

第二章 生态系统的能量流动

- 一 关于能量的基本概念
- 二 生物能量的来源
- 三 生态系统的营养结构
- 四 生态系统中能量动态和储存
- 五 森林经营对生态系统中能量的影响

为什么要研究生态系统的能量流动？

能量是生态系统的驱动力。

林业、农业、渔业、牧业等工作对森林、农田、渔场、草原等的经营管理，应掌握能量的输入和输出途径及其限制因素，以达到高产目的，设法调整生态系统的能量分配关系，使能量流向对人类最有益的部分。

一、牛顿的热力学定律

热力学第一定律：

又称为能量守恒与转化原理。

(**Energy Conservation Law**)

- ❖ 能量可从一种形式转换成另一种形式，但能量即不能增加也不会减少。

如太阳辐射能，通过绿色植物的光合作用转变为存在于有机物质化学键中的化学潜能；动物通过消耗自身体内贮存的化学潜能变成爬、跳、飞、游的机械能。



热力学第二定律(熵律 **entropy law**)

- ❖ 自然界中任何形式的能最终归宿是热能，且不可逆。
- ❖ 在能量的转换过程中，总有一些能量损失掉，一种形式的能不会全部转换成另一种形式的能。

自然界和自然规律隐藏在黑暗中：
上帝说，让牛顿出生吧！于是一切遂见光明。

——蒲伯

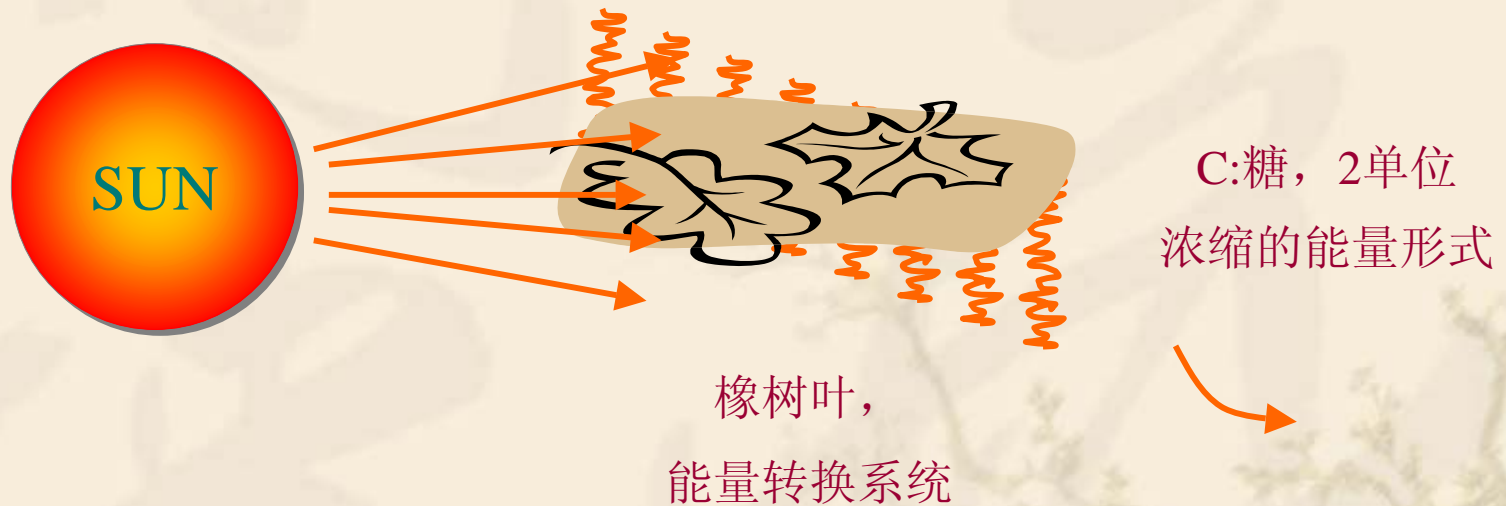
热力学的两个定律

第一定律： $A = B + C$

第二定律： $C < A$

A: 日光，100单位释放的能量

B: 热，98单位释放的能量形式



二、 生物能量的来源

- ❖ 我们能利用的能量来自：太阳辐射、核能、地热……
- ❖ 太阳辐射能是生态系统中的能量的最主要来源。

万物生长靠太阳！



按能量来源将生物分为：



三、生态系统的能量流动

(一) 食物链

食物链(food chains): 植物所固定的能量通过一系列的取食与被食关系在生态系统中进行传递，生物之间存在的这种能量传递关系，称为食物链。



大鱼吃小鱼，小鱼吃虾米，虾米.....

螳螂捕蝉，黄雀在后!

