



高雄醫學大學  
KAOHSIUNG MEDICAL UNIVERSITY



# 全球碳權與碳捕捉---光合作用

## 生物醫學暨環境生物學系

授課老師：黃斌

高雄醫學大學生物醫學暨環境生物學系 系主任  
再生醫學與細胞治療研究中心 副執行長





高雄醫學大學  
KAOHSIUNG MEDICAL UNIVERSITY



## 課程簡介:

氣候暖化已是全球的共同危機，世界各國已著手減少二氧化碳排放量，因此，在減碳的同時，是否也能主動來進行碳捕捉，以達到碳中和？



高雄醫學大學  
KAOHSIUNG MEDICAL UNIVERSITY



## 課程內容大綱

1. 碳權
2. 減碳技術
3. 碳捕捉技術
4. 生質能源
5. 光合作用
6. 植物光生理



## 開始上課之前--- 可以深思問題

地球暖化的衝擊有哪些？

久旱不雨？

海平面上升？

生態浩劫

糧食不足？

颱風太多？





新聞發布



即時新聞澄清



熱門新聞

首頁 > 新聞發布

## 總統公布將「溫室氣體減量及管理法」名稱修正為「氣候變遷因應法」並修正條文

氣候變遷

112-02-15 [行政院環境保護署氣候變遷辦公室]

總統於本(112)年2月15日公布將「溫室氣體減量及管理法」修正為「氣候變遷因應法」，並修正全文計7章，63條，完備我國氣候法制基礎，藉以因應全球氣候變遷，制定氣候變遷調適策略，降低與管理溫室氣體排放，落實世代正義、環境正義及公正轉型，善盡共同保護地球環境之責任，並確保國家永續發展。

環保署說明，本次修法係為因應全球氣候變遷情勢嚴峻，國際產業供應鏈對減碳要求持續增加，國際間加嚴碳排放管制措施實施在即，推動我國淨零轉型，提升產業競爭力，修正重點包含納入2050年淨零排放目標、確立部會權責、增列公正轉型、強化排放管制及誘因機制促進減量、徵收碳費專款專用、增訂氣候變遷調適專章、納入碳足跡及產品標示管理機制，並強化資訊公開及公眾參與機制等，前經立法院於本年1月10日三讀通過。

本次發布相關資料請參閱環保署官網新聞專區下載附加檔案([https://enews.epa.gov.tw/enews/fact\\_index.asp](https://enews.epa.gov.tw/enews/fact_index.asp))，或至總統府公報(<https://www.president.gov.tw/Page/294/48697>)下載參閱。



# 碳權 (Carbon credit)

氣候變遷是全球共同面臨的挑戰，我國在104年訂定「溫室氣體減量及管理法」（以下簡稱溫管法），是國際少數將國家長期減量目標入法的國家。惟全球氣候變遷現象嚴峻，為加速我國減碳作為並強化氣候變遷調適，環保署提出「溫室氣體減量及管理法」修正草案，並且擬將法案名稱修改為「氣候變遷因應法」… 環保署表示，由於氣候變遷工作涉及層面廣泛，… 提出強化行政管制、完備經濟誘因、確立部會權責及增列調適作為等4大修法方向，分別與鋼鐵、光電半導體、水泥、造紙及玻璃業、煉油、人纖、石化及基本化學、電力等各大產業… 法案名稱將修正為「氣候變遷因應法」，修正重點分別說明如下：

## 2050淨零排放目標入法

現行溫管法明定國家溫室氣體長期減量目標為139年溫室氣體排放量降為94年溫室氣體排放量50%以下…

## 提升層級強化氣候治理

溫室氣體減量及氣候變遷調適事項涉及跨部門權責…，各部門行動方案擬訂國家減量計畫，…增設氣候變遷因應推動…。

## 增訂氣候變遷調適專章

調適專章從基礎能力建構、科研推估接軌、確定推動架構等3重點著手。… 由中央目的事業主管機關訂定「權責領域調適行動方案」，中央主管機關整合擬訂「國家氣候變遷調適行動計畫」，地方政府訂定「氣候變遷調適執行方案」…。

## 強化排放管制及誘因機制促進減量

提升能源效率是邁向淨零排放的關鍵策略，本次修法納入對製造、運輸及建築等各部門…之管制…

## 徵收碳費專款專用

碳定價制度可透過經濟誘因促使排放減量，是國際公認重要的減碳策略之一，為健全我國碳定價制度，本次增訂對國內排放源徵收碳費，並將收入專款專用於辦理溫室氣體減量工作、發展低碳與**負排放**技術及產業…。



## 溫室氣體

溫室氣體：指二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）、甲烷（ $\text{CH}_4$ ）、氧化亞氮（ $\text{N}_2\text{O}$ ）、氫氟碳化物（HFCs）、全氟碳化物（PFCs）、六氟化硫（ $\text{SF}_6$ ）、三氟化氮（ $\text{NF}_3$ ）及其他經中央主管機關公告者。



# 京都議定書

- 全稱《聯合國氣候變化綱要公約的京都議定書》在日本京都府京都市的國立京都國際會館所召開聯合國氣候變化綱要公約參加國三次會議制定的。其目標是「將大氣中的溫室氣體含量穩定在一個適當的水準，以保證生態系統的平滑適應、食物的安全生產和經濟的可持續發展」。
- 1997年12月，條約在日本京都通過，並於1998年3月16日至1999年3月15日間開放簽字，共有84國簽署[11]，條約於2005年2月16日開始強制生效[11]。到2009年2月，一共有183個國家通過了該條約（超過全球排放量的61%）

(資料來源:維基百科)





# Voluntary emissions reduction

係指主動減碳、碳捕捉、再生能源、造林等自然固碳的方式來執行減碳，達成碳中和。之後由國際減碳驗證機構認證以取得獲得碳權。除了各產業實體公司，未被政府管制碳排放量的企業也能進行，取的碳權將能進行交易。





## 減碳技術

2050年淨零排放為國際共同目標，為了減少二氧化碳排放，各國除了發展再生能源外，也積極協助大量排碳產業如石化產業、鋼鐵、水泥、貨運、航運產業降低碳排。其方式有綠色氫能(green hydrogen)，碳捕捉、碳源再利用與封存技術，都是可行的減碳方式。



# 高科技產業概論——能源科技

## 一、非再生能源

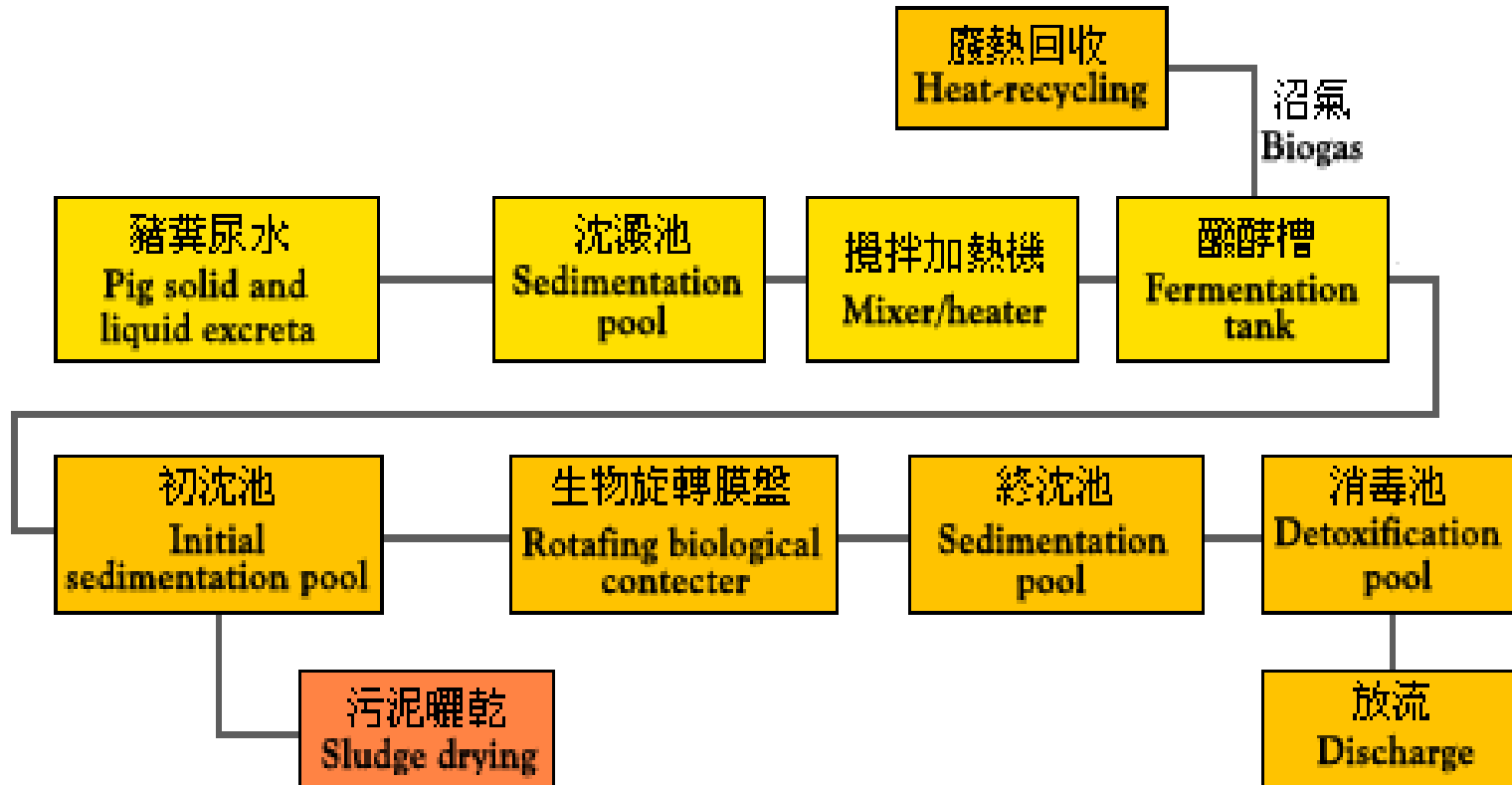
- (一) 石油
- (二) 煤
- (三) 天然氣
- (四) 核能

## 二、再生能源

- (一) 太陽能
- (二) 風力
- (三) 地熱
- (四) 潮汐、海洋溫差
- (五) 生質能



# 豬糞尿廢水處理流程圖



豬糞尿廢水處理流程圖

The flowchart of the processing of waste water from pig excrement



## 再生能源

### (一) 太陽能

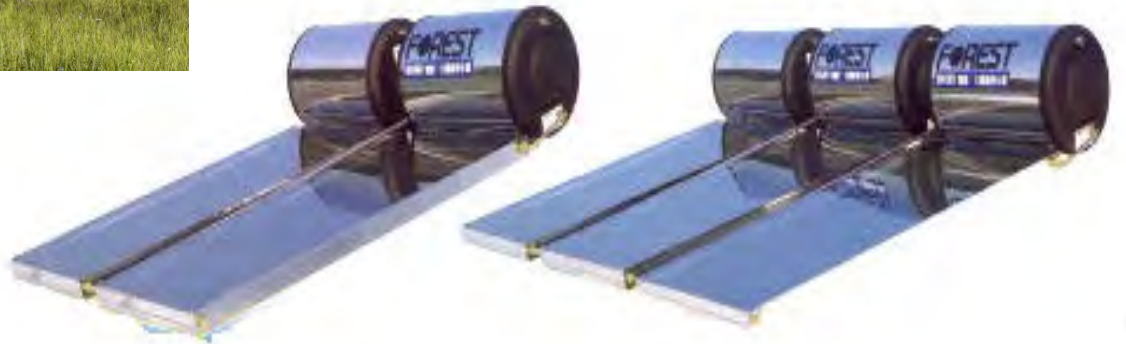
太陽是一個巨大、久遠、無盡的能源。儘管太陽輻射到地球大氣層的能量僅為其總輻射能量（約為 $3.75 \times 10^{26}$  W）的22億分之一，但太陽每秒鐘照射到地球上的能量亦相當於500萬噸煤的功率。

地球上的風能、水能、海洋溫差能、波浪能和生物質能以及部分潮汐能都是來源於太陽；即使是地球上的化石燃料（如煤、石油、天然氣等）從根本上說也是遠古以來貯存下來的太陽能，所以廣義的太陽能所包括的範圍非常大，狹義的太陽能則限於太陽輻射能的光熱、光電和光化學的直接轉換。





# 太陽能





## (二) 風力

風是太陽照射到地球表面，地球表面各處受熱不同，產生溫差，從而引起大氣的對流運動。

自1973年世界石油危機以來，在常規能源告急和全球生態環境惡化的雙重壓力下，風能作為新能源的一部分才重新有了長足的發展。風能作為一種無污染和可再生的新能源有著巨大的發展潛力，特別是對沿海島嶼，交通不便的邊遠山區，地廣人稀的草原牧場，以及遠離電網和近期內電網還難以達到的農村、邊疆，作為解決生產和生活能源的一種可靠途徑，有著十分重要的意義。即使在發達家，風能作為一種高效清潔的新能源也日益受到重視。





## (三) 地熱

地熱能是指貯存在地球內部的熱能。其儲量比目前人們所利用的總量多很多倍，而且集中分佈在構造板塊邊緣一帶、該區域也是火山和地震多區。如果熱量提取的速度不超過補充的速度，那麼地熱能便是可再生的。高壓的過熱水或蒸汽的用途大，但它們主要存在於幹熱岩層中，可以通過鑽井將它們引出。

在台灣宜蘭縣大同鄉  
電，由於蒸汽產率逐

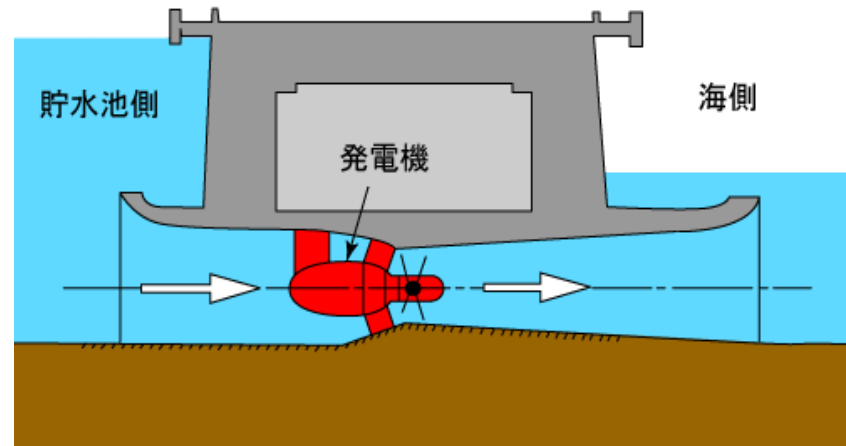
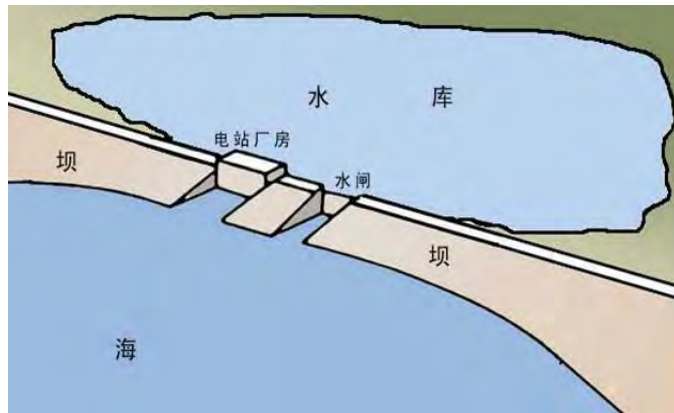


