

# 第一章 植物的水分生理











# Caused by Water



没有水就没有生命

“有收无收在于水”





# 第一章 植物的水分生理

**植物的水分代谢 (water metabolism) : 植物对水分的吸收、运输和排出过程。**

§ 植物对水分的需要

§ 植物细胞对水分的吸收

§ 根系吸水 and 水分向上运输

§ 蒸腾作用

§ 合理灌溉的生理基础



# 第一节 植物对水分的需要

一. 植物的含水量

二. 植物体内水分存在的状态

三. 水分在植物生命活动中的作用



# 一. 植物的含水量

## ➤不同植物含水量不同

水生植物 > 草本植物 > 木本植物

## ➤同一植物、不同环境

荫蔽、潮湿 > 向阳、干燥环境

## ➤同一植株中，不同器官、组织不同

根尖、幼苗和绿叶 > 树干 > 休眠芽 > 风干种子

生命活动较旺盛的部分，水分含量较多。



## 二. 植物体内水分存在的状态

**束缚水：**

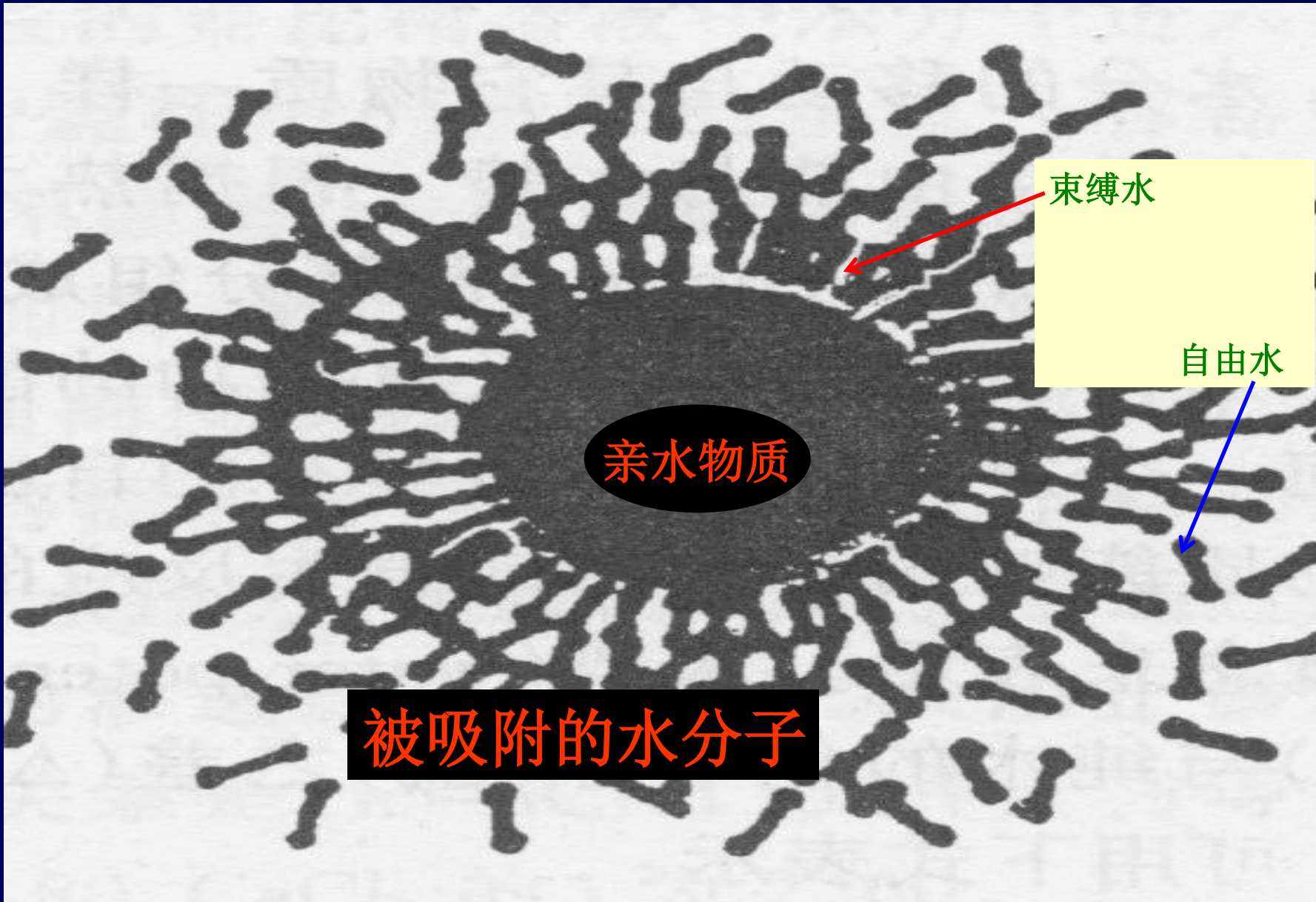
与细胞组分紧密结合而不能自由流动的水分；

**自由水：**

未与细胞组分相结合可以自由流动的水分。

自由水/束缚水：比值大，参与各种代谢作用；反之，与植物抗性密切关系。





亲水物质

束缚水

自由水

被吸附的水分子

束缚水与自由水



### 三. 水分在植物生命活动中的作用

- 水分是细胞质的主要成分
- 水分是代谢作用过程的反应物质
- 水分是植物对物质吸收和运输的溶剂
- 水分能保持植物的固有姿态
- 水的某些理化性质有利于植物生命活动进行。如高比热和汽化热，有利于调节植物体的温度。

# 第二节 植物细胞对水分的吸收

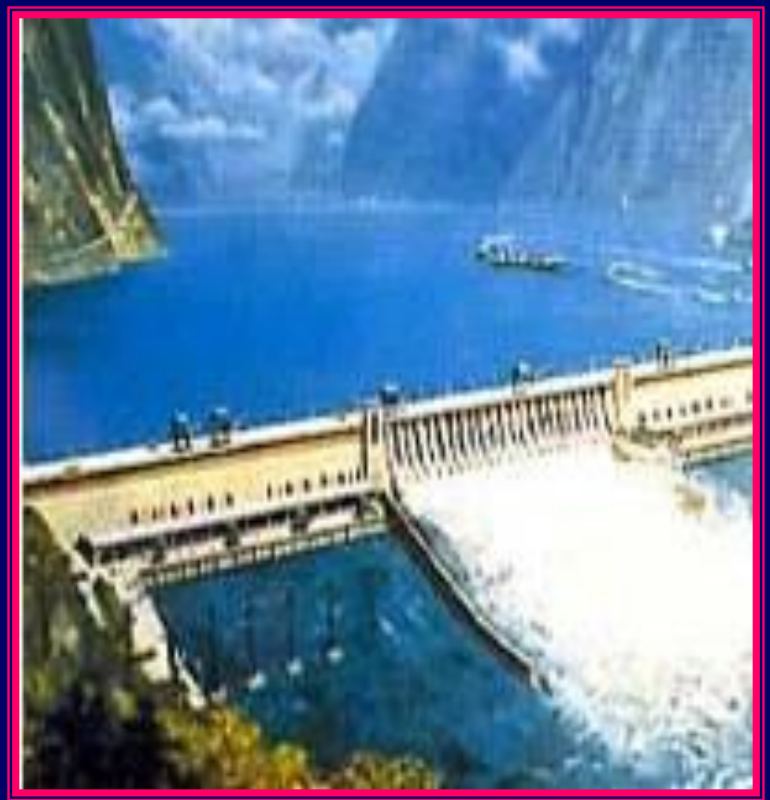
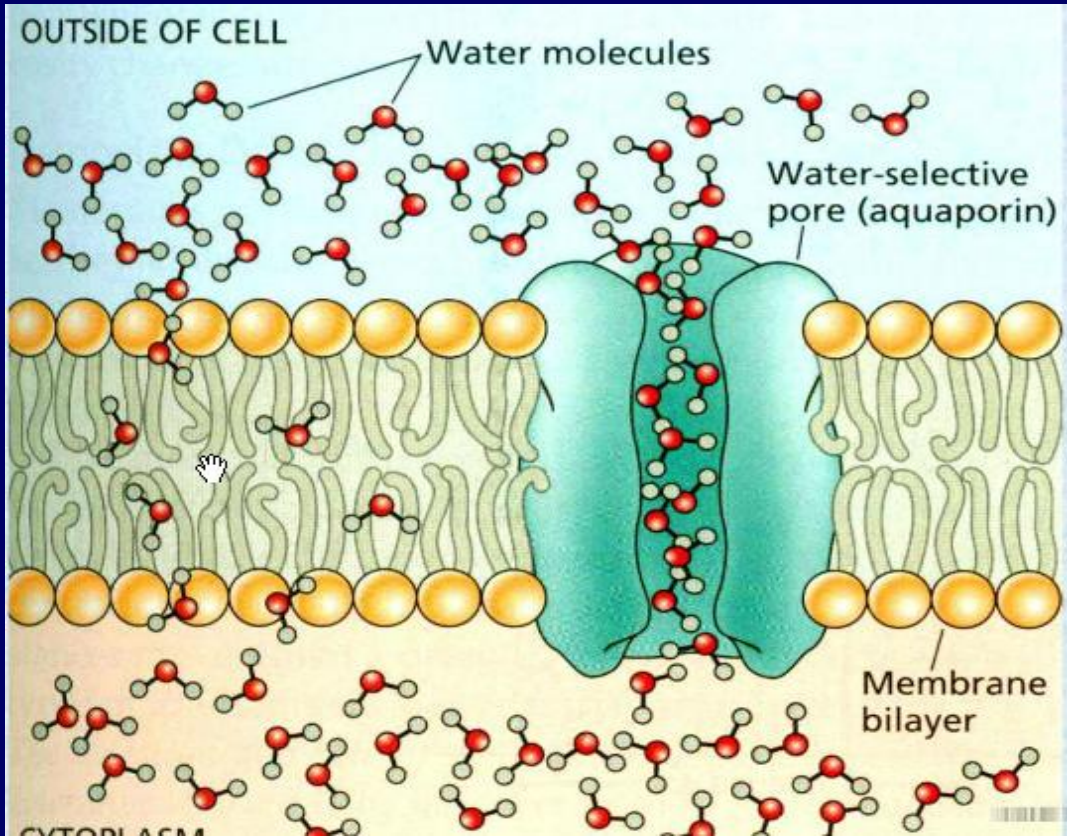
- 一. 水分跨膜运输的途径
- 二. 水分跨膜运输的原理
- 三. 细胞间的水分移动

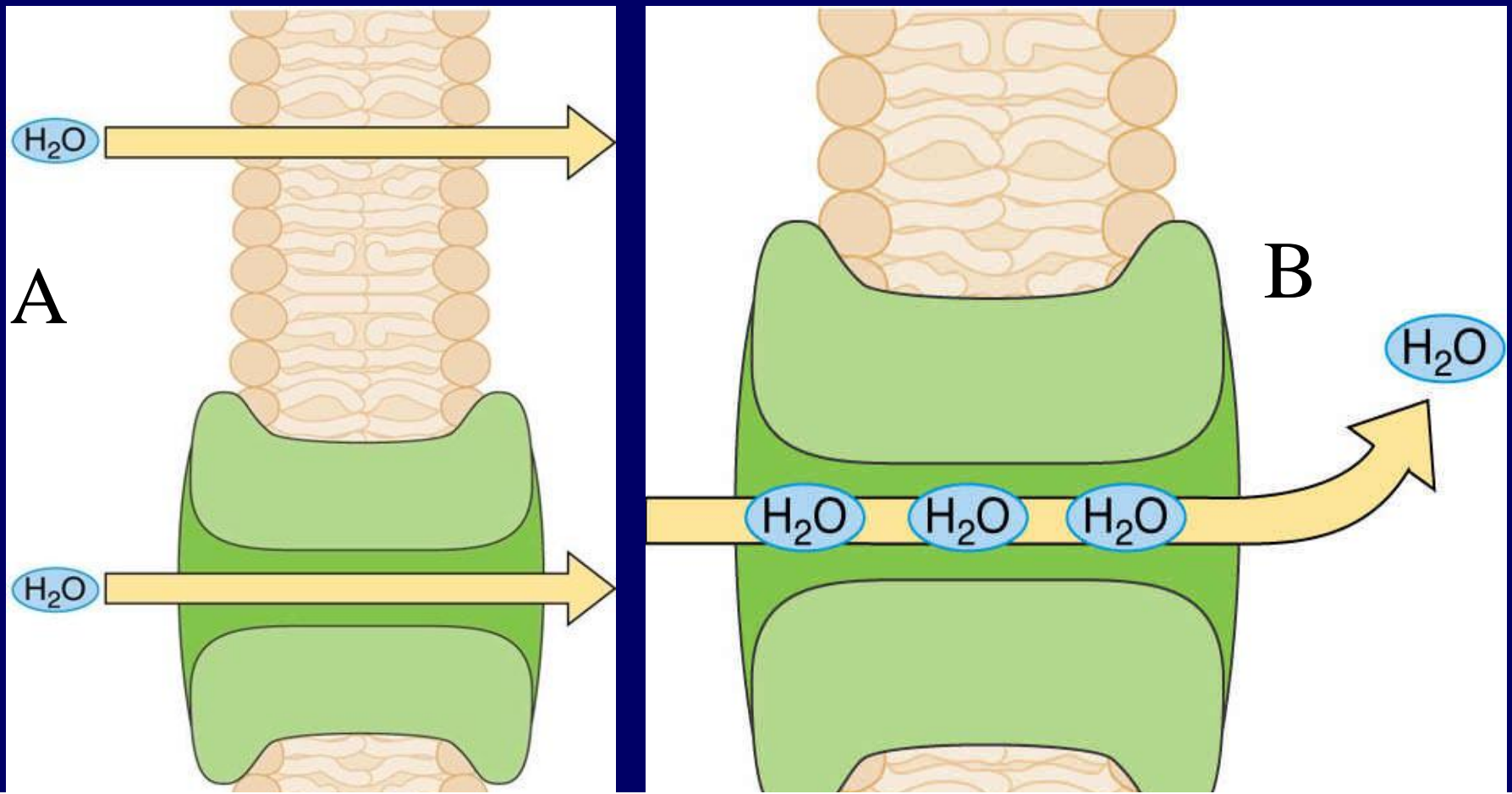


# 一. 水分跨膜运输的途径

水分跨膜运输的途径有2种：

- 单个水分子通过膜脂双分子层的间隙进入细胞
- 水集流通过质膜上水孔蛋白组成的水通道进入细胞

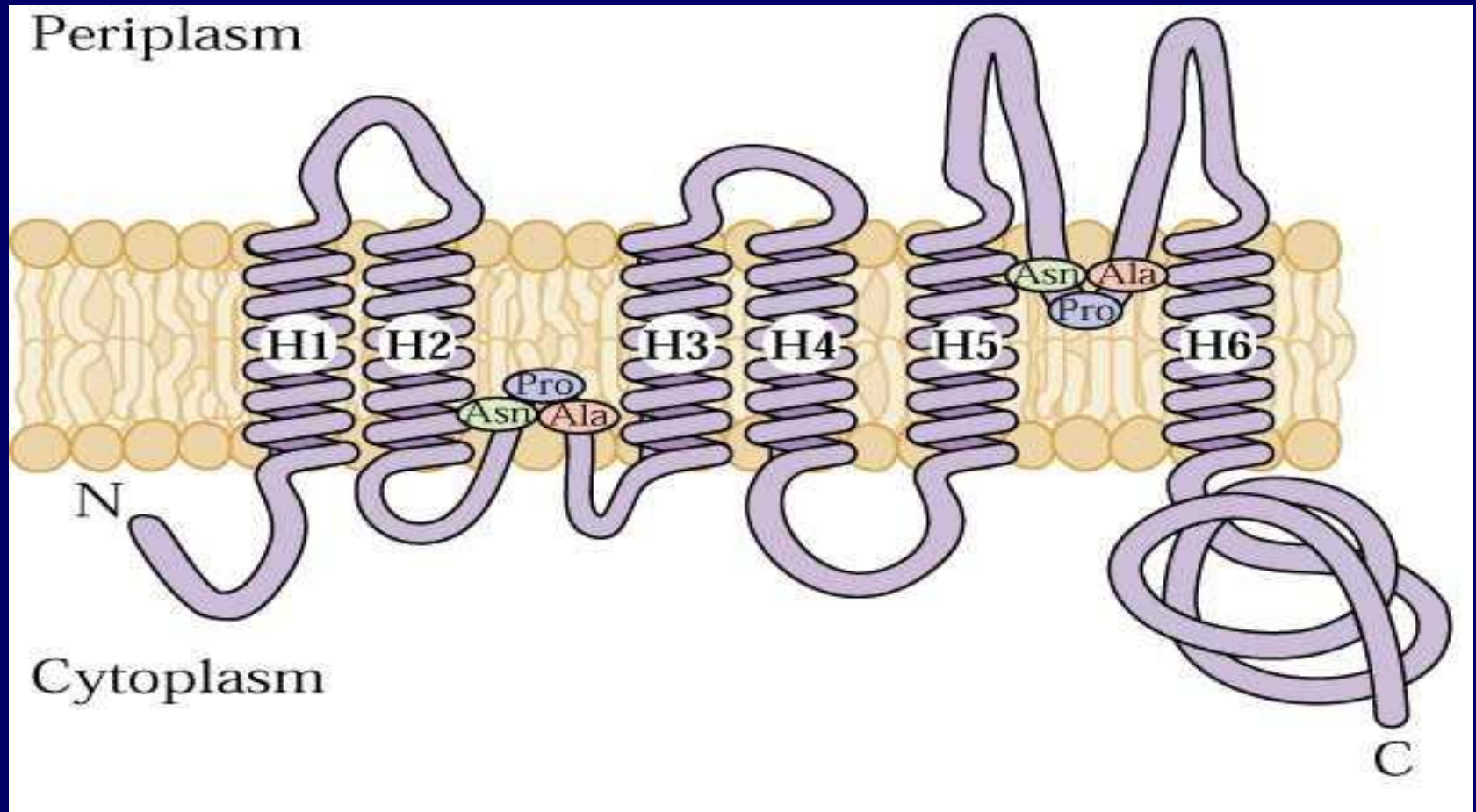




**水孔蛋白(aquaporins; AQPs)**: 或称水分子通道 (**water channel**), 是一类具有选择性地、高效转运水分的膜整合蛋白。不具有“**水泵**”功能, 通过**减小**水分越膜运动的**阻力**而使细胞间的水分迁移速度加快。



