

北京大學

通选课 《环境生态学》

多媒体讲义

刘树华

物理学院大气科学系

致 谢

在制作《环境生态学》多媒体课件的过程中得到了国家气象局局长秦大河院士、中国气象科学研究院院长张人禾教授、甘肃省气象局局长宋连春研究员；中国气象局国家气象卫星中心主任张文建教授、郑新江教授；中国气象局培训中心主任王强教授；中国气象局气候中心主任罗勇教授；中国科学院地理与资源研究所所长刘纪远研究员、刘昌明院士、夏军教授、于强研究员；中国科学院大气物理研究所所长王会军研究员、胡非研究员、赵思雄研究员、程雪玲博士；中国科学院海洋研究所胡敦欣院士；河海大学水资源与环境学院任立良教授；南京大学蒋维楣教授；北京大学桑建国教授、谭本旭教授、叶文虎教授、李万彪教授、胡永云教授、梁福明博士、佟华博士、王保民博士、文新宇博士及我的学生们等的帮助。在此深表感谢。

目 录

- 第1章：环境生态学基本知
- 第2章：可持续发展的理念概述
- 第3章：环境保护与可持续发展战略问题
- 第4章：和谐社会与循环型经济
- 第5章：人类生存方式与环境生态危机
- 第6章：中国21世纪初可持续发展之路
- 第7章：环境文化与生存安全
- 第8章：全球变暖与地球环境生态安全
- 第9章：海洋—陆地生态系统碳循环及测量
- 第10章：臭氧层破坏对地球环境生态的影响
- 第11章：酸雨对地球环境生态的影响
- 第12章：城市化对城市环境及区域气候的影响
- 第13章：沙漠—绿洲生态系统水热输送及相互作用
数值模拟
- 第14章：中国西部水资源开发与可持续发展问题

第1章

环境生态学的基本 知识

目录

第一节 环境生态学概念

第二节 生物竞争理论

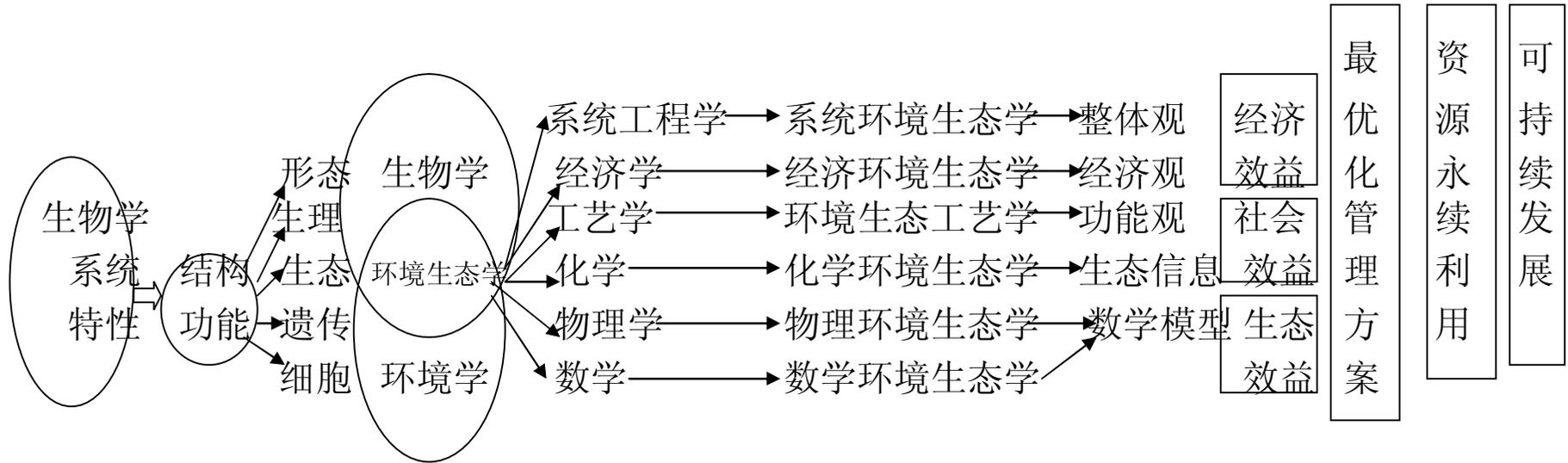
**第三节 生态系统中的平
衡与调节**

第一节 环境生态学概念

一、环境生态学的多学科性及其相互关系

由于影响人类生存的环境生态问题日趋严重及环境科学的发展，生态学的研究领域已扩展到人类生活和社会形态等方面，为了人类生存安全和社会可持续发展，必须研究人类与土壤圈、生物圈、大气圈的相互关系。这样便形成了人类环境生态学这一领域更广泛、内容更丰富的学科。同时，现代科学技术的新成就也已经渗透到环境生态学的领域中，赋予它新的内容和动力，**成为多学科的、当代较活跃的科学领域之一。**

环境生态学的多学科性及其相互关系



二、环境生态学的定义

环境生态研究是近二十年的事。在1972年，以联合国人类环境会议名义发表的《**人类环境宣言**》，**呼吁各国政府和人民共同努力保护人类共同的家园-地球的环境，是人类面临的紧迫任务。**其后的20年中，环境生态保护在全球形成了一股强大的浪潮，发达国家和发展中国家都认识到了解决生态环境问题，**不仅是一个国家和一个地区的问题，是关系到全人类的生存和发展的重大问题。**普遍认识到人类面临的问题**一是人们通常获得资源的生态环境出现了难以满足其需要的危机；二是人类生存的环境质量在保证人的健康方面日趋恶化。**

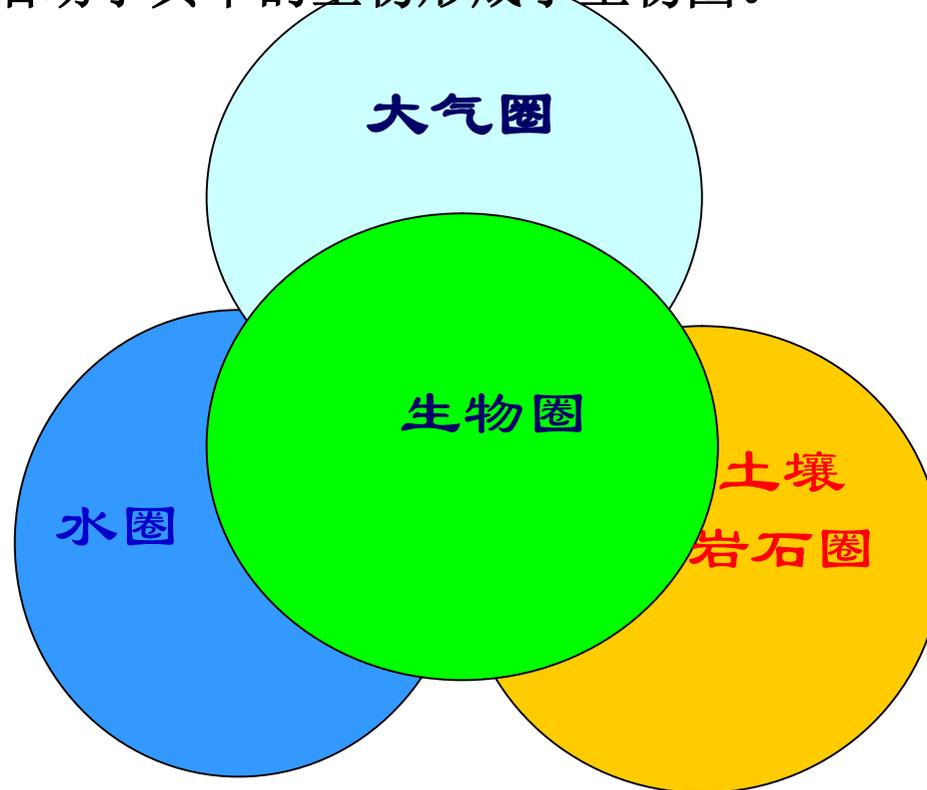
目前，对人类的生活影响最大、最密切的是**生物圈**，受人类活动影响最大的也是生物圈。随着人类活动影响的增强，影响的范围也在扩大，如地球表面之上30-36km的平流层中的臭氧层因人类活动受到破坏，但这些影响与生物圈也有着密切关系。所以，我们把生物圈-地球上最大的生物系统视为人类生存与发展的生态环境，把人类生产、生活和经济活动与其生态环境的相互作用、相互影响的关系，不同地域（或空间）的生态系统所表现的特殊性等作为研究对象，探索保持人类持续发展的科学称为环境生态学。

环境生态学 (environmental ecology) 是研究人为干扰下，生态系统内在的变化机理、规律和对人类的反馈效应，寻求受损生态系统恢复、重建和保护对策的科学。即运用生态学原理，阐明人与环境间的相互作用及解决环境问题的生态途径。

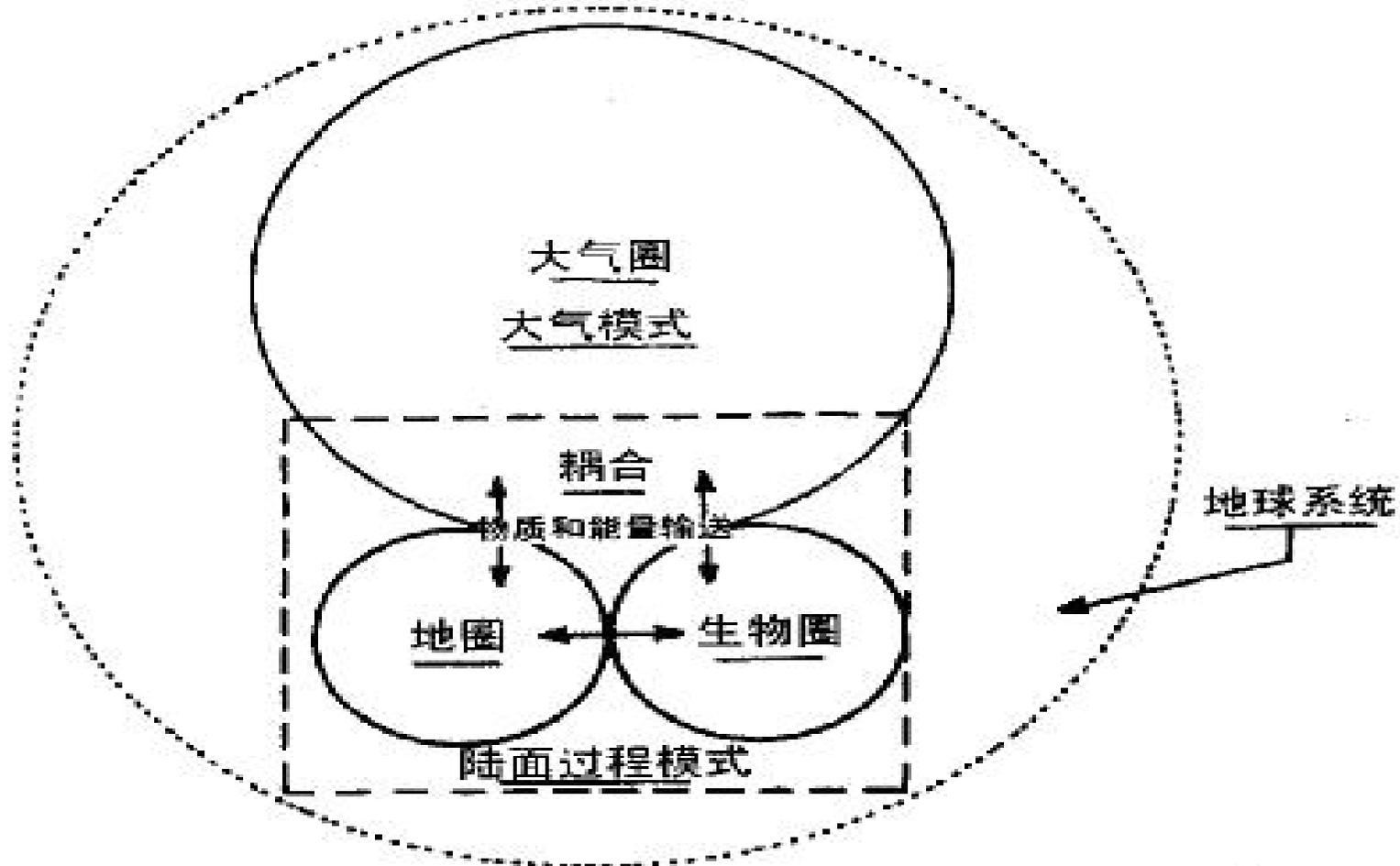
三、生态系统的基本结构和特征

1、生物圈：

地球经长期演化，在其表面形成了由大气、水和土壤岩石组成的不同圈层，分别称为**大气圈**、**水圈**和**土壤岩石圈**。这三个圈层相互渗透形成了适宜生物生存的环境条件。生物依靠这些圈层提供的物质和太阳的辐射能而生存，并在与这些环境的相互作用中不断生息繁衍。由大气圈、水圈和土壤岩石圈及活动于其中的生物形成了生物圈。

