



# 第4讲 生命的物质环境

罗建川

中国科学技术大学生命科学学院

注：本PPT仅供学习使用，请勿上传至网络或另作他用。

## 主要内容

- 一、水的生态作用与变化规律
- 二、生物对水环境的适应
- 三、大气环境对生物的影响
- 四、土壤环境对生物的影响

# 一、水的生态作用与变化规律

## (一) 水的生态作用

没有水就没有生命

- 水是生命物质的重要组成成分，是有机体生命活动的基础。
- 水作为外部介质，是水生生物获得资源和栖息地的场所；陆地上水量的多少，又影响到陆生生物的生长与分布。

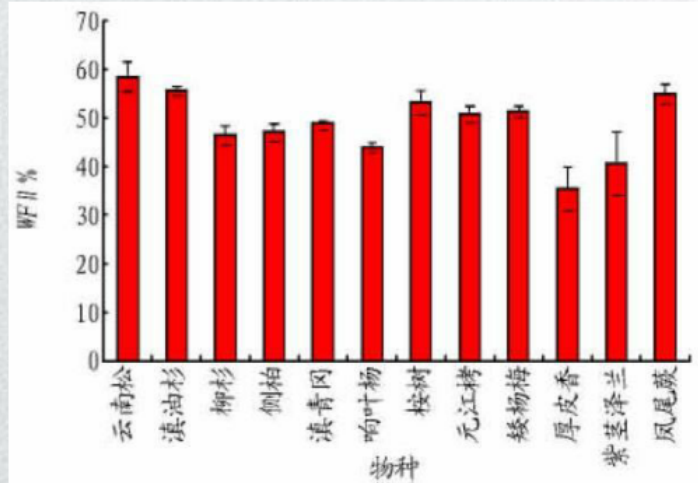


图2 干旱胁迫下不同植物鲜重含水量的比较

(罗芳芳等, 安徽农业科学, 2012)

## (二) 水的分布及变化规律

### 1. 水的分布格局

水的循环——1大2小 (2周循环1次)

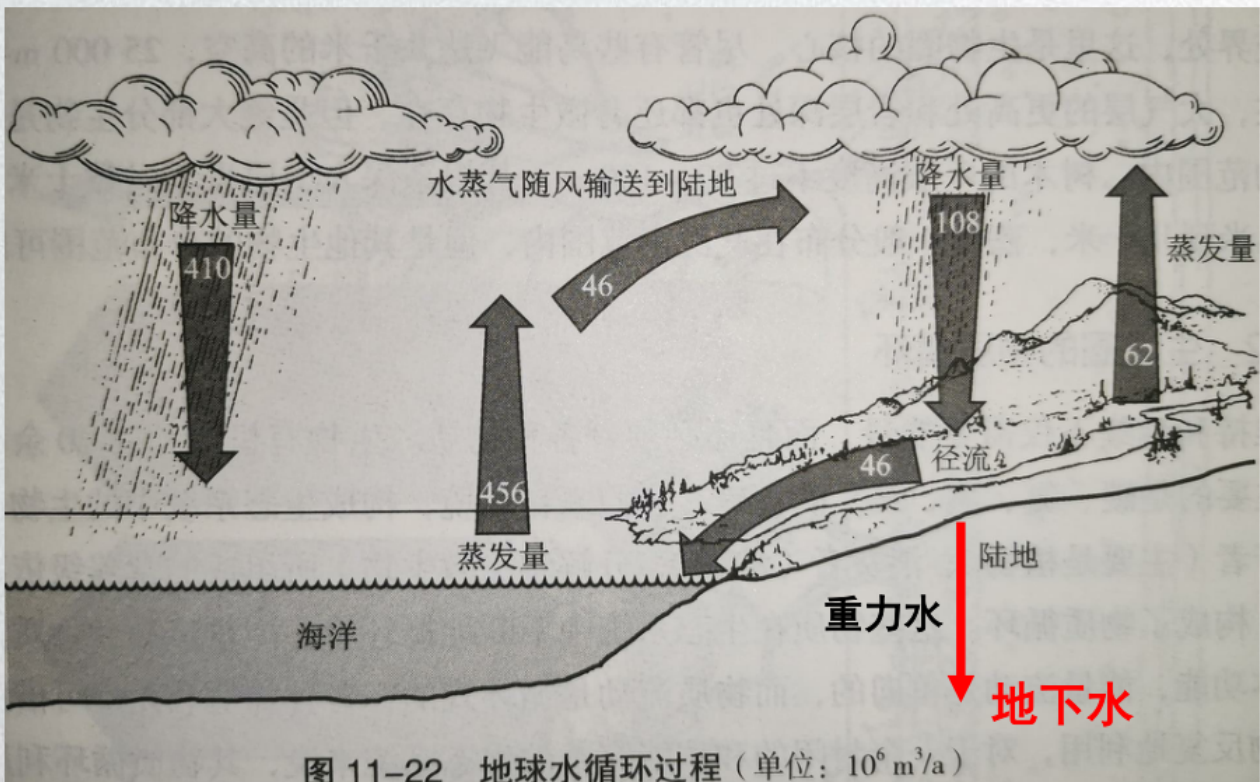


图 11-22 地球水循环过程 (单位:  $10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ )

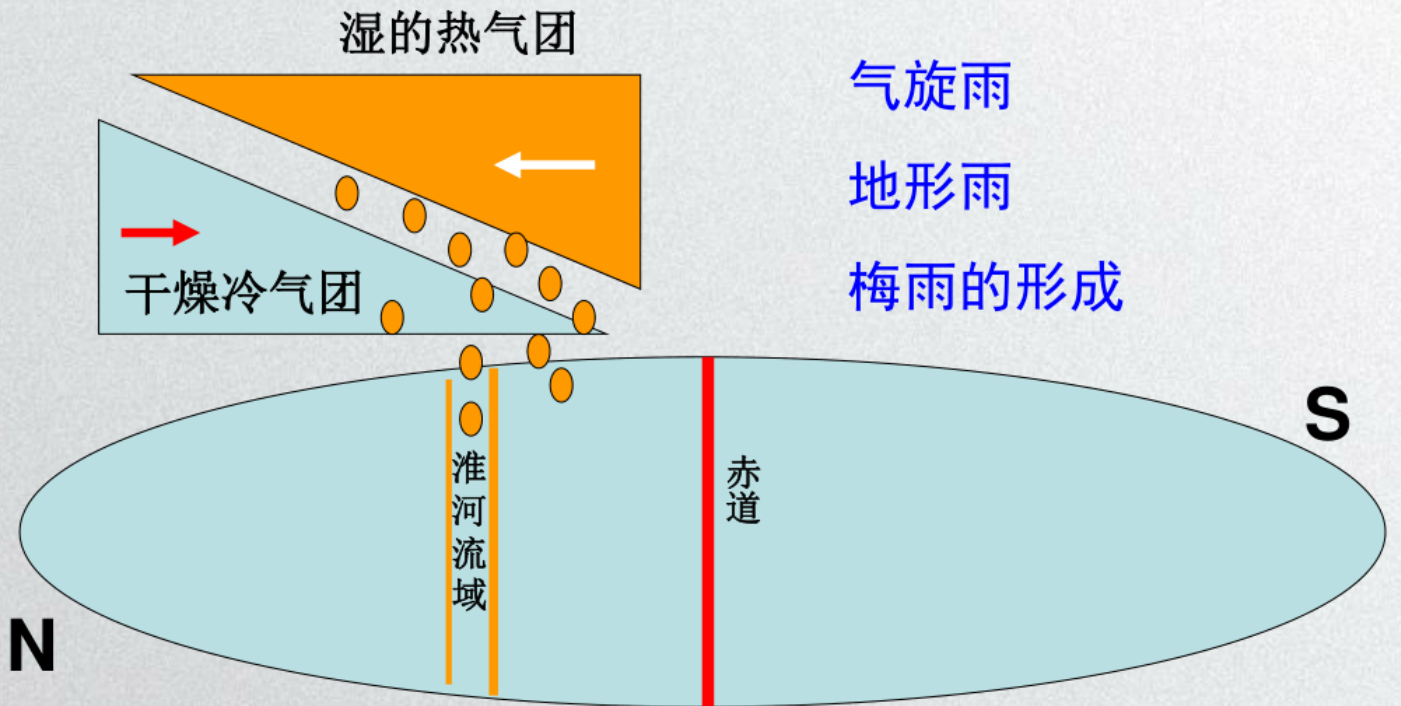
资料来源: 《现代生物学基础(第3版)》



## 2. 降水量

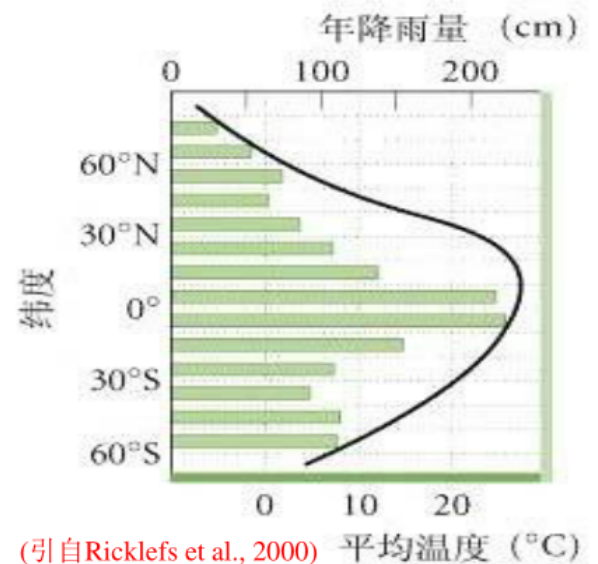
来自汽态水：地面和水面的蒸发，以及植物的蒸腾作用。

多种多样的降水形式：雨、雪、霜、露、雾、雹、淞等



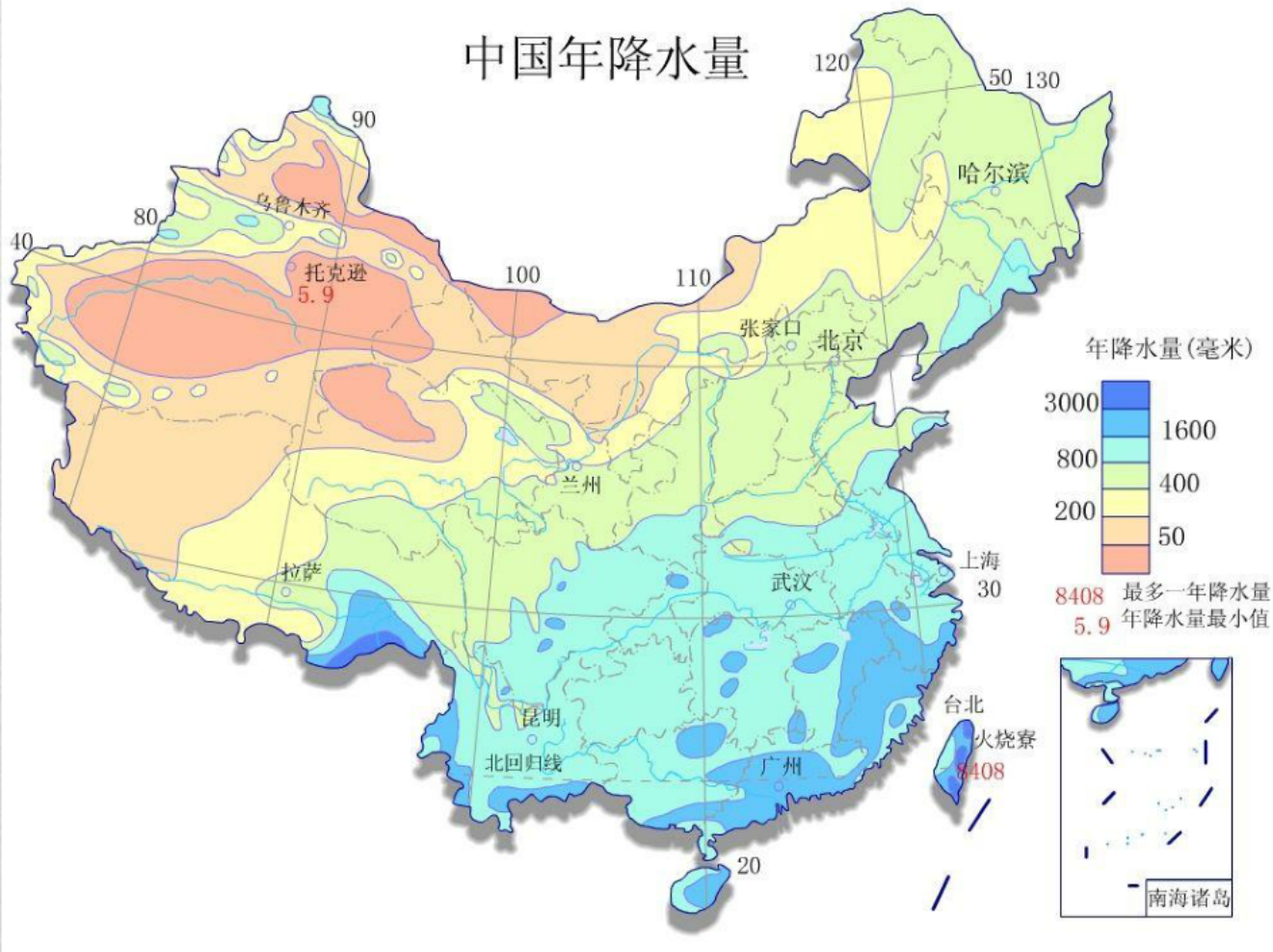
### 降雨量的等级 (依据日降水量mm)

