国家教材委员会专家委员会审核通过
2020

普通高中教科书

生物学

选择性必修2

生物与环境



上海科学技术出版社

普通高中教科书

生物学

选择性必修 2

生物与环境



上海科学技术出版社

主　　编：赵云龙　周忠良
本册主编：梅其春
编写人员：（以姓氏笔画为序）
王正寰　沈　宇　张　阳　陈　珉　姜晓东

责任编辑：杨　硕　吴　玥
美术设计：蒋雪静

普通高中教科书　生物学　选择性必修 2　生物与环境

上海市中小学（幼儿园）课程改革委员会组织编写

出　版　上海世纪出版（集团）有限公司　上海科学技术出版社
（上海市闵行区号景路 159 弄 A 座 9F–10F　邮政编码 201101）
发　行　上海新华书店
印　刷
版　次　2022 年 8 月第　版
印　次　2025 年 1 月第　次
开　本　890 毫米 ×1240 毫米　1/16
印　张　7.25
字　数　145 千字
书　号　ISBN 978–7–5478–5298–9/G・1036
定　价　　元

版权所有・未经许可不得采用任何方式擅自复制或使用本产品任何部分・违者必究
如发现印装质量问题或对内容有意见建议，请与本社联系。电话：021–64848025，邮箱：jc@sstp.cn
全国物价举报电话：12315

声明　按照《中华人民共和国著作权法》第二十五条有关规定，我们已尽量寻找著作权人支付报酬。著作权人如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。

目录

第 1 章 种群和群落 1



第 1 节 种群特征及其影响因素 / 2

第 2 节 用数学方法描述种群数量的变动规律 / 9

探究 · 实验 1-1 探究培养液中酵母种群数量的变化规律 / 14

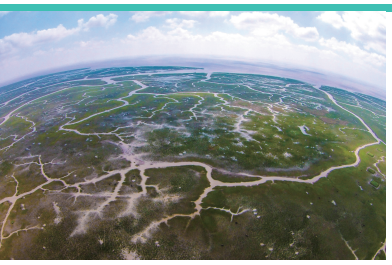
第 3 节 群落是多物种种群形成的复杂空间结构 / 17

探究 · 实验 1-2 探究土壤中动物类群的丰富度 / 20

探究 · 活动 1-3 调查城市常见鸟类生态位 / 26

第 4 节 群落演替是生物与环境相互作用的结果 / 28

第 2 章 生态系统的结构与功能 35



第 1 节 生态系统各组分紧密联系成一体 / 36

第 2 节 能量在单向流动中逐级递减 / 42

第 3 节 物质在生态系统中循环利用 / 49

探究 · 活动 2-1 调查本地一个生态系统的能量流动或物质循环 / 53

第 4 节 生态系统运行离不开信息传递 / 55

第 3 章 生态系统的相对稳定性 63



第 1 节 生态系统具有维持动态平衡的能力 / 64

探究 · 实验 3-1 设计并制作生态瓶 / 68

第 2 节 生态系统的稳定性受到各种干扰的影响 / 71

探究 · 活动 3-2 设计保持和提高某个生态系统稳定性的方案 / 75

第 4 章 生态环境的保护 81



第 1 节 人口增长影响生态环境 / 82

探究 · 活动 4-1 调查身边的环境问题 / 87

第 2 节 生物多样性关系到生态系统稳定及人类生存和发展 / 89

探究 · 活动 4-2 探讨身边的生物多样性保护现状 / 95

第 3 节 保护环境实现人类与自然的和谐相处 / 99

探究 · 活动 4-3 了解身边的人工生态系统 / 101

第1章 种群和群落

湿地广泛分布于世界各地，拥有众多野生动植物资源，是重要的生态系统。很多鸟类的繁殖和迁徙离不开湿地，因此，湿地又被称为“鸟类的天堂”。琵鹭总是站在水中觅食，雁鸭类喜欢在更深的水域中游来游去，而广袤的芦苇丛，则是各种雀鸟的乐园……生活在同一区域里的同种生物常常组成一个种群，种群是简单的个体集合，还是另有特殊之处？由不同种群的生物与环境经历长期的相互作用后，又进一步形成了更复杂的生物群落。群落有什么特点？不同种群的生物在群落中扮演着什么角色？群落是一成不变的吗？只有我们认识到种群和群落的相关结构特征后，才能更好地保护整个生态系统。



第 1 节　种群特征及其影响因素

学习目标

- 分析具体的生物种群，列举生物种群的基本特征，并应用于指导和解决实际的生物学问题。
- 剖析非生物因素及生物因素对种群特征的影响，形成进化与适应的生命观念，提升保护生态环境的意识。

概念聚焦

- 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。
- 光、温度和水等非生物因素以及不同物种之间的相互作用等都会影响生物的种群特征。

崇明东滩是上海地区最重要的滩涂湿地之一，在这里记录到的鸟类超过 290 种，其中国家一、二级重点保护物种 40 种，每年有近百万只水鸟在此栖息。在这百万鸟类大军中，每种鸟都有相对稳定的个体数量。它们是如何维持个体数量相对稳定的呢？如果湿地环境发生变化，会对它们有哪些影响呢？

斑嘴鸭种群

斑嘴鸭是一种集群生活的水鸟，每年都有大约两万只在崇明东滩越冬（图 1-1）。它们以水草为主要食物，周期性地成群往返于海边的潮滩湿地和水草丰美的芦苇荡，寻求食物或休憩，为来年飞向北方做好充分的准备。



图 1-1　芦苇荡中的斑嘴鸭

思考与讨论：

1. 通常将栖息在崇明东滩的全部斑嘴鸭个体称作一个斑嘴鸭种群。请尝试给种群下一个定义。

2. 除了斑嘴鸭，图中还有其他物种的种群吗？

3. 你觉得影响这些生物种群生存的因素可能有哪些？

1．用数量化指标描述种群特征

一个物种得以生存必须要在一定空间内拥有一定数量的个体。这种分布在一定空间内同种生物个体的总和，称为**种群**（population）。例如，分布于上海崇明东滩湿地上所有的斑嘴鸭是一个种群，而所有的芦苇又是另一个种群。不同生物的种群个体数量差异很大，而且在一定时间、一定空间内，又可以有多个不同物种的种群同时存在。

一个种群的大小，指的是一定空间内种群全部个体的数量。如果采用单位面积或单位体积内种群的个体数量来表示种群的大小，则称为**种群密度**（population density），它是种群最基本的数量特征。不同生物的种群密度差异很大，例如每毫升水体中生活着约 15 个大草履虫，而在数平方千米的范围内可能只有 1 只成年虎。在实际生产管理中，农业上预测虫灾的发生、牧业上分析鼠患的程度、渔业上确定捕捞的强度等，都需要人们了解目标物种的种群密度。为此，生态学家根据不同生物的特征，使用样方法、样线法、标志重捕法等不同方法来估测它们的种群密度。

适宜的种群密度是一个物种维持稳定的基础。那么，一个种群如何形成或维持适宜的种群密度呢?

首先，一个物种必须要有足够多的新生个体弥补死亡造成的种群损失。单位时间内种群新生的个体数与该种群个体总数的比值，称为**出生率**（birth rate）；单位时间内种群死亡的个体数与该种群个体总数的比值，称为**死亡率**（mortality rate）。用出生率和死亡率可以估计该种群的生存现状和发展趋势。龟是一类成体寿命很长但幼年死亡率很高的动物，因此，许多龟类物种的生存前景并不乐观。例如，东方泥龟（图 1-2）的出生率高达 96%，但其死亡率也高达 92.1%，大约只有 7.9% 的个体可以活到成年。



图 1-2　东方泥龟

其次，当种群密度过高时，它们中的一些个体可能就会迁出，扩散到种群密度较低的地方生活。通过计算单位时间内迁入、迁出的个体数与该种群个体总数的比值，可以分别估计出种群的**迁入率**（immigration rate）和**迁出率**（emigration rate）。例如，在崇明东滩湿地越冬的近 100 万只水鸟，同期也会频繁地光顾长江口其他滩涂湿地。因此，研究单位时间内越冬水鸟数量的变化时，计算迁入率和迁出率是分析东滩越冬水鸟各物种数量变化的重要依据。

可见，一个物种种群数量的维持是一个动态的过程。简而言之，出生率和迁入率是表示种群数量增加的种群特征，而死亡率和迁出率是表示种群数量下降的种群特征。只有当这四种基本特征相互平衡时，该物种的种群数量才能达到稳定。

此外，年龄结构和性别比例也是影响种群发展的重要因素。**年龄结构**（age structure）是指一个种群中各年龄期个体数量的占比（图 1-3）。每个种群都是由不同年龄和不同性别的个体组成的。例如，根据《第七次全国人口普查公报》显示，我国总人口为 1 411 778 724 人（未包括台湾、香港、澳门），其中 60 岁及以上人口约为 2.640 亿人，占总人口的 18.70%；男性人口约为 7.233 亿人，占总人口的 51.24%；女性人口约为 6.884 亿人，占总人口的 48.76%。为什么我们要如此精确地了解这些人口数据呢?

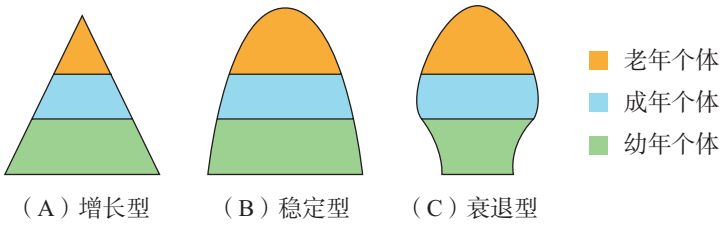


图 1-3　种群年龄结构的三种类型

在分析种群的年龄结构时，根据不同年龄组个体数的占比，可以将种群分为增长型、稳定型和衰退型三种类型。在衰退型种群中，老年个体较多、幼年个体偏少，出生率小于死亡率，未来种群数量会逐渐减少。如果种群中老年、成年、幼年个体比例协调，出生率和死亡率大致相当，种群数量将保持稳定状态。而当种群中幼年、成年个体较多，老年个体较少，种群的出生率大于死亡率，则种群数量将会增加。因此，年龄结构可以用来预测种群数量的发展趋势。

性别比例（gender ratio）则是指种群中雌雄个体数量的比例。有性繁殖的生物种群都有各自最适合的性别比例。大多数有性繁殖物种的性别比例都大致保持在 1∶1。而社会性昆虫如蜜蜂和蚂蚁，由于种群的主体是数量庞大的不可育雌性个体，繁殖任务则交给唯一的雌性蜂王或蚁王与数百只雄蜂或雄蚁去完成。因此从繁殖角度看，它们都是雄性多于雌性的。而种类繁多的蚜虫中，雌性是繁殖的主力，它们可以在没有雄性的参与下进行孤雌生殖。此外，环境条件也会影响生物的性别比例。例如，贡嘎山的冬瓜杨在低海拔地区的雌雄性别比例为 1∶1.33，而在

高海拔地区变成了 1∶2.36，雄性个体成活率更高。总之，性别比例是生物长期环境适应、种群繁衍的进化结果。当这个比例被破坏时，种群数量就会受到影响。利用这一特性，人类可以使用性引诱剂杀灭某些农林业害虫的雄性个体，破坏它们的正常性别比例，从而有效抑制其种群规模，降低对农林业的破坏。

广角镜

如何估测物种的种群密度？

分布相对固定的生物，如高等植物，可以使用样方法估测其种群密度。如图 1-4 所示，通过在调查区域内随机设置若干个样方，并计数样方中目标生物的数量，计算出样方面积内的种群密度。根据实际需要，调查一定数量的样方，求取这些样方种群密度的平均值，即可估测出整个调查区域中目标生物的种群密度。

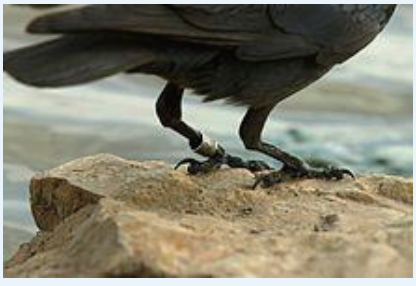


图 1-4　样方示意图（1 m × 1 m）

而许多动物活动能力强、活动范围大且难以直接观察，则可以使用标志重捕法估测它们的种群数量。在被调查种群的活动范围内，捕获一部分个体（数量为 M）并标记后释放。一段时间后，在该区域内重新捕捉。根据重新捕捉到的个体（数量为 n）中有标记的个体（数量为 m）所占的比例，来计算调查区域内整个种群的数量（N）。其计算公式为：$\frac{N}{M}=\frac{n}{m}$。现实中，针对不同的物种可以使用环志、标牌等多种标记方法（图 1-5）。

对于那些易于观察且体型较大的生物，如鸟类、大型哺乳类、高大乔木等，用样线法来调查种群密度更加高效。简单的样线法调查，只需记录调查样线两侧规定宽度范围内观察到目标生物的个体数量以及样线的长度，进而计算样线调查覆盖面积中目标生物的种群密度。与样方法相似，在调查区域的不同地方多次重复，并对调查数据求取平均值即可有效估计研究区域内目标生物的种群密度。

那么，肉眼不可见的微生物又该如何估测呢？其实前面三种方法虽然形式不同，但背后的数学原理却很相似，即抽样原理——通过调查部分来估算总体。例如，我们可以利用显微镜统计一定量液滴中的目标微生物数量，从而推算出总体中该微生物的种群密度。



（A）乌鸦脚上的环志



（B）蜗牛壳上的标牌

图 1-5　不同种类的标记方法

2. 环境因子影响种群特征

任何一个自然种群的形成都是其与环境相互作用的结果。通常把环境中可以影响生物生存的因素称为环境因子，包括非生物因素和生物因素两大类。水、温度、光等是常见的非生物因素，而天敌、传染病病原体等是常见的生物因素。

水是生命不可或缺的重要组成成分，是生命代谢活动的介质。不同生物对水的依赖程度各不相同，因此，水就成为它们在自然界中分布的决定因素。例如，藤壶是一类在海边岩礁上固着生活的节肢动物，它们能够耐受暂时的缺水环境。因此，随着礁石离海平面高度的增加其种群密度开始下降，直到潮水完全无法到达的高度，藤壶也就无法生存了。

除了水以外，生命活动还需要一定的温度环境。例如，丁香在气温低于 6.1℃时，叶片就会冻伤；而水稻在 38℃恒温下培养时，结实率为零，即种群出生率为零。大部分哺乳动物无法忍受环境温度长时间超过 42℃。为了躲避极端温度的不利影响，野生大熊猫会利用不同海拔高度的温度差异，在不同季节、不同海拔高度的环境之间，规律性地迁入和迁出。许多爬行动物的性别是由胚胎时期的环境温度来决定的。当扬子鳄卵在孵化温度为 28.5℃时，孵出的全部为雌鳄；温度为 33.5 ~35℃时，孵出的全为雄鳄；温度为 30℃时，雌雄比例相等。因此，繁殖季气温的差异将会影响野生扬子鳄种群的性别比例。

光照的周期性、强度、光质变化对生物种群的影响同样重要。菊花在一年中日照变短的季节开花，而桃花、菠萝等植物在日照时间变长的季节开花、结果。雪兔、北极狐等动物每年冬季换上雪白的皮毛，能够更好地在白雪皑皑的冬季伪装自己，提升种群的存活率。然而驱动它们换毛的原因并不是下雪，而是逐渐变短的日照时长。光照还对许多生物的空间分布起着重要作用。光照强度的差异使得山地阴坡和阳坡的植物物种组成大不相同。此外，因为不同光质的光线对水的穿透能力不同，随着海水深度的增加，波长较长的色光强度迅速衰减，只有短波长的色光可以通过，加上生物对光的吸收作用，使得海洋藻类呈现分层分布的现象：绿藻总是分布在浅表水域；而在较深的水层中，就以主要吸收短波长的蓝、紫光的褐藻和红藻为主了。

和非生物因素一样，生物因素也常常共同作用于生物，影响着种群数量。例如，赤狐是北半球常见的犬科动物，以小型动物（如雪兔）为食。正常年份中，由于赤狐的捕食作用，雪

兔的种群数量总是被控制在较低的水平。但有些年份赤狐种群暴发兽疥癣，导致赤狐大量死亡，赤狐对雪兔种群的捕食作用减弱。因此，雪兔的种群数量相应地发生暴发式增长（图 1-6）。

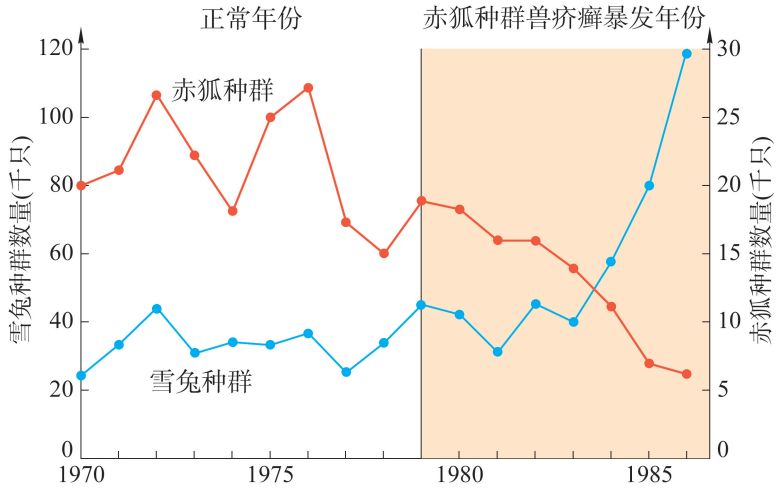


图 1-6　赤狐和雪兔种群数量年际变化

要认识环境作用于生物种群的基本规律，除了要认识各个主要环境因子的单独作用外，更重要的是要认识到不同的环境因子相互组合、共同作用于生物的种群。正是这种复杂多样的组合决定了不同物种各异的地理分布和生活习性，从而形成了地球上丰富的生物多样性。

自我评价

1. 上海市常住人口 2000 年为 1 673.77 万人，2010 年为 2 301.91 万人，2020 年达到 2 487.09 万人。请结合所学知识预测下一次人口普查时，上海市常住人口数、年龄结构、性别比例的变化趋势，并说明你的理由。
2. “种群不能简单地理解为一定区域内的同物种个体的相加”，如何理解这句话？
3. 为了解上海地区城市化水平对两栖类动物生存的影响，研究人员选取了三块面积相仿、城市化水平不同的湿地作为研究样区，采用样线法调查金线侧褶蛙的种群现状（表 1-1）。其中城市化指标得分越高表明城市化水平越高。

表 1-1　城市金线侧褶蛙种群调查结果

采样地点	城市化指标	种群密度（只 /m^2）
样区 1	0.53	0.209
样区 2	0.62	0.147
样区 3	1.28	0.144

（1）从表中数据推测，金线侧褶蛙的种群密度与城市化水平可能存在什么关系？

（2）城市化被认为是导致全球两栖类动物种群衰退的重要因素。人类需要城市，但是野生动物也有生存的权利。结合所学知识，你认为在城市化环境中应该怎样保护两栖类动物？

前沿视窗

什么原因改变了大熊猫的食性？

大熊猫是唯一一种几乎完全依赖竹子生活的熊科动物（图 1-7）。那么，大熊猫在其 800 万年的进化历史中是一直以竹子为食呢，还是慢慢变成主食竹子的呢？如果是后者，那它是什么原因以及何时改变食性的呢？

进化生物学家首先研究了食肉动物的味觉基因 *Tas1r1*。*Tas1r1* 是一个与品尝肉类食物鲜味有关的基因，对食肉动物有重要意义。通过对比大熊猫和另外 5 种食肉动物（北极熊、犬、狼、北极狐、猫）的 *Tas1r1* 基因结构，科学家发现只有大熊猫的 *Tas1r1* 基因失去了功能。无独有偶，与大熊猫亲缘关系很远的小熊猫，它的 *Tas1r1* 基因也是失活的，而它们俩都喜爱吃竹子。通过计算基因的突变速率，并比较大熊猫骨骼化石中牙齿形态的进化历史后，科学家推算出大熊猫的 *Tas1r1* 基因大约在距今 400 万年前失去了功能，因此判断大熊猫大约在 400 万年前开始全面转向植食性。可是，大熊猫是在 400 万年前开始以竹子为主食，还是从吃多种植物慢慢转变成主食竹子的呢？为解决这个问题，科学家使用了稳定性同位素技术进行研究。自然界广泛分布着低浓度的稳定同位素如 ^{13}C 和 ^{15}N。由于光合作用和氮素利用途径的差异，不同种类的植物中 ^{13}C 和 ^{15}N 的含量是有差异的。这些植物的稳定同位素又以食物的形式，在食草和食肉动物体内积累，并在骨骼中形成具有特征性的浓度。通过分析和对比现代大熊猫和古代大熊猫骨骼中 ^{13}C 和 ^{15}N 的浓度变化，可以推测出大熊猫食性的演化历史。

最近，科学家在云南两处全新世中期遗址发现，当时大熊猫骨骼中 ^{15}N 的含量与同时期食草动物在同一水平上，但是显著地高于现代大熊猫。而该遗址所在区域的现代哺乳动物，无论是食肉动物还是食草动物，其稳定同位素值与全新世中期的样品都没有差异。因此，这种 ^{15}N 含量的差异说明现代大熊猫和全新世中期大熊猫的食性存在很大差异。历史上，大熊猫分布于从东南亚一直到北京的广大区域，涵盖了非常丰富的栖息环境类型。通过分析不同地方出土的大熊猫骨骼标本的 ^{13}C 含量，科学家发现不同地区的大熊猫 ^{13}C 含量变化很大，而现代大熊猫 ^{13}C 含量只在这个巨大的变化范围里占据了很小的一部分。

如此一来，大熊猫食性的变化历史就比较清晰了。它们在距今 400 万年前开始转向以植食性为主，当时由于栖息环境多样，大熊猫有非常丰富的食谱。随着环境的变化，大熊猫的分布区逐渐萎缩至今四川、甘肃、陕西、湖北等地的高山森林地带，其食性也逐渐改变成了以当地盛产的竹子为主。这种改变的历史并不长，可能就是近 4 000~8 000 年前发生的。由此可见，大熊猫食性的改变正是其对环境变化的适应性进化结果。

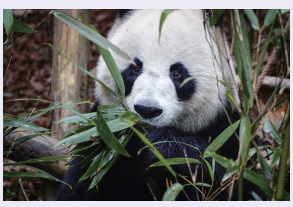


图 1-7　以竹子为主食的食肉类动物——大熊猫

第2节　用数学方法描述种群数量的变动规律

自然界中，不同生物的种群数量变化各不相同：亚洲象的种群增长非常缓慢，母象平均每四年才生产一头小象，蝗虫却可以在一年内多次发生暴发式种群增长；水杉成长缓慢，浮萍却可以在几周内铺满整个池塘……科学家常通过建立数学模型来描述种群数量的变动，总结并比较不同物种间种群增长模式的差异，进而从中分析自然种群数量变化的原因。

惊人的繁殖速度

小天蓝绣球，又名福禄考，是原产于墨西哥的一年生草本植物，它花型美观、色彩艳丽多变（图1-8）。因此，作为园林观赏植物广泛引种于我国各地。每年3~4月条件适宜时，这种草本植物成片地生长并开花，迅速形成既壮观又美丽的春景。



图1-8　小天蓝绣球

思考与讨论：

1. 现有100株小天蓝绣球，假如每株每年可繁殖出3株后代，请推算这个种群今后5年的数量增长情况，并绘制曲线。

2. 在自然环境中，生物种群以这样的繁殖速度可以世世代代保持下去吗？为什么？

学习目标

- 建立数学模型解释种群的数量变动规律，提升使用科学方法总结生态学规律和机制的能力。
- 分析导致自然界物种的种群变动的原因，提升环保意识和可持续发展意识。

概念聚焦

- 种群增长有“J”型和“S”型两种基本形式。

1. “J”型曲线的种群增长率保持不变

以一个小天蓝绣球的实验种群数据为例，实验开始时共种植成活了 996 株，第二年种群增长到 2 408 株，则种群增长率 λ 为 2.417 7，表示第二年种群数量是第一年的 2.417 7 倍。假设第一年的种群数量为 N_1，而且这个 λ 一直保持下去，则第三年的种群数量 $N_3 = N_2 \times \lambda = N_1 \times \lambda^2 = 996 \times 2.417\ 7^2 = 5\ 822$。以此类推，第 t 年时种群数量为 $N_t = N_1 \times \lambda^{t-1}$，我们可以计算之后逐年的种群数量（表 1-2）。依据这个数学模型，以年份为横坐标，种群数量为纵坐标，画出的种群增长曲线如图 1-9 所示，这种模型被称为种群的“J”型增长模型。

表 1-2　小天蓝绣球种群不同年份的种群数量

年份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
种群数量（株）	996	2 408	5 822	14 076	34 031	82 276	198 918	480 924	1 162 729	2 811 131	6 796 471

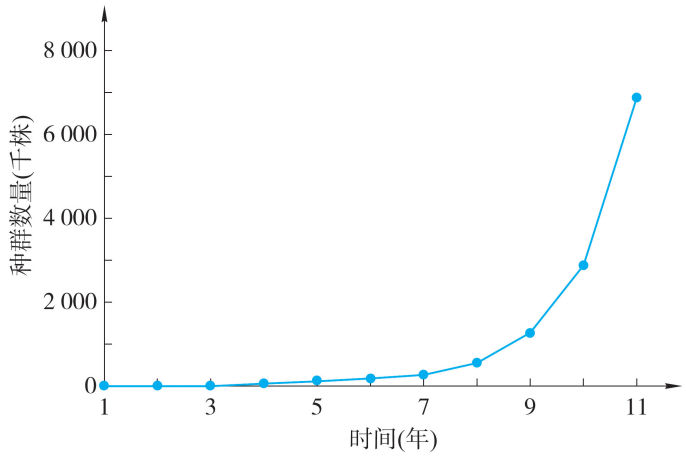


图 1-9　小天蓝绣球种群的“J”型增长曲线

生物出现“J”型增长的前提条件是，必须生活在食物充分、生存空间充裕、气候适宜且没有敌害和种内竞争的理想环境中。对于在特定环境中长期进化适应生存下来的物种而言，这样的理想环境很难找到。但是，当一个外来物种进入新的环境，而且恰巧这个新环境不仅气候适宜、还没有可以制衡它的敌害时，这个外来物种的种群就可能会快速增长，最终威胁本土物种的生存，这就是生物入侵。入侵生物种群数量常常呈现出“J”型增长。

思维训练

如何控制入侵物种的种群大暴发？

海蟾蜍是一种原产于中、南美洲地区的大型蟾蜍（图 1-10）。海蟾蜍食性多样，包括小型哺乳类、爬行类、两栖类、昆虫类，甚至一些植物。从 19 世纪中期开始，海蟾蜍作为生物防治物种，先后被引种到十多个国家和地区。例如 1930 年开始，澳大利亚引入了 102 只成年海蟾蜍个体和 62 000 只幼体，但由于海蟾蜍体型巨大、繁殖力强、生性凶猛且皮肤毒性大，在引种国又少有天敌，因而，其种群数量快速增长。至 21 世纪初，其种群数量已超过两亿只，成为澳大利亚乃至世界范围内最让人头疼的入侵物种之一。



图 1-10　海蟾蜍

思考与讨论：

1. 结合该物种种群的变化模型，尝试分析可以采取哪些措施应对或控制入侵种群数量的大暴发？

2. 你知道我国有哪些入侵物种吗？尝试以一个入侵物种为例，分析其成功入侵的原因以及我们应该如何控制它们的种群数量。

2. “S”型曲线的种群数量会饱和

并不是每个入侵的生物种群数量都能够一直维持“J”型快速增长，因为自然界的资源和空间总是有限的。当种群数量过度增长后，空间变得过于拥挤，食物等资源分配日渐紧张，种内竞争以及疾病、捕食者的威胁等都会加剧。这些因素综合作用，使得种群的死亡率上升、出生率下降，最终种群增长停止，种群数量保持在一个相对稳定的水平上。

苏联生态学家高斯（G. F. Gause）曾经利用大草履虫做过一系列关于有限环境种群增长规律的研究实验。他在 0.5 mL 培养液中一次性加入 5 个大草履虫，然后记录每天的种群数量变化。他发现大草履虫第 1 天的种群数量增长较慢，第 2、3 天开始高速增长，而从第 4 天开始减速增长，直到第 5、6 天基本稳定在 375 个左右。我们把大草履虫这种增长率先慢后快，再放缓，最后种群数量趋于稳定的增长曲线称作“S”型曲线（图 1-11），

