

- Soc. Am.*, 67(1977), 1363.
- [19] S. Cohen, *J. Geophys. Res.*, 82(1977), 3781.
- [20] T. Cao and K. Aki, *PAGEOPH*, 122(1984), 10.
- [21] T. Cao and K. Aki, *PAGEOPH*, 124 (1986), 487.
- [22] J. Nussbaum and A. Ruina, *PAGEOPH*, 124 (1987), 629.
- [23] J. Huang and D. L. Turcotte, *Geophys. Res. Lett.*, 17(1990), 223.
- [24] J. Huang and D. L. Turcotte, *Nature*, 348 (1990), 234.
- [25] J. M. Carlson and J. S. Langer, *Phys. Rev. A*, 40(1989), 6470.
- [26] J. B. Rundle, *J. Geophys. Res.*, 93(1988), 6237.
- [27] J. B. Rundle, *J. Geophys. Res.*, 93(1988), 6255.
- [28] J. B. Rundle, *J. Geophys. Res.*, 94(1989), 2839.
- [29] D. Vere-Jones, *PAGEOPH*, 114(1976), 711.
- [30] D. Vere-Jones, *Math. Geol.*, 9(1977), 455.
- [31] T. L. Chelidze, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 28 (1982), 93.
- [32] J. Lomnitz-Adler, *Geophys. J. R. astron. Soc.*, 83(1985), 435.
- [33] C.-I. Trifu and M. Radulian, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 58(1989), 277.
- [34] M. Bebbington, D. Vere-Jones and X. Zheng, *Geophys. J. Int.*, 100(1990), 215.
- [35] J. Byerlee, *PAGEOPH*, 116(1978), 615.
- [36] A. Ruina, *J. Geophys. Res.*, 88(1983), 10359.
- [37] J. R. Rice and S. T. Tse, *J. Geophys. Res.*, 91 (1986), 521.
- [38] L. Knopoff and W. I. Newman, *PAGEOPH*, 121 (1983), 495.
- [39] V. I. Keilis-Borok 著, 陈颀译, 分形与混沌在地球科学中的应用, 学术期刊出版社, (1989), 59.
- [40] V. I. Keilis-Borok 著, 吴忠良、刘杰译, 非线性理论在地震预报中的应用, 地震出版社, (1992), 116.
- [41] P. Bak and C. Tang, *J. Geophys. Res.*, 94(1989), 15635.
- [42] A. Sornette and D. Sornette, *Europhys. Lett.*, 9 (1989), 197.
- [43] K. Ito and M. Matsuzaki, *J. Geophys. Res.*, 95 (1990), 6853.
- [44] V. I. Keilis-Borok 著, 陈颀译, 中期地震预报: 模型、算法、全球实验, 地震出版社, (1991).
- [45] V. I. Keilis-Borok 著, 黄德喻、吴忠良、周翠英译, 中期地震预报 TIP 算法程序使用指南与练习, 地震出版社, (1992).

## 数学、物理学与生态学的结合——种群动力学模型

陈 兰 荪

(中国科学院数学研究所, 北京 100080)

王 东 达

(白城师范专科学校数学系, 吉林白城 137000)

种群动力学模型是描述种群与环境, 种群与种群之间相互竞争, 相互作用的动力学关系的数学模型, 可用于描述、预测以至调节和控制物种的发展过程与发展趋势。这个模型的应用, 将促使人们进一步了解自然。它已成为人们开发资源, 合理使用资源和保护环境工作中的一种有用工具。

### Abstract

Models of population dynamics describe competition and interaction among species or between species and the environment. They can be used to describe, predict and even adjust the growing process and developing trends of species. They may also help human beings understand nature, develop natural resources rationally and protect the environment.