- $\leq 10$  mm 小雨
- 10.1—25 mm 中雨
- 25.1—50 mm 大雨
- 50.1—100 mm 暴雨
- 100.1—200 mm 大暴雨
- $\geq 200.1$  mm 特大暴雨



陆地上降雨量的多少还受到海陆位置，地形及季节的影响。

# 中国年降水量



## 降雪的等级 (融化成水的量mm)

- $\leq 2.9$  mm 小雪
- 3—5.9 mm 中雪
- 6—9.9 mm 大雪
- $\geq 10$  mm 暴雪



- 雪的形成有2个条件：饱和水汽及温度，凝结核。
- 霜的形成与当时天气条件，以及所附着物体属性有关。霜将升华为水汽或融化为水。

**2020.10.23——霜降**

“白霜”与“黑霜”的区别，为什么黑霜比白霜的危害严重？



## 二、生物对水环境的适应

### (一) 植物对水的适应

#### 1. 陆地植物对水的利用与适应

陆地植物光合作用获得1 ml CO<sub>2</sub>需要交换3000 ml空气，因而易失水，植物必须保持得水（根吸水）和失水（叶蒸腾）之间平衡。



一株玉米一天需水2 kg

- 湿生植物
- 中生植物
- 旱生植物

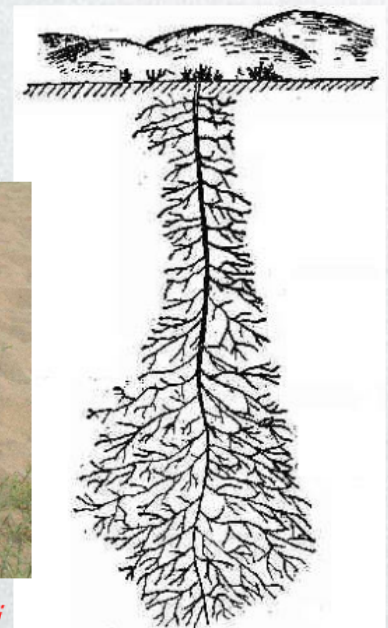


### 植物器官结构对水的适应

#### • 根系

在潮湿土壤上，植物生长浅根系，仅在表土下几寸的土层中，有的植物根缺乏根毛。

在干燥土壤中，植物具有发达的深根系，侧根扩展范围很广，有的植物根毛发达，充分增加吸水面积。



露兜树 *Pandanus tectorius*



骆驼刺 *Alhagi pseudathagi*





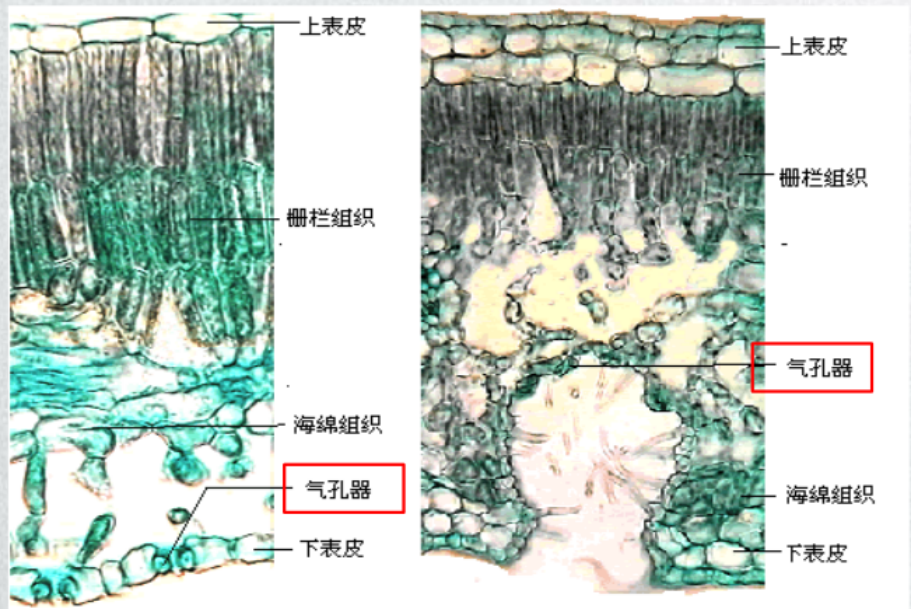
池杉 (*Taxodium ascendens*)



丝柏树 (*Taxodium distichum*)

## • 气孔

**调节气孔开闭：**生活在潮湿、弱光环境中的植物，在轻微失水时，就减少气孔开张度，甚至主动关闭气孔以减少失水。阳生草本植物在干燥环境中，气孔慢慢关闭。有些植物气孔深陷在叶内，或在夜晚进行气体交换。



苹果叶片横切面 (左)

夹竹桃叶片横切面 (右)



- 叶片

外表面覆盖有蜡质的、不易透水的角质层，以降低叶表面的蒸腾量；干燥地区植物尽量缩小叶面积以减少蒸腾量。



- 少浆液旱生植物

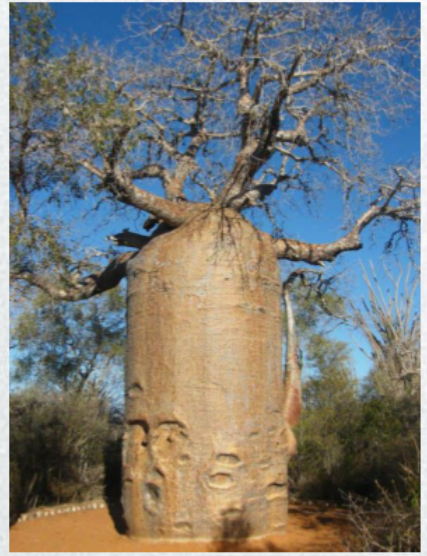
体内含水量极少，当失水50%时仍能生存；叶面积缩小，以绿色茎进行光合作用；气孔多下陷；根系发达；细胞内有大量亲水胶体物质，使胞内渗透压高，能使根从含水量很少的土壤中吸收水分。

