

農業推廣手冊 67

話說『植物工廠』

方 煒

中華民國 100 年 12 月出版

目 錄

第一章	植物工廠受到矚目	1
第二章	植物工廠的緣起	7
第三章	植物工廠的關鍵技術	15
第四章	植物工廠相關的問題與回答	19
第五章	植物工廠經營與行銷	25
第六章	植物工廠的產業化	31
第七章	結語	41
附錄	45

話說『植物工廠』

方煒

國立臺灣大學生物產業機電工程學系教授
國立臺灣大學農學院生物產業自動化教學及研究中心主任

第一章 植物工廠受到矚目

農業是提供人類糧食的產業，是最根本的產業。十八世紀文學家盧騷 (Jean-Jacques Rousseau, 1712~1778) 說「在所有技術中為第一，也最值得尊敬的就是農業」，這句名言至今仍廣為流傳。

面對糧食不足的全球問題，面對食品安全不保的全民恐慌，面對資源匱乏的不遠的未來，面對環保意識抬頭的自我覺醒，農業前景的低靡令人擔心，劃時代新農業生產技術的出現受到大家的期待。

植物工廠指的是在設施內透過控制植物之生長環境(光、環境、濕度、二氧化碳濃度、養分、水分等)進行栽培，並對植物生長環境及生育狀況加以觀察，配合高度環境控制及生育預測，使蔬菜等植物可進行全年、計畫性生產的栽培設施。稱為「工廠」是因為此農業生產模式將不受天候影響，具備定期、定品質、定量生產農作物的特點，頗類似於工業界的量產工廠。

植物工廠可分為兩種型態：

一為「完全人工光控制型」植物工廠(以下簡稱完型植

工)，其特徵為在封閉環境中不使用太陽光照射且控制環境進行全年計畫性生產；日本為此類型植物工廠的先進國家。

二為「太陽光利用型」植物工廠（以下簡稱太型植工），特徵為在溫室等半封閉環境中，基本上利用太陽光進行照射，但在雨天、陰天時進行補光，並利用控制夏季高溫等技術進行全年計畫性生產；此外，「太陽光利用型」植物工廠中，如配備人工光源，也稱為「太陽光・人工光源併用型」植物工廠。荷蘭為此類型植物工廠的先進國家。

§ 全球農業面臨嚴苛的挑戰

現階段全球農業面臨的問題與挑戰是非常嚴苛的，首先就是人口暴漲，兩個世紀前，世界的人口增長率都在 0.6% 以下，拜醫藥科技進步之賜，20 世紀 60 年代末期人口增長率達到 2.04%。20 世紀初全球人口不足 17 億，1960 年已突破 30 億，1987 年達 50 億，1999 年達 60 億，2011 年達 70 億。依據聯合國人口基金會推測，2050 年將達到 95 億。現階段全球尚有將近 10 億的飢餓人口，到 2050 年滿足全球糧食需求的挑戰是非常嚴苛的。

其次來看看可耕地急速縮減的問題，目前全球約有 15 億公頃的可耕地，受全球暖化、氣候變遷的影響，海平面上升造成沿海可耕地的減少。依據聯合國環境規劃署的統計，每年有 600 萬公頃的土地變成沙漠，約 1,000 萬公頃的土地因沙漠化而喪失經濟價值。沙漠化直接威脅 100 多個國家與 8 億多人口。土壤侵蝕也造成表土流失降低地力，直

接導致每年約 600~700 萬公頃的土地無法耕作，受到影響的居民有 80% 在發展中國家。再有的就是鄉村人口往城市移動，農村的城鎮化、都市建設與環境汙染等造成耕地以每年 500~700 萬公頃的速度在減少。顯然，耕地資源不斷減少，耕地地力不斷流失。

全球氣候變化加劇，極端氣候不斷發生，二氧化碳的排放在世界各國的努力下，改善得非常有限。全球二氧化碳的排放量在 1992 年為 240 億噸，2010 年增加到 306 億噸，預估 2040 年會達到 500 億噸。預期農業將深受影響，對全球糧食安全將產生很大的衝擊。

地球的水資源雖說頗為充沛，但淡水只占 3%，其中也只有約 1/5 能為人們所利用。問題是水汙染問題在工業革命之後顯得日益嚴峻。農藥/肥料的過度使用與工業廢水等造成的土壤與水資源汙染問題，使得全球每年約有 4,200 億噸汗水排入江河湖海，汙染了將近 5.5 萬億噸淡水。世界糧食產量能夠提升，除了得力於肥料之外，更重要的是得力於灌溉面積的增加。一旦發生乾旱，糧食產量馬上受到影響，近年來澳洲發生的乾旱，影響全球糧價即是明證。

透過植物工廠立體化栽培才能用最小的土地面積生產大量的種苗與短期蔬菜。如此可避免受到天災的影響。逐年擴大產能更可避免產銷失衡，避免現地耕除的浪費，更可逐年減少對農業災害損失的補貼。

臺灣的糧食自給率不足 35%，輸入量若大幅縮減，全國將陷入恐慌。若真的發生如此狀況，植物工廠可成為保障

糧食安全的技術。

淡水資源的匱乏是可預見的，植物工廠的栽培模式可以以不到田間栽培用水量的 3% 來量產蔬菜，這樣的節水幅度是非常可觀的。

從經營農業的觀點來看，農業生產上要強化單位面積產能與產值，更要強化週年穩態供貨與分級的能力。也不應侷限在農業生產本身，更需要從包括生產後的流通、消費等整體觀點來重新認識農業。

植物工廠可確保全年穩態供應高品質、生鮮的產品

§ 食品安全議題為全民共識

民以食為天，食以安為先。滿足糧食自給率，提高單位面積產能變成現階段農業發展的關鍵任務。農藥、重金屬污染等食品安全問題層出不窮，食以安為先的概念受到極度的重視，政府也喊出安全農業的口號。

政府有責任針對食品安全幫消費者把關，生產者更是有責任提供安全、安心的食品。產銷履歷制度的建立正是消費者對於食品安全意識覺醒後，由政府出面，要求產銷單位建立的制度。對於生鮮農產品而言，最重要的就是對於農藥殘留問題的關切。日本於 2006 年 5 月起實施殘餘農藥管制正面表列制度，食品一旦被檢測出含有超出標準值以上的農藥，將被禁止流通販賣，此法令當然適用於生鮮蔬菜；因此，不僅近年來數量急遽增加的進口蔬菜漸漸減少，更掀起了可

提供完全不含農藥的新鮮蔬菜的植物工廠熱潮。

宜蘭有機耕作的農田生產出來的有機米被驗出農藥殘餘，農民也很無奈，因為是遠處飄過來的農藥。嘉義農民在網室內栽培霍山石斛，結果被驗出含戴奧辛，追蹤原因認為可能是焚化爐排煙廢氣的落塵所造成。桃園農民種水稻被驗出含重金屬，原因是農地早被汙染了。這些案例很明顯地都在說明，除非是在設施內，採用無土栽培模式，才有機會排除上述無法預期的不利因素的影響。

農藥之外，蔬菜硝酸鹽含量也是一個該被重視的問題，歐盟將硝酸態氮的最低標準值設定為 2,500 ppm，日本的青江菜、小松菜、菠菜、茼蒿、鴨兒芹等蔬菜中含有的硝酸態氮量遠高於此標準。臺灣的主婦聯盟長期關注此問題，也協助消費者基金會爆料了好幾次蔬菜硝酸態氮含量過高的問題。歐盟之外，中、美、日、韓、紐、澳等國對此也都有所規範，臺灣則從缺。完型植工中光線充足，且透過水耕栽培的肥料控制，可大幅降低作物中的硝酸態氮含量。但若不去控制，水耕栽培的作物也容易產生硝酸態氮含量過高的問題。消費者不可不慎。

植物工廠採水耕方式栽培，透過光量與營養液濃度的控管，可確保產品維持於低硝酸態氮的狀態。更可確保無農藥、無重金屬與低生菌數。

植物工廠可讓部分高經濟價值的作物改在與外部隔離的潔淨空間裡控制環境因素以養液來生產，代替傳統露地栽培或溫室栽培，可不受天然災害及暖化等影響，安全與品質

都可受到保障。

植物工廠可確保全年穩態供應安全、安心的產品

§ 環保意識抬頭

我們夏天吃的生菜哪裡來的，知道嗎？大部分是坐船橫跨太平洋來的。許多販售有機農產品的商店，超過 70% 以上的產品是進口的，或許您也不知道吧！考量食品里程，算算碳足跡，一點也不低。

