

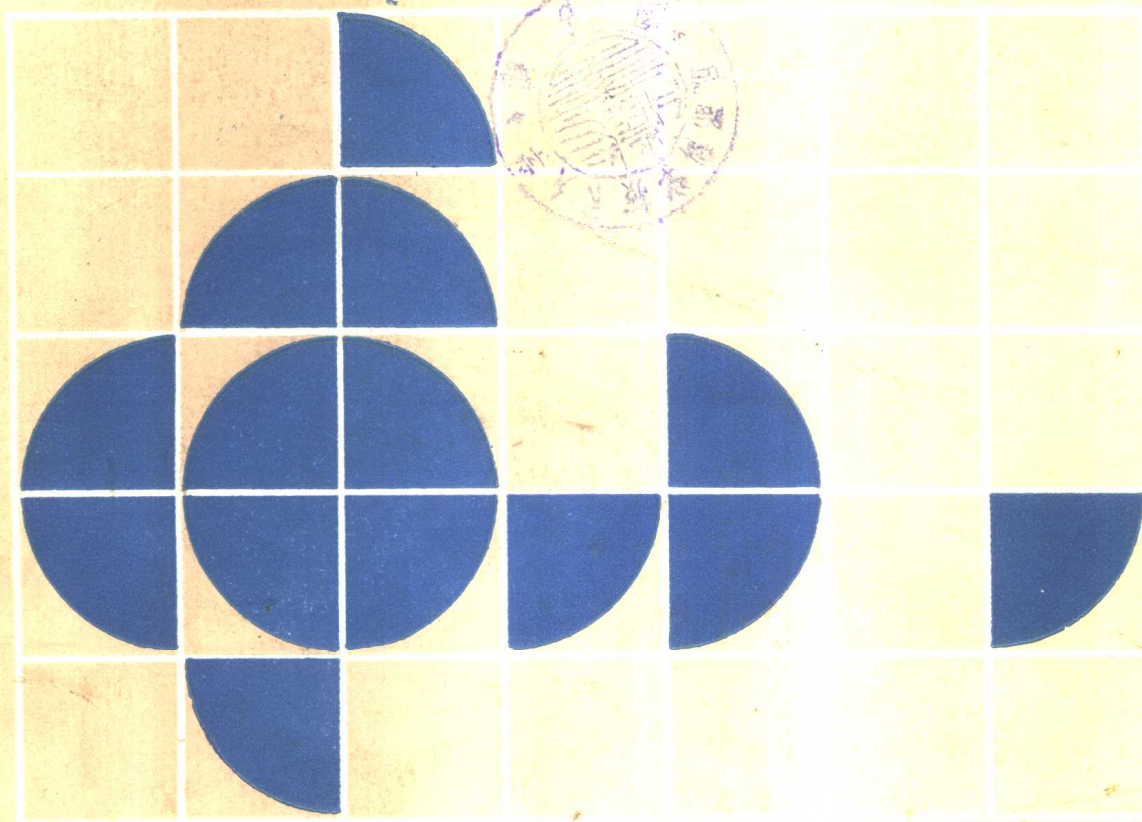
971112

X13
4532A

环境化学学习指导书

HUANJING HUAXUE XUEXIZHIDAO SHU

- 韩宝华 主编 王欣 白桂蓉 刘宝廷 编
- 中央广播电视大学出版社



971112

X13
4532A

环境化学学习指导书

韩宝华 王欣 白桂蓉 刘宝廷 编

中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

环境化学学习指导书

韩宝华 王欣 白桂蓉 刘宝廷 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 10 千字 248

1993 年 10 月第 1 版 1993 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—3600

定价 5.70 元

ISBN 7-304-00845-8/O · 66

前 言

这本指导书是根据中央广播电视大学的教学特点编写的，它与主教材《环境化学》（韩宝华主编 中央广播电视大学出版社 1993）配合使用。

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的要求，本书的主要内容两部分组成，即自学指导和环境化学实验。自学指导部分为第一篇，共分九章，每一章均由目的要求、主要内容、参考内容以及问题和习题解答等四部分组成。实验部分为第二篇，共编写化学需氧量（COD）的测定、生物需氧量（BOD）的测定等六个实验。其中前三个实验为必做实验，后三个实验中任选一个。

编写本教材第一篇的目的有三。其一是让学生明确学习《环境化学》中每一章的目的和要求，掌握主要内容；其二是为了扩大学生的知识面，把当前国内外人们比较关心的重大环境化学问题写在参考内容之中；其三是把问题与习题中一些难点和可能出现的似是而非的问题予以正确解答。

本书的第一章、第二章及第九章由河北广播电视大学王欣编写；第三章、第四章、分别由中央广播电视大学白桂蓉和刘宝廷编写；其余各章及实验部分由大连理工大学韩宝华编写，并负责全书的统稿和附录的编选。

