



植物工廠自動化介紹

◉農試所農工系　陳加忠

設施栽培之發展從最簡單之露地栽培而至最高層次之植物工廠，依其發展先後次序分類如下：

1. 露地栽培：暴露在大氣環境中受自然環境直接影響。
2. 設施栽培：利用人爲設施以控制光強度、溫度、相對濕度與二氧化碳濃度。
3. 養液栽培：利用養液的供給以取代土壤之功能，使作物栽培不受泥土之限制。
4. 植物工廠：在人爲控制的環境內，以類似工廠之生產特性栽培，收穫或處理作物，生產環境完全以人爲加以控制。

植物工廠成立之特色，在於以最小的空間生產最大量之作物。所生產作物以短期栽培即能收穫爲主，如萵苣、菠菜及芽菜等。由於植物生長所需之光源可以能夠完全由人爲控制，其所產生之大量熱氣，對於寒冷之氣候恰可達到加溫之效果，但在夏季則必須以冷卻系統進行空調，因此降溫之成本十分可觀，使生產之利潤受到限制，此爲目前商業化植物工廠經營所面臨之問題。

就國外之植物工廠研究而言，均以養液栽培爲起點，近年來日本之研究以組織培養（又稱微體繁殖）爲重點，而歐美之研究方向則以人類未來太空生存之生態環境爲主。

一、養液栽培

養液栽培爲以培養液取代土壤之栽培方式，因此又稱爲無土栽培（Soilless culture）或水耕栽培（Hydroponics，Water culture）。依其栽培方式大致分類如下：

1. 固體介質栽培：如砂耕、礫耕。
2. 液體介質栽培：如液面升降式、等量交換式。
3. 噴霧方式栽培。

養液栽培之優缺點可分述如下：

優點：

1. 避免土壤連作障礙。
2. 肥料利用效率高，作物生育期限短，增加年收穫次數。
3. 節省原來土耕中除草及施肥等作業勞力需求。

缺點：

1. 養液栽培成本昂貴，栽培者需具有較高栽培技術。
2. 作物於養液中成長，受病害侵襲時，傳染極爲快速。
3. 可栽培之作物種類不多。
4. 國內暑熱環境下，液溫

易受氣溫影響，溫度增加時，飽和溶氧量隨之降低，而此時作物根部呼吸愈加旺盛，使溶氧量不足之問題更趨嚴重，若以冷卻方式降溫則需要更高成本。

近年來環保意識高漲，養液栽培之廢棄物處理問題已引起廣泛的重視，如廢棄養液之處理，使用後之栽培介質如岩棉處理問題等，這些因養液栽培所衍生之問題都需加以解決。

在養液栽培中，大氣環境之控制與設施栽培相同，而在養液之控制方面，其控制對象爲：

1. 養液溫度
2. 養液導電度（EC）
3. 養液酸鹼度（pH）
4. 養液各成份
5. 養液之滲透壓
6. 溶氧量（Dissoved Oxygen；DO）

由於養液栽培使作物不必受到土壤之限制，因此可利用此特性發展成植物工廠與太空旅行用之控制型生命支援系統。

二、組織培養

利用組織培養技術進行繁殖之優點在於可以快速的進行無性繁殖，減少介質需求、病害感染與傳統成苗種植所需之空間，所得的小苗具有良好品質，在繁殖時環境控制容易。然而此種種苗生產方式面臨之問題在於投資成本龐大，需要高程度之人工，培養時期長，某些培養苗移植後成活率低、生產數量不易控制。近年來，農業界著力於將組織培養程序加以機械化與自動化，如香蕉苗及蘭花苗，以改善上述問題。

組織培養之生產過程通常分爲五階段：

第一階段：

準備期；母株選擇準備

第二階段：

消毒、分割接種期。

第三階段：

繁殖分化期；通常需要重覆第一至第三階段5－15次循環以獲得足夠之數量。

第四階段：

根芽生長期；小株通常需要移植至新介質，在此時期小株發展至可馴化階段。

第五階段：

馴化健化期；小株自培養瓶中取出，放置於自然環境之介質內，而存放於環控溫室之內，以適應自然環境，做爲移植室外之準備。

各階段可行的作業自動化方式包括：

1. 栽培基準備（培養成份混合、瓶內消毒及介質分配裝於瓶內等）。
2. 繁殖作業。
3. 種植容器微氣候控制：包括介質之酸鹼度及水潛勢、光量、周圍空氣、溫度、濕度、風速等。
4. 新介質準備及輸送等。
5. 移植作業。
6. 上述生產系統的綜合管理。
7. 產品之包裝、輸送、銷售。