# 水孔蛋白 (aquaporins, AQPS)



6个跨膜螺旋与两个保留的NPA (Asn-Pro-Ala) 残基的水孔蛋白的结构

- 水孔蛋白广泛分布于植物各个组织，其功能依存在部位不同而有所不同。
- 分子量为25~30 KDa 膜整合蛋白；具有选择性、高效性
- 水孔蛋白只允许水分子通过，不允许离子和代谢物通过，半径大于水分子（0.15nm），小于最小溶质分子半径0.2nm。
- 水孔蛋白的活化依靠磷酸化和脱磷酸化作用调节。如依赖 $\text{Ca}^{2+}$ 的蛋白激酶可使其丝氨酸残基磷酸化，水孔蛋白的水通道加宽，水集流通过量增加。如除去此磷酸基团，则水通道变窄，水集流通过量减少。



# 二. 水分跨膜运输的原理

## (一) 自由能和水势

物质能量 { 束缚能 (bound energy) 不能用于做功的能量

自由能 (free energy) 恒温、恒压条件下做功的能量。

## ➤ 化学势 (chemical potential, $\mu$ )

- 指1摩尔物质所具有的自由能。用希腊字母  $\mu$  表示。
- 用来衡量物质反应或做功所用能量。



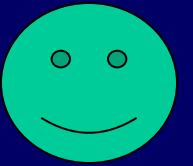
## ➤ 水势(water potential)

- 由自由能和化学势引伸而来。
- 在恒温、恒压下，1偏摩尔容积的水与纯水之间的化学势差。
- 可理解为水流的趋势，是推动水分移动的程度因素。

➤ 任何含水体系的水势，要受到能改变水自由能的诸多因素（如溶质、压力）的影响，使体系的水势有所增减。如溶于水的溶质能降低体系的自由能，使水势降低。

➤ 纯水即“无牵无挂”，故所含自由能最高，水势最高。当纯水中溶有任何物质时，由于溶质与水分子相互作用，消耗了部分自由能，所以溶液的水势比纯水低，水势即低。

◆ 纯水的水势定为零，溶液的水势就成负值。



## 几种常见化合物水溶液的水势范围

溶液	水势/MPa
纯水	0
Hoagland营养液	-0.05
海水	-2.50
1mol/L 蔗糖	-2.69
1mol/L KCl	-4.50



# 水势单位

帕 (Pa)、巴 (bar)、大气压 (atm)。

兆帕 (MPa)     $1\text{Mpa}=10^6\text{Pa}$

$1\text{bar}(\text{巴})=0.1\text{MPa}=0.987\text{atm}(\text{大气压})$

$1\text{标准atm}=1.013\times 10^5\text{Pa}=1.013\text{bar}$

# (二) 渗透现象

实验开始时

由于渗透作用纯水通过选择透性膜向糖溶液移动，使糖溶液液面上升

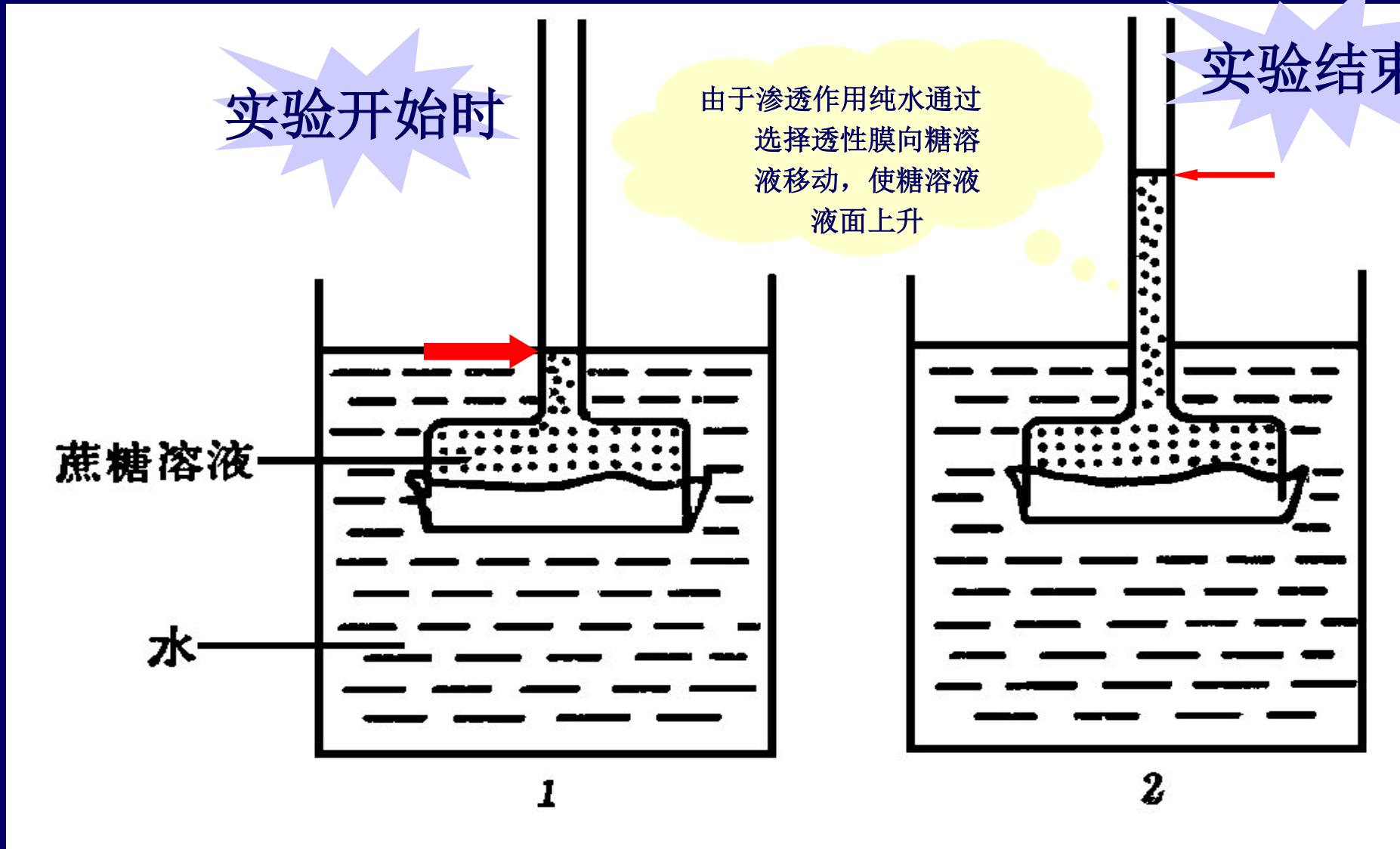
实验结束

蔗糖溶液

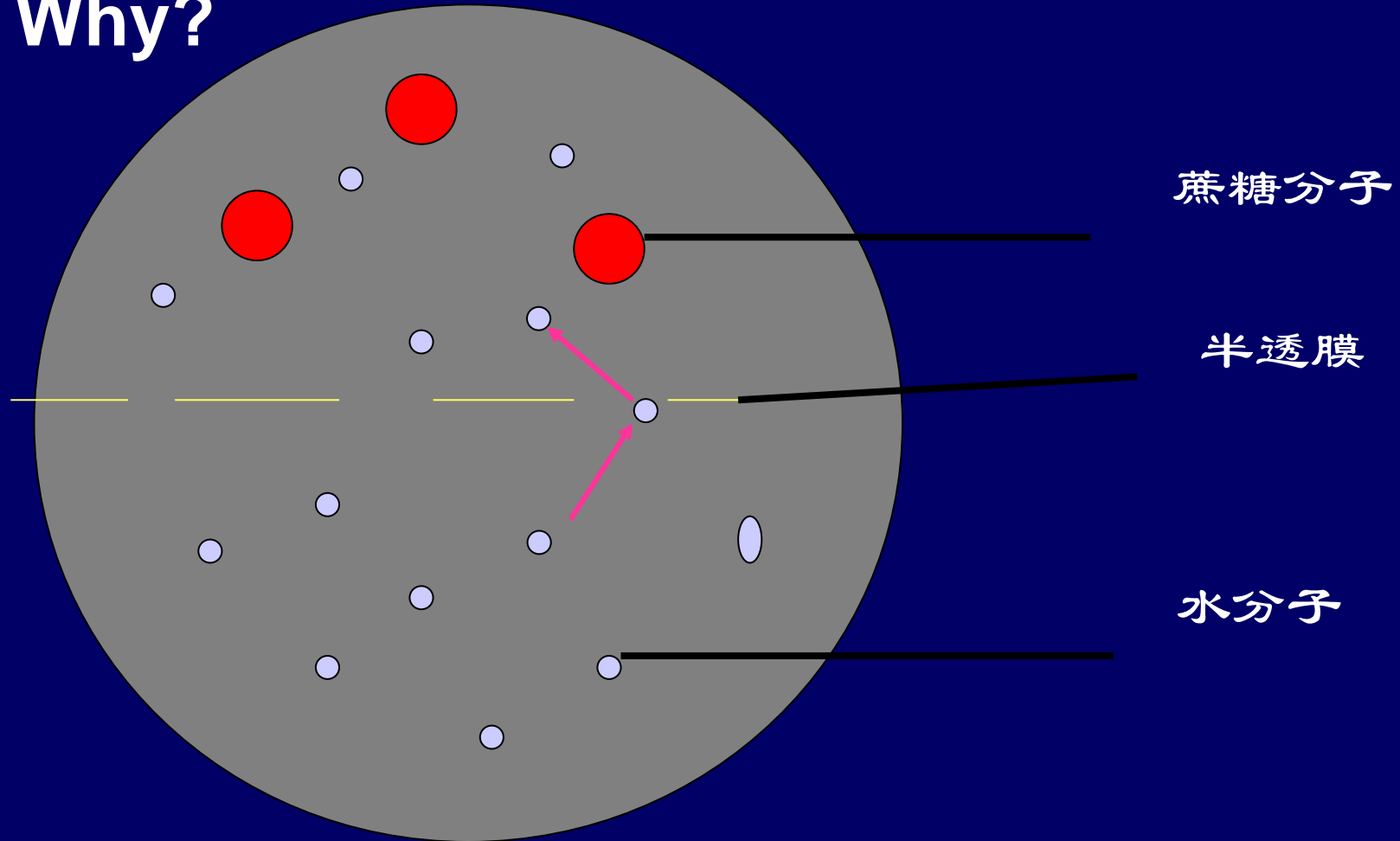
水

1

2



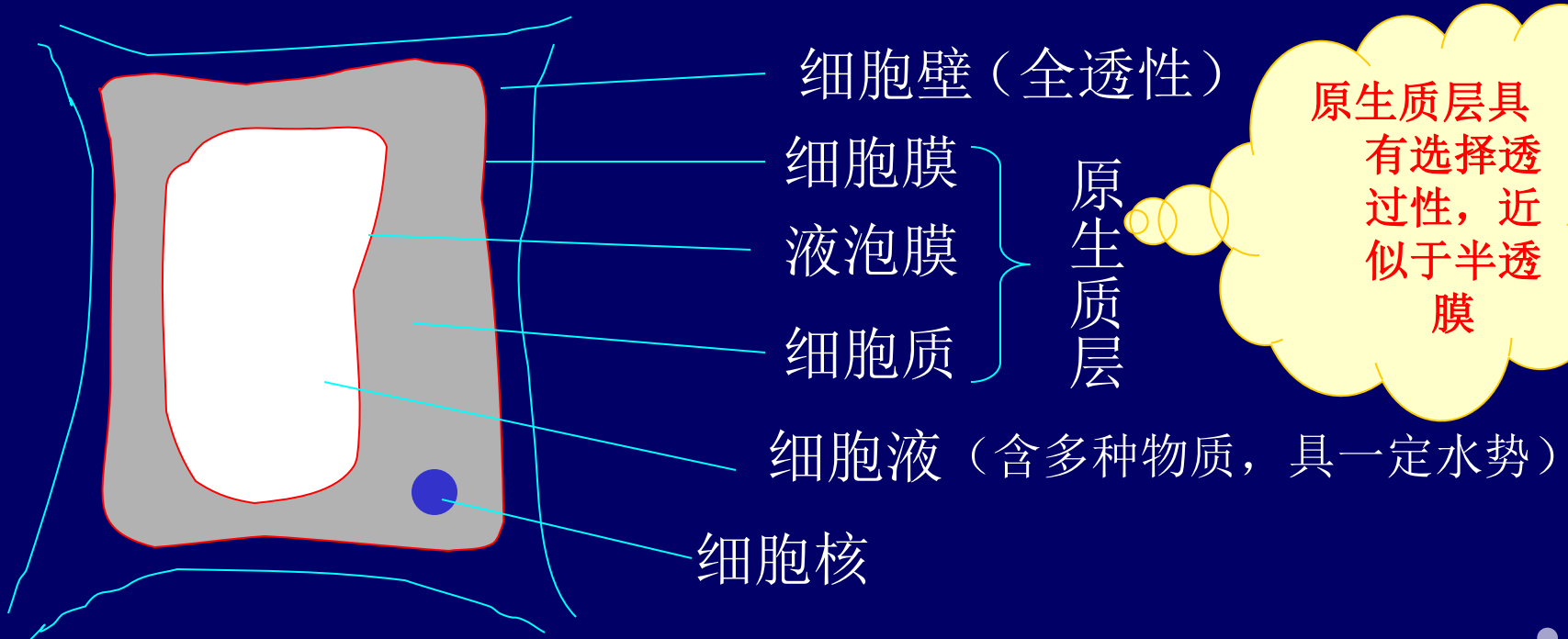
# Why?



渗透作用(osmosis): 水分从水势高的系统通过半透膜向水势低的系统移动的现象。水势差



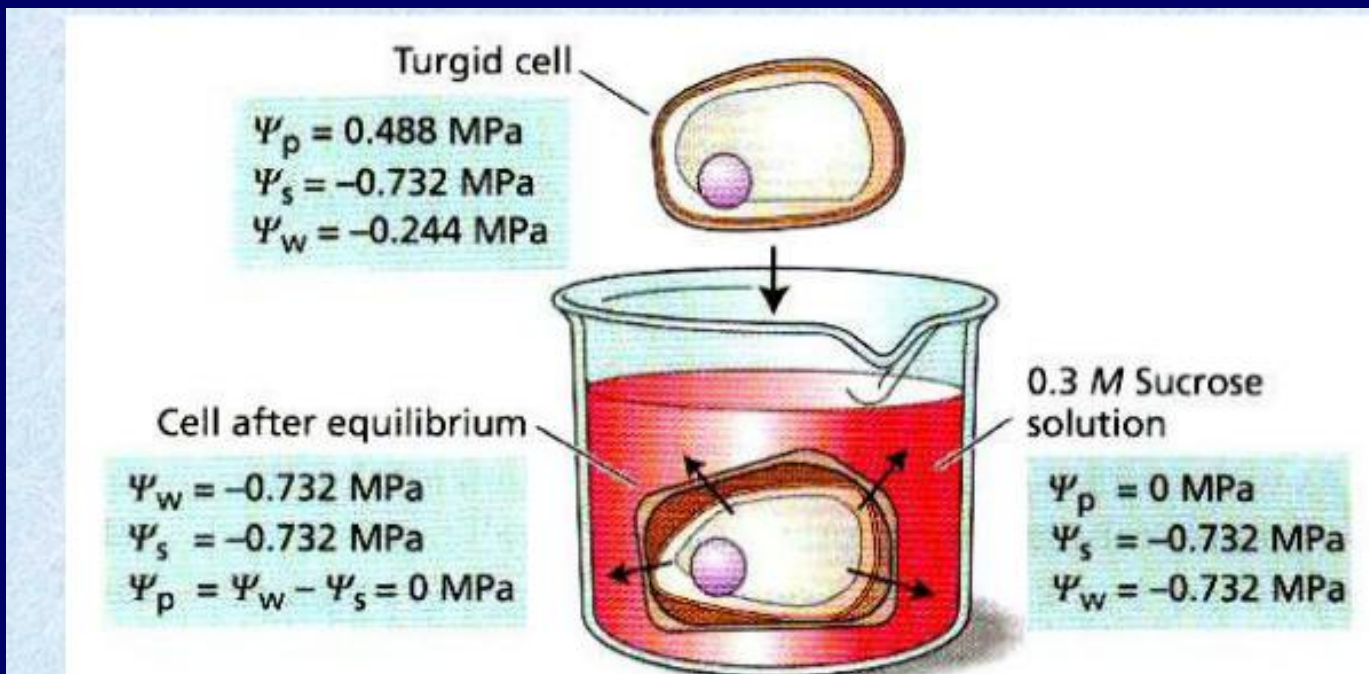
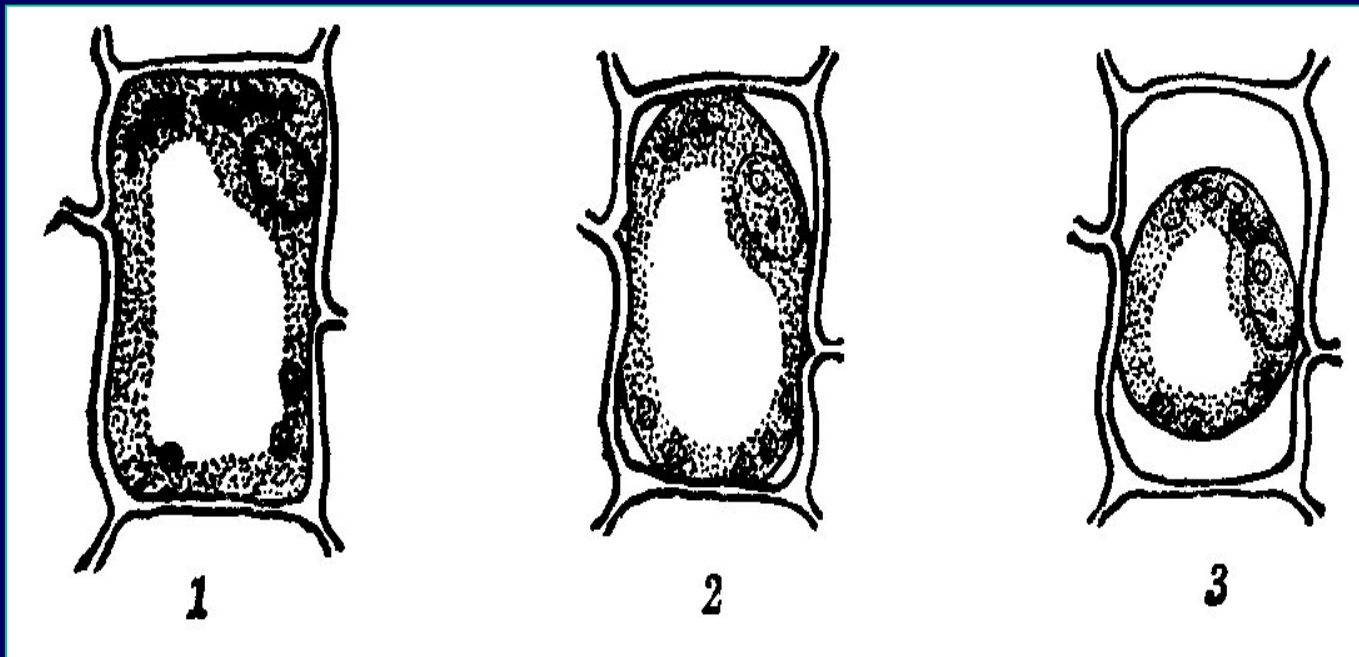
### (三) 植物细胞可以构成一个渗透系统