食物链类型：

- ❖ **草牧食物链（捕食食物链）**：是以绿色植物为基础，从草食动物开始的食物链。草原和水体生态系统是以草牧食物链为主的生态系统。

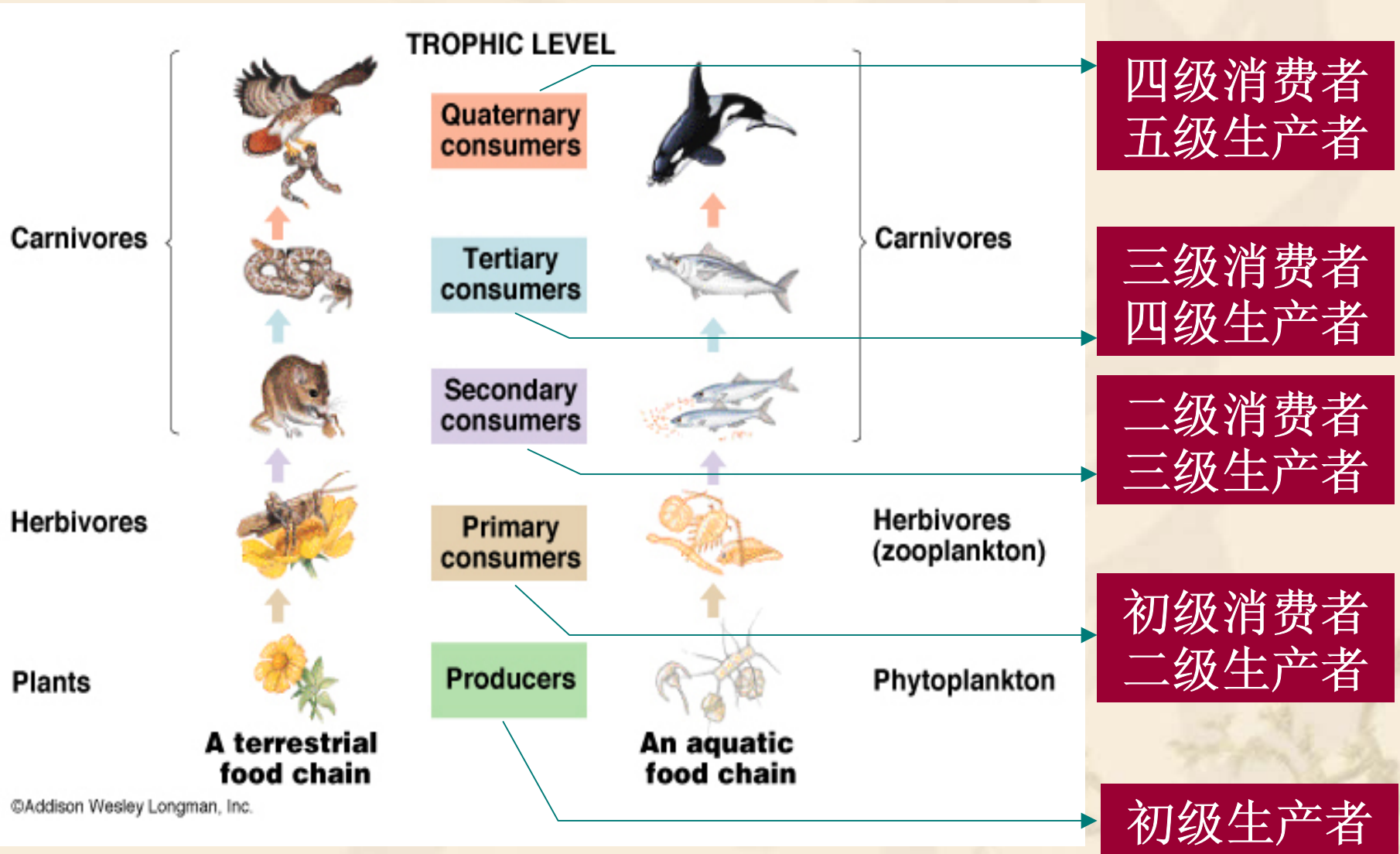
绿色植物



草食动物

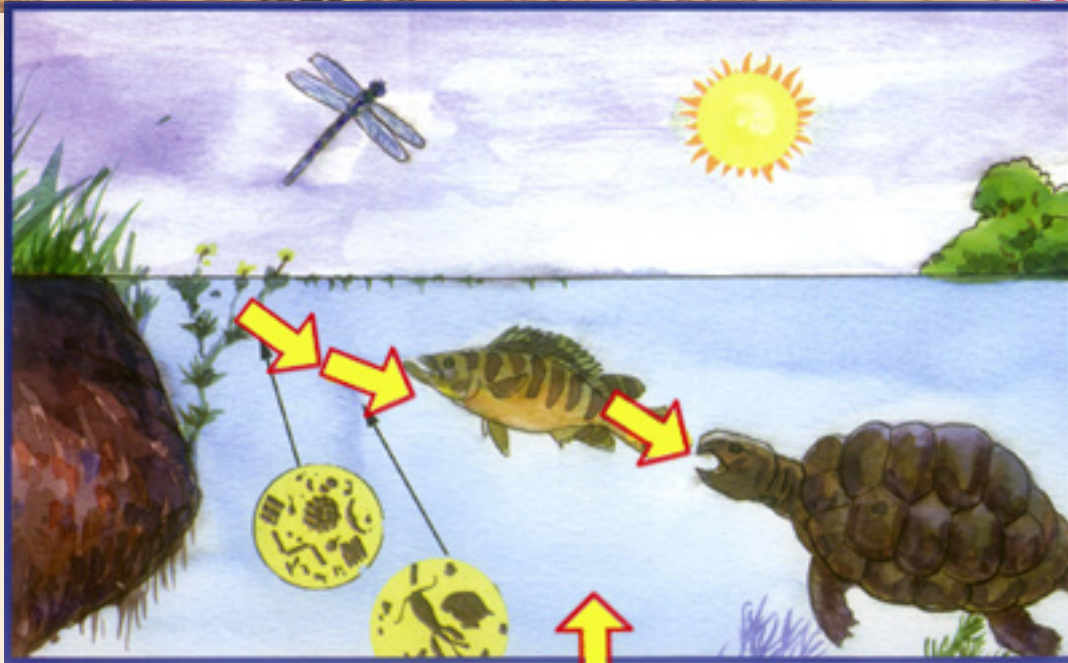
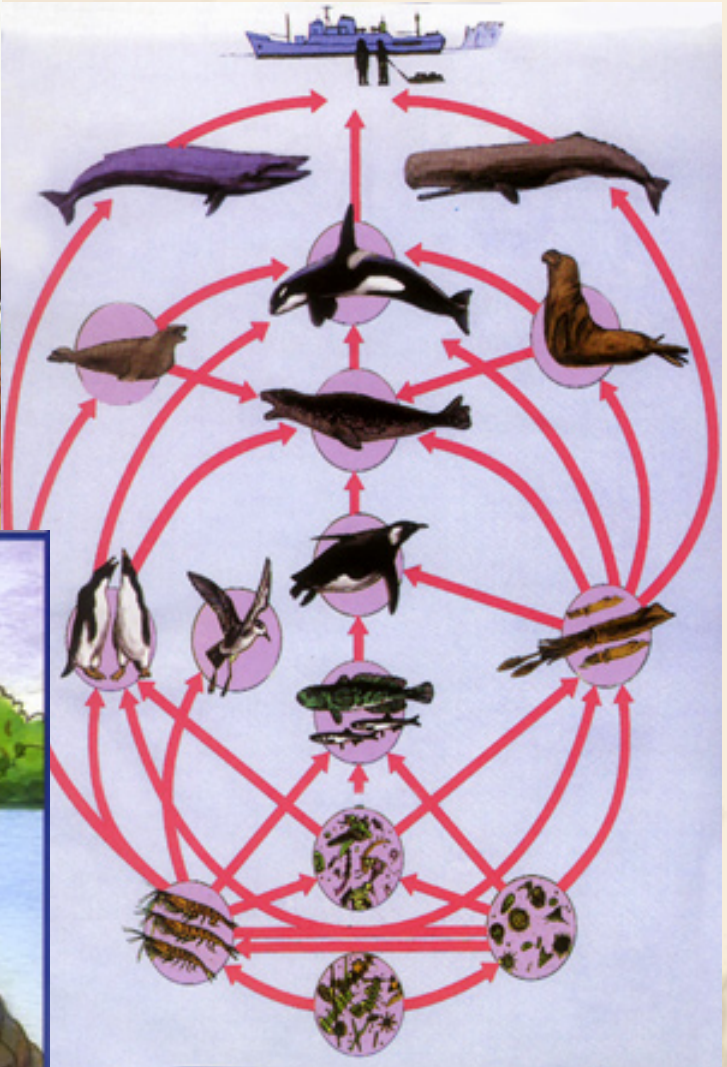
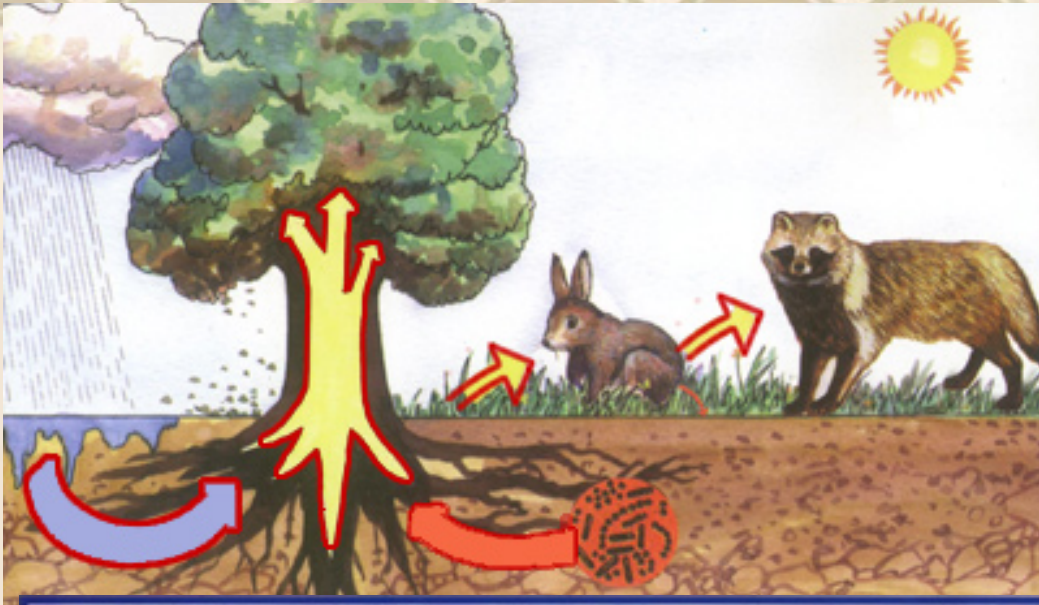


