



普通高中教科书

生物学

选择性必修2

生物与环境



上海科技教育出版社

普通高中教科书

生物学

选择性必修 2

生物与环境



上海科技教育出版社

编写人员名单

主 编 张新时

执行主编 张可柱

分册主编 王宪国

编著者（以姓氏笔画为序）

杨洪晓 杨维国 张树锋 周生春

黄杨埔

审 读 王仁卿 李文军

致 同 学 们

2000 多年前，我国古代人民就已经认识到，人类的生产和生活要遵循天地自然之道，违反自然规律必将受到惩罚。《吕氏春秋》提出：“竭泽而渔，岂不获得，而明年无鱼；焚薮而田，岂不获得，而明年无兽。”

人类的工业化生产活动已经给环境带来了负面影响：温室气体大量排放导致全球气候变化，污染物不当排放造成环境污染，人类活动领域的不断扩张致使物种数量大幅减少，生物灭绝的速度不断加快。现在，同学们即将学习高中生物学选择性必修 2《生物与环境》。在本模块，我们将从更加宏观的角度，探索生物与生物之间、生物与环境之间的相互关系，以及人类与所处的生产和生活环境的关系。通过学习，同学们将了解种群和群落、生态系统、环境保护的相关内容，进一步理解生命活动的本质，提高对生命系统与环境关系的认识，树立人与自然和谐共生的观念，为形成生态意识、环保意识和践行绿色低碳生活方式奠定基础。因此，在学习本模块的基础上，结合生产和生活实际，同学们还应该深入思考怎样做才能更合理地利用生物资源，降低物质和能源的消耗，减少并合理处置废弃物，做到人与自然和谐相处。

希望同学们通过这一模块的学习、思考和探究，形成可持续发展的观念，牢记“绿水青山就是金山银山”的绿色发展理念，成为环境保护的践行者和宣传者，倡导从追求一维的经济增长或环境与自然保护，走向富裕、健康、文明三维一体的复合生态繁荣，为发展生态文明和建设绿色地球贡献自己的力量。

为了大家更好地学习，这一模块精心设立了如下栏目：

第一章 同种生物构成动态的种群



“方以类聚，物以群分。”火烈鸟羽色艳丽，姿态优雅，成千上万只火烈鸟结群而栖，远远望去，仿佛一簇簇流动的色彩，场面十分壮观。像火烈鸟一样，自然界中的任何生物个体都不可能长期孤立存在，只有在一定的群体内，彼此之间相互作用，成为一个统一的整体，才能生存和繁衍。生活在一定空间的同种生物全部个体组成的群体称为种群。种群是物种在自然界存在的基本单位。研究种群其动态，可以帮助人们更好地保护和利用有益生物，预防和控制有害生物，从而更好地为生产和生活服务。种群有哪些特征指标？这些特征与种群数量的变化有何关系？种群的数量变化有哪些规律？

章首页 精美的图片和富有深意的章引言，让同学们带着问题出发，逐步学习一章的主要内容；以时间轴形式呈现的科学史，一目了然地展现出与本章学习内容有关的重要科学发现。





课题研究

课题研究 通过一个探究实验、调查研究活动或者模型制作活动实现任务驱动，引领全章内容的学习。



探究活动

探究活动 通过实验探究、资料探究、社会考察、经典再现、模型建构、方案设计、观点碰撞等形式引领同学们针对特定的主题进行观察提问、实验设计、方案实施、分析讨论，逐步增强对自然现象和社会现实的好奇心与求知欲，掌握科学探究的基本思路和方法，培养主动学习与思考的品质。



阅读空间

阅读空间 提供一些趣味性的自主阅读资料，既与正文相呼应，又引领同学们将学习与生活实际密切联系。

思维训练

思维训练 通过模型建构、曲线解读等形式，认识事物，探讨、阐释生命现象及其规律，进一步发展科学思维。

学业检测

学业检测 每节正文之后，以核心素养为指向，围绕本节内容精心设计一组自评自测题，促进学习目标内化和巩固，便于同学们自我反馈、自我评价、主动发展。



学业要求

学业要求 聚焦生物学大概念，关注生物学学科核心素养，以表格的形式，简洁明了地将本章有关的课程标准内容要求和活动要求按一定逻辑呈现出来，有助于同学们将学习内容结构化联结，以提升本章内容学习水平。



视野拓展

视野拓展 包括时代亮点、历史长河、榜样人物、科学生活和绿色视野等，展现与本章内容有关的最新研究进展，回顾重大历史发现，介绍榜样人物的高贵品质，为同学们提供更多的学习意义启发。

第一章 同种生物构成动态的种群 2**课题研究——构建果蝇种群增长的数学模型**..... 3**第一节 种群具有鲜明的特征**..... 4

一、种群密度是种群最基本的数量特征 4

二、个体的出生、死亡和迁移影响种群密度 6

三、种群的年龄结构与性别比例影响种群密度 7

第二节 数学模型可表征种群数量变化规律..... 11

一、理想条件下种群可呈现 J 型增长 11

二、有限环境中种群呈 S 型增长 12

三、自然环境中种群增长是多型的 14

第三节 生物因素和非生物因素影响种群特征..... 17

一、生物因素影响种群特征 17

二、非生物因素影响种群特征 20

第二章 不同种群的生物形成动态的生物群落 26**课题研究——调查分析森林群落中某种鸟的生态位**..... 27**第一节 生物群落由不同的种群组成**..... 28

一、物种丰富度和均匀度可反映群落的物种多样性 28

二、优势种和建群种决定群落的外貌特征 30

第二节 群落具有可变的垂直结构和水平结构..... 33

一、群落具有垂直结构 33

二、群落具有水平结构 36

三、群落的特征可随时间而改变 37





第三节	群落演替是一个有序演变的过程	40
一、	初生演替是从原生裸地上开始的演替	40
二、	次生演替是从次生裸地上开始的演替	43
第四节	群落中的生物与群落环境相适应	46
一、	不同群落中的生物与其群落环境相适应	46
二、	同一群落中的不同生物具有各自的生态位	49

第三章 生态系统是具有一定结构和功能的 统一体

课题研究——	调查农田生态系统中的能量流动	57
第一节	生物群落与其无机环境形成生态系统	58
一、	生态系统由生物因素和非生物因素组成	58
二、	生态系统的组成成分紧密联系	59
第二节	食物链和食物网构成生态系统的营养结构	64
一、	生态系统的生物之间存在复杂的营养关系	64
二、	某些有害物质沿食物链而富集	66
第三节	能量在生物群落中单向流动并逐级递减	71
一、	能量沿食物链流动	71
二、	生态金字塔表征了营养级之间的数量关系	75
三、	能量流动规律可用于指导生产实践	76
第四节	物质在生物群落和无机环境之间循环	78
一、	生态系统中的物质可以循环利用	78
二、	物质循环具有不同路径	79
三、	利用物质循环规律可以提高资源的利用率	81
第五节	信息在生态系统中双向传递	84
一、	生态系统中的信息有多种类型	84
二、	信息通过传递发挥作用	87
三、	信息传递在生态系统中具有调节作用	88

第四章 生态系统通过自我调节形成稳态..... 94

课题研究——生态瓶中生态系统稳定性的研究..... 95

第一节 生态系统能保持或恢复自身的结构和功能..... 96

- 一、生态系统具有一定的稳定性 96
- 二、生态系统的稳定性受多种因素影响 98

第二节 生态系统通过反馈实现自我调节..... 102

- 一、生态系统自我调节的机制是反馈 102
- 二、科学的措施可提高生态系统的稳定性 103

**第五章 保护环境是人类生存和可持续发展的
必要条件** 110

课题研究——调查当地的主要环境问题..... 111

第一节 人口增长对环境造成压力..... 112

- 一、人口增长有自身的规律 112
- 二、人口增长使自然资源面临巨大压力 113

第二节 人类活动对环境产生重大影响..... 120

- 一、温室效应对全球气候造成影响 120
- 二、氯氟烃造成臭氧层破坏 122
- 三、废弃物不当排放导致环境污染 124

第三节 生物多样性对生态系统稳定性具有重要意义..... 128

- 一、生物多样性具有多方面的意义 128
- 二、保护生物多样性需要全社会的共同努力 130

第四节 生态工程技术使人和自然环境均受益..... 135

- 一、生态工程设计依据生态学原理 135
- 二、生态工程设计利用系统工程的方法与技术
..... 137



第一章 同种生物构成动态的种群



“方以类聚，物以群分。”火烈鸟羽色艳丽，姿态优雅，成千上万只火烈鸟结群而栖，远远望去，仿佛一簇簇流动的色彩，场面十分壮观。像火烈鸟一样，自然界中的任何生物个体都不可能长期孤立存在，只有在一定的群体内，彼此之间相互作用，成为一个统一的整体，才能生存和繁衍。生活在一定空间的同种生物全部个体组成的群体称为种群。种群是物种在自然界存在的基本单位。研究种群及其动态，可以帮助人们更好地保护和利用生物资源，预防和控制有害生物，从而更好地为生产和生活服务。种群有哪些特征？这些特征与种群数量的变化有何关系？种群的数量变化有哪些规律？





课题研究

构建果蝇种群增长的数学模型

作为一种经典的模式生物，果蝇具有生活周期短、繁殖力强、容易计数等特点。果蝇不仅是遗传学研究常用的实验材料，也可用于生态学研究。尝试以果蝇为材料进行生态学实验，研究饲养条件下果蝇种群数量的变动规律。

提出问题

怎样构建果蝇种群数量变动的数学模型？

制订并实施研究计划

1. 怎样培养果蝇？

◆将腐烂的水果放入敞口的广口瓶，待收集到足够数量的果蝇后，用单层棉布封住瓶口备用。

◆选择不同容量的培养瓶（内含玉米培养基），将一定数量的雌雄果蝇转入培养瓶中，用棉塞封口后，在适宜的温度下培养。培养过程中注意控制湿度，防止瓶壁出现凝结水滴。

2. 怎样计数果蝇？

◆早期可通过目测直接计数。待果蝇数量增多后，先将果蝇转入麻醉瓶中麻醉，然后倒在白瓷板上逐个计数，每天定时计数一次，记入表格。

◆每次计数后，都将果蝇转入培养瓶继续培养。

3. 怎样构建数学模型？

◆绘制果蝇种群数量随时间变化的曲线。

◆尝试写出培养过程中果蝇数量与培养时间之间关系的数学表达式。

成果交流

1. 比较不同容量和不同初始数量的培养瓶中果蝇种群增长的数学模型，并尝试解释模型。

2. 展示果蝇培养过程中的观察日记、照片等，汇总并分析影响果蝇数量变动的因素。

3. 与果蝇常用于科学研究不同，家蝇既是一种世界性的害虫，同时又是极其重要的资源型昆虫。请从害虫防治和资源型生物利用两个方面谈谈如何调控家蝇种群。



图 1-1 果蝇

第一节 种群具有鲜明的特征



图 1-2 一个大象种群

英国生态学家埃尔顿(C. Elton)是种群生态学的奠基人。他在 1927 年出版的《动物生态学》一书中把研究的重心从单个生物转向种群,认为种群研究不仅有助于对生物进化问题的理解,也是解决许多实践问题的理论基础。种群由个体组成,但又不是个体的简单叠加,而是有组织有结构的群体,从个体到种群不只是量的变化,更是一个质的飞跃(图 1-2)。种群有哪些特征?研究种群特征可解决哪些实践问题?

一、种群密度是种群最基本的数量特征

研究种群的数量特征,首先要进行种群中个体数量的统计。每 100km^2 森林里梅花鹿可能仅有几头,而 1km^2 农田中的黑线仓鼠可多达数百只。单位面积或单位体积内种群个体的数目称为种群密度。种群密度是种群最基本的数量特征,也是研究种群动态的基础。

调查种群密度的方法有多种,最直接的统计方法是逐一计数。这种方法适用于分布范围小而个体较大的生物,例如,统计一个古村落中所有的国槐(图 1-3)。由于大多数生物种群的个体数量非常多,有些动物穴居(图 1-4)、隐藏或飞翔,逐一计数难度较大。研究者常通过随机取样,计数种群中部分个体,来估算整个种群的密度。样方法(quadrat method)和标记重捕法(mark-recapture method)就是种群密度调查中经常使用的估算方法。

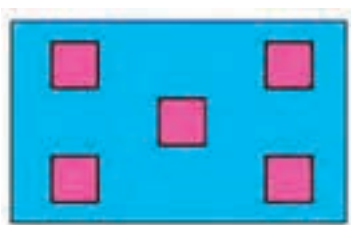
对于植物和活动能力不强、活动范围不大的动物,例如跳蝻、蜗牛等,可以采用样方法调查其种群密度。操作过程如下:在被调查种群的生活区域内,随机选取若干个大小、形状相同的样方,统计每个样方内的个体数,取所有样方的平均数作为该区域内某种群密度的估算值。常见的取样方法有五点取样法、等距离取样法等(图 1-5)。



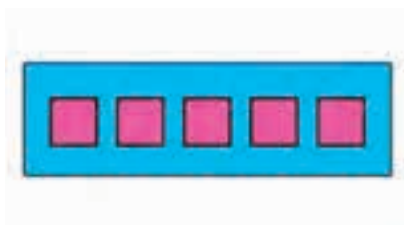
图 1-3 太行山大泉村的国槐



图 1-4 穴居的草原兔



五点取样法示意图



等距离取样法示意图

图 1-5 样方法的常见取样方法

对于活动能力较强、活动范围较大的动物种群，例如田鼠、喜鹊、鲤鱼等，通常采用标记重捕法估算其种群密度。标记重捕法是指在调查区域内，捕获一部分个体，将这些个体进行标记后再放回原来的环境，经过一段时间后进行重捕。根据重捕样本中有标记个体所占比例与种群总数中有标记个体比例相等的假设，估算该种群的密度。



实验探究

标记重捕法调查种群密度的模拟实验

黑线仓鼠多栖息于草原和耕地，体型肥硕粗短，头圆吻短，耳短圆且具白色毛边。黎明前、黄昏后活动频繁，啃食作物幼苗、种子，有大量储存食物的习性，给农业生产带来巨大损失。人们采用标记重捕法获取特定区域内黑线仓鼠的种群密度，能够为制定防治鼠害对策提供必要的依据。

目的要求

1. 通过模拟实验，体验用标记重捕法调查种群密度的方法。
2. 估算种群密度，分析标记重捕法产生误差的原因。

材料器具

黄豆、黑布袋、白瓷盘、彩色记号笔。

活动程序

1. 以黑布袋代表 1km^2 的某块农田，以黄豆代表栖息于其中的黑线仓鼠。
2. 根据标记重捕法原理及所提供的材料器具，设计模拟实验，估算 1km^2 农田中黑线仓鼠的种群密度。

注意：实验中要保证这些“黑线仓鼠”能够充分自由地在“栖息地内活动”，并保证实验有一定的重复次数。

3. 将估算结果与实际数值进行比较。

表 1-1 标记重捕法模拟实验数据记录表

实验序号	标记数量 M	重捕个体数 n	重捕中的标记数 m	估算的“栖息地”内个体总数 N

分析讨论

- 1. 写出表 1-1 中 M 、 N 、 m 、 n 之间的数学关系式。
- 2. 小组间比较，哪组的估算值更接近真实值？造成这种差异的原因是什么？
- 3. 标记重捕法的标记方法有多种，如对鸟类常用环志进行标记（图 1-6）。假如你是一位动物生态学家，请设计几种标记不同动物的方法，并讨论在给动物做标记时应注意哪些问题。



图 1-6 对鸟类用环志进行标记

自然状态下，不同种群的密度差异较大，同一种群在不同条件下密度也有差异，特定时间内的种群密度反映了生物与环境之间的相互关系。种群密度在一定程度上决定着环境中资源的利用情况、种群内部压力的大小以及种群的分布等。当种群密度适宜时，对种群内个体的生长发育最为有利，种群增长最快。

二、个体的出生、死亡和迁移影响种群密度

种群密度的变化能够直接反映种群的动态，其大小受出生率（natality）、死亡率（mortality）、迁入率（immigration rate）、迁出率（emigration rate）、年龄结构（age structure）、性别比例（sex ratio）等的影响。

在单位时间内，种群内新出生个体占种群个体总数的

比例，称为出生率。假定一个个体数量为 1000 的种群，一年内出生 200 个个体，这个种群的年出生率就是 20%。种群出生率的高低受多种因素影响，如性成熟速度、每次产仔（卵）数、每年生殖次数、繁殖年限的长短等。死亡率是指单位时间内死亡个体数占种群初始个体数的比例。导致生物死亡的原因很多，如饥饿、伤病、种内斗争、被捕食和自然灾害等。环境中的各种因素主要通过影响种群中个体的出生和死亡而对种群密度产生影响（图 1-7）。



图 1-7 出生率和死亡率的相互作用影响种群密度

自然界中许多生物种群存在迁移现象，当生物个体向某个种群迁入或从某个种群迁出时，种群密度会发生相应变化。对于一个确定的种群，单位时间内迁入或迁出的个体数占种群个体总数的比例，分别称为种群的迁入率和迁出率。迁入率和迁出率也是影响种群密度的直接因素。

三、种群的年龄结构与性别比例影响种群密度

种群由不同年龄的个体组成，各年龄段的个体在整个种群中都占有一定比例，从而形成种群的年龄结构，常用年龄锥体来表示（图 1-8）。不同生物的年龄可依据其生活史特点分别以年、月、周、日或小时计算，人的年龄是以年为单位计算的。

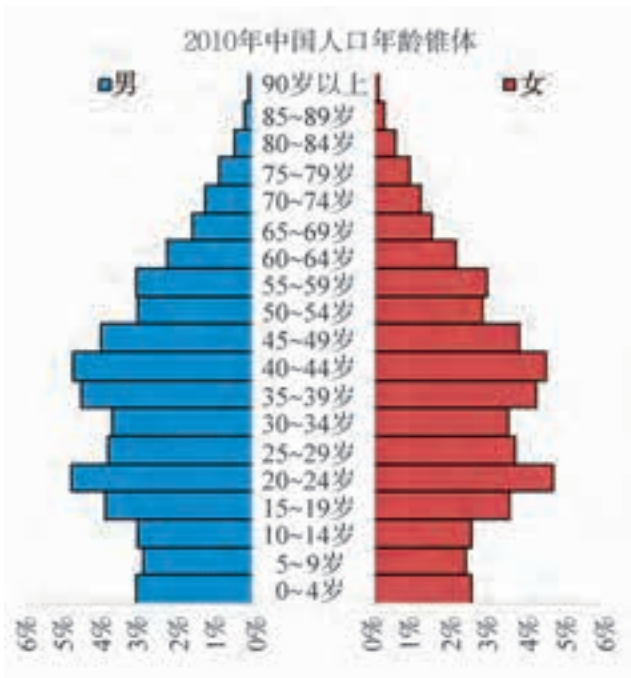


图 1-8 第六次全国人口普查年龄锥体

年龄结构含有种群未来数量动态的信息。动物的繁殖能力与其年龄有关，生物学家常常把动物的年龄分为繁殖前期、繁殖期和繁殖后期 3 个年龄组。根据不同年龄组的繁殖潜力及年龄锥体形状的特点，可将年龄结构划分成 3 种类型：增长型、稳定型和衰退型（图 1-9）。

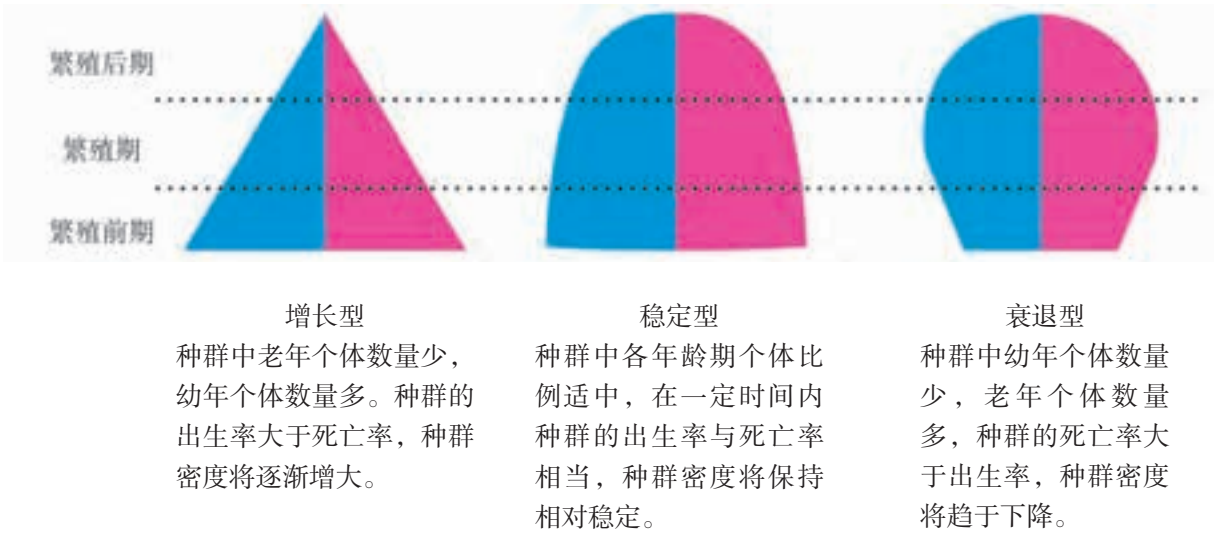


图 1-9 3 种类型年龄结构示意图

种群中雄性与雌性个体数的比例称为性别比例。不同生物种群的性别比例存在差异，同一生物种群的性别比例在不同时期也有差异。自然界中每个生物种群都有其特定的性别比例，偏离此比例则意味着部分个体不能参与生殖，使种群出生率下降，进而影响种群密度。在实际生产中，用性引诱剂大量诱杀害虫中的雄性个体，使许多雌性个体无法完成交尾，可以达到降低害虫种群密度的目的。

受各种因素的影响，生物种群的密度维持在大自然所赋予的“设定值”附近。这些因素有些是种群本身所固有的，如出生率和死亡率、迁入率和迁出率、年龄结构、性别比例等，有些则是外在因素，如温度等。综合分析这些因素，人们就可以预测某种生物种群数量的变化趋势。研究种群的特征及其影响因素，在合理利用生物资源、生物保护及病虫害防治等方面都具有重要意义。

阅读空间

种群的空间特征

种群的空间特征是指组成种群的个体在空间中的位置状态或布局。由于不同生物对环境差异所发生的反应不同，同时受气候和环境变化、生殖方式和社会行为等的影响，不同种群的空间分布状况差异较大。种群的空间分布大致可分为 3 类（图 1-10）：



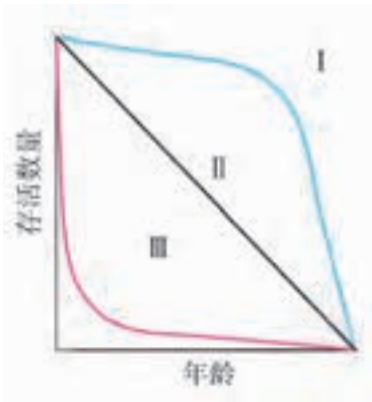
图 1-10 种群空间分布的 3 种常见类型示意图

学业检测

1. 牧民为确定某羊草种植区的放牧量，在一块长 100m、宽 50m 的草地内，随机设置了 5 个 1m×1m 的样方，对样方内出现的每一株羊草进行计数，结果见下表。

样方编号	样方面积（m ² ）	羊草数量（株）
1	1	123
2	1	135
3	1	89
4	1	120
5	1	101

- （1）这块草地内羊草数量的估算值是（ ）。
- A. 568 000 B. 113 600 C. 540 000 D. 675 000
- （2）有羊草恰巧分布在样方的边线或角上，该如何计数？
- （3）在同一块草地上，羊草的分布疏密不一，该如何确定样方位置及数量？



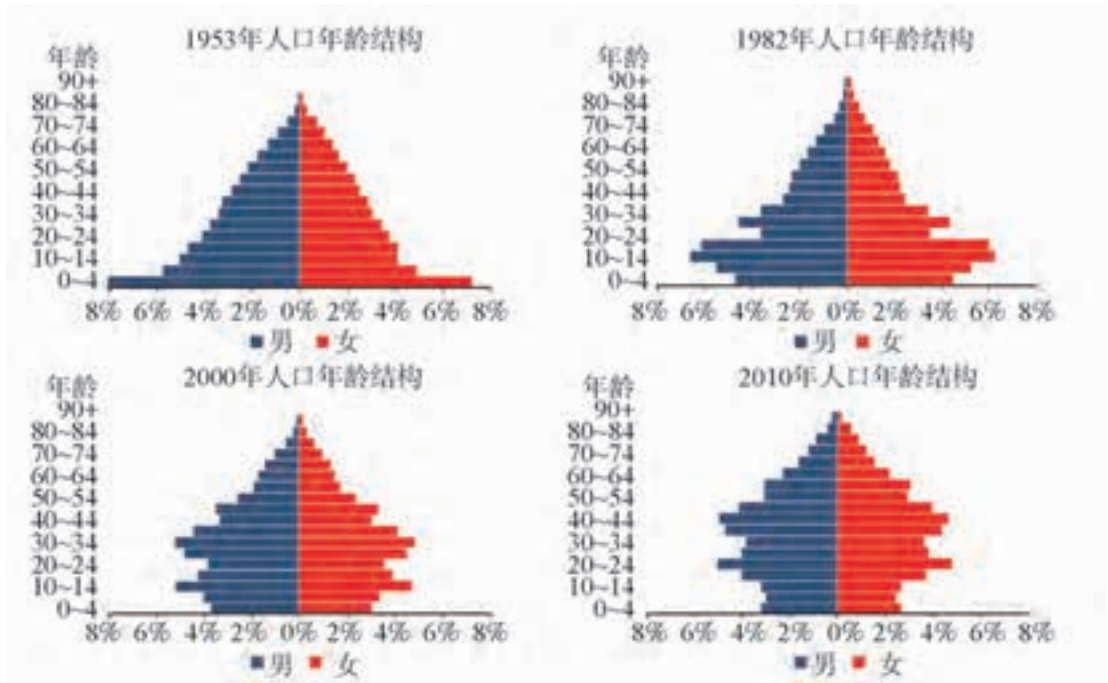
2. 对某种群中同时出生的一群个体进行跟踪记录，将存活数量随年龄的变化作图即得到种群的存活曲线。生态学家将种群的存活曲线分为 3 种类型（见左图）。

（1）I 型曲线的特点是种群在接近生理寿命前只有少数个体死亡，绝大多数个体都能达到生理寿命。请列举符合 I 型曲线的生物种群实例。

（2）尝试结合生物实例描述 II 型和 III 型曲线的特点。

（3）研究存活曲线在实践中有何意义？请举例说明。

3. 新中国成立后，我国相继进行过 6 次全国人口普查。下图是我国 1953 年、1982 年、2000 年和 2010 年 4 次人口普查所得年龄结构。仔细观察，思考下列问题：



1953 年、1982 年、2000 年和 2010 年中国的人口年龄结构

（1）4 次人口普查所得年龄结构分别属于哪种类型？查阅相关资料或请教专家，分析出现这种结果的主要原因。

（2）自 2016 年 1 月 1 日起，国家提倡一对夫妻生育两个子女。“普遍二孩”政策的实施是基于什么原因？

（3）实行“普遍二孩”政策将对经济、社会和家庭各层面产生深远影响。请选择其中一个方面进行探讨。

第二节 数学模型可表征种群数量变化规律

“竹外桃花三两枝，春江水暖鸭先知。”初春的池塘里，经常看到几只绿头鸭在水面上追逐嬉戏（图 1-11）。一对绿头鸭一般一年能繁殖 8 只雏鸭，假设这 8 只雏鸭雌雄各占一半，性成熟后继续按此速率繁殖后代，16 年后，这对绿头鸭的后代将会超过 3000 亿只！然而随着时间流逝，池塘水面上绿头鸭的数量并没有显著增加。自然界中生物种群的数量变化有何规律？这些规律的表现需要何种条件？在实践中有哪些应用？



图 1-11 绿头鸭

一、理想条件下种群可呈现 J 型增长

人们在研究生态学一般规律时，常常用到数学模型。建立动植物种群动态的数学模型，可以阐明种群数量变动的规律及调节机制，帮助人们理解各种生物因素和非生物因素是如何影响种群特征的。

大肠杆菌是单细胞原核生物，以二分裂方式繁殖，即一个亲代通过分裂直接形成两个子代，种群各个世代不相重叠。在条件适宜、营养物质丰富的环境中，大肠杆菌每 20min 即可繁殖一代。20min 后，一个大肠杆菌分裂为 2 个；再过 20min，2 个分裂为 4 个；再过 20min，4 个分裂为 8 个；即 2^0 、 2^1 、 2^2 、 2^3 ……依次类推（图 1-12）。一定数量（ N_0 ）的大肠杆菌繁殖 t 代后，种群的数量（ N_t ）可表示为：

$$N_t = N_0 \cdot 2^t$$

以时间为 x 轴，种群个体数量为 y 轴作图，大肠杆菌种群的增长曲线像字母“J”，称为 J 型曲线（图 1-13）。从图中可以看出，在曲线底部种群增长缓慢，但随着个体数量增大，种群增长越来越快。

自然条件下，生物进入一个资源丰富的栖息地时，在一定时间内能够发生类似的种群增长。如果没有限制，任何种群的增长都是 J 型的，持续 J 型增长将导致种群爆发。实际上，即使在实验室里以最佳条件培养大肠杆菌，J 型增长也不会持续下去。

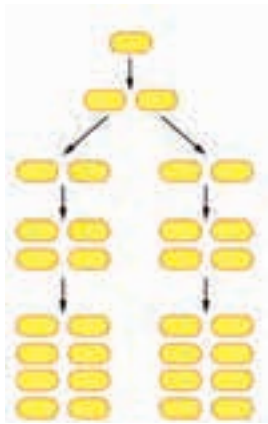


图 1-12 大肠杆菌通过二分裂增加个体数目示意图

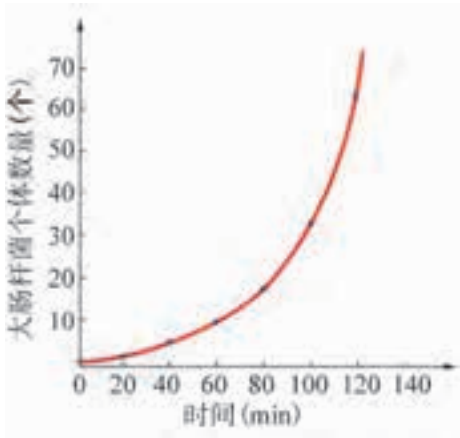


图 1-13 种群增长的 J 型曲线

二、有限环境中种群呈 S 型增长

环境毕竟是有限的，当种群内的个体增加到一定数量后，各种限制因素会对种群增长产生一定的阻力。因此，从长远来看，自然种群的增长并不符合 J 型增长。



实验探究

探究培养液中酵母种群数量的动态变化

制作果酒和面包等都需要酿酒酵母。酿酒酵母是兼性厌氧型单细胞真菌，繁殖旺盛时以出芽生殖方式为主。在含糖的液体培养基中，酿酒酵母繁殖很快，迅速形成一个封闭容器内的酵母种群。通过细胞计数可以测定容器内的酵母种群随时间而发生的数量变化。

目的要求

1. 探究酵母种群数量的变动规律，分析影响种群数量变动的因素。
2. 学会用血细胞计数板进行酵母细胞计数的操作方法。

材料器具

干酵母粉、葡萄糖、蒸馏水，显微镜、盖玻片、血细胞计数板（规格： 25×16 ），高压蒸汽灭菌锅，恒温箱，天平，滴管、量筒、试管、试管架、直尺，坐标纸。

活动程序

1. 配制质量分数为 2.5% 和 10% 的两种葡萄糖溶液，将葡萄糖溶液和接种、培养用具等灭菌。
2. 无菌条件下，取干酵母量 20 ~ 30 倍的 2.5% 葡萄糖溶液，将干酵母溶于其中，在 $33 \sim 35^{\circ}\text{C}$ 下培养 10h 左右，制成酵母菌液。
3. 无菌条件下，将 0.5mL 酵母菌液接种到盛有 40mL 10% 葡萄糖溶液的锥形瓶中，混合均匀。
4. 将锥形瓶放入 25°C 恒温箱中连续培养 7 天，每天定时取样 2 次并计数。
5. 将盖玻片放在血细胞计数板的计数室上，用滴管吸取培养液，滴于盖玻片边缘，让培养液自行渗入，待酵母细胞全部沉降到计数室底部后，用显微镜计数酵母细胞数量，再以此为依据，估算锥形瓶中的酵母细胞总数。

说明：血细胞计数板的平台较宽，中间被一短横槽分为两部分，各有一个方格网。方格网上刻有 9 个大方格，只有中间的一个大方格为计数室，这一大方格的长和宽各为 1mm，深度为 0.1mm，其容积为 0.1mm^3 。用 25×16 型血细胞计数板计数时，

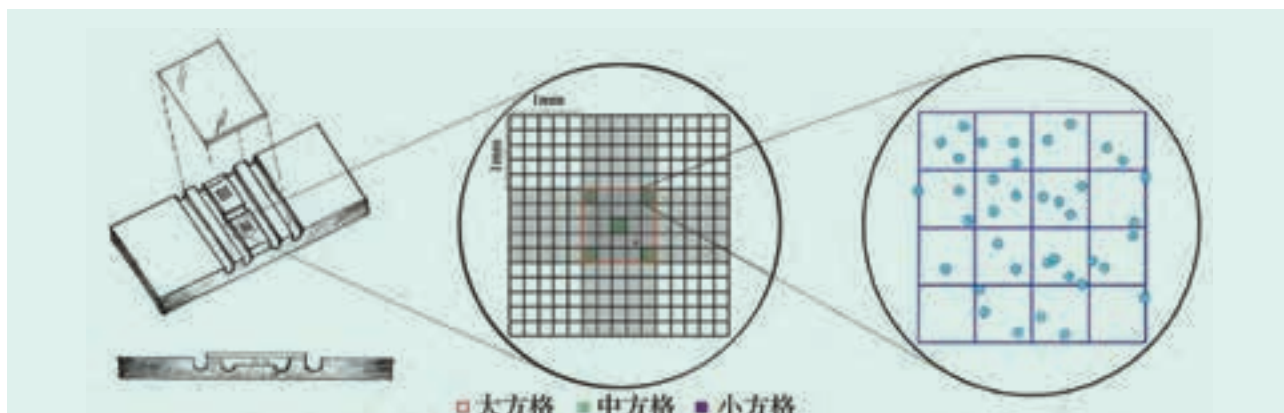


图 1-14 血细胞计数板（25×16 型）及计数室取样示意图

通常取计数室四角和中央共 5 个中方格进行计数（图 1-14）。计数重复 3 次，取平均值 A 。每毫升培养液中酵母细胞数量的计算公式为：

$$\text{酵母细胞数/mL} = \frac{A}{80} \times 400 \times 10^4 \times \text{稀释倍数}$$

或：

$$\text{酵母细胞数/mL} = \frac{A}{5} \times 25 \times 10^4 \times \text{稀释倍数}$$

分析讨论

1. 如果一个小方格内酵母很多，难以数清，如何操作才方便计数？
2. 以时间为横坐标，以酵母估算值为纵坐标，将所得数值用曲线在坐标纸上表示出来，描述酵母种群数量随时间变化的规律，并尝试解释实验结果。
3. 发酵工业中需要使微生物种群的个体数长时间保持在较高水平上，以提高生产效率。如何才能实现这一目的？

在一个有限的环境中，种群个体数量的增加将导致资源匮乏、代谢产物积累、种内斗争加剧、天敌增加等，这些环境阻力势必影响种群增长的速率，使种群增长曲线像一个倾斜伸展的字母“S”，称为 S 型曲线（图 1-15）。

S 型曲线可分为三段：（1）加速阶段，个体适应栖息环境后，种群增长的速率逐渐加快，这时种群的增长接近 J 型增长。（2）减速阶段，这时种群增长的速率逐渐变慢，虽然种群的个体数量仍在增加，但增速放缓。（3）平衡阶段，此时种群的出生率与死亡率相等，种群增长的速率降为 0，达到动态平衡。

S 型曲线的峰值可用 K 表示，这是环境所

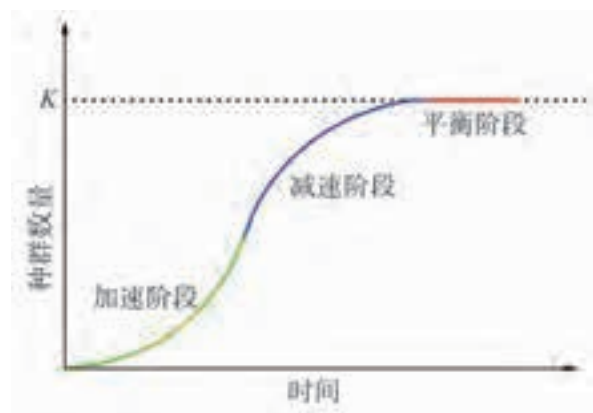


图 1-15 种群增长的 S 型曲线



图 1-16 陕西汉中保护区内的朱鹮

能承载的该种群的最大数量，称为环境容纳量。同一种生物的 K 值不是固定不变的。当生存环境遭受破坏时， K 值下降；当环境改善时， K 值上升。朱鹮是世界珍稀濒危鸟类之一（图 1-16），1981 年我国科学家在陕西汉中市洋县发现野生朱鹮种群时，仅有 7 只。森林采伐、湿地破坏、农药和化肥的使用、人为猎捕、天敌威胁等，使其栖息地缩小、食物减少，导致其 K 值下降，这是朱鹮成为濒危物种的重要原因。1983 年建立陕西汉中朱鹮自然保护区后，朱鹮获得更加广阔的生存空间和更好的栖息环境， K 值得以提高。截至 2018 年 1 月，国内朱鹮种群数量已增加到 2600 余只，其中野生及放飞朱鹮突破了 1800 只。

阅读空间

种群的内分泌调节学说

20 世纪中期，克里斯琴在某些啮齿类动物大发生后的数量急剧下降时期，对动物尸体进行了研究，结果没有发现大规模流行的病原体，但发现肝萎缩、脂肪沉积、肾上腺肥大、淋巴组织退化等共有特征。进一步研究发现，种群密度增大导致种群内部个体的心理压力增加，加强了对中枢神经系统的刺激，影响了垂体和肾上腺的功能，动物产生惊恐、紧张、母爱关怀少、生育能力下降、对疾病的抵抗力减弱等表现，最后大部分个体死亡。随后，人们对穴兔、雪兔、布氏田鼠等进行了自然条件下的野外试验，进一步证明了克里斯琴的观点。人们将这种通过内分泌系统调节种群密度的观点称为内分泌调节学说，也称为克里斯琴学说。

三、自然环境中种群增长是多型的

自然环境中，种群增长的 J 型和 S 型曲线均可见到，但不像数学模型所预测的那样光滑、典型。种群实际增长的变型是很多的，常常表现为两类增长方式之间的中间过渡类型（图 1-17）。

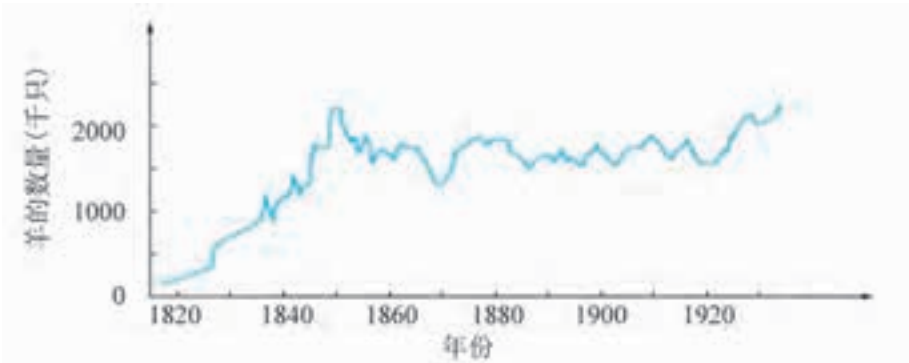


图 1-17 澳大利亚塔斯马尼亚岛上的绵羊种群动态

一种生物进入新的栖息地，经过适应环境、快速增长后，种群既可能出现不规则的或周期性的波动，也可能较长时间保持相对稳定。有些种群会出现大发生，随后种群数量急剧下降。有的种群则出现较长时间的数量下降，甚至灭亡（图 1-18）。

