

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：植物學

作 品 名 稱：植物向光性的訊息傳導

學 校 / 作 者：臺北市私立再興高級中學 鄭瑞杰



作者簡介

我是鄭瑞杰，目前就讀台北市私立再興高中二年愛班。平常的課外活動喜歡看牛頓科學雜誌和打桌球。我喜歡生物，可能是還有許多未知的領域在吸引我去探索。我很幸運且高興有教授們和老師們在指導我完成作品，並順利通過初選。我希望將來能研究、了解並應用已知和未知的生物知識，來解決目前許多無法克服的困難和問題。

作品名稱：植物向光性的訊息傳導

中文摘要

植物依靠向光性爭取最多的光線，以進行光合作用，製造食物供給所有生物。雖然在十九世紀時植物的向光性就已經被發現，並且參與植物向光性的主要荷爾蒙為植物生長素也已經熟知，但是主要是植物的哪一個組織接受光訊息以誘導向光性，以及細胞內的哪些分子參與訊息傳遞，則都不清楚。因此這個研究，以可以發射特殊波長的發光二極體為光源照射綠豆小苗以研究向光性，結果顯示藍光和綠光而不是紅和黃光可以誘導向光性。就向光性訊息傳導的組織層面的研究而言，將豆苗的葉、葉柄、生長點、子葉分別除去後，再側面照光，發現向光性要產生必須要有生長點或葉柄，並且發現莖可以誘導向光性，而葉子不能誘導向光性，因此莖是主要接受光訊息以誘導向光性的組織。就向光性訊息傳導的分子層面的研究而言，植物以鈣離子的螯合劑和鈣離子通道阻斷劑處理後發現，細胞質內鈣離子濃度的增加是藍光和綠光誘導的向光性所需要的過程，有趣的是藍光誘導向光性的訊息傳導過程中，除了經由細胞內的鈣離子濃度的增加外，還有其它鈣離子不參與的訊息傳導途徑。此外，以蛋白質磷酸酶抑制劑和蛋白質去磷酸酶抑制劑處理植物後發現，藍光和綠光所誘導的向光性訊息傳導，都包含蛋白質去磷酸酶第 1 和 2a 型在細胞內的作用。因此植物的向光性需要有生長素才會表現，生長素由生長點製造後由生長點和葉柄儲存，在光刺激之下會誘導莖產生傳遞訊息，此訊息會傳遞到含有生長素的生長點和葉柄，使得生長素流向照光組織細胞，並且使得細胞內鈣離子濃度增加，活化蛋白質去磷酸酶第 1 和 2a 型，進而造成植物的向光性。

Signal transduction of phototropism in plant

Abstract

Phototropism allows plants to receive the most amount of light to perform photosynthesis, which produces food and energy for all organisms. The phenomenon of phototropism has been known since the 19th century, and auxin has been identified to be the main hormone involving in phototropism. However, the major plant tissue responsible for receiving light signal is not fully understood, and the signal transduction pathway within cells after light activation is not clear. Therefore, the phototropism of mungbean seedlings is examined by Light Emitting Diodes (LED) which produce the specific wavelength of light in this study. Results point out that blue and green lights rather than red and yellow lights induce phototropism of moonbeam. The phototropism of mungbean seedlings is further studied by plants whose leaves, petioles, apical meristem, or cotyledons were

removed, showing that the presence of either apical meristem or petioles is needed for inducing phototropism. Also, stem, not leaves, is the major tissue that receives light activation, and induces phototropism. The signal transduction of phototropism was further analyzed in the presence of calcium ion chelator and channel blockers. The signal transduction of phototropism induced by blue or green light contains the increasing concentration of calcium ion within cytosol. Interestingly, there is a calcium-independent transduction pathway for blue light only to induce phototropism. Additionally, staurosporine (STA), a protein kinase inhibitor and okadaic acid (OKA), a protein phosphatase inhibitor, were used to study the signal transduction pathway of phototropism, and results indicated that protein phosphatase 1 and 2a is needed for both blue and green lights to induce phototropism. Conclusively, the phototropism is triggered by the reception of light by stem, and the light signal is transferred to apical meristem and petioles that reserve auxin produced from apical meristem. Auxin is then transferred to the cells that is illuminated, increases the concentration of calcium ion and activates protein phosphatase 1 and 2a in cells, and finally phototropism occurs.

一、研究動機

植物的向光性是最早被發現並且最重要的一种植物向性，但是目前的研究大都以白色光或是藍色光為研究光源，但是白色光線是由許多不同顏色的光線所組成，光線的顏色對於植物生長向性的影響並無詳細的研究，並且近年來可以產生特殊光波長的二極發光體已研發成熟，因此這個研究先以可以產生藍色、綠色、黃色、和紅色的二極發光體側面照射植物，發現除了大家已知的藍色光可以誘導植物有向光性外，綠色光也可以誘導植物產生向光性，因此這個計畫希望就植物組織的反應和分子訊息傳導兩方面，研究藍光和綠光在誘導向光性上的異同。

二、研究目的

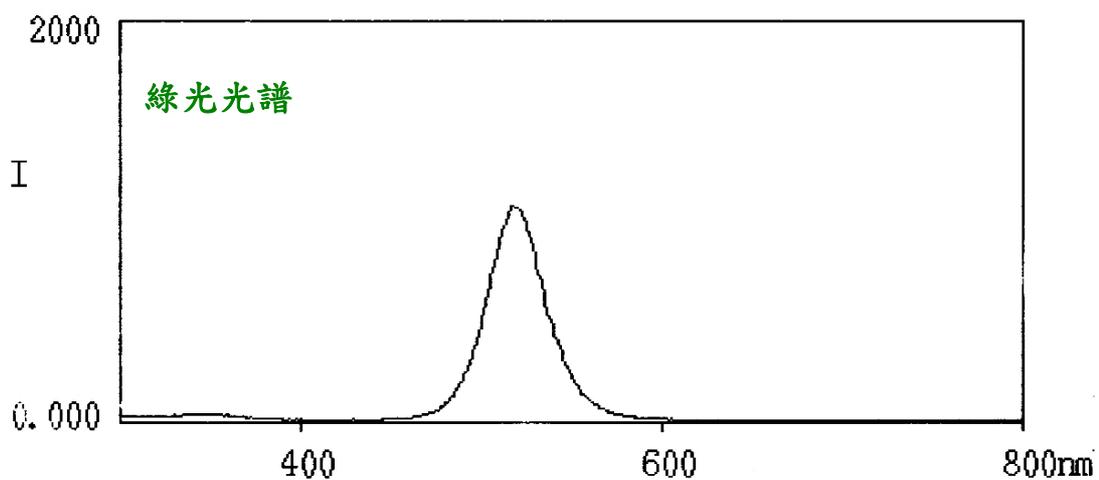
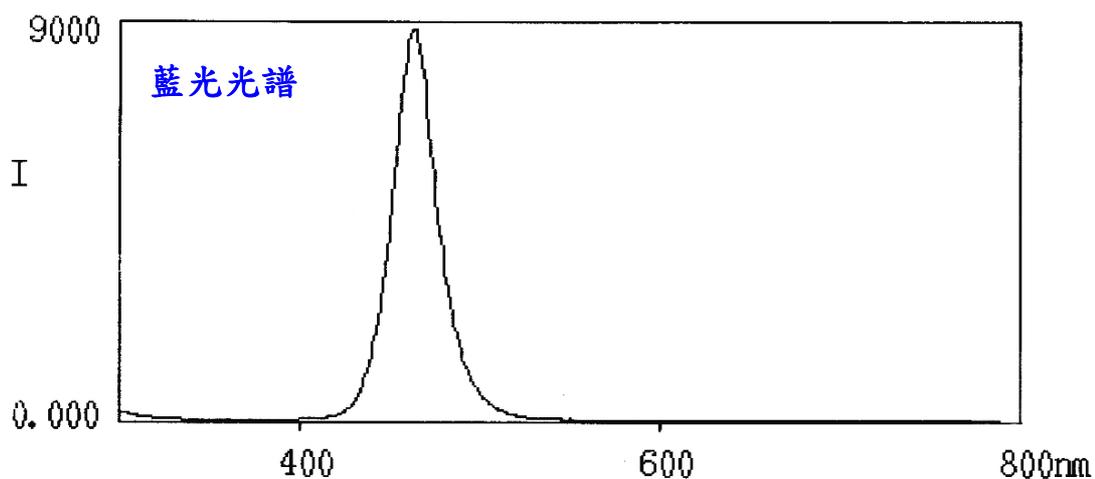
研究光的顏色對於植物的向光的影響，並且分析植物的哪些組織參與了植物向光的性質，進而了解植物向光性的訊息傳遞方式。

