

台灣發展精緻農業不要忽略了推動植物工廠

方煒

台大生機系教授

摘要

民以食為天，全球暖化會造成可耕地面積大減，目前全球糧食不足，有接近 9.6 億人長期處於飢餓狀態，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。植物工廠可讓部分高經濟的作物改在與外部隔離的潔淨空間裡控制環境因素(光質、光量、溫度、濕度、二氧化碳濃度)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。植物工廠是新世紀栽培業者最好的選擇，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，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且農業進出口貿易逆差不斷擴大的台灣，推動植物工廠更具時代意義。

關鍵詞：有機農業、無毒農業、水耕栽培、養液栽培、立體化栽培、硝酸鹽、植物工廠

1. 前言

農業委員會於今年五月份推出“精緻農業健康卓越方案”，其三大主軸是健康農業、卓越農業與樂活農業，發展願景依序為深化品牌驗證打造健康無毒島、領先科技研發打造卓越科技島、重塑農村風情打造樂活休閒島。在實施策略的規劃中擬由五項新技術、六個新經營模式與四個新市場等三方面來落實。在新技術中的第二項為高效能高生物安全生物工廠，察其具體作法是運用昆蟲、動物做為生物工廠，與植物完全不相關，筆者認為失之偏頗，謹以本文做為政府施政之提醒與參考。

2. 提高單位面積產能是現階段農業發展的關鍵任務

依據聯合國人口署的預估，2010 與 2050 年的全球人數將會是 68.6 億與 91.7 億，聯合國糧農組織在 2009 同時也發佈了全球飢餓人口超過 9.6 億的報導。換言之，在 2009~2010 年間，糧食供應量只足夠供應 59 億人。到 2050

年要餵飽 91.7 億人，糧食供應量必須達到目前的 1.56 倍 (91.7 / 59)。問題是目前全球的可耕地已經用了 80 %，如果仍然採取目前的農耕方式，剩下的 20 % 絕對無法供應足夠糧食。別忘了還有土地沙漠化與全球暖化的威脅，光是 1980 到 2000 年的二十年間，全球平均溫度已經升高 0.4°C，到 2009 的今日也高出了 0.6°C，且持續昇溫，沒有趨緩的趨勢。南北極冰原、極地冰河融化等造成海平面上升的威脅更是讓沿海肥沃的可耕地面積有急遽減少的風險。

唯有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短期蔬菜。如此可避免受到風災、雨災等的影響，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，滿足消費者對食的安全的最基本需求。

3. 有機與環保

許多人考量食品安全，追求重返過去粗放

農作方式的純有機，不使用化學肥料與農藥的完全遵照古法的結果造成產量大減，完全忘了人類過去能夠溫飽，有賴於綠色革命中使用化學肥料大幅提高單位面積產能的貢獻。如果全人類的農作都恢復過去的方法，那麼全球人數在 2050 年絕對不會比現在多，因為大多數人早就餓死了。台灣的許多有機產品其實是假有機，只適用於台灣本島，其檢測標準並無法與歐美國家所說的有機相提並論。台灣的有機產品超過 90 % 其實是飄洋過海來的，碳足跡一點也不少。

追求有機與環保真的難以兩全嗎？追求食品安全就一定要吃蟲吃剩下、賣相難看、纖維多、口感差的蔬菜嗎？其實只要恪遵用藥安全與採收安全期的規定，確保無農藥殘留，低硝酸鹽含量，合理化施肥就夠了。盲目追求推動無毒農業，真的是無毒嗎？檢測數據中並未包含硝酸鹽與亞硝酸鹽的含量，這兩項指標是清晨採收，採收前連續陰雨天，施用有機堆肥，收穫前大量施追肥的農作方式的單門；消費者不清楚加上農政單位不把關的結果就是吃素也可能致癌。筆者曾經查驗市場上販售的生菜萵苣，本土超商銷售的所謂無毒產品(萵苣)的硝酸鹽含量可以高於 4000 ppm，比一般建議的 2500 ppm 高出了許多。

