

环境生物学的内容及任务

王德铭

(中国科学院水生生物研究所)

环境生物学是从生物学分化出来的一个边缘学科,它又是环境科学的重要组成部分。它与微生物学、毒理学和传统的生态关系密切,互相渗透,从而又产生了环境微生物学,生态毒理学,生物监测和大自然保护等分支学科或研究领域。它们之间的关系见图1。

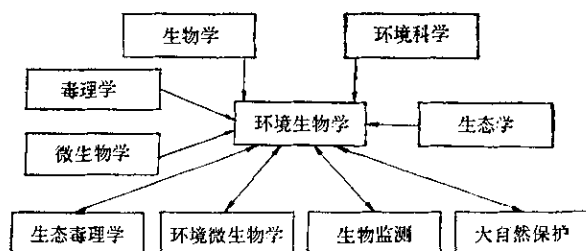


图1 环境生物学与有关学科关系

环境生物学是研究生物与受人为干预的环境之间相互作用规律及其机理,也就是生物与受污染和破坏的环境对立统一规律的科学(图2)。

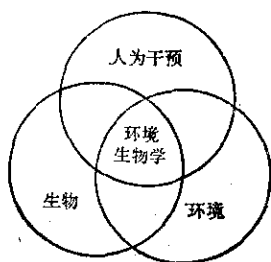


图2 环境生物学图解

环境生物学的任务是促进环境和生物朝有利于人类和有益于生物的方向发展。它

的重点是从宏观上研究人为干预(污染和破坏)对生态系统影响的基本规律;从微观上研究人为干预对生物产生毒性、毒理影响的作用规律和机理。弄清人为干预对生态系统结构与功能(能量流动、物质交换、信息传递和生物生产力)的影响以及污染物在食物链网和生物个体中的运动和行(吸附、吸收、积累、分布、代谢、转化、消除和归宿等);污染物在生物圈或生态系统中的生态平衡,污染物引起生物和人的畸变、癌变、突变等机理和人为干预的生态防治等。

环境生物学的核心部分是生态系统。生态系统是一种很复杂的自然或人工系统,是指一定范围的地球表面(或表层)内的生物群落与周围环境相互作用的功能系统,是不同营养级生物与环境间相互作用、相互制约、不断演变、相对稳定的统一体,具有一定的结构和功能。它所构成的组分有非生物成分和生物成分。非生物成分有光、气、土、水和营养物质,生物成分有生产者、消费者、寄生者、腐生者、分解者和转变者。非生物成分供给生物成分以能量、化学原料和生活空间。生态系统的能量来源于太阳。绿色植物以及含色素的微生物或化能自养菌等生产者把光能固定下来,使之成为可被利用的有机化合物。素食动物或较高营养级的肉食动物等消费者则将这些有机化合物进行破碎、加工,将一种生命形式转变成为另一种生命形式。寄生者营寄生

生活，吃食寄主的营养物质。腐食者则以生物尸体、树木落叶枯木腐食为生。分解者的作用是将动、植物尸体等复杂有机化合物分解成为无机物质。转变者又把无机物质转变成可利用的营养形式。

生物体主要是由碳、氢、氧、氮等元素组成，它们可以从环境中取得，最后还给环境。生物可从大气和水中得到氧，在细胞内进行氧化，碳水化合物经完全氧化后产生二氧化碳和水，又排到体外，回到大气和水中，绿色植物或含色素的微生物又可利用这些作为原料进行光合作用。光合作用包括光反应及暗反应。光反应中需要吸收光能，通过反应，产生化学能及氧；暗反应则不需光能，但需要光反应中所产生的腺嘌呤核苷三磷酸和三磷酸吡啶核苷酸，在它们的参与和酶的催化作用下，反应产生单糖类碳水化合物，以后又转变成多糖类物质，在植物中贮存。动物吃食植物后，又转变成其他有机物质，最后通过微生物分解，产生二氧化碳；动、植物呼吸时也产生二氧化碳，重归环境。所以有合成、还原、矿化（及贮存）等三个过程在不断运转。生态系统中直接吃食植物的素食动物是第一级消费者，而吃素食动物的动物是第二级消费者，吃第二级消费者动物的是第三级消费者，如此类推，形成食物链关系，同时一种食物又可被不同种的消费者所吃食。这样，食物链相互联结而呈网状结构，称食物网，也有合起来称食物链网。一般陆地的食物链为四至五级，因为消费者只能将食物的5—20%变为自己机体，其余或因不消化和代谢产生废物，或因呼吸作用而将热能损耗，因此顶级捕食生物不但数量较少，而且营养亦有限。这样基础的营养级最大，第二营养级较少，第三营养级更少，依次递减，成为金字塔形。同样的情况在生物数和生物量中也都有出现，因此，有生产率塔、生物数塔和生物量塔之称。生态系统的物质循环，以碳为例，它的周转有时

