

植物改变生活

复旦大学
裴鹏



第三章 植物生理学

- 植物的水分代谢
- 植物的矿质营养
- 植物的光合作用
- 植物的呼吸作用
- 植物生长物质
- 植物的生长生理
- 植物的生殖生理
- 植物的抗性生理
- 植物的成熟和衰老生理

植物的水分代谢

- 植物对水分的吸收、运输、利用和散失的过程
- 植物的含水量：一般占70-90%
- 生理需水、生态需水
- 植物体内水分存在的状态

自由水

束缚水

植物根系对水分的吸收

- 根尖中的根毛区

移栽花卉苗木：带土移栽，避免损伤根尖

- 吸水方式

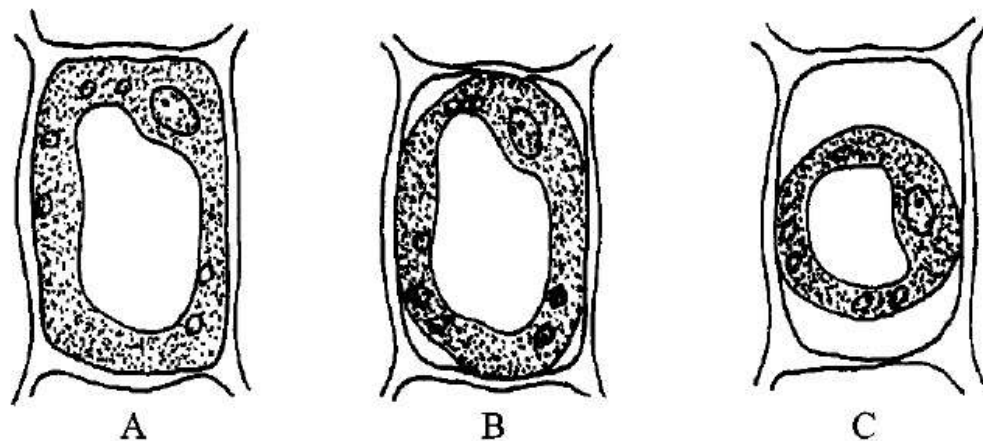
主动吸水、被动吸水

蒸腾拉力：因蒸腾作用所产生的吸水力量

- 根系吸水阻力

影响根系吸水的因素

- 根系自身
- 土壤水分状况
- 土壤通气状况
- 土壤温度
- 土壤溶液浓度：“烧苗”
- 大气因素：蒸腾作用



植物细胞的质壁分离现象(自潘瑞炽等)

A. 正常细胞 B. 初始质壁分离 C. 完全质壁分离

气孔运动与蒸腾作用

- 蒸腾作用是指植物体内的水分以气体状态通过植物体表，从体内散失到体外的现象
- 受外界环境影响，也受到植物体结构和气孔行为的调节
- 蒸腾作用的意义
 - 蒸腾拉力使植物被动吸水和运输水分、矿物质、有机物质，降低植物体温度，有利于气体交换

环境因素对气孔运动的调节

- CO₂

- 光

一般情况下，气孔在光照下开放，黑暗中关闭

CAM植物例外

光质：红光和蓝光，蓝光更有效

- 温度

- 水分

- 风

环境因素对蒸腾作用的影响

- 光照
- 大气湿度
- 大气温度
- 风
- 土壤条件

➤ 合理灌溉

植物体内的必需元素

- 大量元素

碳、氢、氧、氮、磷、钾、钙、镁、硫

- 微量元素

铁、硼、锰、锌、铜、钼、氯、镍

➤ 单盐毒害和离子拮抗

➤ 有害元素：汞、铅、钨、铝

必需元素的生理作用

- 细胞结构物质的组成成分
- 调节生命活动：酶及其活化剂
- 电化学作用

- **缺氮典型症状：**植株矮小，分枝、分蘖少，叶片小而薄，花果少易脱落；枝叶发黄甚至早衰干枯，且由下部叶片开始逐渐向上枯黄
- **缺磷典型症状：**分蘖分枝减少，幼芽、幼叶生长停滞，茎、根纤细，植株矮小，花果脱落，成熟延迟；叶子呈现不正常的暗绿色至紫红色，症状首先在下部老叶出现，并逐渐向上发展
- **缺钾典型症状：**茎秆柔弱易倒伏，抗旱抗寒性差；叶片失水变黄，逐渐坏死；叶缘焦枯，生长缓慢，叶中部生长较快，叶子发生弯曲或皱缩；缺素病症首先出现在下部老叶

- **缺钙典型症状：**顶芽、幼叶初期呈淡绿色，继而叶尖出现钩状，随后坏死；缺素症状首先表现在上部幼茎幼叶和果实等器官上
- **缺镁典型症状：**叶片失绿，首先从下部叶片开始，叶肉变黄而叶脉仍保持绿色（与缺氮病症区别），严重缺镁时可引起叶片的早衰与脱落
- **缺铁典型症状：**幼芽幼叶缺绿发黄，甚至变为黄白色，而下部叶片仍为绿色；碱性土或石灰质土壤易引起缺铁

缺N病症



苹果



小麦



番茄



马铃薯



马铃薯



菜豆

缺P病症



白菜



大麦



玉米



甜菜



豌豆



小麦

缺K病症



苹果



菜豆



草莓



番茄



马铃薯



甜菜

缺Ca病症



白菜



大麦



大麦



菜豆



番茄



芹菜

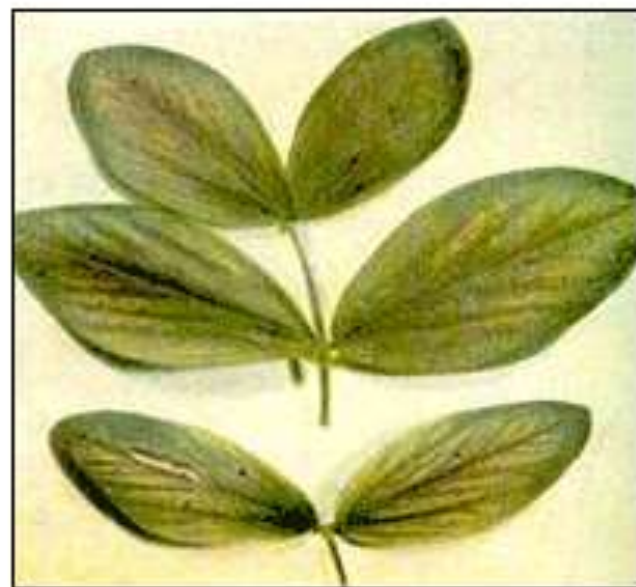
缺Mg病症



苹果



白菜



菜豆



玉米



番茄



花菜

我图网 ooopic.com
NO.20090615000668



缺Fe病症



苹果



白菜



草莓



花菜



马铃薯



甜菜

必需元素缺乏的主要症状检索表⁴⁾

1. 症状在老组织上先出现⁴⁾

2. 整个植物生长受限制，一般不出现缺素斑点。

3. 新叶淡绿，老叶黄化枯焦.....缺氮。

3. 茎叶暗绿或呈紫红色，生育期延迟.....缺磷。

2. 出现失绿斑点或条纹，以至坏死。

3. 叶缘失绿，或这个叶子上有失绿或坏死的斑点。

4. 叶尖及叶边缘先枯焦，并出现斑点，症状随生育期而加重，早衰.....缺钾。

4. 叶小，簇生，叶面斑点可能在主脉两侧先出现，生育期延迟.....缺锌。

3. 叶脉间明显失绿，出现清晰网状脉纹，有多种色泽斑点或斑块.....缺镁。

1. 症状在新组织上先出现。

...2. 生长点坏死。

.....3. 叶尖弯钩状，互相粘连，不易伸展.....缺钙。

.....3. 茎和叶柄变粗，变脆，易开裂，花器官发育不正常，生育期延长.....缺硼。

...2. 生长点不坏死。

.....3. 叶片缺绿。

.....4. 脉间失绿，出现细小棕色斑点，组织易坏死.....缺锰。

.....4. 叶组织不坏死。

.....5. 新叶黄绿，失绿均匀，生育期延迟.....缺硫。

.....5. 脉间失绿，发展至整片叶淡黄或发白.....缺铁。

.....3. 叶片上出现斑点。

.....4. 幼叶凋萎出现白色叶斑，果实发育不正常.....缺铜。

.....4. 叶片生长畸形，斑点散布在整个叶片.....缺钼。

植物细胞对溶质的吸收

- 被动吸收

扩散作用

协助扩散：离子通道，载体蛋白

- 主动吸收

原初主动运输：离子泵

次级主动运输（共转运）

➤ 合理施肥

植物的光合作用

- **光合作用(photosynthesis)通常是指绿色植物吸收光能，同化二氧化碳和水合成有机物，同时释放氧气的过程**
- **每年通过光合作用约固定 2×10^{11} t碳素，合成 5×10^{11} t有机物，同时将 3.2×10^{21} J的日光能转化为化学能，并释放出 5.35×10^{11} t氧气**

地球上最重要的化学反应

- 合成有机物——食物
- 能量转换——能量
- 净化空气——氧气
- 碳循环

需氧生物的出现和进化

水生生物到陆生生物的进化

人类社会面临的诸多问题

- 粮食危机
- 能源危机
- 资源匮乏
- 环境污染

这些都与植物的光合作用有着密切的关系

光合作用的研究历史

- 亚里斯多德 (Aristotle) 的“腐殖质学说”
- 1627年荷兰人凡·海尔蒙 (J.B.van Helmont) 的柳枝实验
- 1771年英国的普里斯特利 (J. Priestley) 发现绿色植物可净化空气
- 荷兰英根浩兹 (Jan Ingenhousz) 于1779年指出：植物只有在光下才有净化空气的作用

1.光合作用总反应式的确定

- 19世纪末得出的光合作用的总反应式:



- $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2$
- $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$

O₂的来源

- 细菌的光合作用



从广义上讲，所谓光合作用，是指光养生物利用光能把CO₂合成有机物的过程

- 希尔反应

- ¹⁸O的研究

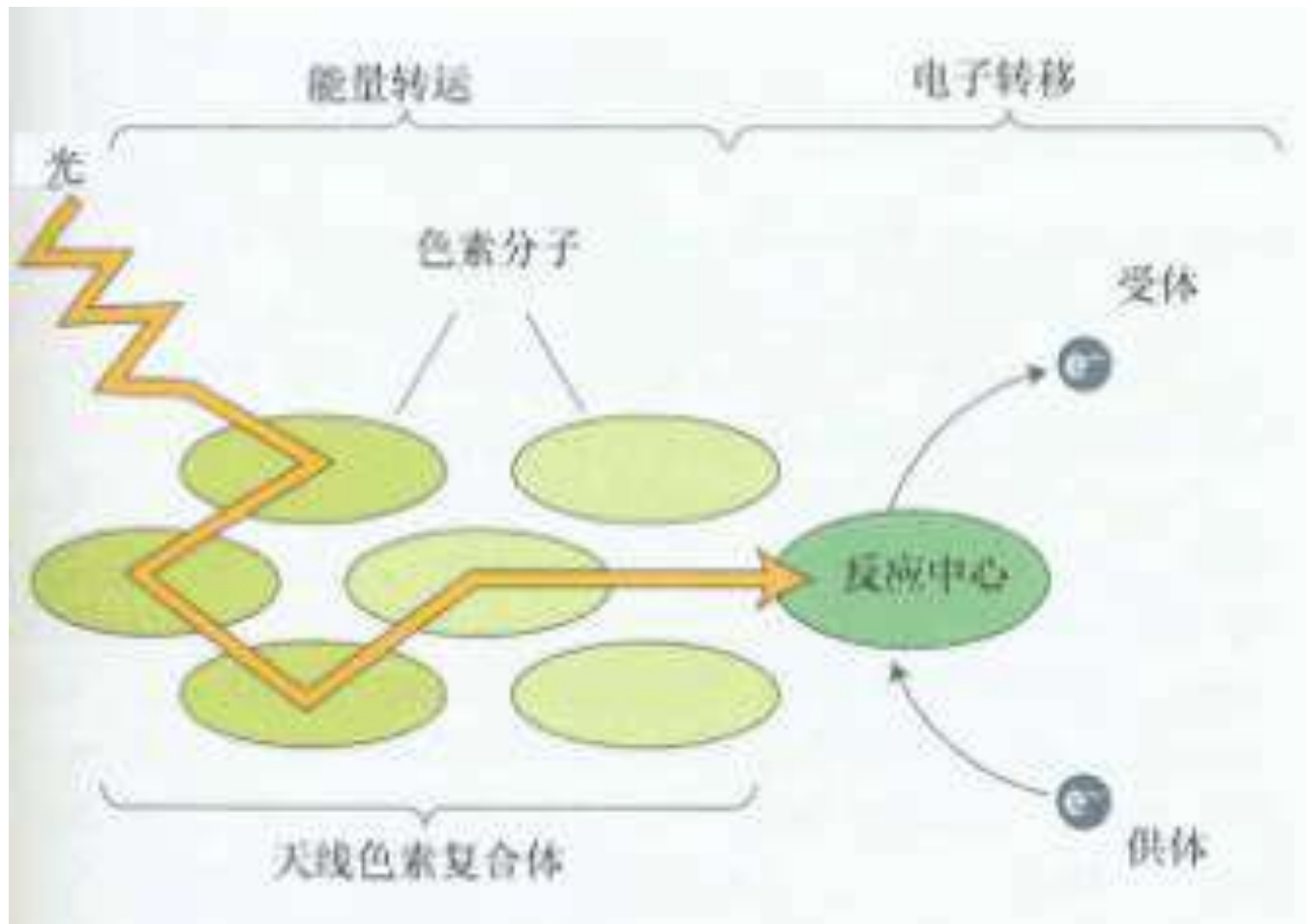
2.光反应和暗反应

- 温度系数 $Q_{10} = 2 \sim 2.5$
- 只要供给了ATP和NADPH，即使在黑暗中，叶绿体也可将 CO_2 转变为糖
- “同化力”

3. 光合单位

- 光合作用中吸收一个光量子所能引起的光合产物量的变化(如放出的氧分子数或固定 CO_2 的分子数), 即量子产额(quantum yield)或叫量子效率(quantum efficiency)
- 8个光量子

光合单位是天线色素系统和反应中心的总称



4.两个光系统

- 红降现象(red drop)
- 双光增益效应/爱默生增益效应(Emerson enhancement effect)

吸收长波光的系统称为光系统 I (photosystem I ,PS I)

吸收短波长光的系统称为光系统II (photosystem II,PS II)

叶绿体和光合色素

- 叶绿体

- 发育

- 形态

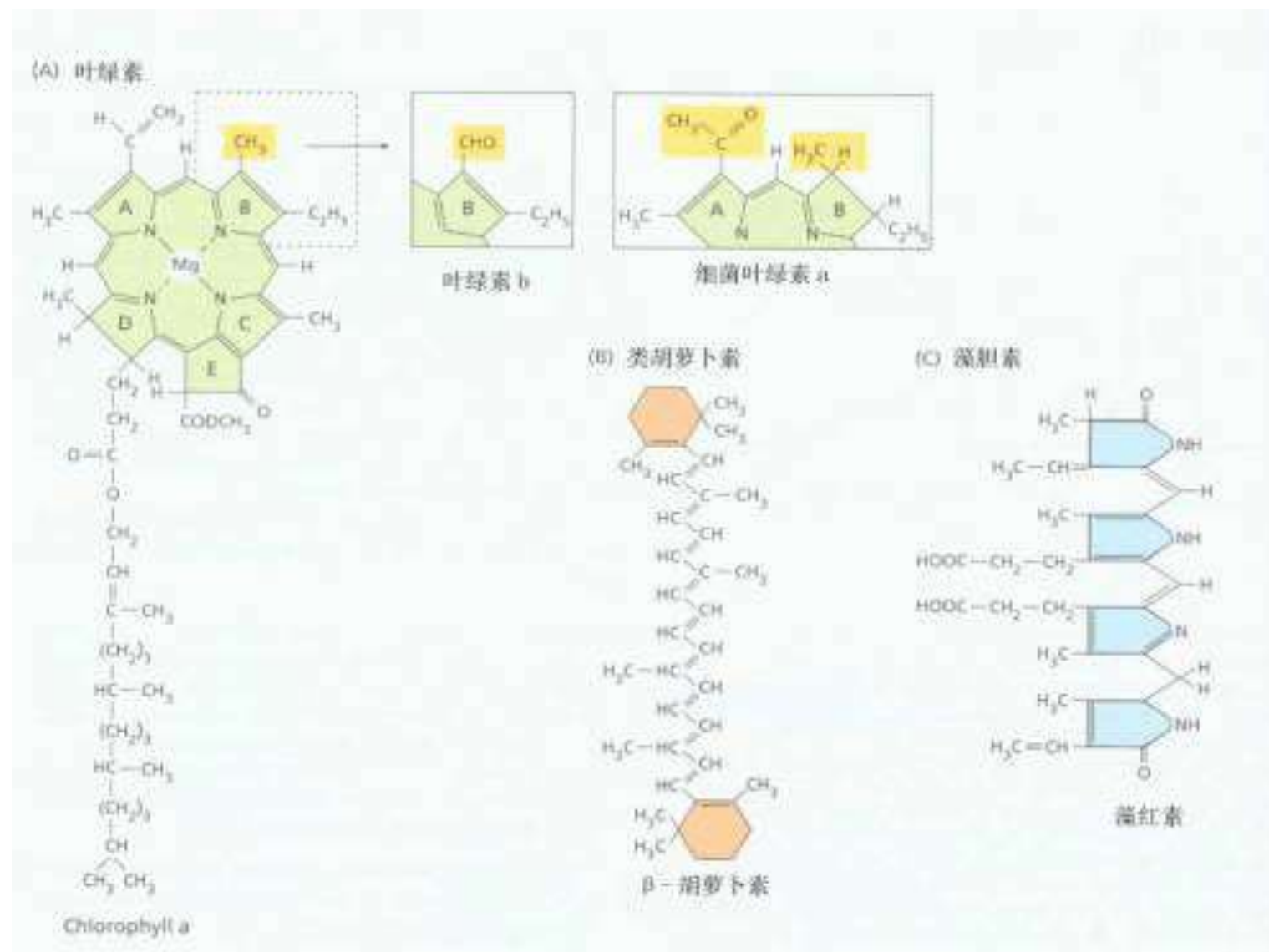
- 分布

- 运动

光合色素

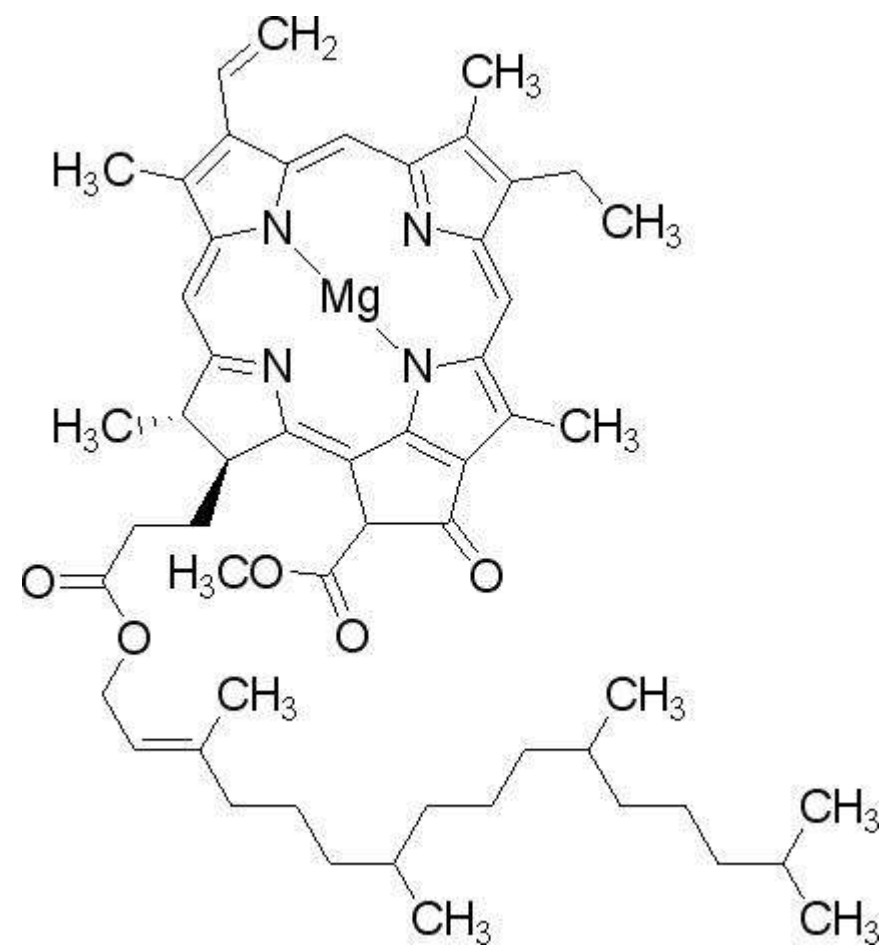
- 叶绿素
- 类胡萝卜素
- 藻胆素

光合色素的结构和性质

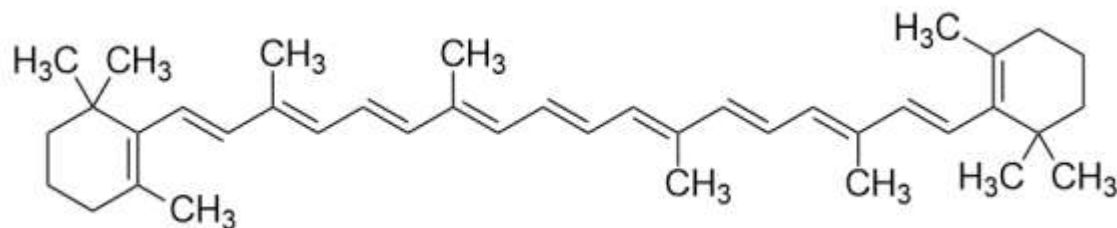


叶绿素

- 叶绿素a(Chl a)呈蓝绿色，叶绿素b(Chl b)呈黄绿色
- 叶绿素分子含有一个卟啉环 (porphyrin ring) 的“头部”和一个叶绿醇(植醇, phytol)的“尾巴”
- 可定向排列
- Mg^{2+} 可被 H^+ 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 等所置换
- 含水的有机溶剂提取叶绿素

