



普通高中教科书

生物学

选择性必修2

生物与环境



浙江科学技术出版社

普通高中教科书

生物学

选择性必修2

生物与环境

主编 刘恩山



 浙江科学技术出版社

主 编 刘恩山

副 主 编 朱立祥 李晓辉

本册执行主编 周初霞

本册编写人员 (按姓氏笔画排序)

包玉娟 李红菊 周初霞 赵沛荣 鲍毅新

书 名 普通高中教科书·生物学 选择性必修2 生物与环境
主 编 刘恩山

出版发行 浙江科学技术出版社
杭州市体育场路347号 邮政编码:310006
办公室电话:0571-85176593
销售部电话:0571-85176040
网 址:www.zkpress.com
E-mail:zkpress@zkpress.com

排 版 杭州兴邦电子印务有限公司
印 刷 浙江新华数码印务有限公司

开 本 890×1240 1/16 印 张 7.75
字 数 160 000
版 次 2021年3月第1版 印 次 2021年3月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5341-8677-6 定 价 9.56元

版权所有 翻印必究

(图书出现倒装、缺页等印装质量问题,本社销售部负责调换)

定价批准文号:浙发改价格〔2019〕319号、〔2020〕331号 举报电话:12345、12315

责任编辑 顾旻波 曹梦洁
装帧设计 金 晖

责任校对 赵 艳
责任印务 田 文

致同学们

同学们：

现在，我们就要开始学习选择性必修《生物与环境》模块了。本模块是在我们学习了高中生物必修模块的基础上开设的。

生物的生存与它周围的环境有着密切的关系。生物与环境是相互影响、相互作用的。例如，生物的尸体经过微生物的分解，成为二氧化碳、水等物质，这些物质又被绿色植物吸收利用，而绿色植物制造的有机物又被动物所摄取。正是由于自然界的植物、动物、微生物之间有着密切的相互关系，从而保证了自然界中氧气、二氧化碳、水等物质的循环，为生物的生存创造了必要条件。



生态学是研究生物与环境之间相互关系的科学。面对日益严重的全球环境问题，为了人类的生存与发展，维持生物与环境之间的平衡，生态学越来越受到人们的重视。生态学是从宏观和微观两个方面来研究生命现象的。传统的生态学主要从宏观的方面探索生态系统的奥秘，着重研究个体、种群、群落、生态系统四个层次。随着科学技术的不断进步，生态学除了继续研究宏观方面外，正朝着微观方面迅速发展。例如，作为新兴学科的分子生态学，主要是用分子标志、核酸指纹图谱等方法研究生物进化、遗传和物种多样性、生物对环境变化的相应对策、转基因生物的环境释放等问题。

生态学的研究方法主要包括野外观察、实验研究和理论研究三大类。从生态学研究发展历史来看，野外观察是最基本的研究方法。要了解动物的种群数量变动，首先要在自然环境中观察和收集资料。随着科学技术的发展，野外观察也可利用无人机在开阔地区调查动物种群密度等。利用电子仪器和遥测技术对动、植物种群进行取样和测量，用以确定动、植物种群数量的变动，就是采用了实验研究的方法。利用数学模型进行模拟研究是理论研究最常用的方法，这种方法已在种群增长和种间竞争等研究方面取得了丰硕成果。尤其是电子计算机在生态学领域中的应用，不仅解决了生态系统中各变量之间关系分析的困难，而且还直接促进了生态系统的建模和系统生态学的发展。

人类活动导致全球环境问题日益突出。目前，人类面临着全球气候变暖、臭氧层耗损与破坏、生物多样性减少、酸雨蔓延、土地荒漠化、森林锐减、大气污染、水污染、海洋污染、危险性废物越境转移等十大环境问题。这些环境问题不仅影响生物的多样性，破坏了生态平衡，也严重危害人类的生活与健康。自然界是人类社会产生、存在和发展的基础和前提，人类可以通过社会实践活动有目的地利用自然、改造自然。对于自然界，我们不能只讲索取不讲投入，只讲利用不讲保护。



生态文明建设需要生态学理论知识。生态文明是人类社会进步的重大成果，是实

现人与自然和谐发展的必然要求。建设生态文明，要以资源环境承载能力为基础，以自然规律为准则，以可持续发展、人与自然和谐共处为目标，树立和践行“绿水青山就是金山银山”的理念。我国是一个发展中的大国，要正确处理经济发展同生态环境保护的关系；要



更加自觉地推动绿色发展、循环发展、低碳发展，决不能以牺牲环境、浪费资源为代价来换取一时的经济增长；要按照生态系统的规律来建设生态文明，切实把能源资源保护好，把环境资源治理好，把生态环境建设好。

在必修课程的基础上，《生物与环境》模块选取生态学为核心的基础知识，围绕一个关于生态系统的结构、功能及其自我调节的大概念组织学习和研究，帮助我们运用系统分析法来认识生物与环境是一个统一的整体，从而形成结构与功能、物质与能量、稳态与变化、信息与调控等生命观念，并为我们树立人与自然和谐共处的观念，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。同时，本模块涉及的系统分析、建立数学模型、负反馈调节的概念模型和取样调查等科学方法，让它在发展生物学核心素养方面有着不可替代的重要作用。因此，我们应当认真学好本课程。

学好本课程要有正确的学习方法。首先，要结合初中所学的相关知识及生活中的实例来理解生态学的基本概念，厘清概念之间的逻辑关系，将知识融会贯通。其次，要积极参与观察、调查等实践活动和以问题解决为特点的探究活动，通过活动来帮助我们建构生态学相关的概念，领悟研究生生态学的取样调查、模型建构、系统分析等方法。再次，要将所学的生态学知识应用到生产实践中，参与生活中所遇到的如雾霾的产生原因及治理办法等问题的分析与讨论，探讨人类活动对生态系统动态平衡的影响，并尝试提出可持续发展的合理化建议。

目录

第一章 种群 /1

- 第一节 种群具有一定的特征 /3
- 第二节 不同条件下种群的增长方式不同 /10
- 第三节 生态因素影响种群数量波动 /15
- 本章小结 /22



第二章 群落 /23

- 第一节 不同种群组成群落 /25
- 第二节 群落具有垂直、水平和时间结构 /33
- 第三节 地球上分布着不同类型的群落 /39
- 第四节 群落随时间变化有序地演替 /45
- 本章小结 /54



第三章 生态系统 /55

- 第一节 群落与非生物环境组成生态系统 /57
- 第二节 食物链和食物网形成生态系统的营养结构 /61
- 第三节 生态系统中的能量单向递减流动 /66
- 第四节 生态系统中的物质能被循环利用 /75
- 第五节 生态系统中存在信息传递 /81
- 第六节 生态系统通过自我调节维持稳态 /85
- 本章小结 /90



第四章 人类与环境 /91

- 第一节 人口增长对生态环境造成压力 /93
- 第二节 全球性生态环境问题日益突出 /98
- 第三节 保护生物多样性意义重大 /105
- 第四节 可持续发展是人类的必然选择 /110
- 本章小结 /116

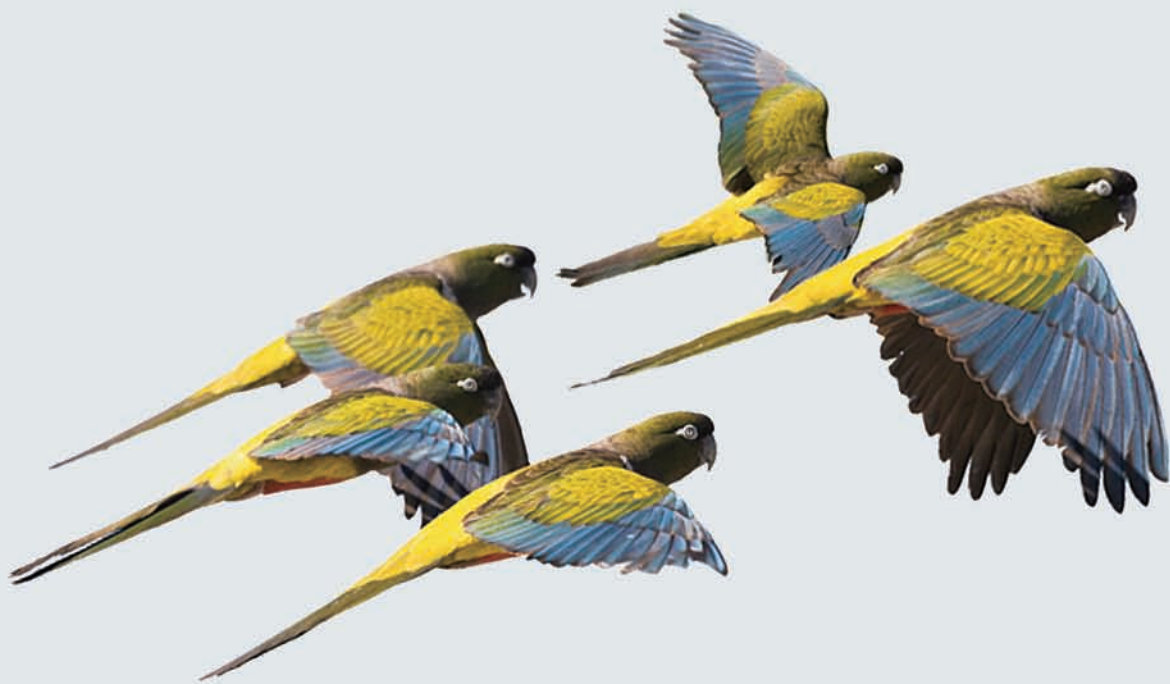


第一章 种群



大熊猫种群的数量变动

大熊猫是我国的国宝，被誉为“活化石”，属于国家一级保护动物。2015年公布的第四次全国大熊猫调查结果显示，截至2013年年底，全国野生大熊猫种群数量为1864只，其中74.4%分布于四川境内。在四川卧龙自然保护区内，1974年大熊猫种群数量调查结果为145只；1983年由于大面积的冷箭竹开花使大熊猫的主要食物供应不足，其数量下降至72只；到1988年再次调查时，这一种群数量又回升到150只。由于自然保护区的建立和完善，大熊猫的种群数量逐渐趋向于稳定。那么，什么是种群？为什么大熊猫种群会发生数量变动？



种群 (population) 是指占有一定空间和时间的同一物种所有个体的集合体。种群的边界可以是自然的，也可以是由人为划定的。种群通常由不同性别和不同年龄的个体组成。种群是物种的具体存在单位、繁殖单位和进化单位，也是群落的基本组成单位。要了解群落乃至生态系统，必须首先学习种群的基本特征、增长方式及其数量波动的影响因素等内容。

学习目标

1. 举例说出种群的主要特征，阐明影响种群密度的主要因素。
2. 尝试建立数学模型解释种群的数量变动。
3. 概述种群增长方式的类型与特点，并能将其应用于生产实践。
4. 简述种群数量波动的类型及其调节因素。

本章学习应聚焦的关键能力

1. 通过学习标志重捕法，掌握调查种群数量的思路和方法。
2. 认识建立数学模型是解释种群数量变化的重要方法，通过尝试建立指数增长和逻辑斯谛增长模型，学会数学建模的方法。
3. 尝试用模型表征不同物种种群的数量波动。

第一节 种群具有一定的特征

一个种群不是个体的简单累加，而是具有一定的种群特征，是一个能够自我调节、动态变化和发展的有机整体。种群的最基本特征是种群数量特征。影响种群数量变动的因素有哪些？

本节要点

- 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
- 标志重捕法

小资料

藏羚羊

除了雄性藏羚羊（图1-1）偶尔有单独活动外，一般情况下藏羚羊是以几只到几十只甚至几百只组成大小不等的群体活动的。每个群体经常会有同种个体迁入或迁出，以调节该群体的数量等特征。藏羚羊群体大小和结构会随季节发生变化，通常春季较小，繁殖期达到最大。

藏羚羊的交配期从每年11月初开始到次年1月结束，12月份是交配的高峰期。交配初期成年雄性藏羚羊间开始角斗，并分散到各个群体中去，到交配中期各自寻找并组成自己的临时家庭，完成一年一度的交配行为。雌性藏羚羊的妊娠期为6个月。到每年6—7月份，雌性与雄性个体分开，集群长途迁徙到人迹罕至的青藏高原产仔，每胎产仔1只。藏羚羊寿命较短，一般为7~8岁，雌性最长可达12岁。



图1-1 藏羚羊

种群密度是某个物种在单位面积或单位体积内的个体数量

种群密度（population density）是指某个物种在单位面积或单位体积内的个体数量，是反映种群大小的最常用指标。种群密度的变化是研究种群动态的基础。种群密度的大小可作为人类判断生物有益或有害、保护或防治的依据，也可作为评价保护和防治效果的指标。

种群密度的调查方法有很多，对于小型哺乳类、鸟类、鱼类等动物，常采用标志重捕法。这一方法是根据重捕取样中标志个体比例与样地个体总数中标志个体比例相等的假设来估算样地中被调查动物总数的。

计算公式为： $N=M \cdot n / m$ 。

N 表示动物总个体数；

M 表示总数中被标志的个体数；

n 表示重捕个体数；

m 表示重捕中被标志的个体数。

例如，在一个面积为0.055 km²的小岛上第一次捕到社鼠15只，经标志后在原捕获地放回，一周后进行重捕，所捕获的16只个体中有6只是被标志的。通过计算得出，该小岛上社鼠的估算值为40只，种群密度约为727.27只/km²。

出生率和死亡率、迁入率和迁出率决定种群数量的动态变化

种群密度是由出生率（natality）、死亡率（mortality）、迁入率（immigration rate）和迁出率（emigration rate）直接决定的。出生和迁入使种群密度增大，死亡和迁出使种群密度减小。出生率一般用单位时间内出生个体数占种群总个体数的百分比或千分比表示。例如，每年每1000人出生了20个人，则出生率就是2%或20‰。不同种类动物

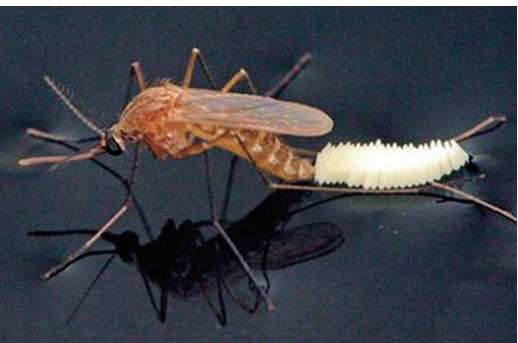


图 1-2 库蚊产卵

由于性成熟的时间、每次产仔（卵）数和每年生殖次数不同，因而出生率会存在差异，通常高等动物的出生率要低于低等动物。例如，上述小资料中藏羚羊的出生率较低；在自然条件下，东北虎大约4岁性成熟，每次产仔2~4只，2~3年生殖一次，因而其出生率也较低；库蚊每次产卵150~300粒，可连续产卵2~3次，一生平均产卵800~1000粒（图1-2），其

出生率就较高。

与出生率相反的是死亡率。死亡率用单位时间内死亡个体数占种群总个体数的百分比或千分比表示。例如，在一个有 200 万人口的城市中一年死亡 1.2 万人，其死亡率就是 0.6% 或 6‰。个体死亡对该种群来说未必不利，只有衰老的个体不断死去，新的个体不断产生，才能保持物种的延续和遗传的多样性，从而使种群不断适应变化着的环境。生物个体的生理寿命是决定死亡率的内在因素，疾病、饥饿、寒冷、干旱、被捕食和意外死亡等是造成死亡率升高的外在因素。当种群密度过大时，其死亡率也会升高。

在种群中，有些个体会从外种群迁入本种群，也有些个体从本种群迁出。迁入率或迁出率用单位时间内迁入或迁出的个体数占种群总个体数的百分比或千分比表示。

种群数量变化可用自然增长率（natural growth rate）来表示。

计算公式为：自然增长率 = 出生率 - 死亡率。

年龄结构和性别比例影响种群数量的动态变化

年龄结构（age structure）是指各年龄组个体数量在种群中所占的比例关系，可用年龄金字塔来表示。生态学家通常把种群分成生殖前期、生殖期和生殖后期三个年龄组。生殖前期指尚无生殖能力的年龄阶段，生殖期指具有繁殖能力的年龄阶段，生殖后期指丧失了生殖能力的年龄阶段。有些昆虫生殖前期较长，生殖期极短，生殖后期等于零，如蜉蝣和蝉等。

年龄金字塔一般可分为增长型、稳定型和衰退型三种类型（图 1-3）。图中每块面积代表不同年龄组个体数在整个种群中所占的比例，中线把每一个年龄组分为左右两半，分别代表雄性和雌性个体数所占的比例。年龄结构能影响种群的出生率和死亡率等。

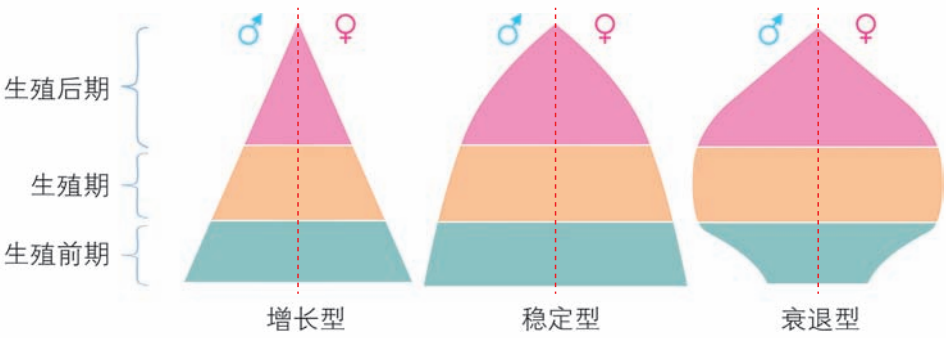


图 1-3 年龄金字塔的三种类型

增长型表示种群中有大量处于生殖前期的个体，而处于生殖后期的个体数较少，出生率大于死亡率，种群数量趋向于增长。稳定型表示种群中处于生殖前期的个体与

处于生殖后期的个体数大致相等，出生率与死亡率基本相等，种群数量较为稳定。衰退型表示种群中处于生殖前期的个体数少而处于生殖后期的个体数多，出生率小于死亡率，种群数量趋向于减少。因此，通过分析年龄结构可预测种群数量的变化趋势。

性别比例（sex ratio）是指种群内两性个体数量的相对比例。大多数高等动物的种群，其性别比例基本保持1:1，人类也是如此。在一雌一雄婚配方式的种群中，生殖期性别比例越接近1:1，出生率就越高，所以性别比例影响着种群的出生率。也有一些种群的性别比例并非1:1，如蜜蜂雄性多于雌性。在生产实践中，人们常采用干扰和破坏害虫自然性别比例的方法来降低害虫的数量。



活动

模拟用标志重捕法进行种群数量的调查

标志重捕法是指在被调查种群的生存环境中，随机捕获一部分个体，将这些个体进行标志后在原捕获地放回，一段时间后再进行重捕，并根据公式 $N = M \cdot n / m$ 估算该种群的总数量。

目的要求

1. 初步学会标志重捕法。
2. 体验运用该方法调查种群数量的过程。

材料用具

装有大于50粒黄豆的纸袋，记号笔，培养皿，镊子，药匙等。

方法步骤

1. 从纸袋中取出20粒黄豆。
2. 用记号笔标记这20粒黄豆（图1-4），晾干后放回纸袋，晃动纸袋使黄豆混合均匀。
3. 从纸袋中每次随机取出1粒黄豆放入培养皿，共取30粒。
4. 计数有标记的黄豆，并记录。
5. 估算原纸袋中黄豆总数量。
6. 将纸袋中剩余的黄豆倒出，并计数。
7. 在模拟活动结束后，将黄



图1-4 标记黄豆

豆回收。

讨 论

1. 将黄豆总数的估算值与实际总数作比较，两者差异如何？与其他组同学作比较，各组得到的数据是否也存在较大差异？若差异较大，其主要原因可能是什么？
2. 为使实际调查数据更加准确，应注意哪些事项？
3. 标志重捕法只适用于调查某些动物种群密度的原因是什么？



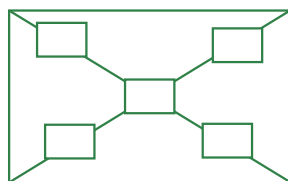
建议活动

用样方法调查某草地中双子叶植物的种群密度

样方法是调查种群密度的常用方法。在被调查种群的分布范围内，随机选取若干个样方，通过对每个样方内的个体计数，求得其种群密度。以所调查样方的平均值作为该种群密度的估算值。取样方法常采用“五点取样法”或“等距取样法”（图1-5）。

目的要求

1. 初步学会样方法。
2. 体验运用样方法对某双子叶植物进行种群密度调查的过程。



A. 五点取样法示意图



B. 等距取样法示意图

图1-5 样方分布图

材料用具

皮尺，绳子，植物标本，植物分类图鉴等。

方法步骤

1. 设计调查记录表。调查表中包括取样方法、样方面积、样方数量、调查时间和地点、样方编号、植株数及种群密度等调查项目。
2. 确定调查对象（如蒲公英），并在表格中写上调查种群名称。
3. 划分样方。确定取样方法，然后划分样方。
4. 计数。在划定的样方内，小组成员调查数量，把计数结果记录在调查表上。
5. 计算种群密度。计算各样方种群密度的平均值，并记录在调查表上，然后通过计算得出该种群密度的估算值。

活动注意事项：(1) 取样面积大小一般为 1 m^2 ；(2) 样方的数量一般为5个，统计样方个数越多，调查结果就越接近真实情况；(3) 个体数量统计时，对于压线的植物个体要遵照“计上不计下，计左不计右”的原则。

讨论

1. 为什么要对植株采取随机取样，并且要取多个样方？
2. 如何提高调查结果的准确率？



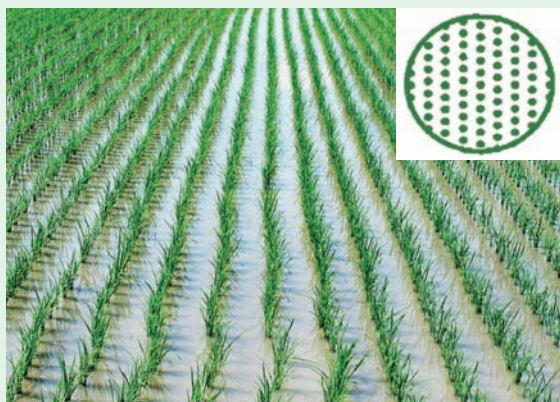
课外读

种群分布型

组成种群的个体在其生活空间中的位置状态或布局，称为种群分布型 (population distribution pattern)，一般可分为集群分布、均匀分布和随机分布三种 (图 1-6)。集群分布是最常见的分布型，形成原因主要是资源分布不均，如草原上的斑马等动物的集群行为 (图 1-6A)。均匀分布主要是种内竞争结果或人工种植行为所致，如农田中种植的水稻 (图 1-6B)。随机分布比较少见，在环境资源分布较为均匀，种群内个体间没有彼此吸引或排斥的情况下，容易产生随机分布，如森林里的狼蛛 (图 1-6C)。



A. 集群分布



B. 均匀分布



C. 随机分布

图 1-6 种群的三种分布型

思考与练习

一、选择题

1. 某个池塘中, 生活着水草、水葫芦、水绵、鱼、虾等生物。下列可以称为种群的是 ()

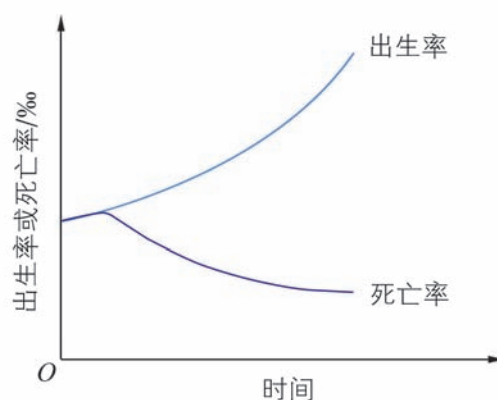
- A. 该池塘中所有的鱼 B. 该池塘中所有的虾及虾卵
C. 该池塘中所有的水葫芦 D. 该池塘与另一池塘中的所有水绵

2. 致乏库蚊由于具有繁殖力强和生命周期短, 以及对环境变化敏感等特点, 其种群密度很容易受环境因素的影响而发生较明显的变化。下列选项中, 与种群密度变化无直接关系的是 ()

- A. 出生率 B. 死亡率 C. 年龄结构 D. 迁入率

3. 右图为某地人口出生率和死亡率的变化曲线图。该地区在整个时间段内的人口年龄结构为 ()

- A. 由稳定型变为增长型
B. 由衰退型变为稳定型
C. 由增长型变为稳定型
D. 由稳定型变为衰退型



二、简答题

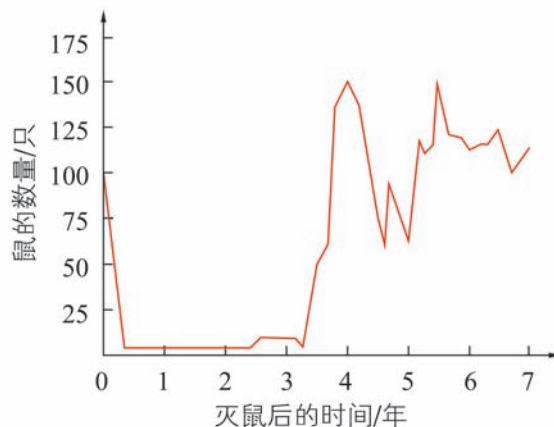
1. 栖息在澳大利亚的红袋鼠经常以单独或小群方式生活, 每个小群一般有2~10只。它们不允许外来红袋鼠进入, 即使从本种群迁出后要再迁入的个体, 也要经过一段时间的适应才能重新融入原种群中。请你分析种群的特征与个体特征具有哪些不同之处。

2. 某城市卫生部门组织了一次灭鼠活动, 基本消灭了该城市居民区的褐家鼠。但灭鼠3年后, 该城市又开始出现大量的褐家鼠。右图为灭鼠后7年内该城市褐家鼠的数量变化。

请分析回答:

(1) 灭鼠后第3年上半年、第4年下半年, 鼠的年龄结构分别属于哪种类型?

(2) 灭鼠后第2年, 该城市褐家鼠的数量开始少量增多的原因可能有哪些?



第二节 不同条件下种群的增长方式不同

本·节·要·点

- 指数增长
- 逻辑斯谛增长
- 环境容纳量

研究种群的核心问题是种群数量的变化规律。不同条件下种群的增长方式不同，可通过建立数学模型对种群数量的变动进行研究。那么，种群是如何增长的？研究种群的数量变化有何意义？

小资料

果 蝇

果蝇体型较小，繁殖力强，生活史短，饲养管理简单，并且容易计数和保存。果蝇主要以附生在水果上的酵母菌等真菌为食。果蝇的性别可以通过肉眼观察判断。雌果蝇个体较大，腹部末端尖且色浅，有产卵管，腹背面有5条黑色条纹。雄果蝇个体较小，腹部末端圆钝，颜色呈深黑色，有交尾器，腹背面有3条黑色条纹（图1-7）。



图1-7 雌果蝇(左)和雄果蝇(右)

活动

探究果蝇种群的增长

在实验条件下，用水果培养果蝇，其种群数量会增加。用数学方法分析果蝇数量的增长规律，可得出其种群增长的数学模型。

目的要求

1. 学会培养果蝇的方法与技能。

2. 分析果蝇的数量变化，绘制果蝇增长的曲线图，学会数学建模的方法。

探究问题

1. 不同环境条件下果蝇种群是以什么方式增长的？
2. 果蝇种群的这种增长方式有何规律？

材料用具

500 mL广口瓶，纱布，橡皮筋，毛笔，白纸，乙醚，棉花团，香蕉，放大镜等。

方法步骤

1. 取 500 mL 广口瓶 3 个，先在每个广口瓶底部铺一层厚约 2 cm 的棉花，然后放入大小相等且熟透了的半根香蕉、2 只雌果蝇和 2 只雄果蝇，最后用双层纱布盖住瓶口，并用橡皮筋扎紧，作为果蝇培养瓶。

2. 将培养瓶置于温度适宜（20~25 ℃）的环境中培养（图 1-8）。

3. 每天观察、记录培养瓶中的果蝇个体数，持续 3 周。若培养瓶内的果蝇数量不易直接观察计数时，另取一洁净广口瓶作为果蝇的麻醉瓶，放入滴有 1~2 滴乙醚的棉花团，并将其与培养瓶的瓶口对接，轻拍培养瓶把果蝇赶入麻醉瓶（图 1-9）。待果蝇麻醉后，将其全部倒在白纸上，用毛笔进行计数（图 1-10）。计数结束后再将这些果蝇放回培养瓶中培养。



图 1-8 培养果蝇



图 1-9 将果蝇赶入麻醉瓶



图 1-10 对果蝇计数

讨 论

- 1. 处理实验数据，绘制果蝇种群增长曲线图。
- 2. 分析果蝇种群增长曲线的特点及其形成的原因。
- 3. 如果你想研究温度对果蝇种群增长的影响，该如何设计实验？你还想研究哪些与种群增长有关的问题？

建立数学模型是解释种群数量变化的重要方法

数学模型是用来描述现实系统或其性质的一个抽象简化的数学结构。建立数学模型是解释生物种群数量动态变化的重要方法。例如，在探究果蝇种群的增长活动中，通过观察和记录培养瓶中果蝇种群的数量变化，统计处理实验数据，以建立数学模型，并进一步通过数学模型来分析果蝇种群数量变化的特点及其原因。

种群在无限环境条件下呈指数增长

在资源无限、空间无限和不受其他生物制约的理想条件下，种群就会呈指数增长（exponential growth）。在实验条件下，细菌每 20 min 分裂繁殖一次，每小时可繁殖 3 代。如果从 1 个细菌开始，那它就会按以下数列倍增：1、2、4、8、16、32、64、128、256、512……照这样下去，36 h 以后，细菌将完成 108 个世代，总数将达到 2^{108} 个（图 1-11）。由于增长曲线很像英文字母 J，因而又称“J”形增长。指数增长的特点是：起始增长很慢，但随着种群基数的增大，增长会越来越快，每单位时间都按种群的一定百分数或倍数增长。

达尔文在《物种起源》中描述了这样一个事例：在所有的动物中，大象被认为是繁殖最慢的。我曾仔细估算过大象的最低自然增长率，最可靠的假设是它在 30 岁开始生殖，到 90 岁停止生殖，在此期间生 6 头幼象，寿命为 100 岁。如果照此繁殖下去，那么经过

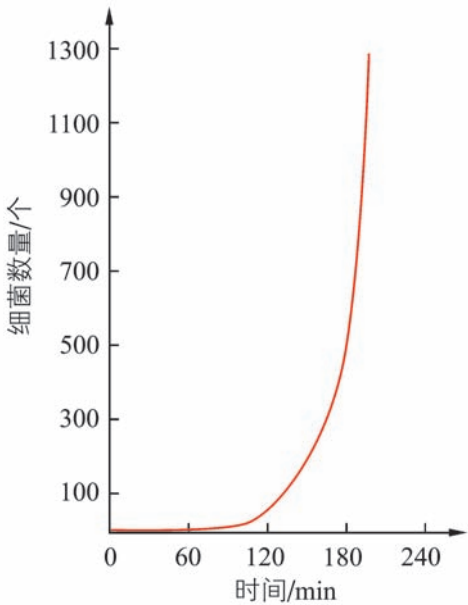


图 1-11 细菌的指数增长曲线

740~750年之后，由一对大象繁殖产生的后代将达到1900万头。

不难想象，地球上哪怕只有一种生物按指数方式无限增长下去，这种生物最终就会把其他生物从地球上排挤掉，同时该物种也将走向毁灭。

种群在有限环境条件下呈逻辑斯谛增长

逻辑斯谛增长（logistic growth）是指在空间有限、资源有限和受到其他生物制约条件下的种群增长方式（图1-12）。其增长曲线很像英文字母S，因而又称“S”形增长。逻辑斯谛增长是自然界生物种群增长的普遍方式，它总是会受到环境容纳量（carrying capacity）的限制。环境容纳量是指长时期内环境所能维持的种群最大数量，用字母 K 表示。由于种群数量高于 K 时可能下降，低于 K 时可能上升，所以 K 值只代表种群数量的一个平均值。

逻辑斯谛增长曲线常划分为五个时期：开始期（a），种群的个体数很少，种群密度增长缓慢；加速期（b），随着个体数的增加，种群密度增长逐渐加快；转折期（c），种群个体数达到 $K/2$ 时，种群密度增长最快；减速期（d），种群个体数超过 $K/2$ 以后，种群密度增长逐渐变慢；饱和期（e），种群个体数接近或达到 K 时，种群不再继续增长或在 K 值上下波动。

例如，大约在1800年，人们把绵羊种群引入塔斯马尼亚岛。在此后的60年间，绵羊种群是按照“S”形曲线增长的，直到1860年才稳定在170万头左右。这就是塔斯马尼亚岛长期所能养活的绵羊最大数量 K 值。1860年以后，岛上绵羊的数量基本上保持在环境容纳量的水平，只是因为气候的改变而发生了一些小的波动。

研究种群的增长方式具有十分重要的实际意义，能更好地利用和保护生物资源，防治有害生物。例如，根据逻辑斯谛增长曲线在转折期增长最快的特点，可预知草原上放牧量为多少时既能保护草原，又能获得最好的经济效益。对于濒危野生动物的保护，则可通过改善生存环境来增大环境容纳量以促进其增长。相反，对于有害生物的防治，则应通过限制环境因素来降低环境容纳量以抑制其增长。

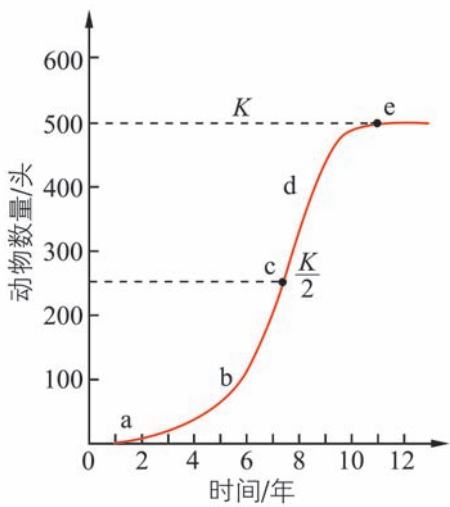


图 1-12 逻辑斯谛增长曲线

思考与练习

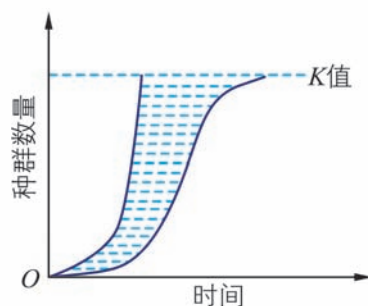
一、选择题

1. 为了保护鱼类资源不受破坏,并能持续地获得最大捕鱼量,根据种群增长的“S”形曲线,应使被捕鱼群的种群数量保持在 $K/2$ 水平。这是因为在这个水平上()

- A. 种群数量最大
- B. 单位时间内种群增长量最大
- C. 种群数量相对稳定
- D. 环境条件所允许的种群数量最大

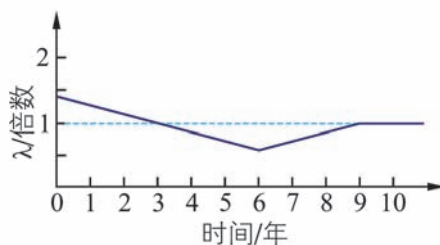
2. 右图表示在理想状态和在自然环境条件下某生物的种群数量变化曲线。下列关于两条曲线间的阴影部分的解释,正确的是()

- A. 环境中允许种群增长的最大值
- B. 其数量表示种群内迁出的个体数
- C. 其数量表示种群内出生的个体数
- D. 为种群在自然环境中增长所受到的环境阻力



3. 某地乌鸦连续10年的种群数量增长情况如右图所示,后一年的种群数量是前一年的 λ 倍。下列叙述正确的是()

- A. 第3年乌鸦种群数量最大
- B. 第3年以前乌鸦种群呈指数增长
- C. 第6年以前乌鸦种群呈逻辑斯谛增长
- D. 第5年和第7年的乌鸦种群数量相同

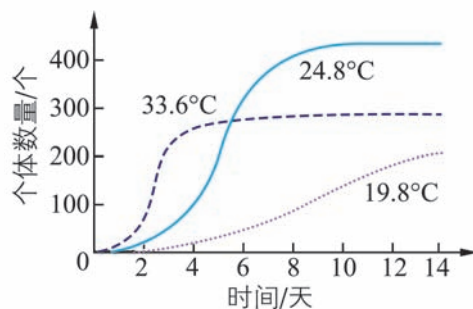


二、简答题

1. 右图为某藻类在不同环境温度下的种群增长曲线。

请分析回答:

- (1) 哪种温度条件下环境容纳量最小?
- (2) 除温度外,环境容纳量还受哪些主要因素影响?
- (3) 藻类在什么时期繁殖最快?可采取哪些措施加以遏制?



