

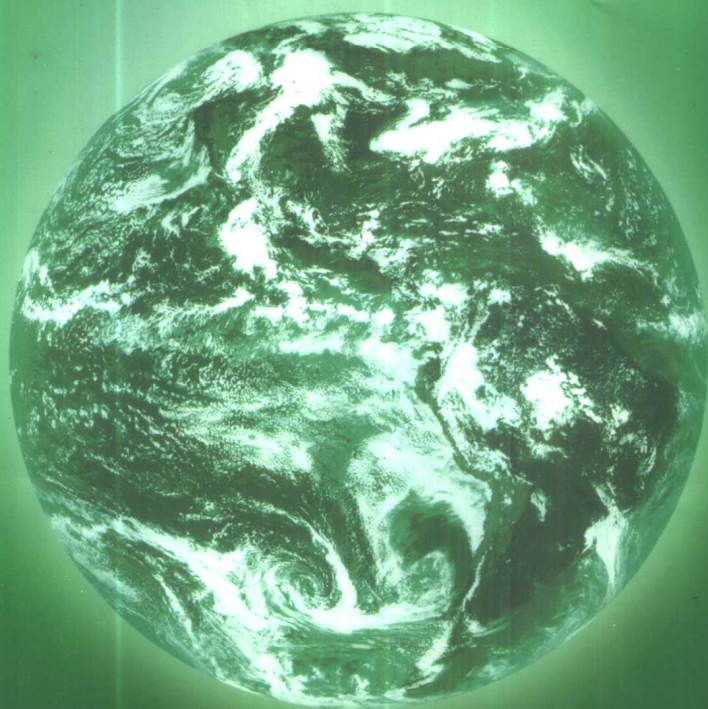


高等学校教材

环境保护与绿色技术

ENVIRONMENT PROTECTION AND GREEN TECHNOLOGIES

郑丹星 冯流 武向红 编



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校教材

环境保护与绿色技术

郑丹星 冯 流 武向红 编

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环境保护与绿色技术/郑丹星等编. —北京: 化学工业出版社, 2002.5
高等学校教材
ISBN 7-5025-3639-6

I. 环… II. 郑… III. ①环境保护-高等学校-教材
②无污染技术-高等学校-教材 IV. X

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 015405 号

高等学校教材

环境保护与绿色技术

郑丹星 冯 流 武向红 编

责任编辑: 王文峡

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社

出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 410 千字

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3639-6/G·980

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

“环境教育” (Environmental Education) 一词最早见于 1970 年美国环境教育法案, 1972 年联合国人类环境会议以后使用更加普遍。它的意义主要在于环境及其保护。国际自然保护同盟 (IUCN) 将环境教育定义为: “环境教育是人们为了解和认识人类、文化与环境的相互关系而必须接受的技能和认识方面的教育。环境教育是一个认识环境价值和澄清人类与环境关系概念的过程, 它必须贯穿于人们制定环境政策和形成环境行为准则的过程中。”

1975 年联合国教科文组织 (UNESCO)、联合国环境署 (UNEP) 建立了《国际环境教育方案》, 拟订了行动目标。1992 年的联合国环境与发展大会 (UNCED) 将世界推进了实施可持续发展的新时代, 使得环境教育也具有鲜明的时代性, 有关环境教育的主题逐渐转变、扩大, 人们把社会责任和社会正义、环境与人的相互依存关系以及生物多样性和文化多样性等各种重要概念作为一个独立的问题提出来, 形成一种全面的、跨学科的教育, 通常被称为可持续发展教育 (Education for Sustainable Development)。

1996 年 4 月, 联合国召开的可持续发展委员会第四次会议提出了可持续发展教育的目标:

- 以实现可持续发展为目的, 促进价值观、行为和生活方式发生必要的变革, 并最终实现人类民主、安全与和平;
- 传播形成可持续生产与消费的模式, 改进对自然资源、农业、能源及工业生产的管理所必需的认识、技术和技能;
- 拥有更多愿意支持各个部门为实现可持续性而进行改革的知识广博的公众。

这一目标使人们懂得, 实施这一既满足当代人的需要又不对后代人构成危害的持续发展之路是当代人类的惟一选择。可持续发展是一条全新、长远而又复杂的道路, 如何帮助人们摒弃旧思想, 树立可持续发展的新观念, 发展可持续发展教育是教育工作领域所面临的新挑战。

近 20 年来, 世界上越来越多的国家认识到推进可持续发展教育事业的重要性。在联合国和世界地区组织的积极支持和协调下, 可持续发展教育在世界范围内得到迅速、广泛的发展, 成为一个全球性的教育事业新领域。

同样, 可持续发展教育得到了中国政府的高度重视。1994 年国务院批准了由国家计委、国家科委组织编写的“中国 21 世纪议程”, 其中提出了我国经济、社会、资源、环境相互协调的可持续发展总体战略、政策和措施方案。1996 年, 国家环境保护总局、中共中央宣传部、国家教委联合发布了“全国环境宣传教育行动纲要”。近年来, 国内高校陆续开设了各种形式的可持续发展教育的课程。

