

設施環控管理及高壓噴霧降溫系統.....吳柏青

- 一、設施環控管理
- 二、高壓噴霧降溫系統
- 三、參考文獻
- 四、附錄 I
- 五、附錄 II
- 六、附錄 III
- 七、附錄 IV

# 設施環控管理及高壓噴霧降溫系統

吳柏青

生物機電學系教授

---

行政院農業委員會經費補助  
中華民國九十三年十二月出版

---

## 壹、設施環控管理

台灣地處亞熱帶，耕地資源有限，且氣候環境變化很大，春季梅雨季節，降雨量集中；夏季高溫高濕，颱風侵襲頻繁；冬季則有寒流侵襲，因此園藝作物之生產及品質較易受自然因素影響而不穩定。園藝設施利用生產技術及栽培設施來克服傳統露地栽培之不良環境因素，提供作物適宜之栽培及生產環境，以提升作物生產品質。園藝設施為一技術與資本密集的現代化農業經營方式，結合農業生產技術與工業科技為一體，以最經濟的成本投入，提供作物最適宜之生長環境，以達到提高產量，改善品質、調節產期、增加單位面積產值之目的。

設施環控技術雖然已廣泛應用世界各地，但設施栽培之成敗關鍵在於經濟效益之評估，且需充份瞭解其因地制宜的特性。沒有任何一套栽培設施之結構、資材、環控設備及策略是可以不擇地皆可用的。歐美之栽培設施以保溫為主，但面對台灣複雜多變之氣候環境，栽培設施必須具有降溫及保溫功能，且須考量防颱、防震等之結構設計。此外，設施栽培所需之自動化設備雖可解決勞力問題，但不是解決問題之萬靈丹，應先考慮其經濟效益。

### **設施座落地點及配置**

一般栽培設施座落地點之選擇應考慮 1.地形開闊；2.地形平坦；3.避風向陽；4.土質良好；5.水源便利；6.排水良好。設施之座落方向依緯度而異，由於台灣位於北緯 21~25°之間，設施之座落方向為南北走向時週年光線透入設施比東北走向者為多。但實務上設施之座落方向仍應考量地形及風向，且設施結構中之支柱、橫樑..等亦會影響光線透入設施之多寡。此外，東西走向設施在地面上受到結構上樑柱支架等遮蔽而產生之陰影將整日維持在固定位置，而南北走向設施之陰影則可隨時間而改變位置。

設施之配置依栽培作物及基地而異，區分單棟及連棟兩種，亦有數棟設施以工作房或走道相連者。單棟者其之採光較佳，通風及環境控制較容易，但對土地利用較不經濟；連棟者之土地及能源利用率最高。為配合栽培設施整體規劃及因應未來發展，設施、工作房及作業動線等應一併納入規劃。

### **設施類型**

栽培設施之類型多樣，但選擇適當之設施應同時考量氣候、地形、栽培時間、作物種類及經濟條件。依據設施之結構形狀可分為：

1. 簡易圓頂型 (圖 1~2)：鍍鋅鋼管 (鋁管)結構；分有側壁式及無側壁式
2. 連棟式拱架型 (圖 3)
3. 不規則 (鋸齒) 型 (圖 4)
4. 寬跨距 (Wide-Span) 或山型 (圖 5)

## 5. 威諾 (Venlo) 型 (圖 6~7)

然而，為因應特定地區之地形及氣候特性、資材之成本及取得，栽培設施類型及結構亦會稍做修改以符合實際需求。例如在簡易圓頂型及山型設施頂部假設太子樓式天窗，可排除設施內部累積熱。

### **被覆資材 (Glazing or Cladding Material)**

被覆資材之選擇為設施規劃的要項之一，但園藝設施所採用之被覆資材種類甚多，依其用途、價格、透光性、機械強度 (抗風性) 及使用年限而異 (表 1)。傳統上使用之木竹材料雖然成本低廉，且施工容易，但因其耐久性較差而逐漸被其他材料所取代。目前被覆資材主要可分為玻璃及塑膠製品兩大類。

玻璃材料之密度高 (比重約 2.5)，質地堅硬光滑，透光性良好，其全光線透過率約 90%，長波光吸收率約 0.95，紫外線容易通過。玻璃在直角方向之耐衝擊力較弱，但其防塵性、保濕性、耐酸鹼性、耐候性等皆優於塑膠製品，因此在使用過程中沒有老化或黃化的問題，且透光性可常保如新，使用壽命較長。然而，玻璃價格較高，雖然抗風強度較高，但在颱風侵襲時，易因外物吹襲破壞，且破碎後分散於室內作物群落間，不易處理。此外，使用玻璃被覆資材容易產生溫室效應，必須配合降溫設備使用以避免設施內部熱累積問題。

塑膠製品依材質可區分為軟質及硬質兩種，依材料種類則可區分為：

1. 軟質 PE (聚乙烯, Polyethylene) 膜
2. 軟質 EVA (乙烯-醋酸乙烯酯共聚合物, Ethylene Vinyl Acetate Copolymer) 膜
3. 軟質 PVC (聚氯乙烯, Plasticized Polyvinyl Chloride) 膜
4. 硬質 PET (聚酯, Polyethylene Terephthalate) 膜
5. 硬質 PVC (氯聚乙烯, Polyvinyl Chloride) 板
6. 硬質 PC (聚碳酸酯, Polycarbonate) 板
7. 硬質 PMMA (壓克力, Polymethylmethacrylate) 板

8.硬質 FRA (玻璃纖維強化壓克力，Glass Fiber Reinforced Acrylic) 板

9.硬質 FRP (玻璃纖維強化聚酯，Glass Fiber Reinforced Plastic) 板

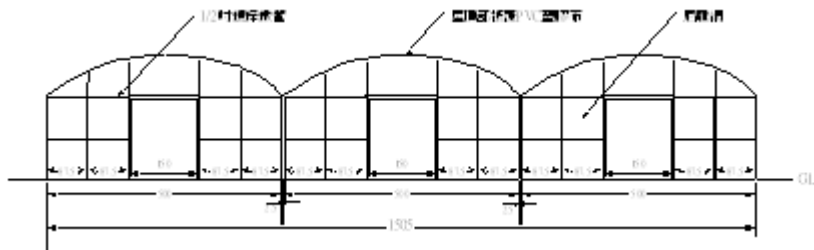


圖 1. 1/2 吋鍍鋅鐵管簡易設施

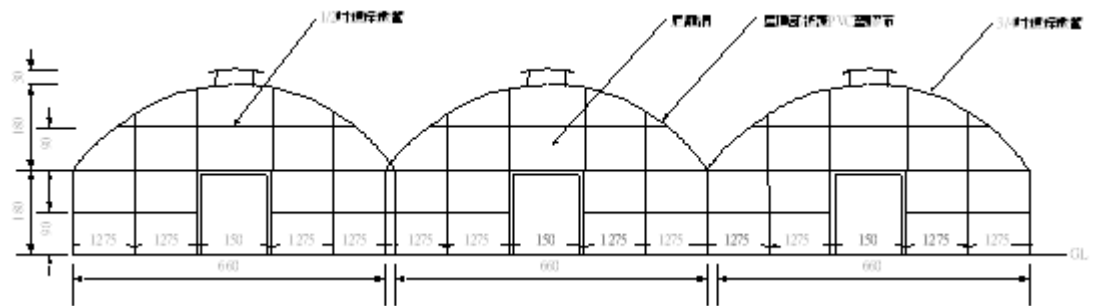


圖 2. 3/4 吋鍍鋅鐵管太子樓型式簡易設施

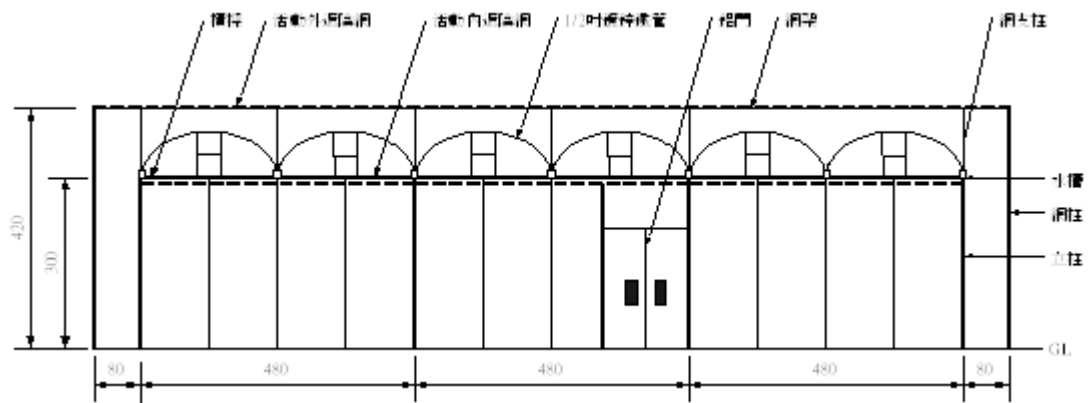


圖 3. 連棟式拱架設施

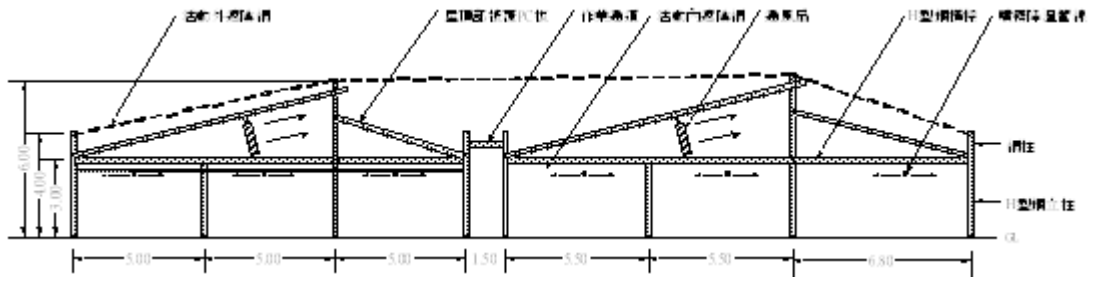


圖 4. 不規則 (鋸齒) 型設施

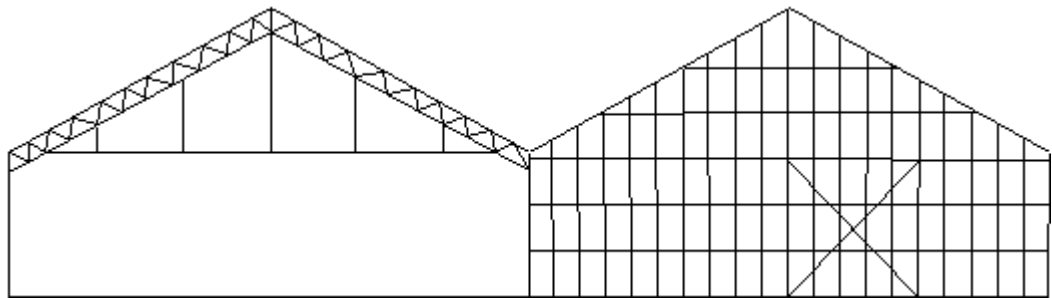


圖 5. 寬跨距 (Wide-Span) 型溫室結構設施

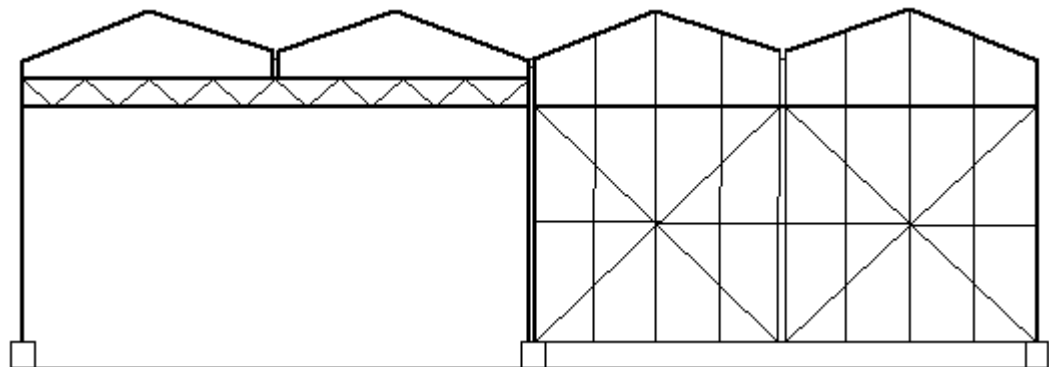


圖 6. 威諾 (Venlo) 型溫室結構設施



圖 7. 威諾 (Venlo) 型玻璃溫室 (金車生物科技公司)

表 1 被覆資材種類及特性

種類	優點	缺點	光穿透度 (%)	使用年限
玻璃	透明、穿透性佳、抗熱、熱膨脹係數小、抗紫外線、抗磨損	現場組裝不易、不耐衝擊、價格高、質量重	71~92	> 25
聚乙烯膜	價廉、安裝容易、大面積薄膜	使用年限短、使用溫度低	< 85	2~3
聚氯乙烯膜	價廉、安裝容易、大面積薄膜、透光性佳	易髒	90	> 2
壓克力板	穿透性優良、抗紫外線、抗風	容易刮傷、熱膨脹係數大、用	83~93	> 20

	蝕、質量輕、現場組裝容易	久變脆、成本較高、工作溫度較低、可燃材質		
聚碳酸酯板	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	價格低、強度高、組裝容易	抗紫外線差、抗塵性差、容易黃化	60~88	7~15

參考資料：Aldrich, R.A. and J.W. Bartok. 1994. Greenhouse Engineering. University of Connecticut, Storrs, CT.