由于编写时间短促，水平有限，不妥之处在所难免，恳请专家、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

目 录

第一篇 自学指导	(1)
第一章 生态学基础知识	(1)
第二章 大气环境化学基础	(11)
第三章 大气污染物化学	(26)
第四章 水体环境化学基础	(39)
第五章 水体污染物化学	(51)
第六章 土壤及土壤污染物化学	(64)
第七章 污染物在生物体内的积累与转化	(74)
第八章 污染物的治理方法	(84)
第九章 环境标准和环境监测	(98)
第二篇 环境化学实验	(110)
实验一 化学需氧量 (COD) 的测定	(110)
实验二 生化需氧量 (BOD ₅) 的测定	(115)
实验三 溶解氧 (DO) 的测定	(120)
实验四 大气中氮氧化物的测定 (盐酸奈乙二胺比色法)	(125)
实验五 活性炭吸附实验	(127)
实验六 混凝沉降实验	(129)
附录一 中华人民共和国环境保护法	(132)
附录二 中华人民共和国大气污染防治法	(137)
附录三 中华人民共和国水污染防治法	(141)
附录四 水体中应予以优先考虑防治的 129 种化学污染物	(146)
附录五 国内外主要环境科学期刊简介	(152)

第一篇 自学指导

第一章 生态学基础知识

目的要求

环境科学是研究人类活动和环境质量变化基本规律的学科。环境化学是环境科学的基础学科之一。在环境化学的研究中,必然涉及到污染物对人类及生物的相互作用。因此,为便于学习这方面的问题,本章将介绍有关生态学的一些基本概念和基本规律,从而为环境化学的学习提供必要的基础知识。

通过这一章学习,要求如下:

1. 掌握生态学有关基本概念:种群、群落、生态系统、食物链及生态平衡等。
2. 掌握生态系统的组成和特征以及生态系统中能量流动和物质循环的过程和特点。
3. 明确生态平衡的重要性,了解生态平衡的移动及生态系统自我调节的功能。
4. 了解一些重要物质和元素(如水、氧、碳、氮、硫、磷等)的循环过程和特征。

主要内容

§ 1-1 生态系统的组成和结构

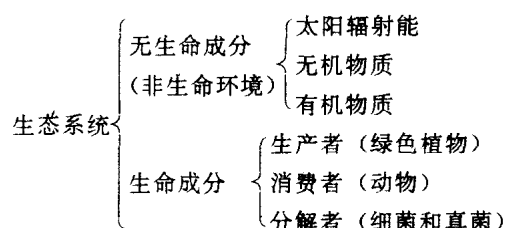
一、基本概念

1. 生物种群——由同种生物个体组成的,即在一定范围内所有个体的总和。
2. 生物群落——一定区域内,若干种生物种群相互松散结合的一种结合单位。
3. 生态系统——指任一个生物群落与其周围非生物环境的综合体,或者说由生物群落与其生存环境共同组成的动态平衡系统。

任何一个生态系统,从营养结构上讲,都由以下四部分组成:生产者、消费者、分解者(生物部分)和阳光及营养成分(非生物部分)。

二、生态系统的基本组成

生态系统的成分可归结如下:



以上各成分，根据它们在生态系统中所处的地位和所起的作用不同，又可分为：基本成分和非基本成分。如《环境化学》教材（以下简称教材）图 1-1 所示。

绿色植物是生态系统中最基本的，必不可少的成分。这是因为：绿色植物能最大限度地吸收太阳能，从而把简单的无机物（二氧化碳和水）合成为糖类。一部分糖类用作自身生长和代谢的能量，另一部分用来维持生态系统内的生命活动。因此，从能量意义上讲，在生态系统中，植物是第一位的且是最基本的成分。

三、生态系统的类型

生态系统的分类一般按环境性质和形态的特征来划分。可以分为下列几种类型：

1. 陆地生态系统：又可分为自然生态系统和人工生态系统。前者如森林生态系统、草原生态系统、荒漠生态系统等；后者如农田、城市、工矿区等。
2. 淡水生态系统：包括湖泊、河流、水库等。
3. 海洋生态系统：包括海岸、河口、浅海、大洋、海底等。

生态系统可大可小，例如：一个海洋、一片大陆、一个沙漠、一片森林等。也可把一个村落、一座城市视为一个生态系统。

四、生态系统的营养结构

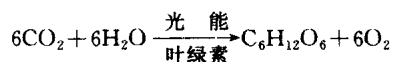
生态系统的营养结构是重要的结构特征。这种结构是以营养为纽带，把生物和非生物紧密的结合起来，构成以生产者、消费者和分解者为中心的物质循环。物质循环和能量的单方向流动是生态系统的基本特征。其具体内容如教材中的图 1-3 所示。

