

## 第十章

### 設施園藝生產技術

#### 10.1 設施園藝之定義與特性

設施園藝的發展在於提供作物生長之有利環境，利用設施、覆蓋及機械控制之手段，栽培作物，並以較低的成本進行生產。其所採用之方式諸如保溫、防暑、防寒、防雨、防蟲、防風及防鳥等。故設施園藝之本質實已部份脫離自然生態系，而是運用人為資源及現代化農業技術進行大量生產的方式。園藝設施為提供作物生育空間的栽培或育苗設施，其初期的應用常以單純的保溫或防雨之功能，即使在冬夏季不利作物成長期間，亦可利用各種設施提供消費者新鮮的園藝產品。

近來因消費者對園藝產品需求型態的改變，便園藝設施邁向多功能化，可以藉助各項環境控制設備與相關機械，進行環境控制、栽培管理及收穫時之選別、加工及包裝、貯藏等作業，以期擴大作物生產期，並增加產品作物之種類與產量，提高品質，以符合消費者之需要。這些相關設備與設施增加了現代園藝另一種無限的功能。

過去數十年來園藝設施的面積在世界各國均有顯著增加，其中中國大陸最多，達六萬餘公頃，多設於華北地區，但以簡易設施為主；其次為韓國，約五萬餘公頃。由於設施園藝技術不斷的發展與改進，蔬菜、花卉、果樹等利用設施生產之比例也逐年增加，設施園藝已嚴然成為現代化農業之另一個發展之方向。

近年來設施園藝技術，融合其他科技，亦有更新的發展，其相關的應用研究及產業的配合，例如：水稻、林木育苗、食用作物如菇類及藥草；觀賞作物如草花之生產可提供一般綠化用之種苗，以進行沙漠綠化、都市綠化、家庭綠化及大樓內綠化等之工作。而設施園藝技術可為人工光源植物工場、宇宙農場等設置之基礎，更是新近技術應用之重要範疇。

一般設施園藝係利用設施以改善園藝作物之生長條件，包括光照、水分、二氧化碳、土壤介質等，以提供最適宜之生長環境，並達經濟生產之目的。在經營上有下列特點：

1. 人為控制作物生長環境，以達到產期調節或週年栽培之目的。
2. 單位面積產量較露地栽培為高且穩定，品質亦較佳；因此單位面積的產量與產值均可較為提高。
3. 土地之利用集約加上生長條件的人為控制，因此需要較大之資本，較精密之技術與較密集之勞動力。

設施園藝乃是資本、技術與勞力密集的產業，故經營上宜選擇高經濟作物，並利用自動化環境控制及生產設備，降低生產成本，才能符合經濟效益。

#### 10.2 植物工廠

植物可以在一定生產管理下，無論春夏秋冬，作週年性地生產。在溫室裡，植物的生長，不再漫無節制，因為它可能是

生產工廠中的一單元，也可能是產品中的一部份，其成長將受嚴格控制。在生產過程中，植物可被運搬、修剪、除蟲或美化。直到生產終了、長大成為商品之後，再經包裝、標價，送到市場。

「植物工廠」的定義是：凡在一個固定的栽培場所中，具有各種原料如種子、苗、水分、肥料以及提供光合作用所需之光能、二氧化碳等之輸入，在養成之環境下，進行培育、管理使其成長，經過適當的時間，並有成品輸出，具有這項功能的就是植物工廠。其產品包括番茄、黃瓜、香瓜或其不同階段之種苗或成苗等；伴隨此項生產過程之主體則是「溫室」的結構。

根據如此定義，國內很多保護型的溫室均可歸納為植物工廠之類型。本省最常用的溫室是塑膠布溫室，僅利用簡易的鉛管構架，外鋪以塑膠布，可以保溫、防風、防霜，是一個簡易型的植物工廠。今日荷蘭，舉目所及，均是玻璃溫室，其內部均設有環控、補光、活動式植床、一貫化自動設備，此類型為精密級之植物工廠。目前國內已有業者開始採用這種荷蘭型的溫室，進行花卉及種苗的生產。

溫室內之各種設施則因生產對象及業者之投資情形而異。其配置亦常因生產階段而不同，有些仍需要搭配人工，如分級、補植等；有些則完全自動化，使用自動控制，有些作業則有如無人化工廠，各項作業均以機器人取代。

### 10.2.1 植物工廠之優點

基本上，植物工廠即負有「農業工業化、植物生產工廠化」的任務。其優點如下：

#### (一) 充分利用有限的土地面積

與一般農地比較，植物工廠所佔的面積較少，但由於室內

環境可以控制，生產可以不受季節的影響，因而可以進行多次生產。其產出之品質與數量亦會相對提高，生產力乃大為增加。如此，多餘的農地亦可釋放至工商業，以作妥善的規劃。對農地利用而言，可說具有特殊的意義。

以種苗生產而言，一年約可生產十至十二批次，可供應比其原來面積大數十倍的平面所需的種苗。花卉的生長期較長，但有時可以作立體式的安排，加添相關之搬運設備，以提高空間之利用，這是與傳統農業十分不同的地方。

#### (二) 隨時隨處可以有農業

植物工廠設置地點不受限於地利，故即使土地狹窄、地力貧瘠或氣候條件較差的地區均可以設置。地球上仍有些地區很難有傳統的農業存在，諸如加拿大、俄羅斯、北歐等寒冷地帶或冬季甚長的地方，中、近東及非洲的沙漠地帶等。這些地區受限於氣候的因素，無法生產農作物，若能配合當地之太陽能源及節水技術，利用溫室栽培，則亦能使這些地區生產綠色植物。

雖然環控式的農業必需投入巨資，對貧窮國家是一項大的負擔，但在各國政府仍然對非洲貧窮國家的飢餓問題束手無策時，植物工廠也許是未來的另一線希望。展望未來，除寒冷地、不毛地、沙漠地之農業必須解決外，其他地下、海底與太空中的農業，仍必須仰賴植物工廠的方式解決其所需要糧食問題。近年來太空旅行已成為人類夢寐以求的願望，但如何在旅行當中獲得新鮮的菜蔬果腹，似乎也唯有倚賴植物工廠方得以完成，而這也是新近研究的重大題目。

#### (三) 可以控制品質及產期

植物工廠生產過程中，作物被控制在相同的條件之下，其成長整齊均勻，其品質也相當一致。經過嚴格控管，更可使產期配合市場上的需求。在最適當環境下栽培植物(蔬菜)，植株

攝取之維生素及微量元素會增加，其營養價值也會相對提高。目前作物環境、生長與營養價值的關係，尚無法完全定量化，未來應可以陸續獲得解決。根據荷蘭花卉中心最近之研究，利用影像技術，可找出植物外形及其品質間的關係，並加以量化，配合生產規劃，將能定期生產高品質之產品。如此，農業生產成爲工業化量產的層次，農業經營將更趨合理化。

美國紐澤西州羅格斯大學研發的單果串番茄生長系統是一個相當典型的例子。在搭配日光及人工輔助光源下，由植物所接受的總光量，可預估番茄之產期、產量與品質。

#### (四) 農業作業環境更為舒適

傳統農業是一項辛苦的工作，年輕人怕吃苦因而大量往外流。植物工廠栽培過程中，可階段引進自動化設備，使各項作業更爲省力，其工作環境也變得更爲舒適。此外，植物工廠的工作，因需面對植物不同的習性，其作業也變爲更富挑戰性，反而更適合年輕人的個性。現代化的農業將因而更吸引年輕人下鄉，使年輕人口回流。

荷蘭的溫室業者大部份爲年輕人所經營，其作風積極，並且求新求變，因此更能獲得豐厚的利潤。植物工廠帶來另一種新的挑戰，也將成爲一種延續農業的動力。實際上這種經營理念所帶來的知識是多元性的，相當深入。由於機械及自動化設備之應用，市場資訊之蒐集及處理，種種工作均需要業者對生命的喜愛與對機械方面的認知。國內在目前雖因工作環境惡劣導致不少年輕人不願留農，使農村社會更趨向高齡化，展望未來，植物工廠的應用，將會使整個農業經營觀完全改變。

#### (五) 供應新鮮乾淨的植物

由田間直接上市的根莖葉菜類植物，由於未經嚴格控制，其用藥量常無法確定在安全水準，消費者不容易獲得安全保障。一旦發生藥害時，容易受到消費者抵制，整個農產品市場

將同蒙其害。利植物工廠生產，則可以獲得改善。在此系統內，由於成長的植物與外界隔絕，其使用的培養液也經紫外線燈殺菌，所以植物在生長期間比較不易受病蟲害感染。且由於其對病蟲害的抵抗力也增強，因而可以做到完全無農藥的生產，以減少農藥的殘留，並供應乾淨的蔬菜。

技術上，植物工廠可以達到密閉的狀況，對蟲害的控制有它相對的優點。近年來生物控制技術的發展，已有相當成果；利用天敵的方式，可以抑制病蟲害的發生；因此，在這種密閉的情況下，幾乎可以達到不施農藥的地步。目前荷蘭的溫室，已大部份使用生物控制，除可減少農藥的污染外，對生態環境的保護，也有積極的貢獻。

#### (六) 減少連作障礙

土壤栽培除病蟲外，其最大問題之一是連作障礙。所謂連作障礙是同樣的土壤下，一直種植同樣的作物，將會使土壤所含的某些礦物質逐漸貧乏，作物之成長因而不良。植物工廠因大部份採用水耕栽培，故即使在同一地點進行連作，亦不會因天然災害而中斷生產。此優點或許就是可以把農業從根本上改革的主因。

植物工廠的進行連作時，通常可在各期作物間，先行消毒，使連作障礙的問題無從發生。

### 10.2.2 植物工廠適栽作物

植物工廠常因栽培的對象而有不同的功能與設計，其內部所需之構造及生產設施亦有很大的差異，譬如：以豆芽菜、蘑菇、蘿蔔嬰等爲對象的生產工廠，需要搭配種苗繁殖系統或人工種子生產系統、半自動控制的溫室水耕系統等；一般花卉栽培，則需有靈活的搬運系統，如此才會比較週全；而豆芽菜則更需要綠化場的配套設施。

為使投資能迅速回收，適當選擇作物非常重要，其原則如下：

1. 經濟價值高，且生長期短的作物。植物生長期短，可以增加溫室之運轉效率，以免佔去太長的溫室時間。
2. 生長過程單純，生長關係能明確量化的植物。植物之生長特性及其與週遭環境間之互動關係，若能明確量化，對於環境控制技術之運用，將有事半功倍之效果。
3. 植物之葉面愈大愈佳，以期能吸收大量的陽光，一般非結球生菜中的一種沙拉菜、果菜類的甜椒、根菜類的蘿蔔嬰（二十日蘿蔔）均屬此類，可以增加光合作用之功能。

有些植物不行光合作用，如豆芽菜或蘑菇類，其生長過程更容易量化，也頗適合於溫室中生產。蘿蔔嬰及水芹等的生產工廠通常為了植株體的綠化而需要陽光。

世界上首家植物工廠是在丹麥的克里斯天仙農場，其水芹的一貫自動生產系統非常成功。日本亦有多家蘿蔔嬰生產工廠，其中海洋牧場之自動化程度最高。該場採用暗處發芽，軟白栽培，等莖長 10cm 達到雙葉狀態時，再在明亮處綠化；整個過程，由播種到收穫包裝約 1 週。

過去在日本，茼蒿的水耕栽培在夏季幾乎無法生產，經採用遮光與培養液冷卻技術，已可週年生產。台灣福田的豌豆苗，在溫室環境下，亦達全年生產。在精密的溫室中，因所需環境與培養液條件皆可藉電腦控制，因而能夠確實進行生產管理。由於溫室及水耕栽培的結合，日夜間冷暖氣及培養液冷卻的配套實施，使生長環境可得精密調控。

### 10.2.3 溫室設施之特性

一般設施或溫室的型式因時而異，其需求也不同，但主要仍以保溫為主。就世界的發展趨勢而言，溫室設施產業已迅速由北緯 50-60 度區往中北緯 25 度較潮濕之熱帶地區擴展。這些地區之勞力狀況、可用水源及光照等因素均相當充沛。同時這些地區的國家中，其經濟能力均有相當的改善，故對高品質產品之需求亦大為增強。

但是，專為北方氣候設計的荷蘭溫室並不適合熱帶地區作物微氣候的需要。為此農友們必須願意改變作業方式與溫室設計來適應本地的環境條件。基本上，亞熱帶或熱帶地區所需之溫室常具下面諸特性：

1. 大量通風：高濕、滯留性空氣使得產量降低和病蟲害難以控制，故必須利用較大的風量進行空氣替換，以降低溫室內之溫度。
2. 須能防雨：亞熱帶地區雨量特多，故在大雨狀況下仍能繼續生產的能力很重要，因此防雨的措施須能加強。
3. 須能防風：風力在熱帶通常都較強，台灣地區尤其多颱風，因此在溫室結構設計上也必須加強，或使用較為抗風的結構，方能配合實際之需要。而且需能容易重建，一旦遭受颱風破壞時能立刻重建。
4. 具有降溫與遮蔭之能力：由於室溫經常很高，故必須能在高溫時利用種種低成本之方式進行冷卻，以減少溫室內之熱累積。光照方面亦必須設法加以調節與控制，或以遮蔭的方式減少日射量，使其獲得適於植物生長的日照。
5. 須有適當的加溫能力：必須具有適量加溫的能力，以便在冬天提供作物所需要之熱量與溫度。在濕冷的冬

季，加溫可以降低濕度，並保持作物溫暖環境。

6. 具防蟲及防菌功能：亞熱帶之氣溫高、空氣潮濕，容易成爲昆蟲及病菌的溫床，故溫室本身必須要有較爲有效的防蟲及防病設施。目前雖有許多的研究正在進行中，設法以網幕來防止蟲類入侵溫室，但效果仍然不大。

## 10.3 園藝設施之型式

台灣地屬亞熱帶，理論上整個地區之大環境即爲一個天然的大溫室。冬季溫度雖時有霜害之苦，在其他季節之溫度則甚適中，唯夏季期間因潮濕多雨，作物較易遭雨浸與風害。故若能針對這些特定的環節設法因應，則大部份環控的問題自可迎刃而解。

導入園藝設施主要仍然依投資規模及作物之需求而定，下面即針對各類型之應用加以說明：

### 10.3.1 精密溫室

精密溫室以荷蘭溫室爲主流，除基本的溫室結構外，尚加入自動化環境與生長資訊之控制。此類設施依當地氣候條件進行規劃設計，使其符合作物之生長條件。在流程上亦以省時省工爲設計目標，以降低生產成本。

國內之精密溫室已開始由研究單位推動，其後如台糖、台花等企業也開始使用。但這種大型的溫室其投資相當高，且必須要有企業經營的理念與相關的技術，一般農民很難直接經營。事實上，精密的環控農業並不僅限於溫室本身之建造而已，其所需投資之相關設施更爲複雜，而對作物習性亦必須有相關的認識，這是一般企業所缺乏的。

就環境控制技術層面而論，大型精密溫室在國內的發展及營運成本均會比其他國家爲高。荷蘭、日本其發展溫室均以加溫爲基本設計，其主要目的在於如何保溫，並無所謂之溫室冷卻問題，因此其所需之成本可用材料結構及其他能源取代方案降低運作成本。美國佛羅里達州其所用的溫室則冷卻與保溫並重，類似於台灣地區，但由於其濕度不高，較低成本之水簾冷卻法及一般通風方式仍然可用。台灣地區溫度不但高，相對濕

度經年也高，故水簾降溫方法之效果有限，而利用水簾保持高濕環境於事後會造成蟲害、病害繁衍。



圖 10.1 台糖公司之精密型溫室，具通風、遮蔭灑水等功能，以進行微氣候的控制

玻璃溫室的應用常因所栽培之作物種類而定，但仍以花卉、種苗等高價作物為主要對象。近年來台糖公司開始使用玻璃溫室栽培蝴蝶蘭、部份蘭花業者亦有使用玻璃溫室者，均屬高價之經濟作物(10.1)。荷蘭使用精密型溫室最為廣泛，但仍以各種花卉為主(圖 10.2)，其內部以電腦控制空氣之溫濕度、養液之供給等，可以預估植物之成長期及開花狀態。

精密型溫室之造價甚高，故除非地區農會積極介入或農民有自組公司的能力，否則大型溫室企業很難由農民獨資進行。農民本身雖有作農的經驗，對作物生長之瞭解比較透澈，但也並不擁有所有之耕作技術。此外農民本身也缺乏資金，缺乏經

營管理的理念，對溫室之性能及控制觀念，更無法理會。故溫室大型化或自動化，對農民而言並無可發揮的空間。



圖 10.2 荷蘭傳統寬跨距花卉用溫室（花卉研究中心）

### 10.3.2 簡易型溫室

簡易型溫室之型式甚多，但其與精密型之差別主要在於其透明材料均以塑膠布為主，而且多不使用調控裝置。目前在台灣地區所使用之溫室仍以簡易型與隧道型者為主。這種溫室均以 P E 塑膠布或 P V C 布覆蓋，因此成本甚低(圖 10.3)。但由於其設置零散，設置地點亦時有變動，故其所費勞力甚多，較難進行機械化或自動化。

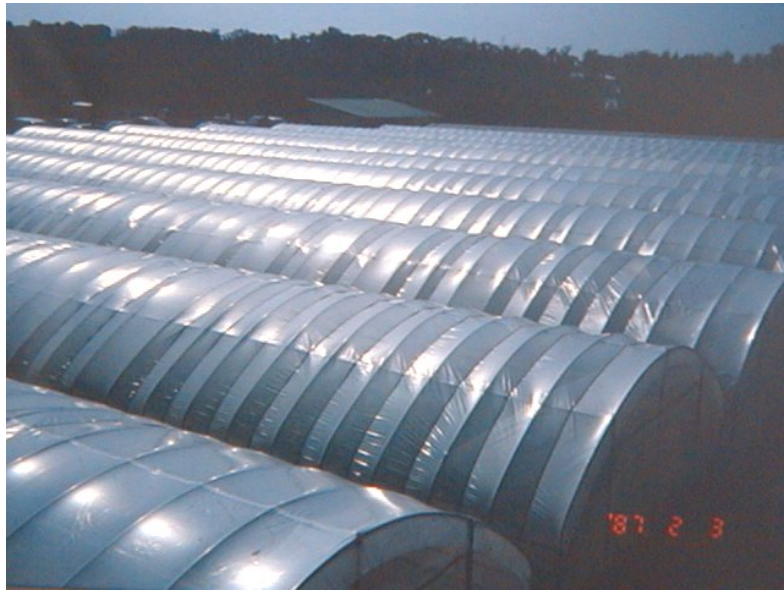


圖 10.3 以鋁管為骨架外覆塑膠布為透明材料之簡型溫室

簡易型溫室可分為尖頂及圓頂兩種，造價較低廉。結構多以鍍鋅鐵管或鋁管加工成型，容易拆裝組合，又稱為半永久型，但仍以圓型為普遍，或稱為高隧道型。高隧道型抗風力佳，造價亦較便宜，比尖頂者約低 25% (圖 10.4)。其面寬約 5 公尺、高度 2.7-3.2 公尺，可分單棟式與連棟式。連棟式土地面積利用率較大，材料較經濟，但通風散熱不佳。

