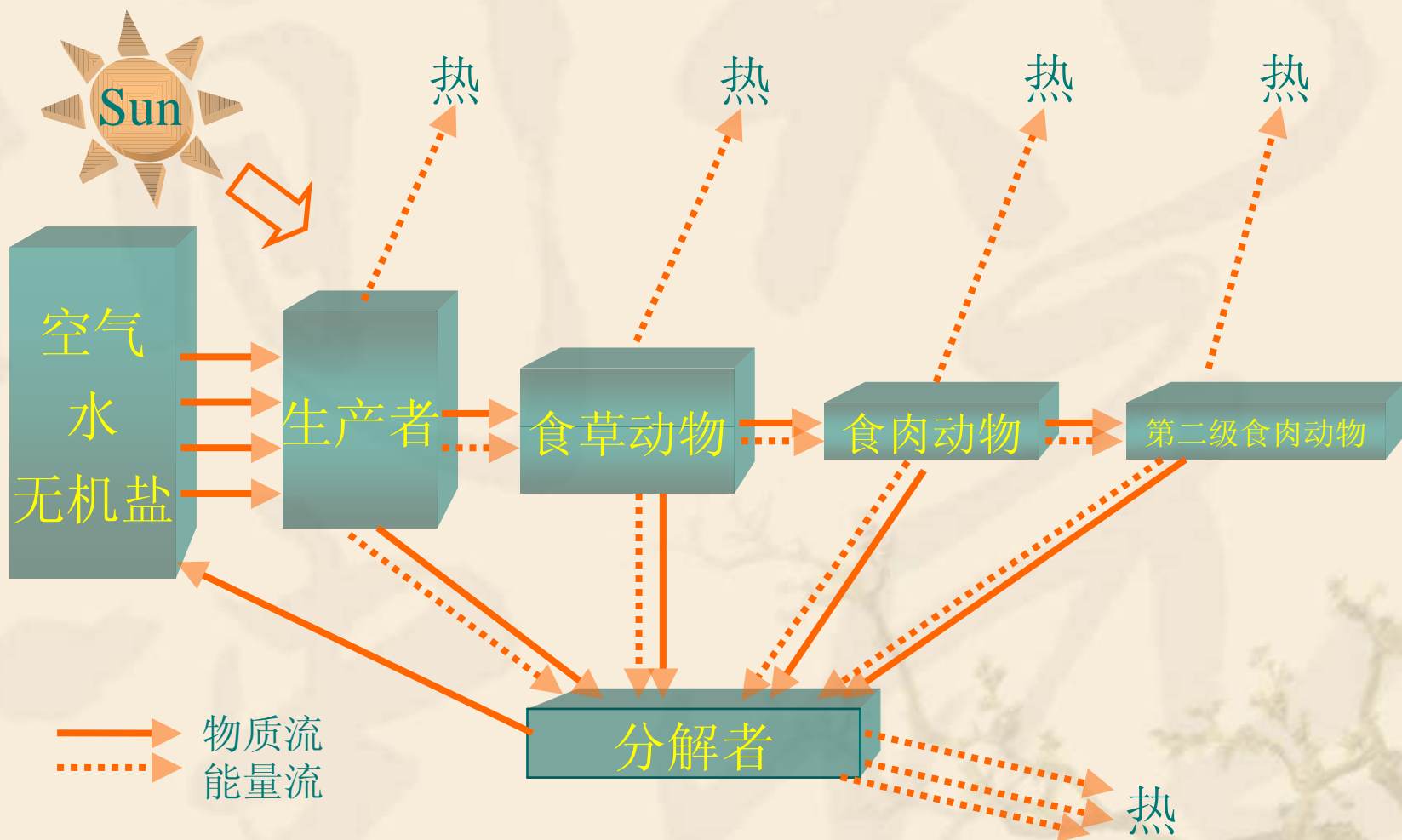


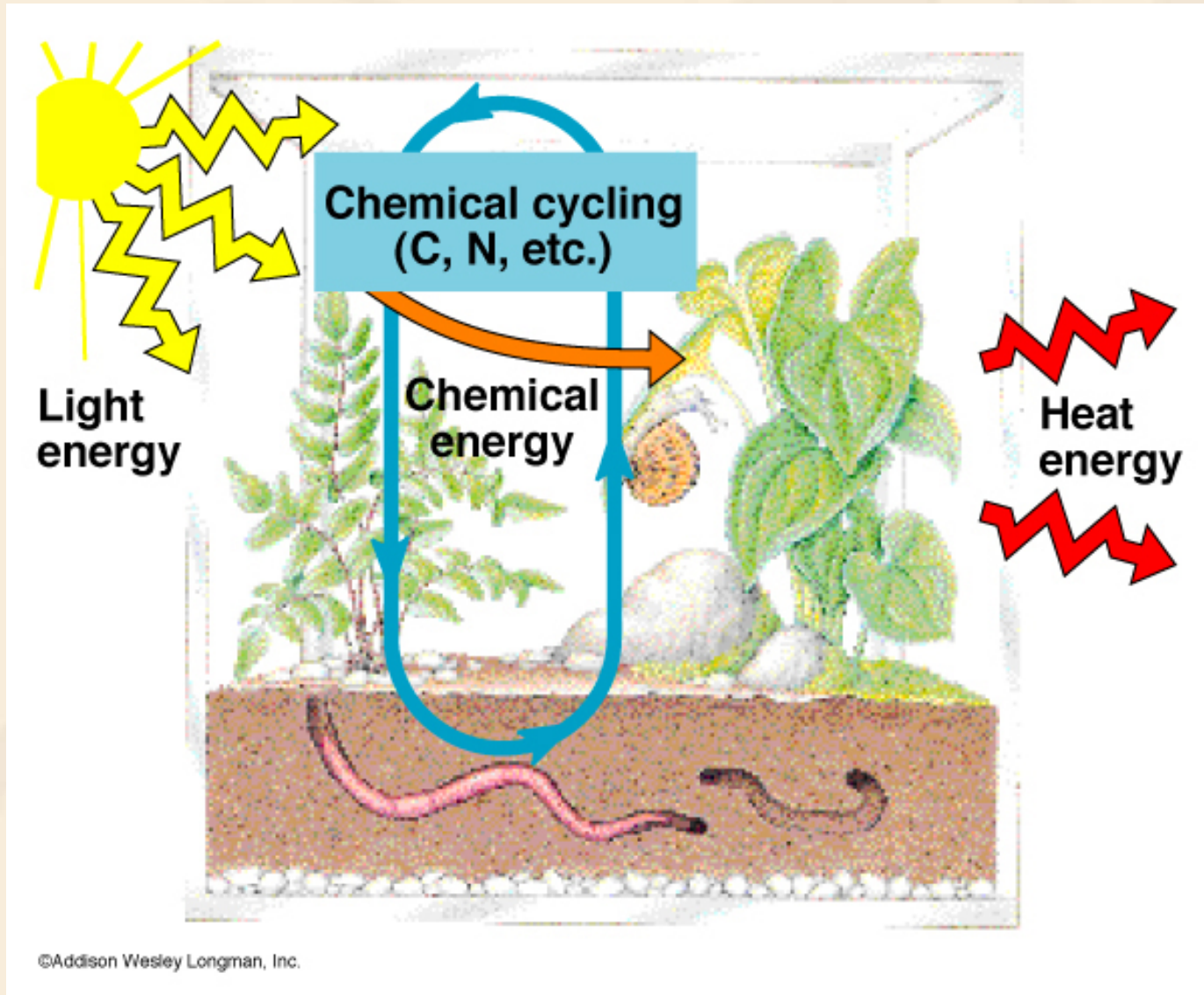
第三章 生态系统的养分循环



能量流动与物质循环的关系



生态系统的物质循环和能量流动



一 植物体内的养分元素

- ❖ **重要元素**：植物正常生长和代谢所必需的元素。其中，其浓度仅有若干ppm的称作微量元素，而浓度可用百分数表示的可称为大量元素；
- ❖ **大量元素**：氢、碳、氧、氮、钾、钙、镁、磷、硫；
- ❖ **微量元素**：氯、硼、铁、锰、锌、铜、钼
- ❖ **生物体中主要的化学元素**：氢、碳、氧、氮。

The elements required by organisms. The 11 green elements account for 99.9% of the mass of most organisms.

H																			
Li?													B ^p	C	N	O	F ^a		
Na	Mg														P	S	Cl		
K	Ca			V ^a	Cr	Mn	Fe	Co	Ni ^a	Cu	Zn				As?	Se ^a	Br?		
					Mo							Cd?		Sn ^a				L ^a	
														Pb?					

p:为植物所需; a:为动物所需; ? : 不确定

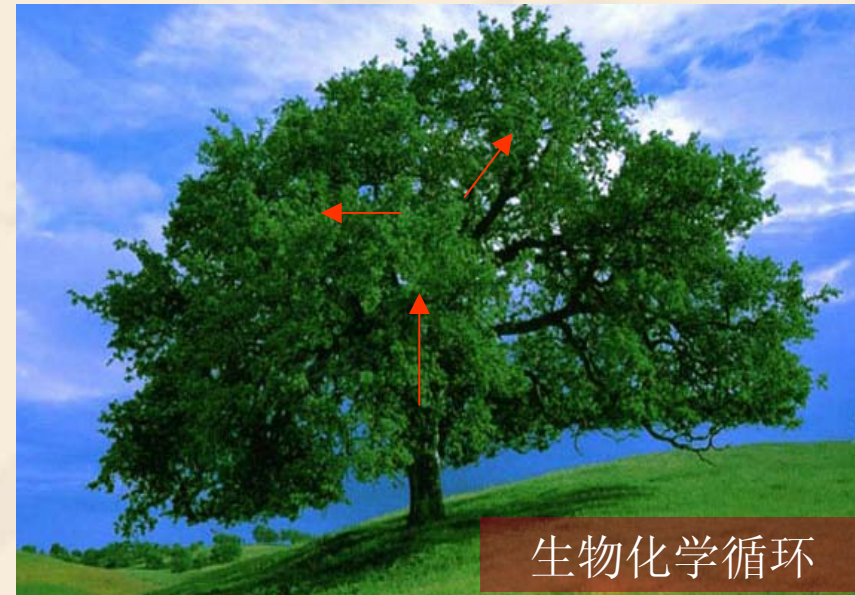
二、生态系统养分循环的分类

根据发生的途径和范围，生态系统养分循环可分为三类：

地球化学循环：不同生态系统之间的化学物质的交换。

生物地球化学循环：生态系统内化学物质的交换。

生物化学循环：生物个体体内化学物质的在分配。



三、地球化学循环

是指不同生态系统之间化学元素的交换，空间范围大。

(一) 气态循环 (gaseous cycles)

- 物质的主要存贮库是大气和海洋，具有明显的全球性，循环性能最为完善。
- 属于气态循环的物质，其分子或某些化合物常以气态形式参与循环过程。属于这类的物质有氧、二氧化碳、氮、氯、溴、氟等。

为什么气态循环引起人们极大的重视？

人类的活动每天都有大量CO、CO₂、硫和氮的氧化物，以及各种有机物质和农药进入气态循环。

典型后果：

- 1、酸雨
- 2、温室效应



(二) 沉积循环 (**sedimentary cycles**)

- 物质的存贮库主要是土壤、沉积物和岩石。循环的全球性不明显，循环性能一般也很不完善。
- 参与沉积循环的物质，其分子和化合物一般没有气体形式，这些物质主要通过岩石的风化和沉积物的分解转变为生态系统利用的营养物质。
- 有些元素既参与气态循环也参与沉积循环。

沉积循环的途径:

- ❖ **气象途径:** 如空气尘埃和降水的输入以及风侵蚀和搬运的输出。通过天气过程来实现。

陆地尘土、海洋的盐渍可随风携带到很远的距离的生态系统中。

干沉降（尘埃、烟尘在无风、干旱的天气里从大气中沉降）和湿沉降（雨、雾和雪中的尘埃以及溶解的化学物质）不断将养分输入生态系统。

生长在极贫瘠土壤上的森林，化学沉降物的输入有可能使其达到较高的生产量。

- ❖ **生物途径：**动物的活动及人们从事农林经营活动可使养分在生态系统之间发生再分配。

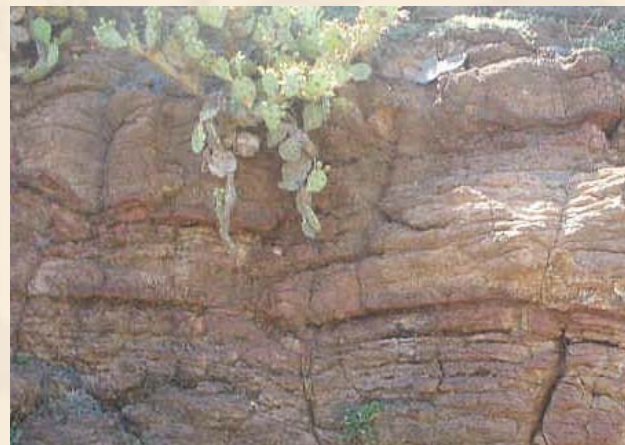
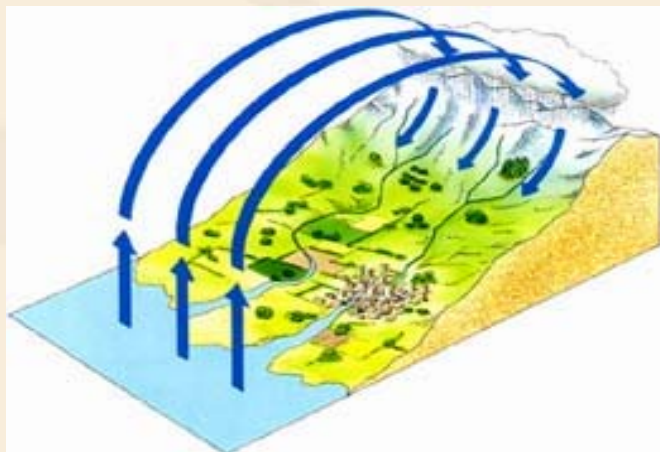
动物在不同生态系统之间的转移，可以进行养分元素的传递和交换。如鸟类农田中取食，在林中排泄，海鸟海中取食，陆地排泄等。