塑膠製品在於製作加工過程中添加增塑劑、防霧劑、紅外線 (IR) 阻隔層、紫外線 (UV) 阻隔層、光選擇性膜或漫反射膜等，可有效改善其機械強度、表面物性、抗老化及透光性等，延長使用壽命。

軟質塑膠製品以聚乙烯 PE 膜及聚氯乙烯 PVC 膜為主，此類被覆資材透明、質輕，且對設施結構要求較低，初期建造費用較低，適合一般低價、短期栽培作物使用。然而，此類被覆資材易因紫外線破壞，而使透光性及機械強度逐漸劣變，使用壽命短為其主要缺點。但因其價格低廉，且修補容易，故不會降低其實用性，軟性塑膠膜被覆資材之優缺點詳列於表 2。一般聚氯乙烯 PVC 膜之使用壽命較聚乙烯 PE 膜為長，保溫性較佳，但其價格較高，且因易產生靜電吸附油塵、易長青苔，不僅減少透光性，且不易洗滌。此外，聚氯乙烯 PVC 膜廢棄物所造成之污染較為嚴重，燃燒時容易造成空氣污染。

表 2 採用軟性塑膠膜被覆資材之優缺點

優點	缺點
1. 結構較為簡單，容易裝卸，所費人工較少。	1. 抗風性差。 2. 耐久性差，強度及透光性逐年降

2. 成本較低，容易維護。	低，每兩至三年必須加以更換一次。
3. 可製成任意型狀及長度，適應各種規格及用途。	3. 容易沾塵，但不易清洗，因而降低透光率。
4. 可採用雙層結構，以提高絕熱性或保溫性。	4. 更換後之塑膠廢料處理容易造成環境污染的問題，尤以聚氯乙烯膜最為嚴重。

近數年來台灣蝴蝶蘭生產設施大多採用聚碳酸脂 PC 板被覆資材，其質硬且輕、抗風性佳，易於清洗維護。玻璃纖維強化聚酯 FRP 板易因灰塵摩擦及化學劣變，而造成表面龜裂或產生斑點，吸附灰塵與寄生藻類後呈黑褐色，透光率大幅降低。聚氯乙稀 PVC 板在使用 1~2 年後呈黃黑色，質地變脆，已漸不被採用。

### 降溫設備

台灣地處亞熱帶，依據六大都市全年最高溫超出 30°C 的日數，以基隆最少 98 天，台南最多 189 天，尤其在夏季日射量特別大，造成室溫增加及植株蒸散旺盛等現象，不利作物生長，因此降溫設備為台灣栽培設施之特色及環控重點，期能使設施維持週年運轉使用。為能達到設施降溫之目的，可由結構設計、減少熱量進入、選擇被覆資材、增加內外空氣交換量、使用蒸發冷卻等風面著手。

考量在設施結構設計上，以減少熱量進入栽培設施，可採取下列方法：

- 一、較高的建築：設施高度建議採三米半或更高，以提供自然通風之效果。
- 二、允許上升之熱氣流排出：可採用太子樓式、側翼開啓式或不規則型屋頂，並可在開口下方處加裝排風扇以加強換氣。
- 三、採用開放或半開放式設施：配合設施之地形及風向，利用自然通風方式降溫。
- 四、屋頂灑水或噴霧：將水直接噴灑於設施屋頂，靠水份蒸發帶走潛熱，以降低屋頂溫度，唯應注意水質及未蒸發水之回收利用。
- 五、使用外遮陰：使用外遮陰網可直接減少進入設施的日射量，為最經濟、有效



之降溫方法。遮陰網距屋頂應至少有 20cm 之距離以允許空氣流通。外遮陰必須考慮抗風問題，因此應具有手動或電動收起功能，以防止強風時吹壞。

六、使用內遮陰：可移動式內遮陰網雖無法降低進入設施內之日射量，但可減少直射設施內地面之日射量。在內遮陰網上方至屋頂間所形成之三角型空間，其所蓄積之熱量應以排風扇排出。內遮陰網同時具有蓄熱保溫之功能，若設施高度足夠，可考慮安裝多層內遮陰網，由於各層遮陰網具不同之遮光能力，可增加遮光控制之彈性，使入射至設施內日射量達屋外日射量之 10~90%。

七、使用側遮陰：側遮陰系統可有伸出式或捲揚式兩種，兩式皆可在強日照時遮蔽強光。但就降溫之目的而言，伸出式優於捲揚式。由於伸出式屬屋簷之延伸，捲揚式則在捲下遮陰時會減少入風口面積而影響通風。捲揚式之優點在於不佔面積、價廉，亦可在低溫或強風時提供保溫與擋風之功能。

八、使用遮陰用塗料：遮陰用塗料可塗抹或噴灑於設施被覆資材之上，穿透量的多寡視塗料噴灑的厚度而定，但其降溫效果不如外部遮陰。大部份之塗料在夏季過後即自然剝落，少部份則需使用肥皂及刷子來清洗。

遮陰網質輕、柔軟，遮光率為 40~95%，其通氣性、耐候性及強度均優。但使用遮陰網或遮陰用塗料時，仍應考量設施栽培作物對光之需求，選擇適當之遮光率，以免造成生理障礙。

加強內外空氣交換量亦可有效達到降溫目的，適用於開放式或密閉型設施。依設施內外空氣交換之動力，可區分為自然通風與強制通風兩種，表 3 為採用自然通風或強制通風之栽培設施之比較。

一、自然通風：自然通風為設施內外環境條件之差異而產生空氣的交換，其中有因空氣密度差（溫度差）而產生之重力換氣及因外風產生之風力換氣。利用自然通風雖可疏解熱累積，但台灣夏季氣溫高達 35℃，即使利用自然通風，設施內部溫度仍高於外界溫度約 5-20℃。因此在外界氣溫高於 30℃ 之季節，僅利用自然通風對設施環控降溫仍顯不足，則須採用機械強制通風。

二、強制通風：強制通風又稱機械通風，是採用通風機械將設施內熱空氣強制排

出，由於壓差而將大氣吸入而達到通風效果。密閉型設施若能維持每分鐘設施等體積之空氣交換速率，則可保持室內溫度僅比室外高出約 5~8°C。；開放型設施之降溫極限則相同於外界溫度。台灣地區之高溫期長達八個月，即使設施內部溫度降至與外界溫度相同，對栽培作物而言，其溫度仍然偏高。

三、內部空氣循環：此法雖不具降溫功能，但可使設施內部之溫、濕度、二氧化碳濃度等達到均勻分佈之效果。內循環作業應考量所需通風量，以決定風扇數目、安裝位置及安裝角度。

表 3 採用自然通風或強制通風之栽培設施之比較

自然通風方式	強制通風方式
1. 小型設施，側窗與天窗開口面積較大者。	1. 高溫期通風不良，側窗與天窗開口面積較小之設施。
2. 連棟設施，屋頂能大幅打開者。	2. 天窗結構不佳或位處強風區天窗頻受風吹破壞之設施。
3. 跨距在 15 m 以下之單棟塑膠布設施，其側壁能全開者。	3. 跨距在 15 m 以上，側窗與天窗功能無法充份發揮之設施。
4. 盛夏時休耕的設施。	4. 希望能保持通風及低濕之設施。
	5. 夏季以蒸發冷卻法降溫之設施。

使用蒸發冷卻法為進一級之降溫方式，利用水霧蒸發帶走蒸發潛熱以降低空氣之顯熱，而達到降溫之效果。一公斤水蒸發所吸收之潛熱 (2,430.5 kJ at 30°C) 相當於七公斤冰融化所吸收之熱量。利用蒸發冷卻原理之降溫方法有：風機濕簾 (水牆) 法 (Fan and Pad)、風機水霧法 (Fan and Mist)、風機微霧法 (Fan and Fog) 及作物噴霧法。前二法之降溫極限為外界空氣之濕球溫度，後二法之降溫極限則為設施內部空氣之初始濕球溫度。

## 一、風機濕簾 (水牆) 法 (圖 8)

台灣目前精密栽培設施皆採用風機濕簾法，此降溫系統必須維持設施之氣密性，使進入設施之空氣全都經由濕簾 (水牆) 方能發揮其蒸發冷卻效果，其蒸發冷卻效率約 75~85%。當風量過大或風速過高時，將減少空氣與溼簾之接觸時間，而降低蒸發冷卻效率。此外，水簾之通氣阻抗較大，需要較大容量之通風扇。因此規劃設計時應考量風扇數目、水牆規格及尺寸、供水量與安裝技術。

## 二、風機水霧法

為克服水簾所造成之通氣阻抗問題，設置水霧室，將粒徑約為 0.1 mm 之水霧噴於空氣流中，而達到蒸發冷卻效果。為防止多餘水霧流入設施內，需設置分離器。由於水霧之霧粒較大，蒸發冷卻效果較差，僅約 50%水份能有效蒸發，而未蒸發之水霧若飄落於植株上，易導致病變。為改善此問題，增加空氣與水霧之接觸時間，而採用噴水夾板牆法，將噴嘴安裝於兩夾層間，吸入空氣後使流經兩夾層以達到蒸發冷卻效果。由於風機濕簾法與風機水霧法之水牆及水霧產生設備皆安裝於栽培設施之一側，因此在設施內部易形成溫度及濕度梯度。

## 三、風機微霧法 (圖 9)

風機微霧法又稱噴霧法，此法可有效解決設施內部溫度及濕度梯度問題，蒸發冷卻降溫效果較佳且均勻。微霧之粒徑在 50 $\mu\text{m}$  以下，因此霧粒噴出後呈現懸浮的狀態。一般微霧之產生是採用高壓幫浦 (作業壓力  $> 50 \text{ kg/cm}^2$ )，其管路材質及噴頭皆需能承受高壓。微霧之粒徑因噴頭種類及作業壓力而異，而粒徑大小亦會影響蒸發冷卻效果。針對不同之設施栽培作物及環境，應慎重選擇適當之噴嘴種類及作業壓力。此外，亦可採用超音波振盪或旋轉離心方式產生微霧。

風機微霧型降溫系統若能在噴霧後配合通風扇運轉，其降溫極限可達外界空氣之濕球溫度。噴霧時間與噴頭數目及配置可控制系統之噴水量及均勻度，而噴水量多寡會影響蒸發冷卻效果。但是當噴水量過多時，會導致設施內部濕度過