目前在國內作物之栽培利用高隧道溫室相當普遍，例如台中、埔里地區的滿天星、康乃馨、玫瑰、非洲菊等之切花栽培、屏東九如地區的冬季綠蘆筍生產、西螺、台南之網室精緻蔬菜等均以此溫室進行設施栽培。這種設施則不易進行自動化的作業，其所需之裝卸人工亦相當多。但可利用風扇或兩側開放調節通氣，並設噴藥裝置。



圖 10.4 膠布為透明材料建立之圓頂型溫室



圖 10.5 玻璃纖維為透明材料，易裝卸之簡易型溫室



圖 10.6 非環控型尖頂溫室（元長育苗中心）

尖頂者排水較易，不易積熱，但抗風力較差，因為其折疊處之應力較大。除前述之精密級溫室外，國內外亦有以玻璃纖維板為材料者，但國外推廣者多屬小型溫室，容易裝卸為其特點，其外觀如圖 10.5。屬尖頂型之國內溫室也有相當大的改善，基本上其結構改用較為堅固之鋼管，透明材改用玻璃纖維。故抗雨抗風能力均佳，也具備引進自動化之能力（圖 10.6），目前國內新建的育苗場多屬此類。

就台灣的氣候而言，最主要是天氣陰晴較難控制，反而溫度適合作物之生長，為此亦有引進活動型溫室者（圖 10.7）。這種溫室可以利用晴雨計為感應，天雨時可以將塑膠布撐開，形成天蓋，以隔絕雨水入侵至植物；天晴時則天蓋打開，作物可以如正常之田野情況，接受更多陽光。這種活動型塑膠布溫室適合於不喜多雨之作物，但溫室本身造價很高，且溫室除防雨外，並無其他正面功能。

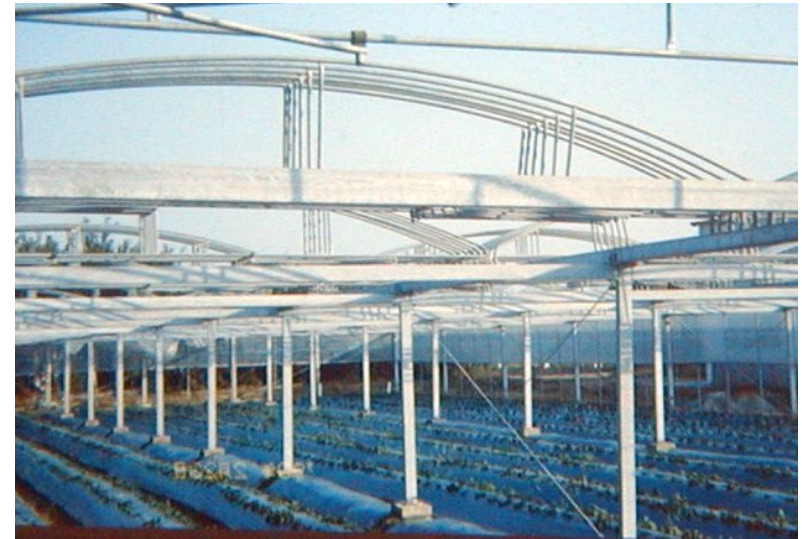


圖 10.7 活動型塑膠布溫室（桃園場）



圖 10.8 雙層塑膠布溫室之應用。



台灣多颱風，故溫室之結構必須堅固。1980年美國羅格斯大學農工系羅伯茲教授研發雙層塑膠布溫室，利用管將塑膠布內加壓充氣，可以使塑膠材質之強度增加，同時抵抗颱風。該型溫室並引進台灣試驗。這種溫室造價也頗為低廉，所用之增壓風扇僅需一百瓦以內，可以維持整棟溫室之正壓。當初設計雙層溫室旨在保溫，故此型式尤適合應用於寒帶氣候（圖 10.8）。

### 10.3.3 其他型式

對防雨與保溫或遮蔭與防蟲等方面，除圖 10.7 所示之活動型溫室外，台灣亦發展出許多種非永久型之溫室設施，大部份具有簡易型之特性，但僅能具有其中一或兩項之功能。茲就某些特殊之應用說明如下：

#### (1) 遮雨棚

以防止降雨直接對作物造成物理傷害及土壤水份過剩為主要機能，配合地面灌溉可適當調節作物所需之養分與水分。這種簡易結構係使用金屬管材或其他簡易骨材為支撐，塑膠布僅覆蓋作物上方部分，四周開放通風。遮雨棚的構造成本較溫室低，農民普遍使用來作園藝生產，其中以栽培花卉、觀賞作物較多。

#### (2) 隧道棚

以竹木條、鐵條等作成高度約 50~100cm 之半圓形骨架，外部被覆軟質塑膠布的設施稱為隧道棚。密閉的隧道棚內利用日光及土壤的熱維持棚內高溫、濕度環境，以控制種苗之放熱及水分蒸散機能，進而促進苗體之成活與發育。這種被覆架構亦有保持土壤鬆軟性，防止養分流失，減低風害、乾燥害之效果，廣用於冬季果菜類之後期栽培或洋香瓜的保溫防雨等，亦

頗適合冬季蔬菜之栽培作業。

對農民之作業而言，這種隧道型溫室比較有參與感，故也是從農事耕作所延伸出來的一環。一般言之，簡易型溫室成本較低，亦不需要高深的技術，通常均以塑膠布作為蓋覆，或使用黑色網幕進行遮蔭而已，故十分適合民間使用。

為國內濱海地區業者，為加強設施之抗風性及保溫效果且方便設施室內之人工操作，由高隧道型溫網室改良修正而成。因造價低（每坪約 400 元）、抗風性強、堅固（骨架材料可耐 10 年左右），可適合多作栽培利用，在濱海地區，應是一種經濟實惠之栽培設施。



圖 10.9 簡易隧道型設施則以塑膠布覆蓋，生產瓜類，成為田野景觀

為國內中南部苗圃業者，參考洋香瓜簡易隧道型設施栽培模式改良而成。一般可供育苗及盆花離地栽培，骨架肩側裝有

掛鉤以固定 PE 塑膠布及遮光網，骨架基部以塑膠管套接、安裝及拆除容易。此種設施內通氣良好，無溫度蓄積現象，且具防雨及遮光調節等功能，台中近郊及田尾永靖地區已有業者採用(圖 10.9)。



圖 10.10 利用簡易設施行露地栽培，可以對個別植物保溫

簡易設施在國內應用較早，是為露地栽培之一種型式(圖 10.10)。其結構簡單，可依目的作物不同而使用不同材料，故成本甚低。目前農民已改用簡易隧道型，其高度約在 0.8m 以下，寬度約 1.8-2.0m。以種植蔬菜、瓜類為主，散見於雲林、斗南、西螺及台中軍功寮等地區，栽種面積常達 200 餘公頃。

### (3) 網室

台灣地處亞熱帶，六大都市全年最高溫超出 30℃ 的日數，分別為基隆 98.3 天，台南 189.0 天；而最低溫低於 10℃

的日數，高雄有 2.3 天，台中約 22.3 天，故不少蔬菜及花卉不需在保溫的溫室下生產，在網室下遮陰、防豪雨及防蟲下，即可生產品質優良之夏季葉菜類如網室生產空心菜、小白菜、莧菜、芥藍等，以達經濟效益(圖 10.11)。若在陰雨連綿時期，也能自動有防雨設施，以減少腐爛，亦是未來設施生產自動化之一部分。在花卉生產上，火鶴花、文心蘭及菊花，在台灣氣候下遮陰即可經濟生產，其遮陰網若能依光度自動伸縮，則更為理想，所以網室之栽培也日趨普遍。

網室之應用，主要可防止蟲害之發生，但因使用原來的地面，其耕作方式仍可沿用傳統技術，或應用傳統之耕作機械，因此需要大量人工。



圖 10.11 簡易型之溫網室，可以防蟲及大雨

### (4) 浮動層覆蓋

利用不織布、防寒紗或防蟲網等透氣性材料，直接覆蓋於

作物葉面上方，或利用簡單支撐使之與作物相隔 50-100cm 之空間，以抑制高溫、防霜凍、防風、防蟲、並促進發育為目的之保護設施。浮動層覆蓋方法為本省中南部地區農民所廣泛使用，近年來因浮動層覆蓋材料的改良，使用面積有逐漸增加之趨勢。水稻育苗中心之綠化場在冬季進行保溫覆蓋及蔬菜栽培網室或木瓜網室等均屬浮動層覆蓋應用之例。

#### (5) 地面直接覆蓋

以防止土壤水分、肥料的流失，維持地溫及防止雜草孳生為目的，於作物栽種畦面上直接覆蓋塑膠布之方法（圖 10.12）。使用之塑膠布有白色、銀色、黑色及透明等，一般可常見應用於草莓、果樹類之栽培。近亦有使用藍色、黃色塑膠布覆蓋後，發現對洋香瓜之產量有明顯增加的情形。



圖 10.12 地面覆蓋保溫及防雜草蔓生之方式

上述之各類設施於栽培過程中所能達成之效果各有不同，隧道棚、浮動層覆蓋、地面直接覆蓋等方式係使用最簡單之資材，就其特性以調整作物生長空間環境，屬於短期性使用之設施。遮雨棚則屬較長期性之開放式結構，其形成之內部環境仍受自然氣候左右，故所產生之作物生長環境除具調整機能外，其餘功能與前幾種方式相同。

一般溫室屬密閉性設施，其內部環境雖也受自然氣候影響，但其仍可進行適度控制與調節，惟其造價也較高。因此，使用設施栽培時，須針對作物之特性及要求目標，並考量經濟成本進行選擇。

## 10.4 溫室座落與結構

### 10.4.1 座落地點

溫室之座落地點，應選排水良好之沙壤土質，以利溫室之排水。且周圍具有大量優良水質供應作物生長之用。其地形應力求平坦，以降低建造成本並利以後省工機械之操作。在北半球，冬季東北季風強，最好於北或東北方設防風林或小山坵。由於溫室之投資甚大，故在建造之前均應事先規劃，且為因應未來發展，植物生長區、工作區及未來發展區，均應統籌規劃，以便能分年增設。在配置方面，必須考慮風向、光線及能源應用之問題，並決定溫室、工作室及物料運送之相關位置。圖 10.13 為一個典型之溫室規劃，可作為參考。

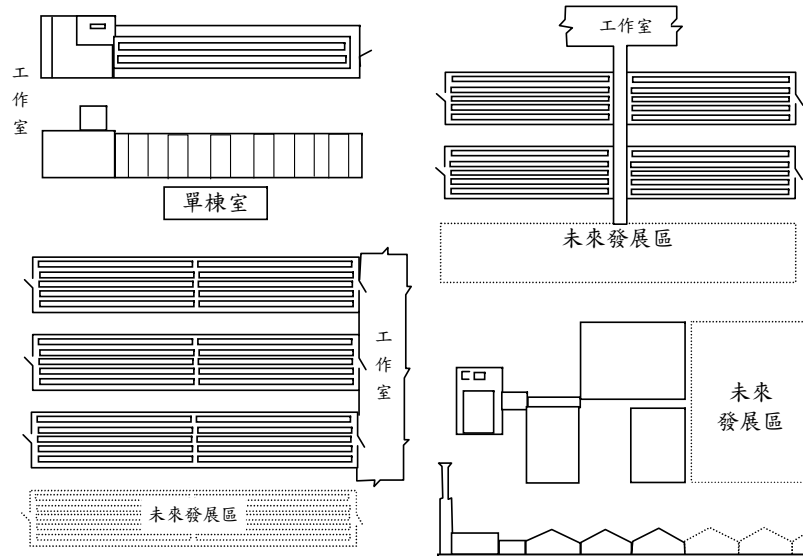


圖 10.13 溫室之配置

溫室之座落依緯度而定，但以南北或東西走向為主，以減少溫室中之陰影為原則。在北緯 40 度以上之溫室，東西走向者在冬至溫室透入日光較南北走向為佳。美國北卡羅來納州處北緯 35 度，採南北走向之溫室，其週年光線透入溫室會比東北走向者為多。荷蘭地處北緯 52 度，太陽角度終年處於南方，故許多業者對座落及方位並不甚在意。光線進入溫室多寡，仍會受到溫室結構中之支柱、橫樑、放置玻璃之枝條粗細及數量所影響，故優良之溫室設計較座落方向之選擇更為重要。

台灣緯度低於 40 度，溫室之座落方向，並不一定走東西走向，有時南北走向反而採光較佳，在實務上則更應考慮地形及風向之因素。一般東西走向的溫室，結構上樑柱支架等之陰影會整日維持在固定位置，不像南北走向溫室中的陰影可隨時間而變動。

溫室內的光環境除遮光及補光外，幾由溫室構造（包括形態）及溫室的方位決定。溫室架構之設計儘量避免遮光，可使用透光性良好之材質。依室外自然日照的光度強弱、由光度計控制遮光網的移動，達到不同程度的遮光效果。亦可在設施內裝設有同化功用之光照系統，來加強日照不足時之光照量，如以 3.2X5 公尺的距離安裝，大約可增加溫室內 2,000 Lux 的輻射量。

溫室之座落地點，須為排水良好之沙壤土質。地形應力求平坦，以降低建造成本，並方便省工機械之配置與操作。溫室周圍則需準備有充裕的優質水源，以供應作物生長之用。依荷蘭政府規定，每棟溫室均必須自備有儲水槽，以儲備雨水，其標準是每公頃面積以五百公噸容量計算。所以在荷蘭所見到的溫室，其旁邊均需有池塘作為蓄水之用。其水源由溫室之導水槽引入，收集雨水備用。水池的構造有方型塘，亦有用無頂的圓筒倉，高度約二至三米，其內鋪以不透水塑膠布。

## 10.4.2 溫室結構

### (一) 溫室之型式

溫室按結構形狀有圓頂式、山形式、或連棟式、單棟式等多種分類(圖 10.14)。傳統上，荷蘭的花卉栽培均採用寬跨度溫室，近年來因建築及材料製造技術之進步，溫室之結構亦有變化，寬跨度之溫室亦逐漸被採用。其標準寬度為 12.8 公尺，側高約 3.5 公尺，屋脊高度為 6.4 公尺。另天窗開口面積大並採交錯排列，屋頂跨距為 3.2m，兩屋頂間利用排水天溝作連結構材，柱間包括 2 個屋頂單位跨距為 6.4m，簷高採 3.5m~4.0m 的大高度，整體結構除垂直撐桿外並利用水平撐桿強化。此型溫室之體積較大，適用於氣候變化甚大之情況。並且容易加裝精密的環控系統，以及便利大型作業機械進出，成為無人之自動化生產工廠(圖 10.15)。

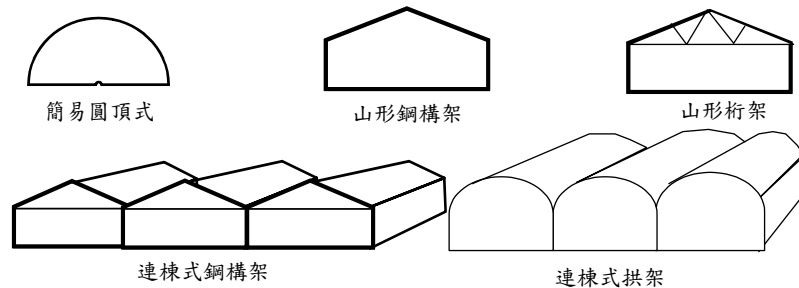


圖 10.14 溫室結構形狀之分類

低屋背連棟式威諾型(Venlo)溫室(圖 10.16)則於近年發展出來，其屋頂天溝與天溝間的跨距為 3.2 公尺頂邊溝至地面高 3.5 公尺，其它在設計上之改良包括由屋簷到屋脊只

用一片玻璃(寬 1 公尺，長 1.65 公尺，厚 4 厘米)及增大玻璃面積以減少放置玻璃之金屬條。天溝由原來 22 公分減少成 16 公分寬，並將桁距由 3 公尺增大到 4 公尺，如此可減少溫室本身結構所造成的遮陰度，使光線之透過率達到 72% (圖 10.17)。新近的發展則考慮取傳統型之高度與威諾之優點，直接將威諾型溫室加高至五公尺上，如此不會可以有足夠的空間加裝運搬設備，而且上部之空氣緩衝空間也相對增加。

威諾型溫室約於 70 年間由荷蘭引進，經改良後對風荷重的設計也加以強化，另在改善通風方面也設置側窗。近年來溫室的設置比例顯著增加，但因建造成本昂貴，主要用以栽培蝴蝶蘭等高經濟作物。

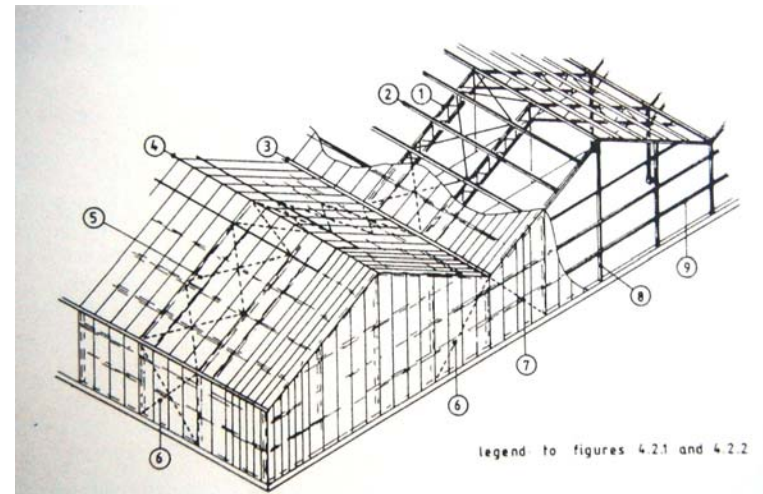


圖 10.15 傳統溫室之結構。(1.桁架 2.桁條 3.天溝 4.脊 5.屋頂支撐 6.穩定支撐 7.前牆頂柱 8.支柱 9.前牆軌)

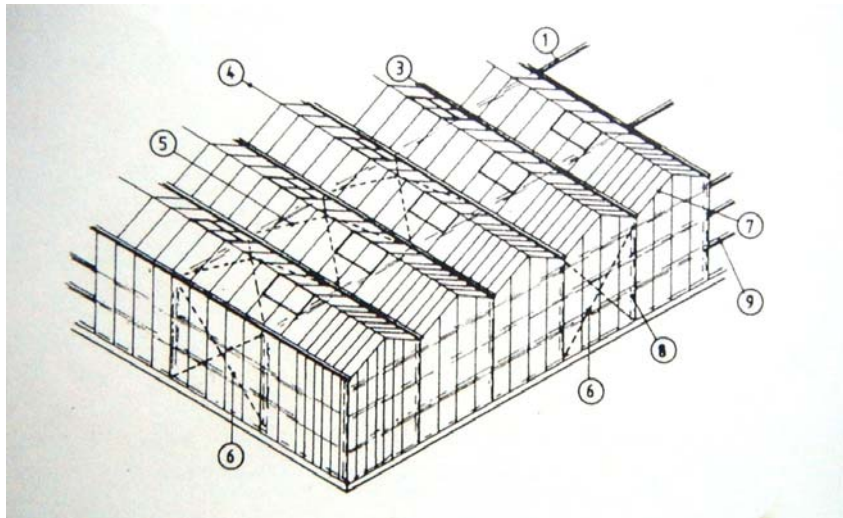


圖 10.16 威諾型(Venlo)溫室之結構。(1.桁架 2.桁條 3.天溝 4.脊 5.屋頂支撐 6.穩定支撐 7.前牆頂柱 8.支柱 9.前牆軌)