「在地生產，在地銷售」、「在地生產，在地消費」、「地產地銷」、「地產地消」、「店產店銷」、「店產店消」、「人土不二」等七種宣言指的是同一件事，讓食品里程最小化已經成為時代的趨勢。

有機但不環保，無毒但不保證的產品都經不起考驗，慢慢的大家把焦點轉移到植物工廠上，對植物工廠寄予厚望。

推動植物工廠不僅為農業創造新的模式，更可拉抬工業與商業，為工業創造新的平臺，也可創造新的商業模式、創造新的就業機會與商機。正值全球不景氣、糧食不足與全球暖化的現代，身處城鄉差距拉大、財富分配兩極化且差距倍增及農業進出口貿易逆差不斷擴大的臺灣，推動植物工廠正是時候，能形成產業逐鹿全球更具時代意義。

植物工廠的產業化發展具備時代意義

第二章 植物工廠的緣起

北歐國家最早在溫室內以補光方式栽培植物，1957 年生產水芹嫩芽的丹麥 Christensen 農場，1960 年代初期奧地利的 Rusuna 公司開發了首座立體式自動化植物工廠。雖然這些農場一般不被稱作「植物工廠」，但若稱其為大型植工也是適當的。

首先發展完型植工的是美國企業，早在 1960 年代 General Electric 公司就開始研究，到了 1970 年代，General Foods、General Mills、Phytopharm 等公司也陸續投入，但由於無法達成收支平衡，所以在 1990 年代前半這幾家公司都放棄了。

日本的首座商業化植物工廠為 1980 年代由海洋牧場公司在靜岡縣投資的蘿蔔嬰生產工廠，雖為太陽光利用型，但可說是丹麥 Christensen 農場的蘿蔔嬰版。在當時只能用土壤栽培的蘿蔔嬰，因為這個機緣成為植物工廠產物，瞬間造成過度競爭，最初 1 包的價格可以賣到 198 日圓，不到幾年就下跌到 100 日圓以下。日本首座商業化完型植工為位於靜岡縣於 1983 年開始營業的三浦農園。農園中有以高壓鈉燈補光的平面式與立體式的三角 (Triangle) 柱體外型的噴灑 (Spray) 灌溉式栽培系統 (簡稱 TS 式)。TS 式系統屬於上一波植物工廠熱潮中較為成功的系統，但由於耗電多，給光與散熱成本均高，雖然初期由於產品售價高而吸引多家業者投入，後續由於能源成本提升而售價無法跟上反而往下調整，業者慘淡經營持續迄今。

§ 日本掀起熱潮

拜光電科技進步之賜，人工光源與散熱系統均有長足的進步，加上其他社會情勢的發展，完型植工的經營存在不錯的獲利空間，加上政府的鼓勵，新一波植物工廠的熱潮由日本開始，往全球輻射。鄰近的東亞各國包括臺灣、中國、韓國等最為興盛，英國與美國也進入產業化階段。

在 2010~2012 年期間日本政府展開跨部會合作，由經濟產業省與農林水產省合計投入 146 億日元推動植物工廠，目標在 3 年內由 50 廠推廣為 150 廠且操作成本減少三成。政府提供了高比例補助，對象不分企業與農民。植物工廠的新型生產方式正成為改變日本傳統農業生產方式的新亮點，農學院畢業生也爭相進入這個產業。尤其是在 2011 年三月的震災、海嘯與核災事件之後，許多農地與農產品受到汙染，植物工廠做為農業栽培的一種新形式更受到前所未有的重視。截至 2011 年 10 月已經超過 80 廠，且大多數新增的為完型植工。

§ 植物工廠的優越性

植物工廠的特色在於設施設置於建築物內，只要有水、有電，酷寒的極地或酷熱的沙漠地區，室內、地下、水下等原本無法栽種的地方上都能夠生產農作物；更可以在非露天栽培的產期進行生產，可全年訂定栽種計畫作計畫性生產，還能栽種本來無法在當地栽培的高經濟價值的農作物。植物工廠不受天災影響，允許全年穩態量產，對於部分蔬菜全年

價格的穩定可發揮貢獻，特別是短期葉菜類。

植物工廠內的栽培方法多半採無土栽培模式，或使用人工介質或直接採取水耕栽培。不使用土壤就不會有重金屬殘留問題，不會有連作障礙，也不會有土傳性微生物污染等問題。由於在室內栽培，可完全不受天候影響，做好衛生管制就不會有蟲害問題就可以確保完全不使用農藥，這樣當然就不會有農藥殘留問題。採收包裝後經消費者買回，即使不清洗也能直接食用。

室內全環控的栽培模式允許建立定期、定量、定品質與全年定價的優質產銷模式，更可確保產品的安全、潔淨、免洗與減廢。所謂減廢是指室內水耕栽培的蔬菜在採收後只需去除根部，其餘大多可食，不像土耕的蔬菜還需去除外部帶土或黃化的下位葉，可食部分多半剩不到 60%。

植物工廠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，為縮小城鄉差距做貢獻。

採取立體化養液栽培來增加栽培面積，單位土地面積的產能可以大幅增加。在受到管理控制的環境裡使用養液栽培，可以防止病害蟲及菌種入侵，因此不需使用農藥，對環境完全無害。使用空調設備降溫，由植物體蒸散出來的水氣可以被回收重複使用，比露天栽培所需的用水量節省很多。室內的溫度與溼度都受到管理，因此工作環境相當舒適。農作物的收穫與清洗程序相對省力。收穫包裝後可直接生食，不需清洗。硝酸鹽受到控制，作物鮮度維持較久。

植物工廠技術層次高，工作環境佳，留得住年輕人，可

吸引年輕人回流，可吸引年輕人留農，在日本已成農學院畢業生爭取就業的時髦產業。在農村推動植物工廠不僅可以提供就業機會，更可吸引到都市就業不順利的年輕人回流，更關鍵的是可以幫農村創造利潤。比起光做拉皮的硬體建設而言，推動植物工廠更具實質意義。

以下就完型植工的省能源、環保、高生產效率、安全安定性、高品質、省力、省空間、舒適性等特色做說明：

一、省資源性

由植物體與栽培介質所蒸騰出來的水中有 95% 可被使用的空調系統所冷凝並被回收當成灌溉水再利用。某完型植工的灌溉量 2,100 kg 中有 97% (2,000 kg) 在冷氣房中會凝結成水滴並允許回收再利用，蒸騰的水量 2,058 kg 中，有 58 kg 漏出室外，栽培介質及植物中的含水量為 42 kg。一般溫室中的水利用效率只有 0.02，是完全控制型植物工廠的 1/48。

二、省空間、省力性、生產地理條件

完型植工所需的地板面積為太陽光利用型溫室的 1/10 以下，建築物體積為 1/30 以下 (建築物的高度約為太陽光利用型溫室的 1/3)，其省空間及省人力的特性可節省初期的設備費用。再者，產能也不受日照、土壤狀況、氣候及其他地理條件之影響。

三、環保性

含有肥料的水一律不排出系統外部且在系統內部循環再利用，因此肥料的使用量可減至最少，也可以達到環保目

的，除此之外，原則上不使用農藥。

四、投入資源利用效率

由於室內環境不受天候及外部因素影響，所以投入光能的利用效率可藉由環境控制達到最大，使所有投入之資源獲得充分利用。

五、回收再利用

螢光燈、空調、隔熱材、棚架等主要內部物品皆為大量生產的工業製品，當物品無法再使用時可透過資源回收再利用，其他用畢物質也幾乎都可以回收。

六、安全性、安定性

由於不透明的隔熱外壁沒有通風口及縫隙，所以可避免害蟲、病原菌和危害物質的入侵及建築物遭破壞、遭小偷等，可使天候災害、病蟲害的風險降到最小以進行安全、穩定的計畫性生產。