肉食动物



陆地与海洋生态系统的食物链

FOREST ECOLOGY



- ❖ **腐生食物链（分解食物链）**：指以死有机物质为基础，从腐生生物物开始的食物链。**森林是以腐生食物链为优势的生态系统**。在森林中，有**90%**的净生产是被腐生生物所分解消耗的。

在自然界中不如捕食食物链明显，但是它是最重要的食物链。初级生产者合成的有机质只有一小部分被动物取食，而在食物链中进行传递，大部分被分解者所分解。

植物残体 → 真菌 → 细菌 → 蚯蚓

思考题：森林与草原生态系统的能量流动有何不同？

- ❖ **寄生性食物链**:由宿主和寄生生物物构成。它以大型动物为食物链的起点，继之以小型动物、微型动物、细菌和病毒。后者与前者是寄生性关系。

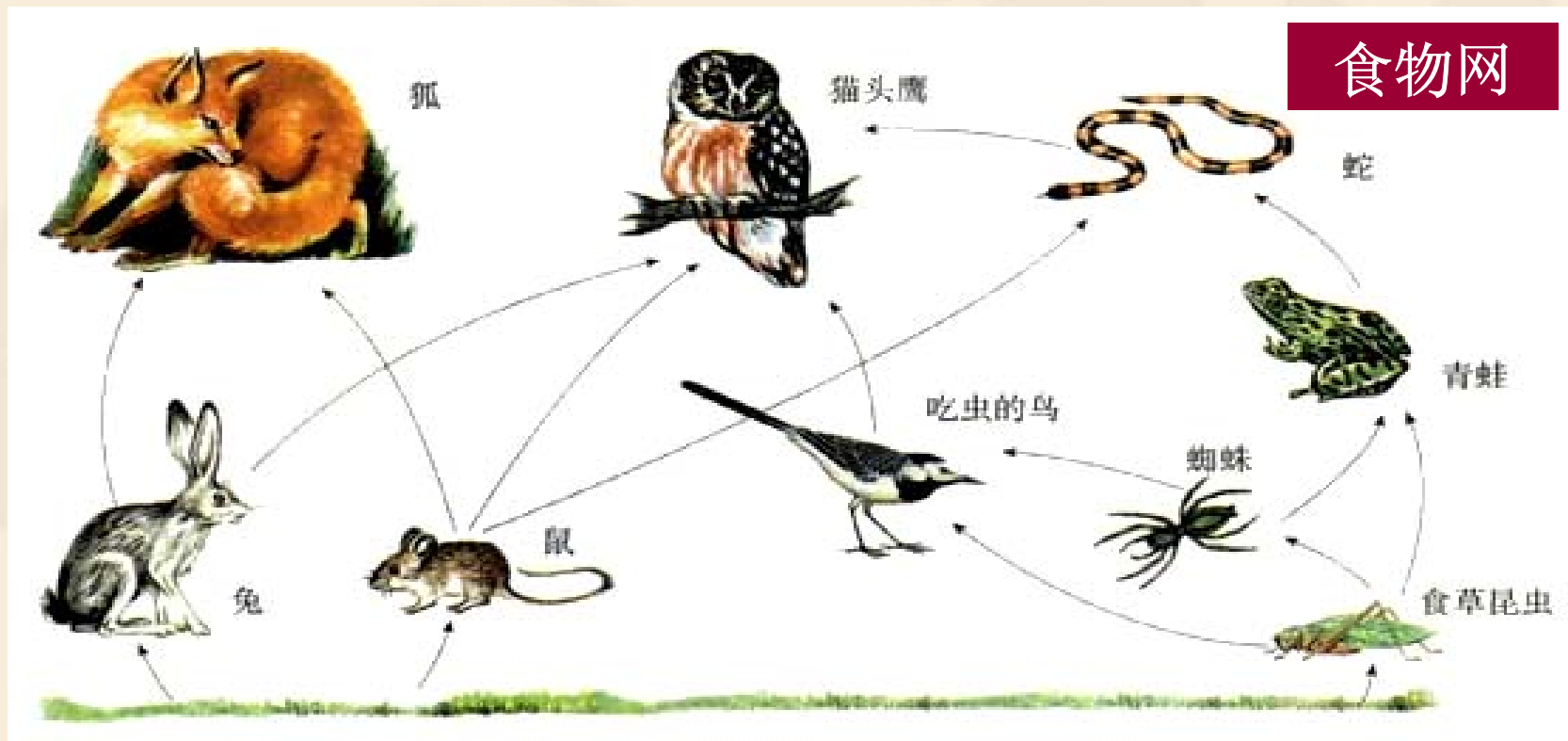
如，黄鼠 → 跳蚤 → 鼠疫细菌；

树叶 → 尺蠖 → 寄蝇 → 寄生蜂。

(二) 食物网(food webs)

