

www.hustpas.com

普通高等院校建筑专业“十一五”规划精品教材
Architectural Professional Textbooks for the 11th Five-Year Plan

生态建筑

Ecological Architecture

主编 冉茂宇 刘 煜 主审 李保峰

普通高等院校建筑专业“十一五”规划精品教材

生态建筑

Ecological Architecture

丛书审定委员会

何镜堂 仲德崑 张 颀 李保峰
赵万民 李书才 韩冬青 张军民
魏春雨 徐 雷 宋 昆

本书主审 李保峰

本书主编 冉茂宇 刘 煜

本书副主编 孟庆林 董 靓

本书编写委员会

冉茂宇 刘 煜 孟庆林 董 靓
薛佳薇 袁炯炯 李 静 龙 淳
应 群



华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

生态建筑/冉茂宇 刘 煜 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2008 年 11 月
ISBN 978-7-5609-4940-6

I. 生… II. ①冉… ②刘… III. 生态学-应用-建筑学 IV. TU18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 165096 号

生态建筑

冉茂宇 刘 煜 主编

责任编辑:许闻闻

封面设计:张 璐

责任校对:朱 霞

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

销售电话:(022)60266190 (022)60266199(兼传真)

网 址:www. hustpas. com

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:850mm×1065mm 1/16

印张:28

字数:566 000

版次:2008 年 11 月第 1 版

印次:2008 年 11 月第 1 次印刷

定价:50.00 元

ISBN 978-7-5609-4940-6/TU·463

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书内容可分为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和场地设计分析,包括第3章“生态选址及其分析”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“气候适应性设计策略”、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与评价,包括第10章“生态建筑实践”和第11章“绿色生态建筑评价”。第6部分是附录部分“气候分析工具与方法”。

本书既可作为普通高等院校建筑学、城市规划和环境艺术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。

总 序

《管子》一书《权修》篇中有这样一段话：“一年之计，莫如树谷；十年之计，莫如树木；百年之计，莫如树人。一树一获者，谷也；一树十获者，木也；一树百获者，人也。”这是管仲为富国强兵而重视培养人才的名言。

“十年树木，百年树人”即源于此。它的意思是说培养人才是国家的百年大计，既十分重要，又不是短期内可以奏效的事。“百年树人”并不是非得100年才能培养出人才，而是比喻培养人才的远大意义，要重视这方面的工作，并且要预先规划，长期、不间断地进行。

当前我国建筑业发展形势迅猛，急缺大量的建筑建工类应用型人才。全国各地建筑类学校以及设有建筑规划专业的学校众多，但能够做到既符合当前改革形势又适用于目前教学形式的优秀教材却很少。针对这种现状，急需推出一系列切合当前教育改革需要的高质量优秀专业教材，以推动应用型本科教育办学体制和运作机制的改革，提高教育的整体水平，并且有助于加快改进应用型本科办学模式、课程体系和教学方法，形成具有多元化特色的教育体系。

这套系列教材整体导向正确，科学精练，编排合理，指导性、学术性、实用性和可读性强，符合学校、学科的课程设置要求。以建筑学专业指导委员会的专业培养目标为依据，注重教材的科学性、实用性、普适性，尽量满足同类专业院校的需求。教材内容大力补充新知识、新技能、新工艺、新成果。注意理论教学与实践教学的搭配比例，结合目前教学课时减少的趋势适当调整了篇幅。根据教学大纲、学时、教学内容的要求，突出重点、难点，体现建设“立体化”精品教材的宗旨。

以发展社会主义教育事业，振兴建筑类高等院校教育教学改革，促进建筑类高校教育教学质量的提高为己任，为发展我国高等建筑教育的理论、思想，对办学方针、体制，教育教学内容改革等进行了广泛深入的探讨，以提出新的理论、观点和主张。希望这套教材能够真实地体现我们的初衷，真正能够成为精品教材，受到大家的认可。

