

談“以植物工廠生產農作物與綠能產業研究發展” 專訪生物產業機電工程學系 方煒 教授



生物產業機電工程學系方煒教授

什麼是植物工廠？植物工廠的種類

植物工廠是指環境可以控制且可依照計畫允許全年無休的產植物的場所。而產植物需要幾個條件：第一個是生長環境可以控制，第二個是減少植物生長的逆境。如在溫室中的光量控制需要以遮蔭網遮掩過多的陽光，也需要以人工補光補足陽光的不足；當然也需要溫、濕度的調控。像這種允許全年穩態產的設施就稱之為「植物工廠」。

植物工廠依使用光源的不同可分成三種類型：“太陽光利用型”的植物工廠就如同傳統的精密溫

室，在臺灣種蝴蝶蘭的蘭花溫室就是屬於這一種。再來是“太陽光與人工光源併用型”的植物工廠，這比較像荷蘭的溫室於利用陽光之外還採用高壓鈉燈進行人工補光，第三種就是“完全人工光源型”的植物工廠，早期也是使用高壓鈉燈，由於高壓鈉燈很熱需要冷氣散熱花費大量電費，使得這一型的植物工廠經營不順，因而降低業者的投資意願，但是現在科技進步，光源可以用高效能的人工光源，如 T5 燈管與 LED 燈管，燈具方面就相對的節能很多，再加上 LED 使用直流電，可搭配太陽能板與利用太陽光電整套技術，大量降低整體的操作成本，再加上燈具不會太熱，亦減輕冷氣的負荷。這種種科技進步，使植物工廠由過去的「技術上可行」，進展成今日的「經濟上可行」，而又日漸受到重視。

日本政府重視植物工廠的推廣

近幾年日本的植物工廠可說是蓬勃發展，於 2009 年 4 月已成立的有 50 家，其中“完全人工光源”類型的有 34 家，“太陽能搭配人工光源”類型的有 16 家。目前植物工廠生產的蔬菜成本與傳統栽培之蔬菜相比仍是偏高，不但使蔬菜的售價較高，也使業者獲得的利潤有限。日本政府預計在兩年內投入 146 億日幣，將植物工廠的數量擴充 3 倍，達到 150 家。其不只投資農民、企業設廠，也投資學校、企業進行教育訓練及研發，預期在兩年內將現有的生產成本降低三成。

臺灣發展植物工廠的優勢

臺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，而且已建立相關的關鍵設備與技術，將這些技術加以整合，系統造價絕對可以比日製系統便宜一半以上，也就能降低操作成本。目前，日本每株蔬菜的生產成本為 80-90 元日幣，其中三分之一是設備折舊費用，三分之一是光、熱的費用，另外三分之一則是勞力的費用；因此日本要花許多經費進行降低生產成本之研究，而台灣的設備成本、折舊費用低，操作成本也已經比日本低很多。

植物工廠是能夠依計畫 「穩態量產」的生產模式

傳統的農業栽培會受天候影響，無法做到產能預測，往往颱風一來就無法收成。植物工廠在環境調控的情況下，能真正做到「穩態量產」；例如每天依照計畫生產 100 株，每株 120 克，一天有 12 公斤，全年即有 12 x 365 公斤的產能。而這些產能需要的土地面積、床架數都可經由計算獲得；當土地面積加倍時，產量也就加倍。使這套系統成為模組的系統，當整套技術建立後，就是一“turnkey”的系統，一種工業化的生產。

植物工廠栽培的作物種類？ 是否會與傳統的農產品發生競爭？

適合在完全控制型植物工廠栽培的作物應具有體積小、單價高、栽培期短、需光量低、省工、可採用水耕栽培等特質。即短期葉菜類、香料作物、中草藥、小番茄、草莓等體積小的果菜類或小型的觀賞作物。田間和溫室可以種的蔬菜種類比植物工廠多很多，因此不用擔心和傳統的農業發生競爭和排擠，日本有 50 個廠，大部分的廠都有種萵苣，然而植物工廠的生產量只佔消費者需要的百分之零點五，由此，不需擔心會影響傳統的農業的發展。



