

序

人類從野外採集進入農耕就一直夢想有穩定的收穫，面對氣候的不確定性，祈神敬天的儀式在在顯示各民族感恩豐收的喜悅。面對氣候變遷，農民樂天接受無米樂的無奈，但此種只問耕耘不問收穫對於農企業發展相當不利。荷蘭精密設施發展多年，已成為世界設施栽培的典範，其蔬菜設施經營規模由 2000 年的 2.2 公頃增為 2010 年的 4.6 公頃，而日本大力推動的全環控植物工場也加速植物工場的實用化。

植物工場的發展已超過了半個世紀，過去大多僅見於學術研究。近年來無論國內、外均陸續大力在產業界推動。臺灣發展植物工廠的時間起步較晚，但產業界、學術界、研究單位均已競相投入開發研究。其中很重要的條件是因為我們具足了包括工業、人才、技術等發展植物工廠的優勢條件。但植物工廠發展的方向為何？如何才能將「技術上可行」進展到「經濟上可行」可謂眾說紛紜。

「精密設施工程與植物工場實用化技術研討會」於 101 年 10 月 18 日在本場舉辦，分專題報告、設施園藝產業之推動策略、精密設施工程技術發展及植物工場實用化技術發展等四大主題，邀請 4 位主持人及 8 位專家學者，就設施工程與植物工場前景發表專題演講，與會人員 270 餘人，演講主場及場外視訊同步會場座無虛席。邀請專家學者就精密設施工程及植物工場實用化技術進行探討，首先由農試所蔡致榮主秘介紹日本及荷蘭之植物工場產業發展，再由台灣大學生物機電工程學系系主任方煒教授介紹國內植物工場，對植物工場發展有詳盡之介紹與剖析。第二節則邀請農糧署蔬花科科長方怡丹博士及本場盧子淵先生介紹國內設施產業發展及營運效益分析，申論未來產業發展方向，第三節針對我國設施栽培強項之蘭花產業，由工研院量測中心黃煥祺經理及農試所花卉中心戴廷恩系主任探討節能技術及生理檢測，做為植物工場最適條件之案例分析，最後針對植物工場實用化技術發展，由本場楊清富先生與嘉義縣政府農業處林良懋處長以實地建置之短期葉菜及洋桔梗之植物工場分享設計理念及實務操作。為能將研討會詳細內容提供給各領域及產業界做為產業未來發展之參考，本場特地將研討會論文彙集整理成專書，在此要感謝每位作者充分配合，使本專輯得以順利付梓。惟本專輯涵蓋內容甚廣，付印匆促，恐有疏誤，期盼不吝指正。也承蒙中華農業機械學會的大力協助，使研討會之籌劃工作一切順利，對所有工作人員在業務繁重的壓力下，仍能如期召開本次研討會，在此一併誌謝。

行政院農業委員會臺南區農業改良場

場長 王仕賢 謹識

中華民國 101 年 12 月

精密設施工程與植物工場實用化技術研討會

時間：101 年 10 月 18 日(星期四) 9:30~17:00

地點：臺南區農業改良場 農業推廣大樓 1 樓視聽教室

時 間	議 程 內 容	主持人/主講人
09:30~09:50	報到	
09:50~10:00	開幕式	王仕賢 場長 行政院農業委員會臺南區農業改良場
第一節 專題報告		盛中德 理事長 中華農業機械學會
10:00~10:50	荷蘭與日本植物工場最新發展	蔡致榮 主任秘書 行政院農業委員會農業試驗所
10:50~11:20	茶敘及團體合照	
11:20~12:10	台灣植物工廠發展現況與展望	方煒 主任 臺灣大學生物產業機電工程學系
12:10~13:10	午餐及休息	
第二節 設施園藝產業之推動策略		黃美華 副署長 行政院農業委員會農糧署
13:10~13:40	國內設施園藝產業發展現況與展望	方怡丹 科長 行政院農業委員會農糧署
13:40~14:10	設施園藝產業營運管理效率與效益分析	盧子淵 助理研究員 行政院農業委員會臺南區農業改良場
14:10~14:30	茶敘	
第三節 精密設施工程技術發展		林達德 副院長 臺灣大學生物資源暨農學院
14:30~15:00	設施省能源技術之發展現況與展望	黃煥祺 經理 工業技術研究院量測技術發展中心
15:00~15:30	蘭花生理檢測監控技術之發展與應用	戴廷恩 系主任 行政院農業委員會農業試驗所花卉研究中心
第四節 植物工場實用化技術發展		陳世銘 主任 臺灣大學生物能源研究中心
15:30~16:00	短期葉菜類植物工場之開發	楊清富 助理研究員 行政院農業委員會臺南區農業改良場
16:00~16:30	台灣高效節能切花工廠化生產之論述與實踐	林良懋 處長 嘉義縣政府農業處
16:30~17:00	綜合討論	全體參加者

荷蘭與日本植物工場最新發展

蔡致榮¹、邱相文²

¹ 行政院農業委員會農業試驗所 研究員兼主任秘書

² 行政院農業委員會農業試驗所農業工程組 助理研究員

摘要

荷蘭園藝作物發展成功，以蔬菜、水果、花卉植物、球根和苗木等項目為主，其中蔬菜和鮮花出口量為世界第一，鮮花產量佔全球市場的五成以上。在農產貿易方面，荷蘭為全球第二大農產品出口國，僅次於美國，園藝栽培技術幾乎全數採取設施栽培，且自動化程度高，相關栽培經驗與重點技術值得國內產業生產改進參考。荷蘭最新發展的園藝作物永續節能溫室生產技術與應用，包括溫室內部微氣候環境量測、遠距無線傳輸、控制與資料整合運算管理系統；蔬花產業環保節能設施策略與荷蘭溫室設備高效環保節能系統；LED等人工光源之光照技術、光質、光量以及遠端自動監測控制系統整合等相關資材整合。另歐盟各國對於綠色能源利用的研究與推廣工作成效卓著，可參考引進先進技術與理念，應用於病蟲害發生管理，以減少農藥使用量，降低化學藥劑殘留風險，進而達到周年生產高品質、安全的農產品。

植物工場為一種在氣密性較高的栽培設施環境下，實現對植物生長環境與營養需求提供最佳化條件精準調控的作物栽培體系，並利用高科技化的栽培輔助設施結構的投入應用，建構一種可以達成高產能、安全性與無季節性限制的植物生產體系。日本在植物工場推動與發展已經邁入第三波的發展熱潮，目前的技術發展經驗與推展成效，已經位居領先全世界各農業科技先進國家之地位，植物工場的產業技術也已經實際被日本民間與農企業界所廣泛應用，進行植物工場商業化的生產運轉與相關產品的販售。

關鍵詞：植物工場、設施栽培、節能溫室、周年生產

1. 緒論

人類工業化蓬勃發展，溫室氣體（GHG）大量排放，造成全球暖化與氣溫逐年攀升，使得不尋常的極端氣候發生頻率增加，這種氣候變遷的現象，對於農業生產勢必造成嚴峻的考驗，所以包括台灣地區在內，採行設施溫網室栽培的比例與日俱增，其中又以園藝作物之各類蔬菜、花卉及種苗等為最。荷蘭總面積（約 41,000 平方公里）較台灣稍大，無高山峻嶺，人口（約 1,600 多萬人）較台灣少約 1/3，人口密度約每平方公里 400 人，屬於歐洲人口密度較高的國家。荷蘭土地資源並不豐富，農業和非農業用地分別佔 70%和

30%，然而泰半人口從事與農業相關工作，且園藝作物實施溫室栽培者逾萬公頃，生產額占農業總產值（197 億歐元）的 39%強，自然成就其為全球之農業大國。荷蘭園藝作物發展成功，以蔬菜、水果、花卉植物、球根和苗木等項目為主，其中蔬菜和鮮花出口量為世界第一，鮮花產量佔全球市場的五成以上。在農產貿易方面，荷蘭為全球第二大農產品出口國，僅次於美國，園藝栽培技術幾乎全數採取設施栽培，且自動化程度高，相關栽培經驗與重點技術值得國內產業生產改進參考。

日本在植物工廠產業的發展具有世界前

端水準，建立植物工廠化的生產技術，是達到高產量與產值，提升農業競爭能力的重要方法；此外，糧食危機也可以透過植物工場立體化栽培，倍增產量來因應。由於植物工廠化生產，可完全控制生產環境，運用在高價值的作物生產上，可強化農業競爭力，並提升農業產值；在設計上結合養液栽培零排放和能源利用之規範，係友善環境的生產體系。同時發展並推動植物工廠化生產，不僅可創造農業之新營運模式，為工業創造新產業平台，也可為我國社會創造新商業模式與就業機會，因此，植物工廠的發展與推動將可達成環境、社會與經濟三贏的農業生產目標。

本文針對荷蘭的永續節能溫室生產技術與應用及日本植物工廠發展現況，探討荷蘭與日本植物工場最新發展，期望相關技術的整理呈現有利未來各類管理技術與高效、節能設備得以在國內整合運用，以降低農作物生產成本，並使用潔淨能源以符合環保需求，進而提升台灣蔬菜、花卉等園藝作物之永續經營與國際競爭能力。

2. 荷蘭的永續節能溫室生產技術與應用

2.1 Zonneterp 溫室村概念

Zonneterp 溫室村包括生態住宅區作為能量產製溫室(圖 1)，是符合生態永續性、環境友善性與經濟可行性之解決方案。其概念呈現具有分散式水與廢水處理設施，並以溫室產生熱能提供社區。此設計係基於在夏天從太陽輻射捕獲過剩熱，熱能被儲存在地下自然水池(地下儲水層)中，並在夜裡或冬天使用以暖和溫室。能量平衡顯示仍有足夠能量剩下可用以加熱大量之房子(據估算 2 公頃溫室可以加熱達 200 戶房子)。另外，溫室可提供自來水、處理廢水並產製電力，整個溫室組合在能源與水方面係屬自足，並循環再利用營養與碳。此概念仍非常先進，雖有示範計畫目前並無實際成果，其進一步發展仍值得持續觀察。

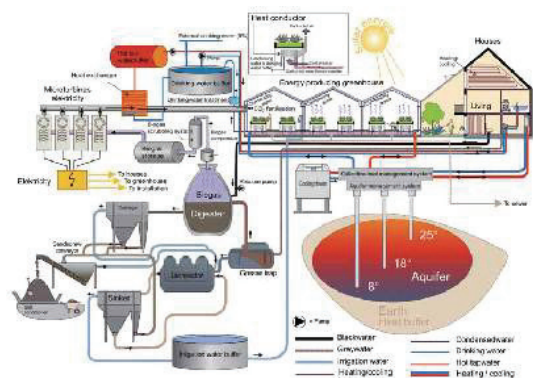


圖 1.溫室村之技術佈局(Andel et al., 2007)

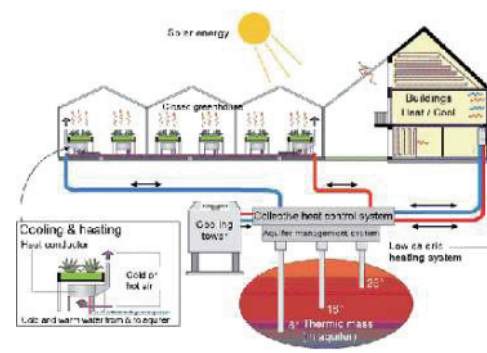


圖 2.溫室與住房區塊之微氣候控制系統
(Andel et al., 2007)

圖 2 顯示能量產製溫室微氣候控制所用熱能(並非電)系統。此概念為夏天吸收過剩熱能，且將其以溫水形式貯存在地下儲水層中，然後具特殊專利權的熱交換器可將溫室氣溫保持在 30°C 下，並把溫度 11°C 的地下水加熱到 25-27°C。此熱交換器移除溫室中過剩熱能(大約 25°C)，而且以 23 至 24°C 的水加熱周圍居住房子，這種同時完成移除過剩熱能與低溫加熱的技術，便是倚靠細線熱交換器(Fine Wired Heat Exchangers, FiWiHEX)。細線熱交換器特別適合小溫差下熱量的有效交換，由於與強制空氣循環結合，其冷卻與加熱空氣的效果比傳統板狀熱交換器有效達 22 倍(COP 值可達 60)，能讓 23 至 24°C 的水加熱所居住的房子。

圖 3 為溫室中實際使用編織式細線熱交換器以移除過剩熱能的情形與其間流體熱交換示意圖，其在每 40m² 溫室地板面積一個細線熱交換器的密度下安裝於番茄植行間，最

大冷卻功率為 25kW，而從植栽葉冠正上方經由透明塑膠管煙囪吸入暖空氣，並於地板上與植物生長所在之介質槽間以水平方向吹出和暖之空氣流(大約 1 m/s)。使用 23 至 24°C 的地下儲水層將溫室村居住房子加熱，成為最低能量需求的溫室加熱房子(greenhouse-heated houses)，主要透過輻射加熱(radiation heating)並輔以細線空氣加熱，藉由捲繞式空氣/空氣熱交換器結合呼吸窗(breathing windows)而達成(如圖 4 所示)。

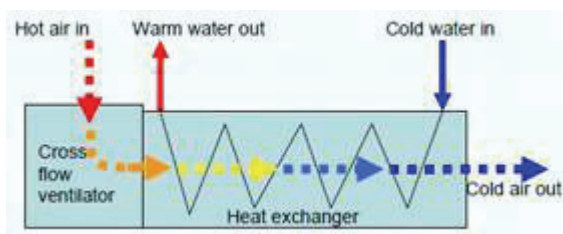


圖 3.溫室中實際使用編織式細線熱交換器以移除過剩熱之情形(上)與其間流體熱交換示意圖(下)(Nederhoff, 2006)

這項技術不僅解決超密閉防透風房子必須通風(耗費大約 35%至 45%之能量)之問題，而且較新分散式 CO₂ 控制型立窗通風可讓空氣從住居內部至外界極低溫狀況下獲得 95%的能量。

適於熱貯存之地下儲水層由成層的隔離砂分隔(互層之砂質含水層)，而隔離砂可維持其中儲水溫度，大多數的荷蘭地區均有這類砂質地下儲水層。居住用的房子必須裝設由

地板、牆壁與天花板之管線所組成的加熱與冷卻系統，溫室村終年提供空調，並根據需求傳遞熱能與進行冷卻。荷蘭法律規定地下儲水層整年能量平衡須保持中性，而且溫度不能超過 25°C 以避免土壤加熱或冷卻過慢，同時冷卻塔也得加到設計中以保持平衡。

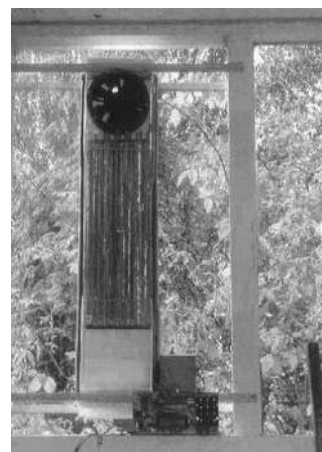
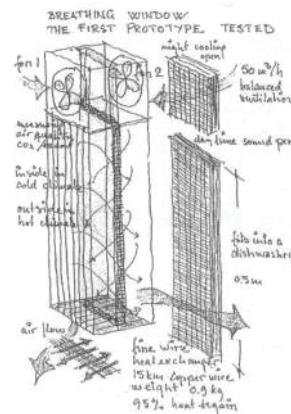


圖 4. 捲繞式空氣/空氣熱交換器之最先概念(上)與置於建築物正面之呼吸窗雛型(下)(Kristinsson, 2006a)

2.2 荷蘭溫室之環控與監測系統

荷蘭園藝目前的高優先議題是經濟可行性、生產效率、能源成本、勞力成本與可得性，以及社會的較高需求與永續性。而 2011 年的研究主要集中在永續與節能溫室、水與排放、先進作物與生產系統、作物與產品品質的感測器技術及永續性作物防治，而且 2010 至 2011 期間 WUR Greenhouse Horticulture 也以其所發展模式化整合再設計達成“適應性溫室(adaptive greenhouse)”

的技術，與土耳其、阿布達比、馬來西亞及挪威等國合作研究。

WUR 溫室園藝創新及展示中心試驗溫室(圖 5)、環境控制(圖 6)、電腦區域(圖 7)與監測(圖 8 與圖 9)的一般公共設施，在這些公共設施支援下，各試驗溫室隔間可依需求個別設定，可謂相當完善。



圖 5. WUR 創新及展示中心試驗溫室



圖 6. 試驗溫室的环境控制裝置



圖 7. WUR 創新及展示中心試驗溫室雙螢幕控制電腦

2.3 節能溫室設計概念與應用狀況

荷蘭設施園藝發展以不使用石化能源為發展目標，進而將溫室視為能量來源發展節能溫室，並設定以至 2020 年 CO₂ 排放應較 1990 年減少 48%，亦即減排 3.3 Mton；每年應提高能源使用效率 2%；設施生產使用永續能源應達 20% 及應具備經濟可行性設施發展概念等目標而努力。一項針對 2000 年與 2009 年能源使用分析顯示：天然氣使用量由 $3.7 \times 10^9 \text{ m}^3$ 增加至 $4.0 \times 10^9 \text{ m}^3$ ；CO₂ 排放量由 6.5 Mton 減少至 5.1 Mton；淨發電量由 $1.3 \times 10^9 \text{ m}^3$ 增加至 $11.0 \times 10^9 \text{ m}^3$ ；永續能源使用率由 0.1% 增加至 1.3%；每單位產量能源使用率由 82% 降低至 47%，在在顯示荷蘭溫室產學各界在節能減碳發展的重視及研究成果。在 2005 年一項節能溫室設計競賽“Design an energy-neutral greenhouse”中有三型設計獲勝，並依其設計概念建置示範溫室於 WUR 創新及展示中心供進行相關栽培試驗，此三型溫室分別為：



圖 8. 養液供應控制系統



圖 9. 各區溫室的養液調配儲存桶

1. Sunergy Greenhouse

顧名思義 Sunergy Greenhouse 設計重點在於最大太陽光量的應用及結合最佳技術應用於園藝生產上，主要設計概念在於陽光利用率愈高就愈能節能。為了在相對高溫時能夠收穫太陽能源，它在高太陽輻射的時期被關閉，但在陰天與夜晚期間讓外界較乾空氣進來以供除濕目的。此型溫室(圖 10)被覆材料使用抗反射玻璃，溫室高 7 公尺並使用輕量結構且無通風氣窗，微氣候控制使用熱水經軌道式鐵管加溫(圖 11)，降溫則使用冷空氣配合風扇(top cooler)進行熱交換，可降溫至 20°C。設置雙層節能網降低熱損失，並引入外界乾空氣除濕，冬季加溫熱源則使用於夏季儲存於地下水體的熱源。高架的冷卻單元(overhead cooling units，每 100 m² 一個)作動時，以每平方公尺溫室每小時 40m³ 進行循環。空氣流不能被改變，因此冷卻的力量係以冷卻水流(溫度被維持在 11°C)而被控制。空氣處理單元(air treatment unit)以經由在植槽下面的空氣導管以每平方公尺每小時 5 至 15 m³ 的可控制流率吹送空氣進入溫室。空氣可被從外面與溫室內部以一可控制比率而獲得。當溫室變得太潮濕時，外界空氣被導入。當空氣取自內部時，空氣處理單元可被用以改進均勻度。

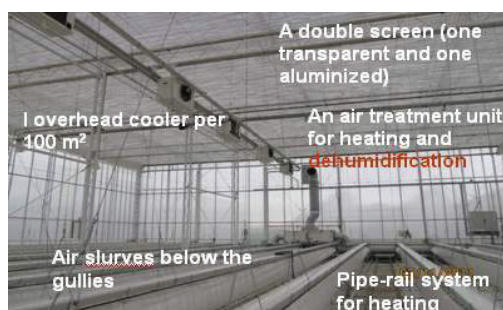


圖 10. Sunergy 節能溫室的配備



圖 11.軌道式加溫管路

Sunergy Greenhouse 總體性能如下：1. 當適度的能源消耗與 CO₂ 投入被考量時，產量黃瓜達 30g/MJ 外界輻射，而番茄達 20g/MJ 外界輻射，兩者都是高的。2. 由於熱力網的密集使用與高濕度的接受，此溫室的耗熱量只在每年每平方公尺 32 m³ 左右，其大約比荷蘭一般慣例低 25%。3. 由於在晴朗與溫暖日子的期間溫室保持關閉的事實，內部 CO₂ 濃度可在只有 100 kg/(ha·h) 的供應率下被維持在 900 與 1000 ppm 之間，這大約是荷蘭蔬菜溫室所用平均供應率的 40%。4. 一年當中，此溫室已經儲存每年每平方公尺 500 MJ 的剩餘熱。此意即太陽能源溫室可提供太陽熱能給使用熱幫供加热的非密閉溫室。根據此第一次測量時期的結果，為提供長期熱中立的季節性儲存系統，密閉與非密閉溫室間的面積比率大約是 1 比 1。因此，Sunergy Greenhouse 節能溫室為可能商品化推廣應用的設計型式，適合果菜類作物栽培，特別是應用於胡瓜栽培。

2. Sun Wind Greenhouse (Zon Wind Kas)

此型節能溫室(圖 12)使用創新的百葉板設計吸收太陽熱幅射用以加熱熱水，加熱溫度可達 65°C，並將熱水儲存於溫室下的暫存水槽以備冬季加溫使用，在南向的溫室屋頂雙層玻璃間設計可調整式太陽能收集百葉板(圖 13)裝置，當溫室需要加溫時，使用暫存水槽內熱水經加溫系統加溫。在實際應用上，Sun Wind Greenhouse 也可使用風車發電提供溫室所需電力。



圖 12.Sun Wind 節能溫室原理



圖 13.溫室屋頂百葉板太陽能加熱管路

3. Flow Deck Greenhouse

此型節能溫室屋頂使用雙層被覆材，其間設計有水流，除提供溫室更好的絕熱效果外，水流並可吸收及收集熱源，並使溫室內溫度保持低溫，通常冷水溫度約 9°C 、加熱回收之熱水溫度約 $19\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，收集的熱源以熱水型態儲存於暫存水槽以備冬天使用。此型溫室已實際應用於傳統的 Venlo 溫室，設計有通風氣窗，微氣候控制使用 ClimecoVent 系統，除濕作業可達到零熱損失，惟有漏水不易修護之致命特性。

4. Venlow Energy Greenhouse

此型節能溫室為 WUR 創新及展示中心示範最低通風的溫室(圖 14)，在 2010 年 8 月開始使用，其屋頂使用雙層玻璃，主要節能設計在於較好的絕熱功能及較多的太陽光吸收應用，屋頂玻璃厚 3 mm，尺寸為 $3.5 \times 1.6\text{m}$ ，因此需有較強的結構設計。為以最低之可能通風移除過剩太陽熱，當空氣濕度下降至某特定門檻時，霧化冷卻被立即啟動，而裝設於溫室牆壁的熱再獲得平衡通風系統