目前組織培養在商業化生產階段，增加繁殖能力與縮短繁殖周期之方法不外乎改良培養基的配方，或改用液體培養基。近年來之研究顯示成長率與品質可藉由環控技術加以改良，利用光調節對生產周期之影響極大，目前之栽培方式其培養瓶內二氧化碳濃度不足，空氣流動速度與光強度皆太低，相對濕度與乙烯濃度則相對太高，這些不利環境可利用環控技術加以調節。爲應用自動化環控技術，首先須加大培養瓶之大小，利用自動化機械手臂作業，減少病菌感染問題，因此加大培養瓶並未增加病菌感染機率。

已商品化之組織培養

自動化技術介紹如下：

㈠節點，直立芽植物之影像繁殖系統

Multiplication robot with a vision system for plants with upright shoots and nodes

此型系統以適合馬鈴薯、康乃馨等作物。已開發之自動化設備如圖1.，爲Toshiba公司產品。此機構有兩具機器手臂。第一具手臂爲移植手臂，共有六軸，利用剪刀型切刀進行割取作業，並有夾持器進行檢測、計數與輸送。最大線速度每秒一公尺。另一具手臂爲偵測手臂，具有雷射光產生器，雷射光掃描器，反射光聚焦器，與位置感應裝置，再配合32位元電腦運算用以確定節點的x，y，z軸位置。

