

环境科学与技术应用系列丛书



环境与生物进化

万冬梅 主编

王秋雨 金 崑 副主编



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

环境科学与技术应用系列丛书

环境与生物进化

万冬梅 主编

王秋雨 金崑 副主编



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环境与生物进化/万冬梅主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 10

(环境科学与技术应用系列丛书)

ISBN 7-5025-7756-4

I. 环… II. 万… III. 环境生物学-进化学说-研究
IV. X17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 123442 号

环境科学与技术应用系列丛书

环境与生物进化

万冬梅 主编

王秋雨 金崑 副主编

责任编辑: 董琳 徐娟

文字编辑: 刘莉璐

责任校对: 郑捷

封面设计: 关飞

*

化学工业出版社 出版发行

环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市海波装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 20¼ 字数 368 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7756-4

定 价: 49.00 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

《环境科学与技术应用系列丛书》

编辑委员会

主 任：臧树良

副主任：马 放 马溪平 李法云 李铁民

委 员（以姓氏笔画为序）：

大江宏（日本） 马 放 马溪平 任南琪

刘 强 关 伟 孙铁珩 李法云 李铁民

吴龙华 范志平 罗 勇 曾晓非 曾清如

臧树良

主 审：任南琪 孙铁珩

内 容 提 要

生物需要生存在一定的环境中。一方面,其生存时时刻刻都在受到环境的制约和影响,面对已然改变了的环境,绝大部分生物均能做出适应性的调整,从而在适应中达到物种发展与进化的目的;另一方面,环境也会因为生物的存在而发生或大或小的变化,在环境变化与生物适应进化的交互发展中,生命得以延续。本书全面、系统地从事物宏观到微观,多角度、深层次地探讨了全球环境变化及环境改变与生物进化的关系等问题。共分六章,包括环境与全球环境问题、环境因子与生物、物种形成与进化、人类活动与生物进化、生物在分子和微观水平上的进化,最后论述了自然保护区与生物的生存发展。

本书可作为高等院校环境科学、生态学、保护生物学、进化生物学等相关学科的教学参考书,也适合从事环境保护和生物保护工作的人员阅读。

总 序

随着社会经济的发展,各种环境问题层出不穷,环境污染和生态破坏已严重危及到人类自身的生存与发展。从全球范围来看,环境问题已成为影响国际关系的重要因素,引起了世界各国政府首脑的极大关注。环境科学是一门新兴的综合性学科,其特点体现在发展历史较短。在发达国家,它只有50余年的发展历史,在中国则只有近30年的发展历史。随着经济的发展,人们对环境问题的认识不断提高,环境科学学科体系也一直处于完善与发展之中。从环境科学的主要任务来看,环境科学应是探索全球范围内的环境演化规律,揭示人类活动同自然生态系统之间的关系,探索环境变化对人类生存的影响,研究区域环境污染综合防治技术和管理措施等。可以说,环境科学是自然科学、社会科学、人文科学、工程技术的交叉学科,综合性是它与其他学科相比的一个最基本的特点。

目前,环境科学与工程学科在中国的发展极为迅速,环境市场日益繁荣。为了从事环境生物学、环境化学、环境生态学、污染环境生物修复、水污染控制、环境经济与管理等方面的教学、科研、技术和管理人员的需要,由辽宁大学环境与生命科学学院和哈尔滨工业大学环境工程系牵头,组织中国科学院生态环境研究中心、中国科学院沈阳应用生态研究所、中国科学院南京土壤研究所、中国社会科学院城市发展与环境研究中心、湖南农业大学资源与环境学院和日本亚细亚大学经营学部等单位的中外专家编写了《环境科学与技术应用系列丛书》。

本套丛书的编写人员都是在各自研究领域具有较高声望和一定造诣的专家和学者,并有国外学者参与编写。中国工程院院士孙铁珩研究员、“长江学者”特聘教授任南琪先生担任本套丛书的主审。概括起来,本套丛书具有如下特点。