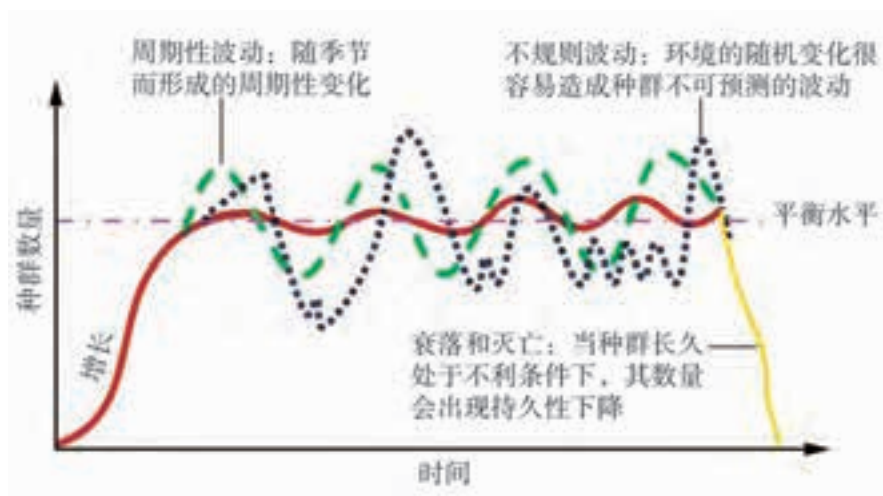


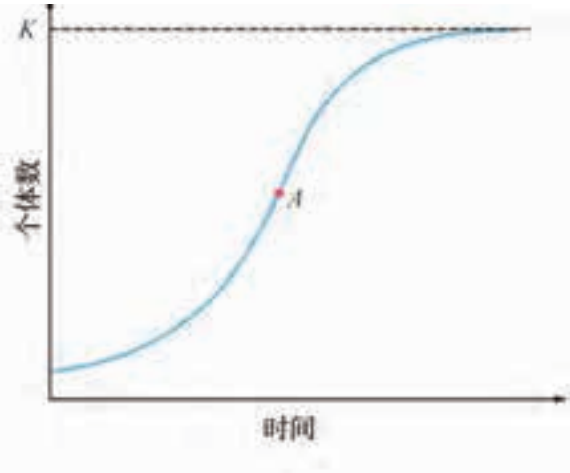
图 1-18 种群数量的几种动态变化

研究种群数量变化的规律，具有多方面的实际意义。例如，褐家鼠破坏作物、传播疾病，危害极大，人们常通过降低环境容纳量来控制其增长。在渔业生产中，人们总是希望捕到更多的鱼，但如果捕捞量长期过高，鱼类资源就会枯竭，甚至会导致大量鱼类种群的灭绝。我们应该确定合适的捕捞时间及捕捞量才能既不危及鱼类种群的持续发展，又能获得较高的渔业产量。

学业检测

1. 澳大利亚本来没有兔。1859 年，24 只欧洲野兔从英国被带到了澳大利亚。这里有茂盛的牧草和疏松的土壤，却没有鹰等野兔的天敌，野兔开始了几乎不受限制的快速繁殖。不到 100 年，野兔的数量达到 6 亿只以上，遍布整个澳洲大陆。

- (1) 100 年间，野兔种群增长的曲线大致属于哪种类型？
- (2) 欧洲野兔种群在澳大利亚疯狂增长，对当地生态系统会产生怎样的影响？
- (3) 为限制欧洲野兔种群数量的迅速增长，你认为应当采取哪些措施？



种群增长的 S 型曲线

2. 无论自然种群还是人工种群，个体数量在达到 $K/2$ 时（左图中的 A 点），种群数量急速上升，这一时期称指数生长期，A 点是影响种群数量的关键点。

（1）某同学在“探究培养液中酵母种群数量的动态变化”实验中，根据实验结果绘制的曲线与左图相似。你认为哪种说法与实际不符？（ ）

- A. 实验过程中酵母种群的年龄组成先是稳定型，后是增长型，最后变为衰退型
- B. 种群数量增长的速率在不同时间均不同
- C. 本实验中不存在对照
- D. 每次取样前应将培养液振荡摇匀

（2）据图分析：捕捞为何不能“竭泽而渔”？应如何确定捕捞量？

（3）种群的个体数超过 A 点后增长速率会变缓，请分析原因。

3. 金钱龟是我国珍稀淡水龟种，主要以蚯蚓为食，也捕食鱼、虾和昆虫。下表是连续 3 年对某池塘中金钱龟数量调查得到的数据。

金钱龟数量调查表

年份	有标记的数量	重捕的总量	重捕中有标记的数量	估计种群的总量
1	32	28	15	
2	25	21	11	
3	23	19	11	

（1）完善表中数据，画出 3 年来金钱龟种群数量变化的曲线（横轴表示年份，纵轴表示个体数量）。

（2）描述这 3 年研究过程中金钱龟的数量是如何变化的，尝试分析引起这种变化的可能原因。

第三节 生物因素和非生物因素影响种群特征

大熊猫鼎盛的时期是在 50 万 ~ 70 万年前，当时，大熊猫的栖息地覆盖了北起北京、南至缅甸南部和越南北部的广大地区（图 1-19）。在距今约 1.8 万年前的第四纪冰期之后，北方的大熊猫绝迹，南方的大熊猫分布区也骤然缩小。支离破碎的栖息地和孤立分布的生存状态，致使大熊猫濒临灭绝。我国采取包括立法在内的多项措施保护大熊猫。截至 2013 年底，全国野生大熊猫种群数量达 1864 只，圈养大熊猫种群数量达 375 只。大熊猫为什么会成为濒危物种？自然种群的动态变化受到哪些因素的影响？



图 1-19 大熊猫

一、生物因素影响种群特征

自然界中的任何一个物种都不是孤立存在的，总要与其他物种间发生这样或那样的联系，从而形成错综复杂的种间关系，主要包括捕食、竞争、寄生和共生。

物种之间最普遍的是捕食关系，即一种生物以另一种生物作为食物的现象。例如，猎豹以羚羊为食，猎豹称为捕食者，羚羊称为被捕食者。捕食关系对双方种群数量具有显著的影响。在美国的罗亚岛国家公园，狼是驼鹿唯一的天敌，驼鹿也是狼的唯一食物来源。20 世纪 50~90 年代，科学家持续调查岛上驼鹿和狼的数量，发现两者之间存在一定的关系：驼鹿数量增加时，狼群食物丰富，其种群密度随之上升；不断增加的狼大量捕食驼鹿，驼鹿的种群密度又开始下降（图 1-20）。食物链中某种生物的数量变动时，相关生物种群的数量也会随之发生变化，从而使该生物种群的数量又恢复至原来的水平。

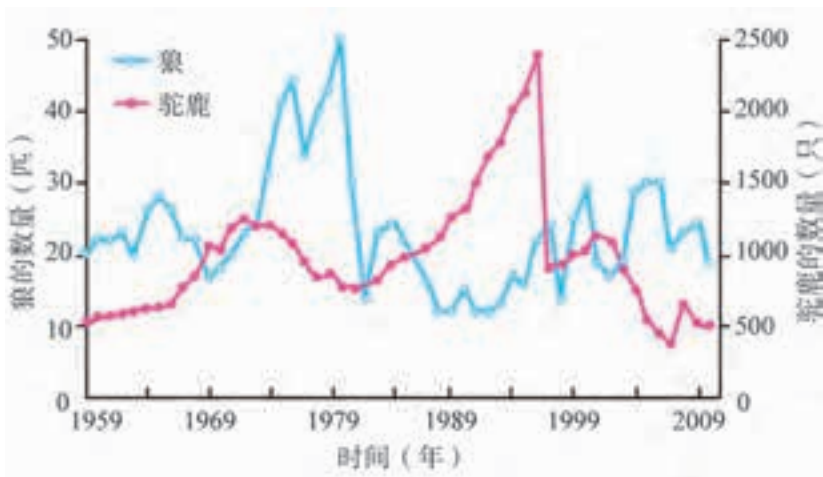


图 1-20 驼鹿和狼种群密度变化关系示意图



经典再现

竞争影响种群密度

1934—1935 年，苏联生态学家高斯（G. Gause）通过实验研究了 3 个不同种的草履虫的竞争问题。

草履虫是原生动物，生活在淡水中，以水里的细菌和有机碎屑为食，一般在池沼、小河中都可采到，常见种类有大草履虫、双小核草履虫和袋状草履虫。高斯在培养管中分别单独培养大草履虫、双小核草履虫和袋状草履虫，结果 3 种草履虫都按照 S 型曲线增长到最大值（图 1-21a）。

当高斯把双小核草履虫和大草履虫放在同一个培养管中培养时，一开始两者都有增长，16 天后，只有双小核草履虫生存下来，而大草履虫完全灭绝（图 1-21b）。研究发现，双小核草履虫生长速度是大草履虫的 6 倍，对有限资源的占有率更高。因此，高斯提出“竞争排斥理论”：两个物种竞争有限的资源，对资源占有率更高的物种将会排斥另一个物种。

高斯把大草履虫和袋状草履虫放在一起培养，他预期这两个物种也会竞争有限的食物，有一种会胜出。结果这种情况没有发生，反而两者都活了下来（图 1-21c）。

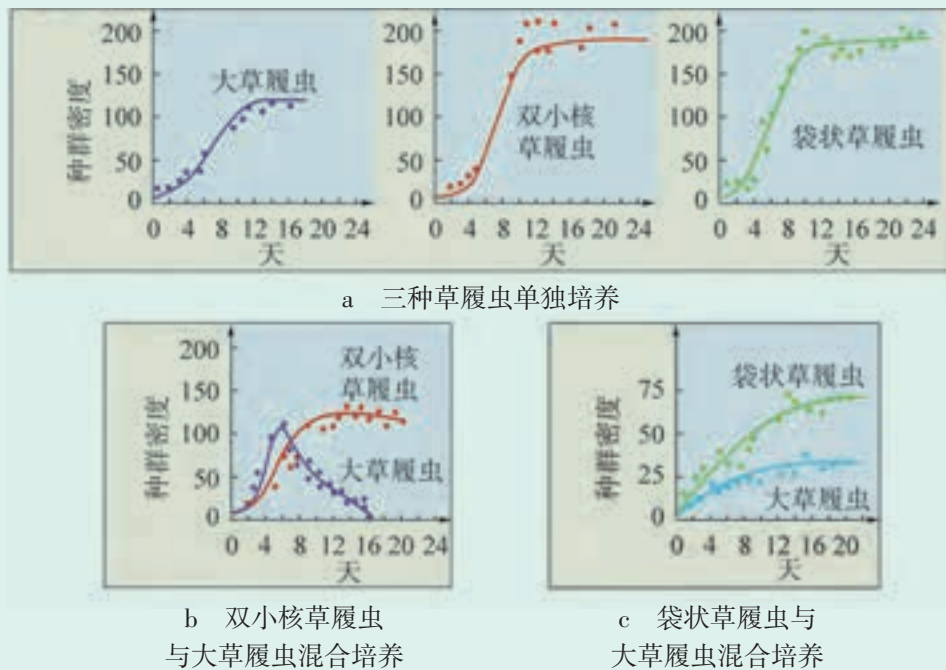


图 1-21 草履虫竞争实验结果

分析讨论

1. 对比 3 种草履虫单独和混合培养达到 K 值的时间及数量，得出什么结论？
2. 推测袋状草履虫和大草履虫混合培养时能够共存的原因。
3. 选择自然界中有竞争关系的两种生物，推测二者生活在一起可能出现的几种结果。

生活在同一地区的不同物种，如果具有相似的生存需求，就会发生竞争。竞争是指两种或两种以上的生物为争夺相同的有限空间和资源而直接或间接抑制对方的现象。存在竞争关系的生物之间通过不同的方式相互作用，进而影响双方种群的数量等特征。竞争的结果往往是一方取得优势，另一方受到抑制甚至被消灭。有时两种生物会共存，但栖息地、食性、活动时间或其他特征将发生改变。

一种生物（寄生物）寄居于另一种生物（寄主）的体内或体表，从而摄取寄主养分以维持生活的现象，称为寄生。寄生关系广泛存在于植物之间、动物之间和动植物之间，是影响种群数量的另一种因素。北美地区的雪兔具有 9~10 年的周期性数量变动规律，这种现象与寄生在雪兔体内的蠕虫（羊肝蛭、绦虫等）有关。随着雪兔种群密度的增大，蠕虫与雪兔的接触机会增多，引起蠕虫病的广泛传播，导致雪兔的死亡率上升，出生率下降。雪兔种群数量的下降减少了蠕虫与其接触的机会，于是蠕虫病逐渐减弱。此后，雪兔的死亡率下降，出生率上升，种群数量又开始增加（图 1-22）。

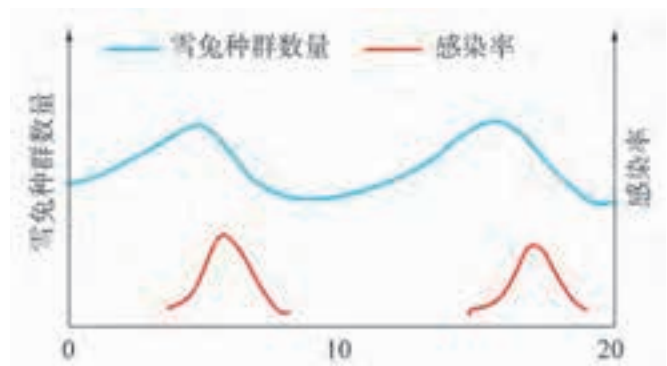


图 1-22 雪兔种群数量与蠕虫病感染率关系模型

寄生现象虽然从表面看对寄主是有害的，但可以将寄主种群数量控制在一定水平，对该物种的生存是有利的。同时，当寄主的种群数量保持在一个相对稳定的数值范围内时，寄生物的种群数量也相应地保持一个较为稳定的数值。

共生是指两种生物生活在一起，相互依赖，彼此有利；如果分开，则对一方或双方不利。地衣是一种单细胞藻类和一种真菌组合的有机体，真菌的菌丝缠绕并包围单细胞藻类，使二者密切融为一体（图 1-23）。真菌的菌丝吸收水和无机盐，藻类进行光合作用，它们彼此交换养料，互为补充，使地衣具有惊人的生命力，能够适应恶劣的环境。



图 1-23 地衣

如果把这两种生物分开，藻类虽可艰难存活，真菌则因无法获得有机养料而死亡。在共生关系中，两个物种之间的相互合作，各自均从对方取得利益。具有共生关系的两种生物，种群的数量动态表现为“一荣俱荣，一损俱损”。

捕食、竞争、寄生和共生是物种间相互作用的主要方式，这些作用往往同时存在，有时会相互影响。美国生态学家斯坦利（S. Stanley）的“收割理论”指出：捕食者往往捕食数量多的物种，这样就会避免出现一种或少数几种生物在生态系统中占绝对优势的局面，为其他物种的生存腾出空间。物种之间的相互关系对于整个生物界的生存和发展极为重要，把各个物种连接为复杂的生命之网，影响着整个生态系统的稳定性。

二、非生物因素影响种群特征

非生物因素可以通过影响种群内个体的生长、发育、生殖、迁移等影响种群密度，某些非生物因素能够限制种群的分布区域。

光对植物种群的分布起决定性作用。杨、柳、桦、槐等阳生植物适应于强光照地区，而人参、三七、半夏等阴生植物适应于弱光照地区，强光反而不利于其生长。水体对光线的吸收能力很强，海洋 100 米深处的光强仅为水表面的 1%，而且由于海水易于吸收波长较长的光，从而造成各水层的光谱差异。各种藻类对光强和光谱的要求不同，绿藻一般生活于水体表层，而红藻、褐藻则能利用蓝、绿等波长较短的光，可在水体较深处生活（图 1-24）。

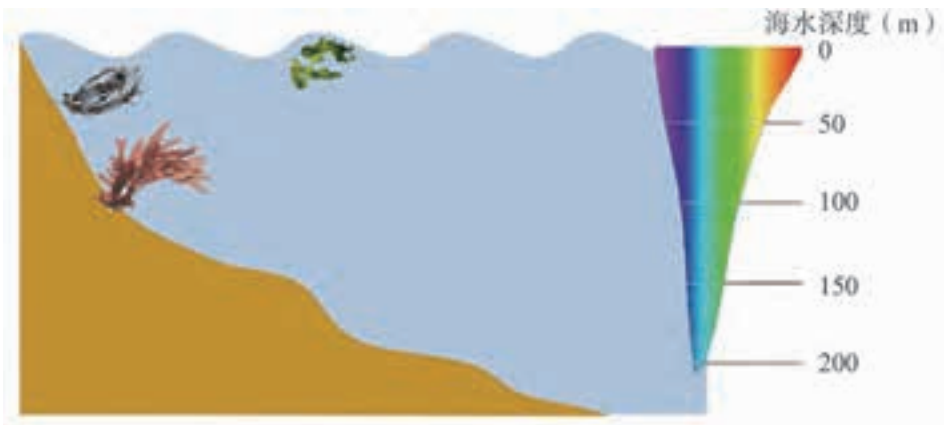


图 1-24 不同藻类生活的水体深度不同

生物体内的化学反应依赖酶的催化作用，酶促反应必须在一定的温度范围内才能正常进行。当环境温度过高或过低时，可能对生物个体及种群产生灾难性的影响。科学家曾跟踪研究过一个胡桃蚜种群，发现蚜虫种群数量的急剧下降与夏季持续高温有关（图 1-25）。温度还影响动物种群的性别比例。扬子鳄的性别是在孵化的第 7—21 天之间决定的。处于 30℃或以下温度的卵孵化出雌鳄，而处于 34℃以上则孵化出雄鳄。

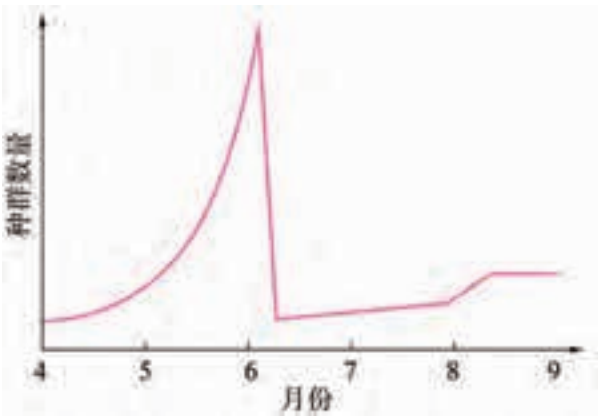


图 1-25 胡桃蚜种群数量的变化

水是影响陆生植物分布的重要因素。沙漠植物种群相对于草原或森林植物种群分布较为分散，这是因为沙漠植物的每个个体需要很大的空间以使根能够收集到足够的水。降雨量常常是昆虫数量消长的原因之一。在经常发生飞蝗的地区，雨季越提前对蝗虫的发生越不利，越推后对蝗虫的发生越有利，特别是在蝗虫卵发育后期和孵化期，雨量对其影响最大，直接决定蝗虫种群的盛衰（表 1-2）。

表 1-2 东营市 4—9 月降水量与飞蝗发生密度的关系

降水量 (mm) 年份	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	飞蝗平均密度 (只 /m ²)
1995	13.6	15.8	56.3	89.6	370.0	28.5	0.507
1996	41.4	14.4	42.8	91.8	108.0	3.8	0.460
1997	27.9	100.0	7.3	41.3	114.1	42	0.230
1998	147.6	97.0	23.9	69.2	485.6	9.1	0.330
1999	26.8	75.6	37.1	117.4	69.2	29.2	0.733
2000	5.7	23.8	171.5	162.1	331.3	17.6	0.715
2001	13.5	0.1	166.6	164.3	24.0	21.2	0.830
2002	17.3	103.2	59.0	23.5	11.5	21.1	0.706
2003	82.4	26.3	61.6	235.3	263.8	5.1	1.162
2004	16.7	76.5	157.5	324.7	168.6	86.7	0.418

环境中的各种生物因素和非生物因素是相互联系、相互制约的。各种因素有规律地组合在一起，并处于不断的变化之中。它们共同作用于各个种群，影响着生物的种群特征。研究种群特征的影响因素及调节机制，可以对种群的动态进行预测预报，从而制定调控种群的措施，为农林牧渔业生产服务。

学业检测

1. “种豆南山下，草盛豆苗稀。”这一诗句对草与豆之间的盛衰关系进行了生动描述。自然界中各种生物之间存在着相互依存和制约关系。观察下面 4 幅图，据图回答问题。



图 a 小丑鱼与海葵



图 b 伊蚊与人



图 c 蓝喉蜂虎与菜粉蝶



图 d 绞杀榕与乔木

- (1) 图 a 中小丑鱼与海葵之间是共生关系，二者之间是如何实现互惠互利的？
- (2) 图 d 反映了哪种种间关系？绞杀榕是如何“绞杀”该种乔木的？
- (3) 诗句中生物间的关系与哪幅图所反映的种间关系相对应？为什么会出现这种现象？
- (4) 用坐标曲线图表征 4 幅图中对应生物种群之间数量的相关变动。

2. 生活在西亚里海中的斑马贝随船进入北美五大湖，它们滤食湖中丰富的食物，迅速蔓延开来，堵塞了五大湖的水流管道和水力发电设备。珍珠贝是五大湖本土栖息物种，在斑马贝到达的地方，都会伴随珍珠贝的减少。金鲈、潜鸭等以贝类为食，废弃的贝壳可以为小型甲壳纲动物等提供水下避难所，斑马贝的幼虫还是水螅稳定的食物来源。

(1) 斑马贝与当地珍珠贝之间是什么关系?

(2) 斑马贝进入五大湖引起了很多问题,但是五大湖的生态系统并没有被摧毁,请分析原因。

(3) 一些研究者认为斑马贝进入五大湖会带来长远利益,指出他们得出这一结论的依据。

3. 20世纪70—80年代,栖息地破坏、箭竹开花等因素导致野生大熊猫种群数量急剧下降,大熊猫面临生存危机。我国于1987年建立了成都大熊猫繁育研究基地,目的在于建立大熊猫人工圈养繁殖种群、复壮野生种群,并提供意外灾害的“保险”。但圈养大熊猫种群长期增长缓慢,且遗传与健康质量差,同样面临灭绝风险。经过多年努力,该基地在大熊猫繁殖、种群遗传管理与健康管理方面取得多项重大技术突破,使大熊猫种群得以增长。

(1) 人类砍伐森林、修路以及农业活动等原因,使得大熊猫栖息地被分割成了许多极小的“碎片”,导致大熊猫种群数量急剧下降。试从种群内部因素分析大熊猫种群受到影响的原因。

(2) 环境中的非生物因素是如何影响箭竹种群数量的?

(3) 研究表明,大熊猫自身缺乏编码纤维素消化酶和半纤维素消化酶等的基因,却能利用竹子中的部分纤维素和半纤维素,推测其原因。

(4) 从政治、经济、文化和科研角度谈谈保护大熊猫的意义。

学业要求

重要概念	节次	学科素养
同种生物构成种群，并受环境影响产生种群动态。	第一节	◆列举种群具有种群密度、出生率和死亡率、迁入率和迁出率、年龄结构、性别比例等特征。
	第二节	◆尝试建立数学模型解释种群的数量变动。 ◆探究培养液中某种酵母菌种群数量的动态变化。
	第三节	◆举例说明阳光、温度和水等非生物因素以及不同物种之间的相互作用都会影响生物的种群特征。

榜样人物

丹顶鹤的故事

丹顶鹤是东亚地区特有的鸟类。它体态优雅，黑白分明，寿命长达 50 ~ 60 年，有着吉祥、忠贞、长寿之寓意，一直以来备受世人喜爱。丹顶鹤是一种大型涉禽，生活在开阔的沼泽、浅水地带，以鱼、虾、芦苇嫩芽等为食。丹顶鹤对环境变化非常敏感，在野生条件下，一对丹顶鹤每年只产一窝 1 ~ 3 枚卵，而且自然孵化率很低，加之人类活动导致湿地破坏，截至 2010 年，全世界的丹顶鹤仅剩 1500 只左右，被列入《世界自然保护联盟》濒危物种红色名录。

在我国东北的广袤平原上，有一片以鹤闻名的保护区——扎龙国家级自然保护区。建区之初，扎龙保护区的丹顶鹤种群仅有 140 只左右。第一代护鹤人徐铁林和他的同事们每天艰难地在沼泽中跋涉，走遍了 2100km² 保护区，几乎摸清了每一处鹤巢，逐渐摸索出“人工孵化+野外散养”的“半野化”保护方式。该方式使每对丹顶鹤每年可以产两窝 4 ~ 5 枚卵，且大部分能够成功孵化，幼鹤的成活率高，野性保持好，能够自然跟着成鹤南飞。而在此之前，多个国际组织试图人工重建鹤类迁徙均宣告失败，扎龙的“土办法”成为唯一的成功范例。

徐铁林的长女徐秀娟从 17 岁就跟着爸爸一起养鹤，很快就掌握了丹顶鹤的饲养、放牧、繁殖、孵化、育雏的全套技术，经她饲养的幼鹤成活率达到 100 %（图 1-26）。1986 年，徐秀娟带着 3 枚鹤卵，远赴丹顶鹤的迁徙越冬地盐城自然保护区。迢迢数千千米路程，三天三夜，她小心翼翼地照料着鹤卵，甚至把鹤卵揣在怀里，因为只要温度、湿度稍有变化，鹤卵就难以成功孵化。最终雏鹤顺利破壳而出，成为盐城保护区第一批人工孵化的丹顶鹤。丹顶鹤首次成功在越冬地孵化繁育，在世界上开创了先例。经过她 83 个日夜细心照料，3 只

雏鹤终于展翅飞向蓝天。1987年9月，有幼鸟飞走未归，徐秀娟整整找了两天两夜，因疲劳过度，淹没在沼泽里，去世时年仅23岁……“走过那条小河，你可曾听说，有一位女孩她曾经来过；走过那片芦苇坡，你可曾听说，有一位女孩，她再也没来过；只有片片白云为她落泪，只有阵阵风儿为她诉说，还有一群丹顶鹤，轻轻地轻轻地飞过……”

1997年，徐秀娟的弟弟徐建峰继续姐姐生前的工作，经过他人工饲养、繁育的丹顶鹤有上百只。然而不幸再次降临，2014年，为了救护正在繁育的鹤卵和雏鹤，徐建峰在赶往保护区的路上遭遇车祸，不幸身亡。徐建峰的女儿徐卓大学毕业后，选择到扎龙保护区工作，继承姑姑和父亲未竟的事业，成为第三代护鹤人。

经过一代代护鹤人的努力，2018年扎龙保护区的丹顶鹤种群已达800多只，占世界总数的三分之一。在世界仅存的三大丹顶鹤种群中，只有我国扎龙的丹顶鹤种群仍保持着自然迁徙的习性。如今的扎龙已经建成世界最先进的丹顶鹤繁育基地和最优良的基因库，而丹顶鹤的故事仍在继续……

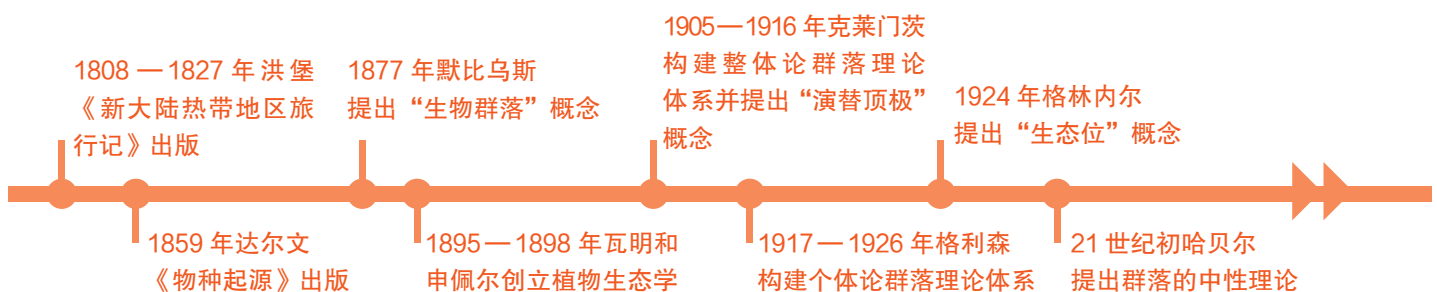


图 1-26 徐秀娟和丹顶鹤

第二章 不同种群的生物形成动态的生物群落



“稻花香里说丰年，听取蛙声一片。” 青蛙善于捕捉昆虫，一只青蛙每天可捕食几十只稻飞虱，减轻了水稻虫害，提高了水稻产量；稻田则为青蛙的生长、发育和繁殖提供了理想的场所。可见，生活在一定环境中的各个种群并不是孤立存在的，更不是随意组合的，而是相互之间有着密切的联系，它们共同构成生物群落。群落中各个种群之间的相互作用，不仅有利于各自的生存和繁衍，也有利于维持群落的稳定。群落的物种组成和结构有何特点？群落的动态变化有何规律？群落中的生物具有哪些与群落环境相适应的特点？





课题研究

调查分析森林群落中某种鸟的生态位

森林中往往生活着很多种类的鸟，它们的食性特点有很大差别，有的只吃植物，有的只吃动物，有的是杂食性的……每种鸟都有一定的活动区域，有的喜欢在树冠顶层活动，有的偏爱低矮的灌木，有的则常出现在接近地面的草丛间……

提出问题

为什么森林中不同的鸟类具有不同的活动区域？

制订并实施研究计划

1. 调查前如何准备？

- ◆了解当地森林中常见鸟类及其活动区域。每小组确定一种鸟作为调查对象，选择该种鸟经常出没的一块林地作为观测样地。
- ◆准备笔、望远镜、照相机（摄像机）等。

2. 怎样实施调查？

- ◆选择天气晴朗、无风的日子，一般在6:00—9:00或16:30—18:30实施调查。调查时注意随机取样，定点观察，可用照相机（摄像机）记录影像。
- ◆观察该种鸟的活动区域、食物的种类及大小、取食高度、取食方式以及取食基质（如地面、树枝）等，估算鸟的数量，做好记录。

3. 怎样进行结果分析？

- ◆对调查数据分项统计，形成统计表。
- ◆根据表中信息，绘制该种鸟在林地中的活动区域示意图。

成果交流

1. 展示小组调查成果，分析该种鸟在林地中的生态位，讨论该种鸟在群落中的作用和地位。

2. 汇总各小组的研究成果，总结不同鸟在林地中的分布状况，说明这种分布的意义。

3. 随着城市化进程的加快，鸟类的生存空间正面临巨大挑战，悬挂人工鸟巢是解决这一问题的重要举措。讨论分析悬挂人工鸟巢时需要注意的问题。



图 2-1 鸟取食植物果实

第一节 生物群落由不同的种群组成

a 我国西北荒漠



b 黑龙江呼中
国家级自然保护区

“穷荒绝漠鸟不飞，万碛千山梦犹懒。”在我国西北地区，夏季炎热，冬季严寒，降水稀少，终年干旱，植被稀疏，荒漠广布。而在相同纬度的东北地区，夏季高温多雨，有利于植物的生长，形成“巍巍兴安岭，积翠大森林”的壮观景象（图 2-2）。不同气候条件下分布着不同的生物群落。不同的群落在物种组成上有哪些不同？不同物种在不同植被类型的形成和发展中有怎样的地位？

图 2-2 同纬度上两种不同的植被类型

一、物种丰富度和均匀度可反映群落的物种多样性

在一定时间内，生活在一定区域的各个生物种群相互联系、相互影响而形成的有规律的集合体，称为生物群落（biotic community），简称群落。黑龙江呼中国家级自然保护区位于黑龙江省大兴安岭地区西部呼中区，其主要保护对象为寒温带针叶林群落。据统计，该群落内有野生植物 395 种，哺乳类 33 种，鸟类 143 种，爬行类、两栖类和鱼类 12 种。像呼中森林群落一样，每个群落都由多个物种组成，群落中物种数目的多少，称为物种丰富度（species richness）。



实验探究

研究土壤中动物类群的丰富度

土壤含有丰富的有机质，为土壤动物提供了良好的栖息场所。土壤动物能分解生物残体、改善土壤品质，有利于植物生长。土壤动物的种类和数量是评价群落生态环境的重要指标。研究不同群落环境土壤中动物类群的丰富度，有助于了解物种丰富度与生态环境的关系。

目的要求

- 1. 了解土壤中动物类群的组成。
- 2. 计算土壤动物的丰富度指数。

材料器具

体积分数为 70% 的酒精溶液，取土器（直径 50mm，图 2-3）、小铲子、100 目的尼龙网、标本收集瓶、标签、镊子、吸管、培养皿，立体显微镜。



图 2-3 取土器

活动程序

- 1. 选择树林、农田、草地等作为取样地点，依次在土壤表层 0~10cm、10~20cm、20~30cm 不同深度取土，分别装入塑料袋，贴上标签带回。

注意：及时将取土所挖洞穴用地面浮土填埋。

- 2. 对每份土样，先分拣出个体稍大的动物，然后用尼龙网筛出个体较小的动物。将收集到的动物放入盛有酒精溶液的收集瓶内，贴上标签。
- 3. 一段时间后，用镊子或吸管将每个收集瓶内的标本取出，放在培养皿中，利用立体显微镜逐一观察，借助动物分类检索表或相关的动物识别软件对动物进行分类，设计表格记录每份土样中动物的种类和数量。
- 4. 计算每份土样的动物丰富度指数。物种丰富度指数公式如下：

$$D = (S - 1) / \ln N$$

公式中 S 为群落中物种数目， N 为调查样方中观察到的个体总数。

分析讨论

- 1. 比较同一地点不同深度土样的物种丰富度指数，分析差异的形成与哪些生态因素有关。
- 2. 比较树林、农田和草地土壤动物类群丰富度，分析群落类型与土壤中动物类群丰富度的关系。

物种丰富度是反映群落物种组成的重要指标，但物种丰富度并不能完全反映群落的物种多样性。具有相同物种丰富度的两个群落可能由于物种个体的数目或分布上的不同而在物种多样性上表现出很大差异。假设有甲、乙两个群落，它们具有相同的物种丰富度，但物种的个体数量比例及分布状况可能存在明显差异（图 2-4）。

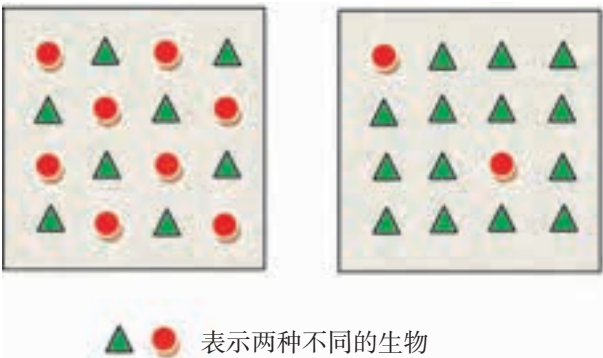


图 2-4 两个群落的物种丰富度和均匀度比较

一个群落中全部种群个体数目的分配状况，称为物种均匀度（species evenness），它反映的是群落中各物种个体分配的均匀程度。物种丰富度和均匀度是群落物种多样性的两个方面，物种丰富度越大、物种均匀度越高，群落的物种多样性也就越大。

二、优势种和建群种决定群落的外貌特征

不同种群在群落中的地位是不同的。内蒙古草原上，大针茅分布广泛，在数量 and 高度上占据优势，对群落内部环境的营造有很大作用，继而影响群落中其他生物的生存和繁殖（图 2-5）。像大针茅这样，对群落结构和群落环境的形成有明显控制作用的植物种群称为优势种（dominant species）。优势种的主要特征是个体数量多，体积较大，生活能力强，在竞争中占优势。不同的生物群落有不同的优势种，优势种类型决定了群落的外貌特征。内蒙古草原的外貌是由大针茅决定的。

群落的层次可以有各自的优势种。在亚热带的马尾松林中，乔木层的优势种是马尾松，灌木层的优势种是桃金娘，草本层的优势种是芒萁。植物群落中，处于优势层的优势种被称为建群种（constructive species）。假如某森林群落的乔木层的优势种为桦树，桦树就是该群落的建群种（图 2-6）。有的群落只有一个建群种，而有的群落具有两个或两个以上的建群种。海南岛热带雨林的乔木层有壳斗科、樟科、山茶科和木兰科等多种植物，它们共同构成了热带雨林的建群种。

研究群落的物种组成，是把握群落特征的重要方面。物种组成是决定群落性质的重要因素，也是划分不同群落类型的基本特征。调查群落的物种组成是认识群落的基础，研究物种丰富度和均匀度是定量分析物种组成的起点，分析优势种和建群种有助于了解群落的外貌特征和群落内种群之间的相互关系。



图 2-5 以大针茅为优势种的草原群落



图 2-6 以桦树为建群种的森林群落

阅读空间

群落中的关键种

群落中有一些物种数量不多，但当它们消失或削弱时，却能引起整个群落发生根本性变化，这样的物种称为关键种。实验研究中常采用移除的方法来鉴别群落中的关键种。美国华盛顿大学的佩恩在北美海湾的岩石潮间带进行了如下实验：赭色海星主要取食石鳖、帽贝、藤壶和龟足等，在有海星的区域，可有 30 个物种共存，因为海星常常取食数量最多的种群（图 2-7）。在去除海星的实验区，藤壶很快占据优势。1 年后藤壶又被贻贝和龟足排挤。3 年后，群落中的物种数目从 30 个减为 8 个。由此可见，海星对该群落具有很强的影响力，海星就是这个群落的关键种。



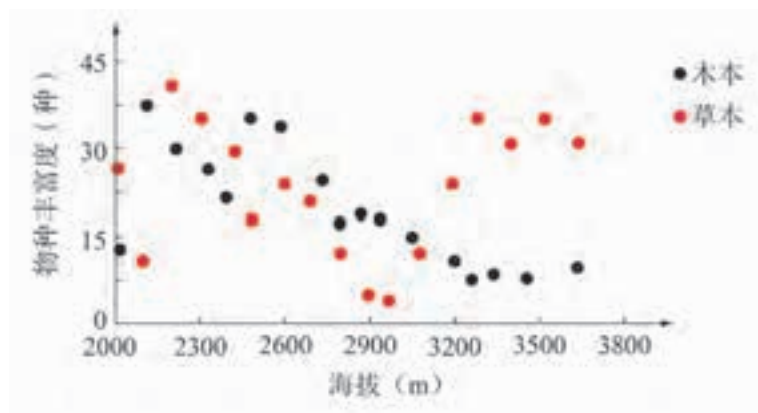
图 2-7 佩恩研究的岩石海岸群落

学业检测

1. 研究人工林、自然林在物种组成上的差异，有助于了解物种分布与气候、地形以及人为等因素的关系，并能发现人工造林存在的问题。研究者对云南东川区的桉树人工林、云南松林和松栎混交林样地及高黎贡山有代表性地段的植物群落进行了相关调查，得到了以下部分数据。

云南东川区样地（单个样地面积为 20m×20m）调查表

群落	样地	地点	海拔 (m)	坡度 (°)	植物种数 (种)
桉树人工林 样地群落	1 号	播卡乡象鼻村	1860	15	15
	2 号	阿旺乡安乐村	1670	25	12
云南松林 样地群落	3 号	乌龙乡土城	1910	15	20
	4 号	乌龙乡半坡	1750	31	12
松栎混交林 样地群落	5 号	阿旺乡岩头	2520	18	26
	6 号	新田乡瓦房	1900	10	19



云南高黎贡山北段植物群落的物种丰富度

(1) 松栎混交林中的建群种有_____，东川区 3 种植物群落中，植物种数逐渐增多的趋势是_____。当同时受到大规模虫害侵袭时，_____群落受到的影响最小，原因是_____。

(2) 东川区 3 种类型的群落中，土壤含水量大小依次为松栎混交林 > 云南松林 > 桉树人工林。因此，人工造林时应以营造_____林为宜，这样能提高群落的_____水平，增强水土保持能力。

(3) 解读云南高黎贡山北段植物群落的物种丰富度图，可归纳出该群落中木本植物和草本植物丰富度的变化规律。下列相关分析与之吻合的是()。

- A. 木本物种丰富度在 2900m 左右最低
- B. 木本物种丰富度随海拔高度增加而上升
- C. 2600m 处木本植物丰富度大于草本植物的丰富度
- D. 温度是草本物种丰富度随海拔变化的重要影响因素

2. 为评估三亚珊瑚礁自然保护区中珊瑚礁的健康状况，2014 年 4 月研究者选取东岛、鹿回头、大东海 3 个地点进行调查，3 个地点的造礁珊瑚和珊瑚礁鱼类的种数如右图所示。



(1) 造礁珊瑚中含有丰富的虫黄藻。珊瑚虫可为虫黄藻提供保护、居所和营养，而虫黄藻不仅为珊瑚虫提供氧气和营养，而且与珊瑚虫的石灰质骨骼的形成有关。由此可见，造礁珊瑚与虫黄藻之间的关系属于_____。珊瑚礁群落中的优势种包括_____等。

(2) 利用右图中的数据能否比较 3 个群落中物种丰富度的大小？为什么？

(3) 调查发现，鹿回头的珊瑚覆盖率为 21.83%，远远低于 20 世纪 60 年代的 80%~90%；本次调查的 3 个地点共有鱼类 14 科 28 属 36 种，与历史记录的 32 科 64 属 130 种也相差甚远。试分析珊瑚覆盖率下降和鱼种类减少的可能原因。

第二节 群落具有可变的垂直结构和水平结构

为充分利用生长空间和环境资源，达到一季多收的目的，人们可以在同一块农田中按照一定的行、株距和占地的宽窄比例种植不同种类的农作物，这种种植技术叫作间作套种。一般把几种作物同时期播种的方式称为间作，不同时期播种的方式称为套种。间作套种能够合理配置作物群体，使作物高矮成层，相间成行，充分利用了光照、空间、时间等条件，节约了土地，减少了病虫害发生，有利于持续增产（图 2-8）。间作套种技术萌芽于汉代，尽管我们的祖先并未掌握群落空间结构的原理，但他们可能从自然群落的结构中得到了灵感。群落具有怎样的结构？不同的群落在结构上又有哪些不同？



图 2-8 玉米与大豆间作种植

一、群落具有垂直结构

组成生物群落的每个种群，其生存与发展都需要一定的生态条件。受自然环境以及种群之间的相互影响，群落的不同空间形成了不同的生态条件，如光照、温度、湿度和食物等。群落内具有不同特点的生物生活在一起，它们各自占据群落中的一个特定空间，从而使群落形成一定的空间结构。群落的空间结构可分为垂直结构和水平结构。



资料探究

分析群落的垂直结构及其影响因素

森林群落具有丰富的物种组成，群落结构复杂，特别是在垂直方向上，不同高度的物种差异明显。森林群落结构长期处于较稳定的状态，因而成为研究群落垂直结构的理想对象。

[资料 1] 大白山是黑龙江呼中国家级自然保护区的最高峰，这里的原始森林保存比较完整，植物的垂直分布明显。1992 年，林业工作者对该地段的植被进行了深入细致的调查，对多种植物进行了测量和记录（表 2-1）。

