

www.hustp.com

普通高等院校建筑专业“十三五”规划精品教材

Architectural Professional Textbooks for the 13th Five-Year Plan

生态建筑 (第三版)

Ecological Architecture

主编 冉茂宇 刘 煜 主审 李保峰



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

普通高等院校建筑专业“十三五”规划精品教材

生态建筑

(第三版)

Ecological Architecture

主 编 冉茂宇 刘 焯
副主编 孟庆林 董 靛



华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 提 要

本书内容按编写顺序可分为6个部分。第1部分是生态建筑基本知识和原理,包括第1章“生态学基础”和第2章“生态建筑概论”。第2部分是生态建筑选址、规划和场地设计,包括第3章“生态选址与规划”和第4章“可持续场地设计”。第3部分是生态建筑设计,包括第5章“气候适应性设计”、第6章“建筑的仿生设计”和第7章“生态景观设计与规划”。第4部分是生态建筑技术,包括第8章“节能与能源有效利用技术”和第9章“节地、节水与材料循环利用”。第5部分是生态建筑实践案例介绍,包括第10章“生态建筑实践”。第6部分是附录“气候分析工具与方法”。

本书既可作为普通高等院校建筑学、城市规划、风景园林等专业的教材或教学参考书,也可供相关专业的设计与技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

生态建筑/冉茂宇,刘煜主编. —3版. —武汉:华中科技大学出版社,2019.7

普通高等院校建筑专业“十三五”规划精品教材

ISBN 978-7-5680-2553-9

I. ①生… II. ①冉… ②刘… III. ①生态建筑-高等学校-教材 IV. ①TU-023

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 012222 号

生态建筑(第三版)

Shengtai Jianzhu(Di-san-Ban)

冉茂宇 刘 煜 主编

策划编辑:金 紫

责任编辑:陈 骏

封面设计:张 璐

责任校对:李 弋

责任监印:朱 玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉) 电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园 邮编:430223

录 排:武汉楚海文化传播有限公司

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:850mm×1065mm 1/16

印 张:22.5

字 数:589千字

版 次:2019年7月第3版第1次印刷

定 价:69.80元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

第三版前言

本书是对第二版的修订和完善。在修订完善的过程中,一是注重保留第二版系统性、完整性、科学性、实用性、普适性、新旧知识结合的特点;二是注重适于我国高校环境设计等专业师生教学,兼顾相关专业人员参考,做到图表多样化,便于理解并方便多媒体教学;三是对第二版的部分章节进行精简,补充了与“生态建筑”紧密相关的内容,尤其是有关“生态规划”和场地“生物多样性”设计方面的内容。

第1章和第2章由华侨大学建筑学院冉茂宇和华南理工大学建筑学院孟庆林编写,第3章和第4章由冉茂宇和西南交通大学建筑学院董靓编写,第5章由冉茂宇编写,第6章由华侨大学建筑学院薛佳薇编写,第7章由西北工业大学建筑系刘煜编写,第8章由冉茂宇和西北工业大学建筑系李静编写,第9章由华侨大学建筑学院薛佳薇和龙淳编写,第10章由华侨大学建筑学院袁炯炯编写,附录部分由冉茂宇编写。本书由冉茂宇、刘煜担任主编,孟庆林、董靓担任副主编,由冉茂宇统稿,刘煜进行补充,最后由华中科技大学建筑与城市规划学院李保峰教授审校。编写组衷心地感谢李保峰教授在百忙之中给予的大力支持,衷心地感谢华中科技大学出版社给予充裕的时间来编写和修订本书,同时还要感谢所有支持编写该书的人员,特别是华侨大学建筑学院彭晋媛、郑松、刘毅军等。

本书在成稿过程中,不同专家对书名有不同的理解和建议。有专家认为,“生态建筑”只是借鉴了生态学思想方法的建筑,其内容与复杂的生态学内容的关联度非常有限;再者,近些年来冠以“生态”之名的宣传太多(如生态停车场、生态厕所等),有时这种宣传反而让人对生态的理解产生偏差;此外,“生态建筑”是中性词,而“绿色建筑”是褒义词,因此用后者作书名相对较好。另有专家则认为,“生态建筑”较“绿色建筑”学术性强,并且有“生态学”的原理和方法作支撑,可以使教材的系统性和整体性较好,从而体现教材的特色。此外,从“生态建筑”和“绿色建筑”名称的产生和发展来讲,“生态建筑”更多关注建筑活动与自然生态系统之间的整体互动关系,而“绿色建筑”更多关注建筑活动对人类的影响,虽然两者在实际使用中,内涵已经有许多交融互通之处,并且都在“可持续发展建筑”的大范畴之内,但从生态的角度理解和研究建筑显然具有更深刻的内涵和教育意义。这里对“生态建筑”名称的不同理解作出说明,是希望能呈现不同的观点,从而可以给读者更多思考的空间。

应该说,生态建筑在很多方面尚待研究和完善,因此,本书所编与修订内容肯定有不全面、不具体、不恰当之处,又由于编者学识水平和专业知识的限制,谬误之处在所难免,敬请读者批评指正。

