

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

溼熱氣候區綠建築及農用設施外殼應用誘導式阻熱之節能 與經濟設計研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-002-093-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所

計畫主持人：侯文祥

計畫參與人員：陳遠鴻，賴岱巖，陳以容

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 9 月 20 日

摘 要

台灣地區目前正被研究探討的雙層被覆溫室，雖以空氣層作阻熱設計，在夏季仍因室內溫度過高或透光率不足等，而影響生物生產情況，是目前急待解決的問題。目前可應用在農用雙層構造溫室的低造價被覆材料為PE膜及PVC浪板，而利用雙層被覆材內空氣層部分之降溫，則尚無任何文獻。本研究利用空氣層內加入其他設施組合進行隔熱降溫實驗，包括噴嘴加濕降溫及網材水簾降溫等兩種材料的特性，配合空氣層厚度與氣流口開閉改變等做降溫模組設計，從74個設計模組中找出最佳節能與隔熱降溫模式。由熱環境降溫結果得知，在雙層PVC浪板被覆的各模組中，以10公分厚空氣層內置80%透光率黑網並保持濕潤狀態，配合氣流口關閉之模組，具有最佳的降溫效果，約可使室內溫度降低15.8°C，室內熱得率為61.5%。另外在雙層PE膜被覆的各模組中，以空氣層厚20公分、氣流口開啟、使用80%透光率黑網並保持濕潤狀態之模組，具有最佳的降溫效果約可使室內溫度降低12.3°C，室內熱得率為82.1%。從光環境需求上顯示，實驗模組空氣層內無設施時透光率較高，以PE膜被覆空氣層厚度10公分、空氣層內無設施配合氣流口開啟之模組透光率最高，可達68.6%。在不影響室內濕度狀態，以空氣層內加入附屬設施，證明可有效達到提高室內透光率與降溫能力。

關鍵詞：溫室、雙層被覆、隔熱、降溫、空氣層

Abstract

It is a pressing task for solving the problem in which the biomass production decline sharply due to the overheated inner temperature in double-layer covered greenhouse during summer season in Taiwan. Up to now, the most frequent applied cover materials for double-layer greenhouses are PE film and PVC wave plank. However, reference about methods on decreasing air temperature between the double layers remains insufficient and thus needs to be fulfilled. This research is focused on air cooling between the double layers and designs modules by applying the characteristics of two materials, nozzle and meshes. After comparing data from 74 design modules, the optimal energy-saving and temperature reduction model is identified. It reveals that among various modules covered by PVC wave planks, the best way is by leaving the air layer to 10cm in which black nets of 80% transparency was stuffed inside as well as a compliance of humid condition and a closed air gap. It will reduce 15.8°C of the temperature, and the heat absorbing rate is 61.5%. As to the modules covered by PE rubber, the best way is by leaving the air layer to 20cm in which black nets of 80% transparency was stuffed inside as well as a compliance of humid condition but an opened air gap. It will reduce 12.3°C of the temperature, and the heat absorbing rate is 82.1%. From the requirement of lights, it shows that modules without installations have higher transparency of lights. The highest rate is about 68.6% with 10cm air layer in which no installations are assembled as well

as an opened air gap.

Keywords: Greenhouse, Double-layer cover, Heat separation, Temperature reduction, Air gap.

前 言


台灣夏季的外氣溫度平均約在 32~35°C 之間，因強日照量造成溫室內嚴重熱累積的問題，是目前溫室設施栽培最迫切需要解決之問題。一般利用在溫室的降溫方法有遮蔭、通風、蒸發冷卻、冷凍空調設備及雙層空氣層構法等，但其降溫效果有限或必須耗費較高成本，才能達到生產對象所需之生長環境。而在上述的隔熱降溫方式中，從經濟性及隔熱性的觀點來考量以雙層空氣層構法之方式為最佳（賴，2004）。因此，如何運用雙層構造中空氣層的隔熱性能，搭配適合的降溫設施，有效提升熱阻，進而改善室內熱環境，達到適合生物生長所需條件之研究，實為目前刻不容緩之議題。本研究主要探討生物生產用雙層牆構造的熱環境控制；設計將噴霧及網狀設施置於空氣層內。探討在空氣層內流通與密閉通風條件中的阻熱能力。將所得結果與至今設計空氣層內無任何設施物之狀態比對。以尋求在不同設計模組下之最佳節能效果與隔熱降溫性能模式。再依本土氣候條件及生物需求光熱環境區分，建立本土化工程設計的參考資訊，以提供未來生物生產用設施藉由外殼構造之改良，即可符合生物生長所需光與溫度調控之要求，節省大量的空調電能及設備費用，創造出簡易管理、低造價的室內熱環境。