表 2-1 山地寒温高山型针（阔）叶林带植物种类

植物名称	平均高度（m）	数量多少	形态特征
兴安落叶松	20.80	很多	乔木，主干粗，树冠圆锥形
岳桦	15.50	多	乔木，主干明显，树冠大
白桦	15.50	多	乔木，主干直，分枝高
东北赤杨	4.80	多	小乔木，有时呈灌木状
偃松	3.50	多	灌木，丛生，大枝伏卧状
圆叶桦	1.00	不多	小灌木，常成密丛
兴安野青茅	0.70	不多	多年生草本，茎直立，疏丛
细叶杜香	0.45	多	小灌木，多分枝靠近茎的基部
狭叶鸢葱	0.30	不多	多年生草本，茎直立不分枝
林间荆	0.25	多	多年生草本，根茎细
白齿泥炭藓	0.25	多	枝及茎纤细而硬挺
地衣类	0.03	多	呈扁平状

【资料 2】栎林是以栎树为优势种的森林。栎树高大挺拔，枝繁叶茂，它所营造的栎林垂直结构复杂，其中生活着大量的动植物。生态学家对一片栎林中的鸟类进行研究，发现不同层次中各种鸟的相对密度具有明显差异（表 2-2）。

表 2-2 栎林中鸟类在不同层次中的相对密度

种名	距地面 10m 以上	距地面 5 ~ 10m	距地面 1 ~ 5m	距地面 1m 以内	地面
林鸽	333	3	3	—	—
茶腹鸭	34	34	1	—	—
青山雀	150	264	196	24	6
长尾山雀	122	183	136	18	9
旋木雀	32	75	27	17	—
煤山雀	45	108	78	20	—

(续表)

种名	距地面 10m 以上	距地面 5 ~ 10m	距地面 1 ~ 5m	距地面 1m 以内	地面
沼泽山雀	15	111	155	81	7
大山雀	25	74	197	103	2
戴菊	2	10	33	14	—
乌鸫	2	7	25	89	47
红胸鸽	—	—	29	32	19
鹪鹩	—	—	20	140	20

分析讨论

- 1. 大白山针（阔）叶林带植物群落在垂直方向上可分为哪些层次？划分层次的依据是什么？植物群落呈现分层主要受哪些因素影响？
- 2. 栎林中活动范围较大和活动范围较小的鸟分别有哪些？各种鸟的活动区域不同与植物有何关联？
- 3. 群落中垂直方向上动植物的分层具有怎样的意义？在农业生产上哪些实例是利用了群落垂直结构的原理？

群落的垂直结构指群落在垂直方向上的配置状况。群落垂直结构最显著的特征是分层现象，即在垂直方向上可分成许多层次。以陆生植物群落为例，分层现象包括地上分层和地下分层。影响地上分层的主要因素是光照、温度和湿度；而影响地下分层的主要因素是土壤中的水和养分。温带森林的地上层通常划分为乔木层、灌木层、草本层和地被层 4 个层次（图 2-9）。在地面以下，由于各种植物根系所穿越的土壤深度不同，可形成与地上层相应的地下层。植物分层为不同动物提供了良好的栖息环境和丰富的食物资源，群落中动物的分层现象也普遍存在。

群落的垂直结构使环境中的空间和资源得到充分利用，有利于缓解生物之间争夺空间和资源的矛盾，使得单位面积上容纳的生物数量增多。群落分层的复杂程度，也能反映生态环境条件的优劣。一般情况下，生态条件越好，群落的层次就越多，结构也越复杂；反之，则层次越少，结构越简单。



图 2-9 温带森林的地上分层现象

二、群落具有水平结构

鄱阳湖从湖水区到湖岸依次分布有菖蒲、苔草、南荻和芦苇等植物种群，这体现了群落的水平结构。群落的水平结构是指群落在水平方向上的配置状况。在陆地群落中，地形的起伏、土壤条件的差异、动物的活动及人类的影响，均可造成群落中各种植物个体在水平方向上分布不均匀，呈现镶嵌性分布的特点。内蒙古草原上锦鸡儿灌丛具有明显的镶嵌性，在该群落中往往形成 1~5 米呈圆形或半圆形的锦鸡儿丘阜（图 2-10）。这些丘阜内聚集了细土和枯枝落叶等，具有良好的水分和养分条件，形成一个局部优越的内部环境，其中的植物较周围环境中的植物返青早，生长发育更好。某些情况下，陆地群落的镶嵌性分布也可能由穴居动物的活动而引起，如田鼠洞穴附近的植被往往不同于周围的植被。



图 2-10 内蒙古草原上的锦鸡儿丘阜

阅读空间

群落交错区与边缘效应

在森林和草原的交界地区，常有很宽的森林草原带过渡区域，该区域内太阳辐射较强，林缘风速较大，水分蒸发快，比较干燥，环境复杂，既不同于森林内部，也不同于草原内部，为不同的动植物生存提供了条件。不同群落交界的过渡区域称为群落交错区（图 2-11）。群落交错区内种群的数目及一些种群的密度有增大的趋势，称为边缘效应。我国大兴安岭森林边缘属于狭带状分布的林缘草甸，每平方米的植物种数达 30 种以上，明显高于其两侧的森林群落和草原群落。



图 2-11 森林和草原交错区

三、群落的特征可随时间而改变

冬去春来、朔望转换、昼夜更替，构成了自然界的时间节律，光、温度和湿度等生态因素随之改变。受这些因素影响，同一群落中不同生物的生命活动在时间上存在差异，导致群落的组成与结构也随时间节律而发生有规律的变化。

群落特征随时间的改变具有明显的周期性。气候四季分明的温带、亚热带地区，群落的特征随季节的变化最为典型（图 2-12）。植物生长发育的异时性明显地反映在群落结构的变化上：在某一时期，某些植物种类在群落中起主要作用；而在另一时期，则是另一些植物种类在群落中起主要作用。随着气候的季节性交替，群落不仅在外貌特征上表现为季节性变化，群落的生产量、各成分的数量及比例关系等也会发生相应的周期性变化。



图 2-12 八达岭落叶林群落四季的外貌变化

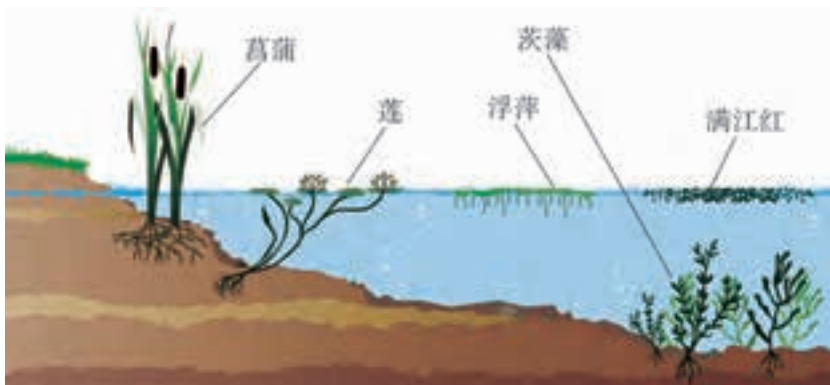
群落内不同种群的活动也随时间有周期性变化。草原群落中的动物具有明显的季节性活动，这也是它们对环境

的良好适应：云雀、粉红椋鸟等在固定的季节迁徙；旱獭、黄鼠等啮齿类动物到冬季则进入冬眠；达乌尔鼠兔到秋末就开始储存食物，在洞口附近积藏成堆的干草。

群落结构是群落在空间和时间上由于生态因素的不均匀而造成的一种时空格局，这是生物长期进化形成的对环境的适应。群落中不同的结构配置，可实现对有限空间和资源的充分利用。在农业生产中，人们根据不同作物的高秆与矮秆、喜光与耐阴、早熟与晚熟、深根与浅根等不同特性，进行合理配置，形成多物种、多层次、多时序的立体交叉种植结构，以实现生产效益的最大化。

学业检测

1. 研究人员对某湖泊水体群落的结构进行调查时发现，从岸边到深水区，依次生长着挺水植物（如菖蒲和莲等）、沉水植物（如茨藻和小眼子菜等），水中还有漂浮植物（如满江红、浮萍等）。其中部分植物在水体中的分布如下图所示。

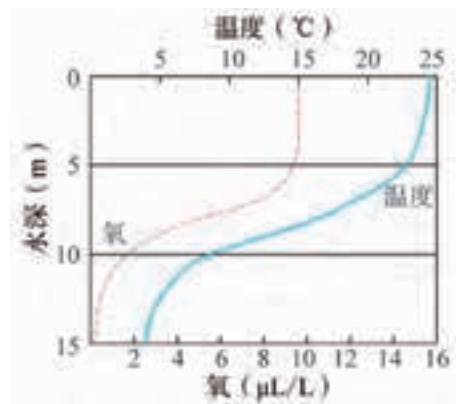


(1) 图中菖蒲、莲、茨藻的分布可说明水体群落具有_____结构。

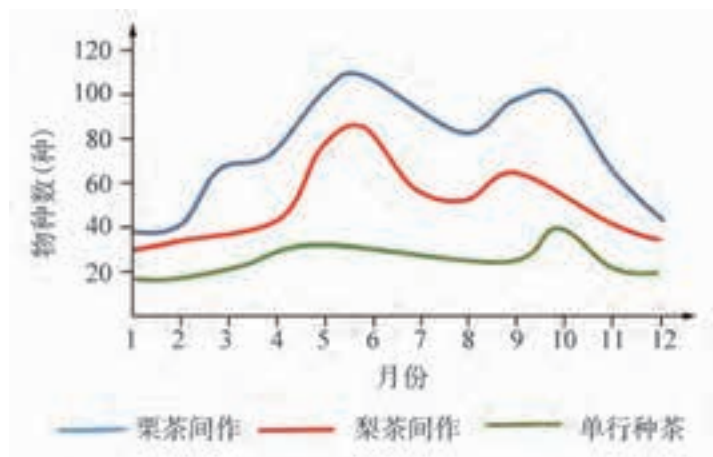
(2) 水体中的动物有生活在水面上的水黾、浅水区的仰泳蝽和深水区的蝎蝽等，这些动物的分布体现了群落的_____结构特点，主要受到_____等因素的影响。

(3) 春天水体中的菖蒲、莲等植物萌发生长，夏天达到繁茂，到秋冬时枝叶衰败，一片萧条，这说明群落具有怎样的特点？

(4) 研究人员在夏天对该湖泊水体不同深度的温度和氧含量进行测定，绘制了右图所示的曲线。请分析水体中随着水深增加氧含量下降的原因。



2. 茶园间作是指在茶园中栽种其他一种或几种经济作物，增大茶园土地的利用价值，创造生态、经济、社会综合效益。皖南某茶场有3种植植模式：栗茶间作、梨茶间作和单行种茶，研究者对3个茶园中的节肢动物物种数目进行了调查，结果如下图所示。



(1) 一年中不同月份3种茶园内节肢动物物种数目的变化说明()。

- A. 群落具有垂直结构
- B. 群落具有水平结构
- C. 群落的特征可随时间变化
- D. 群落中的优势种是可以改变的

(2) 一年内单行茶园的节肢动物物种数始终比其他类型的茶园低，为什么？

(3) 在4—5月间，栗茶园和梨茶园中节肢动物物种数开始明显提高，影响这种变化的因素有哪些？

(4) 6月份是传统的采茶季节，分析栗茶园和梨茶园在7—8月份节肢动物物种数目变化的原因。

3. 汶川地区林业资源丰富，人们充分利用林下土地资源和林荫优势，从事林下种植或养殖等立体复合生产，使农林牧协调发展，获得了很好的经济效益和生态效益（右图为汶川地区林下中药材基地）。



(1) 汶川地区大力发展林下经济的生态学原理是_____。

(2) 设计林下经济模式时，在物种选择上需要注意哪些问题？

(3) 说明当地有哪些生产活动与林下经济运用了相同的生态学原理。根据当地实际，设计一种能提高经济效益的农业生产模式。

第三节 群落演替是一个有序演变的过程



图 2-13 废弃铁路线上的生物群落

尽管这段锈迹斑斑的铁轨透着几分荒凉，但它们依然记忆着曾经的辉煌。时过境迁，废弃的轨道逐渐被杂草淹没，残破的枕木逐渐被苔藓覆盖，曾经川流不息的铁路线逐渐被生机勃勃的生物群落所占据（图 2-13）。自然界的任何事物都不是静止不变的，生物群落也处在发展变化之中，这是一个群落演替的过程。群落演替是如何发生的？环境如何影响群落的演替过程？

一、初生演替是从原生裸地上开始的演替

群落发展过程中，随着时间的推移，群落中一些种群兴起了，而另一些种群可能衰退甚至消失了，群落的外貌、物种组成、结构和功能随之发生变化。在一定地域内，群落由一种类型转变为另一种类型的有序演变过程称为群落演替（community succession）。群落演替是一个复杂而缓慢的过程，演替经历的时间从几年至几百年不等。根据演替发生的起始条件，可将演替分为初生演替（primary succession）和次生演替（secondary succession）。



资料探究

分析湖泊水生群落演替的过程

生物群落的演替过程是从植物定居开始的，直到形成一个稳定的生物群落。群落演替一般是沿着特定的方向进行的，即从低等生物逐渐发展到高等生物，生物群落也是从简单到复杂，最后趋于动态稳定。研究湖泊水生演替的过程，有助于了解群落演替的特点和规律。

淡水湖泊中，一般只在 5~7 m 以内的湖底才有较大型的水生植物；如果水深超过 5~7m，便是湖底裸地了。河水带来的和湖岸冲刷下来的泥沙，使湖底逐渐升高，湖水逐渐变浅，沉水植物开始在湖底定居。水生群落演替的过程是从湖泊的周围向

湖泊的中央顺次发生的，在从湖岸到湖心的不同距离处，分布着各个演替阶段的群落环带。起始于湖底的演替过程主要经历以下 6 个阶段（图 2-14）：



自由漂浮植物阶段 湖水很深，湖底没有植物，植物主要漂浮生长，如浮萍、满江红及一些藻类植物。它们的残体在湖底聚积，同时湖岸雨水冲刷带来的泥沙也逐渐垫高了湖底。



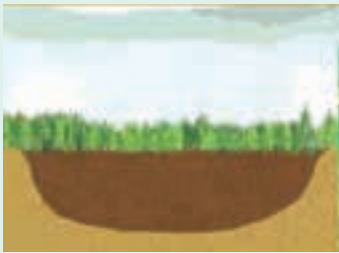
沉水植物阶段 湖底变浅，沉水植物如轮藻首先在湖底定居，随后金鱼藻、眼子菜、黑藻、茨藻等出现，它们繁殖能力强，生长快，很快成为优势种。



浮叶根生植物阶段 湖底进一步变浅，浮叶根生植物如莲、睡莲等大量生长，它们的叶片密集漂浮在水面，不利于沉水植物的生长，沉水植物向较深的湖底迁移。



木本植物阶段 随着土壤条件的改善和气候的变化，灌木在草丛中生长起来，接着乔木种子萌发、生长以及大量动物迁入，逐渐形成森林。



湿生草本阶段 整个湖底露出水面，土壤中含有丰富的有机物和水，喜湿的草本植物定居、生长、繁殖。由于气候变化，土壤水分逐渐减少，该地区很快由旱生草类取代湿生草类。



直立水生植物阶段 湖底继续抬升，直立水生植物如芦苇、香蒲、泽泻等取代了浮叶根生植物，它们根茎发达，生长迅速。有的地方湖底露出地面，与大气接触，陆生植物出现并开始定居。

图 2-14 水生群落演替过程示意图

分析讨论

1. 查找资料，说明为什么轮藻能在湖底裸地首先定居。
2. 在水生群落演替过程中，为什么睡莲、莲等能取代轮藻、金鱼藻等？
3. 群落演替过程中物种丰富度和群落结构有哪些变化？这些变化与哪些因素有关？

在完全没有植被并且也没有任何植物的种子或孢子、根和地下茎等存在的裸露地段上发生的演替，称为初生演替。初生演替开始于初始条件较差的地方，演替的进程比较缓慢，一般持续的时间较长，如岩石、沙丘、冰川泥上的演替等（图 2-15）。



图 2-15 岩石上的初生演替示意图

植物定居是群落演替的先决条件。植物的种子或孢子到达一个新的地点，如果能够发芽、生长并且繁殖后代，就说明它在新的环境定居了。随着裸地上首批植物定居的成功，以及后来定居种类和个体数量的增加，植物个体之间以及种群之间，便开始了对光、水、养料和空间的竞争，其中一部分植物生长良好，可能发展为优势种。在群落演替过程中，一种优势种取代早期的优势种的过程称为物种取代。在演替的早期阶段，物种取代频繁，随着演替不断进行，这种变化越来越慢，物种丰富度不断增加，群落空间结构趋于复杂，物种之间相互制约、相互影响，从而形成了稳定的群落。

随着植物群落的演替，栖居其中的动物种类和数量也会发生相应的变化。植物群落是动物取食、营巢和繁殖的场所，当植物群落环境变得不适宜它们生存的时候，它们便迁移出去寻找新的栖息地；与此同时，也会有一些动物从别的群落迁移过来。因此，每当植物群落发生变化时，居住在其中的动物也会相应地调整，使得整个生物群落内部的动植物又建立起新的联系，形成一个统一整体。

二、次生演替是从次生裸地上开始的演替

1988 年，美国黄石国家森林公园发生了一场大火，几乎烧掉了公园一半的森林，原来郁郁葱葱的森林变成了一片鸟兽不存的焦土。然而一段时间后，青青的绿芽出现在黑色的土地上，烧焦的树桩下又长出了枝条（图 2-16）。在这个例子中，原有群落植被已不存在，但土壤条件良好，且土壤中仍保留着一些植物的根、地下茎、种子等，这种在次生裸地上发生的群落演替，称为次生演替。次生演替一般开始于初始条件较好的地方，演替所经历的时间一般较短。火灾、泥石流、洪水以及砍伐后植被的恢复过程，都属于次生演替。



图 2-16 大火发生一段时间后的黄石公园

云杉林是优良的用材林，是我国西部和西南地区亚高山针叶林中的一个主要森林群落类型。人工砍伐后的云杉林群落经过一系列的演替，又能恢复原状（图 2-17）。

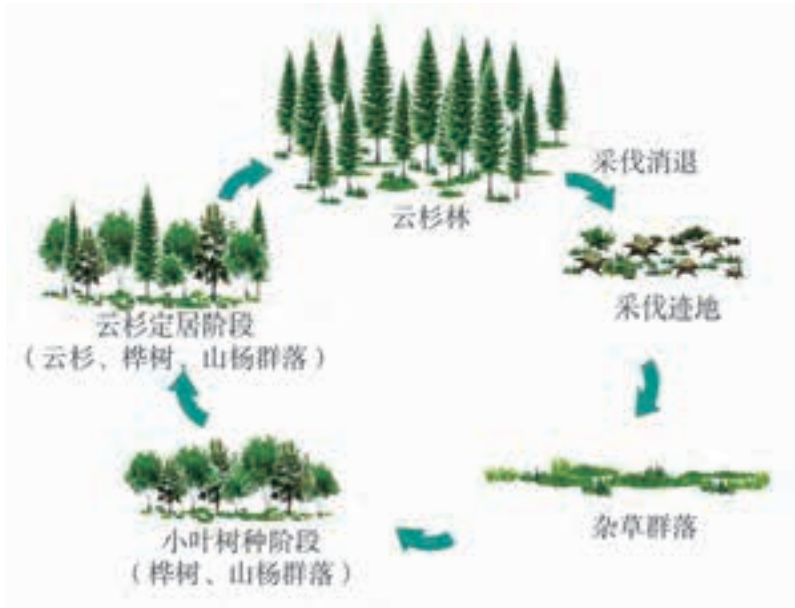


图 2-17 砍伐后的云杉林群落演替示意图

阅读空间

构建人工顶极群落可提高经济效益和生态效益

群落经过一系列的演替过程，最终达到一个成熟的阶段。此时，群落的物种丰富度趋于稳定，结构最复杂。只要不受大的外来干扰，它将保持原状。群落演替所达到的这个成熟阶段叫顶极群落。顶极群落的物种之间、物种与环境之间相互协调，一般具有高效的能量和物

质利用效率。

人类模仿自然顶极群落结构，可以建立人工顶极群落。云南西双版纳地区在发展橡胶的同时，按自然顶极群落的分层现象，中部配置金鸡纳、大叶茶，下部种植草本植物砂仁、黄花菜等，形成乔灌草结构的人工混交林。这不仅增加了经济效益，而且也有效地防止了水土流失，改善了自然环境。

演替是生物群落朝着一个方向的连续变化过程，它是群落内部关系与外界环境中各种生态因素综合作用的结果。人类对群落演替的影响是巨大而迅速的，人类有意识、有目的的活动往往导致生物群落的面貌发生巨大变化。掌握了群落演替发生的原因及其规律，就能根据现有情况预测群落的未来，有效调控群落演替的方向和速度。砍伐森林、开垦土地、围湖造田、过度放牧等，可使自然群落退化，甚至可使自然群落遭到严重破坏。封山育林、退耕还林、退田还湖、管理草原、治理沙漠等，可使群落演替向着良性方向发展，进而改善生态环境，使人类与自然更加和谐(图 2-18)。



图 2-18 人类活动对群落演替的影响实例

学业检测

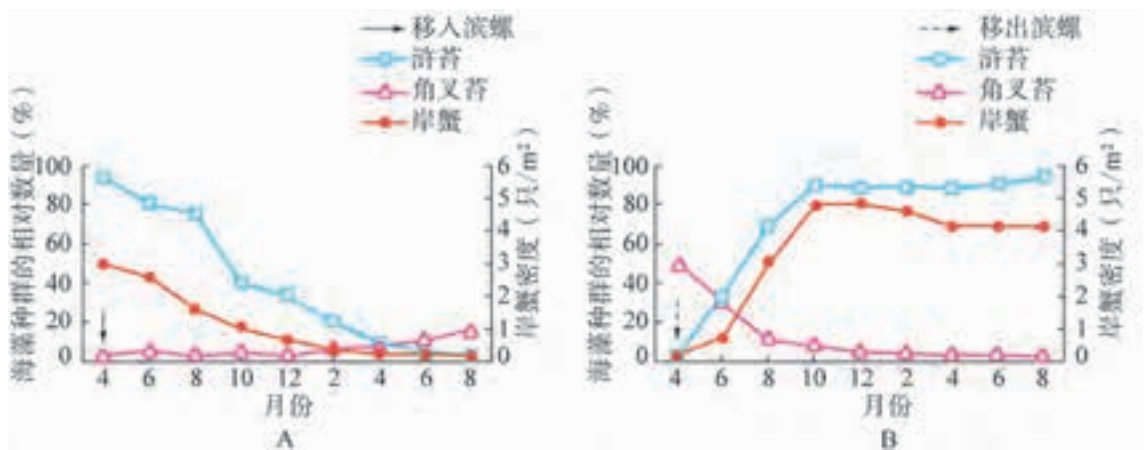
1. 受热带风暴影响，2016 年 7 月湖北某市普降暴雨，山洪爆发，导致山体大面积崩塌、滑坡。为灾后重建和改善该区域的生态现状，人们对山体滑坡区域进行整治，做好山坡排水、斜坡防护工程，同时对有些区域实行封禁，有些区域人工种植马尾松、油茶和撒播杂草种子等。

(1) 该市山体滑坡区域群落的恢复过程属于_____演替，其演替过程可能经历的阶段是_____。

(2) 画出山体滑坡前后该群落中物种丰富度随时间的变化曲线。

(3) 在该群落演替中，人们采取的防护工程、封禁、植树等措施对该区域群落演替起什么作用？

2. 石质海滩的潮间带有很多水坑，水坑中主要生长着浒苔、角叉苔等海藻和滨螺、岸蟹等动物。岸蟹主要以滨螺等小动物为食，其主要天敌是海鸥。有人选择大小、深度等相似的两个自然水坑（A、B），把 B 坑中的滨螺（233 只）全部移入几乎无滨螺的 A 坑，研究滨螺对 A、B 群落的影响，结果如下图所示。



(1) A 坑中浒苔数量下降的主要原因是_____。

(2) 研究发现，浒苔占优势的环境有利于岸蟹躲避天敌，而角叉苔占优势的环境则相反。解释滨螺移出前 B 坑中滨螺数量较多的原因。

3. 在城市公园建设中，常常将原有植被清除，从农田运来土壤种植草坪。种植草坪不但需要灌溉，还需要施肥、除草、喷洒药物防治病虫害等，对原有群落造成巨大的破坏。

(1) 城市公园内，种植草坪的过程与自然演替的过程有哪些不同？

(2) 如果对人工草坪停止种植管理，任其自然发展，这种演替的类型与裸岩上的演替最主要的区别是什么？

(3) 关于城市公园的规划设计，有学者倡导“自然秩序的表达”，即在尊重自然的同时打造适宜的自然环境。你是否支持这一观点？说说你的理由。

第四节 群落中的生物与群落环境相适应



图 2-19 沙漠中的驼队

广阔无垠的戈壁沙漠，飞沙扬砾，气候极端恶劣，动植物种类稀少。骆驼是沙漠中的常见动物，它耐饥耐渴，不畏风沙，善走沙漠，被誉为“沙漠之舟”（图 2-19）。骆驼有双重眼睑、浓密的长睫毛和能关闭的鼻翼，耳内着生密毛，驼峰里储存有大量的脂肪，蹄宽而厚……骆驼的这一系列特征都是对沙漠环境的适应，是经过长期的进化形成的。生物群落中的生物具有哪些与该群落环境相适应的形态结构、生理特征和分布特点？

一、不同群落中的生物与其群落环境相适应

生物群落与其无机环境是密不可分的，群落对其所在环境产生重大影响，并形成群落环境。森林群落形成特定的森林环境，其群落环境与周围的草地或农田存在明显差异。群落环境的差别决定了组成不同群落的生物种类的差异，每种生物在形态结构和生理特征等方面都与其群落环境相适应。生物对相同环境条件具有趋同适应的特性，不同物种的植物或动物，当它们对某种环境具有相同的适应方式和途径时，往往会在形态结构上表现出相似的特征。



资料探究

分析不同群落中的生物与其群落环境相适应的特点

温度、水是影响动植物生长发育和繁殖的重要因素，高温、严寒、干旱等极端环境条件不利于生物的生存，极端环境中生物的形态结构和生理特征更能反映生物的适应性与环境的关系。

〔资料 1〕 锦鸡儿属植物为落叶灌木，抗干旱，是防风固沙、保持水土的优良树种。为了解锦鸡儿属植物对生存环境的适应机理，科研人员对内蒙古高原西部荒漠（阿拉善左旗）锦鸡儿属 4 种植物的叶的形态适应特征进行了研究，并与典型草原（锡林浩特市）的小叶锦鸡儿作了对照。相关数据如表 2-3、表 2-4、表 2-5 所示。

表 2-3 考察地点的地理气象资料

地点	年降水量 (mm)	年平均气温 (°C)	年日照时间 (h)	土壤含水量 (%)	群落类型
阿拉善左旗	110	7.80	3200	1.73	荒漠
锡林浩特市	281	2.35	2932	3.70	草原

表 2-4 5 种植物的叶片形态结构特征比较

地点	种类	形态	被毛	厚度 (mm)	面积 (mm ²)	长 / 宽
阿拉善左旗	柠条锦鸡儿	平展	密绢毛	0.282	8.54	2.74
	狭叶锦鸡儿	瓦状	多灰白色柔毛	0.165	8.00	6.04
	垫状锦鸡儿	卷筒状	密绢毛	0.389	4.00	14.00
	荒漠锦鸡儿	平展	密直立绢毛	0.226	6.36	1.71
锡林浩特市	小叶锦鸡儿	平展	少柔毛	0.215	37.8	1.62

表 2-5 5 种植物的叶色和叶绿素含量比较

地点	种类	叶色	叶绿素 a 含量	叶绿素 b 含量	叶绿素总含量 (mg/gFW)
阿拉善左旗	柠条锦鸡儿	亮灰色	1.61	0.41	2.02
	狭叶锦鸡儿	深绿色	1.92	0.53	2.45
	垫状锦鸡儿	亮灰色	1.17	0.29	1.46
	荒漠锦鸡儿	粉白色	1.23	0.33	1.55
锡林浩特市	小叶锦鸡儿	深绿色	2.17	0.59	2.76

[资料 2] 狐俗称狐狸，在动物分类学上，属于食肉目犬科，包括多个物种。耳郭狐分布于非洲北部和西亚沙漠一带；北极狐分布于北冰洋的沿岸地带，能忍耐 -50℃ 的低温环境；赤狐分布于整个北半球，是食肉目中分布最广的类型(图 2-20)。



耳郭狐 体长仅30~40cm（不包括尾），有巨大的耳郭。厚厚的皮毛呈乳白色至淡黄色，足底也被有柔毛。当气温低于20℃时，耳郭狐开始打冷战；气温超过35℃时，呼吸频率会迅速升高。



北极狐 体长50~60cm（不包括尾），体型肥胖，颜面窄，嘴尖，耳圆，腿短。皮毛又长又软又厚，尾毛蓬松，脚底也密生长毛，冬天毛色为纯白色，夏季多为灰黑色。汗腺不发达，常以张口伸舌、快速呼吸的方式调节体温。



赤狐 体长60~70cm（不包括尾），毛色因季节和地区不同有较大差异，一般背部棕灰或棕红色，腹部白色或黄白色。足底生有浓密短毛。尾长，基部有肛腺，能施放奇特臭味。爪锐利，善爬树。

图 2-20 生活在不同环境下的 3 种狐

分析讨论

1. 分析两地锦鸡儿属植物叶的形态结构、生理特征等方面有哪些特点与其生活环境相适应？
2. 耳郭狐具有哪些适应炎热环境的特征？赤狐分布广泛的原因有哪些？
3. 因极度寒冷，极地冻原群落中动植物稀少，除北极狐外，你还知道哪些极地动物？试归纳极地动物在形态结构和生理特征等方面的共性。

每种生物生活在特定的环境中，时刻受到环境中各种生态因素的影响。生物的适应性是指生物在形态结构和生理特征方面与其赖以生存的环境条件相适合的现象。生物只有适应环境才能生存繁衍，生物对环境的适应具有普遍性。通常情况下，生物对环境的适应不限于单一的机制，往往涉及一套彼此相互关联的适应性，主要包括形态适应、

生理特征和特有的行为适应等。生活在寒冷环境中的植物，体表常生有蜡粉或密毛，并有脂质保护；芽有鳞片；寒冷来临时，细胞内水分减少，糖类、脂肪、无机盐等物质增加，细胞不易结冰，增强抗寒能力；有的植物采取牺牲地上部分的做法，让地上部分枯死，由埋藏在地下的茎或根度过严寒季节。

阅读空间

局部异温性和逆流热交换

动物的体温因身体部位不同而有差异的现象称为局部异温性，这种现象常出现于生活在寒冷环境中的动物身上。外界温度越低，动物身体内部与其裸露的末梢部位的体温温差越大。哺乳类的四肢、尾、耳、眼、鼻，鸟类的足、翼、喙、眼等部位较之被有绒毛或羽毛和皮下脂肪的胸腹部的温度相差很多。例如，站在冰面上的银鸥，胸腹部温度为38~41℃，无毛的跗趾部温度仅为0~5℃，其各部位的细胞可分别在不同的体温下进行生命活动。这种状态的形成机制是：血管的特殊排列使动脉和静脉互相接触，末梢部分变冷的静脉血由热的动脉血温暖后，再流向心脏。这种机制称为逆流热交换（图2-21）。这样虽使身体末端的温度降低，但减少了身体热量的散失。

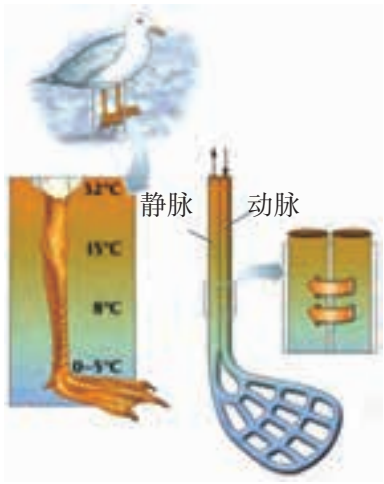


图 2-21 冰面上银鸥后肢的温度变化示意图

达尔文说过：“纵使生物在过去任何一个时期能够完全适应它们的生活条件，但当环境条件改变了的时候，除非它们自己跟着改变，否则就不能再完全适应了。”生物的适应性是长期自然选择的结果，但环境条件是不断变化的，生物对环境的适应是相对的。在冬季，生活在黑龙江林海雪原上的雪兔全身白色，有利于躲避天敌的捕食，但如果降雪推迟，白色雪兔反而容易被天敌发现（图2-22）。



图 2-22 雪兔

二、同一群落中的不同生物具有各自的生态位

1981 年，我国鸟类学家在野外调查时，曾经观察到一个有趣的现象：一只红尾伯劳发出“嘎嘎”的叫声，不断警告附近的一只黄鹌，看到黄鹌没有离开，凶猛的伯劳扑

了过去，黄鹈迅速逃命。当伯劳超越边界进入黄鹈领地时，黄鹈突然转向，向伯劳反扑过来。这是一个典型的动物保护领地的实例。群落中的每种生物都占有各自的空间，具有各自的功能和营养位置。人们把群落中每种生物与其他生物在时间、空间和营养关系上的相对位置和功能关系称为生态位（niche）。

为揭示长江中下游浅水湖泊越冬水鸟对湿地资源的利用情况，研究者对长江安徽段沿江部分浅水湖泊 30 种越冬水鸟的取食行为进行研究，将越冬水鸟分为 4 个取食集团，列出了每个集团的水鸟及其取食特征（表 2-6）。4 个取食集团的 30 种鸟生活在同一湖泊中，经过长期的相互适应，它们形成了各自的生态位（图 2-23）。

表 2-6 不同取食集团的水鸟及其取食特征

取食集团	水鸟种类	取食地点	取食方式
G1	共 6 种，主要是银鸥、白骨顶、普通秋沙鸭等	深水区	潜水取食或者飞捕水面的食物
G2	共 6 种，主要是小天鹅、白琵鹭等	浅水区	挖掘或者头部入水取食浅水区食物
G3	共 13 种，主要是鸿雁、豆雁等	浅水滩涂	挖掘啄取植物的根、种子或者啄取基质表面的食物
G4	共 5 种，主要是黑腹滨鹬、鹤鹬和红脚鹬等	泥滩	静止取食和啄取食物



普通秋沙鸭在深水区潜水取食



白琵鹭在浅水区入水挖掘取食



鸿雁在浅水滩涂挖掘食物



黑腹滨鹬在泥滩啄取食物

图 2-23 4 种水鸟在湖泊的不同区域采取不同方式取食

一个种群能够占据的生态位往往受到竞争、捕食和气候等因素的影响。群落中两个或两个以上生态位相似的种群共存于同一环境或利用同一资源时，就会出现生态位重叠现象。当生态位出现重叠时，不同种群会通过竞争削减生态位重叠，使每个种群的生态位发生偏移，直至明显分开。因此，自然界中生态位完全重叠的情况一般不会发生，如果发生，则竞争占优势的一方会把另一方完全排除。多数情况下，不同种群的生态位只会发生部分重叠，即一部分资源是被共同利用的，而其他部分则被各自占据。20 世纪 50 年代，美国生态学家麦克阿瑟（R. McArthur）发现，北美洲东北部有 5 种林莺在针叶林里一起生活，它们均以昆虫为食，但各自觅食于树冠的不同高度，互相干扰不大，各自占据不同的生态位（图 2-24）。



图 2-24 5 种林莺在针叶林中的生态位示意图（黄色部分表示林莺的取食区域）

生物在长期的进化过程中形成了与群落环境相适应的形态结构、生理特征和分布特点，但环境是不断变化的，随着环境的改变，原来的适应者可能会发生生态位移动或改变，也可能因不适应新环境而被淘汰，新的适应者将取代其生态位，与其他种群共同维持群落的和谐与稳定。这种漫长而反复的过程，正是群落中各种生物欣欣向荣、共同发展的原因所在。

学业检测

1. 芦苇是多年水生或湿生植物，茎秆直立，叶、叶鞘、茎、根状茎和不定根都具有通气组织。芦苇具有横向的根状茎，以根状茎繁殖为主，也可用种子繁殖。果实轻且具长绒毛，能随风传播。

(1) 芦苇有哪些特点适于水中生活？

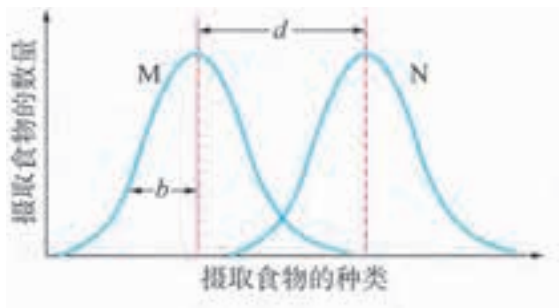
(2) 芦苇可在盐碱土滩或内陆盐碱荒地上生长，对盐碱地具有很好的改良作用。请结合下表分析芦苇适于在盐碱地上生长的原因。

6种植物的细胞渗透压

名称	芦苇	玉米	高粱	水稻	稻稗	碱蓬
细胞渗透压（大气压）	14.64	11.02	7.30	9.89	8.63	12.40

2. 斑点叉尾鲟和鲢鱼是常见的淡水养殖鱼类。为取得更好的经济效益，人们常常将它们混合放养。斑点叉尾鲟属于底栖鱼类，主要以浮游动物、有机碎屑及大型藻类为食。鲢鱼主要生活在水的中上层，滤食浮游生物。

(1) 将两种鱼混合放养，幼鱼时一般不投放饲料。研究人员对此阶段两种鱼所摄取的食物种类和数量进行研究，绘制了下图（M表示斑点叉尾鲟，N表示鲢鱼）。由此能得出的结论是（ ）。



- A. 斑点叉尾鲟和鲢鱼之间不存在竞争关系
 - B. b 越大说明斑点叉尾鲟适应环境的能力越弱
 - C. d 越小，两种鱼之间的竞争越激烈
 - D. 幼鱼阶段，随时间延长，两种鱼的生态位会变大
- (2) 两种鱼混合放养的配置比例一般是 8 : 2，其中斑点叉尾鲟价位高，效益好，占 80% 左右，鲢鱼为清洁鱼，占 20% 左右。试说明这种养鱼技术运用了什么原理。
- (3) 斑点叉尾鲟和鲢鱼能在同一片水域和谐相处，可通过研究哪些变量来解释这一现象？
- (4) 有人把生物的栖息地比作生物的“地址”，把生物的生态位比作生物的“职业”。以斑点叉尾鲟为例，说明生物的生态位和栖息地的区别。

 学业要求

重要概念	节次	学科素养
不同种群 的生物在 长期适应 环境和彼 此相互适 应的过程 中形成动 态的生物 群落。	第一节	◆ 举例说明不同类型的群落具有不同的特征。 ◆ 研究土壤中动物类群的丰富度。
	第二节	◆ 描述群落具有垂直结构和水平结构等特征，并可随时间而改变。
	第三节	◆ 阐明一个群落替代另一个群落的过程，包括初生演替和次生演替两种类型。
	第四节	◆ 分析不同群落中生物具有与该群落环境相适应的形态结构、生理特征和分布特点。 ◆ 尝试分析当地自然群落中某种生物的生态位。



中国森林生态学的奠基人之一——刘慎谔

刘慎谔（1897—1975）是中国植物分类学、植物群落学、历史植物学和森林生态学的奠基人和开拓者之一，为我国的科学事业作出了巨大贡献。刘慎谔 1897 年出生于山东牟平县的一个农民家庭，家境清贫。少年时读过几年私塾，受其兄资助，1918 年自济南第一中学毕业后考入保定留法高等工艺学校。1920 年赴法国勤工俭学，先后进入郎西大学农学院、



图 2-25 刘慎谔采集的标本

里昂大学理学院和巴黎大学理学院学习。他勤奋好学，一有时间就带着植物标本夹到法国各地采集植物标本和进行调查研究。1926 年，为解答导师提出的有关法国高斯山区植被的几个问题，他在高斯山区辛勤工作 3 年，并提交了一篇高质量的毕业论文，顺利获得博士学位。

刘慎谔在法国留学近 10 年，几乎走遍了法国的名山大川，采集了 2 万多种植物标本，对法国的植物有很深的研究。1929 年，他带着一箱书籍资料 and 大量植物标本回到了祖国。

回国后的刘慎谔被聘为北平研究院植物学研究所所长兼研究员。为了解我国西北植物区系，1931—1932 年，刘慎谔只身一人行走于新疆和西藏的高山峡谷之间进行实地考察，彰显了过人的勇气和胆魄。为解决吃饭问题，他买了一群羊，自己赶着羊群，边走边调查，由新疆、西藏到印度，一路西行……羊群是他唯一的旅伴和生命的保障。我们很难想象一路上他经历了多少艰险、

承受了多少寂寞。在穿越无人区时他一度失去了消息，他所在的研究所甚至为他开了“哀悼会”。通过这次考察，他收集各种植物标本 4500 余件，掌握了大量的第一手资料，出版了《中国北部及西部植物地理概论》等论著，填补了中国植物学领域的空白。在当时的环境条件下，这完全是个壮举。刘慎谔为探索科学真理，甘冒生命危险，历经千辛万苦，这种精神是非常难能可贵的。

1950 年，刘慎谔转而研究东北植物地理与植物生态，总结东北林区的植物演替规律，并用于解决林业生产问题，提出了森林采伐的“因地制宜、因林制宜、因树制宜、因时制宜、因型制宜”方针（图 2-25，2-26）。

