

拟环纹狼蛛对褐飞虱的捕食作用及其模拟模型的研究 II. 单种捕食者-单种猎物系统的模拟模型及其稳定性分析*

周集中** 陈常铭

(湖南农学院)

摘 要

本文提出了描述单种捕食者-单种猎物系统的模拟模型。在拟环纹狼蛛对褐飞虱功能反应实验的基础上,分析了模型中各个参数对模型局部稳定性的影响以及拟环纹狼蛛-褐飞虱系统的局部稳定性。

一、数学模型

Beddington (1975) 假设: (1) 猎物种群服从 logistic 生长曲线; (2) 捕食者随机寻找猎物, 对猎物密度的功能反应为 Holling I 型反应; (3) 捕食者存在一个用于生长和维持新陈代谢所需的最低能量阈值。提出了单种捕食者-单种猎物系统模型:

$$\begin{cases} N_{t+1} = N_t \exp[r(1 - N_t/D) - a'p_t] \\ P_{t+1} = \alpha p_t [N_t/p_t(1 - \exp(-a'p_t)) - \beta] \end{cases} \quad (1)$$

上式中 N_t , N_{t+1} , P_t , P_{t+1} 分别表示猎物和捕食者在第 t 代和 $t+1$ 代的数量; r, D 分别表示该捕食者不存在时猎物的内禀增长率和环境容纳量; a' 表示捕食者的发现域 (area of discovery); α 表示捕食者捕食猎物个体后, 转换成新个体的效率; β 表示捕食者用于生长和维持新陈代谢所需的最低能量阈值。

Hassell (1978) 假设捕食者聚集寻找猎物, 对猎物的攻击服从负二项式分布, 提出了描述非随机寻找的捕食者-单种猎物系统模型:

$$\begin{cases} N_{t+1} = N_t \exp[r(1 - N_t/D)] [1 + (a'p_t/k)]^{-k} \\ p_{t+1} = N_t [1 - (1 + \frac{a'p_t}{k})^{-k}] \end{cases} \quad (2)$$

上式中 k 为负二项式分布参数, 描述聚集攻击程度; 余同前。

无论 Beddington 模型还是 Hassell 模型都是假设捕食者对猎物的功能反应为 Holling I 型反应, 忽视了大多数无脊椎动物捕食者对猎物的功能反应为 Holling II 型反应、捕食者个体间的相互干扰以及在自然界中捕食者具有多种猎物的事实。为此, 我们假设: (1) 猎物种群服从 logistic 生长曲线; (2) 捕食者聚集寻找猎物, 对猎物的攻击服从负二项式分布,

* 本文系中国科学院基金委员会资助课题内容之一。曾得到中国科学院动物研究所丁岩钦副研究员和本院数学教研室李静奇老师的指教, 特此致谢。

**现在中国科学院动物研究所学习。

但在猎物的每个聚集单位（即猎物块 patchness）内随机寻找猎物；（3）捕食者对猎物的功能反应为 II 型反应，捕食者个体间相互干扰；（4）捕食者存在一个用于生长和维持新陈代谢所需的最低能量阈值，捕食者获得的能量超过此阈值就能生殖，否则就不能生殖；（5）捕食者具有多种猎物，对其他猎物的依赖程度取决于共存猎物种类，数量及相对可利用性。

根据以上假设，我们提出单种捕食者-单种猎物系统模型如下：

$$\begin{aligned}
 N_{i+1} &= N_i \exp\left[r(1 - N_i/D)\right] \left[1 + \frac{aTdp_i^{1-m}}{k(1+aT_h N_i)}\right]^{-k} \\
 p_{i+1} &= \rho p_i \left\{ \frac{N_i}{p_i} \left[1 - \left(1 + \frac{aTdp_i^{1-m}}{k(1+aT_h N_i)}\right)^{-k}\right] - \beta \right\} + \alpha p_i
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

上式中 a 表示攻击率（或寻找效率）； T_h 表示捕食者处置单个猎物所需的时间； T 为捕食者总可利用时间； m 为捕食者个体间相互干扰参数； α 表示捕食者对其他猎物的依赖程度（依他度）；余同前。

当 $m=0$ 、 $d=1$ 、 $T=1$ 、 $T_h=0$ 、 $\alpha=0$ 、 $k \rightarrow \infty$ 时，方程（3）与方程（1）一致；当 $m=0$ 、 $d=1$ 、 $T=1$ 、 $T_h=0$ 、 $\beta=0$ 、 $\alpha=1$ 时，方程（3）与方程（2）一致。