材 料 與 方 法

1、材料與儀器：台灣目前的溫室構造外型種類最常見者有隧道式、人字型與單斜式等型態，使用之被覆材料主要為農用聚乙烯塑膠膜、玻璃纖維強化壓克力板及塑膠浪板等，在單價上差異性極大。本研究顧及日後使用者之成本負擔，選擇低成本造價之溫室被覆構材，包括以硬質 PVC 浪板與軟質 PE 塑膠布等兩種被覆材料所建構成的兩種溫室結構為對象，探討在雙層被覆材構成的空氣層內不同的降溫設計，依實驗裝置、實驗材料、儀器系統與量測方法、實驗條件與操作流程、以及資料分析等步驟，共計 74 個模組之實驗計測，比較其降溫與隔熱性能差異。在實驗箱體設計，將雙層被覆的溫室實體，分成室外、空氣層、室內等共三個空間環境。分別製作模擬室外環境用箱體、模擬室內環境用箱體，以及兩箱體間設計一個可變換設計的空氣層空間等三部分構造物。至於被覆材物性部分，由於台灣市售本國產農用被覆材料並無明確物理性質資料，包括光透過率、熱傳導係數等。本研究選用 PVC 浪板(厚度 1mm)、PE 塑膠膜(厚度 0.1mm)、80%遮蔭黑網、60%遮蔭黑網、白網等。其中參考中國國家標準「CNS 12720 農業用聚乙烯遮光網檢驗法」、「CNS 13749 窗簾布之遮光性試驗法」，設計裝置先行計測上述兩種被覆材與黑色、白色遮蔭網的光透過率實驗。量測儀器使用可見光輻射計、日射計、照度計，連接資料記錄器，以每回量測 5 秒(每秒計測 8 次，共 40 次平均)，各取 10 回平均。

在噴霧材及物性方面，從文獻得知噴霧設施有良好的降溫效果，室內溫度比大氣溫度低約 5~7°C。目前市售噴嘴種類繁雜與規格尺寸大小不一，然而可使用在空氣層厚 10~20 公分以內之噴嘴却極有限，且為避免水滴觸及被覆材因熱橋效應影響降溫效果，因此考慮以扇形噴霧方式最合適，示於表 3-1。本研究選用之一體形標準扇形噴嘴為台

灣目前使用率最普遍及價格低廉之產品，符合低成本造價之需求。

噴嘴型式	噴角	管徑	流量	標準壓力	平均粒徑	價格	備註欄
 扇形噴嘴	15°~115°	1/8~1"	0.3~180 L/min	1.9~157 Mpa	140~1300 μm	150~220 元/個	可搭配濾 網使用

本實驗所採用之噴嘴角度有 115 度、90 度及 65 度三種，水平噴霧方式使用一個 115 度噴嘴置於 85 公分寬度的空氣層上方中央處，垂直噴霧方式則在空氣層一側配水管 120 公分長，最頂端用 65 度噴頭，中央段用 115 度噴頭，最下層則放置 90 度噴頭等三個，使細霧均勻分佈於空氣層內之垂直斷面上。設計配管管徑均為 13mm，因噴頭出水口徑極小，使用實驗場內之水龍頭全開自然供水即可達設計壓力，細霧粒徑約 270~310 μm ，用水量則以固定容器量測得知。網材之水簾設計，採內徑 13mm 之 PVC 硬管配合實驗網材寬度每隔 10mm 寬鑽一小孔（孔徑為 1.2mm）共計 78 孔，再將管固定於網材上端，水平佈置於空氣層內中央處，落水孔朝下，使水滴由上往下均佈於網材上達微潤濕效果，並以靜水頭量測設備供水量。以上水力設計整理於表 3-2。

