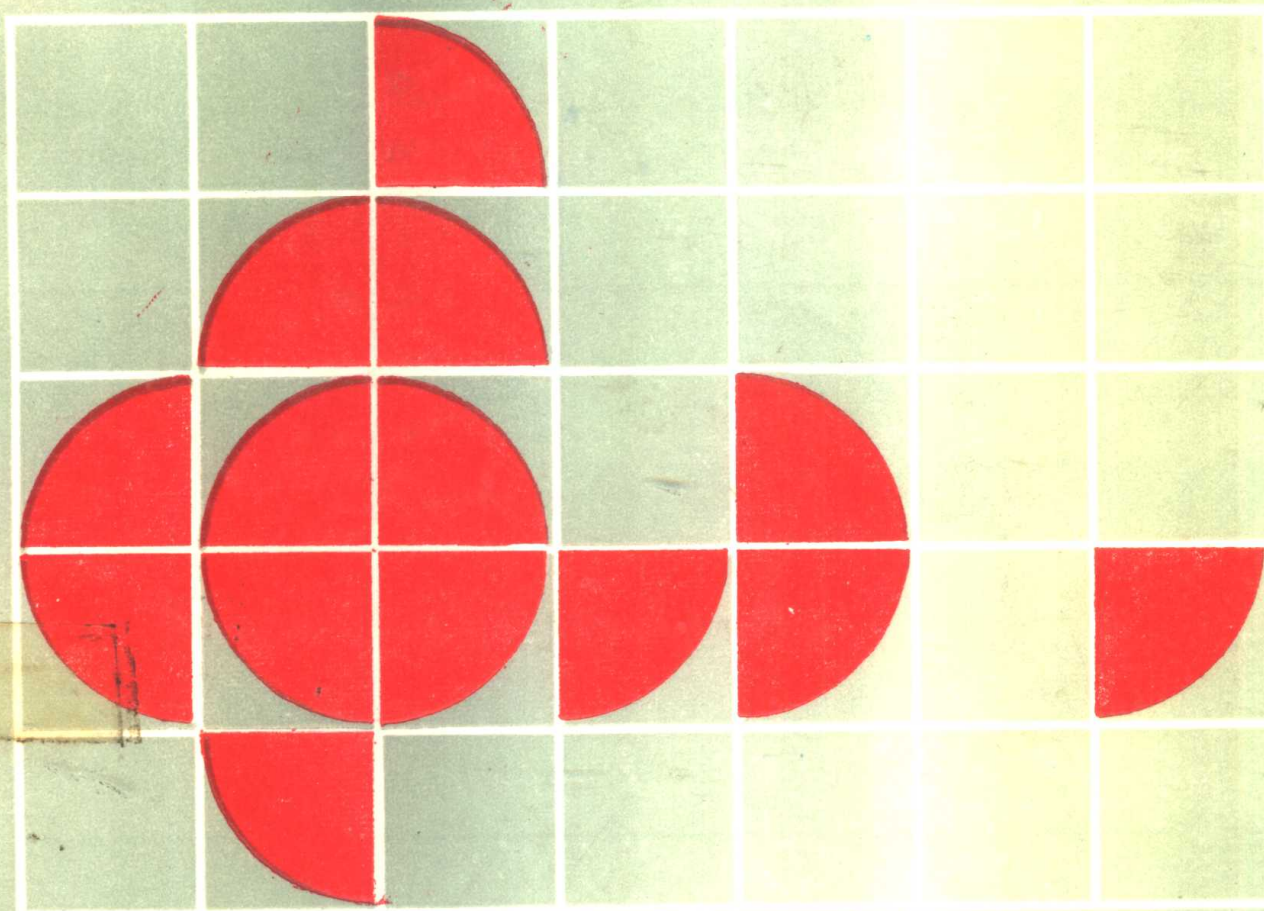


# 环境化学

HUANJIIN HUAXUE

● 韩宝华 主编 ● 中央广播电视大学出版社



# 环 境 化 学

韩宝华 主编

中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

### 内 容 简 介

环境化学是环境科学中一门重要的基础学科。本书是根据中央广播电视大学环境工程专业的教学计划和环境化学课程教学大纲编写的。全书共分九章,重点介绍环境化学污染物在大气、水体以及土壤中的环境化学行为,同时也涉及到生态学基础知识和化学污染物的分析、监测以及治理等方面的内容。

本书主要是作为中央广播电视大学环境工程专业的教材,同时也可作为其他高等学校有关专业的教学参考书,也可供从事环境科学研究人员和环境保护的技术人员使用和参考。

### 环 境 化 学

韩宝华 主编

\*

中央广播电视大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

北京印刷三厂印装

\*

开本 787×1092 1/16 印张 19 千字 433

1993 年 10 月第 1 版 1993 年 10 月第 1 次印刷

印数 1-4000

定价 10.50 元

ISBN 7-304-00844-X/O · 65

## 前 言

环境化学是环境科学的重要组成部分,也是环境工程专业的一门专业基础课。它是在无机化学、分析化学、有机化学、物理化学以及化工原理等课程的基础上讲授的。

根据中央广播电视大学环境化学课程教学大纲的要求,本教材的基本内容由三部分组成,即大气环境化学基础和大气污染物化学、水体环境化学基础和水体污染物化学、化学污染物的监测方法和化学污染物的治理方法。此外,还讲述了生态学基础知识,土壤与土壤污染物化学以及污染物在生物体内的积累与转化等内容。每一章之后都附有习题。书末附有环境质量标准和污染物排放标准。

