



普通高等教育  
“十一五”国家级  
规划教材



# 植物学

(第2版)

主编 叶创兴 朱念德 廖文波 刘蔚秋 冯虎元



# 蔡泽坪

QQ: 494266605

Tel: 13909481919

课程交流群: **316349147**



高等教育出版社



蔡泽坪

扫一扫二维码, 加我QQ。



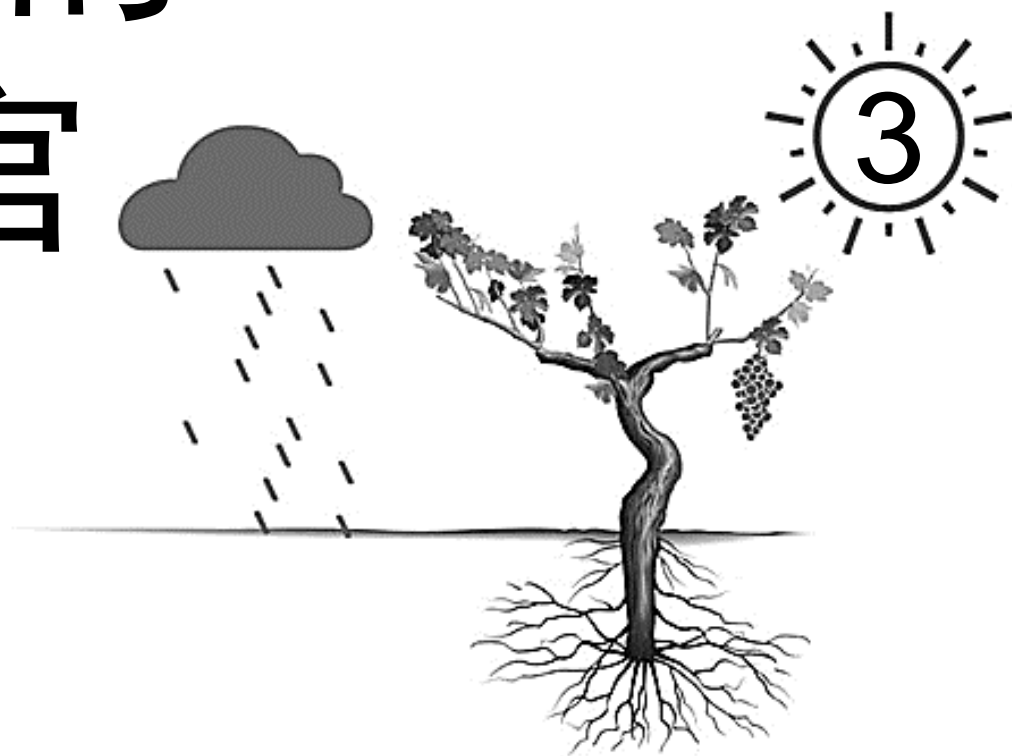
小树

扫一扫二维码, 加入该群。

# 第三章

## 种子植物的 营养器官

3



第一节 根

第二节 茎

第三节 叶

第四节 营养器官间的相互联系

第五节 同功器官与同源器官

# 第三节 叶

# 植物的四季变化





FUJIFILM FinePix S8100fd F/4.5 1/1000s ISO-64 2009-2-3 13:22 海南海口



银杏 银杏科银杏属

冬季枝干苍劲，银装素裹



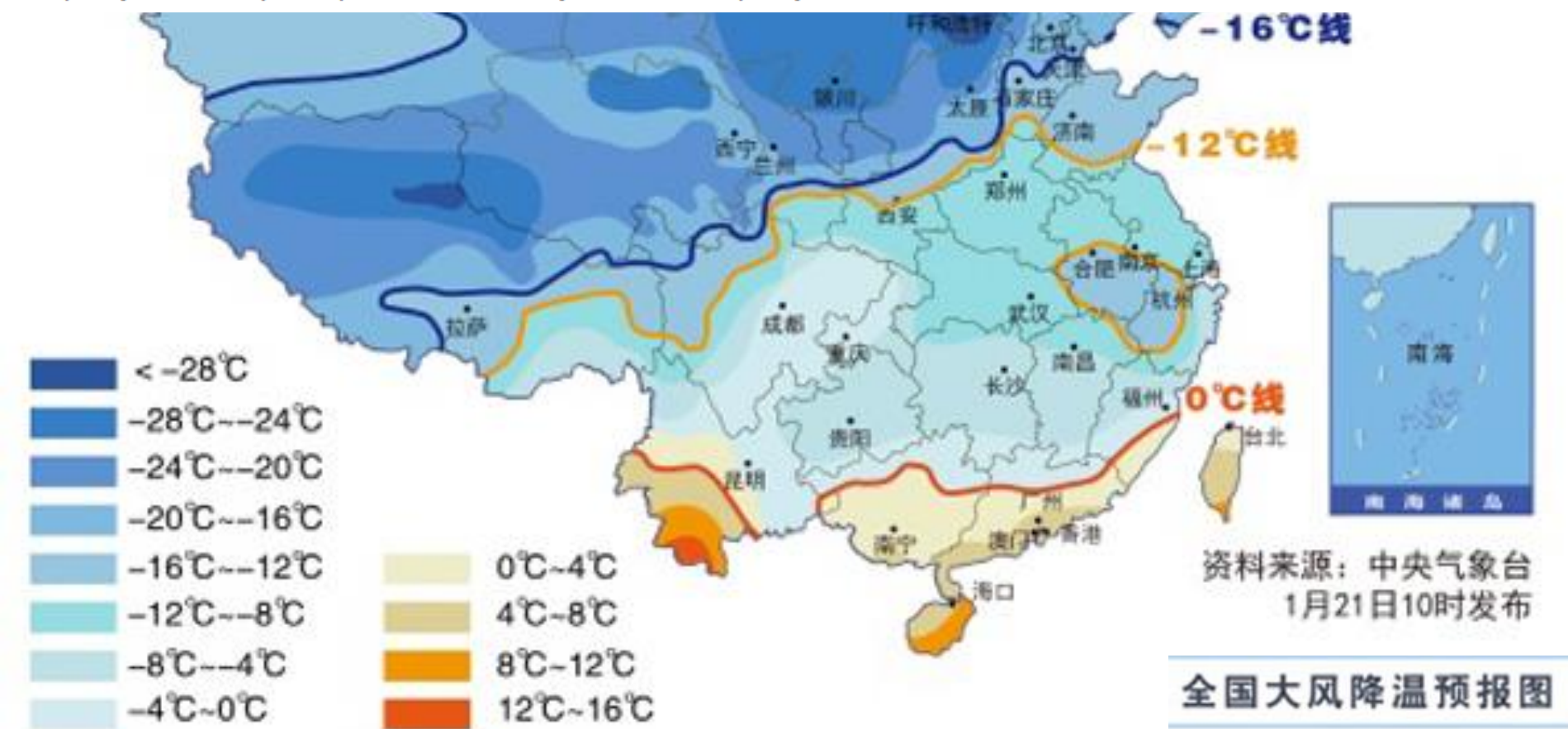


拍摄日期: 2016-01-20 17:38:13



# 中央气象台发布寒潮蓝色预警

今年最强寒潮迅速南下，将于1月23日抵达海南带来强降温。据海南省气象台预报，我省平均气温降幅可达10~13℃，过程最低气温将出现在24日。预计24日我省最低气温中部地区将降至5~7℃，北部和西部地区6~8℃，东部地区7~10℃，南部地区11~13℃。25日，气温基本维持，26日冷空气势力减弱，气温缓慢回升。



