



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教学指导委员会审定

环境化学

魏世强 主编

 中国农业出版社

全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

环 境 化 学

魏世强 主编

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

环境化学 / 魏世强主编. —北京: 中国农业出版社,
2006. 2

全国高等农业院校教材

ISBN 7-109-09805-2

I. 环... II. 魏... III. 环境化学-高等学校-教材 IV. X13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 007160 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 李国忠

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月北京第 1 次印刷

开本: 787 mm×960 mm 1/16 印张: 28.75

字数: 515 千字

定价: 37.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书共7章,包括绪论、大气环境化学、水环境化学、土壤环境化学、污染物在生物体内的迁移与生物效应、重要元素的生物地球化学循环与效应、固体废物的环境化学。全书以污染物在环境各圈层中的迁移转化过程所涉及的污染化学问题为主线,在系统介绍环境化学基本理论及发展动态的同时,密切联系我国乃至全球当前所面临的环境问题,从环境系统的角度阐述污染现象的发生及其化学机制,强调人类活动对环境系统物质循环的影响及其所产生的环境效应,包括对农业生物生长和产量、品质的效应,使读者在分析、解决环境问题时,能从微观到宏观、从局部到整体等多方位思考问题。

本书可作为高等院校环境类专业的教材或参考书,也可供从事环境保护相关专业的技术人员参考。

主 编 魏世强 (西南大学)
副主编 赵晓松 (吉林农业大学)
朱端卫 (华中农业大学)
郑绍建 (浙江大学)
参 编 王定勇 (西南大学)
赵 军 (甘肃农业大学)
龚道新 (湖南农业大学)
祖燕群 (云南农业大学)
陈华林 (温州师范学院)

前 言

环境化学是环境科学专业、环境工程专业的一门专业基础课程。它是运用化学的理论和方法,研究化学污染物在环境中的迁移、转化和归宿,污染物的各种状态、特性及其对生态环境和人类的影响的一门科学。换言之,环境化学是研究污染物在环境中的行为规律及其所产生的环境效应的科学。因此,它是环境科学众多分支学科的基础。为满足我国环境类专业人才的培养需求,我们组织了全国农业院校环境科学专业在教学第一线的优秀骨干教师编写了本教材。

本书内容分为7章。第一章为绪论,介绍环境问题的产生和发展,当前人类面临的环境问题,环境化学的定义、研究内容和发展方向。第二章为大气环境化学,主要介绍大气的结构、组成和性质,大气中主要污染物及其迁移,光化学反应基础,温室效应、酸沉降、臭氧层破坏、光化学烟雾等重要的大气污染化学问题及其形成机理,气溶胶化学,大气污染的防治对策。第三章为水环境化学,主要介绍天然水的基本特征,天然水中的化学平衡,重点介绍水中的酸碱平衡、重金属在水环境中的沉淀与溶解、氧化与还原、吸附与解吸、絮凝与沉降、配合作用等过程的基本原理及影响因素,有机污染物在水环境中挥发、吸附、化学与生物降解等迁移转化的基本原理及影响因素,简要介绍水污染控制的基本途径和技术。第四章为土壤环境化学,介绍土壤的组成和基本性质,土壤污染的产生与评价,重点介绍土壤中重金属和有机农药的迁移转化过程及影响因素,简要介绍土壤污染防治与修复技术。第五章为污染物在生物体内的迁移与生物效应,介绍典型污染物在动物、植物体内的运转过程及生物、生态效应,包括污染物的吸收、分布、积累和排泄,重点介绍污染物沿食物链的浓缩与累积放大过程及影响因素。第六章为重要元素的生物地球化学循环与效应,介绍碳、氮、磷、硫及重金属生物地球化学循环的基本过程、循环速率与通量,重点分析人类活动对元素循环的干扰及所产生的环境效应。第七章为固体废物的环境化学,介绍固体废物的分类和危害,处理与处置方法,在环境中的迁移、转化与归宿等。

