

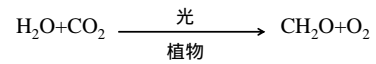


## Chapter 3. Photosynthesis

### § 1. 光合作用及其重要性

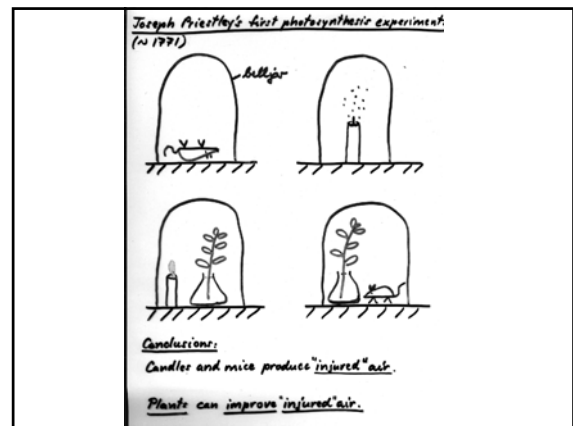
#### 1. 光合作用Photosynthesis :

绿色植物利用叶绿体色素所吸收的光能将简单的低能的无机物H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>转化为复杂的富含能量的有机物同时放出O<sub>2</sub>的过程。



### 2. 光合作用的发现

- ❖ 1771, J.Priestley. England, discovered that plant can purify air, which can sustain the burning of a candle or the survival of a little mouse.



“气从地下催腾一粒，种性小者为蓬，大者为蔽牛干霄之木，此一粒原本几何？其余则皆气所化也。”

——明·宋应星《天工开物 - 论气》

### 3. 光合作用研究中的里程碑

- ❖ 1779, J.Ingenhouse, The Netherland, demonstrated that the plant in Priestley's experiment is dependent on light and its green part.
- ❖ 1780-1789, A.Lavoisier, French, discovered the law of mass conservation.
- ❖ 1782, J.Senebier, Swiss, pointed out that CO<sub>2</sub> participated in photosynthesis
- ❖ 1804, De Saussure, Genevese, suggested H<sub>2</sub>O took part in photosynthesis.

- ❖ 1842, R.Mayer, Germany, discovered the law of energy conservation and transformation, pointed out solar energy was stored in organic matter.
- ❖ 1930, C. Van Niel, USA, proposed photosynthesis was based on oxidation-reduction reactions and that the primary reaction is a photolysis of water followed by oxygen release.
- ❖ 1932, R.Emerson, W.Arnon, USA, concluded several hundred chls cooperate in photosynthesis

- ❖ 1939. R.Hill, UK, Hill reaction.
- ❖ 1954. M.Calvin, USA, Calvin cycle(Nobel Prize in 1961)
- ❖ 1954. D.Arnon, USA, discovered photophosphorylation
- ❖ 1960-1961, PS<sub>I</sub> and PS<sub>II</sub> cooperate in plants.
- ❖ 1965, R.B.Woodward, USA, the synthesis of chlorophyll and other organic compounds. (Nobel Prize)

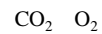
- ❖ 1984 , J.Deisenhofer, R.Huber, H.Michel, The Federal Republic of Germany, solve the structure of a photosynthetic reaction center from a bacterium. (Nobel Prize)
- ❖ 1992, R. A. Marcus, USA, electron transfer in a chemical system. (Nobel Prize)
- ❖ 1997, P.Boyer(US),J.Walker(UK), binding change mechanism of ATP synthesis. (Nobel Prize)

#### 4. 光合作用的意义

无机物 → 有机物：植物每年同化C:  $2 \times 10^{11}$  吨，其中的40%由水中的plankton 固定。

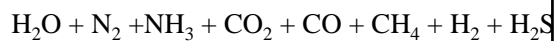
太阳能 → 化学能：植物年贮能  $3 \times 10^{21}$  焦耳。

净化环境，调节大气成分：



- ❖ 光合作用导致游离氧的产生，使生命延伸到陆地，并改变了大气成分。
- ❖ 光合作用使大气中的CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>保持相对稳定。

Ancient Atmosphere:



**Photosynthesis**

**- the most important chemical reaction on earth**

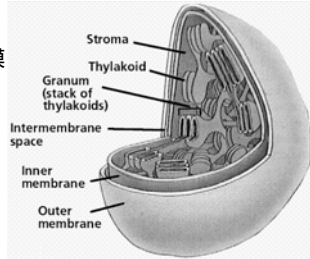
——J. DEISENHOFER

## § 2 叶绿体和叶绿体色素

### 一、叶绿体的结构和成分

#### (一) 结构

1. 膜：外膜、内膜
2. 基粒
3. 基质



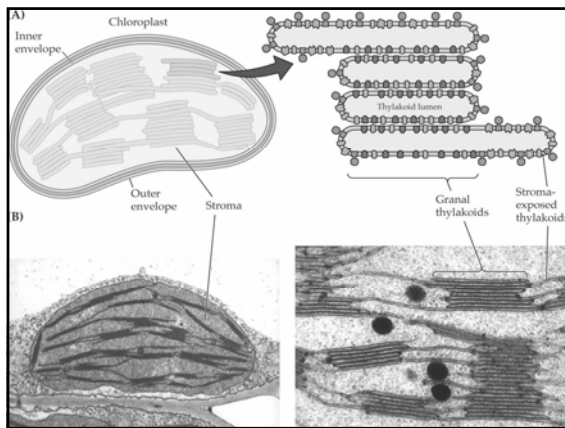
#### ❖ 基粒(grana)：

由基粒类囊体堆叠而成，基粒之间由基质类囊体连接。类囊体膜上含有叶绿体色素、电子传递体及蛋白复合体，是光反应的场所。

#### ❖ 基质(stroma)：

含有多种酶（光合作用、 $\text{NO}_2^-$ 还原、 $\text{SO}_4^{2-}$ 还原等）和DNA、RNA、核糖体、嗜钨颗粒等，是暗反应的场所。

(二) 成分：水75~80%，干物质20~25%



## 二、 叶绿体色素

### 1. 种类

叶绿素chlorophyll	Chla Chlb Chlc,d Bacteriochl	除少数chla起光能转换作用外，大多数chla,全部的chlb、carotenoid、phycobilin只起收集与传递光能的作用，bacteriochl只存在于厌氧光合细菌中。
类胡萝卜素carotenoid	胡萝卜素 carotene 叶黄素 xanthophyll	
藻胆素phycobilin	藻红素 phycoerythrobilin 藻蓝素 phycocyanobilin	藻胆素存在于红藻和蓝藻中，常与蛋白质结合，形成藻胆蛋白：藻红蛋白和藻蓝蛋白。

表：放氧生物叶绿体色素的组成

生物	叶绿素				类胡萝卜素	藻胆素
	a	b	c	d		
高等植物	+	+	-	-	+	-
绿藻	+	+	-	-	+	-
硅藻	+	-	+	-	+	-
腰鞭毛虫	+	-	+	-	+	-
褐藻	+	-	+	-	+	-
红藻	+	-	-	+	+	+
蓝绿藻	+	-	-	-	+	+

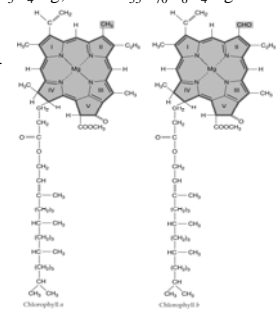
### 2. 化学特性

#### 1) 叶绿素

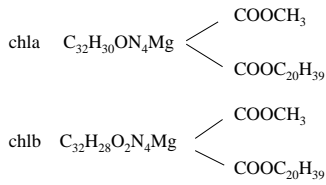
a) 组成 chla:  $\text{C}_{55}\text{H}_{72}\text{O}_5\text{N}_4\text{Mg}$ ; chlb:  $\text{C}_{55}\text{H}_{70}\text{O}_6\text{N}_4\text{Mg}$

