

植物的生长生理

第一节 细胞的生长和分化

第二节 种子的萌发 ※

第三节 植物生长的周期性

第四节 植物生长的相关性 ※

第五节 外界条件对植物生长的影响

第六节 光形态建成与光受体 ※

第七节 植物的运动

本章概述

植物生长（plant growth）:植物在体积、数目和重量上的不可逆增加，是由细胞分裂、细胞伸长以及原生质体、细胞壁的增长引起的。



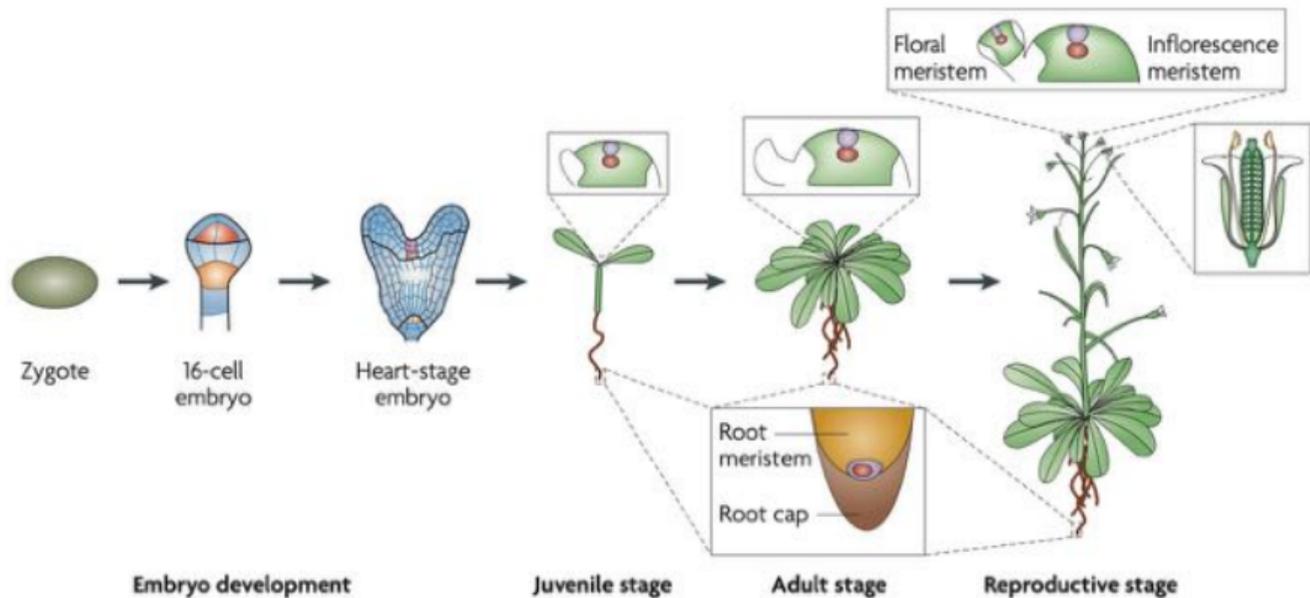
生长-是量变，是基础



分化-是质变，变异生长



发育-是器官或整体有序的量变与质变
(生长和分化的总和)



一般将植物从**种子萌发**到**形成新种子**的整个过程称为**植物的发育周期**。

第一节 细胞的生长和分化（自学为主）

植物的生长是以细胞的生长为基础——通过**细胞分裂**增加细胞数目，通过**细胞伸长**增加细胞的体积，通过**细胞分化**形成不同的组织和器官。

一、细胞的分裂

具有分裂能力的细胞：根和茎的顶端分生组织及侧生分生组织细胞。细胞质浓厚，代谢旺盛。

分裂：细胞生长到一定阶段通过有丝分裂，一分为二。

细胞周期

分裂间期

G₁期 — DNA复制前期：
RNA和蛋白质的合成

S期 — DNA复制期（细胞核体积
达到最大体积一半时）

G₂期 — DNA复制后期：RNA
和蛋白质的合成

细胞分裂期（M期）

GA缩短G₁期和S期所需的时间，CTK促进S期DNA的合成，生长素在分裂较晚时期促进rRNA的合成。

The Cell Cycle

Interphase

The cell grows and copies its DNA

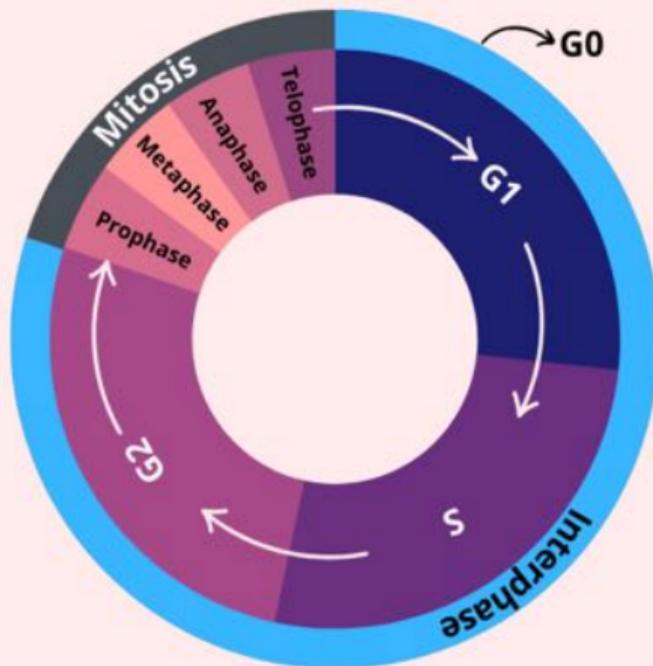
- **G₁**: Cell growth
- **S**: DNA synthesis
- **G₂**: More growth, preparation for mitosis

Mitosis

The cell divides its DNA and cytoplasm, forming two new cells

- **Prophase**
- **Metaphase**
- **Anaphase**
- **Telophase**

G₀: Resting state where the cell performs its functions and is not preparing to divide



二、细胞的伸长

在细胞伸长期，细胞体积显著增加——细胞壁和原生质的增加，呼吸速率增加2~6倍。呼吸作用的加强和蛋白质的积累是细胞生长的基础。

CTK促进细胞横向生长；GA和IAA促进细胞伸长；ABA和ETH抑制细胞伸长。

三、细胞的分化

细胞分化 (cell differentiation) : 指分生组织细胞转变为形态结构和生理功能不同的细胞群的过程。

植物细胞的生长分为三个时期：**分裂期**、**伸长期**和**分化期**

细胞分化的内部调控机理

1、通过极性控制分化

极性是分化产生的第一步，极性的存在使形态学上端分化出芽，下端分化出根。

极性建立后难于逆转

- ✓ 茎的形态学上端长芽，形态学下端长根。
- ✓ 对根切段也是形态学上端长芽，形态学下端长根。因此在扦插时不可倒插。

2、通过激素控制分化

IAA促进愈伤组织分化出根，CTK促进分化出芽。

3、通过基因调控分化

如开花基因活化，可导致成花。

4、糖浓度：

- ✓ 低浓度糖：1.5%~2.5%，丁香茎髓愈伤组织仅分化出木质部；
- ✓ 高浓度(4%)时仅分化出韧皮部；
- ✓ 中等浓度(2.5~3.5%)时同时分化出木质部和韧皮部，中间具形成层。

四、组织培养(P241)