(a balance ventilation system for heat regain)，會於溫室除濕時由潮溼空氣回收熱量，並被加熱至溫室內溫度之外界乾空氣進行均勻分布之通風。在實際應用發現，番茄植株生長良好並可提早一週採收，雖產量與傳統溫室相當，但能源使用相對較少，可節省約 43% 之能源；應用於胡瓜栽培方面，可節省 62% 的能源，平均產量約為 21 kg/m^2 。較好的絕熱功能使溫室氣溫上昇得較快，降低果實結露的機率，同時可減少加溫管路的設計。



圖 14. VenLowEnergy 節能溫室

5. Daylight Greenhouse

此型溫室屋頂使用聚光板(圖 15 至圖 17)，將太陽光聚焦於收集器用於發電、儲熱及控制光量，散射光源則用於植物生長。聚光板使用光照感測器控制，當日照強度大時聚焦太陽光用於發電或儲熱，日照強度低時則不聚光而讓陽光直接進入溫室內，藉此原理用以調節控制進入溫室之光量。據指出 Daylight Greenhouse 聚光設計發電量約為 $16 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$ ，加熱熱源約為 $4,000 \text{ MJ/m}^2/\text{year}$ ，惟因建造成本過高，目前僅供研究試驗用，並未商品化推廣。



圖 15. Daylight 節能溫室外觀

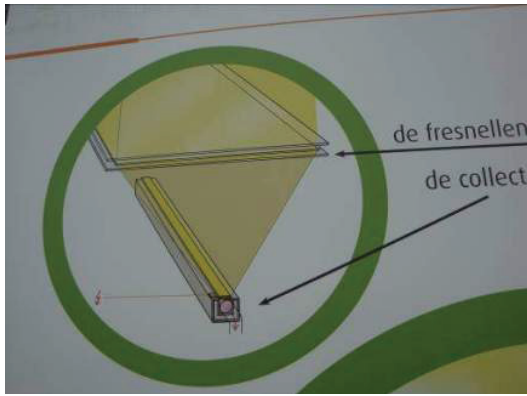


圖 16. Daylight 節能溫室設計原理



圖 17. Daylight 節能溫室聚光板屋頂結構

3. 日本植物工場發展現況

3.1 千葉大學植物工場佈局

千葉大學目前為日本學術界在植物工場研究發展的代表典範，除了技術與成本效益已經達到商業化生產推廣之等級，而且與日本約 60 幾家企業公司進行植物工廠相關技術的產學合作。該研究中心除進行相關技術的開發與系統功能的驗證之外，同時也推廣植物工場之技術發展經驗供日本農民進行參訪及教育訓練。目前該校植物工廠發展中心主要的負責人－丸尾達教授指出在千葉大學的植物工場類型有『陽光利用型』、『陽光與人工光源並用型』和『完全人工光源密閉型』等三種類型。目前運轉中的植物工場有 5 棟陽光利用型植物工場進行番茄的栽種與生產，以及 2 棟完全人工光源型的植物工場進行萵苣的多層架式水耕栽培，該中心利用多樣化環控策略與營養管理措施來達成『高產

能、低成本』的植物工廠化之生產目標(圖 18)。由於千葉大學因與不同的公司財團進行合作開發而發展出以各種不同環控策略與栽培措施而達到不同目標的陽光利用型植物工場，其中包括提高生產量、提高栽植密度、提高產品品質、提高收穫期的果實整齊度、提高能源效率、提高人工勞動效率、減少肥料與藥劑的施用、減少灌溉水使用量與減少能源損耗等策略來達到提高產量、降低生產成本與節省能源等目標。



圖 18. 日本千葉大學植物工場配置圖，其中有 5 棟為陽光利用型植物工廠及兩棟人工光源型 (Maruo Toru, Chiba University, Japan)

3.2 日本植物工場技術利用特點

在千葉大學陽光利用型植物工場技術，可以將其應用特點區分為幾點來論述：一、設施與栽培結構：利用高透光型的塑膠薄膜以增加陽光之穿透，運用保溫與濾光披覆材料的應用進行光照與溫度的控制；利用可移動床架來增加種植密集度可充份利用空間(如圖 19)；設施外面建構的雨水回收利用系統更可以增加水資源的利用(圖 20)；利用鋼索懸吊以提高作物之高度以增加種植密度和提高單位面積之產能(圖 21)；增加設施頂端橫樑高度並配合日光照射方位以提高日照效率。二、環控策略與系統：提高設施的氣密性並阻隔地面能量的傳導，可在設施內達到較高精準的環境條件控制；充份利用熱泵進行溫度與濕度的調控以達到節能的效益；施

用 CO_2 以促進光合作用效率並於作物近側進行人工光源的補光照射。三、營養供應與管理：利用薄膜水流(NFT)、滴灌與噴霧灌溉等方式，進行養液的回收與再利用措施，可達成節水、養份充分利用吸收與零排放的目的，並且可達到提高產能與降低成本的效益；進行養液溫度、EC 值、pH 值、液位與流速的監控以提供根系最佳化的生長條件。四、栽培與管理策略：選用(育)最適合植物工場環境栽種與高產量之品種，利用不同栽植時段的控制，進行高密度與多層次栽植以達穩定和全年度出貨的目標；維持作物最適合的生長發育條件，並發揮作物本身最極限的產能為目標。

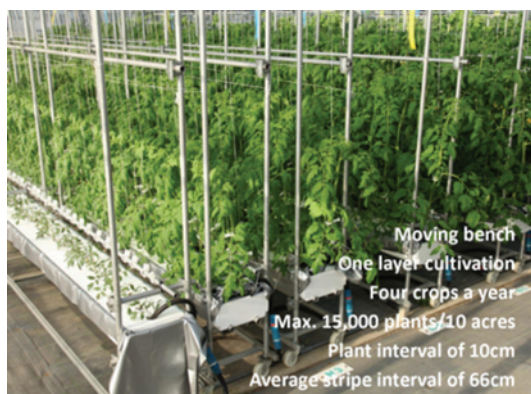


圖 19.利用可移動式床架可進行作物 4 個不同生長階段的栽培管理與進行內部空間的調節運用，以增加植株密度。(Maruo Toru, Chiba University, Japan)



圖 20.設置有雨水收集與過濾再利用系統可充份利用水資源

完全人工光源密閉型植物工廠以立體化多層架水耕栽培方式，並利用 T5 螢光燈為人工光源進行萵苣的植物工廠化生產。為提高單位面積之產能而達到降低生產成本的目的，目前立體栽培層架於人工進行作業的情況下可達成 10 層的高效率栽培生產(圖 22)。空間規劃利用可同時進行播種、移植與採收作業，在 406 平方公尺的設施面積上，一天可以達成收穫 2000 棵萵苣之生產量，並且可穩定的進行周年計畫性生產。在栽培環境中人員的作業均以無塵室的作業規範進行服裝與口罩、手套等衛生方面的要求，因此，所生產的萵苣不用清洗即可以安心的進行生食。為了節省電費與增加人工光源的效率，千葉大學利用曲面反射板來增加光能的利用效率以進行結球萵苣的栽培(圖 23)，其用電只需為原來的四分之一，目前之生產成本已經可以與露天栽培之結球萵苣作價格上之競爭。使用人工光源完全密閉型植物工場所生產作物以葉菜為主，包括萵苣、菠菜與藥草。因此，千葉大學完全密閉型植物工場之特點為：一、不受天候影響，可以達到定時、定量與品質穩定之要求。二、不受地域限制。三、單位面積生產效率高。四、水份、肥份之施用精準，無農藥使用。五、作業環境舒適，可適合身障人士就業。六、可栽培多樣性作物。在節能的應用方面，丸尾達教授同時提到東京燃氣曾探討將氫氣站回收的二氧化碳供應給植物工廠使用的成本與效益，千葉大學也進行評估向植物施予回收二氧化碳的效果，同時還調查包括工廠內冷氣及換氣在內的最佳二氧化碳供給方法，考慮向設施園藝領域廣泛應用，並探索將來與氫氣站相鄰建設植物工廠的可行性。



圖 21.應用金屬線將番茄植株往高處懸吊以增加空間利用率而達到提高單位面積產能之目標

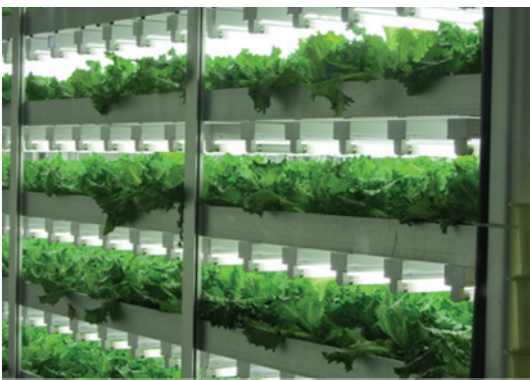


圖 22.完全人工光源型植物工場以水耕栽培方式種植 10 層莧苣



圖 23.利用曲面反射板增加人工光能的利用效率以進行結球莧苣的栽培 (Maruo Toru, Chiba University, Japan)

3.3 民間農企業植物工場發展現況

3.3.1 未來公司店鋪型植物工場

該未來公司植物工場創立於 2004 年 9 月，所經營的業務為進行密閉型植物工場水

耕栽培系統的研究開發設計與設備的販售施工，以及植物工場生產之蔬菜產品販賣。該公司的營業植物工廠店鋪位於千葉縣松戶市五香，是一間展示密閉式完全人工光源型植物工場的店鋪，並且有櫥窗展售其植物工場所生產的蔬菜。店鋪內之植物工場面積約有 20 坪(圖 24)，因為該植物工場為日本最早設立的，當時的建造成本一坪約 100 萬日元，投資金額約達 2000 萬日元，預計 5 至 6 年就可回收成本。該店鋪以 20 坪的單位面積進行 7 層的立體化水耕栽培，生產量每天可以採收 300 棵莧苣等蔬菜，若是栽種香草類蔬菜每天約可採收 600 棵，目前的經營規模已經有營業利潤，並有接受其他公司的委託進行植物工場的規劃設計與施工業務。

因為其生產的產品以安全衛生的方法進行生產，在密閉的全環控條件下沒有病蟲害的污染，並沒有施用任何農藥，因此產品不用清洗便可以安心的生吃食用(圖 25)，其客戶對象大部份為高級餐廳與超市。該公司同時接受委託替人設計 1~500 坪的植物工場，並且提供未來的栽培技術和顧問諮詢，因此不具農業專業的人也可以很簡單的在其所建設的植物工場內栽種蔬菜，擁有土地或建築物的人可以活化利用其未善加利用的空間以植物工場來進行清潔衛生蔬菜的栽培，無論是自產自用或是開創新事業都可利用植物工場來達成。

從未來公司的發展經驗中我們可以發現完全人工光源型的植物工廠其初期投資的成本非常的多，而且營運的電費成本很高，尤其在人工光源上的用電約佔用電量的 50%。因此，為了要能符合經濟效益，所選擇種植的作物以較高經濟性與短生長週期性的葉菜類或香料類作物為主。在台灣許多超市與餐廳已經有利用完全人工光源型的植物工場進行香料作物與生菜類莧苣的生產，但規模都還太小且以展示櫥窗為主，若能比照未來公司的模式進行約 20 坪面積的多層次式立體栽培，相信亦可以達到合乎經濟效益規模的

植物工廠化生產，以自產自銷的方式供應給消費者安全沒有農藥施用的生食蔬菜。



圖 24.未來公司五香店內之立體水耕栽培植物工廠



圖 25.未來公司植物工廠店鋪櫥窗所展示的蔬菜與免洗即可生食之葉萵苣菜

3.3.2 野菜工房股份有限公司建置與營運

野菜工房位於東京西北方的埼玉縣秩父市的工業區內，原先為一間電子工廠，目前由野菜工房株式會社承租下來，進行植物工場葉菜類蔬菜的栽培生產與販賣(圖 26)。該廠是以利用租用已停工之電子工廠廠房進行植物工場的建置與銷售營運，可以大量削減建築本體的設備成本。該廠之栽培面積為 430 平方公尺，為完全人工光源型多層架立體化水耕栽培之模式，使用光源為白色螢光燈，數量有 1800 支燈管，照度約為 15,000 Lux，日照時間設定在 16~18 小時，環境溫度以 4 台 10 馬力冷氣配合布袋風管進行空調，栽培室溫度管理在 20~24℃ 之間，清靜度等級為 10 萬等級。環控條件方面濕度設定管理在 60

±10%、二氧化碳濃度為 1000 ppm。以 3 層之立體化承架栽培，每層可定植 7 列，日產約可達到 1000 棵之萵苣產量。養液供應方式以對作物根部進行噴霧式水耕栽培(圖 27)，並利用微酸性電水進行廠房與栽培承盤的殺菌消毒作業。噴霧式水耕栽培的特點有：使根部更加健康的成長、降低細菌的滋生、水的使用量較少與肥料的使用量較少，但所需的噴霧栽培槽會比較大。相對的，蓄液式水耕的蓄液槽較小，可進行種植的層數可以比噴霧式多且設備簡單，同時其水與肥料的使用量也相對會較多。野菜工房強調他們的農法是“栽培與自然站在同一邊的 eco：完全無農藥、水的使用量為露地栽培的 5 分之 1、肥料的使用量為露地栽培的 7 分之 1。周藤一之社長補充說根據東京大學沖繩研究室的資料，一般野地栽培種植一株生菜(65 g 換算)要使用 11 公升的水，野菜工房只使用 2.3 公升，茨城縣的施肥基準栽培一株生菜(65 g 換算)所使用的肥料(氮基礎)為 0.54g，野菜工房只使用 0.08g。

以野菜工房本身所經歷的建廠經驗而言，周藤一之社長整理出建造密閉型植物工廠的原則有以下幾點：一、大幅削減初期的投資：活化利用停工閒置不用的廠房，設置地點不一定得在市場附近，善加利用宅急便可擁有可以發送到各店面的競爭力。二、重視與蔬菜的對話：不引進不必要的高科技，以觀察蔬菜的狀況來生產。只在必要的時候給予必要的養分，不需要營養過剩的蔬菜。三、生產出健康的蔬菜：維持根系的健壯，便會從茂盛葉面生長表現出來。另外需進行細菌滋生的管控，以期能有低細菌數的安全健康蔬菜。以每日能生產 2500 棵蔬菜為例進行植物工場的建造成本費用進行估算的話，栽培系統應在 100~150 百萬日圓；環境系統的牆壁、天花板、地板維持在 12~20 百萬日圓，空調則在 15~25 百萬日圓之間。其他附加設備包括--電源設備：8~10 百萬，冷藏庫、包裝室：2~3 百萬，其他雜項設備：

10~15 百萬，合計應管控在 147~223 百萬日圓之間。設置植物工場的合適規模應與販售能力相呼應的生產量為主要原則，並以設定終極最大產能目標，分階段進行建設，例如：第一階段達到 1000 棵/日；第二階段達成 3500 棵/日；第三階段達最大產能的 6000 棵/日。

所以，野菜工房用 3A 來描述其用完全人工光源型植物工場所生產的產品品質，即以日文開頭發音的「免洗」、「美味」、「安心」作為標榜，並強調低細菌、低硝酸鹽與無農藥。用很衛生的方式進行栽培，因此不用清洗便可以馬上生食，用水清洗反而會流失一部分水溶性的維他命 C。也因為在完全密閉的植物工廠內栽培，不會有害蟲的侵入為害，所以完全不用施用農藥。養液栽培只在蔬菜需要時才給予必要的營養成份，所以可以達到 2000 ppm 以下的低硝酸鹽含量之蔬菜(對照露地栽培的 4000~5000 ppm)。



圖 26.位於埼玉縣秩父市工業區內的野菜工房

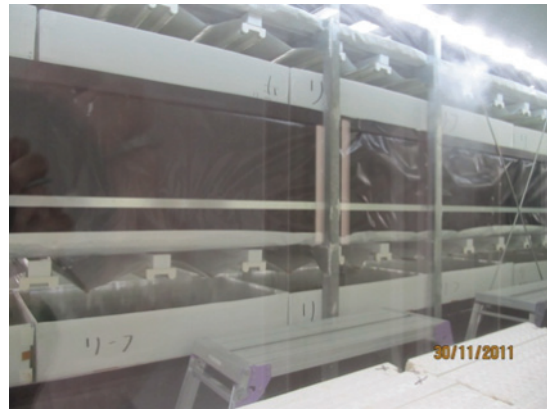


圖 27.野菜工房三層式立體噴霧水耕栽培系統

3.3.3 太陽光利用之圓頂型植物工場

Granpa 農場位於東京西南方神奈川縣的秦野市，面積約有一公頃，蔬菜的栽種設施是應用太陽光利用型的設施型植物工場來進行萵苣類蔬菜水耕無土栽培的生產與販售。該農場比較特別的是採用圓頂型的氣泡式塑膠布溫室來進行萵苣的植物工廠化生產(圖 28)。該設施為一如體育館樣子的正圓形罩幕，利用空氣往內輸送所形成的正壓力撐起整個塑膠布結構，最大內部壓力為 150 Pa，換氣效率最大為 917 m³/min。結構之外徑為 29 公尺，內部可利用空間直徑為 27 公尺，圓頂中心最大高度為 5 公尺。栽培系統利用可自動旋轉的放射型滑軌，滑軌槽溝上裝置有可以定植蔬菜的塑膠滑塊，每個滑塊即是一個栽培單元。當由圓心往外延伸之滑軌轉動時，滑軌槽內的栽培單元會受到一由圓心往外迴旋螺旋狀導軌的牽制而呈螺旋狀往外輸送，形成了一個圓形的栽培面。該圓形栽培水槽的直徑為 20 公尺，栽培池面積為 302 平方公尺，可以同時栽種 125,000 棵萵苣菜，最少每天可以採收 195 棵，並可以達成周年生產。因為該結構體係利用正壓空氣撐起而沒有使用柱子，因此不會遮到陽光產生陰影，其他一般的溫室會有 18%的面積受當影子的影響，因此會減少約 1%的產量。此種圓頂型的栽培設施特點為有效利用平面地板的面積，果菜類蔬菜需要往上利用空間，而葉

菜類蔬菜便要能將平面空間充分有效利用。傳統栽植方法因作物由小到大成長要預留生長的空間間隔，因此會造成幼苗時期的空間浪費，但是若種植的太密集又會彼此遮到光線與妨礙生長。圓形種植則可以利用自動化設計從內圈密植幼苗，然後隨著滑軌槽的迴轉如蚊香的形狀逐漸向外圈旋轉並同時加大空間，等栽植單元轉到最外圈時便可以進行採收(圖 29)。



圖 28. 圓頂型太陽光利用型植物工場外觀與其架設方式



在最內圈定植 → 螺旋狀往外自動移動 → 在最外圈採收

圖 29. 圓頂型植物工場的作業流程與方式

3.4 日本植物工場事業的現狀與今後之展望

目前在日本有 50 家植物工廠在營運，其

中 34 家是完全人工光源型，16 家為太陽光利用型與太陽光及人工光源併用型，而其中 60%都是虧本的，30%能達到收支平衡，只有 10%是有營業利潤的。由於日本植物工廠的發展背景可以使工商業者之廠商有投入的機會，再加上政府對投入植物工場建造有短期間的補助，因此吸引了一些廠商的爭相投入尋找商機。但是由於大部份的廠商沒有農業技術與栽種經驗，更重要的是沒有產品的銷售通路，因此大部份的植物工場都沒有很成功。在日本發展成功的植物工廠有以下特點：一、經營較久的業者，要有 10 年以上經驗，因為其設備的投資成本已回收，因此可以開始有營收利潤。二、在投入植物工場營運之前已經有自己銷售通路的業者，如一家經營定食連鎖式餐廳的『大戶屋』（未來公司技術支援），以完全人工光源型的植物工場進行產品的自產自用，該公司同時也在台灣、新加坡和香港開設連鎖店並設置植物工場進行蔬菜的自用生產。此外，大戶屋於四月開始使用位於山梨縣自設植物工場的三種蔬菜，作為無農藥沙拉用，該植物工場每日約可生產 30 公斤蔬菜，大戶屋計畫提高即將於明年啟用的第二家植物工場產能為三倍，且將照明用的螢光燈管改為 LED 燈管以降低本。另外有一家 SG Green House 的公司，引進其他植物工場公司（JFE）的整廠設備與技術，建置太陽光與人工光源併用型的植物工場生產烤肉店用的萵苣菜，在其建設完成後即刻可以投入生產，因此該公司 2 年後就有營業利潤。目前的產能達到每天生產 12,000 棵的萵苣供應其廣大的銷售通路網，其產品每包約 85~95 公克，售價為 198 日元。SG Green House 公司因為本身已經有其蔬菜的銷售通路，再加上該公司引進其他植物工場公司的整廠設備與技術，因此可以在短時間內就達到成功的經營模式和獲得利潤

日本很早之前就已經有二波的植物工場發展熱潮，目前的熱潮為第三波，因為 2009 年日本的農地法修訂後使很多民間企業可以

投入農業的生產，再加上政府有 150 億元的補助預算去發展福利型的農業生產，即發展植物工場的水耕承架式栽培法，使得坐輪椅的身障人士也可以在植物工場工作。目前 AEON 永旺集團的 300 個超市，因考量植物工場所生產的蔬菜不受天候影響，具生產量及價格平穩等優點，今年三月已開始販售購自外部工廠所生產的三種萵苣，袋上明確標示「未使用農藥」，但價格較其他同種萵苣高約 2 至 3 成，乃工廠設備及電氣成本昂貴所致。

3.5 日本植物工廠經驗對台灣發展的啟發

由千葉大學發展植物工場的經驗可以得知日本植物工場發展方向的趨勢，以農業生產面而論，陽光利用型的植物工場可視為溫室栽培設施的升級，其改善了傳統設施的氣密性，因此可以進行較為精密的環境控制，如二氧化碳的施用與溫濕度的調控，再加上人工光源的補充與立體栽培的空間的充份利用，可以增加作物的密度而達到極限的單位面積產能。因此，在充份利用陽光與遮蔽、阻隔過濾材料的充份配合應用下，可以達到低耗能與低投資成本的植物工廠化之周年計畫性生產規模，這樣的成功發展經驗值得台灣發展陽光利用型的植物工場借鏡與參考，使台灣的溫室設施可以提昇成為植物工場的等級。在完全人工光源型全密閉式的植物工場方面，雖然其初期投資成本較大，而且營運與生產成本較高，但是，透過單位面積產能的提昇與人工光源利用效率的增加，亦可以大量的降低生產成本。而在其所強調的產品安全衛生與產品的全年無休的穩定性供應上，也成為其與一般露天栽培與傳統式設施栽培相對較佳的競爭優勢。此外，由發展完全人工光源型植物工場所帶動的相關設備與光電資訊產業發展，如 LED 人工光源與監控電子設備等資訊與通訊產業也提供另外一個發展機會。

