



- 高等学校水利学科教学指导委员会
- 中国水利教育协会
- 中国水利水电出版社

共同组织编审

普通高等教育“十二五”规划教材
全国水利行业规划教材

水生态保护与修复

主 编 朱永华 任立良
副主编 吕海深 张永玲



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



- 高等学校水利学科教学指导委员会
- 中国水利教育协会
- 中国水利水电出版社

共同组织编审

普通高等教育“十二五”规划教材
全国水利行业规划教材

水生态保护与修复

主 编 朱永华 任立良
副主编 吕海深 张永玲



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

人类在开发利用生态系统的过程中,由于认识的滞后性,人为与自然双重因素使得生态系统产生各种退化现象,结果生态系统的正常功能得不到应有发挥,阻碍了社会经济及人类的可持续发展。另外,当前水问题是区域各种生态系统退化的一大原因。因此为了保持和发挥我国生态系统的正常功能,以水为主线,从应用的角度进行生态保护与修复成为了必然。本书共分7章,内容包括绪论、生态系统的功能及退化的生态系统、生态系统退化程度的判断、生态保护、生态修复、流域生态修复及水生生态系统的修复。

本书适合于生态学、水文学、环境科学、资源科学及其他相关学科的老师、学生及科研工作者,也适合于致力于生态保护与修复及可持续发展的相关部门工作人员。

图书在版编目(CIP)数据

水生态保护与修复 / 朱永华, 任立良主编. -- 北京
: 中国水利水电出版社, 2012.11

普通高等教育“十二五”规划教材 全国水利行业规划教材

ISBN 978-7-5170-0144-7

I. ①水… II. ①朱… ②任… III. ①水环境—生态环境—环境保护—高等学校—教材 IV. ①X143

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第263351号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 全国水利行业规划教材 水生态保护与修复
作 者	主编 朱永华 任立良 副主编 吕海深 张永玲
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 15.25印张 362千字
版 次	2012年11月第1版 2012年11月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	29.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

本书包括7章内容，第1章是绪论部分，讲述生态保护与修复的意义、研究对象、方法及内容等。第2章是生态系统的功能及退化的生态系统，讲述生态系统的基本功能和服务功能，退化的生态系统的概念及生态系统退化的原因。第3章是生态系统退化程度的判断，讲述只从生态环境角度的生态环境质量评价法和从可持续发展及人类生态系统角度的生态环境承载力法。第4章是生态保护，讲述各种主要自然生态系统的特征、主要功能、现存在的退化问题及保护对策。第5章是生态修复，从生态修复的概念、分类出发，重点放在研究比较成熟的生物修复及针对当前面临的主要的生态环境问题——水土侵蚀及污染的水土保持生态修复及环境污染的生态修复。第6章是流域生态修复，从流域角度讲述其生态修复，分别讲述缺水的内陆河流域和多水的外流河流域及其当前面临的主要生态问题及其成因，生态修复方法及生态修复步骤及过程，也讲述了国际河流域的生态修复。第7章是水生生态系统的修复，从针对具有代表性的水生生态系统的实际问题出发，讲述其修复方法及步骤，并用实例说明。希望通过对本书的学习促进生态保护及修复，使我们生存的地球上的各种生态系统在未来能比过去相比处于一个更好的状态。为可持续发展有所贡献是本书的最终目的。

生态保护与修复要做好，离不开生态监测工作及生态标准的制定，生态监测工作要贯穿其中。在生态保护与修复开始之前，通过监测掌握其现状，通过各个指标与生态标准值的对比，掌握生态系统退化的程度，并了解修复的力度。通过与当地的社会经济技术状况的了解，掌握修复的投入（包括资金、技术及劳动力）力度及可能性。现有的生态标准见中国环境标准网（www.es.org.cn）。没有的要进行研究和补充，通过查阅历史文献、借鉴国外的类似标准、利用自然保护区的实地调查、并请教当地经验丰富的居民及对有关方面颇有研究的专家及学者进行制定。

退化的生态系统的修复即是合理地采取书中所述的所有措施，短期内要达到显著的修复成果是不容易的，因为生态系统对于修复的措施要进行消化，

做出反应，得花时间，另外，大气污染的干湿沉降带来的非点源污染是无法短期内彻底消除的，只有每个国家、每个流域、每个产业，每个人，都认识到环保的重要性，均采取节能、节材的生产方式，进行水土保持，不乱砍乱代，不随意排污，才有可能保持整个生态修复的良性发展，最终达到生态修复的目的。因此，生态修复不是靠个人的努力，或靠某个专门部门，而是要靠全世界所有的人，所有的部门，同时为有一个健康良性发展的生态型地球而努力才行，因此说“生态保护与修复不是一个人或一个部门或一个国家的挑战，而是全世界共同的挑战”。

