

植物工廠初體驗

林秀芬¹、黃俊霖²、吳靖渝³

¹美和科技大學 生物科技系 兼任助理教授

²國立花蓮高級農業職業學校 生物產業機電科科主任

³國立花蓮高級農業職業學校 園藝科科主任

認識植物工廠

台灣的農業現今已不再是一個傳統的舊印象，而是能與高科技結合的一種新興技術之「夯」產業。相信很多人都會問台灣為何需要發展農業高科技產業－植物工廠？植物工廠是一場農業革命，因為它是顛覆傳統的農業生產方式，植物工廠是一個可隔離外部環境，採用室內生產，同時也監控作物的生長及環境因子，如溫度、光照、水、二氧化碳濃度等，透過環境的精密調控及生育的預測，使其全年皆可生產出蔬菜作物，以更精緻、更安全、更節省人力的方式來生產；同時「無毒、有機」大家耳熟能詳的字眼，在植物工廠皆可做得到。加上民眾越來越重視食安問題，坊間有機食品再貴都有人買得起，因此如何生產出安全的農作物是當今很重要的課題。

植物工廠在現今的社會裡，已經是一個發展相當成熟的新興技術型之產業，早期因為 LED 光源(Light Emitting Diode，中文名稱為"發光二極體")價格不斐，雖然耗電電量比傳統日光燈低，其價格一直讓人卻步，所以植物工廠一直只侷限在研究單位的研究階段。但從 2012 年開始，因為全世界的 LED 相關產業的技術成熟，生產成本降低價格親民，漸漸取代傳統的日光燈，並真實的走入家庭且廣泛利用，因此植物工廠將已不再是個口號。目前台灣有相當多的傳統科技大廠投入植物工廠的產業，如億光、台達電太平洋建設、百鴻工業等，更成立了植物工廠發展協會，其背後代表的意義不言而喻，當科技公司努力的想保住 3~5%純利時，不難發現農作物很容易可以保有 30~300%的獲利，促使許多科技大廠的企業集團抱持高度的興趣，紛紛投入農業的相關領域。

在歐美或是鄰近的日本，植物工廠的概念也相當先進，尤其日本在自動化這一部份結合機電的技術，將生物產業掌控的相當精緻，是一個很值得我們學習的對象；而歐美的「Aquaponics」魚菜共生系統，也發展得相當不錯，台灣目前也有養耕共生協會在推廣。「Aquaponics」它是一種結合水產養殖與植物工廠的複合系統，是一項具有創意的農業科技，主要是利用過濾床體做為緩衝，分解細菌附著在過濾床，透過細菌將魚蝦排泄物或飼料殘渣分解、轉化成有益於蔬菜生長的養分，再透過幫浦將其送給水耕植物吸收，而水耕植物的根系及其細菌又是水質處理淨化的最佳生物濾材，使其達到一種魚/植物/菌/三者之生態平衡的關係。

必須要知道的事

植物生長需要的要素不外乎水、土壤、陽光及空氣，植物工廠也不例外，只是植物工廠是將此生長要素以人為方式加以管理及控制，以生產出安全無毒之植物。當空氣中有害懸浮微粒、土壤中殘留的農藥、灌溉水含有的重金屬、或鄰近農民噴灑農藥飄散等環境因素，都可能影響有機農田成為不一定真正的有機栽培與生產。植物工廠最吸引人的地方是可以保證無農藥，因沒有蟲害問題，完全不需噴灑農藥，同時更不需擔心重金屬污染的問題。但是否可稱為有機作物，還必須注意所使用的液態肥料，若是採用有機的液肥來生產，則可稱為是有機作物。

植物工廠一般不採用土壤當介質來栽培作物，因土壤環境是一個很不容易控制的因子，若土壤要滅菌處理則成本又太高，因此大多數的植物工廠以水當介質來栽培作物，其稱為水耕栽培。水耕栽培的好處分別有(1)水量容易控制，且水可循環再利用(2)植物吸收速度快，生長也快(3)無害蟲或是蟲卵藏匿的問題(4)水耕的技術目前已很穩定。水源可選用來自地下水、雨水、地表水或是自來水等，為了要了解水源的特性，最好先將水源送檢，如果檢測出的水 pH 值過高或是過低都不適合作為水源，另外，水中之礦物質成分含量也很重要，這與日後調配液肥有很大的關係。因此水是否需要經過處理如過濾、軟化或逆滲透等處理需影響作物的生長，同時也需每天均監控水質的狀態，同時廢水可過濾再使用，或是提供做育苗使用，做到零排放的標準。