§ 1-2 生态系统的生物生产

生态系统的生产包括初级生产和次级生产两个过程，前者是生产者把太阳能转变为化学能，主要是由绿色植物完成的，故又称为植物生产；后者是消费者的生命活动把初级产品转化为动物能，主要是由动物完成的，故又称为动物生产。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

初级生产过程的能量来源于太阳的辐射能，它是一个能量转化和物质积累的过程，其主要形式是绿色植物的光合作用，即：



初级生产过程的生产量，可分为总初级生产量 (P_g) 和净初级生产量 (P_n)，两者关系如下：

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

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的呼吸的消耗量 (R_h)，就是生态系统生物生产的净生产量 (P_{nc})，其关系式如下：

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

必须指出，不同生态系统之间的净生产量是不同的；而在同一生态系统，不同的时期净生产量也不一样。

影响初级生产量的因素很多，如有效的光照、水分和二氧化碳的供给，以及温度和氧的调节作用等。详见教材中的有关内容。

二、生态系统的次级生产过程

次级生产是生态系统中异养生物对初级生产物的利用和再生产过程。实际上净初级生产量只有一部分被草食动物所利用，称为消耗量 (C)，消耗量中的一部分被消化吸收，称为同化量 (A)，另一部分排出体外，称为粪尿量 (FU)。同化量中的一部分用于呼吸 (R_a) 而被消耗，剩余部分用于个体成长 (P_g)。它们之间的关系也可表示为

$$C = A + FU$$

$$A = P_g + R_a$$

或

$$P_g = A - R_a$$

§ 1-3 生态系统的能量流动

一、生态系统能量流动的基本模式

能量是生态系统的基础，没有能量流动就没有生命，也就没有生态系统。一切生命活动都是能量的流动和转化。

已知生态系统初级生产的能源来自太阳能。生产过程的结果是太阳能转化为化学能（有机质）。初级生产的产品是进入生态系统中可以利用的基本能源。它们作为消费者和分解者的食物被利用，从而保证了生态系统功能的发生。

无论是初级生产过程还是次级生产过程，能量在传递或转变中总有一部分被耗散，例如在上述两个生产过程中，总有相当一部分能量经过呼吸作用而以热能的形式散失到环境中。

经研究表明，食草动物的摄食量中，只有 10~20% 转变为次级生产量，而食肉动物捕食食草动物时能量又发生一次转移，两个营养层次之间的能量利用率也只有 10~20%。这样随着营养层次的增加，耗到环境中的能量也必然增多，直到全部以热的形式散失到环境中为止。这就是各类生态系统能量流动的基本模式。

二、生态系统能量流动的渠道——食物链

生态系统的能量流动是通过生物成员之间实现的。如植物→食草动物→食肉动物，等。

生态系统不同生物之间取食关系而形成的连锁式的单向联系，称为食物链，这就是生态系统的能量流动渠道。

通常食物链彼此交错连接而形成网状结构，称为食物网。食物网从本质上体现了生物体间的食物关系。

总之，由植物生产并积聚成复杂的有机物，动物则破坏这些有机物，整个有机界就是依靠这种依存关系而维持生存。这样，不仅维持生态平衡，也推动有机界的进化和发展。

§ 1-4 人类的生态环境结构

人类的生态环境可划分为四个圈层,即大气圈、水圈、土壤岩石圈和生物圈。这四个圈层不仅给人类提供了活动的场所,而且更重要的是人类赖以生存的物质基础。

一、大气圈

大气圈是由混合气体组成的围绕地球的气体包围圈。地球上不同纬度的地方,其厚度不同,同一纬度不同高度气体的质量也不等。

大气的功能及作用是:

1. 保护地面不受空间各种有害因素的侵袭;
2. 为植物光合作用提供二氧化碳,以合成人类和动物的食物;
3. 为人类和动物提供呼吸所需要的氧气;
4. 氮和水的循环为陆地生命提供必要的生命条件。

二、水圈

地球上海洋、河流、湖泊、冰川的水及地下水、大气水、土壤水和生物水,在地球周围形成一个紧密联系、相互作用、又相互不断交换的水圈。水圈就是地球表面不连续的水壳。

地球上水的储量很大,总量约为 1.4×10^{18} 吨。但是,其中参与全球水循环,逐年在陆地上可以得到恢复和更新的淡水资源,其数量却有限,估计为 120 万亿立方米,还不到全球总储水量的万分之一。这部分淡水和人类的关系密切,并且具有经济利用价值。虽然在较长时间内,它可以保持平衡,但在一定时间和空间范围内,它的数量却是有限的,并不象人们所想象的那样取之不尽,用之不竭。所以必须加强水资源的保护。