本书是编者根据多年科研工作及5年教学总结所写。第2章中生态系统的基础功能主要以曹凑贵先生主编的《生态学概论》为参考，第3章第1节生态环境质量评价法以万本太、张建辉的《中国生态环境质量评价研究》为基础编写，第4章中生态保护主要以孔繁德先生主编的《生态保护概论》为参考，第5章的生态修复部分主要以中国科学院水利部水土保持研究所中国科学院计算机网络信息中心在网上公布的内容为参考，这些部分没有一一列出参考文献出处，在这一并注出。本书中也许有些部分由于是在过去多年点滴的积累中没有记住或忽视了作者，这里无法注解，敬请谅解。本书的其他主要编写人员还有任立良教授及吕海深教授，另外新疆塔里木大学的张永玲老师也参与了第4章第1~3节的编写工作，在此一并致谢。

在撰写本书的过程中，姜翠玲教授、张其成主任给了很好的意见与帮助，在此致谢。龚浩哲、侯婷、王黎及徐敏等人帮助查阅及整理资料，对此也表示感谢。本书的顺利出版，既离不开河海大学水文水资源学院的领导们的支持，更与出版社的各位编辑及其他相关人员的工作分不开，谢谢他们。

编者

2012.8

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究意义	1
1.2 几个基本概念	2
1.3 研究对象、内容及方法	2
1.4 学科基础	3
第 2 章 生态系统的功能及退化的生态系统	4
2.1 生态系统的功能	4
2.2 退化的生态系统	11
参考文献	17
第 3 章 生态系统退化程度的判断	19
3.1 生态环境质量评价法	19
3.2 生态环境承载力方法	27
参考文献	62
第 4 章 生态保护	64
4.1 生态保护的含义、对象及手段	64
4.2 自然生态系统的保护	65
4.3 生物多样性的保护	89
4.4 自然保护区	101
4.5 生态环境管理	113
参考文献	129
第 5 章 生态修复	130
5.1 生态修复的含义、意义及类型	130
5.2 生物修复	131
5.3 水土保持生态修复	146
5.4 环境污染的生态修复	153
参考文献	161

第 6 章 流域生态修复	162
6.1 内流区的流域生态修复	162
6.2 外流区的流域生态修复	170
参考文献.....	173
第 7 章 水生生态系统的修复	175
7.1 陆地湿地的生态修复	175
7.2 陆地湖泊的生态修复	181
7.3 滨海湿地的生态修复	189
7.4 平原区小河沟的生态修复	212
7.5 城市河流的生态修复	216
7.6 城市湖泊的生态修复	224
参考文献.....	230

第 1 章 绪 论

1.1 研 究 意 义

水生态保护及修复指以水为主线，从应用的角度研究和探讨生态系统的保护与修复的一门学科，或者说是一门从生态水文学的角度研究生态系统的保护与修复的学科。原因在于两个：一是随着人口的增加和经济的发展，人类对自然生态系统的影响越来越深刻，把生态系统中当前可用的变为资源进行利用，同时通过各种活动影响其环境，建立各种人工生态系统和半人工生态系统，但在利用、管理这些生态系统的过程中，由于认识的滞后性，人类的各种活动再加上自然环境的演化结果使得生态系统产生各种各样的退化现象，生物多样性锐减，生物量下降，环境污染，土地荒漠化等，其正常功能得不到应有发挥，结果阻碍了社会经济及人类的可持续发展；二是由于当前水问题是区域发展的一大问题，在中国，北方主要表现为水量短缺，南方主要表现为水质污染。因此为了保持和发挥我国的生态系统的正常功能，实现可持续发展，以水为主线，从应用的角度进行现状各种生态系统的保护并对退化的生态系统进行修复成为了必然。

20 世纪 60 年代末 70 年代初以来，人口的过快增长和社会经济的大发展使得人类活动对各种生态系统过度的开发和利用并且同时忽视了生态系统的保护，再加上认知的滞后性，结果产生了各种各样的环境污染及生态破坏问题，具体表现为污染日趋严重、植被覆盖度降低、荒漠化面积增加、生物多样性锐减等，致使许多生态系统退化，自然生态系统的正常功能，无论是基本功能，还是服务功能，都得不到正常发挥，因此阻碍了社会经济及人类的可持续发展。我国北方由于水分短缺，是受水分控制的生态系统，而南方基本就是一个巨大的水生生态系统。中国北方由于缺水再加上人口增长及社会经济的发展，造成各种各样的生态问题：直接产生的问题有水土流失、天然河道断流甚至干涸、天然湖泊萎缩、城市河流湖泊面积不足、地下水过量开采及入海水量减少等，间接产生的问题有水质污染、天然植被覆盖率低、生物多样性下降、沙尘天气增多等；南方虽然水多，但由于人口密度大，社会经济发展速度快，污染防治不力及处理率不高等造成环境污染、生物多样性下降、天然植被覆盖率低等。水生态保护与修复（后面简称生态保护与修复）应运而生，目的是以水为主线，从应用的角度研究现存的生态系统保护及退化的生态系统修复，具体而言就是在解决中国的水问题的基础上进行生态系统的保护与修复。以各种生态系统为研究对象，为了解决这些系统中主要由于人类活动所造成的生态破坏或环境污染问题并防止其再次发生，研究这些系统的保护方法与措施，同时对这些系统进行科学的生态评价，并在此基础上研究退化的那些生态系统的修复理论与方法。