(1) 学科的交叉性:根据环境科学学科新兴、综合性的学科特点,突出学科之间的交叉与渗透。

(2) 内容的系统性:围绕当前环境科学与技术的主要研究方向,对相关学科的基本理论进行了系统的介绍。

(3) 技术的实用性:针对当前的热点环境问题,原理与实践相结合,突出环境科学原理在解决实际环境问题中的应用。

(4) 知识的前沿性:瞄准环境科学学科的研究前沿,突出环境科学领域的最新研究进展,力求知识的新颖性。

为了全面落实科学发展观,促进环境科学技术的发展,化学工业出版社一直将环境保护类图书的出版作为出书的主要方向之一。本套丛书在编写过程中,得到了化学工业出版社的大力支持,在此表示感谢。

《环境科学与技术应用系列丛书》编辑委员会

2005年2月

前 言

环境是地球上的生物赖以生存、繁衍和发展的基本条件。在人类的生产活动对环境影响甚小的远古时代,地球环境处于一个相对平稳的状态。地球上的生物尤其是植物和微生物,利用太阳能进行代谢活动,吸收和排放二氧化碳,影响和控制着水循环,保持地球最近亿万年来生物地球化学圈的稳定,使气候等地球环境的自然变化保持在一定范围内。但近代工业革命的出现却打破了这种稳定,使地球环境发生了巨大的变化。近几个世纪以来,随着世界人口的激增和科学技术的巨大进步,人类正以前所未有的速度和规模改变着地球环境。目前备受人类关注的全球环境问题主要包括全球变暖、臭氧层破坏、大气污染造成酸雨现象、淡水危机、水体污染、土地荒漠化、土壤污染、森林面积减少、生物多样性丧失加剧等。本书对此都一一做了详细的阐述。

生物的生存时时刻刻都受到环境的制约和影响,在人类活动所致环境改变过程中,有的物种灭绝了,有的物种数量在逐年减少,而有的物种却逐渐适应了变化的环境,并在适应中达到物种发展与进化的目的。另一方面,环境也会因为生物的存在而发生或大或小的变化,在环境变化与生物适应进化的交互发展中,生命得以延续。在生物多样性保护受到广泛关注的今天,环境与生物进化及生物应对环境变化而采取的生态适应机制已经越来越引起生态学家们的注意,并在这方面开展了一些研究工作。但迄今为止,还未有一本书对此进行全面、系统的阐述,本书的出版将为有兴趣进入生物进化生态学领域的读者提供一个最新的入门读物,也有利于进化生态学的研究在我国迅速兴起。

本书的特点是首次从环境与生物进化的关系这一新视角,从宏观到微观,综合近年来国内外的一些研究成果,全面、系统地对生物进化生态学进行阐述,内容包括环境与全球环境问题、环境因子与生物、物种形成与进化、人类活动与生物进化、生物在分子和微观水平上的进化,最后论述了自然保护区与生物的生存发展。

本书由万冬梅主编,王秋雨、金崑任副主编。具体分工为:第1章由万冬梅、曲健君、肖长青编写;第2章由韩阳、万冬梅编写;第3章由万冬梅、罗义编写;第4章由万冬梅、李昊烨、周正编写;第5章由王秋雨、金莉莉编写;第6章由金崑编写。最后由万冬梅负责统稿,并对有关章节进行了补充和修改。

作为主编,我要特别感谢辽宁大学生命科学系的刘明玉教授对本书做出的贡

献，是他运用已有的丰富知识，帮助拟订了编写提纲，并提出了一些观点供借鉴，这对本书的编写起到了至关重要的作用。另外还要感谢我的两个研究生金春日和王爽同学，他们在一些章节的编写过程中帮助查阅了大量文献。