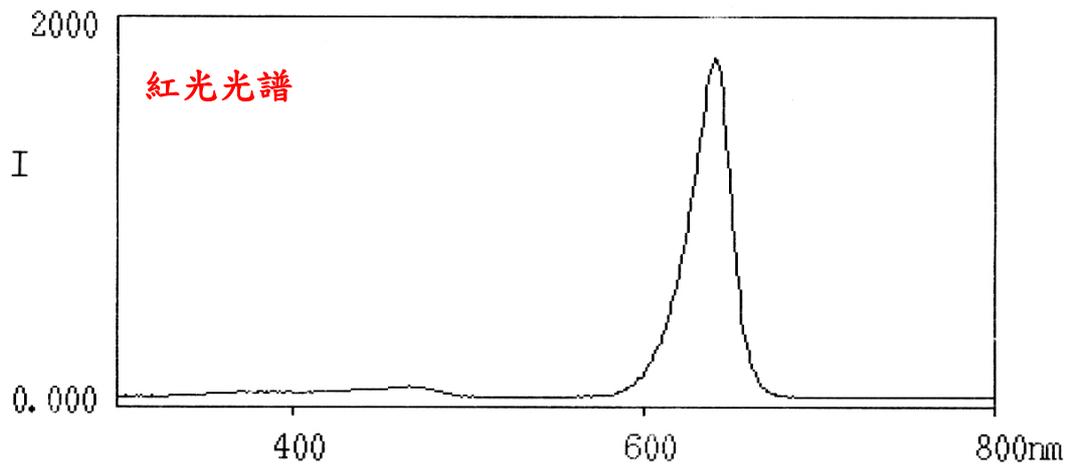
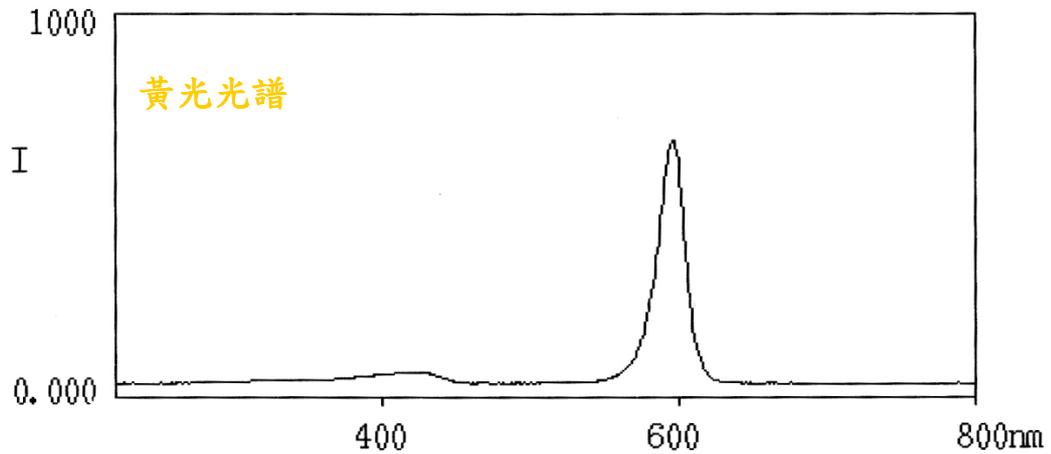
三、研究設備及器材

綠豆、培養皿、二極發光體（藍色、綠色、黃色、紅色、白色）、紙杯、數位相機(SONY P-1000)、光學顯微鏡、實體顯微鏡、測光計、量角器、螢光儀、離心機、所有化學藥品來自 Sigma。

四、研究過程和方法

先把綠豆泡水兩天後，再把綠豆放在鋪有濕衛生紙的培養皿上，大約四天後長成小苗，以高度約 12-15 公分的豆苗用於各種測試中。光源為亮度可調式二極發光體，可放出藍色、綠色、黃色、紅色光線，由台北市東昇應材公司購得，它們的放出光譜以螢光儀遮住發射光源後，再以螢光儀感測器掃描二極發光體發光光譜如下，藍色、綠色、黃色、紅色光的最大放出波分別為 464 nm、518 nm、596 nm、641 nm。





以上述綠豆苗和光源，進行下列實驗：

(一) 實驗 1：單面照不同顏色的光

小苗放在貼有黑紙的紙盒中，一側分別以藍色、綠色、黃色、紅色等二極發光體照射，九十度角的另一測以數位相機每十分鐘照一張像，連續照三小時。由照相紀錄中，測量莖彎曲的角度。

(二) 實驗 2：植物生長素產生位置之測試一

植物的葉片、生長點、子葉、或葉片和生長點以小刀去除，再以白光的光源由側面照射。照光三小時後，以數位相機紀錄植物向光性。以實體顯微鏡觀察植物的生長點去除前後的情形。

(三) 實驗 3：植物生長素產生位置之測試二

實驗方法同實驗 2。

(四) 實驗 4：植物生長素含量的分析

植物生長素 indole-3-acetic acid (IAA)的含量是依照 Iino 等人在 1980 年在 Plant Physiology 所發表的方法改變而成，測定方式如下。約 0.1 克的植物組織，加入 700 μL (微升)含有 100 mg/L butylated hydroxytoluene (BHT)的 80% acetone，磨碎後置於 4°C 暗處兩個小時，以桌上型離心機 14000 $\times g$ 離心 5 分鐘，收集上清液，調 pH 值到 3.0，再加入 1/3 體積水飽合的乙醚，萃取 80% acetone 溶液，重複乙醚萃取三次，收集上層的乙醚溶液。對於乙醚溶液以 1/3 體積含有 100 mg/L BHT 的 50 mM K_2HPO_4 萃取三次，收集下層的 K_2HPO_4 溶液。對於 K_2HPO_4 溶液調 pH 值到 3.0，再加入 1/3 體積水飽合的乙醚萃取三次，收集上層的乙醚溶液，再置於抽風櫃中使其乾燥。加入 50 μL trifluoroacetic acid 和 50 μL acetic anhydride 在冰中反應 15 分鐘，再加入 1 mL 90% acetic acid 停止反應，以螢光儀(Hitachi, F-2000)設定激發光 440 nm 和放射光 490 nm，測定樣本中的螢光量，便為 IAA 的含量。

(五) 實驗 5：莖傳遞植物向光性訊息的測試

在紙杯適當位置，貼上黑色色紙，使小苗上半段遮住光線，再照不同顏色的光；或是下半段遮住，再由測面照不同顏色的光。照光三小時後，以數位相機紀錄植物向光性。

(六) 實驗 6：光線照射植物葉子的向光性測試

以黑紙遮住小苗的莖、生長點、和葉柄，再以光線照葉子三小時，以數位相機紀錄植物向光性。

(七) 實驗 7：鈣離子對於向光性的影響

將豆苗的根去除後，分別放入下列水溶液中 16 小時：(1) 1 mM ethylene glycol tetraacetic acid (EGTA)、1 mM LaCl_3 、和 1 mM GdCl_3 、(2) 10 mM LiCl 和 100 μM neomycin、和 (3) 1 mM EGTA、1 mM LaCl_3 、1 mM GdCl_3 、10 mM LiCl、和 100 μM neomycin，再以側面照藍或綠光三小時，以數位相機紀錄植物向光性。