**Key words** Population dynamical model, Lotka-Volterra system, global asymptotic behavior, mathematical physics

动力学方法在物理学中已是人们熟悉而常见的方法, 这个方法是否适合于用来研究某些

生命现象?早在100多年前就有人开始作过这方面的尝试。最早的典型例子是 Malthus(1834年)人口模型:  $\dot{x} = rx$ , 这里  $x(t)$  代表在时刻  $t$  时人口的密度(假设人口密度分布是均匀的),  $r$  代表人口密度随时间的相对增长率, 设为常数, 称为内禀增长率。根据这个模型, Malthus 得到人口指数无穷增长的论述, 这个人口模型是十分粗糙的, 他没有考虑环境的因素, 实际上人所生存的环境中资源不是无限的, 因而人口的增长也不可能是无限的, 这样 1938 年 Verhulst-Pearl 提出用 Logistic 模型

$$\dot{x} = rx(1 - x/K) \quad (1)$$

来描述人口或其他生物种群的增长, 这里参数  $r$  就是 Malthus 模型中描述的种群的内禀增长率,  $K$  为环境的容纳量 ( $K > 0$ ), 也就是在所考虑的环境中最多能允许生存的种群数量(或密度)。我们把(1)式表示的模型称为模型(1)。从 Logistic 动力学模型(1)可以看出, 存在一个正的平衡态  $x = K$ , 使种群数量(或密度)将始终保持稳定在  $x = K$  的水平。但人们在用这个模型来研究某些昆虫的数量变化情况时发现, 并非常常如此。例如, 在我国华南地区松树林中发现松毛虫的数量有四年一周期的现象, 并不是保持在一个稳态水平。又如, 加拿大北方针叶林中发现, 在冬天蛾有十二年一周期的大发作的现象, 也不是保持在某个稳定水平, 甚至于在研究某些害虫预报时, 发现其数量变化有难以估计的周期, 而且出现某种随机现象——混沌现象, 给害虫预报带来很大的困难, 这都不是 Logistic 模型(1)所能够描述的。这些现象是如何发生的? 应该用什么样的模型来描述这些现象?

1974 年, May 把 Logistic 模型(1)作差分化, 得到

$$x_{i+1} = x_i[1 + r(1 - x_i/k)], \quad (2)$$

并发现当  $r$  在  $0-3$  之间变化时, 不但会有和微分方程 Logistic 模型(1)一样, 存在大范围稳定平衡态的可能, 而且会出现以各种正整数  $n$  为周期的周期解以及混沌解(见文献[1]和[2])。我们把(2)式表示的模型称为模型(2)。

物理

这样看来, 上述关于害虫预报时出现的情况似乎都可以由差分形式的 Logistic 模型来描述了, 其实也不全然, Logistic 模型(1)和模型(2)均属单种群模型, 并未考虑在同一环境中共同生存的其他种群的相互作用, 相互影响。

1925 年, 意大利年轻的生物学家 D'Ancona 发现, 第一次世界大战期间的几年中, 在亚得里亚海北部捕获的食肉鱼(捕食者)的比例比过去有所上升, 而被食肉鱼所食鱼类(食饵)的比例则有所下降。他最初认为这是由于战争期间捕鱼量大大减少的缘故, 因为人们捕鱼量的减少, 会使食肉鱼得到更多的食饵, 因而得以迅速繁殖, 从而增加了捕食类鱼(简称大鱼)的数量。但是事实也不完全如此, 由于捕鱼量减少, 食饵类鱼(简称小鱼)的数量也会有所增加, 为什么捕鱼量少对大鱼比对于小鱼更为有利呢? 这个问题的答案被当时著名的数学家 Volterra 所找到, 他利用动力学的方法建立了大鱼与小鱼相互作用的数学模型:

$$\dot{x} = ax - bxy, \quad \dot{y} = cxy - dy, \quad (3)$$

这里  $x(t)$  和  $y(t)$  分别代表小鱼与大鱼种群的密度,  $a$  为小鱼种群的内禀增长率,  $d$  为大鱼种群的死亡率,  $b$  和  $c$  表示两种群相互作用的系数。对于(3)式作数学的分析, 可以得到两个结论<sup>[3]</sup>: 其一是(3)式的解是一系列的周期解, 也就是说所研究的海域内大鱼的数量与小鱼数量的比例具有周期性, 大鱼多时, 小鱼的数量则少, 但过了一定时间之后, 大鱼数量变少, 小鱼的数量则增多, 再过一定的时间, 变成大鱼多, 小鱼少, 成周期振荡, 这是由于大鱼、小鱼种群之间互相作用而产生的现象, 因此这说明, 种群的相互作用会导致种群数量周期性变化。这样的例子很多, 而且可以看到种群的相互作用不但可能导致种群的周期性, 还可以导致种群数量变化的随机性(混沌解)。这是 Volterra 模型得到的第一个启示。其二是, 根据这个模型, 如果增加人对鱼类的捕捞因素, 可以严格地证明捕捞有利于小鱼的生长而不利于大鱼<sup>[3]</sup>, 这就明确地回答了 D'Ancona 的问题。