4. 結論

荷蘭溫室生產朝向大面積發展，番茄、蝴蝶蘭等蔬花溫室生產，不僅栽培面積數以公頃計，且幾乎完全環境監測與控制，其中感測器廣泛應用、儘量接近作物量測及對於 CO₂ 的重視程度，值得研究人員深入了解；再加上各類盆栽介質裝填、陸空運輸，乃至於分級、選別與包裝等機械化及自動化輔助作業，也值得學習與仿效。荷蘭溫室栽培作物以番茄為最大宗，由於氣候型態不同，荷蘭溫室番茄栽培體系與台灣有很大差異，荷蘭以養液介質耕為主，使用的介質為岩棉，溫室內普遍使用人工光源、二氧化碳肥化、熱水管加熱及大黃蜂授粉等來增加產量與提升品質；而台灣地區番茄設施栽培，大部份的農民仍維持簡易溫室及土耕栽培；目前設施番茄最大瓶頸為高溫蓄熱無法解決，因此在高溫期無法生產。台灣與荷蘭所面臨的生產瓶頸不同，因此荷蘭溫室生產體系不見得適合台灣，但他們在介質、養液、環控設備及設施推廣的經驗仍值得我們借鏡。

由千葉大學發展植物工場的經驗可以得知日本植物工廠發展方向的趨勢，以農業生產面而論，陽光利用型的植物工場可視為溫室栽培設施的升級，其改善了傳統設施的氣密性，因此可以進行較為精密的環境控制，如二氧化碳的施用與溫濕度的調控，再加上人工光源的補充與立體栽培空間的充份利用，可以增加作物的密度而達到極限單位面積產能。因此，在充份利用陽光與遮蔽、阻隔過濾材料的充份配合應用下，可以達到低耗能與低投資成本的植物工廠化周年計畫性生產規模，這樣的成功發展經驗值得台灣發展太陽光利用型植物工場借鏡與參考，使台灣的溫室設施可以提昇成為植物工場的等級。在完全人工光源型全密閉式的植物工場方面，雖然其初期投資成本較大，而且營運與生產成本較高，但是，透過單位面積產能的提昇與人工光源利用效率的增加，亦可以大量降低生產成本。而在其所強調的產品安

全衛生與產品全年無休的穩定性供應上，也成為其與一般露天栽培與傳統式設施栽培相對較佳的競爭優勢。此外，由發展完全人工光源型植物工場所帶動的相關設備與光電資訊產業發展，如 LED 人工光源與監控電子設備等產業也提供另外一個發展機會。

參考文獻

1. 邱相文、蔡致榮、林木連、黃禮棟。2012。日本植物工廠參訪與發展現況介紹－學術單位篇。101 年第二季農業資訊科技應用發展電子報。
2. 張瑞明、邱相文、蔡致榮。研習植物工廠與肥料效率提升技術。出國報告。
3. 蔡致榮、方怡丹、田雲生、沈原民、鍾瑞永、許涵鈞。2011。荷蘭永續節能溫室生產技術與應用。出國報告。
4. 蔡致榮。2011。荷蘭溫室村簡介。100 年第一季農業資訊科技應用發展電子報。

New Development of Plant Factory in the Netherlands and Japan

Jyh-Rong Tsay¹, Hsiang-Wen Chiu²

¹ Taiwan Agricultural Research Institute

² Engineering Division, Taiwan Agricultural Research Institute

Abstract

The development of horticultural crops in the Netherlands is successful. Major items are vegetables, fruit, flower plant, bulb and nursery stock. Among them, the export volumes of vegetables and flower are the first in the world. The flower production volume accounted for more than half of the global market. In agri-trade, the Netherlands is the world's second largest exporter of agricultural products, only less than the United States. For horticultural cultivation technology, facility cultivation with high automation level is almost completely adapted. The related cultivation experience and key production technologies are worthy of being referenced for improving the domestic industry. Sustainable energy saving greenhouse production technologies developed in the Netherlands include measuring of micro-climate environment in greenhouse, distantly wireless transmission, control / data integration and operation management system, strategies of environment protection and energy saving facilities for vegetable and flower industry, high efficiency environmental protection and energy saving systems for greenhouse installations, LED artificial lighting technology, light quality and light intensity, as well as the integration of remote automatic monitoring and control system and other related materials. Moreover, other EU countries gained remarkable achievements on establishing green energy application and extension. The advanced technologies and concepts could be introduced and applied on pest and insects management to reduce the use of agricultural chemicals and its residual level, and thus achieving the annual production of high-quality and safe agricultural products.

A plant factory is an airtight environment system of cultivation facilities, in which plants are grown with optimized conditions and precise regulations of nutrition supply. It also uses high technical cultivation assistant facilities to accomplish the goals of high yield, safe and year-round production. The promotion and development of plant factory in Japan has entered into its third boom stage. The experience in technology development and extension has been in the leading position among the advanced countries of agricultural science and technology around the world. Industry technology on plant factory has been widely used by the Japanese people and agricultural entrepreneurs to conduct commercial production and sales of the related products.

Keywords: plant factory, facility cultivation, energy-saving greenhouse, year-round production

台灣植物工廠發展現況與展望

方煒

台灣大學生物機電系

摘要

基於國際趨勢與社會情勢的發展，近幾年來植物工廠(Plant Factory)在東亞受到高度重視，同一名詞在歐美則以垂直農業(Vertical Farming)稱之。不論是植物工廠或是垂直農業，不僅學研單位投入，農工商企業界與各地政府也都大力投入資源，目標不僅在取得研究成果，更考量其全球化的商機。本文簡介台灣在植物工廠領域投入的學研單位以及工商企業界投入的現況，並針對後者與前者在環境控制技術上的落差提出比較，可做為後者改善的目標。植物工廠的新型生產方式正成為改變傳統農業生產方式的新亮點，它不但有望以更少的資源產出更多的蔬菜和糧食；在農村年輕人力流失的現況，植物工廠還可為提高農村就業率做貢獻，為縮小城鄉差距作貢獻。更終極目標是促進高效糧食增產目標之實現，還農地於山林或海洋，為人類未來做出貢獻。

1.前言

完全人工光控制型植物工廠在臺灣正逐步形成農工商融合的新產業；本文旨在介紹台灣植物工廠產業的發展，包括學研單位與工商企業界的推動現況與未來的展望。本文所謂植物工廠主要是指允許全年穩態量產短期葉菜、香料作物與具特殊風味的高單價作物的環控設施，不包括組織培養苗、菇蕈類、芽菜與花卉等作物的栽培設施。

傳統農業純屬靠天吃飯，量多價跌的鐵律使得豐收都不見得是好事。除了季節限制產品種類與天候影響栽培與收成之外，病蟲害的影響也頗大，於是農民使用農藥來確保收成。因農藥使用不當而造成消費者對食品安全產生疑慮的消息時有所聞；又為了提高產能，過度使用肥料也是常見，不僅增加成本、污染農田、河川、湖泊與海洋，更可能造成硝酸鹽含量過高，傷害了消費者。

全球人口的膨脹與水資源的匱乏都是全球性的大問題，全球人口目前為 70 億，未來四十年有可能增加到 92 億，以目前仍有將近 10 億的飢餓人口來算，40 年內需要提升將近 58 %的糧食產能。以現有耕地已經使用了 80 %，加上全球暖化、海平面上升、氣候異常、土地沙漠化、農地轉型工業或都市用地、油價高漲、能源匱乏等不利因素下，前景堪慮。傳統農業也用去了全球約 87%的淡水資源。所以單位面積生產力的大幅提升與節水技術

的建立都是刻不容緩的研究課題。

植物工廠並非新的科技，但近年來由於光電技術與空調技術的大幅進步，使得完全人工光型的植物工廠成為經濟上可行的投資，於是吸引了大多數人的重視。透過投資將影響收成的風險最小化，讓產品的品質與安全更有保障；透過管理讓栽培過程對環境的污染最小化，透過系統化設計讓高效能運轉成為常態，同時讓資源的使用更有效率，因為植物工廠產業的興起，高效能量產生鮮作物，同時兼顧節水、節地、節能、減碳、減廢的目標正逐步落實。

2.植物工廠的特色

植物工廠是台灣該發展的新3C產業

植物工廠是新3C產業，此3C分別為Clean, Clear 與Cool。除了字面上的意義之外，都各有隱喻。Clean 除了代表產品潔淨，也指符合京都議定書所訂 Clean Development Mechanism (CDM, 清潔發展機制)規範，包括節能、低碳等均屬之；Clear除了指產程透明與產期可規畫之外，也指符合農產品可追蹤化，可建立產銷履歷；Cool 則有更多元的意義，可代表栽培環境都有空調所以很涼或指工作輕鬆、環境舒適，也代表所有產品都具備產地的認證 (Certification Of Origin Labeling, COOL)，生產者自負產品的所有責任。

台灣發展植物工廠有非常好的優勢，首先是工業優勢，相關設備包括空調、無塵室、隔熱資材、節能燈具、控制系統、機電設備等有不少廠商，經過整合，系統造價絕對可以比日製系統便宜一半以上。加上台灣高學歷人才豐富，學界也已建立相關的關鍵設備與技術。再者，目前各縣市也有不少廢棄蚊子館或是各大企業停用的廠房或倉庫，未來因照不到足額學生而停開的幼稚園、中、小學的教室，這些硬體設施都可以作為植物工廠預定地。政府提供一些誘因，相信很多企業願意加入這一新產業，並讓廢棄的資產活化並提供就業機會。

植物工廠採用了製造業生產的光源、空調、感測、控制、節電、隔熱及資訊等相關技術。從這一意義上來說，植物工廠具有“工業性”，而栽培植物本身又是一種生命現象，需要採用農業和農學相關的栽培技術及經驗，所以又具有“農業性”。有人認為植物工廠是介於工業和農業之間的“中間產業”，事實上，不僅二者缺一不可，而且可說是一種超越了工農業的新產業。植物工廠還可能會涉及環保產業、服務業、知識產業及包括醫療、保健及福利在內的健康產業等，成為可稱作環保健康產業的新產業。

植物工廠產品的特色：1超1高2低3無與4定

完全密閉型植物工廠可以定期、定量、定品質的生產超新鮮、高營養（1超1高）、低生菌數、低硝酸鹽（2低）、無農藥、無重金屬、無夾雜蟲卵（3無）的蔬菜、香料及草藥。售價上也可以全年固定的單一價格。簡言之，產品的4定為定期、定量、定質與定價。此處的定期可以依銷售計畫做彈性設計，可以是每天、每兩天或是每週收穫。產品可以做到此四定，產能規劃、工作排程與後續的行銷規劃都相對容易進行。在日本，植物工廠產品的推動還可加上“無輻射”作為宣傳口號。

企業推動植物工廠的4好

企業推動植物工廠可帶來至少四個好處，首先是賞心悅目，企業內部空曠空間、廢棄倉庫、停用的半導體廠、無塵室、潔淨室等可以用來建立植物工廠，可使組織中的員工於每個月有數次在安全愉悅的環境下進

行蔬菜或是小型觀賞盆栽，譬如：放在桌上觀賞用的迷你玫瑰、迷你蝴蝶蘭、迷你仙克萊、觀賞用番茄、觀賞用辣椒等的生產。

其次是讓員工紓解工作壓力，不僅可以減少公司內部員工福利社買菜/佈置支出，更可增加美觀；還可以在收穫作物甚至是增加收入的同時享受生產與接觸到生物的樂趣，能體會此樂趣的人若增多，相信能減輕精神壓力，平日即可發揮植物的療效，不要等發生了心理疾病才想到園藝治療。

其三可以確保健康，自己種菜有沒有噴農藥自己知道，員工福利社使用自己種的蔬菜可確保安全；辦公室的空氣與植物工廠的空氣還可以互通，利用植物來淨化空氣。

其四，植物成長的乾物重，都等同於累積了二氧化碳，一旦碳足跡成為品牌價值，當低碳成為品牌的一部份，當碳稅成了可交易的金融商品，更顯植物工廠的優異性。由植物工廠的產能推算減碳量，在碳交易上也可有額外收入。大公司尤其是製造業在污染地球的同時還須考量地球責任，那麼推動植物工廠也可收減碳之效，推動在地化的植物工廠其實可以拯救工業。

植物工廠的五多

植物工廠採多層式立體化栽培，所以需要蓋廠的用地面積不大，位於日本京都北方琵琶湖附近的童話天使(Fairy Angel)公司福井植物工廠，年產300萬株葉菜（約300噸），其廠房也不過2850 m²。要達到類似產能的溫室，至少要數十倍以上的面積。植物工廠可建築在不平坦的土地、大小都市中的空地/畸零地、大型建築物的屋頂、室內、地下室、海埔新生地或荒地上，廢耕農地，混合住宅地，辦公大樓內；將可為希望從事半日輕勞動作業的人帶來工作機會及生存價值並增加區域經濟收入。

由於植物工廠可提供安全愉快的輕勞動工作，老農不用退休，每天從事半天輕勞動，不僅可當做運動健身也可以有收入，生活可以比現在仰賴補貼更有尊嚴。除了老年人之外，也可提供身障者、家庭主婦或失業者新的就業機會，可增加缺乏平坦耕地之地區及都市中新的就業機會，增加農家及相關人員的全年就業機會，也可讓從事不同領域工作的居民於日常生活中參觀、體驗植物工廠，

或於工廠內實際勞動，讓居民更加了解農業，也有助於食物教育及環境教育。

植物工廠的“五多”指的是允許在多樣的地區中以多樣的形式由多樣的人以多層的方式進行多樣植物的生產，可振興/創造以農業為基礎的全體環境健康產業。由植物工廠生產出的蔬菜及花卉提供給鄰近的都市社區，只需短程運輸，食品里程數短。減少輸送時間及包裝即是降低成本。除了在地生產、在地消費之外，也可實現產地直銷，做到生產者與消費者雙贏。

目前有機風氣盛行，但是台灣的大多數有機產品來自海外，或空運或海運，其碳足跡不少，顯然講究健康卻不管地球。植物工廠的產品可以做到又健康又環保。針對短期葉菜類而言，新鮮比有機更吸引人。

3.台灣的植物工廠現況 (2012)-學研界

台灣大學

本校生物資源暨農學院於2010年組成橫跨十個系所的研究團隊，在校內、農委會、國科會與教育部經費支持下啟動了台灣植物工廠的研究、教育與推廣工作。在此之前台大生機系與億光公司、豐藝電子及中國砂輪等企業於2007~2009的產學合作中開啟了企業投入植物工廠研究的先河。在這幾家公司中，只有一家退出，其他目前都仍持續投入此產業。更早之前，台大與光茵公司更是針對LED應用於植物照明進行基礎研究與設備開發。

2010年1月筆者投書中國時報社論廣場後獲得不少民眾對植物工廠的注意與迴響，後續促成新世紀光電公司投入此產業。更在天災人禍不斷的外在因素刺激之下，植物工廠相關軟硬體系統的需求增加，關注的企業數不斷增加，也促成了兩個協會的成立。

本校生農學院在李校長的支持下，於2010年11月建立太陽光利用型與完全人工光控制型植物工廠（圖1，2）的研究與量產示範平台；也在農委會與國科會支持下，應用這些平台進行了三年（2010~2012）的研究；更在教育部支持下於本校推廣教育中心成立植物工廠學分班，開啟了將此領域對企業推廣的大門，目前也已完成累計五個學期的學分班、技術研習班與應用技術研習班，總計有超過兩百位企業人士參與至少三十小

時的授課與實習。期間亦協助促成台灣植物工廠產業發展協會與中華植物工廠協會的成立，前者由工研院主導成立，後者由台大推廣教育班學員自發性成立。

台灣大學所建立的試量產平台也於2012年6月開始進行試行銷的運轉，除了提供本校生農學院植物工廠研究團隊的研究之外，也結合校內福利社進行每日定量供貨銷售的小型商業化運轉，透過每日供貨的機制，讓學生與助理熟悉商業運轉所需各項細節的操作。具特別風味的新興產品（芝麻菜、冰花）也提供校內餐廳做創作料理的開發。



圖1. 台大的完全人工光植物工廠以廢棄的頂樓溫室改建，遠端可看到屋頂建置太陽能板與風力發電裝置



圖2. 台大的完全人工光植物工廠內部量產室一景，最上層使用LED，下面兩層使用T5螢光燈管照明

農業試驗所

農業試驗所也在公務預算支持下於 2012 年在霧峰總所建立了一套示範系統，允許蔬菜作物的自動上下架。可惜因為是公家的身分，不進行量產的栽培。這點筆者有不同的看法，因為不進行量產，將看不到業界實際量產時面臨的問題，也可能錯失解決真正問題的機會。

台南區農業改良場

台南區農業改良場在 20 餘年前場址還在台南市內時就已進行芽菜立體化量產的自動化研究，目前也以溫室作為短期葉菜類的量產平台，同時包括一些相關自動化設備的研發。

4. 台灣的植物工廠現況 (2012)-企業界

工商企業界也自行或委外施工建置植物工廠並進行商業化量產運作，部分公司並開始對外招商與設廠。較知名的有光茵、野菜工房、昇活網、億光、新世紀光電、庭茂、太平洋集團等公司，較少人知道的則有日商新日輕、中國砂輪與主業為衛浴設備的麗萊登公司、中福國際與新金寶集團等。

光茵公司與太平洋集團合作，以推動家庭綠化、家庭農場與社區農場為主，光茵公司為設備供應商。野菜工房更已有協助多家公司建廠的實績，其中包括紅柿子食品、賀田植物工廠、元通光電、太平洋集團 SOFRE3H 廣場與映興電子等，主要生產萵苣類及十字花科類作物，部分以開設店面販售方式為主，局部作為契作戶，契作者要獲利是相對困難的。庭茂科技的三廠正在建設中，預計年底可完工，一場在陽明山上、二場在信義計畫區，作為餐廳裝潢的一部分，提供展示與生產功能，以葉萵苣及冰花為主，搭配會員制餐廳銷售產品(圖 3)。中福國際為日產 300 株萵苣類作物的規模，在未全部完工之前即已投入局部量產(圖 4)，以葉萵苣及茼蒿為主，產品銷售鄰近住戶與燒烤店。新金寶集團已完成一廠(圖 5)及二廠(圖 6)的建置，每日產能約為 1100 株，為目前規模最大的公司，以萵苣類及芽菜為主，在公司內外以會員制進行銷售。

光茵、野菜工房、億光、新世紀、元通、



圖 3. 庭茂植物工廠二廠之一景



圖 4. 中福國際植物工廠之一景
(施工中即投入量產)



圖 5. 新金寶集團植物工廠一廠
(研究中心)之一景



圖 6. 新金寶集團植物工廠二廠
(量產中心)之一景



圖 7. 新金寶集團植物工廠二廠栽培之波士頓萬苣

映興與金寶的負責人都是來自光電業，太平洋為建築業，紅柿子為食品業，賀田為金融業，庭茂為水電業，麗萊登為衛浴設備業者，中福為紡織業，均旺為能源業。

5. 針對環控的討論

業者自行建立或委外施工的植物工廠其自動化控制的層次差異相當大，當然投資額度也差異很大，兩者均為最高者當屬新金寶集團。該公司的植物工廠事業部門也是國內唯一取得兩項 ISO 認證的公司。

野菜工房在國內有不少業績，類似的系統已蓋了幾家，其環境控制頗陽春，只有透過空調系統進行溫度的控制，均缺乏日夜溫差的調控；濕度控制為選項之一，但大多數未安裝；養液控制也均全部仰賴手動調節。儘管系統較為陽春，在造價上似乎也不是很便宜。搶先其他公司具備建廠能力應是吸引其他有興趣業者委託施工的主因。

上述系統尚缺乏的控制項目包括了濕度控制、風速控制、二氧化碳控制、酸鹼度與養液電導度的控制等。其結果是作物栽培時間延長，產品鮮重較少，產能低、資源使用效率差、生產成本提高。對光源的選擇也缺乏判斷的標準，建廠者供應甚麼就接受甚麼。業主對於該光源所能提供的光量、光譜與耗電多半欠缺了解。對於作物的選擇也是跟著大眾走，不是萬苣就是十字花科作物，下一批適栽作物如何挑選，也缺乏一個評估的依據。光源選擇的性價比評斷標準更是沒有建立，廠商提供甚麼就是甚麼，日累積光量是否足夠也多半未被重視。

如表 1 所示為整合式環境控制系統應該包含的項目，但大多數業主目前的系統只有

表 1. 完全人工光型植物工廠適用的整合式環境監控

風	使用風扇將氣流速率調整到 0.3~1 m/s
光	各階段日累計光量調整到最適當 (< 17 mol/m ²)
溫	葉片溫度與空氣溫度維持在日夜最適值
濕	空氣濕度維持在 70~85% (VPD 調整到最適當)
氣	CO ₂ 濃度維持在 1000~2000 ppm
養	養液調整到最適當，變動達最小
菌	有害微生物的繁殖與生長控制在最低 (過濾與滅菌)

表 2. 兩不同單位栽培相同作物之環控項目差異與產能比較

環境控制項目	XXX 公司	台灣大學
日夜溫差	無	有
日累積光量 給光小時數 光量	偏低 10~12 hrs <150 μmol/m ² /s	適當 16 hrs > 200
濕度控制	無	有
風速控制	無	0.5 ~ 1 m/s
CO ₂ 補充	無	1200 ppm
電導度	1.8 mS/cm	1.2
收穫日數	播種後 44 天	播種後 35 天
單株鮮重 60~75 克/株	120~140 克/株	

表 3. 完整的監控系統應該具備的項目

1	執行感測，取得訊號輸入值 (AI, DI, Video)
2	依據控制策略計算訊號輸出值 (AO, DO)
3	輸出控制訊號，執行控制動作
4	輸出輸入訊號轉換成數據做儲存
5	儲存設定條件
6	允許在遠端進行歷史數據回顧、瀏覽與條件設定
7	警報訊號提供

溫度控制一項，較佳者還有日夜溫差的設定，較差者日夜溫差全然靠給光與不給光來決定。

如表 2 所示為兩不同單位栽培相同作物之環控項目差異與產能比較。基於控制項目的差異，該公司與台大栽培相同作物的比較，由播種至收穫所需日數上，前者多了一週多(44 vs. 35 天)，在單株鮮重上，前者則只有後者的一半。

日前，該公司自行計算栽培成本，在不考慮人工費用的前提下，單包葉菜的生產成本已達 43.5 元而售價是 49 元，其一包多半由 2~3 株所組成。若能透過整合式環境控制系統的建置達到改善之目標，相信在成本上可以大幅降低，達到轉虧為盈之目的。

表 4. 學界與業界截至 2012 年建立的小、中、大型植物工廠在監控項目上的比較

完全人工光型	溫控	光控	光質	CO ₂	濕控 VPD	氣流	pH/EC	NO ₃	微生物	I S O
光苗開放架	X	O	O	X	X	O	X	X	X	X
光苗環控架	O	O	O	O	X	O	X	O	X	X
野菜工房 賀田植物工廠 元通光電 映興電子 太平洋 SOFR3SH	O	O	X	X	X O	X	X	X	X	X
庭茂	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X
昇活網	O	O	X	O	X	X	X	X	X	X
億光	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X
新日輕	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X
中國砂輪	O	O	X	O	X	X	X	X	X	X
麗萊登	X	O	O	X	X	X	X	X	X	X
新世紀	O	O	O	O	X	X	O	O	X	X
台大開放架	X	O	O	X	X	O	O	O	X	X
台大環控架	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X
台大量產型	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X
金寶集團	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
中福國際	O	O	X	O	O	O	O	O	O	X