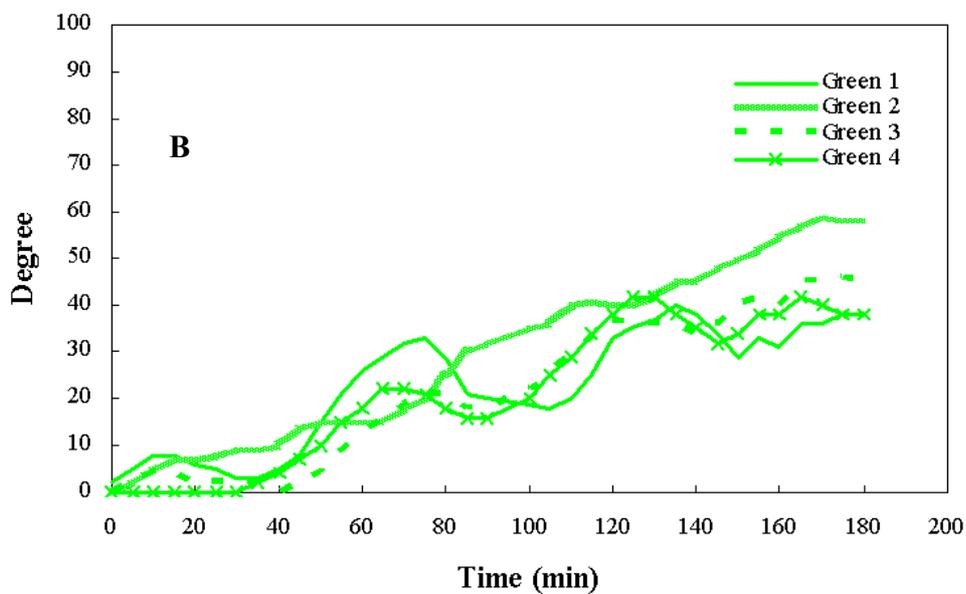
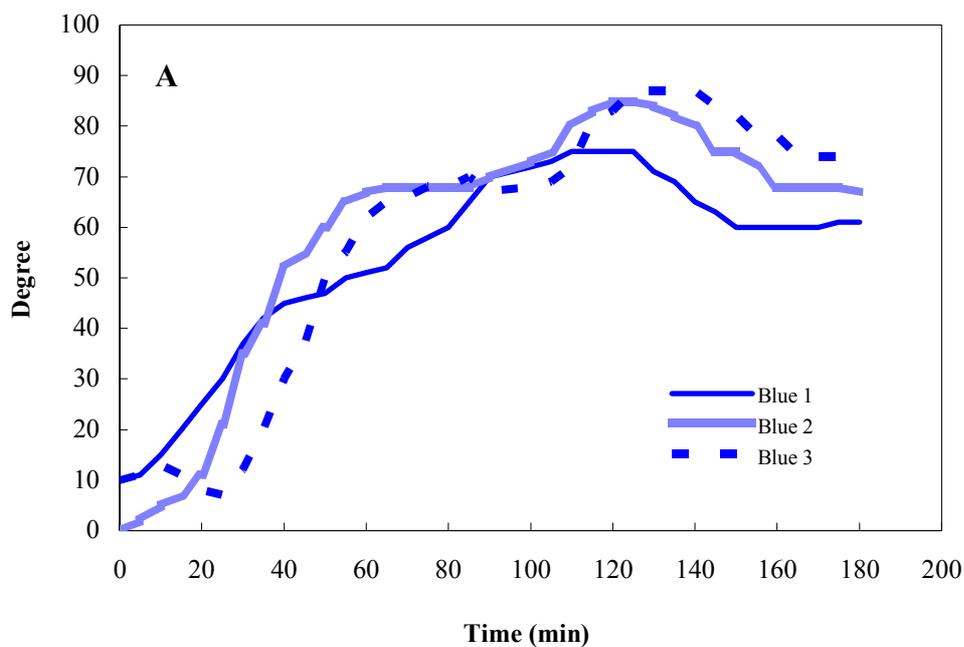
(八) 實驗 8：蛋白質的磷酸化和去磷酸化對於向光性的影響

將豆苗的根去除後，分別放入下列水溶液中 16 小時：(1) 1 μM staurosporine (STA)、(2) 0.5 μM okadaic acid (OKA)、和 (3) 1 μM STA 和 0.5 μM OKA，再以側面照藍或綠光三小時，以數位相機紀錄植物向光性。

五、研究結果和討論

實驗 1：單面照不同顏色的光

實驗目的在於瞭解植物在不同顏色的光照射下，植物彎向光源的快慢程度。小苗放在貼有黑紙的紙盒中，單側以二極發光體照射，九十度角的另一測以數位相機每五分鐘照一張像，連續照三小時。



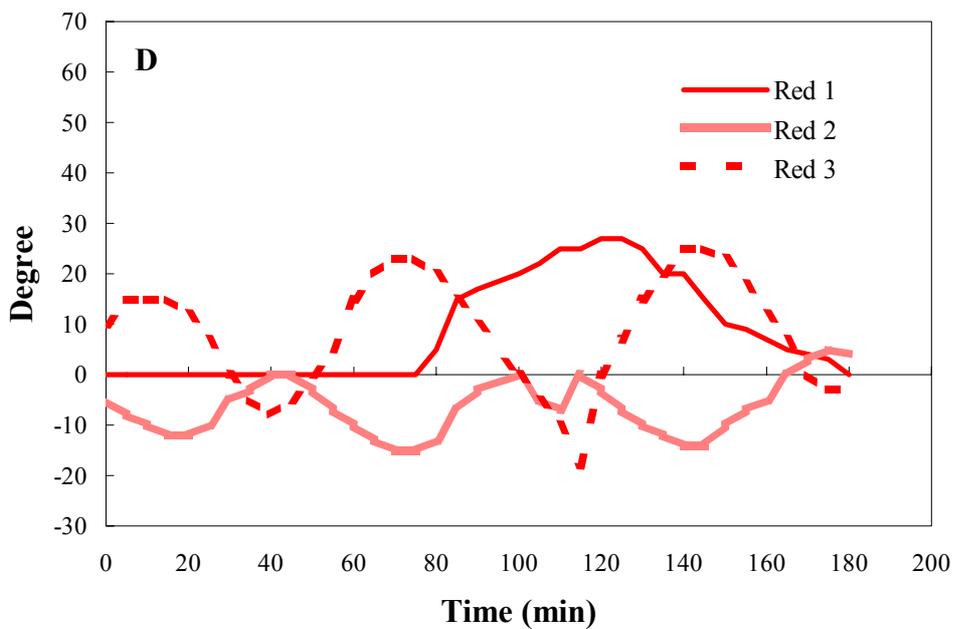
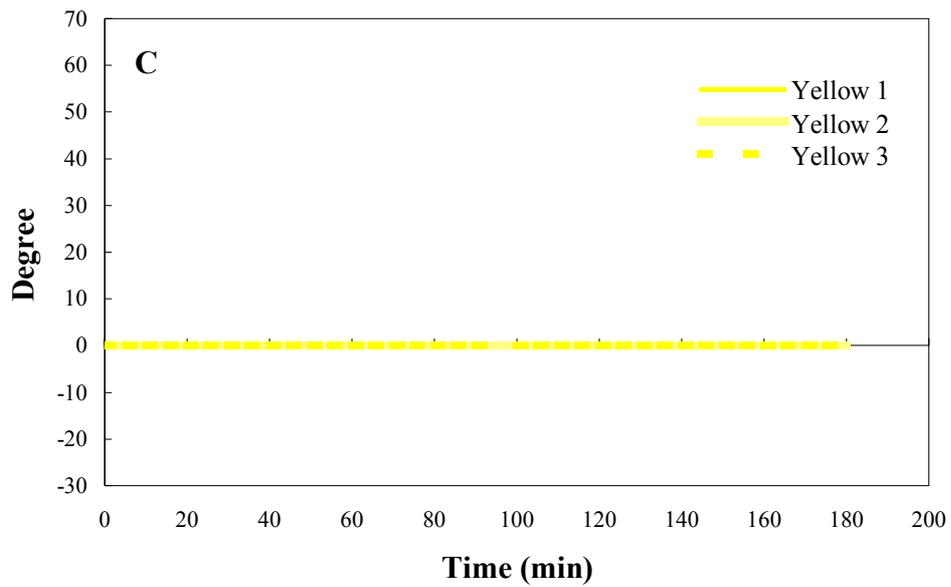


圖 1、單面照不同顏色的光

小苗放在貼有黑紙的紙盒中，一側以 A)藍色、B)綠色、C)黃色、D)紅色二極發光體照射，九十度角的另一測以數位相機每五分鐘照一張像，連續照三小時。由照片以量角器測量莖彎曲的角度。

結果與討論 1：

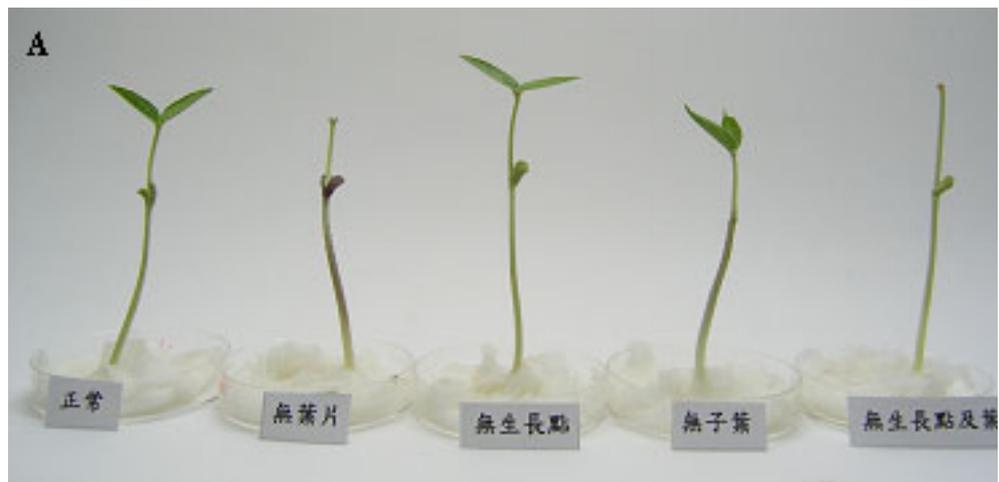
甲、單面照藍光時，植物會快速地在 80 分鐘內彎曲 60 度以上，並且在 180 分鐘後彎曲 60-80 度。