冉茂宇

2019年5月24日

目 录

第 1 章 生态学基础	(1)
1.1 生态学的产生与发展	(1)
1.2 自然生态系统	(3)
1.3 人工生态系统与生态足迹	(8)
1.4 生物多样性与生态冗余.....	(10)
1.5 生物与环境之间的关系.....	(11)
1.6 生物与生物之间的关系.....	(13)
第 2 章 生态建筑概论	(16)
2.1 建筑与地球生态环境.....	(16)
2.2 生态建筑学研究的对象与目的.....	(20)
2.3 生态建筑学研究内容与方法.....	(22)
2.4 生态建筑的概念及其内涵.....	(24)
2.5 生态建筑与绿色、可持续建筑之关系	(26)
2.6 生态建筑观.....	(28)
2.7 生态建筑设计.....	(34)
2.8 建筑生态系统及建筑物子系统构成.....	(39)
第 3 章 生态选址与规划	(42)
3.1 生态选址及中国“风水”.....	(42)
3.2 自然条件对选址的影响.....	(46)
3.3 社会环境对选址的影响.....	(52)
3.4 生态规划的概念及特点.....	(54)
3.5 生态选址与规划方法.....	(55)
第 4 章 可持续场地设计	(61)
4.1 场地设计概述.....	(61)
4.2 场地调查与分析评价.....	(64)
4.3 场地的整体布局.....	(69)
4.4 场地的建筑布置.....	(74)
4.5 交通系统与室外用地.....	(78)
4.6 场地的热环境与绿化.....	(81)
4.7 可持续场地设计策略.....	(84)

第5章 气候适应性设计	(86)
5.1 建筑气候及其分类	(86)
5.2 建筑与气候的关系	(90)
5.3 建筑群体气候适应性设计	(92)
5.4 建筑单体气候适应性设计	(110)
第6章 建筑的仿生设计	(143)
6.1 建筑仿生设计的产生与分类	(143)
6.2 建筑仿生设计原则和方法	(144)
6.3 建筑造型仿生设计	(145)
6.4 功能仿生设计	(150)
6.5 结构仿生设计	(156)
6.6 能源利用和材料仿生设计	(162)
第7章 生态景观设计与规划	(168)
7.1 景观的概念与含义	(168)
7.2 生态景观设计	(168)
7.3 生态景观规划	(174)
第8章 节能与能源有效利用技术	(181)
8.1 建筑能耗与建筑节能	(181)
8.2 外窗节能技术	(185)
8.3 外墙节能技术	(195)
8.4 屋面节能技术	(206)
8.5 天然采光节能技术	(212)
8.6 人工照明节能技术	(219)
8.7 主动式太阳能利用系统	(223)
8.8 地热能利用系统	(231)
8.9 其他可再生能源利用技术	(234)
第9章 节地、节水与材料循环利用	(237)
9.1 建筑的节地技术	(237)
9.2 水资源有效利用技术	(242)
9.3 建筑中材料的循环利用	(250)
第10章 生态建筑实践	(257)
10.1 生态建筑技术分层及其演进	(257)
10.2 低技术生态建筑实践	(258)
10.3 中技术生态建筑实践	(268)
10.4 高技术生态建筑实践	(286)

附录 气候分析工具与方法·····	(309)
附录 A 棒影图与太阳轨迹图·····	(309)
附录 B 人体热舒适与生物气候图·····	(312)
附录 C 基于生物气候图的气候适应性策略分析·····	(314)
附录 D 基于平衡点温度确定日照/遮阳的时段和日期·····	(315)
附录 E 基于阳光与风的生态选址分析·····	(318)
附录 F 采光系数的确定方法·····	(322)
附录 G 不同高度风速的确定·····	(324)
附录 H 建筑物得失热量的估算·····	(324)
附录 I 风压、热压、混合通风冷却能力的估算·····	(331)
图表索引目录·····	(334)
参考文献·····	(347)

第 1 章 生态学基础

自 20 世纪 70 年代以来,随着环境污染、资源短缺、人口膨胀和生态破坏等问题的出现与加剧,生态学在过去几十年间获得了广泛的关注和发展。它不仅与许多自然科学的分支学科相融合,而且也与许多社会科学学科相结合,形成了许多交叉的边缘学科。生态建筑学是生态学与建筑学相互融合的结果,是生态学基本原理与知识在建筑学中的应用与体现。在学习生态建筑时,生态学的基础知识和原理是不可缺少的,这一章将对这些必备的基本知识作简要介绍。

1.1 生态学的产生与发展

1.1.1 生态学的产生

生物学是研究生物有机体的形态、结构和功能的学科。生态学是生物学发展到一定程度后,从生物学中孕育出来的一门分支学科。近代科学产生后,人们开始对自然界的各种动植物进行分门别类的单独研究。从 19 世纪初至 19 世纪中叶,植物地理学家、水生生物学家和动物学家在各自的领域里进行了深入的研究,对自然界的动物、植物和微生物以及人这种特殊生物的知识已有相当的积累。随着科学发展,人们发现生物体与环境之间有着重要的依存关系。一方面,生物必须从环境中获取食物、水等才能生存,环境对生物个体或群体有着很大的影响;另一方面,生物的活动也在某些方面改变着环境,如动物的排泄物和遗骸增加了环境中的营养成分,植被的覆盖使原先裸露的土壤表面变得湿润、阴凉等。因此,人们认识到,只研究生物有机体的形态、结构和功能还不能全面认识生物,生物与其环境两者不能截然分开,必须进一步将两者作为一个整体来看待并加以研究。

