

# 光學干涉型陷波濾光片對植物生長的影響

## Effect of Optical Interference Notch Filter on Plant Growth

莊明翔、田春林\*

Ming-Hsiang Chuang, Chuen-Lin Tien\*

\*逢甲大學電機工程學系 cltien@fcu.edu.tw

### 中文摘要

研究指出部分植物在藍光的照射下，生長的速率會低於在大自然環境下的成長。我們製作的濾光片在藍光波段(450 nm~500 nm)的平均穿透率為 10.4%，能減少藍光的通過，並提升菊花、番茄、萵苣等植物的生長速率。

本研究的陷波濾光片膜層設計是採用光學薄膜軟體 Essential Macleod，主要在波長 450 nm~500 nm 做截止的動作。薄膜製程上使用雙電子鎗蒸鍍系統結合離子輔助沉積法製備一款藍光陷波濾光片。使用氟化鎂與五氧化二鈮(MgF<sub>2</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)的低高折射率組合，鍍製十五層的藍光陷波濾光片。此種光學干涉型陷波濾光片之開發，有助於增進特定植物的生長速率。

**關鍵詞：**雙電子鎗蒸鍍、陷波濾光片、離子輔助沉積

### Abstract

Under the irradiation of blue light, some plants will grow at a lower rate than in the natural environment. The filter we made has an average transmittance of 10.4% in the blue light band (450 nm~500 nm), which can reduce the blue light transmission and increase the growth rate of chrysanthemum, tomato, lettuce and other plants.

The design of the notch filter film layers uses the optical film software Essential Macleod, which mainly performs the cut-off filtering at the wavelength of 450 nm~500 nm. In this study, a dual electron gun evaporation system combined with ion-assisted deposition was used to fabricate a blue light notch filter. Fifteen layers of blue light notch filters are coated by using the

combination of low and high refractive indices of magnesium fluoride (MgF<sub>2</sub>) and niobium pentoxide thin films (Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Development of this optical interference filters could help increase the growth rate of certain plants.

**Keywords:** dual electron gun evaporation, notch filter, ion-assisted deposition

### 一、緣由與目的

種子萌發受多種因素的影響，包括溫度、水分和光照都是影響種子萌發的主要因數。光照對種子萌發的影響比較多樣，有些種子不需光照，必須在暗處才能萌發；有些種子需光，必須在光照條件下才發芽；而有些種子表現出光抑制性，光照下萌發率相對較低[1]。植物種子的萌發分為地下型萌發(子葉出土型)及地上型萌發(子葉不出土型)。地下型萌發的上胚軸快速生長，使胚芽垂直向上生長、突出地表，但子葉和胚乳留在地面下。而地上型萌發的植物，破土時下胚軸快速生長，彎曲成鈎狀突出地表，與子葉和芽一起露出地表。隱色素抑制莖延長的情況，發生在受光線刺激後，下胚軸伸直向上生長，將上胚軸和子葉向上抬時，使之不會因光線而快速向上生長，幼葉便能生長並展開。

大部分植物的生存必須依賴光，並且需要應對在空間和時間上不斷變化的輻射環境。在 1982 年 Smith[2]研究論文提到，光質會影響植物生長和形態變化。在溫室生產中，人工照明在自然光條件較差的時期被廣泛使用，已經選擇了有利於植物生長的光譜波段[3]。此外，溫度對作物的影響，每一種植物的生長發育都有其特定的溫度需求，一般植物的生長大約在 0°C 到 45°C 之間。溫度超過作物適應溫度的