- 乙、單面照綠光時，植物也會朝綠光彎曲，但是速度較單面照藍光時緩慢，在 80 分鐘內彎曲 20-30 度之間，在實驗結束時 180 分鐘後彎曲 35-55 度。
- 丙、單面照黃光時，植物的葉片雖然會上下移動，但是經過三次的測試，植物的莖對於黃光無向光性也無避光性，植物的莖始終維持在 0 度狀態。
- 丁、單面照紅光時，植物的莖有時向光彎曲約 20 度，有時背光彎曲 20 度，呈現前後搖擺狀態。
- 戊、因此就所測試的四個波長的光線中，只有藍光和綠光可以使植物產生持續的向光性。
- 己、由施河主編的高級中學基礎生物(全冊)指出，白色光是由紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等顏色的光所組成，波長以紅色光最長，依上所列之順序遞減至紫色光；能量則以紅色光最小，依上所列之順序遞增至紫色光。因此這個實驗中藍光和綠光所帶有的能量大於黃光和紅光，因此帶有較高的能量可能是藍光和綠光可以使植物產生持續的向光性的原因；但是紅光可以使植物前後搖擺狀態，而黃光照射下植物固定不動，這樣的結果又似乎和光波所帶的能量無關。

二、實驗 2：植物生長素產生位置之測試一

由課本知道植物的向光性是受到植物生長素所影響，因此這個實驗想知道植物中的那一組織可產生和向光性有關的生長素。小苗的葉片、生長點、子葉、或葉片和生長點分別以小刀去除，再進行照光實驗。

照光前



側面照光 3 小時後

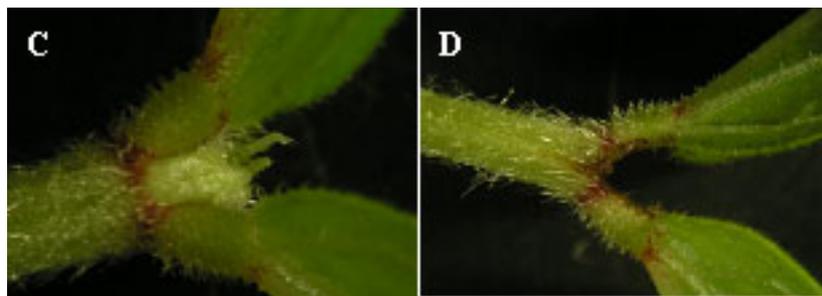


圖 2、植物無生長點或葉子的向光性

小苗分別為正常植物、無葉片植物、無生長點植物、無子葉植物、及無生長點葉片葉柄之植物。A)右側面照光之前。B)以右側造光三小時之後。C)以實體顯微鏡觀察上述無生長點植物在去除生長點之前植物的頂端。D) 無生長點植物在去除生長點之後植物的頂端。

結果與討論 2：

植物有生長點者，如正常植物、無葉片植物、及無子葉植物，都具有向光性；但是植物標記為無生長點，仍具有葉片葉柄之植物(圖 2D)，也有向光性；只有植物標記為無葉片和生長點者，也就是植物為無葉片、葉柄、和生長點者才無向光性(圖 2A)。因此另人驚訝的是，這個實驗的結果指出植物無生長點但是有葉片葉柄者仍具有向光性。因為無法得到只有葉子而無葉柄之植物，因此植物只有葉柄而無葉子和生長點的向光性測試將是下一個實驗重點。

三、實驗 3：植物生長素產生位置之測試二

由實驗 2 得知植物無生長點仍有葉柄和葉子時，仍有向光性，因此植物中和向光性有關的生長素除了存在生長點以外，想了解還存在於哪些組織。



圖 3、植物生長素產生位置的實驗

A) 小苗分別為無生長點、無生長點但有葉柄、只有生長點、無生長點葉片葉柄、及正常植物，以右側造光三小時，以相機記錄所得之結果。B) 無生長點植物的頂端。C) 無生長點但有葉柄植物的頂端。D) 只有生長點植物的頂端。E) 無生長點葉片葉柄植物的頂端。F) 正常植物的頂端。

結果與討論 3：

無生長點葉片葉柄的植物，和結果 2 所得的結果一樣，無向光性；但是只要有生長點的植物都具向光性。有趣的是無生長點但有葉柄的植物(圖 3C)也具有向光性，因此綠豆芽中可產生向光性的生長素不僅存在生長點，也存在葉柄中，並且葉柄中所含有的生長素，足夠植物產生向光性。