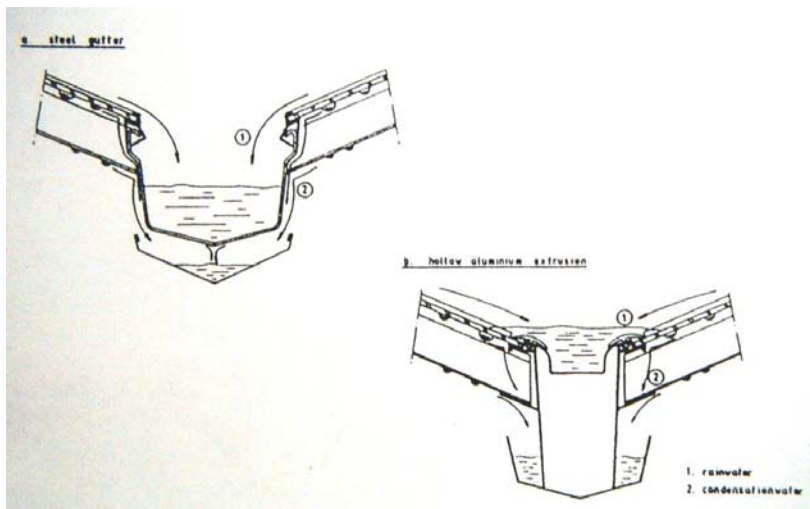


圖 10.17 集水槽設計，左邊為鋼材；右邊為鋁材，將雨水及露水之收集分開 (1.雨水 2.凝結水)

## (二) 溫室結構

大型溫室設施的結構須具有相當堅固的支撐。但整體施工時應考慮地基的承受度會因地區性之不同而有顯著差異，雖溫室之固定荷重小，不需太高之地耐力，但在強風時，地基會承受相當大之壓力。在承受度不足的地區，則必興在其基礎面予以補強。

基礎可分為連續與獨立式二種，一般簡易式塑膠棚大多採用後者，在施工上比較不需考慮結構性的問題，但強風地區則建議使用連續基礎，使其底盤更加鞏固。基礎樁必須深埋，以抵抗強風所造成的水平側力及上升浮力。

設施結構在設計時要考慮抵抗上下、左右之風力，及溫室的出入口、換氣窗及側窗位置，而且亦必須考慮通風的問題。荷蘭地區因為終年平均溫度低，故通風仍以屋頂氣窗開啓為主，反而比較少用側窗通風，因此，外觀看來比較堅固。而荷蘭的颶風較少，故很少見到因為風災所造成的溫室損失，這是與其他地區不同的地方。

由於環保的問題，未來雨水之收集及露水之收集必須考慮分開。因為內部凝結之露水已遭受室內之殺蟲劑及鋅金屬之污染，必須另行收集，而雨水則沿雨水槽流至集水池。圖 19 所示為兩種材料之集水槽設計，a 為鋼材；b 為鋁材，將雨水及露水之分開收集，以免污染整個水源。

圖 10.18 為八米寬之隧道型溫室之結構。由於簡易溫室容易受風吹毀，故其結構更需講究。簡易溫室主要由彎曲之鉛管為支撐，其底部直接固定在水泥柱上。其架構必須能夠承受外界所加諸之負載，並且能將力道傳遞至水泥柱上。由於簡易溫室之特性與所用之塑膠布有關，其數值可以參看表 3。

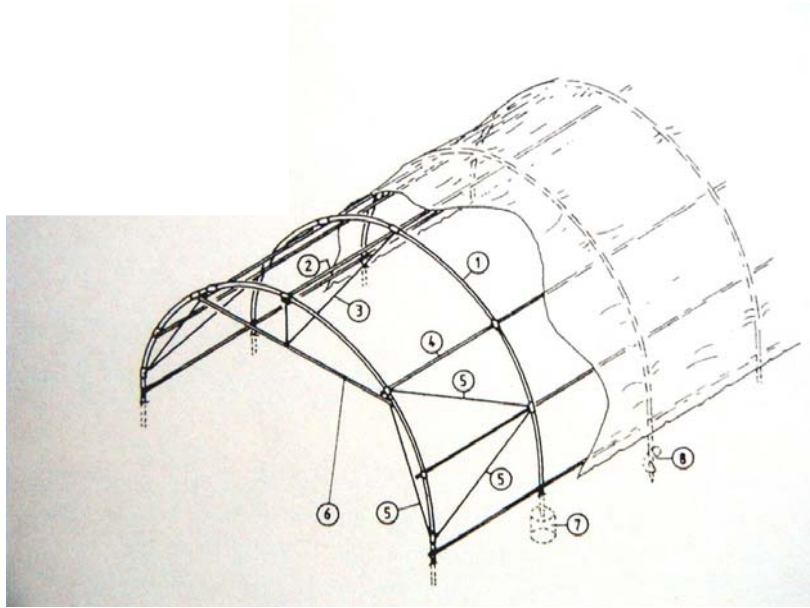


圖 10.18 八米寬簡易溫室之結構。(1.鉛管 2.脊 3.山牆端拉撐 4.桁條 5.穩定支撐 6.山牆端導軌 7.水泥柱 8.地面管與固定)

### 10.4.3 透明材料

如前文所述，一般設施大約可分為永久性、半永久性及簡易式三種。永久性者均有固定的地基及支撐骨架，其透明材料以玻璃或玻璃纖維為主，後者則有強化玻璃纖維浪板（FRP）、壓克力及聚碳酸脂（PC）板等。半永久性或簡易式之溫室其規模均較小，並以單棟居多，以採用 PE 或 PVC 塑膠材料為主。

荷蘭溫室之結構以連棟室居多，所以從遠處看，多呈波浪型，好像展開的摺疊板，由於所用的透明材料都是玻璃，故在

陽光照射下，可以看見一層層的反光，煞是好看。種蔬菜與種花卉的溫室有時有些不同，前者需要的光線甚多，故盡量使用玻璃原色；後者因花種不同需要調陰，所以有些乾脆塗以白粉漆，或者用遮蔭簾進行光線調節，所以有些溫室外觀看來全是白色的。茲依使用透明之材質說明如下：

#### （一）玻璃

早期溫室之覆蓋材料以玻璃為主，其厚度約 3 厘米。單片面積則可達 20 吋×24 吋或 20 吋×36 吋。荷蘭之威諾型溫室，均採用大片玻璃，單片面積則達 1 公尺×1.65 公尺，厚 4 厘米。為節省能源，歐洲國家亦有採用雙層玻璃者，中間並填充二氧化碳，作為絕緣（圖 10.19）。

玻璃溫室每坪造價在 5,000 至 10,000 元之間，依其內部設置而定。由於價格高昂，民間採用較少，僅見於埔里、田尾、永靖及嘉義等地之切花業者，近年來蔬菜種苗業者亦有開始使用玻璃溫室的趨勢。玻璃溫室有如下之優點：

1. 透光性良好，可收集更多的太陽熱能：這種特性在緯度較高的地區尤為重要。這些地區在冬季的外界溫度常在零點以下，其他秋冬季節，外氣之溫度亦甚低，因此需要較多的陽光，以保持溫室內之光照及溫度。
2. 使用壽命長較長：玻璃在使用過程中，沒有老化或黃化的問題，其透光性可常保如新，壽命可達十年以上。
3. 骨架堅固，容易加裝控制系統：一般玻璃的溫室必須要有較為堅強的結構及支撐方可以維持其強度，故在建造上亦較為講究，也需要較高的建築

技術。

4. 無環境污染問題：玻璃材料之再使用性較高，其處理亦較為容易，不會造成公害問題。

雖然如此，玻璃材料之造價高，且容易受颱風侵襲，破碎後會與室內作物纏雜，不易處理。



圖 10.19 玻璃溫室之結構

## (二) 塑膠布

台灣現在使用之溫室設施，大多數的生產者仍以鍍鋅鐵管為結構體，再覆以 PE 或 PVC 布，從事蔬菜苗、花苗培育及香石竹、滿天星、非洲菊等切花、盆花和盆栽觀葉植物之生產(圖 10.20)。使用塑膠布為透明材料，主要是價格便宜，容易彎曲成拱形外觀。在東北部地區，亦有菊花業者為提高外銷菊

花之品質，並防止天候之陰雨，採用力霸鐵棚架之固定型開放式塑膠布溫室，其造價甚低，每坪約為 300 元而已。這種簡易固定型後來也推廣到南部地區，但由於鐵架容易腐蝕，其使用壽命無法超過十年。

以塑膠布為材料主要有下列優點：

1. 容易裝卸，所費人工較少。
2. 成本較低，容易維護。
3. 可製成任意型狀及長度，適應各種規格及用途。
4. 結構較為簡單。
5. 本身具有彈性，抗風性較強。
6. 可採用雙層結構，保溫性較佳。



圖 10.20 塑膠佈溫室以隧道式為主，其上另有壓條固定



但這種材質容易黃化，也易受風吹襲而破裂，故其壽命約僅兩年，更換次數頻繁。其一般缺點如下：

1. 不能耐久，每兩至三年必須加以更換一次。
2. 容易沾塵，需常加清洗。
3. 不容易作成天窗形式，必須由側面通風，或需佐以風扇通風。
4. 更換後之塑膠廢料處理容易造成環境污染的問題。此情形尤以 P V C 塑膠布為嚴重。

由於簡易及隧道型溫室是未來環控農業推廣之重要機種，其標準化問題將更為重要，將來工程人員應多參與此方面之設計，使其更臻實用。目前農民所用之塑膠透明材料以 P V C 塑膠布為多。這是因為日本廠商積極推銷的原故，事實上世界的潮流是使用 P E 布為主。日本因為設備已經投資，故主張採用 P V C。P V C 的優點是保溫性較好，但對於以冷卻為主的台灣溫室而言，此項優點並無多大好處。而 P V C 則有下列缺點：

1. 其廢棄物污染甚為嚴重，燃燒時容易造成空氣污染。
2. 市售之寬度固定，無法作大面積之應用。
3. 表面容易沾油塵，而且不易洗滌。
4. 表面容易長青苔，減少其透明度。

品質好 6 mil(6/1000 吋)厚之 PE 布，最多祇能歷兩個冬天和一個夏天。秋天天冷覆蓋，到夏天受紫外線之破壞變黑變脆，此時天熱應除去，故一般祇用一年。這種特性，適合台

灣氣候。待颱風季節過後至秋涼時，重新更換 PE 布。在溫帶地方，天寒常覆雙層 PE 布，夾層中填入空氣厚 1 ~ 2 吋，以防熱之對流。雙層 PE 布覆蓋，可省 40 % 之加熱能源，缺點為透光率減少，對喜強光植物如玫瑰、香石竹，在冬天易導致日照強度不足，生長受抑制。

PVC 布壽命較 PE 布為長，與 PE 布一樣亦遭紫外線作用，變脆易破。經改良後可耐紫外線之 PVC 布，其厚 8 和 12mil 者，壽命相對地有 4 和 5 年之久。PVC 價格為 PE 布 (厚 6mil) 之 3 ~ 4 倍，但壽命長較為經濟；因靜電吸塵減少透光，在美國未被採用。在日本經改良結果，有 95 % 設施內生產之果蔬是在 PVC 布下生長，只有 5 % 生長在玻璃溫室下。

美國羅格斯大學則開發出一種充氣式雙層 PE 塑膠布的溫室機型。這種充氣式塑膠布具有相當大的彈性，可以抵抗強風。而且，由於雙層的構造，具有絕熱的功能，對溫室之保溫，有很好的效果。

### (三) 玻璃纖維板

硬質的塑膠板類覆蓋材料亦漸被採用，其抗風能力比玻璃及塑膠布強。硬質塑料有壓克力板、PVC 板、FRP 浪板及聚碳酸酯板(圖 10.21)。美國溫室業者喜用 FRP，台灣蘭園業者以前也採用 FRP，但由於品質不佳，現在已不採用，多改用價格低廉 PE 塑膠布，或較貴之 PC 板。壓克力和 PC 板，則是新近產品，其透光度佳，製成雙層，保溫效果極佳。近年歐洲不少溫室採用此種覆蓋材料，但價格較貴。



圖 10.21 玻璃纖維板為透明板可以拉大跨距，形成大結構

1947 年美國生產 FRP 後，至 1960 年品質已大為改善，其主要成分為聚合樹脂、觸媒、填充物及玻璃纖維。以前 FRP 較玻璃纖維為貴，現在單價相近，但溫室之結構較簡單便宜，且適用於圓頂溫室，故美國地區使用的很多。台灣的蘭園，以前很多業者採用 FRP，因品質不佳，又由於灰塵的摩擦及化學劣變，常使表面之壓克力裂開或產生斑點，玻璃纖維暴露於外，吸附灰塵與寄生藻類，至變褐變黑，透光率大為減弱。尤其冬日多雨地區，效果更差。PVC 板在使用約 18 至 24 個月後會變黃變黑變脆，對植物生育不佳，亦多不採用。

壓克力和聚碳酸脂板 (PC 板)，不祇透光好，若製成雙層，中間有一空氣層，保溫效果極佳 (表 3)，近年歐洲不少溫室採用此種覆蓋材料，缺點是較貴。近數年，台灣的蝴蝶蘭種苗

生產已進入企業化經營，其溫室大多採用具抽風水牆降溫系統之威諾型溫室，覆蓋材料採單層 PC 浪板，質硬且輕、抗風，易於維護，深受業者的歡迎。

表 10.1 不同溫室覆蓋材料之單價、透光率及保溫狀況

覆蓋材料	透光率新材料，%	用舊以後	單價美元/呎 <sup>2</sup>	節省能源比率，%
玻璃	88	30~40 年後透光率降低很少	0.50	0
壓克力 (PA), 16mm 厚	86	10~20 年後透光率低	1.60~1.65	46
聚碳酸脂板 (PC)	80	5~10 年變色	1.30~1.45	40
雙層 PE 布	低於玻璃及 PC	-----	0.15	節省 1/3 能源
FRP	-----	8~10 年後透光率很差	52	-----

資料取自 Grower Talks 50(2):66-71,1986.

設施結構在設計時要考慮抵抗上下、左右之風力，另外仍應考量溫室出入口、換氣窗及側窗在強風是否會因結構產生浮力或承受強大風壓時，內部產生強大內壓使玻璃窗損壞，甚至可能造成溫室倒塌。

施工時應考慮地耐性會因地區性之不同而有顯著差異，雖

溫室之固定荷重小，不需太大之地耐力，但在強風時，地基會承受相當大之壓力，若是無法承受時應做好強化基礎工法。

基礎可分為連續與獨立式二種，一般簡易式塑膠棚大多採用前者，但強風地區則建議使用連續基礎。基礎施工時其混凝土要注意不可混入雜草等不佳材料，另外基礎應加以深埋，以抵抗水平力及浮力等現象。

設施之建造應選用合乎設計耐用年限之被覆材料，耐用年限短材料之固定法以使用受過簡單訓練後即可應用之施工法，且容易裝卸的方法為原則。被覆材料之選擇除能承受外力引起之內外壓之外，應要同時能防止雨水及隙風之侵襲。

本省設施園藝之利用，隨著資材之開發及栽培技術之改進，生產規模逐漸擴大。其設施型態依作物種類、設施結構、栽培目的及使用年限而異，大致上可分為永久式、半永久式及簡易式等。

## 10.5 陽光及通氣問題

### 10.5.1 溫室方位

玻璃溫室或鐵架溫網室等均以固定設施為主，此種設施之典型特徵：

1. 玻璃溫室設施以屋脊南北向之設計較常見。
2. 溫室設施之方向與通風採光及設施之抗風性有關，國內一般之溫室設施可能會考慮光量之分佈與颱風之受面因素，以南北向之設計較為常見，其結構在室內之陰影，在一天中會隨著太陽之東升西落而移動，所產生之遮蔭對植物之影響較小。

3. 溫室小、屋脊低時國內一般栽培用溫室以在 30—50 坪間之小溫室造型較常見，屋脊
4. 高度在 3.6 公尺以下，受外界環境影響較大，在夏季高溫時之散熱通風不易。
5. 設施內栽培床均為固定式。

據調查若栽培床為固定長條植床設施，其可供栽培利用面積約為 65%。若採用活動植床，其實際栽培利用面積則可達 85%。

### 10.5.2 遮蔭問題

為調節陽光的強度，一般溫室均必須具有遮蔭設備，而遮蔭則分外遮蔭與內遮蔭兩種，前者在擋去過多的陽光；後者在節約能源。荷蘭由於陽光不是很充足，故其保溫控制甚為重要，但以內遮蔭為主，故一般的溫室裡，常見保溫簾(或遮蔭簾)的使用。據研究指出，使用保溫簾可使能源節約達 40%。保溫簾在夜間展開，可防止輻射熱之散失。使白天收集到的熱能侷限於保溫簾下方，並分佈於作物生長空間。在夏天，保溫簾則可當遮蔭簾使用，使熱量被擋於外，降低室內溫度。傳統上此種布簾可濾掉 50%的可見光(PAR，或謂光合作用有效光)。這種遮蔭的功能在作業管理上亦佔相當重要的地位。

在荷蘭，有些草花溫室所需的陽光不多，故許多花卉業者均直接在溫室之玻璃表面上噴以白粉漆，以減少玻璃之透光度。到冬天，需要較強陽光時，可以利用溶劑將白漆加以清洗，以恢復原有的光度。利用白漆除可減少直射光部份外，最主要可以使溫室內產生均勻的漫射光，對某些植物的生長，有良好的影響。

台灣地區因為陽光太強，故均採用外遮蔭的方式，將過強

的光線擋在溫室之外。外遮蔭係在陽光未進入溫室以前，即行隔絕，其效果較大(圖 10.22)。外遮蔭必須考慮抗風的問題，故其結構堅固，材料須具抗紫外線特性。由於設置點較高，故應考慮採用自動化控制，使遮蔭簾能靈活開啓，或以感應器進行自動開閉。此外，亦可在溫室內部之上方或側面受光的部份以繩索拉動簾幕的方式達到遮蔭的效果。



圖 10.22 台灣地屬亞熱帶，容易產生熱累積，故許多溫室必須採用外遮蔭

### 10.5.3 通風與換氣

溫室也要通氣，否則空氣混濁，再健康的植物也會生病；

但通氣的目的不僅在此，降溫也相當重要，適當的通氣，可以將熱氣排出，使其維持舒適的環境。其次，藉著換氣的過程亦可調節室內二氧化碳濃度、濕度。

換氣有自然通風、強力通風及攪拌式通風等三種，前者係設置天窗及側窗，利用風力與氣體浮力之互動，以達換氣之效果。機械強力通風則採用強力風機，將室內空氣排出、吸入或攪拌等方式而達到換氣效果。攪拌式通風則是在溫室內部設置風機，加速溫室內部空氣之對流(如圖 10.23)，其主要目的在使溫室內之溫度分佈均勻，但其效果較低。溫室之通氣系統絕大部份以自然通風為主，使其至少維持與外界相同的溫度。

機械式強力送風通常在溫室之一側設置排氣扇，另一側設置進氣口(圖 10.24)。空氣由進氣口吸入，由排氣扇排出。這是較經濟的方式，但僅能維持與外界相同的溫度。但進氣位置若能有樹蔭或其他作物存在，亦可降低相當的溫度。



