

中国大百科全书·环境科学

环境生物学



中国大百科全书出版社

中国大百科全书·环境科学

环境生物学

(征求意见稿)

主 编 王德铭

副 主 编 高拯民 涂长晟

编写组成员 (按姓氏笔画顺序)

丁树荣 王德铭 汪嘉熙 涂长晟

高拯民 黄玉瑶 蒋志学

中国大百科全书出版社

(内 部 发 行)

中国大百科全书·环境科学

环 境 生 物 学

(征求意见稿)

中国大百科全书出版社出版

工本费：0.80元

说 明

《中国大百科全书》是我国第一部大型综合性百科全书，正在按学科分卷陆续出版。《天文学》卷已于1980年出版，《环境科学》卷计划在1982年付印。

《环境科学》卷是在吴学周、(以下按姓氏笔画顺序)马大猷、王德铭、申葆诚、刘天齐、刘东生、刘培桐、胡汉昇等著名科学家的主持下，由200多位环境科学家和学者撰写的。在成卷出版以前，我们先按环境化学、环境物理学、环境生物学、环境地学、环境工程学、环境医学等6个分支学科整理成册，内部发行，征求意见，以便集思广益，进行修订工作。不能归入这6个分支学科的条目，如环境科学综论、环境管理、环境经济、环境法学等条目暂不印行。

《环境科学》卷的分册平均选收条目100个左右，字数约20万，对环境科学的各个分支学科的基本理论、基本内容、基本知识和事实进行了全面的、综合的、系统的、概括的介绍和阐述，并附有图表，可供从事环境科学研究、教育、管理的人员参考和使用，也可作为具有高中以上、相当大学文化程度的广大读者进入环境科学知识领域的桥梁和阶梯。

环境科学作为一门独立的学科正处在蓬勃发展中，它的研究对象、任务、内容和学科体系，尚未完全定型，许多问题尚待进一步研究和探讨，因此，编纂《中国大百科全书·环境科学》卷是有许多困难的；加上我们编辑水平有限，一定会有缺点和错误。此外，《环境科学》卷的各个分册是陆续编辑出版的，有关条目的调整，内容和体例的统一，以及参见系统的建立等，还有大量的工作留待成书编辑时进行。我们热情地期望广大读者提出批评和改进意见（来信请寄北京安定门外中国大百科全书出版社环境科学编辑组）。

中国大百科全书出版社

环境科学编辑组

1981年8月

目 录

环境生物学	1
生态系统(见环境生物学)	5
生态平衡	5
生态失调(见生态平衡)	7
生态危机	7
生态效率	8
生态模拟	9
模式生态系统	11
接受体代谢	16
生物转化	17
生物积累	22
生物浓缩	25
生物富集(见生物浓缩)	28
浓缩系数	29
生物放大	30
食物链(网)	33
营养级	35
有毒物质生物循环	37
自然保护	39
可更新资源	43
珍贵稀有植物的保护	45
珍贵稀有动物的保护	47
自然保护区	50
《世界自然保护大纲》(见《综论》)	
污染生态学(见环境生物学)	52
污水生物学	52
生物污染	55

土壤生物污染	57
食品生物污染	59
大气生物污染	61
水体生物污染	63
富营养化(见《环境化学》分册)	
赤潮	67
生物监测	68
指示生物	69
水污染指示生物	70
浮游生物	71
水生微型动物	73
大型底栖无脊椎动物	74
摇蚊幼虫	75
颤蚓	76
硅藻	77
小球藻	78
栅藻	79
蚤	80
水生维管束植物	82
大气污染指示生物	84
地衣	86
苔藓植物	87
归化植物	88
水生生物群落结构	90
污水生物系统	92
生物指数	95
污染指数	97
生物种的多样性指数	97
水污染的生物测试	99
静水式生物测试	100
流水式生物测试	101
大气污染的生物监测	103