本书在编写过程中,力求反映农业院校的特点,在系统介绍环境化学基本理论及发展动态的同时,重视从环境系统的角度阐述污染现象的发生及其化学

机制、强调人类活动对环境系统物质循环的影响及其所产生的环境效应，包括对农业生物生长和产量、品质的效应，使学生在分析、解决环境问题时，能从微观到宏观、从局部到整体等多方位思考问题。

本书编写分工如下：第一章由魏世强编写，第二章由赵晓松和龚道新共同编写，第三章由朱端卫和陈华林共同编写，第四章由王定勇编写，第五章由郑绍建编写，第六章的第一节由王定勇编写、第二节由魏世强编写、第三节由陈华林编写、第四节由龚道新编写、第五节由祖燕群编写，第七章由赵军编写。全书由魏世强统稿。

本书编写过程中虽经多次修改，但是由于编者水平所限，缺点错误在所难免，请广大读者批评指正。

编 者

2005 年 12 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 环境与环境问题	1
一、环境的基本概念	1
二、环境要素与环境系统	2
三、环境问题	5
第二节 环境污染与环境污染物	9
一、环境污染	9
二、环境污染物	9
三、污染物的环境效应	12
第三节 环境化学的研究内容与发展动态	13
一、环境化学的定义	13
二、环境化学的研究内容与分支	13
三、环境化学研究的特点	15
四、环境化学的发展动态	16
复习思考题	21
主要参考文献	22
第二章 大气环境化学	23
第一节 大气层的结构和性质	23
一、大气的范围	23
二、大气的组成	23
三、大气的垂直结构	24
四、气温垂直递减率和逆温现象	26
五、气团的绝热过程和干绝热直减率	28
六、大气稳定度	29

七、影响污染物迁移的因素	31
第二节 大气中的化学反应	35
一、大气中的光化学反应	35
二、大气中的离子和自由基	37
三、大气中的氧反应	41
四、大气中的氮反应	45
第三节 大气污染化学	48
一、大气中重要污染物的种类、来源和污染危害	49
二、大气中重要污染物的化学转化	56
三、主要大气污染现象产生的化学过程	72
第四节 大气污染的控制	114
一、控制大气污染的途径	114
二、大气污染治理方法	114
复习思考题	115
主要参考文献	117
第三章 水环境化学	120
第一节 天然水的基本特征	120
一、地球水资源及其分布	120
二、天然水的组成和性质	121
三、天然水的循环	124
第二节 天然水中的化学平衡	126
一、酸碱平衡	126
二、沉淀溶解平衡	134
三、配合平衡	141
四、氧化还原平衡	146
第三节 水中有机污染物的重要反应	155
一、界面反应	155
二、光化学反应	165
三、生物降解作用	167
四、水解反应	169
第四节 水污染化学	172
一、水体污染与水体自净作用	172
二、水体中主要污染物的种类和来源	176

三、主要污染物在水中的迁移转化	184
第五节 水污染控制化学	195
一、水污染控制的基本途径	195
二、水污染控制的主要技术	197
三、水污染的化学控制	203
复习思考题	216
主要参考文献	220
第四章 土壤环境化学	221
第一节 土壤的形成、组成和性质	221
一、土壤的形成	221
二、土壤的基本物质组成	223
三、土壤的机械组成和质地分类	228
四、土壤的物理化学性质	231
第二节 土壤污染	240
一、土壤污染与污染源	240
二、土壤环境的自净作用	241
三、土壤背景值与土壤环境容量及其应用	244
第三节 土壤中重金属的积累与迁移	250
一、重金属在土壤中的赋存形态	250
二、土壤重金属污染的特点	251
三、重金属在土壤-植物系统中的积累与 迁移	253
第四节 农药在土壤中的化学行为	259
一、农药在土壤环境中的扩散与吸附	259
二、非离子型农药与土壤有机质的作用	262
三、农药在土壤环境中的降解	265
第五节 污染土壤的修复技术	270
一、土壤性质的调控技术	270
二、污染土壤的工程修复技术	271
三、污染土壤的植物修复技术	273
复习思考题	276
主要参考文献	277

