



網室及養液栽培裝置

國立台灣大學農業機械工程學系教授

馮丁樹

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，再利用光合作用而成長。溫室中，亦有利用其地面之原來土壤栽培之方式，可以節省設施之費用。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：

- 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。

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。

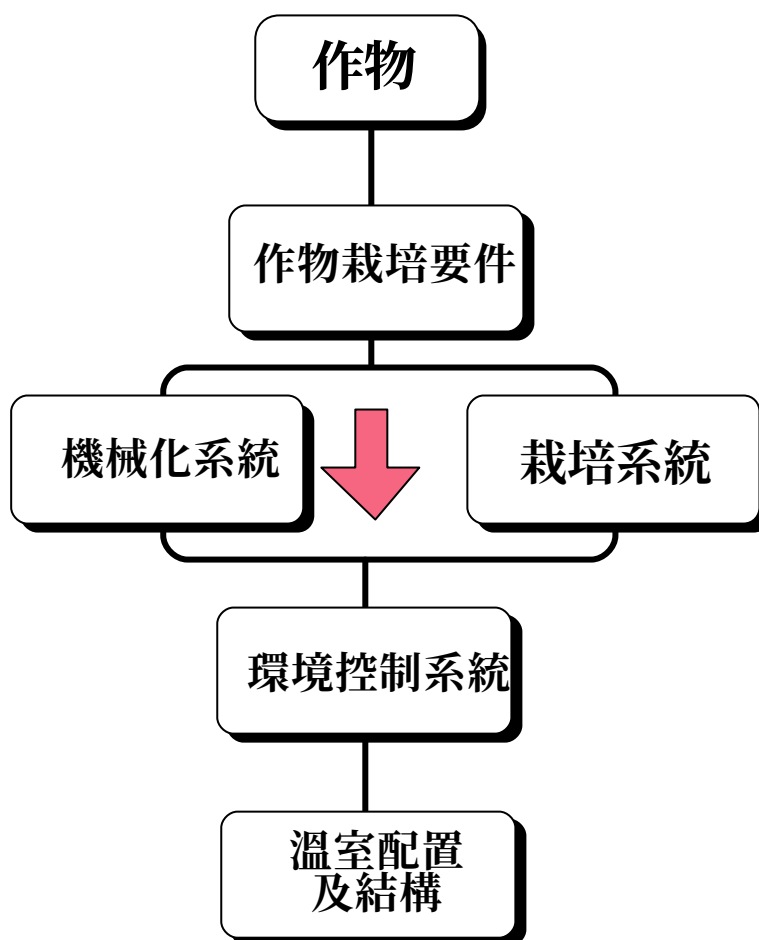


二、自動化栽培及環境設計觀念

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。圖一所示為這種系統的設計觀念的形成，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。有了這些相關系統之後，才能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方式的思考式模式，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。

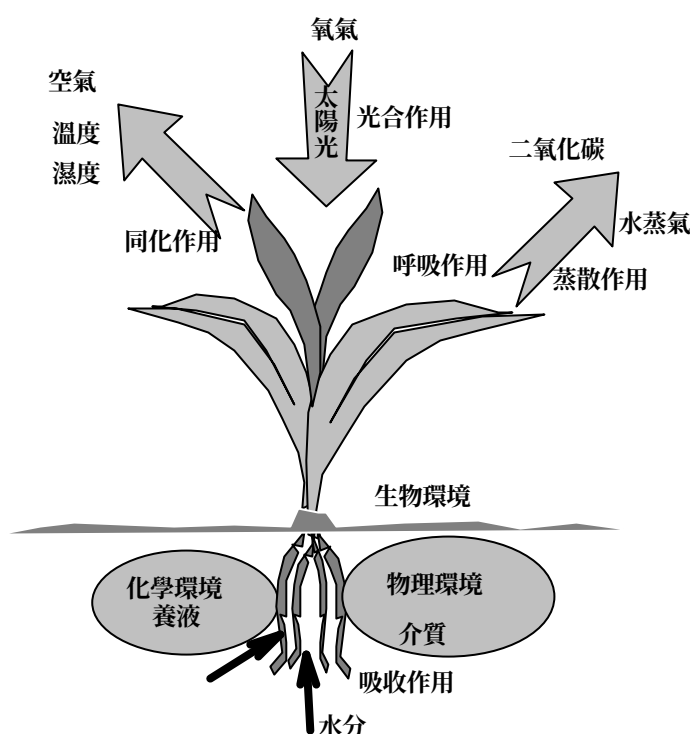
養液栽培技術之應用需要與作物之生理環境相配合。因此，養液栽培系統常無法單獨存在，必須在保護的環境或溫室系統下，方可發揮其功能，並使作物成長良好。由此可知，作物之生長是起點，由此展開整個溫室生長系統之設計流程。其中除作物栽培時所需之各種生長條件外，尚包括作物栽培系統、環境控制系統及機械化或自動化系統，三者構成溫室系統之核心，也是整體化的基礎，而養液栽培技術則屬作物栽培系統中之一環。



圖一、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(圖二)，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，這些水分則經由植物體輸送。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。



圖二、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、營養溶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包含陽離子交換能力、持水能力及密度等。空氣溫度影響根部區之溫度是否迅速或略有時差，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無有害之微生物。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應用上的限制所影響。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、橡架或精密溫室等。容器則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、鋁質材、水泥等材料作成之墜道式或橡架式等等。其安排方式可能為行列式或檯架式，並將容器分批置放於其上，或直接置放在溫室之地板上。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的工作。

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，養液應充足備用，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：營養液必須事先準備，並大量儲存。亦可以濃縮狀態儲存，使用時再以清水稀釋。一個營養液回收系統須具備一個大的養液回收儲存槽，以收回灌溉過後之營養液；同時另外需設立一個新鮮養液供應系統，以隨時按比例混合，供應系統之所需。整個系統中，儲存槽容量、安全之防漏措施、乾淨度及位置均必須詳加考慮。這個『即時供應養液』之來源必須能按正確的比例及流量供應系統之需要，但所佔的體積應在合理的範圍，不得過大。

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

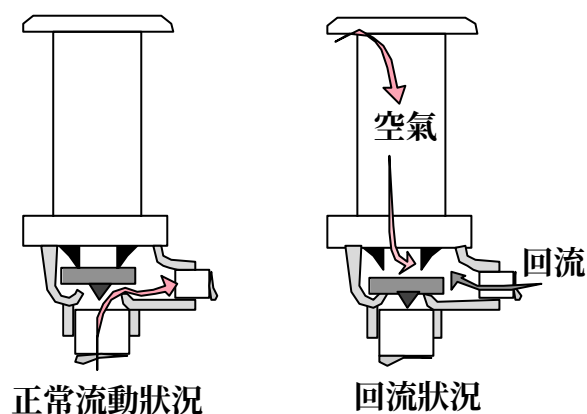
各株植物或各個群體集中的位置。由於營養液對金屬具腐蝕作用，故大部份之管組件均以塑膠材製成。管路之距離、系統之壓力、流量及使用之頻率與時間等均為決定泵的大小及其能源需要之主要因素。

