第一節　玻璃溫室

張　祖　亮

一、前　　言

溫室（Greenhouse）一辭依尼爾森氏（Nelson, P.V.）所述，在美國係指「一結構物，覆蓋著能使自然光穿透以供植物生長的透明材料。這些結構物通常係人工加溫，高度足供人員在內工作，而和其他的植物生長用設施，如冷框或熱床有別」；但在歐洲，溫室一辭所指者，少有人工加溫或根本無人工加溫，有人工加溫者則以玻璃室（Glasshouse）稱之。馬達樂氏（Mastalerz, J. W.）對溫室所下的定義亦極爲類似，且大部分的溫室有加溫、通風及冷卻等設備以控制溫度；唯其認爲除特別指明外，溫室與玻璃室應係同義字。其所以如此，推測係因爲在十七世紀，溫室通常是用磚或木料建成的房子，只有與普通房屋比例相當的窗和一些取暖設施。當玻璃日漸便宜及取暖設備愈益完善，一般的溫室外觀遂成爲玻璃室（Glasshouse）。十九世紀中葉，溫室的屋頂和牆壁均普遍使用玻璃，只有很少的木材或金屬作框架。故至今日，乃留有溫室與玻璃室同義的情形。事實上，由於現代材料科技的進步，雖然玻璃仍被視爲溫室被覆材料中最原始而可靠的，但已有許多的人工合成塑膠材料被廣泛的用爲溫室被覆材料。因此，今日溫室一辭不應再與玻璃室混爲一談。以中國大陸爲例，溫室與大棚皆是對有透光屋頂及透光外牆的建築物的總稱，而溫室一般是指有加溫的設備者。故本文所述之玻璃溫室一辭，係指以玻璃爲覆材的Glass greenhouse，以有別於其他覆材的溫室。

二、本省玻璃溫室的發展

以台灣的自然條件來看，一般而言氣候溫和，適合多種作物的生產，對溫室的需求不若高緯度國家强烈。早期的溫室限於玻璃溫室，造價昂貴，僅見於公立試驗研究單位及少數有能力種植高貴植物爲嗜好之私人，一般生產幾不可見。自一些可取代玻璃的塑膠類材料問世後，配合較輕型結構的開發，擴大了生產的地域及產期，使得設施下生產成爲世界性的潮流。台灣夏季高溫又常有豪雨颱風爲害，致使園藝生產的質與量皆難於控制。在設施園藝的觀念引入後，雖然時日不長，但已有相當蓬勃的發展。基於經濟及技術等的考量，一般花卉的設施栽培，多以防雨、防風爲主，故使用簡易設施爲之。然而此類設施較爲簡陋，少有降溫的設備，常造成夏季溫高、光線不足及通風不良等現象。

隨著社會的發展及人民生活需求的提高，市場上對花卉的需求大幅成長，要求品質亦大

大地提高。加上對栽培環境要求較嚴的蘭花業蓬勃發展，簡易設施的功能便不敷所需，亟待更好的設施以實際生產市場所需的高品質、高價位的花卉。此時台糖公司依臺灣大學園藝系引入荷蘭威諾型具環境控制電腦玻璃溫室之經驗，亦引入之並用於蝴蝶蘭之生產。其利用水牆及風扇蒸發冷卻及遮蔭，達到控制溫度及光度的目的。使蝴蝶蘭的產期縮短，品質提升、生產成本大幅降低，達進軍國際市場的水準。受到此一成功例子的刺激，配合政府政策的適時引導，掀起國內應用電腦控制環境的研究熱潮，同是亦使具高造價、多種設備、環境控制優良特性的精密型玻璃溫室受到民間業者的注意。現今的國內設施製造業者在經過數年的經驗累積後，在本土化的工作上已有長足的進步，軟硬體亦皆在不斷的成長中。除了供作物生產的玻璃溫室以外，建築上亦對與人日常生活相關的空間提供『陽光屋』的設計，配合室內觀賞園藝，估計將有極大發展的潛力。雖然今日玻璃溫室的發展，確已受到大家的矚目，然而對台灣目前的花卉產業而言，玻璃溫室的適用範圍依然相當有限。除了少數如試驗研究、品種保存等特殊的需求外，與產業有直接關連的，仍僅只是一些不用玻璃溫室便生產困難、具高經濟價值的花卉，如上述的蘭花栽培；或種苗生產等必需使用具較佳環境控制能力的玻璃溫室者，一般其他的生產，仍以簡易設施爲主。