第五章 污染物在生物体内的迁移与生物效应	278
第一节 污染物在生物体内的迁移	278
一、植物对于污染物的吸收与迁移	278
二、动物对污染物的吸收和在体内的迁移	289
第二节 污染物在食物链中的转化与浓缩	297
一、食物链概述	297
二、污染物的生物浓缩	298
三、污染物的生物积累	300
四、污染物的生物放大	301
第三节 污染物的生态效应和典型污染物的生物效应	302
一、环境污染对生态系统平衡的破坏	302
二、典型污染物的生物效应	305
复习思考题	324
主要参考文献	324
第六章 重要元素的生物地球化学循环与效应	326
第一节 碳的循环与环境效应	326
一、二氧化碳与碳循环	326
二、碳循环的一般模式	327
三、碳循环过程的现代库存和通量	328
四、碳循环对环境的影响	335
第二节 氮的循环与环境效应	336
一、氮在自然环境中的形态、含量和分布	336
二、氮的生物地球化学循环	337
三、人类活动对氮循环的干扰与环境效应	342
第三节 磷的循环与环境效应	348
一、磷的形态、含量和分布	348
二、磷的循环和运动	352
三、磷与水体富营养化	358
第四节 硫的循环与环境效应	359
一、硫的一般性质	359
二、硫在环境中的形态与储量	360
三、硫的循环	366

四、硫循环的重要反应	376
五、人类活动对硫循环的干扰与硫的环境效应	382
第五节 重金属的循环与环境效应	382
一、汞的循环与环境效应	383
二、镉的循环与环境效应	392
三、铅的循环与环境效应	399
四、铬的循环与环境效应	404
五、砷的循环与环境效应	408
复习思考题	413
主要参考文献	414
第七章 固体废物的环境化学	416
第一节 固体废物的来源、分类和危害	416
一、固体废物的来源	416
二、固体废物的分类	417
三、固体废物的产生量及污染状况	420
四、固体废物的特点	421
五、固体废物的污染途径及危害	422
第二节 固体废物的处理与处置	425
一、固体废物的收集、分类与回收	425
二、固体废物的固化	427
三、固体废物的处理	429
四、固体废物的资源化	436
五、固体废物的最终处置	437
第三节 有害废物在环境中的迁移、转化与归趋	440
一、水体中有害废物的来源、转化与归趋	441
二、土壤中有废物的来源、迁移与归趋	442
三、大气中有害废物的去除机制与可能归趋	443
复习思考题	444
主要参考文献	445

第一章 绪 论

第一节 环境与环境问题

一、环境的基本概念

环境是相对于特定中心事物（主体）而言的。围绕中心事物的周边事物的总和，就是该主体事物的环境。环境科学中所研究的环境，是以人类为主体的外部世界，即围绕着人群的，直接或间接影响人类生产、生活和发展的各种外界事物和因素的总和。换言之，人类的生存环境包容了人类以外的自然界中的一切事物。

环境具有多种层次，多种结构，可以做各种不同的划分。按主体可将环境分为人类环境和生物环境。人类环境以人为主体，其他的生命物质和非生命物质都被视为环境要素。生物环境以生物为主体，生物体以外的所有自然条件称为环境。

按性质可将环境分为自然环境、半自然环境和社会环境。自然环境是指客观物质世界中影响人类生产和生活的各种自然因素的总和，其中主要因素有水、大气、阳光、岩石、土壤、生物等。半自然环境是指受到一定程度干扰或被人干预后的自然环境，如农业环境。社会环境是人类在自然环境的基础上创造和建立的人工环境，如生产环境、交通环境、商业环境、聚落环境、文教环境、卫生环境、旅游环境等。