1886 年德国动物学家赫克尔(E. Haeckel)首次提出了“生态学”(Ecology)的概念,它标志着生态学这门新学科的正式诞生。“Ecology”一词来源于希腊文“Oikos”和“Logos”,前者是“家”或“住处”之意,后者为“学科”之意。因此,生态学有管理生物或创造一个美好家园之意。赫克尔最初给生态学下的定义是:“我们把生态学理解为与自然经济有关的知识,即研究动物与有机环境和无机环境的全部关系。此外,还包括与它有着直接或间接接触的动植物之间的友好的或有敌意的关系。总而言之,生态学就是对达尔文所称的生存竞争条件的那种复杂的相互关系的研究。”显然,这一定义主要是基于对动物的研究而提出的。1889 年,他又进一步指出:“生态学是一门自然经济学,它涉及所有生物有机体关系的变化,涉及各种生物自身以及他们和其他生物如何在一起共同生活。”这样就把生态学的研究范围扩大到对动物、植物、微生物等各类生物与环境相互关系的研究。自此之后的将近一个世纪,生态学的定义几乎没有变化。

1.1.2 生态学的发展

生态学作为一门独立的学科,提出之初并不为人们所立即接受,主要原因在于生态学是一门多形态的学科,早期的研究对象不像其他传统学科那样明确,且其尺度并不确定。这种状况一直持续

到种群研究的广泛开展后才有所改观。

在 20 世纪前半叶里,生态学出现了兴旺发达的景象,形成了比较完备的理论体系和研究方法,并产生了许多分支学科。这些分支学科的研究对象和侧重点各不相同,有些研究水生动物,有些研究植物,有些侧重于个体,有些侧重于区域群体。研究方法也不相同,有实地调查,也有数学统计和模型推导,逐步完善了描述性生态学工作。但总体而言,这一时期研究较多的是植物生态学,其次是动物和微生物生态学,较少把人类本身作为自然界一员纳入到生态学研究中去。

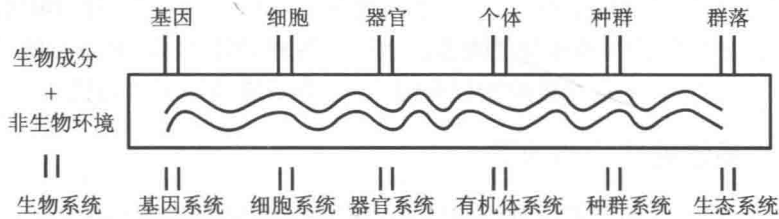
从 20 世纪后半叶至今,生态系统成为生态学最活跃的研究对象,尤其是迈入 20 世纪 60 年代后,由于环境问题变得越来越严峻,生态学的研究更是得到了迅速发展。人们已不仅能够运用生态学传统理论对动植物和微生物的生态学过程做出较为科学的解释,而且在个体、种群、群落和生态系统等领域的研究都取得了重大进展。特别是其他学科的加盟和相互渗透,计算机技术和遥测技术等的应用,系统论和控制论方法的引入,都进一步丰富并拓展了生态学的研究内容和方法。目前,人类面临的环境污染、人口爆炸、生态破坏与资源短缺等全球性问题的解决,都有赖于对地球生态系统的结构和功能、稳定和平衡、承载能力和恢复能力的研究。生态学的一般理论及其分析方法也正在向学科的其他领域和相邻的社会学、人类学、城市学、心理学等领域渗透,现代自然科学的主导趋势之一是“生态学化”。

随着研究对象和内容的发展,生态学的概念也在不断发展和完善。20 世纪 60 年代以来出现了许多生态学的新定义,例如,美国生态学家奥德姆(E. P. Odum, 1971)曾提出:“生态学是研究自然界结构和功能的科学,这里需要指出的是人类也是自然界的一部分。”1997 年,他又在其撰写的新书《生态学——科学与社会的桥梁》中进一步指出,生态学越来越成为一门研究生物、环境及人类社会相互关系的独立于生物学之外的基础学科,一门研究个体与整体关系的学科。我国学者马世骏(1980)也提出:“生态学是一门多学科的自然科学,研究生命系统与环境系统之间相互作用规律及其机理。”这些新定义进一步扩展了生态学的研究内容和对象,将研究对象从有机体推及所有的生命系统,这种生命系统除了自然的动植物外,还包含人类自身。生态学最一般的定义是:生态学是研究生物与生物之间、生物与非生物之间的相互关系的科学。

1.1.3 生态学研究对象

地球上的生物可以分成不同的层次或组织水平。生态学家奥德姆形象地用“生物学谱”来表示生态学研究的不同层次对象(见图 1-1)。不同层次对象及其作用如下:基因——构成生命物质的最小单位;细胞——生物体的基本结构和功能单位;个体——生物物种存在的最小单位;种群——同种个体的集合群体,是物种得以世代遗传的保证;群落——生境^①中所有动植物和微生物的总合,是生态系统的重要组成部分;生态系统——生物群落与非生物环境组成的物质循环系统和能量流动系统,是生态学中的基本功能单位。生态学的研究对象是从简单到复杂、从低级到高级的各种生命组织。当生命组织从一个层次过渡到另一个较高的层次时,就会出现一个新的特性。早期生态学以研究生物个体为主,致使其难以与生物学研究对象相区别,故此,生态学作为一门单独的学科,迟迟不为人们所接受。经典生态学以研究种群和群落为主,现代生态学则是以研究生态系统为核心。