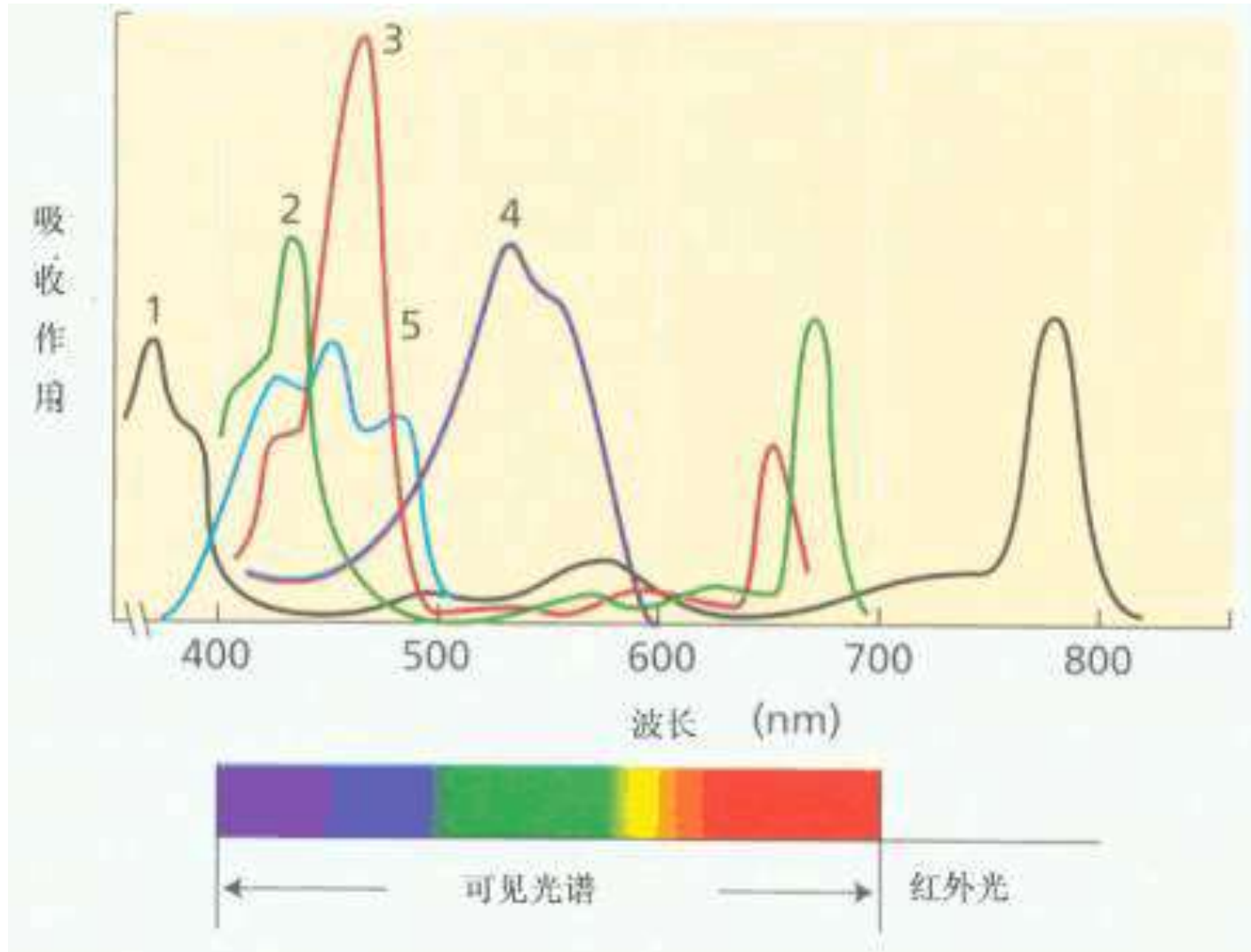


类胡萝卜素



- 胡萝卜素(carotene, $C_{40}H_{56}$), 橙黄色
- 叶黄素(xanthophyll, $C_{40}H_{56}O_2$), 黄色
- β -胡萝卜素
- 防止叶绿素光氧化
- 叶绿素与类胡萝卜素的比值约为3:1
- 叶绿素a、b之间的比值约为3:1

光合色素的吸收光谱



曲线1，细菌叶绿素a；曲线2，叶绿素a；曲线3，叶绿素b；曲线4，藻胆红素；曲线5， β -胡萝卜素

- **叶绿素最强的吸收区：波长640 ~ 660nm的红光部分和430 ~ 450nm的蓝紫光部分**
- **叶绿素b吸收短波长蓝紫光的能力比叶绿素a强**
- **一般阳生植物叶片的叶绿素a/b比值约为3:1，而阴生植物的叶绿素a/b比值约为2.3:1**
- **类胡萝卜素的吸收带在400 ~ 500nm的蓝紫光区**

影响叶绿素形成的条件

- 光照

藻类、苔藓、蕨类、松柏，莲子

- 温度

- 营养元素

- 氧气

- 水分

光合作用的机制

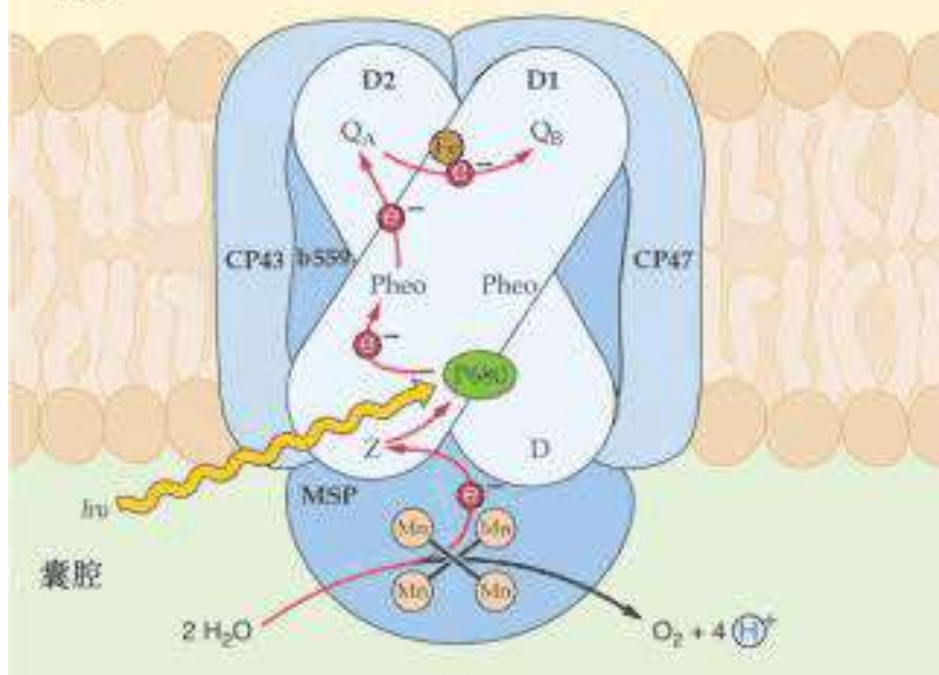
光合作用分为三个阶段：

- 光能的吸收、传递和转换成电能，主要由原初反应完成
- 电能转变为活跃化学能，由电子传递和光合磷酸化完成
- 活跃的化学能转变为稳定的化学能，由碳同化完成

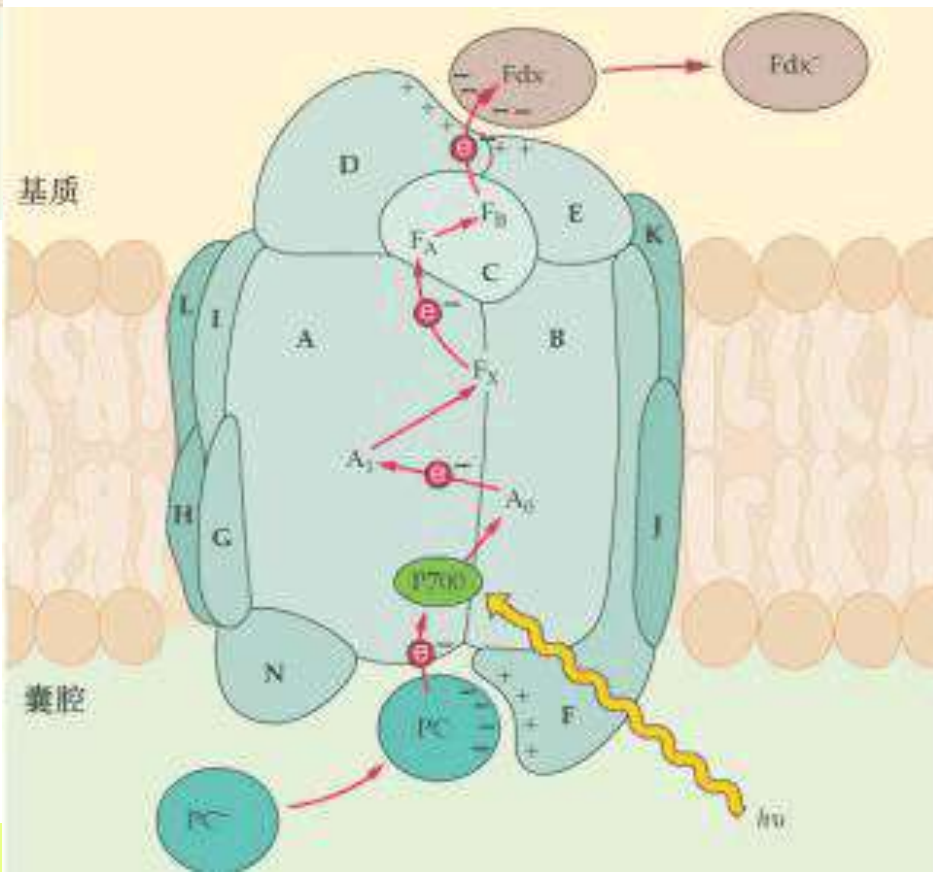
原初反应

- 原初反应(primary reaction)是指从光合色素分子被光激发，到引起第一个光化学反应为止的过程，它包括光能的吸收、传递与引起作用中心的第一个光化学反应过程
- 反应速度极快， $10^{-15} \sim 10^{-9} \text{s}$
- 与温度无关

： 基质



基质



电子传递和光合磷酸化

- 反应中心色素分子受光激发而发生电荷分离，将光能变为电能，产生的电子经过一系列电子传递体的传递，引起水的裂解放氧和 NADP^+ 还原，并通过光合磷酸化形成ATP，把电能转化为活跃的化学能
- 电子传递的结果，一方面引起水的裂解放氧以及 NADP^+ 的还原；另一方面建立了跨膜的质子动力势，启动了光合磷酸化，形成ATP。这样就把电能转化为活跃的化学能

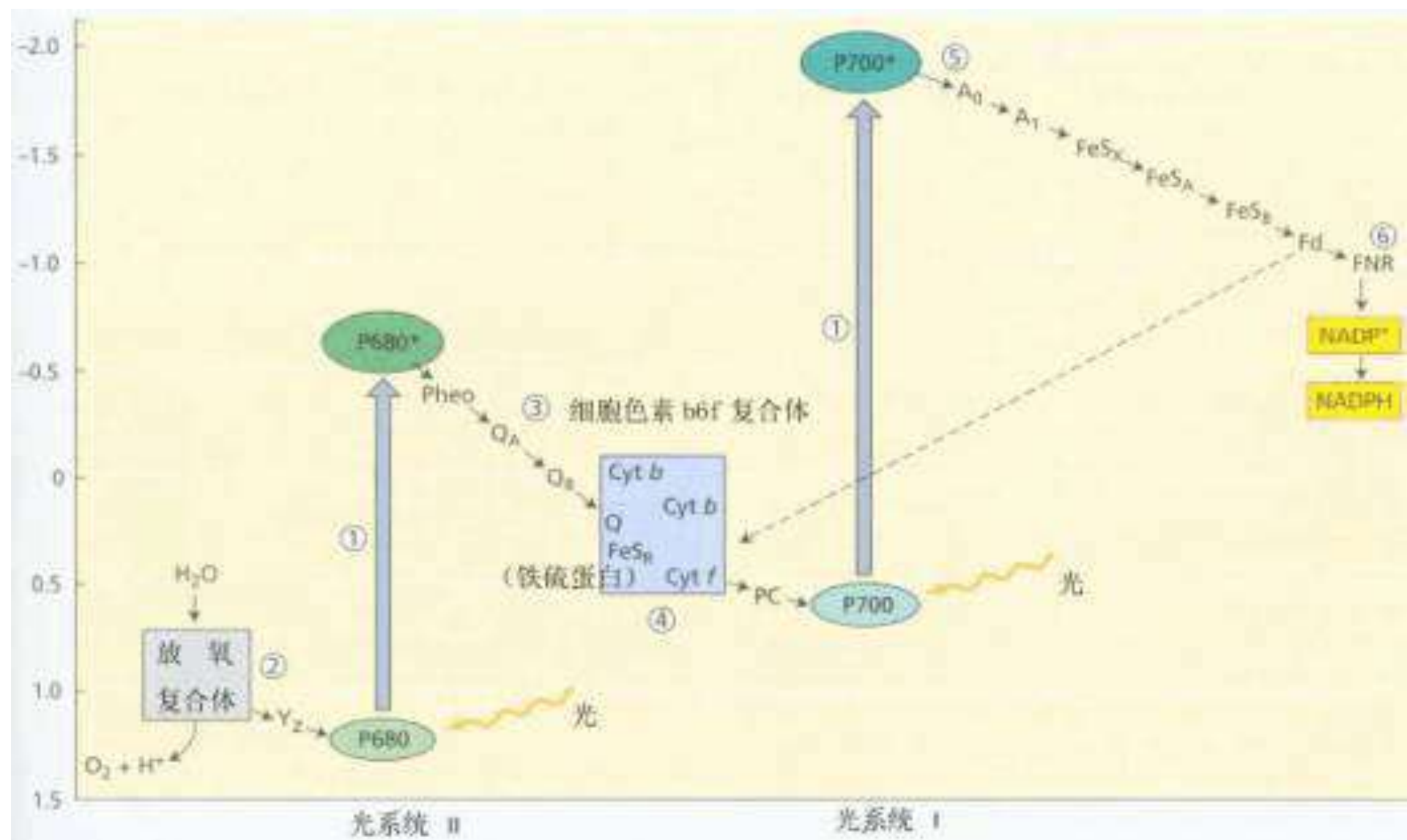
电子和质子的传递

- 光合链(photosynthetic chain)

光合链是指定位在光合膜上的，由多个电子传递体组成的电子传递的总轨道

1960年希尔(R.Hill)等提出“Z”方案

电子传递是在两个光系统串联配合下完成的，电子传递体按氧化还原电位高低排列，使电子传递链呈侧写的“Z”形



水的光解和放氧

- 希尔反应(Hill reaction)

光

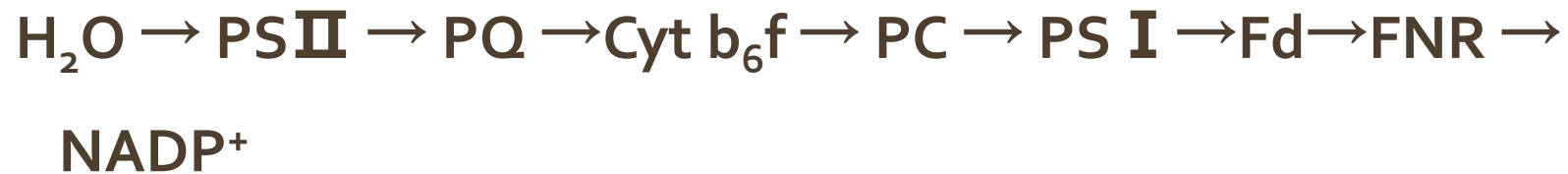


叶绿体



光合电子传递的类型

- 非环式电子传递(noncyclic electron transport)



按非环式电子传递，每传递4个 e^- ，分解2个 H_2O ，释放1个 O_2 ，
还原2个 NADP^+ ，需要吸收8个光量子，量子产额为 $1/8$

- 环式电子传递(cyclic electron transport)



- 假环式电子传递(pseudocyclic electron transport)



使 O_2 生成超氧阴离子自由基

- 叶绿体中有超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD), 能消除超氧阴离子自由基

光合磷酸化

- 把光下在叶绿体(或载色体)中发生的由ADP与Pi合成ATP的反应称为光合磷酸化(photosynthetic phosphorylation, photophosphorylation)
- 非环式光合磷酸化
- 环式光合磷酸化
- 假环式光合磷酸化

- **光合磷酸化与电子传递的偶联关系**
- **如果在叶绿体体系中加入电子传递抑制剂，那么光合磷酸化就会停止；同样，在偶联磷酸化时，电子传递则会加快，所以在体系中加入磷酸化底物会促进电子的传递和氧的释放**

光合磷酸化的抑制剂

- 电子传递抑制剂
- 解偶联剂
- 能量传递抑制剂

碳同化

- 植物利用光反应中形成的NADPH和ATP将CO₂转化成稳定的碳水化合物的过程，称为CO₂同化(CO₂ assimilation)或碳同化
- 由于NADPH和ATP在暗反应中用于CO₂的同化作用，故合称为同化力(assimilatory power)

根据碳同化过程中最初产物所含碳原子的数目以及碳代谢的特点分为

- C_3 途径(C_3 pathway)
- C_4 途径(C_4 pathway)
- CAM(景天科酸代谢, Crassulacean acid metabolism)途径

1.C₃途径

- 1946年，美国加州大学的卡尔文(M.Calvin)和本森(A.Benson)

¹⁴C同位素标记与测定技术

双向纸层析技术

- 卡尔文循环或卡尔文-本森循环，C₃途径
- 最初产物PGA为三碳化合物
- 只具有C₃途径的植物称为C₃植物(C₃ plant)
- 卡尔文获得了1961年诺贝尔化学奖

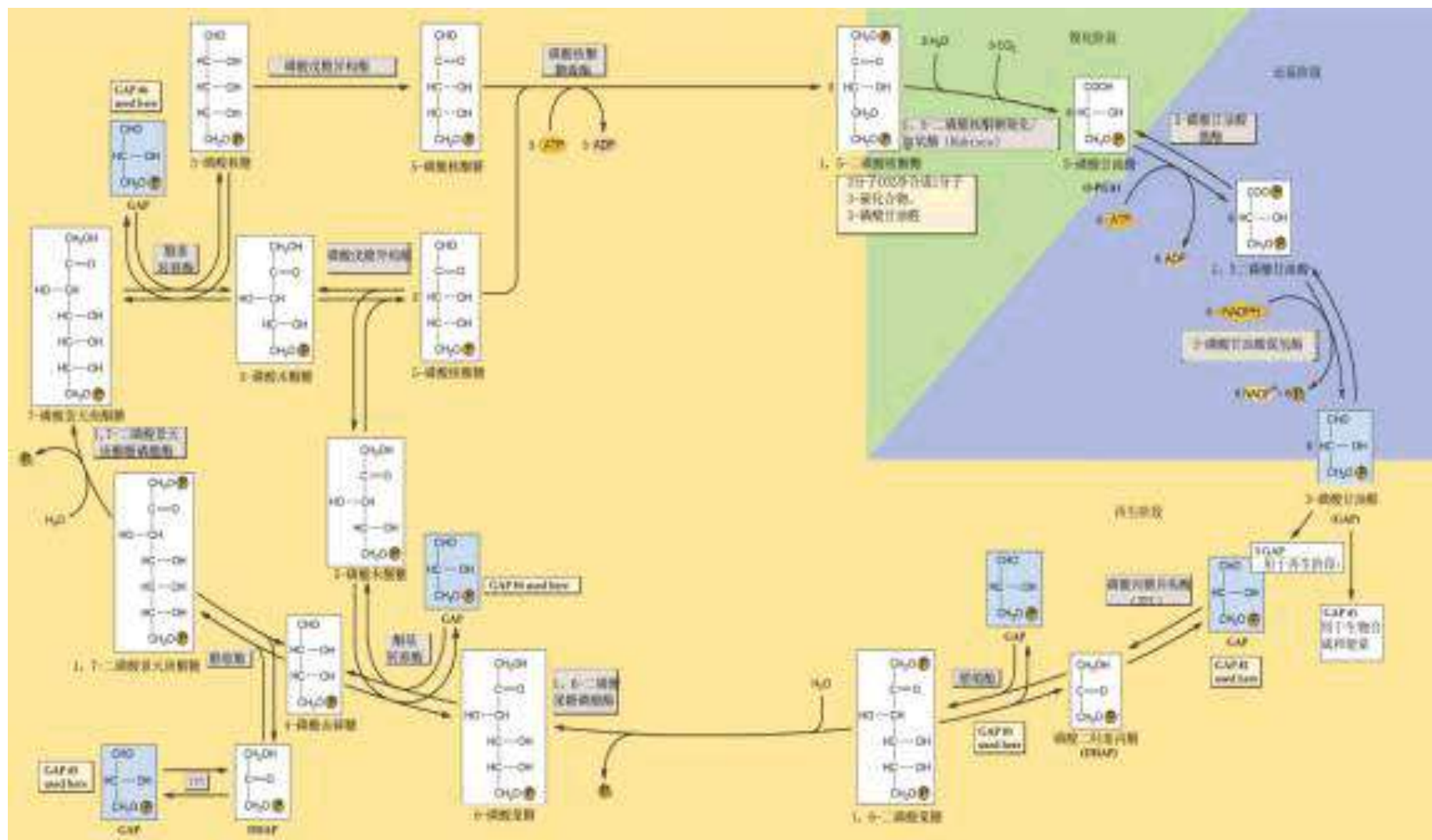
C₃途径的反应过程

- 羧化阶段

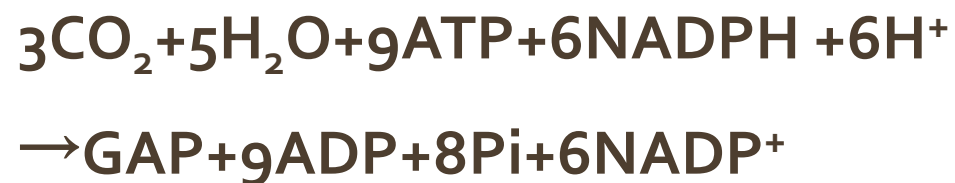
3-PGA(3-磷酸甘油酸)