- 多浆液旱生植物

根、茎、叶薄壁组织逐渐变为储水组织，成为肉质性器官。大多数失去叶片，由绿色茎代行光合作用；白天气孔关闭以减少蒸腾量，夜间气孔张开。



## 多浆液旱生植物



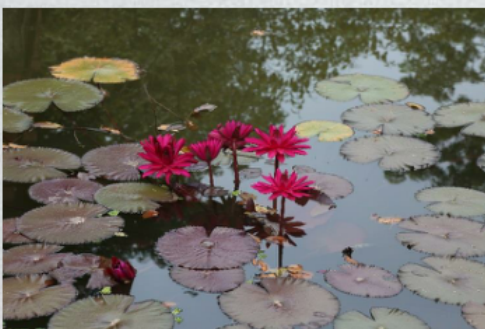
## 2. 水生植物对水环境的适应

体内具发达的通气系统；叶片很薄，有利于增加采光面积和对营养物的吸收；身体弹性和抗扭曲能力较强；有些植物可调节渗透压。能耐受高盐。如红树林。

- 挺水植物
- 浮水植物
- 沉水植物



红树林 *Conocarpus erecta*



睡莲 *Nymphaea tetragona*



菹草 *Potamogeton crispus*



## (二) 动物对水的适应

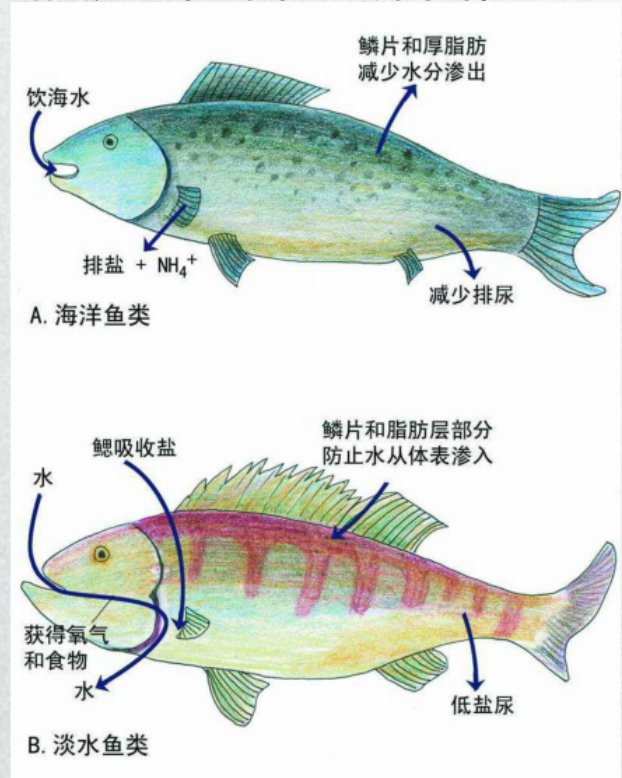
### 1. 水生动物的渗透压调节

水生动物保持体内的水平衡是依赖于水的渗透调节作用。

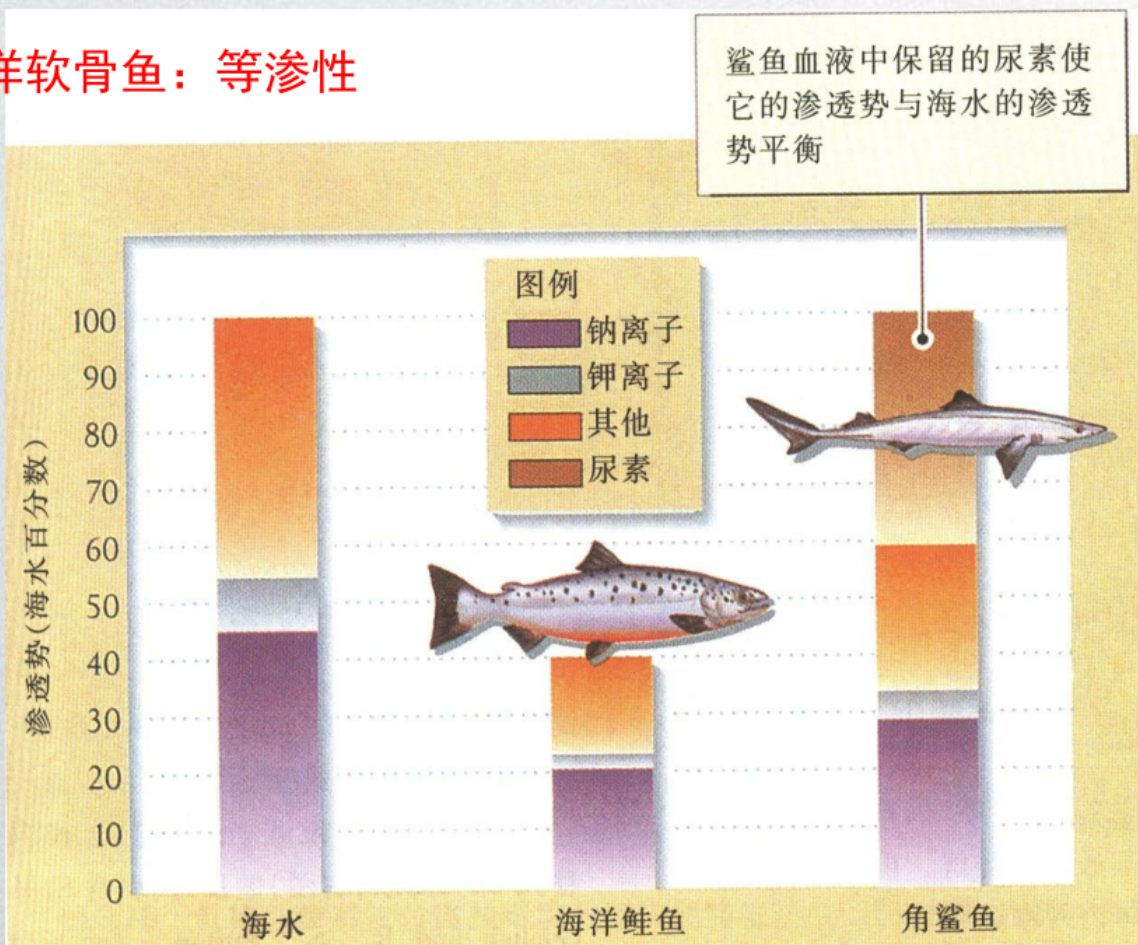
#### • 硬骨鱼类

**海洋硬骨鱼**处于高渗环境中，其血液渗透压低于环境渗透压，是低渗性的。

**淡水硬骨鱼**血液渗透压高于水的渗透压，属于高渗性，其本身处于低渗环境。



#### • 海洋软骨鱼：等渗性



高渗透压的维持是依靠血液中储存大量尿素和氧化三钾胺。

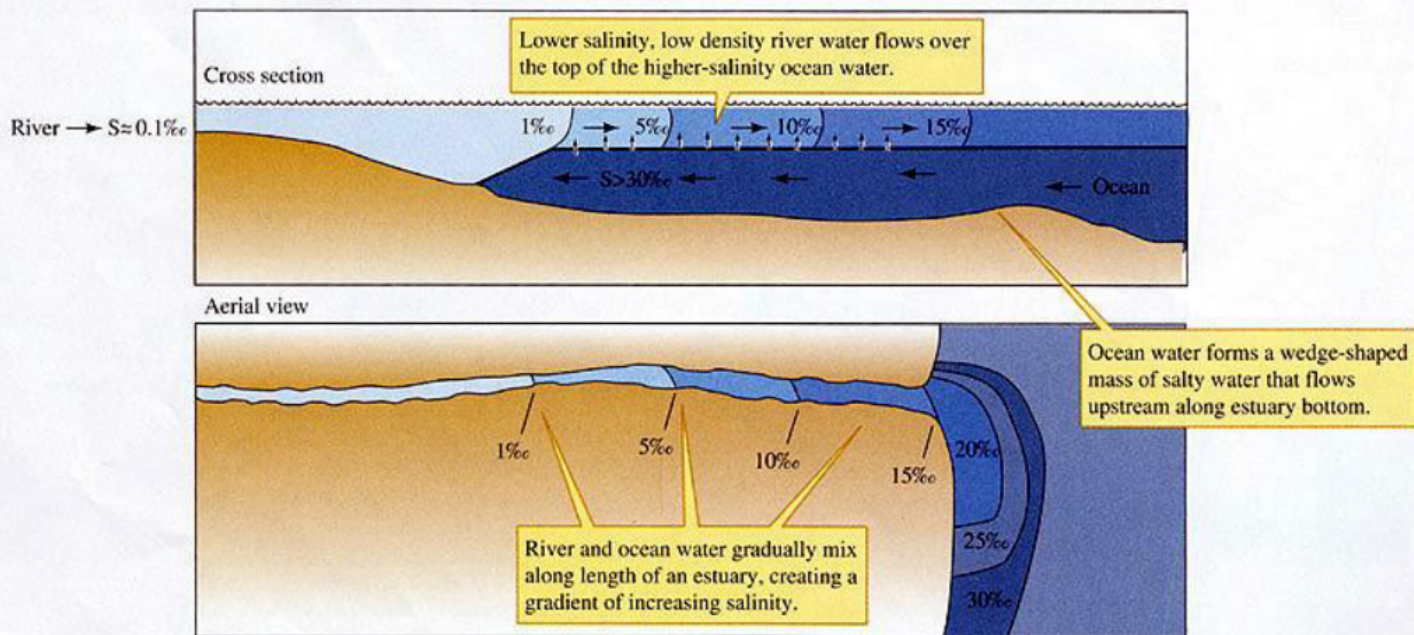


• 广盐性洄游鱼类

具有淡水硬骨鱼与海水硬骨鱼的调节特征。

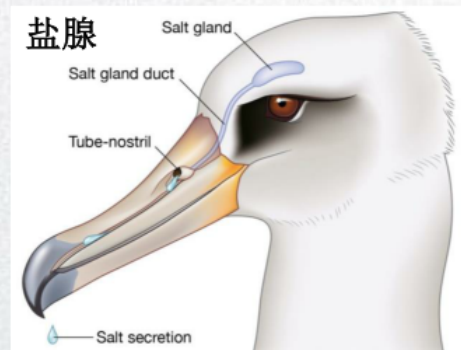


大马哈鱼洄游



河流入海口的生态环境

- 海洋无脊椎动物：渗透压顺应者
- 海龟、海鸟：具盐腺
- 海洋兽类（鲸）：排高浓度的尿



水生哺乳动物高度浓缩乳汁保持水分

动物	乳汁成分 (100g)			
	水 (g)	脂肪 (g)	蛋白质 (g)	碳水化合物 (g)
奶牛	87.3	3.7	3.5	4.5
人	87.6	3.8	1.2	7
海豹A	45.3	42.7	10.5	0
海豹B	43.6	42.2	14.1	—
(极端条件下)	27.4	57.9	19.5	—



## 2. 水生动物对水密度的适应

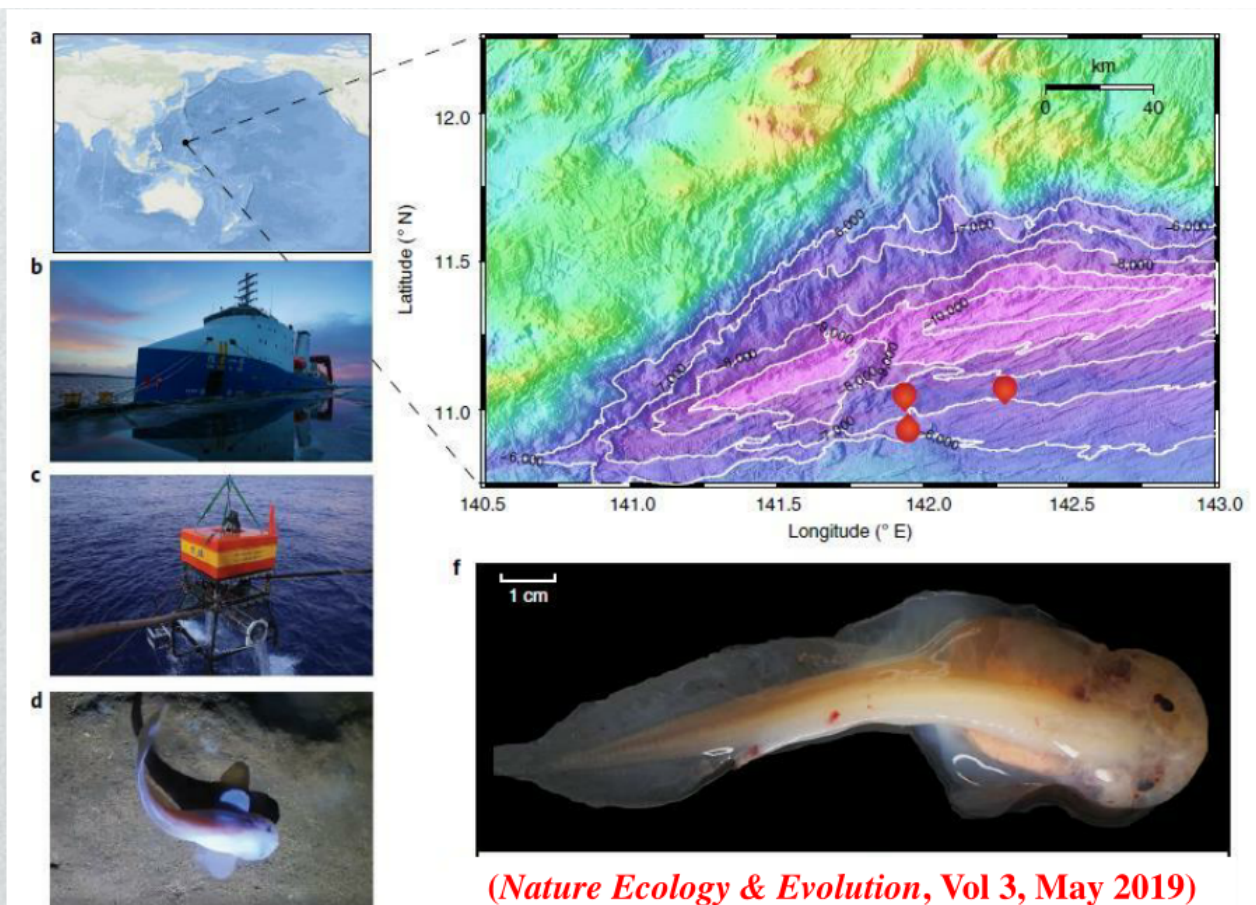
失去四肢；身体庞大；具有鳔；深海鱼类皮肤组织的通透性很大，骨骼和肌肉不发达，没有鳔。鲸肋骨无胸骨附着，或无肋骨，潜入深海时可把肺泡内气全部排出，不得减压病。