^① 生境(Habitat):一个生物体或由生物体组成的群落所栖居的地方,包括周围环境中一切生物的和非生物的因素或条件。

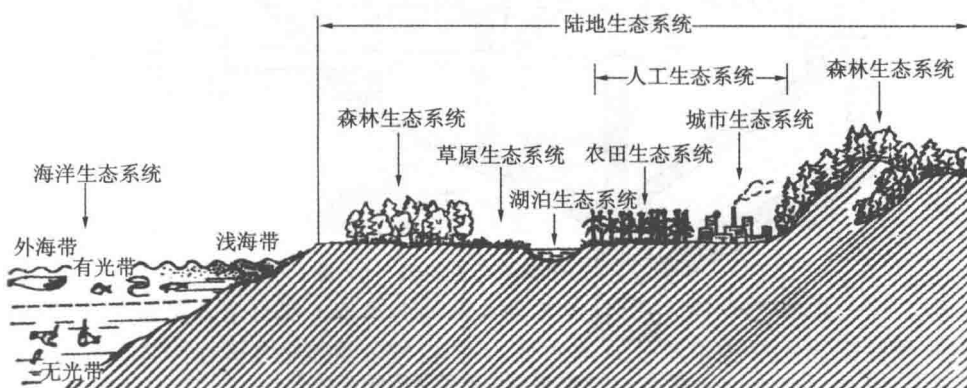
图 1-1 生态学研究的不同层次对象^[1]

1.2 自然生态系统

1.2.1 自然生态系统的组成与特点

自然生态系统是由非生物环境和自然生物成分组成的系统。非生物环境包括气候因子(太阳辐射、风、温度、湿度等)、生物生长的基质和媒介(岩石、砂砾、土壤、空气和水等)、生物生长代谢的物质(二氧化碳、氧气、无机盐类和水等)三个方面。在自然生态系统中,生物被分为生产者、消费者、分解者。生产者主要是绿色植物,它利用太阳能把二氧化碳和水合成为碳水化合物,从而将太阳能以化学键能的形式储存于有机物中,生产带有能量的有机物。消费者指直接或间接从植物获得能量的各种动物,包括食草动物、食肉动物和杂食动物等。食草动物也称一级消费者或初级消费者,肉食动物也称为次级消费者。杂食动物也称兼食性动物,是介于食草动物和食肉动物之间,既吃植物又吃动物的生物,人就是典型的杂食动物。分解者是指能分解动植物尸体的异养生物,主要是细菌、真菌和某些原生动动物及小型土壤动物(例如甲虫、白蚁、某些软体动物等),它们把酶分泌到动植物残体的表面或内部,酶能把生物残体消化为极小的颗粒或分子,最终分解为无机物质,归还到环境中,再被生产者利用。

地球上无数大大小小的自然生态系统(见图 1-2),大到整个海洋、整块大陆,小至一片森林、一块草地、一个小池塘等。根据水陆性质不同,可将地球生态系统划分为水域生态系统和陆地生态系统两大类。水域生态系统又可分为淡水生态系统和海洋生态系统两个次大类,陆地生态系统则可分为森林生态系统、草原生态系统、荒漠生态系统、高山生态系统、高原生态系统等。

图 1-2 地球上生态系统的类型^[2]

任何自然生态系统都具有以下特性:①生态系统是生态学上的一个结构和功能单位,属于生态学上的最高层次;②生态系统内部具有自调节、自组织、自更新能力;③生态系统具有能量流动、物质循环、信息传递三大功能;④营养级的数目有限;⑤生态系统是一个相对稳定的动态系统。

1.2.2 自然生态系统的结构与功能

自然生态系统具有形态和营养两种结构特征。形态结构是指生态系统的生物种类、数量的水平和垂直分布以及种的发育和季相变化等。营养结构是指生态系统各组成成分间由于营养物质的流动形成的关系。自然生态系统具有物质循环、能量流动和信息传递的功能。

(1)自然生态系统中的物质和能量生产。在自然生态系统中,绿色植物通过光合作用将太阳能转换为化学键能并储存在有机物中,这就是生态系统中的能量的生产;同时,通过光合作用将无机物合成为有机物,这就是生态系统中的物质生产。光合作用过程可概括为



自然生态系统中,绿色植物生产能量和物质的过程称为初级生产。有了初级生产,能量就在生态系统中流动,物质就在生态系统中循环。消费者和还原者利用初级生产量进行的生产称为次级生产,表现为动物和微生物的生长、繁殖和营养物质的存储等生命活动过程。

(2)自然生态系统中的能量逐级流动。在自然生态系统中,绿色植物利用光合作用将太阳能转换为化学键能储存于有机物中,随着有机物质在生态系统中从一个营养级到另一个营养级传递,能量不断沿着生产者、食草动物、一级食肉动物、二级食肉动物等逐级流动。这种能量流动是单向的、逐级的,且遵循热力学第一定律和热力学第二定律:能量在流动过程中,要么转换为其他形式的能量,要么以废热形式消散在环境中(见图 1-3)。能量在从一个营养级向下一个营养级流动的过程中,一定存在耗散。