生态系统中的多条食物链相互交织、相互连接形成的网状结构，称为**食物网**。

- ❖ 生态系统通过食物网维持着生态系统的相对稳定和平衡。
- ❖ 生态系统通过食物链推动着生物的进化，成为自然界发展演变的动力。



这种以营养为纽带，把生物与环境、生物与生物紧密联系起来的结构，称为生态系统的**营养结构**。

(三) 生态系统中的营养级

在生态系统中，如果某些有机体的食物取自食物链的同一层次，则这些有机体属于同一营养级。

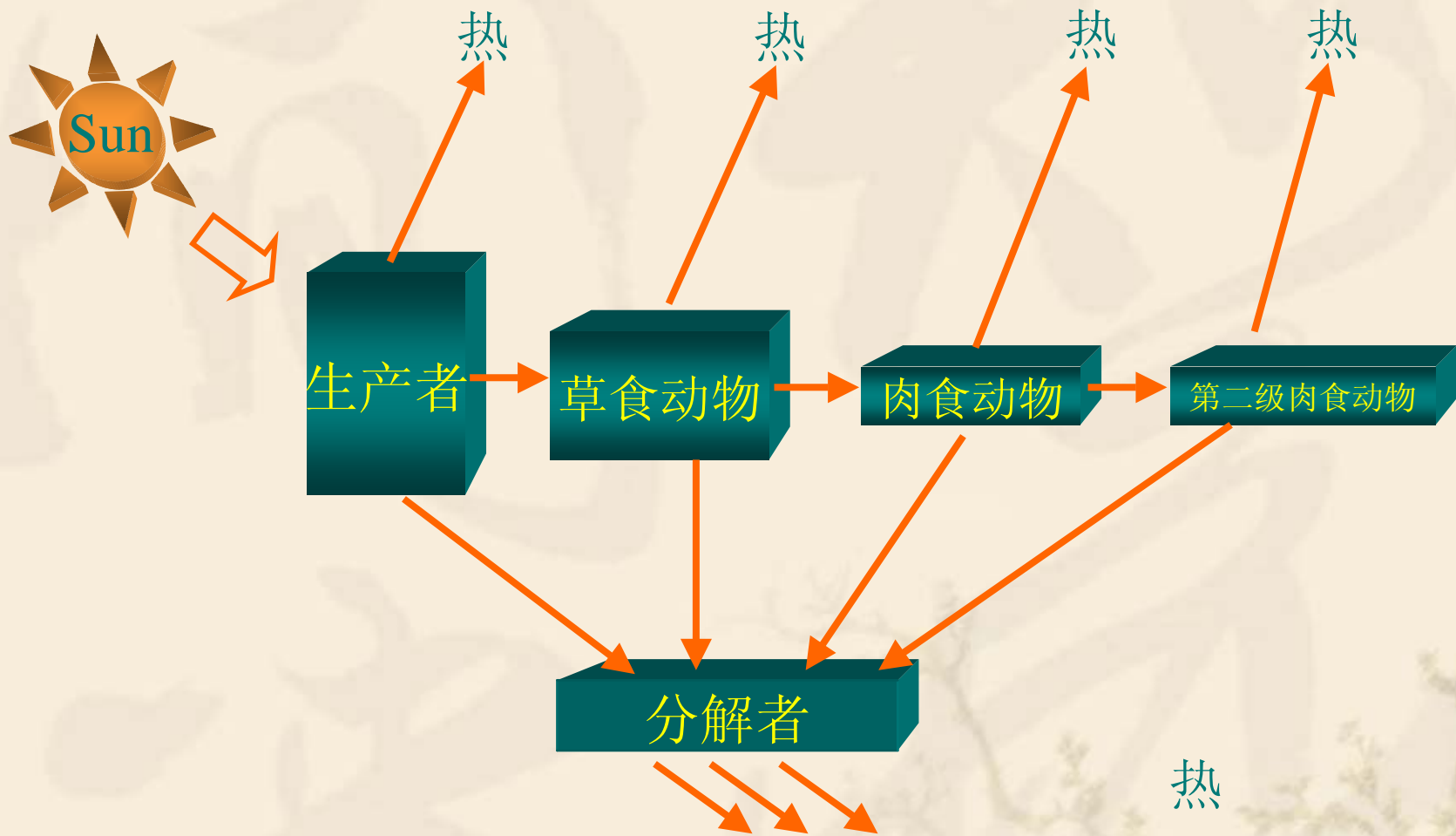
杂食动物
往往在不同的
食物链中处于
不同的营养级，
比如人。



(四) 生态系统中能量的流动

1. 能量流动的过程:





生态系统的能量流动

1. 能量流动特点:

- (1) “越流越细”，能量在流动过程中逐渐减少。到最后，不足以维持一个营养级，所以一般营养级不超过5个。
- (2) 能量单向流动，不可逆。绿色植物固定的能量最后都以热量的形式散发出去。

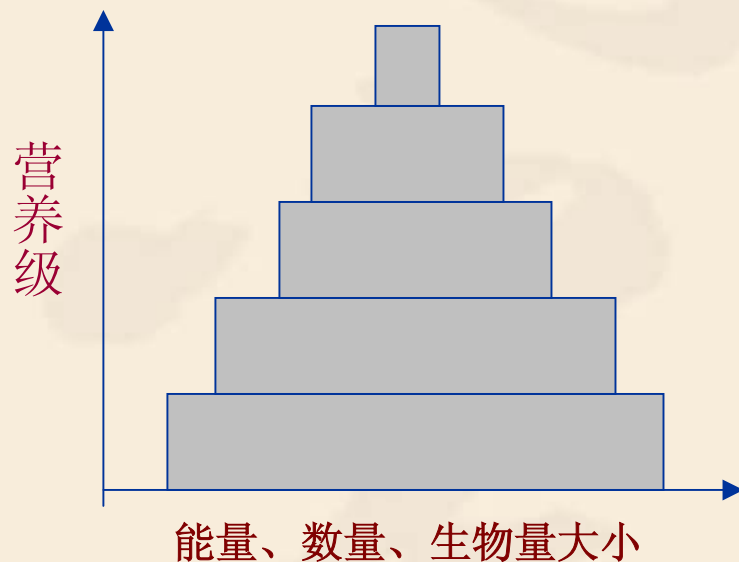
2. 生态系统中的三种能流:

- (1) 第一种能流：沿草牧食物链进行的能流。通过捕食过程实现。
- (2) 第二种能流：沿腐生食物链进行的能流。通过微生物的分解过程来实现。是还原和腐化过程。
- (3) 第三种能流：贮存和矿化过程。

(三) 生态金字塔(ecological pyramid)

1.概念:

把每个营养级有机体的数量、能量或生物量，按营养级的顺序依次排列，绘制成图，所得到的图形就称为生态金字塔。



2.分类:

❖ 生物量金字塔(**pyramid of biomass**)

以各营养级的生物量为基础构建的生态金字塔，一般为正三角形。

❖ 数量金字塔(**pyramid of numbers**)