编写本教材的指导思想是在讲清基本概念、基本原理的基础上,重视知识的应用和能力的培养,力求简明扼要、突出重点、通俗易懂。由于篇幅的限制,在课堂上不讲的内容基本上没有编入,同学们如有余力,可阅读有关文献和专著。

考虑到电视教学的特点,在编写本教材的同时,还编写了与本教材配合使用的辅导教材。辅导教材分为两篇。第一篇是自学指导,其中包括每一章的目的要求、主要内容、参考内容和问题与习题解答。第二篇是实验课的教学内容。

本书由大连理工大学韩宝华教授主编。参加编写者为:第三、四章分别由中央广播电视大学白桂蓉、刘宝廷编写,其余各章由韩宝华编写,并负责全书统稿和附录编选。

本书由吉林大学杜尧国教授主审,杨志华、朱仁、任仁、陈青萍、李兴正,中央电大出版社温泽润等专家参加了审稿会或样章审稿会并提出了宝贵意见。在此一并致谢。

本书在编写过程中,参照并引用了国内外近期出版书刊中的一些内容,并得到中央广播电视大学各级领导的大力支持和帮助,在此深表谢意。

由于编写时间短促,水平有限,不妥之处在所难免,恳望专家、读者和广大师生给予批评指正。

编 者

一九九三年二月于大连

3-AE 14/15

# 目 录

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| 绪言 .....                    | (1)  |
| 第一章 生态学基础知识 .....           | (2)  |
| § 1-1 生态系统的组成和结构 .....      | (2)  |
| 一、基本概念 .....                | (2)  |
| 二、生态系统的基本组成 .....           | (2)  |
| 三、生态系统类型的划分 .....           | (4)  |
| 四、生态系统的营养结构 .....           | (5)  |
| § 1-2 生态系统的生物生产 .....       | (5)  |
| 一、生态系统的初级生产过程 .....         | (6)  |
| 二、生态系统的次级生产过程 .....         | (9)  |
| § 1-3 生态系统的能量流动 .....       | (9)  |
| 一、生态系统能量流动的基本模式 .....       | (10) |
| 二、生态系统能量流动的渠道——食物链 .....    | (10) |
| 三、生态系统能量流动的热力学基础 .....      | (12) |
| § 1-4 人类的生态环境结构 .....       | (13) |
| 一、大气圈 .....                 | (13) |
| 二、水圈 .....                  | (13) |
| 三、土壤岩石圈 .....               | (14) |
| 四、生物圈 .....                 | (14) |
| § 1-5 生态系统的物质循环 .....       | (15) |
| 一、物质循环的基本概念和分类 .....        | (15) |
| 二、生物地球的化学循环 .....           | (16) |
| § 1-6 生态系统平衡 .....          | (21) |
| 习题 .....                    | (22) |
| 第二章 大气环境化学基础 .....          | (24) |
| § 2-1 大气结构与大气压力随高度的变化 ..... | (24) |
| 一、大气结构 .....                | (24) |
| 二、大气压力随高度的变化 .....          | (25) |
| § 2-2 对流层大气的组成 .....        | (26) |
| 一、干空气的气体混合物 .....           | (26) |
| 二、大气中的水分 .....              | (27) |

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| § 2-3 气温垂直递减率和气团干绝热减温率 .....          | (28) |
| 一、气温垂直递减率和逆温层 .....                   | (28) |
| 二、气团的干绝热减温率及其稳定性 .....                | (28) |
| § 2-4 大气的能量平衡 .....                   | (30) |
| § 2-5 大气光化学基础 .....                   | (31) |
| 一、光化学定律 .....                         | (31) |
| 二、量子效率和量子产率 .....                     | (33) |
| § 2-6 光化学平衡和光化学动力学 .....              | (34) |
| 一、光敏反应和光化学平衡 .....                    | (34) |
| 二、光化学反应机理和动力学 .....                   | (35) |
| § 2-7 影响光化学反应速率的因素 .....              | (36) |
| 一、温度影响 .....                          | (36) |
| 二、光强与光解速率常数的关系 .....                  | (37) |
| § 2-8 大气中的光解反应 .....                  | (38) |
| 一、键能与断裂波长 .....                       | (38) |
| 二、重要的光解反应 .....                       | (40) |
| 习题 .....                              | (43) |
| <b>第三章 大气污染物化学</b> .....              | (45) |
| § 3-1 大气污染物的分类 .....                  | (45) |
| § 3-2 大气中的氮氧化物 .....                  | (46) |
| 一、氮氧化物的来源 .....                       | (46) |
| 二、氮氧化物的光化学反应 .....                    | (46) |
| § 3-3 光化学烟雾 .....                     | (48) |
| 一、光化学烟雾的形成和特征 .....                   | (49) |
| 二、光化学烟雾形成的动力学分析 .....                 | (49) |
| § 3-4 大气中的 CO 和 CO <sub>2</sub> ..... | (54) |
| 一、CO 的来源、迁移、转化和归宿 .....               | (54) |
| 二、CO <sub>2</sub> 的来源、迁移、转化和归宿 .....  | (55) |
| 三、温室效应 .....                          | (55) |
| § 3-5 大气中的含硫化合物 .....                 | (57) |
| 一、含硫化合物的来源 .....                      | (57) |
| 二、含硫化合物的转化和归宿 .....                   | (58) |
| § 3-6 酸雨 .....                        | (59) |
| 一、酸雨的定义 .....                         | (60) |
| 二、酸雨的形成和危害 .....                      | (60) |
| § 3-7 大气中的有机化合物 .....                 | (62) |