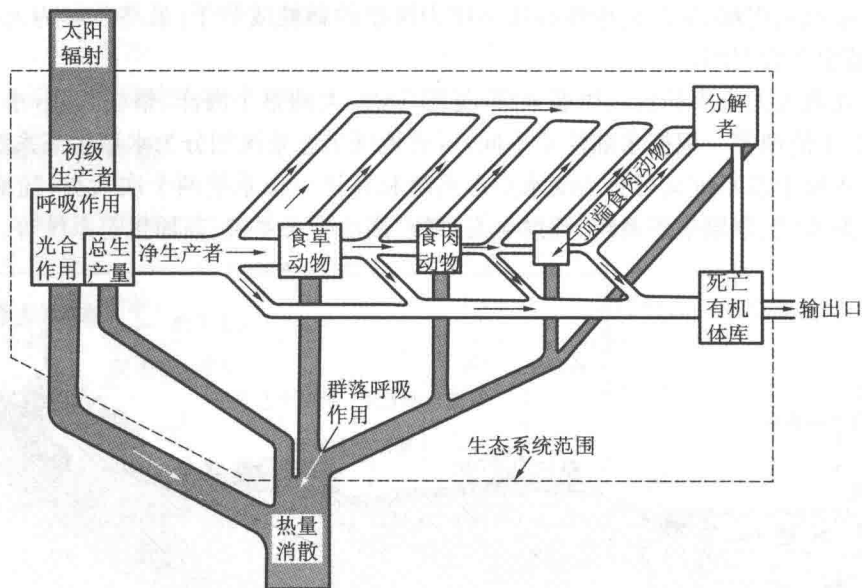


图 1-3 生态系统中的能量逐级流动^[3]

生态效率是指物质或能量从一个营养级到下一个营养级的利用效率,即营养级物质生产量与

其物质消耗量之比值。在自然生态系统中,食物链越长,损失的能量也就越多。在海洋生态系统和一些陆地生态系统中,能量从一个营养级到另一个营养级,其转换效率一般为10%,约90%的能量在流动过程中散失掉了。这一定律称为林德曼“百分之十”定律。

(3)自然生态系统中的物质循环。生态系统中的物质主要是指生物为维持生命活动所需要的各种营养元素,包括能量元素:碳(C)、氢(H)、氧(O),它们占生物总质量的95%左右;大量元素:氮(N)、磷(P)、钙(Ca)、钾(K)、镁(Mg)、硫(S)、铁(Fe)、钠(Na);微量元素:硼(B)、铜(Cu)、锌(Zn)、锰(Mn)、钼(Mo)、钴(Co)、碘(I)、硅(Si)、硒(Se)、铝(Al)、氟(F)等。它们对于生物来说,缺一不可。这些物质,从大气、水域或土壤中通过生产者的吸收进入自然生态系统,然后转移到食草动物和食肉动物等消费者,最后被还原者分解转化回到环境中。这些释放出来的物质,又再一次被植物利用吸收,再次参加生态系统的物质循环。图1-4和图1-5所示为地球生态系统中的碳循环和水循环。

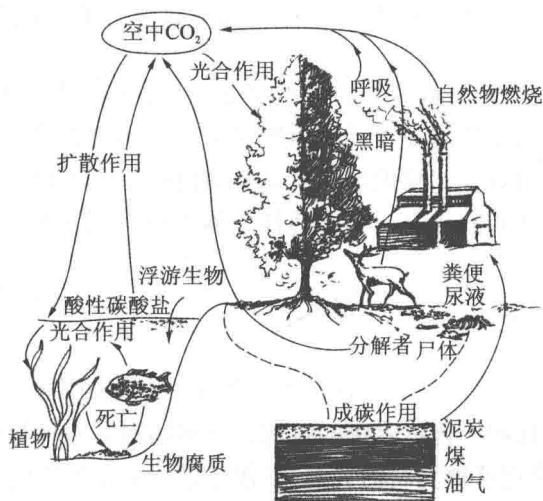


图1-4 地球生态系统中的碳循环^[4]

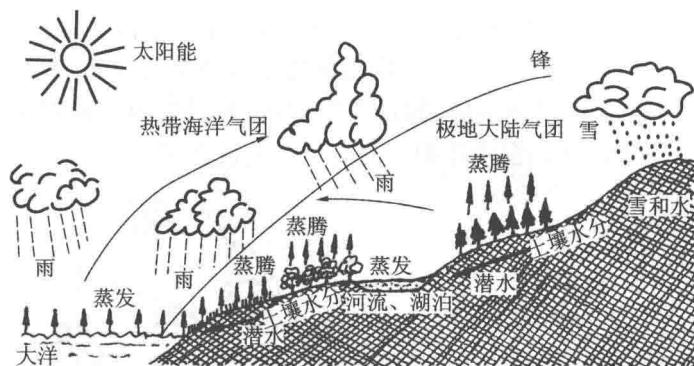


图1-5 地球生态系统中的水循环^[2]

物质循环和能量流动是自然生态系统的两大基本功能,两者不可分割,是一切生命活动得以存在的基础。如果说自然生态系统的能量来自太阳,那么构成自然生态系统所需要的物质必须由地球供给。