应该看到, 新世纪的今天, 与经济繁荣、文明进步的辉煌景象同时展现在人们面前的是全球化的资源与环境问题, 全球范围的生态环境日益恶化与世界经济高度增长已成为这个时代的特征。特别是发展中国家, 这一特征表现得更为显著。人们急于摆脱以往的贫穷与落后, 往往没有意识到或不情愿, 同时也缺乏像发达国家那样的条件, 去有效地处理生态环境

74-2103

保护与经济发展之间的矛盾。

新世纪中国高等教育发展的目标是培养出更多能肩负起历史重任、有创造性、能参与国际竞争的综合素质的高级专门人才。可持续发展教育赋予综合素质教育许多新的内涵,新一代专门人才不仅应在观念上、而且应在方法上,尽可能将自己的专业知识与国家或全球可持续发展的战略需求很好地结合起来。环境意识和可持续发展模式的掌握是当代学生综合素质的重要基础,他们应为当代人类文明的发展承担起这一新的使命。

一些国际组织和一些国家提出,区分受教育“优先对象”并重点实施教育,是推进可持续发展教育的重要措施。我们想让大学生们,特别是理工科的大学生意识到,他们是可持续发展教育的优先对象。特别是过程工业技术专业(如化工、建材、冶金、热能动力、轻纺、食品等专业)的学生。对他们实施优先教育、重点教育,在于考虑到他们是未来发挥效益的“生力军”,是人类社会可持续发展的中坚,他们应该更加自觉地承担起这个使命。从今天的观点来看,人们所追求的新世纪高科技的标志之一就是与环境的协调程度,必须考虑可持续发展对所学专业前沿的影响。如果能在学习专业知识的同时,获得一些环境、资源与社会的可持续发展方面较深入的知识,将会在今后从事的专业技术工作中把可持续发展的理念变成自觉的行动。常常看到,许多环境专业人员难以解决的问题,恰恰是专业科技人员所熟悉、易于处理或可以从根本上处理的。在一定意义上,更多的环境保护机会取决于专业科技人员。而这方面的知识将完善、提升他们的综合素质,将重新定位他们在未来工作中运用知识的视野和角度。可以说,环境保护与可持续发展意识是当代技术人员的综合素质的重要基础。

基于这样的想法,这本书的内容很宽,从可持续发展所涉及的生态学、伦理学等社会科学到环境、能源等自然科学与工程。但是,为了便于目前高校 32~40 学时的授课,只组织了五个论题:环境与生态、可持续发展与社会制约机制、环境污染监测与控制技术、资源可持续利用技术、环境友好的能源利用技术。考虑到使用对象,这本书偏重技术内容,特别是关于环境污染防治和绿色技术。

为了便于学习,各章之前有简短摘要。根据学习要点,章中内容可有取舍。各章后面有思考题,供课后讨论、复习。参考书目不是集中列到书后,而是安排在各章后面,则是出于方便学习者可以根据论述的主题及时查阅的考虑。从附录中给出的与课程内容相关的部分主要网站,大家可以及时获得更多的知识和信息。另外,一些重要的环境法规和环境标准目录也列在后面供学习参考。

冯流编写本书第一、三章,武向红编写第二、四章,郑丹星负责协助他们以及第五章的编写,并负责总体统稿。另外,清华大学环境科学与工程学院黄霞教授对本书的编写提出了宝贵意见;北京市高等学校教育教学改革试点项目和北京化工大学化新教材建设基金资助了本书的编写与出版,在此一并致谢!

希望更多的理工科专业使用这本教材,限于水平和经验,书中不免存在疏漏,诚挚地希望得到读者指正。

编 者

2002 年 1 月 26 日

目 录

第一章 环境与生态	1
第一节 地球环境.....	1
一、环境.....	1
二、人类自然环境的形成与发展.....	1
三、环境的系统分类.....	2
四、环境系统的结构与状态.....	3
五、环境的基本特性.....	3
第二节 生态系统.....	4
一、生态系统的一般特征.....	4
二、生态系统中的能量流动.....	7
三、生态系统中的物质循环.....	8
四、生态系统中的信息传递.....	11
五、生态平衡及其机制.....	12
第三节 人类社会发展与资源.....	13
一、自然资源的分类.....	13
二、自然资源的存量和流量.....	15
三、资源短缺.....	16
四、人口对自然资源的压力.....	26
五、资源的可持续利用.....	27
第四节 人类社会发展与环境.....	29
一、环境问题.....	29
二、生态环境的破坏.....	32
三、环境污染.....	34
参考文献.....	40
思考题.....	41
第二章 可持续发展与社会制约机制	42
第一节 环境保护意识.....	42
一、环境意识与环境保护.....	42
二、国内外环境意识调查.....	42
三、环境保护宣言.....	44
第二节 可持续发展战略.....	45
一、可持续发展战略的由来.....	45
二、可持续发展战略的内涵.....	47
三、可持续发展战略的实施.....	49
四、可持续发展步履艰难.....	51