高，而影響栽培作物生理。風機微霧系統對水質之要求較高，應加裝過濾設備或軟水裝置，否則易造成噴頭阻塞。

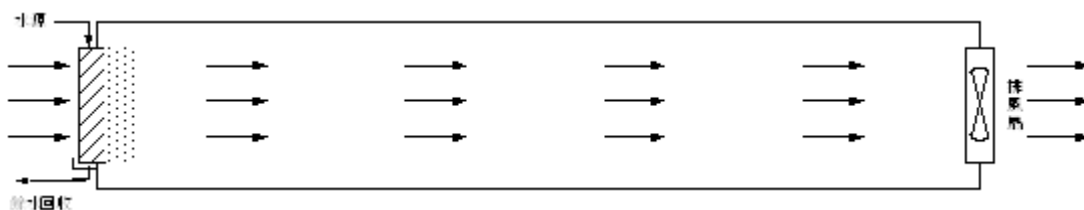


圖 8. 風機濕簾 (水牆) 法 (Fan and Pad) 降溫設備

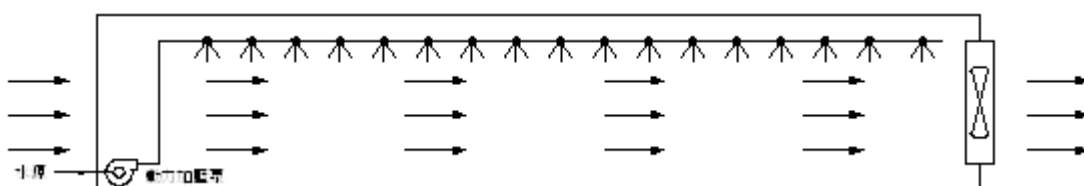


圖 9. 風機微霧法 (Fan and Fog) 降溫設備

#### 四、作物噴霧法

將水霧直接噴於設施內植株表面，以表面水蒸發來降低植株溫度，但此法易造成設施內部溼度過高問題。

其它降溫方法分述如下：

一、冷熱水根溫調節系統：由於大空間之設施降溫需耗費較多能源，而增加環控成本，且有溫度分佈不均及溫控時間延遲等缺點。在設施內植床上架設冷熱水根溫調節系統，配合冰水機或熱水機組作業，將種苗根部及附近小區域之溫度迅速降溫或升溫至設定溫度。

二、冷凍循環法：使用蒸汽壓縮式冷氣機是最有效之降溫方法，但其耗電量甚高，除非符合經濟效益，否則一般不予考慮。目前僅有蝴蝶蘭冷房催花設備採用冷凍機，在夏季時維持冷房溫度在 20~23℃。若有價廉之熱源 (例如：廢熱、蒸氣、瓦斯、燃料油、地熱、太陽能..等) 可以利用，則可採用吸收式冷凍系統，此類系統深

具發展潛力。

三、熱儲蓄法：本法使用相變材料 (PCM - Phase Change Materials) 來調節設施內的溫度。

四、乾燥除濕法：此法是利用液體或固體 (吸附) 除濕裝置將設施外氣之濕度降低，產生的高溫、低濕之空氣經熱交換器及壓縮機降至低溫，而後送入設施內與空氣混合，利用設施內水份蒸發所帶走之潛熱而達到降溫之效果。

### **加溫設備**

台灣雖地處亞熱帶，但因冬季常有寒流侵襲，尤以北部地區或山區之栽培設施為甚，而低溫會對某些作物造成生長遲滯，甚或凍死。除應加強設施保溫外，採用加溫設備以提高設施內部溫度，如此可避免低溫所造成之生理障礙，並可縮短作物栽培時間，提高設施利用率，或進行花期調節。加溫設備依熱源可區分為：熱風加溫、熱水加溫、蒸汽加溫、電熱加溫及熱力幫浦 (Heat Pump) 加溫。台灣目前栽培設施大多採用熱風加溫 (圖 10)，以間接加熱方式 (熱交換器) 將設施內部空氣循環加熱。

加溫設備之規劃應考量設施種類、面積及栽培溫度，依此計算所需加溫機之能量、數目及風管配置等作業條件。有孔之塑膠薄膜圓管廣泛使用於通風、冷房或加溫系統，可懸掛於設施屋頂下方或置於植床下方，將冷、熱空氣均勻地輸送至設施內各角落，藉以改善設施內部空氣之流動及溫度分佈。設施內部溫度分佈之均勻度必須考量風速、圓管之配置、直徑、長度、孔徑、孔數及開孔密度，而開孔位置亦十分重要，一般分佈在懸吊圓管斷面之 4 點及 8 點鐘方位。

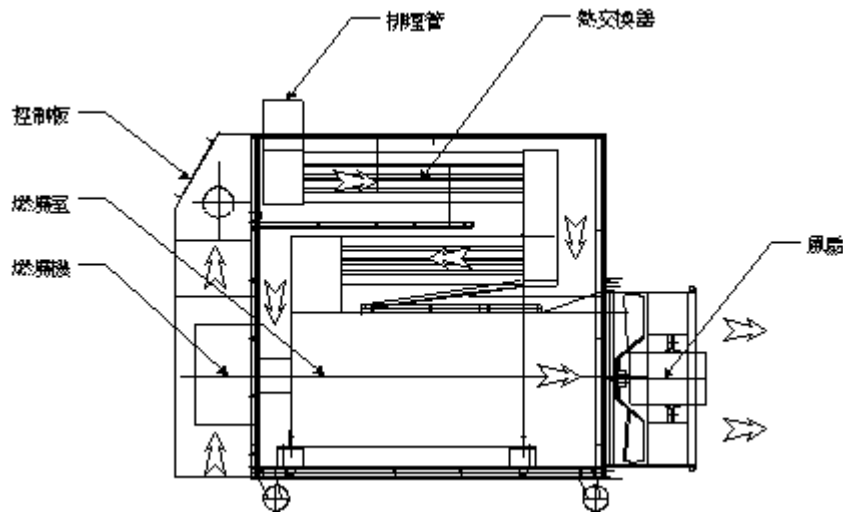


圖 10. 燃油式熱風加溫機 (三升農機科技股份有限公司)

### 環境控制系統

設施環控系統之種類繁多，但都必須包括感測器、控制器及驅動器等三元件，方能完成量測、運算及執行操作之步驟。控制參數則包括設施內部之溫度、相對濕度、光照、二氧化碳濃度等環境因子。

設施環控使用之主要感測器包括：溫度、相對濕度、光照 (幅射)，而為配合栽培環境管理需求之感測器包括：二氧化碳濃度、水質、水量、溶氧量、介質之酸鹼值 pH 值及電導度 EC 值。感測器之選擇應考量其量測範圍及感度、靈敏度閾值及測量準確度、精確度、線性度、反應時間及遲滯性、穩定性及動態特性。由於栽培設施內部之高溫高濕環境會影響感測器量測準確度及使用壽命，因此應慎重考慮其耐候性及成本。

控制器是環控系統之核心，依據感測器量測所得之訊號、目標環境參數及控制策略進行運算，再將特定訊號傳送至驅動器。環境控制設備及策略之選擇應優先考量設施規模、作物栽培需求、設置成本、操作難易度及後續維修等問題。

控制策略 (或稱控制邏輯) 是設施環控系統之中樞神經，基本上可分為「回授式」及「前授式」。傳統回授式控制策略是利用其最近動作所量測之結果決定下一個回應值；前授式控制策略則依據設施環境模式及設施外部環境變化運算設施內部環境未來可能之變化，再依此變化量調整驅動器或控制設備以預先執行環

境控制，但目前較少應用此類控制策略於設施環控。一般設施環境控制策略可區分為開閉控制 (On-Off Control)、比例式控制 (P Control)、比例積分微分控制 (PID Control)、多段控制、微處理機控制、專用型電腦控制、整合型電腦系統控制。

## 貳、高壓噴霧降溫系統

為減少氣象環境對作物栽培之影響，國內利用設施栽培之面積正逐年增加，但因台灣位處亞熱帶地區，夏日強日照量造成溫室內嚴重的熱累積問題，且高溫期長達八個月之久，以致於降溫成爲夏季設施栽培最迫切解決之問題。一般溫室之降溫方法有遮蔭、通風、蒸發冷卻與冷凍空調機械等四種。遮蔭方法係利用各種遮光材料以降低進入栽培設施之日照量，但仍必須配合其他降溫作業方能有效地疏解熱累積量。利用通風降溫之效果，不論自然通風或機械通風，其降溫之極限與大氣溫度相同。以冷凍空調機械設備降溫雖然可以有效地降低栽培設施內部溫度，但因其設備投資過於昂貴，且運作維護成本高，較適合使用於高級或附加價值高之作物。在兼顧作物栽培需要與作業成本之雙重要求下，蒸發冷卻技術可使栽培設施內部溫度低於大氣溫度，爲一值得採用之降溫技術。

國內利用蒸發冷卻之降溫設備主要以水簾型水牆與溫室內部固定式噴霧爲主。利用固定式噴頭噴霧，再配合適當之通風作業，可使栽培設施內部之溫度低於大氣溫度 3~5°C。一般玻璃溫室則利用水牆降溫，因其良好的氣密性可使內部溫度低於外界溫度 5~7°C，其降溫能力優於細霧法。由於水牆之構造係利用溫室一側安裝蜂巢式吸水材料，使流水由上方流下，而溫室另一端則裝置風扇，藉由風扇產生之負壓力使外界空氣通過水牆進入溫室內部。當高溫低溼之外界空氣以絕熱方式吸收水氣，藉由水氣吸收之蒸發潛熱而使成爲低溫高溼、適合作物生長之空氣。

目前國內使用水牆之主要問題如下：在停止使用水牆時 (如傍晚) 因大氣環境多爲高溼，所以水牆內吸水物質所含水份不易蒸發，以致於易長苔長菌，不僅造成水牆孔隙阻塞，也容易使內部栽培作物感染。若將水牆改以噴頭直接向下噴霧，由於空氣與水珠接觸時間較短，其蒸發冷卻效率較低，而影響其降溫能力。此外，水牆之應用易造成降溫梯度現象，通常在溫室兩側之溫差高於 3-4°C，會影響作物生長之整齊性。

噴霧降溫應用於精密溫室之研究相當多。van Bavel 等人 (1981) 曾描述六種降溫方法，並模擬計算其降溫效果。Montero 等人 (1981) 則測試水牆 (Pad and fan)，噴霧系統 (Misting and fan) 與細霧系統 (Fogging and fan) 的降溫效果，結果顯示水牆系統之性能最為穩定。半開放式栽培設施為國內除精密溫室外較常採用之栽培設施，其特點為價格低、維護容易，但較不易進行精密環境控制，且因設施氣密性差，無法採用水牆降溫方式。然而，大部份噴霧降溫系統之研究皆著重在精密型溫室之應用。因此半開放式栽培設施噴霧降溫系統有待進一步研究、改進及推廣。

## 基本作業原理

### 蒸發冷卻 (Evaporative Cooling)

一公斤水蒸發所吸收之潛熱 (2,430.5 kJ at 30°C) 相當於七公斤冰融化所吸收之熱量。利用蒸發冷卻原理之降溫方法有：風機濕簾法 (Fan and Pad)、風機水霧法 (Fan and Mist) 及風機細霧法 (Fan and Fog)。前二法之降溫極限為外界空氣之濕球溫度，後者之降溫極限則為設施內部空氣之初始濕球溫度。

因風機濕簾法及風機水霧法兩法之空氣是由外部抽入室內，而在排出外界途中蒸發吸熱，越接近抽風扇處因蒸發冷卻效率較低，易產生空氣流入口與排出口之溫度梯度現象。利用風機細霧冷卻則可避免上述之缺點，此法係利用換氣扇將外界空氣抽入設施內，並在設施內之空氣流中直接噴灑 50  $\mu$  以下的水霧，藉由水霧之蒸發吸熱而達到設施內部冷卻之效果，此法氣流之阻抗較低，風扇之能源消耗較小。此外，因水霧可均勻噴灑至設施內部，所以可有效避免設施內部溫度梯度之發生。然而，應依據設施內部之溫度及相對濕度控制噴霧量，否則易造成設施內過濕現象。

### 水霧粒徑與沉降速度

依據 Stokes Law、Allen's Law 及 Newton's Law 計算粒徑 100  $\mu$ 、50  $\mu$ 、10  $\mu$  水珠之沉降速度 (終端速度, Terminal Velocity) 分別為 0.2 m/sec、0.10 m/sec、0.02



m/sec。水霧粒之沉降速度隨粒徑增加而增加。因此在無風狀態下，假設噴頭高度為 2 米，則  $50\ \mu$  之水霧僅需要 20 秒即飄落至地面。因此需要在落地前完全蒸發，否則易造成栽培設施內部過濕，衍生其他栽培管理及病害問題。然而，實際上水霧粒之蒸發冷卻過程實際上是動態的，當水霧粒自高壓噴頭噴出後，其沉降過程中因水霧粒表面與週邊空氣之水蒸氣壓差而逐漸蒸發，水霧粒粒徑亦逐漸變小。當其沉降速度與設施內部之氣流達到平衡狀態時，則會產生浮游現象。