二、局部稳定性分析

Beddington (1974) 提出过分析差分方程局部稳定性 (local stability) 的一般方法。据此方法，推导出判别方程（3）局部稳定性的一般公式（见附录）。再根据各个参数值的变化情况，在电子计算机上进行数值模拟分析，研究各个参数对方程（3）局部稳定性的影响，以及某些因素的相互作用对方程（3）的局部稳定性影响。

1. 捕食者个体间的相互干扰对局部稳定性的影响

随着捕食者个体间的相互干扰作用增强，方程（3）的稳定性增加。在此参数值组合下，即使捕食者个体间的相互干扰参数 $m=0$ ，模型仍有较高的稳定性，这主要是聚集攻击参数 k 存在的结果（图 1）。

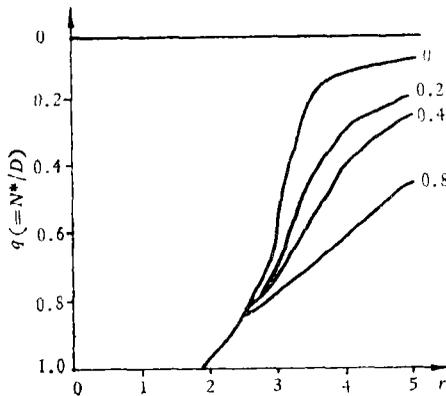


图 1 方程（3）的局部稳定性边界，示干扰参数 (m) 对局部稳定性的影响。曲线与坐标所包围的阴影区域是稳定的，曲线旁边的数值为 m 的取值

fig.1 Local stability boundaries from eqn(3) illustrating the effects of the mutual interference between predator individuals (m) on the stability of the model. These boundaries are shown in terms of r (the innate rate of increase for prey population under the lack of this predator) and q (the measure of the predator's ability to depress the prey equilibrium (N^*) below its carrying capacity (D)). The shaded area enclosed by the coordinate axis and the curves indicates the stable region. The numbers beside the curves are the values of m .

其中 (where): $k=0.8$ $\Phi=0.9$ $\rho=0.02$
(see appendix) $\alpha=0.3$

2. 聚集攻击 (寻找) 参数 k 对局部稳定性的影响

随着 k 值增加, 即捕食者的聚集攻击程度降低, 方程 (3) 的稳定性逐步下降。但 k 值增加, 稳定性下降幅度不大, 如当 $k < 2$ 时, 方程 (3) 有较高的稳定性; 在 $k = 100$ 时, 方程 (3) 仍有一定的稳定性 (图 2)。与 May (1978) 的模型相比 ($k > 1$, 模型不稳定), 此模型

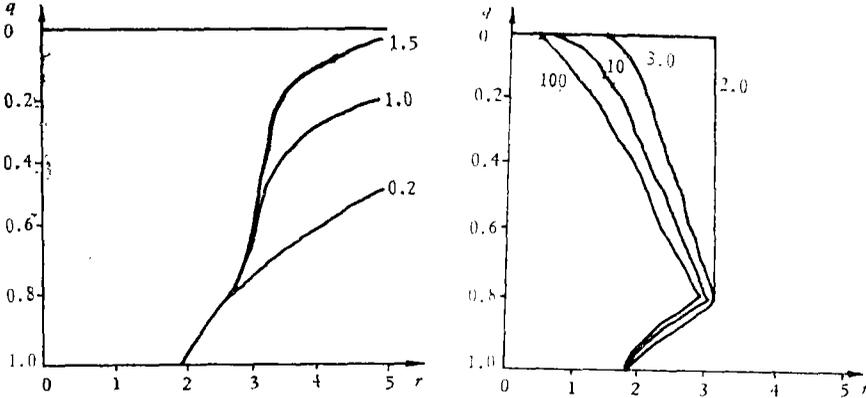


图 2 方程 (3) 的局部稳定性边界, 示聚集寻找参数 (k) 对局部稳定性的影响。曲线旁边的数值为 k 的取值
fig.2 Local stability boundaries from eqn(3) in terms of r and q illustrating the effects of predator aggregation attack (k) on the stability of the model. The numbers beside the curves are the values of k .
其中 (where): $m = 0.4$ $\rho = 0.02$ $\Phi = 0.9$ $x = 0.3$