四、實驗 4：植物生長素含量的分析

由實驗 3 得知植物的生長素可能存在於生長點和葉柄中，因此將生長點、葉柄、葉片、和莖分別磨碎，分析植物生長素含量，以瞭解植物生長素在植物組織中的分佈。

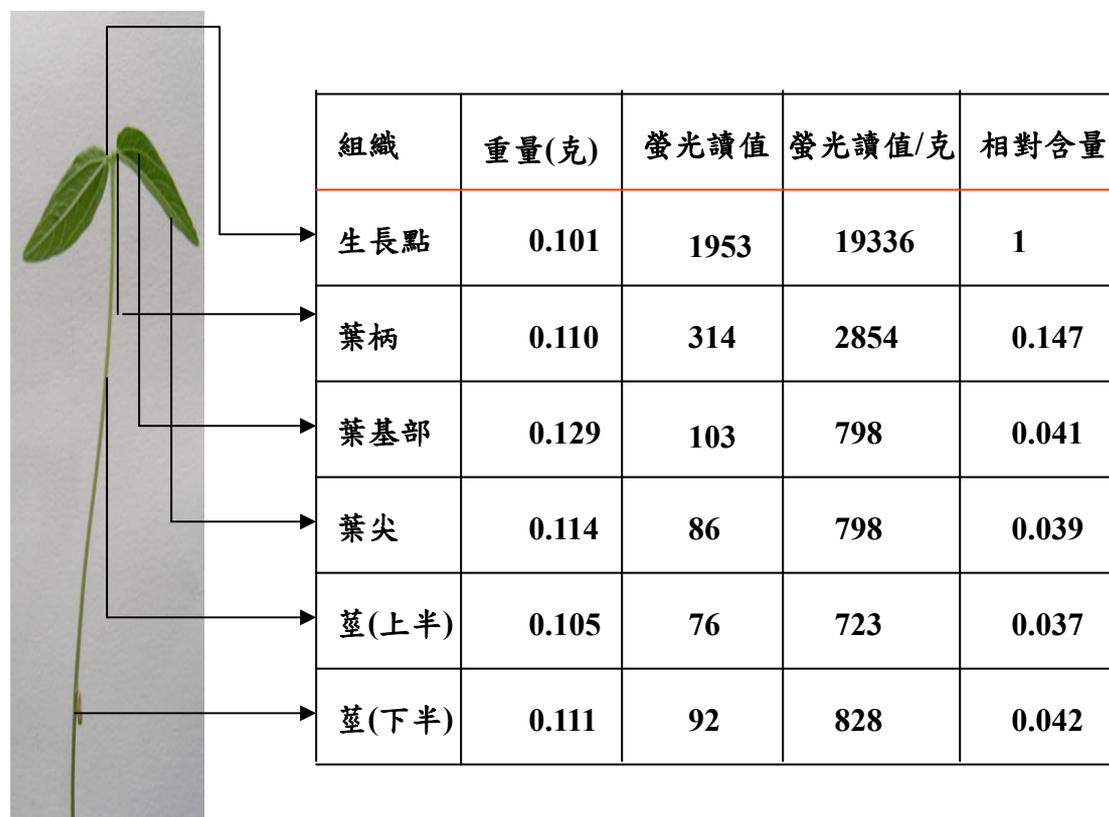


圖 4、以螢光儀分析植物生長素在植物組織中的含量

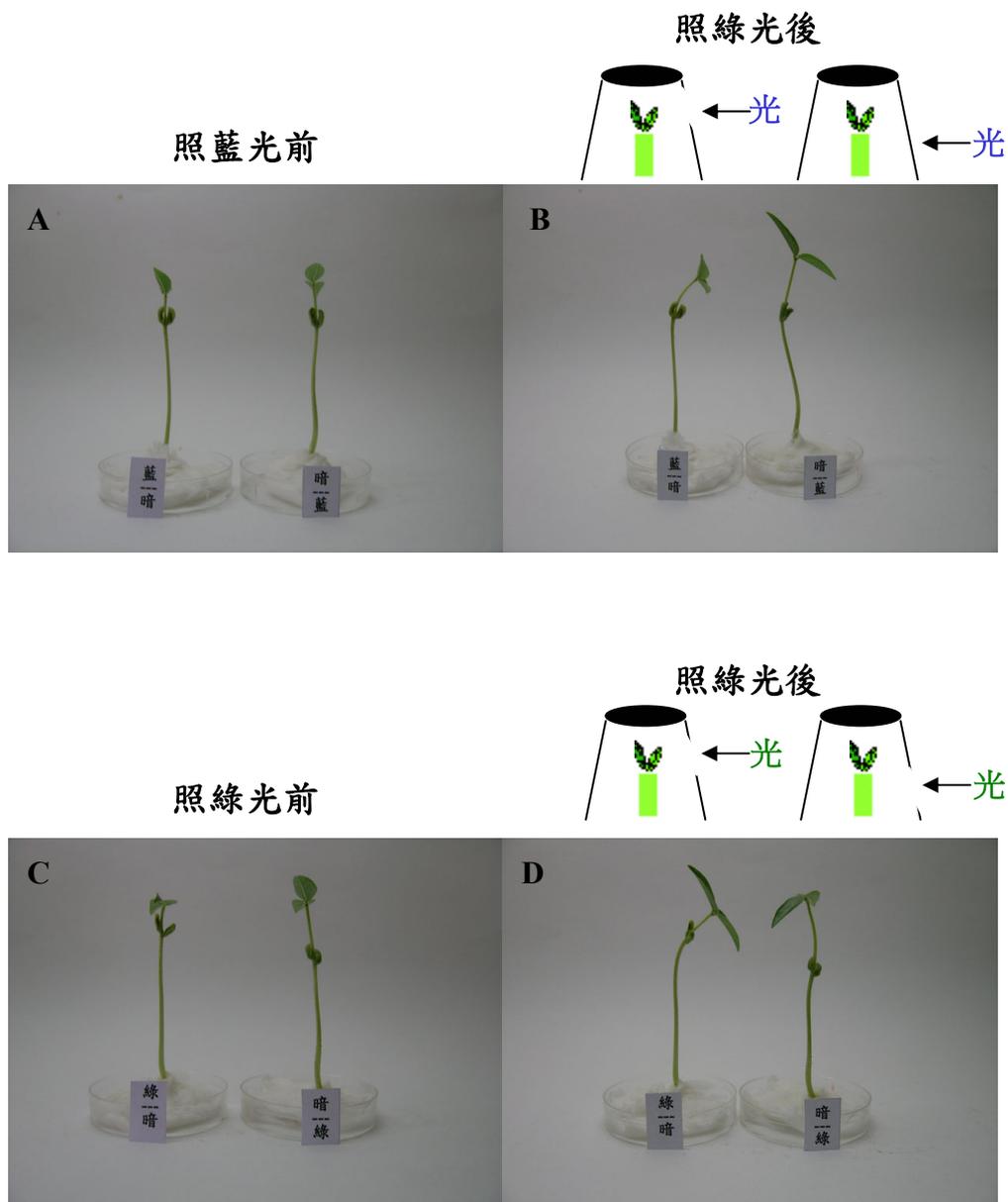
將生長點、葉柄、葉片、和莖分別磨碎，以 trifluoroacetic acid 和 acetic anhydride 分析植物生長素含量，只有反應試劑時螢光讀值為 20。

結果與討論 4：

生長點雖然含有最多的生長素，但是葉柄含有的生長素是生長點含量的 14.7%，由實驗 3 得知，含有如此量的生長素，植物具有向光性，由實驗 3 和此實驗也得知，當葉柄和生長點都去除時，莖含有的生長素是生長點含量的 0.039-0.041%，當含有如此低量的生長素時，植物不具有向光性。同時葉子含有的生長素也只有生長點含量的 0.037-0.042，因此雖然無法得到只有葉子而無葉柄之植物，但是以葉子含有如此低量的生長素，是無法產生向光性。

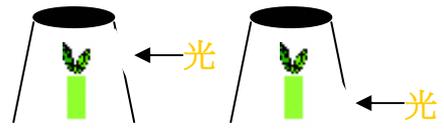
五、實驗 5：莖傳遞植物向光性訊息的測試

由實驗 3 得知植物的生長素存在生長點和葉柄中，因此是因為光線造射生長點和葉柄，所以才有向光性，還是光線造射到植物的其它組織也會有向光性。因此設計將小苗上半段遮住，再照不同顏色的光，測試光線不照到生長點和葉柄，植物是否仍有向光性；同樣的遮住小苗下半段的莖，再照不同顏色的光，觀察植物反應。



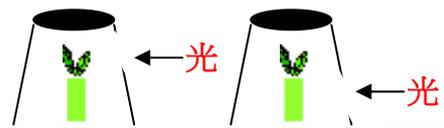
照黃光前

照黃光後



照紅光前

照紅光後



照白光前

照白光後

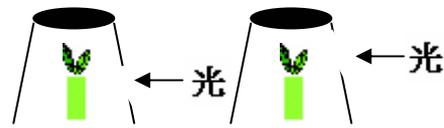


圖 5、植物的向光性的訊息傳遞

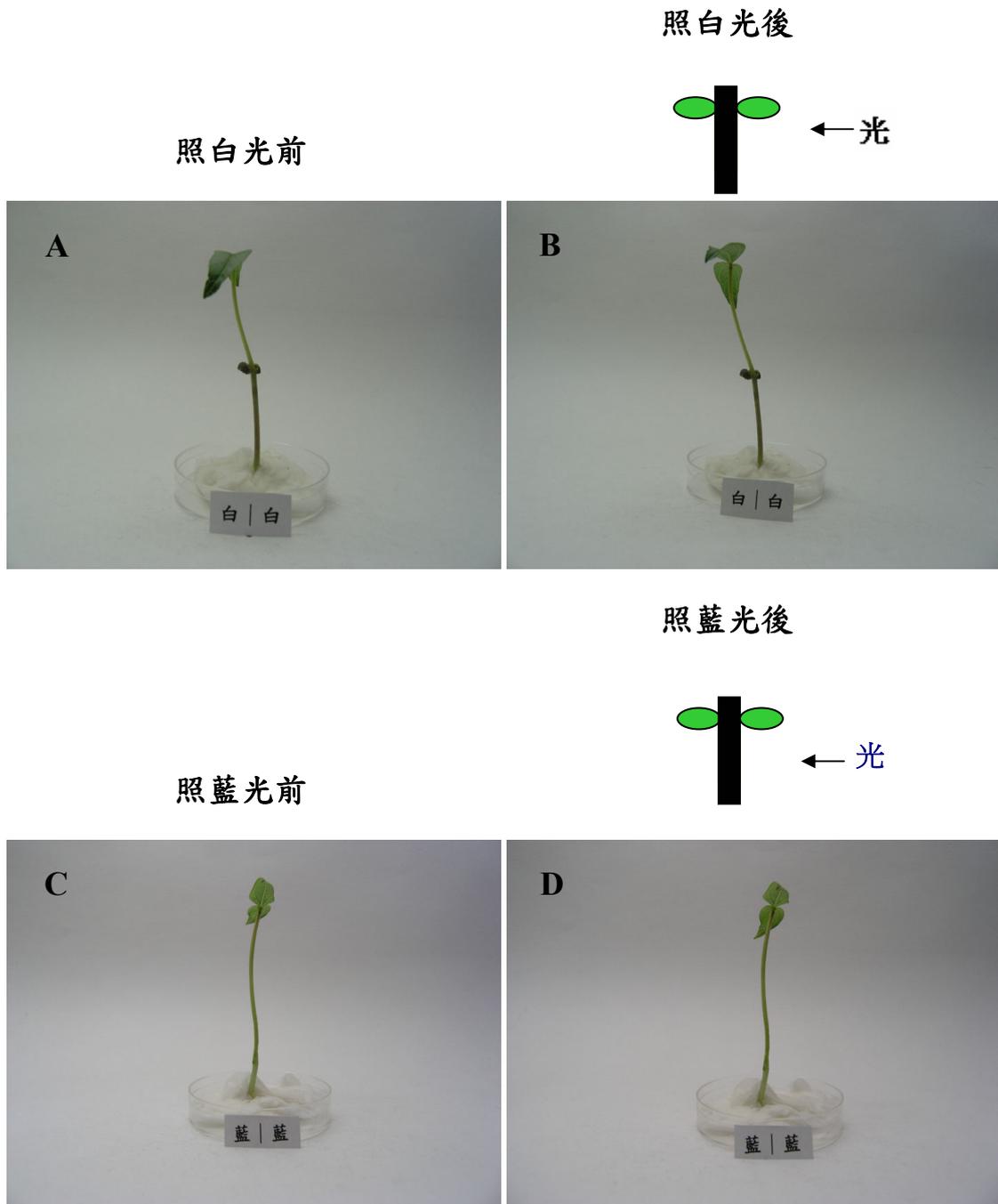
- A)照藍光前。B) 小苗分別遮住上半部和下半部，再照藍光三小時。
- C)照綠光前。D) 小苗分別遮住上半部和下半部，再照綠光三小時。
- E)照黃光前。F) 小苗分別遮住上半部和下半部，再照黃光三小時。
- G)照紅光前。H) 小苗分別遮住上半部和下半部，再照紅光三小時。
- I)照白光前。J) 小苗分別遮住上半部和下半部，再照白光三小時。