正式運轉發  
電。

## (四) 海洋能（潮汐、海洋溫差）

海洋不同形式的能量（潮汐、波浪、溫度差、鹽度梯度、海流等）有的已被人類利用，有的已列開發利用計畫，但人們對海洋能的開發利用程度至今仍十分低。

每種海洋能資源都具有相當大的能量通量：潮汐能和鹽度梯度能大約為2TW；波浪能也在此量級上；而海洋熱能至少要比此大兩個數量級，但是這些能量分散在廣闊的地理區域，因此實際上它們的能流密度相當低，而且這些資源中的大部分均蘊藏在遠離用電中心區的海域。因此只能有一小部分海洋能資源能夠得以開發利用。





# 台灣海峽與太平洋潮流

猜猜看東部洋流的流速是多少？







## (五) 生質能

生質能屬於再生能源的一種，主要由生物產生的有機物質，例如農林植物、沼氣、廢棄物等經過焚化、氣化、裂解、發酵等技術轉換成燃油、燃氣與電力等可用能源。生質能技術較成熟，加上兼顧環保與經濟益，成為目前廣泛推展使用的再生能源之一。

能源作物是生質能的原料之一，能源作物種類眾多，以生產酒精及生質柴油為主，酒精作物以糖質及澱粉類作物為主，例如甘蔗、甜菜、甘藷等；生質柴油作物則為高油份含量植物及動物性脂肪，包括大豆、向日葵、油菜籽、油桐等。



# 生質柴油

是將動植物油脂或廢食用油(三酸甘油脂)經由轉酯化反應、中和、水洗及蒸餾等過程後，所生成的甲基酯類。生質柴油燃燒特性和石化柴油相近，具有生物可分解和無毒等特性，可部份或直接取代石化柴油做為柴油引擎的燃料而不需對引擎進行調整。生質柴油的料源可由植物行光合作用而得，為符合能源效益的再生能源，且生質柴油的閃火點較石化柴油高，因此，其運送與儲存的安全性較高。此外，生質柴油可燃燒更完全且不含硫，可有效改善柴油引擎的廢氣排放品質。



# 生質酒精 (Bio ethanol)

這是由任何含澱粉與糖的農作物經發酵、再蒸餾去水製成乙醇（酒精），以一定比例加入汽油中成為生質燃料。因為農作物在生產期間透過光和作用，吸收了二氧化碳，與燃料產生的二氧化碳抵銷掉，大大減輕溫室效應。

目前生質酒精的成本仍然比汽油高，混入的酒精高出一定比例時，汽車須增設防火系統與換裝不鏽鋼燃料系統，加上酒精燃點低，加油站必須全面更新設備等等因素，另因純酒精的效能大約只有純汽油的2/3，以致未能普及。巴西盛產農作物，開發酒精燃料為其國家政策行之多年，目前每年已有40億加侖酒精燃料的生產量，所有在巴西地區銷售的汽油都必須添加25%的無水酒精（稱酒精汽油 gasohol），可算是實施最徹底的國家。



高雄醫學大學  
KAOHSIUNG MEDICAL UNIVERSITY



### 各國使用酒精汽油現況

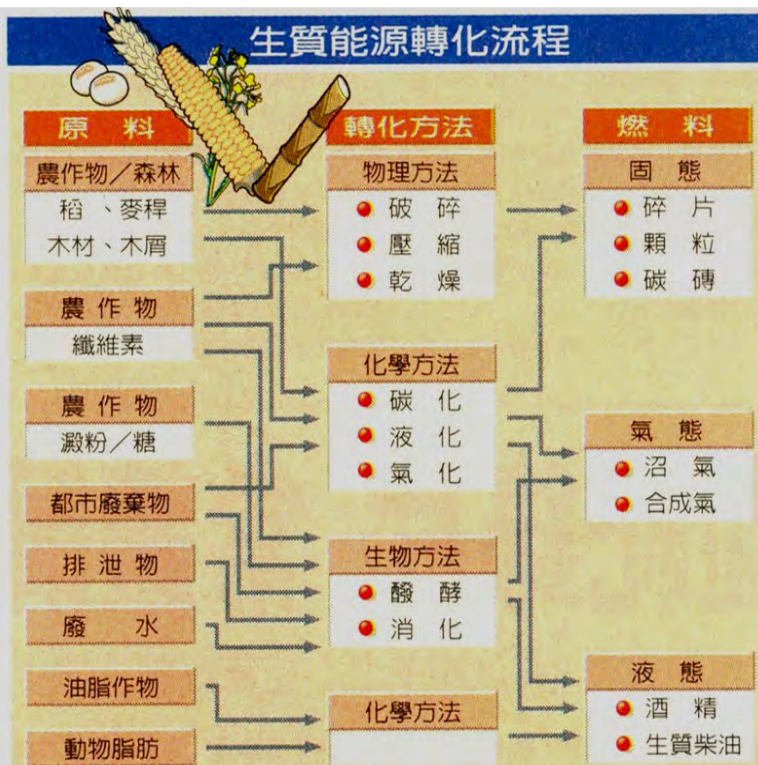
國家	規格	2004年產量 (萬公秉)	原料	備註
美國	E10,	1338	玉米	● 2004年17州實施潔淨能源法案
	E85			
巴西	E22,	1510	甘蔗	● 1975年頒佈國家酒精計畫
	E100			
中國	E10	365	穀類、甘蔗、紙漿	—
歐盟	E5	190	小麥、燕麥、甜菜	● 2004年實施酒精市場法規
泰國	E5	28	木薯、甘蔗、稻米	● 2007年推行E10酒精汽油
日本	E3, E10	12	廢木料	● 1983年實施燃料酒精計畫

註/E5為燃料中酒精占5%，以此類推

資料來源/核能所

繪表/劉紹田

### 生質能源轉化流程



資料來源/工研院

繪表/劉紹田

E 與B的差異





# 生質柴油與石化柴油廢氣排放比較

油 品	石化柴油	B20生質柴油	B20生質柴油並 添加觸媒
廢棄成分			
總碳氫化合物 THC, g/b. hp. hr	<b>0.45</b>	<b>0.38</b>	<b>0.12</b>
一氧化碳CO g/b. hp. hr	<b>1.67</b>	<b>1.50</b>	<b>0.45</b>
一氧化氮NOx g/b. hp. hr	<b>4.46</b>	<b>4.25</b>	<b>4.32</b>
懸浮微粒PM g/b. hp. hr	<b>0.261</b>	<b>0.216</b>	<b>0.191</b>

資料來源：工研院 IEK-ITIS計畫整理

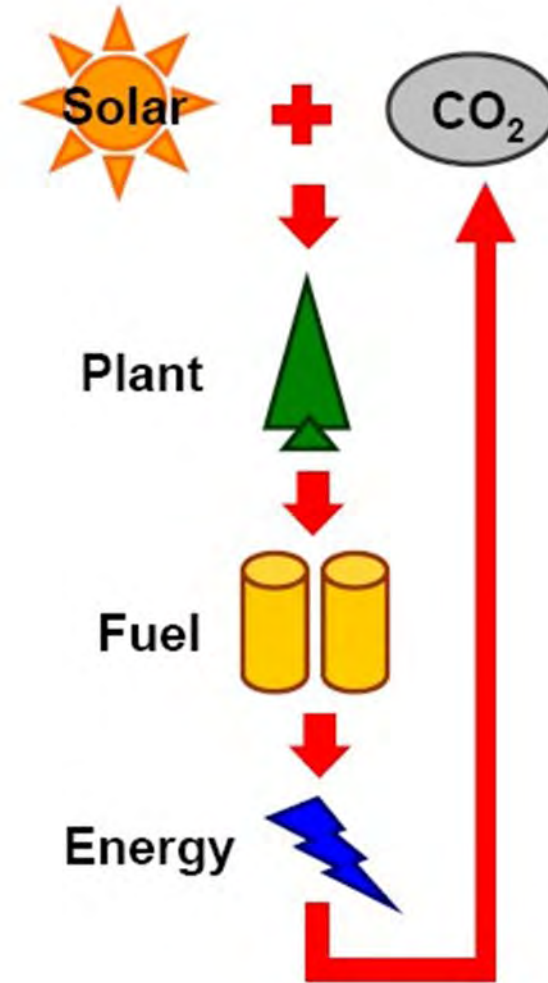


## ■ 生質能基本原理

利用太陽能與 $\text{CO}_2$ ，進行光合作用促進植物生長，再作為燃料，因此歸類為**再生能源**，沒有增加 $\text{CO}_2$ 淨排放



圖片來源：工研院



## ■ 綠色城鄉應用推廣計畫



2007年7月27日生質柴油加油站啟用典禮



生質柴油



Green.County.生質柴油

圖片來源:工研院(2007)



# 發展再生能源 農委會推展生質能源作物

資料來源：中央社

管制全球溫室氣體排放量的京都議定書生效，發展再生能源成為趨勢。行政院農業委員會投入生質能源作物開，規劃利用北、中、南三地共90公頃的休耕農田，種植向日葵、大豆及油菜等三種油料能源作物，研發生質柴油，期盼提高農業「綠色產值」。

農委會指出，以往農業給人的印象只是供應糧食的產業，但事實上，農業部門在再生能源領域中也有發揮空間，國內外生質能源相關研究認為可利用植物將太陽能、水力及二氧化碳轉化為生質能源，台灣每年有不少農地休耕，可利用推展能源作物，發展生質能源，同時提升休耕農田的附加價值，開創台灣農業發展新契機。





# 碳捕捉技術



PanSci 科學新聞網 ✓

2021年4月18日 · 🌐



獎金高達一億美金！第一屆碳捕捉競賽開跑！

特斯拉公司創辦人馬斯克在今年 2/8 宣布，將祭出一億美金給研發出最佳「碳捕捉技術」的人或團體，藉此鼓勵大家找到能有效捕捉大氣中二氧化碳的方法。

全球氣候變遷之下，如何收集、儲存空氣中的二氧化碳是當代重要的環境議題。目前主要捕捉方式有化學反應產生沉澱、特殊裝置充放電來過濾空氣中二氧化碳等，可惜效率都不太高！馬斯克希望能透過高額獎金，激勵科學家找出其他更有效率的捕捉方法。

那麼捕捉到碳之後我們要怎麼儲存它呢？有辦法當作能源再利用嗎？

延伸閱讀：

人類雖然渺小，預防氣候災難卻可以從你我做起——《如何避免氣候災難》

<https://pansci.asia/archives/315695>

巴黎協定 5 年了，來看看它有沒有好好運作

<https://pansci.asia/archives/293731>

---

斗內泛科學、支持好科學！

你的支持，是我們前進的力量，贊助泛科學：<https://lihi1.com/mJSba>



「碳捕捉」指的是收集與封存二氧化碳的技術(Carbon Capture and Storage, CCS)，目前主要是使用石灰(CaO)或氫氧化鉀(KOH)與二氧化碳反應產生沉澱的方式，透過收集溫室氣體後分離二氧化碳，再加以壓縮封存到合適地點，減少碳排進入大氣層。

## 全球最大碳捕捉工廠在冰島

歐洲各國最早投入 CCS 技術發展，挪威國家石油公司 1996 年就在北海 Sleipner 天然氣田，建置全球第一個大型碳捕捉和封存系統，並已能捕獲 100 萬噸的二氧化碳，而英國的目標則是到 2050 年，通過投資研發、擴大基礎設施和加強財政激勵措施，捕獲 4,700 萬噸的二氧化碳。



## 台灣碳排大戶積極發展 CCS 技術

回到台灣談 CCS 發展，首座由成功大學主導建置的負碳技術示範工廠已在 2021 年落成啟用，這是由成大匯智綠色科技研究中心主任陳志勇主持的計畫，工廠分為兩大單元，一是二氧化碳捕捉純化、二是純化後的二氧化碳烷化再利用。

這座負碳技術示範工廠，採用的是「化學吸收法」的 CCS 技術，工廠模擬鋼鐵、石化業的煙道環境設置，收集低濃度二氧化碳煙氣後燃燒，加入特別研發的觸媒吸附劑，封存再利用二氧化碳，預計每年捕捉 20 噸的二氧化碳，未來將在中油、中鋼、台電、台塑等碳排大戶企業放大建置。

(摘錄自科技報導，2022)





## 熱帶雨林固定多少碳？

由英國利茲大學地理學院的教授路易斯(Simon Lewis)所主持的研究，揭示了人類大規模開發森林資源可能造成的後果：熱帶雨林為人類吸收二氧化碳的能力已經嚴重退化。

根據這份報告提供的數據：從 1990年起算的十年期間，是熱帶雨林吸收二氧化碳的巔峰，約佔當時人類排放量的 17%，大約是 460億噸。到了 2010年左右，熱帶雨林吸收的比例已經降至當時人類排放量的 6%，總量降至 250億噸。



(摘錄自地球圖輯隊，2022)



## 那些植物的固碳效率高？

農委會在宜蘭縣三星鄉、雲林縣古坑鄉及台南縣學甲鎮各選定30公頃休耕農地試種大豆、向日葵及油菜等三種能源作物以提煉「生質柴油」，並規劃於今年擴大種植面積 2,000公頃，致力於利用休耕地發展能源作物，以建構能源作物產銷體系。