三、土壤岩石圈

土壤岩石圈是指地球的地壳,在环境化学的讨论中,特别是指地表的土壤。

地壳的厚度不均匀,海洋下地壳厚度约为 5~8km,大陆地壳平均厚度约为 35km,且变化较大。例如:我国青藏高原的地壳厚度达 65km 以上。

地壳中所含化学元素,根据采样能涉及的深度(目前不超过 20km),地壳中元素以氧、硅为主(存在于各种岩石之中),其余则包括除稀有气体之外的所有元素。

元素在地壳中存在量的多少叫作丰度,丰度可用质量百分数来表示。

四、生物圈

地球上存在生命的地方称为生物圈,它是最大的生态系统,也是一切生态系统的总和,生物圈横贯于水圈、岩石圈和大气圈之间。

生物圈内的物质不象大气圈的物质分布那样均匀,而且还处于不断变化的状态。

生物圈中物质的质量与水圈、大气圈相比微不足道;但生物的种类却很多,并且以惊人的速度繁殖着。

代谢和繁殖是生命的主要特征。有生命的有机体通过代谢与周围环境交换物质与能量,以维持自身的生命。而繁殖则是通过特殊的生物化学机制,将自身的特征传递给子孙后代而使物种延续。为使生命正常发展,必须使环境条件能够保证代谢与繁殖的正常进行。否则,必然给生物造成灾难。

生物体是由一系列复杂的有机物组成,据研究,在地壳中已知的 90 多种元素中有 60 余

种与生物体有密切关系。研究还发现,生物体中绝大多数元素在人体中的百分含量与它们在地壳中的百分含量极为相似。这也说明了,人类在其诞生和发展过程中,通过新陈代谢与环境进行物质交换,建立起动态平衡的情况。

研究大气圈、水圈、土壤岩石圈和生物圈的组成,可以理解物质是运动的。它们之间相互依存,相互制约达成了自然环境的动态平衡。

§ 1-5 生态系统的物质循环

物质循环可以在不同层次上进行。通常分为三个层次,即生物个体层次、生态系统层次和生物圈层次。后者是物质在整个生物圈各个圈层之间的循环,也称为生物地球化学循环。本节将介绍这种层次的物质循环。依次讲述水循环、氧循环、氮循环、碳循环、硫循环和磷循环。

一、水循环

水循环是生物生存的必要条件;它与天气现象密切相关,且扮以重要角色,大气中许多污染物的迁移转化过程也与之有关。

水循环过程如教材图 1-9 所示。在对流层中,主要是通过蒸发和沉降作用而形成水循环。

二、氧循环

氧在自然界中有很大的含量和特殊的活泼性,致使环境中氧无处不在。因此氧在自然界中的循环是非常复杂的。特别是氧在大气圈中的循环尤其重要,其循环的主要途径如教材图 1-10 所示。

大气中有二个重要的贮库,一个是氧的贮库,一个是二氧化碳的贮库。二个贮库通过古代有机物、现代有机物及还原性无机物的氧化和植物的光合作用联系起来。

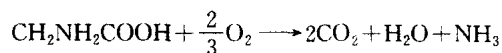
三、氮循环

由于氮有多种价态: +5、+4、+3、+2、+1、0、-3,所以氮循环是通过各种价态化合物组成的复杂过程。氮的循环过程如教材图 1-11 所示。

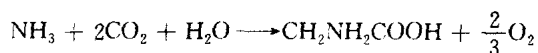
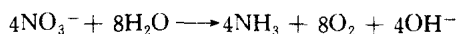
从图中可知,大气圈中的两个氮贮库,通过燃烧和光作用(闪电)相互联系;岩石圈和水圈中的有机氮和无机氮贮库通过矿化过程和同化过程完成有机物和无机物之间的相互转变。然而大气中的氮贮库和岩石圈、水圈中的氮贮库间又通过固氮作用和脱氮作用相互联系着。因此,氮的循环主要是通过矿化、同化、固氮和脱氮四个过程实现的。这四个过程涉及到一系列氮化物的氧化、还原反应,而微生物在反应中起着重要的催化作用。

四个过程中涉及有关反应如下:

甘氨酸矿化过程的反应式:

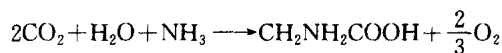


无机氮转化为有机氮的同化过程:

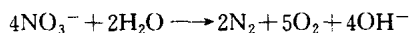


根瘤菌固氮作用





无机氮化物在一定条件下转化为氮气反应



四、碳循环

参加碳循环的物质较少，大气中主要有二氧化碳、一氧化碳和甲烷，分别用三个贮库来表示。又因为海洋、地壳中二氧化碳的含量不同，分别把它们用二个贮库表示。在生物圈中，由于碳循环对生命具有特殊重要意义，所以把生物体碳单独列为一个贮库。这样六个贮库间通过生物或物理化学变化相互联系起来。如教材图 1-12 所示。