生态保护与修复是针对人类活动产生的生态破坏与环境污染问题而言的。生态保护是防止生态问题的再次发生和巩固生态恢复及修复成果的有力途径。生态修复是在人为参与

下有计划有步骤地解决生态破坏与环境污染问题的有力途径。

1.2 几个基本概念

生态保护与修复涉及到生态破坏、环境污染及自然灾害这三个概念。它们的概念分别简述如下。

生态破坏：指由于人为的原因，人为的活动给自然生态环境带来直接或间接的破坏。是非污染性的。例如乱砍滥伐森林造成水土流失；过度放牧造成草原退化沙化；过度捕捞造成鱼类资源枯竭；超采地下水造成地下水位下降、水质变坏、地面塌陷等。

环境污染：是由于人类活动排放出的物质和能量进入环境造成的环境质量下降和恶化现象。例如大气污染、水污染、噪声等。

自然灾害：指地球表层自然生态环境由于自然界本身的变化带来的不良影响。如火山喷发、地震、海啸、台风、洪水、干旱等。

在本书中，前两个主要都是由于人类活动所产生的，而后者是由于自然原因所产生的。因此生态保护与修复主要针对人类活动产生的生态破坏及环境污染而进行。

1.3 研究对象、内容及方法

研究对象：《水生态保护与修复》的研究目的就是防止当前我国的以水问题为其主要影响因子的生态系统进一步退化和修复当前主要由于人类活动引起退化的生态系统，因此本书的研究对象就是我国的各种生态系统。

研究内容：《水生态保护与修复》的研究内容包括六部分：第一部分是生态系统的功能及退化的生态系统；第二部分是生态系统退化程度的判断；第三部分是生态保护；第四部分是生态修复；第五部分是流域的生态修复；第六部分是水生生态系统的修复。

研究方法：生态保护及修复的研究对象是生态系统，保护与修复的实施者是人类，最终生态保护及修复的目标是保护好当前的系统不再退化，逐步或完全修复退化的生态系统，实现退化的生态系统的完全恢复，或使其向良好循环的方向发展，使其不但可发挥自己的基本功能，同时能够充分发挥自己的服务功能，因此生态保护及修复的研究对象不但是一个变化着的巨系统，而且涉及自然、社会经济及环境三大方面，因此系统分析法是最合适的研究方法。

系统分析即从系统的观点出发，对事物进行分析综合，找出各种可行方案供决策者选择，是一种有目的、有步骤的探索分析过程。系统分析的基本方法是定量与定性分析相结合的方法。

系统分析应当遵循以下 5 个步骤：

(1) 确定研究对象。首先确定生态保护及修复的对象，比如是某一个退化的湖泊生态系统或某个行政区域的水生生态系统。

(2) 提出解决问题的方案。在这一步骤要通过查询历史及现状资料，了解该湖泊生态系统的具体情况，包括其自然属性，演化过程，退化的具体原因，针对具体退化的原因，

提出各种解决该问题的方案。

(3) 建立模型。建立合理的模型，比如多目标优化时序分析模型，以要解决的问题为目标，既考虑当地的自然生态系统的状况，也考虑当地的社会经济状况及当地的发展模式，也要考虑步骤(2)的各种方案，在合理的方案情景下求解模型。

(4) 评价。进行模型结果的判定与评价，选出当前最适合研究区的方案。

(5) 方案实施。进行经过前四个步骤所选择的方案的实施。在此步骤要靠管理部门的协调，靠技术部门的指导。在方案的实施过程中要进行方案实施进度及效果的监控，及时发现问题及时解决。方案实施完成后也要进行监控，进行方案实施结果的巩固。

生态保护及修复的新技术手段：遥感技术及地理信息系统是进行生态保护及修复研究的新技术手段。

地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 指在计算机软、硬件支持下，把各种地理信息按照空间分布及属性，以一定格式输入、存储、检索、更新、显示、制图、综合分析和应用的技术系统。