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。

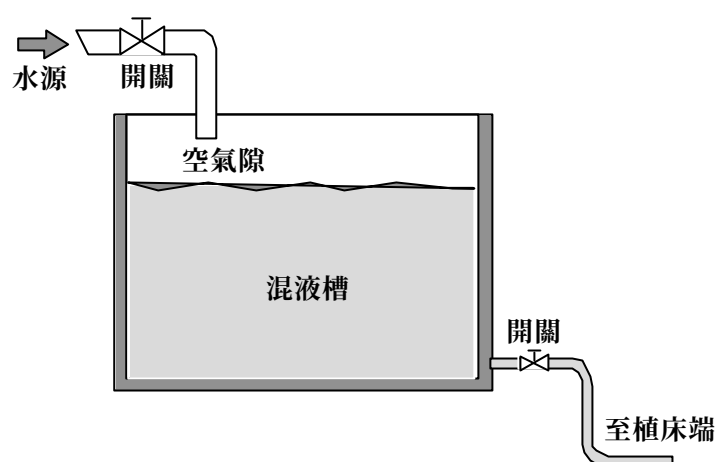
4. 管路控制組件

止流裝置：管路中有負壓產生時常會導致回流的現象，故一般管路均設置有止流裝置，以防流出去之水或養液回流至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三所示。通常將止流閥與空氣釋壓閥結合而成。若供應管路水壓降低時，止流閥會自動關閉，空氣釋放壓閥則打開。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。

有些肥料或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(如圖四所示)。利用空氣隙可防止虹吸回流的現象。



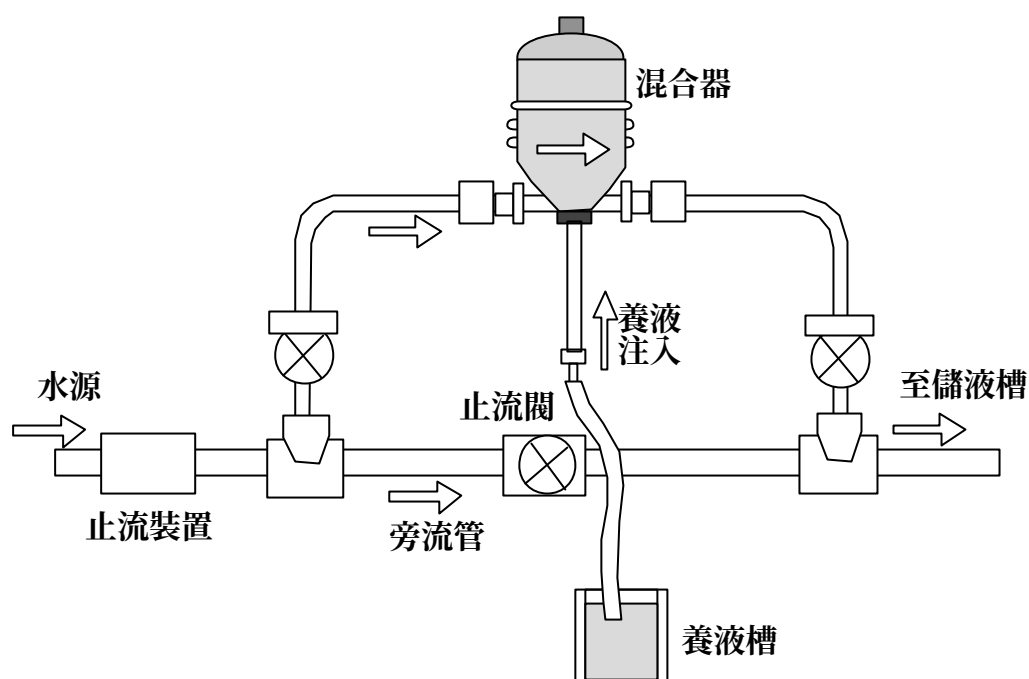
圖三、止流裝置作用圖。



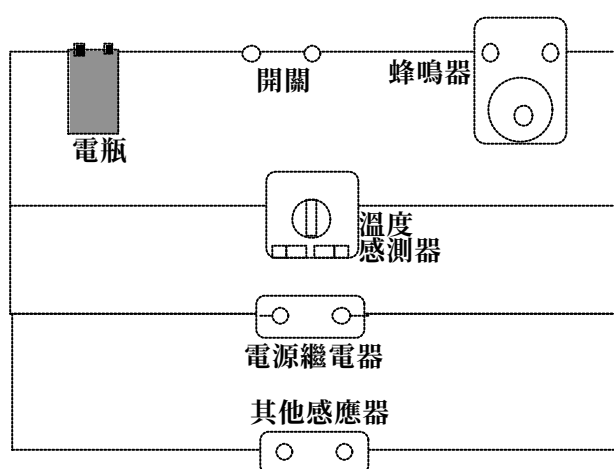
圖四、利用氣隙阻止回流。

混液器：混液器係將濃縮肥料或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。圖五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。圖六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。



圖五、利用水壓產生泵吸作用，將藥液與水相混合之混液裝置。



圖六、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之間之聯繫橋樑。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，或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。

