$1/d=0.0106Na+0.2500$ $g=0.1117Na-0.0691$	0.8256 0.9307	$1/d=0.0104Na+0.2382$ $g=0.1055Na-0.1160$	0.9765 0.9591
3	$1/d=0.0103Na+0.1425$ $g=0.1367Na-0.2477$	0.8103 0.9547	$1/d=0.0083Na+0.1332$ $g=0.1240Na-0.2647$	0.9538 0.9847
4	$1/d=0.0027Na+0.0826$ $g=0.1271Na-0.5794$	0.9842 0.9960	$1/d=0.0092Na+0.0468$ $g=0.1151Na-0.9317$	0.9593 0.9482

表 3 各龄瓢虫增长率与麦蚜密度的关系

Table 3 The relationship between the growth rate of larval stages of *Coccinella septempunctata* and the wheat aphids' density

龄 Instar	捕食禾谷缢管蚜 Predation <i>R. padi</i>	r Correlation coefficients	捕食麦长管蚜 Predation <i>M. avenae</i>	r Correlation coefficients
1	$g = \frac{0.2278}{1 + \exp(0.4056 - 0.3629N)}$	-0.9806	$g = \frac{0.2815}{1 + \exp(2.6900 - 0.9638N)}$	-0.9956
2	$g = \frac{1.5235}{1 + \exp(1.4509 - 0.0506N)}$	-0.9901	$g = \frac{1.6562}{1 + \exp(1.8578 - 0.0536N)}$	-0.9441
3	$g = \frac{3.0000}{1 + \exp(1.2430 - 0.0384N)}$	-0.9161	$g = \frac{5.2339}{1 + \exp(2.0806 - 0.0333N)}$	-0.9876
4	$g = \frac{7.6553}{1 + \exp(1.9514 - 0.0315N)}$	-0.9985	$g = \frac{5.8885}{1 + \exp(2.1724 - 0.0342N)}$	-0.9642

2.4 最佳捕食量和最佳猎物密度的确定

根据表 3 结果可以看出,七星瓢虫各龄幼虫捕食两种麦蚜的增长率与两种麦蚜密度皆呈逻辑斯蒂曲线增长。因此,探讨逻辑斯蒂曲线 $g=K/[1+\exp(a-rN)]$ 的拐点 $N=a/r$ 有着重要的生物学意义。我们知道,在逻辑斯蒂曲线的拐点上 dg/dN 最大,在到达拐点前为正加速期,在拐点以后为负加速期。也就是说,在拐点处瓢虫捕食麦蚜获得的增长率最大,超过此拐点麦蚜密度进行捕食其增长率增长较慢,甚至停止增长。按照 Slobodkin(1980)的说法,捕食者为了有效地和最大持续生存地利用它们的猎物,表现的应是“深谋远虑”的^[6]。所以,定义拐点处

对应的猎物密度为捕食者捕食的最佳猎物密度,捕食者在最佳猎物密度下的捕食量为最佳食量。

汪世泽等根据对 Holling 圆盘方程在处理厌食反应和捕食者攻击猎物积极性方面的缺陷,提出了 Holling-3 型功能反应新模型^[2]:

$$Na = a \cdot \exp(-bN^{-1}) \quad (3)$$

其中 Na 为被捕食的猎物数; a 是 Na 的上限,即最大捕食量; b 为天敌密度为 1 的最佳寻找密度; N^{-1} 为猎物密度的倒数,表示该猎物群体中任何一个个体受到天敌一次攻击的概率。

根据作者对逻辑斯蒂曲线拐点和 Holling-3 新模型的参数比较(见表 4)看出, a 值与最大捕食量 $1/T_A$ 基本相同, b 值与逻辑斯蒂曲线拐点对应的捕食量 Na 基本相同,这就说明我们定义的最佳捕食量和最佳猎物密度是合适的,只是由于 Holling-3 新方程采用 N^{-1} 作为自变量,致使模型收敛较快。

表 4 Holling-3 模型参数与 Logistic 曲线拐点比较

Table 4 Compared parameters of Holling-3 model and inflection point of Logistic equation