按范围大小可将环境分为宇宙环境、地球环境、区域环境、微环境、内环境等。宇宙环境指大气层以外的宇宙空间。地球环境指大气圈中的对流层、水圈、土壤圈、岩石圈和生物圈。区域环境指的是各生物群落所处的生存环境。组成生物圈的各圈层是不均匀的，在物质的组成和分布方面有着很大差异，形成了彼此可相区别的各种各样区域，即为区域环境。例如，湖、河、江、海、沙漠、山地、平原以及热带、亚热带、温带和寒带等，都有各自突出的自然景观。不同区域环境中生存着与环境相适应的动物、植物和微生物。微环境是指区域环境中，由于某一个（或几个）圈层的细微变化而产生的环境差异所形成的小环境。内环境指生物体内组织或细胞间的环境。生物体内各种生理代

谢均在一定的内环境中进行,维持内环境的正常平衡就能促进生命的发展;相反,内环境的平衡失调,将导致生物代谢紊乱甚至死亡。

由于环境概念内涵和外延的广泛性,为了有针对性地保护环境,世界各国在环境保护法规中对“环境”给予了明确定义。《中华人民共和国环境保护法》规定:“本法所称的环境指:大气、水、土地、矿藏、森林、草原、野生动物、野生植物、水生植物、名胜古迹、风景旅游区、温泉、疗养区、自然保护区、生活居住区等。”这是一种以保护对象为内容的环境定义,目的是为了贯彻和保证法律的准确实施。

二、环境要素与环境系统

(一) 环境要素

环境要素也称环境基质或环境因素,是构成环境整体的各个独立的性质不同而又服从整体演化规律的基本性质组分。环境要素分为自然要素和社会要素,但一般常指自然环境要素。自然环境要素包括水、大气、土壤、岩石、生物、阳光等。人类所处的地球表面环境按构成要素可分为有5个圈层:大气圈、水圈、土壤圈、岩石圈(有的学者将土壤圈和岩石圈作为一个圈层,称为土壤-岩石圈)和生物圈。大气组成大气层,全部大气层称为大气圈。水组成水体,全部水体称为水圈。土壤构成农田、草地、林地等,地表全部土壤称为土壤圈。岩石组成岩体,由全部岩体构成的固体壳层称为岩石圈。生物组成生物群落,全部生物群落称为生物圈。表1-1和表1-2分别列出了地球各圈层的质量和元素组成。这些圈层在太阳能的作用下不断进行着物质循环和能量流动,从而使自然界呈现出万物竞新、生生不息的景象。

表 1-1 地球各圈层的质量

圈 名	估计质量 ($\times 10^{20}$ g)	圈 名	估计质量 ($\times 10^{20}$ g)
1. 大气层		3. 岩石圈	
对流层的质量 (至 11 km 处)	40	沉积物	3 000
总质量	51.4	沉积岩	29 000
2. 水圈		变质岩	76 200
河流和湖泊	2	火成岩	189 300
地下水	81	4. 土壤圈	16
两极冰帽、冰山、冰河	278	5. 生物圈	0.018 (干物质)
海洋	13 480		

表 1-2 地球及各圈层元素的质量百分组成

(按元素丰度次序排列)

地 球		地 壳		海 洋		大气 (不含水汽)		生物圈	
Fe	34.6	O	45.2	O	85.8	N	75.5	O	53
O	29.5	Si	27.2	H	11.0	O	23.2	C	39
Si	15.2	Al	8.0	Cl	1.94	Ar	1.3	H	6.6
Mg	12.7	Fe	5.8	Na	1.05	C	9.3×10^{-3}	N	0.5
S	1.9	Ca	5.1	Mg	0.13	Ne	1.3×10^{-3}	Ca	0.4
Ni	2.4	Na	2.3	S	0.09	Kr	0.45×10^{-3}	K	0.2
Ca	1.13	K	1.7	Ca	0.041	He	72×10^{-6}	Si	0.1
Al	1.09	Mg	2.8	K	0.039	Xe	40×10^{-6}	P	0.1
Na	0.57	Ti	0.67	Br	0.007	H	23×10^{-6}	Mg	0.1
P	0.1	H	0.14	C	0.003	S	70×10^{-9}	S	0.07