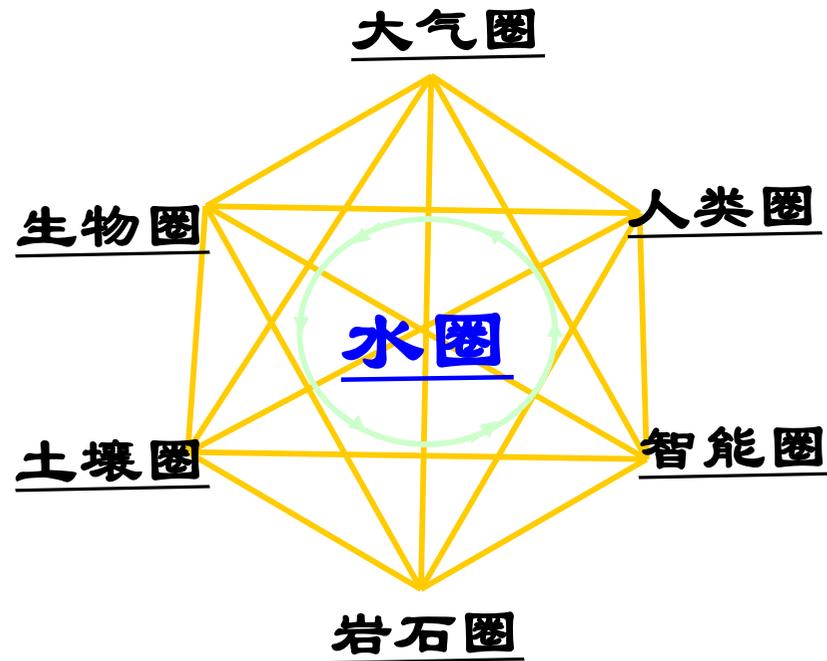


地球生态系统各圈层的关系



水圈与地球其它圈层的关系

水圈是一个运动变化的系统，受能量驱动，它与其所在的空间（环境）相互作用：地貌塑造、调节局地与气候、参与地球化学景观变化、参与生命发育过程（光合作用）



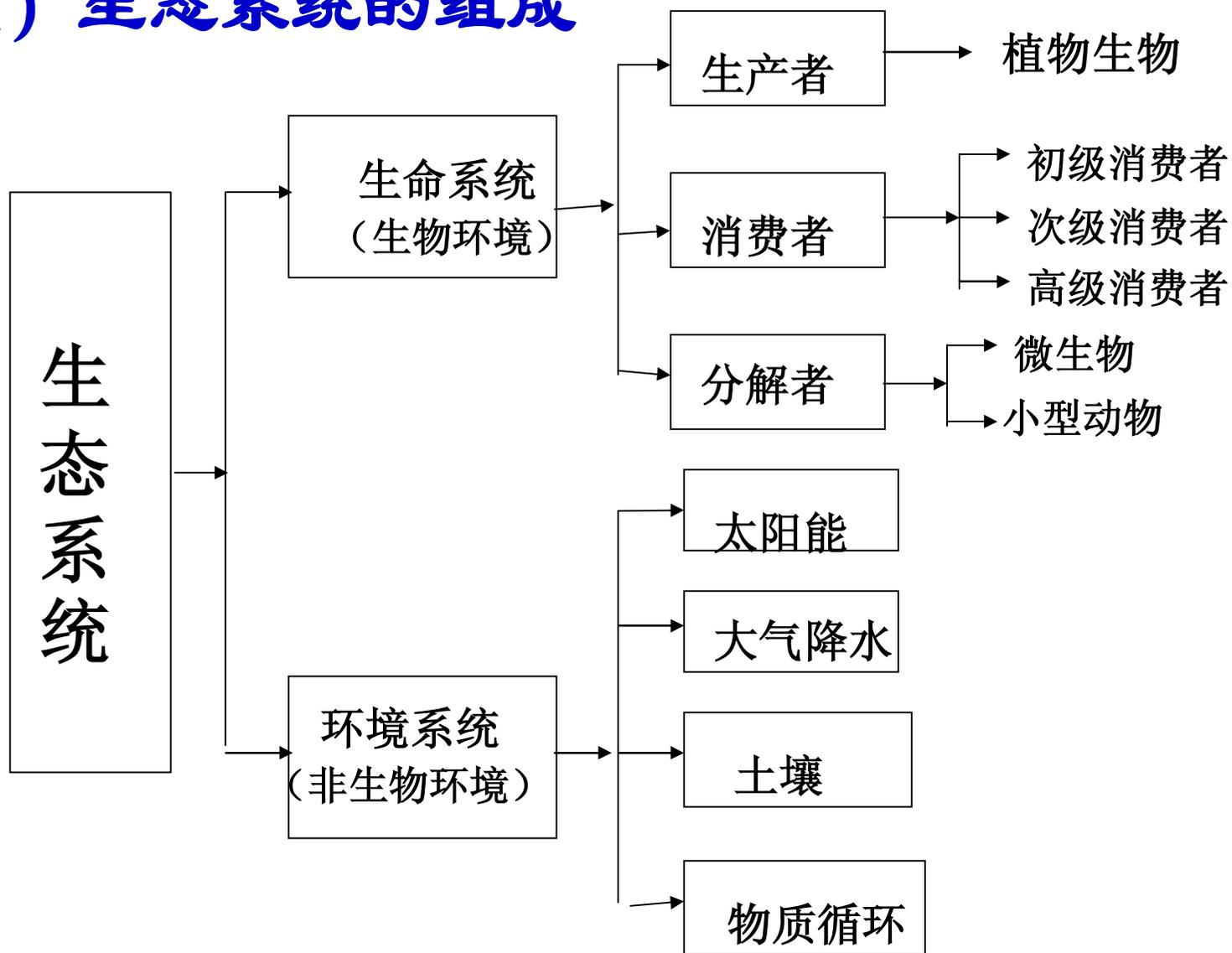
2. 生态系统 (Ecosystem)

生态系统就是指一定地域（或空间）内生存的生物和非生物环境相互作用的、具有能量转换、物质循环代谢和信息传递功能的统一体，是生命系统和非生命的环境系统在特定空间的组合。根据生态系统的定义，可以把任何一个特定区域内包含有**生物**和**非生物环境**要素组成的整体看作为一个生态系统。不同的生物群落与非生物环境组成复杂、多样的生态系统，并为人类提供了十分丰富的、类型多样的生物资源，生物与其周围环境的相互作用、相互影响是生态系统不断进化发展的动力，也是人类社会与生态环境协调发展的基础。

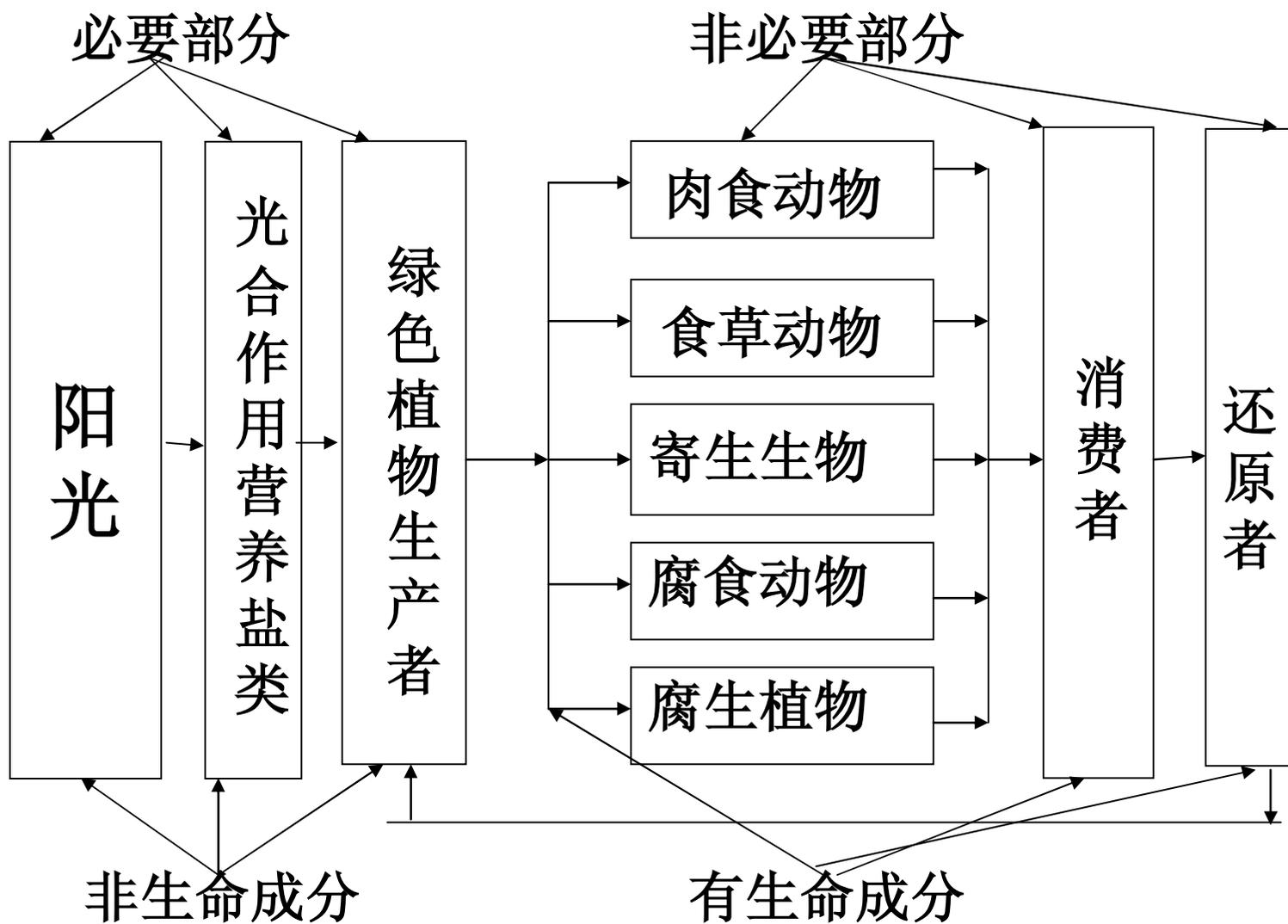
3. 生态系统的组成

生态系统的组成是指系统内所包括的若干类相互联系的各种要素。从理论上讲，地球上的所有物质都可能是生态系统的组成成分。地球上生态系统的类型很多，它们各自的生物种类和环境要素也存在着许多差异。然而，各类生态系统却都是由两大部分、四个基本成分所组成。两大部分就是生物和非生物环境，或称之为生命系统和环境系统。四个基本成分是指生产者、消费者、还原者和非生物环境。

(1) 生态系统的组成



(2) 相互关系



(1) 生产者 (producers)

生产者主要是指能制造有机物质的绿色植物和少数自营生活菌类。绿色植物在阳光的作用下可以进行光合作用，将无机环境中的二氧化碳、水和矿物质元素合成有机物质；在合成有机物质的同时，把太阳能转变为化学能并贮存在有机物中。这些有机物质是生态系统中其他生物生命活动的食物和能源。生产者是生态系统中营养结构的基础，它决定着生态系统中生产力的高低，是生态系统中最重要的组成部分。

(2) 消费着 (consumers)

消费者是指直接或间接利用绿色植物所制造的有机物质作为食物和能源的异养生物，主要是指各类动物，也应包括人类本身。 消费者包括的范围很广，根据食性不同或取食的先后可分为**草食动物、肉食动物、寄生动物、食腐动物**。按照其营养方式的不同，可分为不同的营养级，直接以植物为食的动物称为**食草动物 (Herbivores)**，是**初级消费者 (primary consumer)**；以食草动物为食的动物称为**食肉动物 (Carnivores)**是**二级消费者 (secondary consumers)**；食肉动物还可分为**三级、四级消费者**，这些消费者通常是生物群落中体型较大，性情凶猛的动物。消费者中最常见的是**杂食性消费者 (Omnivory consumers)**。它们的食性很杂，食物成分季节性变化大，在生态系统中，正是杂食消费者的这种营养特点构成了极其复杂的营养网络关系。但是，许多动、植物都是人的取食对象，因此，**人是最高级的消费者。**

(3) 分解者 (Decomposers)

分解者亦称还原者 (Reducers)。主要指微生物，故又有小型消费者之称，包括细菌、真菌、原生动物及以有机碎屑为食的动物（如蚯蚓）和食腐动物。它们以动物的残骸和排泄物中的有机物质作为生命活动的食物和能源，并把复杂的有机物分解为简单的无机物归还到环境中，重新加入到生态系统的能量和物质流中去，供生产者重新利用。

分解者在环境的净化和生态平衡中起着十分重要的作用。

生态系统还原者的作用也是极为重要的，尤其是各类微生物，正是它们的分解作用才使物质循环得以进行。否则，生产者将因得不到营养而难以生存和保证种群的延续，地球表面也将因没有分解过程而使动物、植物尸体堆积如山。

整个生物圈就是依靠这些体型微小，数量惊人的分解者和转化者消除生物残骸，同时为生产者源源不断地提供各种营养原料。

(4)非生物环境 (abiotic environment)

非生物环境包括气候因子，如太阳辐射、空气、热量、水分和土壤等自然因素，和无机物质，如碳、氢、氧、无机盐等无机物质。

它们为生物的生长提供必需的空间、物质和能量等条件，是生态系统能够正常运转的物质、能量基础。目前，人类对非生物环境的污染和破坏，严重影响其物质的循环和物质的输送。

4. 生态系统的结构

生态系统的结构包括两方面的含义：一是组成成分及其营养关系；二是各种生物的空间分布状态。具体地说，生态系统的结构包括**物种结构**，**营养结构**和**空间结构**。由于生态系统是一个功能单位，强调的是系统中的物质循环和能量流动，因而在结构方面也主要是从营养功能上划分的，可以简单地说，食物网及其相互关系就是生态系统的营养结构。至于物种结构，各类生态系统的差异很大，如水域生态系统的生产者主要是须借助于显微镜才能分辨的浮游藻类。而森林生态系统中的生产者却是一些高达几米，甚至几十米的乔木和各种灌木。而且，即使一个比较简单的生态系统，它的物种结构也是复杂的。在实际工作中，人们主要是以群落中的优势种类，生态功能上的主要种类作为研究对象。

5. 生态系统的基本特征

(1) 生态系统的动态平衡功能

(2) 生态系统的区域特征

(3) 生态系统自持功能

Ö 美国挑战人类生存极限实验 (美国生态圈试验)

