

全国成人高考辅导讲义

专科起点升本科

生态学基础

内部讲义 翻版必究

目录

第一章绪论	1
一、生态学的概念和研究内容	1
二、生态学的发展简史	2
三、现代生态学及中国生态学的发展	4
四、生态学的基本视角和研究方法	5
第二章生物与环境	5
一、环境与生态因子	5
二、生物与光因子	8
三、生物与温度因子	11
四、生物与水因子	14
五、生物与土壤因子	15
六、生物与大气因子	17
七、生物与地形因子	19
第三章种群生态	20
一、种群的概念和基本特征	20
二、自然种群的数量变动	25
三、种内、种间关系	30
四、种群的进化与适应	35
第四章群落生态	39
一、生物群落的概念与特征	39
二、生物群落的种类组成与数量特征	40
三、生物群落的结构特征	42
四、生物群落的发生和演替	44
五、生物群落的分类与分布	49
第五章生态系统	51
一、生态系统的概述	52
二、生态系统的能量流动	53
三、生态系统的物质循环	59
四、生态系统的发展与稳定	61
五、生态系统的主要类型	64
第六章应用生态学	66
一、全球生态问题	66
二、可持续发展与生态农业	68

第一章绪论

一、生态学的概念和研究内容

1. 生态学的概念

(1) 生态学概念的提出

德国动物学家海克尔 (E. Haeckel) 是生态学一词最早的提出者, 他认为生态学是研究生物及其居住环境相互关系的科学, 尤指动物有机体与其他动、植物之间互惠或敌对关系。随着生态学的不断发展些著名生态学家也从不同的角度对生态学进行了定义。

(2) 生态学的定义

随着人类活动范围的扩大与多样化, 人类与环境的关系问题越来越突出。近代生态学研究的范围也发生了变化, 从以生物为研究主体发展到以人类为研究主体, 从自然生态系统的研究发展到人类生态系统的研究。生态学的定义也把研究人与环境的相互关系包涵在内, 其定义为: 研究生物及人类生存条件、生物及其群体与环境相互作用的过程及其规律的科学。

2. 生态学的研究内容

生态学的研究范围广泛, 其研究对象是由生物与环境相互作用构成的整体, 即一定的生态系统。现代生态学重点在于研究生态系统和生物圈内各组织层次中组成成分之间的相互作用。按研究对象的生物组织水平或组织层次可分为:

(1) 个体生态学

个体生态学是生态学最低层次的研究内容, 它以生物个体及其居住环境为研究对象, 研究生物与自然环境之间的相互关系。其基本内容与生理生态学相当, 包含两方面:

- ①探讨环境因子对生物个体的影响;
- ②生物个体对环境所产生的适应和生态适应的形态、生理及生化机制。

(2) 种群生态学

种群生态学以种群为研究对象, 主要研究种群数量动态与环境之间的相互作用关系。研究的主要内容是种群密度、出生率、死亡率、存在率等基本特征和种群增长的动态规律及其调节方式。

(3) 群落生态学

在一定生活环境中的所有生物种群的总和叫做生物群落。生物群落的组成、结构、分布、演替与调节以及与环境之间的相互关系是群落生态学的主要研究内容。

(4) 生态系统生态学

生态系统指由生物群落与无机环境构成的统一整体。生态系统是生态学领域的一个主要结构和功能单位, 属于生态学研究的最高层次。生态系统生态学的研究内容是群落和环境间的能量流动和物质循环。

(5) 景观生态学

景观是以相似的形式在一定面积上重复出现的具有相互作用的生态系统的聚合所组成的地理单元。景观生态学是研究景观单元的类型组成、空间配置及其与生态学过程相互作用的生态学分支, 其核心在于研究空间格局、生态学过程与尺度之间的相互作用。

(6) 全球生态学

全球生态学又称为生物圈生态学, 是以研究人类栖居的地球这个生命维持系统的基本性质、过程及人类可持续发展的高层次研究。

3. 生态学分支学科

生态学在不断的发展过程中，深入到自然科学和社会科学中，研究领域、范围以及内容都在不断的扩展，形成各自的分支学科，形成较为完善的学科体系。依据不同的标准可将生态学分为以下分支学科：

(1) 根据生境类型分类

按生物栖息场所及生境类型划分有：陆地生态学和水域生态学。陆地生态学包括森林生态学、草原生态学和沙漠生态学等；水域生态学包括海洋生态学、淡水生态学和河口生态学。

(2) 根据研究方法分类

按研究方法划分有：野外生态学、实验生态学和理论生态学等。

(3) 根据组织层次分类

按研究对象的生物组织水平可分为：个体生态学、种群生态学、群落生态学、生态系统生态学、景观生态学、区域生态学和全球生态学。

(4) 根据生物类群分类

按生物分类类群划分有：普通生态学、动物生态学、植物生态学和微生物生态学。

(5) 根据交叉学科分类

按生态学与其他学科的交叉情况划分有：生理生态学、进化生态学、分子生态学、数学生态学、化学生态学、能量生态学和地理生态学等。

(6) 根据应用领域分类

按应用领域划分有：农田生态学、农业生态学、家畜生态学、渔业生态学、森林生态学、草地生态学、污染生态学、自然资源生态学、城市生态学、生态经济学、恢复生态学、生态工程学、景观生态学、人类生态学和生态伦理学等。

二、生态学的发展简史

生态学的形成与发展是一个循序渐进的过程，在理论上从概念上的提出到论著的出版，最终形成独立的学科，在实验技术上从简单的描述发展到定性定量研究甚至是模拟实验。这一发展过程大致可分为萌芽期、建立时期、巩固时期和现代生态时期。

1. 生态学的萌芽时期（17 世纪前）

(1) 特点

公元 17 世纪以前，虽然没有生态学一词，但人类在与自然长期的交往及生产实践过程中，已经积累了丰富的生态学知识。

(2) 发展状况

古人在长期的农牧渔猎生产中积累了诸如作物生长与季节气候及土壤水分的关系、常见动物的物候习性等朴素的生态学知识。比如中国 24 节气的确立，以及古希腊的亚里士多德曾按活动环境类型和食性对动物进行简单分类等。人类在长期实践中不断累积起来的这些生态知识为生态学的诞生奠定了基础。

2. 生态学的建立时期（17 世纪至 19 世纪末）

(1) 特点

从德国动物学家海克尔 1866 年首次提出生态学这一科学名词到 19 世纪末，称为生态学建立阶段。在这个阶段中，生态学家主要是分别从个体和群落层次角度研究生物与环境之间的相互作用关系。

(2) 发展状况

①1735 年法国昆虫学家雷米尔发现, 就一个物种而言, 日平均气温总和对任一个物候期都是一个常数, 他被认为是研究积温与昆虫发育生理的先驱。

②德国植物学家 C. L. Willdenow 和他的学生探讨了环境对植物分布的影响, 揭示了植物分布与气候条件的相关关系, 并指出“等温线”对植物分布的意义, 分析了环境条件与植物形态的关系, 创立了植物地理学。

③19 世纪以来, 由于农牧业的发展促使人们开展了环境因子对作物和家畜生理影响的实验研究, 加上马尔萨斯的《人口论》和达尔文的《物种起源》的广泛影响, 使得生态学得到了更多的发展。

④丹麦植物学家瓦尔明的《植物生态学》(1895 年) 与波恩大学教授辛柏尔的《以生理为基础的植物地理学》(1898 年) 的出世标志着生态学作为一支生物学的分支学科的诞生。

3. 生态学的巩固时期 (20 世纪初至 20 世纪 50 年代)

生态学的巩固时期是生态学发展的第一个高峰。近代以来, 生态学不断渗透到生物学领域的各个学科, 从个体、种群和群落等多个水平开展了广泛研究, 进一步奠定了生态学的基础。

这一阶段的显著特点有:

(1) 著作出版

动植物生态学并行发展, 出版了许多著作与教科书。其代表作有: C. Cowels (1910) 发表的《生态学》; 前苏联苏卡切夫《生物地理群落学与植物群落学》(1945); A. G. Tamsley (1911) 发表的《英国的植被类型》等, 特别是 W. C. Alle (1949) 等的《动物生态学原理》出版, 被认为是动物生态进入成熟期的重要标志。

(2) 学科分化

生态学研究渗透到生物学领域的各个学科, 形成了植物生态学、动物生态学、生态遗传学、生理生态学和形态生态学等分支学科。

(3) 学派林立

在植物生态学方面, 出现 4 个主要学派:

- ①英美学派的主要成就是关于群落的动态演替和演替顶极学说, 侧重于动态生态研究;
- ②法瑞学派的主要贡献是对群落结构的研究, 即侧重于静态生态研究;
- ③北欧学派主要是继承和发展了瓦尔明在植物地理学方面的工作;
- ④苏联学派则主要在生物地理群落 (近似于生态系统) 研究方面卓有成效。

4. 现代生态学时期 (20 世纪 50 年代至今)

(1) 生态系统的概念的提出

1935 年, 英美学派的代表人物, 英国植物生态学家坦斯利首先提出生态系统的概念, 之后不断发展形成了生态系统生态学。生态系统的理论在 20 世纪 60 年代以后, 为广大生态学家所接受, 生态学研究发生了质的飞跃, 开创了新的生态学时期。

(2) 生态学与环境问题的结合

由于人类与环境之间的矛盾日益突出, 人们认识到生态学对创造和保持人类高度文明的重要作用, 促使生态学研究与环境系统及生产应用地广泛结合, 形成了海洋生态学、土壤生态学、湖泊生态学、农业生态学、农田生态学、草原生态学及森林生态学等。

(3) 生态学在国际上的活跃

生态学的原理和方法，更广泛地得到了应用，出现了更多的分支和边缘学科，国际上也出现了空前的跨越国界和学科的联合。20 世纪 60 年代以来，生态学已发展成为国际上最活跃的前沿学科之一。

(4) 生态学的联系作用

生态学作用的发挥也引起社会上广泛的兴趣与关注，研究领域也日益扩大，不仅在自然科学，而且渗透到社会科学，成为联系自然科学和社会科学的桥梁，从而使生态学成为举世瞩目的学科。

三、现代生态学及中国生态学的发展

1. 现代生态学的发展趋势

20 世纪 60 年代以后的生态学也被视为现代生态学。现代生态学从以生物研究为中心发展到以人为研究中心，从注重理论研究到加强实践研究，在解决人类面临的人口爆炸、资源短缺、能源危机、粮食不足和环境污染等五大问五大全球性问题方面发挥着重要的作用。

(1) 从描述性科学走向实验、机理和定量研究

生态学研究方法在生态学理论的发展过程中也不断发展。由简单的定性描述发展到定量研究，在自计电子仪，同位素示踪，“3S”技术广泛运用于生态学研究下，实验、机理和定量研究成为可能。

(2) 生态系统生态学的研究成为主流

系统理论在生态学中的广泛应用，这一理论为广大生态学家所接受，系统分析方法成为生态学的方法论基础。生态学研究发生了质的飞跃，开创了新的生态学时期。

(3) 宏观和微观两极发展

宏观方向发展到景观生态学、区域生态学和全球生态学；微观方向主要表现为分子生态学、化学生态学的兴起。从宏观和微观角度研究生态学大大提高了生态学的科学性。

(4) 实践应用性强的应用生态学快速发展

人们将生态学的理论运用于实践当中，用以解决人与自然的矛盾。如生态学与环境问题研究的结合促进了污染生态学、保护生态学、生态毒理学、恢复生态学等学科的发展。

(5) 人类生态学的兴起和生态学与社会科学的交叉融合

随着生态学的不断发展，其研究范围以及外延不断扩展。生态学的研究主体从生物发展到人，出现了人类生态学、生态伦理、可持续发展等概念

2. 中国生态学的研究与发展

(1) 古代时期

我国生态学发展的历史较长，古代劳动人民在长期生产和生活实践中就积累了丰富的生态学知识和实践。

(2) 近现代时期

①我国生态学研究起步较晚，1949 年以前我国只有少数的学者在植物地理、个体生态和群落生态方面做点零星的工作。

②1949 年以后陆续进行了一些较大规模的生物考察。1972 年，我国参加了“人与生物圈计划”(MAB)的国际协调理事会，并当选为理事国。

③1978 年以后，我国正式建立了“人与生物圈”研究委员会，并陆续在长白山温带森林区、青海高寒草原区等建立生态系统研究站，采用新方法对生态系统的结构、功能、生产力、能量及物质循环开展综合研究。

(3) 当代时期

目前,我国生态学理论研究,取得了一些国内外瞩目的成果,在生态学的许多应用学科领域,如农田生态学、农业生态学、污染生态学、城市生态学等方面获得了较快的发展。

四、生态学的基本视角和研究方法

在经历了漫长的发展过程,生态学不仅形成了自己独特的基本视角,而且拥有一套较为完整的研究方法。

1. 基本视角

(1) 整体观和综合观

①整体性观点是生态学区别于其他许多学科的基本观点。生态学把不同层次的研究对象当作一个生态整体来对待,在掌握个体的同时要抓住生态整体的特征。

②构成生态整体的各个生态因素是相互作用的,综合作用整个生态整体,因此生态学需要强调综合观。

(2) 层次结构理论

层次结构理论是综合观和整体观的基础。该理论认为客观世界的结构都是有层次的,每个层次都有自己特定的结构和功能,而且这种层次宏观和微观上都是无限的。

(3) 新生特性原则

当低层次的单元结合在一起组成一个较高层次的功能性整体时,总会有一些在低层次从未有过的新生特性产生。新生特性原则又可称之为功能整合原理,即系统的总体功能要大于组成该系统各组分的分功能之和。

2. 研究方法

(1) 野外调查研究

野外调查研究在生态学的研究中占有重要的地位,是获得生态学第一手资料的重要来源。在科学技术尚有限的条件下,野外调查法还是生态学研究的基本方法。在调查中除了要应用生物学、化学、物理学和地学等方面的知识和手段外,还需要现代化的调查工具和先进技术和仪器。

(2) 实验室研究

实验室研究在生态学发展历程中具有重要的推动作用,实验研究包括控制实验和实验室分析。

①控制实验是模拟自然生态系统中单项或多项因子相互作用,以及其对生物影响的方法。

②实验室分析除了运用一般生物学、生理学和毒理学研究方法外,还要结合化学、物理学,尤其是分析化学、仪器分析、物理仪器和放射性同位素测定等方法。

(3) 模型模拟研究

模型模拟研究主要通过系统分析来研究生态系统,是把研究对象视为系统的一种研究和解决问题的方法。其中系统分析是指有步骤地收集系统信息,通过建立与系统结构、功能有关的数学模型,利用计算机对信息进行整理、加工、综合,对系统的行为和发展作出评价和预测并给予适当调控的一种方法。

第二章生物与环境

一、环境与生态因子

1. 环境的概念及其分类

(1) 环境的概念

环境是一个相对概念，相对一定主体而言，主体不同，环境内涵不同。在生态学中，环境是指生物的栖息地，生物是环境的主体。环境是指某一特定生物体或生物群体周围一切事物的总和，包括空间及直接或间接影响该生物体或生物群体生存的各种因素。

(2) 环境的分类

依据不同的标准，环境可划分为不同的类型。

①按环境范围大小分类

环境可分为宇宙环境、地球环境、区域环境、微环境和内环境。

②按环境的性质分类

环境可分为自然环境、半自然环境（经人类干涉后的自然环境）和社会环境。

③按人类对环境的影响分类

环境可分为原生环境（自然环境）和次生环境（半自然环境和人工环境）。

④按环境的主体分类

环境可分为以人为主体的环境（人类环境）和以生物为主体的生物环境。

⑤按环境的属性分类

环境将环境分为自然环境、人工环境和社会环境。

3. 生态因子的概念与分类

(1) 生态因子的概念

生态因子指对生物有影响的各种环境因子，常直接作用于个体和群体，主要影响个体生存和繁殖、种群分布和数量、群落结构和功能等。各个生态因子不仅本身起作用，而且相互发生作用，既受周围其它因子的影响，反过来又影响其它因子。

(2) 生态因子的分类

按照一定的分类标准可将生态因子划分为不同的种类。

①依据生态因子与种群密度的关系

a. 密度制约因子

密度制约因子的作用随着种群密度的变化而变化，主要包括寄生物、病原微生物、捕食者和竞争者等生态因子。

b. 非密度制约因子

非密度制约因子的作用与种群密度变化无关联，较典型的是气候因子。

②根据生态因子的性质

a. 气候因子

指光照、温度、水分和大气等因子。根据各因子的特点和性质，还可再细分为若干因子。如光因子可分为光强、光质和光周期等。

b. 土壤因子

主要指土壤物理性质、化学性质、营养状况等，如土壤的深度、质地、母质、密度、孔隙度、

pH、盐碱 g 和肥力等。

c. 地形因子

地形因子指地表特征，如地形起伏、海拔高度、山脉、坡度、坡向等地貌特征，通过影响气候和土壤，间接地影响植物的生长和分布。

d. 生物因子

生物因子指同种或异种生物之间的相互关系，如种群结构、密度、竞争、捕食、共生和寄生等。

e. 人为因子

人为因子指人类活动对生物和环境的影响。人类活动对自然界的影响越来越大，同时越来越带有全球性，分布在地球各地的生物都直接或间接受到人类活动的巨大影响。

③根据有机体对生态因子的反应和适应性特点

根据有机体对生态因子的反应和适应性特点，将周期变动生态因子又分类为第一性周期因素、次生性周期因素和非周期性因素。

a. 第一性周期因素

第一性周期因素是指由地球自转或公转形成的光、温度和潮汐的日、月、季节、年的周期性变化的因素。

b. 次生性周期因素

次生性周期因素取决于第一性周期因素，如太阳辐射和温度周期性变化导致大气湿度、降水量的周期性变化。

c. 非周期性因素

非周期性因素指突发性或间断性出现的因素，如暴雨、山洪、冰雹、蝗灾及火山喷发、地震、地外物体撞击等突发性灾难，生物对这类因素很难形成适应性。

(3) 生态环境和生境

①含义

a 生态环境是指所有生态因子所构成的整体，由生物群落及非生物自然因素组成，是生物生存的环境。

b. 生境又称栖息地，是指具体的生物个体和群体生活地段上的生态环境。

②区别

生态环境与生境的主要区别在于两者所包含的范围不同。

3. 生态因子的作用规律

生态因子的性质不同使得生态因子对生物的影响和作用不同。在长期的相互作用过程中，生态因子对生物形成了特定的作用规律，主要表现在以下六个方面：

(1) 综合作用

环境中的每个生态因子不是孤立、单独的存在，总是与其他因子相互联系和影响。任何一个因子的变化，都会不同程度地引起其他因子的变化，导致生态因子的综合作用。

(2) 主导因子作用

对生物起作用的众多因子并非等价的，其中起决定性作用的生态因子称为主导因子。主导因子的变化会引起其它生态因子发生改变，使生物的生长发育发生改变。

(3) 直接作用和间接作用

生态因子对生物的作用可以是直接的，也可以是间接的。常见的直接因子有光照、温度、水分等，间接因子主要是地形因子等。

(4) 阶段性作用

由于生态因子规律性变化使生物生长发育出现阶段性，在不同发育阶段，生物需要不同的生态因子或生态因子的不同强度。如光照长短，在植物的春化阶段并不起作用，但在光周期阶段则是十分重要的。