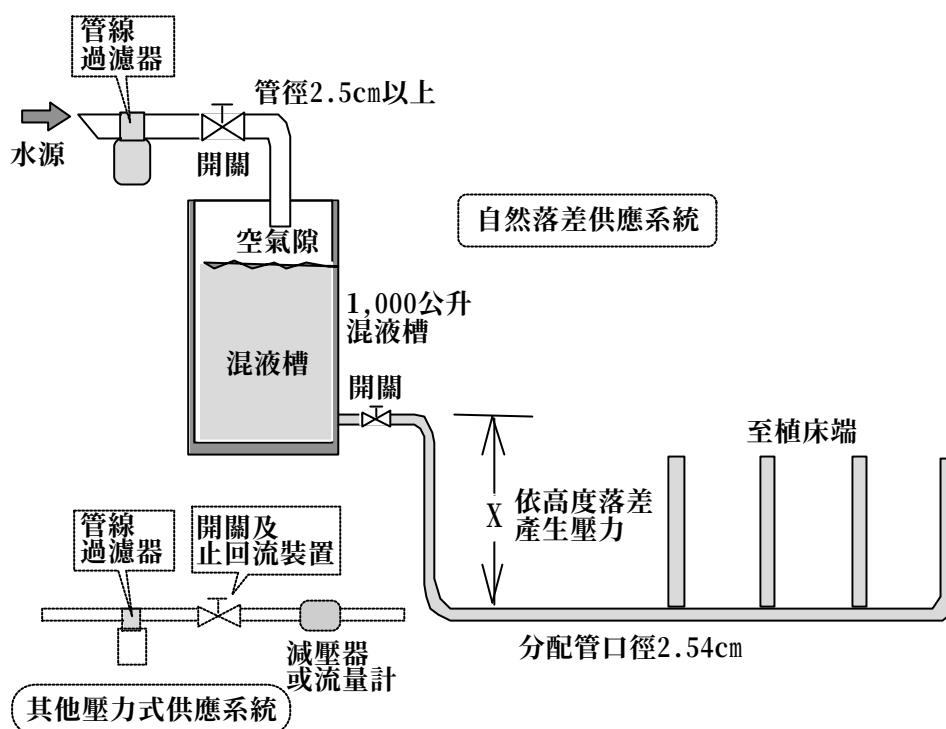
系統中所用之毛細管原理主要在克服環境造成的波動，並為根部提供水分、養分與氧氣儲存之場所。採用根部基質之生長系統之目的則提供持水能力、陽離子交換能力及氧氣所需之空隙。另一種系統則不使用基質(除為移植目的之部份外)，採用完全以水蓋覆之方式，其緩衝能力因而很低。這種無緩衝能力的系統，在設計時必須考慮自動偵測與控制的方法，不僅需能隨時量測其臨界參數值，以圖維持在原設定範圍，而且需裝置警告系統，以防止意外發生。根區缺乏緩衝能力時，通常需要注意水分及養分之澆灌頻率，並維持溶液中之pH值及溶氧水準。

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。開路或閉路系統係指養分液經過植物根部後之處理問題。開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。通常開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營養液中之含量。

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，以及所採用的究為開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七所示之低壓供液系統。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。



圖七、低壓式養液及水分供應系統。

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。

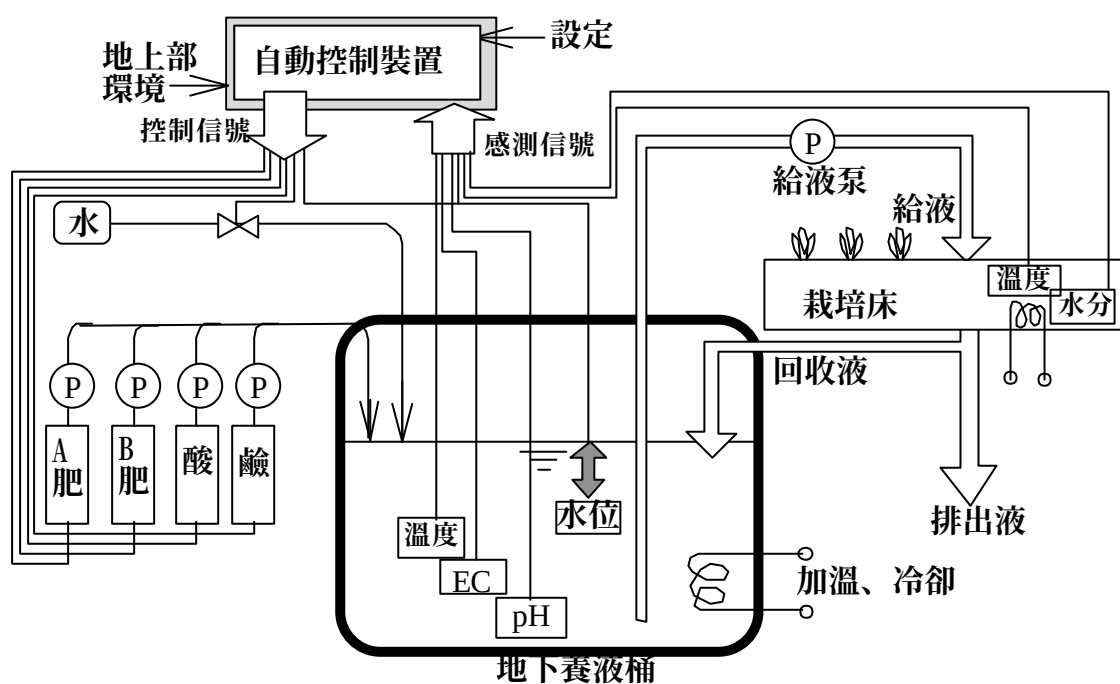
最簡單的植物栽培系統是直接定時器以固定的頻率控制送液泵的動作。較複雜的控制系統則為電腦監控，自動調節養液的濃度，並依植物的生理年齡及當前環境狀況以決定控制的時間及頻率。一般對養液的狀態能以連續自動方式監測，其他參數如養液的pH值、導電度及溫度則以手動方式檢測，即可得到良好的作物生長。為防止養液液位不足、pH值變化、導電度變化及環境異常等的自動警報系統亦十分重要。



一個自動化之養液栽培設備至少應能控制下列各項參數：

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(DO)

典型之控制系統如圖八所示。自動控制裝置除控制地上部環境外，植床環境之則包括上述各種感測器傳入之信號及輸出之控制信號等。以調配養液之成分與數量及輸送之時間。在寒帶地區養液槽及栽培床有時必須另行加溫，以維持植床之環境溫度。



圖八、完整自動化水耕栽培之養液控制流程。

在養液栽培所使用的感測器包括下列項目：

導電度感測器：利用電解質導電率與物質濃度之關係，用以量測物質於水中之濃度。此種感測器誤差大，易受干擾，故需經常校正，並保持量測表面之清潔。

酸鹼度感測器：利用已知溶液與等測溶液因 pH 值變動引起之電位差測出酸鹼



值。

溶氧量感測器：利用電極體，白金與鉛測定因溶氧量變化所產生之電流而獲得 DO 值。

離子感測器：導電度、酸鹼度等感測器所顯示之數值為養液之綜合表現。針對鈉、鐵、氯及碘等離子亦有相對應之感測器。

其他感測器：如水溫、水位計及流量計等亦常搭配在輸送線路中。

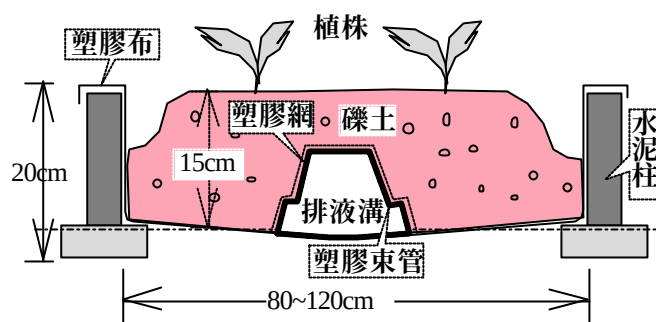
七、養液栽培系統

1. 砂耕或礫耕 (Sand culture or gravel culture)