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| 一、有机化合物的来源和转化 .....       | ( 62 )  |
| 二、臭氧层的变化及其对策 .....        | ( 65 )  |
| § 3-8 气溶胶体系 .....         | ( 66 )  |
| 一、分散体系的分类 .....           | ( 66 )  |
| 二、气溶胶的类别和来源 .....         | ( 67 )  |
| 三、气溶胶的光学性质和电学性质 .....     | ( 68 )  |
| § 3-9 气溶胶的化学组成 .....      | ( 69 )  |
| 一、硫酸盐气溶胶和硝酸盐气溶胶 .....     | ( 69 )  |
| 二、燃烧产生的矿物微粒 .....         | ( 70 )  |
| 三、有机颗粒物与多环芳烃 .....        | ( 71 )  |
| § 3-10 气溶胶的去除 .....       | ( 72 )  |
| 习题 .....                  | ( 73 )  |
| <b>第四章 水体环境化学基础</b> ..... | ( 75 )  |
| § 4-1 水体特征和水生生物 .....     | ( 75 )  |
| 一、水体特征 .....              | ( 75 )  |
| 二、水生生物 .....              | ( 77 )  |
| § 4-2 天然水中的溶解平衡 .....     | ( 77 )  |
| 一、水体中气体的溶解度 .....         | ( 77 )  |
| 二、水体中的二氧化碳和碳酸盐类物质 .....   | ( 79 )  |
| § 4-3 天然水中的氧化还原平衡 .....   | ( 83 )  |
| 一、水体中氧化还原反应的类型 .....      | ( 83 )  |
| 二、用 $pE$ 值表示的电子活度 .....   | ( 85 )  |
| 三、水体中无机氮化物的氧化还原转化 .....   | ( 92 )  |
| § 4-4 天然水中的配合平衡 .....     | ( 94 )  |
| 一、水体中常见的配合物类型 .....       | ( 94 )  |
| 二、单核羟基配合物 .....           | ( 94 )  |
| 三、多核羟基配合物 .....           | ( 96 )  |
| 四、腐殖质形成的螯合物简介 .....       | ( 97 )  |
| § 4-5 水体中微生物的作用 .....     | ( 99 )  |
| 一、水体中微生物的类型 .....         | ( 100 ) |
| 二、以微生物为媒介的化学转化 .....      | ( 100 ) |
| 习题 .....                  | ( 105 ) |
| <b>第五章 水体污染物化学</b> .....  | ( 107 ) |
| § 5-1 水体污染物及其运动过程 .....   | ( 107 ) |
| 一、水体污染物的类别 .....          | ( 107 ) |
| 二、水体污染物的来源 .....          | ( 108 ) |



|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 三、污染物在天然水中的运动过程概述 .....     | (110) |
| § 5-2 酸、碱及含氰类污染物 .....      | (111) |
| 一、酸、碱污染物 .....              | (111) |
| 二、水体中氰化物的污染 .....           | (111) |
| § 5-3 水体中重金属污染物 .....       | (112) |
| 一、汞的环境化学行为 .....            | (113) |
| 二、镉的环境化学行为 .....            | (115) |
| 三、铅的环境化学行为 .....            | (116) |
| 四、铬的环境化学行为 .....            | (117) |
| § 5-4 富营养化污染物 .....         | (119) |
| 一、富营养化问题的产生及其危害 .....       | (119) |
| 二、氮、磷营养物的来源 .....           | (120) |
| 三、水体中氮、磷营养物的转化 .....        | (120) |
| § 5-5 水体中需氧性有机污染物 .....     | (122) |
| 一、需氧污染物的来源及有关水质指标 .....     | (122) |
| 二、需氧污染物的生物化学降解 .....        | (124) |
| 三、需氧污染物与溶氧平衡 .....          | (125) |
| § 5-6 芳烃类有机污染物 .....        | (128) |
| 一、水体中芳烃类污染物的来源及其基本性质 .....  | (128) |
| 二、水体中酚类污染物 .....            | (130) |
| 三、水体中合成洗涤剂类污染物 .....        | (132) |
| § 5-7 海洋水体中石油类污染物 .....     | (135) |
| 习题 .....                    | (138) |
| <b>第六章 土壤及土壤污染物化学</b> ..... | (140) |
| § 6-1 土壤的化学组成 .....         | (140) |
| 一、无机矿物质 .....               | (141) |
| 二、有机质 .....                 | (141) |
| 三、土壤水分和土壤溶液 .....           | (142) |
| 四、土壤空气 .....                | (143) |
| § 6-2 土壤中的生物 .....          | (143) |
| § 6-3 土壤胶体结构及土壤的化学性质 .....  | (145) |
| 一、土壤胶体结构 .....              | (145) |
| 二、土壤的化学性质 .....             | (146) |
| § 6-4 土壤的吸附性能 .....         | (148) |
| 一、土壤胶粒的电性 .....             | (148) |
| 二、土壤胶粒的吸附性能 .....           | (149) |