- 还原阶段

- 再生阶段



- **C₃途径的总反应式:**



- **每同化一个CO₂需要消耗3个ATP和2个NADPH**
- **还原3个CO₂可输出1个磷酸丙糖**
- **固定6个CO₂可形成1个磷酸己糖**

2.光呼吸

- 植物的绿色细胞在光照下有吸收 O_2 ，释放 CO_2 的反应，由于这种反应仅在光下发生，需叶绿体参与，并与光合作用同时发生，故称为光呼吸(photorespiration)
- 1920年瓦伯格发现， O_2 对光合作用有抑制作用，称为瓦伯格效应(Warburg effect)
- 1955年德克尔发现 CO_2 猝发

光呼吸的生化途径

- 乙醇酸(glycolate)的代谢
- 光呼吸底物乙醇酸和其氧化产物乙醛酸，以及后者经转氨作用形成的甘氨酸皆为 C_2 化合物，因此光呼吸途径又称为 C_2 光呼吸碳氧化循环(C_2 photorespiration carbon oxidation cycle, PCO循环)，简称 C_2 循环

光呼吸与暗呼吸的区别

表 4-3 光呼吸与“暗呼吸”的区别

(饶立华, 植物生理生化, 1988)

	光 呼 吸	暗 呼 吸
底 物	光合作用中形成的乙醇酸；底物一般是光下在叶绿体内新形成的	可以是碳水化合物、脂肪或蛋白质，但最常用的底物是葡萄糖。底物可以是新形成的，也可以是贮存的
代谢途径	乙醇酸代谢途径，或称“C ₂ 途径”。只在光下进行	糖酵解，三羧酸循环，磷酸戊糖途径等。光下、暗中都可进行
发生部位	只发生在光合细胞中，在叶绿体、过氧化体及线粒体三种细胞器协同作用下进行	在所有活细胞的细胞质及线粒体中进行
对 O ₂ 及 CO ₂ 浓度的反应	在 O ₂ 浓度 1%—100% 范围内，光呼吸随 O ₂ 浓度提高而增强。O ₂ 及 CO ₂ 相互竞争 Rubisco 及 RuBP，如 CO ₂ /O ₂ 浓度比降低时，有利于加氧反应与光呼吸底物乙醇酸的形成，促进光呼吸；反之则有利于羧化反应，促进光合作用	O ₂ 及 CO ₂ 浓度的变化对“暗呼吸”无明显影响；O ₂ 及 CO ₂ 之间亦无竞争现象

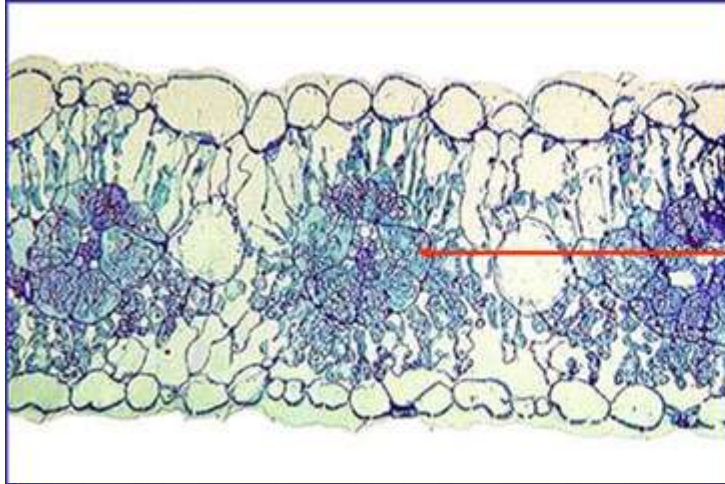
光呼吸的意义

- 回收碳素
- 维持C₃光合碳还原循环的运转
- 防止强光对光合机构的破坏作用
- 消除乙醇酸
- 与氮代谢有关

3. C_4 途径

- 1954年，澳大利亚哈奇(M.D.Hatch)发现甘蔗叶片中有与 C_3 途径不同的光合最初产物
- 1965年，美国科思谢克(H.P.Kortschak)发现甘蔗叶中 ^{14}C 标记物首先出现于 C_4 二羧酸

- 禾本科、莎草科、苋科、藜科、大戟科、马齿苋科、菊科等
22科1700多种植物
- 叶片两侧颜色差异小
- 花环状结构
- 适应高温、高光强，高光效，产量高
 - 分为羧化、还原或转氨、脱羧和底物再生四个阶段
 - 底物再生要消耗2个ATP
 - C_4 植物同化1个 CO_2 需消耗5个ATP与2个NADPH



一种苋科植物，具有
C4植物的花环特征



Gramagrass (*Bouteloua breviseta*) 垂穗草

2层维管束鞘，
外层薄壁的，
内层厚壁鞘状的。

- C_4 途径的意义

对热带环境的一种适应

强光、高温、干燥、低 CO_2

“ CO_2 泵”

- C_4 途径的调节

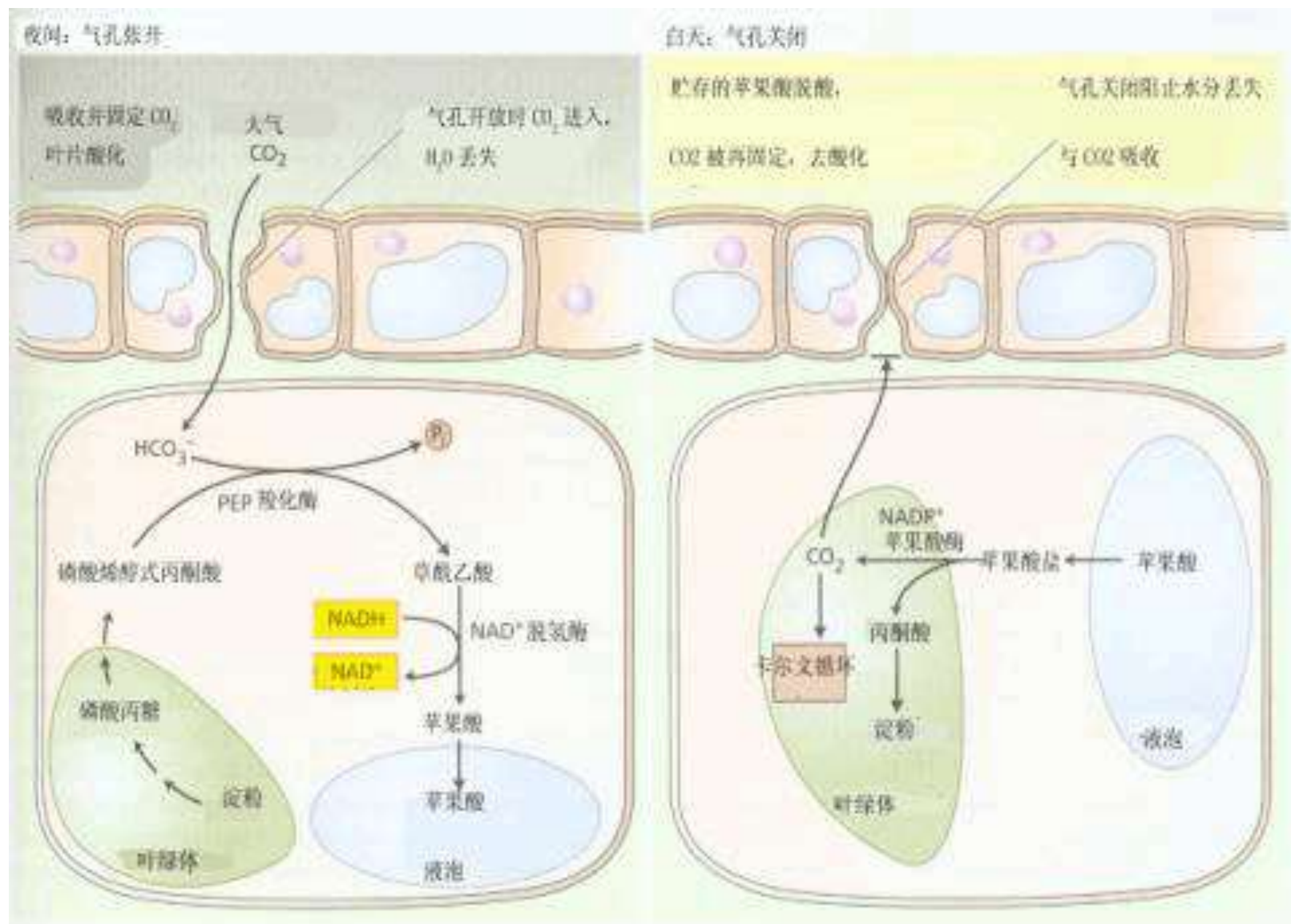
酶活性的调节

光对酶量的调节

代谢物运输

4.景天科酸代谢途径

- 景天科等植物有一个很特殊的 CO_2 同化方式：夜间固定 CO_2 产生有机酸，白天有机酸脱羧释放 CO_2 ，用于光合作用，这样的与有机酸合成日变化有关的光合碳代谢途径称为CAM途径
- 景天科、仙人掌科、兰科、凤梨科、大戟科、番杏科、百合科、石蒜科等约30科1万多种植物



- CAM植物与C₄植物固定与还原CO₂的途径基本相同，二者的差别在于：C₄植物是在同一时间(白天)和不同的空间(叶肉细胞和维管束鞘细胞)完成CO₂固定(C₄途径)和还原(C₃途径)两个过程；而CAM植物则是在不同时间(黑夜和白天)和同一空间(叶肉细胞)完成上述两个过程的
- CAM植物同化1个CO₂需消耗6.5个ATP与2个NADPH

表 4-1 光合作用中各种能量转变情况

能量转变	光能	→电能	→活跃的的化学能	→稳定的化学能
贮能物质	量子	电子	ATP、NADPH ₂	碳水化合物等
转变过程	原初反应	电子传递	光合磷酸化	碳同化
时间跨度(s)	$10^{-15} \sim 10^{-9}$	$10^{-10} \sim 10^{-4}$	$10^0 \sim 10^1$	$10^1 \sim 10^2$
反应部位	PS I、PS II 颗粒	类囊体膜	类囊体	叶绿体间质
是否需光	需光	不一定，但受光促进	不一定，但受光促进	不一定，但受光促进

光合作用的产物

- 初级产物：磷酸丙糖（TP）
- 蔗糖、淀粉，蛋白质、脂肪、有机酸
- 光强与光质对光合产物的调节

植物的光合速率

- 光合速率

光合速率通常是指单位时间、单位叶面积的 CO_2 吸收量或 O_2 的释放量，也可用单位时间、单位叶面积上的干物质积累量来表示。常

用单位有： $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

净光合速率（表观光合速率）

影响光合作用的因素

- 内部因素

植物的种类和发育期

叶片的发育和结构

光合产物的输出

- 外部因素

光照：光强、光质、光照时间

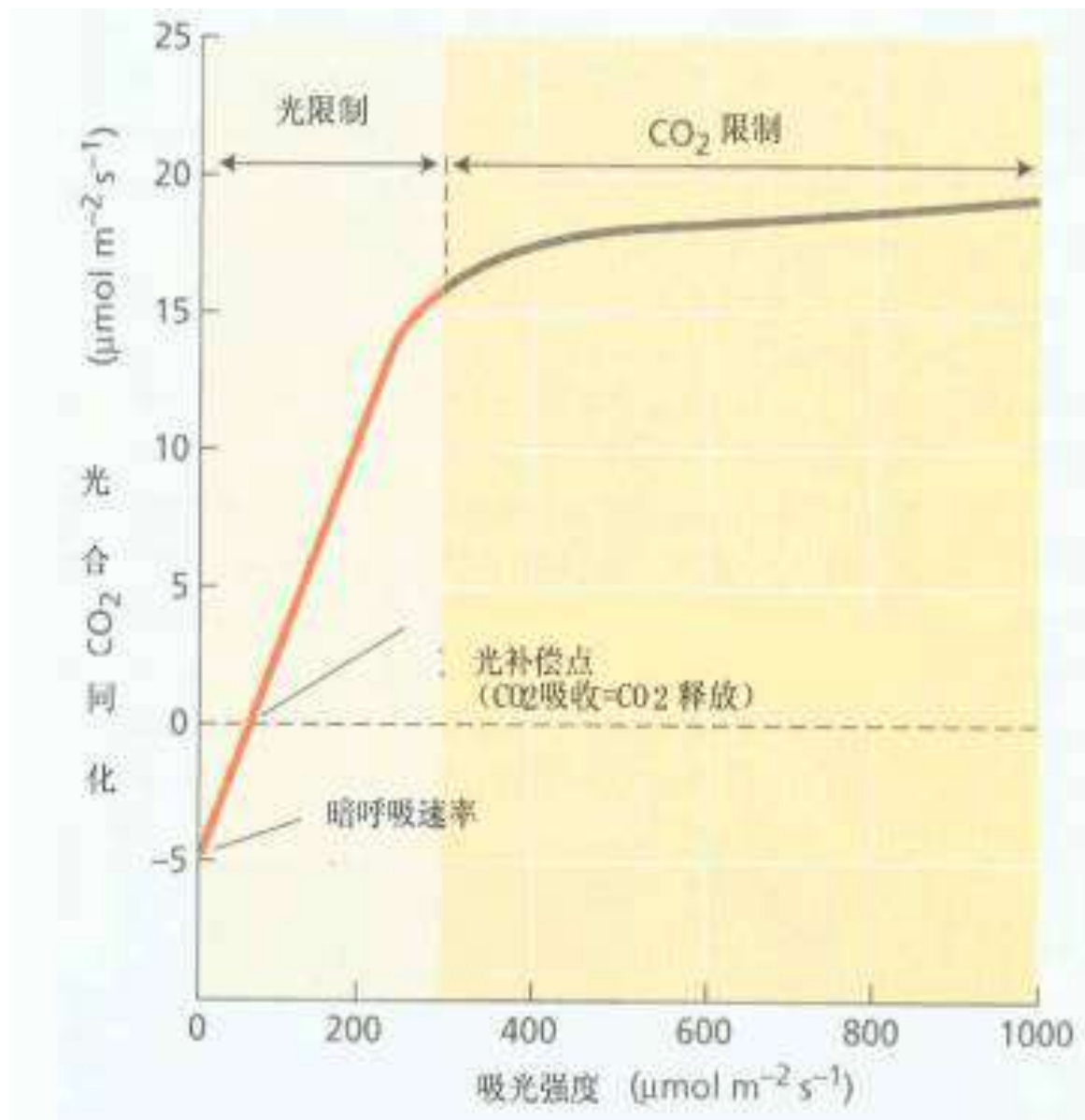
CO₂、O₂

温度

水分

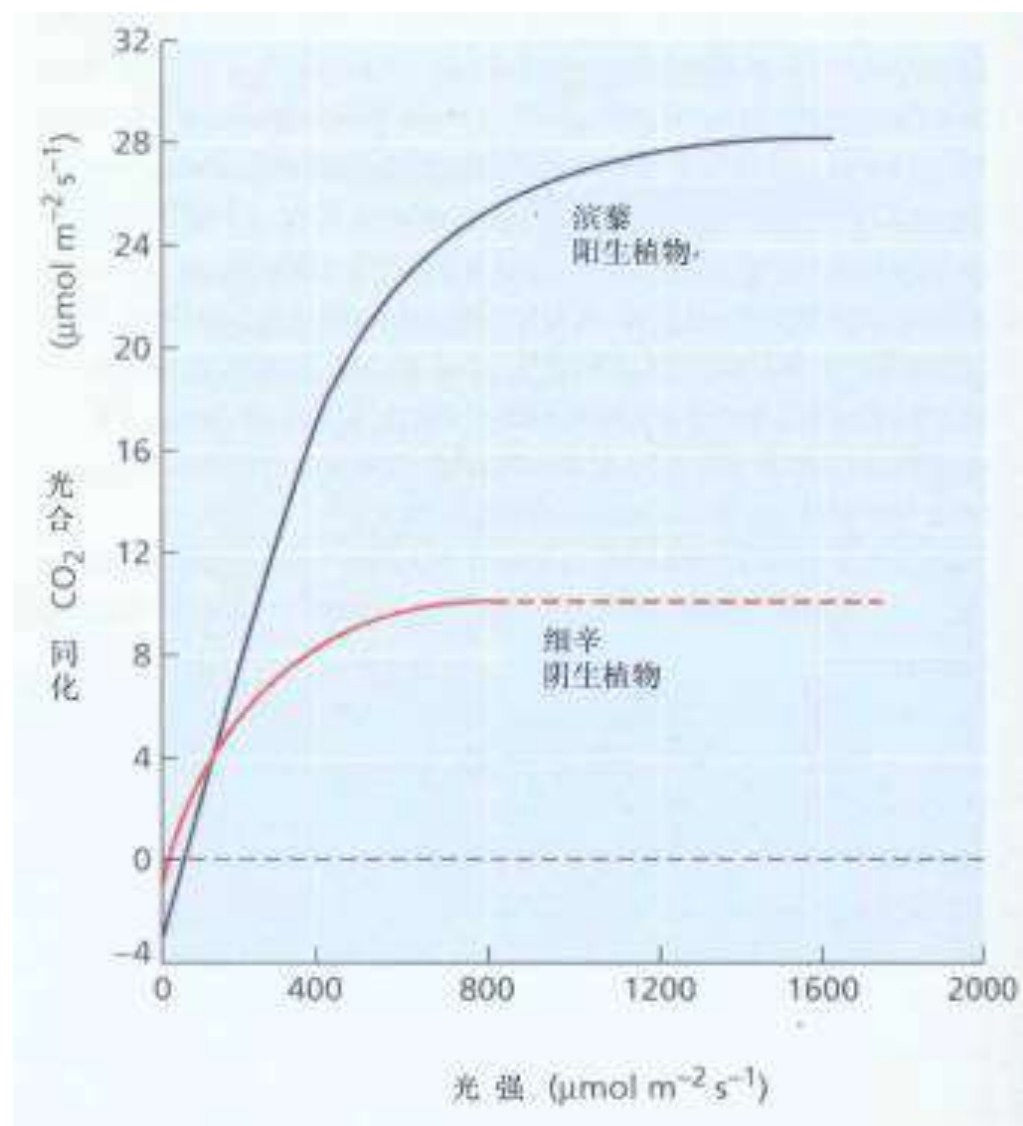
矿质元素

光合速率的日变化



光饱和点

光补偿点



光合性能与作物产量

- 光能利用率
- 提高作物产量的途径

提高光合能力

增加光合面积

延长光合时间

植物的呼吸作用

- 有氧呼吸

生活细胞在氧气的参与下，把某些有机物彻底氧化分解，放出CO₂和H₂O，同时释放能量的过程

呼吸底物：葡萄糖



- 无氧呼吸

呼吸产物：乙醇、乳酸



呼吸作用的生理意义

- 提供植物生命活动所需的大部分能量
- 为其他化合物合成提供原料
- 在植物抗病免疫方面也有重要意义

消除毒素、增强免疫能力

受伤部位呼吸作用增强

呼吸代谢途径

- 糖酵解 (EMP)

无需氧参与，有氧呼吸和无氧呼吸共同途径

细胞质中进行，产生丙酮酸

- 磷酸戊糖途径 (PPP)

有氧条件下，细胞质中

- 三羧酸循环 (TCAC)