七、高品質

由於完型植工可控制光、溫度、濕度、二氧化碳濃度、氣流速度等環境因素，所以容易栽培出高品質的產品。又，植物的授粉、開花、結果等發育時期皆可調整。

八、作業舒適性

與露天栽培或溫室栽培不同，系統內部的栽培空間通常氣溫為 20~25 °C、相對濕度 60~70%、氣流速度 0.5 m/s、地面照度有數千勒克斯 (lux)，是舒適的作業環境，此外，可以親自感受到植物的生長使工作變得有趣。

九、進步性

由於環境和植物生長的關係及環境和植物機能性成分的關係較為單純，因此較容易找出有效的環境控制方法，並予以實現，這使得栽培系統可以持續進行改善，此特色提高了人們的工作意願，使人們樂在其中。

§ 植物工廠可以確保產品的 2 低 2 無 1 高 1 超與 4 定

完全密閉型植物工廠可以定期、定量、定品質地量產無農藥、無重金屬、低生菌數、低硝酸鹽、高營養價值、超新鮮 (2 低 2 無 1 高 1 超) 的蔬菜、香料及草藥。售價上也可以全年固定。產品的四定為定期、定量、定質與定價。所謂的定期是可以依銷售計畫做彈性設計的，可以是每天、每兩天或是每週收穫。簡言之，當產品的生產週期為 30 天，使用 30 套栽培系統，每天採收一套系統，即可做到每天收穫；每兩天採收一套系統的話，只需 15 套栽培系統。當產品的生產週期為 30 天，也代表一年可以收穫 12 次。產品可以做到此四定，產能規劃與後續的行銷規劃都相對容易進行了。

§ 植物工廠的體驗由 3C 進展到 5C

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劃

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。

家電化植物工廠的推動允許消費者自己在家裡種蔬菜，除了前述的 3C 之外，又增加了愉悅 (Cheerful) 的體驗與方便性 (Convenient)。

§ 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，平日就可發揮植物的療效，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 5 多

“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就是降低成本。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，但是臺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。

第三章 植物工廠的關鍵技術

植物工廠的發展已超過了半個世紀，過去大多見於學術研究，多年來在歐、美、日與臺灣等地都有在產業界推動的先例，但均以失敗收場，直到近幾年在東亞才又蓬勃發展。

植物工廠的任務除了在提升作物的無農藥性、新鮮度、清潔性與附加價值之外，更需盡可能地達到健全的經營以提高其經濟性並對活化農業做出貢獻，因此，解決各種技術問題與在行銷上的努力是必須的。

完型植工為一包含各種感測器、控制器、栽培裝置及栽培技術的綜合系統，工廠內可分為播種育苗室、栽培室、機械室、出貨室等部分，在播種室或栽培室等房間內，由於需要花費營運成本對環境進行控制，因此必須盡可能地減少栽培以外的面積。為了隔絕外界的光和熱，屋頂及牆壁皆由隔熱材料建築而成，此外，為了使內部構造能反射燈光，建築時會將內壁漆成白色或在燈管兩側或床架邊貼上反光材料。

太型植工通常為玻璃溫室或塑膠布溫室，亦須採用隔熱性高、吸收反射光線效果佳的被覆材料，有些植物工廠只引進普通的水耕栽培裝置。

早期的發展主要針對隔熱材、自動化設備、光源種類與效率、空調設備效能等。在上一波的植物工廠熱潮中，於1993年起的十年間，日本產業界與學術界針對植物工廠相關技術的摸索上有長足的進步。涉及的技術可分成以下六大類：

第一類為養液調整技術與給排水技術

第二類為栽培介質調整技術與栽培容器技術

第三類為收穫技術與整列技術

第四類為播種技術與移動技術

第五類為溫、濕度控制技術與水體供氧技術

第六類為光控制技術。

所有研究的重點分別針對產品品質提升、生長促進、栽培環境最適化、良率提升、病害預防等方面。在六大分類中，涉及植株地上與地下部環境的控制占了不小的比例。此所謂環境控制包括了風、光、水、養、氣等五項。

風：空氣的溫、濕度、風速、分布的均勻度等。

光：光源的光量、光質、光週期，給光的均勻度等。

水：水質、灌溉時機、灌溉量等。

養：水體內營養成分、營養濃度、酸鹼度、電導度、溶氧量等。

氣：空氣中二氧化碳濃度。

大部分大型的植物工廠會同時引進自動化包裝、自動化播種、移動栽培及密植栽培等技術，後二者主要在提供自動疏植。所謂疏植是指將栽培容器的間隔分階段地加大，使植物在生育期間都能保持密植狀態的方法。此技術關係著系統能否高效能的運作，所以被各開發業者視為關鍵技術。

投資建置植物工廠時，自動化技術的投入應審慎評估。自動疏植設備的投資與栽培面積成正比，層數加倍，價位幾

乎也是呈倍數成長。養液自動調整設備的售價可以是十萬至數百萬元。給光設備早期使用的高壓鈉燈，又熱又耗電，近期以發光二極體 (LED)、冷陰極管或是省電型螢光燈管為主，可大幅降低操作成本。然而，單價與使用壽命的差異頗大，依以上順序售價由高到低，使用壽命則反之。使用不同光譜的 LED 燈管，效率也差異頗大，一般以紅藍 LED 的組合效率最高，色溫偏冷白的白光搭配紅光的組合次之。

燈具該如何安排才能有最佳的均勻度，是否需搭配反光材料？最合適的光譜是甚麼？燈管與作物的最適距離是多少？各層栽培架上需要幾根燈管？每天需要給光幾小時？每天的累積光量是多少？營養液的配方與營養濃度還需搭配前述的給光條件，其他還有空氣溫度、濕度、營養液溫度、空氣中二氧化碳濃度等諸多因子彼此牽連，相互之間幾乎可以用牽一髮動全身來說明彼此的關係。燈具所能提供的光量還會隨著使用時間衰減，有計畫地局部更換與時時的維護也關係著產品品質的穩定度。

建造植物工廠需要多種技術的整合，其根本在於掌握作物的栽培技術，使作物在最適當的環境下盡可能快速且健全地生長，完型與太型植物工廠中的必要技術有部分共通的，也各有重點。

為使植物工廠商業化與普及化，必須從多方面降低成本，由於設備的折舊費用所占比例高，所以首先必須盡可能地降低折舊費用，而對完型植工來說，最重要的課題為降低照明設備成本與提高照明效率。其次為降溫的問題，在完型

植工中，主要的空調負荷來自燈具所發出的熱，因此大部分的完型植工都需要冷氣，暖氣則多半不需要。植物的生長有其最適當的溫度範圍，只要做好植株附近微氣候的定溫管理即可，因此這部份除了如何進一步節能以外沒有其他技術性的問題，只要使用冷風或冷水，並裝設適當的控制裝置將溫度維持在目標溫度即可。至於電費則必須盡可能使用低價電力，甚至必須將晝夜顛倒使用較便宜的夜間電力。

太型植工除了冬天的供暖，最大的問題為夏天的降溫。若使用冷氣機，龐大的空調負荷同時會帶來高成本，所以必須引進如蒸發冷卻等便宜的降溫方式，在植物體周圍進行冷卻或只對養液進行局部冷卻，或是只在夜間實行間歇冷卻。

使用水耕栽培必須累積各種作物的養液管理知識，增加適合栽種的品目並努力提高作物品質；除此之外亦需從既有的品種中選出適合在植物工廠中栽種者。從產物的品質來看，水耕栽培作物常被批評不夠鮮甜，另外，若過度使用化學肥料，不論土耕或是水耕栽種皆會產生作物口感過澀、過嗆的問題，這是因為硝酸態氮的過度使用，上述問題可透過提高光量、增加紅光、控制含氮肥料、添加競爭元素等方式多管齊下的來改善。

第四章 植物工廠相關的問題與回答

本章討論針對植物工廠常見的問題，主要針對以種苗生產為主的植物工廠進行說明，如果內容與以葉菜生產為主的植物工廠有較大區別時會另外說明。又，以下回答中之數值若未特別說明，即為與具備環境控制裝置的太陽光利用型溫室之比較數值。如無特別說明，則指的就是完型植工。

Q：初期費用是否很昂貴？

A：每單位地板面積的初期成本約為太陽光利用型溫室的 10 倍，但每單位地板面積的一年生產能力約為 15 倍不到，因此，每單位生產能力所需的初期費用約與太陽光利用型溫室相等或略小，若能普及則初期成本將會減半。