遥感技术 (Remote Sensing Technology, RST) 是在一定距离以外不直接接触物体而通过该物体所发射和反射的电磁波来感知和探测其性质、状态和数量的技术。

简单地说，通过遥感技术可以获得各种要进行保护及修复的自然生态系统的各种生态要素的数据，而通过地理信息系统把这些数据进行输入、存储、加工，然后以我们所想要的图和数据显示出来。对各种自然生态系统的现状及对其实施保护及修复策略后的演化都需要借助这种新技术手段来监控。

1.4 学 科 基 础

生态保护及修复的学科基础是生态学、地理学和恢复生态学。

生态保护及修复的研究对象主要是各种生态系统。各种生态系统的组成、属性及功能都是生态学研究的主要内容。因此生态保护及修复的学科基础是生态学。

各种自然生态系统中的环境要素也属于地理学的地理环境要素，因此它们的时间空间分布规律遵守地理学的相应规律的约束。因此生态保护及修复的另一学科基础是地理学。

恢复生态学是生态保护及修复，尤其是生态修复的指导学科。因此生态保护及修复的学科基础还有恢复生态学。

第2章 生态系统的功能及退化的生态系统

2.1 生态系统的功能

生态系统的功能有基本功能和服务功能。基本功能指生态系统的过程或性质，是生态系统本身具有的属性（Odum, 1971；冯剑丰等，2009）。服务功能指生态系统对人类和社会经济系统直接或间接的服务或者人类从生态系统中间接或直接获得的收益。

2.1.1 基本功能

这是从基础生态学的角度来讲的，生态系统的基本功能包括物质循环、能量流动、信息传递。生态系统的基本功能也是其本身的属性。

2.1.1.1 物质循环

1. 概念

(1) 概念。物质循环即生物地球化学循环，指各种化学元素和化合物在不同层次、不同大小的生态系统中，沿着特定的途径从环境到生物体，再从生物体到环境，不断地进行着反复循环变化的过程。

(2) 参加物质循环的物质。生态系统中参加物质循环的物质指生态系统中生命所依赖的各种营养物质。这些营养物质包括能量元素、大量元素和微量元素。

能量元素指占生物总重量的95%左右，需要量最大，最为重要的C、H、O。

大量元素指N、P、Ca、K、Mg、S、Fe、Na。

微量元素指生物需要量很小的B、Cu、Zn、Mn、Mo、Co、I、Si、Se、Al、F等。

2. 物质循环的类型

按物质循环的范围不同分为地球化学循环和生物循环两种类型。

地球化学循环（geological cycles）是指化合物或元素经生物体的吸收作用，从环境进入生物有机体内，然后生物有机体以死体、残体或排泄物形式将物质或元素返回环境，经过大气圈、水圈、岩石圈、土壤圈和生物圈五大自然圈循环后，再被生物利用的过程。地球化学循环的时间长、范围广，是闭合式的循环。

生物循环（biological cycles）是指环境中的元素经生物体吸收，在生态系统中被相继利用，然后经过分解者的作用，再为生产者吸收、利用。生物循环的时间短、范围小、是开放式的循环。

根据物质循环的路径不同，从整个生物圈的观点出发，可分为气相型循环和沉积型循环两种类型。

气相型循环（gaseous cycles）的储存库主要是大气圈和水圈。氧、二氧化碳、水、氮肥、氯、溴、氟等都属于气相型循环类型。气相型循环把大气和水密切地联结起来，具

有明显的全球性循环特点，因此是一种比较完善的循环类型，它们在生态系统中分布较均衡，局部短缺现象相对较少，局部短缺发生后，也会依靠完善的循环功能而得到补充。

沉积型循环 (sedimentary cycles) 的储存库主要是岩石圈和土壤圈。磷、钙、钾、钠、镁、铁、锰、碘、硅等都属于沉积型循环。沉积型循环主要是经过岩石的风化作用和沉积物的分解作用，将储存库中的物质转变成生态系统的生物成分可以利用的营养物质，这种转变过程是相当缓慢的，可能在较长时间内不参与各库之间的循环。因此，它具有非全球的循环特点，是一个不完善的循环类型，局部短缺现象时有发生，一旦发生短缺也难以在短期内得到补充。

3. 物质循环的特点

(1) 物质不灭，周而复始。即物质和能量在转化过程中都只会改变形态而不会消灭，但物质循环不同于能量流动，能量衰变为热能的过程是不可逆的，它会最终以热能的形式离开生态系统，而物质是循环往复的。

(2) 物质循环与能量流动不可分割，相辅相成。即能量是生态系统中一切过程的驱动力，也是物质循环进行的驱动力。物质循环的过程中总伴随着能量流动，能量流动的同时物质循环也在发生着。