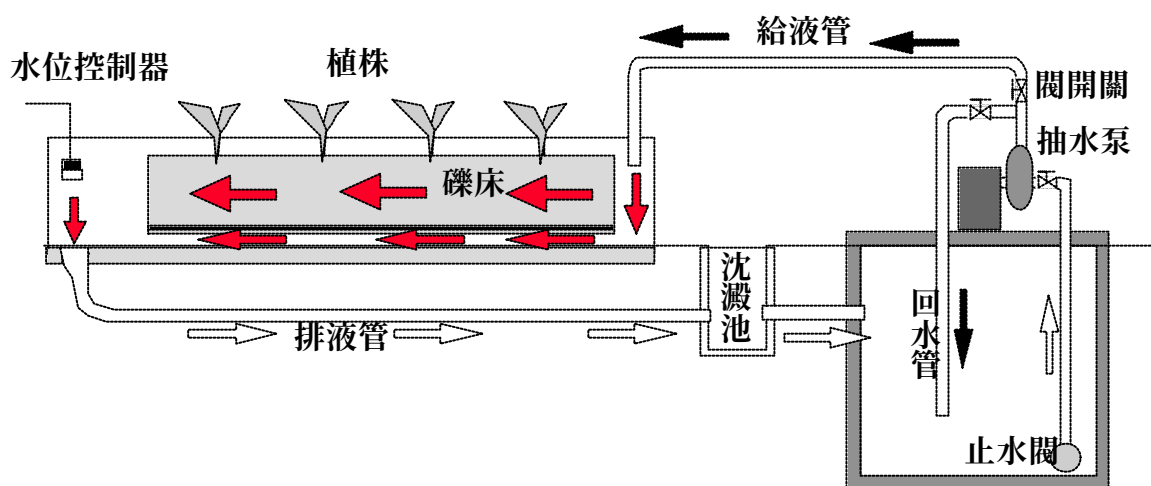
砂耕係以經過去鹽過之海砂或一般河沙為介質，鋪於易排水的塑膠布上或植床內，以滴灌或定時灌排的方式供給養液。砂耕為養液栽培中較簡單的方式，其養液不回收，可省略養液回系統。礫耕則以小碎石代細砂，由於碎石空隙大，保水力差，故植床之設計較為重要。石礫在養液中經年浸蝕下會變質，若排水不良易導致生長障礙。但由於礫耕方式裝置簡易，且費用低廉，最近亦有改用新介質如發泡煉石、蛭石、珍珠石及炭化稻殼等，效果良好。

礫耕栽培床資材可用紅磚、空心磚、木板、塑膠板、水泥板等材料。其規格依作物而定，一般蔬果之尺寸其內側、側深、中央部位分別為 80cm、25cm、30cm；若為葉菜類則分別為 120cm、15cm 及 25cm。兩者之底部呈 V 槽形，縱長方面保留傾斜度在 1:600 至 1:1200 之範圍。為防止養液漏失，底層鋪設 0.3mm 之黑色塑膠布。為求排液順暢，底部中央置一半徑 7.5cm 之塑膠半圓管。栽培床之礫土中央較高，約高出邊緣 5cm，其剖面如圖九所示。

礫耕栽培養液由水泵自養液槽抽取，注滿礫土槽，水位由水位器控制。注滿後，關閉注水泵，利用自然落差法讓養液依重力沿底部管路流回養液槽(圖十)。如此每日重覆三至四次，可用定時開關控制。



圖九、礫耕栽培法之剖面結構圖。



圖十、礫耕設施之養液流動示意圖。

2. 岩綿耕 (Rock wool culture)

岩綿為丹麥一家公司於 1968 年開發，其製作方法係將輝綠岩、玄武岩或除去鐵礦石礦渣與焦炭及石灰岩混合，以 1600°C 之高熱下熔解，再利用高速離心方式製成纖維狀，經排列、壓縮成為岩綿塊。岩綿耕在歐洲開始，以荷蘭為中心，栽培面積逐日增加。

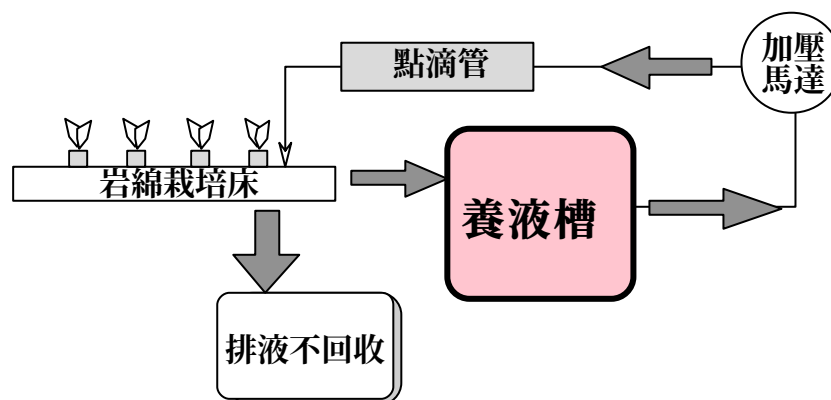
岩綿耕是將作物種子種在 3-4cm 規格化之岩綿方塊上，利用滴灌的方式將養液注入岩塊中。幼苗稍長後，可移植至 7.5-10cm 之岩綿方塊，上方開有一四方形小孔，以置入幼苗。岩綿塊置於岩綿床板上，根部伸出後會進入岩綿板內吸收

