

# 輪轉吊盤式立體栽培架於芫荽生產之研究<sup>1</sup>

田雲生、張金元、戴振洋、蔡正宏<sup>2</sup>

## 摘 要

本研究係針對設施穴盤芫荽栽培管理所需，試驗研製一臺輪轉吊盤式立體栽培架，採 AC220V×1/2HP 電動馬達為動力源，鏈條、鏈輪組傳動，以驅使6組懸吊承盤迴轉；電控箱具有間歇迴轉角度、速度與頻率等選擇，並可搭配輪轉定位進行噴霧作業。經試驗結果顯示，吊盤式栽培架每日耗電量0.32kwh；6組承盤平均光照25.8~31.2 kLux，光積值(照度累積量)為對照組之38.4~46.7%；白天平均溫度範圍介於33.3~34.2℃，較對照組44.6℃低10℃以上。另因立體栽培架具遮陰效果，夏季芫荽在設施內生長情形良好，且穴盤栽培較露地土耕快10天採收，單位面積產量可增加70%。

**關鍵字：**立體栽培、溫室、懸吊裝置、芫荽

## 前 言

臺灣位於中國大陸東南方，四面環海，受到大陸型、海洋型氣候與中央山脈地形的影響，致天候環境複雜多變化<sup>(3)</sup>，並經常遭受颱風、暴雨、乾旱、熱浪及寒流等天然災害的侵襲，再加上近年來全球暖化與氣候變遷的威脅，對於農業生產造成嚴峻的考驗，除了農作物受損與收穫減少外，甚至引發產銷失衡、物價波動等問題。鑒於此，農友採用設施溫網室栽培管理與日俱增，尤以蔬果、花卉、種苗等高經濟作物為最，並運用各類省工機具、自動化設備與相關技術輔助作業，以及在設施內建置環境監測控制系統，調節溫度、溼度、光度與二氧化碳等微氣候資料，營造作物穩定生長環境，進而提升農產品質與收益<sup>(2)</sup>。為充分利用設施內空間，提高單位面積產量，常藉由改善設施結構、環控設備、立體化多層架栽培等設計達成。另須搭配篩選適合品種、種苗供應技術之開發，採行無土與容器栽培管理，再以管路滴水、噴灑灌溉系統提供生長所需水分及養分，而下層光照不足問題則採人工照明等技術加以解決<sup>(1,2,4,9)</sup>。

立體栽培也稱為垂直栽培，係採多層架裝置承載作物以進行栽培管理，目前國內外應用種類、型式繁多，包括有懸吊式、根系噴霧式、垂直多層平面式、立柱式、床架式等作業方法，不勝枚舉<sup>(2,5,10,11)</sup>。無土栽培不以土壤作為介質，而使用泥炭苔、椰纖、砂礫、蛭石、珍珠岩、蔗渣、樹皮、岩棉等化學惰性物質，其中早在1965年間，英國查西島已開始利用泥炭苔進行作物栽培；1970年初期，西歐如丹麥、荷蘭等國家，採行岩棉栽培技術已達實用階段。

<sup>1</sup> 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第0852號。

<sup>2</sup> 行政院農業委員會臺中區農業改良場副研究員、助理研究員、副研究員、前助理研究員。

主要優點：可標準化栽培管理，降低對土壤、環境需求，提高用水效率、減少消耗水量，顯著提高施肥效率，提高產量、改善品質，減低勞力支出，此種栽培模式可應用於土壤條件不良的地區栽培。容器栽培可使用鐵網或鋁管等支撐不織布並呈現凹槽型，或以塑膠材質之籃、袋與連接盆(穴盤)裝填各類介質，也可直接於泥炭苔等介質袋上挖二、四或六個洞作為栽植穴，用來種植彩色甜椒、番茄、花胡瓜、辣椒等棚架式高莖藤蔓類作物，再搭配養液肥灌與環境控制系統，可有效監控管理植株成長，堪稱是一種高效率的生產模式<sup>(8)</sup>。