具有更高的稳定性。Hassell (1978) 指出: 只有当 $k \leq 1$, 方程 (2) 才有较高的稳定性。由于方程 (3) 包含了干扰效应这个强有力的稳定因子, 所以此模型也比方程 (2) 的潜在稳定性高。

3. 处置时间 T_h 对局部稳定性的影响

随着 T_h 值增加, 方程 (3) 的稳定性降低。在 $T_h = 0.05$ 时, 方程 (3) 有较高的稳定性; 当 $T_h = 0.5$ 时, 稳定性极低。然而, T_h 对稳定性影响与 Φ 取值关系极为密切, 如置 $\Phi = 0$, 其他参数值不变, 则 T_h 的去稳定作用 (destabilizing) 显著变弱, 即使在 $T_h = 0.8$ 时, 方程 (3) 也仍有较高的稳定性 (图 3)。因此可约定, 当 Φ 较小, $T_h < 0.2$ 时, T_h 的去稳定作用

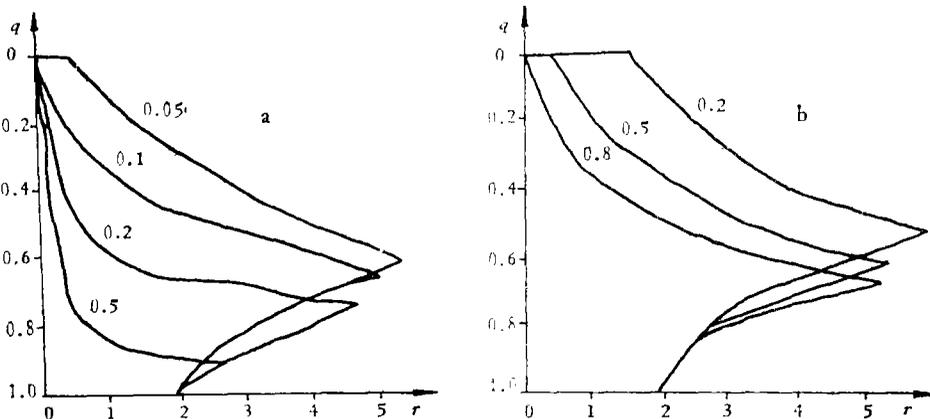


图 3 方程 (3) 的局部稳定性边界, 示处置时间 (T_h) 对局部稳定性的影响。曲线旁边的数值为 T_h 取值
fig.3 Local stability boundaries from eqn (3) in terms of r and q illustrating the effects of handling time (T_h) on the stability of the model. The numbers beside the curves are the values of T_h .
其中 (where): $m = 0.4$ $k = 0.8$ $x = 0.3$ (a) $\Phi = 0.9$ (b) $\Phi = 0$

极小，可忽略不计。这与Hassell (1973, 模型c) 的分析结果一致。在自然条件下，各种天敌的处置时间一般小于0.2(天)。从这可以看出：在模型(3)中，因干扰参数和聚集攻击参数存在，II型反应导致模型不稳定的作用较小。

4. 复合参数 $\Phi(\Phi = \alpha\beta)$ 对局部稳定性的影响

随着 Φ 值增加，模型的稳定性下降，且 Φ 取值变化对稳定性影响较大。如当 $\Phi < 2.1$ 时，模型的稳定性较高；当 $\Phi > 2.1$ 时，稳定性急剧下降；当 $\Phi = 4$ 时，稳定性极低。这与Beddington (1975) 的分析结果一致(图4)。

