

第二章 植物的水分生理

第一节 水在植物生命活动中的作用

第二节 植物细胞对水分的吸收

第三节 植物根系对水分的吸收

第四节 植物的蒸腾作用

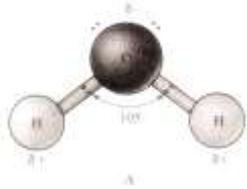
第五节 水分在植物体内的向上运输

第六节 合理灌溉的生理基础

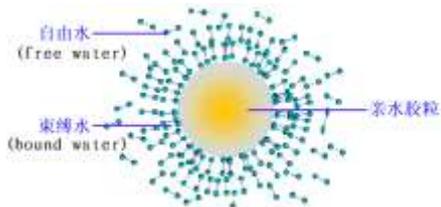
水非常重要



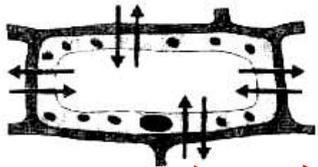
这一切都源于水非常重要



水是什么？**氢氧原子 极性**



存在状态：**自由水和束缚水**



植物如何“喝水”？

根本动力:水势差(水势 渗透势 渗透系统)

细胞吸水方式: (一)渗透吸水(二)吸胀吸水(三)水孔蛋白与水分的跨膜运动

根系吸水的部位:根尖(**根毛区**最强); 途径:质外体途径、共质体途径、越膜途径

凯氏带:保护性组织

根系吸水的方式:主动吸水 (伤流、吐水) 和被动吸水 (蒸腾拉力)

影响根系吸水的因素: (一)根系自身因素(二)土壤因素

植物如何获得水分

植物获得水分之后？

第四节 植物的蒸腾作用

第五节 水分在植物体内的向上运输

第六节 合理灌溉的生理基础

第四节 植物的蒸腾作用

- 一. 蒸腾作用及其生理意义
- 二. 植物蒸腾作用的部位及度量
- 三. 气孔蒸腾作用
- 四. 蒸腾作用的调节
- 五. 影响蒸腾作用的因素



第四节 植物的蒸腾作用

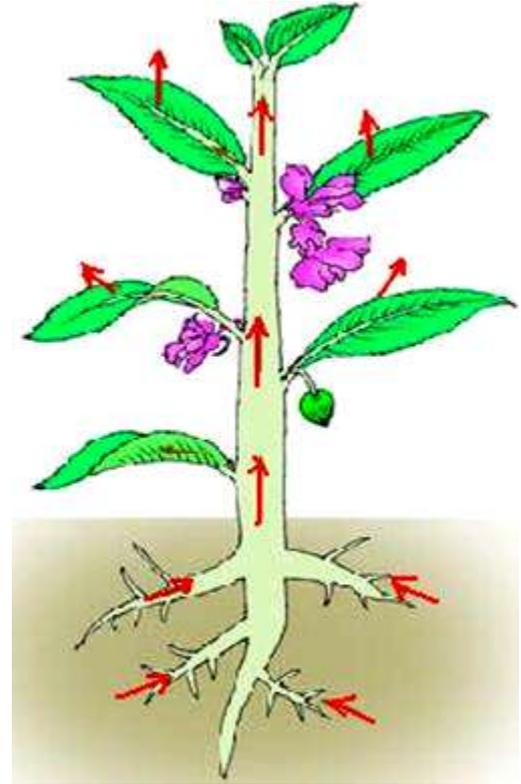
一、蒸腾作用及其生理意义

蒸腾作用(transpiration): 植物体内的水分以气态方式从植物表面向外界散失的过程。

陆生植物
吸收的水分

植物体的构成 (约1%)

散失到大气中(99%)







第四节 植物的蒸腾作用

一株玉米
耗水量约**200kg**

植株组成 (不到**2kg**)

作为反应物 (约**0.25kg**)

散失到大气中 (约**198kg**)



耗水量=
400斤水





第四节 植物的蒸腾作用

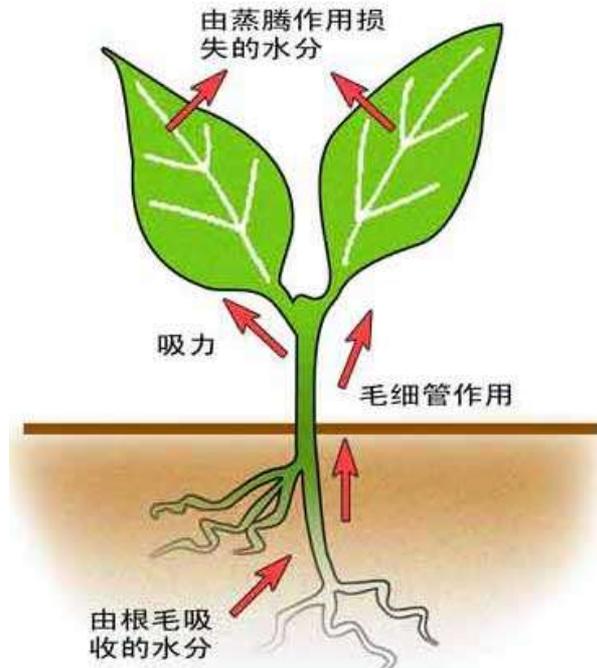
水分从植物体内散失
到大气中的方式

以液态逸出(吐水)

以气态逸出(蒸腾/植物失水的主要方式)



蒸腾作用





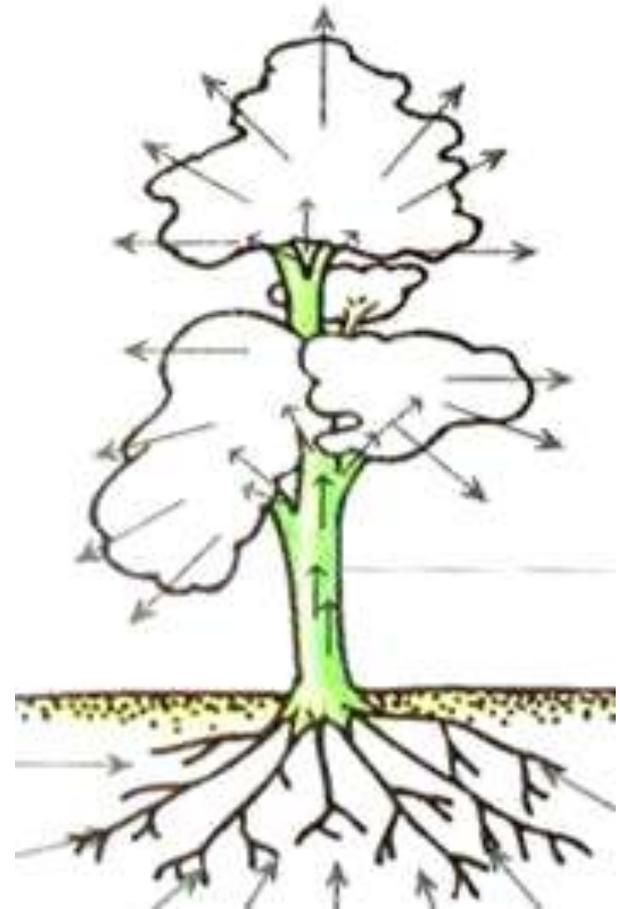
第四节 植物的蒸腾作用

每棵大树都是一个大型抽水机

植物为什么需要绝大多数的水用于蒸腾？

蒸腾作用具有重要的意义：

- (1)蒸腾作用失水所形成的水势梯度是植物吸收和运输水分的主要驱动力。
- (2)能够降低植物体和叶片温度。
- (3)蒸腾作用引起的上升液流,有助于根部吸收的无机离子以及根中合成的有机物转运到植物体的各部分,满足生命活动需要。(有利于根部物质向上运输)





第四节 植物的蒸腾作用

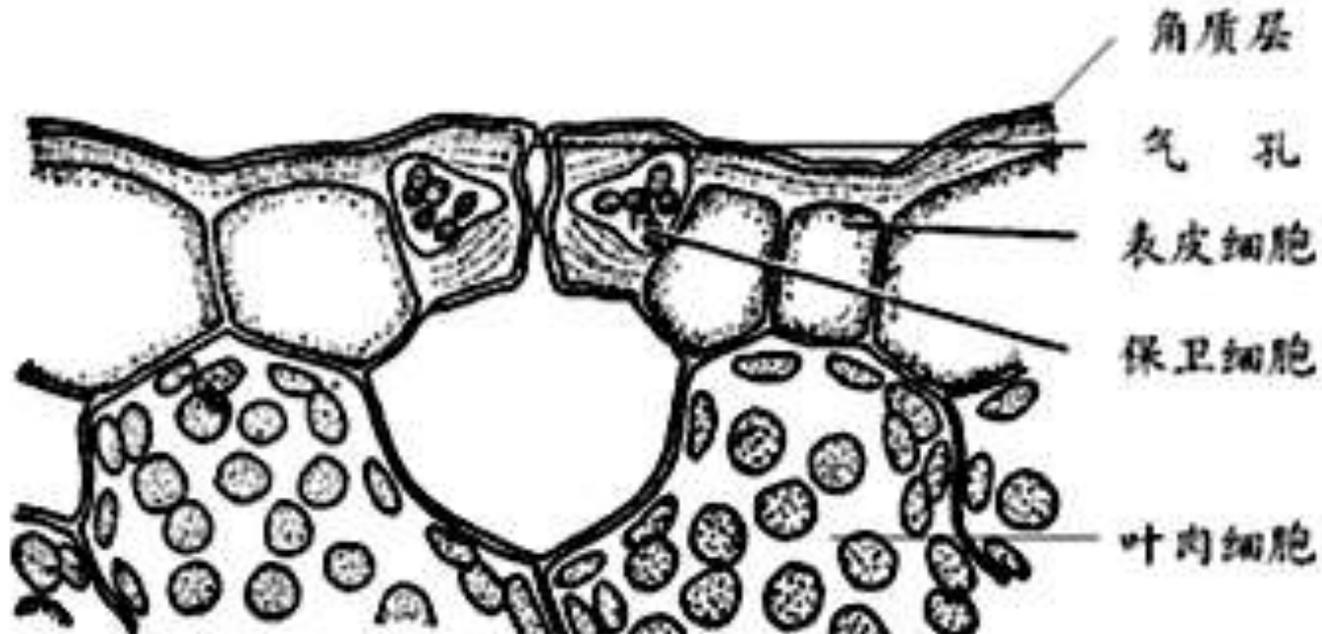
二、植物蒸腾作用的部位及度量

(一)蒸腾部位

植物的蒸腾作用绝大部分是通过**叶面**进行的。

叶片的蒸腾有**两种方式**:

- ①**角质蒸腾**(cuticular transpiration): 通过角质层的蒸腾
- ②**气孔蒸腾**(stomatal transpiration): 通过气孔的蒸腾

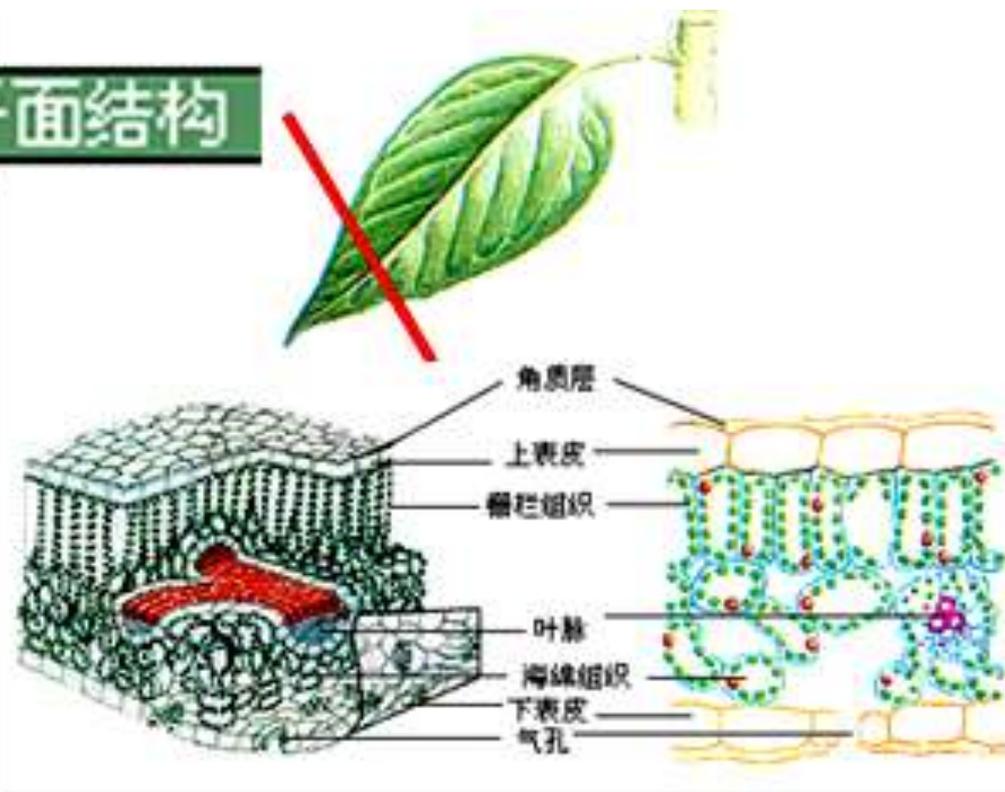
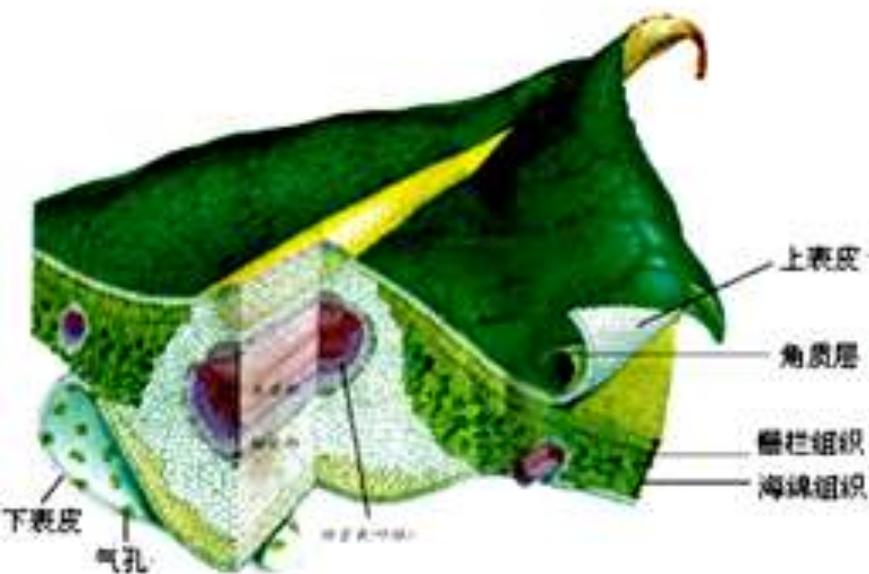


植物角质层: 植物地上器官（如茎、叶等）表面的一层脂肪性物质。它是由表皮细胞所分泌的。

功能: 保护作用

- 限制植物体内水分的散失
- 抵抗微生物的侵袭

叶的立体结构和平面结构



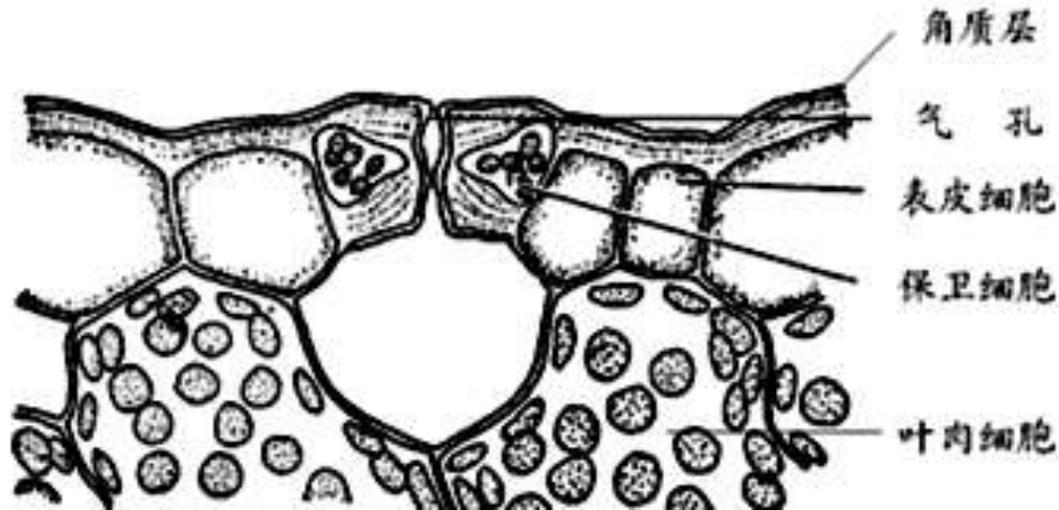


第四节 植物的蒸腾作用

角质蒸腾和气孔蒸腾在叶片中所占的比重与①植物的生态条件和②叶片发育阶段(角质层厚度)有关。

气孔蒸腾是植物叶片蒸腾的主要形式。

成熟叶片
总蒸腾量 { 角质蒸腾(5~10%)
气孔蒸腾(>90%)