全国大风降温预报图

1月21日14时-25日20时

拍摄日期: 2016-01-31 16:15:47



拍摄日期: 2016-01-31 16:16:40



拍攝日期: 2016-01-27 17:25:23



拍摄日期: 2016-01-27 17:25:31



拍摄日期: 2016-01-31 16:21:20





拍攝日期: 2016-01-31 16:22:54



拍摄日期: 2016-01-31 16:23:14



拍摄日期: 2016-01-31 16:26:07



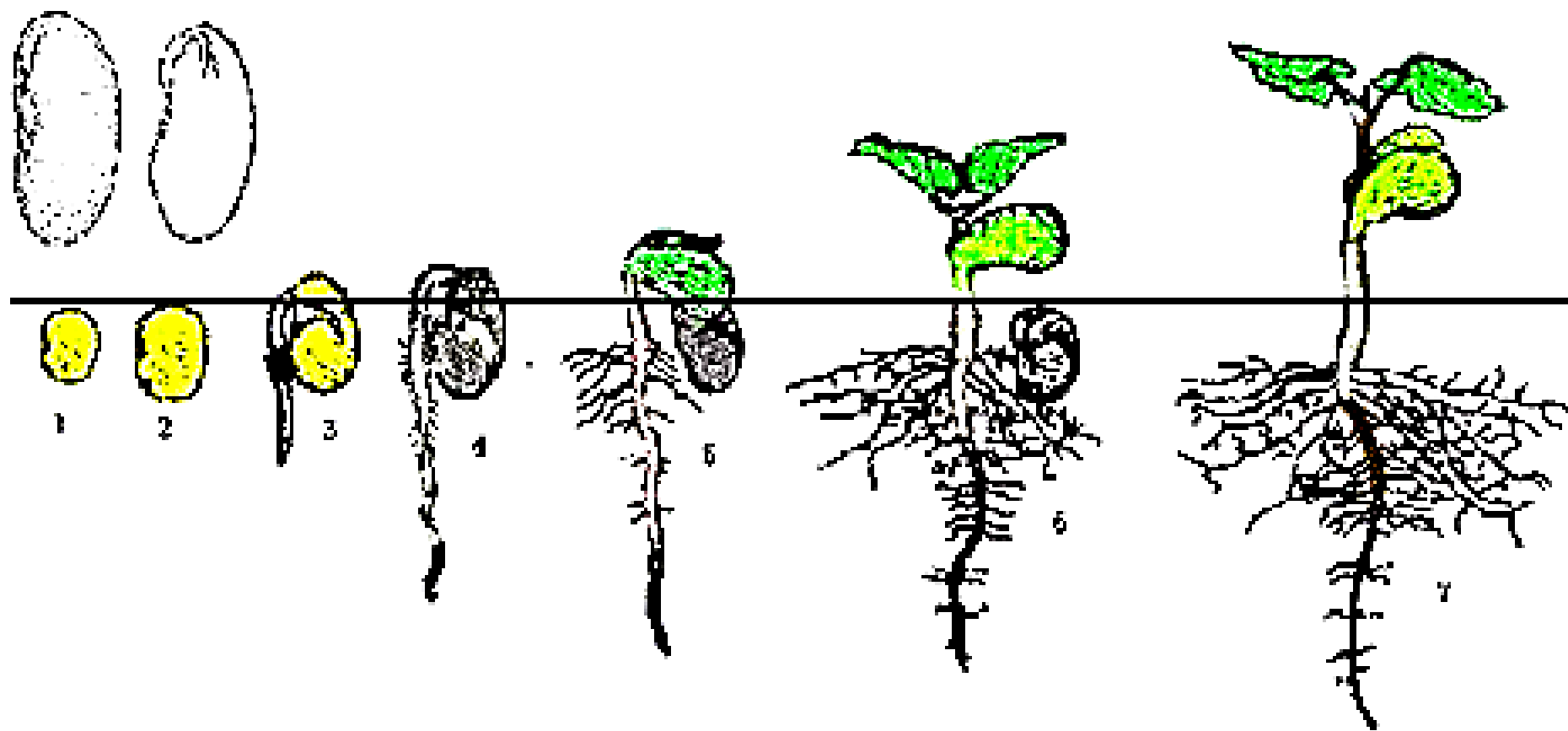
拍摄日期: 2016-01-31 16:28:06

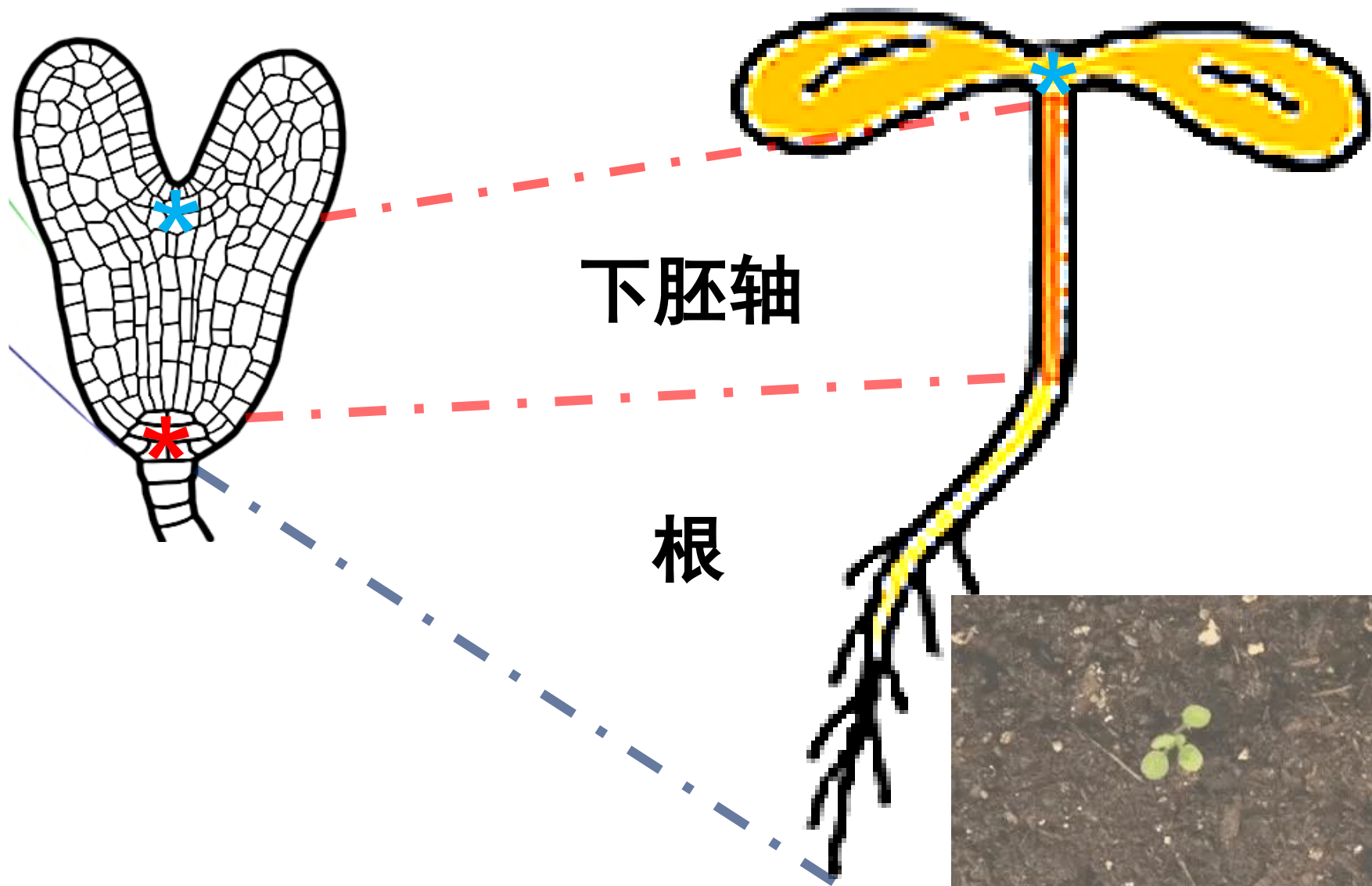


拍摄日期: 2016-01-31 16:36:48



# 种子的萌发



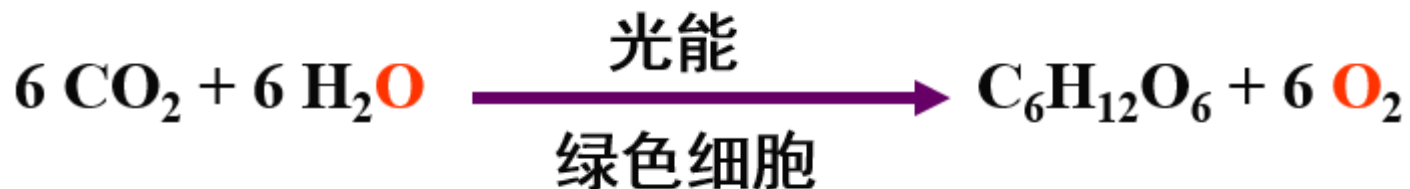


下胚轴

根

# 一、叶的生理功能

1、**光合作用和蒸腾作用**是叶的主要生理功能。

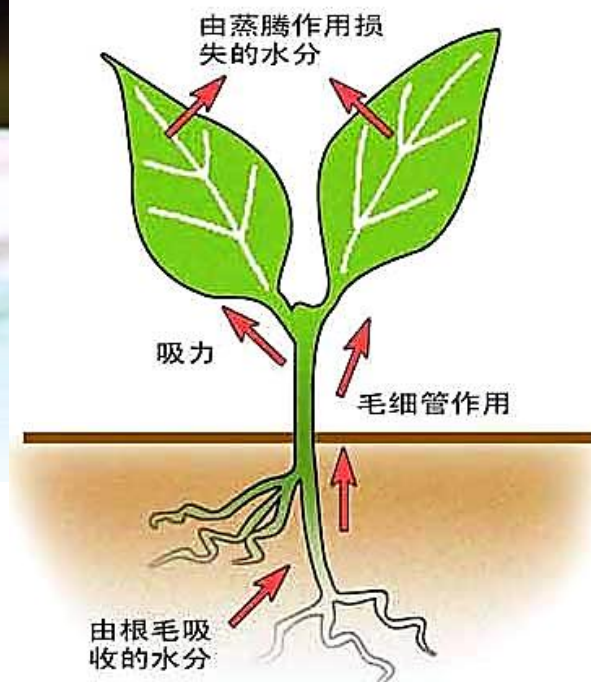


2、**叶的特殊功能**：吸收，繁殖；有攀缘能力；贮藏器官；保护结构；捕捉与消化昆虫的捕捉器等。

# 蒸騰作用



蒸騰作用

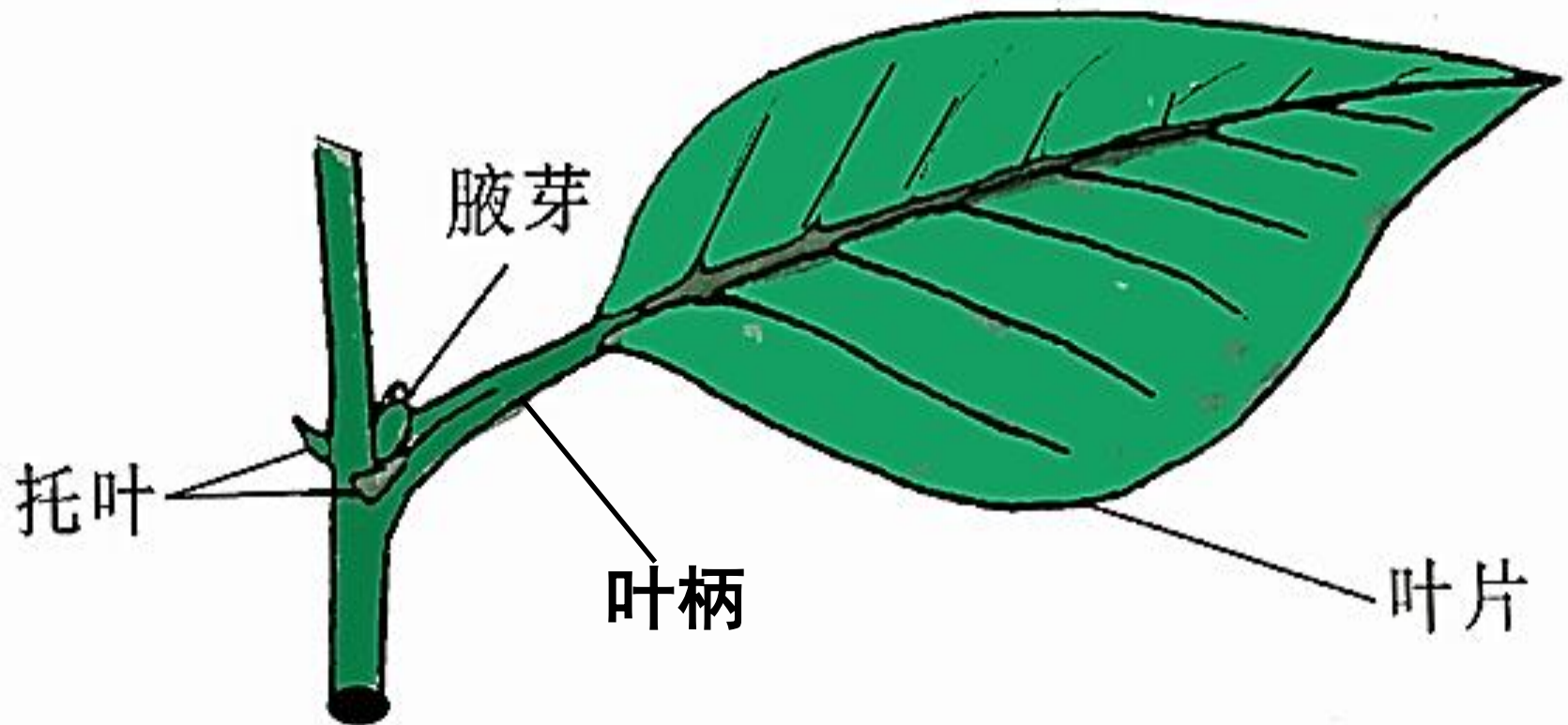




## 二、叶的形态

### (一)叶的组成

叶一般由**叶片(blade)**、**叶柄(petiole)**和**托叶(stipule)**三部分组成。



**完全叶 (complete leaf):** 具叶片、叶柄和托叶的叶。

**不完全叶(incomplete leaf):** 不具托叶或叶柄,或两者俱无的叶。不完全叶中以无托叶的**最为普遍**。

**叶状柄(phyllode):** 叶片缺乏,叶柄扩展成叶片状。

**无柄叶(sessile leaf):** 叶没有叶柄,叶片直接生在茎上。

台湾相思 含羞草科



拍摄日期: 2017-06-02 19:01:23



**相思**，幼苗期具羽状分裂叶，成长后缺叶片，叶柄扩展成叶片状，称为**叶状柄**。



**相思**，幼苗期具羽状分裂叶，成长后缺叶片，叶柄扩展成叶片状，称为**叶状柄**。
















## (二)叶片的形态

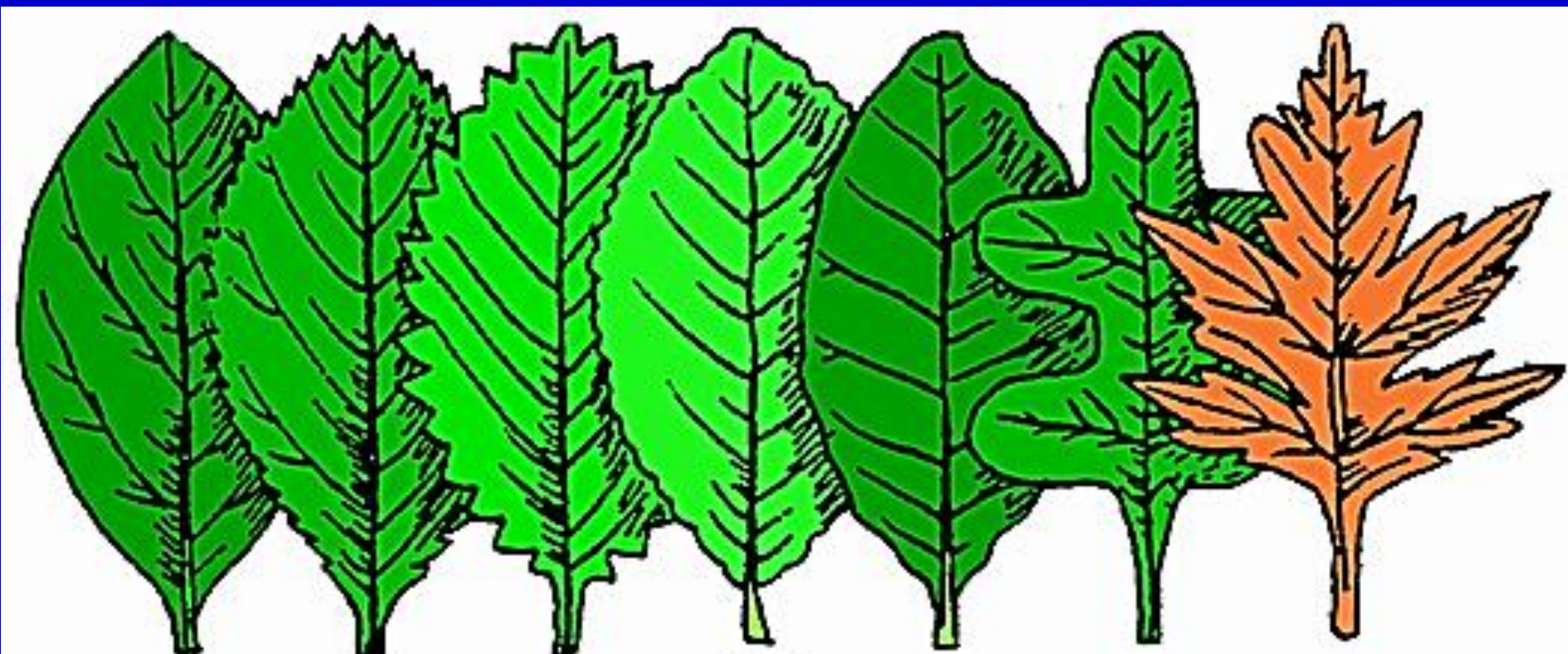
### 1、叶形、叶缘、叶尖、叶基

- (1) 叶形：**线形、披针形、椭圆形、卵形、菱形、心形、肾形等。还常用“长”、“广”、“倒”加以形容。其他形状如圆形、扇形、三角形、剑形等。凡叶柄着生在叶片背面的中央或边缘内，均称其为盾形叶。
- (2) 叶缘：**全缘；波状；齿状；缺刻：羽状缺刻和掌状缺刻，依裂入的深浅可分浅裂、深裂、全裂三种。
- (3) 叶尖：**渐尖；急尖；钝形；骤尖；截形；短尖；微凹；微缺；倒心形等。
- (4) 叶基：**心形；耳垂形；箭形；楔形；戟形；偏斜形等。



# 叶片的整体形状

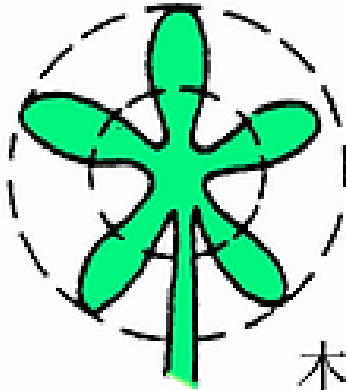
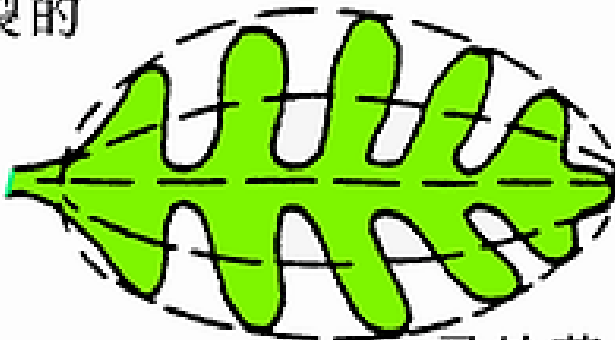
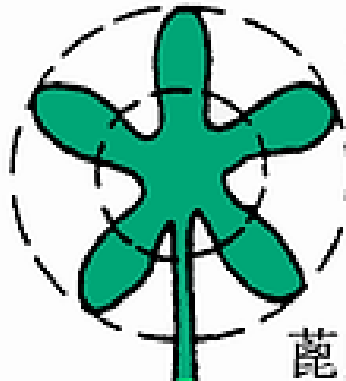
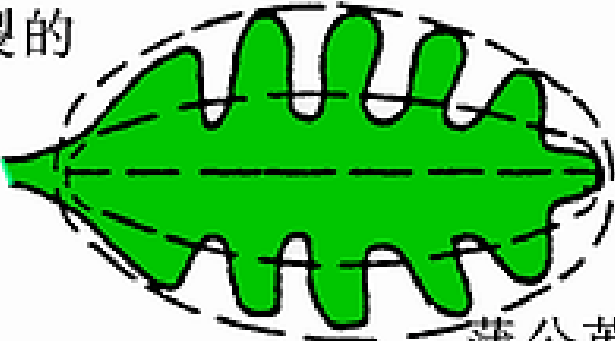
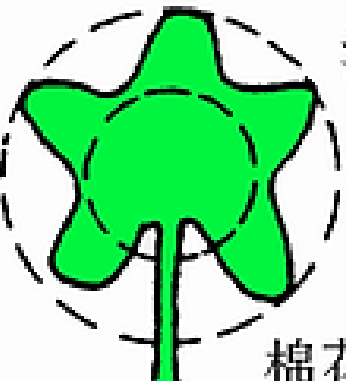
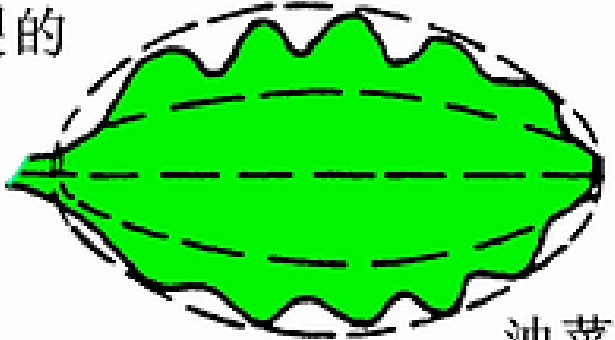
		长宽相等 (或长比宽 大得很少)	长是宽的 $1\frac{1}{2}$ ~2倍	长是宽的 3~4倍	长是宽的 5倍以上
依全形分	最宽处 近叶的 基部	阔卵形 	卵形 	披针形 	线形 
	最宽处 在叶的 中部	圆形 	阔椭圆形 	长椭圆形 	剑形 
	最宽处 在叶的 先端	倒阔卵形 	倒卵形 	倒披针形 	



全缘 锯齿 牙齿 (齿端向外) 钝齿 波状 深裂 全裂

# 叶缘的基本类型

# 叶的缺刻类型

	掌 状	羽 状
全裂的 达基部	 <p>全裂的</p> <p>木薯</p>	 <p>马铃薯</p>
深裂的 深于半 个叶片 宽度的一 半	 <p>深裂的</p> <p>苕麻</p>	 <p>蒲公英</p>
浅裂的 不到半 个叶片 宽度的一 半	 <p>浅裂的</p> <p>棉花</p>	 <p>油菜</p>

渐尖



急尖



尾尖



钝形



微凹



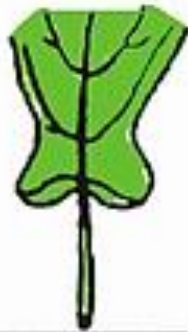
倒心形



心形



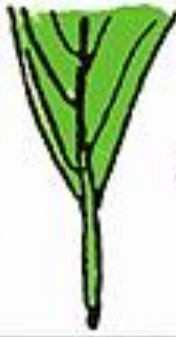
耳垂形



箭形



楔形



戟形



圆形



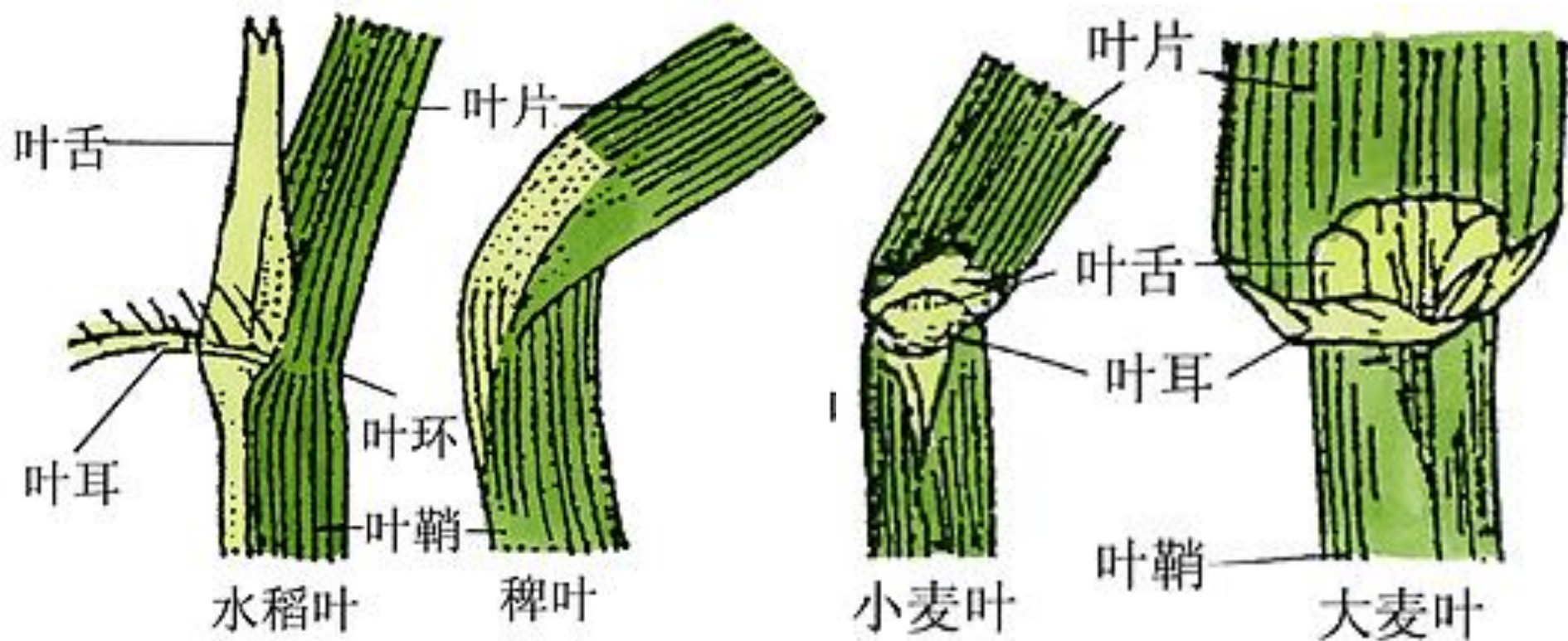
偏斜形



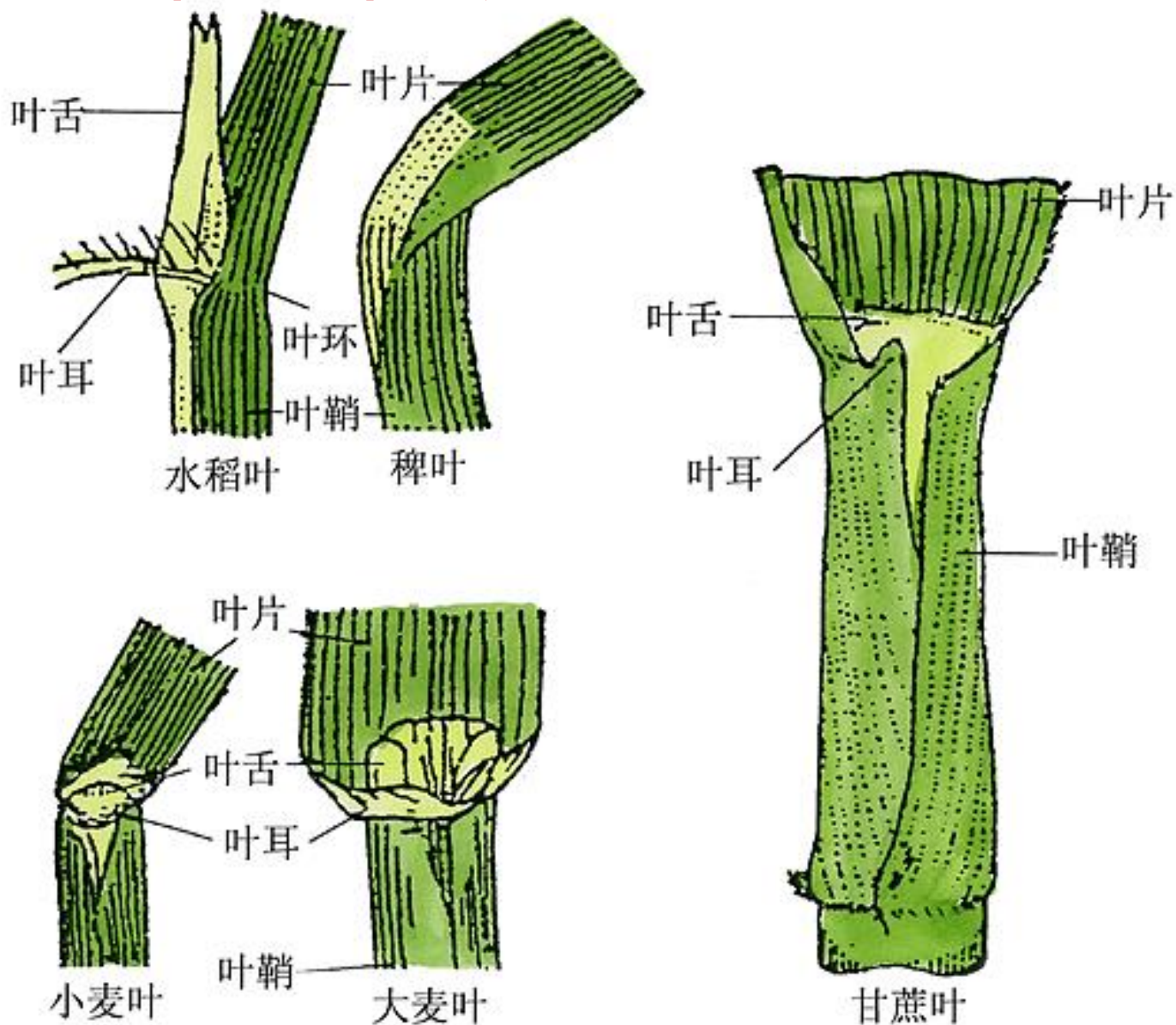
# 叶尖与叶基的类型

## 2. 禾本科植物的叶

禾本科植物的叶分**叶片**和**叶鞘 (leaf sheath)**两部分。叶片和叶鞘相接处有**叶舌 (ligule)**，有的种类叶鞘上端的两侧与叶片相接处，突出成**叶耳 (auricle)**。



**叶舌和叶耳的有无、形状、大小、色泽可以用作鉴定禾本科植物种或品种的依据。**



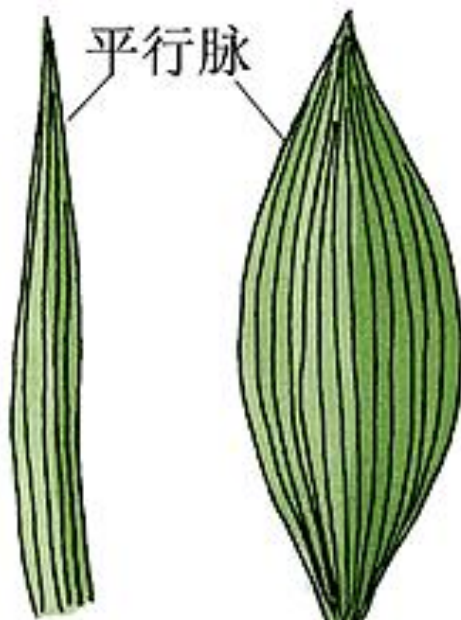
### (三) 叶脉

**叶脉：**由叶肉内的维管束和其他有关组织组成的，叶脉通过叶柄与茎内的维管组织相连。

**脉序 (venation)：**叶脉在叶片上的分布规律。

脉序主要有：

平行脉  
网状脉  
叉状脉



**平行脉：**各叶脉大致平行排列，多见于单子叶植物。

**网状脉：**叶脉错综分枝，连结成网状，是多数双子叶植物脉序的特征。

**叉状脉：**各脉作二叉分枝，如银杏。这种脉序常见于蕨类植物。





- **平行脉**

- 直出脉或直出平行脉（水稻、小麦、竹）；
- 侧出脉或侧出平行脉（香蕉、芭蕉、美人蕉）；
- 射出脉或辐射平行脉（蒲葵、棕榈）；
- 弧形脉或弧状平行脉（车前）。