Ö 宇宙飞船生态自持系统

氧气 → 宇航员呼吸 → CO_2 → 植物生态箱光合作用

→ 氧气 → 宇航员呼吸

宇航员排泄物 → 分解箱 → 分解出水 → 生态箱

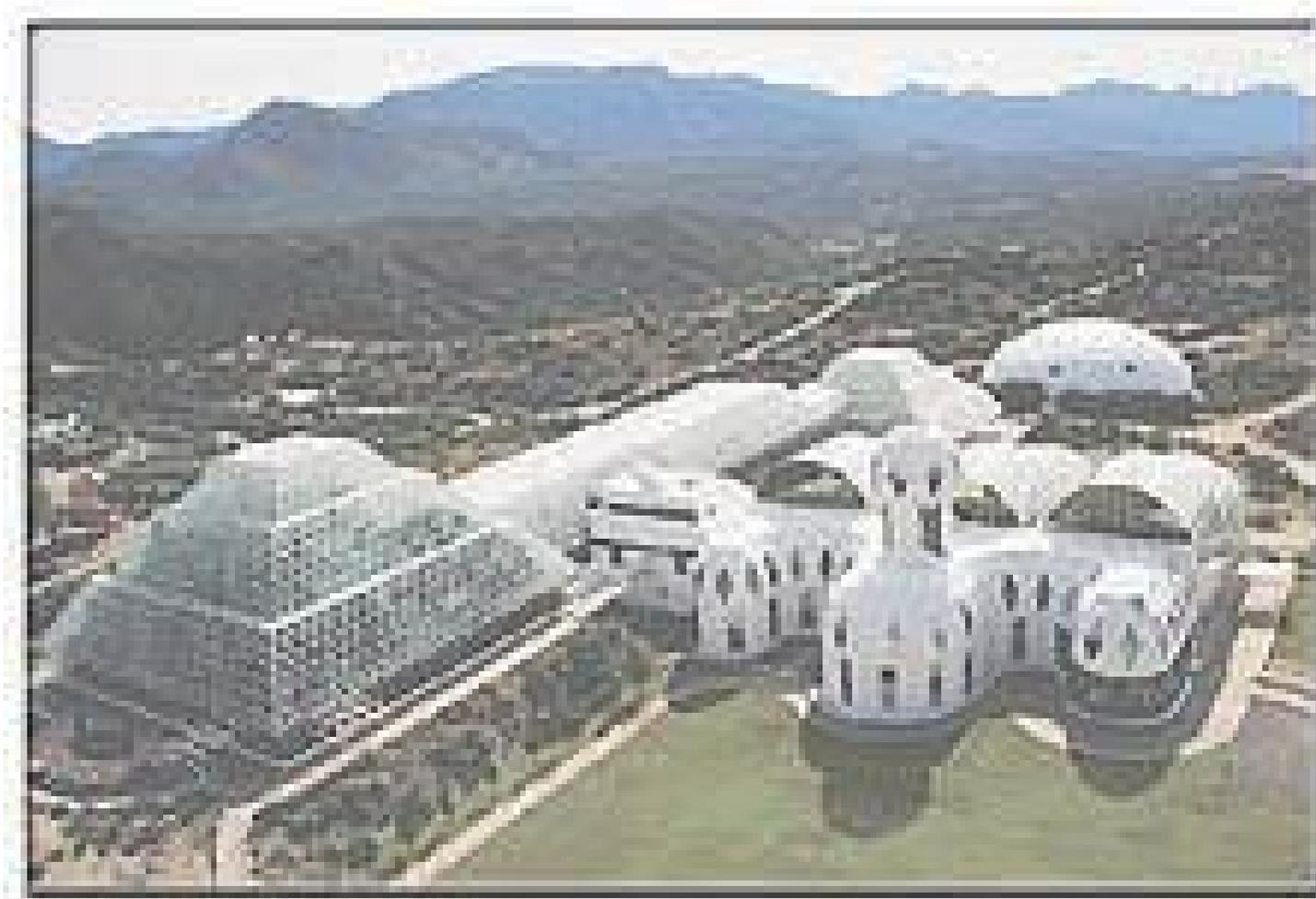
→ 水 → 宇航员

(4) 生态系统自动调节功能

Ö 森林采伐

Ö 鱼类捕捞

○美国生态圈试验 及其给我们的启示



11

http://king.99ss.com/new/Article_Show.asp?ArticleID=373



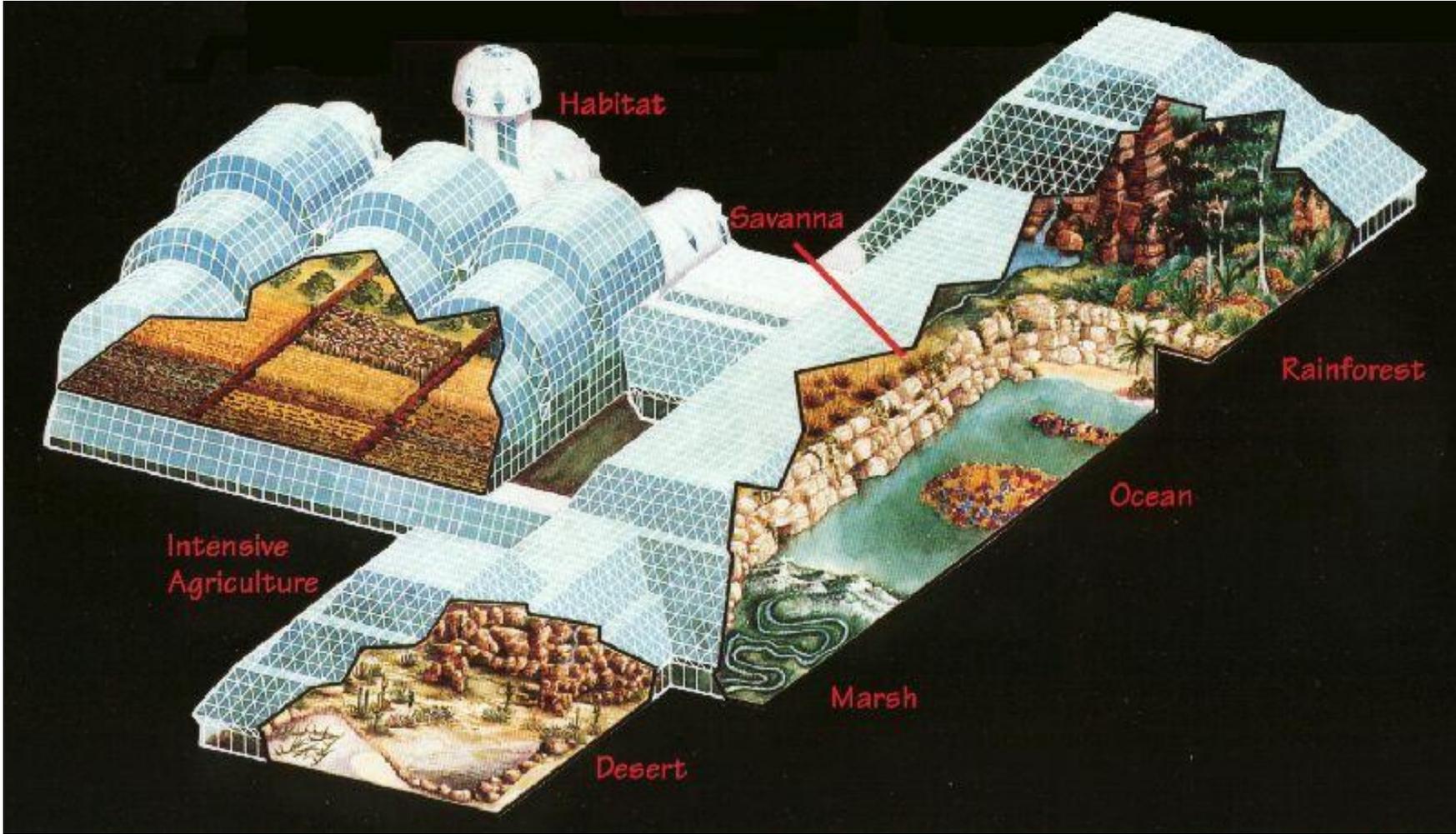
Space-age structures in the desert help recreate the earth's environment (Biosphere 1).

11



11

Main structure of Biosphere 2, 30 miles north of Tucson.



什么是“生物圈 II 号”

科学家们将人类休养生息的地球称为“生物圈I号”，为了试验人类离开地球能否生存，美国从1984年起花费了近2亿美元，在亚利桑那州建造了一个几乎完全密封的“生物圈 II 号”实验基地。这是一座占地1.3万平方米的钢架结构的玻璃建筑，远远望去仿佛是一个巨大的温室。它所有的窗户都是完全密闭的，透过玻璃往里看去，温室内有碧绿的麦田、草地、碧波荡漾的鱼塘，微型“海洋”不时卷起阵阵细浪。室内还放养着猪、牛、羊和其他家禽，里面居然还有几排房子。

1991年9月26日， 八位科学家进入这个实验室，他们将在里面一边从事科学研究，一边养鸡养鸭，耕种收获，过着完全自给自足的生活。两年中除了提供第一批包括种子在内的物品外其余的一切都需要他们自己解决。能源，取自太阳能；氧气，由他们种植的植物制造；粮食，靠他们自己在里面种地获得；肉类和蛋白质，取自他们养的鸡、鸭、猪、羊。甚至包括里面的气温和气候，也是由他们来设法控制，并尽可能模拟地球气候。

总之，他们必须设法保证这个小小的生态系统的平衡。这说起来容易，做起来却并不简单。比如绿色植物过多，没有充足的肥料和二氧化碳供它们呼吸，植物会死亡；假如他们想多吃点肉，必须多养动物，而动物过多，粮食和饲料会紧张，氧气的消耗会增加，空气中二氧化碳浓度会升高，从而影响他们自身的生存。在这个生物圈里，科学家将对生态环境严格控制。如果食草动物过多，将引起草地破坏，就必须猎食一些食草动物，如果一种植物灭亡了，他们将取出试管内储存的植物细胞，重新培养。科学家们需要进行大量的实验，才能维持生存、净化环境，稍有不慎，生态危机就会出现。这一切都需要科学家们做周密的计划和细致的安排。任何一方面出现偏差，都会使整个计划前功尽弃。

从科学家们进驻的那一起，全世界都在密切关注着这个实验的结果。“生物圈Ⅱ号”实验为世界瞩目，因为这项实验的成功不仅将对人类面临的环境危机、能源危机提出有意义的解决途径，而且可以有效利用现有资源，向宇宙空间、沙漠、海底进军。但实验的结果却并不令人乐观。一年多后，土壤中的碳与氧气反应生成二氧化碳，部分二氧化碳与建筑“生物圈Ⅱ号”所用混凝土中的钙发生反应生成碳酸钙，导致“生物圈Ⅱ号”的氧气含量从21%下降到14%。加之由于没有调节好内部气候，致使粮食歉收，科学家们不得不靠吃种子勉强度日。

结果是，提前撤出实验室。更令人意外的是，“生物圈Ⅱ号”运行3年后，其中的一氧化碳含量猛增到79%，足以使人体合成维生素B12的能力减弱，从而危害大脑健康。1996年1月1日，哥伦比亚大学接管了“生物圈Ⅱ号”。9月，由数名科学家组成的委员会对实验进行了总结，他们认为，在现有技术条件下，人类还无法模拟出一个类似地球一样的、可供人类生存的生态环境。

从生物圈二号的失败看环境保护和生态恢复的必要性

1991年9月26日，全球所有主要媒体均在头版头条刊登了一条激动人心的消息：由美国太空生物圈风险投资公司建立的“生物圈Ⅱ号”投入运行，8位科学家笑容满面地于上午8:15正式入住位于美国亚利桑那荒漠的一个模拟地球环境的全封闭温室，开始了长期自给自足、与世隔离的生活。次年4月，英国的《新科学家》周刊还认为“这是肯尼迪总统提出飞向月球计划以后美国实施的最令人激动的科学研究项目”。但一年后，这些科学家们实在呆不下去了，一个个病怏怏地出来了。随后，科学家们又组织了两次封闭住人实验，但均以失败草草收场，而且住人的时间一次比一次短。那么生物圈二号是怎么回事呢？它为什么会以失败告终呢？

自1940年以来，由于科学技术的进步，人类生产、生活和探险的足迹遍及全球。据统计，87%的陆地已受到人类活动的干扰，仅有3%的地方没有人类涉足。现在全球人口已达63亿，而且每年仍以9000多万的速度在递增。在那些有人居住的地方，人类为了生存，将大部分的自然生态系统被改造为城镇和农田，原有的生态系统结构及功能退化，有的甚至已失去了生产力。随着人口的持续增长，对自然资源的需求也在增加。环境污染、植被破坏、土地退化、水资源短缺、气候变化、生物多样性丧失等增加了对全球自然生态系统的胁迫。人类面临着合理恢复、保护和开发自然资源的挑战。在这种背景下，有人提出了向太空移民的计划，也有人提出了“我们只有一个地球”的呼吁。生物圈二号就是在这种背景下产生的。

按照设计思想，地球是生物圈 I 号，生物圈 II 号是地球的缩影，人类如果能在这个模拟的地球中生活下去，就不怕地球环境恶化和资源枯竭，实在不行了就在人类控制的“地球”中生存。这个大科学工程从1986年设计，次年动工，至1991年完工，共花费1.5亿美元。它采用了全封闭的钢筋与玻璃结构，仅有阳光、电和信息与外界相通。其面积相当于3个足球场大，引入了3800多种生物布置成森林生态系统、草地生态系统、水和沼泽生态系统、农田生态系统和海洋生态系统，还有供研究和生活用的楼房和人造风雨设施。生物圈二号的设计寿命100年，科学家们希望通过人在这个系统中能实现长期自给自足的生活，从而为人类开发太空、建立生存模型、探讨人与生物间关系、保护生态环境、实现可持续发展等提供依据。

但结果却是令许多人意想不到的：当入住的科学家们还未从兴奋和喜悦的心情中释放出来，他们就发现生物圈二号内的空气越来越差，氧气越来越少，二氧化碳浓度升高后导致了疲劳和失眠，以至后来有两位科学家不得不依靠氧气筒睡觉。刚开始，科学家们每天还可以到“海洋”中去畅游一番，但海水富营养化后形成的赤潮使人望而生畏。当科学家们看到许多活蹦乱跳的生物一一死亡时，心情就一天比一天糟，不到一年就死了近1/4的物种使他们彻底丧失了信心。

科学家们检讨了实验失败的原因：自然界不同于人工控制系统，大而全的设计导致了顾此失彼。生物圈二号内的土壤均来自一个地方，不像地球那样不同地带有不同的土壤类型。模拟的各类生态系统的空间分布格局及大小比例不合理。地球上生态系统内的生物间关系很复杂，目前人类还未全面了解生物间的协调性。它最重要的启示在于：我们人类目前对地球的了解还是远远不够的，目前最好的办法还是保护和利用好地球，进行环境保护和生态恢复是实现人类可持续发展的必由之路。

实验的失败使投资者失去了耐心，他在追加一笔运行费后将这个温室送给哥伦比亚大学作科普和科研基地。今天，任何人只要凭票即可进入参观。但无论如何，这个实验体现了人类智慧和科学进取精神，也为人类更好地了解地球和生态系统的复杂性提供了最直接的证据。

2. 按生态系统空间环境性质可把生态系统分为：

(1) 陆地生态系统 (Terrestrial ecosystem), 由于地球表面生态环境极为复杂, 具有不同的地形、地貌和气候等, 因而形成了各种各样的生态环境。根据植被类型和地貌的不同, 陆地生态系统又可分为森林生态系统、草原生态系统、荒漠生态系统等。

(2) 水生生态系统 (Water ecosystem), 水生生态系统按水体理化性质的不同可以分为淡水生态系统 (Freshwater ecosystem) 和海洋生态系统 (Marine ecosystem)。

四、生态系统的基本功能

生态系统的结构及其特征决定了它的基本功能，这就是生物生产、能量流动、物质循环和信息传递。生态系统的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。

1. 生物系统的生物生产

生态系统中生物生产包括：

初级生产 (primary production) 和次级生产 (secondary production) 两个过程。

前者是生产者 (主要是绿色植物) 把太阳能转化为化学能的过程，故又称之为植物性生产。后者是消费者 (主要是动物) 的生命活动将初级生产物转化为动物能，故称之为动物性生产。在一个生态系统中，这两个生产过程彼此联系，但又是分别进行的。

需要指出的是，人类活动对生态系统的干扰直接影响着生物圈的这两个生产过程，如大量原有植被的破坏使地球表面对太阳辐射的反射率增加，可能通过影响地球的热量收支而引起气候的改变；化石燃料的大量使用导致大量悬浮微粒和水汽的增加，也影响到初级生产的能量环境（energy environment）。大气污染对生态系统生物生产的危害作用也非常明显，如SO₂可使植物光合作用降低，叶绿素含量减少；O₃层的破坏可引起植物光合作用，呼吸作用，固氮等许多生理过程的变化，从而降低植物的净光合率等。

2. 生态系统的能量流动 (energy flow of ecosystem)