十分迅速，如通过光合作用和呼吸作用短的在几分钟、几小时、几星期或几个月之内，就回到大气。特别在水生态系统中，某些群落的积累数量对某一时间内周转的数量来说是很小的。据研究，光合作用和呼吸作用可把活动库中全部二氧化碳约十年内在植物中循环一次，但从储存库释出全部二氧化碳则需经数百万年。循环中各类活动库和储存库由物质流的通路系统连通。生命过程通常控制活动库之间的通路，而物理过程通常控制储存库之间的通路。

生态系统中能量流动，绝大部分是单一方向的。这是太阳光光量子的功能转变为有机化合物的潜能，而消费者在呼吸和代谢过程中又要消耗能量，因此最后只有少量的能量转变成化学能。如果一个地区每平方米一天可接受三万卡太阳能，绿色植物只能获得一万五千卡，而它转变成成为化学能的，即净初级生产量只有一百五十卡，供素食动物利用，到肉食性动物时，生产所利用的能量只有十五卡，而到第三级消费动物时，利用的能量只有三卡。

生态系统的信息传递也有多种形式，有营养信息、化学信息、物理信息和行为信息，构成了信息网。它不仅对种内和种间有着重要意义，而且对生物种群和生态系统的调节措施起着一定的作用。

在一定条件下，生态系统有着向稳定状态发展的趋势。但是生态系统内部始终存在矛盾，引起运动和发展，而外界因素变化又不断对生态系统产生影响，消除、增加或改变一个因素的性质和强度，均能引起它一系列反应，从而破坏系统的平衡。稳定性指的是生态系统有相对稳定的组成，包括生物的和非生物的组成，还包括不同水平的结构和层次结构，以及水平和层次相结合的多维空间结构。生态系统内部具有自动的调节能力，维持稳定性。这种调节能力与成分的多样性及能量循环和物质交换的复杂程度有

关。成分多样、循环途径复杂的生态系统中，部分机能异常，可被不同部分的调节所抵消。但是这种调节能力是有一定界限的，超出界限，调节不再起作用，从而导致生态系统的改变、伤害，以至崩溃。影响生态系统失去调节能力的主要有以下三种情况：种类成分的改变，如由于人类的干扰，致使一种控制草地素食动物的肉食动物消失，前者就大量繁殖，最后可能破坏草原系统。另一种情况是环境因素的改变，如湖泊受到污染，引起富营养化，使水质变坏，同时由于过度生长的藻类所产生的毒素及其尸体分解时的耗氧，又会引起鱼类及其他水生生物的死亡。还有一种是信息系统的破坏，如石油污染导致回游性鱼类无法溯河产卵，致使鱼类资源受到破坏。调节力还因生态系统类型及发育时期的不同而呈现差异。生态系统有幼年期和成熟期，具有时间特征。调节力的大小是和对生态系统造成损害的物质种类、数量，受害时期和程度有关。生态系统对污染物的同化性能和忍受侵害的弹性，是人类制订污染物排放标准和实行科学管理的依据。

环境中生命系统可分为八级，即分子、细胞、组织器官、个体、种群、群落、生态系统和复合系统。它具有一般工程系统的功能特性，但其系统行为比一般系统更为复杂。而且在生态系统中这八个层次结构以及构成此类结构的主要成分所形成的谱系可应用等级剖析法，从系统内部的行为结构中，引出对整个系统的描述。

研究生态系统的数学模型是我们管理生态系统，考查人为干预对生态系统影响的重要工具，并可为环境决策者在判断时提供重要根据。模型的构作一般是从概念模型开始，继而构作图解模型，进一步制作数学模型和计算机模型。

水生生态系统中最简单的概念模型是考虑一种饵料生物及一种吃食生物，对其关系进

行定量处理。要了解饵料生物在被吃食生物胃中的数量，以及它们通过的速度，还要从生产率和死亡率弄清饵料生物在水环境中的兴衰变化。生态系统的不同组分用框室表示，能量的输入和输出用箭头表示。根据参数，利用框室和箭头即可制作图解模型。