|                                                |       |
|------------------------------------------------|-------|
| § 6-5 土壤的污染 .....                              | (151) |
| 一、土壤的污染源和污染物 .....                             | (151) |
| 二、土壤中的农药污染物 .....                              | (152) |
| 三、土壤中的重金属类污染物 .....                            | (156) |
| 四、土壤中氮和磷的污染物 .....                             | (157) |
| § 6-6 土壤的自净作用 .....                            | (158) |
| 习题 .....                                       | (159) |
| <b>第七章 污染物在生物体内的积累与转化</b> .....                | (161) |
| § 7-1 生物化学的基本知识 .....                          | (161) |
| 一、人体细胞和植物细胞 .....                              | (161) |
| 二、酶和辅酶的概念 .....                                | (162) |
| § 7-2 污染物的生物积累 .....                           | (163) |
| 一、生物污染途径 .....                                 | (163) |
| 二、生物积累倍数及其影响因素 .....                           | (163) |
| § 7-3 污染物的代谢转化及其对酶功能的影响 .....                  | (165) |
| 一、污染物的代谢转化 .....                               | (165) |
| 二、污染物对酶功能的干扰 .....                             | (166) |
| § 7-4 重金属的生化效应 .....                           | (168) |
| 一、砷的生化效应 .....                                 | (168) |
| 二、铅的生化效应 .....                                 | (169) |
| 三、汞的生化效应 .....                                 | (170) |
| § 7-5 氰化物与亚硝酸根的生化效应 .....                      | (170) |
| 一、氰化物的生化效应 .....                               | (170) |
| 二、亚硝酸根的生化效应 .....                              | (171) |
| § 7-6 气态污染物的生化效应 .....                         | (172) |
| 一、一氧化碳(CO)的生化效应 .....                          | (172) |
| 二、二氧化硫(SO <sub>2</sub> )的生化效应 .....            | (173) |
| 三、臭氧(O <sub>3</sub> )与过氧化乙酰硝酸酯(PAN)的生化效应 ..... | (173) |
| 四、氮氧化物(NO <sub>x</sub> )的生化效应 .....            | (174) |
| § 7-7 农药的生化效应 .....                            | (174) |
| § 7-8 “三致”作用 .....                             | (175) |
| 一、致突变作用 .....                                  | (175) |
| 二、致畸作用 .....                                   | (177) |
| 三、致癌作用 .....                                   | (179) |
| 习题 .....                                       | (182) |
| <b>第八章 污染物的治理方法</b> .....                      | (183) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| § 8-1 吸附分离法 .....          | (183) |
| 一、吸附的基本原理 .....            | (183) |
| 二、吸附等温线 .....              | (184) |
| 三、吸附等温式 .....              | (185) |
| 四、吸附穿透曲线 .....             | (186) |
| 五、吸附分离的工艺流程 .....          | (187) |
| 六、吸附剂及其活性 .....            | (187) |
| § 8-2 吸收分离法 .....          | (188) |
| 一、吸收过程的气液平衡 .....          | (189) |
| 二、化学吸收的基本原理 .....          | (190) |
| 三、常用的吸收设备 .....            | (193) |
| 四、应用举例 .....               | (196) |
| § 8-3 催化燃烧法 .....          | (197) |
| 一、催化燃烧法概述 .....            | (197) |
| 二、催化燃烧的基本流程 .....          | (198) |
| 三、应用举例——汽车尾气的净化 .....      | (199) |
| § 8-4 化学氧化法 .....          | (200) |
| 一、化学氧化法的基本原理 .....         | (200) |
| 二、水处理中常用的氧化剂及其应用条件 .....   | (201) |
| 三、化学氧化法的应用举例 .....         | (201) |
| § 8-5 化学混凝法 .....          | (205) |
| 一、化学混凝法概述 .....            | (205) |
| 二、混凝作用机理 .....             | (205) |
| 三、混凝剂的种类 .....             | (208) |
| 四、影响混凝效果的主要因素 .....        | (209) |
| 五、混凝剂在工业废水处理中的应用 .....     | (210) |
| § 8-6 生物处理法 .....          | (211) |
| 一、废水处理方法概述 .....           | (211) |
| 二、生物处理法的基本原理 .....         | (212) |
| 三、活性污泥法处理废水的基本流程 .....     | (213) |
| 四、应用举例 .....               | (215) |
| 习题 .....                   | (216) |
| <b>第九章 环境标准和环境监测</b> ..... | (218) |
| § 9-1 环境监测概述 .....         | (218) |
| 一、环境监测的目的和任务 .....         | (218) |
| 二、环境监测的分类 .....            | (218) |