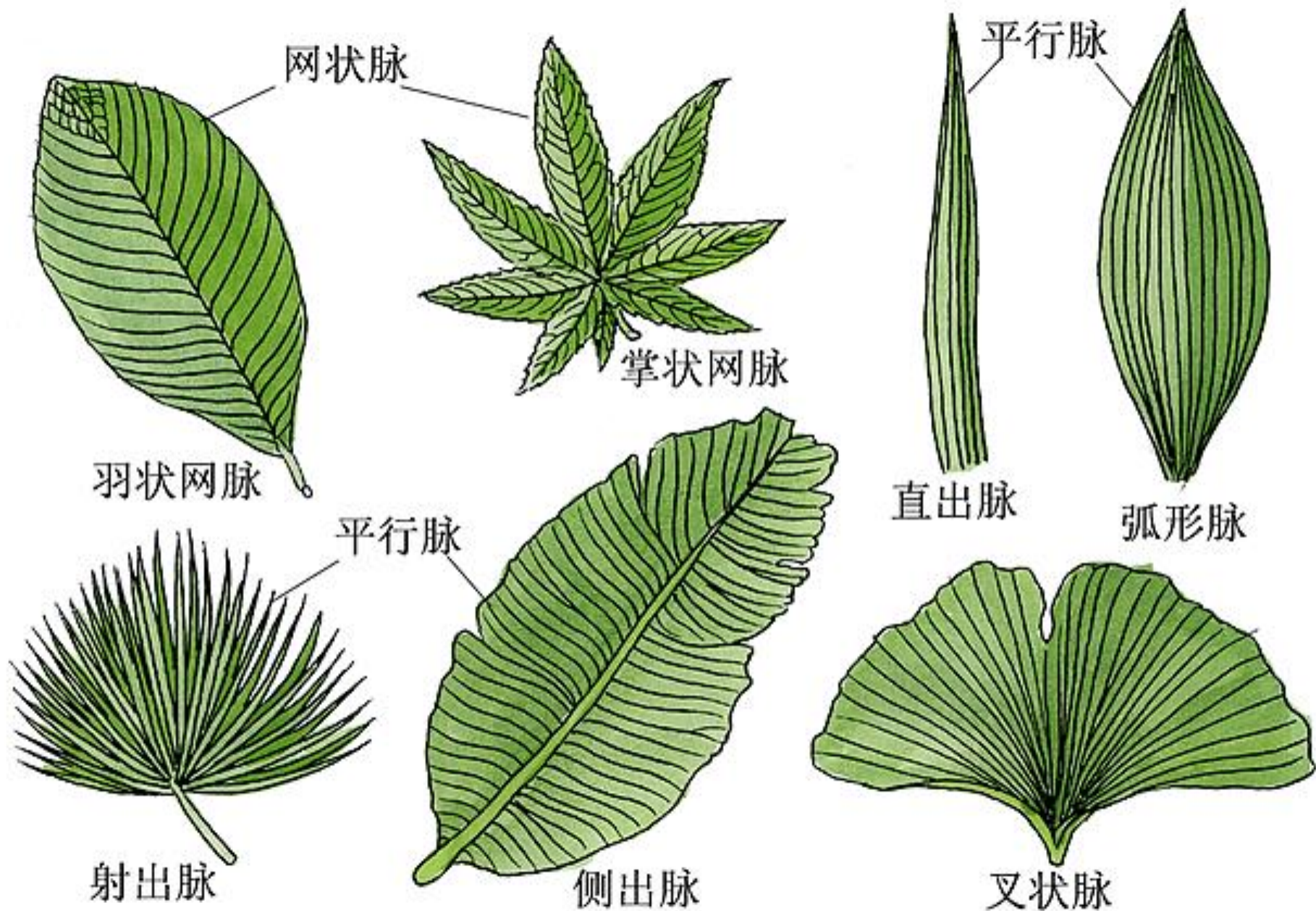
- **网状脉**

- 羽状网脉（多数双子叶植物）；
- 掌状网脉（南瓜）。

- **单子叶植物**无论是平行脉序或网状脉序，其叶脉末梢是连结在一起的，**没有自由的末梢**。

- **叉状脉（银杏）**

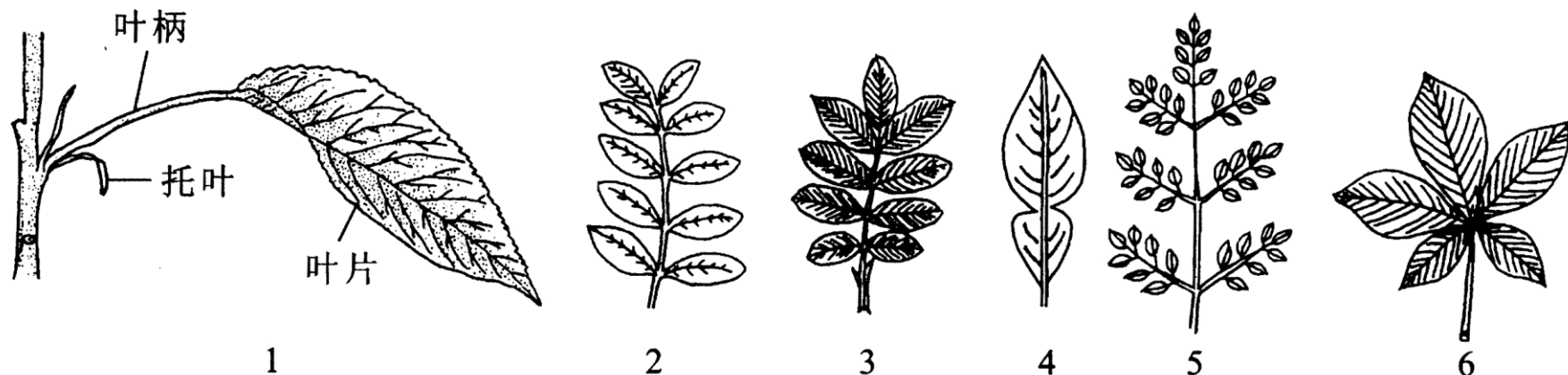
# 叶脉类型



## (四) 单叶与复叶

**单叶(simple leaf):** 在一个叶柄上生有一个叶片的叶。

**复叶(compound leaf):** 在一个叶柄上生有多个小叶片的叶。



单叶和复叶

1. 完全叶的组成 (单叶)    2. 偶数单羽状复叶    3. 奇数单羽状复叶    4. 单身复叶  
5. 二回羽状复叶    6. 掌状复叶

**复叶的叶柄称为叶轴 (rachis) 或总叶柄 (common petiole), 叶轴上着生叶称为小叶 (leaflet), 小叶的叶柄称为小叶柄 (petiolule)。**

根据小叶排列方式的不同,复叶又分为**羽状复叶**、**掌状复叶**和**三出复叶**。

**羽状复叶**: 小叶排列于叶轴的两侧成羽毛状。

▲ 奇数羽状复叶

▲ 偶数羽状复叶

▲ 一回、二回、三回羽状复叶

**掌状复叶**: 多个小叶皆生于叶轴顶端,排列如掌状。

▲ 一回、二回、三回掌状复叶

## 三出复叶：三个小叶生于叶轴顶端。

▲三出掌状复叶——三个小叶柄是等长的。

▲三出羽状复叶——顶端小叶柄较长。

▲单身复叶——一种形态特殊的复叶，外形像单叶，是由三出复叶的两枚侧生小叶退化成翅状，总叶轴与顶生小叶连接处有关节。

### ▲单小叶

两枚侧生小叶完全退化的单生复叶



三出掌状复叶

三出羽状复叶

单身复叶

# 复叶的类型



一回奇数羽状复叶



一回偶数羽状复叶



二回羽状复叶



三回羽状复叶



掌状复叶



三出掌状复叶



三出羽状复叶



单身复叶

# 单叶与复叶区分：

- ① 单叶的叶腋处有**腋芽**，复叶的小叶叶腋处无腋芽；
- ② 单叶所着生的小枝顶端**具芽**，复叶的叶轴顶端没有芽；
- ③ 单叶在小枝上排成各种**叶序**，复叶叶轴上的小叶与叶轴成一平面；
- ④ 落叶时，单叶叶片与叶柄同时**脱落**，而复叶常为小叶先落，叶轴后落；
- ⑤ 单叶叶柄基部有**托叶**（有托叶的类型），复叶的小叶柄处常无托叶。

单叶还是复叶？











黄皮 单叶还是复叶？







## (五) 叶序和叶镶嵌

**1. 叶序：**叶在茎上的排列方式称为叶序 (phyllotaxy)。

**有三种基本类型：**

- **互生 (alternate)：**每节上只生一叶，交互而生
- **对生 (opposite)：**每节上生两叶，相对排列
- **轮生 (whorled)：**每节上生三叶或三叶以上，排成轮状

**此外还有：**

- **簇生叶序 (fascicled phyllotaxy)：**枝的节间短缩密接，叶在短枝上成簇生出。（银杏）
- **叶基生：**叶着生在茎基部近地面处。（蒲公英）



# 各种叶序类型的图解



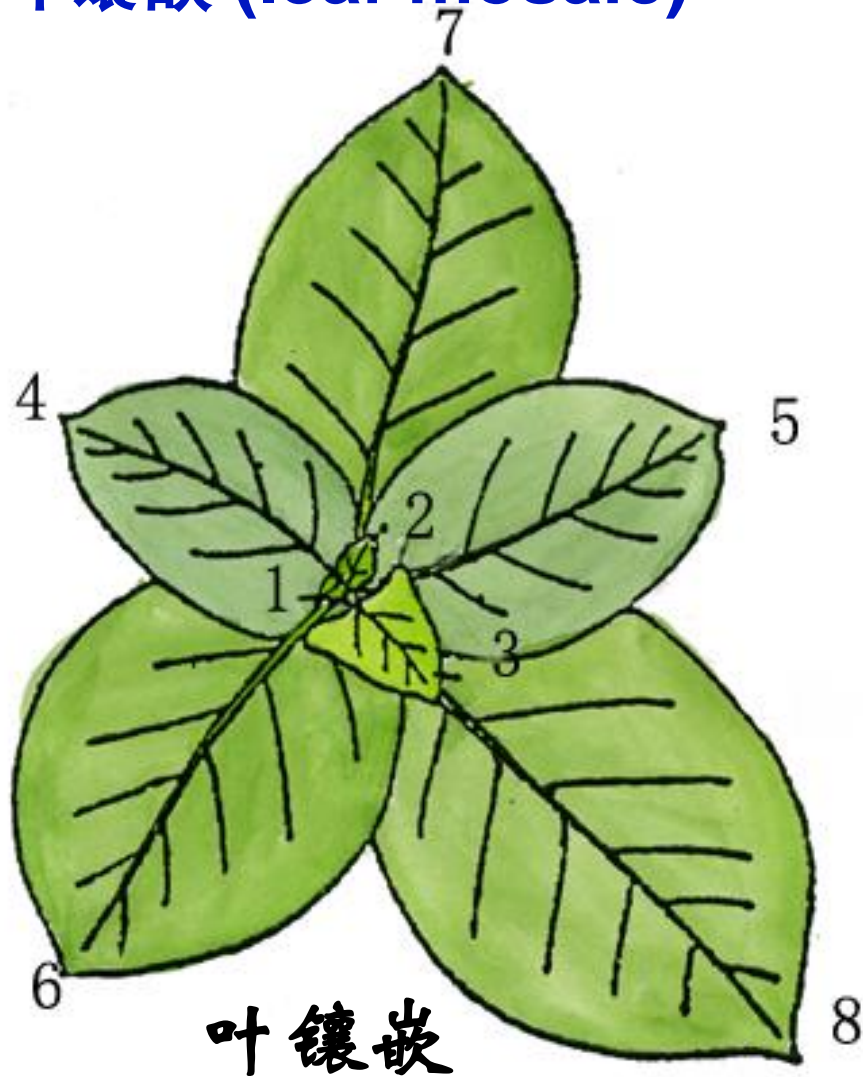


**簇生叶序（银杏）**



**叶基生（蒲公英）**

**2. 叶镶嵌：**枝条上部叶的叶柄较短，下部叶的叶柄较长，同时各节叶着生的方向不同，使同一枝条上的叶不致互相遮盖，称为**叶镶嵌 (leaf mosaic)**



叶镶嵌

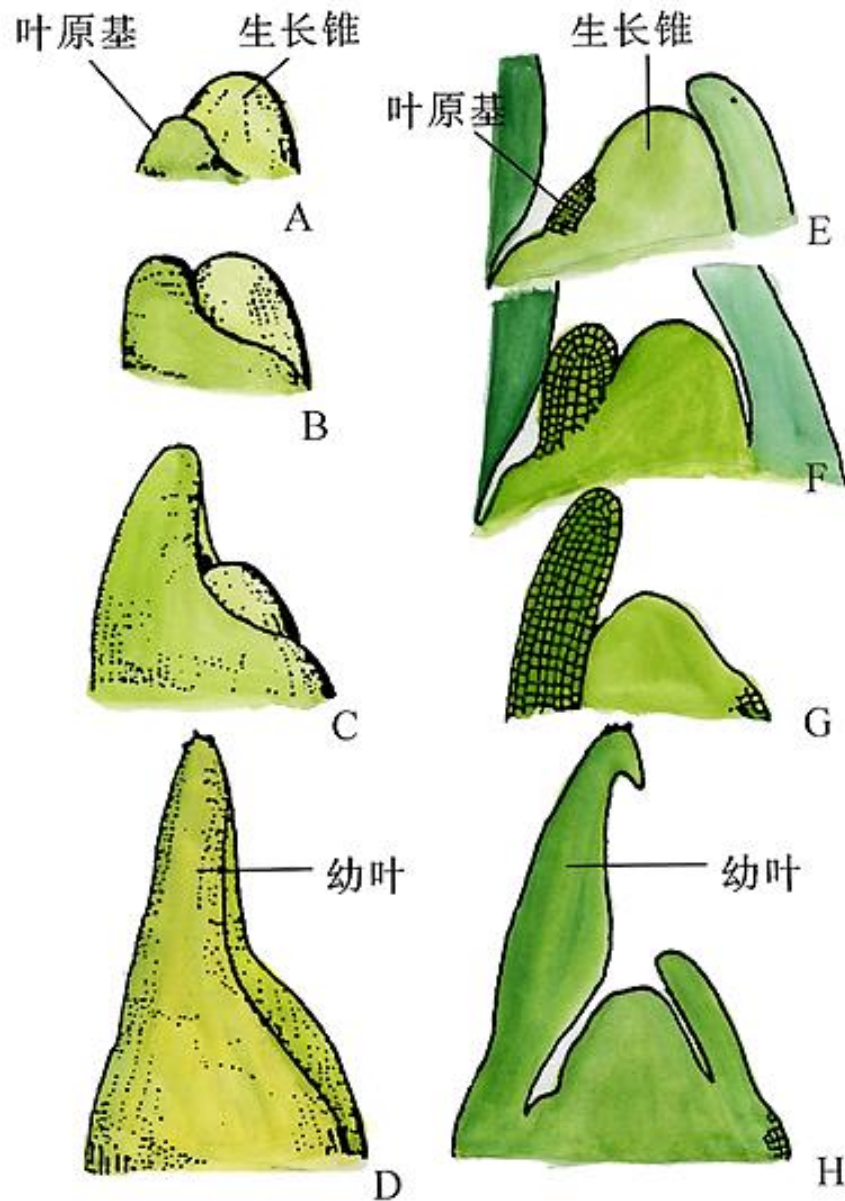
### 三、叶的起源和发育

#### 1. 叶原基的发生

叶原基发生于茎尖生长锥的侧面，一般由表层和表层以内的几层细胞分裂形成。**(外起源)**

#### 2. 叶的发生与叶片的发育

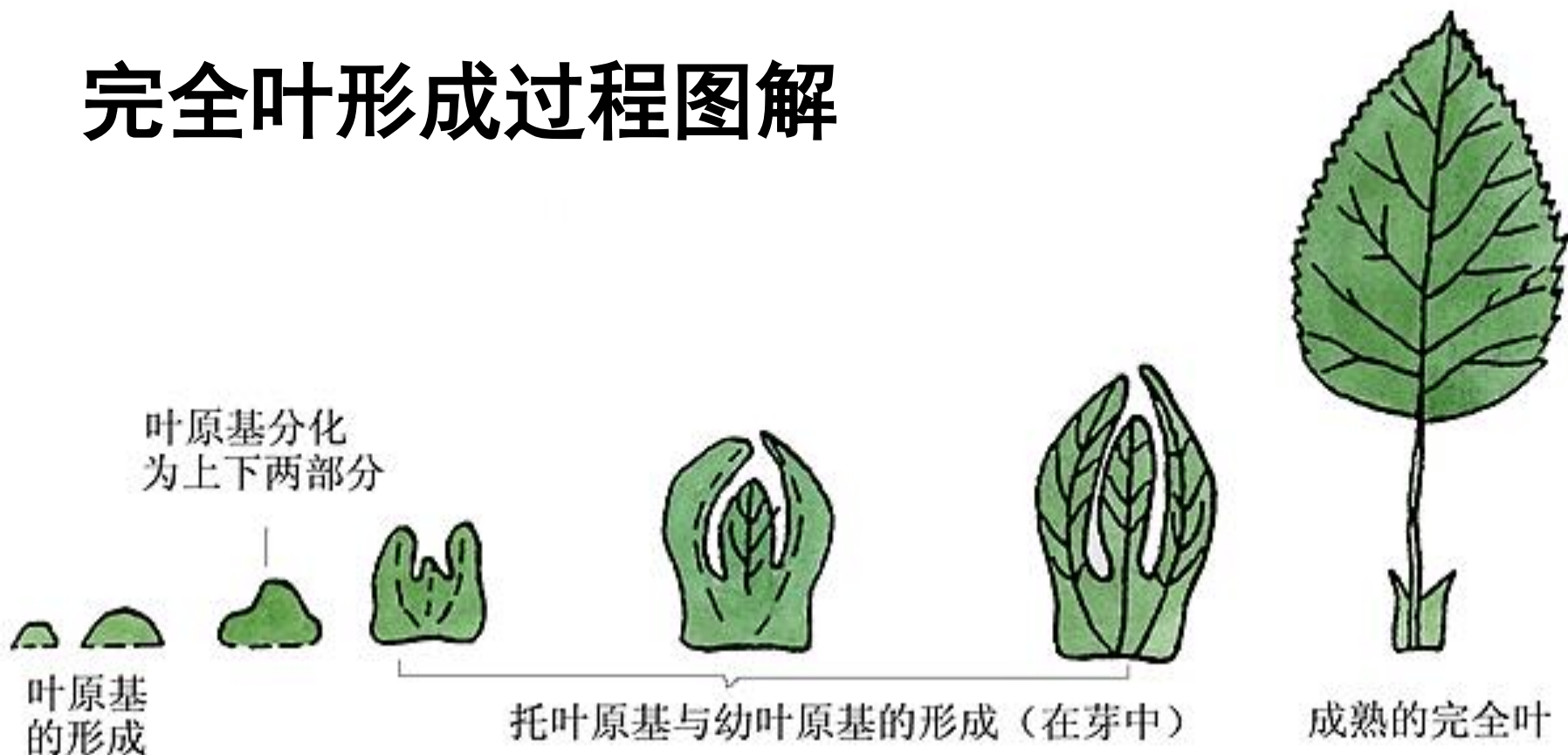
叶原基形成后，接着下部发育为托叶，上部发育为叶片与叶柄。**叶的生长是有限生长。**



水稻叶的发生

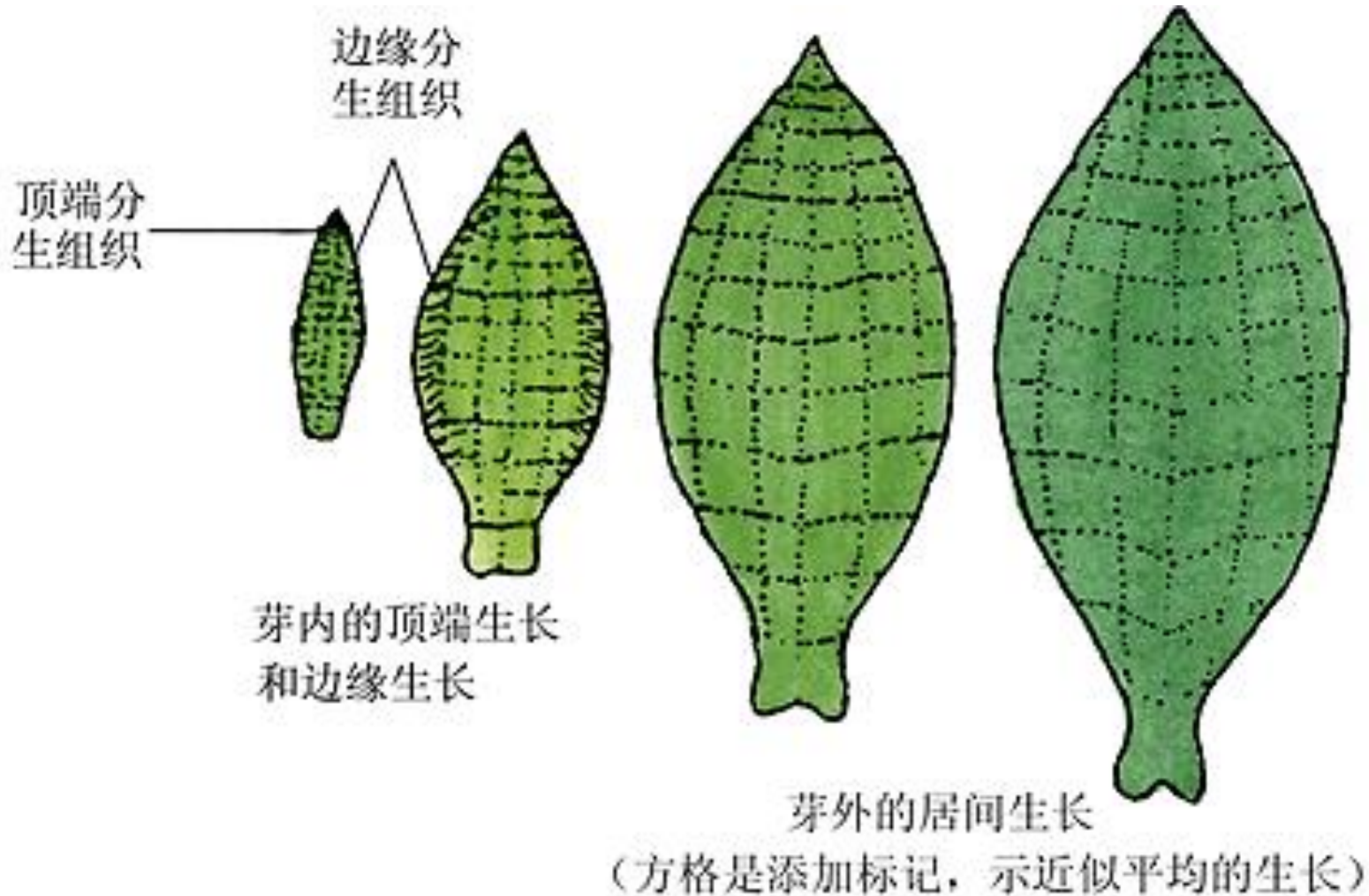
A-D. 叶原基出现至幼叶形成过程的外形图  
E-H. A-D 相应发育阶段的纵切面图