从碳的循环图可清楚看出： CO_2 的来源和消除途径及大气中 CH_4 存在的特征。

关于大气中 CO 气体的消除问题比较复杂，认识尚未一致。

五、硫循环

参与硫循环的主要化合物有 H_2S 、 SO_2 、 SO_3 和硫酸盐，其循环过程如教材图 1-13 所示。

进入大气中的硫化物，天然来源主要是 H_2S 气体，然而大气中三分之一的硫化物，则主要来源于人类的活动。特别是 SO_2 ，因为它来自点源，多半随着化石燃料燃烧过程而产生，所以相对浓度较高，应引起人们的特别重视。

六、磷循环

磷是细胞内生化作用的能量——高能磷酸键所必不可少的重要元素，没有磷元素，就没有生命活动。

生态系统中磷的循环是典型的沉积循环，其循环图如教材图 1-14 所示。由图可知：

1. 可溶性磷酸盐被生产者（植物）吸收、同化，然后以有机磷形式传给消费者吸收、利用；各种有机残体经分解者又把磷酸盐返回土壤，供生物体吸收利用。
2. 土壤表层的可溶性磷酸盐随水流入海洋。其中大部分磷不能重返土壤被利用而进入海洋沉积，不能继续参与磷的循环；以致造成磷的循环不完全而引起“缺磷”状态，因此人类每年需开采磷矿用以补充磷循环的不足。

§ 1-6 生态系统平衡

一、生态系统的平衡及其特征

1. 生态系统平衡：生态系统在一定条件下和一定时间内，生物种类的组成，各个种群的数量比例，以及能量和物质的输入、输出等都处于相对稳定的状态。或者说，任何一个正常的生态系统中，能量的流动和物质的循环总是不断地进行着。但在一定时间内，生产者、消费者和分解者之间都保持着一种动态的平衡。这种平衡称为生态系统平衡，简称生态平衡。

2. 生态系统平衡特征

生态系统处于平衡时，生态系统的能量和物质每时每刻都在生产者、消费者和分解者之间不停地流动和转化，保持其动态的平衡状态。

生态平衡和化学平衡一样，是有条件的、相对的、暂时的。

生态平衡时，生态系统中生物体个数最多，生物量最大，生产力最高。

二、生态系统的自我调节能力

物质循环和能量流动是生态系统的基本性质。由于生态系统中物质的多样性、成熟性，能

量不断流动和物质循环的复杂性，以致于使生态系统具有不同水平的、比较复杂的调节能力的特征。这就是说，为生态系统中的生产者、消费者和分解者在不断进行能量流动和物质循环过程中，受到自然因素或人类活动的影响时，系统具有保持其自身相对稳定的能力。也就是说，在系统内一部分出现了问题或发生机能异常时，能够通过其余部分的调节而得到解决或恢复正常。结构复杂的生态系统能比较稳定地保持稳定；结构简单的生态系统，其内部的这种调节能力就较差。

在环境污染的防治中，我们应该尽量有目的地、广泛地利用这种调节能力来防治环境的污染。

三、破坏生态平衡的因素

生态平衡的破坏有自然原因，也有人为因素。

1. 自然原因主要是指自然界发生的异常变化或自然界本来就存在的对人类和生物的有害因素。如火山爆发、山崩海啸、水旱灾害、地震、台风、流行病等自然灾害，都会使生态因素遭到破坏。

2. 人为因素主要指人类对自然资源的不合理利用及工农业发展带来的环境污染等。

生态平衡与自然界中一般的物理和化学平衡不同，它对外界的干扰或影响极为敏感。因此，在人类生活和生产的过程中，常常会由于各种原因引起生态平衡的破坏。人为因素引起生态平衡的破坏，主要有以下三种情况：

(1) 物种改变引起平衡的破坏。人类有意或无意地使生态系统中某一种生物消失或往其中引进来一种生物，都可能对整个生态系统造成影响。例如澳大利亚原来并没有兔子，后来从欧洲引进了兔子，以作肉用并生产皮毛。引进后，由于没有天敌予以适当限制，致使兔子大量繁殖，在短短的时间内，其数量相当惊人，遍布数千万亩田野。在草原上每年大约以 113 公里的速度向外蔓延。致使该地区原来长满的青草和灌木全被吃光，再不能放牧牛羊，田野一片光秃，土壤无植物保护而被水侵蚀，造成生态系统的破坏。

另外，滥猎滥捕鸟兽、收割式地砍伐森林，都会因某物种的减少或灭绝而使生态平衡破坏。

(2) 环境因素改变引起平衡破坏。工农业的迅速发展有意或无意地使大量污染物引入环境，从而改变生态系统的环境因素，影响整个生态系统，甚至破坏生态平衡。由于空气污染、热污染、除草剂和杀虫剂的使用、施肥的流失、土壤侵蚀或未处理的污水进入环境而引起富营养化等原因，改变生产者、消费者和分解者的种类与数量，因而破坏生态平衡。

