

LED燈應用於全密閉式植物生長箱栽培萵苣之研究

作者：趙振勝（碩士研究生）
中興大學生物產業機電工程學系

作者：王豐政副教授
中興大學生物產業機電工程學系
電話：04-22840377#507

壹、前言

由於各國工業化後使得環境遭受到強大破壞，因而造成地球環境變動、溫室效應加劇等問題產生，環境變化有了劇烈改變，如：氣候的不調和，對於農作物的成長造成了很大的影響，如：產期的提前、延後、花期錯亂等問題層出不窮。植物工廠即因應此種情況下產生，本研究乃針對未來植物工廠發展之所需，先行設計一小型化之植物生長箱（Plant Growth Chamber），藉由人工光源、溫濕度控制、營養液的調配、二氧化碳的添加等在自動化系統（軟硬體）的控制下，令作物的生長不再受外在環境因素變化的影響，讓作物產量、品質都能穩定化。

為了解決植物工廠能源消耗大的問題，本研究結合綠色能源科技-太陽能發電，將太陽光電系統作為人工光源LED燈的電源供應，太陽能發電過程中不會產生二氧化碳等溫室氣體，不會對環境造成污染，能符合政府節能減碳，永續農業之施政方針。

發光二極體（Light emitting diode, LED），相對於其他人工光源，螢光燈、鹵素燈、高壓鈉燈有以下優勢，其中包括體積小、耐久性好、工作壽命長（Massa et al., 2008）、低發熱及多選擇性的發光波長等特性。植物光合作用之有效波長範圍在 400 至 700 nm 之間（可見光部分）的光，但是光對植物的效應除了光合作用之外，還包括光週期的調節及光質（如紅、藍光比例及紅、遠紅外光比例等）皆會對植物型態發生影響（方和饒，2004）。

目前發光二極體應用於園藝作物栽培生長仍顯得不符成本，但隨著發光二極體生產成本逐漸下降與上述之優勢與性能之提升，發光二極體仍然是未來植物工廠必須考量使用的人工

光源之一（Marrow, 2008），故本研究乃採用發光二極體做為萵苣栽培之主要光源，以找出未來在全密閉式植物工廠之適用性，期能提供給相關業者參考。

貳、材料與方法

本研究研製一套全密閉式環境控制以栽種作物之系統，包含太陽能光電系統、LED光質數位化控制系統、全密閉式植物生長箱以及水耕養液循環系統，並經以上系統的配合來實際進行LED燈於密閉式植物生長箱中栽培萵苣之最優化混光比例研究。實驗設備分述如下：

2-1 太陽能光電系統

太陽能光電系統為 1.68KW Hybrid(混合型)PV System，由多晶矽280W太陽能板6片組成，太陽能板發電後經由太陽能充電控制器（GSM PPT-3400, Taiwan）輸出DC48V經降壓後供應LED燈2~3日所需用電量。

2-2 LED光質數位化控制系統

LED光質數位化控制系統架構是以LED燈陣列、電源供應器、編碼器（iplayer3, Philips Solid-State Lighting Solutions, USA）與個人電腦等所組合而成。

其中LED燈陣列為1W之紅、藍及綠色LED燈（Edison, Taiwan）各12顆，共36W；當以電腦軟體QuickPlay Pro（Philips Solid-State Lighting Solutions, USA）分別設定R、G、B不同的混光強度時，編碼強度各有255階段，由個人電腦傳送控制訊號至編碼器，並由LED燈陣列中解碼晶片將編碼器之串列資料轉換成控制LED燈所需之電位變化訊號輸出，最終使LED燈陣列發出R、G、B光之混合光譜。

2-3 全密閉式植物生長箱

本研究所研製之全密閉式植物生長箱，其

尺寸為260cm*75cm*200cm，內含三層植物生長槽架，尺寸皆為100cm*60cm*15cm，可安裝三種不同人工光源，每層可種植50株間距為6cm之作物，並可依作物生長情形調整間距。可控制溫度模擬大自然日夜溫差、超音波加濕細化水分子精準控制濕度、外部以CO₂鋼瓶添加及監控調節CO₂濃度，使作物之生長處於光合作用最佳狀態、隨時監控養液pH值、EC值、可調控人工光源明暗時間。植物生長箱內環境資料則每10秒紀錄成一筆資料，再以EXCEL檔儲存及匯出。