#### b) 化学结构

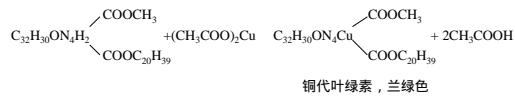
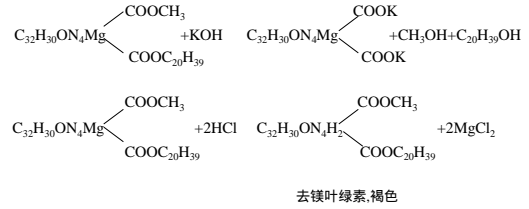
叶绿素分子的头部含4个吡咯环，通过4个甲烯基连成一个卟啉环，Mg位于卟啉环的中央，具极性。如此形成一个巨大的共轭双键系统，易于叶绿素以诱发共振的方式传递能量。其尾部是长长的叶醇链，具疏水性。



c) 化学性质：叶绿素是叶绿素与甲醇、叶醇形成的二元酯



因此，可发生皂化反应(与强碱反应生成盐)和取代反应(Mg可被H或Cu取代)

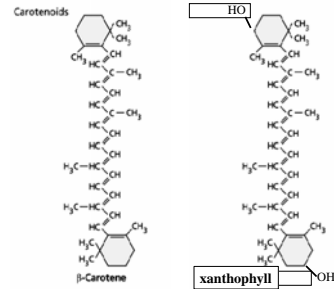


d) 溶解性：  
叶绿素不溶于水，但溶于乙醇、乙醚、丙酮等有机溶剂，chl a呈兰绿色，chl b呈黄绿色。

2) 类胡萝卜素：

a) 组成：胡萝卜素： $\text{C}_{40}\text{H}_{56}$ ，叶黄素： $\text{C}_{40}\text{H}_{36}\text{O}_2$ ，是前者衍生的二元醇。

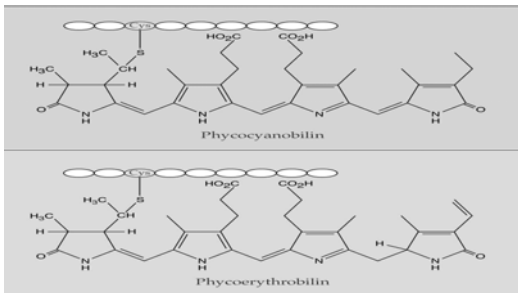
b) 结构 两端为紫罗兰酮环，中间为共轭双键，易于光能的传递。特别不稳定，易被氧化，因此除吸收光能外，对chl具保护作用



c) 不溶于水而溶于有机溶剂，胡萝卜素呈橙黄色，叶黄素呈黄色。

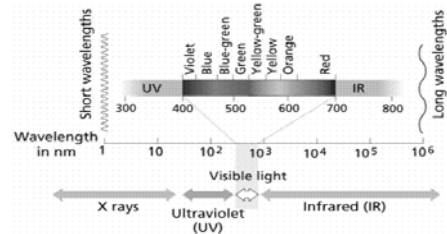
3) 藻胆素：

- a) 结构：由4个吡咯环通过共轭双键连在一起。
- b) 作用：吸收光能。
- c) 溶于稀盐酸和热水中，藻红素呈红色，藻蓝素呈蓝色。



### 三. 叶绿体色素的光学特性

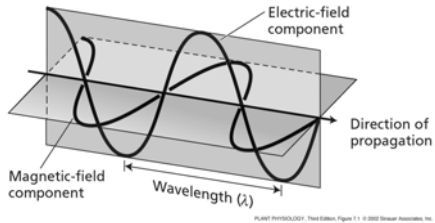
1. 太阳光的连续光谱与光的能量



到达地面的波长仅为300-2600nm，这其中包括全部的可见光，部分红外线和部分紫外线。

## Nature of Light

(1) Light is transverse, Electromagnetic Spectrum



## (2) Light is Also a Particle Which We Call a Photon(光子)

- ❖ Each photon contain an amount of energy which we call quantum(量子).
- ❖ Quantum energy is frequency related.

$$q = h\nu = hc/\lambda$$

$$E = h\nu$$

$h$ : 普朗克常数  $6.63 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$

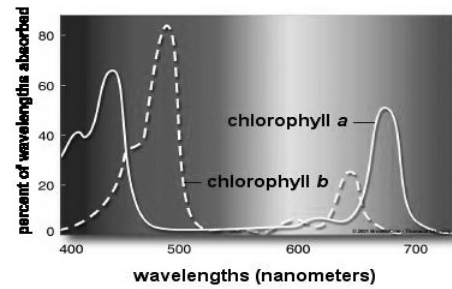
$E$ : 每一摩尔光子所具有的能量(称为该种光的爱因斯坦值)