(3) 信息系统的破坏。许多生物在生存的过程中，都能释放出某种信息素（一种特殊的化学物质），以驱赶天敌，排斥异种或取得直接或间接的联系以繁衍后代。例如某些动物在生殖时期，雌性个体会排出一些信息素，靠这种信息素引诱雄性个体来繁殖后代。但是，如果人们排放到环境中的某些污染物质与某一种动物排放的信息素作用，就会使其丧失引诱雄性个体作用，进而破坏这种动物的繁殖，改变生物群的组织结构，使生态平衡受到影响。

四、生态平衡移动

生态平衡移动和化学平衡一样，遵守吕·查德里原理。即平衡向着减弱这个改变的方向移动，使系统保持其自身的相对稳定。

生态系统之所以能够保持其动态平衡，即系统的自身相对稳定，主要是生态系统内部具有自我调节的能力。例如生态系统中某些化学物质具有一定的稀释和净化能力。人体对某些

化学物质或病菌也有一定的抵抗和分解能力，使平衡向能减弱其改变的方向移动。但是一个生态系统的调节能力都有一个限度，超过此限度，生态系统就会遭到破坏，生物和人就不可避免的发生病害或死亡。

参 考 内 容

为了深入了解生态系统的概念，这里分别介绍生态系统的基本特征和生态系统中营养物质的循环两部分内容。

一、生态系统的基本特征

任何“系统”都具有一定结构，各组分之间发生一定联系并执行一定功能的有序整体。从这种意义上说，生态系统与物理学上的系统是相同的。但生命成分的存在决定了生态系统具有不同于机械系统的许多特征，这些特征主要表现在下列几方面：

1. 生态系统是动态功能系统

生态系统是有生命存在并与外界环境不断进行物质交换和能量传递的特定空间。所以，生态系统具有有机体的一系列生物学特征，如发育、代谢、繁殖、生长与衰老等。这就意味着生态系统具有内在的动态变化的能力。任何一个生态系统总是处于不断发展、进化和演变之中，这就是所说的系统的演替。人们可根据发育的状况将其分为幼年期、成长期、成熟期等不同发育阶段。每个发育阶段所需的进化时间在各类生态系统中是不同的。发育阶段不同的生态系统在结构和功能上都具有各自特点。

2. 生态系统具有一定的区域特征

生态系统都与特定的空间相联系，包含一定地区和范围的空间概念。这种空间都存在着不同的生态条件，栖息着与之相适应的生物种群。生命系统与环境系统的相互作用以及生物对环境的长期适应结果，使生态系统的结构和功能反映了特定的地区特性。同是森林生态系统，寒温带的长白山区的针阔混交林与海南岛的热带雨林生态系统相比，无论是物种结构、物种丰度或系统的功能等均有明显的差别。这种差异是区域自然环境不同的反映，也是生命成分在长期进化过程中对各自空间环境适应和相互作用的结果。

3. 生态系统是开放的“自持系统”

物理学上的机械系统，如一台机床或一部机器，它的作功需要电源，它的保养（如部件检修、充油等）是在人的干预下完成的，所以机械系统是在人的管理和操纵下完成其功能的。然而，自然生态系统则不同，它所需要的能源是以生产者对光能的“巧妙”转化，消费者取食植物，而动、植物残体以及它们生活时的代谢排泄物通过分解者作用，使结合在复杂有机物中的矿物元素又归还到环境（土壤）中，重新供植物利用。这个过程往复循环，从而不断地进行着能量和物质的交换和转移，保证生态系统发生功能并输出系统内生物过程所制造的产品或剩余的物质和能量。生态系统功能连续的自我维持基础就是它所具有的代谢机能，这种代谢机能是通过系统内的生产者、消费者、分解者三个不同营养水平的生物种群完成的，它们是生态系统“自维持”（self-maintenance）的结构基础。

4. 生态系统具有自动调节的功能

自然生态系统若未受到人类或者其它因素的严重干扰和破坏，其结构和功能是非常和谐的，这是因为生态系统具有自动调节的功能，所谓自动调节功能是指生态系统受到外来干扰

而使稳定状态改变时，系统靠自身内部的机制再返回稳定、协调状态的能力。生态系统自动调节功能表现在三个方面，即同种生物种群密度调节；异种生物种群间的数量调节；生物与环境之间相互适应的调节，主要表现在两者之间发生的输入、输出的供需调节。

