

高 等 院 校 研 究 生 教 材

环 境 生 态 学

唐文浩 唐树梅 主编



中 国 林 业 出 版 社

高等院校研究生教材

环境生态学

唐文浩 唐树梅 主编

中国林业出版社

内 容 简 介

本书是编者在历年为研究生讲授环境生态学课程的基础上编写而成的,着重基础,兼及应用,同时反映学科发展动态。全书共11章:前6章为基础知识部分,主要介绍绪论,环境生态学基础理论,环境生态过程与生物地球化学循环,污染物环境行为与污染生态过程,生态环境监测,生态环境质量调查与评价;后5章为应用部分,主要介绍受损生态系统的修复与重建,环境生态工程原理与技术,景观生态与城市景观规划,农林生态工程的理论与实践,信息技术在环境生态学研究中的应用。

本书可作为环境科学、生态学及相关专业研究生的教材,也可作为高等院校环境科学、环境工程、生物技术、生态学和农林院校有关专业本科生的教材,对环境科学工作者、农林科技工作者和生态学研究也有重要参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

环境生态学/唐文浩,唐树梅主编. —北京:中国林业出版社,2006.12
高等院校研究生教材
ISBN 978-7-5038-4698-4

I. 环… II. ①唐… ②唐… III. 环境生态学—研究生—教材 IV. X171

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第039490号

中国林业出版社·教材建设与出版管理中心

责任编辑:肖基洪

电话:66188720

传真:66170109

出版发行 中国林业出版社(100009 北京市西城区德内大街刘海胡同7号)

E-mail: cfphz@public.bta.net.cn 电话:(010) 66184477

网 址: http://www.cfph.com.cn

经 销 新华书店

印 刷 北京市昌平百善印刷厂

版 次 2006年12月第1版

印 次 2006年12月第1次

开 本 850mm×1168mm 1/16

印 张 21.25

字 数 517千字

定 价 38.00元

凡本书出现缺页、倒页、脱页等质量问题,请向出版社图书营销中心调换。

版权所有 侵权必究

环境生态学是生态学与环境科学渗透而形成的新兴的、学科渗透性很强的交叉学科；是在解决生态环境问题的社会需要的推动下形成和发展起来的一门正在迅速发展的新学科。

环境生态学的发展是人类社会发展与其生存环境间长期积累的诸多矛盾明显激化的产物。由于全球出现了环境污染、资源枯竭、生态环境破坏、生物多样性锐减以及人口快速增长等危及人类自身生存的一系列严重的生态环境问题，致使环境生态学的研究突破了仅限于自然生态系统的传统生态学范畴，而涉及与之有关的工业、农业以及社会经济系统的诸多人类环境系统领域。同时，人类对生态系统的结构、功能及过程的认识也在不断深化，人类在开发利用各种资源的同时，注重了对受损生态系统的保育、修复，并试图对其进行科学治理，实施了经济、社会与生态环境之间协调和可持续发展的战略。这些措施导致环境生态学的学科任务和地位发生了重大变化。在人口爆炸的时代，自然生态系统或多或少地受到人类的干扰和破坏，理论意义上的自然生态系统可以说几乎不存在了，因而对半自然（或人工的）生态系统（或受污染生态系统）和人类赖以生存的环境生态系统的研究，即对环境生态学的研究已成为现代生态学和环境科学研究的热点与前沿学科之一。

世界环境与发展委员会 1987 年在《我们共同的未来》一书中指出：“在过去我们关心的是经济发展对环境的影响，而我们现在则更迫切地感到生态的压力；在不久以前我们感到国家之间在经济方面相互联系的重要性，而我们现在则感到在国家之间生态学方面相互依赖的重要性。生态与经济从来没有像现在这样互相紧密地联系在一个互为因果的网络之中。”环境生态学对人类如此的重要，不仅因为人类为了生存发展，而且也因为人类自身有责任维护人类赖以生存的星球，需要以环境生态学原则来调整人类与自然、资源和环境的关系。所以环境生态学应该是我们每个人必须认真学习的科学。人类为了不断地提高生活质量，实现可持续发展，就要掌握环境生态学知识，创造新的社会文化，提高全民的环境生态保护意识和全球意识，实现环境生态与人类发展协同共进。

本书以《环境生态学》讲义为基础，吸收近期国内外最新研究成果，经系统修改、补充、整理完成。教材内容既反映了国际上这门学科的研究动态和理论进展，又展示了国内外科技工作者在环境生态学领域科学知识的长

期积累,信息量大,理论与应用并重。全书共11章,各章的编写人员是:第1章、第2章,唐文浩;第3章,唐树梅;第4章,唐文浩;第5章,周安文;第6章,唐晓兰;第7章,周小飞;第8章,苏增建;第9章,黄月华;第10章,王旭;第11章,栾乔林。全书由唐文浩修改定稿!

本书在编写过程中参阅和引用了众多新的出版资料,在此表示衷心的感谢!