植物人工熏气	106
残毒积累	108
生物评价	111
生态效应	113
致癌作用(见《环境医学》分册)	
致畸作用(见《环境医学》分册)	
致突变作用(见《环境医学》分册)	
剂量-反应关系(见《环境医学》分册)	
半数致死浓度	116
平均耐受限(见半数致死浓度)	118
毒性最大容许浓度	118
应用系数(鱼类毒性试验)	119
污染对水生生物的影响	121
致毒机理	124
汞的生物甲基化	125
汞的生物反甲基化(见汞的生物甲基化)	127
水污染毒性的生物评价方法	127
水生生物的急性毒性试验	129
水生生物的亚急性毒性试验	131
水生生物的慢性毒性试验	133
回避反应	135
毒性实验的鱼类	137
大气污染对植物的影响	138
二氧化硫对植物的影响(见大气污染对植物的影响)	144
氟化物对植物的影响(见大气污染对植物的影响)	145
氧化剂对植物的影响(见大气污染对植物的影响)	145
乙烯对植物的影响(见大气污染对植物的影响)	145
土壤污染对植物的影响	145
土壤污染和植物残毒	148
土壤污染和植物变异	150
生物的抗性	153
水生生物对污染的抗性	154

植物对大气污染的抗性	155
植物对大气污染的敏感性(见植物对大气污染的抗性)	158
抗污树种	159
昆虫对杀虫剂的抗性	162
忍耐指标	164
生物降解	166
生物净化	169
〔废水生物处理〕	
酶法处理废水	173
固相酶(见酶法处理废水)	174
固定化细胞(见酶法处理废水)	174
活性污泥法(见《环境工程学》分册)	
生物膜法(见《环境工程学》分册)	
生物接触氧化法(见《环境工程学》分册)	
氧化塘法(见《环境工程学》分册)	
藻菌共生系统	175
废水消毒处理(见《环境工程学》分册)	
净化指数(见生物净化)	177
土壤-植物系统的净化功能	177
土壤污染的生物净化(见土壤-植物系统的净化功能)	181
水污染的生物净化(见土壤-植物系统的净化功能)	181
绿化植物在环境保护中的作用	181
大气污染的生物净化(见绿化植物在环境保护中的作用)	184
城市工矿区防污绿化	184
条目索引	187

环境生物学 (environmental biology) 研究生物与受人为干预的环境之间相互作用的机理及其规律, 即生物与受污染和被破坏的环境之间对立统一规律的科学。目前, 人们对环境生物学有不同的认识。有人认为环境生物学不是单一学科, 而是一个多学科的体系; 有人认为环境生物学就是生态学; 也有人认为环境生物学是一门独立的学科。

诞生和发展 十九世纪中叶和末期已经有人注意到水污染与水生生物的关系, 并将水中微型生物进行分组分类。二十世纪初期, 人们开始研究水质污染的生物监测、生活污水和工业废水的生物处理等问题。1935年, A. G. 坦斯莱提出生态系统概念, 为环境生物学的发展奠定了理论基础。随着大工业、集约农业、大城市的兴起和发展, 人类一方面创造了物质文明, 另一方面也同时给地球表面带来了巨大的变化, 产生了日益尖锐的环境问题。其中以生态平衡遭到破坏所带来的影响最为严重, 很多物种从地球上消失或濒临灭绝, 人类自己也遭受到了公害的侵扰和威胁。

环境生物学是从生物学分化出来的一个边缘学科, 是环境科学的一个重要组成部分。它分别同毒理学、微生物学、生理学、生物化学、土壤学、湖沼学和海洋学等互相渗透, 从而产生了生态毒理学、环境微生物学、污染土壤学、生物监测和自然保护等分支学科或研究领域。七十年代以来, 中国科学工作者在上述领域开展了不少科学研究工作。一些高等院校设立了环境生物学或与之有关的专业, 建立了相应的研究机构。

