

叶色草蛉幼虫个体生长率模型

353-357

苏建伟 盛承发^v

S433-4

(中国科学院动物研究所 北京 100080)

摘要 两个生长速率模型 $G = \delta(I - C)$ 和 $G = \delta(\ln I - C)$ 被广泛应用于对昆虫和其它动物的个体生长发育的模拟。在完成叶色草蛉幼虫个体发育实验的基础上,利用上述两个生长模型对其个体生长过程进行拟合,发现有些拟合相关性不显著,且参数值不符合其生物学意义。故提出:①在一定的环境条件下,当食饵充分满足时,昆虫(或其某一发育阶段)生长存在最大生长速率(G_0);②考虑昆虫对摄入食物的利用效率(B),昆虫的生长率(G)与其摄食率(I)有关系:

$$G = G_0[1 - e^{-B(I-C)}]$$

其中: G_0 是最大生长率;

B 是食物利用系数,表现为虫体对食物的消化、分解及有用成分的吸收的效率和虫体对吸收成分的合成、转化等的效率;

C 是虫体的摄食率阈值。

关键词: 叶色草蛉, 生长速率, 摄食率。

THE GROWTH RATE MODEL OF *Chrysopa phyllochroma* (WESMAEL) LARVAE

Su Jianwei Sheng Chengfa

(Institute of Zoology, Academia Sinica, Beijing, 100080, China)

Abstract Two growth rate models, $G = \delta(I - C)$ and $G = \delta(\ln I - C)$ have been utilized widely for modeling the development stage of insects and other animals. Based on the study of the individual development of *Chrysopa phyllochroma* larvae (feeding on *Aphis gossypii* Glover), we found that in many circumstances, these two growth rate models produced insignificant condition and offered parameters were lack of biological meaning. This paper indicated that: ① under the special circumstances, when prey is sufficient, each insect species (or each of its development periods) has its maximum growth rate (G_0); ② considering the utilizing efficiency of prey, the individual growth rate (G) is a function of the feeding rate (I):

$$G = G_0[1 - e^{-B(I-C)}]$$

where, G_0 = the maximum growth rate; B = the utilizing efficiency of the prey, representing the insect's efficiency of digesting, breaking down and absorbing the useful materials, and

* 收稿日期:1996-05-21,修改稿收到日期:1997-03-04。

efficiency of transforming the absorbed materials; C = the threshold of feeding rate.

Key words: *Chrysopa phyllochroma*, growth rate, feeding rate.

Turnbull^[1]认为,如果摄食率低于一定的阈值,昆虫的生长将停止;大于这个数值,则生长率与摄食率有一定的线性关系^[2~4]:

$$G = \delta(I - C) \quad (1)$$

其中, G 为生长率(单位时间内捕食者生物量的积累), I 为食物摄入率(单位时间内摄入的食物生物量), δ 和 C 为常数,其值取决于捕食者同化效率和呼吸作用所消耗的能量大小。

(1)式有时虽然拟合程度很好,相关显著,但是得出的参数 C 与实际不符,如 Mukerji & LeRoux^[5]的拟合式($G=0.5I+0.10, r=0.93$)中 $C=-0.10$ 。

对于一些捕食性的变温动物(如鱼类),稍复杂一些的另一个非线性方程被用来表示捕食率与生长率之间的关系^[6~8]:

$$G = \delta(\ln I - C) \quad (2)$$

式中, G 、 δ 、 I 和 C 意义同前。

这两个模型仍被广泛地使用,具有一定的适用性。

叶色草蛉(*Chrysopa phyllochroma* Wesmael)为黄河流域棉区的天敌优势种^[9],其幼虫的个体生长尚未见报道,作者就此进行了实验和研究。

1 材料和方法

1.1 实验虫源

叶色草蛉成虫于1991年5月采于山东省滨州市南郊苗圃的苹果园中。在实验室中人工饲养,以其所产卵为实验虫源。棉蚜(*Aphis gossypii* Glover)则从博兴县城北的实验田(未施药)中棉苗上采获。

1.2 实验方法

卵孵化后,将初孵幼虫称重,用指形管分别饲养于LRH-250-GS人工气候箱中,幼虫设5个处理组(每个处理组16头),另取5组作对照,分别喂以不同蚜量。箱内温度为 $25 \pm 1^\circ\text{C}$,相对湿度为 $75\% \pm 1\%$,光照时间为每天13h。

每天用分析天平(TG328-A)称量处理组的食物残量重和蛉重(鲜重),去除残余食物后投喂新食物并称重。取200头棉蚜称重(鲜重),从5个对照组中,每天各取2头称重(鲜重)及5个处理组中的食物残量,在电热恒温干燥箱中烘干至恒量并分别称重。