|                                         |       |
|-----------------------------------------|-------|
| 三、环境监测技术概述 .....                        | (219) |
| § 9-2 环境保护标准 .....                      | (219) |
| 一、环保标准的分类和作用 .....                      | (219) |
| 二、水质标准 .....                            | (220) |
| 三、大气标准 .....                            | (226) |
| § 9-3 大气监测 .....                        | (229) |
| 一、大气监测项目 .....                          | (229) |
| 二、大气试样的采集 .....                         | (229) |
| 三、二氧化硫的测定 .....                         | (231) |
| 四、氮氧化物的测定 .....                         | (235) |
| 五、一氧化碳的测定 .....                         | (236) |
| 六、总氧化剂和臭氧的测定 .....                      | (238) |
| 七、大气中总悬浮颗粒物(TSP)的测定 .....               | (240) |
| 八、烟气组分的测定 .....                         | (241) |
| § 9-4 水质监测 .....                        | (243) |
| 一、水质监测项目及水样的采集和保存 .....                 | (243) |
| 二、重金属的测定 .....                          | (244) |
| 三、非金属无机物的测定 .....                       | (249) |
| 四、有机化合物的测定 .....                        | (258) |
| § 9-5 土壤监测 .....                        | (262) |
| 一、土壤样品的采集 .....                         | (262) |
| 二、土样本底值样品采集 .....                       | (264) |
| 三、土壤样品的制备 .....                         | (264) |
| 四、土壤中污染物的测定 .....                       | (264) |
| 习题 .....                                | (266) |
| 习题中计算题答案 .....                          | (268) |
| 附录 .....                                | (270) |
| 附录一 大气环境质量标准(GB3095—82) .....           | (270) |
| 附录二 居住区大气中有害物质的最高容许浓度(摘自 TJ36—79) ..... | (271) |
| 附录三 车间空气中有有害物质的最高容许浓度(摘自 TJ36—79) ..... | (272) |
| 附录四 十三类有害物质的排放浓度(摘自 GBJ4-73) .....      | (275) |
| 附录五 生活饮用水卫生标准(GB5749—85) .....          | (277) |
| 附录六 地面水环境质量标准(GB8978—88) .....          | (278) |
| 附录七 污水综合排放标准(GB8978—88) .....           | (279) |
| 主要参考书刊 .....                            | (291) |

# 绪 言

## 一、人类的环境

人类的环境可以分为两种,即社会环境和自然环境。所谓社会环境是指社会经济制度及上层建筑等。每个人都离不开社会环境而独立生活,即人类生活在社会环境之中。所谓自然环境是人类赖以生存和发展的物资条件。这里所讨论的环境是指自然环境,它是一个由近而远,由小到大的有层次的系统。目前人类生活的自然环境(即生物圈的范围)主要限于地壳表面和围绕它的大气层的一部分。一般包括深度不到 11km 的海洋和高度不到 9km 的大陆表面和海岛,以及高出海平面 12km 以内的大气层。它相对庞大的地球而言,仅仅是靠近地壳表面薄薄的一层而已。

## 二、环境问题的产生和环境科学的形成

环境问题很早就产生了。按其成因不同,可以分为两类,一类是大自然中原来就存在的有害于生物的因素,如火山爆发、地震、台风等所造成的环境破坏。这一类称为原生环境问题。另一类是指人工所造成的环境破坏,如不合理的利用资源所引起的环境衰退,工业发展所带来的环境污染等。这一类称为次生环境问题。

随着社会生产力的发展和生产方式的演变,人类和环境之间的矛盾越来越显著,从而人们对自然现象和规律的认识也日益深化,环境科学正是在这样形势下应运而生的。它经过本世纪 60 年代的酝酿,从零星而不系统的环境保护和研究工作,到 70 年代初期汇集形成一门独立的新兴学科。尤其最近几年,环境科学的发展异常迅速,各种自然科学和工程技术都向它渗透并赋予新的内容。它的产生可以说是 70 年代初期自然科学向深度和广度发展的一个重要标志。

环境科学通常分为环境社会学、环境地学、环境生物学、环境化学,环境物理学和环境工程学等分支学科。显然环境化学是环境科学的重要组成部分。

## 三、环境化学的研究对象及其在环境科学中的地位

环境化学是环境科学的一个分支,就其学科来讲属于应用化学范畴。人类意识到环境问题的严重性时,首先是从发现环境中存在污染物质及其危害开始的,而这些污染物质大部分是化学物质。

环境化学主要是研究环境中化学污染物质的性质及其迁移、转化规律的学科,也就是研究环境中化学污染物质的起源、迁移、变化及归宿等。搞清化学污染物质在环境中的变化规律,便可以从环境中清除这些物质。利用化学的基本原理消除污染物,分析、监测污染物,也是环境化学的重要内容。因此学好环境化学不仅需要无机化学、分析化学、有机化学、物理化学的基本知识,而且还需要了解生物化学、光化学、界面化学以及放射化学的基本内容。

总之,由于环境之大,环境中污染物之多,所造成的环境污染问题是十分复杂的,因此,环境化学在环境科学中具有举足轻重的地位,要求每个环境科学工作者,应具有较为系统的环境化学的基本知识和基本技能。

## 第一章 生态学基础知识

生态学(Ecology)是生物学的基础学科之一。它是研究生物体与环境之间关系的科学。这里指的环境包括非生物环境和生物环境。非生物环境系指非生命物质,如土壤、岩石、水、空气、温度、光辐射等;生物环境系指生物种内和生物种间的关系。所以生态学也称为研究生物之间以及生物和非生物环境之间相互关系的科学。

作为生物学基础学科之一的生态学。它是以生物个体、种群、群落、生态系统,直到生物圈为研究对象,范围极广。本章主要介绍生态学的基本概念和基本知识,有些内容是以后有关章节的基础。