2. 请你根据自然环境条件下种群的增长特点,谈谈在草原上如何才能获得最大可持续的放牧量。

第三节 生态因素影响种群数量波动

生态因素是环境中影响生物形态、生理和分布等的因素，一般可分为非生物因素和生物因素。由于受到生态因素的影响，种群数量总是处在动态变化之中。种群数量波动一般有哪些类型？调节种群数量波动的因素有哪些？

本·节·要·点

- 周期性波动
- 非周期性波动
- 外源性因素
- 内源性因素

小资料

棉盲蝽种群数量的波动

棉盲蝽（图 1-13）是一种体型较小、一年可繁殖多次的昆虫，在我国南、北方均有一定数量的分布。受气候变化影响，棉盲蝽种群数量会发生一定的波动。

根据陕西关中棉区 1956—1964 年连续八年对棉盲蝽种群数量的调查分析，在干旱年份，棉盲蝽种群数量高峰会出现在 7 月中旬，该时间段与棉花的蕾期和铃期错开，因此棉区受害较轻（图 1-14A）；洪涝灾害之年，棉花在 7 月上旬的蕾期和 8 月中旬的铃期都会出现棉盲蝽的危害高峰（图 1-14B）；在先涝后旱的年份，棉盲蝽对棉花的危害高峰出现在 7 月上旬的蕾期（图 1-14C）；在先旱后涝的年份，棉盲蝽对棉花的危害高峰则出现在 8 月中旬的铃期（图 1-14D）。因此，农业专家可根据当地有关气象数据来预测、预报，以减轻棉盲蝽对棉花的危害。

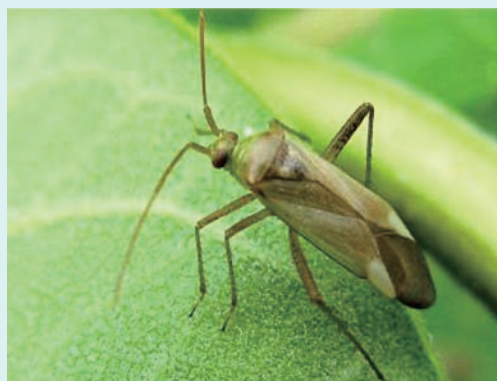


图 1-13 棉盲蝽

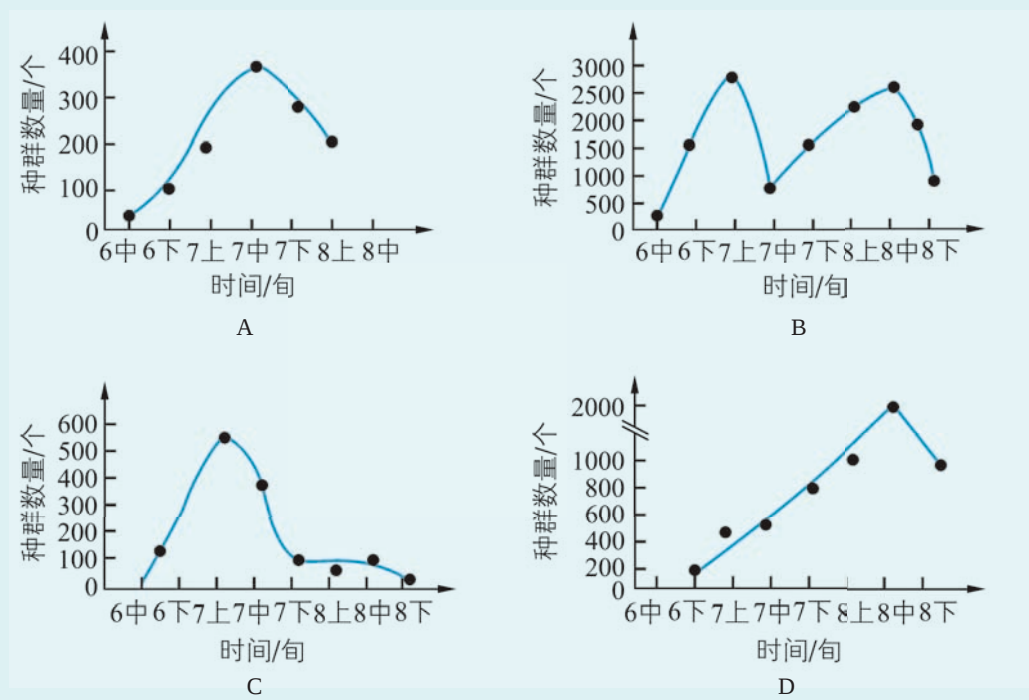


图 1-14 棉盲蝻种群数量的波动

种群的数量总是在波动中

种群是一个动态系统，种群中的个体数量是随着时间而变化的，这就是种群的数量波动。任何一个特定环境中种群的生存资源总是有限的，周围的环境条件在不断发生着变化，从而引起种群出生率、死亡率、迁入率和迁出率的改变，使其种群个体数量不断发生变化。即使种群数量达到了环境容纳量，也是在 K 值上下波动。

种群数量波动包括周期性波动和非周期性波动。严格地说，任何波动只要在两个相邻波峰之间相隔的时间基本相等就可称之为周期性波动，反之为非周期性波动。不同种群数量变化的周期长短是不一样的。在一些无脊椎动物中，周期性波动的周期往往是几天，甚至几小时，这主要与其生活史较短有关。

周期性波动主要表现为季节性波动和年间波动。季节性波动主要由环境的周期性季节变化所决定，种群数量随季节变化而改变，年年如此。例如，某地一年生草本植物北点地梅5年间的种群数量波动（图 1-15）。年间波动则是指种群数量的变动是以多年为一个周期的重复波动，这种波动的周期常常是几年，甚至更长。例如，北美地区雪

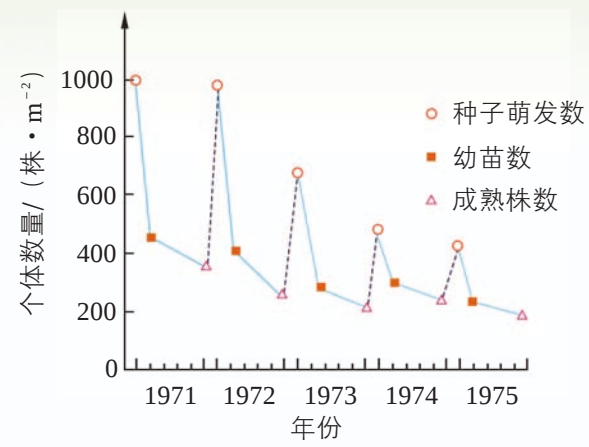


图 1-15 北点地梅5年间种群数量波动

兔和猞猁这两种动物都极其明显地表现出每隔9~10年出现一次数量高峰（图1-16），波动原因主要涉及植物、雪兔、猞猁三者之间的数量互动关系。种群数量的周期性年间波动主要发生在成分比较简单的高纬度环境中，如北方针叶林和苔原地带。

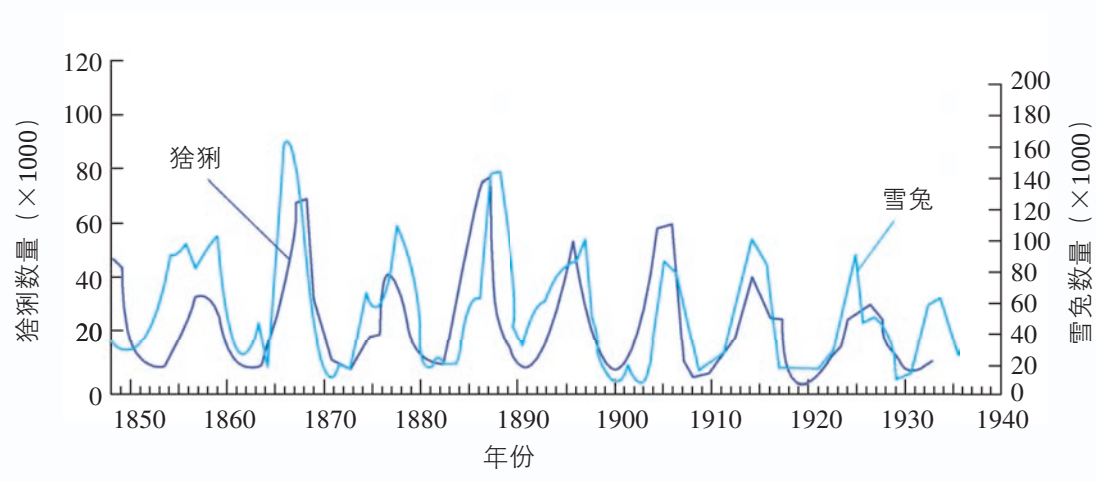


图 1-16 雪兔和猞猁的种群数量波动

大多数种群的年间数量动态变化表现为非周期性波动，例如，东亚飞蝗种群的数量波动（图1-17）。

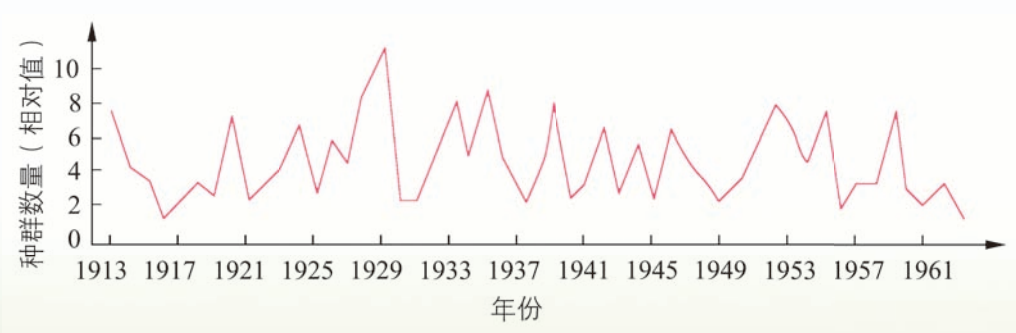


图 1-17 东亚飞蝗种群的数量波动

外源性因素调节种群数量波动

外源性因素（*exogenous factors*）是指影响种群密度的外部因素，主要包括气候、食物、捕食、疾病、寄生等。

气候因素会影响种群密度的变化。昆虫的早期死亡 80%~90%是由气候变化引起的，因为气候因素会影响昆虫的发育与存活。例如，本节小资料中棉盲蝽种群的数量波动就是由于气候变化引起的。又如，连续几天 38℃ 高温常可引起蚜虫种群数量急剧下降；沙漠地区啮齿动物和鸟类的种群数量总是与降雨量有着直接的关系。

食物是调节种群数量的重要因素。在食物不足时，种群内部必然会发生激烈的竞争，使很多个体不能生殖或不能存活。例如，在雪兔数量很少的年份，只有 20% 的长耳鸮能孵窝，但在雪兔数量最多的年份，100% 的长耳鸮都能孵窝。

捕食也能将被捕食者的种群密度制约在一定水平。捕食者种群数量会随着被捕食者数量的增加而增加，也会因自身受到天敌的捕食而减少。生产上常利用这种关系进行生物防治。例如，原产巴西的槐叶萍首次在澳大利亚出现后，短时间内大量增殖，严重地危害了航运、农业灌溉和渔业生产。随后，政府先后两次从巴西引进了专食槐叶萍的象鼻虫，才使槐叶萍数量迅速下降而得以控制。另外，我国利用七星瓢虫防治蚜虫（图 1-18）和利用灰喜鹊防治松毛虫（图 1-19），也是利用天敌控制害虫种群密度的成功案例。



图 1-18 利用七星瓢虫防治蚜虫



图 1-19 利用灰喜鹊防治松毛虫

病原体和寄生生物的致病力和传播速率是随着种群密度的增加而增加的。例如，禽流感易发生在候鸟聚集区，禽流感病毒的大量增殖和快速蔓延会导致候鸟大量死亡，这对候鸟的种群密度起着重要的调节作用。

在大多数情况下，上述这些因素并不是单独起调节作用，而是多种因素综合在一起共同影响种群数量波动。英国鸟类学家大卫·拉克（David Lack，1910—1973）研究表明，幼鸟的死亡率始终高于成鸟，有的幼鸟死亡率高达82%~92%，而成鸟死亡率约为40%~60%。他认为，幼鸟死亡率高是由于食物短缺、捕食、疾病等多种因素共同调节的结果，其中食物是决定性的。

内源性因素调节种群数量波动

内源性因素（endogenous factors）包括领域行为和内分泌等种群内部的影响因素。

领域行为是指动物有选择地占据、保卫一定的空间，不允许同类其他个体进入这一空间的行为。鸟类的领域行为非常强，尤其是种群密度高且在繁殖季节时，只有优势雄鸟才能占有相应的领域（图1-20），得到更多的交配繁殖机会和生存资源，而竞争力较弱的雄鸟则无领域可占，因而失去繁殖后代的机会。生活在杨树上的一种蚜虫也有明显的领域行为。一只雌性蚜虫落在嫩叶上，如果另一只雌性蚜虫也落到此叶片上，这两只蚜虫就会发生激烈的争斗（图1-21），最后可能只有其中一只蚜虫独占这一叶片。

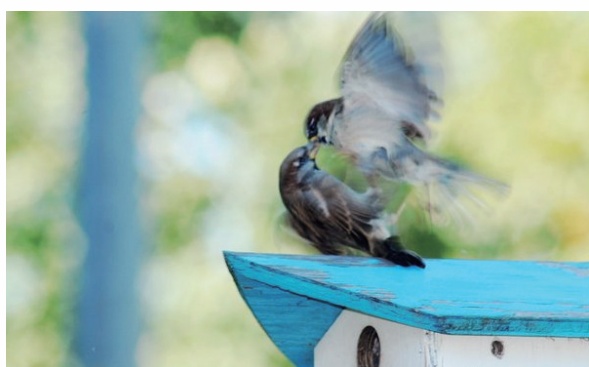


图1-20 鸟驱赶外来入侵者



图1-21 蚜虫的领域行为

内分泌因素也会对种群数量起到一定的调节作用。当种群数量上升时，种群内个体经受的社群压力增加，会增强对中枢神经系统的刺激，进而引发内分泌失调，使种群数量增长停止或被抑制，继而又降低了社群压力。例如，啮齿类动物在种群密度过大时，会引起雌鼠内分泌功能失调，改变了体内原有激素的平衡，导致排卵功能减退，容易流产，母鼠泌乳过程受到抑制，对幼鼠照顾不良，行为反常而好斗等。这些生理变化会使雌鼠生殖力下降，幼鼠死亡率增加，鼠的迁出率上升，最终导致种群数量迅速下降。

思考与练习

一、选择题

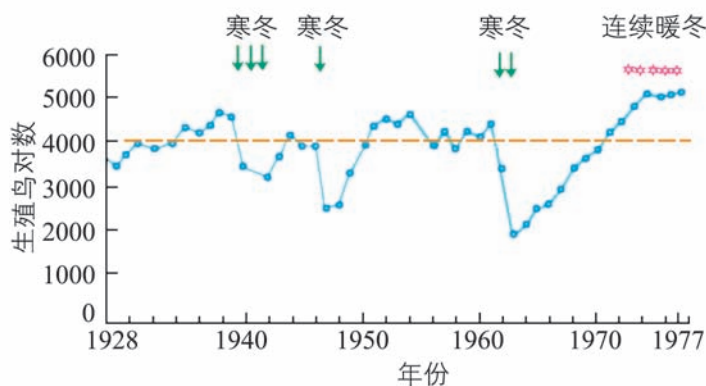
1. 欧亚大陆寒带地区，许多小型鸟类和兽类由于冬季停止繁殖，在春季繁殖前其种群数量最低，开始繁殖后数量不断上升，到秋季其种群数量达到一年中的最高峰。下列哪一选项是影响这些种群数量波动的主要外源性因素（ ）

- A. 疾病和寄生
- B. 捕食
- C. 食物和激素
- D. 领域行为

2. 下列属于内源性因素调节种群数量的实例是（ ）

- A. 农业上用七星瓢虫防治蚜虫
- B. 狼群因得不到猎物而数量减少
- C. 雄性黄腹角雉在生殖季节拥有自己的繁殖区域
- D. 某年我国南方百年一遇的雪灾冻死了许多动物

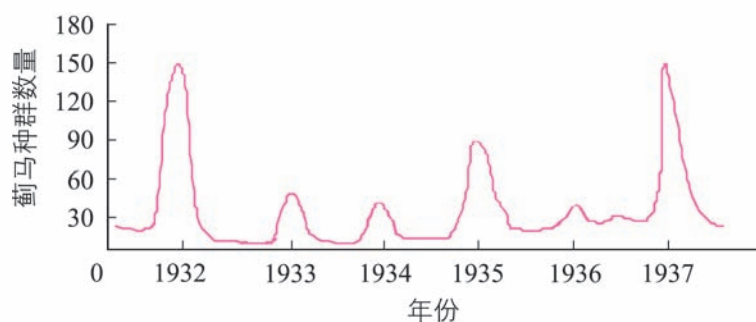
3. 研究人员调查 1928—1977 年欧洲灰鹭种群数量变化，结果如下图所示。下列叙述正确的是（ ）



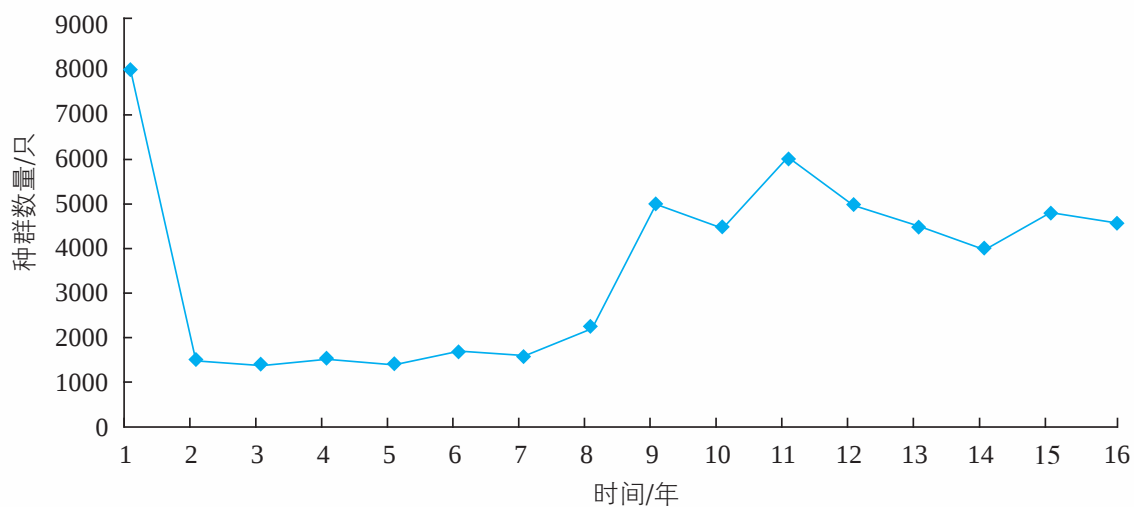
- A. 欧洲灰鹭种群的数量波动具有周期性
- B. 欧洲灰鹭种群的环境容纳量约为 5000 对
- C. 不同年份欧洲灰鹭数量变化主要是由气候变化引起的
- D. 不同年份欧洲灰鹭数量变化主要是由内源性因素调节引起的

二、简答题

1. 蓟马是靠吸取植物汁液生存的昆虫。下图是澳大利亚昆虫学家连续6年对玫瑰园中蓟马种群数量的调查结果曲线图。据此分析，蓟马种群的数量变动是非周期性波动还是周期性波动，为什么？



2. 为防治鼠害，某地开展了对田鼠种群数量变化的调查，绘制成如下曲线图。请你分析哪些因素会影响这一种群数量波动的调节作用，并谈谈如何有效地防治鼠害。



本章小结

占有一定空间和时间的同一物种个体的集合体称为种群。反映种群大小的最常用指标是种群密度，即某个物种在单位面积或单位体积内的个体数量，常采用标志重捕法进行估算。种群密度一般处于动态变化和发展之中，其直接决定因素是出生率、死亡率、迁入率和迁出率，年龄结构和性别比例通过影响出生率和死亡率间接影响种群密度。

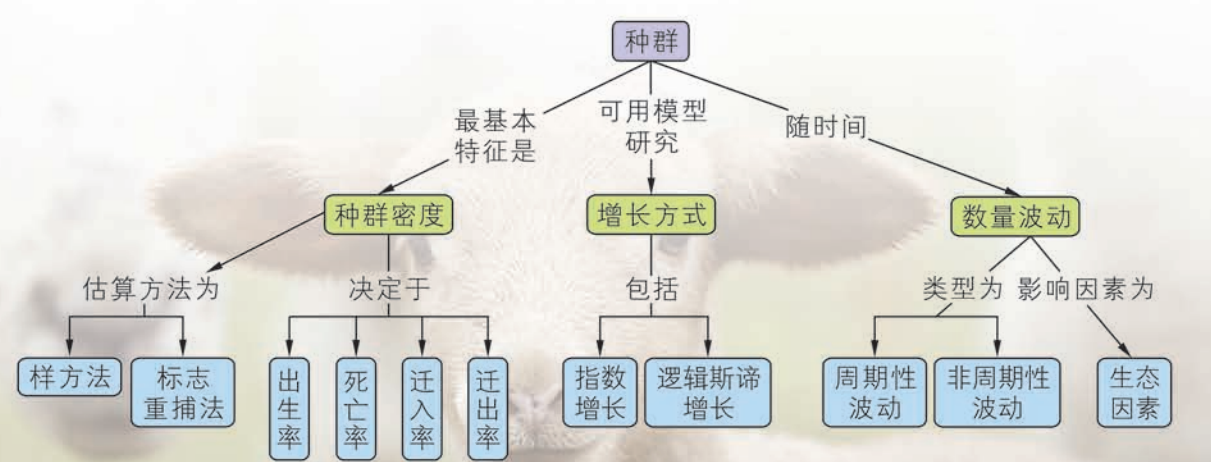
不同条件下种群的数量变化规律不同，建立数学模型是研究生物种群数量变化的重要方法之一。在建模过程中，渗透了模型与建模的科学思维与方法。在资源无限、空间无限和不受其他生物制约的理想条件下，种群会呈现指数增长，增长曲线为“J”形。在自然条件下，指数增长一般不可能发生。逻辑斯谛增长是自然界生物种群增长的普遍方式，即种群在空间有限、资源有限和受到其他生物制约的条件下，种群的增长受到环境容纳量（K值）的限制，增长曲线为“S”形。逻辑斯谛增长常划分为五个时期，最终种群数量将在环境容纳量（K值）上下波动。

种群数量受到生态因素的影响，呈现周期性或非周期性波动。气候、食物、捕食、疾病、寄生等外源性因素，种群内个体间的领域行为和内分泌等内源性因素，是调节种群数量波动的两种方式，渗透了稳态与平衡的观点。

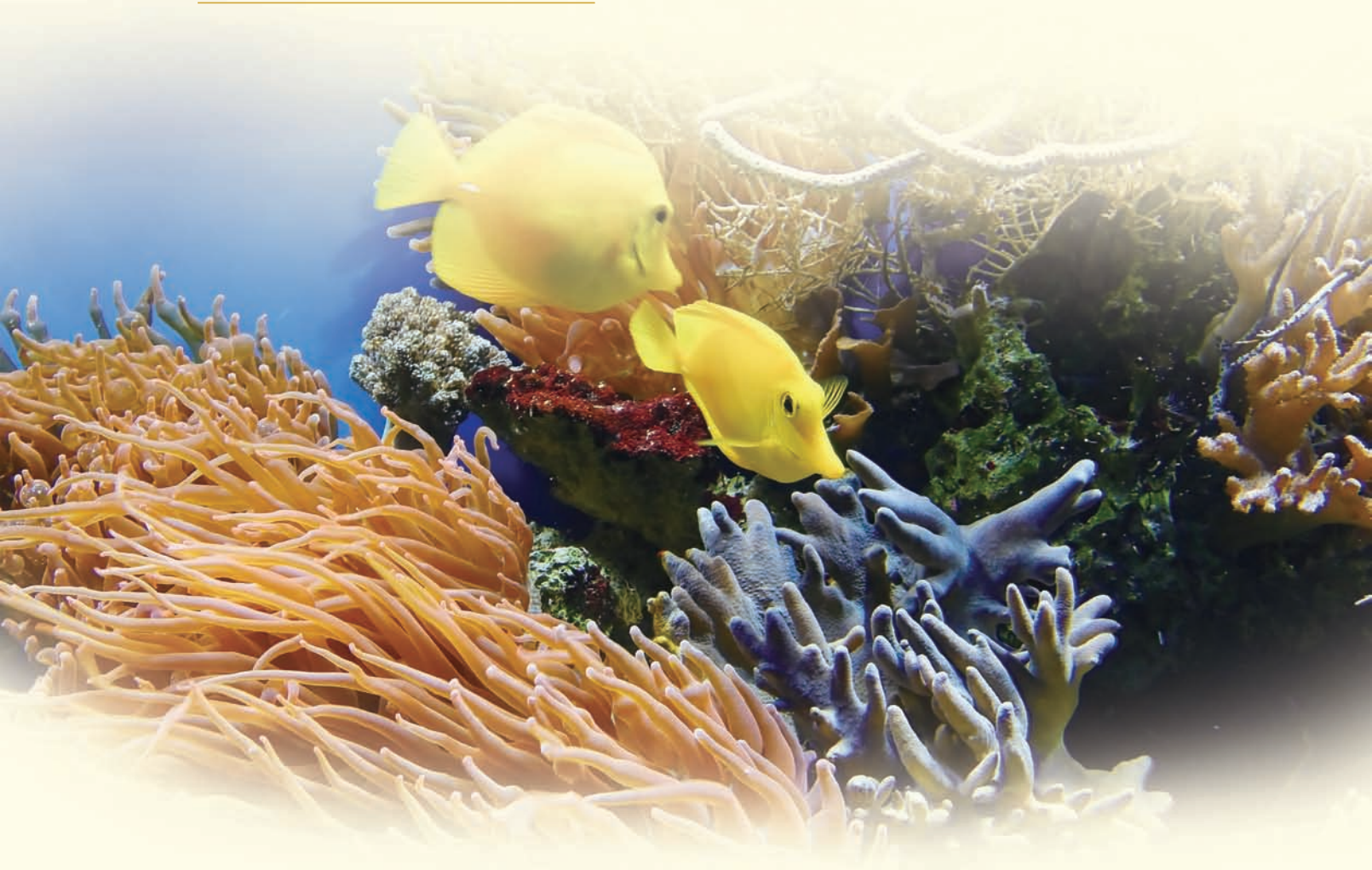
研究种群的特征、增长方式及种群数量波动具有重要的实践意义，能更好地了解、利用和保护生物资源，防治有害生物等，以提升社会责任意识。

在本章学习中，通过“探究果蝇种群的增长”建立数学模型，探讨及阐释种群数量变化的规律，运用科学的思维方法认识事物并解决实际问题，逐步发展科学思维和科学探究能力。

本章知识结构图



第二章 群落



珊瑚礁群落

在热带海洋中，生活着非常古老且生长缓慢的珊瑚礁。珊瑚礁的主体结构是珊瑚。形态多样、颜色鲜艳的造礁珊瑚主要由珊瑚虫分泌的碳酸钙外骨骼构成。珊瑚礁为珊瑚虫和藻类等生物的生长提供了环境。珊瑚礁在由小逐渐增大的过程中，其他生物会不断入侵，使得单种珊瑚群体发展为镶嵌状的珊瑚礁。当珊瑚礁继续增大，旧的礁体会部分崩塌，而新的更多的珊瑚在它的上面蔓生，从而形成更为复杂的珊瑚礁，鱼类等生物也随着礁体的增大而增多。在某些浅海区域，覆盖着大面积的珊瑚礁，这些珊瑚礁非常脆弱，海洋污染和人类对海洋的开发都会使其受到破坏。当然，人类的科学干预也能创造新的人工珊瑚礁。那么，珊瑚礁群落的结构、特征及演替规律是怎样的？人类研究群落又有什么现实意义？



群落（community）是指在一定时间内聚集在一定空间内的所有生物种群的集合体。组成群落的生物种群不是随意组合的，而是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的动态结构。随着时间的推移，环境的变化，一个群落可被另一个群落所替代，并且在环境条件相似的区域可以重复出现相同的群落类型。

学习目标

1. 认同丰富度调查反映群落的物种组成。
2. 举例说明物种在群落中占据一定的生态位，并阐述优势种在群落中的作用。
3. 描述群落的垂直结构、水平结构和时间结构。
4. 阐明群落演替的过程及其类型，并关注人类活动对群落演替的影响。
5. 能用生物与环境相适应的观点分析不同陆地群落中生物的适应特征。

本章学习应聚焦的关键能力

1. 在土壤动物类群丰富度的研究中，掌握样方选择、显微观察、分类和数据记录等方法，认识这些工作在保证实验研究结果可靠性中的作用。
2. 在观察鱼缸内群落变化的活动中，认真观察浮游生物种类和数量的变化，强化记录数据的方法，通过连续的数据记录和分析，建立群落演替的模型。

第一节 不同种群组成群落

不同的群落往往由不同的种群构成，通过物种丰富度（species richness）调查可以反映群落中物种数目的多寡。每个物种都在群落中占据一定的生态位（niche）。不同物种的生态位之间有什么关系？群落的结构和内部环境主要由什么物种来决定的？