# 完全叶形成过程图解



叶原基形成后,接着下部发育为托叶,上部发育为叶片与叶柄。**托叶原基生长迅速**,不久即成为保护叶原基上部的雏形托叶。叶原基上部先分化出叶片,一般在芽内已具雏形,而叶柄在芽内叶形态发生的后期,或当叶片从芽中展开时才明显可见,以后随幼叶片的展开而迅速伸长。

# 烟草叶的发育



叶片由叶原基上部经顶端生长、边缘生长和居间生长形成。

# 四、叶的结构

## (一) 双子叶植物叶的结构

1. 叶片：分为**两面叶** (bifacial leaf)或**异面叶**(dorsi ventral leaf) 与**等面叶** (isobilateral leaf)。不论**异面叶**还是**等面叶**，其叶片均由**表皮**、**叶肉**和**叶脉**三部分组成。

**(1)表皮**：有上下表皮之分。表皮通常由一层生活细胞组成；也有少数植物叶片表皮具**复表皮** (multiple epidermis)。

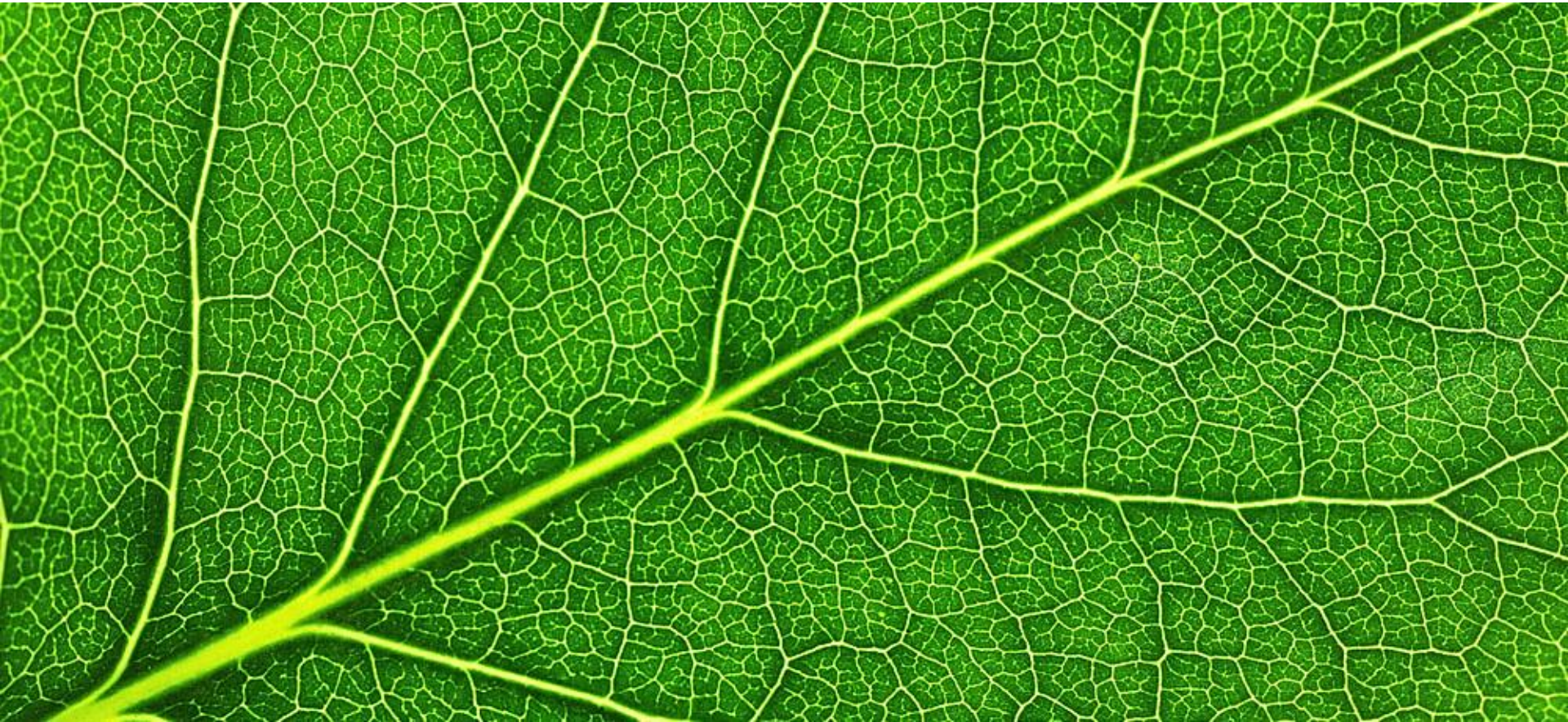
— **角质层**；**蜡被层**；**其他附属物**等。

— **气孔**：

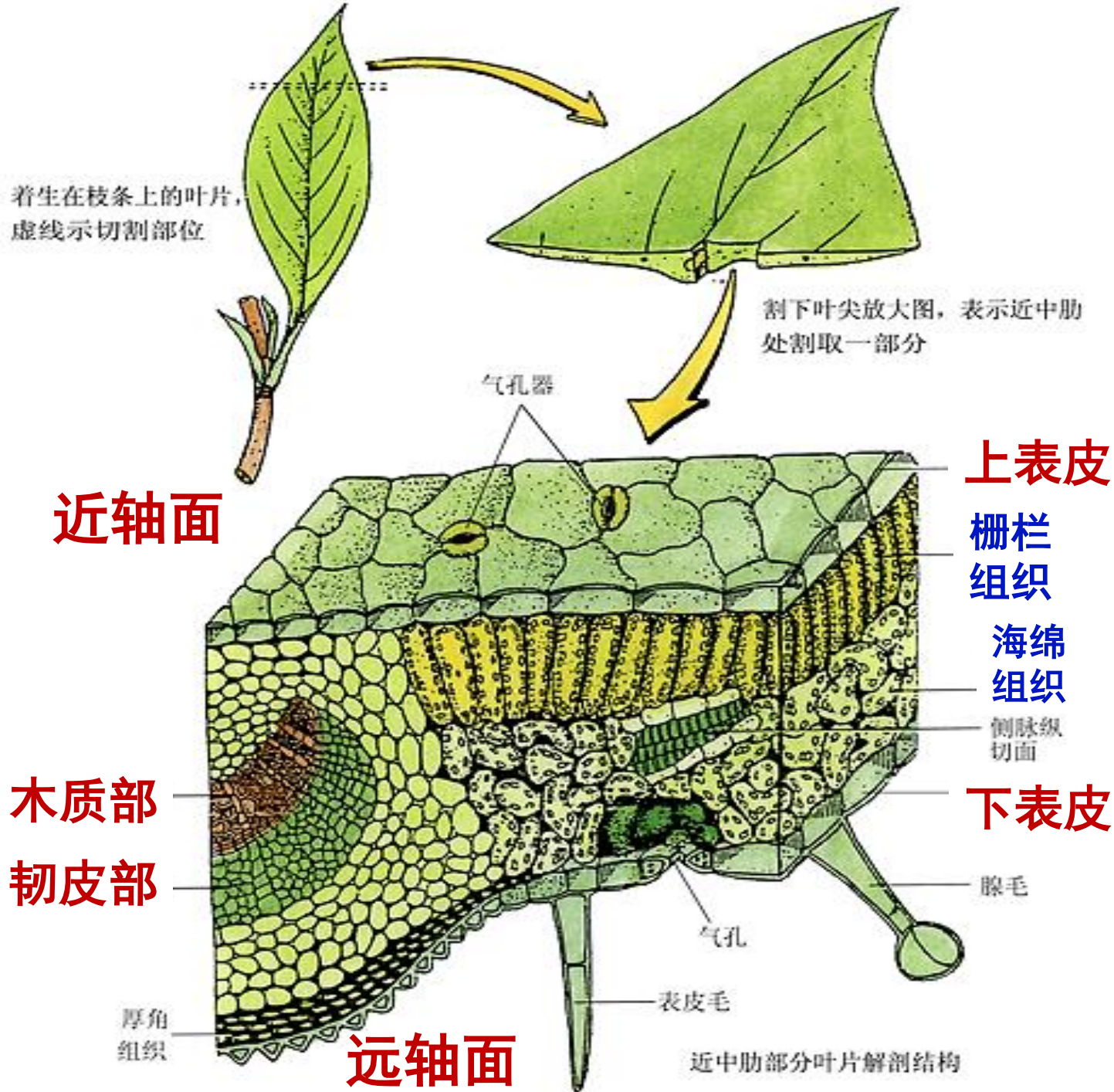
**(2)叶肉 (mesophyll)**：主要由**栅栏组织** (palisade tissue)和**海绵组织** (spongy tissue) 组成。一般兼有通气功能，有利于光合作用及气体交换。叶肉内还含有少量其他组织，如溶生的分泌腔、晶状细胞、石细胞等。

**(3) 叶脉 (vein):** 维管束为叶脉的主要部分。较小的叶脉维管束外面常围绕着一层或几层排列紧密的细胞，形成**维管束鞘** (vascular bundle sheath)

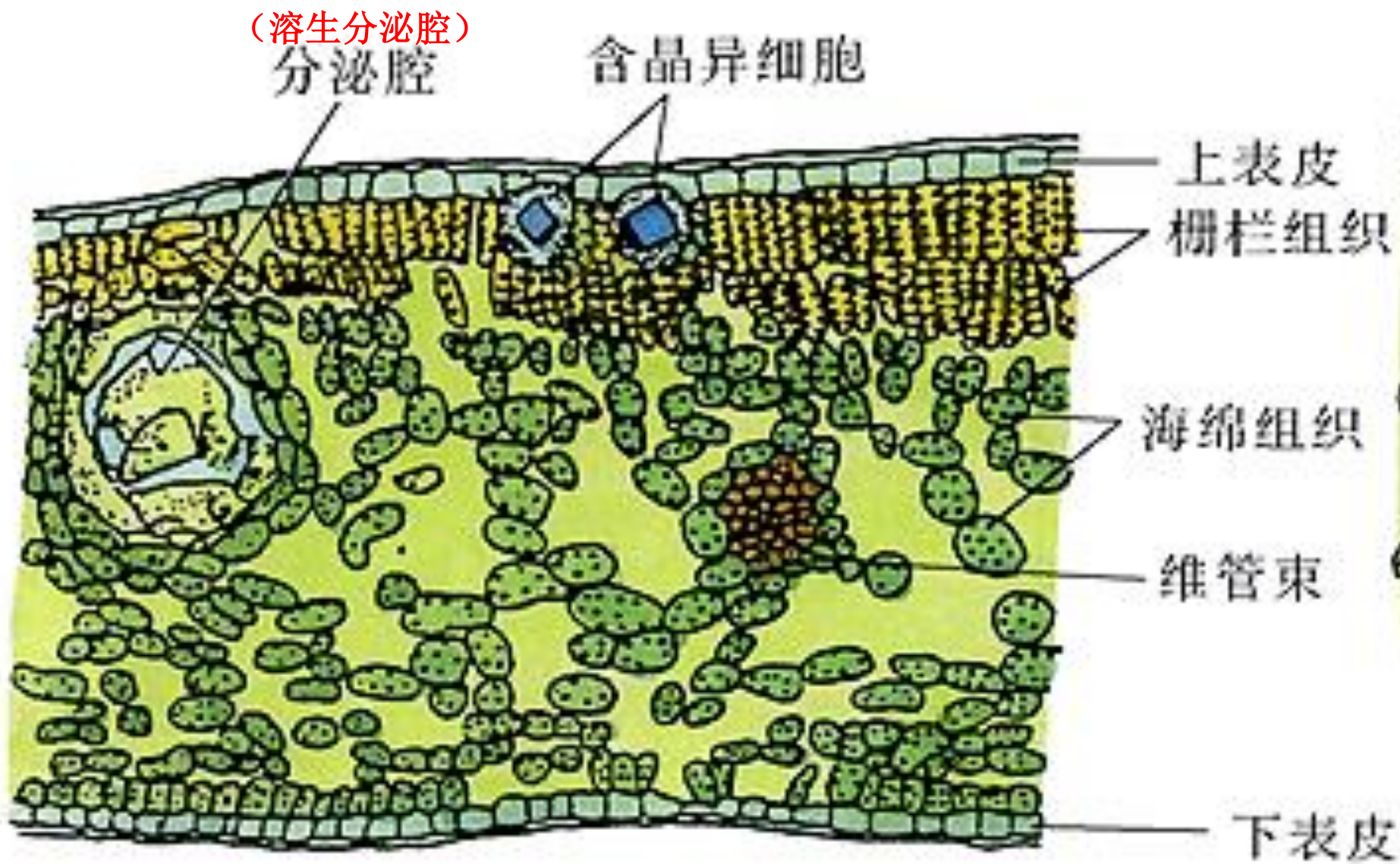
- 主脉;
- 侧脉;



