



# 種苗生產自動化



行政院農業委員會種苗生產自動化技術服務團編印

傳真：(02)3627620 電話：(02)3929769

聯絡地點：台北市舟山路 136 號(台大農機系) 主編：馮丁樹

## 養液栽培裝置

國立台灣大學農業機械工程學系  
馮丁樹教授

1. 可縮短生育期，增加年收穫次數，採收量高而穩定。
2. 可週年生產，如構成植物工廠之作業，可提高溫室之利用率。
3. 可避免土壤病蟲害及連作障礙，無需進行休耕或輪作。
4. 肥效高，為土耕之二至三倍。
5. 節省勞力，免除播種與除草等作業，且勞力分佈適當。
6. 蔬果之品質提高，且清潔安全。

### 一、水耕法之優缺點

利用溫網室栽培植物已逐漸成為現代農業之一環。傳統作物栽培係將種子種於土壤中，由土壤提供無機養分、水分及空氣，再利用光合作用成長。溫室中，亦有利用其地面之原來土壤栽培之方式，可以節省設施費用。然而由於土壤的養分甚難控制，且易產生連作障礙的問題，故一般溫室中，已傾向於採用介質(或岩綿)、苗盤(鉢)與植物體相結合之生產法，其所需之水分及養液則由人工調配，適時供應。

養液栽培法則屬無土壤、無介質的栽培方式，或稱為無土栽培或水耕栽培，其水分、養(肥)分等可利用溫網室中之固定設施，進行噴霧、噴灑、滴灌或淹灌的方式，定時定量供給。由於養液栽培使作物不必受到土壤之限制，因此利用此特性可發展成植物工廠與太空旅行用之控制型生命支援系統，未來之發展空間甚為寬廣。

一般養液栽培之優點如下

但此種方式仍有列諸缺點

1. 養液栽培成本昂貴，栽培者需具有較高之栽培技術。
2. 作物於養液中成長，受病害侵襲時，傳染極為迅速。
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，使溶氧量降低。
5. 廢液、介質等之處理會造成環保問題。

### 二、自動化栽培及環境設計觀念

完整的溫室生產系統應同時保留三個主要功能，即作物栽培系統、環境控制系統及自動化或機械化系統。這三者間應相輔相成，在設計過程中應有相互交流的功能，而非各自為政，亦非閉門造車。其最終之理想是創造一個可以被適度計量的系統，以便能獲得最佳化之生產，並獲得最高的利潤。圖 1 所示為這種系統的設計觀念及其相互間之關係。

栽培系統之形成，首要之對象為作物，故對作物之種類及其相關習性



應先能知之甚詳，才能開始進行系統之規劃。而規劃之初，栽培系統及其所用之機械化方式與可用相關機械設備等均需先行確立，方能進入第二規劃階段。待這些相關系統確立後，即可決定溫室之型式及其所採用之環控系統。目前很多現有之溫室常採用相反的思考模式，致一些機械設備及栽培型式常必須在削足適履的窘狀況下作痛苦的決定。

養液栽培技術之應用需要與作物之生理環境相配合。因此，養液栽培系統常無法單獨存在，必須在保護的環境或溫室系統下，方可發揮其功能，並使作物成長良好。由此可知，作物之生長是起點，由此展開整個溫室生長系統之設計流程。其中除作物栽培時所需之各種生長條件外，尚包括作物栽培系統、環境控制系統及機械化或自動化系統，三者構成溫室系統之核心，也是整體化的基礎，而養液栽培技術則屬作物栽培系統中之一環