人类从事农业和林业经营活动，对生态系统养分的输入和输出产生影响。人收集秸秆、施用化肥等活动。

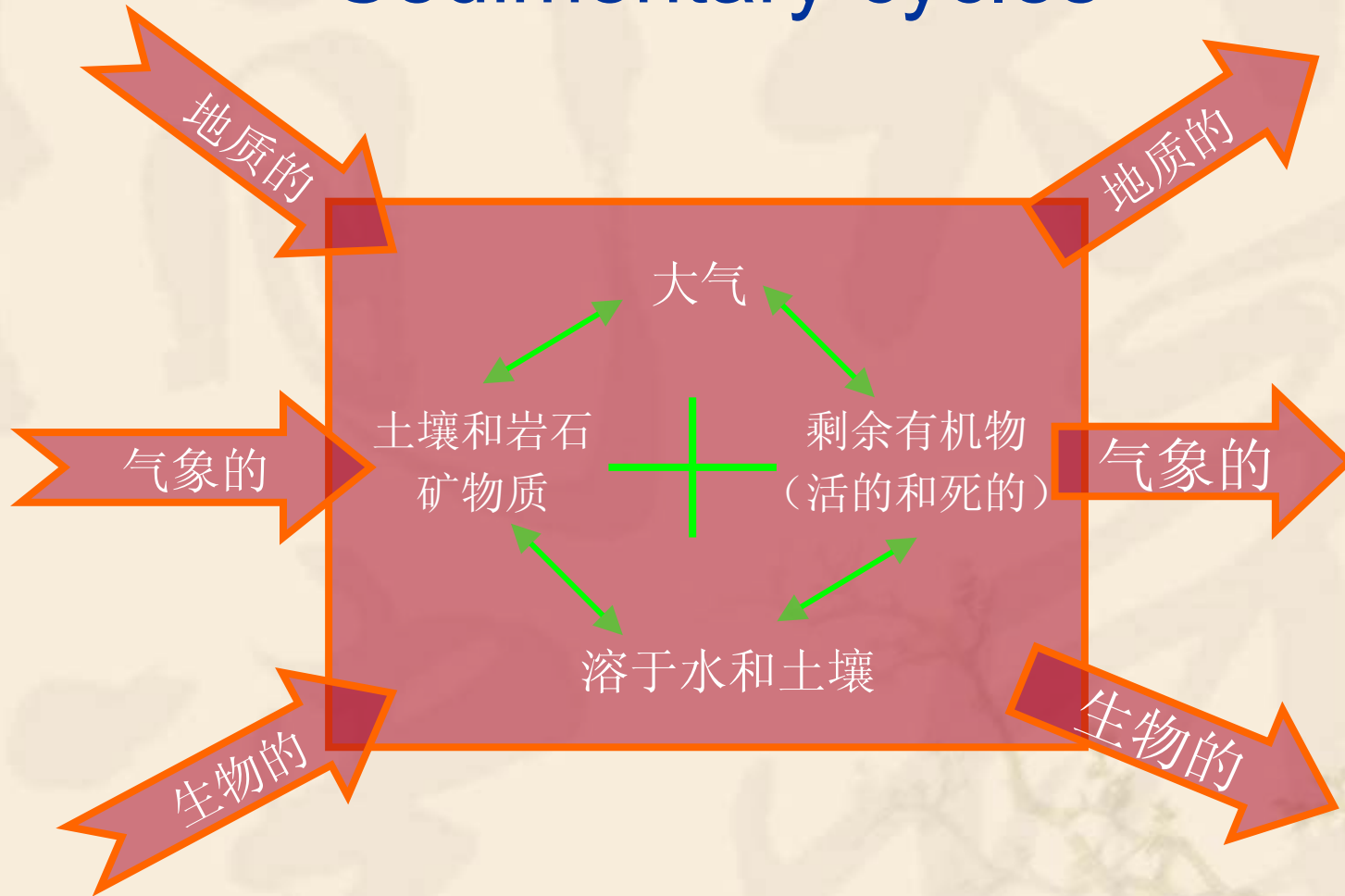


- ❖ **地质水文途径：**通过地质、水文过程进行的养分的输入和输出。如来自于岩石、土壤的风化和土壤水分及溪水溶解的养分对系统的输入，以及土壤水或地表水溶解的养分、土粒和有机物质从系统的输出。

进行水土保持，一方面是保持水土，另一方面是保持土壤养分。



Sedimentary cycles

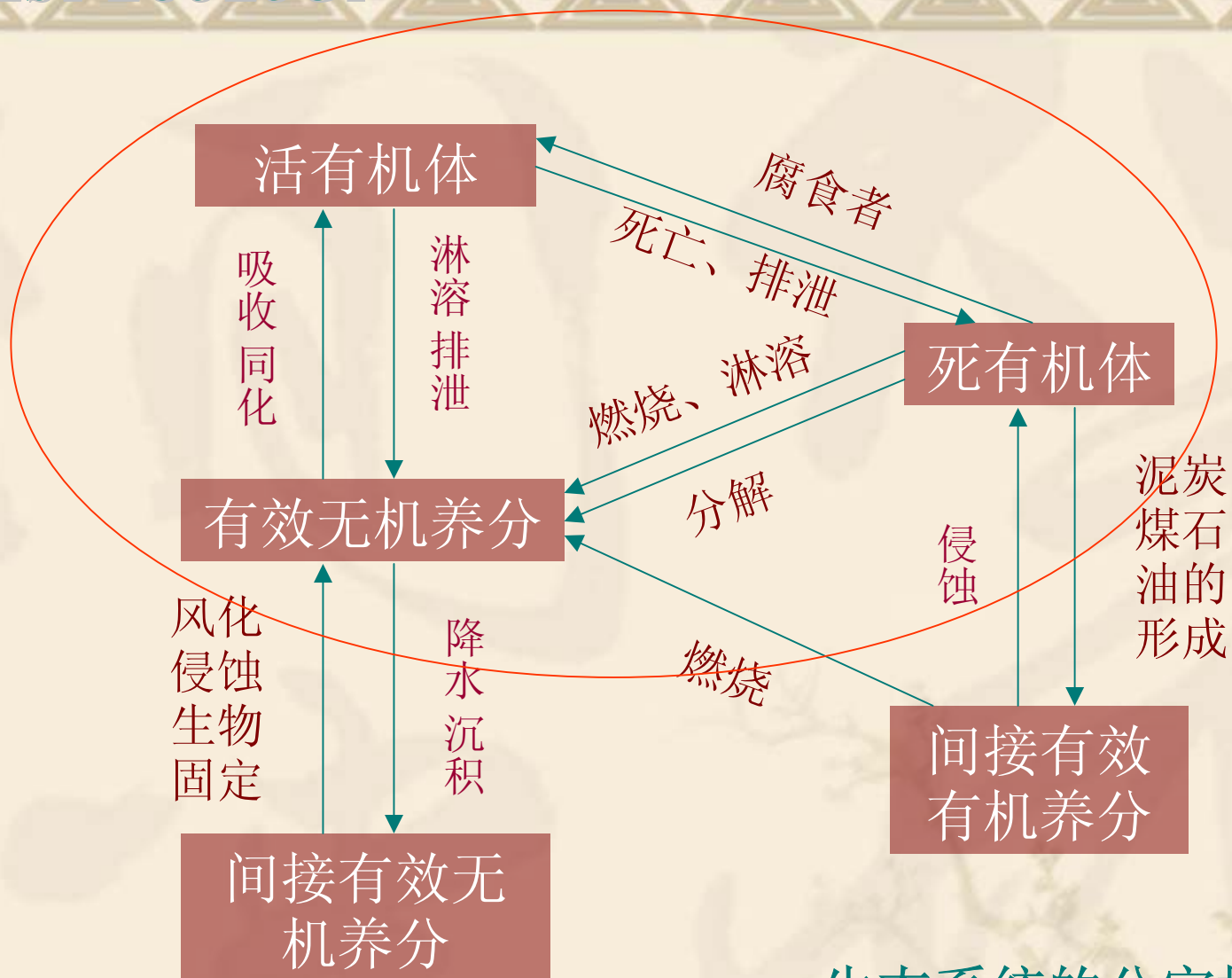


三、生物地球化学循环

(一) 概念:

在生态系统中，生物所需的养分从非生物部分流入到生物部分，并在不同营养级之间进行传递，然后又回到非生物部分，供生物的再次利用，养分元素在生态系统中的这种循环传递过程称为生物地球化学循环。

生态系统内部化学元素的交换，空间范围不大。植物在系统内就地吸收养分，又通过落叶归还到同一地方。绝大多数的养分可以有效地保留，积累在本系统之内。



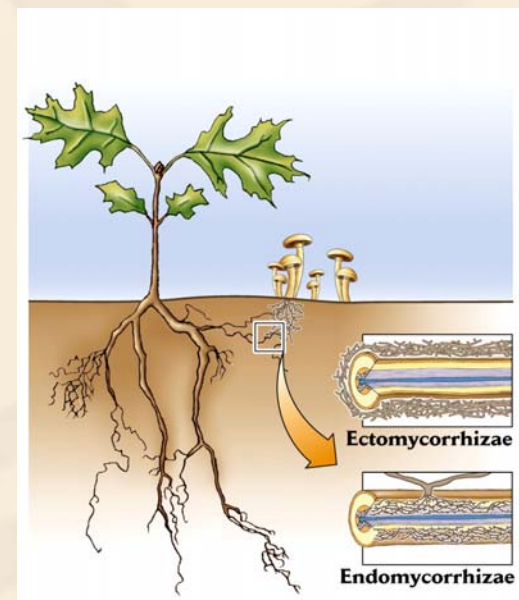
生态系统的分室模型及 养分循环的主要途径

(二) 生物地球化学循环过程:

1. 植物对养分的吸收

根系、叶片都可以吸收养分。

- ❖ 大部分养分从土壤溶液中吸收;
- ❖ 菌根营养:
形成菌套, 并与大量的菌丝相连, 扩大与土壤的接触面和吸收面;
真菌分泌有机酸, 使无效态的养分转化为有效态。
- ❖ 林木的吸收根系主要是细根, 它们主要分布于表层。大根只起到支持和运输的作用。



2.植物体内养分的分配

3.植物养分的损失:

养分的损失有时是必要的，防止有毒物质的过度积累。

(1)雨水的淋失: 因雨水的作用使各种化学元素由叶部、树皮和根部淋洗掉。

❖ 淋洗量与树种、叶龄和气候条件有关。

❖ 这种淋洗有重要的生态学意义:

淋洗的养分可供根系再次吸收，尤其有利于贫瘠土地上植物的生长。特别是体内不易转移的元素，如**N**、**P**、**K**。

有些淋洗的有机物影响凋落物的分解、土壤化学性质，以及种子的发芽和成活。

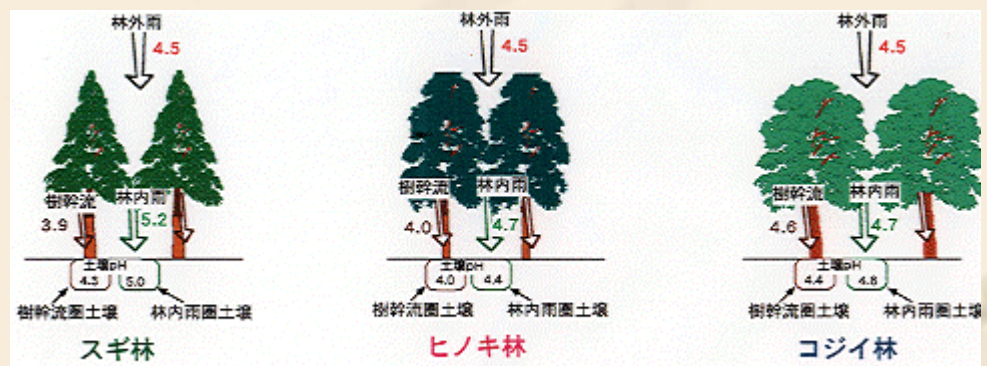
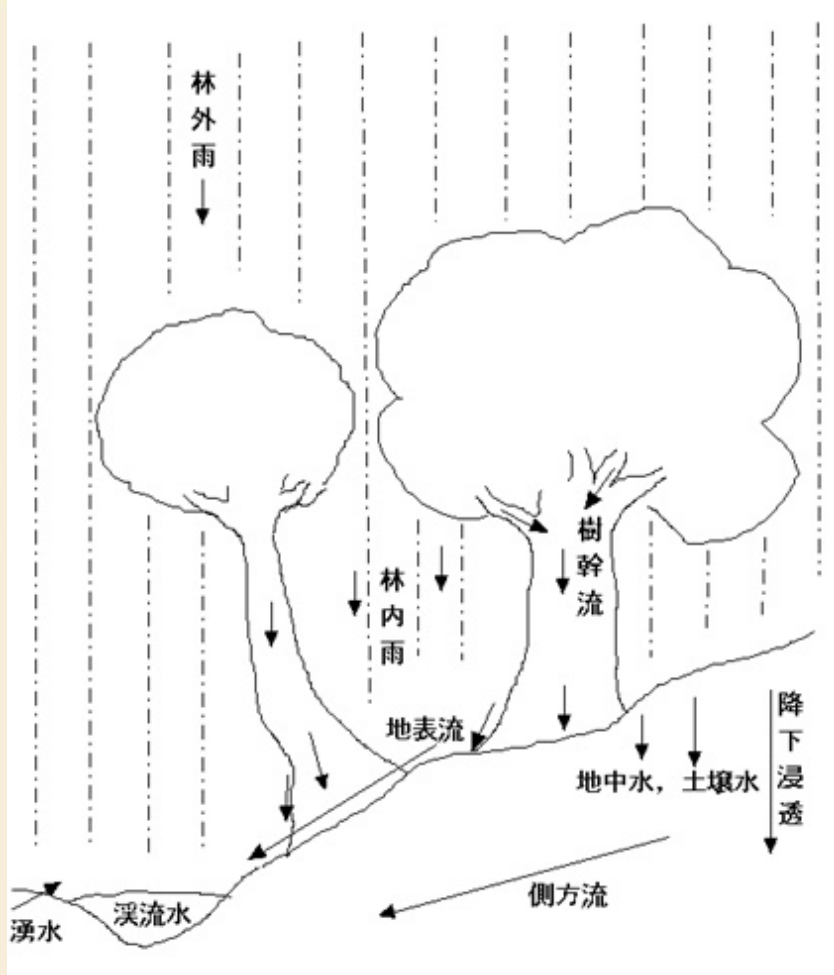


図-3 雨水pHの変遷

(2) 草食动物的取食：一般情况下损失较小，但昆虫大发生时，会造成很大损失。

(3) 生殖器官的消耗：

花和种子的形成比营养生长需要更多的养分。

无柄花椴的雄花凋落量只占4%，但其所含N、P、K占总凋落量的11%、14%、12%和6%。



(4) 凋落物损失的养分

- ❖ 凋落物的多少与气候、立地条件、植物种类有密切关系。
- ❖ 包括地上的枯落物及地下细根的大量死亡，有时地下的损失大于地上的损失。如美国田纳西州的橡—山核桃林通过地下细根损失的N为 $67.5\text{kg/ha}\cdot\text{y}$ ，而地上仅为 $34\text{kg/ha}\cdot\text{y}$ 。



（四）凋落物的分解

凋落物分解和养分的释放是森林生物地球化学循环中最重要的一环,分解过快或过慢对森林生长都不利。

❖ 分解过慢:

林分得不到充足的养分。

过厚的死地被物导致土壤湿度和酸度过大，地温过低，不利于林木的生长。

❖ 分解过快:

养分释放过快，植物和土壤难以将其保持住，造成养分淋失。

有机质减少，导致土壤的理化性质恶化，土壤肥力和侵蚀能力减低。

❖ 影响凋落物分解的因素:

1. 森林类型和立地条件

热带雨林，1个月或数周；温带阔叶林，1~3年；北方针叶林，4~30年。

2. 凋落物的化学成分

凋落的化学成分的数量和可利用性均能直接或间接影响森林死地被物的酸碱度和微生物对其利用的程度，从而影响凋落物的分解速率。**C/N**是一个重要指标，**C/N**高则分解缓慢，低则分解快速。微生物需要一定的**N**含量，才能利用碳。

凋落物的周转速率

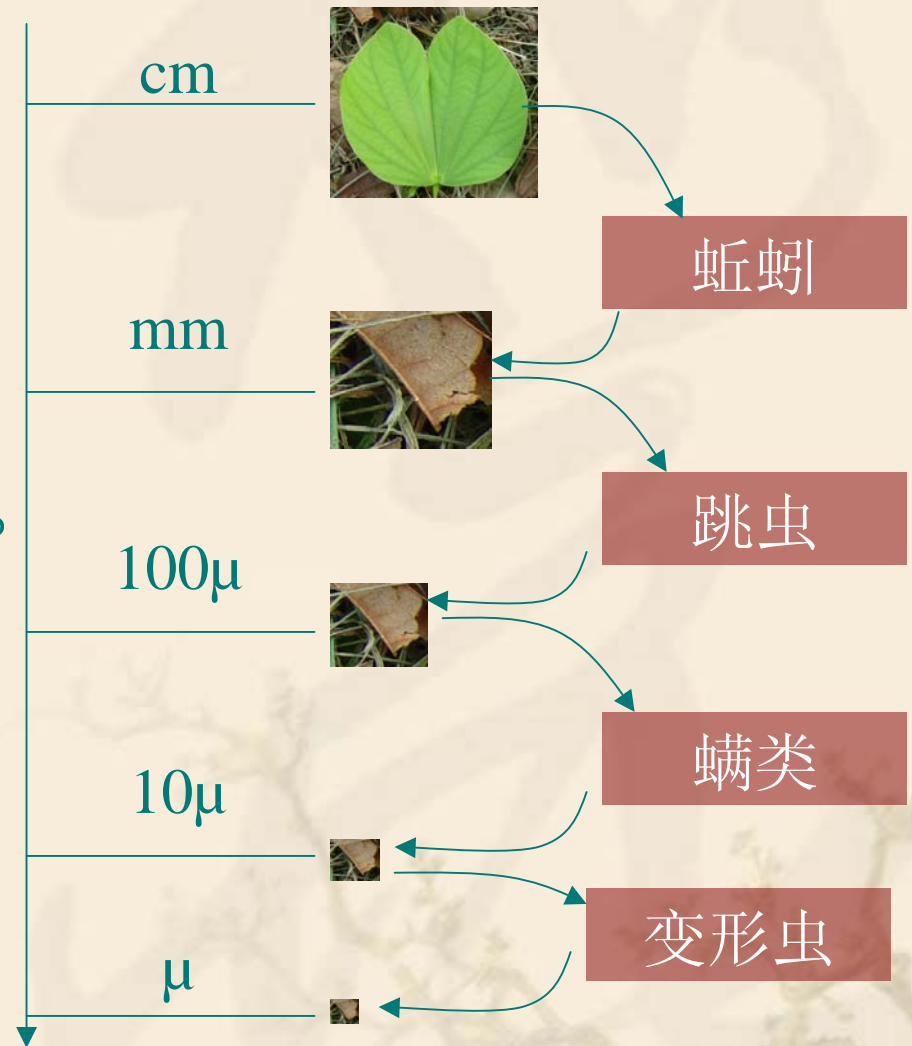
生态系统	凋落物 (t/ha)	周转时间 (年)	周转快慢
沼泽泥炭林	80	50	停滞
针叶林	30-45	10-17	很缓慢
阔叶林	*	2-4	迟缓
草原	4-6	1-1.5	快
亚热带森林	10	0.7	快
热带稀树草原	1-2	0.2	很快
热带雨林	-	0.1	很快

*凋落物量随季节而变化。

3. 土壤生物的活动:

凋落物的分解
是各种大小土壤动物
和微生物（真菌和细菌）
共同作用的结果。

气候、土壤、森林类型
和立地条件都会影响微生物的数量
种类及其活动能力。



(五) 林下植被的作用

林下植被仅占森林总生物量的一小部分，但他对养分循环和林分生产量却有重要作用。

林下植被的养分含量更高，生物量周转速度更快，因为很少有净生产量的贮存。



另外，在有些林分中，苔藓植被有非常重要的作用，如过滤、吸收和贮存养分。

因此，林下保持一定数量的灌木、杂草以及苔藓，将会对森林的生产力起到有益的作用。



本林中的苔藓层



(六) 养分元素的直接循环:

是指植物通过菌根真菌的菌丝体直接从正在分解的有机质中吸收养分，没有经过土壤溶液的过程。

养分直接循环的途径保证了养分的失而复得。



四、生物化学循环 (biochemical cycles)

指养分在生物体内的再分配，也是植物保存养分的重要途径。

- ❖ 植物不止靠根和叶吸收养分满足其生长的需要，同时还会将贮存在体内的养分转移到需要养分的部位。

比如，将即将脱落的叶片中的养分移向幼嫩的生长点或将其贮存在树皮或体内某处。

- ❖ 养分在体内的再分配，对植物有多方面的作用。如，植物养分不足的时候维持植物的生长；养分充足时吸收，不足时利用。
- ❖ 植物叶片养分的回收和再分配的效能与土壤养分的可利用程度有关。越是瘠薄，回收利用率越高。

五 几种主要元素的循环

- (一) 碳循环
- (二) 氮循环
- (三) 磷循环
- (四) 硫循环

(一) 碳循环 (Carbon cycles)

碳元素一方面是构成生物体的主要元素；另一方面碳元素的循环影响到地球大气环境的变化。

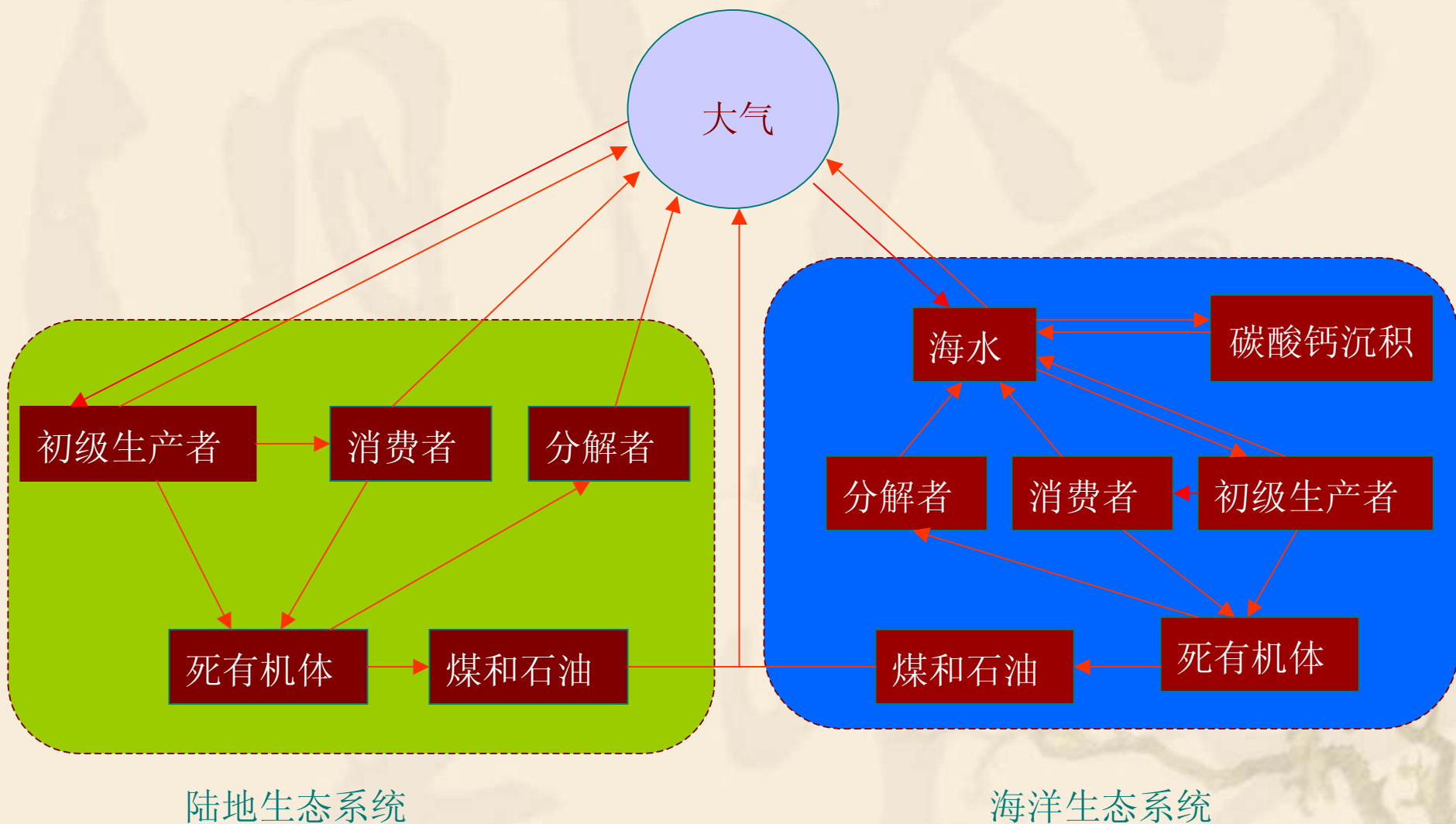
从生物体中各种元素的大概比例是：

氢 2960；氧 1480；碳 1480；氮 16；磷 1.8；硫 1.0。

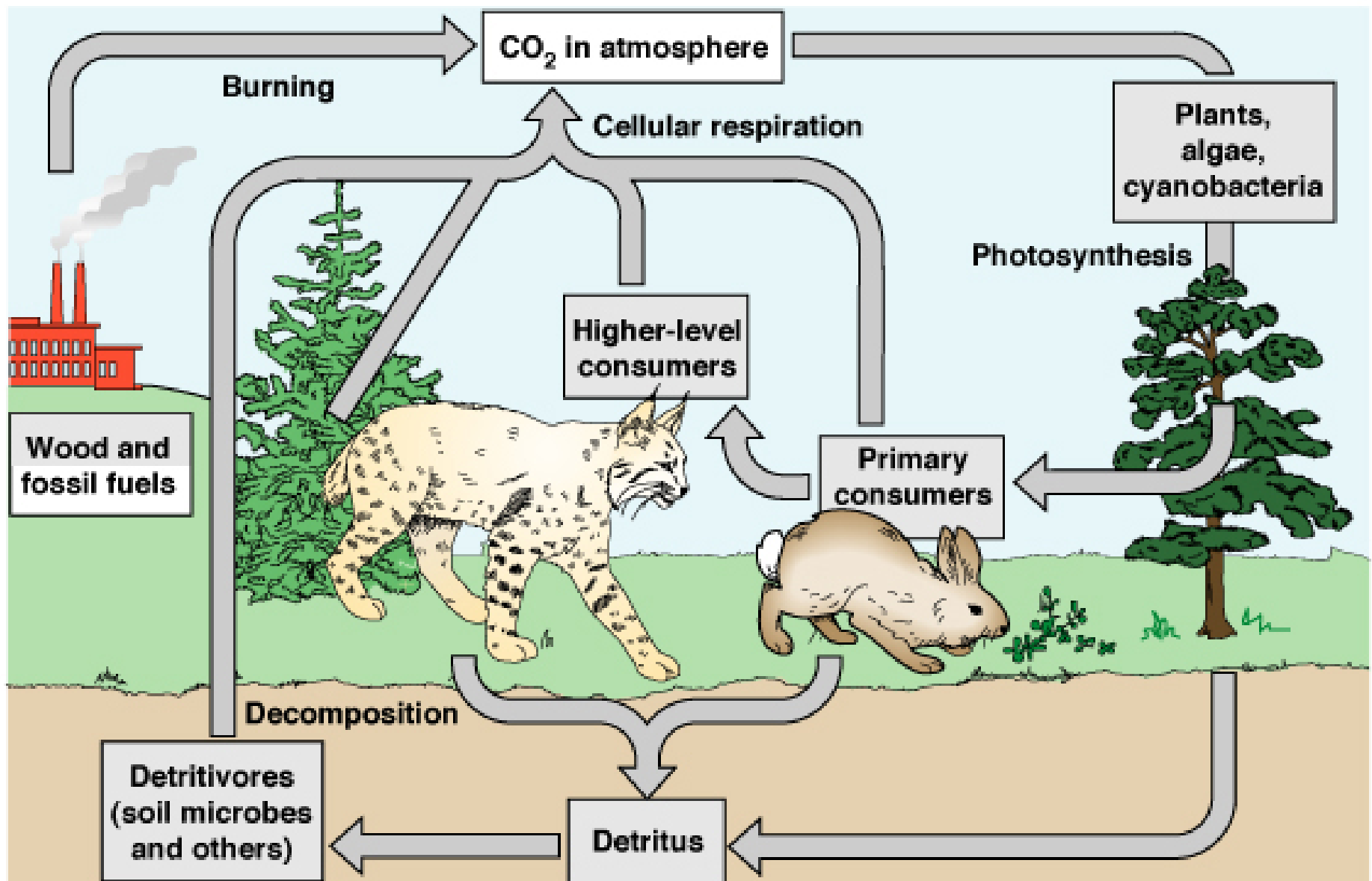
全球储存碳的数量约 26×10^{18} 吨，但绝大部分以碳酸盐形式禁锢在岩石圈中。只有极少量碳参与经常性流动和圈层间的交换。各类生态系统固定碳的速率差别很大。

