



# 溫室結構設計

國立中興大學農業機械工程學系／林聖泉教授

## 摘要

本文針對農民普遍使用之各型溫室進行分類，主要以屋頂外型分圓弧型、山型等型式，圓弧型可分半圓頂、哥德式尖頂等外型。而圓弧型又可分有側壁與無側壁兩種型式。除依據屋頂外型分類外，亦以單棟與連棟區分。另一種型式為太子樓式溫室。一般而言，結構受樑向外力作用(溫室側面受力)，由主骨架承擔，結構受桁向外力作用(溫室山牆面受力)，由桁條及繫材承擔。由於溫室結構中強度最弱者為各構件之接合處，因此應審慎設計結合方式，並確實施工，同時，結構基礎之功能在於承受垂直荷重與抵抗因風力所產生之浮力，柱與基礎之間應確實固定，以確保溫室應有的強度。覆蓋材料之選用將關係結構設計，塑膠布溫室之結構要求較寬鬆，而玻璃溫室則需較強之結構。溫室結構設計應根據使用地點、栽培需求、覆蓋材料等因素而定，針對精密溫室之結構設計，應用有限元素分析法之商業軟體，進行溫室結構分析是有必要的。一般溫室結構設計原則：1.縮短桁條跨度，即縮短主骨架之間距離，減少主骨架載重分擔寬，對風載重有較

強的抵抗能力；2.採用斜撐、支撐、與接頭處增加補強材料，以增加結構強度；3.使用適當尺寸或強度較強之構件，以增加溫室結構強度。

## 前言

台灣地處亞熱帶與熱帶地區，夏季屬於高溫與高濕氣候，而且颱風頻繁，颱風期間更夾帶豐沛雨水，不僅造成農作物毀損，更造成病蟲害猖獗、農作物淹水等問題，冬季則有寒流侵襲，農作物因此容易受寒害，而春季屬於梅雨季節，降雨量過多或次數過於頻繁，都將引起作物徒長或妨礙授粉，進而影響作物品質與產量減少等問題，這些對農作物或園藝作物的栽培管理均相當不利。使用設施栽培目的，即是控制作物栽培環境，使不利於作物生長之因素排除，同時製造有利於作物生長之條件。依據設施組成之材料區分，栽培設施有精密玻璃溫室、塑膠布溫室、簡易溫室、網室等。國內園藝使用之精密玻璃溫室，其結構設計圖與部分營建資材由歐美國家引進，因此成本較高。由於原設計係針對緯度較高、氣溫較低之地



區，其結構主要承載風力、積雪、與作物等重量，其中承受積雪重量的設計，以台灣的氣候條件而言，屬於多餘的設計考慮，因此若將國外的設計未經修改而直接複製，使用在氣候條件完全不同的國內，不僅浪費建築成本，更可能因其密閉性高，使溫室內部累積熱量，造成溫度升高，不利作物生長。因此，國內研究單位以及部份業者即自行開發設計較經濟的塑膠布溫室與網室，其中塑膠布溫室是以塑膠布覆蓋在圓鐵管或輕型鋼搭成的棚子上所形成的，而網室則使用類似結構並以防蟲網覆蓋，這類設施具有構造簡單、搭蓋容易、方便使用等特點。唯，目前國內之塑膠布溫室並無一定規格，各個製造或裝配廠商，在設計時通常是依賴多年累積之經驗，未進行溫室結構應力的計算與分析。如此可能引發兩極化的結果，一個可能的結果是溫室結構強度不夠，致使溫室有安全之虞，如周與姜(1995)在颱風災害調查中，發現許多簡易溫室主骨架嚴重變形，溫室結構強度明顯不足；另一個可能結果是結構強度過強，導致材料的浪費，設置成本過高，不符經濟效益。因此，國內溫室製造業者與學術界，應配合國內作物栽培系統所需，盡速建立塑膠布溫室與網室等設施結構之規格，以達到降低生產成本並確保結構安全之目的。

本文將針對溫室結構組成、受負載作用之反應、一般設計之原則等進行說明，全文將分成溫室外型、結構與負載、覆蓋材料等主題加以說明。

### 溫室外型

依據農民使用之溫室，以屋頂外型可區分圓弧型(圖 1)、山型(圖 2)等型式，圓弧型又可分半圓頂(圖 3)、哥德式尖頂(圖 4)。而圓弧型又可分有側壁與無側壁。依植物栽培作業面積