有氧条件下，线粒体中

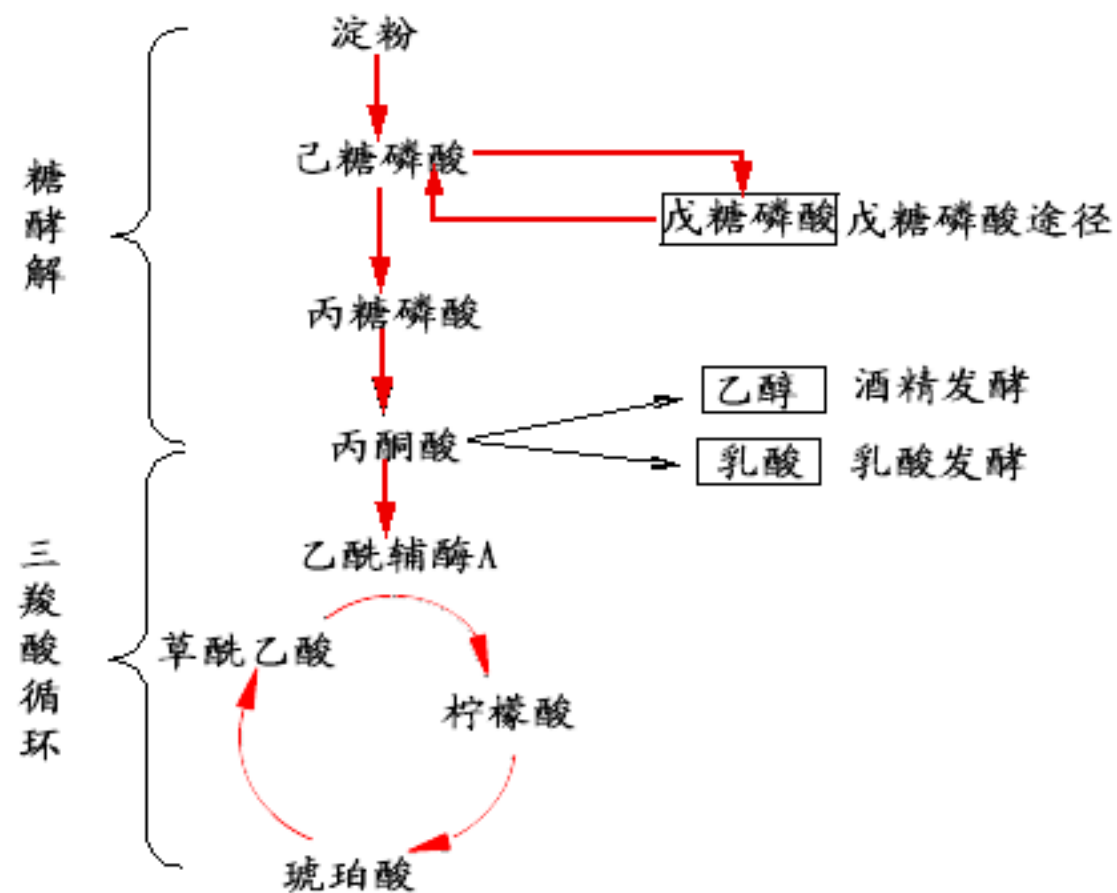


图4-2 植物呼吸代谢的主要途径

影响呼吸作用的因素

- 植物体内部因素

- 环境因素

- 温度

- 水分

- O_2 和 CO_2

高浓度 CO_2 可抑制呼吸作用，贮藏花卉蔬果

- 机械损伤

植物生长物质

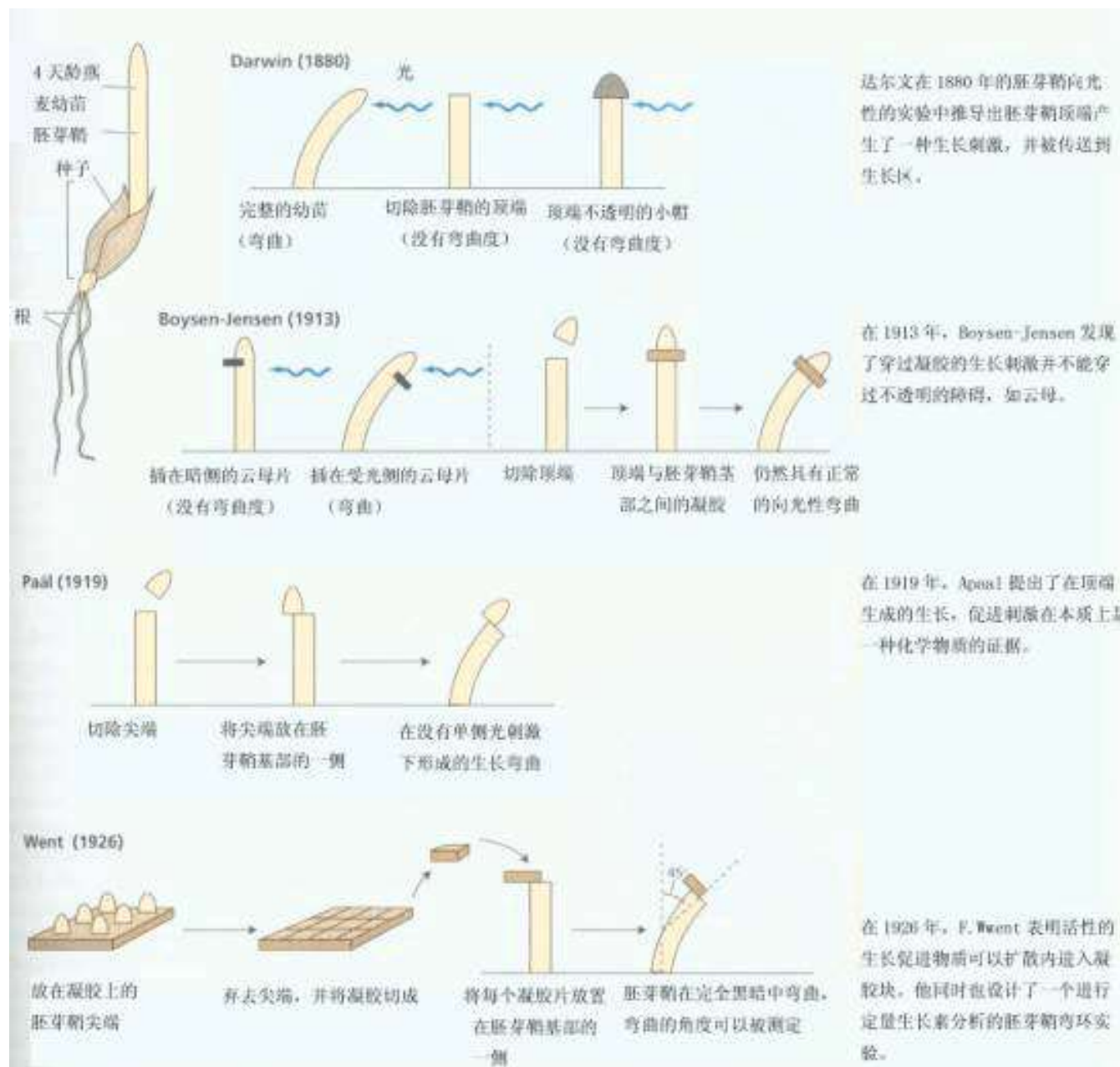
- 植物生长物质(plant growth substances)是调节植物生长发育的微量化学物质
- 植物激素，生长调节物质，植物生长调节剂
- 植物激素(plant hormones, phytohormones)是指在植物体内合成的，通常从合成部位运往作用部位，对植物的生长发育产生显著调节作用的微量小分子有机物
- 动物激素的专一性很强，并有产生某激素的特殊腺体和确定的“靶”器官，表现出单一的生理效应；而植物没有产生激素的特殊腺体，也没有明显的“靶”器官，植物激素可在植物体的任何部位起作用，且同一激素有多种不同的生理效应，不同种激素之间还有相互促进或相互拮抗的作用

五大类植物激素

- 生长素类 (AUX) , 如IAA
- 赤霉素类 (GA)
- 细胞分裂素类 (CTK)
- 脱落酸 (ABA)
- 乙烯 (ETH)

ng级/g

一般，前三类促进生长发育，ABA抑制生长发育，乙烯促进器官成熟



AUX (IAA等)

- 对生长的促进和抑制作用

高低浓度双重作用；不同器官对IAA敏感性不同；IAA对离体器官和完整植株的影响不同

- 诱导维管束分化
- 对根生长和侧根、不定根形成的作用：生根粉
- 对侧芽发育的影响：顶端优势
- 防止器官脱落：吸引与调运养分
- 抑制花的形成，但促进菠萝开花，诱导雌花分化
- 影响坐果和果实发育：单性结实
- 其他效应：延长营养器官休眠，抑制块根形成，促进叶片扩大和气孔开放，加快光合产物的运输，促进伤口愈合，等

(A) 正常的果实

(B) 去除瘦果

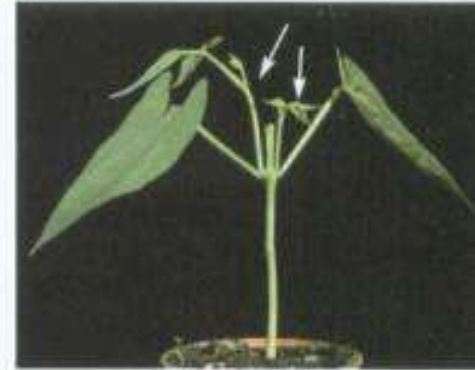
(C) 去除瘦果，并用生长素进行喷施



(A)



(B)



(C)



GA

- **促进植物茎节生长：促进整株植物生长；促进节间的伸长；不存在超最适浓度的抑制作用；不同植物种和品种对GA的反应有很大的差异**
- **打破休眠**
- **促进抽薹和开花：替代长日照诱导、低温春化**
- **促进雄花分化**
- **诱导禾谷类种子 α -淀粉酶等水解酶的合成**
- **其他效应：加强IAA对养分的动员效应，促进某些植物坐果和单性结实，延缓叶片衰老，等**

CTK

- **促进细胞分裂和细胞横向扩大：AUX促进细胞核分裂，CTK调控细胞质分裂，GA缩短细胞周期时间**
- **诱导芽的分化**
- **抑制叶片衰老**
- **促进叶绿体发育和叶绿素形成**
- **解除顶端优势，促进双子叶植物侧芽的发育**
- **打破种子休眠**

ABA

- 促进芽与种子休眠：“休眠素”
- 促进叶片衰老与脱落
- 调节气孔运动：促进气孔关闭
- 抑制生长和种子萌发
- 增强抗逆性：“应激激素”或“胁迫激素”
- 调节种子发育

乙烯

- 改变生长习性：三重反应
- 促进果实成熟：“催熟激素”
- 促进叶片衰老和器官脱落
- 诱导不定根和根毛发生
- 促进次生物质分泌
- 促进菠萝开花和增加黄瓜雌花
- 打破种子和芽的休眠

三重反应

- 抑制茎的伸长生长
- 茎的横向生长加快

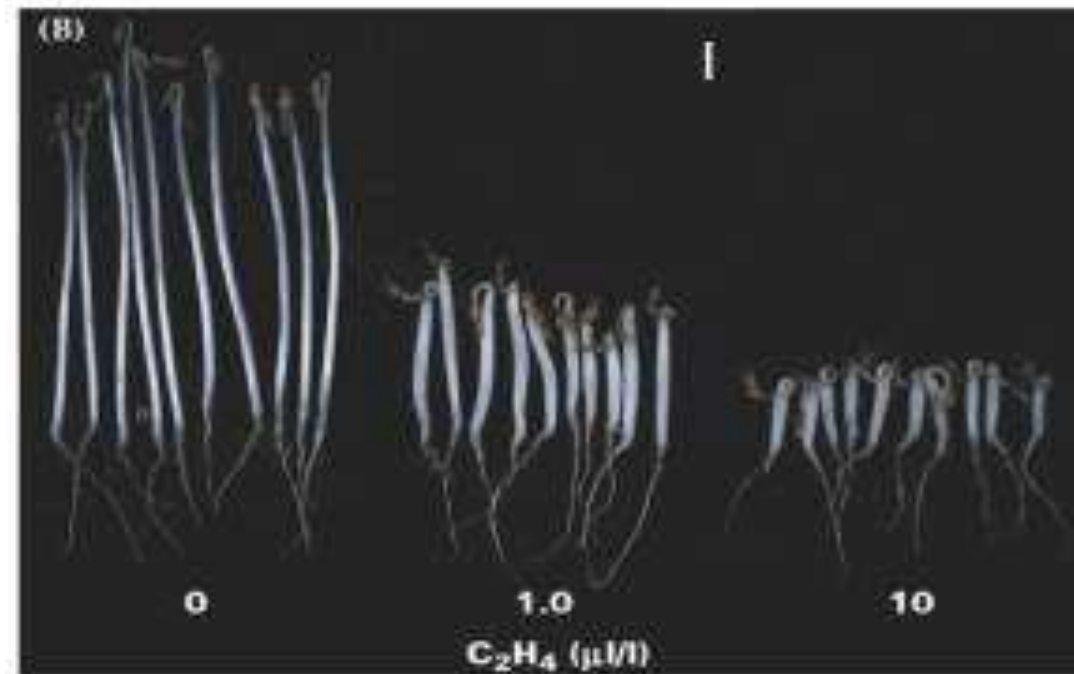
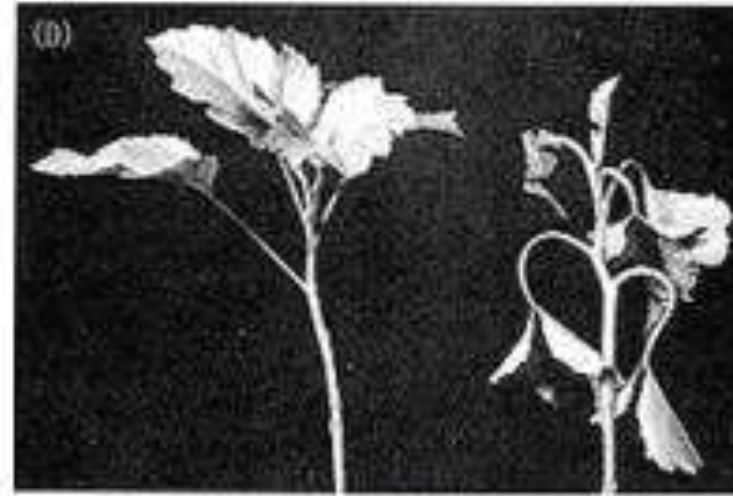
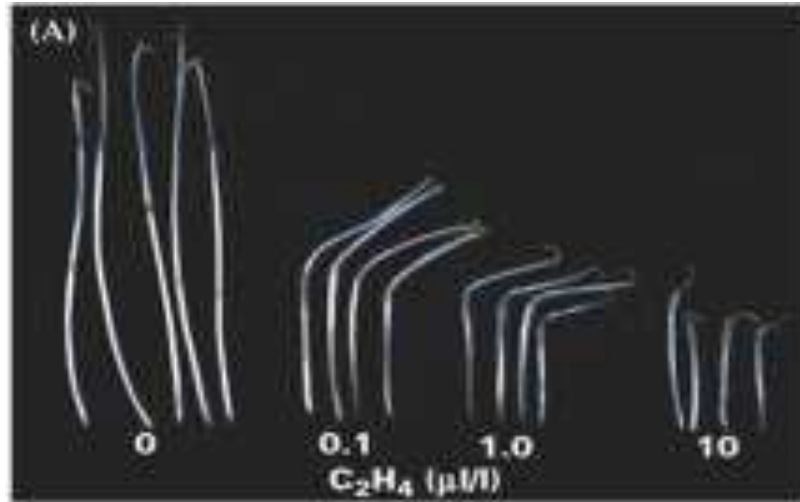
引起偏上生长

所谓偏上生长，是指器官的上部生长速度快于下部的现象

乙烯对茎与叶柄都有偏上生长的作用，从而造成了茎横生和叶下垂

- 上胚轴水平生长：促进茎或根的横向增粗

内源乙烯，使幼苗顺利出土



乙烯利

- 乙烯在常温下呈气态，即使在温室里，使用也十分不便
- 乙烯利(ethrel)是一种水溶性的强酸性液体，其化学名称叫2-氯乙基膦酸
- 在 $\text{pH} < 3$ 的条件下稳定；当 $\text{pH} > 4$ 时，可以分解放出乙烯； pH 值愈高，产生的乙烯愈多
- 乙烯利易被茎、叶或果实吸收，由于植物细胞的 pH 一般大于5，所以，乙烯利进入细胞后可水解释放出乙烯(不需要酶的参加)，对生长发育起调节作用

其他植物生长物质

- 多胺类
- 油菜素甾体类
- 茉莉酸及其衍生物
- 水杨酸
- 三十烷醇
- 玉米赤霉烯酮
- 系统素
- 乙酰胆碱
- 寡糖素

植物生长抑制物质

- 生长抑制剂

天然：肉桂酸、香豆素、水杨酸、绿原酸、咖啡酸、茉莉酸

人工合成：三碘苯甲酸、青鲜素、水杨酸、整形素

- 生长延缓剂

抑制赤霉素的生物合成

矮壮素、缩节胺、多效唑、烯效唑

植物的生长生理

- 生物体从发生到死亡所经历的过程称为生命周期(life cycle)
- 把生命周期中个体和器官的形态结构形成过程叫做形态发生或形态建成(morphogenesis)

生长、分化、发育

- **生长：细胞、组织、器官或植物体在发育过程中所发生的体积和重量的不可逆增加**

细胞分裂和伸长，量变

- **分化：来自同一合子或遗传上同质的细胞转变为形态上、机能上、化学结构上异质的细胞，即植物差异性生长**

细胞水平、组织水平、器官水平，质变

- **发育：在生命周期中，组织、器官或整体在形态和功能上的有序变化过程，是植物遗传信息在内外条件影响下有序表达的结果。时间、空间顺序**

种子的萌发

- 种子萌发是指种子从吸水到胚根突破种皮期间所发生的一系列生理生化变化过程。
- 无休眠或已经打破休眠的种子，在适宜的环境条件下可以萌发。

水分：蛋白质含量高，吸水量大

温度：酶促反应；产地

氧气：呼吸作用；含氧量>10%；深耕播种

光照

光照对种子萌发的影响

- 大多数种子在光下和暗中都能萌发

中光种子

- 在光下受抑制，在黑暗中易萌发

嫌光种子：葱\韭菜\苋菜\番茄\茄子\黄瓜\南瓜等

- 在黑暗中不能萌发，光下萌发良好

喜光种子：莴苣\紫苏\胡萝卜\桦木\多种杂草等

喜光的野生植物种子

- 光照和其他条件适宜，可萌发**
- 埋入土中，不萌发，但可长期保持生活力**
- 长期进化过程中适应环境的结果，可调整萌发时机，利于种族繁衍**

植物形态建成

- 提供能量
- 光信号调节：通过生物膜的透性和结构的变化或基因的表达，促使细胞的分裂、生长与分化实现，最终表现在组织和器官的建成
- 依赖光调节和控制植物生长、分化和发育的过程称为植物的光形态建成(photomorphogenesis)，或称光控发育

光形态建成

光通过对基因表达的调控调节植物的生长发育

- 促进幼叶展开
- 抑制茎的伸长
- 花芽分化
- 器官衰老
- 光受体：

光敏色素

蓝光受体（隐花色素、向光素）

紫外光-B受体

黄化现象

- 在黑暗中，植物生长表现：

茎柔嫩、细弱，茎节长，机械组织不发达，茎顶端弯曲不伸展，
叶片小似鳞片状、不展开，根系不发达，组织分化不完全

- 每天短时少量光，可转变为正常苗

光敏色素

- 光敏色素的发现

红光的暗期中断作用

莠苣种子萌发

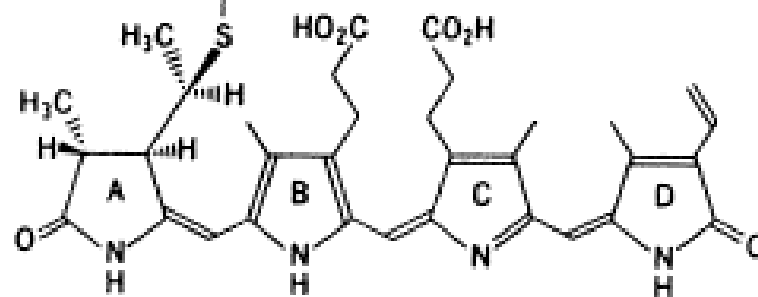
- 1964年从黄化的燕麦幼苗中提纯出光敏色素
- 接受红光和远红光信号
- 红光诱导效应

光敏色素的分布、结构与性质

- 广泛存在于藻类、苔藓、地衣、蕨类、裸子植物、被子植物中，分布于各个器官
- 分生组织和幼嫩器官中含量较高
- 由一条长链多肽（脱辅基蛋白）和一个线状四吡咯环的生色基团组成
- 溶于水，浅蓝色

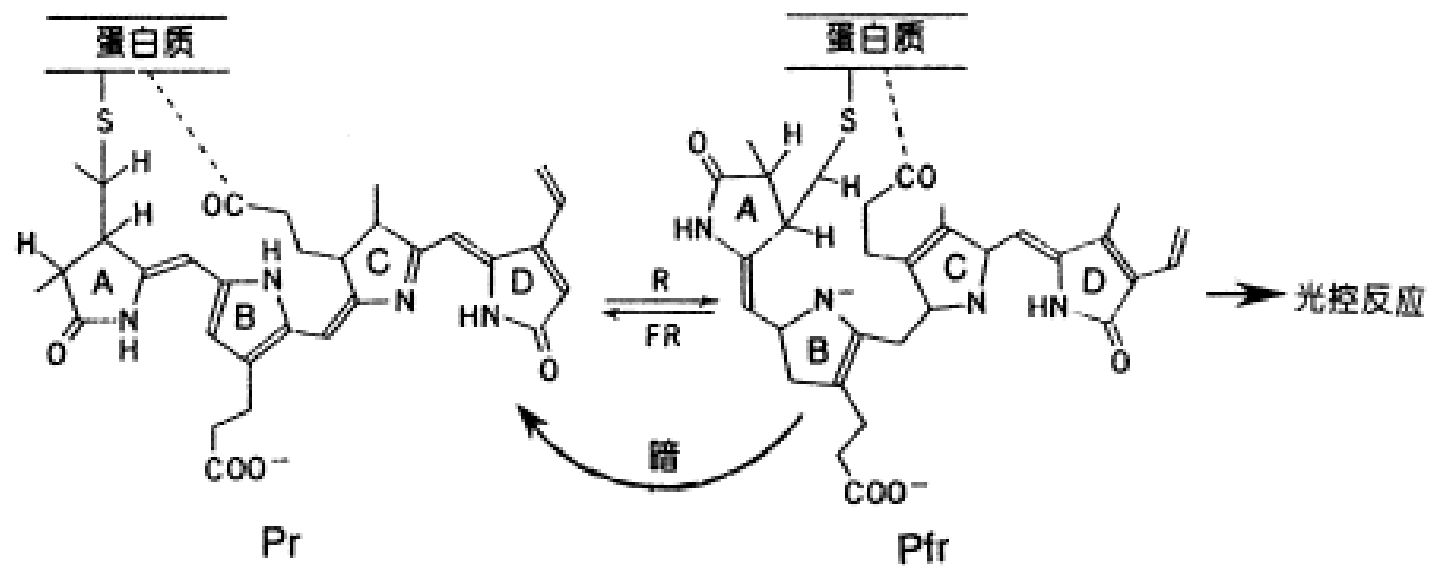
Leu-Arg-Ala-Pro-His-Ser-Cys-His-Leu-Glu-Tyr 蛋白质多肽链