(5) 不可代替性和补偿作用

对生物起作用的诸多生态因子个都不能少，不能替代，但在一定条件下，当某一因子数量不足，可依靠相近生态因子的加强得以补偿。

(6) 限制性作用

限制性作用源于生物对生态因子的耐性。耐性是指生物能够忍受外界极端条件的能力。每个物种只能在环境条件一定范围内生存和繁殖。即物种在其生存范围内，对任一生态因子的需求总有其上限与下限，两者之间的距离就是该种对该因子的耐性限度。在众多生态因子中，任何接近或超过某种生物的耐受性极限，而且阻止其生长、繁殖或扩散甚至生存的因素就是限制性因子，其作用规律体现在李比希最低率、谢尔福德耐性定律。

① 李比希最小因子定律在一定稳定状态下，任何特定因子的存在量低于某种生物的最小需要量，就对其生长和繁殖起限制作用，成为限制因子。

② 谢尔福德耐性定律任何一个生态因子在数量或质量上的不足或过多，即当其接近或达到某种生物的耐受性限制时，而使该种生物衰退或不能生存。

二、生物与光因子

太阳辐射是地球上所有生物生存和繁衍最基本的能量来源，是必不可少的生态因子。光照对生物的影响包括光质、光照强度、光照周期的影响。与此同时，生物在长期的进化过程中，对光照形成了一定的适应性。

1. 光质的生态作用与生物适应

(1) 光质

① 定义

光质，太阳辐射是由各种不同波长的光组成的，光质即光谱成分，光质不同，即光线所含的光谱成分不同，

② 光质的变化

由于大气对太阳辐射的吸收与散射作用，当太阳辐射经过大气时，不仅辐射强度减弱了，而且光谱组成也发生了变化。

a. 空间变化光质随空间发生变化的一般规律是短波光随纬度增加而减少，随海拔升高而增

加。

b. 时间变化在时间变化上, 冬季长波光增多, 夏季短波光增多; 一天之内中午短波光较多, 早晚长波光较多。

(2) 光质与植物

植物的光合作用不能利用光谱中所有波长的光, 它只能利用可见光区 (400 - 760nm) 的光, 这部分辐射约占总辐射的 40 ~ 50 %。

①生理有效辐射可见光中红、橙光是被叶绿素吸收最多的成分, 对叶绿素的形成有促进作用。其次是蓝紫光, 能为叶绿素和类胡萝卜素吸收。

- a. 蓝光, 促进蛋白质的合成;
- b. 红光, 促进糖的合成、种子萌发;
- c. 青光、蓝紫光抑制植物的伸长生长, 使植物成矮小形态, 使植物向光性更敏感。

②生理无效光

绿光很少被吸收, 因此又称绿光为生理无效光。

(3) 光质与动物

可见光对动物生殖、体色变化、迁徙、毛羽更换、生长和发育等都有影响。

①大多数脊椎动物的可见光波范围与人接近, 但昆虫则偏于短波光, 大致在 250_700 nm 之间, 它们看不见红外光, 却看得见紫外光。而且许多昆虫对紫外光有趋光性, 这种趋知现象已被用来诱杀农业害虫。

②紫外线能杀菌, 可引起皮肤红疹及皮肤癌, 但是能促进维生素 D 的合成。

③红外线是地表的基本热源, 对外温动物的体温调节和能量代谢有决定性作用。

2. 光照度的生态作用与生物适应

(1) 光照度

光照强度是指单位面积上太阳光辐射量的大小。光照度对生物的生长发育和形态建成的重要影响。

① 光照强度与植物

a. 光照强度对植物光合作用产生直接影响

光照强度对植物光合作用产生直接影响从而影响植物的生长发育。

第一, 影响植物叶绿素的形成;

第二, 植物在无光的特定环境中生长的现象, 如豆芽、韭黄。

b. 光照强度对植物形态建成有重要作用

第一、影响植物细胞的生长和分裂、组织器官的生长和分化;

第二, 影响植物花果的数量和质量, 例如强光照下糖分增多。

② 光照强度与动物

光照对动物的作用并不直接, 主要是作用于动物的时空定向、诱导视觉和神经系统、调节激素和内分泌水平。

a. 影响动物的生长发育, 如蛙卵、贻贝;

- b. 影响动物的形态，如蚜虫；
- c. 影响动物的体色，如蛱蝶。

(2) 生物对光照度的适应

① 植物的适应

对光照强度的适应表现为阴生植物、耐阴之物和阳生植物，这种差异是由于叶子生理上的植物形态上的差异造成的，是植物对自身存在的光环境的一种回应。

a. 阳生植物

阳生植物叶子排列稀疏，角质层较发达，在单位面积上气孔增多，叶脉密，机械组织发达。其显著特点是光补偿点和光饱和点较高，光合作用的速率和代谢速率都比较高，在弱光下呼吸消耗大于光合生产便不能生长。例如松、杉、麻株、栓皮栎、柳、杨、桦、槐等。

b. 耐阴植物

耐阴植物是介于阳生植物和阴生植物之间的植物，它们既可以在强光下良好生长，又能忍受不同程度的遮阴，对光照具有较广的适应能力，但最适宜的还是在完全的光照下生长。它们在形态和生态上的可塑性很大。例如树木中的山毛榉、云杉、侧柏、胡桃等。

c. 阴生植物

阴生植物是指需要在较弱的光照条件下生长，不能忍耐高强度光照的植物。阴生植物枝叶茂盛，没有角质层或角质层很薄，气孔与叶绿体比较少。这类植物的光补偿点较低，其光合速率和呼吸速率都较低。常见种类有苔藓类、部分蕨类、连钱草、观音座莲、铁杉、紫果云杉、红豆杉等。

② 动物的适应

光照强度不仅使动物在视觉器官形态上产生了遗传的适应性变化，而且与动物的活动行为密切相关。动物对光照强度的适应形成了昼行性动物和夜行性动物或晨昏性动物和全昼夜性动物。

- a. 昼行性动物，鸟类、灵长类动物；
- b. 夜行性动物，蟑螂、黄鼬等；
- c. 晨昏性动物，蝙蝠等；
- d. 全昼夜性动物，田鼠、紫貂等。

3. 日照长度的生态作用与光周期现象

日照长度是指太阳的可照时数。日照长度的变化对动植物的生长发育有重要的生态作用，使生物具有昼夜节律和光周期现象。

(1) 昼夜节律

① 含义生物对昼夜交替周期性变化的适应形成了昼夜节律，生物生命活动以 24 小时左右为周期的变动，即 24 h 循环一次，昼夜节律又叫日节律。

② 形成原因

光周期是由于地球自转形成了白昼和黑夜的交替引起的。

③ 生态作用

a. 昼行性动物

动物的活动与静止交替出现，动物白天活动夜间休息的动物称为昼行性动物。大多数鸟类、哺乳动物中的黄鼠、松鼠和许多灵长类属于昼行性动物。

b. 夜行性动物

动物的活动与静止交替出现，夜间活动白天休息的动物称为夜行性动物。哺乳动物中的夜猴、家鼠、蝙蝠等属夜行性动物。

c. 似昼夜节律

昼夜节律除了由外部因素的昼夜周期所决定以外，在生物机体内部也有自发性和自运性的内源节律，例如豆科植物幼苗对光照敏感，其叶子有定时抬起、定时下垂的似昼夜节律表现，这种节律受植物生物钟控制。

(2) 光周期现象

① 含义

每天光照与黑夜交替称为一个光周期，由于分布在地球各地的动植物长期生活在各自光周期环境中，在自然选择和进化中形成了各类生物所特有的对日照长度变化的反应方式，这就是生物中普遍存在的光周期现象，表明光周期现象是指生物对昼夜光暗循环格局的反应。

② 形成原因

地球绕太阳公转时，地球相对太阳的高度角变化造成昼夜长短依纬度不同而异，各地的昼夜长短也不同，日照长度的变化对动、植物都具有重要的生态作用。

③ 生态作用

a. 对植物的生态作用

根据对日照长度的反应类型可把植物分为长日照植物、短日照植物和日中性植物。

第一，长日照植物。要求经历一段白昼长于一定的临界值（临界日长）、黑夜短于一定长度的时期才能成花的植物。常见的长日照植物有牛蒡、紫菀、凤仙花和除虫菊等，作物中有冬小麦、大麦、油菜、菠菜、萝卜等。

第二，短日照植物。要求经历一段白昼短于一定长度、黑夜长于一定长度（称为临界暗期）的时期才能开花的植物。常见短日照植物有牵牛、苍耳，作物中则有水稻、玉米、大豆、麻和棉等。

第三，日中性植物。也称日长钝感植物，成花对昼夜长短无一定要求，也无明显响应。只要其他条件合适，在任意日照条件下都能开花，如黄瓜、番薯、四季豆和蒲公英等。

b. 对动物的生态作用

第一、短日照兽类。随着秋天短日照的到来而进入生殖期的动物称为短日照兽类，如绵羊、山羊和鹿，它们的幼仔在春天条件最有利时出生。

第二，长日照兽类。随着春天日照长度的逐渐增加而开始生殖的动物称为长日照兽类，如雪貂、野兔和刺猬等。

第三，鸟类。日照长短的变化是地球上最严格和最稳定的周期变化，是生物节律最可靠的信号系统。鸟类的迁徙以及生殖时间由日照长短的时间决定。在鸟类生殖期间人为改变光周期可以控制鸟类的产卵量，例如人类在夜合给予人工光照可提高母鸡产蛋量。

三、生物与温度因子

温度是影响生物生长发育，分布与繁殖的重要生态因子。节律性变温和极端温度会引起生物温周期现象、物候节律、休眠等一系列的生态反应。

1. 温度因子的生态作用

(1) 生物生长

生命活动是由一系列生理生化反应过程构成的，而每一生化反应都几乎有酶系统的参与。酶的活性高低与温度存在密切的关系，因而生物体内的生物化学过程必须在一定的温度范围内才能正常进行。

①温度系数（ Q_{10} ）

在一定的温度范围内，生物的生长速度与温度成正比。温度系数（ Q_{10} ）表示温度对生物生长或生化反应速度的影响程度，即温度每升高 10°C 生物生长或反应速度增加的倍数。

②“三基点”温度

“三基点”温度是生物生命活动过程的最适温度，最低温度和最高温度的总称。

- a. 最适温度，在最适温度下，生物生长最好；
- b. 最低温度，在最低温度时，若再继续降温，生物将死亡；
- c. 最高温度，在最高温度时，若再继续升温，生物将死亡。

（2）生物发育

温度影响生物的发育生长速率，变温动物和植物需在一定温度范围以上，低于该温度，生物不发育，这个温度称为生物学零度，它是生物进行发育的最低温度。

（3）生物的地理分布

① 地球表面的温度分布是不均匀的，整体上是随着纬度、海拔的升高而降低。生物往往分布于其最适温度附近地区。多数生物的最适温度在 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，因而温暖地区分布的生物种类多，低温地区生物种类少。

② 地球上主要生物群系的分布成为主要温度带的反映，年均温度、最高温度和最低温度都是影响生物分布的重要因子，但物种的分布并不完全由温度决定，温度可能与其他环境因素或资源紧密联系，例如相对湿度和温度间的关系，二者共同作用决定了地球上生物群系分布的总格局。

（4）有效积温法则

① 有效积温法则最初是雷米尔在研究植物发育时总结出来的，其主要含义：植物在生长发育过程中必须从环境摄取一定的热量才能完成某一阶段的发育，而且植物各个发育阶段所需要的总热量是一个常数，这个总热量可用有效积温表示。

② 在一定生育期内，高于生物学零度的温度叫活动温度，有效温度是活动温度减去生物学零度。有效积温是一定生育期内有效温度的总和，即：
$$K = \sum_{i=1}^n (T_i - T_0)$$

③ 式中： K 示某生物全生育期（或某生物的某一发育阶段）所需的有效积温，为一常数； T_i 表示某生物生育期或发育阶段的日平均温度值； T_0 表示某生物生长活动的起点温度（生物学零度）； n 表示某生物生育期或发育阶段历经的天数。

④ 昆虫和其他一些变温动物的发育，也符合有效积温法则。通过害虫的有效积温计算可以预测一个地区某种害虫可能发生的时期和世代数，可以预测某种害虫的分布区。

2. 节律性变温的生态作用

（1）温周期现象

地表太阳辐射的周期性变化产生温度有规律的昼夜变化，使许多生物适应了变温环境。温周期现象，是生物对温度的一种调节现象，在自然条件下生物会适应温度变化而产生变化。例如植物在日温差越大的情况下，干物质积累越多，产量越高，而且品质也好，表现在蛋白质、糖分含量提高等。

(2) 物候节律

温度的季节变化形成相对稳定的年周期性变化。生物长期适应于这种节律性变化，形成相应的生长发育节律称为物候。例如大多数植物春天发芽，夏天开花。秋天结果，冬天休眠。动物有冬眠、迁徙、惊蛰行为。

(3) 休眠

休眠是生物适应极端温度的结果，指生物的潜伏、蛰伏或不活动状态，是抵御不利环境的有效的生理机制。进入休眠状态的动植物可以忍耐比其生态幅宽得多的环境条件，可分为冬眠和夏眠两种。例如植物种子成熟后不能立即萌发的现象即是休眠形式的一种。

3. 极端温度的生态作用

(1) 极端低温对生物的影响与生物适应

① 极端低温的影响

a 冷害

低温会造成生物生理活动（光合、呼吸、吸收和蒸腾等）机能的降低和生理平衡状态的破坏。如热带橡胶树在 10°C 左右时便不能生长。

b 冻害

冰点以下低温造成的生物体内结冰，细胞原生质膜破裂和酶蛋白失活与变性。

② 生物的适应

面对极端低温，动植物会自我调节抵御严寒，主要有形态适应、生理适应、行为适应三种情况：

a 形态适应

植物的芽和叶片常有油脂类物质保护，树干粗短，树皮坚厚；而内温动物则会出现贝格曼规律和阿伦规律的变化：

第一、贝格曼规律。高纬度恒温动物往往比来自低纬度恒温动物个体高大，导致其相对体表面积变小，使单位体重的热散失减少，有利于抗寒。

第二、阿伦规律。恒温动物身体的突出部分如四肢、尾巴和外耳等在低温环境中会有变小变短的趋势，这也是减少散热的一种形态适应。

b 生理适应

植物减少细胞中的水分，增加糖类、脂肪和色素等物质以降低植物冰点，增强抗旱能力；内温动物主要增加体内产热，此外还采用逆流热交换、局部异温性和适应性低体温等适应寒冷环境。

c 行为适应

主要表现在休眠和迁移两个方面，前者有利于增加抗寒能力，后者可躲过低温环境。

(2) 极端高温对生物的影响与生物适应

极端高温引起植物皮烧、根茎灼烧等影响，不同的动物对高温的耐受性不同。动植物同样从以下三个方面形成了对高温的适应性：

① 形态适应

a 植物有些植物具有密绒毛或鳞片，能过滤一部分阳光；有些植物叶片垂直排列，或是高温下叶片折叠，减少吸光面积等。

b. 动物动物毛皮、羽毛、皮下脂肪冬季加厚，夏季变薄。

② 生理适应

a. 植物

植物主要降低细胞含水量，增加糖和盐的浓度，以及增加蒸腾作用以散热。

b. 动物

动物则适当放松恒温性，将热量储存于体内，使体温升高，等夜间再通过对流、传导、辐射等方式将体内的热量释放出去。

③行为适应

行为适应主要变现为动物的夏眠和滞育等。

四、生物与水因子

1. 水因子的生态作用

水是生命之源，具有重要的生态作用。

(1) 水是生物生存的重要条件

水对生物生存具有重要的意义，是生物生存的重要条件，主要体现在：

①水是一切生物体都不可缺少的重要组成成分；

②水是生物代谢过程中的重要原料光合作用、呼吸作用、有机物合成与分解过程中都有水分子参与；

③水是生物新陈代谢的介质，是很好的溶剂；

④水的热容量很大，其吸热和放热比较缓慢，使水体温度不像大气温度变化剧烈，也较少受气温波动的影响，为生物创造了一个相对稳定的温度环境。

(2) 水对生物生长发育的影响

①水对植物的影响

水量对植物的生长有最高、最适和最低三个基点，水含量影响着植物的生长发育。

②水对动物的影响

动物的生长发育与降水量有着密切的关联，许多动物的周期性繁殖与降水季节密切相关。

(3) 水对生物分布的影响

由于地理纬度、海陆位置、海拔高度的不同，降水在地球上的分布是不均匀的。水分与动植物的种类和数量存在着密切的关系

2. 生物对水因子的适应

(1) 植物对水因子的适应

根据植物对水分的需求量和依赖程度，可把植物划分为水生植物和陆生植物。

①水生植物

水生植物是所有生活在水中的植物的总称。水生植物的特点有：

a. 水生植物具有发达的通气组织，以保证各器官组织的需要；

b. 其机械组织不发达甚至退化，以增强植物的弹性和抗扭曲能力，适应于水体流动；

c. 水生植物在水下的叶片多分裂成带状、线状，而且很薄，以增加吸收阳光、无机盐和 CO_2 的面积。

②陆生植物

陆生植物指生长在陆地上的植物，包括湿生、中生和旱生 3 种类型：

a. 湿生植物

在潮湿环境中生长，不能忍受较长时间的水分不足，即抗旱能力最弱的陆生植物。

b. 中生植物

生长在水分条件适中生境中的植物。该类植物具有一套完整的保持水分平衡的结构和功能，其根系和输导组织均比湿生植物发达。

c. 旱生植物

生长在干旱环境中，能长期耐受干旱，且能维护水分平衡和正常的生长发育。这类植物在形态或生理上有多种多样的适应干旱环境的特征。

(2) 动物对水因子的适应

动物按栖息地划分可分为水生和陆生两大类。

①水生动物

水生动物保持体内水分得失平衡主要是依赖水的渗透作用。渗透压调节可以限制体表对盐类和水的通透性，通过逆浓度梯度主动地吸收或排出盐类和水，改变所排出的尿和粪便的浓度与体积。