环境生物学的核心 环境生物学的任务是促进环境和生物朝有利于人类的方向发展, 从宏观上研究环境中污染物和人为干预对生态系统产生影响的基本规律, 从微观上研究污染物和人为干预对生物产生毒害的作用及其机理。其核心是对生态系统的研究。生态系统是生物群落与周围环境相互作用的功能系统。它的结构包括七个组分: 无机物质、有机物质、气候条件以及所谓的生产者、消费者、分解者和转变者四类生物。不同营养级的生物与环境之间呈现互相制约、不断演变、但又相对稳定的关系, 不停地进行着物质交换、能量流动和信息传递。在一定时间和相对稳定的条件下, 生态系统在结构、功能和输出输入物质

数量上呈现出动态平衡。生态系统的结构是实现功能的框架，而其功能又是保持框架活性的动力。

环境中生命系统可分为八级水平。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，但其系统行为远比一般系统复杂。在生态系统中，这八个层次结构以及构成这些结构的主要成分所形成的谱系，可应用等级剖析法 (hierarchical approach) 从系统内部的行为结构中引出对整个系统的描述。

生物体主要是由碳、氢、氧、氮等元素组成。这些元素可从环境中取得，最后又还给环境。这是合成、还原、矿化(和贮存)等三个过程不断运转的结果。生态系统中消费者只能将食物的 5~20% 转化成自己的机体。其余部分或因不消化和代谢作用变为废物，或因呼吸作用而作为热能损耗掉。因此，处于食物链(网)顶级的捕食生物不但数量少，而且获得的营养也有限。这样，基级最大，第二营养级较少，第三营养级更少，依次递减，成为金字塔形。同样的情况在生物量及生物数中均可见到，即所谓生产率金字塔、生物量金字塔和生物数金字塔。污染物除了可由水、土、气等介质稀释和传送，或由介质直接进入生物体以外，还可通过物质流在不同营养级的生物中转移。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联系有着重要意义，而且对生物种群和生态系统的调节也起着重要的作用。

生态系统内部具有自动的调节能力，系统的组成成分愈多样，它的能量流动和物质循环的途径愈复杂，这种调节能力也愈强；相反，成分愈单调，结构愈简单，则调节能力也愈小。但是这种调节能力是有一定限度的，超出这个限度，调节就不再起作用。使生态系统失去调节能力主要有以下三种情况：一是种类成分的改变，例如由于人类的干预，一种控制草食动物的肉食动物消失，从而使草食动物大量繁殖，最后可导致草原生态系统的破坏。二是环境因素的变化，例如湖泊富营养化，可使水质变坏；同时由于藻类过度生长所产生的毒素及其残体分解时需要消耗掉大量溶解氧，使水中溶解氧大大减少，又会引起鱼类及其他水生生物的死亡。三是信息系统的破坏，例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。生态系统对污染物的同化性能和耐受侵害的弹性，是人类制订污染物排放标准和实行科学管理的

依据。

人是随着自然环境的变化而进化的。人类不是消极地适应自然环境,而是通过自己的智慧和劳动来支配和改造自然环境。另一方面,人类的活动又会给自然环境带来污染和破坏,如滥捕滥采,使很多动、植物在地球上绝迹;肆意垦牧,使肥沃的草地退化、沙化和碱化;乱砍滥伐,使森林消失,小气候干燥,尘土、风暴大大增加,水土流失日益严重,泉枯井竭;盲目灌溉,使农田土壤侵蚀,出现盐渍化;简单的人工植被代替复杂的自然生物种群和群落,降低了对水、旱、虫害的调节和缓冲能力;不合理的围湖造田和缺乏生态观点的水利工程建设,使水产资源受到破坏,也带来血吸虫病的传播等。不论是森林、草原的毁坏,地表水和地下水资源的枯竭,还是其他自然资源的破坏,都与生态系统有密切关系。