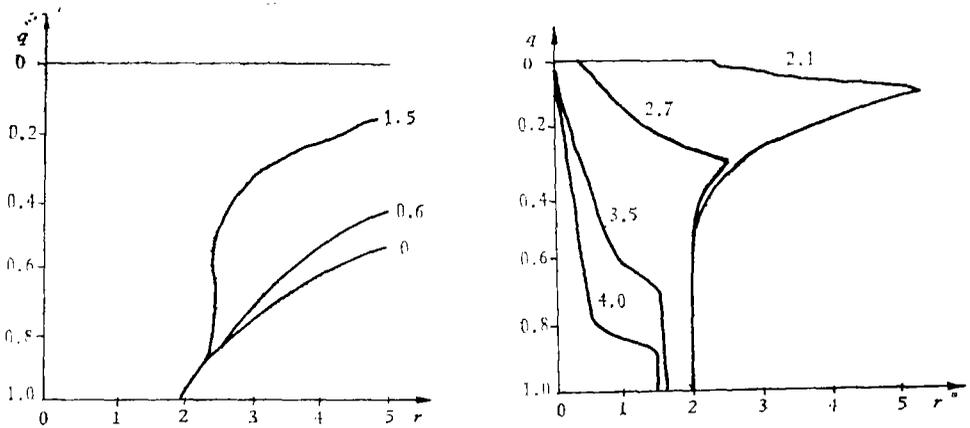


图4 方程(3)的局部稳定性边界，示复合参数(Φ)对局部稳定性的影响。曲线旁边的数值为 Φ 的取值
fig.4 Local stability boundaries from eqn(3) in terms of r and q illustrating the effects of the compound parameter Φ ($\Phi = \alpha\beta$, see appendix) on the stability of the model. The numbers beside the curves are the values of Φ .

其中(where): $m = 0.4$ $k = 0.8$ $\rho = 0.02$ $x = 0.3$

5. 依他度 x 对局部稳定性的影响

捕食者对其他猎物一定程度的依赖性，可增加模型的稳定性，对其他猎物依赖性过小或过大均使模型的稳定性降低。因此，具有一定食性范围的捕食者和多种猎物共存可帮助提高捕食者—猎物系统的稳定性(图5)。

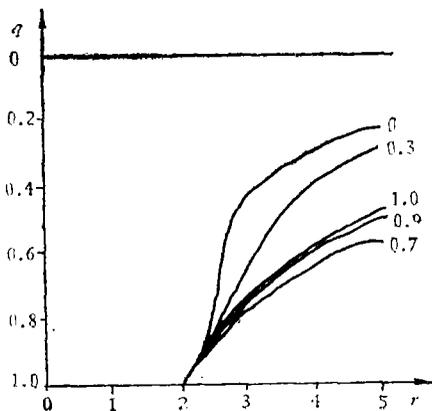


图5 方程(3)的局部稳定性边界，示依他度(x)对局部稳定性的影响。曲线旁边数值为 x 的取值
fig.5 Local stability boundaries from eqn (3) in terms of r and q illustrating the effects of the degree of predator dependence on the other kinds of preys (x) on the stability of the model. The numbers beside the curves are the values of x .