环境要素具有一些非常重要的属性, 这些属性决定了各个环境要素间的联系和作用的性质, 是人们认识环境、改造环境的基本依据。在这些属性中, 最重要的是以下几个。

(1) 最差限制律 整体环境的质量不是由环境诸要素的平均状态决定, 而是受环境诸要素中那个与最优状态差距最大的要素所控制。这就是说, 环境质量的好坏, 取决于诸要素中处于“最差状态”的那个要素, 而不能因其他要素处于优良状态得到弥补。因此, 环境要素之间是不能相互替代的。

(2) 环境整体大于诸要素之和 某一环境所表现出的性质, 不等于组成该环境的各个要素性质之和, 而是比这种“和”丰富得多, 复杂得多。环境诸要素之间相互联系、相互作用形成环境的总体效应, 这种总体效应是个体效应基础上质的飞跃。

(3) 相互依赖性 环境诸要素是相互联系、相互依赖的。首先, 环境诸要素的相互作用和制约关系, 是通过能量流 (即能量在各要素之间的传递) 或能量形式在各要素之间的转换实现的。其次, 通过物质循环 (即物质在环境要素间的传递和转化), 将环境要素相互联系在一起。

(二) 环境系统

地球表面各种环境要素及其相互关系的总和称为环境系统。环境系统中, 各种环境因素之间, 由于成分不同和自由能的差异, 在太阳能和地壳内部内能的作用下, 进行着永恒的能量流动和物质交换。环境系统是一个具有一定自身调节能力的动态平衡体系, 对来自外界比较小的冲击能够进行补偿和缓冲, 从而维持环境系统的稳定性。环境系统的稳定性是在长期演化过程中逐渐建立起来的, 环境各要素之间物质和能量的收入和支出保持平衡, 因而维持地表温度

和物质组成的相对稳定性。环境系统的这种特性是生命发展和繁衍必不可少的条件。环境系统是一个开放体系,各种环境因素彼此相互依赖,其中任何一个因素发生变化便会影响整个系统的平衡,推动它的发展,建立新的平衡。

环境系统的范围可以是全球性的,也可以是局部性的,例如一个海岛或者一个城市都可以是一个单独的系统。全球系统由许多亚系统交织而成,如大气-海洋系统、大气-海洋-岩石系统、大气-生物系统、土壤-植物系统等。局部同整体有不可分割的关系,区域性变化积累起来,会影响全球。例如森林被滥伐,其面积日益缩小,最终将影响全球气候。

环境系统概念的提出,其意义是把人类环境作为一个统一的整体看待,避免人为地把环境分割为互不相关的支离破碎的各个组成部分。环境系统的内在本质在于各种环境因素之间的相互关系和相互作用过程。揭示这种本质,对于研究和解决当前许多环境问题有重大的意义。

环境系统和生态系统两个概念的区别是:前者着眼于环境整体,而后者侧重于生物彼此之间以及生物与环境之间的相互关系。环境系统和人类生态系统两个概念相近似,但后者突出人类在环境系统中的地位和作用,强调人类同环境之间的相互关系。环境系统从地球形成以后就存在,生态系统是生物出现后的环境系统。而人类生态系统一般是指人类出现后的环境系统。