植物细胞全能性 (totipotency)：指每一个活细胞具有产生一个**完整个体的全套基因**，在适宜的条件下，细胞具有发育成完整植株的潜在能力。

植物细胞全能性是细胞分化的理论基础和植物组织培养技术的理论依据。

（一）定义、优点

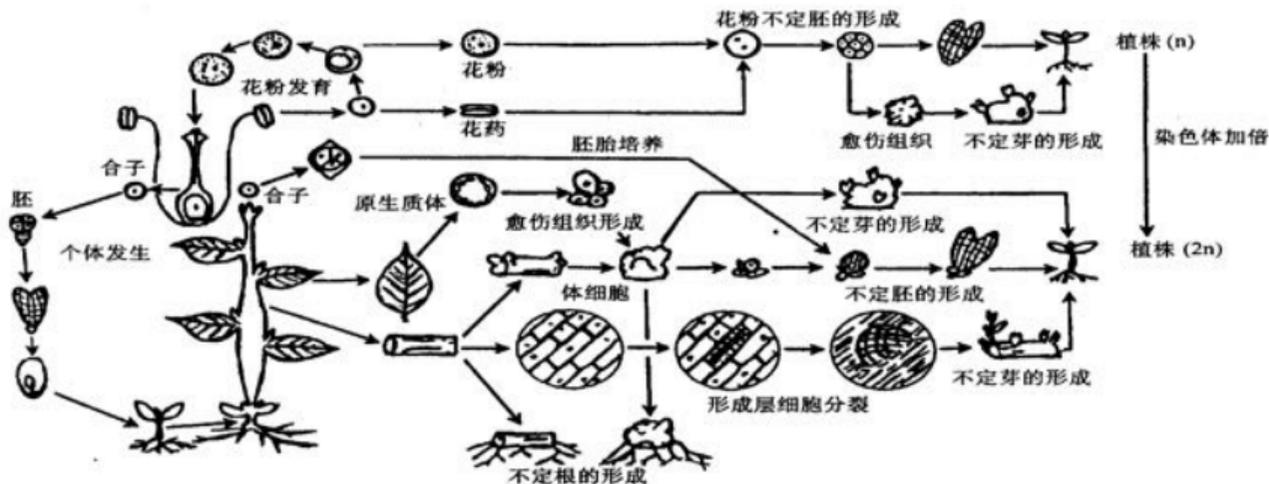
组织培养（plant tissue culture）：指在无菌条件下，分离并在培养基中培养离体植物组织、器官或细胞的技术。

理论基础：植物细胞具有全能性

(二) 种类

根据培养对象的不同，可分为：**器官培养**、**组织培养**、**胚胎培养**、**细胞培养**和**原生质体培养**。

由高等植物的细胞、组织和器官培养成植株的过程



（三）组织培养的原理

脱分化：外植体 $\xrightarrow{\text{细胞分裂}}$ 无结构的愈伤组织的过程。

再分化：愈伤组织细胞 $\xrightarrow{\text{适宜的条件下}}$ 胚状体或植株的过程。

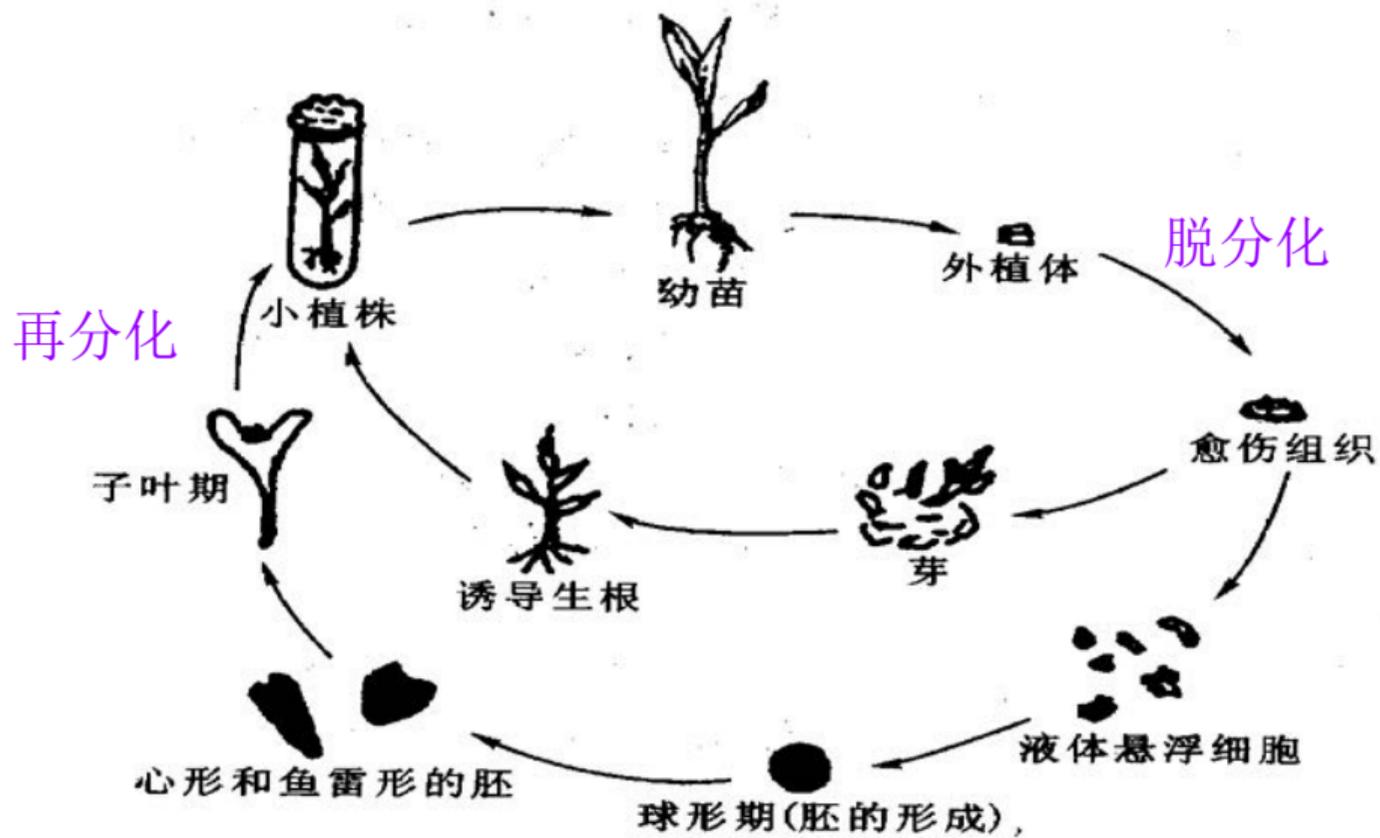


图 7-6 植物组织培养的过程

第二节 种子的萌发 ※



一、概念

1、种子萌发

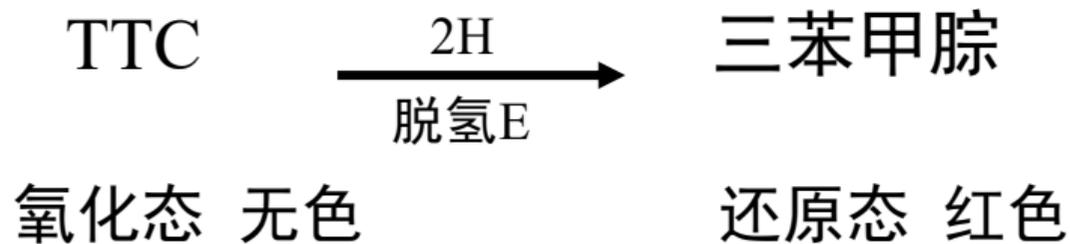
种子萌发 (seed germination) : 种子吸水到胚根突破种皮 (或播种到幼苗出土) 之间所发生的一系列生理生化变化。

2、种子生活力

种子生活力 (seed viability) : 指种子能够萌发的潜在能力或种胚具有的生命力。

鉴定种子生活力的方法：

(1) 利用组织还原能力（TTC染色法）



TTC: 三苯基氯化四氮唑 (triphenyl tetrazolium chloride)