A



开链的四吡咯生色团

B



光敏色素的生理作用

- 种子萌发
 - 叶片、叶柄和茎的伸长
 - 子叶扩大
 - 叶绿体和叶片的运动
 - 成花诱导
- 等

蓝光受体

- 蓝光/紫外光-A受体
- 吸收400-500nm的蓝光和320-400nm的近紫外光
- 隐花色素

蓝光反应，广泛存在于植物、动物细胞内

对隐花植物的光形态建成起重要作用：真菌

抑制茎伸长，促进分化，花色素合成等

- 向光素

植物运动：光反应，气孔运动，叶绿体运动等

红光反应与蓝光反应的比较

	红光诱导反应	蓝光反应
最大作用光谱	红光、远红光	蓝光、近紫外光
光强	弱	强
光受体	光敏色素	隐花色素
反应速度	快和慢	慢
反应可逆性	可逆和不可逆	不可逆
反应与光强关系	无关	有关

紫外光-B受体

- 吸收280-320nm的紫外光
- 抑制生长，促进分化
- 高原植物
- 抗UV色素：黄酮、黄酮醇、肉桂酰酯、肉桂酰花青苷
- 臭氧层破坏，UV-B增加

植物的运动

- 向性运动：

植物受外界环境因子单方向刺激而产生的定向生长运动

光、重力、水、化学物质、接触

属于生长性运动

感受刺激，刺激传导，运动反应

- 感性运动

- 阳光跟踪：向日葵，蒺藜，羽扇豆

- 自动运动：牵牛，茑萝

向性运动

- 向光性

正向光性：茎

负向光性：根

横向光性：叶

短波光

- 向重力性：根、茎、地下茎

- 向化性：根系；施肥

- 向水性：根系

- 向触性：卷须；攀缘

感性运动

- 感震性

含羞草，感应草，捕蝇草

- 感夜性（感光性）

睡眠运动

叶：含羞草、合欢、酢浆草、车轴草、花生、大豆

花：蒲公英、睡莲、生石花、仙人掌

- 感温性（感热性）

温度变化：番红花、郁金香

植物生长的周期性

- 生长的昼夜周期性

光照、温度、湿度

- 生长的季节周期性

光照、温度、水分

- 生物钟

昼夜节律变化

21-27h之间

适应环境变化，更好的生存

植物的生殖生理

- 由营养生长转入生殖生长是植物生活周期中的一大转折，转折点——花芽分化
- 成花诱导之后，植物茎尖的分生组织不再产生叶原基和腋芽原基，而分化形成花或花序的过程，为花芽分化

成花过程

- **成花诱导或成花转变：**经某种信号诱导后，特异基因启动，使植物改变发育进程，即适宜的环境刺激诱导从营养生长向生殖生长转变
- **成花启动或花的发端：**分生组织在形成花原基前后发生的一系列内部反应，以及分生组织分化成可辨认的花原基
- **花的发育：**花器官的形成和生长

- **植物的成花过程是具有不同时、空性表达特点的基因与环境条件相互作用的结果**
- **花芽分化、花器官形成和性别分化主要是由植物的基因型决定的**
- **适宜的环境条件是诱导成花的外因**
- **植物在长期的环境适应和系统进化过程中，形成了对低温与昼夜长度的感应**
- **幼年期、温度、日照长短，控制植物开花的三个重要因素**

幼年期与花熟状态

- 大多数植物在开花之前要达到一定年龄或者一定的生理状态，然后才能在适宜的外界条件下开花，植物开花之前必须达到的生理状态称为花熟状态(ripeness to flower state)
- 植物达到花熟状态之前的营养生长时期称为幼年期(juvenile phase)

幼年期

- 草本植物：较短，几天-几星期
- 木本植物：较长，几年-几十年

“桃三、杏四、梨五年，核桃、白果公孙见”

银杏十几年，铁树几十年

- 没有幼年期：花生、矮牵牛、油菜
- 幼年期营养生长旺盛，呼吸强，核酸、蛋白质合成代谢快，营养物质积累多，不能开花

- **不同部位的枝条处于不同的发育阶段**
- **通常枝条基部是幼年期，顶端是成年期，中间为中间型**
- **扦插常用一年生带饱满芽的基部枝条**
- **嫁接常用树冠上的枝条为接穗**
- **植株一旦成熟，难以重新回到幼年期**

春化作用

- 秋播植物，春末夏初开花结实；若春播，则不能开花或延迟开花

1918年，加斯纳(Gassner)

冬小麦，春小麦

- 1928年，前苏联李森科(Lysenko)将吸水萌动的冬小麦种子经低温处理后春播，发现可在当年夏季抽穗开花，他将这种处理方法称为春化，意指使冬小麦春麦化了

- 在植物生长的一定阶段，要求一定的低温才能诱导花器官形成的现象叫春化现象
- 这种低温诱导促使植物开花的作用称为春化作用 (vernalization)
- 温带地区植物

冬性一年生植物：冬小麦、冬黑麦、冬大麦

二年生植物：白菜、萝卜、胡萝卜、芹菜、甜菜、甘蓝、芥菜、天仙子，等

多年生草本植物：牧草

春化作用的感受和传递

- 感受低温的时期和部位

种子，苗期；植株一定大小

感受低温的部位是茎尖生长点

春化作用感受低温的部位是分生组织和某些能进行细胞分裂的部位

- 春化效应的传递

分蘖，嫁接

春化素

春化作用的应用

- 人工春化处理

 - “闷麦法”

- 调种引种

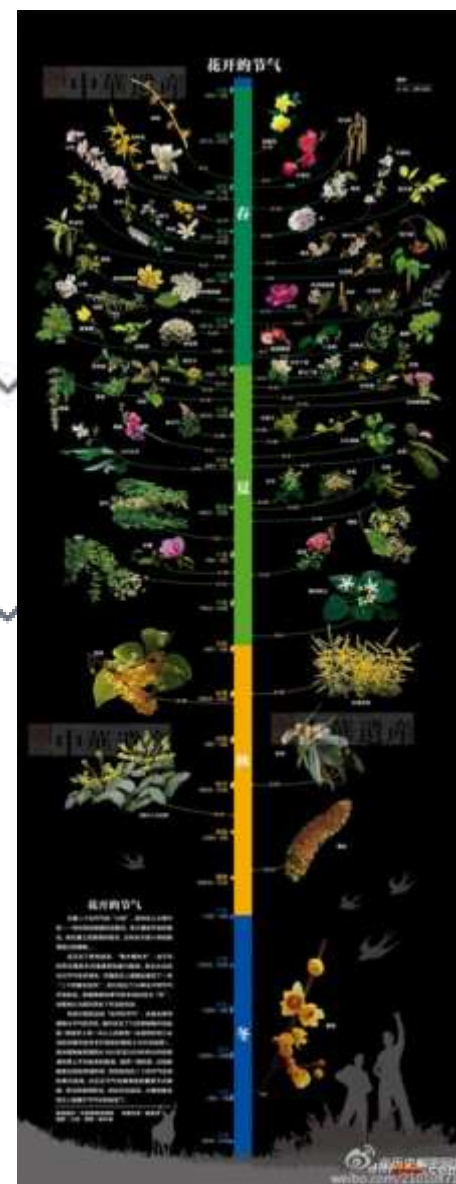
- 控制花期

低温处理还可使秋播的一、二年生草本花卉改为春播，当年开花

越冬贮藏的洋葱鳞茎在春季种植前用高温处理以解除春化，增加产量

【图解花开的节气】非常直观的记录各种花开时间的信息图，值得收藏。图中涉及70余种植物开花始期，是中国物候观测网46年的观测结果。虽然观测地在西安，但因其地处二十四节气发源的黄河流域，花开的时间并没有太大差异。如此，静待每个节气花开的声音。

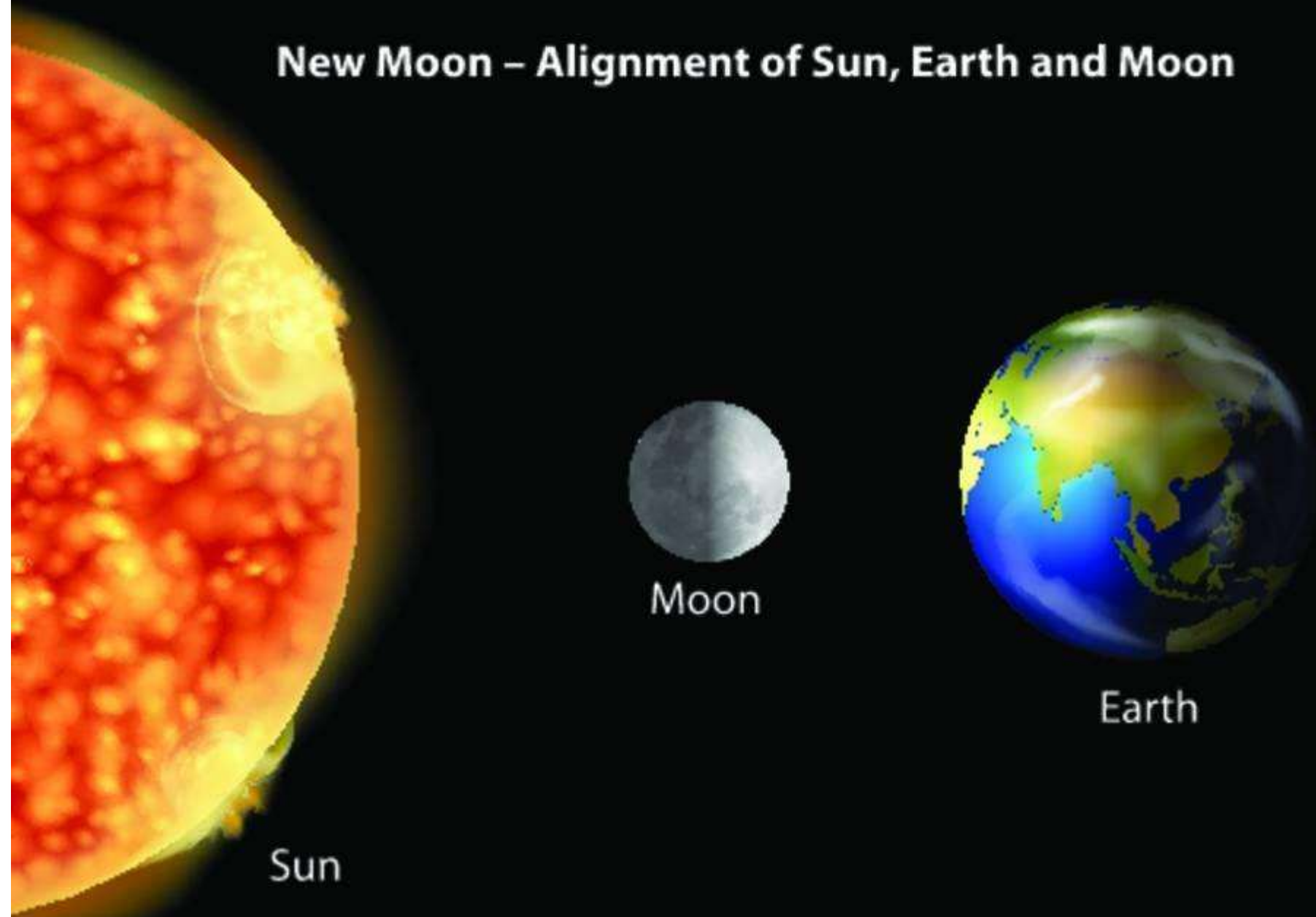
【花开的节气】这绝对是值得收藏的一张图表，对应着能去等待每个节气花开的声音。图中涉及了70余种植物开花始期，是中国物候观测网46年的观测结果上平均起来的数值。此外，这是在西安观测所得，西安地处二十四节气发源的黄河流域，如此对应起来，大概就能发现古人隐藏于24节气中的秘密了。（可查看大图）



中国古代的历法

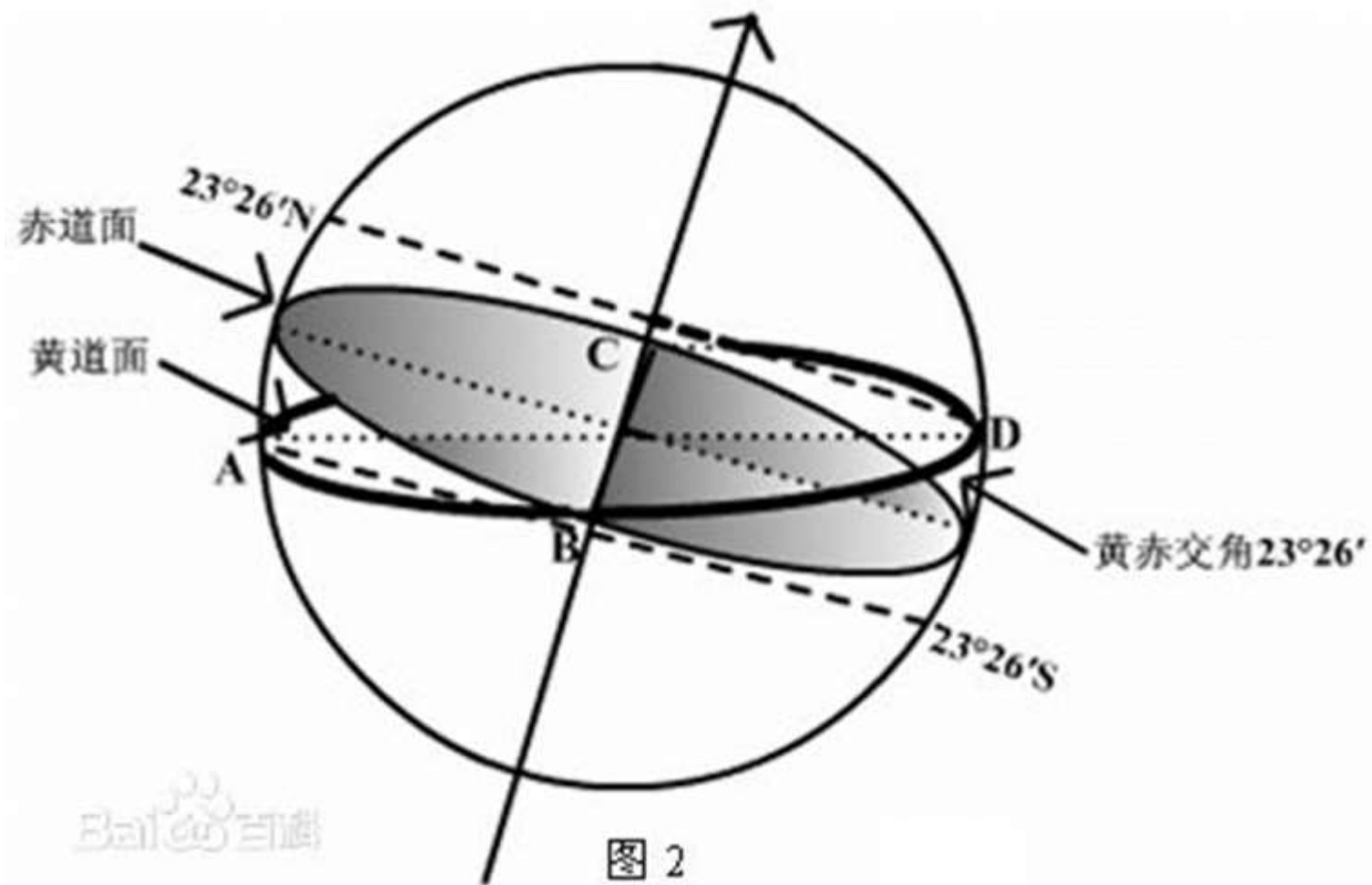
- 2025年11月10日，星期一
- 乙巳年丁亥月癸未日，九月廿一
- 阴历？
- 阳历？

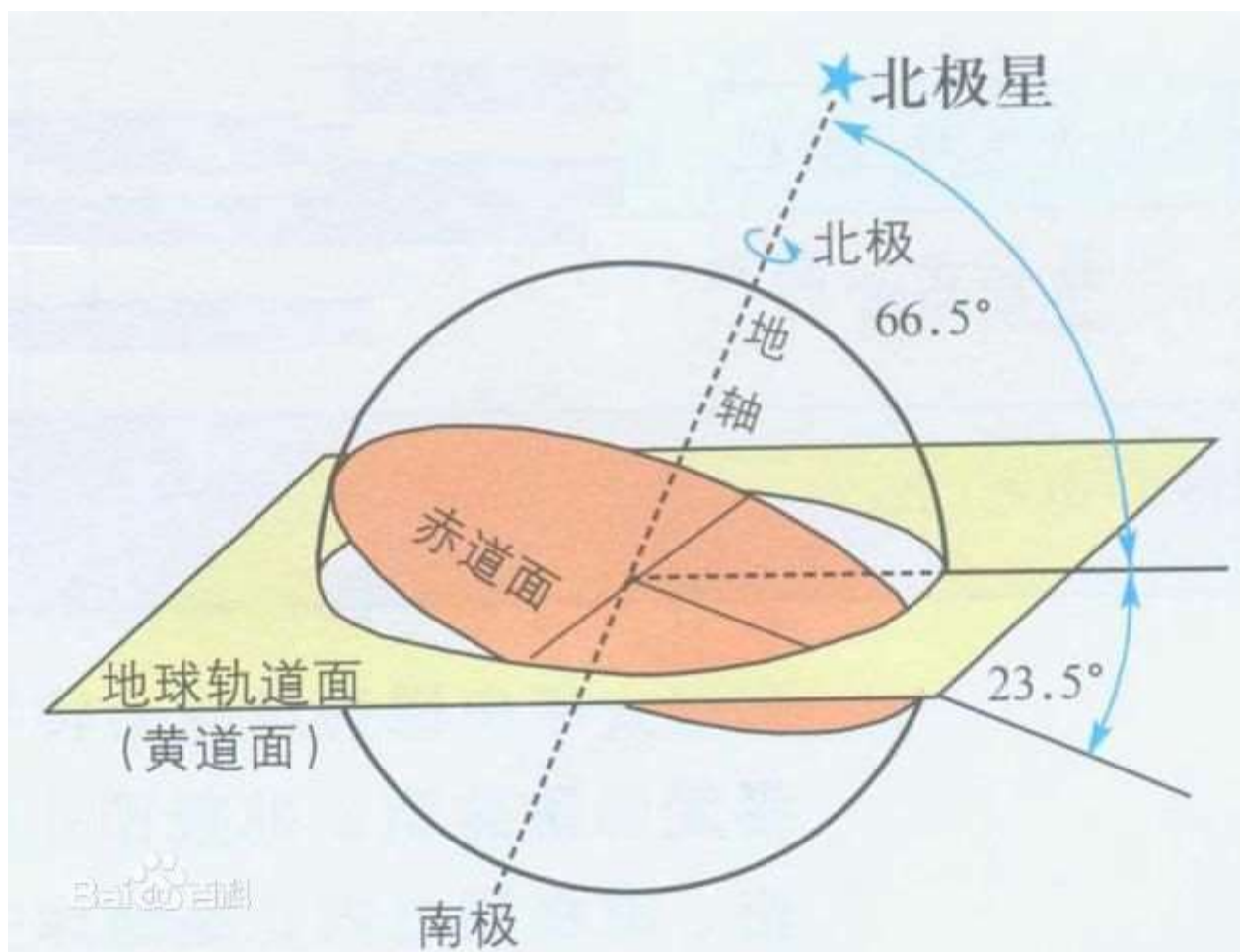
New Moon – Alignment of Sun, Earth and Moon