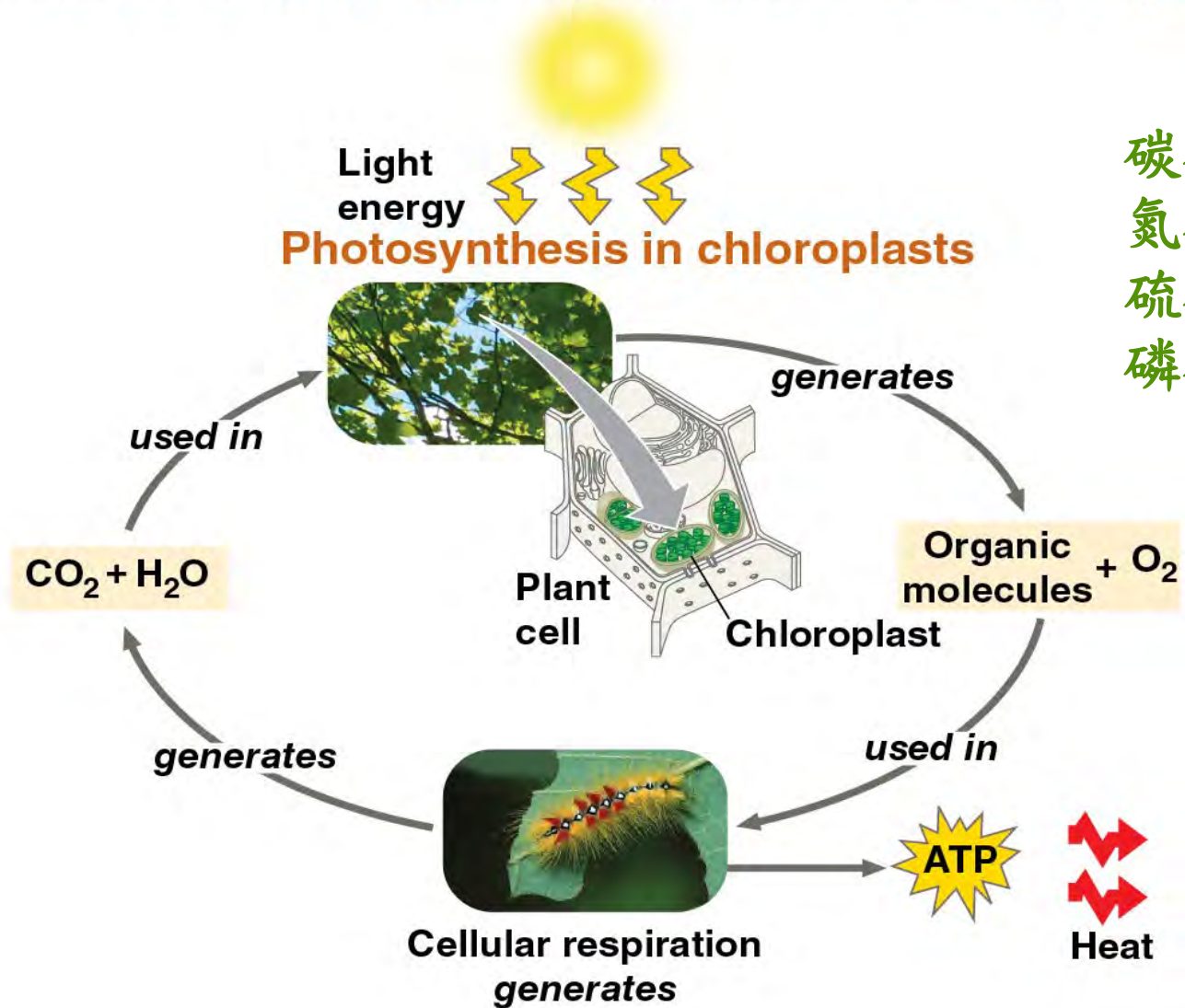
# 地球圈的生物生存要素---陽光、空氣、水







# How do photosynthetic cells use light to change carbon dioxide and water into organic molecules and oxygen?



碳循環  
氮循環  
硫循環  
磷循環



# The Process That Feeds the Biosphere

- **Photosynthesis** is the process that converts solar energy into chemical energy(轉化太陽能成化學能)
- Directly or indirectly, photosynthesis nourishes almost the entire living world
- Photosynthesis occurs in plants, algae, certain other unicellular eukaryotes, and some prokaryotes
- These organisms feed not only themselves but also most of the living world

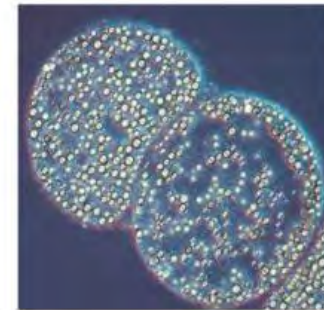




- **Autotrophs** (自營) sustain themselves without eating anything derived from other organisms
- Autotrophs are the producers of the biosphere, producing organic molecules from  $\text{CO}_2$  and other inorganic molecules
- Almost all plants are **photoautotrophs**, using the energy of sunlight to make organic molecules



# 除了陸地植物，海洋亦具有碳捕捉功能



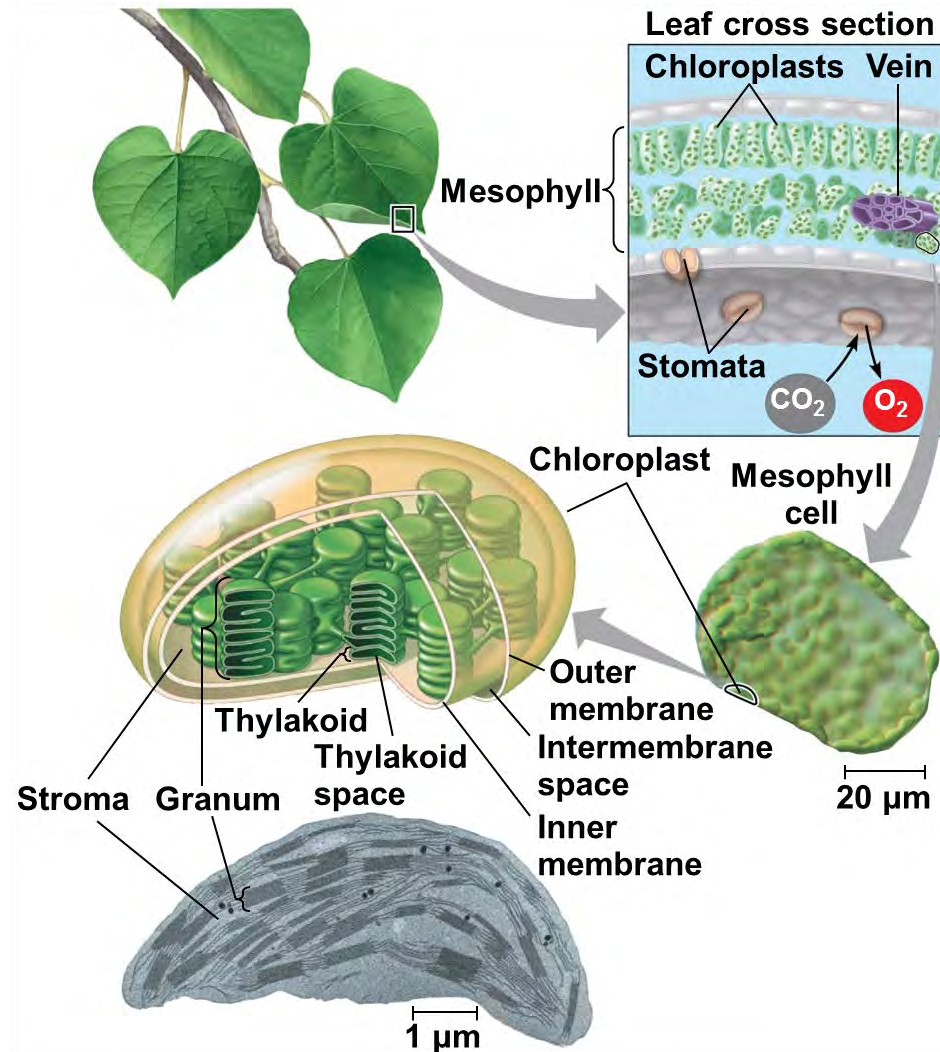


# 藻類生產生質能源





# 光合作用的主角---葉綠體





- 葉綠體與光合細菌的結構相似
- 葉片是葉綠體最主要分布的器官
- 葉綠體在葉片中，主要是在mesophyll(葉肉細胞)
- 每個葉肉細胞包含大約 30–40 chloroplasts
- $\text{CO}_2$  被吸收，以及  $\text{O}_2$  被排出主要從 stomata(氣孔)



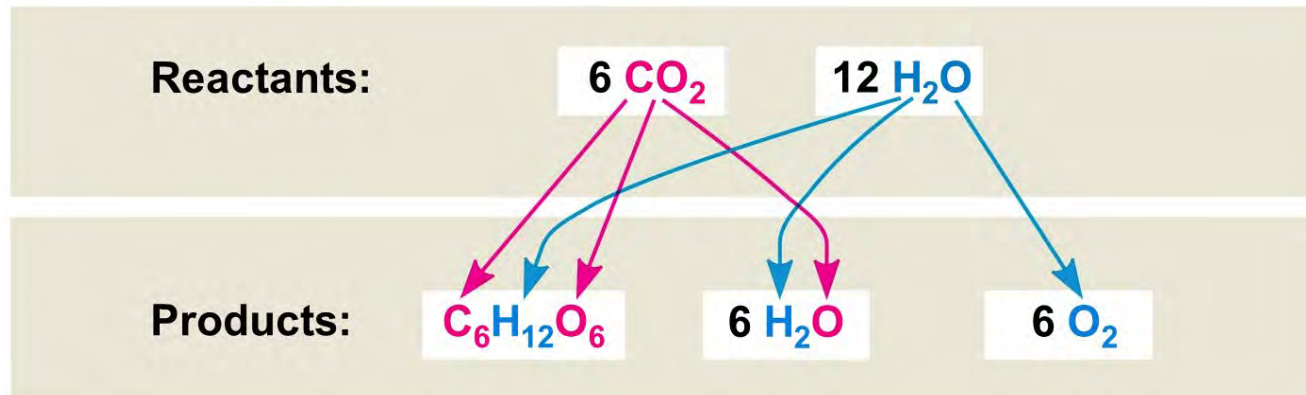


# 光合作用的總反應

- Photosynthesis is a complex series of reactions that can be summarized as the following equation:



- The overall chemical change during photosynthesis is the reverse of the one that occurs during cellular respiration
- Chloroplasts **split**  $\text{H}_2\text{O}$  into  $\text{H}_2$  and  $\text{O}_2$ , incorporating the electrons of  $\text{H}_2$  into sugar molecules and releasing  $\text{O}_2$  as a by-product

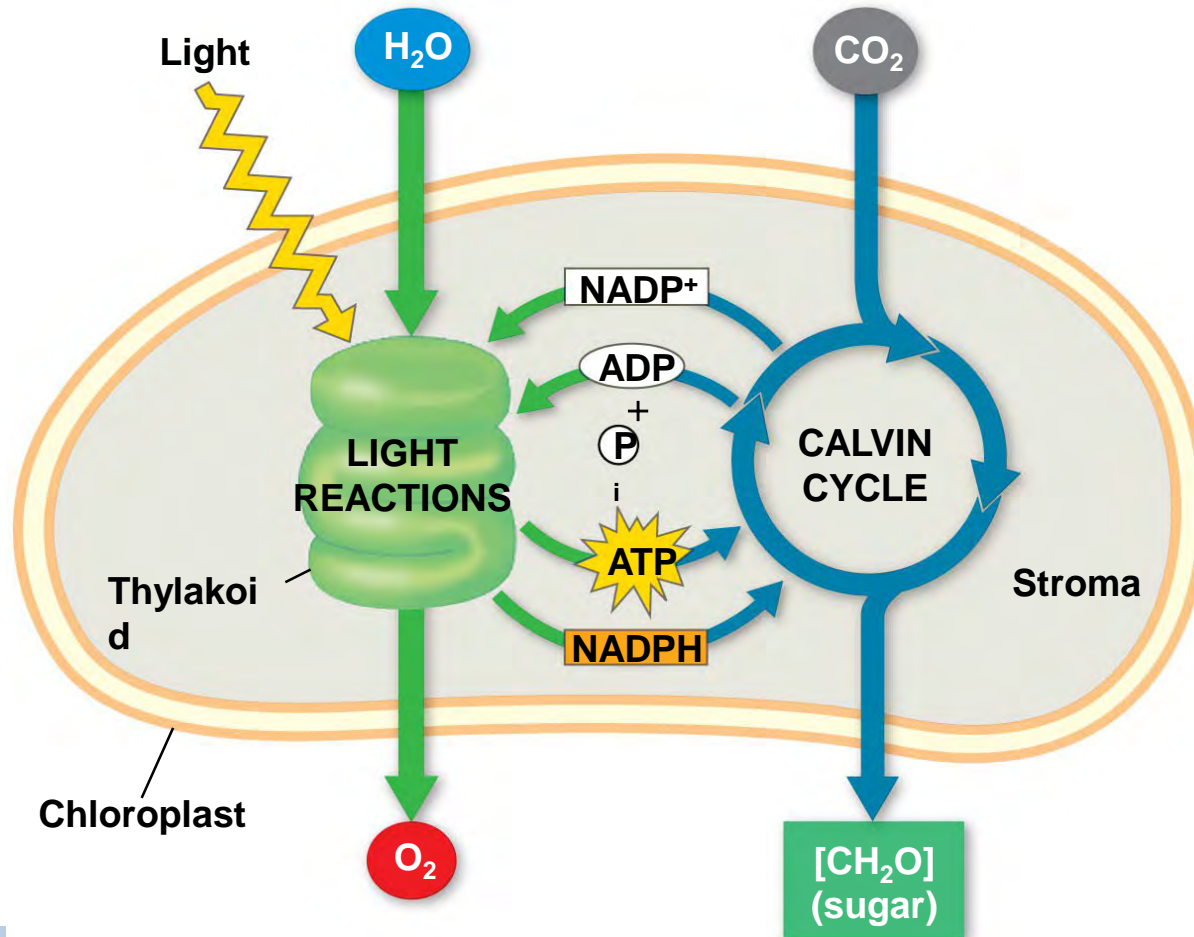




# 光合作用的二大步驟

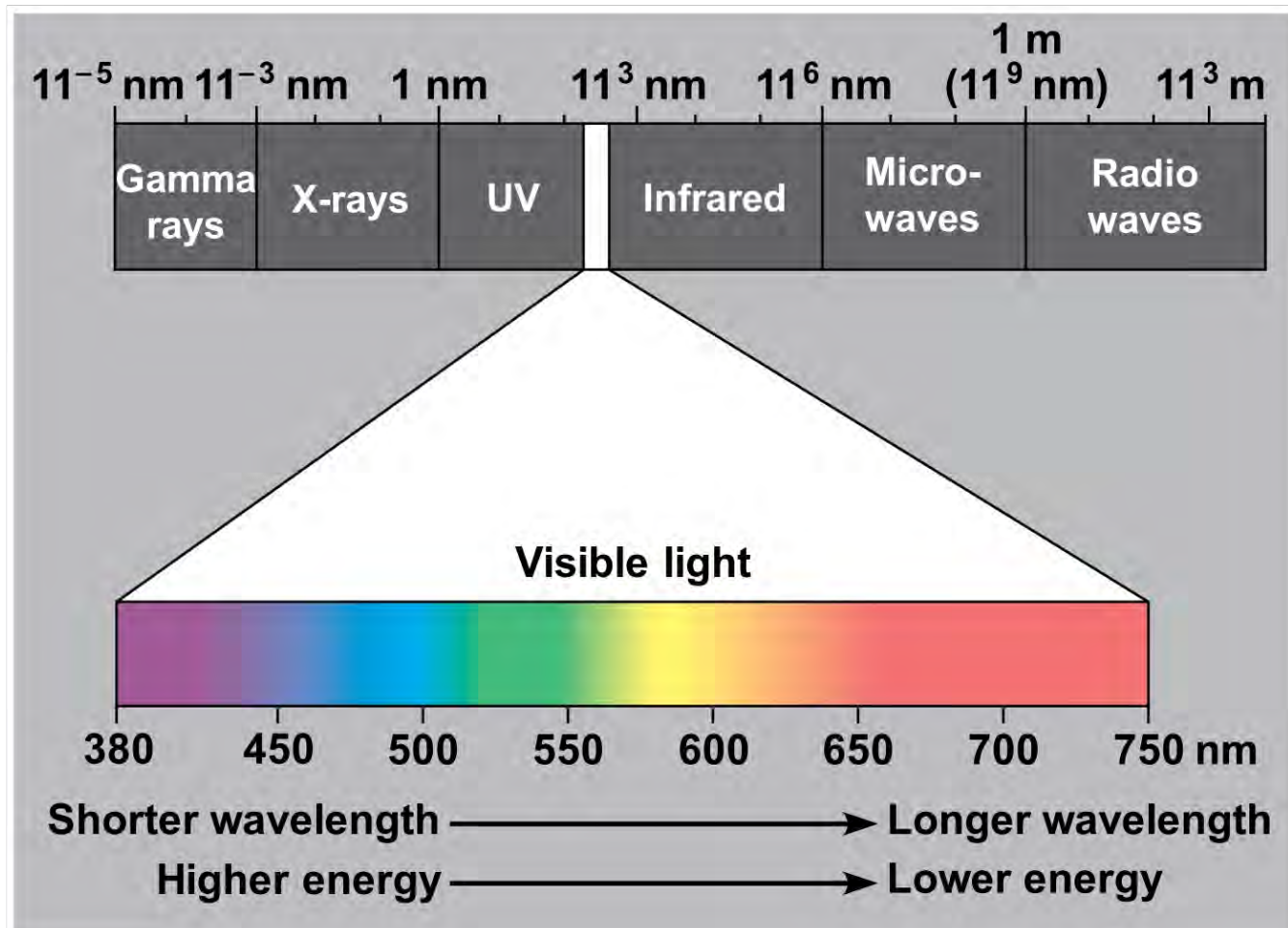
1. **light reactions** (光反應) --- 光能被固定成化學能
2. **Dark reaction** (暗反應) --- 化學能拿去固定碳