第四节 植物的蒸腾作用

(二)蒸腾作用的度量指标

(1)蒸腾速率(transpiration rate): 一定时间内,单位叶面积上散失的水量称为蒸腾速率,常用 $g/(dm^2 \cdot h)$ 表示。

(2)蒸腾比率/蒸腾效率(transpiration ratio): 一定时间内,干物质的累积量与同期所消耗的水量之比 (植物每消耗1kg水所生产干物质的克数)。

$$\text{蒸腾比率/蒸腾效率} = \frac{\text{干物质g}}{\text{水kg}}$$

一般植物为1~8,
大部分农作物是2~10

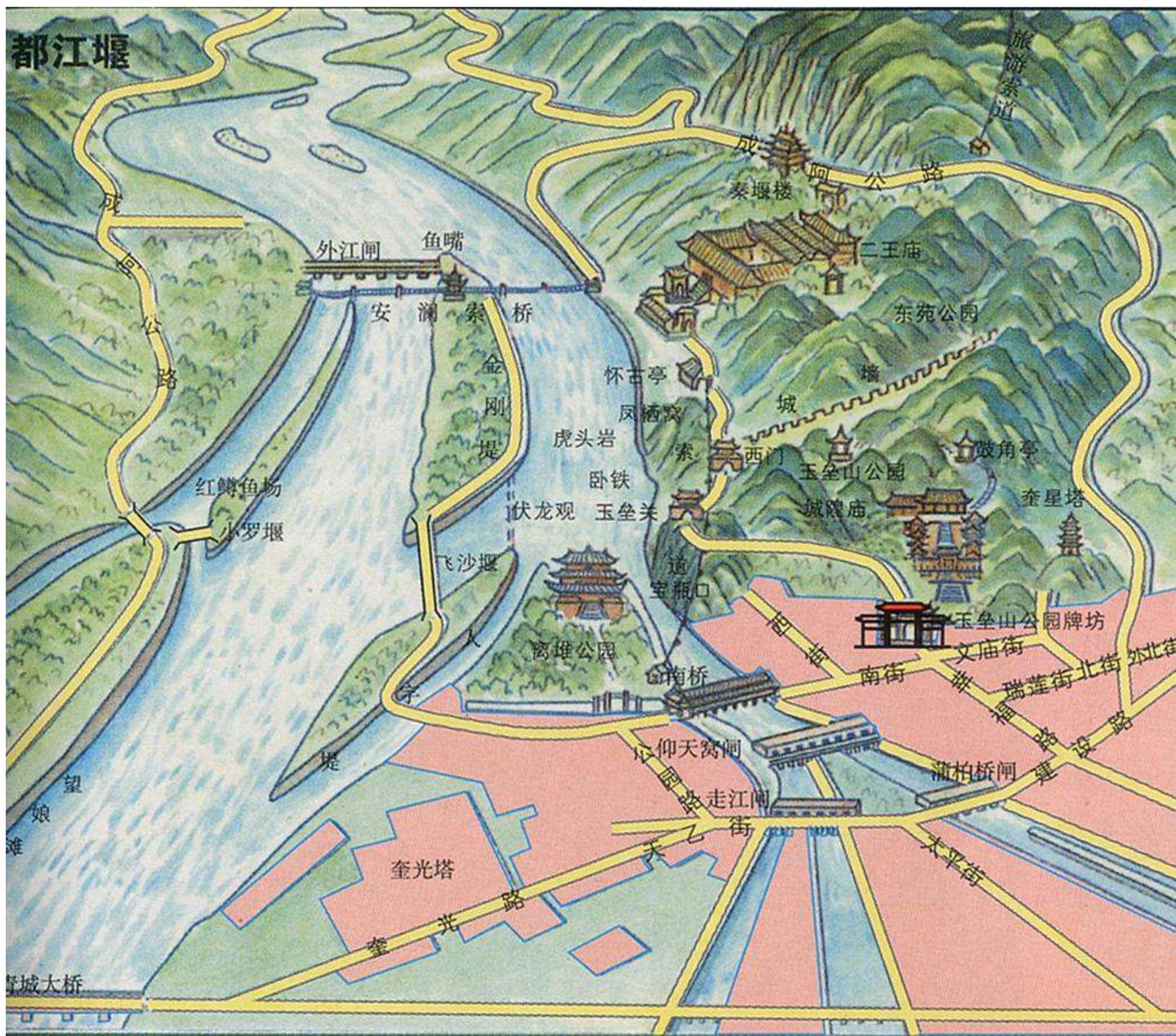
(3)蒸腾系数/需水量 (transpiration coefficient/ water requirement): 植物制造1g干物质所消耗的水量(g)。

它是蒸腾比率的倒数,一般植物的蒸腾系数为**125-1000**。



第四节 植物的蒸腾作用

植物需要如此大量的水，因此自古以来人们都有修水利工程，如**都江堰**





第四节 植物的蒸腾作用

三、气孔蒸腾作用

气孔(stomata)是植物叶片与外界进行气体交换的主要通道。

通过气孔扩散的气体主要有:

O_2
 CO_2
水蒸气 H_2O

植物在光下进行光合作用



由气孔吸收 CO_2



气孔必须张开



不可避免地发生蒸腾作用





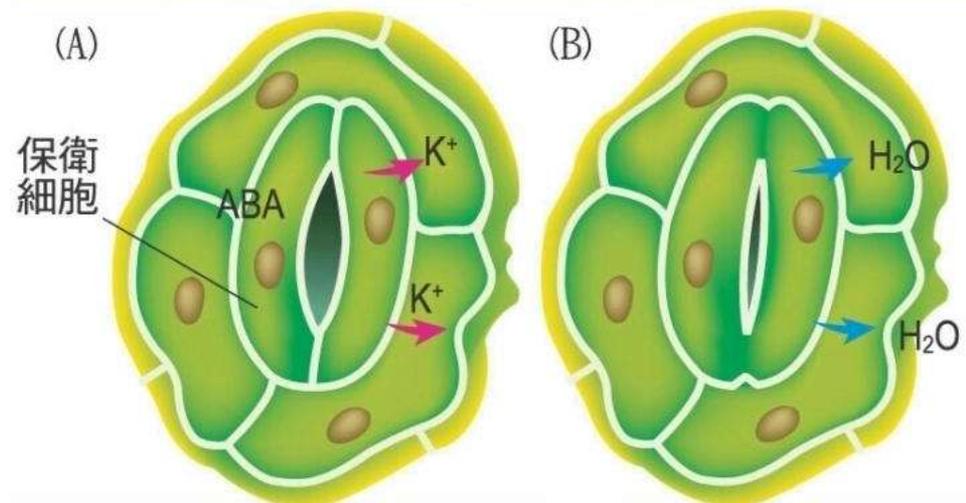
第四节 植物的蒸腾作用

气孔可以根据环境条件的变化来调节自己开度的大小使植物在损失水分较少的条件下获取最多的 CO_2 。

气孔蒸腾旺盛
叶片发生水分亏缺
土壤供水不足

气孔开度减少
以至完全关闭

供水良好时 → 气孔张开





第四节 植物的蒸腾作用

(一)气孔的大小、数目、分布和类型

气孔: 植物叶表皮组织上由两个特殊的小细胞即保卫细胞(**guard cell**)所围成的一个小孔。

不同植物气孔的类型大小和数目不同(表2-2)。

表 2-2 几种植物叶面气孔的大小、数目及分布

植 物	气孔数/(个/mm ²)		下表皮气孔大小 (长×宽)/nm
	上表皮	下表皮	
小麦	33	14	38×7
玉米	52	68	19×5
燕麦	25	23	38×8
向日葵	58	156	22×8
番茄	12	130	13×6
苹果	0	400	14×12
莲	40	0	



第四节 植物的蒸腾作用

(二) 经过气孔的扩散——小孔扩散律

气孔数目很多
但直径很小 → 气孔所占的
总面积也很小

气孔总面积一般不超过叶面积的1%。而通过气孔的蒸腾量却相当于与叶面积相等的自由水面蒸发量的15%~50%，甚至达到100%。

也就是说,气孔扩散比同面积的自由水面快几十到**100**倍,
这是什么道理呢?

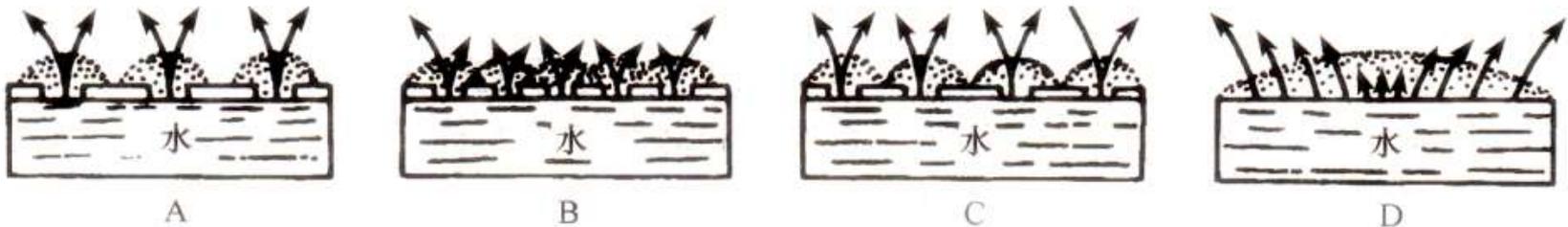


图 2-9 水分通过多孔表面 (A~C) 和自由水面 (D) 的蒸发情况图解

A. 小孔分布稀疏; B. 小孔分布过密, 彼此干扰大;

C. 小孔分布适当, 总蒸发量接近于自由水面; D. 自由水面的蒸发



第四节 植物的蒸腾作用

小孔扩散律(small pore diffusion law): 气体通过多孔表面的扩散速率,不与小孔的总面积成正比,而与**总小孔的周长成正比**。

原理: ①气体分子通过气孔扩散,孔中央水蒸气分子彼此碰撞,扩散速率很慢;在孔边缘,水分子相互碰撞的机会较少,扩散速率快。

②小孔的周长面积比(周长/面积)非常大

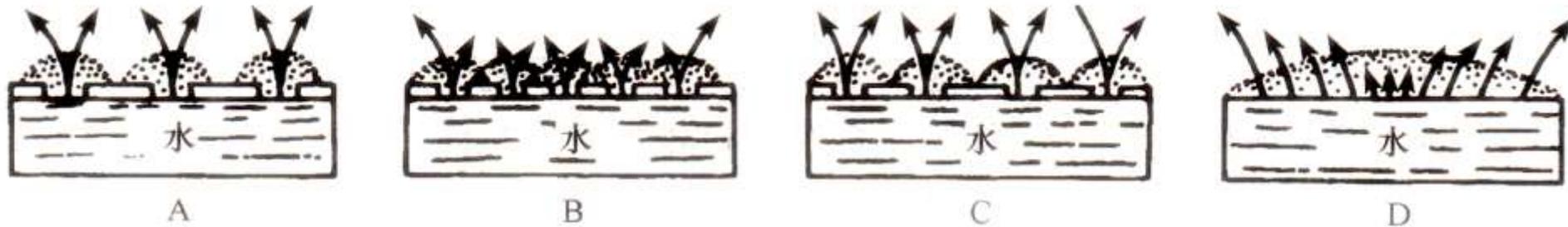


图 2-9 水分通过多孔表面 (A~C) 和自由水面 (D) 的蒸发情况图解

A. 小孔分布稀疏; B. 小孔分布过密, 彼此干扰大;

C. 小孔分布适当, 总蒸发量接近于自由水面; D. 自由水面的蒸发



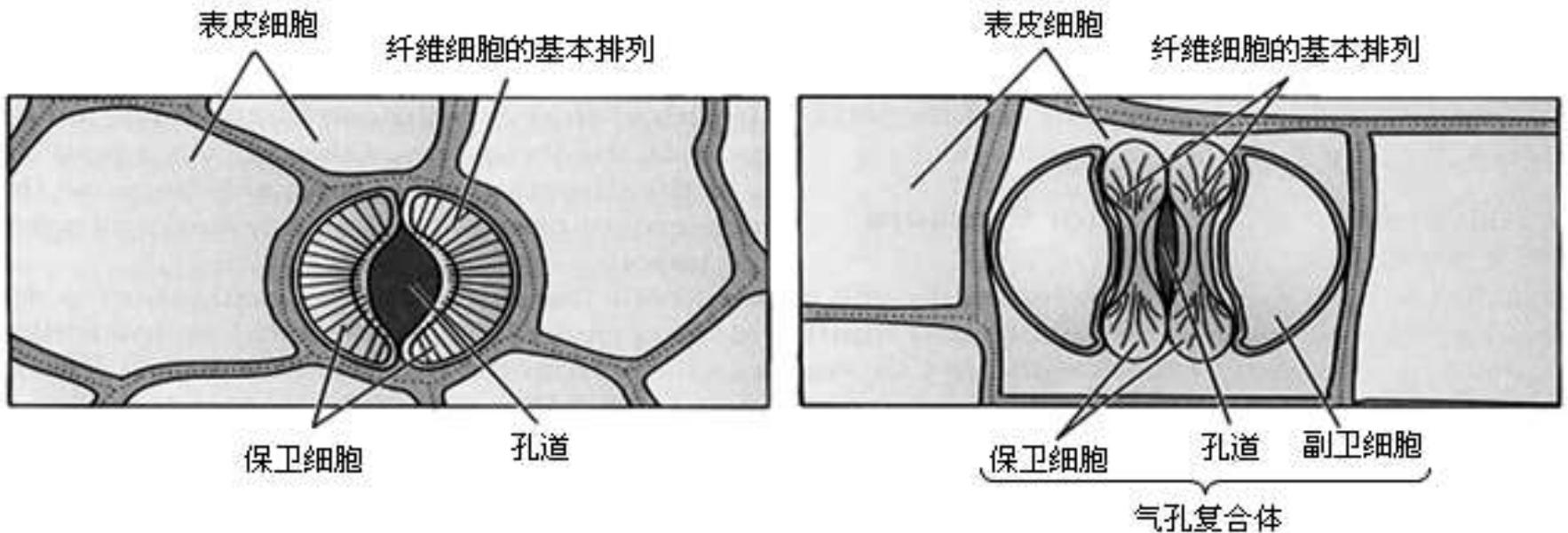
第四节 植物的蒸腾作用

(三)气孔运动

大多数植物气孔一般白天张开,夜间关闭。

保卫细胞结构特点:

- ①细胞壁不均匀加厚
- ②辐射状横缠绕排列微纤丝



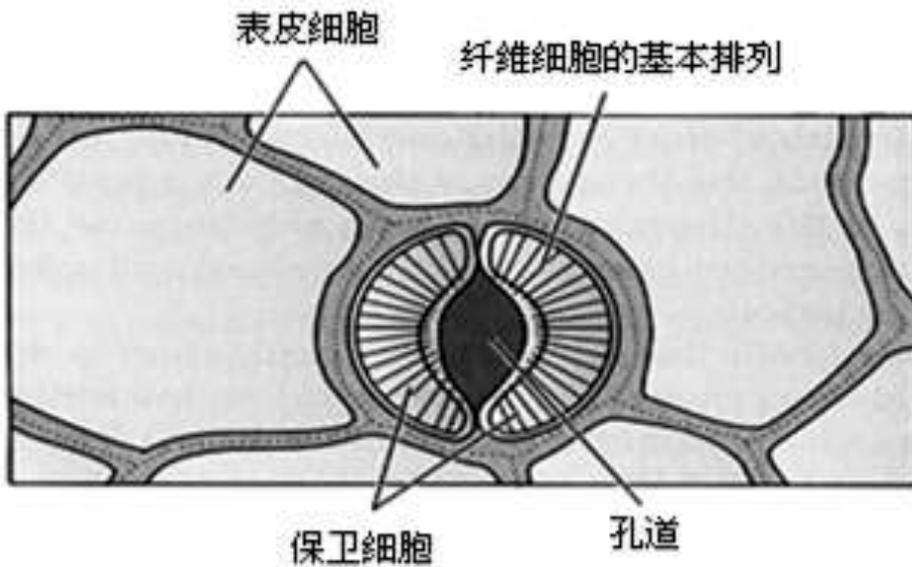


第四节 植物的蒸腾作用

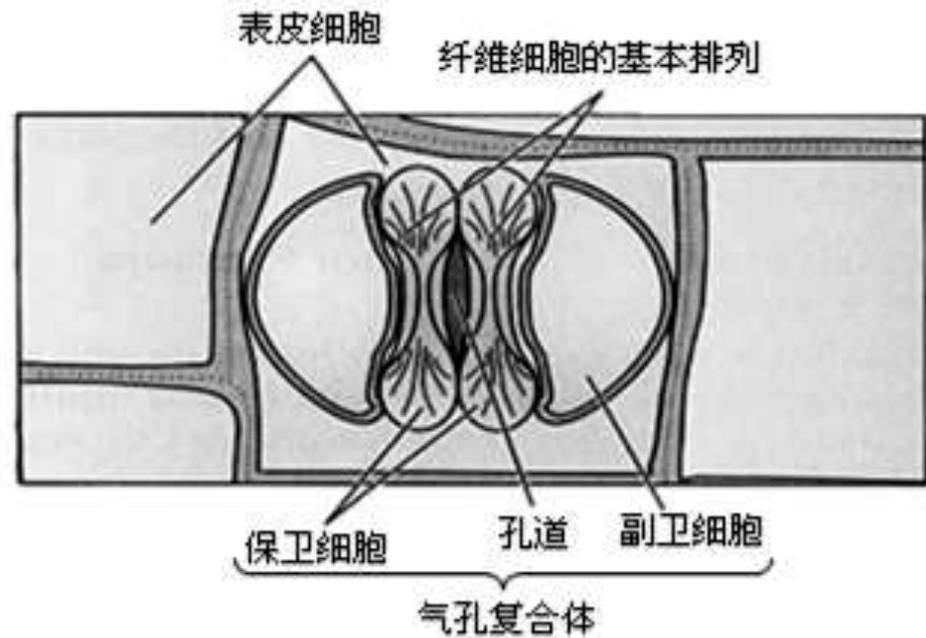
细胞壁不均匀加厚

双子叶植物：如棉花、烟草的保卫细胞呈新月形，靠近气孔一侧的胞壁厚，背对气孔一侧的胞壁薄。

单子叶植物：如水稻、小麦的保卫细胞呈哑铃形，中间部分细胞壁厚，两端薄。



双子叶植物



单子叶植物

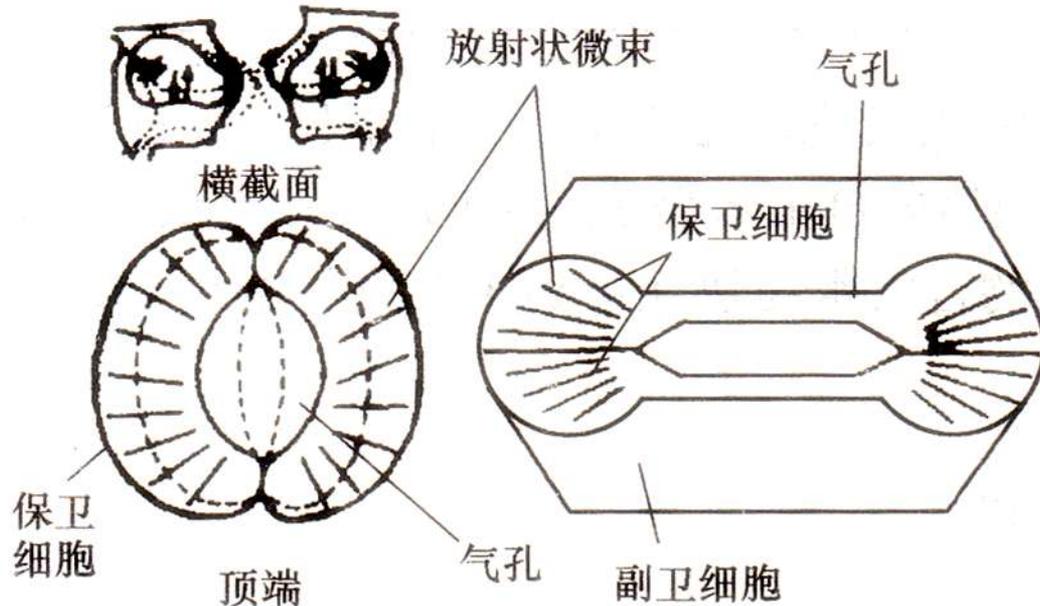


第四节 植物的蒸腾作用

微纤丝难以伸长

双子叶植物: 保卫细胞吸水膨胀时,较薄的外侧胞壁向外扩展(膨胀)同时带动微纤丝向外运动,拉动保卫细胞较厚的内侧壁向外运动,气孔张开。

单子叶植物: 保卫细胞吸水时,微纤丝限制了细胞纵向伸长,细胞两端的薄壁区横向膨大,将两个保卫细胞的中部推离开,于是气孔张开。

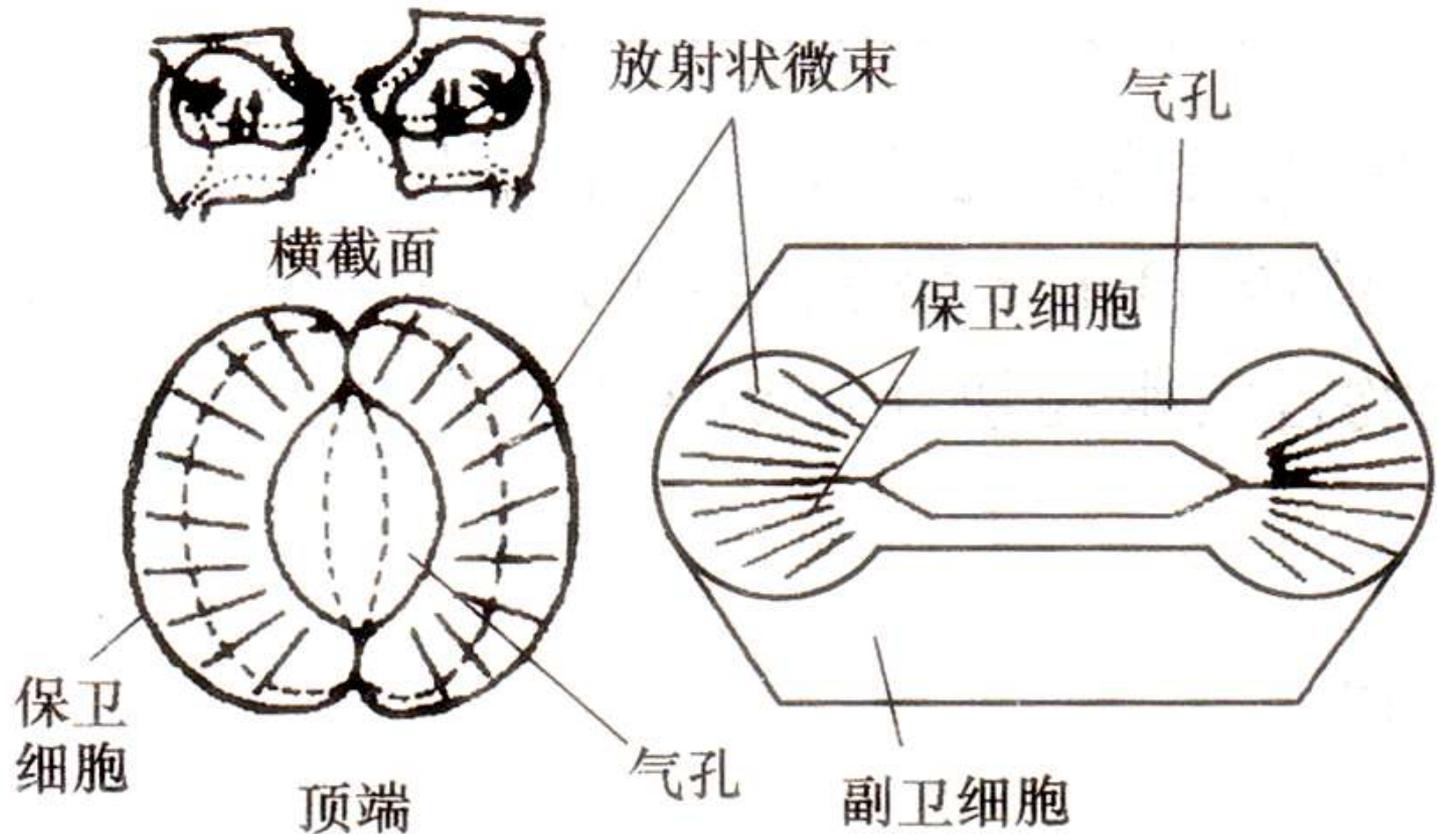




第四节 植物的蒸腾作用

保卫细胞失水时,以上过程逆转,气孔关闭。

保卫细胞壁上辐射状排列的微纤丝是气孔运动的关键性结构基础。





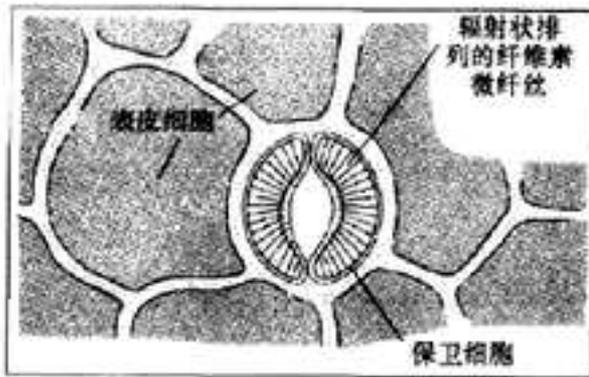
第四节 植物的蒸腾作用

(四)气孔运动的控制机理

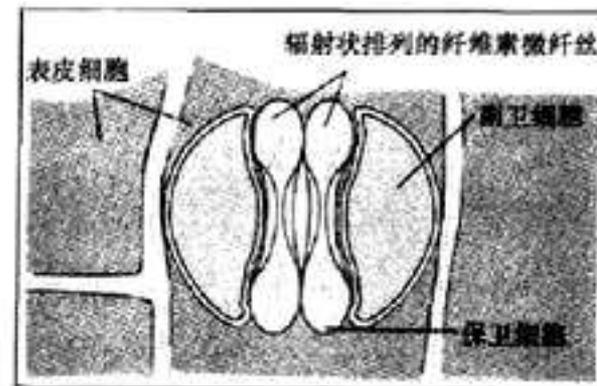
气孔运动实质上是两个保卫细胞内水分得失引起的体积或形状变化的结果。气孔运动与保卫细胞结构特点密切相关,与其他表皮细胞相比,多数植物保卫细胞具有如下特点:①细胞体积小,有利于膨压迅速而显著地改变;②细胞壁上有呈辐射状排列的微纤丝能够控制细胞的膨胀方向;③细胞质含有数目较多的线粒体;④叶绿体较小,缺乏垛叠的基粒,其中常有淀粉的积累,其淀粉的变化规律是白天减少、夜晚增多;⑤保卫细胞与推卸细胞之间没有胞间连丝联系。

关于气孔运动的控制机理,目前主要有以下三种学说(图2-11)。

(A) 双子叶植物



(B) 单子叶植物





第四节 植物的蒸腾作用

1. 淀粉与糖转化学说

在光下
 ↓
 光合作用消耗了CO₂
 ↓
 保卫细胞质pH增高到7
 ↓
 淀粉磷酸化酶催化正向反应
 ↓
 淀粉水解为葡萄糖-1-磷酸
 ↓
 引起保卫细胞渗透势下降、水势降低
 ↓
 从周围细胞吸取水分
 ↓
 保卫细胞膨大，气孔张开

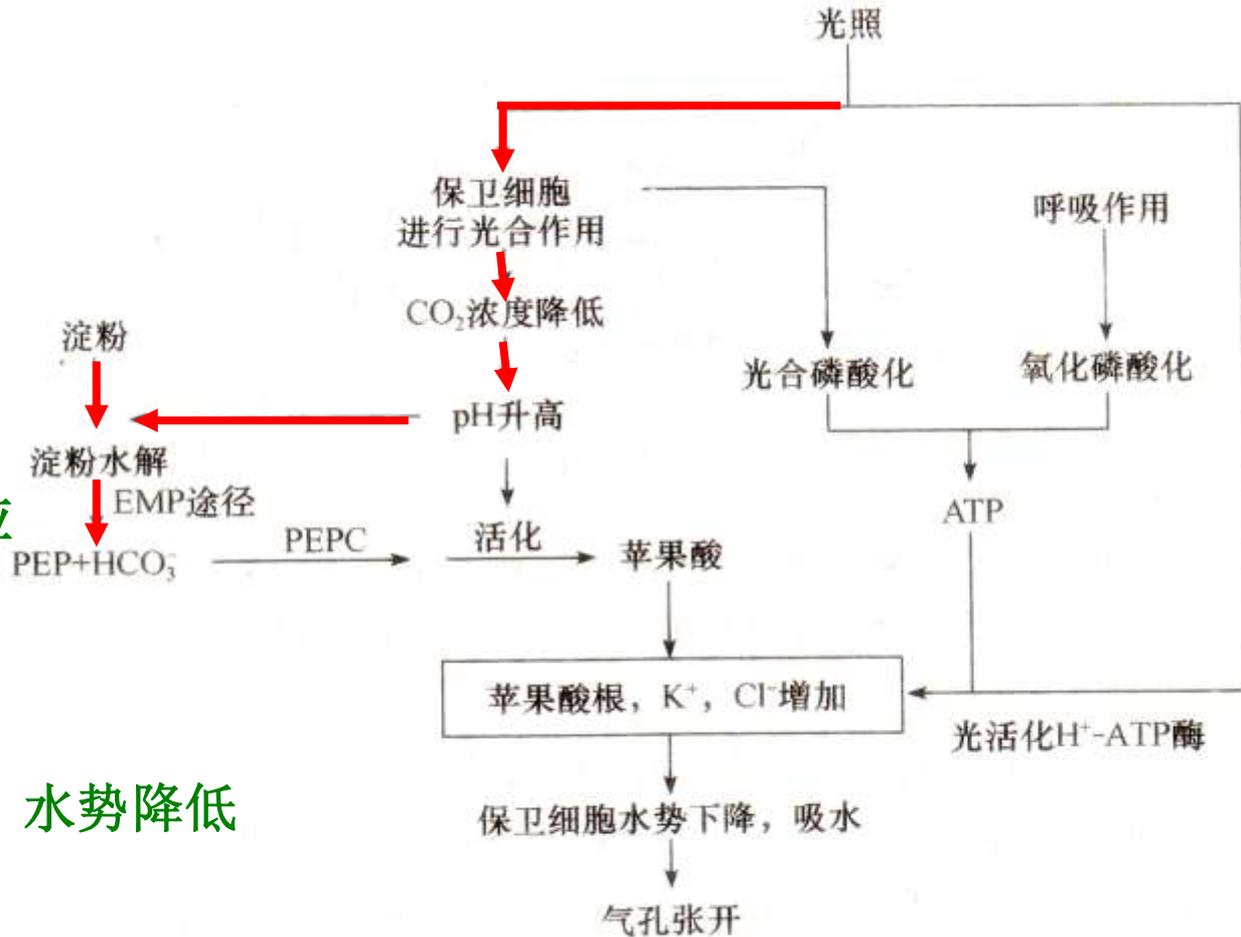


图 2-11 光下气孔开启机理



第四节 植物的蒸腾作用

在黑暗中
↓
保卫细胞光合作用停止，而呼吸作用仍进行
↓
CO₂积累，pH下降到5左右
↓
淀粉磷酸化酶催化逆向反应
↓
葡萄糖-1.磷酸转化成淀粉
↓
溶质颗粒数目减少
↓
细胞渗透势、水势增大
↓
细胞失水,膨压丧失,气孔关闭