由于我们正处在一个知识不断更新的年代,加之环境生态学的发展极为迅速,书中的错误与不当之处在所难免,诚望读者提出宝贵意见,以便我们及时修改,使这本教材臻于完善。

唐文浩

2006年9月于海南儋州

前 言

第1章 绪论	(1)
1.1 人类的环境危机	(1)
1.2 环境生态学的研究内容和任务	(16)
1.3 环境生态学的研究方法	(27)
第2章 环境生态学基础理论	(36)
2.1 系统与系统学的思想	(36)
2.2 生态学原理	(44)
2.3 环境优化调控的理论基础	(53)
第3章 环境生态过程与生物地球化学循环	(59)
3.1 环境生态系统	(59)
3.2 化学物质的生物地球化学循环	(76)
3.3 各大圈层物质运动对生态系统的影响	(79)
第4章 污染物环境行为与污染生态过程	(83)
4.1 湿地生态过程研究	(83)
4.2 湿地系统中汞的环境过程研究	(89)
4.3 典型微量有机污染物的环境过程研究	(93)
4.4 土壤微生物的生态过程研究	(96)
4.5 关于生态适应与进化的分子机理研究的讨论	(102)
4.6 重金属在土壤中的行为及其生态化学过程	(106)
第5章 生态环境监测	(111)
5.1 生态监测的概念及特点	(111)
5.2 生态监测的理论依据及指标体系	(115)
5.3 水污染的生态监测	(123)
5.4 大气污染生态监测	(131)
5.5 生物残毒监测	(135)
第6章 生态环境质量调查与评价	(143)
6.1 生态环境质量调查	(143)
6.2 生态环境评价方法	(152)
6.3 生态环境影响评价	(159)
第7章 受损生态系统的修复与重建	(167)
7.1 生态恢复概述	(167)

7.2	受损生态系统恢复生态学的发展历程	(176)
7.3	生态恢复研究内容与方法	(179)
7.4	退化生态系统恢复与重建技术	(182)
7.5	生态系统恢复与重建的发展趋势	(188)
7.6	生态恢复案例分析	(191)
第8章	环境生态工程原理与技术	(195)
8.1	概述	(195)
8.2	生态工程的原理和原则	(204)
8.3	环境生态工程技术	(206)
8.4	环境生态工程实践	(219)
第9章	景观生态与城市景观规划	(229)
9.1	景观概述	(229)
9.2	景观生态学的基础理论	(233)
9.3	景观生态学与城市景观规划设计	(241)
9.4	城市景观规划案例	(260)
第10章	农林生态工程的理论与实践	(273)
10.1	概述	(273)
10.2	土壤养分流动与生态景观格局	(276)
10.3	农业生态工程	(281)
10.4	林业生态工程	(288)
第11章	信息技术在环境生态学研究中的应用	(295)
11.1	全球定位系统技术	(295)
11.2	遥感技术	(301)
11.3	地理信息系统技术	(305)
11.4	“3S”技术在环境生态学研究中的应用	(312)
11.5	“3S”技术在精确农业的综合应用	(320)
	参考文献	(330)

过去的 20 世纪,是人类历史上发展最惊心动魄的一个世纪,有史以来最长足的科技进步,最深刻的社会变革、最沉重的人口负担、最严峻的环境危机、最空前的生态浩劫都发生在这 100 年。人类在经历了一个世纪上下求索后终于意识到,即使拥有强大科技手段,人类也不能逃脱地球生存环境的种种变化对自身的影响。

环境生态学的发展是人类社会发展与其生存环境间长期积累的诸多矛盾明显激化的产物。由于全球出现了环境污染、资源枯竭、生态环境破坏、生物多样性锐减,以及人口快速增长等危及人类自身生存的一系列严重的生态环境问题,致使环境生态学的研究突破了仅限于自然生态系统的传统生态学范畴,而涉及与之有关的工业、农业以及社会经济系统的诸多人类环境系统领域。同时,人类对生态系统的结构、功能及过程的认识也在不断深化;人类在开发利用各种资源的同时,注重了对受损生态系统的保育、修复,并试图对其进行科学治理,实施了经济、社会与生态环境之间协调和可持续发展的战略,所有这些导致环境生态学的学科任务和地位发生了重大变化。在人口爆炸的时代,自然生态系统或多或少地受到人类的干扰和破坏,理论意义上的自然生态系统可以说几乎不存在了,因而对半自然(或人工的)生态系统(或受污染生态系统)和人类赖以生存的环境生态系统的研究,即对环境生态学的研究已成为现代生态学和环境科学研究的热点与前沿学科之一。

现今,人类为了不断地提高生活质量,实现可持续发展,就要掌握环境生态学知识,创造新的社会文化,提高全民的环境生态保护意识和全球意识,实现生态环境与人类发展协同共进。人类社会的发展如果不按生态学和环境科学规律办事,只能带来人类与地球的共同厄运。可以说,还很少有像环境生态学这样一门科学与人类的生存在时空尺度上,以及在自然、社会、经济等方面有如此紧密的联系。

世界环境与发展委员会 1987 年在《我们共同的未来》一书中指出:“在过去我们关心的是经济发展对环境的影响,而我们现在则更迫切地感到生态的压力;在不久以前我们感到国家之间在经济方面相互联系的重要性,而我们现在则感到在国家之间生态学方面相互依赖的重要性。生态与经济从来没有像现在这样互相紧密地联系在一个互为因果的网络之中。”环境生态学对人类如此的重要,不仅因为人类为了生存发展,而且也因为人类自身有责任维护人类赖以生存的星球,需要以环境生态学原则来调整人类与自然、资源和环境的关系。所以环境生态学应该是我们每个人必需认真学习的科学。

1.1 人类的环境危机

伴随着历史的进程,人类进入了粮食、能源、资源和环境等问题更加严峻的 21 世纪。“温室效应”引起的全球气候变暖可能在 20 世纪初使海平面升高 0.2 ~ 1.65m,这

足以使居住在沿海的几亿人口受到威胁；南极上空臭氧空洞在逐年加大，北极的臭氧层也在迅速被破坏，这将使对人类健康和生物构成危害的紫外线直射地球表面的强度增加；干旱、高温、飓风、洪水、地震、酸雨、疯牛病、禽流感以及原已消失的一些人类疾病的复现，这些涉及人类生存的重大问题有许多正是人类自己造成的恶果；许多对人类生存将构成极大威胁的全球性重大环境问题，都与大气、水体和土壤的严重环境污染以及生态环境破坏有关。