圖 10.23 攪拌式通風，將風機設於溫室之正中央，強迫使空氣產生對流作用



圖 10.24 機械式強力通風的方式，此側為進氣口

#### 10.5.4 水簾降溫

除通風外，台灣的夏天悶熱，常需有降溫設施。採用水簾或加霧法是一種較為有效之降溫方式(圖 10.25)。水簾法係將清水循環於一水簾，以風機將外界空氣強迫通過水簾，使水蒸發而產生降溫的效果。加霧法則以細噴嘴在溫室內噴出細霧，藉其蒸發作用而將空氣降溫。這種方式對濕度較低之大陸性氣候較為有效，但相對濕度過高的地方，其效果仍然有限。有時反而由於室內常維持高濕度狀態，蟲害病菌容易滋生，而且在水簾的系統上，多年累積下，容易產生藻類及鹽份累積的現象。

在溫室屋頂外，加裝灑水器，噴水降溫也是一種有效的方法，而利用壓縮機壓縮冷媒進行降溫可能是最終的方法，但所費較高，故除非是較為高價的農產品，很難降低成本。以冷媒的方式較不受外界氣溫之影響。據估計，一馬力的冷氣機約僅

適用於六坪大小的冷房。

另一種方式係以除濕裝置先將外氣之濕度降低，使其成為低濕狀態，然後再以前述之噴霧方式利用水滴之蒸發作用進行降溫。後者成本較低，但其除濕劑之再生必須消耗部份能源。



圖 10.25 水牆是中價位的溫室降溫方式

#### 10.5.5 自然換氣法

自然換氣是一種最低成本，而且是首先必須被考慮運用的方法。荷蘭由於緯度較高，氣溫低，故對通氣之需求較少，通常僅在夏天一段極短的時期。荷蘭溫室之通風均以開天窗的方式為之，有時具有側窗，但為數較少。

但針對溫度敏感的花卉，仍有設置側窗的必要。有些溫室設計成屋頂可以打開的方式，使其在常溫時，能迅速與外界平衡。

採用天窗通氣，主要是利用熱空氣上升，冷空氣下降的原理，進行自然通風。天窗通常可左右側方向分別開啓，並以開口之大小控制通氣量，通氣量之調節有以手動者，亦有以控制器或電腦系統之感應器自動控制者。但這種通風受外界天候因子如風向、日射量、氣溫等影響較大。而換氣之功能則與溫室結構、通風設計、風壓、作物種類、葉面之光合作用、氣孔開閉特性有關，有時甚至要配合室內溫濕度、二氧化碳濃度及植物所能承之氣流速度而定。

溫室設置時，需考慮天窗之位置與大小以及其逆風及順風的方位。而且操作時必須決定是否左邊開啓或右邊開啓，以免外界風由天窗直接進入。當然在熱帶地區，利用天窗引入外氣也是一種操作方式。天窗在下雨時有時必須及時關閉，以免雨水進入沾染室內植物。由於荷蘭地勢較平坦而多風，故只要方位正確，即可獲得足夠的通風量。

荷蘭威諾型溫室的開窗方式有多種設計。圖 10.26 所示為一個搖擺式機構，其系統主控桿位於縱樑之間。圖 10.27 為另一種桁架軌機構，系統主控桿位於桁架之上，可以避免太多的投射陰影，開口比例(窗面積與溫室面積之比)約在 12%至 20%之間。圖 10.28 為傳統寬跨距溫室所用，可連續打開整片屋頂進行通風的情形，其窗戶高度在 1.0 米至 1.6 米之間，可用齒列連續作動，同時打開。若以 1.4 米高度計算，窗戶開口比例在八米跨距者為 33.6%，9.6 米者為 28%，而 12.8 米者為 21%。

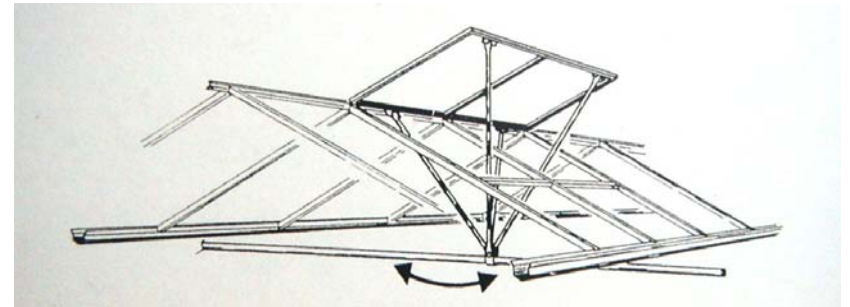


圖 10.26 搖擺式機構，系統主控桿位於縱樑之間

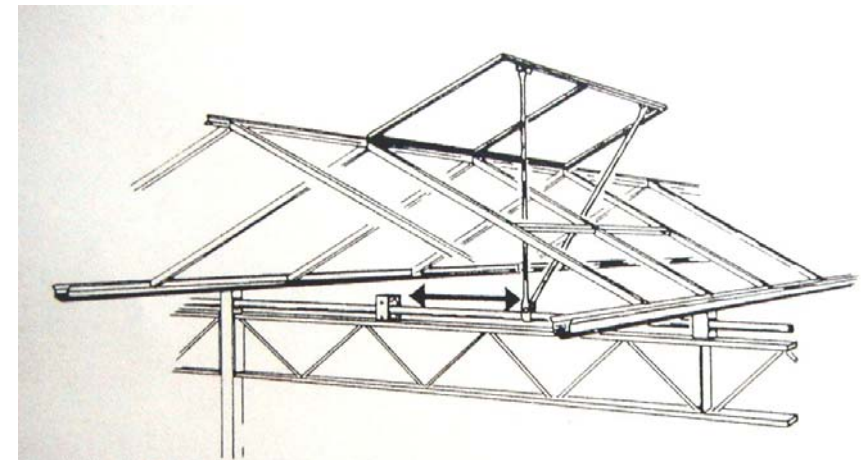


圖 10.27 桁架軌機構，系統主控桿位於桁架之上，可以消除部份陰影

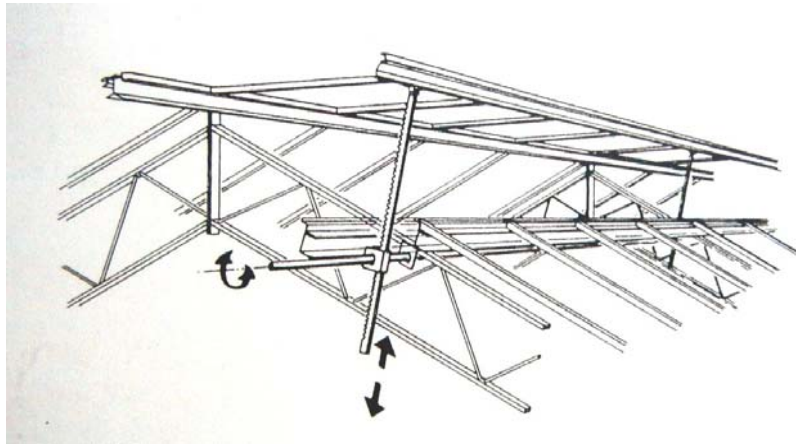


圖 10.28 連續開啓機構，窗戶整面開啓，由齒列連動

### 10.5.6 溫室之加溫

在荷蘭，溫室加溫是一個相當重要的一部份，沒有加溫系統，太陽的溫度並不足以維持溫室適當的溫度，而在沒有太陽的時候，尤其溫差相當大的晚上，溫室反而有失熱的可能，因為熱量會反而輻射回到天空中。加溫必須有熱量的供應，其熱源可能來自煤、瓦斯或燃油等。由於這些燃料均會產生煙灰，不能將熱氣直接送入溫室，故必須使用間接式加熱系統。一般係採用燃燒鍋爐，產生熱水或水蒸汽，再送入溫室加熱。

經濟價值較高的花卉，其溫室加熱常採用熱水加溫的方式。利用 60-80°C 度的熱水在管路中循環，然後直接通至植床以下，有些則是利用熱交換的方式，將熱水的熱轉換為熱風，再吹入室內的方法。這種系統所需之預熱時間較長，可用於緩慢加熱的情況。由於溫度較低，不會導致植物燙傷，且在停止後保溫性仍高。熱水系統在寒冷地區若間隔不用時，會有結凍之顧慮，在荷蘭較少應用。

採用鍋爐產生 100°C 以上之水蒸汽進行蒸汽加溫則是常用的方法。亦可利熱交換管將水蒸汽的熱轉而加溫熱水或熱風使用。此時溫度較低，對植物及操作人員均較為安全。利用熱風時，則可直接吹入室內。高溫水蒸汽亦可用來消毒土壤，但容易形成局部高溫且自動控制較困難。此法適於起伏不定地形的溫室及大規模的設施。需注意水質未經處理容易腐蝕配管問題。

直接利用燒爐，採用間接加熱方式，產生熱空氣。這種方式不需配管，使用較為容易，預熱時間短，加溫可立刻見效，但停止使用後保溫效果差，適用於所有溫室（圖 10.29）。

在溫室中，為期能有效地將熱散布在適當的地區，熱水或水蒸汽加熱管理的安排則很重要。為此管路之安排可分為地底及地上加溫系統，兩種。地底加溫系統係以水蒸汽或熱水通入埋在土中之管路內進行加溫的方式。這種加熱系統可使植物之根部保持適當的溫度。有些加熱管則僅置放在植物根部附近的地面上，同樣可以達到根部加熱的目的。

在花卉為主之溫室中，包括盆栽作物，則大部份採用地面加溫系統（圖 10.30）。此時加熱管係直接吊掛於作物生長區附近，使整株附近的溫度能維持在適當範圍內。加熱管之高度則可隨作物之成長高度而升降。在荷蘭如此裝置約可節省加熱費用 20-30%。這種加熱系統採用熱水式或蒸汽式。熱源由鍋爐產生，其管路則用鍊條吊掛在桁架上，以便調節。所用燃料大部份為天然氣。在西德，有一家溫室公司則建在焚化爐附近。直接將其鍋爐所產生之蒸氣熱源以管路引到溫室內作為加熱之用途。



圖 10.29 溫室中之加溫機（豐南育苗場）



圖 10.30 地面加溫系統（豐南育苗場）

## 10.6 設施內搬運設備

國內現有以溫室生產之農企業中，實施機械化者仍然很少，其生長模式缺少標準化、生產設備之功能與構造複雜及作物種類繁多等均為主因。國外已有許多溫室公司開始進行設備標準化的工作，期能因地制宜，規劃所需之機械與設備，以滿足各種作業之需求。近年來國內經過產官學界積極的研發，部份溫室已可進行機械作業。其中較為顯著的項目包括：介質供應、真空播種、排箱積箱等，此類系統部份已能達到一貫化及自動化的需求，以取代一部份的人力。

在搬運方面，國內外則仍存在許多不同之應用層次。荷蘭之育苗系統有些已經使用相當高階的技術，諸如配合電腦的記憶及控制特性，操作農業機器人進行秧苗之搬運作業。這些系統複雜，價格昂貴，很難在小規模之農企業中廣泛應用。簡易的搬運方式變成另一種較為實際而迫切的解決方案。目前國內民間育苗場之搬運作業，其機械化程度仍然不高，大部份必須倚賴人力，因而工作效率較低且成本高。

### 10.6.1 溫室內植床空間配置

溫室內部的植床設計常依情況而異，可分為固定式與活動式兩類。不同型式的植床設計會影響日後的育苗管理作業，其所使用的搬運機具設備與限制也將會有所不同。溫室內植床之排列方式影響事後作業很大，其可節省的空间亦依設計的方式而不同，表 10.2 所示為各種型式之空間比較。



表 10.2 各種植床的空間利用比例

類別	植床型式	英文名稱	空間比
固定式	縱向型固定植床	Longitudinal fixed bench	65%
固定式	非字型固定植床	Peninsular fixed bench	72%
活動式	縱向型移動植床	Longitudinal rolling bench	82%
活動式	非字型移動植床	Peninsular rolling bench	86%
活動式	可運搬式植台	Transportable bench	93%
無床架	地面生長系統	Floor system	90-92%

溫室內部的植床設計常依情況而異，可分為固定式與活動式兩類。不同型式的植床設計會影響日後的育苗管理作業，其所使用的搬運機具設備與限制也將會有所不同。

### (一) 固定式植床

固定式長形植床是最傳統的一種生長系統，由於價格低廉，簡易的育苗場常使用之。長形植床為高度約六十公分之固定床架組成，穴盤置於其上。圖 10.31 所示為縱向型固定植床的排列方式。植床中間留有的一至三條長而窄的走道，因此工作者得走很長的一段距離才能到達走道的出口。在這種狀況下，搬運作業最費勞力，處理穴盤苗及育苗鉢也較為困難。



圖 10.31 縱向型固定植床

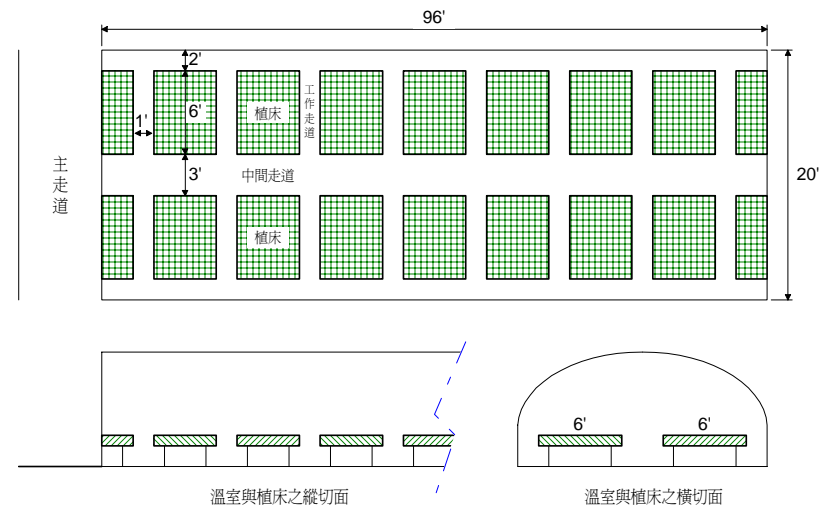


圖 10.32 非字型固定植床

圖 10.32 為「非」字型固定植床的配置情形，溫室中央僅留一個較寬的中間走道，各植床間亦有較窄的工作走道與之相交。搬運車和工作桌可在中間走道走動。工作者在此走道活動容易，而從溫室的任何一個角落到中間走道的距離都不會太遠。



圖 10.33 縱向移動植床之外觀配置

圖 10.33 則為「非」字型移動植床之實際作業情形。中間走道之位置固定，而活動植床則可在滾軸上左右移動，空出暫時工作走道（垂直於中間走道），以供作業人員進出，其配置與「非」字型固定植床雷同。

近年來國內亦有採用 A 字架作為植床者，圖 10.34 為其一典型的例子。這種植床搭配基本介質，以維持作物成長期之養分，國外以用於番茄之栽培為多。其缺點是光線接受不均勻，對作物之生長有影響(圖 10.34)。



圖 10.34. A 字型栽培架(苗栗老鍋農場)

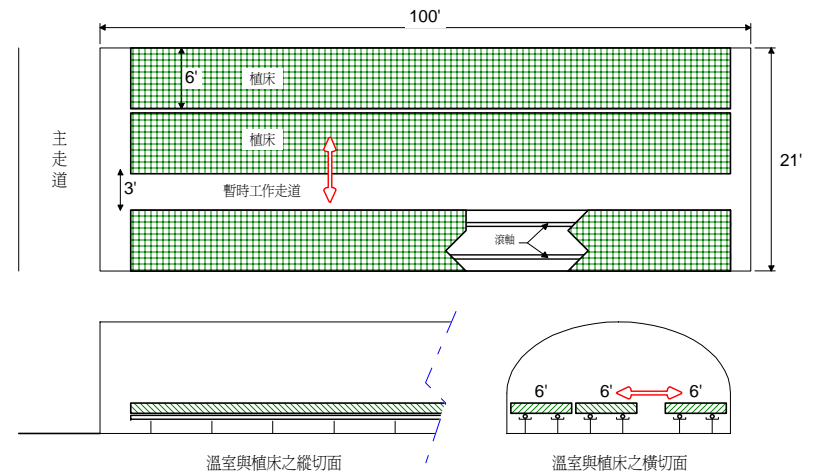


圖 10.35. 縱向型移動植床之移動方向

## (二) 活動式植床

活動植床是整個植床或植台可利用滾軸或滾輪移動，管理者或工作者在需要時才移動植床，以挪出走道；整個溫室的地面利用率可因而增加 10%-25%。

圖 10.35 為縱向型移動植床之配置情形，移動植床可以空出暫時性之走道。這種走道長而狹窄，工作者和搬運車在走道中移動皆較為困難。為克服此項缺點，業者須配合使用適切的簡易搬運機具來運送物料，如吊車、運輸機或植床頂部台車等。當裝載完畢後，推向主走道處，然後再由主走道將作物運送至作業室。

## (三) 可運搬式植台

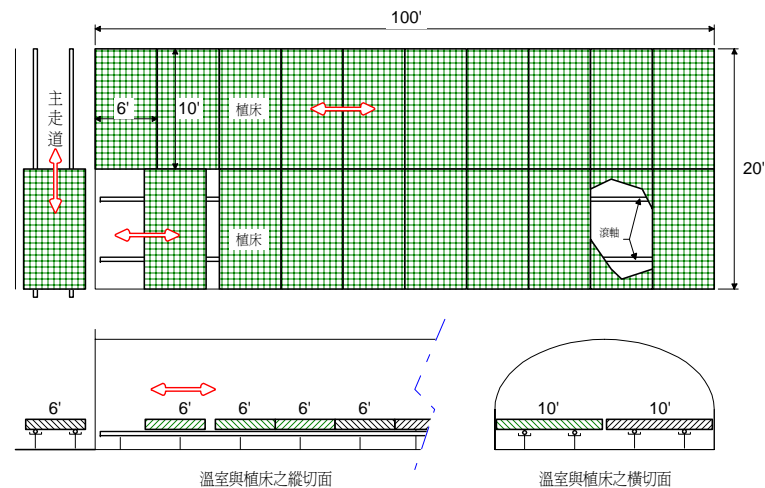


圖 10.36 可運搬式非字型移動植台

圖 10.36 所示則為可運搬式植台，各植台之移動藉由軌

道上之滾輪，可直接滑向主走道，再由主走道直接運送到作業室。在這種狀況下，由於最小的搬運量為一個植台，因此可節省許多往復搬運的勞力。一旦植台被運送到作業室後，即可進行收穫處理，而空植台則可重新置入新苗鉢或穴盤苗，再運回溫室中。

在可運搬式活動植台系統中，若種植的作物生長不均勻，或種類繁多僅其中一部份的作物可供出售時，則已移出之植床中，其所剩餘的部份不是得丟棄就是需將之重新運回溫室。再不然，就得發展出另一套處理系統來處理未出售的作物。因此維持作物生長速率的一致性是相當重要的，其需注意者包括作物本身及光照、給水、施肥、環控等因素。