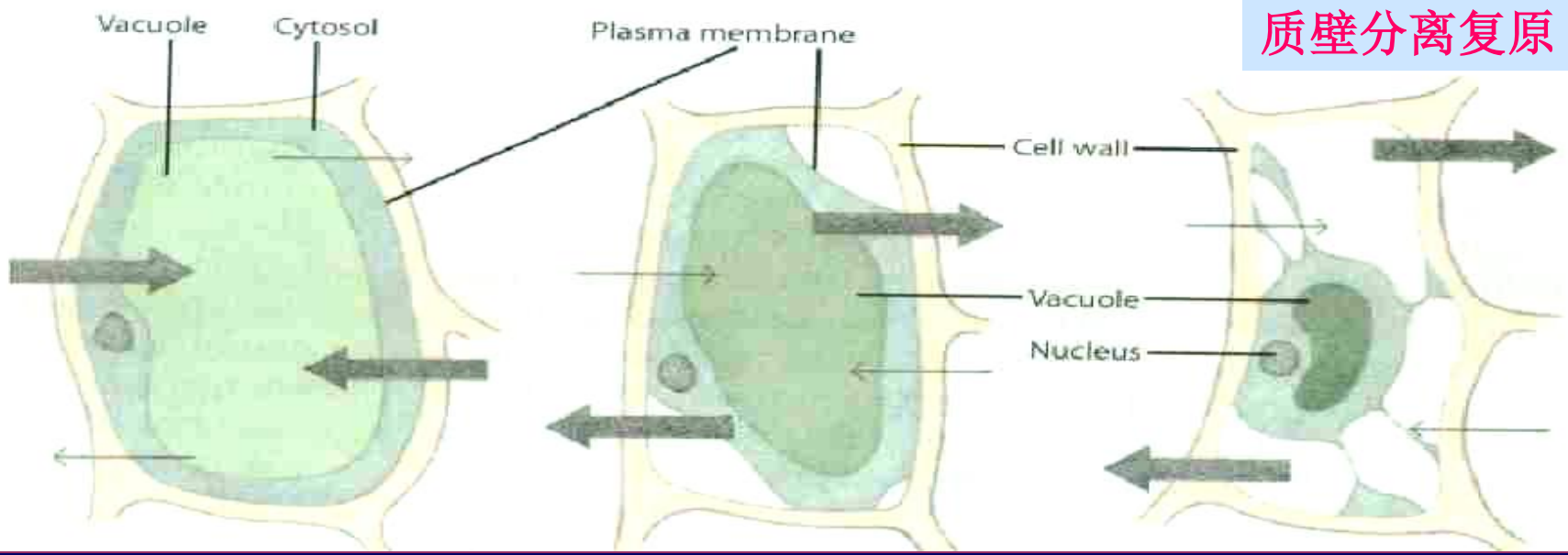
细胞液与环境中的溶液之间, 会发生渗透作用

一个具有液泡的植物细胞, 与周围溶液一起, 构成一个渗透系统

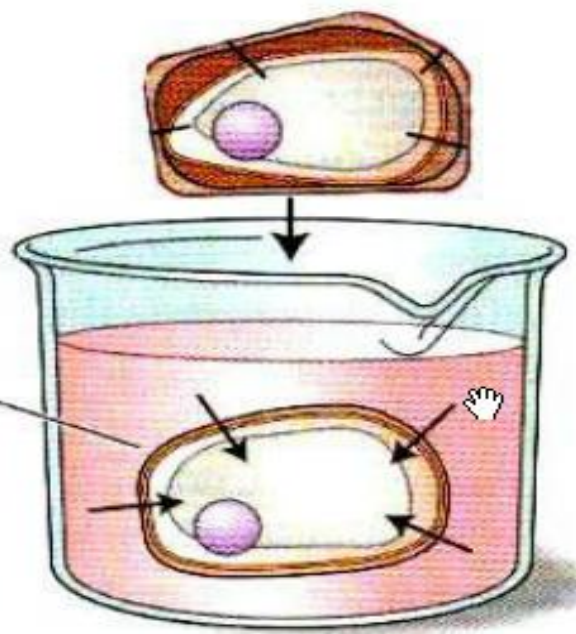
# 质壁分离



# 质壁分离复原



$\Psi_w = -0.732 \text{ MPa}$   
 $\Psi_s = -0.732 \text{ MPa}$   
 $\Psi_p = \Psi_w - \Psi_s = 0 \text{ MPa}$



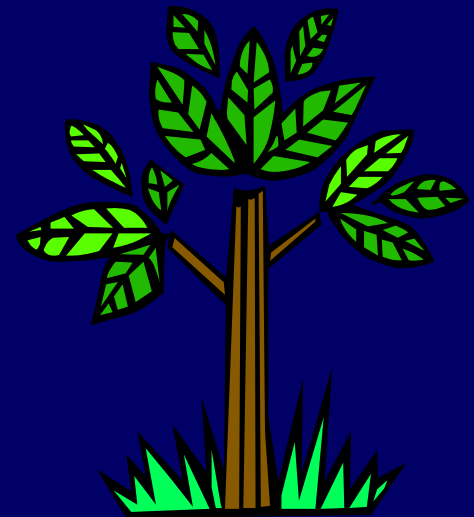
Cell after equilibrium

$\Psi_w = -0.244 \text{ MPa}$   
 $\Psi_s = -0.732 \text{ MPa}$   
 $\Psi_p = \Psi_w - \Psi_s = 0.488 \text{ MPa}$



# 质壁分离现象可以解决下列问题：

- 1、说明原生质层是半透膜
- 2、判断细胞死活
- 3、测定细胞的渗透势
- 4、观察物质通过细胞的速率



## (四) 细胞的水势

细胞吸水情况决定于细胞水势。

典型细胞水势 $\psi_w$ 是由4个势组成：

$$\psi_w = \psi_s + \psi_p + \psi_g + \psi_m$$

水  
势

渗  
透  
势

压  
力  
势

重  
力  
势

衬  
质  
势

# 概念

**渗透势 (osmotic potential)、溶质势 (solute potential),  $\psi_s$  :**

由于溶质颗粒的存在而降低了水的自由能，故水势低于纯水的水势。负值。



# 压力势 (pressure potential) $\psi_p$

概念

- 细胞的原生质体吸水膨胀，对细胞壁产生一种作用力（膨压），引起细胞壁产生一种限制原生质体膨胀的反作用力。
- 压力势：由于膨压和细胞壁压力的存在而增加水势的值。是正值。

## 重力势 (gravity potential) $\psi_g$

➤ 压力势：水分由于重力下移与相反力量相等时的力量，增加水的自由能，提高水势的值。是正值。

➤ 与水的高度、密度和重力加速度有关。

$\psi_g = \rho_w gh$ ，当水高1m时， $\psi_g$ 为0.01MPa，且水分在细胞水平移动，与渗透势和压力势相比，重力势通常忽略不计。

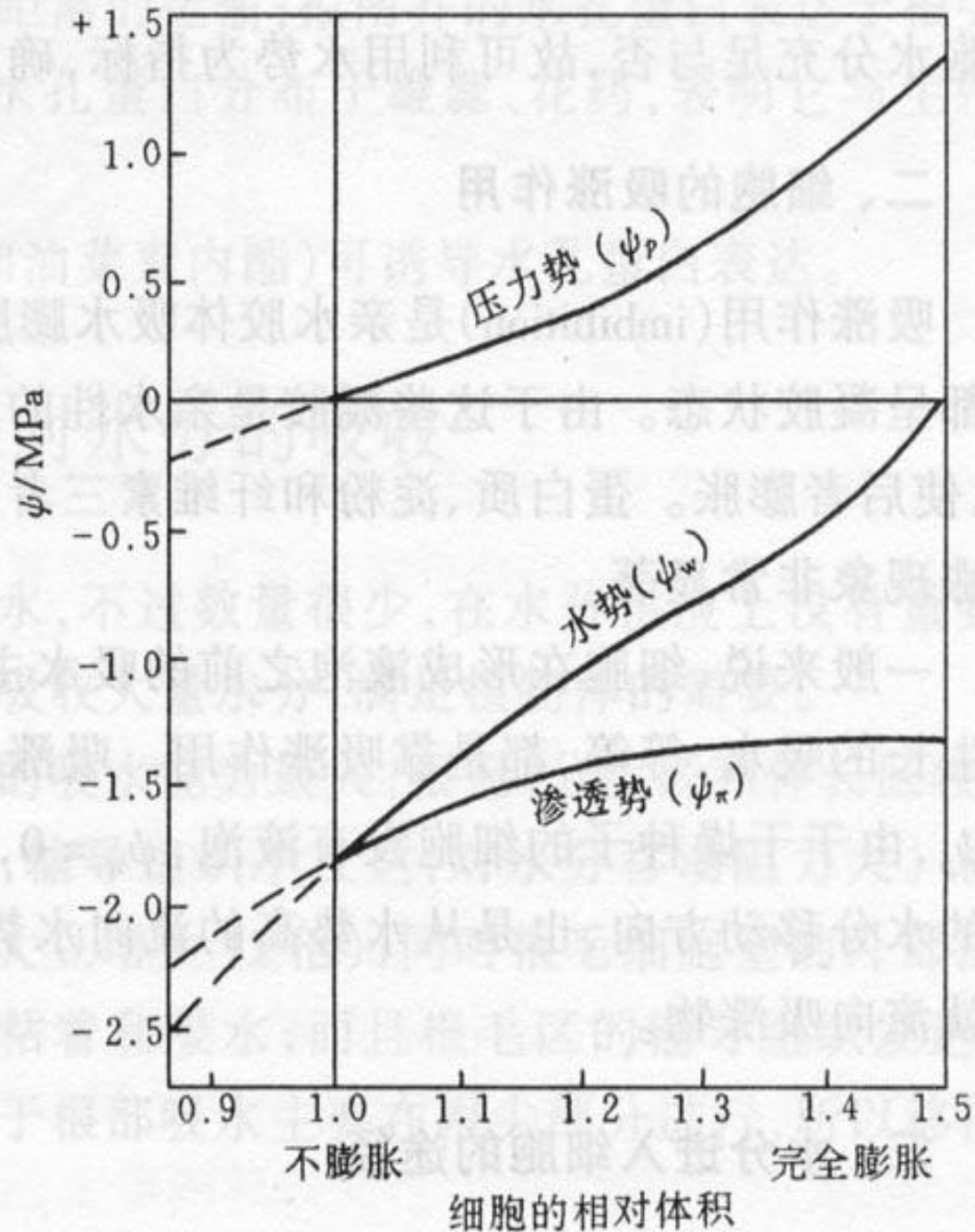
# 衬质势(matric potential) $\psi_m$

- 细胞胶体物质如蛋白质、纤维素等的亲水性和毛细管对自由水束缚而引起水势降低的值，是负值。
- 未形成液泡的细胞具有较低的 $\psi_m$ ，已形成液泡的细胞  $\psi_s$  与  $\psi_m$  难以区别，且值微小，可忽略。



$$\psi_W = \psi_S + \psi_P$$

$$+ \psi_G + \psi_M$$



细胞初始质壁分离时:

$$\psi_p = 0, \psi_w = \psi_s$$

充分饱和的细胞:

$$\psi_w = 0, \psi_s = -\psi_p$$

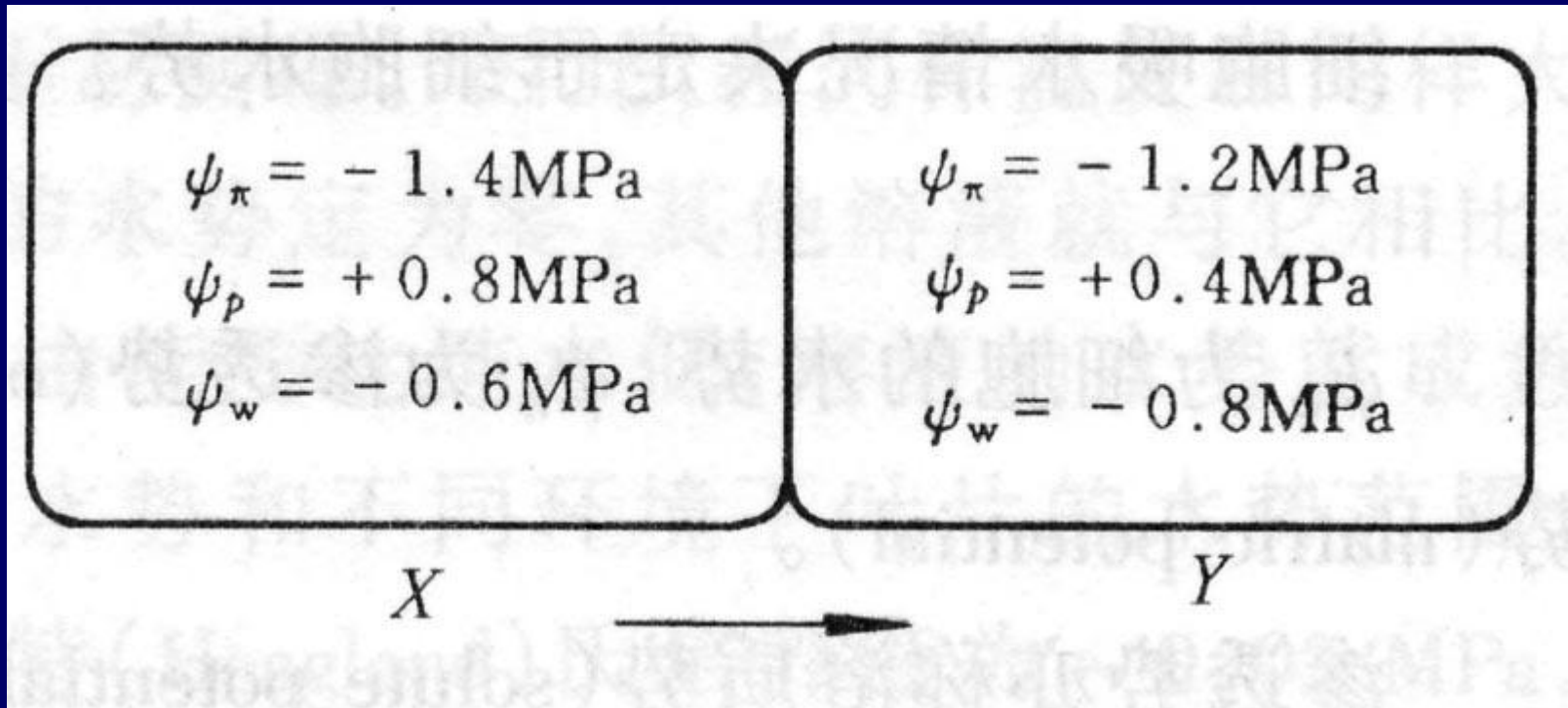
蒸腾剧烈时:

$$\psi_p < 0, \psi_w < \psi_s$$

植物细胞的相对体积变化与水势( $\psi_w$ )渗透势( $\psi_s$ )和压力势( $\psi_p$ )之间的关系图解

### 三. 细胞间的水分移动

➤ 相邻两细胞的水分移动方向，决定于两细胞间的水势差异。



水势高的细胞向水势低的细胞移动

# 第三节 根系吸水 and 水分向上运输

一. 土壤中的水分

二. 根系吸水

三. 水分向上运输



# 一. 土壤中的水分

- 重力水：重力作用下通过土壤颗粒间的孔隙下降的水分。下雨或充分灌溉后
- 毛细管水：存在于土壤颗粒间毛细管内的水分，是植物吸收的主要水分。
- 束缚水：土壤颗粒或土壤胶体的亲水表面所吸附的水合层，植物一般不能利用