(3) 生物是物质循环的关键。即生物在物质循环中是物质存在的最生动形式。没有生物的光合固定和吸收同化，物质便不能从大气库、水体库及土壤岩石库中转移出来；没有生物的呼吸、分解释放，物质也不能再回到原来的库中。由于生物的生命活动，物质便由静止变为运动，从而使地球有了生气和活力。

(4) 各物质循环过程相互联系，相互制约。生态系统中各种循环过程都是相互联系，相互制约的。如水循环对其他物质的循环运动非常重要。没有水循环，其他物质便不能溶解运动，更不能被生物利用而实现其在各物质库间的运动。反过来其他物质的循环状况对水循环也会产生影响。再如碳循环局部失衡导致的大气中的 CO_2 浓度升高引起的“温室效应”，影响了水循环的过程。

(5) 物质循环的生物富集。即一些物质在食物链流动中随营养级上升浓度不断增加。这些物质有化学性质比较稳定的物质和生物的结构物质。化学性质比较稳定的物质，在食物链流动过程中，被生物吸收固定后可沿食物链积累，如 DDT、六六六等；生物的结构物质指一些物质或元素，它们作为生物结构的组成部分，在食物链流动中也可沿食物链积累，如氮、钙等。

(6) 物质循环受生态系统的调节作用约束。生态系统的物质循环受稳态机制的控制，有一定自我调节能力。这表现在多方面，如物质循环与能量流动的相互调节与限制；非生物库对外来干扰的缓冲作用；各元素之间的相互制约，各种生物成分对物流变化的反馈调节等。

4. 物质循环的途径

物质循环的途径是食物链及食物网。

5. 非良性物质循环的后果

物质良性循环时，输入生态系统的物质应刚好等于生态系统输出的物质，而且一定时期内输入的物质刚好够用，不会残留，且对生态系统无毒害作用，这样才算良性循环。反

之,则为非良性循环,它会产生各种不良后果,可以表现为生物放大作用、温室效应、环境污染、病虫害增多及生物多样性锐减等。

(1) 生物放大作用物质循环只有在良性无机环境下才能进行良性循环。如人为活动使环境中物质和能量增多,将致使环境质量下降,一旦超过生态系统中无机环境的自我调节能力,将会产生生物放大作用。生物放大作用即食物链的富集作用,是指有毒物质沿食物链各营养级传递时,在生物体内的残留浓度不断升高,愈是上面的营养级,生物体内有毒物质的残留浓度愈高的现象。由于有毒物质的生物放大作用,在动物和人体的浓度比环境及初级生产者高出许多倍,造成了严重的污染,带来了灾难。如:有机农药使用的历史虽不长,但它的污染已发展为世界性的环境污染。就是由于有机农药这种有毒物质因为生物放大作用,在物质循环中随着食物链的富集作用,不仅使食物链上各个营养级受到不同程度的毒害作用,而且致使处于食物链顶端的人类,受到最大的毒害作用。

(2) 温室效应。指大气中的水汽、二氧化碳及甲烷、氧化亚氮、氟氯烃等气体的大量聚集,可以吸收某些从地球表面向外辐射的长波辐射,并将其反射回地面,对地面起到增温作用。

温室气体主要来自以下三个途径(IPCC, 2007):①化石燃料的燃烧(58%);②农业、森林(包括砍伐森林)及水资源管理(34%);③城市化(8%)。化石燃料的燃烧会直接引起空气中的污染气体增多。农业,森林及水资源管理的不当,会导致植被面积锐减,或常年覆盖度不高,会引起光合作用减弱,造成大气中 CO_2 浓度变大,也会由于土地退化,沙尘天气增多,造成大气污染。城市化将会引起生物栖息地消失,进而引起物种锐减。不仅不会净化大气,还会产生光化学污染及“热岛效应”等,增加温室气体。

温室效应的后果很大。据科学家们估计,按照目前的速率,到2030~2050年,大气中二氧化碳的含量将比工业革命之前增加1倍,高达 $550\mu\text{g/g}$ 以上,全球气候将变暖,带来全球性的环境灾难:将导致海水变暖和膨胀,加速极地冰川和冻土的融化,进而导致海平面上升,沿海城市显于沉入水中的危险。

(3) 环境污染。由于人类活动排放出的物质和能量进入环境造成的环境质量下降和恶化现象。例如大气污染、水污染、噪声等。人类在农业活动中,过多地施用化肥、农药等,不被农作物施用的残留在土壤中会使土壤污染;或通过光、热解作用等进入大气造成大气污染;下渗进入地下水造成地下水污染;随径流进入河流造成河流污染,人类处于食物链的最高营养级,这些污染的环境下生产的食品将是污染的,最终这种污染对人类会造成危害。人类在工业活动及生活中产生的污染物,虽被回收处理,但常由于处理不彻底也会进入环境中造成土壤、水体、大气污染,最终这种污染也会对人类产生危害。