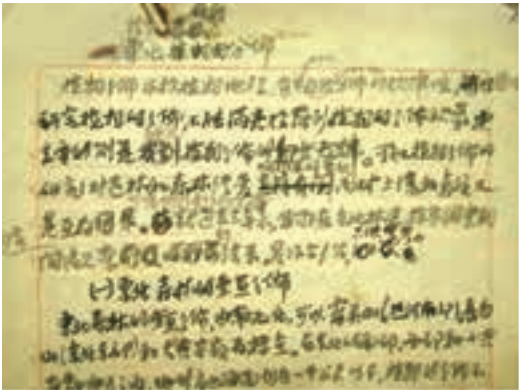


图 2-26 刘慎谔手稿

刘慎谔一生致力于植物学研究，著述颇丰，发表论文 90 余篇，出版《动态地植物学》《历史植物地理学》《中国北部植物图志》等专著 20 余部，这些论著为植物学研究和农林牧副业的发展提供了科学依据（图 2-27）。为了表彰和纪念刘慎谔作出的重要贡献和学习他的优秀品格，中国科学院林业土壤研究所于 1985 年在研究所内为他塑造了半身像。

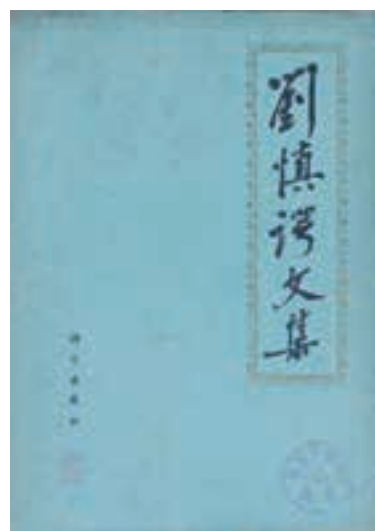
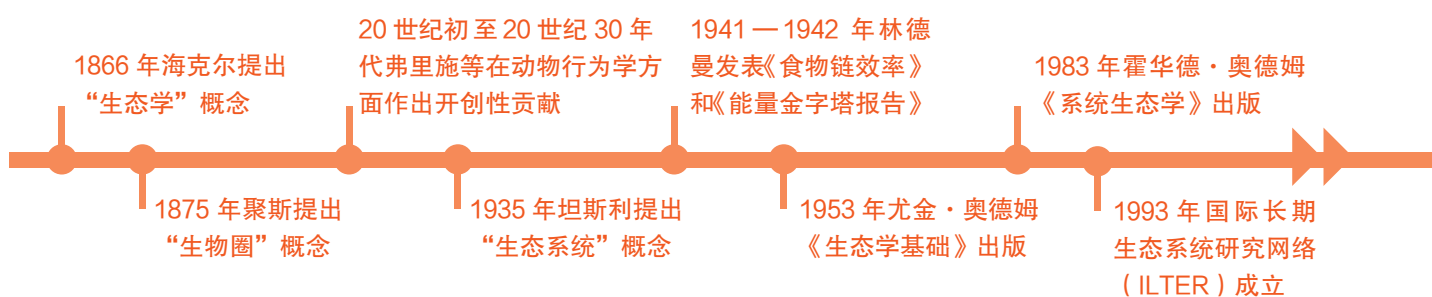


图 2-27 《刘慎谔文集》封面

第三章 生态系统是具有一定结构和功能的统一体



从茂密的森林到广袤无垠的草原，从奔腾的河流到波涛汹涌的海洋，虽然它们的外貌千差万别，物种组成各有特点，但是，它们都有一个共同的特征：生物无法脱离特定的生活环境而生存。生物群落与其无机环境是不可分割的有机整体，两者通过物质循环和能量流动紧密联系、相互作用，从而形成了各种各样的生态系统。生态系统这一概念的提出，主要在于强调一定地域中各种生物之间、生物成分和非生物成分之间在结构和功能上的统一性。研究生态系统的结构和功能所蕴含的规律，能够帮助人们构建人与自然和谐发展的机制。生态系统的结构是怎样的？生态系统具有哪些基本功能？





课题研究

调查农田生态系统中的能量流动

农田是人们为获得农作物而建立的人工生态系统，与自然生态系统相比，其结构比较简单，农作物生长整齐一致，生活周期相近，对光、温度和水以及空间等各种环境条件的要求相同。

提出问题

农田生态系统中的能量流动有什么规律？

制订并实施研究计划

1. 调查前需要做哪些准备？

- ◆ 确定调查方法。对当季农田可以进行实地调查，如果季节不合适或距离学校较远，也可以采用访谈法或文献分析法。
- ◆ 准备动植物分类图鉴，采样、烘干和称量所需的材料器具。
- ◆ 编写访谈提纲，准备录音笔、照相机、摄像机等采访工具。

2. 怎样进行野外调查？

- ◆ 在老师和农户的带领下，选择一块农田，向农户了解经常在农田出没的动物种类和数量。
- ◆ 观察农田及其生态环境，记录农田生态系统的组成成分。
- ◆ 确定研究区域，用木签和绳子划出样方。从样方内采样，包括作物、杂草等植物和各种动物，将样本带回实验室进行分析。

3. 怎样获得调查结果？

- ◆ 分类整理标本，记录各种生物的种类和数量。烘干、称重。
- ◆ 计算该农田生态系统中各营养级之间能量传递的效率。

成果交流

1. 汇总农田中出现的（包括向农户了解到的）所有生物种类，画出农田生态系统的食物网简图。

2. 计算同一取样区域内各种生物的质量，根据各个营养级的质量绘制生物量金字塔。

3. 分析影响农作物产量的主要因素，设计提高作物产量的方案，向农户提出改进建议。



图 3-1 学生在农田进行调查

第一节 生物群落与其无机环境形成生态系统



图 3-2 “生物圈 2 号”

1991 年 9 月 26 日，美国在亚利桑那州南部高原建立的“生物圈 2 号”投入运行（图 3-2）。在这个封闭的生命维持系统里，有阳光、空气和水等维持生命活动必需的成分，还有热带雨林、热带草原、海洋、沼泽和沙漠等不同的生物群落环境。研究人员栽种粮食，饲养牲畜、家禽和鱼类……饮食起居所需的全部资源均来自“生物圈 2 号”自身。这一切都是对自然生态系统组成成分及其相互作用的模拟。生态系统包括哪些组成成分？各种组成成分在生态系统中扮演着怎样的角色？

一、生态系统由生物因素和非生物因素组成

生态系统 (ecosystem) 的概念是英国生态学家坦斯利 (A. Tansley) 于 1935 年首先提出的。他在研究中发现，气候、土壤和动物对植物的生长、分布和丰富度都有明显的影响，于是提出：“生物与环境形成一个自然系统。正是这种系统构成了地球表面上各种大小和类型的基本单元，这就是生态系统。”



个体 种群 群落 生态系统

图 3-3 从个体到生态系统示意图

生态系统就是在一定空间中共同栖居着的所有生物（即生物群落）与其环境之间不断地进行物质循环、能量流动和信息传递过程而形成的统一整体（图 3-3）。生态系统就像一部由许多零件组成的机器，这些零件通过物质、能量、信息的联系而形成巧妙的结构，从而使整个机器通过反馈调节而灵活运转。

生态系统的范围没有严格的限制，其范围和边界随所研

究问题的特征而定。小至一个池塘，大到一片草原，甚至整个生物圈都可以看作一个生态系统。根据生态系统所受人为干预的程度，可以将其分为自然生态系统和人工生态系统。自然生态系统分为陆地生态系统（如森林、草原、荒漠和冻原等生态系统）和水域生态系统（如海洋生态系统和淡水生态系统）（图 3-4）。人工生态系统包括农田、池塘、城市等生态系统。各种类型的生态系统并非孤立存在，每一个生态系统都与周围其他生态系统紧密联系，地球上的全部生物及其环境就构成了生物圈。



森林生态系统



草原生态系统



荒漠生态系统



海洋生态系统

图 3-4 生态系统的部分类型

二、生态系统的组成成分紧密联系



生态系统由生物因素(biotic factor)和非生物因素(abiotic factor)两部分组成。生物因素包括生产者(producer)、消费者(consumer)和分解者(decomposer)；非生物因素包括阳光、空气和水等，它们为生物的生命活动提供物质、能量和生存空间。



图 3-5 硝化细菌
(亚显微结构)

生产者是能用简单的无机物制造有机物的自养生物，包括所有的绿色植物和某些细菌（图 3-5）。太阳能只有通过生产者的光合作用，才能源源不断地输入生态系统。

消费者自己不能制造有机物，只能直接或间接地以生产者制造的有机物为食，属于异养生物。食草动物直接以植物为食，属于初级消费者，如田鼠、牛。有些食肉动物以食草动物为食，属于次级消费者，如湖泊中某些以浮游动物为食的鱼类，草原上捕食羚羊的猎豹（图 3-6）。还有些食肉动物以次级消费者为食，如湖泊中的鳊鱼和草原上的金雕，称为三级消费者，依次类推……

分解者能将动物的遗体、粪便及植物的残枝败叶所含的有机物分解成无机物，获取自身生命活动所需的物质和能量，同时将无机物归还到无机环境中（图 3-7）。分解者主要包括细菌、真菌等微生物，以及蚯蚓、蜣螂等营腐生生活的动物。分解作用需要经过一系列复杂的过程，各个阶段分别由不同的生物完成。



图 3-6 消费者



图 3-7 分解者



模型建构

构建池塘生态系统的结构模型

池塘是我们常见的水体，因其范围相对较小，边界容易确定，常作为研究生态系统的对象（图 3-8）。构建池塘生态系统的结构模型，可以直观形象地表达各种组成成分之间的关系。

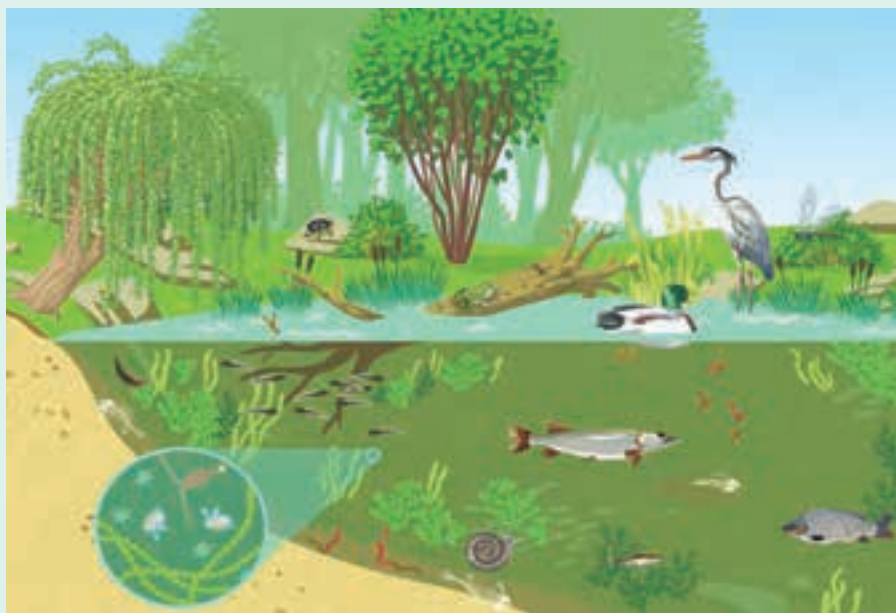


图 3-8 池塘生态系统示意图

目的要求

通过构建池塘生态系统的结构模型，了解生态系统的组成成分及其之间的相互联系，加深对池塘是一个“系统”的直观认识和理解。

材料器具

A4 纸、剪刀、直尺、铅笔、彩笔、固体胶。

活动程序

1. 取 1 张 A4 纸(29.7cm × 21cm), 沿短边裁下 21cm × 3cm 的纸条。将纸条对折 2 次, 沿折痕剪出 4 个矩形纸片。用直尺和铅笔在 A4 纸的剩余部分上画 1 个 20cm × 16cm 的方框, 作为所研究的池塘生态系统的范围。

2. 分析池塘生态系统所包括的非生物成分, 并在一个矩形纸片上标注“非生物成分”, 将背景涂色。

3. 分析各种生物在池塘生态系统中的作用, 把它们归纳为生产者、消费者和分解者, 分别标注在 3 张矩形纸片上, 涂不同颜色加以区分。

4. 分析池塘生态系统中各种组成成分之间的相互关系, 在方框内调整 4 个矩形纸片的位置, 用固体胶固定, 然后用箭头标出四者的关系。

5. 池塘并不是封闭的生态系统, 它时刻与周围环境进行物质与能量的交换。在方框之外用箭头标出池塘生态系统物质、能量输入和输出的方向。

分析讨论

1. 池塘生态系统的各种组成成分之间具有怎样的联系?
2. 有人说: “消费者并非生态系统不可缺少的成分。” 你对这种说法是否认可?
3. 通过构建生态系统的结构模型, 你对“系统” 有怎样的认识?



图 3-9 系统的结构模型



图 3-10 蜂鸟为植物传粉

系统是由相互作用、相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体，而且这个有机整体又从属于更大的系统(图 3-9)。生态系统就是生命系统的一个层次。尽管生态系统的四种组成成分所起的作用不同，但它们之间却有着紧密的联系，既相互依赖，又相互制约，都是生态系统维持其功能必不可少的成分。生产者通过光合作用不仅为自身的生长、发育和繁殖提供物质和能量，它所制造的有机物也是消费者和分解者的能量来源。可见，生产者是生态系统中最基本、最关键的成分。消费者在生态系统中的作用是加速能量的流动、物质的转移和信息的传递，既有利于维持生态系统的稳定，也能促进生态系统的发展。许多消费者能够帮助生产者传粉、传播种子(图 3-10)。分解者在生态系统中的作用极为重要，如果没有它们，就会影响物质的再循环过程，动植物遗体和残遗物将堆积起来，导致整个生态系统的崩溃。生产者和分解者是联系生物群落与无机环境的两大“桥梁”。

生态系统是生物因素与非生物因素之间相互协调、共同作用的相对稳定的系统，它是地球上生物与环境、生物与生物长期共同进化的结果。“生物圈 2 号”实验历时两年，最后以失败告终，它证明了在现有的科学技术条件下，人类离开了地球将难以永续生存，生物圈仍是人类生存的根本。研究生态系统的组成成分及其相互关系，有助于我们在生产实践中遵循自然规律，实现可持续发展。

学业检测

1. 黄河三角洲湿地是世界上暖温带保存最完善、最年轻的湿地，这里到处显现着一派“天上有飞鸟，地上野兽跑，鱼虾水中跃，绿林随风拽，花儿竞相开”的生机盎然景象。观察右侧黄河三角洲湿地生态系统图片，回答下列问题：

(1) 碱蓬连片生长，均匀密布，它们能够随着土壤所含的盐碱度呈现不同的颜色，碱度越高颜色越红。碱蓬在黄河三角洲湿地生态系统中的作用是什么？

(2) 图片中，一群白鹤正展翅高飞，它们在黄河三角洲湿地生态系统中具有怎样的作用？



(3) 黄河三角洲湿地栖息的鸟类数量超过 400 万只，这里几乎成了鸟的“王国”。判断下列有关鸟类描述的正误：

毛腿沙鸡主要以植物种子和幼芽为食，对湿地具有破坏作用 ()

大天鹅与小天鹅生活习性相似，它们之间具有竞争关系 ()

丹顶鹤主要以鱼虾和植物茎叶等为食，属于次级消费者 ()

白尾海雕主要以鱼类为食，属于四级消费者 ()

(4) 从黄河三角洲湿地生态系统的图片中，我们无法找到分解者。分解者在生态系统中是如何发挥作用的？

2. 2017 年 5 月 10 日，北京航空航天大学启动了“月宫 365 计划”，即 365 天生命保障自给自足的实验计划。这项研究对保障中国载人空间站及火星探测等航天计划的顺利进行、保障航天员生命安全和生活质量具有重大意义。8 名志愿者分批进入“月宫一号”实验舱，在这个完全封闭的实验舱内进行科研、学习和生活（见下图）。“月宫一号”由一个综合舱、两个植物舱组成，植物舱内种植了 35 种植物。



(1) 这 35 种植物在“月宫一号”实验舱中具有什么作用？

(2) “月宫一号”实验舱作为完全封闭的生态系统，除了种植植物之外，还应该有哪些生物？

(3) 为了保证志愿者在“月宫一号”实现自给自足，实验舱内除了以上生物成分，还应该具备哪些条件？

第二节 食物链和食物网构成生态系统的营养结构



图 3-11 螳螂捕食正在采蜜的蝴蝶

阳光明媚的春天里，空气中弥漫着花草的芳香，一只蝴蝶翩跹而来，驻留花朵，饱尝新鲜的花蜜。一道绿色光影掠过，转瞬间蝴蝶的双翅已被螳螂的前足牢牢钳住（图 3-11）。得意的螳螂正要品尝美餐，体态轻盈的鸟儿疾飞而来，叼起螳螂，展翅飞向天空……自然界每时每刻都在上演类似的场景，生态系统中任何一种生物都同其他的生物发生着联系。生物与生物之间的联系有什么规律？它们的这种联系对于生态系统有何意义？

一、生态系统的生物之间存在复杂的营养关系

生产者与消费者可以通过食物关系相互联系起来，它们通过捕食与被捕食的关系排列成一定的序列。1927 年英国生态学家埃尔顿首次提出了食物链（food chain）的概念：食物链是各种生物之间由于食物关系而形成的一种联系。捕食食物链是生态系统中最常见的食物链形式，人们对其已经有了深入细致的研究。

阅读空间

食物链的基本类型

食物链可以分为三种类型，即捕食食物链、碎屑食物链和寄生食物链。捕食食物链是以活的植物体为起点，后者捕食前者，例如，树→昆虫→鸟。碎屑食物链是从动植物死后机体经微生物作用形成碎屑，再到食碎屑动物（如蜈蚣、蜗牛等）以及它们的捕食者，其基本形式为：碎屑→食碎屑动物→小型食肉动物。寄生食物链是营寄生生活的生物与其他生物之间存在的一种营养关系，一般以较大的生物为起点，然后是小型动物、微型动物、细菌和病毒。例如，黄鼠→跳蚤→细菌→噬菌体。



资料探究

探讨草原生态系统的营养结构

老舍在他的散文《草原》中有段精彩的描述：“那些小丘的线条是那么柔美，就像只用绿色渲染，不用墨线勾勒的中国画那样，到处翠色欲流，轻轻流入云际。”我国有天然草原近 400 万 km^2 ，约占全球草原面积的 12%，是世界上草原资源最丰富的国家之一。探讨草原上各种动植物之间的食物关系，有助于了解生态系统中生产者和消费者之间的营养关系特点。

呼伦贝尔草原位于大兴安岭以西，由呼伦湖、贝尔湖而得名，是我国保存完好的草原生态系统，也是现存最丰美的优良牧场。在几千条大小河流的滋养下，每到夏季，这里草长莺飞，牛羊遍地。呼伦贝尔草原有野生植物 1400 多种，野生动物种类繁多，常见的有金雕、赤狐、草原犬鼠等（图 3-12）。



图 3-12 呼伦贝尔草原上的部分动植物

分析讨论

1. 分析图中草原动物的食性，你认为哪些生物之间具有捕食关系？
2. 用箭头标出各种生物之间的食物联系。
3. 生态系统中的各条食物链彼此连接，这具有什么意义？

绝大多数动物的食物是多种多样的，完全依赖某种食物的情况很少见。一种生物可能以几种生物为食，同时也可能是其他几种生物的食物，因此一种生物往往同时参与几条食物链。许多食物链交织在一起，形成错综复杂的网状结构，叫作食物网（food web）。食物链和食物网构成了生态系统的营养结构。生产者所固定的能量沿着食物链和食物网层层传递，使生产者和消费者之间建立了直接或间接的联系。



图 3-13 北极冻原

生态系统的营养结构是由其生物因素和非生物因素决定的。北极冻原地带的生态条件十分恶劣，冬季漫长而寒冷，夏季短暂而凉爽，年平均温度在 0°C 以下，年降水量不多，植被组成简单，动物种类较少，主要有雷鸟、旅鼠、北极兔等，因此北极冻原生态系统的营养结构就比较简单（图 3-13）。而分布在湿润区域的热带雨林，终年高温多雨，植被极其茂密，动物种类极为丰富，因此其营养结构就十分复杂。当生态系统中某一食物链发生障碍时，可以通过食物网中的其他食物链进行调节和补偿。

生态系统的营养结构错综复杂，难以用图解的方法完全表示出来，为了使生物之间的营养关系变得更加简明，便于进行定量的分析研究，生态学家提出了营养级（trophic level）的概念。一个营养级是指处于食物链某一环节上所有物种的总和。营养级之间的关系已经不是一种生物和另一种生物的关系，而是指处在不同营养层次上的生物类群之间的关系。所有的自养生物都位于食物链的起点，它们构成了第一营养级；初级消费者以植物为食，是第二营养级；次级消费者为第三营养级，三级消费者为第四营养级……

二、某些有害物质沿食物链而富集

随着工业化进程的突飞猛进，环境污染对人类健康的危害越来越大，也越来越被人们重视。但是，某些潜在的危害却不易被人们觉察：某些有害物质能够通过捕食与被捕食的过程沿着食物链逐级传递。



资料探究

DDT 兴衰的启示

1874 年，德国化学家齐德勒（O. Zeidler）合成了一种有机氯化合物——双对氯苯基三氯乙烷，简称 DDT（dichloro-diphenyl-trichloroethane，图 3-14）。DDT 为白色晶体，不溶于水，易溶于多数有机溶剂和油脂中，是人类历史上第一种人工合成的有机杀虫剂，但在当时人们并没有发现它的用处，之后的 65 年中无人问津。

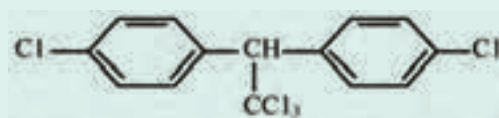


图 3-14 DDT 的结构简式

[资料 1] 1939 年，瑞士化学家穆勒（P. Mueller）发现 DDT 可以作为杀虫剂使用，而且具有良好的杀虫效果。DDT 首先在控制疾病流行方面取得了成功。1943—1945 年，DDT 的广泛使用明显减少了欧洲的蚊、蝇、虱等，防止了斑疹伤寒的流行。1948—1970 年，DDT 控制了疟疾和脑炎的传播，挽救了 5000 多万人的生命。此外，DDT 在防治农业害虫方面也获得了巨大成功，成为粮食增产必不可少的重要手段。据统计，在使用 DDT 以后，1954 年的世界粮食单位面积产量比 1943 年提高了约 60%。人们对 DDT 的应用前景非常乐观，其产量和销售急剧上升。

[资料 2] 1962 年，美国生态学家卡逊（R. Carson）在《寂静的春天》一书中，对包括 DDT 在内的农药所造成的危害进行了生动的描写：植物枯萎了，鸟儿消失了，鱼儿死光了，母鸡孵不出小鸡，新生的猪仔活不了几天，花丛中没有了蜜蜂，果树的花得不到及时授粉、没有果实……虽然卡逊因揭露 DDT 对生态系统的负面效应而遭受怀疑、嘲讽和谩骂，然而支持她的声音也越来越大，DDT 的危害逐渐得到公认。1970 年瑞典最先禁用 DDT，之后更多的国家先后禁止生产和使用 DDT。2001 年 5 月国际社会通过了《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》，力图全球逐步禁用 DDT，DDT 开始走向消亡。

[资料 3] 1995 年 6 月，中国科学院动物研究所的科研人员在白洋淀区端村水域采集水体、表层底泥和几种水生生物体的样品，用气相色谱仪测定其 DDT 的含量，结果表明尽管水体 DDT 含量不高，但各种水生生物体内 DDT 的含量却达到惊人的程度（表 3-1）。

表 3-1 白洋淀环境和生物体内的 DDT 含量

测定项目	DDT 含量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	富集系数
湖水	0.1	/
底泥	0.7	7

(续表)

测定项目	DDT 含量 ($\mu\text{g/kg}$)	富集系数
苴草、茨藻	6.3	63
大型蚤	21.0	210
日本沼虾、铜绿方田螺	37.9	379
当年生鲫鱼	19.4	194
2 龄乌鳢	124.4	1244

说明：富集系数是指生物体内污染物的浓度与无机环境中该物质的浓度之比。

分析讨论

- 1. 卡逊指出：“DDT 最险恶的特性之一，是它们通过食物链上的所有环节，由一个机体传至另一个机体。”比较白洋淀生态系统不同营养级生物体内 DDT 的含量，总结其中的规律。
- 2. 在农药的发展史上，DDT 是一个重要的里程碑。DDT 从兴起到被多数国家列入禁用农药，有哪些原因？
- 3. 南非在 20 世纪末期禁用 DDT 后，爆发了几次疟疾，被迫在 2000 年重新使用 DDT。疾病控制专家主张，为杀灭传播疟疾的蚊子，今后需要继续使用 DDT。对此你有何看法？请说出理由。

某些有害物质在沿着食物链转移的过程中，每经过一个营养级，其浓度就有一次明显的提高。环境中的某些有害物质，通过食物链的传递逐渐积累浓缩，营养级越高的生物体内这些有害物质的浓度越高，这种现象叫作生物富集（bioconcentration）。这类有害物质的共同特点是化学性质稳定，经生物体吸收后不易排出，且很难被代谢分解。许多有机氯杀虫剂、多氯联苯以及多种重金属离子如铅、镉、汞等均可随食物链富集。海水中汞的浓度为 0.000 1mg/L 时，浮游生物体内含汞量可达 0.002~0.01mg/L，小鱼体内可达 0.2~0.5mg/L，而大鱼体内可达 1~5 mg/L（图 3-15）。生物富集可使环境中低浓度的物质，在最高营养级生物体内的含量提高几十倍甚至成千上万倍，因而对高营养级生物和人造成较大的危害。

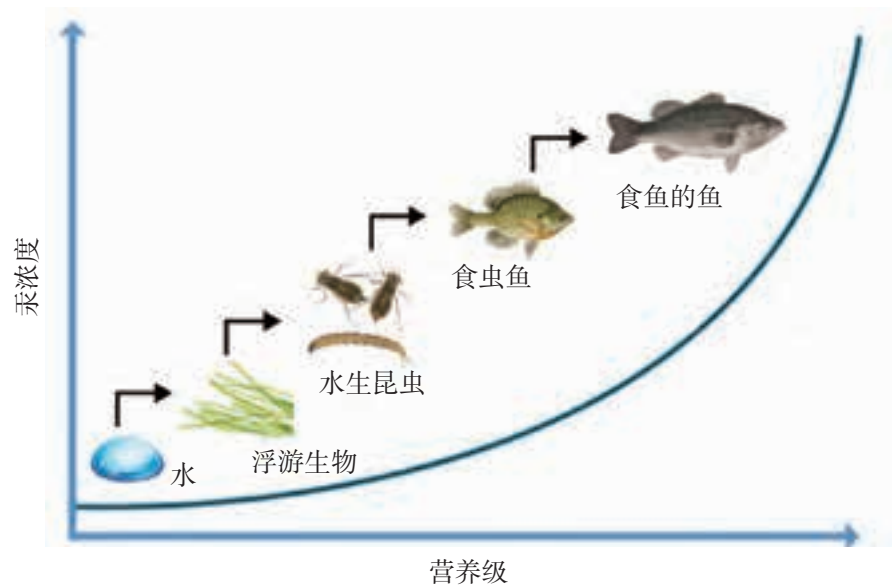


图 3-15 汞随食物链富集示意图

环境中某些有害物质如何经过生物体吸收和食物链富集，已经成为生态学研究的一项重要内容。通过加强对生物富集的研究，人们能够阐明环境中某些有害物质在生态系统中迁移和转化的规律，评价和预测这类有害物质进入生物体后可能造成的危害，以便利用生物对环境进行监测和净化。

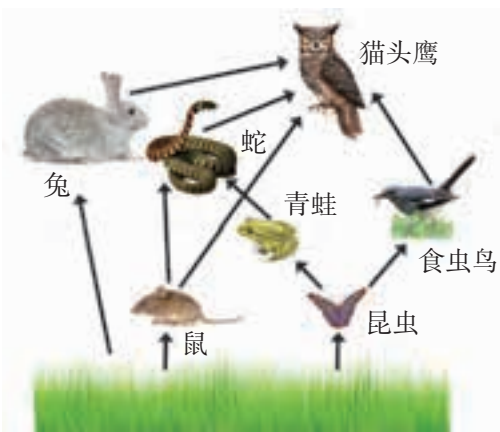
学业检测

1. 在日常生活中，流传着许多脍炙人口的民间谚语。谚语反映了劳动人民的生活实践经验，有些还蕴藏着生物学知识。分析下列谚语描述的生物之间的关系，写出相应的食物链。

- 螳螂捕蝉，黄雀在后：_____
- 鹬蚌相争，渔翁得利：_____
- 大鱼吃小鱼，小鱼吃虾米：_____

2. “乡村四月闲人少，才了蚕桑又插田。”绿油油的稻田洋溢着勃勃生机。观察右侧的农田生态系统食物网，回答下列问题：

- (1) 在该农田生态系统中，起决定作用的因素是什么？
- (2) 该食物网包含了多少条食物链？
- (3) 在该农田生态系统中，第二营养级包括哪些生物？
- (4) 假设喷洒农药导致所有的昆虫灭绝，则一



定时间内该生态系统将会受到影响，尝试解释其中的原因。

3. 1949 年，美国加利福尼亚州莹蚊肆虐，为了防治莹蚊，人们在清湖喷洒杀虫剂双对氯苯基二氯乙烷（DDD）。在获得初次成功后，该杀虫剂得以长期应用。1954 年，科学家检测了清湖的水体和几种生物体内 DDD 的浓度（见下表）。

检测对象	水	A	B	C	D
DDD 浓度（ $\mu\text{g/kg}$ ）	0.02	15.5	16.1	0.1	0.53

- （1）根据清湖中几种生物体内 DDD 的浓度，写出该生态系统中的食物链。
- （2）通过食物链逐渐富集的物质具有哪些化学性质？
- （3）假如请你治理清湖的 DDD 污染，你计划采取哪些措施？

第三节 能量在生物群落中单向流动并逐级递减

19 世纪中叶，物理学家经过大量的科学实验，提出了热力学第一定律：热量可以从一个物体传递到另一个物体，也可以与其他能量互相转换，但是在转换过程中，能量的总值保持不变。生态系统中能量的传递和转化，同样遵循这一定律。生物个体的生命活动无时无刻不在消耗着能量，生态系统的维持和发展也离不开能量的供应。源源不断的能量输入和有序传递是生态系统的重要功能，也是维持生态系统正常运行的基础（图 3-16）。生态系统的能量是怎样沿着食物链或食物网流动的？能量在流动过程中有什么规律可循？



图 3-16 太阳能输入生态系统

一、能量沿食物链流动

对于地球上绝大多数的生态系统来说，太阳能是生态系统中能量的源头。每天都有大量的太阳能输送到地球，其中只有约 1% 的能量通过绿色植物的光合作用转化为化学能，固定在植物所合成的有机物中，这样太阳能就输入到了生态系统的第一营养级，生产者固定的太阳能总量就是流经这个生态系统的总能量。消费者和分解者直接或间接从绿色植物获取能量，储存于有机物中的化学能沿着食物链的各个营养级依次传递。生态系统中能量的输入、传递、转化和散失的过程，称为生态系统的能量流动。



资料探究

分析生态系统中的能量流动

当能量沿着食物链流动时，每条食物链上能量传递的情况是类似的，不同食物链中同一营养级的生物的能量流向是相同的，因此可以将生态系统中每个营养级的生物作为一个整体进行能量流动的定量研究。

1957 年美国生态学家奥德姆（H. Odum）对佛罗里达州的银泉进行了能量流动定量分析。奥德姆选择银泉作为研究对象，是因为泉水生态系统边界清晰，整个生态系统封闭性较强，便于计算物质和能量的输入量和输出量，而且生态因素变化幅度较小，与周围环境物质和能量的交换量较小。奥德姆依据物种的主要食性，把生态系统中的每个物种归属于一个特定的营养级，然后测定和统计每一个营养级能量的输入和输出值（图 3-17）。

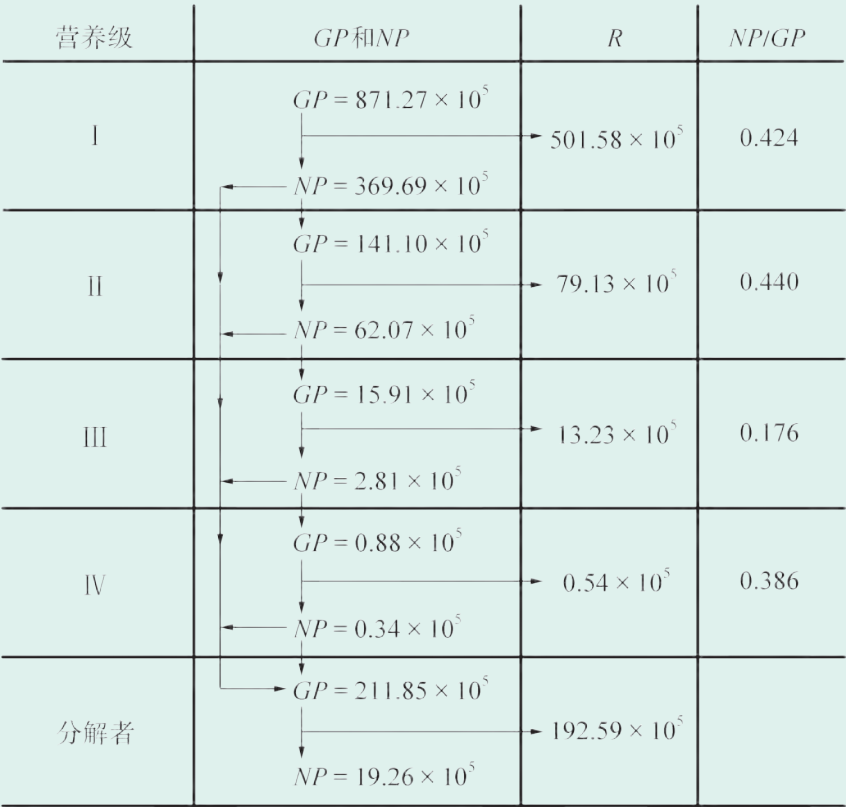


图 3-17 银泉的能量流动分析图解

说明：GP表示总生产量（同化量），NP表示净生产量，R表示呼吸量
单位： $J/(m^2 \cdot a)$ 。

分析讨论

1. 生产者固定下来的能量有哪些流向？初级消费者所摄取食物中的能量是否全部转化为自己的能量？其粪便中的能量流向了哪里？
2. 输入某营养级的能量即该营养级同化的能量。第一营养级的能量有多大比例输入第二营养级，即传递效率是多少？第二营养级到第三营养级的传递效率是多少？
3. 用数学表达式建立关于 GP、NP 和 R 的数学模型。
4. 银泉生态系统中第四营养级的生物数量很少，原因是什么？

能量沿食物链传递和转化的过程中，每个营养级的能量均不能百分之百地流入下一个营养级，每一次传递都有许多能量耗散流失，能量在沿着食物链流动的过程中是逐级递减的，相邻两个营养级间的传递效率只有 10%~20%。生物之间捕食与被捕食的关系是一定的，能量只能由第一营养级依次流向各个营养级，而不能逆向传递。输入到生态系统的总能量最终都转化为热能而散失，不能被生态系统再次利用，即生物群落中的能量流动是单向的。为直观表示生态系统能量流动过程及特点，可把能量流动概括为一个普适的模型（图 3-18）。

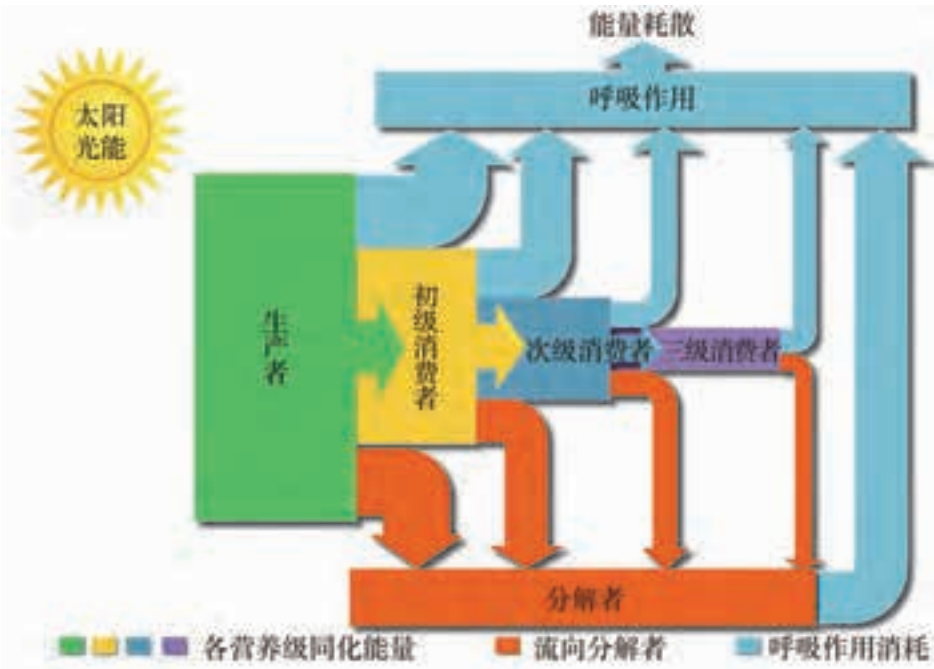


图 3-18 生态系统能量流动模型

能量传递过程中只是能量形式发生转化，输入和输出的能量总量是守恒的。生态系统之所以能维持有序的状态，依赖于这些能量的推动。生态系统是一个开放的能量耗散系统，要维持其正常的功能，就必须有持续不断的能量输入，用以维持各营养级生物生命活动的正常进行。如果能量输入中断，生态系统便会丧失其功能。

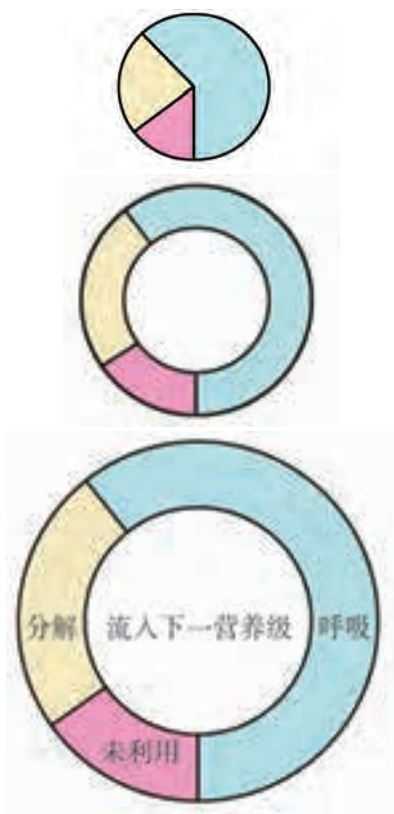


图 3-19 代表 3 个营养级同化能量的圆盘

思维训练

制作蛋糕形能量流动模型

取一张 A4 纸，用圆规、直尺画出大、中、小 3 个圆（假设半径分别为 R_1 、 R_2 、 R_3 ，半径数值由小组商议确定）。在大圆内画出半径为 R_2 的同心圆，在中圆内画出半径为 R_3 的同心圆。参考图示方法对圆盘分区和着色（图 3-19），沿边缘裁下 3 个纸质圆盘。用厚约 2cm 的泡沫板，对应裁出大、中、小 3 个圆盘，将圆盘的两面分别标记为 A 面和 B 面。

1. 假设纸质圆盘分别代表第一、第二和第三营养级同化的能量，仿照大圆盘中的标注，在中盘和小盘上作恰当的标注并分别描述各营养级同化能量的去向。

2. 将 3 个纸质圆盘粘贴在对应大小的泡沫圆盘 A 面，此面向上由大到小顺次叠加，对齐颜色分割线，从侧面观察模型的形状，体会能量流动的特点。

3. 重新裁出 3 个纸质圆盘并标注，标注时取消红、黄区的分割线，原红色区域也涂以黄色，即不再标注未利用的能量。将新标注纸质圆盘粘贴在对应大小的泡沫圆盘 B 面，B 面向上按第二步的方式叠加，从上方俯视模型，思考各营养级当前未被利用的能量的未来去向，归纳生产者所固定能量的最终去向。

4. 假设圆盘面积代表相应营养级同化的能量值，尝试计算模型中营养级间的能量传递效率。

阅读空间

百分之十定律

美国生态学家林德曼于 1941—1942 年对赛达伯格湖能量流动的测定结果分析发现，能量从绿色植物开始按食物链的顺序沿不同营养级转移时，有稳定的数量级比例关系，一个营养级到另一个营养级的能量转化效率通常为 10% 左右。林德曼把这种定量关系叫作“百分之十定律”。实际上，这仅是湖泊生态系统中能量转化效率的一个近似值。在不同的生态系统中，能量转化效率有的高达 30%，有的只有 1% 或者更低。林德曼以数学方式定量地表达了生物群落中营养级的相互作用，证明生态系统的能量流动是逐级递减的，标志着生态学开始从定性阶段走向定量阶段。

二、生态金字塔表征了营养级之间的数量关系

将单位时间内各个营养级的能量数值、个体数量、生物量数值由低到高绘制成金字塔图形，称为生态金字塔。生态金字塔可以分为能量金字塔、数量金字塔和生物量金字塔三种类型。

能量金字塔反映的是营养级与能量的关系，它是以每个营养级的能量为指标绘制的，形象地表现出生态系统中的能量单向流动、逐级递减的规律。由于能量在通过各营养级时会急剧减少，所以食物链不可能太长。生态系统中的营养级一般只有四或五级，很少超过六级（图 3-20）。