由于编写时间仓促，再加上本书内容涉及领域广泛，书中难免有不当和疏漏之处，敬请读者提出宝贵意见，以便进一步修订和完善。

万冬梅
于辽宁大学
2005年5月

目 录

1 环境与全球环境问题	1
1.1 概述	1
1.1.1 环境	1
1.1.2 全球环境问题	4
1.2 大气环境问题	6
1.2.1 全球气候变暖	6
1.2.2 臭氧层破坏	13
1.2.3 大气污染与酸雨	16
1.3 水环境问题	27
1.3.1 淡水危机	27
1.3.2 水体污染	34
1.4 土地环境问题	52
1.4.1 土地荒漠化	52
1.4.2 土壤污染	61
1.5 生态环境问题	75
1.5.1 森林面积减少	75
1.5.2 生物多样性丧失加剧	78
2 环境因子与生物	86
2.1 环境因子与生物概述	86
2.1.1 环境因子	86
2.1.2 环境因子作用的特点	87
2.1.3 生物与环境相互作用的基本原理	88
2.2 光与生物	90
2.2.1 光照强度与生物的适应	91
2.2.2 光质与生物的适应	95
2.2.3 光照周期与生物的适应	96
2.3 温度与生物	99
2.3.1 温度的生态作用	99
2.3.2 温度节律对生物的影响	102

2.3.3 极端温度对生物的影响与生物的适应	104
2.4 水与生物	108
2.4.1 水的生态作用	108
2.4.2 植物对水的适应	110
2.4.3 动物对水的适应	112
2.5 土壤与生物	114
2.5.1 土壤的概念	114
2.5.2 土壤的生态意义	115
2.5.3 土壤物理性质对生物的影响	116
2.5.4 土壤化学性质对生物的影响	120
2.5.5 土壤生物对生物的影响	122
2.6 大气与生物	124
2.6.1 空气主要组成成分的生态作用	124
2.6.2 风对生物的影响	127
2.7 地形与生物	131
2.7.1 坡向对生物的影响	131
2.7.2 坡度对生物的影响	132
2.7.3 坡位对生物的影响	132
2.7.4 海拔高度对生物的影响	133
2.8 生物与生物间的关系	133
2.8.1 种内关系	134
2.8.2 种间关系	139
3 物种形成与进化	151
3.1 生物进化理论	151
3.1.1 拉马克的生物进化理论	152
3.1.2 达尔文生物进化理论	152
3.1.3 现代达尔文主义	153
3.1.4 分子进化中性学说	154
3.1.5 非线性进化生物学	155
3.1.6 进化理论的未来发展	156
3.2 物种形成	157
3.2.1 物种概念	157
3.2.2 物种形成	158
3.3 协同进化	163

3.3.1	协同进化的概念	164
3.3.2	捕食者与被捕食者的协同进化	165
3.3.3	植物与植食性动物的协同进化	167
3.3.4	传粉的协同进化	170
3.3.5	寄生物与寄主的协同进化	172
3.4	动物行为生态与进化	173
3.4.1	动物进化规律	174
3.4.2	动物的储食行为与进化	177
3.4.3	动物的利他行为与进化	178
3.4.4	动物的生殖合作行为与进化	184
3.4.5	动物的通讯行为与进化	186
3.5	植物繁殖生态与进化	191
3.5.1	植物繁殖类型	192
3.5.2	植物繁殖节律与适应进化	194
3.5.3	种子扩散和休眠的进化意义	195
4	人类活动与生物进化	200
4.1	生物对栖息生境变化的进化适应对策	201
4.1.1	生境减少和破碎化对生物的影响与生物的适应	202
4.1.2	生境退化和污染对生物的影响与生物的适应	208
4.2	外来入侵种与生物进化	215
4.2.1	外来种入侵的途径和机理	216
4.2.2	生物入侵与适应性进化	221
4.3	遗传保护与生物进化	223
4.3.1	遗传保护的含意	224
4.3.2	遗传保护的途径及存在问题	225
4.3.3	濒危物种的遗传保护	225
5	生物在分子和微观水平上的进化	227
5.1	进化的分子基础	227
5.1.1	生命的分子系统进化树	227
5.1.2	生命的进化机制	228
5.1.3	基因的结构与功能	229
5.1.4	DNA 序列的突变	233
5.1.5	密码子使用频率	235
5.2	生物大分子进化和分子系统学	239