如表 3 所示為較完整的監控系統該具備的項目，但大多數業者的設備只有具備前三項最基本的功能，其他全部從缺。透過網路進行遠端監控並與影像監控結合的功能更是欠缺；雖非屬必要，但是當場數增加時，要能高效管理，此些系統也會成為基本配備。

如表 4 所示為目前學界與業界所建立的小、中、大各型植物工廠在監控項目上的比較，其中，多數業者只有溫控功能；對硝酸鹽的控管也較缺乏；有些業者甚至也缺乏二

表 5. 學界與業界截至 2012 年建立的小、中、大型植物工廠在人工光源與規模

完全人工光型	人工光源			規模, m ²				
	LED	CCFL	T5	<5	<50	<100	>100	>500
光苗開放架	O			O				
光苗環控架	O			O				
野菜工房 x2	O						O	O
賀田植物工廠 元通光電 映興電子	O						O	
太平洋 SOFR3SH	O					O		
庭茂 x3	O					O	O	O
昇活網		O					O	
億光	O				O			
新日輕	O	O			O			
中國砂輪	O		O		O			
麗萊登	O					O		
新世紀	O				O			
台大開放架	O	O	O	O				
台大環控架	O		O	O				
台大量產型	O		O			O		
金寶集團 x2	O						O	O
中福國際			O				O	

氧化碳施肥這項最基本的配備；對微生物的控管，確保產品品質，確保低生菌數的過濾與滅菌系統也大多缺乏。

表 5 為目前學界與業界所建立各型植物工廠在人工光源與規模的比較，其中，以小於 100 平方米的規模為最多，但是大規模的業者也在持續增加中；人工光源則以使用發光二極體為最多。

6. 結論

植物工廠被認為是二十一世紀解決人口、資源、環境問題的重要途徑，也是未來航太工程、月球和其他星球探索過程中實現食物自給的重要手段。現階段農業的核心價值除了食品安全與高效能之外，基於縮短食品里程數，在地生產、在地消費理念應是另一個核心價值。

學研界或是企業界重新研發台大在十餘年前就做過的環控、栽培、效能提升、成本降低、系統整合等課題，有些浪費資源。透過技術轉移或是授權的合作機制是目前台大在推動上的既定方向。整合所有資源，在既有的基礎上往下一步發展才是該走的方向。

光是環控一個課題目前局部業者建立的植物工廠就有很大的改善空間，產品安全、高效能與節水、減碳不能只是口號。以部分業者建立的系統來看，植物工廠的優點多半沒有具備，變成只是一個使用人工光栽培的水耕系統，沒有滅菌設備投入，沒做好衛生管理卻宣稱可以現場採栽，免洗直接鮮食。有些業者甚至把植物工廠變成是一個吸金的工具，以創投的宣傳方式，現場擺設臨時移植過來的作物，搞形象宣傳而沒有務實的投入。在產業新興之際，這些錯誤的理念與商業手法都非常不利於產業的永續發展。

做為全球的新3C產業，具備4定4好5多的特質，植物工廠值得政府跨部會整合資源來大力推動。政府只需提供誘因，台灣具有不錯的優勢來建立相關產業，產業建立後更可以整廠輸出模式在國際上推動，協助紓解全球化的包括三農/環境/水資源/能源/糧食等問題，行銷的內容可以是相關產品/設備/廠房/技術等。植物工廠的新型生產方式正成為改變傳統農業生產方式的新亮點，它不但有望以更少的資源產出更多的蔬菜和糧食。在農村年輕人力流失的現況，植物工廠還可為

提高農村就業率做貢獻，為縮小城鄉差距作貢獻。更終極目標是促進高效糧食增產目標之實現，還農地於山林或海洋，為人類未來做出貢獻。

參考文獻

1. 方煒。1993，發展本土化精密溫室與植物工廠之可行性分析，八十二年度國科會。國科會計畫編號：NSC 82-0409-B-002-028。
2. 方煒。2001。番茄種苗自動化立體栽培植物工廠之建立。農委會農糧處計畫。計畫編號：90 農科-5.1.1-糧-Z1(6)。
3. 方煒譯。古在豐樹編著。2011。太陽光型植物工廠－永續性的先進植物工廠。豐年社。ISBN 978-957-9157-49-0。
4. 方煒譯。高辻正基著。2011。完全人工光控制型植物工廠。豐年社。ISBN 978-957-9157-54-4。
5. 方煒、張明毅、鄔家琪。2007。發光二極體應用於都會區潔淨蔬菜量產之研究 I。億光公司產學合作報告。
6. 方煒、張明毅、鄔家琪。2008。發光二極體應用於都會區潔淨蔬菜量產之研究 II。億光公司產學合作報告。
7. 周瑞仁、方煒、林達德、江昭暄。2010。優化利用太陽能與傳統能源以發展先進植物工廠生產系統 I 結案報告。國科會。
8. 周瑞仁、方煒、林達德、江昭暄。2011。優化利用太陽能與傳統能源以發展先進植物工廠生產系統 II 結案報告。國科會。
9. 周瑞仁、方煒、林達德、江昭暄。2012。優化利用太陽能與傳統能源以發展先進植物工廠生產系統 III 結案報告。國科會。
10. 陳保基、方煒、林達德、羅筱鳳、鍾仁賜、陳郁惠等。2010。高效節能植物工廠 I 結案報告。臺灣大學生農學院。
11. 陳保基、方煒、林達德、羅筱鳳、鍾仁賜、陳郁惠等。2011。高效節能植物工廠 II 結案報告。臺灣大學生農學院。
12. 陳世銘、方煒、顏炳郎、廖國基、羅筱鳳、張耀乾。2010。整合節能與精準栽培技術

於植物工廠生產體系之研發 I 結案報告。農委會。

13. 陳世銘、方煒、顏炳郎、廖國基、羅筱鳳。
2011。整合節能與精準栽培技術於植物工廠生產體系之研發 II 結案報告。農委會。
14. 陳世銘、方煒、顏炳郎、廖國基、羅筱鳳。
2012。整合節能與精準栽培技術於植物工廠生產體系之研發 III 結案報告。農委會。

Current Status and Development of Plant Factory with Artificial Light in Taiwan

Wei Fang

Dept. of Bio-Industrial Mechatronics Engineering National Taiwan University

Abstract

Due to global trends and societal situations, plant factory caught lots of attention nowadays especially in East-Asia. The term ‘Vertical Farming’ is much popular than ‘Plant Factory’ in US and Europe. Both aiming at the same thing - growing plants in a controlled environment with or without artificial light in a vertical manner using multi-layer shelf. Due to its global business opportunity, PF attracts not only people from the academic sector, but also people from industry, business, finance and governmental sectors. This paper introduced the current situation of PF in Taiwan including the efforts from the academic sectors and from private companies. The difference in the levels of the integrated environmental control (IEC) from two parties also revealed that the IEC might lead to great difference in not only days to harvest but also the fresh weight of the produce. It is very promising that PF can operate efficiently, using less resource to produce more food, providing job opportunity in remote sites far from the cities. It is also promising in saving lands for the food production and returns the cultivated land to the Nature, thus making the contributions to mankind.

國內設施園藝產業發展現況與展望

方怡丹、林春良

¹行政院農業委員會農糧署作物生產組科長

²行政院農業委員會農糧署作物生產組技正

摘要

農委會民國 76 年推動 10 年期設施園藝研究計畫，整合產官學專家，投入本土化設施栽培研究，嗣為提升園藝產業競爭力，將自動化相關研究列為重點科技項目，接續投入經費研發，並於 90 年起陸續依作物別成立技術服務及研究團隊，及持續執行現代化果樹生產設施、花卉生產專區、穩定夏季蔬菜生產等計畫，輔導農民搭建模組化兼顧精密集約與經濟實用之園藝設施，積極導入自動化觀念及產期調節技術，提升生產效率。99 年農耕業園藝設施面積達 28,257 公頃，其中果樹 17,222 公頃、蔬菜 8,675 公頃、花卉 1,798 公頃，多屬簡易網室及水平棚架（85%），溫室面積僅 962 公頃（3.4%），主要用於蔬菜（441）及花卉（416）栽培。近 3 年在蘭花產值倍增計畫推動下，蘭花設施面積持續成長，今(101)年已突破 730 公頃，其中文心蘭占 32%，蝴蝶蘭占 28%，溫網室設施比例約為 4：6。農委會未來除加強產業服務與紮根，持續創新研發及應用外，將營造產業群落，導入節能、環保、自動化觀念及技術，改進生產設施，發展高效、節能之創新農業。

關鍵詞：設施園藝、溫室

1.前言

臺灣地屬亞熱帶季風氣候區，夏季高溫多雨、颱風，冬季短期低溫，早期農民為克服生產期之環境逆境，減少農作災害損失，使用稻草直接覆蓋或配合竹子、木材為骨架搭設保護設施。50 年代台聚公司生產可重複使用之農業塑膠覆蓋資材，廣受水稻育苗、蔬菜生產者採用，促使隧道棚及遮雨棚等簡易設施普及化。60 年代洋菇栽培模式引入及外銷花卉產業發展，引進多種設施栽培方式，農民逐漸建立穩定及規格生產觀念，但多著重防雨及自然光照調節，少有環控管理。農委會民國 74 年推動技術密集農業及花卉設施栽培，並為提升設施栽培及管理技術，於民國 76 年推動 10 年期設施園藝研究計畫，整合產官學專家，長期投入本土化設

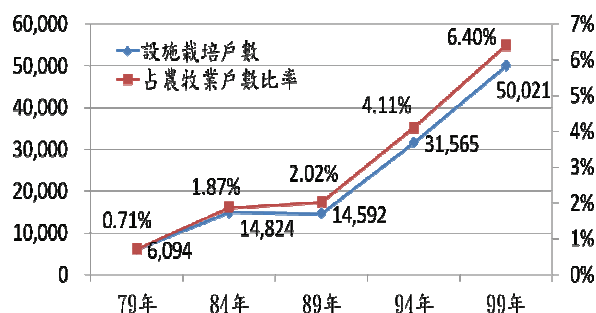
施栽培研究，開發自動化與半自動化之設施(備)，嗣為提升園藝產業競爭力，將自動化相關研究計畫，列為重點科技項目，接續投入經費研發，及於民國 90 年起陸續依作物別成立技術服務及研發團隊，持續執行現代化果樹生產設施、花卉生產專區、穩定夏季蔬菜生產等計畫，輔導農民搭建模組化兼顧精密集約與經濟實用之園藝設施，積極導入自動化觀念及產期調節技術，提升生產效率。

設施園藝為整合型生產體系，對於葉菜類具有生長較為快速，組織較為柔嫩等優點，有助瓜果類水分控制，結果整齊，及減少裂果及農藥使用量，增加商品價值，對於花卉類可提供適宜開花條件，提升整體可欣賞性，已普遍為農民採用，民國 99 年農耕業園藝設施面積達 28,257 公頃。近幾年隨著精

緻農業發展，如何穩定提供顧客農業商品、貼近消費者需求、充分運用育種技術、生產健康植物食品等訴求一再被提出討論，喚起發展主動農業思維，因而能創造適宜作物生產的微氣候環境之環控溫室(太陽型植物工場)逐漸被蝴蝶蘭、瓜果類等生產業者採用，讓產業可以由季節供應調整為週年生產，以工業化(規格)生產具櫥架價值農業商品。臺灣小農擁有耕地面積小且零碎，缺乏大農場優勢，要穩定生產周年供應，除了聯合計畫生產，設施栽培也是選項。但環控設施造價高昂及管理技術門檻高，非一般農民所能承擔及勝任，如何引導資金流入擴大規模及經營效率，培養專業農民朝向企業化經營將是重要課題。

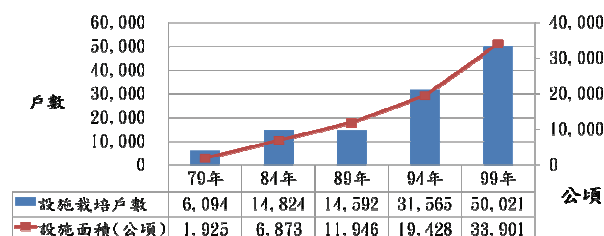
2.臺灣農業設施使用概況

農業設施可以降低強風、強日照、暴雨、寒流等環境逆境危害，及調整設施內部微氣候，提供作物適宜之生長環境，在農委會設施園藝研究計畫推動下，20年來設施面積成長快速。依據99年農林漁牧業普查初步報告臺灣地區農牧業使用農業設施栽培者有50,021家，占從事農牧業家數之6.4%，較94年之31,565家，增加18,456家，增幅58.5%（圖1）。農業設施面積33,901公頃較94年增加14,473公頃，增幅74.5%。設施經營作物以果樹類最多22,619戶占45.3%，面積17,222公頃占56.8%；其次為蔬菜類19,477戶占39%，面積8,675公頃占28.6%；花卉類3,046戶占6.1%，面積1,798公頃占5.9%（圖2）。20年來除食用菇菌類設施經營面積未明顯增加外，其餘各類設施經營面積均呈大幅增加。



資料來源：79-94 年農林漁牧業普查報告及
99 年農林漁牧業普查初步報告

圖 1. 近 20 年臺灣地區(不含金馬地區)農牧業農業設施栽培趨勢



資料來源：79-94 年農林漁牧業普查報告及
99 年農林漁牧業普查初步報告

圖 2. 近 20 年臺灣地區農牧業使用農業設施戶數及面積

臺灣常見園藝設施依使用目的及構造，大致可歸納為 5 大類，說明如下：

- (1) 網室：採用鐵管或水泥柱搭建水平式棚架後，於屋頂設置單層或雙層遮陰網，側壁再覆蓋防蟲網之栽培設施，利用遮光網降低強光及配合自然風力、間歇式噴霧降溫與調節濕度，如火鶴花、文心蘭網室栽培。
- (2) 遮雨棚：主要目的為防雨，僅覆蓋塑膠布於主結構體上方，四周開放通風。也有在屋頂的上下層加裝遮陰網減少日照量或加設太子樓屋頂疏導大氣熱累積。遮雨棚的構造成本較溫室低，普遍使用於園藝生產，其中以栽培花卉、觀賞作

物較多，如洋桔梗、滿天星，玫瑰等切花。

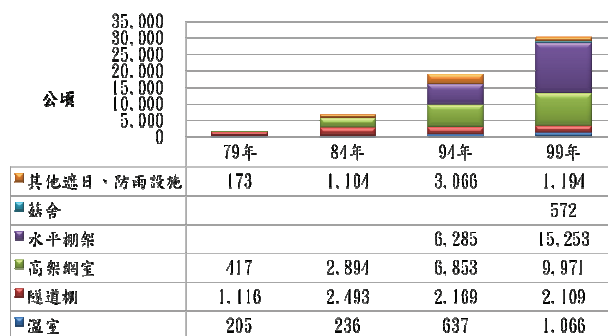
- (3) 遮陰棚：通常採用鐵管或水泥柱搭建水平式棚架，頂部架設遮陰網，側壁無任何設備或覆蓋防蟲網，廣泛應用於觀葉植物栽培。
- (4) 簡易型溫室：主要結構為固定混凝土地基，配合金屬鋁管興建完成之塑膠布設施，有簡易環控設備。應用於盆栽花卉及觀葉作物、文心蘭、火鶴花、彩色海芋等切花種植及果樹、蔬菜、花卉等育苗。簡易型溫室之型式甚多，但其與環控型之差別主要在於其透明材料均以塑膠布為主，而且多不使用調控裝置。
- (5) 環控溫室：除基本的溫室結構外，加入自動化環境與生長資訊之控制。結構氣密之溫室，可裝置各種環控設備，適用穴盤苗、蝴蝶蘭、拖鞋蘭，組織培養苗等生產。

近年來推動精緻農業發展、蘭花產值倍增、及「夏菜冬花」生產模式下，臺灣溫室面積逐年增加，栽培作物種類也逐年增加，如虎尾地區利用點滴灌溉進行水分及肥料管理，生產多花菊。在構造上也有新的調整，包括藉由增加側面開口或利用捲簾裝置全面開啟屋頂，及配合噴霧或擾流風扇操作，調節室內溫度，主要溫室設施生產之環控模式，概略如下：

- (1) 水牆搭配負壓風扇：不具天窗與側窗，利用水牆與負壓風扇解決夏季高溫問題，以內循環風扇改善內部相對濕度之環境，也有加設加溫機提高冬季溫度。近幾年為降低內部積溫，溫室興設高度逐年提高，從4m→6m→9m。
- (2) 通風搭配噴霧：兩側加裝捲起裝置，調整氣密性或開放性，並於內部加裝噴霧設備以進行蒸散降溫作業。也有側邊加裝負壓風扇，及於對面山牆增設附有防蟲網之開口。

- (3) 通風搭配灌溉：利用灌溉及機械通風，提升蒸散作用降低作物溫度。如「夏菜冬花」生產模式，冬季生產具外銷競爭能力之花卉，夏季利用設施避開梅雨及颱風等危害，生產蔬果。

臺灣地區20年來農耕設施面積成長16.2倍，其中以網室增加9,623公頃，增幅22.9倍最多，其次為溫室增加866公頃，增幅4.2倍。設施栽培面積以水平棚架最多，94年6,285公頃，99年增至15,253公頃，其次為網室，94年6,853公頃，99年增至9,971公頃（圖3）。水平棚架以臺中市5,823公頃、苗栗縣2,167公頃及彰化縣1,613公頃最多；網室以屏東縣2,446公頃、雲林縣2,108公頃及高雄市1,557公頃居多；溫室群聚於嘉義縣(242公頃)、彰化縣(158公頃)及雲林縣(138公頃)等地。菇舍主要分布於臺中市(216公頃)及彰化縣(52公頃)等地區。



資料來源：79-94 年農林漁牧業普查報告及
99 年農林漁牧業普查初步報告
(不含金馬農耕業)

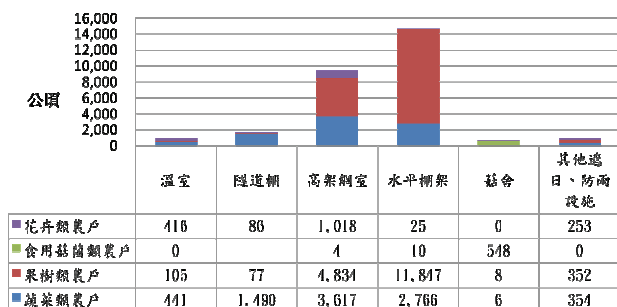
圖 3.臺灣地區農耕業設施使用情形

3.設施園藝產業發展

隨著科技發展，農業生產從傳統露地栽培、簡易防護設施、環控溫室，推進到植物工場生產，但對臺灣園藝產業而言，考量經濟成本與產品產值，現階段主要係採用簡易防護設施及環控溫室，各類園藝經營者運用設施情形稍有差異，花卉設施栽培以採用網室(如國蘭、文心蘭)及溫室(如蝴蝶蘭)設施居

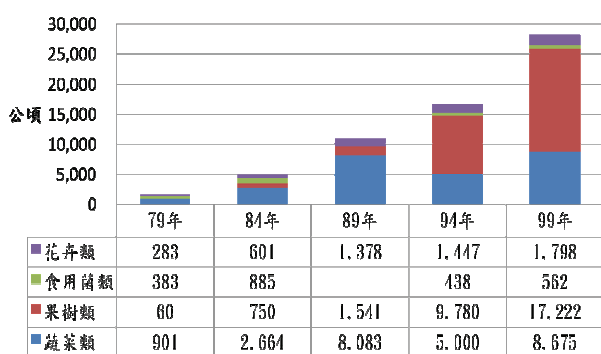
多；蔬菜設施栽培多利用簡易溫室、網室、水平棚架及隧道棚，果樹設施多屬網室及水平棚架等簡易設施。20 年來果樹設施面積成長 286 倍，蔬菜設施面積成長 8.6 倍，花卉設施面積成長 5.4 倍，食用菌類設施面積成長 47%。

隨著時代需求之轉變，應用設施生產作物種類逐年增加，79 年蔬菜生產應用設施最多占 46.8%，其次為食用菌類 19.9%；99 年以果樹類居多占 56.8%，其次為蔬菜類 28.6%。79 年主要設施種類為隧道棚 55.8%，99 年主要設施為水平棚架及網室 85.4%，溫室面積 962 公頃，其中逾 9 成運用於蔬菜及花卉栽培。



資料來源：99 年農林漁牧業普查初步報告(不含農場資料)

圖 4.各類園藝經營者之各類設施使用情形



資料來源：99 年農林漁牧業普查初步報告(不含農場資料)

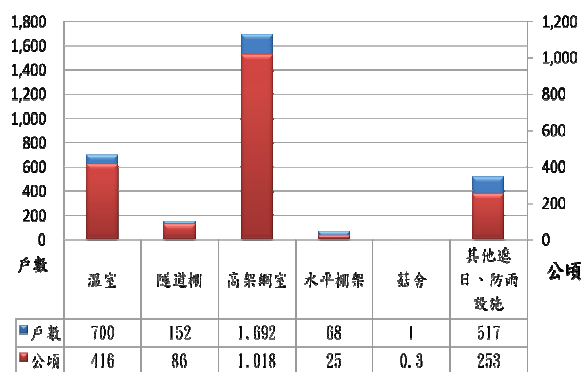
圖 5.各類園藝經營者使用農業設施情形

表 1.各類農業設施使用比率

設施種類	面積(公頃)	比率 (%)
溫室	962	3.4
隧道棚	1,653	5.85
高架網室	9,472	33.52
水平棚架	14,648	51.84
菇舍	562	1.99
其他遮日、防雨設施	960	3.40
統計	28,257	100

資料來源：99 年農林漁牧業普查初步報告

依據 99 年農林漁牧業普查初步報告，花卉設施經營者 3,130 戶，設施面積 1,798 公頃，以網室栽培(如國蘭、文心蘭居多，其次為溫室(如蝴蝶蘭、拖鞋蘭)。栽培作物以盆花類為主(59%)，如蝴蝶蘭、國蘭、拖鞋蘭、聖誕紅、大岩桐、觀葉植物等，切花類占 36%，如文心蘭、火鶴花、洋桔梗、玫瑰、滿天星、非洲菊、百合等，其他球根花卉等約占 5%。依 100 年農業統計年報、仙履蘭苗圃登記、99 年臺灣蘭花產銷協會調查及 101 年生產預測資料推估，目前蘭花經營面積約 731 公頃，其中文心蘭 233 公頃為大宗占 32%，大多在 50%之遮陰網下生產，少數盆花植株在防雨設施下栽培，主要品種為檸檬綠及南西品種；其次為蝴蝶蘭 205 公頃占 28%，多採用有加溫和降溫功能之環控溫室；國蘭類約 101 公頃占 14%，臺灣從南到北均有栽培，其中以南投縣面積最多約占 50%，主要栽培品種以素心蘭、四季蘭及報歲蘭為主，採網室栽培為主，有些業者於遮陰網上方或下方裝置捲揚式塑膠布防大雨侵害；拖鞋蘭為新興蘭花，面積約 8 公頃占 1%。整體蘭花溫網室栽培設施比例約為 4：6，其中環控溫室約 189 公頃占 26%。