三、玻璃溫室的建構

原先溫帶地區溫室設計的基本原則是「以最少的成本能覆蓋最大的地面，並希望獲得最大的日射量而在結構上堅固易建」。但在台灣由於陽光充足，一年之中需加溫的時期甚少，故對此一需求反不若夏季降溫來得重要。因而建構溫室的主要目的便擴大爲「改變作物生長之自然環境，創造適合作物最佳之生長環境，以避免外界惡劣環境：如高溫、低溫、颱風、炎日、暴雨、積雪及不適的空氣組成等，以達到調節產期，促進生長發育及病蟲害防治等目的」。由於爲高緯度地區所設計的溫室，常不適合熱帶地區作物的微氣候所需，故要改變作業方式與溫室的設計來適應本地的環境狀況。相對於高緯度地區，熱帶地區溫室的主要需求是：

㈠大量通風，以免高濕的滯留空氣使得產量降低及病蟲害不易控制。

㈡在豪雨季節仍能繼續生產。

㈢較强的耐風力。

㈣耐用度高的覆蓋物，能抗强風且易於維修。

㈤高溫時能有良好的冷卻系統。

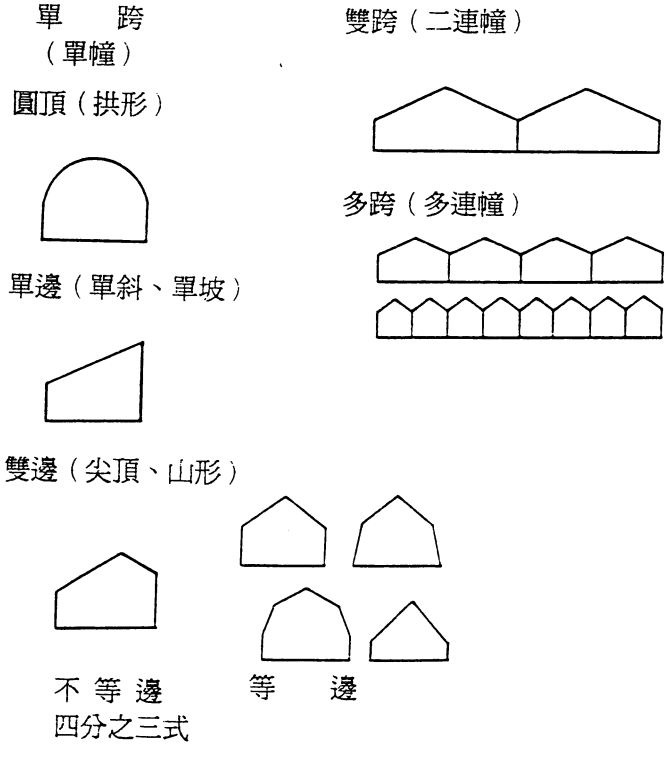
㈥有適量的加溫能力，以便冬天時提供作物所需的熱量及溫度。在濕冷的冬季，可利用加溫以降低濕度。

㈦有效防止蟲類入侵溫室。

由於建造溫室的功能與用途因人而異，其中的變化無法事先討論，但對硬體上的考量則有其一定的原則。現針對在台灣地區建構玻璃溫室的一般著眼點，加以闡述如下。

(A）溫室的類型

溫室以結構構型區分，常見者之類型，依屋頂的形狀可分爲圓頂（拱形）、雙邊（尖頂、山形）及單邊（單斜、單坡）等三型。依跨數則可分爲單跨（單幢）、雙跨（二連幢）及多跨（多連幢）三類，其中雙跨及多跨者皆可稱爲連幢。各型溫室之骨架代表型式如圖一所示。