本·节·要·点

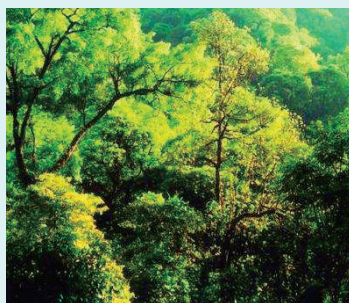
- 丰富度
- 优势种
- 生态位



小资料

我国典型森林群落的主要类型

我国典型森林群落的主要类型有亚热带常绿阔叶林、温带落叶阔叶林和寒温带针叶林等（图2-1）。亚热带常绿阔叶林主要分布在淮河-秦岭到南岭之间的亚热带地区。该地区植物种类丰富，主要有山毛榉和樟等常绿乔木、杜鹃花和山茶花等灌木以及一些草本植物。温带落叶阔叶林主要分布在华北和东北南部，主要植物有栎、杨和桦等，这些植物秋冬落叶、春夏长叶。寒温带针叶林主要分布在大兴安岭北部和新疆境内的阿尔泰山山地，主要植物有落叶松、红松、冷杉和云杉等。



常绿阔叶林



落叶阔叶林



针叶林

图2-1 我国典型森林群落的主要类型



活动

不同群落中土壤动物类群丰富度的研究

土壤动物是指生命活动中有一段时间或全部时间在土壤中度过的动物。在森林、草原等不同的群落中，土壤动物的种类、数量和分布都有所不同。通过土壤动物类群丰富度的调查，可以反映不同群落中土壤动物物种数目的多寡。

目的要求

- 1. 学会样方选择、显微观察、分类和数据记录等方法。
- 2. 比较不同群落中土壤动物的类群组成。
- 3. 认同丰富度调查能反映群落的物种组成。

探究问题

群落中土壤动物有哪些类群组成？不同群落中，土壤动物类群组成有差异吗？

材料用具

土壤取样器（图2-2），花铲，标签纸，纱布，镊子，吸管，试管，吸虫器，瓷盆，放大镜，干漏斗分离装置（图2-3），体视显微镜（或解剖镜），载玻片，70%酒精溶液等。



图2-2 土壤取样器



图2-3 干漏斗分离装置

方法步骤

- 1. 样地选择和土样采集。

选择两个不同群落作为样地，例如草地群落和森林群落，详细记录每个样地的地理位置、植被特征、土壤类型等。在每个样地随机选取3~5个样方，将土壤取样器插入距地表0~25 cm的表层土壤中取出土样（图2-4），用花铲将其装入塑料袋，贴上标签带回实验室。

2. 土壤动物的分离。

将塑料袋中的土样分别倒入不同瓷盆中，用镊子拣出体型较大的动物，放入贴有标签的试管中保存。

体型较小的动物使用干漏斗分离法进行分离。先在干漏斗分离装置下的锥形瓶中倒入少量的70%酒精溶液，再将瓷盆中的土壤分别装入干漏斗分离装置中，插上电源，进行烘烤。每隔1 h观察土样，直至土壤烘干。收集锥形瓶中的动物。



图2-4 使用土壤取样器取样

3. 土壤动物的种类鉴定。

对分离得到的动物进行种类鉴定。用肉眼观察、识别体型较大的动物；用放大镜或体视显微镜观察、识别体型较小的动物。设计表格记录每一群落土壤动物的类群和数量。

说明：由于土壤动物鉴定到物种有一定的难度，本活动只要求鉴定到目、科、属等类群。

讨 论

1. 比较两个群落中土壤动物的种类和数量。
2. 分析群落中的哪些环境因素会影响土壤动物的种类和数量。

丰富度调查反映群落的物种组成

以上“不同群落中土壤动物类群丰富度的研究”结果表明，草地群落和森林群落中土壤动物的类群和数量不同，这可反映出其物种丰富度不同。物种丰富度是指群落中不同物种的总数。研究群落中物种丰富度的最简单方法是识别组成群落的各种生物，并统计它们的个体数量。不同群落物种丰富度往往有差别。例如，上述小资料中亚热带常绿阔叶林群落、温带落叶阔叶林群落和寒温带针叶林群落的物种丰富度依次逐渐减小。

优势种决定群落的结构和内部环境的形成



图 2-5 以红松为优势种的针叶林群落

对群落的结构和内部环境的形成有明显决定作用的物种称为优势种（**dominant species**）。不同的群落往往有不同的优势种。例如，本节小资料中，落叶阔叶林群落的优势种是栎、杨和桦；针叶林群落的优势种是落叶松、红松、冷杉和云杉。优势种往往具有高度的生态适应性，并且在环境条件相对稳定的群落中，这种竞争优势常常是持久不变的。例如，以红松为优势种的针叶林群落，其他稀有物种不可能转化为优势种（图 2-5）。优势种通常是群落中个体数量多、生活力较强的物种。优势种能够凭借自己的数量和生活力对群落的结构和内部环境起决定性的作用，并在很大程度上影响其他物种的生存和生长。若把优势种去除，必然会导致群落的结构和内部环境发生变化。因此，

对群落的保护，不仅要保护珍稀濒危物种，也要保护其优势种。

物种在群落中占据一定的生态位

生态位是指群落中某个物种在时间和空间上的位置及其与其他相关物种之间的功能关系，它表示物种在群落中所处的地位、作用和重要性。一个物种的生态位不仅取决于它所栖息的场所，而且取决于它与食物、天敌和其他生物的关系，包括它吃什么和被什么动物所吃，以及与其他物种之间的关系等。

群落中不同的物种往往占据不同的生态位。例如，在西双版纳热带雨林群落中，高大的乔木可以充分利用阳光，乔木下的灌木则能有效地利用弱光，灌木下的草本只能利用较弱的光，草本下的苔藓类等植物则只能利用微弱的光。乔木、灌木、草本和苔藓等植物在形态结构和生活方式上各不相同，因此它们占据着不同的生态位，利用着不同强度的阳光，从而使得整个群落能够更加合理、高效地利用光照。

同一群落中，两个物种的生态位不可能是完全重叠的。当两个物种的生态位重叠

时会发生竞争，且生态位重叠越多，竞争就越激烈，以致竞争优势较大的物种有可能把另一物种完全排除掉，这就是竞争排斥原理。例如，1934—1935年，俄罗斯生态学家高斯曾经做过实验研究：将生态位很相近的大草履虫和双小核草履虫分别单独培养在试管中，给以细菌作为食物，不久两种草履虫都出现了典型的逻辑斯谛增长（图2-6A、B）。当把相等数目的大草履虫和双小核草履虫混合培养在同一试管中，也以细菌作为食物，开始时两种草履虫都有所增长，随后双小核草履虫个体数增加，大草履虫的个体数下降，最后大草履虫死亡消失（图2-6C）。双小核草履虫比大草履虫的繁殖速度快、竞争力强，在食物、空间等因素的限制下，双小核草履虫将竞争力弱的大草履虫排除了。

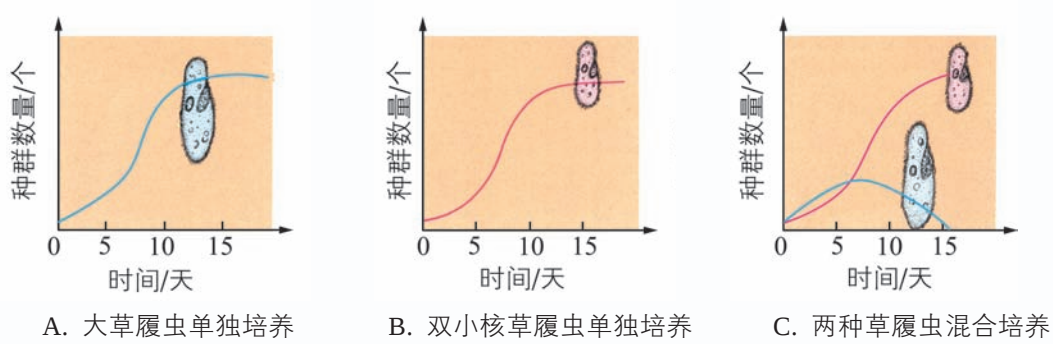


图2-6 两种草履虫单独和混合培养时的种群数量变化

自然群落中，生态位有重叠的物种会发生生态位分化。当两个物种的生态位有重叠时，往往通过自然选择作用使各自的生态位发生变化，从而减少或排除竞争，使得它们共同生存下来，这种现象称为生态位分化。动物在生态位上的分化方式主要有改变食物的种类，形成不同食性；划分分布区域和活动范围；错开活动时间等。例如，某群落中有甲、乙两个物种，甲物种主要以a为食，乙物种主要以b为食，这两个物种又共同以c为食。甲、乙物种间为了共同食物c发生生态位重叠而进行竞争，结果使两者的一部分个体被淘汰。长期的自然选择，使得甲、乙两个物种会向着吃不同食物的方向发展，即生态位不断分化，从而降低两个物种的竞争强度而达到共存（图2-7）。生态位分化是生物对环境的长期适应以及自然选择的结果。

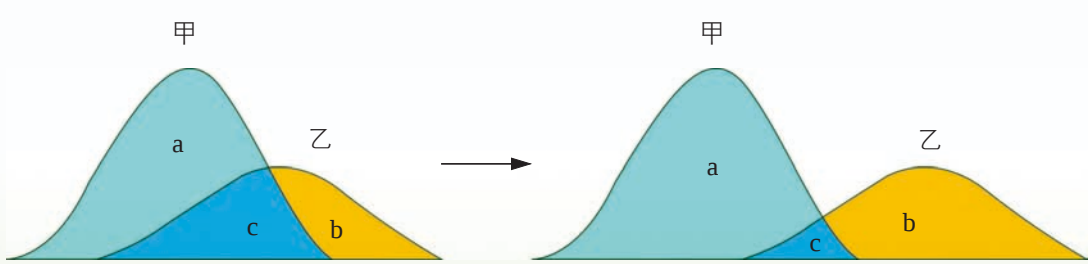


图2-7 生态位分化



活动

尝试分析森林群落中几种鸟的生态位关系

由于长期自然选择，不同物种的鸟在形态和行为等方面往往有所特化，从而适应在群落的一定空间进行觅食和活动，并利用特定空间的资源。这样，不同物种的鸟既能充分利用整个群落的栖息空间和食物资源，又能减少相互之间因生态位的重叠而导致的竞争。

目的要求

- 1. 结合实例阐述生态位的概念。
- 2. 分析资料中几种鸟在森林群落中的生态位关系，并简述形成这种关系的主要原因及其适应意义。

阅读资料

为研究森林群落中不同物种的鸟的生态位关系，研究者调查了某栎树林群落中林鸽、旋木雀、乌鸫等8种鸟在森林群落不同层次中的相对密度，结果见表2-1。

表2-1 栎树林群落中鸟类在不同层次中的相对密度

种 名	树冠层 (高于 11.6 m)	下木层 (5~11.6 m)	灌木层 (1.3~5 m)	草本层 (1~1.3 m)	地表层
林 鸽	333	3	3	—	—
长尾山雀	122	183	136	18	9
旋木雀	32	75	27	17	—
煤山雀	45	108	78	20	—
沼泽山雀	15	111	155	81	7
大山雀	25	74	197	103	2
乌 鸫	2	7	25	89	47
鸬 鹚	—	—	20	140	20

进一步研究发现：林鸽以栎树等高大乔木的核果和种子为食；长尾山雀不停地在树枝间、叶间跳跃或来回飞翔，觅食鞘翅目和鳞翅目等昆虫；旋木雀飞行能力不佳，但擅长在树干上垂直攀爬，觅食昆虫、蜘蛛和其他节肢动物，冬天食物短缺时也吃植物种子；煤山雀、大山雀常在树枝间穿梭跳跃，主要觅食昆虫；沼泽山雀体型明显比大山雀小，主要觅食各种昆虫及其幼虫、卵和蛹，仅吃少量植物种子；乌鸫是杂食性鸟类，既觅食昆虫和蚯蚓，也吃植物种子和浆果；鸬鹚取食毒蛾、螟蛾、天牛和椿象等昆虫。

分析资料

(1) 在这个栎树林群落中，从生活空间上比较，哪两种鸟的生态位最相近？哪两种鸟的生态位差异最大？

(2) 长尾山雀与旋木雀的生态位不是完全重叠的原因是什么？

(3) 每种鸟可同时在森林群落的不同层次活动和觅食，但总有一个最喜好的层次，这对群落中鸟类的生存有什么适应意义？

讨 论

在互相竞争的生物之间并不总是发生竞争排斥现象，那么这些生物是如何实现共存的？



课外读

生态位理论在景区规划中的应用

云南省永胜县程海环湖生态公路是滇西北高原明珠程海湖景区的重要旅游公路。该公路或穿越农田，或依山近湖，沿线自然风光秀丽迷人。公路主线两侧种植生态位不同的景观植物，上层以垂柳、凤凰木等高大乔木为主，中层以木槿、清香木、云南黄素馨等开花灌木为主，下层种植百日草、波斯菊等地表植物。依山近湖路段，则在湖边设计了景石组合，景石上介绍当地人文名胜；在临水面设计了景观亭，并配置弧形花架；坡地上则种植凤凰木、野蔷薇、波斯菊等形态各异、高低错落的观赏植物。同时，依据不同的植物特性配置生态景观走廊，并与公路外侧毗连的农作物植被系统、程海水域等相结合，使得该公路成为集防护、绿化和美化为一体的生态公路。该公路是依据生态位理论进行规划的，绿化的配置充分考虑了不同物种在生态位上的分化。群落中各物种之间由于生态位的分化，避免了物种之间直接竞争，从而形成结构稳定、功能健全、景观优美的群落结构。

思考与练习

一、选择题

1. 我国西藏东部的高山和峡谷，随着海拔的升高，植物群落由阔叶林、混交林、针叶林到高山草甸依次改变，与此同时，群落的物种丰富度（ ）
A. 依次增大 B. 依次减小 C. 基本不变 D. 没有变化规律

2. 我国大兴安岭北部的寒温带针叶林群落中，生长着落叶松、红松和冷杉等优势种。下列不属于优势种特征的是（ ）

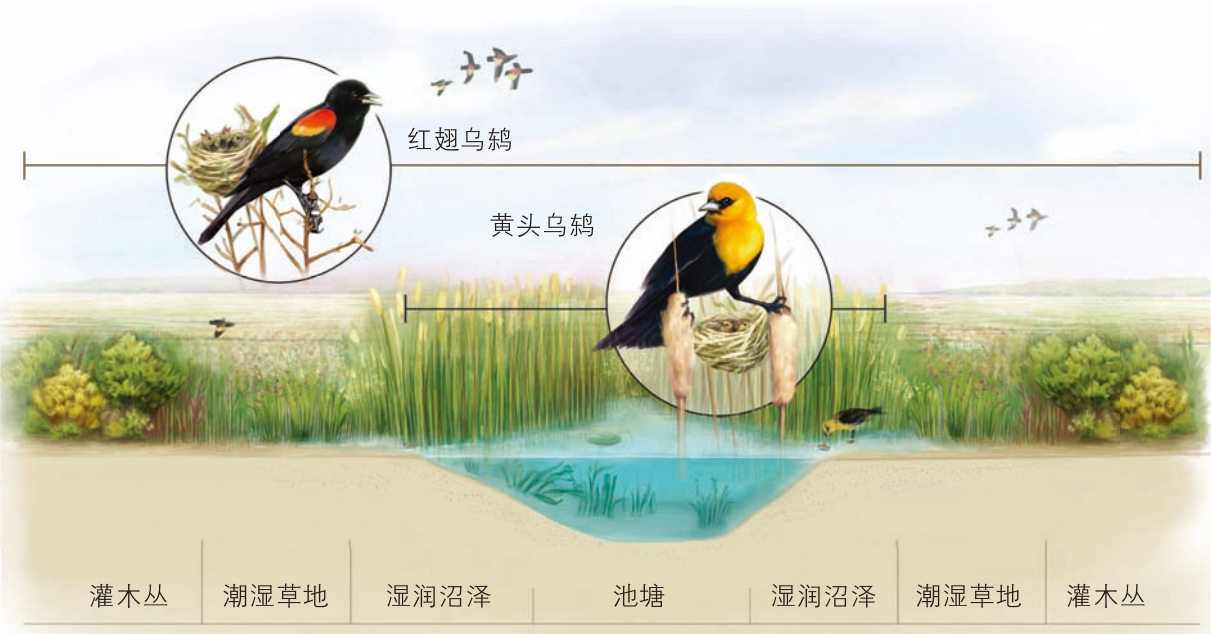
- A. 优势种个体数量往往较多
- B. 优势种生活能力较强、适应性较高
- C. 优势种的优势往往持久不变
- D. 优势种对其他物种的生存和生长影响不大

3. 我国西双版纳热带雨林群落中，生活着乔木、灌木、草本和苔藓等种类丰富的植物，还生活着多种两栖类、爬行类、鸟类等动物，以及微生物。这些生物都占据着一定的生态位。下列关于生态位的叙述，错误的是（ ）

- A. 群落中的优势种往往占据重要的生态位
- B. 生态位表示某物种在群落中的地位作用和重要性
- C. 群落中生态位重叠的物种会通过自然选择而发生生态位分化
- D. 生态位受食物、天敌等生物因素的影响，而与光照、温度等非生物因素无关

二、简答题

1. 黄头乌鸫和红翅乌鸫共同生活在沼泽地中，有着基本相同的生态位，但筑巢繁殖地不同。红翅乌鸫能在湿润沼泽、潮湿草地及灌木丛中筑巢繁殖；黄头乌鸫只能在紧靠池塘的湿润沼泽地中筑巢繁殖（见下图）。黄头乌鸫个体较大并更富攻击性，所以在湿润沼泽地中能取代红翅乌鸫。



请分析回答：

- (1) 黄头乌鸫和红翅乌鸫两者的竞争能力有何区别？
- (2) 为什么并不是所有的红翅乌鸫都会被黄头乌鸫所取代？

2. 观察校园（或某个公园，或某个景区）绿化带的植物群落，描述其植物的种类组成，找出其中的优势种，并从生态位理论角度分析该群落的设计是否合理。若合理，请提出依据；若不合理，请提出改进建议及其依据。

第二节 群落具有垂直、水平和时间结构

生物体都有其特定的结构，并与其功能相联系，群落也一样。群落在自然选择和适应的过程中形成了一定的结构。不同类型的群落具有不同的群落结构，在群落演替的过程中，群落结构会发生相应的变化。群落具有哪些结构？其形成的主要原因是什么？我们研究群落结构有什么意义？

本·节·要·点

- 垂直结构
- 水平结构
- 时间结构

群落分层形成垂直结构

依据植物的外貌和形态结构的不同，一般把陆生植物分成下面六种生长型：

乔木：3 m 以上的木本植物。

灌木：3 m 以下的木本植物。

藤本植物：木本攀缘植物。

草本植物：没有多年生的木质茎，包括禾叶草本、阔叶草本和蕨类植物。

附生植物：完全依附在其他植物体上的植物。

地表植物：地衣、苔藓等植物。

植物的生长型可以反映植物生活的环境条件。在相似的环境条件下，不同种类的植物通过自然选择往往具有相似的生长型以适应环境。例如，生活于亚洲、北美洲的沙漠植物，虽然它们可能属于不同的种类，但这些植物都具有叶子细小等形态结构，可以减弱蒸腾作用，从而减少水分散失以适应干旱环境。

群落中乔木、灌木和草本等不同生长型的植物分别配置在群落的不同高度上，形成了群落的垂直结构（vertical structure）。

群落的垂直结构主要指群落的分层现象。陆地群落中，温带落叶阔叶林群落的垂直结构最为明显，从树冠到地面可以分为树冠层、下木层、灌木层、草本层和地表层（图 2-8）。陆地群落的分层主要与植物对光的利用有关，其中树冠层对群落影响最大，如果树冠层比较稀疏，就会有更多的阳光照射到森林群落的下层，因此灌木层和草本层就会发育得更好。不同群落其垂直结构的复杂程度不同，热带雨林群落的垂直结构最为

复杂，其下木层和灌木层还可再分为2~3个层次。寒温带针叶林群落的结构比较简单，下木层和灌木层一般都只有一个。草原群落的结构就更为简单了。成层结构是物种自然选择的结果，它不仅缓解了植物之间争夺阳光、空间、水分和矿质营养的矛盾，而且植物在空间上的成层排列，扩大了植物利用环境的范围，提高了植物的光能利用率。



图2-8 温带落叶阔叶林群落的垂直结构示意图

群落中动物的分层现象也很普遍。例如，在某针叶林群落中，生活着多种多样的动物，动物常常同时在森林群落的不同层次活动和觅食，但总有一个最喜好的层次，如柳莺主要栖息在树冠层，花鼠主要栖息在灌木层，黄鼬主要栖息在草本层等。动物的分层现象主要与食物有关。

 小资料

群落结构在农业生产上的应用——立体农业

立体农业是指依据生物的生活特性以及对环境的要求，进行合理搭配而建立的一个空间上多层次、时间上多序列的种植和养殖结构，主要有立体种植类、立体养殖类和立体种养结合类三种类型。例如，佛手瓜-生姜模式（图2-9），利用佛手瓜种植密度小的特性，在其间隙种植生姜可以充分利用土地；同时，利用佛手瓜枝蔓在上层的遮阴作用，来促进喜阴生姜的生长。常见的还有小麦-棉花-花生、小麦-玉米-大豆等立体种植类，上层蜂桶、中层鸡舍、下层猪圈、底层蚯蚓等立体养殖类，林-畜-蚯蚓、稻-萍-鱼（图2-10）等立体种养



图 2-9 佛手瓜-生姜模式



图 2-10 稻-萍-鱼模式

结合类。立体农业能充分利用太阳能、水分和矿质营养，从而获得较高的经济效益和生态效益。

群落水平方向上的种群配置形成水平结构

群落中的生物在水平方向上的配置状况形成了群落的水平结构（horizontal structure）。大多数群落中的各个物种在水平方向上的分布往往呈不均匀性，表现为斑块状和镶嵌性。例如，在内蒙古草原群落中，针茅草是其优势种，但它的分布并不是均匀地连续成片，而是呈一丛一丛的斑块状。各丛针茅草之间的空间，生长着其他的草本植物，呈现镶嵌性分布（图 2-11）。导致群落具有水平结构的原因主要有三个方面：一是不同生物繁殖体的扩散能力有差异，例如依靠风、水和动物传播种子的植物可能分布范围较大，而种子较重或进行无性繁殖的植物往往集中分布在母株周围；二是生物种间相互作用的影响，例如植食性动物明显地依赖于它所取食的植物而分布；三是群落内部环境的不同，例如群落水平方向上光照、风、土壤湿度和盐渍化程度有差异。另外，动物活动以及人类活动也会影响群落的内部环境。



图 2-11 草原群落的水平结构

群落的组成和外貌可随时间改变而形成时间结构

群落的组成和外貌可随时间改变而发生有规律的变化，这就是群落的时间结构（time structure）。在某一时期，某些物种在群落中相对重要，而在另一时期，则是另一些物种在该群落中相对重要，从而形成了群落的时间结构。

群落的季节性变化非常明显。在温带地区，草原和森林群落的外貌在春、夏、秋、冬有很大差异。例如，温带草原群落，早春气温回升，植物开始发芽和生长，草原出现返青现象；盛夏秋初雨水充沛，植物生长繁茂，百花盛开，色彩斑斓；秋末植物开始干枯休眠，呈现出红黄相间的风貌；冬季则是一片枯黄。草原群落中动物的季节性变化也十分明显。例如，冬季大多数鸟类和有蹄类动物向南迁移，黄鼠等进入冬眠，鼠兔则将干草储藏在洞口附近以度过寒冬。这些都是草原动物季节性活动的显著特征，也是它们对环境良好适应的体现。



课外读

群落交错区与边缘效应

群落交错区是指两个或多个群落之间的过渡区域。例如，森林和草原群落之间有森林草原地带；两个不同森林群落之间或两个不同草原群落之间都存在交错区。群落的边缘有的是持久的，有的在不断变化。群落交错区的特征是由相邻群落之间相互作用的空间、时间及强度所决定的。群落交错区的环境条件比较复杂，因而在交错区常常存在着两个重叠群落中的一些物种和交错区所特有的物种。群落交错区物种的数目以及一些物种的密度要比相邻群落大。例如，我国大兴安岭森林群落边缘，具有呈狭带分布的林缘草甸，每平方米有30种以上的植物，明显高于其内侧的森林群落与外侧的草原群落（图2-12）。

人类的活动正在大范围地改变自然环境，从而形成许多群落交错区。例如，城市的发展、矿山的建设、土地的开发，都使得原有景观的界面发生变



图2-12 林缘草甸



图2-13 人为边缘效应对环境的改变

化（图2-13）。针对群落交错区的扩大和变化，研究人员提出要重点研究群落交错区对生物多样性、能量流动、物质循环及信息传递的影响，群落交错区对全球气候变化、土地利用、污染物的反应及敏感性，以及在变化的环境中怎样对群落交错区加以管理。

思考与练习

一、选择题

1. 内蒙古草原群落优势种针茅草的分布呈一丛一丛的斑块状，而整个草原的草本植物呈镶嵌性分布。下列关于这一现象的原因的叙述，错误的是（ ）

- A. 植物种子的传播能力有差异 B. 群落垂直方向上光照有差异
C. 动物活动影响群落内部环境 D. 群落水平方向土壤湿度不同

2. 某温带落叶阔叶林群落中，以草本植物为例，春季草本植物由莲花、顶冰花、侧金盏花等组成，当它们生长旺盛、花朵盛开时，其他大多数夏季草本植物则刚开始生长。而当夏季草本植物争妍时，早春生长旺盛的草本植物已结束其营养生长，地上部分死亡，地下部分进入休眠状态。据此分析，下列叙述正确的是（ ）

- A. 所有的草本植物组成一个群落
B. 在水平方向上草本植物有分层现象
C. 群落的组成和外貌会随着时间而改变
D. 群落外貌的变化与自然环境的时间节律变化无关

3. 群落在自然选择和适应的过程中形成了一定的结构。下列关于群落结构的叙述，正确的是（ ）

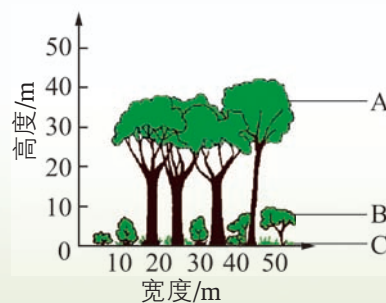
- A. 群落中植物的垂直结构与光能的合理利用无关
B. 群落中动物的垂直结构主要与温度不均匀有关
C. 群落时间结构的形成是物种长期自然选择的结果
D. 群落中植物的水平结构主要表现为物种的均匀分布

二、简答题

1. 右图表示某个栎树林群落的垂直结构。在这个树林中生活着多种鸟类，其中乌鸦和红胸鸫主要栖息在草本层，戴菊和大山雀主要栖息在灌木层，林鸽和茶腹鸫主要栖息在树冠层。

请分析回答：

（1）在这个栎树林群落中，红胸鸫、大山雀和茶腹鸫栖息的主要层次分别是_____、_____和_____。（填写图中字母）



(2) 鸟类在栎树林群落中出现分层分布的主要原因是什么？

(3) 某同学分析推理得出：这一实例隐含着进化与适应这一生命观念，你认为正确吗？请说明理由。

2. 举例说明哪些因素影响陆地群落的水平结构。

第三节 地球上分布着不同类型的群落

地球各地因气候、地形和其他环境条件的不同而分布着不同类型的群落。群落包括水域群落和陆地群落两大类。陆地群落主要有哪些类型？群落中的生物具有哪些形态结构、生理特征和分布特点与该群落环境相适应？

本·节·要·点

- 森林群落
- 草原群落
- 荒漠群落
- 苔原群落

森林群落是地球上最重要的陆地群落

森林群落的分布与经度、纬度及海拔密切相关。例如，北半球自南向北依次分布着热带雨林、温带落叶阔叶林和北方针叶林等森林群落。森林群落是地球上最重要的陆地群落。

热带雨林群落（图2-14）生物种类极为丰富，群落结构复杂。热带雨林群落分布在赤道及其两侧的湿润区域，约占地球上现存森林面积的一半。其分布区终年高温多雨，年平均温度约25℃，年降雨量在2500~4500 mm。热带雨林群落生物种类极为丰富，是地球上最丰富的“生物基因库”。组成热带雨林群落的高等植物达45000种以上，且绝大部分是木本，藤本植物及附生植物也



图2-14 热带雨林群落

发达。乔木树干高大，常生有支柱根和板状根；叶多大型，常绿，革质坚硬。灌木层植物一般很少分枝；叶往往大而薄，气孔常开放，具泌水组织，有的叶还具滴水叶尖。

热带雨林群落中生活着大量动物，其中以树栖攀缘生活的种类占优势。代表动物有树懒、树袋鼠、松鼠等兽类，鹦鹉、蜂鸟等鸟类，树蛙、飞蛙等两栖类，避役、飞蜥等爬行类。树栖动物形成了许多适应特征，例如，树懒具有弯曲而锐利的钩爪；避

役的趾互相愈合呈钳状；松鼠的掌上有发达的足垫；树蛙的趾端有吸盘状构造；树袋鼠则具有能缠绕的长尾等等。

热带雨林群落为人类提供了极为丰富的生物资源。例如，三叶橡胶和可可等是珍贵的经济植物。此外，超过四分之一的现代药物是从热带雨林植物中提炼的，所以热带雨林群落被称为“世界上最大的药房”。同时，植物的光合作用强，对大气中 O_2 和 CO_2 平衡的维持具有重大意义。但是，目前热带雨林群落遭到了前所未有的破坏，造成大量水土流失，直接影响了全球环境，特别是人类的生存环境。因此，保护热带雨林群落已成为当今世界最紧迫的生态问题之一。

温带落叶阔叶林群落（图2-15）具有明显的季相变化。其分布区四季分明，夏季炎热多雨，冬季寒冷干燥，年降雨量在500~1000 mm。优势植物有山毛榉、栎、栗、杨、柳等落叶乔木；灌木和阔叶草本植物发育良好，种类也很丰富；藤本植物不发达；附生植物多为苔藓和地衣。乔木的叶片一般无革质和茸毛，冬季完全落叶，春季萌发新叶，夏季形成郁闭林冠，秋季叶片枯黄。

温带落叶阔叶林群落中，地栖动物种类和数量比热带雨林群落多，但树栖动物仍占相当比例。代表动物有鼠、松鼠、鹿、狐、狼、野猪和黑熊等兽类；啄木鸟、杜鹃和黄鹂等鸟类；蝮蛇等爬行类；大蟾蜍和林蛙等两栖类。动物生活节律有明显季节变化，夏季较冬季种类多。有些动物随季节而换毛（或换羽），有些动物以冬眠越冬，有些鸟类以迁徙越冬，全年活动的动物则大都有储食习性。

北方针叶林群落（图2-16）中针叶植物占优势。北方针叶林群落分布在北半球高纬度地区，约覆盖整个地球表面的11%，仅次于热带雨林群落。其分布区年降雨量在400~500 mm，夏季温凉，冬季严寒，植物生长期较短。植物种类较少，优势种主要有红松、云杉和冷杉等；附生植物、藤本植物及灌木稀少。植物的叶呈针状，表面有增厚的角质膜和内陷的气孔，以减少蒸腾并有助于在夏季干旱期和冬季结冰期保持水分。



图2-15 温带落叶阔叶林群落



图2-16 北方针叶林群落

北方针叶林群落中，动物种类较少，代表动物有驼鹿、雪兔、黑熊、雷鸟、灰鼠、松鸡和榛鸡等。多数动物营定居生活，有的动物通过储食来过冬，有的动物通过冬眠来过冬，有的动物通过冬眠和储食相结合的方式来过冬。少数动物通过迁移来度过漫长的冬季和食物短缺的春季。

针叶林群落作为木材资源，对人类极其重要，但由于长期砍伐，目前原始的针叶林群落分布区已非常稀少。

草原群落中草本植物占优势

草原群落（图 2-17）约占地球陆地表面积的 12%，年降雨量在 250~800 mm 的地区大多形成草原。草原群落以草本植物占优势，几乎完全由禾本科植物、豆科植物和菊科植物组成。植物的叶面积缩小、叶片边缘内卷、气孔下陷等以适应干旱环境。草本植物的生长期很短，从春季到秋季便会完成一个世代。



图 2-17 草原群落

与森林群落相比，草原群落中动物种类贫乏。兽类中以营洞穴和集群生活的啮齿类为主，如黄鼠、鼠兔等；也有能迅速奔跑的有蹄类，如野驴、黄羊、野牛等。鸟类大多为夏候鸟。两栖类和爬行类很贫乏，但昆虫种类和数量非常多。

人类的开发和过度放牧已严重破坏了草原群落，使草原土壤被侵蚀，甚至荒漠化。绝大多数原始的温带草原动物几乎由于狩猎、草地转化为农耕牧场而灭绝了。

水分蒸发量高于降雨量的地区形成植被稀疏的荒漠群落

荒漠群落（图 2-18）主要分布在亚热带干旱区，约占地球陆地表面积的 26%，年降雨量不足 200 mm，有些地区年降雨量还不到 50 mm，甚至终年无雨，而水分蒸发量则是降雨量的 7~50 倍。荒漠群落植被极度稀疏，有的地段大面积裸露。植物主要是灌木和半灌木，如蒿属植物和藜属植物，往往具有发达的根系、小而厚的叶片；还有仙人掌科植物和百合科植物，往往具有肉质茎或肉质叶。植物只在有水时才发芽、开花和结果，如果不下雨植物就不生长。