人口与种群增长的估计与管理, 害虫预报

与防治,环境的治理等问题的研究,使得应用动力学方法建立种群与环境,种群与种群相互作用的数学模型来进一步分析种群发展趋势与调控的科学——种群动力学,在最近几十年中得到了很大的发展,现简述如下:

## 一、模型的建立

种群动力学模型的建立,一般有如下三个步骤:(a)根据种群与环境,种群与种群等之间的关系建立机理模型;(b)由实地观察或实验的数据对机理模型的参数进行拟合计算(即所谓反问题);(c)把已得到的模型进行数学的处理,然后在实际中去检验,根据与实际的吻合情况对模型进行修改.机理模型的建立是经过几十年的发展,由简单到复杂,由粗糙到精密逐渐趋于完善.

### 1. Lotka-Volterra 型的种群动力学模型

建立种群动力学的机理模型时,把每一种群或环境资源,看成是物理或化学作用中的一个物质.最简单的模型是假设这种作用系统服从质量作用律的动力学.例如,以  $N$  代表人口种群,  $R$  代表资源,则人口取得资源后数量增长可以写成反应机制  $R + N \xrightarrow{k} zN$ , 这里  $k$  为反应系数.这样如果资源恒定供应率为  $r_1$ , 则可根据质量作用律得到人口增长的 Malthus 模型,即  $\dot{x} = rx$ . 这里  $r = kr_1$ ,  $x(t)$  为人口种群  $N$  在时刻  $t$  的数量.又如大鱼、小鱼相互作用的 Lotka-Volterra 模型(3)的反应机制为:  $R + X \xrightarrow{k_1} zX$ ,  $X + y \xrightarrow{k_2} zy$ ,  $y \xrightarrow{k_3} 0$ . 其中  $X, y$  分别代表小鱼、大鱼种群,  $R$  代表水中的草资源,这个反应机制按照质量作用律建立的模型即为模型(3).种群相互作用的 Lotka-Volterra 模型的一般的形式为

$$\begin{aligned} \dot{N}_1 &= N_1(b_1 + a_{11}N_1 + a_{12}N_2), \\ \dot{N}_2 &= N_2(b_2 + a_{21}N_1 + a_{22}N_2). \end{aligned} \quad (4)$$

这就是人们常称之为 Lotka-Volterra 型的两种群相互作用的模型<sup>[4]</sup>, 其中  $N_1(t), N_2(t)$  分别代表两个种群在时刻  $t$  时的密度(或数量),

$b_i, a_{ij}$  ( $i = 1, 2$ ), 为系统的参数,均有其确定的生物意义<sup>[4]</sup>. 在具体建立模型时需要通过实验或野外观察数据,获得一个时间序列  $(N_1, N_2), i = 1, 2, \dots, n, \dots$ , 然后用拟合方法,求解(4)式的反问题来确定参数,得到模型(4),用以预报未来种群的发展,模型(4)是假设两种群密度在空间分布是均匀的,即密度仅是时间的函数  $N_1(t)$  和  $N_2(t)$ , 如果密度同时还是空间位置的函数  $N_1(X, t)$  和  $N_2(X, t)$ , 这里  $X = (x_1, x_2, x_3)$ , 则模型(4)必加上扩散项为

$$\begin{aligned} \partial N_1 / \partial t &= N_1(b_1 + a_{11}N_1 + a_{12}N_2) + d_1 \Delta N_1, \\ \partial N_2 / \partial t &= N_2(b_2 + a_{21}N_1 + a_{22}N_2) + d_2 \Delta N_2, \end{aligned} \quad (5)$$

这里  $\Delta \equiv \partial^2 / \partial X_1^2 + \partial^2 / \partial X_2^2 + \partial^2 / \partial X_3^2$ ,  $d_1$  与  $d_2$  为扩散系数.