第三节 环境公约与法规	52
一、环境法的产生和发展	52
二、环境法的作用和地位	53
三、环境法的体系与内容	55
四、国际环境公约	59
第四节 环境经济	64
一、环境与经济的相互作用	64
二、环境经济分析方法	67
三、环境保护的经济手段	71
参考文献	72
思考题	72
第三章 环境污染监测与控制技术	73
第一节 环境监测	73
一、环境监测概述	73
二、试样的采集和保存	77
三、试样的分析测试	86
四、自动监测技术与监测系统	89
五、区域及全球环境监测网	91
第二节 大气污染控制	95
一、大气污染概述	95
二、颗粒污染物的控制技术	96
三、气态污染物的控制技术	100
四、大气污染物的稀释控制	107
第三节 水污染控制	109
一、水污染概述	109
二、悬浮物及胶体的分离处理	111
三、有机污染物的生化转化处理	112
四、溶解态污染物的处理	116
五、污水处理流程	121
第四节 固体废物污染控制	122
一、固体废物污染概述	122
二、固体废物的预处理	126
三、化学处理技术	132
四、生物处理技术	133
五、热处理技术	134
六、固体废物的最终处置技术	135
参考文献	137
思考题	137
第四章 资源可持续利用技术	139
第一节 生态工业	139

一、生态工业的理论体系	139
二、生态工业系统	141
三、建立生态工业系统的条件	142
四、可持续发展与生态工业革命	146
第二节 清洁生产	147
一、清洁生产的定义及内容	147
二、与末端控制方式的对比	149
三、实施的主要途径及步骤	151
四、行业清洁生产技术	154
第三节 绿色产品与生命周期分析	159
一、绿色产品	159
二、生命周期分析原理	162
三、生命周期分析的实施方法	164
四、生命周期分析的应用	168
第四节 废物的资源再循环	169
一、物质回收再循环	170
二、物质转换再循环	172
三、能量转换再循环	174
参考文献	179
思考题	179
第五章 环境友好的能源利用技术	180
第一节 能源发展的机遇与挑战	180
一、世界化石能源消费需求	180
二、能源消费引发的环境问题	181
三、我国的能源战略对策	182
第二节 能源的有效利用	183
一、能量利用的基本原理	183
二、能源有效利用的策略	186
三、热利用过程的节能	190
四、机电设备的节能	197
五、节省燃油	200
第三节 总能系统以及化石能源的清洁利用	204
一、总能系统	204
二、洁净煤技术	209
三、多联产技术	215
第四节 未来能源及其利用技术	219
一、太阳能	219
二、风能	221
三、生物质能	222
四、海洋能	224

五、地热能	225
六、核能	226
七、氢能	228
参考文献	233
思考题	233
附录一 环境与可持续发展相关法规、标准与中国参加的环境保护多边条约目录	235
A. 法规	235
B. 标准	236
C. 中国参加的部分环境保护多边条约	237
附录二 环境与可持续发展相关 Web 网址	239
A. 机构	239
B. 网站	242
C. 刊物	245
附录三 清洁生产案例	247

第一章 环境与生态

提要：人类从属于生态圈。只有了解了人类活动，特别是生产活动对生态圈的影响，以及相互间的制约作用，才能自觉地为维护生态圈的功能，改善人类的生存环境，并使两者得到协调的发展而努力。本章的目的是介绍环境生态学的基本知识。本章的学习要点是：了解地球环境和生态系统的作用机制，认识人类文明社会的发展已对自然资源与环境构成了严重影响。

第一节 地球环境

一、环境

环境总是相对于某项中心事物而言，并随着中心事物的变化而变化。与某一中心事物有关的周围事物，就是这个事物的环境。对于环境科学来说，中心事物是人，环境主要是指人类环境。它的涵义可以概括为：“作用在‘人’这一中心客体上的、一切外界事物和力量的总和”。《中华人民共和国环境保护法》对环境的内涵有如下规定：“本法所称环境，是指影响人类生存和发展的各种天然和经过人工改造的自然因素的总体，包括大气、水、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等”。

具体来说，人类环境有别于其他生物的环境，它不仅凝聚着自然因素，也凝聚着社会和经济因素。所以，人类环境可以分为自然环境和社会环境两部分。自然环境是指人类赖以生存和发展的必要物质条件，包括各种天然的和经过人工改造的自然要素，例如空气、阳光、水、土壤、矿物、岩石和生物等，以及由这些要素构成的各圈层，如大气圈、水圈、土壤圈、生物圈和岩石圈。这些要素和圈层构成了人类的生存环境和地理环境。社会环境是指人类的社会制度等上层建筑条件，包括构成社会的经济基础、城乡结构和建设以及与各种社会制度相适应的政治、经济、法律、宗教、艺术、哲学的观念和机构等。有人认为这些社会要素组成了另一圈层，即智能圈或人类圈。

二、人类自然环境的形成与发展

地球作为人类的生存环境，并非从来就有，它的形成经历了一个漫长的发展过程，并与人类的产生和进化密切相关。大约 46 亿年前，地球是一个炽热的大火球，外面包围着原始大气，主要由 H_2 、 CH_4 、 NH_3 和水蒸气等组成，是一个还原性的大气圈。