5.2.1	生物大分子进化的概念	239
5.2.2	生物大分子进化的特点	240
5.2.3	生物大分子进化的中性理论	243
5.2.4	分子系统学和分子系统树	246
5.2.5	分子钟假说	249
5.3	生物在微观水平上的进化	251
5.3.1	微观进化的概念	251
5.3.2	生物微观进化的单位——无性繁殖系和种群	251
5.3.3	种群的遗传结构	252
5.3.4	影响基因频率的因素	258
5.3.5	现代综合进化论与自然选择	263
5.3.6	微观进化在生物进化中的意义	268
6	自然保护区与生物的生存发展	269
6.1	自然保护区概述	269
6.1.1	自然保护区的定义及分类	269
6.1.2	世界自然保护区事业发展现状	270
6.1.3	我国自然保护区事业的发展	271
6.1.4	我国自然保护区现状	284
6.2	自然保护区是生物赖以生存和发展的重要基地	288
6.3	自然保护区是保存生物基因的基因库	290
6.4	自然保护区是濒危物种再繁殖的基地	299
	参考文献	305

环境与全球环境问题

1.1 概述

1.1.1 环境

环境是指某一特定主体周围直接或间接影响该主体的一切事物的总和。环境总是针对主体或中心而言，离开了这个主体或中心也就无所谓环境，因此，环境是具体的、相对的。不同的研究对象对环境有不同的概念。环境科学中所指的环境是以人类为主体的，环境是指围绕着人群的空间以及其中可以直接或间接影响人类生存和发展的各种因素的总体。生物科学中所指的环境，一般以生物为主体，在这里，环境是指围绕着生物有机体周围的一切。由此可见，环境科学中所指的环境与生物学中所指的环境，无论从其范围还是从包括的因素来看，都是有区别的，所以在使用环境这一概念时，一定要明确主体或中心。主体不同，环境所包含的范围和要素就不同。如一条鲤鱼在水库中游动，若以鲤鱼为主体，那么，环境就包括这一个个体周围的一切生物和非生物因素，生物因素包括异种的生物和同种的其他个体，也就是说，水库中的虾、浮游生物、其他鱼类、鸟类和其他鲤鱼都是它的环境组成元素，非生物因素包括气候（如温度、湿度、光、降水、风等）、土壤、地形等；但如果要研究的是包括水库中所有物种在内的生物群落时，即主体为水库生物群落时，它的环境就只包括气候、土壤、地形等非生物因素了。

环境科学中所指的以人类为中心的环境是一个庞大而复杂的多级大系统，它包括自然环境和社会环境两大部分。自然环境是指人类赖以生存、生活、生产所必需的自然条件和自然资源的总称，是一切非人类创造的自然物质，包括阳光、空气、水、岩石、土壤、动植物、微生物等构成的地理空间，这些自然物质与一定的地理条件结合，形成具有一定特性的自然环境。自然环境是人类生存和发展的基础，是人类生活和进行生产活动的生物圈部分。社会环境是指人类的社会制度等上层建筑条件，包括社会的经济基础、城乡结构以及同各种社会制度相适应的政治、经济、法律、宗教、艺术、哲学的观念与机构等，它是在自然环境的基础上，通过人类长期有意识的社会劳动，加工改造自然物质所创造的物质生产体系，以及所积累的物质文化的总和。社会环境是人类活动