全世界森林的储碳量为4000-5000亿吨。

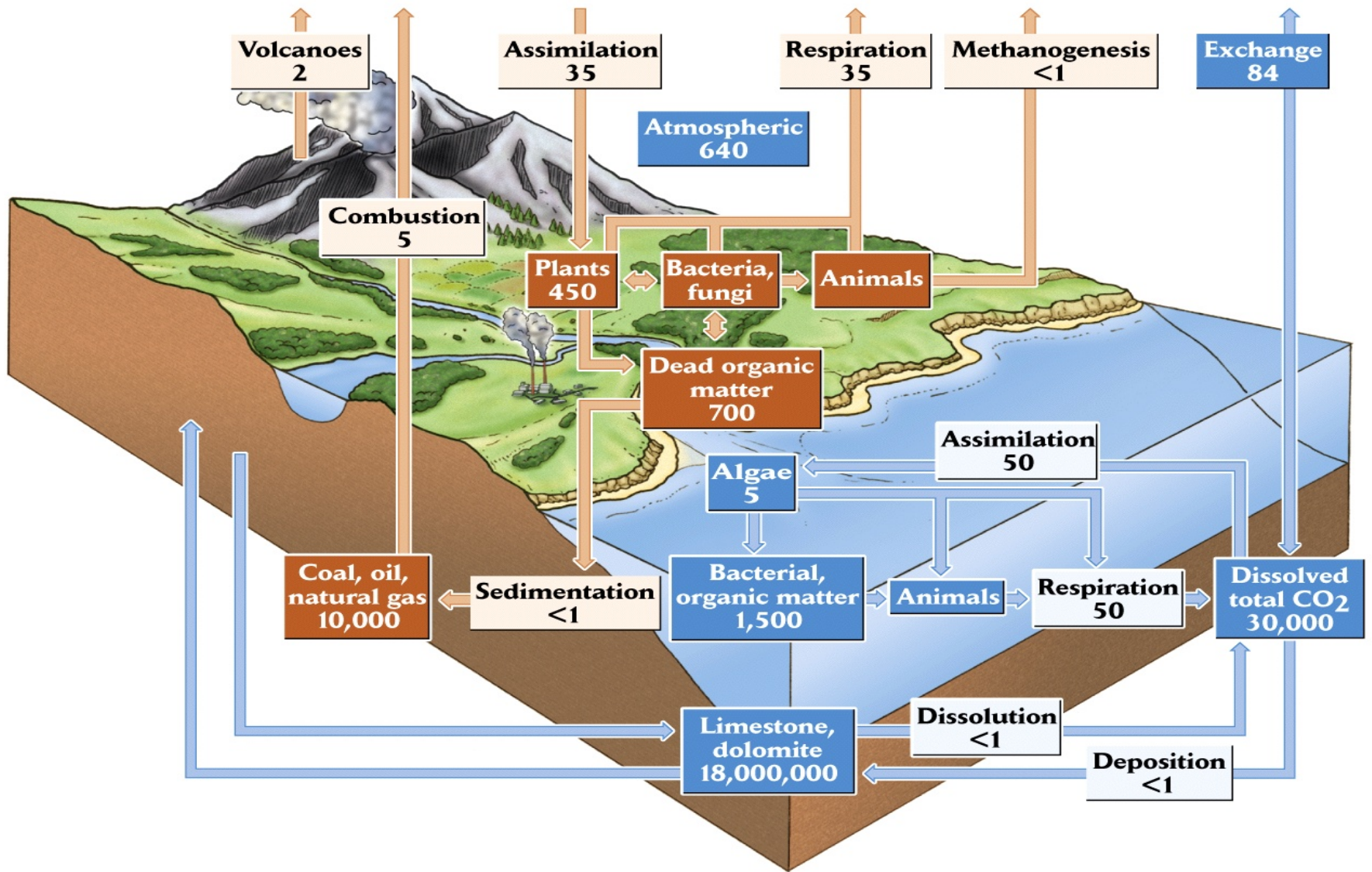
全球碳循环过程



碳循环



FOREST ECOLOGY



- ❖ 1.陆地生态系统的碳输入过程：
光合作用
- ❖ 2.陆地生态系统的碳输出过程：
动植物的呼吸作用；土壤的呼吸作用（包括地上枯落物的分解）。

❖ 3.陆地生态系统的碳收支:

某一特定时间生态系统的碳收支:

$$\begin{aligned}\text{碳收支} &= \text{输入速率} - \text{输出速率} = P_t - R_u - R_n - R \\ &= P_n - R\end{aligned}$$

其中， P_t 为总光合速率； R_u 为地上部分呼吸速率； R_n 为根系呼吸速率； R 为土壤的呼吸速率（包括地上枯落物的分解）； P_n 为植物的净光合速率。

实际的测定中，根系呼吸与土壤的呼吸不容易区分，这是一个难点。





某一时间段生态系统的碳收支：

陆地生态系统是一个碳库，其总的碳贮量包括土壤、植物等的各个部分。

$$C = C_b + C_l + C_s$$

其中， C 为生态系统的总的碳贮量； C_b 为植物体中存贮的碳； C_l 为凋落物中的碳； C_s 为土壤中的碳。

$$\Delta C = C_t - C_0$$

其中： ΔC 某一时间段的氮贮量的变化； C_0 为初始时刻的碳贮量； C_t 为t时刻的碳贮量。

$\Delta C > 0$: 吸收，碳汇，如幼龄林；

$\Delta C < 0$: 释放，碳源，如老龄林；

$\Delta C = 0$: 碳收支平衡。



❖ 4.森林对碳循环的调控作用:

吸收: 光合作用, 光合速率、净生产力。

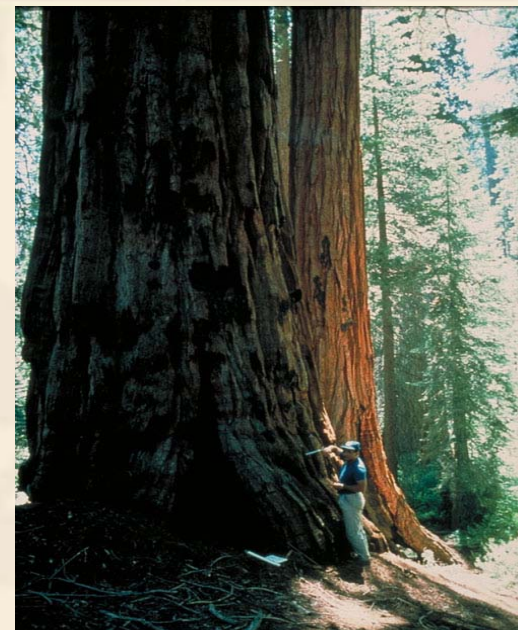
贮存: 将吸收的碳长期贮存在森林植物体内。

森林的存贮作用至关重要, 农田的生产力可能高于森林, 但是其存贮的碳会很快重新释放出来。



- ❖ 有关碳循环的一些数据：
- ❖ 全球森林中存贮的碳为 $482 \times 10^9\text{t}$ ，约占大气碳含量的 $2/3$ 。
- ❖ 森林每年吸收的碳为 $3.6 \times 10^9\text{t}$ ，相当于其他植被的 2 倍。
- ❖ 全球植物每年同化的碳为 $105 \times 10^9\text{t}$ ，其中 $32 \times 10^9\text{t}$ 因呼吸作用返回大气和海洋，其余的 $7.3 \times 10^9\text{t}$ 则以进入草牧食物链和腐生食物链，用于各种生物的呼吸和构成本身的生物量。

- ❖ 森林破坏对森林碳调控作用的影响：
森林破坏以后，森林植物吸收 CO_2 的作用受到破坏；
森林的破坏加速了森林碳库中碳的释放。

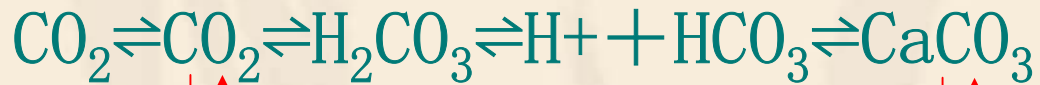


Carbon Cycles

- ❖ Inorganic carbon released through respiration may be taken up quickly through photosynthesis. The organic carbon fixed may be respired again quickly by plants.
- ❖ Organic carbon stored in deposits of coal, oil, or peat is not readily accessible and may remain in storage for millions of years.
- ❖ Inorganic carbon may also be taken out of circulation for millions of years by precipitation as calcium carbonate in aquatic systems.

5. 海洋对CO₂的调控作用:

大气中的碳总量为750 × 10⁹t；海洋中存贮的碳约为大气的50倍。海洋是大气CO₂的重要的调控器。



海洋生物



海洋生物

大气中CO₂浓度增加时，会有更多气体溶于海水，相反，大气CO₂减少，海水中CO₂又返回大气。

海洋每年从大气中吸收的碳约为105 × 10⁹t，向大气释放102 × 10⁹t。



6. 人类活动对碳循环的影响

森林破坏: $10\sim 20 \times 10^8 \text{t}$; 森林
存贮的总碳为 $482 \times 10^9 \text{t}$ 。

化石燃料燃烧: $55 \times 10^8 \text{t}$

农业、畜牧业生产。

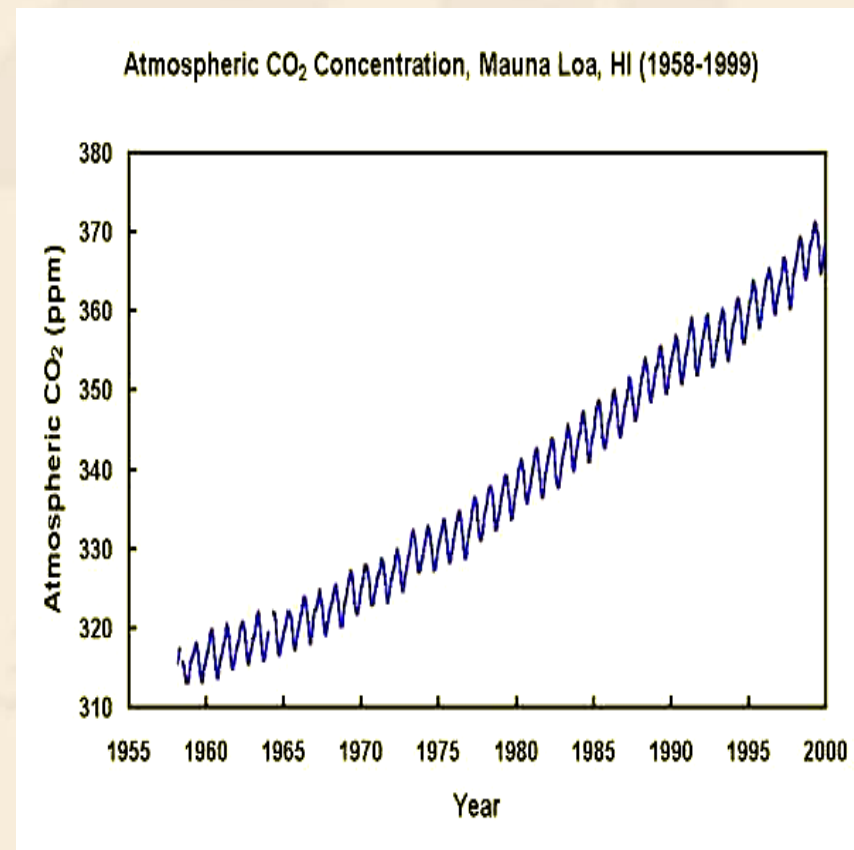
碳的价格:

造林成本法: **260元/tC;**

瑞典碳税率:

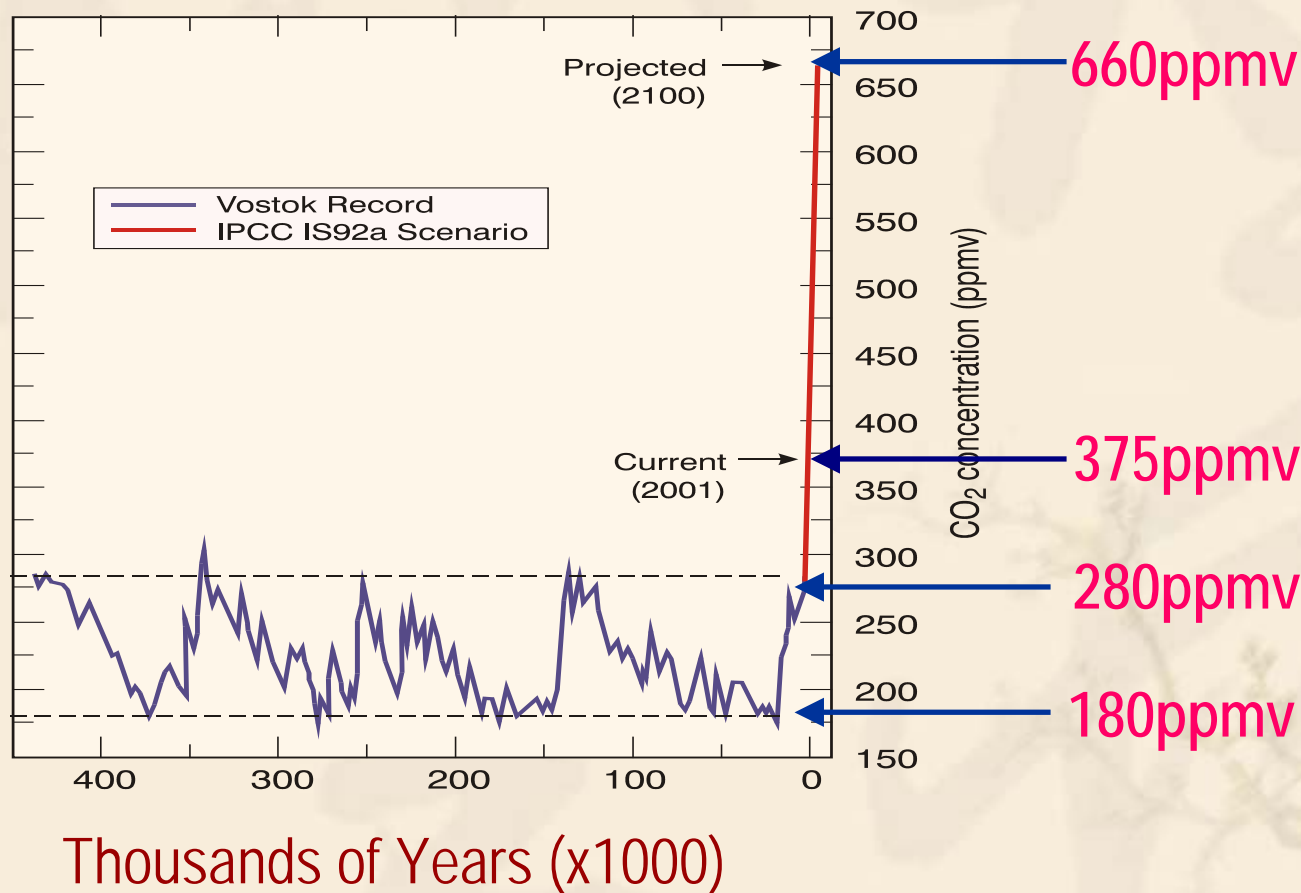
150美元/tC.

碳失汇问题?