針對垂直多層平面式栽培系統，光照量為其生產管理上最大的影響因子，意即下層栽培床會受上層之遮蔽影響，因而產生遮陰效應，造成作物徒長、生長勢不一致及產量降低等問題，此可藉由人工補光或調整種植間距、定植時間等機制克服之，但仍有其栽植瓶頸與限制條件<sup>(6,7)</sup>。本場102年度執行「設施蔬菜立體化栽培模式－關鍵技術之研發」計畫，係為解決芫荽夏季高溫生理障害問題<sup>(12)</sup>，並試驗研發與應用立體化栽培架，以適度提高單位面積產量，期減輕該敏感性作物產銷失衡之機率為主要研究目標。基於每一作物皆可獲得較為均勻光照量等生長條件，試驗研製電動馬達驅動之輪轉吊盤式立體栽培架，針對該栽培架之組成架構與使用性能說明如後，進而供相關設施栽培農友參考應用。

## 材料與方法

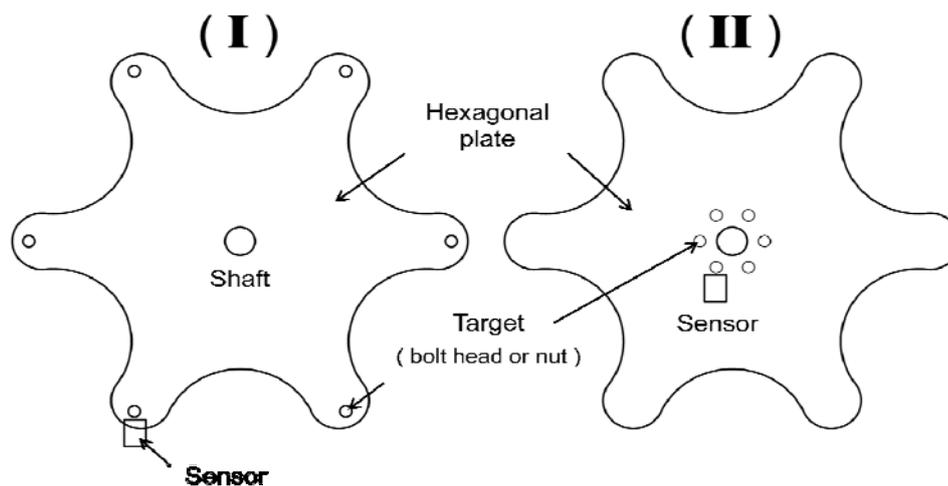
### 一、立體栽培架設計原則

- (一)因應氣候變遷及環境逆境對農業生產影響，並提升設施運用空間與土地利用效率，以增加單位面積產能為目標。
- (二)為使作物於立體栽培架之環境條件儘量相類似，包括光照、遮陰、溫度等，使其生長情形與產量趨於一致。
- (三)栽培管理所需之灌溉、施肥等工作項目，併入輪轉自動化操作與監測，方便於後續之作業應用。
- (四)除應用於芫荽栽培管理外，可兼用於其他作物之生產，其操作宜具有彈性作業功能。
- (五)為了解操作條件與能源消耗情形，立體栽培架之迴轉驅動馬達可加裝變頻器、數位電表等，供為試驗調查之用。

### 二、立體栽培架組裝型式

栽培架依照前述設計原則，以固定基座支撐2塊對稱6瓣形板，再掛載可自由擺動之6組懸吊承盤，其上可放置穴盤或其他栽培容器，並採電動馬達及傳動鏈條、鏈輪帶動懸吊承盤保持水平方式進行迴轉，轉速可依作物管理需求而調整變頻器來達成。若以市面上常見每盤35格之穴盤為例，同時間可放置42盤，相當於可種植芫荽1,470株或其倍數(每穴複株)。電控裝置則可設定懸吊承盤每天迴轉作動之起訖時間，每次迴轉後之間歇(暫停)時間，選擇正逆轉方向、手動或自動作業、調整迴轉速度，以及緊急停止等安全機制之作業功能。另於基座頂端設有具高度調整之噴霧裝置，可搭配懸吊承盤迴轉定位控制而進行噴霧灑水作業，噴霧

次數與時間(相當於灌溉水量)可依需求設定並調整。立體栽培架的定位控制係以近接開關偵測，以懸吊盤或傳動軸之緊固螺絲兼為感應對象(I、II)，選擇二者之一搭配應用，其外觀示意如圖一所示。



圖一、立體栽培架 2 種旋轉定位方式

Fig. 1. The positioning strategy of the rotary facility.