每次切割動作可割取一塊組織，所需時間約10～15秒。此系統之作業流程如下：

1. 輸送具已有培養母株之培養瓶與待移植之新培

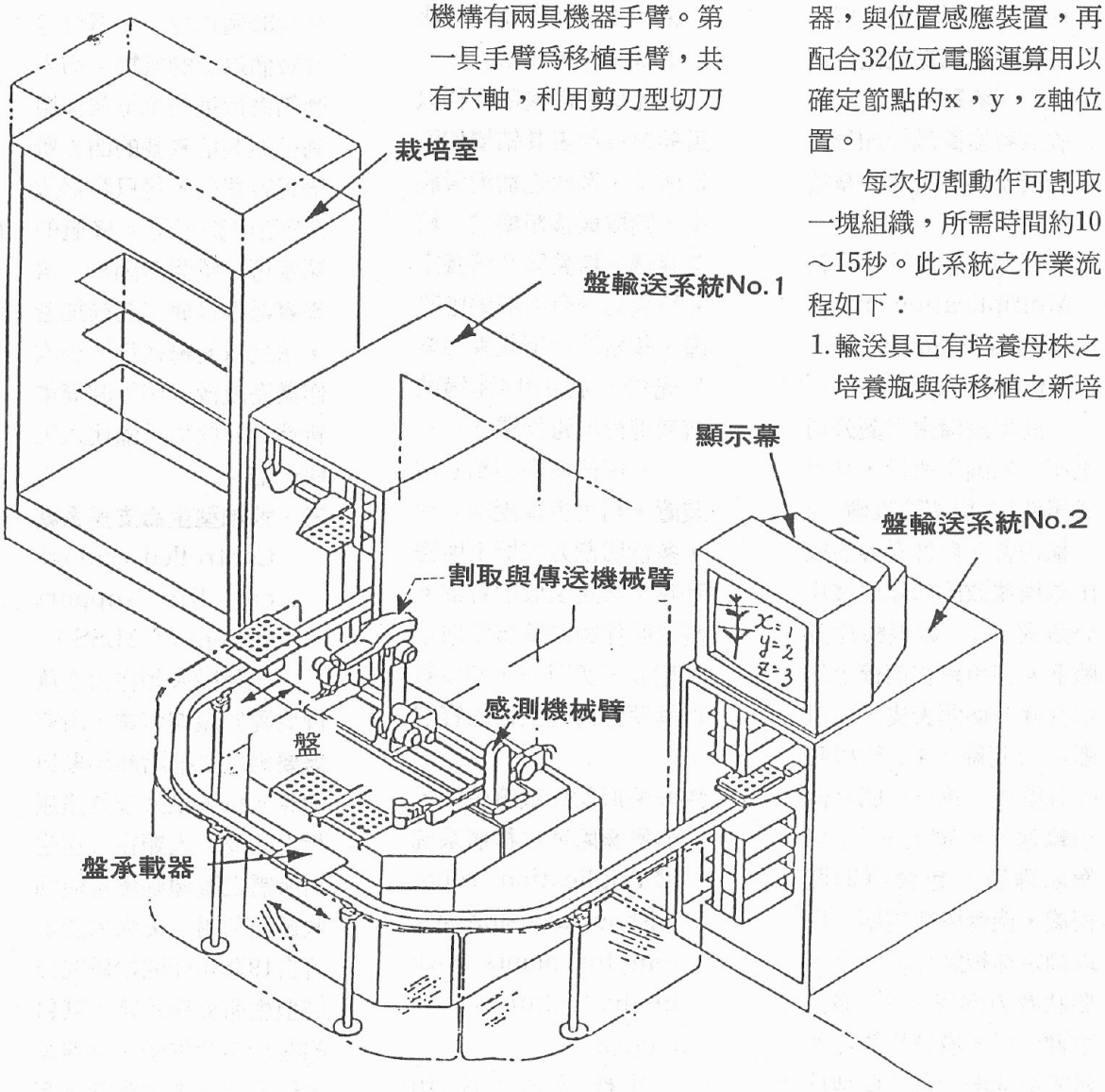


圖1.節點，直立芽植物之影像繁殖系統

養瓶。
2. 確認節點位置。
3. 導引方向，挾持植株（挾持力自0至200g）。
4. 切下節點並挾持。
5. 消毒收取容器。
6. 移置節點至收取容器。
7. 重新定位節點位置，重覆2－6步驟。
8. 收取容器置滿後加蓋置於培養盤，再送到栽培室。

㈡球根作物影像繁殖系統 Multiplication robot with a vision system for bulbous plants

此型設備由三菱公司生產，如圖2.所示，其組成組件1：根切除設備。2：輸送臂。自外界容器取出球根並放置於球根鱗片分離器。3：球根鱗片分離器。利用附在滾筒上的迴轉碟刀切開表皮，再以離心力刮除。4：球根鱗片分離後，單一小鱗片個別輸送至皮帶上。5：影像處理器。包含CCD照相機，旋轉盤與電腦，用以測定球根鱗片之大小，形狀及方向等。6：移植手臂用以檢取球根鱗片並移植至栽培介質。此型移植設備具有4雙手指用以同時挾取四片鱗片，每一收取容器經兩次移植放入8片鱗片，每次移植動作需18秒，一天工作量爲4,800球根鱗片。

㈢直立芽之植株，無影像處理之移植系統 Multiplication robot without a vision system for plants with upright shoots

此型設備適用作物以馬鈴薯爲代表其結構如圖3.所示，系統包括消毒設備，割取與移植機構、培養容器、培養盤及培養室。培養盤內有溶液供應設備、栽培液滴下設備與紫外光燈。利用0.4%過酸溶液進行消毒作業。

利用微電腦控制割取裝置，利用多重極薄刀片，多行切割方式切下所需芽點，再送至收取容器。割取動作與割草機割取草地相似，切刀一次割取數百個芽點再送至目的容器。

㈣多毛形幼芽或叢生型，無影像處理之移植系統 Multiplication robot without a vision system for plants with bushy shoots or clumps

此機器之以Kirin Brewery公司爲代表，適用作物如觀賞羊齒類植物。上視圖與側視圖如圖4.所示。

每具栽培容器（60mm * 60mm * 75mm）依輸送皮帶自供應箱一次輸送一具容器至無菌台，以眞空圓筒去荳。以切刀圓筒進入容器內將植株分成36個單位。每單位包含數個以上的植物。切入圓筒夾持這些單位並移植到已填裝培養基的四具新培養容器內，每只容器放入9個培養單位。移植的深度可用感測器調整。培養容器再以眞空圓筒加蓋，送到目的輸送箱。每次作業完成後，切入圓筒重新消毒。此型設備比人工快十倍。

三、控制型生命支援系統 Controlled ecological life support system（CELSS）

現階段人類在太空旅行均屬於短期作業，所有需要維生之補給品均取自地球。爲未來太空長途旅行之需要，人類在太空生活所需之資源應儘量能回收循環利用。美國太空總署自1978年即開始研究控制型生命支援系統，其目的在於結合生態、物理及化學系統以生產食物、空氣與飲水。在1985年發展出第一型設備稱爲生物物質生產室（Biomass production chamber，