图 2-18 荒漠群落

荒漠群落中的动物种类比较稀少，以小型啮齿类和爬行类占优势。例如，袋鼠、蜥蜴、蛇、蝎子等。也生活着骆驼和野驴等大型动物。荒漠群落中的动物穴居和善跑的习性比草原群落中的更突出。大多数动物昼伏夜出，少数昼行性动物则善于逃避高温，能躲进洞穴或把身体埋进沙里。昆虫、爬行类、鸟类和啮齿类等有夏眠的习性。有些兽类汗腺不发育、大便干结、小便很少；多数爬行类以尿酸盐的形式排尿，使水分损失最小。

气候严寒、降雨量少的地区形成苔原群落

苔原群落（图 2-19）主要分布在欧亚大陆北部和北美洲北部，形成一个大致连续的地带。其分布区气候严寒，年平均温度在 0℃ 以下；年降雨量少，在亚洲东北部约为 100 mm。苔原群落植物种类稀少，优势种有苔藓、地衣、灌木和少数种类的草本植物，如矮石楠、羊胡子草和极柳等。植被高度一般只有几厘米，植物多为矮生，甚至紧贴地面匍匐生长。植物通常是常绿、多年生的，生长季节短且生长缓慢，几乎完全依靠营养繁殖。



图 2-19 苔原群落

苔原群落中的动物种类贫乏。代表动物有驯鹿、旅鼠、猞猁和北极狐等兽类，还有雷鸟和雁等少量鸟类。昆虫种类少但数量较多，几乎没有爬行类和两栖类动物。多数动物体毛长且绒密，皮下脂肪厚。严冬季节，绝大多数鸟类迁往温暖的南方过冬，驯鹿迁往针叶林群落过冬。开阔的冻原环境使得动物缺少天然隐蔽条件，且土壤永冻层厚，难以挖掘土穴，所以留居种类如旅鼠、北极狐等不冬眠，也不储藏食物，而是积极活动觅食。

随着石油在苔原群落分布地区被发现，人类开始了对苔原群落的开发，已经导致永冻层逐渐融化，引起土壤下沉和侵蚀。如何保护苔原群落已成为世界各国的重要研究课题。



湿地群落

湿地（图2-20）是介于陆地和水生环境之间的过渡带，并兼有两种系统的一些特征。1971年国际上签署的《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》（简称《湿地公约》），把湿地的概念确定为：湿地是指不问其为天然或人工、长久或暂时的沼泽地、湿原、泥炭地或水域地带，带有静止或流动的淡水、半咸水或咸水水体，包括低潮时水深不超过6 m的水域。湿地具有调节水循环和作为栖息地养育丰富生物多样性的基本生态功能，被称为“自然之肾”。据统计，全世界共有湿地 $8.558 \times 10^9 \text{ km}^2$ ，占陆地总面积的6.4%。2014年我国第二次湿地资源调查结果显示，从2003年到2013年，我国湿地面积减少了 $3.3963 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，减少率达8.82%；湿地率为5.58%，低于全球8.6%的平均水平，人均湿地面积仅为世界人均的1/5。湿地面积萎缩、功能退化、生物多样性减少已成为我国最突出的生态问题之一，湿地保护已成为我国生态文明建设不可或缺的组成部分。



图2-20 杭州西溪湿地

思考与练习

一、选择题

1. 某群落的植物以山毛榉和栎为优势种，这些植物秋冬落叶、春夏长叶。这个群落属于（ ）

- A. 热带雨林群落
- B. 南美草原群落
- C. 北方针叶林群落
- D. 温带落叶阔叶林群落

2. 我国的荒漠面积占国土面积的 1/5 以上，其中新疆塔里木盆地最大，盆地中央的塔克拉玛干荒漠是世界第二大荒漠。下列关于荒漠群落的叙述，正确的是（ ）

- A. 分布区域年平均温度在 0℃ 以下
- B. 鸟类常以筑巢的方式躲避极端干旱的天气
- C. 植物往往具有发达的根系、小而厚的叶片
- D. 蜥蜴对于干旱环境有较强的适应特性，一年四季生长繁殖良好

3. 某群落植物种类稀少，没有高大的乔木，以多年生的灌木和草本为主，苔藓和地衣发达。植物都非常矮小，常匍匐生长，几乎完全依靠营养繁殖。下列关于生活在该群落中的动物的叙述，正确的是（ ）

- A. 植食性鸟类较多
- B. 昆虫种类多且数量较多
- C. 爬行类和两栖类动物种类繁多
- D. 鸟类往往通过迁徙以适应干旱和寒冷的环境

二、简答题

1. 我国内蒙古呼伦贝尔草原群落是世界著名的天然牧场，也是世界闻名的旅游胜地。草原中生长着碱草、针茅、苜蓿、冰草等多种牧草，还生活着黄鼠和草原犬鼠等动物。目前，部分草原已被人类开垦用以种植春小麦、马铃薯及少量蔬菜等。

请阅读上述材料，并可上网查找相关资料，回答下列问题：

(1) 生活在草原上的黄鼠等动物有哪些适应性特征？

(2) 如何既能保护呼伦贝尔草原群落不被破坏，同时又能在种植业、养殖业和旅游业中获得经济效益？请你提出合理建议。

2. 森林群落有哪些主要特点？请举例说明。

第四节 群落随时间变化有序地演替

任何生命系统都不是静止不变的，群落也不例外。随着时间的推移和环境的改变，群落往往处于不断变化和发展之中，直至与当地环境处于平衡状态。群落的这种变化过程又是如何发生的？

本·节·要·点

- 群落演替
- 初生演替
- 次生演替
- 顶极群落

小资料

植物界的开路先锋——地衣

地衣是真菌和藻类的共生体。藻类能进行光合作用，为真菌提供有机物；真菌的菌丝能吸收水分和无机盐，为藻类进行光合作用提供原料。地衣的这种特性使得地衣对环境有很强的适应能力，整个地球除了海洋之外，在沙漠、岩石以及树皮等处它都能生存。例如，裸岩表面无土壤、干燥、光照强、温度变化大，在这样恶劣的环境条件下，最先出现的生物是地衣（图2-21）。地衣能分泌一种有机酸腐蚀岩石表面，加之自然的风化作用，使坚硬的岩石表面慢慢地出现一些小颗粒。在地衣残体的作用下，这些细小颗粒含有了有机的成分。久而久之，在裸岩的表面便形成了非常微薄的土壤层，这为苔藓等植物创造了生存条件。故地衣被称为“植物界的开路先锋”。



图2-21 岩石上的地衣

一个群落会被另一个群落替代

从裸露的岩石到森林群落的演替一般需要经历五个演替阶段。裸露的岩石表面最先出现地衣，当地衣改变了岩石表面并形成了非常微薄的土壤层后，苔藓植物就会替代地衣。苔藓植物的生长使岩石表面积累更多的腐殖质，岩石颗粒变得更细小、更松软、更厚。此时，禾本科和菊科等一些耐旱的草本植物开始侵入。草本植物发展到一定程度时，一些喜阳的灌木便开始出现。随着灌木数量的大量增加，形成以灌木为优势种的群落。灌木群落发展到一定时期，为乔木的生存提供了良好的环境，喜阳的乔木开始增多，并随着时间的推移和环境的改变最后演变成了森林群落（图2-22）。

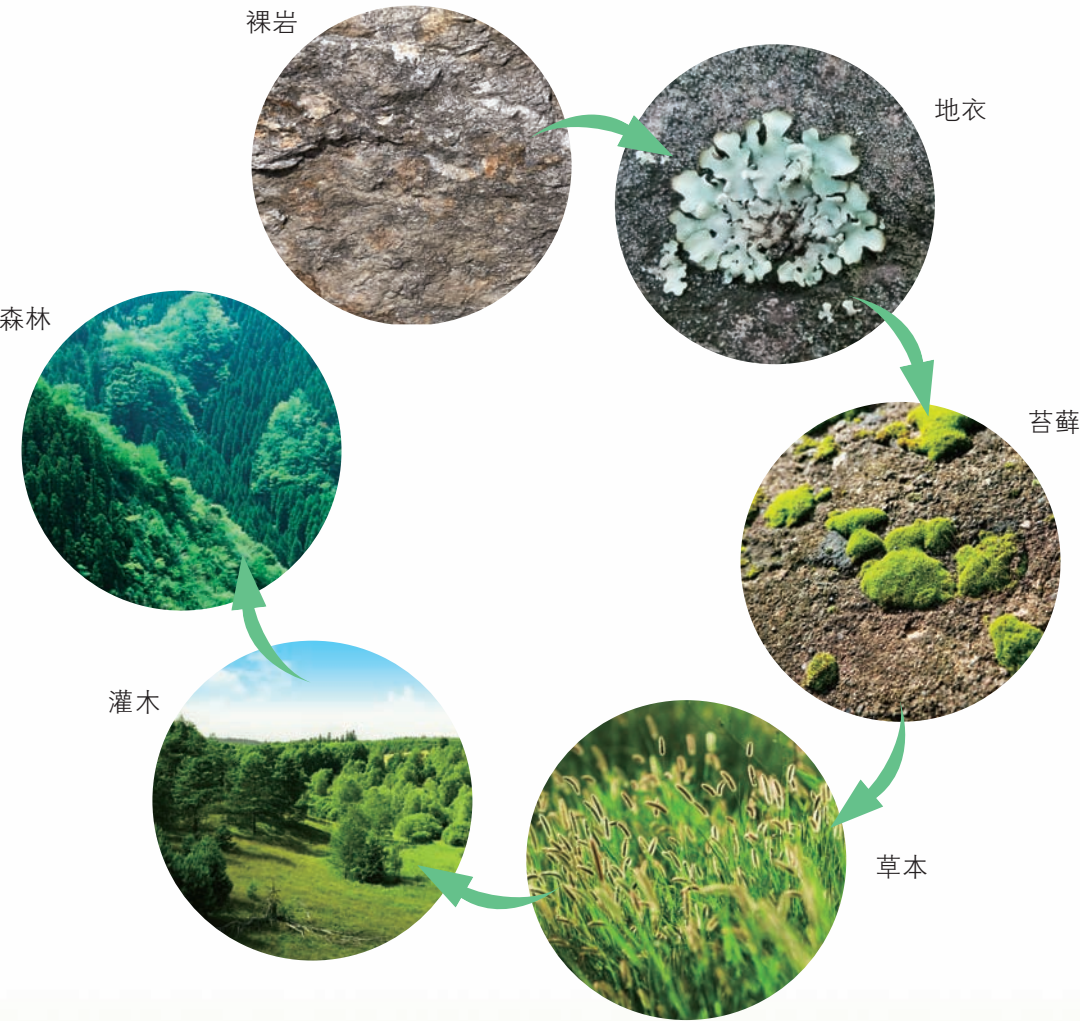


图2-22 从裸岩到森林群落所经历的演替阶段示意图

裸岩演变到森林群落的过程是一些物种替代另一些物种、一个群落类型替代另一个群落类型的过程，这个过程直到一个稳定的群落出现才会终止。群落的这种一些物种替代另一些物种、一个群落替代另一个群落的自然演变过程称为群落演替（community succession）。从裸岩到森林群落的演替过程中，土壤的形成与植物种类的变化是相互作用的：由岩石到岩石颗粒，最后发展为土壤；植物则从低等类群演替到高等类群。一般地，群落中的原有优势种在发展过程中，往往使群落内部环境变得越来越不适于自身的发展，而为其他种群的出现创造有利的条件。由此可见，群落演替是不同种群与环境变化相互作用而发生的优势种取代的过程，也是群落中各种群与无机环境相适应的过程。自然情况下，群落的演替是非常缓慢的，演替的意义在于可更充分地利用自然条件，尤其是利用一切可以利用的能量。

与裸岩一样，湖泊也能演替成森林群落。从湖底的原生裸地到森林群落的演替一般需要经历五个演替阶段（图2-23）。

裸底阶段。在一般的淡水湖泊中，水深超过5~7 m时，湖底是原生裸地，湖泊中生活着浮萍等自由漂浮生物。这些动、植物残体以及雨水冲刷湖岸带来的矿物质微粒的沉降逐渐垫高了湖底。

沉水植物阶段。在水深5~7 m处，湖底原生裸地上最先出现的是轮藻属植物。轮藻属植物的残体使湖底有机质积累加快，导致垫高湖底的作用加快。当水深为2~4 m时，金鱼藻、黑藻等水生植物大量出现。这些植物生长繁殖能力更强，其残体垫高湖底的作用也就更强了。

浮叶根生植物阶段。随着湖底的日益变浅，莲、睡莲等浮叶根生植物开始出现。这些植物的残枝、败叶对进一步抬高湖底起很大作用，同时由于浮叶根生植物密集地漂浮在水面，使得水下光照很弱，不利于沉水植物的生长，沉水植物逐渐被浮叶根生植物所替代。

挺水植物和沼泽植物阶段。浮叶根生植物使湖底大大变浅，芦苇、香蒲和泽泻等挺水植物开始取代浮叶根生植物。此时，原来被水淹没的土地开始露出水面与大气接触。在富含有机质和水分的土壤上，莎草科和禾本科等喜湿生的沼泽植物开始生长。若此地带气候干旱，旱生草类将随着生境中水分的大量丧失而很快替代湿生草本植物。

森林群落阶段。灌木将在草本植物中出现，而后随着乔木的侵入，便逐渐形成了森林。湖泊演替成森林群落的过程中，实际上就是湖泊被慢慢填平的过程。

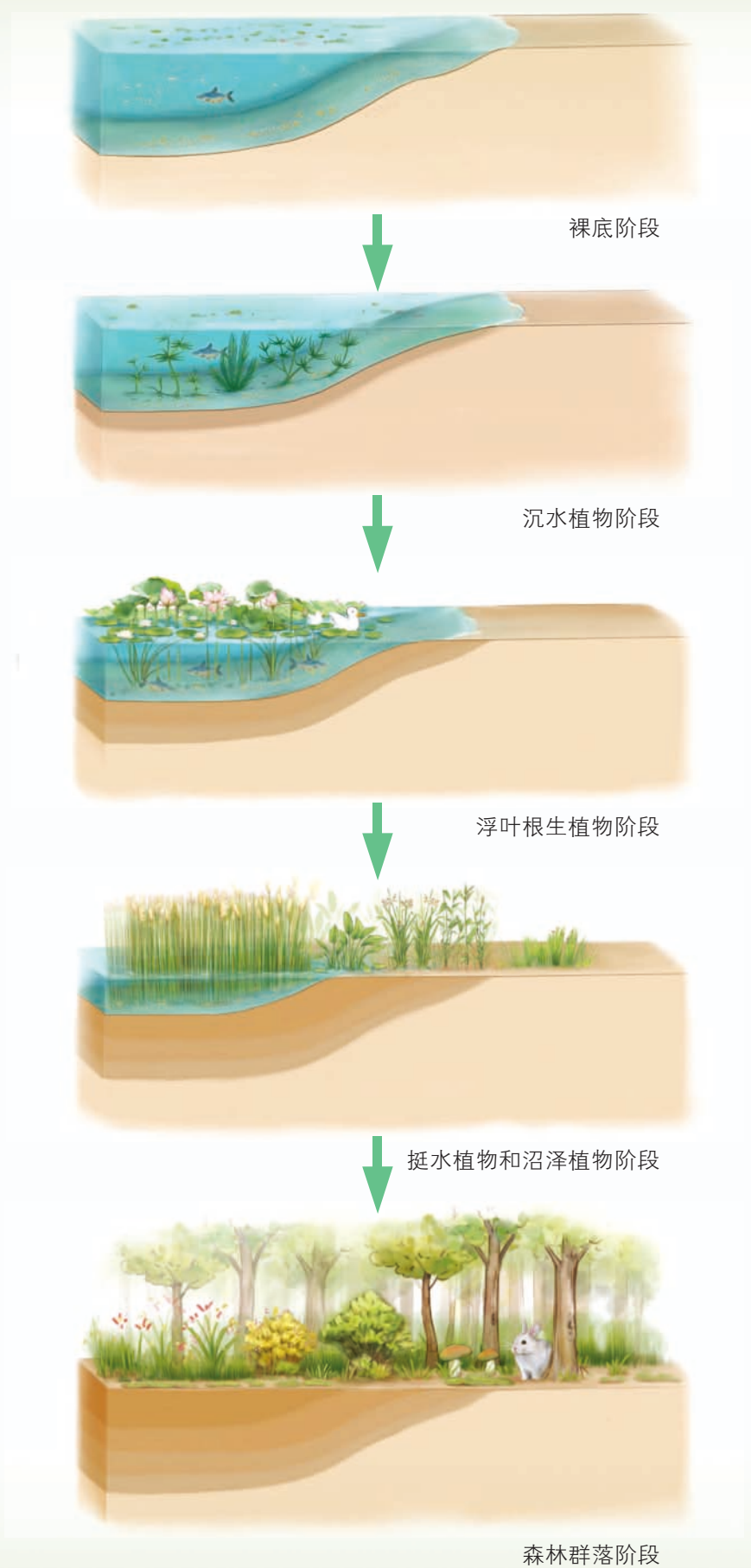


图 2-23 从湖泊演替到森林群落所经历的五个演替阶段示意图

群落演替包括初生演替和次生演替两种类型

群落演替按照演替的起始条件不同划分为初生演替（primary succession）和次生演替（secondary succession）两种类型。

初生演替是指从完全没有植被，并且没有任何植物繁殖体存在的裸地上开始的演替。上述裸岩和湖底开始的演替都是初生演替。

次生演替是指在被毁灭群落基质上所进行的演替。在伐林地、火烧地、放牧地和弃耕地上所发生的演替都属于次生演替。例如，我国内蒙古草原农田弃耕后的演替属于次生演替。该草原群落在开垦前优势种是贝加尔针茅，后来被人为开垦成农田种了几年小麦，但因产量下降而弃耕。弃耕后的1~2年，狗尾草和黄蒿等杂草占优势；随着时间的推进，羊草和狼尾草等侵入而逐渐占优势；7~8年后，土壤变得坚实，贝加尔针茅重新出现，并逐渐成为优势种，进而恢复到贝加尔针茅草原群落。这一演替过程大概需要10~15年。

一般地，原有群落毁灭后，会留下含有大量有机质的土壤、有生存力的孢子和种子等繁殖体。因此，与初生演替相比较，次生演替的土壤基质和环境条件比较好，次生演替经历的时间也相对较短。

群落演替的终点是顶极群落

演替是一个漫长的过程，但不是一个永恒延续的过程。当一个群落演替到与当地的气候和土壤条件处于平衡状态的时候，演替就不再进行了。在这个平衡点上，群落结构最复杂也最稳定，只要没有外力干扰，它将永远保持原状。演替达到最终平衡状态时的群落称为顶极群落（climax community）。

地球上现存的群落大都处于顶极状态。顶极群落类型主要是由平均温度和年降雨量决定（图2-24），在高

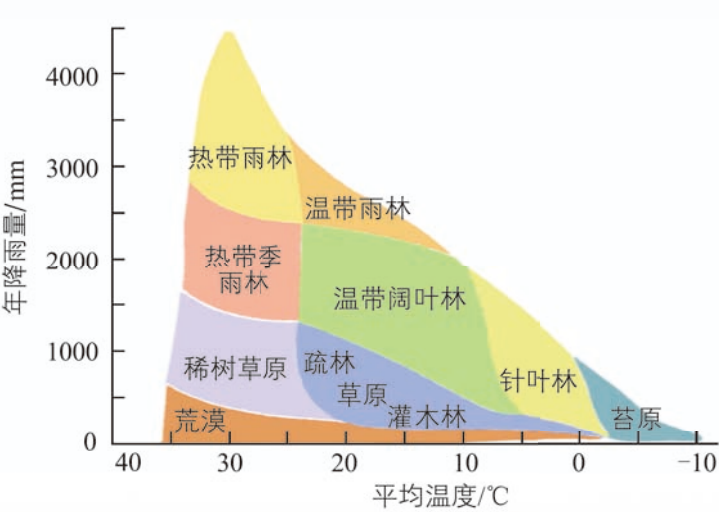


图2-24 决定顶极群落类型的两大气候因素

温高湿的气候条件下，顶极群落是热带雨林；在低温高湿的气候条件下，顶极群落是北方针叶林；在中温中湿的条件下，顶极群落是温带草原；在低温低湿的条件下，顶极群落是苔原；在极端缺水的条件下，顶极群落是荒漠。



小资料

人类活动能影响群落的演替

人类可以使群落演替按照不同于自然的方向进行，甚至还可以建立人工群落。例如，对森林群落有计划地使用火烧是当前森林资源经营和管护中非常重要的措施。计划火烧可改善林地的水温条件，加快林木的更新；调整物种的生态位；清除一些残枝落叶，为植物提供矿质养分，为动物提供生活与繁殖的有利条件。又如，根据草原群落的植被组成和结构、主要优势种的特性来判断草原放牧的演替方向，通过适度放牧使草原向着有利于生产的方向进行演替。再如，向海底沉入军用坦克和地铁列车等固体物建成人工礁，只需几年时间，人工礁就会有大量海洋生物生存下来。这样建立的人工群落既可作为研究站，又可提供潜水和捕鱼等场所。

干扰可使群落处于不断的变动状态，阻止群落走向平衡。干扰因子有自然的和人为的，例如，森林中的一棵树倒下后通常会对周围环境造成干扰，倒木能创造新生境，倒木根部留下的深坑灌满水后会成为蛙类、蝶蛹和大量昆虫的产卵场所。上述小资料中对森林群落的计划火烧、对草原群落的适度放牧等，都是人类科学地对群落演替的控制。人为干扰对群落演替的影响较大，往往会使群落按照不同于自然发生的进程演替。群落演替体现了事物的客观规律——发展和变化。



活动

观察记录鱼缸中群落的变化

鱼缸中生活着的生物可构成一个微型的水生群落。在这个水生群落中，可以观察到生物种类和数量随着时间而发生变化。

目的要求

1. 观察鱼缸中浮游生物种类随时间的变化。
2. 通过连续的数据记录和分析，建立群落演替的模型。

材料用具

鱼缸，池塘水，煮过的白米饭，塘泥，滴管，药匙，标签纸，显微镜，载玻片，盖玻片等。

方法步骤

1. 在鱼缸中加入池塘水，约为其容积的 $\frac{2}{3}$ ，再加入数粒煮过的白米饭和少许塘泥。将鱼缸置于没有阳光直射的安全处。
2. 每天用滴管分别从鱼缸的上、中、下水层吸取水样，制成临时装片 A、B、C，用显微镜分别观察并记录装片中浮游生物的种类。
3. 连续观察 2 周以上。

讨论

1. 分析你所统计的数据，观察一段时间后鱼缸中的生物种类发生了什么变化。这是群落演替吗？请说明理由。
2. 在本次活动中，哪些环境因素会影响实验结果？可采取哪些措施更好地控制这些因素？



课外读

影响群落演替的主要因素

群落演替是生物与外界环境相互作用的结果。植物繁殖体的迁移和散布是群落演替的先决条件。植物繁殖体迁移和散布到一个新的环境，经发芽、生长和繁殖而定居。群落中植物的种类组成发生变化时，居住在其中的动物也通过迁入和迁出而做适当的调整，从而形成新的群落类型。气候、地貌、土壤和火等外界环境的改变常常可引起群落演替，而群落中植物种群特别是优势种的发育将导致群落内部环境条件的改变，这种改变往往不利于其自身的发展，而为其他植物的生存提供有利条件。随着群落物种之间的相互作用，通过竞争改变物种的生态位，甚至有的物种会被排挤到群落之外。人类的活动对群落演替的影响远远超过其他所有的自然因子。人类生产活动通常是有意识、有目的地进行的，人类既可以放火烧山、砍伐森林、开垦土地，也可以抚育森林、管理草原、治理沙漠，甚至还可以建立人工群落，将群落演替方向和速度置于人为控制之下。

思考与练习

一、选择题

1. 随着时间的推移和环境的改变，群落有序地进行演替，包括初生演替和次生演替。在下列群落演替实例中，属于初生演替的是（ ）

- A. 从裸岩开始的演替 B. 从放牧地开始的演替
C. 从荒废农田开始的演替 D. 从一棵倒地的枯树开始的演替

2. 我国热带雨林群落主要分布在海南岛、台湾南部、云南南部的西双版纳地区，目前均处于群落的顶极状态。下列关于顶极群落的叙述，错误的是（ ）

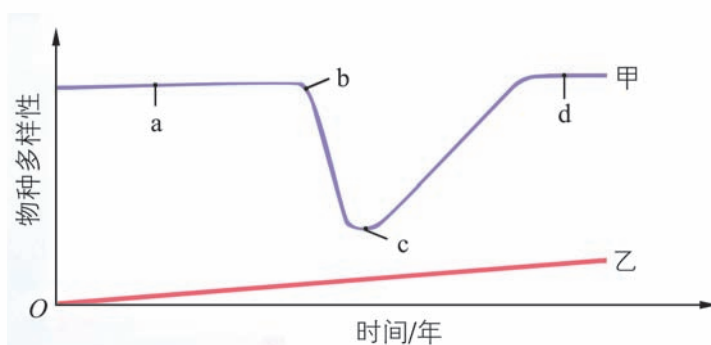
- A. 顶极群落的结构最复杂且最稳定
B. 顶极群落中的植物比演替早期生长得快
C. 若没有外力干扰，则顶极群落将永远保持原状
D. 不同类型顶极群落的形成主要取决于气候条件

3. 据调查，在某个裸露的沙丘上，首先出现了喜沙植物，如冰草、沙柳等；随着时间的推进，优势植物依次为松、柏、黑栎和山核桃；最后发展为稳定的山毛榉-槭树林群落。据估计，整个演替过程大约经历了1000年。下列叙述正确的是（ ）

- A. 黑栎和山核桃林为演替的顶极群落
B. 该沙丘到树林的演替过程为次生演替
C. 演替过程中植物与群落的环境是相互作用的
D. 从沙柳到松、柏再到槭树的演替过程中物种不断进化

二、简答题

1. 下图曲线甲与乙表示其森林群落演替的两种类型。



请分析回答：

- (1) 图中哪条曲线表示初生演替，哪条曲线表示次生演替？你判断的依据是什么？
- (2) a、b和c点中，哪个表示顶极群落？为什么？
- (3) 造成曲线b点到c点的可能原因是什么？c点与d点之间的这个阶段发生了哪些

变化?

2. 如果草原群落上的牧草不再被取食和割除, 某同学应用群落演替的知识推测: 1年后牧草长高了, 杂草开始生长。5年后, 灌木开始生长。灌木发展到一定阶段, 树木出现了, 不同的动物也进入这个区域。灌木和树木将改变这个环境, 阳光极少到达地面, 牧草慢慢地消失了。100年后, 这个草原群落将演替成一个森林群落。请评价该同学的推测是否正确, 并说明理由。

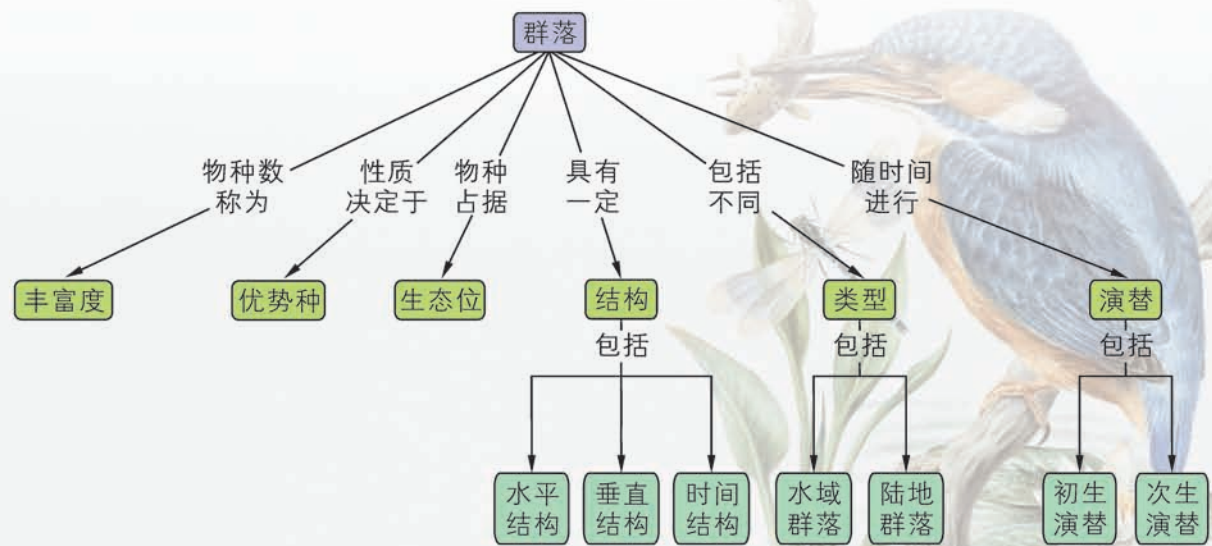
本章小结

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群落。群落中，某个物种在时间和空间上的位置及其与其他相关物种之间的功能关系称为生态位，它表示物种在群落中所处的地位、作用和重要性。群落中的不同物种往往有不同的生态位，其中优势种决定群落的结构和内部环境的形成，这渗透了进化与适应观。

组成群落的各个种群在自然选择和适应的过程中形成了一定的结构，包括垂直结构、水平结构和时间结构。地球各地因气候、地形和其他环境的不同，分布着不同类型的群落，包括水域群落和陆地群落两大类，其中陆地群落主要有森林、草原、荒漠和苔原等，不同群落中的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。随着时间的推移和环境的改变，群落往往处于不断变化和发展中，一个群落代替另一个群落的自然演变过程称为群落演替。当一个群落演替到与当地的气候和土壤条件处于平衡状态时达到终点，称为顶极群落。群落的演替过程渗透了进化与适应观。

尝试分析森林群落中几种鸟的生态位关系等，渗透了归纳与概括、批判性思维等科学思维；通过观察记录鱼缸中群落的演替活动，渗透了模型与建模的科学思维。不同群落中土壤动物类群丰富度的研究等活动，需要观察、提问、实验设计与实施等科学探究能力。研究群落的结构和演替，可为景区规划、农业实践、生态保护等提供理论基础。

本章知识结构图



第三章

生态系统



生机盎然的森林

在森林中，泉水叮咚，气温舒适，阳光透过各种各样的植物形成色彩斑斓的迷人景色。在蝉声和鸟鸣声中，你会看到形态各异的蝴蝶翩翩起舞，松鼠在树木之间不断跳跃，草丛中不时有蜥蜴或蛇爬过，一些鸟在捕食昆虫，偶尔也会碰到鹿等动物从林中穿过。当你来到林中的溪流边时，溪旁正在鸣叫的蛙迅速跳入水中，鱼儿在清澈见底的水中游弋，不知名的小虾在水草丛中觅食，蝾螈静静地躲藏在石块底下。当你翻开厚厚的林下落叶时，会发现许多小昆虫以及蚯蚓等小动物，它们辛勤劳作，将植物的枯枝落叶和动物的尸体进行分解，发挥着清道夫的作用。那么，森林生态系统的组成成分有哪些？其营养结构和功能是什么？该系统的稳态又是如何实现的？



生态系统 (ecosystem) 是指一定空间和一定时间内, 由群落和非生物环境所构成的一个生态学功能系统。地球上许多生态系统, 大至生物圈 (biosphere), 小至一个池塘。前页所描述的生机盎然的森林就是一个森林生态系统。除了自然生态系统以外, 还有很多人工生态系统, 如农田和果园等。物质循环、能量流动和信息传递是生态系统的三大基本功能。生态系统具有自我调节能力而维持其稳态。

学习目标

1. 概述生态系统的组成成分和营养结构。
2. 分析生态系统物质循环和能量流动的过程和特点, 举例说出生态系统的信息传递。
3. 建构能量流动模型, 并讨论其在生产实践中的指导意义。
4. 阐明生态系统维持稳态的原理, 形成稳态和平衡的生命观念。

本章学习应聚焦的关键能力

1. 根据小组或本人设计的生态瓶, 尝试分析生态瓶中的物质循环和能量流动。
2. 根据设计草图制作生态瓶, 预期生态瓶可以正常运转的时间及可能的制约因素。
3. 从生态瓶的功能、观赏等角度考虑改进方案, 从成本、材料等角度考虑制约因素。

第一节 群落与非生物环境组成生态系统

生态系统由生物成分和非生物成分组成。生物成分包括所有的生物，非生物成分包括各种自然环境条件，因此生态系统也是由群落和非生物环境组成的。生态系统的生物成分和非生物成分之间是紧密联系、相互依存和密不可分的。生态系统各组成成分之间存在什么样的联系呢？

本·节·要·点

- 生物成分
- 非生物成分
- 生物圈

生态系统中的生物成分包括生产者、消费者和分解者

生产者（**producer**）是指能利用太阳能等能量，将无机物合成有机物的自养生物，主要指各种绿色植物，也包括藻类和自养细菌。生产者合成的有机物为地球上其他生物提供了食物来源。