上限後即對植物有害，溫度越高對植物的傷害越嚴重。例如氣溫在 25°C 以下，茄紅素的形成就會減少，使果實著色不良[4]。

不同光譜能量的分布對菊花、番茄、萵苣等植物的生長是有影響的[4]。2016 年 Miyagi 等人 [5] 為了評估光波長的影響，使用 Hoagland 的配方和 CO<sub>2</sub> (1000 ppm) 環境中存在 3 週的情況下，用藍色 (445 nm) 或紅色 (660 nm) 光照射生菜的生長和代謝物水平進行了分析，如圖 1 所示。通過對室內自然光譜的選擇性篩選，在放置室外的生長室中建立了不同的光質，所有光質的功率大小相同。將菊花、番茄和萵苣作為樣品，比較自然光、藍光、綠光、黃光和紅光照射下的影響。與自然光相比，藍色光強烈降低了菊花和番茄的株高，而綠色和黃色光強烈增加了植物高度。在萵苣中與自然光相比，綠色和黃色增加了葉面積。在菊花和番茄中與自然光相比，藍光刺激了橫向斷裂的形成，而番茄中的綠光和黃光則抑制了側裂的形成。在藍光下比在自然光下有更深的綠色葉子顏色。綠色和黃色的光使菊花、番茄和萵苣的葉子呈淺綠色。我們可以很明顯地觀察到，藍光對於菊花、番茄和萵苣的生長是有所抑制的，因此我們通過製作干涉濾光片，降低藍光波段的透射率，來提升這三種植物的生長速率。



圖 1 不同光波長對植物生長的影響[5]

## 二、研究方法

### 2.1 光學干涉型陷波濾光片設計

光學干涉型陷波濾光片設計用於可見光波長範圍內，透射所有其他波長並同時截止預選的帶寬。陷波濾光片適用於從光學系統移除

單個光波長或窄通帶。本研究的陷波濾光片膜層設計是採用光學薄膜軟體 Essential Macleod[6]，主要在波長 450 nm~500 nm 做截止的動作，材料分別採用氟化鎂與五氧化二鈮 (MgF<sub>2</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 作為低高折射率組合，設計出一個膜堆結構為 (MgF<sub>2</sub>/Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)<sup>7</sup> MgF<sub>2</sub> 的濾光片，在波長 480 nm 時，透射率為 0.7%，其設計光譜如圖 2 所示。

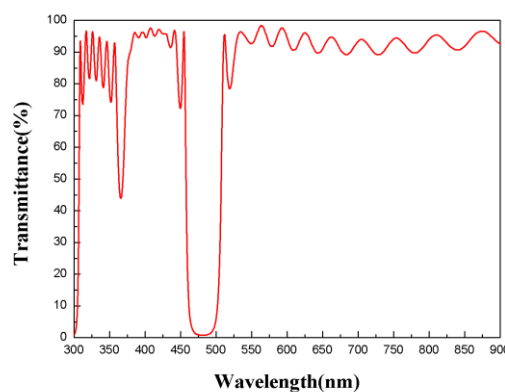


圖 2 藍光陷波濾光片設計之透射光譜

### 2.2 鍍膜方法

薄膜的特性主要取決於它們的製造方式。在大多數情況下，薄膜的組裝方式與散裝材料的生產方式截然不同。薄膜通常使用基於原子或分子尺度物理和化學的技術沉積在現有的大塊表面上。

#### 2.2.1 物理氣相沉積法

物理氣相沉積法 (Physical Vapor Deposition, PVD) 是以物理機制來進行薄膜堆積而不涉及化學反應的製程技術，所謂物理機制是物質的相變化現象，依製作方式可以分為蒸鍍 (Evaporation)、濺鍍 (Sputtering)、分子束磊晶技術 (molecular beam epitaxy, MBE)。我們採用雙電子鎗蒸鍍的方式，是藉由蒸鍍源將固態物質加熱至氣態後使其沉積在基板上。物理氣相沉積法通常涉及在氣相中通常不存在的單個原子或可能的小原子簇。通常，這些原子從固體或液體源中移出，穿過真空室，並撞擊固體表面，在該點上原子粘附並形成薄膜 [7, 8]。

#### 2.2.2 電子鎗蒸鍍

首先要使電子束產生，當陰極燈絲被施以

低壓電流而達到白熱化時，電子將從燈絲表面釋出而向四方發射，而隨燈絲溫度提升而增加其釋放量，此為熱電子。非射向正前方的電子則會受接負電位的燈絲背檔板排斥而反彈向前，然後再與原本射向前方之電子一起被接地電位的陽極所加速。接著要使電子束加速，由於電子帶有電荷，所以可以施以電場加速，亦即施以  $V$  電位差，則電子束所擁有的動能為  $1/2 m_e v^2 = eV$ ， $m_e$  為電子質量。設  $V$  為  $7kV$ ，則電子速度可高達  $6 \times 10^4$  km/sec，如此高速電子撞擊在薄膜材料上將轉換成熱能，溫度可高達數千度進而把薄膜材料蒸發成氣體[9, 10]。電子束蒸鍍通常會搭配離子輔助沉積技術(Ion Assisted Deposition, IAD)。