## 二. 根系吸水

主要在根尖。包括根冠、根毛区、伸长区和分生区，根毛区的吸水能力最大。

①根毛区有许多根毛，增大了吸收面积；

②根毛细胞壁的外部由果胶质组成，粘性强，亲水性也强，有利于与土壤颗粒粘着和吸水；

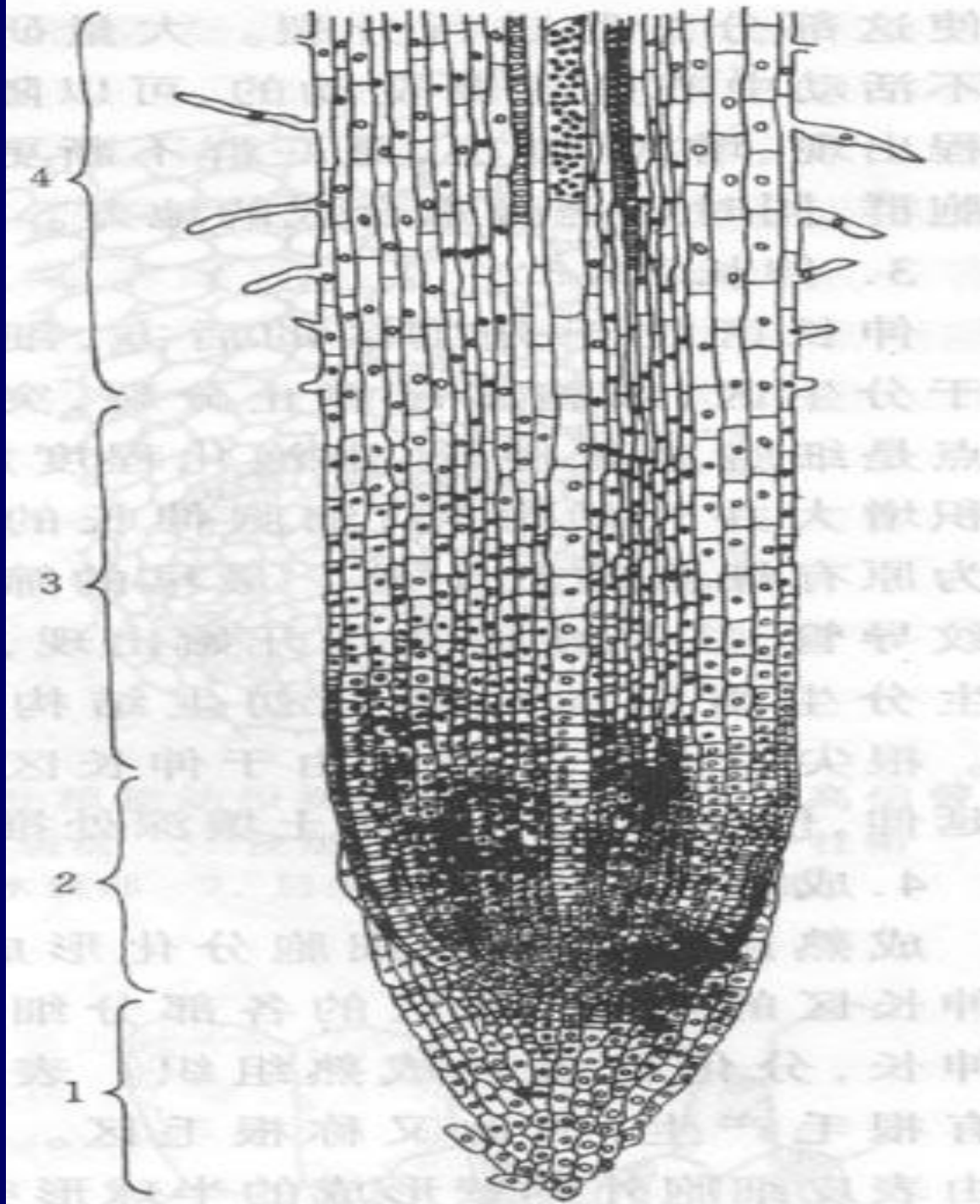
③根毛区的输导组织发达，对水分移动的阻力小。

成熟区  
(根毛区)

伸长区

分生区

根冠



根尖纵切

# （一）根系吸水的途径

- **质外体途径 (apoplast pathway)**：水分通过细胞壁、细胞间隙等没有原生质的部分移动，阻力小，移动速度快。
- **共质体途径 (symplast pathway)**：是指水分从一个细胞的细胞质经过胞间连丝，移动到另一个细胞的细胞质，形成一个细胞质的连续体。移动速度较慢。
- **跨膜途径 (transmembrane pathway)**

**内皮层细胞壁上的凯氏带，水分只能通过内皮层的原生质体**



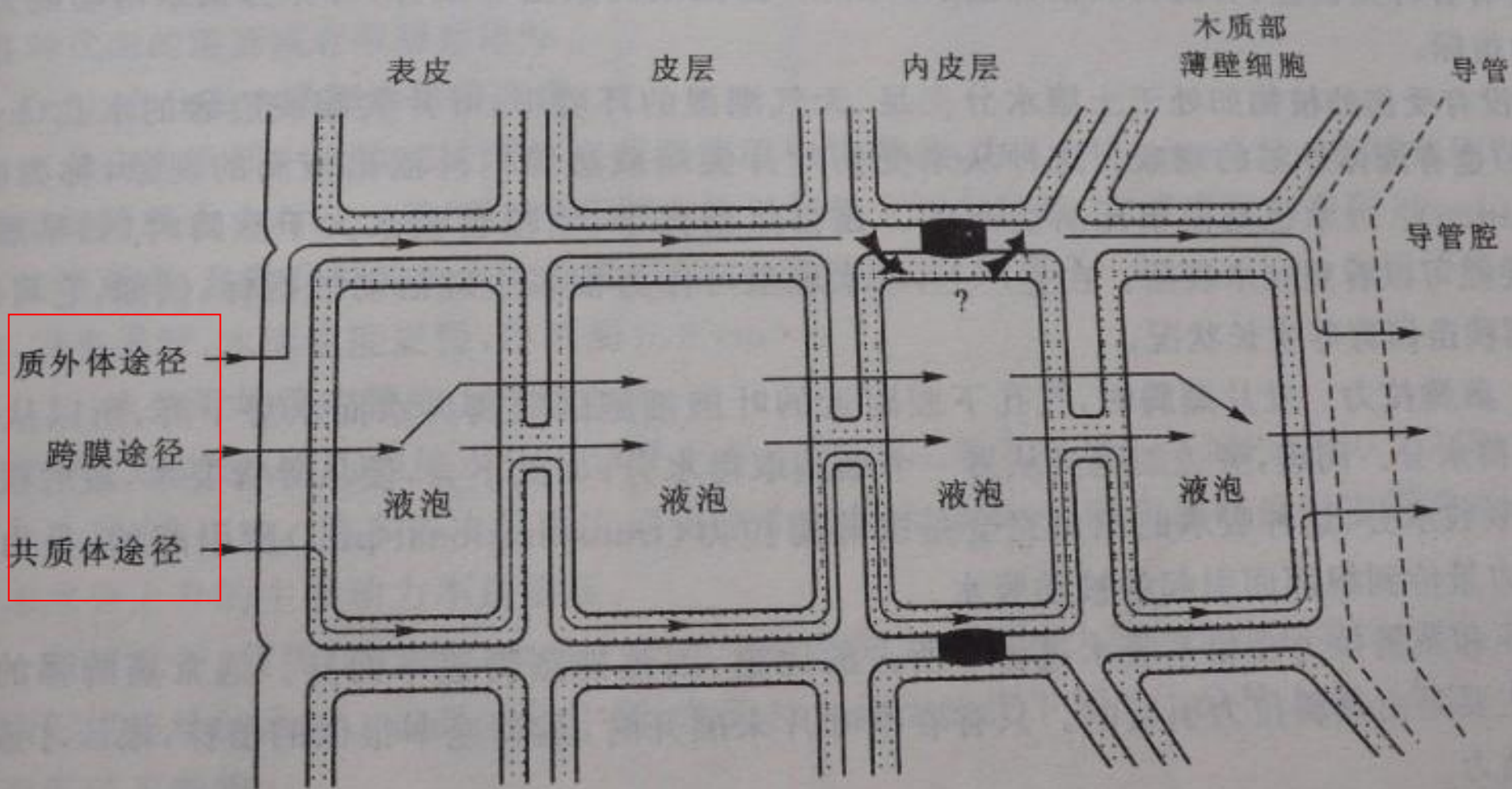
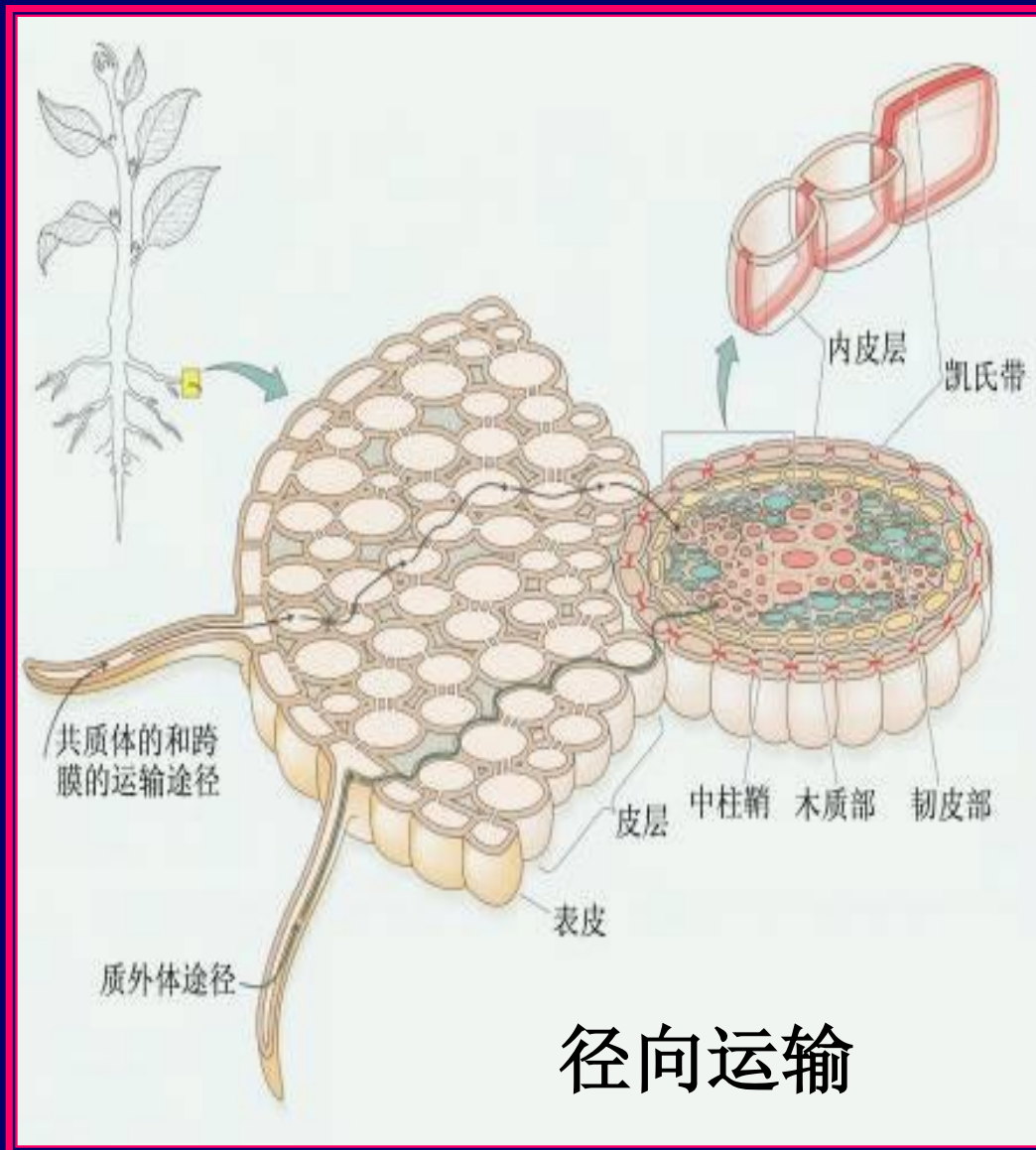
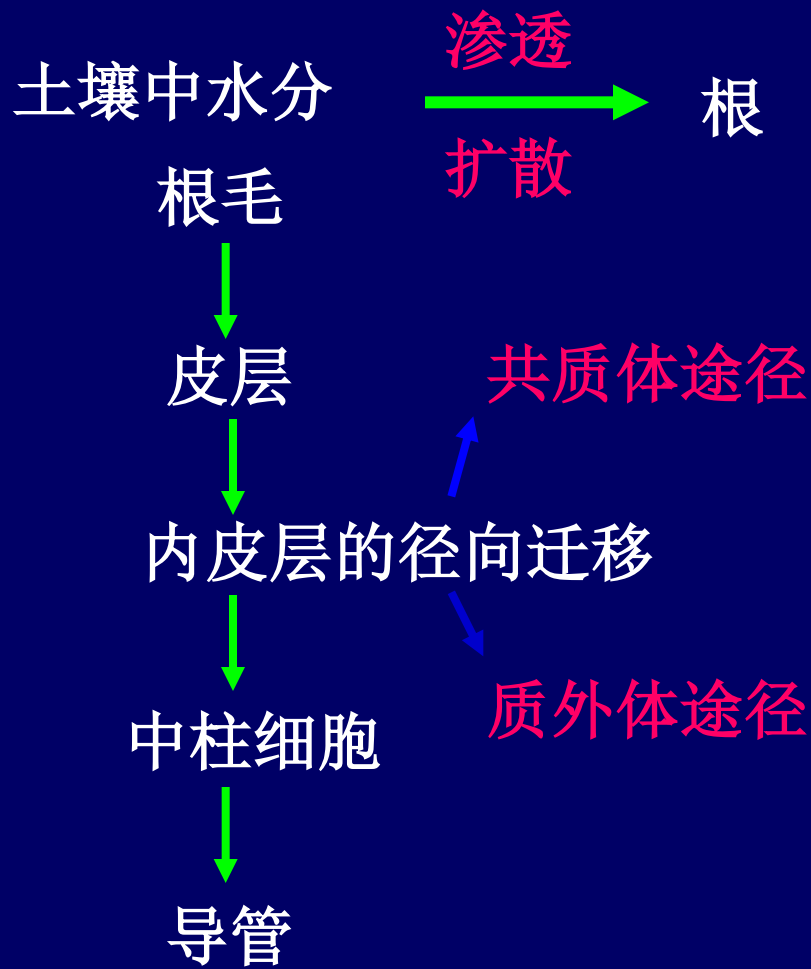


图 1-6 根部从外通过质外体、跨膜和共质体等途径吸水至木质部的图解(自 Opik 等, 2005)



## (二) 根系吸水的动力

植物根系吸水主要依靠 2 种方式：

**主动吸水：** 由根系的生理活动而引起。  
动力是根压

**被动吸水：** 由蒸腾作用所引起。  
动力是蒸腾拉力

主要方式

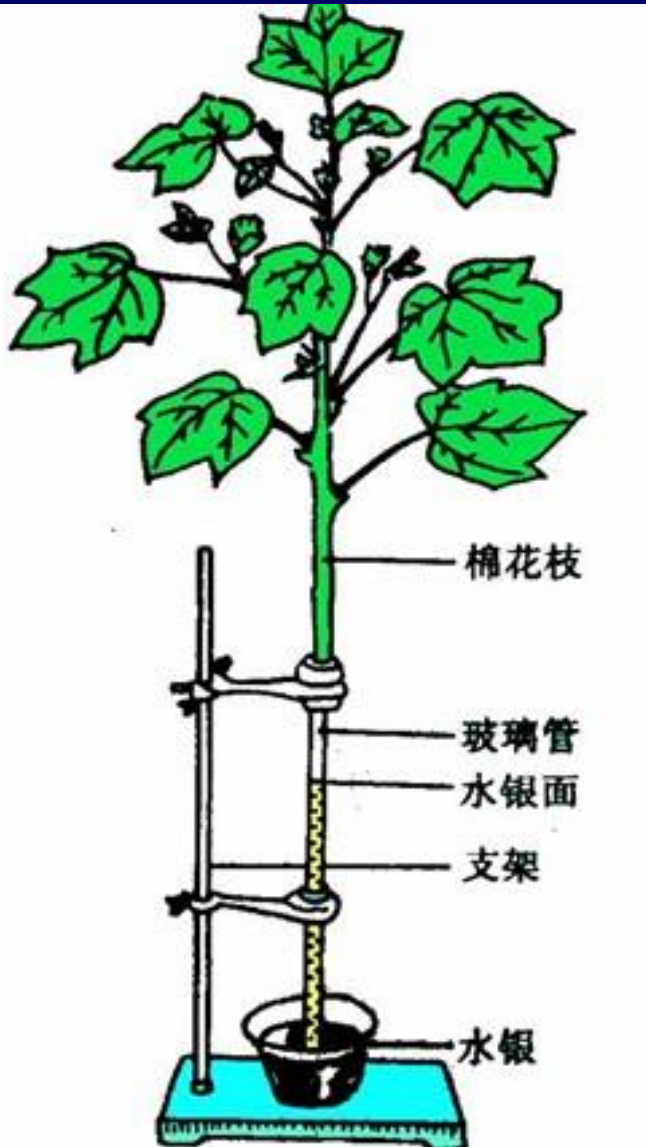
# 1. 根压 (root pressure)

概念

- 根压：植物根系的生理活动使液流从根部上升的压力。
- 根压把根部的水分压到地上部，土壤中的水分便不断补充到根部。
- 大多数植物的根压为 **0.05-0.5 MPa**。
- 证明根压存在的两种方式：伤流、吐水