2、利用原生质的着色能力 —（染料染色法）

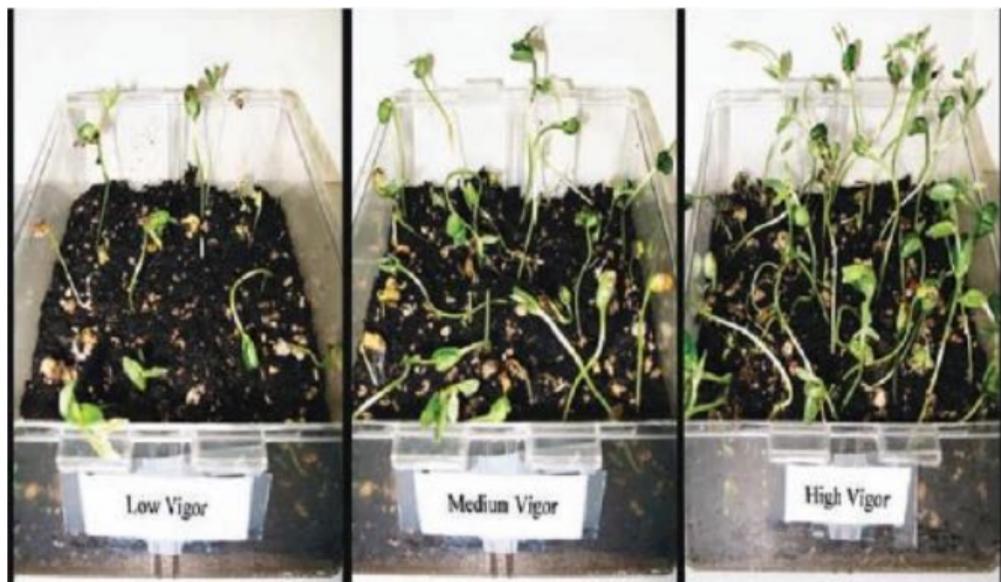
活种子的原生质膜有选择透性，不选择吸收染料，原生质（胚）不着色。

3、利用细胞中的荧光物质

具有生活力的种子能发出明亮的荧光。

种子活力 (seed vigor)：种子在田间状态下迅速而整齐地萌发并形成健壮幼苗的能力。包括种子萌发成苗的能力和**对不良环境的忍受力**两个方面。

种子活力与种子的大小、成熟度、贮藏条件和贮藏温度有关。



种子寿命 (seed longevity) : 从种子成熟到失去发芽力的时间。

- 顽拗性种子：不耐脱水和低温，寿命很短，如：
热带的可可、芒果种子
- 正常性种子：耐脱水和低温，寿命较长，如：
水稻、花生

种子寿命与种子**含水量**和**贮藏温度**有关。

AGRI-RESEARCH

How long do seeds live? A 100-year experiment to tell

September 1, 2020 - by Agriculture Post - Leave a Comment



莲子沉埋千年后，为何还能发芽开花？

来源：中国日报网 作者：陈娟 发布时间：2019-07-16 12:45

分享到： 

本频道原创文章/视频

说明同德地三三的千年古莲子，神秘的发芽，究竟的真相，呈现各式科技，一版版上海博物馆，同是九叶“神奇”，感叹，这是“生命的奇迹”！



种子老化与劣变(自学)

老化(Seed aging): 种子的自然衰老。

劣变(Seed deterioration): 种子生活力逐渐降低，生理机能恶化，包括化学成分的质变及细胞结构的破坏，表现为活力下降。

种子萌发前休眠的破除

种子休眠：活种子在适宜的萌发条件下（温度、水分和氧）下仍不能萌发的现象。

常见方法：

晒种（如40-50℃）

化学处理：双氧水、GA、PEG、硫酸、硝酸等

物理方法：变温处理、去壳、低温等

二、影响种子萌发的外界条件 ※

1、足够的水分

吸水是种子萌发的第一步：

- (1) 水分使种皮膨胀软化，氧易透过种皮，增加胚的呼吸，胚根易突破种皮
- (2) 水分使原生质从凝胶态转变为溶胶态，代谢水平提高

2、充足的氧气—有氧呼吸

种子萌发要求含氧量高于10%。花生、大豆、棉花等含脂肪较多的种子萌发时，较淀粉种子需更多的氧气。

3、适宜的温度—酶促反应

不同作物种子萌发时需要温度高低不同，与其原产地密切相关。20-25°C

4、光 — 有的种子萌发需光

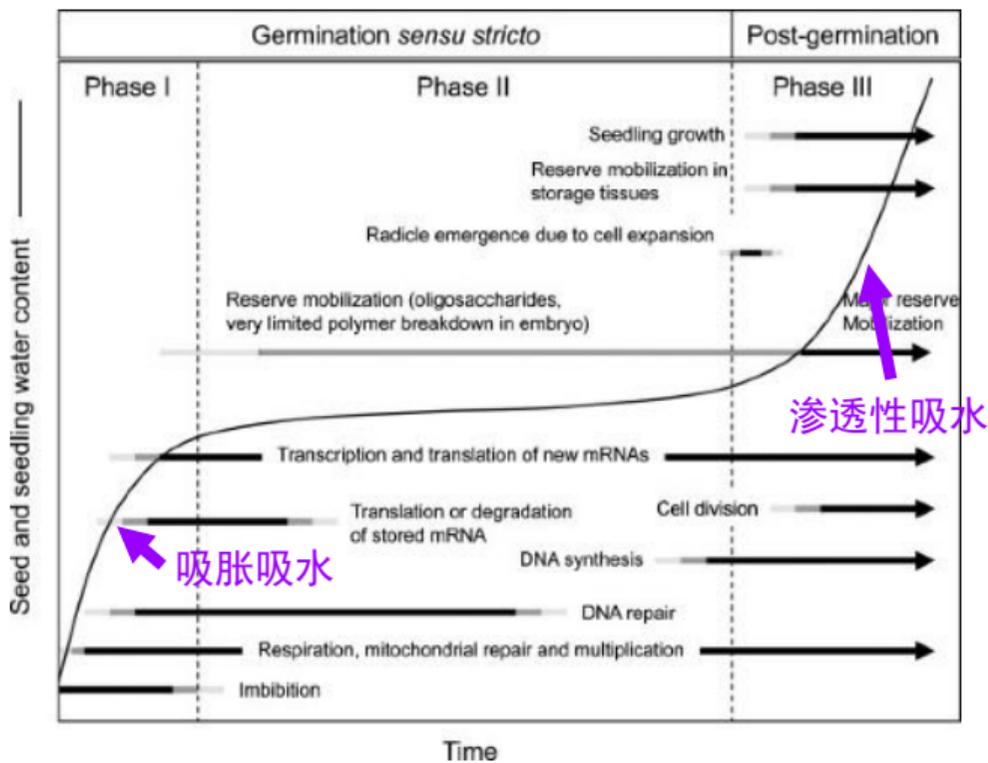
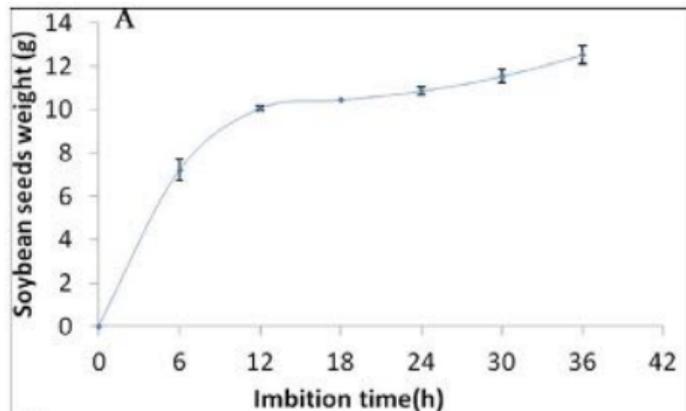
- 需光种子：莴苣、烟草、杂草种子
- 需暗种子：茄子、番茄、瓜类种子
- 对光不敏感种子：有光无光都可