其中(where): $m = 0.4$ $k = 0.8$ $\rho = 0.02$ $\Phi = 0.9$

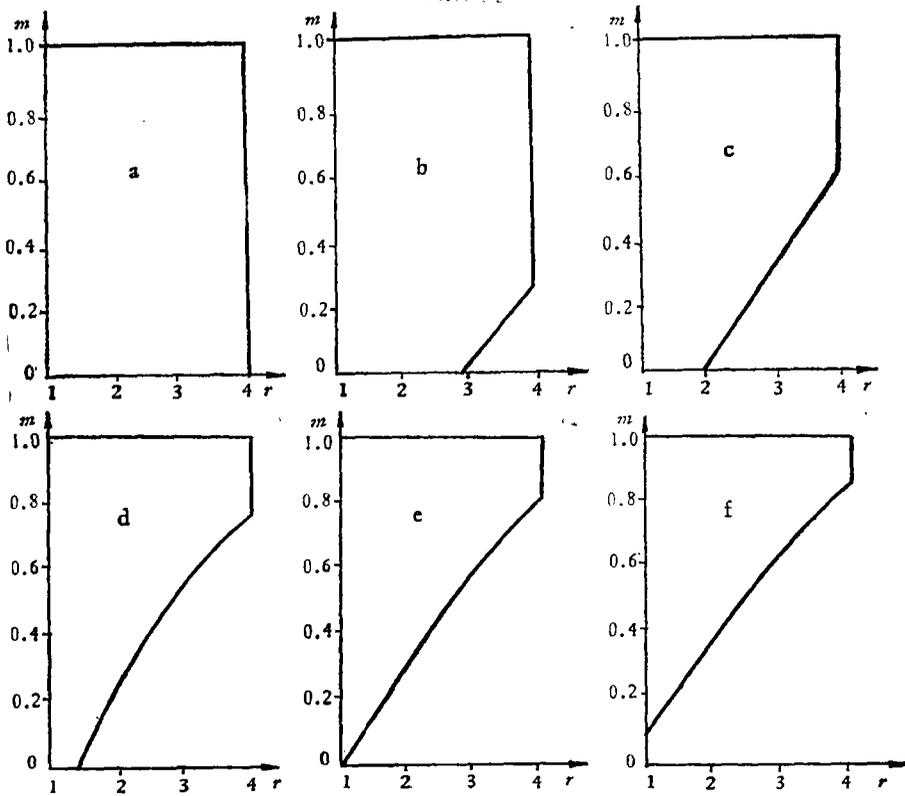


图 6 方程 (3) 的局部稳定性边界, 示聚集攻击参数(k)与干扰参数(m)的取值变化对局部稳定性的影响
 fig.6 Local stability boundaries from eqn(3) in terms of r and m illustrating the effects of varying values of m and k on the stability of the model.

其中 (where): $q=0.5$ $\rho=0.02$ $\Phi=0.9$ $\alpha=0.3$ (a) $k=0.1$ (b) $k=0.5$ (c) $k=1$ (d) $k=3$ (e) $k=5$ (f) $k=10$

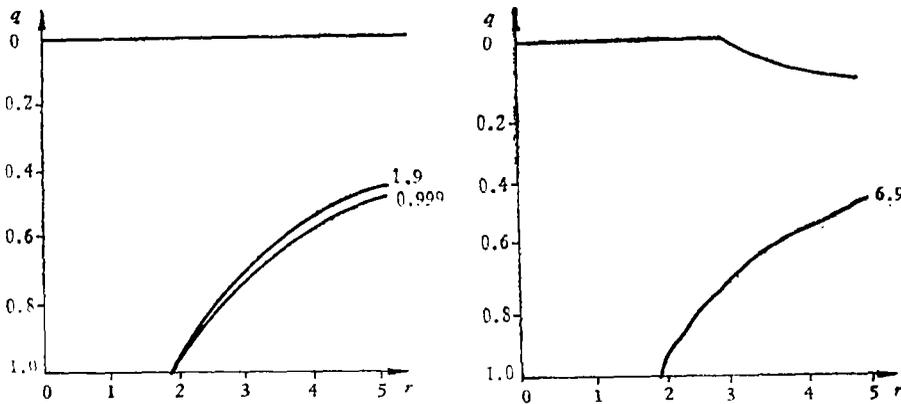


图 7 方程 (3) 的局部稳定性边界, 示拟环纹狼蛛-褐飞虱系统的局部稳定性。
 曲线旁边的数值为聚集攻击参数(k)的取值

fig.7 Local stability boundaries from eqn(3) in terms of r and q illustrating the stability of the two-species system for the spider and brown planthopper. The numbers beside the curves are the values of k .

其中 (where): $m=0.649985$ $T=0.020451$ $\Phi=0.178535$ $\alpha=0.5$

从上分析可知: 对于参数 k 、 T_k 、 Φ , 随着其值增加, 对方程(3)有去稳定作用; 对于参数 m , 随着其值增加, 对方程(3)有稳定作用。然而, 上述分析只能说明各参数的作用性质, 而某参数对方程(3)稳定性影响大小与其他参数有关。例如, 当 k 值较小时, 参数 m 对稳定性影响极小, 不管 m 取何值, 方程(3)的稳定性变化不大; 而当 k 值较大时, 参数 m 对稳定性影响较大, 只有在 m 值较大, 方程(3)才稳定。反之亦然(图6)。

6. 拟环纹狼蛛-褐飞虱系统的局部稳定性

根据室内外实验可估计出方程(3)的各种参数¹⁾。局部稳定性的分析结果表明: 随着 k 值增加, 稳定性下降, 但下降幅度极小, 即使 k 值较大, 方程(3)的稳定性仍然较高(图7)。由此可知, 在该种参数值组合下, 拟环纹狼蛛-褐飞虱系统的稳定性较高。

三、讨 论

Beddington(1975)和Hassell(1978)提出的捕食者-猎物系统模型是本文所提出的捕食者-猎物系统模型的特例。由于本模型结合了捕食作用的多种成分, 综合地反映了各种成分的相互作用关系, 这样就更加符合生态学的实际情况, 具有更强的描述能力。通过修改参数的办法, 可进一步将Ⅲ型功能反应, 温度对功能反应的影响, 捕食者个体间的相互干扰与捕食者密度、猎物密度之间的关系等结合到方程(3)中去。因此, 方程(3)可作为描述捕食者-单种猎物系统的一般模型; 也可用于描述拟寄生物与寄主的相互作用关系; 进一步可推广到描述单种捕食者-多种猎物系统以及多种捕食者-单种猎物系统的相互作用关系。