資料來源：99 年農林漁牧業普查初步報告

圖 6.花卉經營農戶設施使用情形

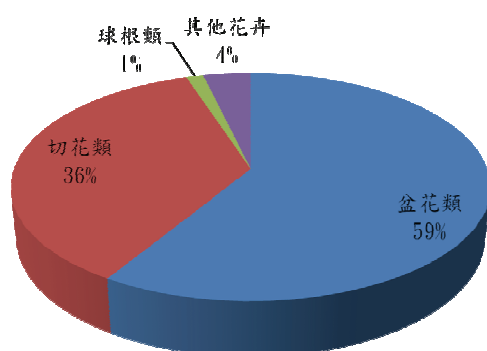


圖 7.花卉經營農戶設施使用情形

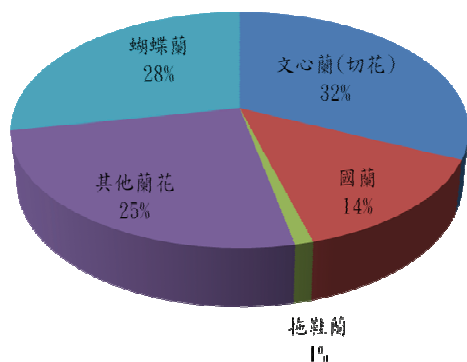


圖 8.蘭花設施栽培情形

農業設施栽培之花卉業者 3,422 家，其中有農畜產品銷售收入者計 3,309 家，平均每家全年農畜產品銷售收入為 182 萬 8 千元，為不使用農業設施栽培者之 4.05 倍，僅

低於食用菇菌類設施經營者。果樹栽培業且有使用農業設施栽培者計 2 萬 2,658 家，其中有農畜產品銷售收入者計 2 萬 2,023 家，平均每家全年銷售收入為 57 萬 1 千元，為不使用農業設施栽培者 22 萬 6 千元之 2.5 倍。蔬菜栽培業且有使用農業設施栽培者計 1 萬 9,533 家，其中有農畜產品銷售收入者計 1 萬 7,283 家，平均每家全年銷售收入為 35 萬 2 千元，為不使用農業設施栽培者 23 萬元之 1.5 倍。食用菇菌栽培業且有使用農業設施栽培者計 1,106 家，其中有農畜產品銷售收入者計 841 家，平均每家全年銷售收入為 290 萬 9 千元，為不使用農業設施栽培者 90 萬 5 千元之 3.2 倍（表 2）。

表 2.各類農業設施栽培收入情形

產業別	有使用農業設施		未使用農業設施	
	有銷售收入家數	平均年銷售收入(千元)	有銷售收入家數	平均年銷售收入(千元)
果樹	22,023	371	146,482	226
蔬菜	17,283	352	80,305	230
花卉	3,309	1,828	2,231	451
食用菇菌	841	2,909	13	905
特用作物	918	384	15,004	302
其他作物	188	669	5,052	336

※資料來源：99 年農林漁牧業普查初步報告
臺閩(含金馬)地區農牧業資料

99 年種植蘭花且有銷售收入者計 1,759 家，平均每家全年產品銷售收入為 263 萬 1 千元，其平均可耕作地面積為 0.80 公頃；從業人數為 5.1 人。若依組織型態觀之，其中農戶 1,699 家，而農場僅 60 家；惟農場平均可耕作地面積為 4.32 公頃，高於農戶之 0.67 公頃；每家農場從業人數為 52.2 人，較農戶多出 48.8 人；至全年農產品銷售收入，農場為 3,742 萬 4 千元，農戶為 140 萬 2 千元（表 3）。臺灣蘭花朝向企業化經營已是趨勢，未

來如何建立標準化規格，引導資金流入，培養專業農民，將是發展之重要課題。

表 3. 蘭花種植者經營概況

	有銷售 收入家 數	平均可耕 地面積 (公頃)	平均從 業人數	平均年銷 售收入 (千元)
農戶	1,699	0.67	3.39	1,402
農場	60	4.32	52.18	37,424

※可耕地不等於蘭花經營面積，銷售收入不侷限於蘭花經營收入。

※資料來源：99 年農林漁牧業普查初步報告臺閩(含金馬)地區農牧業資料

4. 產業輔導措施及未來展望

農委會於民國 74 年推動技術密集農業及花卉設施栽培後，嗣於 76 年推動設施園藝研究計畫，投入本土化設施栽培研究，開發自動化與半自動化之設施(備)，歷經近 20 幾年各試驗機構、產業單位及溫室廠商不斷地鑽研水牆、風扇、內外遮蔭網、屋頂披覆材料、內循環風扇、活動植床、降溫冷凍機械、加濕控制、加溫系統、感測及環控等設備及系統，促使臺灣亞熱帶溫網室設施栽培技術已日趨成熟，國內園藝栽培面積與產量不斷增加，為了提昇生產品質確保市場競爭優勢，農委會 90 年起陸續依園藝作物別，整合產官學專家組成各項產業技術服務團及成立產業研究團隊，建立產研溝通平台，加強輔導設施栽培技術及協助研究人員掌握市場脈動，及設立農民學院，辦理分級人才教育訓練，加速產業升級。為利農民興建經濟實用之溫室，農糧署 96 年委託國立中興大學辦理「農業溫室建築規範及溫室標準圖樣製作之研究」，訂定 10 種溫室型式標準圖樣，及邀集內政部營建署、建築研究所及相關建築師公會召開「農業溫室建築規範及溫室標準圖樣製作執行成果審查暨後續作業會議」，選定 6 種適合臺灣地區生產使用溫室標準圖樣，由

中華民國建築師公會全國聯合會審定及簽證後，供農民參考選用，並得免由建築師設計監造或營造廠承建，以簡化申建程序及農民的負擔。

93 年農糧署成立後，加強推動花卉產業聚落生產，導入技術服務，輔導建置標準化生產流程、改善生產設施及建立市場導向產銷制度。截至 100 年底輔導蝴蝶蘭、文心蘭、國蘭、火鶴花、洋桔梗、菊花、黃椰子、小品盆花等花卉生產專區 492 公頃，協助改善溫(網)室、育苗化、自動噴藥、活動遮蔭網等生產、冷藏庫及花卉燻蒸處理室等生產及採後處理設施(備)，並配合穩定蔬菜及果樹生產及產期調整措施，陸續輔導 15 個縣市推動夏季蔬菜溫(網)室及果樹現代化設施栽培，搭建蔬菜設施 639 公頃及果樹現代化設施 31.18 公頃，有效調節夏季蔬菜供應及果樹產期調節，以確保農民收益。

另農委會為鼓勵青年回農及農戶改善經營體質，提供「輔導農村青年創業改進貸款」及「中壯年青年農業經營改善貸款」等專案性農業貸款。高職以上農、林、漁、牧相關科系畢業生，或經縣市以上農業機關及學校等農業專業訓練 30 小時以上，或從事農業經營表現傑出經政府機關表揚有案且年齡 18 歲以上未滿 35 歲之青年人，可申請「輔導農村青年創業改進貸款」；一般農民最高額度 500 萬元，週轉金最高 80 萬元；首貸或未滿 1 年者為 250 萬元，若為吉園圃或 CAS 班員，每一借款人最高額度 600 萬元，週轉金最高 120 萬元。而年齡 35 歲以上未滿 65 歲且無農業以外專任職業之一般農民，可申請「中壯年青年農業經營改善貸款」，最高額度 300 萬元，週轉金最高 1200 萬元，年息：1.5%，資本支出最長 10 年，週轉金最長 3 年。

經過產官學界多年來的努力耕耘下，臺灣設施園藝產業已有厚實的基礎，但是由於近幾年國內經濟結構的變遷，農業人力流失，加上外銷市場受中國大陸與東南亞等鄰

近國家園藝產業崛起及荷蘭自動化生產的競爭，以及面對全球永續發展的綠色潮流，產業生存壓力日趨沉重。為維繫產業發展，未來應思考如何加強自動化、規格化生產技術研發及建構兼顧品質與環境保護之生產體系。在設施環控及生產管理方面，應著重下列目標改善：

- (1) 穩定產量及品質：兼顧個體品質及單位產能。
- (2) 標準化及分工體系：建置種苗-栽培-採後處理-銷售產業分工鏈，精準掌握供貨時間及數量，降低庫存及殘貨量。
- (3) 提升觀賞價值及延長觀賞或儲放壽命：生產美麗又好照顧或瓶插壽命長或耐擺放之農業商品。
- (4) 友善環境及節能減碳：減少化學品及資源(能源)使用量，降低廢棄物，提升資材回收量。
- (5) 確保健康與安全：建構健康管理模式，降低農藥使用，提供消費者健康與安全農產品。

在產業輔導方面，應從市場調查與定位，回饋技術研發、生產效率、經營體質等層面調整措施。

- (1) 強化研究團隊功能：整合產、官、學研究資源，建立標準化作業流程，導入節能、環保、自動化觀念及技術，開發節能減碳之綠能設施與資材，及兼顧精密集約與經濟實用，推動設施搭建模組化，開發自動化與半自動化之設施(備)。
- (2) 設置生產專區：輔導產業聚落，引導建立市場導向產銷制度，促進產銷與貿易商策略聯盟，整合行銷品牌，積極開拓國內外市場，並強化經營訪視診斷及技術諮詢服務，厚植產業發展實力。
- (3) 導引資金流入、輔導專業貸款：提供經營者及輸出業者低利貸款，協助農民籌措資金，改善產業經營體質。

- (4) 開發人力資源，培養專業農民：辦理分級講習，推動專業人才認證，有系統培育專業農民。

5. 結語

隨著經濟發展，已開發國家農村人口流向工商業，農業人力缺乏，生產成本逐漸提高，為能兼顧穩定產量、品質及降低生產成本，有些農民、農企業轉向開發中國家尋求低價勞力及以擴大規模生產因應，有些則導入科技，制定生產規格，運用環控設施結合自動化設備，提升生產效率與品質，一方面尋求市場區隔，另一方面以量產降低單價，提升競爭力。當前臺灣園藝產業面對荷蘭自動化生產及中國大陸與東南亞等鄰近國家低勞力生產成本的競爭，必須掌握目標市場特性及發展趨勢，分析客群屬性，確定產品定位，除著重於產業供應鏈前端的育種及種苗規格化發展，應建立國際接力生產模式，加強種苗栽培管理、設施環控管理及產銷技能研究，提升栽培、採後處理技術，生產優質化產品。未來農委會將設置農業科技研究院，推動農業科技創新研發與產業化發展，並營造產業群落，導入綠能觀念及技術，改進生產設施，發展高效、節能之創新農業。

參考文獻

1. 方怡丹、郭瓊榛、林春良。2012。台灣花卉產業回顧與展望。台灣花卉園藝 300：20-28。
2. 行政院主計處。1992。中華民國七十九年台閩地區農林漁牧業普查報告。行政院主計處。
3. 行政院主計處。1997。中華民國八十四年台閩地區農林漁牧業普查報告。行政院主計處。
4. 行政院主計處。2002。中華民國八十九年台閩地區農林漁牧業普查報告。行政院主計處。

5. 行政院主計處。2007。九十四年農林漁牧業普查報告。行政院主計處。
6. 行政院主計處。2012。九十九年農林漁牧業普查初步報告。行政院主計處。
7. 行政院農業委員會。2012。100 年農業統計年報。行政院農業委員會。
8. 張耀乾、吳明哲。1994。國內花卉設施之發展與重點。出自“亞熱帶地區花卉設施栽培技術”。3-5，台中：臺灣省農業試驗所。
9. 陳加忠。1994。設施主類與結構模式。出自“亞熱帶地區花卉設施栽培技術”。3-5，台中：臺灣省農業試驗所。
10. 蔡瑜卿、廖玉珠、周明燕。2012。蝴蝶蘭商品化行銷策略-以世芥蘭業公司為例。臺灣蘭訊 35：29-31。

The Current Development and Prospects of Protected Horticultural Industry in Taiwan

Fang Yi-Tan¹ and Lin Chun-Liang²

¹ Section Chief of Crop Production Division Agriculture and Food Agency, COA

² Senior Specialist of Crop Production Division Agriculture and Food Agency, COA

Abstract

Council of Agriculture, Executive Yuan has adopted a 10-year protected horticulture development project since 1987. The project, integrate experts from sectors of industries, governments and universities, aim at modernization of local protected cultural facilities. The council invested funds in research and invention in the automation of protected cultural facilities so as to enhance the competitiveness of horticultural industry. Then technical service and research teams have been established according to different crops. Moreover, projects of fruit production modernization, establishment of flower production districts, stabilization of vegetable production in summer were proceeded. The council subsidize farmers build modern protected facilities in consideration of both technical intensively and economical practically. Techniques of precise farming and off-season cultivation of horticultural crops were also introduced to enhance productive efficiency and increase farmers' income as well. Total protected horticultural facilities in Taiwan reached 28,257 hectares in 2010. Among which, facilities used for fruit, vegetable and flower production occupied 17,222、8,675 and 1,798 hectares, respectively. The ratio of amounts of simple net house and horizontal trellis are 85%, the green house is only 962 hectares(3.4%), mainly used for vegetable (441 hectares) and flower (416hectares) culture.

The promotion on projects of double value in orchid production in recent 3 years makes the area of orchid facilities has increasing and reach over 730 hectares by the 2012. In the future, the council will keep working not only on establishing industrial community but also introducing concepts and techniques of energy saving, environmental protection and automation for protected horticultural industry to create a high efficiency agricultural production system with low energy input.

Keywords: protected horticulture, greenhouse

設施園藝產業營運管理效率與效益分析

盧子淵

行政院農業委員會臺南區農業改良場農業推廣課

摘要

本研究經由輔導嘉義縣太保市蔬菜產銷班企業化經營二年期間，採用質性研究中的個案研究法，透過訪談 17 位產銷班員及分析初級資料，建構設施栽培輪作小果番茄及甜瓜之固定成本及變動成本的項目，並以 3 位研究對象根據 2011 年生產及銷售狀況，提供數值資料作為設施產業營運分析的基礎，再依據成本-數量-利潤分析，估算出使用捲揚式塑膠布網室設施與四項小型機械設備(中耕管理機、動力噴藥機、內循環風扇、抽水馬達)的投資組合，而栽培營運採小果番茄與甜瓜輪作模式下，其固定成本費用為 77.55 元/平方公尺，變動成本費用為 243.22 元/平方公尺，生產總成本費用為 320.78 元/平方公尺，小果番茄銷售收入為 396.20 元/平方公尺，甜瓜銷售收入為 122.94 元/平方公尺，合併銷售收入為 519.14 元/平方公尺，年收益為 198.36 元/平方公尺。

關鍵詞：塑膠布溫室、營運分析、個案研究

1. 研究動機

國內推廣設施園藝栽培生產技術之初，主要焦點作物集中於花卉類，直到民國 90 年臺南區農業改良場在雲林縣虎尾鎮推動環控設施「夏菜冬花」的生產模式，有具體成果後，設施園藝栽培的生產模式逐漸多樣化，作物種類不再侷限單一花卉作物周年生產，而設施栽培果菜類作物的生產面積大幅增加，其全年收益比露天栽培的收入有顯著增加，引發有意轉型或投入設施栽培的青年農民及新進農民人數大幅增加，導致近 3 年內雲嘉南地區的設施栽培面積急遽增加。近年來大氣環境劇烈的變化，穩定設施內微氣候環境，增加作物產量的栽培管理技術與環控設備愈顯重要，目前設施園藝產業的相關研究多集中於栽培管理及環控技術方面的研究，但於探討營運管理效率與效益分析之相關研究卻不多見，期望在考量產業經營效率及效益目標，經由研究分析設施輪作栽培小果番茄及甜瓜的經營資訊，能提供農民經營管理設施園藝產業之參考。

2. 文獻探討

2.1 個案研究法

個案研究(case study)是以一個個體，或以一個組織(例如：一個家庭、一個社會、一所學校或是一個部落等)為對象，進行研究某項特定行為或問題的一種方法。個案研究偏重於探討當前的事件或問題，尤其強調對於事件的真相、問題形成的原因等方面，做深刻且周詳的探討。所謂的個案，狹義而言是指個人；廣義來說，個案可以是一個家庭、機構、族群、社團、學校等。簡單來說，個案不僅僅限於一個人。⁶

個案研究的目的是什麼呢？一般研究的功能有 4 個層次：瞭解、解釋、預測及控制。因此個案研究的功能偏重在「客觀事實的瞭解」及「主觀的解釋」。由於個案研究係指某一事件的所有相關事實，其收集的資料事先並無一定的排列順序，甚至可能會資料不足、不明與失真，因此個案研究大多是屬探索性研究。研究者只要花大量精力去發掘、

聊解、認清、衡量事實，並進行分析與驗證，以便找出事實真相，提供他人對該事件的「客觀了解」。故個案研究法較適合當前較新的、未曾有許多人研究過或無堅強理論的研究問題，且是自然現實環境所衍生的問題。⁴

2.2 管理效率與效益

管理學領域如何衡量管理者能力的二個重要概念，一為效率(efficiency)，另一為效益(effectiveness)。

效益是指「做正確的事」，亦即選擇適當的方法或手段以達到一定目標的能力。而效率是指「正確的做事」亦即用最少成本或時間以達到某一特定目標的能力。¹

效率與效益不同，但是效率與效益是相關的，好的管理不只關心事情完成與否（效益），同時關心是否能以最有效率的方法完成。效益是關注於活動的完成，即就是目標的達成，而效率則是關心在完成那些活動時，所使用的資源能否降到最低。成功的管理者會要求高效率與高效益相結合，而差勁的管理者則常既無效率且與無效益，或是為達效益而犧牲效率，為達效率而犧牲效益。³

2.3 農產品生產成本

農產品生產成本是指該農產品生產過程的各種活動所消耗的資材與勞動等的經濟價值。它必需是可用貨幣價值衡量，但與是否有金錢支付無關。沒有金錢支付的部分，如受贈、接受補助或自給，只要是實際用於該標的農產品生產的，均應列入該農產品生產成本，也就是以機會成本做考量基礎。²

總成本＝固定成本＋變動成本

固定成本(fixed cost)：成本總額不隨產品產量的多寡而變動，但其單位成本隨產量增加而遞減。(如成園費、折舊費與固定投資的資本利息等)

變動成本(variable cost)：成本總額隨產品產量的多寡而等比率變動，但其單位成本是固定的。(如種(籽)苗、肥料、農業、

生產資材與直接人工費等)

折舊費(depreciation)＝(設備購買價格－殘值)/使用年限。

2.4 成本-數量-利潤分析

管理會計學領域內有關成本-數量-利潤(cost-volume-profit, CVP)分析係研究下列各項因素之間的相互關係：(1)產品價格(2)銷售量或銷售水準(3)單位變動成本(4)總固定成本(5)產品銷售組合。從事 CVP 分析時，對所運用的資料要設定一些假設條件，這些假設如下：

- 1.在攸關範圍(relevant range)內，收益(revenues)與成本的習性為線性。
- 2.成本可以明確的區分為固定與變動兩種。
- 3.銷售的產品組合比例不變。
- 4.生產的單位數等於出售的單位數，亦即無存貨或存貨水準不變。
- 5.在攸關範圍內，員工與機器的生產力與效率不變。
- 6.固定成本在攸關範圍內總數維持不變，亦即成本-數量-利潤分析係在某一特定產能水準下進行分析。⁵

銷售收入＝產品價格×銷售量

邊際貢獻(contribution margin)是銷售收入減去變動成本，若邊際貢獻為負值，則此產品不值得銷售；若邊際貢獻為正值，則此金額是用來收回固定成本及創造收益。⁵

收益＝銷售收入－總成本

3.研究方法

3.1 研究目的

設施經營係指以農業設施從事農業生產經營者，農業設施可分為鋼骨結構加強型網室、捲揚式塑膠布網室、簡易式塑膠布網室、雙層鋁管網室、花卉水平棚架網室、花卉育苗馴化場、水平棚架網室或造價與結構强度高於水平棚架網室者等類型。

蒐集轄內嘉義縣太保市地區採用設施栽培生產小果番茄（春、秋、冬）及甜瓜（夏

季)二種作物輪作栽培模式的生產管理成本及銷售收入資料，將分析結果提供有意加入設施栽培果菜類生產的農民作為經營模式的參考。

3.2 資料蒐集

先廣泛蒐集嘉義縣太保市某蔬菜產銷班 17 位班員的資料，經初步分析與檢核初級資料後，遴選出於生產管理及經營模式方面極為相似的 3 位農民為研究調查對象，他們從農年資均超過 10 年以上，且投入設施栽培生產也超過 5 年以上的經驗。

3.3 研究設計

本研究的方法設計主要採用個案研究的方式進行，在研究個案的選擇上，是以嘉義縣太保市某蔬菜產銷班為研究對象。本研究的資料來源為輔導產銷班企業化經營期間，對班員實地訪談及觀察資料為主，並佐以班會座談記錄為輔。

4. 結果與討論

設施栽培投資設備項目如下：

(1) 土地

(2) 農業設施

(3) 機械設備：中耕管理機、動力噴藥機、內循環風扇、抽水馬達、儲水槽、養液滴灌設備、運輸車輛、水處理設備、集貨場。

本研究調查的這 3 位農民的農業設施面積總計為 7890 平方公尺，資料蒐集期間跨越 2010 至 2011 年度。這 3 位農民均採用捲揚式塑膠布網室設施與購置四項小型機械設備(中耕管理機、動力噴藥機、內循環風扇、抽水馬達)的生產投資組合，而栽培產業營運採用小果番茄與甜瓜輪作模式。

1. 固定成本的計算因各區域的土地購買價格或土地租金數值過於雜亂無章，且購置農地未來仍可出售，因此本研究不列入計算範圍，只以農業設施及機械設備為計算

項目。而機械設備項目在此研究中只將中耕管理機、動力噴藥機、內循環風扇、抽水馬達列入必要設備，納入計算項目。

2. 農產品生產成本項目包含種苗費用、肥料費用(基肥+追肥)、病蟲害防治費用(農藥)、電費、包裝資材費用、設施維修費用、機械設備維修費用、僱工費用、運輸費用(田間至集貨場)、栽培管理資材、自有勞力(不支薪)、電話費用、運輸車輛衍生費用等。因電話費用及運輸車輛衍生費用難以區分為農業與非農業用途所致，因此本研究無法列入變動成本計算的項目。

3. 由調查資料得到投資設備費用(見表 1)，進一步分析得知其固定成本費用為 77.55 元/平方公尺(見表 2)，變動成本費用為 243.22 元/平方公尺(見表 3)。由表 4 得到生產總成本費用為 320.78 元/平方公尺，小果番茄銷售收入為 396.20 元/平方公尺，甜瓜銷售收入為 122.94 元/平方公尺，合併銷售收入為 519.14 元/平方公尺，年收益為 198.36 元/平方公尺。