台灣東岸的有機產業有不少的潛力，台灣西岸的各大農業縣推動露地栽培的有機就頗讓人質疑了。雲林縣沿海有麥寮工業區，境內也有中科的虎尾園區，其空氣與水質受到不少的污染，鄰近的農地能栽培有機蔬菜？除非進入設施內栽培，除非以植物工廠的方式做栽培。但是一旦使用水耕，使用化學肥料就不屬於有機的範疇，這也是頗有爭議的。回歸本質，對人體與對環境無害並允許永續發展同時允許獲利的農業栽培，真的那麼難嗎？

4. 植物工廠的定義

一般的簡易網室與簡易溫室只能算是農

業設施，只有局部的環境調節功能譬如防雨、防風、防蟲、保溫等，但多半沒有環控能力且無法做全年穩態量產。植物工廠可定義為環境可控制且允許全年穩態量產植物的設施，可分為太陽光利用型（精密溫室）、綜合型（配備人工光源的精密溫室）與完全控制型（人工光源）三種類型。台灣的精密溫室以栽培蝴蝶蘭為主，一般不配備人工光源，所以是屬於太陽光利用型的植物工廠。荷蘭與歐美地區國家的精密溫室多半配備高壓鈉燈做為人工光源，屬於綜合型植物工廠。完全使用人工光源的植物工廠則是唯一可以採多層架方式做立體栽培的系統，多半以栽培種苗、短期葉菜類等作物為主。

5. 植物工廠的特色

台灣的糧食自給率不足 35 % 尚低於日本，基於碳足跡的考量，在地生產、在地銷售將會成為主流。有機但不環保，無毒但不保證的產品都經不起考驗，慢慢的大家會把焦點轉移到植物工廠，這是一種可在屋內耕作農作物，利用空調系統、螢光燈或 LED 等人工光源，人工控制溫度、溼度、光量與光質的農業。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模式。遠離土壤就不會有重金屬問題，不會有連作障礙，不好的土傳微生物污染等問題。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%。雲林麥寮的冬季結球萵苣可外銷日本，但為了避免被檢出蟲害，整株萵苣在採收後除去外葉的部分超過 30%，非常的可惜。儘管如此，被檢測出蟲體而導致整櫃銷毀或退貨之事仍是時有所聞，採取真空預冷之後有大幅改善，但去除外葉的保險作法仍是無解，其同時也衍生了大量的農業廢棄物。

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，天上、地下、水下等原本無法栽種的地方上都能夠生產農作物；更可以在非露地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。

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，比露地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。

植物工廠絕對是有魅力的產業，其生產模式的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。所謂「安全、安心」的指標就是標榜二無二低的無農藥、無重金屬、低生菌數與低硝酸鹽。這樣的產品放諸目前全球的超級市場，絕對是暢銷的產品，也絕對會是消費者金字塔

頂端，中國所謂的高端產品。在日本一株 100g 鮮食蔬菜的獲利約為 100 日圓，台灣的消費市場也不惶多讓。

6. 植物工廠的發展

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、日與台灣等地都有在產業界推動的先例，但均以失敗收場，直到近幾年在日本才又蓬勃發展。

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。近年來亦針對栽培環境的控制技術（包括光環境溫濕度控制，特別是二氧化碳補充技術）、養液調整技術、排水技術、培地調整技術、培地容器技術、移動技術、整列技術、播種與收穫省力化技術等做更精進的研究。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、收穫率提升、病害預防等方面。

在人工光源的利用上，由早期的金屬燈、低壓鈉燈、高壓鈉燈、螢光燈管，到近期的冷陰極管與發光二極體都是探討的對象。目前仍以高效率的螢光燈管為主，後二者極具潛力，最末者目前仍存在單價過高的問題。低光量代表需要更多的燈具，也代表產生更多的廢熱，更代表需要加大燈具與植物的距離，距離拉大，光量更弱，於是更需要增加燈具，需要更多空調以移走額外熱能，於是不僅初始成本提高，操作成本也提高。這是早期植物工廠失敗的主因。