(4)自然生态系统中的信息传递。在自然生态系统中,种群与种群之间,同一种群内部个体与

个体之间,甚至生物与环境之间都可以表达、传递信息。信息不是物质,也不是能量,但信息必须以物质或能量为载体进行传输。信息传递与能量流动和物质循环一样,都是生态系统的重要功能,它通过多种方式的传递把生态系统的各组分联系成一个整体,具有调节系统稳定性的功能。自然生态系统中的信息一般分为基因信息和特征信息两大类^[5]。基因信息是生命物种得以延续的保证,是一组结构复制体。它记录了生物种类的最基本性状,在一定的生物化学条件下,可以重新显示发出者的全部生理特征。特征信息分为物理信息、化学信息、营养信息、行为信息4类,主要用于社会交流与通信。

通信是指种群中个体与个体之间互通信息的现象。只有互通信息,个体之间才能互相了解,各司其职,在共同行动中协调一致。信号是个体之间用以传递信息的行为或物质。通信根据信息的传递途径分为以下三种类型。化学通信:由嗅觉和味觉通路传导信息。机械通信:由触觉、听觉通路进行传导,包括声音和触压方面。辐射通信:由光感受或视觉来完成其通信,视觉信号包括动作、姿势以及各种色彩的展示。

通信的生态意义如下。①相互联系。通信引导动物与其他个体发生联系,维持个体间相互关系,例如,标记居住场所、表示地位等级等可以通知对方本身的存在,使行为易于被感受者所接受。②个体识别。通过通信,动物彼此互相识别。③减少动物间的格斗和死亡。标记居住场所、表示地位等级,可以减少社群成员之间的相争。④帮助各个体间行为同步化。⑤相互警告。⑥有利于群体的共同行动。

1.2.3 食物网与生态金字塔

植物所固定的太阳能通过一系列的取食和被取食在生态系统中传递,形成食物链,各种食物链相互交错、紧密结合形成食物网。自然界中的食物链和食物网是物种与物种之间的营养关系,这种关系是错综复杂的。为了简化这种复杂的关系,以便于进行定量的能流分析和对物质循环的研究,引入了营养级的概念。处于食物链某一环节上的所有生物构成一个营养级。营养级之间的关系是指某一层次上的生物和另一层次上的生物之间的关系。

在自然生态系统中,营养级之间的关系总是后一营养级依赖于前一营养级,输入到一个营养级的能量只有10%~20%流到后一个营养级。物质和能量的数量逐级传递,形成生态金字塔,如图1-6所示。生态金字塔可以是能量金字塔、数量金字塔,也可以是单位面积生物的重量,即生物量金字塔。图1-7示出了一种简化的温带针阔叶混交林中的食物网。

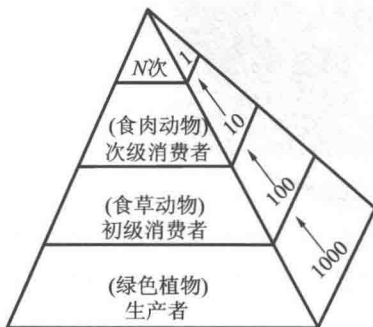


图 1-6 能量流动的生态金字塔^[6]

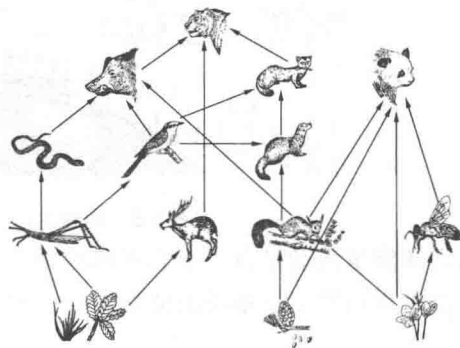


图 1-7 一种简化的温带针阔叶混交林中的食物网^[2]

1.2.4 自然生态系统的平衡与演替

自然生态系统的平衡是指在一定时间内,系统中能量的流入和流出、物质的产生和消耗、生物与生物之间相互制约、生物与环境之间相互影响等各种对立因素达到数量上或质量上的相等或相互抵消的状态。生态平衡是一种动态平衡,它使生态系统的结构和功能在一定时间范围内保持相对不变(即处于相对稳定状态)。一个相对平衡稳定的自然生态系统,在环境改变和人类干扰的情况下,在一定的范围内,能通过内部的调节机制,维持自身结构和功能的稳定,保持自身的生态平衡,这种调节机制称为稳定机制。生态系统的稳定机制是有一定限度的,超出了这个限度,将造成系统结构的破坏、功能的受阻和正常关系的紊乱,系统不能恢复到原有状态,甚至导致系统的毁灭,这种状态称为生态失衡。影响生态平衡的因素很多,主要有植被破坏、物种数量减少、食物链被破坏等。

自然生态系统演替是指生态系统的结构和功能随时间而改变,表现为一个群落被另一个群落取代的现象。自然生态系统的演替具有自调节、自修复、自维持、自发展并趋向多样化和稳定的特点,是有规律地以一定顺序向固定的方向发展的,是可预见的(见图 1-8)。任何一类演替都需经过迁移、定居、群聚、竞争、反应、稳定 6 个阶段。演替是物理环境改变的结果,但同时受群落本身控制,是从种间关系不协调到协调,从种类组成不稳定到稳定,从低水平适应环境到高水平适应环境,从物种少量性向物种多样性发展,最后形成一个与周围环境相适应的、稳定的顶级生态系统(例如气候顶级生态系统)的过程。在顶级生态系统中有最大的生物量和生物间共生功能。