又叫做逻辑斯蒂曲线。我们把种群在特定的环境情况下所能维持的种群最大数量，称为环境容纳量，用 K 表示。本实验中大草履虫种群数量最终稳定在 375 个左右。

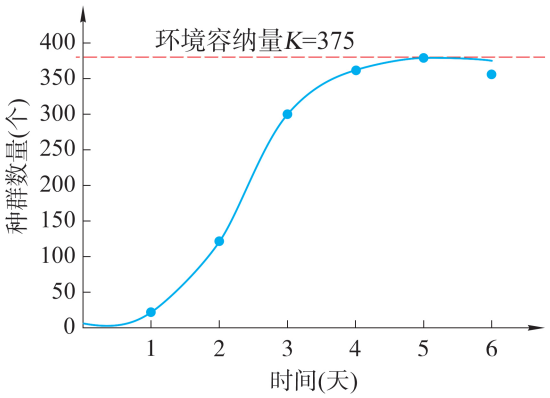


图 1-11　大草履虫种群的“S”型增长曲线

广角镜

“S”型曲线的数学模型

“S”型曲线的计算公式是：

$$N_t=\frac{K}{1+\left(\frac{K}{N_0}-1\right)e^{-rt}}。$$

其中 N_t 表示 t 时刻的种群数量，N_0 表示种群一开始时的数量。e 是自然常数，r 表示 N_0 时刻的种群增长率。在“S”型曲线的中间有一个“拐点”，正好位于环境容纳量的一半，叫做 $\frac{K}{2}$。畜牧养殖业中常将种群数量维持在 $\frac{K}{2}$，以保证种群健康，同时又能获取相对最大的捕获量。

3. 自然种群的数量是变动的

自然界中，许多物种的种群都无法长时间保持在环境容纳量附近，因为气候、食物、疾病、天敌等环境因子总是在不断地变化。有时这些变化存在一定的周期性且在物种耐受范围之内，因此生物的种群数量也表现出一定的规律性波动，例如新疆北部地区小家鼠不同年份种群数量的变化（图 1-12）。如果环境条件的改变过于剧烈或者突然，则会导致物种种群数量发生剧烈的下降，甚至最终灭绝。许多证据表明，白垩纪末期恐龙的灭绝是突发灾变性气候作用的结果。

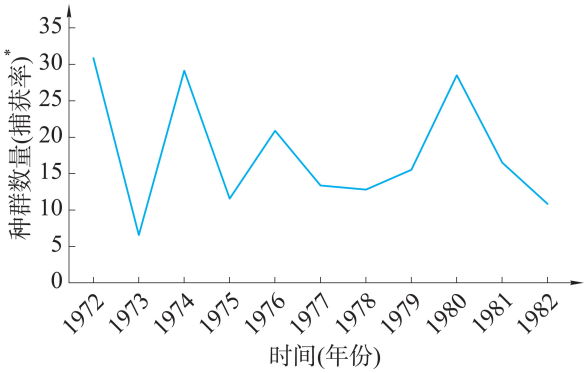


图 1-12　不同年份新疆北部地区小家鼠的种群数量变化

科学史话

逻辑斯蒂函数

早在 18 世纪，人们已经认识到了指数增长模型在自然科学和经济学中的应用价值。1789 年，英国经济学家马尔萨斯（Malthus）著名的《人口论》中就提到了人口指数式增长带来的后续问题。比利时天文学家和统计学家克托莱（A. Quetelet）敏锐地发现，这种指数式的人口增长在现实世界中显然是不能长期维持的。那么，又要用什么合适的数学模型来拟合现实中的人口变化规律呢？他把这个问题交给了自己的学生——荷兰人弗赫斯特（P. F. Verhulst，图 1-13）。

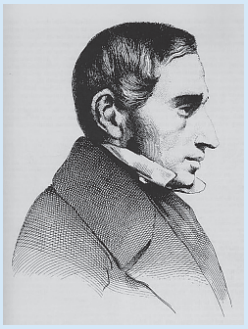


图 1-13　弗赫斯特

弗赫斯特在 1838—1847 年期间发表了三篇重要的论文来阐述这个问题。他在其中一篇论文的“S”型曲线旁边用法语写下了“courbe logistique”，但并未对这个名词的意义作进一步解释。弗赫斯特英年早逝，他的工作如同孟德尔的研究一样被当时的人们所遗忘。几十年后的 1920 年，美国统计学家珀尔（R. Pearl）和里德（L. J. Reed）在并不知道弗赫斯特研究成果的情况下，又独立发现了美国人口增长的函数规律。当他们发表自己的研究成果时，才发现了弗赫斯特的论文。在时任英国皇家统计学会主席的建议下，他们最终为其取名为逻辑斯蒂（logistic），以纪念弗赫斯特的贡献。这就是逻辑斯蒂方程和逻辑斯蒂曲线的由来了。

逻辑斯蒂函数的研究最早主要用来解决人口增长或化学催化反应等方面的理论问题。在之后的一百多年里，逻辑斯蒂模型不仅保持着在生态学和化学研究中的重要地位，在许多其他领域中也得到了广泛使用。例如，医学上，用它解释肿瘤的生长规律；在统计学和机器学习领域，用它解释一些重要的数据分布；物理学中，它是解释量子分布规律——费米分布的数学基础；在农业上，用它研究作物对生长因子调控的反应；经济学家用它来研究专利发明的市场推广模式；甚至语言学家都在用它来研究人类社会语言的进化和演变。

* 捕获率 =（捕获小家鼠的鼠夹数 / 布设的总鼠夹数）× 100%。在研究啮齿类动物时，通常使用捕鼠夹的捕获率来间接表示种群数量。

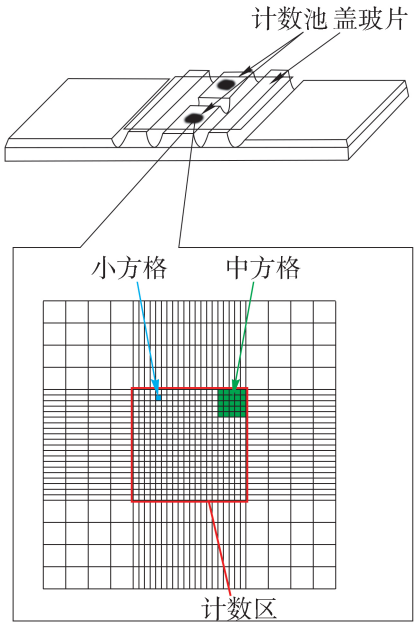


图 1-14　血细胞计数板构造示意图

探究 · 实验

1-1　探究培养液中酵母种群数量的变化规律

酵母是生活中一类常见的单细胞真菌。在酿酒和制作面食时，酵母都是重要的原材料。酵母也是研究生物种群动态的好材料。

实验目标：

探究培养液中的酵母种群数量随时间变化的规律。

实验原理：

利用液体培养基来模拟有限环境，观察随着资源的不断消耗，酵母种群数量的动态变化。

材料器具：

显微镜、试管（或三角烧瓶）、血细胞计数板（图 1-14）、移液器、计数器、吸水纸、灭菌液体培养基（如马铃薯培养基、麦芽汁培养基、酵母浸粉胨葡萄糖培养基均可）、亚甲基蓝溶液、酵母等。

实验步骤：

1. 与组员讨论，形成可实际操作的实验方案，明确实验步骤和要求，落实团队成员分工，形成书面方案并寻求教师指导。

2. 通过显微镜观察，估算 10 mL 液体培养基中酵母的初始种群数量（N_0）。至少连续观察 5 天，记录每天获得的观测数据并制成曲线图。

3. 直接数出试管中的酵母数量很难，因此，我们需要借助血细胞计数板来抽样推算。血细胞计数板的结构如下：血细胞计数板中央有 2 个 3 mm × 3 mm 的计数池。每个计数池划分成 9 个 1 mm × 1 mm 的大方格，正中央的大方格称为计数区。每个大方格进一步划分为 16 个中方格，每个中方格再进一步划分成 25 个小方格。因此，1 个计数区最终由 400 个等尺寸的小

方格组合成。每个小方格的面积是 1/400 mm^2。计数区的高度是 0.1 mm，当盖上盖玻片时，每个小方格的体积为 1/4 000 mm^3。

4. 设计方案及实验中注意思考以下问题：

（1）将少量亚甲基蓝溶液滴入菌液并静置 3 min，死亡的酵母细胞将变成蓝色，而活体细胞不会被染色。只有活体才能被记作种群的一员，但是计数死细胞又能为我们提供什么种群信息呢？

（2）是否需要对照实验？

（3）是否需要重复实验？如果需要，如何处理各重复实验获得数据间的差异？

（4）酵母有出芽生殖现象。如果观察到正在出芽的个体应该算作几个个体呢？（建议：确定一个芽体和母体的体积比阈值，当超过这个阈值时就记为 2 个个体，否则算 1 个个体。）

（5）落在网格线上的个体用什么方法进行计数？

（6）如果小方格里酵母过多，难以数清，怎么办？

结果分析：

1. 通过信息化技术，汇总全班（或全校等更大范围）各实验小组 5 天的数据，制作一条基于汇总数据的酵母种群数量增长曲线。这条曲线有什么特征？你能根据此曲线预测第 6 天的酵母种群数量吗？

2. 基于汇总数据获得的种群增长曲线与本组获得的曲线进行比较，分析两条曲线间的异同，以及产生差异的可能原因。

3. 数据和图表是否支持你的实验假设？

4. 哪些因素影响着酵母的种群数量变化？

拓展探究：

请设计一个方案，让试管（或三角烧瓶）中的酵母种群数量维持在一个相对稳定的水平。

自我评价

1. 比较种群的“J”型增长曲线和“S”型增长曲线的异同。

2. 在高斯估算大草履虫种群环境容纳量的实验中，还有另一组数据如表 1-3 所示。

表 1-3　大草履虫种群环境容纳量实验数据

时间（天）	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
细胞平均数（个）	2	10	10	11	21	56	104	137	165	194	217	199	201

（1）请利用上表数据作图。

（2）估计这个大草履虫种群的环境容纳量是多少？

（3）当大草履虫种群数量达到环境容纳量时，其种群数量能否稳定在 K 值，为什么？

3. 我国渔业资源由于过度捕捞一度面临枯竭。为了我国渔业的可持续发展，自 1995 年以来，我国各大海区陆续实行伏季休渔制度，对近海海域的渔业资源恢复起到积极作用。然而整体上，我国近海渔业一直呈现捕捞总产量急剧下跌的趋势，优势经济鱼种（如带鱼）的产量持续下降，许多小型鱼类逐渐替代优质、大型鱼类成为主要的渔获物种。请查阅资料并就以下问题展开讨论。

（1）为什么伏季休渔能够在一定程度上缓解渔业资源枯竭的问题？

（2）过度捕捞一直被认为是导致渔业资源量下降的主要原因。从种群增长模型的角度来看，你认为应该如何平衡渔获量和种群健康之间的矛盾？

（3）如果要为我国渔业资源保护和恢复献计献策，你的意见和建议有哪些？

第3节　群落是多物种种群形成的复杂空间结构

随着生活水平的提高，人们越来越重视城市生态环境建设，城市公共林绿地的营造面积也逐年增加，为市民提供了更多亲近自然的机会。在你生活的社区，有这样的林绿地吗？你观察过这些林绿地中的动植物吗？它们的分布有何规律可循？实际上，人工林绿地是对自然群落的模仿，在自然群落中，生物组成和相互关系可能更加丰富。让我们走进自然群落的典型代表——热带雨林，认识群落的物种组成和空间结构吧。

热带雨林里的空中群落

热带雨林物种丰富，地球一半以上的已知物种生活在热带雨林中（图1-15）。由于温暖湿润，土壤有机质分解迅速，雨林地表的土壤并不十分肥沃，加上高大乔木遮挡了阳光，因此，幽暗的雨林地面上，物种并不如人们想象的那样丰富。相反，许多物种依托高大的乔木生活在雨林的中、上层。雨林中大量的落叶、有机体残骸都被树冠给“兜住”了，从而在高大乔木的中、上层形成了肥沃的“土壤”。大量附生植物扎根在这里并进一步招引昆虫、鸟类、两栖类、爬行类、哺乳类等动物，共同形成了生物多样性异常丰富的“空中群落”。生物学家在这里发现的新物种数以千计。

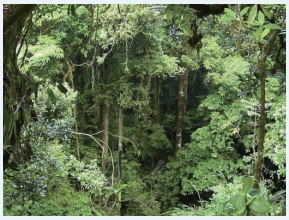


图1-15　热带雨林

思考与讨论：

1. 附生植物为什么可以招引那么多不同种类的动物？热带雨林中的物种分布有什么特点？

2. 种群和群落是什么关系？

学习目标

- 描述群落是一个由多物种组成的有机整体，具有水平和垂直结构，以及随时间改变的动态特征。从系统的角度认识到生命之间相互作用、相互联系的本质，从而树立正确的环境意识和生命意识。

概念聚焦

- 群落是由多个物种种群组成的有机整体。
- 群落具有水平和垂直结构。
- 群落结构可随时间改变。

1．群落是多个物种种群组成的有机整体

在热带雨林中，不同种的生物之间或多或少地存在一些联系。正是这些紧密程度不一的联系，使得这些生物共同组成了超越它们各自种群的组织结构。同一时间内，聚集在一定区域中的各种生物种群集合，称为**群落**（community）。

显然，在种群水平上，我们主要探讨物种内部或外部的影响因素；而到了群落水平上，我们将更加关心物种之间的相互关系：群落由哪些物种组成？它们如何组成一个群落？

群落的物种组成是区别不同群落类型的重要特征。鉴别群落时，可以依据群落中具有代表性的物种来判断。相比动物而言，植物通常是决定群落外貌的主要部分。通常，我们用植被来表示群落中的植物组成，因此，群落常用主要植物组成的植被类型来命名。图 1-16 展示的是我国北方针叶阔叶混交林和南方亚热带常绿阔叶林两种群落中主要植被的不同组成。



（A）长白山针叶阔叶混交林及其主要植被组成



（B）重庆缙云山亚热带常绿阔叶林及其主要植被组成

图 1-16　两种群落中主要植被的不同组成

由于每个物种的自然分布都受到环境因子的限制，群落的组成和结构也必然随环境条件的差异相应地存在规律性的变化。以上两种森林群落中植被组成的差异主要是受到我国北方和南方温度差异影响：北方较寒冷，因此更适合有较强耐寒能力的针叶裸子植物和被子植物生长；而在南方，更加适应温暖湿润气候的被子植物取代了针叶裸子植物，成为群落中主要的木本植物。

虽然我们用植被类型来命名不同的群落，但千万别忘记群落中包含的其他生物——动物、微生物等。例如，在亚马孙雨林，生活着 4 万余种植物，却有多达约 250 万种昆虫。昆虫不仅是许多动物的食物来源，还是分解枯枝败叶、肥沃土壤的能手和植物传粉的主力军，成为促进植被更替的重要动力。一个群落中全部物种的数量称为物种丰富度。除了用物种组成来区别不同群落类型外，物种丰富度也是衡量、比较不同群落的重要特征。

在诸多影响群落组成的环境因子中，气候是最基本也是最重要的影响因子。由于地球上的气候带整体上呈现由赤道向两极逐渐变冷的趋势，相应地，在全球尺度上，群落物种丰富度也随着这个趋势由热带地区向两极逐渐减少。例如，图 1-17 中鸟类丰富度随纬度变化而变化的规律是不同气候带对物种丰富度作用规律的典型案例。

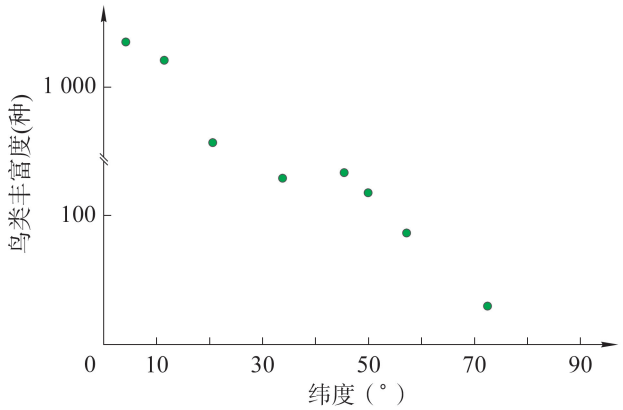


图 1-17　北半球不同纬度鸟类丰富度的变化规律



探究 · 实验

1-2 探究土壤中动物类群的丰富度

土壤是陆地上生物群落发展的基础，而且土壤中的动物类群也十分丰富。环境中大量的有机物和有害物质的分解都在土壤中进行。

实验目标：

根据自己的兴趣，结合实际条件，寻找研究课题，设计实验方案，完整经历科学探究的过程，并运用生态相关观念，尝试分析解决问题。

实验原理：

土壤动物的组成和丰富度可以用来指示土壤的健康程度，进而反映环境的健康程度。

材料器具：

土样采集器、去底小水桶、金属网、漏斗、固定液（乙醇）、灯泡（40~60 W）、试管、铁架台、纱布、镊子、土样筛、滴管、载玻片、体视解剖镜等。

实验步骤：

1. 确定课题

研究土壤动物的组成和丰富度可以回答许多科学问题。例如，不同深度的土壤中，动物的组成有何差异？城市中不同区域土壤动物的组成一样吗？为什么？某种环境污染物对土壤动物有何影响？再比如，可以以土壤动物为检测对象，开展某种人类活动对环境影响的对比研究。

想想看你感兴趣的问题是什么，结合可行性，把它转化为研究课题吧。

2. 设计方案

研究土壤动物需要一些特殊的技术手段。首先，除一些大型节肢动物和蚯蚓外，大部分土壤动物都是微小的，我们需要特殊的土样采集器和捕捉设备来收集土壤并分离其中的

动物。其次，土样采集器一次采集的土样是十分有限的，为了真实反映土壤中的情况，需要根据实际能力进行重复采样。再次，土壤中的大动物可以直接计数，但是许多小动物需要在体视解剖镜下观察、计数。针对你的研究课题，综合考虑以上问题，设计出本组的实验方案。有必要的话还可以进行预实验检测方案的可行性。

3. 制作土样采集器

可以使用市售的标准土样采集器采集土样，也可以自己动手制作简易的土样采集装置。制作时，可以使用 PVC 管、罐头等各种截面为圆形的硬质材料，以方便通过旋转助力采集器插入土中取样。无论使用标准采集器，还是自制采集器，都需要注意采样过程的标准化。首先，由于土壤中不同土层的动物组成有很大差别，必须在实验开始前明确采样的土层深度。其次，为了确保样品的重复性和可对比性，每次采样必须使用规格相同的采集器。如果使用自制采集器，需保证各个采集器规格一致。

4. 制作诱虫器

诱虫器的结构如图 1-18 所示。在搭建诱虫器时，使用一个去底小水桶，里面固定一张金属网来盛放土样。然后，将这个盛土器放置在一个大漏斗上，漏斗下部接装有固定液（乙醇）的集虫器。将整个装置置于电灯下烘烤，利用土壤动物躲避高温的习性，将它们逐渐赶往盛土器的底部并掉落，沿着漏斗收集在集虫器中。

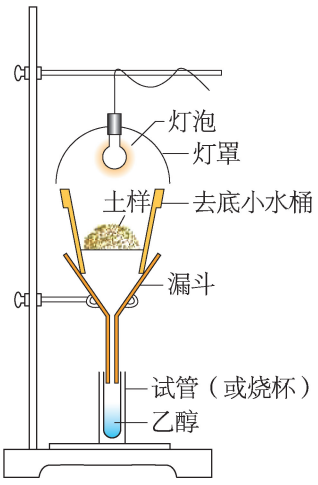


图 1-18　诱虫器的结构示意图

5. 编制采样记录表

根据你们小组的研究课题，设计一张采样记录表。基本信息应包括样品编号、采样地点（经纬度坐标）、采样深度（如 0~5 cm、5~10 cm 等）、环境类型（公园、农田、居民区、工厂等）、备注（如显著的污染源）等。

6. 采集土样

到达取样点后，清理取样点地表的覆盖物（落叶、生活垃圾等），将采集器插入土中，确保采集器底面与地表齐平。用铲子将采集器连同里面土样一起铲出，并将土样转移至样品容器中。同时，在采样记录表中记录信息。

7. 收集动物

将土样倒入土样筛内过筛，体型较大的土壤动物会留在土样筛中，用包裹了纱布的镊子和集虫器直接收集。将过筛的土样置于诱虫器中，设置统一的烘烤时间，待处理完毕后，保存好集虫器中的溶液备用。

8. 观察和分类

用滴管吸取适量集虫器中的固定液，并置于载玻片上（图 1-19），制作临时装片，送体视解剖镜观察。使用动物分类学资料来鉴定所有观察到的动物标本。对来自每一份土样的动物物种和数量都要进行详细准确的记录。

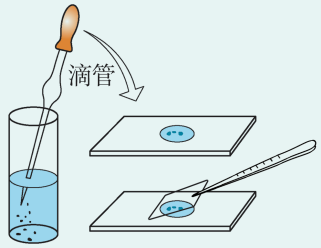


图 1-19　动物标本的制作示意图

如何确保不同观察者对不同样品的观察结果具有可比性？需要建立一套所有参与者都可参照执行的标准化技术方法。例如，仅对解剖镜下一个视野范围内看到的动物进行计数；或者建立统一的数量等级标准，如“非常多、很多、一般、较少……”

9. 统计数据

设计一张数据统计表，将不同样品中土壤动物的观测结果进行归类整理，分析所得数据。

结果分析：

1. 本小组的实验结果是否回答了之前确定的研究问题？

2. 在研究过程中，遇到了哪些没有预见的状况，小组是如何处理的？

3. 如果再做相关的研究，有哪些地方可以改进？

4. 从本研究获得的数据和分析中，你又发现了哪些新的科学问题？

2．种间关系将群落物种联系在一起

群落中各物种之间存在着复杂的相互作用。这类物种间的相互作用，称为种间关系。常见的种间关系可以分为负相互作用和正相互作用（表 1-4）。负相互作用是指作用双方至少有一方受害，例如捕食、种间竞争、寄生。而正相互作用则双方至少有一方受益，而且另一方没有受损，例如共生。你能为这些种间关系分别举出例子吗？

表 1-4　不同的种间关系

种间关系		定义
负相互作用	捕食	一种生物以另一种生物为食
	种间竞争	两种或多种生物共同利用同一资源而产生的相互妨碍作用。竞争表现为物种间相互抑制，其结果通常是一方占优势，而另一方居于劣势，甚至灭亡
	寄生	寄生生物寄宿在宿主生物体内或体表，并从宿主生物的组织、体液、已消化物质获取营养，造成对宿主生物的危害
正相互作用	共生	不同种的生物生活在一起，相互依存，彼此有利

广角镜

旅鼠种群动态对极地水鸟繁殖成功率的影响

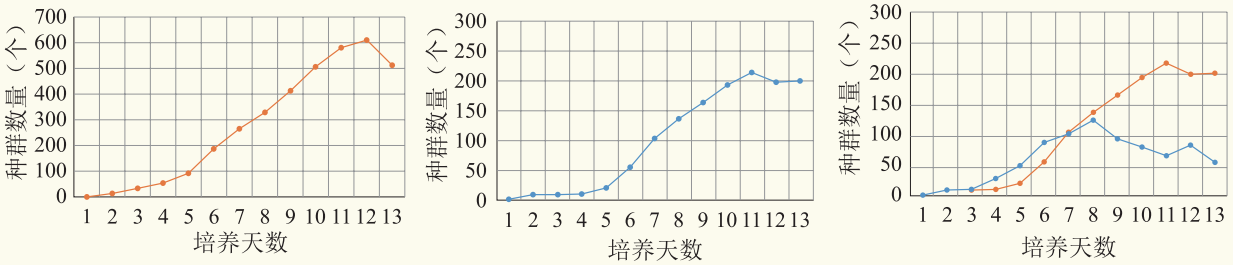
环北极地区的冻原、苔原、针叶林和沼泽等环境中分布着 20 种旅鼠。旅鼠是许多极地食肉动物主要的食物来源。

受到气候周期以及自身繁殖特性的影响，旅鼠种群会出现为期 3 ～ 4 年的暴发周期。在旅鼠种群密度降低时，捕捉旅鼠不易，北极狐转而捕食繁殖水鸟巢里的蛋和雏鸟来补充食物，从而导致许多繁殖水鸟的繁殖成功率下降。等到来年旅鼠的种群进入增长周期，北极狐的捕食重心就又转向旅鼠，极地水鸟们的繁殖成功率自然就上升了。

思维训练

种间关系

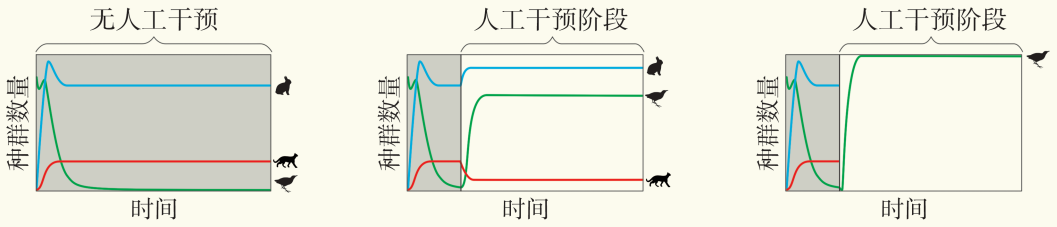
案例 1：双小核草履虫和大草履虫是两种形态和习性都很相似的物种。如图 1-20 所示，将数量相同的两种草履虫单独或混合培养于体积、成分等均相同的水环境时发现：两种草履虫混合培养时的种群数量均小于各自单独培养时的种群数量；两种草履虫间并无捕食或者直接杀死对方的现象；混合培养开始时，两种草履虫的种群数量都在上升，但第 8 天，大草履虫种群数量开始下降，并最终趋于灭亡。



（A）双小核草履虫单独培养　（B）大草履虫单独培养　（C）两种草履虫混合培养

图 1-20　两种草履虫单独培养和混合培养时的种群数量变化曲线

案例 2：欧洲人将欧洲的家兔和家猫带到新西兰后，黄领秧鸡等许多本地鸟类遭受了生存威胁。家兔的繁殖能力强，很快占据了黄领秧鸡的生存环境；而家猫原来虽然捕食家兔，但很快转向捕捉更易捕捉的黄领秧鸡。图 1-21 是科学家研究家猫和家兔影响黄领秧鸡生存时的一组实验示意图。（A）表示在没有人工干预时家猫、家兔、黄领秧鸡三者随时间推移的种群数量变化情况。（B）和（C）分别展示了两种人工干预模式下三种动物的种群发展趋势。



（A）无人工干预　（B）仅控制家猫种群　（C）同时控制家猫和家兔种群

图 1-21　家猫和家兔影响黄领秧鸡的种群动态实验

思考与讨论：

1. 为什么两种草履虫在混合培养条件下，种群数量均小于单独培养时的数量？大草履虫种群最终趋于灭亡的可能原因有哪些？

2. 在家猫和家兔影响黄领秧鸡的实验中，三者之间是什么关系？

3. 种间竞争和捕食都是大自然进行物种种群数量调节的重要力量，哪个调节能力更强？这些案例对于野生动物资源管理有何启示？

3. 群落具有一定的空间结构

每一种生物在群落中都有一定的分布空间。将这些物种的空间分布特征集合起来，就形成了群落的空间结构。根据维度不同，群落结构又可以分解成垂直结构、水平结构等。

大多数群落在垂直方向上都有分层现象，称为群落的**垂直结构**。例如在常绿阔叶落叶林中，从上到下依次可以分为乔木层、灌木层、草本层等。植被的分布为动物的生存营造了栖息地，因此，植被分布的垂直分层现象也影响着动物的分布。表 1-5 是生态学家观察到的部分鸟类物种在栎树林不同层中出现次数的统计。

表 1-5　不同种鸟类在栎树林不同层中被观察到的次数

种名	林冠层 ≥ 10.7 m	下木层 4.6~ 10.7 m	灌木层 1.2~ 4.6 m	草本层 0.9~ 1.2 m	地面 < 0.9 m
林鸽	333	3	3	–	–
长尾山雀	122	183	136	18	9
煤山雀	45	108	78	20	–
大山雀	25	74	197	103	2
戴菊	2	10	33	14	–
乌鶇	2	7	25	89	47
鹪鹩	–	–	20	140	20

注：在茂密的植被群落，如热带和温带雨林中，乔木层还可以划分成由最高大乔木构成的林冠层和次高乔木组成的下木层。

学习提示

根据这些统计数据可总结出鸟类在林中的垂直分布特征。

物种组成的变化、土壤理化特性、小地形、风、水分布等许多局部环境条件的变化会导致群落植被的分布出现较大的局部差异，最终在水平方向上形成斑块状的镶嵌结构，称为群落的**水平结构**（图 1-22）。复杂的镶嵌结构意味着多样的栖息地类型，因此能够承载更加丰富的动物物种。



图 1-22　北方针叶林和沼泽在水平方向上形成斑块状的镶嵌结构

了解了群落的结构以后，还有一个重要的问题——群落是静态的吗？由于气候的周期性和昼夜的节律作用于生物，群落会随时间而发生变化或改变。不同的物候期，群落中不同物种分别处于不同的生理阶段，导致群落的结构和外貌存在显著差异。而不同生物的昼夜节律也有差异，例如，鹰和隼主要在白天捕食，而猫头鹰却是夜行性捕食者。它们活动节律的差异，使得同一群落中昼夜间的物种组成可能发生变化。

探究 · 活动

1-3 调查城市常见鸟类生态位

生态位是指生物在生态环境中所处的位置，是该生物对其生存所需一切环境要求的总和。由于能够影响生物的环境因子很多，在研究生态位时通常需要具体到环境因子，如食物生态位或栖息地生态位。鸟类是城市生态系统中最常见的野生动物类群。在上海地区，有记录的鸟类超过 430 种，它们体态各异、习性不同，拥有各自独特的生态位。那么，如何才能系统地了解某种鸟的生态位呢？