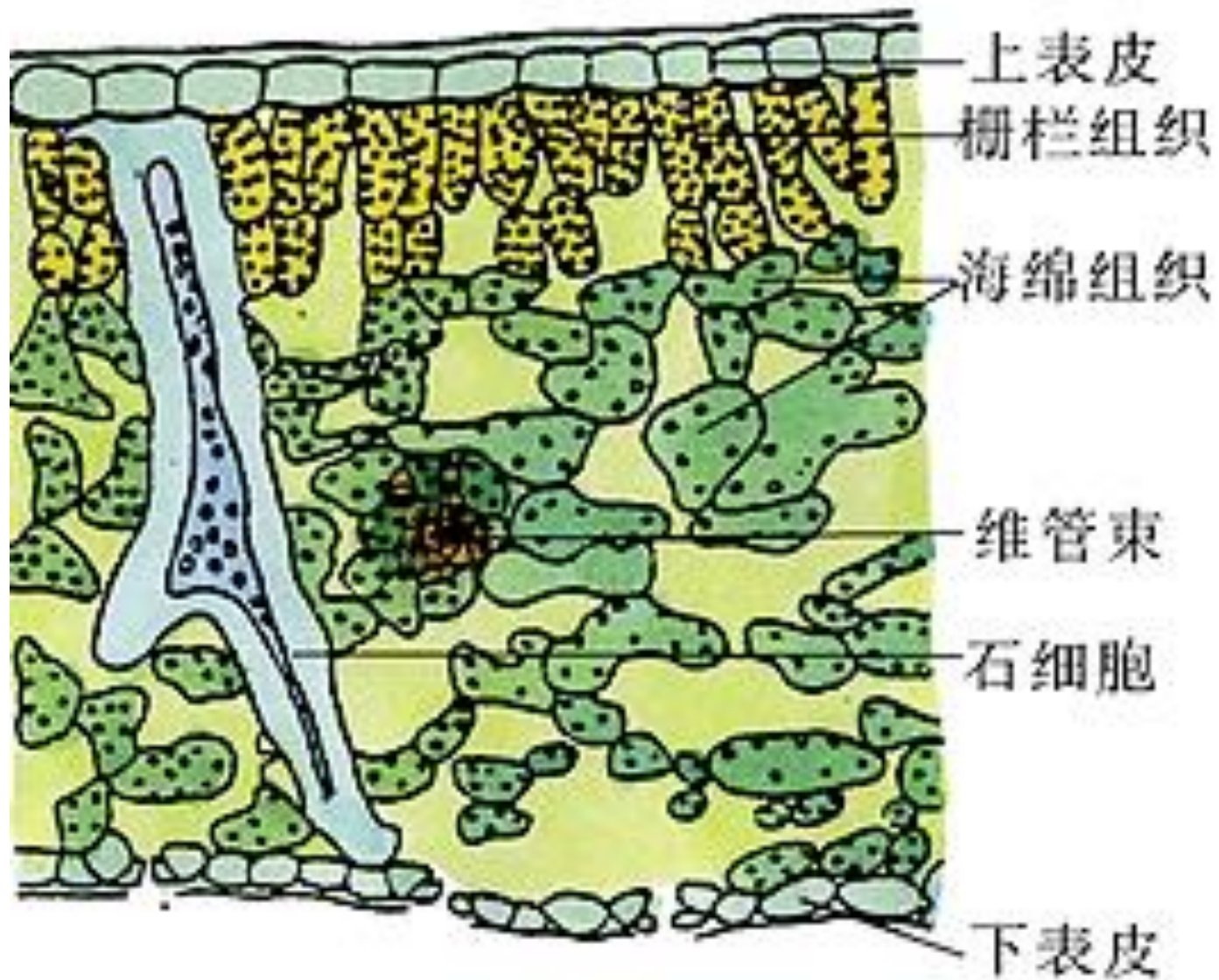
# 双子叶植物叶的解剖





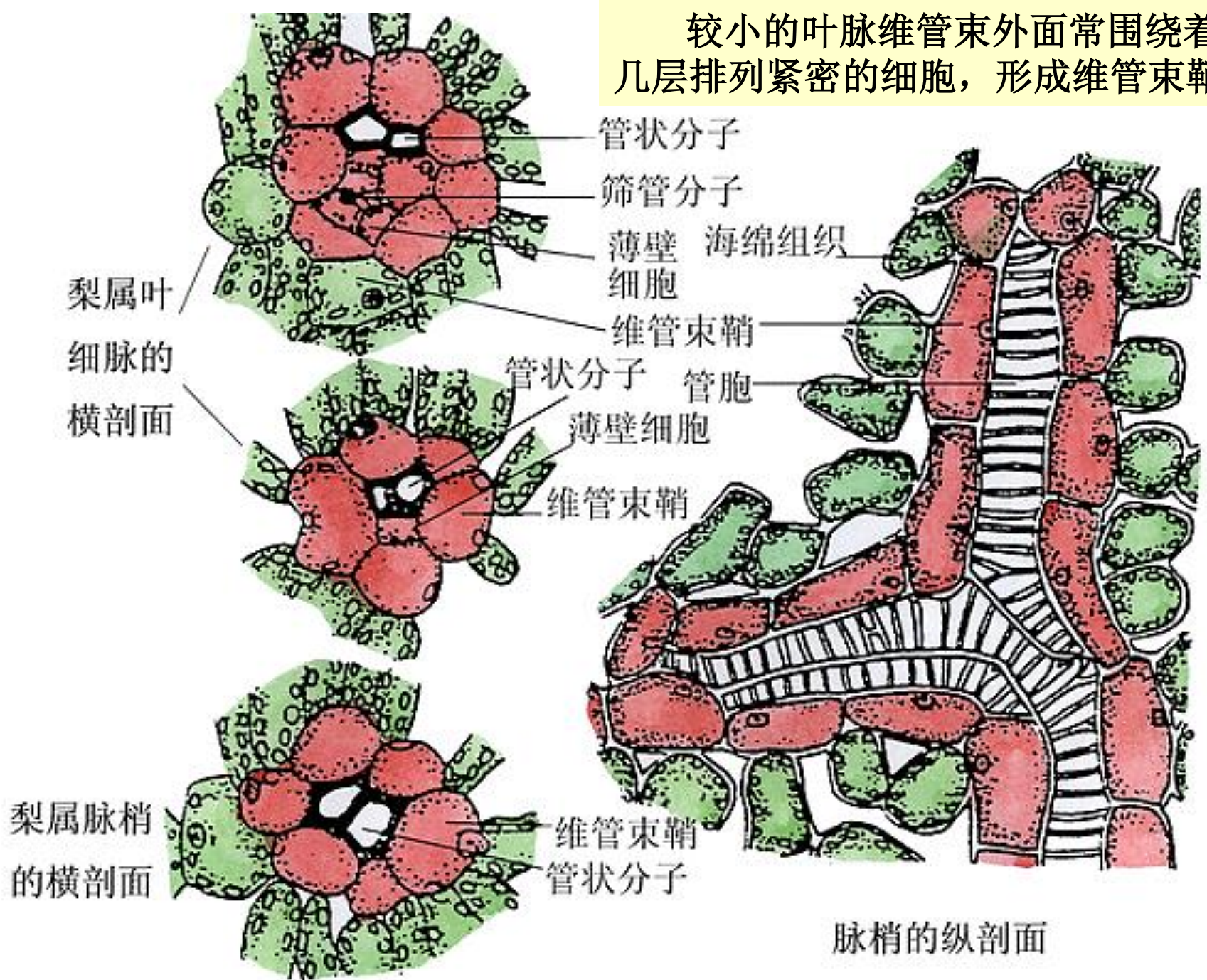


蜜柑叶片横剖面



茶叶叶片横剖面

较小的叶脉维管束外面常围绕着一层或几层排列紧密的细胞，形成维管束鞘。



梨属叶  
细脉的  
横剖面

梨属脉梢  
的横剖面

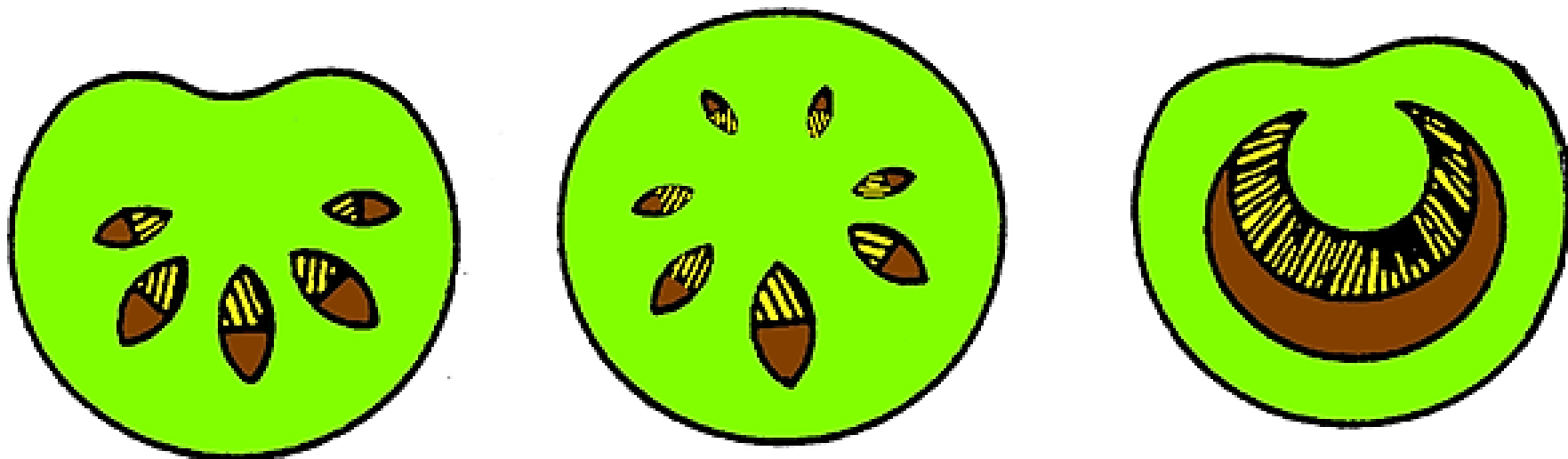
脉梢的纵剖面

细脉与脉梢

## 2. 叶柄与托叶

▲由**表皮**、**基本组织**和**维管束**三部分组成。

▲托叶形状各异。



三种类型的叶柄横剖面（斜纹为木质部）

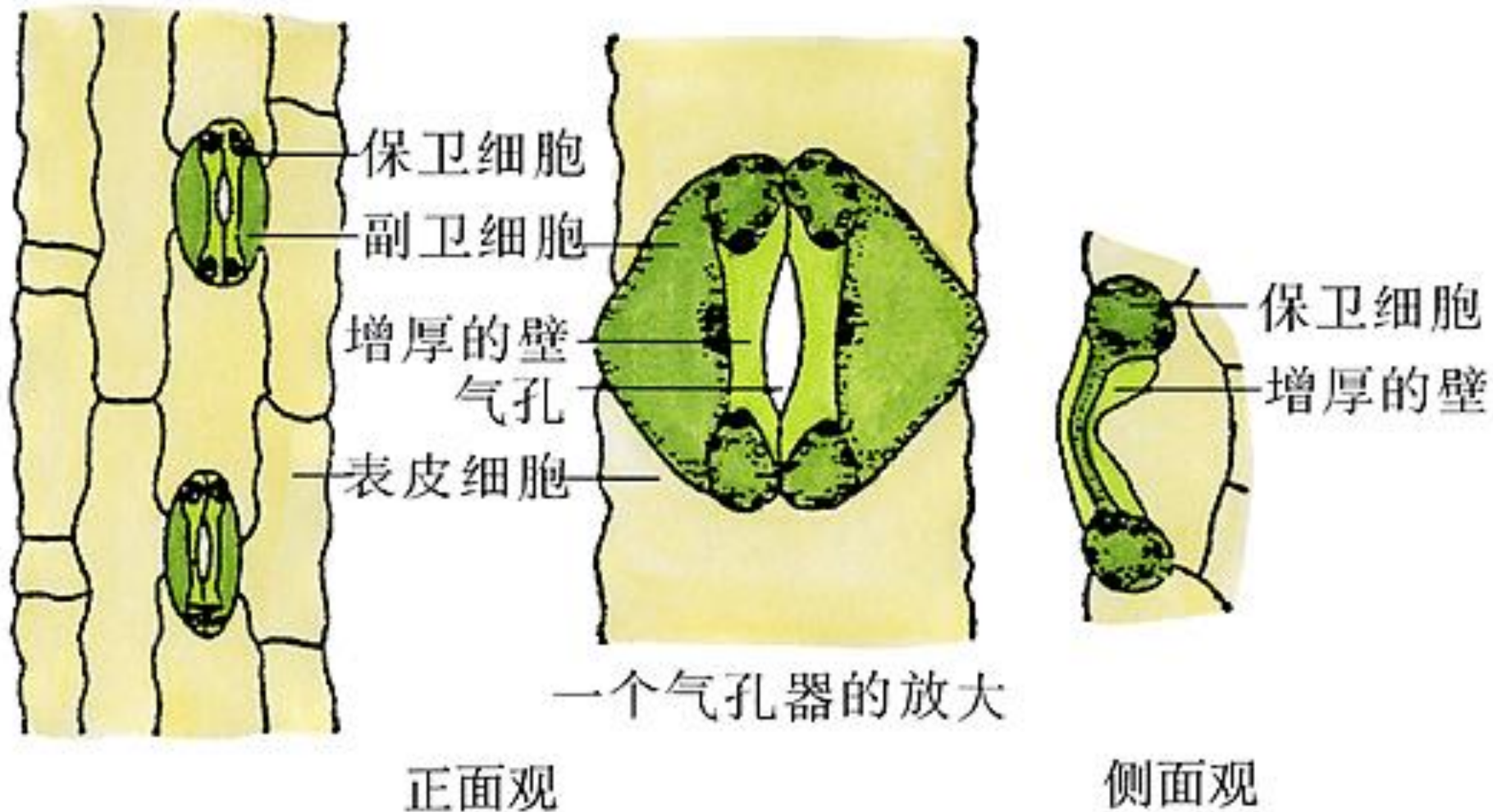
## (二) 单子叶植物叶的结构

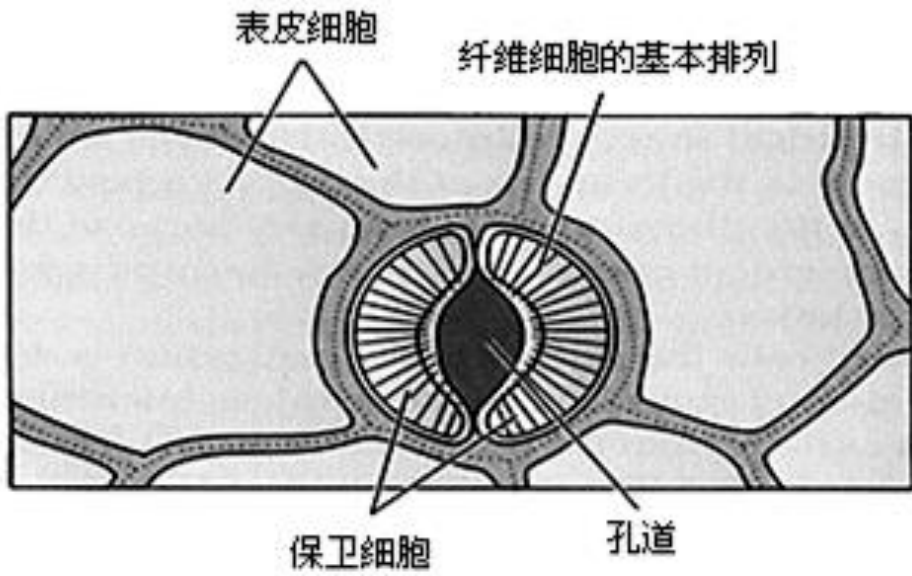
禾本科植物叶结构与双子叶植物不同，其特点主要表现在**表皮**和**叶肉组织**。

### 1. 表皮

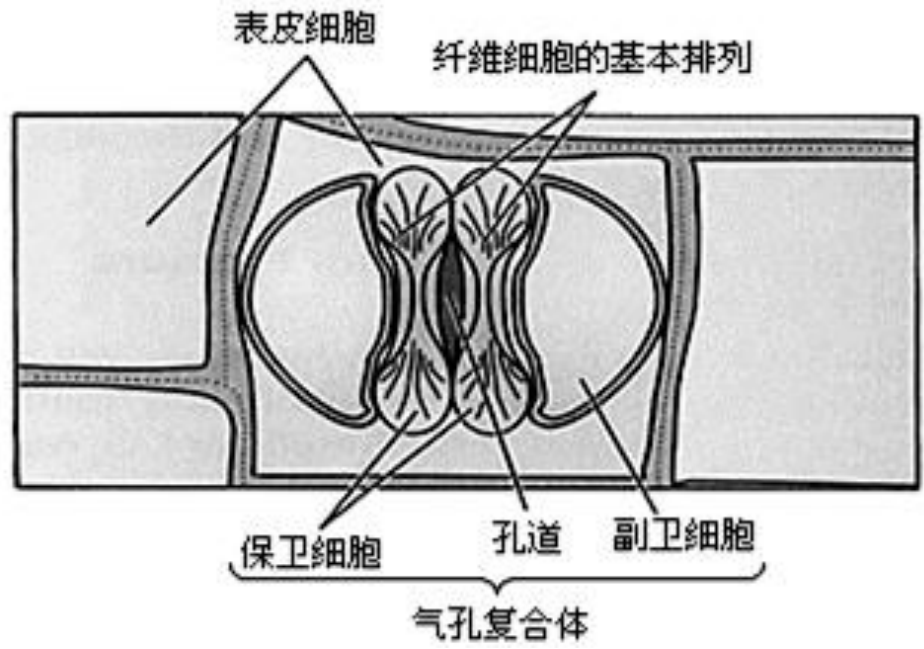
- 为**上表皮**和**下表皮**。上、下表皮细胞均由近矩形的长细胞和两种短细胞组成。短细胞又分为**硅细胞**和**栓细胞**两种。
- 相邻两叶脉之间的上表皮有数列特殊的薄壁的大型细胞，称**泡状细胞** (bulliform cell)。泡状细胞也称**运动细胞** (motor cell)。
- 禾本科植物的上下表皮上都有气孔，**气孔的保卫细胞呈哑铃形**，细胞的两端呈球形，壁薄，中间伸直并部分壁厚。