養分、水及氧氣。岩綿塊間距離可因作物之成長稍作調整，以降低介質及養液之使用量，並降低生產成本。

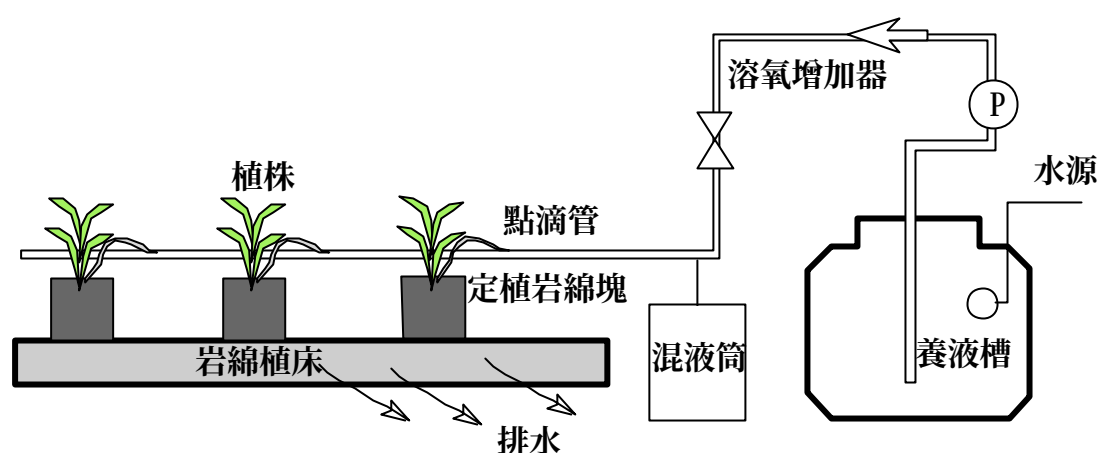
養液之供應可採滴灌或淺水循環方式，前者在每一岩綿塊上有一支滴管，由主管提供每一株同量之養液。其給排水可分成循環式與非循環式兩類。循環式使用較為普遍，以噴給方式供應較多量養液，多餘的回收到養液槽，循環使用。回收之設計有採用中央集水管回收，亦有傾斜植床使其側流至外面之集流管回收。非循環式則以滴灌方式供給適量養液，不再回收使用。這種方式使用方便，不虞感染他株，故成為當今岩綿耕之主流。其給養液方式有以泵送的方式，其養液流程及結構如圖 所示，亦有以調節養液槽水位而成。圖十一所示為一般不回收之岩綿耕流程圖。圖十二為其相關設施之布置。

目前廢棄岩綿塊所造成之環境污染問題仍無法解決，歐美國家已禁止使用之聲浪出現。一般言之，岩綿耕法仍有下列優點：

1. 移植、定植操作簡易。
2. 通氣性、排水及保水性良好，且具緩衝能力。
3. 重量輕，容易處理。
4. 無病蟲害之憂慮，每期作後，以蒸汽消毒，可連續三至四年。
5. 價格便宜。



圖十一、排液不回收之岩綿耕流程。



圖十二、岩綿耕的養液流程與配置。

3. 袋耕

以岩綿或泥炭土為介質，置於PVC管或塑膠袋中，亦可以太空包方式成隊排列，各袋分別以滴灌方式將養液定時定量注入袋中或植管中，如此可以避免病害之蔓延。塑膠袋之規格一般以15x90x30cm之長方體或直徑20-30cm之圓柱體較多。

4. 霧耕 (Aeroponic culture)

浮根栽培常因高溫使水中溶氧量降低而影響植物根部，以致於地上部的生長亦受影響。為了解決這個問題，霧耕可作為改進之道。霧耕是在栽培床內安置一張塑膠承網，使植物的根系暴露在含有養液的密閉容器之空氣中，養液由高壓噴頭直接噴在植物的根部，滴落的殘液可由密閉系統中回收到貯存桶中，而在栽植床中不留養液。植物根系在此系統中可獲得充分的氧氣量，但此系統耗電量較高，故在停電時的安全耐久性即差，為改善此一狀況，可將部分的養液留在栽植床中，使作物下半部的根部浸於養液中，形成所謂的噴霧水耕。

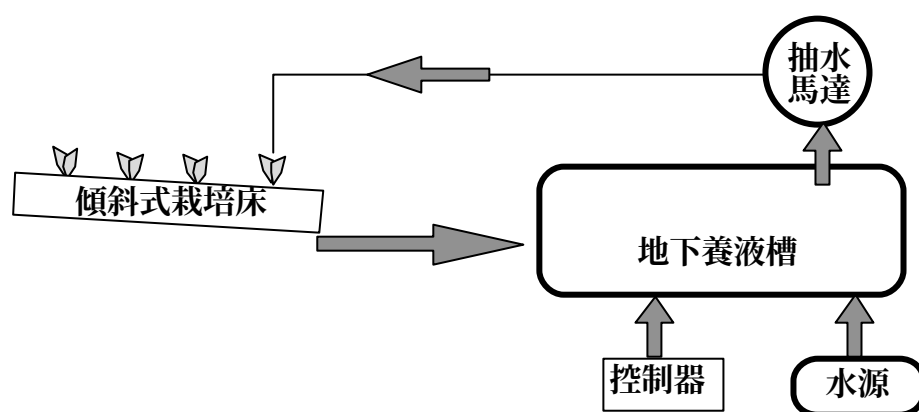
5. 薄膜流層法 (Nutrient film techniques ; NFT)

薄膜流層法（簡稱NFT）為英國溫室研究所首創，採用最簡單的結構型式，供給植物生育時根部所需之水分、養液、氧氣及溫度上之最低需求。其特點是栽培床的容積甚小，為使養液自然流動，需傾斜1/80至1/20之角度，由上端供給養液，養液僅以1-2cm之厚度，以薄膜狀往下流。其方式如圖十三所示。

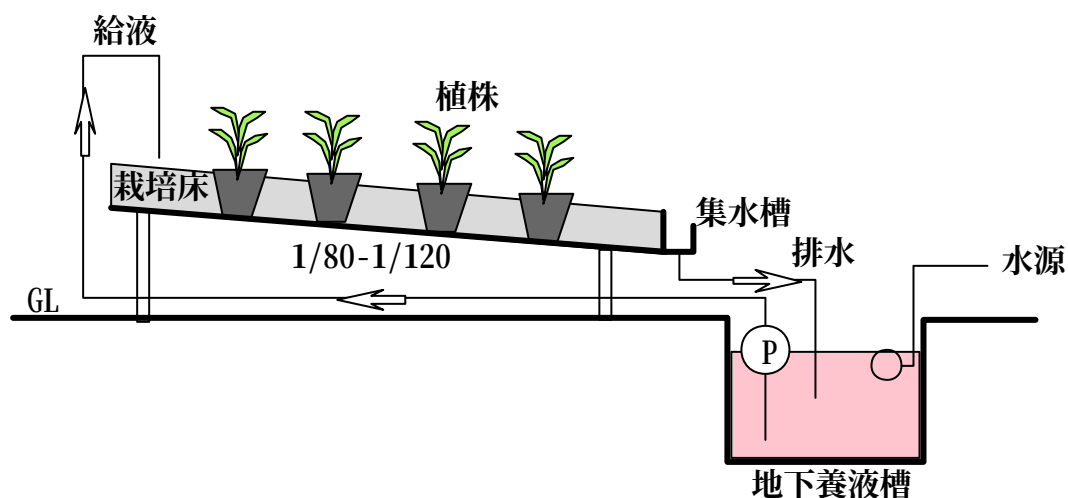
完整的配備包括養液桶、一組原液桶（包含數個不同養液的貯存桶和一個硝

酸或磷酸的貯存桶)、抽水馬達、循環管路、感應控制系統和栽培床等(其詳細管路如圖十四所示)。作物成排的種植在栽培床的凹槽中，養液先利用水泵送至栽培床，經過植物的根部後再回到養液桶中。在過程中，感應控制系統將依回收液的 pH 值及養分的消耗情況，控制原液桶中各養液成分和酸液的補充量，以調節養液的 pH 值和各種養分的濃度。