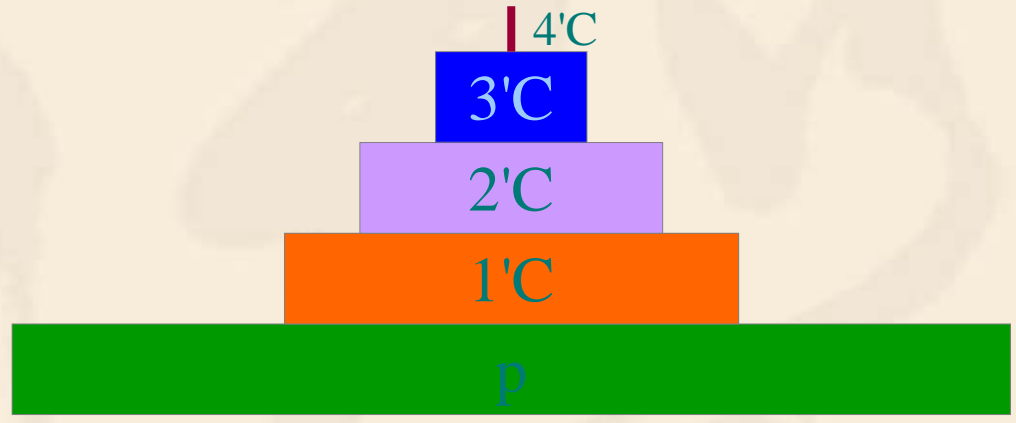
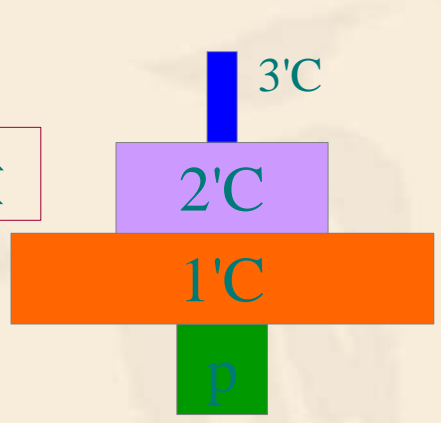
以各营养级的生物个体数量为基础构建的生态金字塔，有时为正三角形，有时为倒三角形，有时不能确切的体现各营养级的能量变化关系。

❖ 能量金字塔(**energy pyramid**)

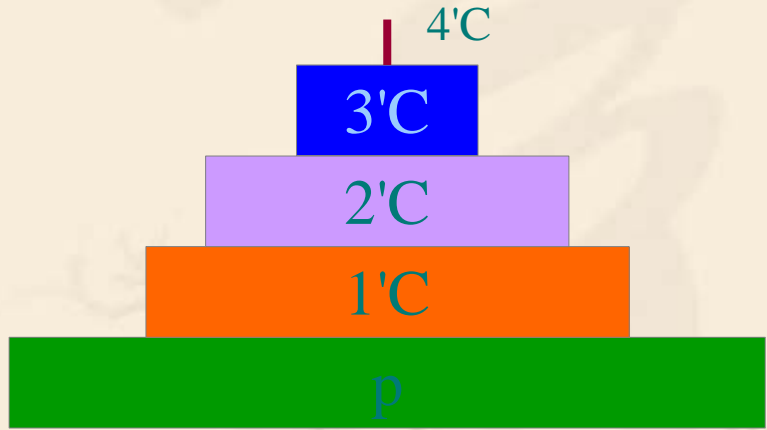
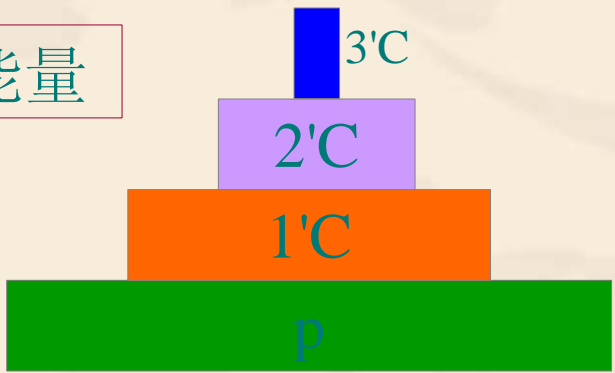
以各营养级所包含的能量为基础构建的生态金字塔，为正三角形。

能量金字塔最能够确切的表示各营养级能量的变化。

数量



能量



落叶林

草地

落叶林及草地生态系统数量和能量金字塔



鱼

单位：公斤

1

10

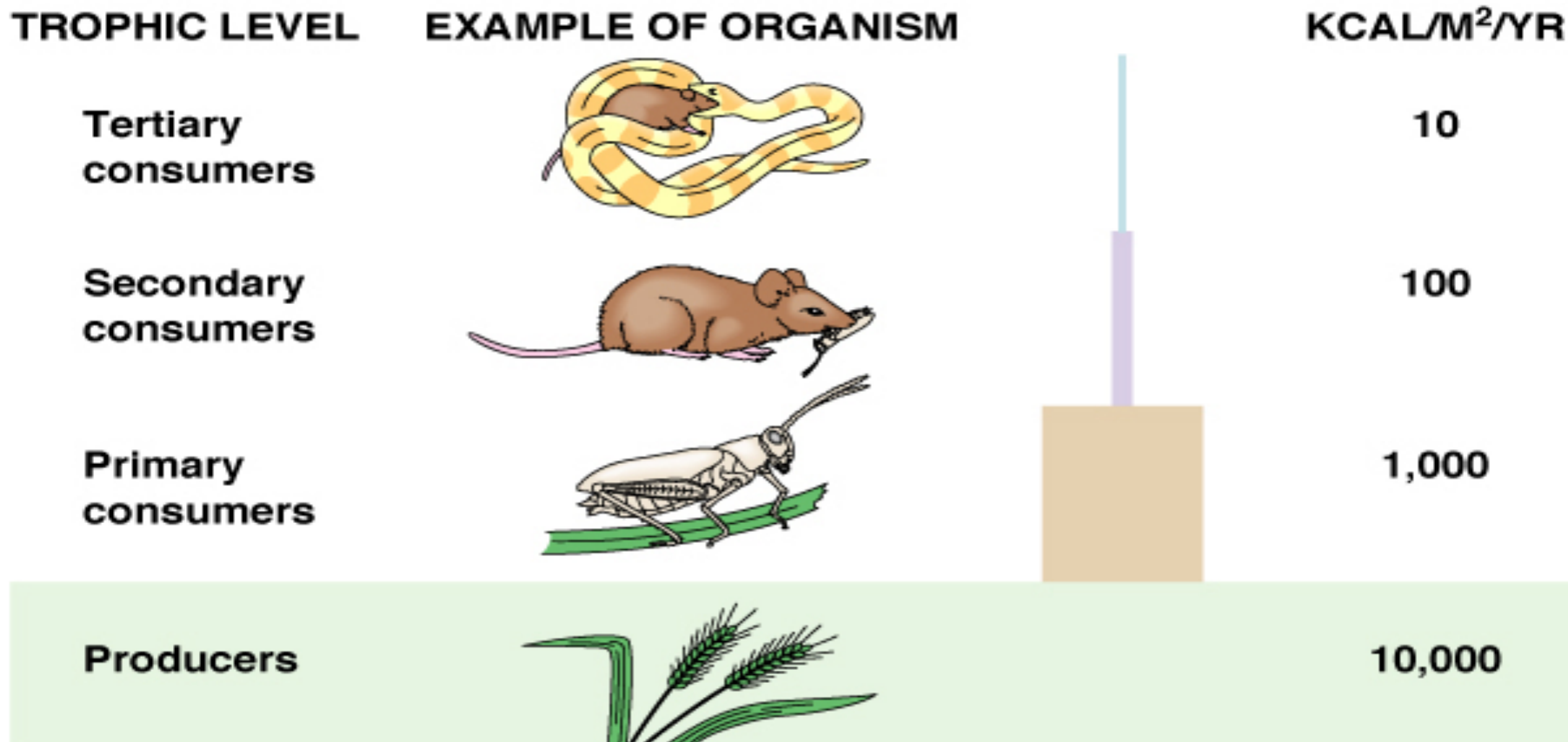
100

1000

浮游动物

浮游植物

湖泊生态系统的生物量金字塔



Energy at each trophic level from 1,000,000 kcal of sunlight per m² per yr

©Addison Wesley Longman, Inc.