主要内容 生物效应 污染对生态系统中的各种生物常常造成直接或间接的有害影响,尤其对低营养级生物往往影响较大,致使生态系统发生变化,资源蒙受损失。如废水排入江湖可大量杀死鱼类;二氧化硫及光化学烟雾污染可危害粮食作物,影响农业产量;水产品中含有甲基汞,牛乳中含有有机氯农药残毒,威胁人类健康。微生物对抗菌素抗性的质体转移,也会造成人类健康的潜在威胁。由于进入生物体的毒物越来越复杂,毒物的慢性作用和小剂量长时间接触以及各种因素的综合作用等问题也成了重要的研究领域。

放射性物质污染 对生态系统的影响,如生物种群对放射性污染物的接受程度,生物种和个体对放射性元素的吸收,放射性核素在生态系统食物链(网)中的循环,物质在生态系统中的评价标准等问题的研究,以及污染物对人和生物致畸、致癌、致突变作用的环境生物学基础研究,都已引起人们的重视。

生物净化 绿化植物在环境中具有净化空气的功能。植物不但通过光合作用吸收二氧化碳,释放氧气,而且还能吸收二氧化硫、氟化氢、氯、氨等有害气体,以及汞、铅、锌、铜、镉、铁等重金属蒸气,并可吸收放射性物质,吸滞烟尘和粉尘。有些植物还能杀菌。植物还可减弱噪声,净化污水,改善小气候,保护农田和美化环境,对维护生态平衡和保护人体健康起着重要作用。土壤生物体系对有机质的转化和有机污染物的净化有着巨大作用;充分利用土壤生物体系以及它与其他体系(氧

化还原物质、络合-螯合物质、胶体和多相的疏松多孔体系等)的相互作用,对于摸清污染物在土壤中迁移、转化规律,消除土壤污染和发挥土层净化作用也有着重要意义。另外,利用氧化塘、污水灌溉,以及利用生物或生物与物理、化学相结合的方法处理工业废水和生活污水,均能达到良好的净化效果。

生物监测 利用敏感生物监测污染,如通过调查植物的急性受害症状,受害程度轻重,叶片受害面积大小,结构与机能的变化,慢性受害后的生长量变化,以及从年轮的测量中估测大气污染的程度,选择指示植物定点监测以及分析植物叶片中污染物质的累积量以估测大气污染程度,可以获得较可靠的资料。目前已有利用地衣或苔藓植物作为植物监测器,进行大气污染的生物监测。水污染的生物监测,已广泛应用的有指示生物、水生生物群落结构、生物测试和残毒测定等方法。中国已利用一些植物对城市大气污染进行监测和评价;对水生生物监测农药、重金属及其他有机污染物的污染,也进行了试验研究,并在生理生化、残毒、行为和形态等方面取得了一些有用的监测指标和资料。

自然保护 人类的生产和消费活动要从长远观点考虑问题,要从生态系统的角度估计所造成的生态影响。自然保护的**中心**是保护和增殖可更新资源以及合理利用自然资源。生物资源是可更新资源。要保护野生动、植物资源,不但是因为它们为人类提供了巨大财富,而且在科学上探讨生命起源、物种的形成和演化,以及在新品种的培育等方面都有着重要意义。作为自然界物质和能量交换的重要枢纽的森林,作为畜牧业重要生产基地的草原,应大力加强生态系统的结构、功能和管理的研究,为合理利用和进一步改造提供科学依据。开发利用自然资源,防止环境污染,要全面规划,合理布局,预防为主,防治结合,还要进行损益分析,作出预断评价。要大力植树造林,增加植被覆盖率。要加强自然资源的调查研究和自然保护区的综合考察,制定自然保护区规划,巩固和完善现有的自然保护区。

展望 环境生物学今后的任务是:进一步着重研究污染对各类生态系统结构和功能及各级水平的影响,建立生态系统的生物模拟(包括受控生态系统的实验)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,