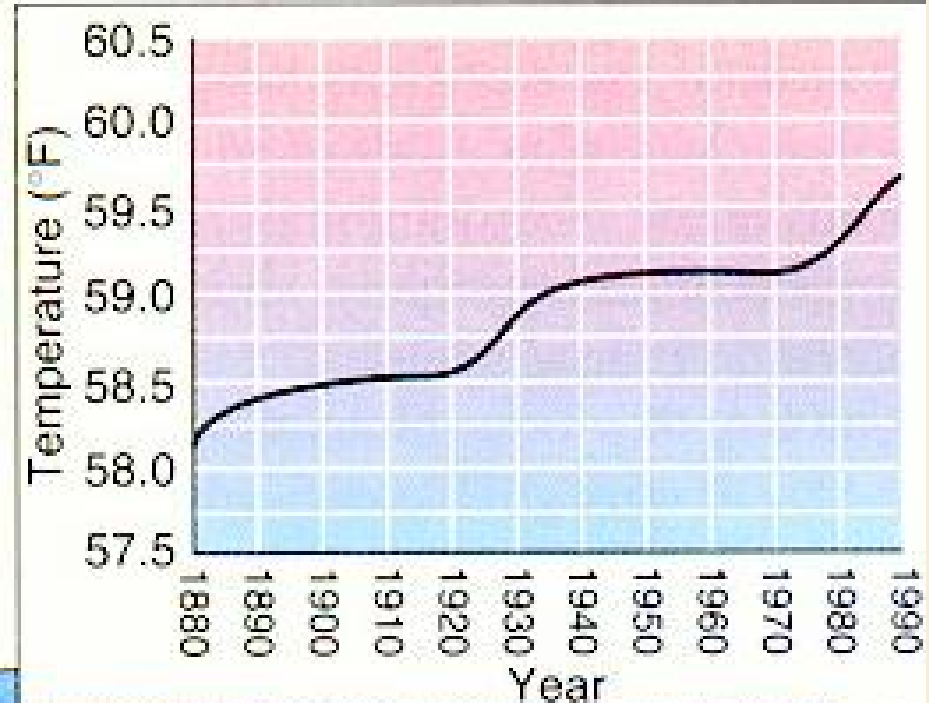
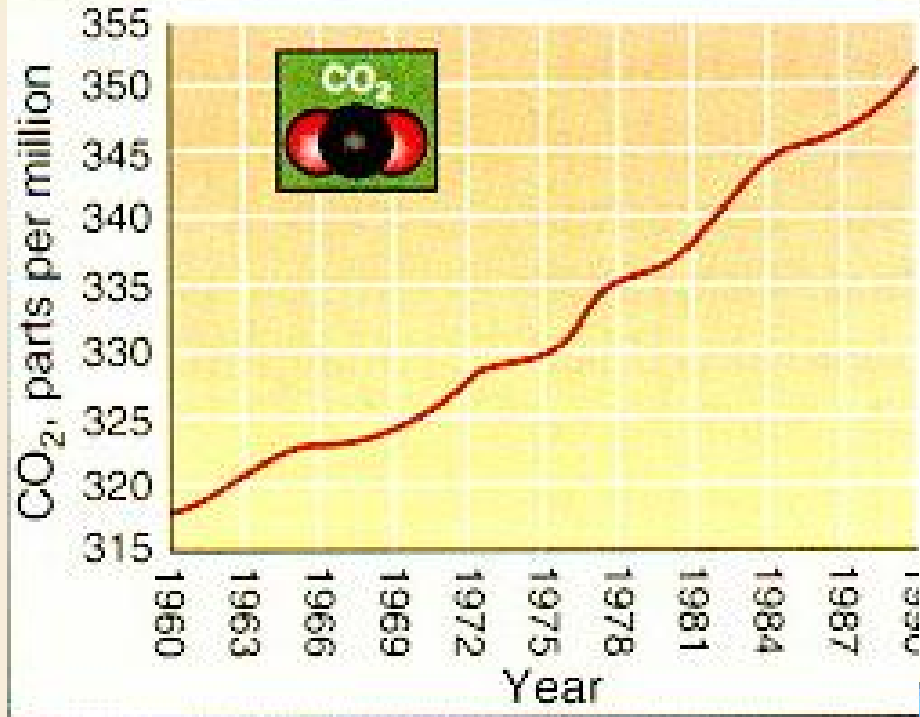
政府应该对造林进行补贴!

近40万年CO₂浓度的变化及其对未来100年预测

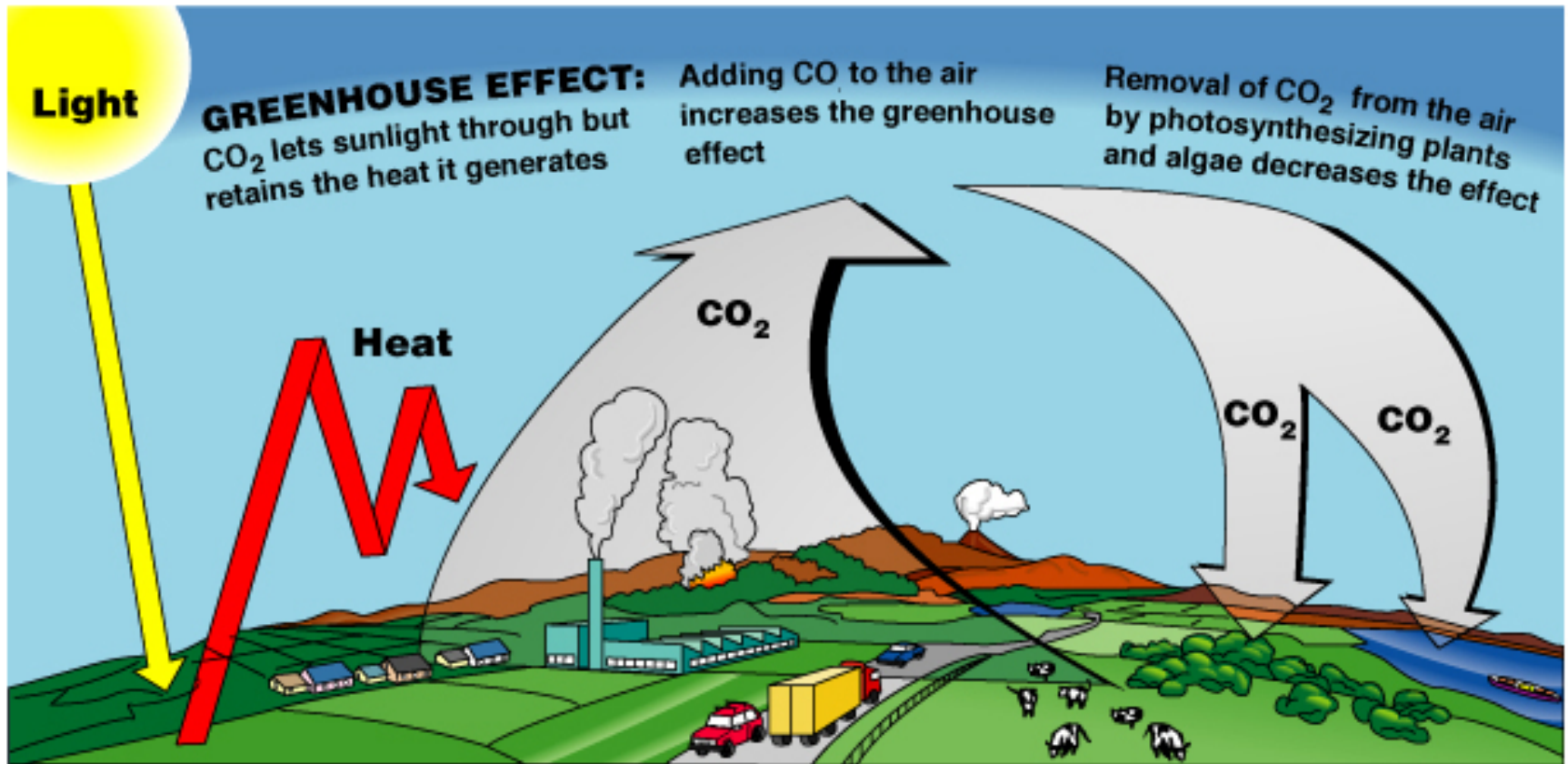


- Last 400,000 years: Vostok ice core record
- Next 100 years: IPCC Business-As-Usual scenario



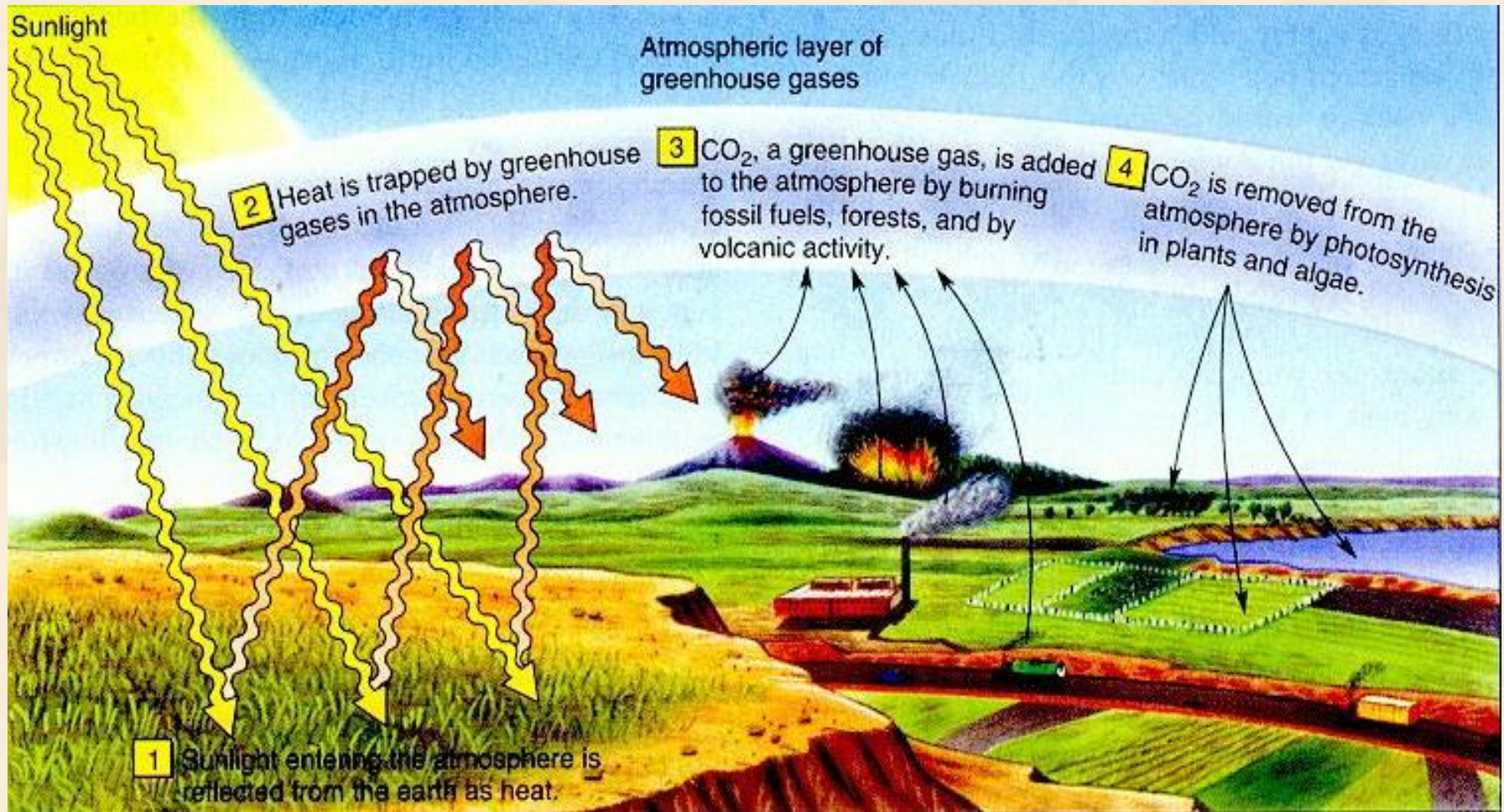


- ❖ If greenhouse gases continue to rise at the current rate, between 2030 and 2050, the average temperature on Earth will rise by about 1.5°C to 10°C.



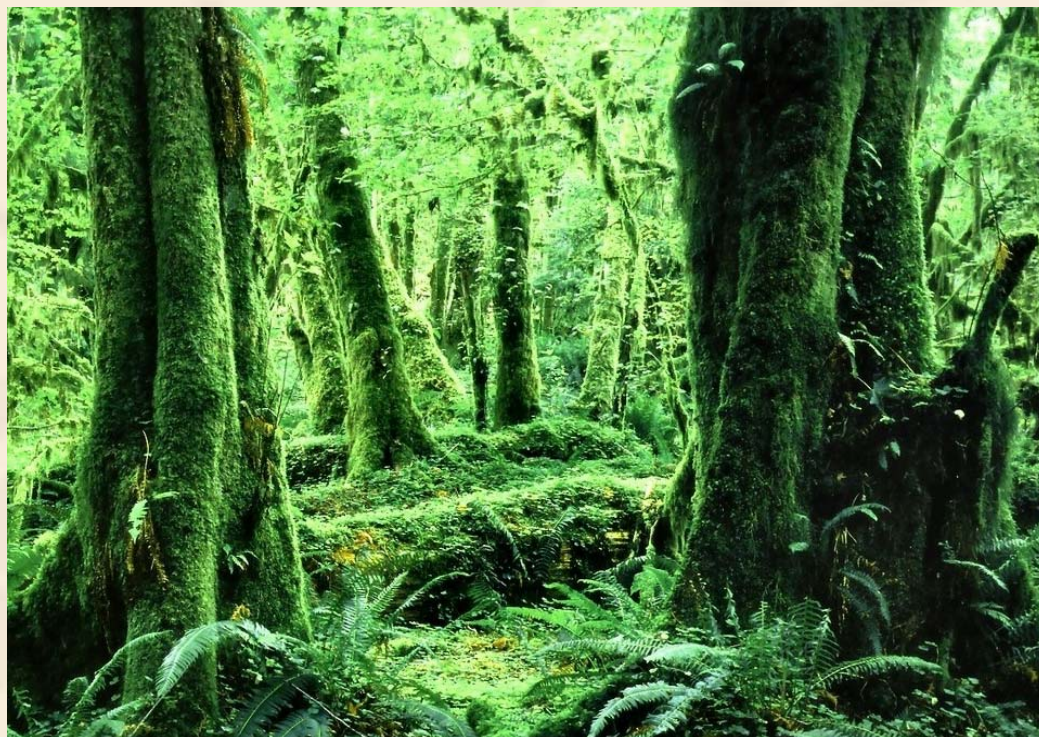
©Addison Wesley Longman, Inc.