消费者（**consumer**）是指不能将无机物直接合成有机物，只能直接或间接地依赖于生产者所合成的有机物，借以维持自身生命活动的异养生物。绝大多数动物都属于消费者，其中直接以植物为食的植食动物属于初级消费者，以植食动物为食的肉食动物属于次级消费者，以次级消费者为食的大型肉食动物或顶级肉食动物属于三级消费者。

分解者（**decomposer**）也是异养生物，能将动、植物的残体、粪便和各种复杂的有机物分解为生产者能重新利用的无机物，主要包括细菌和真菌，也包括腐食动物和某些原生动物。

不同生态系统中生物成分之间的相互关系如图 3-1 所示。

各生物成分在生态系统中的地位和作用有所不同。生产者是生态系统中最主要的生物成分，没有生产者，分解者和消费者就会缺少有机物供应而无法生存。消费者在生态系统中通过食物关系促进了物质循环和能量流动。分解者是生态系统中不可缺少的组成成分，如果生态系统中没有分解者，动、植物遗体和粪便等快速堆积，影响物质的再循环过程，生态系统中的营养物质很快会发生短缺并导致整个生态系统瓦解和崩溃。

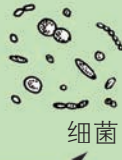
生态系统	自养生物	异养生物			
	生产者	初级消费者	次级消费者	三级消费者	分解者
落叶阔叶林	 栎树	 毛毛虫	 山雀	 黄鼠狼	 细菌及真菌
辽阔海洋	 浮游植物	 浮游动物	 鲭鱼	 金枪鱼	 海王蠕虫
深海	 自养细菌	 管蠕虫	 蟹		 细菌

图3-1 生态系统中生物成分的相互关系示意图

生态系统中的非生物成分包括阳光、空气、水等

非生物成分是指生态系统中的自然环境，包括阳光、空气、水等环境因素。

所有生物的生活都受到非生物成分的影响。所有生命都需要能量，而太阳能则是地球上几乎所有生物的能量来源。在光合作用过程中，生产者将太阳能转化成储存在糖类中的化学能。没有阳光，生产者将无法进行光合作用储存能量。阳光不仅对生物的生长发育和地理分布产生深刻的影响，而且太阳的辐射也使地表受热，产生温度的变化，进而影响生物的生存。空气中的二氧化碳是生产者进行光合作用的必需原料，氧气则是所有生物需氧呼吸的必需原料。水是地球上所有生物生存所必需的物质，对生物的生长发育、数量和分布有着重要的影响。

非生物环境直接或间接地影响生物的生存，而生物的生存也会在一定程度上对非生物成分产生影响。例如，森林的茂盛程度影响了森林内部的光照、温度、水分等，分解者的生理活动使土壤肥力发生变化。因此，生态系统的生物成分和非生物成分是相互依存的（图3-2）。

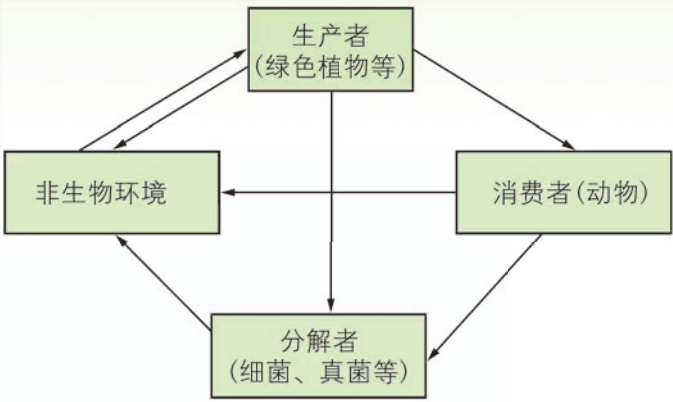


图 3-2 生态系统组成成分相互关系示意图

生物圈是地球上最大的生态系统

生物圈（biosphere）是指地球上有生物存在的部分，包括所有生物及其生存环境，它是地球表面一个不连续的薄层。生物圈的分布高度最高点可达到海平面以上 10 km 处或更高，在陆地上最低点可达到地下植物最深的根际处，在水域可达到海平面以下 10 km 处（图 3-3）。

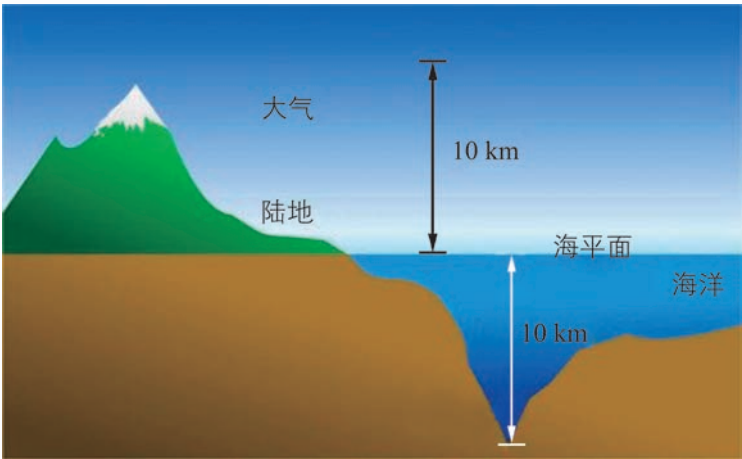


图 3-3 生物圈的垂直剖面示意图

生物圈是地球上最大的生态系统，是所有生物共同的家园。人类也是消费者中的一员，人类的生存和发展离不开生物圈。因此，保护生物圈就是保护人类自己。



我国特色的森林保护区

自然保护区是指对有代表性的自然生态系统、珍稀濒危野生动物和植物物种的天然集中分布区、有特殊意义的自然遗迹等保护对象所在的陆地、陆地水域或海域，依法划出一定面积予以特殊保护和管理的区域，可以分为生态系统类型保护区、生物物种保护区和自然遗迹保护区三大类。截至2018年12月，我国共建立自然保护区2750个，其中国家级474个，总面积1470000 km²，约占陆地国土面积的14.86%。

森林保护区属于生态系统类型保护区，保护森林生态系统和生活在其中的生物，特别是一些珍贵稀有的动、植物。我国已建立了不少有特色的森林保护区，例如，属于温带森林生态系统的吉林长白山国家级自然保护区、暖温带森林生态系统的陕西太白山国家级自然保护区、亚热带不同地段典型森林生态系统的湖北神农架国家级自然保护区、雨林生态系统的云南西双版纳国家级自然保护区，等等。

思考与练习

一、选择题

1. 生物圈是地球上最大的生态系统，又可以分为许多不同类型的生态系统。这些生态系统的组成成分都有（ ）

- A. 植物、动物和微生物
- B. 自养生物和异养生物
- C. 顶极群落和非生物环境
- D. 生物成分和非生物成分

2. 生态系统中各种组成成分所起的作用是不同的，但在维持生态系统正常运转中作用最大的是（ ）

- A. 生产者
- B. 消费者
- C. 分解者
- D. 非生物环境

3. 落叶阔叶林中生存着毛毛虫、山雀、黄鼠狼等多种消费者，这些消费者都属于（ ）

- A. 自养生物
- B. 以其他生物为食的动物
- C. 直接以生产者为食的动物
- D. 以动、植物的残体和粪便为食的腐食性动物

二、简答题

1. 简述生态系统中各种组成成分的关系。

2. 若在某生态系统的生物成分中只有生产者和消费者，没有分解者，该生态系统能维持吗？请说明理由。

第二节 食物链和食物网形成生态系统的营养结构

生态系统中的生物之间以食物营养为纽带所形成的食物链和食物网，被称为生态系统的营养结构，它是物质循环和能量流动的主要途径。生态系统中有哪主要的食物链？

本·节·要·点

- 食物链
- 食物网
- 营养结构
- 生态金字塔



小资料

险境中的美餐

在一片草原上，牧草在合适的条件下生长，栖息在其中的众多昆虫、兔子和鼠类等动物尽情地享受着鲜嫩的牧草，同时也时刻防备着蛇类、鸟类和兽类等动物的捕食。蛙类在草丛中伺机捕捉昆虫，但也会被蛇所袭击。空中盘旋的猛禽搜寻着蛇类、鼠类等动物，一旦发现目标，就快速俯冲，从而获得一顿丰盛的美餐（图3-4）。



图3-4 草原上的动物示意图

上述小资料中所呈现的景象，说明了生物之间并不是和平共处的，一个物种既食其他物种，同时也被另一些物种所食，体现了生态系统的营养结构。

生态系统各生物之间单向的营养关系形成食物链和食物网

在生态系统各生物之间，通过一系列的取食和被取食关系，不断传递着生产者所固定的能量，我们把这种单向的营养关系称为食物链（food chain）。食物链的类型较多，其中以生产者为起点的食物链称为捕食食物链，以死亡生物或现成有机物为起点的食物链称为腐食食物链。在任何生态系统中，都存在着捕食食物链和腐食食物链。在大多数陆地生态系统和浅水生态系统中，生物体内的有机物质大部分不是被捕食，而是生物死亡后被腐食动物和微生物所利用，因此常以腐食食物链为主。海洋生态系统则以捕食食物链为主。

在生态系统中，一种绿色植物可能是多种植食动物的食物，而一种植食动物既可能食多种植物，也可能被多种肉食动物所食。这种由许多食物链彼此交错形成的复杂的单向的营养关系称为食物网（food web）（图3-5）。自然界的每种生物都处于食物链的某个环节，伴随不同的食物链而与其他生物发生联系。

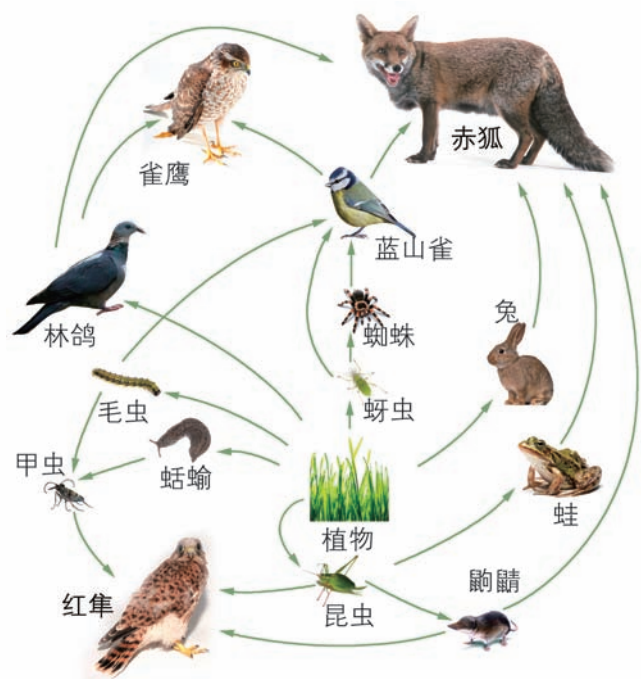


图3-5 一个陆地生态系统的部分食物网

错综复杂的食物网是生态系统保持相对稳定的一个重要条件。如果一条食物链中某种生物减少或消失，则它在食物链上的位置可能由其他生物来取代。一般认为，食物网越复杂，生态系统抵抗外界干扰的能力就越强。热带雨林具有最丰富的生物物

种，食物链和食物网最复杂，所以是地球上最稳定的生态系统，而苔原生态系统则是最脆弱和对外力干扰最敏感的生态系统。

处于食物链某一环节上的全部生物的总和称为营养级（trophic level）。某一生态系统中所有的生产者作为第一个营养级，所有的初级消费者为第二个营养级，所有的次级消费者为第三个营养级，以此类推。通常情况下，营养级的位置越高，处于这个营养级的生物种类、个体数量和能量就越少。当某个营养级的生物种类、个体数量和能量少到一定程度时，就不可能再维持下一个营养级的存在。所以，一个生态系统中的营养级不可能很多，一般不超过5个。

某些有害物质会通过食物链不断地富集

生物富集（bio-concentration），又称生物浓缩，是指生物体由于对环境中的某些元素或难以分解的化合物的积累，使这些物质在生物体内的浓度超过环境中浓度的现象。生物体吸收环境中物质的情况有三种：一种是靠体表直接吸收，如藻类植物、原生动物和多种微生物等；另一种是靠根系吸收，如高等植物；再一种是从食物中进行吸收，如大多数动物。在上述三种情况中，前两种属于直接从环境中摄取，后一种则需要通过食物链进行摄取。随着食物链的延长和营养级的增加，这些物质逐级积累和浓缩，使处于高位营养级的生物体内浓度高于处于低位营养级的生物。

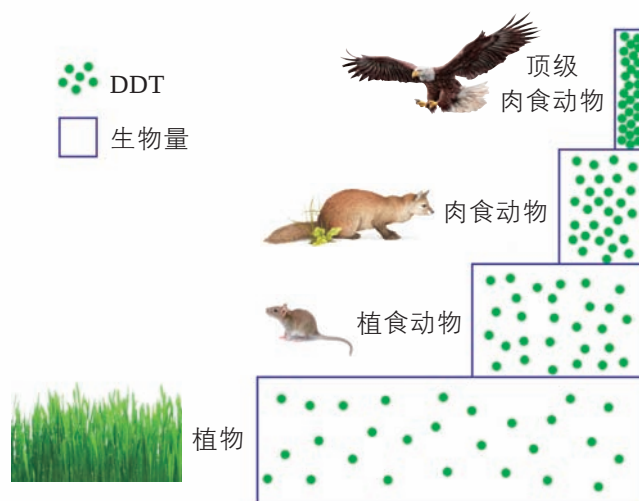


图3-6 DDT沿食物链富集

下述课外读中的重金属以及DDT（图3-6）、有机氯杀虫剂和多氯联苯等物质都会在生物体中富集，并对生物造成危害，特别是对处于高位营养级的生物危害更严重。



课外读

重金属在食物链中的富集

在开采、冶炼、加工等过程中，铅、汞、镉、钴等重金属进入大气、水、土壤而引起严重的环境污染，并通过食物链不断富集，最终影响到人类的健康。

汞及其化合物进入水体，汞离子被生物吸收，转变为毒性更大的有机汞。对某海域的研究显示，当海水中汞的浓度为 0.0001 mg/kg 时，海洋浮游生物体内含汞量可达 $0.001\sim 0.002\text{ mg/kg}$ ，一些取食浮游生物的小鱼体内可达 $0.2\sim 0.5\text{ mg/kg}$ ，而在一些取食小鱼的大鱼体内可达 $1\sim 5\text{ mg/kg}$ ，大鱼体内的汞比海水含汞量高1万~5万倍。人类在摄食这些鱼类后，汞在肠道内被吸收，也使人体中的有机汞不断积累。生物体内有机汞含量的增加，会对脑等组织、器官造成损害。汞对人体造成的脑损伤是不可逆的，迄今尚无有效疗法。

生态系统各营养级间的生物量或个体数量关系呈金字塔形

各个营养级之间的数量关系通常采用生物量、个体数量或能量来表示。把生态系统中各个营养级有机体的生物量、个体数量或能量，按营养级的顺序由低至高排列起来，所绘制的图形称为生态金字塔（ecological pyramid），主要包括生物量金字塔（图3-7）、数量金字塔（图3-8）和能量金字塔。

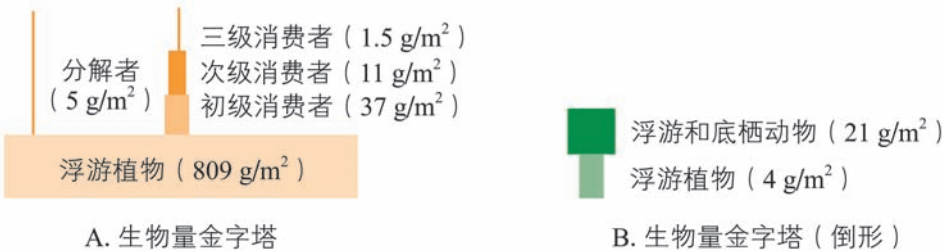


图3-7 生物量金字塔

生物量是指生物在某一特定时刻，单位面积或单位体积内实际存在的有机物质（包括生物体内所存的食物）的鲜重或干重总量，常以干重表示。一般来说，在陆地和浅水生态系统中，生物量金字塔呈现下宽上窄的正金字塔形（图3-7A）；在湖泊和开阔海洋的生态系统中，生物量金字塔会呈现下窄上宽的倒金字塔形（图3-7B）。这是因为这两种生态系统中的生产者主要是单细胞藻类，这些藻类个体小、繁殖快，含纤维素少，世代周期短，只能积累较少的有机物，可以被浮游动物整个吞食和消化，从而

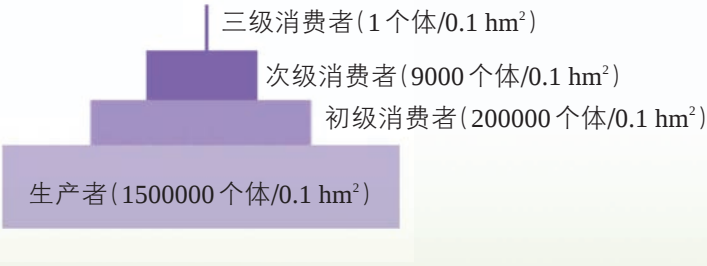


图3-8 数量金字塔

迅速转化为下一营养级的生物量。

各营养级的生物个体数量也往往呈现正金字塔形。但是，在生产者数量少而个体非常巨大的情况下也会呈现倒金字塔形。例如，在夏季的温带森林中，每 0.1 hm^2 中，树木的个体数约为200株，而以昆虫为主的植食动物却有15万只之多。

思考与练习

一、选择题

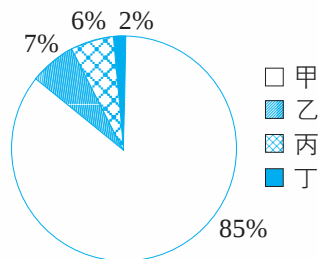
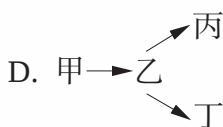
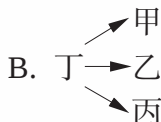
1. 食物链、食物网和营养级都属于生态系统的营养结构，可用于生态系统各生物之间营养关系的分析。下列关于营养级的叙述，正确的是（ ）

- A. 营养级是指食物链中的所有生物
- B. 生产者是生态系统中的第一个营养级
- C. 各营养级中的生物种类和数量基本相等
- D. 食物网中的同一种生物只能占据一个营养级

2. 若某温带草原里有鸟、昆虫、鹰、鼠、蟾蜍和蛇等6种动物，它们之间的关系是：①鹰可以捕食蛇、鼠、鸟；②草可被鼠、鸟、昆虫所食；③蟾蜍和鸟都能吃昆虫；④蛇能吃蟾蜍和鼠。那么，此生态系统中的捕食食物链数量有（ ）

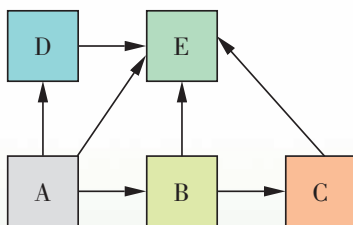
- A. 3条
- B. 4条
- C. 5条
- D. 6条

3. 某生态系统中4种生物的生物量占该生态系统总生物量的比例如图所示。这4种生物之间的食物关系最可能的是（ ）



二、简答题

1. 下图是某生态系统的食物网示意图，A~E表示不同种生物。假如A被有机磷农药污染，则受危害最严重的生物是哪种（用图中字母表示）？为什么？



2. 为什么说陆地生态系统中常以腐食食物链为主？

第三节 生态系统中的能量单向递减流动

本节要点

- 能量流动
- 初级生产量
- 次级生产量
- 能量金字塔

能量是生态系统的动力，是一切生命活动的基础，所有生物都离不开能量的传递和转化，没有能量的转化，也就没有生命和生态系统。生态系统的能量在各营养级间进行流动，在流动过程中，一部分能量被各个营养级的生物利用。与此同时，还有很大一部分能量通过生物呼吸最终以热能的形式散失。散失到环境中的

热能是不能再回到生态系统中参与流动的。生态系统中的能量是如何流动的？具有哪些特点？

初级生产量是生态系统的基石

初级生产量（primary production）是指绿色植物通过光合作用所固定的能量或所合成的有机物质，单位为 $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 或 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。所有的消费者和分解者都直接或间接地利用初级生产量为生，因此初级生产量是生态系统的基石。没有初级生产量就不会有消费者和分解者，也就不会有生态系统。

在初级生产量中，有一部分被植物的呼吸（R）所消耗，剩下的才用于植物的生长和繁殖，这就是净初级生产量（NP），而把包括呼吸消耗在内的全部初级生产量称为总初级生产量（GP），即总初级生产量=净初级生产量+呼吸消耗量。

由于净初级生产量用于植物的生长和繁殖，当总初级生产量大于植物的呼吸消耗时，生物量（干重）增加；当总初级生产量小于或等于植物的呼吸消耗时，生物量减少或不变。

不同生态系统的净初级生产量存在很大差异，在陆地生态系统中热带雨林的净初级生产量是最高的，平均 $2000 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。温带常绿林、落叶阔叶林、北方针叶林、草原和荒漠的净初级生产量依次减少。海洋面积虽然比陆地大一倍，但其年净初级生产总量仅约为陆地的一半，约为 $5.55 \times 10^{13} \text{ kg}$ ，而陆地约为 $1.09 \times 10^{14} \text{ kg}$ 。

陆地生态系统的初级生产量具有垂直变化特征，森林中，乔木的初级生产量最高，灌木次之，草本植物更低。

初级生产量还随群落的演替而逐渐增加，当群落演替到顶极时，虽然总初级生产量接近最大，但此时的呼吸消耗量也达到了最大值并几乎与总初级生产量相等，因此净生产量反而最小。

植物通过光合作用只能生产出植物性有机物，那么动物的肉、蛋、奶、毛皮、血液、蹄、角以及内脏器官等有机物是从哪里来的呢？显然，它们是靠取食植物、其他动物和一切现成有机物而生产出来的。这类生产在生态系统中属于第二次的有机物生产，其生产的有机物或固定的能量就称为次级生产量（secondary production）。凡是异养生物都属于次级生产者。次级生产量的计量单位与初级生产量（干重）相同，其生产过程可用图3-9表示。

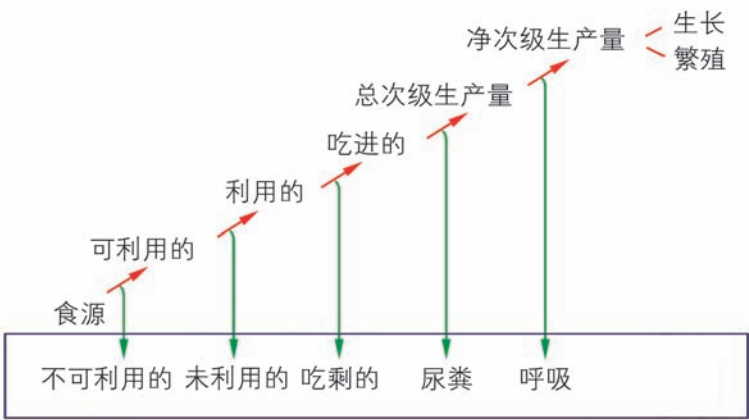


图3-9 次级生产量的生产

动物摄入的食物并不能全部被同化和利用，其中有相当一部分是以粪、尿的方式排出体外而未被利用（图3-10）。与初级生产量一样，被消费者所同化的总能量称为总次级生产量。总次级生产量中的一部分用于动物的呼吸，最终将以热能的形式散失掉；剩下的一部分即为净次级生产量，用于动物的生长和繁殖。



图3-10 松鼠的代谢利用

在海洋生态系统中，植食动物利用藻类的效率大大高于陆地动物利用植物的效率。因此，海洋的年净初级生产总量虽然只有陆地的年净初级生产总量的一半，但海洋的净次级生产总量相当于陆地净次级生产总量的3倍多。

生态系统的能量流动包括能量输入、传递和散失的过程

植物依靠光合作用把太阳能固定在它们所生产的有机物中从而获得能量，而动物通过取食获得所需的能量。由此可见，在生态系统中，能量不断地沿着太阳→植物→植食动物→肉食动物→顶级肉食动物的方向流动，这就是生态系统的能量流动（energy flow）。能量流动包括太阳能进入生态系统的输入过程、食物链和食物网的能量传递过程和能量通过生物体的呼吸以热能的形式散失的过程。

对生态系统中的能量流动进行研究，可以在食物链和生态系统两个层次上进行。在食物链层次上进行能量流动分析，是把每一个物种都作为能量从生产者到顶级肉食者移动过程中的一个环节，当能量沿着一条食物链在几个物种间流动时，测定食物链每一个环节上的能量值。在生态系统层次上分析能量流动，是把每个物种都归属于一个特定的营养级中（依据该物种主要食性），然后精确地测定每一个营养级能量的输入值和输出值。

能量在生态系统中沿食物链单向流动、逐级递减

能量在流动过程中，由低营养级向高营养级传递，其中大部分能量会损失掉，只有小部分被各个营养级所利用。通过生物体的呼吸而散失的热能不能重新转化为化学能和太阳能，高一级营养级获得的能量也不能回流到原来的营养级。因此，能量流动是单向的和逐级递减的（图3-11），生态系统必须不断地从外界获得能量才能维持其正常功能。



图3-11 能量流动示意图

能量的传递效率（transfer efficiency）是指营养级之间或食物链不同环节之间能量传递的百分比，一般可通过林德曼效率计算而获得，计算公式为：

$$\text{林德曼效率} = \frac{\text{第}(n+1)\text{个营养级的同化量}}{\text{第}n\text{个营养级的同化量}} \times 100\%$$

以赛达伯格湖的能量流动（图 3-12）为例，生产者的总初级生产量（同化量）是 464.6 J/(m²·a)，能量的固定效率大约为 0.1%。由于入射日光能是按到达湖面的入射量计算的，当日光穿过水层到达实际进行光合作用地点的时候，已经损失了相当大的能量，因此实际上能量的固定效率高于 0.1%，相当于陆地生态系统的 1%~3%。总初级生产量中有 20.7% 被生产者的呼吸所消耗，净初级生产量为 368.3 J/(m²·a)。净初级生产量中被植食动物和分解者利用的只占 20.4%，未被植食动物和分解者利用的竟多达 79.6%，这些未被利用的生产量最终都沉入湖底形成了植物有机质沉积物。植食动物的总次级生产量（同化量）为 62.8 J/(m²·a)，能量的传递效率为 13.5%，呼吸消耗约占总次级生产量的 29.9%，净次级生产量为 44 J/(m²·a)，占总次级生产量的 70.1%。肉食动物的总次级生产量为 12.6 J/(m²·a)，能量的传递效率为 20.1%，呼吸消耗约占总次级生产量的 59.5%，净次级生产量为 5.1 J/(m²·a)，占总次级生产量的 40.5%。肉食动物呼吸消耗的能量约占总次级生产量的比率高于同一生态系统的植食动物和生产者，净次级生产量中大都没有被更高营养级的肉食动物所利用，而每年被分解者分解的又微乎其微，所以大部分都作为动物有机残体沉积到了湖底。

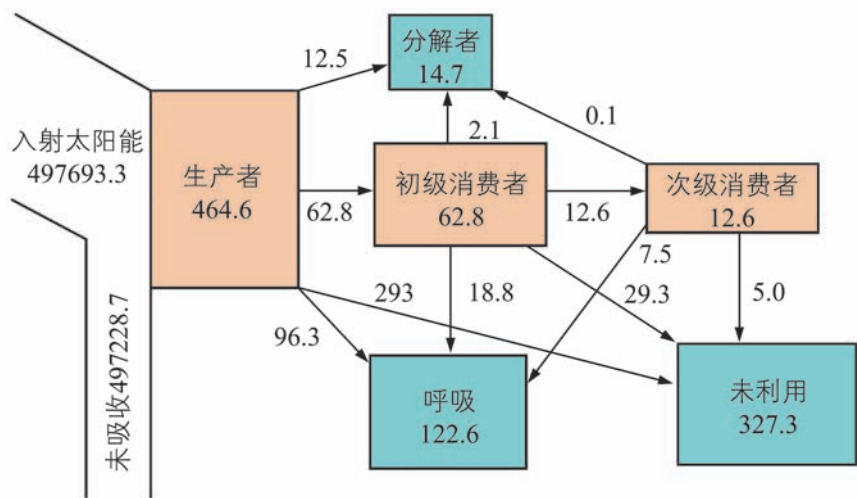


图 3-12 赛达伯格湖能量沿营养级流动的定量分析[单位: J/(m²·a)]

生态系统中的能量流动呈金字塔形

能量在流动过程中，随着营养级的增加而呈现逐渐减少的趋势，因此能量的流动呈现下宽上窄的金字塔形（图 3-13）。

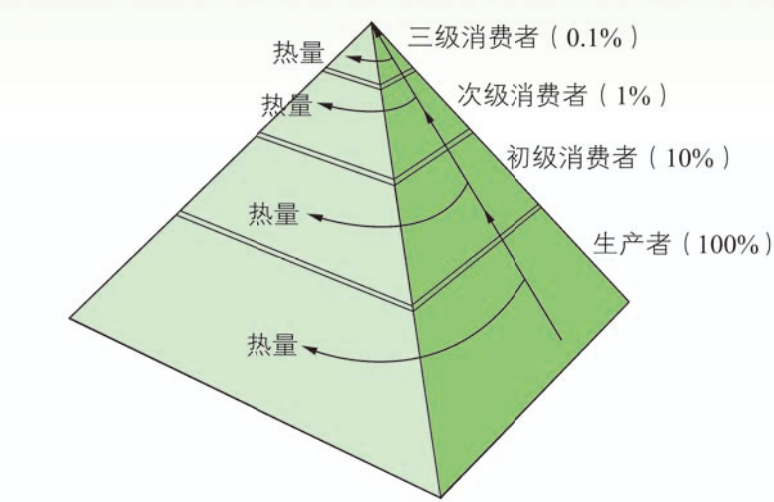


图3-13 能量金字塔

能量金字塔绝不会像生物量金字塔和数量金字塔那样在某些生态系统中出现倒金字塔形，因为生产者所固定的能量一定大于以取食生产者为生的植食动物所同化的能量，同样肉食动物所同化的能量也绝对不会大于它们所捕食的植食动物。即使是在生产者的生物量小于消费者生物量的特定情况下（即生物量呈倒金字塔形），生产者所固定的能量也必定多于消费者所生产的能量。这一点在任何生态系统中都不会有例外，因为消费者的能量归根结底是靠取食生产者而转化来的。一般情况下，陆生生态系统各营养级之间大约只有10%的能量能够传递到下一个营养级，而在海洋生态系统中会大于10%，但能量的递减规律是不变的。

人类将生态系统中的能量流动规律应用于农业生产

研究能量流动规律有利于帮助人类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有益的方向。在农业生态系统中，根据能量流动规律建立的人工生态系统，可使能量得到充分利用。例如，人类在掌握了畜禽能量产投比的规律后，可以及时调整畜禽结构，减少耗粮型猪和鸡的养殖，扩大草食性牛和羊的养殖，发展肉用型、奶用型畜禽的养殖，同时加大牧草的种植。这些措施可以快速通过畜禽把牧草光合作用得到的有机物转化成人类可以利用且使用价值较高的肉、奶、皮、毛等产品，这些产品包含更高的能量，从而有效地提高了人类对光合作用所固定能量的利用效率。



小资料

能量守恒定律

能量守恒定律 (law of energy conservation) 即热力学第一定律, 是指“在自然界发生的所有现象中, 能量既不能被消灭, 也不能凭空产生, 它只能以严格的当量比例由一种形式转变为另一种形式”。依据这个定律可知, 一个体系的能量发生变化, 环境的能量也必定发生相应的变化, 如果体系的能量增加, 环境的能量就要减少; 反之亦然。对生态系统来说也是如此, 例如, 光合作用生成物所含有的能量多于光合作用反应物所含有的能量, 生态系统通过光合作用所增加的能量等于环境中太阳辐射所减少的能量, 总能量不变, 所不同的是太阳能转化为化学能输入了生态系统, 表现为生态系统对太阳能的固定。



建议活动

调查校园 (或公园) 生态系统中的能量流动

生态系统的能量是沿着食物链和食物网流动的, 通过调查一个生态系统中生物成分的物种和数量, 依据生物的食性, 确定各物种在食物链和食物网中的地位, 并划分相应的营养级, 可以定性分析该生态系统的能量流动过程及其特点。

目的要求

1. 学会不同生物类群的调查方法。
2. 通过物种调查和食物关系分析, 绘制该生态系统的食物网。
3. 划分相应的营养级, 绘制数量金字塔, 分析能量流动的特点。

材料用具

皮尺, 红绳, 镊子, 昆虫网, 照相机, 望远镜, 记录本, 动、植物识别图鉴或手册等。

方法步骤

1. 确定调查区域。

在校园 (或公园) 内选择植物和动物种类较多的区域作为调查区域, 估算该调查区域的面积。

2. 生物种类和个体数量调查。

可以分组同时开展以下内容的调查, 也可以先调查动物再调查植物。

(1) 木本植物调查。

在调查区域内的东、南、西、北、中方位，各选取一个 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 的样方，可用皮尺测量并用红绳圈围，统计、记录样方内木本植物的种类及其数量。

(2) 草本植物调查。

在上述选取的样方内，再分别选取一个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的小样方，统计、记录小样方内草本植物的种类及其数量。

(3) 昆虫调查。

在调查区域内，用网捕法和观察搜索法采集各类昆虫，统计、记录昆虫的种类和数量。

(4) 其他动物调查。

在调查区域内，寻找和观察其他各种动物，统计、记录其种类和数量。

3. 生物种类鉴定。

将所观察、捕捉或拍摄的物种，进行种类鉴定，若无法鉴定到种的可以鉴定到目、科、属等类群。

4. 数据统计与分析。

(1) 计算种群数量。

根据各物种调查所得的数量及实际调查面积，计算各物种的平均种群密度，以平均种群密度乘以调查区域的总面积计算各物种的总个体数量。

(2) 食性的确定。

利用动物识别图鉴、手册或通过网络查询，确定各种动物的食性。

(3) 食物链和食物网的确定。

根据食性，确定各物种在食物链和食物网中的地位。

(4) 营养级的划分。

划分相应的营养级，统计各营养级的总个体数量，记录在下表中。

营养级	物种数量	总个体数量
第一个营养级		
第二个营养级		
第三个营养级		
.....		