# 竹叶的表皮和气孔

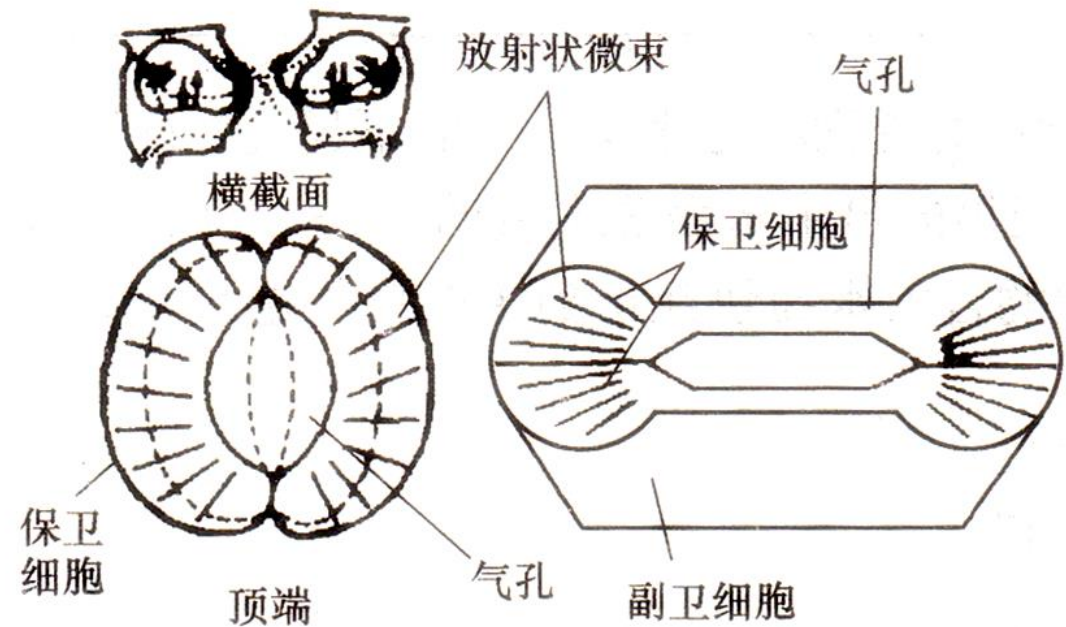




## 双子叶植物



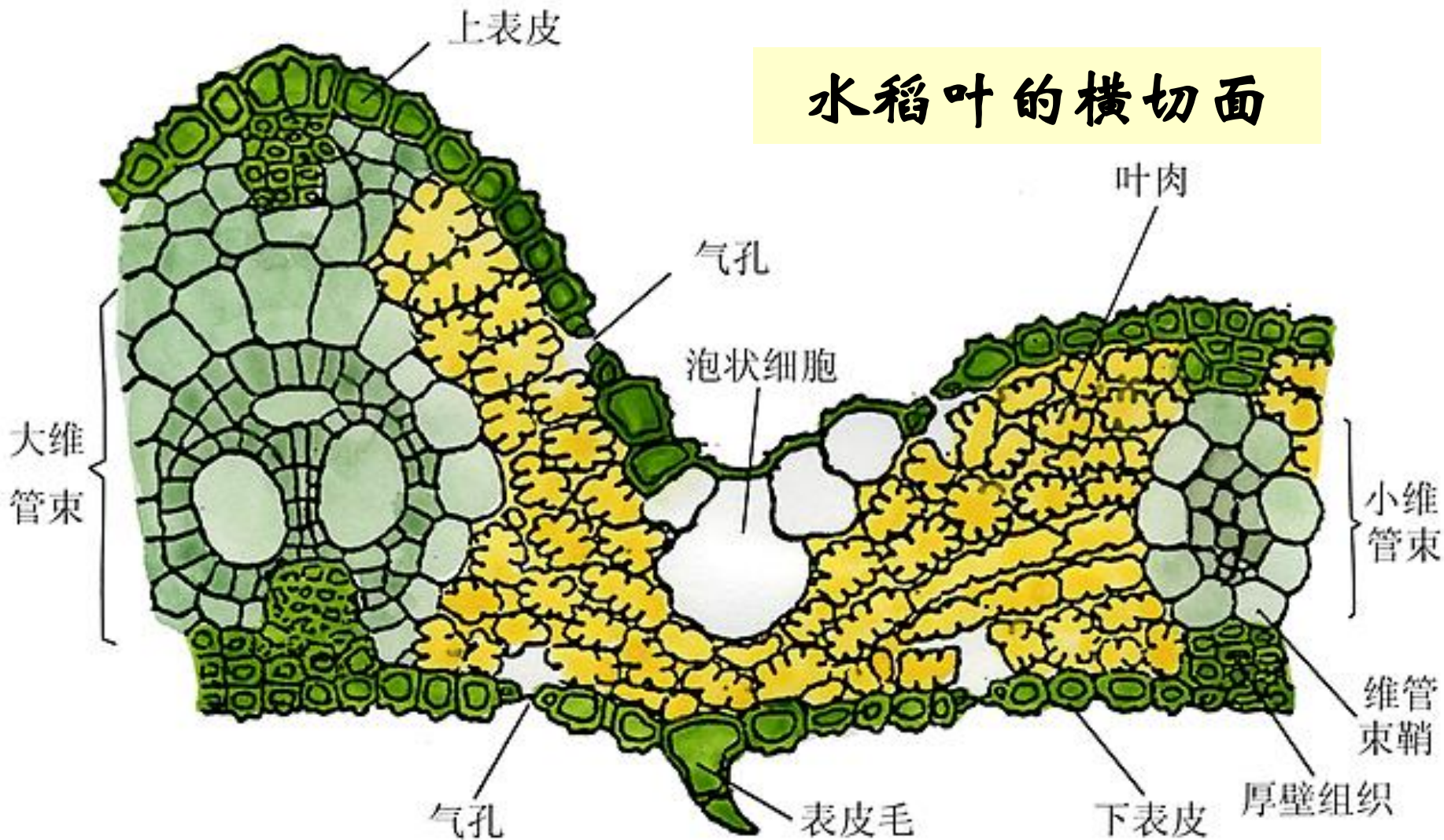
## 单子叶植物



2. **叶肉**：等面叶，无明显的栅栏组织和海绵组织的分化。

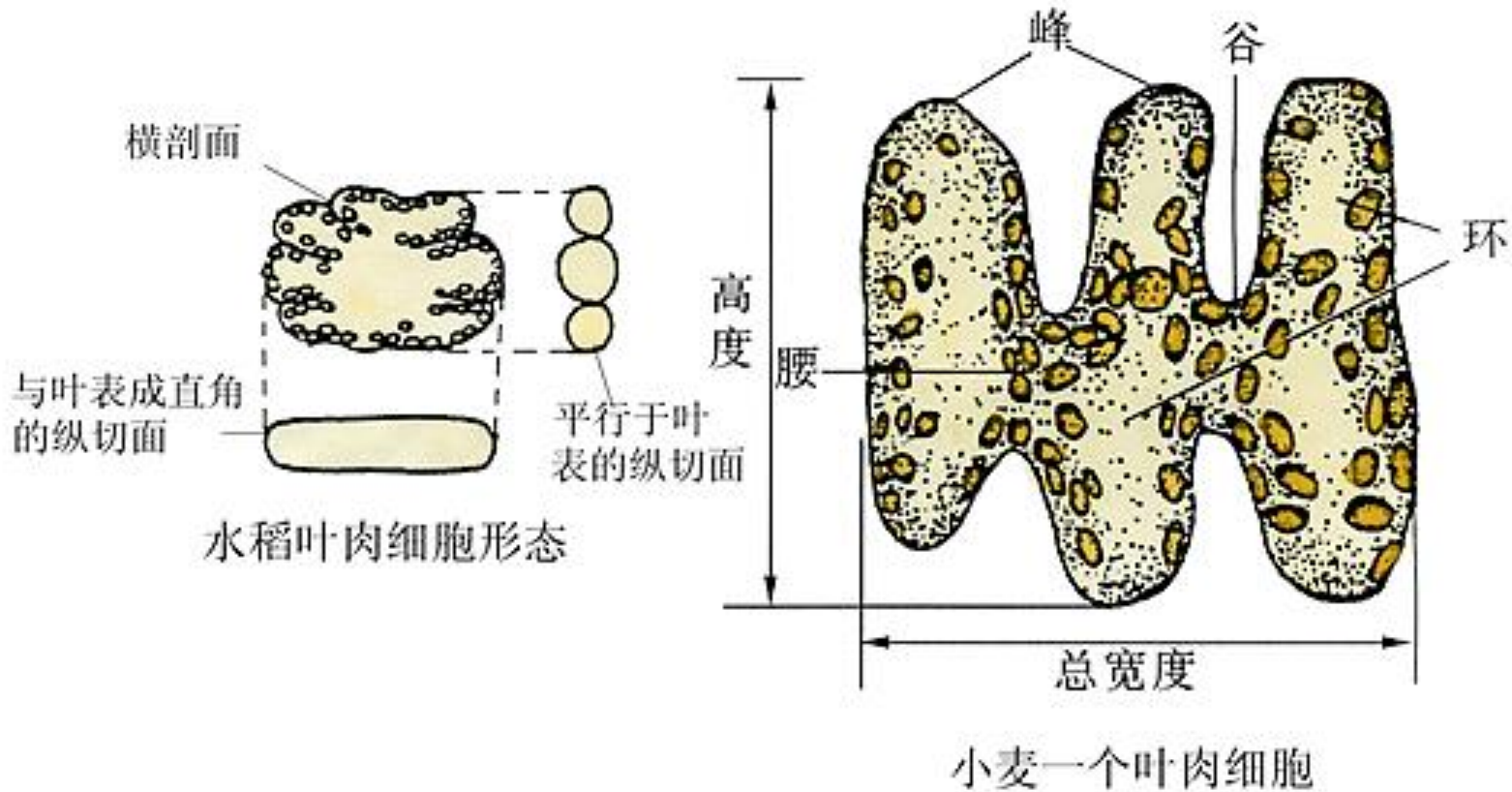
3. **叶脉**：平行叶脉，各纵走叶脉间有横向细脉连系。

## 水稻叶的横切面





# 禾本科植物叶肉细胞形态



不同植物的叶肉细胞又各具特点。**水稻的叶肉细胞整体为扁圆形，细胞壁向细胞腔内形成褶皱，叶绿体沿褶皱的壁排列；小麦的叶肉细胞则由不同长度的链形细胞组成。**

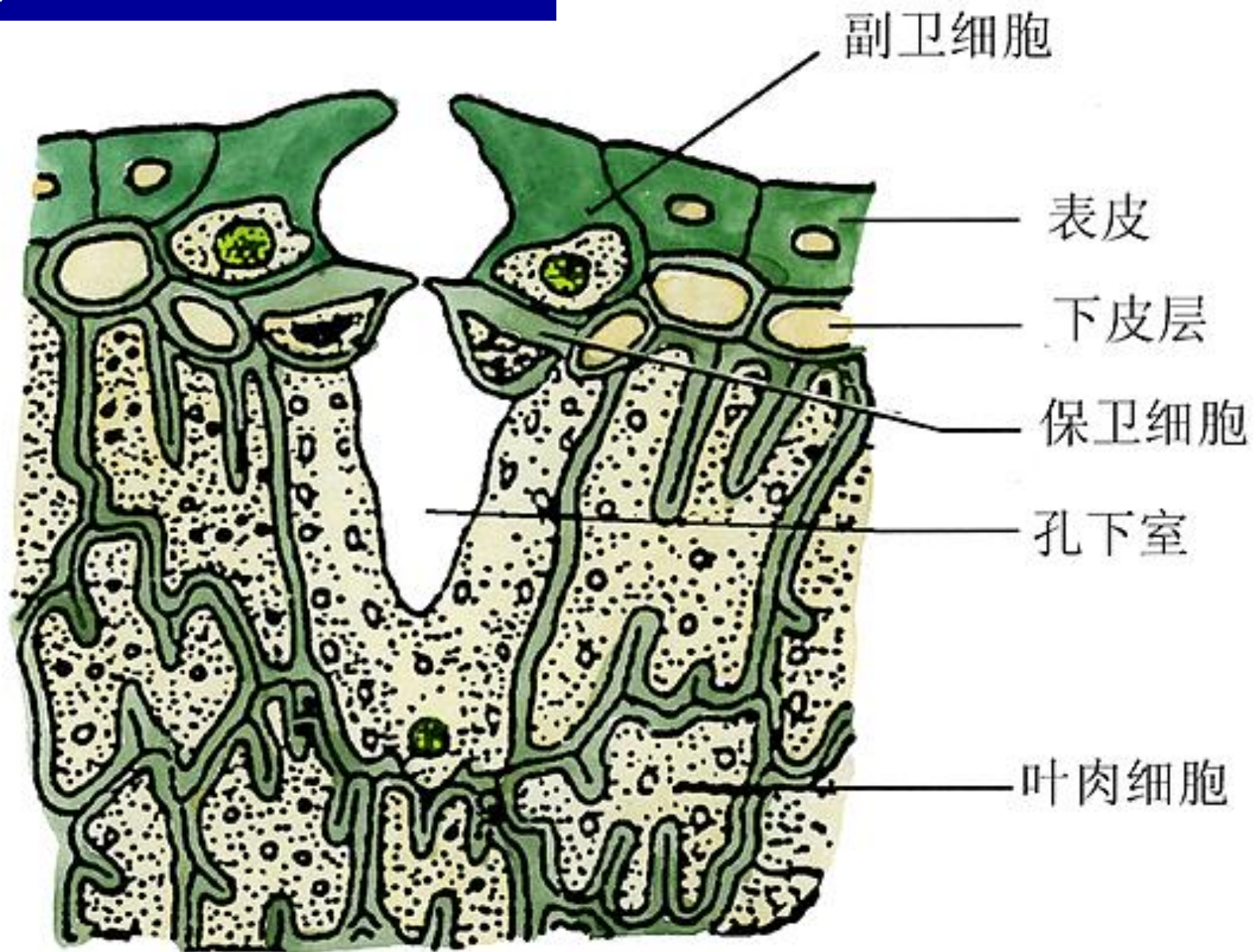
### (三) 松属针叶的结构

裸子植物的叶除银杏、买麻藤外，通常比较狭细，成针状、条状或鳞片状，故**习惯上称裸子植物为针叶植物**。针叶面积较小，具有一些旱生结构特征，能够耐低温和干旱。

**大多数裸子植物的叶成针状、条状或鳞片状。**



# 松针叶的下陷气孔器



以松属针叶作横切面，可以看到从外到内有以下几部分：

- 表皮细胞壁厚，表皮下有多层厚壁细胞，称为**下皮层(hypodermis)**，**气孔下陷**，形成空腔。
- 松属的**叶肉细胞壁内褶**，伸入到细胞腔内，叶绿体沿褶襞分布。**叶肉内具树脂道**。
- **叶肉组织以内有明显的内皮层**，其细胞内含有淀粉粒。
- **维管束分布在内皮层以内**。
- 在维管束与内皮层之间，有几层紧密排列的**转输组织(transfusion tissue)**，包围着维管束。转输组织由转输管胞与转输薄壁细胞组成。

# 松针叶横切面

## (1) 下皮层

厚壁组织

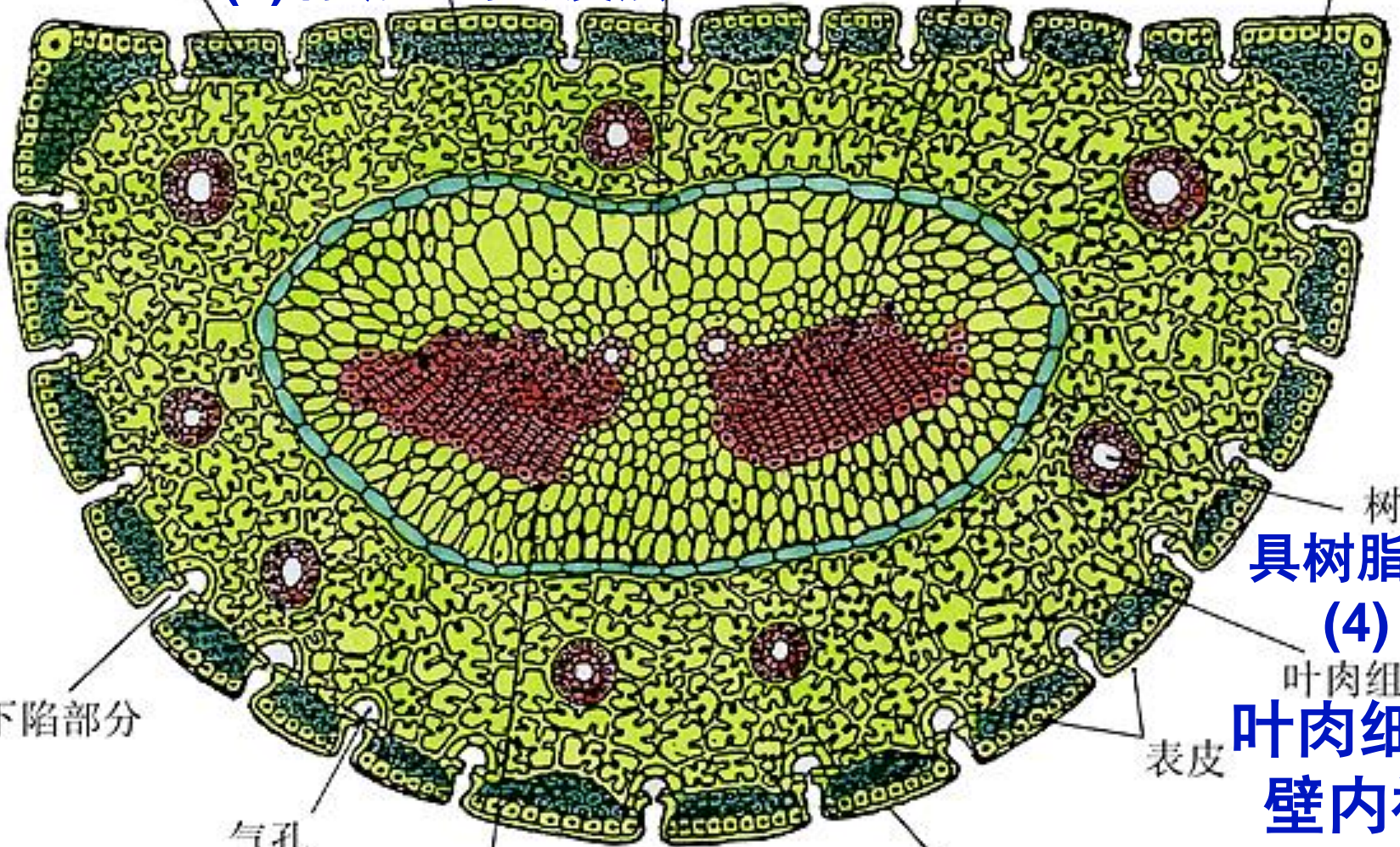
内皮层

输导组织

维管束

厚壁组织

(5) 有明显的内皮层



表皮下陷部分

气孔

(2) 气孔下陷

厚壁组织

角质层

树脂道

具树脂道

(4)

叶肉组织

叶肉细胞壁内褶

(3)

表皮

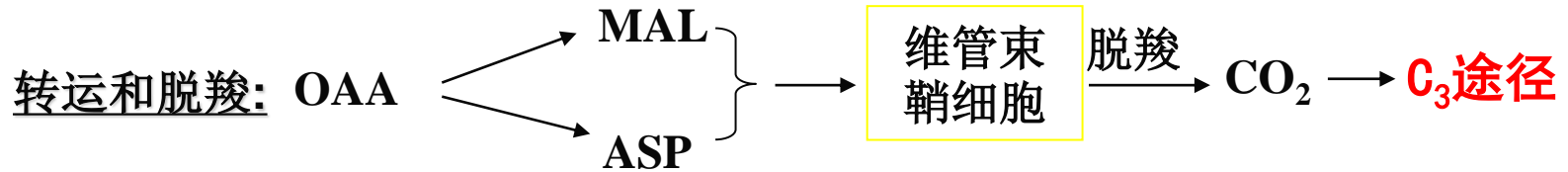
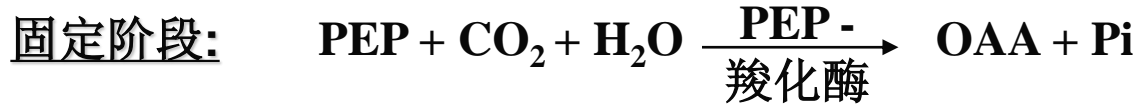
## (四) $C_3$ 和 $C_4$ 植物叶的结构特点

大多数植物是 $C_3$ 植物, $C_4$ 植物多分布干热带高温干旱的环境中。 $C_4$ 植物的起源比 $C_3$ 植物晚。

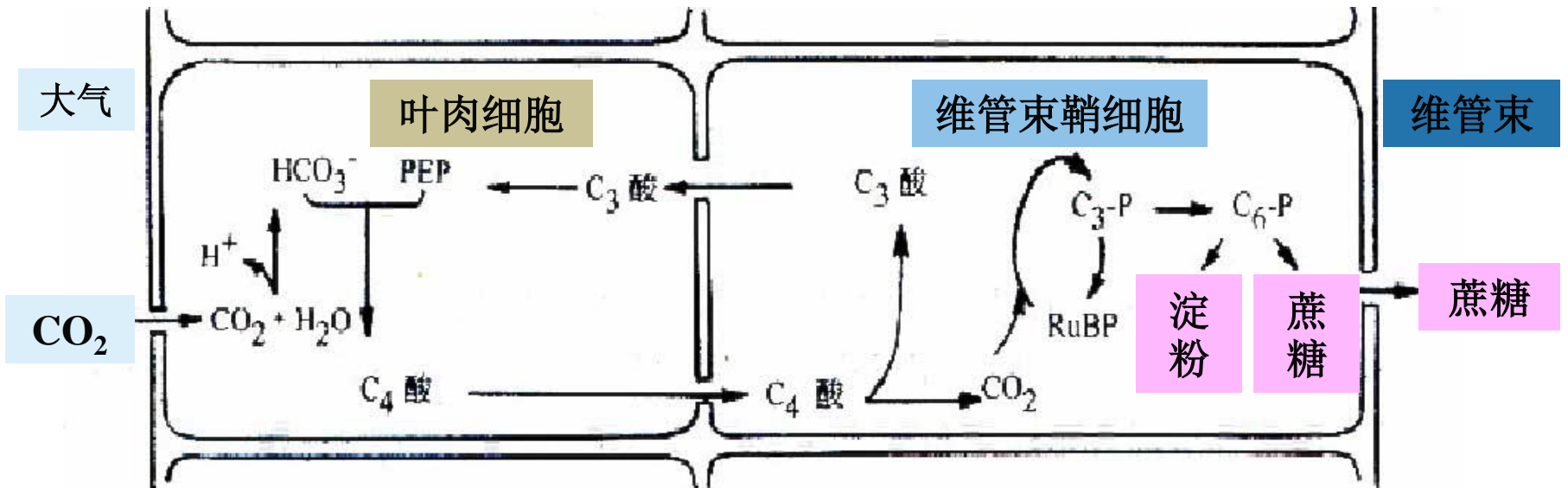
- $C_3$ 植物和 $C_4$ 植物表现结构上的差异。 $C_3$ 植物维管束鞘细胞具有较少的细胞器和相当小的叶绿体。
- $C_4$ 植物的叶肉组织细胞和维管束鞘形成有规则的排列。在横切面上，这两种细胞一起围着维管束作同心层排列，形成“花环型 (kranz type)”结构。

# C<sub>4</sub>途径（四碳二羧酸途径）

空气中含有约0.03%二氧化碳

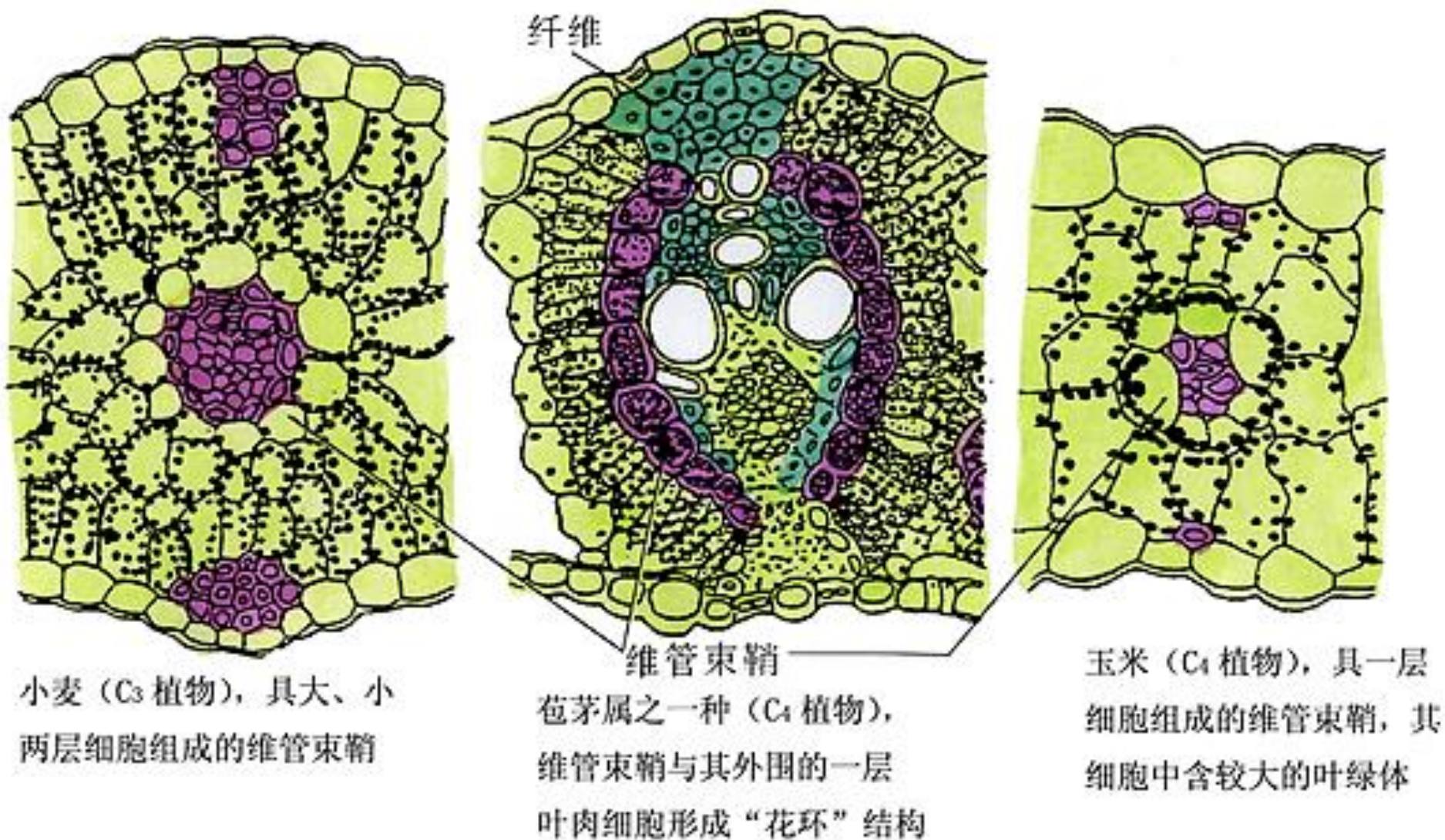


再生阶段: PEP的再生



磷酸烯醇式丙酮酸(PEP); 草酰乙酸(OAA); 苹果酸(MAL); 天冬氨酸(ASP)

# 几种禾本科植物叶片横切面的一部分



小麦 (C<sub>3</sub> 植物), 具大、小  
两层细胞组成的维管束鞘

苞茅属之一种 (C<sub>4</sub> 植物),  
维管束鞘与其外围的一层  
叶肉细胞形成“花环”结构

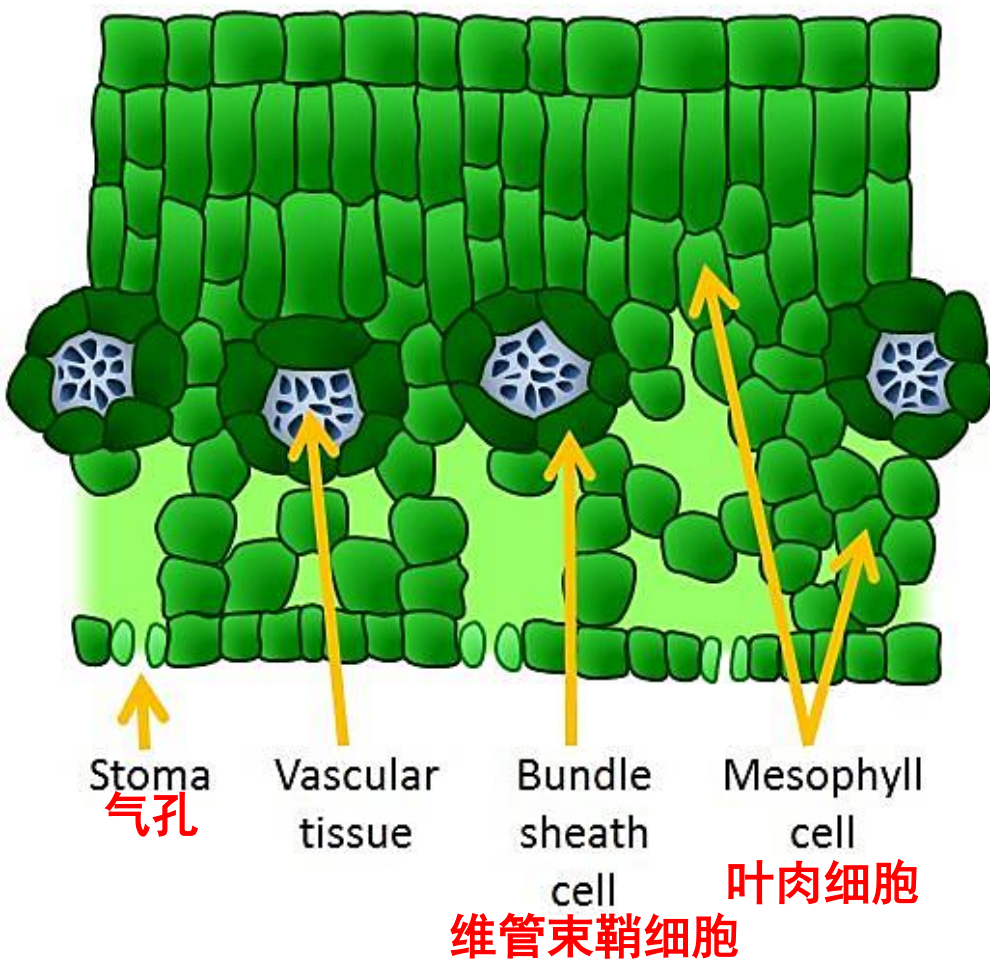
玉米 (C<sub>4</sub> 植物), 具一层  
细胞组成的维管束鞘, 其  
细胞中含较大的叶绿体