活动目标：

利用生态位研究的技术方法和原理，分析和比较不同鸟类物种的生态位异同。

活动内容：

设定固定的观察区域和观察线路，以常见的白头鹎和麻雀等鸟类（图 1-23）为对象，观察和比较它们在各个生态位上的差异。



图 1-23 白头鹎（左）和麻雀（右）

例如，在小区、校园或公园中圈定固定的观察区域，并在其中设计固定的观察样线或样点。首先进行预观察，观察样线两侧或样点周边固定范围内白头鹎和麻雀的行为并结合文献资料，分析和明确需要针对哪些环境因子进行生态位调查。然后，设计如表 1-6 所示的生态位调查表，将调查过程中观察到的鸟类信息记录到表格中，以方便后期数据整理。

表 1-6　白头鹎和麻雀的生态位信息

鸟种	观察时间	停留地点	食物种类	……

表 1-6 中，列举了栖息地（停留地点）和食物（食物种类）两个维度的生态位信息。为了方便多人参加、共同记录，需要对停留地点和食物种类预设类型，不同组员在录入信息时只能在对应的格子中填写若干个选项中的一个或几个。比如，停留地点：乔木、灌木、草地、人行道（道路）、建筑……；食物种类：昆虫（成虫 / 幼虫）、果实、种子、芽、面包（饼干）……

在观察时，还要注意其他可能干扰观察的问题。例如，鸟类通常活泼好动，前一秒还在树枝上，下一秒也许已经落到了人行道上。那么，该如何记录它的停留地点呢？这也需要调查人员商定一个统一的判别标准，比如仅记录鸟类在被观察到一瞬间时停留的地点。

活动评价：

1. 你收集到的信息足够将不同鸟类的生态位区分开吗？
2. 为什么不同鸟类的生态位会有差异，这些差异对于维持鸟类群落的稳定有何意义？
3. 认识不同鸟类的生态位，对于保护鸟类有什么作用？
4. 在调查过程中遇到干扰观察的问题可能有很多，你都遇到过哪些问题，是如何解决的？

自我评价

1. 什么原因导致群落中植物的分布多呈现垂直分层现象？
2. 捕食、竞争、寄生这三种种间关系之间的异同点有哪些？
3. 请仔细观察你家所在小区的绿化，选取小区绿化较好的区域进行拍照，描述该区域植物群落的垂直结构和水平结构有何特点？对比不同季节该区域植物群落组成和特征的变化，说出群落垂直结构和水平结构的变化受到了哪些因素的影响？

第 4 节　群落演替是生物与环境相互作用的结果

群落中的物种组成、每种生物的种群数量、群落的结构都会随时间的推移而改变，因此群落是一个动态系统。在相对稳定的环境中，群落的动态变化有没有规律可循？当群落受到剧烈的扰动而被严重破坏时，它能不能自然恢复？恢复的过程又是怎样的？

学习目标

- 阐明和辨析群落初生演替和次生演替的过程。利用群落演替原理解释身边的生命现象。
- 分析生物具有的与所在群落环境相适应的形态、生理和分布特点，从而树立生物的进化与适应观。

概念聚焦

- 演替是一个群落替代另一个群落的过程。
- 自然群落演替包含初生演替和次生演替两大类。

大金山岛的变迁

大金山岛是上海南部最大的岛屿，也是上海地区的最高峰（图 1-24）。大金山岛是晚侏罗纪火山喷发形成的岩石岛，在过去的 1.44 亿年里，最初只是一块光秃秃的裸岩。而今天，岛上已枝繁叶茂，成为上海地区唯一保存完好的中亚热带常绿阔叶林自然群落。



图 1-24　大金山岛

思考与讨论：

1. 生物是如何在火山岩石裸岩上开始定居，并一步步将它变成野生动植物的“天堂”呢？

2. 这种经年累月的变化有何规律可循？

3. 如果该岛受到台风等影响遭到破坏，它的恢复还需要如此漫长的过程吗？

1. 群落的自然演替有两种类型

一定地理范围内，群落由一种类型变化为另一类型的有序演变过程，称为**群落演替**（community succession）。如果一个地区从未被生物定居过（或者彻底清除了一切生物），生命从无开始的演替，称为**初生演替**（primary succession）。大金山岛的群落演替属于典型的裸岩—森林演替类型（图 1-25），这一类型常用来代表群落初生演替的发展机制。

群落生长的地方最初仅仅是一片光秃秃的岩石。这一时期岩石上并无定居的生命，称为演替的裸岩阶段。

首先在裸岩上定居的是地衣。地衣是藻类和真菌的共生体。它们能够适应贫瘠的环境，并通过自身分泌有机酸加速岩石的风化、崩解。岩石碎屑混合着死亡地衣的有机质残骸组成了陆地上最初的土壤——母壤。这一阶段称为地衣阶段。

随着土壤的出现，地面逐渐有了保持水分的能力。于是一些苔藓就生长起来，并将先锋植物地衣的优势地位排挤掉。事实上，这一阶段其他孢子植物和种子植物的种子也可能出现在土壤中，但是环境条件不足以支撑那些更高等的植物萌发，因此，苔藓成了优势类群。这一阶段称为苔藓阶段。

随着土壤有机物含量的提高、土层增厚，土壤的保水能力和养分含量进一步提高。终于，草本植物的种子开始萌发。它们不但排挤掉了苔藓的优势地位，互相之间的竞争压力也越来越大，从最初以一年生的物种为主，逐渐过渡到以多年生草本植物为主。它们还为各种节肢动物提供了栖息地。由于土壤的发育，这一阶段的土壤生物已经成为群落中不可忽视的力量。群落进入了草本植物阶段。

草本植物演替的后期，土壤开始适合灌丛的生长。灌木植株更大，剥夺了草本植物的阳光，进而取代了草本植物，成为群落的优势物种。群落进入灌木阶段。这一时期，木本植物的大量生长对群落内部起到了遮阴和避风的效果，多样的生存环境（简称生境）类型和食物来源使得群落中的动物物种更加丰富。

有了灌木的保护，土壤得到了进一步改良。一些小树逐渐生长成高大的乔木。乔木具有比灌木更强的获得阳光的能力，最终成为优势类群。树林的形成进一步巩固了群落的稳定性和抗干扰能力，群落中的生物进一步多样化。最终，群落进入了相对稳定的森林阶段。



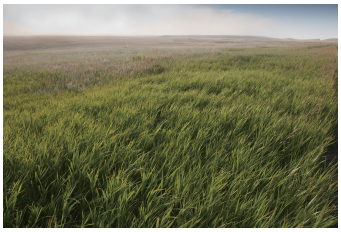
（A）裸岩阶段



（B）地衣阶段



（C）苔藓阶段



（D）草本植物阶段



（E）灌木阶段



（F）森林阶段

图 1-25　裸岩—森林演替过程

在某一特定地理环境中，群落经历一系列演替阶段，最后出现的、相对稳定的群落阶段，称为顶级群落。例如在正常的自然条件下，亚热带季风气候地区的常绿阔叶林群落就是顶级群落，能够长期维持下去。此时，物种之间与物种内部的关系都将更加紧密。

火是森林群落常见的干扰源。大火过后，经过数百年自然演替形成的森林植被毁灭，乔木遮蔽的土地重新暴晒在阳光之下，群落再次进入从初级阶段向高级阶段的演替过程。可是这次，还需要数百年时间吗？

大火毁灭的是森林群落的地上部分，但是土壤却保留了下来。土壤中的生物、植物的种子、孢子和地下部分也可能幸免。此外，火烧加速了群落地上部分有机物的分解，肥沃了土壤。因此，虽然最先恢复的是一些一年生的速生草本植物，但很快就会被多年生草本植物、灌木和乔木所取代。

因此，不同于初生演替，这种原生群落受自然或人为破坏后再次发生的演替，称为**次生演替**（secondary succession）。许多在自然条件优越地区发生的次生演替比初生演替更加迅速。

学习提示

对于自然群落而言，火不一定是破坏因素，有时也具有一定的生态学作用。

2. 生物具有与群落环境相适应的特征

就一个成熟的自然群落而言，经过长期的演替，其内部生存的物种间已经建立起较稳固的种间联系，而各个物种必然也拥有一系列与群落环境相适应的特征。这种适应性首先表现在群落生物的形态结构上。在水生植物群落中，作为对水环境的适应性进化性状，许多高等水生植物并不像陆生植物具备发达的机械组织，而是借助水的浮力支撑植株。它们的叶片相对于陆生植物而言更薄且相对面积更大，以此增加光合作用的效率，例如江南水乡常见的荷、莲、菱角（图 1-26）等。然而在陆生植物群落中，植物通常具有发达的机械组织以支撑植株。因此，几乎所有的木本植物都是陆生的，少数如红树、水杉虽然生长在湿地中，但是它们高高挺立在空中的树冠说明只有依靠自身的机械支撑才能茁壮成长。



图 1-26　水生浮叶植物菱角

学习提示

考虑到一株菱角和一棵悬铃木在体积上的悬殊差异，那么相对而言，菱角的叶子就更大了。

除了形态上的适应，生物的生理特征和空间分布也无不受到群落环境的影响。例如在森林群落中，高大的乔木物种总是占据着群落的最高层，它们彼此之间竞争着阳光，如此一来，林冠以下的生物可以获得的阳光就很少了。所以，森林群落中的乔木层通常都是喜阳植物，而林下分布的灌木和草本植物多

是一些喜阴植物。即便如此，喜阴植物也是需要阳光来完成光合作用的，如何才能尽量高效地利用有限的阳光是它们在群落中生存的关键。最新的研究显示，孔雀秋海棠叶肉细胞中叶绿体里的类囊体有着非常精妙的排列顺序，具有类似聚光晶体的作用，使得孔雀秋海棠叶片对阳光的利用率极高。因此，孔雀秋海棠的叶片可以比其他同样生长在林下带却没有类似结构的喜阴植物的叶片多吸收 10% 的能量。也正是由于叶绿体中这种特殊结构的聚光效应，使得孔雀秋海棠的叶片发出迷人的蓝色辉光（图 1-27）。



图 1-27　叶绿体具有特殊结构的孔雀秋海棠叶片

自我评价

1. 初生演替与次生演替的异同点有哪些？
2. 退耕还林工程是我国实行的最重要的环境保护行动之一，仔细观察实施退耕还林工程前后的环境变化（图 1-28），回答下列问题。



图 1-28　我国西北黄土高原实施退耕还林工程前后的对比

（1）退耕还林后，当地的群落发生了怎样的变化？

（2）上述变化过程属于初生演替还是次生演替？你作出判断的理由是什么？

（3）为了响应退耕还林政策，有人建议将椰子等热带植物引入当地，既能改善当地的生态，又能提高经济效益。你认为该建议可行吗？为什么？

本章回顾

本章小结

种群是在一定空间范围内同种生物的集合。种群密度是种群最基本的数量特征。在理想条件下，种群数量增长呈“J”型曲线。但受生活空间中环境容纳量的限制，“S”型曲线增长的种群更加常见。此外，在许多环境因子的综合作用下，种群数量常常出现波动。当环境因子的作用超出了生物的耐受范围，种群数量将急剧下降，甚至灭亡。

群落强调的是特定空间中不同物种的种群共同生活，通过复杂的种间关系形成具有一定结构和功能的整体。群落的物种组成和空间结构会受到环境因素变化的影响而改变，因此产生群落演替现象。自然发生的群落演替可分为初生演替和次生演替两类。

种群数量调查是生态学研究的重要内容。它是了解物种种群密度、丰富度、空间分布格局等基本生态学问题的基础。常用的调查方法有样方法、样线法、标志重捕法等。这些方法的核心思想是利用抽样的原理，通过了解种群的部分去推测种群的全部。在调查微小生物时，虽然无法应用样线法、标志重捕法等，但是依然可以利用此原理，取样品的部分运用显微镜下计数的方法来估计样品总体的情况。

在群体水平上研究生物，与在个体、组织水平上的研究有很大不同。除了经典生物学方法外，在研究种群特征、种间关系乃至群落结构中，数学和统计学是重要的工具。多水平、多方法、多手段的研究可以帮助我们从不同的角度认识生命现象，促使人类反思自己的行为，提高环境保护意识，与自然和谐共处。

学业评价

1. 高山草甸是青藏高原最主要的植被类型，也是优质的牧场。近几十年来，高原牧场退化严重（图 1-29），不合理放牧和啮齿类动物（图 1-30）种群暴发被认为是最主要的原因。



图 1-29　退化的高山草甸



图 1-30　高山草甸生境中的优势啮齿类动物——鼠兔

（1）鼠兔是穴居的小型啮齿类动物，它们的种群数量和洞穴数量成正比。因此，可以通过计数鼠兔洞穴的数量来估计其种群密度。如果使用样方法调查两块各 $6\times10^4\ m^2$ 样地中鼠兔洞穴密度的差异，以下四种调查方案中最合理的是（　　）。

A. 在每块样地中各设置 1 个 $6\times10^4\ m^2$ 的大样方，将整个样地中的鼠兔洞穴都清点一遍，然后比较两者的差异

B. 在每块样地中各设置 1 个 50 m × 50 m 的样方，比较 2 个样方中的鼠兔洞穴数量差异以代表两块样地中鼠兔洞穴数量的差异

C. 在每块样地中各设置 2 个 25 m × 25 m 的样方，分别求出每块样地中 2 个样方里的鼠兔洞穴数量的平均数，从而比较两块样地中鼠兔洞穴数量的差异

D. 在每块样地中各设置 5 个 25 m × 25 m 的样方，分别求出每块样地中 5 个样方里的鼠兔洞穴数量的平均数，从而比较两块样地中鼠兔洞穴数量的差异

（2）鼠兔和田鼠共同组成了当地啮齿类动物群落。它们都是典型的穴居物种，都以草地植物为食。因此，这两种啮齿类动物之间的关系最有可能的是（　　）。

A. 捕食　　B. 种间竞争　　C. 寄生　　D. 共生

（3）一种学术观点认为是小型啮齿类动物种群的暴发导致高山草甸退化，应该通过灭杀来控制其数量。但生态学家们发现小型啮齿类是多种主要食肉动物的食物；它们的洞穴为地栖鸟类、两栖类提供了避难所；穴居习性有助于疏通土壤，促进牧草生长。你如何评价啮齿类动物对高山草甸的价值？如何协调灭杀和保护这两种意见，谈谈你对高山草甸治理的意见和建议。

2. 九段沙是长江口一个新生沙洲，成陆历史仅 60 余年。形成之初，仅有蔗草和海三棱蔗草生长。慢慢地，在一些高潮时露出水平面的地方生长着芦苇种群。1997 年，岛上开始出现外来物种互花米草。表 1-7 列出了 1998 年、2002 年、2004 年三个时期九段沙的岛屿面积以及三种植被面积的变化情况。

表 1-7　不同时期九段沙岛屿面积及植被面积

变化情况	1998 年		2002 年		2004 年	
	面积（hm^2）	比例（%）	面积（hm^2）	比例（%）	面积（hm^2）	比例（%）
芦苇	156.50	9.68	910.22	23.17	1 516.42	22.76
互花米草	15.76	0.97	427.37	10.87	1 458.08	21.88
蔗草 / 海三棱蔗草	1 445.30	89.35	2 591.47	65.96	3 688.37	55.36
岛屿面积	1 617.56		3 929.06		6 662.87	

（1）蔗草、海三棱蔗草逐渐被芦苇替代的过程属于_____演替。

（2）九段沙的岛屿面积一直在快速地增长，蔗草 / 海三棱蔗草的面积也在扩张，为什么科学家的结论是蔗草 / 海三棱蔗草群落正在向芦苇和互花米草群落演替呢？

（3）互花米草虽然是外来物种，但是由于生态习性与芦苇相似，它和芦苇之间属于_____关系。从表中的数据来看，互花米草可以被叫做入侵物种吗，为什么？

第2章 生态系统的结构与功能

“春江潮水连海平，海上明月共潮生”描绘的长江口，是世界第三大、中国第一大的河口。在这里，海陆物质交汇，咸淡水混合，径流和潮汐相互作用。独特的自然条件和多样的生境养育着众多的生灵。这些动植物与非生物因素组成了美丽富饶的长江口生态系统。相对种群和群落，这个系统呈现出什么样的新特征？系统内的各种生物是如何紧密联系的？如何描绘这些复杂的关系？在这里，能量流动、物质循环和信息传递有无规律可循？如何尊重自然、顺应自然、保护自然，构建人与自然和谐共生的美丽长江口？



第 1 节　生态系统各组分紧密联系成一体

学习目标

- 通过剖析生态系统具体实例，能够阐明其组成，并认识到各组分紧密联系使生态系统成为统一体。
- 能够运用食物链和食物网概念，总结出生态系统复杂的营养结构，并能分析生物和非生物因素对营养结构的影响。

概念聚焦

- 生物群落与非生物因素紧密联系形成具整体性的生态系统。
- 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。

崇明岛地处长江口，傍海依江，是中国第三大岛，被誉为“长江门户、东海瀛洲”。岛内现有高等植物 200 余种，鸟类 300 余种，除鸟类外的陆生脊椎动物 20 余种，陆生无脊椎动物 200 余种，水生动物 100 余种。崇明岛的全部鸟类是否组成了一个生态系统？全部动物是否构成了一个生态系统？全部动物和植物是否形成了一个生态系统？一个生态系统到底包含哪些组分，各组分之间又存在怎样的联系？

崇明西沙湿地生态系统的组成与结构

西沙湿地位于崇明岛西南端，是上海目前唯一具有自然潮汐现象和成片滩涂林地的天然湿地（图 2-1）。在这里，成片的芦苇轻摇细摆，白洁的鸥鹭悠然觅食，敏捷的弹涂鱼蹦蹦跳跳，霸气的螃蟹威风凛凛……



图 2-1　崇明西沙湿地及常见滩涂生物

思考与讨论：

1. 这些生物类群之间有什么联系？是否可以将它们按功能进行归类，比如生产、消费或分解有机物？

2. 尝试列出该生态系统各组分名称，并用线标出它们之间可能的联系。零散的局部会不会综合成一个整体？

3. 如果西沙湿地的滩涂被围垦圈占或受到严重污染，栖息在此的各种生物会发生什么变化？

1. 生物群落与非生物因素相互作用形成生态系统

崇明西沙湿地的各种生物都不是孤立存在的，其存活、生长、繁殖等活动都必须依赖于当地的环境；另一方面，生物的存在和活动也会改变西沙湿地的环境条件。这些事实说明生物群落与环境是紧密相连的。这种由生物群落与非生物因素相互作用而形成的、能够自我维持的整体，称为**生态系统**（ecosystem）。

除了以长江口为代表的湿地生态系统，地球上还有各种各样的生态系统。它们的空间范围可以很小，如一个池塘；也可以很大，如一片草原、一座森林。地球上最大的生态系统是生物圈（图 2-2），包含了地球有生命活动的所有区域，是全部生物及其环境的总和。

学习提示

生物因素与非生物因素间的相互联系和作用决定了生态系统的整体性。



图 2-2　生物圈生态系统示意图

通常可以将生态系统划分为自然生态系统和人工生态系统。自然生态系统还可以进一步分为水域生态系统（海洋、淡水、湿地等）和陆地生态系统（森林、草原、荒漠、冻原等）。人工生态系统则可以分为农田生态系统、城市生态系统等类型。

2. 生态系统由生产者、消费者、分解者和无机环境组成

无论空间范围的大与小、物种数量的多与少，每个生态系统通常具有相同的组分。在水域生态系统中（图 2-3），水、底质（泥、沙或石）等因素直接影响生物的存活和繁殖，这些非生物因素的总和称为无机环境。水生高等植物、大型藻类、浮游植物等自养生物吸收太阳能，利用二氧化碳、水、氮、磷等无机物制造有机物，维持自身的生命活动；同时，为异养生物提供食物，这些自养生物称为**生产者**（producer）。浮游动物摄食浮游植物，一些鱼捕食浮游动物，另一些鱼摄食水生高等植物或大型藻类。这些动物通过摄食植物或者捕食动物，获得有机物，称为**消费者**（consumer）。死亡后的生物体、存活时脱落的残体和动物排泄物都会被某些生物分解为简单的无机物，从而实现物质循环，这些生物称为**分解者**（decomposer）。

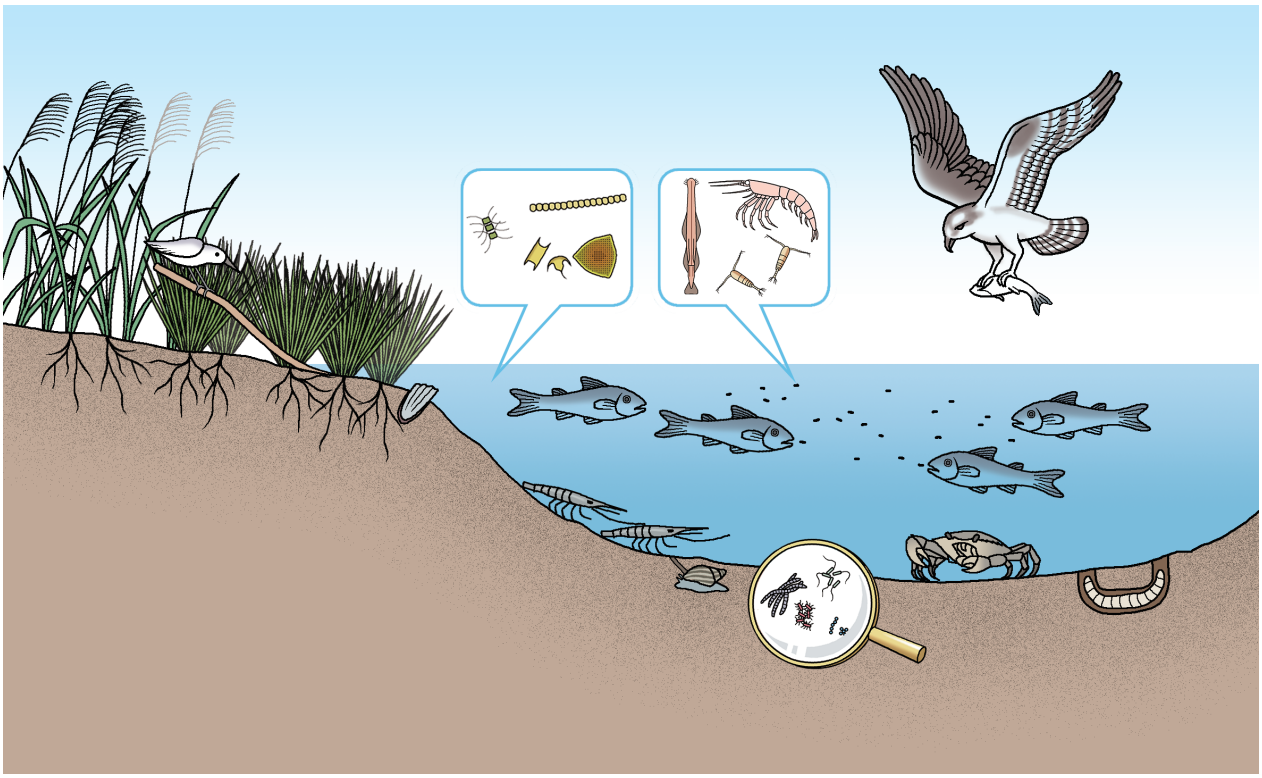


图 2-3　长江口生态系统的组成示意图

3. 食物链或食物网呈现出生态系统的营养结构

构成生态系统的各组分不是“一盘散沙”，它们是如何联系在一起的？

生态系统中各种生物间存在着摄食关系，这种以食物营养关系彼此联系起来的序列，称为**食物链**（food chain）。在食物链中，箭头用来指示从食物到摄食者，生物在生态系统食物链中所处的层次称为**营养级**（trophic level）。在东海生态系统中，硅藻→桡足类→鳀鱼是其中的一条食物链。第一营养级硅藻是生产者，它们捕获太阳光、固定二氧化碳、制造有机物。这些有机物不仅满足生产者自身生长发育的需要，而且为其他生物类群提供食物和能量。硅藻被桡足类摄食，桡足类则被鳀鱼捕食。通过这些捕食活动，太阳能从硅藻传向桡足类，再传向鳀鱼（图 2-4）。这条食物链尽管很简单，却代表了东海生态系统的典型营养结构。桡足类和鳀鱼在食物链中分别为第二和第三营养级，它们直接或间接利用硅藻所制造的有机物，均为消费者。根据食性的不同，消费者包括植食性动物、肉食性动物、杂食性动物和寄生动物等。植食性动物以生产者为食，称为初级消费者或一级消费者。肉食性动物以捕捉其他动物为食，可依次记为次级消费者（或二级消费者）、三级消费者等。

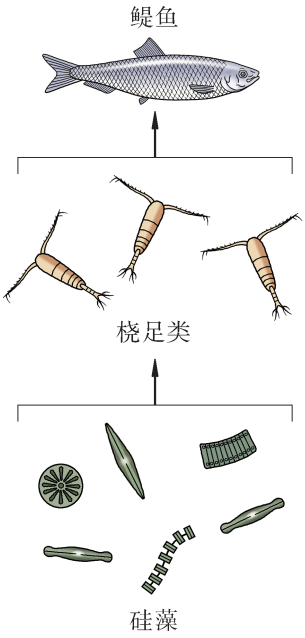


图 2-4　东海生态系统的主要食物链

但是，自然界要比我们想象得复杂。大多数生态系统都有许多生产者，比如浮游植物除了硅藻，还有甲藻、绿藻、裸藻、金藻等，这些藻类都能利用光合作用制造有机物，都是东海生态系统的生产者。一种生物也可以被多种动物捕食，硅藻除了被桡足类摄食外，还可以为磷虾、贝类等提供食物。许多动物可以吃多种而不是一种食物，并且还会随着生长而改变它们的食物。鳀鱼可以捕食桡足类、磷虾、箭虫等多种浮游动物，在幼体期以捕食小型浮游动物为主，到成体期则以大型浮游动物为主（图 2-5）。所以，生态系统的营养结构通常是复杂的、交叉的**食物网**（food web），而不是简单的、直线的食物链。食物网的复杂性恰恰体现了生物的多样性。通常食物网越复杂，生态系统应对外界干扰的能力很可能越强。食物网中某种生物的缺失，可以由其他生物通过其他途径替代，从而保证生态系统的相对稳定。

学习提示

食物链和食物网是生态系统营养结构的框架。纵横交错的食物网是生态系统保持相对稳定的重要条件。

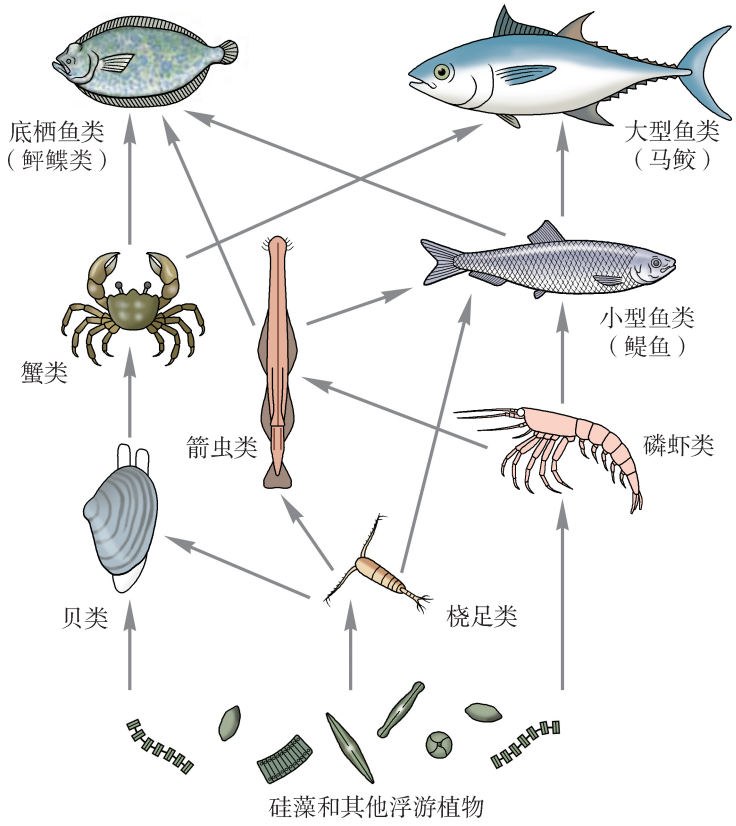


图 2-5　东海生态系统的简化食物网

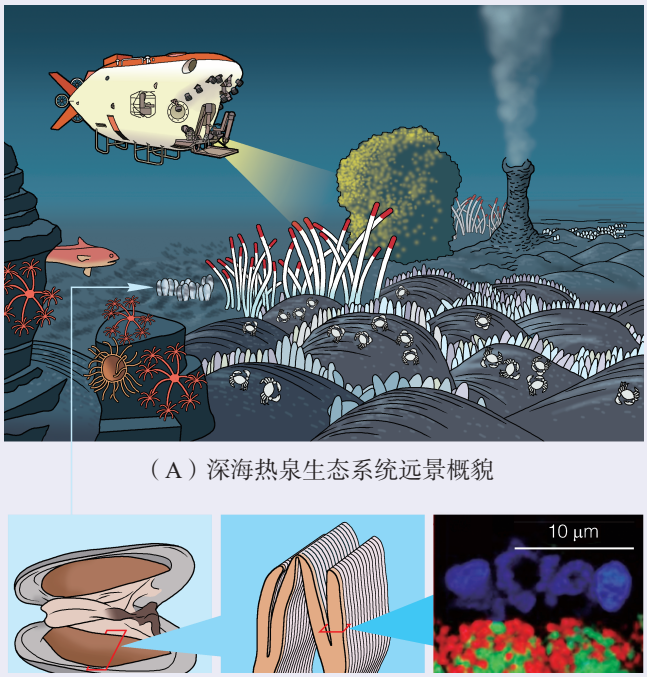
自我评价

1. 对于一只生活在公园绿地中的树麻雀而言，它生活的环境中有哪些非生物因素？在这片绿地中，涉及树麻雀的食物链可能有哪些？
2. 俗话说“大鱼吃小鱼，小鱼吃虾米”，这说明自然界中生物通过什么关系形成食物链？这是一条完整的食物链吗？如果不是，缺少了什么？
3. 松毛虫是马尾松林的害虫，能取食马尾松针叶。灰喜鹊是一种以昆虫及其幼虫为食的常见林鸟。通过向马尾松林引入灰喜鹊，可以有效控制虫害。灰喜鹊是几级消费者？
4. 早在春秋战国时期，如《庄子·齐物论》就有“天地与我并生”的生态系统的朦胧意识论述。此处“天地”为何物？“并生”为何意？以“我”为代表的生灵，为何要与“天地”“并生”？“与我并生”后的“天地”会有何变化？
5. 有人提出可以把生态系统看成是一个“超级生物”。你认为这种“超级生物”的某些特征，如食物链的长短，是否与常规生物一样，能在自然选择的作用下产生适应性进化？你的理由是什么？