# (1) 伤流(bleeding)



伤流液的数量和成分，可作为根系活动能力强弱的指标

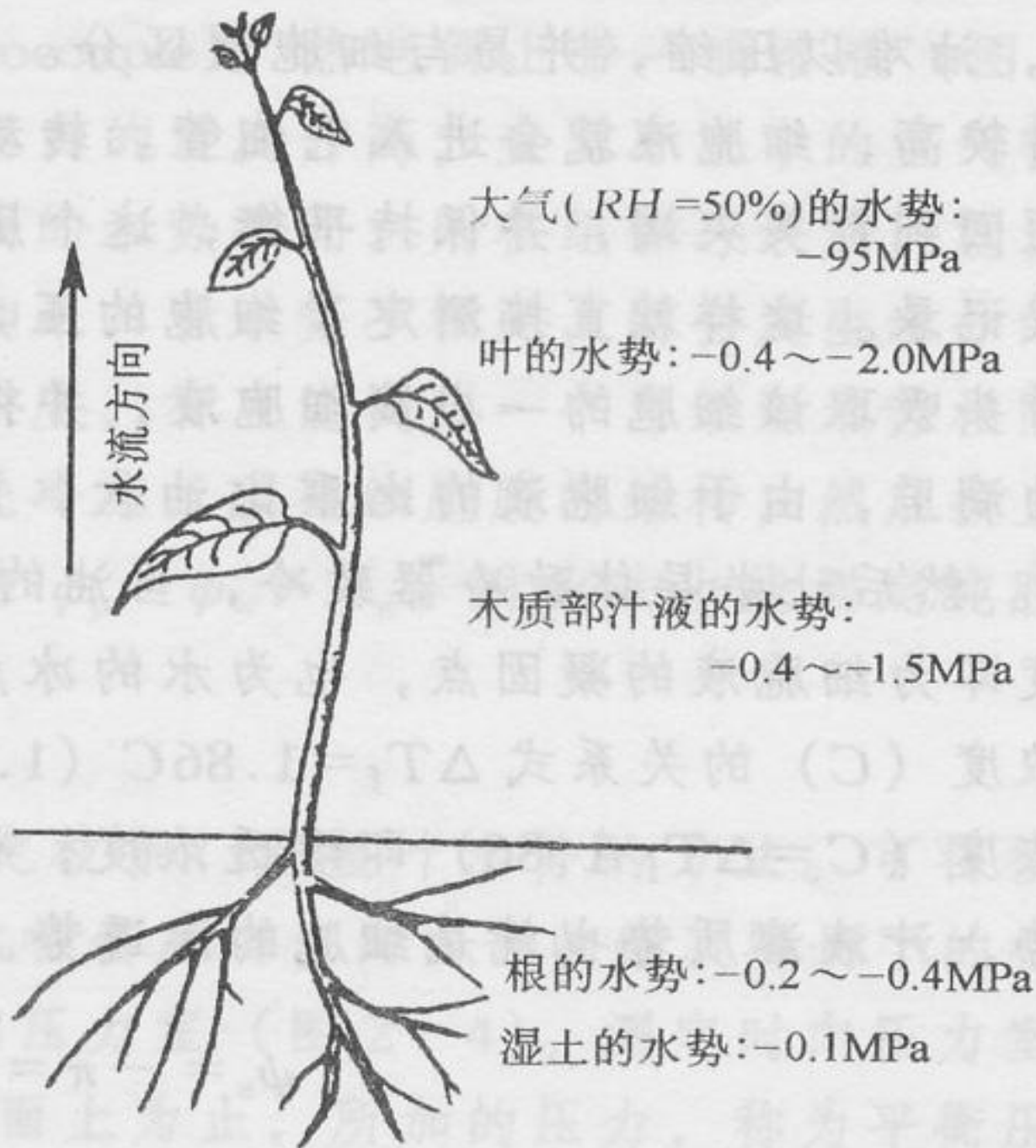
## (2) 吐水 (guttation)

没有受伤的植物如处在土壤水分充足，气温适宜，天气潮湿的环境中，叶片的尖端或边缘液体外泌的现象。



## 2. 蒸腾拉力

- 由于蒸腾作用产生的一系列水势梯度使导管中水分上升的力量。
- 由枝叶形成的力量传到根部而引起的被动吸水。



## (三) 影响根系吸水的土壤条件

### 1. 土壤中可用水分

根部吸水能力  $>$  土壤保水能力，吸水

根部吸水能力  $<$  土壤保水能力，不吸水

植物只能利用土壤中可用水分



## 2. 土壤通气状况

土壤缺氧和  
CO<sub>2</sub>浓度过高

短期内可使细胞呼吸减弱, 影响根压, 继而阻碍吸水;

时间较长则形成无氧呼吸, 产生和累积酒精, 导致根系中毒, 吸水少。

### 3. 土壤温度

低温降低根系的吸水速率：

- ① 水分本身的黏性增大，扩散速率降低；
- ② 细胞质黏性增大，水分不易通过细胞质；
- ③ 呼吸作用减弱，影响根压；
- ④ 根系生长缓慢，有碍吸水表面的增加。

**土壤温度过高对根系吸水也不利：**

- ① 高温加速根的老化过程，吸收面积减少，吸收速率也下降。**
- ② 温度过高使酶钝化，影响根系主动吸水。**

## 4. 土壤溶液浓度

根系要从土壤中吸水，根部细胞的水势必须 **低于** 土壤溶液的水势。

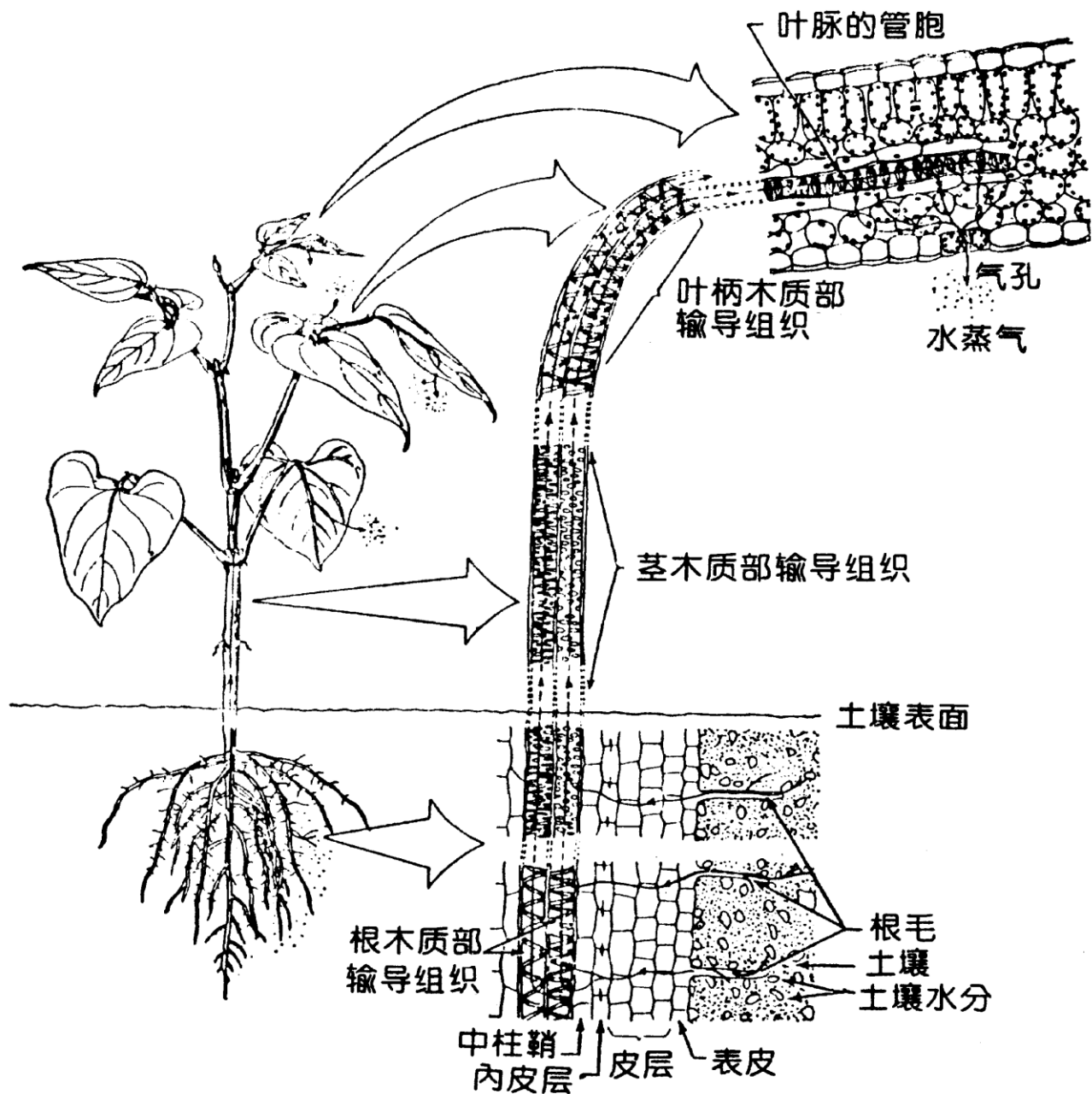
- 在一般情况下，土壤溶液浓度较低，水势较高，根系吸水；
- “烧苗”现象：施用化肥过量，导致根系吸水困难。

## 三. 水分向上运输

### (一) 水分在木质部运输的速率

➤ 在木质部中运输速度： $3\sim 45\text{ cm / h}$





1.共质体  
2.质外体

部位？

特点？

## 整个植物体内的运输途径：

土壤溶液→根毛→根皮层薄壁细胞→根内皮层→根中柱鞘→根导管→茎导管→叶柄导管→叶脉导管→叶肉细胞→叶细胞间隙→气孔下腔→气孔→大气

土壤—植物—大气 之间水分具有连续性

质外体途径

共质体途径

## 二. 水分沿导管或管胞上升的动力

(1) 根压

根压一般较小，不超过  $0.2\text{MPa}$ ，至多能使水分上升  $20.4$  米。

(2) 蒸腾拉力

主要动力，剧烈蒸腾时上部叶片的水势可降到  $-3\text{MPa}$ ，而根部导管液的水势一般在  $-1$ — $-2\text{MPa}$ 。

导管中水柱如何保持不断呢？

# 水柱连续性——（蒸腾—内聚力—张力学说）

- 蒸腾流—内聚力—张力学说  
（transpiration-cohesive-tension theory），
- 19世纪末爱尔兰人迪克松（H. H. Dixon）  
提出

拉力



重力

- 内聚力: 相同分子之间有相互吸引的力量。20 MPa以上。
- 张力: 上拉下拖使水柱产生的力。木质部水柱张力为0.5~3 MPa。
- 水分子内聚力大于水柱张力，故可使水柱连续不断。
- 水分子与细胞壁分子之间又具有强大的附着力，所以水柱中断的机会很小。

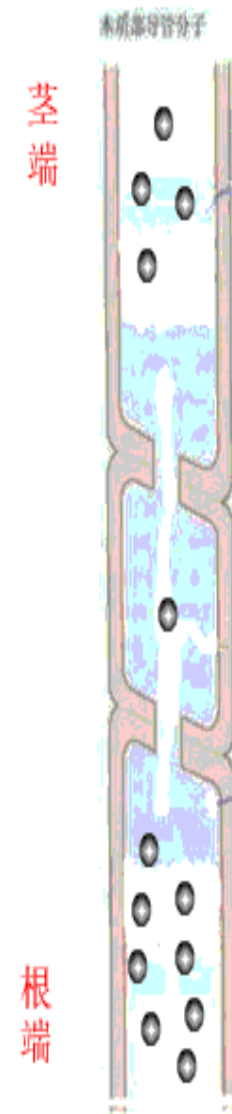
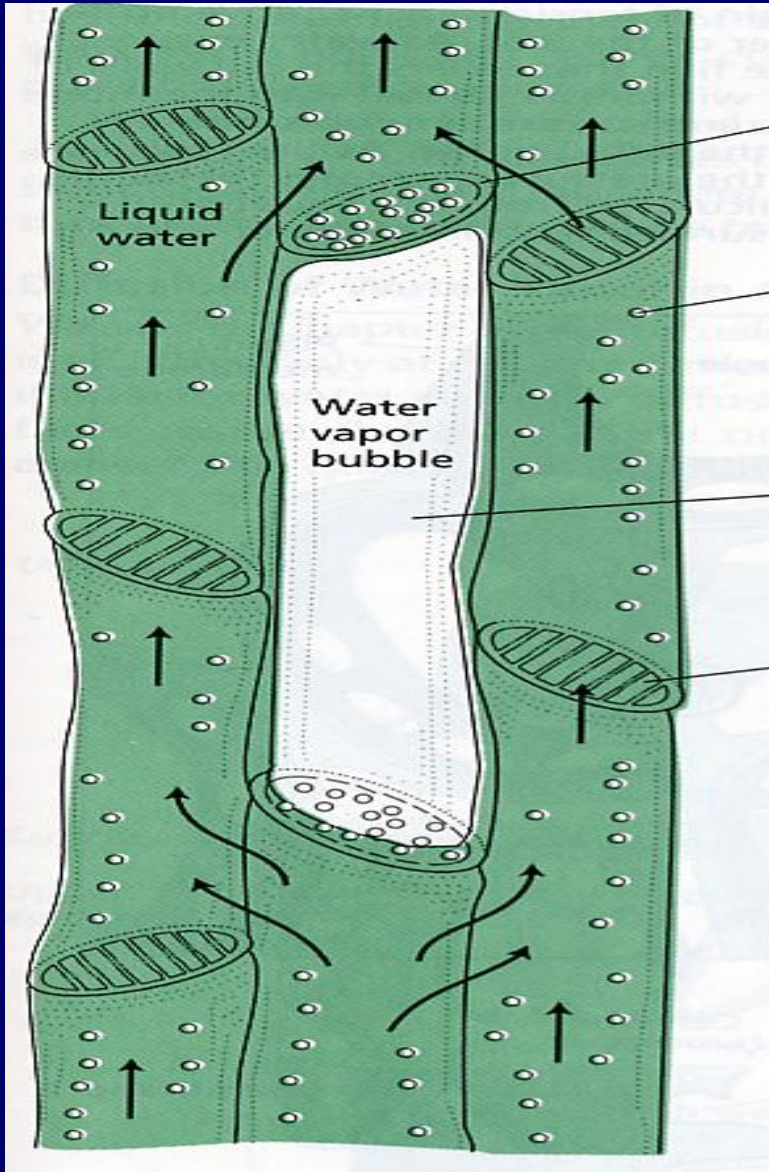


# 存在问题

(1) 水分上升是否有活细胞参与？

(2) 小气泡在导管或管胞中形成空穴化，大气泡会堵塞管道（栓塞），水柱的连续性会被破坏。

# 气穴现象 (cavitation)



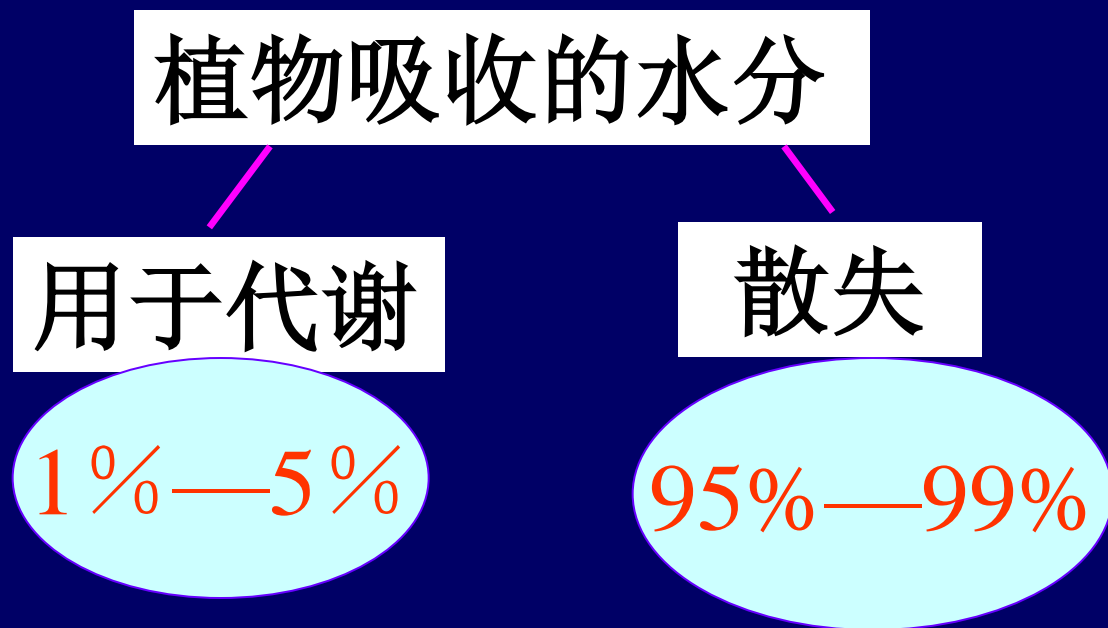
# 第四节 蒸腾作用 (transpiration)

一. 蒸腾作用的生理意义、部位和指标

二. 气孔蒸腾

三. 影响蒸腾作用的因素

# 一. 蒸腾作用的生理意义、部位和指标



## 散失方式：

- 以液体状态散失到体外（吐水现象）
- 以气体状态散逸到体外（蒸腾作用）

# 概念

**蒸腾作用：是指水分以气体状态，通过植物体的表面（主要是叶子），从体内散失到体外的现象。**



# (一) 生理意义

- (1) 是植物水分吸收和运输的**主要动力**。
- (2) 促进矿物质盐类等**在木质部中的运输**。
- (3) 能够**降低叶片的温度**。

1 g水变成水蒸气需要吸收的能量，在20℃时是2444.9J，30℃时是2430.2J

## (二) 蒸腾作用的部位

- 幼小植株——全部表面都能蒸腾
- 木本植物长大后——皮孔蒸腾(约占0.1%)
- 植物的蒸腾作用主要在叶片上进行。

叶片蒸腾  
两种方式

角质蒸腾(仅占5%~10%)

气孔蒸腾

## (三) 蒸腾作用的指标

### ① 蒸腾速率 (transpiration rate)

植物在单位时间内，单位叶面积通过蒸腾作用散失的水量。

单位： $(\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1})$  或  $(\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1})$

白天的蒸腾速率—— $15\sim 250 \text{ g m}^{-2} \text{h}^{-1}$

晚上的蒸腾速率—— $1\sim 20 \text{ g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 。