2-4 養液循環系統

養液循環系統對於作物是很重要的一個環節，靜置的養液會使根圈附近之養液酸鹼度及組成成分極易因根部分泌物之干擾而不穩定，更嚴重地使養液中溶氧量低下且分佈不均勻，所以需透過水中打氣及養液循環解決此問題。本系統包含生長槽、沉水馬達(POND-150，TAIWAN)以及水閥門，水耕養液由沉水馬達打出經過入水端閥門、軟管進入生長槽後，水位慢慢達到溢流閥門高度時，就會開始回流至養液槽，此動作重複，水耕養液自動循環至整個系統；並安裝有排流閥門，在一個實驗週期結束後，可透過此閥門將生長槽內水耕養液排出，有益於清洗之效果。

2-5 實驗方法

全密閉式植物生長箱萵苣栽培主要分為兩個階段，第一階段為種子育苗期，栽種10天後移植，第二階段為旺盛成長期，栽種25天後採

表一、萵苣栽培環境條件參數設定

環境參數	育苗期	成長期
溫度(亮/暗, °C)	23/19	
光週期(明/暗, hr)	24/0	16/8
二氧化碳濃度(ppm)	1000±100	
濕度(%)	60~75	
養液EC(mS/cm)	1.0±0.1	
養液pH	5.6~6.0	

收，並分析生長指標，該兩階段於植物生長箱內所設定的環境條件參數如表一所示。

育苗期要特別注意萵苣種子發芽適溫為15-20°C，在高溫的環境下發芽不良，容易進入休眠，30°C以上發芽受阻，並且要打破種子休眠，發芽率才會高。

本研究栽培皺葉萵苣所採用的水耕養液配方為日本山崎作物之養液組成(張, 1998)，如表二所示，配方調配比例所需水量為1000L，由於本研究實際栽培只需水耕養液250L，在配置水耕養液時，將配方成分調整為1/4以維持相同濃度的水耕養液。

表二、日本山崎作物之養液組成(水1000L)

萵苣配方(1000L/kg)					
硝酸鉀	硝酸鈣	硫酸鎂	磷酸一銨	EDTA-鐵	
400	240	125	60	20	
成分濃度(mL/L)					
硝酸態氮	鉀	鈣	磷	鎂	導電度(mS/cm)
6.4	4.0	2.0	1.5	1.0	0.8

初步實驗使用兩種不同人工光源，一為LED燈陣列5組和對照組T5螢光燈管5隻，色溫為6500K白光，燈光高度距離生長槽固定為18cm，種植過程中隨時監控養液pH值、EC值，並固定植物生長箱內環境條件。

2-6 萵苣栽培試驗量測指標項目

皺葉萵苣種植35天後(35天包含育苗期、成長期)進行採收，並量測生長指標來做不同人工光源下數據分析與討論，生長指標主要分為地上部鮮重、地下部鮮重、葉綠素a、葉綠素b及類胡蘿蔔素、光合作用速率值、硝酸鹽含量，上述各項的量測方式如下所述：

2-6-1 地上部鮮重、地下部鮮重

地上部鮮重與地下部鮮重採電子天秤(AND(A&D) analytical balance, HR-200, Japan)量測，精準度取至小數點以下第二位，地上部取到與泡棉以上，泡棉以下則為地下部，以此作為量測的標準，每種人工光源各取三株量測，三重複。