養液在栽培床中流動量甚少，故必須依作物之生長情形適當控制其流量與成分。由於液量少，可使根系上部直接暴露於空氣中吸收氧氣。故養液在循環過程中可不必要裝設曝氣裝置，栽培床也可採用保利龍材料，成本較低而安裝容易。但由於其液量少，均勻度不易控制，且容易受外界影響，並產生品質不均之現象。一旦停電時，在短時間內便易乾涸，使用更要特別注意。薄膜流層法由於構造簡易，農家均可自製。現時栽培作物有蕃茄、黃瓜、洋香瓜及草莓等蔬菜。



圖十三、薄膜流層法之各項功能圖。



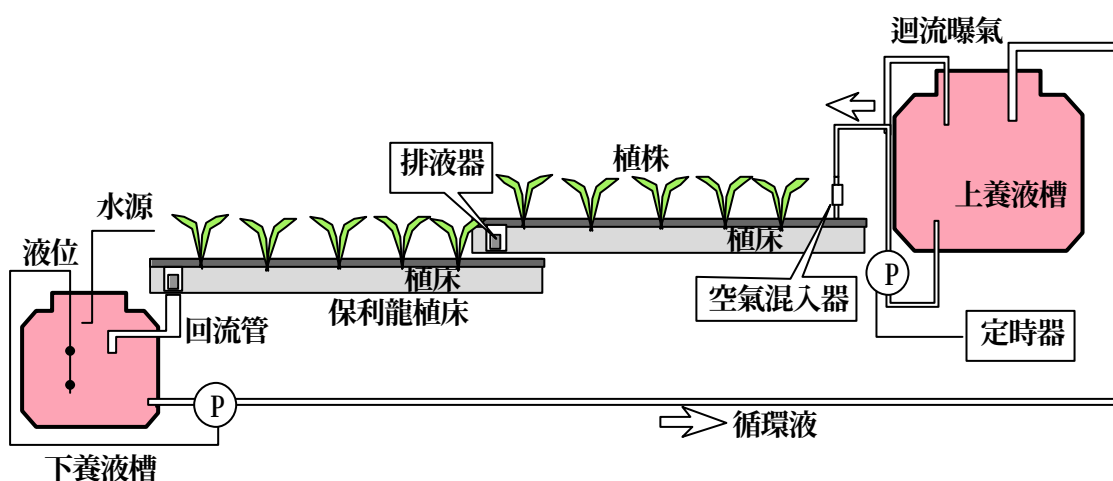
圖十四、薄膜流層法(NFT)之養液流程與相關結構。

6. 動態浮根法 (Dynamic Root Floating hydroponic techniques, DRF)

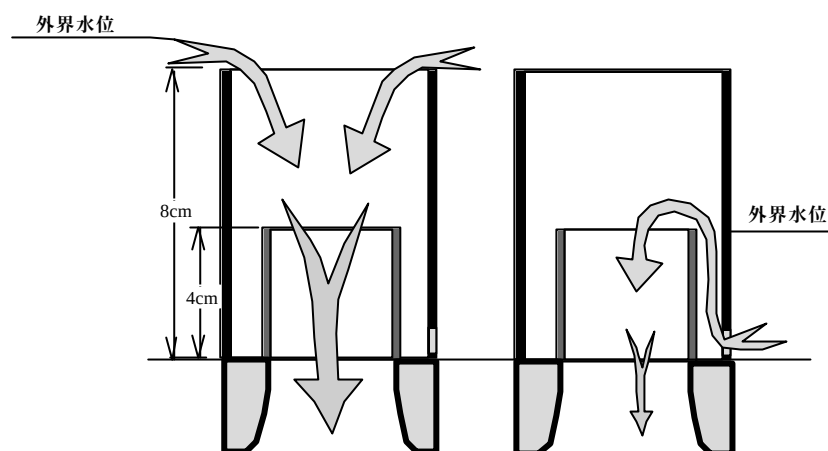
此為本省台中區農業改良場於 1984-1986 年間所發展的水耕技術，適用於亞熱帶地區的氣候。其根系可隨養液在每回合灌排之升降流程中，呈上下左右波動。藉自動升降排液器的功能，養液一旦滿至 8cm 之水位後，會自動退降至 4cm，使上位根部可露於空氣層中而增加活性，故稱為動態浮根水耕法。

動態浮根系統之構想圖如圖十五所示。其基本組件包括養液槽、保利龍栽培床、抽水機、定時器、空氣混入器及排液器。養液循環原理係根據自由落差，故必須有一高位且儲量大的養液槽及一低位或設於地下之回收養液槽。栽培床採階梯式構築，相互串連。養液以抽水機自高位槽抽出，經過混氣器進入第一栽培床，然後經由另一端之水位排液控制器進入第二栽培床。最後栽培床之養液流入下養液槽，利用浮球水位開關控制水泵將養液抽回上養液槽。在回流管路末端，設有迴流曝氣裝置，以增加養液之溶氧量。

排液器之目的在使養液維持二段水位。以 8cm 與 4cm 之水位控制為例(圖十六)，利用高度分別為 8cm 與 4cm 之外筒與內筒，以同心方式安置於排放管之管口上。外筒之直徑比內筒略大，其基部底側有二圓孔可通水流。在養液灌入期間，各床最高將維持 8cm 高度之水位，多餘之養液由外筒上緣排出，並流入下一個栽培床或下養液槽。當養液抽送動作停止後，各床之養液將經由外筒基部之二孔緩慢排出，直至內筒之 4cm 高度為止。故水位之高低可由二圓筒之高度決定之。此裝置通常以定時器控制養液灌入時間。通常每一動作期間約為 15 分鐘，每兩小時動作一次。