②陆生动物

陆生动物主要是从获取更多的水分、减少水的消耗、储存水，发生形态、生理和行为变化等方面来适应旱生环境。

- a. 形态适应：动物以不同的形态结构来适应环境湿度，保持生物体的水分平衡；
- b. 生理适应：许多动物在干旱的情况下具有生理上的适应特点；
- c. 行为适应：例如迁徙和冬眠等行为。

五、生物与土壤因子

1. 土壤的生态作用

土壤是陆地生态系统的基础，陆生植物生活的基质和陆生动物生活的基底。

(1) 土壤对动物的生态作用

土壤的热容量大且其本身具有良好的屏蔽效果，其温度、湿度变化幅度较小，且可以逃避高温、干燥、大风和阳光直射等不利因素，所以它能够成为一些狭适应性动物的良好生存场所。

(2) 土壤对植物的生态作用

土壤对植物的生态作用主要体现在营养库的作用，养分转化和循环的作用，雨水涵养作用，生物的支撑作用，稳定和缓冲环境变化的作用等。

2. 土壤物理性质对生物的影响

(1) 土壤母质对生物的影响

母质是形成土壤的“原料”，建造土体的“骨架”，是植物矿质营养元素的最初“源泉”。母岩通过土壤不但间接影响生物的生存及组成，而且还影响生物的生长。

(2) 土壤组成对生物的影响

土壤是岩石圈表面能够生长植物的疏松表层，由矿物质和有机质（土壤固相）、土壤水分（液相）和土壤空气（气相）三相物质组成。土壤固、液、气三相的物质组成及比例，直接影响到土壤质地、土壤结构、土壤水分、土壤空气等土壤的物理、化学特性，并从而影响土壤肥力和土壤生物。

(3) 土壤质地对生物的影响

土壤固相的颗粒（土粒）是组成土壤的物质基础。根据土壤质地可把土壤区分为沙土、壤土和黏土三大类。

① 沙土类土壤

沙土类土壤中黏性小、孔隙多，通气透水性强，蓄水和保肥能力差，抗旱力弱。沙质土的养分少，缺少倒巴的黏粒和有机质。

② 黏土类土壤

黏土类土壤质地黏重，结构致密，湿时黏，干时硬，因含黏粒多，保水保肥能力较强，但因土粒细小，孔隙细微，通气透水性差。黏质土矿质养分丰富，有机质含量高。

③ 壤土类土壤

壤土类土壤质地较均匀，物理性质良好（即不太松，也不太黏），通气透水，有一定的保水包肥能力，是比较理想的耕种土壤，土壤生物也较多。

(4) 土壤结构对生物的影响

土壤结构是指土壤固相颗粒的排列形式、孔隙度、团聚体的大小、多少以及稳定度。这些都能影响土壤中固、液、气三相的比例，并从而影响土壤供应水分、养分的能力、通气和热量状况。

(5) 土壤通度对生物的影响

土壤温度是太阳辐射与不同结构和性质的土壤综合作用的结果。土壤温度对地面气温的滞后现象对生物有利，影响植物种子萌发与出苗，制约土壤盐分的溶解、气体交换与水分蒸发、有机物分解与转化。较高的土壤温度有利于土壤微生物活动，促进土壤营养分解和植物生长，动物利用土壤温度避开不利环境进行冬眠等。

(6) 土壤水分与空气对生物的影响

① 土壤中的水分不仅可被植物根系直接吸收，而且其适量增加有利于各种营养物质的溶解和移动，还能调节土壤温度。但土壤水分过多或过少都对生物和土壤动物不利。

② 土壤中的空气各成分的含量不如大气稳定，常随季节、昼夜、深度、土壤水分条件等而变化。

3. 土壤化学性质对生物的影响

(1) 土壤酸碱度

土壤酸碱度是土壤的很多化学性质特别是岩基状况的综合反映，直接影响生物的生理代谢过程，pH 过高或过低均影响体内蛋白酶的活性水平，不同生物对 pH 的适应存在较大的差异。生物对于长期生活的土壤会产生一定的适应特性，形成了各种以土壤为主导因素的生态类型。

(2) 土壤有机质

土壤有机质是土壤的重要组成部分。土壤有机质含量是土壤肥力的一个重要标志，能改善土壤的物理结构和化学性质，有利于土壤团粒结构的形成，从而促进植物的生长和养分的吸收。

(3) 土壤矿质元素

环境中某种矿质营养元素不足或过多，或多种养分配合比例不当，都可能对生物的生命活动起限制作用。不同种类生物对矿质的种类与需求量存在较大差异，矿质在体内的积累量也有不同。

4. 土壤生物的生态作用

(1) 土壤微生物的生态作用

土壤生物中种群最大的是微生物。微生物是生态系统中的分解者或还原者，其作用主要体现在：

- ① 微生物的分解作用使得有机体中的营养元素还原成简单的、能被植物重新利用的状态。
- ② 在形成土壤团粒结构方面，微生物起着直接的和间接的重要作用。

③ 土壤中某些真菌还能与某些高等植物的根系形成共生体，称为菌根。

(2) 土壤动物的生态作用

土壤动物的生命活动对植物生长有着很大的影响。土壤动物对植物生长可分为积极和消极两个方面。

① 积极影响

积极影响是指动物的爬动，能使土壤疏松，同时使地表植物的残体和土壤混合，加速植物残体的腐烂。

② 消极影响

消极影响指某些土壤动物的排泄物或分泌物对某些生物类群的生长、发育产生抑制、阻碍作用的现象，即生物的相克作用。

(3) 植物根系的生态作用

庞大须根系增加了土壤的空隙度和通透性，增加了土壤腐殖质，促进了良好土壤结构的形成，有利于其他植物、好氧性微生物和其他土壤小型动物的生长。

六、生物与大气因子

1. 空气主要组成成分的生态作用

(1) 二氧化碳的生态作用

CO_2 是光合作用的主要原料， CO_2 浓度的高低是影响植物初级生产力的重要因素。例如在 CO_2 饱和点时的光合速率叫做潜在光合能力，与 CO_2 饱和点相比，大气中的 CO_2 浓度很低，一般达不到 CO_2 饱和点，所以 CO_2 缺乏是限制产量的主要因素。

(2) 氧气的生态作用

根据生物对环境中含氧量的适应范围，也可分为广氧性生物和窄氧性生物两类。绝大多数陆生植物与动物，都属于窄氧性生物，而绝大多数水生动物和植物属于广氧性生物。微生物中还有严格厌氧菌和微好氧微生物。

2. 风的生态作用

(1) 风的类型

①季风

由于大陆和海洋在一年中增热与冷却的差异,在大陆和海洋之间大范围的、风向随季节有规律改变的风,称为季风。季风全年变向两次,夏季从大洋吹向陆地,冬季则从陆地吹向大洋。

②海陆风

海岸(与湖岸)上的风称为海陆风或水陆风。海陆风对植物的生长发育和分布均有影响。

③山风和谷风

在晴朗和干燥的天气里,山中有山风和谷风的正常交替现象。日间风从谷中吹出(谷风),夜间则从山上吹入(山风)。

④焚风

焚风是一种由山上吹下来的干热风。产生焚风是由于两面山坡上出现了不同的气压。焚风出现时天气燥热,冬季能引起积雪融化,暖季加速作物生长,强烈时可使植物枯萎。

⑤寒露风

寒露风指我国南部地区在寒露节令前后,晚稻扬花期间,北方冷空气南侵带来短时期的风力较大的低温、干燥,或者是低温阴雨天气的偏北风。

⑥台风

气旋不仅发生在温带纬度,也发生在热带,台风指形成于热带或副热带 26°C 以上广阔海面上的热带气旋。

⑦干燥风

在温暖季节里有一种风带来热而干燥的空气,即干燥风。这种空气能够在短时间内就使植物受害。

(2)风对生物的影响

①风的输送作用

小尺度空间内空气的流动带动热量、水汽、 CO_2 和 O_2 等的输送,从而使这些因子重新组合、分布,改变环境的小气候条件,间接影响生物的生长发育。

②风媒

许多禾本科作物和森林树种的传粉是靠风作媒介的,这类植物称为“风媒植物”。

③风对动物的影响

风会对动物的行为活动如取食、迁移和分布产生影响。

(2)风对区域环境的影响

①对天气的影响

大范围的空气交换制约着区域环境和气候的变化。在我国季风区,冬季气流来自蒙古高压带,往往形成寒潮;夏季风来自湿润温暖的海洋,在季风控制的区域温暖多阴雨天气。

小范围的空气交换制约着天气的变化。在某一有限区域的特定地理条件下,在低层大气中形成的地方性空气环流,叫做地方性风,对区域环境生态因子的重新分布也产生重要影响。

②对污染物的影响

a. 风对在大气中污染物的第一个作用是输送扩散作用,排入到大气的污染物质在风的作用下,便随大气做水平移动,污染物被扩散输送到别的地方。

b. 风的另一个作用是对污染物的冲淡稀释作用，风速越大，通过单位截面积的空气量越多，这时混入的大气越多，就能加快污染物的稀释，使大气污染物浓度变小。

(3) 生物对风的适应

生物在长期的自然选择中，形成了各种对风的适应型。例如植物在风的作用下植株矮化或者是形态发生变化，如在高山、风口常可看到由于风力的作用，有些树木形成畸形树冠，常称为“旗形树”。这是因为树木向风面生长的叶芽受到风的袭击、摧残或叶芽过度蒸腾而引起局部伤损。

七、生物与地形因子

1. 主要地形要素的生态作用

(1) 坡 向

由于光照的差别，常把南坡称阳坡，北坡称阴坡。南坡的植被多喜暖、喜光、耐旱；北坡的植被则多耐寒、耐阴、耐湿，树木的生长也是南坡早于北坡

(2) 坡度

坡度不同的山坡因太阳入射角不同所获得的太阳辐射有别，气温、土壤温度及其他生态因子也随之发生变化，进而影响生物的生长和发育。

①斜坡一般土壤较肥厚、排水良好，为林木生长理想的地区。

②陡坡上土层薄，石砾多，水分供应不稳定，林木生长较差，林分生产力低。

③在急险坡上，常常发生塌坡和坡面滑动，基岩裸露，林木稀疏而低矮。

(3) 坡位

坡位是指山坡的不同部位，坡位的变化，实际上也是阳光、水分、养分和土壤条件的生态序列的变化。

(4) 海 拔 高 度

海拔高度是山地地形变化最明显的因子之一。因温度递减率的关系，气温随海拔高度增加而降低。在一定的高度范围内，高度增加，空气湿度和降水量随海拔高度而增加，但超过一定范围后降水量又有所下降。不同的海拔高度分布着不同的森林植被，生存着不同种类的动物以及微生物。

2 . 以地形为主导因素的特殊环境对生物的影响

(1) 山脉走向对生物的影响

地形是间接因子，通过对光照、温度、水分和养分等的重新分配而起作用。山脉的走向直接影响到焚风、山谷风、海陆风等的形成和变化，从而对生物产生影响。

(2) 河流走向对生物的影响

由于河底的类型，如沙、砾石、黏土、下层坚石或粗石等，对于决定生物群落的性质和生物群落优势种的种群密度是非常重要的，因此，河流的走向对生物产生一定的影响。

(3) 高原气候对生物的影响

高原的生态环境和气候变化复杂多样且变化剧烈。比如太阳直接辐射强给植物光合生产提供了充足的能源，空气中低的水汽含量加上强辐射，使植物的蒸腾作用显著。

3. 生物对地形因子的适应

生物对地形因子的适应主要表现在以下三个方面，以植物适应高原为例：

(1) 内部结构方面

植物表皮细胞具有多层栅栏组织，细胞内叶绿体小、数量多；少数为等面叶，叶肉组织具有丰富的含较多单宁或胶状物质的异细胞，形成 CO_2 的储库，用以弥补大气中 CO_2 的不足。

(2) 形态方面

多数植物具有旱生植物的特征，多被柔毛，细胞角质膜厚等。

(3) 生理方面

植物气孔导度增加、数目增多，类胡萝卜素含量显著增加，并有花色素苷形成，叶绿素 a/b 值增大。

第三章种群生态

一、种群的概念和基本特征

1. 种群的概念

生态学上把特定时间占据一定空间的同种生物的集合群称为生物种群。种群是进化的基本单位，同一种群的所有生物共用一个基因库。种群应具有空间特性、数量特性及遗传特性等主要特性。

(1) 空间特性，指种群有一定的分布区域和分布方式。

(2) 数量特性，指种群具有一定的密度、出生率、死亡率、年龄结构和性比。

(3) 遗传特性，指种群具有一定的遗传组成，而且随着时间进程改变其遗传特性，进行进化和适应。

2. 种群的基本特征

(1) 种群密度

种群密度是指在单位面积或体积中的个体数。种群密度是种群最基本的数量特征。

① 类型

a. 绝对密度和相对密度

在很多情况下，种群密度很难用个体逐一计算，而是采用相对密度来表示种群数量的丰富程度。例如，每小时所看到的鸟数，听到的鸟声，或看到的动物粪便量等，其相对密度可用公式表示为：

$$D = n / (a \cdot t)$$

式中：D 表示种群相对密度；n 表示个体数目；a 表示地区面积；t 表示时间。

b. 粗密度和生态密度

粗密度指单位空间内的个体数；生态密度指单位栖息空间（种群实际所占据的有用面积或空间）内的个体数。

②影响种群密度因素

种群密度的高低在多数情况下取决于环境中可利用的物质和能量的多少、种群对物质和能量利用效率的高低、生物种群营养级的高低及种群本身的生物学特性。种群密度有 3 个重要的节点：

4. 当环境中拥有可利用的物质和能量最丰富、环境条件最适应时，某种群可达到该环境下的最大密度，称为“饱和点”；

5. 维持种群最佳状况的密度，称为最适密度；

c . 种群密度也有最低限度，种群密度过低时，使种群的异性个体不能正常相遇和繁殖，会引起种群灭亡。

③种群密度计算方法

a . 样方法

在被调查范围内，随机选取若干个完全相等的样方，统计每个样方的个体数，并求出每个样方的种群密度，再求出所有样方种群密度的均值，以此值作为被调查种群之种群密度的估算值。

常见的取样方法有“等距取样法”“五点取样法”“Z 字取样法”等。

b • 标志重捕法

在被调查种群的活动范围内，捕获部分个体，作上标记，再放回原来的环境中，经过一段时间后在同一地点进行重捕。估算公式：

种群密度/标记个体数=重捕个数/重捕中标记个体数

(2) 种群分布型

种群分布型是指组成群落的个体在其生活的空间的位置状态或布局。由于自然环境的多样性，以及种内个体之间的竞争，每一种群在一定空间中都会呈现出特定的分布形式。通常种群分布形式有 3 种类型：

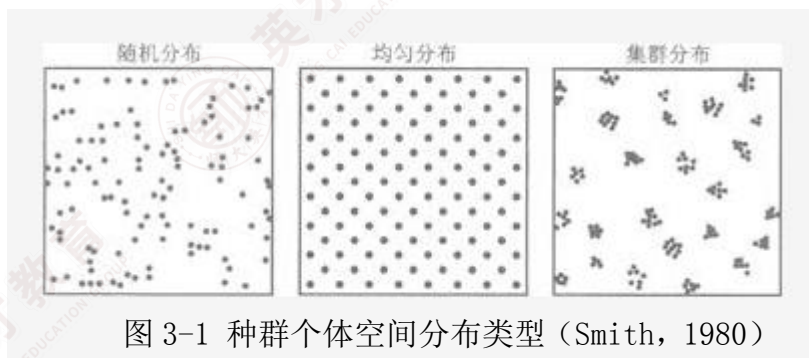


图 3-1 种群个体空间分布类型 (Smith, 1980)

①均匀型

均匀型分布，指种群在空间按一定间距均匀分布产生的空间格局，根本原因是在种内斗争与最大限度利用资源间的平衡。

②随机型

随机型分布，是指中每一个体在种群领域中各个点上出现的机会是相等的，并且某一个体的存在不影响其他个体的分布。随机分布比较少见，因为在环境资源分布均匀，种群内个体间没有彼此吸引或排斥的情况下，才易产生随机分布。