称量重复1次,取其算术平均值。

2 结果和分析

2.1 用模型(1)和(2)的拟合

应用模型(1)和(2)对实验数据进行拟合,结果列于表1。

表1 叶色草蛉幼虫个体生长率的拟合

Table 1 Simulation of the growth rates of *Chrysopa phyllochroma* larvae

发育期 Development period(d)	模型(1) Model (1) $G = \delta(I - C)$			模型(2) Model (2) $G = \delta(\ln I - C)$		
	δ	C	r^*	δ	C	r^*
1	0.028	-5.834	0.7593*	0.126	-0.851	0.7998**
2	0.035	-7.002	0.6798*	0.121	-1.877	0.6057
3	0.099	-2.048	0.7915**	0.311	-0.541	0.7545*
4	0.041	-14.642	0.6181	0.217	-2.213	0.5925
5	0.079	-8.227	0.7263*	0.412	-0.957	0.7582*
6	0.278	-1.903	0.7676**	1.766	-0.503	0.7290*
7	0.222	-8.130	0.6770*	1.848	0.098	0.6253
8	0.196	-9.278	0.8413**	1.470	1.274	0.7972**
全过程 Total period	0.103	-77.650	0.8759***	4.331	0.861	0.8600**

$df=10-2=8, \alpha_{0.05}=0.6319, \alpha_{0.01}=0.7646, \alpha_{0.001}=0.8721, r$ 为相关系数, correlation coefficient.

分析表中逐天的结果后,发现拟合很不理想,相关系数没有达到0.05的显著水平,在模型(1)和(2)中, C 值应为正值,它是幼虫的呼吸系数, C 与 δ 的乘积为单位时间内的呼吸消耗量,但表中 C 多数为负值,所以认为模型(1)和(2)不适合于叶色草蛉幼虫生长率变化的拟合。

2.2 一个新的昆虫个体生长率模型

生物个体发育的过程即体内物质代谢(个体增重 ΔW)过程受许多因子影响。它与其体外环境(ES)和体内环境(IS)有关,即

$$\Delta W = F(ES, IS)$$

其中: $ES = f(\text{温度, 湿度, 光照, 空间, 食物, 种群密度, 天敌} \dots)$

$IS = f(\text{各种生化成分的构型和多度, 酶的活性, pH值} \dots)$

撇开其它的生态因子,在只考虑食物因子的情形下, $\Delta W/\Delta T = G$ (生长率)

令 $\alpha = \Delta G/\Delta I$,为个体生长率在一定时间内随摄食率(ΔI)的变化率

1)当 $\Delta I \rightarrow 0$ 时,若 α 趋于不变,取常数 δ 。

$$\Delta G/\Delta I \approx dG/dI = \delta$$

$$G = \delta I + C' = \delta(I + C) \quad (\text{令 } C' = -C\delta)$$

此即为模型(1)的表达式。

2)若 α 与 I 有下列关系, $\alpha = \delta/I$,即其与摄食率有反比关系(δ 为常数),则

$$\Delta G/\Delta I \approx dG/dI = \delta/I \quad (\Delta I \rightarrow 0)$$

$$G = \delta \ln I - C' = \delta(\ln I + C) \quad (\text{令 } C' = -C\delta)$$

此即为模型(2)的表达式。

3)若 α 与 I 有下列关系, $\alpha = \delta/e^{BI}$,即其与摄食率的指数函数有反比关系(其中 δ 和 B 为常数),则

$$\Delta G/\Delta I \approx dG/dI = \delta/e^{BI} \quad (\Delta I \rightarrow 0)$$

$$G = -\delta e^{-BI}/B + G_0$$

$$= G_0[1 - (\delta/BG_0)e^{-BI}]$$

令 $\delta/BG_0 = e^{BC}$,则

$$G = G_0[1 - e^{-B(I-C)}] \quad (3)$$

此即为新的生长率模型。

2.3 G_0, B, C 3个参数的生物学意义

在模型(3)中, G, I 意义同模型(1)和(2), G_0, B 和 C 为参数。

1) G_0 的生物学意义

当 $I \rightarrow \infty$ 时, $e^{-B(I-C)} \rightarrow 0$,则 $G = G_0$ 。即当食物摄入量趋于无穷大时,生长率达到极大值 G_0 。故 G_0 的生物学含义是:当食物摄入量(单位时间内)足够大时,虫体所表现出的最大生长量(单位时间内),为一特征常数且恒大于零。