### 2.2.3 離子輔助沉積

離子被廣泛用於薄膜的沉積，無論是通過沉積原子的電離還是在冷凝過程中用離子源照射（離子輔助沉積）。離子動能對薄膜形成的影響範圍從簡單的基板清潔導致增強的附著力到形態變化和外延生長的刺激。儘管已經對離子輔助沉積對介電薄膜光學性能的影響進行了一些研究，但大多數工作都涉及研究可以實現的薄膜應力、晶體結構和成分的變化。IAD 技術是在電子束蒸鍍的同時用離子束轟擊離子由離子源產生離子束由柵極引出電子鎗和離子源各自獨立工作。膜層在離子的轟擊作用下獲得能量使結構得到改善[11,12]。

## 三、結果與討論

本研究使用的 SHOWA 鍍膜機台實體照片如圖 3 所示，利用雙電子鎗蒸鍍系統結合離子輔助沉積法，鍍製十五層的藍光陷波濾光片，基板為  $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$  方形 B270 玻璃，厚度為  $2\text{ mm}$ ，如圖 4 所示。通過 Shimadzu 2600i 光譜儀如圖 5 所示，對樣品做可見光波段的光譜量測，結果如圖 6 所示。在截止帶波長  $469\sim 471\text{ nm}$  的穿透率為  $0.5\%$ ，並且在  $450\sim 500\text{ nm}$  波段的平均穿透率為  $10.4\%$ 。另外，低於  $450\text{ nm}$  波段的透射率小於  $70\%$ ，對於藍紫光部分也有衰減的效果。

干涉濾光片用於從太陽光譜中採集出植物光合作用最敏感最佳的光波段為  $400\text{ nm}\sim 520\text{ nm}$  的藍紫光；所述長通濾光片用於從太陽光譜中採集出植物光合作用最敏感、最佳的光

波段為  $610\sim 720\text{ nm}$  的紅色光；所述高反濾光片用於從太陽光譜中過濾掉在植物光合作用吸收極少且抑制植物生長的光波段為  $490\sim 590\text{ nm}$  的黃綠光。實驗時將一組濾光片設置在一自動調節裝置上，並將所要培養的植物放置在該自動調節裝置下，通過該自動調節裝置即時調節所述濾光片的位置，使太陽光垂直地照到所述濾光片上，且使太陽光經所述濾波片後能均勻地照到整個植物的葉片，以便從太陽光譜中採集出植物光合作用生長所需要的最敏感、最佳的自然光波段，以及從太陽光譜中過濾掉光合作用吸收率極少或對植物生長有害的光波段而採用其它波段的自然光來培養植物。為了使濾光片採集到對應所需光照射植物的同時，能夠使太陽光較均勻地照到整個植物的葉片上，在受到濾光片製作工藝限制的同時，又保證植物具有足夠的光照面積，單個濾光片的大小可定為  $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ ，厚度為  $2.0\text{ mm}$ 。本研究提出的一種陷波濾光片培養植物的方法，使植物在光合作用的最佳波段下自然生長，特別適合於植物生長和植物光合特性的研究。在選擇對應的濾光片時，既能單獨選擇一種濾光片，也能選擇多個濾光片搭配使用，以滿足植物培育的要求。如可以依據植物培育的要求，同時選擇 2 至 4 個濾光片搭配使用，以便為植物提供更大的生長空間。

此外，鍍製的干涉型藍光陷波濾光片在綠光、黃光、紅光仍然維持有高於  $70\%$  的透射率，讓大部分的綠光、黃光、紅光能通過濾光片，並沒有因此而被衰減掉，讓植物的生長速率能大幅提升。