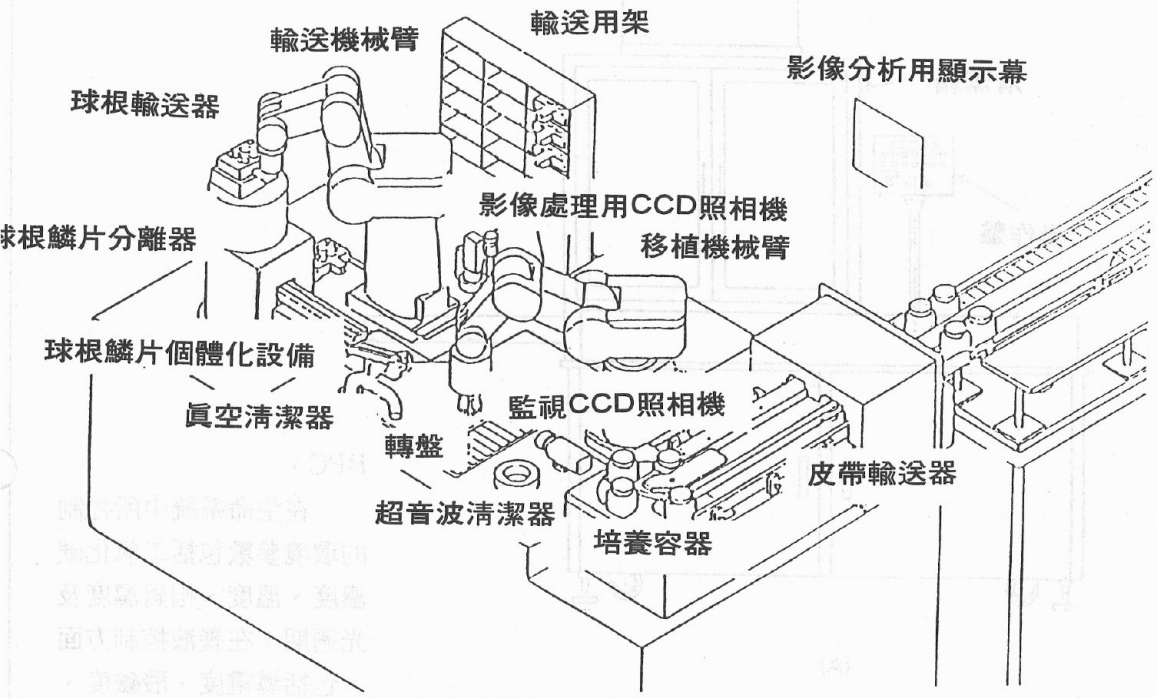


圖2.球根作物影像繁殖系統

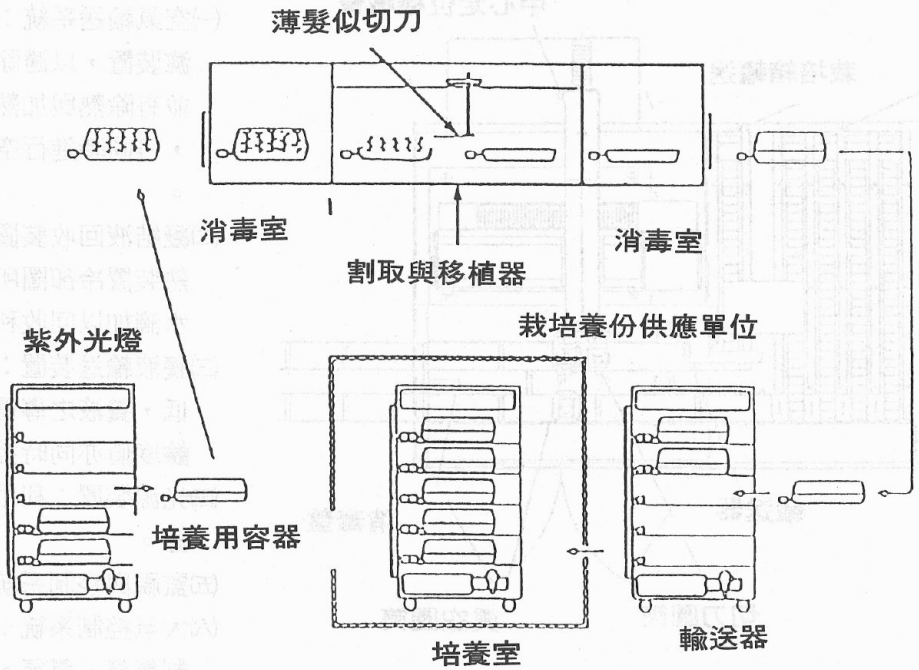
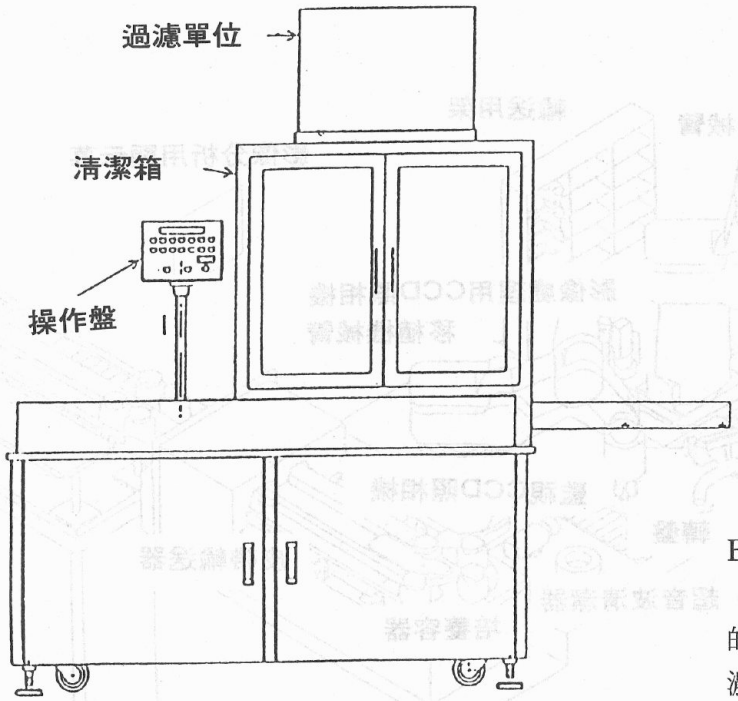
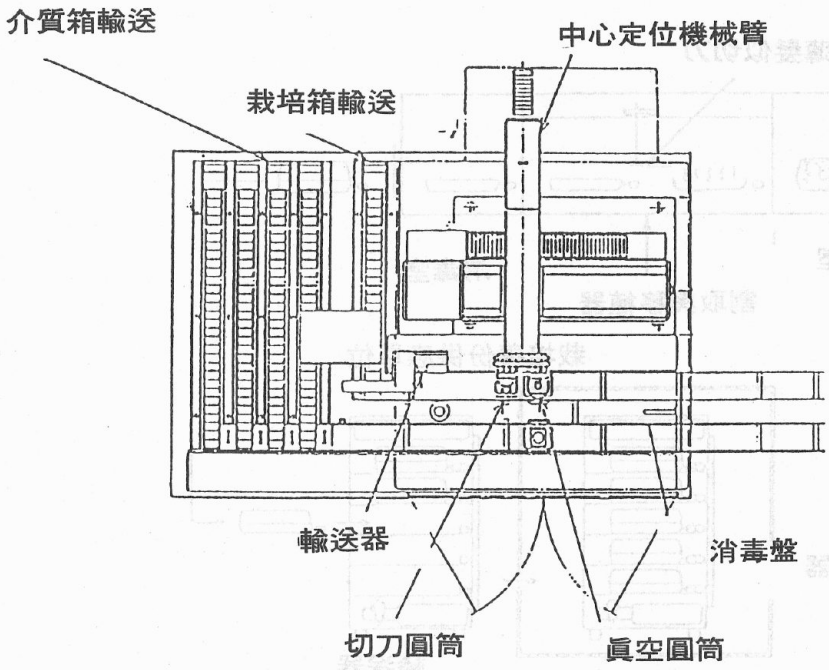


圖3.直立芽之植株，無影像處理之移植系統



(A)



(B)

圖4.多毛形幼芽或叢生型，無影像處理之移植系統

BPC）

在生命系統中所控制的環境參數包括二氧化碳濃度、溫度、相對濕度及光週期；在養液控制方面，包括導電度、酸鹼度、溫度及液面高度等參數。其結構可分爲：

㈠空氣輸送系統：包括過濾裝置，以濾除雜質，並有除熱與加熱裝置等，可同時進行空調作業。

㈡凝結液回收裝置：將除熱裝置冷卻圈所結露之水滴加以回收利用。

㈢養液輸送裝置：液面高低，養液之導電度、酸鹼度值亦同時控制。

㈣光源裝置：利用人工光源。

㈤監視與控制系統。

㈥大氣控制系統：同時控制氧氣、氮氣、二氧化碳濃度與人員呼吸用空氣。