2-6-2葉綠素a、葉綠素b及類胡蘿蔔素

葉綠素a、葉綠素b及類胡蘿蔔素採用 Lichtenthaler (1987) 法，取新鮮葉片0.1g，切細碎後置於玻璃試管中，加入15ml萃取液（以80% Acetone及20% Methanol配製），封上石蠟膜後置於黑暗中避光24小時，以分光光度計(U-2900, HITACHI) 測量 470nm、645nm、652nm、663nm、波長下之吸光值。再計算出每單位葉重之葉綠素a (Chl.a)、葉綠素b(Chl.b)、總葉綠素 (Total Chl.) 及類胡蘿蔔素(β -Carotene)含量，式中V為葉綠素萃取液總體積15ml，W為葉片鮮重0.1g，單位以mg/g-1表示，三重複。

2-6-3光合作用速率值

光合作用速率值，以攜帶式光合作用測定系統(LCi portable photosynthesis system, ADC)測定其光合作用速率，每株取三葉片量測，以取平均值用，三重複。

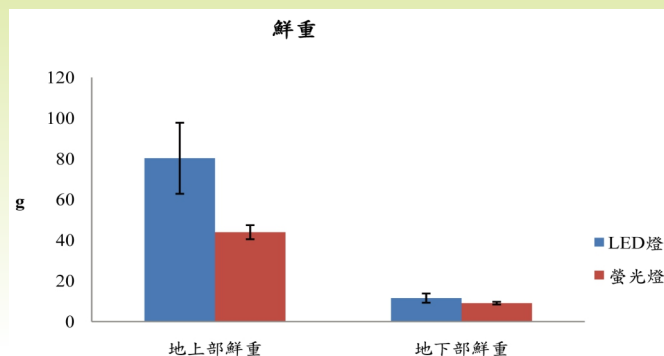
2-6-4硝酸鹽含量

硝酸鹽含量依 Cataldo et al. (1975) 之方法，取新鮮葉片2g，切細碎後置於玻璃試管中，加入20ml去離子水離心處理後成濾液，取0.1ml濾液加0.4ml 5% Salicylic acid (取5g Salicylic acid溶於95ml的95%濃硫酸)，震盪均勻於室溫下反應20分鐘，緩慢加入4.5ml的4.2N NaOH，震盪均勻於室溫下反應30分鐘，以分光光度計 (U-2900, HITACHI) 量測410nm波長下之吸光值，標準液以NO₃配置，三重複。

參、結果與討論

3-1地上部鮮重、地下部鮮重

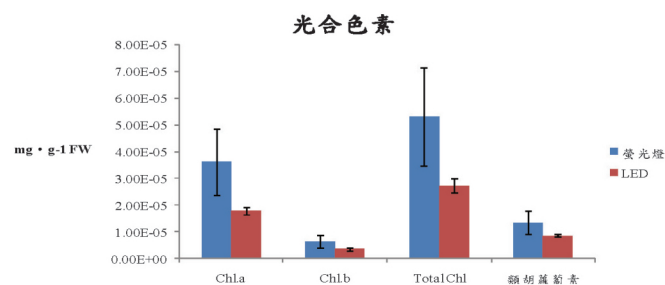
地上部鮮重和地下部鮮重分別取樣量測結果如圖一示。螢光燈鮮重比LED燈鮮重有明顯的差異。



圖一、地上部鮮重與地下部鮮重直方圖

3-2葉綠素a、葉綠素b及類胡蘿蔔素

葉綠素a、b及類胡蘿蔔素都是光合色素的一種，並參與光合作用過程，含量的多寡可以反應出皺葉萵苣生長情形，葉綠素吸收近於660nm波長進行光合作用；而類胡蘿蔔素吸收450nm波長，引起屈光性以及高能量光形態發生(方和饒, 2002)。螢光燈所測出葉綠素a(Chl.a)、葉綠素b(Chl.b)、總葉綠素(Total Chl.)及類胡蘿蔔素如圖二示，明顯高於LED燈的數據。