The greenhouse effect



The greenhouse effect

- ❖ 森林都吸收CO₂吗？如何看待老龄林的碳汇作用？

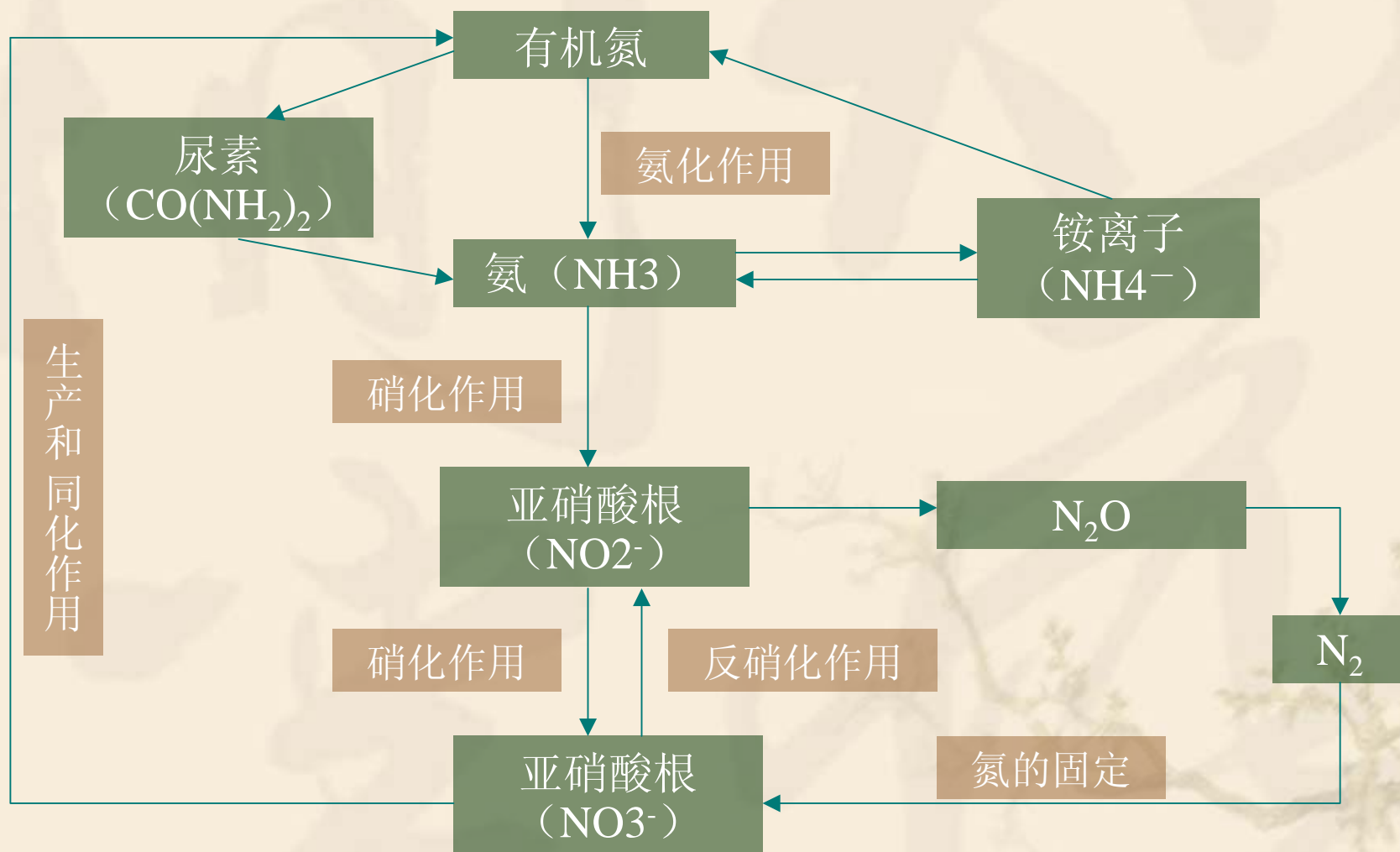


(二) 氮循环 (Nitrogen cycles)

- ❖ 氮是蛋白质和核酸的的组成物质。
- ❖ 大气是主要的氮库，大气体积的**78%**为分子态氮。但，生物难以直接利用。
- ❖ 陆地生态系统中的氮素主要贮存于死有机物残体中；水体生态系统中的氮主要是水中的硝酸盐和存贮在动植物残体中的氮。



1. 氮元素的循环过程:



(1) 固氮过程:

生物固氮: 豆科及某些植物的根瘤（固氮细菌与植物根系共生），蓝藻。

豆科植物：**200kg/ha.a**；红桉木：**320kg/ha.a**。陆地生态系统：**9800万t/a**；海洋：**2.8万t/a**。

工业固氮: 通过工业手段合成氮肥,化肥生产。

岩浆固氮: 火山爆发时，岩浆固氮。

大气固氮: 雷电将大气中的氮氧合成为硝酸盐。

(2) 氨化过程: 有机氮通过微生物降解为氨的过程。

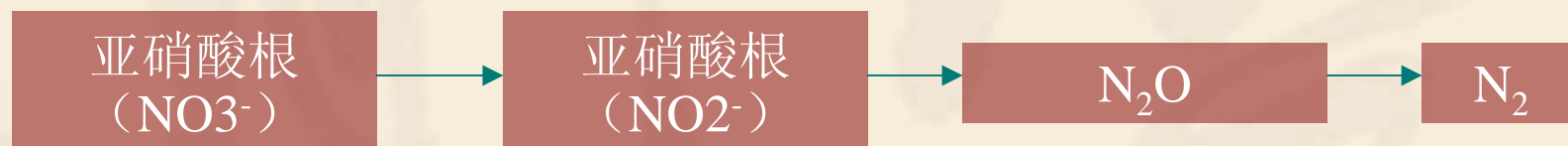


(3) 硝化过程：通过微生物的作用，将氨转化为硝酸根的过程。



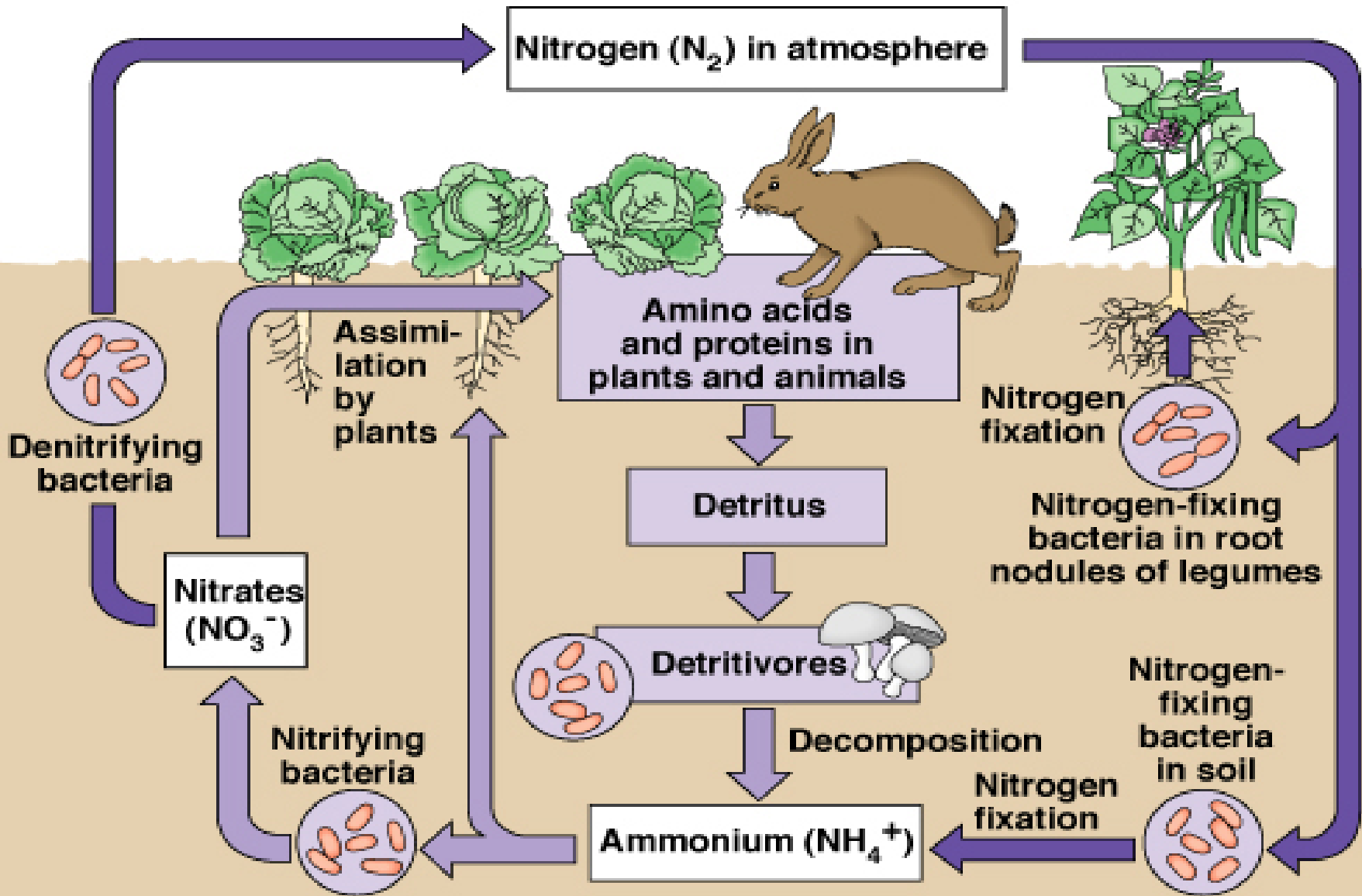
- ❖ 硝化过程在氮循环过程中占有非常重要的地位，它最终决定着绿色植物所需要的硝酸根的转化速率，从而影响着生态系统的生产力。

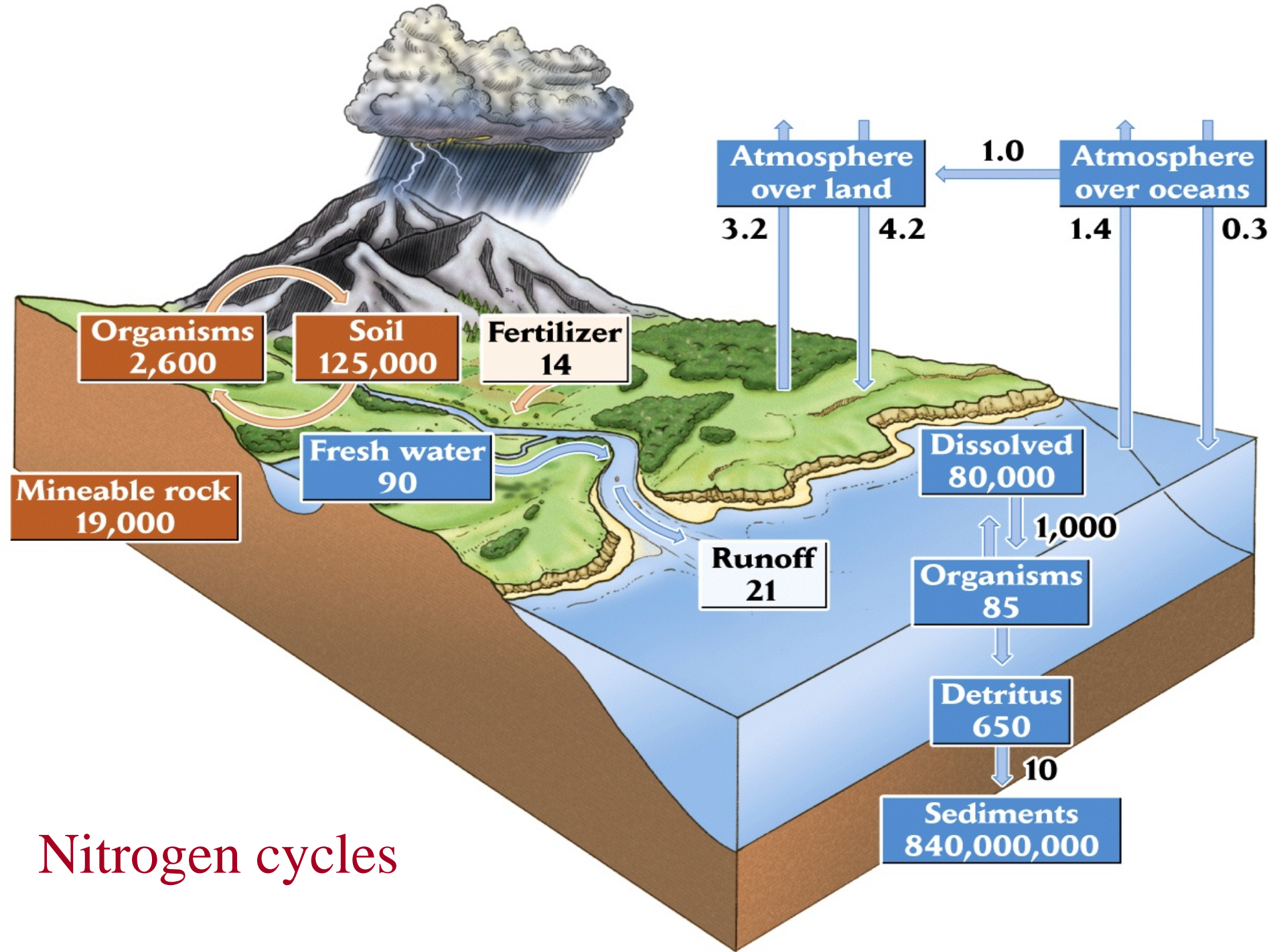
- ❖ **(4) 反硝化过程:** 通过微生物的作用, 将氨转化为硝酸根的过程。



反硝化过程是氮元素从有效态转化为无效态的过程。

Nitrogen (N_2) in atmosphere





Nitrogen cycles

2. 人类活动对氮循环的影响:

- (1) 在过去的一个世纪中, 人类活动使陆地生态系统和大气间的氮循环量增加了约一倍。
- (2) 多数由陆地排向大气的含氮痕量气体由人类产生。主要适农业、畜牧业和化石燃料的燃烧。
NO、NO₂、N₂O和NH₃。 对于温室效应来说,
N₂O的活性比**CO₂**高**200**倍。
- (3) 氮输入的增加影响生态系统过程。
- (4) 人类活动增加了陆地生态系统中氮元素的流失, 也增加了转移到水生生态系统的氮量。

密西西比和硝酸盐浓度从**20世纪60年代**到现在增加了一倍。美国其他一些河流增加了**3~10**倍。

Martin H. Larsson, Katarina Kyllmar, Lars Jonasson and Holger Johnsson

Estimating Reduction of Nitrogen Leaching from Arable Land and the Related Costs

The EU Water Framework Directive will require river-basin management plans in order to achieve good ecological status and find the most cost-efficient nitrogen (N) leaching abatement measures. Detailed scenario calculations based on modeling methods will be valuable in this regard. This paper describes the approach and an application with a coefficient method based on the simulation model SOILNDB for quantification of N leaching from arable land and for prediction of the effect of abatement scenarios for the Rönneå catchment (1900 km²) in southern Sweden. Cost calculations for the different measures were also performed. The results indicate that the individual measures—cover crop and spring plowing, late termination of ley and fallow, and spring application of manure—would only reduce N leaching by between 5% and 8%. If all measures were combined and winter crops replaced by their corresponding spring variants, a 21% reduction in N leaching would be possible. However, this would require total fulfillment of the suggested measures.