③ 成群型

种群内个体在空间的分布极不均匀，常成群、成簇或呈斑点状密集分布，种群的这种分布格局即为集群分布，也称成群分布或聚群分布。成群分布是最常见的分布型。成群分布形成的原因是：

- a. 环境资源分布不均匀富饶与贫乏相嵌；
- b. 植物传播种子方式使其以母株为扩散中心；
- c. 动物的社会行为使其结合成群。

检验和判断种群的空间分布型对于固着生活的生物和不活跃的生物（如植物和软体动物）是很重要的。检验空间分布的方法有分散度法和空间分布指数法。

第一, 分散度法

假设取 n 个样方, x 为各样方实际的个体数, 每个样方中个体平均数为 m , 则其分散度 S^2 (方差) 可由下式求得:

$$S^2 = \sum (x - m)^2 / (n - 1)$$

- a. 若 $S^2 : = 0$, 即绝大多数样方的个体数稳定接近于平均数时, 种群的分布为均匀分布。
- b. 若 $S^2 : = m$, 即每一个体在任何空间的分布概率是相等的, 其分散度 S^2 等于平均数, 种群的分布为随机分布。
- c. 若 $S^2 > m$, 即分散度大于平均数, 种群的分布为集群分布。

第二, 空间分布指数

空间分布指数是由方差和平均数的关系决定的, 即:

$$I = \frac{V}{m}$$

式中: I 表示空间分布指数; V 表示方差; m 表示平均数。

- c. 若 $I=1$, 为随机分布;
- b. 若 $I < 1$, 为均匀分布;
- c. 若 $I > 1$, 为集群分布。

(3) 种群出生率与死亡率

① 出生率

a. 定义

出生率指在一特定时间内, 一种群新诞生个体占种群现存个体总数的比例。

b. 表示方法

出生率有绝对出生相对出生率两种表示方法:

第一, 绝对出生率

$$b = \Delta N / \Delta t \quad (\text{新产生的个体数}) / (\text{时间增量})$$

第二, 相对出生率

$$b = \Delta N / [N \cdot \Delta t] \quad (\text{新产生的个体数}) / [N (\text{种群的总个体数}) \cdot \Delta t (\text{时间增量})]$$

c. 分类

出生率有生理出生率和生态出生率两种。

第一, 生理出生率又称为最大出生率, 指种群在理想条件下所能达到的最大出生率。

第二, 生态出生率又称为实际出生率, 指在一定时期内, 种群在特定条件下实际繁殖的个体数。

② 死亡率

死亡率是在一特定时间内, 种群死亡个体数占现存个体总数的比例, 有生理死亡率 (或最小死亡率) 和生态死亡率 (实际死亡率) 两种。

d. 生理死亡率是指在最适条件下所有个体都因衰老而死亡, 即每个个体都能活到该物种的生理寿命。它是种群的最低死亡率, 实际上由于受环境条件、种群本身大小、年龄组成以及种间的捕食、竞争等的影响;

e. 实际死亡率远远大于生理死亡率。实际死亡率即是生态死亡率, 指在一定时期内, 种群在特定条件下实际死亡的个体数。实际死亡率远远大于生理死亡率。

(4) 种群的年龄结构

种群的年龄结构是指一个种群幼年个体 (生殖前期)、成年个体 (生殖时期)、老年个体 (生殖后期) 的个体数目占整个种群个体总数的百分比结构。分析一个种群的年龄结构可以间

接判定出该种群的发展趋势。根据种群的发展趋势，种群的年龄结构可以分为 3 种类型(图 3-2)。

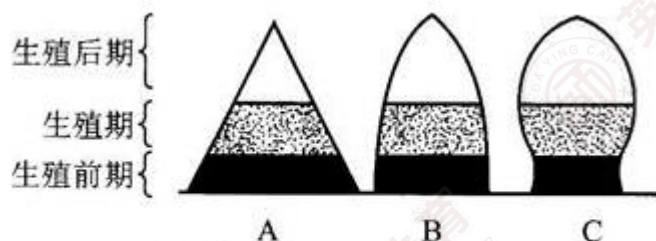


图3-2 种群年龄金字塔

①增长型 (A)

在增长型种群中，老年个体数目少，年幼个体数目多，在图像上呈金字塔型，今后种群密度将不断增长，种内个体越来越多。

②稳定型 (B)

稳定型种群中各年龄结构适中，在一定时间内新出生个体与死亡个体数量相当，种群密度保持相对稳定。

③衰老型 (C)

衰老型种群多见于濒危物种，此类种群幼年个体数目少，老年个体数目多，死亡率大于出生率，这种情况往往导致恶性循环，种群最终灭绝。

(5) 种群性比

性比即性别比例，是指种群中雌雄个体的数目比。自然界中不同种群的正常性别比例有很大差异，性别比例对种群数量有一定影响，如用性诱剂大量诱杀害虫的雄性个体，会使许多雌性害虫无法交配，导致种群密度下降。

(6) 种群的迁出率与迁入率

迁出率指离开种群领地的个体数占该种群总个体数的比率；迁入率指进入该领地的个体数占该领地总个体数的比率。种群的迁出率与迁入率影响种群密度，是种群数量变动的原因之一

二、自然种群的数量变动

1 • 环境容量

(1) 环境容纳量是指特定环境所能容许的种群数量的最大值，常用 K 表示。环境容纳量是环境制约作用的具体体现，有限的环境只能为有限生物的生存提供所需的资源。

(2) 环境容纳量的实质是有限环境中的有限增长，容量的大小主要决定于温度、光、水、养分等生态因子或食物、空间等资源所构成的环境和食性、行为、适应能力等种群的遗传特性。

2. 内禀自然增长率

(1) 内禀增长率是指具有稳定年龄结构的种群，在食物与空间不受限制、同种其他个体的密度维持在最适水平、环境中没有天敌、并在某一特定的温度、湿度、光照和食物性质的环境条件组配下，种群的最大瞬时增长率。内禀增长率是种群固定增长能力的唯一指标。

(2) 对于某一种群来说，不同的年龄构成表现出不同的增长率，当建立了稳定的年龄分布时，其稳定的相对增长率称为内禀增长率 (r_m)，又称为生物潜能或生殖潜能。动物的内禀增长率取决于动物的生殖能力、寿命、发育程度和年龄结构等。

3 . 种群增长型

种群中一些简单的、具有典型性的数量动态变化可以用数学模型衡量，常见的有指数增长和逻辑斯蒂增长两种。

(1) 指数增长

在没有天敌、食物与空间绝对充足（以至于没有种内斗争）的理想情况下，一些种群的数量按指数增长，即“J”型增长。世代分离的种群（如一年生植物和一代性昆虫）和世代重叠的种群（一年繁殖数代或一年繁殖一代，而寿命在一年以上的种群）的指数增长模型有所差异。

① 代分离种群

世代分离种群的增长呈不连续状态。假定种群的平均每个个体出生 A 个后代，那么， A 就是每个世代的净生殖率，因此：

$$\lambda = \frac{N_{t+1}}{N_t}$$

可得，第 t 个世代的种群数量是： $N_t = N_0 \lambda^t$

式中： λ 又叫周限增长率。

a. 若 $\lambda > 1$, 种群的数量呈增长趋势;

b. 若 $\lambda = 1$, 种群的数量不增不减;

c. 若 $\lambda < 1$, 种群数量呈下降趋势。

②世代重叠种群

a. 世代重叠种群的增长呈连续增长。这种种群数量的连续变化可以用微分方程表示为:

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

式中： dN/dt 表示种群的瞬时数量变化； e 表示自然对数的底； r 表示种群的增长率。

第一，当 $r > 0$ 时，单种种群数量将按指数曲线的形式无限增长；

第二，当 $r < 0$ 时，单种种群数量呈指数式下降；

第三，当 $r = 0$ 时，单种种群数量相对稳定。

b. 这就是单种种群在无限的环境中增长的模型。在无限（食物源、环境资源不受限制）的条件下，增长率 r 为一恒值，则单种种群的数量呈指数增长。

(2) 逻辑斯谛增长

③ 种群指数增长所要求的条件是理想状态，在自然条件下，由于食物、空间等资源的有限性，实际上随着种群数量的增加，种群增长率就会下降，当种群大于或等于环境负荷量的时候，种群就会停止增长。将环境容量（即 K 值）引入种群增长方程后，指数方程可以变为：

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(\frac{K - N}{K} \right)$$

式中： dN / dt 表示种群的瞬时增长量； r 表示种群的增长率； N 表示种群大小； K 表示环境容量。修正项 $(K - N) / K$ ，也称为剩余空间或增长力可实现程度。 $(K - N) / K$ 也是逻辑斯谛系数，它的生物学含义是随着种群数量的增大，最大环境容量中种群尚未利用的剩余空间，实际上也是环境压力的度量。

- a. 若 $(K - N) > 0$ 时，种群增长；
- b. 若 $(K - N) < 0$ 时，种群个体数目减少；
- c. 若 $(K - N) = 0$ 时，种群大小基本处于稳定的平衡状态。

②逻辑斯谛系数对种群数量变化有一种制动作用，使种群数量总是趋向于环境负荷量，形成一种“S”型的增长曲线（图 3-3）。

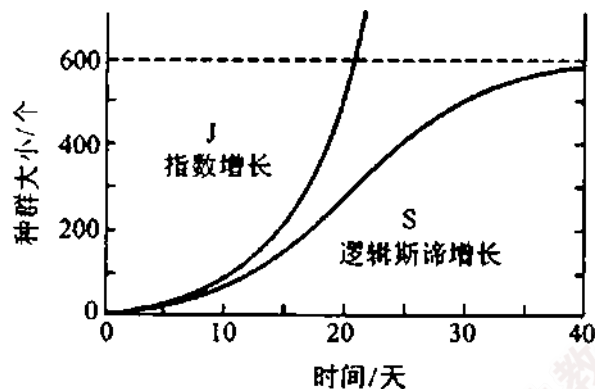


图3-3 种群的指数增长和逻辑斯谛增长示意图

③逻辑斯谛曲线常划分为 5 个时期：

- a. 开始期，也可称潜伏期，由于种群个体数很少，密度增长缓慢；
- b. 加速期，随个体数增加，密度增长逐渐加快；
- c. 转折期，当个体数达到饱和密度一半（即 $K / 2$ 时），密度增长最快；
- d. 减速期，个体数超过 $K / 2$ 以后，密度增长逐渐变慢；
- e. 饱和期，种群个体数达到 K 值而饱和。

4. 种群数量的变动趋势

自然界中，一个种群首先经过种群增长建立种群后，其数量变动的主要趋势有不规则或规则的（周期性、季节性）波动、种群大爆发、物种生态入侵、种群衰亡、种群平衡等。

(1) 季节消长

季节消长是指由于环境因子（如光、温等）有规律的季节性变化，引起种群数量的季节性波动。一般具有季节性生殖的种类，种群密度的最大值常落在一年中最后一次繁殖之后，以后繁殖停止，种群因只有死亡而无生殖种群密度下降，这种下降一直持续到下一年繁殖季节的开始。

(2) 不规则波动

种群的数量波动没有周期规律，呈不规则波动。如马世骏先生探讨过大约 1000 年来有关东亚飞蝗危害和气象资料的关系，认为东亚飞蝗在我国的发生没有周期现象。

(3) 周期性波动

种群的周期性波动主要是多年周期因素与种群间影响造成的。影响种群数量的周期性波动的因素：

⑥ 群环境条件的周年差别，即外因所控制；

⑦ 种群本身，即内因所控制。

(4) 种群爆发或大发生

短时间内种群数量猛增会造成种群爆发或大发生，比如合适的气候条件和食物条件、天敌控制的解除、种群内部机制等。具有不规则或周期性波动的生物都可能出现种群大发生，最闻名的大发生见于虫害和鼠害。

(5) 种群平衡

种群较长期地维持在几乎同一水平上称为种群平衡，是种群处于稳定状态的标志之一。

(6) 种群的衰落和灭亡

种群长久处于不利条件下，或在人类过度捕猎或栖息地被破坏的情况下，其种群数量会出现持久性下降，即种群衰落，甚至灭亡。个体大、出生率低、生长慢、成熟晚的生物，最早出现这种情形。

(7) 生态入侵

由于人类有意识或无意识地把某种生物带入适宜于其栖息和繁衍的地区，种群不断扩大，分布区逐步稳定地扩展，这种过程称生态入侵。生态入侵的途径主要有 4 种：

① 自然传播，种籽或病毒通过风、水流或禽鸟飞行等相关方式传播；

② 贸易渠道传播，物种通过附着或夹带在国际贸易的货物、包装、运输工具上，借货物在世界范围内的广泛散发性的流转而广为传播；

③ 旅客携带物传播，旅客从境外带回的水果、食品、种子、花卉、苗木等，因带有病虫、杂草等造成外来物种在境内的定植与传播；

④ 人为引种传播，人类由于对被引种地的生态系统缺乏足够的认识，致使所引物种导致被引种地生态系统失衡，造成物种灭绝和巨大的经济损失。

三、种内、种间关系

1. 种内关系

(1) 植物的密度效应

植物的密度效应是指当种群个体数目增加时，就必定会出现临近个体之间的相互影响。如在植物稀疏和环境条件良好的情形下，枝叶茂盛，构件数很多；相反，在植株密生和环境不良的情况下，可能只有少数枝叶，构件数很少。关于植物的物种内的密度效应，目前有以下两个基本规律：

① 后产量恒值法则

a . 公式

在一定范围内，当条件相同时，不管种群的密度如何，其最后产量几乎相等。用模型可描述为：

$$Y = W \cdot d = C$$

式中：Y 表示总产量；W 表示平均每株重；d 表示密度；C 表示常数。

b . 意义

第一，在稀疏种群中的每一个个体，都很容易获得资源和空间，生长状况好，构件多，生物量大；

第二，而在密度高的种群中的个体，由于叶子相互重叠，根系在土壤交错，对光、水和营养等竞争激烈，个体生长率降低，从而更合理地利用资源。

② $-3/2$ 自疏法则

a . 名称由来

英国生态学家 J . L . Harper (1981) 等对黑麦草的研究发现，自疏斜率为 $-3 / 2$, 后来 White 等 (1980) 对 80 多种植物的自疏作用进行测定，都表现出 $-3 / 2$ 自疏现象，因此得名 $-3/2$ 自疏法则。

b . 公式

自疏指同种植物或固着性动物，因种群密度而引起种群个体死亡而密度减少的过程◇由于产量恒定，随着种群中单株的增重必然出现密度下降，其关系可描述为：

$$C = d \cdot W^a$$

式中：W 表示平均每株重；d 表示密度；C、a 表示常数。

两边取对数，表示为密度与单株平均重的关系：

$$\log d = \log C + a \log W$$

(2) 性别生态

在有性繁殖的物种种群内，异性个体构成了最大量、最重要的同种其他成员，所以种内相互作用首先表现在两性个体之间。

(3) 动物的领域性和社会等级

① 域性

若动物将它们的活动局限在一定的区域内，并加以保护，不允许其他动物（通常是同种动物）进入，那么该区域或空间就称为领域，而动物占有领域的行为则称为领域性。领域行为是种内斗争的表现之一。

② 会等级

社会等级是指动物种群中各个动物的地位具有一定顺序的等级现象。社会等级形成的基础是支配行为，或称支配—从属关系。

2. 种间关系

种间关系是指不同物种种群之间的相互作用所形成的关系。群落内的种间关系是多种多样的，常见的种间关系主要有竞争、捕食、共生、寄生和他感作用等。

(1) 竞争

竞争指两个或多个种群争夺同一对象的相互作用。竞争的对象可能是食物、空间、光、矿物质营养等。

③ 分类

一般可把竞争区分为干扰竞争和利用竞争两种类型：

c. 干扰竞争是指一种生物借助行为排斥另一种生物使其得不到资源，如动物的斗殴；

d. 利用竞争是指一种生物所利用的资源对另一种生物来说也非常重要,亦即两种生物同时竞争利用同一种资源,如与水稻一起生长的稗草对阳光、水分、养分的竞争。

④ 竞争的结果

a. 一个物种完全排挤另一个物种;

b. 发生生态分离,即竞争结果使两个种群占有不同的空间(地理上的分隔)、捕食不同的食物(食性特化),或出现其它生态习性上的分隔(如活动时间的分离)等,使两个种群之间形成平衡。

⑤ 竞争原理

a. 竞争排除原理

苏联生态学家高斯(Gause, 1934)用实验方法观察两个物种之间的竞争现象,并提出竞争排除原理(也叫高斯原理):即在一个稳定的环境中两个生态位相同的物种不可能长久地共存在一起。

根据高斯排除原理提出三条推论:

第一、在一个稳定群落中,占据相同生态位的两个物种,其中必有一个物种终将被消灭;

第二、在一个稳定群落中,没有任何两个物种是直接竞争者;

第三,群落是一个生态位分化了的系统,种群之间趋于相互补充,而不是直接的竞争。

b. Lotka-Volterra 竞争模型

Lotka-Volterra 竞争模型是在逻辑斯谛模型基础上发展而来。假定有两个物种,当它们单独生长时,其增长形式符合逻辑斯谛模型。如果将这两种放置在一起,它们发生竞争时,物种1和物种2的竞争系数为 α 和 β (α 表示物种1的环境中,每存在一个物种2的个体对于物种1的效应; β 表示物种2的环境中,每存在一个物种1的个体对于物种2的效应),并假定两种竞争者之间的竞争系数保持稳定,则物种1、物种2在竞争中的种群增长方程为:

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(\frac{K_1 - N_1 - \alpha N_2}{K_1} \right)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(\frac{K_2 - N_2 - \beta N_1}{K_2} \right)$$