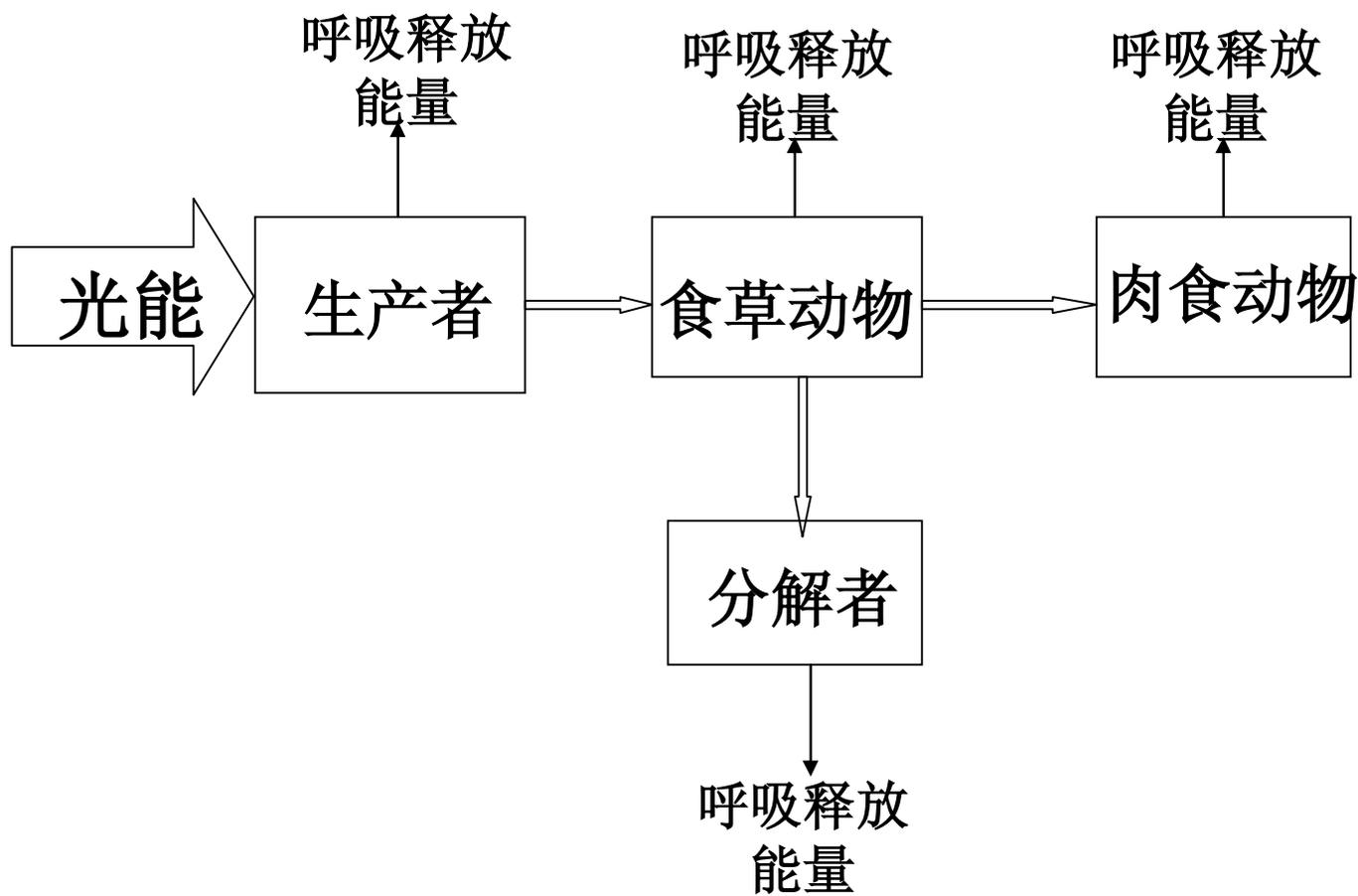
(1) 生态系统中能量流动的规律

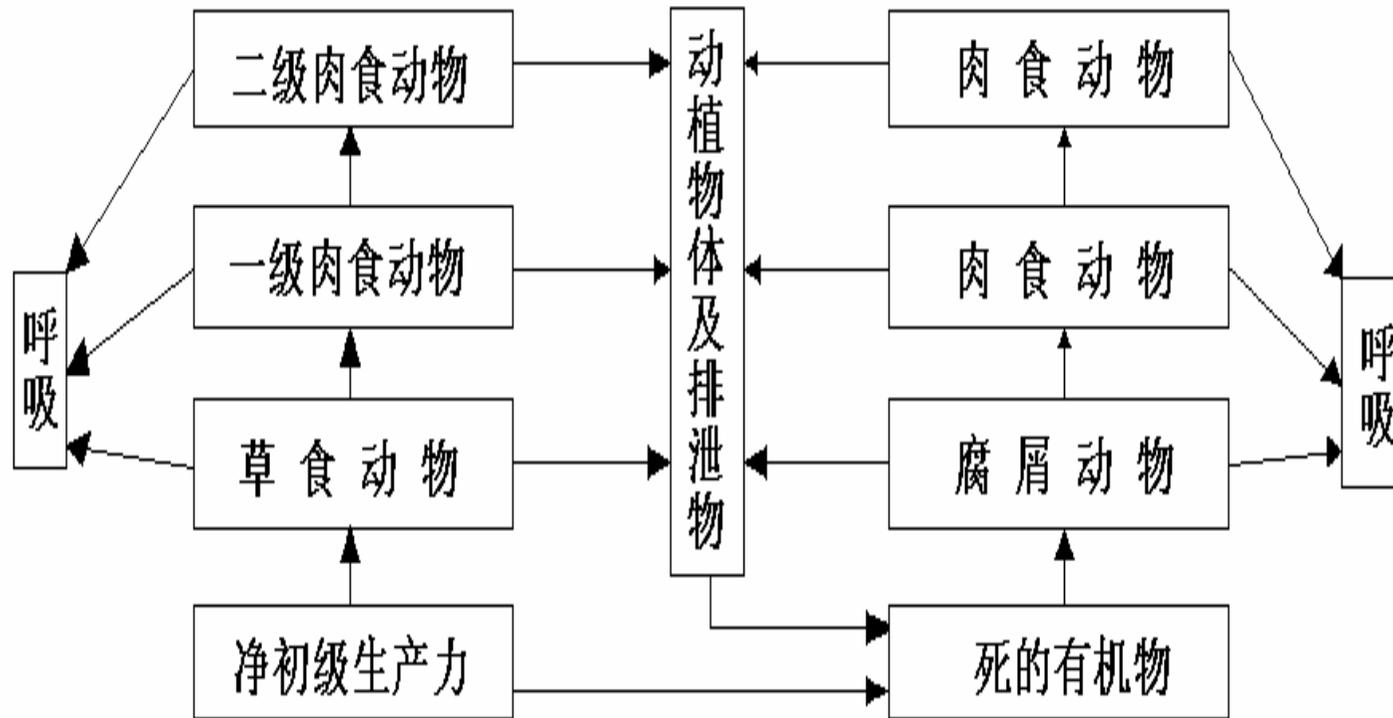
能量流动是生态系统的主要功能之一。没有能量的流动就没有生命、没有生态系统，能量是生态系统的动力，是一切生命活动的基础。

生态系统中的能量流动具有两个显著的特点：一是能量在生态系统中的流动，是沿着生产者和各级消费者的顺序逐级被减少。

能量在流动过程中，一部分用于维持新陈代谢活动而被消耗，同时在呼吸中以热的形式散发到环境中去；只有一少部分作功，用于合成新的组织或作为潜能贮存起来。因此，在生态系统中能量的传递效率是较低的。所以，能量流也就愈流愈细。一般来说，能量沿着绿色植物[Ⓡ]草食动物[Ⓡ]一级肉食动物[Ⓡ]二级肉食动物的形式逐级流动。通常，后者所获得的能量大体上等于前者所含能量的十分之一。称为“十分之一定律”。这种层层递减是生态系统中能量流动的一个显著特点。

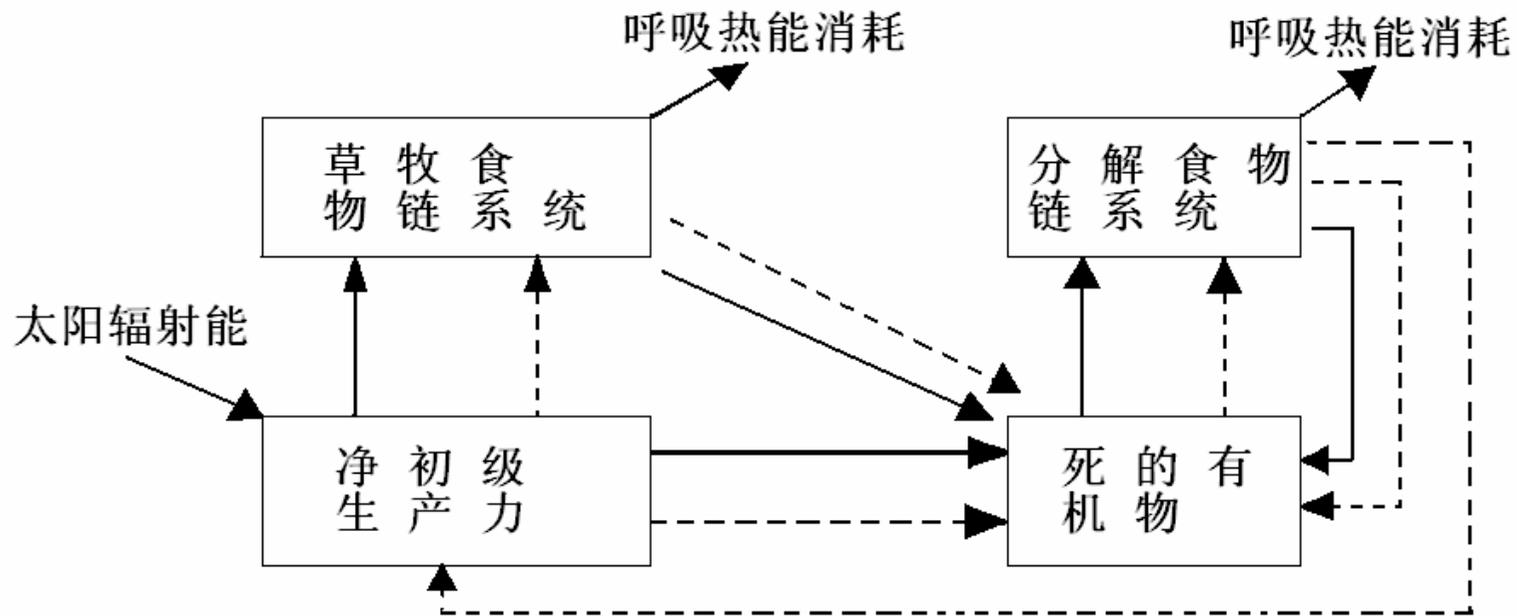
生态系统中的能量流动





陆地生态系统营养结构和能量流

(引自 张合平、刘云国, 2002)



能量流动 (—) 和物质循环 (.....) 关系示意图
 (引自 张合平、刘云国, 2002)

二是在生态系统中能量流动是单一方向的。这是因为，能量以光能的形式进入生态系统后，并以热能的形式耗散于环境中。被绿色植物吸收的光能，决不可能再返回到太阳中去。同样，食草动物从绿色植物中所获得的能量，也决不能再返回给绿色植物，所以，**在生态系统中能量的流动是单程的，只能一次流过生态系统，因而是非循环的，能量在生态系统中的流动是不可逆的。**

(2) 生态系统中能量流动的渠道

生态系统中能量的流动是借助于食物链和食物网来实现的。食物链和食物网便是生态系统中能量流动的渠道。

食物链 (food chain)

在生态系统中生产者、消费者和分解者，它们之间存在着一系列食与被食的关系。绿色植物制造的有机物质可以被食草动物所食，食草动物可以被食肉动物所食，小型食肉动物又可被大型食肉动物所食。这种以食物营养为中心的生物之间食与被食的链索关系称为食物链。**食物链上的每一个环节，称为一个“营养级”。**

在生态系统中，能量是通过生物成分之间的食物关系，在食物链上，从一个营养级到下一个营养级不断地逐级向前流动的。不同的生态系统，食物链的长短会有所不同，因而营养级的数目也不一样。例如，海洋生态系统的食物链就较长，营养级数目可达6—7级；陆地生态系统的营养级数目最多不超过4—5级。

在环境生态植物保护，防止病虫害时采用的生物防治法，就是以鸟治虫，以虫治虫，以菌治虫，都是依据食物链的理论。了解生物体之间的营养关系，注意量的调节，对保护动、植物资源有着重要的意义。

食物网 (food network)

生态系统中的食物链往往不是单一的，而是由许多食物链错综复杂地交错在一起构成食物网。在生态系统中，各种生物之间通过取食关系存在着错综复杂的联系，这就使生态系统内，多条食物链相互交错、互相联系，形成网络，称为食物网。