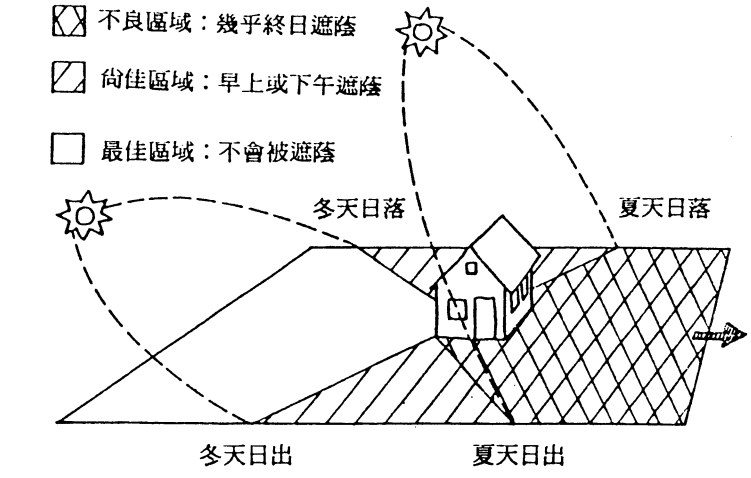
圖一、各型溫室之骨架

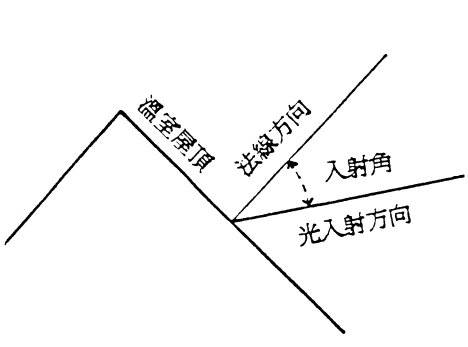
(B）溫室的設計

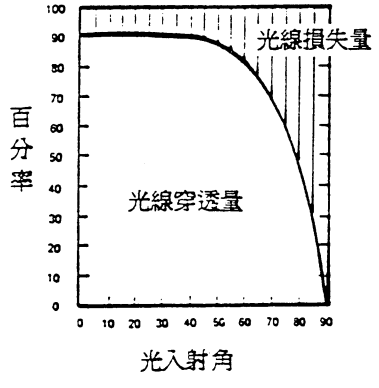
1. 場地的選擇

自然條件如日照、太陽高度、氣溫、濕度等在場地決定之後便不易變動，因此在建構之前必須十分慎重。台灣地區目前會建溫室者，多屬就原先農地上建造，一般而言不致有何不宜之處。但在附近若有高的建築、防風林等遮陰物或採用緊接有預備室的單邊型溫室，則對全區中適合建溫室的地區要稍留意之，可參考圖二。

溫室內坡度太小則排水不良，坡度太大則室溫不均勻，皆不利於作物的生長，選擇平坦地形則有施工容易及便於栽培管理等優點。一般而言，地面坡度以不超過1%爲宜，太陡的地方應沿等高線配置，或採連幢的坡邊型式。台灣因有颱風爲害，溫室能建於避







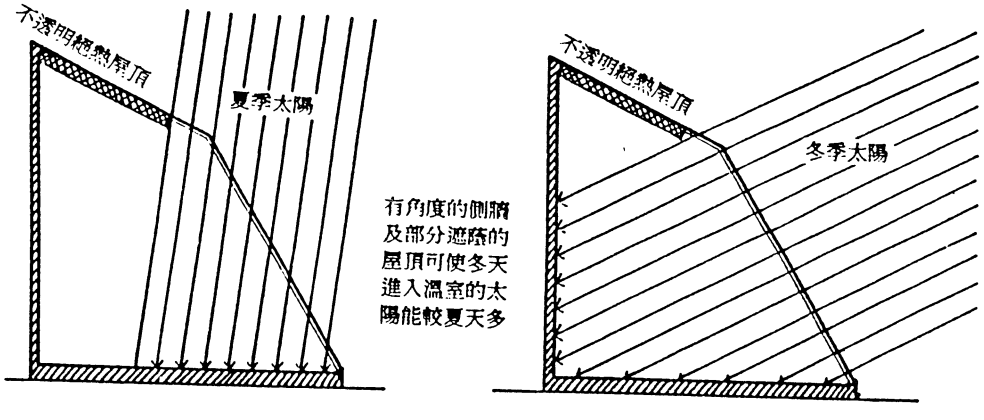


圖 二、建構溫室時對採光的考量

風區最佳。除了直接種於土面的生產要注意土壤外，其他盆栽、有植床者對土壤無特殊要求。一般建溫室者，多要求較佳的環境控制，故對水電的供應，通常要特別考量。其他如交通方便，無污染等條件亦需注意。