前沿视窗

深海热泉生态系统中的化能合成生产者

地球上已知绝大多数生态系统的生产者都是需要太阳光的光合生物。1997 年，科学家乘坐“阿尔文”号深潜器在东太平洋漆黑的深海海底发现了一个奇异现象：蒸汽腾腾、烟雾缭绕、“烟囱”林立、物种丰富、生命旺盛，在这里分布着大量奇异的生物，有长达 1 米的管虫，成群的贝类、虾类、蟹类和鱼类（图 2-6）。



（A）深海热泉生态系统远景概貌

（B）贝类　（C）鳃丝　（D）鳃丝中的两种共生菌（红色和绿色）

图 2-6　深海热泉生态系统模拟图

经研究发现，这种深海热泉生态系统中的生产者是一群能进行化能合成的古菌和细菌。这些化能自养的微生物与管虫等动物共生，利用水中硫化物和甲烷进行化能合成作用，并将制造的有机物传递给宿主。

2011 年，德国科学家在学术期刊《自然》上发表了他们在深海热泉生态系统生产者能量来源方面的最新研究进展。他们利用宏基因组测序、单基因荧光原位杂交、免疫组织化学、现场培养等多种技术，发现深海热泉生态系统中贝类的共生菌能够利用氢气合成有机物质，并在共生菌体内发现了能控制氢氧化的关键基因。进一步的研究发现，深海热泉生态系统中管虫和虾类的共生菌中也存在这种关键基因。氢气很可能是除硫化物和甲烷之外，能被此类生产者利用的能源形式。

由于深海热泉与地球早期的海洋环境类似，研究深海热泉生态系统的现象与过程，有助于我们解答生命起源等重大科学问题。随着综合国力的增强，近年来，我国科研人员开始进军深海研究领域。“蛟龙号”载人潜水器和“潜龙号”无人无缆潜水器的研制成功，成为我国深海高新技术发展的标志和里程碑，大大推动我国深海科学研究走向国际前沿。

第 2 节　能量在单向流动中逐级递减

学习目标

- 通过实例分析，能够揭示能量在生物群落中流动的特征，具备调查或探讨生态系统能量流动规律的能力。
- 能够运用生态金字塔知识，表征食物网各营养级间的关系，解释某些有害物质沿食物链富集的现象。

概念聚焦

- 能量在生物群落中单向流动并逐级递减。
- 生态金字塔是食物网各营养级关系的形象表征。

“西塞山前白鹭飞，桃花流水鳜鱼肥”为我们描绘了太湖流域水乡的生态美景。白鹭和鳜鱼都是以小鱼和虾米为食的食肉动物，如果要维持一定数量的白鹭和鳜鱼，需要多少以小鱼和虾米为代表的初级消费者？滋养这些小鱼和虾米，又需要多少以硅藻和绿藻为代表的生产者？

淀山湖渔业生产

淀山湖是上海最大的淡水湖泊，位于上海、江苏、浙江的交界处，是上海重要的渔业生产水域（图 2-7）。这里的鱼产量约为每公顷 65 kg，其中草食性鱼类（如草鱼、鲢鱼等）约占总量的 85%，肉食性鱼类（如鳜鱼等）约占总量的 15%。



图 2-7　渔业捕捞

思考与讨论：

1. 为什么鳜鱼等肉食性鱼类的捕获量远远低于草食性鱼类？

2. 长江中下游各湖泊单位面积的鱼产量基本相似，是什么因素决定了这种现象？

1. 能量在生物群落中单向流动

在研究淀山湖等水域生态系统时，需要将太阳光、藻类、虾米、小鱼、鳜鱼等成分，以一种标准的形式进行量化，从而进行生态系统各组分间的比较和总体的归纳。每种成分都含有能量，都可以用相同单位的能值（如焦，J）进行定量表示。能量是生命活动的基础，是生态系统的动力。一切生命活动和所有生态系统都伴随着能量的变化而变化。生态系统中能量的输入、传递、转化和散失等过程，统称为生态系统的**能量流动**（energy flow）。

生态系统能量流动的起点是生产者。太阳能是地球上绝大多数生态系统的能量输入源，太阳每秒输送到地球的能量约为 1.5×10^{14} J，相当于燃烧 500 万吨煤。但是，这些太阳能仅有约 1% 能够被生态系统中的生产者转化为化学能，绝大部分太阳能被地球表面的大气层所吸收、散射和反射。生产者通过光合作用所固定的太阳能的总量通常就是流入生态系统的总能量。

能量沿生态系统的食物链和食物网流动。生产者固定的能量中，一部分由于自身的呼吸作用以热能形式散失，其余部分以有机物的形式贮存在生产者体内。当生产者被初级消费者摄入体内，能量就从第一营养级流入第二营养级。以此类推，通过生物间的捕食，能量依次流向食物链的下一个营养级。生物间存在特定的取食方式，顺序不能随意改变。比如兔能吃草，草不能吃兔；狼能捕兔，兔不能捕狼。这些长期进化所形成的捕食关系，决定了能量在生态系统中只能单向流动，不能逆向流动。

2. 能量沿营养级逐步递减

以一只菜粉蝶幼虫（菜青虫）摄取青菜叶为例，观察能量如何从第一营养级向第二营养级流动。一只幼虫每天能摄食约 200 J 的能量，其中 100 J 以粪便形式排出；而被同化吸收的另 100 J 能量中，又有 70 J 通过呼吸作用以热能的形式散失；最后，仅有 30 J 用于幼虫的生长（图 2-8）。

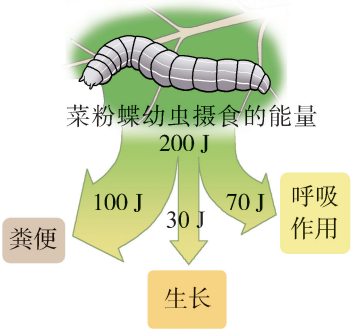


图 2-8　能量从生产者向初级消费者流动过程中的分配示意图

学习提示

能量在营养级间传递的低效率限制了生态系统的营养级数。通常生态系统中的能量流动一般不超过 4 或 5 个营养级。

能量在更高营养级中的变化，与第二营养级的情况基本相同。输入到一个营养级的能量仅有部分流入下一个营养级，能量沿食物链流动的过程，就是一个逐级递减的过程。能量从一个营养级传递给下一营养级的比例，称为营养级效率。营养级效率通常为 5% ~ 20%，平均约为 10%。也就是说，一个营养级所获能量的 90% 不能被传递到下一营养级。这种能量散失限制了食物链的长度。随着食物链的延长，这种散失是相乘累积的。如果 10% 的生产者能量被传递到初级消费者，接着又仅有 10% 的能量传递到次级消费者，这样仅有 1% 的生产者能量被传递到次级消费者。

广角镜

物质能量的测定

一切生命活动都离不开能量，准确测定各种物质的能值是研究生态系统能量流动的先决条件。通常，把物质与氧气进行完全燃烧反应时释放的热量作为该物质的能值。目前，主要用氧弹量热仪来测定物质的能值。世界上第一台氧弹量热仪诞生于 1881 年，基本结构包括氧弹（由耐热、耐腐蚀合金制成的氧气容器）、内筒、外筒、温度计、搅拌器、点火线圈、水等构成（图 2-9）。测试时，往氧弹内充满高压纯氧，样品在氧弹内通过点火线圈引燃并高温燃烧，释放的热量传给氧弹周围的水，并由温度计测量水温变化。上升的水温乘以水的热容量，即可计算出样品燃烧时释放出的热量，从而得出该物质的能值。

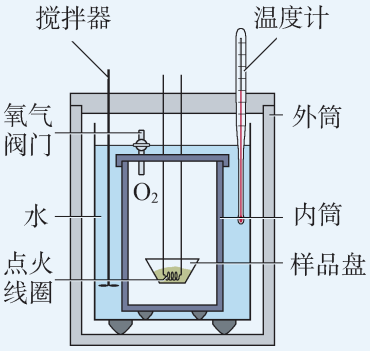


图 2-9 氧弹量热仪结构示意图

如果有机会，请就近参观大学或科研机构，亲自观察科研人员使用氧弹量热仪测量物质能量。条件允许时，可以采集某一生态系统中的各种组分，尝试使用氧弹量热仪测量它们的能值。

3. 生态金字塔体现食物网各营养级间关系

如果将生态系统各营养级间的关系，由低到高绘制成图，通常呈现一个金字塔图形，称为**生态金字塔**（ecological pyramid）。如果采用能量、生物量、个体数量来分别定量描述各营养级，则对应的生态金字塔分别称为能量金字塔、生物量金字塔、数量金字塔。在能量金字塔中，每一个等级的体积与相应营养级含有的

能量成正比。塔基为生产者，往上依次为较少的初级消费者、更少的次级消费者等。塔顶代表顶级消费者，仅有少量个体（图2-10）。能量金字塔可以形象地展现出食物链每次传递时的能量散失。

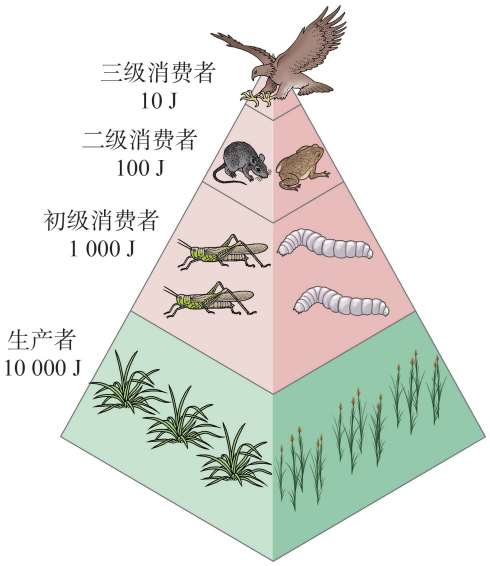


图 2-10　生态系统的能量金字塔

能量是以物质形式存在的，每一营养级能值的高低在一定程度上代表着每个等级生物量的多少。因此，生物量金字塔的形状一般同能量金字塔形状相似，比如佛罗里达沼泽生态系统中的生物量随营养级增大而迅速减少；但是在某些水域生态系统中，如英吉利海峡有可能出现初级消费者的生物量高于生产者的生物量，生物量金字塔呈现倒置现象（图 2-11）。这种倒置生物量金字塔出现的原因主要是初级消费者（浮游动物）大量摄食生产者（浮游植物），使生产者的生物量仅能维持在一个相当低的水平。但是浮游植物生长速率远大于浮游动物，能够快速地补充被浮游动物摄食消耗掉的部分，这样浮游植物才能以较低的生物量支持浮游动物较高的生物量。从某个时间点上看，浮游动物的生物量高于浮游植物，生物量金字塔倒置；而从一段时间上看，浮游植物的生物量（包含已被摄食掉的部分）仍高于浮游动物，生物量金字塔并没有真正倒置。

学习提示

虽然从某个时间点上看，英吉利海峡的生物量金字塔是倒置的，但是其能量金字塔并没有倒置。浮游植物生长率高，其生产的有机物质的能量远远大于浮游动物对应的部分。

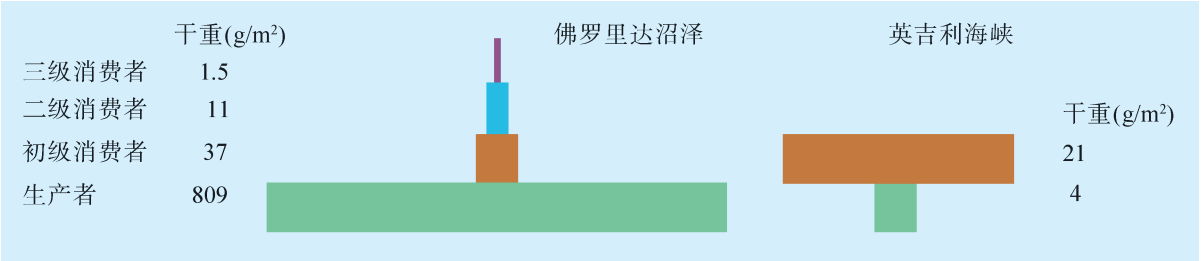


图 2-11　生态系统的生物量金字塔

生态系统的能量流动特征对人类的消费行为有一定的启示作用。人类在摄取蛋白质时，既可以从大豆中获取，也可以从用大豆饲养的牛中获取，但前者所需大豆量仅为后者所需大豆量的五分之一或者更少。很显然，吃肉是一种低效率的获取光合作用产物的方式。如果我们选择作为初级消费者，以植物为主要食物，那么理论上，世界农业规模不变就能养活更多人口。当然，人类利用生物资源时不仅需要考虑能量流动规律，还需综合考虑膳食营养等众多因素。

科学史话

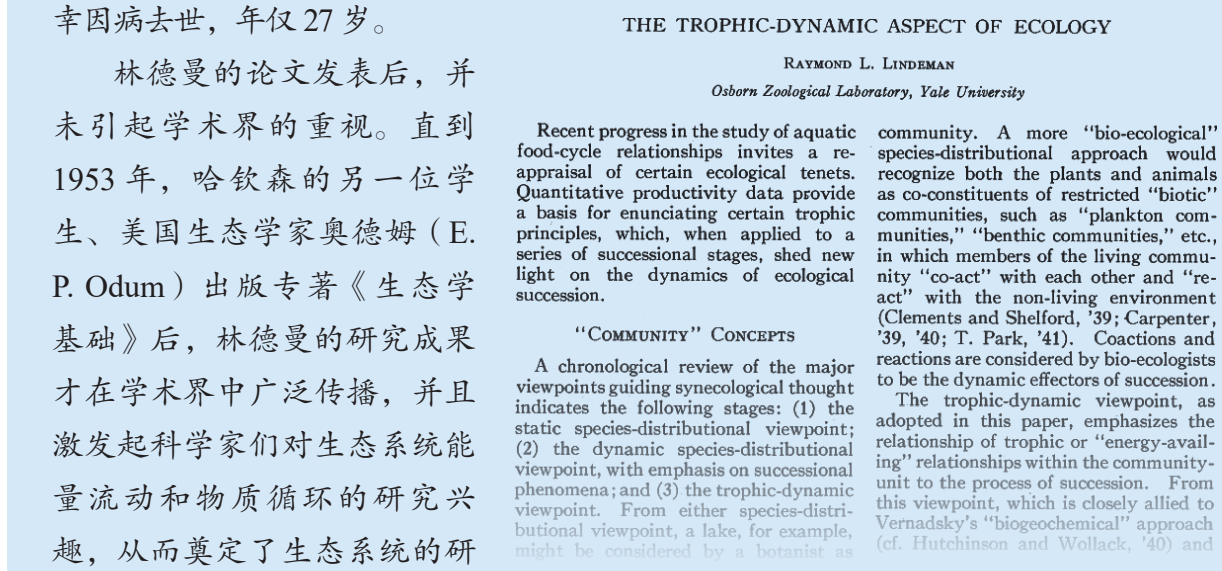
林德曼定律

1935 年，英国生态学家坦斯利（A. G. Tansley）正式提出“生态系统”的概念。六年之后，美国的林德曼（R. L. Lindeman）研究了赛达伯格湖的能量流动，在其博士论文 *Ecological dynamics in a senescent lake* 中提出“十分之一定律”（即林德曼定律）。该项工作第一次以定量的方式描绘了生态系统，创新性地使用有机物质量或能量为统一标准研究各营养级间的联系，为生态学的快速发展注入了理论源泉。

林德曼定律是指在生态系统能量流动中，后一营养级获得的能量约为前一营养级能量的 10%，其余约 90% 的能量因呼吸作用或分解作用而以热能的形式散失。

博士毕业后，林德曼成为“现代生态学之父”、美国生态学家——哈钦森（G. E. Hutchinson）教授的博士后。1941 年秋，林德曼将其博士论文的研究内容“*The trophic-dynamic aspect of ecology*”，向著名期刊《生态学》投稿，论文于 1942 年 10 月发表（图 2-12）。这是人类第一次认识到能量在生态系统中流动的低效率现象。但此时林德曼已不幸因病去世，年仅 27 岁。

林德曼的论文发表后，并未引起学术界的重视。直到 1953 年，哈钦森的另一位学生、美国生态学家奥德姆（E. P. Odum）出版专著《生态学基础》后，林德曼的研究成果才在学术界中广泛传播，并且激发起科学家们对生态系统能量流动和物质循环的研究兴趣，从而奠定了生态系统的研究体系和框架。



THE TROPHIC-DYNAMIC ASPECT OF ECOLOGY

RAYMOND L. LINDEMAN

Osborn Zoological Laboratory, Yale University

Recent progress in the study of aquatic food-cycle relationships invites a re-appraisal of certain ecological tenets. Quantitative productivity data provide a basis for enunciating certain trophic principles, which, when applied to a series of successional stages, shed new light on the dynamics of ecological succession.

"COMMUNITY" CONCEPTS

A chronological review of the major viewpoints guiding synecological thought indicates the following stages: (1) the static species-distributional viewpoint; (2) the dynamic species-distributional viewpoint, with emphasis on successional phenomena; and (3) the trophic-dynamic viewpoint. From either species-distributional viewpoint, a lake, for example, might be considered by a botanist as community. A more "bio-ecological" species-distributional approach would recognize both the plants and animals as co-constituents of restricted "biotic" communities, such as "plankton communities," "benthic communities," etc., in which members of the living community "co-act" with each other and "react" with the non-living environment (Clements and Shelford, '39; Carpenter, '39, '40; T. Park, '41). Coactions and reactions are considered by bio-ecologists to be the dynamic effectors of succession.

The trophic-dynamic viewpoint, as adopted in this paper, emphasizes the relationship of trophic or "energy-availing" relationships within the community-unit to the process of succession. From this viewpoint, which is closely allied to Vernadsky's "biogeochemical" approach (cf. Hutchinson and Wollack, '40) and

图 2-12　林德曼发表的学术论文

4. 污染物通过食物链在生物体内富集

许多污染物能在自然界中稳定存在数年，甚至更长。这些持久性污染物不易被生物降解，也不易被物理或化学因素降解。用于控制害虫和杂草的有机氯农药，包括滴滴涕、狄氏剂、七氯、氯丹等是最常见的持久性污染物。这些有机氯农药给农业生产带来便利的同时，也造成了环境危害。有机氯农药使用后，最终进入水环境，首先被浮游植物吸收，从而进入食物链（图 2-13）。有机氯农药可以溶解于生物体的脂肪中，不易排出体外，所以在体内将长久保留。当动物捕食时，有机氯农药进入动物体内并逐渐累积，使其体内浓度高于其食物中浓度。这些在自然界不能降解或难降解的化学物质，通过食物链的延长和营养级的增加，而在不同生物体内逐级富集，这种现象称为生物放大。

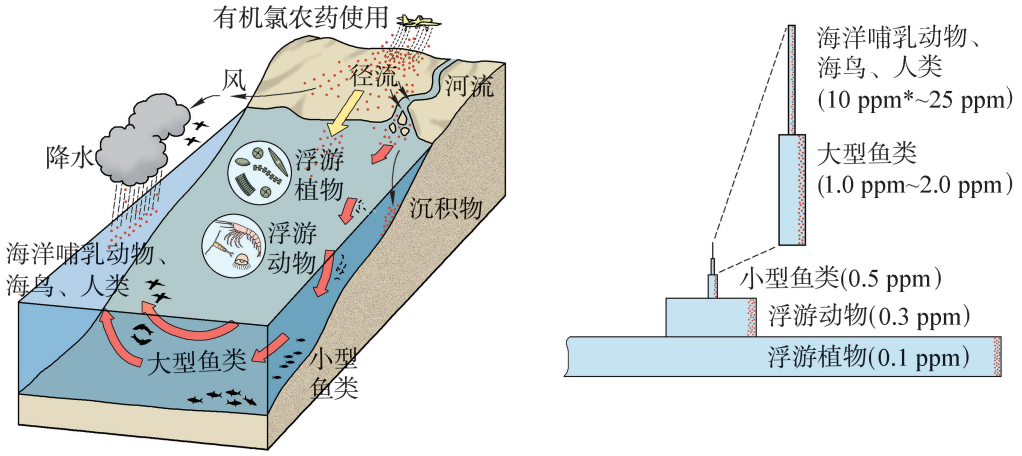


图 2-13　有机氯农药沿食物链富集

自我评价

1. 农民在种植水稻时，会尽可能除去水稻田中的杂草。请利用生态学能量流动的原理分析，这样操作的目的是什么？
2. 大型食肉动物更容易成为濒危物种，如何从生态金字塔的角度解释这一现象？
3. 科学家预测太阳还有约 50 亿年的寿命，这引发了人们对人类命运的大讨论。请从生态系统能量流动的角度，分析地球为什么对太阳有很强的依赖性？如果太阳消失，有什么措施可以拯救地球上的生态系统？

* ppm（parts per million）为非法定计量单位，是用溶质质量占全部溶液质量的百万分比来表示的浓度，1 ppm=1×10^{-6}。

4. 在畜牧业生产中，如果放养的牲畜过多，会造成草场退化；如果放养的牲畜太少，满足不了生产需求，也不能充分利用牧草资源。如何在保持草场可持续发展的前提下，合理确定草场的放牧量？

5. 科研人员对崇明东滩湿地能量流动状况进行了研究。他们测定了湿地一年的太阳辐射量，芦苇、蔗草等植物的生物量，昆虫、蜘蛛、虾蟹等主要消费者的生物量，以及以有机物碎屑形式流出系统的生物量。他们把采集的样品烘干，在氧弹量热仪中分别测定它们包含的能量，研究获得的数据如表 2-1 所示。其中，粗生产量是指生物合成的有机物总量，净生产量是指粗生产量减去生物在生产过程中呼吸消耗的有机物量。

表 2-1　崇明东滩湿地生态系统陆地组成部分的能量

能量形式	数值（kcal/m^2 · y）
太阳辐射量	600 000
植物粗生产量	30 000
植物净生产量	6 000
动物粗生产量	300
动物净生产量	100
有机碎屑量	4 000

（1）到达崇明东滩地表的太阳能有多少比例被转化为植物的总生产量和净生产量？

（2）有多少能量被生产者以呼吸形式散失？有多少能量被消费者以呼吸形式散失？

（3）有多少比例的植物净生产量以有机碎屑的形式离开湿地生态系统？

（4）该研究仅涉及了湿地生态系统的陆地部分，请设计一个研究方案，估算崇明东滩湿地水域部分的能量流动过程。

第3节　物质在生态系统中循环利用

2016年4月22日，175个国家代表齐聚联合国总部，共同签署应对全球气候变化的《巴黎协定》，承诺减排二氧化碳、控制全球平均气温上升。植物每年通过光合作用能将大气中约1 500亿吨二氧化碳转化为固态的有机物质，为什么亿万年来大气中的二氧化碳仍没有被植物吸收耗尽？除了人类活动，还有哪些自然过程会向大气中释放二氧化碳？

大气中二氧化碳浓度增加与全球变暖

有人猜测人类活动导致大气中二氧化碳浓度持续上升，进而通过温室效应导致全球变暖。为了检验这个猜测，科学家对地球表面温度和大气中二氧化碳浓度进行了半个多世纪的监测（图2-14）。

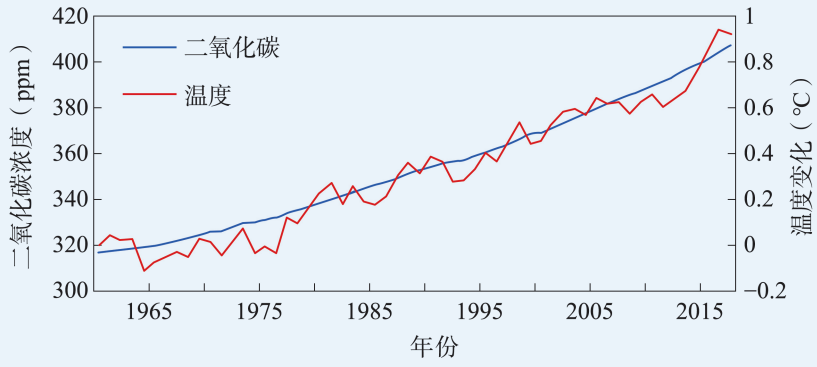


图2-14　全球大气中二氧化碳浓度与温度的长期变化趋势

思考与讨论：

1. 从监测数据绘制的折线图来看，地球表面温度呈现出怎样的变化趋势？大气中二氧化碳浓度与地球表面温度有什么关系？

2. 哪些人类活动会导致大气中二氧化碳浓度持续上升？这些新产生的二氧化碳来自哪里？原来以什么形式存在？

学习目标

- 能够收集并分析水、碳等常见物质循环过程的资料，揭示物质在生物群落和无机环境之间不断循环的特征。
- 能够利用物质循环和能量流动的规律，为科学利用生态系统中各类资源提出合理建议。

概念聚焦

- 物质在生态系统中被生命活动循环利用。
- 碳循环失衡能引发一系列全球环境问题。

1. 物质在生物群落与无机环境间不断循环

地球内部的煤和石油经过燃烧后，转化为大气中的二氧化碳，从而引发全球变暖现象。这充分说明，生态系统中物质（比如碳）形式的改变能够显著影响地球环境和人类生存。虽然生态系统从系统外源源不断地获得能量，但是从系统外获得的物质量非常少，因此，生命需要的物质必须在系统内循环利用。随着营养物质的吸收和代谢废物的排出，生物体的化学组成被不断更新。当生物死亡后，经分解者的分解作用，体内的化学元素返回到大气、水或土壤中，又被植物或其他自养生物利用，制造新的有机物质。生物体是由许多基本元素组成的，这些元素以多样的物质形态在无机环境与生物群落间往复循环，此过程称为生态系统的**物质循环**（material cycle），也称生物地球化学循环。地球上主要的物质循环有碳循环、水循环、氮循环和磷循环等。

学习提示

与能量的单向流动不同，物质可以被生物群落反复利用。

思维训练

温度如何影响物质循环中的分解过程？

分解者对有机物的分解作用是生态系统物质循环的重要一环。由于各个生态系统处在不同温度条件下，温度如何影响物质在生态系统中的循环呢？为了探讨这个问题，某科研小组研究了温度对垃圾分解过程的作用。他们在加拿大随机选择了分属于 5 个生态系统的 21 个点（青色为亚北极区，紫色为北方森林，黄色为温带区，深红色为草原，蓝色为山区）。他们将相同的有机物垃圾放在地表面。三年后，测定各点的垃圾分解率和年平均温度，数据如图 2-15 所示。

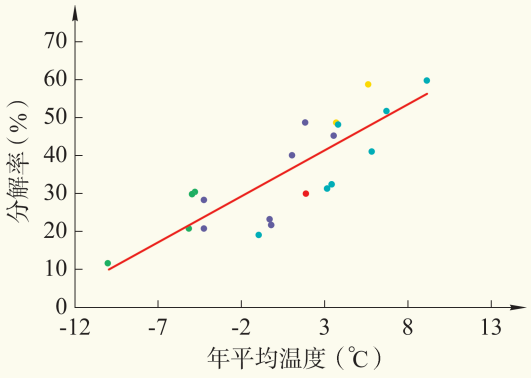


图 2-15　温度对垃圾分解率的作用

思考与讨论：

1. 图中分解率与温度是什么关系？

2. 从这个研究结果，推测全球平均温度升高会如何影响物质循环过程？

3. 除了温度，还有什么因素在这 21 个点间是明显不同的？思考这对研究结果可能的影响。

2. 二氧化碳的固定和释放是碳循环的关键环节

维持生命的有机物主要由碳元素组成。碳元素主要贮存在化石燃料、土壤、沉积物、海洋、生物体以及大气中，并在各组分间持续运动和交换，这种现象称为**碳循环**。生物圈中的碳循环主要体现在绿色植物将大气中的二氧化碳经光合作用转化成有机物并释放氧气，有机物被消费者或分解者利用，通过呼吸作用把碳以其最初形态（二氧化碳）返回到环境中，并释放储存的能量（图 2-16）。光合生物大量吸收空气中的二氧化碳，吸收的量约等于生物通过呼吸作用释放出的量。仅有约千分之一的生物有机体在被分解之前被沉积物掩埋，经过热能和压力长时间的作用，最终转变为化石燃料，如煤、石油、天然气等。当燃烧化石燃料时，其中的碳氧化成为二氧化碳而排入大气。人类大量消耗化石燃料显著增加了大气中二氧化碳的量，进而引发一系列环境问题。

