

LED植物光源補償系統設計與實現

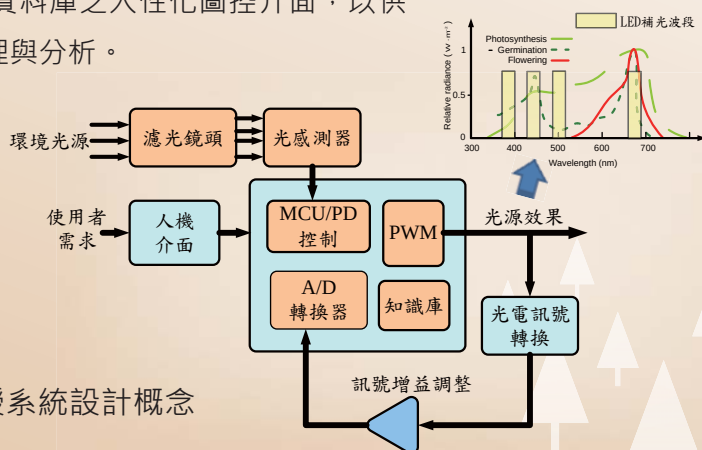
張仲良副教授* 苗志銘教授 分機:7586 屏東科技大學生物機電工程系 chungliang@mail.npust.edu.tw

一、起源

研究指出，進行植物栽培，環境因子影響作物生長品質甚大。其中，使用發光二極體(LED)充當植物生長過程所需的光源是目前進行室內種植水耕生菜最常用的方式也最有效，而植物對光譜最大的敏感地區為400~700 nm，此區段光譜通常稱為光合作用有效能量區域，陽光的能量約有45%位於此段光譜。因此，利用人工光源進行補充光量時，光源的光譜分佈也應該選用接近於此範圍。植物受光照射之波段中，波長400~500nm間對植物的分化與氣孔的調節實為重要。波長660 nm的紅光光源對植物萌芽的能力有加強的效果，波長500-550 nm間則影響植物類胡蘿蔔素的形成，也可強化碳水化合物和硝酸鹽的代謝，另外，適當補充紫外光(300-400 nm)可以有效增加花青素含量(生菜類)。本研究實現一套自主式植物受光光補償系統並應用於半開放型溫室，其系統操作界面採用圖控方式進行，其目的在於解決現今現代化溫室內植物生產系統中各色光補光源調整配置不易與人力管理不便的問題。所提系統可依種植作物所需光照強度，並感測周遭所缺乏之光質強度，提供不同的光補充輸出，達到最佳化植物受光強度的目的。

二、設計概念

此套光源補償系統，透過四組光源感測器對於受測空間的特定波長強度進行擷取，擷取分析後再驅動人工光源補償系統進行LED光源強度調變。主要包含一比例增益(PD)微控制器(MCU)、專家知識庫、LED濾光模組與光度單位資料轉換介面電路(如圖一所示)。控制器功能用來決策紅光、淺綠光、藍光以及紫外光的多寡，專家知識庫內主要包含有植物生長型態數據資訊以及相對應於紅光、淺綠光、藍光以及紫外光光源量之關聯性資料；介面轉換電路主要將光譜輻射強度轉換成光量子密度(PPFD)以符合作物栽培時所需光強度定義與其標準。透過自行設計開發多段LED補光電路晶片系統，可有效依照植物受光強度強弱變化來自行調整不同波段的光質與光量比例，達到作物生長最佳化，另一方面，該電路系統將結合植物光生理條件資料庫之人性化圖控介面，以供於植物栽培人員進行管理與分析。



圖一

PD控制回授系統設計概念

三、技術開發

a. 硬體設計原理

此套光源補償系統，透過四組光源感測器對於受測空間的特定波長強度進行擷取，擷取分析後再驅動人工光源補償系統進行LED光源強度調變。主要包含一比例增益(PD)微控制器(MCU)、專家知識庫、LED濾光模組與光度單位資料轉換介面電路(如圖一所示)。控制器功能用來決策紅光、淺綠光、藍光以及紫外光的多寡，專家知識庫內主要包含有植物生長型態數據資訊以及相對應於紅光、淺綠光、藍光以及紫外光源量之關聯性資料；介面轉換電路主要將光譜輻射強度轉換成光量子密度(PPFD)以符合作物栽培時所需光強度定義與其標準。透過自行設計開發多段LED補光電路晶片系統，可有效依照植物受光強度強弱變化來自行調整不同波段的光質與光量比例，達到作物生長最佳化，另一方面，該電路系統將結合植物光生理條件資料庫之人性化圖控介面，以供於植物栽培人員進行管理與分析。