實驗用水設施		管徑 (mm)	孔徑 (mm)	孔數 (個)	空氣層內 水管配置 長度 (cm)	水量 (l/min)	水龍頭開 關情形
噴霧	水平	13	0.8	115°×1	45	1.9	全開
	垂直	13	0.8	115°×1	120	5.5	全開
			2.2	90°×1			
			1.3	65°×1			
網材	水簾	13	1.2	78	80	0.9	1/4 開

2、實驗測點配置：實驗測點之配置主要參考邱（2002）及王（2003）所提測點佈置後設計實驗測點共計 30 點。如下圖所示。

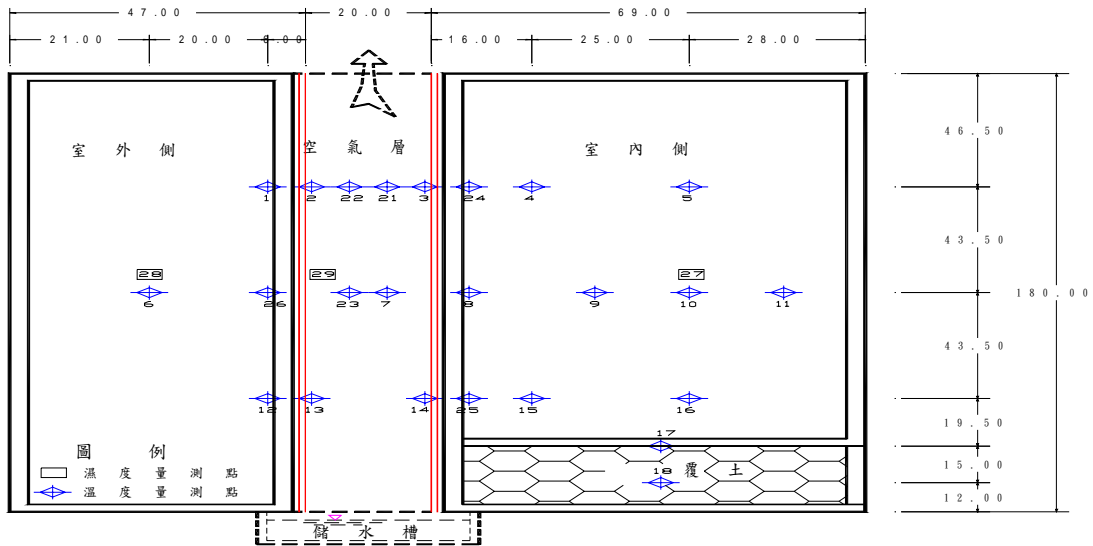


圖 3 - 1 9 測 點 立 面 配 置 圖 (單 位 : 公 分)

3、實驗模組設計：本研究分實驗組與對照組，以雙層構造物為對象，針對兩種牆體之被覆材質作隔熱降溫性能設計；設計不同的空氣層厚度、氣流口變化及隔熱設施，共計 74 個模組做實驗計測。實驗模組設計表示於表 3-3。另以樹狀圖示於表 3-4。

組別	空氣層內隔熱設施		氣流口		牆體材質		空氣層厚度	
			開啟	關閉	PVC 浪板	PE 膜	10cm	20cm
對照組	空氣層	空氣層內無設施	採用	採用	採用	採用	採用	採用
實驗組	加噴霧	垂直式噴霧	採用	採用	採用	採用	採用	採用
		水平式噴霧						
實驗組	加網材	黑網	採用	採用	採用	採用	採用	採用
		黑網加濕						
		白網						
		白網加濕						

項目	樹狀圖		說明
被覆材			*表PE膜空氣層厚度20cm加計測之設施
空氣層厚度			
氣流口			
空氣層內設施			
各模組小計	PVC浪板計36組	PE膜計38組	合計74組