二、生态系统中营养物质的循环

在自然界已知的 100 多种化学元素中，生物正常生命活动所必需的约 30~40 种。这些元素在生物体的作用通常是不能相互替代的。生物对各处元素的需求量并不相同且有种间差异。据分析，细胞含有 24 种元素，其中 C、H、O、N、P、S 六种元素对生命起着特别重要的作用，大部分有机物分子是由这六种元素组成的。另外还有需求量较多的 Ca、K、Na、Cl、Mg、Fe 等六种元素，其它的元素是 Mn、I、Mo、Co、Zn、Se、Cu、Cr、Sn、U、Si、F，这些元素含量较少，称为微量元素，但它们也是生命所不可缺少的。

生物所需要的这些营养物质的循环是在生态系统的四个基本成分之间进行的，另外，生态系统还可从降雨、空气流通和动物的迁入等不同途径使营养物质得到补充和更新。生态系统营养物质的整个循环过程中，生产者、分解者、水分和大气起着尤为重要的作用。生产者使无机物转变为有机物，分解者则把复杂有机物分解为生产者可重新利用的简单无机物。水和空气起介质作用，固体物只有溶于水中才能被生产者吸收利用。一些气态物和水则需借助空气而由气孔等处进入生物体。

生态系统中营养物质再循环主要有以下几条途径：

1. 物质由动物排泄返回环境。包括海洋等以浮游生物为优势种的水域生态系统都可能以这种途径为主。据研究 (Harris, 1959)，浮游动物在其生存期间所排出的无机物和有机可溶性营养物质的数量，比它们死亡后经微生物分解所放出的数量要多好几倍，而且排泄的可溶性营养物质能直接被生产者所利用。

2. 物质由微生物分解碎屑过程而返回环境。在草原、温带森林及其它具有以碎屑食物链为主的生态系统，这种途径是主要的。

3. 通过在植物根系中共生的真菌，直接从植物残体（枯枝落叶）中吸收营养物质而重新回到植物体。在热带，尤其是热带雨林生态系统中存在着这种途径。

4. 风化和侵蚀过程伴随水循环携带着沉积元素，由非生物库进入生物库。这是营养物质再循环的第四条途径。

5. 动、植物尸体或粪便不经任何微生物的分解作用也能释放营养物质。如水中浮游生物的自溶可视为营养物质在生态系统中再循环的第五条途径。

6. 人类利用化石燃料生产化肥，用海水制造淡水以及对金属的利用，可以认为是物质再循环的第六条途径。

物质再循环的六条途径中，前五条是在自然状态下进行的。第六条途径的作用在加强对生物圈的正常功能的影响也越来越大，由此引发许多问题正是环境生态学所研究的重要内容。

问题和习题解答

1. 呼吸作用和光合作用在碳循环和氧循环中起什么作用？

答：在碳和氧的循环中，植物借光合作用吸收空气中二氧化碳制成糖类等有机物质而释放出氧气，这是大气中唯一的纯氧的来源，供动物需用。同时，植物和动物又通过呼吸作用吸入氧气而放出二氧化碳重返大

气中。因此，光合作用和呼吸作用是碳和氧循环过程中的极其重要的过程。

2. 正常情况下,大气圈中总水量为 $1.4 \times 10^{16} \text{kg}$,又已知地球平均年降雨量为 90cm ,若地球表面积为 $5.1 \times 10^{18} \text{cm}^2$,求水在大气中的停留时间。

解:设水在大气中的停留时间为 $t_{\text{H}_2\text{O}}$,则

$$t_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{r_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 1.4 \times 10^{16} \text{kg}$$

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = 5.1 \times 10^{18} \times 90 \times 10^{-3} = 459 \times 10^{15} \text{kg/年}$$

将有关数据代入上式计算得:

$$t_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1.4 \times 10^{16} \text{kg}}{459 \times 10^{15} \text{kg/年}} = 0.0305 \text{ 年}$$

3. 列举大气中的氮气经化学形态转化后进入土壤的各种实际过程。

答:大气中氮气经化学形态转化后进入土壤的实际过程有:

(1) 苜蓿、大豆等豆科植物的根瘤菌这一类固氮细菌或某些兰绿藻,能将大气中的氮转变成硝酸盐固定下来。

(2) 动植物死后,身体中的蛋白质被微生物分解成硝酸盐或铵盐而返回土壤中。

(3) 化学肥料的生产和使用也能将空气中的氮变成铵盐而贮存于土壤中。

4. 地球上平均温度上升或下降,将对水的循环发生什么影响?