### 三、試驗設備與材料

- (一)供試設備：研製完成之輪轉吊盤式立體栽培架。
- (二)供試材料：使用長55×寬39×高6.7 cm之35格穴盤，以及長50×寬29.5×高11 cm俗稱百合盆之塑膠盆為栽培容器；泥炭土(歐盟輸入)；芫荽為明豐大葉品種。
- (三)量測器材：HOBO Pendant袖珍型溫/照度紀錄器(UA-002-64)、碼表(電子式，精度0.01 sec)、電子秤(最大秤量6 kg、精度0.1 kg)、角度規、捲尺等。

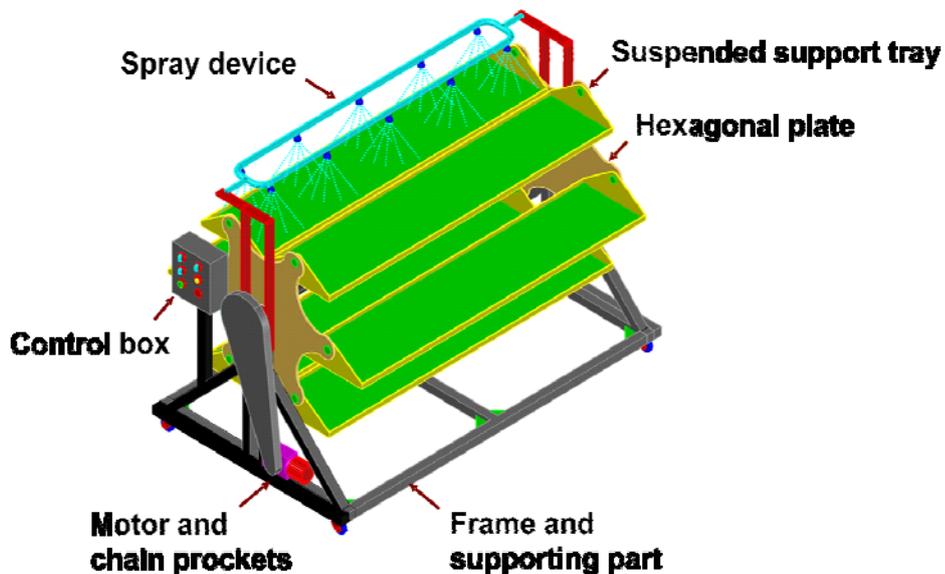
### 四、測試及調查項目

- (一)輪轉吊盤式立體栽培架研製完成後，針對該機械性能、效率等加以試驗調查，包括栽培架外觀尺寸、迴轉時間與速率、耗電及附屬噴霧裝置作業情形等。
- (二)馬達不同頻率與栽培架迴轉速度之試驗：變頻器調整供電頻率以變換馬達轉速，再帶動吊盤式立體栽培架在空車(無承載栽培介質、容器與作物等)狀態下之迴轉，比較無負載及負載百合盆芫荽狀態下的速度差異。
- (三)不同介質深度播種之比較試驗：以35格穴盤為栽培容器，每盤裝填泥炭土深度分別為1、2、3、4、5 cm等5種處理(自穴格底部突起約0.7 cm起算)，每處理3重複，並以慣常方式栽培管理；每穴播種3粒，發芽後留1株，比較其葉片數、地上部鮮重、地上部乾重等差異。

- (四)懸吊盤上溫度、光度之比較試驗：於輪轉吊盤式栽培架之6組承盤上及對照位置，分別固定1個溫/照度紀錄器，並標註編號1、2、3、4、5、6及對照組(CK)，其中對照組係固定於設施內相對承盤迴轉至最高點的等高位置。為使每組承盤接受光源具一致性，並節省連續迴轉所消耗的電能，採行間歇運動方式，且設定栽培架每迴轉1/6轉(60度)後暫停5 min，紀錄器則每1 min記錄1筆溫度與照度資料，試驗調查6組懸吊盤與對照組間之平均溫度、平均照度及照度累積量的差異。
- (五)立體栽培對芫荽生長性狀與產量之比較試驗：試驗調查穴盤芫荽在春季、夏季分別於輪轉吊盤式栽培架生長性狀及產量的結果，並於設施內以傳統土耕栽培法對照比較。