1.1.1 环境问题及其发展

所谓环境问题，是指人类为其自身生存和发展，在利用和改造自然界的过程中，对自然环境造成的破坏和环境污染所产生的危害人类生存和发展的各种负反馈效应。环境问题可分为两大类，一是不合理地开发和利用资源而对自然环境的破坏，以及由此所产生的各种生态效应，即通常所说的生态环境破坏问题；二是因工农业发展和人类生活所造成的污染，即环境污染问题。在一些地区，环境问题可能以某一类为主，但在更多的地区却是两类问题同时存在。这正是当今环境问题难以较快解决的原因之一。

环境质量的恶化是渐变的。毫无疑问，自有人类以来就产生和存在着环境问题，环境问题虽然存在于人类社会发展的整个进程，但在不同历史阶段，由于生产方式和生产力水平的差异，环境问题的类型、影响范围和影响程度也不尽一致。依据环境问题产生的先后顺序和影响程度，环境问题的发生与发展可大致分为三个阶段：自人类出现直到工业革命为止，是早期环境问题阶段；从工业革命到1984年发现南极臭氧空洞为止，是近现代环境问题阶段；从1984年发现南极臭氧空洞，引起第二次世界环境问题高潮至今，为当代环境问题阶段。

在靠采集和狩猎为主要谋生手段的时期，人类的过度采集和狩猎就曾对许多物种的数量和生存造成一定破坏。当然，那时的环境问题还是局部的、暂时的，大多数破坏并没有影响自然生态系统的恢复能力和正常功能。

新石器时期产生了原始农、牧业，使人类摆脱了靠采集、狩猎和迁徙维持生存的局面，人类社会进入了“刀耕火种”的时代。这无疑是人类改造大自然取得的一个伟大胜利，对于人类的发展起到了重要作用。但也正是从那时开始，人类大面积地砍伐森林，开垦土地和草原。落后的生产技术使人类不得不采取刀耕火种——弃耕的耕作方式。随着人口数量的增加，由这种耕作方式引发的生态环境问题开始出现，有的至今尚可见到。被称之为中华民族摇篮的黄河流域，就是一个这样的典型例子。

18世纪后半叶开始，以蒸汽机广泛应用及由此而推动的炼铁业、机器制造业和采矿业迅速发展为标志，人类进入了蒸汽机时代，或称之为第一次产业革命。这是人类发展历程上的一次重要转折，许多国家在这个时期由农业社会过渡到了工业社会，生产力得到空前的发展。纺织、化工、铸造等行业迅速兴起，林立的烟囱成为工业发达和经济繁荣的象征，煤炭成为工业和交通的主要能源。据统计，1870年全世界的煤产量为 $2.5 \times 10^8 \text{t}$ ，到1915年增加为 $13.4 \times 10^8 \text{t}$ ，45年间增长了5倍多。煤的大量燃烧使大气遭到了严重污染。蒸汽机故乡的伦敦市，在1873年到1892年间，先后多次发生严重的煤烟污染事件，夺去了上千人的生命。与工业化过程伴生的“城市化”对水源的污染也相当惊人，“把一切水都变成了臭气冲天的污水”。矿山的开采把大地挖得满目疮痍。工业社会环境污染和生物资源利用所出现的问题，已经达到了与从前根本不同的新水

平。这个时期环境问题主要表现是工业污染。但由于经济发展的不平衡,从全球角度看,危害还是局部的或区域性的,加之有些污染和生态破坏的危害在时间上具有时滞效应,当时的环境问题还没有引起大多数人的高度注意和重视。

19 世纪 30 年代以后,电机的产生、电能的利用以及汽车和飞机的相继问世,形成了第二次产业革命,人类进入了电气时代。尤其是 20 世纪两次世界大战的爆发,刺激了工业和科学技术的发展。电力、石油、化学、汽车、造船和飞机制造等工业开始在世界经济中占据主导地位。这些产业结构的特点是,生产过程需要消耗大量的矿物质。而产品的消耗和使用又需消耗大量的能源,从而使这次产业革命对自然资源的利用和开发达到了空前的程度。60 年代后,化学工业,尤其是有机化学工业又迅速崛起,合成了大量的化学物质以替代某些天然物质,使现代社会与自然环境间发生的大规模的物质交换及其所带来的各种不良的后效应,成为这个时期主要环境问题的根源。大规模的开发严重破坏了生态系统乃至生物圈的结构和功能,降低了其缓冲能力和自净能力。另一方面又是大量的人工合成的各类化合物,包括各种有毒物质和废弃物源源不断地进入环境。这不仅使原有的工业污染范围扩展,而且过去潜在的污染危害与新的污染共同酿成了社会性公害的发生。从 20 世纪 30 年代比利时马斯河谷事件开始,震惊全世界的污染公害相继发生。在工业发达国家里,大气、水体、土壤以及农药、噪声和核辐射等污染,在这个时期都达到了十分严重的程度,对人民的生活和经济的发展构成了严重威胁。人类第一次感觉到自身的生存安全受到了挑战。