## 系統簡介及配置

### 動力噴霧機

由於噴霧降溫作業所需壓力約在  $75\ \text{kg/cm}^2$  ( $50\sim 120\ \text{kg/cm}^2$ ) 左右，因此一般農用動力噴霧機並不適用（其壓力範圍在  $15\sim 50\ \text{kg/cm}^2$ ），目前系統所採用之 2 Hp 或 5 Hp 高壓噴霧機，分別使用 220V、單相或三相用電。由於高壓噴霧機及噴頭之工作壓力高，對於水質之要求較高，宜在高壓噴霧機之前加裝過濾器，以避免阻塞及機組磨耗。

噴霧降溫系統之壓力、噴頭種類、管路配置皆會影響水霧粒徑大小及噴霧量。一般而言，噴霧量（亦即流量）與壓力之平方根成正比。粒徑細小除可延長懸浮時間外，且較易蒸發汽化，其較能達到噴霧降溫效果。為產生較微細之水霧粒，噴霧系統需要較高之作業壓力，水霧粒徑隨壓力增加而降低。

### 高壓噴頭

高壓噴頭體積雖小，但扮演極重要之角色，因此必須慎選高壓噴頭之型式。一般高壓噴頭之配置間隔距離為 1 米，以左右交錯側噴方式排列安裝。噴頭之安裝角度非常重要，噴頭宜調整至水平仰角約  $5\sim 10^\circ$ ，以增加水霧滯空時間，使其有足夠之時間充分蒸發；噴頭若朝水平以下角度安裝，除沉降速度外再加上噴流速度，將使水霧在極短時間內飄落至地面，不僅降低噴霧降溫效果，且易造成地面甚或栽培作物潮濕。

栽培設施面積過大時，所需噴頭數目增加，因噴霧流量增加勢必影響噴霧壓力，當壓力降低時，將使水霧粒徑增加，降低噴霧降溫效率。因此當栽培設施面積過大時，而在不增加高壓噴霧機組之數量或馬力情況下，宜採分區進行噴霧作

業。以 5 Hp 高壓噴霧機為例，噴頭數目不宜超過 250 顆；而 2 Hp 高壓噴霧機，其噴頭數目則不宜超過 130 顆。假使所安裝噴頭數過多時，因總流量增加，而降低系統壓力，並使水霧粒徑增大，進而影響噴霧降溫效率。

## 高壓管路

因 PVC 管路較容易施工維護，因此被廣泛使用於一般農業灌溉，但由於 PVC 管較無法承受耐高壓，因此並不適用於高壓噴霧降溫系統。高壓尼龍管線採用之材質有尼龍管、銅管及不鏽鋼管，而其價格差異性亦高。高壓尼龍管之佈線安裝較容易，但因噴頭與管線之連接固定必須在出廠前完成，因此在佈線作業上彈性較低，必須在採購高壓尼龍管線時前，有詳細確實之佈線規劃。此外，以高壓尼龍管佈線施工時其噴頭角度較不易調整，必須以專用手工具加以調整，並配合使用鋼索及束帶加以固定。銅管及不鏽鋼管路之佈線施工較具容易，且較有彈性，但有管路洩漏問題，可配合止洩帶之使用以解決洩漏問題。銅管雖然價格較低，但較不耐高壓，若管路壓力過高時，易造成管路或接頭破裂、洩漏等問題。

一般噴霧管路安裝時，由於管內壓降問題造成管路頭尾壓力不均現象，明顯影響水霧粒徑大小及噴霧降溫效果。可加裝回流管解決壓力不均問題，可使管路頭尾壓力較均勻。此外，洩壓閥、常閉型高壓閥及洩壓電磁閥等裝置之安裝可有效解決水錘 (Water Hammer) 現象及高壓噴頭滴水..等相關問題。

因開放式栽培設施較易受外界環境影響 (例如：風向、風速、溫濕度..等)，接近迎風面之水霧易受氣流干擾而影響降溫效果，因此可調整噴霧管路之位置，使之移向迎風面位置，以增加水霧之涵蓋面增加。

噴霧降溫系統雖然可以應用於施肥及噴藥作業，但一般肥料與農藥皆具侵蝕性，在施肥及噴藥作業後應以清水徹底清洗，否則易造成管線及噴頭堵塞或鏽蝕，尤其是對銅管線之腐蝕最明顯。此外，應用於噴藥作業時，因半開放型栽培設施易受外界環境影響，藥劑易流散，所以除了人員基本防護外，應先將設施側邊塑膠布放下遮風，且在噴藥作業結束後一段時間再捲起側邊塑膠布，同時開啓風扇以避免農藥殘留於設施內而影響作業人員之健康及安全。

## 噴霧通風作業時間

噴霧及通風作業時間長短明顯影響噴霧降溫之效率，一般皆依賴作業經驗決定噴霧及通風作業時間。雖然室內溫濕度之高低會影響噴霧及通風作業時間，但可在噴霧作業時以觀察葉面水霧凝結情形，藉以決定適當之噴霧作業時間。而風扇之作業時間則以能將設施內部之濕熱空氣排出為目的。

### 邏輯控制電路

本系統採用邏輯控制電路以取代較精密、複雜之單晶片及可程式邏輯控制器 (PLC) 等控制設備，雖然單晶片及可程式邏輯控制器廣泛使用於工業生產，且可進行較複雜、多功之控制，但其價格高、維修不易 (需要專業維修人員)、較不耐農業生產之惡劣環境。邏輯控制電路則具有價廉，易維修之優點，由稍具電路控制基礎之水電維修工或農民即可進行維修及更換零件等工作。邏輯控制電路之控制決策及動作分析詳列如下：

**控制決策：**當設施內溫度超過設定溫度 (例如：28°C) 時，先啟動噴霧管路電磁閥，再延時啟動高壓幫浦以進行噴霧動作 0~10 分鐘。待完成噴霧動作後，隨即啟動風扇以進行通風動作 0~10 分鐘。當完成噴霧及通風動作後，會再等待 0~10 分鐘後，才確認設施內部溫度是否已下降。若設施內溫度低於設定溫度時，則停止噴霧降溫作業；若在噴霧降溫作業過程中，設施內溫度已低於設定溫度時，仍會完成此一循環作業；若溫度仍高於設定時，則會繼續重覆另一循環噴霧降溫作業過程。

**控制動作分析：**

1. 當電源 (S1) 接通後，電源燈 (L1) 亮，此時噴霧降溫控制系統隨即運轉。若溫度感測器 (Temperature Sensor) 測得設施內溫度低於控制器之溫度設定值 (假設為 28°C) 時，此系統不會動作；若測得設施內溫度高於溫度設定值時，則繼電器 (Re1) 會激磁，而啟動一噴霧降溫循環動作。
2. 當繼電器 (Re1) 激磁後，其 a 接點閉合，驅動電磁閥的電磁接觸器 (MC1) 激磁而自保，電磁閥燈 (L2) 亮，而在此同時計時器 (T1) 也通電開始計時。

3. 經過 (T1) 的延時設定時間後，(T1) 其延時 a 接點閉合，同時使計時器 (T2) 通電計時及驅動高壓幫浦的電磁接觸器 (MC2) 激磁，幫浦燈 (L3) 亮，高壓幫浦動作，把水加壓送入水管內，以進行噴霧作業。
4. 經過 (T2) 的延時設定時間後，(T2) 其延時 a 接點閉合使電磁接觸器 (MC2) 失磁 (L3) 燈熄 及 (T3) 開始通電計時，此時 (T3) 之瞬時 a 接點閉合，使電磁接觸 (MC3) 激磁，風扇運轉，風扇燈 (L4) 亮，把設施內部濕熱空氣排至外界，以達降溫目的。
5. 經過 (T3) 的延時設定時間後，(T3) 其延時 a 接點閉合使 (MC3) 失磁，(L4) 燈熄及繼電器 (Re2) 激磁，其 a 接閉合，使計時器 (T4) 開始通電計時。
6. 經過 (T4) 的延時設定時間後，(T4) 其延時 b 接點開啓，(MC1) 失磁，(L2) 燈熄，此控制電路為重置 (Reset) 狀態。此時感測器所測得之溫度若高於控制器之設定溫度時，則會重覆步驟 (2)(3)(4)(5)(6)；反之，若溫度低於設定值時，就會停止作業，而等待下一次高溫發生時才會啓動此噴霧降溫系統運轉。

噴霧降溫作業之動作分析請參考圖 11~13：噴霧降溫控制流程圖、時序圖、電路圖，其控制元件規格及數量請參考表 4。圖 14 為設置於宜蘭縣三星鄉「吊盆類觀葉植物栽培自動化示範中心」之半開放式栽培設施噴霧降溫系統配置圖，設施栽培面積為 1,367 m<sup>2</sup>。半開放式栽培設施為不規則屋頂、力霸型，其設施兩側僅加裝黑網，可以達到自然通風之效果。但於冬季栽培時，則於設施兩側及不規則屋頂加裝透明塑膠布以達保溫效果。噴霧降溫系統採用 5 Hp 高壓噴霧機、2 號細霧噴頭、高壓尼龍管線、洩壓閥、常閉型高壓閥及洩壓電磁閥等裝置，高壓噴頭距離 1 米，以左右交錯側噴方式排列安裝。此外，並加裝六台 54 吋、1/2 Hp 風扇配合噴霧降溫作業，其風扇角度及方向皆可調整。配合噴霧降溫作業時，可於高壓噴霧後將濕熱之空氣排至設施外，而於冬季栽培時可調整風扇角度及方向作為設施內部循環之用。

## 參、參考文獻

1. 陳加忠，陳志昇。1994。溫室細霧冷卻系統之開發與性能研究。農業工程學報 40(2):78-87。
2. 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。
3. 呂維明，戴怡德。1998。粉粒體粒徑量測技術。台北市：高立圖書有限公司。
4. 狩野武。1978。粉粒體輸送裝置。台南：復漢出版社。
5. 王鼎盛。1988。設施園藝設計手冊。台北市：台灣大學農業工程系農業設施研究室。
6. 王鼎盛。1995。設施環境及其調節 - 「設施園藝技術」。台北市：豐年社。
7. 林學正。1995。設施調節資材 - 「設施園藝技術」。台北市：豐年社。
8. van Bavel, C.H.M., E.J. sadler and J. Damagnez. 1981. Cooling greenhouse crops in a Mediterranean Summer climate. ACTA Horiticulturae 115:527-536.
9. Montero, J.L., T.H. Short, R.B. Curry and W.L. Bauerle. 1981. Influence of evaporative cooling systems on greenhouse environment. ASAE Paper No. 81-4027, East Lansing, Michigan: ASAE.

## 附錄一

### 設施內高壓噴霧降溫系統性能測定方法及暫行標準

93.05.04 農授糧字第 0931007724 號 訂

- 一、適用範圍：本標準適用於設施內高壓噴霧降溫系統。
- 二、採 樣：接受測試之測定機需由廠商提供至少三套(含)以上之商品機中隨機抽樣，不得為特製品或特選品。
- 三、調查項目：

- (一) 每 1000 平方公尺設施內之所需標準配備。
- (二) 動力源、高壓幫浦、過濾元件、洩壓閥及高壓管路之廠牌、型式、規格、總長度與管路容量，及其他標準配備之廠牌型式規格。
- (三) 高壓噴頭之廠牌、型式、規格、數量、安裝角度及安裝間距、高度。
- (四) 系統作業壓力及調壓方式，控制裝置之型式、規格與標準控制流程等。
- (五) 通風設備(風扇)之廠牌型式、規格、數量、安裝高度、位置與送風方向(含內循環風扇)。
- (六) 試區環境條件：室外溫溼度、風向、風速與日照，設施型式、尺寸規格、面積與座落方向、標的物種類及特性，並繪製系統組成機件與噴頭配置圖。

#### 四、測定項目與方法：

##### (一) 噴霧降溫性能試驗

1. 測試用設施面積需達 200 平方公尺以上。
2. 於大氣溫度 30°C 以上之晴天，量測設施外（進風口處）之乾、濕球溫度。設施需於無遮蔭情況下(畜舍除外)，將設施內平均劃分為九試區(縱向 3 區×橫向 3 區)，於每試區中心點位置高度 150 公分處，量測乾球溫度及相對濕度。系統以標準控制方式運轉十分鐘後，於設施內量測該取樣點之樣本乾球溫度及相對濕度，依此計算其平均溫度與相對濕度，以及溫度均勻度，且依其平均溫度計算噴霧降溫效果（E,蒸發冷卻效率），並記錄噴霧時管路壓力。

$$E = \frac{T_{db} - T_x}{T_{db} - T_{wb}}$$

$T_{db}$ =設施外乾球溫度，°C       $T_{wb}$ =設施外濕球溫度，°C

$T_x$ =設施內乾球溫度，°C

3. 噴霧完成後停機並開啓所有通風口等待 30 分鐘。重複進行噴霧降溫性能試驗共三次。

- (二) 連續作業試驗：該受測系統需以標稱作業壓力與標準控制方式，連續噴霧降溫作業八小時以上。

五、暫行標準：

- (一) 溫度均勻度：噴霧降溫作業後，設施內樣本溫度均需在各平均值±5% 以內。
- (二) 噴霧降溫性能試驗結束三分鐘後之設施內平均相對溼度不得高於 95%，且不得於設施結構體上有結露或滴水的現象發生。
- (三) 噴霧降溫效果（蒸發冷卻效率）須高於 50%。
- (四) 噴霧降溫作業壓力須達 70kg/cm<sup>2</sup> 以上。