式中： N_1 、 N_2 分别为两个物种的种群数量； K_1 、 K_2 分别为两个物种种群的环境容量； r_1 、 r_2 分别为两个物种种群增长率。

从理论上讲，两个物种竞争的结果是由两个种的竞争系数 α 、 β 、 K_1 、 K_2 比值的关系决定的，可能有以下①～④种结果：

表 3-1 两个物种竞争的 4 个结果

	物种1能抑制物种2 ($K_1 > K_2/\beta$)	物种1不能抑制物种2 ($K_1 < K_2/\beta$)
物种2能抑制物种1 ($K_2 > K_1/\alpha$)	两物种都有可能得胜 (结果③)	物种2总是得胜 (结果②)
物种2不能抑制物种1 ($K_2 < K_1/\alpha$)	物种1总是得胜 (结果①)	两物种都不能抑制对方 (结果④ 稳定平衡)

(2) 捕食

捕食指所有前一营养级的生物取食和伤害后一营养级的生物的种间关系。捕食者与猎物之间的关系，是经过长期共同进化而建立起来的。在一个较稳定的生态系统中，捕食者与猎物之间长期相互作用的结果，必然趋向于一种相对平衡状态。广义的捕食包括：

① 传统捕食，指肉食动物吃草食动物或其他肉食动物。

② 植食，指动物取食绿色植物营养体、种子和果实。

③ 拟寄生，指昆虫界的寄生现象，寄生昆虫常常把卵产在其他昆虫（寄主）体内，待卵孵化为幼虫以后便以寄主的组织为食，直到寄主死亡为止。

④ 同种相残，这是捕食的一种特殊形式，即捕食者和猎物均属同一物种。

(3) 共生

共生是指两种不同生物之间所形成的紧密互利关系。共生包括偏利共生、原始合作和互利共生。

① 偏利共生指共生的两种植物，一方得利，而对另一方无害。依据共生的时间长短可分为长期性偏利共生和暂时性偏利共生。

③ 原始合作指两个生物种群生活在一起，彼此都有所得，但两者之间不存在依赖关系。

③ 互利共生指两个生物种群生活在一起，相互依赖，互相得益。共生的结果使得两个种群都发展得更好，互利共生常出现在生活需要不相同的生物之间。互利共生可分为兼性互利共生和专性互利共生。

4. 寄 生

寄生是指一种生物体依附在另一生物体中以求供给养料、提供保护或进行繁衍等而得以生存的现象。寄生是异种生物交互作用的一种形式。交互作用的一方得益（寄生物），另一方受害（寄主或称宿主），但通常不置受害者于死地，这是与捕食现象不同之处。

(5) 他感作用

他感作用是一种植物通过向体外分泌代谢过程中的化学物质，对其他植物产生直接或间接的影响。这种作用是种间关系的一部分，是生存竞争的一种特殊形式，种内关系也有此现象。

3. 种群调节

(1) 种群调节的概念

种群调节是指当种群数量偏离平衡水平上升或下降时，有一种使种群数量返回平衡水平的作用。种群调节使得种群数量总是围绕或趋向于某一平衡水平波动，能够保持种群数量的相对稳定性，这对避免种群灭绝具有重要意义。

(2) 种群调节的机制

影响种群数量的因素有很多，依据种群数量变动与种群密度的关系，可将这些因素划分为密度制约因素和非密度制约因素，对种群的调节作用分别为密度制约作用和非密度制约作用。

① 密度制约作用

密度制约因素的作用随着种群密度的变化而变化。包括生物间的各种生物相互作用，如捕食、竞争以及动物社会行为等。这种调节作用不改变环境容量，通常随密度逐渐接近上限而加强。例如，当种群数量的增长超过环境的负载能力时，密度制约因素对种群的作用增强，使死亡率增加，而把种群数量压到满载量以下。当种群数量在负载能力以下时，密度制约因素作用减弱，而使种群数量增长。

② 非密度制约作用

非密度制约因素的作用与种群密度无关。主要包括光照、温度、降水量等气候因素。这种调节作用是通过环境的变动而影响环境容量，从而达到调节作用。例如，我国历史上屡有记载的蝗灾是由于干旱气候引起的。

(3) 种群调节机制假说

① 气候学派

气候学派多以昆虫为研究对象，认为种群参数受天气条件的强烈影响。

② 生物学派

生物学派主张捕食、寄生、竞争等生物过程对种群调节起决定作用。

③ 食物因素

强调食物因素的学者也可归入生物学派，认为就大多数脊椎动物而言，食物短缺是最重要的限制因子。

④ 自动调节学说

认为种群密度的变化影响了种内成员，使出生率、死亡率等种群参数变化。主张把种群调节看成是物种的一种适应性反应，它经自然选择，带来进化上的利益。自动调节学说又分为行为调节、内分泌调节和遗传调节等。

a. 行为调节

领域性和社会等级都使种内个体间消耗能量的格斗减到最小，使空间、资源、繁殖场所在种群内得到最有利于物种整体的分配，并限制了环境中的动物数量，使食物资源不至于消耗殆尽。

b. 内分泌调节

当种群数量上升时，种内个体经受的种群压力增加，加强了对中枢神经系统的刺激，影响了脑垂体和肾上腺的功能，以及促生殖激素分泌减少和促肾上腺皮质激素增加。促生殖激素分泌减少和促肾上腺皮质激素增加最终会导致种群出生率低、死亡率高，种群数量下降。这样，种群增长因上述生理反馈机制而得到抑制或停止，从而又降低了种群压力。

c. 遗传调节

当种群密度增高时，自然压力松弛下来，结果是种群内变异性增加，许多遗传型较差的个体存活下来，当条件回到正常时候，这些低质的个体由于自然选择的压力增加而被淘汰，于是降低了种群内部的变异性。

四、种群的进化与适应

1. 自然选择与人工选择

种群的进化是选择的结果。选择可分为自然选择和人工选择。

(1) 自然选择

自然选择起源于《物种起源》达尔文的自然选择学说，其主要内容有四点：过度繁殖，生存斗争（也叫生存竞争），遗传和变异，适者生存。自然选择的类型有 3 种：

① 定性选择

把种群中趋于极端变异的个体淘汰，保留那些中间类型的个体，使生物的类型更趋于稳定。

② 单向性选择

在群体中保存趋于某一极端的个体，而淘汰另一极端的个体，使生物类型朝着某一变异的方向发展。

③ 分裂性选择

把一个物种种群中极端变异的个体按不同方向保留下来，而中间常态型个体则大为减少，这样一个物种种群就可能分裂为不同的亚种。

(2) 人工选择

通过人工方法保存具有有利变异的个体和淘汰具有不利变异的个体，以改良生物的性状和培育新品种的过程，或者培养适合人类需要的生物品种或形状叫人工选择。人工选择包括两个方面：

① 淘汰对人没有利的变异；

② 保存对人有利的变异。

2. 物种的形成与消亡

(1) 物种形成

新物种的形成是种群进化的关键阶段。属于同一物种的不同生态类型，只有它们之间形成了生殖隔离，才产生新的物种。隔离可分为地理隔离和生殖隔离两种，地理隔离常常是生殖隔离的条件。

① 物种形成过程

根据地理物种形成说，物种形成过程大致分为 3 个步骤：

a. 地理隔离

通常是由于地理屏障引起的，将两个种群彼此隔离开，阻碍了种群间个体交换，从而使基

因交流受阻。

b. 独立进化

两个地理上和生殖上隔离的种群各自独立地进化，适应各自的特殊环境。

c. 生殖隔离机制的建立

生殖隔离机制的形成使基因交流已成为不可能，因而两个物种形成过程完成。

② 物种形成方式

a. 异域性物种形成

异域形成往往又可分为两类：一类是通过大范围的地理分割，分开的两个种群各自演化，形成生殖隔离机制，通常要经历很长时间才能形成两个物种；二是通过种群中少数个体从原种群分离出去，到达他地并经地理隔离和独立演化而成新种。

b. 邻域性物种形成

出现在地理分布区相邻的两个种群间的物种形成。

c. 同域性物种形成

在母种群分布区内部，由于生态位的分离，逐渐建立若干子群，子群间由于逐步建立的生殖隔离，形成基因库的分离而形成新种。

(2) 物种的灭亡

当种群长久处于不利条件下，或在人类过度捕猎，栖息地被破坏情况下，其种群数量会出现持久性下降，即种群衰落。种群密度有一个最低限度，种群密度过低时，使种群的异性个体不能正常相遇和繁殖，导致种群灭亡。

3. 生态对策

生态对策是指任何生物对某一特定的生态压力下，都有可能采用的有利于种生存和发展的对策。生态对策也叫生活史对策，按栖息地和生命参数的特点，生物可分成两类：r 对策和 K 对策。

(1) r 对策

r 对策是指生长在气候稳定、天灾频繁的栖息地（如寒带或干旱地区），多生态上不饱和的系统，密度影响小，竞争弱的生物的对策。

(2) K 对策

K 对策是指生长在气候稳定、天灾稀少的栖息地（如热带雨林），多生态上饱和的系统，种群密度很高，竞争激烈的生物的对策。

(3) r - K 连续体

①在进化过程中，从极端的 r 对策者到极端的 K 对策者之间，中间有很多过渡的类型，有的更接近 r 对策，有的更接近 K 对策，这是一个连续的谱系，可称为 r - K 连续体。

③ r - K 对策的概念已被应用于杂草、害虫和拟寄生生物，以说明这些生物的进化对策。

(4) 两个政策的对比

①K 对策生物虽然种间竞争能力较强，但 r 值低，遭受激烈变动和死亡后，返回平衡水平的时间长，容易走向灭绝，大熊猫、虎、豹等生物就属此类，在物种保护中尤应注意。

② r 对策生物虽然竞争能力弱，但 r 值高，易返回平衡点，灭绝的危险较少，同时，这类生物具有较强的扩散迁移能力。当种群密度大，生境恶化时，可以迁往其他环境，建立新的种群。两种对策的比较如表 3-1 所示。

表 3-2 r 选择与 K 选择结果（杨怀森，1992）

	r 选 择	K 选 择
适应气候	多变,不可预测,不确定	较稳定,可预测,比较确定
死亡情况	多灾难性的,随机的,非密度制约的	较有选择性,密度制约的
群体大小	随时间变化,无平衡点,通常处在环境的 K 值以下,属未饱和的生态系统,有生态真空,每年需要生物重新定居	随时间变化不大,平衡点处在或接近于环境的 K 值上下,属于饱和的生态系统,无须生物重新定居
种内和种间竞争	强弱不一,一般较弱	通常较激烈
选择有利的方面	种群迅速发展,提高最大增长率,繁殖早,体重小	种群发展缓慢,增强竞争能力,降低资源阈值,繁殖晚,体重大
生活史	短,通常不到一年	长,通常长于一年

4. 协同进化

一个物种的进化必然会改变作用与其他生物的选择压力，引起其他生物也发生变化，这些

变化反过来又会引起相关物种的进一步变化，这种相互适应、相互作用共同进化的关系即为系统进化。

第四章 群落生态

一、生物群落的概念与特征

1、生物群落的概念

定义：一定地段上多物种所组成的天然群聚，即群落。

定义 2：在特定空间或特定生境下，具有一定的生物种类组成及其与环境之间彼此影响、相互作用，具有一定的外貌结构并具特定功能的生物集合体。

对于群落单元的划分及群落的客观实体性，生态学界存在两派决然对立的观点，一派认为群落是客观存在的实体，是一个有组织的生物系统，像有机体与种群那样，被称为机体论观点；另一派认为群落并非自然界的实体，而是生态学家为了便于研究，从一个连续变化着的植被连续体中，人为确定的一组物种的集合，被称为个体论观点。

2、机体论的理论依据：

任何一个植物群落都要经历一个从先锋阶段到稳定阶段的成长过程：

群落中，有些种群具有强烈的依附性，只能在一定的群落中而不能在别的群落中生长；

它们和有机体一样具有明确的边界，而且与其他群落是间断的、可分的，独立存在的，可重复出现的，可以像物种那样进行分类。

3、个体论的理论依据：

群落的存在、组成及结构依赖于特定的生境与物种的选界性，但环境条件在空间与时间上都是不断变化的，由于环境变化而引起的群落的差异性连续的；

在自然界没有任何两个群落是相同或相互密切关联的，人们研究的群落单元是连续群落中的一个片段；

不连续的间断情况仅仅发生在不连续的生境上，如地形、母质和土壤条件的突然改变，在通常情况下，生境与群落都是连续的。

生态环境主要制约着生物群落的分布和群落特征。

4、生物群落的基本特征

(1) 物种组成：每个群落都是由一定的植物、动物和微生物种类组成的，群落的物种组

成 是区分不同群落的首要特征。

(2) 结构特征：任何一个群落只能分布在特定的地段和生境中, 不同群落的生境和分布范围不同。

(3) 动态特征：生物群落是生态系统中有生命的一部分, 每一个群落在时间上都有它发展变化的规律。

二、生物群落的种类组成与数量特征

1、种类组成

物种组成是决定群落性质最重要的因素, 也是鉴别不同群落类型的基本特征。

(1) 优势种与建群种

对群落的结构和群落环境的形成其主要作用的物种成为优势种, 通常个体数量大、投影盖度大、生物量高、体积较大及生活能力较强。

作层有各自的优势种, 其中优势层的优势种起着构建群落的作用, 即常称为建群种。

如果群落中的建群种只有一个, 则称该群落为“单建种群落”或“单优种群落”; 如果具有两个或两个以上同等重要的建群种, 就称该群落为“共优种群落”或“共建种群落” 热带雨林, 几乎全是共建神群落: 北方森林和草原, 则名为单建种群落。

(2) 亚优势种和伴生种

亚优势种个体数量与作用都次于优势种。任决定群落性质和控制群落环境方面而也起着一定作用。

伴生种为群落的常见物种, 它与优势种相伴存在, 但在决定群落性质和控制群落环境方面不起主要作用。

(3) 偶见种

偶见种是那些在群落中出现频率很低的物种。多半数量稀少, 可能是残遗种。

2、生物群落组成的数量特征

(1) 密度、多度、盖度

密度: 指单位面积或单位空间内的个体数。

一般对乔木、灌木和从生草本以植株成株从计数, 根茎植物以地上枝条计数。样地内某一物种的个体数占全部物种个体数之和的百分比称为相对密度或相对多度。

多度：表示一个群落内物种的丰富程度，所以也叫“丰富度”或“丰度”。一个种在群落中的个体数目或植物群落中植物种间的个体数量对比关系可以通过各个种的多度来确定。

多度的统计法通常有两种：一是个体的直接计算法，即“记名计算法”；另一是目测估计法，

一般对植物个体数量多而植物体形小的群落（如灌木、草本群落），或者在概略性的观察中，常用目测估计法；而对树木种类、或者在详细的群落研究中，就常用记名计算法。

多度的估计应注意以下原则：a. 多度的估计，可以在样地范围内进行，也可以不受样地的限制，以群落为整体作全面考虑；b. 多度是依物个体数量多少的相对概念；c. 只能在属于同一生活型的植物之间进行比较，不能将不同生活型的植物进行比较；d. 多度的目测估计，易出现误差，应进行校对。

盖度：指的是植物地上部分垂直投影面积占样地面积的百分比，即投影盖度。

盖基度指植物基部的覆盖面积。对于草原群落，常以离地面 2.54cm（英寸）高度的断面面积计算；对森林群落，则以树木胸高（1.3m 处）断面积计算。

盖度可分为分盖度（种盖度）、层盖度（种组盖度）和总盖度（群落盖度）。林业上常用郁闭度来表示林木层的盖度。群落中某一物种的分盖度占所有分盖度之和的百分比，即相对盖度。某一物种的盖度与盖度最大物种的盖度比称为盖度比。

（2）频度

定义：即某个物种在调查范围内出现的频率，常按包含该种个体的样方数占全部样方数的百分比来计算，即频度=某物种出现的样方数/样方总数 $\times 100\%$ 。

种群的频度不仅与密度有关，而且受到分布格局、个体大小的影响。还受到样方数目和大小的影响，一般是样方数目越多、面积小，所得结果比较真实地反映群落内种的个体的分布

物种从高到低分 A、B、C、D 和 E 五级。按饶基耶尔频度定律，在一个种类分布比较均匀一致的群落中，属于五级频度的种类物种数的关系是： $A > B > C > D > E$ 。

这个定律说明：在一个种类分布比较均匀一致的群落中，属于 A 级频度的种类通常是很多的，它们多于 B、C 和 D 频度级的种类；E 级植物是群落中的优势种和建群种，其数目也较大；群落的均匀性与 A 级和 E 级的大小成正比，E 级越高，群落的均匀性越大；若 B、C、D 级的比例增高时，说明群落中种的分布不均匀，暗示着植被分化和演替的趋势。

（3）优势度

定义：用以表示一个种在群落中的地位与作用，还涉及一些其它数量的特征如高度、质量和体积。

（4）重要值

定义：用来表示某个种在群落中的地位和作用的综合数量指标。

用重要值来确定乔木的优势度或显著度，计算公式如下：

重要值=相对密度+相对频度+相对优势度（相对基盖度）

上式用于草原群落时，相对优势度可用相对盖度代替：

重要值=相对密度+相对频度+相对盖度

相对密度=该种的密度/所有种的密度和 $\times 100\%$

相对频度=该种的频度/所有种的频度和 $\times 100\%$

相对盖度=该种的盖度/所有种的盖度和 $\times 100\%$

群落的物种多样性

定义：生物的多样化和变异性以及生境的生态复杂性。

生物多样性包括遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性 3 个层次。

通常物种多样性具有以下两方面含义：

种的数目或丰富度：指一个群落或生境中物种数目的多寡。

种的均匀度：指一个群落或生境中全部物种个体数目的分昭状况，它反映的是各物种个体数目分配的均匀程度。

多样性的测定：

丰富度指数：注意不能反映种的均匀性。

多样性指数：是丰富度和均匀性的综合指标。

种类数目，可增加多样性：同样，种类之间个体分配的均匀性增加也会使多样性提高。当 S 个物种每一种恰好只有一个个体时，信息量最大，当全部个体为一个物种时，则信息量最小，即多样性最小。