結果與討論 5：

遮住下半部再照光，光線照在植物的上半部包含生長點，植物的向光程度(圖 5B、5D、5F、5H)，和完全不遮時再給予不同的光線時的向光程度相當。當遮住上半部再照光，光線照在植物的下半部不包含生長點和葉柄，植物下半部的莖也會向光彎曲，尤其以照白光和藍光者較為顯著(圖 5B、5J)。可見光線照在植物的下半部，雖然沒有照射到可以產生生長素的生長點和葉柄，光線會誘導莖產生傳遞訊息，此訊息會傳遞到含有生長素的生長點和葉柄，生長點和葉柄再分泌生長素，流向照光組織的背光面，造成植物的向光性。

六、實驗 6：光線照射植物葉子的向光性測試

由實驗 5 得知白色和藍色光線照射小苗下半段只有莖的部位，植物會產生向光性，並且由實驗 5 也知道光線照射小苗上半段，包含生長點、葉柄、和葉子，也可以使植物產生向光性；由實驗 3 得知，光線單獨照生長點或葉柄，植物會產生向光性，因此，這個實驗將小苗的莖、生長點、和葉柄都以黑紙遮住，再以光線照葉子，測試植物是否仍有向光性，以瞭解除了由莖可以傳遞光訊息以誘導生長素傳遞外，葉子是否有同樣的功能。



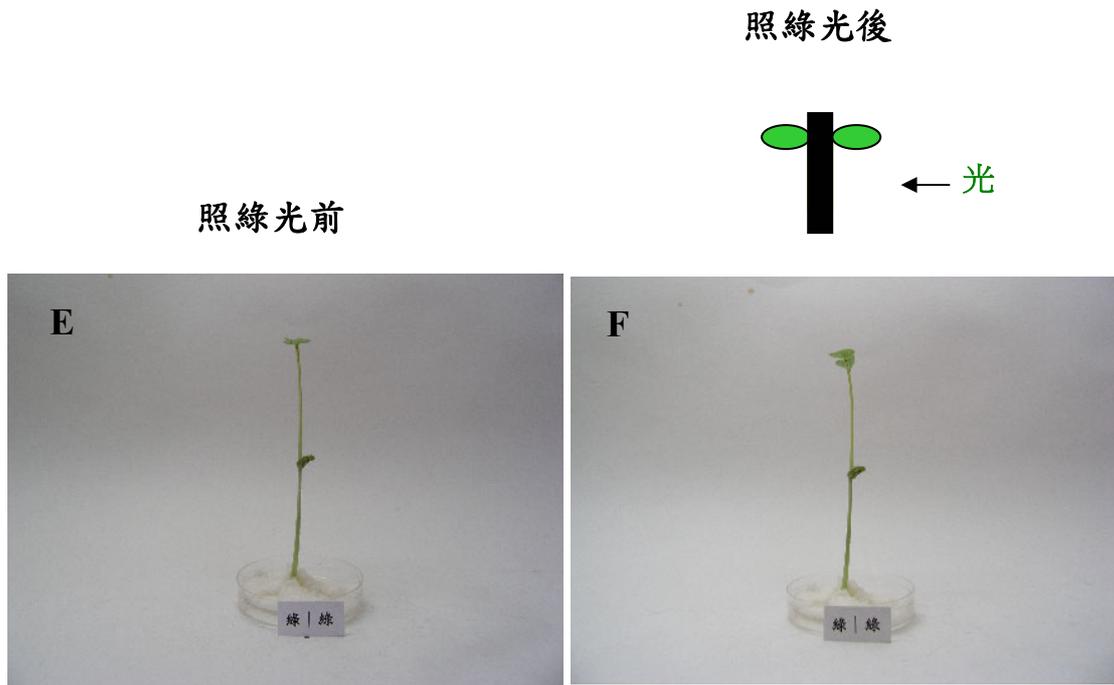


圖 6、光線照射植物葉子的向光性測試

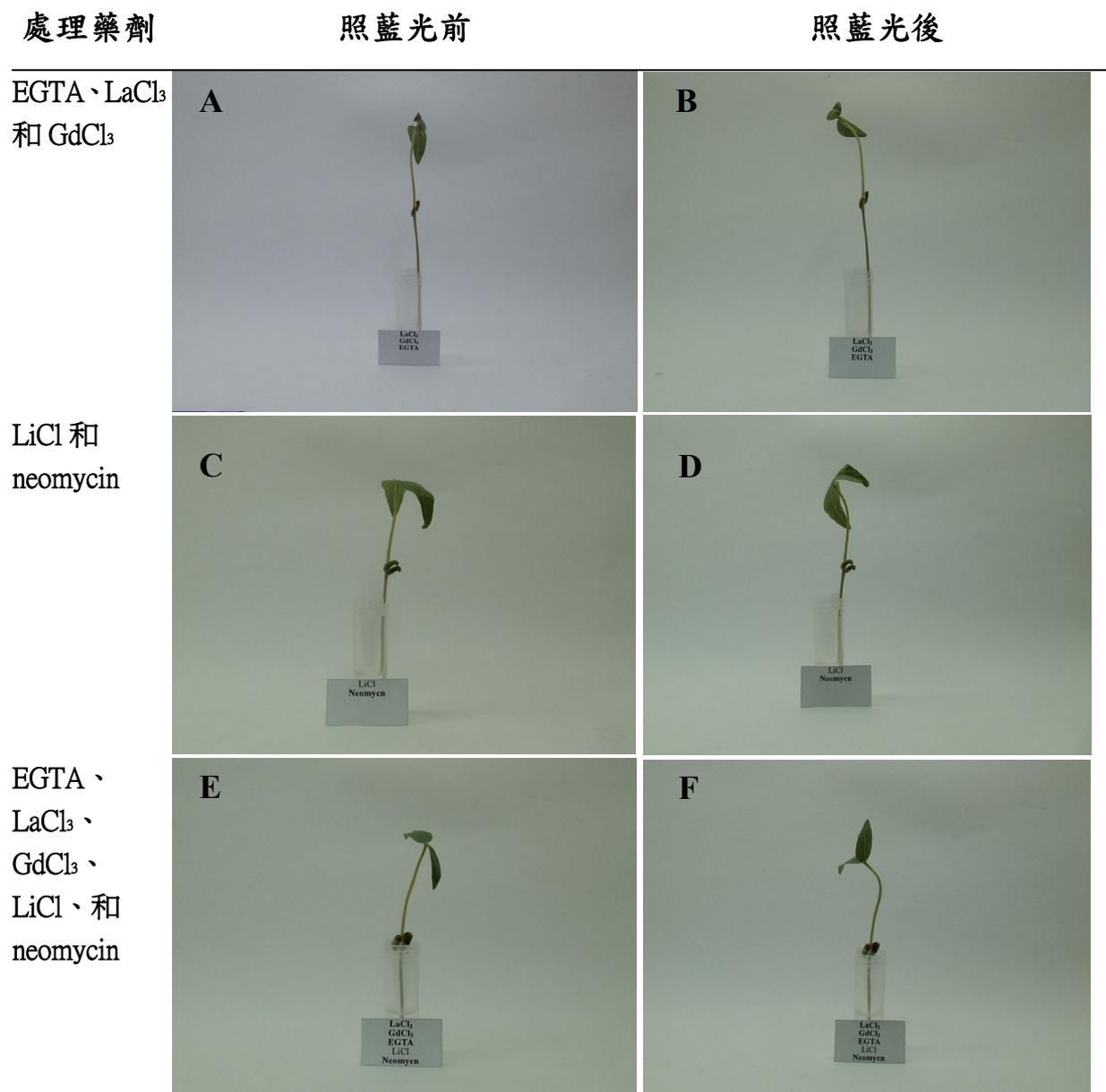
A)、B)照白光前後。C)、D) 照藍光前後。 E)、F) 照綠光前後。將小苗的莖、生長點、和葉柄都以黑紙遮住，再以光線照葉子三小時。

結果與討論 6：

遮住小苗的莖、生長點、和葉柄，再照白光、藍色光、綠色光三小時後，小苗的無向光性，可見葉子不是傳遞光訊息以誘導向光性的組織。因此綜合實驗 5 和 6 結果可以知道，莖才是接受光訊息以誘導向光性的主要組織。

七、實驗 7：鈣離子對於向光性的影響

鈣離子常參與細胞內的訊息傳遞，為瞭解鈣離子對於向光性的影響，以鈣離子的螯合劑和鈣離子通道阻斷劑進行分析，所用藥劑包含兩類，第一類為阻止細胞外鈣離子進入細胞內的藥劑，包含 EGTA 為鈣離子的螯合劑可螯合細胞外鈣離子(Kayali et al., 1997)、 LaCl_3 (Kanton et al., 1999)和 GdCl_3 (Moyen et al., 1998)為細胞膜上的鈣離子通道阻斷劑。第二類為阻止細胞內的內質網鈣離子釋放出來的藥劑，包含 LiCl 和 neomycin (Moyen et al., 1998) 都是內質網膜上鈣離子通道阻斷劑。將豆苗莖和根的交接點切斷，分別放入上述第一類、第二類、或兩類的總合，分析鈣離子在向光性中的角色。