为制定最优化环境区划和规划提供依据;进一步研究各个生态系统(如工矿、农田、森林、草原和水生生态系统)内部和相互之间的调节、控制和平衡,以及研究由于污染而引起的区域性或全球性变化对生物圈生物资源的影响;进一步加强对有关生物净化和生物降解的基础理论研究,建立和完善污染物生物效应数据库和生物样品库,加强毒物对生物(包括人类)的致毒机理以及环境因素引起癌变、畸变、突变的生物学基础研究。

参考书目

王德铭:《环境生物学》,《环境科学研究与进展》,科学出版社,北京,1980。

辽宁省林业土壤研究所编译:《环境污染与生物净化》,科学出版社,北京,1976。

E. P. Odum, *Fundamentals of Ecology*, W. B. Saunders Company, Philadelphia, 1971.

(王德铭)

shengtai xitong

生态系统 (ecosystem) 见环境生物学。

shengtai pingheng

生态平衡 (ecological equilibrium) 生态系统发展到成熟的稳定阶段,它的能量和物质的输入、输出以及生物种类的组成和各个种群的数量比例都处于长期相对稳定的状态,又称自然平衡。

概述 生态系统是开放的动态系统,不断有能量和物质的输入和输出。一方面是太阳辐射能和无机物质通过生产者(植物)的光合作用被转化为有机物质而存留于生态系统中,用以供应一切生命的需要;另一方面是生态系统中的有机物被各级消费者(动物)摄取、转化、呼吸和排泄等不断地消耗掉。有机物质还可以通过人类的收获、地表水和地下水的流出等方式从系统中输出。生态系统中的分解者(微生物)又把生态系统中的植物和动物残体分解和转化为无机物质,归还给环境,供植物再利用。生态系统中的能量流和物质流每时每刻都在生产者、消费者和分解者之间不停地变动和转化。生态平衡乃是由生产、消费和分解等过程构成的一个动态平衡,它包括结构上的平衡、功能上的平衡以及能量和物质的输入、输出数量上的平衡等。

当生态系统能量和物质的输入量大于输出量时,生态系统的总生物量增加,反之则减少。在自然条件下,生态系统的演替总是自动地向着生物种类多样化、结构复杂化、功能完善化的方向发展,只要有足够的时间和相对稳定的环境条件,生态系统迟早会进入成熟的稳定阶段。那时它的生物种类最多,种群比例适宜,总生物量最大,生态系统的内稳性最强。

反馈作用 生态系统是一种控制系统或反馈系统,它具有反馈机能,能自动调节并维持自己的正常功能。当能量和物质在生态系统内流动和循环时,每发生一种变化,其结果必然反过来又影响这一变化的本身。生态系统就是通过这种因果关系相互影响的反馈作用来维持其生态平衡。例如,某一原始森林生态系统中食叶昆虫种群“暴发”时,树木因之受害;但食叶昆虫的增加为食虫鸟类提供了丰富的食物,食虫鸟类数量随之增加。由于食虫鸟类大量捕食食叶昆虫,食叶昆虫的种群受到抑制,森林生态系统的生态平衡便得到恢复。

一般情况下,生态系统内部小生境(niche)类型越多,生物种类越丰富,由各种生物构成的食物链(网)也越复杂多样。因此能量的流动和物质的循环可以通过多渠道进行。如果某一渠道受阻,其他渠道可以起代偿作用。但是,生态系统的自动调节能力或其代偿功能有一定的限度,当干预因素的影响超过其生态阈值时,自动调节能力将随之降低或消失,从而引起生态失调,甚至造成生态系统的崩溃。