## 結果與討論

- 一、研製完成之輪轉吊盤式立體栽培架，適合於設施溫網室芫荽生產管理應用，其外觀型式如圖二所示，若以承盤面積(6盤×66×320 cm = 126,720 cm<sup>2</sup>)除以栽培架佔地面積(200×350 cm = 70,000 cm<sup>2</sup>)，約等於1.81倍，可知本立體栽培架之土地利用可增加81%。其主要構造區分為4部分：



圖二、輪轉吊盤式立體栽培架示意圖

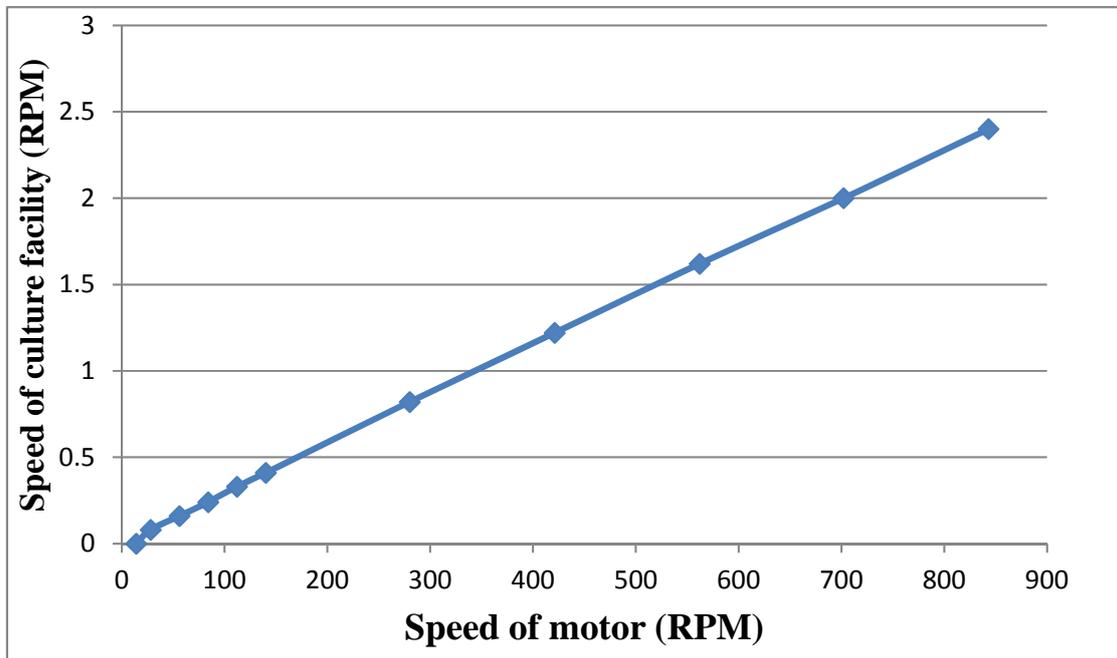
Fig. 2. The schematic diagram of the vertical rotary type tray culture system.

- (一)機體與動力機構：輪轉吊盤式立體栽培架設計為保持水平之迴轉作動，動力源採AC 220V×1/2 HP電動馬達，傳動鏈輪及鏈條具外罩遮蔽以維護安全，並以固定基座支撐6瓣形板，基座下方設有活動輪供機體移行之用。
- (二)懸吊承盤：由2組六瓣板以垂直對稱方式連結6組單點懸吊承盤，每組承盤上利用不鏽鋼托盤或鐵網鋪設塑膠布，再放置穴盤或其他栽培容器進行生產管理。

(三)電控箱：依據作物栽培管理需求，設定懸吊承盤每天迴轉作動之起訖時間、每次迴轉後之間歇(暫停)時間，選擇正逆轉方向、手動或自動作業，調整迴轉速度，以及緊急停止等安全機制之作業功能。