三、种子萌发时的生理生化变化 ※

(一) 种子吸水

种子的吸水分三个阶段：

- 急剧吸水阶段 — 吸胀性吸水
- 吸水停顿阶段
- 胚根出现 大量吸水阶段 — 渗透性吸水



种子萌发的三个阶段和生理转变过程示意图

2、呼吸作用的变化

在吸水的第一和第二阶段， CO_2 的产生大大超过 O_2 的消耗 — 无氧呼吸；吸水的第三阶段， O_2 的消耗大于 CO_2 的释放 — 有氧呼吸。

3、酶的变化

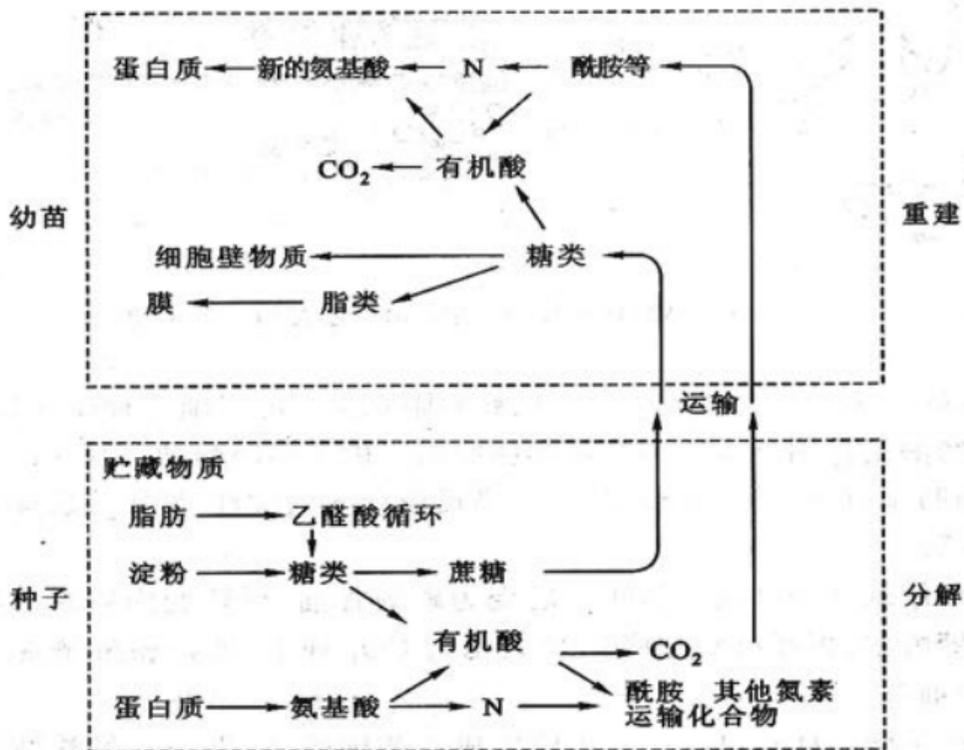
酶原的活化：种子吸胀后立即出现，
如： β -淀粉E

重新合成：如 α -淀粉E

其mRNA { 可能由DNA转录而来
 { 已经存在于干燥种子—
 —长命mRNA

4、种子贮藏有机物的转变

- ❑ 淀粉的动员
- ❑ 脂肪的动员
- ❑ 蛋白质的动员
- ❑ 植酸的动员
- ❑ 激素的变化



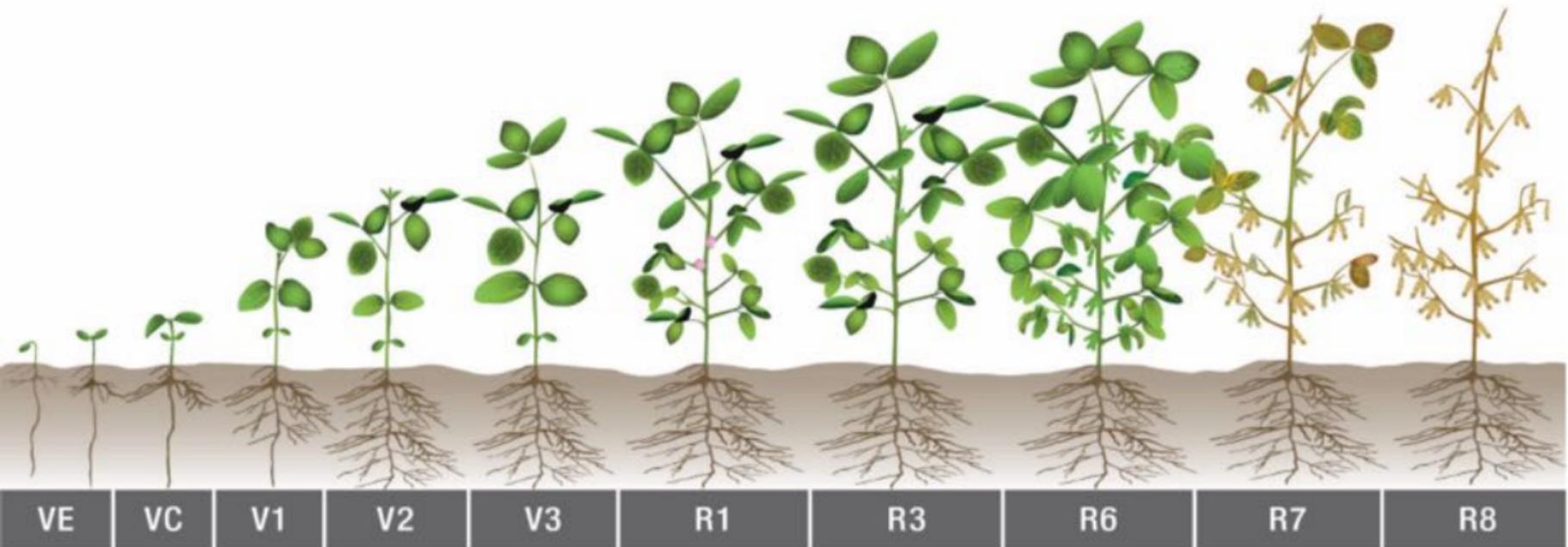
五、种子预处理与种子萌发的调节

目的：

- ❑ 缩短萌发所需时间（打破休眠）；
- ❑ 提高幼苗的整齐度（打破休眠）；
- ❑ 提高种子活力；
- ❑ 提高种子和幼苗的抗逆能力。

打破休眠、种子消毒

第三节 植物生长的周期性※

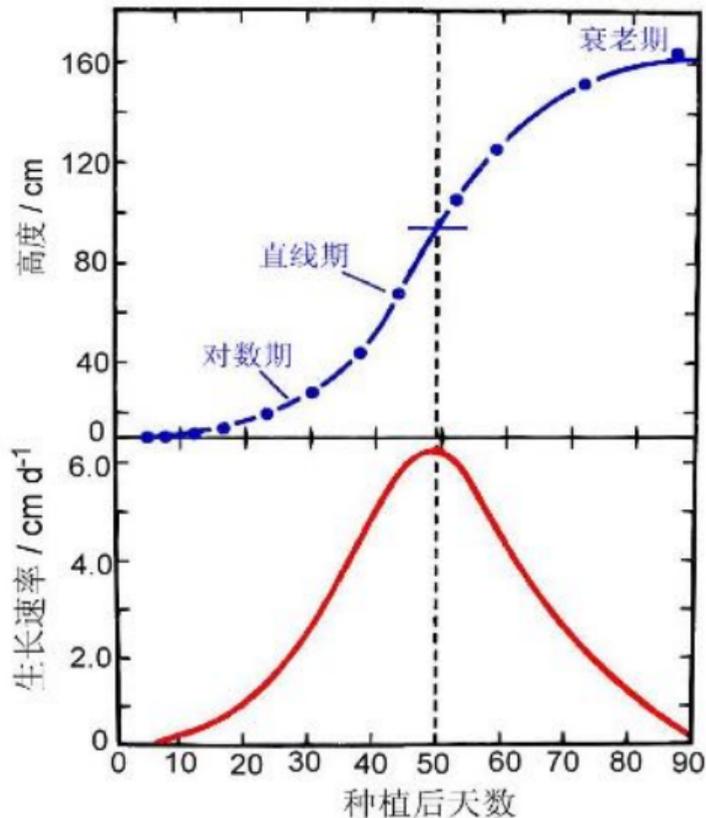


Source: University of Illinois, 1999

植物生长的周期性：指在植物的生长周期中，植株和器官的生长速率随季节和昼夜发生有规律变化的现象。

一、植物的生长大周期

生长大周期（grand period growth）：植物在不同生育时期的生长速率表现出**慢—快—慢**的变化规律，呈现“S”型的生长曲线。



生长初期植株幼小，合成物质总量少，**生长慢**；

生长中期植株光合能力加强，合成物质总量多，**生长快**；

生长后期植株衰老，光合能力下降，物质合成速度减慢，**生长减慢或停止**。

“不误农时”！

玉米的生长曲线

二、植物生长的温周期性

温周期性：植物的生长按温度的昼夜周期性发生有规律的变化。

夏季，植物的生长速率白天较慢；

冬季，植物的生长速率白天较快。

三、植物生长的季节周期性

季节周期性：植物的生长在一年四季中发生规律性的变化。

原因：影响植物生长的外界因素不同。