大约 38 亿年前，地球上首次出现了水。水分的蒸发和降雨，降低了地表的温度，产生了河流、湖泊和海洋，为地球生命的出现创造了最基本的条件。

大约 30 亿年以前，以原核生物为代表的原始生命在海洋水层的保护下产生和出现。它们通过发酵作用取得能量，并在生命过程中放出 CO_2 ，逐渐改变了原始大气的组成。到大约 20 亿年前，出现了更为进化的细菌和蓝藻等生物。从此，开始了光合作用这一生命过程，

大气圈中首次出现了 O_2 。

经过大约 4 亿年的积累，终于形成了一个含氧的大气圈。 O_2 所具有的活泼化学性质使还原性的原始大气逐渐向含 CO_2 、 H_2O 和 O_3 的氧化性大气转化。该过程不仅进一步改变了大气圈的组成，而且使 O_3 在高空积累，并逐渐形成保护地球的臭氧层，为更高等的海洋生物进化和生命登陆创造了条件。

此后，生物进化过程加速。12 亿年前出现最早的真核生物；5 亿年前出现海洋无脊椎动物；4.5 亿年前出现陆生植物；2 亿年前出现哺乳类动物。如今，大约有 500~5000 万种生物与人一起构成了地球的生物圈。

生物的出现，将大气圈中的 CO_2 转移到岩石圈中，形成了大量的碳酸盐岩石，不仅改变了岩石圈的组成，而且生物与岩石风化物相互作用，在地表形成了土壤。

从上述关于地球自然环境形成的叙述中，可以看到生物在地球形成过程中的能动作用，可以说，地球今天的面貌是生物创造的。

在距今大约 200~300 万年前出现了古人类。人类的诞生使地表环境的发展进入了一个高级的、在人类参与和干预下发展的新阶段——人类与其生存环境辩证发展的新阶段。人们今天赖以生存的环境，就是人类的劳动作用下，由简单到复杂、由低级到高级发展而来的。它既不是单纯地由自然因素构成，也不是单纯由社会因素构成，而是在自然环境背景的基础上，经过人工改造加工而形成的，凝聚着自然因素和社会因素的交互作用，体现着人类改造和利用自然的性质和水平，影响着人类的生产和生活，关系着人类的生存和发展。

三、环境的系统分类

人类对自然环境的利用、改造的深度和广度，在时间上随着人类社会的发展而发展，在空间上则随着人类活动领域的扩张而扩张。因此，人类的生存环境，可以根据其与人类生活的密切关系和人类对自然环境改造加工的程度，由近及远、由小到大地分为聚落环境、地理环境、地质环境和星际环境，形成一个多级分类系统。

1. 聚落环境

聚落环境是人类聚居的场所和活动的中心，是与人类生产和生活关系最密切、最直接的环境。它是指人类有目的、有计划地利用和改造自然环境而创造出来的生存环境。

聚落环境按其性质和功能可以分为院落环境、村落环境和城市环境。它是人工环境占优势的生存环境。特别是城市环境，它是工业、商业、交通汇集和非农业人口聚居的地方。这类环境的发展为人类提供了越来越方便、舒适、安全和清洁的劳动和生活环境。但是，由于经济发展和人口密集，工商业活动频繁，资源与能源消耗大，聚落环境特别是城市和村镇环境污染日趋严重，逐渐引起人们的注意。

2. 地理环境

地理环境位于地球表层，处于岩石圈、水圈、大气圈、土壤圈和生物圈相互制约、相互渗透、相互转化的交错带上。它下起岩石圈的表层，上至大气圈下部的对流层顶，包括了全部的土壤圈，其范围大致与水圈和生物圈相当。这里是来自地球内部的内能和来自太阳辐射的外能的交锋地带，有常温、常压的物理条件，适当的化学条件和繁茂的生物条件，构成了人类活动的舞台和基地。

3. 地质环境

地质环境主要指地幔以上的地球圈层，和人类直接相关的是坚硬的地壳（即岩石圈）。

地理环境是在地质环境的基础上，在星际环境的影响下发生和发展起来的，在地理环境、地质环境和星际环境之间，经常不断地进行着物质和能量的交换。例如，岩石在太阳辐射的作用下，经过风化过程，使固结在地壳中的物质释放出来，参加到地理环境中去，经过复杂的转化过程，然后再输出到地质环境、以至星际环境中，进而参加到地质循环乃至星际物质大循环中去。

4. 星际环境

星际环境似乎离人们很遥远，但它的重要性不容忽视。人类生存环境中的能量主要来自太阳辐射。地球是迄今为止人们所知道的惟一有人类这样高等生物居住的星球，主要原因在于它从太阳获取的能量为生物的产生、繁荣和昌盛创造了必要条件。如何充分有效地利用这种独特的优越条件，特别是如何充分有效地利用太阳辐射这个既丰富、又清洁的能源，在环境保护中占有十分重要的地位。