水



處理藥劑

照綠光前

照綠光後

EGTA、
LaCl₃和
GdCl₃



LiCl 和
neomycin



EGTA、
LaCl₃、
GdCl₃、
LiCl、和
neomycin



水

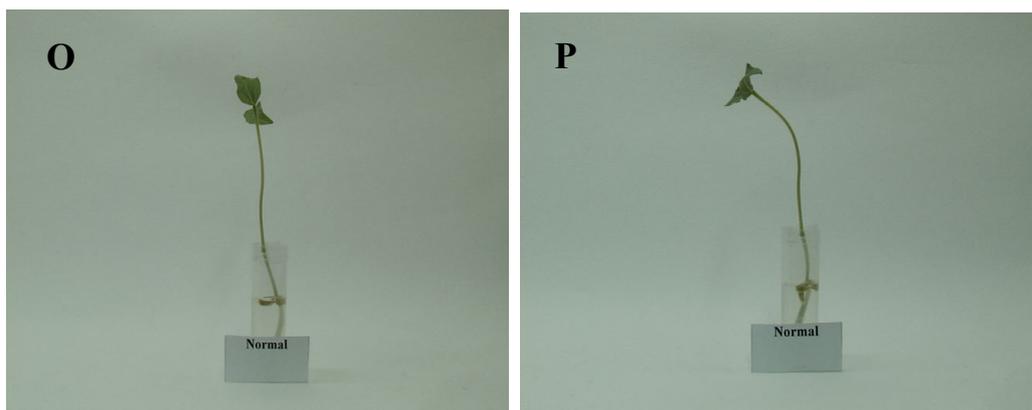


圖 7、在鈣離子存在下植物的向光性測試

將豆苗的根去除後，分別放入不同水溶液中 16 小時，(A) 和 (B) 放入水溶液中含有 EGTA、 LaCl_3 、和 GdCl_3 ，再照藍光前和後的形態；(C) 和 (D) 放入水溶液中含有 LiCl 和 neomycin，再照藍光前和後的形態；(E) 和 (F) 放入水溶液中含有 EGTA、 LaCl_3 、 GdCl_3 、 LiCl 、和 neomycin，再照藍光前和後的形態；(I) 和 (J) 放入水溶液中含有 EGTA、 LaCl_3 、和 GdCl_3 ，再照綠光前和後的形態；(K) 和 (L) 放入水溶液中含有 LiCl 和 neomycin，再照綠光前和後的形態；(M) 和 (N) 放入水溶液中含有 EGTA、 LaCl_3 、 GdCl_3 、 LiCl 、和 neomycin，再照綠光前和後的形態。光線照射的時間皆為三小時。(G)、(H)、(O)、和 (P) 都是放入水中的控制組。

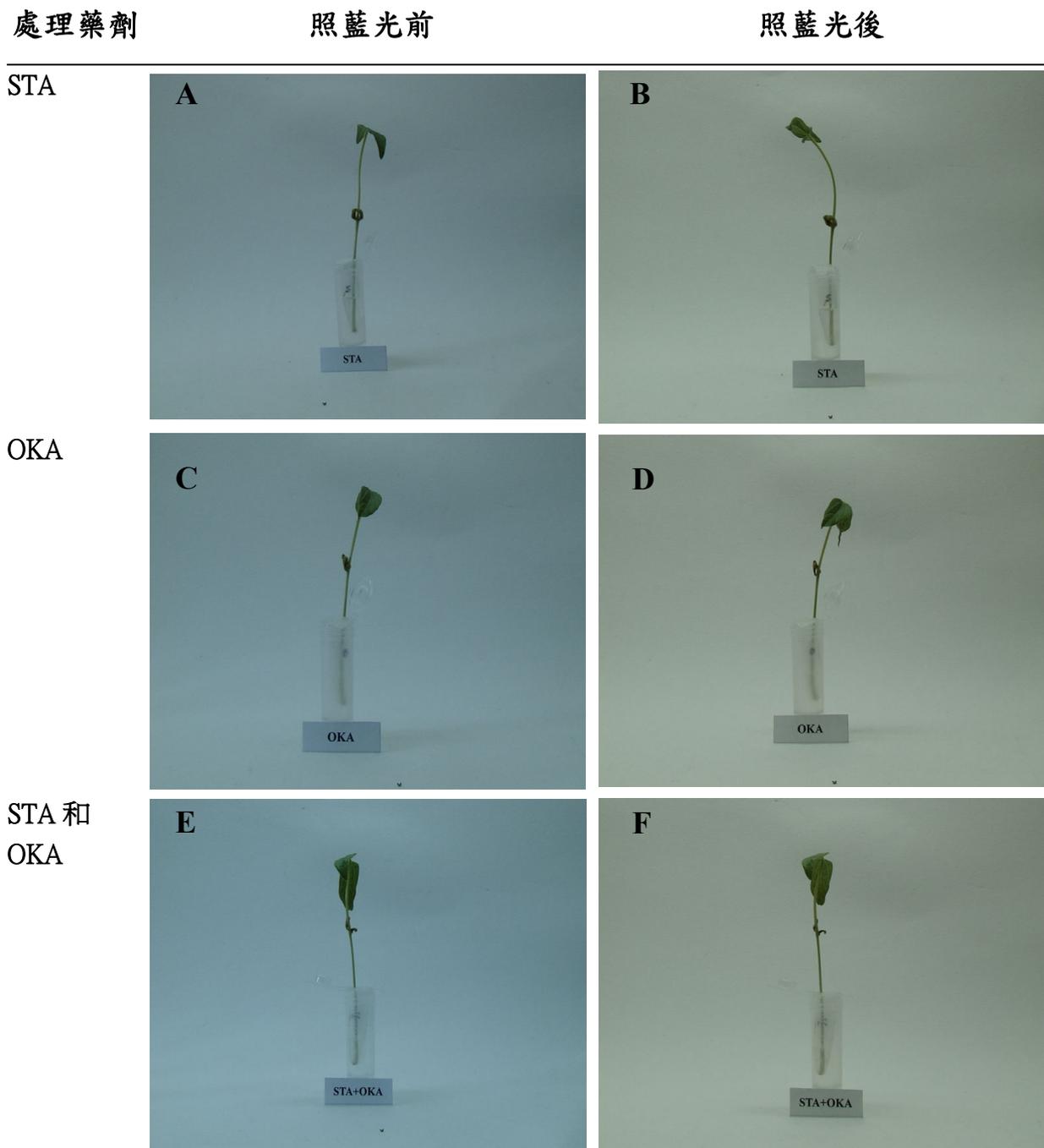
結果與討論 7：

在鈣離子的螯合劑或(和)鈣離子通道阻斷劑存在下側面照藍光，植物都有向光性，但是莖向光彎曲角度也都小於莖只處理水的控制組，因此鈣離子可能只負責部份向光性的訊息傳導，所以藍光誘導向光性的訊息傳導過程中，除了細胞外的鈣離子和內質網的鈣離子，需要進入細胞質外，還有其它鈣離子不參與的訊息傳導途徑，也可以誘導向光性。

在 EGTA、 LaCl_3 、和 GdCl_3 或 LiCl 和 neomycin 存在下側面照綠光，植物都有向光性(圖 7J, 7L)，但是在五種鈣離子的螯合劑和鈣離子通道阻斷劑存在下側面照綠光，植物失去向光性(圖 7N)，因此細胞外和內質網內的鈣離子都參與了綠光誘導向光性的訊息傳導，並且鈣離子進入細胞質是綠光誘導向光性訊息傳導的唯一途徑。

八、實驗 8：蛋白質的磷酸化和去磷酸化對於向光性的影響

細胞內的訊息傳遞過程中，蛋白質的磷酸化和去磷酸化常常是訊息傳遞的一部份，為瞭解蛋白質的磷酸化和去磷酸化對於向光性的影響，以蛋白質磷酸酶抑制劑 STA (Barwe et al., 2001)和蛋白質去磷酸酶抑制劑 OKA (Chang and Kaufman, 2000)，分析蛋白質的磷酸化和去磷酸化在向光性中的角色。