這種植床係以一植床為運搬單位，將十數個育苗盤先安排於一個植床上，再將整個植床置於固定式滾輪或圓管軌道上，直接送至育苗室或綠化場。利用固定式滾輪者，其植床底部需為平整的設計。其典型的例子如位於台南之台糖蘭花溫室，其滾輪沿前進方向以 30 至 40 公分為間隔佈置，動力來自底部之傳動軸，並以圓型皮帶連接(圖 10.37)。

以圓管為軌道者其口徑約 8 公分，植床底部則需裝有四付接觸輪，可在軌道上自由行走。其典型的例子為台中種苗繁殖改良場自荷蘭引進的精密溫室，其前進的動力依靠植床間的推擠。在這套設備中，舉凡進苗、出苗、灑水及噴藥皆為自動化控制的型式。入苗時，利用上鉢機將育苗盤成排置於植床上，其後再將裝滿育苗盤之植床沿軌道送進溫室中排放，幼苗即在植床上發育。

待種苗成熟可以出苗時，再循序將植床送回作業室中，利用取苗控制機械來運搬，並送至卡車上。其灑水及噴藥作業是利用懸吊式管路系統，可以控制其噴水時間及均勻度。



圖 10.37 運用活動植床以增加使用空間效率(溪州育苗場)



圖 10.38 地面生長系統

#### (四)地面生長系統

地面生長系統是一種將穴盤直接置於地面生長的方式，其在空間使用上很有效率(圖 10.38)。這些穴盤通常直到要賣出時才取出，因此適用於生長中不需人力照顧的作物。

在歐美寒冷地區或需要夜間加溫的地區，這種系統和地面加溫系統相聯結，利用地表所產生的微氣候，可使作物的根溫在整個生長季中維持合適的溫度。如此可使溫室在較低溫情況下運作，節省能源的消耗。這種系統在地面上未設置任何管子或檯架，故可因需要而隨意改變，空間的運用較方便。

### 10.6.2 設施用簡易搬運機具

設施育苗中心在育苗過程中，搬運作業所耗費的時間及投入之成本最多，而溫室的長度愈長，人員往返溫室入口及植床間所需的時間愈久，為解決搬運問題，各種型式的搬運機具亦陸續出現。茲就搬運的方式作一說明如下：

#### (一) 批式搬運機具

批式搬運屬單機作業，大部份以人力驅動，其機體輕便，可行走於設施之間。這些機具的型式因使用習性而異，且變化甚大。

無動力的方式係利用台車進行植床間與育苗作業室間之搬運工作，可節省許多繁瑣的搬運人工。無動力台車以手推為主，有單輪、三輪或四輪者，行走時不設軌道，故搬運時相對較為費力。其機體輕巧，所能載運的數量不多。

#### 1. 單輪推車

單輪推車易於轉向，但不容易平衡，靜止與行走時之位

置不同，有時必須人手支撐。一般言之，單輪車是最簡便而原始的搬運車，以橡膠輪行駛於各種路面皆無困難，其機動性頗高，但承載的面積有限，故載運量較少，每車最多可裝約 30 箱(女工推車裝 20 至 25 箱)，且下車時要再以人工堆積。



圖 10.39 手推式單輪式搬運車

圖 10.39 所示為國內一般常用之搬運車，可以載運小件

物品，一般溫室內之作業亦可使用，甚為方便。但由於其車輪較小，容易因地面不平產生振動。圖 10.40 所示亦屬單輪車，其車輪較大，可以腳踏車輪代替。在未鋪設路面之溫室內作業，此型亦相當合適。其承載盤高度與人腰齊，對於穴盤之搬運較容易搭配。歐美地區之溫室內，常見使用。

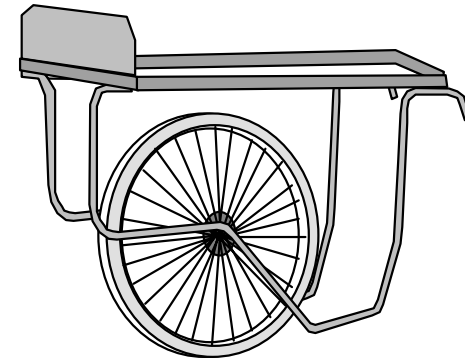


圖 10.40 大輪型手推式搬運車

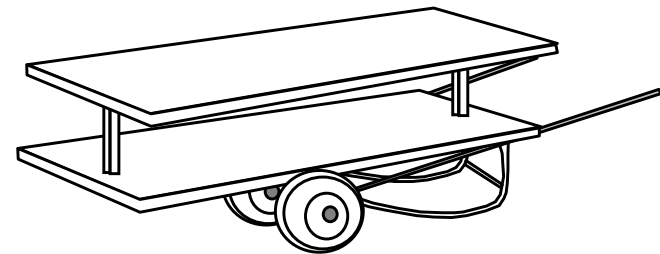


圖 10.41 穴盤專用之雙輪車

## 2. 多輪手推車

二輪車以上均屬多輪型手推車。在特性上，輪數愈多，搬運時愈為穩定。二輪車則可以獲得左右方向之穩定性，但前後方向則需要支撐。圖 10.41 為穴盤搬運專用之雙輪手推車，後有支撐，穴盤可分置兩層。圖 10.42 亦屬穴盤專用之萬向手推車。此種萬向手推車在平坦的地面上較容易使用，通常以作業室內居多，可以任意往返兩項作業之間。其穴盤底架屬多層，高度依作物而定。可搬運穴盤苗或鉢苗。

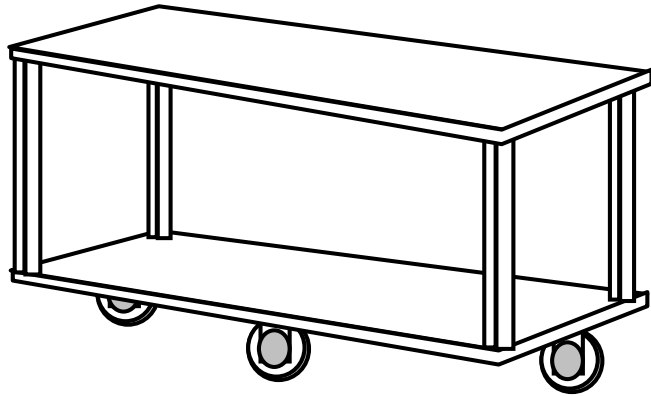


圖 10.42 穴盤用之多輪車

三輪式則可分為前軸雙輪與後軸雙輪兩種，常因其轉彎之容易度不同而設計，單輪屬萬向輪，亦為轉向輪。通常後軸配置雙輪而以前輪轉向之三輪車較優於傳統的四輪車，其轉彎也較容易；而前軸配置雙輪後輪為轉向之三輪車，其行駛性能則劣於四輪車。

三輪手推車及四輪手推車行走時較平穩，承載量亦比單

輪車大。但受限於溫室內走道之寬度及路面的平滑度，較不容易在溫室內之通道內作業。如圖 10.43，四輪車前輪通常為轉向輪，後兩輪方向固定。規模較小之育苗中心可採取此種方式。

此種四輪式小台車為 60 公分寬、90 公分長，以鋼管及角鐵銲接而成，製造簡單。在台車平面上可以放置三疊苗盤，每疊可放二十盤，故其最大承載量為六十盤。輪子是用橡膠輪製成，前方兩輪可以自由地萬向轉動，後方兩輪則固定方向，因其直接行駛在水泥地面上，所以摩擦力較大，且在溫室內走道行駛時不容易控制方向，常易碰撞兩側之固定植床。在搬運成苗時，通常先以人工從溫室搬至育苗作業室中，再行裝箱出售。因成苗收穫時不可堆疊，故載運量更少，只有三盤，比人工搬運慢。

在工作室使用之苗盤運送車亦屬四輪者，其型式及結構則變化很大，如圖 10.44 所示即為嫁接苗的運送車。

四輪搬運台車載運成苗時，有其苗高的限制。在成苗無法堆疊之情況下，可採用多層式的設計，然後以一個台車為運送單位。最近種苗場為將半成苗運至育苗中心進行第二階段之綠化工作，亦設計有可以拆卸的多層式四輪台車，此種台車高度一公尺餘，可以調整每層高度，也可以拆疊，以利空箱搬運。搬運時直接置入冷藏車中運至目的地。這種層式台車亦可首尾相連，以曳引車進行大量之搬運作業，常見於番茄生產場之收穫作業(圖 10.45)。

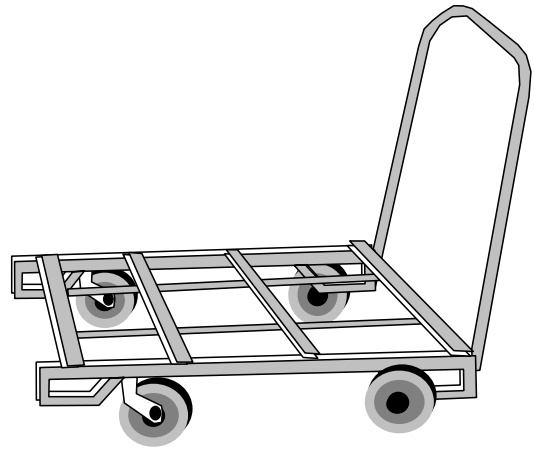


圖 10.43 四輪式搬運車



圖 10.44 作業室用之四輪多層手推車(育家育苗中心)



圖 10.45 利用曳引車帶動多輪連結車進行搬運(番茄)

### 3. 軌道式台車

長距離的輸送工作若以一般無定向的台車搬運則人力花費甚多，而且人除推送外尚需兼顧方向，甚為辛勞。若能將搬運車配置軌道行走，則可以作遠距離的搬運作業。在溫室中鋪設固定式或臨時軌道，其主要目的在設定行走方向，使其在行走期間，不會遭受到植床等設施之阻礙，並得以解決經常性的搬運工作。因此可知，使用軌道式的搬運車應配合以固定式植床之形態為主，其四輪者如圖 10.46 及圖 10.47，亦有三輪但以單輪跨於軌道上行者如圖 10.48。



圖 10.46 四輪軌道車在育苗中心作業之情形(民雄育苗中心)



圖 10.47 四輪台車行走於雙軌上作業之情形(日陞)



圖 10.48 三輪台車以單輪行走於軌道(圳頭育苗中心)



由於四輪車之方向受軌道牽制，其四輪均可為萬向輪，以便前後均能任意推動，但亦得二輪為固定輪，二輪為萬向輪，以增加其穩定性。其軌道架設可用三角鐵或圓管固定於地面上。為防止其距離發生變化，兩軌道間可利用等長的扁鐵固定。由於軌道本身穩定，故即使不固定在地面上，亦能正常發揮其運搬的功能。

三輪台車利用軌道行走時，僅選其中一輪作為方向輪，並以其一輪限制在軌道上。這種方式並非最為妥適的安排，因為後二輪的方向無法受到拘束，若方向偏離中心線太遠時，會使前輪脫軌。



圖 10.49 四輪台車中央以單軌道導引，四輪行走於平地上

為克服上述之缺點，亦有利用四輪台車的方式，但僅採用單軌導向，另兩輪則以橡膠輪在平地面上行走，以減少地面上軌道太多的麻煩(圖 10.49)。大型溫室為配合自動化搬運系統之設置，亦多採用這種方式。元長茂盛育苗中心之新溫室即

以此種方式構成搬運系統。

#### 4. 跨植床台車

為節省台車行走的空間，採用跨植床的台車搬運型式亦可獲得另一種解決的方案。跨植床下，工作人員在通道上的活動空間會增加，比較容易交錯通行。而且，利用跨植床的方式，其載運量會增加，且可以由植床之兩側同時工作，增加工作的速率。

圖 10.50 所示為其在溫室之通道跨中央植床時之作業情形，操作時必須由兩人同時作業，並同時推動前進。這種無軌道之跨植床台車最大缺點在於其方向不容易掌握。若施力不均，容易與中央植床發生碰撞，前進變得不順，利用其把手的位置可以控制行進方向，但必須兩人合力操作。此種台車適用於不具平坦路面之通道作業。



圖 10.50 跨植床無軌式台車在溫室中作業情形(吳平育苗場)

為克服行進時方向不易控制之缺點，在溫室中通常仍以採用軌道式台車較為普遍。其方式係在中央植床之兩側通道之內邊鋪設軌道，其材料以最容易取得之鋸管為主，其外徑約 2.5 公分。為使其固定，可以一長約 30 公分之扁鐵每隔一公尺將之銲接於鋸管底部，然後固定在地下。鋸管改用角鐵亦是一可行的方法，但必須倒置於地面或固定於水泥面上。

台車之尺寸為 230cm×123cm×950cm(高度)，以配合寬度 180cm 之中央植床。圖 10.51 右邊之放大圖顯示台車之足部與鋸管接觸之情形。利用凹形輪使其扣住圓形鋸管，以利前進。為使其免於行進前因推動時之過度扭力，致發生脫軌現象，另一側的凹形輪軸需預留一點餘隙，以供其活動。



圖 10.51 橫跨中央植床之軌道式台車(電動型)

## 5. 植床頂部台車

部份溫室為節省溫室之應用空間，其走道均儘量縮小，在需使用時方將中央植床向左右方向移動，以騰出所需之走道空間。此種活動植床特稱之為滾動式植床。

使用滾動式植床不僅可增加 10-25% 的生長空間，而且可減少裝箱及管理維護時所需的人工。此類植床可配合窄式折疊型輸送機，以將作物送入或移出生長區。另一種設計則使用可運搬式植床，120 公分至 150 公分寬，180 公分至 240 公分長，可配合滾式輸送機、連結搬運車或堆高機，移至工作區以進行轉植、上盆或疏盆等作業後再運輸。

滾動式植床的基本觀念是僅留一條工作走道，其他所有走道部份均轉成生長空間。植床的底部由管狀滾子支撐，可向兩旁移動 45 公分至 60 公分，此寬度即為工作走道的寬度。當工作者需要到某一特定植床進行維護工作時，溫室中其它的植床可推在一起，使在該植床旁留出一工作走道。每次只能在植床的一邊產生一個工作走道。由於植床可移動，所以所有附在植床上灌溉用、加熱用及電力系統的管線皆設置的較有彈性。另外，有些設計還可在支撐管的一端裝上曲柄來移動連在一起的植床，即使植床長至 85 公尺也可輕易的移動。

針對這種滾動式植床，搬運用台車可直接架設於中央植床之上，隨植床而移動。圖 10.52 所示為利用輕便台車架，加上滑輪後直接架設於中央植床邊緣而操作的情形。這種台車架設計輕便，空架車時可由兩人抬起而搬至其他位置。這種設計主要缺點是每次搬運時由於通道僅留一處，無法兩邊同時操作。若與母車共同設計時，則母車台面必須有升高裝置，使其配合中央植床的高度。



圖 10.52 軌道設於植床之兩側緣，台車架於其上  
(茂盛育苗中心)

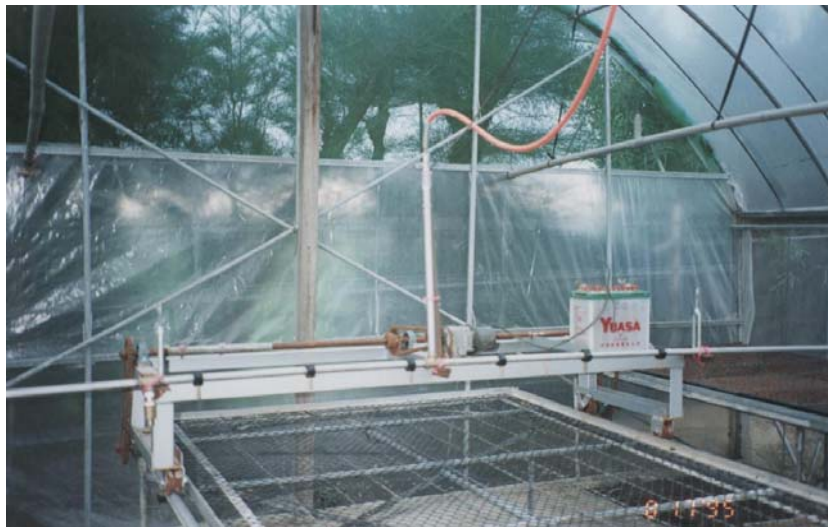


圖 10.53 頂部植床台車亦有搭配噴藥系統者(圳頭育苗中心)

圖 10.53 則為圳頭育苗中心利用頂部植床作為骨架，進行噴藥作業的情形。而為搭配植床頂部台車之作業，亦有針對此台車的運送而作成特定可以升降的運送車如圖 10.54。此車可以調節高度，使其適合不同植床的高度，將台車連植栽送至植床上，或自植床取下，沿一特定軌道送回作業室。



圖 10.54 植床頂部台車之搬運車(茂盛育苗場)

## (二) 連續式搬運作業機具

直接利用二條三角輸送帶可以將一至三箱為一疊之育苗盤進行搬運。這種輸送帶每一節約為十公尺，可以連續連接至十數節，直接在育苗室與作業室間作搬運的工作。在國內，這種方式在水稻育苗場中應用尤多，有些甚至將整個輸送帶裝設於軌道上，可作橫向移動，以涵蓋所有秧田面積。蔬菜育苗中

心亦有多處採用長型輸送帶搭配的方式，使進出苗更為順利。輸送帶通常寬 10 公分至 60 公分，長可由 90 公分到 900 公分，對於平底苗箱的裝載及卸貨工作十分便利，當運送至儲存位置時，可配合堆疊機進行堆疊，再徒手或以搬運車進行下一步驟的作業。

### 1. 半自動運送架

半自動運送架屬無動力型式，其上裝有可自由轉動之滾軸。使用時，可以每四箱一疊，置於輸送架上，再用人力往前推送。此設備亦可作為輸送過程中之單元或接續用之設備。由於輕巧，有時四腳可加裝萬向小輪，可以自由移動或由兩人抬動(如圖 10.55)。

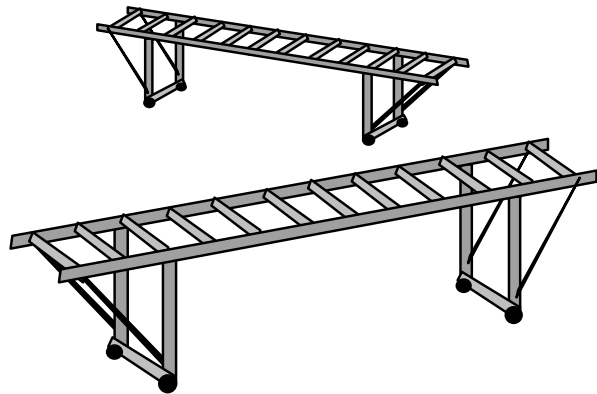


圖 10.55 輕便的半自動運送架

在無動力的情況此下，輕便型滾子運送機亦可以使用(圖 10.56)。這種運送梯內裝有滾輪，可以自由滑動。使用滾輪或溜冰輪式輸送機則不需要動力，長度可伸展 1.5 公尺至 3 公尺，4-10% 的傾斜度即可讓物品自由地滑動即可靠重力輸送遠