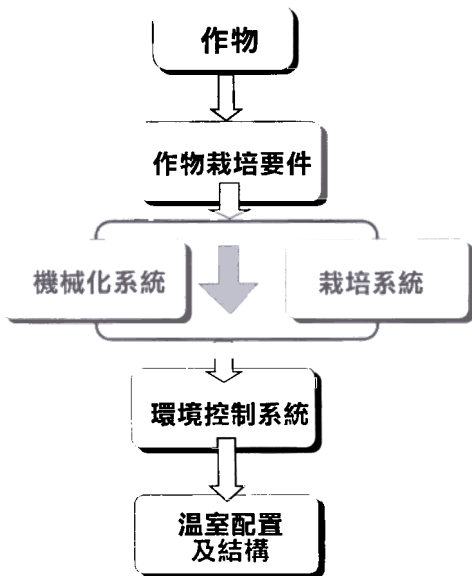


圖 1. 溫室設計流程

### 三、植物之生長環境

環境一詞乃指植物所承受之外在條件，維持在此條件下植物才會成長茂盛。環境條件包括水分、養液、介質、空氣量、空氣溫度、太陽輻射能、濕度及二氧化碳含量等(圖 2)，控制這些參數後，即可在溫室中提供植物之微型成長環境。由此亦可細分為植物之頂部、葉部、底部及根部等區域。植物之頂部則包括太陽之輻射及氣體含量等環境因素。

葉面能量之平衡是藉葉面水分之蒸發作用來調節，這些水分經由植物體輸送。在蒸散過程中，水由植物體吸收，並間接調節葉中之二氧化碳及氧之交換速率。蒸散作用與氣體之交換速率直接受外界空氣之流動速率影響。而蒸發則受週圍濕空氣的特性所控制。總而言之，葉面及空氣溫度可調節光合作用、呼吸作用、同化作用、蒸散作用及養分之吸收率。

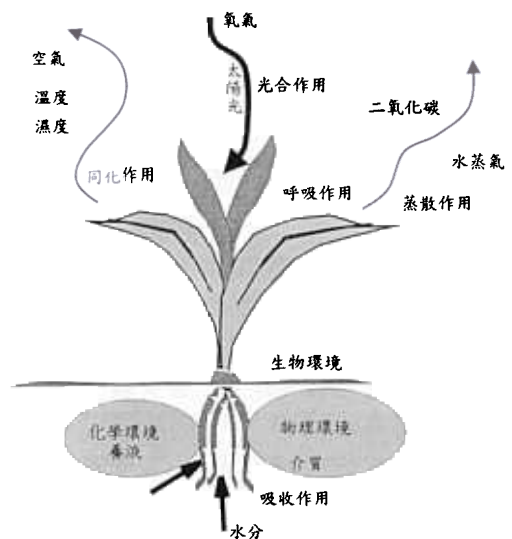


圖 2. 植物生長時之環境因子

植物根部包括氣/液環境、養分環



境、物理環境及化學/生物環境等。氣/液環境係指水與氣體之比例、營養液之可利用分佈與施用時間。營養液環境中，包括礦物質含量、鹽分及生長基質與營養液之PH值。根部及營養液溫度直接影響水分之攝取與氣體交換情形。

**營養液**之流動速率及流動之時間會改變根部之邊界流條件而影響氣體之交換。流量高時會產生較小之邊界層，因而提高其氣體交換率。只要充分的流量，可增加曝露於優氧營養液的時間，進而增加水與氣體之交換。營養液之滲透壓力(與鹽分濃度成正比)則可調節植物之水分攝取活動與其蒸散的能力。

為使根部能順利吸收水分及養分，通常需將根部置於某限制之範圍內。將根部加以包覆甚為重要，如此可以減少植物因各種變因產生之不良變化，並減輕生長期間之壓力；這些因素包括過低之空氣濕度、太陽之直射、高溫、苔菌之繁殖(影響PH值、營養及溶氧量等之水準)及根部可能之感染物(細菌、昆蟲等)等。在大部份之營養液循環系統中，通常更需要將根部加以包覆，以減少營養液之流失，並防止其營養液貯存槽受到污染。

營養液中之**溶氧量**在任何作物生產中提供一個成功生產系統的重要因素。有許多方法可用以增加溶液中之含氧量，其中包括：明溝流水之方式、瀑布曝氣式、飛濺充氣式、直接泵氣進入營養液或儲存槽攪拌式或利用文氏口吸力將空氣直接吸入分配管中。液位之上升或下降會對根部間之空氣產生清除、吸入等更換動作。在液位上升時，根部之空氣會被驅出，而液位下降時，新鮮空氣會被吸入基質