連續作業試驗中，噴頭阻塞數量不得超過噴頭總數 5%，同時系統不得有異常故障，且故障排除時間不得高於總作業時間之 10% 以上。

## 附錄二

### 善化牌 SHPI-1 型設施內高壓噴霧降溫系統主要規格表

送試廠商：善化工業股份有限公司

每 1000 平方公尺所需標準配備		高壓主管路、高壓副管路、主機、噴頭、三向通入閥、洩壓閥
動力源	廠牌型式與馬力 (HP)	5 HP
	使用電壓	220 VAC
高壓幫浦	廠牌型式	邦立傑 PJ-S2307
	總排水量 (L/min)	22 L/min
	作業壓力 (kg/cm <sup>2</sup> )	70 kg/cm <sup>2</sup>
	最大壓力 (kg/cm <sup>2</sup> )	84 kg/cm <sup>2</sup>
	柱塞直徑×行程(mm)×柱塞數	20×10×3
回轉數 (r.p.m.)	1720 r.p.m	
控制	廠牌型式	SHPI-1

	標準控制流程(簡述)	設定溫度為 29°C，當溫度超過一段時間時，開始噴霧，接著開始風扇抽風，此為一次循環，假如溫度仍在 29°C 以上時，則以相同步驟，作業下去。
過 濾	廠牌型式	LYMPIA B JW-45E-1P
	過濾方式	三道式
	過濾雜質類別	鐵質、石灰質、雜質
高 壓 管	廠牌型式與材質	善化/高壓軟管 NUA (1/4" ) 複合管
	最高作業壓力 (kg/cm <sup>2</sup> )	280 kg/cm <sup>2</sup>
	管路總長度與估算容量	374.4 m (0.01186 m <sup>3</sup> )
	洩壓閥規格	3/8"
高 壓 噴	廠牌型式	自然霧 (No.3) 二段式
	噴頭孔徑 (mm)	0.3 mm
	噴頭數量	246 pcs
	安裝間距、角度、高度	1 m、45°、1.5 m
通 風 設	廠牌型式與數量	九龍灣 EM-50×4
	總風量(m <sup>3</sup> /min)	1,100 m <sup>3</sup> /min
	安裝高度(m)	1.2 m
	內循環風扇	無
設 施	設施型式與規格	鋼骨山型設施
	座落方向	南北向
	標的物種類(作物或畜舍)	花卉園藝農作物

### 附錄三

#### 善化牌 SHPI-1 型設施內高壓噴霧降溫系統自行測試記錄表

送試廠商：善化工業股份有限公司

廠牌：善化牌 SHPI-1 型

廠商地址：台南縣仁德鄉太乙路七十五號

測 試 日 期	93/06/24		
設 施 地 點	台南縣歸仁鄉善化公司示範場		
設施面積(長×寬)m <sup>2</sup>	250 (25m×10m) m <sup>2</sup>	設施內部高度(m)	5 m



設施類別(作物或畜舍)		山型鋼骨結構								
項目	次別	第一次			第二次			第三次		
		噴霧降溫性能試驗	乾球溫度	28.5	29.0	29.8	28.2	26.3	28.5	29.3
29.0	29.5			30.1	28.2	28.2	29.3	29.3	27.9	27.9
29.8	29.5			30.4	29.0	26.3	29.0	29.5	29.0	30.4
平均：29.5°C				平均：28.1°C			平均：29.2°C			
相對溼度	96.5		100	100	83.5	100	100	87.5	95.0	99.0
	94.5		100	91.5	87.5	88.5	80.0	95.5	100	100
	82.0		86.5	77.5	77.0	95.5	70.5	83.5	80.5	73.0
	平均：92.1%			平均：86.9%			平均：90.4%			
設施外溫度	乾球：32.6°C			乾球：32.0°C			乾球：32.9°C			
	濕球：26.7°C			濕球：25.5°C			濕球：25.6°C			
蒸發冷卻效率	52.53%			59.46%			50.08%			
噴霧作業壓力 (kg/cm <sup>2</sup> )	80			80			80			
試驗結束三分鐘之相對溼度	70.2%			71.3%			66.8%			
結構體有無結露	無			無			無			
連續作業	起始時間	10:30 / 10:40			11:15 / 11:25			11:59 / 12:08		
	作業中噴頭阻塞數量	無阻塞 (噴頭總數：48 個)								
	故障排除時間	無								
備註	蒸發冷卻效率 $E = \frac{T_{db} - T_x}{T_{db} - T_{wb}}$ T <sub>db</sub> =設施外乾球溫度，°C      T <sub>wb</sub> =設施外濕球溫度，°C T <sub>x</sub> =設施內乾球溫度，°C									

#### 附錄四

# 善化公司園藝設施高壓噴霧降溫系統性能測定報告

## 一、系統說明

高壓噴霧降溫系統由於降溫效果良好，且適用於半開放式園藝栽培設施。然而，作業壓力、噴頭種類、系統配置及控制...等作業條件皆明顯影響高壓噴霧降溫系統之作業效率。性能測定地點位於台南縣歸仁鄉善化工業股份有限公司示範場，測試系統主要規格詳列於表 1，圖 1 為該系統性能測定配置圖（照片 1~3），其作業系統控制電路及流程詳見附錄 1。

## 二、性能測定方法為

為進行善化公司園藝設施高壓噴霧降溫系統性能測定，針對 1.作業壓力及噴頭種類等作業條件對流量之影響；2.作業壓力及噴頭種類等作業條件對霧粒粒徑之影響；3.噴霧降溫效率進行試驗。其測定方法分述於下：

### 1.作業壓力及噴頭種類對流量試驗

採用 2 號及 3 號噴頭，於不同作業壓力 (35.18 kPa、52.77 kPa、70.35 kPa、87.94 kPa、105.53 kPa) 下量測其流量。量測時間為 1~3 min，進行二重複試驗，取其平均值為流量。

### 2.作業壓力及噴頭種類對霧粒粒徑試驗

採用 1~5 號噴頭，於不同作業壓力 (35.18 kPa、52.77 kPa、70.35 kPa、87.94 kPa、105.53 kPa) 下量測其霧粒粒徑大小。霧粒採集方式是取一載玻片上滴 15 mm 直徑之 40 號機油，採集霧粒後隨即置於玻璃培養皿中，以防止霧粒蒸發而影響粒徑量測之準確度。粒徑分析採用立體解剖顯微鏡 (Nikon, Model SMZ-2T) 及影像擷取系統 (CapView 1.40)，並以影像處理軟體 (Optimas 5.1a) 進行粒徑量測，進行二重複試驗，取其平均值為霧粒粒徑。

### 3.高壓噴霧降溫性率測定

為瞭解性能測定環境參數變化，於測定過程中分別量測設施內外部溫度、相對濕度、風向、風速、日照...等。此外，並參考性能測定當日台南氣象中心觀測資料 (表 2)。採用大田式攜帶用風速計 (NO.24) 測量設施外風向及風

速。設施內外之溫度及相對濕度量測則採用溫濕度紀錄器 (Escort Junior, Model EJ-HS)，溫度誤差 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度誤差 $\pm 3\%$ ，資料擷取間隔設定為 1 分鐘。溫濕度記錄器放置位置詳如圖 2 所示，其高度在植床上方，距離地面約 150 cm 處 (照片 4)。

噴霧降溫效果 ( $E$ , 蒸發效率) 為高壓噴霧降溫系統性能之重要指標，其計算公式如下：

$$E = \frac{T_{db} - T_x}{T_{db} - T_{wb}}$$

where  $T_{db}$  = 設施外乾球溫度， $^{\circ}\text{C}$                        $T_{wb}$  = 設施外濕球溫度， $^{\circ}\text{C}$

$T_x$  = 設施內乾球溫度， $^{\circ}\text{C}$

為瞭解高壓噴霧降溫過程中設施內溫度及相對濕度之變化及分佈情形，採用曲面繪圖軟體 (Surface Mapping system, Surfur 7.04) 繪製溫度及相對濕度之等高分佈圖。此外，計算溫度及相對濕度之標準差代表其分佈均勻度。

### 三、性能測定結果

1. 作業壓力及噴頭種類明顯影響流量 (詳如圖 3)，流量隨作業壓力增加而增加，而噴頭號數增加，其流量亦隨之增加。
2. 作業壓力及噴頭種類明顯影響霧粒粒徑 (詳如圖 4)，當作業壓力增加時霧粒粒徑隨之減小，而當噴頭號數增加時霧粒粒徑則隨之增大。
3. 高壓噴霧降溫系統性能測定結果詳列於表 3，圖 5~6 分別為設施內部溫度及相對濕度變化情形。經高壓噴霧降溫後溫度明顯降低，且分佈均勻度提高，其標準差由 $\pm 2.4^{\circ}\text{C}$ 降至 $\pm 0.9^{\circ}\text{C}$ 。圖 7 為園藝設施高壓噴霧降溫系統設施內部平均溫濕度變化情形。設施內部相對濕度則隨溫度降低而升高，其相對濕度約在 80~90% 左右，尚未達 100% 飽和狀態，顯示可再延長噴霧時間以提高噴霧降溫效果。噴霧降溫後相對濕度之分佈亦趨於均勻，其標準差自 $\pm 14.7\%$ 降至 $\pm 12.7\%$ 。

#### 四、結論與建議：

- 1.噴頭作業壓力及均勻度：69.7  $kg/cm^2 \pm 1\%$  (68.7  $kg/cm^2 \pm 2\%$ )
- 2.有效噴霧距離： 2.8 m (2.8 m)
- 3.設施內溫度均勻度：3% (5%)
- 4.噴霧降溫效果 (蒸發效率)：56.54% (68.21%)
- 5.管路無流體殘留。
- 6.停止噴霧作業後噴頭無滴漏現象發生。

註：( ) 括弧內數據為第二次重複試驗結果。

依據善化公司園藝設施高壓噴霧降溫系統之性能測定結果，並參考『**管路自動化噴藥設施性能測定方法及暫訂標準**』(附錄 4-B) 訂定『**園藝設施高壓噴霧降溫系統性能測定方法及暫訂標準草案**』(附錄 4-C) 供業者參考。



照片 1 善化公司園藝設施高壓噴霧降溫系統設施全景



照片 2 善化公司園藝設施高壓噴霧降溫系統作業主機



照片 3 善化公司園藝設施高壓噴霧降溫系統設施北外側



照片 4 善化公司園藝設施高壓噴霧降溫系統性能測定過程中 *Escort* 溫濕度紀錄器測定情形

表 1 善化公司園藝設施高壓噴霧降溫系統主要規格

高 壓 幫 浦	廠牌型式	邦立捷 PJ-S2307
	長×寬×高 (mm)	900×520×920
	柱塞直徑×行程 (mm)	20×10
	型式	往復式
	柱塞數	3
	總排水量 (L/min)	18
	作業壓力 (kg/cm <sup>2</sup> )	70
	最大壓力 (kg/cm <sup>2</sup> )	84
	迴轉數 (rpm)	1720
	馬達型式	臥式
	馬力 (Hp)	3
	驅動方式	直結式
	使用電壓	220V/60Hz
	斷電裝置	無熔絲開關
	安全防護裝置	漏電開關
自動控制裝置	邏輯溫控、24 小時定時、雙設定計時	
濾 水 器	濾水方式	三道式
	材質	PP 5 μm
	進水管徑 (mm)	ID16 (5/8 in)
高 壓	廠牌型式	善化/高壓軟管 NUA (1/4 in)
	材質	Nylon / PU / PE 複合管