表 1. 投資設備費用

項目	金額(元)	使用年限	折舊費(元)
捲揚式塑膠布網室	4864400	10 年	486440
中耕管理機(3 台)	126000	5 年	25200
動力噴藥機(3 台)	64000	4 年	16000
內循環風扇(30 台)	300000	5 年	60000
抽水馬達(3 台)	197000	8 年	24265
合計	5551400		611905

*本研究將設備殘值均視為 0，通常大型機械殘值可估為原先售價的 1/10。

表 2.固定成本費用

項目	金額(元)	單位金額 (元/平方公尺)
農業設施	4864400	616.53
機械設備	687000	87.07
合計	5551400	703.60

表 3.變動成本費用

項目	金額 (元)	單位金額 (元/平方 公尺)
種苗費(小果番 茄)	128000	16.22
種苗費(甜瓜)	56240	7.13
肥料費 (基肥+追肥)	107000	13.56
病蟲害防治費用 (農藥)	53000	6.72
電費	61590	7.81
包裝資材費用	137000	17.36
設施維修費	140000	17.74
機械設備維修費	5000	0.63
僱工費	864000	109.51
運輸費用 (田間至集貨場)	55000	6.97
栽培管理資材費	72000	9.13
自有勞力	240000	30.42
合計	1919010	243.22

4.依表 4 的數值導入邊際貢獻的觀念，若農民在每年的夏季設施內不從事農作生產，將人力及成本轉移至培養地力工作，收入專注於設施小果番茄的銷售，應足夠收回固定成本及創造利益。

5.檢討與建議

1.成本-數量-利潤分析中，有三個主要變數為單位售價、單位變動成本及固定成本，本研究銷售收入的調查只作金額總計，未再進一步記錄產品單價及銷售量，因此無

表 4.年收益分析

項目	金額(元)	單位金額 (元/平方公 尺)
銷售收入 (小果番茄)	3126000	396.20
銷售收入 (甜瓜)	970000	122.94
固定成本	611905	77.55
變動成本	1919010	243.22
邊際貢獻	2176990	275.92
總成本	2530915	320.78
收益	1565085	198.36

作損益平衡點或損益的影響分析，未來的研究可將此納入範圍，讓產業營運分析的應用更多元。

2.本研究受限個人時間及資源採用單一個案研究設計，未來的研究可朝多重個案研究設計進行，將資料蒐集範圍擴大至其他的設施產業。

參考文獻

- 1.王士峰、劉明德編著。2011。生產與作業管理(二刷)：P4。普林斯頓國際有限公司
- 2.林月金。2003。財務管理應用於文心蘭產銷班之研究。農業經營管理研討會專刊：p75。臺中區農業改良場
- 3.林建煌編譯。2002。現代管理學二版：p5，21。華泰文化公司
- 4.張紹勳。2008。研究方法-理論與統計(一刷)：p18。滄海書局
- 5.陳美月編著。2006。管理會計學-規劃、控制與決策(二版一刷)：p248，261。台灣西書出版社
- 6.楊政學。2009。企業研究方法(三刷)：p188。普林斯頓國際有限公司
- 7.G.Nabi Chaudhary。2011。The Economics of Production and Marketing of Greenhouse Crops in Alberta

The Business Analysis of Plastic Greenhouse Crops in Chaiyi County

Tzu-Yuan Lu

Division of Agricultural Extension, Tainan District Agricultural Research & Extension Station, COA

Abstract

This study analyzed business model of case through research method of case study. In this study, by interviewing seventeen farmers of production and marketing groups in Chaiyi County, we identified the items of fixed costs and variable costs. The cost-volume-profit (CVP) analysis was to perform estimation of the production costs and returns. Data on the plastic greenhouse production costs and returns for cherry tomatoes and sweet melons was obtained from three selected producers during 2011 crop year. The plastic greenhouse area of the three producers was 7890 square meter. According to the result, fixed costs were 77.55 NT dollars per square meter, variable costs including unpaid labor amounted to 243.22 NT dollars per square meter in this case. The total production costs for this case were calculated to be 320.78 NT dollars per square meter. Gross return of cherry tomatoes sales was estimated at 396.20 NT dollars per square meter. Gross return of sweet melon sales was estimated at 122.94 NT dollars per square meter. Total gross return of crop sales was estimated at 519.14 NT dollars per square meter. The plastic greenhouse return of 2011 year was positive at 198.36 NT dollars per square meter.

Keywords: plastic greenhouse, business analysis, case study

設施省能源技術之發展現況與展望

黃煥祺、李信宏、呂文斌

工業技術研究院 量測技術發展中心

摘要

自 1902 年開利博士(Willis Haviland Carrier)發明冷氣以來，熱泵技術即已存在並廣泛運用於建築空調。然而台灣農業氣候的特殊性與熱泵高昂的投資成本，造成農業人士持續對熱泵保持觀望的態度。為發展並推廣國內熱泵節能技術的運用，本研究進行：(1) 比較柴油熱風機與複合式加溫系統(熱泵為主、熱風機為輔)的冬季加溫成本。(2)加溫策略耗能比較。實測結果顯示，(1) 2011/01/01 00:00 AM ~ 2011/09/15 23:59 PM 期間，單獨採用柴油熱風機的溫室加溫能源成本 530.1 元/坪；採用複合式加溫系統的溫室加溫能源成本 216.9 元/坪，較前者省下 59.1%的溫室加溫能源成本。(2)建議依據盤床種類、灌溉方式，以及植株密度決定溫室加溫策略。

關鍵詞：氣源熱泵、蝴蝶蘭溫室、性能係數

1. 緒論

氣源熱泵具有結構簡單、施工方便、風險分攤，以及低運轉能耗等優點，適合推廣運用於蝴蝶蘭溫室以期節能減碳之效。然而氣源熱泵的投資成本約較柴油熱風機貴了 2~3 倍，同時存在著寒流期間熱泵 COP 值下降等疑慮，因此多數農民對於採用氣源熱泵作為溫室加溫的設施仍保持觀望的態度。

為了發展國內設施園藝的節能技術，同時消弭農民對氣源熱泵的疑慮，遂於 2010 年參考日本 Greenpackage 方案，在嘉義大學技藝中心 B 棟溫室建置複合式加溫系統進行實驗，期望藉由實際的架構與營運數據作為未來台灣設施園藝的設計參考。2011 年 NEPON 福田晴久社長參觀嘉義大學，對於進行中之溫室加溫成本實驗感到認同，慷慨捐贈 2 套氣-氣熱泵原型機並安裝於 A 棟溫室參與實驗。

因此，本文將分別說明：1.柴油熱風機與複合式加溫系統測試；2.熱泵溫室加溫策略耗能比較。

2. 實驗設備與方法

嘉義大學技藝中心 A/B 棟溫室屬於已經使用 10 多年的中古溫室，壁面以 C 型槽鋼支撐並披覆雙層塑膠薄膜以產生 10 公分的空氣間隔進行保溫。A/B 棟溫室栽種蝴蝶蘭小苗，原來皆使用柴油熱風機進行加溫，夜間溫度設定 24℃。溫室管理員、栽種作物、環境參數都屬同一人，適合進行對照比較。

表 1.A/B 棟溫室資料表

	A 棟	B 棟
長(m, 風扇/水牆方向)	32	32
寬 (m)	20	25
高(m, 地面至保溫膜)	2.5	2.5
面積(m ²)	640	800
坪數(坪)	193.6	242.0
座向(風扇/水牆方向)	西北/ 東南	西北/ 東南
等效表面積 (m ² , 不含地面)	900	1,085

為了紀錄加溫方式以及外部氣候造成 A/B 棟溫室耗能差異，使用一套美國 Onset

公司 ZW 系列無線資料蒐集系統，分別紀錄 A/B 棟溫室各項參數，作為後續分析的依據。資料參數如表 2。

表 2. 資料蒐集系統參數表

日期時間
室外溫度 (°C)
室外濕度 (%)
室外 PAR($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$)
室內溫度 (°C)
室內濕度 (%)
室內 PAR($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$)
營養液流量(gal)
消毒水流量(gal)
抽風扇電流(Amps)
內循環風扇電流(Amps)
熱風機電流(Amps)
熱泵電流(Amps)

2.1 複合式加溫系統節能測試實驗

表 3.A/B 棟溫室實驗條件與結果

	A 棟	B 棟
加溫設備	柴油熱風機	複合式加溫系統(柴油熱風機+氣源熱泵 7.5RT/套*3 套)
溫度設定	24°C	熱泵啟動溫度 24°C； 柴油熱風機啟動溫度 22°C
加溫策略	風管經由盤床下方將熱風導至溫室各處	風管經由盤床下方將熱風導至溫室各處
作物	蝴蝶蘭 1.5 吋小苗	蝴蝶蘭 1.5 吋小苗
加溫費用	530.1 元/坪	216.9 元/坪

本實驗保留 A 棟原有柴油熱風機加溫系統作為對照比較，溫度設定維持 24°C。B 棟溫室增設氣源熱泵共 3 套（千附實業股份有限公司出品，每套 7.5RT），形成以熱泵為主、柴油熱風機為輔的複合式加溫系統。熱泵啟動溫度設定為 24°C，柴油熱風機的溫度設定

改為 22°C。當夜間氣溫逐漸下降的時候，期望熱泵優先啟動進行加溫。在寒流來襲或熱泵不足以維持溫室氣溫 22°C 以上的情況下，柴油熱風機將啟動並提供熱量。

不論 A 棟柴油熱風機或 B 棟複合式加溫系統，皆以風管經由盤床下方將熱風導至溫室各處，希望在盤床與地面之間建立一個充滿熱空氣的腔體，再藉由熱空氣往上升的原理對作物進行均勻加溫。

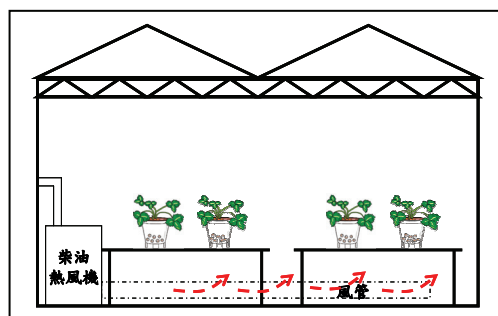


圖 1.A 棟溫室柴油熱風機加溫系統示意圖

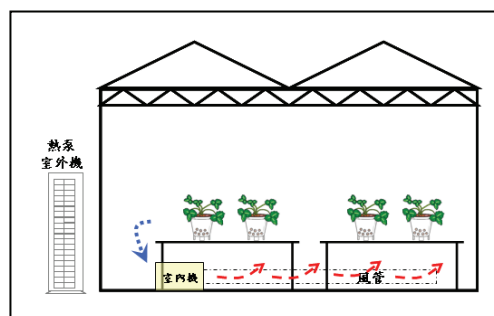


圖 2.B 棟溫室熱泵系統示意圖

擷取 2011/01/01 00:00 AM ~ 2011/09/15 23:59 PM 的 A/B 棟溫室油、電資料進行能源費用計算。其中，油價以平均柴油價格 27 元/公升估計，電價以 3 元/度作為計算依據。關於耗電量的計算，A 棟包含了熱風機；B 棟包含了熱風機與熱泵(室外機+室內機)。因為 A/B 棟溫室柴油熱風機共用一只油桶，無法分開統計耗油量，因此以耗油總量與 A/B 棟熱風機啟動時數進行分攤計算。

結果顯示，單獨採用柴油熱風機進行加溫的 A 棟溫室單位面積加溫能源成本 530.1 元/坪；採用複合式加溫系統的 B 棟溫室單位

面積加溫能源成本 216.9 元/坪，較 A 棟省下 59.1%。

2.2 加溫策略耗能比較實驗

表 4.A/B 棟溫室實驗條件與結果

	A 棟	B 棟
加溫設備	複合式加溫系統 (煤油熱風機+氣源熱泵 10RT/套 *2 套)	複合式加溫系統 (柴油熱風機+氣源熱泵 7.5RT/套 *3 套)
溫度設定	熱風機與熱泵整合型控制，維持溫室 24℃	熱泵啟動溫度 24℃；柴油熱風機啟動溫度 22℃
加溫策略	利用循環風扇在盤床上方將熱風導至溫室各處	風管經由盤床下方將熱風導至溫室各處
作物	蝴蝶蘭 1.5 吋小苗	蝴蝶蘭 1.5 吋小苗
熱泵 COP	4.50	4.58
注入熱量	3,340,371 kJ	6,229,148 kJ
表面積熱散失	3,711.52 kJ/m ²	5,741.15 kJ/m ²

A 棟溫室於 2011 年 9 月安裝 NEPON 所捐贈之複合式空調系統，共計氣源熱泵 (10RT/套) 2 套、循環風扇 8 台、煤油熱風機 1 台、CO₂ 生成機 1 台(實際運作僅熱泵與循環風扇，煤油熱風機與 CO₂ 生成機並未啟動)。至此，A/B 棟溫室皆以熱泵進行加溫。

為了比較 A/B 棟熱泵性能與溫室能耗，除了持續蒐集溫室氣候與能耗資料，也針對熱泵室內機組進行風量、回風溫度與出風溫度的測量與蒐集，並計算熱泵能源效率值 (coefficient of performance, COP)。

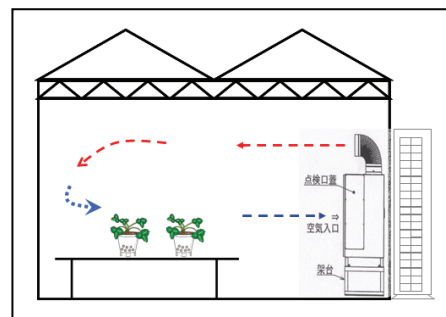


圖 3.嘉義大學 A 棟溫室熱泵系統示意圖

在 2012/03/24 00:00 AM ~ 2012/03/25 07:00 AM 期間，戶外溫度介於 13.1℃~18.6℃之間。A 棟熱泵與 B 棟熱泵 COP 值各為 4.50、4.58，顯示 A/B 棟熱泵性能接近。

$$Q_{evap} = \sum_i \frac{V_{chw} \times (T_{chwrt} - T_{chwt}) \times \rho_{wi} \times c_{pwi}}{60 \text{ sec/min}} \quad (1)$$

$$COP = \frac{Q_{evap}}{P_{ch}}$$

其中：

- V_{chw} : 出/回風流量 (LPM)
- T_{chwrt} : 回風溫度 (℃)
- T_{chsr} : 出風溫度 (℃)
- ρ_{wi} : 水的密度 ($i=1$); 空氣密度 ($i=2$)
- c_{pwi} : 水的比熱 ($i=1$); 空氣比熱 ($i=2$)
- P_{ch} : 總耗電 (KW)

進一步觀察兩棟溫室的總耗能，在戶外溫度 13.1℃~18.6℃ 的條件下，A 棟溫室注入熱量共 3,340,371 kJ，B 棟溫室注入熱量 6,229,148 kJ，亦即 A 棟溫室總耗能僅 B 棟溫室總耗能之 68.2%。

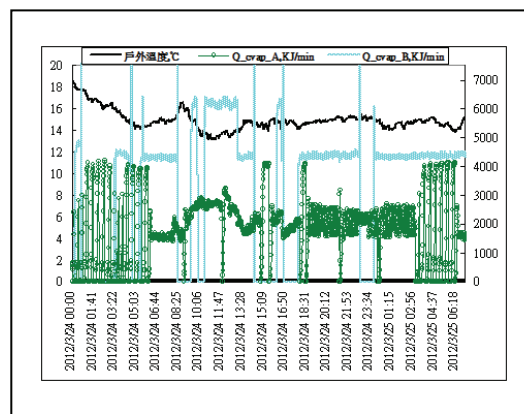


圖 4.嘉義大學 A/B 棟溫室能耗曲線圖

從 A/B 溫室能耗曲線可以發現，A 棟溫室熱泵具有變頻功能，部分時段(例如 06:44~08:25)處於穩定的比例控制狀態，然而大部分時間處於 on-off 控制的狀態，可能是溫度感測器與出風口距離過短，或者控制器 p-gain 過大造成震盪；B 棟溫室所採用的 3 套熱泵採用 on-off 控制，隨著溫室需求進行 3 段控制。

A/B 棟熱泵性能接近，但是 A 棟溫室總耗能僅 B 棟溫室總耗能之 68.2%。因此，並不建議單獨以熱泵主機 COP 值預期加溫系統的節能效果。由於 A/B 棟溫室仍然具有相同的管理員、栽種作物以及環境參數，而且資料蒐集期間 A/B 棟溫室皆以熱泵進行加溫，柴油熱風機並未啟動。因此從溫室能源動態平衡的角度來看，B 棟溫室總和熱散失($Q_{Glazing}$)較 A 棟為大。

$$Q_{Glazing} = \text{conduction loss} + \text{radiation loss} + \text{convection loss} \quad (2)$$

$$\text{conduction loss} = KA_w(T_{in} - T_{out})$$

其中：

K ：溫室批覆材料的熱傳常數

A_w ：溫室牆壁與屋頂面積

T_{in} ：溫室內部溫度

T_{out} ：溫室外部溫度

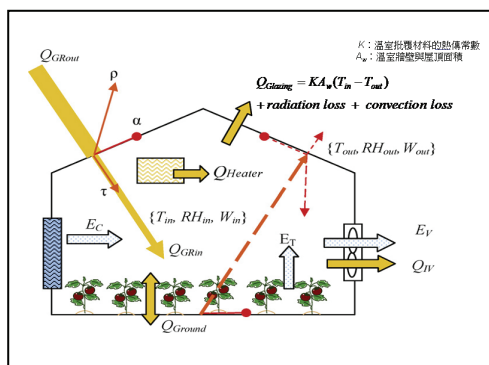


圖 5.溫室能源動態平衡示意圖

為了找出 A/B 棟溫室 $Q_{Glazing}$ 差異，以熱

像儀進行觀察，發現 A 棟溫室呈現熱分布均勻的現象，溫室各處溫度差異在 1°C 以內；B 棟溫室熱分布呈現較不均勻的現象。進一步詢問關於 A/B 棟溫室蝴蝶蘭生長差異，溫室管理人員回答並無顯著差異。

由於 B 棟溫室在側牆、上方保溫膜，以及走道空間可以觀察到較高的熱輻射量，而盤床上方的作物則呈現較低的熱輻射。因此推斷，B 棟溫室擁有較高的室內外溫度差，造成較大的熱傳導散失。

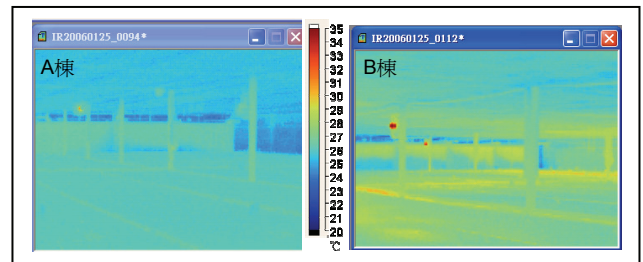


圖 6.A/B 棟溫室熱輻射影像圖

3. 結論

從複合式加溫系統節能測試的結果證實了以氣源熱泵取代柴油熱風機進行夜間加溫，可以省下 59.1% 的能源費用。同時，在實驗期間也發現由熱泵(電壓 380V)與熱風機(電壓 220V)所組成的複合式加溫系統因採用不同電源迴路，對於單一異常事件(例如機台故障、停電)具有較強的風險抵抗力。

在加溫策略耗能實驗中，從 A/B 棟溫室熱輻射影像圖可以發現，A 棟溫室的加溫策略是先以循環風扇建立一組均勻的循環風場，然後利用熱泵室內機上方出風的方式在循環風場的任一位置注入熱量，並藉由循環風場將熱量帶往溫室各角落。

而 B 棟溫室希望在盤床與地面之間建立一個充滿熱空氣的腔體，再藉由熱空氣往上升的原理對作物進行均勻加溫。然而熱空氣受到盤床、托盤與密植作物的阻擋，熱空氣無法均勻上升，造成溫室熱分布不均勻的現象。將此一想法對國內其他採用盤床下方加熱的溫室進行驗證，發現採用淹灌的溫室也有相同的現象；而部份採用澆灌且植株密度

約僅 5 成的溫室在適當地氣流擾動之下，溫室則呈現均勻加熱的效果。

未來，除了建議依據盤床種類、灌溉方式，以及植株密度決定溫室加溫策略，也建議溫室工程應該採用系統性 COP (System Coefficient of Performance) 的觀念，清楚表達從熱源到植物的總合能源效率(包含熱泵、管路、空氣等熱能傳遞路徑)。

誌謝

本研究由行政院農業委員會科技計畫提供經費。研究期間承蒙嘉義大學與一心蘭園提供各種支援和寶貴意見，使本研究得以順利完成，特此一併致謝。

參考文獻

1. 蔡致榮、吳有恆。2011。農業設施節能技術與系統研發，<http://210.69.150.18:8080/>。
2. 2.NEPON 製品情報 . 網站：
<https://www.nepon.co.jp/new/gp/>
3. PJM Forward Market Operations. 2011. Energy Efficiency Measurement & Verification. PJM Manual 18B.
4. Hemming, S., and Bakker, J.C. 2008. Sustainable greenhouse design. Istanbul : Wageningen UR Greenhouse Culture, Presentation during International Trade mission The Netherlands to Turkey, Istanbul, 2008-11-24.
5. Weissel, A. and F. Bellosa. 2004. Dynamic Thermal Management for Distributed Systems. Proc. First Workshop Temperature-Aware Computer Systems.
6. Srinivasan, J. and S. Adve. 2003. Predictive Dynamic Thermal Management for Multimedia Applications. Proc. 17th Int'l Conf. Supercomputing, pp. 109-120.

Current Status and Future Outlook of Sustainable Greenhouse Technology

Chico Huang, Chih-Chun Lai and Wen-Bin Lu

Center for Measurement Standards, Industrial Technology Research Institute

Abstract

Heat pump is a well designed and correctly installed for building's cooling in Taiwan. But the high investment and specific culture difference keep growers away from heat pump. For the demonstration of heat pump in horticulture greenhouse, this project compares (1) running cost of a gas burner and a hybrid heating system that consist heat pump and gas burner; (2) heating strategies of greenhouses equipped with heat pumps. The experiment results show that (1) the running cost is NTD160.4/m² for a gas burner and NTD 65.6/m² for a hybrid heating system during 2011/01/01 00:00 AM ~ 2011/09/15 23:59 PM. (2) Optimal heating strategy should base on types of moving bench, irrigation system, and plant density.