三、生物群落的结构特征

1、生活型

饶基耶尔将不同地区植物区系的生活型谱进行比较，归纳出四种植物气候区：①潮湿地带

的高位芽植物气候区：②中纬度的地面芽植物气候区（包括针叶林、落叶林与某些草原）：③热带和亚热带沙漠一年生植物气候区（包括地中海气候）：④寒带和高山的地上芽植物气候区。

饶基耶尔将地图上同一生活型的地点联合成线，称为等生活型线。

动物的生活型按其栖息活动地可分为水生动物、两栖动物、陆生动物、陆生地下动物和飞行动物等生活型。

2、空间结构（水平结构和垂直结构）

群落的结构特征包括：①水平结构：其中包括镶嵌性、复合性、群落交错区；垂直结构。

（1）镶嵌

定义：群落在水平方向上的不均匀配置，使群落在外形上表现为斑块相间，被称之为镶嵌性，也称为群落的二维结构。

群落内由于环境因子水平分布的差距，形成各种不同的小型生物组合叫小群落。

（2）群落交错区

定义：群落交错区是两个或多个群落或生态系统之间的过渡区域。

群落交错区往往包含两个或多个重叠群落中所有的物种及交错区本身所特有的物种，这是由于交错区环境条件比较复杂，能为不同类型的植物定居，从而为更多的动物提供食物营巢和隐蔽条件。

由于群落交错区生境条件的特殊性、异质性和不稳定性，使得毗邻群落的生物可能聚集在这一生境重叠的交错区域中，不但增大了交错区中物种的多样性和种群密度，而且增大了某些生物种的活动强度和生产力，这一现象称为边缘效应。

边缘效应是依托非边缘区产生的，因此非边缘区的大小决定着边缘效应的强弱，边缘区过小，边缘效应下降；边缘区过大就会失去边缘的意义，边缘效应也下降。边缘区也可能产生负效应，如农田中高秆和矮秆作物间作时，高秆作物的边缘效应明显，常增产；矮秆作物的边行常减产，出现负效应。

（3）成层现象

群落的垂直结构，主要指群落成层现象，成层结构是自然选择的结果，它显著提高了植物利用环境资源的能力。

3、群落的外貌和季相

群落的外貌是认识群落的基础，也是区分不同植被类型的主要标志。群落的外貌是群落之

间、群落与环境之间相互关系的反映。

决定群落外貌的因素有：①植物的生活型；②组成物种、优势种植物和优势种的多少对群落的外貌起决定性作用；③植物的季相；④植物的生活期，如一年生、二年生和多年生植物组成的群落外貌不同。

群落随着气候季节的交替，形成周期性变动，群落呈现不同的外貌，叫群落的季相。

4、影响群落结构的因素

影响生物群落结构的因素除了生活型外，还有：

亲代的扩散分布习性：同样是风布植物，在单株、疏林、密林的情况下，其扩散能力不相同；

空间异质性：由于成土母质、土壤质地和结构、水分条件的异质性导致动植物形成各自的水平分格局：

种间相互作用：植食动物明显地依赖于它所摄食的植物的分布，还受物种间互利共生、偏利共生、他感作用等影响：

干扰和竞争：由于干扰造成的入侵缺口，先入侵的物种常阻止后入侵的其他物种再入侵，当群落由于各种原因不断地形成新的缺口，那么群落整体就有更多的物种可以竞争或共存，造成群落结构的变化。（ps：中度干扰假说，即中等程度的干扰水平能维持高多样性）

四、生物群落的发生和演替

1、生物群落的发生过程

定义：植物群落的发生是指在一定地段上，植物群落从无到有的变化过程。

在裸地上，群落的发生过程有 4 个阶段：

入侵或迁移阶段：是指植物的繁殖体进入裸地的过程。

Ps：植物繁殖体迁移的延续性，决定于四个方面因素：可动性、传播因子、传播距离和地形条件。入侵是群落形成的首要条件，也是群落变化和演替的主要基础。

定居阶段：是指植物体到达新的地点后，开始发芽、生长和繁殖的过程。

Ps：开始进入新环境的物种，仅有少数能幸存下来，这些适应能力较强的植物称之为先锋植物。这种初步建立起来的群落，称为先锋植物群落。只有当一个个体在新的地点上能繁殖时，定居才算成功。

群聚阶段：是指植物发展成群的过程。此时植物的分布由随机性过渡到群聚性，群落由分散

阶段过渡到郁闭阶段。

竞争阶段：随着已定居的植物不断繁殖，种类数量的不断增加，密度加大，资源利用逐渐由不充分利用到出现了物种间的激烈竞争。

2、生物群落的发育

定义：群落发育是指一个群落从开始形成到被另一个群落代替的过程。

生物群落的发育过程一般可经过以下三个阶段：

发育初期：动荡是初期的总的特征，其表现为物种组成结构不稳定，个体数量变化大，群落物理结构不稳定，植物层次分化不明显，每一层的植物种类在不断变化；植物特有的植物一直在变动，群落特点不突出。

发育盛期：群落的物种组成结构已基本稳定，每种生物都能良好地生长发育；群落结构已经定型，表现出明显的自身特点，层次分化良好，空间异质性增加，每一层都有代表性的植物及动物；群落中植物的生活型组成及季节变化，均具有其自身典型的特点。

发育末期：郁闭度增加。通风透光性能减弱，使温度湿度改变；植物枯枝落叶加厚，影响到土壤温度和腐殖质的形成，则土壤物理性质发生变化；物种组成开始混杂，原来群落的结构和环境特点逐渐减弱。

通常要到下一个群落的发育生气，前一群落的特点才会完全消失，因此前一群落的末期和下一群落的初期交叉和逐步过渡，将群落演替的系列有机的联结在一起。

3、生物群落的演替

（1）演替的概念与特征

定义：随着时间的推移，生物群落内一些物种消失，另一物种侵入，群落组成及其环境向一定方向产生有顺序的发展变化，称为群落的演替。

演替是长期变化累积的结果，主要标志是群落在物种组成上发生质的变化。即优势种或全部物种的变化。即群落演替由一种类型转变为另一种类型的顺序过程，或者说在一定区域内一个群落被另一个群落所替代的过程。

群落演替包括以下几个特征：

群落演替是有一定方向、具有一定规律的，随时间而变化的有序过程，因而它往往是能预见的或可测的；

演替是生物和环境反复相互作用，发生在时间和空间上的不可逆变化，虽然物理环境在一定程度上决定着演替的类型、方向和速度，但演替是群落本身所控制的，正是群落的演替极大

地改变着物理环境；

演替是一个漫长的过程，但演替并不是一个无休止、永恒延续的过程，当群落演替到与环境处于平衡状态时，演替就不再进行，即以相对稳定的群落为发展顶点。

(2) 演替的基本类型

根据起始基质的性质不同可划分为原生演替和次生演替；

原生演替：是在未被生物占领过的区域，从没有种子或孢子体的状态，亦即在从未有过生物的原生裸地或水体开始的演替，又叫初级演替。（从岩石或裸地开始的原生演替又叫旱生原生演替，从河湾、湖底开始的原生演替又叫水生原生演替）

次生演替：是指在原有生物群落被破坏后的地段上进行的演替。（次生演替过程中若群落进一步破坏叫群落退化或逆行演替，若破坏后的群落在保护中不断恢复则叫群落复生。群落复生的条件是土壤基础和种子库）

按决定群落演替的主导因素可划分为群落发生演替，内因性演替和外因性演替 3 类：

群落发生演替：常见于原生或次生裸地，也叫群落发生过程。

内因性演替或称内因动态演替：是由于群落内不同物种之间的竞争、抑制或种类成分（主要是建群种）的生命活动所引起的群落演替—（ps：是群落演替的最基本和最普遍的形式）

外因性演替：是由于外界环境因素的作用所引起的群落演替。（其中包括由气候的变动所致的气候发生演替、由地貌变化所引起的地貌发生演替、起因于土壤的演变的土壤发生演替、由火的发生作为先导原因的火成演替和由人的生产及其他活动所导致直接影响植被而引起的人为发生演替）

按演替进程时间的长短可划分为快速演替、长期演替和世纪演替：

快速演替：旨在短时间内（几年或十几年）发生的演替，如很多次生演替的群落复生属快速演替。

长期演替：延续的时间较长，几十年或几百年，如木本植物群落的天然更新过程。

世纪演替：这种演替占有很长的地质时期，也就是植物群落的系统发育和系统发生，如原生演替属世纪演替。

按群落的代谢特征，演替可分为自养性演替和异养性演替。

自养性演替：大多数自然群落演替发展的初期和发展期，有机物增加。

异养性演替：群落中能量或有机物质减少，群落处于衰落期。

(3) 影响演替的主要因素

生物群落的演替是群落内部关系（包括种内和种间关系）与外界环境中各种生态因子综合作用的结果。其影响因素非常复杂，下面是影响群落演替的主要因素：

植物繁殖体的迁移、散布和动物的活动性是群落演替的先决条件；

群落内部环境的变化是演替的动力；

种内和种间关系是演替的催化剂；

外界环境条件的变化是诱因；

人类活动是重要的影响因素。

4、顶级群落

(1) 顶级群落的概念与特征

定义：群落演替系列最后达到稳定阶段，称为顶级，演替最终形成的稳定群落，叫做顶级群落。

顶级群落具有以下主要特征：

它是一个在系统内部和外部、生物与非生物环境之间达到平衡的稳定系统；

它的结构和物种组成已相对恒定；

有机物质的年生产量与群落的消耗量和输出量平衡，没有生产量的净积累；

若无外来干扰，可以自我延续地存在下去。

(2) 单元顶级与多元顶级学说

主要形成了 3 种演替顶级理论：单元顶极论、多元顶级论和顶级-格局假说。

单元顶级学说：认为在同一个气候区内，无论演替初期的条件多么不同，植被总是趋向于减轻极端情况而朝向顶级方向发展，从而使得生境适合于更多的生物生长。

Ps：无论水生型的生境，还是旱生型的生境，最终都趋向于中生型的生境，并均会发展成为一个相对稳定的气候顶级。单元顶极论认为在自然状态下，演替总是向前发展的。即进展演替，而不可能是后退的逆行演替。

亚顶级：是达到气候顶级以前的一个相当稳定的演替阶段。

偏途顶级：也称为转化顶级、分顶级或干扰顶级，是由一种强烈而频繁的干扰因素所引起的相对稳定的群落。

前顶级：也称先顶级。在一个特定的气候区域内，由于局部气候比较适宜而产生的较优越气候区的顶级。

超顶级：也称后顶级，在一个特定的气候区域内，由于局部气候条件较差（热、干燥）而产生的稳定群落。

多元顶级学说：认为如果一个群落在某种生境中基本稳定，能自行繁殖并结束它的演替进程，就可看作顶级群落。

Ps：在一个气候区内，群落演替的最终结果，不一定都汇集于一个共同的气候顶级终点。除了气候顶级之外，还可有土壤顶级、地形顶级、火烧顶级和动物顶级。

单元顶级学说与多元顶级学说的异同，

相同点：不论是单元顶级论还是多元顶级论，都承认顶级群落是经过单向变化而达到稳定状态的群落；而顶级群落在时间上的变化和空间上的分布，都是和生境相适应的。

不同点：a. 单元顶级论认为，只有气候才是演替的决定因素，其他因素都是第二位的，但可以阻止群落向气候顶级发展；多元顶级论则认为除气候以外的其他因素，也可以决定顶级的形成。b. 单元顶级论认为，在一个气候区内，所有群落都有趋同性的发展，最终形成气候顶级；而多元顶级论不认为所有群落最后都趋于一个顶级。

顶级-格局假说：在任何一个区域内，环境因子都是连续不断地变化的，随着环境梯度的变化，各种类型的顶级群落不是截然呈离散状态，而是连续变化的，因而形成连续的顶级类型，构成一个顶级群落连续变化的格局。

Ps：在这个格局中，分布最广泛且通常位于格局中心的顶级群落，叫作优势顶极，它是最能反映该地区气候特征的顶级群落，相当于单元顶级论的气候顶级。

（3）地带性与非地带性顶级

定义：把与地带性环境因素即大气候相适应的顶级称之为地带性顶级或主要顶级，如热带雨林群落、常绿阔叶林群落等；而非地带性因素如特殊的土壤或地形相适应的顶级称为非地带性顶级或附属顶级。如土壤过湿形成的沼泽、盐碱地上形成盐碱群落等。

5、演替实例

（1）早生演替系列

地衣群落阶段；

苔藓植物阶段；

草本植物阶段；

木本植物阶段。

(2) 水生演替系列

自由漂浮植物阶段（裸底阶段）；

沉水植物阶段；

浮叶根生植物阶段（浮水植物阶段）；

直立水生植物阶段（挺水植物阶段）；

湿生草本植物阶段；

木本植物阶段。

(3) 次生演替系列（以云杉被砍伐后，从采伐迹地开始的次生演替为例）

采伐迹地阶段；

先锋树种阶段（小叶树种阶段）；

阴生树种定居阶段（云杉定居阶段）；

阴生树种恢复阶段（云杉恢复阶段）。

五、生物群落的分类与分布

1、中国植物群落的分类系统

我国主要以群落本身的综合特征作为分类的依据•群落的种类组成、外貌和结构、地理分布、动态演替等特征及其生态环境在不同的等级中均作了相应的反映。

《中国植被》采用的主要分类单位为三级：植被型（高级单位）、群系（中级单位）和群丛（基本单位）。（ps：高级单位的分类依据侧重于外貌结构和生态地理特征，中级和中级以下的单位则侧重于种类组成。）

(1) 植被型、群系、群丛的概念

定义：凡建群种生活型（一级或二级）相同或相似，同时对水热条件的生态关系一致的植

物 群落联合为植被型，如寒温带针叶林、夏绿阔叶林等。

建群种生活型相近而且群落外貌相似的植被型联合为植被组型，如针叶林、阔叶林等。在植被型内根据优势层片或指示层片的差异可划分植被亚型，这种层片结构的差异一般是由于气候亚带的差异或一定的地貌、基质条件的差异而引起的。

凡是建群种或共建种相同的植物群落联合为群系，如大针茅群系等。

将建群种亲缘关系近似（同属或相近属）、生活型（三级和四级）近似或生境相近的群系联合为群系组，如落叶栎林、丛生禾草草原等。

在生态幅度比较宽的群系内，根据次优势层片及其反映的生境条件的差异而划分亚群系。凡是层片结构相同，各层片的优势种或共优种相同的植物群落联合为群丛，是植物群落分类的基本单位，如羊草+大针茅群丛等。

凡是结构层次相似，优势层片与次优势层片的优势种或共优种相同的植物群丛联合为群丛组。

（2）群丛的命名方法

群丛的命名，我国习惯于采用联名法，即将各个层中的建群种或优势种和生态指示种的学名按顺序排列，前而冠以 Ass. . 不同层之间的优势种以相连，如蒙古栎-胡子枝-羊胡子苔草群丛：

群丛组的命名方式与群丛相似，只是将同一群丛组中各个群丛间差异性最大的一层除去：

群系的命名依据是只取建群种的名称，如果该群系的优势种是两个以上，那么优势种中间用“+”连接；

群系以上高级单位不是以优势种来命名，一般均以群落外貌-生态学的方法，如针叶乔木 群落群系组、木本植被型等。

2、生物群落的主要类型与分布

（1）主要植被类型及其特点

定义：覆盖一个地区的植物群落的总称叫作植被，

森林：森林植被主要分布在湿润和半湿润气候地区。按地带性的气候特点和相适应的森林类型，可分为热带雨林、亚热带常绿阔叶林、温带落叶阔叶林和北方针叶林等。

热带雨林：主要分布于赤道及其两侧的湿润热带地区，是目前地球上面积最大、对维持人类生存环境其作用最大的森林生态系统，具有极为丰富的物种，层次结构也很复杂。分布区的气候特点是：高温、高湿、长夏无冬，年降雨量超过 2000mm，且分配均匀，无明显旱季。

常绿阔叶林：指分布在亚热带湿润气候条件下并以壳斗科、樟科、山茶科和木兰科等常绿阔叶树种为主组成的森林生态系统。它是亚热带大陆东岸湿润季风气候下的产物。分布区夏季炎热多雨，冬季少雨而寒冷，春秋温和，四季分明。年降雨量 1000~1500mm。冬季降水少但无明显旱季。

落叶阔叶林：分布于中纬度湿润地区。分布区的气候特点是：四季分明，夏季炎热多雨，冬季严寒，年降雨量 500~1000mm，且多集中于夏季，土壤肥沃。

北方针叶林：主要分布在北半球高纬度地区和高海拔地带。是仅次于热带雨林的第二大森林生态系统。分布区的气候特点是：夏季凉爽而冬季严寒。植物生长期短。年降雨量一般为 300~600mm，土壤有永冻层而不适于耕作，所以自然面貌保存较好。

草原：又分为干草原和湿草原（草甸草原）。干草原主要分布在温带、大陆性气候强、雨量较少的地区（年降雨量在 250~450mm，且多集中于夏季），湿草原主要分布在森林气候地区或高山上。

荒漠：指那些具有稀少的降水和强蒸发力而极端干旱的，强大陆性气候的地区或地段。其上植被通常十分稀疏。甚至无植被，土壤中含有可溶性盐类。其自然特征可概括为：干旱、风沙、盐碱、粗瘠和植被稀疏。

冻原：又译为苔原，是寒带植被的代表，苔藓和地衣很发达，分布在高纬度地带和高山树线以上。处于极不利的生态条件，冬季漫长而严寒，夏季短促而凉爽，植物生长仅 2~3 个月，离地面不远就是永冻层，森林绝迹。