20 世纪 60 年代后,首先是西方工业发达国家的人民群众掀起了声势浩大的“环境运动”。“环境运动”的兴起在人类发展史上具有深刻的意义。正如 M. K. 托尔巴博士所说:“决定我们这个星球上的生命能否维持其完整性并得到保护的是公众的舆论这种集体力量,即世界大家庭对环境问题的共同呼声。大众对环境问题的关注已形成一股强大的动力,促使‘联合国人类环境会议’的召开和联合国环境规划署的成立。”在这股强大动力的影响下,联合国制定了保护人类生存环境的一系列计划,并逐步付诸实施,各国政府环境保护机构相继成立。“地球的危机就是人类自身的危机”,“保护全球生态环境是全人类的共同责任”,这已成为世界各国人民的共识。“在不危害后代人满足其需要的前提下,寻求满足我们当代人需要和愿望”的“持续发展”(sustained development)的新观念已被普遍接受。正是基于这种变化,有人认为,1988 年是地球环境和公众环境意识发生划时代变化的一年,它预告一个环境时代的来临。

1.1.2 全球环境问题群

全球环境问题的相互联系和相互制约,使人类所面临的各种环境问题构成了一个复杂的环境问题群 (groupes of environmental problems), 臭氧层破坏、温室效应和酸雨这 3 个环境问题在整个环境问题群中占有极其重要的位置 (图 1-1), 因而被认为是三大全球性环境问题。剖析全球环境问题的形成、发展和危害, 不仅有助于认识人类所面临的各种环境问题的严重性, 增强保护环境和解决环境问题的紧迫感和责任感, 同时有助于对环境生态学研究内容和学科任务的了解。工业革命以来, 人类的社会、经济、科学技术和人口都在迅猛地发展, 人类活动的空间不断扩大, 需求日益增加, 为人类创造了巨大的财富。但是就在同时, 人类对地球资源的消耗、环境的破坏也越来越大, 即人类对地区上各种生态系统的影响越来越大。人们发现, 地球环境正在全面恶化中, 甚至于威

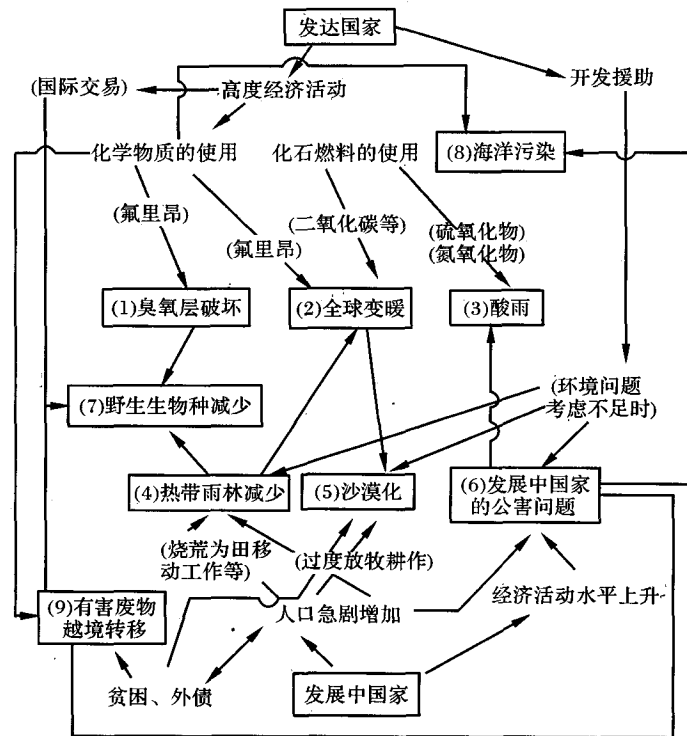


图 1-1 全球环境问题群简图 (引自 Hikali Kobayasi, 1989)

胁人类自身的生存。

1.1.2.1 臭氧层的破坏及其危害

臭氧的减少对于人的健康、作物和自然植被是有害的。因为 DNA 也吸收 280 ~ 320nm 波长的紫外辐射,危害 DNA 分子,所以地球表面紫外辐射的提高将使皮肤癌病例上升。紫外辐射还危害植物的光合作用,能导致初级生产力下降,而光合作用是整个生态系统食物链的基础。臭氧空洞威胁很大,国际社会已经通过维也纳臭氧层保护协定(1985)和蒙特利尔协议(1987),同意在 20 世纪末停止使用氯氟烃类(CFCs)。

臭氧(O₃)是大气中的一种痕量气体组分,其总量只占大气的几百万分之一。大气中所有的臭氧都集中在对流层与同温层底部这一空间范围内,主要距地面 20 ~ 25 km 的平流层中。臭氧在保护地球生态环境中起着重要的作用。首先,它是太阳紫外辐射的一种过滤器。在波长 200 ~ 400nm 的紫外线(UV)中,UV-C 的波长范围是 200 ~ 280nm,它可以杀死人和生物,但它几乎全部被臭氧吸收,使之不能辐射到地球表面;UV-B 的波长为 280 ~ 320nm,它可以杀死生物,使人体和生物体产生明显的生理效应,臭氧可吸收其大部分。

人们所关注的是臭氧层破坏后,UV-B 的动态变化。波长在 320nm 以上的 UV-A,对生物和人类的危害很小,臭氧对它的吸收量也很少。臭氧对紫外线的总吸收率为 70% ~ 90%。所以臭氧像保护伞一样,保护着地球上的所有生物和人类免遭伤害。正是从这种意义上说,一切生命都离不开臭氧,它对人类和生物如同氧气、水一样重要。