如果在同一环境中共同生存着多个种群,其相互作用的 Lotka-Volterra 模型(4)可写成

$$\dot{N}_i = N_i \left( b_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} N_j \right) \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (6)$$

其中  $N_i$  表第  $i$  个种群的密度 ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), 参数  $b_i$  与  $a_{ij}$  的意义与(4)式相同.

### 2. 功能性反应作用模型

我们重写模型(4)为

$$\begin{aligned} \dot{N}_1 &= N_1(b_1 + a_{11}N_1) + a_{12}N_1N_2, \\ \dot{N}_2 &= N_2(b_2 + a_{22}N_2) + k a_{12}N_1N_2, \end{aligned} \quad (7)$$

其中  $k = a_{21}/a_{12}$ . (7)式的右端前半部分为每个种群各自增长的 Logistic 模型,因此  $b_1, b_2$  分别代表两种群的内禀增长率,  $a_{11}/b_1$  和  $a_{22}/b_2$  分别对应于两种群各自在 Logistic 模型中的  $-1/K$ . 由于生态系统一般是一个耗散系统,因此一般来说  $a_{ii} \leq 0, i = 1, 2$ . [由模型(1)可以看出,当种群密度越大时,种群的相对增长率  $\dot{x}/x$  就越小,这一点是种群生物学与物理学中的重要不同点]. (7)式中右端后面部分是描述两种群的相互作用,由  $a_{12}$  和  $a_{21}$  的符号可以决定两种群之间的关系:(a)当  $a_{12}a_{21} < 0$  时,两种群为捕食关系;(b)当  $a_{12} < 0$  且  $a_{21} < 0$  时,两种群为相互竞争关系;(c)当  $a_{12} > 0$  且  $a_{21} > 0$  时,两种群为合作关系.我们以捕食关系为例作进一步的分析.例如,

$a_{12} < 0, a_{21} > 0$ , 由(7)式可以看出, 在第一个方程中,  $a_{12}N_1N_2$  这一项代表  $N_2$  种群存在时, 在单位时间内  $N_1$  种群增长率减少的数量, 即单位时间被  $N_2$  种群吃掉的  $N_1$  种群的数量. 而  $a_{12}N_1$  这个数, 则表示为单位时间每一个  $N_2$  种群的个体所吃掉  $N_1$  种群的数量, 这个数量称为  $N_2$  种群对  $N_1$  种群的捕食率. 在模型(7)[即用(7)式表示的模型]中, 这个捕食率为  $-a_{12}N_1$ . 由此可见, 捕食率是食饵数量  $N_1$  的单增函数, 且随  $N_1$  无限增加而无限增加, 这似乎不符合事实, 因为任何一  $N_2$  种群的个体在单位时间内的食量应有一个饱和量, 而模型(7)没有考虑到这点, 必须作修改. 以  $P(N_1)$  来代表  $N_2$  种群对  $N_1$  种群的捕食率, 也称为功能性反应函数, 这对应于化学作用中的饱和反应动力学. 人们借用 Monod 的形式,  $P(x) = \mu x / (K + x)$  或更高阶的形式  $P(x) = \mu x^2 / (K + x^2)$ , 则模型(7)可写成

$$\begin{aligned} \dot{N}_1 &= N_1(b_1 + a_{11}N_1) - P(N_1)N_2, \\ \dot{N}_2 &= N_2(b_2 + a_{22}N_2) + kP(N_1)N_2. \end{aligned} \quad (8)$$

更一般地写为

$$\begin{aligned} \dot{N}_1 &= N_1g_1(N_1) - P(N_1)N_2, \\ \dot{N}_2 &= N_2g_2(N_2) + kP(N_1)N_2, \end{aligned} \quad (9)$$

或写为

$$\dot{N}_1 = N_1f_1(N_1, N_2), \quad \dot{N}_2 = N_2f_2(N_1, N_2). \quad (10)$$

(9)式称为 Gause 型捕食模型, (10)式称为 Kolmogorov 模型, 这里也是假设  $N_1$  和  $N_2$  种群的密度分布在空间中是均匀分布, 否则如同模型(5). 在模型(7)–(10)中, (7)–(10)式的右端要加上扩散项. 对其他竞争, 合作模型也可以对 Lotka-Volterra 模型作类似的修改, 甚至多维模型也可与此类似地建立.