內補充。

檯架式、地板式或營養液儲槽式**加熱系統**則是用以控制根部區之最低環境溫度，但根部之降溫則甚為困難。最好是以採用保護或防範措施為主，如遮蔭法擋去太陽直射、以反射膜保護根以及將儲存槽絕熱或將營養液槽置於地面以下等等。營養液可以利用攪拌法或曝氣法來增加溶氧量。

營養之攝取量依溫度而定，且與營養液的濃度成正比例。特定元素之利用率亦受PH值之影響。即使營養液維持在原設定之水準，生長基質中之營養成分長時間而言仍會增加，此情形對植物成長會有不利影響。

**物理環境**方面，則包括根部基質物之物理性質如含陽離子交換能力、持水能力及密度等。空氣溫度影響根部區溫度之增減時差，其傳遞速率則依根部基質的體積及其熱傳特性而定。基質本身之活性或惰性會決定其對營養液的緩衝能力。這些物理特性包括基質之密度與結構等會影響其持水能力與流經根部區之路徑。

**化學或生理環境**方面，則指根部週圍之有機廢棄物之清除及有益或有害之微生物。根區部存在大量活的微生物。故一般所關心者只是如何消除其上具有傳染性的病菌與害蟲。為防止此種病菌之蔓延，必須細心消毒或加以清除。存在根部系統之有機混合物，其所分泌液體有時可能會被營養液稀釋，並經由整個系統分配至其他未受感染的植物體上。

#### 四、養液栽培系統之組成

植物根部及空中之環境因素直接受栽培系統之特性及其應用的限制所



影響。栽培系統常分為水耕栽培、無土栽培或強迫流水式兩種。事實上仍有其他許多型式存在(如NFT等、潮汐式等等)，且各型式內亦自有不同的變化。許多較為成功的作物生產系統中，其基本需求及所用之一般組件將依其分類名稱分別說明如下：

### 1. 容器或固定物

容器用來盛裝介質，使植物根部所需之養液及水分有一定交換的範圍，使根部獲得適當的成長環境。容器有杯、槽、管、板等型式，材質可為塑膠、保利龍、布、石綿等。環境保護方式則可用塑膠、PVC、玻璃、玻璃纖維等作成隧道、椽架或精密溫室等。容器可成行放置台架或植床上，以提供根部成生長空間，並將養液輸送至根部，若有多餘水分則可適時排除

**生長容器或夾持具：**生長容器為盛裝或固定植物根部基質之器皿或夾持具，使根部之成長、根部營養分與氧氣間之交換等有一定的範圍，並提供根部之基礎及陰暗的環境。這些型式包括槽式、管式、或由塑膠膜、塑膠板、鋁板、水泥等材料作成之墜道式或椽架式等等。其安排方式可能為行列式或檯架式，並將容器分批置於其上，或直接置於溫室之地板上。這些容器對植物根部之生長應提供足夠的空間，並需能將營養液輸送至根部系統。同時，需具有良好的排水能力，以去除多餘的水分，並保證氣體交換能順利進行。容器若能回收使用，則必須容易進行清洗及消毒。

**植物體支撐：**直立之植物種於鉢中時，只要其容器本身充滿基質，即應可提供足夠的支撐。水耕或無土栽培中

，植物之根部僅含甚少基質甚或無基質存在，故無法固定植物體。若植物本身有往上生長的習性(如蕃茄、薔薇時，就必須另加支撐，以支持其莖葉或花果部份。由於架設支撐的工作需要勞力甚多，故最好能加以簡化或省略。作物之支撐應以不妨礙其成長為前提，並且必須容易維護。