另外,臭氧对调节地球气温也具有重要作用。同 CO₂ 一样,臭氧也是一种温室气体。

体。低层大气中臭氧浓度的增加可吸收地球表面反射的红外辐射而使地球气温升高。同温层臭氧浓度的降低，涉及两种相反的效应。如果同温层中臭氧浓度降低，在这里吸收掉的紫外辐射即会相应减少，到达地球表面的紫外辐射将会增加，从而使地球变暖。另一方面，如果同温层中吸收的紫外辐射减少，同温层自身会变冷，释放出来的红外辐射将会减少，导致地球变冷。整个同温层中臭氧浓度的降低如果是一致的，则上述两种效应大致可以相互抵消。当前人们所关注的臭氧层破坏问题是指同温层中臭氧浓度的降低和低层大气中臭氧浓度的增加。

大气中臭氧浓度的变化是个复杂的光化学过程。大气层中如果没有其他干扰性化学物质存在，臭氧的形成与破坏速度几乎大致相同。因此，在大气严重污染以前，臭氧水平分布状况变化很小，只是随太阳辐射的周期性循环而呈现出一些规律性差异。近几十年来，燃烧矿物燃料产生的气体数量不断增加，其中有许多化学物质干扰了臭氧层的动态平衡。它们具有催化剂作用，能加快臭氧的破坏速度。这些物质能长期滞留在对流层中（表 1-1），最后上升到同温层。耗损臭氧物质在紫外线辐射下能同其他化学物质反应而剧烈地破坏臭氧的动态平衡。大量的科学事实和观测结果表明，同温层中臭氧浓度呈减少趋势。人造地球卫星的观测也证实，南极上空臭氧空洞范围也在逐年扩大。

表 1-1 耗损臭氧化学物质的浓度及寿命

化学物质	在大气中的平均寿命(a)	全球平均浓度(10^{-9} V)	年增长率(%)
CFC ₁₁	75	0.23	5
CFC ₁₂	110	0.40	5
CFC ₁₃	90	0.02	7
哈龙 ₁₃₀₁	110	很少	11
N ₂ O	150	304.0	0.25
CO	0.4	不定	0.2
CO ₂	7	34 400	0.4
CH ₄	11	1 650	1.0

臭氧层是维持整个地球生物圈平衡的主要因素，它的破坏会以多种方式深刻地影响着全球的生态环境。首先，UV-B 辐射量的增加会对农业生产造成不利影响。特雷缪雷对大豆进行的 5 年田间试验结果表明，减少 25% 的臭氧后，可使大豆产量降低 20% ~ 25%，大豆的质量也有所降低（表 1-2）。人工照射 UV-B 对植物抗性实验表明，200 种植物中有 2/3 的种类表现出不同的受害反应。紫外线的增加还可使植物光合作用受破坏，生长率降低等。

在目前人类主要谷物种类较少的情况下，臭氧破坏所带来的这些影响对农业生产可能造成一些潜在威胁。UV-B 辐射的增加对水生生物也会产生有害影响。鱼类是人类动物性蛋白质主要来源之一，全世界动物性蛋白的 18% 是由鱼类提供的，而在亚洲地区这个比例则高达 40%。然而，许多研究证实，若大气中臭氧减少 10%，将会使许多水生生物的幼体畸变率增加 18%。UV-B 还可使浮游植物光合作用减少 5% 左右。在淡水

生态系统中，UV-B 辐射水平的增加可通过对微生物的杀伤而使系统功能降低，影响着水体的自然净化效率（Van Dyke 等，1975）。无论对生物个体的观察结果，或由生物群落的推测结果都证明，受 UV-B 辐射的生态系统的组成和生态过程与对照生态系统是不同的。

表 1-2 紫外线对大豆产量与质量的影响

时间(年份)	产量变化(%)	质量变化(%)	
		蛋白质	脂肪
1981	-25	-5	-2
1982	-23	-4	+2
1983	+6	0	-2
1984	-7	0	0

引自 Alan H. Teramura, 1986。

另外，UV-B 照射可从多方面危害人类的健康，例如晒斑、眼疾病、免疫系统变化、光变反应和皮肤病（包括皮肤癌）。据估计，若臭氧总量减少 1%（即 UV-B 增加 2%），皮肤癌变率将增加 4%，扁平细胞癌变率增加 6%（UNEP，1986）。流行病学的研究也发现，臭氧减少 1%，白内障患者将增加 0.2%~0.6%（UNEP，1986）。

人类为了保护臭氧层采取了许多积极对策，包括寻找和研制 CFCs 的替代物等。但最近的研究表明，CFCs 的替代物虽对臭氧层的破坏比 CFCs 至少小 10 倍，但也同样具有温室气体的作用而加速全球变暖。另外，这些替代物对全球变暖的影响虽比 CFCs 小 3 倍，但在吸收辐射能方面却比同量的 CO₂ 强百倍。这个发现对人类如何解决目前所面临的重大环境问题也许是个很好的启示，即替代物的选用应该慎重。

1.1.2.2 温室效应及其变化趋势

存在于大气中的某些痕量物质和存在于对流层中的臭氧具有吸收太阳能在近地表面的长波辐射从而使大气增温的作用，称为温室效应（green-house effect）。具有这种作用的气体称为温室气体（green-house gases）。

温室效应是这样一种理论，它假设二氧化碳和甲烷等污染物会导致全球气温的上升。因为大气中的温室气体能够吸收入射的太阳热量，但是又阻止地球热量的全部散失，从而能使地球的气温上升。大气中二氧化碳含量上升的主要原因是化石燃料的燃烧。根据模型的预测，如果将大气中的二氧化碳浓度在现有水平上翻 1 倍，气温将继续上升 3.5℃ 左右。温室效应产生的影响将是深远的，如极地的冰会融化，海洋会因热而膨胀，海平面上升，最终导致全球气候的大规模变化。另外，全球变暖会引起生物的迁移，这种迁移或者是为寻求适宜的温度，或者是为适应变化的环境，或者是面临灭绝的反应。