### • 两栖类的水平衡

在水中时肾脏功能同淡水鱼，皮肤功能同鱼鳃。在陆地上时皮肤可从空气中吸收水分，靠膀胱重新吸收水分来保持体液水分平衡。

### 深海鱼对环境的适应

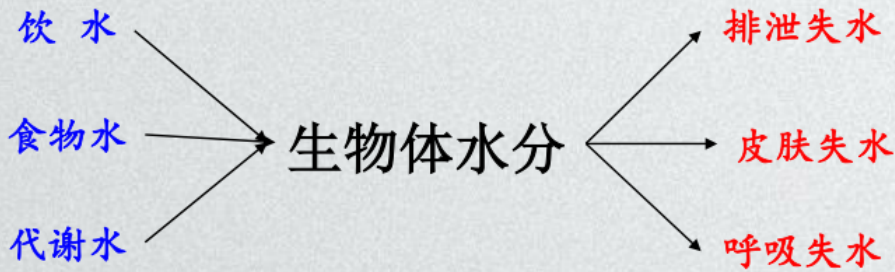


由于没有阳光的照射，深渊狮子鱼通体透明；为适应高压环境，其骨骼变得非常薄且具有弯曲能力，头颅不完全封闭，肌肉组织也具有很强的柔韧性。



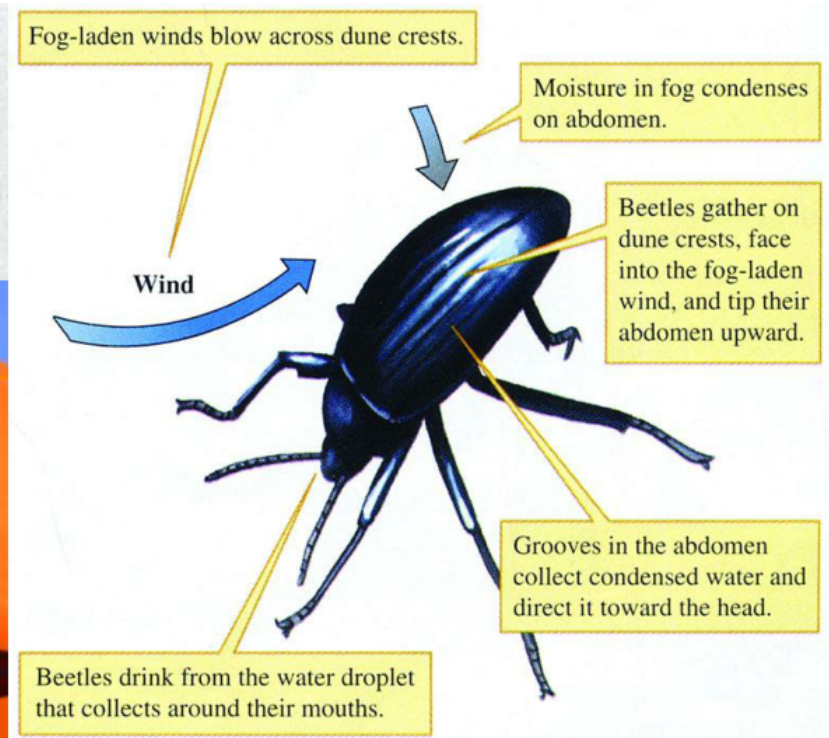
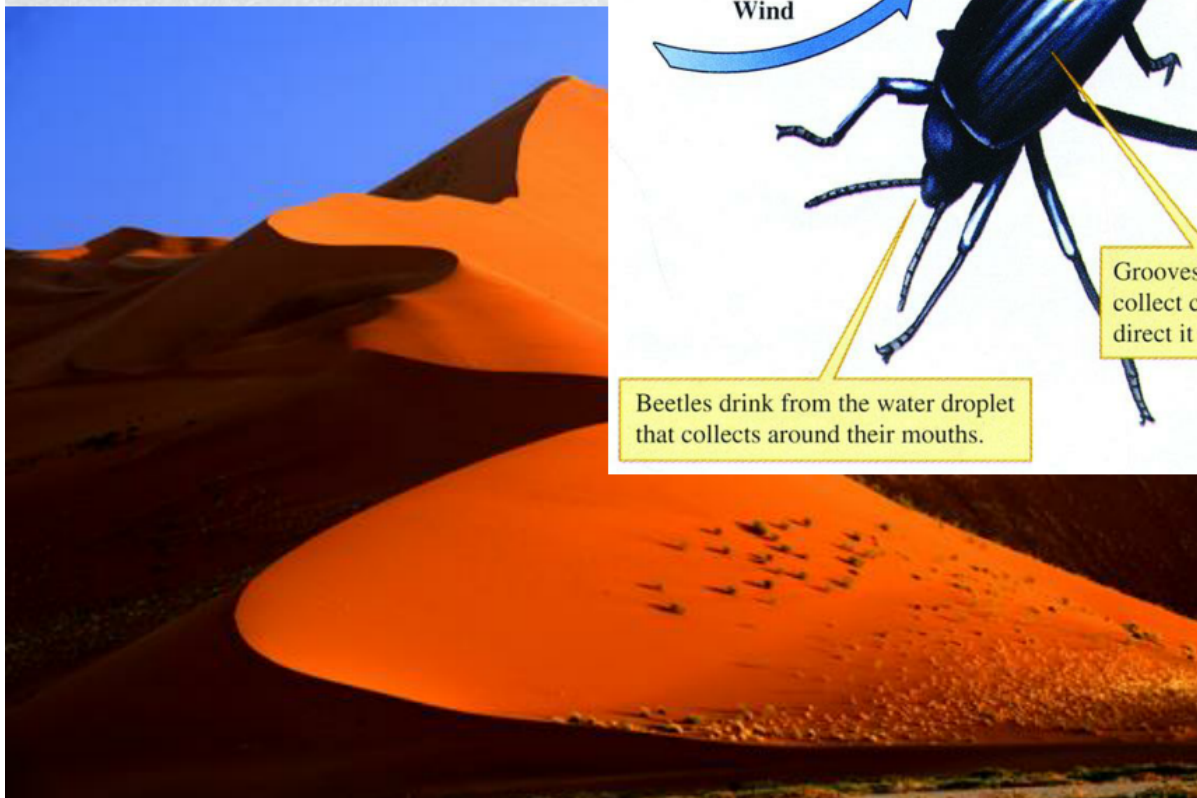
### 3. 陆生动物的渗透压调节

陆生动物则依靠水分的摄入与排出的动态平衡，从而形成了生理的、组织形态的及行为上的适应。



- **得水:** a. 如蟑螂、蜘蛛等昆虫类通过体表可直接从较潮湿的大气中吸水； b. 各种物质氧化产生的代谢水，如蜂鸟； c. 大量饮水贮存, 如骆驼。

### 动物对环境的适应





# 失水

- a. 减少蒸发失水：皮肤及其衍生物
- b. 减少呼吸失水：气孔的开放与关闭（昆虫）、逆流交换机理（荒漠鸟兽）
- c. 减少排泄和粪便失水：排泄尿酸、重吸收水分

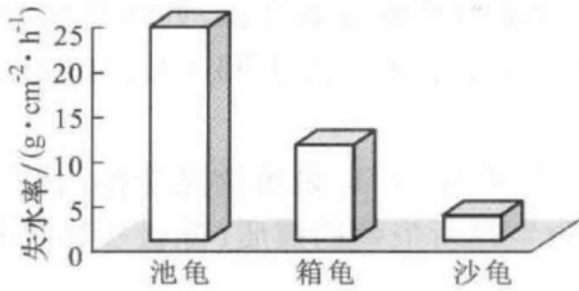


图 3-13 生活在不同环境中的龟的失水率  
(数据引自 Molles, 1999)

池龟、箱龟与沙龟分别栖息在湿的、微湿的与干燥环境中

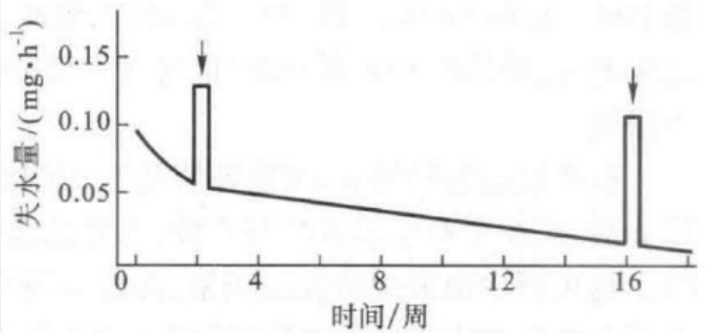
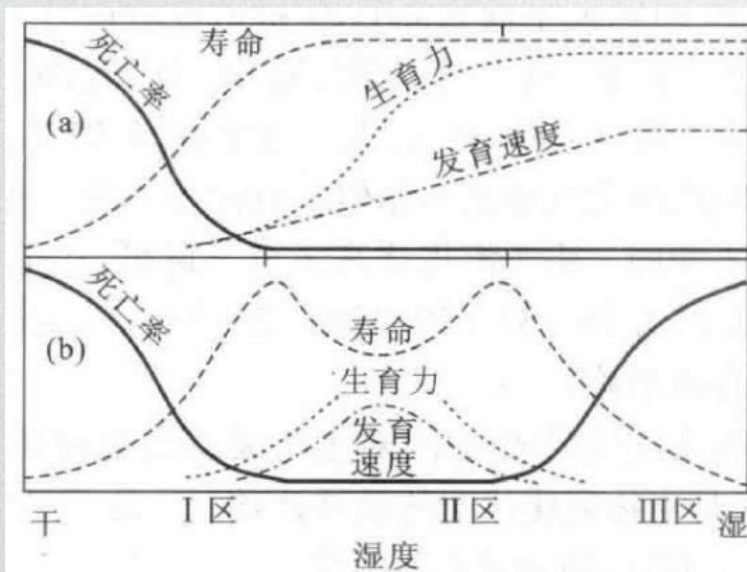


图 3-12 黄粉蚬幼虫在 0~15% 相对湿度下的失水量(转引自孙儒泳, 1992)

“↓”表示加入 5%  $\text{CO}_2$ , 使气孔开放

## 3. 陆生动物对湿度的适应

动物可通过运动、迁徙选择其喜好的湿度。通过夏眠和滞育躲过干旱的季节。湿度可影响昆虫的生长发育、繁殖、存活与寿命。

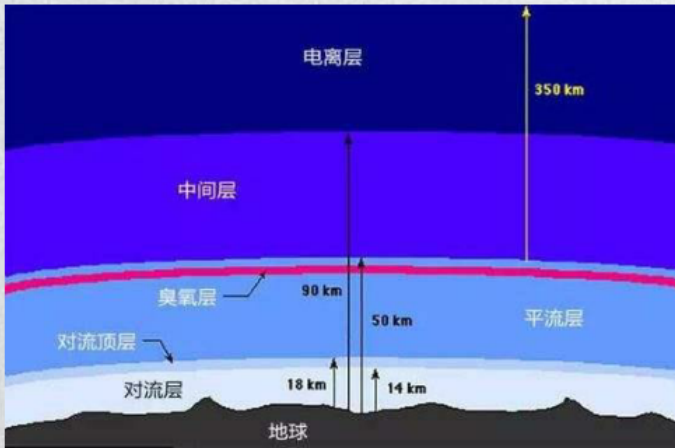


喜湿昆虫：a；  
喜旱昆虫：b，有一个最适的相对湿度

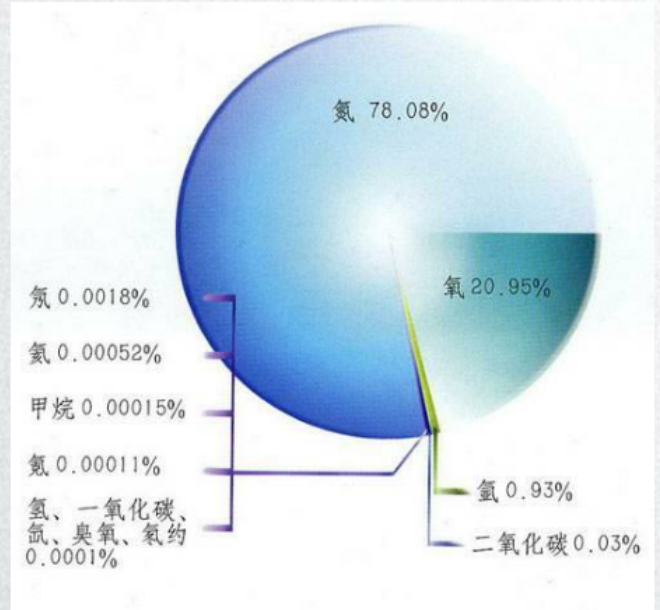
图 3-14 湿度对动物死亡率、发育速度、生育力和寿命影响的模式图(转引自孙儒泳, 1987)



### 三、大气环境对生物的影响



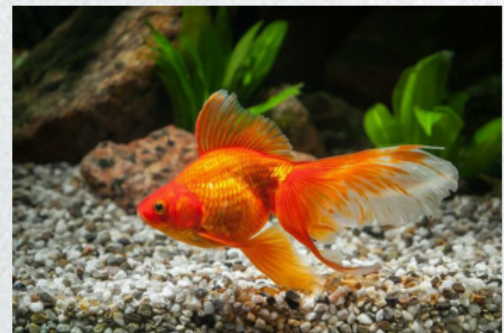
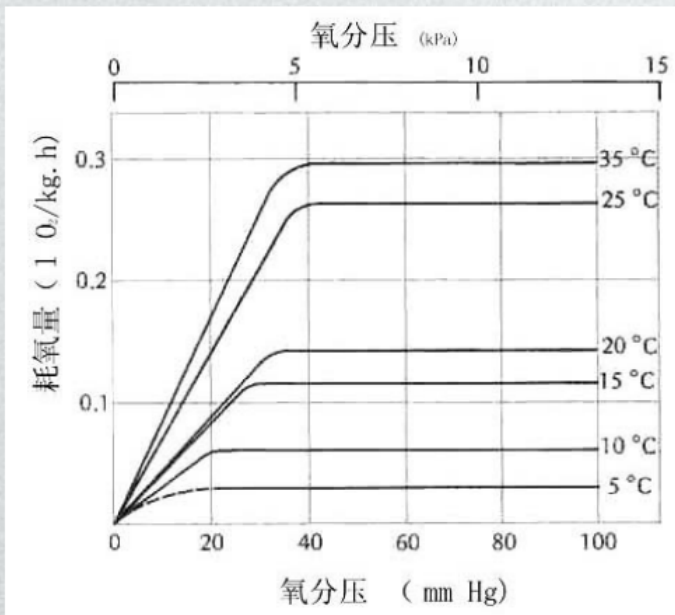
大气层结构(简化示意图)



