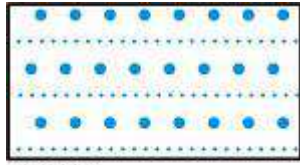
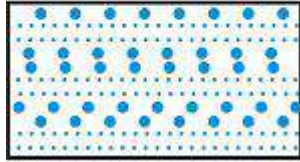


用濕度來降溫



20%



40%

用濕度來降溫

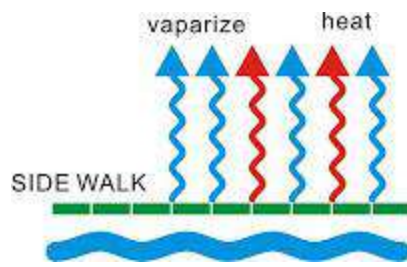
在夏天當你將濕潤的手放在空氣中，會有涼爽之感覺。此種涼爽感覺不是因為水溫，而是因為手臂上水分蒸發後蒸汽離開手臂所造成，這種利用蒸發原理是用濕度降溫的一種應用卻是一種有效又經濟的降溫法。

蒸發冷卻雖然現象隨處可見，但溫室業者卻不甚瞭解蒸發冷卻系統之好處與技巧，造成溫室內過熱，過濕，使用壽命不長，或冷卻效果不彰等問題。

相對濕度?

當空氣與水接觸時，空氣會吸收水分，吸收水分之程度，視空氣中存在有多少水分而定。相對濕度表示空氣中之含水量。可將空氣視為飽水海綿，海綿愈乾燥，能吸收水分愈多。如空氣含水量已達其容量 20%時，即表示相對濕度為 20%。如空氣之含水量已達其容量之 100%時，表示相對濕度為 100%，又稱為相對濕度飽和狀態。

相對濕度愈低，則空氣載水量愈大，可蒸發的水量愈大；也就是說，相對濕度愈低時，蒸發冷卻系統愈能降溫。當說明空氣之含水量時，經常談到相對濕度這個名詞，因為相對濕度與溫度有關，空氣溫度愈高，空氣之疏鬆性愈大，同時吸水性愈高。自然法則是：空氣之持水量在溫度增加情況下可以劇烈改變。事實上，空氣溫度每增加 11°C，空氣疏鬆性之增加因數為 2，例如空氣溫度為 22°C，且相對濕度為 50%，若將空氣加熱至 33°C，空氣疏鬆性之增加因數為 2，結果其相對濕度減少一半（25%）。



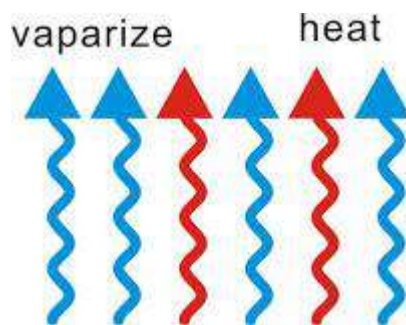
換句話說，一天之中較高溫度時段，也就是大氣中相對濕度較低的時段。由於相對濕度愈低，蒸發冷卻效果愈好。因此，每天較高溫時段之蒸發冷卻效果最能發揮。

冷卻如何產生?

使水分蒸發，必須供給熱量（能量），稱為汽化熱。蒸發一公升水需 **1,900BTU** 熱量（或 **1,878** 千焦耳）。這些熱量來自何處呢？此種熱來自水本身或與水接觸之物體。當水份蒸發時，與水接觸之空氣、都市人行道、建築物、人的體表或生物的體表、花草樹木等。提供蒸發熱給水分後，這些熱交換將其溫度會降低。

水溫的高低對空氣所產生之冷卻效果不大。假設人行道上地面溫度為 **32°C**，灑一公升 **10°C** 之水，可產生 **1,980 BTU** 的冷卻效果，灑一公升 **32°C** 的水，則可產生 **1,914 BTU** 的冷卻效果，二者僅有百分之三之差異。使用水簾式降溫系統（俗稱水牆）時，其循環水經不經過冷卻處理，其間差異不大即為此原因。

利用蒸發冷卻之方法



溫室中使用蒸發冷卻時大多是直接將水蒸發到空氣中，由空氣提供蒸發熱，而降低空氣本身之溫度。

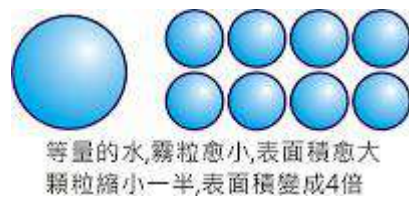
為達到此目的，可以採用二個方法：使用噴霧系統及透過水簾。二者之差異在於水及空氣相互作用之方式不同。使用噴霧系統時，其目的在產生小水滴，使這些小水滴在溫室內漂浮，並在蒸發時將熱量從空氣中去除。使用水簾時，係讓空氣強迫通過水簾，水分被蒸發並將空氣中之熱量去除。