中国工程院院士



2007年5月

前 言

本书在编写过程中考虑了以下几方面的特点:一是教学对象主要是针对我国高等学校建筑学、城市规划和环境艺术等专业的师生,也兼顾相关专业人员的参考,所以编写时尽量做到图文并茂,由浅入深,公式少量化,图表多样化,以便阅读理解和适应多媒体等多种教学方法的特点。二是在编写内容取舍方面,注重科学性、实用性、普适性和新旧知识结合,强调新观念、新知识、新技能、新成果,提倡理论联系实际。三是适应我国国情,弘扬祖国优秀文化。在编写有关生态建筑技术章节时,以节能、节地、节水、节材为重点,与我国《绿色建筑评价标准 GB/T 50378—2006》强调的核心内容一致,体现我国生态建筑的特色。四是各章节既相互独立,又相互联系,教学时可根据具体情况选讲选学。

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章由华侨大学建筑学院冉茂宇和西南交通大学建筑学院董靓编写,第5章由华侨大学建筑学院冉茂宇编写,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章由华侨大学建筑学院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,第11章由华侨大学建筑学院冉茂宇、袁炯炯和应群编写,附录部分由华侨大学建筑学院冉茂宇编写。全书由冉茂宇、刘煜担任主编,孟庆林、董靓任副主编。全书由华侨大学建筑学院冉茂宇统稿,由西北工业大学建筑系刘煜进行补充,最后由华中科技大学建筑与城市规划学院李保峰教授终审。在此衷心感谢李保峰教授在百忙之中给予的大力支持,同时还要感谢华侨大学建筑学院彭晋媛、郑松、刘毅军等对本书编写的支持。

值得一提的是,本书在成稿过程中,不同专家对书名有不同的理解和建议。比如有的专家认为,作为建筑的修饰词,若是功能性修饰,应该符合目的(如:交通建筑、医疗建筑等),若是学科定语,则应该全面(如:生物工程、生命科学等),“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(如生态茶、生态停车场、生态厕所等),有时这种宣传反而伤害了真正的生态;此外,“生态建筑”是中性词,而“绿色建筑”是褒义词,因此用后者作书名较前者相对较好。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。这里对于“生态建筑”之名称的不同理解的说明,目的是希望能呈现不同观点,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 刘煜

2008年9月

目 录

1 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	(9)
1.4 生物多样性与生态冗余	(11)
1.5 生物与环境之间的关系	(13)
1.6 生物与生物之间的关系	(14)
1.7 本章小结	(17)
2 生态建筑概论	(19)
2.1 建筑与地球生态环境	(19)
2.2 生态建筑学的产生与发展	(22)
2.3 生态建筑学研究对象与目的	(23)
2.4 生态建筑学研究的内容与方法	(25)
2.5 生态建筑的概念及本质内涵	(27)
2.6 生态建筑与绿色、可持续建筑间的关系	(29)
2.7 生态建筑观	(32)
2.8 生态建筑设计	(37)
2.9 建筑生态系统及建筑物子系统的构成	(42)
2.10 本章小结	(45)
3 生态选址及其分析	(46)
3.1 生态选址概述	(46)
3.2 中国“风水”选址	(48)
3.3 自然地理条件对选址的影响	(50)
3.4 社会环境条件对选址的影响	(58)
3.5 “千层饼”生态选址分析方法	(60)
3.6 本章小结	(62)
4 可持续场地设计	(63)
4.1 可持续场地设计概述	(63)
4.2 场地状况的分析与评价	(65)
4.3 场地的整体布局	(69)
4.4 场地的建筑布置	(78)

4.5	场地的道路与广场布置	(83)
4.6	场地的热环境与绿化	(85)
4.7	可持续场地设计策略	(86)
4.8	本章小结	(88)
5	气候适应性设计策略	(89)
5.1	气候适应性设计概述	(89)
5.2	建筑气候要素	(90)
5.3	气候分类及建筑特征	(93)
5.4	建筑群体的气候适应性设计策略	(95)
5.5	建筑单体的气候适应性设计策略	(117)
5.6	本章小结	(154)
6	建筑的仿生设计	(155)
6.1	建筑仿生设计的产生与分类	(155)
6.2	建筑仿生设计的原则和方法	(156)
6.3	造型仿生设计	(157)
6.4	功能仿生设计	(169)
6.5	结构仿生设计	(180)
6.6	能源利用和材料仿生设计	(189)
6.7	本章小结	(196)
7	生态景观设计与规划	(197)
7.1	景观的概念与含义	(197)
7.2	生态景观设计	(197)
7.3	生态景观规划	(204)
7.4	本章小结	(211)
8	节能与能源有效利用技术	(212)
8.1	建筑能耗及建筑节能	(212)
8.2	外窗节能技术	(217)
8.3	外墙节能技术	(228)
8.4	屋面节能技术	(239)
8.5	充分利用天然光的采光技术	(248)
8.6	高效人工光照明技术	(255)
8.7	主动式太阳能利用系统	(259)
8.8	地热能利用系统	(268)
8.9	其他可再生能源利用技术	(271)
8.10	本章小结	(273)
9	节地节水与材料循环利用	(275)