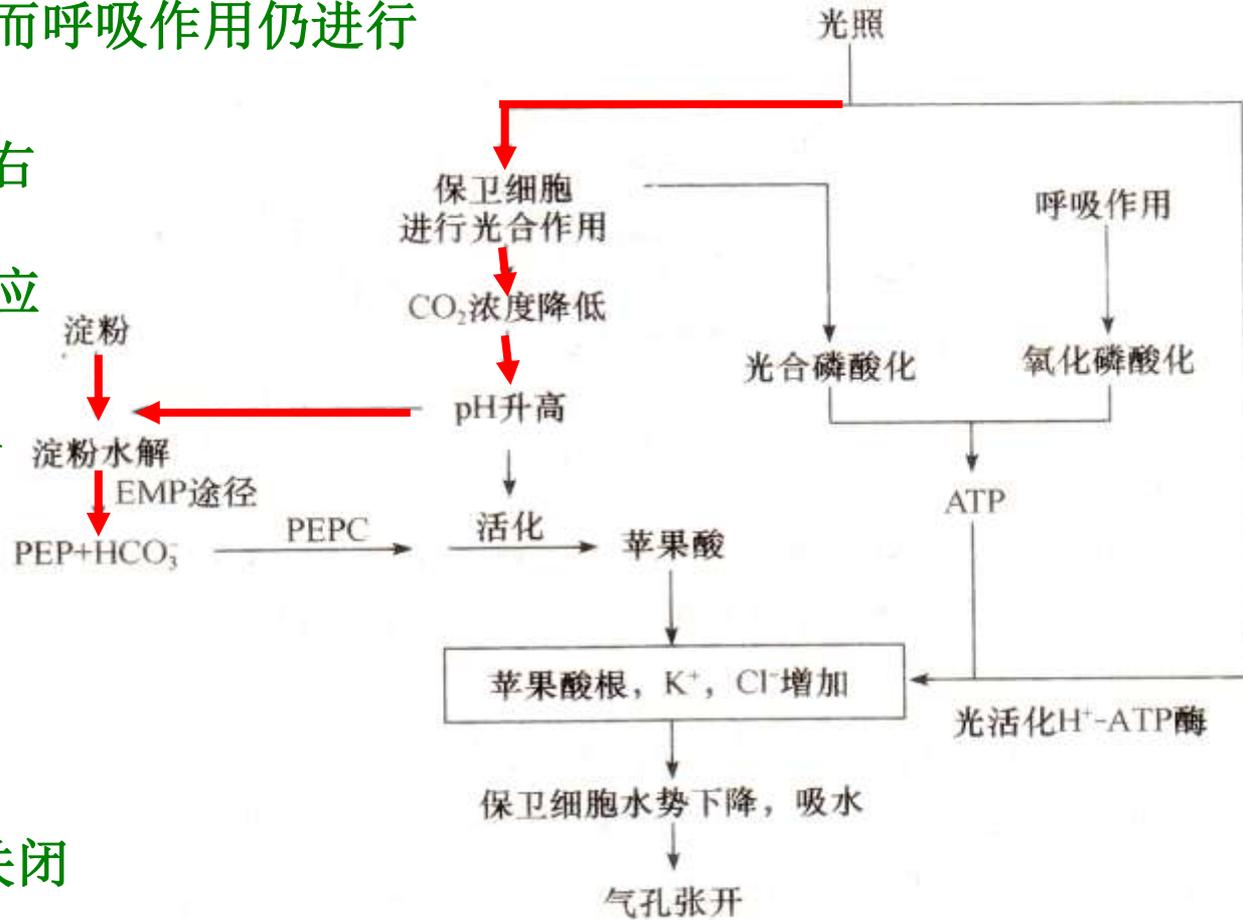


图 2-11 光下气孔开启机理



第四节 植物的蒸腾作用

2. K⁺积累学说

在光下



保卫细胞质膜上的H⁺-ATPase被激活



利用ATP的能量将H⁺从保卫细胞转运到胞外



形成质子动力势



驱动K⁺从胞外经
内向K⁺通道进入保卫细胞



胞内K⁺浓度增加,水势降低



细胞吸水,气孔张开

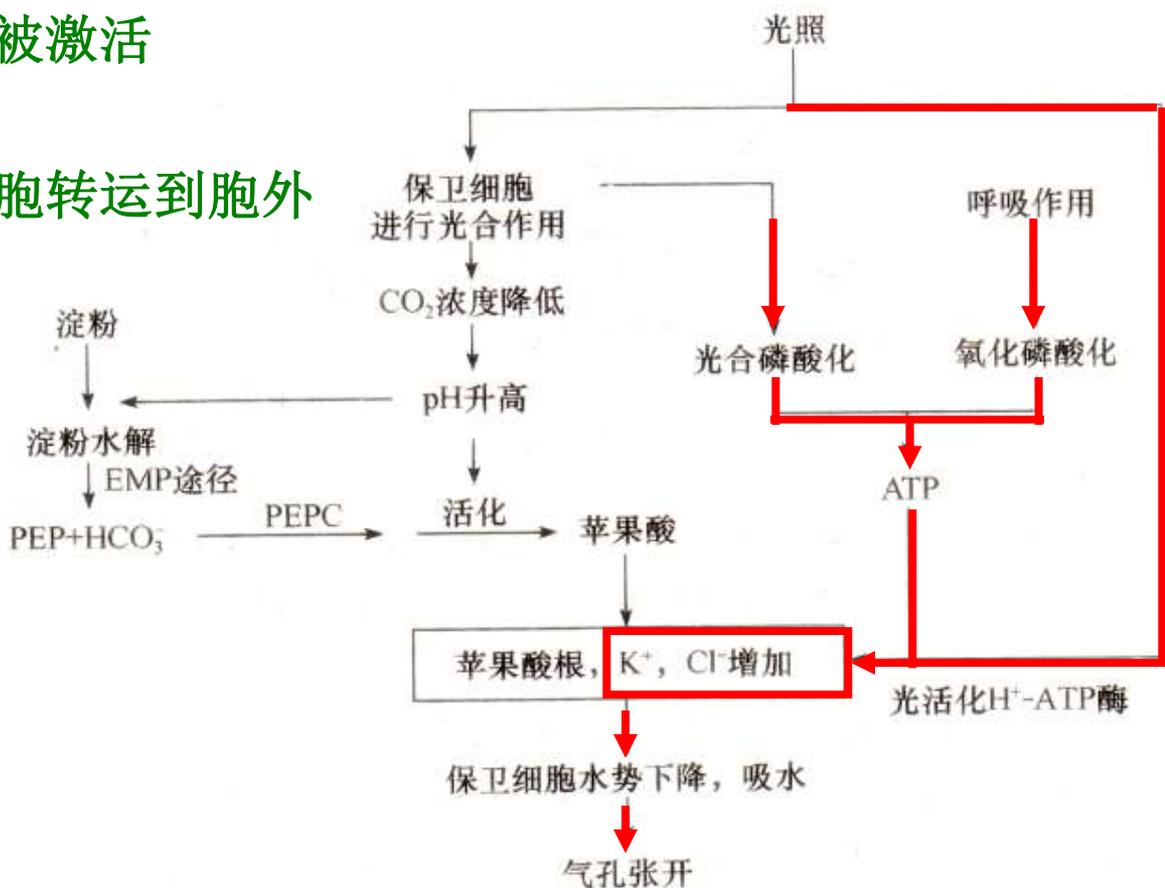


图 2-11 光下气孔开启机理



第四节 植物的蒸腾作用

在暗中

光合作用停止

H⁺-ATPase停止向胞外转运H⁺

保卫细胞质膜去极化

驱使K⁺经外向K⁺通道向胞外转移, 并伴有阴离子的释放

水势升高

保卫细胞失水,气孔关闭

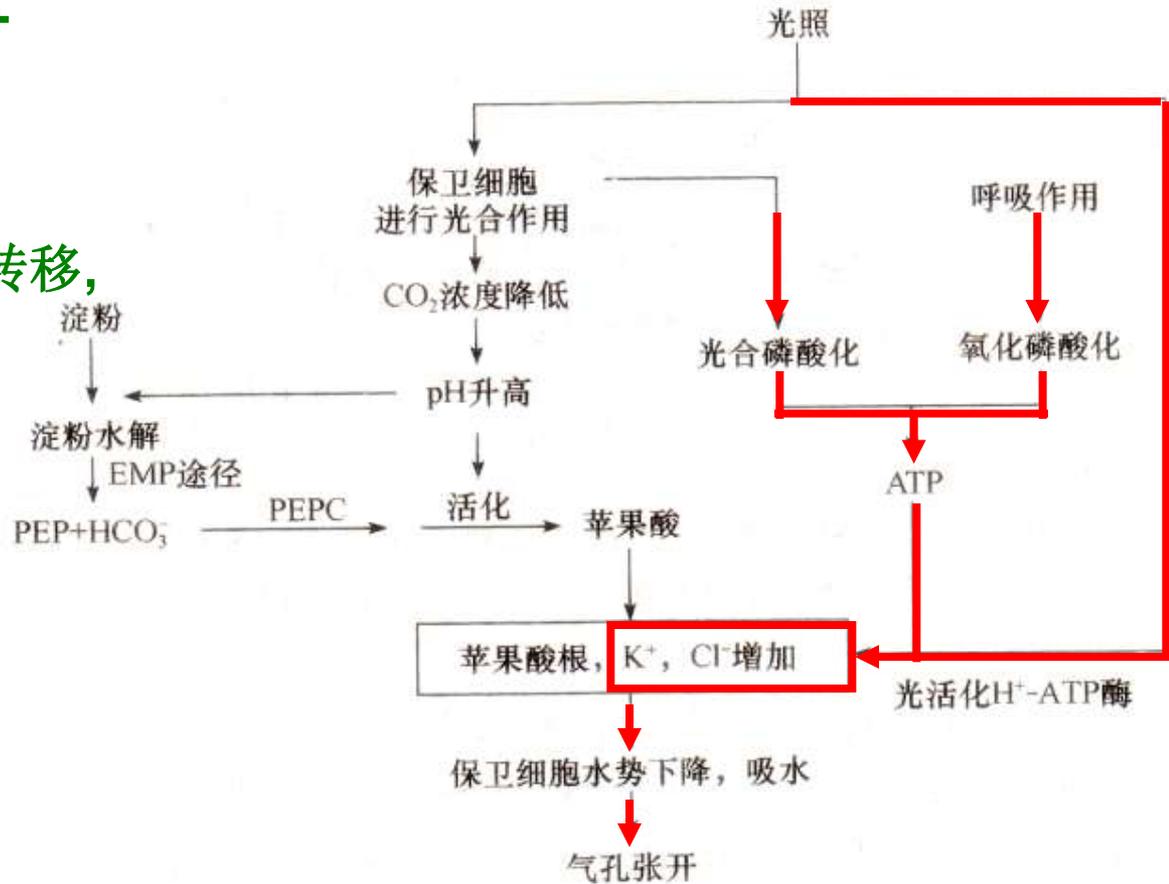


图 2-11 光下气孔开启机理



第四节 植物的蒸腾作用

3. K^+ -苹果酸根学说

在光照下,保卫细胞内部 CO_2 被利用时,pH就上升至8.0~8.5,可活化PEP羧化酶,催化由淀粉降解产生的PEP与 HCO_3^- 结合形成草酰乙酸,并进一步被NADPH还原为苹果酸。

苹果酸解离为 $2H^+$ 和苹果酸根,在 H^+/K^+ 泵驱使下, H^+ 与 K^+ 交换,保卫细胞内 K^+ 浓度增加,水势降低,保卫细胞吸水,气孔张开;苹果酸根进入液泡和 Cl^- 共同与 K^+ 在电学上保持平衡。同时,苹果酸的存在还可降低水势。当叶片由光下转入暗处时,过程逆转。

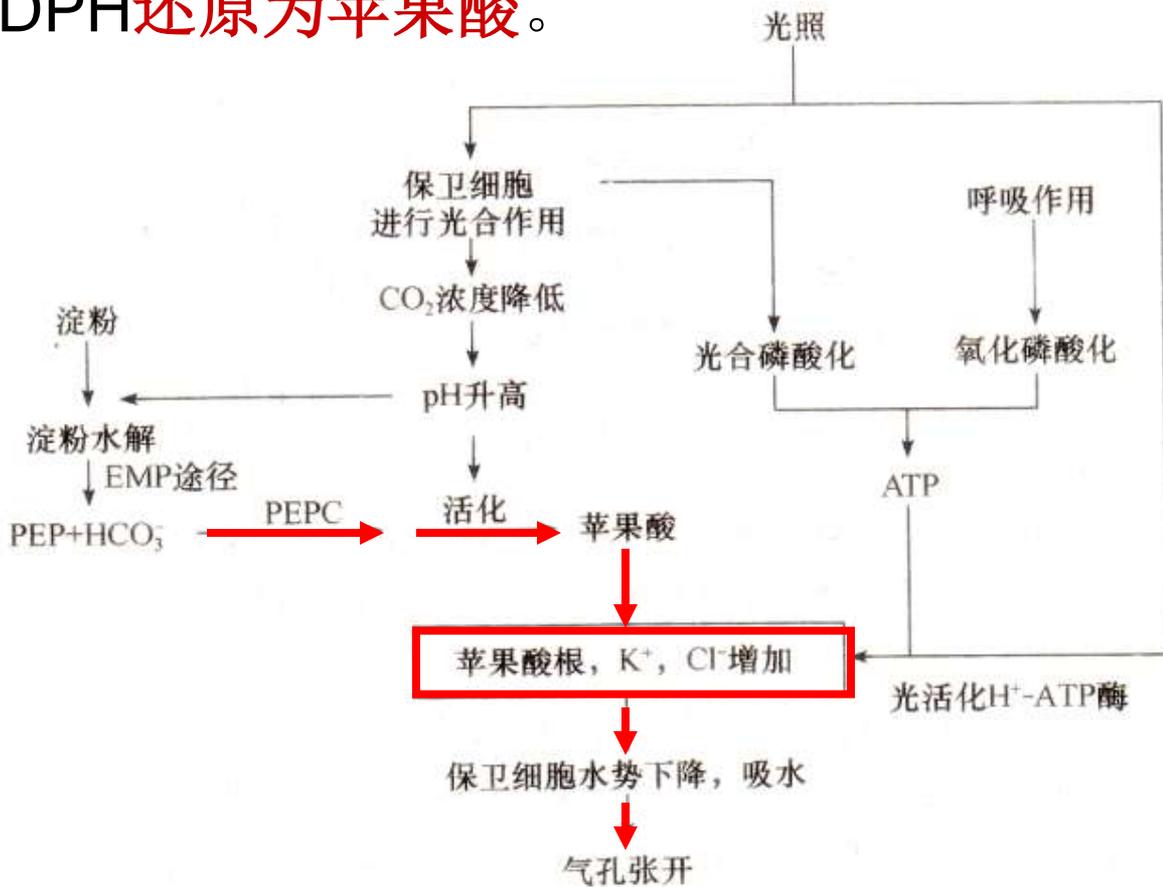


图 2-11 光下气孔开启机理



第四节 植物的蒸腾作用

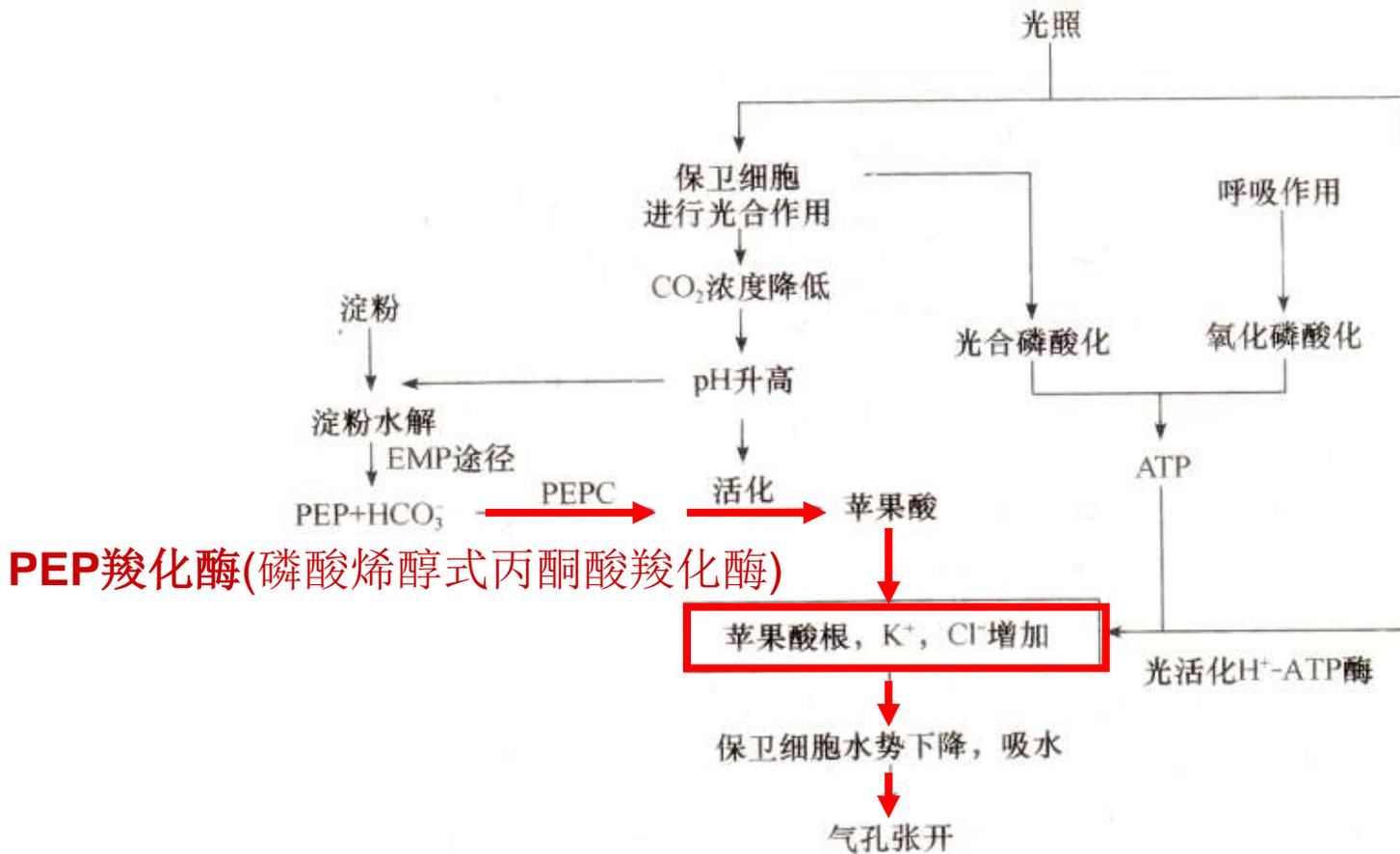
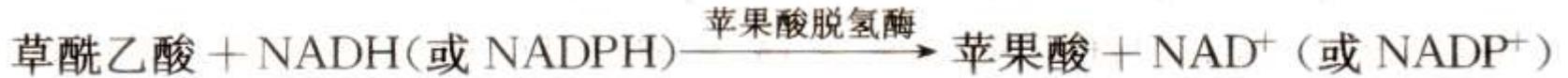
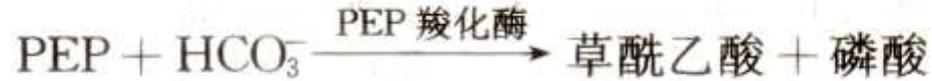