至今为止,人类还未完全了解环境系统中许多错综复杂的机制,还未能建立精确的模式来揭示环境因素间微妙的平衡关系。人类仍然自觉与不自觉地在不断破坏环境系统的平衡。例如,人们在使用氯氟烃(通称氟里昂)时,没有想到它会破坏大气臭氧层的稳定,这个问题直到 20 世纪 70 年代中期才引起注意。从环境系统演化的历史来看,旧平衡的破坏,新平衡的建立是历史发展的正常规律,环境系统始终处于动态平衡之中。人类为谋求生存和发展,就会不断改造自然,打破原有的平衡,并企图建立新的平衡。但人类在改造自然的过程中,常常由于盲目或受到科学技术水平的限制,未能收到预期的效果,甚至得到相反的结果。一种设计往往对此地有利,而对另一地方有害;或者是短期有利,长期不利。例如,英、德等国利用高烟囱扩散工业废气二氧化硫(SO_2),结果 SO_2 飘送到斯堪的纳维亚半岛,并与雨水结合形成酸雨,严重危害当地生态系统。当前人类还未弄清楚自然界各种复杂因素之间的相互关系,因此对于一些巨大的改变自然的工程,如水库的建造、河流的改道、大面积的垦荒、工业和交通建设等等,都要谨慎从事,考虑到各种可能发生的后果。

合理利用和改造人类环境,防止不良后果,要做好环境系统的研究。研究重点是:①存在于各环境因素之间、各圈层之间、有机界与无机界之间的相互作用,能量的流动,物质的交换、转化和循环;②环境系统中的平衡关系,反

馈机制,自我调节能力,环境容量,环境系统的稳定性和敏感性;③人为活动对环境的影响。这些研究涉及许多学科领域,也是环境科学的中心任务之一。

三、环境问题

(一) 环境问题的产生和发展

所谓环境问题,是指环境要素及由这些要素组成的系统的物质组成、结构和性质发生了不利于人类生存和发展的变化。通常可分为两类:一是自然灾害问题,即原生环境问题或第一环境问题,如火山爆发、地震、滑坡、洪水、风暴等;二是人类活动作用于周围环境而引起的人为环境问题,即次生环境问题或第二环境问题。尽管第一类环境问题有些与人类活动有关,但第二类环境问题是人类社会发展与环境的关系不协调直接引起的,是环境科学研究的重点。第二类环境问题可归纳为4个方面:①在资源开发过程中过度地向自然索取物质和能量(特别是化石燃料、矿物、木材等);②在物质生产和日常生活过程中向环境释放出废物和废能(特别是化学污染物和辐射能);③经济建设(如农村城市化、围湖造田、兴建水坝等)对环境的干扰;④人口增长引起单位时间和空间中人类活动频度增加。上述人类活动都将导致环境污染和自然生态的破坏。可见,环境问题不只限于环境污染,随着时代和科学技术的进步,人们对环境问题的认识也在不断深入和发展。

环境问题可以说在古代就有了。西亚的美索不达米亚、中国的黄河流域,是人类文明的发祥地。由于人类活动的加剧,特别是近代大规模地毁林垦荒,而又不注意培育林木,造成严重的水土流失,以致肥沃的田地逐渐变为贫瘠的土壤。在世界人口数量不多、生产规模不大的时候,人类活动对环境的影响并不大,即使发生环境问题也只是局部性的。18世纪工业革命以来,社会生产力的迅速发展,机器的广泛使用,为人类创造了大量财富,人们的物质和文化生活水平日益提高。然而,工业革命是一柄双刃剑,其对环境的破坏也超过了以往任何时代,造成了严重的环境污染,如举世闻名的“八大公害事件”(表1-3)、1984年印度博帕尔甲基异氰酸酯毒气泄漏事故、1986年前苏联切尔诺贝利核泄漏事故、瑞士莱茵河农药水污染事故等。

表 1-3 世界八大公害事件

事件名称	时间	地点	发生原因	主要后果
马斯河谷事件	1930年 12月1~5日	比利时马斯河谷工业区	工业区地处谷地,工厂排放的CO ₂ 及含氟气体在逆温气象条件下,在近地面层严重积聚	有几千人致病,主要症状:咳嗽、胸痛及呼吸困难,有60多人死于事故