的必然产物，它一方面可以对人类社会进一步发展起到促进作用，另一方面又可能成为社会发展的束缚因素。社会环境是人类精神文明和物质文明的一种标志，并随着人类社会不断发展地发展和演变。社会环境的发展与变化可以直接影响到自然环境，人类的社会意识形态、社会政治制度、对环境的认识程度、环境保护的措施等都会对自然环境质量的变化产生重大影响。如位于辽宁省康平县境内的大型天然内陆湖——卧龙湖的消失，给康平县及其周边地区的气候、降水等带来很大影响，而消失的原因与人类对环境认识程度的不足、不当的利用环境有着很大的关系。

环境是一个相对的概念，主体不同，环境内涵就不同，即使是同一主体，由于研究目的及研究尺度不同，环境的分辨率也不同，所以，环境有大、小之分，大到整个宇宙，小到细胞环境，周围因素的影响也由弱到强，关系由疏到密。例如，对于某一生物群落，它的环境从周围空间来说，近的是土壤、水分、地形、温度、光照以及与之直接相关的动植物、微生物及人类等，远的则至整个地球表面的水文、地质、气候等，甚至太阳系、宇宙等都会对其产生影响。

生物生存的大环境是指区域环境、地球环境、宇宙环境。大环境会直接影响小环境。小环境是指对生物有着直接影响的邻接环境，如接近植物个体表面的大气环境、土壤环境和动物洞穴中的小气候、林下环境、鸟巢四周环境等。大环境和局部的小环境并不总是一致的，小环境中的小气候，由于受局部的地形、植被、土壤等影响，可能会与大环境中的气候差别很大。

大环境和小环境由于距研究主体的距离不同，所以它们对生物的影响强度是不同的。生物生存受到大环境的影响，土壤类型、地质、气候等大环境决定着生物的分布和生物群落带，如香蕉树只能生长在热带和亚热带地区，北极狐只能分布在北极地区，生物群落带有温带森林生物群落带、戈壁沙漠生物群落带、草原生物群落带、热带雨林生物群落带、湿地生物群落带等。比起大环境来说，生物周围的小环境对生物的影响更大，因为生物切身感受到的是小气候，是局部地形、植被和土壤类型。与此同时，生物也在不断地影响、改变其周围的环境，对附近的气候等条件起着调节作用。如森林与相临的开阔地上的小环境就有明显不同，森林吸收大量的太阳辐射、保持水分、降低风速，使得林中温度、湿度变化幅度较小，林中生态结构丰富，生物种类比开阔地要多得多。动物在建立小环境方面也起着创建、改造乃至调控作用，例如，穴居动物挖掘洞穴，为自己也为其他相关生物建立了特殊的小环境；草食动物的各种取食活动可改变和影响植被结构，也可创造出小环境；甚至动物排出的粪便也能影响局部的土壤条件，粪便本身也为食粪动物创造了一个新的小

环境。

按照范围的大小，环境可分为宇宙环境、地球环境、区域环境、小环境、内环境等。

宇宙环境 (space environment) 指地球大气层以外的空间环境。是在人类活动进入大气层以外的空间和地球临近天体的过程中提出来的新概念。宇宙环境由广阔的空间和存在其中的各种天体及弥散物质组成，它对地球环境能产生深刻影响。太阳辐射是地球的主要光源和热源，是地球上一切生命活动和非生命活动的能量源泉，太阳辐射能的变化影响着地球环境。例如，太阳黑子的出现与地球上的降雨量有明显的相关关系；月球和太阳对地球的引力作用产生潮汐现象，并可引起风和海啸等自然灾害。

地球环境 (global environment) 指地球大气圈（主要是对流层）、水圈、岩石土壤圈和生物圈。它直接影响人类及其他地球生物的生存和发展，其中生物圈中的生物将地球各个圈层的关系有机地联系在一起，并推动着生态系统的物质循环和能量转换。这一环境已经不是单纯的自然因素，它还包括被人类改造、污染、破坏的自然环境部分以及人类自己构筑的社会环境，因此从性质上说，目前的地球环境是由自然环境、人为环境、社会环境组成的整体。所谓人为环境是指人类运用自己的力量、智慧改造自然环境，通过人类活动形成的环境，包括农业种植环境、植树种草形成的人工林、草坪环境、实施了保护措施的自然保护区以及风景旅游区、城市环境等。人为环境对人类及其他生物的影响有有利的一面，也有不利的一面，例如植树造林对生态系统十分有利，城市扩展对生态环境非常不利，而有的人为环境则很难定论其利与弊，如大型水库，其对区域生态环境的影响是多方面的、复杂的。