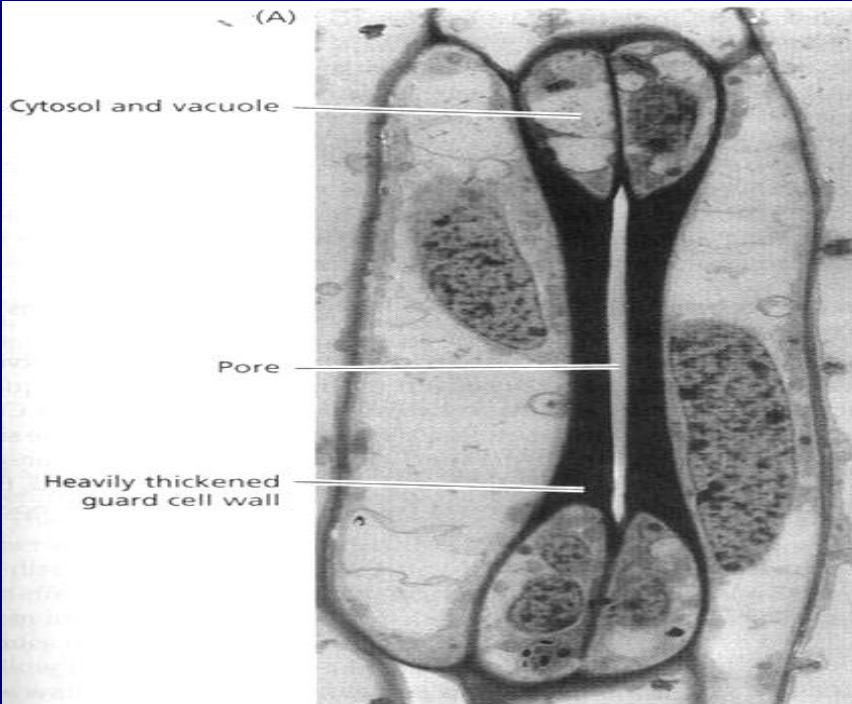
## ②蒸腾比率 (transpiration ratio, TR)

蒸腾作用丧失水分与光合作用同化CO<sub>2</sub>的物质的量比值。

## ③水分利用效率 (water use efficiency, WUE)

TR的倒数，常见于生态学文献

# 二. 气孔蒸腾



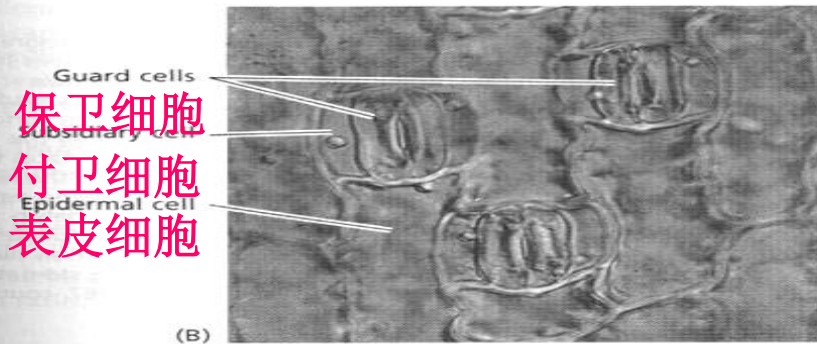
## (一) 气孔的结构

成对的保卫细胞 (guard cell)

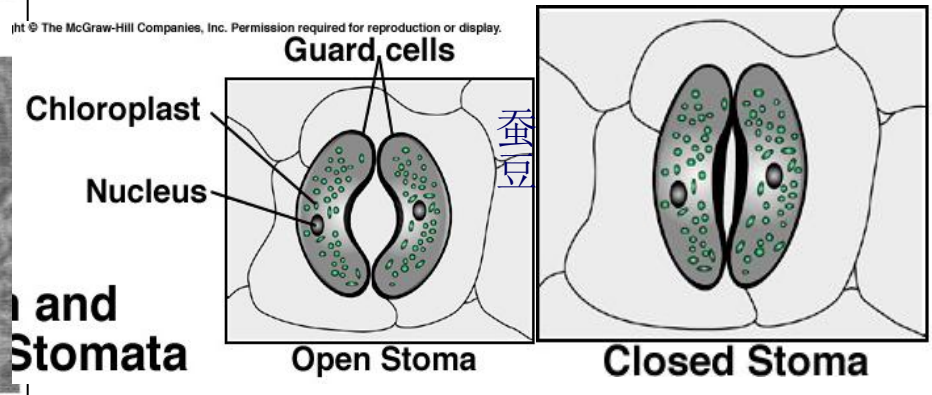
副卫细胞 (subsidiary cell)

保卫细胞与邻近细胞或副卫细胞构成气孔复合体

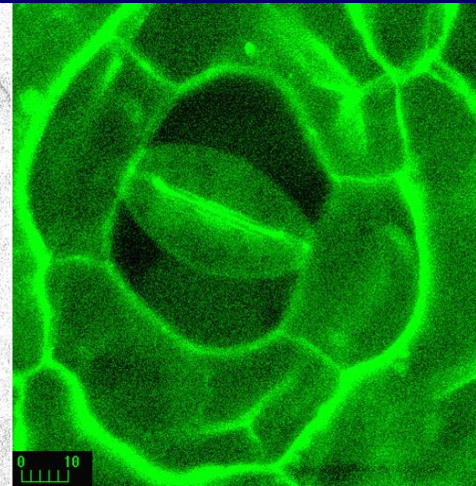
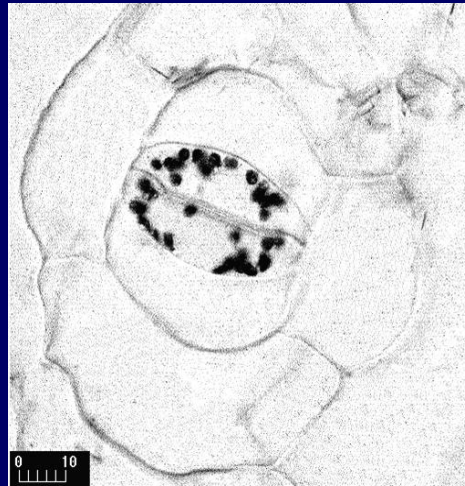
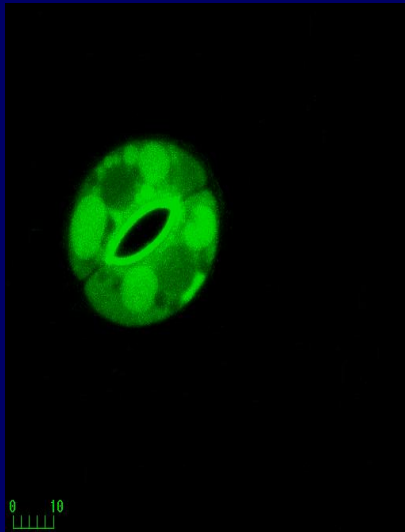
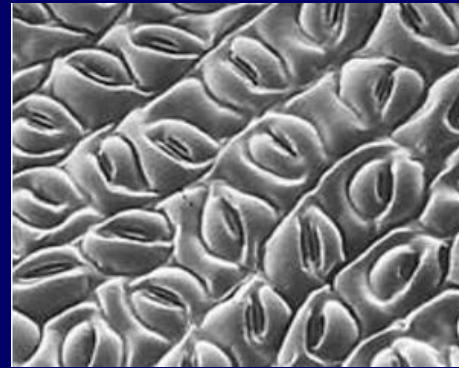
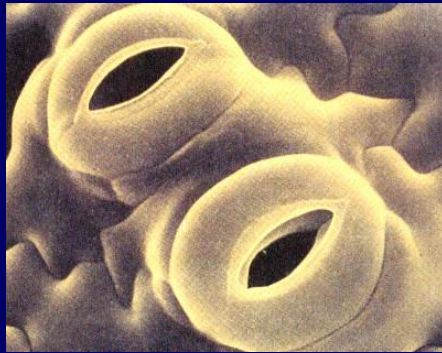
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



保卫细胞  
副卫细胞  
表皮细胞



- ◆ 保卫细胞中有光合作用的全套酶（淀粉磷酸化酶，PEP羧化酶），在光下能进行光合作用，形成淀粉。淀粉含量白天少，夜间多。



蚕豆和鸭趾草



# 气孔的大小、数目和分布

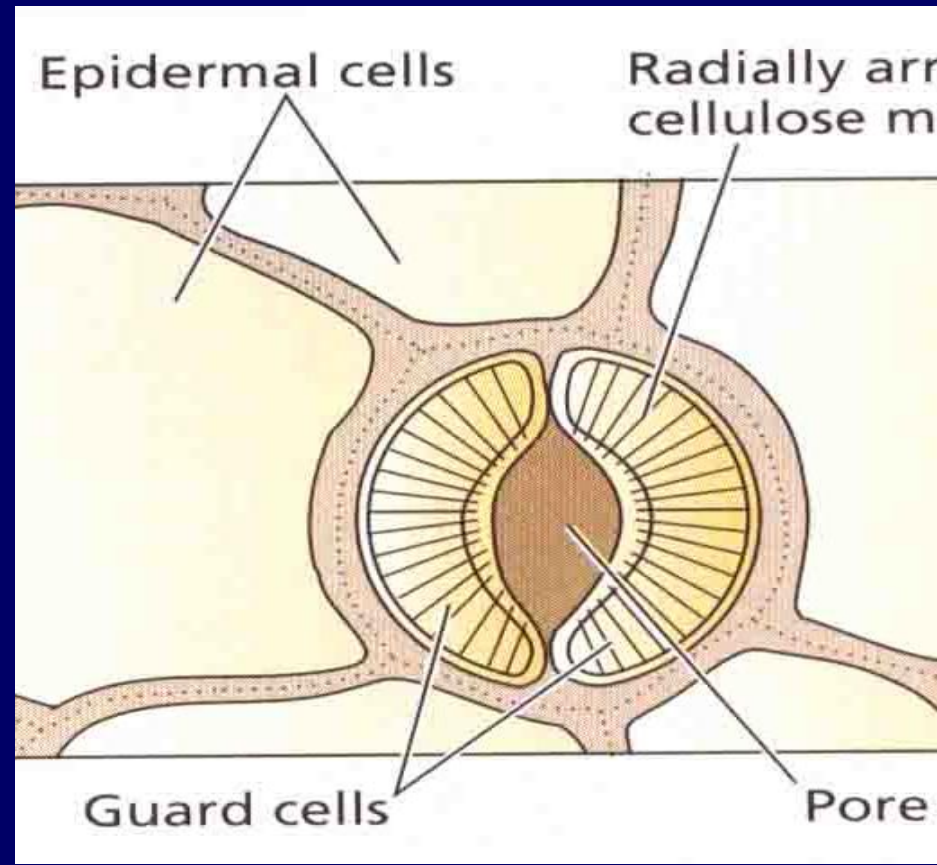
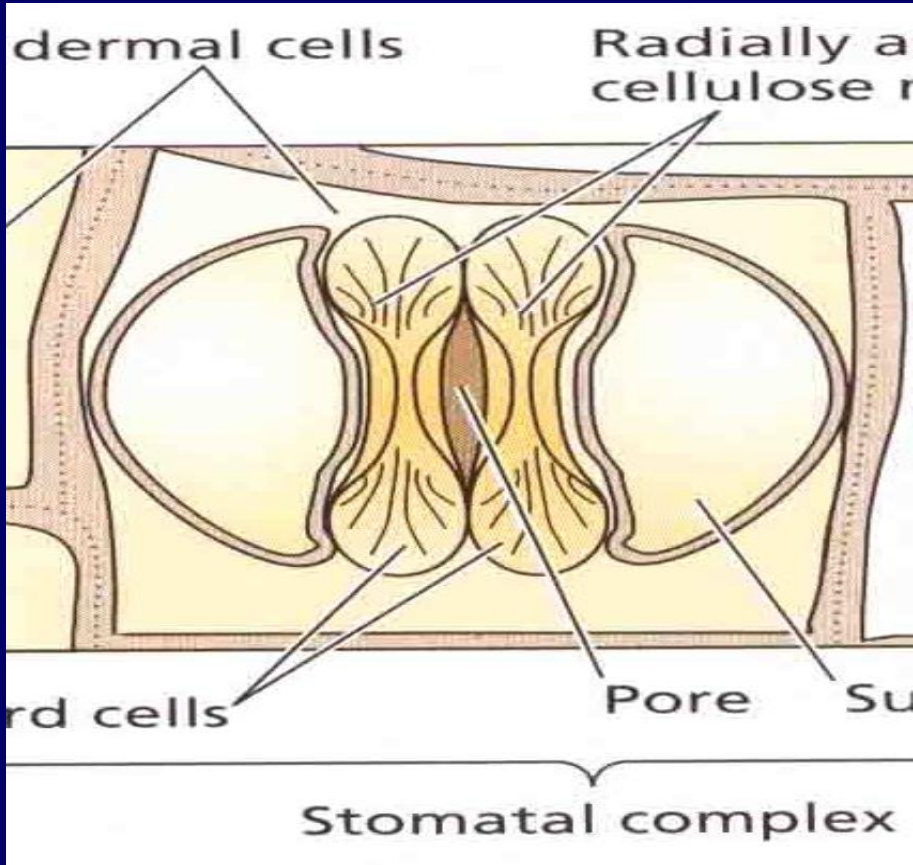
表 2-3 不同类型植物的气孔数目和大小

植 物 类 型	气孔数/叶面 积 (mm <sup>2</sup> )	气孔口径 (μm)		气孔面积 占叶面积%
		长	宽	
阳性植物	100~200	10~20	4~5	0.8~1.0
阴性植物	40~100	15~20	5~6	0.8~1.2
禾本科植物	50~100	20~30	3~4	0.5~0.7
冬季落叶树	100~500	7~15	1~6	0.5~1.2

# 分布

- 分布于叶片的上表皮及下表皮。但不同类型植物叶片上下表皮气孔数量不同。
- 气孔的数目很多，每平方厘米叶片上少则有几千个，多则达10万个以上。但所有气孔的总面积不到叶面积的1%。

# 保卫细胞具有不均匀加厚的细胞壁及微纤丝结构



# (一) 气孔运动

3.0 MPascal >

气孔的运动，即气孔的开关，实际上是构成气孔的保卫细胞的膨压运动，是由保卫细胞的**吸水膨胀**和**失水收缩**引起的。

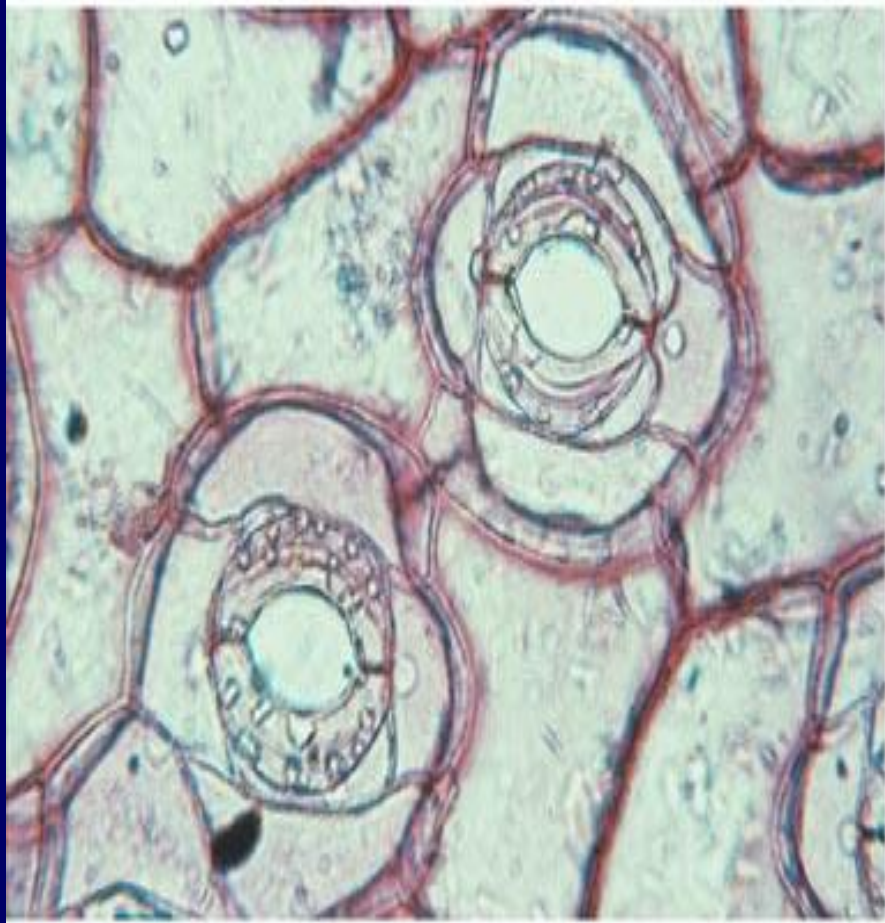
气孔为什么能够运动？

与保卫细胞的结构特点有关。

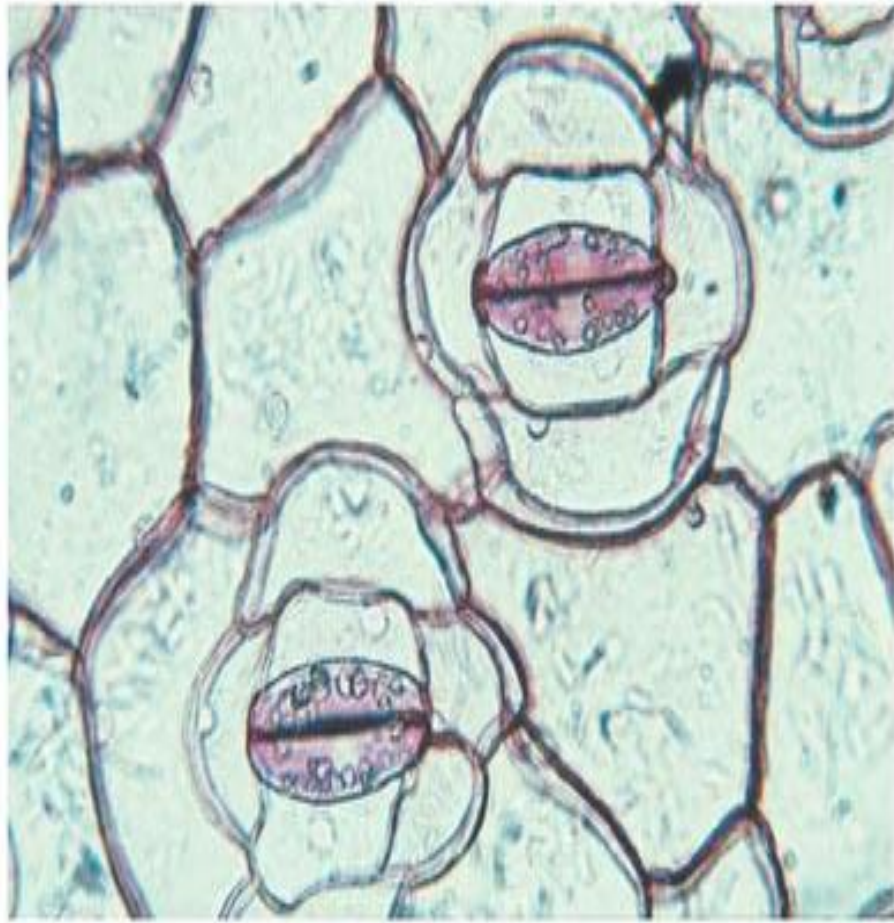


1.5 MPascal >

(A)