四、环境系统的结构与状态

环境是一个系统，而且是一个具有大量物质、能量和信息流入和流出的开放式系统。环境结构和环境状态分别是环境系统特征的内在和外在表示。

环境结构指环境系统中各独立组成要素间数量的比例关系、空间位置的配置关系以及联系的内容和方式，即环境结构表示的是环境要素是如何结合成一个整体的。例如，滨海地区和内陆地区的环境结构不同，后者至少缺少海洋以及栖息于海洋的动植物等环境要素；又如，即使同为内陆地区，树木茂密的林区和干旱的沙漠地区的环境结构差异巨大，后者至少没有森林以及野生动物等环境要素。从这些可以看出，所谓不同的环境，实际上指的是它们具有不同的结构。

环境结构是环境系统具有不同特性的内在原因，例如滨海环境和内陆环境就具有十分不同的环境特点，可为人类社会的生存和发展提供不同的条件。前者具有广阔的海洋、绵长的海岸线等环境要素，因而可以建港口、修滩涂，发展远洋运输业、港口工业、远洋捕捞业或近海养殖业；后者有广袤的土地、丰富的地上和地下资源等环境要素，因而可以修铁路、开矿山，或者修水利、建农田，发展采掘业、冶金业、加工业或农业。

环境状态是环境结构运动和变化的外在表现形态。不同的环境结构具有不同的环境状态，同样结构的环境，在其运动和变化的不同阶段也可能会呈现出不同的环境状态。比如说，若一个环境系统中任一环境要素的数量发生了变化，譬如因围湖造田，使该环境的水面面积大大减少，可以说这一环境系统的状态发生了变化，但该环境系统的结构并没有发生变化。如果环境状态变化超过一定限度，如围湖造田使水面面积减少到零，那么环境系统的结构就发生了改变。

五、环境的基本特性

1. 整体性与区域性

环境的整体性指的是环境的各个组成部分和要素之间构成了一个完整的系统，故又称系统性。这就是说，在不同的空间中，大气、水域、土壤、植被乃至人工系统等环境要素之间，有着确定的数量和空间布局及其相互作用关系。或者说，环境的各组成要素之间以特定的方式联系在一起，形成了特定的结构。通过稳定的物质、能量流动网络以及彼此关联的变化规律，该结构在不同的时刻将呈现出不同的状态。

整体性是环境最基本的特性。整体虽是由部分组成的，但整体的功能却不是各组成部分的功能之和，而是由组成整体的各部分之间通过一定的联系方式所形成的结构以及所呈现出的状态决定的。例如，城市环境和农村环境、滨海环境和内陆环境等，虽然都是由气、水、土、生物和阳光五个主要部分构成，但因为这五个部分之间的结构方式、组织程度、物质能量流的规模和途径不同，各自呈现出不同的整体特性与功能。

环境的区域性指的是环境整体特性的区域差异，即不同区域的环境具有不同的整体特性。实际上，区域性与整体性是同一环境特性在两个不同侧面上的表现。

2. 变动性与稳定性

环境的变动性是指在自然和人力社会行为的共同作用下，环境的内部结构和外在状态始终处于不断变化之中。

与变动性相对应的是环境的稳定性。稳定性是相对而言的。所谓稳定性是指环境系统具有一定的自我调节功能的特性，也就是说，当人类行为作用引起的环境结构与状态的改变不超过一定的限度时，环境系统可以借助于自身的调节功能使这些改变逐渐消失，结构和状态得以恢复。

3. 资源性与价值性

可以说，没有环境就没有人类的生存，更谈不上人类社会的发展。从这种意义上说，环境具有不可估量的价值。

环境的价值特性源于环境的资源性。

环境本身就是资源。人类社会的繁衍、社会的发展都是环境对之不断提供物质和能量的结果，或者说，环境是人类社会生存发展的必不可少的投入。

过去，人们较多注意环境资源的物质性方面，如生物、土地、土壤、淡水、地下矿藏等。这些无疑都是环境资源的重要组成部分，是人类社会生存发展所必需的物质资源。

近些年来，随着环境科学的发展和研究的深入，人们逐渐认识并注意到环境资源特性的非物质性部分。具体到环境而言，环境状态也是一种资源。不同的环境状态，对人类社会的生存发展将会提供不同的条件。例如，同为滨海地区，有的环境状态利于发展港口码头，有的则利于发展滩涂养殖；同样是内陆地区，有的环境状态利于发展旅游业，有的则有利于发展重工业；有的环境状态利于发展城市，有的则利于发展疗养地，等等。

第二节 生态系统

一、生态系统的一般特征

生态系统（ecosystem）是一定空间中共同栖居着的所有生物与其环境之间由于不断进行物质循环和能量流动过程而形成的统一整体。

自然界中生态系统多种多样，大小不一。小至一条小水沟、一个小池塘、一簇花丛，大至森林、草原、湖泊、海洋乃至整个生物圈，都可看成是一个生态系统。从人类角度来看，生态系统包括人类本身和人类的生命支持系统，即大气、水、生物、土壤和岩石，它们相互作用构成了人类生存的自然环境，一个大的自然生态系统。

