

建構組織培養苗量產植物工廠

國立台灣大學生物產業機電工程學系 賴建洲、方煒、張森富

【關鍵詞】 植物工廠、組織培養、量產

一、前言

植物種苗之生產可使用扦插、壓條、播種及組織培養等方式為之，而組織培養(Tissue culture, 簡稱 TC)技術在農業上之應用，可說是相當普遍，像草花(康乃馨、非洲菊)、蘭花(蝴蝶蘭、石斛蘭)、藥用材料(臺灣金線蓮、當歸)以及樹種(白楊、桉樹)等較具經濟價值之植物，皆可用 TC 大量繁殖。使用 TC 繁殖小苗之優點為在較短時間內獲得大量遺傳理想、品質均勻之植苗，但卻有生產費用過高、發根率不良，增殖時生長速率太低以及移植到瓶外時，初期生長速度與存活率偏低之缺點。

植物工廠之廣義定義為在一定生產管理下的全年無休的植物生產系統，狹義定義則為在完全人工環境下的全年無休的植物生產系統(方, 1998)。兩者的主要差別在後者完全使用人造光源，前者允許使用太陽光。廣義的植物工廠除包含狹義者外，尚包含高度環境控制的太陽光利用型系統(精密溫室)。此類生產設施，譬如：豆芽菜，菇類，蘿蔔嬰等的生產工廠，半自動控制的溫室水耕系統，種苗繁殖系統或人工種子生產等生產系統均屬之。

植物工廠的發展在日本頗為普遍，有植物工場學會的專門組織。然而，大多數偏重學術研究，量產化栽培而且能獲利的單位並不多。其關鍵主要在電力成本，包括提供人工光源燈具的耗電與使用冷氣的散熱。Fang 與 Jao (2000)提到環控室內使用自走燈具有不少優點，包括：較無熱量在燈管下累積，燈管至植物的距離可縮短；燈管至植物的距離縮短，栽培層數可增加，可有較高的空間使用率；相同燈管可有較高的光量，因為光量與距離平方成反比；燈具為自走式，可水平方向移動，對下方的植物可均勻給光；燈管開閉次數較少，可延長使用壽命，降低操作成本；所需燈管數量較少，降低燈具所需的固定成本；在暗處的植物，呼吸作用旺盛，室內的平均二氧化碳濃度較高，光合作用較為旺盛。日昇生物科技公司建立的第一代蝴蝶蘭小苗栽培植物工廠的設計內容與相關規劃請參見方與賴(2001)與 Lai et al. (2001)之論文。

本研究旨在了解組織培養流程中影響品質與成本之各項因子，尋找出最符合經濟成本之量產栽培模式，期望以工廠生產之概念與方法，依組織培養苗生產過程中所需之物理環控條件，建構組織培養苗量產之生產線，進而在經濟成本考量之前提下，選定具有商業價值之作物，依其生理需求，建立可依環控策略來自動控制組織培養苗光合作用與呼吸作用及培養室內溫度之植物工廠。在此環境下組培苗之生長將不受天候之影響，其光照期與暗期亦不受太陽光照之限制。唯一之限制在於電源之取得與生產成本之考量。因此，如何降低植物工廠建構的固定成本與操作成本並提高產能為設計上的重點。

二、實驗設備與方法

本研究所使用的設備包括自行研發的活動式立體栽培床架與多層立體栽培用活動光源，進口的水簾片與風扇，國內廠商生產的組培苗無菌裝填與高壓高溫殺菌釜，無菌操作台等。前兩項已獲得中華民國與美國之專利。

三、實驗與結果討論

量產型植物工廠的建構已完成，為解決組織培養流程之不利因子以及達到經濟成本量產之要求，在所有操作過程中，在符合生產需求之條件下，盡量將動作機械化與自動化，同時將設備之需求簡化與最佳化。主要的做法包括培養基調製、裝填與殺菌作業之機械化與自動化，如圖 1 所示。多瓶式組織培養瓶清洗機也已研發完成，正測試中。如圖 2 為移植作業區，共有 45 台無菌操作台，主要功能為提供無菌環境(10000 落塵量/m²)，以便進行開瓶、芽體移植與封瓶作業時不被污染，每台每日最高產能為 110 瓶。

其次，組培室使用風扇水牆法降溫(圖 3, 4)。水牆(水簾片)之特殊設計在於其與空氣接觸之面積。在一典型的 30 公尺長 1.8 公尺高，厚度 10 公分的水牆中，就有超過 1,858 平方公尺的水簾片面積。設計優良的水牆，其效率在 75~85%，但若使用大風量、高風速，反將降低空氣與溼簾之接觸時間，

效率因而下降。水牆材質厚者可增加空氣與水的接觸時間，可提高效率但會增加風阻，降低進來的風量。風扇水牆系統應用於組培苗栽培除了有降溫之目的，同時兼具提高組織培養瓶口氣流速度之效果，可提高瓶內外氣體交換率，有關提高瓶內外氣體交換率可降低組培苗栽培存活率，降低玻璃質化與提高生長速率的探討，請參見另一篇有關透氣率影響康乃馨與玄蔘組培苗栽培的論文。

其三，使用活動式多層立體床架(圖 5)，可提高單位土地面積上可種植之面積達 13 倍(一樓 6 層，二樓 4 層，植床允許左右活動，減少固定植床所需的走道數目，可提高 30% 之空間利用率)，控制植床左右活動的方向盤顯示於圖 3 右側。更由於使用雙面反光不銹鋼作為床面，可加強光線之反射程度，進而提高植物體感受到的光照亮度。

其四，安裝全自動往復式自走光照裝置(圖 6)，節約燈具成本達 50%。由於燈管須配合安定器之使用，需額外耗費電力，且在高濕環境下，安定器與燈管之使用壽命均低於一般室內使用情況。在維護成本與省電的雙重考量下，尋求另一種適用於組培苗栽培的人造光源為值得探討的方向，發光二極體為現階段最具潛力的選擇 (Fang and Jao, 2003)。有關考慮進一步節約電費的研究請參見另一篇使用交流供電的 LED 相關論文。



圖 1. 培養基調製、裝填與殺菌作業機械



圖 2. 移植作業區



圖 3. 組織培養區風扇側



圖 4. 組織培養區水簾側



圖 5. 活動式多層立體床架



圖 6. 往復式自走光照裝置安裝於植床上