能量金字塔

四 生态系统的能量动态和储存

(一) 基本名词解释

1. 与生产量有关的概念:

生产量(production): 一定时期内有机物质增加的总重量。

总生产量(gross production): 某一时期合成的有机物质总量。

净生产量(net production): 总生产量减去呼吸损失的部分。

初级生产量(primary production): 绿色植物的生产量。

次级生产量(secondary production): 消费者的生产量。

2. 与生物量有关的概念:

- ❖ **生物量(biomass)**: 任一时间某一地方某一种群、营养级或某一生态系统有机物质的总重量。一般以干重表示(kg/ha、g/m²)。
- ❖ **现存量(standing crop)**: 单位面积上当时所测得的生物体的总重量。一般将现存量看成生物量的同义词。



3.有生产力有关的概念:

- ❖ **生产力(productivity)**: 指单位时间单位面积的生产量, 即生产的速率。
- ❖ **总第一性生产力**: 也称为总初级生产力, 指单位时间和单位面积内绿色植物通过光合作用所制造的有机物的总量 (包括植物呼吸消耗掉的部分)。
- ❖ **净第一性生产力**: 也称为净初级生产力, 指绿色植物除去呼吸消耗之后的有机物的积累速率。

地球上绝大多数的生物的能量来源于生态系统的净生产力。

总初级生产力 = 净初级生产力 + 呼吸消耗



生物的生长过程实际是净生产力的积累过程。



（二）初级生产者（绿色植物）营养级

1 能量输入 —— 光合作用

❖ 光合效能：太阳能量进入生态系统的效能。

$$\text{光合效能} = \frac{\text{生产量}}{\text{进入系统的太阳能量}} \times 100\%$$

❖ 测定值：1%—5%。

2 能量消耗

(1) 呼吸的消耗

- ❖ 植物群落呼吸损失掉的能量变化幅度在**15%—90%**以上。
- ❖ 损失量从极地到热带逐次提高。原因：温度增高，尤其是夜晚温度高。从而影响植物产量。

不同生态系统总初级生产量中用于呼吸的消耗

生态系统	呼吸消耗占比重 (%)	净生产效能 (净生产量/总生产量)
弃耕地	15	85
苜蓿地	23	77
欧洲松人工林	38	62
松栎林	39	61
热带雨林	55	45
450年生花旗松林	9371	29

(2) 草食动物的消耗

- ❖ 因生态系统类型不同而有很大变化。
- ❖ 草地损失量约28%—60%之间。
- ❖ 森林为1.5%—2.5%。
- ❖ 水体生态系统浮游植物群落60%—99%。

思考：如何看待森林中的昆虫？

草食动物对生态系统净初级生产量的消耗

生态系统	初级生产者类型	草食动物的消耗量(%)
成熟阔叶林	树木	1.5-2.5
针叶人工林	松树	12.5
人工经营牧地	草本植物	30-45
海洋	浮游植物	60-99
海湾	浮游植物	75

(3) 凋落物的消耗

除去草食动物危害以外，净生产量的另一个损失是凋落物量。尤其是森林中，凋落物消耗占有很大的比例，而草原相对较小。

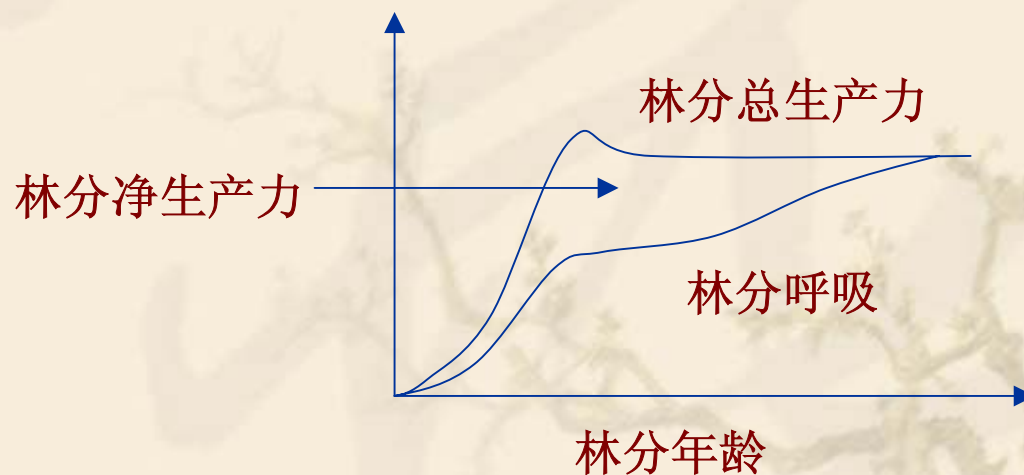
森林内凋落物量从极地到赤道不断增加，与生物量和净初级生产力的变化规律相似。但，赤道地区的凋落物的积累量是最低的。