光能被類囊體 (thylakoids) 上的葉綠素分子吸收後，促進 NADPH and ATP 合成。此二物質再於暗反應的卡文循環 (Calvin cycle) 將氣體  $\text{CO}_2$  固定成碳水化合物



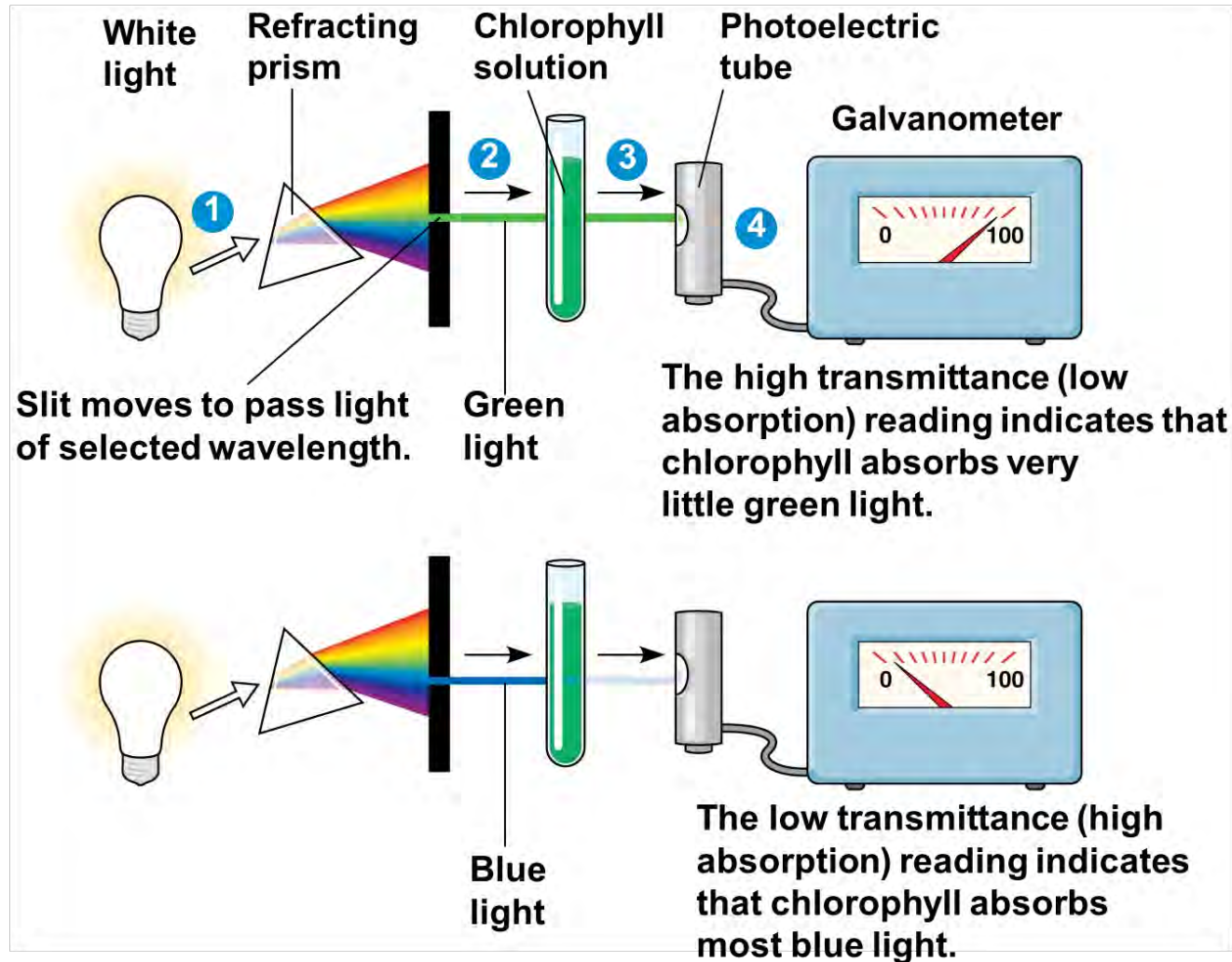


# 光的特性



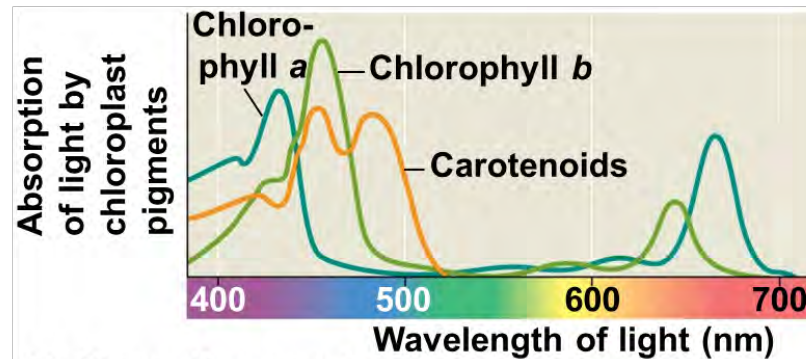


# 利用光電效應，測定哪種光波不會被葉綠素吸收

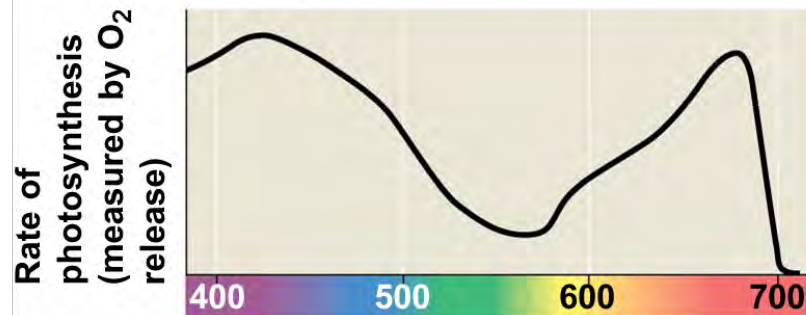




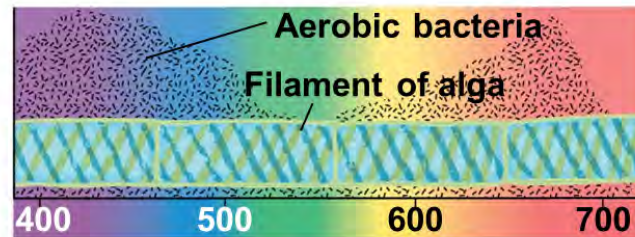
葉綠素吸收特定光之後，進行光合作用(包含吐出氧氣)



(a) Absorption spectra



(b) Action spectrum

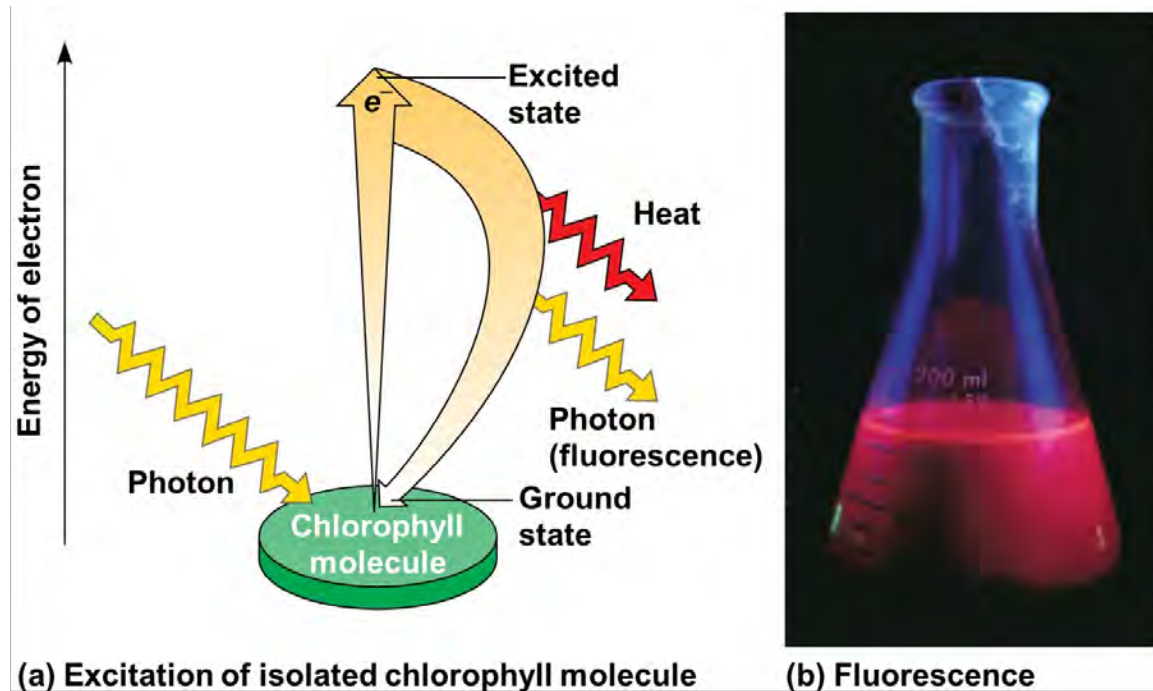


(c) Engelmann's experiment



# 光電效應

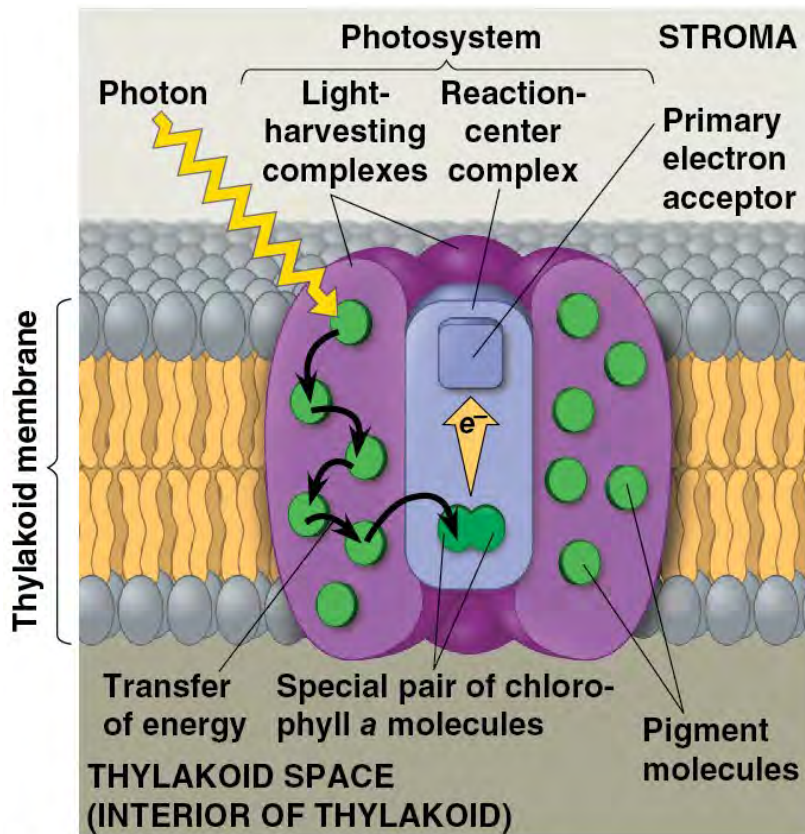
- 光子撞及葉綠素分子，其外圍電子由基本態(ground state)跳到激發態(excited state)，**能量轉換1.**
- 當電子再度回到基本態，該能量會用熱，或是螢光方式抵銷，**能量轉換2.**



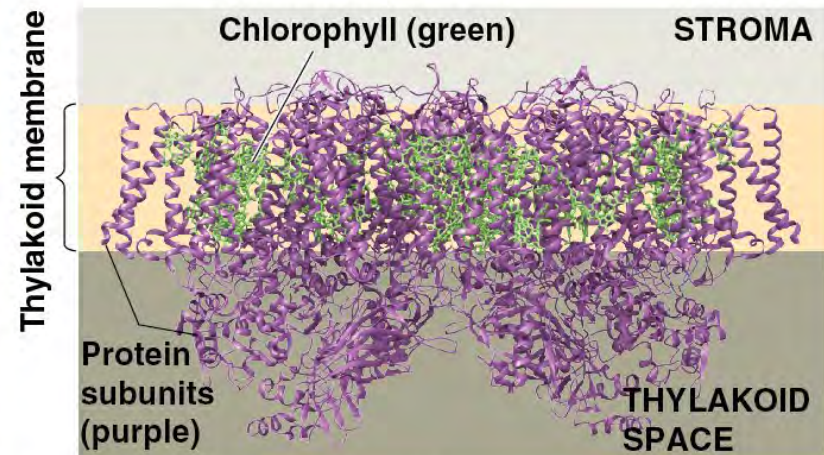


# 光電效應反應中心---光捕捉複合物

- A **photosystem** consists of a **reaction-center complex** (a type of protein complex) surrounded by light-harvesting complexes
- The **light-harvesting complexes** (pigment molecules bound to proteins) transfer the energy of photons to the reaction center