数量金字塔是以每个营养级的生物个体数量为依据绘制的金字塔。通常情况下，每个营养级包括的生物数量随着营养级的上升而递减（图 3-21a），但不同营养级内生物个体的体积、数量相差悬殊，使得数量金字塔的形状变化比较大，甚至出现倒置或畸形的现象。如用数量金字塔表示“树→昆虫→鸟”的营养关系时，昆虫的数量多于树木，鸟的数量又少于昆虫，就会形成一个畸形金字塔（图 3-21b）。



图 3-20 能量金字塔

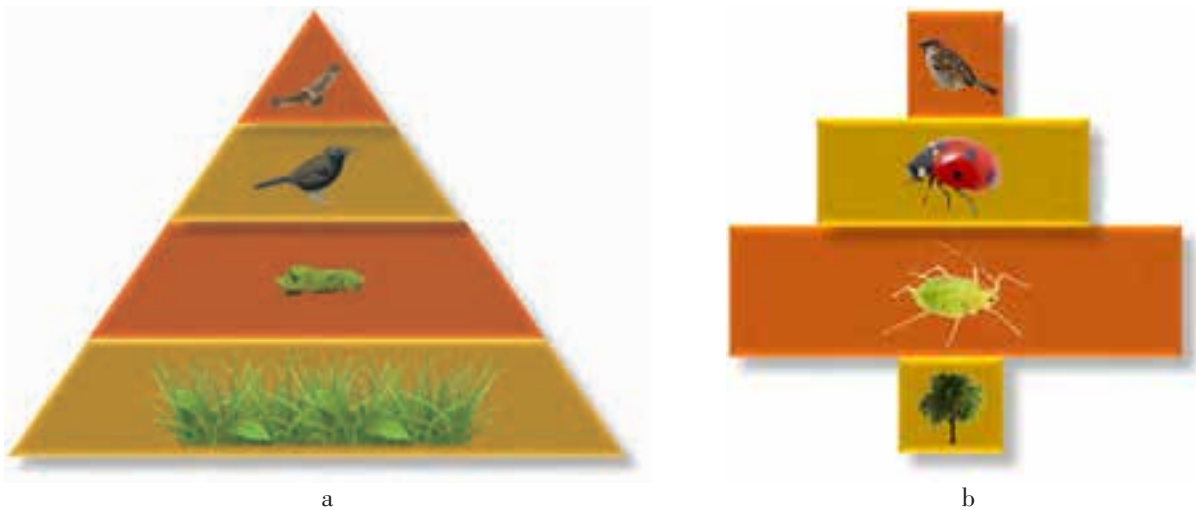


图 3-21 两种数量金字塔

生物量金字塔以生物体的干重表示每一营养级中的生物总重量。一般说来，绿色植物的生物量要大于食草动物的生

物量，而食草动物的生物量要大于食肉动物的生物量。在海洋生态系统中，浮游植物的个体很小，寿命很短，在某一时刻调查的生物量，往往低于浮游动物的生物量，这时生物量金字塔也出现倒置。但从一个较长的时间来看，比如一年当中流经浮游植物的总能量还是比浮游动物多。

三、能量流动规律可用于指导生产实践

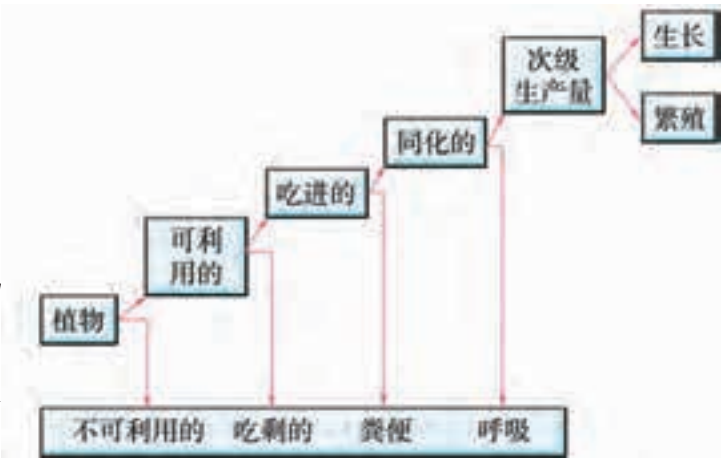
能量在沿着食物链流动的过程中逐级递减，说明生态系统的承载能力是有限的，绝不可能超过承载能力去供养金字塔顶端的消费者。研究能量流动的规律，可以帮助人们科学规划、设计人工生态系统，使能量得到最有效的利用；同时还可以帮助人们合理地调整生态系统中的能量流动关系，使能量持续高效地流向对人类最有益的部分。稻田养鱼种植模式是生态系统能量流动原理应用的典型实例：把鱼引入稻田，鱼排泄粪肥，翻动泥土促进肥料分解，为水稻生长创造良好条件。鱼可以吃掉危害水稻生长发育的一些害虫和杂草，取食杂草可使光能更多地被水稻固定并使杂草的能量流向鱼类；吃掉害虫可减少水稻能量流失并充分利用了害虫体内的能量，既可获得鱼类产品又能实现水稻增产（图 3-22）。



图 3-22 稻田养鱼

学业检测

1. 绿色植物通过光合作用所制造的有机物，叫作初级生产量。消费者捕食上一营养级而生产出来的有机物属于生态系统中有有机物的再生产，称为次级生产量（ P ）。通常用 C 代表动物从外界摄取的能量， A 代表被同化的能量，而 FU 代表以粪便形式损失的能量， R 代表呼吸消耗。右图呈现了次级生产量的具体生产过程。

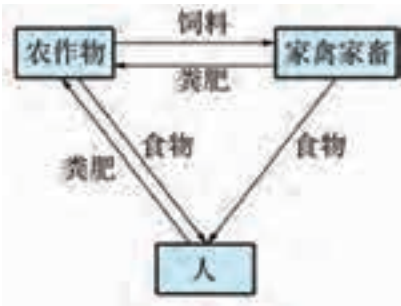


- (1) 用数学表达式建立 C 、 A 、 FU 间的数学模型_____。
- (2) 用数学表达式建立 A 、 P 、 R 间的数学模型_____。
- (3) 用数学表达式建立 P 、 C 、 FU 、 R 间的数学模型_____。

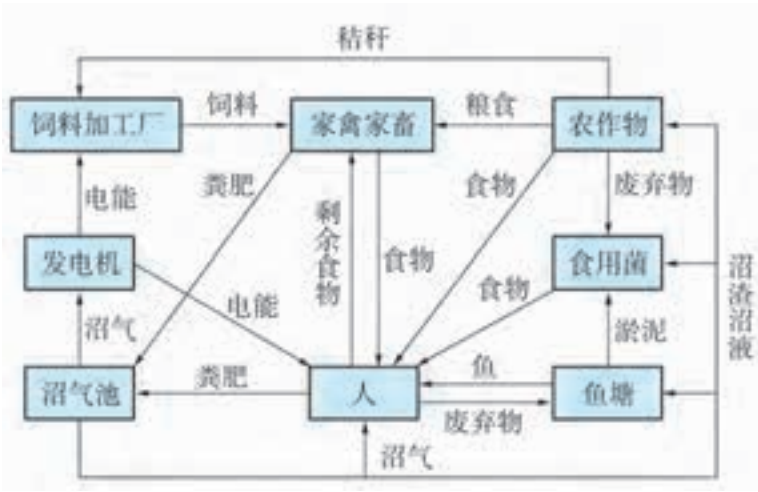
2. 在实施“调查农田生态系统中的能量流动”研究计划时，某小组对学校附近的一块玉米田进行了实地调查。对样方中各种动植物的分析结果见下表。

样本	玉米	杂草	玉米螟	玉米蚜	黏虫	七星瓢虫	蝗虫	螳螂
数量	12	36	27	29	153	7	2	1
干重（g）	2.7×10^3	105	6.5	2.3	1.8	2.1	8.2	10.9

- (1) 画出该农田生态系统的食物网。
 - (2) 根据样方中各个营养级的生物数量及其质量，绘制数量金字塔和生物量金字塔。
 - (3) 根据该小组调查的结果，你认为这块玉米田应该采取哪些措施才能提高产量？
3. 下图是两个农业生态系统的结构示意图，图 A 是传统农业，图 B 是江苏省建湖县董徐村的生态农业，假设两图中农作物为人类提供的物质量、为家禽和家畜提供的饲料量都相同。



图A 传统农业示意图



图B 江苏省建湖县董徐村生态农业示意图

- (1) 根据图 A、B 所示生态系统的结构，画出这两个生态系统能量流动和利用的图解（各种生物的呼吸作用耗能和图中未标出的分解者耗能可不标出）。
- (2) 哪幅图所示生态系统的能量能够更多地被人类利用？原因是什么？
- (3) 图 B 所示的生态系统具有哪些优点？

第四节 物质在生物群落和无机环境之间循环



图 3-23 叶落归根

中华文明传承 5000 多年，积淀了丰富的生态学智慧。《荀子》写道：“水深而回，树落则粪本。”从生物学的角度阐释，“树高千丈，叶落归根”蕴含了生态系统的物质循环原理（图 3-23）。诸如碳、氢、氧之类的元素，在生态系统中不断变换形态，有时它是生物体的组成部分，有时又是无机环境的成分。物质是怎样在生物群落与无机环境之间往复循环的？物质循环对于维持生态系统的稳态具有怎样的作用？

一、生态系统中的物质可以循环利用

生态系统的能量来源于太阳，物质则由地球供应。C、H、O、N、P 等与生命活动相关的元素及水，在不同层次的生态系统乃至整个生物圈内，沿着特定的途径从无机环境到生物群落，再从生物群落回归无机环境，不断循环往复的过程，称为物质循环（matter cycle）。物质循环既涉及生物化学系统，又涉及地球化学系统，因此又叫作生物地球化学循环（biogeochemical cycle），简称生物地化循环（图 3-24）。

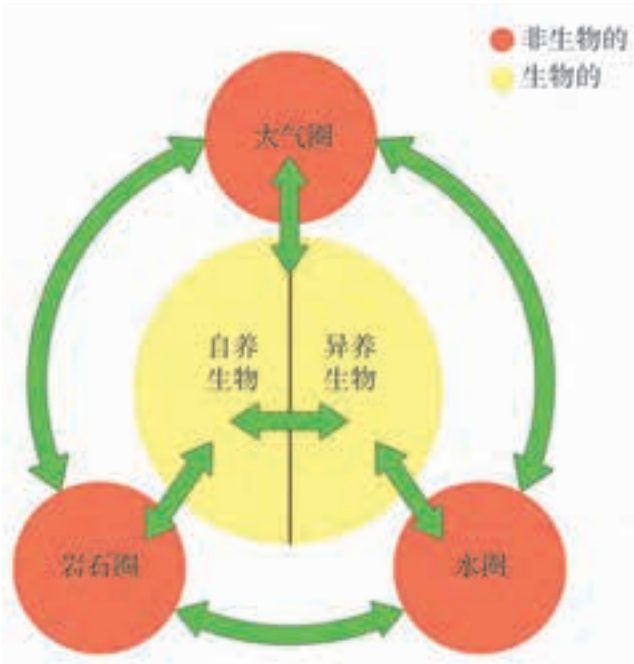


图 3-24 生物地球化学循环示意图

二、物质循环具有不同路径

物质循环可分为 3 种类型，即水循环、气体型循环和沉积型循环。水循环是最基本的物质循环，生态系统中所有物质的循环均在水循环的推动下得以完成。参与气体型循环的物质如 C、N 等，以气体的形式在生物群落和无机环境之间循环。参与沉积型循环的物质如 P、Ca 等，主要通过岩石的风化作用和沉积物的分解作用转变成生态系统可利用的物质。



资料探究

分析生态系统的水循环和碳循环

在生物圈水平研究生物地球化学循环的过程，主要是研究 H_2O 、C、O、N、P 等物质的全球循环过程。这类物质对于组成生物体和完成各项生命活动至关重要，如果它们的循环受到干扰，将会对生态系统产生深远的影响。

[资料 1] 蒸发和降水是水循环的两种基本方式，地球上的蒸发量和降水量总体来说是平衡的。在太阳能的作用下，地面上和海洋中的水通过蒸发转化为水蒸气进入大气。大气中的水蒸气通过凝结、迁移，又以雨、雪、冰雹等形式回到地面或海洋。因此，水循环是由太阳能推动的，大气、海洋和陆地形成一个全球性水循环系统，并成为地球上各种物质循环的中心循环（图 3-25）。

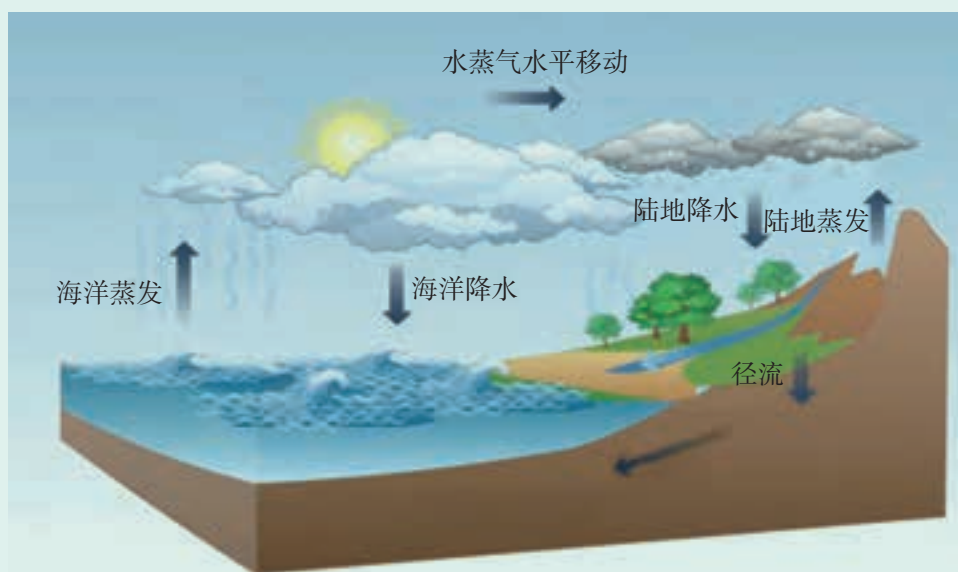


图 3-25 水的全球循环示意图

[资料2] 地球上的碳在无机环境中以二氧化碳或碳酸盐的形式存在，在无机环境和生物群落之间以二氧化碳的形式进行循环（图 3-26）。

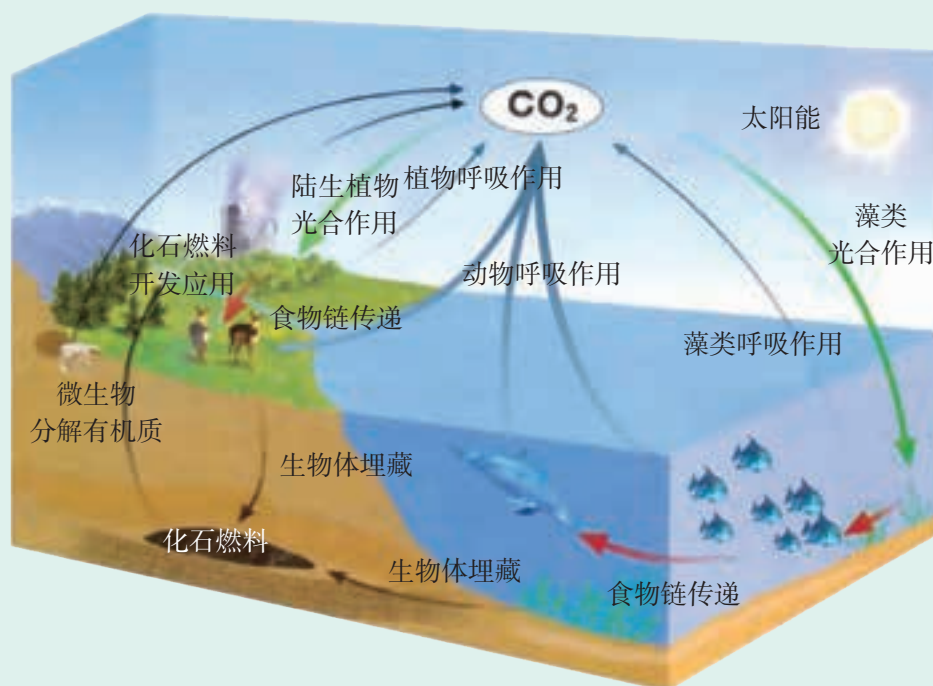


图 3-26 碳循环过程示意图

分析讨论

1. 地球上的蒸发量和降水量是怎样维持平衡的？生产者在水循环中具有什么作用？
2. 生态系统的各种成分在碳循环中起到什么作用？试用图示呈现它们之间的关系。
3. 物质循环可实现物质的迁移和再分配，它具有自身的路径和周期。人类活动对某些过程的加速或阻滞，会对自然界中某些物质含量的稳定产生影响，试举例说明。

生态系统的物质循环依赖于生产者、消费者和分解者之间的相互作用，其中微生物的分解作用是物质循环的关键环节，食物链和食物网是其循环的重要渠道。无机环境中的物质在循环的过程中伴随着物质和能量的转化，但物质只是改变存在形式而不会消失，可以被生物群落反复利用，在生态系统内不断地循环。物质循环具有全球性，科学家曾在南极企鹅的皮下脂肪中检测到了 DDT，这些 DDT 就是通过全球性的生物地球化学循环进入企鹅体内的。各

类物质的循环并不是彼此孤立的，而是密切关联和相互作用的。

三、利用物质循环规律可以提高资源的利用率

在生态系统的物质循环中，每个环节既是给予者，也是接纳者，生态系统中的物质得以循环往复，从而保障了生态系统的物质供给。通过调整物质循环的环节及途径，人们可以将废物变成资源，为物质的循环利用提供更多的机会。我国劳动人民自古就重视农业系统中废弃物质的再利用（图 3-27）。王祯在《农书》中提出：“夫扫除之秽，腐朽之物，人视之而轻忽，田得之而膏泽，唯务本者知之，所谓惜粪如惜金也。故能变恶为美，种少收多。”

我国古代农业创造的一些多物种、多层次的立体生产方式，正是物质循环利用思想的体现。浙江湖州的桑基鱼塘起源于春秋战国时期，千百年来，湖州区域的劳动人民将地势低下、常年积水的洼地挖深变成鱼塘，挖出的塘泥则堆放在水塘的四周作为塘基，如此逐步演变成为“塘基上种桑、桑叶喂蚕、蚕沙养鱼、鱼粪肥塘、塘泥壅桑”的物质循环系统，最终形成了种桑和养蚕养鱼相辅相成、桑地和池塘相连相倚的生态农业景观（图 3-28）。桑基鱼塘系统是人与自然和谐相处以及儒家“天人合一”的生态伦理道德观的典范，也是体现我国道家生态哲学思想的样板。

生态系统中循环着的物质既是储存能量的载体，又是维持生命活动的基础。物质的循环过程，是物质由简单的无机物到复杂的有机物，再回到简单无机物的再生过程，同时也是生态系统的能量输入、传递、转化和散失的过程。物质通过合成与分解的不断循环，执行着生



图 3-27 古代农业的废弃物利用示意图

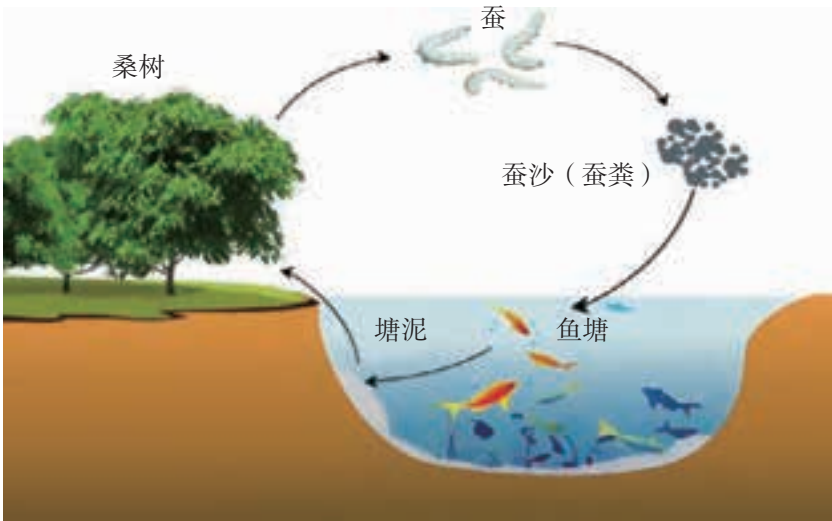


图 3-28 桑基鱼塘示意图

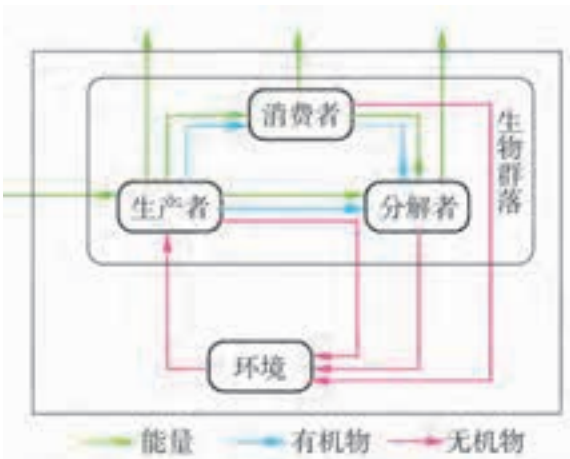


图 3-29 能量流动和物质循环关系示意图

态系统的能量流动、信息传递等的载体功能。能量作为动力，能够促进物质的循环，物质循环一旦不畅，就会产生诸多环境问题。能量流动和物质循环是生态系统中的两个基本过程，它们将生态系统的各种成分联结成为一个统一的整体（图 3-29）。

学业检测

1. 气候变化与生态系统的碳循环密切相关。下表为 A、B 两个不同时期陆地生态系统与大气环境的碳交换情况。

时期	碳吸收量（kgC/a）	碳释放量（kgC/a）
A	1.20×10^{14}	1.20×10^{14}
B	1.20×10^{14}	1.26×10^{14}

- （1）碳在无机环境中存在的形式是_____。碳在无机环境和生物群落间以_____形式进行循环。
- （2）表中_____时期的生态系统处于稳定状态，原因是_____。
- （3）同碳元素一样，氮元素在无机环境和生物群落之间也是不断循环利用的，我们为什么还要在农田中不断地施加氮肥？这是否与物质循环规律相矛盾？

2. 我国每年产生的农作物秸秆约 7 亿吨。它们作为农业废弃物被随意丢弃或者焚烧，对生态环境造成很大的污染。下图是某地对秸秆的利用方案：作物秸秆经过糖化或氨化过程，



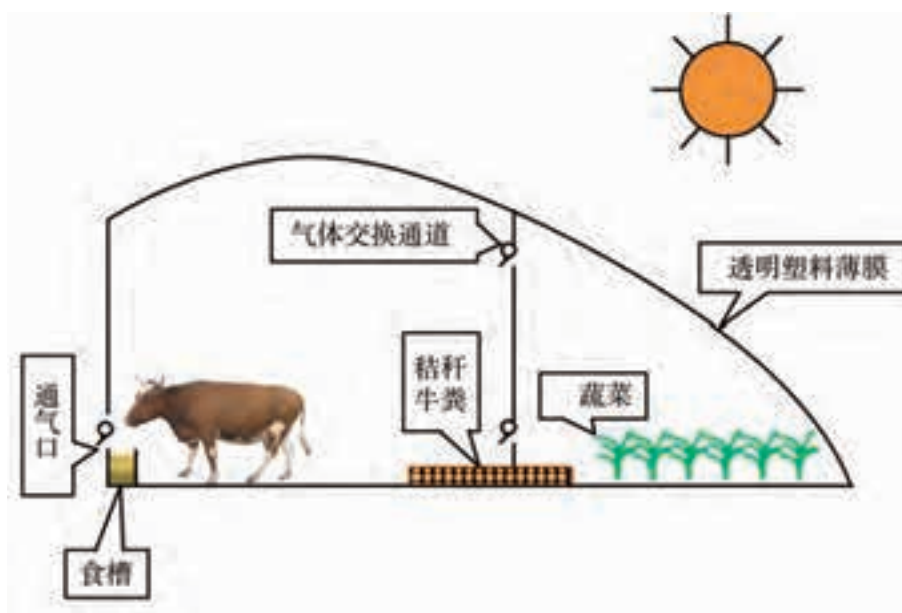
使之成为家畜喜食的饲料，可增加家畜产量；再利用家畜排泄物培养食用菌，生产食用菌后的残菌床又可用于繁殖蚯蚓，最后将蚯蚓利用后的残余物返还农田做肥料。

(1) 写出作物秸秆多级利用的食物链，并说明通过该食物链的能量传递是否遵循逐级递减的规律。

(2) 该方案中对秸秆的处理与将秸秆直接深翻还田相比，有什么优点？

(3) 列举利用物质循环的原理提高生态效益的实例。

3. 温室是按照动植物生长发育所要求的最佳环境，进行动植物养殖种植的现代化生产设施，节能效果显著。江苏某农户创建了如下图所示的冬季生态型种植养殖模式。



(1) 在牛棚和蔬菜大棚之间为什么要设置气体交换通道？

(2) 秸秆除了作为牛的饲料外，还可与牛粪混合堆放进行发酵，腐熟的产物肥效提高。尝试解释其中的原因。

(3) 在牛的品系、饲料品种和用量不变的条件下，采用这种养殖模式，牛的生长速率明显提高，其主要原因是什么？

(4) 从生态系统主要功能的角度分析，这种种植养殖模式较好地实现了_____。

第五节 信息在生态系统中双向传递



图 3-30 木蜂与海玫木

南非西部沿海生长着一种当地特有的龙胆科植物——海玫木，它演化出了一套独特的传粉机制：其花蕊紧紧缠绕在一起，自己不能释放花粉，只有在“听到”某个固有音频时才会打开。木蜂降落到花蕊上，用力振动翅膀，使海玫木的花药与之产生共振，将花粉弹出，其他昆虫由于“频率不符”而无法得到花粉（图 3-30）。生物与生物以及生物与环境之间通过各种信息取得联系。这些信息是如何传递的？信息传递对生命活动的正常进行、种群的繁衍和种间关系的调节起什么作用？

一、生态系统中的信息有多种类型

阳光、温度、水及生物的行为等生态因素，均可作为生态系统的信息，生物可根据环境信息的变化调整自己的生命活动或行为。信息是指能引起生物的生理和行为发生变化的信号。



经典再现

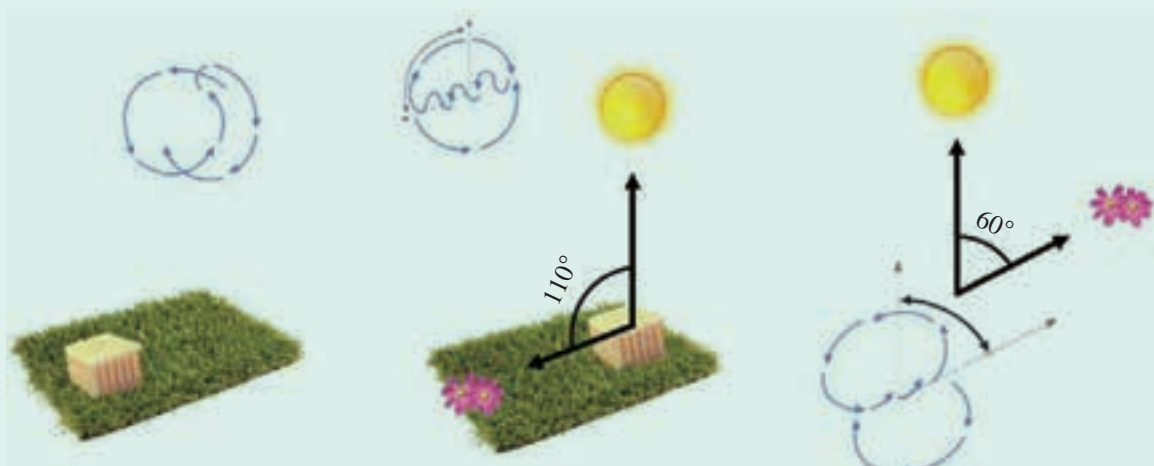
揭开蜂舞的奥秘

作为一种社会性昆虫，蜜蜂个体之间能够通过“舞蹈语言”传递信息，使蜂群快速准确地找到蜜源，提高获取食物的效率。蜂群生活在隐秘的蜂箱内，要想发现和阐明蜜蜂舞蹈的奥秘，绝非易事。

【资料 1】 比利时剧作家梅特林克（M. Maeterlinck）在其 1901 年出版的《蜜蜂的生活》中，描绘了一个有趣的实验：他在窗槛涂抹糖浆以吸引蜜蜂，并对一只采集糖浆的工蜂进行了标记。被标记的工蜂在窗边尽情飞舞，牢记食物的地点，然后飞回蜂巢。当标记的工蜂返回时，带来了许多同伴，显然标记的工蜂回到蜂巢后，通过某种方式“告诉”了蜂群有关食物的信息。

【资料 2】 自 1915 年开始，奥地利动物行为学家弗里施（K. Von Frisch）利用

透明蜂箱对蜜蜂之间的通讯方式进行了 50 多年的研究。他通过观察发现，采集到花蜜的侦查蜂返回蜂巢后，在巢脾上有规律地运动，蜂群内其他工蜂也跟随侦察蜂做运动，并用触角接触侦察蜂的腹部，侦察蜂会给跟随舞蹈的工蜂一些采回的食物。蜜蜂通过“圆圈舞”或“8 字舞”向同伴传递信息，非常准确，误差极小（图 3-31）。



当蜜源在相当近的地方时，蜜蜂以不断划圆圈的方式舞动，与太阳的方向无关。

当蜜源在一段距离之外时，蜜蜂一面迅速摆动尾部，一面跳“8 字舞”。图中“8 字舞”代表蜜源在太阳左方 110° 的位置。

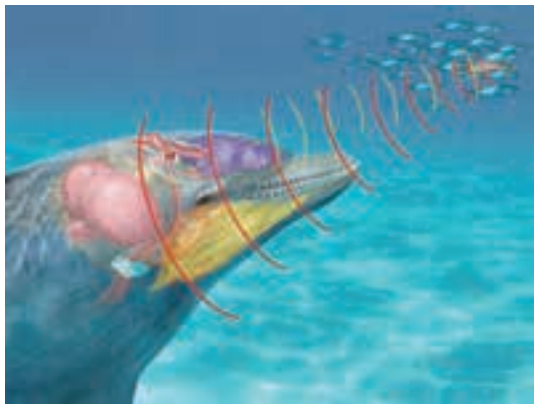
当蜜源在很远的地方时，蜜蜂一面缓慢摆动尾部，一面跳“8 字舞”。图中“8 字舞”代表蜜源在太阳右方 60° 的位置。

图 3-31 蜜蜂舞蹈包含蜜源的信息

分析讨论

1. 蜜蜂的“舞蹈语言”传递了哪些信息？
2. 蜜蜂通过舞蹈语言传递信息，尝试总结这一过程。
3. 有人根据“跟随舞蹈的工蜂接触了侦察蜂所带食物”的事实，得出“蜜蜂通过嗅觉传递食物信息”的结论。设计怎样的实验可否定这一结论？

生态系统中的信息既有来自生物的，也有来自无机环境的，信息种类繁多，信息量庞大。依据信息的性质和产生方式，生态系统中的信息可以分为物理信息、化学信息和行为信息（图 3-32）。生态系统中各种信息的作用不是孤立的，而是相互制约、互为因果关系的。



物理信息 生态系统中以物理过程为传递形式的信息均属于物理信息，如光、声、电、热、磁等。动物的眼、耳、皮肤，植物的叶、芽以及细胞中的特殊物质（光敏色素）等，可以感受到多样化的物理信息。海豚有着精密的声呐系统，靠回声定位来判断目标的远近、方向、位置、形状，甚至物体的性质。



化学信息 生物代谢产生的能够传递信息的化学物质统称为化学信息。酶、维生素、生长素、抗生素、性外激素，甚至尿和粪便等都属于传递信息的化学物质。蚂蚁是社会性很强的昆虫，彼此通过身体发出的化学物质进行交流沟通。



行为信息 某些动物通过特殊的行为方式向同种的其他个体或其他生物发出的信息称为行为信息，动物的行为信息丰富多彩。鸟类在求偶时的行为独特，通常雄鸟会进行复杂的“求偶炫耀”。

图 3-32 信息的类型

阅读空间

营 养 信 息

营养信息是指通过营养关系传递的信息。营养状况和环境中的食物的改变会引起生物在生理、生化和行为上的变化，如猎物的体重和数量是捕食者取食的依据。从某种意义上说，食物链就是一个营养信息系统，如果某一营养级上生物的数量发生变化，就会引起食物链中其他生物数量的变化。位于北美大陆西北端的阿拉斯加，每年夏秋之际是鲑鱼洄游的时节，浩浩荡荡的鲑鱼群吸引了大批棕熊前来觅食（图 3-33）。



图 3-33 棕熊捕食鲑鱼

二、信息通过传递发挥作用

生态系统中各种各样的信息，只有通过传递才能发挥作用。生态系统的信息传递是一个复杂过程，一般包括 5 个基本环节：信源、发送器官、信道、接受器官和信宿（图 3-34）。

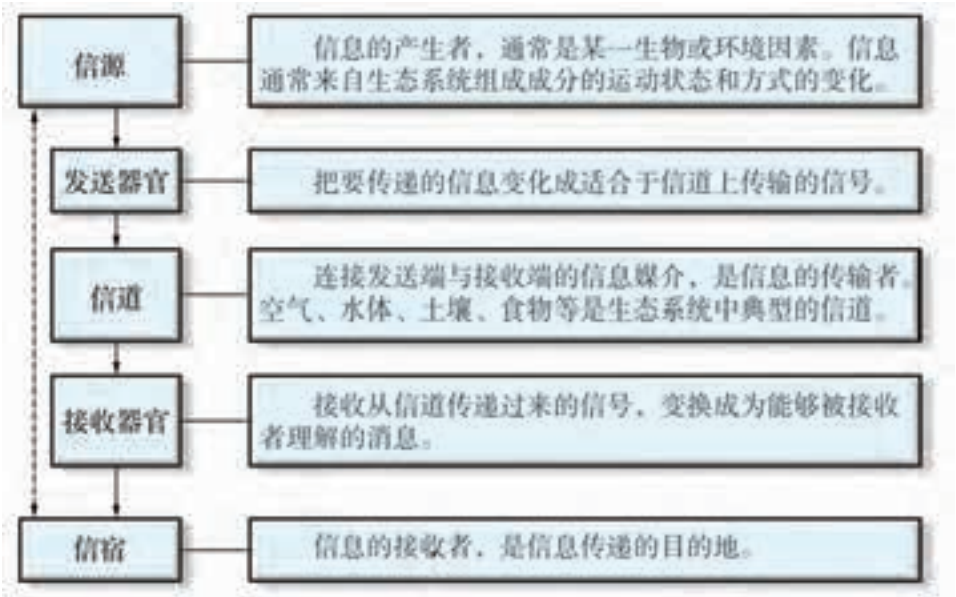


图 3-34 信息传递的过程

信息传递的过程中，信源与信宿的角色是可以相互转换的。例如，当走鹃遇到响尾蛇时，它不会贸然发起进攻，而是谨慎地判断敌我双方的力量。响尾蛇也剧烈地摆动尾部，发出即将攻击的警告（图 3-35）。从响尾蛇的角度分析，走鹃的体温就是信源；而从走鹃的角度分析，响尾蛇的形态、行为就是信源。生态系统的各生物成员在不同的信息传递中担任不同的角色，既可以作为信源，也可以作为信宿，整个生态系统汇集成一个复杂的信息传递网络。



图 3-35 蛇鹃争斗



图 3-36 犀牛与犀牛鸟

思维训练

犀牛鸟经常栖息在犀牛背上，啄食犀牛皮肤皱褶间的寄生虫（图 3-36）。犀牛虽然嗅觉和听觉很灵敏，视觉却不够发达，若有天敌逆风前来偷袭，它就很难察觉到。这时，犀牛鸟会飞上飞下，并通过尖锐的叫声发出警报。请对照图 3-34，用文字、方框和箭头写出犀牛鸟和犀牛之间的信息传递过程。

三、信息传递在生态系统中具有调节作用

信息传递是维持生物个体生命活动正常进行的重要因素，生物的生长和发育都离不开信息的传递。光的性质、光照强度、光照时间等均可作为信息，对各类生物都会产生深远的影响。不同波长的光对生物有不同的作用。380~760nm 波长的光对生物是最重要的，因为这不仅是一般动物视觉器官能够感受的光波范围，也是绿色植物光合作用能够吸收的光波范围。光照强度对生物的生长发育具有重要的作用，例如，适宜的光照能够促进海星卵的发育，但是过强的光照又会使其发育延缓。动植物长期生活在具有一定昼夜变化规律的环境中，逐渐形成了自己固有的活动节律，以便使它们的活动与环境条件的周期性变化保持同步，从而有利于生物的生存（图 3-37）。

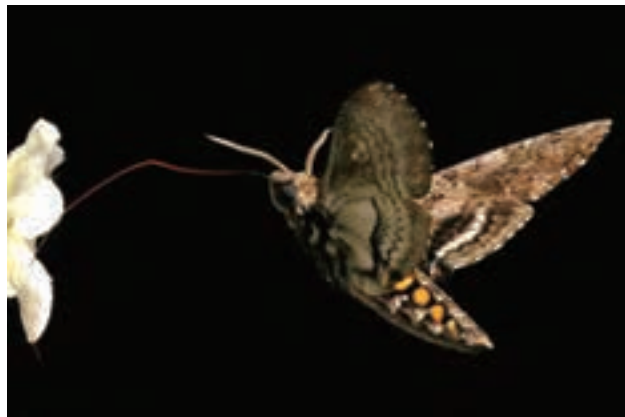
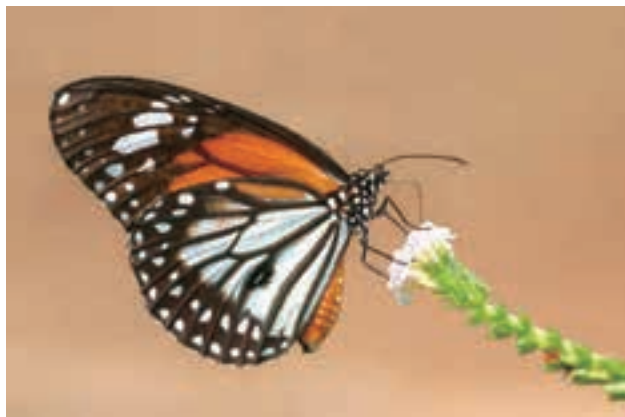


图 3-37 蝶类（左）多数在白天活动，蛾类（右）多数在夜间活动

通过信息传递，生物雌雄个体能够相互识别，保证种群的繁衍。昆虫性外激素是生态系统中广泛存在的一种化学信息。蚕蛾的嗅觉极其灵敏，虽然每只雌蛾所释放的性外激素不到 0.01 mg，但雄蛾仍然能够作出反应，有的雄蛾能被 3 km 以外的雌蛾释放的性外激素吸引。萤火虫在夜晚是依据发光器官发出的闪光来寻找配偶的。每一种萤火虫的发光频率都不相同，很好地避免了种群之间的信号混淆（图 3-38）。

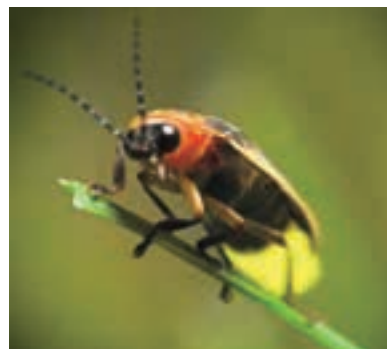


图 3-38 萤火虫利用闪光寻找配偶

种群与种群之间同样发生着复杂的信息联系。信息传递能够调节生物的种间关系，维持生态系统的稳定。植物在新陈代谢过程中产生的化学物质，有可能对其他植物的生长发育产生影响。有些植物的分泌物对邻近的植物具有积极意义，将这些植物种植在一起时，彼此间能够相互促进。马铃薯的分泌物能刺激大麦生长，因此大麦与马铃薯间作比单独种植产量高。有的植物能产生有毒物质，对相邻的生物有强烈的抑制作用，甚至是致命的杀伤。黑核桃的树皮和果实含有氢化胡桃酮，这种物质被雨水冲到土壤里后再被氧化成胡桃酮，能抑制草本植物的生长，从而维持黑核桃在生态系统中的优势。

阅读空间

洗耳听天籁 昭晰辨秋毫

作为生态系统中的一员，人时时刻刻都在探测着周围的世界，感知光线、声音、气味以及物体质感的微妙变化。眼和耳是我们接收信息、感知自然的重要器官。眼病、眼外伤、耳感染和听力损失等会给我们的学习、工作和生活带来诸多困难。我国将每年的 3 月 3 日定为“全国爱耳日”，6 月 6 日定为“全国爱眼日”，旨在唤醒人们爱眼、爱耳的意识。爱眼护眼应从自身做起，自觉远离噪声，严格控制耳机、手机、电脑等电子产品的使用时间，保持正确的读写姿势，坚持做眼保健操，维持眼、耳的清洁卫生，增加户外活动，均衡膳食营养。

生物的信息传递、接受和感应特征是长期进化的结果，种群内部、种群之间，以及生物和环境之间都有信息传递。信息传递往往是双向的，既有从输出端到输入端的信息传递，也有从输入端到输出端的信息反馈（图 3-39）。在生态系统中，物质循环是生态系统的基础，能量流动是生态系统的动力，信息传递决定着能量流动和物质循环的方向和状态。