在自然生态系统演替各阶段中,各物种是相互适应的,一个物种的进化会导致与该物种相联系的其他物种的选择压力发生变化,继而使这些物种也发生改变,这些改变反过来又进一步影响原有物种的变化。因此,在大部分情况下,物种间的进化是相互影响的,共同构成一个相互作用的协同适应系统。

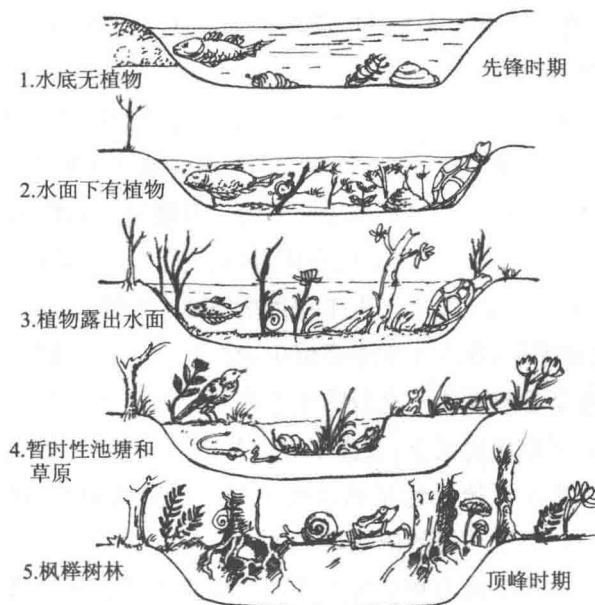


图 1-8 从池塘到森林的演替^[4]

1.3 人工生态系统与生态足迹

1.3.1 人工生态系统

人工生态系统是指有人为因素参与或作用的生态系统。人工生态系统按人为因素参与或作用的程度不同可分为低级、中级、高级人工生态系统。人工化程度越高,人为主导作用越强,自然因素就越少,或者说自然因素所起的作用就越小。例如,渔猎文明时期,由于人类生产力低下和社会关系简单,人工生态系统的运作与自然生态系统没有多大差别,属于低级的人工生态系统;农业文明时期,由于人类培养栽种农作物,驯养禽兽,自身可以部分控制或调节生态系统中物质和能量的生产与输出,可认为是中级的人工生态系统;高度现代化的城市属于高级人工生态系统,它本身不具备物质和能量的生产以及废弃物降解能力,是一个物质和能量及其消费高度集中并产生大量废弃物的人工生态系统。人工生态系统有以下几点特性。

(1)任何人工生态系统都是某一自然生态系统的子系统,人为因素或作用可增加或减弱该自然生态系统的物质和能量生产,可促进或阻止该自然生态系统的进化与发展,还可修复或破坏该自然生态系统的结构和功能。其结果的好坏完全取决于人类的活动。

(2)人工生态系统通常是以人为中心的生态系统。人是这个系统的核心和决定因素^[7]。这个系统是人根据自己的决定创造的,反过来又作用于人。因此,在人工生态系统中,人既是调节者也是被调节者。人的主观能动性对人工生态系统的形成和运行有很大影响。例如,人可以在人工生态系统中合成利用自然界并不存在的新物质,这些物质如果不能被自然界分解,就会危害自然界,进而危害人工生态系统自身。人工生态系统除了涉及生物人的特性,还涉及人与人之间的社会关系以及经济关系,它是一种自然-社会-经济三位一体的复合生态系统。

(3)人工生态系统中的各组成部分之间的相互作用,仍是通过物质代谢、能量流动、信息传递而进行的。物质代谢的快慢、能量流动的大小、信息传递的多少与人工程度的高低有关。

(4)人工生态系统通常是消费者占优势的生态系统。其能量和物质相对集中,全部或部分由外部环境输入,因此,它对其所在的自然生态系统有依存性。人工生态系统中,物质能量结构是金字塔状还是倒金字塔状或是其他形状,取决于人工程度的高低(见图 1-9)。在自然生态系统中,能量和物质只依靠食物网而流动循环,在人工生态系统中,吃、穿、住、行等都是能量和物质的流动途径。

(5)人工生态系统通常是分解功能不充分的生态系统。由于人工生态系统中缺乏或仅存少量的分解还原者,造成其分解还原功能低下;又由于有大量废弃物排出,导致人工生态系统中的环境受到严重污染。因此,人工生态系统无论是物质能量生产还是废弃物吸收,都依赖于外部环境系统。人工程度越高的系统,对周围环境的依赖越强。

(6)人工生态系统的自我调节能力和自我维持能力较自然生态系统薄弱。由于人工生态系统或多或少对外界自然环境有依存性,其抗外界干扰和破坏的能力较弱,稳定性较差。

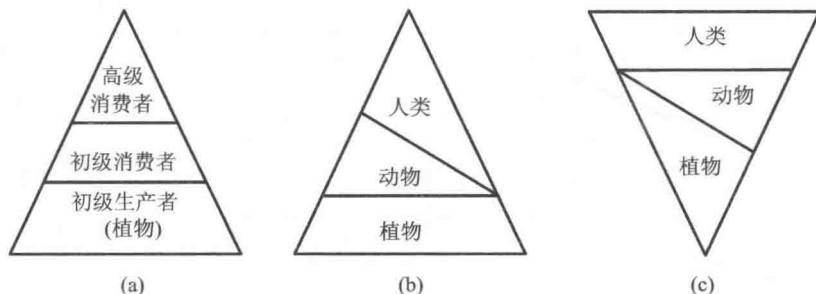


图 1-9 不同类型生态系统的消费金字塔结构

(a)自然生态系统;(b)农村生态系统;(c)城市生态系统

1.3.2 生态足迹(Ecological Footprint)