b. 軟體設計

b.1 RS-232/USB通訊協定介面開發

電腦中RS-232通訊協定主要溝通電腦與控制介面間資料的傳輸與呼應，主要透過C語言來進行微處理器的韌體撰寫，此設計開發介面可同時開啟多個人機操作視窗，設定不同的通訊連接埠，並同時進行不同的光源調整。

b.2 軟體圖控界面設計開發

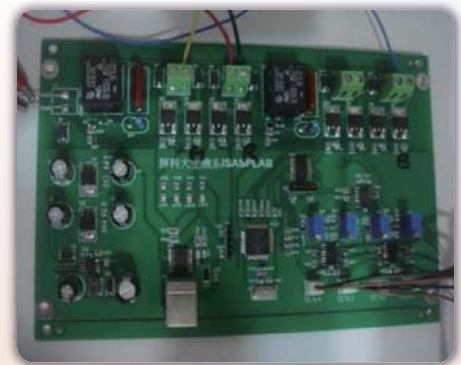
軟體圖控式介面程式撰寫，採用Visual Basic (VB)程式語言，人機介面視窗上共分為通訊連結、光源功率參數、植物生長光源參數設定、光源狀態監控、資料記錄等功能分項(如圖二(b)所示)，資料記錄對於植物生長參數影響的實驗，光源照射狀態、系統耗電量等資訊收集是必須的，因此本系統於每十分鐘記錄一次補光系統的設定目標數值、回授數值、耗電量等資訊，以方便使用者進行資料統計與節能評估。

b.3 周邊電路程式連結

LED負載驅動電路為每一迴路0~255 階亮度顯示，該輸入電壓端可為直流24V或15V，每迴路總耗電流為6安培(可依照使用者設計需求而定)，顯示燈源部亦可為其他平面光源，本系統使用個人電腦為終端設備(微軟作業系統)，以C語言撰寫晶片韌體程式，並搭配VB撰寫人機介面程式，透過萬用匯流排(USB)與微處理器開發電路板進行連結，其中兩設備間可藉由使用通訊命令來修改微處理器內的控制參數，使其透過獨立通道之脈波寬度調變波輸出，經場效電晶體(MOSFET)之閘極導通時間比例變化，來調變LED亮度。調變原理如下。

$$W = W_{\max} \cdot \text{ton} / (\text{ton} + \text{toff}) \quad (1)$$

其中W表示脈波寬度調變值，W_{max} 表示脈波寬度調變值，符號ton與toff各表示啟斷時間。綜合以上所述，以微控制器為硬體核心，配合高功率場效應電晶體及採用數位式脈波寬度調變(PWM)調變來控制LED燈光亮度，藉此達到精準調控應用之使用目的。



(a) 控制電路板實現



(b) 人機介面設計

圖二 軟體與硬體系統實現

四、技術競爭力

本研究成果所延伸出的產品競爭力如下：

1. 四波長的植物生長光補償燈具，適合各種植物生長所需；
2. 自動化光源補償系統及人機介面軟體，有利栽培管理與數據分析；
3. 植物受光強度參數自動記錄，減低勞力負擔以及不擔心植物生長時受光量不足；
4. 採用數位化調光技術，非一般電阻式調光，節省能耗。

五、研發成果

整個系統完成外觀如圖三所示，產品規格如下：

1. 4組可見光波段感測器 (波段介於380 nm至820 nm)；
2. 4組窗限型濾光片 (濾光波段可自訂)；
3. 光電訊號轉換模組：類比/數位轉換 4通道 12 bit；
4. 光源補償系統：255 階調變/ 4通道/21瓦(單迴路)；
輸入電壓：紅光LED：DC 15V；淺綠光/藍光/紫外光LED：DC 24V；
5. 狀態監控與人機介面軟體：透過RS232 通訊埠，進行光補償設定值/目前狀態值之資料交換；光強度數值顯示，設定值下載，記錄等基本功能。



圖三 植物生長光源補償系統測試

致謝

特別感謝國立屏東科技大學提供相關研究配合款項，使計畫研究能夠順利進行，同時感謝農委會能給予研究經費補助，計畫編號：103AS-14.4.1-ST-a5。

參考文獻

1. C. L. Chang and K. P. Chang, "The growth response of leaf Lettuce at different stages to multiple wavelength-band light-emitting diode lighting," *Scientia Horticulturae*, vol. 179, pp. 78-84, Nov. 2014. doi: 10.1016/j.scienta.2014.09.013
2. C. L. Chang, G. F. Hong, Y. L. Li, "A supplementary lighting and regulatory scheme using a multi-wavelength light emitting diode module for greenhouse application," *Lighting Research & Technology*, vol. 46, no. 5, pp. 548-566, Sep. 2014. doi: 10.1177/1477153513495403