Keywords: Air source heat pump, *Phalaenopsis* greenhouse, coefficient of performance

植物生理檢測監控技術之發展與應用-以蝴蝶蘭為例

朱峯震*、謝廷芳*、蔡致榮**、戴廷恩*

*行政院農業委員會農業試驗所花卉研究中心

**行政院農業委員會農業試驗所

摘要

針對目前產業界所面臨的問題，本計畫擬開發蝴蝶蘭品種生理檢測技術，並建置生理檢測服務平台，希望全面瞭解蝴蝶蘭主要商業品種之營養生長的最佳需求條件（如溫度及光照強度設定），提供給業者生產高品質的蝴蝶蘭種苗之參考依據，以提升品種多樣化後，對個別品種之適溫及適光性的掌握，目前已完成蝴蝶蘭 9 個品種之檢測，持續接受業者申請送件中。預計可以提供更多蘭花種植最適溫度、光度及開花條件等生理特性之資訊給業者參考，提升台灣蘭花種苗的育成率及售後品質。

關鍵詞：生理特性、蝴蝶蘭、檢測服務平台

1. 緒論

蝴蝶蘭是我國主要外銷花卉農產品之一，多以種苗型態透過空運及海運方式行銷。據統計，2011 年出口值為 7,041 萬美元，主要外銷國為美國及日本（分占 40.03% 及 25.01%）。目前蝴蝶蘭產業面臨國際競爭壓力，欲維繫目前產業榮景，必須提昇優良的種苗銷售品質。然而要提昇供貨品質，除了應具備良好的栽培管理技術之外，業者常面臨的難題是對於所銷售的蝴蝶蘭品種(系)生理特性的不瞭解，無法針對特定品種(系)提供最佳的栽培環境，以致於在國內代工場或外銷國的接力栽培場常發生植株生育不良，以及開花不整齊或無法順利抽梗開花的問題。導致國外買家對台灣的蝴蝶蘭種苗品質存疑，對台灣整體產品形象喪失信心。

針對目前產業界所面臨的問題，計畫擬開發蝴蝶蘭品種生理檢測技術，建置生理檢測服務平台，希望進一步瞭解蝴蝶蘭種苗營養生長，如日、夜溫度及光照強度等，提供國內業者代工及外銷國接力生產栽培之參考依據。

2. 實驗設備及方法

一般市售光合作用檢測儀器，均以單葉為主要檢測標的，因為蝴蝶蘭為 CAM 植物，光合作用速率低，為求更為快速及準確測量二氧化碳同化量，因此自行設計組裝檢測儀器（圖 1），以全株為檢測標的，可連續監測檢測多株。

設定環境可變因子為日、夜溫度及光度，濕度固定為 70-90%，利用試驗設計軟體設計不同溫度及光度組合，於生長箱(圖 2)中測定最佳二氧化碳交換率，每次連續測量 72 小時，計算最後 24 小時之累積二氧化碳交換量，據以推估計算最佳生育之日、夜溫度及光度範圍。

以栽培植株為選購自世芥蘭業公司(臺灣屏東)之蝴蝶蘭分生苗 (*Phal. Sogo Yukidian* 'F1442')，溫度範圍：25-35℃（日溫），15-25℃（夜溫）；光度範圍：約 200-400 μmol ，驗證測試儀器以及試驗方法之可行性。試驗材料依排定之溫度及光度組合，依序進行二氧化碳交換速率連續測量進行分析計算。

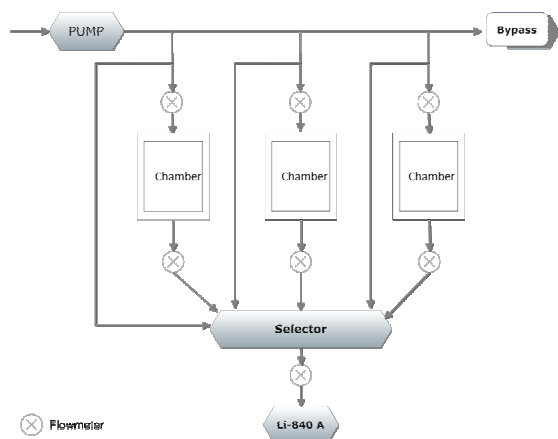


圖 1.系統架構簡圖

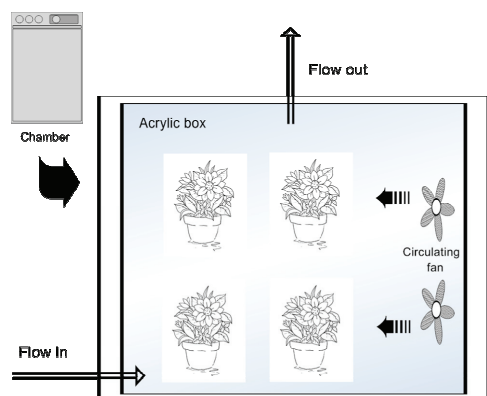


圖 2.生長箱內簡圖

試驗儀器包括高照度植物生長箱 (FH-130, HIPOINT company, Taiwan), 溫度範圍 $10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 照度範圍 $0 \sim 600 \mu\text{mol}$, 相對溼度設定範圍 70-95%, 生長箱內含大型壓克力箱(內徑長 $\times$ 寬 $\times$ 高 = 60 cm $\times$ 50 cm $\times$ 30 cm); 二氧化碳/水汽分析儀 ($\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ analyzer, LICOR-840A, LI-COR, Inc., NE, USA)。所有感測器連接於資料蒐集器, 自動取樣記錄 CO_2 濃度。以葉面積儀 (AM-300, ADC BioScientific Ltd., England) 測量植株葉面積總數(mm^2), 據以換算光合作用速率。

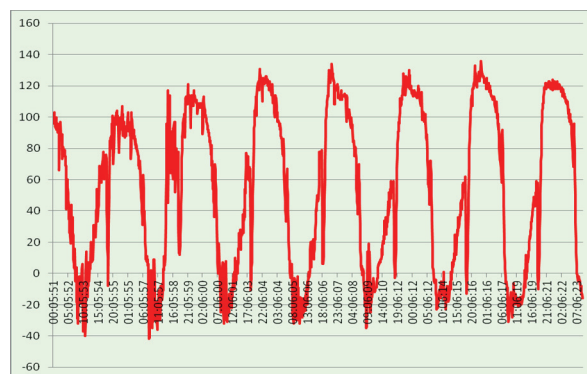
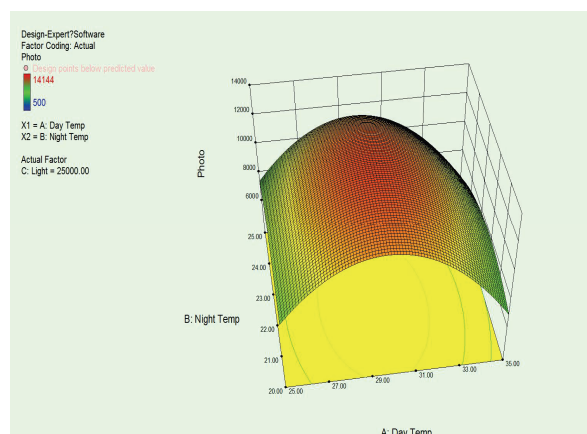
3. 結果與討論

本試驗主要目的為經由生理檢測技術, 提供各品種蘭花之溫室合適溫度及光度資料, 是故本試驗參考 M.W. van Iersel and B. Bugbee (2000) 設計獨立三組壓克力箱, 放置於植物生長箱中, 同時每組測量 4 至 10 棵蝴

蝶蘭植株(依葉面積大小作調整), 以減少因植株大小、生長勢所造成之實驗測量誤差。

蝴蝶蘭屬於景天酸代謝(cassulacean acid metabolism; CAM)植物, 不同於 C_3 及 C_4 型植物之生理特性, 其中白天氣孔關閉以減少蒸散, 夜間行固碳作用之暗反應。有關於蝴蝶蘭光合作用特性及與氣象因素(尤其是溫度及光度)的交感已有相當多研究 (Ota *et al.* 1991, Guo and Lee 2006, Ichihashi *et al.* 2008), 惟多屬單株或單葉的研究。光照是影響葉片光合作用之重要因子, 但 CAM 型作物特性光合作用之光反應及暗反應並非同時進行, 如此一來增加了探討葉片二氧化碳吸收的複雜度。

生理檢測過程繁瑣, 變換環境時, 必須適度考量植物適應能力。預備試驗, 測量一週的蝴蝶蘭 CO_2 數據, 發現第 3、4 天數據最為穩定(圖 3), 因此試驗時間訂為 3 天, 而以第 3 天之 24 小時累計數據進行分析處理。

圖 3.連續 7 天 CO_2 變化圖 4.蝴蝶蘭(*Phal. Sogo Yukidian* 'F1442')檢測圖

試驗數據顯示，V3 於高日溫，低夜溫以及高光強度之環境下。有最佳生育(圖 4)。試驗設備及方法，初步檢測結果具備穩定及可行性，目前配合品質標準及接力生產栽培試驗進行檢測，目前已完成 9 個品種的種苗生理特性檢測。

檢測設備必須可以耐用長時間不間斷測量，設計上必須兼顧準確及耐用程度。因為設備限制，必須分批進行試驗，以便降低檢測時間及次數，但問題在於如何確認植株生育整齊度。考量蝴蝶蘭葉片生長速度，必須使光合作用檢測在 4 週之內完成，但同時必須考慮馴化時間，不同批植株之整齊度及葉面積測量等問題。建議設備應增加，除可進一步加速試驗進行外，也可以減少試驗誤差。

4. 結論

蘭花是目前台灣最具代表性的農業生產產業，蝴蝶蘭在蘭花類中更以大約 80% 的生產面積及出口值，成為最具國際競爭力的旗艦花卉。由近 10 年來蘭花產業發展趨勢分析，證明台灣在面對全球多樣化花卉市場之需求競爭下，設施花卉作物生產上仍具有高度國際競爭潛力。然而，現階段國內蘭花雖因領先全球的育種研發，造成獨佈全球的品種多樣化，台灣擁有世界上最多的蘭花品種，但品種間的生理特性均不相同，過度專注新品種的育成，卻無法完全掌握不同品種的生理特性，造成種苗育成率普遍不佳，種苗品質不穩定，自動化效率無法有效提昇，導致生產成本偏高，間接影響產品市場競爭力。加上出口國的不同，環境亦不同，導致蝴蝶蘭出口常發生品質下降的問題，造成很大的損失。為因應產業國際化所面臨的問題，唯有利用提高產品品質配合既有之品種優勢，進行市場區隔，如此才有機會提升花卉產品國際競爭力，如何進行精準的類工業化生產與品管，將是下一波戮力的重點。其中品種生育過程的確切掌握極為關鍵，栽培

環境資訊與種苗生育狀態的整合更是精準化的關鍵，而且此整合系統有助於業者更進一步地了解個別栽培品種的生理特性。

蘭花品種過於多樣化，為更精準掌握生理特性，進而加速種苗生產時程，提昇育成率與品質，應持續加強種苗繁殖、苗期、半成株、成株及開花株等不同生產階段，就不同品種(系)之特性檢測關鍵技術進行研發，包括品質標準之建立、非破壞性檢測技術、快速光合作用檢測技術、最適肥培管理模式之建立等。期望投入新研究能量，輔助優質種苗量產體系之技術缺口補強，促成產品品質之全面提昇，並藉由優質產品之供應，提昇產業國際競爭力。

參考文獻

1. 姚銘輝、陳俊仁、黃國祥。2011。經由碳平衡及二氧化碳通量之量測推估蝴蝶蘭園之最佳溫度及光照條件。作物、環境與生物資訊 8:172-180。
2. Chen, C.C. and R.S. Lin. 2012. CO₂ uptake patterns in *Phalaenopsis amabilis*. African Journal of Agricultural Research 7(1): 128-141.
3. Field CB, JR Ehleringer (1993) Introduction: question of scale. p.1-4. In: Scaling Physiological Processes. Leaf to Globe. JR Ehleringer, CB Field (eds.) Academic press Inc., New York.
4. Flexas, J., A. Diaz-Espejo, J.A. Berry. J. Cifre, J. Galmes, R. Kaldenhoff, H. Medrano and M. Ribas-Carbo. 2007. Analysis of leakage in IRGA's leaf chambers of open gas exchange systems: quantification and its effects in photosynthesis parameterization. J. Experimental Botany 58 (6): 1533-1543.
5. Guo, W.J. and N. Lee. 2006. Effect of leaf and plant age, and day/night temperature on net CO₂ uptake in *Phalaenopsis*

- amabilis* var. *formosa*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 131(3): 320-326.
6. Ichihashi S, T Higuchi, H Shibayama, Y Tesima, Y Nishiwaki, K Ota (2008) Aspects of CO₂ uptake in the crassulacean acid metabolism orchid *Phalaenopsis*. Acta Hort. 766:245-256.
 7. Klingeman, W.E., G.D. Buntin, M.W. van Iersel, S.K. Braman. 2000. Whole-plant gas exchange, not individual-leaf measurements, accurately assesses azalea response to insecticides. Crop Protection, 19:407-415.
 8. McGinn SM, KM King (1990) Simultaneous measurement of heat, water vapour and CO₂ fluxes above alfalfa and maize. Agric. For. Meteorol. 49: 331-349.
 9. Miller, D.P., G.S. Howell, and J.A. Flore. 1996. A whole-plant, open, gas-exchange system for measuring net photosynthesis of potted woody plants. HortScience 31(6): 944-946.
 10. M.W. van Iersel, and B. Bugbee. 2000. A multiple chamber, semicontinuous, crop carbon dioxide exchange system: design, calibration, and data interpretation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125(1): 86-92.
 11. Ota K, K Morioka, Y Yamamoto (1991) Effects of leaf age, inflorescence, temperature, light intensity, and moisture conditions on CAM photosynthesis in *phalaenopsis*. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 60:125-132.
 12. Van Iersel, M.W., B. Bugbee. 2000. A multiple chamber, semicontinuous, crop carbon dioxide exchange system: design, calibration, and data interpretation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125(1): 86-92.

The Development and Application of Techniques on the Plant Physiological Characteristics Evaluation, Using *Phalaenopsis* as a Model

Feng-Chen Chu *, Ting-Feng Hsieh*, Jyh-Rong Tsay**, Ting-En Dai**

*Floriculture Research Center, Taiwan Agricultural Research Institute, COA

** Taiwan Agricultural Research Institute, COA

Abstract

To meet the government agricultural policy and the requirement, the Floriculture Research Center, Agricultural Research Institute energetically proceeds with the experiments to test the physiological characteristics of phalaenopsis varieties. Using growth chamber and environmental control greenhouse recorded the optimum condition, light intensity and temperature, for seedling cultivation. The project has been completed the design of equipments unit, and evaluated the possibility and stability of experimental method.

Keywords: physiological characteristics, *phalaenopsis*, mortining

短期葉菜類植物工場之開發

楊清富、鄭榮瑞、鍾瑞永

臺南區農業改良場

摘要

為推動農業生產自動化，臺南場開發短期葉菜類自動化生產系統。將短期葉菜生產之播種、育苗、移植、栽培管理、採收等作業予以自動化，不但提高作業效率並且大幅減少人力需求。配合系統需求開發之作業系統包括，將穴盤苗移植至栽培箱之自動移植系統、將栽培箱移入/移出植床之栽培箱自動移運系統、自動水份管理之自動化栽培管理系統、自動採收系統。透過自動化生產系統，短期葉菜能進行週年量產。由於全面採用自動化之故，機械化取代人工之程度達 90% 以上。葉菜生長透過自動化栽培管理，能以 2~3 週之生產周期穩定生產優質葉菜。

關鍵詞：葉菜、自動化、植物工場

1. 緒論

傳統田間栽培葉菜常因天候不良、病蟲害造成損害影響收成，導致市場供需失調影響民生消費。隨著栽培技術的精進及對葉菜品質提升的需求，葉菜生產已逐漸朝設施栽培之方向發展。藉由設施可使葉菜栽培不受天候影響並隔絕病蟲害，因此能穩定產量並大幅提升葉菜品質。然而當前葉菜生產模式依舊維持在人力密集型態，大量之人力成本難以提升獲利。若未能有效解決人力及生產品質的問題，則提升葉菜產業之競爭力將淪為空談。在改善人力需求、提高葉菜品質的思維下，臺南場研究開發短期葉菜類生產自動化作業系統。將葉菜生產從播種、育苗、移植、採收等作業予以自動化。並配合自動化管理系統，使葉菜在合適的環境條件下生育成高品質葉菜，為當前葉菜生產模式提供了另一項新的選擇。

2. 試驗設備與方法

為推動農業生產自動化，臺南場開發短期葉菜類自動化生產系統。藉由自動化技術

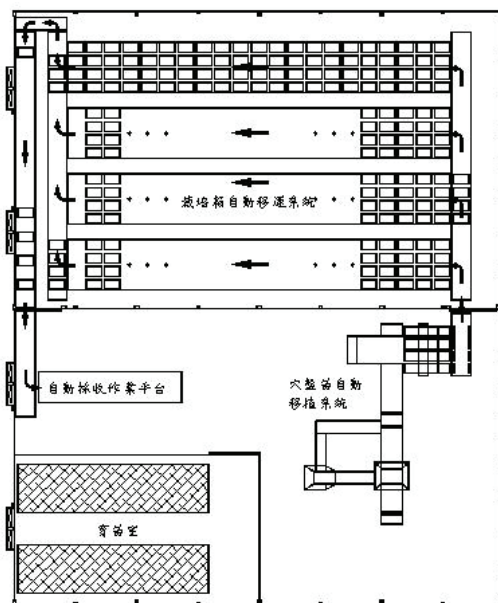


圖 1.短期葉菜自動化生產系統

能大幅減少人力需求，提高生產效率，進而降低葉菜之生產成本。規劃建置之短期葉菜自動化生產系統如圖 1，整體系統包括穴盤苗自動移植系統、栽培箱自動移運系統、自動化栽培管理系統、自動採收系統。依序將各個系統串聯起來即形成一套完整之短期葉

菜自動化生產系統。整個短期葉菜生產過程完全以機械化取代人工進行作業，每批葉菜之栽培時間為 2~3 週(因菜種而異)即可採收。採收後的植床可立即進行下一批生產，植床的利用率可達到最高。以下針對各個系統的作業型態及特性進行說明。

2.1 穴盤苗自動移植系統

為便於育苗管理及考慮機械作業特性，本系統採用子母式育苗穴盤，母穴盤為一般習用之 128 穴格苗盤，子穴格為 PLA 材質四孔小穴格。育苗前將子穴格套入 128 穴格苗盤並配合自動播種機進行播種。每一四孔小穴格可依作物生長特性播種 1~4 株，待苗高至 4~7 公分即可進行機械移植，將菜苗從育苗穴盤移至栽培箱。自動移植作業由 PLC(可程式控制器)控制，作業方式具多工型態，數個機組能夠同時進行作業。分箱作業由分箱機自動逐一釋出空栽培箱，再由介質裝填機組進行介質(泥炭土)定量裝填。過剩掉落之介質由介質回收機組回收並導回貯料桶。介質裝填完成之栽培箱以挖孔機組於頂面挖掘穴孔，挖妥穴孔之栽培箱由輸送機輸運至移植平台下方。由供苗機組供送之苗盤定位後自動啟動移植作業，移植夾爪每次夾取 8 個小穴格，擴距分散移植至四個栽培箱

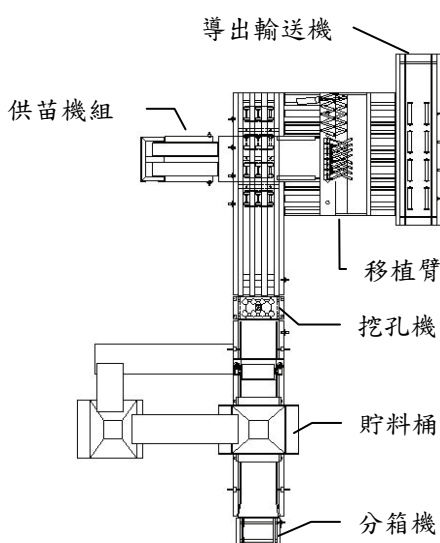


圖 2. 穴盤苗移植系統

。以四個循環動作同步完成四個栽培箱之移植。空穴盤由排出機構將之自移植平台排出。移植完成之栽培箱由栽培箱導出輸送機組輸運導出，穴盤苗自動移植系統配置詳如圖 2。

2.2 栽培箱自動移運系統

本系統之主要組成包括數列自動植床機組，及於植床機組的前、後兩端分別設置一組移運方向與植床垂直之橫移機組，如圖 3。其中植床機組利用抬床式搬運機構，以頂升、推移、下放之步進方式搬運置於植床機組上的栽培箱前進位移。橫移機組除利用輸送皮帶輸送栽培箱位移，對應每一自動植床處分別設置一同步升降台。上升時用以頂升或承接由植床機組所移出之栽培箱，下降時能將栽培箱下放到輸送帶上。橫移機組利用光電開關及可控制升降之擋銷機構定位栽培箱之位置，使栽培箱能準確對準植床機組。栽培箱之移運動線係由植床之一端移入，採收時由另一端移出。利用栽培箱移運系統可將栽培箱移至指定植床放置或由植床移出，使費力的搬運工作由機器執行。自動移運系統完全自動化故能提高作業效率，使植床稼動率大大的提升。甚至可進行連續式的生產型態，使單位面積的產量達到最高。

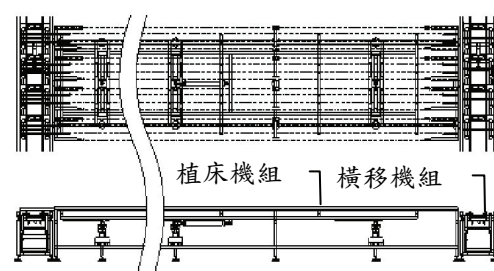


圖 3. 栽培箱移運系統

2.3 栽培管理自動化系統

灌溉作業為頻繁、單調且不能中斷的作業，即使指派專人管理亦難精確地進行，尤其在人工缺乏的環境下問題更為嚴重。配合短期葉菜生產自動化作業系統，在栽培管理

上為獲致均一的葉菜品質，及便於進行各種噴灌試驗，遂開發移動式自動噴灌裝置，如圖 4。利用電腦進行噴灌作業的控制，透過人機介面調整設定各種噴灌操作，消除人為不利的因素，使短期葉菜的栽培管理導向自動化的模式。本系統利用自走式桿式噴灌裝置，藉由控制噴桿移動速度調整供水量，並能控制電磁閥噴頭進行分區噴灌。使噴灑系統配合作物實際需求，適時適量的供給水分、養份。達到栽培管理自動化之目標。

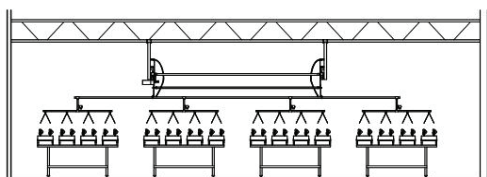


圖 4. 栽培管理自動化系統

2.4 自動採收系統

自動移植系統將菜苗以固定行株距移植至栽培箱，葉菜在相同格式的空間中生長能有一致性的生長勢。因此均勻分佈及齊一的株型形成有利於機械採收的條件。本系統承接於栽培箱自動移運系統之導出端，以一組滾桶輸送機將栽培箱導入剪切機組中。栽培箱以舉升裝置頂升並配合往復式切刀傾斜成相同角度。切刀藉由齒條牽引，沿著栽培箱頂部上移同時將葉菜與根部切離。切離之葉菜由承盤承接，待切刀組降至底端時，承盤翻轉 180 度將葉菜卸放在處理平台上。由於每株葉菜之頭尾方向相同，方便後續包裝處理。