厄尔尼诺（El Nino）现象是当今人类最具挑战性问题，它对于生物种群造成了巨大的生态后果。厄尔尼诺-南方涛动（the El Nino-Southern Oscillation, ENSO）是大尺度的大气-海洋现象，它在全球尺度上影响生态学系统，是当今世界关注的重大问题。其影响所达的地区包括南北美洲、欧洲、大洋洲和非洲的不同地区。我国东南部的周期性

暖冬，还有冬夏季干旱可能与 ENSO 有关。ENSO 周期平均是 4 年，变动于 2 到 7 年之间。El Nino 出现的记录是 1982 ~ 1983 年，1986 ~ 1987 年，1991 ~ 1992 年，1993 ~ 1994 年，1995 年，1997 ~ 1998 年。

实际上，在人为干扰之前，温室效应和温室气体就存在。如大气中的 CO₂ 气体和水蒸汽等，可让太阳辐射透过大气层进入地球表面而对地球表面散发的长波辐射有强烈的吸收作用，正是它们对能量捕获才使地球上生物的存在成为可能，这属于“自然”温室效应。而人类对化石燃料的燃烧，森林砍伐和工业发展等破坏了地球上这种“自然”温室效应所形成的热平衡，引起气候的变暖被称之为“人为”温室效应。

根据科学家预测，在未来的气候变化过程中，CO₂ 的贡献率很大（图 1-2）。大气中 CO₂ 浓度的增加始于 18 世纪，但直到工业革命前仍维持在 280 mg/m³ 左右（图 1-3）。实测 CO₂ 浓度的工作始于 1958 年（图 1-4），那时仅 315 mg/m³，到 1988 年达到了 350 mg/m³，平均每年增长 1.17 mg/m³。预计到 2000 年达到 375 mg/m³。科学分析表明，CO₂ 浓度若增加 1 倍，地球的气温将增加 2 ~ 4℃。

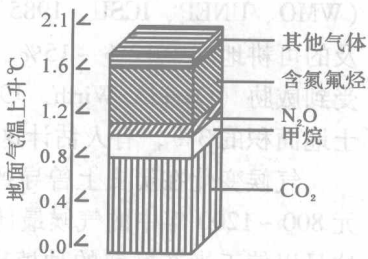


图 1-2 温室效应气体增加对气候变暖的贡献

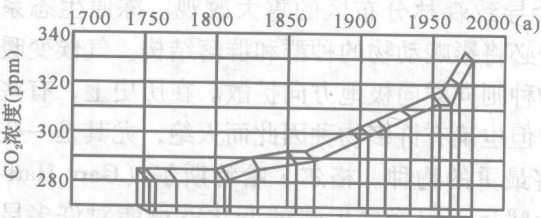


图 1-3 1750 年以来 CO₂ 浓度的变化情况

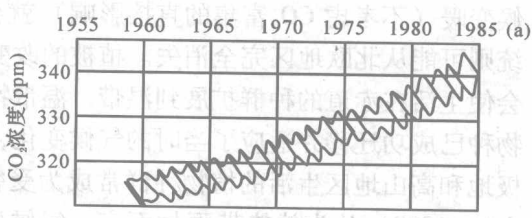


图 1-4 1958 ~ 1988 年 CO₂ 浓度的变化情况

对冰核分析表明，1850 年大气中 CH₄ 浓度为 0.7ml/L；1977 年为 1.52ml/L；1985 年达到 1.7ml/L。CH₄ 是 20 世纪 70 年代中期后才开始呈现出明显增长趋势，并与人口增长呈正相关。现在每年排入大气中的 CH₄ 约为 4.25 × 10⁸t，其浓度已由工业革命前的 0.7ml/L 增长到 1.7ml/L，年均增长率为 1.0%。CH₄ 主要来源是反刍动物、土地开发和化石燃料的使用。CH₄ 的分子结构能更有效地阻止红外线的向外辐射和减弱大气的自净能力并对臭氧层造成破坏。大气中 CH₄ 浓度的增长速度比 CO₂ 还快，预计到 2030 年大气中 CH₄ 浓度将达到 2.34ml/L，有可能成为今后温室效应的主因。

CFCs 类温室气体是人为产生而排放到大气中的，其中量大危害重的是 CFC₋₁₁ 和 CFC₋₁₂。自这类物质 1928 年合成，50 年代开始批量生产后，到 70 年代中期上升到每年 86 × 10⁴t，其后稳定在这一水平上。现在每年排入大气的 CFC₋₁₁ 和 CFC₋₁₂ 各约为 0.4t。1986 年大气中 CFCs 气体的浓度已达 556pptY（万亿分之一），预计 2030 年可达到 2900pptY。CFCs 能长期在对流层中积累并会不断向同温层中扩散，在这里通过光解反应而破坏臭氧层。据预测，在未来的气候变暖过程中，CFCs 的贡献很大（图 1-2）。由于这类气体在大气中的寿命能保持 65 ~ 150 年，即使世界产量今后保持现有的生产水平，在相当长的一段时间内，大气中的 CFCs 浓度每年也要增加 5%。

根据各种温室气体对地球变暖贡献率的分析，1980 年大气中除 CO₂ 外的其他各种

痕量气体若按“碳效应”计算,相当于40ml/L的温室加热,到2030年将相当于140 mg/m³的CO₂,加上CO₂本身可达到的450 mg/m³,温室气体总效应相当于590 mg/m³,与1860年的275 mg/m³相比增加1倍多,最可能的估计是到2030年全球范围将升温1.5~4.5℃。