Q：為何單位地板面積的種苗生產力較高呢？

A：利用多層架進行栽培，每單位地板面積的栽植密度約為太陽光利用型溫室的 3 倍，透過環境控制，育苗時間可以縮短為 1/2，又，群落內水平氣流增大可使栽植密度增為 2 倍，商品化率為 1.2 倍，結果使得每單位地板面積一年生產能力達到太陽光利用型溫室的約 14 倍 ($= 3 \times 2 \times 2 \times 1.2$)。

Q：電費應該很貴吧？

A：番茄、茄子等每株種苗生長時需要用到的電量（包括照明及冷氣）約為 400 kJ（相當於 40 W 的螢光燈連續照

射 2.8 小時的量)，須花費 0.3 元，只占生產費用的一小部分。此外，種植一整株沙拉菜所需花費的電費約為 10 元，此成本絕對不低，所以在產品行銷上要做到市場的區隔，要凸顯品質上的優異性與安全性。

Q：陽光是免費的，為何不用？

A：太陽光利用型溫室需要遮陰網、保溫膜、通風換氣裝置、防蟲網等完全控制型植物工廠不需要的設備，此外也必須負擔暖氣費用及農藥費用，總之，雖然陽光是不用錢的，但為了利用陽光，配套的設備及運作費用是必要的。

Q：使用冷氣的電費不是很高嗎？

A：由於使用不透光的隔熱外牆來隔絕日照，所以需要以冷氣去除的熱只有照明時所產生的熱，若使用 COP 值為 4 的空調則冷氣電費約為照明電費的 1/4。

Q：為何不需要暖氣費用？

A：若在夜間進行照明，即使是在日本北海道的冬天也會因為照明時所產生的熱而不需再使用暖氣。與此相對，冷氣是必要的，使用冷氣所產生的熱將利用在其他地方，至於，在夜間或在白天對植物提供光照，對於植物的生長並沒有差異。

Q：電費以外的生產費用應該很高吧？

A：由於商品化率為太陽光利用型溫室的 1.2 倍，所以種子

費用、栽培介質費用等消耗品費用約比太陽光利用型溫室少 1.7 成，肥料費用方面則除了上述原因外，因為包含肥料的排水量為零，所以肥料費用約為太陽光利用型溫室的 2/3。此外，基本上不需要農藥費用，人事費用方面由於作業面積小，約為相同產能的太陽光利用型溫室的 70%。

Q：在人工光源下培植出的植物及種苗是否健康？

A：人工光源下，植物及種苗若能獲得充分的光量，就能健康成長。反之，露天或溫室內經常發生光量太低或太高的狀況，再加上濕度及空氣流速也較難控制，又因其容易遭受病蟲害入侵，所以常常會培植出不健康的植物與種苗。

Q：以人工光源培植出的種苗可以在室外的田地或溫室中栽培嗎？

A：由於是在光源充分、適當濕度、適當氣流速度等情況下培植出的苗，所以人工光源下培植出的苗對於環境的適應力、抵抗力較強，定植後的生長也較溫室培養出的苗好，此外，在定植幾天前，完全控制型植物工廠中的育苗環境會配合定植後的環境做調整，使苗於定植後可輕易適應環境。在陽光下、陰雨天、高濕度、無風的狀態下培植出的苗對於環境的適應能力較差，定植後容易造成生育不良等問題。

Q：人工光源的波長是否不利於植物行光合作用？

A：太陽光的波長範圍為 300~3,000 nm，但與植物生長及生育相關的波長範圍為 350~750 nm，約占全太陽光能的 50%；螢光燈管與 LED 等人工光源只要所發出的光在此範圍內，100% 的光能都對植物行光合成作用有幫助，是適合植物栽培的光源。

Q：何謂營養成分？

A：營養成分可大分為：(1) 可以熱量表現的澱粉、醣類、蛋白質、脂肪等，以及 (2) 無法以熱量計算的維生素、多醣類、鐵質、鈣質等。後者包括有機物與無機物兩類。適合在完全控制型植物工廠中生產的品目包括種苗、葉菜類、富含第 (2) 類營養成分的機能性植物及觀賞用小型植物。

Q：營養成分濃度較低不是嗎？

A：由於機能性植物的營養成分、藥效成分的濃度品質及產量會大大地受環境影響，所以可以透過完型植工的環境控制功能創造出最適當的生長環境，以此培植出營養成分、藥效成分遠高於室外或溫室內栽培的機能性植物。如果營養成分濃度不高，那是由於環境控制方法不合適，或是由於比起營養成分，栽種者更加重視植物的顏色、口感、味道、香氣等因子。

Q：不進行稻米、黃豆、馬鈴薯等糧食作物的生產嗎？

A：糧食作物栽培時所需要的光量都偏高，以人工光源栽培的成本偏高。前二者若不長到 1 公尺以上就無法得到目標產物，後者的產物在地下，都比較不適合以立體化栽培為主的植物工廠。但是用來生產水稻苗、黃豆芽、馬鈴薯種薯等則是非常適合的。

Q：真的不會產生垃圾或廢棄物嗎？

A：應用於種苗生產時，使用的穴盤或栽培介質會直接成為產物的一部分，投入的肥料、水及二氧化碳大部分會轉變成植物體內的構成要素而成為商品。另一方面，水與二氧化碳會在系統內循環再利用。種子長成種苗成為商品最主要的部分。光能的一部分固定成為植物體內的化學能，殘熱則透過空調熱泵系統排出工廠並成為乾燥、供給熱水、暖氣等用途的熱源。但是，應用於葉菜生產時，植物的根及外側葉片會成為堆肥。依系統設計的成熟度，營養液可以做到完全不排放或是定期局部排放，後者雖然會產生廢液，但也可用於樹木或草地的灌溉。

Q：為何優先發展適合種苗生產的植物工廠呢？

A：因為種苗體積小且生長期短，投入資源的利用效率是最高的。使用在育林、沙漠綠化、能源植物、機能性植物的種苗在各國的需求量亦大增，這些植物的種苗有可能成為國際貿易商品，由於完型植工的種苗生產不受地理或氣候因素影響，可望確立其國際標準技術。

Q：可以種甚麼樣的植物？

A：目前在完型植工中栽培的植物以葉萵苣與半結球萵苣等葉菜為主，近期，結球萵苣、大葉紫蘇、羅勒、薄荷、水菜、西洋芹、菠菜、青蔥、芝麻菜等也持續增加中。藥用植物與藥用兼可作食品添加物、香料、化妝品等原料的作物亦頗受注目，小型觀賞作物也是可行的候補選擇。

基於上述的 Q&A，我們了解了完型植工並不是萬能的，考慮經濟效益，只有高單價、栽培期短且體積小的植株才適合。目前日本有 80 間植物工廠，雖然幾乎每家都有生產萵苣，但總產量也占不到其內需的 5%。在臺灣，萵苣主要的市場在夏天，但幾乎全部仰賴進口。植物工廠選擇喜好冷涼的作物為栽培對象，以進口替代為產業發展的目標，對傳統農業的影響應該是極小的。植物工廠選擇以種苗為栽培對象，這更是具備國際商機；更可以與溫室業者結合，依季節供應更健壯的種苗。植物工廠產業的興起對於傳統農業從業人員應該更是一個機會，工商業界有多人對植物工廠抱有高度的興趣，他們所缺的是栽培相關的關鍵技術，透過農工商的融合，植物工廠可以是一個新的產業，更可發展成服務業的型態，不僅可以在農村創造新的商機提供就業機會，更有機會讓年輕人回到農村，投入農業的行列，讓農村再生，讓農業振興，開創三農的新生機。

第五章 植物工廠經營與行銷

植物工廠相關的銷售標的物可以是蔬菜、種苗、資材，也可以是硬體或是軟體或是軟體，更可以是系統。系統可大可小，大到可以做整廠的輸出，小到只是一臺設備、一個床架、一個控制器、一組燈具等。

植物工廠能否永續存在，是否具備競爭力，關鍵在產品品質，關鍵在經營、在行銷。產品品質是根本，經營則涉及有限資源是否能有效率地運用，追求效能，更需確保販賣產物可增加收益。為了達成獲利目標，除了必須收集與生產系統、產品和市場相關的各種資訊之外，也必須讓消費者了解到產品的優點。做不到產品的差異化，無法建立自有品牌，經營很難永續。本身就是產品的通路業者，投入植物工廠的產業有先天的優勢。