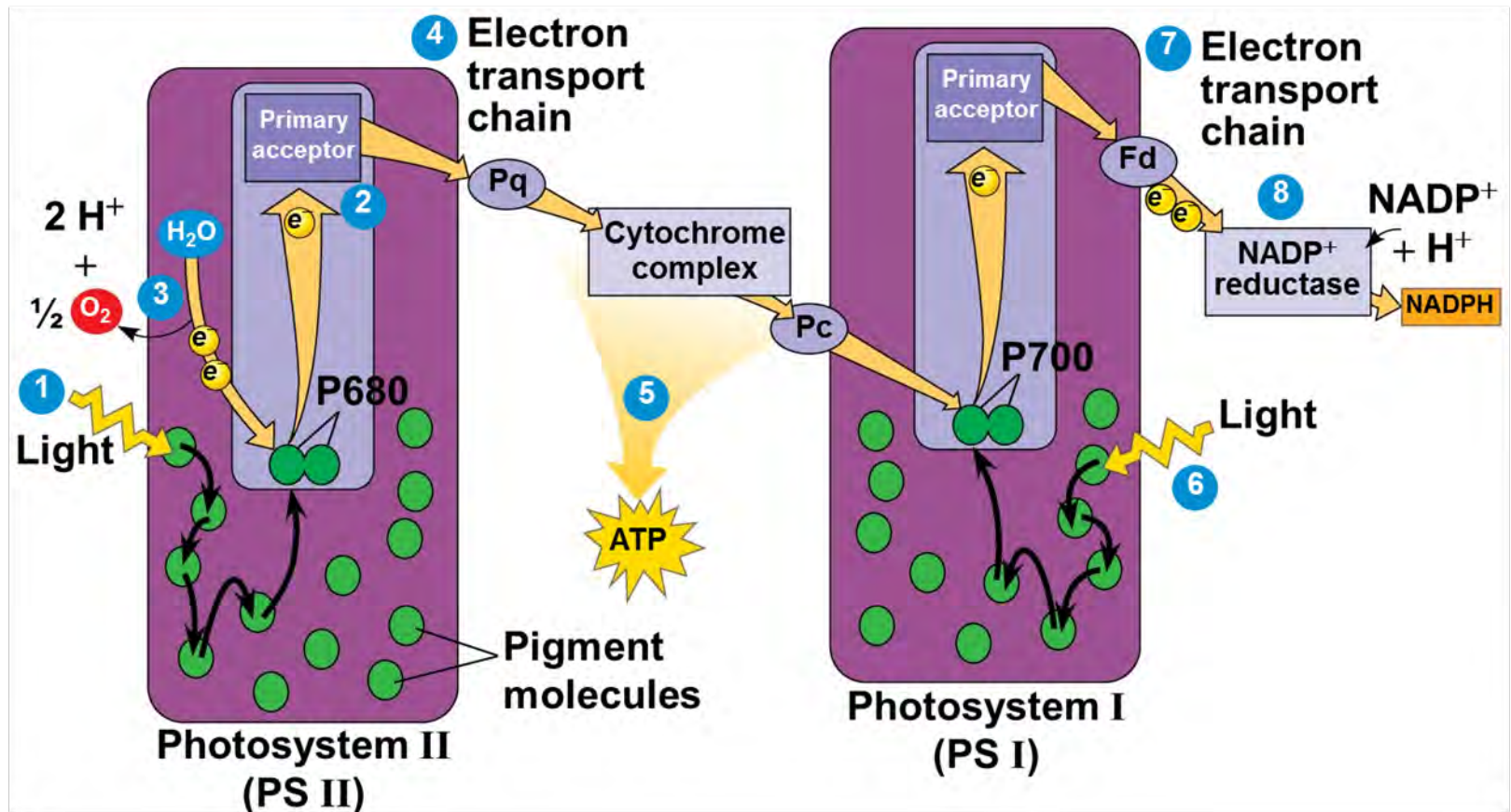
(a) How a photosystem harvests light



(b) Structure of a photosystem

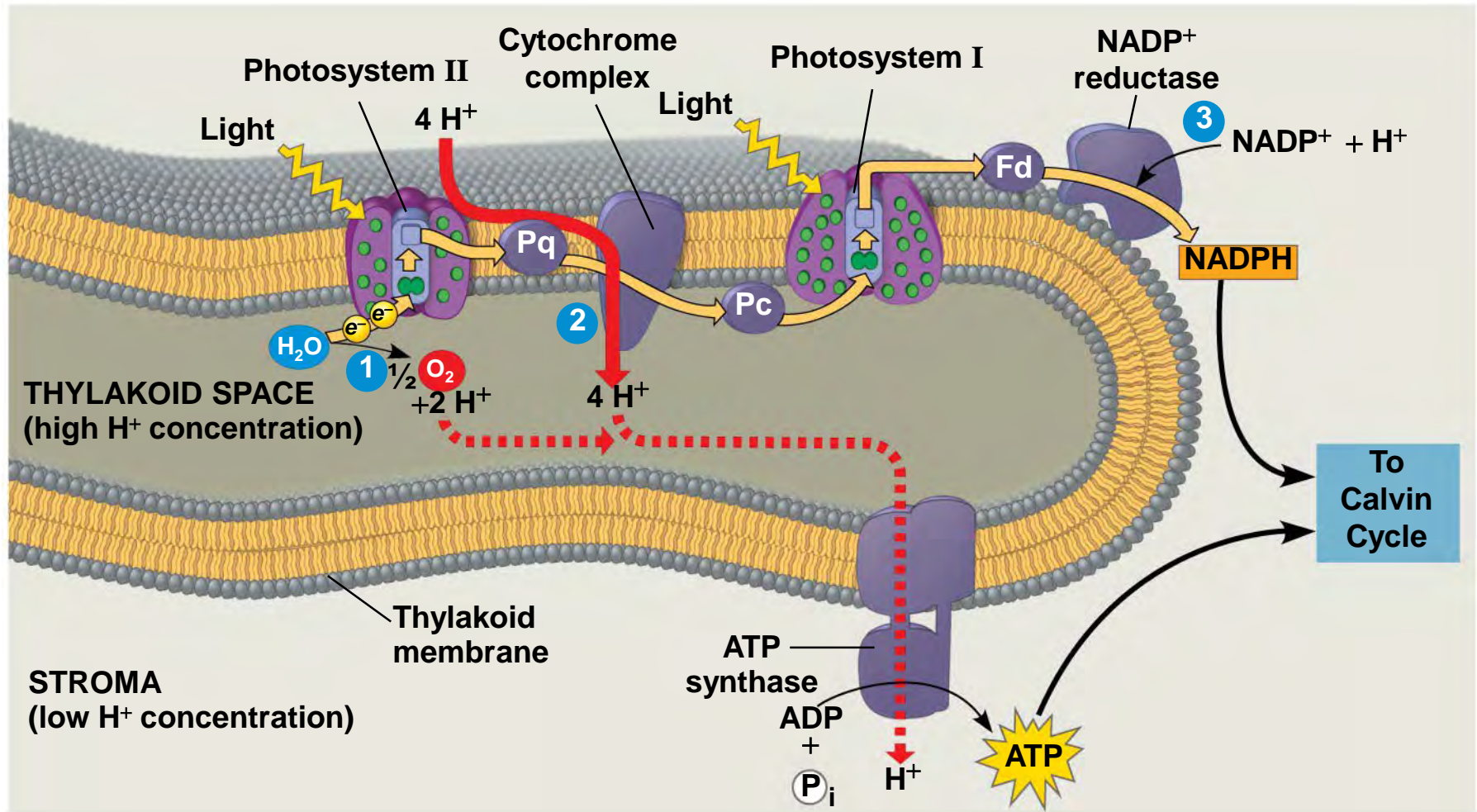
# 光捕捉複合物有二種

- **Photosystem II (PS II)** : 吸收 680 nm 紅光，為反應的第一位。
- **Photosystem I (PS I)** : 吸收 700 nm 紅光，為反應的第二位。





由葉綠素所組成的光捕捉複合物抓住陽光後，藉由反應中心跳出電子，之後傳到了NADPH，並形成ATP；為了補充電子，水也裂解，吐出 $O_2$





至此，光能，已經被葉綠素分子吸收而將其能量轉到ADP-P (ATP) 以及NADP-H中間的化學鍵了。

接下來 ATP與NADPH又要繼續做什麼呢？



# 卡文循環 (Calvin cycle ) ， 又稱作C3循環

包含三個步驟

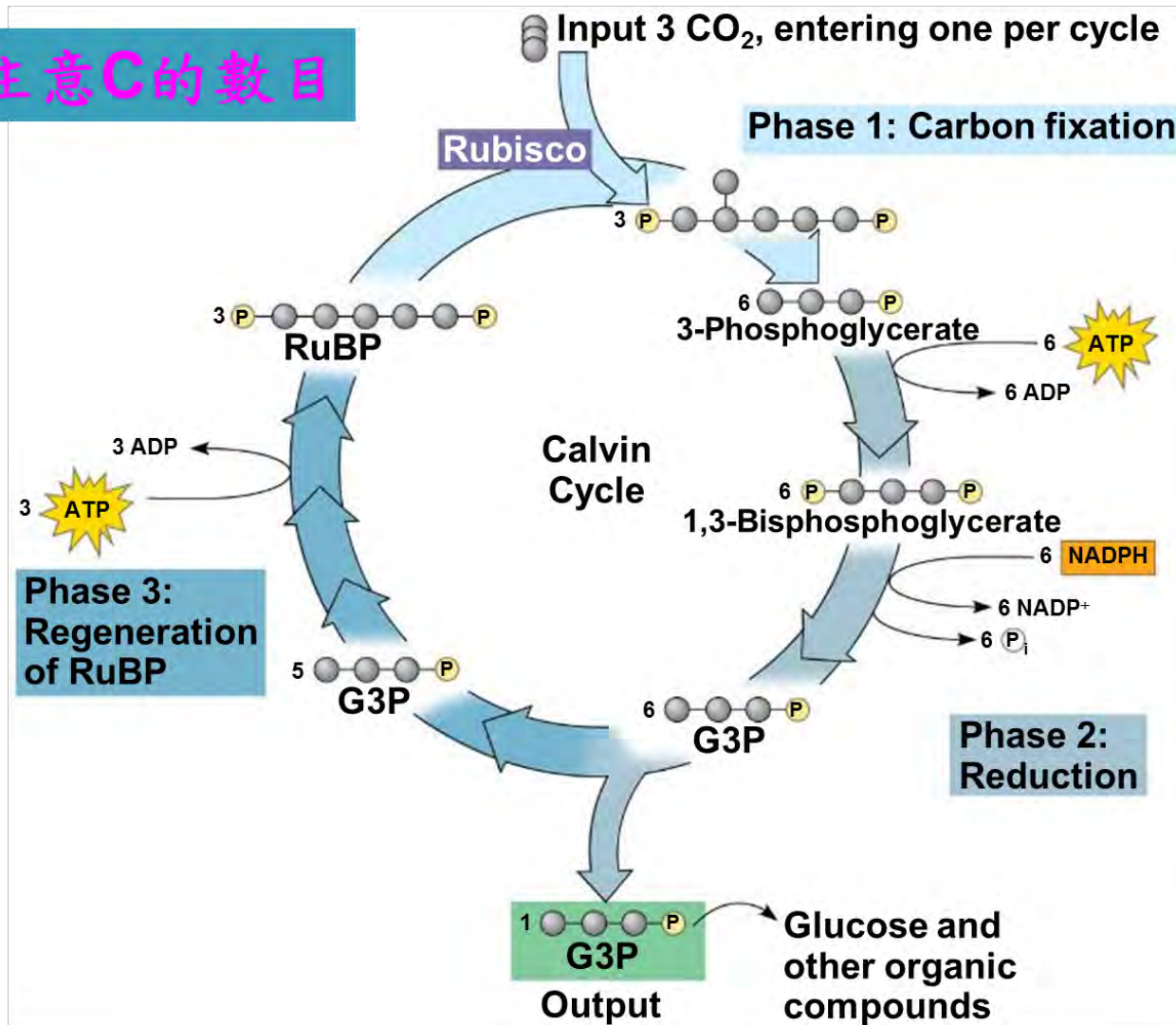
1. 接受器將氣體二氧化碳的固定
2. 二氧化碳組裝成醣類
3. 接受器重新再生循環

碳元素一個個連接會變成什麼？



三個 $\text{CO}_2$ 氣體先被Rubisco酵素結合後，形成3C糖，  
因此卡文循環又稱作C3循環

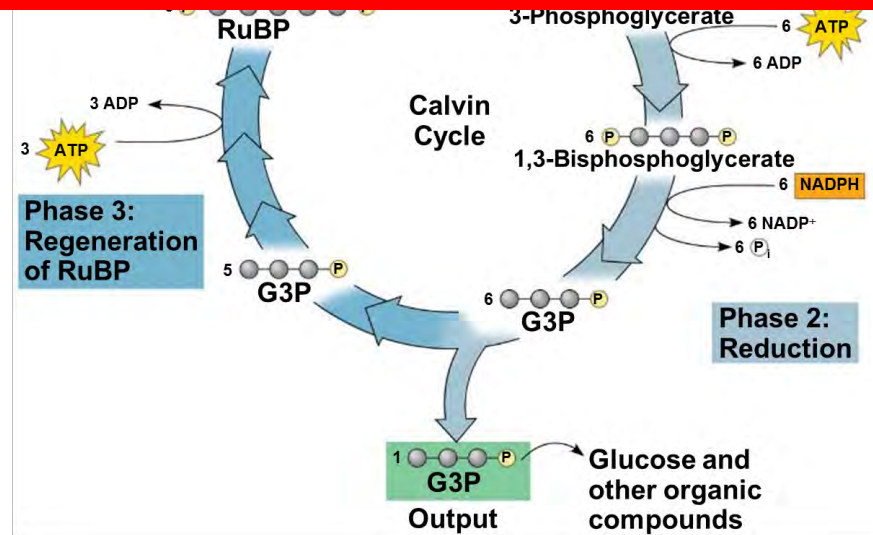
請注意C的數目





卡文循環的每個步驟，並不需要光的激發，因此才稱作暗反應(dark reaction)

**Question：**卡文循環在白天有光下進行，還是晚上進行？

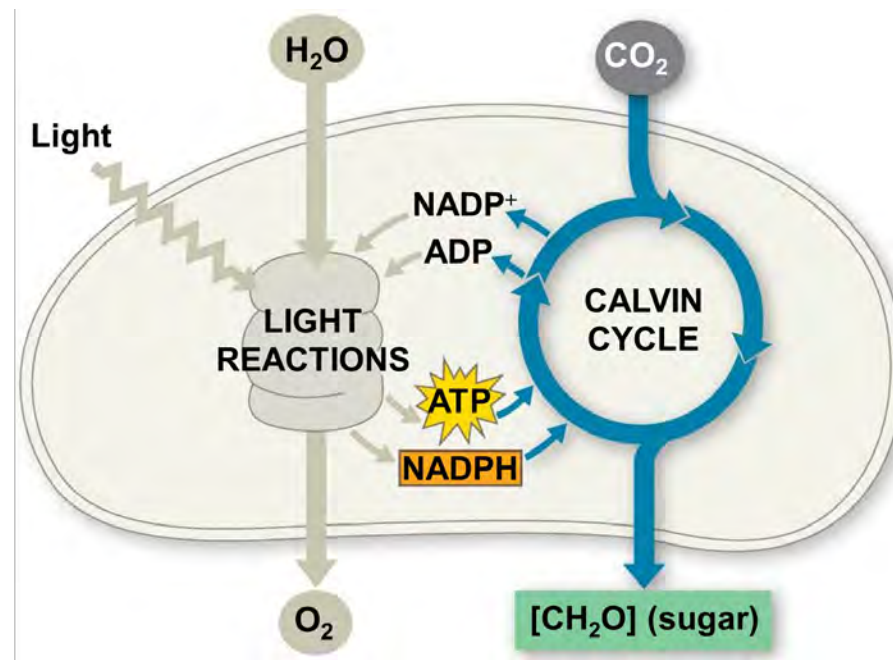






因此，光合作用就是太陽的光能被植物的葉綠素干擾，進行能量轉換成ATP與NADPH的化學鍵，該化學鍵在C3循環時又會斷裂，將能量轉給C-C-C形成化學鍵，因此，醣類中間的化學鍵能量，終究是來自陽光。