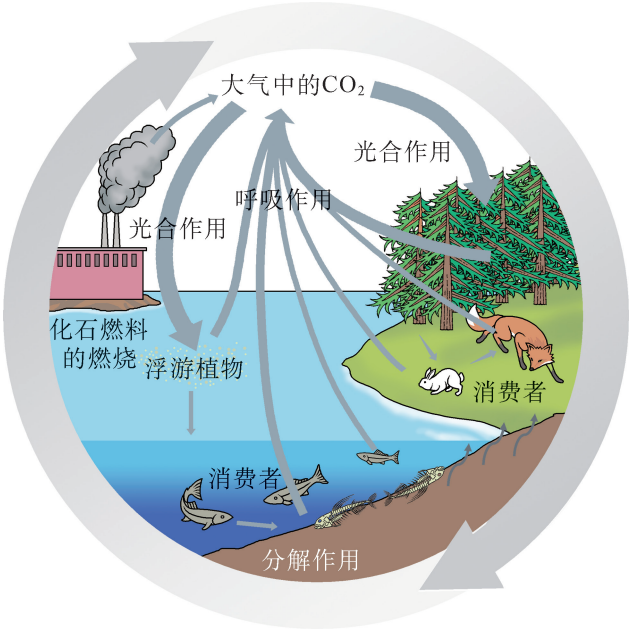


图 2-16　碳循环主要过程

学习提示

人类活动对物质循环的干扰会引发全球环境问题。

广角镜

碳达峰、碳中和

碳达峰是指二氧化碳排放量达到历史最高值，经历平台期后持续下降的过程，是二氧化碳排放量由增转降的历史拐点。

碳中和则指通过植树造林、节能减排等形式，抵消自身产生的二氧化碳排放量，实现二氧化碳净零排放。

中国将力争 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和。

3. 降水、蒸发和径流是水循环的主要环节

水是生命之源，直接影响生态系统的物质循环过程，特别是陆地生态系统中的生产和分解过程。所有生物都可以与环境直接交换水。虽然个别生物也可以利用水蒸气，但水被

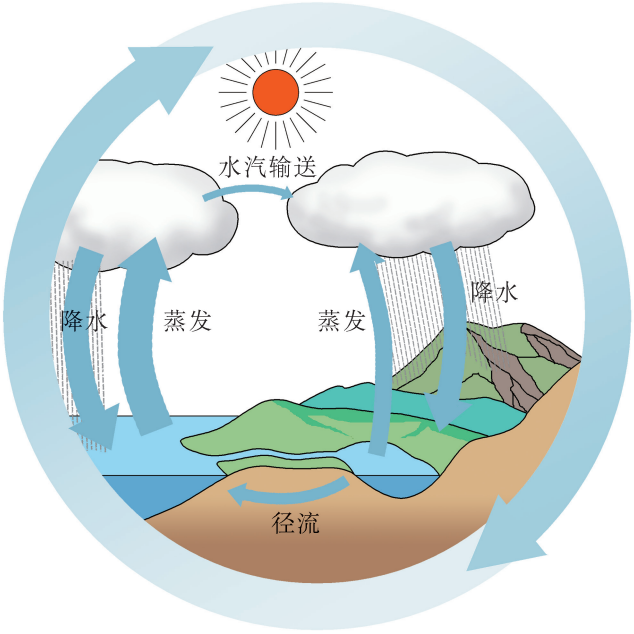


图 2-17　水循环主要过程

生物利用的主要形式是液态水。海洋贮水约占地球上水总量的 97%，在高纬度地区或高海拔地区以冰川形式贮存的水约占 2%，剩余约 1% 的水保存在湖泊、河流和地下水中，极微量的水以气体形式存在于大气中。在太阳辐射和地球引力两大驱动力的作用下，水在生态系统各组分间持续不断地流动，形成全球范围的大循环。在太阳能的作用下，地球表面的水蒸发到大气中形成水蒸气。水蒸气随大气环流运动，在一定条件下，凝结成云并形成雨、雪等降水。降水到达地面后，转化为地表水和地下水，最后以径流的形式返回海洋，完成**水循环**（图 2-17）。

通过水循环，海洋持续向陆地输送淡水，补充陆地上的淡水资源，从而使水成为可再生资源。水循环通过侵蚀、搬运、沉积等过程，形成丰富多彩的地形地貌。水循环还能调节地球各圈层、各区域之间的能量分布，从而影响各地的气候。

广角镜

水体富营养化和水华

水体富营养化是指水中氮、磷等营养盐含量过多而引起的水质污染现象，实质是营养盐物质的输入和输出失衡。在富营养化水体，经常会出现蓝细菌（旧称蓝藻）大量繁殖，在水面形成一层蓝绿色而有恶臭味的浮沫，称为水华（图 2-18）。大量繁殖的蓝细菌死亡后，其分解过程会耗尽水中氧气，从而造成鱼类等大量水生生物的死亡。蓝细菌还能产生毒素，除了直接对鱼类等水生动物产生毒害外，还是人类肝癌等疾病的重要诱因。2007 年 5 月，江苏无锡发生太湖蓝细菌污染饮用水事件，200 万人的生活用水受到影响，造成严重的社会影响。富营养化水体的治理和修复工作虽然已初见成效，但仍然任重而道远。



图 2-18　暴发水华的湖泊

探究 · 活动

2-1 调查本地一个生态系统的能量流动或物质循环

能量流动和物质循环是生态系统的基本功能，关系着人与环境的和谐共生。请任选本地一个常见的生态系统，如校园、公园、农田、森林、湿地或池塘，调查其能量流动或某一元素的循环过程。

活动目标：

1. 说出所调查的生态系统的各组分，明确其主要食物链。

2. 绘制所调查的生态系统能量流动或某一元素循环过程的示意图。

3. 针对所调查的生态系统，提出促进人与自然和谐共生的改进建议。

活动内容：

确定调查对象和活动区域，通过实地观察、搜集资料、走访管理部门等方式收集数据和资料。

1. 通过实地观察和访谈，确定所调查的生态系统的生产者、消费者、分解者是哪些生物类群，非生物因素有哪些。

2. 根据各生物类群的生活习性，梳理它们之间的种间关系，从而确定该生态系统的主要食物链或食物网。

3. 通过访谈管理部门或查阅学术资料，简要确定该生态系统各营养级的生物量或能量，或者某一元素在生态系统各组分中的含量。以上海某湿地生态系统为例，该生态系统面积约 2 km^2，平均水深约 5 m。该生态系统共有 13 个功能群，它们的生物量（t/km^2）如表 2-2 所示。

表 2-2 某湿地生态系统各功能群生物量

功能群	生物量（t/km^2）
浮游植物	14.00
大型藻类	10.60
植食性浮游动物	14.80
肉食性浮游动物	6.00
底栖动物	8.00
软体动物	6.82
虾类	3.15
蟹类	1.50
草食性鱼类	1.21
浮游动物食性鱼类	1.25
底栖动物食性鱼类	1.21
肉食性鱼类	0.41
有机碎屑	0.41

活动评价：

1. 画出该生态系统的能量流动或某一元素循环过程的示意图。

2. 分析该生态系统当前状态的合理与不合理之处，有什么改进建议？

3. 该生态系统与其他同学调查的生态系统有什么不同？不同生态系统是如何联系在一起的？

自我评价

1. 垃圾分类后的湿垃圾可用于厌氧发酵，产生的沼气用于焚烧发电，这个过程是不是碳元素从生物群落返回无机环境的过程，为什么？
2. 与把动物和植物分别放在封闭空间中相比，把两者同时放在一个封闭的空间中，可以明显延长动物和植物生命活动的时间。请从物质循环的角度思考，为什么会出现这种现象？
3. 同碳元素一样，氮和磷元素在生态系统中也是不断循环的。我们一般不需要向农田生态系统中人工输入“碳肥”，为什么却要不断施加氮肥和磷肥？而通过雨水冲刷，农田中增加的氮和磷又会进入水域生态系统，从而引起水体富营养化问题，可以采取什么措施降低水体中的氮和磷？
4. “凿开混沌得乌金，藏蓄阳和意最深”，被称为乌金的煤炭是埋藏于地下、经过亿万年贮存的古代植物，这些古代植物的碳来源于哪里？人类进行开采并燃烧后，碳又会去哪里？这些过程与太阳能有什么关系？

第4节　生态系统运行离不开信息传递

“竹外桃花三两枝，春江水暖鸭先知”描绘了江南初春景色。春天来临的信息有哪些？这些信息又是如何传递给动植物的？感受到春天来临的信息后，各种动植物又会有什么响应？

蜜蜂的“舞蹈语言”

生物不仅能感受来自非生物因素的信息，而且可以在生物间传递信息。当一只蜜蜂发现一处蜜源后，如何将这一信息传递给同伴？1973年，诺贝尔生理学或医学奖获得者、奥地利动物行为学家弗里施（K. Frisch）发现蜜蜂是用独特的“舞蹈语言”来传递这一信息的。蜜蜂的舞蹈主要有圆舞和摆尾舞两种（图2-19）。一般蜜源在100 m以内，以圆舞为主；如果蜜源超过100 m时，蜜蜂用摆尾舞表示，而且距离越远，摆尾频率越慢。除了距离信息，蜜蜂还能传递蜜源的方向信息：蜜蜂直线爬行与其面对太阳时的夹角就是蜜源方向偏离太阳的角度。其他蜜蜂领会这些信息后，就随“侦察蜂”一起飞向蜜源。

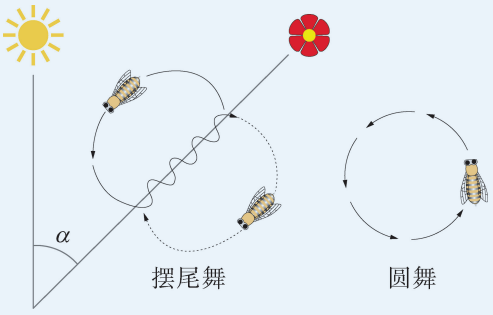


图2-19　蜜蜂的“舞蹈语言”

思考与讨论：

1. 如果失去这些“舞蹈语言”，蜜蜂所在的生态系统会有什么后果？

2. 自然界还有其他动物使用类似的“舞蹈语言”吗？

学习目标

- 能识别生态系统中的信息传递，并判断其类型。
- 能举例说出信息传递对生命活动、种群繁衍和种间关系的调节作用。

概念聚焦

- 生态系统的信息主要有物理信息、化学信息和行为信息。
- 信息传递是维持正常生命活动和健康生态系统的重要条件。

1. 生态系统正常运行需要信息传递

学习提示

信息广泛存在于生态系统中，并发挥着重要的作用。

鸭子感受水温的变化，蜜蜂交流蜜源的方位，这些都表明：除了能量流动和物质循环外，生态系统还存在着众多的信息联系。信息是世界物质客体间普遍联系的形式，每一个信息过程含有信息产生、传输和接收三个基本环节。生态系统的各组成成员之间和成员内部都广泛存在着信息交流，传递的方向往往是双向的，彼此间进行着**信息传递**（information transfer）。生态系统的信息传递是生物长期进化的结果，可以出现在个体、种群、群落等不同水平上。

信息是维持生命活动正常进行的重要保障，生物的生长和繁殖都离不开信息传递。“秋风起，蟹脚痒”，生动地描绘了中华绒螯蟹（俗称“大闸蟹”）感受到水温降低的信息，从湖泊奔向河口，完成生殖洄游。

信息还能够调节生物的种间关系，以维持生态系统的稳定。食物链相邻营养级间生物充分利用对方特征，保持“捕食”与“被捕食”的平衡。比如，狼能够识别兔的气味而追踪兔，兔也能探测到狼的气味而躲避狼。

在生产和生活中，可以利用信息传递来对虫害、鼠害等进行生物防治。例如，农业中，利用昆虫性外激素有效诱捕害虫；在机场跑道，利用音响设备播放猛禽的鸣声驱赶鸟群，避免对飞机起降造成危害。

2. 生态系统中存在物理、化学、行为等多种信息传递

光、声、温度、湿度、磁场、机械振动等物理因素，引起生物之间感应作用，称为**物理信息**。物理信息的来源可以是无机环境，也可以是生物体。比如光强和光周期调控植物的生长和发育；海豚、蝙蝠等利用声波进行回声定位（图 2-20）。雄性蟋蟀的鸣叫可以向雌性个体传递发送者的物种（不同物种的雄性蟋蟀有不同的声音）、性别（仅雄性会发声）、位置（声音的方位）以及社会地位（能够保护栖息洞穴周围领地的那只雄性才会鸣叫）等信息。

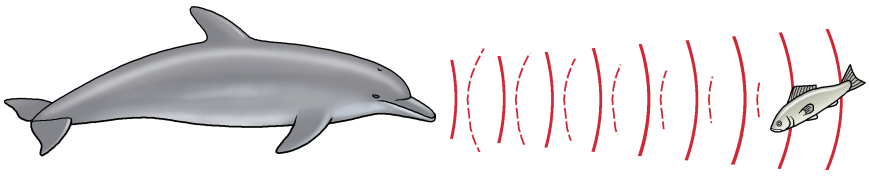


图 2-20　海豚利用声波进行回声定位

生物在生命过程中常会产生一些可以传递信息的化学物质，如昆虫产生的各种信息素等，这些化学物质能被其他生物所接受并产生反应，称为**化学信息**。蚕蛾的异性吸引很好地展示了化学信息的传递与调控。雌性蚕蛾能够分泌一种使雄性蚕蛾特别敏感的物质。雄性蚕蛾用它们具有感受器的多毛触角去检测这种被称为蚕蛾性诱醇的化学引诱剂（图 2-21）。通常雌性蚕蛾安静地原地不动，分泌少量蚕蛾性诱醇，这种挥发性化学物质随风传播。当少量分子到达雄性触角，感受器被激发，雄性蚕蛾迎风飞翔，搜寻发出信息的雌性。刚开始的搜寻还带有一定的随机性，当两者距离百米左右时，明显的化学信息浓度梯度就能吸引雄性蚕蛾精准地飞向雌性。长期的自然选择有利于雄性触角上的感受器在数千米外就能接收化学信息，保障了化学信息传递的准确性。

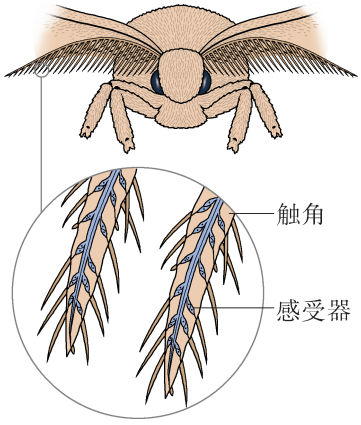


图 2-21　雄性蚕蛾发达的触角可以探测到雌性个体的信息

动物的某些行为也可以用于同种或异种间的信息传递，这些行为特征称为**行为信息**。蜜蜂能够通过精确的“舞蹈”准确地把蜜源的距离、方位等信息告诉其他个体。雄孔雀在繁殖季节常展开五彩缤纷的尾屏，漫步走向雌孔雀，轻轻抖动尾屏，发出“唰唰”的声响。孔雀开屏是雄孔雀的求偶炫耀行为，它在雌孔雀面前尽力表现自己，以期待获得与雌孔雀交配繁衍的机会。

3．信息传递、能量流动和物质循环相互依存并协同作用

能量流动、物质循环和信息传递是生态系统的主要功能，三者同时进行，彼此相互依存、不可割裂。能量在生态系统中的固定、转换和释放，离不开物质的合成、转化和分解，也都伴随着信息的产生、传递和响应。能量是生态系统的动力，使物质能够连续地在生物群落和无机环境间循环利用；物质作为能量的载体，使能量能够沿生态系统食物链（网）流动；信息传递则调节着能量流动和物质循环的方向和强度。

在生态系统中，物质循环利用，能量单向流动，信息双向传递。信息传递的双向性，加强了生物群落与非生物因素之间、生物与生物之间的联系，形成了生态系统的自我调节机制，从而保持生态系统结构和功能的相对稳定。生态系统的各组分正是通过能量流动、物质循环和信息传递三者的协同作用，形成一个统一的有机整体。尊重自然、顺应自然、保护自然，才能使天更蓝、水更清、草更绿。

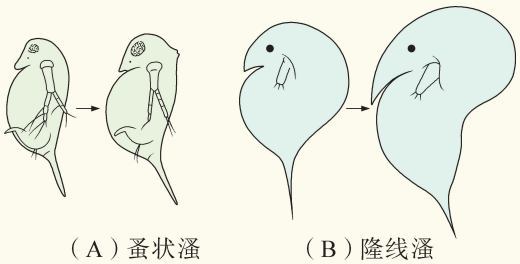
学习提示

能量流动、物质循环和信息传递的协同作用决定了生态系统的整体性和稳定性。

思维训练

水溞能探测到捕食者的出现

水溞是一类小型甲壳动物，经常在池塘中大量出现。水溞是鱼类的天然饵料，所以俗称鱼虫。有研究表明，水溞能探测到鱼类或无脊椎动物等捕食者释放到水中的化学物质，从而改变形态，比如出现颈齿（颈部突出物）或头部外壳变大（图 2-22）。这些改变的形态可以降低捕食者对水溞的捕食率。这种诱导防御策略是一种典型的动物感知水中化学信息的现象。



（A）蚤状溞　　（B）隆线溞

图 2-22　捕食者出现前后两种水溞发生的形态变化

思考与讨论：

你能设计一个实验方案，验证水溞能利用化学信息探测捕食者的出现吗？

生物学与社会

生态系统理论引领的崇明世界级生态岛建设

在长江入海口，世界最大的河口冲积岛——崇明岛担当着上海这座国际化大都市的生态屏障，维护着长三角乃至长江流域的生态安全。2017 年，上海市政府制定出台《崇明世界级生态岛发展“十三五”规划》，以更高标准、更开阔视野、更高水平和质量全面推进崇明世界级生态岛建设。到 2040 年，崇明将建设成为在生态环境、资源利用、经济社会发展、人居品质等方面具有全球引领示范作用的世界级生态岛。

生态岛建设不等同于“种花栽树”“绿化城镇”，而是建设与陆地相对独立、但紧密联系的岛屿生态系统，其物质良性循环、能量充分利用、资源集约利用。崇明生态岛建设的各个方面必须充分发挥生态系统理论的整体性和系统性。

崇明三岛之一的长兴岛有一片相当于 10 个杭州西湖大小的水域——青草沙水库，是超过一半上海人的清洁饮用水的水源地。700 多亩* 生态林将这片水域与外界隔开。“上海自来水来自海上”是上海人引以为傲的“经典上联”。好水并不能自来，科学建设青草沙水库，让上海尝到了生态效益的甜头。

* 亩为非法定计量单位，1 亩约等于 666.67 m^2。

崇明东滩傍海依江，咸淡水交汇。独特的生态环境养育了丰富的生态资源，吸引了南来北往的数百万候鸟到此栖息、觅食，是全球鸟类八大迁徙路线之一的中途点。2013 年起，上海崇明东滩国家级鸟类自然保护区实施生态修复项目，控制外来入侵植物——互花米草，优化鸟类栖息地，修复退化的湿地生态系统。该生态工程荣获 2016 年度中国人居环境奖范例奖。东滩以东是中华鲟自然保护区，被列为“极危级”保护物种的中华鲟在这里得到精心呵护。保护区已累计放流中华鲟、胭脂鱼等珍稀水生动物数十万尾（图 2-23）。

“好空气也能当饭吃”。如今的崇明岛，每年吸引越来越多的游客，直接带动了民宿产业、品牌农业等发展。鸟儿飞过来了，鱼儿游过来了，老百姓的生活也富起来了，美起来了。从生态改善中得到实惠的崇明人，不断增强生态意识，积极参加生态岛建设，争当生态发展的主角。

“水清土净、空气清新”的崇明不断厚植生态基础，提升生态价值，目标直指“世界级”，全力打造“绿水青山就是金山银山”的“崇明案例”。



图 2-23　长江口珍稀水生生物增殖放流活动

自我评价

1. 农民常在田野中放置稻草人，以此降低鸟类对农作物的啄食。这个措施中是否存在信息传递？如果有，是什么类型的信息？
2. 金丝桃能分泌一种引起光敏性并刺激皮肤的化合物，使误食的动物变盲或致死，从而使很多动物避开这种植物。这种现象是否属于生态系统的信息传递？
3. 蜜蜂跳舞时，会产生声音。人们利用电子仪器模拟产生相同频率的声音，也可以吸引蜜蜂到花园采蜜。这种模拟是利用了什么信息来影响蜜蜂的行为？
4. 一些成语也体现出古人对生态系统中信息传递的认识，如老马识途、飞蛾扑火……你还知道哪些类似的成语？它们包含的信息类型和对生物的作用分别是什么？
5. 蟑螂喜好在夜间活动。科学家在实验室设置条件将白天和黑夜加以颠倒，经过一个星期左右，蟑螂就改在人造的“黑夜”里活动了（尽管外界实际是白天）。这个实验说明了什么？

本章回顾

本章小结

生态系统是由生产者、消费者和分解者等生物因素和阳光、空气、水等非生物因素紧密联系在一起，具有一定结构和功能的统一体。生产者和消费者通过食物链和食物网形成的营养结构，是生态系统中能量流动和物质循环的渠道。复杂的食物网维护着生态系统的稳定。

能量在生态系统中持续不断地输入、传递、转化和散失。能量的单向流动和逐级递减两大特征，决定了生态系统的营养级通常不超过 4 ~ 5 级。生态金字塔能够表征各营养级之间在个体数量、生物量和能量方面的关系。某些有害物质随营养级增加而积累和浓缩，呈现生物放大效应。

生态系统中化学元素在生物群落和无机环境之间形成相对封闭的、周而复始的循环。生态系统的主要物质循环有水循环、碳循环、氮循环和磷循环。

生态系统中存在广泛的信息，主要有物理信息、化学信息和行为信息等。信息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。生态系统的能量流动、物质循环和信息传递同时进行、相互作用、不可分割，共同决定了生态系统的整体性和稳定性。

使用图示等方式表征能量流动、物质循环和信息传递是研究生态系统的重要方法。运用生态系统概念和原理对相关的生态学实践应用作出合理的分析和改进，有助于实现“绿水青山就是金山银山”，有利于建成美丽中国、构建人与自然生命共同体。

学业评价

1. 某池塘生态系统的主要食物网结构如图 2-24 所示，在没有人为干扰的情况下，该生态系统处于相对稳定的平衡状态。

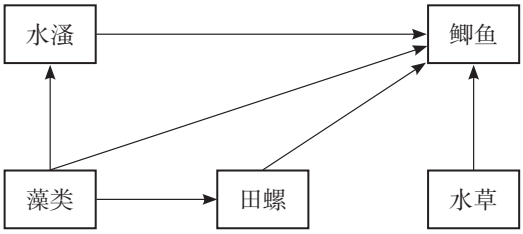


图 2-24　某池塘生态系统的食物网示意图

（1）该池塘生态系统的总能量来自_____所固定的太阳能，系统中共有_____条食物链。

（2）假如鲫鱼的食物由 50% 水藻、30% 田螺、10% 藻类和 10% 水草组成，且该系统能量从生产者到消费者的传递效率为 10%，从消费者到消费者的能量传递效率为 20%。如果要收获 100 kJ 的鲫鱼，至少需要_____kJ 的藻类。

（3）假如附近居民的生活污水没有经过处理就直接排入该池塘，经过一段时间后，池中藻类就会暴发，水体变浑浊，3 种动物数量明显减少，主要原因很可能是_____；为了治理污染水体，引入一些能捕食鲫鱼的乌鳢，经过一段时间，池中藻类数量下降了，水体开始变清，主要原因很可能是_____。

（4）假如有人不慎将漂浮植物水葫芦带入池塘，一段时间后，水面全部被生长旺盛的水葫芦覆盖，水草和藻类数量明显减少，主要原因很可能是_____。

2. 科学家经过大量观测，得到下列水量数据：在全球尺度上，每年海洋的蒸发量约为 $4.3 \times 10^{11}\ m^3$，其中以降水形式落在海洋里约为 $3.9 \times 10^{11}\ m^3$，落在陆地约为 $4.0 \times 10^{10}\ m^3$。水从植物蒸腾和土壤蒸发后，约有 $7.0 \times 10^{10}\ m^3$ 以降水形式返回陆地，陆地向海洋的径流量约为 $4.0 \times 10^{10}\ m^3$。

（1）请使用这些数据画出水循环示意图，建议用箭头的粗细代表水量的大小。

（2）水从海洋蒸发后以降水形式落到陆地上的量与陆地向海洋的径流量的比例是多少？

（3）地球当前正处在温暖的间冰期，如果在寒冷的冰期，地球表面会覆盖有大规模冰川，这时海陆间水量的输送比例会如何改变，为什么？这个改变，最有可能影响哪些生态系统？

3. 某种植物上栖息着一定数量的昆虫 A、昆虫 B 和蜘蛛。昆虫 A 和 B 均以该植物为食，蜘蛛以昆虫 B 为食。昆虫 A 白天活动，昆虫 B 夜晚活动。昆虫 A 采食该种植物的叶片后，植物会释放出挥发性的物质 X，X 既可吸引昆虫 A 的天敌，也能驱赶昆虫 B。

（1）上述现象中，有哪些种间关系？

（2）影响昆虫 A 活动的信息有两大来源，分别是什么？影响昆虫 B 活动的信息种类是什么？蜘蛛在蜘蛛网上捕食昆虫 B 所利用的信息种类又是什么？

（3）若在上述植物上施用人工合成的物质 X，短期内该植物上昆虫 A、昆虫 B 和蜘蛛的数量会怎么变化？

第3章 生态系统的相对稳定性

草原和森林都是自然生态系统的主要类型。草原是畜牧业的基础，也是全球碳循环的重要组成部分；而森林约占全球 30% 的土地面积、提供全球大部分的植物量，森林生态系统不仅为净化大气、固碳释氧、保育土壤等提供重要保障，也是生物资源的重要宝库。稳定的生态系统可以持久地发挥其生态效应。然而，面临气候变化和人类活动等诸多干扰时，生态系统如何保持自身结构和功能的相对稳定，维持动态平衡？一旦其稳定性被破坏后，草原、森林等各种生态系统是否有能力恢复动态平衡的状态？人类应该怎样保护生态系统的稳定性，达到可持续发展的目标？



第 1 节　生态系统具有维持动态平衡的能力

学习目标

- 运用结构与功能观阐述生态系统处于相对稳定状态的特点。
- 运用反馈调节的原理，能分析不同生态系统保持或恢复相对稳定状态的能力。
- 根据生态系统组成和结构关系，设计并制作生态瓶，观察、比较不同生态瓶稳定性的差异并分析其原因。
- 形成稳态与平衡观，感悟生态系统稳定性的重要意义及人类在发展的过程中对维持生态系统稳定性所肩负的责任。

概念聚焦

- 生态系统能够通过自我调节维持其稳定。
- 生态系统的稳定性包括抵抗力稳定性和恢复力稳定性。

呼伦贝尔草原位于我国东北部，牧草种类丰富，是世界著名的天然牧场，也是防风固沙的重要生态功能区；在其东面的大兴安岭是典型的森林生态系统，该地区动植物资源丰富，也是东北重要的生态屏障。这两大自然生态系统都有其独特的生境和生物组成。虽然经历过干旱、放牧、火烧等因素的干扰，它们依然保持着相对稳定的状态。那么，生态系统是怎样保持这种稳定状态的呢?

干旱对草原生态系统的影响

2018 年夏季由于持续高温，呼伦贝尔草原降雨量、地区内河流流量都比历史同期偏少，草原出现严重干旱（图 3-1）。



图 3-1　呼伦贝尔草原及其干旱状态

思考与讨论：

1. 缺水对草原生态系统会产生怎样的影响？草原生态系统有什么机制能缓解这些影响?

2. 严重干旱的情况下，草原生态系统又会产生怎样的变化?

3. 干旱之后若出现降水，草原是否能恢复原有的状态?