### 2. 養液的供應

**養液槽：**在種植作物時，養液應充足供應，但亦可以濃縮狀態儲存，需要使用時再以水稀釋之。為使養液供應順暢，系統中需有一個大的儲存槽以回收養液。另設有一套新鮮養液供應系統，以便隨時將新鮮養液依比例混合。系統儲存槽之容量、安全防漏措施、清潔度及位置等須詳加考慮。此設備為供應養液的來源，必要能按正確的比例及流量供應系統所需，但所佔的體積要在合理範圍內，不應過大

**營養液分佈：**巨量及微量營養素均必須先溶解於水溶液中，方可輸送至植物根部吸收使用。營養鹽類之特定型式、組成及來源均相當充裕。其分佈的方式，如利用噴霧、滴灌、流水、溝灌、霧化及浸水等均可導出許多以不同原始名稱所構成之栽培系統。

### 3. 送液泵及管路

**泵及管路：**泵及管路主要在提供一個固定的輸送方式，將養液自來源平均分送到各株植物或各個群體集中的位置。由於營養液對金屬具腐蝕作用，故大部份之管組件均以塑膠材製成。管路之距離、系統之壓力、流量及使用之頻率與時間等均為決定泵的大小及其能源需要之主要因素。



**收集系統：**主要使用於營養液回收系統，可收集植物部份剩餘的營養液。排水部份則經由渠道或管路藉其重力流回儲存槽。有些系統之排水及供應系統為同一組。但收集系統則不利用『即時供應營養液』系統。一般所用之方法是以小量水流來調節精確營養液含量，否則直接視為廢水排掉。

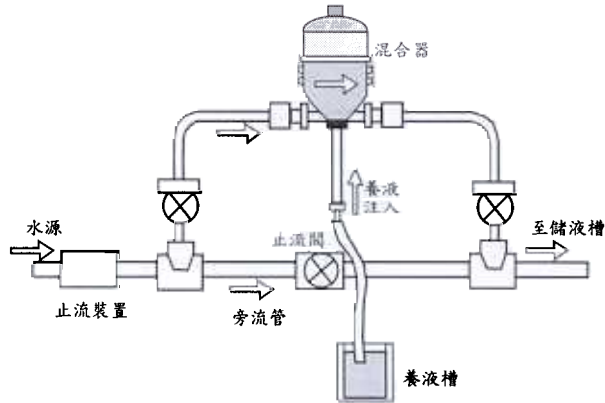


圖 5. 利用水壓產生泵吸作用，將藥液與水相混合之混液裝置

**4. 管路控制組件**

**止流裝置：**管路中有負壓產生時會導致回流的現象，故一般管路均設置有止流裝置，以防流出去之水或營養液回流至營養液槽或自來水源之管路中，污染源頭。最常用之止流裝置如圖 3 所示，由止流閥與空氣釋放閥結合而成。若供應管路水壓降低時，止流閥會自動關閉，空氣釋放閥則打開。使空氣進入管路中，累積在管路中之負壓中斷，管中之水將無法回流。這種裝置應裝設於管源控制閥及出水端之間。

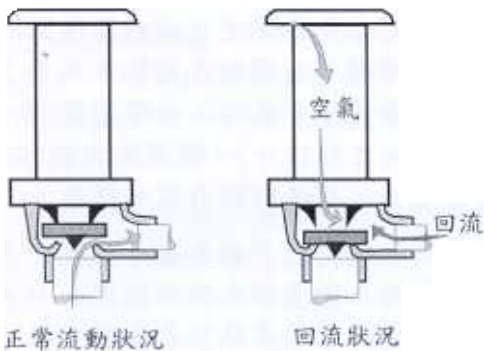


圖 3. 止流裝置作用圖

有些肥料或營養液常需與水混合後再送至植物的根部。為防止在混合筒中之水溶液沿管路回流，在管路設計上，來源管之出口處至少應離開液面二個管徑的高度(如圖 4 所示)。利用空氣隙可防止虹吸回流的現象。