(4) 病虫害增多。由于全球气候变暖及人类活动的影响,稳定的食物链被打断,某些昆虫由于原有食物源太多而大量滋生,或自己的天敌数量大大减少或消失,这样将造成这些昆虫大量滋生而导致虫害。由于全球气候变暖,中国已经历18年暖冬,昆虫的生长期增长因此导致病虫害增多;人类的过度采伐、挖掘及捕捞,过度滥用化学药剂(如化肥、农药——杀虫剂、加速生长剂、催熟剂及除草剂等),这些过度行为将超出生态系统本身的同化能力及生物生态系统自我调节中本能的反应,从而表现为各种病虫害;由于天然植被大大被破坏,当前人工植被多是纯种的或简单的类型组合,导致生态系统的自我调控能

力不高也是引起病虫害增多的原因；对外交往的增多，外来生物的有意或无意引进产生的生物入侵也会引起病虫害增多；另外，还有由于资金、技术水平等的制约，病虫害治理不及时不彻底也会导致病虫害更严重。

(5) 生物多样性锐减。生物多样性即为生物及其生存环境的多样性，表现为三个层次上的多样性，包括物种多样性、基因多样性及生态系统多样性，只要生态系统非良性物质循环，生物的质量便会受到影响，轻则只影响到某一或某些生物个体减少导致的基因多样性的减少，程度依次加深，将会造成基因多样性锐减，物种多样性锐减，甚至生态系统多样性的锐减。

2.1.1.2 能量流动

1. 概念

生态系统中的各组分的存在、变化及其发展都与能量息息相关，都遵循一定的能量变化规律。能量流动指生态系统中进行物质循环中伴随着的能量变化。生态系统中的能量流动遵循热力学第一、第二定律的约束。

2. 生态系统中的能量来源

(1) 太阳辐射能是生态系统中的能量的最主要来源。太阳辐射中的红外线的主要作用是产生热效应，形成生物的热环境；紫外线具有消毒灭菌和促进维生素 D 生成的生物学效应；可见光为大部分植物、藻类及光合细菌光合作用提供能源，大部分植物、藻类及光合细菌通过光合作用把太阳能转化为有机化学能储存在植物等生产者体内，供给生态系统物质循环及信息传递中的能量所需。

(2) 辅助能指除太阳辐射外，对生态系统发生作用的一切其他形式的能量。辅助能不能直接转换为生物化学潜能，但可以促进辐射能的转化，对生态系统中光合产物的形成、物质循环、生物的生存和繁殖起着极大的辅助作用。辅助能分为自然辅助能（如潮汐作用、风力作用、降水和蒸发作用）和人工辅助能（如施肥、灌溉等）。

3. 能量流动遵循的规律

生态系统中能量流动遵循的规律是热力学第一定律和热力学第二定律，如图 2-1 所示。

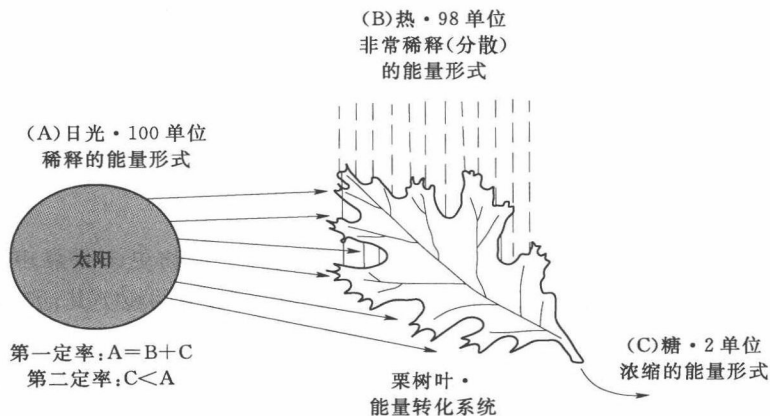


图 2-1 热力学第一、第二定律的示意图（曹湊贵，2002）

热力学第一定律即能量守恒定律 (Energy Conservation Law), 指能量既不能创生, 也不会消灭, 只能按严格的当量比例由一种形式转变为另一种形式。

热力学第二定律即熵定律 (Entropy Law), 在能量传递和转化过程中, 除了一部分传递和作功, 总有一部分以热的形式消散, 因此, 任何系统的能量转换过程, 其效率不可能是 100%。任何生产过程中产生的优质能, 均少于其输入能。能量在生态系统中的流动是单向衰变的。