许多捕食者对其猎物的功能反应为Ⅱ型反应。如果孤立地看, 这种相互作用是不稳定的, 但若把捕食作用的其他成分如多种猎物共存、猎物隐蔽和逃跑行为、捕食者个体间的相互干扰及捕食者非随机寻找等综合起来考虑, 就会改善其稳定性。方程(3)的局部稳定性分析, 也证明了由Ⅱ型功能反应导致种群模型不稳定的作用极小。

局部稳定性分析区分了参数空间中的稳定区域和非稳定区域。Beddington(1975)的研究表明: 某些参数对局部稳定性影响与对全局稳定性(global stability)影响是不同的。在参数空间局部稳定区域内的各个点上, 存在不同的特征返回时间(characteristic return time)。如果特征返回时间过长, 即使种群受到一个极小的干扰, 在生物学上可行的、有意义的时间范围内, 种群也不呈阻尼振荡达到平衡。在参数空间非稳定区域内, 存在稳定的极限环(stable limit cycle)。因而, 种群模型的稳定性分析, 不但要了解模型的局部稳定性特征, 同时也应考虑模型的全局稳定性特征, 特征返回时间以及在非稳定区域内模型所表现的行为。

自然界捕食者-猎物系统的持久稳定性, 决定于系统抵抗外部和内部因子所引起的干扰的能力。根据实验结果所估计的参数, 拟环纹狼蛛-褐飞虱系统有较高的稳定性。从蜘蛛能稳定地控制褐飞虱种群消长的生物防治成功经验来看: 拟环纹狼蛛-褐飞虱系统可以达到稳定平衡。然而, 如果拟环纹狼蛛-褐飞虱系统受到某些因素(如施药、翻耕等)干扰, 使得描述系统的各种参数组合落在非稳定平衡区域和非稳定极限环上, 或者种群数量波动极大, 超过全局稳定极限, 则系统就不能稳定地共存, 褐飞虱就有可能脱离捕食作用控制而爆发。

1) 功能反应和干扰反应参数为雌成蛛对褐飞虱五龄若虫的捕食作用结果。参数估计见附录参考文献(周集中等, 1986)。

因此, 本文所提出的模拟模型能在一定程度上作为解释自然条件下, 拟环纹狼蛛-褐飞虱系统动态变化的理论依据。

模拟模型中, 参数 k 的估计, 可在捕食者对猎物攻击的分布与猎物分布一致的假定上, 通过猎物分布估计得到。但是, 在稻田中, 拟环纹狼蛛对褐飞虱攻击的分布与猎物分布是否一致, 还有待进一步研究。

附 录

1. 局部稳定性分析方法

Beddington (1975) 提出捕食者-单种猎物系统差分方程模型的一般形式为:

$$\begin{cases} N_{t+1} = N_t f_1(N_t) f_2(N_t, P_t) \\ P_{t+1} = P_t f_3(N_t, P_t) \end{cases} \quad (\text{A } 1)$$

用矩阵表示为:

$$V_{t+1} = M(v_t) V_t \quad (\text{A } 2)$$

其中

$$V_{t+1} = \begin{bmatrix} N_{t+1} \\ P_{t+1} \end{bmatrix} \quad V_t = \begin{bmatrix} N_t \\ P_t \end{bmatrix} \quad M(v_t) = \begin{bmatrix} f_1(N_t) f_2(N_t, P_t) & 0 \\ 0 & f_3(N_t, P_t) \end{bmatrix}$$

根据Beddington (1974, 1975)的分析方法, 在平衡点给予系统一个极小的干扰 δ_t , 则有

$$\delta_{t+1} = M_\delta \delta_t \quad (\text{A } 3)$$

其中

$$M_\delta = M(v^*) + \sum_{i=1}^2 M'_i(v^*) H_i(v^*)$$

$M(v^*)$ 是 $M(v_t)$ 在平衡点 v^* 的估计值, $M'_i(v^*)$ 是平衡点 v^* 与 v_t 的第 i 个元素相关的 $M(v_t)$ 的一阶导数, $H_i(v^*)$ 为第 i 列向量为 v^* , 所有其他元素为0的方阵。