年轮的形成（早材、晚材）

植物生长的季节周期性是植物对环境周期性变化（**光照、温度、水分**）的适应。

第四节 植物生长的相关性 ※

植物生长的相关性：植物各部分间的相互制约与协调的现象。

- ❖ 地上-地下
- ❖ 主茎-分枝
- ❖ 营养生长-生殖生长

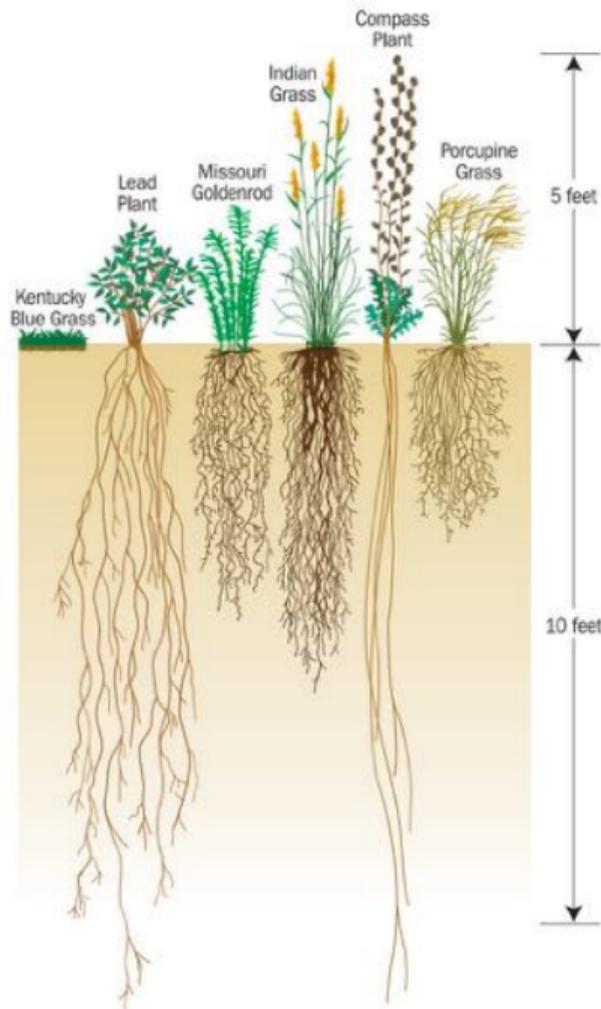
一、地下部与地上部的关系

1、相互依赖—营养物质和植物激素（信息）的交流

根生长所需的糖类、维生素需地上部供给；
而地上部生长需根部吸收的水分、矿物质和CTK等。

“根深叶茂”

“本固枝荣”



2、相互制约 — 对水分、营养的争夺

(1) 水分 — “旱长根，水长苗”

根冠比 (root/top ratio, R/T 比)

缺水, R/T增加; 水分充足, 根冠比减小

A、根和胚芽鞘的生长所要求的含氧量不同

根的生长：（1）细胞的伸长和扩大；
（2）细胞分裂—需有氧提供能量和重要的中间产物

胚芽鞘的生长：细胞的伸长和扩大（当然也需要细胞分裂为基础，但是空气中一般不缺氧）

B、与生长素含量有关

水少、供氧充足，IAA氧化酶活性升高，IAA含量降低，抑制胚芽鞘生长，促进根的生长。

C、与呼吸酶有关

胚芽鞘呼吸酶以**细胞色素氧化酶**为主，与氧亲和力高；幼根以**抗氰氧化酶**为主，与氧亲和力低。

(2) 矿物质

缺N，R/T增大

缺N对地上部分影响较大；缺N地上部分蛋白质合成减少，对根系供应的糖分增多，促进根的生长

P充足，R/T增大

P有利于地上部光合产物的转运，促进根系生长

(3) 温度—低温, R/T 大

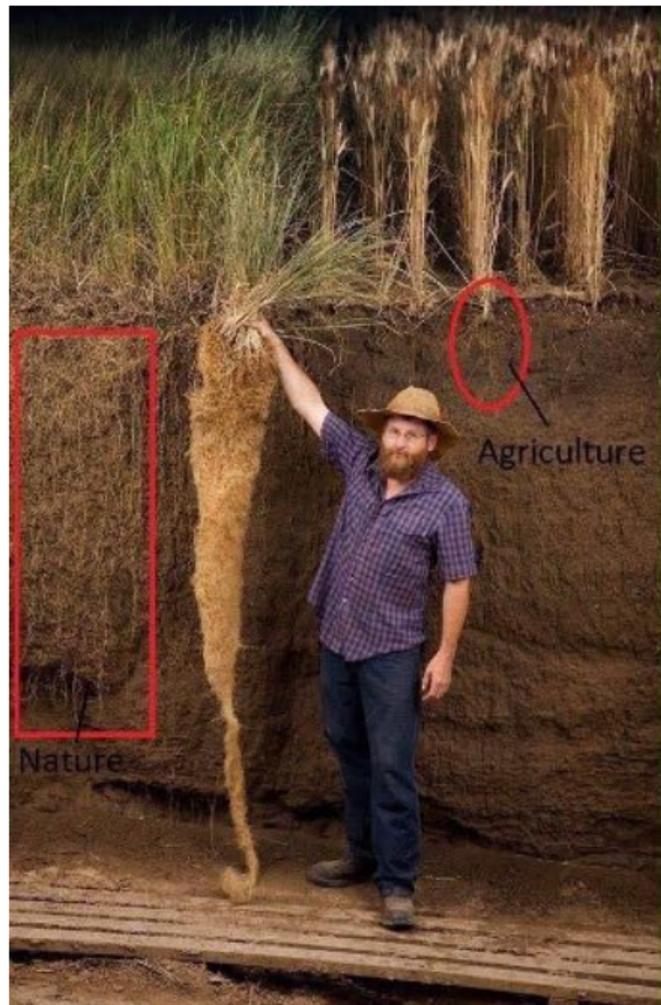
(4) 光照—光照强, R/T 大

在农业生产上, 可用**水肥措施**来调控作物的根冠比, 促进收获器官的生长。

‘小根系’是作物高产育种的后果之一



Dr. Jerry Glover works in a soil pit at the Land Institute in Salina, Kansas. On the left, the deeper roots of wheatgrass are displayed, while the more shallow roots of wheat are visible on the right.