### § 1-1 生态系统的组成和结构

#### 一、基本概念

1. 生物种群:在一定时间和空间中生活和繁殖的同种生物个体所组成的群体。例如湖泊中的许多鲤鱼就组成了鲤鱼的种群。种群虽然是由个体组成的,但种群内个体不是孤立的,也不等于个体的简单相加,而是通过种内关系组成一个有机的统一整体。相互之间有着内在的联系,个体之间信息相通,以达到行为协调,共同进行繁衍,表现出该种生物的特殊规律性。

2. 生物群落:是指在一定时间内居住在一定区域内的各种生物种群相互联系、相互影响的有规律的一种结构单元。相邻的群落之间,有时界限分明,有时则混合难分。生物群落可以简单的分为植物群落、动物群落和微生物群落三大类。例如:热带雨林、山地雨林等属于植物群落;水体中的鱼类等则属于动物群落。

3. 生态系统:在一定时间和空间内,在生物群落与非生物环境之间,通过不断的物质循环和能量流动而相互作用、相互依存所形成的统一整体。生态系统在大小上是不确定的,依据人们研究的对象而定。例如一个池塘、一片森林或一块草地都分别是一个生态系统。

#### 二、生态系统的基本组成

60年代以后,生态学的发展集中于生态系统,特别是出现世界性的环境污染和破坏生态平衡等问题以后,有关生态系统的研究已经成为生态学中最活跃的领域。生态系统理论的发展是与人口、环境、生物资源的科学管理、工农业发展以及城市、农村的合理布局等问题密切相关的。

生态系统基本上是一个功能单元。它强调生态系统中物质转移和能量流动。从营养结构上说,生态系统的基本组成包括下列主要部分:

1. 非生物环境:包括参加物质转移的无机物(如  $O_2$ 、 $N_2$ 、 $CO_2$ 、 $H_2O$  及  $Ca^{2+}$ 、 $PO_4^{3-}$ 、 $K^+$  等),联接生物和非生物成分的有机物(如蛋白质、糖类和腐殖质等)以及太阳能辐射、气候或其他物理条件(如温度、压力等)。

2. 生产者:指的是能够把简单的无机物制造成食物的自养生物,主要是绿色植物以及光合细菌。它们在生态系统中的作用是进行初级生产——光合作用。所以又称为初级生产者。太阳能通过生产者源源不断输入到生态系统中,成为消费者和分解者的能源。

3. 消费者:指的是那些以其他生物或生物残体及有机质为食物的动物,因此属于异养生物。除生产者外,所有的生物体都是消费者,它们都直接或间接的以植物为食物。根据它们的食物可分为草食动物(一级消费者)和肉食动物两种。以草食动物为食物的动物称为二级消费者(一级肉食者)。以一级肉食者为食物的动物称为三级消费者(二级肉食者)。

此外,还有寄生生物和食腐动物等。寄生生物是特殊的消费者。寄生动物根据食物仍可分为草食动物和肉食动物。但寄生植物属初级生产者。许多杂食消费者属于杂食动物,是介于草食动物和肉食动物之间的消费者。例如,狐既食鼠类,又食浆果,甚至还食动物尸体。

4. 分解者:也是一类异养生物(细菌和真菌),其作用是把动植物体中的复杂有机物分解,释放出能被生产者(植物)所重新利用的简单化合物而归还到环境为生产者所利用。因此,分解者在生态系统中的作用极为重要。没有它们,动植物遗体将会堆积成灾,物质转移受阻,生态系统受破坏,物质转移和能量流动就将中止。

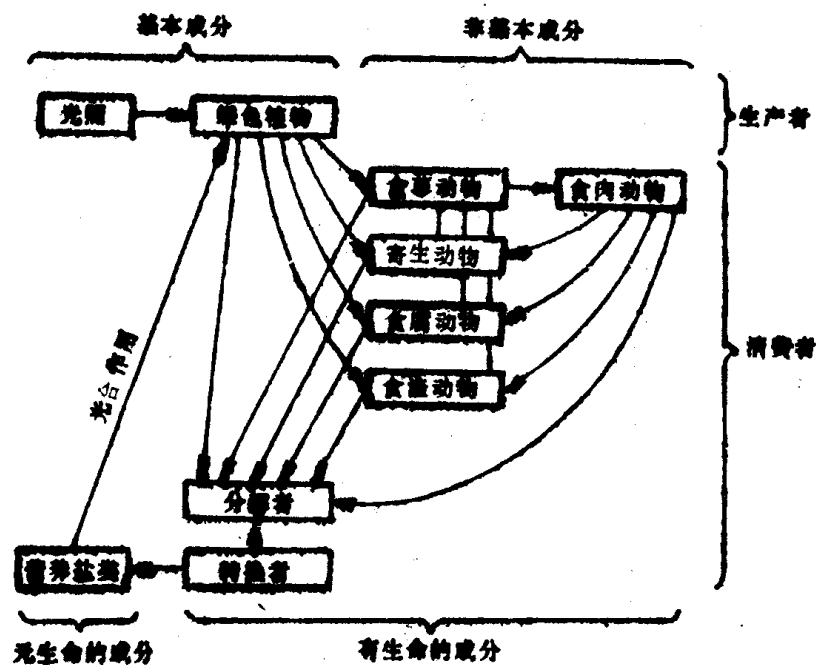
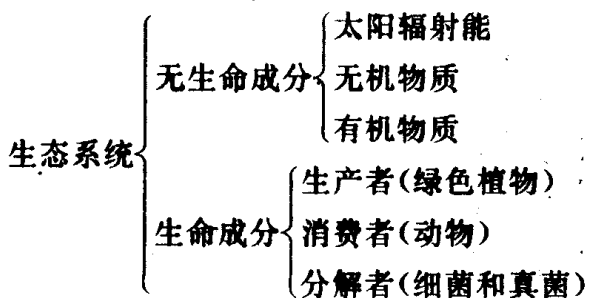