2) B 的生物学意义

令 $G_0 = 1, C = 0$ 时,简化(3)式为 $G = 1 - e^{-BI}$ 。

对上式取不同的参数值 $B_1, B_2, B_3, \dots, B_i, \dots$

若 $B_1 < B_2 < B_3 < \dots < B_i < \dots$,则 $G_1 < G_2 < G_3 < \dots < G_i < \dots$

如图1所示。再令 $I = 1$,则上式简化为: $G = 1 - e^{-B}$,完全为描述 B 与生长速率 G 之间的关系式,函数为单调函数,有极大值($G = G_0 = 1$)。

从图1可以看出 B 的生物学意义,因 B 值的不同,生长速率也相应变化, B 值越大, G 则越接近于最大的生长速率 G_0 (此时 $G_0 = 1$);当 B 取较大的值时,即使此时的食物摄入量(I)较小,也能有较大的 G 值。故 B 的意义为:虫体对摄入食物的利用效率的值,表现为虫体对食物的消化、分解以及有用成分吸收的效率和虫体对吸收成分的合成、转化的效率等。这与虫体体内的各种生物代谢机能有关,同时 B 应为恒大于零的常数。

3) C 的生物学意义

当 $I=C$ 时, $e^{-B(I-C)}=1$, 则 $G=0$, 即生长率为零。此时虫体摄入食物所消化、吸收和同化的速率与虫体因活动(捕食, 繁殖……)和维持体温而呼吸消耗的速率相等, 表现为个体的生物量增量为零。故认为 C 的生物学含义是虫体的摄食率阈值, 类似于虫体的呼吸消耗率, 但在数量上是不等的。

显然, C 的值也应为正数。

2.4 用模型(3)对叶色草蛉幼虫生长率的拟合

鉴于叶色草蛉幼虫增长率与食物摄入量之间并非简单的线性关系或对数关系, 而是另一种较为复杂的曲线关系, 如是假设: 当虫体在摄入足够多的食物后, 有最大的生长率, 即存在一个生长率极值。取模型(3)对实验数据进行逐步拟合得表2。

从上表可知, 模型(3)避免了模型(1)和(2)的缺点, 相关系数(r)达到 $\alpha=0.05$ 以上的水平, 参数 G_0 、B 和 C 都符合定义。

3 讨论

3.1 对模型(3)的讨论

1) 若 $I < C$, 则 $G(I) - G(I') = G_0 e^{BC} [e^{-BI} - e^{-BI'}]$ 因右边括号内项小于零, 所以 $G(I) < G(I')$ 。即对于昆虫或其某一阶段来说, 随着食物摄入率的增大, 虫体生长速率也增大, 呈正相关。

2) 若 $I > C$, 则 $-B(I-C) < 0, e^{-B(I-C)} < 1$, 有 $G = G_0 [1 - e^{-B(I-C)}] > 0$

即对于昆虫或某一发育阶段的虫态, 当其相应时间阶段内食物摄入量大于摄食率阈值时, 其生长速率为正值, 即虫体在此时间阶段内有生物量增量或积累。

3) 若 $I < C$, 则 $-B(I-C) > 0, e^{-B(I-C)} > 1$, 有 $G < 0$ 即对于昆虫或其某一发育阶段来说, 当其相应时间阶段内食物摄入量小于摄食量阈值时, 其生长速率为负值, 虫体的生物量在相应的时间内减小。

4) 若 $I=0$, 则 $G = G_0 [1 - e^{-B(I-C)}] = G_0 [1 - e^{BC}]$

即当虫体处于完全饥饿状态时, 虫体生物量的负增量速率为最大, 此时 G 值也就是虫体的呼吸消耗率。

3.2 Turnbull^[1]曾对模型 $G=A+BX$ 进行修正, 为

$$G = (A_1 + B_1 X) / (A_2 + B_2 X) \tag{4}$$

在 X 的 $[0, \infty)$ 内, G 有两个极值, 一般 A_1/A_2 为极小值, B_1/B_2 为极大值。

Mukerji 等^[3]利用模型(4)进行拟合, 有方程式 $G = (0.10 + 0.50X) / (0.07 + 0.049X)$, 很好地拟合了 *Podisus maculiventris* 5 龄幼虫以 *Galleria mellonella* L. 为食的生长过程。但方程在 $X=0$ 时极小值为 1.43, 大于零, 与事实不符。

3.3 在去除外界因子的影响后, 生物的个体发育过程主要是一个与体内代谢有关的生理生化过程, 参数 G_0 、B 和 C 的值是变化的, 很难准确地测定出, 但是通过模型(3)可以容易得出。