表 3-4 實驗模組設計 (2)

4、資料分析：

(1). 光透入率：從溫室構造的兩種雙層被覆材實驗，各模組經由人工光源照射後，再以照度計來讀取模擬室內側與室外側箱體之照度值，將各不同位置測得之資料整理，以檢討各模組之光透入率，並與前章文獻做比對分析，彙整得本研究模組之高透光率、中透光率與低透光率等三種光環境造成能力。

(2). 空氣層內設施別效率：針對空氣層內設計之多種設施變化，對室內熱環境造成的影響作討論，包括空氣層內設施加濕狀況與氣流口改變等差異性。

結果與討論

1、設施加濕與室內熱得分析：

被覆材	空氣層厚度		氣流口		加濕狀況		空氣層內設計設施	室外側			空氣層			室內側		
	10cm	20cm	開啟	關閉	有	無		溫度(°C)	相對濕度(%)	熱焓(KJ/KG)	溫度(°C)	相對濕度(%)	熱焓(KJ/KG)	溫度(°C)	相對濕度(%)	熱焓(KJ/KG)
	PVC浪板	○			○	○		80%黑網	40.5	74.9	135.8	28.8	64.9	70.3	24.7	89.0
PVC浪板	○		○			80%黑網	52.3	42.9	152.7	38.7	17.0	120.0	38.7	45.5	89.9	