影响因素 影响生态平衡的因素有自然因素和人为因素。自然因素包括火山喷发、地震、海啸、泥石流和雷击火烧等等。这些因素都可能在很短时间内使生态系统遭到破坏,甚至毁灭。但是,自然因素对生态系统的破坏和影响的出现频率不高,在地域分布上也有一定的局限性。影响生态平衡的人为因素包括毁坏植被,引进或消灭某一生物种群,建造某些大型工程(如大型水坝)以及现代工业和农业生产过程中排出某些有毒物质和向农田中喷撒巨量农药(杀虫剂和除草剂)等。这些人为因素都能造成生态系统的结构和功能的破坏,引起生态平衡失调,使人类生态环境的质量因之下降,甚至造成生态危机。有些污染物质可能沿着食物链逐级转移和富集。如脂溶性农药 DDT 富集后常常超过进入环境初始量的几万倍甚至几百万倍。进入高位营养级的污染物还可能通过食物链转入人体,危及人类的健康和安全。因此研究各种人为

因素对生态平衡的影响是生态学的重要任务。

参考书目

E. P. Odum, *Fundamentals of Ecology*, 3rd. ed., W. B. Saunders Company, Philadelphia, 1971.

(董厚德 高拯民)

shengtai shitiao

生态失调 (ecological disturbance) 见生态平衡。

shengtai welji

生态危机 (ecological crisis) 主要由于人类的盲目和过度的活动导致局部地区甚至整个生物圈结构和功能的破坏,从而威胁人类的生存,称为生态危机。

一个世纪以来,由于世界人口的增长,工农业生产的发展,加上战争和社会动乱,人类干预自然界的规模和强度不断地扩大和深化,在世界许多地方已出现森林覆盖面积缩小,草原退化,水土流失,沙漠扩大,水源枯竭,环境污染,环境质量恶化,气候改变,生态平衡失调等等现象。例如二十世纪三十年代美国西部由于滥垦滥牧,植被遭到破坏,导致三次“黑色风暴”的发生。1934年5月9~11日的“黑色风暴”,以每小时一百多公里的速度,从美国西海岸一直刮到东海岸,带走3亿吨表土,毁坏数千万亩农田。五十年代苏联盲目开荒,也先后出现过几次“黑色风暴”,使3亿亩农田受害。由于人口密集,植被破坏,加上防治和管理措施失当,非洲撒哈拉大沙漠于1968~1974年期间,每年向南延伸50公里,使沙赫尔地区生态平衡遭到严重破坏,直接威胁当地人民的生活和发展。

中国当前的环境污染与生态平衡遭到破坏的情况也已相当严重。从东北的第二松花江到南方的珠江,许多河流、湖泊都不同程度地受到污染。近年来盲目围湖造田,使淡水面积缩小。由于森林破坏,中国历史上形成的沙漠化土地达12万平方公里,近数十年来又有所增加;全国水土流失面积也已达9亿亩。这些都说明生态平衡已严重失调,如不及时采取对策将会导致不堪设想的后果。

生态危机有其发生和发展的过程。这种危机在潜伏时期往往不易被人们察觉,但一旦形成,几年、几十年、甚至上百年来都难以恢复。因此,

当它还处在潜伏状态时就应该提醒人们警觉起来。生态平衡的破坏既然主要是人为造成的，那末，也将随着人类社会的发展而被克服和消除。人类终将学会用自己的智慧与双手创造出更加美好的生态环境。

参考书目

L. White, *The Historical Roots of Ecological Crisis*, Science, Vol. 155, 1203~1207, 1967.

(高拯民 董厚德)

shengtai xiaolu

生态效率 (ecological efficiency) 食物链(网)各个营养级之间实际利用的能量占可利用能量的百分率。

能量在食物链的各个营养级之间不断地流动和变化。绿色植物通过光合作用，把太阳辐射能转化为化学能，并以有机物的形式贮存于植物体内；草食动物以植物为食物，摄取其中一部分能量；肉食动物以草食动物为食物，也摄取其中一部分能量。这就是能量在食物链中不断传递的过程。能量在传递过程中，每一步都有大量的损耗，每一级的生物都只能利用所食用的前一级生物提供的能量的一部分。