通过求导数得:

$$M_\delta = \begin{bmatrix} 1 + N^* [V_2 f_1(N^*) + V_1 f_2(N^*, P^*)] & N^* f_1(N^*) \Pi_2 \\ P^* V_3 & 1 + P^* \Pi_3 \end{bmatrix} \quad (\text{A } 4)$$

其中

$$V_i = \left. \frac{\partial f_i(N_t, P_t)}{\partial N_t} \right|_{v^*} \quad i = 1, 2, 3$$

$$\Pi_i = \left. \frac{\partial f_i(N_t, P_t)}{\partial P_t} \right|_{v^*} \quad i = 2, 3$$

M_δ 的特征方程为:

$$\lambda^2 + b\lambda + c = 0 \quad (\text{A } 5)$$

其中

$$b = -2 - N^* [V_2 f_1(N^*) + V_1 f_1(N^*, P^*) - P^* \Pi_3]$$

$$c = -b - 1 + N^* P^* [f_1(N^*) (V_2 \Pi_3 - V_3 \Pi_2) + f_2(N^*, P^*) V_1 \Pi_3]$$

特征方程的根为:

$$\lambda_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4c}}{2}, \quad \lambda_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4c}}{2} \quad (\text{A } 6)$$

(1) 如果 $b^2 - 4c \geq 0$, 则只有当 $\lambda_1 < 1$ 和 $\lambda_2 > -1$ 时, 模型才是局部稳定的, 否则, 模型不稳定。

(2) 如果 $b^2 - 4c < 0$, 当 $c < 1$ 时, 模型稳定, 否则不稳定。

2. 方程 (3) 的局部稳定性分析

方程 (3) 有平衡点:

$$(1) N^* = 0, P^* = 0$$

$$(2) N^* = D, P^* = 0$$

$$(3) \quad N^* = \left[\frac{k \cdot \eta (1 + aT_h N^*)}{adT} \right]^{1-m} \cdot \frac{(1 + \Phi - x)}{aV} \quad (\text{A } 7)$$

$$P^* = \left[\frac{k \cdot \eta (1 + aT_h N^*)}{adT} \right]^{1-m} \quad (\text{A } 8)$$

其中

$$\eta = [\exp(r(1 - N^*/D))]^{1/k} - 1$$

$$V = 1 - \exp(-r(1 - N^*/D))$$

M_h 的特征方程系数为:

$$b = \frac{r}{D} N^* - 1 - x + \Phi + \frac{k \cdot \eta}{(\eta + 1)} \left[\frac{1}{1 + aT_h N^*} - 1 - \frac{(1 + \Phi - x)(1 - m)(1 - V)}{V} \right] \quad (\text{A } 9)$$

$$c = -b - 1 + \frac{(1 + \Phi - x)}{V} \left\{ \frac{k \cdot \eta}{(\eta + 1)} \left[V \left(\frac{1}{1 + aT_h N^*} - m + \frac{N^*}{D} r (1 - m) \right) - \frac{N^*}{D} r (1 - m) \right] + \frac{N^*}{D} r V \right\} \quad (\text{A } 10)$$

$$\text{设} \quad q = N^*/D, \quad \rho = \frac{aT_h N^*}{1 + aT_h N^*} \quad (\text{A } 11)$$

由 (A11) 式可知: $0 \leq q \leq 1$, $0 \leq \rho \leq 1$, ρ 主要受 T_h 的影响, 由于平衡值 N^* 的补偿变化, a 对 ρ 值影响极小。

根据方程 (3), 当 $m = 0$ 时有:

$$\rho = \frac{aT_h N^*}{1 + aT_h N^*} = \frac{T_h}{T} \cdot \frac{k \cdot \eta (1 + \Phi - x)}{aV} \quad (\text{A } 12)$$

从 (A12) 的右边可知, 此方程中 ρ 值变化比较复杂。为方便起见, 在分析除 T_h 外的各个参数对稳定性的影响时, 近似地取

$$\rho = T_h / T \quad (\text{A } 13)$$

分析 T_h 对稳定性影响时, 则取 (A12) 式。

将 q, ρ 代入 (A9)、(A10) 式得:

$$b = r \cdot q - 1 - x + \Phi + \frac{k \cdot \eta}{(\eta + 1)} \left[-\rho - \frac{(1 + \Phi - x)(1 - m)(1 - V)}{V} \right] \quad (\text{A } 14)$$

$$C = -b - 1 + \frac{(1 + \Phi - x)}{V} \left\{ \frac{k \cdot \eta}{(\eta + 1)} \left[V(1 - \rho - m + rq(1 - m)) - rq(1 - m) \right] + rqV \right\} \quad (\text{A15})$$