以上所考虑的模型中参数都是常数, 但实际上由于生物种群所生存的环境是随着时间而改变的, 例如 Logistic 模型中的内禀增长率  $r$  和容纳量  $K$ , 常常是时间  $t$  的函数. 例如, 一年中春、夏、秋、冬生物种群的增长情况是不一样的, 对于昆虫来说特别是这样, 在各个季度不仅生物种群生长的环境不同, 而且种群的活动情况也不同, 所以模型中相互作用的系数也常

是时间  $t$  的函数. 这样上面所有的参数  $r$ ,  $K$  或  $b_i, a_{ij}$  都将变成  $r(t), K(t), b_i(t)$  和  $a_{ij}(t)$ , 所有系统变成非自治系统<sup>[5]</sup>.

### 3. 滞后效应模型

我们再分析 Logistic 模型(1), 或将它写成一般形式:

$$\dot{x}/x = (1 - x/K) = g(x). \quad (11)$$

其右端表示在时刻  $t$  时种群的相对增长率, 右端是在时刻  $t$  时种群密度  $x(t)$  的函数. 这里也隐含着一种近似, 严格地说, 种群在时刻  $t$  时的相对增长率应是在时刻  $t$  时成年的种群密度的函数, 因为只有成年的种群才有能力繁殖后代, 如果所考虑的种群成年期为  $\tau$ , 则(11)式应改为

$$\dot{x}/x = (1 - x(t - \tau)/K) = g(x(t - \tau)), \quad (12)$$

对于单种群而言是如此, 对于多种群相互作用的模型也应如此. 例如, 按照这个想法对于两个相互竞争的物种, 可以想像, 未成年的种群的个体不可能是另一种群的竞争者, 因而只有成年的种群才能使竞争的对方产生作用. 如果假设两种群成熟期同为  $\tau$ , 这样模型(10)就应该变为

$$\begin{aligned} \dot{N}_1(t) &= N_1(t)f_1(N_1(t), N_2(t - \tau)), \\ \dot{N}_2(t) &= N_2(t)f_2(N_1(t - \tau), N_2(t)). \end{aligned} \quad (13)$$

多种群以及其他形式的滞后效应种群相互作用模型可以用类似的方法推出.

### 4. 年龄结构种群模型

滞后效应模型把成年和未成年区分开来考虑. 对于种群模型来说已比原来的考虑进了一步. 但作为更细致的考虑, 对于不同年龄的种群的个体, 将有不同的生育率与死亡率, 于是在 1911 年按年龄区别来改进 Malthus 人口模型而得到 Sharpe-Lotka 年龄结构线性模型:

$$\left. \begin{aligned} \partial U(a, t) / \partial t + \partial U(a, t) / \partial a \\ + \mu(a)U(a, t) &= 0, \\ U(0, t) &= \int_0^m b(a)U(a, t)da, \\ U(a, 0) &= \varphi(a), \quad 0 \leq a \leq m, \quad t \geq 0, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

这里  $a, t$  分别表示年龄和时间,  $U(a, t)$  表示年

龄为  $a$  的种群在时刻  $t$  的密度,  $m$  为个体存活的最大寿命,  $\varphi(a)$  为年龄为  $a$  的种群的初始密度,  $\mu(a)$  和  $b(a)$  分别为  $a$  年龄种群的死亡率与出生率, 这个模型的离散化型式为 Leslie 矩阵模型.