至二公尺至四公尺的距離，且不須任何動力，但運送之物品必需底部平滑或利用三夾板為底墊。滾子運送機可平躺，亦可構成一較小的傾斜角度，由數台串聯在一起作業，甚為方便。

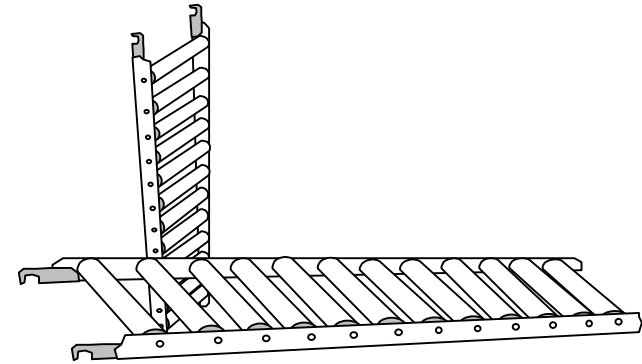


圖 10.56 可吊掛簡易型滾子式運送機

### 2. 動力式運送機

運送帶通常均由馬達帶動，其輸送元件為甚長的三角皮帶(圖 10.57)。以運送帶輔助搬運者以後龍鎮合興育苗中心為代表，該中心現有簡易溫室 22 棟共 1000 坪，蔬菜育苗作業室有 80 坪。由於溫室之分佈受地形限制，散佈於育苗作業室兩側，距離由最近之數公尺，到一百公尺以上之最遠距離，搬運作業規劃不易。其溫室有簡易隧道型塑膠布溫室及較堅固之鋼骨結構型溫室。圖 10.58 所示為福田豌豆芽場的三角皮帶之應用情形。

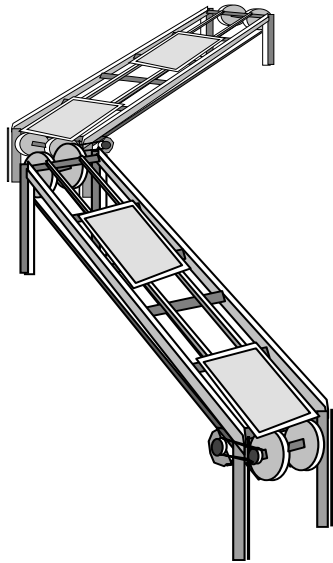


圖 10.57 三角皮帶運送機



圖 10.58 三角皮帶連成之遠距輸送機(福田豆苗場)

平皮帶運送機以平面皮帶作為輸送元件，可搬運各種不同的作物樣式，是傳統的搬運機械。其規格在寬 10 公分至 60 公分，長一公尺至十公尺(圖 10.59)，可用來裝卸箱、袋、盆及盒等。用在盆栽或轉植工作線上時，平皮帶運送機為最適宜。皮帶表面有槽狀者，可用來輸送塊狀的物料。



圖 10.59 平皮帶運送機，荷蘭用以輸送盆花

以後龍鎮之搬運方式為例，其運送方式係在溫室中間架設電動皮帶式輸送機，每部長 5 公尺，多部串連。配合輸送機，一棟溫室內之植苗床改成兩個，分別置於輸送帶之兩旁。此種安排較佔空間，設備費用較高，但搬運量大且穩定。開始時係先將育苗作業室中播完種的苗盤，以人手搬至運送機上，運送至各個溫室之出(入)口，再經轉彎機移轉到溫室內之運送機上，以運送至溫室中各個定點。卸箱時以人手接應，將其自運

送機取下，放到所要擺放的位置。

鏈式運送機則是由馬達帶動配有棘形之檔片，可正確帶動物件，不容易產生滑動(圖 10.60)。而利用鍊條作為驅動的裝置，則可以確實將盆花作特定的處理，這是花卉業者可以應用的另一種型式(圖 10.61)。其全面之作業則如圖 10.62 及 10.63。

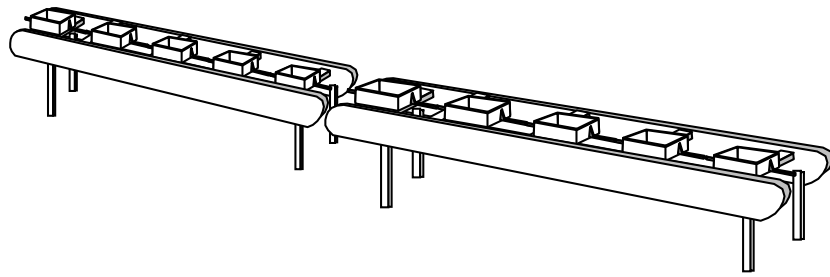


圖 10.60 鍊條式運送機

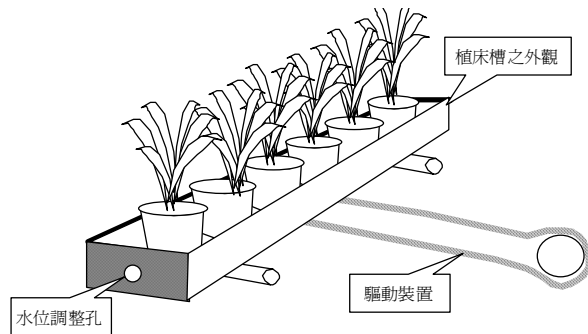


圖 10.61 植槽之外觀及驅動方式

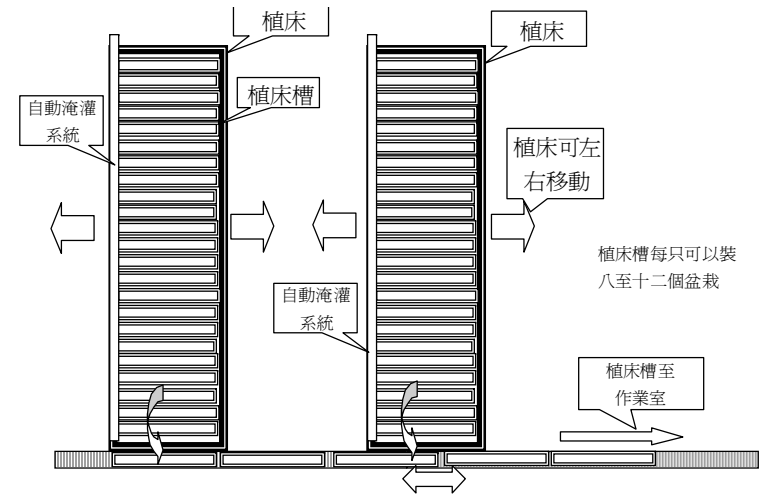


圖 10.62 蝴蝶蘭自動搬運栽培系統圖



圖 10.63 利用鍊條驅動槽床將盆花進行中間處理(新台灣溫室)

### (三) 吊掛式運送機具

另外一種搬運方式係則將搬運架吊掛在溫室上方支架的軌道上，再徒手推吊車或以纜繩控制使其前進(圖 10.64)。這種型式在國外已普遍使用，可在植苗床作物栽培溫室中進行多功能之搬運作業。工作者將植苗箱抬至距地面 70 至 100 公分高的吊架上，數箱為一疊。此種設計可允許載重 20 至 50 個植苗箱，往下推送至下一個工作位置。

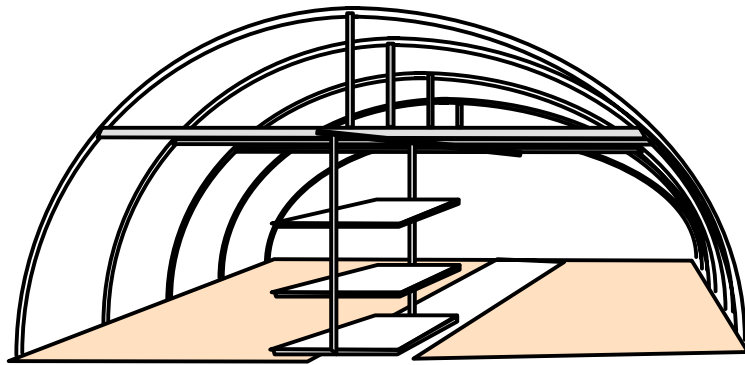


圖 10.64 單軌式吊掛型運送機具

在簡易溫室中，採用吊掛型搬運系統必須考慮其結構強度，一般足以支持鐵軌的棚架通常可設計承受 20 至 50 個淺盒的重量。但有些地方仍需加以補強，以維持操作時架構之穩定。吊掛型搬運機具除具搬運功能外，尚能兼作灑水及噴藥或噴霧的工作。圖 10.75 所示為一雙軌式懸掛搬運機構。其支撐來自溫室之龍骨部位，並佐以斜側肋骨補強。搬運台可載運兩旁及中間植床的苗盤。由於懸吊的關係，亦可利用繩索牽動，直接由馬達控制及動作，進一步達到自動化的效果。



圖 10.65 雙軌式吊掛型運送機具(阿蓮育苗場)

### (四) 其他搬運方式

#### 1. 空中輸送

所謂空中輸送係利用大跨距的軌道架，其上裝置三角皮帶，可將田中之植栽運至作業室。這種空中輸送設備均需架設多重軌道，且以裝置在室外為多。圖 10.66 為桃園花之鄉的花苗場所設置之空中輸送機，除可將花苗直接送入綠化場外，其上尚架設有噴水管，兼作噴水的工作，水源則由旁邊的溝渠供應，利用設置在輸送架上之水泵直接噴水。



圖 10.66 利用空中輸送機架設於田間軌道，可供搬運及噴水的工作(花之鄉)



圖 10.67 由台大及桃園場研發的子母車自動搬運系統(桃園場)

## 2. 子母車搬運系統

嚴格言之，子母車搬運系統並非簡易的搬運系統，因為其所牽涉的技術甚多，而且構造也相當複雜，非較大的投資不能使用。但由於這些系統均衍自本土技術，故亦在此特別介紹。圖 10.67 所示為由台大生物產業機電系與桃園改良場共同開發的子母車搬運系統。此系統以苗籃作為輸送的單元，可以利用母車作換棟搬運，然後由子車將苗籃送至溫室內在地上排放。



圖 10.68 自動卸取箱設備可以將豌豆苗盤平放及自地上取出(福田豌豆苗場)

## 3. 自動排箱系統



這種自動的排放系統可以將苗盤依序排列於地面上，亦可將綠化完成苗盤以同樣的裝置收回來，圖 10.68 所示為福田農場利用自動排取箱機將豌豆苗盤排放在溫室內之地面上之情形。



圖 10.69 水稻自動卸取箱機

在水稻方面，台大、宜蘭技術學院及台南場則合作開發水稻秧苗卸取箱機(圖 10.69)，可以將苗盤依序排放在綠化場上，經綠化後，亦可利用同樣的設備將成苗收集進行插秧的工作。

#### 4. 槽床型搬運系統

圖 10.70 所示為槽床式搬運系統，盆栽可以一字排開置於一槽床上，以排為單位進行個別處理。其輸送動力則來自電

瓶，將槽床直接送至溫室內置放。這種槽床亦可配合適量之澆水系統，使養液的管理更有效率。



圖 10.70 槽床式搬運系統可以使植栽受到個別照顧(荷蘭)

#### 5. 可調式工作車

在高行作物之栽培過程中，其管理作業常需人手配合工作，如番茄溫室中，整條、摘心、調整高度等工作均需於固定時間中進行，這些工作需要可調式工作車，如圖 10.71。這種工作車系採電動式，按鈕即可調整高度，相當方便。



圖 10.71 番茄園中使用之高度可調式工作車(亞太農場)

## 6. 利用小貨卡車輔助搬運

大規模的育苗中心為節省搬運作業的勞力，常採用貨卡

與人手搭配的方式。大部份的溫室作物大盤商採用貨櫃來運輸。這些貨櫃如圖 10.72，以鐵皮或夾板為材料，一般尺寸為 150 公分寬，120 公分深，240 公分高。分成 7 或 8 個夾層，各層距離 23 公分至 28 公分，每兩個夾層中的隔板可移走以安置較高的作物。各貨櫃背靠背的置於卡車之平台上，並以鐵鏈或鐵軌固定。一般以堆高機來裝運或卸貨。大盤商須有足夠的貨櫃以便在一批貨櫃送出後，仍有另一批貨櫃能在負載區等待上貨。此方式的優點是任何型式的平底卡車皆可適用。有些溫室作物生產者在旺季中卡車不敷使用時，向外租借使用。



圖 10.72 貨櫃運輸可以節省一部份成苗裝箱與搬運作業的勞力

溫室中之搬運，是一種定型化的作業，無論是所需資材之輸入及成苗之送出等等，均需利用搬運的方式達到目的，其

工作負荷雖不重，但卻繁瑣，且其在成本上所佔的時間與人力常高達 25%以上。故若能妥善利用簡易搬運工具與有效的搬運系統，應可在較低成本的情況下解決其中大半的問題。

搬運設施的規劃通常需配合溫室建構時進行，使其達到獲得一體成型的效果，但選擇適當的搬運方式則相當重要。

## 10.7 設施自動化控制系統

### 10.7.1 設施內環境控制感測器

本省的氣候相當複雜，夏日有高溫、強日照、颱風、豪雨；冬季有寒流、冷鋒。因此對於設施之要求更為嚴格，而設施之使用又可為經年性及季節性。前者之結構係針對多年生作物，設施內之環境控制設備就需配合作物之生長習性加以實施，來控制設施之微氣候。環控設備愈齊備，愈可精確地調整設施內之微氣候，但相對地，成本也因此增加。園藝設施內，為了更進一步控制植物複雜的生長環境，使用的必要裝置相對的增加。如何將設施內各種裝置之運作及環境的控制程序予以自動化，是發展設施園藝的重要工程。在進行自動化作業以前，須對於周圍環境與機器設備之現有動作狀態有所察覺。用以測知各種狀態之作業稱為感測，擔任感測之元件稱為感測器。農業上運用感測器應考慮下列因子：

1. 適用的範圍：以台灣溫室為例，溫度量測範圍約在 5-60C。
2. 準確性：所需量測對象之準確度，例如溫度 + 1C, 相對濕度 (RH)  $\pm$  3%。
3. 反應時間：感測器正確感測真實狀態所需時間。
4. 工作環境：環境之溫、濕度、灰塵、振動等。

茲將農業上常用之感測器介紹如下：

#### (一) 溫度計

溫度計為農業環控最主要的感測設備，傳統利用

之設備係以熱力學性質開發而成，如利用酒精、汞等膨脹原理的液體溫度計，或是以金屬片受熱變形原理製成之雙金屬溫度計。在設施自動控制系統之應用上，主要是以電阻式溫度計為主，其感測元件以白金 PT·100 為主。

## (二) 日照能量感應器

適合作物生育之光量會因光合成特性及作物種類之不同而異、例如玫瑰、康乃馨為強光性植物；觀賞植物、蘭花類及葉菜類則為弱光性。光量不足時、容易導致作物莖葉發生徒長、著果率降低、果實肥大不良，品質低落等情形。日照能量感應器主要為測量日照之能量，依作業原理又可分為：

### 1. 熱電堆 (Thermopile)

主要感測元件係利用特製之熱電偶來分別測量不同顏色覆蓋材料下之能量吸收差，利用能量吸收引起之溫度差來產生電壓，此種設備準確性高，但價格較為昂貴。

### 2. 光電池 (Photo Cells)

利用光電池之光電效應引起電子流動而產生電場，再以電流輸出，其反應光譜為 400—1,000NM 之間。利用光電池原理開發而成之日照計經校正後可應用於農業環控系統。

## (三) 光合作用有效能量計 (Photosynthetic Active Radiometer, PAR)

用以測量植物光合作用時所須之有效光能量，其波長主要在於 400—700NM 之間，以短波的為主，亦可利用全日照能量感測器加以波長過濾以進行測量。若光合作用不足致使光合產物減少，作物會因此開花延遲、葉片壽命縮短、易產生病蟲害及生理障害，使產量降低或失去商品價值。

## (四) 空氣相對濕度感測器

相對濕度量測器通常以乾、濕求溫度量測方式加以執行，其精密度會受到濕球量測準確性與相對濕度換算表的限制。近來電子濕度計開始用於農業環控系統上，主要應用方式有電容式濕度計與電阻式濕度計，準確性相近。前者適用範圍較廣 (10—95% RH)，但成本高；而後者適用範圍為 20—90% RH，成本較低。

## (五) 風速風向計

通常為三杯迴轉型，用於強風狀態時，進行側窗，天窗之關閉作業，以保護溫室。風向計係利用尾翼形感測元件之轉動，所產生的電壓變化來指示風向，而用以控制天窗、側窗的開啓元件與其開啓的角度。

## (六) 降雨計

係利用電極通電的與否來感應走否降雨，以此控制天窗開閉，避免雨水落入溫室內。電極必須附有加熱線，用定時加熱方法避免結霧而引起誤差。

## (七) 二氧化碳濃度計

二氧化碳濃度計一般走以紅外線反射原理進行測定，分成固定與通氣兩種型式。固定型是固定於溫室內部，以氣體自然擴散方式進行測量，此種型式成本低但準確亦較差；而通氣型是利用抽氣管路在溫室內取樣到特定儀器測量，進行多點測量，其準確性較高，但價格成本偏高。

### 10.7.2 設施環境之控制

溫室環境因受外氣候、溫室構造、設備及作物群落等因子之影響，導致室內日照、溫度、濕度、風速及二氧化碳產生種種變化。為使植物能在適宜的複合環境下生長，可用換氣、冷卻、保溫、暖氣、二氧化碳施肥及灌溉等方法來達到預期的環境。

#### (一) 通風

目的主要在於抑制高溫，其次是要調節室內二氧化碳濃度、濕度及增加室內氣流速度。換氣與室外的風向、日射量、氣溫。溫室結構、通風構造、風壓係數、作物類別、光合成特性、氣孔開閉特性，及室內溫濕度、二氧化碳濃度、氣流速度等有關。

換氣方式有自然及機械通風二種，前者為開啓天窗及側窗利用風力與氣體浮力以達換氣之功能。機械通風係利用風扇將室內空氣排出或將室外空氣吸入而達到換氣效果。

#### (二) 溫室冷卻

溫室冷卻的主要目的在降低室內溫度，其次是淨化空氣、驅除昆蟲、降低灌溉次數。冷卻方法有：

1. 利用水蒸氣蒸發吸熱原理之透水牆——抽風扇系統 (Pad-and fan)、噴霧——抽風扇系統 (Mist-and Fan)，拍霧--抽風扇 (Fog-and-Fan) 及屋頂噴霧法及葉面噴霧法。
2. 利用空氣壓縮膨脹原理以降溫之冷卻氣機或冷凍機法。
3. 利用低冷地下水或湧泉在室內循環帶走熱能之冷水

法。

4. 利用冷紗覆於屋頂降低日射量及屋頂流水降低透光率，減少導熱量，順便帶走熱量之補助方法。

#### (三) 暖氣

加溫之目地在提高室內的溫度。加溫方式分述如下：

##### 1. 熱風加溫

直接加熱空氣，不需用水使用容易，預熱時間短，加溫可立刻見效，但停止使用後保溫效果差。適用於所有溫室。

##### 2. 熱水加溫

大多用於栽植高級作物之溫室或大規模的設施。以 80—60C 的熱水循環，將熱水變換成熱風吹入室內的方法。預熱時間長，由於使用的溫度低，故可用於緩慢加熱，且餘熱多，在停止後保溫性仍高。但若在寒冷地帶會有結凍之憂，應有良好對策因應。

##### 3. 蒸氣加溫

用 100—110C 的蒸氣加溫或將蒸氣熱轉變為溫水或溫風，吹入室內。可用來消毒土壤，但容易形成局部高溫且自動控制較困難。此法適於起伏不定地形的溫室及大規模的設施。需注意水質未經處理容易腐蝕配管問題。