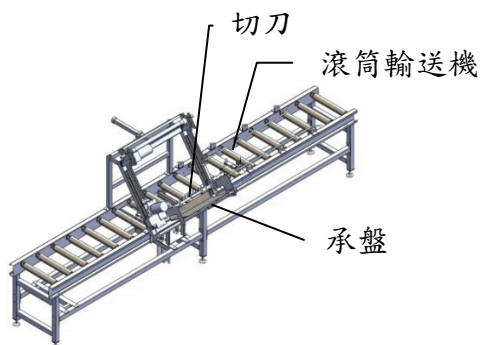


圖 5. 自動採收系統

3. 結果與討論

3.1 穴盤苗自動移植作業

分箱機用以將堆棧成疊之空栽培箱自動一一釋出俾進行介質裝填，主要機構係由兩段式氣壓缸進行栽培箱頂升及下放。治具氣壓缸側向夾持栽培箱，栽培箱由輸送帶承載移送，機組如圖 6 所示。挖孔座以氣壓缸控制升降，其上裝置以鍊條驅動之 8 只鑽頭。挖孔座下壓同時轉動鑽頭以在栽培箱之介質上同時鑽挖 8 個穴孔，作業情形如圖 7 所示。移植臂為一門形鋁製結構，跨於兩平行導桿上以兩支長程氣壓缸推拉移動。其上配置八只移植夾爪並由兩支串接之氣壓缸進行兩段式升降行程控制，結構如圖 8 所示。移植夾爪共 8 組為一兩指式之夾爪，以氣壓缸控制夾爪張合。夾爪與子穴格呈 45 度角以指尖夾持子穴格對角穴孔，每次同時夾取 8 個子穴格將之從母穴盤上分離經擴距後分別植入四個栽培箱，作業情形如圖 9、10 所示。穴盤苗自動移植系統經實際測試，移植作業能力每小時可移植 288 箱，移植良率 95% 以上。



圖 6. 分箱作業



圖 7.穴孔造型

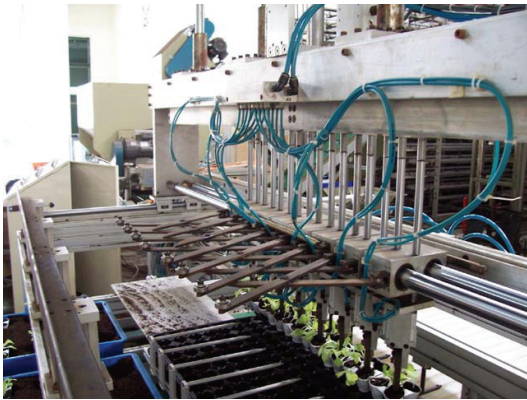


圖 8.移植臂



圖 9.移植夾爪



圖 10.夾苗及定植

3.2 栽培箱自動移運作業

3.2.1 栽培箱移入作業

利用光電開關及定位擋銷將栽培箱準確定位到指定之植床，同步升降台利用氣壓缸及交叉連桿使台座同時頂升四個栽培箱。移動床架由平推氣壓缸推至栽培箱下方，頂升氣壓缸將移動床架頂升並將栽培箱頂離同步升降台，平推氣壓缸回縮一個氣壓缸行程，將栽培箱移至植床頭端，頂升氣壓缸下降使栽培箱置於定置床架上，如圖 11 所示。

3.2.2 栽培箱移出作業

進行栽培箱移出作業時以頂升氣壓缸將移動床架頂升，並將置於定置床架上之栽培箱全數頂離定置床架，再以平推氣壓缸推動移動床架一個氣壓缸行程。之後控制頂升氣壓缸下降使栽培箱置於導出端之同步升降台上。待移動床架歸位後，同步升降台下降將栽培箱置放於導出輸送機上並進行導出如圖 12 所示。穴盤蔬菜栽培箱自動移運系統經運轉測試，移運作業能力每小時約可達 480 箱。



圖 11.栽培箱移入



圖 12.栽培箱移出

3.3 栽培管理自動化作業

為因應短期葉菜生產自動化作業系統，進行自動化水分及養液管理。在噴灌系統之功能需求必須要能均勻噴佈、易於操作維護、便於設定調整控制。經規劃設計，整體結構如圖 4 所示。主要構造是在溫室橫樑下，架設兩條平行的齒條，驅動主機橫跨在齒條上，用以帶動噴架以定速在植床上方移動。噴架上的噴頭透過電磁閥進行開/關控制，對下方的作物進行噴灌，如圖 12。噴灌量是以調整噴架移動的速度進行控制，噴架移動速度越慢噴灌的水量越多。考量作物各個生長階段對水分的需求量有所不同，經試驗後設定三種噴架移動速度，分別為高速(1.94 m/min)、中速(1.66 m/min)、低速(1.36 m/min)三種，以配合葉菜早期、中期及後期生長水份管理所需。其中驅動主機的及噴頭電磁閥透過人機介面進行控制如圖 13。栽培管理自動化作業系統目前整合於本場短期葉菜生產自動化作業系統，負責執行水分及養液噴灌作業，對於提升葉菜品質及降低栽培管理所需的人力具有實質的效益。



圖 12.噴灌作業

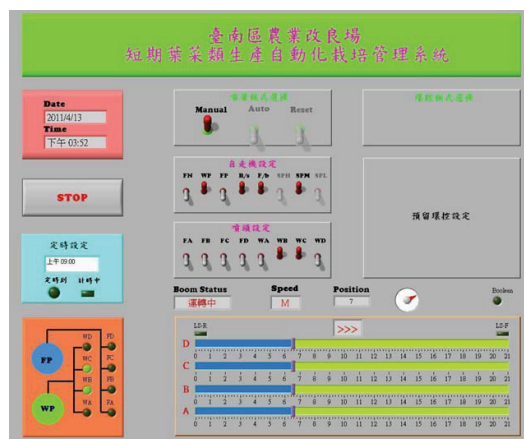


圖 13.噴灌人機介面

3.4 自動採收作業

自動採收是為了要取代人工採收作業，透過輸送機將栽培箱導引至採收機台，栽培箱經頂升、傾斜後完成定位如圖 14。繼之，往復式切刀自底短端沿栽培箱頂面上移同時將葉菜與根部割離，如圖 15。割離之葉菜由承盤承接，待承盤回降至底端時，隨即翻轉將葉菜卸放於處理平台上，如圖 16 所示。採收作業由 PLC 進行控制作業效率高，採收速率為每小時 240 箱。



圖 14.栽培箱定位



圖 15.剪切作業



圖 16.葉菜翻轉卸放

4. 結論

- (1) 利用設施生產穴盤蔬菜因易於栽培管理，故具品質齊一及產量穩定之特性。
- (2) 短期葉菜類生產周轉率較快，配合自動化技術可實現葉菜栽培生產自動化的目標。同時具有產能最大化及人工最小化的特性。
- (3) 本系統藉由完全機械化取代人工，因此無可避免設備成本偏高的問題，但具有之潛在效益包括生產不受天候影響、無輪作障礙、產量穩定、品質均一、適合進行計劃性生產、降低人工需求。
- (4) 農業生產囿於天候環境，經常出現產量大、幅波動的情形。不但生產業者要疲於應付產銷問題，民生消費的爭議亦難以消弭。因此從一個穩態量產、降低生產成本的觀點去建立農業生產系統是當前重要的課題。
- (5) 在全球人口數不斷的竄升，可耕地有限及氣候變遷極端氣候肆虐的威脅下，農業生產模式必須改變，農業生產效率必須提高才能保障糧食安全平衡供需。利用自動化技術配合農業生產，提高單位面積之產量，為提升生產效率最直接的方式之一。
- (6) 本研究開發之短期葉菜生產模式雖然仍有許多不足之處，但希望能藉此產生拋磚引玉的效果，讓更多業者投入進而開發適合本土的自動化生產系統，使我們的農業科技更上一層樓。

誌謝

本研究承蒙農機研究室同仁鄭明賢、梁紹發、王志榮、康瓊月、賴黃美華等在試驗期間不辭辛勞、鼎力協助，特此感謝。

參考文獻

1. 林信隆。2001。創意性機構設計，全華科技圖書股份有限公司印行。
2. 高德錚。1991。工廠化蔬菜生產體系之開發，台中區農推專訊 110 期。
3. 蔡尚光。1990。植物工廠，淑馨出版社。
4. 董炯明。1993。自動化定位技術圖集，全華科技圖書股份有限公司印行。
5. 鄭榮瑞、陳萬福、盧子淵、施清田。1993。芽菜生產自動化，台南區農業技術專刊集合本 120-130。
6. 鄭榮瑞。1998。蔬菜栽培自動化與機械化，台南區農業改良場技術專刊 87-11(NO. 83)。
7. 賴耿陽。1999。生物產業科技機具，復漢出版社印行。
8. 賴建洲、方煒、張森富。建構組織培養苗量產植物工廠，2004 農機/生機論文發表。
9. 楊紹榮、鄭榮瑞。1997。穴盤蔬菜栽培。台南區農業改良場技術專刊 86-2(No.68)pp.7。
10. 楊紹榮、鄭錦容、余合。1999。穴盤蔬菜栽培之研究。台南區農業改良場研究彙報第36:46~58。
11. 古在豐樹編著，方煒譯。2011。太陽光型植物工廠永續性的先進植物工場。財團法人豐年社。

The Development of Short-term Leafy Vegetables Plant Factory

C.F Yang, J. J. Cheng, J. Y. Chung

Tainan District Agricultural Research & Extension Station, COA

Abstract

In order to advance the automation of agriculture, we develop automation production system for short-term leafy vegetables. It makes the production procedures of short-term leafy vegetable of sowing, seedling, transplanting, cultivate management and reap automation. As a result not only raise the operation efficiency but reduce a great deal of manpower, the subsystems we developed includes “The automatic transplanting system”, “the automatic cultivation trays shift system”, “The automation spray irrigation management system” and “The automatic reap system”. By this system the leafy vegetables can do anniversary mass production. Owing to overall automation, the level of mechanization replaces manpower over 90 percent. By automation cultivate management; superior leafy vegetables can production in 2 to 3 weeks periodically.

Keywords: leafy vegetables, automation, plant factory

精密設施工程 與 植物工場實用化技術
研討會

台灣高效節能切花 工廠化生產之論述與實踐 (洋桔梗 種苗與切花)

報告人: 林良懋
2012/10/18



定義:

植物工場 或 植物工廠?

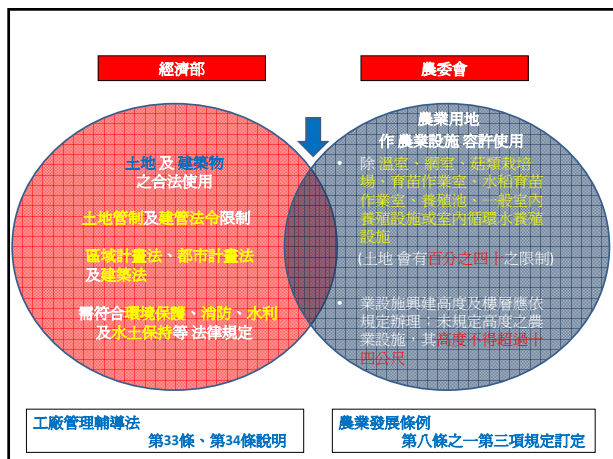
「工廠」的定義:

1. 「**工廠管理輔導法**」第3條之規定，符合以下條件之工廠，應依法辦理工廠登記：
 - (1) 從事物品製造、加工之範圍：以行政院主計處編印之中華民國行業標準分類「之C大類製造業之中類，自第8類食品製造業至第33類其他製造業為認定原則。
 - (2) 一定面積：**廠房面積達50m²**以上。
 - (3) 一定電力容量、熱能：**電力容量、熱能（馬力與電熱之合計）達2.25千瓦以上。**
2. 依前開規定應辦理工廠登記而未辦理者，即為**未登記工廠**。



「工廠」的定義:

- 何謂「供公眾使用之建築物」？
 - 依內政部99.3.3台內營字第0990801045號令修正發布**建築法第5條**所稱 供公眾使用之建築物：
 - 都市計畫 內：
 1. 使用**電力（包括電熱）在37.5千瓦以上。**
 2. 作業廠房之**樓地板面積 合計在200m²**以上之工廠。
 - 都市計畫 外：
 1. 使用**電力（包括電熱）在75千瓦以上。**
 2. 作業廠房之**樓地板面積 合計在500m²**以上之工廠。



環控農業 Controlled Environment Agriculture (C.E.A.)

農業現代化之目標:

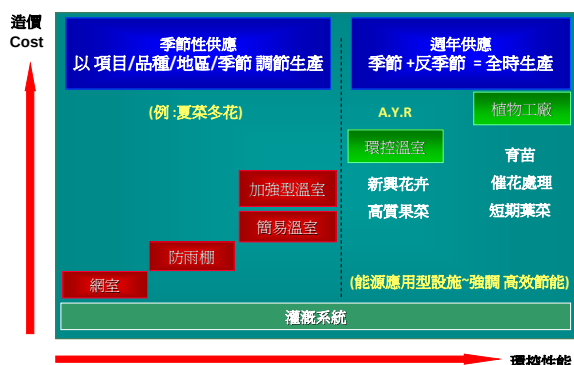
環境控制在農業上之應用簡稱 **環控農業 C.E.A**

環控農業與傳統露地（粗放）農業的最大區別在於前者去除了 **靠天吃飯** 的不利因素，由被動的農業轉而為**主動**的農業。

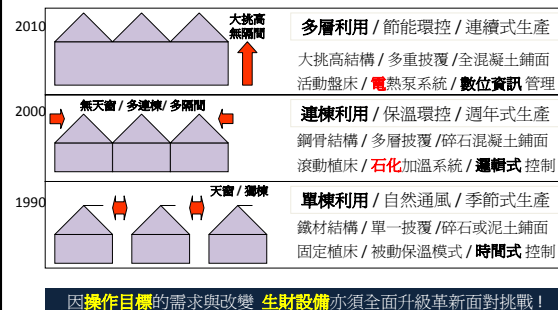
環控農業 為 農業現代化之必然途徑。

(國際競爭力: 均質 / 安全 / 定價 週年供應)

台灣園藝設施的 演進與變革



台灣園藝設施 結構分類與演進

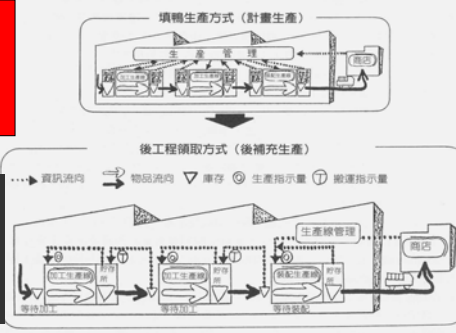


何謂 精緻農業?

- 精緻農業 = 設施園藝
- 環控農業 = 科技農業
- 精密農業 = 精實農業 (just in time)
- 高收益農業
- 高效節能的農業
- 生態農業 (迴圈型經濟)



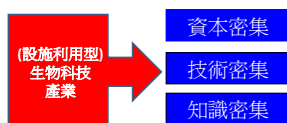
科技創新
整合型應用:
生物工學
系統工程
工業自動化
綠色能源...



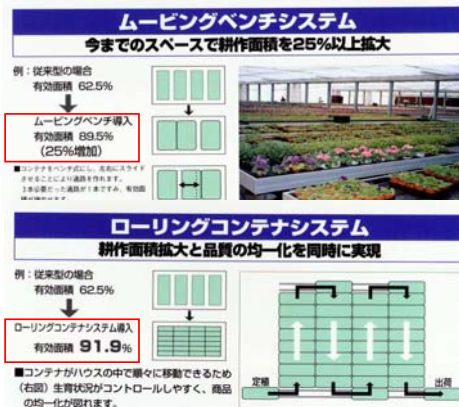
品牌 需求 = 週年穩態供應

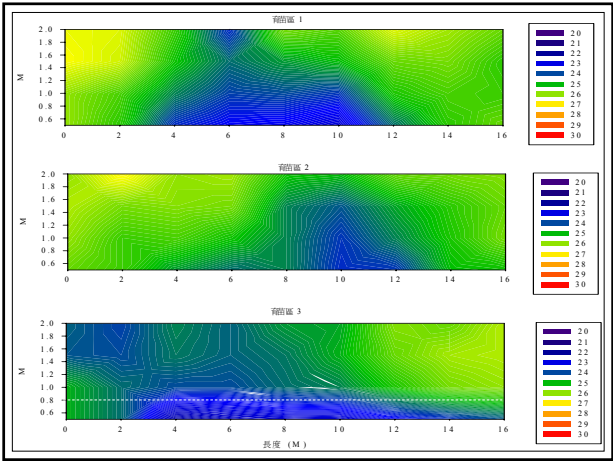
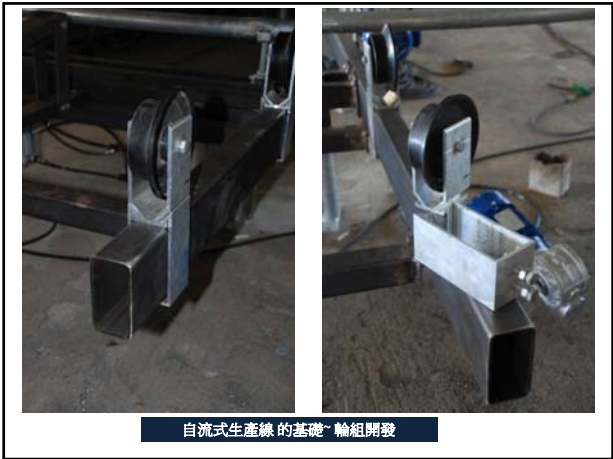
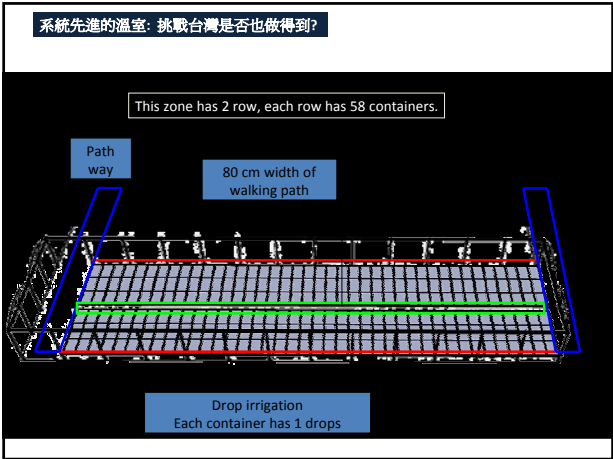
科技農業(環控農業)系統的辨識

- 對微氣候環境逆境的 **主動控制** 能力
- 單位 生產密度的 **彈性調整**
- 系統 對勞動力依存度 與 **數位化程度**
- 系統 **重現性** 或 **可複製性**
- 合理的 C/P值



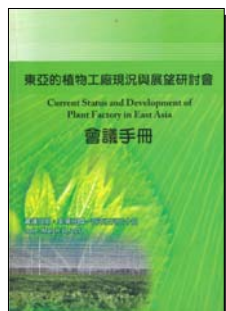
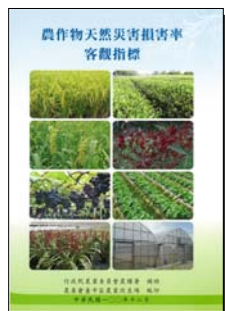
台灣為降低工資成本 提升溫室產能與能源效能 活動盤床之應用已成趨勢







台灣農業要走
補貼型福利 或 產業型興利？



張忠謀：產業升級 靠技術與資本

「國際經濟競爭下的 產業升級」

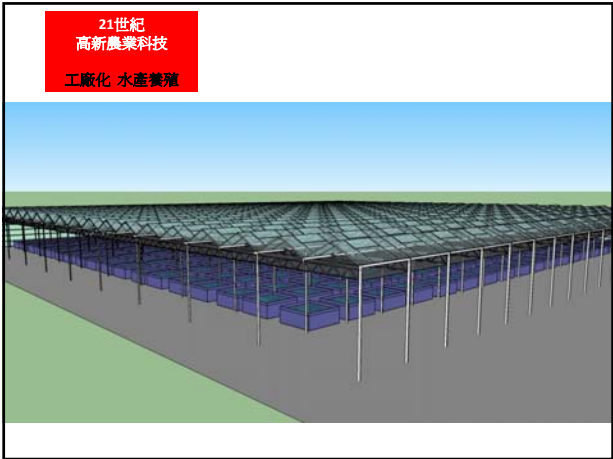
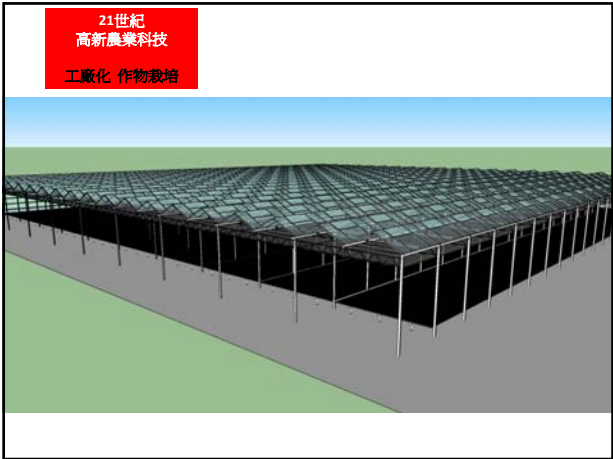
產業升級 就是 提高 產業附加價值
要做到產業升級，只有兩條路：

一是技術提升，另一個則是資本注入。



所有開發中經濟達到某種程度後，一定會走上產業升級這條路；只要產業附加價值高，企業就能提供理想的回饋給股東，讓員工獲得不錯的報酬，並有充分經費從事研究發展（R&D）企業的研發做得好，就能發展品牌與技術；

品牌行銷和研發做得好，企業的附加價值就能提高，員工的報酬也會改善。



台灣精緻農業發展的關鍵: **資本導入**

台灣:「青年從農 創業貸款」, 年息1.5%, 貸款額度最高500萬元...

台灣精緻農業發展的關鍵: **政策環境改善**

建築法
消防法
環保法
土地法
能源
勞動力
檢疫法規
金融稅制

農業~該是 **經濟事業** 還是 **福利事業**?

政府當責: 構築 公平合宜 的 產業發展環境!

台灣精緻農業發展的關鍵: **研發** 跨域整合

台灣新農業
六次元世代 產業

國際視野 在地行動

建構台灣農業21世紀 全球價值鏈

簡報完畢

藍海經濟
The Blue Economy
用 合作 取代 競爭!!
串接(cascade) 全球價值鏈