区域环境 (regional environment) 指一定地域空间的自然环境。不同地域具有不同的区域环境特点，分布着不同的生物群落，全球范围内的群落都是按照一定规律分布的。例如，在北纬 $45^{\circ} \sim 57^{\circ}$ 之间，分布着北方针叶林群落；北纬 60° 以北环绕北冰洋的狭长地带，分布着苔原群落；年降雨量不足 250mm 的地方，主要分布着沙漠群落；水域中分布着水生生物群落，等等。

小环境 (micro-environment) 指区域环境中，某一生物个体或群落附近直接接触的小范围的特定的栖息环境。

内环境 (inner environment) 指生物体内组织或细胞间的环境，对生物体的生长、繁育具有直接的影响，如植物叶片内部直接和叶肉细胞接触的气腔、通气系统都是形成内环境的场所。内环境对生物有直接影响，且不能为外环境所代替。

1.1.2 全球环境问题

地球环境包括大气圈下层的对流层、水圈、岩石土壤圈、生物圈，这几个圈层相互关联、相互作用。大气维持地面温度、传输水分及维护生物圈中的生物；水圈充斥在各个圈层，滋养生物；地壳是地球万物的立足基础，土壤养育了大量的动植物和微生物；生物圈中的生物把各个圈层联系在一起，推动着各种物质循环和能量转换。各圈层的活动、变化影响着生物的生活，而人类活动也会对各圈层产生巨大影响。

在人类的生产活动对环境影响甚小的远古时代，地球环境处于一个相对平稳的状态。地球上的生物，尤其是植物和微生物，它们利用太阳能进行代谢活动，吸收和排放 CO_2 ，影响和控制着水循环，保持地球最近亿万年来生物地球化学圈的稳定，使气候等地球环境的自然变化保持在一定范围内。对南极冰芯气泡中封闭的古大气的分析表明， CO_2 、甲烷 (CH_4)、一氧化二氮 (N_2O) 等温室气体的含量，除了最近 200 年，此前的数千年来几乎保持不变，从而保证了地球处于大致稳定的自然温室状态，于是平均地面温度、气候等也就稳定在一定范围内。 CH_4 、 N_2O 、 CH_3Cl 等微量气体的寿命较长，都在数年以上，其含量在大气中也基本稳定，从而保证了平流层光化学反应的稳定性，使得平流层中臭氧 (O_3) 含量保持稳定。 O_3 的重要作用在于减少紫外线辐射，保护地球上生物免受其害。如此一来，能量、物质和信息在各圈层内部及其之间的流通和交换赋予整个环境系统某些反馈和调节的特征，并维持着系统的平衡和稳定。

但近代工业革命的出现却打破了这种稳定，使地球环境发生了巨大的变化。近几个世纪以来，随着世界人口的激增和科学技术的巨大进步，人类正以前所未有的速度和规模改变着地球环境。南极冰芯气泡的研究数据表明，工业革命以来，大气中 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等微量气体含量迅速上升，从近年来大气测定数据来看，上述三种气体大致分别以 0.4%、0.9% 和 0.25% 的年增长率在迅速增长，另外来自人类工业活动的氯氟烃类 (CFCs) 有机化合物及大气中二次生成物如 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 CO 、对流层中的 O_3 等也都明显增加。这些大气微量成分增加的原因，主要是人口增长迅速，能源消耗加快，工业排放增加，也就是说，主要应归咎于人类不适当的活动。人是地球生物的一种，本来的作用应该使地球系统更加和谐、稳定，但最近几个世纪以来，人类活动的影响已经远远超过了大自然的自我恢复能力，导致地球环境的稳态被破坏，出现了全球变暖、臭氧层破坏、酸雨现象、土地荒漠化、环境污染、森林面积减少、生物多样性丧失加剧等种种现象。这种由于人类活动直接或间接造成的，出现在全球范围内的异乎寻常的地球环境变化，称为全球环境变化，简称全球变化 (global change)。这些变