##### 4. 電熱加溫

以電熱線埋入栽培床或以電熱器放射熱量，預熱時間短，可任意控制，使用上最為容易。適用對象有小型溫室、育苗設施、補助加溫及地中加溫等。

#### (四) 二氧化碳施肥

設施二氧化碳濃度會因夜間作物及土壤微生物釋出而逐漸累積、至黎明前達到最高。在日出後因作物行光合作用之消耗，其濃度因此急速下降。二氧化碳施肥其主要目的在增加室內二氧化碳濃度以增加作物之光合作用，若以燃燒方式增加二氧化碳時，不僅可達施肥效果，同時亦可增加室內溫度。施肥的方法有燃燒燈油、石油液化氣、天然瓦斯及利用液化二氧化碳蒸發等方法。

燃燒方式需有燃燒筒、燈頭、點滅火裝置及送風等裝置的適當配備、以免發生如一氧化碳、二氧化硫等毒氣危害到工作人員。液化二氧化碳不會產生毒氣且可用通氣管送至需要處，所以最為安全有效、但價格昂貴是其缺點。

#### (五) 灌溉

灌溉是適時適量供給植物水量，維持作物正常生長，同時亦可調整控制土壤溫度及防止霜害。灌溉水量依土壤水分之多寡、田間容水量、蒸散、蒸發量及地下補給水量而決定。自動灌溉系統係定出適當灌水及停水時刻，配合定時器、空氣濕度檢出器、蒸發計、土壤水分計及水位檢出器等，不用人力即可自動灌水之設備。

溫室內之灌溉方式依有土或是無土栽培而異。有土栽培之灌溉方式可分為：

##### 1. 地表灌溉法

將管路適當分佈於行間，水管加噴頭或打洞，適時適量的給水灌溉。

##### 2. 地下灌溉法

將管路埋設於地下供給根部水分之方法，但管孔容易阻塞。管路鑽有滴孔，對準植株將水滴入作物周圍。

#### 3. 噴灌法

在作物上力裝設噴頭以水滴或細霧噴到葉面。

#### 4. 底面吸水法

將鉢置放於水池，經由毛細管水作用將水吸到根部。無土栽培方面則走作物根部置於靜止或循環水中，或以滴灌方式滴入栽培介質中。

#### (六) 光照

溫室內的光環境除遮光及補光外，幾由溫室構造（包括形態）及溫室的方位決定。一般以南北向之溫室為佳。溫室架構之設計儘量避免遮光，可使用透光性良好之材質。依室外自然日照的光度強弱、由光度計控制遮光網的移動，達到不同程度的遮光效果。亦可在設施內裝設有同化用之光照系統，來加強日照不足時之光照量，如以 3.2X5 公尺的距離安裝，大約可增加溫室內 2,000 Lux 的輻射量。

### 10.7.3 溫室自動環控系統

近年來，蔬菜、花卉、觀賞作物等之園藝種類與產值以逐年地增加，外銷市場亦逐漸擴大，然而國內之資源面臨農村結構改變，勞力老年化，人事成本高漲。因此為提高作物之品質及產量，須將生產作業引入自動化技術，不斷提昇相關生產設備，是當前刻不容緩之目標。

#### (一) 環控設備

設施內部環境受到外界大氣條件、本身結構及環境控制

設備三者之影響。溫度、濕度、日射量等環境因子都互有關連，因此兼顧各項要求條件之複合自動化環控技術成爲環控之重點。自動化環控設備主要有下列四點：

### 1. 機械及裝置

內外遮蔭網、天窗、側窗、雨窗、兩側捲起等機械裝置、噴霧裝置、風扇及供水幫浦等。

### 2. 決策與控制軟體

依據感測訊號進行決策判斷，指揮控制設備的作業方式。

### 3. 環境感測器

包含相對濕度，溫度、風速、風向、雨量、二氧化碳濃度、日射量等儀器。

### 4. 自動控制裝置

數位化開關、類比及數位控制器、開閉式、微電腦控制系統等。

#### (二) 基本控制技術

設施內環境控制可利用人爲經驗判斷，以人力加以操作，但要精確控制卻必須藉助自動化技術加以完成。環境控制因子的對象愈多，所需的控制設備亦增加，硬體與軟體的配備就更加複雜，成本亦爲之增加。以日本溫室爲例，其自動環控的最基本方式係設定溫室內溫度之上、下限，若超過上限時，則打開天窗及側窗。在低於下限時，則啓動加熱設備。另有一種較爲複雜之控制策略是結合植物生理需要，將全日分爲六個時段，再分別設定其

溫室內部溫度之上下限；時段之區分分別是早上加溫時間期、上午光合活動期、中午光合促進期、由下年至夜間流轉期（共爲二期）以及呼吸抑制期。在相對濕度控制方面，因與濕度互相干擾，若有衝突時則以溫度爲優先考慮。相對濕度的控制須在密閉空間下執行，故若爲開放式之設施則難以利用。

### 1. 比例積分控制 PID 控制

例如溫室天窗，由全開至全閉可以連續性方式，來調整各種角度，不僅只有開、閉之功能，因此利用馬達必須可正及逆轉，以對天窗開啓角度作任意地調整。此種利用比例積分之控制系統，其控制之精密度最高。

### 2. 開／關 (ON/OFF)

以降溫爲例，對於簡易控制系統如加霧器、通風扇等設備，利用類比訊號控制其動作之開關，爲避免動作過於頻繁，通常預設 0.2-1.0C 之動作比例帶。

### 3. 多段控制式

對單一環境因子進行多組之設定點控制，如依序風扇動作數目，或走利用低、中及高二種風扇速度來控制風扇動作。

### 4. 前授式與後授式控制( Feedback and feedWard Control )

此種控制策略是利用溫室環境之模式，再依外界環境變化，預先計算內部環境之未來可能變化，再以此調整控制設備以預先執行環境控制。前授式控制除可利用計測資料直接控制之外，尚可結合經驗與數學模式來執行動作，例如以內外器

溫、日射量資料、介質水分、濕度差來共同執行控制灌溉之作業。

### 5. 邏輯控制

將輸入之訊號轉為數字訊號後，內部裝設邏輯控制線路，依照邏輯程序的判斷，共同指揮不同的環境控制設備。

## 10.8 養液栽培技術

養液栽培 (Nutriculter) 就是利用適當的設施及介質，將植物所需之養液及空氣供應於其根部，因而無需使用土壤之科學栽培方法，又稱為無土栽培 (Soil culture) 或水耕 (Water Culture 或 hydroponics)。事實上，植物之生長不一定需要土壤，在陽光下，只要其根部有充分的水分，必需之礦物元素及足夠的氧氣供應，而其行光合作用之細胞可獲得豐富的二氧化碳，且植物自然能生長良好。

十六世紀初，科學家即開始研究植物所需要的養料及其來源，比利時的科學家 Jan van Helmont 在 1600 年即利用柳樹盆栽實驗，經五年的實驗結論是“植株所以會長大，是從水中獲取物質”。1699 年，英國科學家 John Woodwar 將植物分別種於含不量土壤的溶液中，他的結論是植物所需要的養分並不只是含於水中，而是普遍存在於土壤中。

1930 年初，美國加州大學奎立克教授 (W. F. Gerick) 首次將養液栽培由植物生理學實驗階段推展到實用性的營利栽培階段。二次世界大戰期間，美國曾在太平洋上一些不毛之地的島嶼上實施大規模的礫耕，供應駐軍新鮮蔬菜。大戰後，美國一些地區興建了較大的企業養液栽培農場，其後很快地推展到世界各國，其中尤以日本、美國、荷蘭、丹麥、挪威、英國、義大利、西班牙、蘇俄、瑞典等國發展較為迅速。

養液栽培的種類，可依栽培介質形狀有無分為固體介質栽培方式及非固體介質栽培方式兩種。

### 10.8.1 固體介質栽培

植物根系固持於固形介質中，而養液分佈於四周，以利於根系吸收。與非固體介質水更法相比較，其特點為根系、養液



和空氣三者間接觸面之緩衝力較強，溫度、濃度、成分及酸鹼度不易控制。

常用之介質有砂、石礫、稻殼、炭化稻殼、珍珠石、泥炭苔、木屑、樹皮、果殼纖維、岩綿及不織布等。其培養液的供排方式有：密閉循環式、開放噴灑式及點滴式等。

### 1. 礫耕

以直徑大小 5—10MM 之石礫為宜,使用前應清洗乾淨，養液之供應只在白天進行，給液時間為 40—60 分鐘，給液次數以夏天 5 次、冬天 3 次為準。

### 2. 砂耕

以粒徑 0.75-1.5mm 黑砂為佳,養液以 N、K 為主要成分；施肥及供水多採噴灑式或點滴式，每週澆 1—2 次。

### 3. 岩綿耕

以小塊（10cmX10cmX10cm）岩綿育苗後，移植於大岩綿（30cmX7.5cmX91cm）床定植。培養液之供應以電極法來控制，以廢液流出之重量來決定電源之開關，亦可由日照預測作物之蒸發量及吸水量以及室溫等因素來決定供液量及供應間隔。養液不循環、不回收、對營養液之管理及根系病蟲害之管理較為方便，且其裝置輕便簡單。

## 10.8.2 非固體介質栽培

植物根系曝曬於濕空氣中或浸潤於養液中，使植物根系直接由養液中吸取營養。因此，養液與溶氧補給方式的優劣印成爲此種耕作方式之限制因子。在水耕系統設計時常依養液之供排液方式或氧氣之供給方式別而形成步同之栽培系統。

### 1. 環流式

將所需肥料鹽類依照配方將其溶解於培養液槽、以抽水機將培養液抽入栽培床中，並留定量之培養液於床中，使其保持湛水狀態。

### 2. 保田式

給液方式採用在排水處相反的一端向下沖的方式，爲單向循環，另一種爲栽培槽內縱走具噴射孔的供液管，噴液噴出後被管蓋擋下，利於補充氧氣。

### 3. 協和（Hyponica）水氣耕

也是採循環式養液供給，具水位（排液）調節器，可配合作物之生長靈活調節水位，亦具有空氣混入器提高溶氧量。1985 年，日本筑波科學萬博會中展示結果一萬數千個之“巨樹蕃茄”而名噪一時。本系統之栽培循環系統各自獨立，栽培槽之資材爲耐熱，耐衝擊之 ABS 樹脂。

### 4. 日本之 M 式水耕組合

使栽培床內養液上下波動，利用液面落差將空氣中之氧氣直接溶入養液中。在日本廣泛用於鴨兒芹、日本芹等軟弱蔬菜之栽培上。

### 5. NFT 水耕栽培（Nutrient Film Technique）

爲英國所開發，爲一種以流動的培養液來栽培作物的一種水耕法，不需儲存培養液，只要有讓養液流下之液溝即可。

### 6. 日本新和式等量交換水耕置

爲在左右對稱設置的兩個床中間置一交換槽，並以兩部抽水機交互供液之水耕方式。

## 7. 升降式水耕栽培法

養液之供應採取間歇式之液面升降，使根群在液面下降時充分獲得氧氣供應，而在根群未乾前液面又上升以獲得養液滋潤。

## 8. 噴霧栽培

養液噴霧式之耕作方式可分為噴霧耕及噴霧水耕兩種。前者在栽培床內安置一張塑膠承網，使植物根系裸露於空器中，而定時將養液以霧狀直接噴射於植物根系上，殘餘之養液或許被回收，但不殘留於栽培床中。

### 10.8.4 自動化栽培及環境設計觀念

#### (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) 溫室生產系統

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 10.73 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。

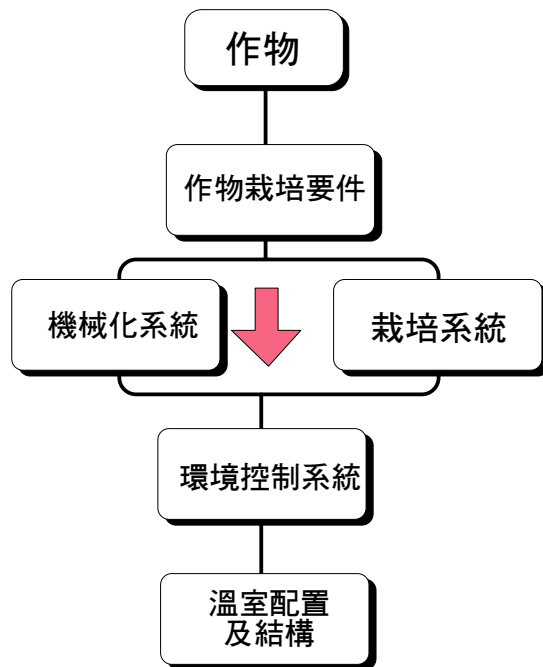


圖 10.73 溫室設計流程

### (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 10.74)，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。

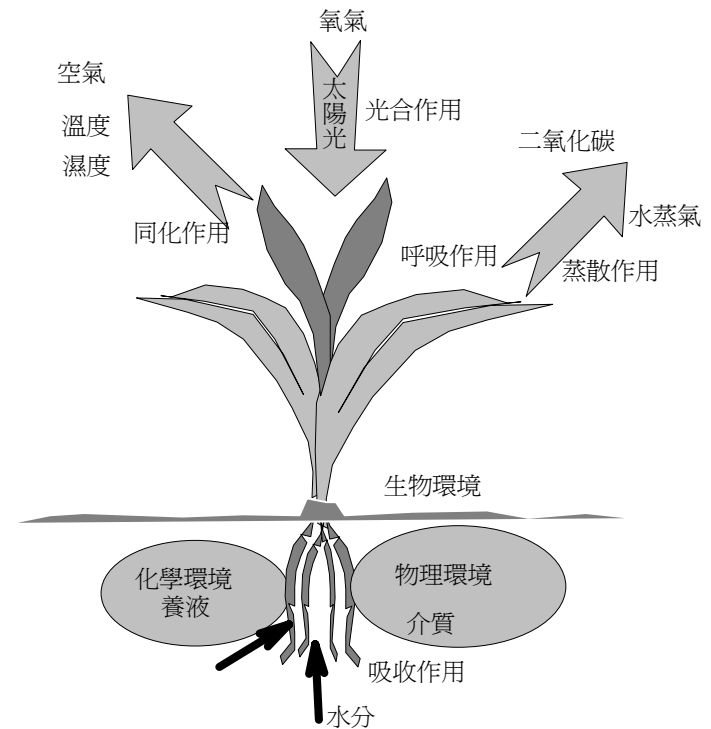


圖 10.74 植物生長時之環境因子

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。

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 P H 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 p H 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以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 P H 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。

### 10.8.5 養液栽培系統與設備

#### (一) 系統組成

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N F T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、椽架或精密溫室等。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。

#### 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 10.75 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。

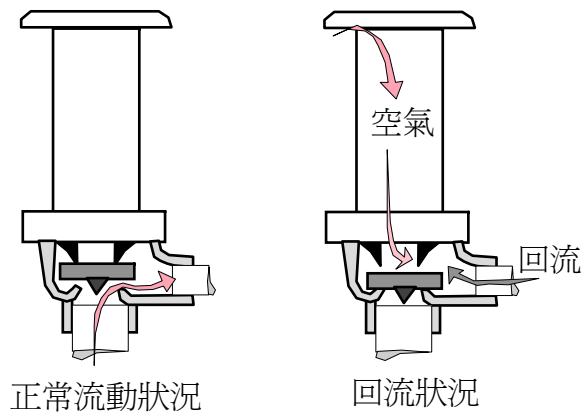


圖 10.75 止流裝置作用圖

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 10.76 所示)。利用空氣隙可防止虹吸回流的現象。

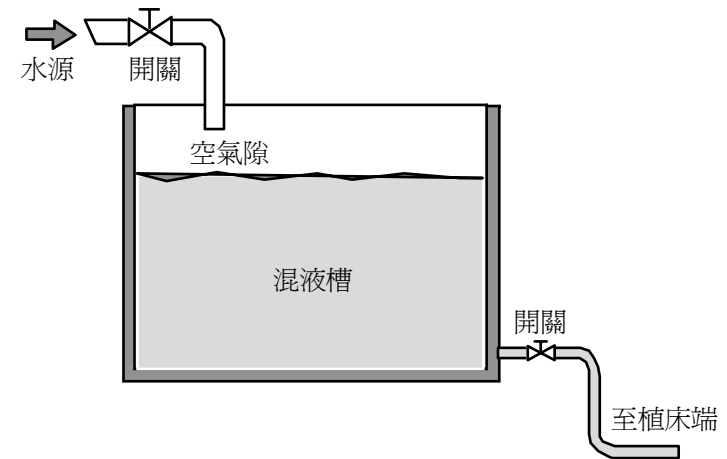


圖 10.76 利用氣隙阻止回流。

**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 10.77 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 10.78 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。

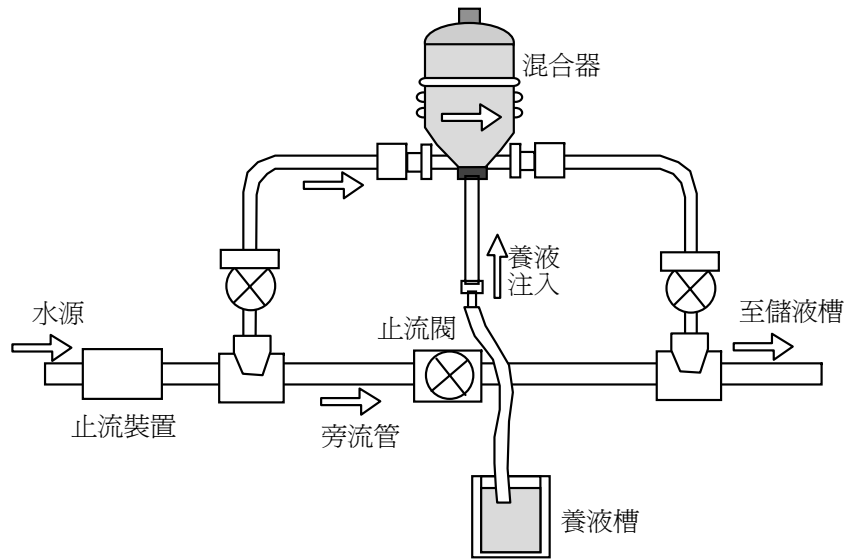


圖 10.77 利用水壓產生泵吸作用，將藥液與水相混合之混液裝置。

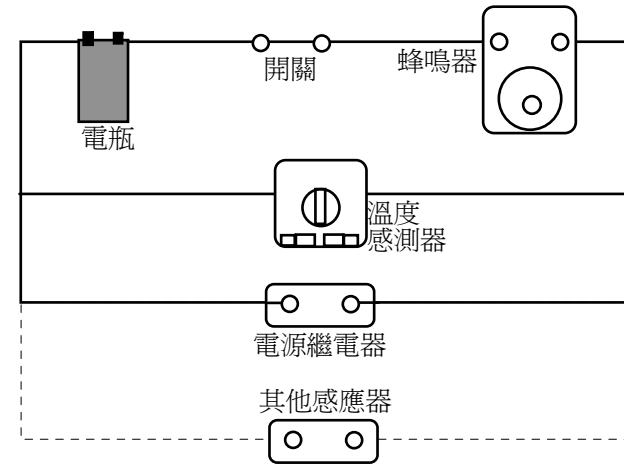


圖 10.78 警報器之基本組成

## (二) 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 10.79 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。