讨 论

1. 根据调查结果，绘制该调查区域的食物网和数量金字塔，分析能量流动的特点。

2. 由于条件限制，该生态系统的生物组成成分中还有哪些未进行调查？

3. 如果条件允许，你认为更精确分析该生态系统的能量流动还需要做哪些实验？请说明理由。



无人机遥感技术在生态学中的应用

如何获取野外数据是生态学研究领域之一。以往通常采用地面调查来获取,但该方法不仅体力劳动强度大、周期长、时效性差,获取的数据量也少。现在普遍采用遥感技术来获取野外数据。

遥感技术是一种非接触的远距离探测技术,通常运用传感器对物体电磁波的辐射、反射特性进行探测。根据搭载传感器平台的高度,可将遥感技术分为航天、航空、低空和地面遥感。其中,低空遥感通常有低空轻型飞机摄影、无人机航摄和无人飞艇航摄三种。

无人机是一种依靠无线电遥控设备或计算机预编程序自主控制飞行的低空遥感器。无人机遥感结合了先进的无人驾驶飞行器技术、遥感传感器技术、遥测遥控技术、通信技术、POS定位定姿技术、GPS差分定位技术和遥感应用技术,具有影像获取速度快、覆盖面积大、应用周期短、影像清晰度高(精度可达到厘米级)、便于解析、受自然环境约束小、成本低、操作容易、运行和维护成本低等特点,充分弥补了传统卫星遥感和普通航空遥感的不足,它将是生物多样性监测领域未来发展应用的方向。

目前小型和微型无人机在生态学研究中最受关注。无人机可以搭载不同类型的摄像机和传感器,如普通数码相机、激光雷达扫描仪、多光谱影像仪、高光谱影像仪、热成像仪等。生态学家可以根据其研究需求选择不同的传感器来获取数据。

无人机低空遥感系统在生态学中的应用主要体现在以下几方面:

物种识别 目前无人机低空遥感系统的识别对象多为树冠层植物和大型动物。现有研究表明,植物的识别精确度与研究地的生境以及植被类型密切相关。一般来说,生境越复杂,物种的识别难度越高;物种个体越小、种间相似度越高,识别精确度越低。

植物的生理状态评估 无人机通过搭载不同传感器可以获取相应植物物种的生理数据,从而可以进行植物生理生态的空间化研究。例如,环境温度升高后,叶片气孔关闭,会导致叶片温度升高。因此,通过叶片温度可以判定植物是否受到干旱胁迫,对植物的生理状态进行评估。

种群分布及其动态监测 利用无人机低空遥感成果绘制动、植物种群分布图,估测物种丰富度是无人机低空遥感在种群层次上的重要应用。无人机低空遥感还被用来获取野生动物种群数量和分布等信息,如水鸟比较容易受到惊扰,并且其栖息地通常人力难以到达,用无人机低空遥感调查水鸟,就解决了以上两个问题。

无人机低空遥感系统也被应用于群落调查、生物多样性评价、生态系统监

测与管理等方面。随着无人机遥感技术的发展和完善，它在生态学方面的应用将会更加广泛。

思考与练习

一、选择题

1. 初级生产量在生态系统中具有非常重要的作用，被认为是生态系统的基石。下列叙述正确的是（ ）

- A. 顶极群落的净初级生产量在不同演替阶段的群落中是最小的
- B. 初级生产量是指初级消费者所固定的能量或所合成的有机物质
- C. 总初级生产量减去用于呼吸和繁殖的消耗量即为净初级生产量
- D. 生物的总初级生产量越大则其净初级生产量和生物量也就越大

2. 能量流动是生态系统的主要功能之一，具有明显的特点。下列各项中，不属于能量流动特点的是（ ）

- A. 能量流动是单向的
- B. 能量流动是逐级递减的
- C. 能量流动是沿着食物链进行的
- D. 热能可以被生产者转化为化学能

3. 能量沿营养级逐级流动过程中，只有小部分被传递到下一营养级，其传递效率一般为（ ）

- A. $<5\%$
- B. 10%
- C. 30%
- D. $>30\%$

二、简答题

1. 荒岛上有充足的水源和合适的土壤，若在只有少量玉米和鸡可以食用的情况下，从能量流动的角度考虑，你认为采取什么方法可以使自己更长久地生存？

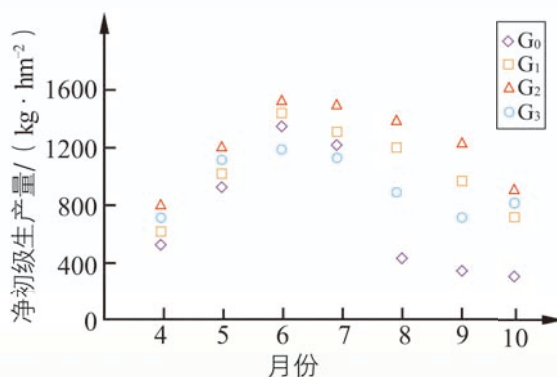
2. 放牧强度可影响人工草地的能量流动。下图表示亚热带某人工草地在不同放牧强度下牧草净初级生产量的变化。其中 G_0 为不放牧， $G_1 \sim G_3$ 为放牧强度逐渐增强。

请分析回答：

(1) 5—10 月份的最适放牧强度是_____，可被初级消费者利用的总能量最多的是_____月份。

(2) 与放牧草地相比，8 月份不放牧草地净初级生产量明显偏低。分析造成这一变化的可能原因。

(3) 为使牧草净初级生产量维持在最高水平，5—10 月份需要采取怎样的放牧措施？



第四节 生态系统中的物质能被循环利用

生态系统中的无机物，在光合作用中被合成为可被生物利用的有机物。这些有机物的一部分通过生物的呼吸作用又被分解为无机物，而大部分是在生物死亡后才被分解者分解为无机物的。这些无机物可以重新回到生态系统中被生产者吸收利用，从而完成生态系统中的物质循环。物质循环主要有水循环、碳循环和氮循环等，它们各自具有哪些特征？

本·节·要·点

- 物质循环
- 水循环
- 碳循环
- 氮循环

生物在水循环中起的作用很小

地球上的水通过蒸发、冷凝等过程进行不断的循环，降水和蒸发是水循环（water cycle）的两种方式。大气中的水汽以雨、雪、冰雹等形式落到地面或海洋，而地面上和海洋中的水又通过蒸发进入大气中（图3-14），因此，水循环是由太阳能推动的。地球表面的蒸发量和降水量基本持平，但陆地的降水量大于蒸发量，海洋的降水量小于蒸发量。海洋亏损的水分通过陆地江河的汇集流入海洋而得以弥补，从而维持地球的水循环，而生物在全球水循环过程中所起的作用很小。

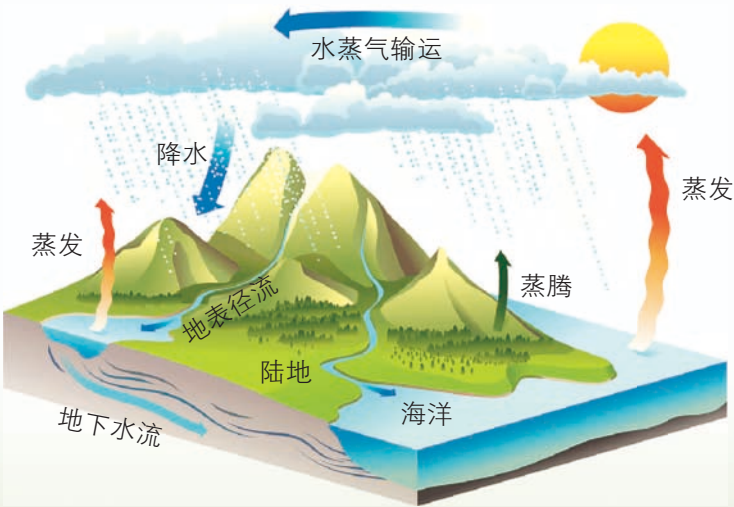


图 3-14 水循环示意图

在水循环中，各种营养物质会随水的流动而从一个生态系统到另一个新的生态系统，这对补充某些生态系统的营养物质非常有利。同时，因水从高处往低处流动，往往造成高处营养物质流失而土壤贫瘠，低处营养物质汇集而土壤肥沃。例如，长期受积水浸泡，水草茂密的沼泽地和大陆沿岸土地在海面下向海洋延伸而形成的大陆架就是最肥沃的低地，也是地球上生产力最高的生态系统之一。

地球上水的总量约 $1.4 \times 10^{10} \text{ km}^3$ ，以固态、液态、气态三种形态存在于冰川、海洋、湖泊、沼泽、河流、雪山、土壤、地层、大气以及生物体中，其中海洋约占 97%，陆地上、大气和生物体中的水只占很少的一部分。地球上的淡水大约占地球总水量的 3%，其中 3/4 又被冻结在两极的冰盖和冰川中。如果这些冰雪全部融化，海平面就会上升 60 m。虽然地球的全年降水量多达 $5.2 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，但分配极不均匀，有的地方急需水而得不到水，而另一些地方又洪水泛滥，造成水资源的极大浪费。我国国土的年均降水量为 628 mm，只相当于全球陆地平均降水量的 75%。我国人均占水量只有世界人均占水量的 25%。水资源不足和水质污染已成为制约我国经济发展的一个重要因素。

二氧化碳是碳循环的主要形式

地球上的碳绝大部分是以碳酸盐的形式存在于岩石圈中，其次是储存在化石燃料中。生物可直接利用的碳是水圈和大气圈中以二氧化碳形式存在的碳。

碳循环（carbon cycle）始于生产者，经生产者的光合作用，大气圈中的二氧化碳被同化固定，形成多糖、脂肪和蛋白质等有机物。这些有机物既是生产者生长和发育所需的物质，又是消费者和分解者直接或间接消费的物质来源。部分碳通过生物的呼吸作用回归大气圈，另外一部分则合成动物体所需的物质。动、植物残体内的碳和动物的排泄物等通过分解者分解为二氧化碳回到大气圈，也可能慢慢形成泥炭、煤和石油等。人类对化石燃料的使用，又将这些碳释放到大气中（图 3-15）。

海洋的碳含量是大气圈碳含量的 56 倍，海洋对于调节大气圈中的碳含量起着非常重要的作用。二氧化碳在大气圈和水圈的界面上通过扩散作用而互相交换着，大气中如果发生局部的二氧化碳短缺，水圈中的二氧化碳会更多地进入大气圈。同样，如果水圈中的碳酸氢根离子在光合作用中被植物过量利用，也可以通过其他途径或从大气圈中得到补偿，从而维持碳循环的平衡。总之，碳在生态系统中的含量，能通过碳循环的自我调节机制得到调整，并恢复到原来的平衡状态。

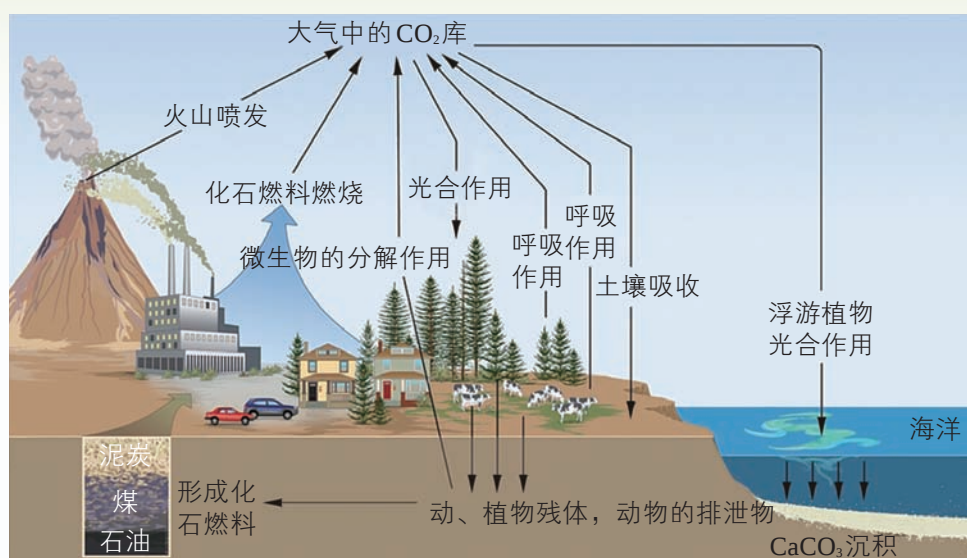


图 3-15 碳循环示意图

固氮菌等细菌在氮循环中发挥重要作用

由于大气成分的 78% 是氮气，所以氮最重要的储存库就是大气圈。但是，大多数生物不能直接利用氮气。大气中的氮只有被固定为无机氮化合物（主要是硝酸盐和氨）以后，才能被生物所利用。

氮循环（nitrogen cycle）包括固氮、氨化、硝化和反硝化等过程（图 3-16）。

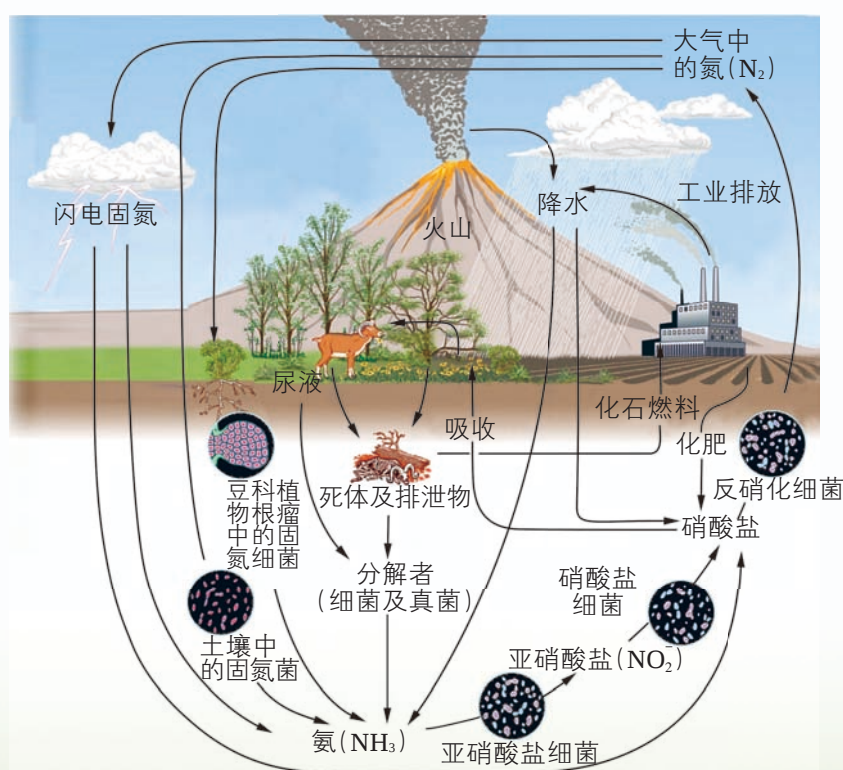


图 3-16 氮循环示意图

固氮的途径主要有高能固氮、工业固氮和生物固氮。高能固氮是通过闪电、宇宙射线、陨石、火山爆发等所释放的能量进行固氮，形成的氨或硝酸盐随着降雨到达地球表面，属于天然固氮方式。工业固氮是在高温、高压、催化剂的作用下，将氮气还原为氨气。工业固氮产量的不断提高，对生态系统中氮的循环产生了重要的影响。生物固氮是通过固氮菌和蓝藻等自养或异养微生物进行固氮，生物固氮是最重要的固氮途径。

当固定的无机氮被生物利用后，在体内形成含氮有机化合物，通过代谢产生尿素和尿酸等产物，排出体外。尿素和尿酸等通过土壤和水中的很多异养细菌、放线菌和真菌的代谢活动，转变为无机化合物（氨）并把它释放出来，这个过程就称为氨化作用。

虽然有些自养细菌和海洋中的很多异养细菌可以利用氨或铵盐来合成它们自己的组成成分，但一般说来，氨和铵盐难以被直接利用，必须通过硝化作用转化为硝酸盐。氨和铵盐被硝化细菌（包括亚硝酸盐细菌和硝酸盐细菌）氧化为亚硝酸盐和硝酸盐的过程称为硝化作用。

硝酸盐等含氮化合物在反硝化细菌的作用下转化为 N_2 、 NO 和 N_2O ，这个过程称为反硝化作用。

因此，在自然生态系统中，一方面通过各种固氮作用使氮可以被生物所利用，另一方面又通过反硝化作用使氮不断重返大气，从而使氮的循环处于一种平衡状态。

人类运用生态系统的物质循环规律，在生产实践中实现资源多层次利用

运用物质循环规律可以帮助人们合理地调整生态系统的物质循环和能量流动，使物质中的能量更多地流向对人类有益的方向。

人们在农村发展养殖业，将农作物秸秆“过腹还田”，就是通过秸秆喂养牛、羊等家畜，再将家畜粪便作为肥料投放到农田。同时，将禽畜粪便与秸秆一同来培养食用菌，然后再培养蚯蚓，最后将蚯蚓残渣作为肥料施用于农作物。这样的方法既减少了田间焚烧秸秆给环境带来的污染，又增加了产值。“蔬菜-鸡、猪-沼气”系统（图3-17）以及“桑基鱼塘”生态工程都属于物质循环利用的农业生态工程。城市生活垃圾进行减量化、无害化、资源化处理，将生活垃圾中有机部分、人畜的粪便转化为优质生态复合肥等物质循环利用的生态工程也得到了极大的发展。这些实例表明，人们根据生态学的原理，用系统工程的方法和技术指导生产实践，就可以实现资源的多层次利用或循环利用，使人和自然环境共同受益。

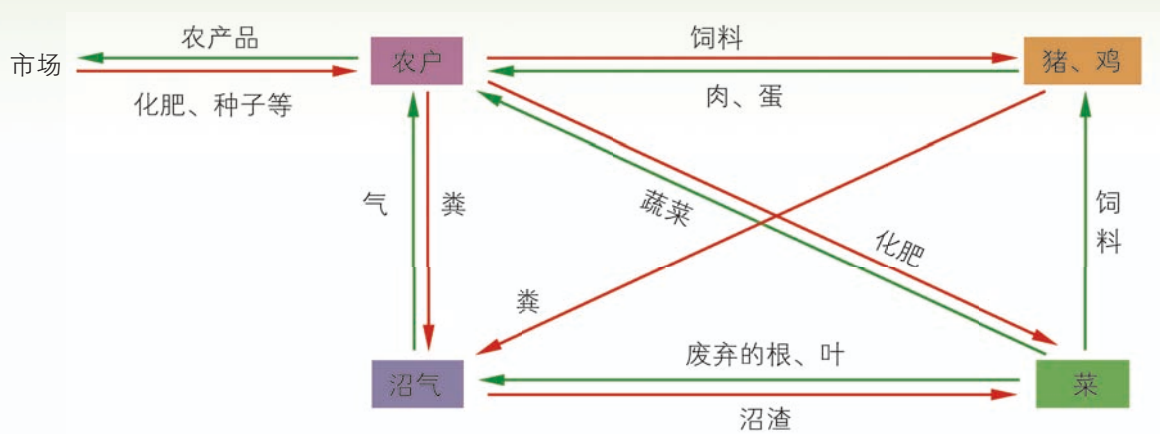


图3-17 “蔬菜-鸡、猪-沼气”系统的物质循环

当然，挑战依然严峻。随着工业化进程加快，碳排放量越来越多，如何有效利用碳循环原理，减少二氧化碳排放量，是当今世界各国所面临的共同问题。

课外读

碳平衡法及其利用

碳平衡（carbon neutral）也称碳中和，是人们通过计算二氧化碳的排放总量，然后通过植树等方式把这些排放量吸收掉，以达到环保的目的。利用这种环保方式，个人或企业计算自己日常活动直接或间接制造的二氧化碳排放量，并计算抵消这些二氧化碳所需的经济成本，然后通过排放多少碳就做多少抵消措施，达到原排放者的碳平衡。简言之，碳平衡是指碳排放者对一定阶段内无法消减或消除的自己产生的碳排放，通过产生或购买碳抵消额的形式，完全消除碳排放的一种环保行为。

环境学家指出，取得“碳平衡”要分两步走。第一步，是通过大家所熟悉的节能措施来减少碳的排放，包括用荧光灯泡代替白炽灯泡、LED灯泡代替荧光灯泡，使用公共交通工具等。第二步，为了使碳排放量净值为零，碳排放者需要购买碳抵消额，通过捐款给利用太阳能或风能等可再生能源取代矿物燃料的项目，或是捐款给林场等通过植树来吸收空气中二氧化碳的项目，以抵消其所排放的碳量。

一辆每年在城市中行驶里程达到20000 km的大排量汽车释放的二氧化碳为2000 kg。发动机每燃烧1 L燃料，向大气层释放的二氧化碳为2.5 kg。每人每天通过呼吸大约释放1140 g的二氧化碳，电脑使用一年平均间接排放10.5 kg二氧化碳，卤素灯泡一年平均间接排放10.8 kg二氧化碳。使用煤油作为燃料的暖气一年向大气层排放的二氧化碳量为2400 kg，使用天然气的二氧化碳排放量为1900 kg，使用电暖气的则只有600 kg。洗衣机一年平均间接排放7.75 kg二氧化

碳，冰箱一年平均间接排放 6.3 kg 二氧化碳。

按照 30 年树龄的冷杉能吸收 111 kg 二氧化碳来计算需要种几棵树来补偿。如果你乘飞机旅行 2000 km，那么你就排放了 278 kg 的二氧化碳，为此，你需要植 3 棵冷杉来抵消；如果你用了 100 千瓦时电，那么你就排放了 78.5 kg 二氧化碳，为此，你需要植 1 棵冷杉。

思考与练习

一、选择题

- 在生态系统中总是不断地进行物质循环，这种循环是指物质（ ）
 - 在特定生态系统中循环的过程
 - 在群落的生物体内循环的过程
 - 在生态系统各营养级之间循环的过程
 - 在群落与非生物环境之间循环的过程
- 碳循环是物质循环的主要类型，在生态系统的物质循环中具有重要作用。下列关于碳循环的叙述，错误的是（ ）
 - 碳循环过程中伴随着能量流动
 - 大气中的碳元素主要是依靠生产者光合作用固定的
 - 由于海洋的含碳量高，所以对大气圈中含碳量的调节起着非常重要的作用
 - 生产者固定的 CO_2 与自身呼吸作用释放的 CO_2 相等时，可维持大气中的 CO_2 稳定
- 氮循环包括固氮、氨化、硝化和反硝化等过程。在生态系统的氮循环中起重要作用的生物是（ ）
 - 绿色植物
 - 动物
 - 分解者
 - 微生物

二、简答题

1. 全球作物所需的氮主要来自于氮素化肥和生物固氮。根瘤菌是生活在豆科植物根部的固氮菌，它通过生物固氮为豆科植物提供氮，而豆科植物为根瘤菌提供有机物。

请分析回答：

- 生物固氮生成的_____，要通过_____作用才能被生物利用。
- 氮素化肥来自于工业固氮，工业固氮是在高温、_____和催化剂的作用下进行的。随着工业固氮产量的不断提高，对生态系统中_____循环产生了重要的影响。
- 农业生产上，常在秋季播种豆科植物苜蓿。种植的苜蓿可饲养家畜，再将家畜的粪便还田；也可直接耕埋或堆沤后施用到农田中，以提高农田中氮的含量。分析农民采取这种措施的优点。

2. 举例说明人类合理利用生态系统中物质循环规律的意义。

第五节 生态系统中存在信息传递

信息（information）通常是指包含在情报、信号、消息、指令、数据、图像等传播形式中的知识内容。在生态系统中，信息是能引起生物生理、生化和行为变化的信号。生态系统中的信息是多种多样的，不同的信息传播的途径是不一样的，不同的信息其作用也不同。各种信息在生态系统的组成成分之间和组成成分内部的交换与流动称为生态系统的信息传递。信息传递是生态系统的基本功能之一，能否将信息传递应用于农业生产以提高产量？

本·节·要·点

- 信息传递
- 物理信息
- 化学信息
- 行为信息

 小资料

果蝇的求偶行为

雄果蝇闻到雌果蝇释放至空气中的化学物质，并看到雌果蝇时，会向雌果蝇靠近，用前足轻敲雌果蝇的腹部，引起雌果蝇对它的注意。在雄果蝇轻敲雌果蝇腹部的过程中，雄果蝇前足上的嗅觉感受器受到雌果蝇释放的性外激素的刺激，进一步确认雌果蝇的存在。然后，雄果蝇展翅并振动翅膀，产生特定的“求偶曲”，让雌果蝇知道雄果蝇是其同一物种。当这些各种类型的信息传递都成功之后，有接受意愿的雌果蝇就会允许雄果蝇进行交配（图 3-18）。

雄果蝇以视觉确认雌果蝇



雌果蝇释放出的化学物质被雄果蝇闻到

定位

雄果蝇以前足触碰雌果蝇的腹部



触碰

雄果蝇翅展开并振动以产生“求偶曲”



振鸣

图 3-18 果蝇的求偶行为

生态系统中存在多种信息

生态系统中的信息可分为物理信息、化学信息和行为信息等。例如上述小资料中，雄果蝇通过眼感受的光信息、雌果蝇释放的吸引雄果蝇的化学物质、雄果蝇的求偶行为就分别属于物理信息、化学信息和行为信息。

生态系统中以物理过程为传递形式的信息，称为物理信息。光、声、温度、湿度、磁力等都是物理信息。例如，含羞草在强烈声音的刺激下，会表现出小叶合拢，叶柄下垂的运动。物理信息可以来源于无机环境，也可以来源于生物。

生态系统的各个层次都有生物代谢产生的化学物质参与传递信息，协调各种功能，这些化学物质传递的信息称为化学信息。化学信息是生态系统中信息流的重要组成部分，它涉及从个体到群落的一系列活动。在个体内，通过激素或神经系统协调各器官的活动。在种群内，通过种内信息素协调个体之间的活动，以调节动物的发育、



图3-19 正在呼唤雌招潮蟹的雄招潮蟹

繁殖和行为。例如，在蝌蚪密度大的池塘里，蝌蚪能从肠道排出一种有毒物质。这种有毒物质的增多，会抑制蝌蚪的生长和发育，导致幼小蝌蚪的死亡率升高，从而使种群数量保持稳定。在群落内部，通过种间信息素调节种群之间的活动。例如，银胶菊是一种产橡胶的草本植物，其根系分泌的反肉桂酸能抑制自身以及其他植物的生长。

许多植物的异常表现和动物的异常行为传递了某种信息，这种异常表现和异常行为传递的信息通称为行为信息。例如，成年的雄招潮蟹求偶时，雄蟹站在洞穴的入口处挥舞着大螯来吸引雌招潮蟹（图3-19）。一旦吸引到雌蟹进入洞穴中，雄蟹随之跟进并以泥或沙将洞穴封闭，为交配做准备。

生态系统中的信息传递非常重要

生态系统中的各种信息传递，对生物及生态系统有着极其重要的作用。信息传递与生物个体的生存有密切关系。例如，野兔在发现天敌时，会用后肢猛烈敲击地面，发出“咚咚”声传递给周围的野兔，让它们迅速逃跑或隐藏起来。莴苣、茄、烟草等植物的种子必须接受某种波长的光信息，才能萌发生长。

种群的繁殖离不开信息的传递。植物开花需要光信息刺激，当日照时间达到一定长度时，植物才能够开花。许多动物平常都是分散居住的，但在繁殖期间，雌性个体会释放出某种化学信息，吸引异性前来交配繁殖后代。虫媒花植物的花的特殊颜色、释放的具有香味的化学物质，能吸引昆虫前来采食，从而达到传粉、授粉的目的，使种群得以延续。

信息传递能影响群落的演替。北美加利福尼亚的草原，原来是由针茅和早熟禾等构成，由于放牧和烧荒，逐渐演替成了由野燕麦和毛雀麦构成的一年生草本植物群落。该群落周围生长着芳香性鼠尾草灌木和蒿，它们的叶子能分泌樟脑和桉树脑等能抑制草本植物生长的物质。在干旱季节，樟脑和桉树脑等物质聚集在土壤中，抑制了雨季进行发芽的一年生植物的生长，导致芳香性鼠尾草灌木和蒿周围形成1~2 m²草本植物不能生长的裸地。随着时间的推移，芳香性鼠尾草灌木和蒿逐渐取代了一年生草本植物。

信息传递可以应用于农业生产

信息传递在农业生产上的应用包括提高农产品的产量和控制有害动物两个方面。

利用信息传递可提高农产品的产量。例如，养鸡时，在增加营养的基础上，延长光照时间可提高产蛋率；将在南方种植的短日照作物黄麻移植到北方，可延长其营养生长期，从而提高麻皮产量；作物中的洋葱与食用甜菜、马铃薯与菜豆、小麦与豌豆能分泌化学亲和物质，生产上将它们种在一起，可提高作物产量。

利用信息传递可降低农田、草原和森林的病虫害和鼠害。例如，小菜蛾是全球性危害白菜、西兰花、菠菜等蔬菜的主要害虫，而且其抗药性较强。在自然界中，小菜蛾雌成虫在性成熟后，会释放一种吸引异性的化合物（性外激素），引诱雄成虫向释放性外激素的雌成虫飞行，并与其交配以繁衍后代。小菜蛾性诱捕器（图3-20）的诱芯能向田间缓慢释放人工合成的性外激素，引诱雄蛾至诱捕器，然后采用其他方法将其杀死，以达到防治目的。



图3-20 小菜蛾性诱捕器

思考与练习

一、选择题

1. 小蠹甲在发现榆、松寄生植物后，会释放聚集信息素，以召唤同类来共同取食。小蠹甲释放的这种信息属于（ ）

- A. 化学信息
- B. 物理信息
- C. 行为信息
- D. 既是化学信息也是物理信息

2. 某金丝桃能分泌一种引起光敏性和刺激皮肤的化合物——海棠素，使误食的动物失明或致死，多数动物都会避开这种植物。上述事实说明信息传递（ ）

- A. 与生物的繁殖有关
- B. 能影响群落的演替方向
- C. 能调节生态系统的稳定性
- D. 与生物的生存有密切关系

3. 在田间释放适量的性外激素以干扰害虫的雌雄交配，是防治害虫的有效措施之一。下列相关分析错误的是（ ）

- A. 本实例属于行为信息在农业生产上的应用
- B. 该信息素能干扰害虫间化学信息的正常传递
- C. 该措施能促进害虫种群年龄结构向衰退型演变
- D. 该措施对害虫种群的出生率影响远大于性别比例

二、简答题

1. 虫媒花植物的花具有蜜腺和鲜艳的花瓣，还能释放有芳香气味的物质，以此吸引蜜蜂前来采蜜。蜜蜂中的侦查蜂发现蜜源后，会借助“圆形舞”等舞蹈动作告知同伴蜜源的方向和距离。蜜蜂在采花蜜的过程中，为虫媒花植物进行了传粉，使其授粉概率增大，繁殖率也得到了提升。

请分析回答：

- (1) 上述材料中涉及了哪些信息类型？
- (2) 上述信息的传递对虫媒花植物和蜜蜂分别有什么作用？

2. 连作是指在同一土地上一年内或连年种植相同作物的种植方式。轮作是指在同一土地上有顺序地在季节间和年度间轮换种植不同作物或复种组合的种植方式。早稻根系能分泌对羟基肉桂酸，对早稻的幼苗生长起强烈的抑制作用。分析资料，你认为采用上述何种种植方式，可使水稻的产量不受影响？请说明依据。

第六节 生态系统通过自我调节维持稳态

生态系统可以通过其内部的自我调节机制保持稳定性，当其遭受一定程度的外界干扰时，可以恢复到原来的稳定状态。但当干扰超过自我调节的限度时，生态系统的稳定状态就可能被破坏而难以恢复。生态系统的自我调节机制是如何发挥作用的？



本·节·要·点

- 稳态
- 正反馈调节
- 负反馈调节

生态系统主要通过反馈调节维持稳态

稳态（dynamic steady state）是生态系统内部各成分彼此相互协调，保持相对稳定的状态，是生态系统的很重要的特点。当生态系统中的某一成分发生变化时，它必然会引起其他成分出现一系列的相应变化，这些变化最终又反过来影响最初发生变化的那种成分，这个过程称为反馈调节（feedback regulation）。反馈调节分为负反馈调节和正反馈调节。