全球气候变暖的结果弊大于利,而且后果无法挽回。气候变暖的一个重要后果是加速海平面的上升。目前广泛接受的估测是到2100年,海平面可能上升0.2~1.65m(WMO、UNEP、ICSU,1985)。海平面若上升1m,可使尼罗河三角洲全部淹没,使埃及的可耕地减少12%~15%,将淹没孟加拉国国土的11.5%,使其8%的国民生产总值受到威胁(OavidA. Wirth,1989)。就世界范围看,影响区域可达500×10⁴km²,占全球土地面积的3%,有人估计这可使10亿人处于危险之中。

气候变化在历史上曾导致生物带和生物群落空间(纬度)分布的重大改变。在公元800~1200年中的气候最佳期,至少在北大西洋地区的平均温度只比目前高1℃,但这足以使玉米在挪威的种植成为可能,并导致森林纬度极限和高度极限的改变。公元1500~1800年西欧的小冰川期,平均气温只比现在低1~2℃,在挪威就有一半农场被弃耕,冰岛的农业耕种活动几乎全部停止,苏格兰的一些农场也全部被冰雪覆盖。温室效应引起的升温可能要大于上述幅度,据艾姆尔(Emanuel,1988)等人的结论,仅气候变暖(不考虑CO₂富集的直接影响)就会导致森林分布区的重大改观。冻原生态系统则可能从北欧地区完全消失。植被的改变必将影响动物的种群和群落结构。气候变暖会使生活在赤道的种群扩展到温带,温带物种则同样向极地方向扩散。在历史上,有些物种已成功迁移并适应了当时的气候变化,但也确有许多物种因此而灭绝,尤其是一些极地和高山地区生活的植物种群常成为受害最重的物种。格尔·哈特斯尔(Gary Hartshor,1988)认为就热带雨林而言,气候变暖后,仅降雨形式的变化就可能对许多昆虫、鸟类和哺乳类造成灾难性危害。降雨量年度内的变化会干扰许多植物生殖时期及各种生理反应,进而影响动物与之相适应的多年协同进化的一致性,导致动物生殖系统紊乱,加速热带森林动物的灭绝。

气候变暖也同样会影响世界粮食生产的稳定性与分布。根据现有的技术和粮食品种,气温升高2℃,即使降水量不变,全世界的粮食产量也可能下降3%~17%,并能使害虫的危害增加10%~13%。由于人口增长对粮食生产的压力越来越大,气候变暖使全世界的农业减产可能成为未来许多问题的起因,甚至是世界局势动荡的重要因素。气候变暖还会造成疾病的增加。卡尔克斯曾统计过纽约市气温与死亡率的相互关系,他发现,即使其他环境因素无变化,气温升高2~4℃,该市的人口死亡率也明显地呈上升趋势。

1.1.2.3 酸雨和环境酸化范围扩大

酸雨(acid rain)是指雨水中含有一定数量酸性物质(硫酸、硝酸、盐酸等)的自然降水现象,包括雨、雪、雹、雾等,其pH值一般都小于5.6。“酸雨”这个名词自1872年由英国化学家R. A. 史密斯(R. A. Smith)提出后,直到20世纪50年代,发达国家才设置监测网,开始研究工作,从而使酸雨作为一个重大环境问题被认识。目前在美国、日本、瑞典、丹麦、加拿大和我国的部分地区都出现了酸雨和环境酸化问题,并呈现发展趋势。

酸雨是大气污染的结果，是 SO_2 和 NO_x 在大气或水滴中转化为硫酸和硝酸等所致，这两种酸占酸雨中总酸量的 90% 以上。据报道，国外酸雨中硫酸与硝酸之比为 2: 1，而我国对酸雨水化学的分析表明，硝酸的含量还不及硫酸含量的 1%，说明我国当前大部分的酸雨属硫酸型。

酸雨形成的机理是很复杂的，影响其形成的因素也很多，除与大气污染程度有关，还与大气自身降水、土壤地带性差异以及大气的缓冲能力等因素有关。空气中氨的作用也不容忽视，它是空气中唯一重要的气态碱，易溶于水，对空气和雨水中酸起着中和作用。空气中气态氨含量高，酸雨就不易形成。因此，除因有一定数量的酸性物质外，碱性物质的相对减少也是酸雨形成的主要原因，瑞典酸雨比我国严重的原因也与之有关(表 1-3)。

表 1-3 不同国家和地区雨水酸度与酸碱成分

地点	酸度	酸性物质 (ml/L)		碱性物质 (ml/L)	
	pH	SO_4^{2-}	NO_3^-	Ca^{2+}	NH_4^+
重庆	4.12	13.29	1.39	1.53	1.21
北京	3~6	13.11	3.12	3.68	2.54
瑞典	4.3	3.4	1.9	0.28	0.56
美国	3.92	6.0	2.4	0.30	0.20

引自张义生等，1986

目前，酸雨和环境酸化还只出现在局部地区，在我国也仅见于西南地区。除大气中气态氨的含量对酸雨的形成有重要影响外，大气中的颗粒物也起着重要作用。我国北方的土壤一般都偏碱，pH 值在 7~8，南方的土壤则偏酸，pH 值在 5~6，而空气中的颗粒物一半左右来自土壤，碱性土壤中氨的挥发量大于酸性土壤，这就使北方地区大气颗粒物缓冲能力和气态氨水平高。这是西南地区酸雨多而北方地区不易形成酸雨的主要原因。由于形成酸雨的物质及二次污染物在大气中平均滞留时间短，酸雨问题还不能像温室效应那样构成全球性危害。但酸雨和环境酸化的破坏常常是不可逆的，对生态系统的损害常是毁灭性的，故成为全世界极其关注的尖锐问题。