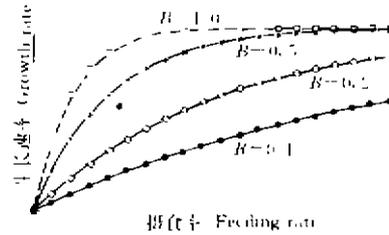


图1 昆虫的生长速率(G)与摄食率(I)的关系随 B 值的变化

Fig. 1 Variations of the relationship between the growth rate (G) and the feeding rate (I) as affected by the change of B

表2 用模型(3)拟合叶色草蛉幼虫个体生长率

Table 2 Simulation of the growth rates of *Chrysopa phyllochroma* larvae with equation (3)

发育期(d) Development period	G_0	B	C	r^*
1	0.365	0.449	0.386	0.7807**
2	0.498	0.559	0.728	0.7694**
3	0.713	0.573	0.808	0.8657**
4	1.106	0.441	1.285	0.6438*
5	1.225	0.576	1.114	0.7737**
6	3.554	0.467	3.406	0.8024**
7	4.907	0.572	5.419	0.7547*
8	4.285	0.537	4.067	0.7998**
全过程 Total period	15.256	0.007	17.624	0.7686**

r 为相关系数, correlation coefficient.

参 考 文 献

1 Turnbull A L. Quantitative studies of the food of *Linyphia triangularis* Clerck (Araneae: Linyphiidae). *Can. Ent.* 1962,

- 94,1233~1249
- 2 Mukerji M K & Guppy J L. A quantitative study of food consumption and growth in *Pseudaletia unipunctata* (Lepidoptera; Noctuidae). *Can. Ent.* 1970, **102**: 1179~1188
 - 3 Toth R S & Chew R W. Development and energetics of *Notonecta undulata* During predation on *Culex tarsalis*. *Ann. Ent. Soc. Am.* 1972, **65**: 1270~1279
 - 4 Hassel M P, Lawton J H & Beddington J R. The components of arthropod predation. I. The prey death date. *J. Anim. Ecol.* 1976, **45**: 135~146
 - 5 Mukerji M K & LeRoux E J. A quantitative study of food consumption and growth of *Podisus maculiventris* (Hemiptera; Pentatomidae). *Can. Ent.* 1969, **101**: 387~403
 - 6 Davis G E & Warren C E. Estimation of food consumption rate. in: *Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters* (Ed. by W. E. Rucker), IBP Handbook NO. 3, Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1969. 204~225
 - 7 Lawton J H. Feeding and food energy assimilation in larvae of the damselfly *Pyrrosoma nymphula* (Sulz.) (Odonata, Zygoptera). *J. Anim. Ecol.* 1970, **39**: 669~689
 - 8 Lawton J H, Hassell M P & J R Beddington. Prey death rates and rate of increase of arthropod predator populations. *Nature, Lond.* 1975, **255**: 60~62
 - 9 Beddington J R. The components of arthropod predation. II. The predator rate of increase. *J. Anim. Eco.* 1976, **75**: 165~185
 - 10 牟吉元等. 四种草蛉生活史和习性的研究. 植物保护学报, 1980, 7(1): 1~7

欢迎订阅1999年《生态农业研究》

《生态农业研究》是由中国科学院石家庄农业现代化研究所和中国生态经济学会共同主办的生态学与农业相结合的国家级综合性学术期刊。本刊旨在探索与研究生态农业理论、方向和内容等,推动学科发展。主要刊登具有创造性的生态农业研究论文、研究技术报告(包括理论与应用研究、生态农业工程技术与适用技术等),报道国内外生态农业最新研究成果、试验方法与手段、学术动态和生态农业建设典型经验。适于国内外从事生态学、经济学、农、林、牧、副、渔、资源与环境保护等科技人员、大中专院校有关师生和管理工作者阅读。

本刊为季刊,季末月出版,16开本,80页。定价:5元/册,全年共20元,全国各地邮局均可订阅,邮发代号18-158。漏订者可直接向本刊编辑部联系补订。

地址:(050021)河北省石家庄市槐树街176号《生态农业研究》编辑部,电话:(0311)5818007。

敬告作者

为了进一步促进学术交流和科研成果的应用与推广,《生态学报》自1997年第1期开始入编《中国学术期刊(光盘版)》,凡在《生态学报》上发表的论文,将同时在《中国学术期刊(光盘版)》上刊载。《中国学术期刊(光盘版)》免收作者版面费,并免费提供作者论文被引用率统计资料(联系地址:北京清华大学立阅《学术电子出版物》编辑部,邮编:100084,电话:62593612或62545086)。凡不同意自己论文在《中国学术期刊(光盘版)》上刊载的作者,请在来稿上注明。