负反馈调节是生态系统中普遍存在的一种调节方式，它的作用是能够使生态系统达到和保持平衡或稳态，反馈的结果是抑制和减弱最初发生的变化。在图3-21中，某草原生态系统中植物、鹿和狼的数量变化过程就是负反馈调节。

正反馈调节在自然生态系统中是比较少见的，它的作用刚好与负反馈调节相反，即生态系统中某一成分的变化所引起的其他一系列变化，不是抑制而是加速最初发生的变化，所以正反馈调节的作用常常使生态系统远离平衡状态或稳态。例如，一个湖泊受到了污染，鱼类的数量就会因死亡而减少，死鱼腐烂后又进一步加重污染，并引起更多鱼类死亡。因此，对于处于稳定状态的生态系统，正反馈调节往往具有极大的破坏作用。

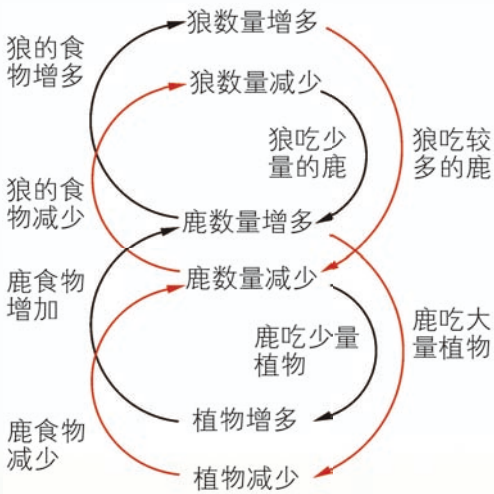


图3-21 草原生态系统的负反馈调节

生态系统具有抵抗干扰保持稳态的能力

生态系统具有抵抗外界干扰，使自身的结构和功能保持原状的能力。这种能力被称为生态系统的自我调节能力，而负反馈调节是自我调节的基础。

生态系统自我调节能力的强弱是多种因素共同作用的结果。生态系统中生物的种类和数量越多，食物网越复杂，自我调节能力就越强，抵抗外界干扰保持稳态的能力就越强，反之则越弱。因此，增加生态系统物种的多样性，可以增强内部结构与功能的协调性，提高生态系统的稳定性。

生态系统在遭到外界干扰因素破坏时具有恢复稳态的能力

当生态系统达到动态平衡的最稳定状态时，它能够自我调节和维持自己的正常功能，并能在很大程度上克服和消除外来的干扰，保持自身的稳定性。例如，河流被污染后，导致一些水生生物死亡，使河流生态系统的结构和功能遭到一定程度的破坏。如果停止污染物的排放，河流生态系统通过自身的净化作用，还会恢复到接近原来的状态。又如，局部森林火灾后若干年，森林仍能逐步恢复原状。然而，生态系统的这种自我调节功能是有一定限度的，当外来干扰因素如火山爆发、地震、泥石流、雷击火烧、人类修建大型工程、排放有毒物质、喷洒大量农药、人为引入或消灭某些生物等超过一定限度的时候，生态系统自我调节功能本身就会受到损害，从而引起生态系统稳态的失调，甚至导致生态危机。生态危机是指由于人类盲目活动而导致局部地区甚至整个生物圈结构和功能失衡，从而威胁到人类的生存。例如，我国西北的黄土高原由于植被的破坏，导致严重的水土流失和频繁的自然灾害发生（图3-22）。我国一些草原由于长期过度放牧，导致草场退化与鼠害频发，加剧了草原沙漠化（图3-23）。



图3-22 黄土高原植被破坏造成的后果



图3-23 草原沙漠化

生态系统稳态的失调，在初期往往不容易被人们觉察，一旦发展到出现生态危机时，就很难在短期内恢复平衡。为了正确处理人和自然的关系，我们必须认识到整个人类赖以生存的生物圈是一个高度复杂的具有自我调节功能的自然生态系统，保持其稳态是人类生存和发展的基础。因此，我们对生态系统的利用或干预需要严格加以控制，不能超出生态系统的自我调节能力。对于利用和干预强度较大的生态系统，应有相应物质和能量的补充输入，以保证系统内部结构和功能的协调稳定。人类的活动除了要注重经济效益和社会效益外，还必须特别注意生态效益，以便在改造自然的同时也能基本保持整个生物圈的稳定性。



活动

设计并制作生态瓶，观察其稳定性

阳光、空气、水、生产者、消费者、分解者等是生态系统的成分。只有这些成分彼此协调，生态系统的物质循环和能量流动才能正常进行，从而维持其稳定性。

目的要求

1. 设计并制作生态瓶（图3-24）。
2. 观察生态瓶中动、植物数量的变化，分析其变化的原因，概述影响生态瓶稳定性的因素。

材料用具

塘泥，碎石或小石块，水草，小虾，小鱼，水蜗牛，池塘水，小网兜，有盖的透明玻璃瓶等。

方法步骤

1. 设计生态瓶中各种成分及其比例的方案。
2. 制作生态瓶，并将生态瓶放置在温度适宜和光线良好的地方，但要避免阳光直接照射。
3. 定期观察、记录生态瓶中动、植物种类和数量的变化。

讨论

1. 生态瓶内的生物种类与数量发生了哪些变化？分析引起变化的原因。
2. 观摩和借鉴其他组制作的生态瓶，提出改进自己组制作的生态瓶的方案。
3. 尝试利用计算机软件设计动画，模拟生态瓶中生态系统的自我调节过程。



图3-24 生态瓶



课外读

微型生物圈“月宫一号”

“月宫一号”是我国第一个、世界第三个空间基地生命保障综合实验装置，由刘红教授团队经过10年努力，于2014年1—5月成功进行了我国首次长期高闭合度集成试验。

“月宫一号”由1个综合舱和2个植物舱组成，综合舱中包括4间卧室、饮食交流工作间、洗漱间、废物处理间和动物养殖间。植物舱中，栽培了5种粮食作物、15种蔬菜作物和1种水果，为三位志愿者提供粮食、蔬菜、水果和氧气。在动物养殖间内，利用植物的不可食部分养殖黄粉虫，为三位志愿者提供动物蛋白，而剩余的植物不可食部分以及人的排泄废物、生活垃圾等被送进废物处理间由微生物进行降解。二氧化碳等降解产物被输入植物舱内，供植物利用。

2014年5月20日，北京航空航天大学校园内，三位志愿者从“月宫一号”中走出来（图3-25），105天的生存体验标志着“月宫一号”成功完成我国首次长期多人密闭试验。



图3-25 三位志愿者在植物舱内

思考与练习

一、选择题

- 反馈调节在维持生态系统的稳态中发挥了极其重要的作用。下列叙述错误的是（ ）
 - 负反馈是生态系统自我调节能力的基础
 - 正反馈通常对生态系统有着极大的破坏作用
 - 在群落与非生物环境之间不存在负反馈调节
 - 捕食者和被捕食者的数量变化能体现群落内的负反馈调节
- 生态系统在正常情况下能保持稳态，即使受到一定程度的外来干扰，也能通过反馈调节而保持自身的稳定性。下列关于生态系统稳态的叙述，正确的是（ ）
 - 生态系统的自我调节能力是保持稳态的基础
 - 生态系统的稳态就是指其中的各种成分稳定不变
 - 增加物种多样性有利于提高生态系统恢复稳态的能力
 - 减少捕食者和寄生者的数量有利于增强生态系统的稳态

3. 群落①②③④中分别含有以数字1到8代表的物种，每个物种的密度不同，下表给出了这些物种的密度（每平方米的个体数）。当受到大规模虫害袭击，危害程度逐步增加时，这些群落中受影响最大的是（ ）

群 落	物种 1	物种 2	物种 3	物种 4	物种 5	物种 6	物种 7	物种 8
①	92	4	10	32	1	4	2	1
②	0	25	20	20	20	5	0	0
③	0	2	2	5	40	50	0	0
④	0	65	65	0	0	1	0	0

- A. ① B. ② C. ③ D. ④

二、简答题

1. 欧洲兔曾被无意携入澳大利亚大草原，对袋鼠等本地生物造成极大威胁。为解决欧洲兔带来的问题，人们相继引入了狐狸和仅对欧洲兔致命的黏液瘤病毒。该草原上欧洲兔和袋鼠的数量变化如图所示。

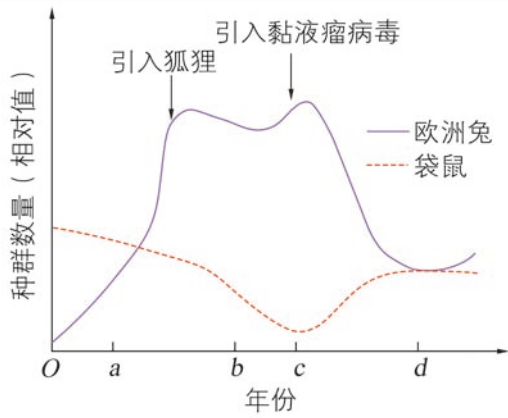
请分析回答：

(1) $O—a$ 年，欧洲兔种群数量增长方式接近于指数增长，可能的原因是什么？

(2) $c—d$ 年，欧洲兔种群数量急剧下降的主要原因是什么？而 d 年后，欧洲兔种群数量回升，最可能的原因又是什么？

(3) c 年在控制狐狸数量的前提下，引入仅对欧洲兔致命的黏液瘤病毒后，草原生态系统逐渐恢复稳定。这说明生态系统具有什么能力？这种能力是如何实现的？

2. 为了发展当地经济，有人认为应该将生长缓慢的自然树林改为生长迅速的单纯林。你认为这种观点对吗？为什么？



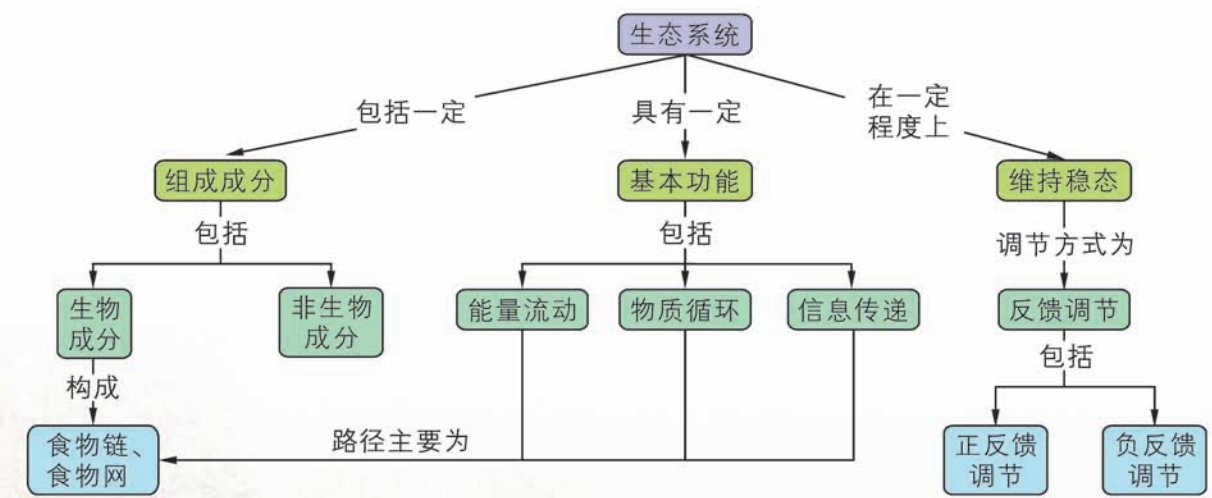
本章小结

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。生态系统包括生物成分和非生物成分。生物圈是最大的生态系统。生态系统中，各生物之间单向的营养关系形成食物链和食物网。处于食物链某一环节上的全部生物的总和，称为营养级。由于生物富集作用，食物链中营养级越高的生物，其体内某些有毒物质的含量越高。生态系统中，各营养级之间的生物量或个体数量往往呈金字塔形。生态系统中的能量单向流动、逐级递减，能量金字塔呈下宽上窄形。生态系统中的物质能循环利用。生态系统中还进行着物理、化学和行为等信息的传递，各种信息传递，对生物及生态系统有极其重要的作用。生态系统的物质循环和能量流动中渗透了物质与能量观。

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，渗透了结构与功能、稳态与平衡观。生态系统主要通过反馈调节实现自我调节功能，但当外来干扰因素超过一定限度时，生态系统自我调节功能就会受到损害，从而使生态系统失去平衡甚至导致生态危机。

调查校园生态系统中的能量流动等活动，需要建构能量流动模型，渗透了模型与建模的科学思维；设计并制作生态瓶，观察其稳定性等活动，需要观察、提问、实验设计与实施等科学探究能力。能量流动、物质循环和信息传递是生态系统的基本功能，人类研究其中的规律并应用于生产生活实践中。

本章知识结构图



第四章

人类与环境



复活节岛的人口兴衰

复活节岛是太平洋上的一个孤立小岛。公元400年左右，一群波利尼西亚人在复活节岛上定居下来，他们以海产品为主要食物。当时该岛是一片茂密的亚热带森林，其中有果子可供食用，有树木可用于制造大船等。丰饶的物产使该岛上的人口激增，最鼎盛时总人口达7000人左右。为维持生计，他们大规模砍伐森林。同时，各部落开始相继建造巨大石像，大量的棕榈树被砍伐用作薪木和运输石像。公元1400年，棕榈树灭绝。15世纪末，森林已被砍伐殆尽，岛上资源已无法维持那么多的人口。到20世纪初，岛上只剩下111个土著居民。

1722年4月，荷兰人雅各布·罗格文在基督教复活节的第一天，发现了该岛，将它命名为复活节岛。那么，人口增长对生态环境会造成什么压力？对可持续发展又会有什么影响？



自然环境是人类赖以生存的基本条件和物质基础。随着人口的增长，人类对自然资源的过度开发和利用，正在对自身和所有生物的生存环境造成巨大压力。当人口达到了环境无法承受时，势必会导致生态系统的破坏。我们只有合理开发和利用自然资源，才能真正实现社会、经济与人口、资源、环境的协调发展，即可持续发展。

学习目标

1. 探讨人口增长对生态环境造成的压力及对可持续发展的影响。
2. 关注全球生态问题，概述生物多样性的重要意义。
3. 调查当地生态环境中存在的主要问题，提出保护建议或行动计划。
4. 认同可持续发展的理念，形成“环境保护从我做起”的意识。

本章学习应聚焦的关键能力

1. 聚焦一个环境问题制订调查方案，尝试用证据说明事件的因果关系，提出对策或保护性建议，完成调研报告。
2. 甄别和使用生物学学术网站，结合本地的环境特点，收集保护生物多样性的一个案例，说明保护这种生物和保护生物多样性的重要意义，并制订一个宣传方案。

第一节 人口增长对生态环境造成压力

随着工业化、农业生产技术和医学科技的进步，世界人口出现了快速增长的现象。激增的人口对生态环境会造成哪些方面的压力？

本节要点

- 人口激增
- 资源短缺
- 环境污染
- 控制人口



小资料

人口倍增时间

人口倍增时间是指人口数量翻一番所需的时间，它的长短取决于人口自然增长率。人口增长快的国家，人口倍增时间就短；人口增长慢的国家，人口倍增时间相对就长。不同国家的人口自然增长率是不同的，人口倍增时间也是不同的。例如，印度2010年的人口自然增长率约为1.35%，若自然增长率保持不变，则人口倍增时间大约需要52年；日本2010年的人口自然增长率约为0.02%，若自然增长率保持不变，则人口倍增时间大约需要3500年。

人口倍增时间是联合国人口署关注人口增长的定量指标之一。计算人口倍增时间有助于了解目前人口的增长究竟有多快，但不能准确预测人口的变化，因为自然增长率总是在不断变化的。

近一个世纪世界人口激增

在人类漫长历史的大部分时期，人口长期处于很低的水平（图4-1）。随着1万年前农业的出现和陆地生产力的提高，人口才开始缓慢而持续地增长。在公元初，世界人口大约是1.5亿，到17世纪初增长到了5亿。18世纪的工业革命使地球上的人口开始激增，至1804年左右达到了10亿。1930年人口达到20亿，人口倍增时间为100多年。1975年人口达到40亿，人口倍增时间为45年。截至2014年，世界人口已超过72亿。联合国发布的《世界人口展望》2017年修订版报告中，预计世界总人口在2050年将增长到98亿，在2100年将增长到112亿。可见，在今后几十年内，世界人口还将继续增长（图4-2）。

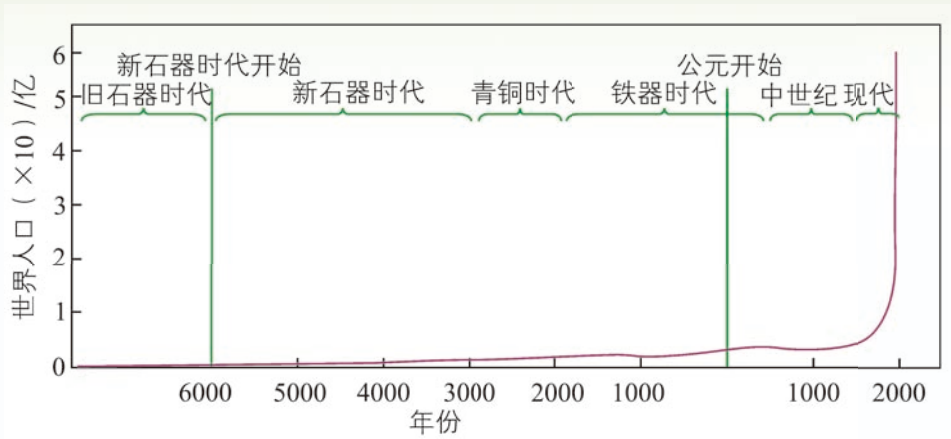


图 4-1 从旧石器时代至公元 2000 年的世界人口增长

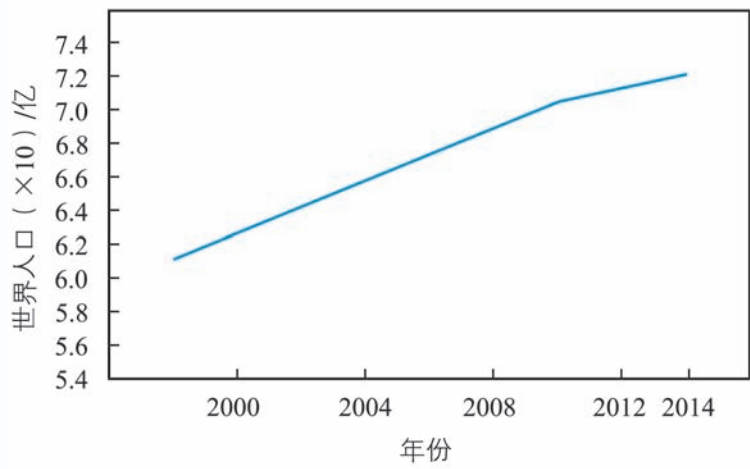


图 4-2 2000—2014 年世界人口增长

人口变化因地域不同而有较大差异。例如，中国大陆总人口 1949 年是 54167 万，2017 年是 139008 万，人口一直在增长；但人口老龄化现状日趋严重，65 岁及以上的人口 2011 年占 9.1%，2018 年占 11.9%。2010—2017 年，日本人口从 12806 万减少到了 12671 万，有 7 年出现了负增长。

工业化、农业生产和医学科技的进步是世界人口激增的主要原因。工业化和农业生产的进步，使人类能利用的自然资源增多并提高了利用效率，也扩大了人类的活动区域。医学科技的进步使人类可以控制许多疾病。这些进步在改善人类生存条件的同时，也使人口的死亡率下降，出生率上升，自然增长率增大。此外，人口基数大也是人口激增的原因之一。

人口激增引起全球性的粮食、土地、水资源和环境污染等问题

人口激增会导致自然资源短缺、环境恶化。食物、水和空间是影响人口容纳量的主要因素。人类为了生存与发展，会不断从自然界中获取粮食、水等自然资源。当地球上的人口越来越多时，人类对自然资源的需求也会越来越大，致使耕地面积（图4-3）、水资源、粮食等自然资源逐渐减少。同时，人口激增对自然资源的过度利用，也加剧了水污染、大气污染等全球性环境问题。如上述小资料中的复活节岛，它曾经拥有过辉煌的人类文明，但当人口超出环境所能承受的范围时，复活节岛的生物种类、生态环境都受到了严重的破坏。

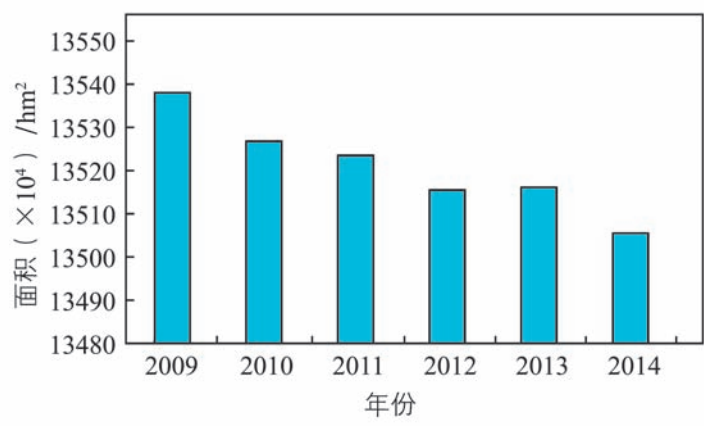


图4-3 2009—2014年中国耕地面积年际变化

控制人口是关系人类存亡和发展的大事

总的来看，虽然大多数国家的人口自然增长率都在逐年下降，但世界人口还是呈增长趋势。在纽约联合国总部举行的《世界人口展望》2017年修订版报告发布仪式上，联合国经济和社会事务部人口司司长约翰·威尔莫斯（John Wilmoth）说当前世界人口以每年8300万的增幅在增长。那么，地球生态系统能养活多少人呢？多数学者认为，100亿左右较为合适。也有些生态学家从生物圈能提供的食物量推算地球只能养活80亿人口。各国政府和有关学者都在研究本国生态系统的承载能力。例如，1967年，一些美国学者提出，对美国来说，2亿人口已经成为生活质量的极大威胁。20世纪80年代我国一些学者也以生态系统稳定的承载能力为基础，推算出我国百年后理想的适度人口数量为6.5亿~7亿。实际上，若人类生活质量要提高，要与自然和谐共处，尽

量减少对生态环境的影响，地球能承载的人口还将减少。所以，在地球资源有限的条件下，控制人口是关系人类存亡和发展的大事。



课外读

人类对天花的有效控制降低了死亡率

天花是由天花病毒感染人引起的一种传染病，是死亡率最高的传染病之一。165—180年，罗马帝国天花大流行，造成了四分之一的人口死亡。17—18世纪，天花是欧洲最严重的传染病，死亡人数高达1.5亿。1900—1909年，俄国因天花死亡50万人。18世纪末，英国医生爱德华·琴纳（Edward Jenner, 1749—1829）发现了牛痘，人类终于能够抵御天花病毒，但天花病毒仍在继续传播。1974年，印度发生严重的天花流行，患者约10万人，死亡近3万人。1976年，世界卫生组织开始大规模推行接种天花疫苗。1980年5月，世界卫生组织正式宣布根除天花，这是在世界范围被人类消灭的第一个传染病。

经过历代科学家长时间的努力，人类终于使因天花而死亡的概率逐步降低，最终降为零。



思考与练习

一、选择题

1. 人口激增引起全球性的粮食、土地、水资源和环境污染等问题。下列各项中，不属于人口增长引发环境问题原因的是（ ）

- A. 人类活动使耕地面积减少
- B. 人类活动排出的大量废物进入环境
- C. 医学进步速率慢于人口的增长速率
- D. 粮食生产不能满足人口增长的需求

2. 近一个世纪世界人口激增，引发全球性环境问题。下列各项中，不属于世界人口激增主要原因的是（ ）

- A. 工业化
- B. 环境污染的加剧
- C. 医学科技的进步
- D. 农业生产技术的进步

3. 控制人口是关系人类存亡和发展的大事。要控制全球人口保持在一个稳定的状态，最关键的是（ ）

- A. 禁止人口迁入
- B. 降低家庭人口
- C. 延长人类的寿命
- D. 限制自然资源的利用

二、简答题

1. 下表为 1980—2015 年中国大陆总人口及出生率和死亡率。

年 份	中国大陆总人口/万	出生率/‰	死亡率/‰
1980	98705	18.21	6.34
1985	105851	21.04	6.78
1990	114333	21.06	6.67
1995	121121	17.12	6.57
2000	126743	14.03	6.45
2005	130756	12.40	6.51
2010	134091	11.90	7.11
2015	137462	12.07	7.11

(1) 计算相应年份的人口自然增长率。

(2) 绘制 1980—2015 年中国大陆总人口及人口自然增长率的变化曲线，并据此预测中国大陆人口的变化趋势。

2. 发展中国家，人口增长过快带来经济、社会、自然等一系列问题；发达国家，人口增长过慢，出现的老龄化现象也给社会带来沉重的负担。请你针对不同国家、不同的人口问题，提出相应的人口对策。

第二节 全球性生态环境问题日益突出

本·节·要·点

- 全球变暖
- 臭氧减少
- 酸雨
- 荒漠化
- 土壤及水体污染

人口激增使全球生态环境问题日益突出。人口激增主要引发了哪些环境问题呢？



小资料

水俣病

日本水俣镇位于水俣湾东部，水俣湾中有丰富的渔业资源。1949年起，位于该地的某氮肥公司开始生产氯乙烯和醋酸乙烯，因生产过程中要使用含汞的催化剂，大量含汞废水被排入水俣湾。1954年，水俣湾附近开始出现水俣病患者。患者表现出步态不稳、手足变形、精神失常、身体弯弓等症状。经查，上述症状是因人们长期食用含汞水生生物，导致脑萎缩、小脑平衡系统等被破坏而引发的。水俣镇约有60人死于该病，数十万人受害。同时由于汞污染，水俣湾的鱼虾不能再被食用，当地渔民的生活也陷于贫困之中。为恢复水俣湾的生态环境，日本政府花了14年时间和近800亿日元，清理了水俣湾的含汞底泥及被污染的鱼虾。

大量排放二氧化碳导致全球变暖

太阳光穿过大气层到达地球表面后，一部分光线经过反射回到太空，其余的则被大气层中的气体捕获。大气层这种能捕获热能的特性称为温室效应（greenhouse effect）。大气层中能捕获热能的气体就是温室气体。如果没有温室效应，地球的温度可能会降低到 -18°C ，大多数生物将无法生存。

全球变暖（global warming）是指地球表层大气、土壤、水体及植被温度年际间缓慢上升。目前全球变暖的理论解释是“温室效应”假说，该假说认为大气中对长波辐射具有屏蔽作用的温室气体浓度增大，使较多的辐射能被截留在地球表层而导致温度上升。温室气体有二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氢氟碳化物（HFC_s）、全氟化碳（PFC_s）、六氟化硫（SF₆）等，其中最重要的是二氧化碳，其作用约占全部温室气体作用的50%以上。

大气中二氧化碳的平衡受到了干扰。1850年以前，大气中二氧化碳的浓度基本维持在0.28‰，但从工业革命以后，特别是20世纪以来，由于煤、石油和天然气的大量燃烧，使二氧化碳的全球平衡受到了严重干扰（图4-4）。据全球碳计划公布，2013年全球人类活动碳排放量达到360亿吨，人均排放5吨二氧化碳，创下历史纪录。

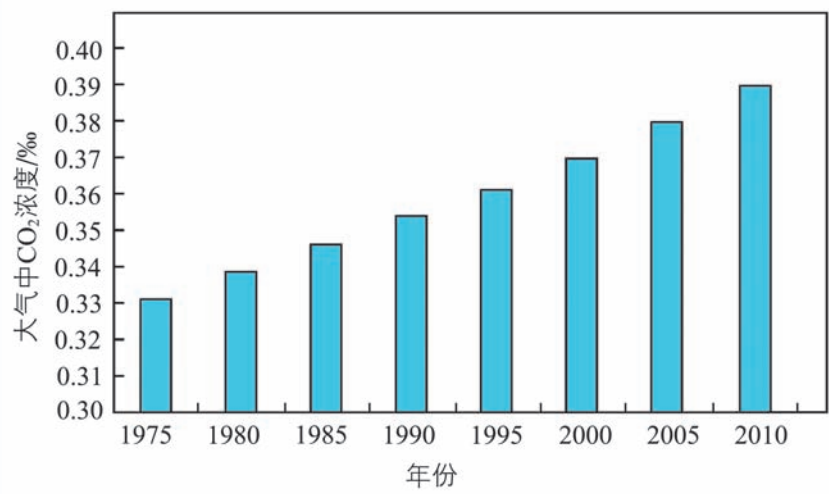


图4-4 1975—2010年大气中CO₂浓度的变化

二氧化碳的增加使大气捕获的太阳能更多，导致全球变暖（图4-5）。与20世纪60年代相比，21世纪初北半球的平均温度上升了0.5℃。有专家估计，到2100年，全球温度可能会上升3~4℃。

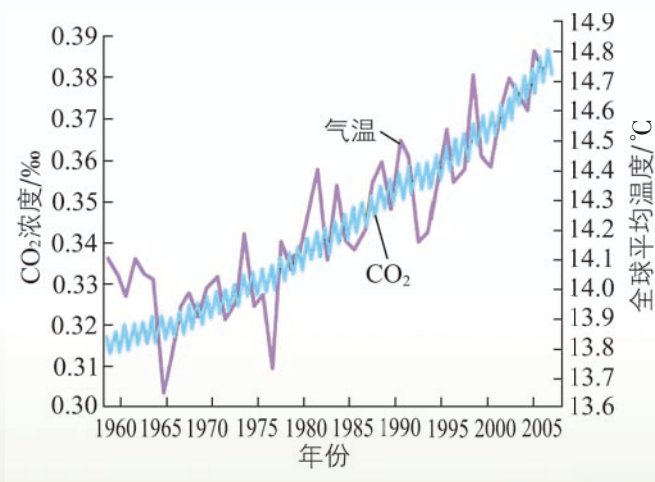


图4-5 1958—2007年夏威夷毛洛峰大气中CO₂浓度及全球平均温度的变化

全球变暖对生物圈的稳态有重要影响。全球变暖最直接的影响是使极地和高山冰川开始融化，导致全球气候发生大规模变化，气候带北移，湿润区与干旱区重新配置；某些物种的生长、繁殖及分布区域受到影响，从而加剧物种消亡。全球变暖导致的海平面上升，使地势较低的沿海城市可能要内迁，大部分沿海平原将发生盐碱化或沼泽化。

为了切实减少二氧化碳的排放量和保护全球环境，自1997年各国政府签订《京都议定书》以来，全球二氧化碳的排放量得到了有效的控制。2014年，全球能源行业排放的二氧化碳量与2013年持平，这也是40多年来首次出现温室气体排放“停滞”的现象。

臭氧减少危及地球所有生物

人类排放到大气中的氟利昂、哈龙（含溴卤代烷烃的商品名称）等含氯氟烃类气体是引起平流层中臭氧减少的主要原因。臭氧是高活性的氧化剂，能够氧化有机分子并破坏其功能。在平流层中，臭氧的含量非常高，它能吸收对人体和生物有致癌和杀伤作用的紫外线、X射线和γ射线，从而保护人类和其他生物免受短波辐射的伤害。被广泛使用在制冷剂、塑料发泡剂等中的氟利昂，以及主要被用于制作灭火剂的哈龙等气体进入臭氧层，会和臭氧发生化学反应，从而导致平流层中臭氧减少。国际臭氧趋势观察小组发现，1979—1986年，臭氧层中的臭氧减少明显（图4-6）。例如，南纬39°~60°区域的臭氧减少了5%~10%，我国华南地区减少了3.1%。如果按这一减少趋势计算，到2075年，臭氧将比1985年减少40%。

臭氧减少将会危及地球上所有生物。随着平流层中臭氧的减少，到达地球表面的紫外辐射强度就会增加。紫外辐射会造成细胞死亡，增加人类皮肤癌发病率，导致白内

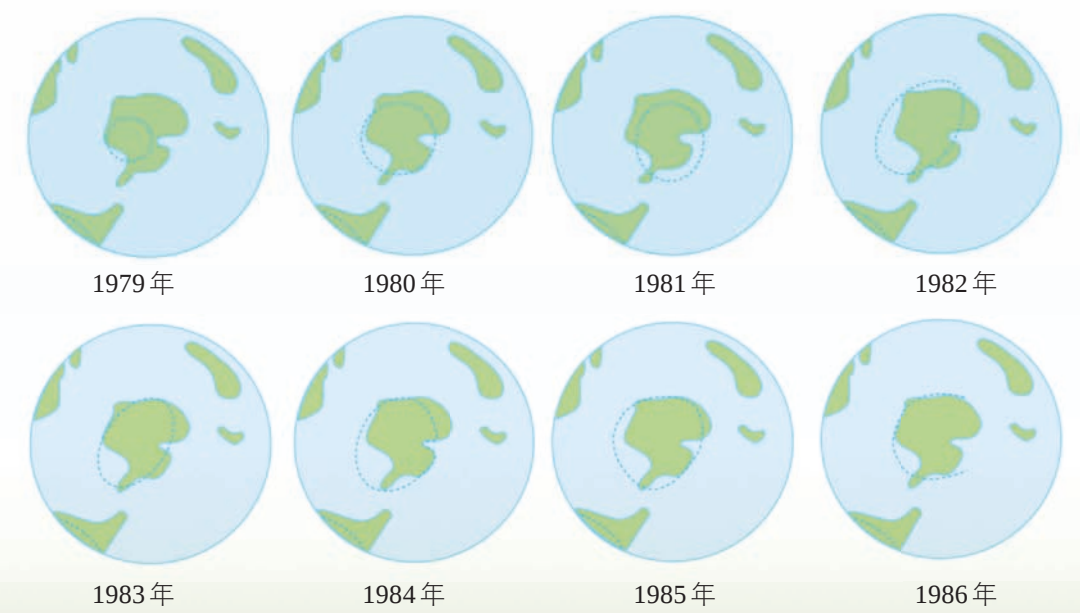


图4-6 南极上方的臭氧洞

障，抑制大豆、瓜类等植物的生长。紫外辐射也能穿透 10 m 深的水层，杀死浮游生物和微生物，影响水中生物的食物链和自由氧，进而影响水域生态系统的稳态。地球如果失去了臭氧层的保护，那么紫外辐射带给地球上的生物和人类的将是灾难性的影响。