而當生態系中的各族群因為有了植物這種生產者，各食物鏈得以生存。這就是C的循環。



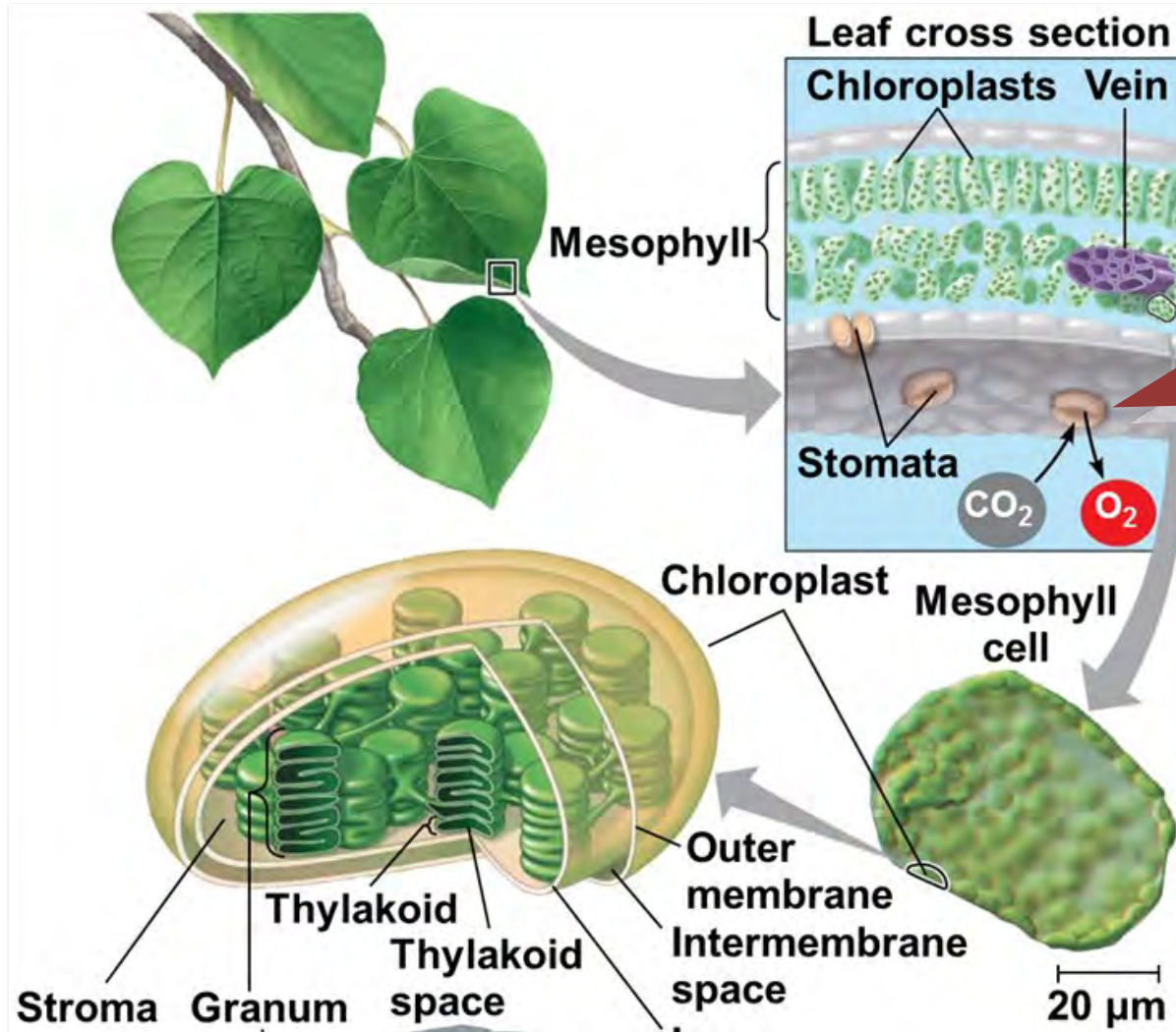


碳元素循環理應平衡，但當森林砍伐，或是石化工業等，會讓原本平衡的各種形式碳元素出現板塊飄移，亦即氣體形式的碳( $\text{CO}_2$ )變多了，而固體形式的碳(醣類、石油....)減少了。(塑膠為另一議題...)

**有無增加葉綠體固定 $\text{CO}_2$ 的方法？**



# C4與CAM植物的誕生



當環境乾燥缺水時，您覺得氣孔是打開還是關閉？



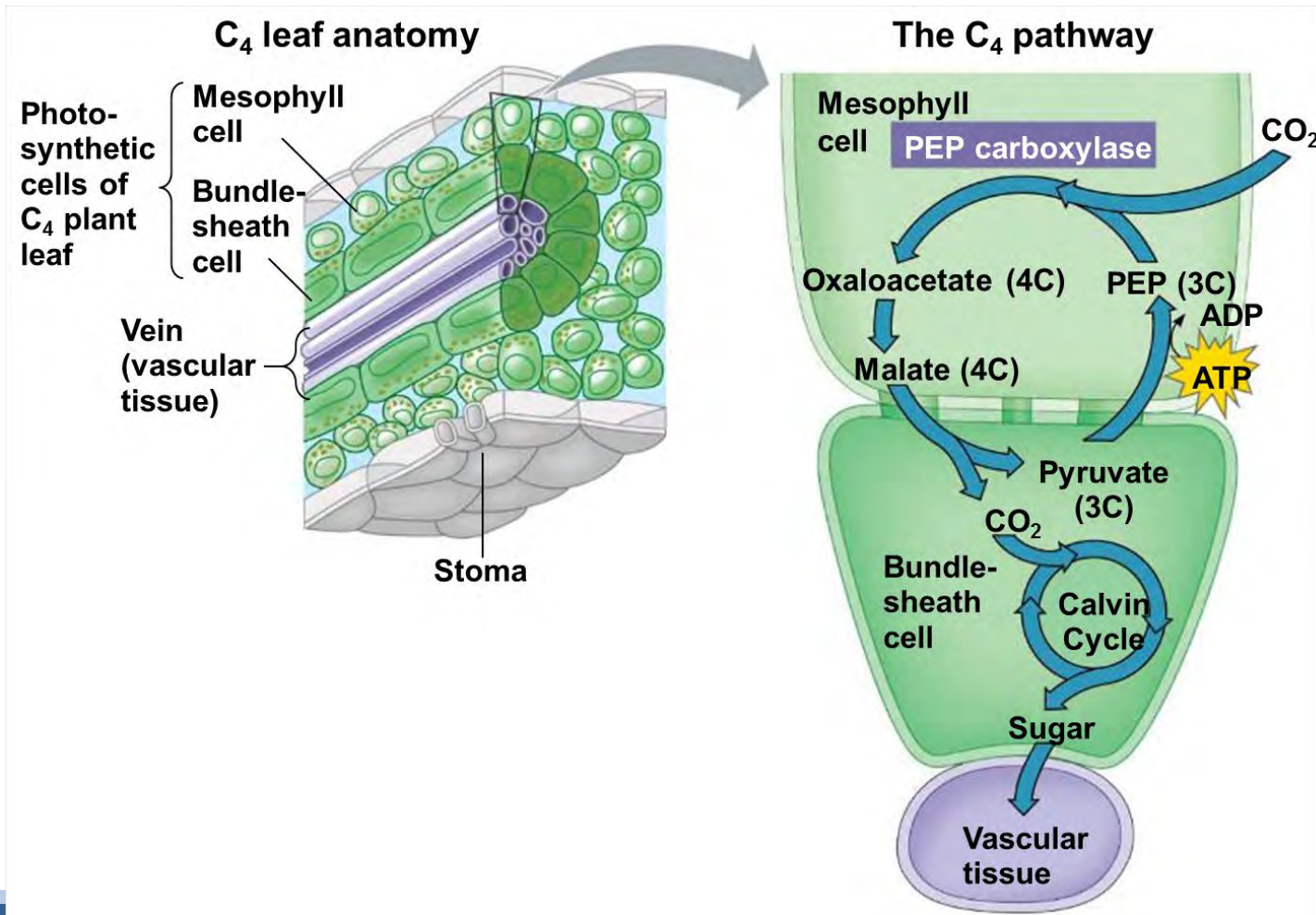
## 氣孔關閉會發生什麼事？

- 光反應中，水裂解所產生的 $O_2$ 無法排出，外面的 $CO_2$ 則無法進入，因此，沒有C源可以被固定呀~~~ 植物被強迫接受 $O_2$ 而形成所謂的光呼吸(photorespiration)現象。也就是光能無法固定空氣游離的 $CO_2$ 。
- 因此，C3植物相當容易出現光呼吸現象，對固C並無防護機制。



# 碳固定的外掛裝置 --- C<sub>4</sub>與CAM cycle

碳可以先被固定成其他物質貯存起來，氣孔關閉，就轉換出CO<sub>2</sub>，繼續卡文璇還去固定成醣類。因此，氣體形式的CO<sub>2</sub>仍是可以降低的。







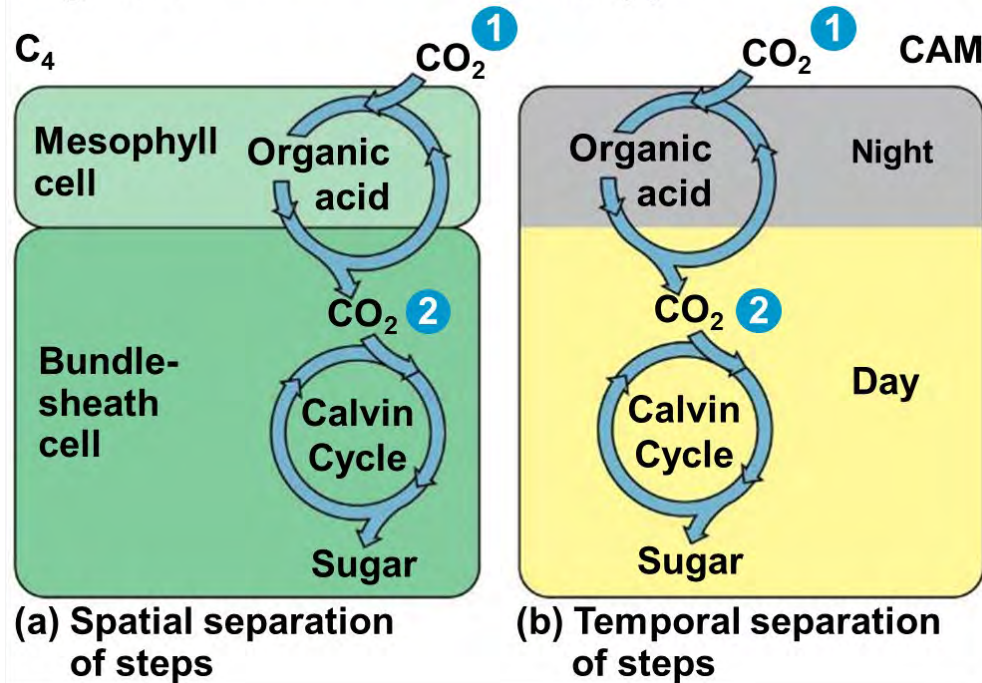
# crassulacean acid metabolism (CAM)植物則是利用晚上固定氣體的CO<sub>2</sub>