食物网使生态系统中各种生物成分有着直接的或间接的联系，因而增加了生态系统的稳定性。

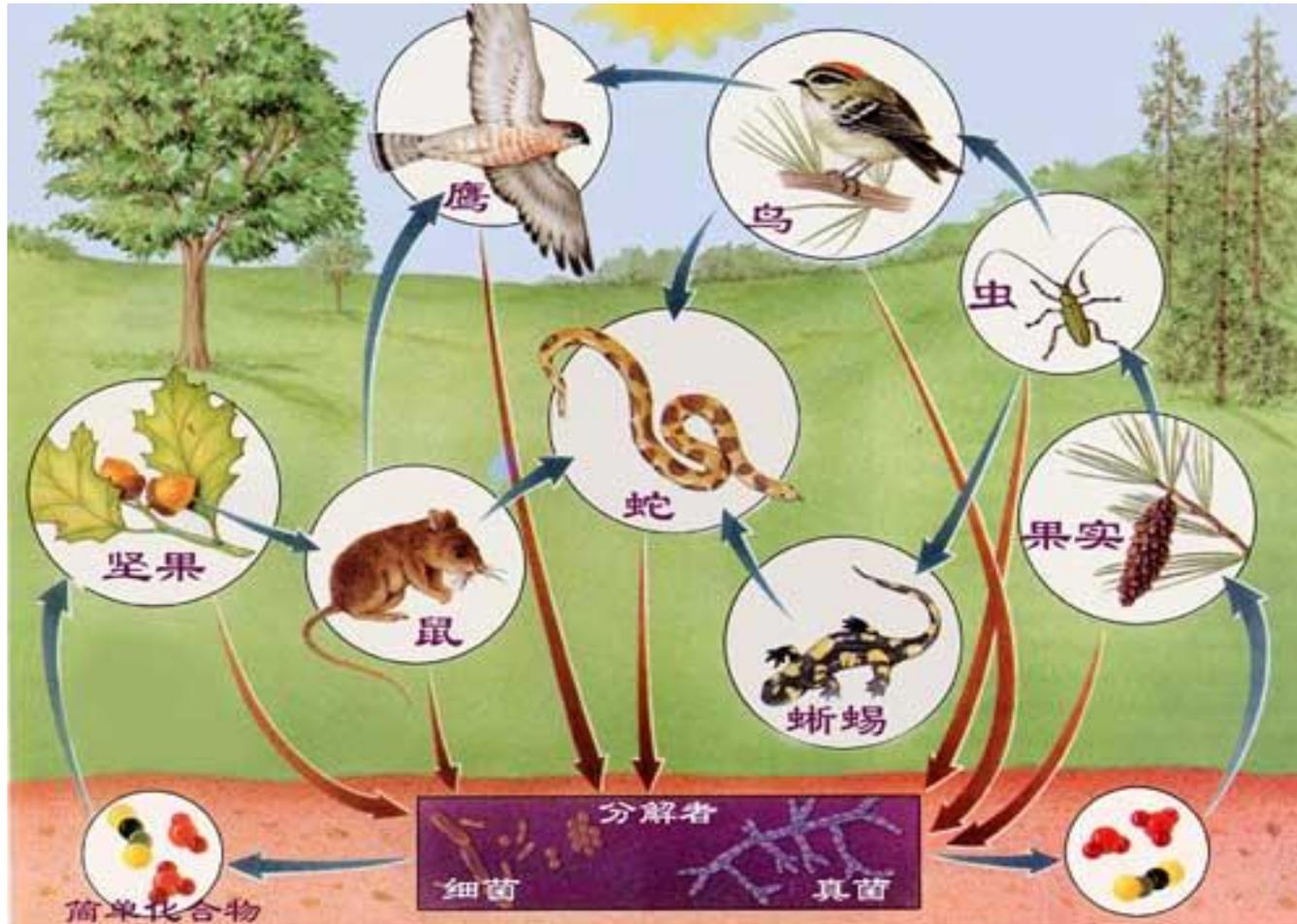
食物网中的某一条食物链发生了障碍，可以通过其它食物链来进行调节和补偿。例如，草原上的田鼠，由于流行鼠疫而大量死亡，原来以捕鼠为食的猫头鹰并不因鼠类减少而发生食物危机。这是因为鼠类减少后，草类就会大量繁殖起来，繁茂的草类可以给野兔的生长和繁育提供了良好的环境，野兔的数量就开始增多，猫头鹰则把捕食的目标转移到野兔的身上，而达到另一种平衡。

食物网是生态系统中普遍而又复杂的现象，它从本质上反映了生物之间的捕食关系，它是生态系统中的营养结构，是能量流动的主要渠道。在生态系统中，食物链和食物网愈复杂，生态系统愈稳定。

生态金字塔(生态锥体) **(Ecological pyramid)**

人们在研究生态系统的食物链和食物网的结构时，把每个营养级有机体的个体数量、能量及生物量，按照营养的顺序排列起来，绘制成图，竟然成为金字塔的形状。

食物链和食物网的结构之所以称“金字塔”形，是由生态系统中的能量流动的客观规律决定的。



生物链与食物链的关系 (引自 <http://www.kepu.com.cn>)

如前所述，生态系统中的能量流动，沿着营养级逐级上升，能量愈来愈少，能流愈来愈细，这就导致前一个营养级的能量只够满足后一个营养级少数生物的需要。营养级愈高，生物的数量必然愈少。被食者的生物量，要比捕食者的生物量大的多。例如，在一个池塘中，要有1000公斤的浮游植物才能维持100公斤浮游动物的生活；而100公斤的浮游动物才能供10公斤鱼生存；这10公斤鱼只能使18岁的青年人食后增加1公斤体重。可见，无论从生物量看，还是从能量看，以及从生物的个体数目看，它们都是呈金字塔形递减的，这是生态系统营养结构的特点。生态金字塔有三种类型：

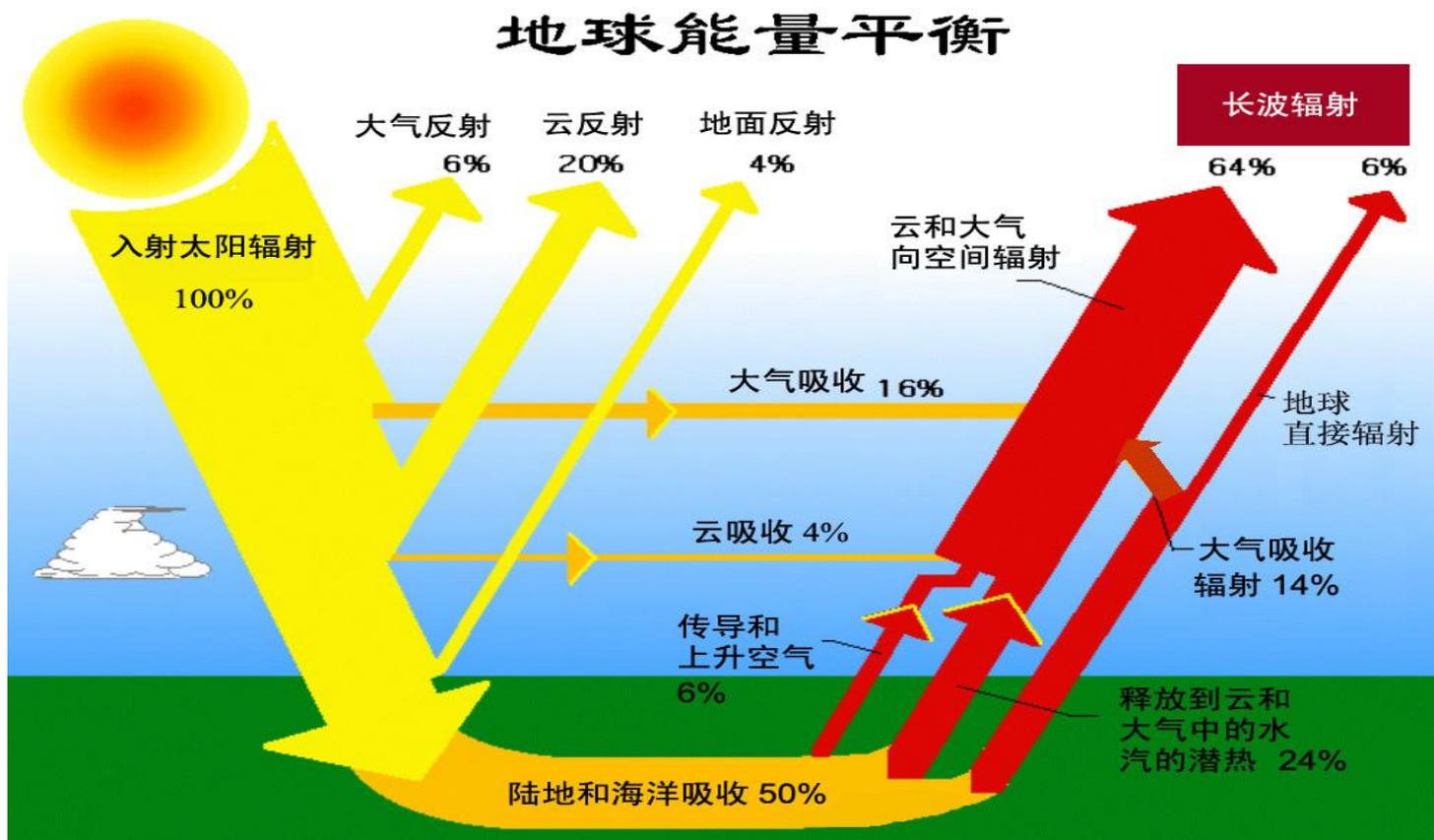
数量金字塔(Number Pyramid)。表示各营养级之间在一定的时间和空间内生物的数量关系，用生物的个体数目来表示。

生物量金字塔 (Biomass Pyramid)。表示各营养级之间生物的重量关系，用千克/年表示。

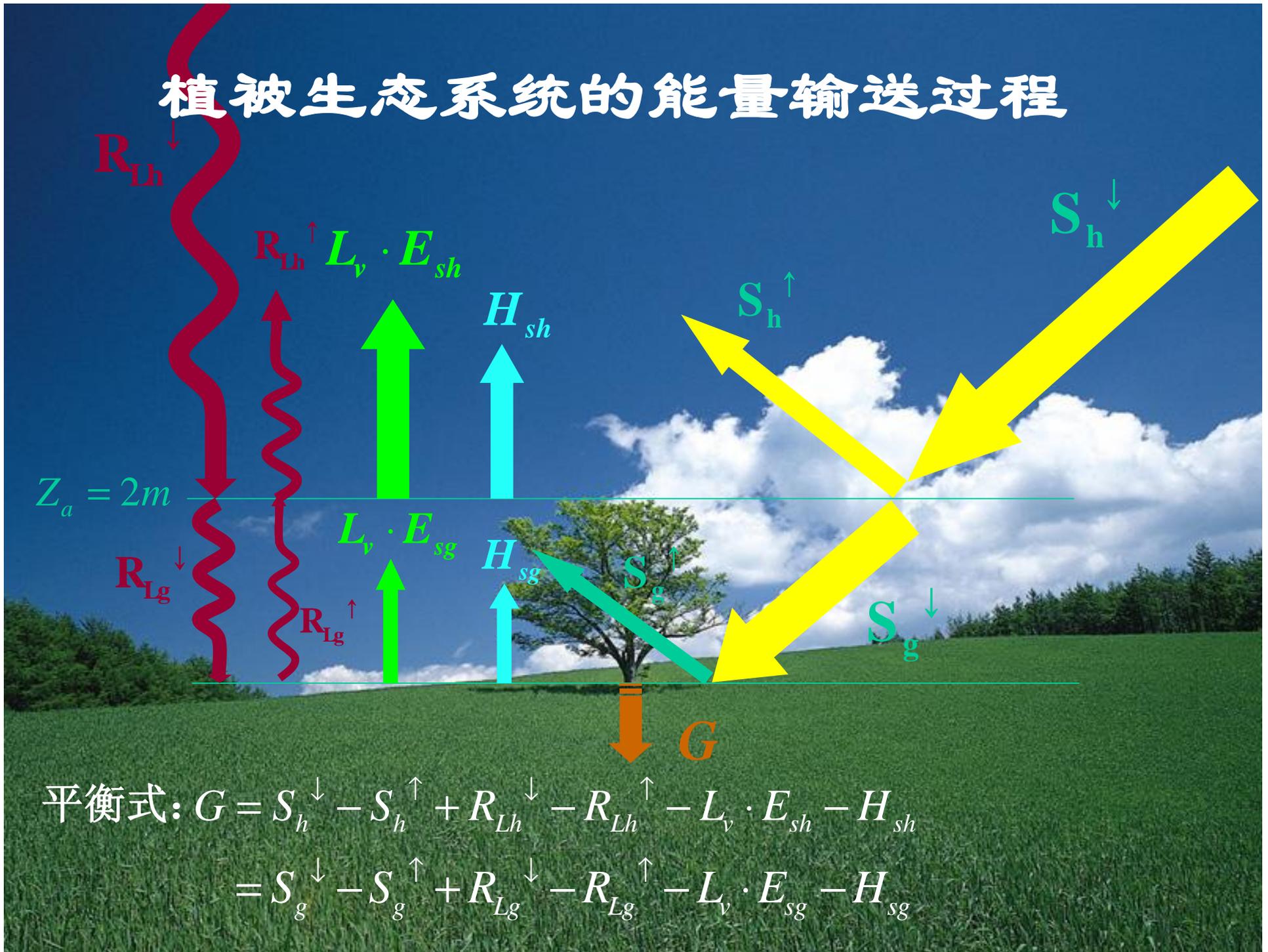
能量金字塔 (Energy Pyramid)。表示各营养级之间能量的配置关系，用千卡/米².年表示。

3. 地球生态系统的能量平衡和物质循环

(1) 能量平衡



植被生态系统的能量输送过程



(1) 地球生态系统中的物质循环

物质循环的基本概念

库 (Pools): 是指在生态系统中, 各种化学元素在生物和非生物环境中滞留的数量。例如, 在一个湖泊生态系统中, 磷在水体中的数量是一个库; 磷在浮游植物中的含量又是一个库。

流通率 (Rate of circulation): 是指单位时间、单位面积 (或体积) 内物质移动的量。可用克或公斤/亩·天来表示。

周转率 (Turnover rates): 是指某物质出入一个库的流通率与库量之比。即:

周转率=流通率/库中营养物质量

周转时间 (Turnover time): 周转率的倒数, 即:

周转时间=库中某营养物质量/流通率

元素在库与库之间的转移, 称为流, 若干个库和流构成了物质循环 (生物地球化学循环)。根据物质循环路线和周期长短的不同, 可将循环分为生物小循环和地球化学大循环。

生物小循环：

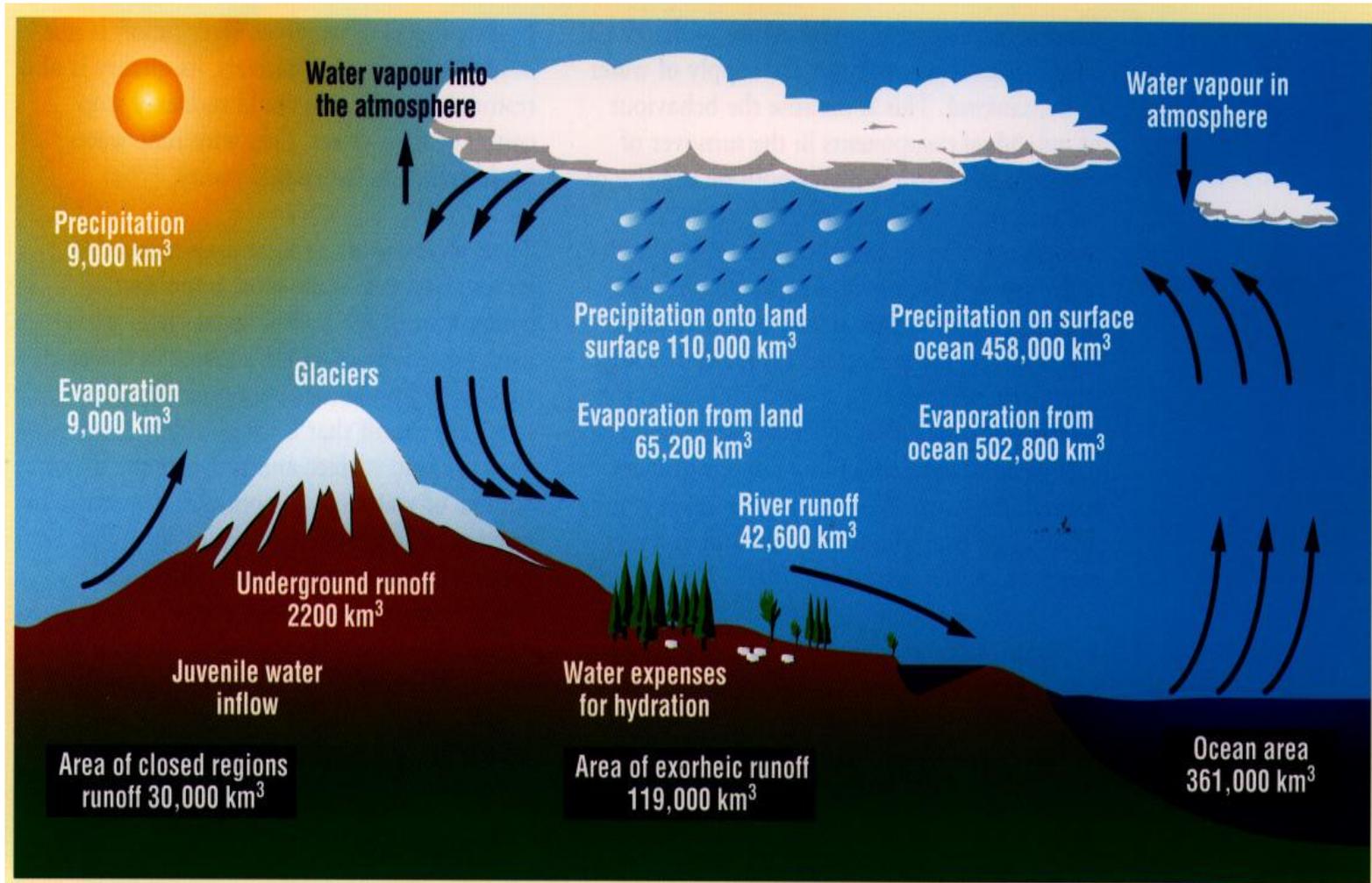
是指在一定地域内，生物与周围环境（气、水和土壤）之间进行的物质周期性循环。主要是通过生物对营养元素的吸收、留存和转化来实现。其特点是：它是在一个具体的范围内进行，以生物为主体与环境之间进行迅速的交换，流速快、周期短。生物小循环为开放式循环，它受地球化学大循环所制约，是在生物地球化学大循环的基础上进行的。