3 净生产力和生物量

(1) 生态系统生产力的变化

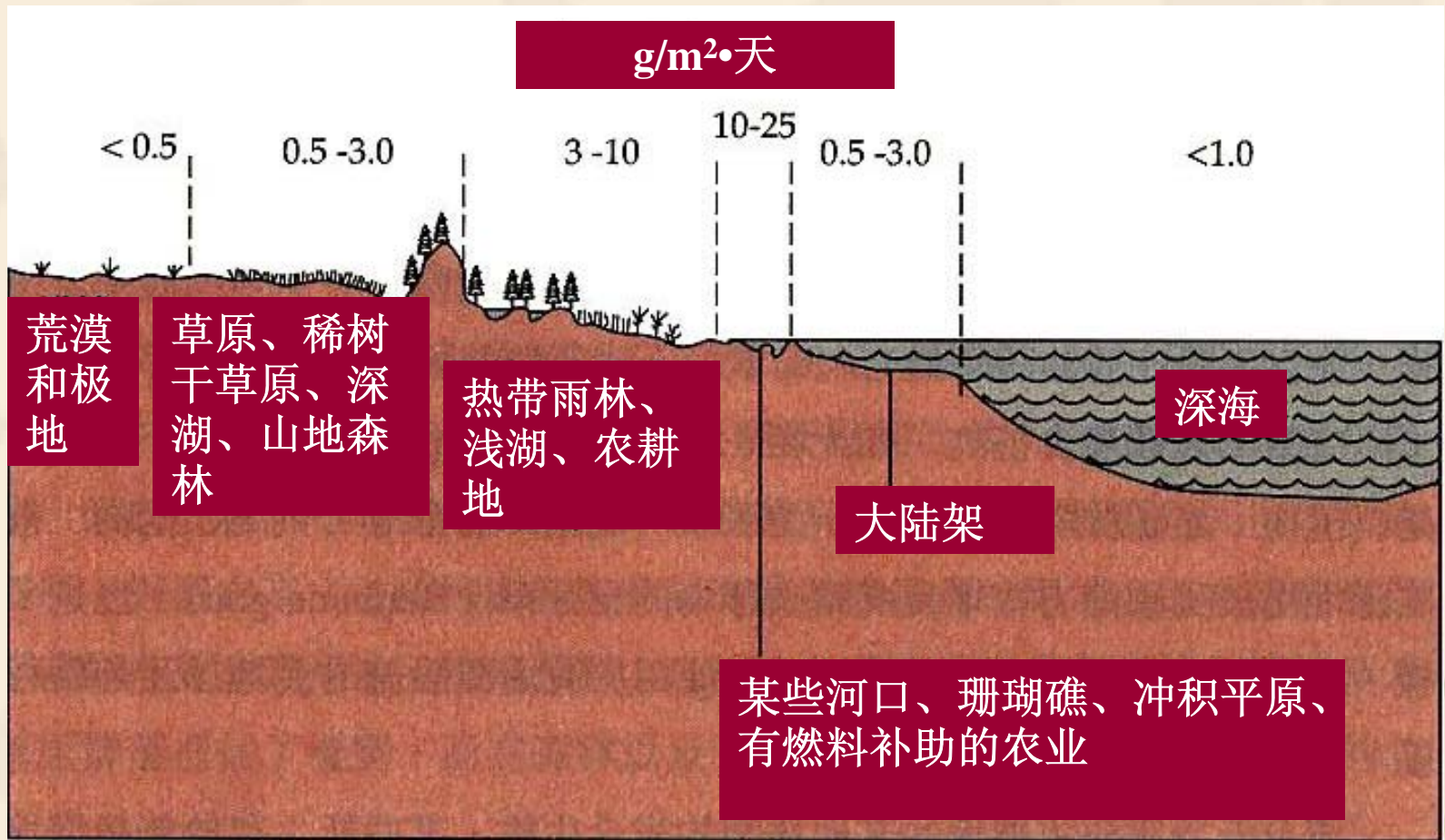
森林的总生产力一般在中年达到高峰，然后稍微下降达到一个稳定值；但呼吸作用随年龄的增加成逐渐增加的趋势；因此，净生产力在中年达到最高值。



(2) 各种生态系统的生产力比较：

奥德姆根据初级生产力将生态系统划分为4级：

- ❖ 最低：荒漠和深海，通常为 $0.1\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{天}$ 或少于 $0.5\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{天}$ 。
- ❖ 较低：山地森林、热带稀树草原、某些临时农耕地、半干旱草原、深湖和大陆架 $0.5\text{-}3.0\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{天}$ 。
- ❖ 较高：热带雨林，长久性农耕地和浅湖， $3\text{-}10\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{天}$ 。
- ❖ 最高：少数特殊的生态系统（农业高产田、河漫滩、三角洲、珊瑚礁、红树林）， $10\text{-}20\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{天}$ 。



(3) 影响生产力的因素:

- ❖ 光照、温度、水分（降水）、养分、生长期和生物因子都会影响生态系统的生产力。
- ❖ 生态系统的结构也会影响生态系统的生产力。
- ❖ 通过改善上述的各种生态因子，可以提高森林生态系统的生产力。

❖ 如何提高生态系统的生产力？

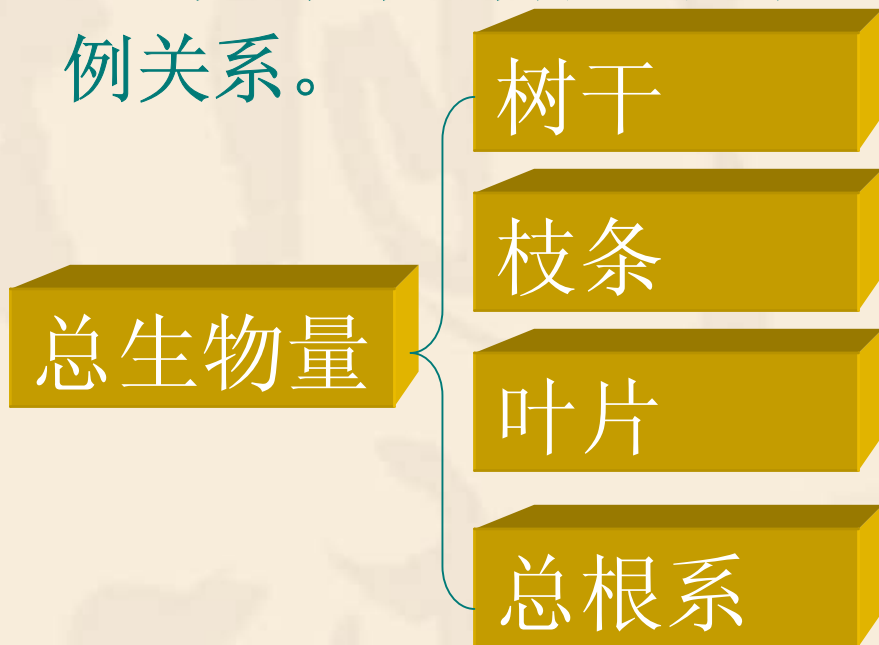
- ∞ 天然条件下：温度的升高，雨量的增多。
- ∞ 人工条件下：营造高光合效能的速生树种，树种的合理混交，整地，灌溉，排水，施肥，森林抚育，病虫害防治等。