- 在大气组成成分中，对生物关系最为密切的是 $O_2$ 与 $CO_2$ 。

#### (一) 氧与生物

动物生存必须依靠食物氧化产生的能量。陆生动物耗能大于水生动物。环境氧浓度降低时，可影响动物的代谢率。

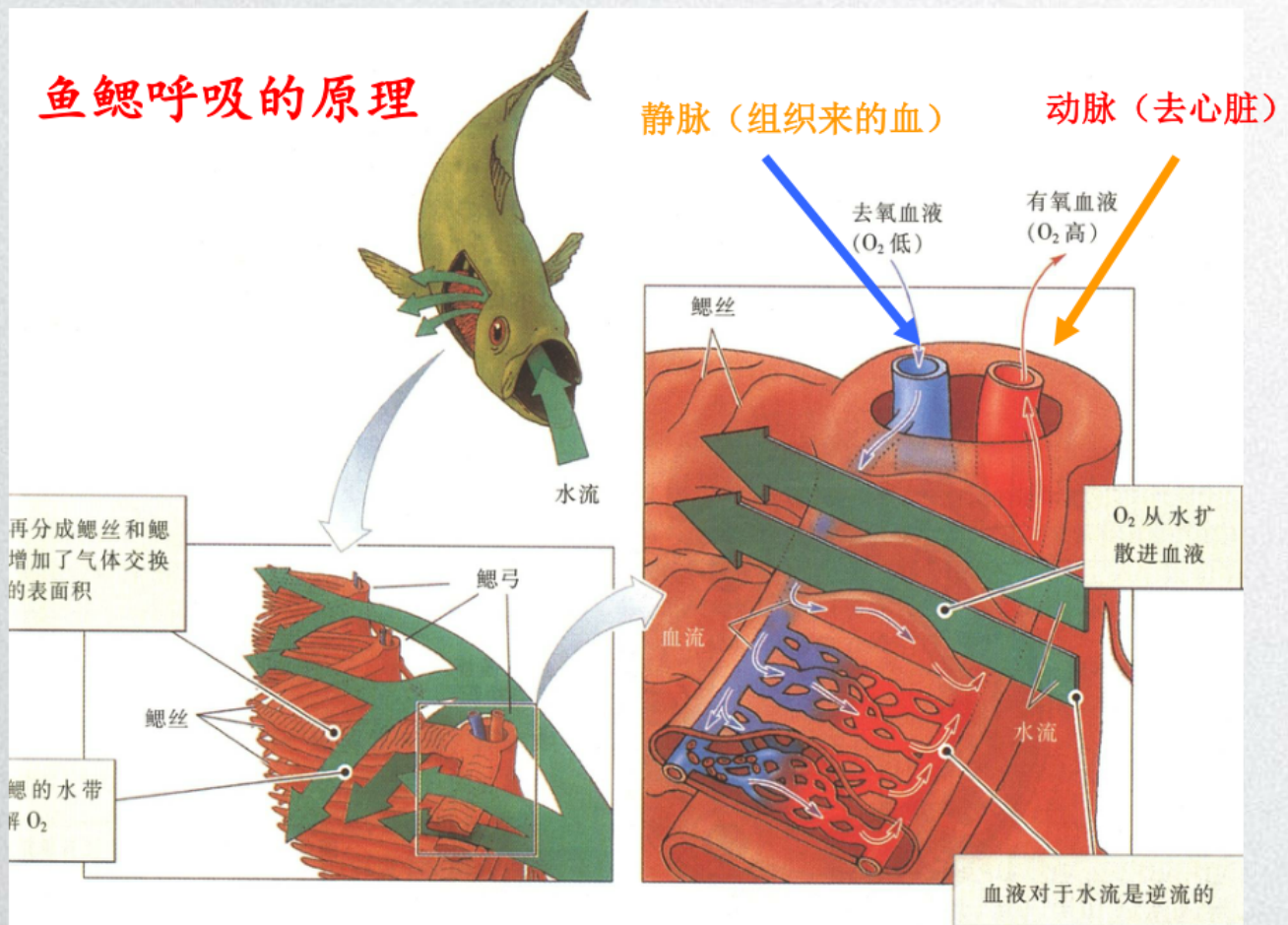


在低氧浓度下，金鱼的氧耗随水中氧浓度成线性改变

(引自Schmidt and Nielsen, 1997)



## 鱼鳃呼吸的原理



13.22 鱼鳃的设计促进了血液和水的逆流循环。鳃由几个鳃弓组成，每个鳃弓带有两排鳃丝，鳃丝具有薄的、确定方向的鳃瓣(成薄片的结构)，使水流流过鳃。在鳃瓣内，血流的方向与越过表面的水流方向相反，形成逆流循环(引自 D. J.

## 内温动物对高海拔低氧的适应

- 高海拔适应性反应：表现在呼吸循环系统与血液组成成分两方面。

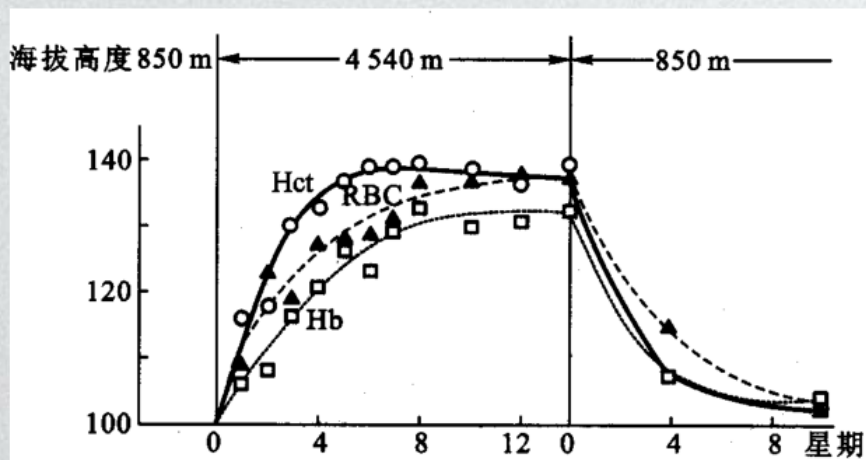


图 3-18 人暴露到海拔 4 540 m 高度数周，一些血液指标的变化过程(引自 Bouverot, 1985)

Hct: 血球比积; RBC: 红细胞; Hb: 血红蛋白

人由海拔 850 m 进入 4540 m 高度后，血球比积、红细胞数和血红蛋白逐渐升高，数周后达到最大值，并维持在此高水平上。当从高海拔回到平原后，这些指标将逐渐下降，恢复到原水平。



# 动物对低氧环境的适应

天鹅，斑头雁，鹭等

班头雁可飞9000米高



天鹅可飞9000米高



蓑羽鹤越冬必须翻越喜马拉雅山



高原鼠兔——在8000万年前它们与啮齿类分歧。



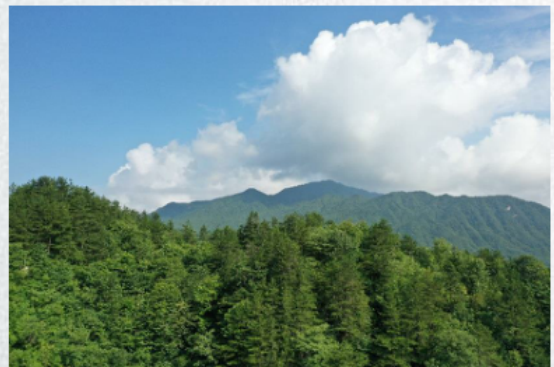
四川阿坝州（5000 -6000m），10-15cm长，世界上最小的哺乳动物（鼠兔科）。

鹭可飞10000米高



## 植物与氧

植物是氧的主要生产者。白天，植物光合作用释放的氧气比呼吸作用所消耗的氧气大20倍。

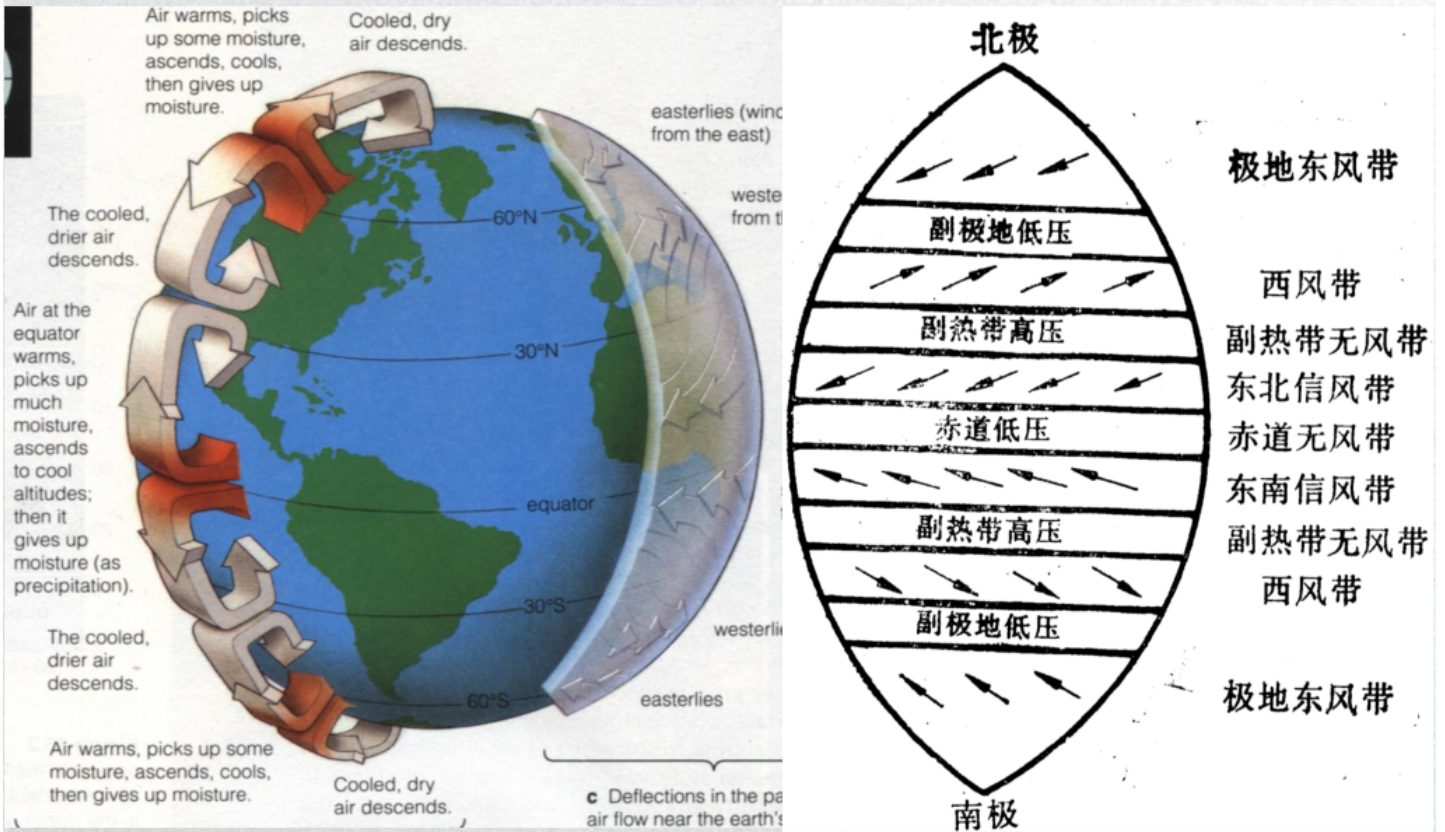


### (二) CO<sub>2</sub>与植物

- **植物光合作用所必需。** 高产植物产量的90-95%取自空气中的CO<sub>2</sub>，仅有5-10%是来自土壤。CO<sub>2</sub>对植物生长发育具有重要作用。
- 在强光照下，作物生长盛期，CO<sub>2</sub>不足是光合作用效率的主要限制因素。增加CO<sub>2</sub>浓度能直接增加作物产量。



### (三) 风



哈德莱环流圈 Hadley cycle

### 风的类型

- **季风**——由于大陆和海洋在一年之中增热和冷却程度不同，在大陆和海洋之间大范围的、风向随季节有规律改变的风，称为季风
- **海陆风**——由于海面 and 陆地之间的昼夜热力差异而引起，白天由海面吹向陆地的风，称海风，夜间由陆地吹向海面的风，称陆风。
- **山谷风**——白天，山下吹向山顶；夜晚，山顶吹向山下。冷湖现象（喜温作物栽植方法，作物品质）
- **城市风**——由郊区吹向市区。
- **台风和飓风**——都属于北半球的热带气旋，在大西洋或东太平洋发生，中心风力达到十二级或以上的热带气旋，称为飓风。至于在西太平洋上发生，达到同样强度的热带气旋，则称为台风。