(四)附屬噴霧裝置：雙排扇形噴頭，操作時可選擇單排或雙排作業，噴頭間距43.5 cm、距懸吊盤高度58 cm (可調)，搭配懸吊承盤迴轉定位控制而進行噴霧灑水作業，每只噴頭流量360 ml/min、噴霧角120度。若作物不耐噴灑，可藉由管路自側邊澆水至承盤內，採淹灌方式進行灌溉管理；但因承盤設計為單點懸吊，當其定時迴轉時，會因水分過多而發生左右晃動之虞。後於栽培容器下方另鋪設不織布或吸水海棉以減緩水分流動，遂解決迴轉時承盤擺幅過大問題。

二、不同供電頻率條件下馬達與栽培架迴轉速度之試驗結果：使用變頻器係為方便馬達變速，進而獲得較佳的轉盤轉速。輪轉吊盤式栽培架在空車狀態下，迴轉速度的測試結果如圖三所示。當馬達轉速28 rpm (頻率1 Hz)時，栽培架之迴轉速度為0.08 rpm；843 rpm (頻率30 Hz)則為2.4 rpm，可知馬達速度愈高，栽培架轉速愈快，且在量測範圍內略呈線性關係，惟馬達轉速在28 rpm以下時，發現其帶動栽培架旋轉已漸顯吃力。另於懸吊承盤上放置百合盆芫荽，每盤負載4盆，總重量(包含介質、水分與植株在內)約9.7 kg，其測試結果與空車狀態下雷同，並無顯著差異。



圖三、馬達與栽培架迴轉速度的關係

Fig. 3. Relation between rotating speed of motor and culture facility.

可知，馬達轉速選擇在28 rpm以上較佳，而變頻器適合調整之最低標稱頻率為1 Hz，再低便因馬達扭力不足，無法超過栽培架的靜摩擦力，進而帶動其迴轉運動；承載百合盆芫荽時的情形亦同。另發現，當變頻器調整到6.8 Hz (馬達轉速約190 rpm)以上，即因懸吊承盤晃動而影響定位點感應作動之正確性，有負載時則提高到7.5 Hz (馬達轉速約210 rpm)才會發生定位誤差。綜上結果，立體栽培架迴轉操作頻率應介於1~6.8 Hz (馬達轉速28~190 rpm)，實際經驗上操作係設定為空車5 Hz (馬達約140 rpm)、負載5.5 Hz (馬達約154 rpm)最為順暢。也由於立體栽培架迴轉的目的在於營造每一承盤上的作物，皆能獲得均一性的栽培環境，包括溫度、光照等，所以並不需要頻繁地高速、連續迴轉。

三、不同介質深度播種之生產試驗結果：芫荽種子在播種前之預措處理，較簡易節能之方式為浸種6~12 hr最適宜，但超過24 hr則發芽率就會下降。當播種至穴盤穴格內，再堆疊於室內陰涼處催芽3天後，移到設施內輪轉吊盤式栽培架上生長管理，2~3天即可出土約2 cm，較田間土耕法可縮短萌芽5~7天。自2012年12月26日播種，2013年2月20日試驗結束之調查結果如表一所示，可知芫荽的葉片數及地上部鮮重、乾重皆隨介質深度增加而增加，其中介質深度5 cm及1 cm的平均葉片數分別是22.5、13.0，前者為後者的1.73倍；地上部鮮重、乾重則更提高至6.57及6.21倍。由此可確定芫荽穴盤栽培之介質裝填量必須儘量增加，尤以接近滿載為佳，方能提供作物自發芽至成長所需支撐及保水保肥的功能；另在試驗調查的過程中亦發現，當介質裝載量較少時，芫荽種子萌芽、生育初期之光照情形，會受穴格內壁遮蔽影響，造成植株徒長現象，並以距離穴格頂端愈遠而愈趨明顯。

表一、穴盤芫荽不同介質深度之生產試驗結果

Table 1. The test results of media depth in tray to coriander production

Item	Depth of the medium in the plug trays				
	5 cm	4 cm	3 cm	2 cm	1 cm
Number of leaf (No.)	22.50 <sup>1</sup>	19.90	18.00	15.00	13.00
Top fresh weight (g)	29.55	18.91	11.02	6.99	4.50
Top dry weight (g)	4.66	3.11	2.01	1.22	0.75

<sup>1</sup> Planting: 2012/12/26, Harvesting: 2013/02/20.