沼泽：是一种湿生的植被类型，分布在土壤过湿、积水或有浅水层并常有泥炭的生境，以针叶林带、森林苔原带和苔原带分布最广，其中以针叶林带内发育最典型。我国的沼泽可分为木本沼泽、草本沼泽和苔原沼泽。

（2）生物群落地带性分布

在地球表面上，任何气候带或自然区，都分布有一定的植被类型，这些类型可呈现地带性分布，包括水平地带性分布和垂直地带性分布。

植被分布的水平地带性：指植被主要受当地热量和水分条件以及两者的组合状况的影响，引起植被沿纬度或干湿度成水平更替。

植被分布的垂直地带性：指植被随海拔的升高依次成带状分布，这种植被大致与山体的等高线平行，并有一定的垂直厚度，是山地植被的显著特征。

我国从东南到西北受海洋季风和湿气流的影响程度逐渐减弱，依次有湿润、半湿润（半干旱）和干旱的气候，相应的变化植被依次出现湿润森林区、半干旱草原区和干旱荒漠区 3 大植被区域。

第五章生态系统

一、生态系统的概述

1. 生态系统的概念

定义：在一定时间、空间范围内，生物与生存环境、生物与生物之间密切联系、相互作用，通过能量流动、物质循环、信息传递构成的具有一定结构的功能整体。

生态系统主要是功能上的单位，而不是生物学中分类学的单位，生态系统的同义词是生物地理群落（苏卡乔夫提出的概念）。

生态系统区别于一般系统的特点：

- ① 具有生命成分，生物群落是生态系统的核心；
- ② 具有空间结构，是实实在在的客观系统；
- ③ 是动态平衡系统；
- ④ 是开放系统。

2. 生态系统的组成

生态系统都是由生物群落和非生物环境两部分组成的，常常把这两大部分区分为 4 个基本组成成分，即非生物环境、生产者、消费者和分解者。其中生产者、消费者和分解者是生物群落的三大功能类型。

（1）生产者

定义：指能利用无机物制造有机物的自养生物，主要是绿色植物，也包括一些蓝藻、光合细菌及化能自养细菌。

（2）消费者

定义：指直接或间接利用绿色植物、有机物作为食物源的异养生物，主要是指动物和寄生性生物。

根据食性的不同或取食的先后可分为：

- ① 草食动物：也称素食者或一级消费者、初级消费者，直接以绿色植物为食。
- ② 肉食动物：也称肉食者，以草食动物或其它弱小动物为食，包括次级消费者和三级消费者等。
- ③ 寄生动物：寄生于其它动、植物体，靠吸取宿主营养为生。
- ④ 腐食动物：以腐烂的动、植物残体为食。

⑤ 杂食动物：既吃植物，也吃动物。

(3) 分解者

定义：指以动、植物残体和排泄物中的有机物质作为维持生命活动的食物源，并把复杂的有机物分解为简单的无机物归还环境，供生产者再度吸收利用，又称还原者，主要是细菌、点菌等微生物，也包括某些营腐生生活的原生动物。

(4) 非生物环境

定义：是生态系统中生物赖以生存的物质和能量的源泉及活动的场所，按其对生物的作用包括原料部分、代谢过程的媒介部分和基层部分。

3. 生态系统的功能

主要反映在生态系统的物质及能量流动和信息的传递上。能量转化和物质循环是生态系统的基本功能，信息传递在能鱼转化和物质循环中起调节作用；能量和信息依附于一定的物质形态，推动或调节物质运动，三者交织在一起，不可分割。有的还贯穿着价值流动，价值流动是依附于能量流、物质流和信息流的，反过来，能量流、物质流和信息流都受价值流的影响和调控。

① 能量流动：生态系统能量的根本来源是太阳，光合作用积累能量的过程为初级生产，由初级生产形成的产品是初级产品，这些初级产品被动物逐级取食，一些动、植物的废弃物则被微生物利用，大部分能量敬失到系统以外，只有一小部分储存在下一级生物体中。

② 物质循环：在能量的推动下，环境中的无机物质经光合作用形成生物有机体物质，并通过食物链而流动，最后被微生物还原为无机物质，归还环境，重新被吸收利用。生态系统中的物质主要来源于大气圈、水圈和岩石圈。

③ 信息传递：生态系统中的信息是指引起生物行为和生理变化的“信号”动、植物都有各自特殊的方式来感知外界的变化，以此来调节自己的行为。

自然生态系统的基本功能包括能量流、物质流和信息流；

农业生态系统的基本功能包括能量流、物质流、信息流和价值流。

二、生态系统的能量流动

生态系统的能量流动与生物生产密不可分，能量流动强调的是“流”主要是考虑能量流动过程中的变化；生物生产强调的是物质积累的过程，主要考虑能量流动过程中的积累。

定义：生态系统不断运转，生物有机体在能量代谢过程中，将能量、物质重新组合，形成新的生物产品（糖类、脂质和蛋白质等）的过程，称为生态系统生物生产。可分为初级生产和次级生产。

1. 生态系统中的初级生产

(1) 初级生产的基本概念

定义：指地球上的各种绿色植物通过光合作用将太阳辐射能以有机物的形式储存起来的过程。

初级生产是地球上一切能量流动之源泉，或者说，一切生态系统的能量流动是以初级生产为前提和基础的。因此，初级生产也常常称作第一性生产或植物性生产，

① 初级生产：是植物通过光合作用，吸收和固定光能，把无机物转化为有机物的生产过程。

PS：植物体干物质的 90%以上是通过光合作用形成的，所以植物的生产过程实质上是生态系统从环境中不断获得物质和能量：的过程。

② 生产量、生产率或生产力：生物同化环境中的物质和能量，形成有机物质的积案，这种由生物生产所积累的有机物质的数虽称为生产量。

生态系统中一定空间内的生物在一定时间内所生产的有机物质积累的速率称为生产率或生产力。

③ 生物量：泛指单位面积所有生物体的质虽，即是指单位面积内动物、植物等生命活体的总 质量(kg/m^2 ，以鲜重(湿重)或干重(DW)表示。

④ 现存量：单位面积(体积)内，某个时间存在着活的植物组织的总量，通常看成生物量的同义词。

⑤ 初级生产力：即初级生产速率，就是指在单位时间、单位面积内初级生产者生产的干物质 或积累的量。

⑥ 净初级生产力：指单位面积和时间内总生产力减去植物呼吸消耗量所剩下的数量。

(2) 地球上初级生产力的分布

地球上初级生产力的大小是决定地球人口(及动物)承载能力的重要依据。

陆地各生态系统的净初级生产力在 $0-3500\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 范围内，可以划分为 4 个级别：

① $2000-3000\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ：高标准生产力，属于温湿地带，尤其是多雨地区的森林、沼泽地、河流岸边的生态系统，以及在优异条件下处于演替过程中的森林，还有农业集约栽培的水稻田和甘蔗田：

② $1000-2000\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ：是陆地适宜气候条件下净初级生产力的标准值，也是世界上大多数相对稳定的森林的平均值，在其中水和温度不成为限制因子；

③ $250-1000/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ：干燥的疏林灌丛或矮林以及大部分草地：

④ $0-250\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 最低值，常分布在极端干燥和低温的地区。

地球上初级生产力的分布是不均匀的，其生产力分布有以下特点：

- ① 陆地比水域的初级生产力大，主要是水域缺乏营养物质导致生产力低；
- ② 陆地上的初级生产力有随纬度增加而逐渐降低的趋势；
- ③ 海洋中初级生产力有由河口湾向大陆架和大洋区逐渐降低的趋势；
- ④ 陆地上的初级生产力与年降水量呈正相关。

(3) 初级生产的生产效率

定义：指能量转化效率，即生物固定的能量与投入量之比。根据研究目的和能源种类的不同，分别用光能利用率、辅助能量产投比来表示初级生产的生产效率：

① 光能利用率：指单位地面上植物光合作用积累的有机物所含能量与同期照射在同地面上的日光能量的比率。

Ps：地球生物圈的光能利用率(占总辐射量)平均为 0.11%，陆地平均为 0.25%，海洋为 0.05%。农田一般不到 1%，集约化栽培农田可达 2% 左右，植物群落光能利用率一般是 1%。

② 辅助能量产投比：指每投入一个单位等辅助能 (kJ) 能产出多少能量的产品。

(4) 初级生产力的限制因素

① 环境条件：影响初级生产力的环境因素除了日光外，还有 3 个重要的物质因素（水、二氧化碳和营养物质）和 2 个重要的环境调节因素（温度和氧气）。

Ps：在全球范围内，决定陆地生态系统初级生产力的因素往往是日光、温度和降水量，但在局部地区，营养物质的供应状况往往决定着某些陆地生态系统的生产力：同陆地相比，海洋的生产力明显偏低，除了太阳辐射的限制外，另一个重要的限制因子是缺乏营养物质。

② 生物群落的内在因素：

a. 初级生产者：生态系统的初级生产力取决于初级生产者对太阳辐射能的利用能力；

b. 群落内物种的多样性：群落内物种数目越丰富，食物网越其杂，则生物与生物之间的物质交换越频繁，能量利用效率高而较充分，物质周转快，反过来会促进初级生产者的生产过程；

c. 初级生产量的分配状况：分配是生态系统中全部生物产品分给各个生物功能群、种群及个体的比例和形式，适应特定生产形式的分配形式能够促进生产的发展，反之则会阻碍生产。

d. 初级生产量的消费状况：消费不足会阻碍生产，制约生产力。

e. 群落中动物的影响：动物在相当大的程度上决定着生态系统的组成、初级生产力的水平以及初级生产量的分配方式。

③ 补加能源的利用：补加能源指除了太阳能之外的其他形式的辅助能，包括自然辅助能和人工辅助能。辅助能虽然不能被植物直接利用转化为化学能，但它能促进植物对太阳辐射能的利用效率，间接提高了初级生产力。

(5) 初级生产力的测定方法

测定初级生产力的方法很多，主要分为直接测定和间接测定。直接测定是测定初级生产者的生物量，间接测定是通过测定初级生产者的代谢活动的情况。

① 直接收获法：定期或一次性收获植物体的全部，包括地上、地下部和枯枝落叶、落花（果）等，然后称重。

② 黑白瓶法：测定水体中浮游植物的初级生产力常用此法。“白瓶”透光，能进行光合作用和呼吸作用，“黑瓶”不透光，无光合作用，而只有呼吸作用，通过计算光合作用和呼吸作用引起的 CO_2 含量大的变化，推算出浮游植物生产力的大小。

③ 二氧化碳测定法：利用二氧化碳红外气体分析仪，通过测定空气通过叶室后的二氧化碳浓度变化，测算光合强度，并估算生产力。

④ pH 测定法：通过测定水体中 pH 的变化，计算浮游植物光合作用和呼吸作用引起 CO_2 含量的变化，推算出生产力的大小。

⑤ 叶绿素测定法：根据叶绿素含量或叶绿体内与光合作用强度有关的生物活性物质的含量，估算初级生产力。

⑥ 同位素标记法：应用同位素 ^{14}C 测定植物对 CO_2 的吸收同化能力。

⑦ 原料消耗测定法：利用矿质营养的消耗来测定水体特别是海洋的初级生产力。

2. 生态系统中的次级生产

(1) 次级生产的过程

定义：指消费者和分解者利用初级生产所制造的物质和储存的能量进行新陈代谢，经过同化作用转化形成自身的物质和能量的过程。

初级生产是自养生物有机体生产和制造有机物的过程，而次级生产是异养生物有机体再利用、再加工有机物的过程。

(2) 次级生产的测定

- ① 按同化量和呼吸量估算生产量，即 $P=A-R$;
- ② 按摄入的能量扣除粪尿量估算同化量，即 $A=C-FU$;
- ③ 按个体增量估算生产量。

3. 生态系统中的分解作用

(1) 分解作用的意义

分解者分解有机物质的过程可分为两大类：有氧呼吸和厌氧呼吸。高等动物、多数原核生物进行有氧呼吸，在腐食者生物中，进行厌氧呼吸者也只是少部分。

分解有机物质的 3 个阶段是：

- ① 非生物和生物作用形成有机质颗粒腐屑；
- ② 微生物作用形成腐殖酸和产生可溶性有机物；
- ③ 腐殖质的缓慢矿化。

有机物分解，对整个生态系统产生了一系列重要的生态效应：

- ① 通过动、植物残体有机物质的分解，使营养物质得到再循环，微生物种群得到恢复和繁衍；
- ② 为碎屑食物链的各级生物提供了食物和物质基础；
- ③ 产生了有调控作用的“环境激素”，可能对生态系统中其他生物的生长产生重大影响；
- ④ 改造了地球表面的惰性物质。

(2) 分解过程及其影响因素

有机物的分解是许多生物（包括动物和微生物）的通力合作和非生物因素的理化作用过程。并不是一种“分解者”生物的特有过程。

- ① 环境因素：环境的光、温、水及氧气状况，环境中分解者所需元素及营养状况。
- ② 生物因素：生物的构成及生物群落内种间的相互作用等。

4. 生态系统中的能量流动

(1) 热力学定律

① 热力学第一定律：即能量守恒定律，其含义是：能量既不能消失，也不能凭空产生，它只能以严格的当量比例，由一种形式转化为另一种形式。

Ps：一个系统的任何状态变化，都伴随着吸热、放热或做功的能量转化，但系统的总能量并不增加或减少，是守恒的。

② 焦力学第二定律，又称为能量衰变定律或能量逸散定律，它是指生态系统中的能量在转换、流动过程中总存在衰变、逸散现象，即总有一部分能量要从浓缩的有效形态变为可稀释的不能利用的形态。

Ps：伴随着过程的进行，系统中有潜在做功能力的能，会分解为两个部分：有用能和热能。前者可继续做功，叫做自由能，通常占一小部分，但能具有更高的质量；后者无法再利用，而以低温热能形式散发于外围空间，往往占一大部分。

③ 十分之一定律：能量在食物链传递过程中，从一营养级到另营养级的能量转化中只有10%左右被下一营养级固定；90%被消耗掉主要是消费者采食时的选择浪费，以及用于呼吸和排泄等。

④ 耗散结构理论：生态系统是一个远离平衡态的开放系统，是一种耗散结构。所谓耗散结构，是指在远离平衡状态下，系统通过耗散劣质能，充优质能，排除熵，系统维持高自由能、低熵状态，从而保持有序，使系统出现的一种稳定有序结构。

(2) 食物链与食物网

生态系统中的能量流动，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能流的渠道。

定义：食物链是指在生态系统中生物之间通过吃与被吃关系联结起来的链索结构。生态系统内的多条食物链之间纵横交错、相互联结，从而构成网状结构，这就是所谓的“食物网”。

通常情况下，食物链长短是：海洋>森林>人类。

根据能流发端、生物成员取食方式及食性的不同，可将生态系统中的食物链分为：

① 捕食食物链：也称草牧食物链或活食食物链，是指由植物开始，到草食动物，再到肉食动物这样一条以活有机体为营养源的食物链。（自小到大、从弱到强）

② 腐食食物链：也叫残渣食物链、碎屑食物链或分解链，是以死亡的有机体（植物和动物）及其排泄物为营养源，通过腐烂、分解，将有机物质还原为无机物质。

③ 寄生食物链：以活的动、植物有机体为营养源，以寄生方式生存的食物链。

- ④ 混合食物链：构成食物链的各链节中，既有活食性生物成员，又有崩食性生物成员。

(3) 营养级与生态金字塔

定义：生物学上把具有相同营养方式和食性的生物同归为同一营养层次，并把食物链中的每一营养层次称为营养级。

能量在两营养级间传递时，通常损失为 90%，主要是：①不能利用；②未能利用（浪费）；③未能取食；④未能消化；⑤呼吸损耗。

受能量转化效率的制约，生态系统营养级的数目通常不会超过 3-5 个，能量沿着食物链的营养级逐渐流动时是不断减少的。

生态金字塔可用生态系统内各营养级的能量、生物个体数量、生物量来表示，分别称之为能量金字塔、数量金字塔和生物量金字塔。不能表现为倒金字塔形的是能量金字塔。

(4) 生态效率

定义：能量在食物链流动过程中，食物链上不同点上的能量转化比率关系，称为能量转化效率。在生态学上，一般将各类能量转化效率称为生态效率。

营养级之间的能量转化效率包括 4 种：

- ① 摄食效率（又称林德曼效率），该营养级摄食量与前一营养级摄食量之比；
- ② 同化效率：该营养级同化量与前一营养级同化量之比；
- ③ 生产效率：该营养级净生产量与前一营养级净生产量之比；
- ④ 利用效率（也即消费效率）：该营养级摄食量（或同化量）与前一营养级净生产量之比。

营养级之内的能量转化效率包括 4 种：

- ① 组织生长效率：净生产量与同化量之比；
- ② 生态生长效率（即生产效率）：净生产量与摄食量之比；
- ③ 同化效率：同化量与摄食量之比；
- ④ 维持价：净生产量与呼吸量之比。

三、生态系统的物质循环

1. 生物地球化学循环

(1) 概念

定义：是指各种化学元素和化合物. 在不同层次、不同大小的生态系统中. 沿着特定的途径从环境到生物体，再从生物体到环境，不断地进行着反复循环变化的过程。

① 生物地球化学循环的库：物质在循环过程中被暂时固定、储存的场所称为库。其中，容积较大，物质交换活动缓慢的库又称储存库，一般为非生物成分；而容积小，与外界物质交换活跃的库则称为交换库，一般为生物成分。

② 生物地球化学循环的速度：为了表征物质循环的快慢，常用用转率和用转期两个重要指标。周转率是指系统达到稳定状态后，某一组分中的物质在单位时间内所流出的量或流入的量占库存总量的分数值。周转期是库中物质全部更换平均需要的时间，也是周转率的倒数。物质的周转率用于生物库的更新称为更新库，