图 2-11 光下气孔开启机理



第四节 植物的蒸腾作用

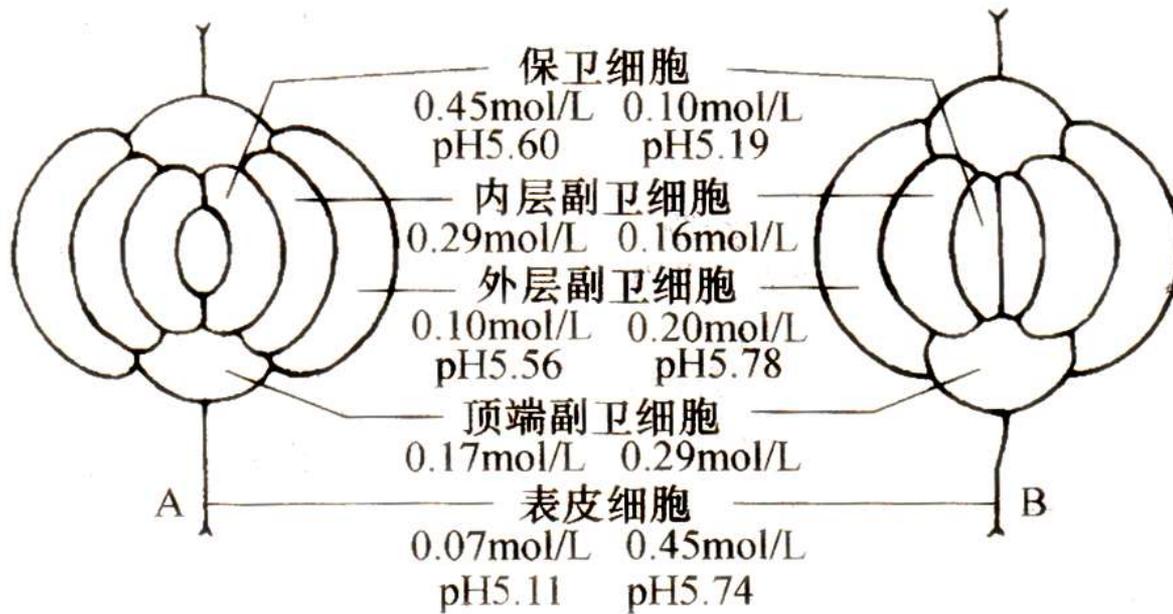


图 2-12 鸭跖草 (*Commelina cammunis*) 气孔开放 (A) 或关闭 (B) 状态
气孔复合体各细胞中 K^+ 浓度和 pH 变化

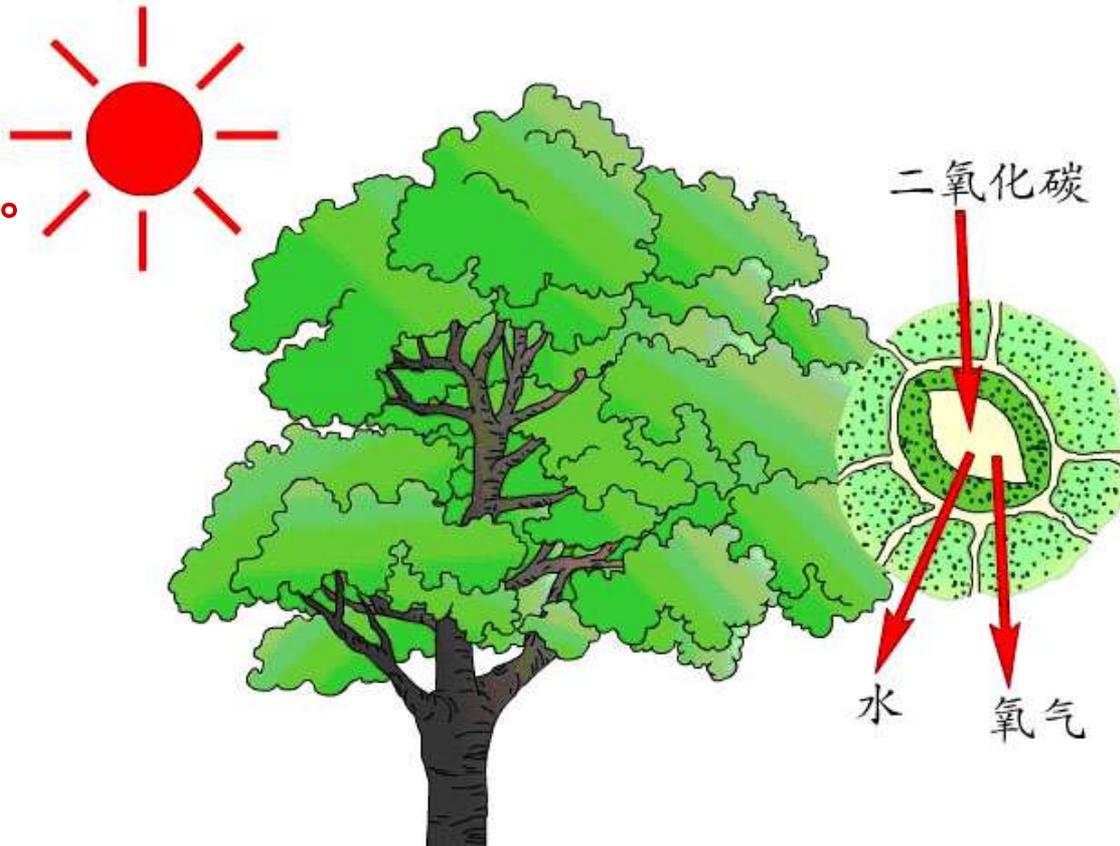


第四节 植物的蒸腾作用

(五)环境因子对气孔运动的调节

1. 二氧化碳 叶片内部**低 CO_2 分压**可使气孔张开, **高 CO_2 分压**则使**气孔关闭**, 在光下或黑暗中都可以观察到这种现象。其他外界环境因素(光照、温度等)很可能是通过影响叶内 CO_2 浓度而间接影响气孔开关的。

2. 光 一般情况下, 光照使**气孔开放**, 黑暗使**气孔关闭**。光诱导气孔开张的过程需要1h左右, 而暗诱导关闭则比较快。不同波长的光对气孔张开的调节作用存在差异, 其中**蓝光和红光最有效**。





第四节 植物的蒸腾作用

3. 温度 气孔开度**一般随温度升高而增大**。在 25°C 时气孔开度达最大,但 30°C 以上的高温会引起气孔关闭。低温下长时期光照也不能使气孔张开。

4. 水分 叶片的水势对气孔开张有着强烈的控制作用。当叶片**水势下降时,气孔开度减少或关闭**。缺水对气孔开度的影响比光、温和 CO_2 更为显著。

5. 风 **高速气流(风)可使气孔关闭**。这可能是由于高速气流下蒸腾加快,保卫细胞失水过多所致。





第四节 植物的蒸腾作用

四、蒸腾作用的调节

植物一生都面临着
水分收支平衡的问题

一方面,植物通过根系不断地从土壤中吸取水分;
另一方面,地上枝叶又不可避免地以蒸腾方式散失水分



第四节 植物的蒸腾作用

通常情况下导致植物水分收支不平衡的主要原因是枝叶的蒸腾速率大于根系的吸水速率。

因此在维持水分平衡过程中,降低蒸腾速率是主要的方面。在这方面,陆生植物主要是通过调节气孔的开度来实现的。





第四节 植物的蒸腾作用

气孔调节方式 { 前馈式(feed forward manner)
反馈式(feed back manner)

前馈式调节机制: 相当于气孔的预警系统,在植物叶片严重缺水之前能够避免水分过量散失。

先知先觉

当空气湿度和土壤水分下降后,叶片水势并未发生变化,气孔已经关闭,这对植物有效利用土壤水分具有重要的意义。





第四节 植物的蒸腾作用

前馈式调节机制与从根系发出的根源信号物质有关。

土壤含水量逐渐减少，部分根系处于脱水状态



根系产生根源信号物质**ABA**



通过木质部运到地上部分



向外转运**K⁺**的数量增加，同时减少**K⁺**向内流动



水势升高,保卫细胞失水



膨压下降,气孔开度变小



第四节 植物的蒸腾作用

反馈式调节: 当叶片水势降到某一临界值以下时气孔开始关闭,以减少水分的进一步散失,使叶片水势复原。

后知后觉





第四节 植物的蒸腾作用

气孔开始关闭时的叶片水势称为临界水势(critical water potential), 临界水势可以表示植物对土壤干旱的忍受程度。

各种植物的临界水势不同,一般而言临界水势低则耐旱性强。经过周期性干湿交替处理后植物的临界水势值比原来降低。





第四节 植物的蒸腾作用

抗蒸腾剂(antitranspirant)

(1)代谢型抗蒸腾剂：通过调节植物生理。①能**通过减少保卫细胞的膨胀**,使气孔开度变小,如黄腐酸、甲草胺、阿特拉津等;②能**改变保卫细胞膜透性**,如苯汞乙酸、烯基琥珀酸等。



黄腐酸抗旱剂

功能特性： 缩小植株叶片气孔的开张度，减少植株水分过度蒸腾。一个生长周期喷施两次可少浇一次水，并可增强作物抗旱、抗寒、抗干热风能力。喷施一次可持效**15-25**天。



第四节 植物的蒸腾作用

(2)薄膜型抗蒸腾剂：这类物质施于植物叶面后,形成单分子薄层,阻碍水分散失。如长链醇类、硅酮、丁二烯丙烯酸等。



抗蒸腾剂喷施后叶片表面成膜效果时喷施效果

东大桥银杏移栽



第四节 植物的蒸腾作用

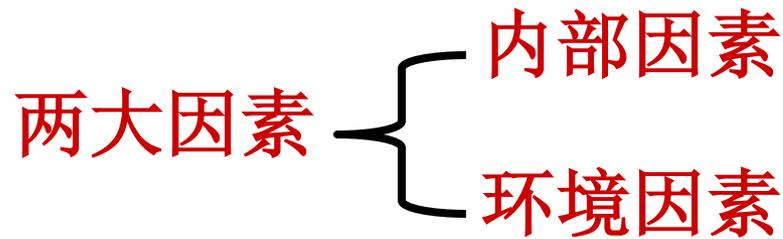
(3)反射性抗蒸腾剂：这类物质能反射光,喷施于植物叶面后增加叶片对光的反射,减少光能的吸收,降低叶温,从而减少蒸腾量。如高岭土等。





第四节 植物的蒸腾作用

五、影响蒸腾作用的因素



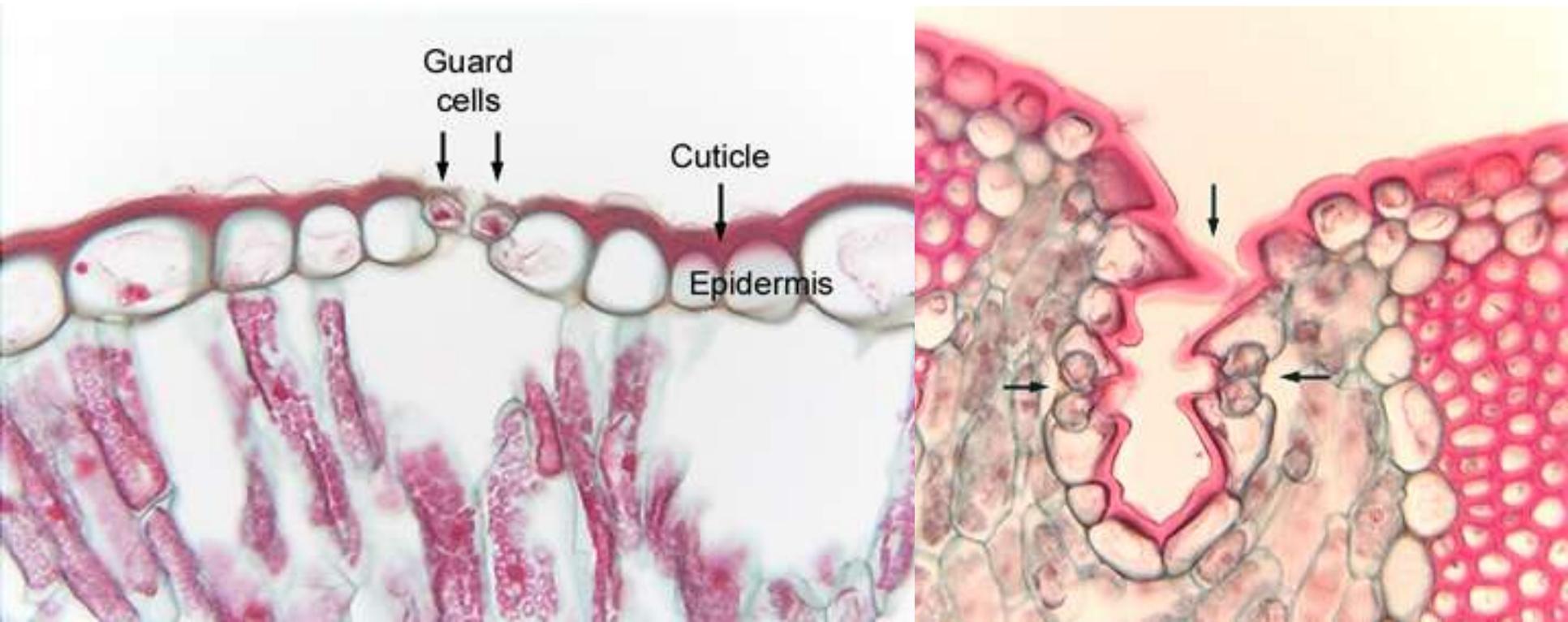
内部因素:

- ①气孔频度(stomatal frequency), 即每平方厘米叶片的气孔数目
- ②气孔大小
- ③内表面积, 即暴露于叶内空间的叶肉细胞湿润细胞壁面积
- ④气孔的构造特征 (主要内部因素)
- ⑤根系发达与否



第四节 植物的蒸腾作用

气孔的构造特征是影响气孔蒸腾的主要内部因素。有些植物(如苏铁)气孔内陷,气体扩散阻力增大;有些植物内陷的气孔口还有表皮毛,更增大了气孔阻力,有利于降低气孔蒸腾。

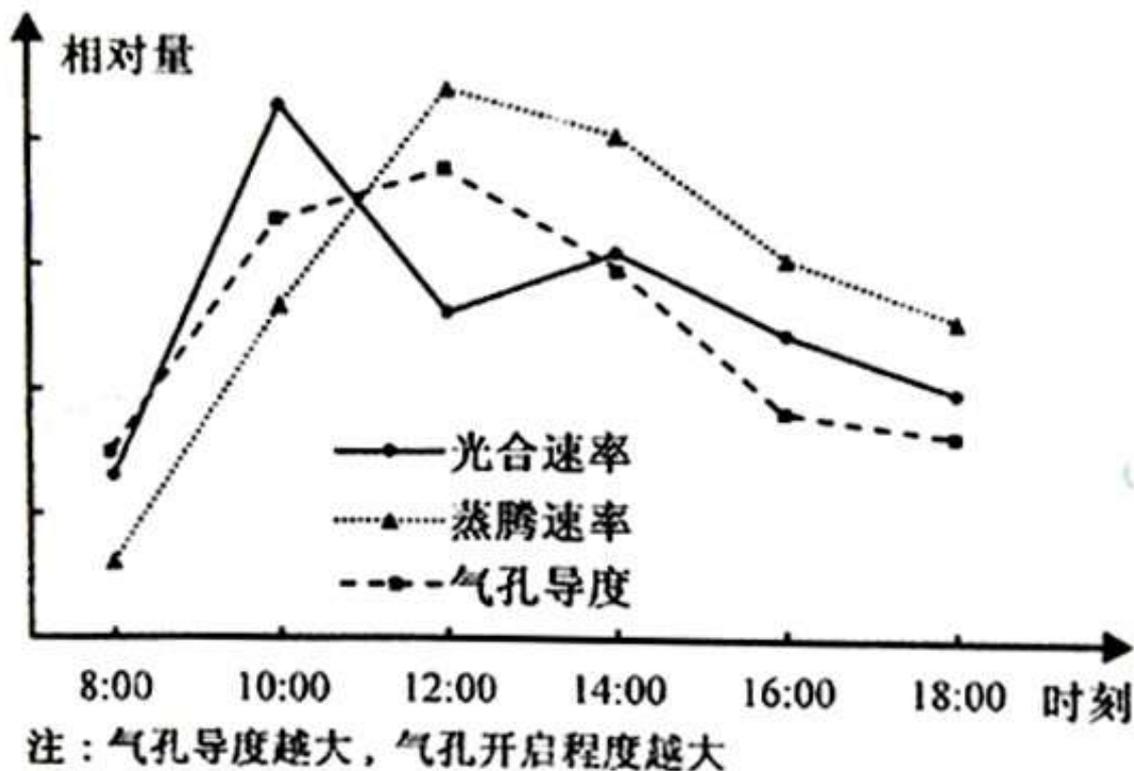




第四节 植物的蒸腾作用

(二)环境因素对蒸腾的影响

1.光照 光照对蒸腾起着决定性的促进作用。叶片吸收的太阳辐射能只有少部分用于光合,而大部分用于蒸腾。另外,光直接影响气孔的开闭。大多数植物,气孔在暗中关闭,蒸腾减少;在光下张开,蒸腾加强。光照还可通过提高温度而影响蒸腾。