水

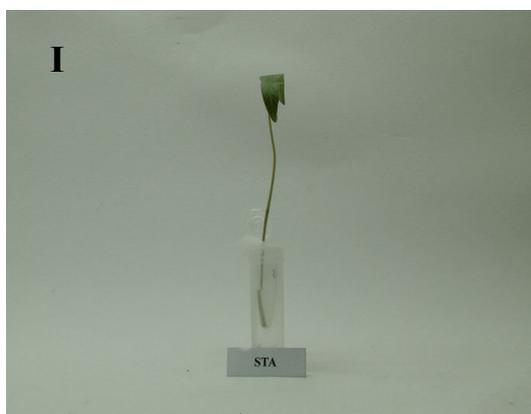


處理藥劑

照綠光前

照綠光後

STA



OKA



STA 和
OKA



水

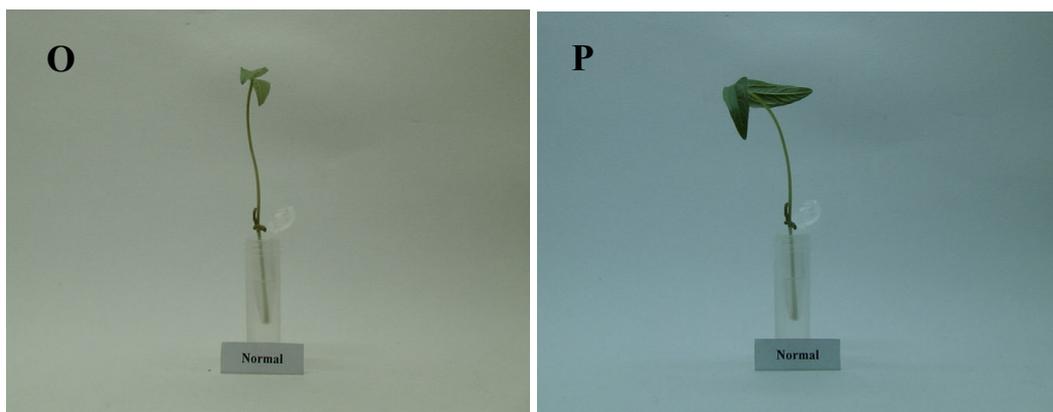


圖 8、在蛋白質的磷酸化和去磷酸化抑制劑存在下植物的向光性測試

將豆苗的根去除後，分別放入不同水溶液中 16 小時，(A) 和 (B) 放入水溶液中含有 STA，再照藍光前和後的形態；(C) 和 (D) 放入水溶液中含有 OKA，再照藍光前和後的形態；(E) 和 (F) 放入水溶液中含有 STA 和 OKA，再照藍光前和後的形態；(I) 和 (J) 放入水溶液中含有 STA，再照綠光前和後的形態；(K) 和 (L) 放入水溶液中含有 OKA 照綠光前和後的形態；(M) 和 (N) 放入水溶液中含有 STA 和 OKA，再照綠光前和後的形態。光線照射的時間皆為三小時。(G)、(H)、(O)、和 (P) 都是放入水中的控制組。

結果與討論 8：

在蛋白質磷酸酶抑制劑 STA 存在下，藍光和綠光側照後，都具有向光性(圖 8B、8J)，但是在蛋白質去磷酸酶抑制劑 OKA 存在下，藍光和綠光側照後，都不具有向光性(圖 8D、8L)。STA 雖然不能抑制所有的蛋白質磷酸酶，但是 STA 是一個廣泛型蛋白質磷酸酶抑制劑，因此藍光和綠光所誘導的向光性訊息傳導不包含廣泛的蛋白質磷酸化。OKA 則特別可以抑制蛋白質去磷酸酶第 1 和 2a 型(Chang et al., 1999)，因此藍光和綠光所誘導的向光性訊息傳導，包含蛋白質去磷酸酶第 1 和 2a 型在細胞內的作用。

六、結論

黃光和紅光不會使豆苗產生向光性，而藍光和綠光可以使綠豆苗產生向光性，並且豆苗彎向藍光的速率(單位時間內的彎曲角度)大於彎向綠光，豆苗彎向藍光的最終彎曲角度也大於彎向綠光。

植物向光性的訊息傳導可分成組織和分子兩個層次而言：

組織層次：植物的向光性需要有生長素才會表現，生長素由生長點製造後由生長點和葉柄儲存，在光刺激之下會誘導莖產生傳遞訊息，此訊息會傳遞到含有生長素的生長點和葉柄，生長點和葉柄再分泌生長素，流向照光組織，造成植物的向光性。藍光和綠光只照射葉時，都無向光性發生。

分子層次：1. 藍光和綠光誘導植物產生向光性，都需要使得細胞外的鈣離子和內質網的鈣離子進入細胞質，使細胞質內的鈣離子濃度增加。但是當細胞膜和內質網上的鈣離子通道都被阻擋時，綠光便無法誘導植物產生向光性，但是藍光仍可以誘導植物產生向光性，說明藍光誘導植物產生向光性除了經由鈣離子外，仍有其他途徑可以誘導植物產生向光性。2. 藍光和綠光誘導植物產生向光性，都和細胞質內蛋白質去磷酸化相關。當蛋白質去磷酸化酶第 1 和 2a 型被抑制時，藍光和綠光都無法誘導植物產生向光性。

七、進行中的研究

藍光可以誘導植物產生向光性，已經廣為熟知，因此有些植物的藍光受體的基因也已經被分離出，但是綠豆的藍光受體基因則尚未被發現，因此已經比對這些已知的藍光受體基因序列，以其中相似度高的序列為範本，設計出 DNA 引子，對綠豆 DNA 進行 polymerase chain reaction (PCR)，希望分離出綠豆的藍光受體基因的部份片段，再以此序列對於照光後綠豆的 mRNA 進行反轉錄錄和 PCR，以偵測藍光和綠光照光後的綠豆，是否誘導相同的藍光受體的基因表現，以進一步比較，藍光和綠光誘導綠豆產生向光性的訊息傳導上的異同。實驗目前仍在進行中，還未分離出綠豆的藍光受體基因。

八、參考資料

生物學 (Campbell) 李家維、徐歷鵬、崔文慧、張立雪、黃璧祈、葉開溫、鍾楊聰編譯，偉明出版社。

知識科學百科全書，88-109 頁，青少年科學文庫，鐘文出版社，1995。

高級中學基礎物理(全冊)，林明瑞 主編，第五章：光，南一書局，2004

高級中學生物學(教師用上冊)，林金盾 編著，第八章：激素與協調作用，康熙圖書出版，2004。

高級中學生物學(下冊)，鄭湧涇 編著，第十章：生物對外界刺激的感應，康熙圖書出版，2004。

高級中學生命科學(上冊)，鄭湧涇 編著，第四章：植物的生殖、生長和發育，康熙圖書出版，2004。

高級中學基礎生物(全冊)，施河 主編，南一書局，2004

Barwe, S. P., Sathiyabama, M., Jayabaskaran, C. (2001) Induction of chitinase activity by exogenous cytokinins in excised dark-grown cucumber cotyledons: Involvement of Ca²⁺ and staurosporine-sensitive protein kinase(s) in cytokinin signaling. *Journal of Plant Physiology*. 158, 1-7.

Chang, M., Wang, B., Chen, X., Wu, R. (1999) Molecular characterization of catalytic-subunit cDNA sequences encoding protein phosphatases 1 and 2A and study of their roles in the gibberellin-dependent Osamy-c expression in rice. *Plant Molecular Biology*. 39, 105-115.

Chang, S. C., Kaufman, P. B. (2000) Effects of staurosporine, okadaic acid and sodium fluoride on protein phosphorylation in graviresponding oat shoot pulvini [Article] *Plant Physiology & Biochemistry (Paris)*. 38, 315-323.

Iino, M., Yu, R. S. T., Carr, D. (1980) Improved procedure for the estimation of nanogram quantities of indole-3-acetic acid in plant extract using the indole-a-pyrone fluorescence method. *Plant Physiology* 66, 1099-1105.

Kayali, S., Greppin, H., Degli, A. R. (1997). Effect of EGTA on the diurnal leaf movement of *Phaseolus vulgaris*. *Plant Physiology & Biochemistry (Paris)*. 35, 915-922.

Kenton, P., Mur, L. A. J., Draper, J. (1999) A requirement for calcium and protein phosphatase in the jasmonate-induced increase in tobacco leaf acid phosphatase specific activity. *Journal of Experimental Botany*. 50, 1331-1341.

Moyen, C., Hammond-Kosack, K. E., Jones, J., Knight, M. R., Johannes, E.

(1998). Systemin triggers an increase of cytoplasmic calcium in tomato mesophyll cells: Ca²⁺ mobilization from intra- and extracellular compartments. *Plant, Cell & Environment*. 21, 1101-1111.

評語

工作完整深入，也應用最尖端的技術研究植物生理重要的課題，可以看出是長期投入的結果。值得改進的地方，是加強作結論的嚴謹度。例如綠光是否雜有些許藍光造成綠光的微量反應，還有在解釋結果時要注意分清楚光接受(Reception)光的訊息傳導(Signal transduction)及光的反應(response)的發生部位。另外雖然是科展但仍然強調創新性，放大膽去問一些新鮮有趣的問題。