人工光源部份，則有別於陽光，可分為「完全人工光源型」及「太陽光利用型」植物工廠。植物生長及生育相關的波長範圍為 350~750 nm，但太陽光的波長範圍為 300~3000 nm，人工光源只要所發出的光波長在此範圍內，100%的光都能對植物行光合作用有幫助，當植物能獲得充分的光量，就能健康生長。早期螢光燈普遍被使用在植物工廠做為光源，但螢光燈的光譜範圍太廣，也較耗電，有些光譜是植物光合作用不需要的，LED(發光二極體)光源因具有較窄的光譜範圍，波長範圍為 380~760 nm，發散出的光源顏色與波長有關，因此 LED 被廣泛使用做為植物工廠的光源，但有些則使用植物生長燈作為光源。植物工廠使用的光源除了會依照植物特性選用不同波長的光源，例如可選用單一光源的 LED 燈管，或是紅藍光搭配的 LED 燈管等之外，燈管照射作物的距離、照射角度、光源照射密度及用電量等皆是需要考量的因子。

提供作為植物工廠的建築物本身可以是廢棄的廠房、亦可以是地下室、任何閒置的室內空間均可，由於在都市因為寸土寸金，大多以屋頂、地下室、或是郊區閒置廠房為主要生產空間，也有業者直接將科技廠房改成植物工廠來使用，其空間有效利用的結果就變成是向上發展，因此想必未來將朝向打造立體農業的大樓概念，摩天型立體農業建築物將指日可待；一般一座業界生產規格的植物工廠生產模組長約 2~10 公尺，寬約 0.6~1 公尺，高有 2~4.5 公尺，層數為 2~5 層不等，以單一地板面積計算，其生產力可以是一般土耕的 2~5 倍。空氣中 CO₂ 的濃度約 380~500 ppm，植物行光合作用時需要 CO₂，因為是以密閉為主，所

以適度的補充 CO₂ 有助於植物生長；另外溫濕度的變化會影響植物的生長，故植物工廠會有添加 CO₂ 及溫濕控制的設備，其營運成本也因此提高很多。

以實例淺談生產成本

植物工廠的建置成本一直都被認為是最昂貴的，廠房建物本身加上設備支出，其成本可說是非常驚人，一般農民根本無力負擔，再者說來，植物工廠的生產成本也不低，以 2014 年花蓮農業職業學校生物產業機電科與園藝科及農場經營科合作建置一座適合教學及普及化的工廠為例。選用學校一間舊農機廠房，以透過隔間來做為植物工廠的場地(長為 12 公尺×寬為 10 公尺)，然後將地面以環氧樹脂(EPOXY)鋪設，採用氣密性環境隔離，初期先自行建造一座可栽培蔬菜的水耕生長層架(3 層，每層面積 0.75M*2.1M)，截至為止就已經花掉 40 萬元的費用。先不考慮建置成本及設備折舊費，就以第一次試運轉來計算生產成本，栽培兩週共採收約 5 公斤蔬菜(羊蹄蒿苣)，在兩週期間電使用了 120 度，以現今電費每度 3.5 元計算，電費部分就需要 420 元，加上液態肥料(約 150 元)及育苗(含種子)費用(約 150 元)，總生產成本為 570 元，即表示每公斤的蔬菜就需要至少 110 元的生產成本；再加上人力工資的計算，從種子育苗、移植到採收，每公斤約需 1 小時的人力之支出，每小時工資以 109 元計算，每公斤羊蹄蒿苣的生產成本已逼近 220 元，從市售植物工廠生產的 250 克/包的蔬菜賣 30 元，1 公斤 120 元，前述所舉的實際例子至少每公斤虧了 100 元！因此若能將植物工廠生產之蔬菜以無毒蔬菜的價格來收購，才具有生產的價值。

常見問題小叮嚀

1. 育苗期掌控：蔬菜的育苗除了要考慮種子來源之外，育苗環境如溫度、溼度、氧氣、光源等因素，皆會影響育苗之成功與否。因此一個標準植物工廠會規劃一間育苗室，專門培育菜苗，且需由專人負責培育，同時亦可準備植物生長箱之相關設備來培育幼苗。當菜苗無法提供水耕床使用時，就會發生水耕床產生閒置，以工廠角度講求生產速度，此閒置狀況就不符合經濟效益，故育苗期的掌握是維持菜苗數量的關鍵，如下圖片所示，如何取得穩定且大小一致的種苗在後續的移植上是很重要的，如果像圖片中的苗種，日後在採收時也會很一致的有相同大小的蔬菜。