图 1-1 生态系统中各成分间的关系图

生态系统的组成可以归结如下:



以上各种成分,根据它们所处的地位和作用,又可划分为基本成分和非基本成分。各成分间的相互关系,如图 1-1 所示。

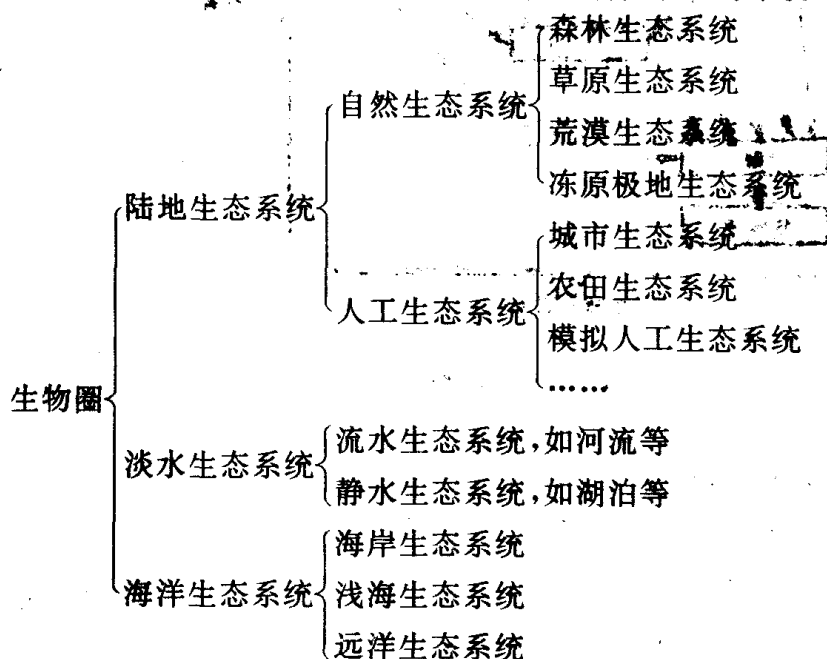
绿色植物(绿色和紫色细菌、蓝绿藻、浮游植物及高等植物的群体)吸收太阳能进行初级生产,是生态系统中必不可少的成分,草食者、肉食者、寄生生物、腐生生物和食腐生物等属于非基本部分,它们不影响生态系统的根本性质。这里起主导作用的是初级生产者——绿色植物,太阳能只有依赖绿色植物进行光合作用,才能输入生态系统。绿色植物能够最大限度的吸收太阳能,把简单的无机物(二氧化碳和水)合成为糖类。糖类的一部分用作绿色植物自身生长和代谢的能量,另一部分用来维持生态系统中生物体的生命活动。因此,从能量意义上说,在生态系统中,植物是第一位的。生态系统生产力的高低首先取决于初级生产力的大小,因为它是系统中能量消耗和物质生产的总来源,其它各级消费者均在植物生产的基础上成为次级生产者。

### 三、生态系统类型的划分

根据生态系统的定义,一个生态系统在空间边界上是模糊的。也就是说,它在大小上是不确定的,其空间范围在很大程度上是依据人们所研究的对象、研究的内容、研究的目的或地理条件等因素而定。从结构和功能完整性角度看,它可小到含有藻类的一滴水,大到整个生物圈。

生态系统可以是一个很具体的概念,例如一个池塘、一片森林或一块草地都是一个生态系统。同时,它在空间范围上又是一个抽象的概念。生态系统和生物圈只是研究的空间范围及其复杂程度不同而已。小的生态系统联合成大的生态系统,简单的生态系统组合成复杂的生态系统,而最大、最复杂的生态系统就是生物圈。

生物圈是一个巨大而又极其复杂的生态系统,它是由无数个大小不等的各类生态系统所组成。这些大小不等、类型各异的生态系统基本上可归纳为三大生态系统:陆地生态系统、淡水生态系统、海洋生态系统。这三大系统又可按其特点、人为干扰等进一步划分为:



各类生态系统在结构和功能上都有各自特点,起着特殊作用,共同维持着生物圈的正常功能。



#### 四、生态系统的营养结构

整个生态系统好像一部机器,需要各部件间的密切配合才能构成系统。二氧化碳和水作为原料,太阳光辐射作为能源,于是生态系统才能进行能量的流动和物质的循环,才能制造出各种产品,从而维持生态系统的生存、发展和演化。

生态系统中的各种生态关系,是生态系统功能研究的基础。其中生态系统的营养结构是重要的结构特征。每一生态系统都有其特定的营养结构关系,它们间的能量流动和物质循环只能在一定营养结构的基础上才能进行。

生态系统的营养结构是以营养为纽带,把生物和非生物部分紧密结合,构成以生产者、消费者和分解者为中心的物质循环。从图 1-2 可以看出:在太阳能的作用下,环境的营养物质被生产者吸收,转化为化学能,供消费者摄取,而后分解者把它分解成无机物返回环境,供生产者