管 路	作業壓力 (kg/cm <sup>2</sup> )		70
	爆破壓力 (kg/cm <sup>2</sup> )		280
	管外徑 (mm)		12.5
	管內徑 (mm)		6.35
	聯結方式		3/8 Fx3/8 F, 喇叭口 42°斜角
高 壓 噴 頭	廠牌型式		自然霧 (No.1~6) / 三段式
	長x直徑 (mm)		34.0x9.5
	材質		銅 / 不鏽鋼
	噴嘴口徑 (mm)	No.1	0.1 mm
		No.2	0.2 mm
		No.3	0.3 mm
		No.4	0.4 mm
		No.5	0.5 mm
		No.6	0.6 mm
	噴頭數量		90
噴頭間距, m		1.0	

表 2 台南氣象中心觀測資料表 (民國 92 年 7 月 11 日)

時間	氣溫(°C)	相對濕度(%)	風向(16方位)	風速(m/s)
0100	28.2	85	東北東	1.2
0200	28.0	86	東北東	2.0
0300	28.1	83	北北東	0.7
0400	28.1	81	東南東	1.5
0500	28.1	79	東	0.7
0600	28.6	77	靜風	0.2
0700	29.7	74	北北東	0.6
0800	31.0	70	西北	1.2
0900	32.1	65	北	1.0
1000	32.0	65	北	2.5
1100	32.4	64	北北西	2.0
1200	34.1	56	西南西	3.8
1300	32.1	69	西南	5.3
1400	32.1	70	西南	5.6
1500	32.4	67	南南西	5.8
1600	30.7	70	南	5.4
1700	30.3	74	南	4.0
1800	30.1	74	南	3.2
1900	29.9	76	南南西	2.3
2000	29.9	78	南	3.0

2100	29.6	81	南南西	4.0
2200	29.6	82	南	3.5
2300	29.2	85	南	2.5
2400	29.1	85	南	3.1

備註：當日最高溫度 34.1℃；最低溫度 28.0℃。

表 3 善化公司園藝設施高壓噴霧降溫系統性能測定結果

測試日期	92.7/11		
設施方位	南北向		
測試地點	台南縣歸仁鄉善化股份有限公司示範場		
設施	L	W	H
尺寸，m	25m	10m	5m
管路長度，m	135 (25×5+10)		
管路內徑，in	¼		
預估管路容量，m <sup>3</sup>	2.69		
有效噴霧距離，m	2.8		
測試序別	一	二	
時間	10:53	15:23	
室外溫度，℃	30.5	30.6	
室外相對濕度，%	60	84.5	
室外風向	北風	東南風	
室外風速，m/sec	0.3	2.8	
日照，lux	10,000	8,300	
高壓噴頭(種類)	No.3	No.3	
管路流體殘留量，m <sup>3</sup>	無	無	
殘留比例，%	0%	0%	
管路壓力 均勻度 kg/cm <sup>2</sup>	P1(左)	70	67
	P2(中)	70	69
	P3(右)	69	70
	平均	69.7±0.6	68.7±1.5
設施內噴霧降溫前溫度	37.6±2.4℃		32.7±1.2℃
設施內噴霧降溫後溫度	31.6±0.9℃		28.8±1.3℃
蒸發冷卻效率%	56.54%		68.21%
備註	<p>1.設定溫度為 29 度，T1 = 20 sec (超過設定溫度)，T2 = 2 min (噴霧)，T3 = 2 min (風扇)，T4 = 1.25 min (延遲時間)。</p> <p>2.蒸發冷卻效率，<math display="block">E = \frac{T_{\text{室}} - T_{\text{r}}}{T_{\text{室}} - T_{\text{e}}}</math>。</p>		