2. 水質掌控：初期使用的水源最好選自蒸餾過之純水，但其成本太高，因此可選去離子水或是逆滲透水。當生產栽培時水源不佳，陽離子或陰離子濃度過高，會造成日後監控水質產生誤判；一般水質會監控三種數值，如 pH 值、電導值及水中溶氧量，其數值標準依栽培作物而有所不同，栽培期間要能及時調整，否則蔬菜生長很容易出了狀況，就如同水族箱飼養魚的情況一樣。另外水槽的保溫也要注意，土耕蔬菜是生長在土裡，土壤是一個很好的緩衝環境，其溫度變動不會太大，但是水槽的體積很小，加上水一直循環，其溫度接近室溫環境，所以冬天若遇到寒流來襲，就很容易因低溫而抑制蔬菜的生長，故廠房內之溫控設備亦是缺少不可。
3. 液態肥料的增減：蔬菜在生長發育過程會將水中的養分給消耗掉，當水中的養份降低到某種程度時，植物生長會營養不良，除了藉由儀器來監測微量元素外，亦可從葉片顏色、根的狀態、葉面周圍的變化異常來加以判斷；若是單一種微量元素缺乏，則只要添加其少量即可，[氮、磷、鉀三要素](#)缺乏則需固定且適時地補充，故水耕栽培必須要非常了解植物生理，方能有效的掌握液態肥料之調配與添加。另外，添加少量的溶磷菌、枯草桿菌等有益菌是有助於植物的生長。
4. 連續耕作的問題：[植物生長時根系會產生分泌物](#)，當在連續栽培水耕植物時，難免會因採收過程使根系斷在水槽中，進而使含有斷根的水槽容易孳生微生物外，也會使生長的植物根系容易發生腐爛，因此受污染的水槽就需要進行消毒或是更換水。另外，連續耕作時，單獨只是從電導度量測水質並是不能知道何種元素是充足或是不足，因此就會發生每次種植時，植物生長會有些微的差異。因此建議採收時，將整個植床移到採收區，先剪下根部以上的部位，然後再一次性地將根部全部取出，如此一來，可以減少斷根殘骸掉到水中，降低水質受污染的機率，亦可有助於連續耕作之水質的穩定。



水質受污染後，根系腐爛的情形

5. 工廠管理：大型規模的植物工廠，為了防止病原菌孳生，一般都會有極嚴格的管控人員進出、水源監控及空調管理，若是屬於小型規模的植物工廠可選擇二級的管理方式，即只管控人員進出，減低帶入病菌害蟲的風險，以及水源的排廢管理，蔬菜種植的種類上需要視節氣做調整，選擇適當的蔬菜種類以符合各季節的室溫變化，否則會在酷熱的季節因為高溫導致根部潰爛，全部沒有收成，當要做到更精緻的溫度控制、空氣的無塵過濾及微量元素的分析方面則是以資本足夠可以支應時再納入考量以符合經濟成本與效益，再納入管控的條件。
6. 採收的方便性：小型廠房為了充分利用空間，層架都會向上發展，但值得要注意過高的層架會導致人員採收不方便；不過大型廠房可採用堆高機作移植及採收，就可避免層架過高之問題。

圖說：



以水耕方式栽培羊蹄蒿莖，可清楚看到根系之分支生長特別旺盛



採用可自動調整距離的可見光 LED，讓光源與葉面維持在 5-10 公分，目前仍在實驗階段。



採收後的保麗龍面板狀態，之後再統一將根部及海棉塊移除。



穩定的育苗工作要持續的配合收成時間育成，並取得生長狀態一致的苗栽。

結語：

近年來天災頻傳，從俄羅斯、美國及日本，皆受到大風雪的肆虐，氣候環境變得越來越多變且難以掌控，靠天吃飯的農業已經碰到許多的難題，因此如何提供穩定的食物來源，也是未來全世界需要面臨的重要課題。雖然現今的農業技術很發達，但仍有許多要去克服的問題，例如栽培環境及成本等問題。台灣傳統農業的土耕栽培最大的優點為可以大面積栽培，只要氣候穩定，產量供應不是問題，價格也能平穩。但是每當颱風季節來臨，農作物就會受到損傷，產量減少，蔬菜水果常常因供需不平衡，導致其價格會有異常飆高的現象。因此如何透過台灣進步的農業技術，將科技、農業技術等各方面技術整合，以創造出有別於科技園區的創新農業或是農業生物科技，相信將是未來農業技術最需要面對的問題。