筆者在 1994 年執行國科會「精密溫室與植物工廠之可行性評估」研究計畫的結論即點出具備全環控能力的精密溫室值得推廣，以高經濟價值的作物為首選，譬如花卉作物，以蝴蝶蘭花梗苗的栽培為代表；植物工廠存在成本高與作物選擇性少（需符合單位空間與單位時間內的獲利達到某一程度以上）的限制。此些限制因素在十多年後的今天仍然存在，但考量全球人口暴增、全球暖化與人們對飲食安全

的需求與願意付出高價格只求食品安全的高需求下，各國發展植物工廠早已是必要的一項技術，其中以日本為最積極。

7. 台灣發展植物工廠的優勢與劣勢

台灣具備發展植物工廠的優勢，首先是工業優勢，台灣本身的半導體產業發達，相關產業舉凡空調、無塵室、隔熱資材、節能燈具、控制系統、滅菌技術、機電設備等廠商眾多，這些也都是建構植物工廠需要的設備。其次是人才的優勢，台灣的高學歷人才不能說不豐富，但許多是學非所用。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。其三是有許多現成的廠房可立即改裝，譬如各縣市廢棄的蚊子館與各企業停用的工廠等。

台灣過去在 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。主要原因在於夏季無法栽培、蔬菜口感不佳等問題。但這些因素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，容易造成硝酸鹽與亞硝酸鹽含量過高，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。

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。這些都是台灣推動植物工廠有待跨越的障礙。

8. 日本發展植物工廠的優勢與化劣勢為雙贏

近年來植物工廠在日本頗盛行，作物選擇以符合前述單位空間單位時間的獲利達到某

一程度以上指標的短期葉菜類（譬如萵苣、生菜、菠菜、青蔥、水菜與鴨兒芹等）或種苗或藥草為主。迄今已有 36 家完全使用人工光源的完全控制型植物工廠與 14 家結合太陽光與人工光源的綜合型植物工廠。前者採立體栽培方式，最高有十層，使用的廠房面積不大，栽培區地板面積多在 200 坪以內；後者為配備人工光源單層栽培的精密溫室。

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。日本政府近期宣布將投資 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。

日本發展植物工廠的劣勢主要在於設備的成本，但是透過政府的高額補助，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。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、在地銷售的環保理念，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。

9. 結論

農業政策涉及層面廣，要面面俱到本就很難。台灣過去的作法以保護消費者、平抑農民反彈為主；以福利政策為主，少有產業政策；以滿足內銷為主，少有逐鹿全球的宏觀戰略思維。

近年來開始有了不錯的產業政策，譬如小地主大佃農、農業銀行、中衛體系、飼料作物栽培等的推動。日前馬總統在雲林某高中演講，重提競選時所說的高鐵沿線建設農業的黃金走廊也是一項好政策。

近期的重要政策是推動農村再生，筆者認為台灣的農村如果無法留住年輕人、無法創造工作機會、無法創造利潤，任何的農村再生措施，特別是硬體建設都只是流於拉皮粉飾，無法根本性解決農業、農村與農民等三農問題。

植物工廠的技術層次高且工作環境佳，留得住年輕人，目前在日本已經成為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。

在推動的同時，政府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；植物工廠以萵苣、小松菜、生菜等體積小，單價高的作物為主。兩者的市場是完全不同的。台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。

日本植物工廠的造價頗高，台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。推動植物工廠不僅可為台灣的農業創造新的模式，為工業創造新的平台，也可創造新的商業模式，創造新的就業機會。值此全球不景氣時機，城鄉差距拉大，財富兩極化分配，糧食不足與全球暖化的現在，推動植物工廠更具時代意義。

「後記：農委會 5 月 7 日公布的說帖後來有了更新版，新增了一頁健康農業的執行辦法，其中包括了以下這樣的文字：「開發環控高效生產體系，開發環控調節、綠能及高效率生產體系導入自動化遙控技術及節能等系統。」