广义的生态效率一般包括：①能量摄取效率，即某一营养级(t)所摄取的能量(I_t)占前一营养级($t-1$)所摄取能量(I_{t-1})的百分率，以 I_t/I_{t-1} 来表示。初级营养级(绿色植物)能量摄取效率，是以光合作用总量(净生产量 P_G)占所吸收光量(L_A)的百分率以 P_G/L_A 来表示。②同化效率，即某一营养级的同化量(A_t)占前一营养级的同化量(A_{t-1})的百分率，以 A_t/A_{t-1} 表示。对初级营养级来说，即等于能量摄取效率($A_t/A_{t-1}=I_t/I_{t-1}$)。③生产效率，即某一营养级的生物量(P_t)占前一营养级的生物量(P_{t-1})的百分率，以 P_t/P_{t-1} 来表示。对初级营养级来说，也等于能量摄取效率($P_t/P_{t-1}=I_t/I_{t-1}$)。④利用效率，即某一营养级所摄取的能量或同化量占前一营养级生物量换算成能量的百分率，以 I_t/P_{t-1} 或 A_t/P_{t-1} 来表示。

在同一营养级中也存在各种生态效率，包括：①同化效率，即同化量占摄取能量的百分率，以 A_t/I_t 来表示。②组织生长效率，即生物量占同化量的百分率，以 P_t/A_t 来表示。③生态生长效率，即生物量占摄取能量的百分率，以 P_t/I_t 来表示。

例如，假定某种草食动物能同化其所食用食物的 40% (A_t/I_t)，而

只能将其中 25% 用于自身的生长, 形成生物量 (P_i/A_i), 供下一营养级肉食动物食用, 则其生态生长效率 $P_i/I_i = (A_i/I_i) \times (P_i/A_i) = 40\% \times 25\% = 10\%$ 。

1957年, 美国一位学者测定一个水生生态系统中的初级生产者(即绿色植物)同化的能量为 20,810 (单位为千卡/平方米/年 $\times 10^{-3}$, 下同), 净生产量为 8,833; 草食动物同化的能量为 2,390, 净生产量为 1,478; 初级肉食动物同化的能量为 383, 净生产量为 67; 顶级肉食动物同化的能量为 21, 净生产量为 6。由此可见, 草食动物的生态效率为 $1,478/8,833 = 17\%$; 初级肉食动物的生态效率为 $67/1,478 = 5\%$; 顶级肉食动物的生态效率为 $6/67 = 9\%$ 。

根据研究, 各营养级之间(不包括初级生产者利用太阳辐射能的效率)的生态效率一般在 4~25% 之间, 平均为 10~15%。但有的报告说, 海洋食物链中的生态效率有的高达 70%。初级生产者利用太阳辐射能的效率很低, 一般为 0.1~5%。如果能提高这一效率, 就能增加大量的食物。从人类利益出发, 应设法提高某些草食动物(如牛、羊等牲畜)的生态效率, 降低另一些草食动物(如农业害虫)的生态效率。

生态效率的概念是二十世纪四十年代初期提出的。目前对各类生态系统中各个营养级的生态效率的测定方法尚不完善。对生态效率的机理与调节控制的可能性和方法, 也须进一步研究。

参考书目

E. P. Odum, *Fundamentals of Ecology*, 3rd. ed., W. B. Saunders Company, Philadelphia, 1971.

J. M. Emlen, *Ecology: An Evolutionary Approach*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Mass., 1973.

(汪嘉熙 姚丽文)

shengtai moni

生态模拟 (simulation in ecology) 应用系统分析的原理, 建立生态系统的数学模型, 模拟生态系统的行为和特点的研究方法。

将生态学现象和概念翻译成数学语言, 用数学的符号和方程式来表示, 并将由此得到的数学关系进行运算, 作出预断, 这种数学系统, 称为生态学中的数学模型。描述某些生态现象的数学关系比较复杂, 包括一系列方程式, 一般用电子计算机求解, 也称为生态系统的电子计算