Sugarcane

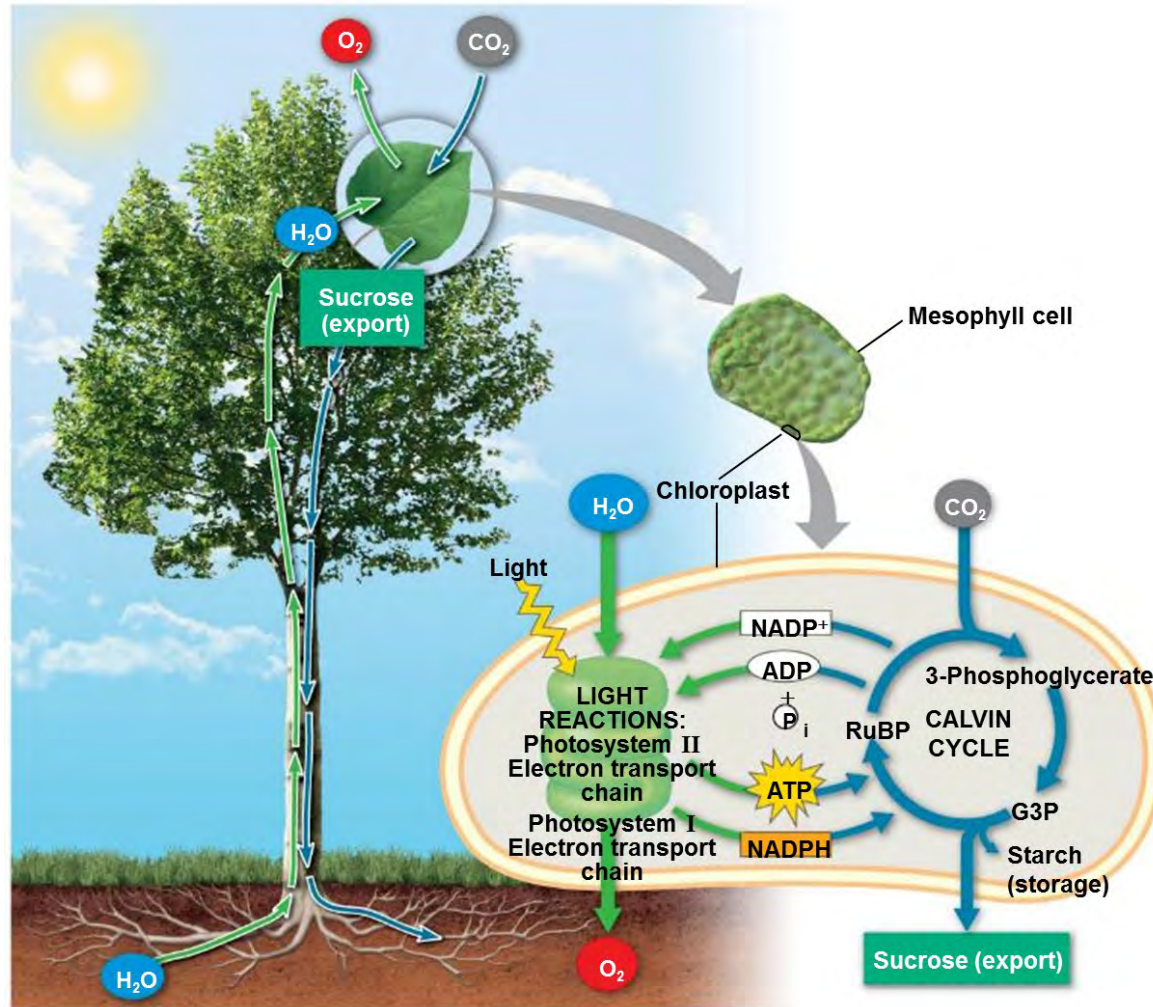


Pineapple





# 生理學家在清楚這些生化反應後，能夠利用基因工程增加酵素的活性，培育高度碳捕捉的作物嗎？





讓夢想起飛~~~ 謝謝聆聽~~~







# 光形態發生與植物的防禦機制



**(a) Before exposure to light**

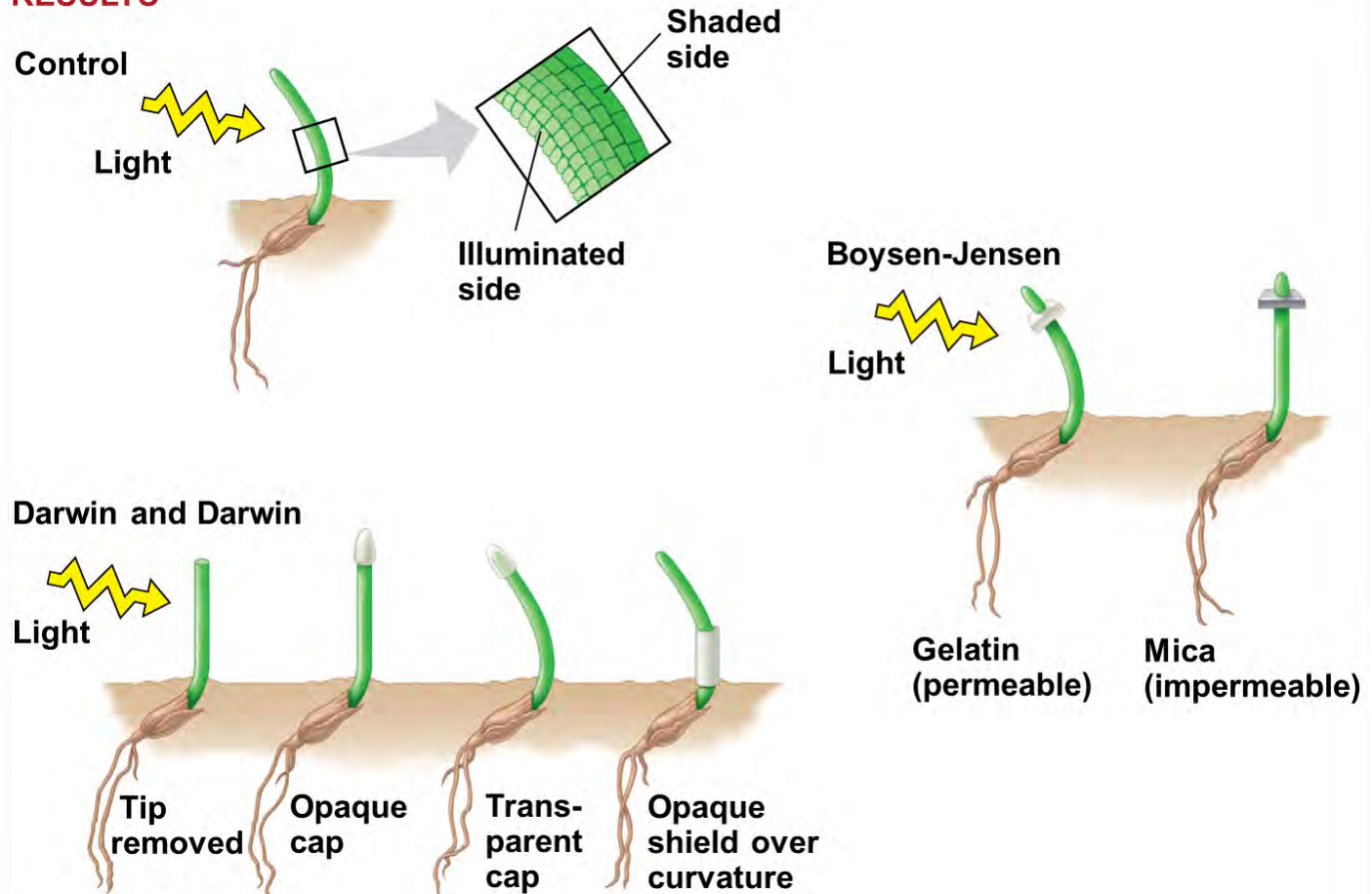


**(b) After a week's exposure to natural daylight**

© 2011 Pearson Education, Inc.

# 植物的向光性(phototropism)

## RESULTS



© 2011 Pearson Education, Inc.





# 植物荷爾蒙的發現

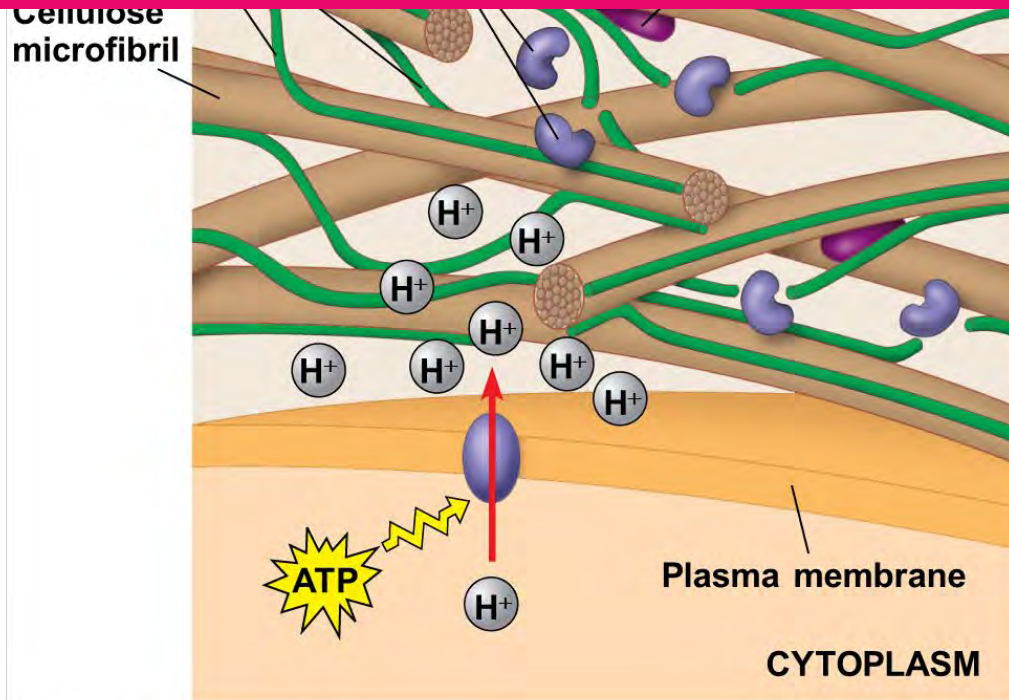
**Table 39.1 Overview of Plant Hormones**

Hormone	Where Produced or Found in Plant	Major Functions
Auxin (IAA)	Shoot apical meristems and young leaves are the primary sites of auxin synthesis. Root apical meristems also produce auxin, although the root depends on the shoot for much of its auxin. Developing seeds and fruits contain high levels of auxin, but it is unclear whether it is newly synthesized or transported from maternal tissues.	Stimulates stem elongation (low concentration only); promotes the formation of lateral and adventitious roots; regulates development of fruit; enhances apical dominance; functions in phototropism and gravitropism; promotes vascular differentiation; retards leaf abscission.
Cytokinins	These are synthesized primarily in roots and transported to other organs, although there are many minor sites of production as well.	Regulate cell division in shoots and roots; modify apical dominance and promote lateral bud growth; promote movement of nutrients into sink tissues; stimulate seed germination; delay leaf senescence.
Gibberellins	Meristems of apical buds and roots, young leaves, and developing seeds are the primary sites of production.	Stimulate stem elongation, pollen development, pollen tube growth, fruit growth, and seed development and germination; regulate sex determination and the transition from juvenile to adult phases.
Brassinosteroids	These compounds are present in all plant tissues, although different intermediates predominate in different organs. Internally produced brassinosteroids act near the site of synthesis.	Promote cell expansion and cell division in shoots; promote root growth at low concentrations; inhibit root growth at high concentrations; promote xylem differentiation and inhibit phloem differentiation; promote seed germination and pollen tube elongation.
Absciscic acid (ABA)	Almost all plant cells have the ability to synthesize absciscic acid, and its presence has been detected in every major organ and living tissue; may be transported in the phloem or xylem.	Inhibits growth; promotes stomatal closure during drought stress; promotes seed dormancy and inhibits early germination; promotes leaf senescence; promotes desiccation tolerance.
Strigolactones	These carotenoid-derived hormones and extracellular signals are produced in roots in response to low phosphate conditions or high auxin flow from the shoot.	Promote seed germination, control of apical dominance, and the attraction of mycorrhizal fungi to the root.
Ethylene	This gaseous hormone can be produced by most parts of the plant. It is produced in high concentrations during senescence, leaf abscission, and the ripening of some types of fruits. Synthesis is also stimulated by wounding and stress.	Promotes ripening of many types of fruit, leaf abscission, and the triple response in seedlings (inhibition of stem elongation, promotion of lateral expansion, and horizontal growth); enhances the rate of senescence; promotes root and root hair formation; promotes flowering in the pineapple family.

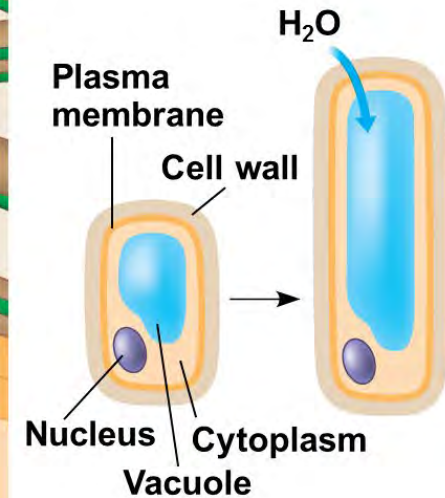
# 生長素所調控的細胞變大 --- 細胞壁重塑

思考一下!!!

細胞分裂後的骨架重塑與癌細胞的軟硬...



© 2011 Pearson Education, Inc.





# *Cytokinins* (細胞分裂素)

- **Cytokinins** are so named because they stimulate cytokinesis (cell division)
- 抗老化

椰子汁富含細胞分裂素--- 嘴破根植物分裂素.....



## *Gibberellins*(激勃素, 吉貝素)

**Gibberellins** have a variety of effects, such as stem elongation, fruit growth, and seed germination

### Fruit Growth

- In many plants, both auxin and gibberellins must be present for fruit to develop



(a) Rosette form (left) and gibberellin-induced bolting (right)



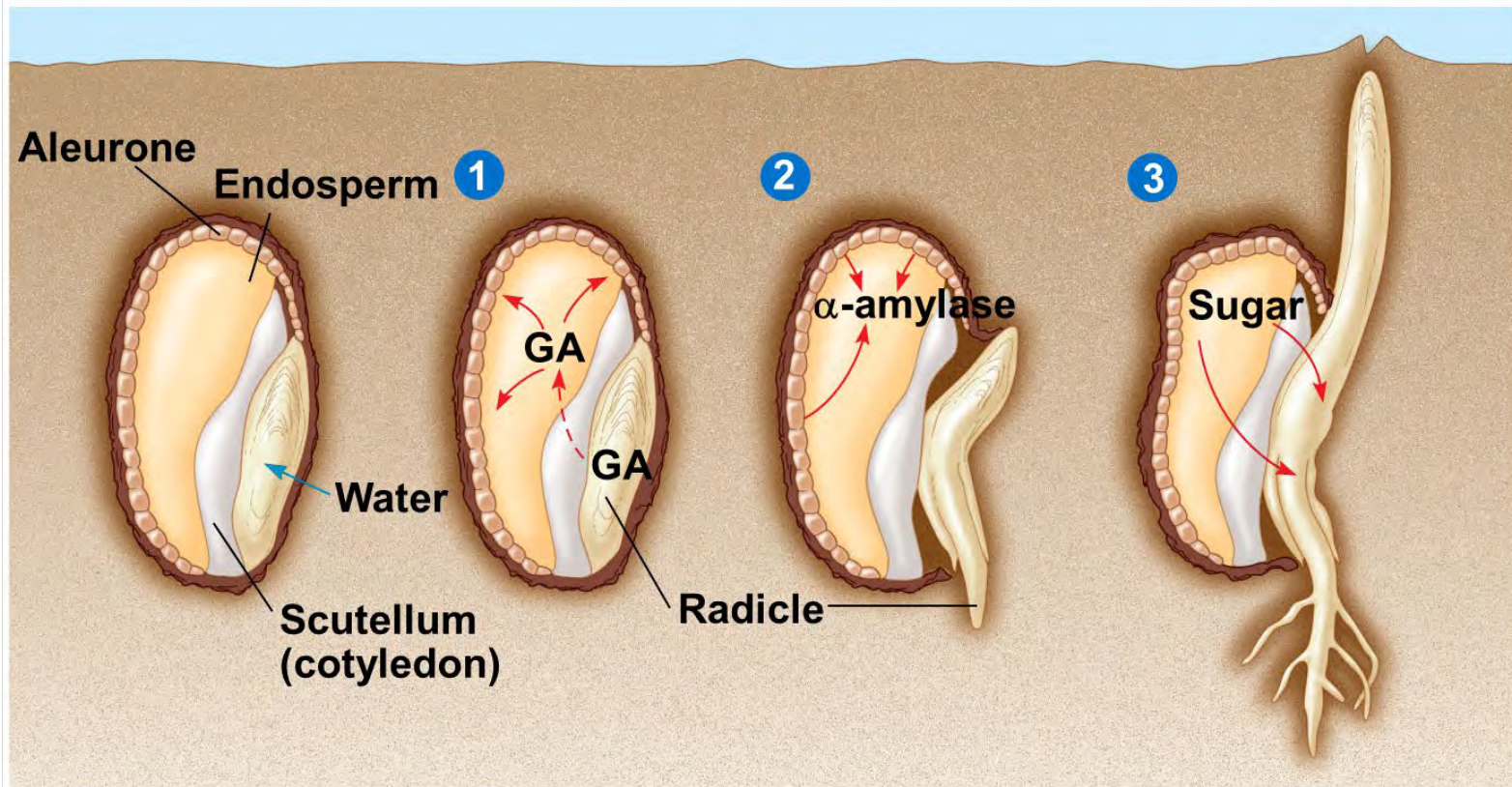
(b) Grapes from control vine (left) and gibberellin-treated vine (right)





# Germination(發芽)

種子為何要休眠？種子的結構在植物一輩子中的角色？  
什麼才是友善的環境？



© 2011 Pearson Education, Inc.





# Abscisic Acid(離層酸)

- **Abscisic acid (ABA)** slows growth
- Two of the many effects of ABA
  - Seed dormancy
  - Drought tolerance



◀ Red mangrove (*Rhizophora mangle*) seeds



▲ Maize mutant

© 2011 Pearson Education, Inc.



# Ethylene(乙烯)

- Plants produce **ethylene** in response to stresses such as drought, flooding, mechanical pressure, injury
- The ethylene response includes **思考一下~~~ 為何要老化???** senescence, leaf abscission, and fruit ripening



蘋果本身除了分泌的蠟質，為  
何還要上一層食用蠟？

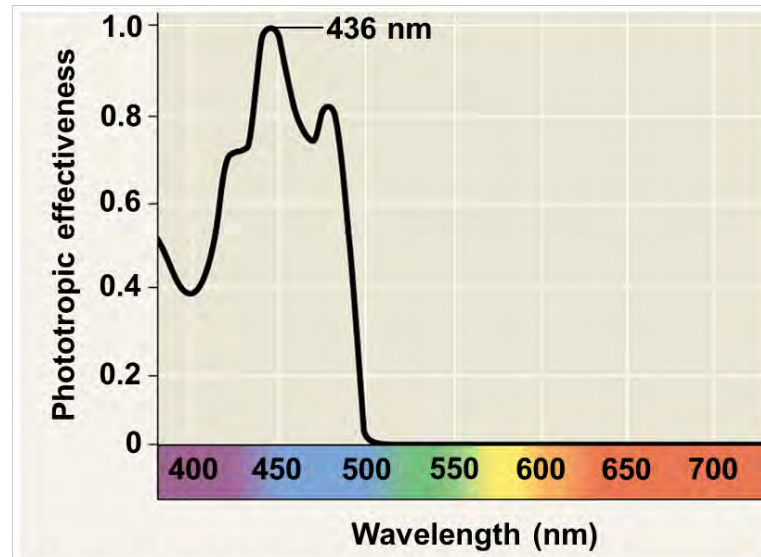
拜拜過的水果容易腐爛，阿嬤  
說是祖先吃過了？







# 什麼顏色的光會造成向光性？



(a) Phototropism action spectrum



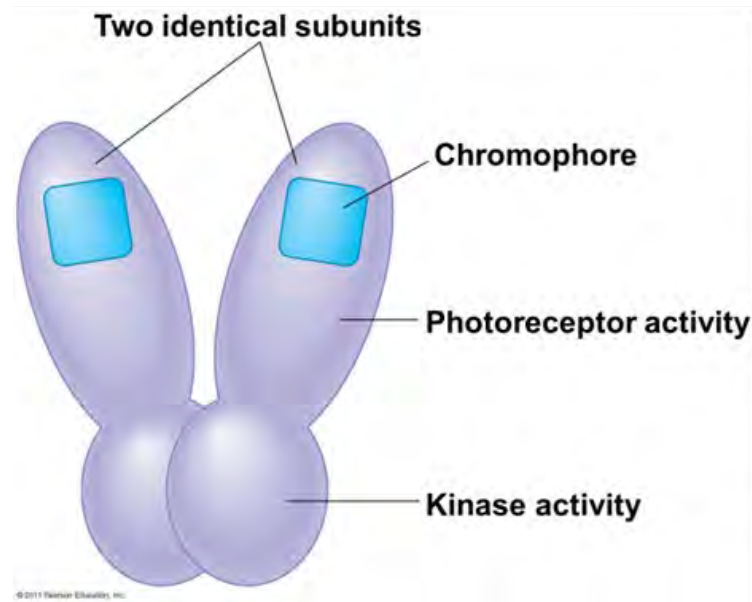
(b) Coleoptiles before and after light exposures

© 2011 Pearson Education, Inc.