4. 能量流动的途径

能量流动的途径和物质循环的途径一样, 都是食物链和食物网。

2.1.1.3 信息传递

1. 信息的概念

信息指生态系统中能引起生物生理、生化和行为变化的信号。信息使生态系统各要素各居其位, 各司其职, 使生态系统有条不紊, 维持生态平衡。如候鸟的迁飞、鱼类的洄游、生物间关系的协调等都离不开信息。

2. 信息的主要特征

(1) 传扩性。信息通过传输可沟通发送者和接受者双方间的联系。经过传输将不确定性消息转化为确定性信息。信息的传扩可通过多种途径和方式, 从一个地方传播到另一个地方。

(2) 永续性。永续性即信息是一种资源, 取之不尽, 用之不竭, 可以永远持续下去。

(3) 时效性。信息具有时效性, 即信息的效力具有时间性, 不是一成不变的, 而是随实践不断产生新信息。不能因为有了某些信息而一劳永逸, 而是应当经常实践, 不断捕捉新的信息。

(4) 分享性。分享性即信息可以通过双方交换, 相互补充。由于信息可以被传播, 所以不但不会失去原有的信息, 而且还会增加新的信息, 被更多的人所共享。

(5) 转化性。信息是一种不可缺少的资源。有效地利用信息可以节约时间、人力和财力, 这就等于把信息转化成了人力和财力。

3. 信息的类型

生态系统中的信息通常分为 4 类: 物理信息、化学信息、行为信息和营养信息。

(1) 物理信息。物理信息指生态系统中以物理过程为传递形式的信息, 如, 生态系统中的各种光、颜色、声、热、电、磁等。萤火虫通过闪光来识别它的同伴, 植物通过花的五颜六色吸引昆虫前来传花授粉。

1) 光信息。太阳是光信息的主要初级信源, 它通过折射, 储存、再释放等过程, 构成大量初级信源。

2) 声信息。声信息对于动物似乎具有更大的重要性。动物更多是靠声信息确定食物的位置或发现敌害的存在。生活在陆地上的蝙蝠和生活在水中的鲸类其活动环境不是光线暗弱就是光线传播距离短, 主要靠的是声纳定位系统。

3) 电信息。在自然界中有许多放电现象, 生物中存在较多的是生物放电现象, 特别是鱼类大约有 300 多种能产生 0.2~2V 的微弱电压。

4) 磁信息。由于生物生活在太阳和地球的磁场内, 都少不了要受到磁力的影响。生

物对磁有不同的感受能力，常称之为生物的第六感觉。南北长途往返飞行都能准确到达目的地，特别是信鸽千里传书而不误。在这些行为中动物主要是凭着自己身上带的电磁场，与地球磁场相互作用确定方向和方位。

植物对磁场也有反应。据研究，在磁异常地区播种小麦、黑麦、玉米、向日葵及一年生牧草，其产量比正常地区低。

(2) 化学信息。生物产生的各种次生代谢产物，如生物碱、萜烯类物质、黄酮等，是生物传递信息的化学物质，即生态系统中的各种化学信息。进行生物之间以及生物和非生物环境之间化学联系的研究的学科即化学生态学。

化学信息是生态系统中信息流的重要组成部分。在个体内，通过激素或神经体液系统协调各器官的活动。在种群内部，通过种内信息素（又称外激素）协调个体之间的活动，以调节动物的发育、繁殖、行为，并可提供某些情报储存在记忆中。

(3) 行为信息。行为信息，指植物通过异常表现和动物通过异常行动传递的信息。如，蜜蜂发现蜜源时，就有舞蹈动作的表现。

(4) 营养信息。营养信息是指环境中的食物及营养状况。在生态系统中，环境中的食物及营养状况会引起生物的生理、生化及行为的变化，如食物短缺会引起生物迁徙；植物叶色是草食动物取食的信息；被捕食者的体重、肥瘦、数量是捕食者取食的依据。食物链就是一个生物的营养信息系统，各种生物通过营养信息关系联系成一个互相依存和相互制约的整体。食物链中的各级生物要求一定的比例关系，即生态金字塔规律。