以 PVC 浪板為例，雙層建材內空氣層加濕與否或密閉與否或加黑網與否，造成室內外溫度差異程度以及其熱收支狀結果一例，以表 4-1 與圖 4-1 說明。

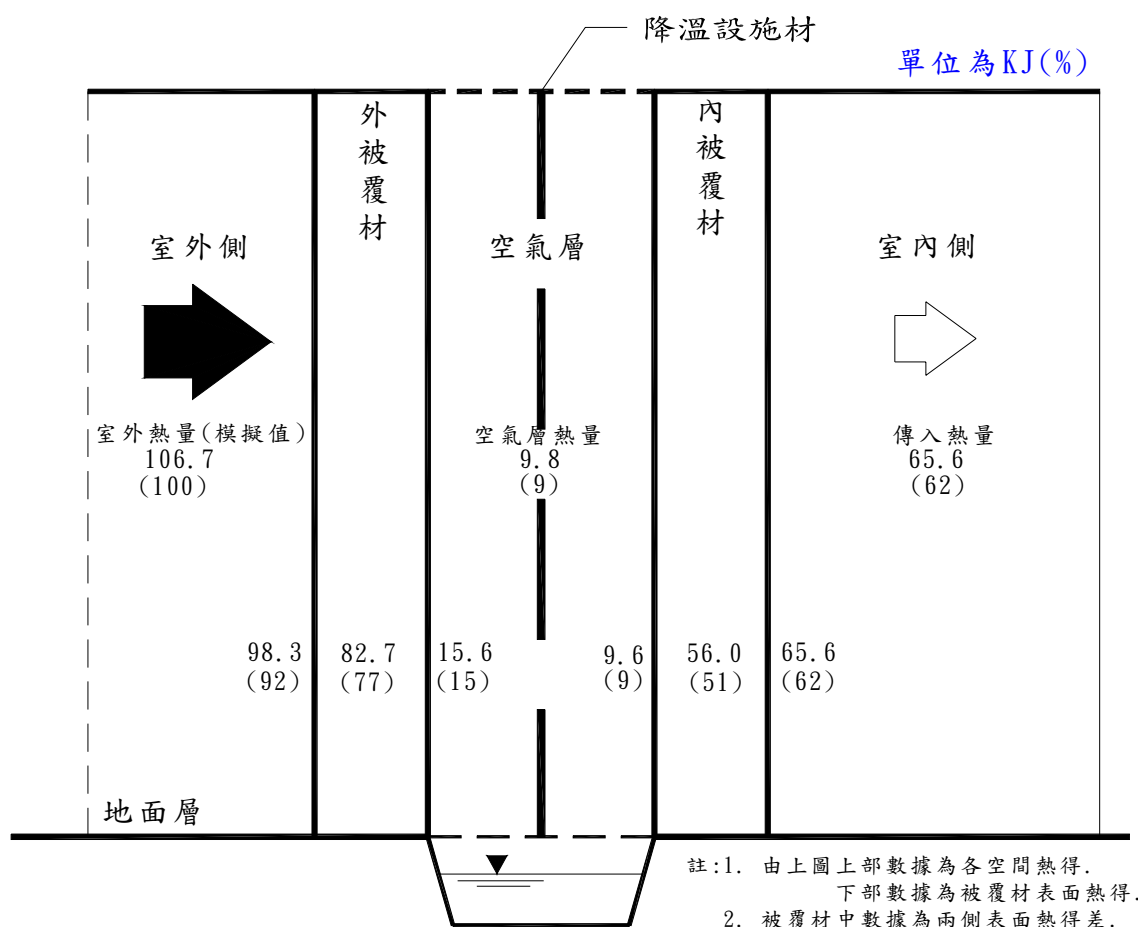


圖 4-1 雙層 PVC 浪板之密閉空氣層內加濕黑網模組熱收支圖

2、設施調節環境能力與生物適用性：

綜合本單元的結果與討論，為了改善溫室內部夏季高溫熱環境，針對本研究結果中具有隔熱降溫模組，配合可適用生物對象，彙整於表 4-2。其中，設施操作法共列出有 10 種組合模式。就中高透光需求而言，空氣層內加置白網設施為佳，以 PE 模被覆、空氣層厚度 10 公分、氣流口關閉、有加濕狀況之模組，透光率為 40.4%，降溫效果為 6.3°C，適宜蔬菜類作物生長之需求。就溫室內部降溫效果佳而言，以空氣層內加置 80% 透過率黑網為佳，以 PVC 浪板被覆、空氣層厚度 10 公分、氣流口關閉、有加濕狀況之模組，降溫效果為 15.8°C，但透光率只為 6.1%，適宜畜產類生物生長之需求。

表 4-2 設施調節環境能力試驗結果

生物別環境因子設施操作模式														
室內環境需求	隔熱降溫設施操作												生物環境需求	
	模擬室外環境	模擬室內環境計測值			被覆材		空氣層厚度		氣流口		加濕狀況			空氣層內
	溫度(°C)	溫度(°C)	光照(Lux)	光透過率(%)	PE膜	PVC浪板	10cm	20cm	開啟	關閉	有	無		設計設施
夏季隔熱降溫	40.5	24.7	2736	6.1		○	○			○	○		80%黑網	畜產類
	52.3	38.7	6156	13.7		○	○		○			○		水產類
	45.7	33.8	6413	14.3	○		○		○	○				水產類
	43.9	31.6	6008	13.4	○			○	○		○			水產類
	42.2	35.9	18164	40.4	○		○		○	○			白網	蔬菜類
	41.5	38.8	10260	22.8		○		○	○		○			蔬菜類
	32.4	28.6	8721	19.4		○	○		○		○		垂直噴霧	水產類
	34.7	29.1	8294	18.4		○	○		○	○				水產類
	43.0	32.0	7497	16.7	○		○		○		○		60%黑網	水產類
	36.9	26.8	4190	9.3		○	○		○	○				畜產類

結論與建議

(一)、結論：

有關台灣地區雙層被覆溫室對於暑熱環境的控制對策，經本研究利用空氣層內作隔熱設計所得結論如下：

1. 本研究之高透光率雙層被覆材溫室，利用空氣層內隔熱降溫設施的研發與應用，在文獻尚無可循。針對本研究的 74 個實驗設計模組，在使用構材上分為網材及噴霧兩設施，結果以黑網材加濕操作對室內熱環境之改善較具效果。
2. PVC 浪板雙層被覆材而言，空氣層厚度 10 公分，使用 80%透光率的黑網並保持濕潤狀態、氣流口關閉之模組效果明顯。在模擬夏季日間室外溫度為 40.5 °C，採用上述隔熱降溫設施後，室內平均溫度可降至 24.7°C，與室外溫度相較後約可降溫 15.8°C，室內熱得百分比約為 61.5 %。
3. PE 膜雙層被覆材而言，空氣層厚度 20 公分，使用 80%透光率的黑網並保持濕潤狀態、氣流口開啟之模組具有較佳效果。在模擬夏季日間室外溫度為 43.9 °C，採用上述隔熱降溫設施後，室內溫度可降至 31.6°C，與室外溫度相較後約可降溫 12.3°C，室內熱得