地球化学大循环：

是指环境中的元素经生物吸收进入有机体，然后以排泄物和残体等形式返回到环境，进入大气圈、水圈、土壤岩石圈及生物圈的循环。形成地球化学大循环的动力有地质、气象和生物三个方面。地球大循环与生物小循环相比较，有范围大、周期长、影响面广等特点。生物小循环和地球化学大循环相互联系，相互制约，小循环处于大循环中，大循环又是以小循环为基础，两者相辅相成，在矛盾的统一体中构成生物地球化学循环。

生物地球化学循环是地球表面自然界物质运动的一种形式，有了这种物质的循环运动，资源才能更新，生命才能维持，系统才能发展。例如，生物在不停地呼吸过程中，每天都要消耗大量的氧气，可是空气中氧的含量并没有明显的改变；动物每年都要排泄大量的粪便，动物死亡后的残体也要遗留在地面，然而经过漫长的岁月后，这些粪便、残体并未堆积如山。正是由于生态系统中存在着永续不断的物质循环，人类才能有好的生存环境。

区域水循环的研究



区域水循环的研究

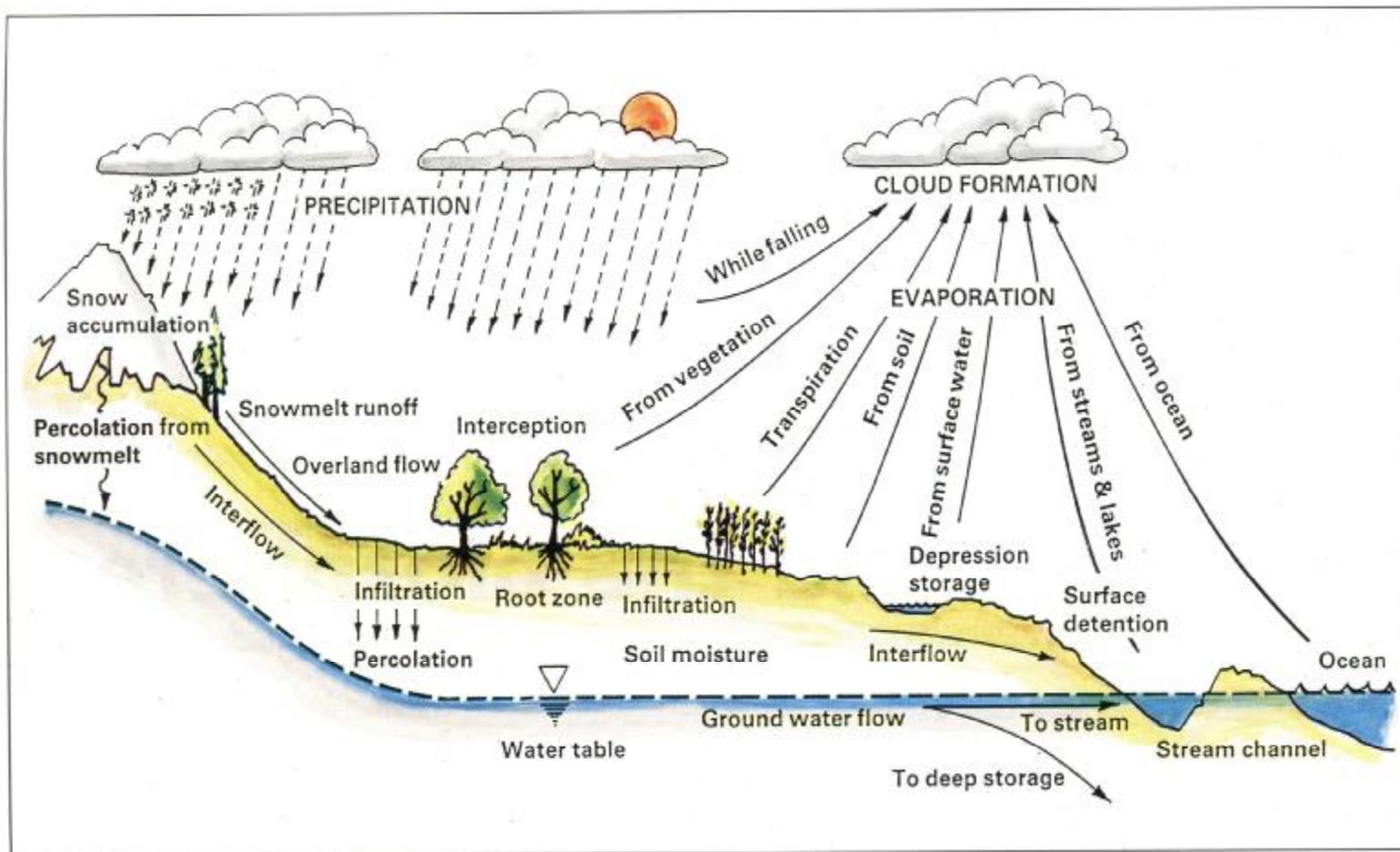
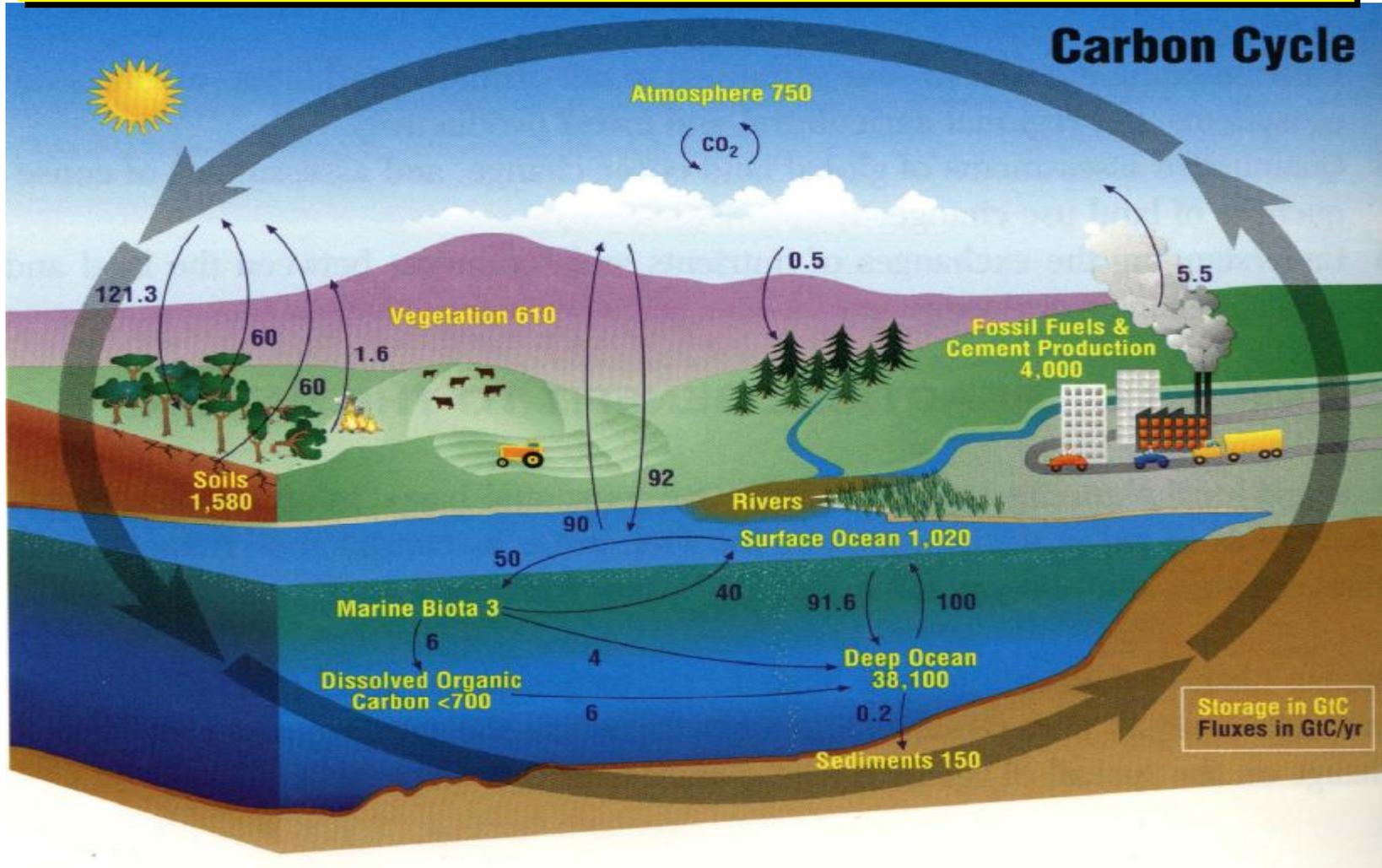
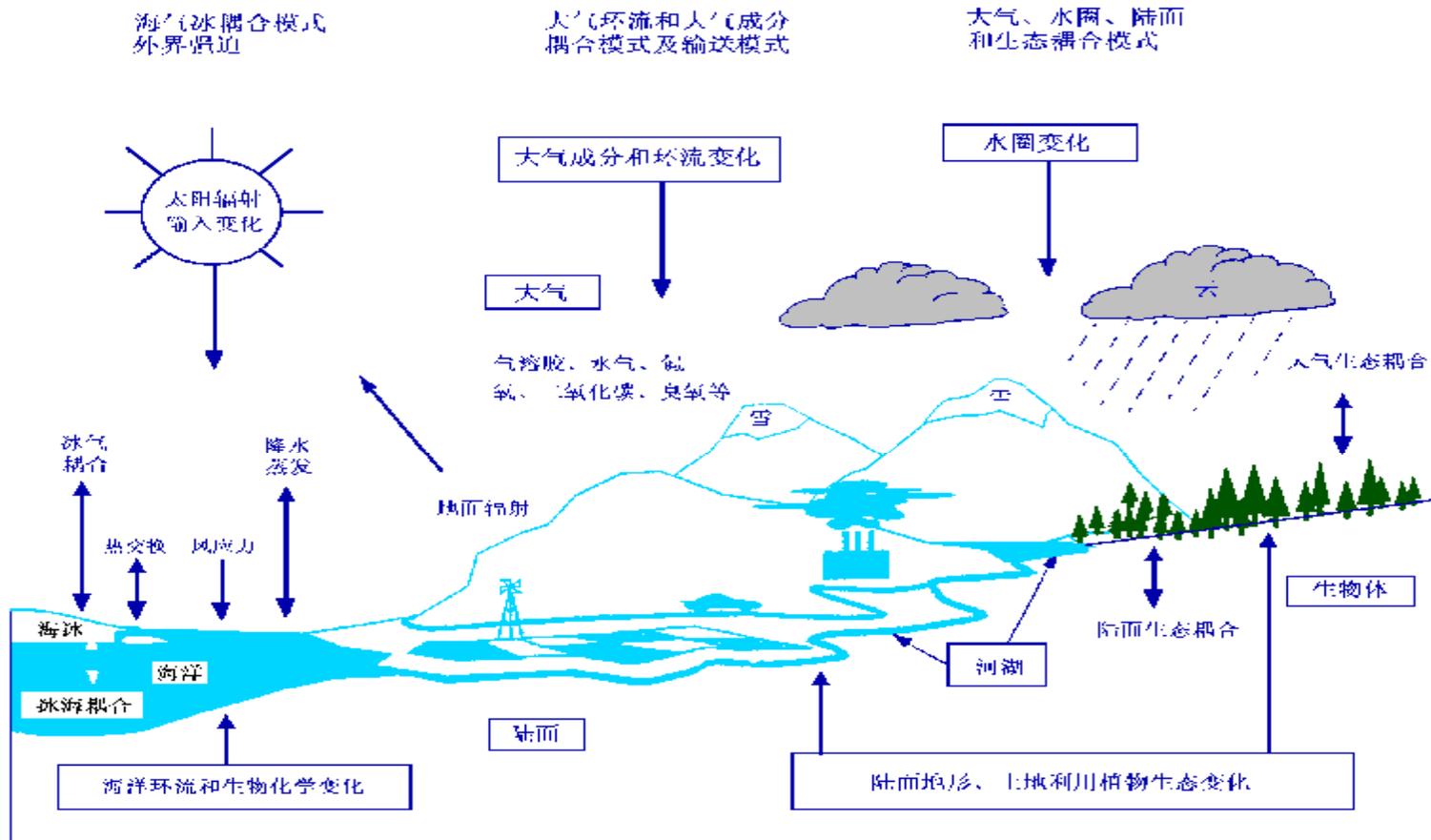


Figure 1 Circulation of water through the hydrological cycle (National Aeronautics and Space Administration, 1984)