紅光LED之立體栽培

植物工廠生產 安全、健康、高品質的作物

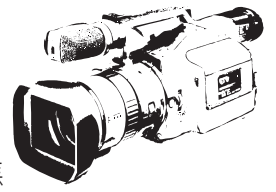
植物工廠生產的蔬菜在密閉環境生長，生產過程完全不噴農藥，標榜無農藥殘留，其用水耕栽培，無重金屬污染的問題，因為在控制的環境中生長，細菌含量低為可生食之低生菌數的蔬菜，加上水耕的養液可藉由適當之控制，栽培出低硝酸鹽的蔬菜；再者透過光質與養液的調控也能生產出高營養價值的蔬菜，提高功能性的蔬菜或中草藥的有效成份。此即為「二無二低一高」的健康、安全的產品。

一、無農藥的病蟲害的控制

因為是密閉空間，病蟲害控制較容易，若有需要也是採用物理的方式，而不會使用農藥，例如藍光可以吸引昆蟲並搭配捕蟲紙，不過因為是密閉空間應該是不會有蟲害的問題，要克服的是細菌、真菌的問題，這大部分都是人帶進來的。在日本有些管理者會要求員工在進入栽培室前需淋浴更衣，栽培空間則是以紫外線進行水的消毒，空氣以電解水噴霧進行消毒。

二、生產健康養生觀念的低硝酸鹽蔬菜

雖然植物工廠採用水耕栽培，非有機蔬菜，



但是產品更為安全。這是因對有機栽培使用氮肥，硝酸鹽的含量不易控制，植株生長時若光量不足，則容易有過高之硝酸鹽含量，進入人體後會轉換成亞硝酸鹽，成為致癌物質。多蔬少肉是養生的基本原則，但是若吃下高硝酸鹽的蔬菜，就不見得養生了。而植物工廠生產的蔬菜，一定能將硝酸鹽控制在 2000 ppm 以下，田間栽培時若未注意，產品的硝酸鹽含量可達 5000-6000 ppm，甚至更高的濃度。

在 1986 至 1990 年間台灣曾推廣水耕蔬菜，不成功的原因有：一、番茄、瓜果菜類在夏天無法種植，這是因為夏季氣溫高影響養液的水溫高，造成溶氧量降低，使植物根系缺氧、腐爛而無法生長。二、以水耕栽培葉菜類時，沒有掌握到恰當的方法，種出的蔬菜硝酸鹽含量高。事實上水耕栽培的營養是由養液提供，要降低植物的硝酸鹽，調整養液的配方即可，只是過去的業者沒學到這一點，而現在植物工廠有此技術，能確保生產的蔬菜是低硝酸鹽含量的產品。因此要將植物工廠生產的安全、潔淨、無污染的蔬菜和田間栽培的做商品區隔；經由市場區隔，講究蔬菜安全的消費者會願意投入較多的金額購買，因此一定要和檢驗搭配，由公信之機構證明產品有前述之優點，同時建立生產履歷，以區隔採用一般栽培方式生產的蔬菜，此時再搭配產地直銷，減少通路的支出，將可締造生產者與消費者雙贏。

植物工廠具有的經濟與社會意義

一、高效能的土地利用

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，日本最大的植物工廠其廠房也不過 2,850 平方米，每天生產 8,000 株萵苣，全年的產能約 300 噸。植物工廠可建築在不平坦的耕地、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、荒地、

廢耕農地、混合住宅地，辦公大樓內或中、小鄉村中；不但能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。

二、創造就業機會

由於植物工廠可提供安全、愉快、的工作環境，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吸引年輕人返鄉務農。由於這是自動化生產輕勞動工作，中、老年人不用退休，不僅可當做運動健身也可以有收入，對農業也能有更深刻的體認。這種系統在公司行號內，可自給自足於每日所需蔬菜，而且是安全無毒的蔬菜。