圖 3 SHOWA 鍍膜機台實體照片



圖 4 光學干涉型藍光陷波濾光片樣品



圖 5 Shimadzu 2600i 光譜分析儀

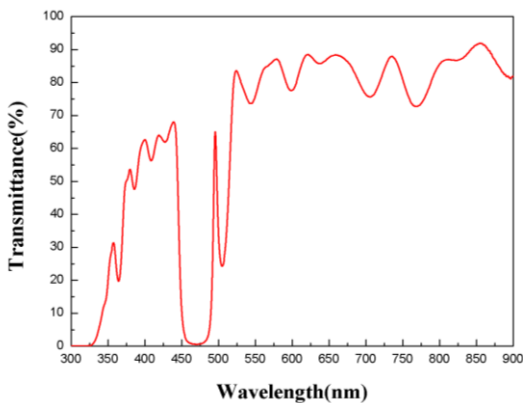


圖 6 干涉型藍光陷波濾光片之透射光譜

#### 四、結論

每一種植物的生長發育都與溫度有關，一般植物的生長大約在  $0^{\circ}\text{C}$  到  $45^{\circ}\text{C}$  之間。當環境溫度高於最適溫度，參與生理生化反應的酵素系統受到影響，代謝作用受阻，進而影響植物正常的生長發育。而當環境溫度低於最低溫度或高於最高溫度時，植物會受到嚴重損害，甚至死亡。根據植物培育具體需求，通過設計不同類型的濾光片，從太陽光譜中採集出植物光合作用生長所需要的最敏感、最佳的自然光波段，以及從太陽光譜中過濾掉光合作用吸收率極少或對植物生長有害的自然光波段而用其它波段的光來栽培植物，通過濾光片採集到最

2022 生態型市民農園學術論文暨成果觀摩研討會有利於植物生長自然光波段，使植物在光合作用吸收率高的自然光照下生長，能較精確地研究植物的生長特性，特別適合於植物生長和植物光合特性的研究。此外，本研究所提出的一種對濾光片進行調節用於培育植物的裝置，還實現即時的調整濾光片的位置，使太陽光垂直的照射到濾光片上，以保證太陽光能較均勻地照到整個植物的葉片上，使植物具有足夠的光照面積。

藉由製作光學干涉型藍光陷波濾光片，能阻止藍光的通過，並針對特定植物，如菊花、番茄和萵苣，能幫助提高其生長速率和抑制裂痕的產生。當使用複合光源時，利用光學干涉型藍光陷波濾光片截止藍光，能讓番茄在紅光的照射下，使茄紅素的含量有所提升，還能降低使用大量單色光源的成本，並將其應用至智慧農場中。

#### 致謝

本研究經費來源由科技部專題研究計畫 MOST 110-2221-E-035-061 所提供，特此致謝。

#### 參考文獻

- [1] 蘇志龍，李冬，羅銀玲，蘭芹英，黃玫，楊興榮，李慧 ”大葉茶種子萌發率及其與生長環境的相關性分析” 雲南農業大學學報, Vol. 28, 507-511(2013)
- [2] H. Smith, “Light quality, photo perception, and plant strategy,” Annual review of plant physiology, Vol.33, No.1, pp.481-518 (1982).
- [3] 中國星火計畫北京網 (2004) 瓜果--番茄果實的生理病害及預防措施。 <http://www.bjisp.org.cn/jscg/gg/fqgs.htm>
- [4] L. M. Mortensen, E. Stromme, “Effects of light quality on some greenhouse crops” Scientia horticulturae, Vol.33, No.1-2, pp.27-36 (1987).
- [5] A. Miyagi, H. Uchimiya, M. Kawai-Yamada, “Synergistic effects of light quality, carbon dioxide and nutrients on metabolite compositions of head lettuce under artificial growth conditions mimicking a plant factory,” Food Chemistry, Vol. 218, 561-568 (2016)
- [6] H. A. Macleod, “Thin-film optical filters,” CRC press (2010).

- [7] J. E. Mahan, "Physical vapor deposition of thin films," pp.336 (2000).
- [8] S. M. Rossmagel, "Thin film deposition with physical vapor deposition and related technologies," *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, Vol.21, No.5, pp.74-87 (2003).
- [9] A. J. G. Schellingerhout, et al. "Rate control for electron gun evaporation," *Review of scientific instruments*, Vol.60, No.6, pp.1177-1183 (1989).
- [10] Y. W. Beag, K. Egawa, R. Shimizu, "A compact electron-gun evaporation source for highly stable evaporation of refractory metals," *Review of scientific instruments*, Vol.64, No.12, pp.3647-3648 (1993).
- [11] 李正中“薄膜光學與鍍膜技術”第 9 版，藝軒出版社 (2020).
- [12] P. J. Martin, R. P. Netterfield, W. G. Sainty, "Modification of the optical and structural properties of dielectric ZrO<sub>2</sub> films by ion-assisted deposition," *Journal of Applied Physics*, Vol.55, No.1, pp.235-241 (1984).