图 3-39 生态系统中信息传递模型

学业检测

1. 只要留心观察身边的动物，就会发现它们的生活离不开信息传递。下列动物的行为分别属于生态系统中哪种类型的信息？

- (1) 蝙蝠通过声波对猎捕目标进行“回声定位”：_____。
- (2) 孔雀通过开屏向异性炫耀自己的美丽：_____。
- (3) 狗通过尿液标记行走的路径：_____。
- (4) 雄蝉通过鸣叫吸引雌蝉：_____。
- (5) 蜜蜂通过舞蹈语言向同伴传递蜜源信息：_____。
- (6) 百灵鸟通过婉转的鸣声表达不同的含义：_____。

2. 响尾蛇两只眼睛的前下方各有一个特殊的器官——探热器，当小动物从旁边经过时，响尾蛇依靠探热器锁定猎物的方向和距离，猛然出击并将毒液注入猎物的体内。猎物挣脱响尾蛇的撕咬后迅速逃跑，响尾蛇追踪着猎物的特殊气味就能找到猎物的尸体。



- (1) 响尾蛇捕食猎物的过程中，利用了哪些信息？
- (2) 尝试描述这些信息传递的过程。

3. 根据性外激素的化学结构，我们可以人工合成性引诱剂，用于防治害虫。在田间释放过量的人工合成性引诱剂，使雄虫无法辨认雌虫的方位，或者使它的气味感受器变得不适应或疲劳，不再对雌虫有反应，从而干扰害虫的正常交尾。

- (1) 性外激素属于哪种信息？这种信息的传递具有什么作用？
- (2) 人工合成性引诱剂并不能直接杀死害虫，它是通过什么方式降低害虫对作物的危害的？
- (3) 蛾在夜间飞行时依靠月光辨别方向。当它看到灯光时，会错误地认为是“月光”，因此迷失方向。利用蛾趋光的特性，设计一个诱捕飞蛾的方案。

 学业要求

重要概念	节次	学科素养
生物群落与非生物的环境因素相互作用形成多样化的生态系统，完成物质循环、能量流动和信息传递。	第一节	◆ 阐明生态系统由生产者、消费者和分解者等生物因素以及阳光、空气、水等非生物因素组成，各组分紧密联系，使生态系统成为具有一定结构和功能的统一体。
	第二节	◆ 讨论某一生态系统中生产者和消费者通过食物链和食物网联系在一起形成复杂的营养结构。 ◆ 分析特定生态系统的生物与非生物因素决定其营养结构。 ◆ 阐明某些有害物质会通过食物链不断富集的现象。
	第三节	◆ 分析生态系统中的能量在生物群落中单向流动并逐级递减的规律。 ◆ 解释生态金字塔表征食物网各营养级之间在个体数量、生物量和能量方面的关系。 ◆ 调查一个农田生态系统中的能量流动。 ◆ 举例说明利用能量流动的规律，人们能够调整生态系统中的能量流动，使其更多地流向对人类有利的方向。
	第四节	◆ 分析生态系统中的物质在生物群落与无机环境之间不断循环的规律。 ◆ 举例说明利用物质循环的规律，人们能够更加科学、有效地利用生态系统中的资源。
	第五节	◆ 举例说出生态系统中物理、化学和行为信息的传递对生命活动的正常进行、生物种群的繁衍和种间关系的调节起着重要作用。



神奇的海底热泉

1977 年 10 月，美国《国家地理》杂志报道了海洋地质学家的一个惊人发现：他们乘坐“阿尔文号”深潜器在东太平洋加拉帕戈斯海底裂谷中，第一次发现了充满生命的海底热泉（图 3-40）。这些奇怪的热泉位于 2600m 深的海底火山附近，向外喷吐着一股股的热液，热液的温度在 300℃ 左右，最高可达 400℃。当热液喷射到冰冷的海水中时，其中的有些化学物质遇冷收缩，最终沉积成烟囱状的堆积物。在海底热泉口附近，生活着各种各样人们前所未见的奇异生物——大得出奇的红蛤和海蟹、血红色的管状蠕虫、大量的牡蛎和贻贝，还有一些外形类似蒲公英的生物，其放射状的细丝附着在海底岩石上。这些与已知生命极为不同的奇异生物，形成一些特殊的食物链，被认为是当代生物学的“奇迹”。这些神奇的自然景观引起了科学家极大的兴趣和关注。

1979 年 1 月，在美国科学家比肖夫博士的带领下，“阿尔文号”深潜器再次考察加拉帕戈斯裂谷。他们进一步研究了一簇簇附着在海底烟囱上的状如郁金香的管状蠕虫（图 3-41）。这些蠕虫大的有 2~3m 长，其白色外套管固定在岩石上，保护着自己柔软的身躯。蠕虫既没有眼也没有口，甚至连消化系统也不存在，与它们“相依为命”的是一种丝状细菌。这些细菌依附在蠕虫的背部，依靠蠕虫为其提供“培养基”并保持周围的海水不断更新，蠕虫则依靠细菌的分泌物为生。

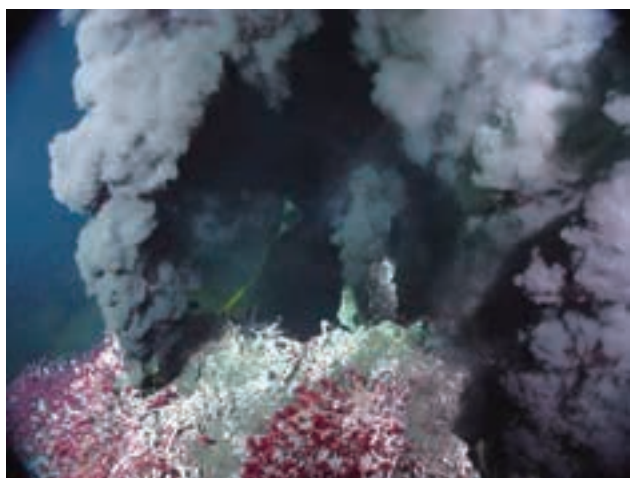


图 3-40 海底热泉



图 3-41 附着于海底烟囱的蠕虫

2014 年 12 月 23 日，中国自行设计、自主研制的载人深潜器“蛟龙号”完成了在印度洋的首次下潜（图 3-42），通过近底观测发现了大范围海底热液区，观测到热液喷溢口及大量热液生物。通过取样获取贻贝 49 个、海螺 2 个、海葵 3 个、茗荷 8 个、蟹 1 只及珊瑚等大量热液区及附近区域生物，还通过温度探头探测到热液口温度并对部分热液取样。随“蛟龙号”首次下潜的国家海洋局第二海洋研究所研究员陶春辉说：“这是中国第一次对西南印度洋洋中脊活动热液区开展深潜调查，为研究该热液区热液活动、生物群落等提供了全新资

料，同时对了解热液生物的地理分布具有重要意义。”

海底热泉中含有十分丰富的化学物质。热液把附近岩石中的硫磺等化学物质溶解出来，在高温和高压的作用下，与水反应合成硫化氢。某种硫细菌能够通过氧化硫化氢而获得能量，将简单的无机物合成有机物，这一过程就是化能合成作用。海底化能合成作用的发现对于海底热泉的研究具有深远的意义。在海底热泉生态系统中，化能合成细菌不断繁殖，为其他生物提供了丰厚的食物来源，成为热泉食物链的基础。一些小动物以过滤这种硫细菌而生存，另一些动物又以它们为食，这样就构成了一条海底热泉食物链。热泉化能合成细菌就像陆地上通过光合作用合成有机物的植物一样，不同之处只是太阳的光能换成了硫化氢氧化产生的能量。

海底热泉的发现与研究，打破了人们对深海大洋的传统看法，在认识海洋、开发海洋方面提出了一系列新的问题。科学家们正以极大的兴趣对它们进行深入的研究，或许能从中得到有益于人类的某种启发。

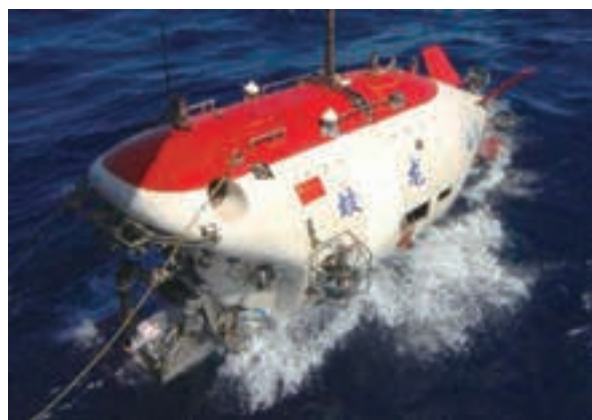
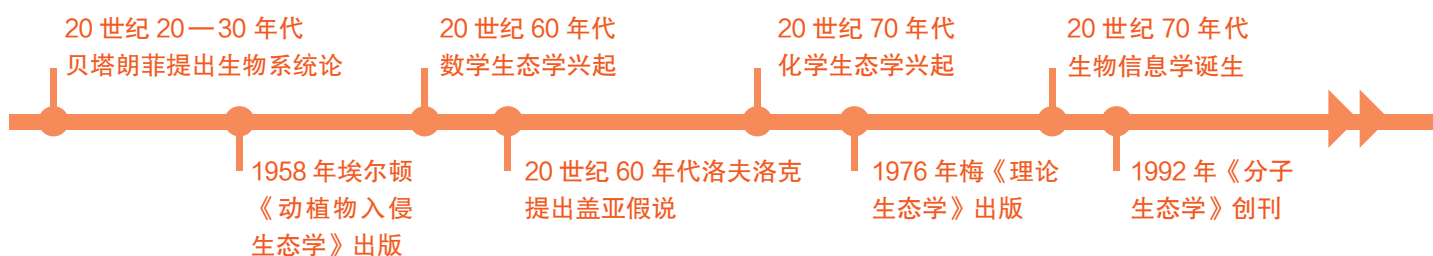


图 3-42 “蛟龙号”深潜器

第四章 生态系统通过自我调节形成稳态



位于河北省最北部的塞罕坝，天蓝、地绿、水清，满目苍翠。谁能想到，这片草木丰美之地曾因过度开垦一度沦为“黄沙遮天日，飞鸟无栖树”的荒漠沙地，生态系统极端脆弱。50 多年来，几代塞罕坝人艰苦创业、前赴后继，建成了世界上面积最大的人工林，从莽莽荒原到百万亩林海，书写了可歌可泣的绿色传奇。今天的塞罕坝，林海茫茫、芳草如茵、鸟兽繁集，抵抗和消除外来干扰的能力不断增强，不仅提高了自身的稳定性，也成为华北地区的水源卫士和风沙屏障。大大小小的自然生态系统或人工生态系统，都具有一定的自我调节能力，这种能力的大小与哪些因素有关？面对自然和人为因素的影响，生态系统通过怎样的调节机制才能达到结构与功能相对稳定的状态？





课题研究

生态瓶中生态系统稳定性的研究

依据生态学的基本原理，在有限的空间内，将生态系统的各种组成成分进行合理配置，可以构建一个能够运转的微型生态系统。设计和制作一个模拟淡水生态系统的生态瓶，观察这个封闭的生态系统中动植物的生存状况，有助于理解生态系统稳定性的原理及影响因素。

提出问题

哪些因素会影响生态瓶维持相对稳定的时间？

制订并实施研究计划

1. 怎样准备实验材料和器具？

- ◆选取容积不小于 1500mL 的带盖玻璃瓶或饮料瓶等容器。
- ◆就近取材，准备淡水生态系统的组成成分，比如，池塘水或河水、泥沙、水生植物、水生动物或其他替代成分。

2. 怎样制作生态瓶？

- ◆根据本小组所选容器的容积，配置生态瓶中的动植物和其他成分。
- ◆盖上瓶盖，用凡士林密封，贴上标签，注明日期。将生态瓶放置在室内光线良好的地方，但要避免阳光直接照射。

3. 怎样获得实验结果？

- ◆选择适当的时间和间隔，观察、记录生态瓶中的水质变化及动植物的生存状况。
- ◆当发现生态瓶中的动植物全部死亡时，停止观察。

成果交流

1. 展示小组制作的生态瓶，并对自己小组制作的生态瓶进行评价。
2. 比较各生态瓶中动植物存活的时间，分析不同生态瓶中生态系统稳定性差异的原因并撰写报告。
3. 湿地公园是以良好的湿地生态环境和多样化湿地景观资源为基础建立起来的生态型公园，具有湿地保护与利用、湿地研究、生态观光等功能。假如你是一个湿地公园的规划设计者，你计划采取哪些措施保障湿地公园的长期稳定？



图 4-1 生态瓶

第一节 生态系统能保持或恢复自身的结构和功能



图 4-2 野草浴火重生

“野火烧不尽，春风吹又生。”烈焰吞噬地表的野草茎叶，但深藏地下的根茎仍会复苏，重新将绿色铺盖大地（图 4-2）。这既体现了野草顽强的生命力，也体现了草原生态系统具有比较强的恢复能力。生态系统在与外界进行物质、能量和信息交流的过程中，会受到多种因素的干扰（disturbance）。在外来干扰的作用下，生态系统能不能保持原有的结构和功能？生态系统如果遭到破坏，能否恢复原来的状态？

一、生态系统具有一定的稳定性

人类赖以生存的自然生态系统是一个具有一定自我调节能力的相对稳定的系统。生态系统通过自我调节作用抵御和消除一定限度的外来干扰，保持或恢复自身结构和功能相对稳定的能力，叫作生态系统的稳定性（stability of ecosystem）。



观点碰撞

分析生态系统稳定性的两种观点

生态系统的稳定性与其结构的复杂性密切相关，但生态学家对其相关性的解释曾经存在较大的分歧。

[观点 1] 多数生态学家认为生态系统的稳定性与生态系统结构的复杂性呈正相关，埃尔顿就是这种观点的支持者，他提出了 6 个方面的论据：

1. 研究证明，两个或少数物种相互作用的数学模型不易达到稳定的局面。
2. 高斯对原生动物的实验证明，物种组成简单的群落要比组成复杂的群落易于灭绝。
3. 拥有少数物种的岛屿，比物种丰富的大陆易于受新物种的入侵并引起生态系统的动荡。

4. 在物种组成简单的农田生态系统中，特别是农作物单一种植的生态系统，外来物种的入侵和某一种群的快速繁殖更加常见，而且容易导致病虫害的大发生。

5. 与温带和亚极地的生态系统相比，在高度多样的热带生态系统中，种群密度的波动对其稳定性的影响较小。

6. 大量使用农药大大简化了群落的结构；由于某些捕食者种群的丧失，导致了被捕食者过度繁殖。这种情形在农田和果园生态系统中常常出现。

[观点2] 澳大利亚生态学家梅 (R. May) 以许多物种随机集合的食物网为模型，发现在经受小的干扰后生态系统回到原状的能力随复杂性增加而降低。美国生态学家皮姆 (S. Pimm) 则以模型群落为研究对象，发现在经受强而持久的干扰后，模型恢复到原状的能力一般也是随复杂性增加而下降。他还以 3~4 个营养级的模型群落为对象，研究群落在受到干扰后恢复到初始状态所需要的时间，结果发现恢复时间随复杂性的增加而增加。据此，他们认为生态系统的稳定性随复杂性的增加而降低。

分析讨论

1. 比较、分析以上观点，你赞同哪一种？
2. 上述生态学家所提到的稳定性是否具有相同的含义？为什么会出现截然不同的结论？

生态系统不断经受着各种随机变化的事件和人类活动的影响，这些影响统称为干扰。生态系统对干扰的响应一般用抵抗力 (resistance) 和恢复力 (resilience) 来表示。抵抗力是指生态系统抵抗干扰并使自身的结构与功能维持原状的能力。恢复力是指生态系统因干扰而被破坏后再恢复原状的能力。人们对生态系统的稳定性尚有许多不同的认识，但许多证据表明，抵抗力和恢复力有时是相互排斥的。这两种响应能力的强度在不同的生态系统中存在差异，这与生态系统的结构、外来干扰的强度和条件都有关联。

热带雨林的物种丰富度高，种间关系复杂，所以当受到程度较轻的干扰时，该生态系统中各种生物成分的种类和数量不会大幅度减少，仍然能够执行正常的能量流动、物质循环和信息传递功能，抵抗力较高 (图 4-3)。但热带雨林遭受严重破坏后，要恢复到原来的平衡状态就需要很长的时间。

草原生态系统的物种组成以多年生草本植物为主，物种丰富度低，种间相互作用少，结构相对简单，抵抗力较低 (图



图 4-3 云南西双版纳热带雨林

4-4)。一旦受到过度放牧、火烧等干扰，生态系统的功能就会受到严重影响，呈现出一片萧条的景象，但一段时间后又重新恢复到原有的平衡状态。这说明草原生态系统虽然抗干扰能力差，但在同样受到严重破坏后，其恢复原有状态所需要的时间比热带雨林的恢复时间短。

荒漠是地球上最为干旱的地区，气候干燥，蒸发强烈。荒漠生态系统由旱生的小乔木、灌木占优势的生物群落与其所生存的无机环境所组成（图 4-5）。因其生态环境严酷、生物种类贫乏、种群密度小，所以抵抗力很低，人类的不合理开发和利用很容易使整个生态系统崩溃。而荒漠化治理的难度之大也意味着其恢复力也非常低。



图 4-4 内蒙古呼伦贝尔草原



图 4-5 新疆地区的山地荒漠地带

二、生态系统的稳定性受多种因素影响

生态系统稳定性的大小，取决于它的物种组成、营养结构、生物与生物以及生物与环境之间的协调关系，这些内在因素与生态系统的成熟程度密切相关。生态系统在从幼年期到成熟期的发育过程中，物种丰富度和均匀度逐渐增加，某一物种占绝对优势的情况逐步减少，营养结构日渐复杂。成熟期生态系统内的生物之间、生物与环境之间的联系更加紧密，对外来干扰的抵抗力增大，稳定性提高。生态系统的成熟程度是影响其稳定性的重要内在因素。

生态系统的稳定性还会受到自然因素和人为因素等外来干扰的影响。火山喷发、地震、海啸、洪涝、干旱、台风、滑坡、泥石流等都属于自然因素。这些自然因素发生的频率不高，在地理分布上有一定的局限性，一旦发生就会使

生态系统在短时间内遭到破坏，甚至毁灭。人为因素主要是指人类对自然资源的不合理利用或掠夺式开发，如过度放牧、过度砍伐等（图 4-6）。人类活动造成的环境污染及盲目引进物种等也会影响生态系统的稳定。

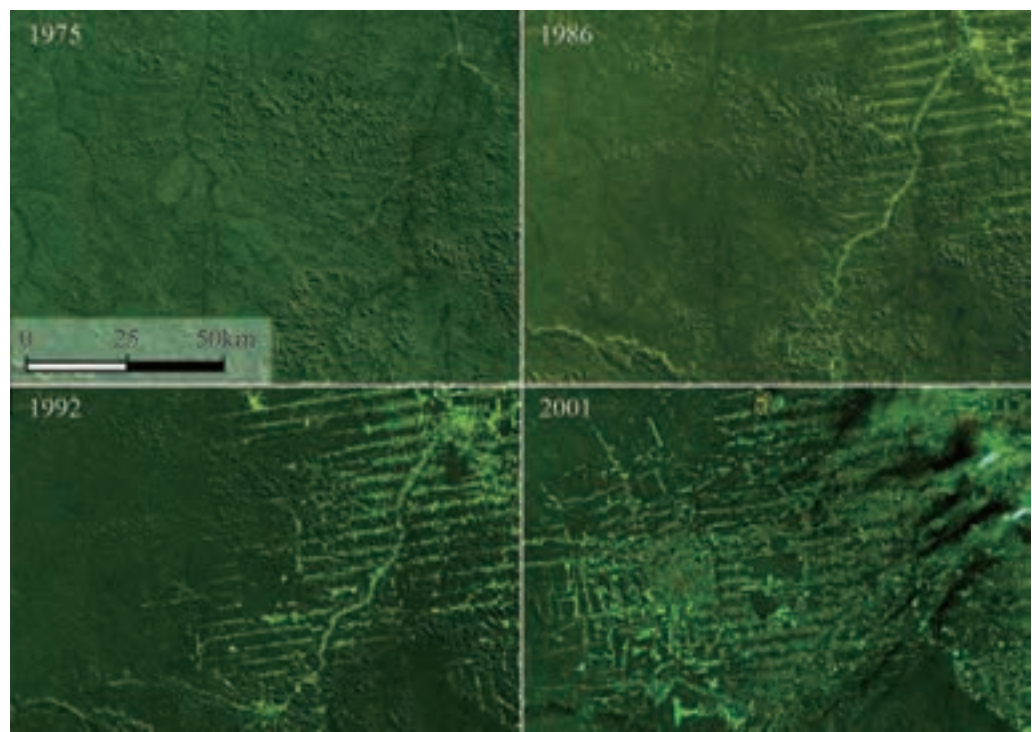


图 4-6 亚马孙热带雨林遭到大规模砍伐
（说明：图中白色条块为被砍伐的区域，左上角为卫星照片拍摄的年份）

火是影响森林生态系统稳定性的重要生态因素。严重的森林火灾使大面积的森林和草地被毁，大批野生动物死亡或迁出，造成生物数量下降；火灾会使土地表面受到侵蚀，降低土壤的吸水和保水能力；大火产生的巨大烟尘污染大气环境，还会严重威胁生态系统的稳定性。然而，轻微的地面火可以烧掉地面的枯枝落叶，加速物质循环；高温能够刺激某些植物种子的萌发；火焰还能烧死危害森林树木的生物，减轻森林树木的病虫害。

 阅读空间

外来物种入侵

一种生物如果由于人为或自然的原因由其原产地迁移到异地，并经自然选择后逐渐繁衍开来，打破当地的生态平衡，威胁当地生物多样性，造成严重生态恶果，即形成外来物种入

侵。伴随着人类跨地域活动的日益增多，世界范围内的外来物种入侵现象愈演愈烈。

美国白蛾原产于北美洲（图 4-7），又名美国灯蛾、秋幕蛾，属鳞翅目灯蛾科，是世界性检疫害虫，对恶劣环境具有极强的适应性，繁殖量大，食性杂，取食量大。美国白蛾幼虫通过取食植物叶片危害绝大多数阔叶树以及花卉、农作物、杂草等，对园林树木、经济林、农田防护林等造成严重的危害。美国白蛾的幼虫和成虫极易随人员、木材、木包装、交通工具等进行远距离传播。



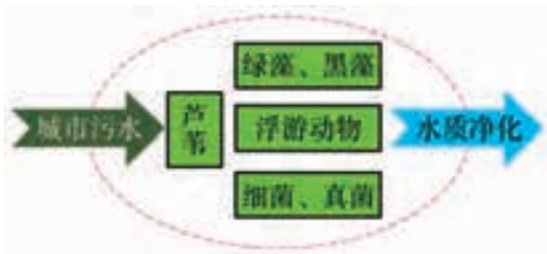
图 4-7 美国白蛾

健全国门生物安全查验机制是有效防范物种资源丧失和外来物种入侵的重要屏障。口岸检验检疫部门通过对入境人员、货物、行李、邮包、交通工具等进行检验、检疫，防止外来有害生物、疫病跨境传播，从而保障农林业生产安全、人身安全、生态安全、经济安全和社会安全等。国门生物安全是国家安全的重要组成部分。

生态系统是一个动态的复杂系统，通常情况下能够通过自我调节保持自身的稳定性。当外来干扰超过一定限度时，必将引起生态系统各种功能的失调，进而导致生态系统稳定性的丧失。保持生态系统结构和功能的稳定是人类生存和发展的基础，人类从事各项生产活动应该遵循自然规律，充分关注生态效益和生态后果，合理控制人类活动对生态系统的干扰，以便在利用自然的同时能保持生态系统的稳定与平衡。

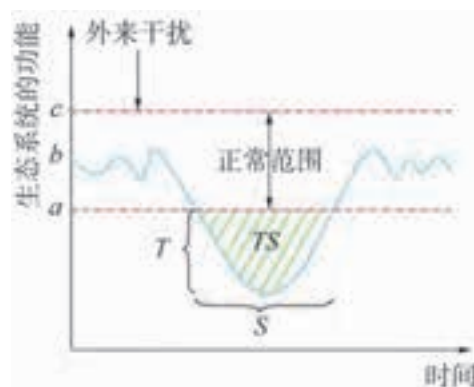
学业检测

1. 随着城市化的发展,城市污水问题日益突出。建立人工湿地公园是解决城市水污染的一种有效途径,右图是人工湿地处理城市污水的示意图。对于以下列观点你是否认同?



- (1) 流经该生态系统的总能量等于该系统生产者所固定的全部太阳能。()
- (2) 芦苇在湿地边沿随地势高低分布不同,属于群落的垂直结构。()
- (3) 绿藻、黑藻可吸收城市污水中的有机物,并用于自身的光合作用。()
- (4) 人工湿地净化污水,体现了该湿地生态系统的抵抗力稳定性。()
- (5) 湿地有限的自我调节能力不允许污水超量排放。()

2. 有人把生态系统比作弹簧,它能忍受一定的外来压力,压力一旦解除就又恢复原初的稳定状态。敏感性和恢复力可表征生态系统稳定性的大小。敏感性是生态系统对外来干扰的敏感程度,可用生态系统受到干扰后改变的大小以及保持原有状态的时间来衡量。分析右图,回答以下问题:



(1) 在受到干扰之前,曲线在正常范围内波动是由于该生态系统具有_____能力。

(2) T 表示一个外来干扰使之偏离正常范围的大小,因此它可以作为衡量_____的指标,偏离大说明稳定性_____,同时也说明该生态系统对外来干扰_____。

(3) 图中 S 表示恢复到原状所需的时间,因此, S 越大,表示_____越弱。

(4) TS 所表示的面积,可作为衡量总稳定性的指标,这一面积越大,则说明该生态系统的总稳定性越_____。

(5) 将生态系统比作弹簧是否恰当? 阐明你的理由。

3. 凤眼蓝俗称水葫芦(见右图),原产巴西,起初作为花卉引入中国,继而作为畜禽饲料推广种植,后逃逸为野生。迅速繁殖的凤眼蓝,堵塞河道,破坏水生生态系统,威胁本地生物多样性。



(1) 凤眼蓝在其原产地没有造成危害,是哪些因素限制了它在原产地的爆发?

(2) 尝试从生态位的角度解释凤眼蓝变为“入侵种”的可能原因。

(3) 结合凤眼蓝的引进,谈谈你对物种引进的认识。

第二节 生态系统通过反馈实现自我调节

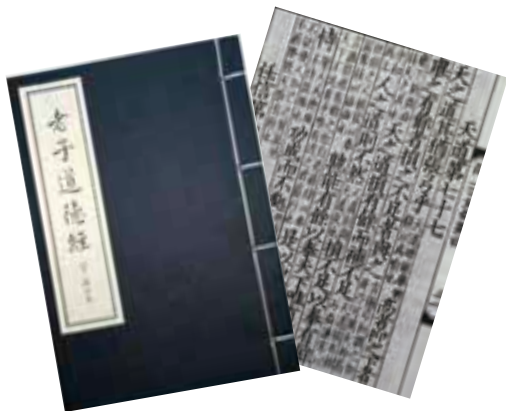


图 4-8 《老子道德经》

我国古代思想家老子提出，自然之道的本质是平衡：“天之道，其犹张弓欤？高者抑之，下者举之；有余者损之，不足者补之。天之道，损有余而补不足……”（图 4-8）生态系统总是随着时间的变化而变化，它能通过自我调节使自身的结构和功能趋向于一种动态的平衡状态。这种自我调节是通过怎样的调节机制实现的？怎样才能提高一个生态系统的稳定性？

一、生态系统自我调节的机制是反馈

生态系统的自我调节功能是通过反馈（feedback）机制实现的。如果一个系统的输出能变成决定系统未来输入的重要因素，就说明它存在反馈机制（图 4-9）。当生态系统中某一成分发生变化时，必然引起其他成分出现一系列相应的变化，这些变化又反过来影响最初发生变化的那种成分，这个过程就是反馈。

反馈分为正反馈（positive feedback）和负反馈（negative feedback）（图 4-10），生态系统同时存在正反馈和负反馈两种机制，发挥着不同的功能。



图 4-9 反馈模型



图 4-10 正反馈和负反馈模型

在有限的环境中，随着种群密度的增大，种内斗争必将加剧，种群的出生率下降，死亡率上升，从而使得种群数量不会无限增长。当种群数量低于一定水平时，出生率

上升，死亡率下降，种群数量又开始上升。在一段时间内，种群数量围绕一个范围波动，呈现动态平衡，这就是生态系统中常见的负反馈。负反馈的作用是抑制和减弱最初发生变化的那种成分所发生的变化，不断减小与平衡状态的距离，使生态系统达到并保持稳定状态。不同种群之间（图 4-11）、生物与环境之间也存在这种调控机制。

正反馈的作用与负反馈恰好相反，它会加速最初发生变化那种成分所引发的变化，使生态系统远离原有的平衡状态。在种群数量持续增长的过程中，随着种群基数的增大，种群数量不断上升，就属于正反馈。湖泊生态系统的污染过程，也是比较典型的正反馈过程：湖泊污染导致鱼类死亡，鱼的死亡和腐烂又加重湖泊污染，湖泊水质的污染越来越重，并引起更多鱼类的死亡，形成恶性循环（图 4-12）。正反馈往往具有滚雪球式的效应，导致系统越来越偏离平衡。

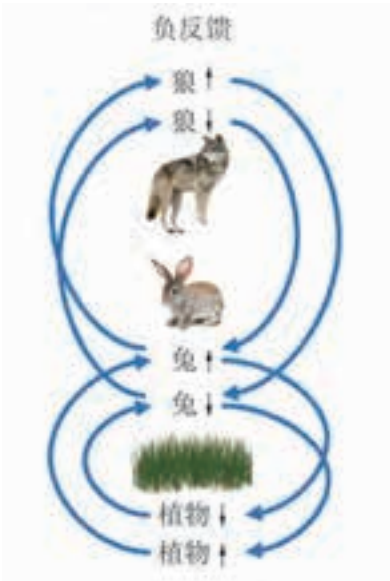


图 4-11 负反馈示意图

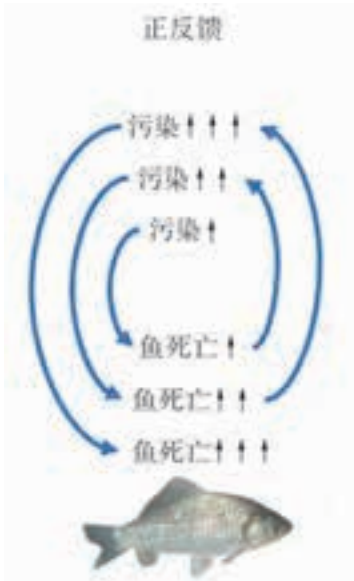


图 4-12 正反馈示意图

二、科学的措施可提高生态系统的稳定性

在通常情况下，生态系统能够通过反馈进行自我调节达到动态平衡。处于动态平衡状态下的生态系统，生物的种类和数量保持相对稳定，物质与能量的输入和输出保持相对平衡，具有良好的自我调节能力。在自然条件下，生态系统总是朝着物种多样化、结构复杂化和功能完善化的方向发展，直到生态系统达到成熟的最稳定状态。



方案设计

设计保持和提高人工林生态系统稳定性的方案

人工林是采用人工播种、栽植等技术培育而成的森林，经济林、风景林、防护林都属于人工林（图 4-13）。我国人工林发展迅速，已成为世界上人工林面积最大的国家。人工林是森林资源的重要组成部分，具有生长快、材性好、效益高等优点，在经济发展及环境保护中发挥着巨大作用。但是，人工林也有其自身缺陷。



图 4-13 人工林

目的要求

1. 分析人工林的物种组成和营养结构，初步判断其生态系统稳定性大小。
2. 设计保持和提高人工林生态系统稳定性的方案。

活动程序

1. 了解当地林地资源分布状况，就近选择调查林地，设计调查用表。
2. 调查人工林的物种组成和营养结构，对人工林的生态系统稳定性进行评估。
3. 借助网络，了解人工林天然化、人工林近自然改造等方面的知识，搜集我国林业保护方面的法律法规。
4. 设计保持和提高人工林生态系统稳定性的方案，小组之间进行交流，在教师的指导下进一步完善方案。

分析讨论

1. 分析小组方案中的措施应用了哪些生态学原理。
2. 方案中的哪些措施可以推广应用到其他生态系统？
3. 与天然林相比，人工林更容易受到干旱、病虫害等因素的干扰。预测和论证某一干扰因素可能引发的潜在变化，思考怎样科学抚育人工林才能做到经济效益和生态效益的统一。

生态系统的稳定性实质上就是系统对干扰的响应，是生态系统承受外来干扰的能力的具体表现。外来干扰对生态系统的影响取决于生态系统的自我调节能力，也与干扰的类型和强度密切相关。干扰可分为正干扰和负干扰。在正干扰的作用下，生态系统会向更加优化的方向进化，形成新的生态系统。正干扰消失后，如果没有新的负干扰出现，

生态系统将会维持在新的稳定状态。负干扰会使生态系统趋于退化，当这种干扰超过生态系统的自我调节能力阈值后，生态系统就会成为退化生态系统。在负干扰消失后，退化的生态系统要经历很长时间才能恢复到退化前的状态，甚至不能恢复（图 4-14）。

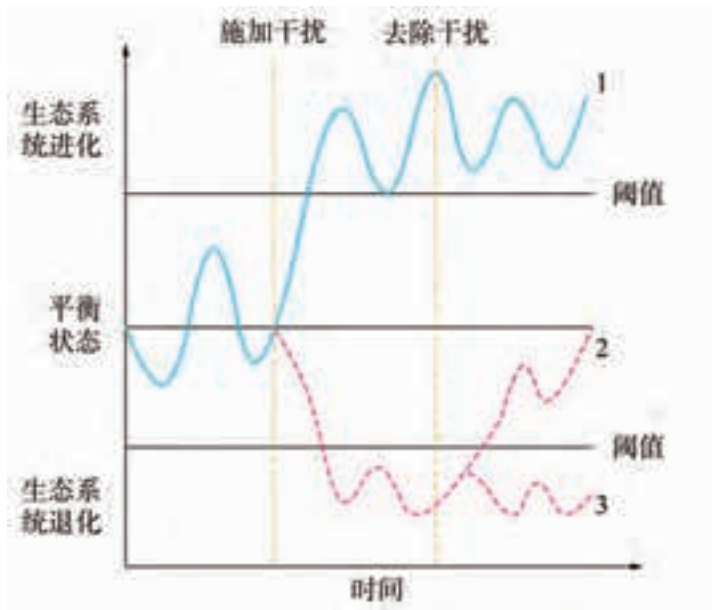


图 4-14 正、负干扰对生态系统稳定性的影响
（1 是正干扰变化，2 和 3 是负干扰变化）

20 世纪 90 年代的浙江安吉县余村，曾是安吉县最大的石灰岩开采区，余村人靠山吃山，大力发展矿山经济。过度开采导致粉尘蔽日，土地裸露，环境严重恶化，表明人类对生态系统的负干扰已经使生态系统趋于退化。从 2006 年起，余村人下决心守护绿水青山，关停了全部矿山和水泥厂，把竹制品家庭作坊搬进了工业区。如今的安吉，青山环绕，漫山翠竹，森林覆盖率达 72%，成为中国第一个“国家生态县”，2012 年被授予“联合国人居奖”（图 4-15）。这一实例说明，人类的不当行为会破坏生态系统的稳定，遵循自然规律则可以提高生态系统的稳定性。



图 4-15 安吉大竹海

物种丰富度与生态系统的稳定性高度关联，丰富度高的生态系统具有更加复杂的营养结构，拥有更多的生态位以抵消干扰所带来的影响。因此要提高生态系统的稳定性，首先要提高生态系统的物种丰富度。其次是要控制对生态系统的干扰程度，对生态系统的利用要适度，不应超过生态系统的自我调节能力。比如，超载放牧对天然草场的干扰是巨大的。牲畜数量剧增，草场压力加剧，使得草丛高

度降低，植被遭到破坏，土壤裸露面积增大；超载放牧还会导致优良牧草种群衰败，群落结构趋向简单化，生物种类减少，草原群落退化加速。因此，《中华人民共和国草原法》第三十三条规定：草原承包经营者应当合理利用草原，不得超过草原行政主管部门核定的载畜量。对于人类利用强度较大的生态系统，要保持其相对稳定，就需要加强管理，增加相应的物质和能量投入。

学业检测

1. 在漫长的历史发展进程中，我们的祖先通过自身的生产和生活实践，积累了对生态方面的感性认识和经验，并形成了一些生态学观点。《庄子·齐物论》就出现了“天地与我并生，而万物与我为一”的论述。

- (1) 庄子的这一论述体现了()。
- A. 人类中心论 B. 人地协调论 C. 人定胜天论 D. 环境决定论
- (2) 下列做法符合庄子这一论述的是()。
- A. 围湖造田，扩大人类的生产空间 B. 变“北大荒”为“北大仓”
- C. 使用化肥和农药提高粮食产量 D. 退耕还林、还草

2. A、B、C、D 4 个密闭、透明的生态瓶，各瓶内的组成和条件见下表。经过一段时间的培养和观测后，发现 A 瓶是最稳定的生态系统。

生态瓶编号	生态系统组成					
	光	水草	藻类	浮游动物	小鱼	泥沙
A	+	+	+	+	-	+
B	-	+	+	+	-	+
C	+	+	+	+	-	-
D	+	+	+	+	+	+

(说明：“+”表示有，“-”表示无。)

- (1) A 瓶最稳定的原因是_____。
- (2) B 瓶中，藻类的种群密度变化趋势是_____，原因是_____。
- (3) C 瓶比 A 瓶有较多的有机物，原因是_____。
- (4) D 瓶与 A 瓶相比，O₂ 含量有何差异？造成这种差异的主要原因是什么？

3. 池塘养殖过程中，饵料、鱼类排泄物、换水不及时等容易引起水体的富营养化。池塘水体的氮、磷含量升高，导致藻类等浮游生物大量繁殖，加之死亡后被微生物分解，引起水体的溶氧量下降，造成鱼类等死亡，进一步破坏了池塘生态系统的稳态。研究者设计了一种循环水池塘养殖系统（见下图）。



- (1) 与自然池塘相比，循环水池塘养殖系统的抵抗力稳定性_____。
- (2) 池塘水体富营养化引发的连锁反应使池塘水质进一步恶化，这种反馈调节称为_____。
- (3) 养殖塘内物质和能量的输入输出与自然生态系统有何区别？
- (4) 该养殖系统中，生态塘、潜流湿地及沟渠中有多种水生植物、贝类和丰富的微生物，试从物质循环的角度阐述以上设施净化水体使水体富氧的机制。

学业要求

重要概念	节次	学科素养
生态系统通过自我调节作用抵御和消除一定限度的外来干扰，保持或恢复自身结构和功能的相对稳定。	第一节	◆解释生态系统具有保持或恢复自身结构和功能相对稳定，并维持动态平衡的能力。 ◆举例说明生态系统的稳定性会受到自然或人为因素的影响。 ◆设计并制作生态瓶，观察和比较不同生态瓶中生态系统的稳定性，撰写报告分析其原因。
	第二节	◆阐明生态系统在受到一定限度的外来干扰时，能够通过自我调节维持稳定。 ◆举例说明生态系统通过正反馈和负反馈实现自我调节。 ◆设计保持和提高某个生态系统稳定性的方案。 ◆从生态系统具备有限自我调节能力的视角，预测和论证某一因素对生态系统的干扰可能引发的多种潜在变化。



哈尼梯田——人与自然的和谐赞歌

哈尼梯田位于云南省红河哈尼族彝族自治州,已有 1300 多年的历史(图 4-16)。千百年来,哈尼梯田为何能有效消减自然灾害的袭扰,一直保持自然生态的完整和活力?这是因为哈尼人顺应了自然规律,与大自然和谐共处,共同构建了一个天人合一的稳定的生态系统,并形成了哈尼梯田独特的生态文化。

哈尼族是一个善于和大自然亲密相处的民族,尊崇森林树木是哈尼人的精神信条和传统习俗。哈尼人认为树和人一样是有生命的,人和树是平等的,决不能无缘无故去伤害一棵树。不仅如此,哈尼人更把涵养水源的森林作为神灵膜拜和保护。哈尼村寨有一个共同点,村寨后面必定是森林,村里村外还会种上棕榈和竹子。在寨子里,老人们不允许晚辈砍伐村边的树木。哈尼人一方面非常注重原生态森林的保护,另一方面通过退耕还林、荒山造林、封山育林等方式营造人工林,不断增加森林资源。正是这些森林构成了巨大的天然绿色水库,它们涵养的水分在高山形成了无数条小溪、清泉和瀑布,提供了梯田与旱地的用水以及人畜用水,形成了“森林-村寨-梯田-水系”这样的良性循环复合生态系统。

哈尼人对自然的尊崇还体现在对自然的热爱与亲近。哈尼族许多祭司吟唱的古歌和祭词开头的第一句都是“亲亲的一娘生的兄弟姐妹”。这句话代表了哈尼文化最本质的内涵——亲和文化。在这里,人和山林土地、山川河流、日月星辰是亲和的,亲戚朋友、左邻右舍、千村万寨乃至哈尼人和其他民族也是亲和的。他们对大自然的一切都是亲和的。如栽秧叫“嫁秧姑娘”,犁田耙地叫“把田伙子打扮得更漂亮”。哈尼族的服饰款式设计也无不体现大自然的元素。哈尼族服饰主要使用银饰,连结饰片的银链多为大小银鱼,绣在服饰上的图案也都以自然界的日、月、花、鸟、鱼、虫为主。可以说,哈尼人的亲和文化正是哈尼梯田得以



图 4-16 哈尼梯田

持续发展的“艺术瑰宝”。

哈尼人的服装很多是用蓝靛染的土棉布做成。蓝靛主要来自马蓝、菰蓝等蓝草，哈尼人的房前屋后都种有蓝草。他们将蓝草的叶摘下来放入缸内加水浸泡，制成蓝靛汁，再将土白布放入蓝靛汁中染成非常纯朴的黑色和藏青色。褪色的旧衣在蓝靛汁里重新泡洗，会再次变得鲜亮起来。