(B)



**双子叶植物气孔的运动(张开、关闭)**

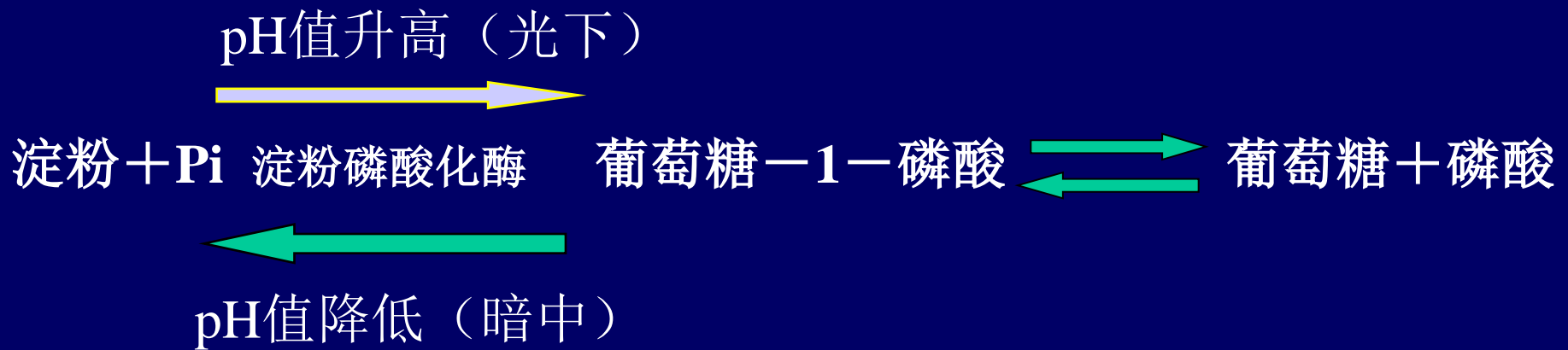
**是什么原因造成了保卫细胞吸水或者失水呢?**



## (二) 气孔运动的机理

### 1. 淀粉—糖转变学说(starch-sugar conversion theory)

20世纪20年代



淀粉磷酸化酶



气孔张开

保卫细胞(GC)在光下进行光合作用

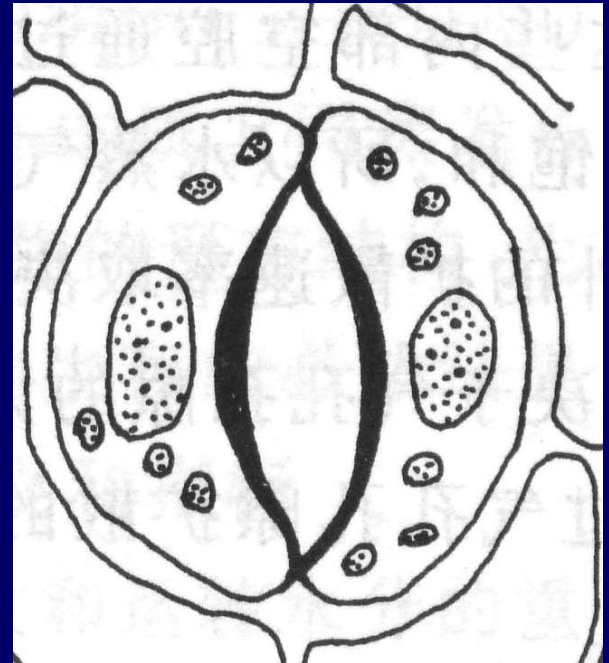
消耗 $\text{CO}_2$ ，使细胞内pH增高

淀粉磷酸化酶水解淀粉为G-1P

水势下降

从周围细胞吸水

气孔张开



气孔关闭

GC在**黑暗**中进行**呼吸作用**

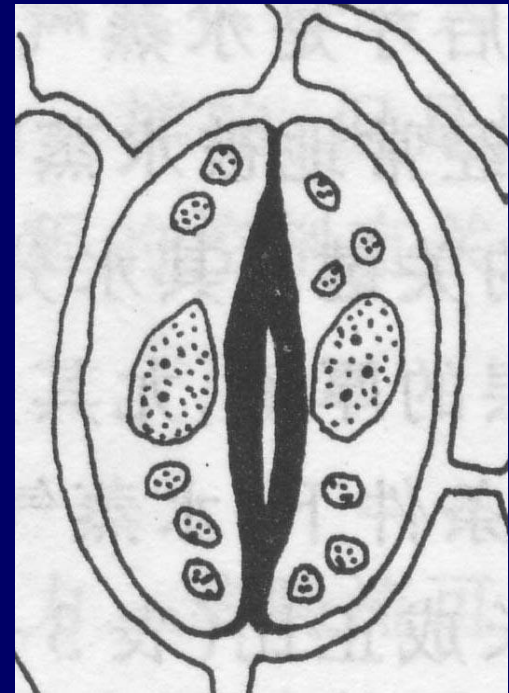
释放 $\text{CO}_2$ ，使细胞内**pH下降**

淀粉磷酸化酶把**G-1P合成为淀粉**

**水势升高**

向周围细胞排水

气孔关闭



# 支持该学说的实验现象

- 光合作用与气孔运动有关，保卫细胞缺乏叶绿体的黄化叶片，光下不能进行光合作用，气孔也不张开，影响光合进程的药剂（如敌草隆）也影响气孔运动，符合观察到的现象----淀粉白天消失，晚上出现。

## ➤ 存在问题

- $\text{CO}_2$ 浓度的变化与pH值关系并非密切。

## 2. $K^+$ 泵学说 ( $K^+$ pump theory )

20世纪60年代

鸭跖草	气孔开时 $[K^+]$	关闭时 $[K^+]$
保卫细胞	0.45M	0.1 M
内副卫细胞	0.29 M	0.16 M
外副卫细胞	0.10 M	0.20 M
顶卫细胞	0.17 M	0.29 M
表皮细胞	0.07 M	0.45 M



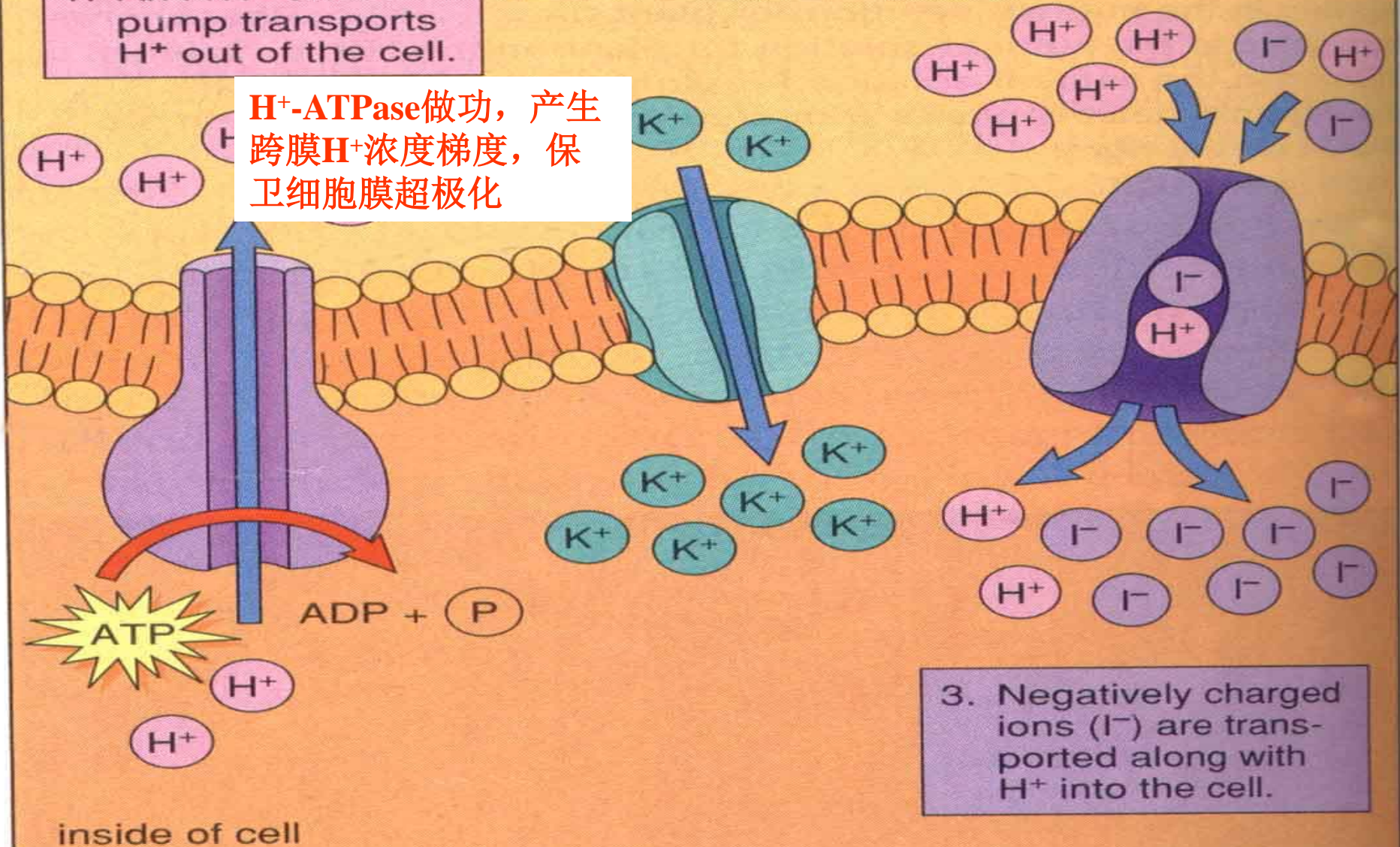
outside of cell

2. The electrochemical gradient causes  $K^+$  to enter by way of a channel protein.

$K^+$ 内流通道打开，进入保卫细胞，进一步进入液泡

1. An ATP-driven pump transports  $H^+$  out of the cell.

$H^+$ -ATPase做功，产生跨膜 $H^+$ 浓度梯度，保卫细胞膜超极化



inside of cell

3. Negatively charged ions ( $I^-$ ) are transported along with  $H^+$  into the cell.



气孔张开

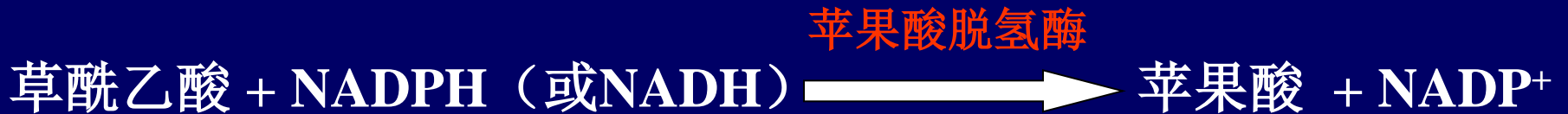
GC质膜上具有光活化ATP酶-H<sup>+</sup>泵

水解ATP，泵出H<sup>+</sup>到细胞壁，造成膜电位差

$\psi_w$ 降低，水分进入GC，气孔张开

激活K<sup>+</sup>通道和Cl<sup>-</sup>通道，K<sup>+</sup>和Cl<sup>-</sup>进入GC

### 3. 苹果酸代谢学说 (malate metabolism theory)



气孔张开

GC在光下进行光合作用

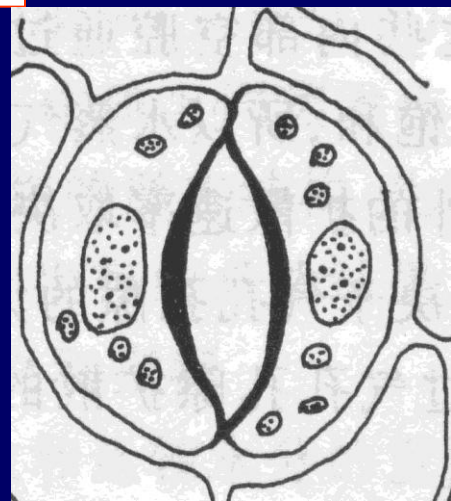
消耗 $\text{CO}_2$  pH增高(8.0-8.5), 活化PEP羧化酶

$\text{PEP} + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{草酰乙酸} \rightarrow \text{苹果酸}$

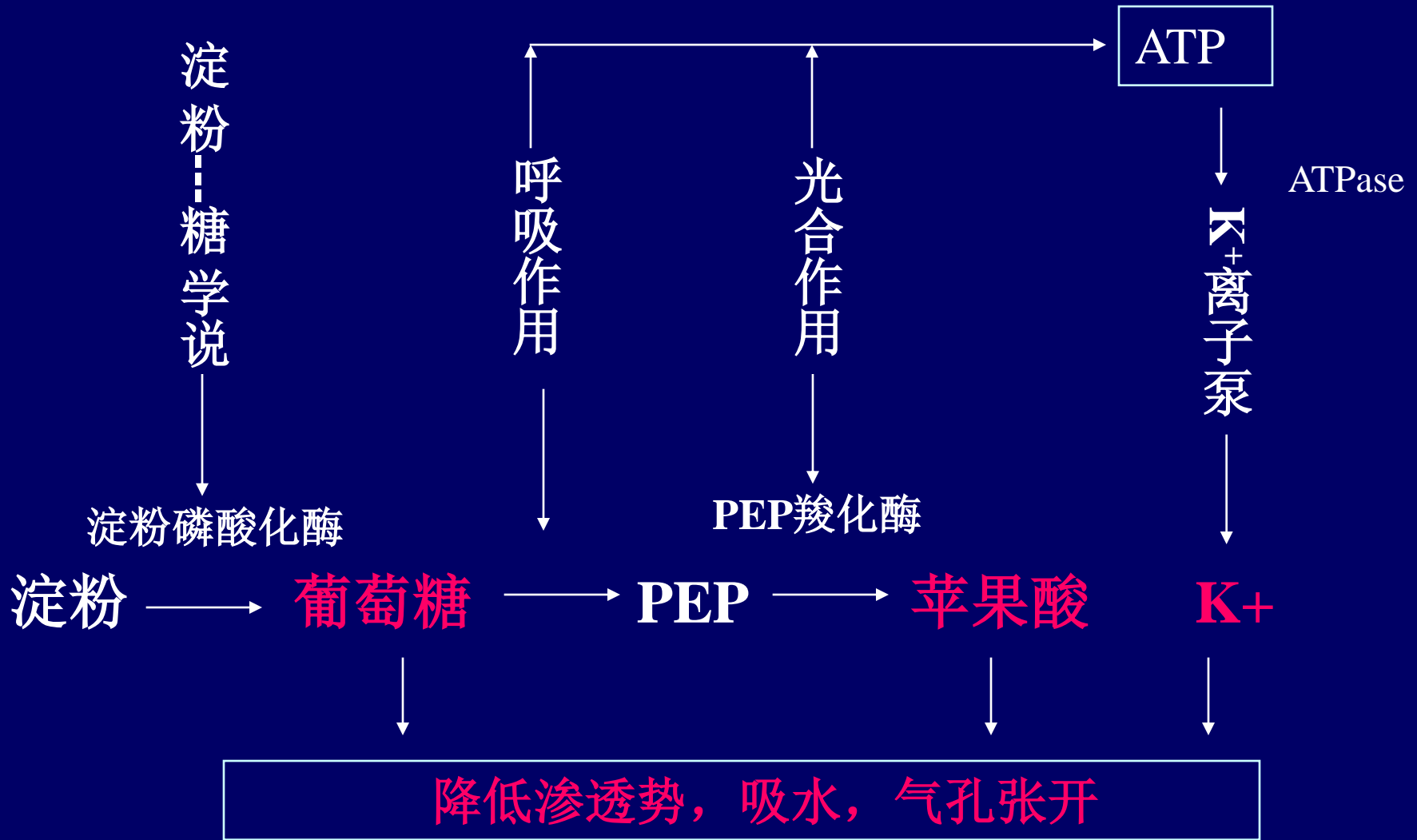
苹果酸根使细胞里的水势下降

从周围细胞吸水

气孔张开



# 几个学说之间内在联系



## (三) 影响气孔运动的因素

### 1. 光

- 光可促进保卫细胞内苹果酸的形成和 $K^+$ 、 $Cl^-$ 的积累。一般情况下，光可促进气孔张开，暗则气孔关闭。
- 例外：景天科酸代谢植物它们的气孔白天关闭，夜晚张开。