2. 溫室建構的基本設計

玻璃溫室因爲其耐久性好，設計時應按永久性建築的標準設計，一般耐用年限在20年以上。設計溫室之時除了溫室本身結構的考量外，有兩項因子尤其要妥爲注意，即造價與耗能。目前在台灣，玻璃溫室的的造價，依所配備的設備、結構及規模而異，一般每坪約在五千元至壹萬五千元左右。當配合自動控制系統時，因所需求功能不同，控制系統的價格差異甚大，故若不含控制系統本身，每坪在造價約在二萬元上下。某些溫室因所栽培作物極爲貴重，因而另有防盜保全等系統的裝置者，則不在討論範圍。台灣地區溫室管理上的耗能主在降溫，加溫所佔比例較少，顯與高緯度者不同。雖然有些人認爲台灣自然氣候的相對濕度太高，水牆及風扇的蒸發冷卻系統效果不佳，但據實測目前的各型溫室及其降溫系統，所得結果仍以威諾型連幢式玻璃溫室配合水牆及風扇蒸發冷卻系統表現最佳。另外最近有利用液體除濕技術，可容易的將空氣濕度降至40％以下，若能與蒸發冷卻密切配合，可能是日後相當可行的溫室降溫系統。

在溫室的結構設計上，由前述之溫室基本架構，依地形、栽培作物、所在地緯度等之不同，從而衍生出多種的類型。現將在選擇適合溫室類型時，一般性的考量略述於後，供大家參考。

(1)溫室的構型

溫室採光面的設計以球狀者有最佳的光透過率，但在經濟性及施工上的考量，除了一些展覽用、觀賞用者外，不宜用於生產。爲了增加光透過率，設計出拱形、半圓型或多折的曼薩特型。事實上在高緯度地區，冬季太陽高度甚低，可將採光面對向太陽，形成單邊、不對稱雙邊構型（如四分之三式）等。爲了使太陽入射角度小以增加光穿透率，將側牆改爲傾斜的二折採光面甚或不用側牆形成A字型的構型。

(2)溫室的方位

溫室屋脊的走向應朝向何方位，與溫室所在的緯度有關。緯度愈高處，因溫室方位改變而導致的透光量變化愈顯著。在北緯35度左右的地區，若溫室走向與畦向一致，則東西向者較南北向者光量多10 - 15％。但由於屋脊、天溝等主要水平結構爲東西向，在溫室內將造成一條條陰影弱光帶，透光率最大及最小差值在40％以上。南北向溫室的透光率，床面中央較東西側牆附近者高約10％。若溫室走向與畦向一致，雖然東西向者較南北向者光量多。但南北向者室內各處受光量較平均，作物不易相互遮光，室內溫度變化緩慢而易於調整管理，反有利於栽培管理。

(3)溫室的跨數（連幢數）

連幢溫室由於跨數增加，其特性亦隨之改變，現以下表簡單說明以供參考。

表一、單棟及連棟溫室一般特性對照表

性　能	單　　棟	連　　棟
保　溫	單位面積的散熱面大，保溫性較差，室內溫度不易保持穩定和均勻	單位面積的散熱面小，保溫性能良好，室內溫度較均勻且溫度穩定
通　風	便於通風及人工管理	宜於機械通風及機械化管理
遮　光 排　雪	無天溝遮光且屋面排雪方便	有天溝遮光多且排雪困難大雪地區慎用
土　地 利用率	大量採用時，土地的利用率較低	大量採用時，土地的利用率高
造　價	單位種植面積的造價較高	單位種植面積的造價較低
結　構	簡單易行	結構較複雜

(4)溫室的跨度

溫室跨度的選擇要考慮材料結構、經濟效益及作業的適用性。以荷蘭的連棟溫室爲例，Venlo型者每一山型結構寬度爲3.2公尺，以二或三個結構連成一棟，形成6.4公尺或9.6公尺的基本寬度。因爲此因素受氣候因子影響甚大，故宜考慮建構溫室當地氣象條件後，參酌前述的考量，綜合分析後決定之。

(5)溫室的淨高

在能滿足使用要求的條件下，溫室的淨高應儘量低，以節省成本、節約能源及防避風災。

(6)溫室屋面坡度角

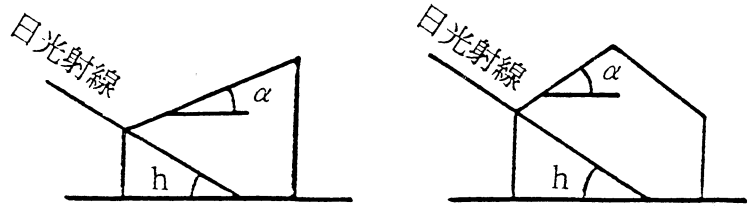
溫室屋面坡度角α的決定，一般會影響到溫室的採光、驟雨來時的排水量、風截及保溫等特性。爲採光良好，可在下列範圍內選用