答:自然界中水的循环,是以其三态的互变为中心来进行的。首先是地球温度的变化范围适宜水的三态互变,而水在相变时吸收或放出的潜热又对气候起调节作用。没有一定的温度和水分的条件,生命不可想象。另外,自然界中碳、氮、氧的循环,也无不与水密切相关。

地球上的温度上升(或下降),将使水的蒸发速度增加(或减少),从而使大气环境中的水蒸气含量大于(或小于)正常。这不仅使气候恶变,而且使自然界中碳、氮、氧的循环受阻,使自然界中的生态平衡受到破坏。

第二章 大气环境化学基础

目的要求

这一章首先介绍大气环境化学的基础知识，主要内容为：大气结构、大气压力随高度的变化、气温垂直递减率和逆温层、气团的干绝热减温率及其稳定性。由于大气污染中光化学反应较普遍，为此第二方面的内容为大气中的光化学反应。重点讲述光化学反应的机理和速率方程，以及主要污染物的光解反应等。本章的基本要求：

1. 掌握大气环境化学的基本概念和基本规律。如：大气结构、大气压力随高度的变化、气温垂直递减率、逆温层、气团干绝热减温率、气团的干绝热减温率和气温垂直递减率与气团稳定性的关系等。

2. 掌握光化学反应的基本概念和基本定律。如：光化学定律、量子效率、量子产率、光敏反应、初级过程、次级过程、光子的能量和波长的关系式等。

3. 能够按照光化学反应的机理，利用稳态近似法，推导出光化学反应的动力学方程，并计算量子效率。

4. 能够写出与大气污染作用有直接关系的主要光解反应，如： O_2 、 O_3 、 N_2 、 NO 、 NO_2 、 H_2O_2 、 HNO_2 、 HNO_3 等光解反应。

5. 了解光化学反应的特点及其与热化学反应的区别。例如：温度对光化学反应速率的影响；光强与光解速率常数之间的关系等。

主要内容

§ 2-1 大气结构与大气压力随高度的变化

一、大气结构

大气的温度随距地面的高度而变化，构成了大气分层的基础。通常可以分为以下四层：

1. 对流层：这层最贴近地面，在赤道上伸展到16~18公里高空，在极地伸展到8~9公里。温度随高度递减，大气中风、云、雨、雪现象主要发生在此层，故水汽变化较大。

2. 平流层：从对流层扩展到50公里高空，在平流层低层温度基本不变，然后由于臭氧吸收短波辐射而使温度随高度增加而增加，平流层顶温度可达260K。

3. 中间层：从50公里伸展到80公里，在这一层温度随高度增加而降低，直至180K，它是大气温度的最低点。

4. 热层（电离层）：最上层，高达500公里。这一层，温度随高度增加而增加，强紫外辐射离解 N_2 和 O_2 ，温度可达1575K。

与空气污染有关的大气层主要是对流层，因此，我们重点讨论这一层。

二、大气压力随高度的变化

如果将空气看成理想气体，则在大气中任一点上都有：

$$p = \frac{\rho RT}{M_0} \quad (2-1)$$

其中 ρ 是空气密度 ($\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$), R 是通用气体常数 ($8.314 \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), M_0 是空气的平均摩尔质量 (28.97)。

在任一高度的大气压力是由该高度以上的空气质量造成的，所以大气压在垂直方向上的变化则遵循下列关系式：

$$\frac{dp}{dh} = -\rho g \quad (2-2)$$

将 (2-1) 式代入 (2-2) 式中，得到低层大气的温度和压力的关系式：

$$\frac{dp}{dh} = \frac{-gM_0 p}{RT} \quad (2-3)$$

假若温度不随高度而变，积分 (2-3) 式直接得到

$$p = p_0 e^{-M_0 g h / RT} \quad (2-4)$$

式中 p_0 是海平面的压力。

将 (2-4) 式取对数得：

$$\ln p = -\frac{M_0 g h}{RT} + \ln p_0 \quad (2-5)$$

$\ln p$ 对 h 作图，为一直线，因此，假若大气温度不随高度而变，由图则可求出任意不同海拔高度的大气压力。

§ 2-2 对流层的大气组成

这一节要求了解对流层的大气是由干空气的气体混合物、水分以及悬浮的固体粒子和液体粒子组成的。

§ 2-3 气温垂直递减率和气团干绝热减温率

一、气温的垂直递减率和逆温层

在大气圈的对流层中，气温垂直变化的总趋势是：随高度的增加，气温逐渐降低。这是因为，大气主要依靠吸收地面发射的长波辐射而增温，所以地面是大气的主要热源。因此近地面的温度比上层高。

气温随高度的变化通常以气温垂直递减率表示，即在垂直方向上每升高 100 米气温的变化值。整个对流层中气温的垂直递减率平均为 $0.6^\circ\text{C}/100\text{m}$ 。

事实上，在贴近地面的低层大气中，气温的垂直变化远比上述情况复杂得多。即某些大气层的垂直递减率可以大于零、等于零或小于零。大于零表示气温随高度增加而降低；等于零表示气温不随高度而改变。这种气层称为等温气层。小于零表示气温随高度增加而增加，这种情况与对流层中气温垂直分布的正常情况相反，称为温度逆增，简称逆温。这样的气层称为逆温层，它的下限称为逆温高度。上下限的温度差称为逆温强度。因逆温层出现的高度不