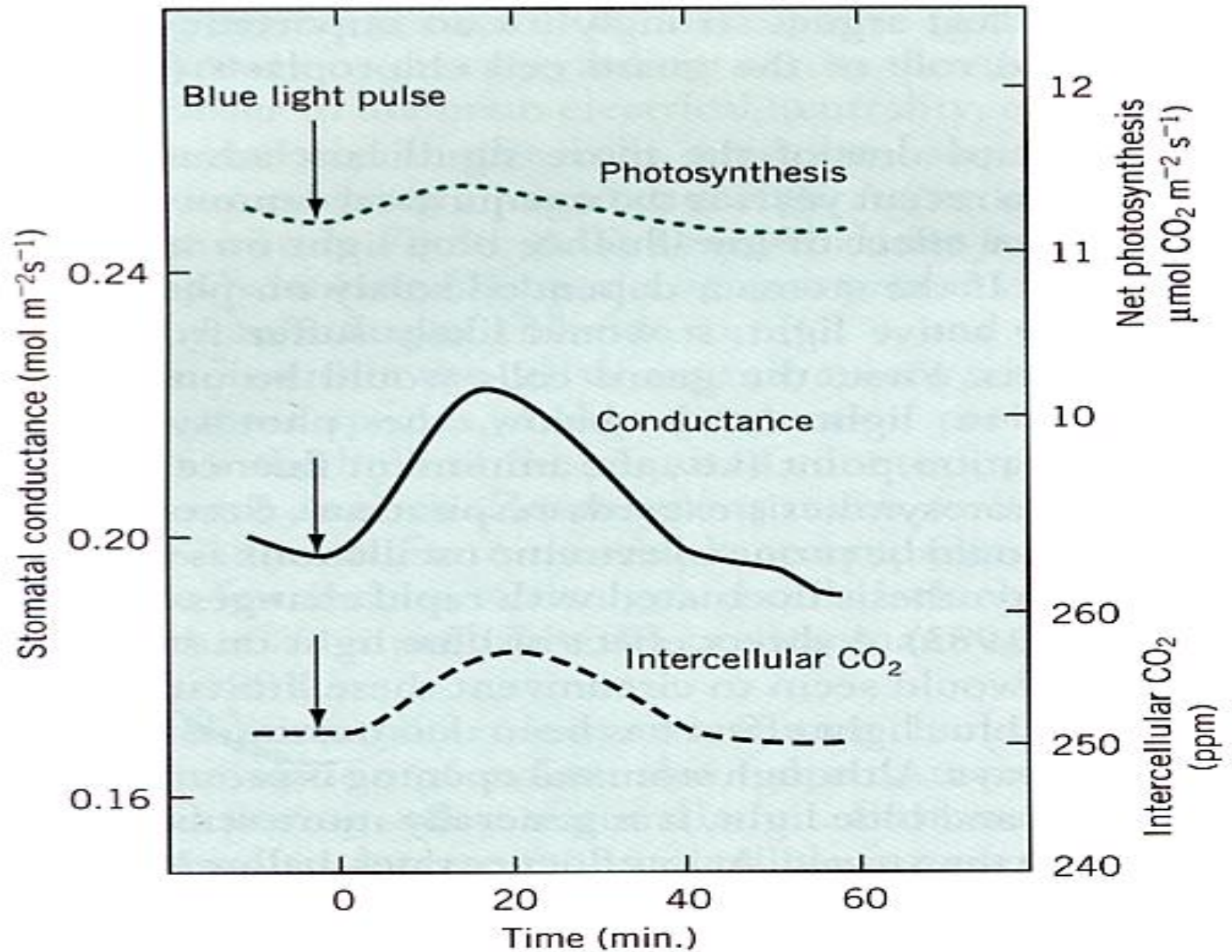
光促进气孔开放的机制？

# 红光和蓝光都可引起气孔张开

- 通常认为红光是通过间接效应，而蓝光是直接对气孔开闭起作用的。
- 蓝光使气孔张开的效率是红光的10倍
- 蓝光能活化 $H^+$ -ATP酶，不断泵出 $H^+$ ，形成跨电势梯度，它是 $K^+$ 通过 $K^+$ 通道移动的动力，可使保卫细胞内 $K^+$ 浓度增加，水势降低，气孔张开。



# 蓝光对气孔开度的影响



## 2. CO<sub>2</sub>

低浓度CO<sub>2</sub> 促使气孔张开；高浓度CO<sub>2</sub>引起气孔的关闭。

## 3. 水分

剧烈蒸腾时，保卫细胞失水气孔关闭；

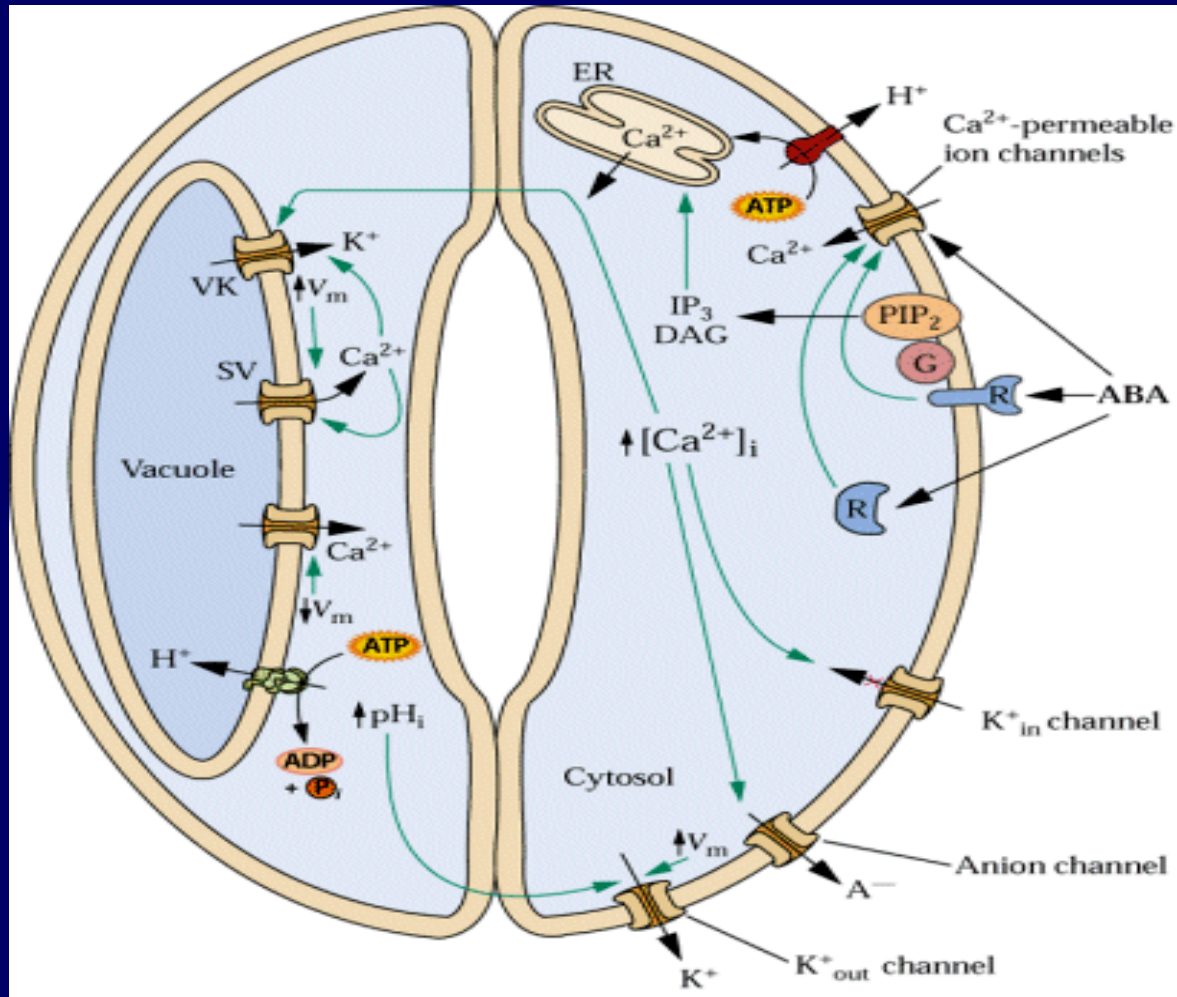
久雨，表皮细胞被水饱和，挤压GC，气孔关闭。

## 4. 温度

一定范围内温度升高，气孔开度增大；温度过高气孔反而关闭；温度太低气孔也不能很好张开。

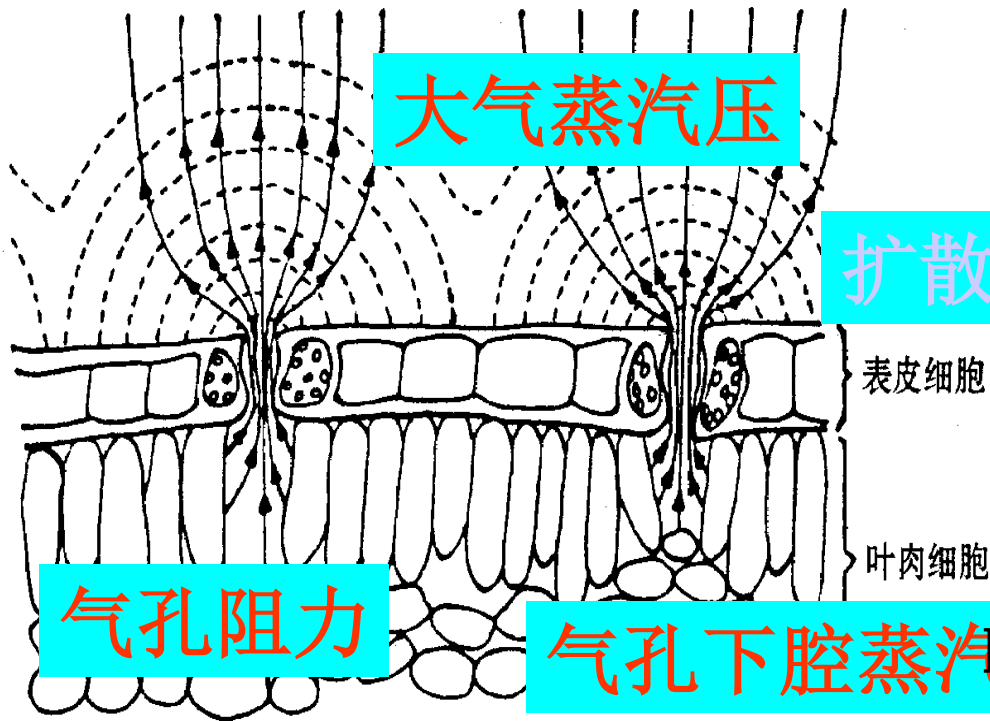
## 5. 植物激素-ABA

水胁迫→ABA增加→诱导胞浆中 $\text{Ca}^{2+}$  瞬时增加→打开 $\text{K}^+$ 通道→ $\Psi_s \uparrow \rightarrow \Psi_w \uparrow \rightarrow$ 水流出，气孔关闭。



# 三. 影响蒸腾作用的内外因素 (自学)

## 外界条件和内部因素



$$\text{蒸腾速率} = \frac{\text{扩散力}}{\text{扩散阻力}}$$



$$= \frac{C_i - C_a}{R_s + R_e}$$

$C_i$ : 气孔下腔的水蒸气压;  
 $C_a$ : 空气的蒸汽压;

$R_s$ : 气孔阻力 (内部阻力)  
 $R_e$ : 界面层阻力 或叫扩散层阻力

图 1-15 叶片气孔蒸腾时水蒸气的扩散途径

箭头的实线表示水蒸气的扩散途径,虚线表示水蒸气浓度相等的各个表面

# 第五节 合理灌溉的生理基础

## 一. 作物的需水规律

1. 不同作物对水分的需要量不同
2. 同一作物不同生育期对水分的需要量不同

### ➤ 作物的水分临界期

水分临界期（critical period of water）：指植物在生命周期中，对水分缺乏最敏感、最易受害的时期。

➤ 一般而言，植物的水分临界期多处于花粉母细胞四分体形成期，这个时期一旦缺水，就使性器官发育不正常。



## 二. 合理灌溉指标

1. 形态指标：茎叶形状、颜色、生长速率
2. 生理指标：植物叶片的细胞汁液浓度、渗透势、水势和气孔开度等



表 2-6 不同作物几种灌溉生理指标的临界值

作物生育期	叶片渗透势 (MPa)	叶片水势 (MPa)	叶片细胞液 浓度 (%)	气孔开度 ( $\mu\text{m}$ )
冬小麦				
分蘖—孕穗期	-1.1~ -1.0	-0.9~ -0.8	5.5~ 6.5	
孕穗—抽穗期	-1.2~ -1.1	-1.0~ -0.9	6.5~7.5	
灌浆期	-1.5~ -1.3	-1.2~ -1.1	8.0~9.0	
成熟期	-1.6~ -1.3	-1.5~ -1.4	11.0~12.0	
春小麦				
分蘖—拔节期	-1.1~ -1.0	-0.9~ -0.8	5.5~ 6.5	6.5
拔节—抽穗期	-1.2~ -1.0	-1.0~ -0.9	6.5~ 7.5	6.5
灌浆期	-1.5~ -1.3	-1.2~ -1.1	8.0~9.0	5.5
棉花				
花前期		-1.2		
花期—棉铃形成期		-1.4		
成熟期		-1.6		
蔬菜整个生长期			10	
茶树嫩梢生长期		-0.8~ -0.9		

# 三. 节水灌溉的方法

## 漫灌 (wild flooding irrigation)



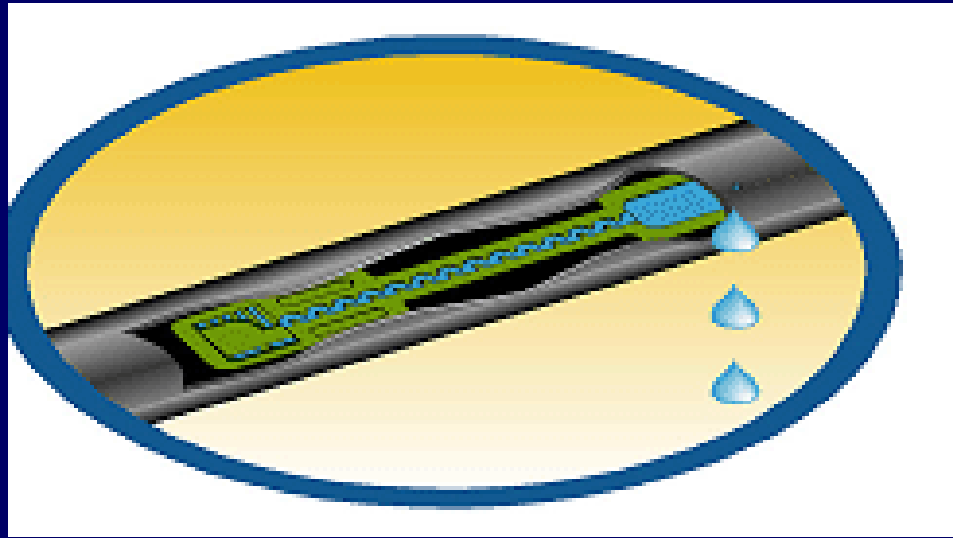
# 噴灌 (spray irrigation)



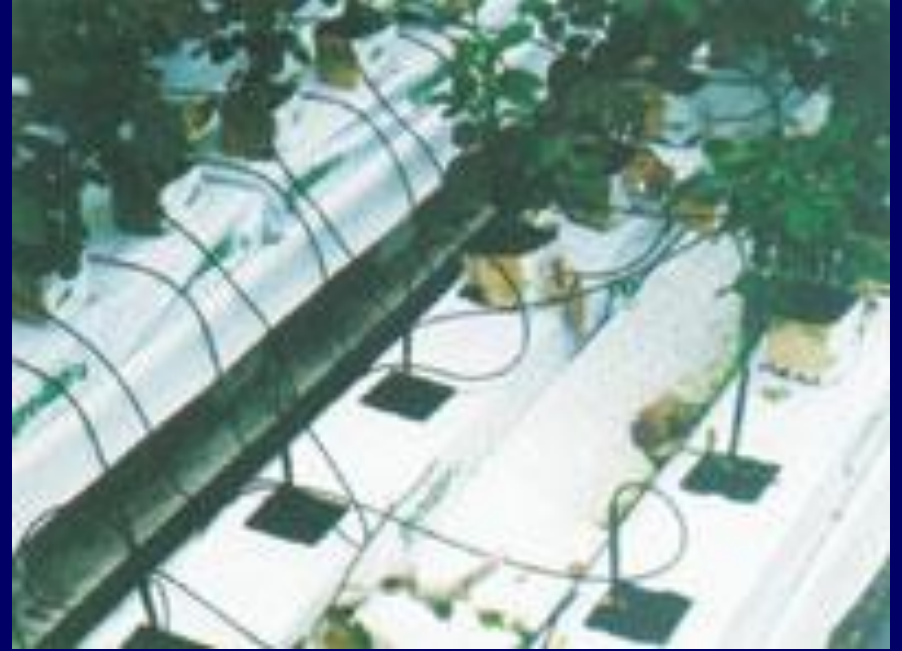




# 滴灌 (drip irrigation)









# 小结

- 名词:

自由水, 束缚水, 扩散, 集流, 渗透作用, 水势, 蒸腾作用, 内聚力学说, 蒸腾拉力

- 掌握:

从水分的吸收、运输、分配利用及蒸腾作用几个方面了解水分代谢

- 重点:

植物细胞和根系对水分的吸收, 植物水势的概念及其组成

- 难点: 气孔的运动机理

# 练习题

1. 试述气孔运动机理及影响因素。
2. 为什么在植物移栽时，要剪掉一部分叶子，根部还要带土？
3. 简述蒸腾作用的部位及其生理意义？
4. 光是怎样引起植物的气孔开放？
5. 植物细胞吸水与根系吸水的方式有何不同、有何联系？

6. 光照如何影响植物根系吸水？

7. 分析产生下列实验结果的机理

生长旺盛的麦苗在适温、高温条件下：（1）加水，有吐水现象；（2）加20%NaCl无明显吐水；（3）冷冻处理，无明显吐水

8. 简述植物叶片水势的日变化。

9. 孤立于群体之外的单个树木与茂密森林中的树木相比，哪个蒸腾失水更快？为什么？