2.1.2 服务功能

这是从人类生态学的角度来讲的，生态系统的服务功能指生态系统为人类及社会经济系统直接或间接地提供的好处和服务。主要表现以下几类。

1. 调节功能

指生态系统在调节与保持地球生态过程与生命支持系统中发挥的重要作用。包括大气组成、气象与气候调节、水分调节及营养物质循环调节等。生态系统通过光合作用和呼吸作用与大气交换 CO_2 和 O_2 ，维持大气中的 CO_2 和 O_2 的动态平衡以调节大气成分有着不可替代的作用。稳定可持续的高生物量的生态系统（如森林）在地方水平上可以起到防风、增湿、调温，产生区域气候效应，调节当地气象和气候，也可通过在全球水平上全球温度、降水及其他生物作为媒介的气候过程的调节进行气候调节；生态系统的营养物质通过复杂的食物网循环再生，成为全球生物循环不可缺少的环节。生态系统也具有水分调节功能。如，发育良好的植被具有调节降雨和径流的作用，植物根系深入土壤，使土壤对雨水更具有渗透性，有植被的地段比裸地的径流相比，缓慢而均匀。一般在森林覆盖地区的雨季，植被可减弱洪水；在其旱季，由于良好的植被环境的涵养水源能力，在河流中仍有流水。湿地植被减缓地上的水流速，从而减低下游洪峰与规模强度（凌青根，2001）。

2. 促进土壤的形成与保持

土壤的形成过程离不开生物，比如岩石的侵蚀风化及有机物的积累都需要生物的参与。肥土的固定离不开植物根系，土壤的多孔性形成、腐质化、水分的保持都需要生物。植被可以减少雨水对土壤的直接冲击，保护土壤免受侵蚀，保持土地生产力，减轻泥沙淤积，减少

风沙等灾害。土壤中的生物分解过程使死去的有机物质和垃圾转化为碎屑，或生物可利用的养分形式，使有害或有毒物质化解为无害无毒物质，改善土壤肥力（凌青根，2001）。

3. 净化环境

生态系统可以通过废物处理，污染控制及消除放射性污染来净化环境。人类在生产、生活中产生的大量的垃圾和废物，有些被生物作为营养物质所利用，有些被生态系统的分解作用所分解，使得人类生活环境从整体上保持了清洁、舒适的状态。而微生物的分解作用在废物处理中是不可缺的。要是没有微生物，降解率将会很低。在废物处理方面，人类社会尚无法通过改进技术来摆脱对微生物的依赖，发达地区亦不例外。污水处理厂的设计思想就是努力使生态系统中的水环境中的污染物分解及降解这项生态系统服务达到最大化。即使工艺设备再复杂，最后阶段的处理还是要在生态系统（如河流、湖泊、海洋及湿地等）中完成。由于难以降解的污染物及放射性污染物往往通过固化进行深埋或填海，最终将在自然生态系统中得到处理。因此说，这些自然生态系统被用作废物处理系统在技术上的延伸，承担了最终的处理。

绿色植物对保持空气清洁和净化大气污染物方面具有独特作用，表现在：抑尘滞尘、吸收有毒气体、杀菌、减少噪音和释放有益健康的空气负离子等。

4. 维持生物多样性

一个区域，如果生态系统越稳定，越处于良性循环状态和平衡状态，说明其物种越复杂，食物链和食物网越复杂，那么其无论是生物个体、物种还是生态系统肯定处于多样化的状态。因此说良性生态系统具有维持生物多样性的功能。

5. 传播花粉和种子

大多数显花植物需要动物传粉才得以繁衍。据研究，在全世界已记载的 24 万种显花植物中，有 22 万种需要动物传粉。动物（主要是野生动物）为农田、院落、草场、菜园和森林的植物传粉，保证了这些植物的传宗接代。如果没有动物的传粉，不仅会导致农作物大幅度减产，还会导致一些物种的绝灭（Buchmann 和 Nabhan 1996；欧阳志云等，1999）。据记载，已发现传粉动物约 10 万种，包括鸟类、蝙蝠与昆虫（欧阳志云等，1999）。约 70% 的农作物需要动物授粉。有些种类的植物还需要动物传播和散布种子。如北美的白皮松（*Pinus albicanbis*）依赖于星鸦（*Nucifraga columbiana*）把种子从松果中嗑出来，然后埋到别处。没有这种过程，白皮松的松子保留在松果里，落到母树旁的土地上，繁殖成功率极低（董全，1999）。

6. 防灾减灾

生态系统的防灾减灾功能体现为具有蓄洪削弱洪灾旱灾的作用；防风固沙，防止土地沙漠化的作用；减少病虫害的作用；海滨地区的防风挡浪，固定海岸，防止海水入侵、削弱台风、风暴潮带来的损失的作用；同时还有防止近海赤潮发生的作用。

自然生态系统具有良好的蓄水保水功能，尤其森林生态系统这种功能最强，可以蓄洪降低洪灾，也可以蓄水用于干旱时期利用，降低旱情。

稳定平衡的生态系统具有密集的地表层，可以挡风阻沙。有很好的根系层，固定土壤和水分，防止根系土壤层水土流失。即使是很脆弱的生态系统，如果是长期形成的稳定的生态系统，它同样有这种功能，形成固结的稳定结皮层，起到固定沙土的作用。从加州的