二、主茎与侧枝/主根与侧根的相关性（复习生长素）

顶端优势：植物顶端在生长上占优势的现象。



水杉



玉米



水稻

机理假说：

营养学说：顶芽构成营养库，占用了大部分的营养物质，而侧芽因缺乏营养物质而生长受到抑制。

顶芽先形成因而具有竞争优势；侧芽与主茎间没有维管束的直接连接。

生长素学说：顶芽合成的IAA极性运输到侧芽，抑制侧芽的生长。

GA在顶芽存在时可加强顶端优势，CTK可解除顶端优势。顶端优势可能是由于多种激素的综合作用。

三、营养生长与生殖生长的相关

1、相互依赖

营养生长是生殖生长的物质基础；在生殖过程中产生的激素类物质作用于营养生长。

2、相互制约

营养器官生长过旺，消耗较多养分，影响生殖器官的生长——水稻。

生殖器官的生长抑制营养器官的生长。

- 一次性开花植物 — 水稻、竹子
- 果树的大小年现象。
- 在生产上，利用营养生长与生殖生长的相关性制定相应措施。



四、植物生长的独立性

植物的极性(polarity)：植物的器官、组织或细胞的形态学两端在生理上所具有的差异性（即异质性）。

再生(regeneration)：植物体的离体部分具有恢复植物体其他部分的能力

生长的四大基本特性：

慢—快—慢特性

空间上的相关性

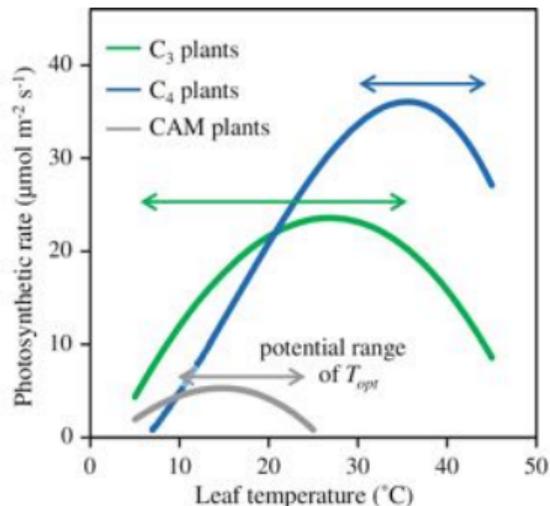
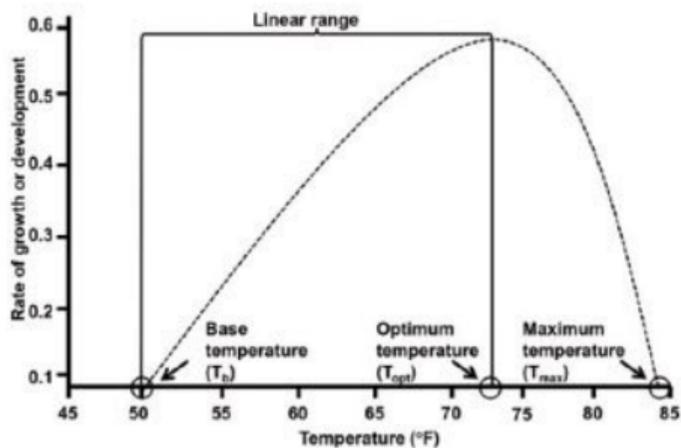
时间上的周期性

生理上的异质性

第五节 外界条件对植物生长的影响 ❌

一、温度对植物生长的影响

温度三基点（最低、最适、最高）与原产地有关。



生长的最适温度：植物生长最快的温度。

生长最快往往影响植物健壮度，抗性下降

协调最适温度：在生产实践上为培育健壮的植株，常要求在比生长的最适温度略低的温度下进行。

二、水分对植物生长的影响（自行复习水分生理）

植物体缺水时，细胞分裂和细胞伸长都受到影响，
但细胞伸长对缺水更敏感——干根湿芽。

三、光对植物生长的影响 ※

(一) 间接作用——光通过光合作用为植物的生长提供物质和能量基础。

(1) 光强——在一定范围内，光合速率随光强的增强而升高。光饱和现象和光抑制。

(2) 光质——主要影响光合效率。红光光合效率最高，绿光最差。

（二）直接作用——光控制植物的形态建成

光形态建成：光控制植物生长、发育和分化的过程。

1、光影响种子萌发

2、日照时数影响植物生长与休眠

大多数多年生植物都是长日照条件促进生长，短日照诱导休眠。

3、光与植物的运动

如向光性，茎叶有正的向光性，根有负的向光性。

此外，一些植物叶片的昼开夜合、气孔运动等都受光的调节。

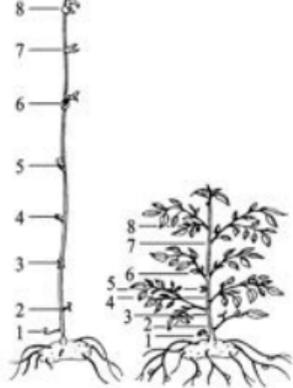
4、光与植物的营养生长

(1) 光抑制茎的生长

原因：IAA含量降低

a、光照使自由IAA转变为无活性的结合态IAA 暗下 光下

b、光照提高IAA氧化E 活性，加速IAA的分解



(2) 光抑制多种作物根的生长

光可能促进根内形成ABA，或增加ABA活性

(3) 强光下，叶片小而厚；弱光下，叶片大而薄

5、光与成花诱导（下一节重点介绍）

自然界许多植物开花受光周期的诱导，如长日植物小麦、短日植物苍耳等

论述题：试述光对植物代谢及生长发育的影响

四、矿质营养等其他因素对植物生长的影响

高山上的树木为什么比平地生长的矮小？

- a、高山上云雾稀薄，强光特别是紫外光抑制植物生长
- b、高山上缺水、缺肥，抑制植物生长
- c、气温较低，且昼夜温差较大
- d、高山风力较大，使植株受到的机械刺激多，破坏体内激素平衡，抑制植物生长发育

这些因素不利于树木纵向生长

早春育苗时采用浅蓝色还是透明薄膜覆盖好？

第六节 光形态建成※

	光合作用	光形态建成
作用方式	以能量的方式	以信号的方式
反应	高能反应，与光强弱有关	低能反应，与光能的有无、性质有关
光受体	光合色素	光敏色素、隐花色素、紫外光-B受体

植物的光受体系统

- **光敏色素** (Phytochrome) : 感受红光和远红光区域的光 (650-740 nm)
- **隐花色素** (蓝光、近紫外光受体, Blue/UV-A photoreceptor) : 感受蓝光 (450-500 nm) 和近紫外光 (320-400 nm) 区域的光
- **紫外光-B (UV-B) 受体**: 感受紫外光B区域 (280-320 nm) 的光

一、光敏色素（phytochrome）的发现和分布

顺次暴露在R和FR后，莒苳种子的发芽情况

光照处理	发芽率（%）
黑暗（对照）	8
R	98
R+FR	54
R+FR+R	100
R+FR+R+FR	43
R+FR+R+FR+R	99

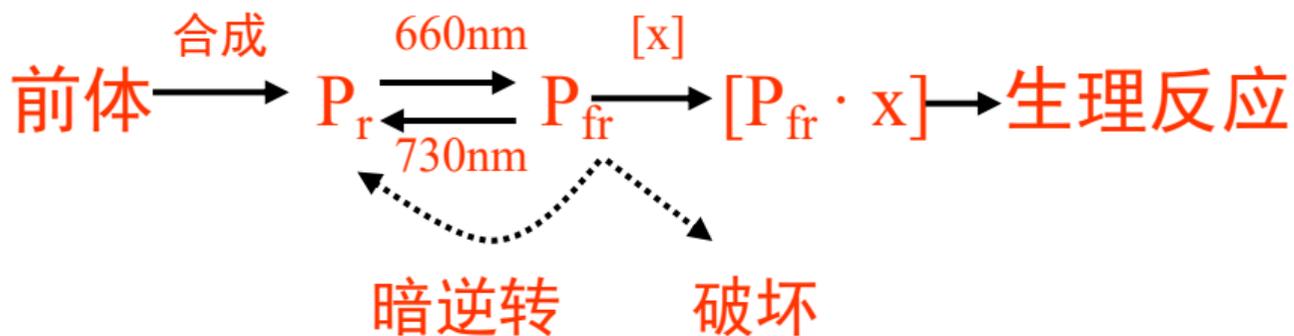
莒苳种子受到促进或抑制只与最后一次照射的光质有关，红光促进，远红光抑制。

提出具有两个光转换形式的色素吸光系统，分别在红光区和远红光区有较强吸收峰。

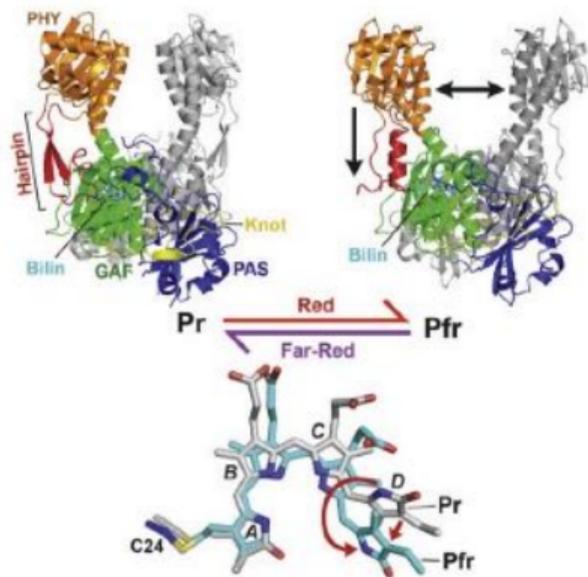
吸收红光和远红光并可以相互转换的光受体是具有两种存在形式的单一色素——光敏色素。

P_r （红光吸收型）：蓝绿色，生理钝化型

P_{fr} （远红光吸收型）：黄绿色，生理活化型



How does it work?