酸雨的危害是导致环境的酸化。当酸性雨水降到地面而得不到中和时，就会使土壤、湖泊、河流酸化。若水体的 pH 值降到 5 以下时，鱼类的生长就要受到严重的影响，流域土壤中和水体底质中的有毒金属即会溶解在水中，毒害鱼类。同时，水质的酸化还会引起水生态系统结构上的变化，耐酸的藻类和真菌将增多，而有根植物、细菌、无脊椎动物、两栖动物则减少，并使分解速度降低，水质恶化。有关学者对北美洲的安大略地区的研究表明，湖泊因受水质酸化的影响，绿藻 (*Chlorophyta*) 的种类已由 26 种减少为 5 种，蓝藻 (*Cyanophyta*) 由 22 种减少到 10 种。在挪威南部，5 000 个湖泊中已有 1 750 个无鱼，900 个受到严重影响。瑞典 8 500 个大中型湖泊中，1 800 个已酸化，900 个已表现出生态平衡失调。在这些地区和北美还发现，在酸化的水体中，鱼卵不能正常发育，藻类叶绿素合成量降低，底生藻类减少，水生生物群落结构趋于单一化。

陆地生态系统中，土壤酸化的危害也是十分严重的。在瑞典南部，由于酸雨的影响，30 多年来该地区的土壤肥力减弱了一半，土壤已经贫瘠化。另外，土壤酸化还影

响了土壤微生物的活性,降低生态系统正常功能。酸雨及土壤酸化对森林生态系统的影响也很明显。根据斯堪地那维亚半岛南部的调查,1950~1960年雨水中的pH值从6.0降到4.0以下,森林的生长量减少了2%~7%。我国重庆郊区马尾松林的成片死亡也与酸雨有关。酸雨对建筑物和名胜古迹的损害是人们所熟悉的,由于受酸雨的影响,重庆市公共汽车外壳已不得不改用铝板。目前,世界上许多名胜古迹都不同程度地受到了酸雨的损害,这方面的事例和报道已屡见不鲜。

土壤酸化与人工氮肥的广泛使用有关。目前,人工固氮超过了天然固氮总量。人工固氮对于养活世界不断增加的人口作出了重大贡献,同时,它也通过全球氮循环带来了不少的不良后果,其中有些是威胁人类在地球上持续生存的生态问题。大量有活性的含氮化合物进入土壤和各种水体以后对于环境产生的后果,其影响范围可能从局域环境到全球,深至地下水、高达同温层。例如,水体硝酸盐(NO_3^-)可以引起婴儿的“蓝婴病”;这种病还可能与皮肤病和一些癌有联系。硝酸盐是高溶解性的,容易从土壤淋洗出来,污染地下水和地表水,在使用化肥过多的农田区是一个严重问题,至少已经有了30余年历史。流入池塘、湖泊、河流、海湾的化肥氮造成水体富氧化,藻类和蓝细菌种群大暴发,死体分解过程中大量掠夺其他生物所必需的氧,造成鱼类、贝类大规模死亡。海洋和海湾的富氧化称为赤潮。某些赤潮藻类还形成毒素,引起如记忆缺失、肾脏和肝脏的疾病。造成水体富氧化和赤潮的原因,除过多的氮以外,还有磷,两者经常是共同起作用的。可溶性硝酸盐能够流到相当大的距离以外,加上含氮化合物能保持很久,因此很容易造成可耕土壤的酸化(含硫化合物也是酸化的原因)。土壤酸化将使微量元素流失,并增加作为重要饮水来源的地下水的重金属含量。一般说来,氮污染使土壤和水体的生物多样性下降。

总之,在短时间内酸雨和环境酸化还不会像“温室效应”和臭氧层破坏那样构成全球性危害,但无论对生态系统破坏程度还是所造成的经济损失却是十分惊人的。在美国,每年因酸雨造成的各种经济损失近百亿美元,因酸雨和大气污染引起全世界范围的森林损失每年也有数十亿美元。酸雨和环境酸化已是现在不容忽视的重大环境问题。

1.1.2.4 土地荒漠化

按1994年《联合国防治荒漠化公约》的定义:“荒漠化是包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化”,该定义说明了荒漠的性质、分布范围和造成荒漠化的原因。

沙漠化是导致土地资源丧失的另一世界性重大环境问题。据联合国环境规划署的资料,全球沙漠化土地有 $4\,560 \times 10^4 \text{ km}^2$,几乎等于俄罗斯、加拿大、美国和中国面积的总和。其中60%在亚洲和非洲。现在世界上平均每分钟就有 10 hm^2 的土地变成沙漠,每年因土地沙化要损失 $600 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的农田和牧场,由沙漠化带来的直接损失约260亿美元。

我国也是受沙漠化危害较深的国家之一。有关研究资料表明,我国沙漠化土地面积共有 $332.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,占国土面积的34%,相当于20个广东省的面积。有近4亿人口受到沙漠化的危害,每年损失达540亿元,1995年高达2070亿元。我国沙漠化土地20世纪70年代为每年 $1\,560 \text{ km}^2$,90年代初增加到每年 $2\,100 \text{ km}^2$,现在则扩展到每年 $2\,460 \text{ km}^2$ 。沙漠化最严重的是我国北方地区,特别是东起科尔沁草原,经坝上、鄂尔多