区域碳循环的研究

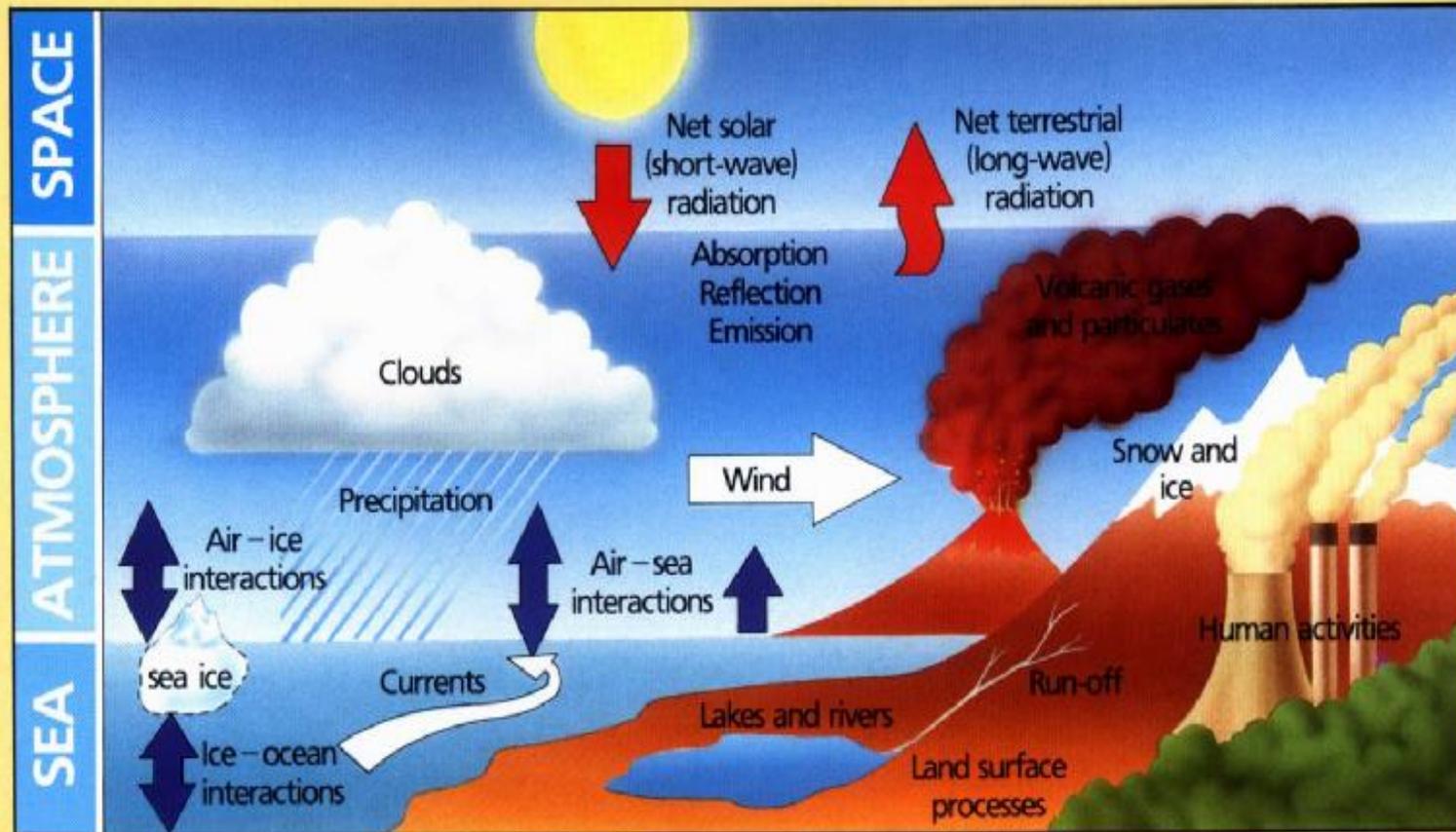


大气圈、水圈、冰雪圈、土壤岩石圈、 生物圈与区域气候变化相互作用



全球多层圈相互作用的气候系统模式综合示意图

区域与全球气候系统的研究



The Climate System

5. 生态系统的信息传递

生态系统的信息传递在沟通生物群落与其生存环境之间、生物群落内各种生物种群之间的关系方面起着重要作用。生态系统的信息主要有营养信息、化学信息、物理信息和行为信息。

营养信息：在某种意义上，生态系统中的食物链和食物网可以代表一种信息传递。

通过营养交换把信息从一个种群传递到另一个种群。例如，英国盛产三叶草，它是牛的主要饲料，野蜂是三叶草的主要授粉者，而田鼠是野蜂的天敌，经常毁巢、吃掉蜂房和幼虫。猫又是以捕鼠为食的。因此，从猫的多少可以得到牛的饲料是否丰盛的信息。

化学信息：在生态系统中，有些生物代谢产物，如维生素、生长素、性激素等均属于传递信息的化学物质。由它们进行信息传递，深深地影响着生物种群间的关系。有相互制约，相互促进，相互吸引，相互排斥的关系。例如，蚂蚁走过，留下的化学痕迹，是为了让其他蚂蚁跟随。生物种间也存在着化学通讯联系，而且这种联系不仅见于动物与动物之间，也常见于动物与植物间，植物与植物之间。黄鼠狼有一种嗅腺，释放出来的臭液气味难闻，它既有防止敌人的追捕作用，也有助于捕食猎物。

物理信息：是指以物理过程为传递形式的信息，如光、声和颜色等。动物的求偶行为、报警行为等都与物理信息有关，鸟鸣、虫叫可以传达安全、惊慌、恐吓、警告、求偶等各种信息。

行为信息：有些同种动物，两个个体相遇，时常表现出有趣的行为方式。这些方式可能是识别、威吓、挑战或从属的信号。

生态系统的生物和非生物成分之间，通过能量流动、物质循环和信息传递而联结，形成一个相互依赖、相互制约、环环相扣、相生相克的网络状复杂关系的统一体。生物在能流，物流和信息流的各个环节上都起着深远的作用，无论哪个环节上出了问题，都会发生连锁反应，致使能流、物流和信息流受阻或中断，破坏生态系统的稳定性。要想让生态系统保持相对的稳定，最基本的一条，就是保持“等量交换”这一基本原则。否则，物质的长期短缺或过多地富集，都会使生态系统的基本功能受到损害，甚至崩溃。

第二节 生物竞争理论

2.1 生物竞争的定义

生物竞争是一种自然现象，是生态系统中生物个体之间为了生存、繁衍，而对生存空间和有限资源的竞争利用现象。 分种内竞争和种间竞争。自地球上有了生物，就有了生物竞争。竞争是植物群落中最重要的生物过程，对自然资源具有相似需求的种间竞争表现的最为激烈。另外在生态系统中，生物在竞争过程中对自然资源的有序利用也是非常重要的。如在森林生态系统中的分层生长现象（大树、灌木、草、苔藓等对太阳光的利用，同层资源竞争）；水生生态系统中生物分层生存现象（在不同深层生存着不同的生物）；及根据作物对太阳光的需求不同的间作耕作制度等。**了解生物竞争理论，对物种多样性、环境生态的保护，促进人类社会的可持续发展具有重要意义。**

3. 2 种内竞争

在自然界中，每一个有机体都不是孤立存在的，它是由许多种个体组成的种群中的一员。同种的个体对生存、生长和繁殖条件有着非常相似的要求。当生存空间、资源条件充足时，不发生竞争现象；但当它们对生存空间、资源的要求受到限制时，这些个体就会为了争夺有限的生存空间和资源而竞争。这样的例子在生态系统中普遍存在。例如，生态系统中，同种植物个体对可利用空间、光、水、营养等资源的竞争。动物为生存和延续后代，对生活领域、地位从属的竞争等。在种内竞争过程中，参与竞争的个体越多，种内竞争的影响就越大。因此，**在生态系统中，种内竞争依赖种群数量的调节。**

在一个生态系统中，因资源的限制，存在生物种群数量的限制量。当种群密度低于此量时，生物的出生率超过死亡率，种群数量增加；而当密度大于此点时，死亡率超过了出生率，种群数量减少；当密度正好处在密度的限制量时，出生率等于死亡率，种群数量维持不变。种群的这一密度是系统稳定的平衡点，当种群处于其它密度点时都会趋向这个点。种内竞争通过出生率和死亡率的相互作用调节种群数量的变化，使之保持在出生等于死亡，即净增长等于零的稳定密度。

3. 2 种间竞争

种间竞争表现为在生态系统物种与物种之间的竞争。因此，在一个地区引进新的物种时，要十分小心从事。因为，新的物种没有天敌制约，在一个地区会迅速繁殖，导致生态物种失去平衡。给环境生态造成严重危害。这样的例子很多。**例如，牛蛙、田螺、果蝇、黄花等。**

第三节 生态系统中的平衡与调节

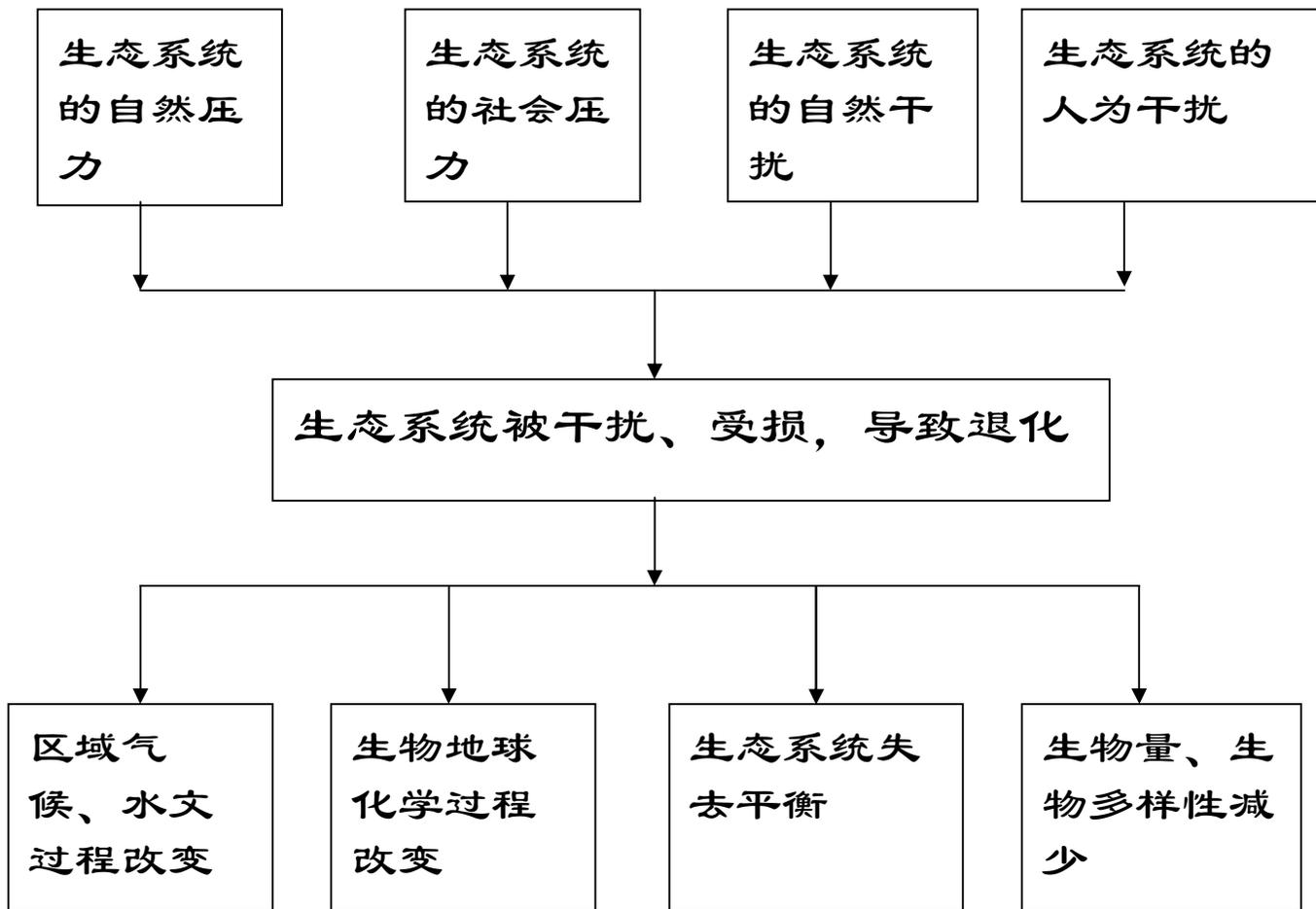
由于生态平衡的破坏严重地损害了人类的利益和生活质量，因而生态平衡问题已受到全世界的极大关注。特别是随着生产力和科学技术的发展，人口数量的急剧增加，人类的需求不断提高，人类活动引起自然界更加深刻的变化，原始的自然界已不复存在，处处以半人工生态系统和人工生态系统代替自然生态系统。**由于人类对自然界的巨大冲击，使自然生态平衡遭到严重的破坏。自然生态的失调已经发展成为全球性的问题，直接威胁到人类的生存和发展。**