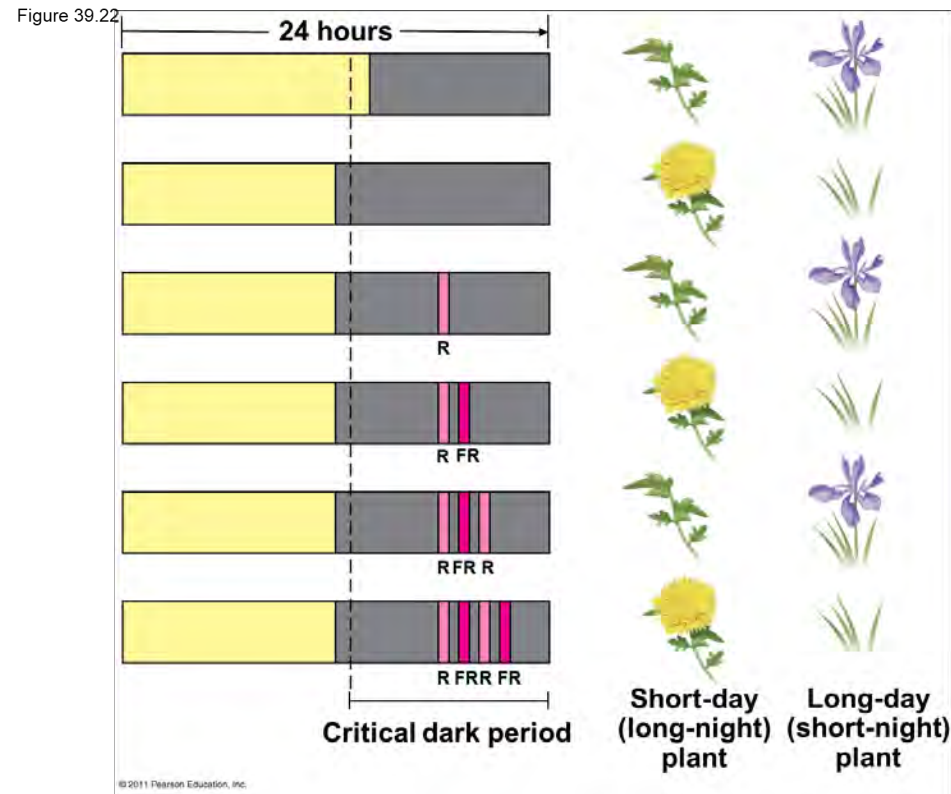
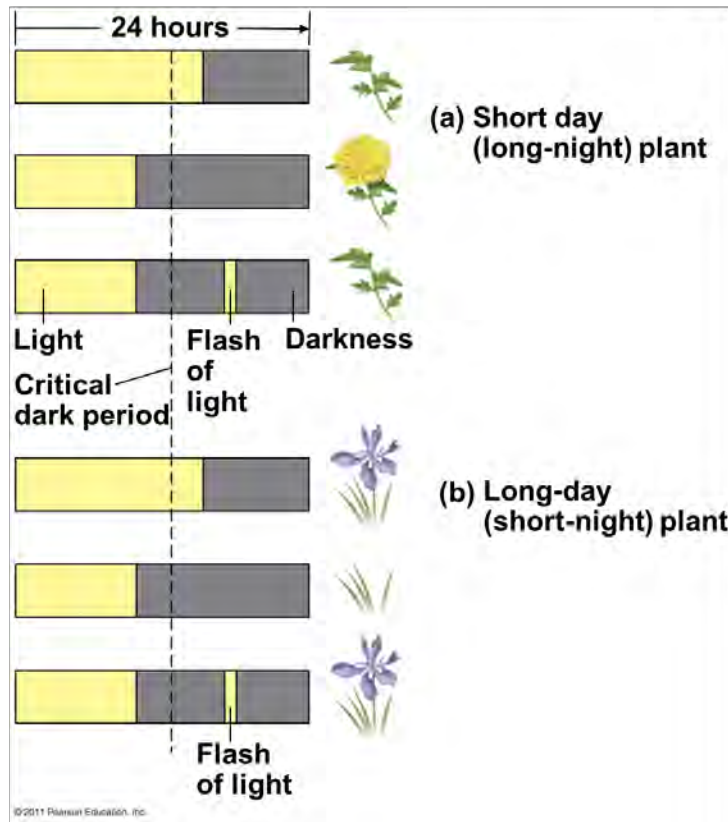


# 光敏素(Phytochromes)

光敏素由蛋白質以及色素組成的一團分子，主要分布在葉片細胞。可以接受不同顏色的光而啟動不同的光反應。



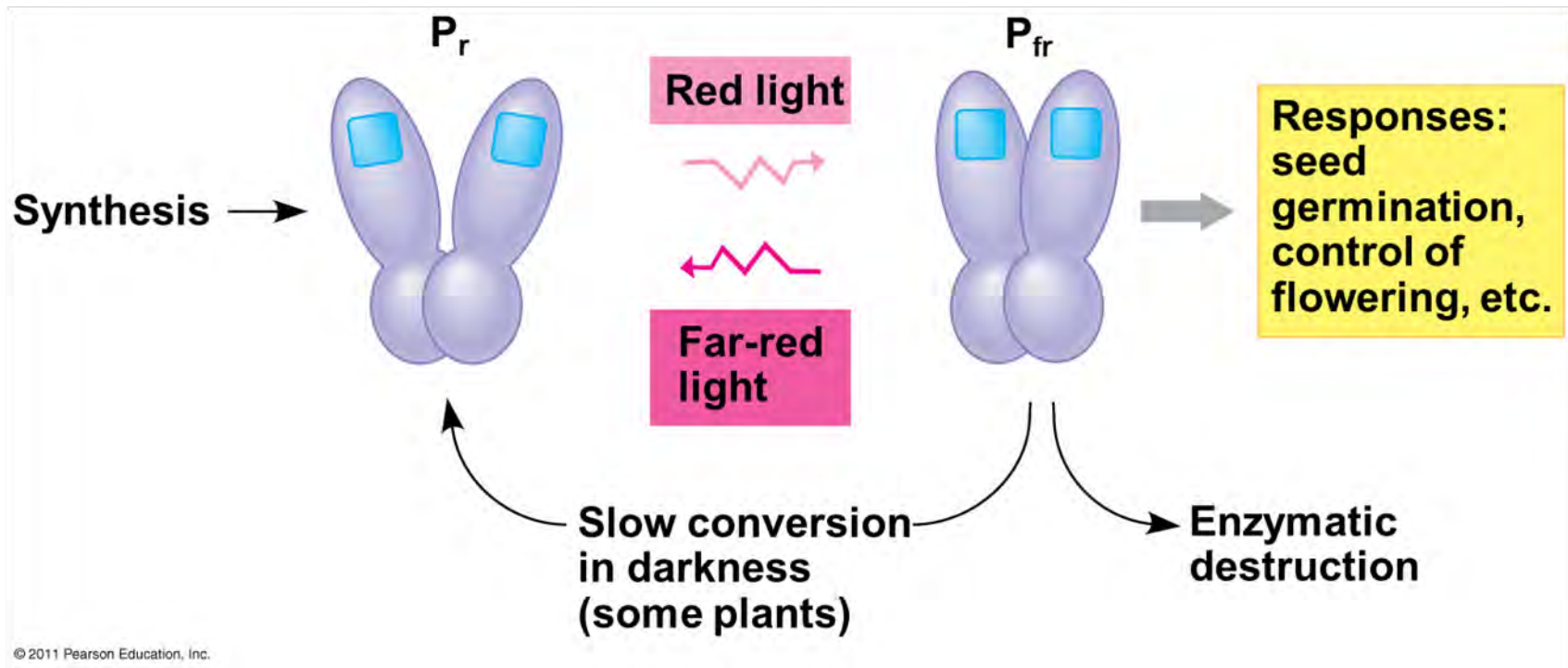
# 為何“閃”一下光，就抵銷前一個光的效應????





## 酵素行為的聖言 Key-Lock

光子打到色素，造成化學鍵的改變，因此光敏素(key)結構改變，這只需要非常短暫的時間，因此，開啟的功能變成關閉。之後另一個光，也是將改變的化學鍵又打回原形，因此，光敏素又恢復可開花。



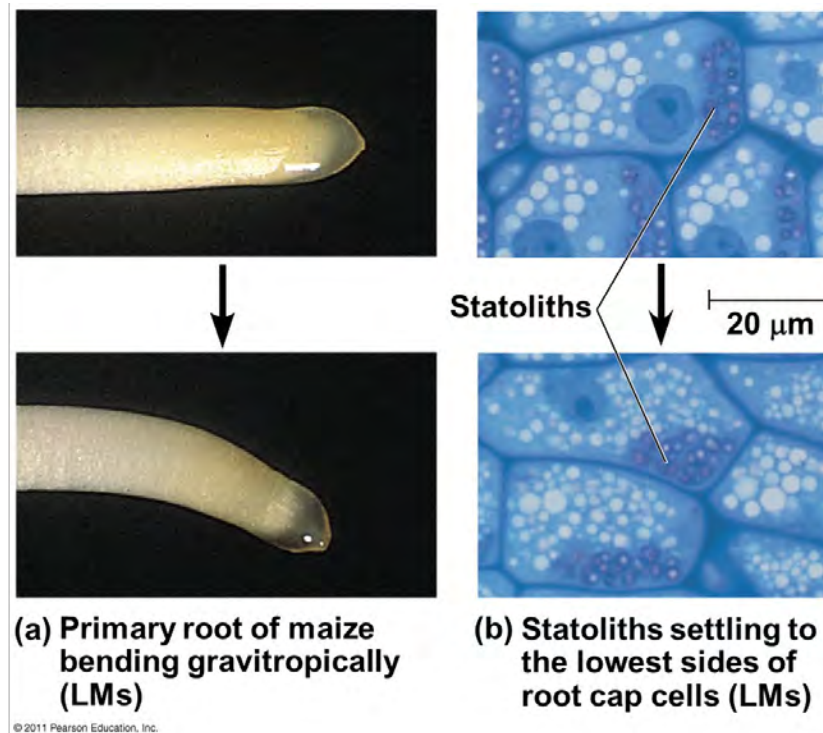




# 植物如何感應地心引力？動物細胞呢？ 太空人病

太空病或稱航天適應綜合徵 ( SAS ) 主要是由零重力、失重和其它與重力有關的改變所引起的。

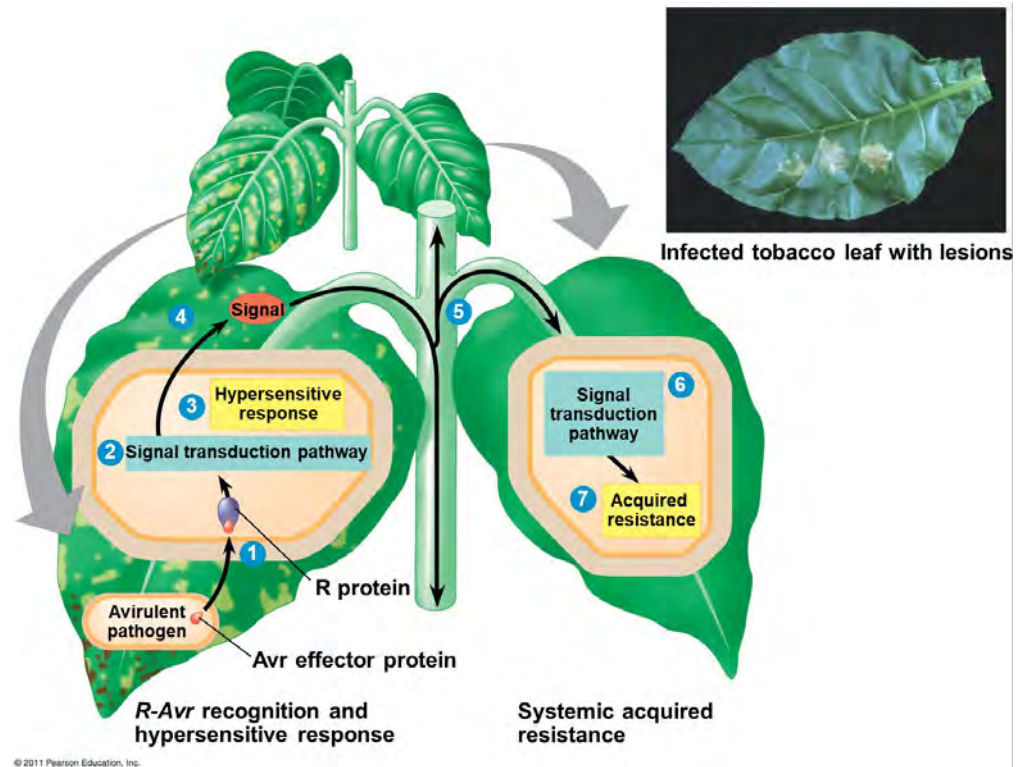
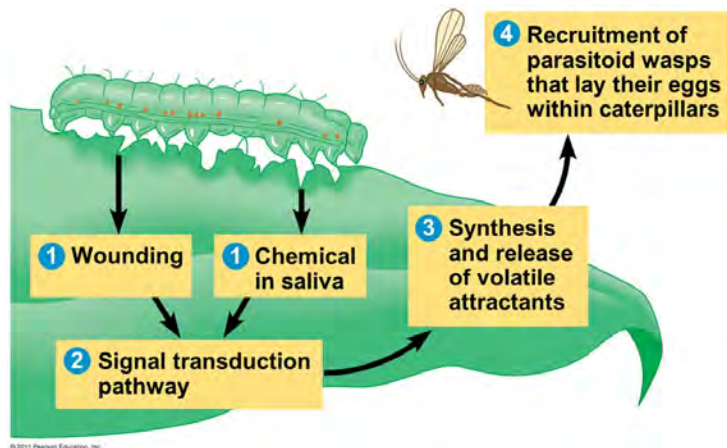
植物利用平衡石來感應gravity向量



© 2011 Pearson Education, Inc.

# 植物的超敏感(hypersensitive)反應

## 為何要用“超敏感”這三個字???





謝謝聆聽~~~