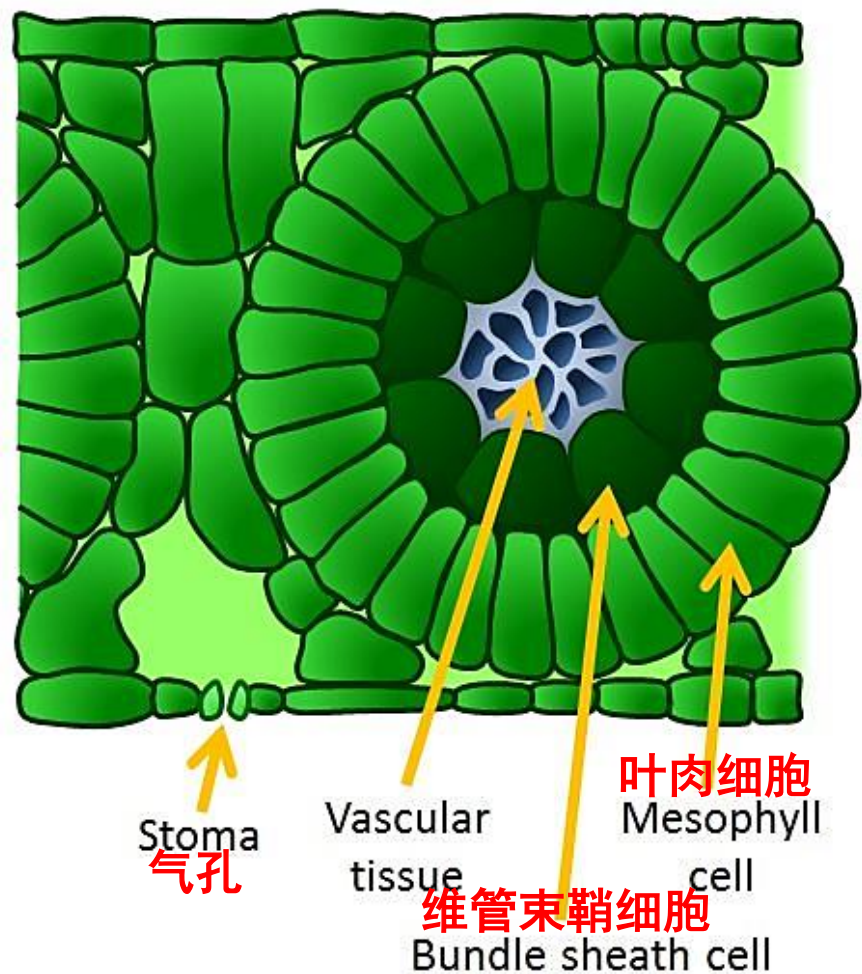
# C<sub>3</sub>和C<sub>4</sub>植物叶的结构特点：

## “花环型 (kranz type)”结构

C<sub>3</sub> plant



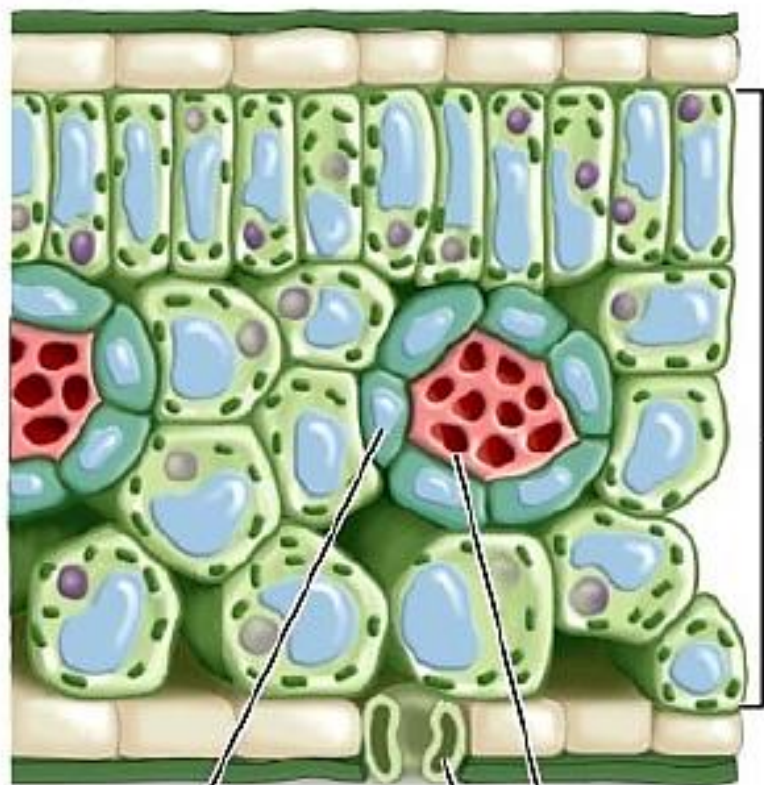
C<sub>4</sub> plant



# C<sub>3</sub>和C<sub>4</sub>植物叶的结构特点：

## “花环型 (kranz type)”结构

C<sub>3</sub> Plant



bundle sheath cell

维管束鞘细胞

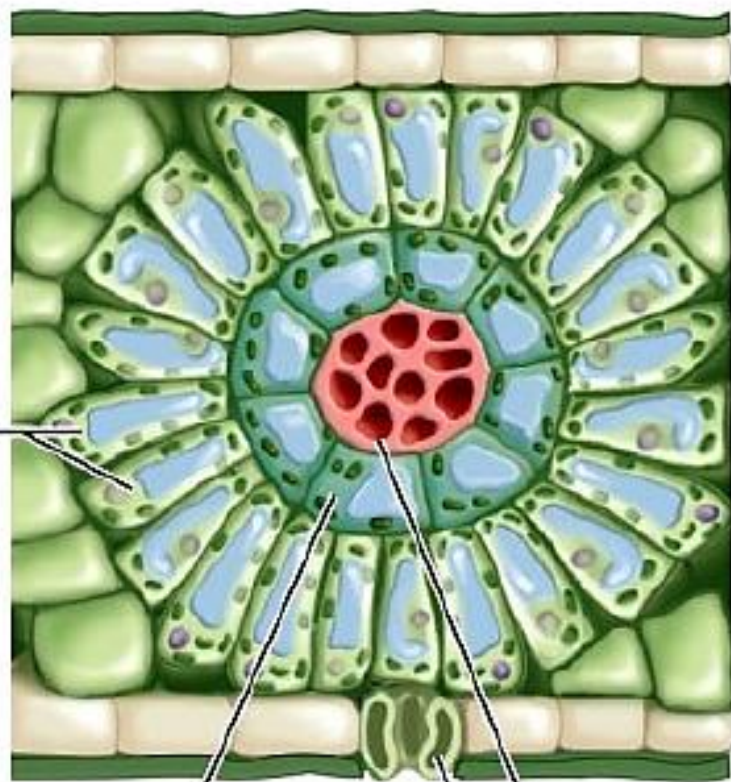
vein stoma

气孔

mesophyll cells

叶肉细胞

C<sub>4</sub> Plant



bundle sheath cell

维管束鞘细胞

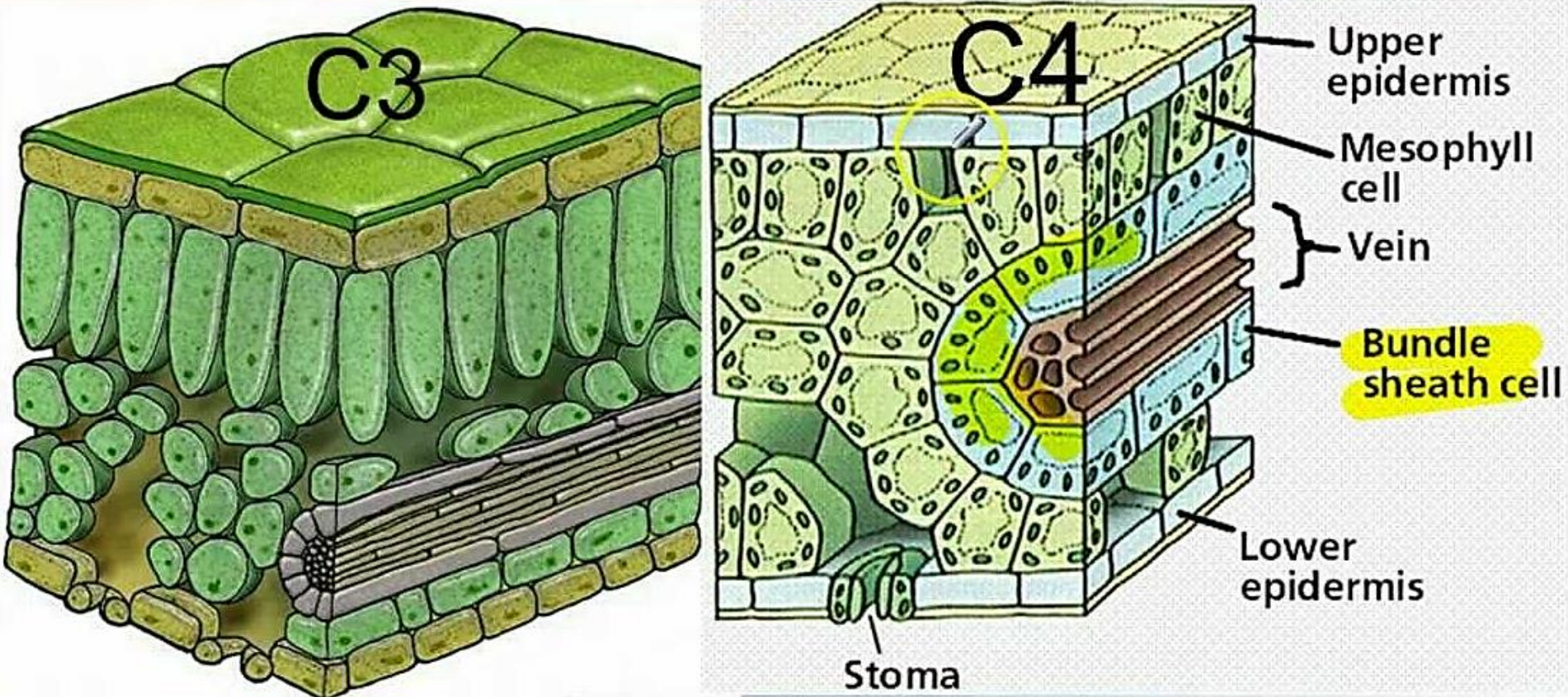
vein stoma

气孔

# C<sub>3</sub>和C<sub>4</sub>植物叶的结构特点:

## “花环型 (kranz type)”结构

C<sub>4</sub> Pathway - uses a unique anatomical difference to ensure optimal Carbon fixation.



# C<sub>4</sub>植物



粟(millet)的穗形，“谷子”，去皮后称“小米”



空气中含有约0.03%二氧化碳

海南大学应用科技学院



# 三条途径:

❖ **C<sub>3</sub> 途径** (还原的戊糖磷酸途径、卡尔文循环**The Calvin cycle**) : C<sub>3</sub>植物



❖ **C<sub>4</sub> 途径**(C<sub>4</sub> pathway) (四碳二羧酸途径) :  
C<sub>4</sub>植物



❖ **CAM 途径** (景天酸代谢途径**crassulacean acid metabolism pathway**) :



## 五、叶的生态类型

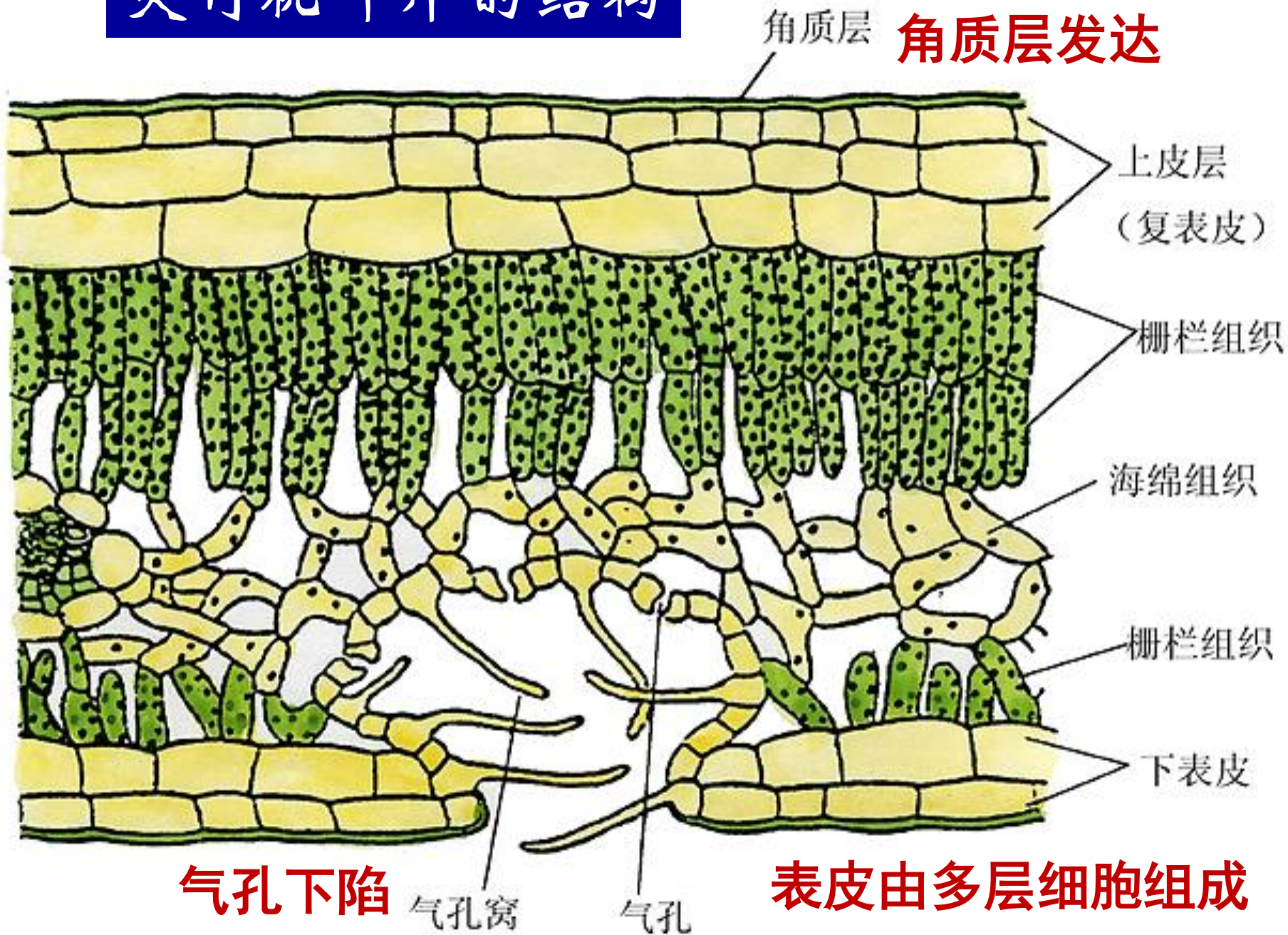
- 根据植物和水分的关系，可区分为**旱生植物 (xerophytes)**、**中生植物 (mesophytes)**和**水生植物 (hydrophytes)**。
- 根据植物和光照强度的关系，又可分为**阳地植物 (sun plant)**、**阴地植物 (shade plant)**和**耐阴植物 (tolerant plant)**。

# (一) 旱生植物和水生植物叶的结构

## 1. 旱生植物的叶

- **叶小而厚**，或多茸毛。在结构上，叶的表皮细胞壁厚，**角质层发达**。有些种类，表皮由多层细胞组成，**气孔下陷**，或限生于局部区域（如夹竹桃叶的气孔窝），**栅栏组织细胞层次多**，**海绵组织和细胞间隙都不发达**，**机械组织的量较多**。
- **肉质植物 (fleshy plant)**，如芦荟、马齿苋、龙舌兰、猪毛菜等。其叶片肥厚多汁，叶内有**发达的贮水组织**，保水力强。