如同 Logistic 模型(1), 如果考虑到环境对种群增长的约束, 1974 年 Gurtin-MacCamy 得到年龄结构的 Logistic 种群模型

$$\left. \begin{aligned} & \partial U(a, t) / \partial t + \partial U(a, t) / \partial a \\ & + \mu(a)U(a, t) \\ & + Kp(t)U(a, t) = 0 \\ U(0, t) &= \int_0^m b(a)U(a, t)da, \\ U(a, 0) &= \varphi(a), 0 \leq a \leq m, t \geq 0, \end{aligned} \right\} (15)$$

其中  $p(t)$  表示在时刻  $t$  时种群的总数量, 即

$$p(t) = \int_0^m U(a, t)da.$$

## 二、研究的问题与现况

建立种群动力学模型的基本目的之一是要依据历史与现况, 对自然界生物种群资源发展趋势进行预测, 并在预测的基础上合理地使用与调控种群资源的发展. 为此, 常常要研究以下两个问题:

(1) 在所考虑的生态系统中, 是否会有某些种群在一定的时间以后趋向于灭绝? 某些种群的灭绝常常是人们所希望的, 例如, 人们常希望害虫灭绝; 而某些种群灭绝是人们所不希望发生的, 例如为了保存物种的多样性, 对于某些濒临灭绝的种群我们要采取保护措施.

(2) 所考虑的生态系统是否在长时间内保持生态平衡? 也就是说, 是否所有的种群都不会灭绝而保持在一个相对稳定的水平之内? 如何估计这个水平的大小? 用什么办法来调控各个物种的稳态水平?

上面的问题(1)比较单纯, 可以应用常用的分析方法(例如 Liapunov 稳定性的方法)进行分析. 对于模型(6), 已得到了较好的结果<sup>[4]</sup>. 问题(2)的实质是要研究这个动力学系统轨线

的正向极限集合(吸引子)的结构的问题. 由于生态系统是一个耗散系统, 所以这个正向极限集合一般是存在的, 但其结构是什么? 这是一个非常复杂的问题, 有以下几种情况:

(1) 其吸引子为一个平衡点. 这时就完全类似于古典动力学系统稳定性的研究, 可采用通常的研究方法(例如 Liapunov 方法等)得到许多结论<sup>[4]</sup>.

(2) 其吸引子为周期解、极限环或平衡点与正常轨线所构成的正常吸引子. 这方面的研究极为复杂. 对于二维和三维的系统, 我们可以见到一些研究结果<sup>[4]</sup>, 而对于高维系统, 则研究结果极少.

(3) 其吸引子为奇怪吸引子. 近 20 年来这方面的研究很多, 可以说引起种群动力学模型出现混沌解, 至少可以有以下四个因素: (a) 模型差异化, 例如上述 May 的研究; (b) 种群的时滞效应<sup>[6]</sup>; (c) 环境的时变现象<sup>[7]</sup>; (d) 高维模型(三维以上模型)<sup>[8]</sup>.

以上所述说明关于吸引子的研究与物理学中的动力学系统研究是相同的, 但在生物种群的研究中, 常常不需要对吸引子的结构作这样细致的了解, 而只要判断所考虑的生态系统中所有种群都可以长期地持续生存, 这样在种群动力学中引进了一个系统持续生存的概念. 为了叙述方便, 我们考虑一个  $n$  种群模型, 并写为

$$\dot{x}_i = x_i f_i(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (16)$$

设  $f_i$  在锥体  $R_+^n = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) | x_i > 0, i = 1, 2, \dots, n\}$  上满足解的存在唯一性定理的条件, 于是过任一点  $X_0 \in R_+^n$  都存在满足初始条件  $X(0) = X_0$  的右行饱和解  $X = \varphi(t, X_0)$ ,  $t \in \Delta$ , 这里  $\Delta = [0, T_\varphi)$  表示解的最大存在区间. 由于生态系统是耗散的, 我们不妨设  $T_\varphi = +\infty$ , 即  $\varphi(t, X)$  在  $t \in (0, +\infty)$  上有如下定义:

定义 1, 若对任何  $X \in \text{int}R_+^n$  和所有的  $i$  有

$$\limsup_{t \rightarrow \infty} \varphi_i(t, X) > 0,$$

则称模型(16)是弱持续生存, 若

$$\liminf_{t \rightarrow \infty} \varphi_i(t, X) > 0,$$

则称模型(16)是强持续生存,若存在正数  $\delta$ , 使

$$\liminf_{t \rightarrow \infty} \varphi_i(t, X) \geq \delta,$$

则称模型(16)是一致持续生存。

在这样定义之下,在种群动力学研究中,近20年来形成了一整套的持续生存理论与方法的研究<sup>[9]</sup>。

### 三、若干应用

如果说在生态学研究实验室是大自然的一个微缩的话,种群动力学模型则是大自然生态的数量化微缩,这种微缩一旦实现,就可以使人们易于观察这个生态系统的未来变化和制订调控措施,从而使它具有如下极广泛的应用。

#### 1. 资源的数量化管理

水域中鱼类的捕捞,森林的开发利用,草原的放牧等都不能过量,过量的捕捞,过量的开采,过度的放牧都会导致资源的枯竭,怎么样才算适量?对于具体的地区,具体的环境这个合适的量如何制定?鱼类、森林和牧草都属于可再生的资源,因此开发的适量必然要与再生的能力联系起来,要了解在一定的环境情况下这些资源的再生能力以及这个能力所能承受的开发量,种群动力学模型就是一个极好的工具<sup>[9]</sup>。通过种群动力学模型,我们可以寻找出最优开发的量值。

#### 2. 环境评估与管理

工业的发展,工厂、实验室的排气,排水所带来的污染,必然对自然界的生物群体及人类的生存产生影响。如果对这些污染不加以控制管理,必将对人类带来灾难。控制与管理的前题是要估计所在环境中生物群体对污染的承受能力。在同一环境的生物系统中,不同的物种对污染的承受能力是不同的,而且有的物种可以吸收污染物而起净化环境的作用。作为整个生物群体的系统,如何评估环境所能承受的污

染?又如何进行管理和调控,这也是种群动力学模型要研究的重要课题——生态毒理学<sup>[9]</sup>。

#### 3. 灾变生态学

我国每年因受自然灾害引起的经济损失高达国民生产总值的1/5—1/3,灾害学的研究是十分重要的。对于种群动力学模型研究来说,有两方面重要的内容:(1)许多灾害如水灾等,常常是因为自然界生物种群的变迁,如森林、植被受破坏造成水土流失等所引起,也就是人们的开发生产超过了生态系统所允许的开发阈值而造成的,那么这个阈值是如何确定的?超过多少会引起灾害?引起多大的灾害?这个数量化的估计任务将由种群动力学模型研究人员来承担。(2)任何一种灾害,如火灾、水灾、地震、战争等都将对自然环境产生破坏作用,多少量级的灾害,会对自然环境中的生物种群带来多少量级的损害?其持续效应如何?如何进行数量化的估计?如何进行治理?这些数量化的问题,常常也要由种群动力学模型来作出回答。

种群动力学模型除上述三个重要的应用之外,还有十分广泛的用途,例如前面谈到的人口估计与管理,害虫预报与防治,传染病、流行病对人类与生物群体的危害性估计与防治等。最近几年人们用种群动力学模型来估计、预报艾滋病的发展趋势,还有的将它应用于生产中,来调控微生物的培养,研究物种遗传进化的规律等<sup>[9]</sup>。

- [1] 郝柏林,物理学进展,3—3(1983),343.
- [2] 陈兰荪著,生物数学引论,科学出版社,(1988).
- [3] 李继彬、陈兰荪著,生命与数学,四川教育出版社,(1986).
- [4] 陈兰荪著,数学生态学模型与研究方法,科学出版社,(1988).
- [5] 陈兰荪著,非线性生物动力系统,科学出版社,(1993).
- [6] M.C. Mackey and L. Glass, *Science*, 197(1977), 287.
- [7] 李继彬、陈兰荪,生物数学学报,1—2(1986),88.
- [8] R. R. Vance, *Amer. Natur.*, 112(1978), 297.
- [9] C. W. 克拉克著,周勤学等译,数学生物经济学——更新资源的最优管理,农业出版社,(1984).