3. 参数 Φ ($\Phi = a\beta$) 的估计

由方程(3)可得:

$$1 + a\beta - x - aN^*/P^*[1 - \exp(-r(1 - N^*/D))] = 0 \quad (\text{A16})$$

在平衡点(N^* , P^*)每个捕食者捕食的猎物数量为:

$$N_a = \frac{N^*}{P^*} \left[1 - \left(1 + \frac{adTP^{*1-m}}{k(1 + aT_h N^*)} \right)^{-k} \right] \quad (\text{A17})$$

又

$$\exp(-r(1 - N^*/D)) = \left[1 + \frac{adTP^{*1-m}}{k(1 + aT_h N^*)} \right]^{-k} \quad (\text{A18})$$

因此

$$1 - a(N_a - \beta) - x = 0 \quad (\text{A19})$$

若令 $Z = \beta/N_a$, 则有

$$\Phi = a\beta = \frac{(1 - x)Z}{1 - Z} \quad (\text{A20})$$

参 考 文 献

- 王洪全、周家友 1982 拟环纹狼蛛的生物学研究。动物学报 28(1):69—79。
- 李超、丁岩钦、马世骏 1982 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 2(3):239—254。
- 周集中、陈常铭 1986 拟环纹狼蛛对褐飞虱的捕食作用及其模拟模型的研究: I. 功能反应。生物防治通报 2(1):2—9。
- 夏林元、张耀生、李丙华 1981 褐飞虱田间分布型及其在实践上的应用研究初报。昆虫知识 18(2):83—87。
- Beddington, J.R., C.A. Free and J.H. Lawton, 1976 Concepts of stability and resilience in predator-prey models. *J. Anim. Ecol.* 45:791—816。
- Hassell, M.P. 1978 The dynamics of arthropod predator-prey systems. Princeton University Press, Princeton.
- Hassell, M.P. and R.M. May 1973 Stability in insect host-parasite models. *J. Anim. Ecol.* 42:693—736。
- Hassell, M.P. and R.M. May, 1974 Aggregation in predators and insect parasites and its effect on stability. *J. Anim. Ecol.* 43:567—594。
- Hastings, A. 1977 Spatial heterogeneity and the stability of predator-prey systems. *Theor. Pop. Biol.* 12:37—48。
- May, R.M. 1978 Host-parasitoid systems in patchy environments: A phenomenological model. *J. Anim. Ecol.* 47: 833—843。
- Marynard Smith, J. 1968 Mathematical ideas in biology. Cambridge University Press, Cambridge。

STUDIES ON PREDATION AND SIMULATION MODELS OF WOLF SPIDER *LYCOSA PSEUDOANNULATA* TO BROWN PLANTHOPPER *NILAPARVATA LUGENS* II. SIMULATION MODEL AND STABILITY ANALYSIS OF THE MONOPREDATOR-MONOPREY SPECIES SYSTEM

Zhou Jizhong* Chen Changming
(Hunan Agricultural College, Changsha, China)

This paper presents a simulation model of monopredator-monoprey species system with following equation.

$$\begin{cases} N_{t+1} = N_t \exp \left[r(1 - N_t/D) \right] \left[1 - \frac{aTdP_t^{1-m}}{k(1 + aT_h N_t)} \right]^{-k} \\ P_{t+1} = aP_t \left\{ \frac{N_t}{P_t} \left[1 - \left(1 + \frac{aTdP_t^{1-m}}{k(1 + aT_h N_t)} \right)^{-k} \right] - \beta \right\} + xP_t \end{cases}$$

The analysis of local stability about the model shows several conclusions as follows:

(1) The stability of the model increases with the mutual interference between predator individuals and the degree of predator aggregation attack.

(2) The stability of the model decreases with handling time and the compound parameter Φ .

(3) A certain degree of the dependence on the other prey species increases the stability of the model.

The interaction system of the spider-brown planthopper shows a higher stability.

* Zhou Jizhong studies in the Institute of Zoology, *Academia Sinica* now.