三、農業扶持工業發展

植物工廠的環境控制設備基本上包括光量、溫度、濕度的控制，和田間相比差異較大的是二氧化碳的控制，因此業者若有會產生二氧化碳的設施，可以搭配一起使用，例如菇類栽培過程會產生高濃度的二氧化碳需要去除，或養雞場在雞蛋孵化過程與農產品的貯藏過程均會產生高濃度的二氧化碳，將這些農場和植物工廠搭配，可以無償利用這些二氧化碳；又如火力發電廠的排煙經過脫硫，再將二氧化碳收集至鋼瓶中，即可提供植物工廠使用。因此從減碳的效果來看，可以由植物工廠的產能推算固定的碳量，這也是未來透過農業拯救工業的方向。大公司尤其是製造業在污染地球的同時，設立植物工廠，不但能減碳也可提供員工乾淨安全的蔬菜。

植物工廠與綠能產業之關係

植物工廠為了節能使用 LED，可搭配太陽能板使用直流電，在溫室搭配太陽能板使用會影響進入室內的光量，同時也限制於只能採用效能較差的透光的薄膜太陽能板；而植物工廠在密閉空間採用人工光源，可以搭配太陽能板的使用。另外太陽能亦可做太陽能冷氣系統，陽光愈強，冷氣也愈強，此種設備也可利用於植物工廠。

一、節能的栽培方式

以人工光源栽培的蔬菜儘管投入較多的能源，但是因為產能高，計算單株產品的耗能，反而較傳統栽培者省能。耗能不見得就是不環保，因為沒有使用農藥，而農藥的製程也需要很多能源的投入。另外，在運輸與冷藏的過程中也要消耗能源，由植物工廠生產出的蔬菜及花卉由於在地生產、在地消費，減少運輸與冷藏的耗能過程。

二、省水的栽培系統與免洗的蔬菜

再說環境控制中使用的空調，能將空氣中蒸發之水分回收再利用於營養液中，可說是非常節水的栽培系統，而傳統栽培方式的耗水量很大，一旦水資源不足，政府首先限制農業用水的使用。而這種系統因為用水非常省，就不會遭到限制，幾乎只消耗植物生長所需，與田間用水相比，為其二十分之一或更低。在潔淨室內量產的蔬菜可以免洗即食，也可以是免洗即煮，洗菜所需消耗的水資源都可以省下來。

三、低碳、環保的農產品

由於可以立體化栽培，土地的使用也很省，可以節約土地面積，經由增加設廠數量，除了在地生產、在地消費，也可以落實產地直銷的方式，則此農產品的碳足跡很低。未來的國際趨勢在食品上都印出它的碳足跡。目前臺灣有機風氣盛行，但是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，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，更顯植物工廠的優異性。

未來的發展目標

日前(2010年3月)生物資源暨農學院陳保基院長率領吳文希前院長、林達德副院長、方煒教授、陳世銘教授、王淑珍副教授及楊雯如副教授一行，參觀日本千葉和京都的植物工廠，院長

並與千葉大學柏葉校區之環境食品與田間科學中心簽定雙方交流合約。

由於院長認為這個主題值得研究的更廣泛、更深入，校長也願意支持這項計畫，預計將不同領域的教授組成研究團隊，以方煒教授建立的植物工廠平台，由老師們在自己的專業領域下使用這套系統，積極的進行作物栽培技術與參數之研究，建立不同作物的適當參數與標準作業程序：包括浸種的時間、育苗的環境調控與時間、定植的時間、栽培的行株距與養液的配方等均需定量化，建立出量產行式可使用的關鍵技術(know how)轉移給民間使用。而這些關鍵性的軟體，就是植物工廠的競爭力。

期望除了學術界也結合產業界，整合空調系統、滅菌設備等廠商，將整個栽培系統發展為製造硬體的產業，不止在臺灣設立，也外銷到日本、大陸、帛琉、熱帶等地區直接設廠。於是，學術界負責培訓相關人才，讓學生留在農業界，讓年輕人留在鄉村，老年人持續工作，這一切對臺灣的社會與經濟發展都是非常有意義的。



由左而右依序為陳保基院長、村茂治(業者)、丸尾達(千葉大學園藝教授)及方煒教授參訪日本千葉植物工廠時合影