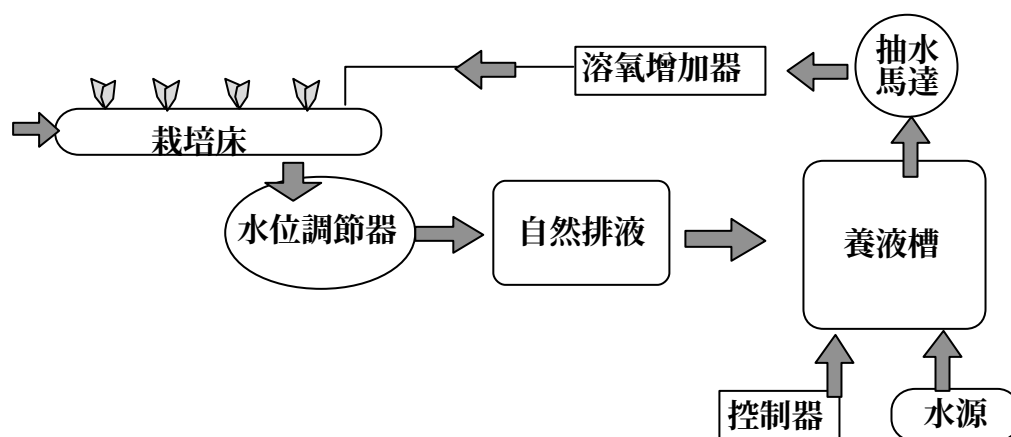
圖十五、動態浮根式水耕栽培系統之構造圖。



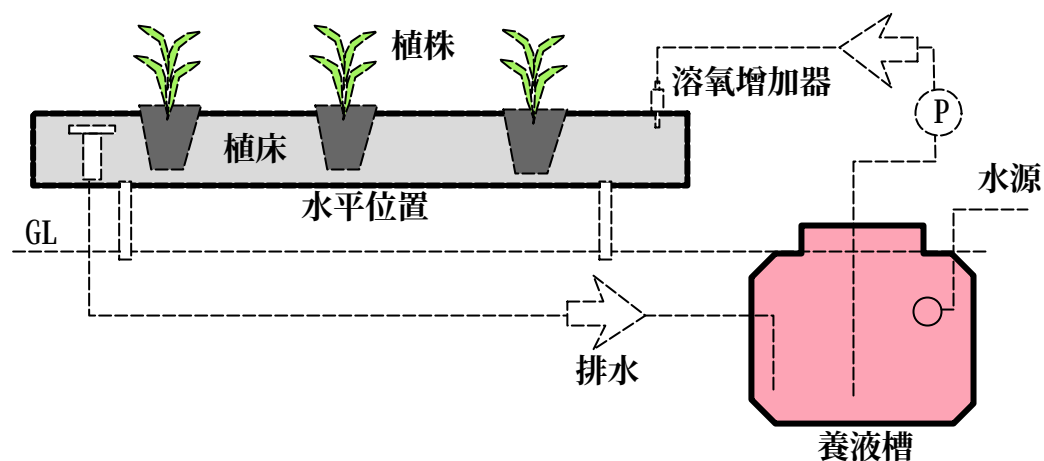
圖十六、排液器之動作原理。

7. 深水循環法(DFT)

以較大量的養液在栽培床中循環，可以使作物獲得穩定的養份供應。這種方式又稱深水循環法。由於這種循環法衍生許多不同的型式諸如液面上下供水式、流灌式、自然通風式、強制混氣式、等量交換式、潮汐灌流式以及前面所介紹的動態浮根式等等。其應用的對象作物以蔬菜類為多。作物則依等株距栽植於保麗龍板上的小栽植穴中，保麗龍板漂浮於養液之上，使植物的根生長於養液之中。此系統常需使用水中打氣系統以增加水中的溶氧量。否則在高溫時常因水中溶氧量減少，植物根部生長不良進而影響地上部生長。圖十七所示即為此類栽培法的一般流程。圖十八所示則為其所具有之共通設備。



圖十七、深水循環法的流程。

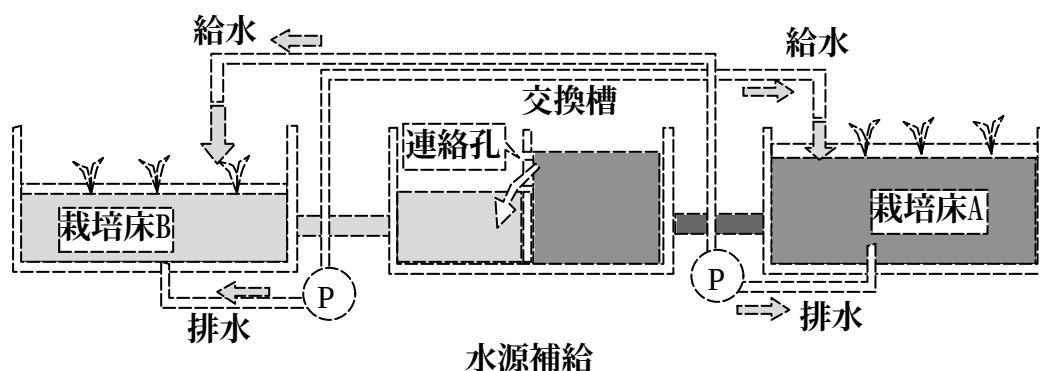


圖十八、深水循環法之相關位置圖。

8. 等量交換法

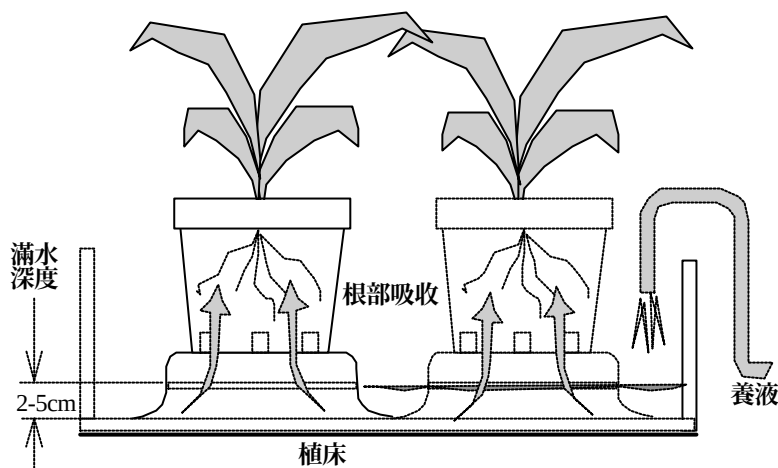
等量交換之水耕方式屬於深水耕法之一種，無養液槽。其水位常隨時間升降，其故在原理上應與潮汐式相同。如圖廿所示，栽培槽分置於兩側，養液藉中央之交換槽進行對流。為維持栽培床最低水位，養液可由交換槽加以補充。為使兩栽培床之養液能恢復原狀，各用兩台抽水機將對方之栽培液抽回本栽培槽。