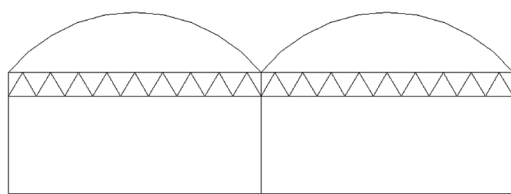


圖 1 圓弧型屋頂

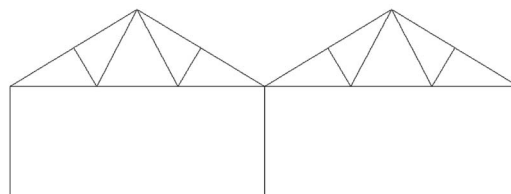


圖 2 山型屋頂

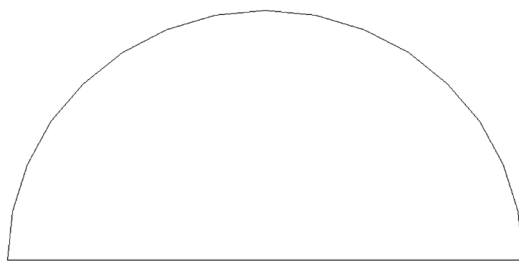


圖 3 半圓頂

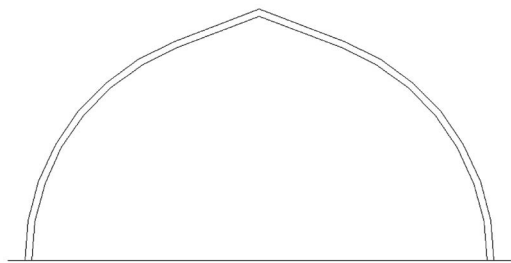


圖 4 哥德式尖頂

之需要分單棟與連棟，單棟係由單一屋頂所構成者，而連棟則由兩個以上連續屋頂所構成者；單棟採光較佳，而連棟則可以有效利用土地。溫室種類列於表 1。另有一種型式係在溫室頂裝設太子樓式的天窗。依據使用材質不同，溫室結構構件有鍍鋅鋼管(鋁管)、口型鋼管、U 型槽鐵等材質。

表 1 溫室外型種類

	側壁有無	外型	單棟或連棟	骨架構件種類	覆蓋材料
圓弧型	有側壁	半圓頂	單 棟	鍍鋅鋼管 □型鋼管 U型槽鐵	塑膠布
			連 棟		
		哥德式尖頂	單 棟		
	無側壁	半圓頂	單 棟	鍍鋅鋼管	塑膠布
			連 棟		
		哥德式尖頂	單 棟		
			連 棟		
山型	有側壁		單 棟	□型鋼管 U型槽鐵	玻璃 塑膠布
			連 棟		
太子樓屋 頂型	有側壁	圓弧型	單 棟	□型鋼管 U型槽鐵	玻璃 塑膠布
			連 棟		
		山型	單 棟		
			連 棟		

### (一) 圓弧型溫室

圓弧型溫室之半圓頂溫室未設側壁者，內部空間較小，主要用於簡易溫室，其主骨架係以鍍鋅鋼管彎成半圓弧頂，兩端直接埋入土中，再以塑膠布覆蓋而成。而有設側壁者，其主骨架由柱與曲樑所組成，柱通常採用方形鋼管、U形槽鋼、I形鋼，曲樑採用鍍鋅鋼管彎成。亦可在兩柱之間加一U形槽鋼橫樑，以強化結構。連棟溫室，在溫室間以U型槽鋼連接，U型槽鋼具備增強結構強度與排水功能。另一種型式為哥德式尖頂式溫室，其主骨架在中心部分之圓弧朝向屋外，使中心呈現尖頂外貌，在台灣亦有類似溫室如圖5所示。此型溫室具有能有效防止結露、光線穿透性佳、與抗風性能佳等優點，其中抗風性能佳的理由係尖