1. 生态系统通过自我调节维持动态平衡

在草原和森林生态系统中，生物与环境相互作用，各个成分之间不断进行着能量流动、物质循环和信息传递，最后逐渐达到成熟稳定的状态，包括结构上的稳定、功能上的完善、能量输入和输出的稳定。由于能量流动、物质循环和信息传递总是在不间断地进行，生态系统一般都处于不断的变化之中，因此，生态系统的这种相对稳定状态是一种动态平衡。

那么，生态系统是怎样维持这种动态平衡的呢？如果在雨后踏上草地，你会发现随着脚的下陷，原本看不见的水冒了出来。草地、森林的土壤能保留一部分水分，起到蓄水功能，当干旱来临时，就可以缓解缺水对生态系统的影响。同时，草原植物普遍存在抗旱的形态和生理特征，许多禾本科植物能通过提高根系的生长量保持较高的吸水能力（图 3-2）。一些牧草还能延长其生长期以缓解干旱的影响，维持生态系统的动态平衡。与之类似，森林中的植物能扩大根系吸收水分，通过落叶减少水分散失，降低干旱对森林生态系统的影响。



图 3-2　草原植物的发达根系

这些现象是物种通过自身调节维持生态系统相对稳定的状态。那么，生态系统中共同生活的物种之间还存在竞争、捕食、共生等种间关系，当生态系统中某个种群发生变化时，生态系统又是如何维持相对稳定状态的呢？以植物、雪兔、猞猁三者的捕食关系为例，雪兔以植物的嫩枝为食，猞猁是雪兔的捕食者，科学家经过研究，建立了一个关于猞猁、雪兔和植物之间的种群数量 10 年周期波动的模型（图 3-3）。当雪兔种群数量增大时，植物和猞猁的种群数量有何变化？这种变化对雪兔种群数量又有何影响？

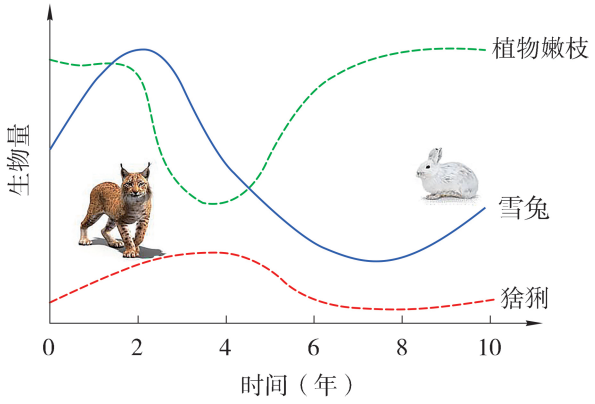


图 3-3　植物、雪兔和猞猁种群的周期波动

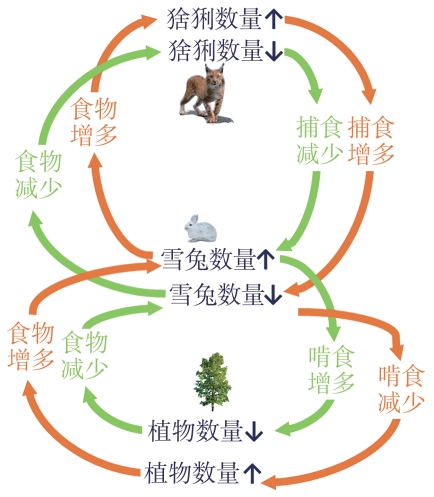


图 3-4　植物、雪兔和猞猁种群数量的负反馈调节

当雪兔种群的数量增加后，对植物的啃食量增加，植物随之减少。同时由于雪兔种群的数量增加，捕食者猞猁也随之增加。食物的减少和捕食者的增加，这些变化最终反过来又限制雪兔种群的数量增加（图 3-4），这也是生态系统自我调节的过程。

从上述事例分析可知，生态系统面对干扰时能通过一系列自我调节的过程，降低干扰对其的影响，维持或恢复其相对稳定的状态。这种调节机制就是负反馈调节，它在生态系统中普遍存在。如果生态系统中物种丰富度越高，种群间关系越为复杂，物种间能量流动和信息传递的通路越丰富，自我调节的通道也就越多样，该生态系统的自我调节能力越强、越容易维持其稳定状态。

2. 生态系统的稳定性包括抵抗力稳定性和恢复力稳定性

正是由于生态系统具有自我调节的能力，在受到影响后能够保持和恢复相对稳定的状态，这种能力称为**生态系统的稳定性**（stability of ecosystem）。

以森林生态系统为例，当森林受到轻度火烧时，因其包含具有厚木栓层和含水率较高的抗燃树种而有较强的抗火力，同时，轻度火烧还能促进营养物质的循环和树木的再生，从而消除火烧带来的影响。再如，湿地也是物种丰富的生态系统之一，当湿地受到氮、磷等轻度水质污染时，其水生植物如石菖蒲、香蒲等的根能有效吸收污染物，并通过自身代谢分解或将其转化为自身组成成分，从而降低污染物对湿地生态系统的影响。生态系统具有的这种抵抗影响、保持自身的结构与功能相对稳定的能力，称为**抵抗力稳定性**（resistance stability）。

森林生态系统的物种组成丰富、营养结构复杂，自我调节的通道多样；而草原生态系统因物种组成没有森林生态系统那样丰富，物种间的关系也没有森林生态系统那样复杂，因此当受到程度较轻的外界影响时，森林生态系统较易维持原有动态平衡的状态，抵抗力稳定性相对较高，而草原生态系统的抵抗力稳定性相对较弱。

广角镜

单一化种植与多样化种植

在农业和林业生产中，常采用多样化种植的方式。与单一化种植相比，多样化种植的农田生态系统抵抗外界干扰能力更强（图 3-5）。例如，一片农田中单一化的农作物紧密相邻，害虫进入后很容易从一棵植株侵入另一棵同种植株；而多样化种植方式中，由于农田中物种种类较多，同一物种的各个个体不是紧密相邻，而有其他物种植株穿插其中，因而害虫的传播就比较困难，一般很少暴发病虫害。

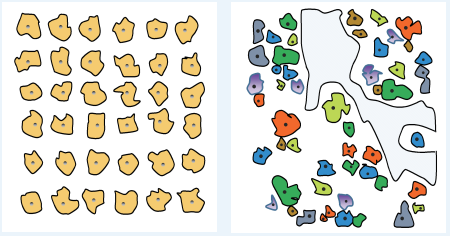


图 3-5　单一化种植（左）和多样化种植（右）模式图

研究者曾连续 4 年分别从棉花、玉米、小麦、大豆、番茄、甘蓝、高粱等华北地区普遍种植的 20 种作物库中，随机选择出 1、2、4、8、16 种作物，分别进行单一和混合种植。以种植区内天敌与害虫生物量的比值作为控制害虫的指标进行分析，发现作物种类的丰富度对害虫的控制影响显著。

当外界影响的程度较高时，生态系统原有的平衡状态被破坏，生态系统是否还有能力恢复其结构与功能的相对稳定，重新达到动态平衡的状态呢？

1988 年，美国黄石公园曾发生罕见大火，持续了整个夏天的大火使得公园近三分之一的土地成为灰烬，原有的松林消失。但公园管理方决定无为而治，任由野火自生自灭。科学家们也认为这是森林正常周期的一部分。果然，四五年后新的松树快速生长，新生的森林一片葱绿，生机勃勃（图 3-6）。



图 3-6　黄石公园大火烧毁的松林又恢复到生机勃勃

学习提示

由于草原的轻度火烧主要发生在地面之上，而土壤表层和表层下的草本植物种子、地下芽体等并未受到高温损害，因此火烧过后它们能存活甚至快速茁壮成长，使草原生态系统能较快恢复稳定状态。

生态系统受到一定程度的破坏后，经过一段时间可以恢复相对稳定状态的能力叫做**恢复力稳定性**（resilience stability）。“野火烧不尽，春风吹又生”展现了火烧过后，草原生态系统在第二年又重新恢复相对稳定状态。但由于森林生态系统的结构远比草原生态系统的结构复杂，因此，遭受破坏的森林生态系统要恢复到原有的物种丰富程度及平衡状态所需的时间更长，也更困难。

此外，生态系统的恢复力随着干扰程度的加剧而降低，生态系统恢复到原状所花的时间也就会变得更长。



探究 · 实验

3-1 设计并制作生态瓶

生态系统有大有小，有相对开放的，也有相对封闭的。设计并制作小型生态瓶，观察生态瓶的发展，可以理解并思考影响生态系统稳定的因素。

实验目标：

1. 根据完整生态系统的组分设计并制作生态瓶。

2. 根据实验设计的原则，设计并探究不同物种种类、数量、环境因素等对生态瓶稳定性的影响。

3. 比较不同生态瓶中生态系统的稳定性差异，分析其原因。

实验原理：

生态系统的稳定性与其物种组成、营养结构和环境因素等有着密切的联系。将一定的生物成分和非生物成分放入一个密闭的容器内，使其物质循环和能量流动保持相对平衡，形成一个人工模拟的微型生态系统。

材料器具：

鱼（青鳉、食蚊鱼等）、虾（米虾、沼虾等）、螺（圆田螺、环棱螺等）、水生植物（金鱼藻、黑藻、狐尾藻等）、带有塞或盖的无色透明容器、凡士林、澄清池水（或经晾晒过的自来水）、底质（细沙或淤泥）等。

实验步骤：

1. 各小组确定研究主题（如探究不同底质对生态瓶稳定性的影响、不同种类或数量的水生植物对生态瓶稳定性的影响等），设计生态瓶实验方案。

2. 用热水充分洗净容器和瓶塞。将底质铺入瓶底后，注入澄清池水。根据小组设计方案，将一定种类和数量的生物轻轻放入容器中。

3. 在塞或盖周围涂上凡士林，封闭容器。在容器上注明制作日期和制作者姓名。将容器放在合适的位置。

4. 设计记录表，定时观察和记录动物的活动和生存情况以及植物的颜色、水质的混浊度等。

结果分析：

1. 根据该封闭生态系统所能保持稳定的天数，对不同生态瓶进行比较、分析，说明影响生态瓶中生态系统稳定性差异的原因。

2. 根据你观察和记录的实验数据，对生态瓶的稳定性做出评价，并撰写一份实验报告。

生物学与社会

传粉昆虫对全球生态系统稳定性的影响

传粉昆虫是地球上生态系统中重要的组成部分之一（图 3-7），植物 - 传粉者的关系是植物 - 动物相互关系中重要的一对关系。据统计，全球有约 87.5% 的被子植物繁殖以及超过 35% 的粮食生产取决于以传粉昆虫为主的授粉。如果没有传粉者，许多植物不能产生种子。相反，没有相应植物提供花粉、花蜜或其他回报，很多传粉者种群数量可能下降，甚至灭绝。因此，可以说，传粉昆虫的物种组成、种群数量变化直接或间接影响着生物多样性，进而，传粉昆虫对生态系统的稳定性也有重要的意义。如果传粉者的生存受到影响，其所在食物链的营养关系或其他非营养关系也会随之改变，会影响生态系统中其他生物并产生连锁反应，从而影响该生态系统的稳定性。



图 3-7　传粉昆虫

然而，人类农业生产、城市建设以及环境污染对传粉昆虫的生存产生了极大的威胁。农业生产中农药的使用，尤其是杀虫剂、除草剂会使传粉昆虫数量显著下降；城市建设使得传粉昆虫栖息地破碎化加重；环境污染不仅影响传粉昆虫蜜源植物的生长，也直接影响传粉昆虫的健康；此外，还有外来物种的增多以及全球气候变化等影响因素。据统计，全球有 16.5% 的传粉昆虫受到威胁，约 40% 的访花蜜蜂和蝴蝶面临灭绝。

因此，提高人类的环境保护意识，减少环境污染，对保护传粉昆虫的多样性和维持全球生态系统的稳定性都有重要的意义。

自我评价

1. 一个平衡的生态系统应该具有哪些特征？
2. 不同生态系统的抵抗力稳定性一样吗？哪些因素会影响其保持稳定状态的能力？
3. 不同生态系统平衡状态被破坏后，恢复到原来状态需要的时间一样吗？其恢复力稳定性与哪些因素有关？
4. 某同学制作生态瓶，其营养结构如图 3-8 所示；某池塘生态系统的营养结构如图 3-9 所示，请据图回答下列问题。

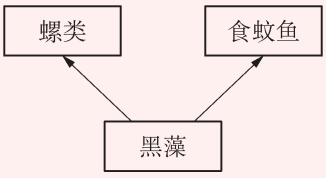


图 3-8　生态瓶的营养结构

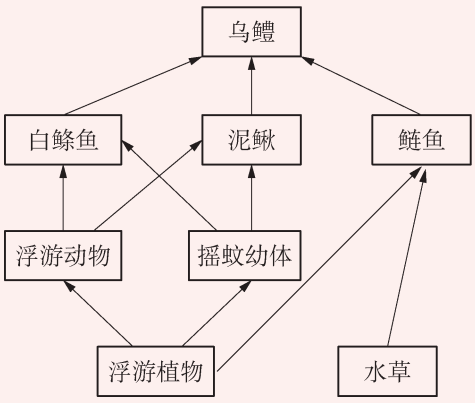


图 3-9　池塘生态系统的营养结构

（1）若某病原菌感染了生态瓶中的黑藻和池塘中的水草，运用所学知识分析比较两个生态系统抵抗这种病原菌干扰的能力。

（2）池塘生态系统处于相对稳定状态时，其中白鲦鱼的数量既不会固定不变，也不会出现很大波动，请分析原因。

第 2 节　生态系统的稳定性受到各种干扰的影响

20 世纪 70 年代，为缓解城市发展所需土地资源紧缺的问题，上海曾引入能促淤、固滩的北美植物互花米草。该物种的引入对上海本地生态系统的稳定性有没有产生影响？生态系统自身有没有调节机制应对该影响？还能保持原有的稳定状态吗？

互花米草对崇明东滩潮间带植物群落的影响

海三棱藨草和芦苇是崇明东滩的本地物种。海三棱藨草的球茎、种子是一些鸟类的食物，而芦苇为一些鸟类提供了栖息场所。图 3-10 显示了互花米草引入后不同年代崇明东滩潮间带主要植物群落的分布情况。

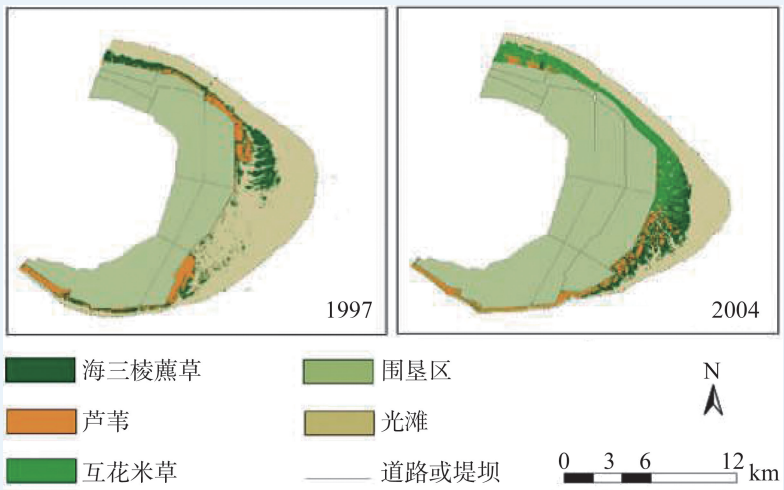


图 3-10　崇明东滩潮间带主要植物群落的分布情况

思考与讨论：

1. 从图中，你发现了哪些变化？

2. 从变化的趋势看，东滩潮间带将会被哪种植物占领？分析这种变化对原有生态系统稳定性带来的影响。

学习目标

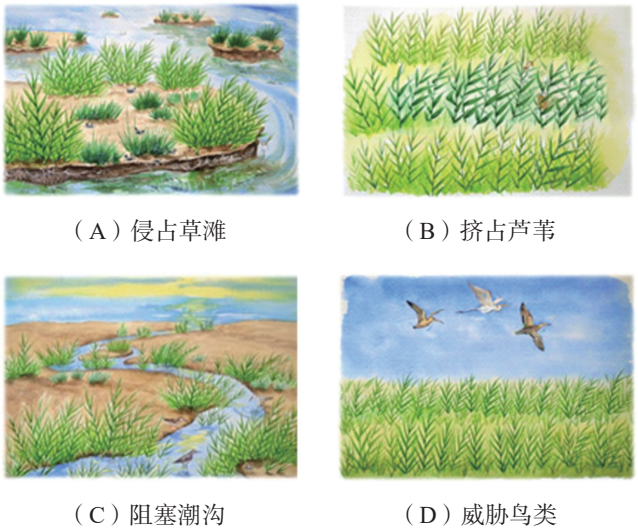
- 举例说明影响生态系统动态平衡的人为因素和自然因素，认识生态系统的自我调节能力是有限的。
- 针对生活中常见生态系统稳定性的维持，能提出有价值的建议，设计可行性方案。

概念聚焦

- 生态系统的稳定性会受到自然或人为因素的影响。
- 生态系统的自我调节能力是有限的。

1. 生态系统的相对稳定性受人为因素或自然因素影响

互花米草原产于北美洲，对气候、环境的适应力很强，且对盐度的适应范围较广，引入我国后，在我国沿海滩涂广泛分布。该植物根系发达，能帮助促淤、固滩，但它较强的有性和无性繁殖能力使其能迅速扩张，排挤当地固有物种。例如在崇明东滩湿地，它排挤当地的海三棱藨草和芦苇，从而降低了该地的物种数量。同时它还会改变生境，导致鸟类等食物减少、栖息地破坏，对该地生态系统的稳定性带来一系列影响（图 3-11）。由此可知，生物入侵会使原有生态系统的结构和功能发生改变，从而影响生态系统稳定性。



（A）侵占草滩　（B）挤占芦苇

（C）阻塞潮沟　（D）威胁鸟类

图 3-11　互花米草对东滩湿地造成威胁的示意图

人类活动对生态系统的稳定往往产生巨大的干扰，如采矿通常使得土壤变得不稳定，易受侵蚀且缺乏植被；过度放牧使草原变成了裸露贫瘠之地；过度砍伐使得森林面积迅速减少，农垦把大片的森林分割成不连续的小片林地……当森林变为耕地后，不仅减少了固定太阳辐射的总能量，也使得森林中的许多动物如鸟类、兽类等由于食物减少以及栖息地的破坏而数量减少甚至消失。而且由于森林变耕地后农作物种类单一，农田中害虫的种类和数量也会随之增多，这是因为许多原来以野生植物为食的物种因食物种类的变化而成为食用农作物的害虫，如原本危害杂草的小麦盾蝽象、瑞典麦秆蝇等成为小麦的害虫。

除了人为因素，生态系统也受到火烧、地震、台风、干旱、泥石流等自然因素的影响。

重度火烧对森林生态系统是一种破坏性灾害，直接危及森林植被、野生动物、甚至土壤和微生物。地震也是一种强烈的自然干扰因素，大地震往往引起地裂、山崩、滑坡、泥石流等灾害，对动植物栖息地和种群动态产生严重的影响（图 3-12）。



图 3-12　地震对我国九寨沟地区原有生态系统造成破坏

全球气候变化也是目前影响生态系统稳定性的重要因素。例如，海水温度上升导致珊瑚出现了白化现象。珊瑚美丽的颜色来自体内的共生甲藻（虫黄藻），甲藻还通过光合作用向珊瑚提供营养和能量。由于海洋温度不断升高，致使珊瑚与甲藻分离，珊瑚失去甲藻造成白化现象（图 3-13）。



图 3-13　大堡礁珊瑚白化现象

2. 生态系统的自我调节能力是有限的

当生态系统受到一定程度的干扰时，一般通过自我调节保持或恢复其相对稳定性，但是当干扰程度超过了生态系统的自我调节能力时，生态系统又会发生怎样变化呢？

互花米草引种之后的快速生长和扩张，破坏了崇明东滩湿地生态系统原有的结构与功能，且这种破坏力超出了生态系统的自我调节能力，从而导致了本地物种大量减少、栖息地环境变化巨大、鸟类数量急剧下降。为使崇明东滩湿地恢复原有生态系统的结构和功能，自 2013 年起，东滩湿地开启了一项大型生态修复工程——互花米草生态控制与鸟类栖息地优化项目，通过人工干预对互花米草进行了控制和管理，逐步恢复原有湿地生态系统的结构和功能，保护其相对稳定状态，同时保护了鸟类栖息地。

过度放牧会导致草原生产者提供的牧草量小于初级消费者的需求量，牧草未能充分生长即被牲畜啃食，有些牲畜甚至啃食地下芽体和根系，致使牧草生长力衰退，超过草原生态系统的自我调节能力，从而出现“草原退化”“草地荒漠化”等生态危机。因此从 2003 年起，我国内蒙古地区实行了退牧还草以及禁牧、休牧和划区轮牧的“三牧”政策，提高草原生态系统的稳定性（图 3-14）。

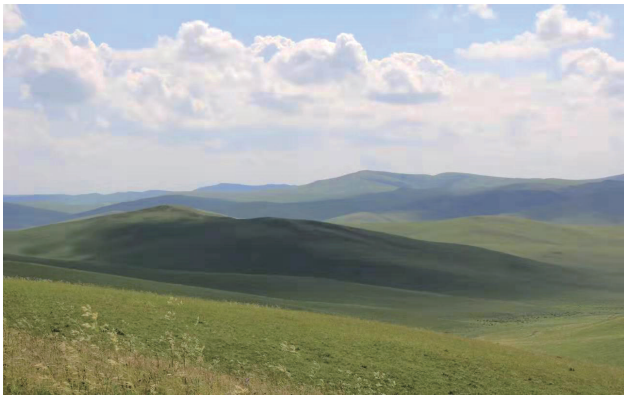


图 3-14　内蒙古地区“人退草进”

在利用地球资源的同时，人类活动的加剧使生态系统不断遭到干扰，当外界干扰所施加的压力超过生态系统的自我调节能力后，将造成生态系统的结构破坏、功能受阻，生态系统很难再恢复到原来的状态。因此，人类应当顺应生态系统稳定性的规律保护生态系统，自觉调和人与自然的矛盾，减少对生态系统的干扰，提升生态系统多样性、稳定性和持续性。



探究 · 活动

3-2 设计保持和提高某个生态系统稳定性的方案

观察生活中两个环境相似的生态系统，例如，不同校园中的池塘、不同住宅区的绿化带、不同区域的农田或郊野公园等，试分析与比较它们维持生态系统稳定性能力的强弱，对于如何提高它们的稳定性，请你设计一个可行性方案。

活动目标：

1. 通过对常见生态系统的各组分功能与营养结构的分析与比较，初步判断生态系统维持稳定性的能力。

2. 能够为常见生态系统稳定性的保持和提高提出合理的可行性建议。

活动内容：

1. 选择生活中两个环境相似的生态系统作为调查对象。

2. 观察、记录两个生态系统中的各主要生物类群，分析其中各成分的功能和营养结构的关系，比较两个生态系统维持稳定性的能力。

3. 观察是否有人为或自然因素影响生态系统的稳定性，记录并说明理由。

4. 针对你的观察和分析，对其中某个生态系统提出提高其稳定性的建议与实施步骤。

5. 根据你的调查内容，形成一份保持和提高该生态系统稳定性的方案，方案需包含：方案设计主题、对该生态系统结构与功能的分析、对该生态系统所面临干扰的分析、对提高该生态系统稳定性的建议、预期成果。

6. 在班级或小组内交流设计方案。

活动评价：

1. 设计方案的主要事实依据是什么？

2. 方案中提出的建议是否具有可操作性？

3. 交流之后，对方案有没有进一步优化或改进？

自我评价

1. 人类的哪些活动会破坏生态系统原有平衡？
2. 如何才能做到既保持生态系统的相对稳定，又能获得人类需要的资源？
3. 苏州河是上海的“母亲河”，但在 20 世纪 70 年代，由于工业、生活污水被大量地排放到苏州河里，导致河水变黑变臭，物种丰富度急剧下降。1998 年起，经过 14 年的治理，到 2012 年时，苏州河的水质得以明显好转，水生生物群落也因此得到了改善：浮游植物增至 200 多种，浮游动物增至 100 多种，鱼类也恢复到 40 多种。

（1）图 3-15 为苏州河生态系统中主要生物间的营养关系图，试分析当环境因素导致浮游植物数量下降时，该生态系统如何通过自我调节维持其平衡状态？

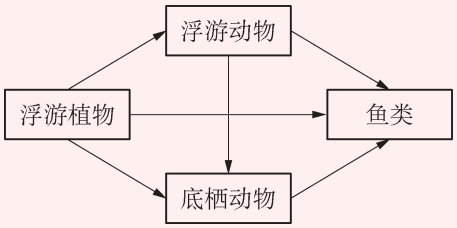


图 3-15　苏州河生态系统生物间营养关系图

（2）举例说明生活污水是如何影响苏州河原有生态系统的稳定性的。

（3）经过治理，现在苏州河中出现了藻类、鱼、虾等生物，生态系统得到初步恢复。虽然工业、生活污水等外来污染源不再排入苏州河，但为什么苏州河的生态系统仍很脆弱？

前沿视窗

人类对火的再认识和新利用

长期以来，人们普遍认为火烧对森林、草原造成很大灾害。高强度的火烧可能大面积地烧死森林、草原中的植物以及植物繁殖体，直接或间接影响动植物群落，甚至会烧毁土壤有机质、土壤微生物，导致该地生态系统需要很长的时间才能恢复。但近几十年的研究发现，火烧虽然会破坏原有生态系统，但对新的生态系统发展与建立平衡具有重要的意义。

科学家研究发现，适度火烧对草原牧场的改良有很大作用：一般情况下，火烧后牧草的生长期提前 10 ~ 20 天；能促进豆科植物的生长，起到改良土壤肥力的作用；适度火烧可减少草甸可燃物载量，对减少高强度火灾有明显作用。森林中的适度火烧能及时清除林下枯落物，减少可燃物的积累，有助于林下植被的更新，为野生动物提供更多的食物，同时也减少大型火灾的发生概率；适当火烧还能有效烧除各种病死木，减少病虫害的发生概率，也可以直接烧死大量病虫或真菌，达到减少病虫害的目的。

许多国家开始重视对火的研究与管理工作，合理地利用火的有利面，采用计划烧除的措施对森林、草原等进行资源管理（图 3-16）。科学家们对计划烧除的定义是：一定条件下，通过人为控制火的强度，在规定的范围内烧除天然可燃物，并实现防火、育林、野生动物和放牧的管理以及减少病虫害等目标，获得相应的预期效果。我国近年来也开始关注计划烧除的应用与研究。

当然，要充分发挥计划烧除在生态系统中的积极作用还需要对计划烧除地区生物多样性、烧除周期、烧除强度和烧除范围等进行进一步研究，充分发挥火这一环境因子在生态系统管理中的积极作用。



图 3-16　计划烧除在森林管理中的应用

本章回顾

本章小结

生态系统都会受到不同程度自然因素或人为因素的干扰，但生态系统具有维持和恢复自身结构与功能、保持相对稳定的能力，这种能力是通过生态系统的自我调节机制实现的。生态系统的稳定性包括抵抗力稳定性和恢复力稳定性。

生态系统的稳定性与生态系统的复杂程度有着密切关系。物种组成越复杂的生态系统在受到一定程度的外来干扰时，就会有更多的选择应对变化，更有利于生态系统通过自我调节机制抵御和消除干扰，维持着生态系统动态平衡。同时，生态系统的自我调节能力是有限的，只有了解生态系统的相对稳定性，才能运用生态系统稳定性的规律保护生态系统，科学规划、合理开发和利用生态系统资源。

从宏观水平建立稳态与平衡观，认识到生态系统具备一定程度的自我调节能力，总结影响生态系统自我调节能力的因素，能够在此基础上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，自觉、主动地为保护生态系统稳定性做出力所能及的贡献。

学业评价

1. 太湖是我国第三大淡水湖，以其丰富的水资源哺育着人类，然而 20 世纪 80 年代开始由于人类对太湖资源的不合理利用，曾经导致其生态环境快速变化。自 2007 年以来，我国开始对太湖流域全面开展大规模水环境综合治理，太湖水质逐步得到改善。表 3-1 为 1995—2017 年太湖水质变化情况资料（按照《中华人民共和国地表水环境质量标准》，依据地表水水域环境功能和保护目标，我国水质按功能从高到低依次分为五类：Ⅰ ~ Ⅴ，若污染程度已超过Ⅴ类，则为劣Ⅴ类）。

表 3-1　太湖水质变化情况

年份	1995	2000	2004	2014	2017
水质类别	Ⅴ类	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅳ类

（1）从表 3-1 中看出，1995—2004 年间太湖水质变化明显。太湖生态系统也发生很大变化，但还能维持一定的功能，这反映了该生态系统具有（　　）。

A. 较强的抵抗力稳定性　　B. 较弱的抵抗力稳定性

C. 较强的恢复力稳定性　　D. 较弱的恢复力稳定性

（2）当太湖生态系统处于动态平衡的状态时，不可能存在的事件是（　　）。

A. 物质不断循环　　B. 能量不断流动

C. 组成成分相对稳定　　D. 生物个体数量不变

（3）水生植物是湖泊生态系统主要的生产者，对维持湖泊生态系统的稳定性有着至关重要的作用。科研人员利用遥感技术在夏季对太湖草型区水生植物进行监测，将监测到的数据进行处理和分析，得到表 3-2 的数据。试分析沉水植物面积变化与太湖水质变化之间的可能关系，同时进一步说明这种变化对太湖生态系统稳定性的影响。