§ 以栽培的產品為標的

當植物工廠銷售的標的物是栽培的產品時，從成本觀點來看，最重要的資訊為品種的選擇與促進生長的方法。幾乎所有的蔬菜都可藉由水耕方式來栽培，因此，從技術層面來看，幾乎所有的蔬菜都可在完型植工內生產。但是，由於完型植工的光源來自需花費金錢的電力，所以若生產會去除葉與莖的果菜類等作物，一般來說並不符合成本效益，因此對象作物僅限於種苗類、芽苗菜類、幾乎所有地上部皆可利用的葉菜類與部分小型根菜類作物。其它還需考慮市場需求

量、價格、附加價值與栽培的難易度等條件來選擇適栽作物。

以下列出在完型植工生產的代表性作物提供參考：

葉萵苣、半結球萵苣、結球萵苣、菊苣、韓國生菜、茼蒿、小松菜、菠菜、青江菜、紫蘇、水菜、黃麻、明日葉、羽衣甘藍、空心菜、冰花、嫩芽類、嫩葉(甜菜、紅橡木萵苣、蘿蔓萵苣、芝麻菜、京水菜、甜菜、青江菜、水菜等發芽後幾天即採收的嫩葉，英文統稱為 baby leaf)、香草類(義大利西洋芹、水芹、胡荽、蒔蘿、羅勒等)、根菜類(小蘿蔔、小蕪菁)等。

根據在日本超市的調查，銷貨量大的還是原本消費者就熟悉的蔬菜，譬如：菠菜、萵苣與小松菜等，較近期上市的水菜(可生食也可熟食，用途廣)、綠花椰菜嫩葉(被認為具抗癌作用)、一般嫩葉(營養價值高)等正在蔬菜市場上奮鬥中。新蔬菜的普及感覺上不太容易。受到社會高齡化與健康取向的影響，預計在今後營養價值高的蔬菜銷路將會較好。

另一方面，在太型植工中生產果菜類或穀物是可能的，例如由可果美公司生產、廣為人知的極味番茄即是利用大型水耕溫室所栽種的。從糧食自給率來看，水稻、小麥與大豆的工廠化生產相當重要，但這必須等到由作物廢棄物產生的生質能源量產實用化之後才可能具備經濟效益。現階段，糧食作物的種苗與種薯則完全可以在前述的太陽光利用型與完型植工中量產。

欲使植物工廠生產的高附加價值作物能以高價賣出，流通、販賣等行銷手段非常重要，傳統農業最欠缺的就是行

銷。植物工廠產品的售價為傳統農作物的 2 倍或以上，儘管植物工廠的產品無農藥、新鮮、清潔且附加價值高，若販賣不出去則喪失了植物工廠的存在價值，所以必須將產品品牌化使消費者容易接受或開發機能性高的品種，還需加入各式各樣的創意使產品成為新蔬菜中的熱門商品。

植物工廠生產模式的重大魅力在於作物的安全性，由於在屋內採水耕培育，沒有蟲害問題，完全不需噴灑農藥，更不需擔心重金屬污染。消費者即使不清洗也能直接食用。消費者可在百貨公司、高級超市的蔬菜區和高級餐廳都能買到標榜「不需清洗即可食用」、「安全、安心」、「耐存放」的產品。這樣的產品放諸目前全球的超級市場，絕對是暢銷的產品。在日本一株 100 g 鮮食蔬菜的售價約為 180~200 日圓，獲利約為一半。在臺灣的超市，5 ounce (142 g) 的進口有機蔬菜可賣到接近 250 元臺幣，植物工廠的產品完全可以取代這類進口品。

在推動的同時，大家也要清楚知道露天栽培與植物工廠的生產模式是完全不相同的。植物工廠不存在露天栽培常遇到的天災及價格波動的問題，但推動植物工廠短期內並無法解決或大幅改變露天栽培的生態與結構，主因在於作物的選擇不同。露天栽培的作物較粗放，價格也低；植物工廠以短莖、體積小、單價高的冷涼季適栽作物為主。兩者的市場是完全不同的。臺灣只有冬季有露天生產的結球萵苣，其他生菜等全年多仰賴進口，推動植物工廠的初期，以取代此部分進口額為目標，已是足夠了。

使用完全人工光的植物工廠，由於產品的生產成本高，在銷售上需與一般田間栽培蔬菜的產品有所區隔。沒有做到產品的差異化，不可能獲利。訴求上應以新鮮、安全、安心為主，以環保、減碳為輔。

植物工廠的產品生菌數較低，檢驗後證實可達生食標準者，要以免洗為訴求，譬如免洗可吃 (Ready To Eat, RTE) 或是免洗可煮 (Ready To Cook)。以提供家庭主婦/煮夫方便為最大賣點，大幅節水與減少損耗則屬其次。

植物工廠的產品不論是否搭配其他截切蔬菜來販售，都應以直銷通路為主，譬如會員或是網路直銷。

即使生產成本相當高，只要能生產出高品質產品並可以以高價賣出即可成功經營。因為根據消費者的喜好進行調查發現：比起小型蔬菜，消費者更喜愛有重量的蔬菜。另外也有些通路主要針對金字塔頂端的消費群，對這族群的人而言，安全、健康的確保才是重點，價位幾乎不在考量的範圍內。其他重要課題尚包括確保穩定供應無農藥蔬菜至量販店、外食產業、渡假飯店、學校、醫院與企業食堂等消費處，將閒置土地、閒置設備作為生產地等。

§ 以軟體、硬體或系統為銷售標的

工商業界投入植物工廠產業，重點在銷售軟、硬體或系統者，也需要有一個相當規模的練兵場，其產品可以直接供應員工餐廳或是在員工中招募會員，在臺灣已有好幾家業者以這種模式在進行。日本植物工廠的造價頗高，臺灣的工商

業界整合能力強，完全有實力開發相關產品外銷到日本去，目前僅差農業人員加入的這臨門一腳，產業發展聯盟的成立或可補上這一腳。

店產店銷的商業模式有最小的食品里程值得鼓勵，餐廳、超市也可搭配展示模組。以貨櫃堆疊也可建立適當規模的廠房，此些硬體的提供都是商機。各個栽培系統需要搭配環境控制與養液控制系統，這雖說是諸多感測器與控制器廠商的商機，但沒有整合，沒有栽培管理的軟體配合，真正的商機無法建立。此些栽培管理相關，允許調控硬體的參數可以是內建於硬體內，也可以置於網路上的資料庫中，透過網路下載，做各項參數的調整。如此，則相同設備下載不同軟體就可適用於多種不同作物的栽培，提供使用者最大的方便性。這種架構於雲端的軟硬體整合系統應該也有不少商機，搭配影像系統可以有更多應用彈性與功能。

現階段家電式植物工廠的設備已被商品化，但是單價高，一般消費者雖然喜歡，但暫時還不可能像買冰箱買電視般的消費。就算可以當家電方式來消費，包括資材的供應、設備的維護與教育訓練等售前宣導與售後服務上也都有執行上的困難。解決對策多半要透過異業結盟。

目前已經進行中的範例是與建築業結合，以社區的形式來經營。在房屋的銷售上搭配家電式植物工廠的免費贈送營造綠色生活的概念，將安全蔬菜自己種，潔淨、透明、開心、方便的 4C 與日常生活結合，這樣的賣點是能吸引消費者的。然而這樣的設計，其成敗關鍵是該設備能否真正做到方

便、好用、防呆、外型是否美觀等。在社區內家家戶戶擁有家電式植物工廠，則社區的管理委員會可以與建商投資成立的服務公司合作建立育苗中心，可委託服務公司或由管委會自己來經營，育苗中心負責產品的多樣性、資材的提供與前期栽培。社區育苗中心針對多種作物進行育苗，讓家庭內栽培作物的選項能夠增加，讓栽培的天數能夠縮短。這關係整個商業模式能否成功。舉例來說，奶油萵苣由播種到採收需要 5 週的話，前 2~3 週的育苗期可以在育苗中心進行，到住戶家中則只需要後面的 3~2 週，這樣可縮短等待期，提高愉悅性。家庭栽培以趣味為主，住戶間也可互換栽培心得與產品交換嘗鮮。另一個重要的意義在教育，家庭中的成員都可以由作物的成長中了解到生命與環境及土地的關係。