③ 生物地球化学循环的基本形式：物质的不断循环是实现物质流平衡的基础，生物地球化学循环根据物质循环的范围不同，可分为地球化学循环（地质大循环）和生物循环（生物小循环）两种基本形式。

地球化学循环是指化合物或元素经生物体的吸收作用，从环境进入生物有机体内，然后生物有机体以死亡体、残体或排泄物形式将物质或元素返回环境，经过五大自然圈循环后，再被生物利用的过程。地球化学循环的时间长，范围广，是闭合式的循环。

生物循环是指环境中的元素经生物体吸收，在生态系统中被相继利用，然后经过分解者的作用，再为生产者吸收、利用。生物循环的时间短，范围小，是开放式的循环。

（2）类型

根据物质循环的路径不同，从整个生物圈的观点出发，可分为气相型循环和沉积型循环两种类型。

① 气相型循环特点：储存库主要是大气圈和水圈，有气态化合物或分子，循环速度快，扩散形式，抗干扰强，属完全循环’

② 沉积型循环：储存库主要是岩石圈和土壤圈，无气态化合物或分子，循环速度慢，沉降、抬升、风化、溶解形式，抗干扰弱，属不完全循环。主要物质的生物地球化学循环

（1）碳循环（气相型循环）

碳是生物体重要组成部分，它是构成生物体质量（干重）的 49%。

① 碳循环的途径：一是陆地生物与大气之间的碳素交换；二是海洋生物与大气之间的碳素交换；三是化石燃料燃烧参与的碳循环。

② 碳循环的环境问题：大气温度（地球温度）因 CO₂ 增高而有所上升，形成所谓的“温室效应”。

（2）氮循环（气相型循环）

氮是组成氨基酸、蛋白质、核酸的主要成分，是构成生物有机体的重要元素之一。

① 氮循环的途径：一是生物固氮，主要是靠一些具有固氮酶的特殊微生物类群来完成；

二是高能固氮，又称大气固氮：三是工业固氮。

土壤中有相当数量的硝酸盐会被反硝化细菌（一些细菌、真菌和蓝细菌）所作用，其中的氮被还原为气态的氧化亚氮和分子氮而返回大气，这个过程叫作反硝化作用或脱氮作用。

对氮循环影响显著的是人为固氮量的不断增加和化石燃烧。

②氮循环的环境问题：水体富营养化，光化学烟雾，臭氧层破坏，硝酸盐、亚硝酸盐污染水体和食品。

氮离开生态系统的途径主要有燃烧、反硝化、流失、淋溶和挥发。

（3）磷循环（沉积型循环）

① 磷循环的途径：从岩石圈开始，磷酸盐岩石被风化和侵蚀后，将磷释放出来成为可溶性无机磷酸盐，并随水的流动从岩石圈转移到土壤圈、水圈，被植物吸收利用。植物吸收可溶性的磷酸盐后，经过一系列的生化反应过程转化成有机磷酸盐，进入食物链中进行循环，动物也直接摄取无机磷酸盐。一部分动、植物残体和动物的排泄物经微生物分解转化为可溶性磷酸盐，可再度被植物所利用。

Ps：磷循环是不完全的循环，它实质上是一个单向流失的过程。磷损失的主要途径是沉积。

②磷循环的环境问题：人类活动对磷循环的影响，主要表现为土壤供磷能力因有机质分解及取走收获物而逐渐下降；水体富营养化的发生与农田土壤的磷素流失有着密切的关系。

（4）水循环

① 全球水循环：地球上的水以液态、固态和气态 3 种状态存在，在太阳能、大气环流、洋流和热量交换的影响下，大气、海洋和陆地形成一个全球性水循环系统。

Ps：水的循环是稳定状态的完全循环。

②人类对水循环的影响：a. 改变地而及植被状况，而影响大气降水到达地面后的分配；b. 过度开发局部地区的地表水和地下水；c. 在干旱、半干旱地区大而积的植被破坏，导致地区性气候向干旱化方向发展，直到形成荒漠；d. 环境污染恶化水质，影响水循环的蒸发过程。

在与人类活动有关的水循环问题中，水资源短缺与水污染是最受关注的两个环境问题。

2. 有毒物质的富集

定义：有些有毒物质常被固定在生物有机高分子中，不易分解，一旦进入生态系统，便立即参与物质循环，在循环过程中性质稳定，不易降解或排除。在有机体内不断富集、浓缩。这种现象叫作生物富集作用。

食物链的富集作用也称为生物学放大作用，是指有毒物质（如 DDT 等）沿食物链各营养级传递时，在生物体内的残留浓度不断升高，越是上面的营养级，生物体内有毒物质的残留浓度越高的现象。

四、生态系统的发展与稳定

1. 生态系统的发展

生态系统从幼年期到成熟期的演替发育过程的主要特征是结构趋于复杂和有序，多样性增加，功能完善以及稳定性增加，具体地包括以下几个方面：

(1) 能量流动：幼年期的生态系统，总生产量/群落呼吸量大于 1，成熟稳定的生态系统则总生产量/群落呼吸量接近于 1，净生产量减小。

(2) 群落结构：在演替过程中，物种多样性趋于增加，均匀性趋于增加，物种多样性提高和营养结构的复杂化，是生物种间联系盘根错节、种间竞争激烈的反映，并由此导致生态位分化，物种的生活史复杂化，食物网复杂化。

(3) 营养物质循环：在生态系统的发展过程中，主要营养物质如氮、磷、钾、钙的生物地球化学循环，有向更加封闭发展的倾向。有机化合物多样性的增加，在生态系统发育中可能更重要。这不仅表现在生物量中有机化合物多样性的增加，并且表现为群落代谢过程中向环境中的水、空气、土壤排除的产物增加。

(4) 稳定性：生态系统任与环境因素之间进行物质和能量的交换过程中，同时也会不断受到外界环境的干扰和负影响。成熟期生态系统的稳态，主要表现在系统内部的生物之间、生物与物理环境之间的联系更加紧密，共生发达，保持营养物质的能力较强，对外界干扰的抵抗力增大，并具有较强的信息量和较低的熵值。此时，生态系统基本上处于自我维持的稳定状态。

生态系统演替发展过程中重要的结构和功能特征变化如下表：

项目	生态系统特征	发展期	成熟期
能量学	1.总生产量/群落呼吸量 2.总生产量/现存生物量 3.生物量/单位能流量 4.净生产量 5.食物链	自养演替 >1 ，异养演替 <1 高 低 高 直线状，以牧食链为主	接近 1 低 高 低 网状，以碎食链为主
群落结构	6.总有机物质 7.无机营养物质的储存 8.物种多样性：组分多样 9.物种多样性：均匀性 10.生化物质多样性 11.分层和空间异质性	较少 环境库 低 低 低 低	较多 生物库 高 高 高 高
生活史	12.生态位宽度 13.有机体大小 14.生活史	宽 小 短，简单	狭 大 长，复杂

营养物质循环	15.矿质营养循环 16.生物环境间交换 17.营养循环中碎屑的作用	开放 快 不重要	封闭 慢 重要
选择压力	18.增长型 19.生产	增长迅速 (r 选择) 量	反馈控制 (K 选择) 质
稳定性	20.内部共生 21.营养物质保存 22.稳定性 (对外部干扰的抵抗力) 23.熵值 24 信息量	不发达 不良 不良 高 低	发达 良好 良好 低 高

2. 生态系统的稳定性及其调节机制

生态系统的稳定包括结构上的稳定、功能上的稳定、能量与物质输入输出稳定。

(1) 生态系统稳定的条件

① 系统的多样性: 生境的多样性是生态系统稳定的基础, 生境多样性造就了生态系统的多样性. 多样化的生物成分与非生物环境形成错综复杂的网络关系, 从而增强生态系统的稳定性。

② 干扰: 中等程度的干扰水平能维持高多样性。

③ 生态系统演化阶段: 奥德姆关于生态系统随时间而演替的过程大致可分为三个阶段或状态:

a. 正过渡状态系统: 亦称增长生态系统, 是指该系统能量的输入超出输出, 总生产量超过总呼吸量。

b. 稳定状态系统: 亦称平衡系统, 即该系统输入和输出相等。

c. 负过渡状态系统: 亦称衰老系统, 即系统输出的物质和能量比输入的多, 以致库存量消耗的速率超过被补充的速率, 结果使该系统变小或不活跃。

④ 环境影响: 生物赖以生存的环境条件, 并不是一成不变的, 环境通过选择迫使生态系统向着其改变的方向发展和进化。

(2) 反馈调节

定义: 生态系统是一个具有稳定机制的自动控制系统, 它的稳定性是通过系统的反馈来实现的。当生态系统中某一成分发生变化时, 必然会引起其他成分出现一系列的相应变化, 这些变化最终又反过来影响起初发生变化的那个成分, 这个过程便称为反馈。

反馈有两种类型, 即负反馈和正反馈;

负反馈是比较常见的一种反馈，它的作用是使生态系统达到和保持平衡或稳态。其结果是抑制或减弱最初发生变化那个成分所发生的变化。正反馈的作用刚好与负反馈相反，即生态系统中某一成分的变化所引起的其他一系列变化，反过来不是抑制而是加速最初发生变化的成分所发生的变化。因此正反馈的作用常常使生态系统远离平衡状态或稳态，正反馈对生态系统往往具有极大的破坏作用，而且常常是爆发性的，所经历的时间也很短。但从长远看，生态系统中的负反馈和自我调节总是起着主要作用。

(3) 稳态机制

生态系统在长期进化中在不同组织层次上都形成了充分的稳态机制：

① 个体水平的生态适应机制：主要通过生理的和遗传的变化去适应环境的变化；

② 种群水平的反馈调节机制：种群数量变动是由矛盾着的两组过程（出生和死亡，迁入和迁出）相互作用决定的；

③ 群落水平的种间关系机制：在群落水平上，生物种间通过相互作用，调节彼此间的种群数量和对比关系，同时又受到共同的最大环境容量的制约；

④ 系统水平的自组织机制：在系统水平上，复杂的种群关系，生态位的分化，严格的食物链量比关系等，都对系统稳态有积极作用。

(4) 生态系统的控制论特点

① 无目标、非中心的自我控制：无独立的调控部件，是非中心的自我控制。主要通过各生物种相互联系使整个群落自发地向顶级方向发展。

② 多层次控制：自然生态系统总是由有垂直分离特性的层次构成，大系统套小系统，小系统套更小系统。在同一层次内，系统又由相互联系，但又彼此相气独立的组分构成，形成系统的水平分离特征。

③ 多元重复：指任生态系统中，有 1 个以上的组分具有完全相同或相近的功能。或者说在网络中处在相同或相近生态位上的多个组成成分，在外来干扰使其中 1 个或 2 个组分被破坏的情况下，另外 1 个或 2 个组分可以在功能上给予补偿，从而相对地保持系统输出稳定不变。

五、生态系统的主要类型

1. 生态系统的类型划分

根据生态系统的环境性质和形态特征来划分，可把生态系统分为水生生态系统和陆地生态系统两大类。水生生态系统根据水体的理化性质不同，又分为淡水生态系统和海洋生态系统；陆地生态系统根据植被类型和地貌不同，分为森林、草原、荒漠、冻原等类型。

按人类对生态系统的影响程度可分为以下三类：

① 自然生态系统：凡是未受人类干扰和扶持，在一定空间和范围内，依靠生物和环境本身的自我调节能力来维持性对稳定的生态系统；

② 半自然生态系统：介于自然生态系统和人工生态系统之间，在自然生态系统的基础上，通过人工对生态系统进行调甘管理，使其更好地为人类服务，又叫人工驯化生态系统：

③ 人工生态系统：技人类的需求，由人类设计制造建立起来，并受人类活动强烈干预的生态系统。

不同生态系统特点比较：

比较内容	自然生态系统	半自然生态系统	人工生态系统
组成	组成成分复杂	生物成员简化，生产力提高，抗逆性下降，环境被改造，更有利于部分生物成员	生物成员被按特定目的所筛选，环境要素为特定生物而设计
结构	自然结构	优化结构	装配结构
系统目的及功能	生态系统的稳定及繁荣	提供人类所需的产品	研究、产品、人类生活
主要能量来源	太阳能、自然辅助能	太阳能、辅助能	工业能
稳定性	稳定	亚稳定	不稳定
稳定机制	非中心式调控 自然信息调控 生物间相生相克，生物与环境相互适应	非中心式调控与中心式调控结合 自然调控 人工直接调控 社会经济间接调控	中心式调控 人工调控
开放程度	开放程度小	开放程度大	相对封闭

2. 典型的生态系统类型

(1) 森林生态系统

① 热带雨林生态系统：②常绿阔叶林生态系统：③落叶阔叶林生态系统：④北方针叶林生态系统。

(2) 草原生态系统

① 温带草原；②热带草原。

(3) 海洋生态系统（生物圈内面积最大、层次最厚）

① 海岸线：位于海洋和陆地交界处，是海洋最外圈的浅水带。

② 浅海带：位于水深 200m 以内的大陆架部分，约占海洋总面积的 7.5%。

③ 远洋带：位于水深 200m 以上的远洋海区，是海洋生态系统的主体，约占海洋总面积的 90%左右。

(4) 淡水水域生态系统

根据水的流速不同，可分为

① 流水生态系统：包括江、河、潭、泉、水渠等；

② 静水生态系统：包括湖泊、池塘、沼泽、水库等。

(5) 湿地生态系统（自然之肾）

定义：指不论其为天然或人工、长久或暂时的沼泽地、泥炭地或水域地带，带有或静止或流动，或淡水、半咸水或咸水水体者包括低潮时水深不超过 6m 的水域。

① 湖泊湿地：指陆地到开敞湖面的过渡带。

② 沼泽

③ 海滨湿地：主要有以热带或亚热带海滨盐生沼泽湿地为生境的红树林生态系统和以热带和温带海域的浅水海岸带为生境的海草生态系统。

(6) 荒漠生态系统

(7) 农田生态系统（半自然生态系统）

(8) 城市生态系统：主要有以下特点：一是以人为主体；二是开放度大；三是高能消耗，以大量燃料功能为特征。

第六章应用生态学

一、全球生态问题

1. 全球气候变化

温室气体中 CO₂ 的作用约占全部温室代体作用的 50% 以上，温室气体浓度的增加导致全球变暖与气候变化。

全球变暖对生态系统的影响：

① 在能量供求方面，气候的变化影响着能量的需求：

② 气候变暖的两个最严重的后果是北冰洋漂浮海冰和南极西部冰山融化；

③ 世界生物群落的分布主要取决于气候，尤其是温度和降雨：

④ 由于海洋沿岸和表层水温升高，造成海洋上升流减少，相应产生表层水体营养不足，可能造成沿海捕鱼量的急剧下降；

⑤ 全球变暖可能造成某些疾病发病率的升高；

⑥ 气候变暖将大大影响食物生产的分布和稳定性。

2. 资源问题（能源、淡水、生物、土地等）

① 能源问题：新能源的主要领域为太阳能、风能、海洋能、生物质能、地热能 and 氢能。

② 水资源问题

③ 生物资源问题

④ 土地资源退化问题：是指由于环境因素或人为因素干扰，致使土地生态系统的结构和功能失调，表现为土地生物生产能力逐渐下降的过程。

Ps：土地退化的形式主要有土壤侵蚀、土地沙化、土壤次生盐碱化、土壤污染，以及土壤肥力退化等。

3. 环境污染

定义：指人类直接、间接制造或所用物品的废弃物等排放到环境中，其数量超过了环境的自净能力，使环境的理化和生物学性状发生了有害的改变。

按环境库的种类将环境污染分为：

① 大气污染

② 水域污染：在自然条件下水体溶解元素的含量称为自然背景值，简称本底值。

③ 土壤污染

4. 人口问题（世界所面临的重大环境问题的中心问题）

人口问题是生态问题的根源，主要变现在：（20 世纪 60 年代出现全球性问题）

① 人口数量的急增

② 数量增长不平衡

③ 人口老龄化：年龄 65 岁以上人口占总人口的 7% 以上，或 60 岁以上人口占总人口的 10%

以上，即为“老年型人口国家二

④ 性别比例失调

⑤ 人口城市化

⑥ 人口健康状况下降：人体退化

二、可持续发展与生态农业

1. 可持续发展

定义：既满足当代人的需求，又不对后代人满足其自身需求的能力构成危害的发展。

可概括为以下几方面：

① 从自然属性定义可持续发展：即所谓“生态持续性”，主要指自然资源及其开发利用程度 的平衡：

② 从社会属性定义可持续发展：在生存不超出维持生态系统涵容能力的情况下，提高人类 的生活质量；

③ 从经济属性定义可持续发展：不降低环境质量和不破坏世界自然资源基础的经济发展：

④ 从科技属性定义可持续发展：从技术选择的角度扩展。

2. 生态农业

定义：在生态上能自我维持的、低输入的、经济上有生命力的，目标在于环境方面或伦理方 而、审美方面不产生大的、长远的及不可接受的、变化的小型农业系统。

生态农业必须具备的重要条件：

① 生态农业必须是自我维持（包括能是、营养元素等）的系统：

② 生态农业必须实行多种经营：

③ 生态农业的规模应该小一点：

④ 生态农业单位面积净产量必须是高的：

⑤ 生态农业在经济上必须是可行的；

⑥ 必须在农场就地加工农产并直接卖到消费者手里，以避免中间商从中分享利润：

⑦ 必须考虑有利于保护农村自然优美的景观，使人和畜禽能健康地生活。

中国生态农业的主要技术：

① 生物共生互惠以及立体布局技术；

② 物质与能星的良性循环与再生技术；

③ 资源的综合开发技术：

④ 有害生物的综合治理技术：

⑤ 水土流失的综合治理技术：

⑥ 农业环境保护和农业生产自净技术。