圖 5 類似哥德式尖頂溫室

頂設計可以干擾氣流，而減低強風所造成溫室揚昇合力。

### (二) 山型溫室

山型溫室主骨架由柱與兩斜樑所組成，柱採用方形鋼管、槽形鋼、I形鋼，而樑採用方





圖 6 Venlo 型溫室

形鋼管，亦可在兩柱之間加一槽形鋼橫樑，以強化整體結構。最典型溫室屬於荷蘭溫室，主要有兩種型式，一為傳統寬跨距溫室(wide-span)，另一為 Venlo 型。根據荷蘭溫室承包與裝配工協會(Algemene vereniging van aannemers en installateurs in de glastuinbouw; an association of contractors and fitters specializing in glasshouses; AVAG)資料(<http://www.avag.nl/>)，傳統寬跨距溫室之標準寬度為 8.0 m 與 12.8 m，脊高達 5 m，結構要求較高。Venlo 型溫室，降低脊高，國際標準寬度兩柱之間距離為 6.4 m 與 9.6 m 兩種，而荷蘭慣用之寬度為 8.0 m 與 9.6 m，較寬之設計可以有較佳之採光，但造價較高，而標準高度有 4.5 m 與 5.0 m 兩種。溫室覆蓋物方面，可以使用 4.0 mm 厚度玻璃或聚丙烯布(polyacrylate sheets)聚碳酸酯布(polycarbonate sheet)，使用玻璃時透光率超過 90%。若採用聚丙烯布或聚碳酸酯布，則透光率有 70-78%。圖 6 所示為 Venlo 型溫室。玻璃溫室之特性，包括透光佳、非燃性、保溫佳、強度佳。

### (三) 太子樓式溫室

在圓弧型與山型溫室頂部架設太子樓式的天窗，主要功能為排除溫室內部累積熱，如圖 7 所示為行政院農業委員會農業試驗所農業工



圖 7 圓弧型太子樓式溫室



圖 8 山型太子樓式溫室

程系研究開發之圓弧型太子樓式溫室，可依植物栽培作業面積需要而設計為單棟或連棟。溫室主骨架與連棟支持物之材質為輕型鋼或鍍鋅鐵材，基礎為混凝土，屋頂可用塑膠布或其他浪板等材料覆蓋。如圖 8 所示為山型太子樓式溫室。太子樓式溫室為開放式屋頂，其結構承受風載重之能力較差。

## 結構與負載

### (一) 結構

溫室結構之組成有主骨架與繫材兩大部分，其中主骨架有平面桁架(truss)或平面剛架(frame)，繫材包括桁條、脊樑，以繫材連接主骨架而構成溫室主結構，圖 9 所示為溫室結構之組成。溫室結構之

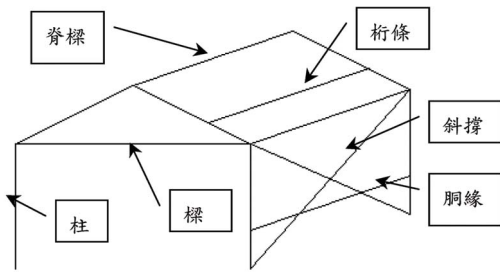


圖 9 溫室結構組成

主要目的係支持所有加諸於溫室之各種載重，將作用於屋頂或壁面之載重或外力安全地傳至基礎地盤，而維持一定空間與外型，達到提供作物生長所需空間之目的。主要之載重有來自結構本身靜重、風力、地震載重、設施裝備、與懸吊作物載重等。一般而言，結構受樑向外力作用(溫室側面受力)，由主骨架承擔，結構受桁向外力作用(溫室山牆面受力)，由桁條及繫材承擔。由於溫室結構中強度最弱者為各構件之接合處，因此即使溫室結構用強度最強之樑柱，如果接合地方處理不當，包括設計錯誤或施工疏忽，溫室將無法具備應有的強度。主骨架之樑與柱接合有三種形式：鉸節、完全剛節、與半剛節。其中使用鉸節之構件，可有限度旋轉，而使用完全剛節之構件，彼此間無法有相對運動，主要以螺栓或焊接方式固定，半剛節則介於前兩者之間。一般而言，桁架構件以鉸節接合，而剛架構件則以剛節接合。各樑柱節點，依不同連結方式將造成載重以力或彎矩不同形式傳遞至各樑柱。剛性節點可傳遞力以及彎矩，而鉸節僅能傳遞作用力。載重依作用力方向分為垂直載重與水平載重。颱風與地震會引起相當大之水平載重，由剛性節點連結之樑柱構成主骨架，可承受較大之水平載重。節點連結施工方式分為(1)焊接：利用電弧產生高溫，使欲連接之金屬融化，並將之結合；(2)螺接：利用螺栓將兩欲連接之構件固