第四节 植物的蒸腾作用

2.大气湿度 湿度可用**蒸汽压值**和**相对湿度**表示。

蒸汽压值：水蒸气在大气中的分压。

饱和蒸汽压：在一定温度下,大气所具有的最大蒸汽压值。

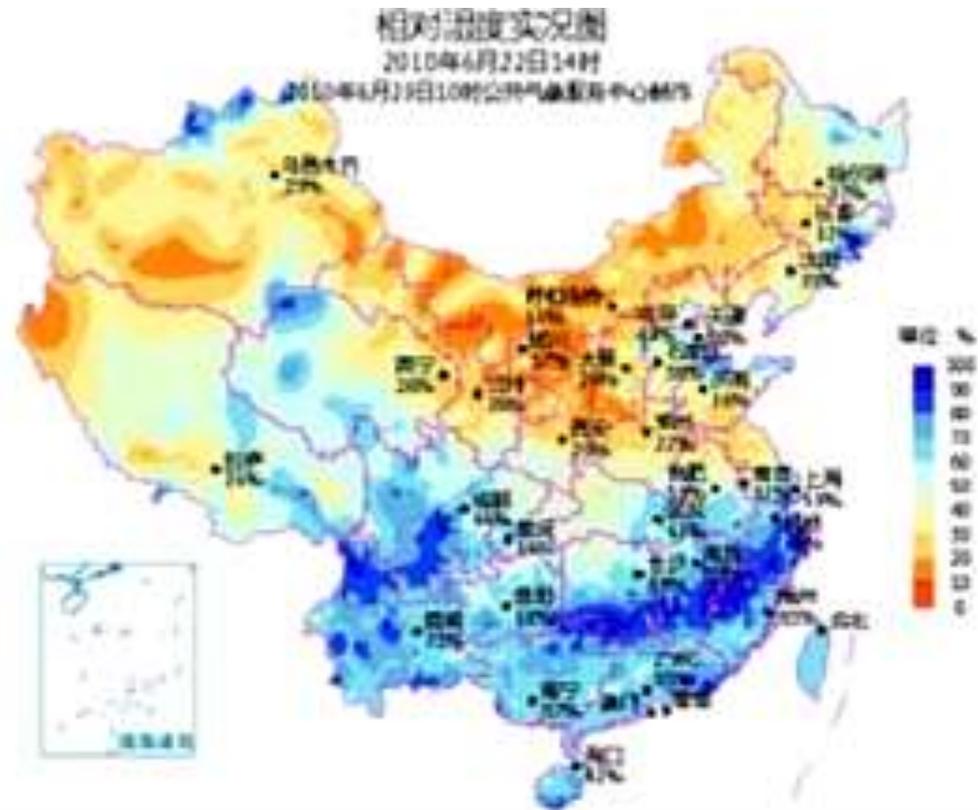
相对湿度：特定温度下实际蒸汽压占饱和蒸汽压的百分比。是反映大气饱和程度的指标。



第四节 植物的蒸腾作用

在自然条件下,只要气孔开着,水汽从叶面向外**扩散**的速率在很大程度上取决于细胞间隙的蒸汽压与外界大气的蒸汽压之差。

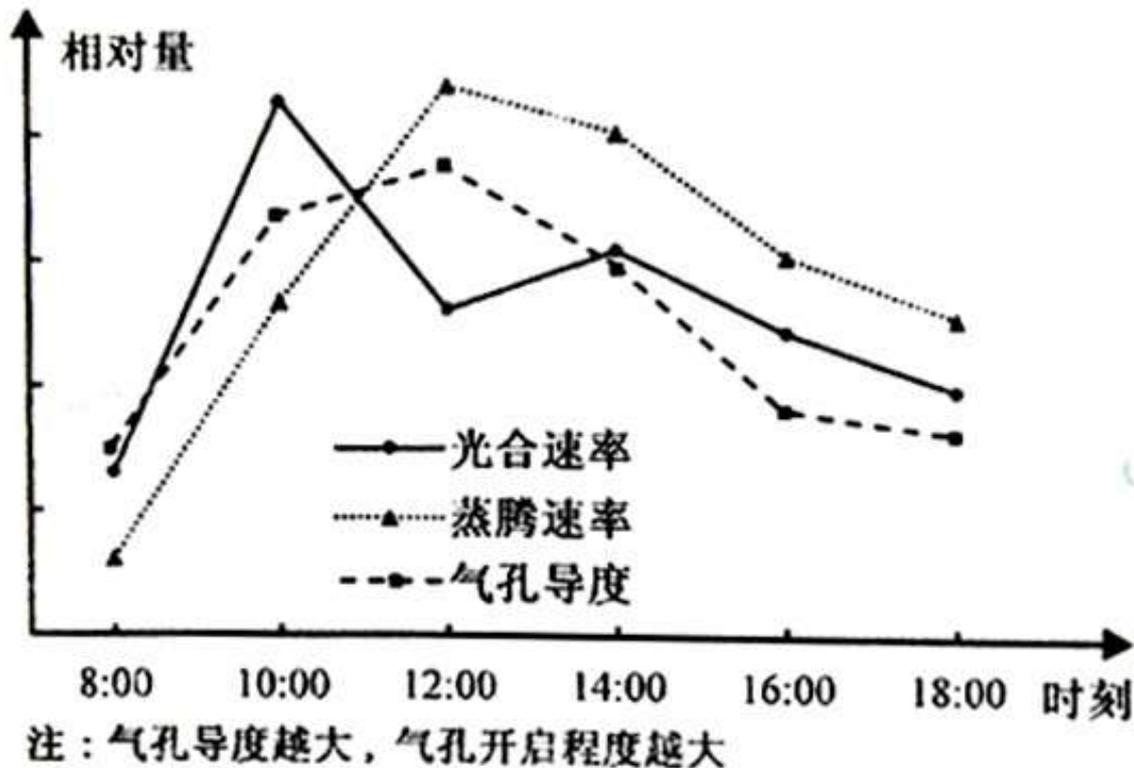
大气的蒸汽压越大,蒸腾就越弱。





第四节 植物的蒸腾作用

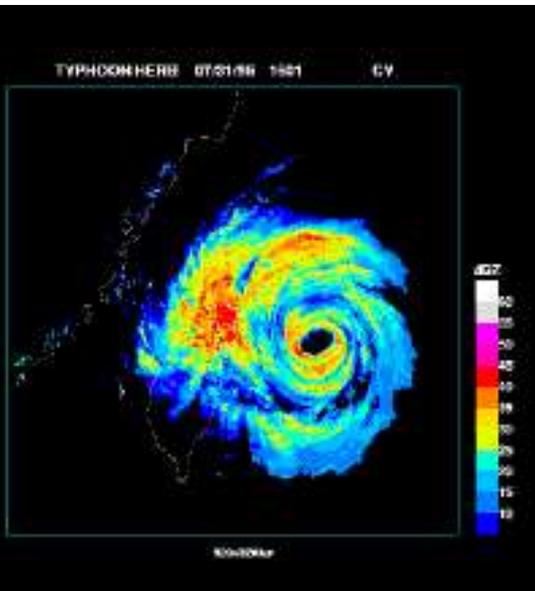
3.大气温度 一方面,在自然状况下,气温和叶温常不会相同,尤其在太阳直射下,叶温较之气温一般高 $2\sim 10^{\circ}\text{C}$ 。另一方面,植物组织内水汽经常接近于饱和,而大气则亏缺很大。所以**气温增高时**,气孔下室细胞间隙的蒸汽压的增大多于大气蒸汽压的增大,所以**叶内外的蒸汽压差加大**,有利于水分从叶内逸出,**蒸腾加强**。





第四节 植物的蒸腾作用

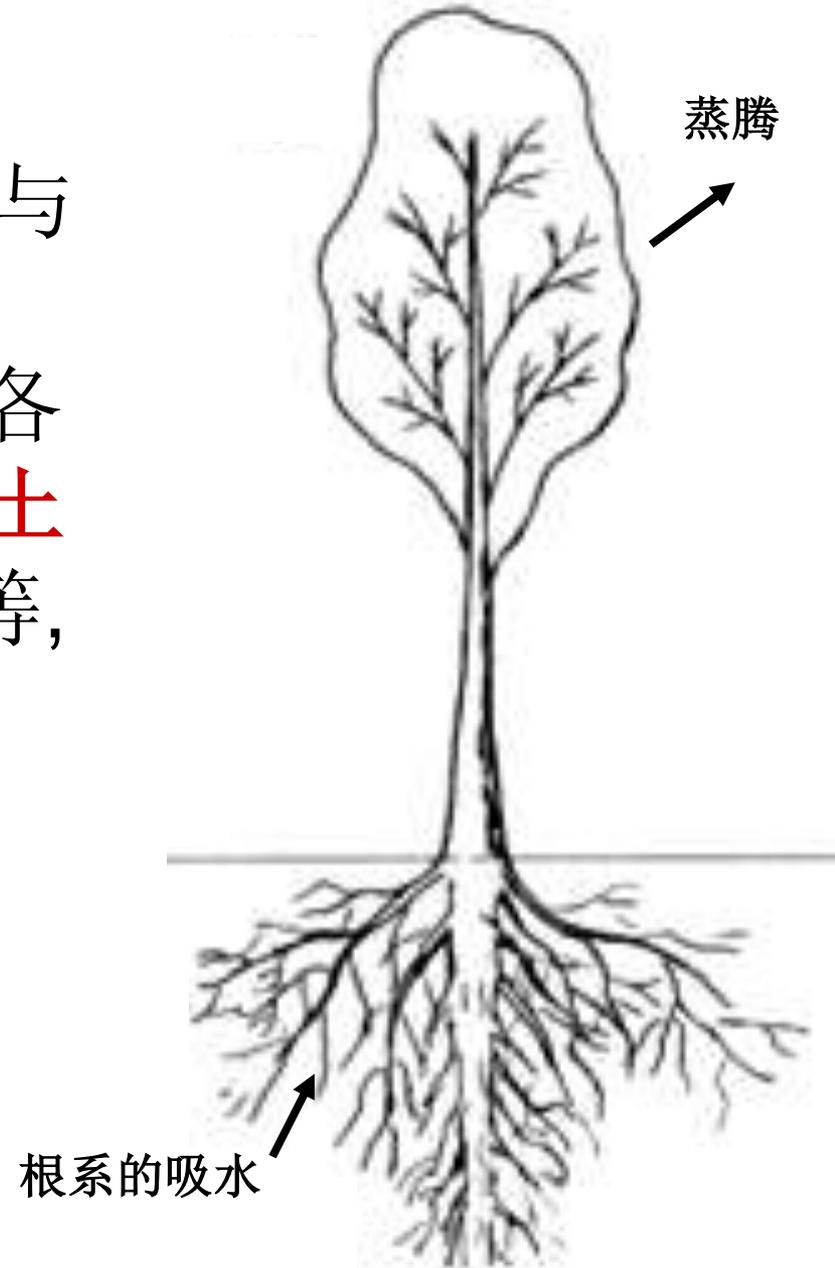
4.风 风对蒸腾的影响比较复杂, ①**微风**能够加快蒸腾速度。②**强光下**,风可明显降低叶温,不利蒸腾。③**强风**使保卫细胞迅速失水,导致气孔关闭,内部阻力加大,使蒸腾显著减弱。④**湿风**降低蒸腾。⑤**干风**促进蒸腾。





第四节 植物的蒸腾作用

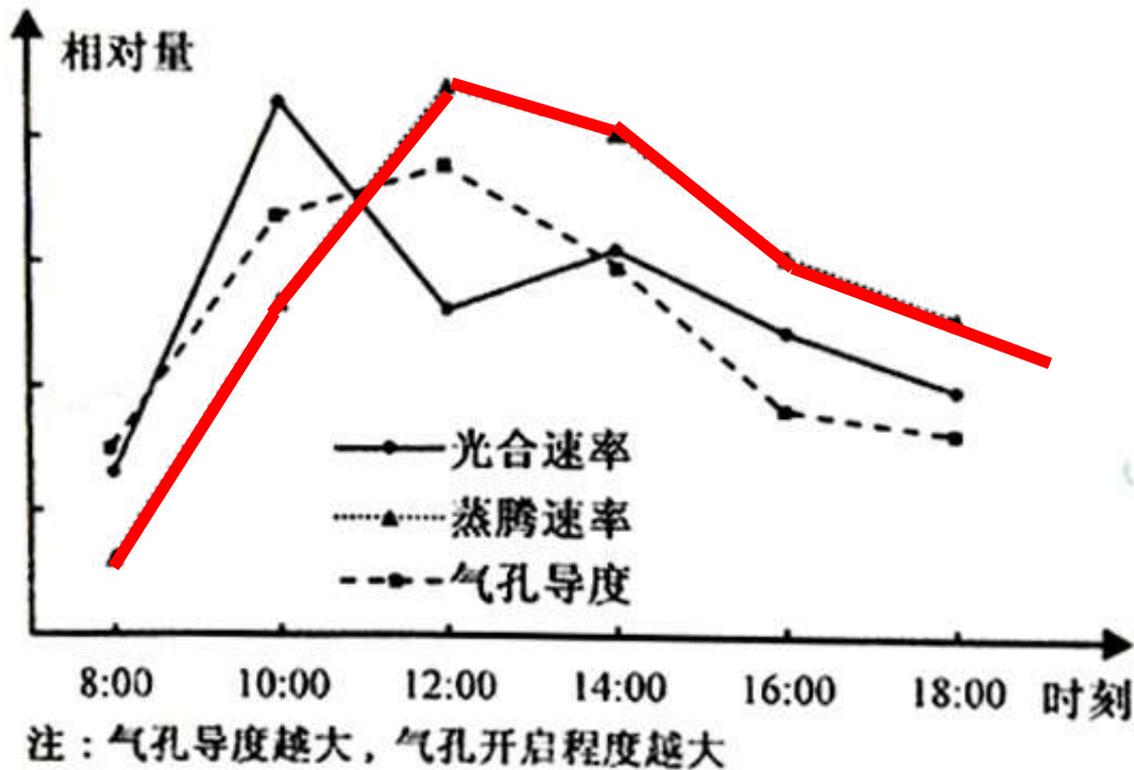
5.土壤条件 植物地上蒸腾与根系的吸水有密切的关系。因此,凡是影响根系吸水的各种土壤条件,如①**土温**、②**土壤通气**、③**土壤溶液浓度**等,均可间接影响蒸腾作用。





第四节 植物的蒸腾作用

影响蒸腾的因素并不是孤立的,而是相互影响、共同作用于植物体。一般在晴朗无风的夏天,土壤水分供应充足,空气又不太干燥时,作物1d的蒸腾变化情况是:清晨日出后,温度升高,大气湿度下降,蒸腾随之增强;一般在14:00前后达到高峰;14:00以后由于光照逐渐减弱,作物体内水分减少,气孔逐渐关闭,蒸腾作用随之下下降,日落后蒸腾迅速降到最低点。



第五节 水分在植物体内的向上运输

- 一. 植物体内水分运输的途径
- 二. 水分运输的速度
- 三. 水分向上运输的机制
- 四. 土壤-植物-大气连续体系



第五节 水分在植物体内的向上运输

一、植物体内水分运输的途径

植物的根部从土壤吸收水分,通过茎转运到地上部叶片及其他器官,少部分参与代谢和构建植物体,绝大部分通过蒸腾作用以水汽状态散失到外界大气中。水分在整个植物体内运输的途径为:**土壤→根毛→根皮层→根中柱鞘→中柱薄壁细胞→根导管→茎导管→叶柄导管→叶脉导管→叶肉细胞→叶细胞间隙→气孔下室→气孔→大气**(图 2-13)。

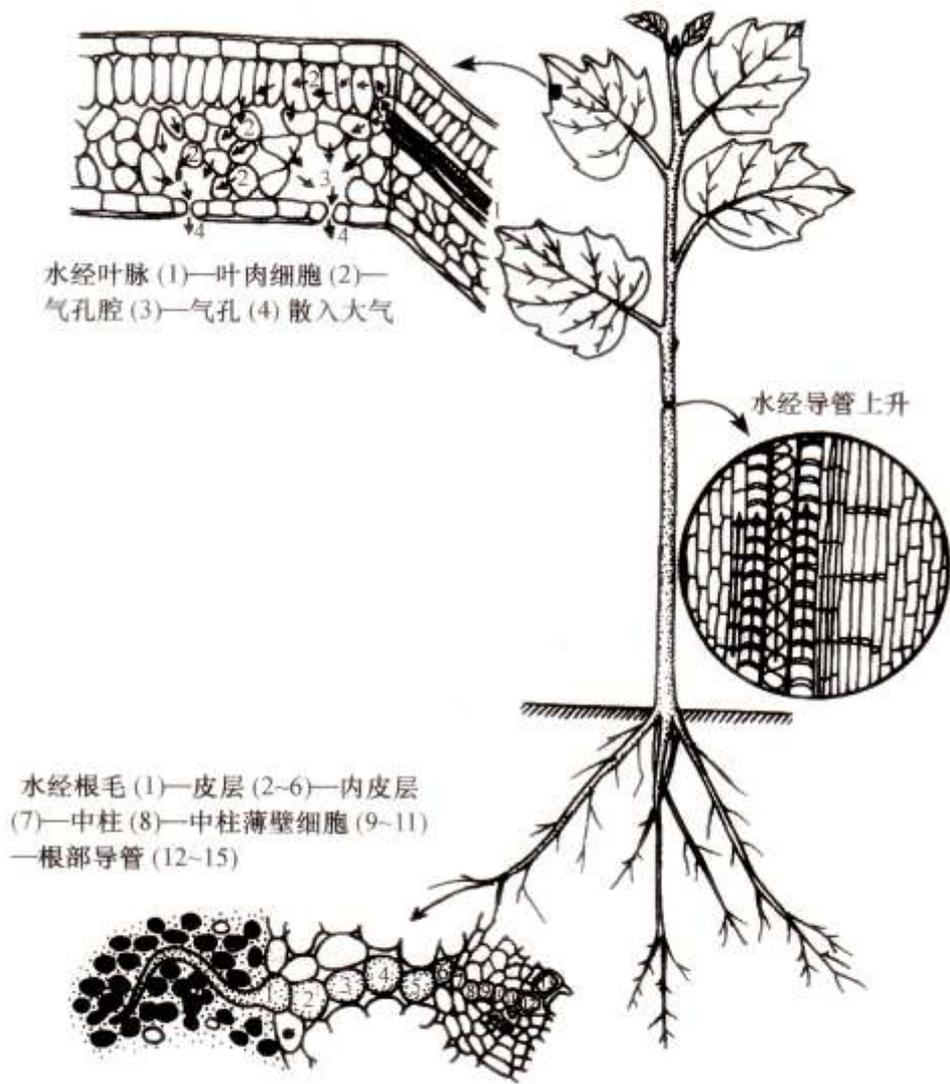


图 2-13 植物对水分吸收、运输和散失的途径



第五节 水分在植物体内的向上运输

一、植物体内水分运输的途径

水分从根向地上部运输的途径可分为两个部分：

- ①**质外体运输**：经过维管束中的死细胞(导管或管胞)和细胞壁与细胞间隙进行长距离运输；
- ②**共质体运输**：与活细胞有关,属短距离径向运输,包括根毛→根皮层→根中柱及由叶脉导管→叶肉细胞→叶细胞间隙。