The abatement costs for reduction of diffuse N losses from agriculture in the Nordic countries exhibit large differences because of the use of different calculation methods, measures explored, soil types, agricultural production, etc. A nonlinear optimization model was used to find the least-cost solution for reduction of N transport to the sea from southern Sweden (16). It was found that for a 21% reduction in N transport to the sea, the cost of the combined measures (reduced fertilization, cover crops, and spring plowing), was approximately US\$5.60 kg⁻¹ N decrease if the production was unchanged. However, when agricultural subsidies were eliminated and production was allowed to adjust to the new conditions, the social abatement cost was calculated to be -US\$1.9 kg⁻¹ decrease in N transport. The main reason for this negative cost is that crop production would not be profitable without subsidies in many areas. The effect of different taxation scenarios on N leaching has been studied in Denmark using the farm-optimization model FASSET (17, 18). The social abatement cost for a 100% tax on mineral fertilizer (US\$0.8 kg⁻¹ N) was estimated to vary between approximately US\$2.3 and US\$11 kg⁻¹ N decrease. For

Berit Arheimer, Marianne Löwgren, Bodil Charlotta Pers and Jörgen Rosberg

Integrated Catchment Modeling for Nutrient Reduction: Scenarios Showing Impacts, Potential, and Cost of Measures

A hydrological-based model (HBV-NP) was applied to a catchment (1900 km²) in the southern part of Sweden. Careful characterization of the present load situation and the potential for improved treatment or reduced soil leaching were analyzed. Several scenarios were modeled to find strategies to reach the Swedish environmental goals of reducing anthropogenic nitrogen load by 30% and phosphorus load by 20%. It was stated that the goals could be reached by different approaches that would affect different pollutants and social sectors. However, no single measure was enough by itself. Instead, a combination of measures was necessary to achieve the goals. The nitrogen goal was the most difficult to attain. In order to be cost-effective, these measures should be applied to areas contributing the most to the net loading of the sea. This strategy could reduce the costs by 70%–80% when compared with implementing the measures in the entire catchment. Integrated catchment models may thus be helpful tools for reducing costs in environmental control programs.

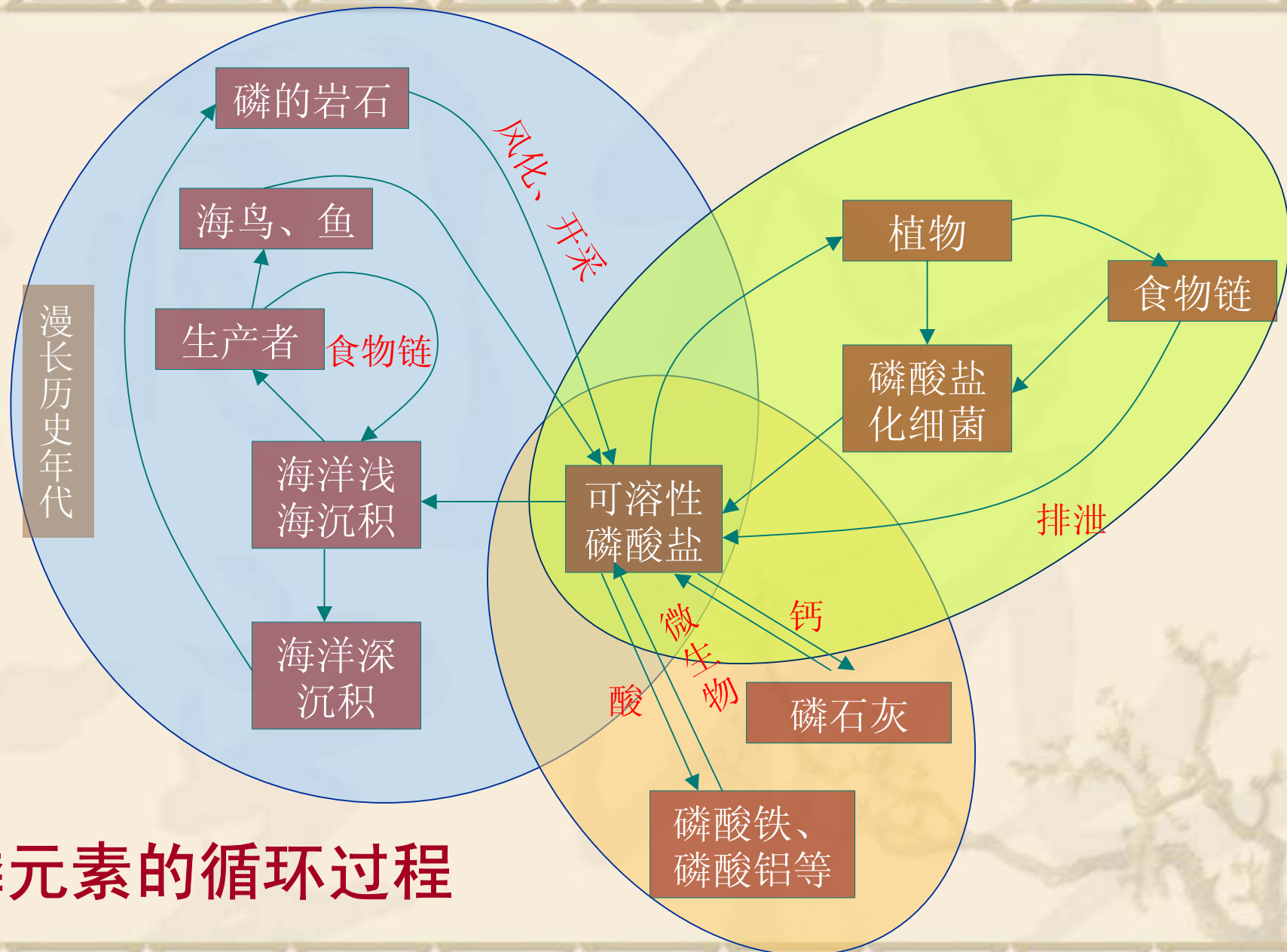
give the best available background information to decision makers about the impact of remedial measures.

Several examples of scenario modeling that illustrate the effect of nutrient reduction strategies have been reported recently for the catchment scale. However, these are either focused only on detailed agricultural measures without including other sources (e.g. 3–5) or include several sources but very generalized assumptions regarding the agricultural measures that were used (e.g. 6–9). These studies include scenario modeling to investigate the probable effect of recent farming changes, e.g. because of economic change (10), or to estimate natural background nutrient loads (11). None of the studies mention any economic calculations or considerations about cost-effectiveness. Some examples of economical calculations coupled to nutrient leaching models can be found for arable land (e.g. 12, 13) and on the national scale linked to marine basins (e.g. 14). In previous Swedish studies in the VASTRA program (15), costs have been calculated for scenarios (16, 17), but not for the purpose of achieving cost-effectiveness.

In this study we applied the HBV-NP model (18) in the Rönneå catchment in southern Sweden. The aim was to quantify

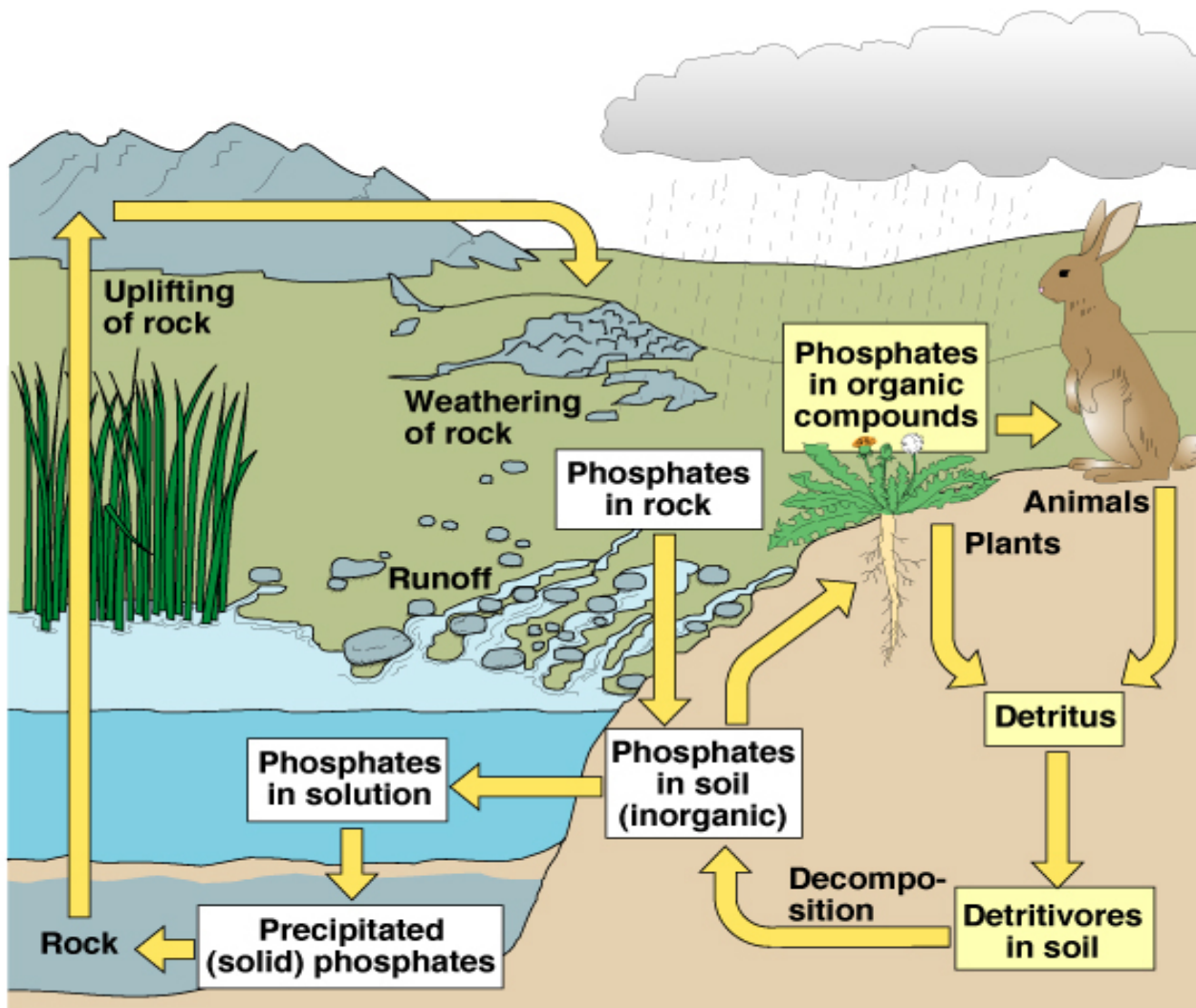
(三) 磷循环 (Phosphorus cycles)

- ❖ 磷的主要来源：磷酸盐岩石和沉积物、鸟粪、动物骨骼等。
- ❖ 磷在生物中含量少，但绝不可缺少。由于磷的难溶性，往往是植物生产力的主要限制因素。如果适当增加土壤中可利用的磷肥，大多数陆地生态系统的生产力，便可能明显增加。
- ❖ 磷在江河及湖泊中的含量是有限的，我国南方红黄壤地区土壤中普遍缺磷。在生物圈中磷的数量正在减少，很多磷进入海洋沉积起来。
- ❖ 然而，一旦江河、湖泊中磷含量提高，会引起藻类暴长。出现“富营养化”。



1. 磷元素的循环过程

磷循环



©Addison Wesley Longman, Inc.



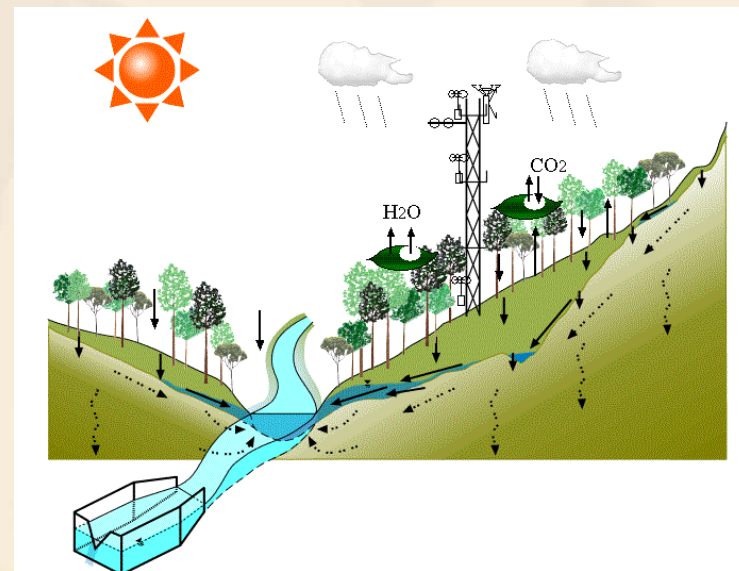
❖ 2.磷元素循环过程中的重要环节:

(1) 磷元素的损失:

可溶性的磷酸盐随地表径流的损失。每年损失的磷约为**200**万吨。由人类捕鱼和海鸟可返回**6**万吨。

Wells, 1929年,“在决定人类生存的一系列元素中,磷是一个薄弱环节”。

由于人类使用含磷的各种清洁剂,加速了磷从陆地的损失。



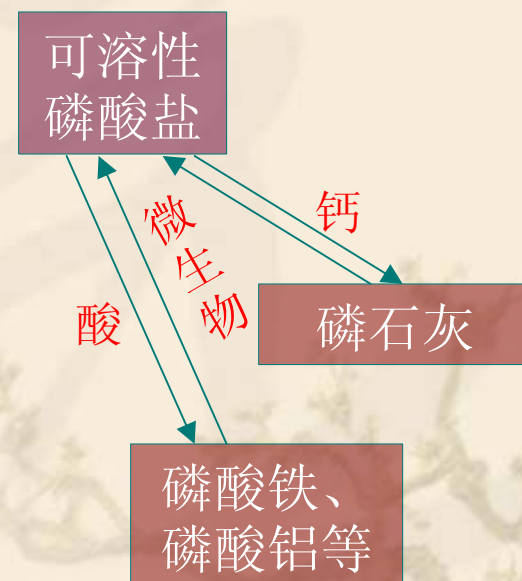
❖ 2.有效磷的固定:

有效磷极易转化为无效磷，某些细菌可释放有机酸将其转化为有效态。

❖ Phosphorus may limit productivity:

☞ in aquatic systems, sediments act as a phosphorus sink

☞ in soils, phosphorus is only readily available between pH of 6 and 7



六 森林生态系统生物地球化学循环的效能

- ❖ 未经干扰的天然森林生态系统内，养分能够有效积累和保存。
- ❖ 贫养土地上森林对养分的保持能力可以补充养分不足的问题。
- ❖ 森林生物地球化学循环的效能，为当前的环境问题提供一种可能的解决办法。
如城市污水处理。