圖 10 樑柱以焊接方式接合



圖 11 樑以螺接方式接合

鎖；(3)鉚接：利用鉚釘將兩欲連接之構件固鎖。以焊接方式接合為完全剛節，而以螺接與鉚接方式接合者，可以為鉸節或半剛節，如果僅以一螺栓或鉚釘將兩構件接合則為鉸節，如果增加一螺栓或鉚釘，則可為半剛節。如圖 10 所示為以焊接方式接合之樑柱。如圖 11 所示為以螺接方式接合之樑。另外，簡易溫室常使用固定夾與扣件連結管件，如圖 12 所示。結構基礎之功能在於承受垂直荷重與抵抗因風力所產生之浮力。基礎主要以混凝土灌注而成，結構柱以螺栓固定在基礎上，如圖 13 所示，或有直接將柱嵌入基礎裡。

基礎地盤之抗拉拔力主要依據基礎重量與土壤而定，分砂質地盤與黏性土地盤，兩者抗拉拔力的計算方式不同。其中砂質地盤之抗拉

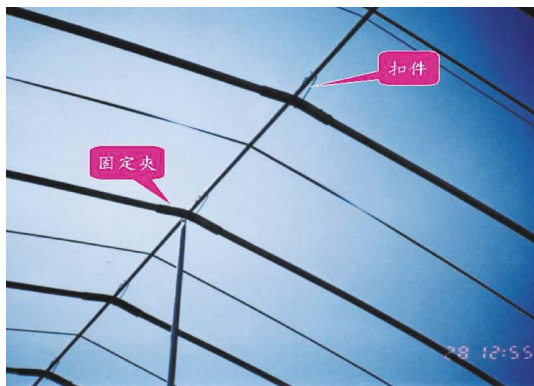


圖 12 簡易溫室扣件與固定夾



圖 13 柱固定在基礎

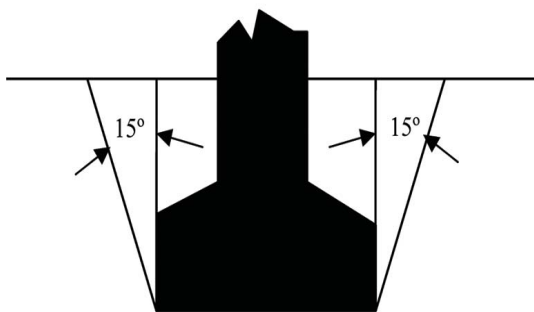


圖 14 砂質地盤基礎

拔力等於基礎自重加上基礎上方土重，包括與基礎側面成 15°之土重，圖 14 為基礎在砂質地盤之示意圖。而黏性土地盤之抗拉拔力等於基礎自重加上基礎上方土重再加上土壤黏著力。

## (二) 負載型式

負載型式包括結構自載重、設備載重、作物載重、風力、地震力等。結構本身靜重為垂直方向之作用力。各型構件之重量可由構件長度、截面積、與材質密度計算得知。而設備載重則依據栽培需求不同而設計，如設施內擁有自動噴灑設備，則結構需額外承受較重負載。作物載重，如懸吊盆栽，則需承受較重負載。溫室結構針對地震力之設計考慮，在樑方向之地震力，一般皆由主骨架承受全部地震力。而在桁條方向之地震力，因重量集中在屋頂面，由山牆面承受地震力，在主骨架與主骨架間，可以設置斜撐增加結構剛性。

因台灣颱風頻繁，溫室結構應特別考慮風力負載。由於溫室外型不同，在受風載重時，受力型態將依風力係數分布而不同。依據溫室外型、風速、風向等不同，將產生大小不同之風力，風壓計算公式如下：

$$\text{風壓} = 1/16 \times C \times V^2 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

其中 C 為風力係數，V 為風速(m/sec)。風壓乘以受風面積即是風力。風力係數係依據溫室外型而定，在不同位置之風力係數值略有不同，如圖 15 所示為單棟圓弧型溫室側面受風作用下風力係數之分布情形，其中屋頂中心至曲樑柱結合處連線與水平方向之夾角小於 22°，若角度增加，風力係數略為降低。如