四、懸吊盤與對照組溫度、光度之試驗結果：表二為2013年8月18日上午5:30至下午18:00彙整之平均溫度、照度及照度累積量的差異。由試驗結果可知，6組懸吊盤上平均溫度介於33.3~34.2°C，較對照組44.6°C低了10°C以上，評估係立體栽培架具遮陰功能而產生的結果。而該日室外之平均氣溫27.5度，最高溫33.1度，最低溫23.2度，皆較設施內低，此亦驗證設施內確有熱累積的問題。另設施內光照強度為67 kLux，而吊盤式栽培架每盤平均光照25~31 kLux，其中編號1之照度累積值最低，編號3最高，分別為對照組之38.4%及46.7%，但6組承盤因間歇迴轉而使照度累積值趨於一致，其間的差異經分析是受設施骨架或其他設備遮光所造成的。

表二、懸吊盤上溫度、光度之差異比較

Table 2. Comparison of temperature, illuminance and daily light integral among 6 suspended trays

Item	Record positions						
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	Control
Average temperature (°C)	33.8 <sup>1</sup>	34.1	34.2	33.3	33.4	34.1	44.6
Average illuminance (Lux)	25,763	28,405	31,199	26,737	30,433	28,159	67,011
Daily light integral (kLux)	20,121	22,185	24,366	20,882	23,769	21,993	52,336

<sup>1</sup> Measuring Period: 05:30am to 18:00pm, August 18, 2013.

五、立體栽培對芫荽生長性狀與產量之調查結果：表三為穴盤芫荽在春季、夏季分別於輪轉吊盤式栽培架生長性狀與產量的試驗結果，並與設施土耕栽培法對照比較。經試驗結果發現，夏季作輪轉吊盤式栽培架之穴盤芫荽自浸種、催芽至收穫約35~40天(株高20~30 cm)，較露地芫荽快10天採收。6~9月因日照強且設施內溫度過高，芫荽易有矮化、黃化或不萌芽等現象，須以遮陰維持正常發芽與生長。一般夏季露地芫荽產量約500 kg/0.1 ha，輪轉吊盤式栽培架換算產量約846 kg/0.1 ha，為露地栽培之1.7倍，較一般地面土耕可提高土地利用率高達81%，單位面積增加產量約70%。若每天懸吊盤設定5:00~19:00驅動，每5 min間歇迴轉1/6轉，則由數位電表顯示其平均日耗電量0.32 kwh，換算電費大約1元，此表示芫荽每一期作扣除種子預措處理及堆疊催芽約4~5天，實際移到輪轉栽培架上生長管理僅30~35天，也就增加電費成本約30~35元。

表三、春、夏季立體栽培對芫荽生長性狀與產量影響

Table 3. The effects of vertical culture on the growth and yield of coriander in spring and summer

Item	Plant height (cm)	Number of Branch (No.)	Fresh weight (g)	Yield/plug (g)	Yield (kg/4.5m <sup>2</sup> )
Rotary type vertical culture plug production <sup>1</sup>	29.7 b <sup>3</sup>	4.9 b	3.2 b	446 a	9.5 (×1.8) <sup>4,5</sup>
Soil culture	56.2 a	5.6 a	8.3 a	—	16.5
Rotary type vertical culture plug production <sup>2</sup>	20.8 a	5.0 b	1.75 a	224.1 a	4.8 (×1.8) <sup>6</sup>
Soil culture	15.8 b	3.9 d	1.21 b	—	2.4

<sup>1</sup> Test in spring

<sup>2</sup> Test in summer

<sup>3</sup> Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at P<0.05 level by Fisher's protected LSD test.

<sup>4</sup> Yield of rotary type vertical culture plug production can be further multiplied by 1.81 times

<sup>5</sup> Planting: 2013 /04 /09, Harvesting: 2013 /05 /20

<sup>6</sup> Planting: 2013 /05 /20, Harvesting: 2013 /06 /25

## 結論與建議

完成一臺輪轉吊盤式立體栽培架，較一般地面土耕可提高土地利用率高達81%，單位面積增加產量約70%。其自動控制功能完善，可依作物需求調整迴轉速度、間歇時間及噴霧水量