根据地理条件的不同，地球上的生态系统可分为水生生态系统和陆地生态系统两大类。二者还可进一步细分为更多种的生态系统。如水生生态系统可分为海洋生态系统和淡水生态系统。淡水生态系统又可分为流水生态系统和静水生态系统等。同样，陆地生态系统也可以

分为森林、草原、荒漠、高山、冻原等生态系统。森林生态系统还可细分为热带、亚热带、温带和寒温带森林等生态系统。

(一) 生态系统的组成与结构

任何一个生态系统，都包括非生物环境、生产者、消费者和分解者四种主要组成成分，下面以池塘和草地为例予以说明（图 1-1）。

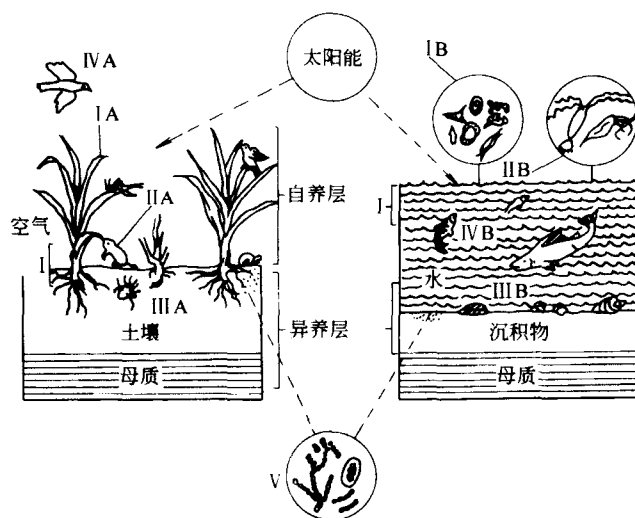


图 1-1 陆地生态系统（草地）和水生生态系统（池塘）营养结构示意图

I. 自养生物：IA—草本植物；IB—浮游植物；II 食草动物：IIA—食草性昆虫和哺乳动物；IIB—浮游动物；III. 食碎屑动物：III A—陆地土壤无脊椎动物；IIIB—水中底栖无脊椎动物；IV. 食肉动物：IV A—陆地鸟类和其他；IVB—水中鱼类；V. 腐食性生物、细菌和真菌

1. 非生物环境

非生物环境包括参加物质循环的无机元素和化合物（如 C、N、CO₂、O₂、Ca、P、K）、联系生物和非生物成分的有机物质（如蛋白质、糖类、脂肪和腐殖质等）和气候以及其他物理条件（如温度、压力）。图 1-1 中的太阳能、空气、土壤、沉积物、母质等均属此类。

2. 生产者

生产者是能以简单的无机物为原料制造食物的生物，是能够通过光合作用制造食物的分子，如图 1-1 中草本植物和水生生态系统中的浮游植物 IB。

3. 消费者

消费者针对生产者而言，它们本身不能从无机物质制造有机物，而是直接或间接利用生产者所制造的有机物质，属于异养生物。

按营养方式的不同，消费者可分为食草动物（一级消费者），如图 1-1 池塘中浮游动物 IIB 和草地上的食草性昆虫 IIA；食肉动物（二级消费者），如池塘中某些鱼类和草地上的狼、狐等动物；大型食肉动物或顶级食肉动物（三级消费者），如池塘中的黑鱼和草地上的鹰等猛禽。

4. 分解者

分解者是异养生物，其作用是将动植物残体的复杂有机物分解为生产者能够重新利用的简单化合物，并释放出能量。例如，池塘中的细菌和真菌以及蟹、软体动物、蠕虫等无脊椎

动物；草地中生活在枯枝落叶和土壤上层的细菌和真菌以及蚯蚓、螨等无脊椎动物，均属于分解者。

（二）食物链与食物网

生态系统中各种生物之间存在着取食和被食的关系，它们按食物关系排列的链状顺序，就是食物链。我国民谚“大鱼吃小鱼，小鱼吃虾米”就是食物链的生动写照。

当然，自然界中实际存在的取食关系要复杂得多。例如，鸟不仅吃野果或青草，也吃昆虫；兔子不仅被狐狸捕食，也被其他食肉兽或猛禽捕食。因此，食物链往往相互交错连结，形成一张无形的网络，将各种生物网罗其中，这就是食物网。一个陆地生态系统的部分食物网如图 1-2 所示。