从实质上看，提高生产力的措施实际上是向生态系统增加能量的投入。

温室效应的积极方面，在一定程度上可以提高地球陆地生态系统的生产力。

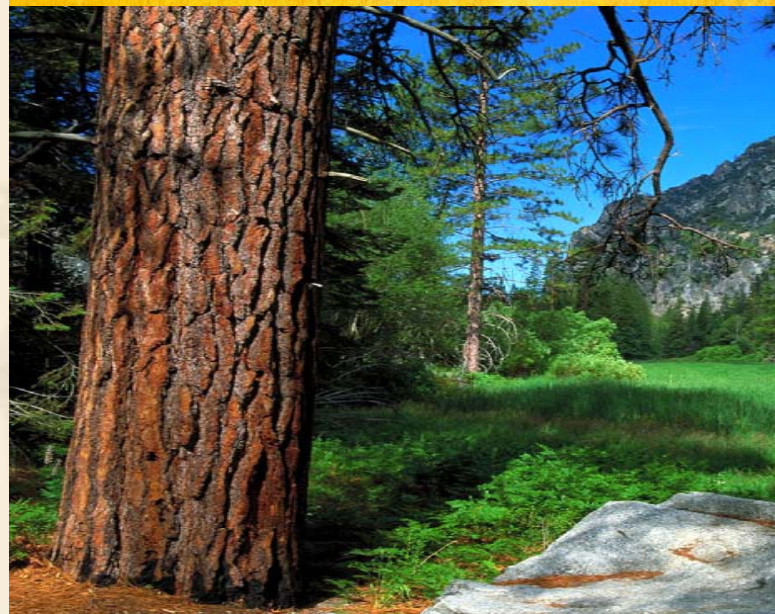
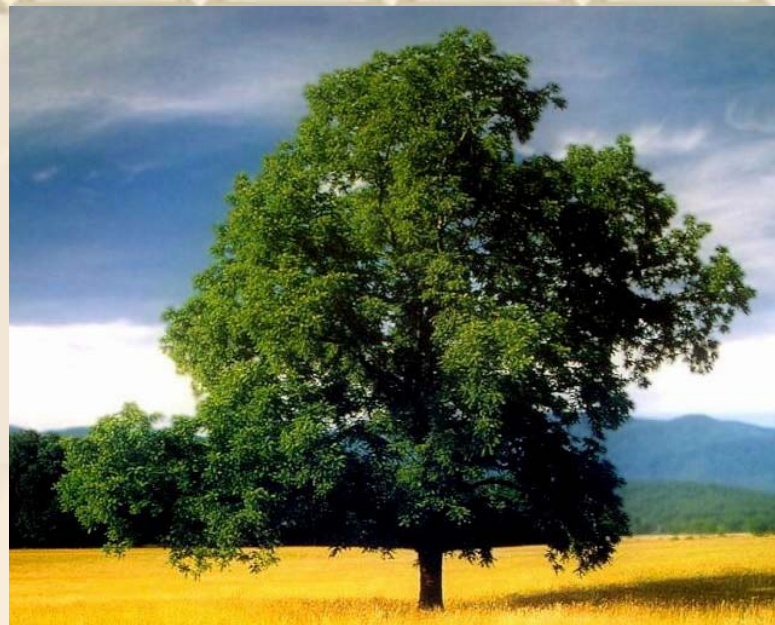
4. 生物量在植物体内的分

生物量在植物各器官中的比例关系。



美国长岛松栎幼林

(Whittaker) : 根: **25%**; 树干: **40%**; 叶: **33%**; 花果: **2%**。



经营者的愿望.....

- ❖ 林业工作者：净生产量更多地分布于树干；
- 农民：要求农作物结出更多的种子或其他可食的块茎和根茎；
- ❖ 各器官的生物量之间具有相关性。
- ❖ 主要影响因素：品种，环境，经营措施



5. 能量流周转期

❖ 表明生态系统中能量流转的快慢。

❖ 转换时间（年） =
$$\frac{\text{生物量 (g/m}^2\text{)}}{\text{净生产力 (g/m}^2\text{/yr)}}$$

❖ (凋落物) 转换时间（年） =
$$\frac{\text{凋落物积累量 (g/m}^2\text{)}}{\text{凋落速率 (g/m}^2\text{/yr)}}$$

陆地森林生态系统一般为20年，
水体浮游生物群落则少于20天。

(三) 初级消费者（草食动物）营养级

有关能量转化效率的概念：

(1) 利用效率 = 食物摄入量 / 被食者生产量

(2) 同化效率 = 同化的能量 / 食物摄取量

(3) 净生产效率 = 生产量 / 同化的能量

(4) 总生产效率 = (2) × (3)

= 生产量 / 食物摄入量

(5) 生态效率 = (1) × (2) × (3)

= 消费者生产量 / 被食者生产量



- ❖ 陆地生态系统中植物净生产量转换成食草动物净生产量的效率很低，多数均少于1%。

(6) 林德曼效率:

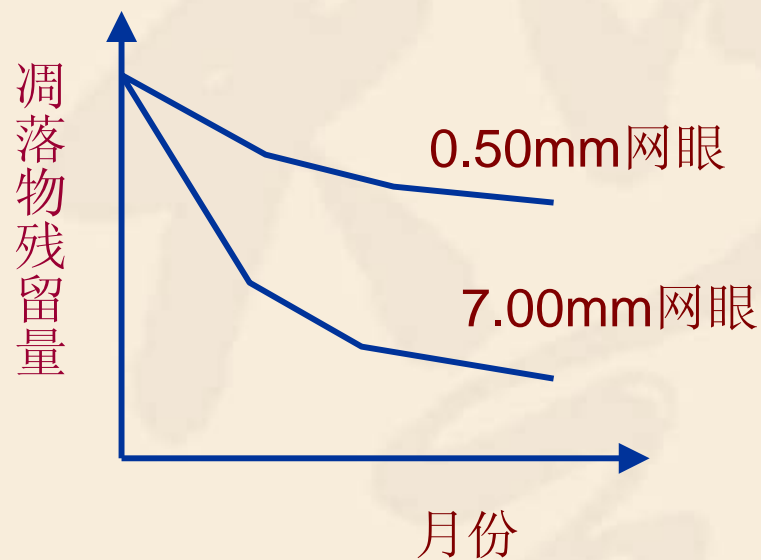
生态系统中，一个营养级同化的能量与前一营养级可利用能量的比大约为10%，这一规律称为林德曼定律，又称为1/10定律。这一规律是由林德曼发现的，因此这一比值又称为林德曼效率。

$$\text{林德曼效率} = \frac{n\text{营养级的同化量}}{n-1\text{营养级的同化量}}$$

(四) 腐生营养食物链

- ❖ 在许多陆生生态系统中，初级生产被草食动物取食的量很少，形成大量的凋落物，最后进入腐生食物链被分解。因此，腐生食物链在陆地生态系统能量循环中占有重要地位。
- ❖ 腐生生物包括两大类：
 - 大型动物：海鸥、蟹、鬣狗和秃鹫；
 - 微生物：细菌，真菌。有机质的分解主要是通过微生物来完成。
- ❖ 动物对有机质的分解起重要作用，粉碎作用和更低的碳氮比（**C/N**）。
- ❖ 土壤动物在有机质的分解中也起重要的作用，如蚯蚓、线虫、变形虫、各种甲虫及其幼虫等。

土壤动物在凋落物的分解中起着重要的作用。



❖ 影响凋落物分解的因子：

水分，温度，pH值，氧气，土壤动物数量，凋落物理化性质，细菌和真菌的相对量。

五、生态系统按能量来源的分类

❖ 纯太阳能生态系统

主要或完全依赖太阳辐射的自然生态系统。

生产力低，面积大。对于水循环、调节气候、净化空气等全球生态的平衡有重要作用。

❖ 有自然补助能的太阳供能生态系统

有自然提供的其他能源，用以补助太阳辐射，从而增加有机物质的产量。如沿海潮汐带、河口湾和某些热带雨林。生产力和种群密度较高。



❖ 有人类补助能的太阳供能生态系统

例如：农业的高产量，是由补助能量的大量输入来维持的，包括耕种、灌溉、施肥、除草等。

❖ 燃料供能的生态系统

生态系统提供的有机物满足不了人们的需要，需要从外界输入能量和物质



六 森林经营对生态系统中能量的影响

❖ 森林生物量的再分配

森林的采伐使森林失去绿色光合带，导致进入生态系统的太阳辐射减少；腐生食物网的能量流大量增加。

❖ 腐生食物网能量流的变化

采伐后，腐生食物链的能流加强原因有二：
供分解的有机物增多；环境条件改善。

❖ 草牧食物网能量流的变化

刚采伐后，草牧食物链不复存在，随着时间的延长，植被逐渐恢复，草牧食物链也逐渐得以恢复。



The End