等參數，應用於夏季設施穴盤芫荽之生育情形良好，惟立體栽培架之設備費用較高，恐影響農友使用意願，未來應進一步降低成本以便於推廣利用。

該機械原設計以芫荽立體機械化栽培為目標，亦可兼用於穴盤或百合盆為栽培容器之葉菜類作物，此可以提升應用範圍。但若作物重量、體積過大，或植株過長、展幅過大，皆會影響機體規格及適用性，故機械目前較適合於短莖作物栽培，後續再進一步加以改良，以符合更多作物使用。

## 誌 謝

本研究係執行設施蔬菜(芫荽)立體化栽培模式-關鍵技術之研發[102農科-1.1.2-農-C1(2)]之研發成果。感謝中興大學生物產業機電工程學系盛中德教授悉心斧正本文；試驗期間承蒙建國科技大學自動化工程系暨機電光系統研究所樂家敏、黃錫泉教授的指導與建議，畢順發科技股份有限公司黃碇耀先生配合機械研製組裝，以及本場農機研究室吳浩銘、謝宗諺、李安心等同仁鼎力協助，方得以順利完成，謹申謝忱。

## 參考文獻

1. 方煒 2001 自動化植物工廠 p.103-112 農業自動化叢書第十一輯。
2. 田雲生、張金元、戴振洋、蔡正宏 2013 輪轉吊盤式立體栽培架之研發應用 臺中區農業專訊 82: 4-6。
3. 交通部中央氣象局 臺灣氣候特徵簡介 <http://www.cwb.gov.tw/V7/climate>。
4. 宋妤、劉程煒 2011 茄科作物立體化栽培之應用 行政院農業委員會農糧署。
5. 呂杰峰、王伯瑜、謝孟翰、洪辰雄 2011 旋轉式設施栽培機能源消耗與植物生長之探討 生機與農機論文發表會。
6. 張書銘、邱建中、林金樹、沈勳 1997 垂直高架遮陰物對秋作甜椒生育與光合作用能力之影響 臺中區農業改良場研究彙報 57: 1-10。
7. 陳正男 1994 遮陰處理對芫荽生育及收量之效應 桃園區農業改良場研究彙報 09: 43-47。
8. 張旭志 2004 多功能溫室電動軌道車之研究 碩士論文 臺中：中興大學生物產業機電工程學系。
9. 楊玉婷 2011 全球立體農業與植物工廠發展趨勢 植物種苗生技 25: 6-13。
10. 楊紹榮、鄭榮瑞 1998 穴盤蔬菜栽培技術之研發與應用 p.1-26 臺南區農業改良場技術專刊 87-2 (No. 74)。
11. 楊紹榮、鄭錦容、余合 1999 穴盤蔬菜栽培之研究 臺南區農業改良場研究彙報 36: 46-58。
12. 戴振洋 2005 蔬菜-芫荽 p.415-418 臺灣農家要覽增修訂三版 豐年社 臺北市。

# Efforts of the Vertical Rotary Tray Culture System on Coriander Seedling Growth<sup>1</sup>

Yun-Sheng Tien, Chin-Yuan Chang, Chen-Yang Tai and Jeng-Hong Tsai<sup>2</sup>

## ABSTRACT

The purpose of this research was to develop a vertical rotary type tray culture system for coriander seedling by using plug plate production. This facility was powered by a AC 220V×1/2 HP electric motor, and 6-suspended trays were driven by a set of transmission chain for rotary movement. The electrical control box had functions of intermittent rotation angle, rotation speed, frequency and positioning with rotary sprinkler operation. The results showed that the electric power consumed in this vertical culture facility was 0.32 kWh daily. Average illumination of sunlight received among trays was 25-30 kLux, and light integral was 39-44% rlower elative to the control. The average daytime temperature ranges from 33.3-34.2 °C, which is 10 °C lower than the control. Due to the rotary type vertical culture facility supplied the shading effort good for coriander growth to show the better growth performance in summer. The coriander growing in plug plate system is able to harvest 10 days early than in open field, and the yield per unit area increased 70% more.

**Key words:** vertical culture, greenhouse, suspension device, coriander

---

<sup>1</sup>Contribution No. 0852 from Taichung DARES, COA.

<sup>2</sup>Associate Engineer, Assistant Engineer, Associate Horticulturist and former Assistant Horticulturist of Taichung DARES, COA.