参数 Parameters	蚜虫 Aphids	龄 Instar			
		1	2	3	4
Holling-2 $1/T_A$	<i>R. padi</i>	2.472	10.627	25.317	82.844
	<i>M. avenae</i>	3.428	16.598	36.074	89.886
Holling-3 a	<i>R. padi</i>	2.351	9.543	20.663	51.181
	<i>M. avenae</i>	2.733	11.502	24.997	53.533
Logistic a/r	<i>R. padi</i>	1.12	28.70	32.36	61.91
	<i>M. avenae</i>	2.79	34.69	62.48	63.46
拐点处捕食 量 Na	<i>R. padi</i>	1.10	7.44	12.78	34.67
	<i>M. avenae</i>	1.43	8.95	23.24	33.67
Holling-3 b	<i>R. padi</i>	1.12	7.52	14.51	26.52
	<i>M. avenae</i>	1.80	10.73	18.42	28.33

2.5 七星瓢虫幼虫捕食两种麦蚜的参数比较

在小麦 3 种常见蚜虫中,麦长管蚜 (*Macrosiphum avenae*) 和麦二叉蚜 (*Schizaphis graminum*) 在个体大小、体色变化及危害着生部位上都比较接近。因此本项研究仅选麦长管蚜和禾谷缢管蚜 (*Rhopalosiphum padi*) 进行捕食试验比较,为的是进一步明确两种麦蚜对于七星瓢虫幼虫数值反应方面的异同。根据对两种麦蚜的干鲜重测定,鲜重:麦长管蚜为 208.2 μ g/头,禾谷缢管蚜为 220.0 μ g/头;干重:麦长管蚜 51.4 μ g/头,禾

谷缢管蚜 63.6 μ g/头。若七星瓢虫幼虫日捕食 50 头禾谷缢管蚜则相当于摄入 3180 μ g 生物量,而捕食麦长管蚜摄入同样的生物量则需日捕食 62 头。因此从七星瓢虫幼虫对两种麦蚜的最大捕食量、最佳捕食量和最佳寻找密度等参数中均可明显看出,捕食麦长管蚜略大于禾谷缢管蚜,两者差异不显著。说明它们可以互为七星瓢虫幼虫的替代猎物而不影响其正常发育。由于田间环境复杂,捕食作用常受选择性、喜好性和不同时间、不同生态位等限制,表现可能不尽相同。

参 考 文 献

- 1 汪世泽,夏楚贵. Holling 圆盘方程的改进. 生态学杂志, 1987, 6(6): 17—18
- 2 汪世泽,夏楚贵. Holling-3 型功能反应新模型. 生态学杂志, 1988, 7(1): 1—3
- 3 汪世泽等. 七星瓢虫捕食棉蚜的功能反应. 西北农业大学学报, 1986, 14(4): 13—17
- 4 董应才等. 七星瓢虫幼虫对两种麦蚜的功能反应. 昆虫知识, 1992, 29(4): 219—222
- 5 董应才等. 七星瓢虫对不同龄级棉蚜的选择性及功能反应. 西北农业大学学报, 1989, 17(增): 67—71
- 6 Beddington J R. et al. The components of arthropod predation. II. The predator rate of increase, *J. Anim. Ecol.*, 1976, 45: 165—185
- 7 赵鼎新. 黑襟毛瓢虫对棉蚜的数值反应. 生态学报, 1987, 7(2): 146—153
- 8 徐汝梅. 昆虫种群生态学. 北京: 北京师范大学出版社, 1987, 334—338

- 9 Crawley M J. The numerical responses of insect predators to changes in prey density. *J. Anim. Ecol.*, 1975, **44**: 877—892
- 10 R M 梅, 孙儒泳等译, 理论生态学. 北京: 科学出版社, 1982, 86—94

THE NUMERICAL RESPONSES OF LADY BIRD LARVA TO TWO SPECIES OF WHEAT APHID

Dong Yingcai Wang Shize

(Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi, 712100)

Through the predation of lady bird (*Coccinella septempunctata*) larva to two species of wheat aphid (*Macrosiphum avenae* and *Rhopalosiphum padi*), the present paper examined the relationships of the amount of feeding to the development rate and the growth rate of the predators in different prey densities. The results show that the relationships of the biomass of the aphids consumed to the development rate and the growth rate of the predators are both linear. Thus this coincides with Beddingtons' model. The prey density and the growth rate of lady bird larva can be fitted to logistic model. The optimal feeding amount and the optimal feeding density of the predator upon the two species wheat aphid were also calculated, respectively and compared with predation effects on two wheat aphids, and the optimal foraging strategy then was elucidated preliminarily.

Key words: *Coccinella septempunctata*, wheat aphids, numerical responses.