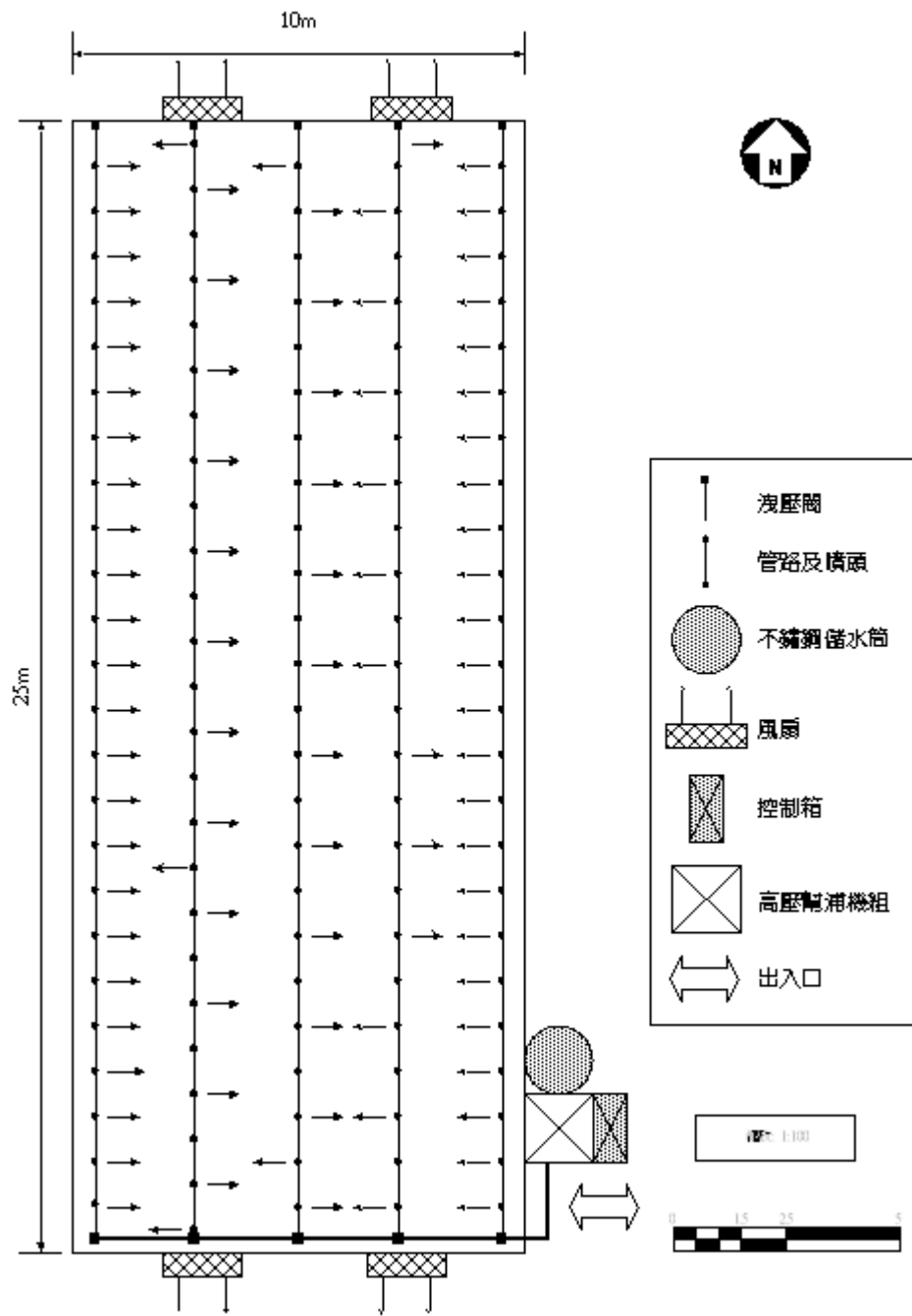


圖 1 園藝設施高壓噴霧降溫系統性能測定配置圖

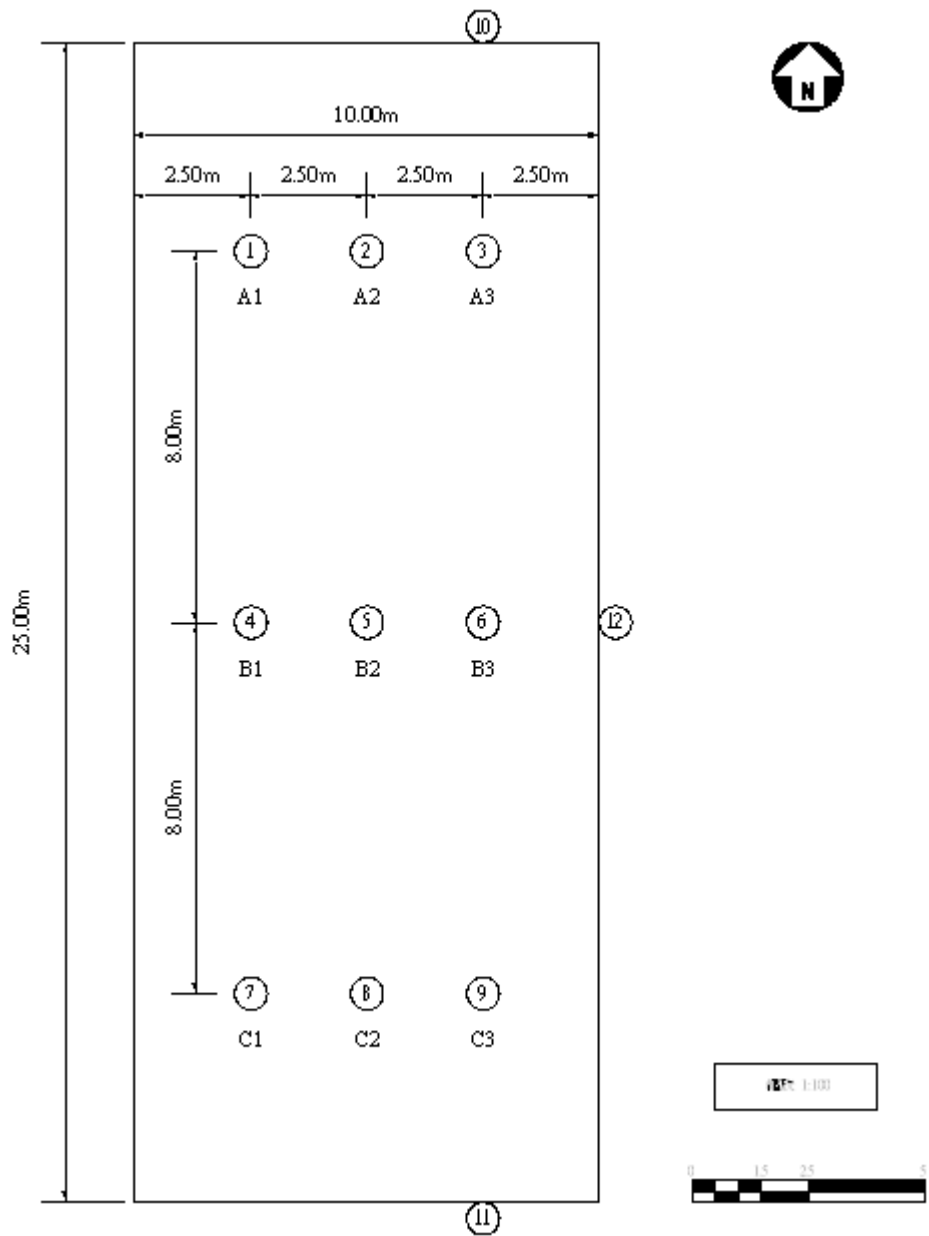


圖 2 園藝設施高壓噴霧降溫系統性能測定過程中溫濕度記錄器配置圖

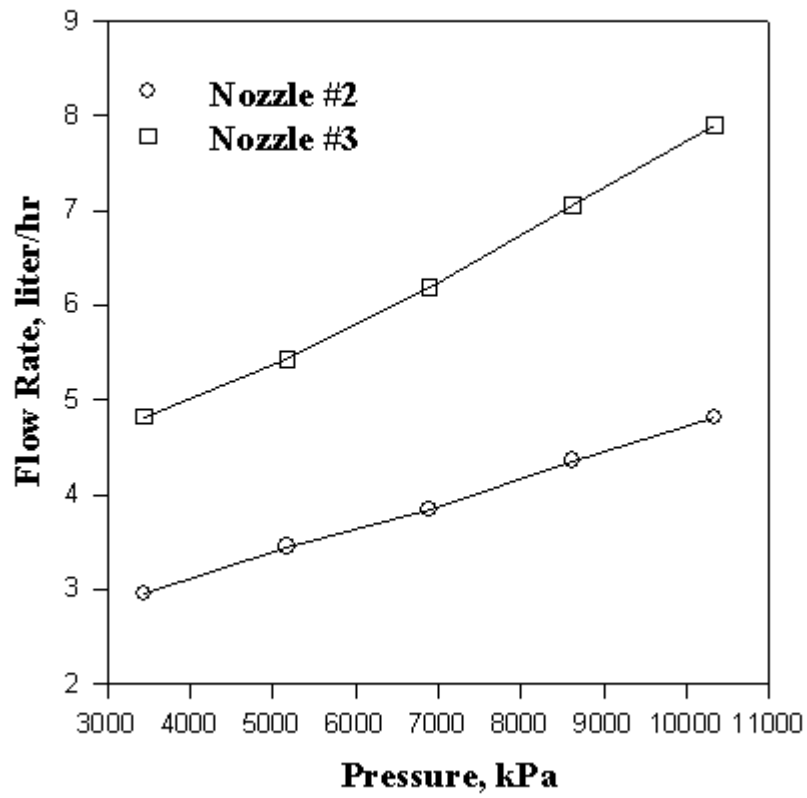


圖 3 作業壓力及噴頭種類對流量之影響

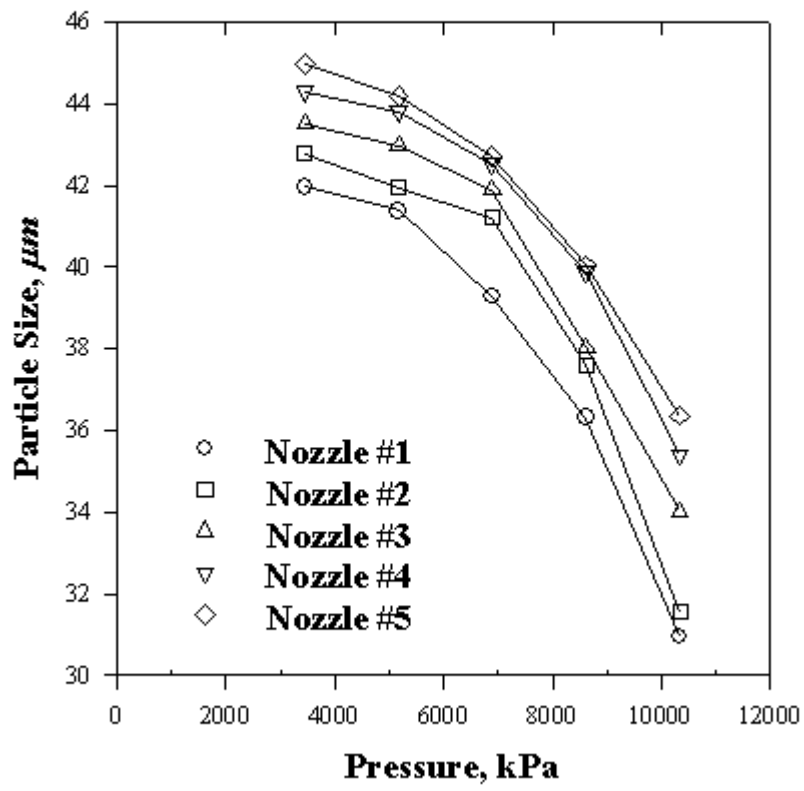
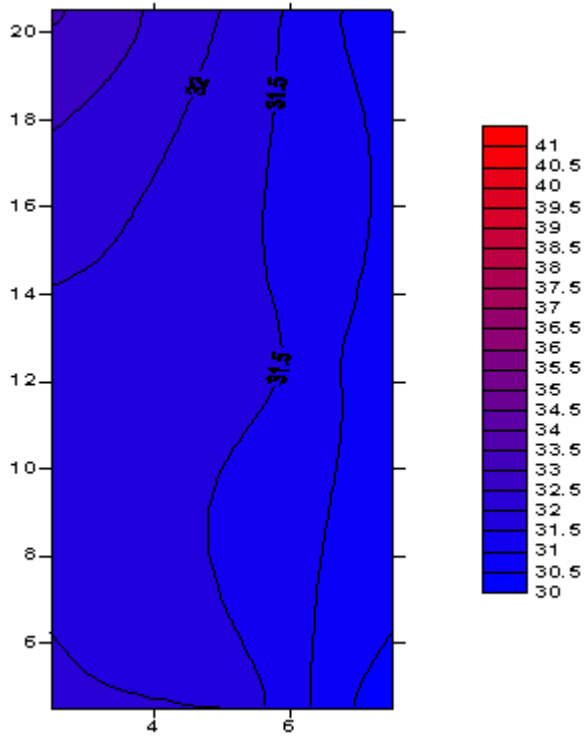
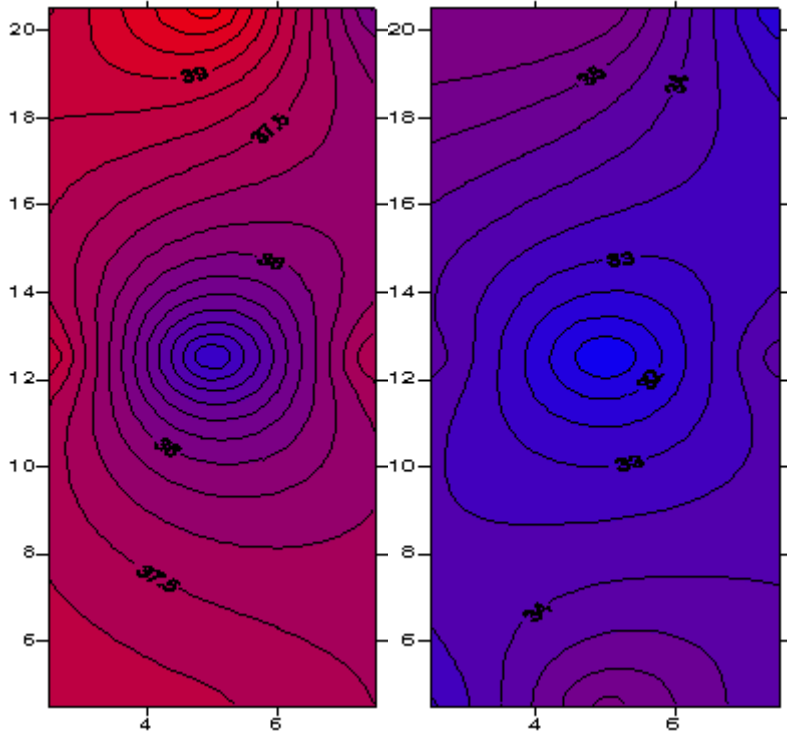


圖 4 作業壓力及噴頭種類對霧粒粒徑大小之影響

設施北側



設施内部

時間

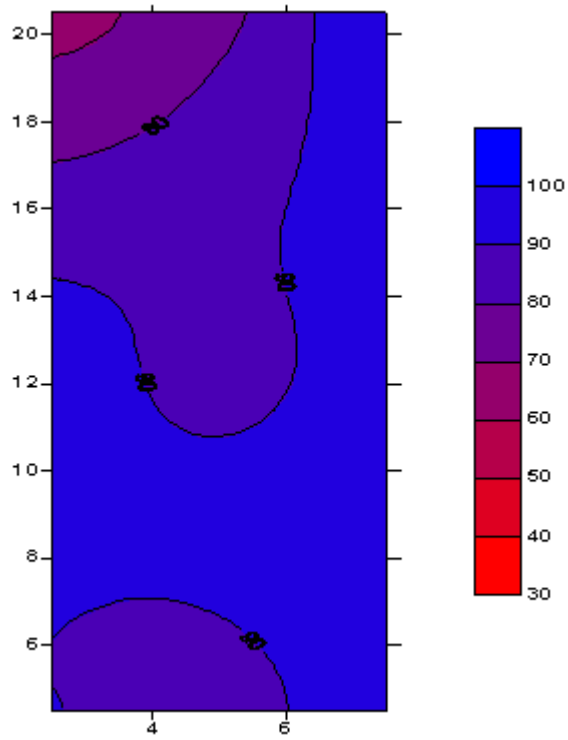
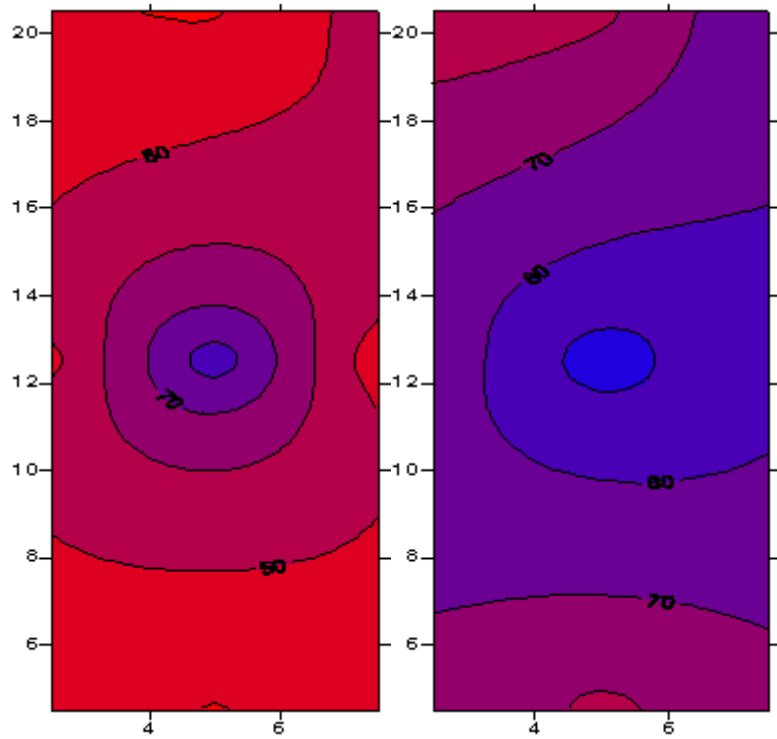
2003/7/11/11:00

2003/7/11/11:01

2003/7/11/11:02=

圖 5 園藝設施高壓噴霧降溫系統性能測定過程中溫度變化情形

設施北側



設施內部

時間

2003/7/11/11:00

2003/7/11/11:01

2003/7/11/11:02

圖 6 園藝設施高壓噴霧降溫系統性能測定過程中相對濕度變化情形

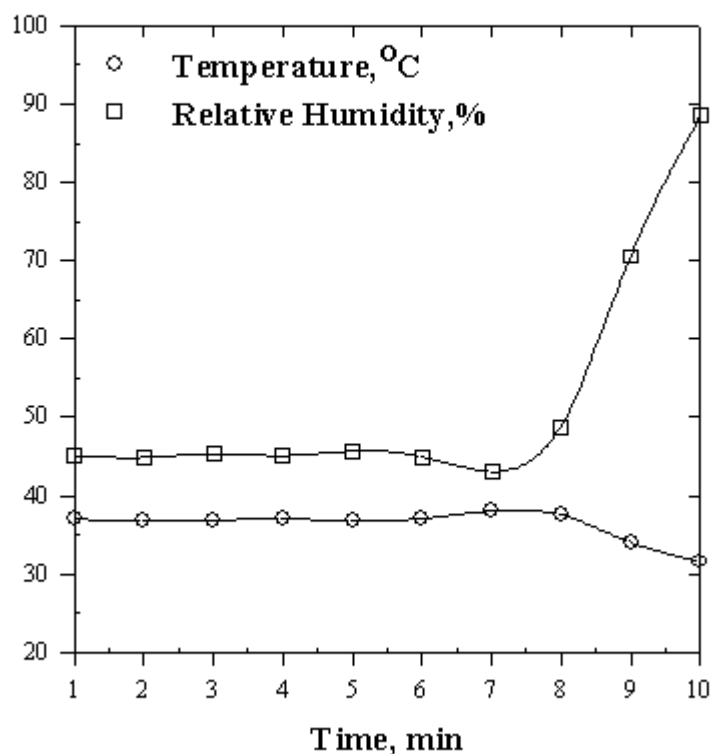


圖 7 園藝設施高壓噴霧降溫系統設施內部平均溫濕度變化情形

附錄 4-A：園藝設施高壓噴霧降溫系統控制電路原理說明 (參照圖 8~9)