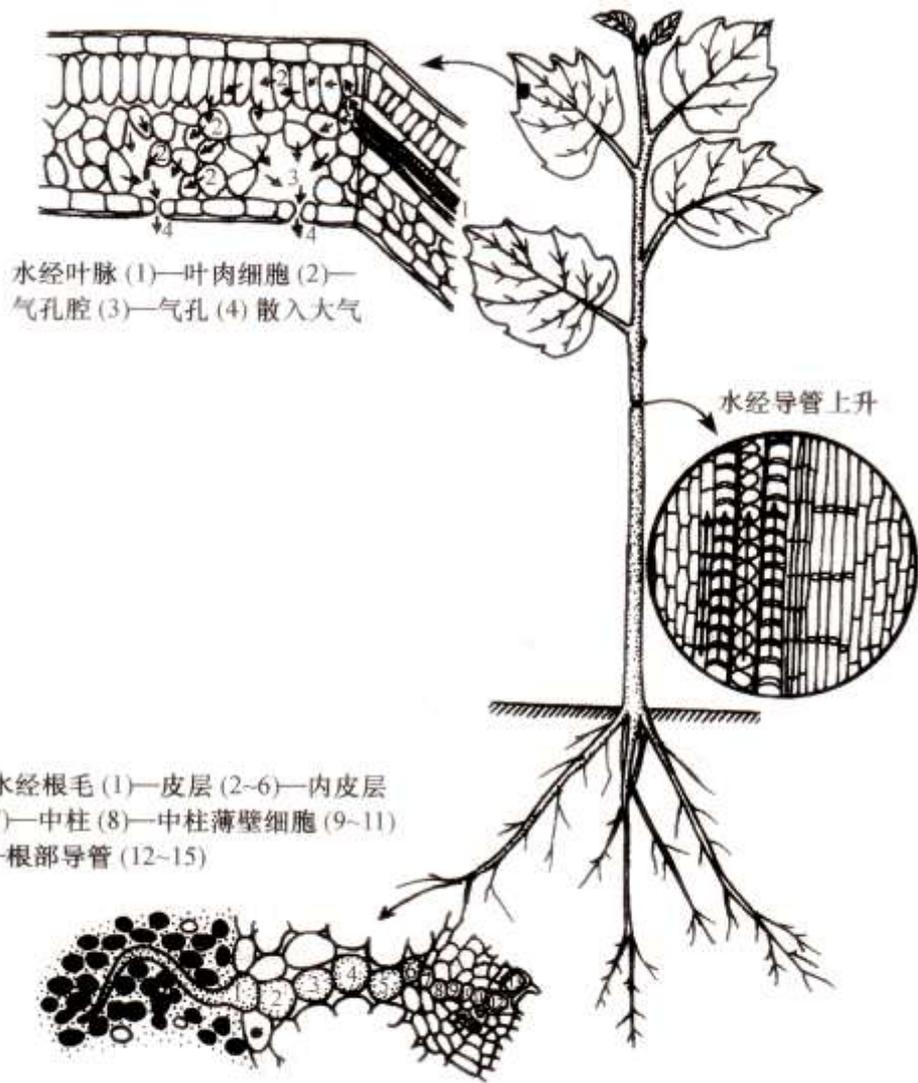


图 2-13 植物对水分吸收、运输和散失的途径



第五节 水分在植物体内的向上运输

两种途径的比较

质外体运输：沿导管或管胞的长距离运输中,水分主要通过死细胞,阻力小,运输速度快。

共质体运输：径向运输, 距离短, 但运输阻力大,因为水分要通过生活细胞,这一部分是水分传导的制约点, 速度慢。

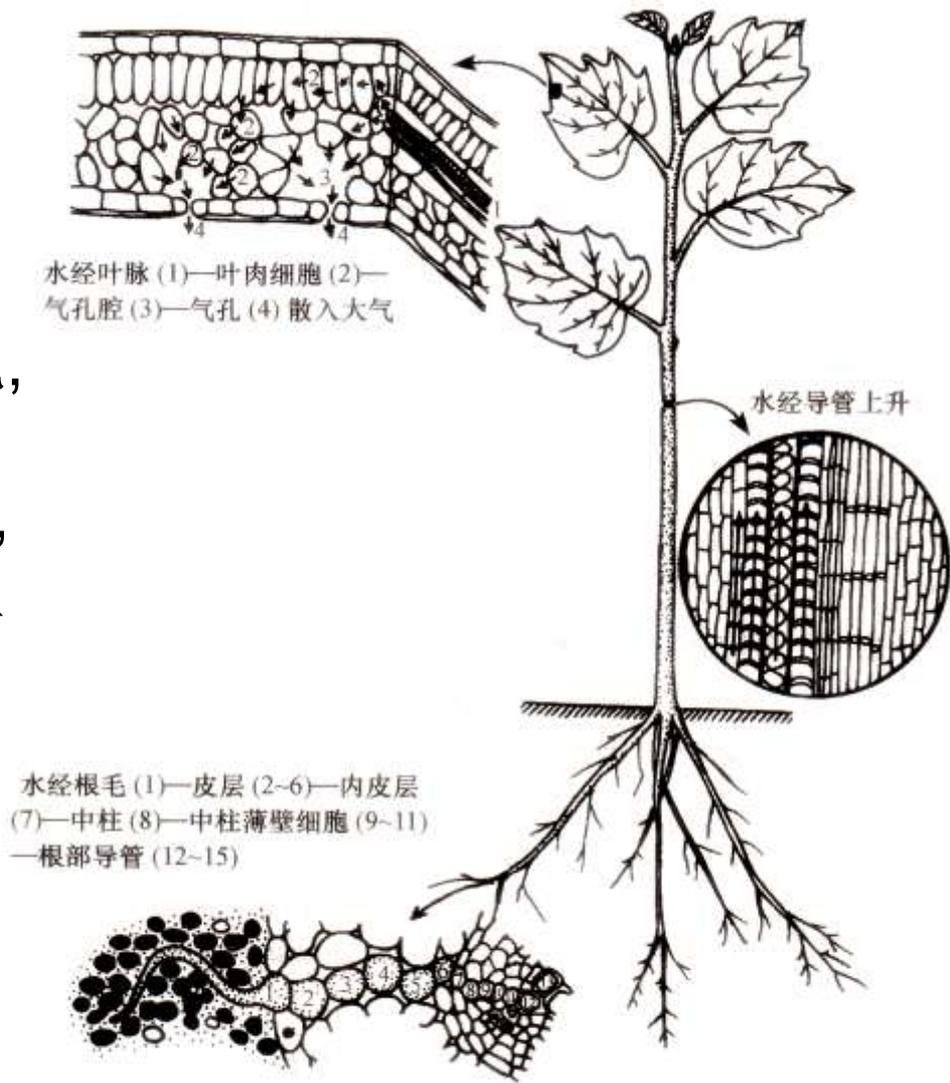


图 2-13 植物对水分吸收、运输和散失的途径



第五节 水分在植物体内的向上运输

二、水分运输的速度

与哪些因素有关？

- ①植物种类
- ②运输途径
- ③环境因子



第五节 水分在植物体内的向上运输

①植物种类

植物种类不同,水分运输的速度也不相同。例如,裸子植物水流速度慢些,约0.6m/h;被子植物中桉树和白蜡树等木本植物水分运输速度较快,通常在12~20m/h,最高时达45m/h;草本植物体内水流速度慢些,如烟草茎中水流速度为1.3~4.6m/h。

一般商品楼层高3米,室内2.8米,十五层45米





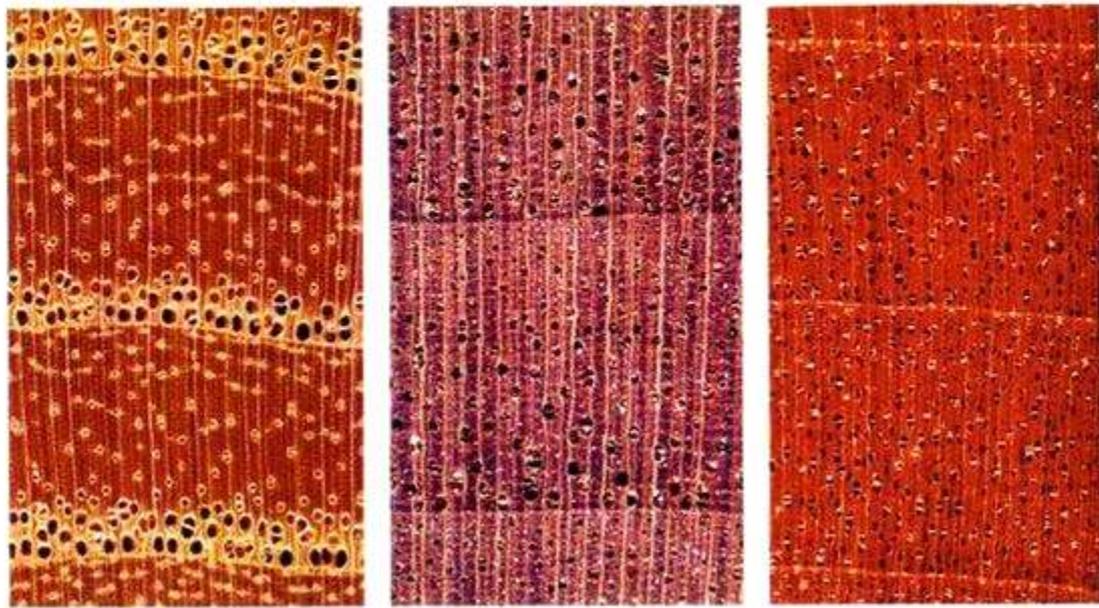
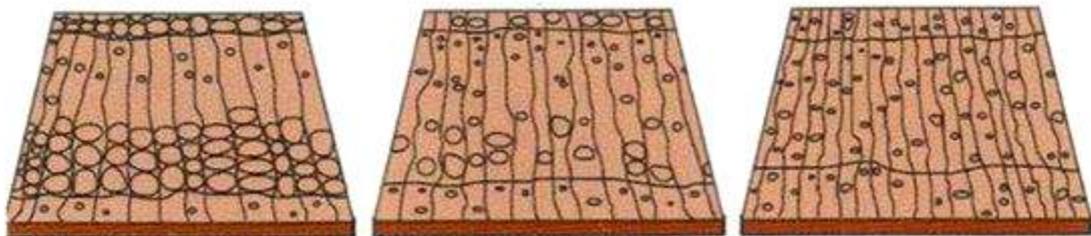
第五节 水分在植物体内的向上运输

②运输途径

水分在植物体内运输途径不同,运输速度也不同。

共质体运输,由于活细胞的原生质是亲水性胶体,故运输**速度很慢**,约为 $1 \times 10^{-3} \text{cm/h}$ 。

质外体运输,水分受到的阻力较小,因而**速度较快**;尤其在导管或管胞中运输就更快,如**散孔材**的导管短且横隔多,水流速度为 5m/h ,而**环孔材**的导管长且横隔少,水流速度为 45m/h 。



环孔材 (白蜡木)

半环孔材 (黑胡桃)

散孔材 (桦木)

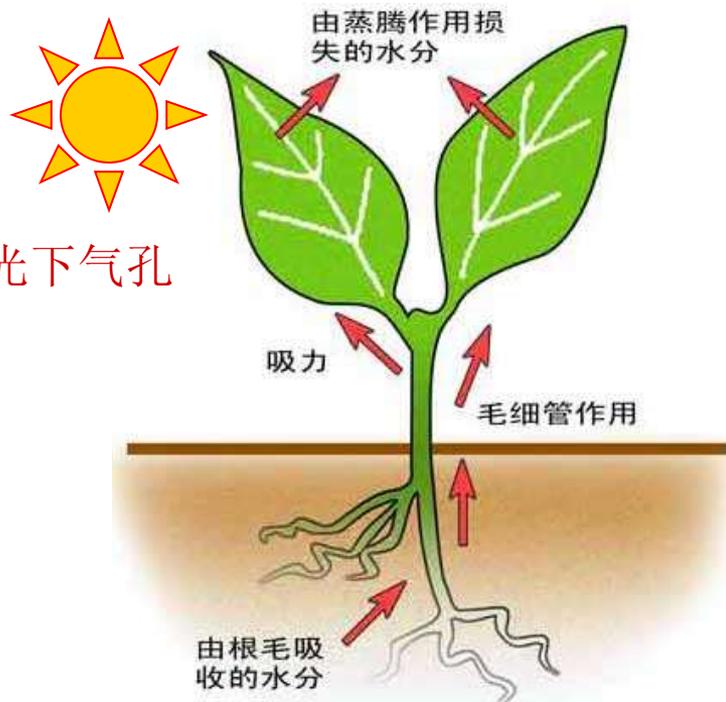


第五节 水分在植物体内的向上运输

③环境因子

环境因子也影响植物体内水分运输的速度。同一株植物, **夜间**水流速度最低, **白天**最高。白天蒸腾作用强烈, 叶片急需补充水分, 蒸腾拉力大, 因而导管内的水流速度很快。

土壤供水状况也直接影响水分运输的速度。例如, 当土壤有充足的可利用水和树干木质部的含水量降至33%~36%时, 水流上升的速度可高达18~25m/h。



大多数植物, 在光下气孔张开, 蒸腾加强。

而在暗下气孔关闭, 蒸腾减少;

气孔(stomata)是植物叶片与外界进行气体交换的主要通道。



第五节 水分在植物体内的向上运输

三、水分向上运输的机制

根本动力是水势差

地下组织的水势 > 地上器官和组织的水势 > 生殖器官的水势

距叶脉越近的细胞水势 > 距叶脉越远的细胞



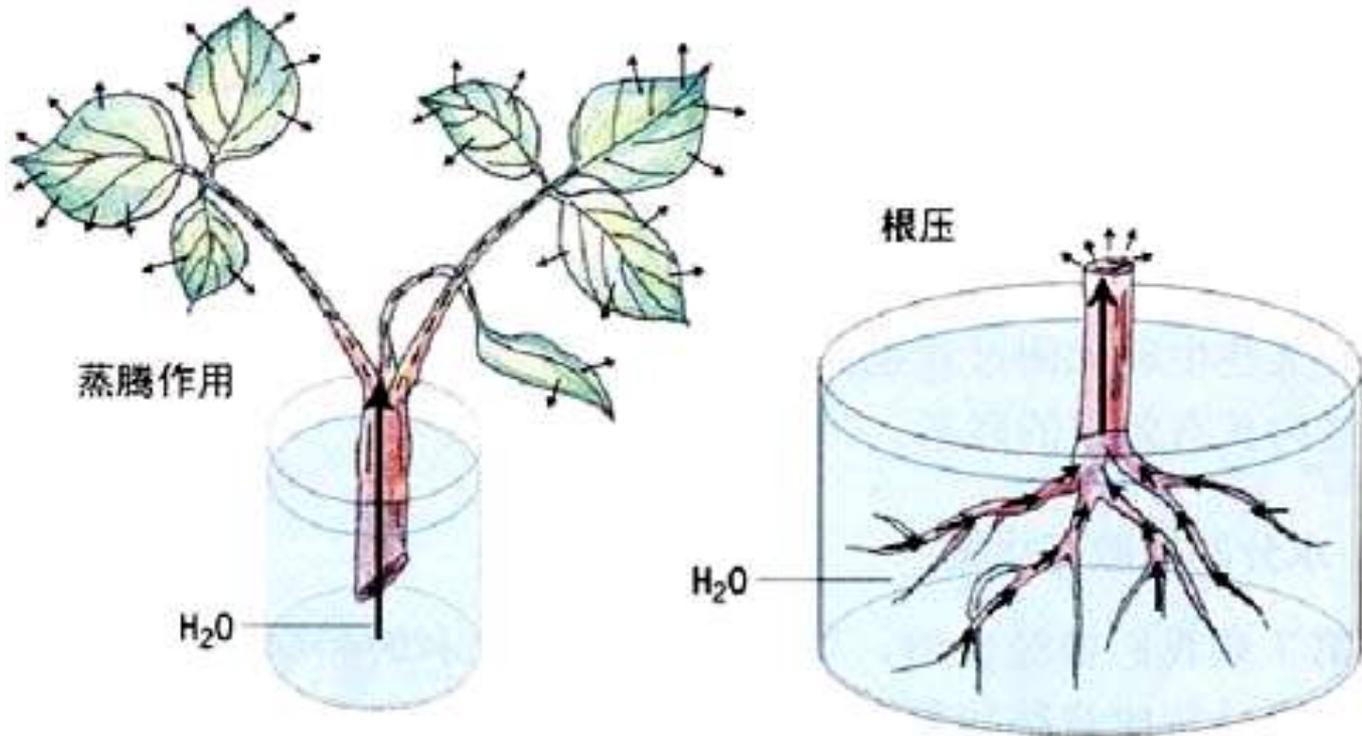
2012/10/23 12:55

北师8



第五节 水分在植物体内的向上运输

根据水势差形成的原因,水分向上运输的动力又分为**根压**和**蒸腾拉力**。





第五节 水分在植物体内的向上运输

1. 水分向上运输的动力

(1)根压 (root pressure): 由于根系自身生理代谢活动导致吸水在导管中所产生的正压力,是植物自下而上水分运输的动力。根压的大小一般为0.1~0.2MPa。

(2)蒸腾拉力: 随着蒸腾作用产生的拉力, 是植物水分向上运输的主要动力,特别是高大树木,更是依靠蒸腾拉力向上运输水分。



巨杉 俗称世界爷, 高达**110**米, 胸径可达**10**米。可活**4,000**年以上。重**2800**吨。



第五节 水分在植物体内的向上运输

2.内聚力学说 由于蒸腾拉力是自上而下的力量,它能否在水分向上运输中起作用,取决于在蒸腾拉力下,木质部中能否形成**连续的水柱**。

内聚力学说/蒸腾拉力-内聚力-张力学说(cohesion-tension theory): 由爱尔兰植物学家Dixon提出的,内容是水流在木质部中可形成连续不断的水柱。

该学说认为导管内水柱受到两种力的作用。一种是**内聚力**,就是水分子之间相互吸引的力量,可达**30MPa**;另一种力是**张力**,就是将水柱拉断的力,是蒸腾拉力与水柱的重力相互作用所产生的力,蒸腾拉力向上拉水柱,重力向下拖水柱,产生张力,大小约为**0.5~3.0MPa**。