家電式植物工廠也不是一定要栽培蔬菜作物，栽培特定作物還有室內空氣清淨，去除環境賀爾蒙的效果。觀賞花卉、觀葉植物也都是不錯的選擇，只是要確保的是擺在室內的植物必須是完全沒有用過農藥的，栽培介質內也不能夾雜幼蟲或蟲卵。具備人工光源的室內綠牆即是另一種不錯的商業化產品，其用於室內擺設的所有種苗與植株，都需要來自植物工廠確保完全無農藥。這些種苗與植株的供應都可以是社區育苗中心的營業項目。

第六章 植物工廠的產業化

臺灣大學與工業研究院聯合推動臺灣植物工廠產業發展協會的成立，旨在協助相關業界，期望能透過這個組織為植物工廠的產業化提供助力，達到合縱與連橫的效果。

投資植物工廠可以帶動相關工商業的發展，發揮綜合效益。涉及產業包括：無塵室、滅菌設備、光源設備，冷凍空調、冷藏庫板、機電控制、再生能源，種苗、資材、農機，連鎖販賣商店、生機飲食店、網路通路商等。

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。

§ 臺灣發展植物工廠的優勢

臺灣發展植物工廠產業是非常合適的，因為我們具有多方的優勢：

一、工業優勢：

臺灣半導體產業發達，空調、無塵室、隔熱資材、節能燈具、控制系統、機電設備、再生能源廠商眾多，這些業者都可提供建構植物工廠所需要的設備。

二、人才優勢：

高學歷人才豐富，臺灣每年農學院與生命科學院的畢業生有數千人，但扣除進一步深造的人數，留在農業界服務的人恐怕不足 5%，這都是教育資源的浪費。植物工廠可吸引年輕人留在農業界。

三、廠辦優勢：

許多臺商轉戰各地，停用的現成廠辦空間可立即改裝，另有各縣市廢棄的蚊子館與停辦的小學、幼稚園等。

§ 臺灣發展植物工廠的劣勢

臺灣過去在 80 年代推動溫室水耕栽培，曾經成為風潮，但後續一間間關廠，只剩少數存活迄今。主要原因在於夏季無法栽培、蔬菜口感不佳、病菌交叉感染等問題無法克服。但這些因素大多都不會在植物工廠內重現。譬如夏季無法栽培的主因在於溫度，尤其是因為水溫提高造成溶氧量降低，植物根系無法呼吸導致容易腐敗。口感不佳則是養液配方的問題，一成不變的高氮肥配方，容易造成硝酸鹽含量過高，缺乏回饋控制的灌溉與營養管理模式，當然栽培的蔬菜口感差。交叉感染則是在營養液供應系統設計之初就可以作

最大程度的避免。

過去水耕的失敗經驗在農政官員、農民與研究者的心中可能已經形成魔障。另外，在某些消費者心中甚至有著無土栽培的蔬菜代表缺乏日月精華的迷思。這些都是臺灣推動植物工廠有待跨越的障礙。

§ 早期的植物工廠相關研究

國內最早投入植物工廠研究的應是筆者的實驗室，當年（1993 年）以可行性探討為主，同時也因受限於系內實驗空間的不足，以二手貨櫃進行實驗。1996 年迄今進行 LED 作為植物栽培人工光源的基礎研究與相關設備的開發，累積的成果在 2010 年的臺北花博做一次性的展示，包括了盆栽專用 LED 光葉、LED 組織培養容器與臺車、LED 水耕設備、蝴蝶蘭海運補光設備與可收式堆疊架、家電型 LED 水耕栽培設備、家具型 LED 水耕栽培設備與店鋪展示型 LED 通用型栽培設備等。1998 年協助業者建立蝴蝶蘭種苗量產植物工廠，2001 年國際園藝學會於臺中舉辦，會後參訪該公司，許多國際與會貴賓對於兩層樓各有七層蝴蝶蘭種苗，以自走式人工光源進行淹灌栽培的系統，均留下深刻的印象。2000 年進行室內複合養殖（水耕種菜結合循環水養魚），2001 年進行番茄種苗植物工廠的研究，確立了以側芽育苗的系統。

在之後的十年間亦進行了雙效空調熱泵與無隔膜電解水機產製次氯酸滅菌水等研究與跨領域的應用。

過去這些局部相關，部分看似無關的點點滴滴，在植物工廠這個大傘之下，通通串了起來，找到各自的定位。

§ 臺灣大學高效節能植物工廠前瞻研究計畫

臺灣早期推動農業自動化計畫已經奠定了精準設施栽培的技術基礎，加以蘭花產業與種苗產業對於環控技術與量產化的栽培管理模式已經普遍為民間業者所應用，同時由於臺灣本身在資通訊與自動化技術的雄厚產業環境，科技大廠對於植物工廠的新興產業均抱持相當大的興趣，諸多因素的促成，植物工廠的研發與產業，已成為蓄勢待發的態勢。有鑑於此，臺灣大學在李嗣涔校長的支持下，於 2010 年啟動了「精緻農業高效節能植物工廠計畫」，由生農學院陳保基院長領軍，結合生農學院多個系所的老師組成跨領域研究團隊，開始進行植物工廠的整合性研究。

計畫的推動架構為於總計畫下，將 21 位教授的實驗室團隊，以目標導向整合組成五大子計畫，分別為：系統整合、環控與能源、作物栽培、生產管理、經營與行銷五個面向，進行各細項研發。總計畫的主要工作項目包括建立太陽光與人工光併用型植物工廠，以及完型植工各一座，做為先導型植物工廠技術研發與示範平臺。

兩類型植物工廠平臺的建置立足於現階段的植物工廠技術，完成後由研究團隊實驗室成員開始進行各項前瞻研究與量產化研究之各細部計畫的研究工作。試量產的產品將在農業綜合館旁邊的小福利社販售。

各細部計畫的研究內容著眼於未來產業之最需，包括：如何高效運作、如何節能、作物品項的增加、栽培成本的降低，也包括了建立多種短期葉菜、香料作物、種苗等栽培管理標準作業程序，植物工廠相關設備的開發、建立非破壞性品質監測、無線感測技術、完成植物工廠的營運模式分析、消費者調查與行銷策略規劃等，整體計畫目標在創造產品價值，透過環控與節能技術之建立與妥善的系統整合以確保成本降低，透過經營與行銷之研究以確保售價與銷售率之提高，透過良好的作物栽培與生產管理技術之建立，以確保產能與良率。

§ 植物工廠前瞻研究的多面向發展

先導型植物工廠技術研發與示範平臺的建置，除可進行前瞻性的基礎研究與產業導向的研究外，其功能亦涵蓋了植物工廠生產管理人員的培訓、植物工廠生產作業的測試與評估等，將所研發的各項技術，由上游基礎研究，落實到產業化的作物量產。此多功能性的技術研發與示範平臺，將有助於對植物工廠產業有興趣的企業建立小、中、大型植物工廠示範或是量產系統。另一方面，對於植物工廠相關的設備，如空調、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，將可透過產學合作的方式，利用技術研發與示範平臺進行測試與驗證，以利新產品的開發。以臺灣的產業技術，植物工廠的系統造價經過評估，可以比日製系統便宜一半以上，相當有國際競爭力。因此，經

過整合與創新，很有機會發展植物工廠產業設備與技術輸出的相關產業。

§ 由點而面的整體產業發展

一個新興產業的發展，上游研發技術固然重要，但是單有技術並不足以成產業，其他各方面的配合是必要的。臺灣大學所推動之大型整合計劃，雖然已經具備相當的研究能量，但是對於眾所期望的植物工廠產業化，相形之下，可視為拋磚引玉之舉，未來整體產業的推動，仍然需要經過技術研發、產學合作、產業發展的過程。透過點的集合，而成線與面，以推廣植物工廠的生產模式與商業模式，使植物工廠的發展得以成為臺灣精緻農業發展的重要一環。