七 森林经营对森林生物地球化学循环的影响

- ❖ 经营措施可以有利于养分循环和增加养分的有效性，或者造成养分的损失。
- ❖ 森林采伐所造成的养分损失与采伐强度、树种、林分密度、林分年龄及经营措施有关。
- ❖ “全树利用”会造成林地养分的巨大损失，破坏森林的生物地球化学循环。
- ❖ 为了维持森林生态系统的生产力，需要保护生态系统内的生物地球化学循环，有效保留已有的养分。

林业中养分的管理与农业不同，林业主要依靠森林的自肥和永续利用。



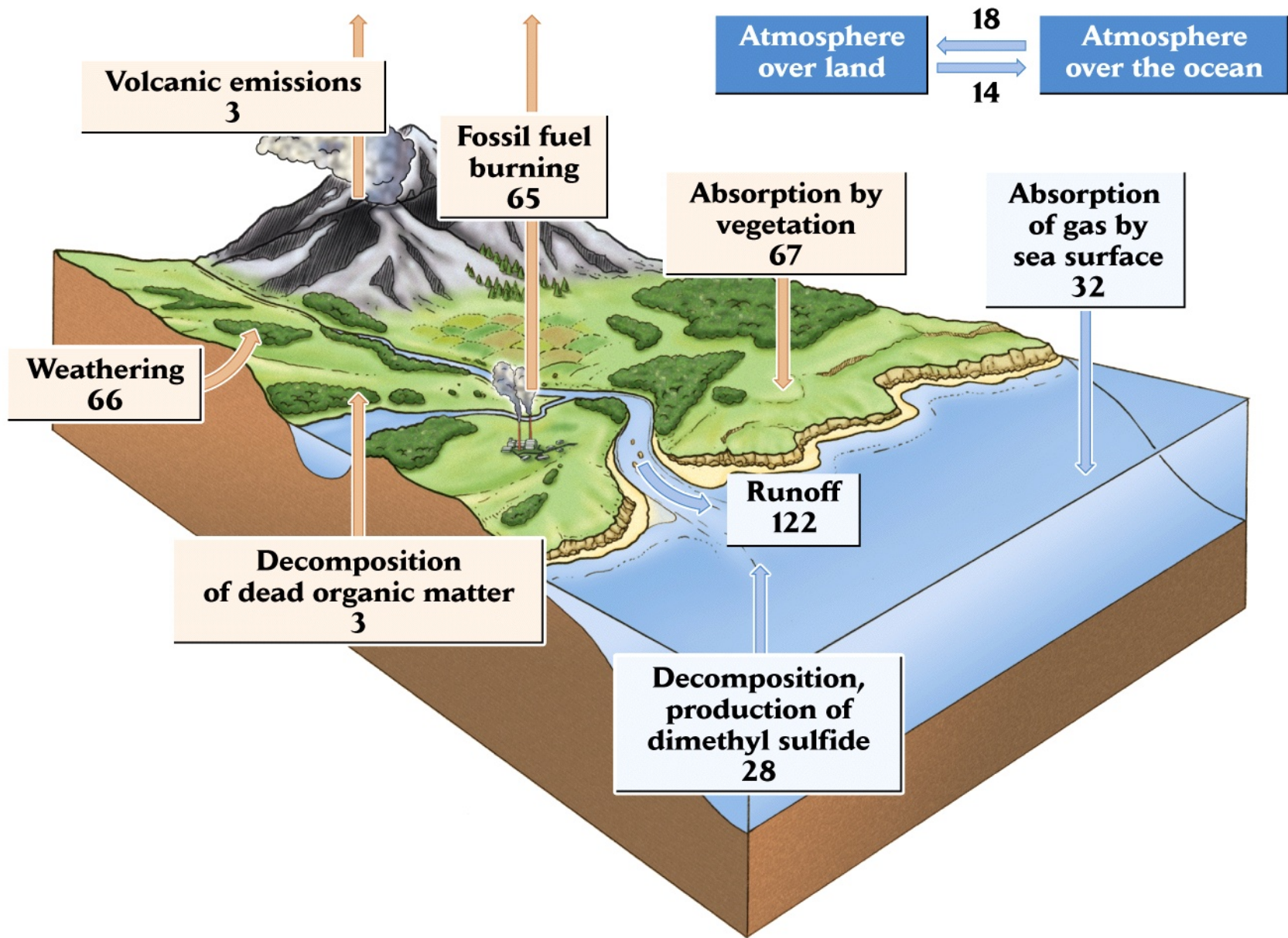


本章结束

硫循环 (Sulfur cycles)

- 硫的主要储库：硫酸盐如石膏，也有少量存在于大气，主要是 SO_2 和 H_2S 。
- 硫的来源：沉积岩石的风化、化石燃料（特别是煤）的燃烧、火山喷发和有机物的分解。
- 硫的沉积循环：硫酸盐的侵蚀和风化，土壤中的硫酸盐被淋溶掉或被微生物还原。
- 硫的气态循环：大气中的硫主要是 SO_2 和 H_2S 。前者产生于火山喷发和细菌的还原，后者产生于化石燃料的燃烧。大气中硫的化合物通常很快氧化成亚硫酸盐和硫酸盐，被雨水带回土壤。
- 大气中亚硫酸盐和硫酸盐能与雨水结合形成硫酸，造成酸雨危害。

FOREST ECOLOGY



Sulfur in Coal and Oil Deposits

- ❖ Iron sulfide (FeS) commonly associated with coal and oil deposits can result in environmental problems:
 - ❖ oxidation of sulfides in mine wastes to sulfate, which combines with water to form sulfuric acid, associated with **acid mine drainage**
 - ∞ oxidation of sulfides in coal and oil releases sulfates into atmosphere, which then form sulfuric acid, a component of **acid rain**

Acid rain

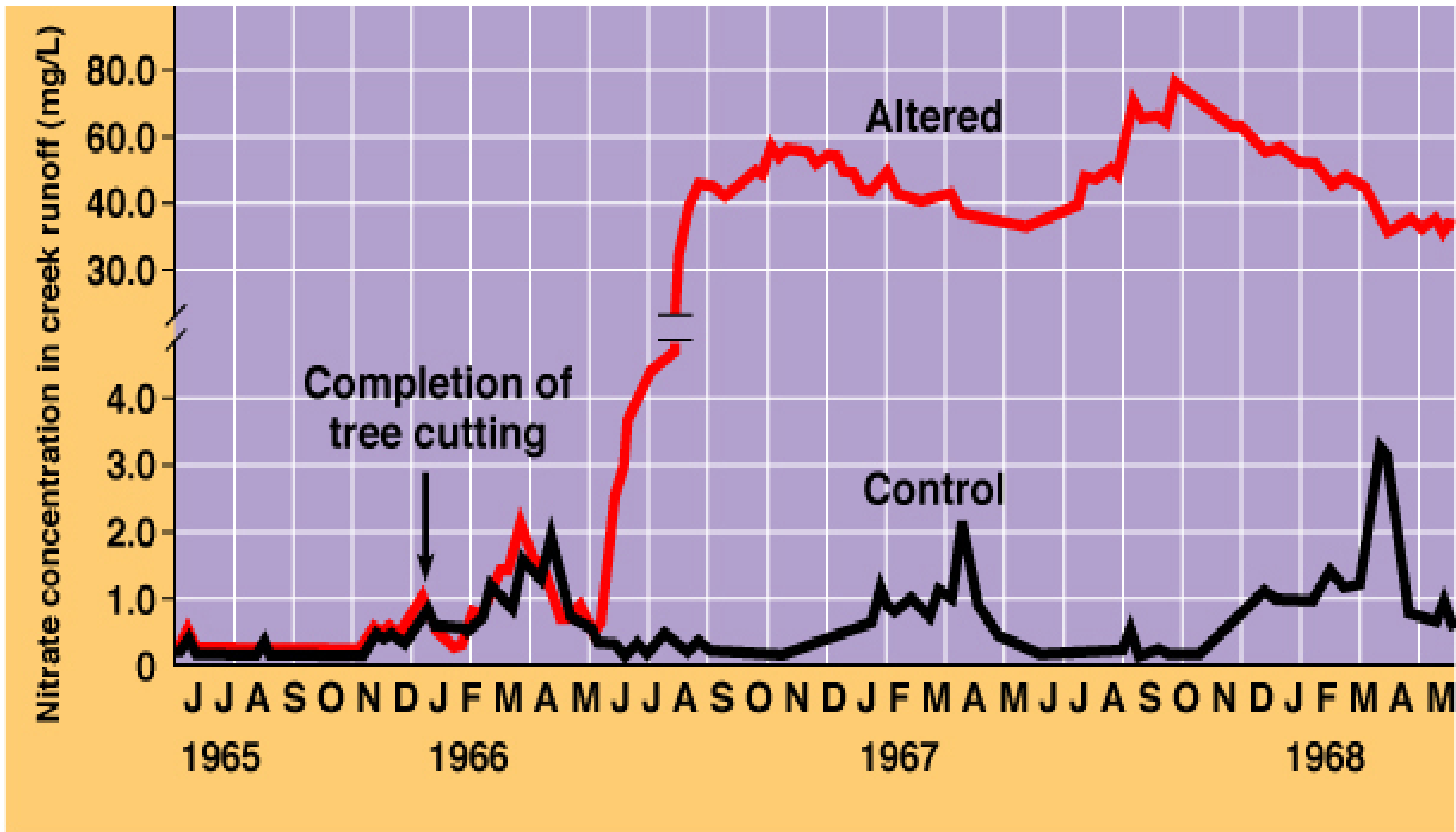




酸雨的伤害



森林采伐对养分的影响



©Addison Wesley Longman, Inc.

伐木后的集水区硝酸的流失

Summary

- ❖ 陆地生态系统中，养分元素的循环分为：
地球化学循环、生物地球化学循环、生物化学循环。
- ❖ 生态系统内部演化的过程，总是向着保持和贮存养分的方向发展。
- ❖ 森林中养分的管理主要是靠森林的自肥和永续。
- ❖ 为了保持森林的高产和永续经营，需要维护好森林生态系统内的生物地球化学循环，才能有效地保留现有养分不遭损失。

思考：

- ❖ **What Is Causing Acid Rain and Global Warming?**

A misty mountain landscape with the text "The End" overlaid. The scene features rugged, dark rock formations and several gnarled, dark green pine trees growing on the peaks. The background is filled with layers of misty, blue-tinted mountains, creating a sense of depth and atmosphere. The lighting is soft, suggesting dawn or dusk.

The End

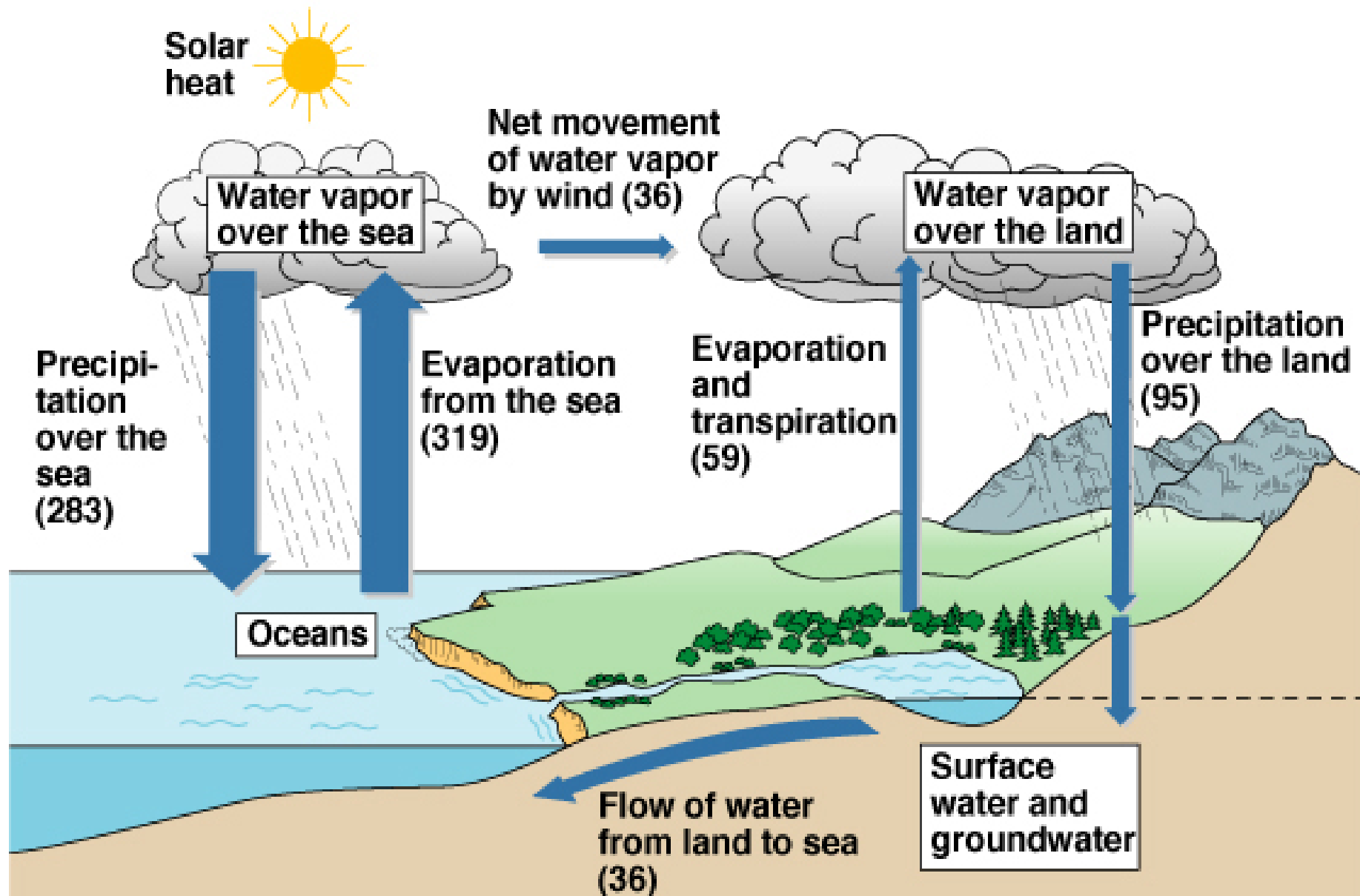
全世界淡水资源总量并不缺乏。但是降水量在空间和时间上分布不均匀，造成有些地区或某些时间仍然严重缺水。

地球水资源总量约为14亿 km^3 ，其中有97%以上分布在海洋。陆地上的地面水中冰盖和冰川占2.41%，目前无法取用。淡水湖泊和河流只占0.0091%，这些水除大量蒸发外，约有三分之一，即42083 km^3 可供人类生活和工农业生产之用。

我国水资源分布也很不平衡，南方水资源较丰富，北方水资源不足，西北内陆荒漠盆地，水资源更贫乏。

据国外资料，年总用水量如果超过年总径流量的13-14%，将产生水荒和干旱的威胁。近年来世界总需水量每年大约递增4%，有些国家用水量10年即增加一倍。

水循环 (Water cycles)



down loop

up loop