化是在长时间内，在人为因素与自然因素共同作用下形成的。在人类社会的早期，灾害与环境问题的形成，是以单因素为诱因的，即一对一，现在则是多因素诱发。如干旱，过去主要是大气环流异常所致，现在则要考虑植被破坏、CO₂排放量等因素。全球变化的成因并不是独立的，而是相互交织的，形成一个复杂的多层次结构的联系网络（图 1-1）。这些全球变化之间也是相互联系、互为因果的，如沙漠化、全球变暖、酸雨都对土壤生态系统造成影响，通过土壤微生物的变化，影响 CO₂ 及其他大气微量成分的吸收、排放量；海洋污染影响了海洋生态系统，进而影响海洋碳循环，导致 CO₂ 的海洋吸收量变化，增加了大气中 CO₂ 含量；另外，森林面积减少，CO₂ 吸收量也随之减少，直接造成地球温暖化，森林减少与沙漠化一起，使水分蒸发量、水循环发生改变，间接引起气候变化。总之，种种全球环境问题的根源以及对全球变化的影响过程之间，有着强烈的、复杂的相互关系。

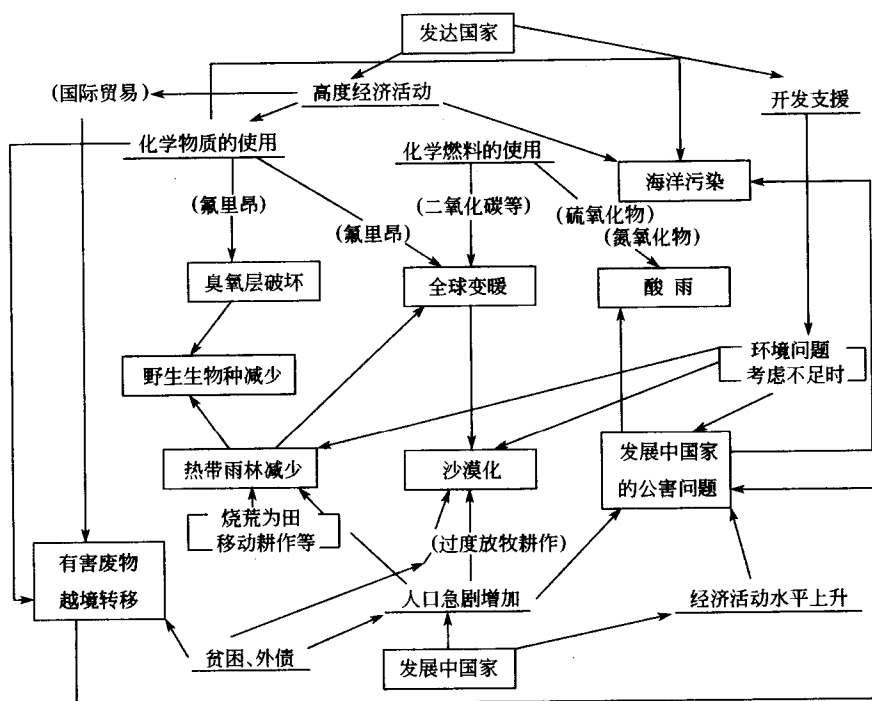


图 1-1 全球生态环境问题群 (引自马光等, 2000)

目前备受人类关注的全球环境问题主要包括以下几个方面：第一，大气环境问题，包括全球变暖、臭氧层破坏、大气污染造成酸雨现象等；第二，水环境问