一头大象大约5吨,
100吨≈20头大象



把一个100吨的东西压在1平方米大小的水平面上,那么它承受的压强是1MPa



第五节 水分在植物体内的向上运输

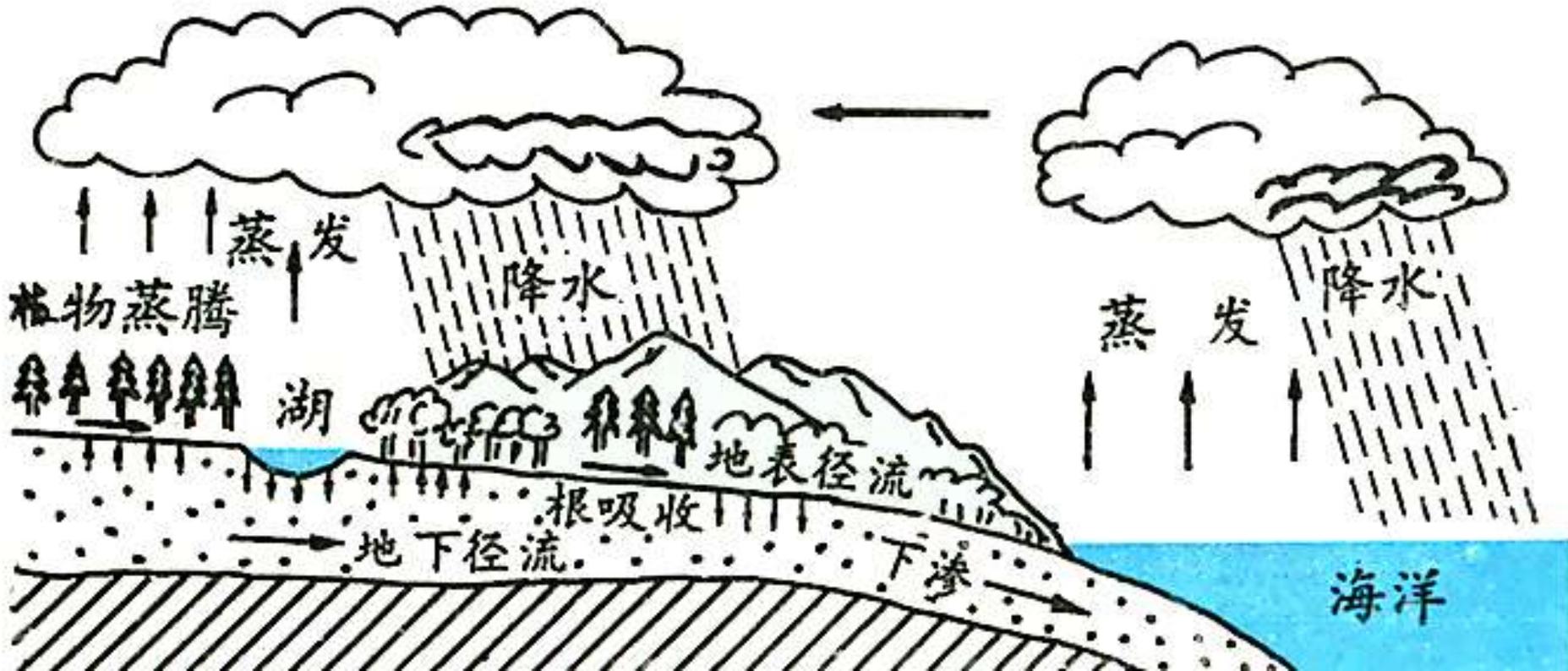
正是由于水流能够在木质部中可形成连续不断的水柱，蒸腾拉力才能起作用。



第五节 水分在植物体内的向上运输

四、土壤-植物-大气连续体系

水分经由土壤到达植物根表皮,进入根系后,通过植物茎到达叶片,再由叶气孔扩散到空气层,最后参与大气湍流交换,形成了一个统一的、动态的相互反馈连续系统,即**土壤-植物-大气连续体系**(soil plant atmosphere continuum, **SPAC**)。





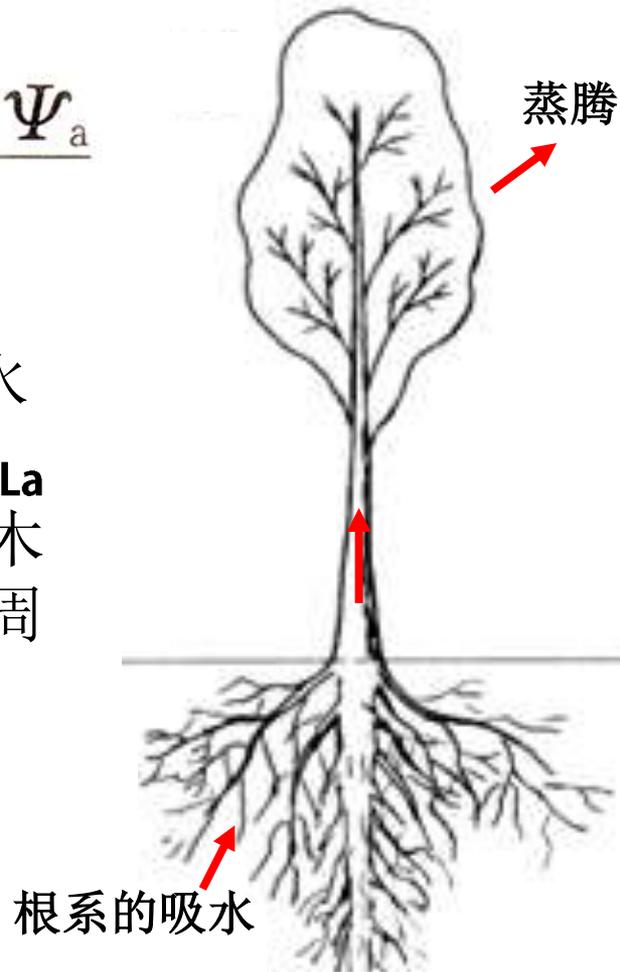
第五节 水分在植物体内的向上运输

在SPAC中,水分运动的驱动力是水势梯度,即从水势高处向水势低处流动,其流动速率与水势梯度成正比,与水流阻力成反比。其水流通量 q 可以用电学中的欧姆定律来模拟:

$$q = \frac{\Psi_s - \Psi_r}{R_{sr}} = \frac{\Psi_r - \Psi_L}{R_{rL}} = \frac{\Psi_L - \Psi_a}{R_{La}}$$

式中, Ψ_s 、 Ψ_r 、 Ψ_L 、 Ψ_a 分别是土水势、根水势、叶水势与大气水势; R_{sr} 、 R_{rL} 、 R_{La} 分别是通过土壤到达根表皮、越过根部通过木质部上升到叶气孔腔、通过气孔蒸腾扩散到周围空气中各段路径的水流阻力。

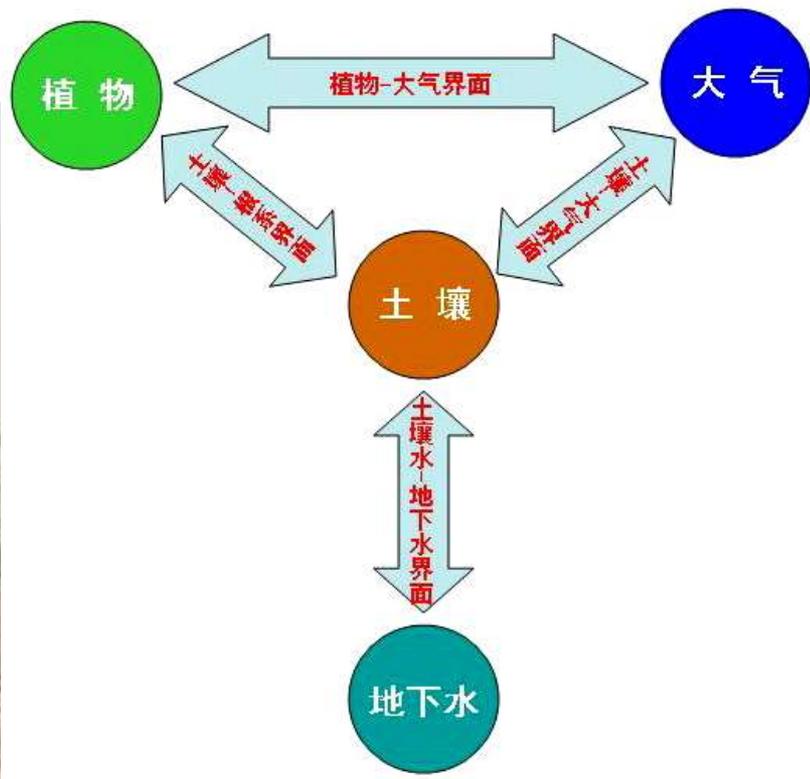
水分在SPAC中的流动是自发进行的过程。





第五节 水分在植物体内的向上运输

水分是干旱半干旱地区农田生态系统良性运转和农作物产量提高的主要限制因素。在干旱半干旱地区水资源不足,灌溉水量有限,此时不能追求单位面积产量最高,要实行有限水量条件下的非充分灌溉,做到节水增产。因此,在干旱半干旱地区定量研究SPAC中的水分传输和调控机制,对于当地的农业生产和农业水资源合理利用具有重要的意义。



第六节 合理灌溉的生理基础

- 一、植物的水分平衡
- 二、植物的需水规律
- 三、合理灌溉的指标

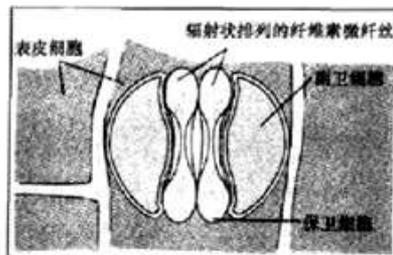
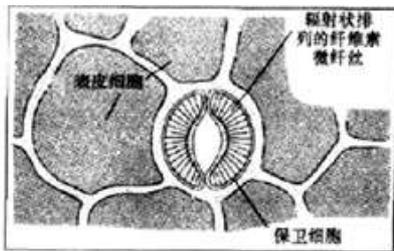


第六节 合理灌溉的生理基础

一、植物的水分平衡

在正常情况下,植物一方面蒸腾失水,另一方面不断地从土壤中吸收水分,这样就在植物生命活动中形成了吸水与失水的连续运动过程。一般把植物吸水、用水、失水三者的动态关系称为**水分平衡**。

①**当失水小于吸水时**,可能出现吐水现象,或在阴雨连绵的情况下,植物体内水分达到**饱和状态**,这种情况对作物生长并不有利,容易造成作物的**徒长或倒伏**,降低产量。②**当蒸腾大于吸收时**,植物体内出现**水分亏缺**,组织内含水量下降,叶片**萎缩下垂**,呈现**萎蔫状态**,体内各种代谢活动如**光合、呼吸、有机物质的合成、矿质的吸收与转化**等都受到影响,植物的生长受到抑制。只有植物吸水与失水维持**动态平衡**(即失水与吸水相等)时,植物才能进行旺盛的生命活动。





第六节 合理灌溉的生理基础

二、植物的需水规律

植物一生当中需要大量的水分,这些水分一方面用来满足自身的生命活动需要,另一方面作为维持和调节植物正常生长发育所必需的环境需水。植物所需的水分分为**生理需水**和**生态需水**。

生理需水: 直接用于植物生命活动和保持植物体内水分平衡所需要的水,分为组成水与消耗水。组成水用于:①参与原生质、生物膜和细胞壁组成;②参与光合、呼吸、有机物质合成与分解等生化反应;③作为各种物质的溶剂。**消耗水**是指**植物根系**所吸收的通过叶片散失到大气中的水。

生态需水: 为维持植物正常生长所必需的**体外环境**消耗的水。这部分水不仅能调节大气的**温度与湿度**,还能调节土壤的**温度、通气、供肥、微生物区系**等。



第六节 合理灌溉的生理基础

(一)植物的需水量

需水量即蒸腾系数,反映植物水分利用的效率:

- 1.不同种类植物的需水量是不同的。
- 2.同一作物在不同生育时期对水分的需要量也有很大差别。
- 3.植物的需水量还受环境因素制约。

植物的需水量可以作为灌溉用水量的一种参考,但是植物的需水量并不等于灌水量。因为灌水不仅要满足植物的生理需水,而且要满足植物的生态需水,同时尚需考虑土壤蒸发、水分流失和向土壤深层渗透等因素。因此,在农业生产上灌水量常是需水量的2~3倍。





第六节 合理灌溉的生理基础

(二)植物的水分临界期与最大需水期

水分临界期(plant critical period of water): 植物生活周期中对水分缺乏最敏感、最易受害的时期。

在临界期内,供水充足与否对植物的产量形成产生极为明显的影响,一般说来,植物的水分临界期是**花粉母细胞四分体形成期**。在这一时期植物体内各种代谢活动旺盛,细胞原生质黏性与弹性均下降,细胞液浓度很低,吸水力也小,抗旱能力最弱。如果这个时期供水不足,则导致生殖器官发育不良。

例如,水稻此时缺水,易使颖花退化,严重影响产量。在水分临界期,作物不但对缺水最敏感,而且由于生长较快,水分利用率较高。由于水分临界期对作物产量形成影响非常大,所以**应特别注意保证水分临界期的水分供应**。



第六节 合理灌溉的生理基础

(二)植物的水分临界期与最大需水期

植物的最大需水期：植物生活周期中需水最多的时期。

不同植物最大需水期出现的时期不同。

例如,大豆的最大需水期是**开花-鼓粒期**,约占其一生总需水量的**45%~50%**。这一时期是大豆营养生长与生殖生长并进的时期,光合作用、呼吸作用、蒸腾作用、物质吸收转化与运输分配均达到高峰,干物质积累迅速增加。这一时期田间持水量应保持在**80%**左右。

对于小麦,最大需水期是**从灌浆开始到乳熟末期**。在这个时期,营养物质从母体运入籽粒,而株体内的物质运输又与水分状况密切相关。如果此时供水充足,不但能延长旗叶寿命、提高光合速率,而且能促进光合产物的运输;如果供水不足,就会导致灌浆困难,籽粒瘦小,产量降低。



第六节 合理灌溉的生理基础

三、合理灌溉的指标

合理灌溉是指适时适量地给植物提供水分,对农作物的正常发育和生理生化过程有着重要的影响。

作物是否需要灌水?什么时候灌水?灌水量多大最适宜?这些问题都必须以当时的植物水分状况及土壤和气候情况来决定,以下介绍几种参考指标。

1.土壤含水量 农业生产上有时是根据土壤含水量来进行灌溉,即根据土壤墒情决定是否需要灌水。一般作物生长较好的土壤含水量为田间持水量的60%~80%,但这个值不固定,常随许多因素的改变而变化。这种方法有一定的参考意义,但灌溉的目的是作物而不是土壤,所以根据土壤含水量灌溉只是一种间接的方法。要使灌溉符合作物生长及农业生产的需要,最好以作物本身情况为依据。



第六节 合理灌溉的生理基础

三、合理灌溉的指标

2. 作物形态指标

(1) **生长速率下降**。有经验的农民往往根据作物的长势、长相进行灌溉。作物枝叶生长对水分亏缺甚为敏感,较轻度缺水时光合作用还未受到影响,但这时生长就已严重受抑。

(2) **幼嫩叶的凋萎**。当水分供应不足时,细胞膨压减小,因而发生萎蔫。

(3) **茎叶颜色变深或变红**。当缺水时植物生长缓慢,叶绿素浓度相对增加,叶色变深。茎叶变红是由于干旱时碳水化合物分解大于合成,细胞中积累较多的可溶性糖转化成花青素所致。



第六节 合理灌溉的生理基础

三、合理灌溉的指标

3.作物生理指标

(1)**叶水势**。叶水势是一个灵敏反映植物水分状况的指标。当植物缺水时,叶水势下降。

(2)**细胞汁液浓度或渗透势**。干旱情况下细胞汁液浓度常比正常水分含量的植物高,而浓度的高低常常与生长速率成反比。当细胞汁液浓度超过一定值后,就会阻碍植株生长。冬小麦功能叶的汁液浓度,拔节到抽穗期以6.5%~8.0%为宜,9.0%以上表示缺水,抽穗后以10%~11%为宜,超过13%时应灌水。

(3)**气孔状况**。水分充足时气孔开度较大,随着水分的减少,气孔开度逐渐缩小;当土壤中的可用水耗尽时,气孔完全关闭。因此,气孔开度缩小到一定程度时就要灌溉,如小麦气孔开度达5.0~6.0 μm 、甜菜气孔开度达5.0~7.0 μm 就应该灌水。



第六节 合理灌溉的生理基础

灌溉的方式:

1. **漫灌** 应用最广泛的灌溉方法，操作简单方便、运行费用低。
2. **喷灌** 可解除大气干旱和土壤干旱，保持土壤团粒结构，防止土壤盐碱化。 **节水30%—40%**
3. **滴灌** 是通过埋入地下或设置于地面的塑料管网络，将水分输送到作物根系周围让作物根系经常处于保持在良好的水分、空气、营养状态下。 **节水70%—80%**

漫灌



喷灌





喷灌





滴灌



植物获得水分之后？

↓
植物体的构成(1%)+散失到大气中(99%)

↓
水分散失方式:以液态逸出(吐水)+以气态逸出(蒸腾/主要方式)

↓
蒸腾部位: 叶片 蒸腾方式: 1.角质蒸腾(5~10%) 2.气孔蒸腾(>90%)

↓
蒸腾作用的意义: 1.吸水驱动力 2.降温 3.根部物质向上运输

↓
蒸腾作用的测量指标: 1.蒸腾速率 2.蒸腾效率 3.需水量

↓
气孔运动的控制机理: 1.淀粉与糖转化学说 2. K⁺积累学说 3.K⁺-苹果酸根学

↓
影响蒸腾作用的因素: 内部因素、环境因素

↓
水分在植物体内的向上运输动力 根压 蒸腾拉力 (内聚力学说)

↓
实际应用: 合理灌溉的生理基础