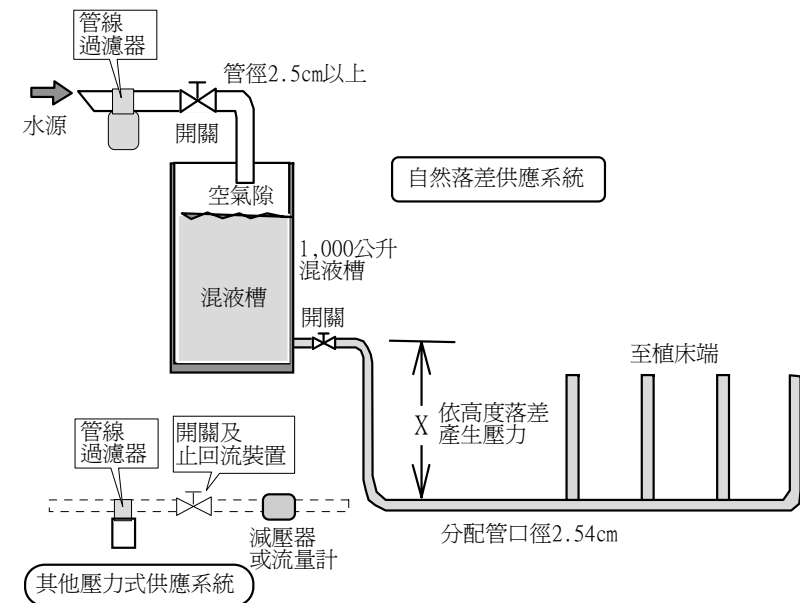


圖 10.79 低壓式養液及水分供應系統。

### (三) 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以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 10.80 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。

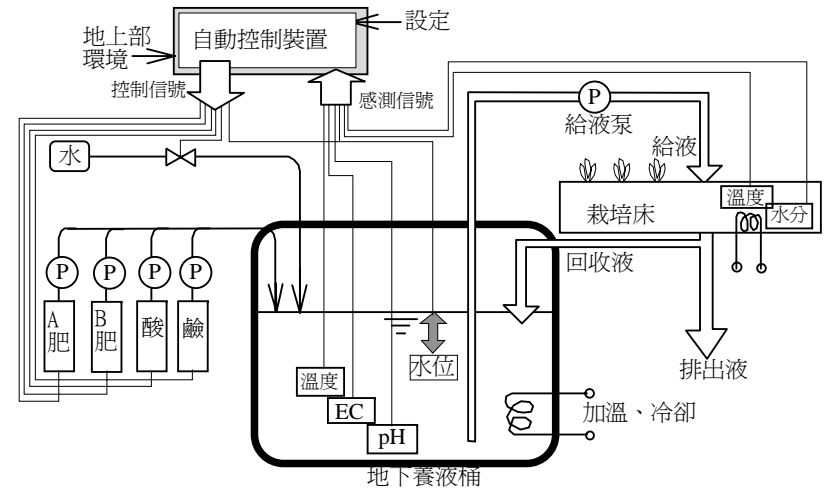


圖 10.80 完整自動化水耕栽培之養液控制流程。

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。

#### (四) 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，可省略養液回收系統。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 10.81 所示。

礫耕栽培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 10.82)。如此每日重覆三至四次，可用定時開關控制。

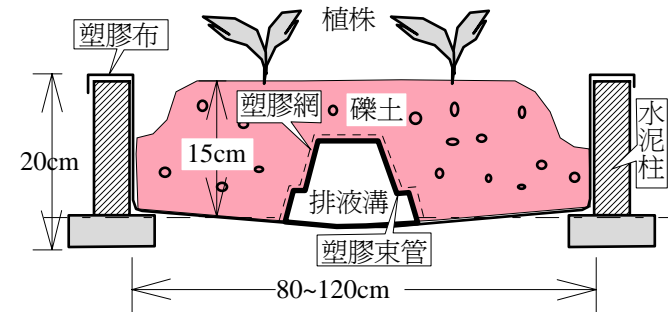


圖 10.81 礫耕栽培法之剖面結構圖。

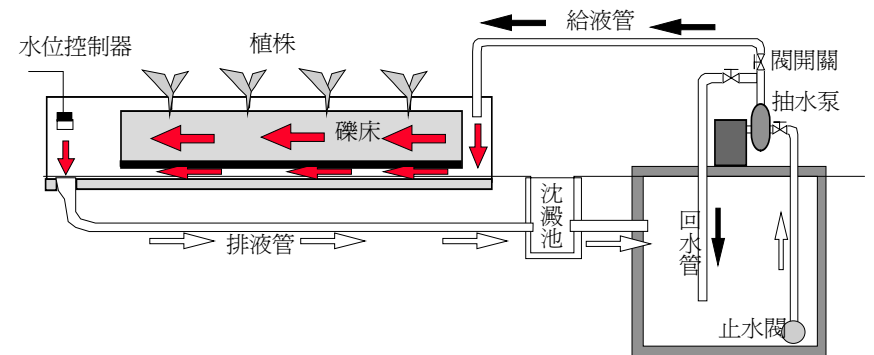


圖 10.82 礫耕設施之養液流動示意圖

##### 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之高熱下溶解，再利用高速離心方式製成纖維狀，經排列、壓縮成爲岩綿塊。岩綿耕在歐洲開始，以荷蘭爲中心，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。其給排液可分成循環式與非循環式兩類。循環式使用較爲普遍，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，故成爲當今岩綿耕之主流。其給養液方式有以泵送的方式，其養液流程及結構如圖 10.82 所示，亦有以調節養液槽水位而成。圖 10.83 爲一般不回收之岩綿耕流程圖。圖 10.84 爲其相關設施之布置。

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。

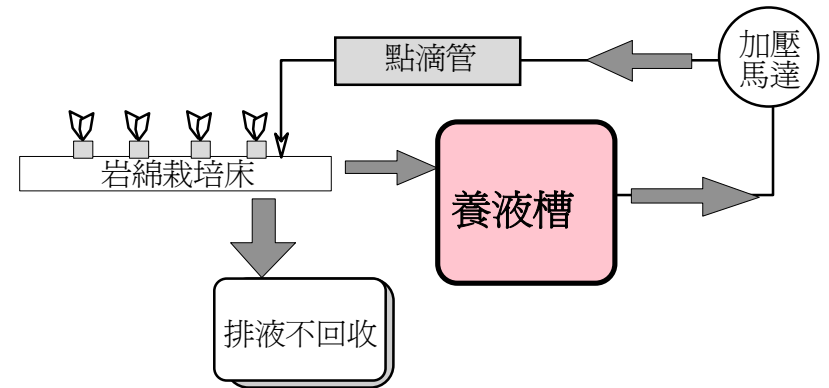


圖 10.83 排液不回收之岩綿耕流程

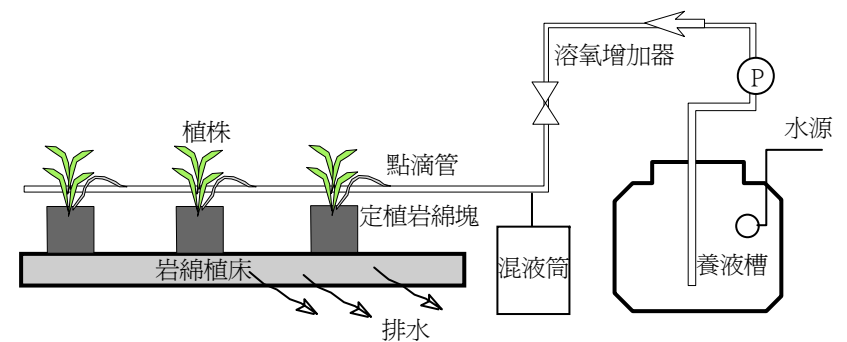


圖 10.84 岩綿耕的養液流程與配置

### 3. 袋耕

以岩綿或泥炭土為介質，置於 P V C 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 10.85 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。

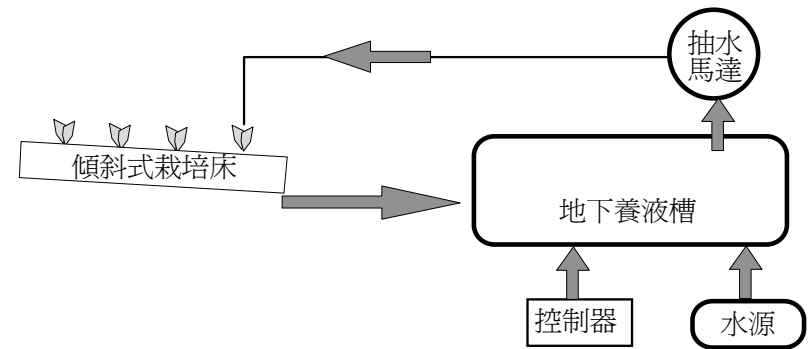


圖 10.85 薄膜流層法之各項功能圖

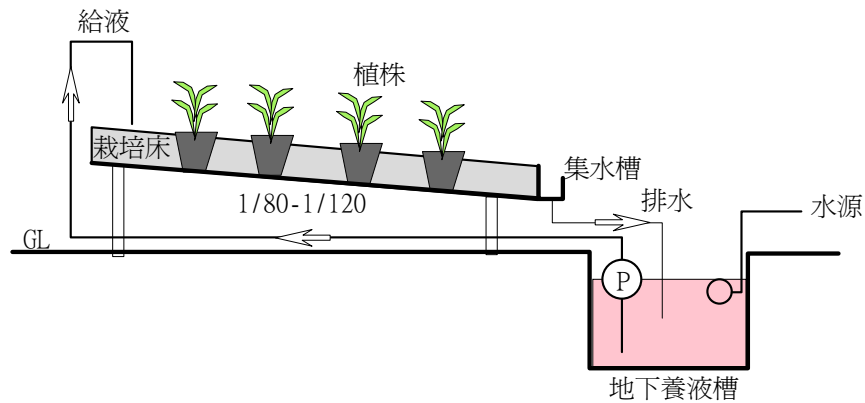


圖 10.86 薄膜流層法(NFT)之養液流程與相關結構

## 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如圖 10.87 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 10.88)，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。

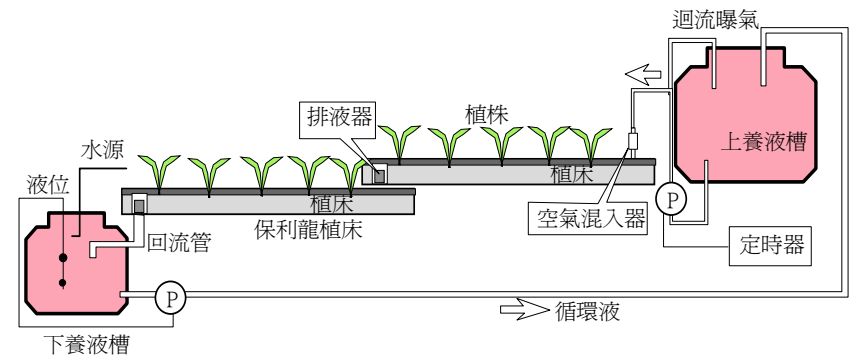


圖 10.87 動態浮根式水耕栽培系統之構造圖

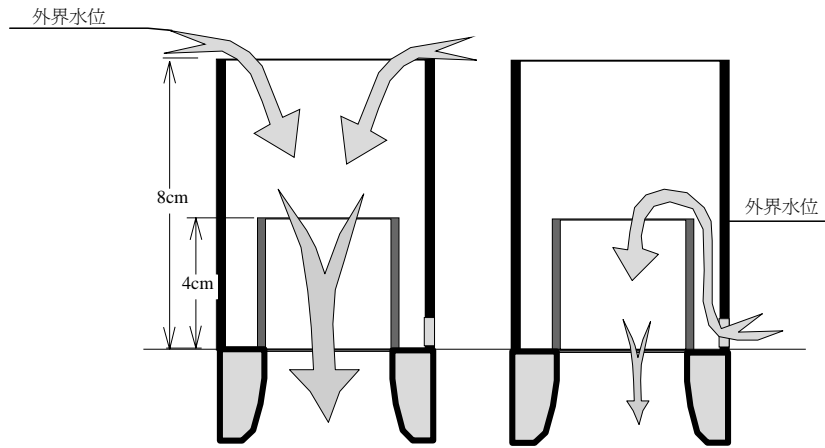


圖 10.88 排液器之動作原理。

### 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 10.89 所示即為此類栽培法的一般流程。圖 10.90 所示則為其所具有之共通設備。

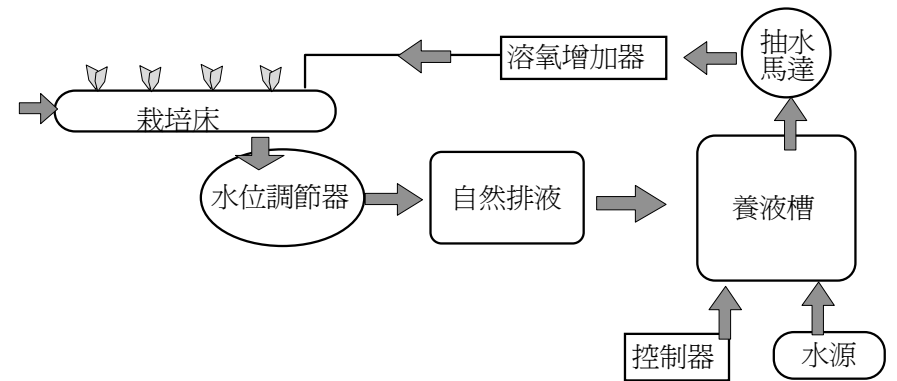


圖 10.89 深水循環法的流程

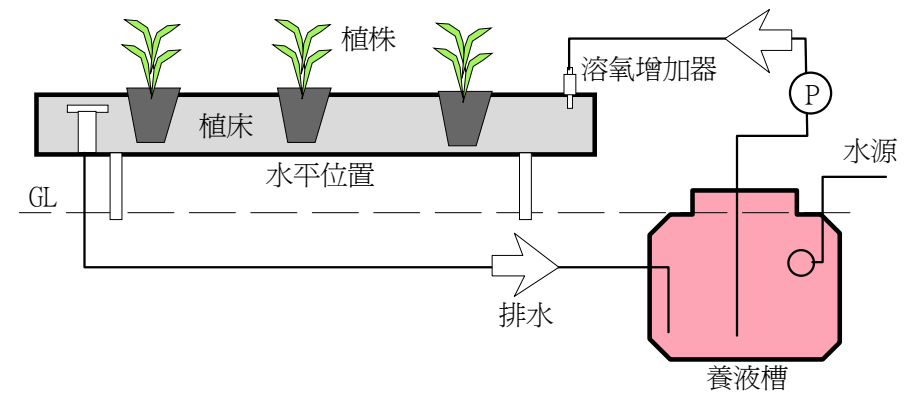


圖 10.90 深水循環法之相關位置圖

## 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 10.91 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養液抽回本栽培槽。

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。

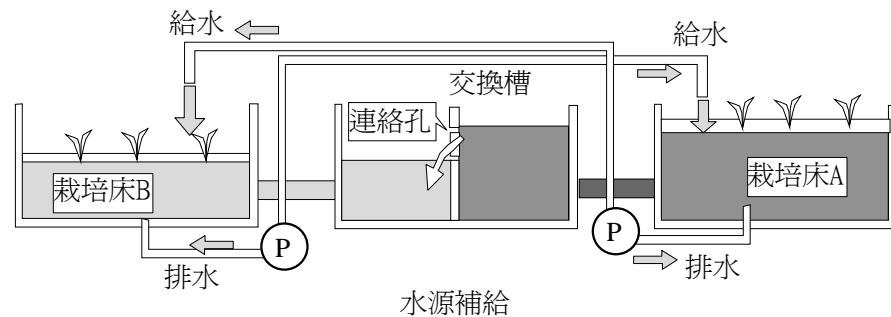


圖 10.91 等量交換法水耕的之構造

## 9. 潮汐灌溉系統 (Ebb-and-flow system)

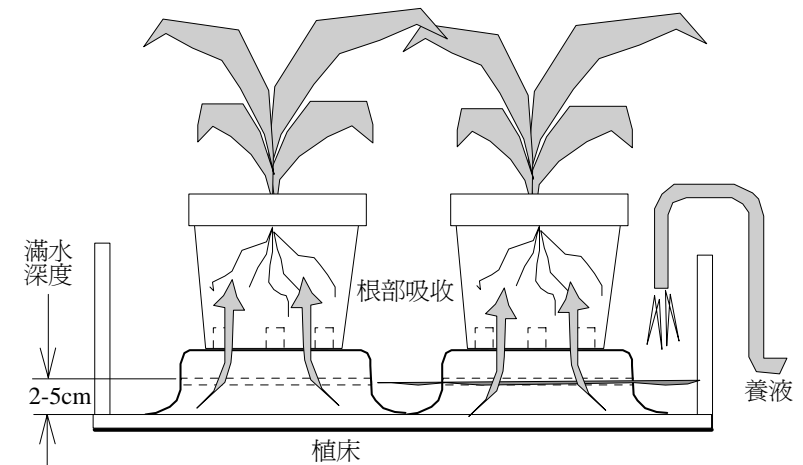


圖 10.92 盆栽應用於潮汐灌溉系統之情形

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 10.92)。

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擱置之儲存槽中，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。

## 10.8 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、許焱焱。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.蔡尙光。1993。水耕番茄的秘密。淑馨出版社。
- 10.蔡尙光。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 dainwater 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.
18. Bontsema, et al., 1990. Greenhouse climate control and an integrated approach. Wageningen Press.
19. 王鼎盛。1988。設施園藝設計手冊。台大農工學農業設施研究室。
20. Walls, Ian G. 1996. The completer book of the greenhouse. Wellington House, London.
21. 方煒。1998。植物工廠。種苗生產自動化技術通訊第三期第 98001 號。財團法人農業機械化研究發展中心。
22. 方煒。1998。溫室降溫方法。種苗生產自動化技術通訊第三期第 98004 號。財團法人農業機械化研究發展中心。
22. 方煒。1994。本省精密溫室環控極限與環控設備使用效率之探討。國科會計畫報告書。NSC 83-0409-B-002-094.
23. 李年。1998。設施生產之簡介與分類。種苗生產自動化技術通訊第三期第 98006 號。財團法人農業機械化研究發展中心。
24. 陳加忠等。1993。塑膠布溫培自動化技術手冊。財團法人農業機械化研究發展中心。
25. J.W. Bartok. Jr. , LABOR-SAVING DEVICES FOR COMMERCIAL GREENHOUSE OPERATIONS , ASAE PAPER No. 74-4518.

26. 方煒 譯。 1992。 溫室作業機械及設備。 環控農業機械工程研討會專輯。 台北：財團法人農業機械化研究發展中心。
27. 楊信和。1995。 蔬菜育苗中心簡易搬運機械之設計與應用。 台北：台大農機系。
28. Fang, W. 1989. Strategic Planning Through Modeling of Greenhouse Production Systems. Unpublished Ph.D. dissertation, Rutgers University.
29. 馮丁樹。1995。設施用簡易搬運機具。財團法人農業機械化研究發展中心出版。

<http://ecaaser3.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/Hort/>

<http://agriauto.ame.ntu.edu.tw/agrijournal/agriauto11.htm>