百分比約為 82.1 %。

4. 本研究使用 PVC 浪板及 PE 膜兩種不同材質的雙層被覆材，且在空氣層內加入白網、黑網、水霧等三種隔熱降溫設施組合，造成室內照度透入率約為 PVC 浪板模組為 5.7~31%、PE 膜模組為 13.2~68.6%。夏季戶外全日照量以 100kLux 計算，則 PVC 浪板模組室內可達到 2.6~14kLux，PE 膜模組可達 5.9~30.87kLux。對植物光環境需求而言，可提供栽培中弱光型植物；對動物需求而言均可滿足。

5. 本研究結果中具有隔熱降溫模組，配合可適用生物對象，彙整於表 4-12。

6. 在室內土壤溫度需求上，以 PE 膜模組而言，當室內環境溫度在 31°C~67°C 時，表土層溫度皆維持在 23~36°C 間，對於室內表土面下 20 公分處之土溫則在 19~33°C 左右。再以 PVC 浪板模組而言，當室內環境溫度在 22°C~42°C 時，表土層溫度皆維持在 20~38°C 間，對於室內表土面下 20 公分處之土溫則維持在 19~37°C 左右。故對淺根性蔬菜、水果及植物較受影響，需加被覆設施防土溫過高，對深根性物種影響較小；但對於畜養動物的影響則較小。

(二)、建議：

對於本研究之後續相關研究，以及實際運用在實體構造物中，提出以下幾點建議：

1. 本研究因模擬室外溫熱環境，在實驗操作上均偏向穩定無干擾狀態，建議以較佳模組，進行室外溫室實體的環境實驗，以得到更精確的溫控資訊，作為日後採用本設施之依據。
2. 為了減低溫室因加入本設施後造成室內透光率不足的困擾，在網材安裝設計上考慮以捲軸方式收放，以配合室外日射強度做調整因應，使室內對象生物生長能得一更穩定光熱環境。且日後使用加濕系統如噴霧或網材加濕等設施，在系統配置上可考慮以循環水系統或將以回收水做澆灌再利用等用途，以達節省水資源之目標。
3. 本實驗利用雙層被覆構材之空氣層內做隔熱降溫研究，目前所採用的設施僅為網材與噴嘴兩種設施，建議可再尋求更多隔熱性、透光性及低成本設施來繼續研究，以取得最佳的隔熱降溫模組，改善目前溫室利用上的不適應。
4. 由於台灣地區雙層被覆溫室主要問題為夏季隔熱能力，因此本文僅探討夏季隔熱能力設計，並未針對寒冬季節的保溫效果測試。未來可持續探討在冬季或不同地域、海拔高度等實際需求，使溫室內生物不易受低溫環境危害；甚可設計將空氣層內熱氣收集導引入室內，以提昇設施在冬季保溫利用的效果及實用性。

參考文獻

方煒(2000)，國立台灣大學網路非同步教學課程。

<http://ecaaser5.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/hort/chap01.htm>