$\alpha \geqq 50 - h$，式中的h可參考下表及圖三得知

表二、地理緯度與冬至日中午的太陽高度角h

北　　緯	20	25	30	35	40	45	50
冬至日中午 h	46.6	41.6	36.6	31.6	26.6	21.6	16.6

減輕風截時 $\alpha \fallingdotseq 30$ 較佳，而簷高相同時，α 愈大則保溫效果愈差。



圖三、屋面坡度角 α 與太陽高度角 h

3. 溫室的骨架材質

玻璃溫室由於質重，因此結構需極爲堅固，除早期的一些溫室以木材爲結構外，現今多以鋼鐵爲主結構。常見的鋼骨溫室有兩類，現分述如下。

(1)常用型鋼骨架溫室：即一般自行以房屋建築的設計觀念，利用工字鋼、槽鋼、角鋼、圓鋼、水管、煤氣管等作柱、梁、椽、桁及門窗的溫室，唯以玻璃爲覆蓋材料。此型溫室耗鋼量多而難以密閉，結構遮光大，窗扇重而不易操作管理，可用於大跨度、高空間的溫室。

(2)熱鍍鋅薄壁型鋼骨架溫室：用壁厚爲2-5 mm的熱軋帶鋼冷彎成矩形、方形、槽形、內卷邊槽等各種型式，依按裝尺寸加工成裝配式的套件，再經熱鍍鋅後，成套出廠供現場拼裝組合，一般用螺栓連結。若要求較高時，門窗用鋁合金結構，質輕而又密閉。此種溫室材料輕且具足夠的強度與剛度，用材省，內外兩面熱鍍鋅的配件耐鏽蝕性強，使用壽命長達15年以上；由於採用工廠化生產，裝配式安裝，造價低而品質又較有保障。目前世界各國的現代化溫室多採用此型式，國內亦有廠商產製。

溫室除了主結構外，框架材料亦爲影響溫室功能的重要結構之一。鋁、鍍鋅鋼材和木材是框架及台架等常用之材料。在溫室中，大部份熱量之散失係經由透明材料部份之熱傳導，而非經由支架。使用鋁和鍍鋅鋼材，所需維護工作甚少。但木材由於質輕，應用方便，故當生產規模較小或利用原有結構改裝時，常有人使用。使用木材常要經過防腐之處理，有些防腐劑含有銅、鉻及砷等物質，比較適合於溫室使用。不可使用以木焦油、五氯酚等防腐劑所處理的木材。因爲這些防腐劑會散發出有害植物生長的氣味，故除非其表面塗有氣密性之油漆，否則不要使用於溫室。將所有木材均漆以白色，使其具有更好的外觀，同時也增加光線的利用率。

綜合上述，目前最常見的是商業製造上採用鋁和鋼爲溫室結構材料，將鋁鍛壓成所需要的形狀，形成溫室的外加結構。鍍鋅鋼材強度高，價格適中，唯要注意長期性的腐蝕問題，尤其在鋼結構的內部及接頭支撐等部位，更要注意。

4. 溫室的被覆材料

玻璃溫室所使用的玻璃大小尺寸必須能承載結構安全基準所指定的雪載重及風壓力等。用爲溫室材料的玻璃，具有光透過性、非燃性、耐久性、保溫性及强度等優點，故被用爲溫室的被覆材料已有多年。市面上所見的玻璃種類甚多，一般用於園藝生產的溫室所使用的玻璃即爲普通平板玻璃。亦有其他特殊用途之溫室會採用特別的玻璃，如强化玻璃、紅外線吸收玻璃等。