## 不同波长的光所含的能量

光	波长 ( /nm )	平均能量 ( $E/\text{kJmol}^{-1}$ )
紫外	< 400	297
紫	400~425	289
蓝	425~490	259
绿	490~560	222
黄	560~580	209
橙	580~640	197
红	640~740	172

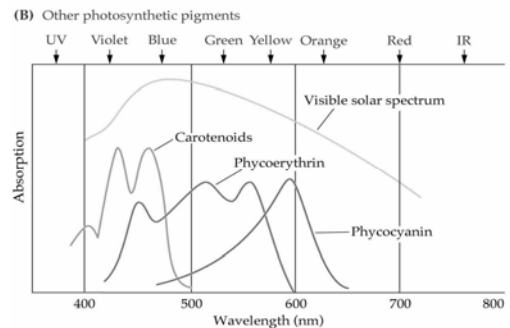
## 2. 叶绿体色素对太阳光的选择吸收

A: 叶绿素

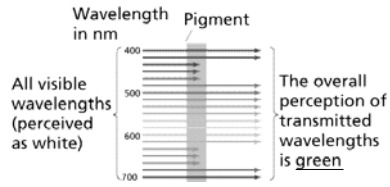


- ❖ 叶绿素对红光和兰紫光有很强的选择吸收，而对绿光吸收很少吸收，因此叶绿素呈绿色。
- ❖ chl a 的红光吸收峰为660nm，兰紫光吸收峰为430nm
- ❖ chl b 的红光吸收峰为643nm，兰紫光吸收峰为435nm
- ❖ chl a 在红光区的吸收带比 chl b 宽，而 chl b 在兰光区的吸收带可 chl a 宽，叶绿素是自然界中吸光性最强的物质，消光系数达  $10^5 \text{cm}^{-1}\text{M}^{-1}$ 。