数学模型的制作，首先要确定状态变量、外源变量和控制变量，其次是确定状态变量之间的流率 (Flow rate) $J(j, i)$ 。然后计算每一变量的变化率 (Rate of change) F_i ，即输入变量的流减去输出变量的流或

$$F_i = \sum_{j=1}^n a_{ji} J(j, i) - \sum_{k=1}^n J(i, k)$$

再将每一变化率代入一系列差分方程

$$Q_i(t+1) = Q_i(t) + F_i$$

或一系列微分方程

$$dQ_i/dt = F_i$$

来描述系统的动力学。找出模型的预测方程的闭式或近似解 (Numerical solution)。如果只有一个平衡解 (Equilibrium solution) 时则可用 $F(Q) = 0$ 方程解得。如果模型要用作环境管理政策的依据，则需用试探和误差模拟 (Trial and error simulation) 或最优化方法。

一个水生生态系统的流率可图解如图 3。

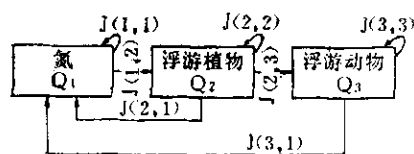


图 3 水生生态系统中的流率

其所用参数和函数关系可包括：

转换因子	符号
氮至浮游植物	α_{12}
浮游植物至浮游动物	α_{23}
浮游动物至氮	α_{31}
浮游植物至氮	α_{21}

半饱和系数

浮游植物摄入氮	K_1
浮游动物摄入浮游植物	K_2
浮游动物腐败(死亡和排泄)	K_3
浮游动物牧食率/体积	a
最大饱和和生长率	M
光饱和强度	I_s

外源变量效应

函数关系

浮游植物呼吸的
摄氏温度 X_T $G_T^p(X_T) = (0.005)X_T$

浮游植物生长的
摄氏温度 X_T $G_T(X_T) = X_T/30$

浮游植物生长的
光强度 $I(X_s)$ $G_s(X_s) = \frac{I(X_s)}{I_s} \exp$

$$\left[1 - \frac{I(X_s)}{I_s}\right]$$

太阳辐射 X_s 和
深度 Z 的光强度 $I(X_s) = X_s \exp(X - KZ)$

此水生态系统模型的流率可概述如下:

$$J(1, 1) = qD_1(v) - Q \frac{Q_1}{V}$$

$$J(1, 2) = \frac{a_1 K_1 Q_1 Q_2}{K_1 + Q_1}$$

$$G_T(X_T) G_s(X_s)$$

$$J(2, 1) = Q_2 G_T^p(X_T)$$

$$J(2, 2) = qC_2 - q \frac{Q_2}{V}$$

$$J(2, 3) = a Q_2 Q_3$$

$$J(3, 1) = K_3 Q_3 +$$

$$\alpha_{23} \left[a - \frac{a_2 K_2}{K_2 + Q_2} \right] Q_2 Q_3$$

$$J(3, 3) = qC_3 - q \frac{Q_3}{V}$$

计算机模型一般用模拟模型或数学模型, 对相同输入和相同的模型结构, 两者均可得出相同的结果。FORTRAN是常用的公式翻译程序语言。图4是工业化对生物圈影响的计算机模型。

响的计算机模型。

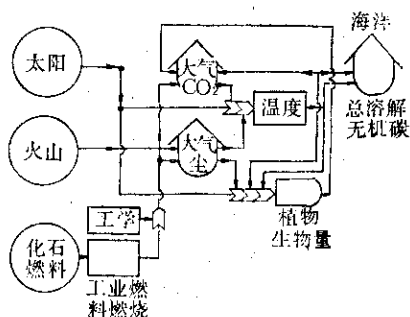


图4 工业化对生物圈影响的计算机模型

国内外环境生物学的发展, 将进一步着重研究污染对各类生态系统结构、功能和各级水平的影响, 建立这方面的生物模拟(包括受控生态系统实验)和数学模型研究方法, 制作污染生态模型, 预测预报污染对生态系统稳定性、群落结构、物质循环和能量交换的影响, 为制订最优化环境区划和规划提供依据。还将进一步加强有关生物净化和生态毒理学的基础理论研究。

我国在环境生物学方面需要重点开展的研究内容有:

1. 人为干预对各类生态系统结构与功能的影响, 生态系统模拟试验及数学模型的研究;
2. 污染物在各类生态系统中的运动及在生物体内行为规律的研究;
3. 植物(包括林带)和土壤对水和大气中污染物净化效应、吸收机理的研究;
4. 农业环境保护的研究;
5. 水生态系统保护的研究;
6. 自然保护区的研究;
7. 污染物对生物致毒, 特别是癌变、畸变和突变机理的研究;
8. 生态毒理试验方法以及生物效应数据库、样品库的研究;
9. 生物净化、生物降解机理及其应用的研究;
10. 生物监测的研究。