表 3-2　太湖草型区沉水植物面积

年份	1995	2000	2004	2014	2016
沉水植物面积（km^2）	158.10	115.76	76.56	167.12	190.65

（4）据 2021 年江苏太湖安全度夏总结会暨冬春治污攻坚推进会上获悉：太湖水质、藻情总体达到近五年来最好水平……流域 206 个重点断面水质达标率

为 98.1%，水质达到或优于Ⅲ类的断面比例为 93.7%。请查阅相关资料，列举我国近年来在太湖流域采取了哪些生态修复的措施？

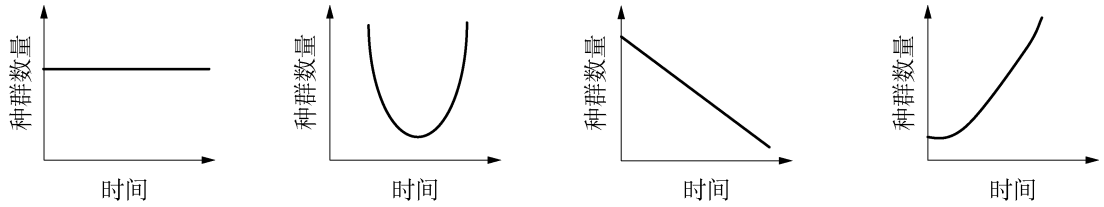
2. 生物入侵已成为 21 世纪人类社会所面临的最为棘手的环境问题之一。外来物种从原产地到入侵地，会经历非生物因素和生物因素的改变，有些外来物种入侵后迅速扩张，成为本地优势种。

（1）研究发现，很多外来植物在入侵地的生长比在原产地的生长更好，出现这种现象的原因可能是（　　）（多选）。

A. 环境中可利用资源的增加　　B. 逃离了原产地植食性天敌的控制

C. 入侵地土壤微生物有助于入侵　　D. 入侵地没有与其竞争的物种

（2）下列最可能是外来植物入侵初期的种群数量变化曲线图的是（　　）。



A.　　B.　　C.　　D.

（3）研究发现，外来物种和本地物种通过多种途径发生竞争，其中一种途径是：外来物种与某一本地物种进行竞争，抢夺其潜在生态位。请对这种竞争方式的结果进行分析，阐述这种入侵植物对入侵地的生物种类和营养结构所产生的影响。

第4章 生态环境的保护

高楼林立、交通发达的城市带给我们便利的现代生活；公园绿地带给我们美好景观的同时，也制造氧气、减少灰尘和噪音。供给人类生存和城市运转的各种能源、生产资料都离不开地球上的各种自然资源。随着人口增长、城市发展，我们不得不思考地球上的自然资源是否足够人类取用？人类活动对地球上自然生态系统的动态平衡产生了深远影响，这不仅影响着地球上其他的生命，也影响着人类自身的生存与发展。怎样把握人与自然的平衡，寻求人与自然关系的和谐，实现人类生存和可持续发展呢？



第 1 节　人口增长影响生态环境

学习目标

- 举例说明人口增长和人类活动对环境产生的影响，能够设计和合作调查身边的环境问题，并用科学术语来描述调查结果。
- 关注全球性环境问题，思考这些问题与生物圈稳态及人类可持续发展的关系。

概念聚焦

- 人口增长会对环境造成压力。
- 全球气候变化、水资源短缺、臭氧层破坏、酸雨、荒漠化和环境污染等全球性环境问题对生物圈的稳态造成威胁，同时也对人类的生存和可持续发展造成影响。

当你畅饮一杯清水时，是否想过：世界上每个人都能喝到足够的清洁饮用水吗？随着世界人口的不断增长，水、土地、能源等各种自然资源均面临供不应求的问题。虽然人类用智慧在不断创造新技术，更有效率地利用资源，但这是否能够满足人类不断增加的需求呢？地球是否能无限度地供给人类这些资源？人类的这些需求对自身和地球都造成了什么影响呢？

用碳足迹衡量日常生活对自然资源的消耗

为了衡量人类对自然资源的消耗，生态经济学家提出了“生态足迹”的概念，不仅可用来评价地理上的区域可持续性，也可以应用于旅游、交通、项目、产品、产业等的可持续性评价。从生态足迹还衍生出了“碳足迹”，一方面用于研究 CO_2 变化和大气污染等引起气候变化的问题，另一方面可用来衡量个人或生产活动对自然资源的消耗（图 4-1）。

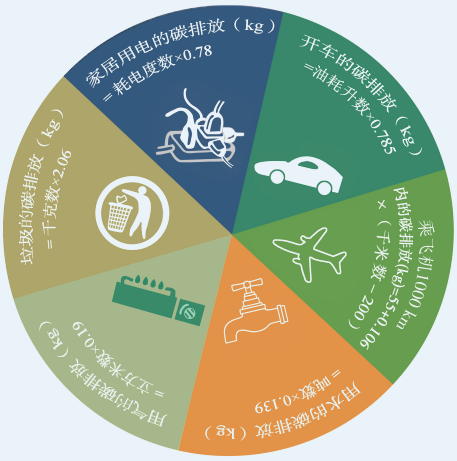


图 4-1　用碳足迹衡量日常生活对自然资源的消耗

思考与讨论：

1. 请查阅碳排放数值估算表，根据估算表计算你一年的碳足迹是多少？如果每一棵树大约可以抵消 100 kg CO_2 当量的碳排放，需要多少棵树才能抵消这些碳排放？

2. 你觉得人类需要采取哪些行动来减少对自然资源的消耗呢？

1. 人口增长加剧环境压力

还记得有关动植物的数量描述吗？而对人类的数量描述也有专业术语，称为人口，是指一定地理区域内人类的数量。

人类历史上，人口曾长期处于很低的水平。在距今 8 000 年前，世界人口还不到 1 000 万；到公元初，人口增长到了 1.7 亿；13 世纪 50 年代，世界约有 3.7 亿人；到 17 世纪初，世界人口超过 5 亿。20 世纪 50 年代至 70 年代，第二次世界大战结束后，由于战争和大规模饥荒的减少，以及工业化和粮食生产技术的进步，全球多数地方的人口出生率上升，加上医学科技发展，死亡率下降，人口增长速率明显加快——每年超过 1.8%（图 4-2），因此，科学家把这种人口大幅增加、自然增长率快速上升的现象称为“人口爆炸”。

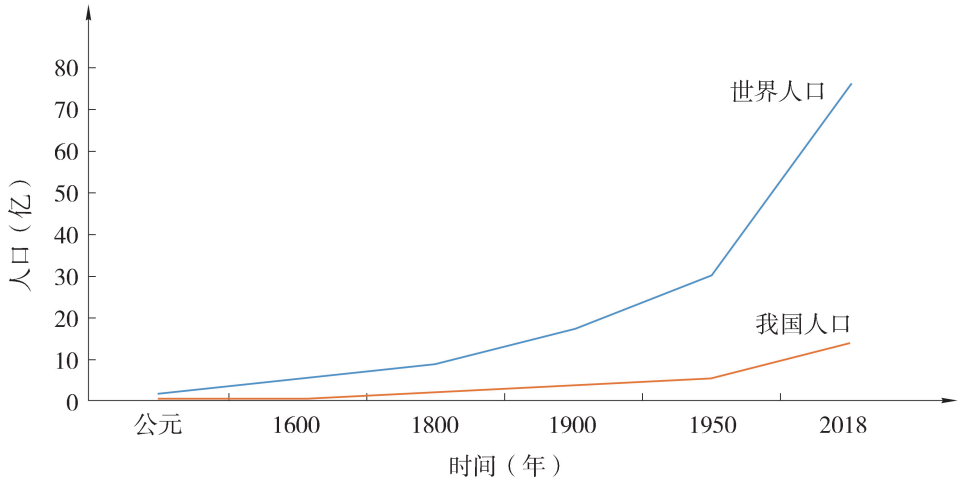


图 4-2　世界人口和我国人口变化

随着人口的不断增长，人类对土地、水、石油、煤炭、矿产、木材等的需求也越来越大，加速了人类对自然资源的开采活动（图 4-3）。然而，自然资源和环境的承载能力是有限的，超过承载能力必然给地球自然资源和环境带来巨大的压力。



（A）森林砍伐　　（B）采矿　　（C）石油开采

图 4-3　人类对自然资源的开采活动

土地也即陆地资源是有限的。地球上只有 30% 的陆地适于人类耕种，其中土壤肥沃、地势平坦的优良耕地面积仅占三分之一。为了解决人口过快增长所需的粮食问题，人类一方面大量使用化肥、农药，引起优良耕地退化；另一方面则通过毁林开荒、围湖造田等扩大耕地面积，对自然的生态系统造成破坏，加剧了水土流失、气候失衡等。除了农业，住宅、交通、休闲设施和工业等也需要大量土地。由于在这些土地上很难再重现原来的自然生态系统，因此动植物随之减少，一些特有物种甚至灭绝，生态系统的稳定性下降。土壤也容易因侵蚀而退化，甚至荒漠化（图 4-4）。



图 4-4　荒漠化

作为生命之源的水也全球性短缺。地球表面水体中，淡水仅占 2%，其中 88% 被冻结在南北两极。巴西、俄罗斯、加拿大、美国、印度尼西亚、印度、哥伦比亚、刚果（金）和我国等 9 个国家的淡水资源占了世界淡水资源的 60%。尽管如此，我国也面临着严重的水资源分布不均及短缺问题。我国 80% 的水资源分布在长江流域及其以南地区，而西部地区非常缺水。南水北调工程是我国应对水资源短缺的一项策略，工程规划的东、中、西线干线总长度达约 4 350 km，涉及人口约 4.38 亿，调水规模约 $4.48 \times 10^{10} m^3$（图 4-5）。



图 4-5　南水北调工程现场

环境污染也是人类发展带来的全球性环境问题。农业、工业和人类生活垃圾造成的污染是目前生态系统的主要威胁。农业中使用的化肥，没有被农作物吸收的部分流入河流，汇入大海。这些额外的物质作为营养会引起藻类等生产者的过度生长，影响食物网平衡，并引起水域污染。工业制造过程

中产生的一些废气造成空气污染（图 4-6），特别是煤、石油和天然气等燃烧所产生的二氧化硫、氮氧化合物等物质与大气中的水结合而形成 pH 小于 5.6 的酸性产物，随着雨雪或其他形式的降水降落下来，便形成了酸雨。酸雨不仅污染空气，也会对植物叶片表面组织产生破坏，从而使大片森林、草原或农作物受损。酸雨不仅会使水体酸化，影响水生生物，还会使土壤酸化，影响植物的生长。酸雨渗入地下水，动物或人饮用后，会影响健康。



图 4-6　工业污染

人口的增加与对资源的需求给环境带来了巨大压力，人类不得不思考，如何才能减缓这些压力。

思维训练

海洋中的塑料垃圾

工业的废弃物和人类生活垃圾正污染着陆地和海洋，尤其是塑料垃圾。这些塑料污染会产生动物身体无法代谢或排泄的有害物质，并随着食物链在自然界中传递，甚至一些动物会因为直接误食塑料而死亡（图 4-7）。为了掌握海洋中人类垃圾的状况，研究人员利用来自全球各地的数据、图像和视频资料建立了一个深海垃圾数据库。发现的深海垃圾碎片中，有超过三分之一是大块塑料，50% 以上是塑料碎片，并且几乎都是一次性用品，甚至在地球上最深的马里亚纳海沟也发现了塑料袋（图 4-8）。



图 4-7　信天翁尸体解剖后胃里都是塑料制品



图 4-8　马里亚纳海沟底部的塑料袋

思考与讨论：

1. 这些塑料制品是怎样到了鸟的胃里和地球最深处呢？

2. 塑料制品，尤其是一次性塑料用品为生活带来极大的便利，它们的使用与保护自然生态系统是否存在矛盾呢？

2. 全球性环境问题影响生物圈稳定

随着人口不断地增加及生产力的高速发展，人类对环境的作用规模也在不断地扩大，由此产生了诸如全球气候变化、臭氧层破坏、环境污染等全球性环境问题。

全球气候变化中平均气温的升高与二氧化碳和甲烷浓度的增加有关。全球变暖后，海平面上升，整个海岸线和海岸线的生态系统发生改变，随之飓风、台风等自然灾害发生频率增加。全球变暖还可能改变物种分布格局，有些生物向高纬度或较高的海拔迁移，比如一些病虫害向极地方向扩散；有些生态位很窄、迁移能力又差的物种则极易灭绝，比如生活在澳大利亚珊瑚礁海滩的珊瑚裸尾鼠因受海平面上升和破坏性风暴频发的影响，2019 年澳大利亚政府宣布该物种已灭绝，这被认为是首个因为气候变化影响而灭绝的哺乳动物（图 4-9）。



图 4-9　珊瑚裸尾鼠

由于人类广泛使用含有氯氟烷烃化学物质的制冷剂、发泡剂、清洗剂等造成臭氧层的严重破坏，甚至在南极出现臭氧层空洞，这意味着到达地球上的太阳紫外线增强，从而造成对生物的伤害，影响生物圈的稳态。但近年的观测发现臭氧层的空洞有缩小的趋势（图 4-10），这和人类限制相关生产活动有一定关系。

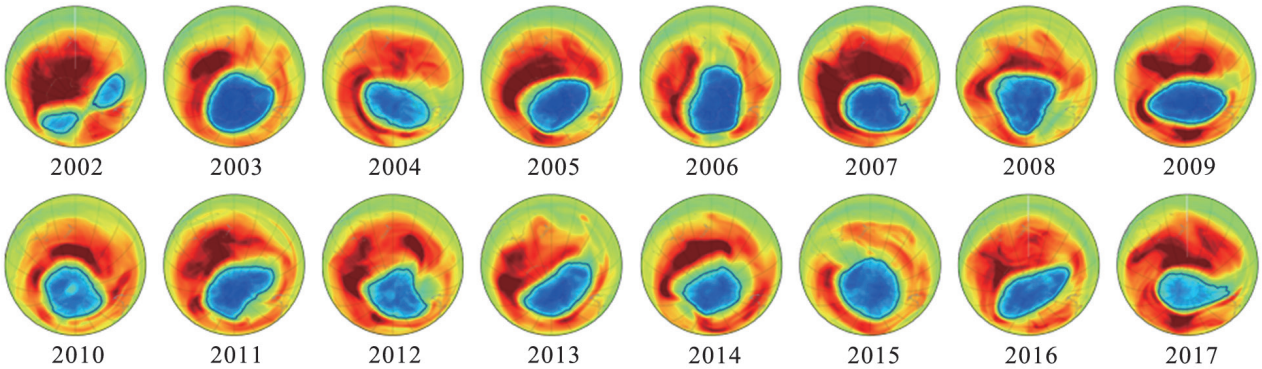


图 4-10　臭氧层空洞的变化

全球性环境问题对生物圈的稳态造成了威胁，也已影响到了人类的生存和可持续发展。水、土地、食物、能源都面临短缺问题，同时环境污染日趋严重，超过了生物圈自我调节的能力，给人类自身的生存和正常生活带来危害，也对地球上其他生物的生存造成威胁。人类应正视现实，合理利用资源，控制人口增长速度，与自然环境更友好地相处，走可持续发展的道路。



探究 · 活动

4-1　调查身边的环境问题

活动目标：

通过对身边的环境问题进行实地观测或调查，区分这些环境问题的类型、产生的原因以及对人类和自然的影响。在此基础上，提出缓解或解决的对策，培养利用生态学知识解决实际问题的能力和保护环境、实现可持续发展的意识。

活动内容：

1. 以小组为单位，选择一个主题，设计一个调查环境问题的方案。调查的主题可以参考以下四种，也可以根据实际情况另定。

（1）某区域固体废弃物的处置：包括固体废弃物如何进行分类、运输、再循环利用等。

（2）周边水域的水质状况：包括测定水质指标如水温、透明度、电导率、pH、溶解氧、化学需氧量（COD）等，再参考国家相关水质评价方法和标准对水质进行评价。也可选择不同区域中分布的水域进行调查比较。

（3）某化工厂三废处理：包括在生产过程中如何对产生的废气、废液和废物进行环保处理，是否达到了国家标准，是否再循环利用等。

（4）不同区域的空气质量：包括在不同区域、不同时间测定空气中的总悬浮颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等，再对照国家相关空气质量评价的方法和标准进行评价。

2. 根据方案进行调查，针对调查获得的结果，提出保护建议或行动计划。

活动评价：

根据调查结果，各小组在班级或全校进行交流和评价。交流和评价主要从以下几个方面进行：

1. 所调查的环境问题状况如何？

2. 所调查的环境问题如处理不好，会给人类和自然带来什么样的影响？

3. 针对这些环境问题，个人、企业和相关管理部门分别应承担怎样的责任？

4. 通过交流，各组尝试从坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理方面考虑，对保护建议和行动方案做进一步修改和完善。



自我评价

1. 1990 年，联合国根据开发计划署理事会第 36 届会议的建议，决定将每年 7 月 11 日定为“世界人口日”，以唤起人们对人口问题的关注。根据所学知识回答下列问题。

（1）人类在地球上生存需要哪些自然资源？

（2）人口快速增长对地球已经产生了哪些影响？

2. 某科幻电影里描述了 700 年后，人类已经不在地球上生活了，地球上也几乎看不见植物和动物，地球全部被垃圾覆盖……请思考并讨论下列问题。

（1）试想这样的场景会变成现实吗？说说你的理由。

（2）为了避免这样的情况发生，从现在起，我们应该怎样做呢？

第 2 节　生物多样性关系到生态系统稳定及人类生存和发展

水稻是人类重要的粮食作物之一。我国在水稻育种和种植上贡献非常突出。1982 至 2002 年间，我国农民主要种植了 1 723 个品种（种植面积大于 10 万亩），其中 98% 的品种是我国培育的；截至 2018 年，经农业部确认的超级稻品种共 131 个，这些超级稻环境适应性和品质更好，产量更高。水稻育种之所以能培育出如此丰富的品种，依靠的是什么？我们已经拥有了这么多优质品种，是否还需要保护野生稻？

水稻田的功能

早在秦汉时期，生活在丘陵山地的人们为了种植水稻，就开始采用梯田的耕作方式。虽然水稻田地占用了森林，但它也发挥着对人类不可或缺的作用。一方面供给人类粮食，另一方面也为其他无脊椎动物、微生物等提供了生存环境，与周围的森林共同维持着此区域的生物多样性。与此同时，还与森林汇织成一幅美景，成为重要的世界文化遗产（图 4-11）。



图 4-11　水稻梯田

思考与讨论：

1. 水稻田和森林在物种组成上有什么特点和差别？
2. 这两种生态系统的稳定性有什么差别？
3. 水稻田和森林都具有哪些价值？

学习目标

- 举例阐述不同层次的生物多样性内涵。
- 概述生物多样性对于维持生态系统稳定以及人类生存和发展的重要意义。
- 通过调查了解当地生物多样性状况，自觉践行生物多样性保护的相关行动。

概念聚焦

- 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。
- 生物多样性对维持生态系统的稳定性以及人类生存和发展的意义重大。

1. 生物多样性维持生态系统的稳定性

生物多样性（biodiversity）指生物圈内所有的微生物、植物、动物等和它们的基因，以及它们与环境共同组成的各种各样的生态系统。生物多样性包含遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性。

遗传多样性（genetic diversity）是指地球上生物所携带的各种遗传信息的总和以及生物种内基因的变化。地球上各种物种的差别也可以说是它们遗传信息的差别。同一物种内的差异也是由于它们的遗传信息不同。



图 4-12　不同品种的稻米

在生活中，可以看到不同水稻品种的米粒具有不同的外形、色泽（图 4-12），品尝时也有不同的口感；生产中，水稻品种的差异还体现在抗倒伏、产量、耐盐碱和干物质积累能力等方面。这些不同的生物性状是不同基因或多种基因相互作用的结果。在培育和筛选过程中，科学家需要借助遗传多样性丰富的野生型水稻，筛选出需要的特性，通过基因突变和基因重组，在有限数量基因的基础上，利用不同个体在基因型和表现型上存在的差异来培育新品种。可见，物种自身的遗传多样性是非常重要的。遗传多样性越丰富，物种就越有可能长期生存、进化和发展，并为新物种的形成打下基础。许多物种走向灭绝也与遗传多样性的丧失有关，比如北美旅鸽的灭绝是人类猎杀和该物种自身遗传多样性丧失共同导致的结果。

遗传多样性包含了物种内基因和基因型的多样性，同时也是构成物种多样性的基础。**物种多样性**（species diversity）是指地球上动物、植物、微生物等生物种类的丰富程度。迄今为止，对地球上到底存在多少种生物，人类没有能够全部识别出来。2011 年，科学家对世界上已知和估计未知的物种进行了统计，陆地和海洋里已知的物种大约有 143 万多种，而未知的物种估计约有 3 185 万种。我国自然环境复杂多样，地质历史古老，孕育了丰富的物种多样性。据统计，我国的种子植物约有 30 000 余种，居世界第三位，其中裸子植物约有 250 种，居世界之首。我国特有植物多，种子植物有 5 个特有科，247 个特有属，17 300 种以上的特有种，如水杉、银杏、银杉和攀枝花苏铁等。我国的脊椎动物约有 6 300 余种，其中鸟类约有 1 244 种，占世界总数的 13.7%；鱼类约有 3 862 种，占世界总数的 20.0%。

我国不仅物种分布因地域不同有差异，而且因地理环境、气候等差别形成了不同类型的生态系统（图 4-13），**生态系统多样性**（ecosystem diversity）是指地球上生态系统组成、功能及各种生态过程的多样性。生态过程是生态系统中维持生命的物质循环、能量流动和信息传递过程。生态系统中的生境、生物群落及物质循环、能量流动和信息传递过程存在差异，形成了生态系统多样性。地球上，丰富、多样的物种是生态系统的重要组分，是各种化学元素进行循环和维持能量在各组分之间正常流动的载体。



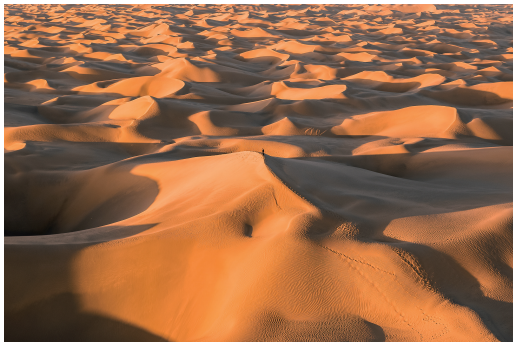
（A）西双版纳森林生态系统



（B）南沙群岛海洋生态系统



（C）呼伦贝尔草原生态系统



（D）塔克拉玛干沙漠生态系统

图 4-13　不同类型的生态系统

遗传多样性越高，物种多样性越丰富，形成的食物链和食物网的节点越多，物质循环和能量流动的路径更多，形成的生态系统越复杂，则能够更好地抵抗干扰，生态系统则更稳定。其实，生物多样性不仅是生态系统稳定的重要因素，也是人类赖以生存的基础。因此，人类要保护所有“生命支持系统”和食物网上的每个节点，保护生态系统的完整性，保持生态系统的稳定性。

2. 生物多样性对人类生存和发展意义重大

随着生物技术发展，虽然人类现在享用的食物在种植和养殖过程经过了优化，已经达到了高产，但是它们的野生祖先仍然非常重要。一旦种植、养殖物种出现了衰退，就需要利用野生型来改良或复壮。生物多样性对于人类的生存与发展是非常重要的。目前人类对生物多样性的价值认识包括直接价值、间接价值和潜在价值。

生物多样性的直接价值包括为人类提供食品、药物（图 4-14）、工业原料、燃料等直接作为生产资料使用的这部分价值，还包括人类享受的那部分价值，如美学创作、生态旅游、科学研究等，就像我们看到的水稻梯田与森林相互交映的美景。



（A）可提取长春花碱的马达加斯加长春花属植物　　（B）可提取紫杉醇的喜马拉雅红豆杉

图 4-14　药用植物



图 4-15　屠呦呦在做实验

生活中许多食物、药物、纺织品等形态多样，其中很多都源于自然界的生物，如许多抗生素就是从真菌和细菌中分离出来的。我国有药用植物 11 000 多种。我国科学家屠呦呦（图 4-15）及其科研团队从历代医籍和民间验方中收集和整理出 2 000 余个方药，对其中的 200 多种中药开展实验研究，历经 380 多次失败，不断改进实验方法，于 1971 年从黄花蒿中成功提取出具有治疗疟疾功效的药物——青蒿素，它的使用有效降低了疟疾患者的死亡率，使这一威胁人类生命数百年的传染病得到了有效控制。

生物多样性的间接价值包括光合作用固定 CO_2、合成有机物，微生物分解死亡的有机体，森林、草原、湿地保持水土、调节气候等与生态系统功能有关的这些价值。所有生命都是物质循环中的一份子，在生态系统中发挥各自的作用。人类越来越多地意识到生物多样性的间接价值是直接价值的基础，可能大大超过直接价值。

生物多样性的潜在价值是指目前人们尚不清楚的价值。人类仅对极少数野生物种做过比较充分的研究，大量野生生物的价值目前还没有得到充分认识。一种野生生物一旦从地球上消失，它的各种潜在价值也就不复存在了。

生物多样性是宝贵的自然遗产，对人类的生存、社会的发展有着举足轻重的作用。目前，保护生物多样性已受到全球共同关注。

3. 保护生物多样性是全人类的重要使命

生物多样性保护的根本目标是保护、维持并发展现有的生物多样性，合理持续地开发、利用生物资源，保护生物种群持续生存和繁衍所依赖的生态环境，达到人与自然和谐统一。

生物多样性保护主要是通过保护栖息地和保护物种两种措施来实现的。保护栖息地采取的主要措施是划定保护区域，即自然保护地。自然保护地除了保护荒野地、保存物种和遗传多样性，维持环境服务、保持特殊自然和文化特征，还提供科学研究、教育、旅游和娱乐机会。迄今为止，根据 IUCN 世界自然保护地数据库的统计，全球已经设立了包括自然保护区、国家公园在内的 22 万多个自然保护地。我国自 1956 年在广东设立鼎湖山自然保护区以来，逐步形成以国家公园为主体、自然保护区为基础、各类自然公园为补充的自然保护地分类系统，各种类型的自然保护地超过 1 万个，面积约占陆地国土面积的 18%，超过世界平均水平。

物种的保护主要有就地保护和迁地保护两种方式。就地保护是在物种分布原生地采取禁猎、禁入、恢复植被等保护管理措施，是大部分物种保护采取的措施。近年来，我国大熊猫和藏羚的就地保护措施效果显著：全国第四次大熊猫调查结果显示至 2013 年底，全国野生大熊猫种群数量达 1 864 只，比第三次

广角镜

国家公园

2015 年，我国在总结自然保护地 60 余年建设经验的基础上，启动国家公园体制试点。2021 年，我国正式设立三江源、大熊猫、东北虎豹、海南热带雨林、武夷山等第一批国家公园。

我国的国家公园是以保护具有国家代表性的自然生态系统为主要目的，实现自然资源科学保护和合理利用的特定陆域或海域，是我国自然生态系统中最重要、自然景观最独特、自然遗产最精华、生物多样性最富集的部分，保护范围大，生态过程完整。国家公园坚持生态保护第一，实行最严格的保护，同时兼具科研、教育、游憩等综合功能。

调查增长了 16.8%；至 2016 年，藏羚的数量恢复到了 30 万只以上（图 4-16）。



（A）大熊猫



（B）藏羚

图 4-16　我国的就地保护物种

迁地保护主要有两种方式，一种是在物种的非原生栖息地通过建立野生动物园、植物园、水族馆、种子库、基因库等不同形式的保存或恢复该物种的措施，目的是为有灭绝风险的物种提供一个暂时生存的空间，待其恢复到具备自然生存能力的时候，再重新回到生态系统中。另一种方式是在某物种历史分布区域进行重新引入，让其在该区域重新具备自然生存能力，并形成能自我繁殖的野生种群，如我国成功重引入了麋鹿、朱鹮等；在上海，也正在开展扬子鳄、獐和狗獾的重引入（图 4-17）。



（A）麋鹿



（B）朱鹮



（C）扬子鳄



（D）獐



（E）狗獾

图 4-17　迁地保护物种

无论是何种方式保护生物多样性，都必须考虑自然生态系统的完整性以及与周边人类区域的协调发展。为此目标，我国正在推行国家公园，划入和连接了更多的保护区域，施行更全面的保护。地球上每种生命形式都与人一样有生存的权利，尊重自然、关爱生命，也是我们人类的责任。



探究 · 活动

4-2 探讨身边的生物多样性保护现状

活动目标：

搜集身边某区域生物多样性的保护实例，讨论生物多样性与人类的关系，提出有效的保护行动及人与环境和谐相处的合理化建议。

活动内容：

1. 以小组的形式，设计活动方案，了解当地生物多样性的变化和保护行动的状况。可以通过查阅书籍、报刊、网络等资料；可以访问林业、农业和环保的管理单位；也可以对当地居民进行访谈。

2. 具体的搜集内容包括：当地过去有哪些常见动植物物种、珍稀物种？这些物种现在的状况如何？它们生存受到威胁的原因是什么？实施过哪些保护生物多样性的措施，效果怎样？当地和周边有哪些保护区或者国家公园，这些受保护区域里有什么特有的物种或生态系统？这些物种在当地的变化与人类有什么关系？

3. 将各组搜集的实例进行主题交流：当地有哪些生物多样性保护的措施，效果如何？判断当地的生物多样性趋势是上升，还是下降？这种变化趋势与人类活动有什么关系？变化的结果对人类又有什么影响？