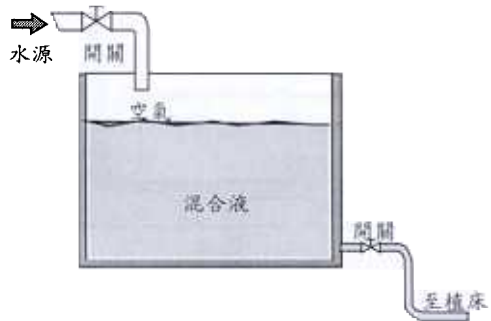


圖 4. 利用氣隙阻止回流

**混液器：**混液器係將濃縮肥料或營養液按一定比例與水混合，以獲得適合植物之營養溶液。混合器有兩種型式，常用者係採用文氏管的原理，當水流在管路中流過一略小口徑處時，會產生壓差，使溶液經外界大氣壓流入管路中混合。另一種型式是採用壓力泵直接將溶液壓入管路中與水流混



合。這兩種型式均能調整水與溶液的比例。

圖 5 所示為利用水壓進入混合室時，產生上下運動，並帶動下面之活塞，將藥劑由底部儲存槽吸入之情形。其吸入量可由底下之活塞伸縮長度調節之。

**警告系統：**警告系統是一種最簡單的裝置，但卻可以保全植物的生機。警告系統使用的地方包括斷電、水位不足、植物根溫超過限制等等。圖 6 所示為典型警告系統，基本的組件包括感應器、電源供應器、接線、及警鳴器等。最簡單之裝置為具有感溫器以電池為電源的警報器。當液溫高於某特定溫度時，蜂鳴器將發出響聲。感測器除偵測溫度外，亦有感測水分、介質濕度、水位、煙及火等特殊用途。

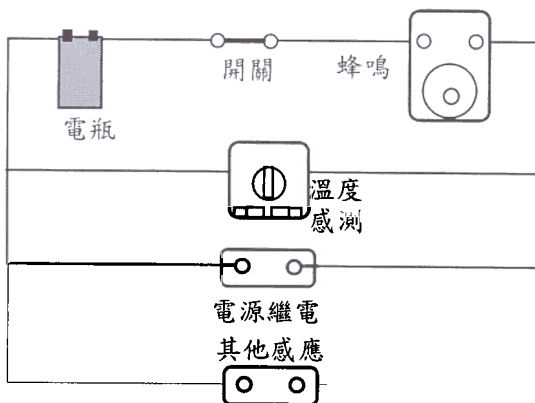


圖 6. 警報器之基本組成

## 五、養液輸送處理環境

栽培系統需要許多生理上的處理過程，這些過程主要配合輸送植物所

需之養分及水分進行。根部區則是外在世界與植物內在世界間之聯繫橋樑。根部之灌溉直接影響蒸散作用、養分攝取、氣體交換及有機廢棄物之排除等過程的進行。水分及養液輸送系統之特性則會控制這些過程中之參數，並可調節其相對活動及間接調節植物體之成長與發展。輸送系統之基本特性與功能如下：

1. 根區內營養液之運輸或流動型式
2. 根區之緩衝能力。
3. 營養液是否回收使用或直接排棄
4. 營養液之使用時間及其頻率。

營養液輸送至根部有多種方式。營養液可能為流動或靜態，並需要藉毛細管作用抵達根部。故最重要的是要認清每一種方式所需之控制參數。在一個流動的系統裡面，其灌溉頻率、時間及流量均必須加以考慮。靜態系統則可能僅需考慮加補充水於儲存槽之時間，以保持適當的溶液深度。毛細管系統則需同時考慮流動及靜態系統，基本上其可控制之因素最少。

系統中所用之毛細管原理主要在克服環境造成的波動，並為根部提供水分、養分與氧氣儲存之場所。採用根部基質之生長系統之目的則提供持水能力、陽離子交換能力及氧氣所需之空隙。另一種系統則不使用基質(除為移植目的之部份外)，採用完全以水蓋覆之方式，其緩衝能力因而很低。