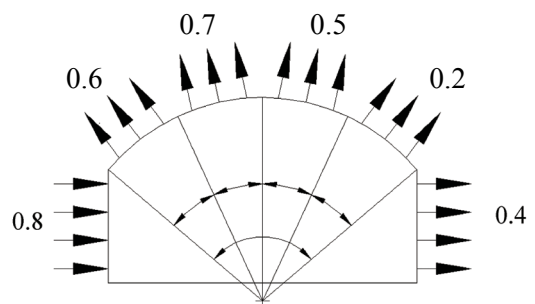


圖 15 圓弧型溫室風力係數分布：側面受風



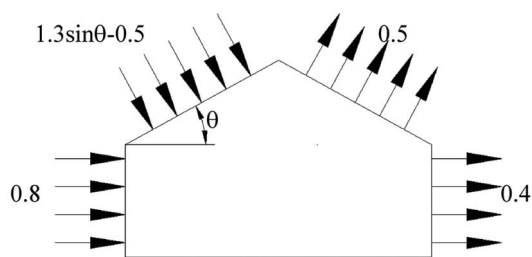


圖 16 山型溫室風力係數分布：側面受風

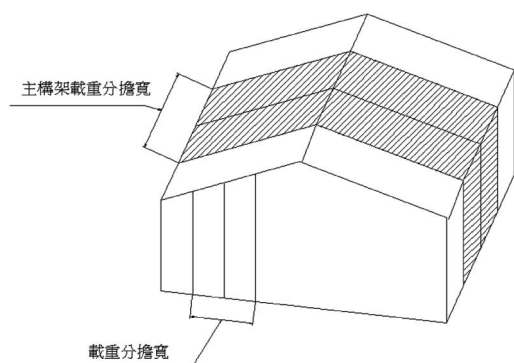


圖 17 溫室結構承受負載情形

圖 16 所示為單棟山型溫室側面受風作用下風力係數之分布情形。考慮溫室側面受風力作用，相鄰之主骨架需共同承擔風力作用，各分擔一半之負載，除最前與最後(山牆面)之主骨架外，每一主骨架需承受一個跨距寬度的受風面積，即所謂載重分擔寬，如圖 17 所示。在計算結構應力時，主骨架之樑與柱，承受由風力轉換之每單位長度荷重。同理，溫室山牆面受風力作用，以相同方式計算，桁條承受水平方向之負載，斜撐可以配合抵抗風載重，其中接近受力山牆面之斜撐最具關鍵性。根據風力係數可以計算在一定風速下，溫室結構所承受之風力分布。以圓弧型與山型溫室比較，若強風作用在溫室側面，對圓弧型溫室而言，由於圓屋頂與背風側之風力係數為負值，表示兩處均承受吸力，將有向空中與背風側兩個方向變形之趨勢，若基礎抗拉拔力較差時，溫室將有

遭強風揚起破壞之可能。而對山型溫室而言，斜角小時，與圓弧型溫室情形類似，屋頂與背風側之風力係數為負值，表示兩處均承受吸力，有向空中與背風側方向變形之趨勢，隨著斜角增加，則迎風斜頂轉為正值，增加往背風側方向變形之趨勢，若構件強度較差，溫室將有遭崩塌破壞之可能。因此，兩者之構件強度、地盤與基礎之支持力與抗拉拔力要求均不相同。

以上所討論者為一般概念或原則，至於溫室結構能承受多大風力或負載，必須進行結構分析，才能進一步確定。目前有限元素分析軟體如 ANSYS、MSC/NASTRAN、IDEAS 等，功能相當完整，可應用在溫室結構分析。

### (三) 變形量之限制

溫室結構在承受負載時，將會發生程度不一的結構變形，變形太大將造成柱樑接合處脫落、覆蓋材料破裂等問題。由於覆蓋材料不同，對變形量之限制亦不同。通常硬質覆蓋材料對結構變形較軟質覆蓋材料要求嚴格。其中玻璃溫室所使用之覆蓋材料為玻璃屬於脆性材料，根據研究顯示，所允許結構之變形量相當嚴格，其中樑之變形量必須小於樑長度之二百分之一，而桁條胴緣之變形量必須小於胴緣長度之一百五十分之一。而塑膠布溫室之要求較鬆，其中樑之變形量必須小於樑長度之一百五十分之一，而桁條胴緣之變形量必須小於胴緣長度之一百分之一。如玻璃溫室之樑長度等於 6.4 m，則其變形量應小於 3.2 cm。