红光区 (600~700nm, 660nm)

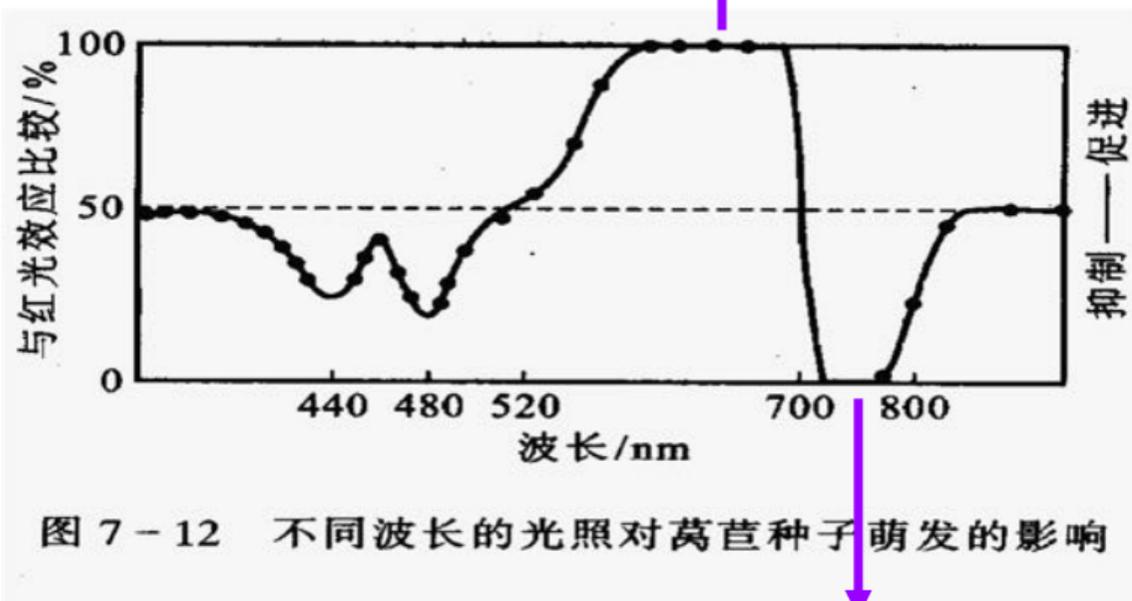


图 7-12 不同波长的光照对莚苣种子萌发的影响

远红光区 (720~760nm, 730nm)

分布：分布在除真菌以外的低等和高等植物中，**一般与膜系统结合**。黄化苗的光敏色素含量比绿苗高20~100倍。

二、光敏色素的生理作用

1、由光敏色素控制的反应

种子萌发	弯钩张开	叶片展开	小叶运动
偏上性生长	节间伸长	叶脱落	色素形成
向光敏感性	光周期	花诱导	性别表现
节律现象	膜透性	块茎形成	

2、光敏色素和酶

许多酶的光调节是通过光敏色素为媒介的，如红光能提高蚕豆叶提取液中磷酸甘油醛脱氢酶的活性；远红光则逆转这个作用。

3、光敏色素和植物激素

红光使IAA含量减少；CTK受红光刺激而上升。

三、光敏色素的作用机理 ※

快反应：指从吸收光量子到诱导出形态变化的反应迅速，以分秒计。

光通过影响Pr和Pfr的分布和比例，**反应可逆转**。

慢反应：指光敏色素吸收光量子后，对植物生长发育的调节速度缓慢，以小时或天计。

反应终止后**不能逆转**。如种子萌发、开花等。

1、膜假说——解释快反应

光敏色素定位于膜上，当发生光转换时，跨膜的离子流动和膜上酶的分布发生改变，影响代谢，表现出形态建成的改变。

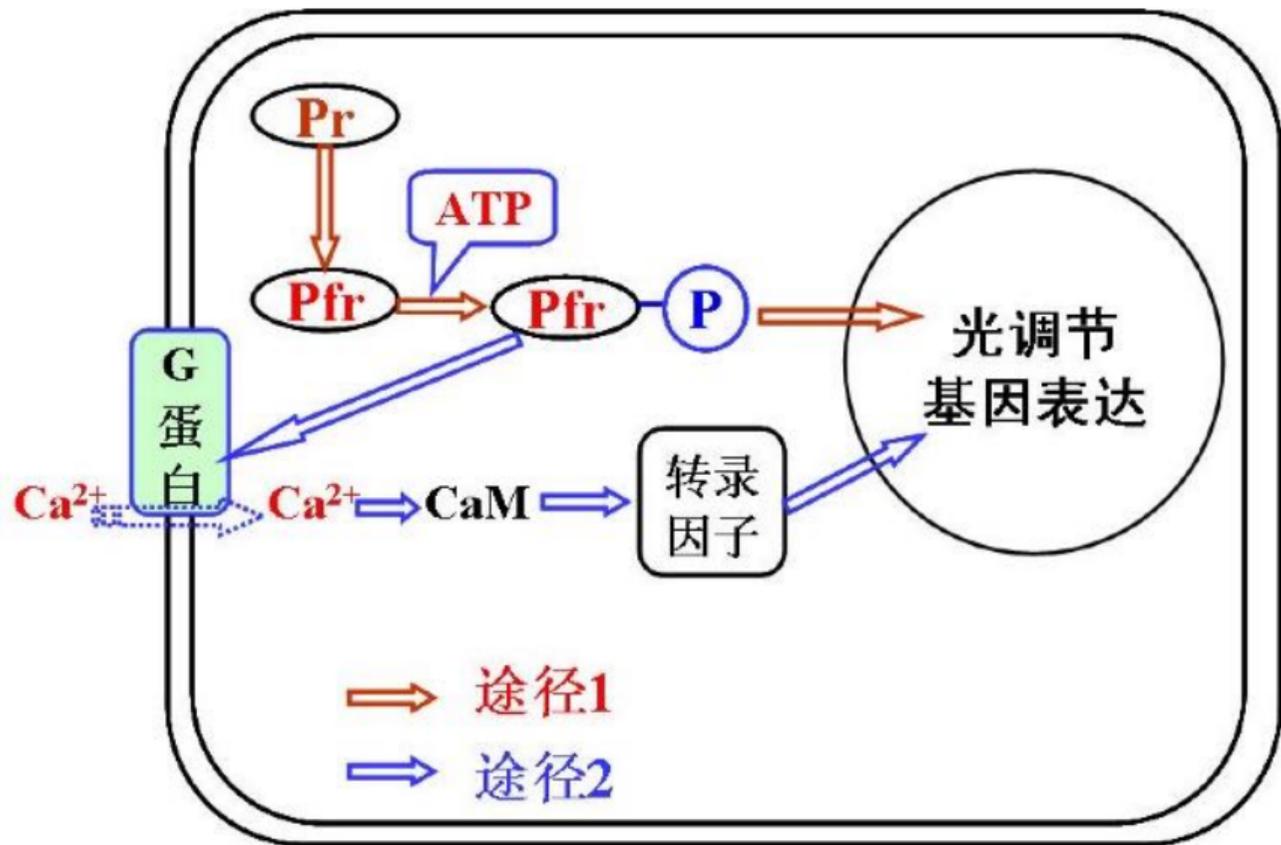
在光敏色素调节快速反应中，有胞内 Ca^{2+} 浓度的升高和CaM的活化。

2、基因调节假说——解释慢反应

接受红光后， P_{fr} 型经过一系列过程，将信号转移到基因，活化或抑制某些特定基因，使特定mRNA的转录速率发生改变，翻译成特定的蛋白质。

光敏色素调节基因的表达发生在转录水平。

光敏色素诱导基因表达的信号传导(两条途径):