9.1	建筑的节地技术	(275)
9.2	水资源有效利用技术	(281)
9.3	建筑中材料的循环利用	(290)
9.4	本章小结	(297)
10	生态建筑实践	(298)
10.1	生态建筑技术分层及其演进	(298)
10.2	低技术生态建筑实践	(299)
10.3	中间技术生态建筑实践	(315)
10.4	高技术生态建筑实践	(335)
10.5	本章小结	(363)
11	绿色生态建筑评价	(364)
11.1	绿色生态建筑评价概述	(364)
11.2	英国建筑研究组织环境评价法(BREEAM)	(365)
11.3	美国能源及环境设计先导计划(LEED)	(371)
11.4	日本建筑物综合环境性能评价体系(CASBEE)	(378)
11.5	中国台湾《绿色建筑解说评估手册(EEWH)》	(384)
11.6	中国《绿色建筑评价标准 GB/T 50378—2006》	(391)
11.7	本章小结	(401)
附录	气候分析工具与方法	(402)
附录 A	棒影图与太阳轨迹图	(402)
附录 B	人体热舒适与生物气候图	(405)
附录 C	基于生物气候图的气候适应性策略分析	(407)
附录 D	基于平衡点温度确定日照/遮阳的时段和日期	(409)
附录 E	基于阳光与风的生态选址分析	(412)
附录 F	采光系数的确定方法	(416)
附录 G	不同高度风速的确定	(418)
附录 H	建筑物得失热量的估算	(419)
附录 I	风压、热压、混合通风冷却能力的估算	(426)
参考文献		(430)

1 生态学基础

自 20 世纪 70 年代以来,随着环境污染、资源短缺、人口膨胀和自然保护等问题引起的关注,“生态”一词成为报纸杂志、广播电视中的常见词汇。可以说,没有哪一门学科像生态学这样,在几十年间获得了如此广泛的发展与普及。当今的生态学不仅和许多自然科学的分支学科相融合,形成许多交叉的边缘学科,如海洋生态学、工业生态学、农业生态学等,而且和许多社会科学的学科相结合,出现了诸如生态经济学、社会生态学、生态哲学等分支学科。生态建筑学正是这许多新分支学科中的一门。在学习生态建筑和进行生态建筑活动时,生态学的基础知识和原理是不可缺少的,它是生态建筑学的理论根基,本章将对这些必备的基本知识做简要介绍。

1.1 生态学的产生与发展

1.1.1 生态学的产生

生态学是生物学发展到一定阶段后,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、植物和微生物以至于人这种特殊生物的知识已有相当的积累。随着后来对物种起源和进化以及其他方面研究的深入,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。因而,人们认识到,只研究生物有机体的形态、结构和功能等还不能全面认识生物,生物与环境两者不能分开,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。“生态学 ecology”与“经济学(economics)”的词根“eco-”相同,经济学最初是研究“家庭管理”的,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(ecology)下的定义是“我们把生态学理解为与自然经济有关的知识,即研究动物与有机和无机环境的全部关系。此外,还包括与它有直接或间接接触的动植物之间的友好或敌意的关系。

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研究动物提出的。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。自此以后的近一个世纪里,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研究对象那样明确,且研究对象的尺度并不确定。这种状况一直持续到种群研究的广泛开展才有所改观。

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。这些分支学科所研究对象的侧重点不同,有些是研究水生动物,有些是研究植物,有些侧重于个体研究,有些侧重于某一区域群体生态学工作。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,尤其是进入20世纪60年代以后,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圆满的解释,而且在个体、种群、群落和生态系统等领域的工作中都取得了重大进展。特别是其他学科的加盟和相互渗透,计算机技术和遥测等技术的应用,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自然科学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它的“生态学化”。