基於由點而面的整體產業發展理念，除了植物工廠技術研發與示範平臺的建置工作外，亦以此平臺為基礎，爭取國科會、農委會、教育部的計畫支持，以強化研發能量，分別對植物工廠的節能減碳模式、產業化的葉菜栽培模式、人才培育與教育推廣等方面投入人力。此外，臺灣大學與工研院亦透過策略聯盟的方式，共同推動成立「臺灣植物工廠產業發展協會」，目前有 60 個以上的產學研究團體組成，計劃整合材料端、設備端、系統及市場端，打造產學研界跨領域合作平臺，奠定國內植物工廠產業發展基礎，連結產業界投入植物工廠產業發展。而在人才培育方面，近兩年來學界與民間團體也舉辦了多場植物工廠相關的研討會，幾乎每場都獲得參與者熱烈的迴響。而臺灣大學也於去年度在進修推廣

部陸續開設了「植物工廠」與「精緻農業」兩個進修學分班，由臺大生農學院的教師與業界教師共同授課，由於報名踴躍，今年度又繼續再開設兩班研習班，積極推動植物工廠的推廣教育。

§ 目前臺灣的植物工廠

除了本校之外，目前國內已有幾家頗具規模的廠商投入兩型植物工廠的量產：

投入太型植工的有鴻海公司在屏東，台塑公司在楊梅，兩者均生產有機蔬菜，以簡易溫室為栽培設施；皇基公司在彰化與越南投入蝴蝶蘭切花產業；頂新集團頂品公司在彰化投入洋桔梗產業，都是以精密溫室為栽培設施，也都另有組織培養苗的量產廠。奇美集團投入有機農業則是以田間栽培與簡易設施為栽培平臺。

投入完型植工的則有新世紀光電公司在羅東與屏東，億光電子公司在土城，兩者都是 LED 光源的設備商，初期以建立自有完型植工的建廠能力為切入點，但仍以 LED 農用燈具的銷售為主。中國砂輪公司在新竹也投入此產業，另有一家在新北市，投入規模比前三者都大，近期植物工廠軟硬體設施與操作剛通過 ISO 的兩項認證。以上幾家公司所生產的蔬菜都以提供公司內部員工為主，並未對外銷售。

也有幾家資本額較小的公司積極投入此產業：

投入完型植工經營的有野菜工房在新竹地區，昇活網在臺北地區，麗萊登實業在新北市淡水，日輕公司（日商）在

新北市新莊。前二者以銷售短期葉菜類與菜苗為主，後者以生產冰花為較特殊，專門提供臺北的高級餐廳。旺永水耕資材公司也投入植物工廠設備的開發，在彰化的廠房於 2011 年底即將完成。此波熱潮中，水耕設備資材商應是最大獲利者。

投入大型植工經營的有以銷售 LED 燈具為主的賽門科技，該公司在桃園建立生產基地，以溫室搭配人工光源。淵崇科技在臺南使用的也是溫室，並未搭配人工光源。雲林古坑也有產銷班以精密溫室投入萵苣類量產，產品供應麥當勞。雲林西螺的漢光果菜公司則投入截切蔬菜生產，以一般溫室為主。

光茵公司以有別於前述各家公司的商業模式投入植物工廠產業，主推使用 LED 的家電型與家具型植物工廠及 LED 人工光源與組織培養設備。太平洋建設與光茵公司合資另外成立太平洋光茵公司，以後者的設備搭配前者推出結合綠色生活創意的預售屋建案。

植物工廠在日本與中國大陸的蓬勃發展，政府政策的支持是重要的關鍵。因此，臺灣希望未來在此新興產業上要能夠迎頭趕上，必須要有政府強力的政策支持，由政府跨部會整合資源大力推動，強化研發能量，兼顧前瞻技術的開發以及產學合作，進行智財佈局。同時提供企業誘因，提供人才培訓，藉助工商企業界與學界原本就強的力量，整合軟硬體資源與人才，快速建立整合規劃、建廠與量產操作能力。

§ 日本發展植物工廠的優勢與化劣勢為雙贏

植物工廠在日本得以盛行的主因有六：首先是土地成本高，溫室面積較小為常態，其次是夏天高溫、高光，便宜的環控不可得，此二者是限制溫室發展的原因，但也是促成植物工廠發展的主因；其三是溫室內水耕栽培葉菜類本來就頗為流行，以植物工廠栽培水耕蔬菜，消費者可完全接受；其四是消費者對高品質蔬菜需求量大，也願意出高價購買；其五則是相關耗電設備效能提升，尤其是燈管與空調設備，前者以使用 T5 燈管為主，比過去的 T12 燈管至少提升了 30% 以上的效能，空調設備的效能 (COP) 近年來也提升了兩倍以上；其六則是日本政府大力宣導與推廣，高比例 (50%) 的補助，而且補助對象不分企業或農民。日本政府近期投資 146 億日圓補助企業或農民團體設立另外 100 間可量產短期葉菜類的工廠；也鼓勵研究，目標在將操作成本降低三成。

政府投資農業，連帶帶動工業的發展是日本的現況，再者，為了落實在地生產、在地消費的環保理念，都會鄰近郊區也有不少店面採取生產與行銷一體的新商業模式。在這些店鋪中，面對馬路為銷售店面，地下室或二樓或緊鄰的店鋪後端為允許參觀的生產區，每日量產當日可以銷售的生鮮蔬菜，完全去除了運輸的需求，允許消費者參觀的透明生產模式，更是提高消費者對產品的信心。

日本發展植物工廠的劣勢主要在於設備的成本，但是透

過政府（農林水產省與經濟產業省）的半額補助，此劣勢被最小化，同時也為設備與資材廠商提供商機。化劣勢為雙贏，這是高明的產業政策。

§ 產業的永續發展與競爭力

如何維持植物工廠產業的永續發展？如何確保植物工廠產業的競爭力？美國伊利諾大學農業與生物工程學系教授兼主任丁冠中博士日前在本系的演講中提到，“Continue to do well”是能否永續發展的關鍵，“Position to win”是確保競爭力的關鍵。

要永續發展，不僅需要把事做對，更需要做對的事。投入植物工廠是做對的事，但如何把事做對，須要注重多方面的細節。要確保競爭力，人才、創新是關鍵，但具有學得快、錯得少的能力更是關鍵。如何縮短學習曲線是所有植物工廠投入者該思考的事。誰具有贏的位置，誰就最適合投入植物工廠產業。

台灣發展植物工廠，日本可以做很好的借鏡，尤其是失敗的個案更具備參考價值。很重要的一點是政府法令規章的配合，譬如植物工廠是工廠嗎？如果是，是否需要受工廠管理法的規範，能否採取農業用電計價，能否設在工商業用地或住宅、社區內等都是目前不明確的地方。這些看似簡單、平凡的小事都是可能限制產業發展的關鍵。

第七章 結語

綜觀臺灣近三十年的產業發展，成功的產業發展模式需要具備雄厚的技術基礎與研發人才、周延的產業佈局、政府的政策支持、全球化的市場、民間企業的投入等。臺灣植物工廠產業發展的態勢，前述的幾個關鍵因子的條件正逐漸形成，而外部條件如食品安全、節能減碳、都市農業、糧食供給、氣候變遷等因子，亦逐步將植物工廠產業與其企業化農業發展的概念推上明日農業的舞臺。

臺灣由於地小人稠，加上高度都市化的發展，農業的產業政策偏向於保守，僅少數幾個旗艦農產品如蝴蝶蘭、石斑魚、種畜禽等具有企業規模與健全的商業模式。植物工廠產業的發展，其條件不僅不輸前面所列旗艦農產品，更具有主動出擊，創新發展新農業模式的特質。且其產業模式與臺灣精緻農業與都市化農業的發展方向更加契合，能協助紓解全球化的包括三農/環境/水資源/能源/糧食等問題。因此，可以預期，臺灣植物工廠的產業發展，將逐漸匯聚其滾動能量，成為明日農業之新星。

植物工廠的永續發展，「士農工商」每一個領域的相關人士都不可或缺。現場作業者為農，軟硬體提供者為工，產品/設備/系統行銷者為商。農工商領域內的研究開發者與技術者，都是「士」，期望「士農工商」齊聚，大家一同來落實植物工廠的推動。