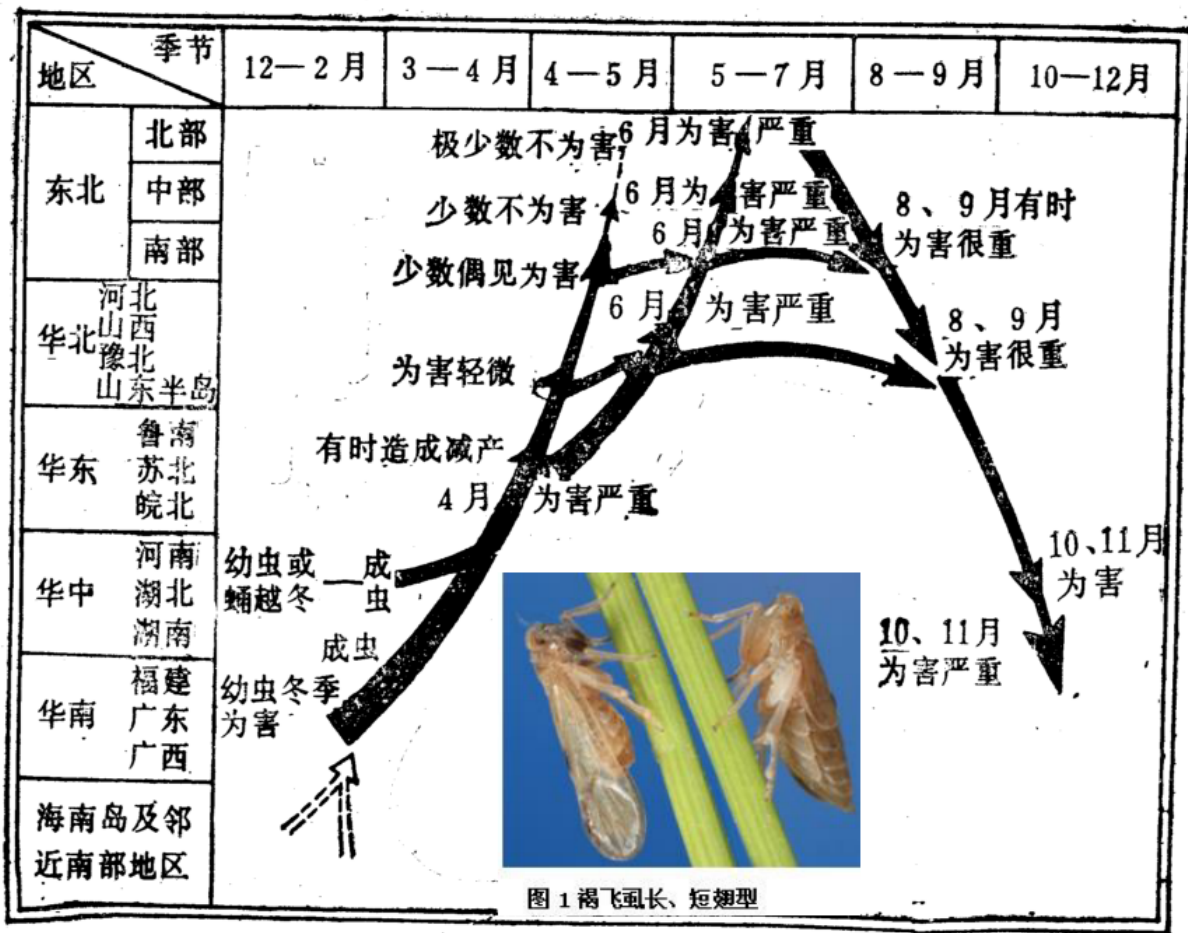


图 3-31 我国粘虫季节性远距离迁飞模式图(仿南开大学等合编《昆虫学》，1980)





## 四、土壤环境对生物的影响

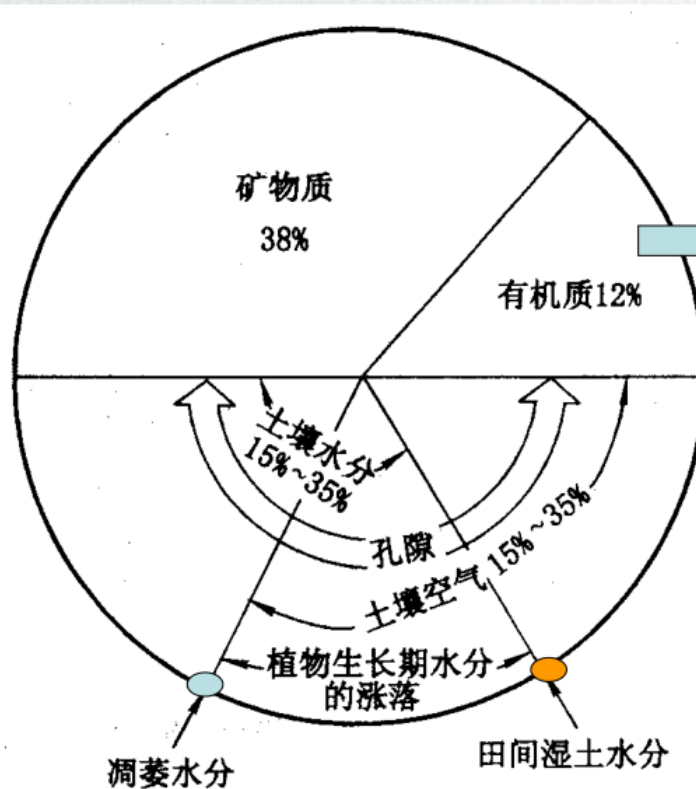
- **土壤**——陆地表面由矿物质（生命体含55-65种元素）、有机物质、水、空气和生物组成，**具有肥力，能生长植物的未固结层。**
- 土壤位于陆地生态系统的底部，具有营养物传递系统，再循环系统和废物处理系统，是陆地生态系统的基底或基础。
- 在土壤中进行两个最重要的生态过程是**分解过程**和**固氮过程**。
- **土壤是由植物群落发育的。**形成**1厘米**土壤需要800-1000万年。
- 土壤肥力的4要素（**水、肥、气、热**）



### (一) 土壤物理特性及其对生物的影响

#### 土壤三相系统

- 固相
- 液相
- 气相



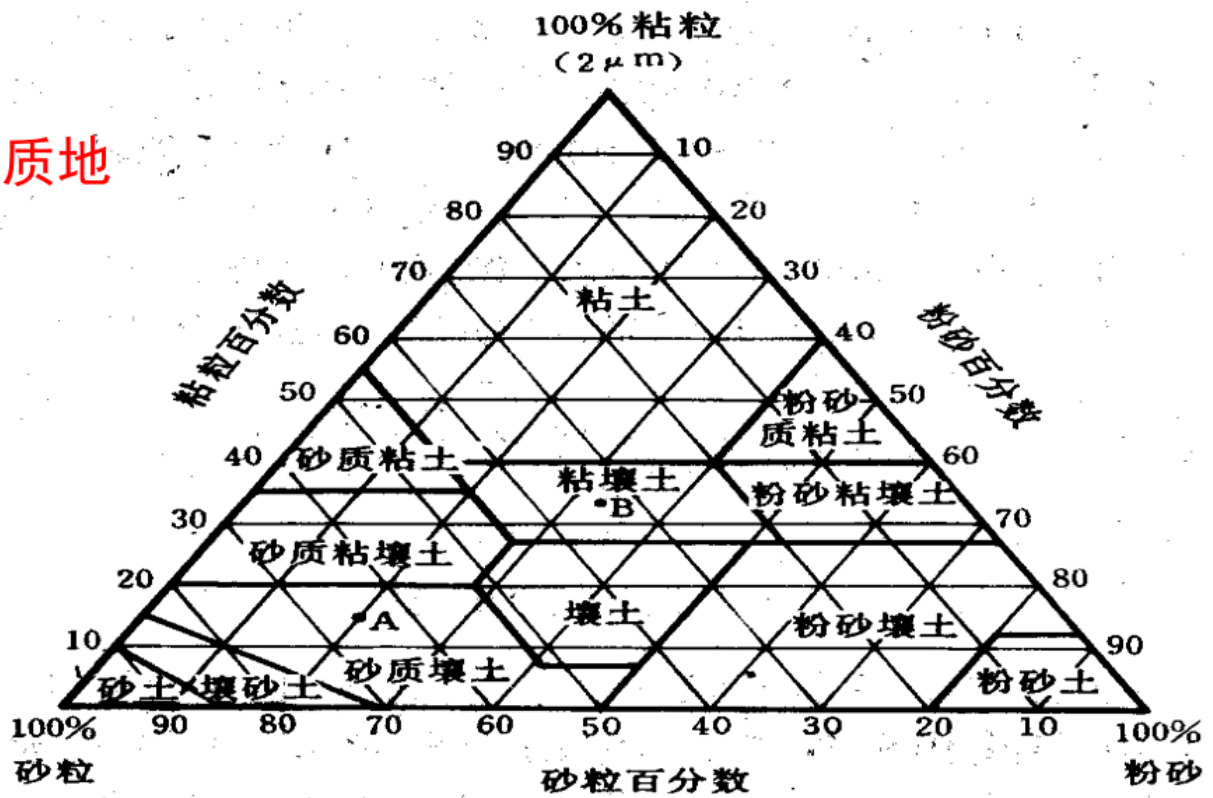
有机质包括：腐殖质（胡敏酸、富里酸）和非腐殖质。

解决水和气的矛盾

图 2-10 土壤组成成分(容积百分比)  
(熊毅,1997)



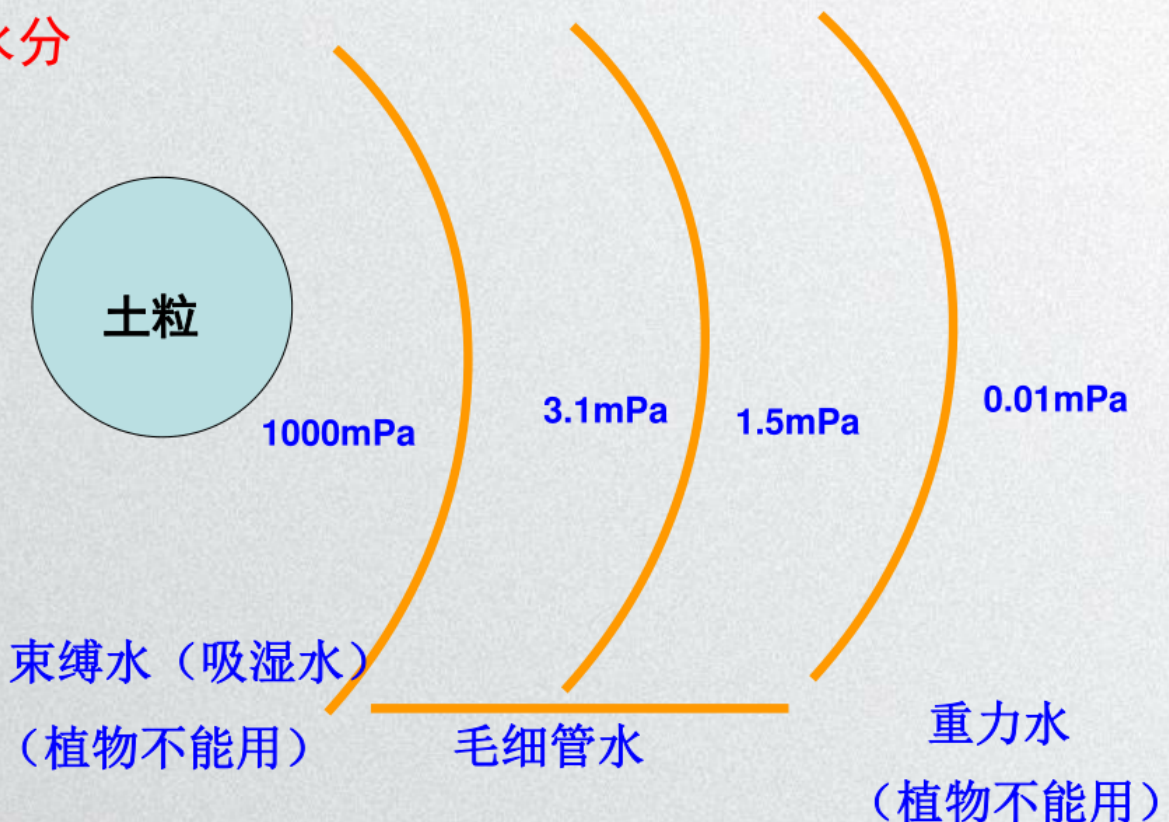
## 土壤质地



土壤由粗砂 (2.0—0.2 mm)、细砂 (0.2—0.02 mm)、粉砂 (0.02—0.002 mm) 和粘粒 (0.002 mm 以下) 组成。这些颗粒组合的百分比, 称为土壤质地。

## 土壤吸水饱和后的水分布的状态

## 土壤水分





## 土壤空气

- 特点：低 $O_2$ （10-12%），高 $CO_2$ （0.1%）。
- 透气不良时，土壤中 $CO_2$ 积累过多，阻碍根系生长、种子发芽，甚至导致植物死亡。
- 土壤动物对土壤中低氧和高 $CO_2$ 的适应性：