针对臭氧层的破坏，国际上采取了一系列保护对策和措施。例如，早在 1977 年联合国环境规划署理事会通过了《保护臭氧层行动世界计划》，随后对氟利昂和哈龙等的生产和使用做出了相应的规定。

全球各地普降酸雨

人类向大气中排放过多的硫和氮的氧化物是形成酸雨的主要原因。酸雨（acid precipitation）是指 pH 小于 5.6 的降水。煤、石油和天然气等燃烧时所产生的硫和氮的氧化物，与大气中的水蒸气等发生反应，生成了硫酸和硝酸等酸性物质，从而形成酸雨。此外，各种机动车排放的尾气也是形成酸雨的重要原因。

全球各地普降酸雨。酸雨最早出现于北欧，现在世界各地普遍存在降酸雨的现象。我国降酸雨的频率和酸度自北向南逐渐加重，华东、西南地区已普遍发生酸雨，已经成为继欧洲、北美之后世界第三大酸雨区。二氧化硫等大气污染物的远距离输送已使酸雨跨越国境，成为全球性环境问题。

酸雨对生态系统有重要影响。酸雨会伤害陆地植物，例如，1982 年重庆地区入夏后连降酸雨，使 2 万亩水稻的叶片枯死。酸雨也会导致土壤酸化，加速土壤中的矿物质等营养物质的流失，从而影响植物的正常生长。酸雨随径流流入湖泊或池塘后，会降低水体的 pH，使藻类和微生物死亡，然后以它们为食的鱼类和其他生物也因此死亡。土壤和湖泊的酸化还会导致铝和汞等有毒金属从土壤和沉积物中释放出来，进入动植物体内，对人类及位于食物链顶端的动物产生不利影响。此外，酸雨的腐蚀性很强，会大大加快建筑物、金属等的腐蚀速度。

防治酸雨最有效的方法是减少硫氧化物和氮氧化物的排放量。为防治酸雨，各国政府都采取了减少煤炭和石油的消耗量、开发无污染新能源、减少二氧化硫的排放量等措施，已取得了一定的成效。我国亦不例外，与 2010 年相比，2015 年我国出现酸雨的城市比例下降了 10 个百分点。

荒漠化不断扩大

荒漠化（desertification）是指干旱、半干旱和亚湿润干旱地区（年降水量与土壤蒸发和植物蒸腾的总耗水量之比在 0.05 至 0.65 的地区）的土地退化，它是由气候变异和

人类活动在内的种种因素造成的。荒漠化是目前全球最突出的环境问题之一，主要发生在亚洲、非洲和拉丁美洲的发展中国家。

造成荒漠化的原因有自然因素和人为因素。自然因素包括干旱、地表松散物质、大风吹扬等。人为因素主要是由于人口激增导致的对各种自然资源的过度开发和利用，如滥牧、滥垦、滥樵、滥采、滥用水资源、滥开矿等。

全球荒漠化在不断扩大。据统计，全球荒漠化土地面积由1991年的35920000 km²，猛增到1999年的47730000 km²，占整个地球陆地面积的1/4，且仍在不断扩大。全球受荒漠化影响的国家有100多个，约12亿人口受到荒漠化的威胁。全世界每年因荒漠化带来的直接经济损失近430亿美元。我国是受荒漠化影响最严重的国家之一，截至2014年，我国荒漠化土地总面积为2611600 km²，占国土总面积的27.20%。

为防治土地荒漠化，联合国采取了许多措施。例如，制定了《联合国关于在发生严重干旱和/或荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约》，将每年的6月17日定为“世界防治荒漠化和干旱日”，旨在进一步提高世界各国人民对防治荒漠化重要性的认识，唤起人们的责任心和紧迫感。

土壤及水体污染严重

土壤污染（soil pollution）是指人为活动产生的污染物通过各种途径进入土壤并积累到一定程度，引起土壤质量恶化的现象。进入土壤的污染物主要有重金属、农药和化肥等。土壤中的污染物主要通过生物富集作用，对生物造成危害。治理土壤污染通常周期较长，成本较高。例如，被某些重金属污染的土壤可能要经过100~200年才能够恢复。

土壤污染具有隐蔽性和滞后性。土壤污染往往要通过对土壤样品进行分析化验和农作物的残留检测，甚至通过研究对人畜健康状况的影响才能确定，因此，土壤污染从产生污染到出现问题通常会滞后较长的时间，具有隐蔽性和滞后性。

综合治理工业“三废”，控制劣质农药、化肥的使用，对垃圾进行分类处理等是控制土壤污染的主要措施。《2015中国环境状况公报》指出，我国正在稳步推进土壤污染防治，加快编制《土壤污染防治行动计划》，继续开展农产品产地土壤重金属污染普查。

水体污染（water pollution）是指排入水体的污染物使该物质在水体中的含量超过了水体的原有含量和水体的自净能力，从而破坏了水体原有的用途。污染物主要包括工业废水、生活污水、矿山污水、农田污水、水土流失的冲积物、工业废弃物和生活垃圾等。

全球水体污染严重。世界上著名的泰晤士河、密西西比河、长江等都曾受到过严重的污染，虽然经过治理情况已有很大改善，但全球河流受到普遍污染的现状仍未得

到根本性改变。湖泊污染的突出现象是富营养化，富营养化使很多湖泊变成了死湖。海洋污染已成为全球重大环境问题之一。据估计，全球每年向海洋排入包括工业废料、生活废物等污染物多达 200 亿吨，引发的污染现象之一是赤潮。近年来，赤潮范围逐渐扩大，发生的概率也不断加大，造成的经济损失十分严重。

水体污染对人体健康、工农业生产、生态环境都有很大的危害。据世界卫生组织调查，人类 80% 的疾病和 50% 的儿童死亡都与饮水水质不良有关。所以，世界各国都采取了水域的保护和治理措施。全球部分地区的水质已经开始恢复，但全球水污染的治理还任重道远。



活动

调查当地生态环境中存在的主要问题，提出保护建议

人口激增对人类和所有生物的生存环境造成了巨大压力，引起全球变暖、臭氧减少、酸雨蔓延、荒漠化扩大、土壤及水体污染严重等环境问题。不同区域的自然资源有差异，人口激增引发的主要环境问题也有差异。

目的要求

1. 学会制订调查方案。能用数学方法分析和处理调查数据，并发现当地生态环境中存在的主要问题。
2. 依据调查结果，分析引起当地环境问题的主要原因，提出保护建议。
3. 认同每一位公民都有保护生态环境的责任和义务。

材料用具

显微镜，烧杯，试管，塞氏盘，pH 计，氨氮分析仪，比色皿，总磷分析仪等。

方法步骤

1. 列出导致本地环境污染的主要原因，选择调查内容，确定调查对象。
2. 制订调查方案。
3. 实地调查、取样。
4. 对样品进行实验分析。
5. 完成调研报告。

讨论

1. 针对调查中发现的环境问题，可采取哪些防治措施？
2. 解决当地生态环境问题的主要困难是什么？
3. 为减轻环境污染，你可以做些什么？

思考与练习

一、选择题

1. 1973年，国际海事组织制定了《国际防止船舶造成污染公约》，规定2015年以后，当船舶在排放控制区域航行时，船用燃料硫质量分数不超过0.1%。该公约的主要目的是（ ）

- A. 减少酸雨出现的概率
- B. 降低水体污染的程度
- C. 减少二氧化碳的排放量
- D. 减缓大气层中臭氧的减少

2. 土壤污染是指人为活动产生的污染物通过各种途径进入土壤并积累到一定程度，引起土壤质量恶化的现象。下列行为中，可直接导致土壤污染的有（ ）

- A. 乱扔废电池
- B. 焚烧秸秆
- C. 使用一次性筷子
- D. 乱砍滥伐森林

3. 人们为提高粮食产量，曾采取下列措施，其中已证明是错误的（ ）

- A. 实行农地规划，加强农田经营管理
- B. 大规模围湖造田，开垦草原以扩大耕地
- C. 发展农业科学，培育高产优质粮食品种
- D. 合理施用化肥、农药，保证灌溉和机械化耕作

二、简答题

1. 紫外线（UV）是电磁波谱中波长0.01~0.40 μm辐射的总称。一定剂量的紫外辐射会对地球表面的生物造成损伤，如破坏DNA结构引起基因突变等。下表表示UV剂量与智利大叶草叶片DNA危害单位的关系。

UV/ (J·m ⁻²)	DNA危害单位
300	0.018
380	0.025
400	0.028
500	0.030
550	0.025
625	0.031
700	0.035
750	0.043

请分析回答：

- (1) 请用坐标曲线图表示UV剂量与智利大叶草叶片DNA危害单位的关系。
- (2) 预测在UV剂量是1000 J/m²时，DNA损害的量。

2. 疟疾是一种通过蚊子传播的传染病，每年有超过100万人死于疟疾。这种蚊子可以通过喷洒DDT来加以控制。请你研究并分析使用DDT的利与弊。

第三节 保护生物多样性意义重大

生物多样性（biodiversity）是指生命有机体及其赖以生存的生态综合体的多样化和变异性。生物多样性是维持生态系统稳态和生产力持续发展的重要条件。对资源的过度利用、排放污染物等人类活动导致生物多样性锐减。研究和保护生物多样性有什么重要意义呢？

本·节·要·点

- 生物多样性
- 生物多样性锐减
- 保护生物多样性措施

人类活动使生物多样性锐减

生物多样性包括遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性。遗传多样性是指地球上所有生物个体所包含的各种遗传物质和遗传信息。物种多样性是指多种多样的生物类型及种类。生态系统多样性是指生态系统中生境类型、群落和生态过程的丰富程度。

人类活动使遗传多样性锐减。例如，城市化使原有的整片生境形成了许多斑块生境，直接影响了物种的移居活动，阻止了种群间的基因交流等。又如大面积推广、种植高产农作物，必将导致低产、品质较差的农作物品种逐渐被淘汰。

人类活动使物种灭绝的速度大大加快。例如，白令海中特有的巨儒艮（图4-7），从它被欧洲人首次发现、捕杀到灭绝不到30年。自1850年以来，人类活动已经使75种鸟类和哺乳动物灭绝，359种鸟类、297种哺乳动物、190种两栖爬行动物和80种鱼类面临灭绝的危险，大约有25000种被子植物处于濒危状态。

人类活动使森林、草原、农田、水域等各种生态系统多样性面临着严重的丧失和退化。例如，乱砍滥伐导致森林面积大幅度下降。1997年，世界资源所估计，全世界只有20%的森林仍然保持着原始森林的原貌。

人类活动造成生物多样性锐减的原因。人类活动导致的栖息地消失、退化、片段化是物种绝灭和生物多样性丧失的主要原因，外来物种入侵和人类对生物资源的过度开发



图4-7 巨儒艮

利用，也是生物多样性减少的原因。例如，由于乱砍滥伐，墨西哥韦拉克鲁斯州的热带雨林在1986年已只有当初的15%~16%，现在更是减少到只有7%~8%。近50年来，这一地区有19种哺乳动物、79种鸟类、23种爬行动物等生物的生存受到了威胁，其中美洲虎、美洲狮、豪猪等濒临灭绝，有818种植物处于濒危状态。

保护生物多样性需要采取适当措施

生物多样性具有极其重要的作用。一方面，生物多样性对大自然有极其重要的作用。大自然中的生物都是相互依存、相互作用的，一种生物可以为另一种生物提供小生境。在同一个群落中，一种生物会影响另一种生物的生存，或影响整个群落的演替方向。生物多样性使生态系统的结构更稳定。另一方面，生物多样性对人类的生存也具有极其重要的意义。生物多样性对人类的價值包括直接使用价值和间接使用价值。直接使用价值是指为人类提供食物、药物和建材等，例如奎宁等百余种药品是直接来自有花植物中提取出来的。间接使用价值是指对环境和生命维持系统的调节功能，如水土保持、净化环境等，也包括为后人提供选择机会的价值，如某些生物体内的抗性基因可以为农作物或家禽等育种提供更多的可供选择的机会。



小资料

保护生物学

保护生物学，是在1978年由生态学家苏勒（Michel Soule）首次提出，后在苏勒、埃利希（Paul Ehrlich）和戴蒙德（Jared Diamond）等学者的共同努力下，逐步发展起来的一门综合学科，是解决由于人类干扰或其他因素引起的物种、群落和生态系统问题的学科。保护生物学的理论基础是有机体的多样性、生态系统的复杂性、生物的进化对生态系统的稳态都是有利的，人类活动导致的物种灭绝是不利的等。保护生物学的目的是研究人类对生物多样性的影响，研究阻止物种灭绝、群落被破坏的有效途径。

大熊猫就是保护生物学应用的一个成功实例。大熊猫（图4-8）曾是一个高度濒危的物种。为保护大熊猫，我国建立了相应的自然保护区、人工



图4-8 大熊猫

繁育基地等。同时，为解决大熊猫的遗传多样性等问题，达到真正保护大熊猫的目的，我国还在2012年首次将圈养的大熊猫放归自然栖息地。经过多途径的保护，2016年9月，世界自然保护联盟（IUCN）宣布将大熊猫的受威胁程度从濒危降级至易危。

生物多样性保护包括就地保护、迁地保护、建立种子库和基因资源库、恢复退化的生态系统四个方面。

就地保护是指对有代表性的自然生态系统和野生生物及其栖息地、珍稀濒危物种及其重要栖息地和繁殖地予以就地保护。就地保护是保护生物多样性最有效的措施。建立自然保护区和国家公园是实现这种保护的重要措施。世界上第一个自然保护区是1872年美国建立的黄石国家公园。1956年建立的广东鼎湖山自然保护区，是我国第一个自然保护区。截至2017年年底，我国共建立国家级自然保护区463个，面积974500 km²。

迁地保护是指将严重濒危的野生物种迁出原栖息地进行保护，包括把生物个体、种子、花粉、精子等转移到苗圃、植物园、动物园、水族馆、畜牧场或专门保护中心，进行人工驯养、培养和繁殖，扩大其种群。迁地保护的最终目的是将受保护的物种再迁入原栖息地，恢复其野生种群。

建立种子库和基因资源库是对物种的遗传资源（植物种子、动物精液、胚胎和真菌菌株等）进行长期保存。例如，伦敦基尤皇家植物园的种子库主要储存半干旱热带和亚热带的种子；由上海细胞生物研究所和昆明动物研究所建立的细胞库，储存了170余种野生动物的细胞。

恢复退化的生态系统是指通过改造、修复等各种方法改良和重建已经退化和被破坏的生态系统。例如，经过几十年的研究，中国科学院华南植物研究所在几乎寸草不生的裸红壤地上，通过种植耐旱耐瘠的桉树等，使裸红壤开始演替，逐步恢复了植被，并正朝着森林生态系统的方向演替。



活动

收集生物多样性保护的实例

生物多样性是维持生态系统平衡和生产力持续发展的重要条件。当今世界面临的人口、资源、环境、粮食与能源五大危机，都与生物多样性有着密切的关系。生物多样性及其保护已成为国际社会关注的热点。

目的要求

1. 知道收集生物学信息的途径，能通过各种途径收集有关生物多样性保护的实例。
2. 分析、加工和整理收集的资料，撰写保护生物多样性的案例。

活动提示

1. 可通过互联网、当地环保和林业部门、生物学期刊和专业书籍等途径收集实例。
2. 可收集针对某一特定濒危动、植物或某一特定生态系统的保护实例，也可收集针对本地需保护的动、植物或生态系统的相关实例。

讨论

1. 你收集的生物多样性保护实例中，主要保护的是生物多样性的哪个方面？采取该保护措施后，对当地的经济有什么影响？
2. 作为一名高中生，你能为保护生物多样性做些什么？



课外读

保护关键种是保护生物多样性的措施之一

生物多样性的保护已经成为人类关注的焦点。一般地，人们首先要保护的物种是那些稀有、特有、濒危的物种，或者是那些大型的、能引人注目以及具有经济价值的物种。但是，群落中某些具有特殊作用的物种，可能是群落中的优势种，也可能是群落中的普通种或稀有种，它们的灭绝将导致群落中大量物种的灭绝，甚至引起整个生态系统的崩溃。这些物种的存在，对于维持群落的物种组成、生态系统的功能和物种多样性等比其他的物种更重要。这些物种是群落中的“关键种”。

1962—1964年，美国华盛顿大学的佩恩（Justin Penn）在加利福尼亚等地的岩石潮间带，进行了海洋生物群落物种多样性研究。他发现去除群落中的海星后，被捕食者贻贝随即占据了大部分领域，其空间占有率由60%增加到80%。但9个月后，贻贝又被牡蛎和藤壶所排挤。底栖藻类、附生植物、软体动物由于缺乏适宜空间或食物而消失，组成群落的物种由15种下降为8种，群落的物种组成变得简单。佩恩认为海星对岩石潮间带海洋生物群落物种多样性的影响比其他生物都要大，海星是这个群落的关键种。据此，他首次提出“关键种”的概念。

关键种具有两个特征：关键种的微小变化将导致群落或生态系统结构和功能产生较大变化；关键种在生态系统中的功能比例远大于其结构比例。一个群落的

优势种，或者群落演替过程中的先锋物种都有可能成为关键种。例如，在温带森林群落中，优势种乔木是关键种，病原体和大型肉食动物也是关键种。

关键种在维持群落或者生态系统的物种组成、生态系统功能和生物多样性等方面起着决定性的作用，因此，保护关键种也是保护生物多样性的措施之一。但仅仅对关键种的保护还不能完全达到生物多样性保护的目，物种灭绝的主要原因是生境破坏，生物保护的核心应当是保护生境的完整性，即对生态系统的保护。

思考与练习

一、选择题

1. 人类不合理的活动使生物多样性锐减。下列各项中，对生物多样性威胁最严重的是（ ）
 - A. 经济性物种的过度开发利用
 - B. 引入外来生物捕食当地物种
 - C. 大量燃烧煤等导致空气、水和土壤污染
 - D. 伐木和占地等导致栖息地丧失、退化与片段化
2. 下列策略中，能直接增加种群遗传多样性的是（ ）
 - A. 建立自然保护区保护该种群的栖息地
 - B. 控制该种群的捕食者与竞争者的数量
 - C. 从同一物种的其他种群中引入新的个体
 - D. 捕捉该种群中所有的个体，经人工繁殖后再重新放回其栖息地
3. 将适量土壤移至矿业废弃地受损严重的区域，并在土壤上种植植物。从生物多样性保护角度分析，这种保护措施属于（ ）
 - A. 就地保护
 - B. 迁地保护
 - C. 建立种子库
 - D. 恢复退化的生态系统

二、简答题

1. 大熊猫是我国的珍稀保护动物。由于栖息地被破坏，大熊猫的数量从20世纪70年代的2459只，到80年代仅剩1114只。为保护大熊猫，我国政府采取了多种措施。请分析回答：
 - (1) 野生大熊猫分布在彼此隔离的种群中，采取什么措施可使种群间进行基因交流？
 - (2) 提高大熊猫种群数量的措施有哪些？
2. 在资源和经费有限而生物种类密集的地球上，为保护生物多样性建立自然保护区时，自然保护区的设计人员首先需要考虑的问题是什么？

第四节 可持续发展是人类的必然选择

本·节·要·点

- 保护环境
- 可持续发展

随着人口的激增和工业技术的进步，人类以过度利用生态环境资源为代价来满足社会经济发展的要求，从而使人类经济活动与生态环境之间的矛盾日益激化，全球生态系统的可持续性受到了严重威胁。为了更好地生存和发展，人类社会未来的正确发展道路就是可持续发展（sustainable development）。可持续发展

是指既能满足当代人的需要，又对后代人满足其自身需求的能力不构成危害的发展。怎样协调当代人、后代人的需求与环境三者之间的关系呢？

可持续发展是解决环境问题的必然选择

在自然界中，凡是能提供人类生活和生产需要的物质和能量均可称为自然资源。自然资源包括不可枯竭资源和可枯竭资源。不可枯竭资源是由宇宙因素、星球间的作用力在地球的形成和运动过程中产生的，其数量丰富、稳定，几乎不受人类活动的影响，更不会因为人类的利用而枯竭的自然资源，如风能、潮汐能、太阳能、大气和气候等。可枯竭资源是在地球演化过程的不同阶段形成的自然资源，这类资源又可根据其是否能够自我更新而分为可更新自然资源和非更新自然资源两类。可更新自然资源是指可借助于自然循环或生物的生长、生殖而不断自我更新的资源，如土壤、森林、野生动物以及人力资源等。如果对可更新自然资源进行科学管理和合理利用，就能够做到取之不尽，用之不竭；如果使用不当，破坏了其更新循环过程，则会造成资源枯竭。非更新自然资源是指经历了亿万年的生物地化循环过程而缓慢形成的资源，它基本上没有更新能力，如金属矿物、非金属矿物和化石燃料等。



小资料

可持续发展

20世纪60年代以来,随着人类全球意识萌发和全人类面临的人口、资源和生态环境形势日益严峻,人类对自身与自然关系的反思和认识也迅速提升。1970年,美国开始实施《国家环境政策法》,它的核心是“采取包括财政和技术援助在内的一切切实可行的手段和措施,以旨在发展和增进普遍福利的方式,创造和保持人类与自然得以在建设性的和谐中生存的各种条件,满足当代美国人及其子孙后代对于社会、经济和其他方面的要求”。1987年,联合国世界环境与发展委员会正式提出可持续发展的概念和战略。1992年,联合国世界环境与发展全球首脑会议通过了《21世纪议程》。该大会是可持续发展从理论探讨走向实际行动,从少数学者和政治家的倡导变成广大群众运动的分水岭。1994年,国务院第十六次常务会议审议通过的《中国21世纪议程》,制定了中国可持续发展的总体战略、计划和对策方案。2003年,中共十六届三中全会通过的《中共中央关于完善社会主义市场经济体制若干问题的决定》明确提出“树立全面、协调、可持续的发展观”,从此,可持续发展理念日益深入人心,显著地推动着我国的可持续发展实践。

可持续发展包含三个方面的含义。第一,经济的可持续发展是主导。只有经济持续发展,才能为贫富悬殊、人口激增和生态环境危机提供必要的资金和技术。第二,生态的可持续发展是基础。现代经济社会的发展需以自然资源 and 环境的持续、稳定的供给能力为基础,环境为人类生产和生活提供各种服务。第三,社会的可持续发展是根本目的。最终达成自然、经济、社会的协调发展,用经济发展推动社会进步的目标。

可持续发展的基本原则是公平性原则、持续性原则和系统性原则。公平性原则有两层含义,即代际公平和代内公平。代际公平指当代人和后代人拥有平等的发展机会,实现代际公平的核心问题是如何使自然资源的拥有量相对稳定在某一水平。代内公平指当代人在享有地球资源的权利上是人人平等的。持续性原则要求人们根据生态系统持续性的条件和限制因子调整自己的生活方式和对资源的要求,在生态系统可以保持相对稳定的范围内确定自己的消耗标准。系统性原则是把人类赖以生存的地球或局部区域看成是自然、社会、经济、文化等多因素组成的复合系统。环境与发展之间矛盾的实质是人和这一复杂系统的各个成分之间关系的失调,一个可持续发展的社会,就是要着眼全局,从系统的关系进行综合分析和宏观调控。

为协调经济发展和环境保护的关系，很多发达国家制定了专门约束政府行为的环保法律法规，如美国和欧盟的《国家环境政策法》等。我国在环境保护和生态建设中，也取得了一定的成效。“十一五”期间，在能源消费和国民经济都增长的情况下，二氧化硫的排放量反而减少了。但是，我国环境恶化的趋势尚未得到根本遏制。因此，我们要积极探索代价小、效益好、排放低、可持续发展的环境保护新道路。

保护环境，从我做起

可持续发展与我们每个公民的生活方式有密切关系，关注并积极参与生态环境的保护活动，是现代公民应该具备的素质。



小资料

百万森林项目

百万森林项目是气候组织联合中国绿化基金会、联合国环境规划署共同发起的。它由“减碳行动”和“我要1棵树”组成。在活动官方网站，“减碳行动”将定期推出10件日常小事，网友只要回答10个简单问题，就能知道今天自己减排了多少二氧化碳。例如，笔记本电脑采用待机模式，每天每台可减排二氧化碳6 g。

“我要1棵树”是以5元一棵沙棘树的捐赠标准，以每个贫困农户家庭5亩（每亩400元）的援助标准，援助西部干旱地区的人民种植大果沙棘生态经济林，以改善微气候。沙棘果以市场价格收购，帮助贫困家庭实现劳动增收和获得可持续发展权利。公众可登录百万森林官网，通过支付宝和网上银行等方式，快速完成认捐活动，每一棵认捐的树木都将获得百万森林的唯一编号。

目前比较有名的环保公益活动有百万森林、世界地球日、世界水日、地球一小时等。“地球一小时”是世界自然基金会在2007年向全球发出的一项倡议，呼吁个人、社区、企业和政府在每年三月的最后一个星期六20:30—21:30熄灯一小时，以此来激发人们对保护地球的责任感，表明人类对全球共同抵御全球变暖行动的支持。2016年3月19日，全球178个国家和地区约350个著名地标建筑参与了此活动。在校园、社区、网络等平台上开展环境保护相关内容的宣传，激发全民关注环境问题也是保护环境的途径。

为保护环境，我们每个公民可以从以下几方面做起。减少对自然资源的消耗，例

如，随手关闭电灯、水龙头、电脑、电视机等。优先购买绿色产品，使用绿色能源（图4-9），绿色出行，少使用一次性用品等。减少对环境 的污染，例如，垃圾分类投放，使用低氟家用制冷器具、无铅汽油等。不猎杀珍稀动物和受保护的动物，爱护古树古木及我们身边的每一寸绿地、每一株花草、每一片树木，及时举报捕杀动物、砍伐树林等破坏环境和生态的行为。



图4-9 使用太阳能灶烹调美食



塞罕坝的可持续发展

塞罕坝位于河北省承德市围场满族蒙古族自治县境内，区域海拔高度1500~2067 m，面积20029 hm²。历史上的塞罕坝是一处水草丰沛、森林茂密、禽兽栖息的地方，在辽、金时期称为“千里松林”。

公元1681年，清朝康熙帝巡幸塞外，为训练军队、巩固边防，设置了“木兰围场”，塞罕坝是其主要组成部分。因吏治腐败、内忧外患等原因，清政府在1863年开围放垦，随之森林植被被破坏。后来遭遇日本侵略者的掠夺采伐和连年山火，到中华人民共和国成立初期，塞罕坝地区已退化为高原荒丘，呈现“飞鸟无栖树，黄沙遮天日”的荒凉景象（图4-10）。



图4-10 塞罕坝曾经的荒凉景象



图4-11 现今的塞罕坝

为改造塞罕坝，1962年，国家林业部组建了塞罕坝机械林场总场。经过几代人的努力与长期的科学管理，2018年塞罕坝林场单位面积林木蓄积量是全国人工林平均水平的2.76倍，是世界森林平均水平的1.23倍；林场苗木、旅游等带动当地实现社会总收入6亿多元；森林资源总价值达到206亿元，实现了生态效益、经济效益、社会效益的有机统一（图4-11）。

2017年12月，联合国环境规划署宣布，中国塞罕坝林场建设者获得2017年联合国环保最高荣誉——“地球卫士奖”。

思考与练习

一、选择题

1. 在自然界中，凡是能提供人类生活和生产需要的物质和能量均可称为自然资源。阳光和天然气分别属于自然资源中的（ ）

- A. 不可枯竭资源、可更新自然资源
B. 非更新自然资源、不可枯竭资源
C. 不可枯竭资源、非更新自然资源
D. 可更新自然资源、非更新自然资源

2. 可持续发展是指既能满足当代人的需要, 又对后代人满足其自身需求的能力不构成危害的发展。下列人类行为符合可持续发展理念的是 ()

- A. 刀耕火种 B. 竭泽而渔
C. 毁林开荒 D. 定期休渔

3. 《中华人民共和国土地管理法》第四条规定：“严格限制农用地转为建设用地，控制建设用地总量，对耕地实行特殊保护。”从可持续发展的角度分析，下列叙述错误的是（ ）

- A. 该法规遵循持续性原则
- B. 该法规没有遵循公平性原则
- C. 该法规要求我们合理使用自然资源
- D. 该法规的执行有利于经济的可持续发展

二、简答题

1. 除了直接用水，很多时候，我们在不知不觉中也在间接消耗水。例如，我们日常所吃的面包，制作过程中是要消耗水的。下表为生产某些工农业产品时需消耗的水量。

农 业		工 业	
产 品	用水量/m³	产 品	用水量/m³
1 个面包	0.57	1 kg 铝	8.30
1 kg 玉米	1.42	1 辆轿车	379.00
1 kg 棉花	17.00	1 kW 电力	0.30
1 kg 牛肉	6.70	1 m³ 汽油	10.00
1 kg 大米	4.70	1 kg 纸	0.80
		1 kg 钢	0.10
		1 kg 合成橡胶	2.50

请分析回答：

(1) 把你间接使用水的各个方面列一个清单，并估算每月的间接用水量。

(2) 你家中每月直接消耗多少水，你在学校直接消耗多少水？

(3) 我国城市水资源并不丰富，人均用水量只达到世界平均值的四分之一左右。

饮用水的缺乏对我国城市的可持续发展造成了消极的影响。为水的可持续发展，你可以采取哪些措施？

2. 有人说，可持续发展的关键是科学与技术。你认为这种观点正确吗？请收集相关资料支持你的判断。

本章小结

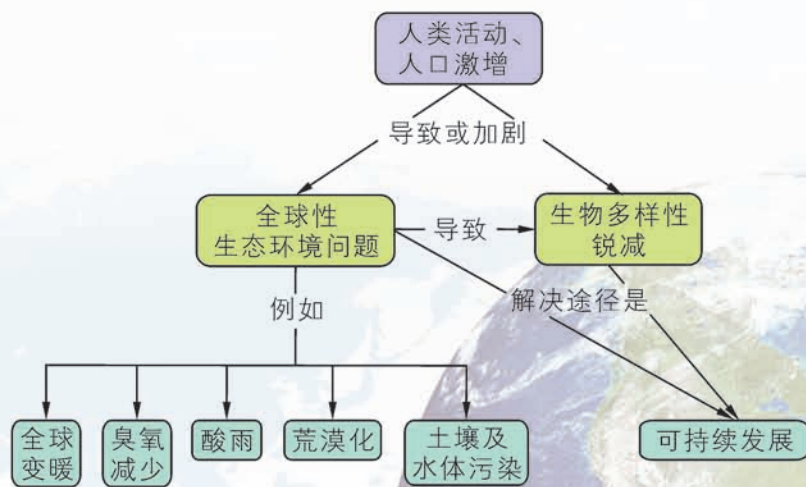
世界人口激增对生态环境造成了巨大压力，使全球性生态环境问题日益突出，例如，全球变暖、臭氧减少、酸雨现象、土地荒漠化、土壤及水体污染等。因此，控制人口是关系人类存亡和发展的大事。

过度利用、环境污染等人类活动还导致全球生物多样性锐减。生物多样性包括遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性。人类活动导致的栖息地消失、退化、片段化是生物多样性丧失的主要原因。生物多样性具有极其重要的作用，可以采取就地保护、迁地保护、建立种子库和基因资源库、恢复退化的生态系统四种措施进行保护。

可持续发展是人类解决环境问题的必然选择，包括公平性、持续性和系统性三个原则。保护环境是人类生存和可持续发展的必然条件。树立“保护环境，从我做起”的生态意识，参与绿色家庭、绿色学校、绿色社区等实践活动，尝试提出解决现实生活中的生物学问题的措施。

在“调查当地生态环境中存在的主要问题，提出保护建议”的活动中，可以运用调查、提问、实验设计与实施、结果讨论等科学探究方法，解决实践问题，提出合理化建议。在“收集生物多样性保护的实例”的活动中，可以运用收集、归纳与概括信息等科学思维方法撰写报告。

本章知识结构图



生物学

选择性必修2 生物与环境



浙江教育出版社 定价批准文号：浙发改价格〔2019〕319号、〔2020〕331号 举报电话：12315、12315





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