生态平衡不仅是生态学上的重要理论问题，而且也是人类活动的重要实践问题。这是因为：

(1) 社会经济生活只能在一定的生态平衡的条件下进行，生态平衡的破坏，将会阻碍社会经济的进一步发展；

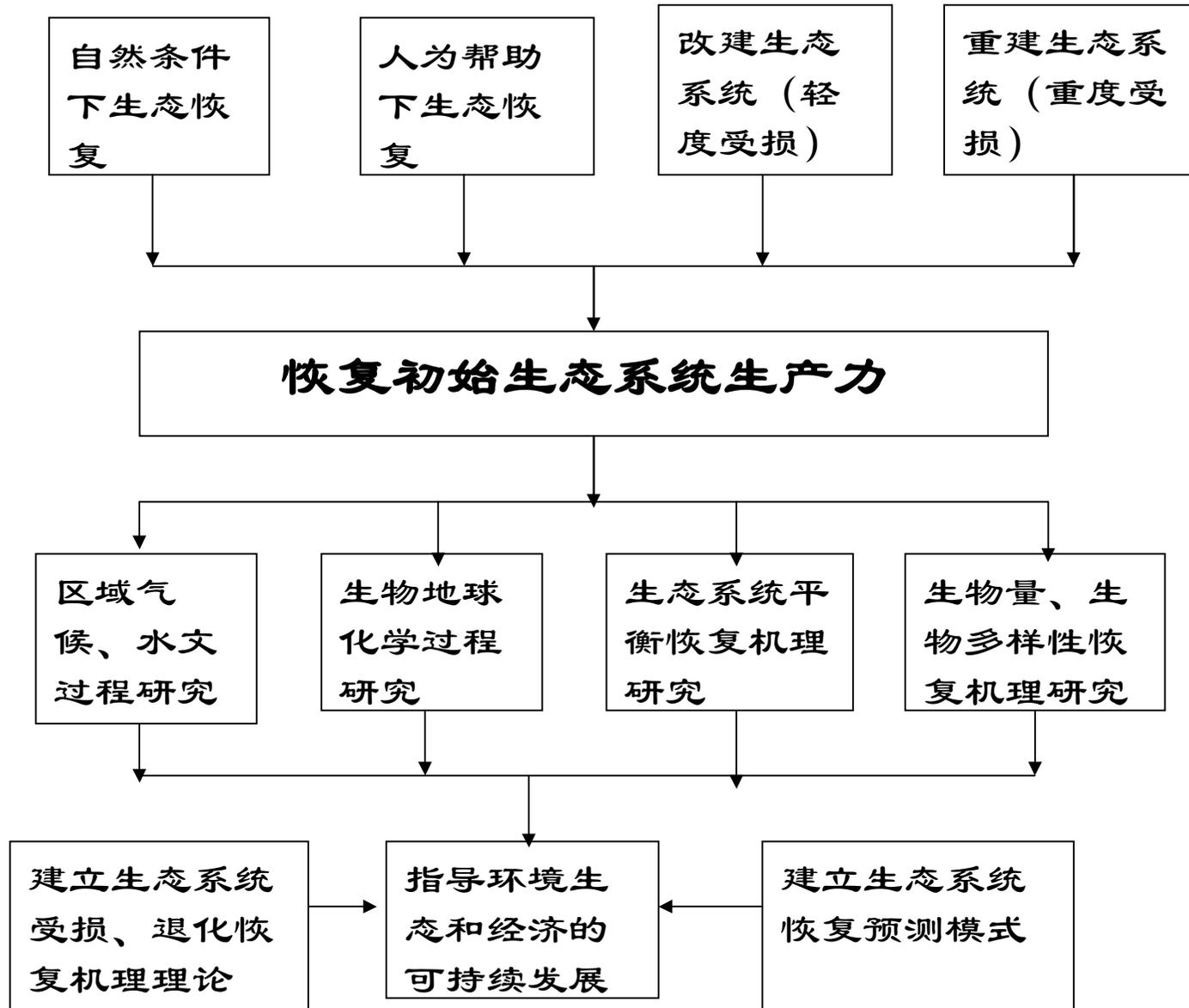
(2) 生态平衡的破坏，主要是人类活动造成的。

因此，我们对生态平衡问题的讨论不能离开人的作用，而要从人、自然、社会这一大系统的相互关系中去认识、去探索。



生态系统干扰、受损退化过程

生态系统恢复、改建和重建与区域可持续发展的关系



一、生态系统的平衡

在任何一个生态系统中，能量流动和物质循环总是不断地进行着，但在一定时期内，生产者、消费者和还原者之间都保持着一种动态的平衡，这种平衡状态就叫生态平衡。

在自然生态系统中，平衡还表现为生物种类和数量的相对稳定。生态系统之所以能保持动态平衡，主要是由于内部具有自动调节的能力，例如对污染物质来说，就是环境的自净能力。当系统的某一部分出现了机能异常时，就可能被不同部分的调节所抵消。生态系统的组成成分愈多样，能量流动和物质循环的途径就愈复杂，其调节能力也愈强。相反，成分愈单一，结构愈简单，其调节能力也愈弱。但是，一个生态系统的调节能力再强，也是有一定限度的；超出了这个限度，调节就不再起作用，生态平衡就会遭到破坏。如果人类的活动使自然环境产生剧烈变化，或进入自然生态系统中的有害物质数量过大，超过了自然系统的调节能力或生物与人类可以忍受的程度，那就会破坏生态平衡，使人类和生物受到损害。

生态系统平衡的标志：

1.在生态系统中能量和物质的输入、输出必须相对平衡

输出多，输入也要相应增多，否则，能量和物质入不敷出，系统就会衰退。对于以获取不断增加生物量为目的的系统或处于发展中的生态系统，能量和物质的输入应大于输出。这样，这些生态系统才能有物质和能量的积累。人类从不同的生态系统中获取能量和物质，应相应给予补偿，只有这样，才能使环境资源保持永续的再生能力。

例如：休牧、休渔政策的实施，就是为了使生态系统达到新的平衡。

2.从整体看生产者、消费者、分解者应构成完整的营养结构

对于自然界一个完整的生态平衡系统来说，**生产者、消费者、分解者**是缺一不可的。没有**生产者，消费者和分解者**就得不到食物来源，系统就会消亡。消费者与生产者在长期共同发展的过程中，已经形成了相互依存的关系，消费者是生态系统中能量转换和物质循环的链锁环节，没有消费者的生态系统是一个不稳定的系统，最终会导致该系统的衰退，甚至瓦解；分解者将有机物分解为简单的无机物，使之回归环境并进入再循环，如果没有分解者，物质循环就不能进行下去。同时，分解者还起到了净化环境的作用。

3. 生物种类和数目要保持相对稳定

生物之间是通过食物链维持着自然协调关系，控制着物种间的数量和比例的。如果，人类破坏了这种协调关系，就会使某些物种明显减少，而另一些物种却大量滋生，并带来危害。人类由于捕猎、毁林开荒和环境污染等等，使许多有价值的生物种类锐减或灭绝。生物种类的减少不仅失去的是宝贵的动、植物资源，而且重要的是削弱了生态系统的稳定性。

二、生态系统的自我调节能力

生态系统作为具有耗散结构的开放系统，在系统内通过一系列的反馈作用，对外界的干扰进行内部结构与功能的调整，以保持系统的稳定与平衡的能力，称为生态系统的自我调节能力。

生态系统之所以能保持动态平衡，主要是由于其内部具有自动调节的能力。生态系统的生物种类愈多，组成成分愈复杂，其能量流动和物质循环的途径就愈复杂，营养物质贮备就愈多，其调节能力也愈强。因为在一个物种的数量变动或消失，或者一部分能流、物流的途径发生障碍时，可以被其他部分所带替或补偿。但是，一个生态系统的调节能力再强，也是有一定限度的，超过了这个限度，调节就不能再起作用，生态系统的平衡就会遭到破坏。

即使最复杂的生态系统，其自我调节能力也是有限度的。例如，森林应有合理的采伐量，一但采伐量超过生长量，必然引起森林的衰退；草原应有合理的载畜量，超过最大适宜载畜量，草原就会退化；工业的“三废”应有合理的排放标准，排放量不能超过环境的容量，否则就会造成环境污染破坏环境生态平衡，产生公害危及人类的生存和发展。

由于人类是大自然的主宰者，又是生态系统的一个成员，所以，人类对大自然的所有干预，特别是这种干预的深度和广度正由于现代科学技术的发展而日益增强，最终必然反过来影响人类自身。人类只顾眼前的利益或因不懂生态规律，而有意无意的破坏了生态系统的协调与平衡，最终也必然使人类自身失去生存和发展的物质基础

。

3. 保持生态平衡，促进人类与自然的协调发展

保持生态平衡，促进人类与自然界的协调发展，已成为当今人类急需解决的重大课题。

(1) 破坏生态平衡的因素

破坏生态平衡的因素是十分复杂的，是各种因素的综合效应。一般将这些因素分为自然因素和人为因素。自然因素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、旱涝灾害、地震、台风、流行性疾病等自然灾害，都会使生态平衡遭到破坏。人为的因素主要是指人类对自然资源的不合理的开发利用，以及当代农业生产的发展所带来的环境污染等问题，如工业化的兴起，人类过高地追求经济增长，略夺式地开发土地、森林、矿产、水资源、能源等自然资源；同时，工业“三废”中有毒、有害物质大量的排放，超过了自然生态系统固有的自我调节、自我平衡能力，致使全球性自然生态平衡遭到严重破坏。

生态平衡和自然界中一般物理和化学的平衡不同，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，常常会由于各种各样的原因引起生态平衡的破坏。人为因素对生态平衡的破坏，主要包括以下三种情况：

(1) 物种改变造成生态平衡的破坏

人类在改造自然的过程中，往往为了一时一地的利益，采取一些短期效益行为，使生态系统中某一种物种消失或盲目向某一地区引进某一生物，结果造成整个生态系统的破坏。

例如：盲目引入田螺，而导致稻田绝收；

下面是震惊世界的澳大利亚引种兔子生态事件；

澳大利亚原来并没有兔子，1859年一个名叫托马斯·奥斯京的大财主从英国带回了24只兔子，放养在自己的庄园里供打猎用。引进后，由于当地没有天敌制约，致使兔子大量繁殖，在短短的时间内，繁殖的数量相当惊人，遍布数千亩田野，并在草原上以每年113 km的速度向外蔓延。致使该地区原来生长的青草和灌木全部吃光，再不能放牧牛羊，田野一片光秃，土壤无植物保护而遭雨水侵蚀，造成生态系统的严重破坏，仅农作物损失，每年就达1亿美元。澳大利亚政府曾鼓励大量捕杀，但收效甚微，后来不得不引进一种兔子传染病的病原菌，使兔子大量死亡，才控制住了这场生态危机。然而好景不长，由于一些兔子产生了抗体，并幸存了下来，又开始了更大规模的繁殖。据1993年2月报载报导，当时澳大利亚的兔子已多达4亿多只。1996年报道，因为兔子数量巨大，已严重威胁到机场飞机的起落安全。

(2) 环境因素的改变导致生态系统平衡的破坏

随着当代工业生产的迅速发展和农业生产的不断进步，致使大量的污染物质进入环境。这些有毒有害物质一方面会毒害甚至毁灭某些种群，导致食物链断裂，破坏系统内部的物质循环和能量流动，使生态系统的功能减弱以至丧失；另一方面则会改变生态系统的环境因素。例如，随着化学、金属冶炼等工业的发展，排放出大量二氧化硫、二氧化碳、氮氧化物、碳氢化合物，氧化物以及烟尘等有害物质，造成大气、水体的严重污染；而除草剂、杀虫剂和化学肥料的使用，则导致了土质的恶化等。这些环境因素的恶化，都有可能改变生产者、消费者和分解者的种类和数量，从而破坏生态系统的平衡。

(3) 信息系统的改变引起生态平衡的破坏

信息传递是生态系统的基本功能之一。信息通道的堵塞，使信息正常传递受阻，就会引起生态系统的改变，破坏生态系统的平衡。许多生物在生存的过程中，都有释放出某种信息素的（一种特殊的化学物质）本能，以驱赶天敌，排斥异种，取得直接或间接的联系以繁衍后代。例如，某些动物在生殖期，雌性个体会排出一种性信息素，靠这种性信息素引诱雄性个体来繁殖后代。如果，人类排放到环境中的某些污染物与这种性激素发生化学反应，使性激素失去了引诱雄性昆虫的作用，昆虫的繁殖就会受到影响，种群数量就会下降，甚至消失。总之，只要污染物质破坏了生态的信息系统，就会有因功能而引起结构改变的效应产生，从而破坏系统结构和整个生态的平衡。

4.人类与自然的协调发展

自然环境是生命存在和发展的前提条件。生物体通过与周围环境不断地进行物质和能量的交换来维持自身的生长、发育和繁衍。因此，保护自然、恢复生态系统的平衡，保持人类与自然的协调发展，便成为当今人类面临的重要任务之一。

因为，人类只能以极少数农作物和动物为食物来源，所以以人类为中心的生态系统结构简单，简单的食物网络极不稳定，容易发生大幅度波动；而人类又一味地向大自然超量索取，势必将进一步加剧自身赖以生存的生物圈的破坏。由此可知，限制人类对自然资源的无限需求欲望，保持生态系统的平衡，实际上是保护人类自身。人类也只有在保持生态平衡的前提下，才能求得生存和发展。所以，人类的一切生产实践活动都必须遵循自然规律。

(1) 合理开发和利用自然资源，保持生态平衡

在开发自然资源的过程中，必须以保持生态平衡为前提。只要注意到生态系统结构与功能相互协调的原则，就可以保持系统的生态平衡，又可以开发自然或改造环境。只有生态系统的结构与功能相互协调，才能使自然生态系统适应外界的变化，不断发展，也才能真正实现因地制宜，发挥当地自然资源的潜力。只有重视结构与功能的适应，才能避免因结构或功能的过度损害而导致环境退化的连锁反应。例如，采伐树木必须在保护森林生态系统平衡的条件下进行。在采伐树木时不能大面积掠夺式的采伐，造成森林不能恢复的严重后果。在河流上游地势陡峭的地区不应该采伐，因为会造成水土流失等一系列问题，破坏了生态环境。

在利用生物资源时，必须注意保持其一定的数量和一定的年龄及性别比例。这应该成为森林采伐，草原放牧，渔业捕捞等生产活动中必须遵循的原则。以保证生物资源不断恢复和增殖。否则，就会不可避免地出现资源枯竭，使生态系统遭到破坏。

(2) 改造自然，兴建大型工程项目，必须考虑生态效益

改造自然，兴建大型工程项目，必须从全局出发，既要考虑眼前利益，又要顾及长远影响；既要考虑经济效益，又要考虑生态平衡。由生态平衡的破坏其后果往往是全局性的，长期的，难以消除的。例如，兴建水利工程既要考虑水资源的利用，又要考虑由此引起的生态因素的变化。不然的话，一旦造成生态环境的恶化，后果将是不堪设想的。埃及70年代初期竣工的斯旺水坝就是这方面的例证。该水坝的兴建，给埃及带来了廉价的电力，灌溉了农田，控制了旱涝灾害；然而却破坏了尼罗河流域的生态平衡，引起了一系列未曾料到的严重后果。尼罗河流域发源于埃塞俄比亚，流经苏丹和埃及进入地中海，在埃及的入海口形成了宽约100公里的肥沃三角洲，埃及的农业和3300万人口集中在这个三角洲地区。

自古以来，河水定期泛滥，冲洗着三角洲的盐碱，在改良着土壤的同时，带入地中海的盐分有利于地中海中浮游生物的繁衍和浮游植物的生长。这些浮游生物和浮游植物又给地中海里的鱼类提供了饵料。因而，地中海出产著名的沙丁鱼。

另一方面，河水带来的含有有机质的新土沉积起来，连续不断地使三角洲的土地保持着肥力。有利农业丰收。而水坝建成投产后，河水不再泛滥，尼罗河的泥沙和养分就沉积到水坝的坝底，从此尼罗河下游的农田就失去了肥源。另外，三角洲的土地因没有定期的河水冲洗，土壤盐渍化日趋严重。同时，地中海近海岸因缺乏由大陆带来的盐分和养分，海水养分降低，浮游生物减少，以至于沙丁鱼捕获量由水坝建成前1965年的15000吨，降到1968年的500吨。水库建成后的1971年就几乎不产沙丁鱼了。

此外，自水库建成后，原来奔流不息的尼罗河下游，变成了静止的湖泊，为病原体的繁殖提供了环境条件，致使水库一带的居民的**血吸虫病**发病率达到**80%**。阿斯旺水库的建立，给埃及的环境生态带来了沉重的代价。

我国的葛洲坝工程的设计，由于忽视了鱼、蟹的回游生殖规律，后来经过生态学专家的建议采取了人工投放鱼苗和其它措施，才保持了长江流域的渔业生产。因此，**人类在改造自然的活动中，特别是实施重大工程时必须充分考虑环境生态平衡问题。**

拯救地球就是拯救人类的将来

OUR EARTH HUMAN FUTURE JUST SAVE IT



The End