众所周知,任何自然生态系统中的资源数量总是有限的,只能承受一定数量的生物。因此,生态学中的“容纳量”是指生活在某一自然生态系统内,在不导致该系统受到永久性破坏的情况下的某一种生物的数量。另外,在自然生态系统中,存在着生物的“领域行为”和“领域范围”现象。为了维持某种生物量的生存,需要一定领域范围的资源作为支撑。在人工生态系统中,由于有人为因素的参与和作用,其能量流动和物质循环涉及的范围较自然生态系统要广泛得多,其利用目的和形式也复杂多样,因此,不能将自然生态系统中的“容纳量”概念用于人工生态系统。“生态足迹”是类似于“领域范围”但用于人工生态系统的概念,定义为“能维持某一地区人口的现有生活水平,并能消解其生产的废物所需要的可生产土地和水域的面积”^[8]。通过生态足迹的计算,可以非常直接明了地了解某一地区、某一城市乃至某一国家的人们,为了维持目前的生活水平所需要的可生产土地和水域的面积。生态足迹理论是一种非常有效直观的理论,有利于我们转变思考问题的视角和方式,从而对目前的生态问题和可持续发展有更深刻和更全面的认识。生态足迹的具体计算公式为

$$EF = N[ef] = \sum(aa_i) = \sum(c_i/P_i) \quad (1-1)$$

式中, i 为消费品和投入的类型; P_i 为*i*种消费品的全球平均生产能力; c_i 为*i*种消费品的人均消费量; aa_i 为人均*i*种消费品折算的生物生产性土地或水域面积; N 为人口数; ef 为人均生态足迹;EF为总的生态足迹。

在计算生态足迹时,主要考虑六种类型生物生产性土地和水域面积。①化石燃料地:人类应该留出吸收二氧化碳的土地。②可耕地:最有生产能力的土地。③林地:包括人工林和天然林。④草场:人类用来饲养牲畜的土地。⑤建筑用地:目前人类定居和道路建设用地。⑥水域:供生产水生生物产品的土地。表 1-1 是 1997 年和 2009 年部分国家和地区的人均生态足迹。

表 1-1 1997 年和 2009 年部分国家和地区人均生态足迹

国 家	1997 年 ^[9]			2009 年 ^[10]		
	生态足迹 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	承载力 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	生态盈余 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	生态足迹 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	承载力 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	生态盈余 ($\text{hm}^2/\text{人}$)
加拿大	7.7	9.6	1.9	5.0	14.5	9.6

续表

国 家	1997年 ^[9]			2009年 ^[10]		
	生态足迹 (hm ² /人)	承载力 (hm ² /人)	生态盈余 (hm ² /人)	生态足迹 (hm ² /人)	承载力 (hm ² /人)	生态盈余 (hm ² /人)
丹麦	5.9	5.2	-0.7	7.6	5.5	-2.0
芬兰	6.0	8.6	2.6	5.6	13.4	7.8
法国	4.1	4.2	0.1	6.4	4.9	-1.5
德国	5.3	1.9	-3.4	4.5	2.1	-2.3
意大利	4.2	1.3	-2.9	4.3	3.6	-0.8
日本	4.3	0.9	-3.4	3.8	0.6	-3.2
荷兰	5.3	1.7	-3.6	5.9	1.3	-4.6
澳大利亚	9.0	14.0	5.0	5.3	14.3	9.0
新西兰	7.6	20.4	12.8	2.7	10.1	7.4
美国	10.3	6.7	-3.6	6.9	3.9	-3.0
中国	1.2	0.8	-0.4	2.2	0.9	-1.4
印度	0.8	0.5	-0.3	0.9	0.5	-0.4
印度尼西亚	1.4	2.6	1.2	1.3	1.4	0.1
孟加拉	0.5	0.3	-0.2	0.7	0.4	-0.3
巴基斯坦	0.8	0.5	-0.3	0.8	0.4	-0.3
巴西	3.1	6.7	3.6	2.9	9.6	6.7
阿根廷	3.9	4.6	0.7	2.1	6.5	4.4
全球	2.8	2.1	-0.7	2.6	1.8	-0.8

1.4 生物多样性与生态冗余

1.4.1 生物多样性

生物多样性可定义为生物多样化和变异性以及生境的生态复杂性。它包括植物、动物和微生物物种的丰富程度、变化过程以及由其组成的复杂多样的群落、生态系统和景观。生物多样性一般有三个水平:遗传多样性——地球上各个物种所包含的遗传信息之总和;物种多样性——地球上生物种类的多样化(由生物群落中物种的数目及其分配状况来衡量);生态系统多样性——生物圈中生物群落、生境与生态过程的多样化。

生物多样性是地球上经过几十亿年发展进化出的生命总和,是生物圈稳定和生态平衡不可缺少的一种特性,是人类社会赖以生存和发展的物质基础,是自然科学、社会科学、旅游观赏、文化历史、精神文明等多门学科教育和研究的重要材料。每一种生物都是大自然的杰出创造和人类的宝贵财富,失去则不可复得。赫利韦尔(Helliwell,1969)将生物多样性的价值归纳为7个方面:①直