這種無緩衝能力的系統，在設計時必須考慮自動偵測與控制的方法，不僅需能隨時量測其臨界參數值，以圖維持在原設定範圍，而且需裝置警



告系統，以防止意外發生。根區缺乏緩衝能力時，通常需要注意水分及養分之澆灌頻率，並維持溶液中之 pH 值及溶氧水準。

流動式或靜態式系統均可採用再循環(閉路)或一次排放(開放)系統。閉路或閉路系統係指養分液經過植物根部後之處理問題。閉路式係將營養水分使用過一次後即排出系統之外；而閉路系統則可再用這些營養液。通常閉路系統之植物根部需要有較大的緩衝能力，如鉢盆式使用無土基質即是。這種方式下，其養分及水分之保持能力增加，因而可減少灌水之次數。緩衝能力小之開放系統則會浪費養分液，故較不實用。閉路系統由於不需要根部緩衝功能，較為經濟，但必需隨時考慮到病菌的傳播問題，且要一直控制及監視其在營養液中之變化。

營養液流動之頻率與時間依上述所列的栽培系統特性而定。其在根部的流動方式及緩衝能力，以及所採用的究為閉路或閉路的處理方式等均必須加以考慮。

而最重要的是在栽培系中植物所顯示之特性。這些決定因素包括各種品系中之生育年齡、環境條件及其生產中對水分之需求等。

在管路方面，養液供應時通常在進入輸送管路前先行攪拌混合。其後再分配至植床處供應植株之所需。溫室中常用之輸送方式如圖 7 之低壓供液系統。其供應壓力可由混養液槽之

自然落差或其他方式形成。主開關可用定時器或控制器控制。養液送至植物根部時，可利用滴灌管或濕潤管進行分佈。這種低壓供水之方式甚為集中，因此非在植物根部區之土壤或介質將無法獲得養分，但水分乃會在根系附近擴散。

## 六、監控系統

植物生長環境之自動監測工作，目前已可針對溫度、濕度、日照期及強度、空氣二氧化碳濃度以及營養液中之 pH 值與鹽分含量等之特性參數

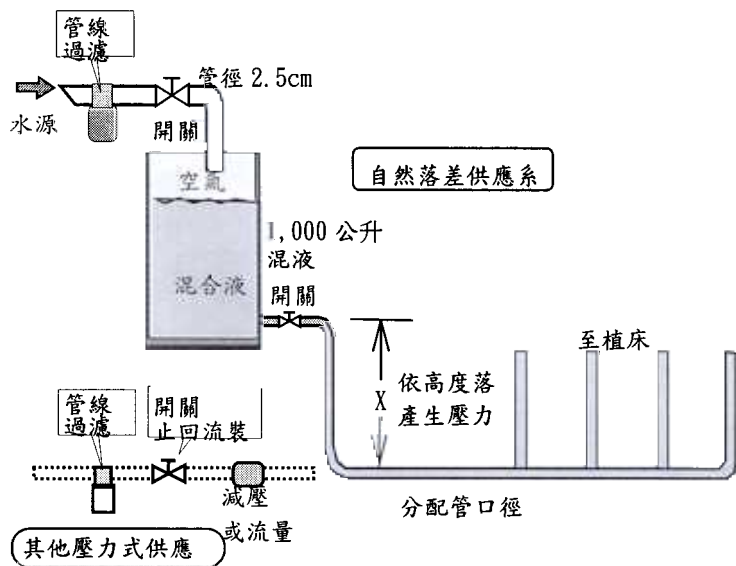


圖 7. 低壓式養液及水分供應系統

作穩定之偵測。更新的資料可以用來進行較嚴密的控制，使其獲得所設定之溫度，並提供一個清晰且為逐日變化之植物成長環境。為期能發揮節能效果，最近更有人倡導以不施用荷爾蒙而能獲得利潤之植物生長控制方法。在此種趨勢下，以控制為主要目的之資訊流動已變成為愈來愈不可避免的事實。



成長的幼苗，成長的希望