蓝光和紫外光受体 (P254)

蓝光反应的受体：隐花色素、向光素和玉米黄质

紫外光反应的受体：紫外光B (UVB) 受体

第七节 植物的运动

植物的运动 { 向性运动 (tropic movement)
感性运动 (nastic movement)
近似昼夜节奏的生理钟运动

引起运动的原因 { 生长性运动 (生长不均匀)
膨胀性运动 (膨压的改变)

一、向性运动

向性运动：指植物的某些器官由于受到外界环境的**单向刺激**而产生的运动。

向性运动是**生长性运动**——由于生长的不均匀引起的、不可逆的运动。

(一) 向光性

向光性：指植物随光的方向而弯曲的能力。

正向光性：地上部分

负向光性：根部

横向光性：器官生长与光垂直

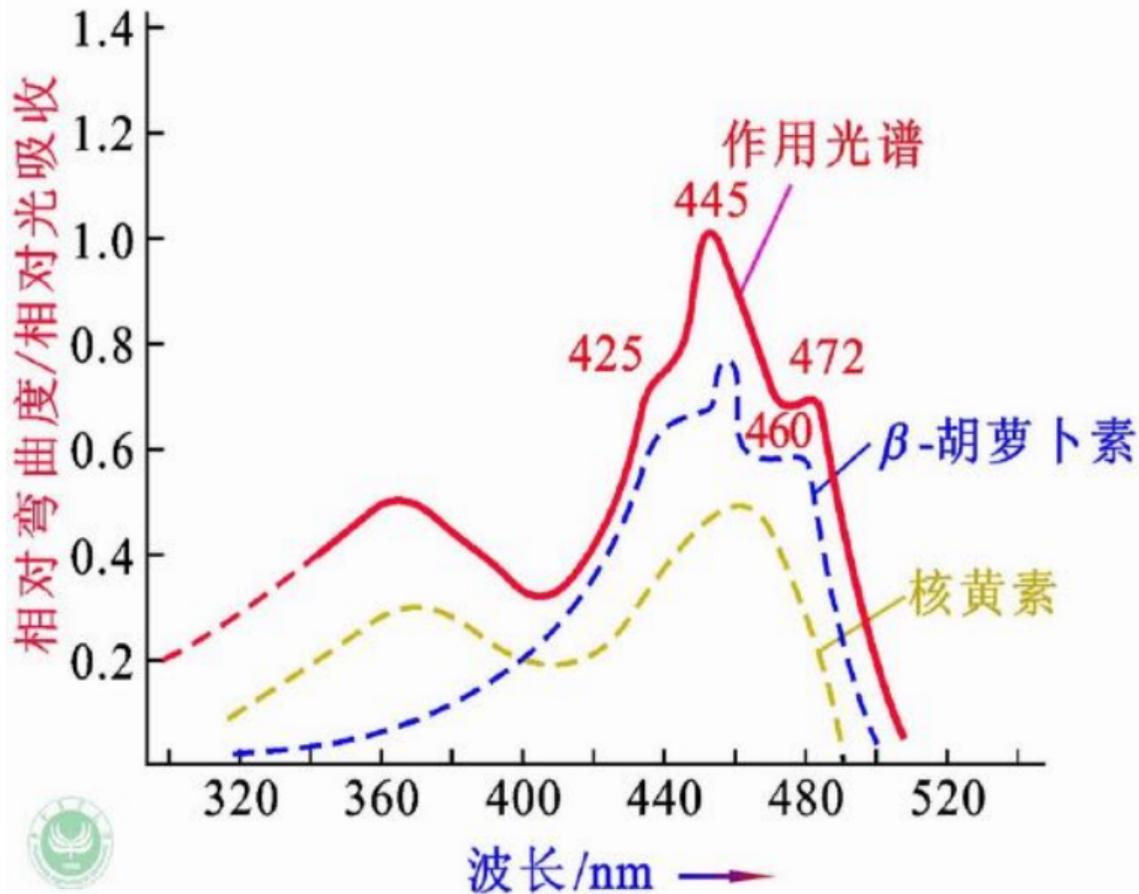
引起向光性的光：**短波光（蓝光）**，**红光无效**

向日葵—太阳追踪



向光性反应的光受体：**向光素**

向光素的生色团可能是FMN，与β-胡萝卜素及核黄素类似的物质



植物产生向光性反应的原因：

1、生长素分布不均匀

生长素在向光面与背光面的不均匀分布有关。单侧光引起器官尖端不同部分产生电势差，背光一侧带正电荷，吸引IAA向背光侧移动，导致背光侧的IAA多，生长快。

2、抑制物质分布不均匀

（二）向重力性

向重力性：指植物在重力的影响下，保持一定方向生长的特性。

正向重力性：根顺着重力方向向下生长

负向重力性：茎背离重力方向向上生长

横向重力性：地下茎水平方向生长

植物产生向重力性的原因：

1、植物器官中的淀粉体起平衡石的作用。当器官位置改变时，淀粉体的移动对原生质体产生一种压力，导致电荷分布不均（下侧正电荷），IAA分布不均，细胞感知后引起不均衡生长。

2、认为由于 Ca^{2+} 、ABA因重力影响而分布不均匀，使茎、根上、下侧生长速度不一样。



（三）向化性

向化性：由于某些化学物质在植物体内外分布不均匀所引起的向性生长。

为什么生产上提倡“**深耕施肥**”？

二、感性运动

感性运动：指由没有一定方向性的外界刺激所引起的运动，运动的方向与外界刺激的方向无关。

{ 生长性运动：感夜性和感热性
膨胀性运动（紧张性运动）：感震性

（一）感夜性（光暗）

感夜性：某些植物的叶片或花瓣白天高挺张开，晚上合拢或下垂。



(二) 感热性 (温度)

感热性：植物对温度起反应的感性运动，如郁金香。

(三) 感震性

感震性：感受外界震动而引起的植物运动，如含羞草。



小叶关闭—感震性

食虫植物的触毛对机械触动产生的捕食运动也是一种反应速度更快的感震性运动。

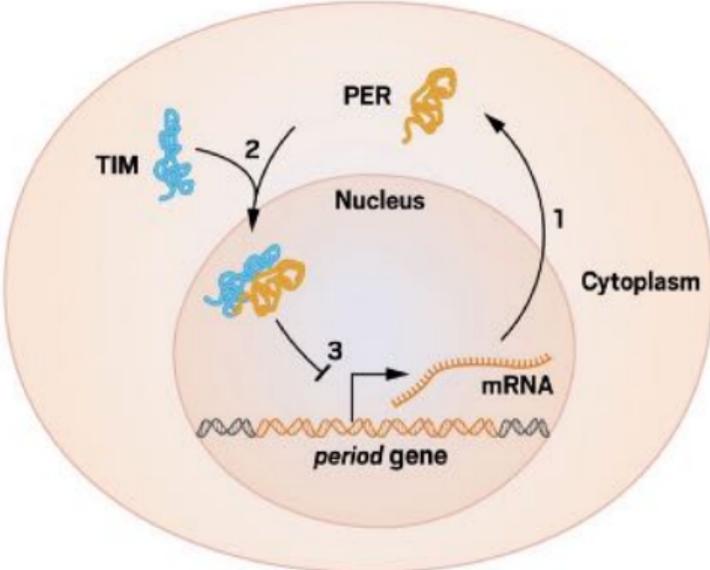


三、生理钟

植物不仅具有对环境空间条件的适应，还具有对时间条件的适应。

生理钟：指植物内生节奏调节的近似24小时的周期性变化节律。

植物借助生理钟准确地进行**测时**过程。



2017 Nobel Prize in Physiology or Medicine

小结：

细胞的生长与分化：细胞分裂 伸长 分化

种子的萌发：生活力 外界条件 生理生化变化

生长周期性：生长大周期 温周期 季节周期性

生长相关性：地上与地下 顶端优势 营养器官
与生殖器官

外界条件：温度 水分 光

光形态建成：光敏色素发现 生理作用 作用机理

植物的运动：向性运动 感性运动 生理钟