### 覆蓋材料

針對不同需求，溫室透明覆蓋材料有相當多種的選擇，其中溫室屋頂可用塑膠布、壓克力板、或其他浪板等材料覆蓋，溫室兩側可用相同覆蓋材料，或者在四周牆壁裝設防蟲網，



圖 18 溫室內部結構情形

溫室上方可架設遮陰網。其中硬質之覆蓋材料包括玻璃板、壓克力板、聚碳酸酯板、玻璃纖維強化聚酯板等，軟質之覆蓋材料包括聚乙烯

薄膜、聚氯乙烯薄膜等。一般硬質覆蓋材料，質量較重，溫室結構要求高，反之，軟質覆蓋材料，質量較輕，溫室結構要求相對較低。此外，通常溫室結構會造成陰影，如圖 18 所示，如果需要減少遮陰增加透光度，可以拉大相鄰主骨架之跨距，同時採用較大塊硬質覆蓋材料，但必須加大構件尺寸或選用強度更高的材料。在維護方面，以塑膠薄膜覆蓋材料會逐年降低透光度，約三到四年需更換一次，而玻璃溫室雖然無須更換玻璃，但其結構需求嚴格，除需安裝時所需之設置成本外，亦需考慮安裝跨軌式清洗玻璃裝置，花費較為昂貴。綜合各種覆蓋材料，列於表 2 中。

表 2 覆蓋材料種類與特性

種 類	優 點	缺 點	光 穿 透 度 (%)	使用 年 限
玻璃板 (Glass)	穿透性佳 抗熱抗紫外線 抗磨損 熱膨脹係數小 透明	現場組裝不易 不耐衝擊 價格高 較重	71-92	25+
壓克力板 (Acrylic)	穿透性優良 抗紫外線 抗風蝕 質量輕 現場組裝容易	容易刮傷 熱膨脹係數大 用久變脆 成本較高 工作溫度較低 可燃材質	83-93	20+
聚碳酸酯板 (Polycarbonate)	使用溫度高 耐衝擊 可燃性低	容易刮傷 熱膨脹係數大	79-87	5-12
玻璃纖維強化 聚酯板 (Fiberglass reinforced polyester, FRP)	低價 強度高 組裝容易	抗紫外線差 抗塵性差 容易黃化	60-88	7-15
聚乙烯薄膜 (Polyethylene film, PE film)	價廉 安裝容易 大面積薄膜	使用年限短 使用溫度低	<85	2-3
聚氯乙烯薄膜 (Polyvinyl chlor- ide film, PVC film)	價廉 安裝容易 大面積薄膜 透光性佳	易髒	90	2-

註：主要摘自 Aldrich & Bartok. Greenhouse Engineering。



## 結語

溫室結構設計係根據使用地點、栽培需求、覆蓋材料等而定，一般性原則可以參考王鼎盛主編之"設施園藝設計手冊"，該手冊內容豐富，足夠提供溫室設計所需之基本資料。而針對精密溫室之結構設計，應用有限元素分析法之商業軟體，進行溫室結構分析是有必要的，部分軟體提供最佳化設計功能，可以進一步找出最節省成本的結構，卻能承受一定的負載。

一般溫室結構設計原則，可以歸納以下三點：

1. 縮短桁條跨度，即縮短主骨架之間距離，可減少主骨架載重分擔寬，對風載重有較強的抵抗能力。
2. 採用斜撐、支撐、與接頭處增加補強材料，以增加結構強度。
3. 使用適當尺寸或強度較強之構件，以增加溫室結構強度。

## 參考資料

## (一) 參考文獻

1. 王鼎盛主編。1988。設施園藝設計手冊。國立台灣大學農業工程學系農業設施研究室編印。
2. 方煒。2000。雙層透氣型鋁管溫室的設計。種苗生產自動化技術通訊。種苗生產自動化技術服務團。
3. 周慶安、姜義展。1995。設施結構與抗風性分析。桃園區農業專訊。
4. Aldrich, R.A., J.W. Bartok, Greenhouse Engineering, U. of Connecticut, Storrs, CT.

## (二) 網站資料

1. 農漁牧產業自動化：<http://agriauto.ame.ntu.edu.tw/Result/agric10.htm>。

edu.tw/Result/agric10.htm。

2. 荷蘭 AVAG 協會：<http://www.avag.nl/>。
3. 英國 Clovis Lande Associates Limited：<http://www.clovis.co.uk/>。
4. 美國 International Greenhouse Company：<http://www.igcusa.com/>。
5. 美國 NEXUS Corporation：<http://www.nexuscorp.com/>。
6. 美國 Poly-Tex, Inc.：<http://poly-tex.com/>。
7. 加拿大 OMNI Structures International Inc.：<http://www.omnicanada.com/>。
8. 花王農業器具有限公司：<http://www.huawang.com.tw/cgreenhouse.htm>。
9. 吉成溫室材料設備有限公司：<http://gichan.shiluo.com.tw/>。
10. 郁助實業有限公司(新台灣溫室)：<http://net-city3.web.hinet.net/userdata/m1203971/>。