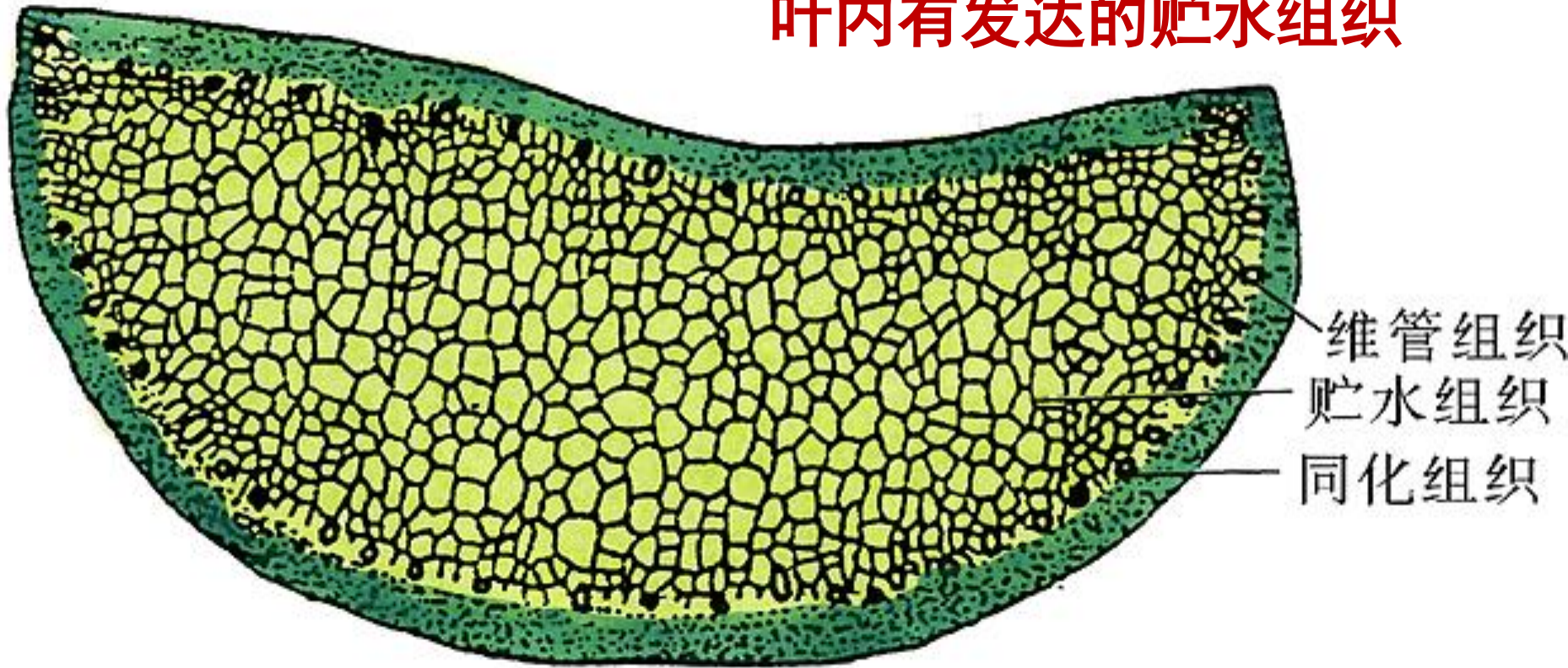
# 夹竹桃叶片的结构





# 芦荟叶横剖面

叶内有发达的贮水组织



## 2. 水生植物的叶

**水生植物：**整个植物或植物体的一部分浸没在水中的植物。

按生长环境中水的深浅不同, 水生植物分为：

**沉水植物：**植物体整体沉在水中。

**挺水植物：**茎叶大部分挺出水面, 根生长在水中。

**浮水植物：**植物体的叶片漂浮在水面。

## 水生植物叶的结构特征为：

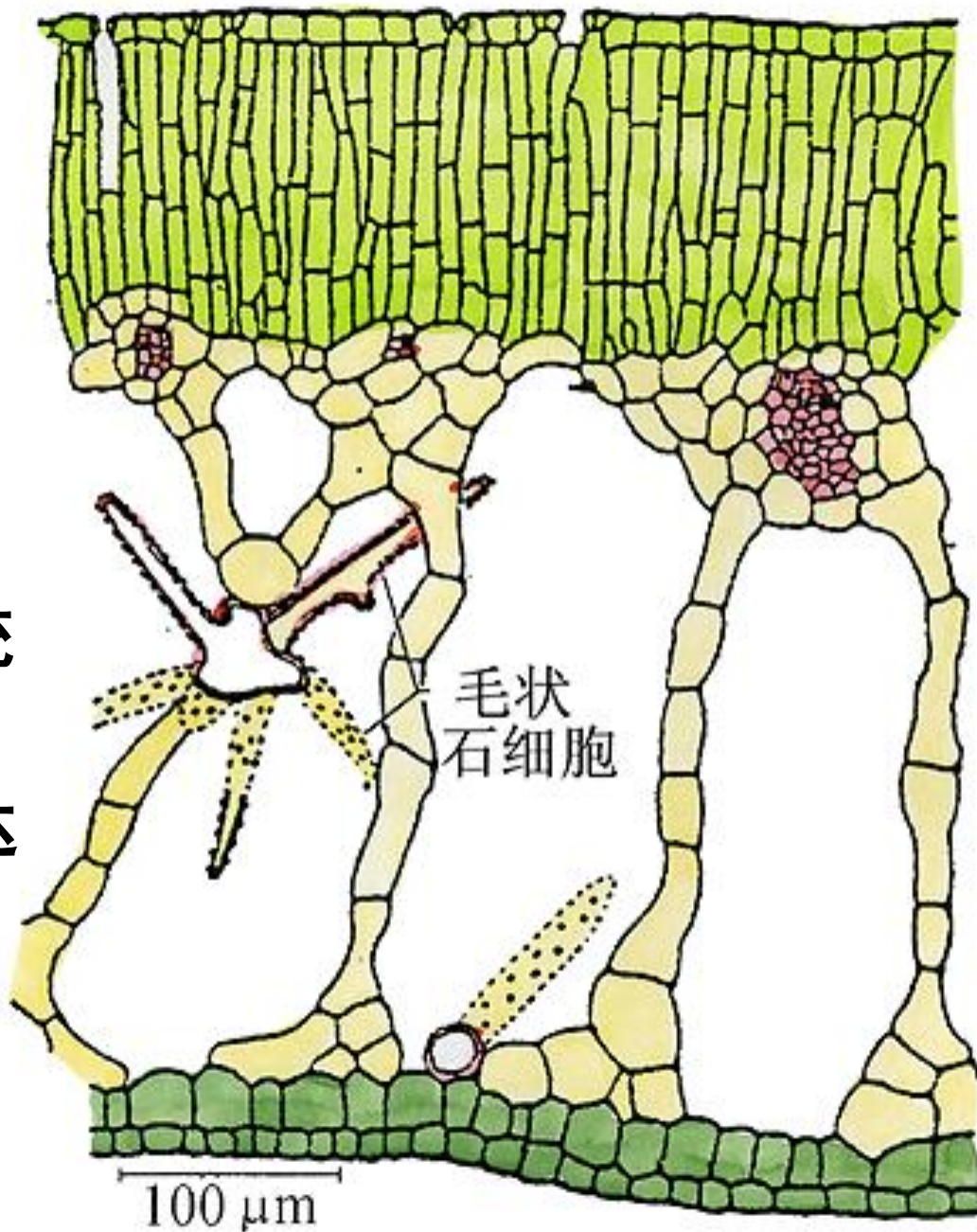
- (1) 叶片通常较**薄**，表皮细胞的外壁**不角质化**，没有角质层或角质层很薄，细胞内具叶绿体；
- (2) 叶肉不分化为栅栏组织和海绵组织，成为几层有**发达通气系统**的构造；
- (3) 机械组织和维管组织退化，尤其是**木质部不发达**。

浮水叶只有上表皮具少量气孔，沉水叶无气孔；沉水叶的叶片又常裂为丝状，以减少流水的冲击力和增加与水的接触面。

只有上表皮  
具少量气孔

发达通气系统

木质部不发达



睡莲属的漂浮叶

# 英国皇家植物园



**王莲** 睡莲科 王莲属





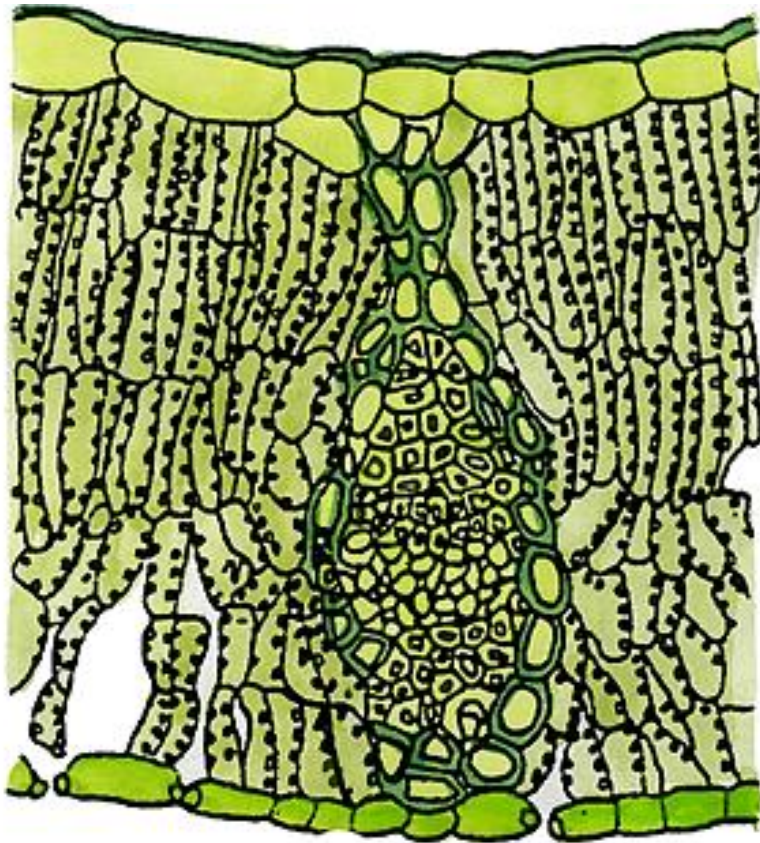
## (二) 阳地植物和阴地植物叶的结构

### 1. 阳地植物的叶

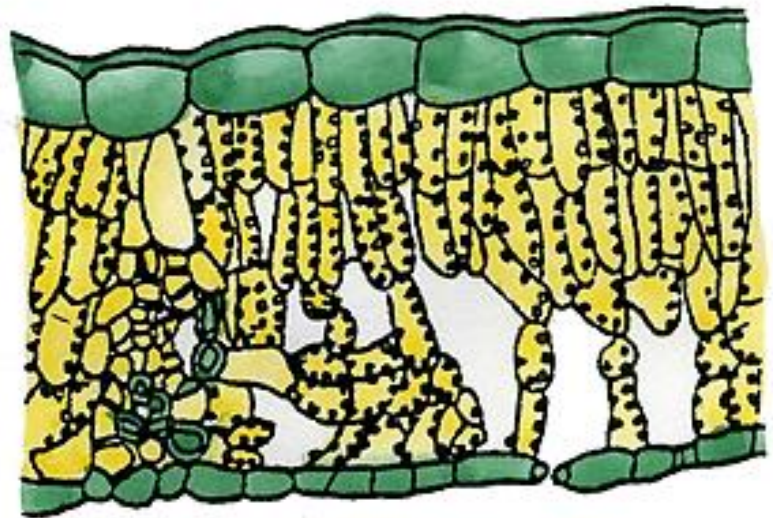
- (1) 一般**叶片较厚**较小, 表皮细胞壁和**角质层较厚**。
- (2) **栅栏组织发达**, 细胞的层次多, 海绵组织则不甚发达, 细胞间隙较小。
- (3) 叶脉细密而长, **机械组组织发达**。

## 2. 阴地植物的叶

- (1) 一般是叶大而薄,
- (2) 栅栏组织发育不良, 细胞间隙发达,
- (3) 叶绿体较大, 表皮细胞也常含有叶绿体。



阳叶



阴叶



## 六、叶的衰老与落叶

1. **叶的衰老**：叶有一定的**生活期**，不管是落叶树(deciduous tree)还是常绿树(evergreen tree)

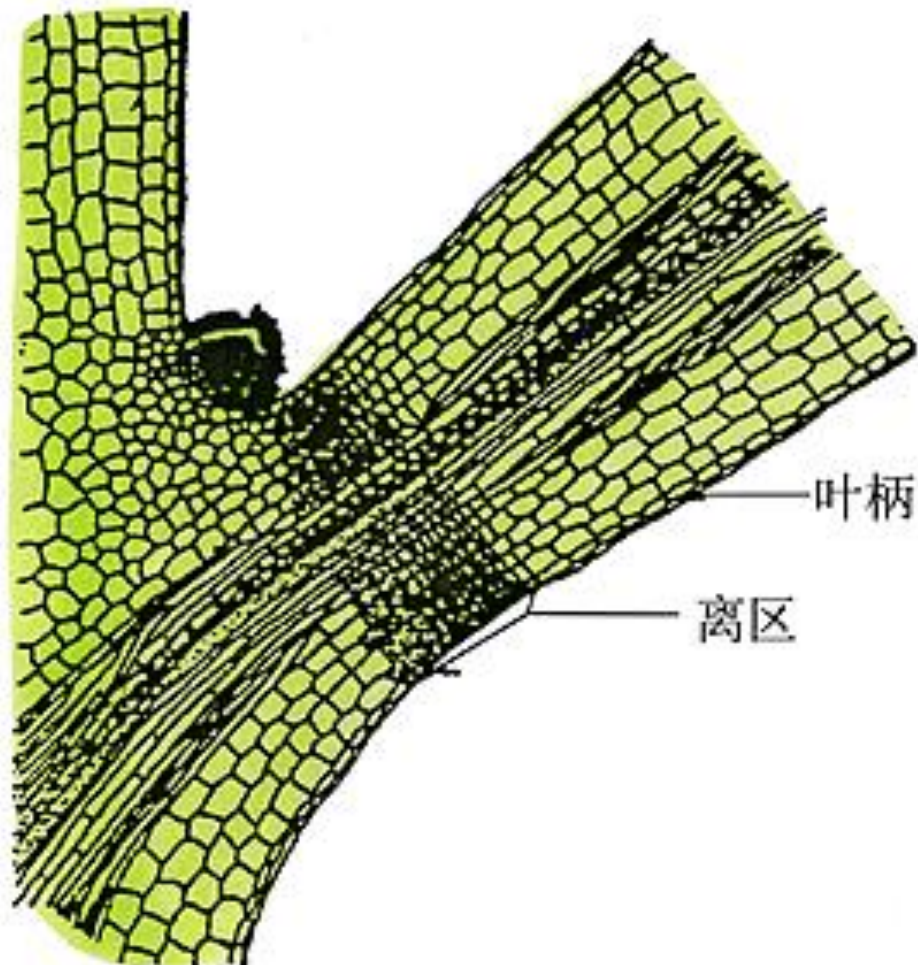
### 叶衰老的原因：

- 一是植株内的**营养物质再分配**，转移到竞争力更强的部位。
- 二是叶内**生长物质质量的改变**，包括生长促进物质细胞分裂素的减少和生长抑制物质脱落酸(abscisic acid, 简称ABA)在叶内的积累。

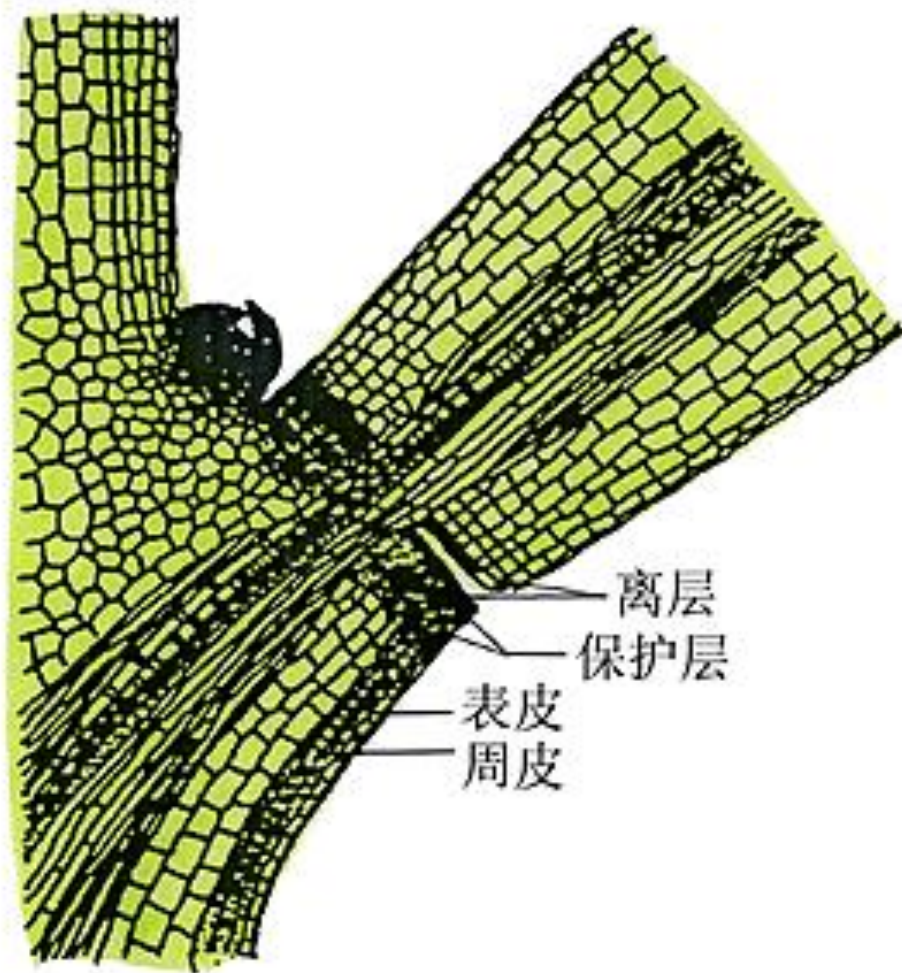
### 2. **叶的脱落** □

- 叶经历衰老的变化后即死亡、脱落。植物落叶与叶柄中产生**离层(abscission layer)**有关。
- 大多数**单子叶植物和草本双子叶植物**并无**离层**形成。 □
- 叶脱落后在茎上留下外敷保护层或周皮的痕迹，即叶痕。叶痕内有凸起的叶迹，是茎与叶柄间的维管束断裂形成的断面。

# 叶落前后离区和离层，保护层的形成



落叶前后离区的形成



落叶前后离层、保护层的形成

## 七、特化的叶

1. 苞片 (bract)和**总苞** (involucre)
2. **鳞叶** (scale leaves)
3. **叶卷须** (tendrils)
4. **叶刺** (spines)
5. **叶状柄** (phyllode)
6. **捕虫叶**(insect-trapping leaves)
7. **贮藏叶**(storoge leaves)
8. **繁殖叶**(reproductive leaves)

三角梅

变态的总苞



# 几种变态叶



豌豆的叶卷须



洋槐的托叶刺



叶片

捕虫囊

猪笼草的捕虫囊  
(叶柄的变态)



叶状柄 (金合欢属)



小檗的叶刺



捕虫叶

植株

茅膏菜的植株及捕虫叶

猪笼草叶变态为捕虫囊



瓶子草的叶变态为捕虫囊

# 瓶子草



## **第四节 营养器官间的相互联系**

## **第五节 同功器官与同源器官**



## 小 结

根、茎、叶是种子植物的营养器官。

根尖自下而上可分为根冠、分生区、伸长区和成熟区四部分。在分生区，顶端分生组织分化出原表皮、基本分生组织和原形成层，再由它们发展出包括表皮、皮层和维管柱的初生结构。内皮层具有凯氏带增厚。维管束外有由薄壁细胞组成的中柱鞘。侧根和维管形成层可起源于中柱鞘。初生木质部与初生韧皮部相间排列，初生木质部外始式发育。根的次生生长是维管形成层和木栓形成层活动的结果。

特化根有贮藏根、气生根、呼吸根、支柱根、繁殖根、攀缘根、同化根、收缩根、寄生根等。

茎尖顶端分生组织活动结果使茎伸长，由它产生原表皮、原形成层和基本分生组织，再分别发展出表皮、皮层、初生维管束和髓。叶和芽发生于叶原基和芽原基。茎初生木质部的发育顺序与根相反，是内始式。维管形成层形成后产生次生构造。木栓形成层最初由紧接表皮的皮层薄壁组织形成，由它产生了茎表面次生保护组织——周皮。维管形成层的季节活动使木本植物的茎形成了生长轮，称为年轮。多年生木本植物会形成心材和边材。

裸子植物茎的韧皮部以筛胞，木质部多以管胞执行输导作用，无典型的木纤维，管胞兼具输导水分和支持的双重作用。因此裸子植物木材称为软材，双子叶植物因在木质部中具有纤维称为硬材。

单子叶植物茎在基本组织中具有分散的维管束，没有形成层，每个维管束具有厚壁维管束鞘包围。少数单子叶植物（如棕榈类）由于维管束外方的薄壁细胞恢复分生能力，产生出次生维管束，因而可以长得很高大，但这种次生分生组织并不是永存的，只是周期性地产生。

茎的特化包括根状茎、块茎、鳞茎、球茎、茎刺、茎卷须、叶状茎。

被子植物的完全叶由叶片、叶柄和托叶三部分组成。典型叶是扁平的，表皮透明，可以让阳光透入叶肉，叶柄着生在枝上，可以转动调节叶片与光线的角度，进行光合作用。

叶起源于叶原基，叶的形态变化很大。叶分为单叶和复叶，复叶又可分为羽状复叶和掌状复叶。叶片均由表皮、叶肉和叶脉三部分组成。表皮通常由一层生活细胞组成，下表皮或上下表皮分布着气孔。叶肉细胞位于上下表皮之间，异面叶有栅栏组织和海绵组织之分。维管束均为初生结构。禾本科植物叶上下表皮细胞由长细胞和短细胞组成，短细胞又分为硅细胞和栓细胞两种。禾本科植物叶肉中的光合组织没有明显的栅栏组织和海绵组织的分化，其细胞壁向细胞腔内形成褶皱，叶绿体沿褶皱排列。裸子植物叶表皮细胞壁厚，细胞腔小，外壁覆盖着发达的角质层。表皮下有多层厚壁细胞，称为下皮层。松属的叶肉细胞壁内褶，伸入到细胞腔内，叶绿体沿褶皱分布，具内皮层，在维管束与皮层间具有转输组织。

植物在环境因子作用下，发展出适应旱生和水生的叶。根据植物和光照强度的关系，又可分为阳地植物、阴地植物和耐阴植物。

落叶树是到了秋冬一次性脱落全部叶，常绿树是叶脱落有先后，不是集中一次性落叶。叶的脱落是受脱落酸影响产生离层后引起的。

叶的特化包括苞片、总苞、鳞叶、叶卷须、叶刺、叶状柄、捕虫叶、贮藏叶，瓶状叶、窗状叶等。

营养器官间的联系主要是根茎初生维管束的连接，茎维管束与枝叶间的连接，并形成枝迹、叶迹的结构。

## 思考题

1. 根尖可以分成哪几部分？成熟区的标志是什么？
2. 根的初生结构如何转变为次生结构？
3. 根冠的作用是什么？顶生分生组织位于何处？
4. 根的初生结构从外到内分成哪几部分，各部分有何特点？
5. 侧根起源于何处？
6. 如何从外部形态区分根和茎？
7. 请说明根、茎形成层，初生分生组织，维管形成层和木栓形成层的区别及其分化结果。
8. 如何区分双子叶植物的茎和单子叶植物的茎？根据是什么？
9. 如何区分鳞茎、球茎、块茎？
10. 什么是年轮？如何区分硬材、软材，心材和边材？
11. 试述叶的一般结构。为什么叶无次生木质部和韧皮部？
12. 裸子植物和单子叶植物的叶各有何特点？ $C_4$ 植物的叶结构与 $C_3$ 植物有何区别？
13. 叶中的维管束鞘起何作用？
14. 落叶具有何种意义？何谓常绿树、落叶树？
15. 植物的各营养器官之间在结构和功能上如何相互联系？