山田雅士(1992)，建築絕熱。台北市：台北斯坦。ISBN：957-9112-09-6。

吳文希、吳中興(1992)，雙層塑膠溫室對番茄培育及病害發生之效應，台大農學院研究報告 32(3):179-193。

吳世雄、王鼎盛(1989)，畜舍構造諸因子對舍內輻射熱量之要因分析，國立台灣大學農業工程學研究所，碩士論文。

- 李岍(1987), 溫室之栽培管理技術, 設施園藝研討會專集, 台灣省農業試驗所及中國園藝學會, 143-152 頁。
- 陳加忠(1993), 塑膠布溫室栽培自動化技術手冊, 財團法人農業機械化研究發展中心, 41-55 頁。
- 陳加忠、賴建洲、陳志昇、黃照明(1992), 溫室環境模式之研究 I. 數學模式分析, 中華農業研究 41(1):79-89。
- 馮丁樹、方煒(1986), 個人電腦應用之三一空氣線圖之電腦模擬, 中國農業工程學報 32(2):49-63。
- 方煒(1994), 水牆設計與使用, 農業機械學刊, 3(4):57-70。
- 方煒(1995), 溫室蒸發冷卻系統降溫效果量化指標之建立, 農業機械學刊, 4(2):15-25。
- 邱昆弘(1999), 熱環控中蒸發冷卻替代水牆材質之性能特徵, 國立台灣大學農業工程研究所, 碩士論文。
- 邱繼哲(2002), 建築物及生物成長設施之誘導式通風冷卻設計研究: 以雙層外殼內置流動空氣構造為例, 國立台灣大學生物環境系統工程學研究所, 碩士論文。
- 侯文祥(1994), PVC 被覆材料之光學特性測定, 中國園藝, 40(1):71-85。
- 游竣博(2002), 低光量需求生物生產用隧道式雙層軟質被覆設施之熱環境設計研究, 國立台灣大學生物環境系統工程學研究所, 碩士論文。
- 羅富杰(1999), 台灣地區蒸發式降溫水牆之測試評估及開發, 國立台灣大學農業工程研究所, 碩士論文。
- 王鼎盛 主編 (1988), 設施園藝設計手冊。台灣大學農業工程學系農業設施研究室。
- 江哲銘 (1997), 建築物理。台北市: 三民書局。ISBN: 957-14-2400-5。
- 周鼎金 (1997), 雙重外壁與光棚。建築師, No7: 51~55。
- 陳伯宏 (2001), 台灣地區畜舍屋頂構法應用空氣層隔熱效果研究。國立台灣大學農業工程學研究所, 碩士論文。
- 楊秉純、簡國祥 (2000)。環境計畫與管理—建築外殼性能檢測分析 (一)。八十九年度建築研究計畫聯合研討會,
- Google 搜尋網站, <http://www.google.com>。
- B. Von Elsner ; D. Briassonlis ; D. Waaijenberg ; A. Mistrionus ; Chr. von Zabeltitz ; J. Gratraud ; G. Russo ; R. Suay Cortes (2000), Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouse in European Union Countries, Part II : Typical Designs. Journal of Agricultural Engineering Research, 75 : 111-126.
- Yates, D. J. (1989), Shade factors of a range of shade cloth materials. Acta Horticulturae, 257 : 201-217.
- Ferare, J. and K. L. Goldsberry (1984), Environmental conditions created by plastic greenhouse covers. Acta Horticulturae 148:675-682.
- Flaherty, T. O. and M. J. Maher (1980), Fuel consumption and crop performance in double-covered polythene greenhouses. Acta Horticulturae 107:81-85.
- Incropera F. P. and D. P. De Witt (1996), Fundamentals of heat and mass transfer, 4th ed., John Wiley & Sons, New York.
- Steinbuch, F. and J. Van De Vooren (1984), Production and quality of cutflowers

and potplants grown in greenhouses covered with energy saving double layer materials. *Acta Horticulturae* 148:555-560.

Albright, L. D. (1990). *Environment control for animals and plants*. American Society of Agricultural Engineers. ISBN : 0-929355-08-3.

Incropera, F. P., Dewitt, D. P. (1996). *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN : 0-471-30460-3.

John, A. D., William, A. B. (1980). *Solar engineer of thermal processes*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN : 0-471-05066-0.

Tanaka, H. X. (1997) Thermal characteristics of a hoop structure for swine production. *American Society of Agricultural Engineers*. 40 (4) : 1171-1177.

Omsolar 協會, <http://www.omsolar.co.jp/>, (2000.12. 瀏覽參考)

日本施設園藝協會(2001), *施設園藝ハンドブック*, 日本: 園藝情報センター。