血红蛋白的浓度增加，血红蛋白的氧结合能力增加，同时降低能量代谢，降低体温。地下兽的脑中枢对 $CO_2$ 的敏感性降低。

土壤通气程度影响土壤微生物的种类、数量和活动情况，进而影响分解过程。

## 土壤温度

- 影响植物根系的生长、呼吸和吸收性能。
- 影响土壤微生物活动以及有机质的分解，影响土壤动物的运动。

## （二）土壤化学特性及其对生物的影响

### 土壤pH

中性土壤：6.5~7.5；酸性土壤：6.5以下；碱性土壤：7.5以上。

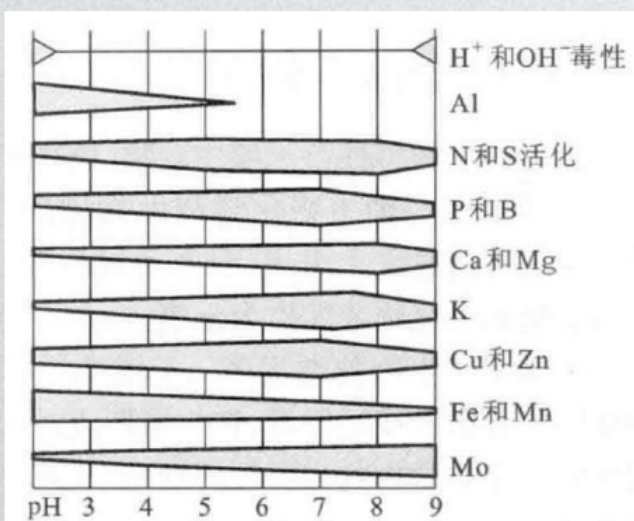


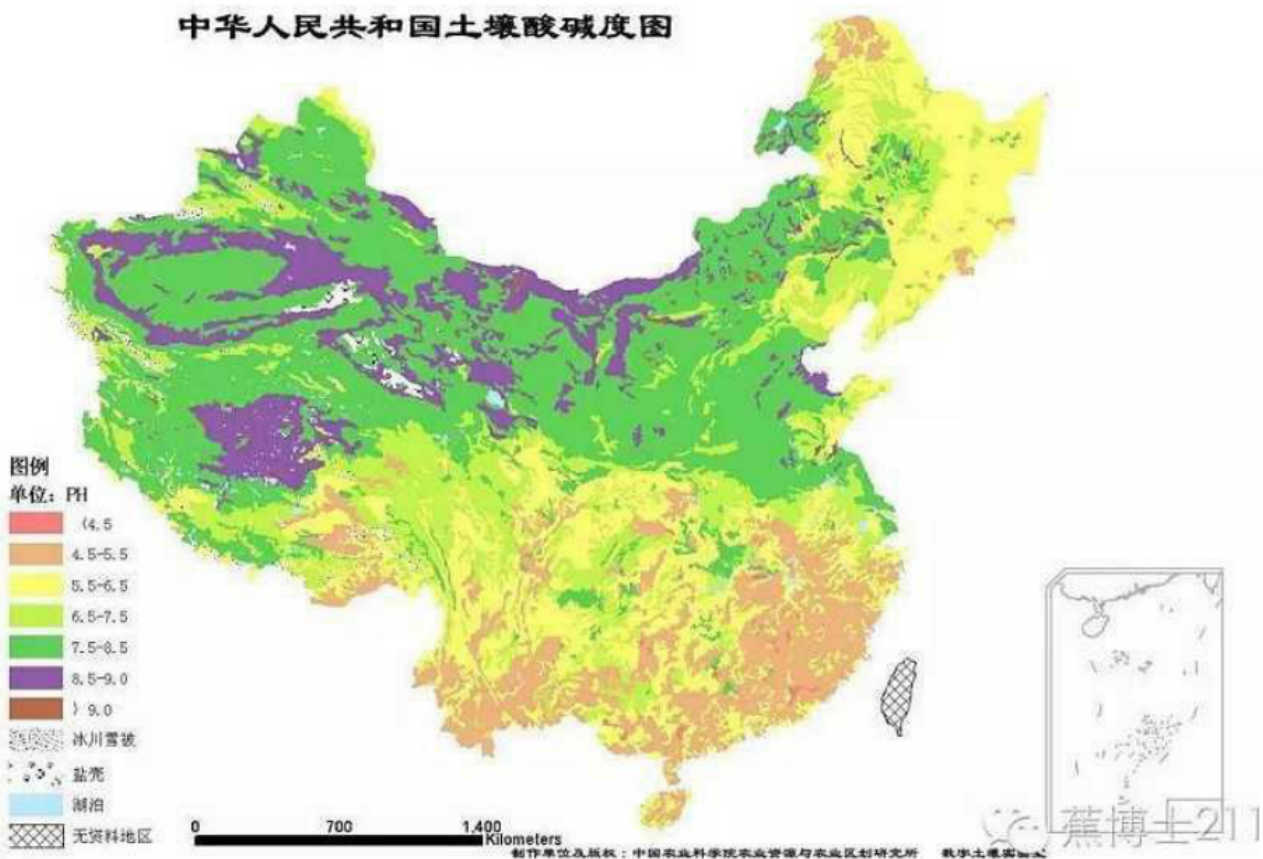
图3-20 土壤pH对矿物养分的有效性影响，以带宽度表示(引自 Begon 等,1996)



许多豆科植物的根瘤只能在中性土壤中正常生长



中华人民共和国土壤酸碱度图



## 土壤有机质

- 土壤中的动物和植物的新鲜组织及残体、腐烂分解产物，以及微生物重新合成的物质。
- **组成:** 土壤有机质是各种不同物质的复杂体系，新鲜的有机质、半分解的有机质、腐殖质、简单的有机化合物（糖类、脂肪酸、氨基酸、醇、酚等）。
- **分类:** 腐殖质——微生物利用死亡有机体的腐烂分解产物重新合成的大分子物质，主要是富里酸和胡敏酸；非腐殖质——动物和植物新鲜组织和半分解的残体、腐烂分解产物，主要是碳水化合物和含氮化合物等。



## 土壤有机质（续）

### • 腐殖质的作用：

具有凝胶特性，遇水稳定，形成的土壤颗粒具有良好的**保肥保水能力**；被微生物分解后是植物营养源（**碳源和氮源**）；为土壤中异养微生物提供营养；促进种子萌发和根系发育，是一种植物生长激素；有利于植物体糖类合成和磷的吸收。

### • 非腐殖质的作用：

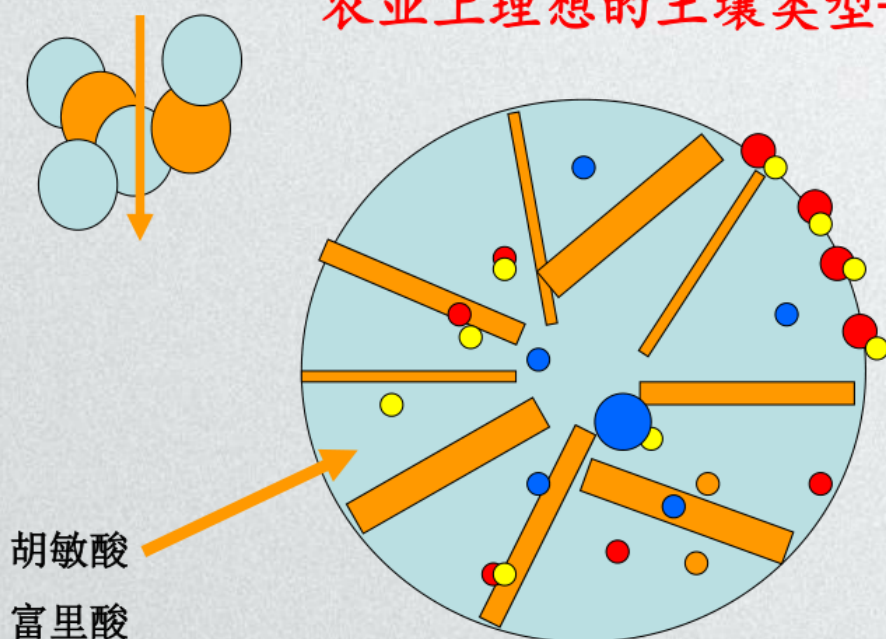
a. 植物**碳素**营养主要来源，分解后以二氧化碳进入大气，被植物利用；所以，可补充大气二氧化碳。（森林是一个碳库）

b. 植物**氮素**重要来源，分解产物是氨基酸和酰胺，可溶于水直接被植物利用；1/3不溶于水的含氮化合物，经过转化为有效氮后，才被利用。

c. 其他**矿质元素**来源，有机磷是植物磷素主要来源，最多的是植酸钙镁，分子式： $\text{Ca}_5\text{Mg}(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{24}\text{P}_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O})_2$ ，被根系直接吸收。

## 腐殖质的作用结果——形成“团粒结构”土壤

### 农业上理想的土壤类型——团粒结构



团粒结构（腐殖质：粘结土粒形成的0.25-10mm的小团块）

讨论：为什么说团粒结构土壤是理想的高产土壤？



## 土壤矿质元素

除碳、氢、氧以外，植物所需的全部元素均来自土壤矿物质和有机质的矿物分解。

土壤的无机元素影响动物的生长、分布和数量。



### (三) 土壤中的(微小)生物

- 土壤中活的有机体，我们把生活在土壤中的**微生物**（细菌、放线菌、真菌、粘菌）、**动物**（原生动物和无脊椎动物）和**植物**（蓝藻、藻类）等总称为土壤生物(soil organism)。
- 土壤酶（胞内酶、游离态酶）。
- **土壤生物**参与岩石的风化和原始土壤的生成，对土壤的生长发育、土壤肥力的形成和演变，以及高等植物营养供应状况有重要作用。土壤物理性质、化学性质和农业技术措施，对土壤生物的生命活动有很大影响。



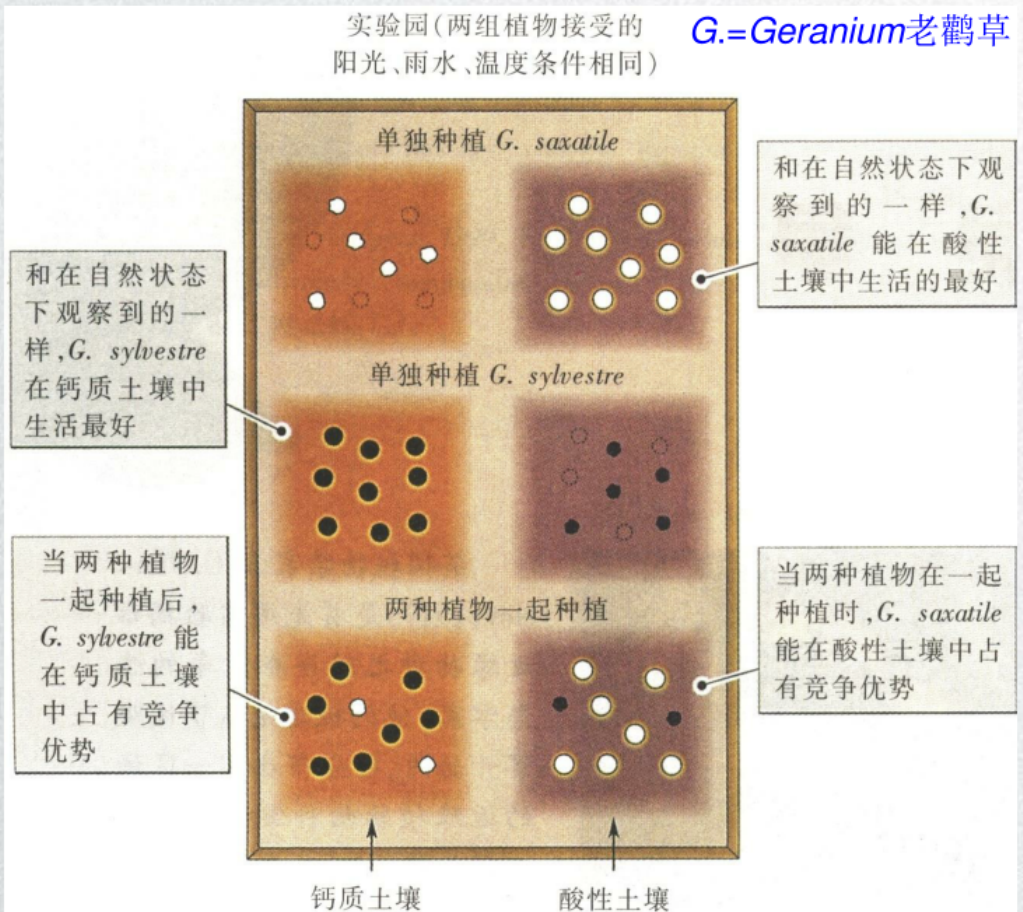
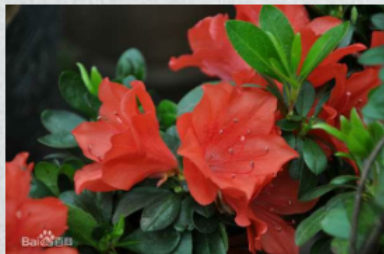
## (四) 植物对土壤的适应