随着研究对象和内容的拓展,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,起源于生物学的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,是一门研究个体与整体关系的科学。我国学者马世骏(1980)也提出:“生态学是一门综合的自然科学,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到所有的生命系统,这种生命系统除了自然的动植物外,还

小型土壤动物。

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。

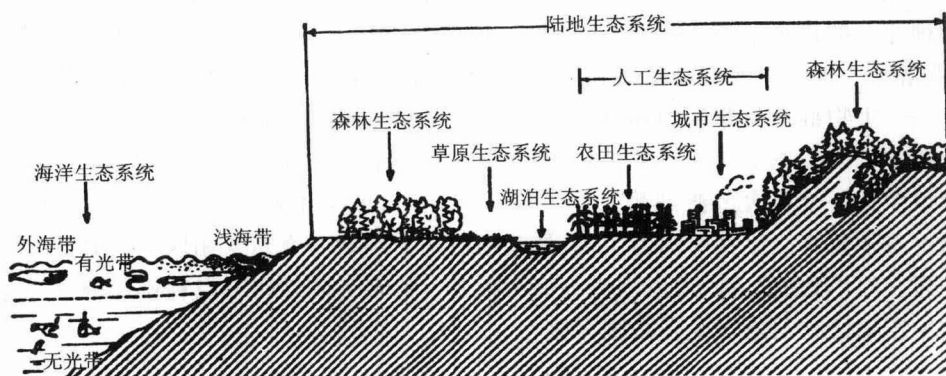


图 1-2 地球上生态系统的类型

(来源:文献[2])

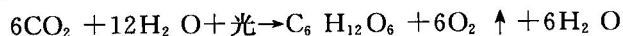
任何自然生态系统都具有以下特性:① 是生态学上的一个结构和功能单位,属于生态学上的最高层次;② 内部具有自调节、自组织、自更新能力;③ 具有能量流动、物质循环、信息传递三大功能;④ 营养级的数目有限;⑤ 是一个相对稳定的动态系统。

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。自然生态系统具有自动产生物质循环、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自产

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能并储存在有机物中,这就是生态系统中的能量自产;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自产。光合作用过程可概括为



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。生态系统中,除初级生产以外的

生产称为次级生产,是指消费者和还原者利用初级生产进行的生产,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、草食动物、一级肉食动物、二级肉食动物等逐级流动。这种能量流动是单向的、逐级,且遵循热力学第一定律和第二定律,即能量在流动过程中,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。

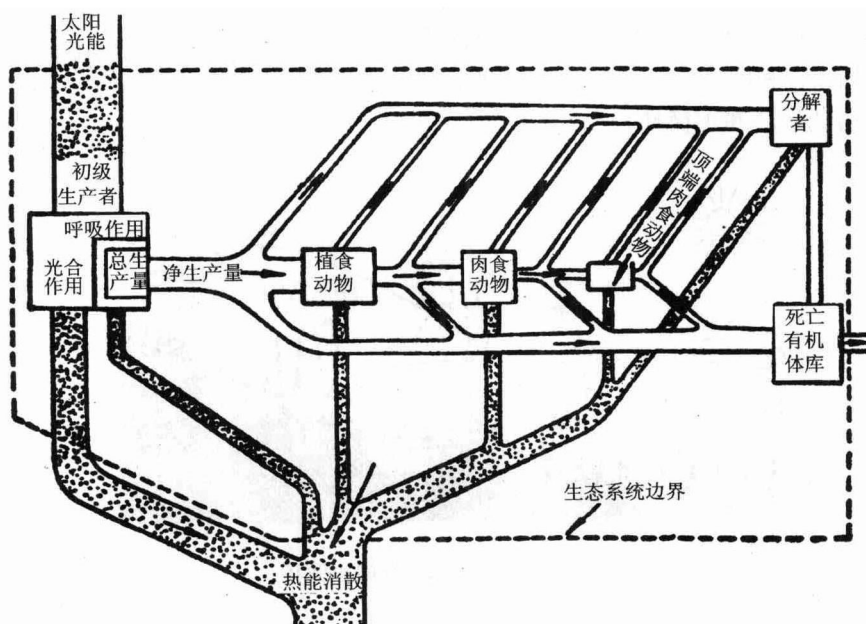


图 1-3 生态系统中的能量逐级流动

(来源:文献[3])