历经千年沧桑的哈尼梯田能成为一个稳定的生态系统，关键在于这个生态系统在发展过程中形成了一整套的生态保护机制，各种利益关系通过这个机制得到有效整合，使人们从自然中获取的同时，保证了梯田耕作的连续性和人类的可持续发展。这是哈尼族梯田生态文化的核心，也是哈尼梯田文化源远流长并表现出勃勃生机的秘密所在。

第五章 保护环境是人类生存和可持续发展的必要条件



地球是人类共同的家园，珍爱地球，保护环境，需要从我做起。为了引起人们对环境问题的关注，动员人们参与到环保运动中，1970年4月22日，美国的尼尔森（G. Nelson）和海斯（D. Hayes）发起了“地球日”活动。这是人类有史以来第一次规模宏大的群众性环境保护运动，随后影响越来越大，已发展至全球192个国家，每年超过10亿人参与，成为世界上最大的民间环保节日。人口增长、人类生产活动引发了哪些全球性的生态环境问题？对生态系统的稳定与平衡会带来哪些干扰和威胁？应该采取哪些措施保护环境？





课题研究

调查当地的主要环境问题

污水流入江河，烟尘排入大气，酸雨腐蚀建筑，垃圾污染土壤……人类在谋求生存与发展的同时，对生态环境的破坏日益严重，环境的恶化又对人类的生产和生活产生不利影响。环境问题包括人类不合理地开发利用自然资源所造成的生态环境破坏，以及城市化、工农业高度发展而引起的环境污染。

提出问题

造成当地某环境问题的原因是什么？

制订并实施研究计划

1. 如何确定调查方向？

- ◆初步了解当地生态环境存在哪些方面的问题。
- ◆研究小组共同商讨，选择最关注的一个环境问题作为调查方向。

2. 如何进行调查？

- ◆实地调查或查阅资料，搜集环境被破坏或污染前后的数据、图片等。
- ◆调查该环境问题对周围居民生产、生活、健康及当地生态系统造成的影响。
- ◆调查造成该环境问题的主要原因，了解目前解决该环境问题所采取的措施。

3. 怎样处理调查结果？

- ◆梳理调查内容，说明该环境问题的现状。
- ◆分析现有措施的有效性。

成果交流

1. 汇总各小组的调查结果，分析当地环境中存在的主要问题。利用自媒体或展板在班内进行展示。

2. 通过合适的宣传媒介，让人们了解当地环境问题的现状及危害，提高环保意识。

3. 尝试提出保护建议或行动计划，选取各小组提出的有价值的建议，整理成报告，提交给当地相关部门。



图 5-1 污水排放

第一节 人口增长对环境造成压力



图 5-2 全球第 70 亿位居民降生

2011 年 10 月 31 日凌晨，菲律宾首都马尼拉的一家医院里，指针刚过零点，丹妮卡·卡马乔诞生了。丹妮卡的降生不仅给她的父母带来了欢乐和骄傲，她也被认定为全球进入 70 亿人口时代的标志（图 5-2）。时任联合国秘书长潘基文说：“70 亿人，意味着需要更多食物，更多能源，更多就业和受教育的机会……这不是一个数字的故事，这是一个有关人类的故事。”据联合国《世界人口展望(2017 年修订版)》的预测数据，世界人口到 2050 年将达到 98 亿。人口数量变化的趋势是怎样的？人口增长给环境造成了哪些压力？

一、人口增长有自身的规律

人口增长遵循种群数量增长规律，但人又不同于一般生物，有其自身的特点。除了自然因素和自身生物属性外，人口增长还受到政治、经济和文化等因素的制约和影响。人类社会早期，人口出生率高，死亡率也高，人口的增长十分缓慢。自 19 世纪开始，科学技术的进步使得人类能够获得足够的食物，居住条件的改善和储存食物能力的提高使人类的生活不再过分依赖于气候，营养、医疗和公共卫生条件也日臻完善，从而大大降低了人口死亡率，同时出生率仍然保持较高水平，于是世界人口数量呈现爆炸式增长，接近 J 型曲线（图 5-3）。

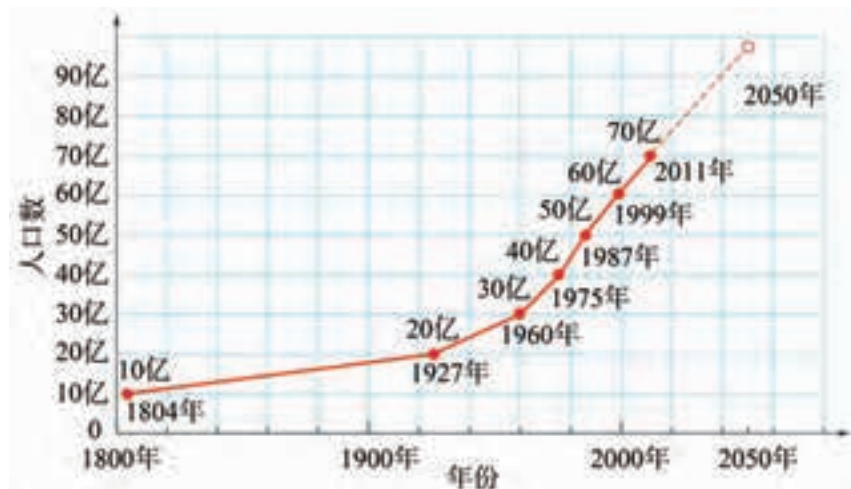


图 5-3 世界人口增长曲线

中国是世界上人口最多的国家。为有效控制人口数量，我国从 20 世纪 70 年代开始实行计划生育政策，几十年来成效显著，人口增长势头逐渐放缓（图 5-4）。以 2010 年 11 月 1 日零时为标准时点的第六次全国人口普查，公布我国总人口为 1 370 536 875 人（含港、澳、台）。

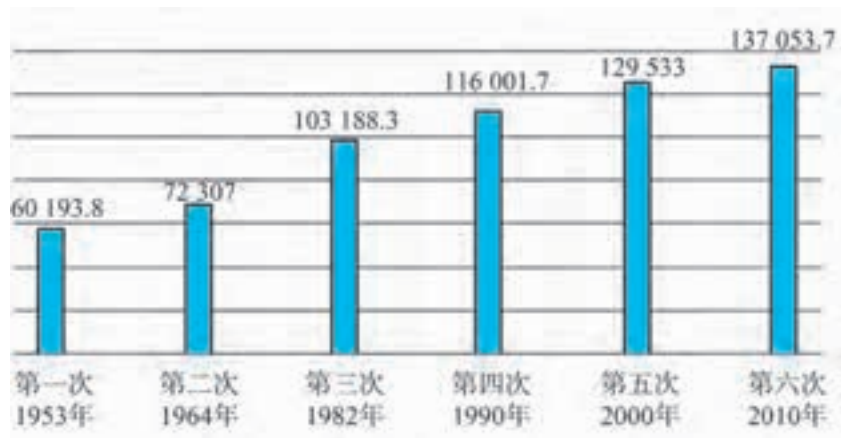


图 5-4 我国历次人口普查人口总数（单位：万人）

二、人口增长使自然资源面临巨大压力

环境是人类赖以生存和发展的基础，人口增长对环境造成的压力，主要是对环境中自然资源的压力。自然资源是天然存在、能满足人类需要的资源。自然资源有的可以再生，如水资源、土地资源和生物资源等；有的不可再生，如煤炭和石油等矿产资源。



资料探究

分析水资源的现状

人类可直接或间接利用的水，是世界上分布最广的自然资源。通常所说的水资源主要是指陆地上的淡水资源，可以再生并重复多次使用。由于人口增长和经济发展等因素，全球对水资源的需求正在以每年 1% 的速度增长。

[资料 1] 水资源与其他固体资源的区别在于其具有流动性，它是在水循环过程中形成的一种动态资源。水资源在开采利用后，能够得到大气降水的补给，处在不断消耗与恢复的循环之中。但是，水资源的蓄存量是有限的，陆地上的淡水资源只占地球上水体总量的 2.53% 左右，其中近 70% 被冻结在冰川和冰盖中，人类比较容易利用的淡水资源，不足全球总储水量的 0.01%（图 5-5）。

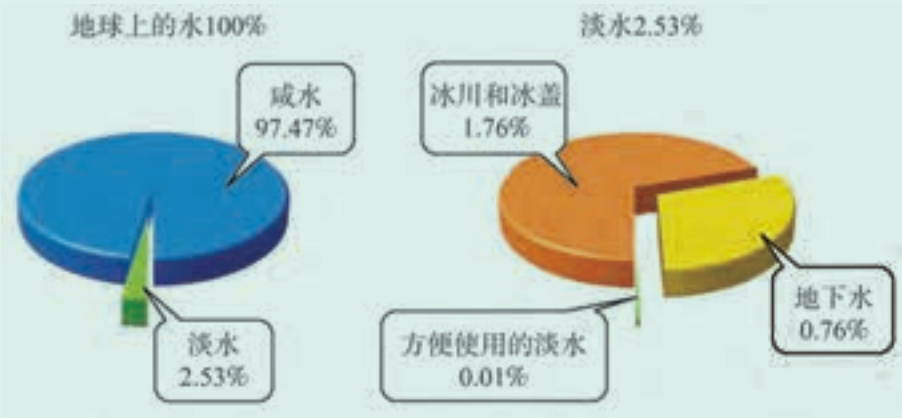


图 5-5 地球上的水分布

〔资料 2〕 地理条件的差异和气候条件的变化，决定了水资源在自然界中的分布随空间和时间而不同。水资源在区域上的分布是不均匀的，有些区域之间相差悬殊。在同一地区的不同时期，水资源的分布也会有很大差异（图 5-6）。

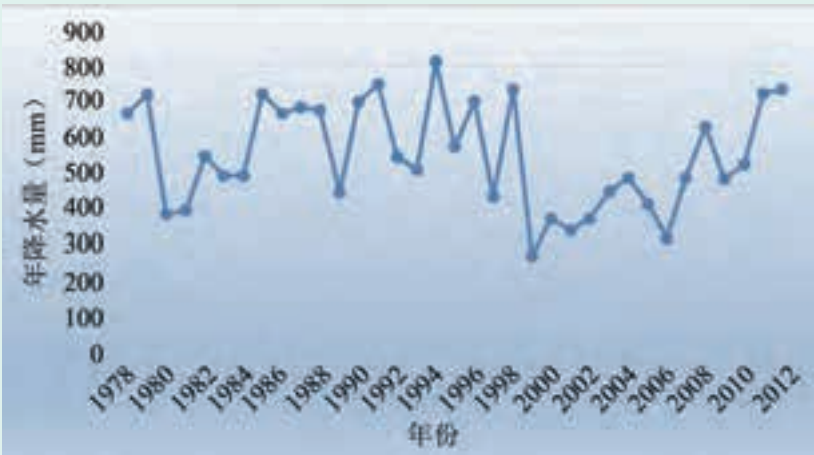


图 5-6 北京市 1978—2012 年的年平均降水量

〔资料 3〕 全球范围内，有近 80% 的污水没有经过处理就直接排放。每天约有数百万吨垃圾倒进河流和湖泊，很多地区的水受到抗生素、消毒剂 and 激素污染。工厂排放的有害化学物质，有些渗入到地下水中。我国 2002 年颁布的《地表水环境质量标准》，将地表水划分为五类，其中 I—Ⅲ类可以作为饮用水源，而劣 V 类水体是污染程度已超过 V 类、极重污染的水，基本失去使用功能。《2017 中国生态环境状况公报》提供了我国七大流域和浙闽片河流、西北诸河、西南诸河的水质状况（图 5-7）。

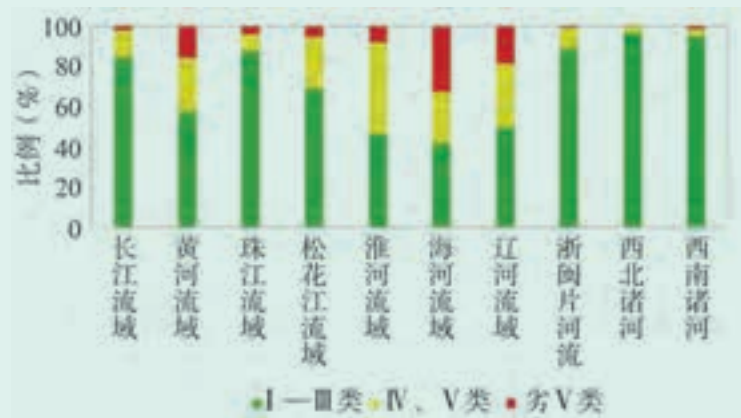


图 5-7 2017 年我国主要河流水质状况

分析讨论

- 1. 地球表面 70% 以上为水所覆盖，全球水资源危机却日益突出。分析当前水资源现状。
- 2. 传统农业严重依赖气象和气候条件，只有风调雨顺，庄稼才能丰收。要改变“靠天吃饭”的现状，从水资源的角度分析，应当采取哪些措施？
- 3. 我国水资源总量居世界第 6 位，但人均水占有量居世界第 109 位，被列为世界 13 个贫水国之一。面对如此严峻的水资源形势，在生活中我们应当怎样节约用水？

人口增长导致人均淡水供给量减少，经济发展必然增加对水的消耗，水体污染使可以利用的水越来越少，加之以对水资源的开采和利用不够合理、水资源的浪费等，都加剧了水资源短缺，使供需矛盾日益突出。世界范围内，农业需水量占淡水使用总量的 70%，节水灌溉能够以最低限度的用水量获得最大的产量或收益。西汉时期出现于新疆吐鲁番地区的坎儿井，巧妙地引地下潜流灌溉农田，大大减少了输水过程中的蒸发和渗漏。目前我国推广应用的节水灌溉形式主要有喷灌、滴灌、膜上灌和膜下灌等（图 5-8）。

地球陆地面积约为 $1.49 \times 10^8 \text{km}^2$ ，其中大部分是沙漠、山地、冻土和冰川等，适于耕种的面积约占 10%。像耕地、林地、牧地和城镇居民用地等已经被人类利用以及未来能被人类利用的土地，称为土地资源。人口增长导致对农作物的需求量不断上升，但耕地的数量和质量都不容乐观。



图 5-8 滴灌技术

城市扩张和道路建设等占用大量土地，沿海耕地因海水侵蚀而盐渍化，部分耕地因水土流失而变为荒漠。同时，部分土地由于连续耕种、缺乏养护变得越来越贫瘠，部分土地因过量使用农药和化肥而受到污染。2006 年十届全国人大四次会议上通过的《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》提出了 18 亿亩（约 120 万 km²）耕地红线。18 亿亩红线是指全国耕地总数要至少保持在 18 亿亩以上，决不能因为城市化及工业化过程而使耕地大量减少。这个数值是经过科学计算得出的保持我国粮食安全稳定的耕地总数，作为一个具有法律效力的约束性指标，这是不可突破的底线。

 阅读空间

荒 漠 化

荒漠化是一个全球性问题，是干旱、半干旱和半湿润地区的土地退化、生产力下降或丧失的现象（图 5-9）。荒漠化可以由气候变化导致，但多数归咎于人类活动。人口增长对环境的压力增加，出现过度耕种、过度放牧、大面积毁林，加上对水资源的不合理利用等，造成植物不能正常生长，没有植被保护的裸地极易遭受风沙侵蚀和水土流失。截至 2014 年，全国荒漠化土地面积 261.16 万 km²，沙化土地面积 172.12 万 km²，主要分布在新疆、内蒙古、西藏、甘肃和青海。荒漠化使可利用土地面积减少，农作物产量下降；引起草场退化，适于牲畜食用的优质牧草逐渐减少；造成河流、水库淤积堵塞，铁路公路路基和桥梁损坏，交通中断；导致沙尘天气，影响居民出行。整治荒漠化可以将自然恢复、人工促进自然恢复与生态系统重建相结合，根据退化程度的不同及自然条件、发展需求等，采用不同的模式进行恢复。



图 5-9 土地荒漠化

矿产资源是地质作用形成的具有利用价值的，呈固态、液态或气态的自然资源。矿产资源分为能源矿产、金属矿产和非金属矿产等，它的形成与演化往往需要经历漫长的地质变化过程，具有不可再生性。我国矿产资源总量尽管很大，但人均占有资源量却很低，地域分布也不均衡，是一个资源相对贫乏的国家。矿产资源对于推动人类社会的发展起到了巨大的作用，尤其是能源矿产。随着社会经济的发展，加上人口数量的增长，人类对矿产资源的需求总量不断增长，有限的总量和人类需求之间的矛盾越来越突出。

1972 年出版的《增长的极限》一书中，介绍了梅多斯（D. Meadows）等人用计算机模拟研究“人类的境遇”问题。研究者以 1900—1970 年世界人口、粮食、资源以及工业污染和人均工业产量的变化数值为依据，提出了一个“人口膨胀—自然资源耗竭—环境污染”模型（图 5-10），推测人口激增必然会导致 3 种危机：一是土地资源利用过度，二是自然资源枯竭，三是环境严重污染。书中的观点给人类社会的传统发展模式敲响了警钟。地球所能承载的人口同样存在“环境容纳量”问题，过多的人口大量消耗自然资源，给环境带来巨大压力，进而影响整个生物圈的稳定性。人类只有采取合理的措施妥善解决人口与资源的矛盾，才能走上可持续发展的道路。

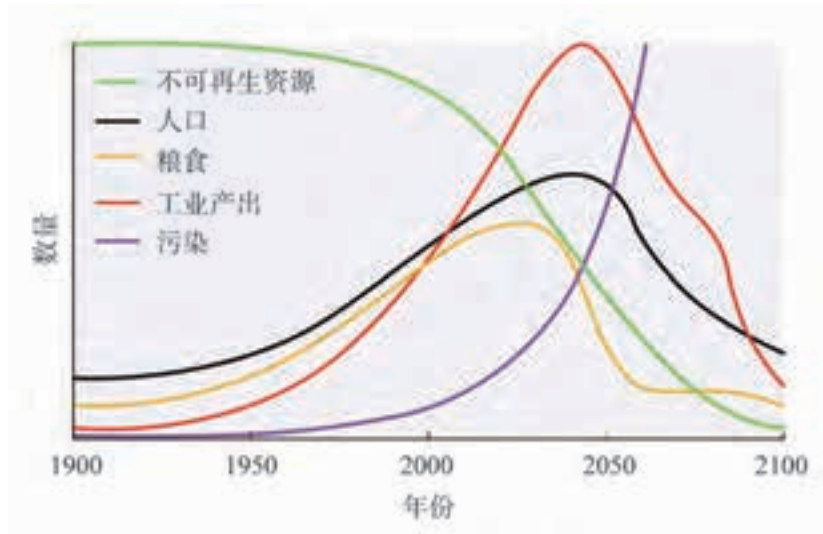


图 5-10 梅多斯模型

学业检测

1. 中国有句俗语“三山六水一分田”，形容土地资源的珍贵。古人的这个描述接近地球的地貌。请回答下列问题：

（1）土地资源是农业、林业和畜牧业生产最重要的物质基础，下列对土地资源的利用最为合理的是（ ）。

- A. 利用山区资源，最大限度地将山地开发为良田
- B. 将湿地和沼泽加以改造，以扩大水稻等作物的种植面积
- C. 将部分土地闲置，等待其恢复肥力
- D. 将现代生物技术应用用于农业生产，提高土地的利用效率

（2）土地资源可持续利用是指在特定的时间和地区条件下，对土地进行合理的开发、使用、治理、保护，协调人口与土地的关系及人与资源、环境的关系，满足当代人与后代人生存发展的需要。谈谈可以采取哪些措施保障耕地的可持续利用。

（3）与土地资源不同，矿产资源具有不可再生性。矿产开采会造成一定程度的环境污染和植被破坏（见下图）。怎样缓解矿产资源的开发与经济发展、环境保护的矛盾？



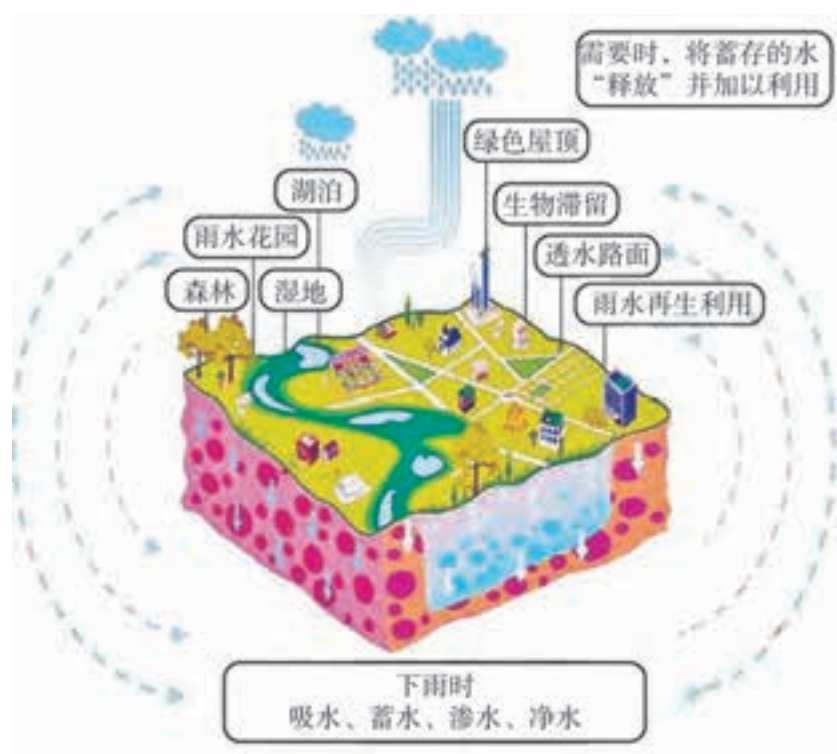
采矿场

2. 2012 年 4 月，在深圳举行的“2012 低碳城市与区域发展科技论坛”中，首次提出“海绵城市”的概念。“海绵城市”是指城市在适应环境变化和应对雨水带来的自然灾害等方面具有良好的“弹性”，也可称之为“水弹性城市”（见下图）。下雨时吸水、蓄水、渗水、净水，需要时将蓄存的水“释放”并加以利用，还能有效缓解城市热岛效应。

（1）“海绵城市”能够像海绵一样，在适应环境变化方面具有良好的“弹性”，这种“弹性”实际反映了城市生态系统的_____能力。

（2）图示中充当“海绵”的结构既包括河、湖、池塘等水系，也包括绿地、花园、可渗透路面等设施。这些“海绵”的作用包括_____。

（3）从水资源的角度分析，建设“海绵城市”有助于缓解我国水资源面临的哪些问题？



(4) 海绵城市是师法自然、遵从自然的一次工程建设革命。运用所学的生态系统水循环的知识，绘制并比较传统城市与“海绵城市”的水循环路径。

第二节 人类活动对环境产生重大影响



图 5-11 所罗门群岛

所罗门群岛是南太平洋的一个岛国，由 990 多个岛屿组成（图 5-11）。科学家选取其中的 33 个岛屿，对比了 1947—2014 年间的航空卫星图像，发现其中的 5 座岛屿已经消失，另外 6 座的面积也大大缩小。这些低海拔岛屿逐渐被大海“吞噬”的主要原因是海平面持续上升。海平面上升是否与人类活动有关？人类活动带来的全球性环境问题对生物圈的稳态及人类的生存和可持续发展造成哪些影响？

一、温室效应对全球气候造成影响

在全球范围内，气候平均状态的巨大改变或者持续较长时间的气候变动，称为全球气候变化。全球气候变化主要指温室气体增加而产生的气候变暖问题。气候变化的原因既有大自然内部的因素，也有外部的因素，其中人类活动是引起气候变化的重要外部因素。



资料探究

探究人类活动与温室效应的关系

地球与外层空间之间存在着热交换过程，地球表面的温度由太阳辐射到地球表面的能量与地球向外散发的辐射能之间的关系决定。太阳短波辐射具有较强的穿透性，能够通过大气层到达地球表面，但大气中的二氧化碳、甲烷、一氧化二氮和臭氧等物质，能够强烈吸收由地表向外散发的长波热辐射，阻碍了地表热量向外层空间的排放，从而形成温室效应。这类气体被称为温室气体。

【资料 1】 能源是人类生存和发展的重要保障，随着经济发展、科技进步和生活水平的提高，人类对能源的需求量快速上升。2017 年，清洁能源在能源结构中所占比例不足 15%，全球能源仍处于化石燃料时代，化石燃料的燃烧必然伴随着二氧化碳等温室气体的大量排放（图 5-12）。

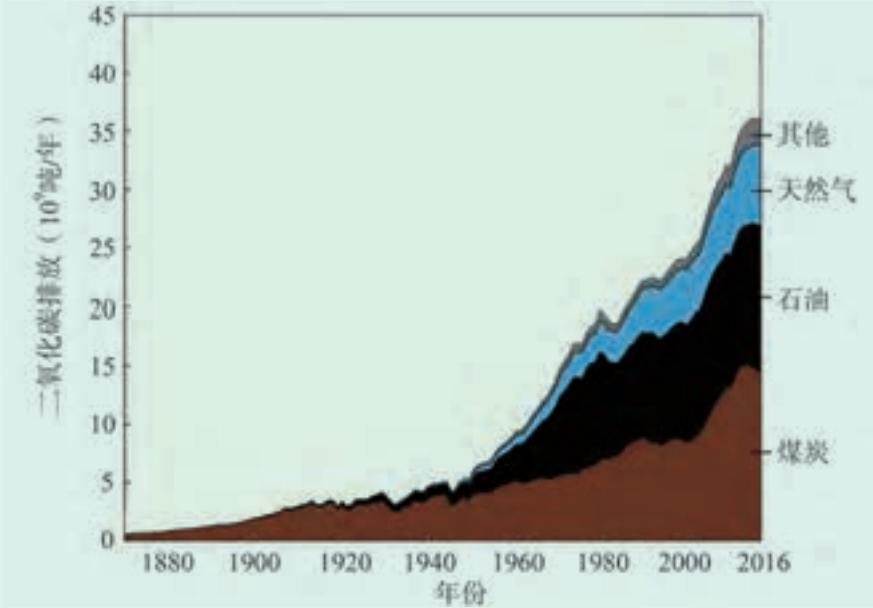


图 5-12 全球能源物质消耗与二氧化碳排放示意图

[资料 2] 森林作为可再生的生物资源，能够提供木材，更具有调节气候、涵养水源等生态功能。合理的采伐不会损伤森林生态系统的结构和功能，既获得林产品又促进森林更新和林木生长；过量砍伐则会降低森林的更新能力，导致生态环境的破坏。随着人类活动范围的扩大，部分林地转变为农田或作其他用途。几十年来，尽管部分地区的森林面积实现了增长，但全球森林面积仍在持续减少（图 5-13）。

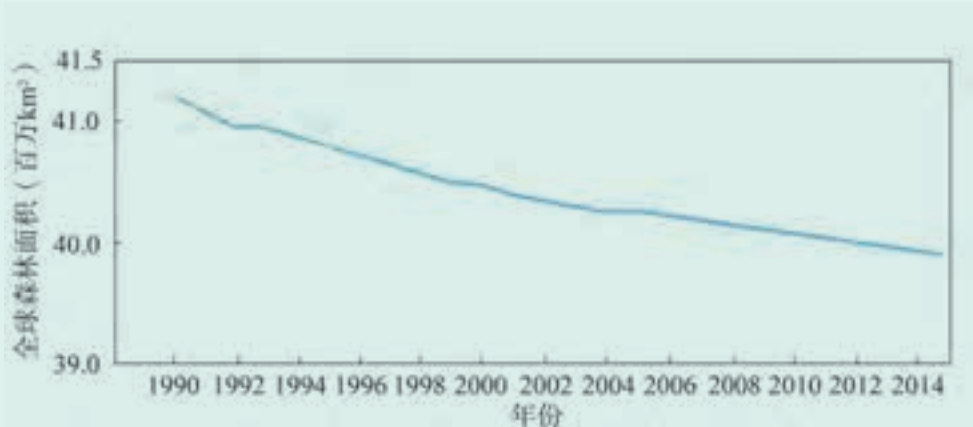


图 5-13 1990—2014 年全球森林面积变化趋势

分析讨论

- 1. 自 1750 年以来，全球累计排放了 1 万多亿吨二氧化碳，其中发达国家排放约占 80%。碳排放持续增加的症结在哪里？
- 2. 人类的哪些活动加剧了温室效应？采取哪些措施能够缓解温室效应？
- 3. 科学家发现，与 1979 年 10 月相比，2017 年同期的北冰洋冰盖面积约减少了 35%。这种变化会对生物圈产生哪些影响？

从长期气候数据比较来看，气温和二氧化碳浓度之间存在显著的正相关（图 5-14）。在所有温室气体中，二氧化碳的作用最为显著。自工业革命以来，化石燃料的消耗不断增长，人类向大气中排放的二氧化碳逐年增加。同时，全球森林面积持续下降，对大气成分的调节能力减弱。从碳循环的角度看，全球二氧化碳的释放量大于吸收量，碳循环失去平衡，温室效应随之增强，全球气候变化加剧。

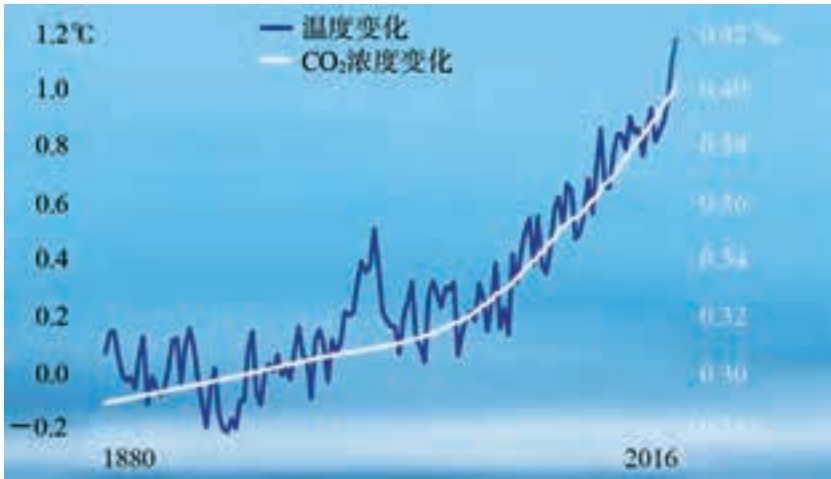


图 5-14 全球大气中二氧化碳浓度的变化和温度变化曲线
（图中温度以 1881—1910 年的平均气温为基数）

全球气候变暖对地球生态环境及人类的生存和发展产生重大影响。全球变暖致使各地降水和干湿状况发生改变，极端天气和气候事件（如厄尔尼诺现象、干旱、洪涝和热浪等）增多。全球气候变暖导致冰川消融，海平面升高，海水入侵沿海地下淡水层，沿海土地盐渍化；海岸、河口、海湾自然生态环境失衡，给当地生态系统带来了极大的灾难。全球气候变暖使得各地生态环境发生异变，生物多样性下降，加大了病虫害爆发的风险。

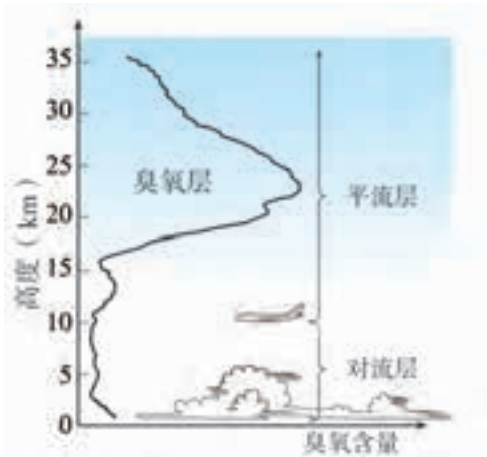


图 5-15 大气中的臭氧分布示意图

二、氯氟烃造成臭氧层破坏

臭氧（O₃）在大气中的含量极少，主要分布在平流层中距离地面 20~30km 的高度（图 5-15）。臭氧层对紫外线辐射具有很强的吸收作用，是地球的一道天然屏障。

20 世纪 50 年代末到 70 年代，科学家发现臭氧层的臭氧浓度有减少的趋势。从 20 世纪 70 年代开始，臭氧以每年 0.4% 的速度递减，两极地区尤为严重。1985 年英国南

极考察队在南极地区发现了面积为 900 多万 km² 的臭氧层空洞，引起世界各国极大关注。1974 年美国化学家罗兰德（F. Rowland）和莫利纳（M. Molina）研究发现，当人类大量使用的氯氟烃（CFCs，用于制冷剂、发泡剂和清洗剂等）进入平流层后，在受到强烈紫外线的照射时，分解产生氯原子，氯原子同臭氧发生化学反应，破坏臭氧分子，使臭氧浓度减少，从而造成臭氧层的严重破坏（图 5-16）。

氧和臭氧层的出现为海栖生物登陆提供了前所未有的“安全”环境，这是生物进化发展的一个重要转折点。臭氧层的破坏使紫外线的威胁再次降临：过量的紫外线照射到地球上，导致生物发生基因突变的频率增加，经常暴露的皮肤更容易发生癌变，眼睛也容易受到损害，白内障的发病率增高。强烈的紫外线能够穿透海水 10~30m 的深度，使海洋浮游植物的初级生产力降低，抑制浮游动物生长，并波及以它们为食的其他海洋生物。

针对臭氧层破坏问题，国际社会开展了一系列保护活动。1987 年，24 个国家首先签署了《蒙特利尔议定书》，约定限量使用、直至停用氯氟烃等物质的时间表。经过各国多年的努力，修复工作成效显著，2018 年南极臭氧层空洞面积是几十年来最小的，这是我们人类共同保护家园的成功事例（图 5-17）。

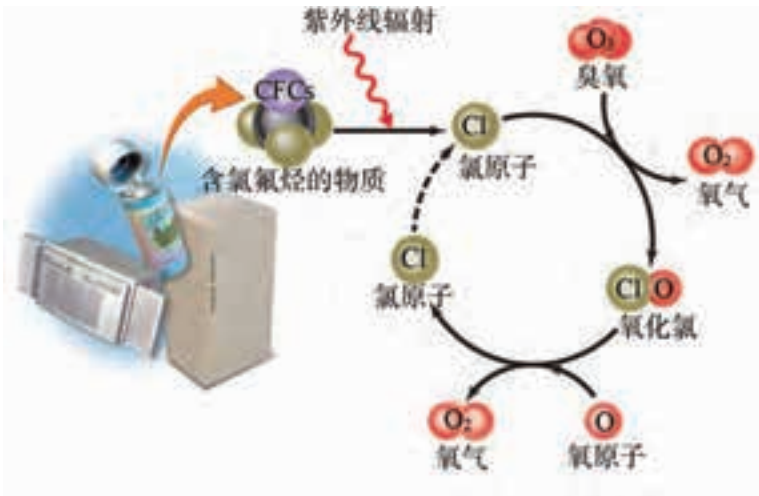
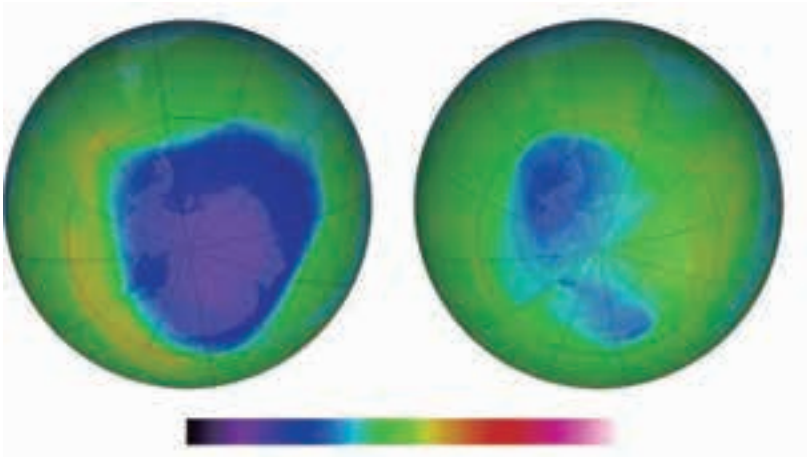


图 5-16 氯氟烃对臭氧层的破坏过程示意图



紫色和蓝色是臭氧最少的地方，黄色和红色是臭氧较多的地方

图5-17 南极上空的臭氧层空洞
(左图：2006年11月，右图：2018年11月)

阅读空间

紫外线的类型与健康

UVA 是长波紫外线，有很强的穿透力，98% 能穿透臭氧层到达地球表面。长波紫外线对衣物和人体皮肤的穿透性强，可达到真皮深处，并可对表皮部位的黑色素起作用，从而引起皮肤黑色素沉着。黑色素能起到防御紫外线、保护皮肤的作用。因而长波紫外线也被称为“晒黑段”。长波紫外线虽不会引起皮肤急性炎症，但对皮肤的作用可长期积累，是导致皮肤老化和严重损害的原因之一。

UVB 是中波紫外线，穿透力中等，大部分被臭氧层所吸收，只有不足 2% 能到达地球表面。中波紫外线的大部分被皮肤表皮所吸收，不能到达皮肤内部。被照射部位真皮血管扩张，皮肤可出现红肿、水泡等症状。长久照射会使皮肤出现红斑、炎症和老化，严重者可引起皮肤癌。因此中波紫外线又被称为紫外线的“晒红段”，是应重点预防的紫外线波段。

UVC 是短波紫外线，穿透能力最弱，几乎被臭氧层完全吸收。短波紫外线可以通过臭氧层空洞直接到达地面。短波紫外线对人体的伤害很大，短时间照射即可灼伤皮肤，长期或高强度照射还会造成皮肤癌。它可在一秒之内破坏微生物的 DNA 结构。

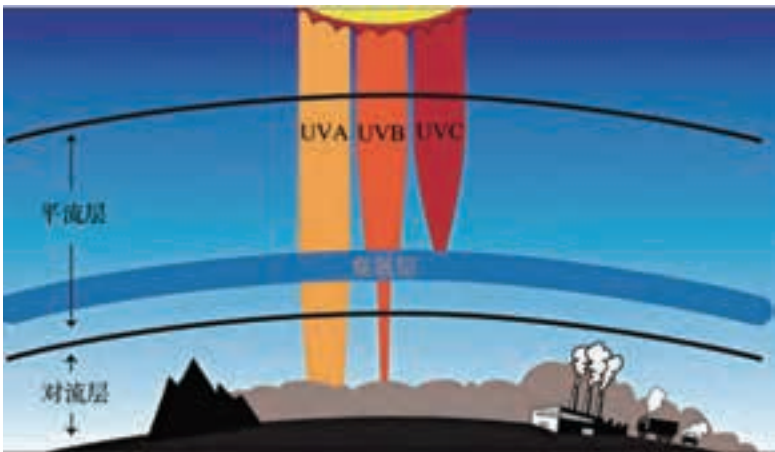


图 5-18 臭氧层对不同类型紫外线的阻挡作用示意图

三、废弃物不当排放导致环境污染

人类生产生活中产生的废水、废气和废渣，不经处理或处理不当，排放到环境中，超过了环境的自净能力就会造成环境污染。环境污染包括大气污染、土壤污染和水污染等。

化石燃料燃烧会产生二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物及颗粒物，当大气中这些物质的含量达到有害的程度，就会导致大气污染。1952 年的伦敦烟雾事件是历史上最严重的大气污染事件，导致 4 天内约 4000 人死亡，十几万人患上呼吸道疾病。雨、雪等在形成和降落过程中，吸收并溶

解了空气中的二氧化硫、氮氧化物等物质，形成了 pH 低于 5.6 的酸性降水，称为酸雨。酸雨改变土壤和湖泊的 pH，导致森林破坏、作物减产和动物死亡，被冠以“空中死神”的称号（图 5-19）。酸雨加速建筑物、金属、纺织品、橡胶等物质的腐蚀速度，它还可成为摧残文物古迹的元凶。

土壤是各类植物的“家园”，为植物提供了生长所需的营养成分，是人们生产生活都离不开的重要自然资源。但随着社会经济的快速发展，人口的剧增，土壤正在遭受着愈加严重的污染。进入土壤中的有害物质超出土壤的自净能力，导致土壤质量恶化、功能失调。造成土壤污染的原因主要包括 3 个方面：工业生产过程中排放的废水和废渣，农业生产中过量使用的化肥和农药，生活垃圾随意丢弃、生活污水直接排放。土壤污染影响农作物的生长，还会造成有害物质在农作物中富集。有害物质通过“土壤→植物→人体”或“土壤→水→人体”间接被人体吸收，危害人体健康。土壤一旦污染，不易治理，很难在短时间内恢复正常，将长期影响农业的可持续发展。

人类活动排放的污染物进入水体，引起水质下降，利用价值降低或丧失，称为水污染。来自生活污水、农业废水和工业废水的氮、磷等营养物质大量进入湖泊、河口和海湾等缓流水体，引起浮游生物迅速繁殖，水体含氧量下降，水质恶化，鱼类等其他生物大量死亡。这种由于水体中植物营养物质过多蓄积而引起的污染叫作富营养化。水体富营养化严重时，湖泊出现“水华”，局部海区会出现“赤潮”现象（图 5-20）。进入水体的某些有害物质如汞和铅，影响中枢神经系统，易引起神经错乱、昏迷甚至死亡。而且，这些重金属与蛋白质结合后，不能被排泄掉，会通过生物富集过程逐级放大危害。