欲使蒸發冷卻系統發揮最大功效，首先要盡可能使大量的空氣與提供之水分接觸。水簾片經過特殊設計，在一典型的 **1** 平方米，**H10cm** 的水牆中，就有超過 **34** 平方米的水簾

片接觸面積。使用水牆的溫室要特別注意流通及密閉性，必須使進入溫室的空氣都經過水牆才能充份發揮冷卻效果，同時將最熱的空氣排出。

使用噴霧系統時，在使霧粒未接觸到地表前就蒸發。因此，霧粒愈小愈好。而且霧粒愈小，就等量水而言，霧粒表面積愈大，蒸發率愈高，冷卻效果愈好。使用噴霧系統的溫室密閉性的要求不高。

如圖，等量的水分成不同大小顆粒時，小顆粒總表面積較大顆粒總表面積多，半徑縮小一半，表面積增為 4 倍。



基本上有三種方法可以縮小霧粒,噴嘴縮小，增加水壓及旋轉離心式

注意事項

以下為蒸發冷卻系統時，應注意事項：

- 1.在相對濕度低於 **70%**下進行蒸發冷卻系統時，比較有效率。
- 2.濕度較高時，部份關閉噴霧嘴，或是縮短蒸發冷卻系統啟動間差。例如，本來 **3 分鐘** 啟動 **30 秒**；濕度高時，可改為 **3 分鐘** 啟動 **20 秒**。
- 3.進行噴霧時，必須同時注意對流。
- 4.夜間操作蒸發冷卻系統，須注意最低環溫。
- 5.噴嘴愈小，霧粒愈細，蒸發愈快，冷卻效果愈好。在 **60kg/cm²** 操作壓力時，單一噴嘴流量為每分鐘約 **88cc** 的噴嘴較為普及。為使噴嘴免於阻塞，應過濾水源。
(1)以飲用水供應噴霧系統時，僅需在增壓泵進水口，裝置雙重過濾器即可。
(2)如使用硬水，必須先進行軟水處理。
- 6.最好使用高壓泵。噴霧系統水壓愈高，噴霧涵蓋面積愈大，擴散效果愈好，霧粒愈小。
- 7.噴霧系統亦可兼作藥劑噴灑，人員不必曝露在藥劑噴灑的環境中；兼顧健康與高效率的防疫消毒。噴藥壓力可降低，霧點顆粒較大。
- 8.冷水不會明顯增加冷卻系統效率。
- 9.不銹鋼噴霧嘴壽命較長。
- 10.清潔噴霧嘴時，將噴嘴浸放在醋中 **12 小時**後，再進行清潔。用噴霧系統消毒、只可使用液態藥劑，不可使用粉狀藥劑。
- 11.控制噴霧及風扇的恆溫器感測部份需保護，以免控制器作出誤判。
- 12.水源至為重要，須經常檢查供水系統，使水源不致中斷。

蒸發冷卻(Evaporative Cooling)

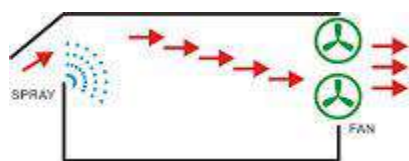
一般只具遮雨功能之開放型溫室，其最低溫與大氣溫度約略相同，很難進一步有效控制。密閉型溫室若無良好之通風，其溫度可能高出室外 **10~20°C**；若有足夠的通風，且能

維持每分鐘同溫室體積的空氣交換速率，則可保持室內溫度僅比室外高出約 $5\sim 8^{\circ}\text{C}$ 的範圍。但透過自然通風或風扇強制通風，室溫最多僅能降到與外界相同。本省之高溫期長達 8 個月，就算溫室內溫度降至與外溫相同，其溫度仍然偏高。

想將溫室內溫度再降低，不考慮使用冷氣機或冷凍機，且成本要在可接受範圍內的唯一方法，似乎僅有透過蒸發冷卻方式一途。臺灣為亞熱帶地區海島，一般皆會直覺的認為一定是高溫高濕，非常不利於以蒸發冷卻方式降溫，然而在正午及午後的高溫時段，空氣之相對濕度通常只有約 50%，整天的濕球溫度均保持在 25°C 左右。是以在最需降溫之同時，採用蒸發冷卻方法降溫仍有其可發揮之處。

常見的蒸發冷卻方法包括水牆法(Fan and Pad)、細霧法 (Fan and Mist)、夾牆噴水法 (Double Wall misting)及微霧法 (Fan and Fog)等四種，前三者之降溫極限與外界空氣之濕球溫度相同，後者之降溫極限則為原室內空氣之濕球溫度。四種設計的差異在於空氣與水份的接觸方式不同，目的則都是要使最大量的空氣與提供之水份接觸，使蒸發冷卻系統發揮最大功效。

細霧法 (Fan and Mist)