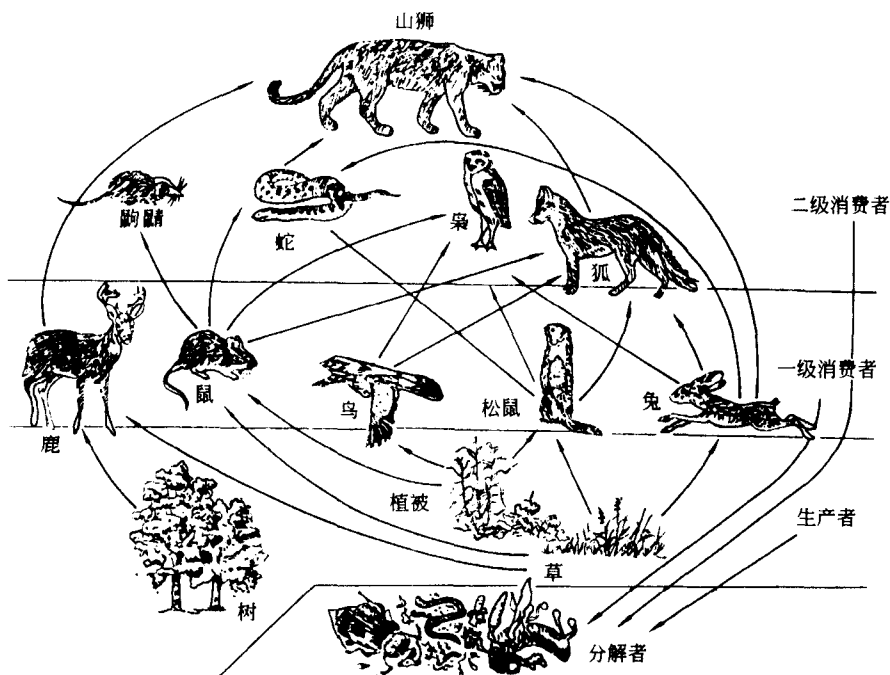


图 1-2 一个陆地生态系统的部分食物网

一般地说，食物网越复杂，生态系统越稳定。反之，食物网简单的生态系统，某种生物，尤其是在生态系统中起关键作用的物种一旦消失或受到严重破坏，往往会导致该系统的剧烈波动。例如，在美国亚利桑那州的一个林区生态系统中，曾经只有一条食物链：林草→鹿→狼。由于狼被大量捕杀，没有天敌的鹿大量繁殖，超过了林草的承载力，草地和森林遭到破坏，鹿群也被饿死，结果是整个生态系统被破坏了。

生态系统中，一般均存在两类食物链，即捕食食物链和碎屑食物链，前者以活的动植物为起点，后者则从分解动植物尸体或粪便中的有机物颗粒开始。

（三）营养级与生态金字塔

营养级概念是生态学家为了描述生态系统中物种之间的营养关系而提出的。一个营养级是指处于食物链某一环节上的所有生物种的总和。例如，作为生产者的绿色植物和所有自养生物均位于食物链的起点，共同构成第一营养级。所有以生产者为食的动物都属于第二营养级，即食草动物营养级。所有以食草动物为食的肉食动物为第三营养级。依次类推，可能还

有第四营养级（即二级肉食动物营养级）、第五营养级等。

生态系统中的能量通过营养级向上单向传递，而且通过各个营养级的能量逐级减少。因此，食物链不可能太长，生态系统中的营养级一般只有四、五级，很少有超过六级的。

能量通过营养级逐级减少，所以如果将通过各营养级的能量，由低到高绘成图，就成为一个金字塔形，称为能量锥体或能量金字塔。同样，如果以生物量或个体数目来表示，可得到生物量锥体和数量锥体。三类锥体合称为生态锥体或生态金字塔。图 1-3 就是一个陆地生态系统的典型生物量金字塔和能量金字塔。从图中可以看出，营养级越高，生物量越小；其储存的能量也越低，大约以 10% 比例逐级递减。

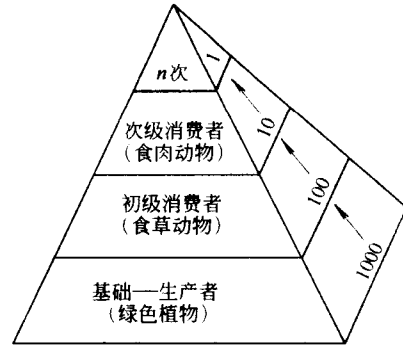
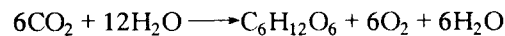


图 1-3 陆地生态系统的
典型生态金字塔

二、生态系统中的能量流动

能量是生态系统的动力，是一切生命活动的基础。一切生命活动都伴随着能量的变化，没有能量的转化，也就没有生命和生态系统。能量流动是生态系统的重要功能之一。

生态系统能量输入的根本来源是太阳能。能量流动开始于生产者，主要是绿色植物通过光合作用对太阳能的固定。其全过程很复杂，包括 100 多步化学反应，但总反应却非常简明，可表示为：



这些能够通过光合作用制造食物分子的植物被称为自养生物。其他生物，如昆虫、食草动物、食肉动物等则属于异养生物，它们无法直接固定太阳能，只能直接或间接从绿色植物中获取生存所必需的食物和能量，并通过呼吸作用对它们加以利用。