栽培床材質一般為保麗龍，由 U 型灌水溝、中間隔板、斷熱板及栽培用承板等組成，其規格視果菜及葉菜類型而異。



圖廿、等量交換法水耕的之構造。

9. 潮汐灌溉系統 (Ebb-and-flow system)



圖廿一、盆栽應用於潮汐灌溉系統之情形。

潮汐灌溉系統係針對盆栽的養液栽培設計而成。植盆置於栽培床上，養液從貯存桶中送至栽培床，將栽培床淹沒約 2-5 公分的深度。約 10-15 分鐘後，養液因毛細作用而上升至盆中介質的表面，此時將養液排出，使再度流回貯存桶中，待另一栽培床需水時再將養液送出。潮汐灌溉系統和 NFT 同樣具有調整養液 pH 值和各種養分濃度的設備，然其需增加介質的過濾系統，以免養液過度污濁(圖廿一)。

一般的潮汐灌溉系統都須使用架高的特製栽培床，相對的設備的花費也較高，所以有人直接在溫室的地面進行潮汐灌溉，稱為地面潮汐灌溉系統。首先將地面做成兩端高中間低的槽狀，斜坡的斜度約為 2-6 mm/m，中央設排水系統，以利養液的排放。此方式較一般潮汐灌溉系統便宜，且適合於較大面積的栽培。但其具斜度，所以放置不同高度的植物時，因養液吸收量不相同而造成生長不整齊的情形。

潮汐型生產系統可應用於移動式檯桌、固定式檯架或直接置於加熱的溫室地板等作物支撐系統。以盆栽植物或以惰性素材如岩棉為基質之作物為主。灌水時係將營養液淹至作物之根部，深度依作物而定，通常約 2-5cm，每日約一至數次。為使營養液能在基質分佈均勻，營養液應與基質部份接觸一段特定時間。多餘之營養液則流回儲存槽，以待下次使用。在兩次澆灌期間，基質應能維持植物體足夠生長的水分與養分。當液面達到設定高度時，開關關閉，底部則另設一虹吸管



以釋放多餘的水。排出的水則回到檯架下面擺置之儲存槽中，以供下次使用。地板式栽培系統亦可利用同樣的灌水過程，但其管路及排水道則可安裝於地板下面。

許多盆栽作物、切花及植床作物經過栽培試驗後顯示，灌水頻率愈高，植物體之品質及生長情形愈為良好。在溫暖的氣候裡，每日需澆灌三次以上；較冷的天氣則每日一次，兩者每次灌水之時間不要太長(約為十五分鐘)，則其效果證明比澆較少次而每次較長時間之情形為佳。

適當的選擇基質材料對澆水過程而言仍然很重要。即使在飽和之情況下，基質材料仍至少維持 10% 之空隙率。例如，一個四吋的育苗鉢若其基質由 75% 之泥炭及 25% 之珍珠岩組成時，其灌水時間約須經過六分鐘。生長期較長並需多次收穫的作物如小黃瓜、蕃茄、菊花、玫瑰等等，在使用潮汐灌水管理方式時，其基質以使用岩棉為最佳。

每次澆水之循環過程中，均需經過清洗及補充的程序。營養液面之上升及下降動作會使根部基質有機會達到飽和狀態，這種動作會將部份氣體壓出，並稀釋根部之有機分泌物，減少鹽分含量。當其排泄掉時，新鮮空氣會取代流走之水分。

潮汐式灌水過程需要良好的營養濃度及混合比例控制。加入預拌或濃縮液態肥料的方式可以供應植物之主要元素於儲存槽中。為調整溶液之導電度與 PH 值，至少每週應取樣(最好每日取樣)一次，以瞭解營養液之組成。營養液修正的頻率則依其經歷時間、植物水分吸收量，以及營養液儲存容量對系統中植物數目之比例等之多寡而定。後者之比例愈小，更需較高的更新頻率與更精確之修正值。通常，體積比為每一植物約需 1 至 2 公升之營養液。但以小型的系統作粗略估計時，其所需之營養液容量為 400 至 2000 公升。而每一次進行灌水時其所需動用之營養液容量約為其一半之量。

在潮汐式灌水系統中，包覆基質或植物之根部較為困難。以盆鉢式栽培系統而言則不一定進行根部覆蓋，否則青苔會大量繁殖。但少量的繁殖對生產的過程仍然無妨。

八、參考資料

1. 方煒。1992。發展本土化精密溫室與植物工廠之可行性分析。國科會計畫 NSC82-0409-B-002-028。台大農業機械工程學系。
2. 台灣省政府農林廳。1988。熱帶地蔬菜之水耕試驗。中華民國農業科技研究成果圖鑑。第 61 頁。



- 3.沈再發、許森森。1989。溫室洋香瓜之養分吸收試驗。第二屆設施園藝研會專集 P109-128。鳳山熱帶園藝試驗分所出版。
- 4.沈再發、林俊彥譯。1992。岩綿在園藝作物栽培上之利用。台北市七星農田水利研究發展基金會。
- 5.高德錚、張盛添、洪財生、梁純玲。熱帶實用化水耕栽培技術之探討--動態浮根式水耕系統之改良。第二屆設施園藝研會專集 P130-147。鳳山熱帶園藝試驗分所出版。
- 6.高德錚。1989。養液栽培種類及裝置。設施園藝技術第二節。豐年叢書 HV#893。
- 7.高德錚。1989。葉菜類之水耕栽培法。設施園藝技術第五節。豐年叢書 HV#893。
- 8.謝清祿、連忠勇、林明仁、陳加忠、張金發、陳世銘。1991。研習種苗生產及溫室栽培自動化報告。
- 9.蔡尚光。1993。水耕番茄的秘密。淑馨出版社。
- 10.蔡尚光。1994。水耕栽培的經營。淑馨出版社。
- 11.Aldrich, R. A.,J. W. Bartok. 1989. Greenhouse engineering. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. NRAES-33.
- 12.Fang, W., 1989. Strategic planning through modeling of greenhouse production systems. Ph.D thesis, Rutgers University, New Brunswick, N. J.
- 13.Fang, W., K. C. Ting, and G. A. Comelli, 1990 Animated simulation of greenhouse internal transport using Siman/Cinema. Transactions of the ASAE 33(1):336-340.
- 14.Giacomelli, G. A. Crop dominated decision-making for greenhouse design. ACTA Horticulturae 257:183-188.
- 15.Runia, W. Th., E. A. van Os and G. J. Bollen, 1988. Disinfection of drainwater from soilless cultures by heat treatment, Netherlands, J. Agric. Sci. 36:231-238.
- 16.vanWeel P. A. and G. A. Giacomelli, 1990. Systematic model for the design of integrated greenhouse production systems. Abstract No. 2343, XXIII International Horticultural Congress, Firenze, Italy.