酸碱指示植物

喜钙植物

盐碱土植物

沙生植物



### 锄地对庄稼有什么益处?

- 疏松透气, 有利根系和微小生物呼吸, 保肥
- 保墒
- 保温
- 减少杂草竞争
- 有利根系向下生长
- 改变土层结构

现在是“懒人”种地时代, 实行机械化、集约化和“科学化”种植, 传统的“精耕细作”的农业方式再也不会出现了, 所以土壤肥力在退化, 庄稼和杂草都在适应新环境。



## (五) 物质循环 (生物地化循环)

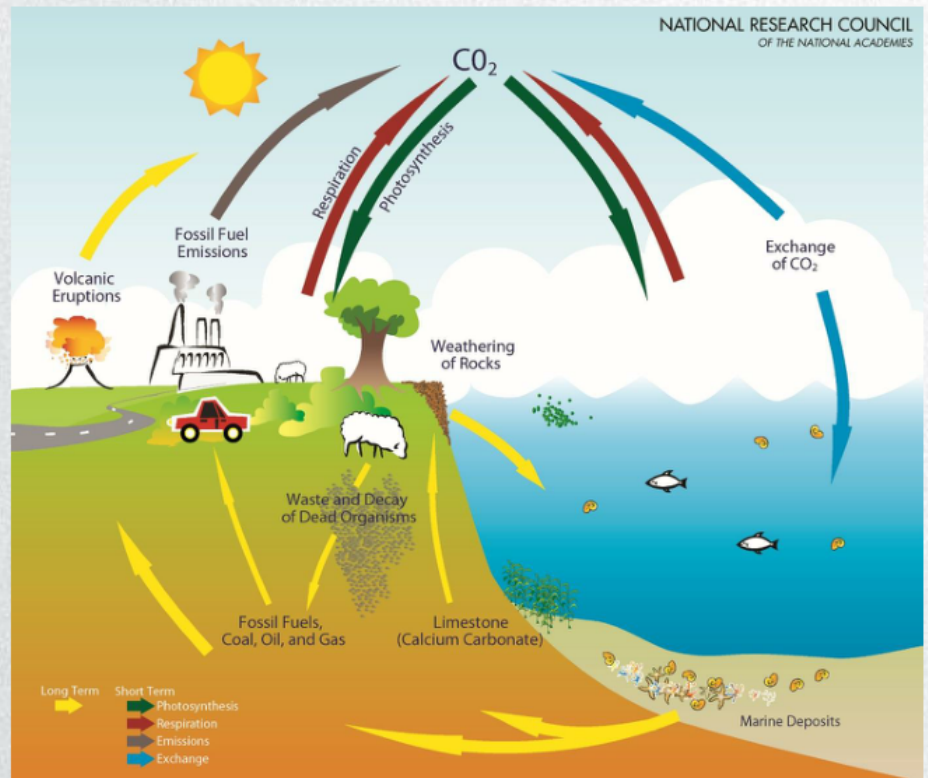
- 水循环

- 气体型循环

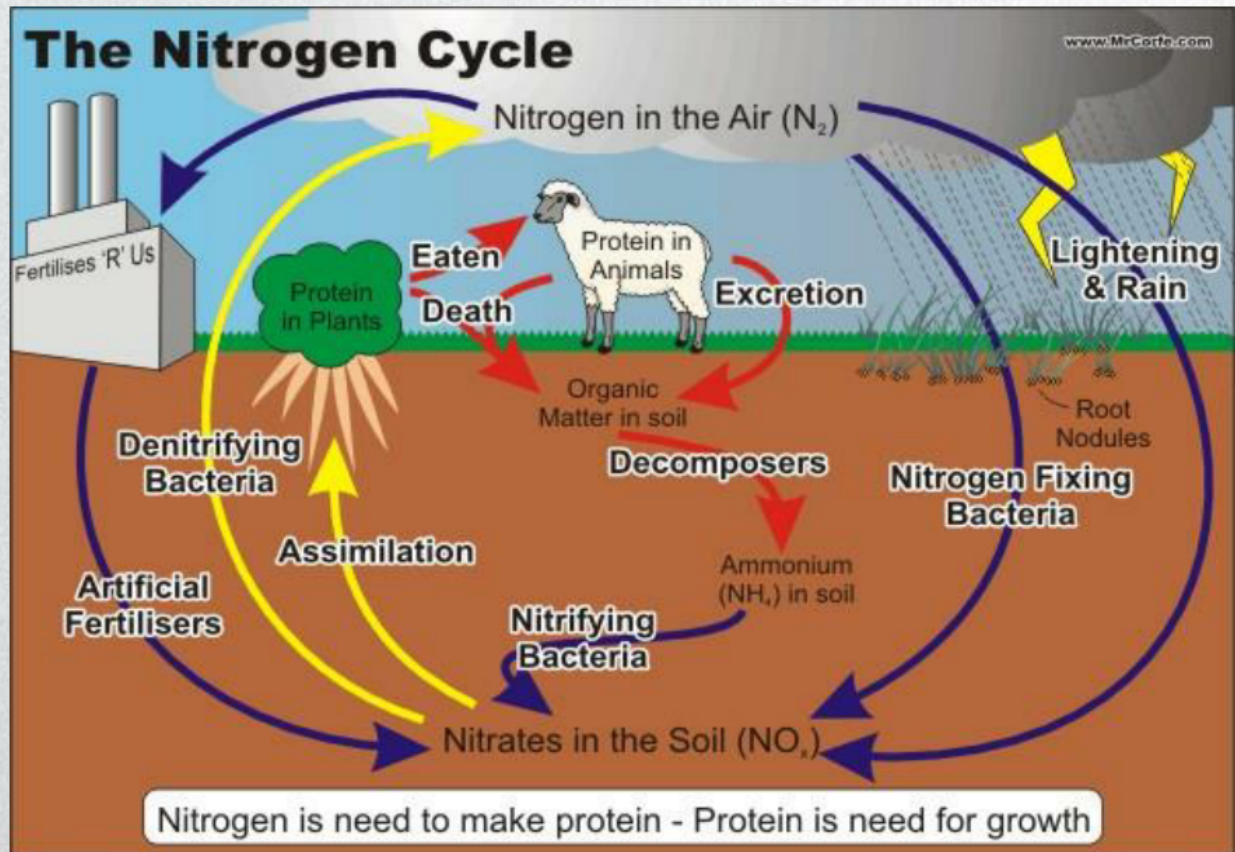
主要的贮库是大气，并在大气中以气态出现，如碳、氮等。

- 沉积型循环

主要贮库是土壤、沉积物、地壳，如磷、硫等。

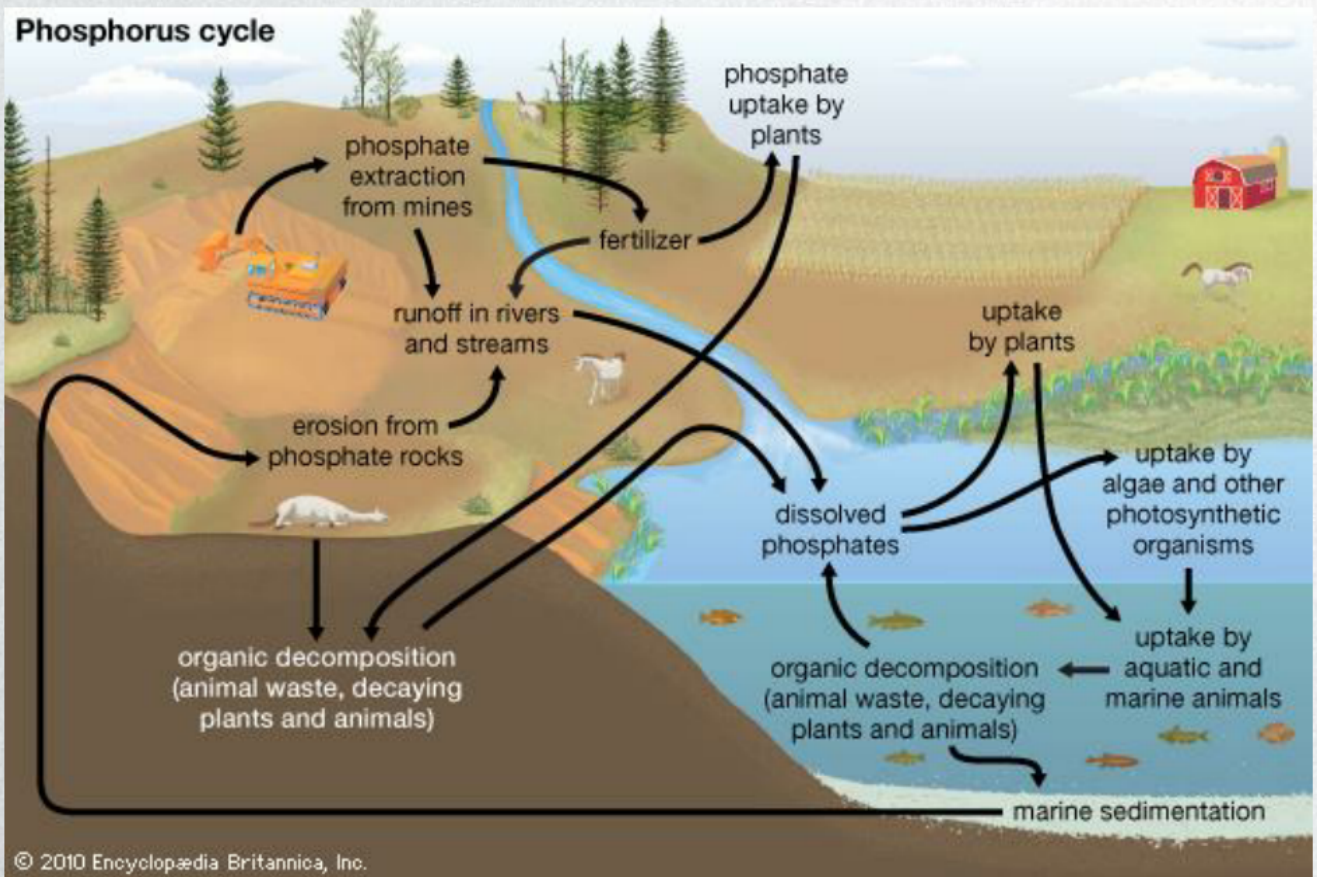


碳循环

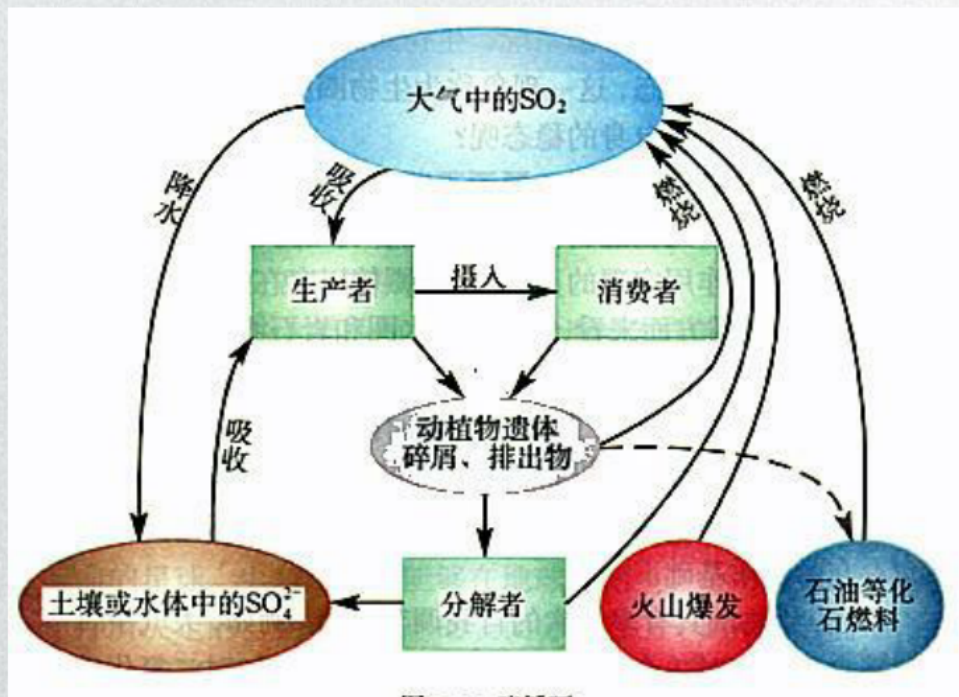


氮循环





磷循环



硫循环



## 生命的物质环境小结

- 生命的物质环境包括水、大气、土壤；
- 生命物质组成统一性（元素、氨基酸、核酸）；
- 生命体物质组成与环境是密不可分的、相互联系的一个整体；
- 生命的物质代谢（水、气、食物）途径；

物质运动：生物库 & 环境库（不同尺度）

小循环与大循环（生物地球化学循环）

- 保护生态环境的重要意义是不言而喻的。