活动评价：

1. 小组收集的资料是否达到上述要求？

2. 在交流活动中，是否用足够的证据论证了你们的观点？

3. 对于现状，你们小组有什么新的行动建议吗？

生物学与社会

从马铃薯到种子库

荷兰画家梵高的一幅画里描绘了几个人正在吃马铃薯的情景（图 4-18）。马铃薯是当时欧洲百姓的主要食物。人口的发展与成功的农业引种以及种植技术密不可分。17 世纪中期，离欧洲大陆不远的爱尔兰在全岛普及了马铃薯种植，马铃薯的高产量促进了人口增长。爱尔兰人口从 1760 年的 150 万攀升至 1841 年的 810 万。但是，1845 年的夏天，爱尔兰的马铃薯出现霉变、枯萎而失收。之后，持续五年的饥荒使爱尔兰近四分之一的人口饿死、病死，还有约 100 万人因饥荒而移居海外。



图 4-18　梵高的《吃马铃薯的人》

这是因为马铃薯感染了一种真菌，这种真菌在几周内席卷了爱尔兰岛。如何能够避免类似状况的再发生呢？马铃薯染病的原因与从欧洲大陆引种到爱尔兰后品种单一有关。遗传多样性是作物生长最关键的“抵抗力”。世界上一共有超过 4 000 种可食用的马铃薯品种，主要存在于南美洲的安第斯山脉（图 4-19）。对于长期单一品种种植的作物需要野生型来改良种植。显然，保护所有野生马铃薯品种，是我们能可持续地种植并食用马铃薯的保障。

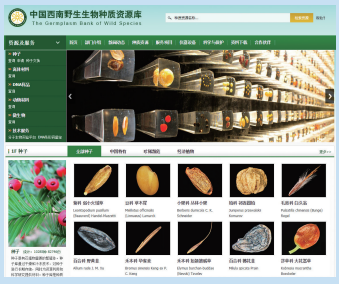


图 4-19　多种多样的马铃薯

随着生物技术的发展，越来越多的作物改良后高产，但仍离不开自然界的遗传多样性。世界各地纷纷建立起种子库，用于保存各种植物的种子，重点是作为食品的农作物种子，以防止人类在面临大规模的灾害时永远丧失这些基因而没有能种植的作物，相当于种子的“诺亚方舟”。

一些特殊的地域会孕育特有的植物，这些植物对地球整个生态系统非常重要。我国青藏高原有着 2 000 种特有植物。为保存这些特有植物，也为了弥补全球种子资源库的不足，我国植物学家钟扬带领团队收集了西藏上千种植物的四千万颗种子。

全球共有大约 1 400 个种子库（图 4-20）。种子的保存和管理对于种子库的有效运转非常重要。





（A）中国西南野生生物种质资源库主页及内部



（B）挪威斯瓦尔巴全球种子库外部

图 4-20　全球种子库案例

自我评价

1. 生物多样性指什么？生物多样性有哪些层次？
2. 和森林生态系统相比，沙漠生态系统的物种多样性低，其原因是什么？
3. 生物多样性高对人类生存和发展有利，为什么？
4. 西藏珠穆朗玛峰国家级自然保护区内生态系统类型多样，生物资源丰富。经初步调查，已发现有高等植物 2 348 种，哺乳动物 53 种，鸟类 206 种，两栖动物 8 种，鱼类 10 种，其中国家重点保护的珍稀濒危动、植物 47 种，国家一级保护动、植物 10 种，二级保护动、植物 28 种。

（1）为了保护该地的生物，可以采取的保护措施有哪些？

（2）该保护区对我们的生活有什么意义和价值？

（3）有人说“建立保护区会影响当地人的生存与发展”，谈谈你对这种观点的看法。

前沿视窗

利用环境 DNA 调查和追踪生物多样性

环境 DNA 是指从生物体生活环境中直接提取到的不同物种 DNA 片段的总和。与传统的调查相比，环境 DNA 技术具高灵敏、低成本、无损伤、速度快等优点，可以在样本采集后的几天内得出结果。早在 1990 年前后，就有研究者利用环境 DNA 识别水中的微生物。2003 年，环境 DNA 首次用于检测样品中是否存在大生物（指肉眼可见的生物）。到 2010 年前后，逐渐有研究者将环境 DNA 技术引入海洋调查中，现在用于植物、菌类和陆地动物的调查中，可以有针对性地快速检测出入侵种、濒危种及稀有种等种类。

生物的整个 DNA 携带的信息量非常庞大，需要选取其中一段或几段鉴定特异性较高、稳定性好、又包含足够的种间遗传变异的片段。这类片段对于动物来说就像商品对应的条形码，被称作 DNA 条形码。目前，DNA 条形码对于动物应用最多的是线粒体细胞色素氧化酶 I 基因，通过该基因序列对动物界 11 门 13 320 个物种进行分析，98% 的物种可被准确鉴定；在植物中应用最为广泛的是叶绿体 1，5- 二磷酸核酮糖羧化酶 / 加氧酶大亚基编码基因、tRNA 成熟酶

编码基因及核基因核糖体转录间隔区序列；对于菌类，主要以核糖体基因或区段和某些功能蛋白基因的应用最为广泛。

随着分子测序技术的发展，利用高通量测序技术可以快速获取 DNA 条形码序列，这种技术被称作 DNA 宏条形码。使用通用 PCR 引物对混合环境样品（土壤、水、粪便等）中生物的 DNA 条形码进行大规模扩增，与具有可靠物种分类信息的 DNA 条形码数据库中的参照序列进行比对，实现规模化的物种鉴定。但是环境 DNA 的调查技术目前也存在一些不足，这是因为环境 DNA 是通过序列比对的方法来确定物种，这就需要物种库里有足够的物种和相应的 DNA 片段序列。

科学家们已经利用环境 DNA 调查了许多地区的土壤真菌多样性、鲢鱼和鳙鱼在美国密歇根湖区的扩散范围、蓝鳃太阳鱼在日本的扩散范围，以及在大海中准确地追踪到大白鲨、鲸鲨的踪迹，也发现了一些我们还没有确定物种的植物。

第3节　保护环境实现人类与自然的和谐相处

早在春秋末期，长江下游和珠江下游的农民就在鱼塘边种桑树、养蚕。蚕粪撒入鱼塘，供养浮游动植物，鱼吃浮游动植物，而鱼粪又被微生物分解并与塘泥混合后再回到种植桑树的土壤里，成为上好的肥料。古人的这种耕种养殖方法几乎不产生废弃物，很好地利用了大自然的物质循环法则，提高了资源的使用效率。在现代，当我们面对各种资源危机，该如何运用不断发展的科学理念和技术，促进人类与自然和谐相处呢?

垃圾分类让“放错位置的资源”重新归位

相关统计显示，我国生活垃圾清运量已从1979年的2 508万吨增长至2018年的2.26亿吨左右。为了处理好垃圾问题，我国从国家层面加速推行垃圾分类制度。2019年6月，住房和城乡建设部等9部门联合印发《关于在全国地级及以上城市全面开展生活垃圾分类工作的通知》，要求到2025年，全国地级及以上城市基本建成垃圾分类处理系统（图4-21）。



图4-21　我国正在加速推行垃圾分类制度

思考与讨论：

1. 为什么要推行垃圾分类制度?

2. 除了垃圾分类，你还知道哪些多层次和循环利用资源的方式?

3. 随着资源需求的日益增长，你认为人类能否与自然和谐相处，达到可持续发展的目标?

学习目标

- 举例说明人工生态系统蕴含的生态学原理和工程学方法。
- 针对特定的环境问题，根据生态学原理、采用系统工程的方法和技术，设计或实施探究活动方案。
- 能够以实际行动保护环境，形成珍爱生命、人与自然和谐共处的观念。

概念聚焦

- 可持续发展是人类的共同目标。

1．多层次和循环利用资源

随着人口增长，提高资源利用的效率在生活和生产中都越来越重要。古人已经懂得利用生态学、系统学和工程学的原理来管理农业。桑基鱼塘将养蚕和养鱼结合起来，形成结构复杂、集种植和养殖为一体的人工生态系统。随着科技水平的进步，人类按系统工程的原理和方法，调整人工生态系统或者生产活动中组成成分的空间位置、时间顺序、数量比例，从而得到结构优化、功能高效、生产力高的生态系统方案。这种方案的设计和实施，达到多层次和循环利用资源的目的。如图 4-22 所示，利用阳棚种植瓜果蔬菜，利用阴棚培育食用菌，两者屋顶可以集雨供浇灌和生活用水，种植的产品是我们的食物，阳棚植物生长过程中吸收 CO_2 释放 O_2，植物茎叶等可以归到沼气池，生产的沼气可以供照明、做饭，沼液可以用来喂猪，沼渣又可以成为食用菌的培养基，猪的排泄物和菌渣又是阳棚里瓜果蔬菜的养料……形成了太阳能、水、碳物质在“瓜果菜＋菌＋畜＋沼＋厕＋灶”的循环和多层次利用，使农业生态系统中模块组合系统化功能得以强化，资源优化配置，并提高物质和能量梯级利用的效率。同时，实现绿色、高产、优质、高效的农业生产，既节省和保护耕地，又保障农产品质量安全。

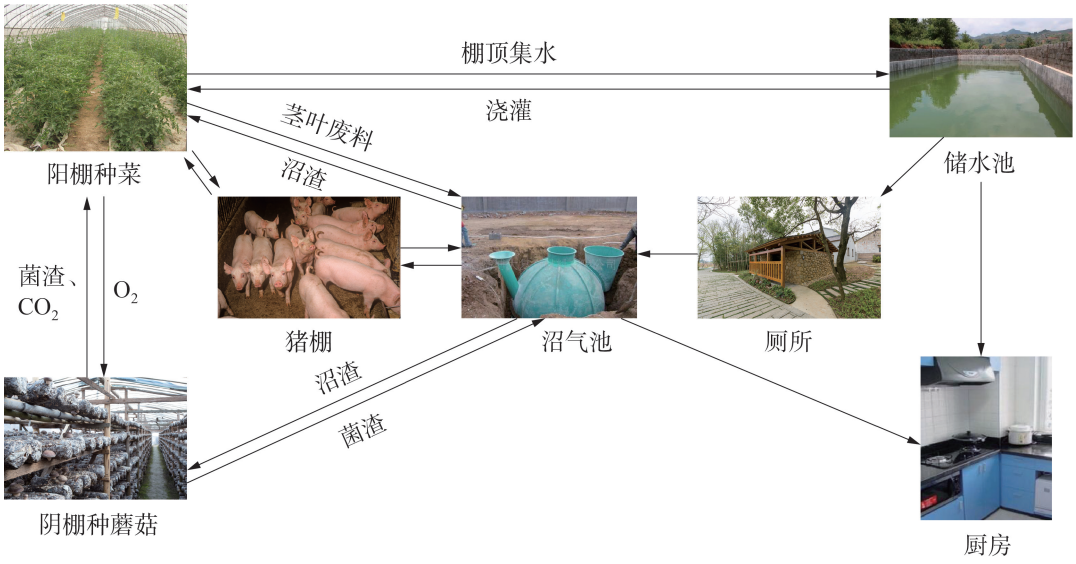


图 4-22　生态循环设施模式图

多层次和循环利用资源不仅应用在农业上，也应用于工业、城市规划与管理方面。20 世纪 90 年代，在国际上形成了循环经

济理念（图 4-23）。首先，减少进入生产和消费流程的物质，预防废弃物的产生而不是产生后治理；其次，尽可能多次以及多种方式地使用物品，防止物品过早成为垃圾；然后，尽可能多地利用再生资源，减少对垃圾填埋场和焚烧场的压力，从经济的角度也节约了成本。这些模式是从可持续生产的角度出发，对生产单位内部、生产活动各环节和社会整体三个层面的循环进行整合，是经济、环境和社会三方协调发展的模式。

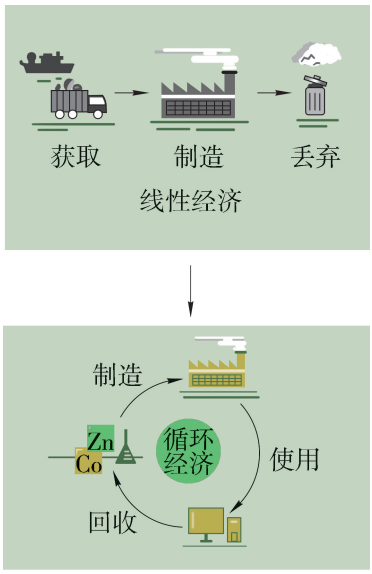


图 4-23　线性经济和循环经济示意图

探究·活动

4-3　了解身边的人工生态系统

活动目标：

随着我们对自然的认识，在营造人工生态系统中，越来越注重与自然的接近。本活动通过参观或调查一个人工生态系统，了解它的组成和采用的系统工程方法，从而了解蕴含其中的生态学原理和经济学原理等。

活动内容：

1. 以小组或班级为单位，选择一个人工生态系统。身边的人工生态系统场所其实有很多，可供参考的如：大棚蔬菜生产基地、生态农场、人工森林公园、植物园中的热带植物馆、城市河道绿化岸坡等。

2. 根据所选的人工生态系统，制定活动方案，记录和分析人工生态系统采用的系统工程方法和技术。

3. 以小组为单位，形成一份参观报告，并在班级或全校进行参观后的主题交流：所参观的人工生态系统采用哪些系统工程的方法和技术，蕴含了哪些生态学原理？分析人工生态系统在生物多样性和生态系统构建上有什么特点？

活动评价：

1. 在报告中，有没有正确使用所学科学术语和生态学原理？

2. 所参观的人工生态系统是否更加高效地利用了资源？根据所学的生态学知识和原理，对所参观的人工生态系统提出改进的意见和建议。

2. 人与环境和谐发展

1992 年，联合国环境与发展大会上通过的《21 世纪议程》提出了“环境友好”的理念。2005 年，我国也正式将资源节约型和环境友好型社会确定为国民经济与社会发展中长期规划的一项战略任务。环境友好是指人与自然和谐共处，人类的生产和消费活动与自然生态系统相协调，人类社会处于可持续发展状态。在上海，有许多人在践行环境友好农业。例如，位于上海青浦的某生态农场内种植作物以露天种植为主，并只种当季蔬菜，混合种植，不使用化学农药、化学肥料、除草剂与化学激素等，使用一些有机农业中允许使用的生物源农药（如除虫菊素、苦参碱、苏云金杆菌、白僵菌等）和绿肥、自制堆肥、发酵动物粪肥、饼肥等农家肥，除虫也主要依靠除虫网；周围环境的植被尽可能保留（图 4-24）。这种方式种出了优质稻米、蔬菜和瓜果，并且生态系统得到了恢复，已经少见的两种当地萤火虫在这个农场里频频出现（图 4-25），达到了生态效益和经济效益协调发展的良性循环，人与环境和谐发展。



（A）多种作物混种



（B）可做绿肥的紫云英



（C）除虫网

图 4-24　上海青浦某生态农场



（A）黄脉翅萤



（B）条背萤

图 4-25　已经少见的两种当地萤火虫在生态农场中频频出现

人与环境的和谐发展不仅体现在农业上，也体现在生产和生活的方方面面。在利用自然资源的过程中，人类不可避免地会干扰和改变自然生态系统，因此必须采取一定的措施减少破坏，帮助自然生态系统恢复。我国实行了退耕还林、严格禁渔、制止在海岸带建造人工设施、海草床修复、人工珊瑚修复等一系列自然修复措施和工程（图 4-26）。其中 1999 年，四川、陕西、甘肃三省率先开展的退耕还林，将易造成水土流失的坡耕地有计划、有步骤地停止耕种，按照适地、适树的原则，综合考虑气候、植物种类、种植方式、时间等影响，因地制宜地植树造林，恢复森林植被。正是这种遵循自然规律，人工设置“自然”恢复，我国已经成为全球对森林覆盖率贡献最大的国家——2000 至 2017 年间，全球绿化面积共增加了 5%，其中 25% 来自我国的贡献。



（A）退耕还林　　（B）休渔期禁渔

图 4-26　我国施行的各项自然修复措施和工程

人类应遵循自然规律，认清环境承载能力，发展绿色科技，合理利用自然资源，科学有效地控制人口和污染，协调经济、社会和环境共同发展。

广角镜

保护和治理环境需要法律保障

面对全球气候变化、环境污染、外来物种入侵等人类造成的不良后果，我们需要协同采取措施来治理和预防，许多国家就这些全球性问题进行了讨论、协商，为解决这些问题达成了一系列公约和协定，要求缔约国共同遵守与执行（表 4-1）。

表 4-1 保护生物多样性和环境的重要国际公约与协定

国际约定与法规	签署时间	保护目的
濒危野生动植物物种国际贸易公约	1973 年	约束野生动植物贸易
保护迁徙野生动物物种公约	1979 年	保护陆地、海洋和空中迁徙物种的活动空间范围
远距离越境空气污染公约	1979 年	减少酸雨
蒙特利尔破坏臭氧层物质管制议定书	1985 年	减少氟利昂等产品的使用来保护臭氧层
控制危险废物越境转移及其处置巴塞尔公约	1989 年	禁止对发展中国家输出有毒废物
生物多样性公约	1992 年	各种动植物物种及其生境的保护和养护
联合国防止荒漠化公约	1994 年	对抗、应对和防治荒漠化
联合国关于跨界鱼类种群与高度洄游鱼类种群的协定	1995 年	对鱼类种群实行配额管制，控制公海过度捕捞

除了公约，各国也都利用法律和更进步的技术手段来保护环境和生物多样性。我国不仅积极加入生物多样性和环境保护的公约，也逐步建立和完善相关法律制度，如《中华人民共和国野生动物保护法》《中华人民共和国森林法》《中华人民共和国草原法》《中华人民共和国渔业法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国生物安全法》等，约束农业、工业和商业等人类活动对环境的过度利用和破坏，防范和应对生物安全风险，保护生物资源和生态环境，实现人与自然和谐共生。

3. 可持续发展是人类共同目标

面对人口增长、粮食安全、环境和气候等问题，人类共同提出了可持续发展的目标。可持续发展是一种既满足当代人的需求，又不对子孙后代满足其需求的能力构成危害的发展。联合国提出的可持续发展目标呼吁所有国家，不论该国是贫穷、富裕还是中等收入，都应行动起来，在促进经济繁荣的同时保护环境、保护地球。

保护地球生态环境、不仅是各国政府、企业等管理和生产部门的责任，也是我们每个人的责任。从了解自然规律到每个人自觉减少对资源的消耗，更加高效地多层次和循环利用资源，采用环境友好的生活和生产方式，参与环境保护实践，共同努力实现人与环境和谐相处和共同发展。

科学史话

生态系统服务的认识历史

人类自诞生开始就依赖地球生态系统提供的各种服务功能存活、延续和发展。早在公元前 400 年，古希腊哲学家柏拉图已经认识到生态系统服务功能，他认为砍伐森林会导致土壤侵蚀和泉水干涸。如今，随着人口不断增长和对自然资源的利用，如何科学地描述和计算人类对自然资源的利用成为了科学家和政策制定者的难题。

1864 年，美国学者玛氏（G. Marsh）指出地中海土壤肥力的变化是自然资源的观点标志着现代生态系统服务理念产生了。1973 年，英国经济学家舒马赫（E. F. Schumacher）在《小而美》中最早提出了“自然资本”一词。20 世纪 40 年代后期，人类对环境依赖的观念得到了进一步发展。1956 年，美国生态学家西尔斯（P. Sears）提出生态系统在处理废物和回收养分方面的关键作用。1970 年，环境科学教科书中出现了对“生态系统”的关注和与“对人类活动给生态系统带来负面影响并将威胁人类生存”相关的内容；同年，联合国大学在“关键环境问题研究报告”的《人类对生态环境的影响》中提出了“环境服务”一词，该报告列出了昆虫授粉、渔业、气候调节和防洪等生态服务功能。在接下来的几年中，“生态系统服务（ecosystem service）”成为科学文献的标准用词用于描述生态系统对自然和人类的价值。1997 年，《自然的服务：社会对自然生态系统的依赖》一书区分了生态系统产品和生态系统服务。后来，美国学者科斯坦扎（R. Costanza）在“千年生态系统评估”中将产品与服务都归为生态系统服务。

现在，从学术研究、管理决策、生产活动等各方面都在不断加强对生态系统服务的认识和运用（图 4-27）。

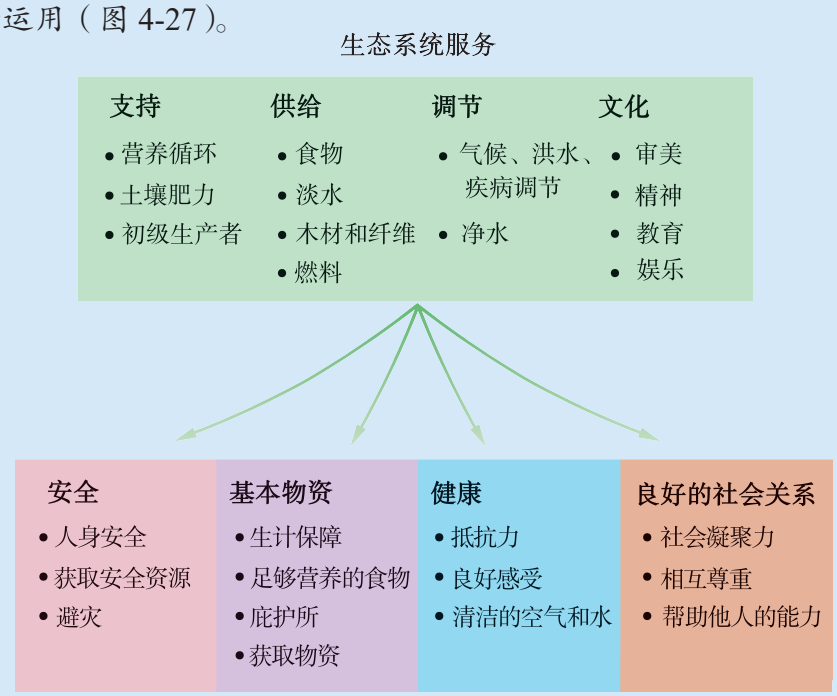


图 4-27　生态系统服务和人类生活的各层关系

自我评价

1. 近年来，我国推动绿色发展，实施全面节约战略，推进各类资源节约集约利用，加快构建废弃物循环利用体系。2011 年，上海以居住区为先导开展了垃圾分类试点。目前，生活垃圾主要分为以下四类：可回收物、有害垃圾、湿垃圾和干垃圾（图 4-28）。

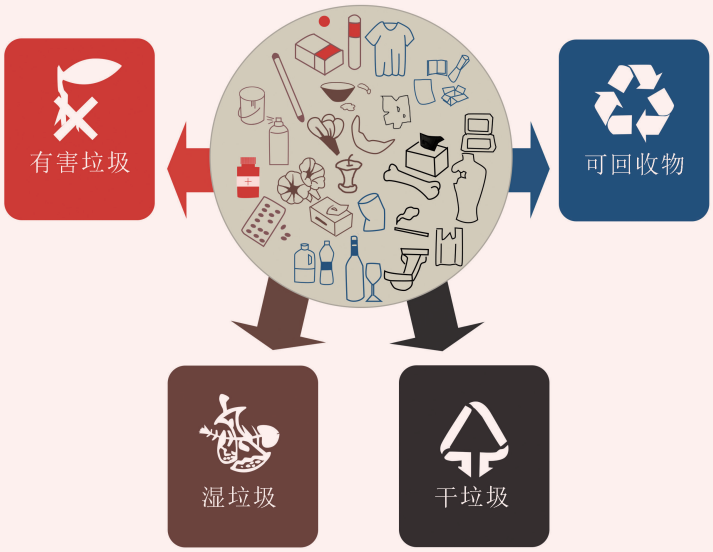


图 4-28　生活垃圾分类

（1）玻璃瓶、易拉罐、饮料瓶属于什么垃圾？为什么把它们归为这类垃圾？你觉得目前施行的垃圾分类对于资源的多层次和循环利用还有什么可以改进的地方？阐述你的建议和理由。

（2）除了日常生活，工农业生产也会产生大量垃圾，你知道它们怎么分类吗？

（3）垃圾分类对自然环境有什么作用？对人类的生活有什么好处？

2. 查阅资料，了解什么是“石油农业”，比较环境友好种植方式与石油农业种植方式的区别。它们对生态环境分别有什么影响？

本章回顾

本章小结

随着地球上人口的不断增长，满足人类活动需要的资源越来越紧张。同时，全球气候变化、水资源短缺、臭氧层破坏、酸雨、荒漠化和环境污染等诸多问题不仅已经影响到了生物圈的稳态，也威胁人类的生存和可持续发展。面对这些问题，人类必须合理利用资源，控制人口增长速度，逐步与自然环境更友好地相处，走可持续发展的道路。

生物多样性包含遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性。生物多样性不仅维持着生态系统的稳定性，也为人类的生存和发展提供了必不可少的各种生产资料。人类越来越认识到每个生命的存在价值和重要性。

生态环境是人类生存和持续发展的必要条件。我们必须要采取措施减少污染，尽可能采用环境友好的生产方式，循环利用生产资料。利用生态学原理和工程学原理，最大限度地利用进入生产和消费系统的物质和能量，提高经济运行的质量和效益，达到经济发展与资源、环境保护相协调。

地球是人类生存唯一的家园。我们必须处理好人与自然的关系，形成“环境保护需要从我做起”的意识，认识到可持续发展战略是人类共同的目标，达到这个目标需要每个人的努力。

学业评价

1. 20 世纪初，美国国家公园管理局在黄石公园开展了一项捕食者控制计划。该计划实现后，导致生活在黄石公园中的狼基本消失，鹿科动物的数量激增，公园内的草木以及其他很多动植物种群数量减少。20 世纪 90 年代中期，黄石公园重新引入 30 多只狼之后，生态面貌得以改善（图 4-29）。



图 4-29　20 世纪 90 年代中期黄石公园重新引入狼的前后景象模拟对比图

（1）狼在黄石公园生态系统中起着什么作用？

（2）从上述事例中，可以得出什么样的启示？总结出哪些生态学原理？

2. 每到汛期，不少城市的道路积水严重，给城市交通和居民生活等带来很大影响。那么，能不能让城市像海绵一样，降雨时就地或就近“吸收、存蓄、渗透、净化”雨水呢？雨水花园就是一种实现雨水在城市中自然迁移与利用的设施，其结构如图 4-30 所示。

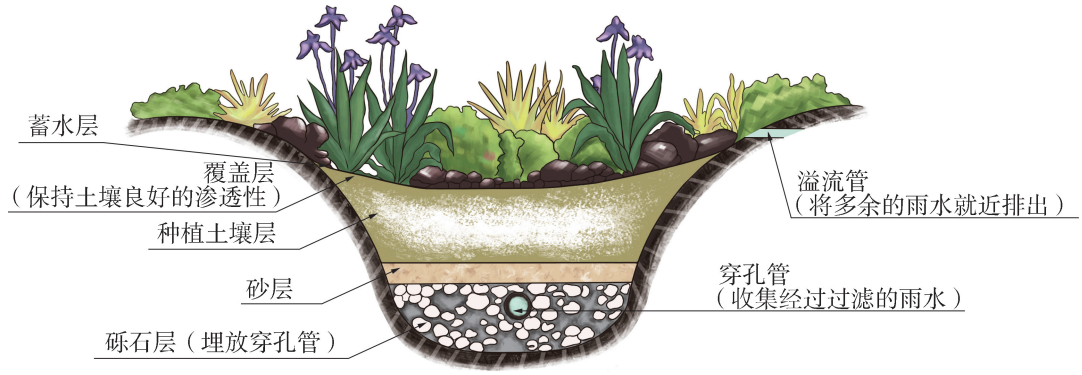


图 4-30　雨水花园结构示意图

（1）你认为这种雨水花园具有哪些功能？

（2）适合种植在雨水花园中的植物有哪些？

（3）尝试运用雨水花园及生态学的原理，设计一个道路绿化方案，能保持道路在汛期无积水且兼具生态景观。

后记

本册教材根据教育部颁布的《普通高中生物学课程标准（2017 年版 2020 年修订）》编写并经国家教材委员会专家委员会审核通过。

编写过程中，上海市中小学（幼儿园）课程改革委员会专家工作委员会，上海市教育委员会教学研究室，上海市课程方案教育教学研究基地、上海市心理教育教学研究基地、上海市基础教育教材建设研究基地、上海市生命科学教育教学研究基地（上海高校“立德树人”人文社会科学重点研究基地）及基地所在单位华东师范大学给予了大力支持。还有许多学科专家、教育专家、教研人员及一线教师给我们提出了宝贵意见和建议，我们感谢所有对教材编写、出版提供帮助与支持的同仁和各界朋友！特别感谢陈华对本册教材编写作出的贡献。对于教材中选用的图片等作品，我们已通过多种渠道联系作者或通过购买取得授权，对此我们深表感谢！但仍有部分作者未能取得联系，恳请入选作品的作者与我们联系，以便支付稿酬。

我们深知，由于时间和能力所限，教材中还存在不足之处。希望广大教师、学生及家长在使用本册教材过程中能提出宝贵意见和建议，并反馈给我们，使我们的教材更加完善。

2020 年 5 月

本册教材图片提供信息：

本册教材中的图片由视觉中国、IC photo、中国全球图片总汇（图 3-12、图 4-15）、袁晓（第 1 章章首图）、唐继荣（图 1-23 左、图 4-16A）、俞肖剑（图 4-17B）、康洪莉（图 4-24）等提供。

生物学

选择性必修 2

生物与环境

SHENGWUXUE

ISBN 978-7-5478-5298-9

绿色印刷产品