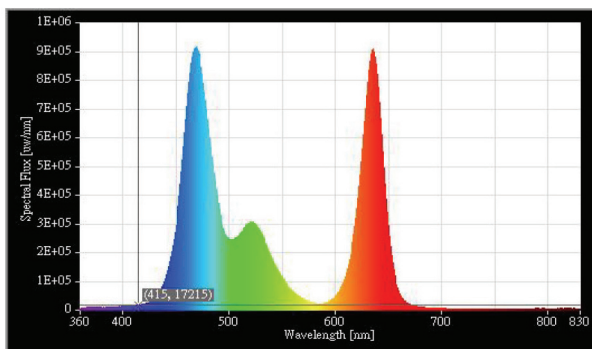


圖二、光合色素直方圖

3-3光合作用速率值

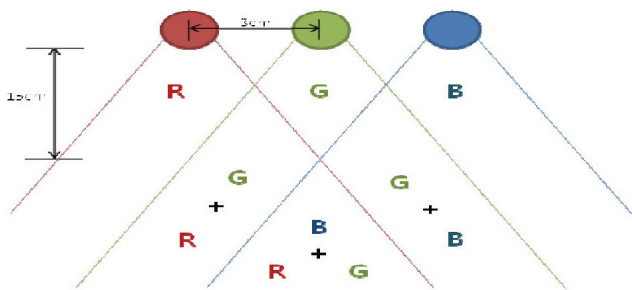
植物光合作用所需波長為430~450nm的藍光段及630~660nm的紅光段(Kendrick et al.,1986)，如圖三示為LED燈量測之光譜強度，是植物生長最佳光合作用的波長，相對螢光燈之波長，LED燈綠光居多，以波長條件來評斷光質優劣，LED燈為佳；但光合作用速率，螢光燈光合作用速率5.34是優於LED燈的4.77，種植試驗結果顯示於鮮重，LED燈鮮重只有40g，推測是光合作用不足，導致光合產物量較少。

測量該兩種光源之光量子通量密度(PPFD)，LED燈為260μmole/sec，螢光燈為



圖三、LED燈混光後波長的光譜強度

230μmole/sec，光量子通量密度是植物行光合作用有效能量，LED燈光量子通量密度和波長兩者顯示較有優勢；燈粒與燈粒間距離3cm，R、G、B混光的有效垂直距離如圖四為15cm才能混出均勻光譜，而非單一光譜，由於燈光距離固定，皺葉萵苣生長過程中會逐漸靠近人工光源，對於螢光燈來說，距離越近光譜強度越強，相對於LED燈，當皺葉萵苣生長至靠近燈管時，低於有效距離後，R、G、B混光結果不是均勻光譜，使得光合作用效率下降，此可能影響LED燈不如螢光燈之效果表現。



圖四、LED燈混光之有效垂直距離示意圖

3-4硝酸鹽含量

硝酸鹽為食用蔬菜安全之標準，若長期攝取含過量硝酸鹽的食物，將對身體產生危害。其含量顯示出皺葉萵苣於生長過程中將氮肥轉換、代謝的效率，如果在光量不足或低溫的狀況下，還原作用緩慢，硝酸態氮會以硝酸鹽類的形式累積在植物體中(王，2010)。本試驗實測皺葉萵苣硝酸鹽含量結果，LED燈為604.22 mg · g-1 FW，螢光燈為233.8mg · g-1 FW有較少的硝酸鹽殘留，表示皺葉萵苣能充分轉換氮肥為養分供作物生長，得出較佳鮮重。

肆、結論與建議

本研究自行開發利用植物生長箱結合太陽能發電，利用大自然光能量而達到節能的效果，並減少二氧化碳排放，減少溫室氣體對環境所造成的影響。

本研究實際栽培皺葉萵苣的結果，各項量測數據分析皆顯示螢光燈的生長勢比LED燈為佳，究其影響原因為光合作用速率較高，令其鮮重、葉綠素a、葉綠素b、總葉綠素 (Total Chl.) 及類胡蘿蔔素值等都有顯著的差異，也因光合作用較佳致使硝酸鹽的含量低於LED燈；但LED燈於光質上之理論值仍是有其優勢的，目前發現的問題點是LED燈人工光源與生長槽架間的距離固定，使得LED燈之光能效率無法發揮到最佳效果。其改善之法應就提升LED燈之光量密度以及人工光源與生長槽架間的距離，能依照作物生長的趨勢來改變，促使LED燈之能量皆在有效距離，發揮最佳的效率。