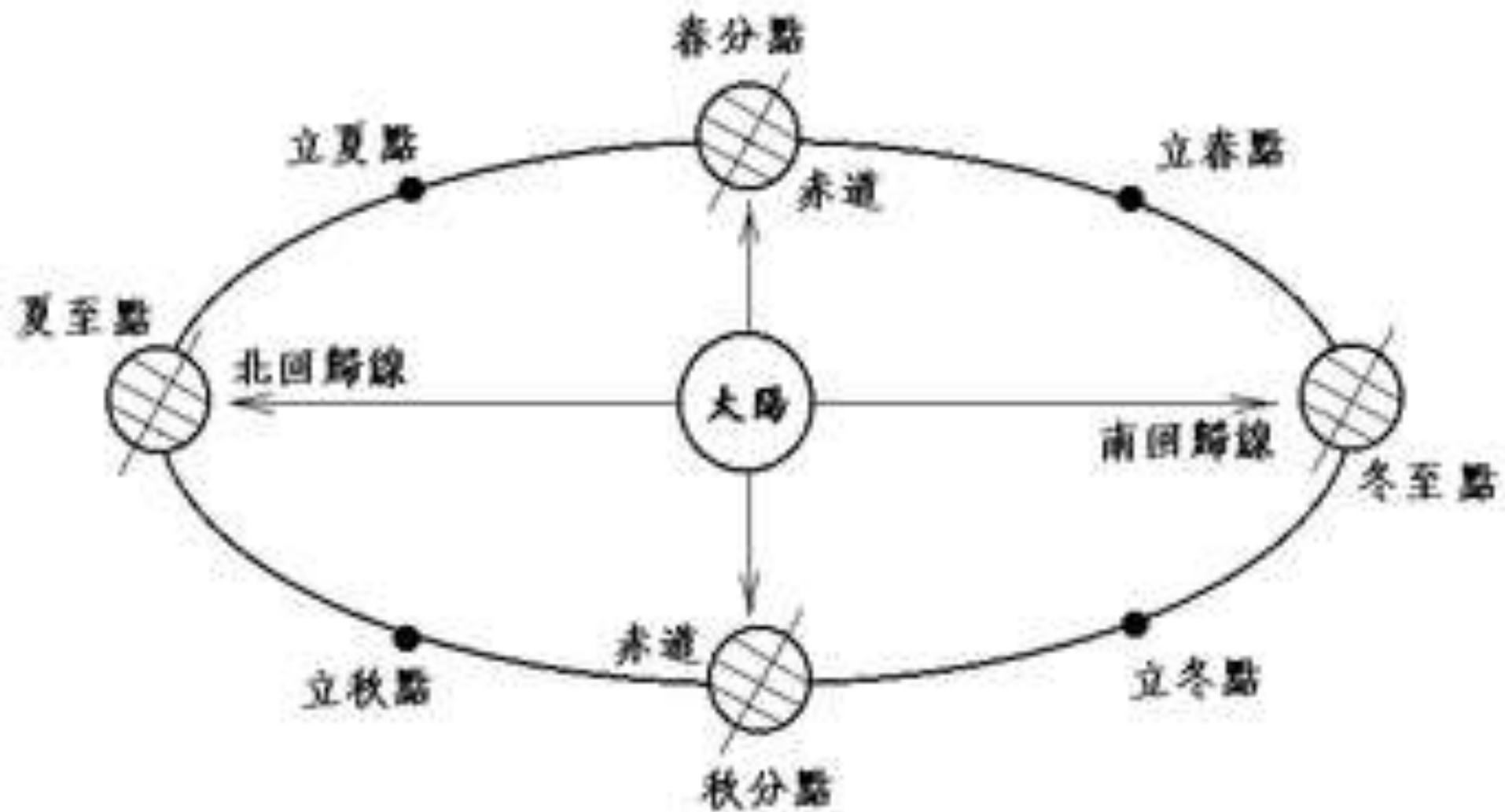


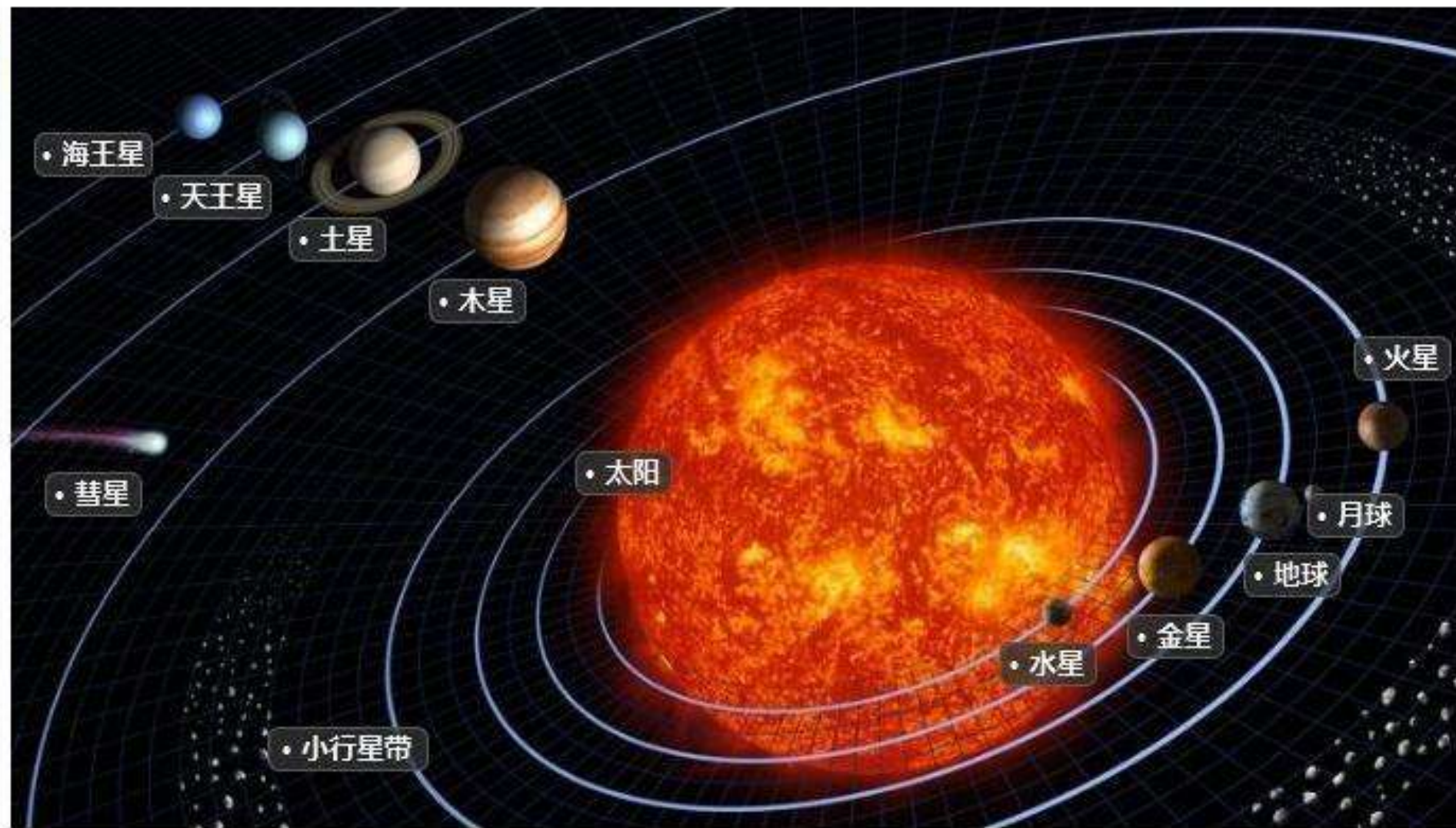


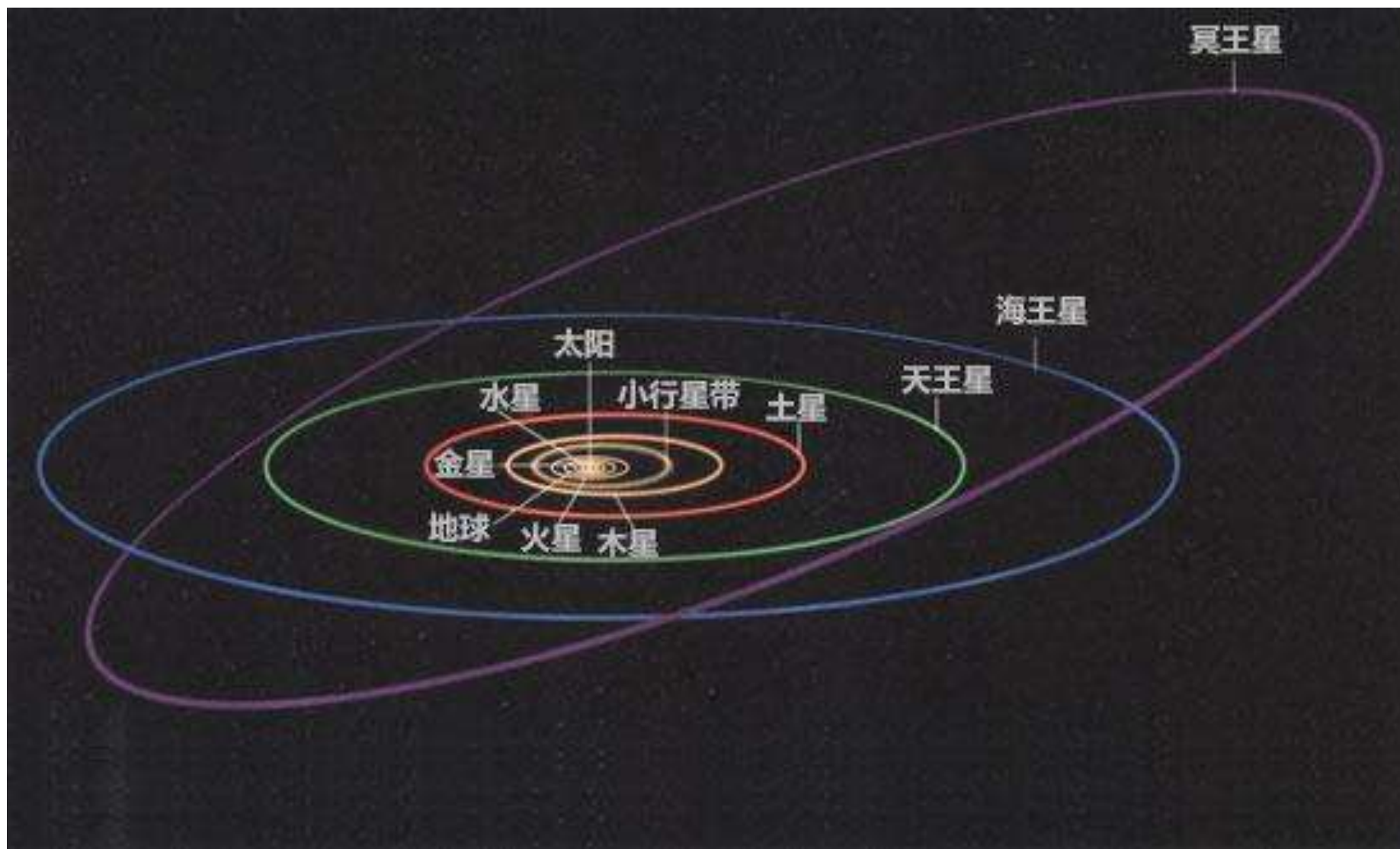


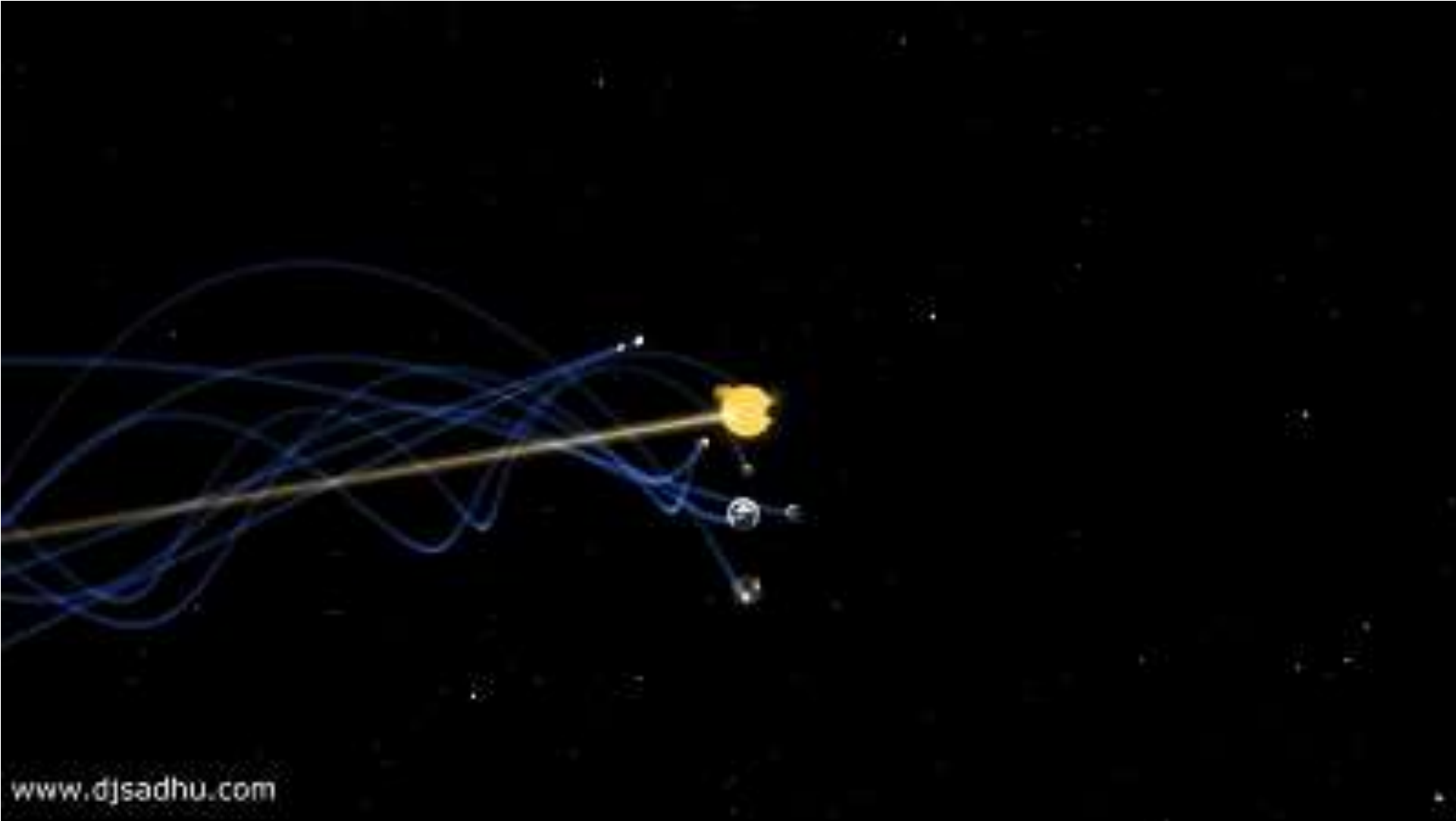


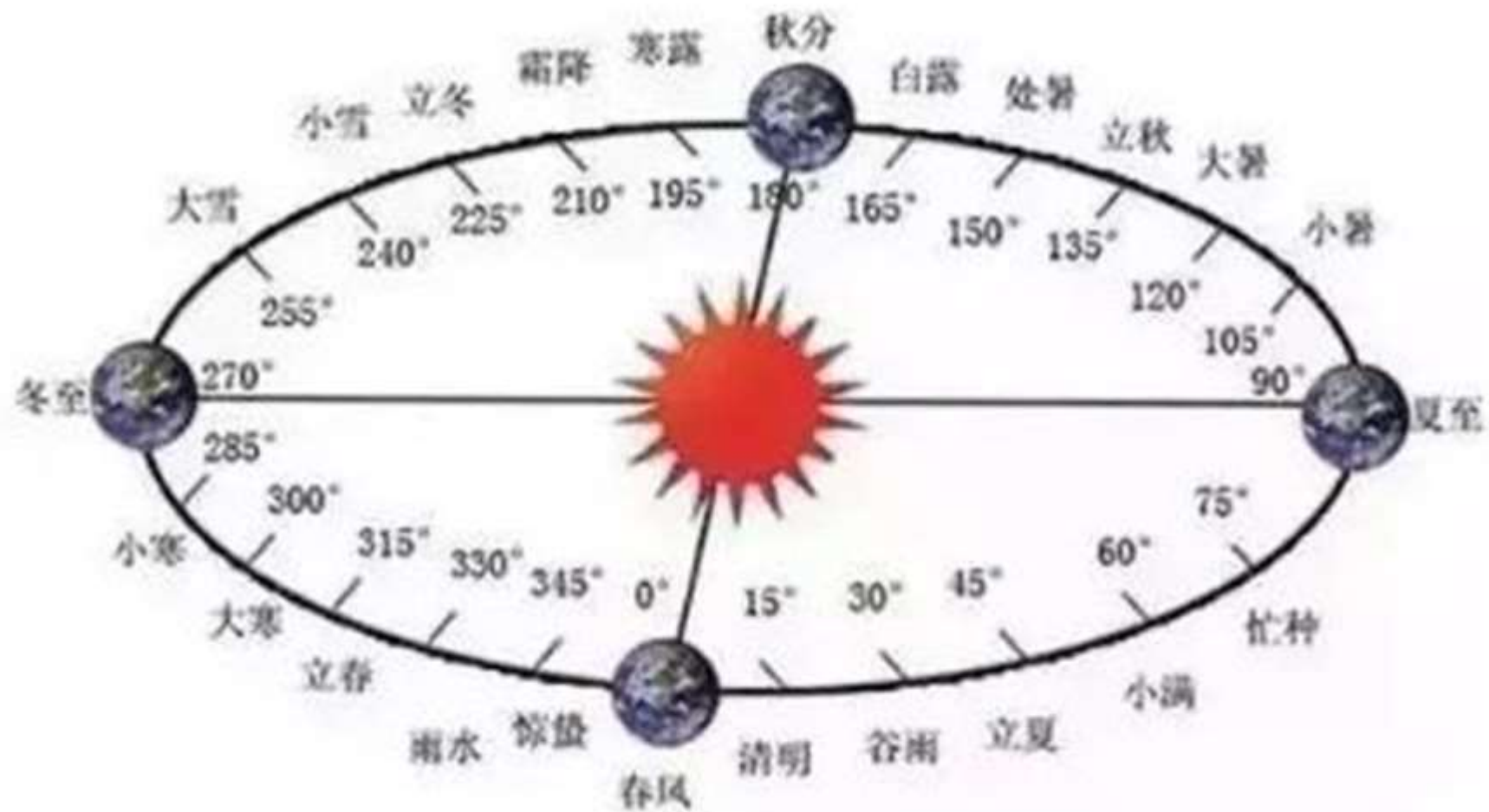










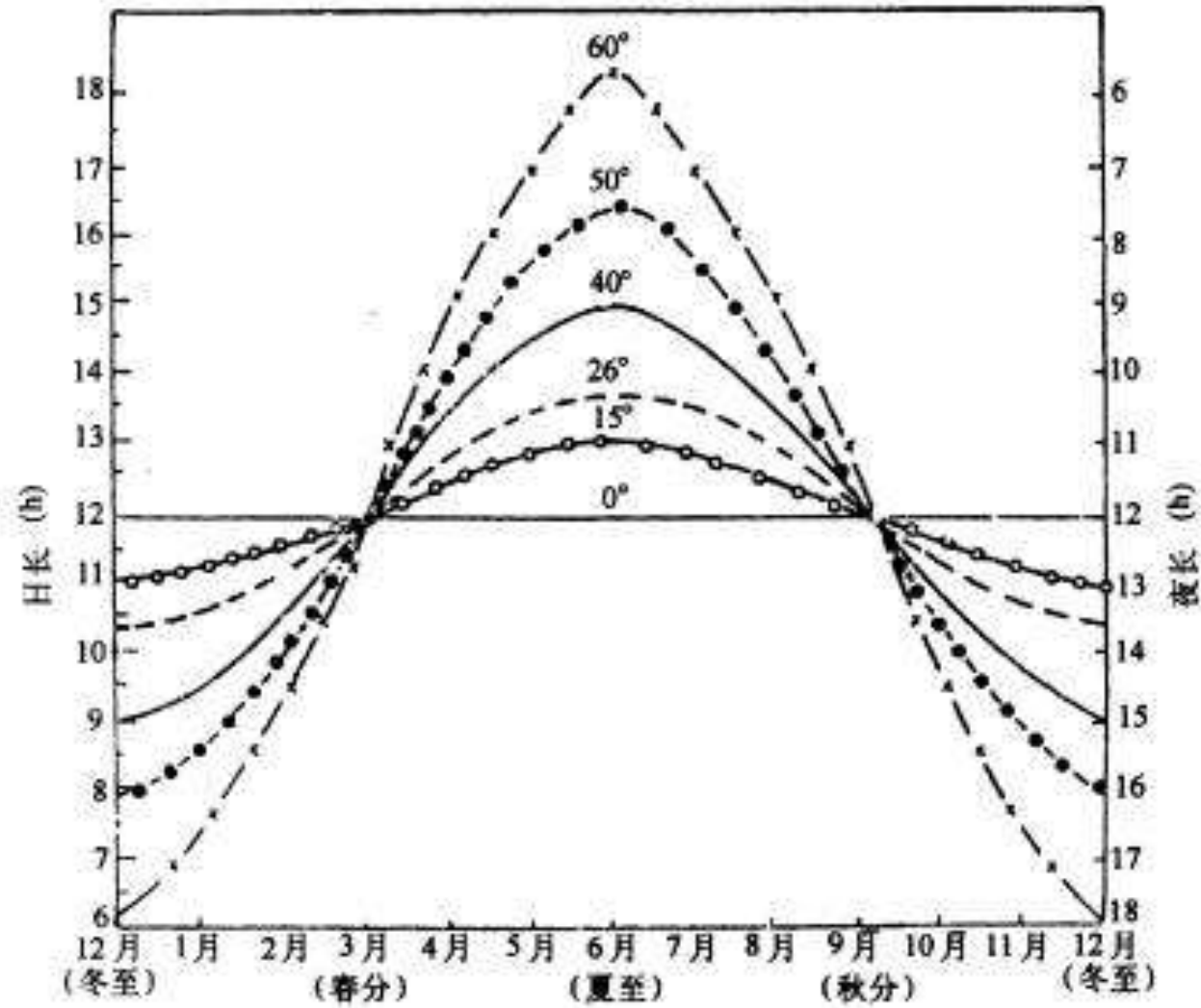


二十四节气



光周期现象

- 在各种气象因子中，昼夜长度变化是最可靠的信号，不同纬度地区昼夜长度的季节性变化是很准确的
- 纬度愈高的地区，夏季昼愈长，夜愈短；冬季昼愈短，夜愈长；春分和秋分时，各纬度地区昼夜长度相等，均为12h
- 自然界一昼夜间的光暗交替称为光周期（photoperiod）