荷蘭爲世界上使用玻璃溫室最多的國家，爲何在多種溫室覆蓋材料問世的今日，荷蘭人仍採用玻璃爲覆蓋材料？依據當地人自述玻璃溫室的優點，可供參考。

(1)玻璃的透光性良好，可收集較多的太陽能，此一特性在高緯度的地區極爲重要。

(2)玻璃溫室之使用壽命較長，多可達十年以上，玻璃在使用過程中亦無老化或黃化的問題，只要經過清洗，其透光性與新品幾無差異。

(3)由於玻璃較重，一般需要堅固的結構設計，故在加裝環境控制系統時比較容易進行。

(4)因玻璃的再使用性高，破碎後的處理也較容易，不易造成公害等環境污染的問題。

但用玻璃爲覆材，則有因玻璃溫室的結構堅固，故造價較高。及玻璃較易破碎，且破碎後的處理要小心以免受傷等缺點。

市面上玻璃的種類甚多，略述如下：

a. 普通平板玻璃，爲最常見者，一般園藝上用之。

b. 壓花玻璃，一面爲平面，另一面爲壓出之花紋，散光率强，裝置時應將平面向外，花紋面向內。

c. 磨光玻璃。

d. 膠合安全玻璃，兩片或兩片以上之平板玻璃或磨光玻璃，用有色或無色的透明中間膜膠合而成，破裂是時碎片不會飛散傷人。

e. 强化平板玻璃，以平板玻璃加熱至600℃以上，將空氣直接吹其兩面，使之急速冷卻，在外部產生壓縮狀之表面層，而增加其强度，有平面及曲面兩種。

f. 雙層玻璃，以兩片玻璃中間隔一空隙，四邊加以密封並抽出中間空氣，封入清潔乾燥空氣，有較佳的隔熱效果，通常厚度爲 3mm 、 5mm及 6mm，氣體厚度爲 6mm或12 mm。

g. 鐵絲網玻璃，玻璃中嵌入鐵絲網，有平光及壓花二種，可防止破裂崩落。

h. 有色平板玻璃，有多種顏色，可減低光及熱的反射，增加私密性，亦有可排除紫外光者。

i. 有色吸熱平板玻璃，此種玻璃能吸收、反射及吸收後再反射陽光之熱量。部分輻射熱被吸收、反射，其餘則透過玻璃，傳入室內被吸收部分再以反射及對流方式向內外消散，吸熱玻璃能降低透入室內的熱量及眩光。

另有所謂的有機玻璃或稱玻璃鋼者，屬硬質塑膠板類，亦常用爲溫室的覆蓋材料。若爲平板狀者與用玻璃時之固定方法類似。由於有多種的材料供選擇，而各種材料的特色又不同，因此與玻璃有相互替代的情形，但其結構一般與玻璃溫室相似。若製爲波浪

板狀者，在固定時要有特別的配件供用。採用塑膠類浪板爲覆蓋材料時，較不易密封，換氣時要注意之，尤其用水牆及風扇降溫時，常因漏氣而導致效果不佳。

在決定使用不同玻璃種類或玻璃替代品爲覆材時，通常會考慮的一些特性，現條列於下，供決策時的參考。

(a)玻璃的選擇：小型溫室可選用較薄的3 mm的厚平板玻璃，較大、中型的溫室及連棟溫室常選用較厚的4-5 mm的平板玻璃。對保溫性要求較高的地區，則可採用雙層或多層中空玻璃，炎熱地帶則可用吸熱玻璃。若有特殊需要，如防盜或防冰雹等，則可用强化玻璃甚或安全玻璃、有金屬網的夾絲玻璃等，能防玻璃破碎的傷人。

(b)溫室玻璃的支持法一般以二邊支持法最多，三邊支持法用於脊樑與屋頂上、下緣及側面屋簷等部位。出入口及窗戶則採用四邊支持法。玻璃的合理幅寬決定條件是玻璃厚度、强度、支撐邊數及荷重等，詳細的計算可參閱王鼎盛教授所編之設施園藝設計手冊第14頁所述。

(c)散光性覆蓋材料使直射光分散到很大的立體角內，形成散射輻射。散射光比率較高，對於提高床面光照分佈的均勻性與作物群體光能利用率是有益的。常用覆蓋材料的散射光比率如下。

表三、常用覆蓋材料的散射光比率

材　　料 厚　　度(㎜)	平板玻璃 3-5	FRA 0.8	FRP 0.6-1.0	PVC 0.1
直射光透光率%	90-91.5	12.5	48.5	86.5
散射光透光率%	0	77.5	37.1	3.5
全 透 光 率 %	90-91.5	90.0	85.6	90.0