在过去的一个多世纪里，人类物质文明得到了高度发展，社会生产力极大提高，经济迅速发展，创造了前所未有的物质财富，但人类制造并排放的大量废弃物也使生态环境遭到了空前的破坏，引发了全球环境危机。环境问题是沒有国界的，“人与自然是生命共同体，人类必须尊重自然、顺应自然、保护自然。人类只有遵循自然规律才能有效防止在开发利用自然上走弯路，人类对大自然的伤害最终会伤及人类自身，这是无法抗拒的规律。”



图 5-19 被酸雨腐蚀的树木



图 5-20 赤潮

学业检测

1. 垃圾分类的目的就是为了按一定标准将废弃物分流处理，分类储存、分类投放和分类搬运，回收利用可再生资源，填埋处置暂时无法利用的垃圾。

(1) 为方便居民将垃圾分类投放，国家出台了《生活垃圾分类标志》。下列垃圾归类合理的是()。

	A	B	C	D
垃圾	废荧光灯管	纽扣电池	废易拉罐	废塑料瓶
垃圾分类	 可回收物	 有害垃圾	 厨余垃圾	 其他垃圾

(2) 垃圾投放有许多规范，规范操作可方便工作人员的回收，并能防止二次污染。下列操作符合规范的是()。

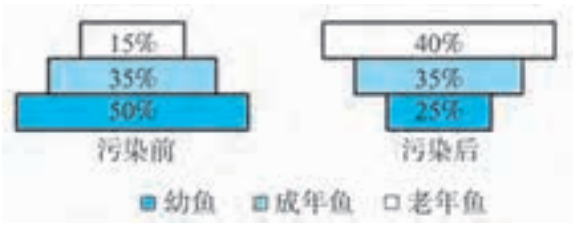
- A. 厨房里产生的垃圾都可以投放到餐厨垃圾
- B. 瓶罐类物品应尽可能将容器内产品用尽，清理干净后投放
- C. 打碎的水银温度计无法回收利用，应该投放到其他垃圾
- D. 不能回收的其他垃圾也可以自行焚烧或填埋

(3) 垃圾分类具有多方面的意义，试加以概括。

2. 人们使用含三丁基锡、三苯基锡等有机锡化合物的油漆涂于船只和海洋建筑物等的表面，有效防止了海洋生物附着生长。近年来的研究发现，油漆中的有机锡可释放入海，对多种生物造成毒害。

(1) 较低浓度的有机锡即能抑制软体动物雌性个体的雌激素合成，这些雌性个体的繁殖能力将因此_____。该污染物通过_____的富集可能对鱼类、鸟类甚至人类造成危害。

(2) 有机锡污染导致某海域一种鱼的年龄结构发生改变(见下图)，请预测该种群数量的变化趋势。



图中数字表示各年龄期个体数占总个体数的百分比

(3) 某海域受有机锡污染后，部分海藻以及多种软体动物的生物量显著下降，个别物种消亡，而沙蚕等多毛纲动物变为优势类群。这是在_____水平上研究的结果。

(4) 以上资料表明，如果有机锡长期污染将会导致_____下降，从而降低生态系统的_____。

3. 降落到建筑物表面的酸雨会造成石料的剥落。下图为德国贺腾一座石雕像 1908 年和 1969 年的照片，通过比较可清楚地看出酸雨对雕塑的腐蚀作用。



(1) 利用化学反应原理解释酸雨损害大理石雕像的原因。

(2) 酸雨除了腐蚀建筑物，对植物的影响也十分显著，下列分析合理的是()。

- A. 酸雨 pH 过低，破坏了植物的酶系统进而影响细胞代谢
- B. 酸雨可以增加土壤中无机盐的含量
- C. 不同植物对酸雨的耐受力不同，细胞壁厚的植物更占优势
- D. 质膜有选择透过性，所以酸雨中的物质不会对细胞内部造成损伤

(3) 治理酸雨，应该从哪些方面采取措施？

第三节 生物多样性对生态系统稳定性具有重要意义



图 5-21 渡渡鸟复原模型

曾经生活在非洲毛里求斯岛上的渡渡鸟，虽然不能飞翔，每次繁殖只产一枚卵，但因为没有天敌，它们的数量依然保持相对稳定（图 5-21）。从 1507 年开始，葡萄牙人来到岛上，还带来了很多家畜。人类侵占了渡渡鸟的家园，家畜又吃掉鸟卵，渡渡鸟最终在 1690 年左右走向灭绝。此后大桉榄树也日渐稀少，毛里求斯岛上曾经只剩下 13 株。1981 年美国生态学家坦普尔（S. Temple）研究发现，大桉榄树的种皮太厚，只有经过渡渡鸟胃部消化使种皮变薄，种子才能萌发。某种生物的灭绝会对其他生物或生态系统造成什么影响？生物多样性对人类生存和发展有什么重要意义？人类该如何与环境和谐相处？

一、生物多样性具有多方面的意义

生物多样性是指地球上所有生物类群层次结构、基因和功能以及由这些生物与环境相互作用所构成的生态系统的多样化状态，包括遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性 3 个层次（图 5-22）。遗传多样性造就了物种多样性，物种多样性与多种多样的无机环境构成了生态系统多样性。

多种多样的生物作为人类赖以生存的物质基础，为人类提供了生活必需品和各种工业原料，包括食物、医药、木材、纤维和橡胶等，体现了生物多样性的直接价值。《肘后备急方》中的“治寒热诸疟方”记载：“青蒿一握，以水二升渍，绞取汁，尽服之。”从草本植物黄花蒿中分离提纯的青蒿素是治疗疟疾的特效药，在治疗疟疾的药物中，青蒿素起效快，疗效好。生物多样性对科学技术的发展是不可或缺的，例如，仿生学的发展就离不开丰富而奇异的生物世界。生物多样性还有美学价值，正是色彩纷呈的植物和形态各异的动物，构成了令人赏心悦目、流连忘返的美景。



遗传多样性又称基因多样性，指地球上所有生物所携带的遗传信息的总和。

物种多样性指一定时间一定空间中全部生物或某一生物类群的物种数目与各个物种的个体分布特点。



生态系统多样性指生物圈内生物系统组成和功能的多样化以及各种生态系统过程的安全性。

图 5-22 生物多样性的 3 个层次

生物多样性具有重要的生态功能，一般表现在维持物质循环和能量流动以及净化环境、涵养水源、调节气候和改良土壤等，这些属于生物多样性的间接价值。生物多样性的间接价值往往容易被人们忽视，但其作用是巨大的。1982 年美国生态学家蒂尔曼（D. Tilman）等人进行了一项



图 5-23 动物传播种子



图 5-24 橡胶草



图 5-25 胡佛大坝（美国）

为期 10 年的草地生物多样性实验，表明生态系统内的生物多样性与植物群落的稳定性呈正相关性。整个生态系统就像一个盘根错节的网络，其中每种生物都是一个信息连接点，牵一发而动全身。看似毫不相干的两个物种，很可能存在某种紧密的相互依存关系（图 5-23）。某个物种的消失不仅会使人类失去一种生物资源，还会通过食物链引起连锁反应，影响其他物种的生存。

野生生物种类繁多，人类已经做过充分研究的只是少数，大量野生生物的价值尚不清楚，也许在短期内不能被人类利用，但其潜在的使用价值是不可估量的。橡胶草是一种普通的草本植物，从未引起人们的关注，直到 1931 年苏联的科研人员发现，橡胶草的根部富含乳汁，播种当年即可收获、提取橡胶，是极有发展前途的产胶植物（图 5-24）。一种野生生物一旦从地球上消失就无法再生，其潜在价值也就不复存在了。多样性的生物资源，更像是一种未雨绸缪的安排，一旦环境发生变化，那些适应新环境的物种就会借机发展起来，从而满足人类的需求。

二、保护生物多样性需要全社会的共同努力

人类持续不断地采伐森林，过度利用土地和水资源，极大地压缩了野生动物的栖息场所，影响物种的正常生存和繁衍，从而导致种群数量急剧下降或地区性灭绝。道路、水利设施以及其他可能限制生物活动的分隔物，将原本连续的生态环境分割成分散、孤立的小块，导致生态环境的破碎化（图 5-25）。动物种群被分割开来，依赖动物传播种子的植物也不可避免地受到影响，减少了基因的交流，导致遗传多样性下降。人们往往追求生物多样性的直接价值，而忽略了其间接价值和潜在价值，过度甚至掠夺式地开发和利用生物资源，也是生物多样性降低的重要原因。灵芝、鹿角蕨和人参等植物在野外已经难觅踪迹，犀牛、金丝猴和蓝鲸等野生动物也濒临灭绝。



资料探究

搜集生物多样性保护的实例

我国是世界上生物多样性最丰富的国家之一，也是生物多样性受影响最严重的国家之一，生物多样性下降的总体趋势尚未得到有效遏制，保护形势依然严峻。为全面掌握我国生物多样性的现状，提高生物多样性保护工作的科学性和有效性，当时的环境保护部联合中国科学院于2013年9月发布了《中国生物多样性红色名录·高等植物卷》，2015年5月发布了《中国生物多样性红色名录·脊椎动物卷》(图5-26)。

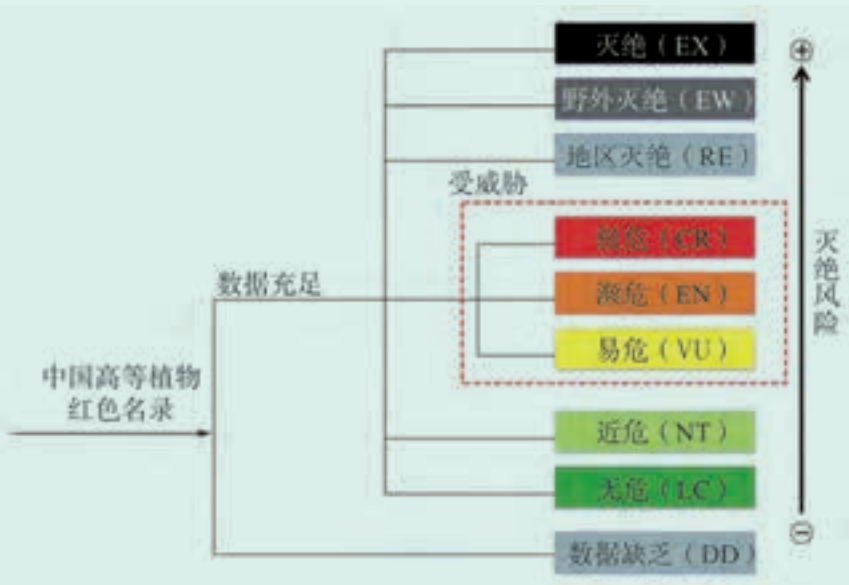


图 5-26 生物多样性红色名录等级划分结构图

目的要求

- 1. 搜集当地生物多样性保护的实例。
- 2. 了解现有的生物多样性保护措施。

活动程序

- 1. 查阅《中国生物多样性红色名录》，选择当地被列入红色名录、等级在“受威胁”以上的一个物种，了解该物种的形态特征、生活习性及其生存环境。
- 2. 红色目录中，濒危物种等级标准是依据物种种群大小、成熟个体数量、种群动态、分布范围及变化等客观指标进行评估的。根据这些指标，全面评估该物种受威胁的状况。
- 3. 在评估濒危等级时，如果该生物满足对生态环境有特殊要求、生态环境被分割、极易被捕捉且经济价值高等条件，濒危等级会升高一级。结合这一原则，通过走访调查或查阅资料，分析该物种在当地数量减少甚至濒危的主要原因。
- 4. 搜集当地对该物种实施保护的各种措施，以及这些措施取得的成效。

分析讨论

- 1. 当地生态系统是否已经出现严重的生物多样性下降趋势？讨论该趋势对人类的影响。
- 2. 各小组交流搜集到的生物多样性保护实例，分析现有保护措施存在的不足，商讨如何进一步完善。

3.《逸周书》记载，大禹执政时期曾经颁布封山育林和休渔的禁令：“春三月，山林不登斧，以成草木之长；夏三月，川泽不入网罟，以成鱼鳖之长。”尝试说明其中的道理。



图 5-27 扎龙国家级自然保护区

保护生物多样性的根本措施是在野生动植物原来的栖息地对其实施有效的保护。国家或地方政府将具有代表性的生态系统、珍稀濒危动植物的天然集中分布区、有特殊意义的自然遗迹等保护对象所在的陆地或水域，依法划出一定范围予以特殊保护和管理，这就是自然保护区(图 5-27)。保护区限制或禁止捕杀和采集，控制人类的干扰活动，是拯救濒危生物物种的庇护所；保护区能完整地保持野生生物栖息地的本来面目，是生物物种的储备库；保护区是研究各类生态系统自然过程的基本规律、研究物种的生态特性的重要基地。截至 2018 年 5 月，我国已建立国家级自然保护区 450 多个，初步形成类型齐全、布局合理、结构平衡的自然保护区网络。

 阅读空间

国家公园

国家公园是我国自然保护地最重要的类型之一，建立国家公园的首要目的是保护一个或多个典型自然生态系统的原真性、完整性，把最应该保护的地方保护起来，给子孙后代留下珍贵的自然遗产，同时兼具科研、教育、旅游等综合功能。国家公园不同于严格的自然保护区，其功能更加丰富：在做好保护工作的同时，还要作为公共设施提供环境教育服务，为公众提供精神享受，做好自然资源可持续利用的展示和范例，以及与当地构建绿色发展关系。目前，我国已设立云南普达措、湖北神农架、福建武夷山等 10 个国家公园体制试点(图 5-28)。



图 5-28 普达措国家公园

有些物种数量极少，生活环境遭受严重破坏，生存和繁衍受到严峻威胁。对于这些濒危物种，最有效的措施是把它们迁出原地，移入动物园、植物园或濒危动物繁育中心，进行特殊的保护和管理。迁地保护只是为濒危物种找到暂时的生存空间，待其种群数量得到一定恢复、自然生存条件得到改善后，再将它们重新放归自然生态系统。扬子鳄是中国特有的珍稀动物，已经在地球上生存了 2.3 亿年，有“活化石”之称（图 5-29）。1979 年，安徽省陆续从野外收容了 212 条扬子鳄，组建了扬子鳄繁殖研究中心，人工饲养的扬子鳄数量迅速增长。科研人员从 2003 年开始陆续将其放归野生环境。截至 2018 年 7 月，已累计放归扬子鳄 700 条。

为了防止人类在面临大规模灾害时永远丧失某些粮食的基因，人们建立了种质库，收藏以种子为主的作物及其近缘野生植物。这些种子蕴藏着潜在的、可利用的基因，是人类繁衍生存的保障。将种子进行清洗、活力检测、干燥脱水等处理，然后密封包装，存入 -18°C 冷库，一般可保存 50 年以上。我国国家作物种质库于 1986 年在中国农业科学院落成，长期保存的种质资源数量达到 42 万余份，为我国作物育种和生产提供了雄厚的物质基础。除了植物种子种质库，人们还建立了植物离体库、DNA 库、植物种质圃、微生物种质库和动物种质库等，为生物多样性保护提供更多保障。2007 年中国西南野生生物种质资源库投入试运行（图 5-30），是我国第一座国家级野生生物种质资源库，截至 2017 年，已经抢救性收集和保存了种质资源 20 305 种，210 444 份，是目前亚洲最大的野生植物种质库。

生物资源是一项有潜力的“固定资产”，能为人类带来持续的收益。“当人类砍伐地球上第一棵树的时候，人类的文明便开始了；当人类砍伐完地球上最后一片森林的时候，人类的文明便宣告结束。”（图 5-31）人类应该以生物资源的可持续管理和利用为目标，及时果断地采取行动来维持和保护生物多样性，造福当代及子孙后代。尽管从 20 世纪末开始，人类付出了越来越多的努力，但生物多样性的丧失仍在持续，生物多样性的保护工作任重道远。



图 5-29 扬子鳄



图 5-30 中国西南野生生物种质资源库冷库



图 5-31 世界自然基金会的公益广告：人类在砍伐地球的肺

学业检测

1. 有人估计, 一个蜂箱的蜜蜂, 一天能为 300 万朵花授粉。20 世纪 80 年代, 由于滥用杀虫剂, 某地的蜜蜂逐渐难觅踪迹, 果农只能担负起蜜蜂的工作, 进行人工授粉, 一名工人一天只能为 30 棵果树授粉。

(1) 关于蜜蜂与生物多样性的叙述相吻合的是 ()。

- A. 蜜蜂能生产蜂蜜, 体现了生物多样性的直接价值
- B. 蜜蜂为植物授粉, 体现了生物多样性的间接价值
- C. 杀虫剂危害蜜蜂的同时, 当地其他物种的遗传多样性也都降低
- D. 少数蜜蜂对杀虫剂有抗性, 体现了物种多样性

(2) 蜜蜂如果全部灭绝, 将给生态系统和人类带来哪些影响?

(3) 试分析采取哪些措施可以让蜜蜂“回家”?

2. 位于巴西北部海岸的森林, 面积曾达 100 多万 km^2 。1970—1980 年间, 大约 20 万 km^2 的原始森林被毁, 残留的森林也被分割开来, 森林之间的联系被切断, 形成了许多 0.001~100 km^2 不等的“岛屿”(见右图)。



(1) 森林的破碎化给动物的生存带来哪些影响?

(2) 动物的活动如何影响植物的多样性?

3. 据史料记载, 藏羚羊的数量曾达到百万只之多。1995 年中国藏羚羊总数已急剧下降至 50 000~75 000 只, 这个古老的物种濒临灭绝。



(1) 导致藏羚羊数量急剧下降的原因有哪些?

(2) 1999 年, 中国、法国、印度等 7 个国家正式发布了《关于藏羚羊保护及贸易控制的西宁宣言》, 对保护藏羚羊资源起到了极大的促进作用, 到 2014 年其数量已达近 30 万只。试分析, 哪些方面的措施保证了藏羚羊种群数量较快恢复?

(3) 青藏铁路建设时, 在相应的地段设置了野生动物通道(见上图), 这样做的目的是_____。

第四节 生态工程技术使人和自然环境均受益

1987年4月，世界环境与发展委员会（WECD）正式发布了布伦特兰报告——《我们共同的未来》，这一报告提出了可持续发展的概念，得到了国际社会的广泛认可。这是人类反思工业文明进程的结果，也是人类为克服一系列环境、经济和社会问题所作出的理性选择。可持续发展是既满足当代人的需要，又不对后代人满足其自身需求的能力构成威胁的发展（图 5-32）。生态工程作为可持续发展的有效技术手段，正广泛应用于生态农业建设、环境污染治理、生态恢复以及自然资源保护等。在生态工程的设计和实施过程中，需要运用哪些生态学原理？需要采用哪些系统工程的方法和技术？



图 5-32 人与自然和谐发展

一、生态工程设计依据生态学原理

自然生态系统中的各种生物群体经过长期的进化和适应，形成了各自独特的生活习性及其相对稳定的生态位，彼此之间建立了相互制约的营养关系，可以分级利用自然界提供的物质，使如此众多的生物能够生存于有限的空间，并可保持相对平衡的状态。从经济学观点看，生物群落对自然资源的利用率是最高的。将生态系统的基本原理应用于生态工程建设，不仅能够保持人工生态系统的稳定，还可以提高生产效率和经济效益。



社会考察

参观考察当地人工生态系统

人工生态系统是一个复合生态系统，包括自然、经济和社会三个子系统，三者之间相互联系、相互制约（图 5-33）。人类充分利用各种自然资源和环境，同时向环境中排放大量废弃物，加剧了人口与资源、环境、生态、经济和社会等方面的矛

盾和冲突。能否化解这些矛盾和冲突，取决于人工生态系统的建设和运行是否正确运用生态学的基本原理，以及是否符合人类社会可持续发展的需要。

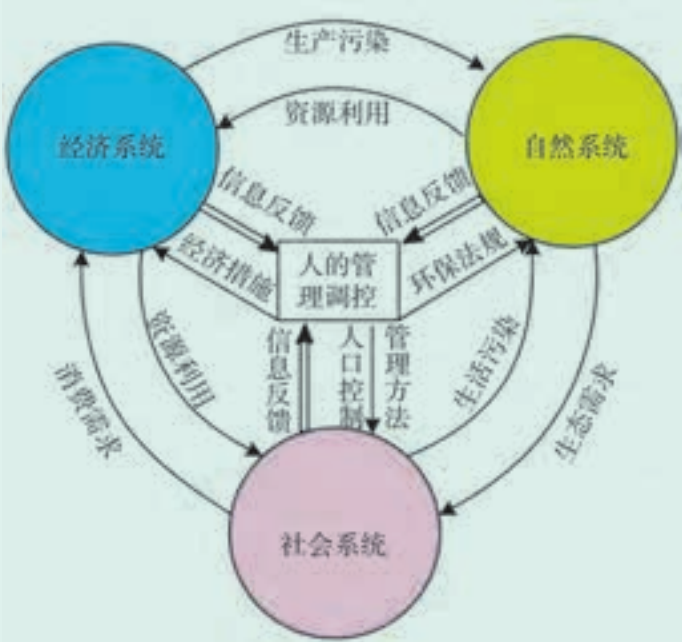


图 5-33 人工生态系统的三个子系统及相互关系示意图

目的要求

- 1. 了解人工生态系统的组成及蕴含的生态学和经济学原理。
- 2. 了解系统工程技术和方法的运用，体验系统工程对自然、经济及社会的影响。

材料器具

照相机、笔记本以及外出考察必备用品。

活动程序

- 1. 事先联系好当地人工生态系统（如生态农业基地）的相关单位，确定参观线路和考察内容。
- 2. 成立参观考察活动小组，设计访谈提纲、考察活动方案、安全应急预案等。
- 3. 聘请当地专业技术人员介绍有关人工生态系统建设情况，以及所运用的生态工程的方法和技术。
- 4. 按照考察路线参观人工生态系统建设情况。及时询问技术人员，了解相关设备、设施的功能及工作原理，并做好相关记录。
- 5. 对周围环境状况、居民的生产与生活、文化及教育情况进行访谈，做好记录。

分析讨论

- 1. 画出所参观人工生态系统的物质循环和能量流动图解。
- 2. 讨论人工生态系统建设中所依据的生态学原理及经济学原理。

生态工程是依据生态学原理，采用系统工程的方法和技术设计的促进分层多级利用物质的生产工艺系统。其目的是在保证自然界良性循环的前提下，充分发挥资源的生产潜力，防治环境污染，达到经济效益和生态效益的同步发展。生态工程设计依据的生态学原理主要包括生态位原理、物种多样性原理、物质循环再生原理、协调平衡原理、系统的整体性原理（表 5-1）。

表 5-1 生态工程设计依据的生态学基本原理

原理	理论基础	意义	实例
生态位原理	不同生物具有各自的生态位	增加物种多样性，使资源得到合理利用	间作、套种
物种多样性原理	生态系统的稳定性	生物多样性程度高，可提高系统的抵抗力和系统的生产力	“三北防护林”建设中的问题
物质循环再生原理	物质循环	可避免环境污染及其对系统稳定发展的影响	无废弃物农业
协调平衡原理	生物与环境的协调和平衡	生物的种群数量不超过环境承载力，可避免生态系统的失衡与破坏	过度放牧
系统的整体性原理	整体大于部分之和	保持较高的系统生产力	珊瑚礁中藻类、珊瑚虫形成高效的营养循环

二、生态工程设计利用系统工程的方法与技术

我国生态学家、生态工程建设先驱马世骏根据中国国情，在 20 世纪 70 年代就提出了可持续发展的论点，明确定义了生态工程的概念，在国际上首次提出了社会－经济－自然复合生态系统理论，将生态学研究从自然生态系统扩展到以人为中心的人工生态系统，为生态文明要“融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程”的“五位一体”思路奠定了理论基础。他所概括的“整体、协调、循环、再生”生态工程原理，成为中国生态建设与产业可持续发展的指导原则，为我国生态县、生态市和生态省的规划与建设提供了科学思路，推动了中国生态农业的蓬勃发展。



资料探究

分析陕西榆林荒漠化治理的复合生态经济模式

陕西榆林风沙区位于毛乌素沙地南缘，荒漠化严重。当地政府开展了沙漠化土地综合治理与生态农业开发,形成了集防沙和治沙、种植和养殖为一体的“榆林模式”，取得了显著成效，推动了生态环境建设与社会经济的协调发展。

[案例 1] 沙地综合治理。以风沙滩地为核心，利用紫穗槐、沙柳、沙棘、沙蒿等适合沙地生长的植物，在滩地外围沙地上建立封沙育林育草带，滩地边缘营造防风防沙林带，滩地周边居住区和养殖区周围的小块荒地种植经济林，滩地内部营造“窄带林、小网格”的农田防护林网，从滩地外围沙地到滩地内部构成了一个多林种、多树种、多功能的综合防护林体系（图 5-34）。同时，采用工程措施设置人工沙障，如草方格等，拦截流沙（图 5-35）。

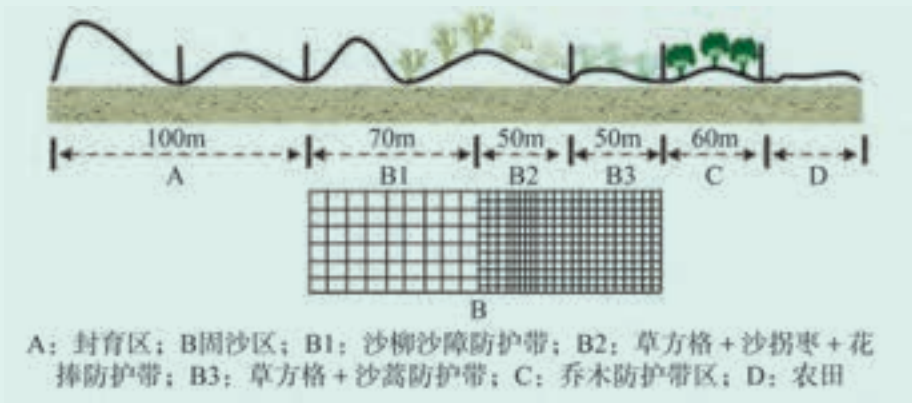


图 5-34 榆林沙区防沙体系结构优化配置图



图 5-35 治沙工人在铺设草方格



图 5-36 农田 - 林网 - 水利工程体系

[案例 2] 滩地内农林复合经营。首先是以农田灌溉渠道为单元构建农田 - 林网 - 水利工程体系。在能灌溉的土地上建设东西走向和南北走向的沟渠、林带和道路，组成大小不同的网格，在渠边和林下种草、放养家禽，实现道路与林带、水渠结合，粮、草、林等综合布局（图 5-36）。其次是挖掘土地生产潜力，改善农作物生长条件。通

过配置灌溉设备，建设高产水浇地；采取垫土改良、增施有机肥、秸秆还田和粮草轮作等措施提高土壤肥力。通过综合规划，配套实施，把排灌、交通、耕作、绿化和防护等多种功能结合起来，提高了综合生产力。

[案例3] 规模化圈舍饲养。封沙禁牧、育林育草和退耕还林，促使以放牧为主的传统养殖业改变思路，打造一种规模化、集约化和产业化的生产体系，实现了畜牧业与生态环境建设协调发展（图 5-37）。

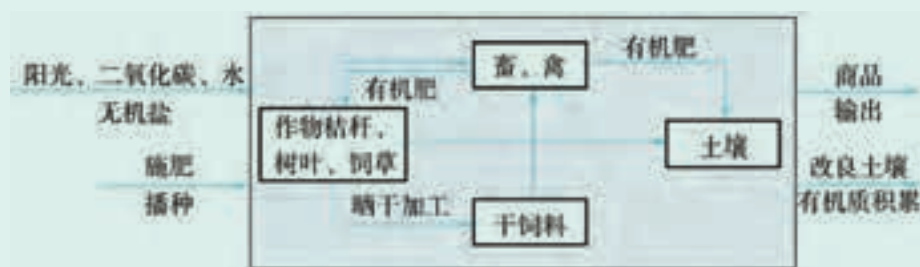


图 5-37 榆林规模化圈舍饲养综合经营模式图

分析讨论

1. 在建设防护林时，物种的选择和配置应注意哪些问题？
2. 林网内实行粮草轮作的生态学意义是什么？
3. “榆林模式”主要依据了哪些生态学原理？
4. 榆林荒漠化治理的复合生态经济模式，核心是林、草、粮、牧综合布局，以林护草，以草养畜，草粮结合，增草促粮。该模式对我国其他地方的生态工程建设有哪些值得借鉴的做法？

生态工程是一个目的性极强又特别复杂的工程项目，其设计和实施离不开系统工程的方法和技术。系统工程常用的方法是系统分析法、成本效益分析法等，常用的技术手段包括建模、模拟、最优化技术和技术评估等。基于以上方法和技术，生态工程设计的基本程序一般包括四个环节（图 5-38）。

生态系统的合理运行是生态工程的基础，而生物种群是生态系统的核心，生物的分布、生存、生活和繁育，不可避免地受自然环境条件的制约，也受到当地生物的制约。依据生态学原理、采用系统工程的方法和技术设计人工生态系统，必须与当地、当时的生态、经济条件相适应，充分发挥各地的自然条件和社会资源优势，合理进行生产布

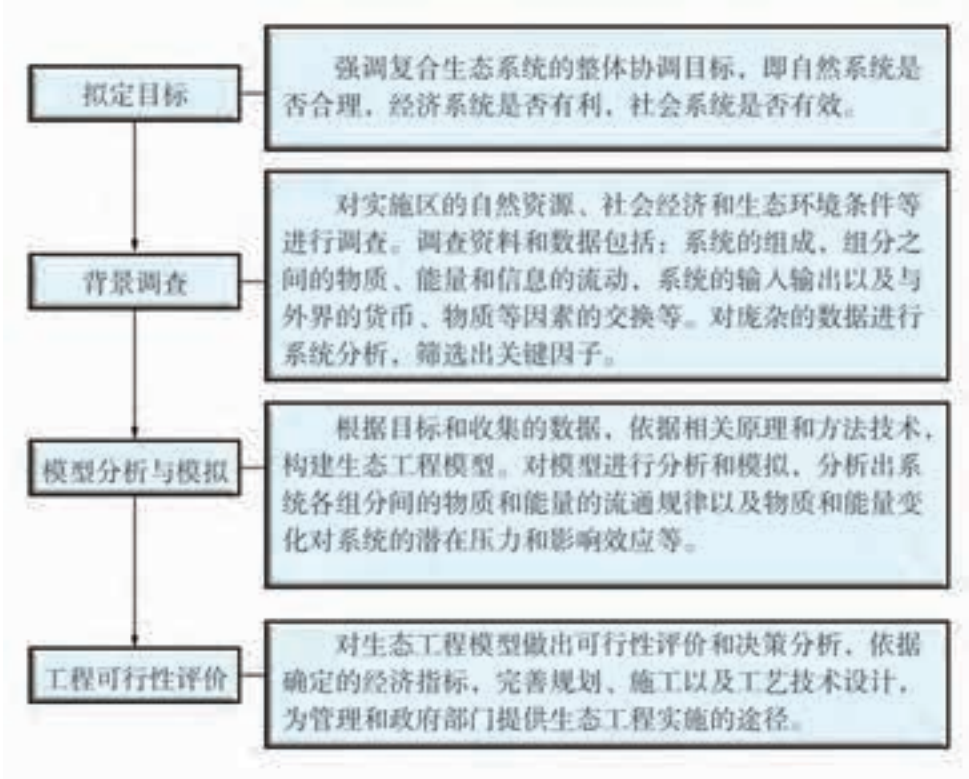
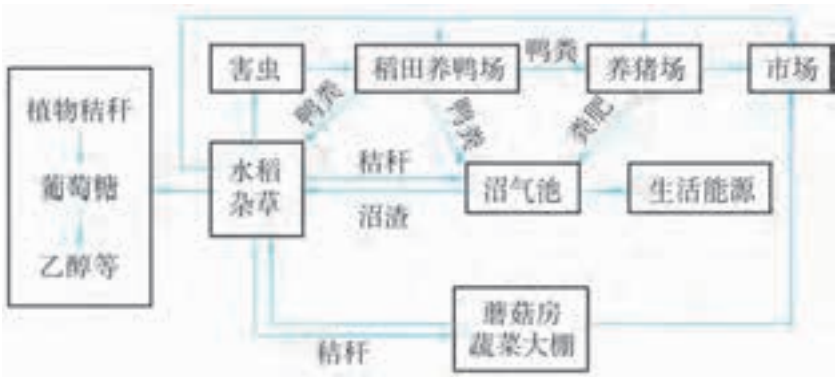


图 5-38 生态工程设计基本程序

局，宜林则林，宜粮则粮，宜牧则牧，建立起具有区域特点的综合人工生态系统。只有这样才能将各地的资源优势变为生产优势，并进一步转化为商品优势，真正实现可持续发展的目标，使人类社会和自然环境双双受益，促进经济与环境协调发展，从追求单一的经济增长，走向富裕、健康和文明三维一体的复合生态繁荣。

学业检测

1. 我国南方某地尝试“稻田养鸭”模式的生态农业（见下图）。其中利用植物秸秆生产的燃料乙醇，是一种“绿色能源”，符合低碳经济发展的需求。



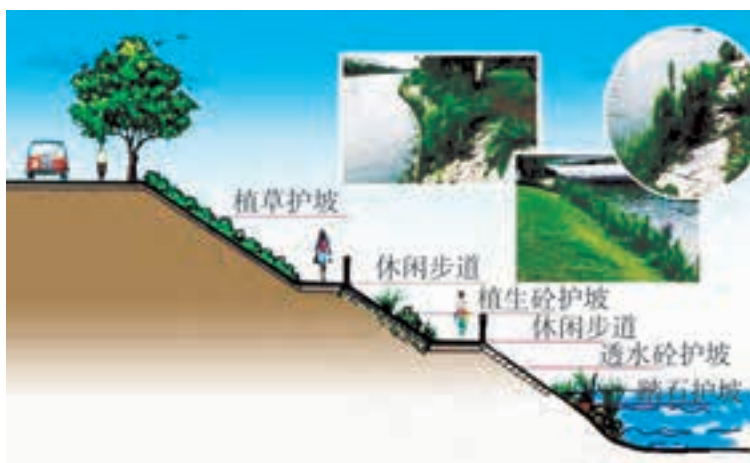
- (1) 该生态农业遵循的生态学和工程学原理有_____。
- (2) 在实际生产中，若将蘑菇房与蔬菜大棚相通，可提高蔬菜产量，试分析其原因。
- (3) 从生态系统能量流动角度分析，人们建立如图所示生态农业的主要目的是什么？
- (4) 与使用传统能源相比，使用燃料乙醇有哪些优点？

2. 生态浮床技术是将芦苇、美人蕉等水生植物种植于浮在水面的材料上，进行水产和水禽养殖，形成人工生态系统（见右图）。该生态系统以太阳能作为初始能源，通过水体中多条食物链的物质迁移和能量的逐级传递、转化，将污染物进行降解和转化，从而有效地改善水体生态环境。同时，净化的污水作为再生资源予以回收利用。



- (1) 浮床植物如何改善水体富营养化？
- (2) 生态浮床还可以为鸟类和鱼类提供_____，使物种丰富度增加，并进一步增强了生态系统_____能力。
- (3) 生态浮床技术与传统污水处理技术相比，有哪些优点？

3. 河水长期冲蚀作用是造成河岸崩塌的原因之一。生态护坡技术可以有效缓解河岸崩塌（见下图）。生态护坡是综合工程力学、土壤学、生态学和植物学等学科的基本知识对斜坡或边坡进行保护，形成由工程和植被组成的综合护坡技术。



- (1) 生态护坡技术设计应遵循的原则有_____。
- (2) 总结生态护坡有哪些功能。
- (3) 目前生态护坡在河流、堤岸、高速公路等许多方面逐渐取代传统的砖石、混凝土护坡，请列举生态护坡的优点。
- (4) 结合生态工程设计的基本程序，设计防止海岸侵蚀的生态护坡技术流程，并形成效果图。

 学业要求

重要概念	节次	学科素养
人类活动对生态系统的动态平衡有着深远的影响，依据生态学原理保护环境是人类生存和可持续发展的必要条件。	第一节	◆调查当地环境中存在的主要问题，提出保护建议或行动计划。 ◆探讨人口增长会对生态环境造成压力。 ◆关注水资源短缺、荒漠化。
	第二节	◆关注全球气候变化、臭氧层破坏、酸雨和环境污染等全球性环境问题对生物圈的稳态造成威胁，同时也影响到人类的生存和可持续发展。 ◆形成“环境保护需要从我做起”的意识。
	第三节	◆概述生物多样性对维持生态系统的稳态以及人类生存和发展的重要意义。 ◆尝试提出人与环境和谐相处的合理化建议。 ◆搜集生物多样性保护的实例，讨论当地生态系统是否已经出现严重的生物多样性下降的趋势及其对人类的影响。
	第四节	◆举例说明根据生态学原理、采用系统工程的方法和技术，达到资源多层次和循环利用的目的，使特定区域中的人和自然环境均受益。 ◆参观了解人工生态系统的组成及其中蕴含的生态学原理和经济学原理。



我国的生态农业模式

生态农业是按照生态学原理和经济学原理，利用传统农业精华和现代科技成果建立起来的，能获得较高的生态效益、经济效益和社会效益的现代化高效农业。我国于 20 世纪 80 年代初引进了生态农业，经过学术界的研究拓展，政府的大力倡导和劳动人民的积极探索实践，形成了具有我国特色的生态农业体系，不仅为中国农业的可持续发展提供了一条有效的途径，而且为国际上特别是发展中国家提供了典型范例。

我国的典型生态农业主要有三类模式群：

时空结构型 这是一种根据生物种群的生物学、生态学特征和生物之间的互利共赢关系合理组建的农业生态系统，使处于不同生态位的生物种群在系统中各得其所，相得益彰，更加充分地利用太阳能、水和无机盐，是在时间上多序列、空间上多层次的三维结构，其经济效益和生态效益均佳。具体有林地立体复合种养模式、农田立体间套模式、水域立体养殖模式和农户庭院立体种养模式等（图 5-39）。



林－禽－鱼复合种养模式



农田立体间套模式



水域立体养殖模式



庭院立体种养模式

图 5-39 时空结构型生态农业模式

食物链型 这是一种按照农业生态系统的能量流动和物质循环规律而设计的一种良性循环的农业生态系统。系统中一个生产环节的产出是另一个生产环节的投入，使得系统中的废弃物多次循环利用，从而提高能量的转换率和资源利用率，获得较大的经济效益，并有效防止农业废弃物对农业生态环境的污染。具体有种植业内部物质循环利用模式、养殖业内部物质循环利用模式、种－养－加工三结合的物质循环利用模式（图 5-40）等。



图 5-40 种－养－加工三结合物质循环利用模式图

时空食物链综合型 这是时空结构型和食物链型的有机结合，使系统中的物质得以高效生产和多次利用，是一种适度投入、高产出、少废物、无污染、高效益的模式类型。现在倡导的生态农庄和田园综合体，就是综合运用时空结构型和食物链型构建的集现代农业、休闲旅游为一体的乡村综合发展模式（图 5-41）。

我国是世界农业大国，农业是我国的传统和基础产业。随着我国农业基础条件、支撑体系和科技水平的不断改善和提高，未来中国农业与农村经济将朝着中国特色的现代化、市场化、生态化和可持续化方向发展。



图 5-41 生态农庄

后 记

本套教科书是根据教育部制定的《普通高中课程方案（2017年版）》和《普通高中生物学课程标准（2017年版）》编写的。教科书突出对学科核心素养的培养，通过创设学习情境实施双重驱动——任务驱动和问题驱动，以每章的研究课题和每节的问题串分级驱动项目式学习和探究式学习，调动学生的学习积极性，引导学生主动学习，主动建构新知。

本套教科书共5册，其中必修教科书2册，选择性必修教科书3册。必修教科书包括《分子与细胞》和《遗传与进化》，选择性必修教科书包括《稳态与调节》《生物与环境》及《生物技术与工程》。

本套教科书是集众人智慧的成果。本书编写过程中，得到了诸多教育界前辈和专家学者的热情帮助和大力支持。在教科书出版之际，我们特别感谢郑光美、刘植义、杨帆、王玉志、张治国、曹子宜、傅荣恕、李涟漪等专家、学者、教师和社会各界人士。

声明 按照《中华人民共和国著作权法》第二十三条，关于“为实施九年义务教育和国家教育规划而编写出版教科书，除作者事先声明不许使用的外，可以不经著作权人许可，在教科书中汇编已经发表的作品片段或者短小的文字作品、音乐作品或单幅的美术作品、摄影作品，但应当按照规定支付报酬，指明作者姓名、作品名称”的有关规定，我们已尽量寻找原作者支付报酬。原作者如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。

由于水平有限，书中难免有疏漏之处，希望使用本套教科书的师生们能够及时把意见和建议反馈给我们，对此我们将不胜感谢。我们的联系方式如下：

电话：021-64702058

E-mail: office@sste.com

高中生物学教科书编写组

2019年3月

PUTONG GAOZHONG JIAOKESHU
SHENGWUXUE

普通高中教科书
生物学 选择性必修2
生物与环境

上海科技教育出版社有限公司出版
(上海市柳州路218号 邮政编码 200235)
各地新华书店发行 上海昌鑫龙印务有限公司印刷
开本 890×1240 1/16 印张9.5
2019年7月第1版 2019年7月第1次印刷
ISBN 978-7-5428-7030-8/G·4071
定价:10.79元

ISBN 978-7-5428-7030-8



9 787542 870308 >



致力于用榜样的力量提升学生成绩的共享家教平台

中国家庭教育学会荣誉会员单位

985/211 大学生 1对1 上门辅导

找家教就像叫“代驾”一样简单
家长们都在偷偷用的家教预约神器

记得拍照留存哦



扫码关注 预约上门

关注送200元优惠券

小初高全科辅导

学霸云集任您挑

学历真实可担保



与优秀大学生同行，激发孩子无限潜能



微信搜索公众号：365优教网

咨询热线：4000-711-365

YOUJ 优教

既是找老师，更是找榜样

家教老师全国招募中