§ 參考文獻

1. 方焯。1993。發展本土化精密溫室與植物工廠之可行性分析。國科會計畫編號：NSC 82-0409-B-002-028。
2. 方焯。1994。「農業的第四選擇—植物工廠」。台灣農業機械雜誌。第9卷第1期：1-6。
3. 方焯。1998。室內循環水養魚工廠 (II)。台灣農業機械雜誌。第13卷第5期。1-4。
4. 方焯。1998。室內循環水養魚工廠 (I)。台灣農業機械雜誌。第13卷第2期：1-7。
5. 方焯。1998。植物工廠。種苗生產自動化技術通訊。第三期第98001號。種苗生產自動化技術服務團。台北：財團法人農業機械化研究發展中心。
6. 方焯、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。億光電子工業股份有限公司產學合作報告。
7. 方焯、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。億光電子工業股份有限公司產學合作報告。
8. 方焯。2001。番茄種苗自動化立體栽培植物工廠之建立。農委會農糧署計畫。計畫編號：90農科-5.1.1-糧-Z1(6)。
9. 方焯。2001。植物工廠與養魚工廠。臺大校友雙月刊。第13期。
10. 方焯、賴建洲。2001。植物量產工程在台灣的實現。出自：

- 生物科技在農業上的應用。楊盛行主編。臺灣大學。ISBN 957-02-9599-6。pp. 295-311。
11. 方焯。2010。談「以植物工廠生產農作物與綠能產業研究發展」。國立臺灣大學生物資源暨農學院院訊第 10 期：8-11。
 12. 方焯。2010。植物工廠是新世紀農業發展的關鍵產業。中國時報。2010/01/06。
 13. 方焯。2010。產業趨勢—東亞聚焦植物工廠新商機。工商時報。2010/11/19。
 14. 方焯。2011。是加持還是衝擊？植物工廠 vs. 傳統農業。農訓雜誌 261 期。pp. 21-25。
 15. 方焯。2011。植物工廠發展沿革與其在東亞的發展現況。節能減碳與民生科學發展研討會。稻江科技暨管理學院。
 16. 方焯譯。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。
 17. 方焯譯。高辻正基著。2011。完全控制型植物工廠。豐年社。ISBN 978-957-9157-54-4。
 18. 王慧媛。2010。植物工廠內波士頓萵苣立體化栽培模式之探討。國立臺灣大學生物產業機電工程學系碩士論文。
 19. 林達德。2011。明日農業，誰與爭鋒？植物工廠之前瞻研究發展。農訓雜誌 261 期。pp. 9-11。
 20. 邱偉豪。2009。控制環境內波士頓萵苣立體化栽培之研究。國立臺灣大學生物產業機電工程學系碩士論文。

21. 陳欣榆。2011。熱泵製冷應用於植物工廠養液降溫與室內空調。國立臺灣大學生物產業機電工程學系碩士論文。
22. 劉冠伶。2011。植物工廠量產低硝酸鹽萵苣之研究。國立臺灣大學生物產業機電工程學系碩士論文。
23. 簡君良。2011。植物工廠環境與養液灌溉監控物聯網之建置。國立臺灣大學生物產業機電工程學系碩士論文。
24. 蕭柏翰。2010。植物立體化栽培控制環境之遠端監控。國立臺灣大學生物產業機電工程學系碩士論文。

附錄：歷年來臺大農業推廣委員會出版農業推廣手冊目錄

出版年月	輯別	題 目	執 筆 者
71年10月	1	紫蘇	園藝系 蔡平里
71年10月	2	鄉村居民發展社區	農推系 蔡宏進
71年10月	3	矮牽牛	園藝系 李 岬
71年11月	4	擴大農場經營規模	農推系 蔡宏進
71年11月	5	農民對農會合併措施之反應	農推系 廖正宏、陳昭郎
71年11月	6	農會總幹事領導才能之研究	農推系 徐永燦
72年8月	7	市場導向經濟與農業推廣	農經系 李順成
72年8月	8	綠竹筍的栽培	森林系 郭幸榮
72年8月	9	茭筍	園藝系 黃 涵
72年8月	10	蔥蟲害與防治	植病系 許洞慶
72年8月	11	農業推廣實務的新方向	農推系 蔡宏進
72年8月	12	非洲鳳仙花	園藝系 李 岬
72年8月	13	草莓栽培法	園藝系 鄭正勇
72年8月	14	柿之旅	園藝系 蔡平里
73年2月	15	台灣柑橘事業	園藝系 林 樸
73年2月	16	山羊與綿羊的飼養管理	獸醫系 黃敦仁
73年2月	17	肉雞飼養管理與疾病防治	獸醫系 黃敦仁
73年5月	18	豬隻病蟲害防治	獸醫系 吳義興
73年5月	19	淺談臺灣主要柑桔病害	植病系 莊再揚
73年5月	20	農藥之安全經濟有效的使用	農化系 王一雄
73年5月	21	農業推廣與農民參與	農推系 陳昭郎
73年8月	22	百香果栽培法	園藝系 鄭正勇
73年8月	23	農民基層組織輔導原理與方法	農推系 蔡宏進
73年8月	24	鷓鴣、雉雞之飼養與保健	獸醫系 黃敦仁
73年8月	25	彩葉草	園藝系 李 岬
74年5月	26	乳牛的飼養管理	畜牧系 宋永義
74年5月	27	農產品運銷	農經系 許文富
74年5月	28	成功的農場經營靠管理	農經系 江榮吉
75年6月	29	臺灣香蕉主要病害	植病系 莊再揚
75年6月	30	花卉害蟲與防治	植病系 許洞慶
75年6月	31	獼猴桃	園藝系 蔡平里
79年8月	32	畜產廢棄物處理利用	農化系 楊盛行
79年8月	33	農家垃圾處理	農推系 高淑貴
82年6月	34	果菜運銷	農經系 蕭清仁

出版年月	輯別	題 目	執 筆 者
82年6月	35	蔬果農藥殘留與安全評估	農化系 王一雄
83年7月	36	西印度櫻桃之栽培	園藝系 林 樸
83年11月	37	蔬菜採收處理	園藝系 蔡平里
84年12月	38	蔬菜害蟲	植病系 彭武康
84年12月	39	蔬菜與水果的品質與品質維護	園藝系 劉富文
85年6月	40	家禽病毒性疾病防治	獸醫系 王金和
85年6月	41	香辛類蔬菜推廣試論	園藝系 蔡平里
86年6月	42	環境污染公害之鑑定與診斷	植病系 孫岩章
86年6月	43	農業產銷班的經營管理	農經系 江榮吉
87年4月	44	克弗爾與健康	畜產系 林慶文
87年5月	45	農業害蟲食痕診斷	植病系 彭武康
87年5月	46	蔬菜及花卉病害	植病系 吳文希
88年5月	47	溫室的故事	農機系 馮丁樹
88年5月	48	穴盤育苗自動化	農機系 陳世銘
89年11月	49	休閒農業	農推系 陳昭郎
89年11月	50	稻米加工與貯藏	生機系 盧福明
89年11月	51	植物營養缺乏症之診斷	農化系 鍾仁賜
91年11月	52	有機栽培	園藝系 鄭正勇
91年12月	53	電腦網路應用基礎訓練	農推系 岳修平
92年12月	54	香草植物之栽培管理	園藝系 張祖亮、張育森
92年12月	55	生物農藥概論	植微系 陳昭瑩
93年8月	56	漁村家政推廣行腳	農推系 高淑貴
93年10月	57	鄉村社區行動組織工作手冊	農推系 闕河嘉
94年11月	58	植物與保健	園藝系 許 輔
94年11月	59	家禽流行性感冒	獸醫系 蔡向榮
94年11月	60	台灣地區外來入侵昆蟲	昆蟲系 柯俊成、陳陽發
95年11月	61	果瓜實蠅及果樹害蟲之生態與防治	昆蟲系 石正人
95年11月	62	土壤的健康管理	農化系 何聖賓
96年10月	63	無毒農業	植微系 孫岩章
97年10月	64	植物蟲害診斷諮詢 QA 問答集~消費者篇	昆蟲系 柯俊成
98年12月	65	寄接梨栽培管理	園藝系 陳右人、農化系 鍾仁賜 植微系 洪挺軒、昆蟲系 柯俊成
99年11月	66	柑橘栽培管理	園藝系 陳右人、農化系 鍾仁賜 植微系 洪挺軒、昆蟲系 柯俊成