(d)玻璃溫室常用覆蓋材料的一般物理特性

表四、玻璃溫室常用覆蓋材料之一般物理特性

材料	玻璃			聚氯乙烯 (PVC)	壓克力 (PMMA)	強化玻璃纖維 (FRP)	強化丙烯玻璃纖維 (FRA)
	平板 3 mm	平板 5 mm	強化 5 mm				
厚度 (mm)	3	5	5	1	2	0.8	0.8
單位重量 (kg/m^2)	7.5	12.5	12.5	1.40	2.38	1.17	1.12
比重 (g/cm^3)	2.5	2.5	2.5	1.40	1.19	1.46	1.40
抗拉強度 (kg/cm^2)	---	---	---	350-500	490-770	1200-1400	800-900
抗彎強度 (kg/cm^2)	400-600	400-600	1250	560-910	840-1260	1500-2000	1300-1800
抗沖擊強度 ($kg \cdot cm/cm^2$)	---	---	75	120	---	250	150
線膨脹係數 (10-5/℃)	8-10	8-10	---	5 - 18.5	5-9	3	5
總透光率	0.915	0.90	0.90	0.70-0.85	0.92	0.86	0.90
一般使用壽命(年)	10-20	15-30	15-30	4	15	15	7-10

(e)熱傳遞係數 U 值（BTU/ft^2 - F-hr）

表五、溫室覆蓋材料之熱傳遞係數

單層玻璃	1.1
雙層玻璃，1/4"間隔	0.7
三層玻璃，1/4"間隔	0.5
玻璃纖維加強板	1.0
雙層亞克力或聚碳酸酯板	0.6

四、結　　論

一般而言，玻璃溫室由於造價較高，在本省目前情況下，非屬必要則應儘量採用簡易設施爲之即可。是否採用玻璃溫室，應依上述的各考量點進行評估，不應有價高者即較佳的想法。其環控效果的良窳，視其所使用的設備而訂。

由於玻璃溫室的架構較強固，除了防强風、豪雨等防護效果佳外，當業者無法容忍玻璃的缺點時，可立即改用其他的被覆材如ＰＣ板等進行改裝。欲增添或換裝新器材設備時，亦很容易完成。但要能維持其功能的持續，維修保養極爲重要，千萬不可輕忽。

五、參考文獻

1. 王之儀. 1988. 家庭溫室。 農業出版社 北京 217 pp.
2. 王鼎盛. 1987. 溫室結構設計與環境控制。 設施園藝研討會專輯 鳳山熱帶園藝試驗分所 p.125 -142.
3. 王鼎盛. 1988. 設施園藝設計手冊。 國立臺灣大學農業工程學系 378 pp.
4. 李 哖. 1992. 台灣切花產業之發展策略規劃。花卉栽培技術與產業規劃研討會專集 p.207-235.
5. 金善寶 主編. 1990. 現代農藝師手冊。 第十六章 農業建築與環境工程。 p.820-931 北京出版社 北京.
6. 陳加忠. 1992. 荷蘭溫室的結構與環控設備。 溫室環控自動感測技術研討會專集 p.1-16 臺灣省農業試驗所專刊第40號.
7. 許謙信. 1992. 花卉簡易設施栽培現況。 花卉栽培技術與產業規劃研討會專集 p.119-128.
8. 馮丁樹、林達德、陳世銘 編. 1991. 環控農業機械工程研討會專輯 財團法人農業機械化研究發展中心 農業自動化叢書2 356 pp.
9. 謝俊雄、吳功顯. 1992. 國內蘭花產業發展策略規劃。 花卉栽培技術與產業規劃研討會專集 p.237-249.
10. 內海修一. 1984. 世界の施設園芸。 誠文堂新光社 東京 165 pp.
11. 岡昌二. 1987. 施設の種類・型式と特性。 新訂施設園芸ハンドブック p.72-89 日本施設園芸協會 東京.
12. Hanan, J. J., W. D. Holley and K. L. Goldsberry 1978. Greenhouse Management. Springer-Verlag, Berlin. p.51-125.
13. Hix, J. 1974. The Glasshouse. MIT Press, MA, 208 pp.
14. Mastalerz, J. W. 1977. The Greenhouse Environment, John Wiley & Sons, Inc. p.2-94.
15. Nelson, P. V. 1985. Greenhouse Operation and Management, 3rd ed., Restn Publish Co., Inc. p.34-76.