生态效率是指能量从一个营养级到另一个营养级的利用效率,即在营养级生产的物质质量与生产这些物质所消耗的物质质量之比值。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,其转换效率仅为 10%,而 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,这是自然生态系统中营养级一般不能超过四级的原因。

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，它们占生物总重量的 95% 左右。大量元素是指氮 N、磷 P、钙 Ca、钾 K、镁 Mg、硫 S、铁 Fe、钠 Na；微量元素是指硼 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，通过生产者吸收进入自然生态系统，然后转移到草食动物和肉食动物等消费者，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 分别示出了地球生态系统中的碳循环和水循环。

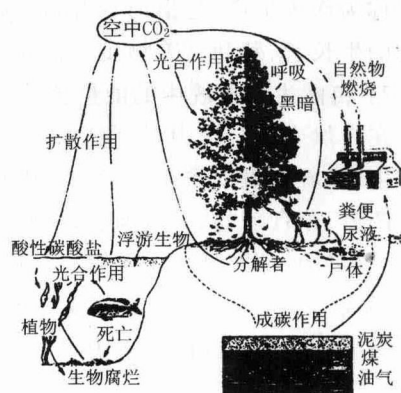


图 1-4 地球生态系统中的碳循环
(来源:文献[4])

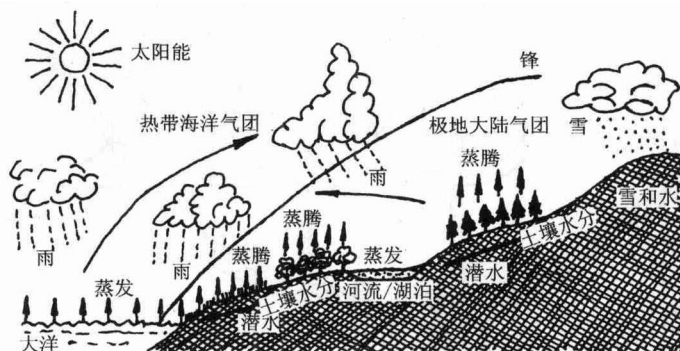


图 1-5 地球生态系统的水循环
(来源:文献[2])

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,同一个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和传递信息。信息不是物质,也不是能量,但信息必须寄载在物质上,通过能量进行传输。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。我们一般把信息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、行为信息四类,主要用于社会交流与通讯。

通讯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。通讯根据信息的传递途径分为:化学通讯——由嗅觉和味觉通路传导信息;机械通讯——由触觉、听觉通路进行传导,包括声音和触压方面;辐射通讯——由光感受或视觉来完成其通讯能力,视觉信号包括动作、姿势以及各种色彩的展示。通讯的生态意义如下。① 相互联系。通讯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。通过通讯,动物彼此达到互相识别。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竞争。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。生态系统中各种食物链相互交错、紧密结合在一起形成食物网。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面上的生物和另一层面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大约只有 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。

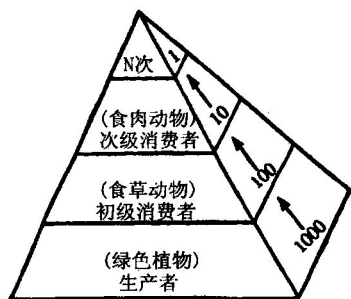


图 1-6 能量流动的生态金字塔
(来源:文献[6])

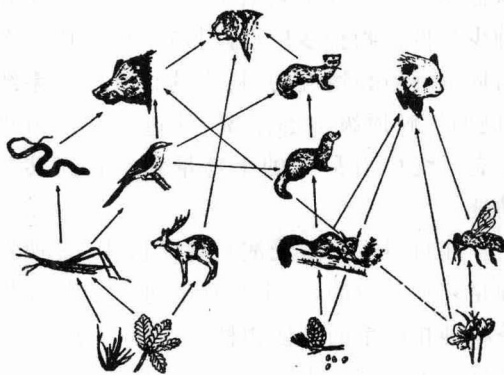


图 1-7 一种简化的温带针阔叶混交林中的食物网
(来源:文献[2])