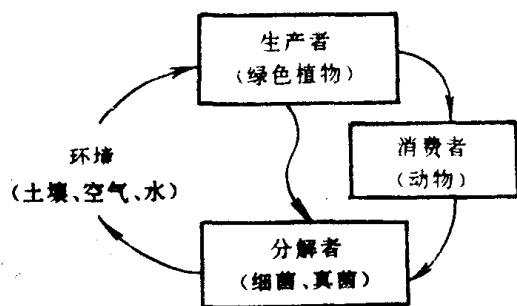


图 1-2 生态系统的营养结构(物质循环)

作原料,完成物质循环。这不仅是物质转移中的一种模式,也是生态系统的一种营养结构的模式。尽管各种生态系统的营养方式不同,但生态系统的物质处于不断的循环之中。

生态系统的能量进行不断的流动,太阳能输入生态系统,能量不断的沿着生产者、草食动物、一级肉食动物、二级肉食动物

的顺序进行流动,如图 1-3 所示。从图中可以看到能量是单方面流动的,不会循环,而是以能量消耗的形式转变。物质的循环和能量的单向流动成为生态系统的基本规律。

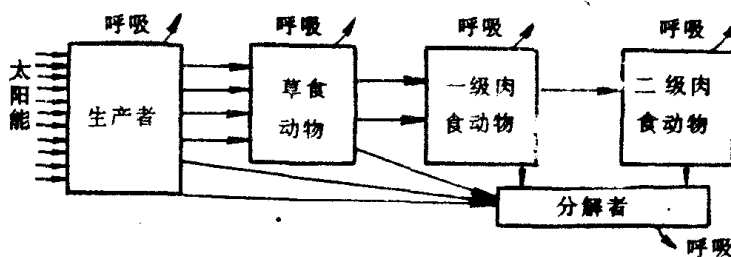


图 1-3 生态系统的营养结构(能量流动)

#### § 1-2 生态系统的生物生产

生物生产、能量流动、物质循环和信息传递是生态系统的基本功能。这些基本功能是相互联系、紧密结合的,而且是由生态系统中的生命部分——生物群落来实现的。

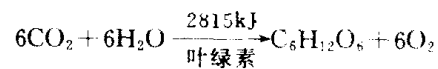
生态系统中的生物生产包括初级生产和次级生产两个过程。前者是生产者(主要是绿色植物)把太阳能转变为化学能的过程,故又称为植物性生产。后者是消费者(主要是动物)的生命活动将初级产品转化为动物能,故又称为动物性生产。在一个生态系统中,这两个生产过程

彼此联系,但又是分别独立进行的。

### 一、生态系统的初级生产过程

生态系统初级生产过程的能量来源于太阳辐射,生产过程的结果是太阳能转变成化学能,使简单的无机物转变为复杂的有机物。可见,初级生产过程是一个能量转化和物质积累过程,是绿色植物的光合作用过程。

如上节所述,进行能量固定的绿色植物称为生产者。它是最初基本能量的贮存者,又是生态系统的能源基础。初级生产是植物的光合作用,它是生命基本的光化学反应形式。光合作用使二氧化碳和水合成糖类并释放出氧气,合成一摩尔糖类约吸收 2815 千焦的太阳能,其反应式如下:



光合作用是一个复杂的过程,其能量传递和转换遵守热力学的基本规律。

下面对初级生产过程的生产量问题及其影响因素,作进一步讨论。

#### 1. 总初级生产量和净初级生产量

初级生产过程的产量与时间有关,单位时间、单位面积或体积内生产者积累的能量或生产的物质质量称为生产量,其单位常用“ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ”或“ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ”表示。

生态系统初级生产过程中的生产量,可以分为总初级生产量和净初级生产量。总初级生产量是指在测定阶段,包括生产者自身呼吸作用中被消耗掉的有机物在内的总积累量,常用  $P_g$  表示。净初级生产量则指在测定阶段,植物光合作用积累量中除去用于生产者自身呼吸所剩余的积累量,常用  $P_n$  表示。总初级生产量和净初级生产量的关系可用下式表示:

$$P_g - R_a = P_n \text{ 或 } P_g = P_n + R_a$$

式中  $R_a$  是生产者自身用于呼吸的消耗量。

生态系统的净初级生产量中有相当一部分被消费者所消耗和利用,从净生产量中再扣除异养生物呼吸这一部分的消耗量,所剩的积累量就是整个生态系统生物生产的净生产量,称为生物群落净生产量,用  $P_{nc}$  表示,所以

$$P_{nc} = P_n - R_h$$

式中  $R_h$  是生物群落中异养生物的呼吸消耗量。

发育阶段不同的生态系统,  $P_g$ 、 $P_n$ 、 $P_{nc}$  三者间的量是不同的,处于发育幼年期的生态系统,  $P_g$  值比较低,但  $R_h$  值小,  $P_{nc}$  值高。相反,成熟的雨林生态系统则是  $P_g$  值大,  $R_h$  值大(通常要消耗掉  $P_g$  的 70% 左右),  $P_n$  值很低(仅占  $P_g$  的 30% 左右)而  $P_{nc}$  几乎为零。

必须指出,生态系统的净初级生产量不仅系统之间不相同,即使在同一系统中,年与年之间,甚至不同季节也是不相同的,表 1-1 列出了世界上一些生态系统的净初级生产量和每年的能量固定值。