1. 當電源 (S1) 接通後，電源燈 (L1) 亮，此時噴霧降溫控制系統隨既運轉，若溫度感測器 (Temperature Sensor) 測得設施內溫度低於控制器之溫度設定值 (假設為 28°C) 時，此系統不會動作；若測得設施內溫度高於溫度設定值時，則繼電器 (Re1) 會激磁，而啓動一噴霧降溫循環動作。
2. 當繼電器 (Re1) 激磁後，其  $\alpha$  接點閉合，驅動電磁閥的電磁接觸器 (MC1) 激磁而自保，電磁閥燈 (L2) 亮，而在此同時計時器 (T1) 也通電開始計時。
3. 經過 (T1) 的延時設定時間後，(T1) 其延時  $\alpha$  接點閉合，同時使計時器 (T2) 通電計時及驅動高壓幫浦的電磁接觸器 (MC2) 激磁，幫浦燈 (L3) 亮，高壓幫浦動作，把水加壓送入水管內，以進行噴霧作業。

4. 經過 (T2) 的延時設定時間後，(T2) 其延時  $\alpha$  接點閉合使電磁閥接觸器 (MC2) 失磁 (L3) 燈熄及 (T3) 開始通電計時，此時 (T3) 之瞬時  $\alpha$  接點閉合，使電磁接觸 (MC3) 激磁，風扇運轉，風扇燈 (L4) 亮，把設施內部濕熱空氣排至外界，以達降溫目的。

經過 (T3) 的延時設定時間後，(T3) 其延時  $\alpha$  接點閉合使 (MC3) 失磁，(L4) 燈熄及繼電器 (Re2) 激磁，其  $\alpha$  接點閉合，使計時器 (T4) 開始通電計時。經過 (T4) 延時設定時間後，(T4) 其延時 b 接點開啓，(MC1) 失磁，(L2) 燈熄，此控制電路為重置 (Reset) 狀態，此時感測器所測得之溫度若高於控制器之設定溫度時，則會重覆步驟 (2)、(3)、(4)、(5)、(6)；反之，若溫度低於設定值時，就會停止作業，而等待下一次高溫發生時才會啓動此噴霧降溫系統運轉。

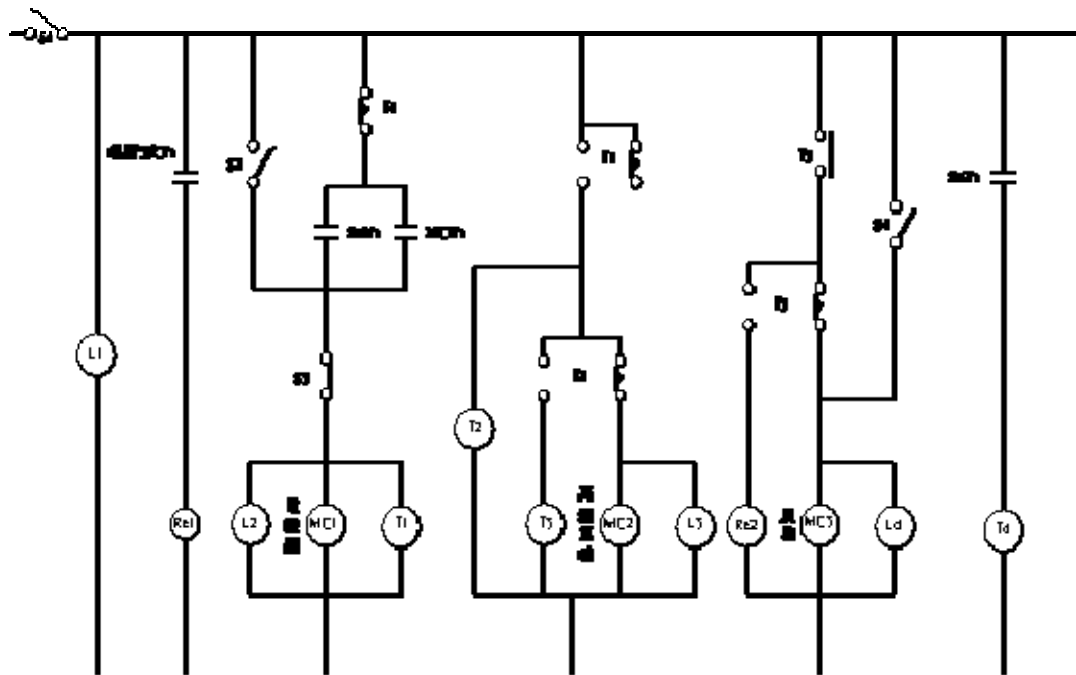


圖 8 園藝設施高壓噴霧降溫系統電路圖



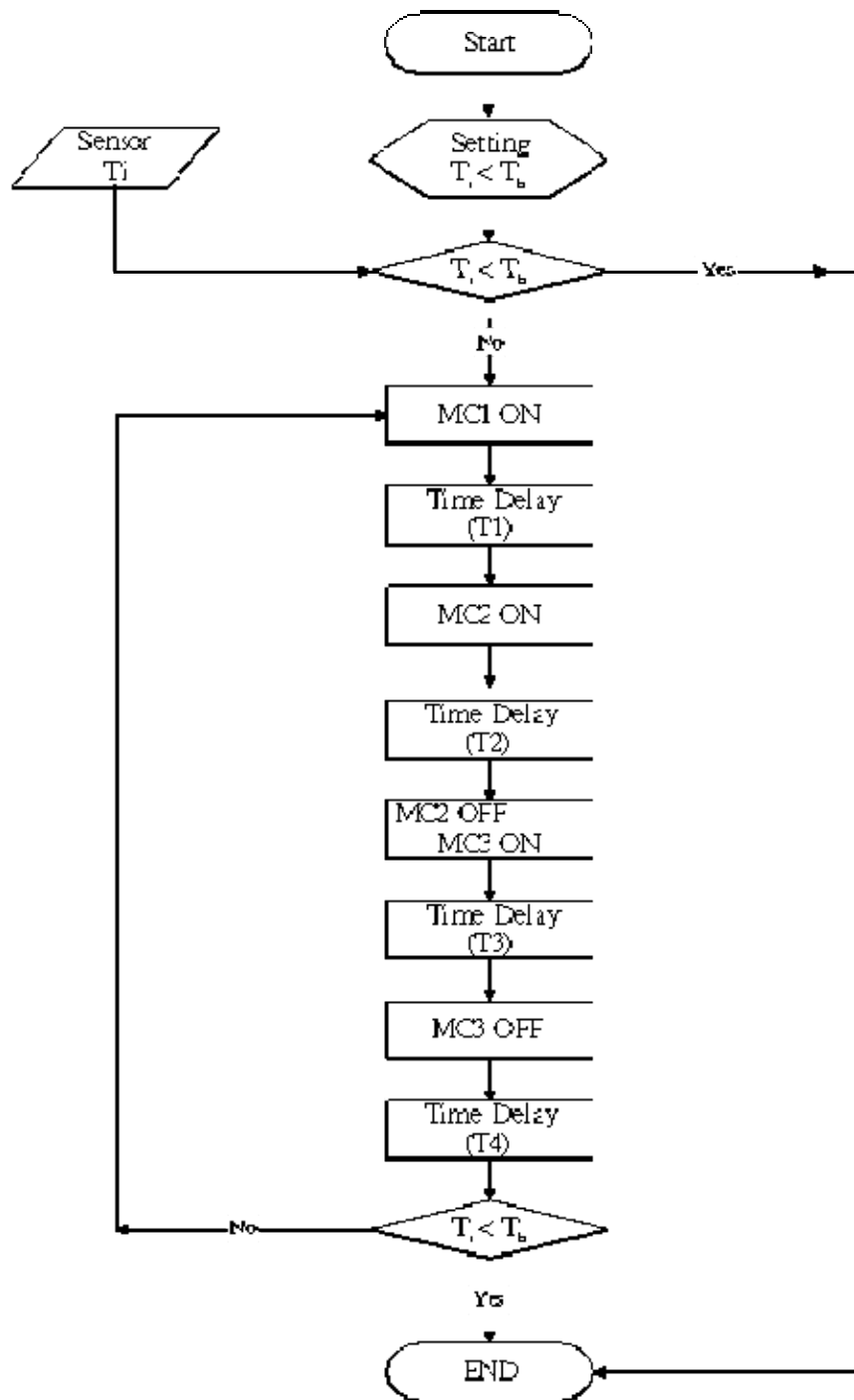


圖 9 園藝設施高壓噴霧降溫系統控制流程圖

附錄 4-B：管路自動化噴藥設施性能測定方法及暫訂標準

### 管路自動化噴藥設施性能測定方法及暫訂標準

78.08.04. 農糧 55940 號 (訂) 80.01.05 農糧 9161710A 號 (修)

一、適用範圍：本標準適用於管路自動化噴藥設施。

## 二、調查項目：

(一)管路組成機件（包括原動機、高壓泵及噴頭）之廠牌、型式、規格及編號。

(二)管線變換裝置之作用方式：人工或全自動。

(三)試區環境條件：地形（包括坡度）、面積、作物種類、行株距及高度。

(四)每公頃之標準配備。

## 三、測定項目與方法：

(一)測試地點以坡地果園為準，面積為一公頃以上，噴頭數目每公頃不得超過 300 個。測試時風速應在 1.0 公尺／秒以內，並以無露水為原則。

(二)在試區內隨機抽取噴藥作業區三處，在每處作業區之管線首、末及中點各選一噴頭測定點，測試噴頭壓力及有效噴灑半徑，重複測定二次。

(三)在三處噴藥作業區內，每區選擇三棵作物，每棵作物均勻懸掛水試紙 30 張，於每公頃施藥量在 4,000 公升範圍內，調查作業後水試紙之藥液附著度平均值。

(四)選擇一個作業區，量測噴藥量，並於噴藥完成後 30 分鐘測量迴水量，以換算其管路內藥液殘留量。

(五)隨機抽取 3 個噴頭攜回，以標準作業壓力連續作業 40 小時。

## 四、暫訂標準：

(一)噴頭作業壓力： $15 \text{ kg/cm}^2 \pm 10\%$ 。

(二)有效噴灑半徑 4.0 m 以上。

(三)藥液附著度：葉表平均應達 90%以上，葉背平均應達 40%以上 (附著度評定標準如附圖)。

(四)管路藥液殘留量不得超過管路容量之 10%。

(五)以標準壓力連續作業 40 小時中，不得有異常故障，作業後分解檢查，不得有異常磨損現象。

#### 附錄 4-C：園藝設施高壓噴霧降溫系統性能測定方法及暫訂標準草案

### 園藝設施高壓噴霧降溫系統性能測定方法及暫訂標準草案

一、**適用範圍**：本標準適用於園藝設施高壓噴霧降溫系統。

#### 二、**調查項目**：

(一)管路組成機件（包括原動機、高壓泵、洩壓閥及噴頭）之廠牌、型式、規格及編號。

(二)管線變換裝置之作用方式：人工或全自動。

(三)試區環境條件：設施型式、尺寸規格、面積、作物種類及高度。

(四)每 1,000 平方公尺之標準配備。

#### 三、**測定項目與方法**：

(一)測試地點以園藝栽培設施為準，面積為 1,000 平方公尺以上，噴頭數目不得超過 360 個。

(二)在試區內隨機抽取噴霧作業區三處，在每處作業區之管線首、末點各選一噴頭測定點，測試噴頭壓力及有效噴霧距離，重複測定二次。

(三)除量測設施外（風扇進風口）之乾、濕球溫度外，並在試區內平均選定九處溫度及相對濕度量測點（高度約 150 cm），依此計算其平均溫度及相對濕度與均勻度（標準差），並依其平均溫度計算噴霧降溫效果（ $E$ ，蒸發效率）。

$$E = \frac{T_{db} - T_x}{T_{db} - T_{wb}}$$

$T_{db}$  = 設施外乾球溫度， $^{\circ}\text{C}$        $T_{wb}$  = 設施外濕球溫度， $^{\circ}\text{C}$

$T_x$  = 設施內乾球溫度， $^{\circ}\text{C}$

(四)噴霧完成後 30 分鐘測量迴水量，以換算其管路內藥液殘留量。

(五)隨機抽取 3 個噴頭攜回，以標準作業壓力連續作業 40 小時。

#### 四、暫訂標準：

(一)噴頭作業壓力及均勻度： $> 50 \text{ kg/cm}^2$ ， $< \pm 3\%$

(二)有效噴霧距離：2.0 m 以上

(三)設施內溫度均勻度： $< 5\%$

(四)噴霧降溫效果 (蒸發效率)： $> 50\%$  (單次五分鐘內)

(五)管路流體殘留量不得超過管路容量之 10%。

(六)以標準壓力連續作業 40 小時中，不得有異常故障，作業後分解檢查，不得有異常磨損現象。

(七)停止噴霧作業後噴頭應無滴漏現象發生。