- 生长在地球上不同地区的植物在长期适应和进化过程中表现出生长发育的周期性变化，植物对昼夜长度发生反应的现象称为光周期现象（photoperiodism）
- 植物的开花、休眠和落叶，以及鳞茎、块茎、球茎等地下贮藏器官的形成都受昼夜长度的调节
- 植物成花的光周期诱导

光周期现象的发现

- 美国园艺学家加纳和阿拉德（Garner and Allard）在1920年观察到烟草的一个变种在华盛顿地区夏季生长时，株高达3 ~ 5m时仍不开花，但在冬季转入温室栽培后，其株高不足1m就可开花
- 日照长度是影响烟草开花的关键因素

植物的光周期反应类型

1. **长日植物 (long-day plant, LDP)** 指在24h昼夜周期中，日照长度长于一定时数，才能成花的植物。对这些植物延长光照可促进或提早开花，相反，如延长黑暗则推迟开花或不能成花。属于长日植物的有：小麦、大麦、黑麦、油菜、菠菜、萝卜、白菜、甘蓝、芹菜、甜菜、胡萝卜、金光菊、山茶、杜鹃、桂花、天仙子等
2. **短日植物 (short-day plant, SDP)** 指在24h昼夜周期中，日照长度短于一定时数才能成花的植物。对这些植物适当延长黑暗或缩短光照可促进或提早开花，相反，如延长日照则推迟开花或不能成花。属于短日植物的有：水稻、玉米、大豆、高粱、苍耳、紫苏、大麻、黄麻、草莓、烟草、菊花、秋海棠、蜡梅、日本牵牛等


3. **日中性植物** (day-neutral plant, DNP) 这类植物的成花对日照长度不敏感, 只要其他条件满足, 在任何长度的日照下均能开花。如月季、黄瓜、茄子、番茄、辣椒、菜豆、君子兰、向日葵、蒲公英等
4. **长-短日植物** (long-short day plant) 这类植物的开花要求有先长日后短日的双重日照条件, 如大叶落地生根、芦荟、夜香树等
5. **短-长日植物** (short-long day plant) 这类植物的开花要求有先短日后长日的双重日照条件, 如风铃草、鸭茅、瓦松、白三叶草等
6. **中日性植物** (intermediate-daylength plant) 只有在某一定中等长度的日照条件下才能开花, 而在较长或较短日照下均保持营养生长状态的植物, 如甘蔗的成花要求每天有11.5 ~ 12.5h日照
7. **两极光周期植物** (amphophotoperiodism plant) 与中日照植物相反, 这类植物在中等日照条件下保持营养生长状态, 而在较长或较短日照下才开花, 如狗尾草等

临界暗期与暗期间断

- **临界暗期 (critical dark period)** , 是指在光暗周期中, 短日植物能开花的最短暗期长度或长日植物能开花的最长暗期长度
- 短日植物对暗期中的光非常敏感, 中断暗期的光不要求很强, 低强度 (日光的 10^{-5} 或月光的 $3 \sim 10$ 倍)、短时间的光 (闪光) 即有效
- 只给予对光合作用有效的红光, 并不能使植物开花, 而当有远红光或蓝光配合时则开花。由此表明光在光周期反应中的作用不同于光合作用

光周期诱导

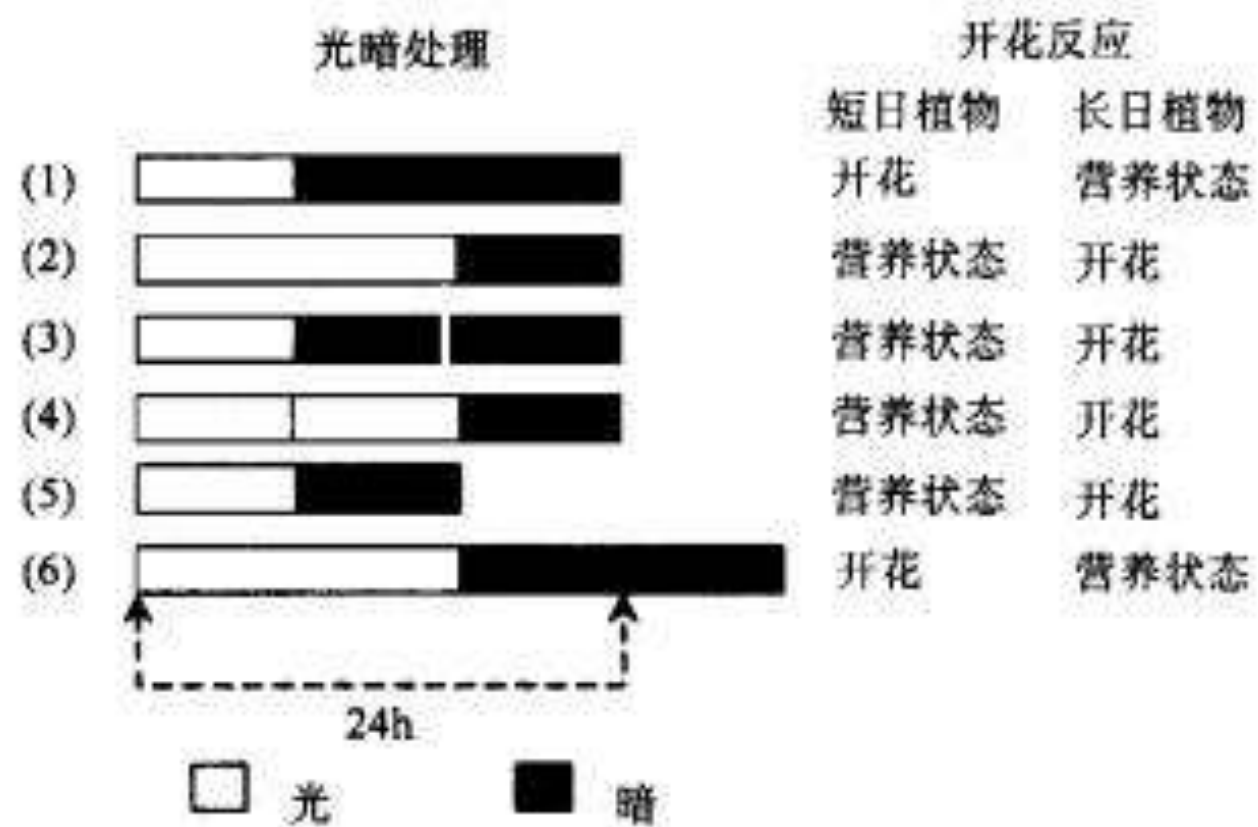
- **对光周期敏感的植物只有在经过适宜的日照条件诱导后才能开花，但这种光周期处理并不需要一直持续到花芽分化。植物在达到一定的生理年龄时，经过足够天数的适宜光周期处理，以后即使处于不适宜的光周期下，仍然能保持这种刺激的效果而开花，这叫做光周期诱导（photoperiodic induction）**

A 16(8)  营养状态

B 8(16)  开花

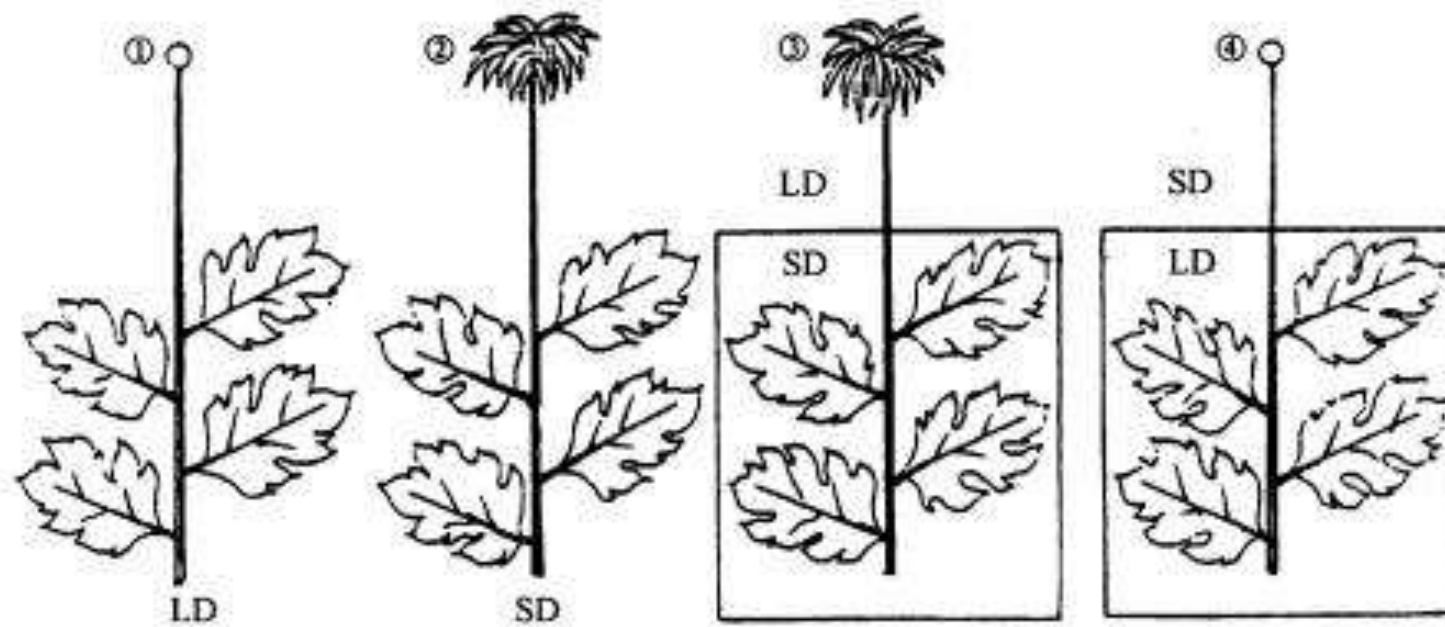
C 4(8)  营养状态

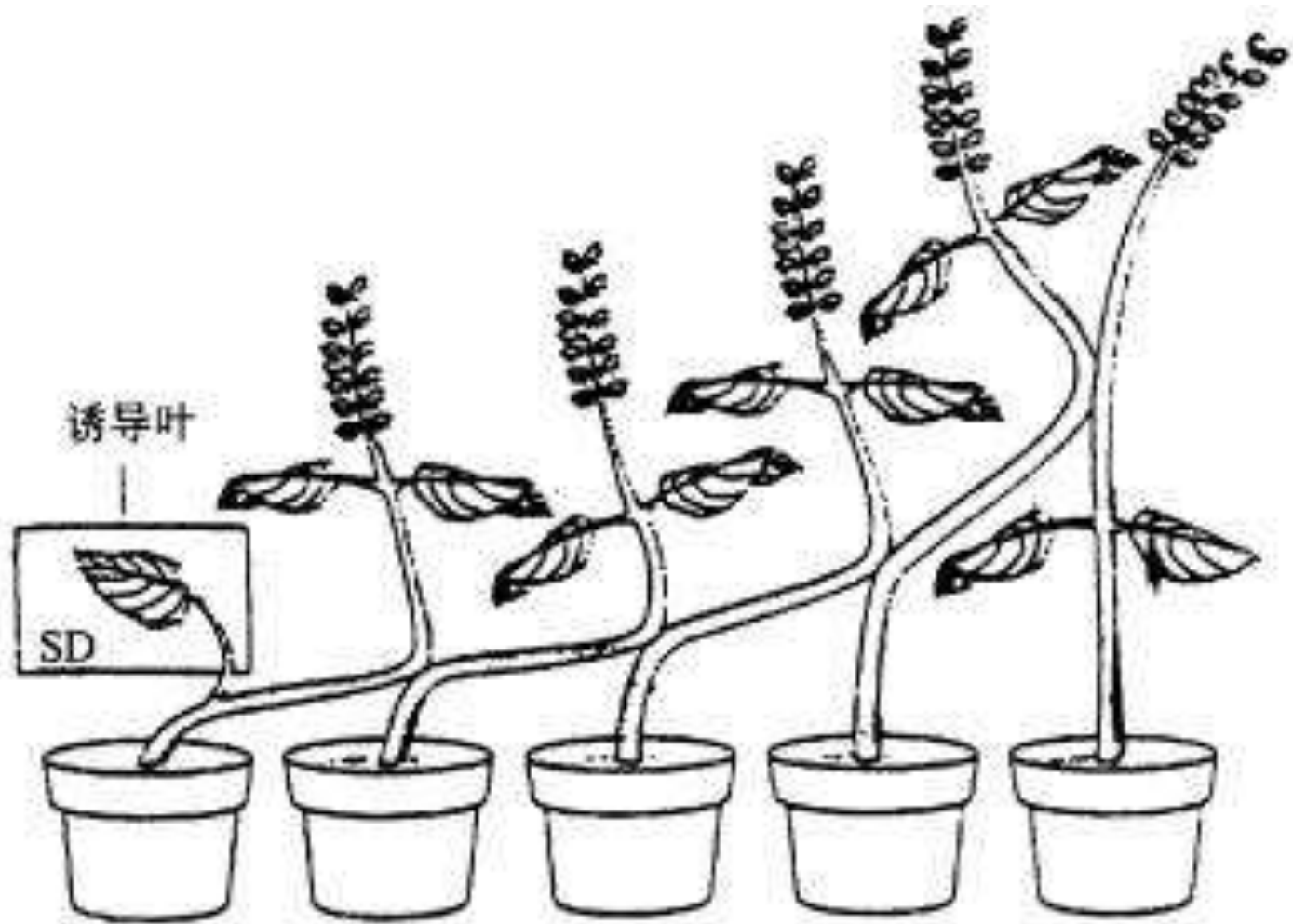
D 16(32)  开花



光周期刺激的感受和传递

- 感受光周期的部位是植物的叶片
- 将5株苍耳嫁接串连在一起，只要其中一株的一片叶接受了适宜的短日光周期诱导，即使其它植株都在长日照条件下，最后所有植株也都能开花
- 光敏色素





光周期理论的应用

- 植物的地理起源和分布与光周期特性
- 引种和育种
- 控制花期
- 调节营养生长和生殖生长

花器官形成及性别表现

从营养生长到生殖生长的过渡

(花器官形成)

- 成花决定态
- 茎端生长点的变化
- 花器官形成的条件

1.成花决定态

- 植物经过一定时期的营养生长后，就能感受外界信号（低温和光周期）产生成花刺激物（春化素和成花素）
- 成花刺激物被运输到茎端分生组织，在那里发生一系列诱导反应，使分生组织进入一个相对稳定的状态，即成花决定态
(floral determinated state)

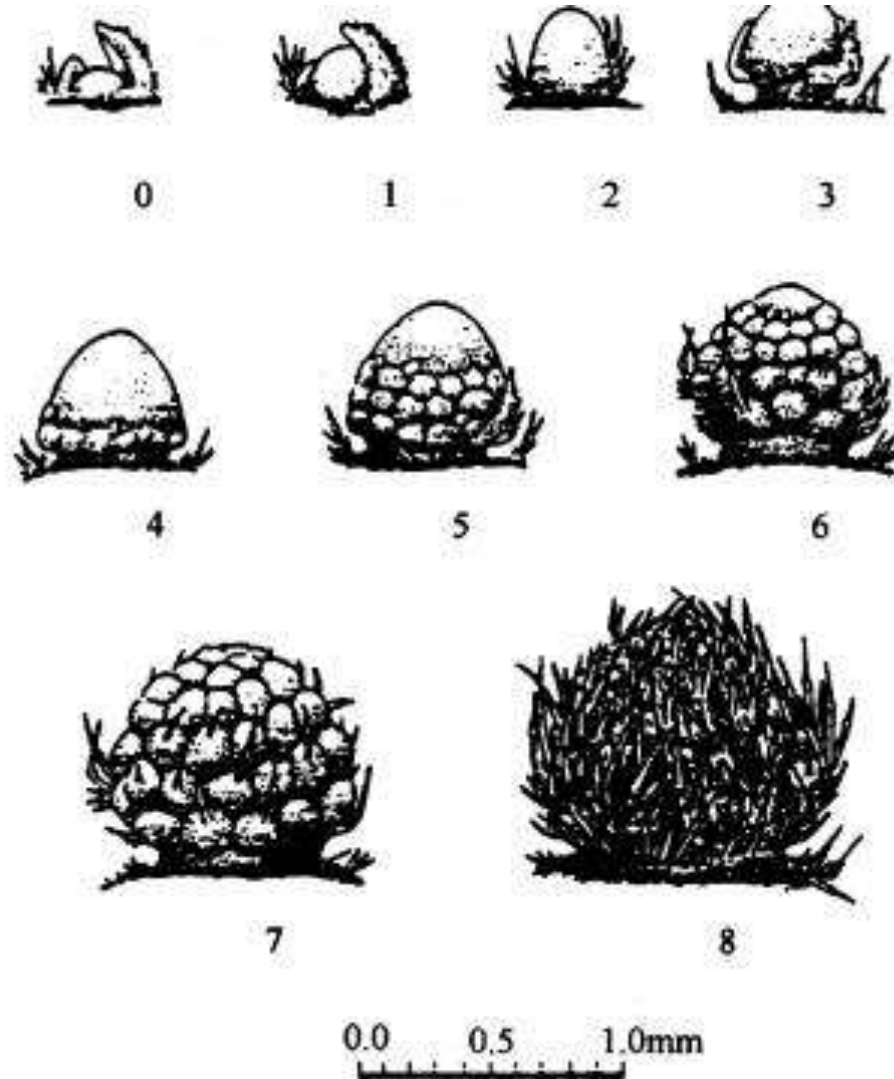
2.茎端生长点的变化

- 花原基形成、花芽各部分分化与成熟的过程，称为花器官的形成或花芽分化（flower bud differentiation）
- 茎顶端分生组织在形态上和生理生化方面发生了一系列显著的变化
- 营养生长锥→生殖生长锥

形态变化

- 经成花诱导后，最初的形态变化都是生长锥的伸长和表面积的增大
- 表层细胞分裂加快，而生长锥的内部细胞分裂较慢并逐渐停止
- 表层和内部细胞分裂速率不同，致使生长锥表面出现皱折，由原来分化叶原基的生长点开始形成花原基
- 花原基逐步分化出花器官的各部分原基，最后形成花器官的各个部分

苍耳接受短日照诱导后生长锥的变化









生理生化变化

- 细胞代谢水平增高，有机物发生剧烈转化。如葡萄糖、果糖和蔗糖等可溶性糖含量增加；氨基酸和蛋白质含量增加；核酸合成速率加快
- 组织化学和放射性同位素示踪试验，证实分生组织区域有特异的mRNA合成
- 花器官分化和发育受基因调控

3.花器官形成的条件

- 营养条件
- 内源激素对花芽分化的调控
- 外界环境因子

营养条件

- 物质基础

- 1. 尤其是糖类，是花器官形成的碳源和能源

- 有些植物如洋水仙和葱类，积累足够糖类，暗处也能开花

- 2. 蛋白质，氮素

- 过量施用氮肥常促进营养生长，抑制成花过程

- 碳氮比 (C/N) 学说

- 处在上部枝梗与枝梗顶端的花发育早，优先获得较多的营养物质，成为强势花而发育正常；而处在下部枝梗的花因发育迟，则成为生长不良的弱势花

内源激素对花芽分化的调控

五大植物激素：

- IAA（吲哚乙酸）
- CTK（细胞分裂素）
- ABA（脱落酸）
- ETH（乙烯）
- GA（赤霉素）
- GA可抑制多种果树的花芽分化；CTK、ABA和乙烯则促进果树的花芽分化；IAA低浓度起促进作用而高浓度起抑制作用
- 植物在营养生长期和生殖生长期茎的不同表皮细胞中一些内源激素含量不同

外界环境因子

- 充足的光照
- 适宜的温度
- 良好的供水
- 科学的施肥

植物的性别分化与表达

植物性别的独特性，与动物不同

- **动物雌雄个体间存在明显差异，第二性征**
- **动物性别分化一般只形成雄性个体和雌性个体**
- **动物在发育早期性别分化已确定，雌雄性别间一般很难改变；高等植物一般在个体发育后期才完成性别表达(sex expression)，其性别分化极易受到环境因素或化学物质的影响**

植物性别表现类型

- 两性花
- 雌花
- 雄花
- 雌雄同株异花
- 雌花\两性花
- 雄花\两性花
- 雌花\雄花\两性花(三性花株)

表 9-8 高等植物性别表现的主要类型

性别表现类型	同一植株上可能形成的花型	代表植物举例
雌雄同株同花型 (hermaphroditism)	两性花	小麦、番茄、拟南芥
雌雄同株异花型 (monoecism)	雄花和雌花	玉米、黄瓜、白麦瓶草
雌雄异株型 (dioecism)	雄花或雌花	菠菜、大麻、杨、柳
雌花两性花同株型 (gynomonoecism)	雌花和两性花	金盏菊、灰绿藜
雌花两性花异株型 (gynodioecism)	雌花或两性花	小薊
雄花两性花同株型 (andromonoecism)	雄花和两性花	硬毛茄、槭树、元宝枫
雄花两性花异株型 (androdioecism)	雄花或两性花	栎树