呼吸作用也包括 70 多步反应，但其总反应同样非常简明，可表示为：



式中的 ATP 即生化反应中通用的贮能物质三磷酸腺苷，它可以贮存能量供生命活动之需。图 1-4 是美国生态学家 E.P.Odum 提出的一个普适生态系统能流模型。该能流模型以一个个隔室（图中的方框）表示各个营养级和贮存库，并用粗细不等的能流通道将这些隔室按能流的路线连接起来，能流通道的粗细代表能量的多少，箭头表示能量流动方向。最外面的大框代表生态系统的边界。该模型清楚地示出了外部能量输入情况以及能量在生态系统中的流动路线及其归宿。

能量在生态系统内的流动服从热力学第一定律和第二定律。热力学第一定律认为，能量可以从一种形式转化为另一种形式，在转化过程中，能量既不会消失，也不会增加。依照这个定律可知，一个体系的能量发生变化，环境的能量也必定发生相应的变化，如果体系的能量增加，环境的能量就要减少，反之亦然。对生态系统来说也是如此，例如，生态系统可通过光合作用将太阳辐射能转化为化学潜能输入到系统之中，系统增加的能量等于环境中太阳辐射减少的能量，总能量仍保持不变。

热力学第二定律则认为，能量的流动总是从集中到分散，从能量高向能量低的方向传递，在传递过程中总会有一部分能量成为热能被释放出去。对生态系统来说，当能量以食物

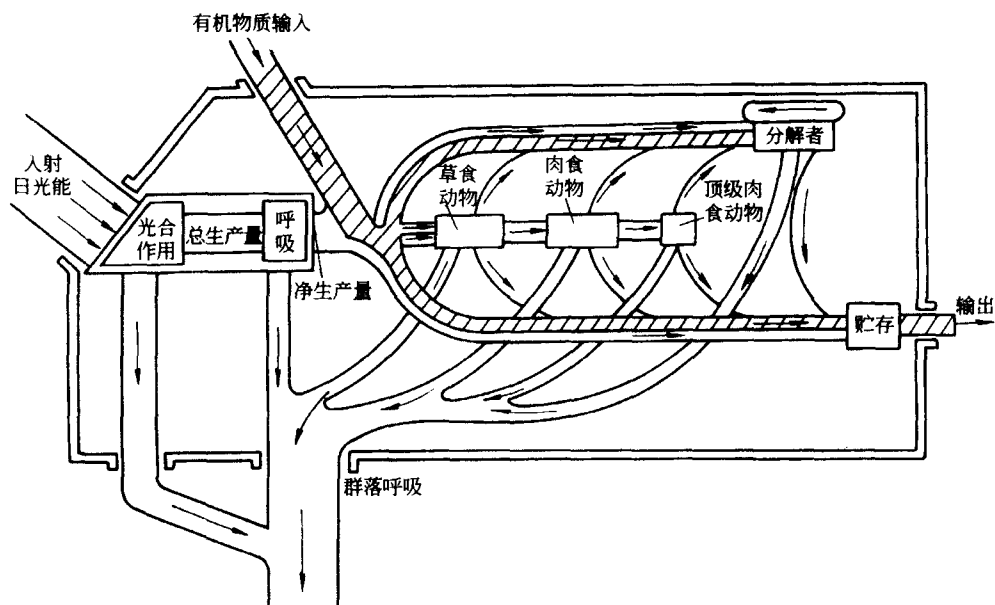


图 1-4 普适的生态系统能流模型

的形式在生物之间传递时，食物中相当一部分能量转化为热而消散掉，其余则用于合成新的组织而作为潜能贮存下来。因此动物在利用食物中的潜能时常把大部分转化成了热，只将一小部分转化成新的潜能。因此能量在生物之间每传递一次，一大部分的能量就被转化为热而损失掉，这就是为什么食物链的营养级数一般不会多于 5~6 个以及能量金字塔呈尖塔形的原因。图 1-5 Cedar Box 湖能量流动的定量分析，是生态系统能量流动遵循热力学定律的极好说明。

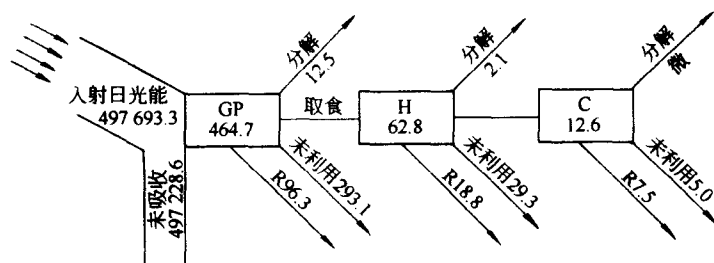


图 1-5 Cedar Box 湖能量流动的定量分析 (Lindeman, 1942)

GP 为总初级生产量；H 为食草动物；C 为食肉动物；R 为呼吸 [单位： $\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{a}$]

三、生态系统中的物质循环

1. 水循环

水和水循环对生态系统具有特别重要的意义，不仅生物体的大部分是由水构成的，而且所有生命活动都离不开水。

生态系统中的水循环包括截取、渗透、蒸发、蒸腾和地表径流。植物在水循环中起重要作用，植物通过根吸收土壤中的水分。与其他物质不同的是进入植物体的水分，只有 1% ~