## B. 其它色素

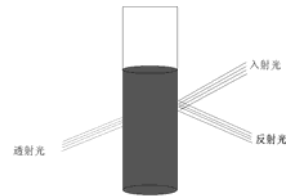


类胡萝卜素吸收蓝光，光吸收在400~500nm；藻红素吸收绿光和黄光，光吸收在420~600nm；藻蓝素吸收橙红光，光吸收在500~650nm。

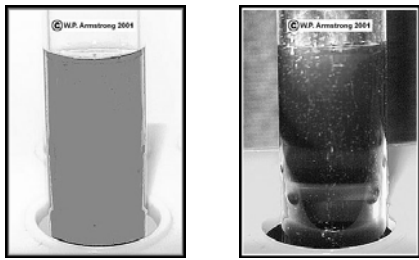


### 3. 荧光现象和磷光现象

❖ 叶绿体溶液在透射光下呈绿色，在反射光下呈红色，称为荧光现象。在去掉光源后仍能发出红光，称为磷光现象。

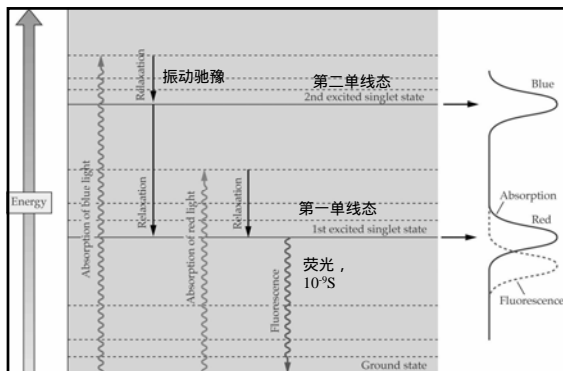


事实上，红光并不是chl溶液的反射光，而是chl受光激发发射出的荧光

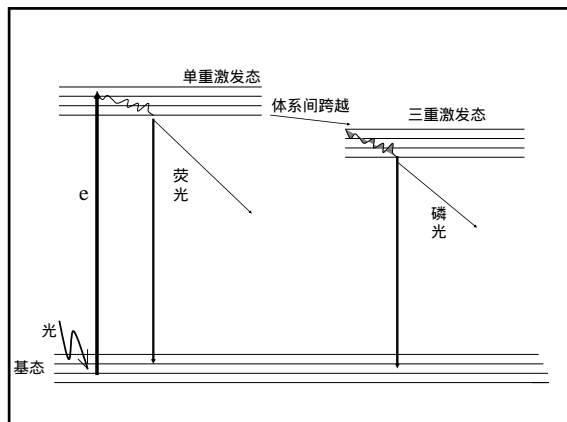


Left: A transparent-green chlorophyll solution of ground up spinach leaves and acetone. Right: Beam of light directed at the chlorophyll solution producing a reddish glow called fluorescence.

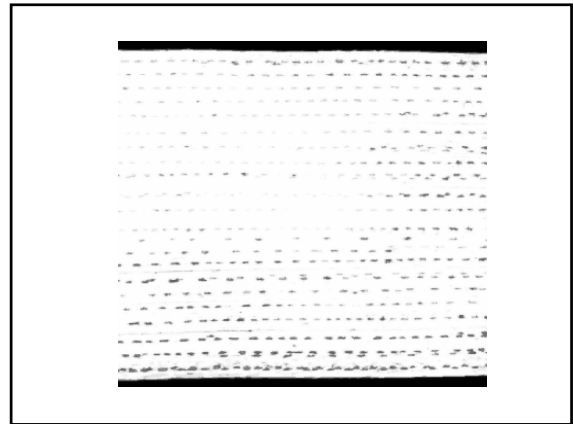
❖ 原理：荧光和磷光都属于光致发光现象。荧光是电子由单重激发态回到基态时发出的光；而磷光是电子由三重激发态回到基态时发出的光。



因振动弛豫要消耗能量，因此荧光的波长要长于吸收的红光(>10nm)，故荧光呈红色。



- ❖ 荧光和磷光现象说明了：  
叶绿素能被光所激发，这是将光能转化为化学能的第一步。  
在植物活体上看不到荧光现象，而在叶绿素提取液中可见，说明活体植株叶绿素所吸收的光能被传递下去，用于光合作用了。



#### 四. 叶绿素的合成

- ❖ 植物体内叶绿体合成很快，菠菜的每72小时更新一半，烟草需要数周。
- ❖ 叶绿素的人工合成于1960年完成，Woodward获1965年Nobel Prize

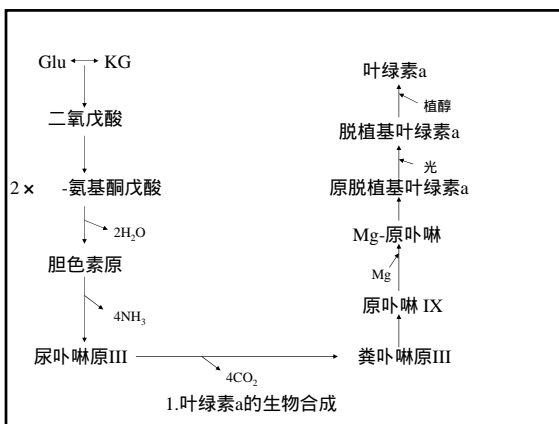
#### The Nobel Prize in Chemistry 1965

"for his outstanding achievements in the art of organic synthesis"



USA  
Harvard University  
Cambridge, MA,  
USA  
b. 1917  
d. 1979

Robert Burns Woodward



#### 2. 影响合成的因素：

- 1) 光：原脱植基chl<sub>a</sub>必须照光才能合成chl。因缺乏光而不能合成chl的现象称为黄化现象etiolation.
- 2) 温度：最适30℃，最低2~4℃，最高40℃。
- 3) 矿质元素：
  - ❖ N、Mg (chl的组成成分)；
  - ❖ Fe、Cu、Zn (chl合成的活化剂)；
  - ❖ Mn 维持类囊体结构
 因缺乏矿质元素而影响chl合成，导致缺绿症chlorosis
- 4) 水：缺水影响chl，加速分解