雌雄个体的生理差异

- 代谢上有明显差异

呼吸速率

- 内源激素的含量有明显差异
- 雌株中RNA、叶绿素、胡萝卜素、糖类含量明显高于雄株

性别分化的调控

- 遗传控制

性染色体

性别基因

- 年龄

- 环境条件

光周期，温度，营养条件

- 植物激素与性别表达

表 9-9 不同性别植株或性器官植物激素含量比较

植物激素	植物种类	器 官	相对含量比较
生长素	黄瓜 (<i>Cucumis sativus</i>)	茎 尖	雌株 > 雌雄同株
	芦笋 (<i>Asparagus officinalis</i>)	幼 花	雄株 > 雌株
细胞分裂素	芦笋 (<i>Asparagus officinalis</i>)		雌株 > 雄株
	山梨 (<i>Mercyrialis annua</i>)		雌株 > 雄株
赤霉素	玉米 (<i>Zea mays</i>)	花 序	雌花序 > 雄花序
	黄瓜 (<i>Cucumis sativus</i>)	幼雄芽	雌雄同株 > 雄株
脱落酸	大麻 (<i>Cannabis sativus</i>)	叶片、花序	雌株 > 雄株
	黄瓜 (<i>Cucumis sativus</i>)	叶片、茎端	雌株 > 雌雄同株
乙 烯	黄瓜 (<i>Cucumis sativus</i>)	花 芽	雌花芽 > 雄花芽

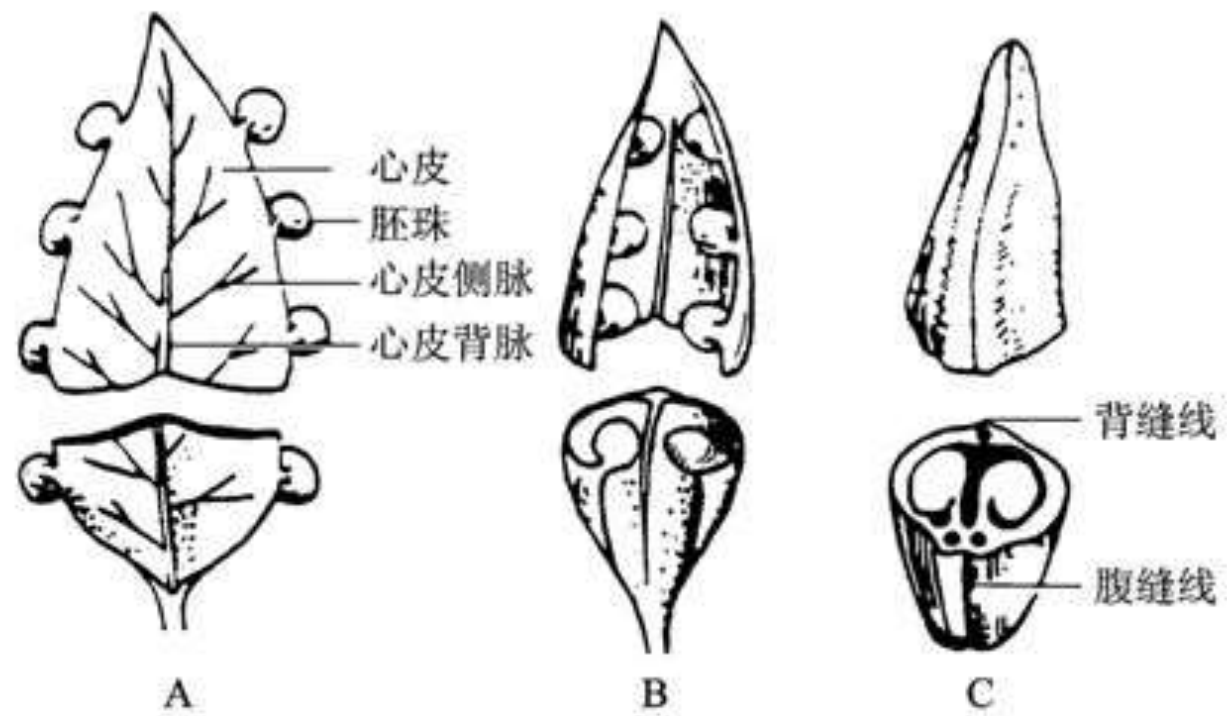
花器官发育的基因调控

- 控制花结构的这些基因按功能可分为三大类：A组基因控制第一、二轮花器官的发育，其功能丧失会使第一轮萼片变成心皮，第二轮花瓣变成雄蕊；B组基因控制第二、三轮花器官的发育，其功能丧失会使第二轮花瓣变成萼片，第三轮雄蕊变成心皮；C组基因控制第三、四轮花器官的发育，其功能丧失会使第三轮雄蕊变成花瓣，第四轮心皮变成萼片。花的四轮结构花萼、花瓣、雄蕊和心皮分别由A、AB、BC和C组基因决定



自然界的花与花色

- **繁殖器官**
- **花是节间极度短缩的变态枝条**
- **花萼、花瓣、雄蕊、雌蕊、心皮等都是叶片的变态器官**
- **叶原基→花原基**
- **重瓣花：雌雄蕊瓣化**







花的一般形态

- **花梗**：花着生的小枝；有无或长短不同；果柄
- **花托**：花梗顶端膨大的部分；莲蓬，苹果，梨
- **花萼**：最外面，通常绿色叶状，有些形似花冠
- **花冠**：花萼内侧，色彩鲜艳，有些可分泌蜜汁
- **雄蕊**：花丝、花药
- **雌蕊**：柱头、花柱、子房；雌蕊由一个心皮卷合或数个心皮边缘互相连合发育而成，心皮是具有生殖作用的变态叶

花色

花色：狭义的指一朵花色彩明显的部分，尤其是指发育成花瓣状的那部分的颜色

•花冠：内花被

•花萼：外花被，如百合、水仙、鸢尾等

•雄蕊瓣化：重瓣牡丹、重瓣月季

•苞片：一品红

显眼的花

- 隐花植物
- 显花植物

风媒花：不显眼；无花瓣或花瓣很小，花色不起眼

虫媒花或鸟媒花：花瓣大，色彩鲜艳，大部分有浓郁的芳香

昆虫的进化与花瓣颜色与形态的多样化进化关系密切

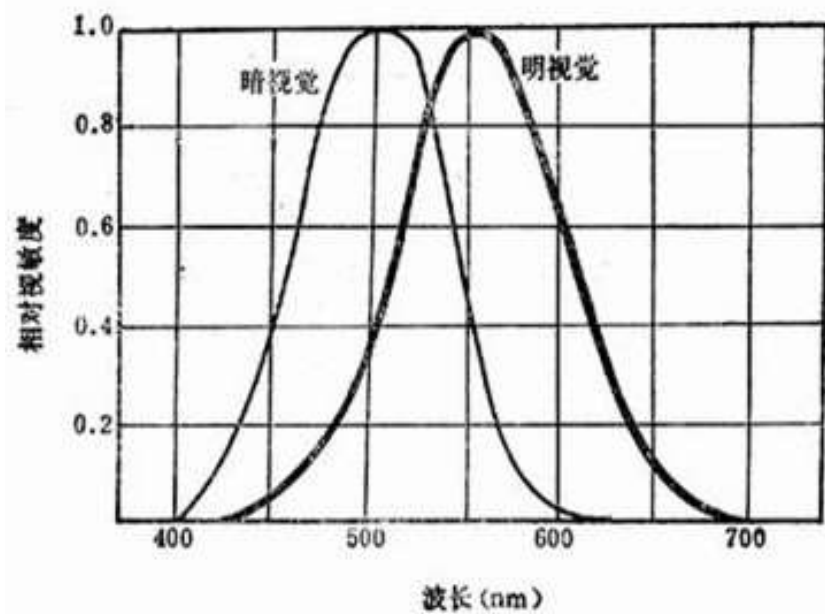
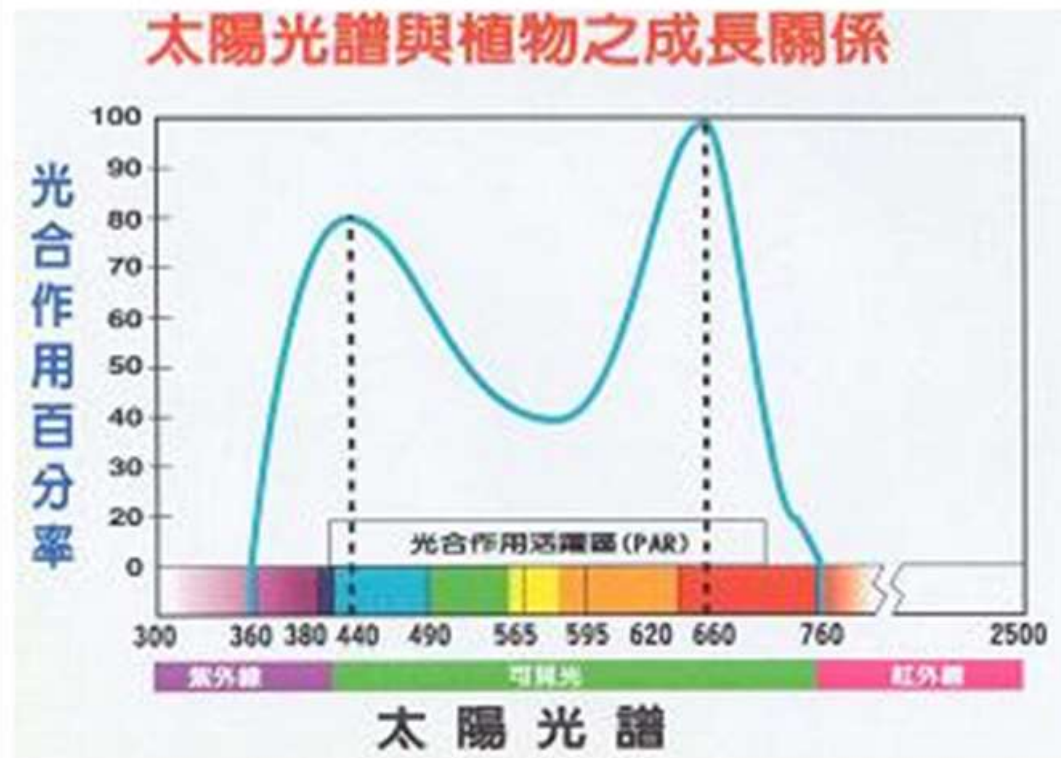


图1.1-5 视敏函数曲线

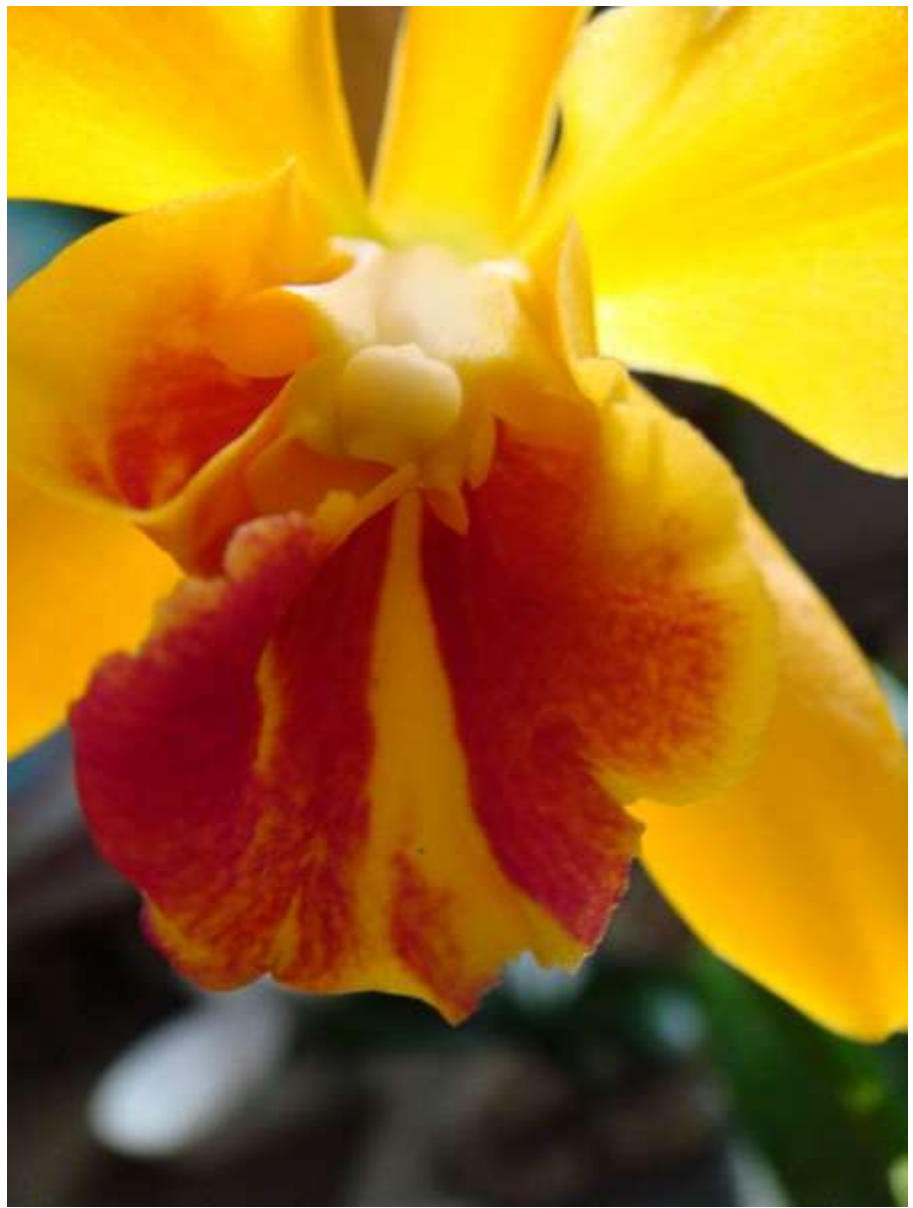


昆虫眼中的花

- 花瓣大小的增加、花瓣颜色的多样化
- 蜜蜂具有区分黄色、蓝绿色以及紫外线的能力，尤其对蓝色有特殊偏爱；不能区分红与黑、黄与橙、蓝与紫的差别；可区分人类无法辨别的淡黄色（近白色）
- 蝴蝶可对红色产生色感
- 有些花在花心部位带有与底色不同的条纹或斑点，称为花蜜向导（蜜标识）



























花色的研究简史

- 19世纪中期，孟德尔的豌豆杂交试验，奠定了花色遗传的理论基础
- 1910-1930年德国Willstatter和瑞士Karrer分离出结晶的类胡萝卜素并研究其化学结构
- 截至20世纪中期，很多人从事色素化学的研究
- 观赏植物花色遗传育种

观赏植物的花色改良

- 杂交
- 嵌合体选育
- 辐射育种
- 分子生物学手段：色素物质生物合成在基因调控水平上的研究

1983年分离出控制黄酮类化合物生物合成基因

1985年第一例基因工程改变花色

分离蓝色基因：蓝色花系

花色的化学基础

- 类胡萝卜素 (carotenoids)
- 类黄酮 (flavonoids)
- 其他色素

甜菜红素类：含有氮，吡啶衍生物，水溶液呈红色或肉色；甜菜红素和甜菜黄素；“含氮花色素苷”；存在于甜菜的根和仙人掌类的花中

类胡萝卜素

- 包括胡萝卜素和胡萝卜醇
- 红色、橙色、黄色
- 花、叶、根、果实等
- 胡萝卜素为碳氢化合物
- 一般不溶于水，可溶于脂肪和类脂
- “质体色素”



类黄酮

- 以黄酮结构为基础的一类物质的总称

花色素苷为红色系，查耳酮、橙酮为深黄色，其他为淡黄色或近于无色

- 近4万种
- 强光、紫外线，促进次生代谢物类黄酮的合成，保护植物免受强光或紫外线灼伤
- 吸引动物传粉，防止病原微生物侵袭

花色素苷

- 红色、紫色、蓝色
- 可溶性糖苷形式
- 花色素：糖苷配基
- 天然花色素：花青素、天竺葵色素、飞燕草色素、芍药色素、矮牵牛色素、锦葵色素、报春花色素
- 花青素：低pH值时橙红色-紫色，近中性无色，高pH值时蓝色



2025/11/10

花黄色素

- 黄酮和黄酮醇
- 象牙白色至深黄色
- 糖苷形式，可溶

色素在花瓣中的分布

- 一般存在于上表皮细胞中
- 栅栏组织和海绵组织细胞，下表皮细胞
- 类胡萝卜素以沉积或结晶形式存在于细胞质内色素体上（质体）
- 类黄酮以溶解于细胞液的状态存在于液泡中

花色和色素种类

- 奶油色、象牙色、白色：黄酮，黄酮醇
- 黄色：类胡萝卜素
- 绯红色、橙色、褐色：类胡萝卜素，花色素苷
- 深红色、粉红色、紫色、蓝色、黑色：花色素苷





2025/11/10





2025/11/10



2025/11/10



2025/11/10

花瓣组织结构对花色的影响

- 肉眼所看到的花色并非色素的原本色调

- 白色花

气泡

- 黑色花

花色素苷

花瓣表皮细胞的形态



littlemouse



littlemouse

花色的遗传改良

- 杂交育种
- 突变育种
- 辐射诱变
- 利用生物技术改良花色

彩斑现象

- 花瓣或叶片上有不同色彩的条纹或斑点
- 人类有意识的选择
- 叶片彩斑：花叶与变色叶
- 花瓣彩斑：花环、花心（花眼）、花斑、花肋、花边以及不规则彩斑

• 不规则彩斑出现的原因

质体（叶绿体）的分离和缺失

易变基因的突变

位置效应

染色体畸变

病毒感染：郁金香













花朵大小的遗传

增加花朵直径的途径

- 良好的栽培条件
- 增加花朵直径的遗传学途径

杂交的超亲现象

诱发多倍体

诱发突变

增加重瓣性

发掘多基因系统的潜力

花被的进化趋势

- 花被是进化上的新事物：叶器官瓣化

吸引昆虫授粉，保护子房

- 花萼和花瓣的分化
 - 合瓣花的形成和合萼的发生
 - 由辐射对称花被向两侧对称花被转变
- “站台”



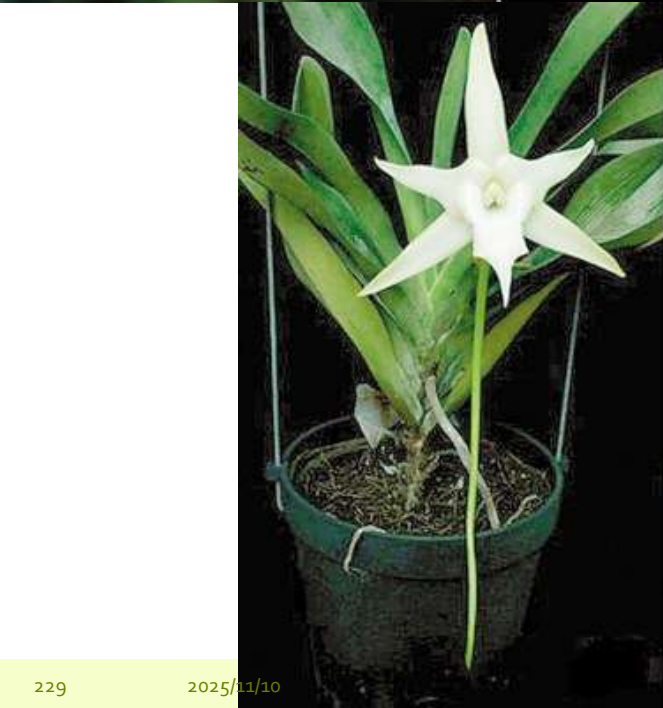














雄蕊的进化趋势

- 花丝延长
- 雄蕊数目改变：减少雄蕊数量
- 雄蕊不育化
- 花丝合生成雄蕊柱：锦葵科
- 雄蕊贴生于花冠



植物的成熟和衰老生理

种子成熟时的生理生化变化

- 贮藏物质的变化

可溶性低分子化合物→不溶性高分子化合物

淀粉、蛋白质、脂肪

- 呼吸速率的变化

- 含水量的变化

- 内源激素的变化

- 外界条件对种子成熟和化学成分的影响

休眠

- 休眠与环境适应
- 种子的休眠
- 芽休眠
- 休眠的延长和打破

果实的生长和成熟

- 果实生长与激素
- 果实呼吸跃变及与乙烯的关系
- 果实呼吸跃变与果实贮藏
- 肉质果实成熟时的生理生化变化

色泽：色素变化

硬度：细胞壁降解

香气：挥发性酯类、醛类、酮类

味道：糖类，有机酸，单宁

植物的衰老

- 植物衰老的模式

整体衰老型，地上部衰老型，落叶衰老型，渐进的衰老型

- 衰老过程中细胞结构的变化

- 衰老时的生理生化变化

- 衰老的激素调节

- 环境条件对衰老的调节

器官脱落

- 离层
- 脱落的激素调控
- 影响脱落的因素

内在因素

环境条件

- 控制器官脱落

植物的抗性生理

➤ 逆境或胁迫：抗逆性

- 抗寒性
- 抗旱性
- 抗热性
- 抗盐性
- 氧胁迫

活性氧：叶绿体，线粒体

- 抗病性
- 环境污染对植物的为害

谢谢!