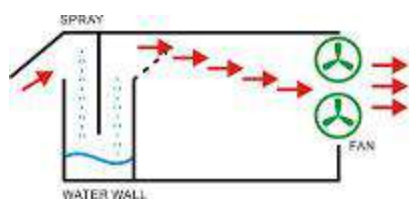


如圖所示在溫室一側有噴霧管路與噴嘴，另一側有風扇

抽風的降溫方法即為所謂的細霧法(Fan and mist)。當溫室頗長時可將噴霧管路安裝於中央，風扇分別裝於兩側。

依據所噴出水珠的大小，細霧法又分為水霧(mist)與細霧(micromist)；其顆粒分別為 1mm 與 0.1mm。由於水霧之顆粒較大，噴出之後很快就落至植株體上或著地，蒸發效果較差；後者大約只有 50%的水份能有效蒸發帶走蒸發潛熱，前者能帶走的熱更少。

此方法的優點是風阻比水牆法小，風機馬力可大幅減少。由於使用低壓噴嘴，所需維護次數較少。此法與水牆法均需維持溫室保持良好的氣密性，溫度梯度也是無法避免。



夾牆噴水法 Double Wall Misting

Luchow and Zabeltitz 在 1992 年發展的噴水夾板牆為水牆法與細霧法的結合，其以噴水夾板牆取代傳統的水牆，可增加空氣與水氣的接觸時間，以獲得 較高效率；同時空氣進入溫室的阻力可大幅降低（水牆的風阻頗大），如此需要的風機馬力可大幅減少。此系統成本低廉，且安裝、維修容易，值得推廣。

微霧法 (fogging)

水牆法、細霧法與夾牆噴水法通常加濕區安裝在溫室之一側，空氣通過溫室時，會產生溫度梯度，即出口處氣溫比入口處高；此外，溫室亦需維持氣密，使進來的空氣能確實通過加濕區，再由另一側風扇吸引出去。溫室維持氣密長期情況下會使其處於悶熱環境下，環境調節設備因而必需長期操作，徒然增加操作成本，這是 以上三種方法之共同缺點。本省業者的溫室多屬開放型，微霧法(又稱噴霧法)可同時適用於密閉式或開放式溫室，應為較佳的降溫選擇。

水牆法、細霧法與夾牆噴水法有兩個共同的缺點:第一是溫室必需維持良好的氣密性，降溫系統才能發揮功效；第二是溫度梯度無法避免，換言之，空氣入口處溫度較低，出口處溫度較高，溫室內的溫度分佈不均勻直接影響栽培作物在品質上的均勻性。本省業界使用的溫室仍以開放型為主，若使用前述三種蒸發冷卻方法且仍維持傳統的負壓方式(風扇用來抽風)，將無法達到預期的降溫目的，因為空氣會由四 面八方進入溫室；改為正壓方式(風扇與降溫部結合成一單元，且風扇用來吹風；市售之冷風扇即利用此原理)可有較佳的效果，但降溫範圍亦是有限。

在開放型溫室中欲利用蒸發冷卻法降溫，微霧法為理論上、技術上可行，且在經濟上亦相當可行的好方法。

微霧系統 (fogging system) 所產生的霧氣是由水蒸氣和極細小的水滴所組成，其粒徑約在 0.01-0.03mm，能懸浮在空中且維持一段時間，是以能完全蒸發。但是若空氣含水程度已達飽和，則其會再變成水滴。

細霧的水滴比微霧的大且較重。微霧(Fog)的定義為顆粒小於 40 μ m 的水珠。

就溫室降溫之目的而言，最佳的霧粒直徑為 17 μ m，此種霧粒所造成的微霧濃度適中，尚具有遮光的效果，呈煙狀的霧粒(粒徑小於 1 μ m)即缺乏此種附加價值。再者，濃度適中的微霧在蒸發前瀰漫於作物附近，可形成一零蒸散(Zero transpiration) 環境，在不影響作物生理的情況下大幅降低作物對灌溉的需求，此為另一附加價值。

霧粒產生方式

欲使霧粒在短距離內能完全蒸發，則霧粒要夠小， 顆粒小的霧粒不僅增加空氣與水的接觸面積，其在空氣中可懸浮較久， 亦可增加空氣與水的接觸時間。以下介紹三種造

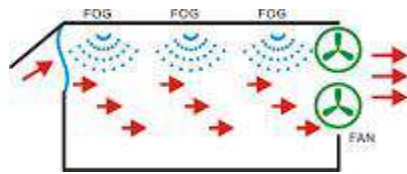
霧方式，分別為：

高壓噴嘴造霧

旋轉離心造霧

超音波造霧

高壓噴嘴造霧



所產生霧氣之顆粒大小是由噴嘴的管徑和水壓的大小來

決定的，如圖所示為常見的系統配置示意圖。氣密性良好的溫室可採如圖的設計在空氣入口處加上預設水線，溫室內間隔適當距離加上後續水線，在對側加裝風扇；預設水線通常有較多(安排較密集)的噴嘴。

開放型溫室不在邊牆上裝風扇，也沒有預設水線，但可在四側加裝噴嘴，亦可透過均風風扇(裝於溫室內者)送風與傳播水霧。此噴霧系統通常需要 $50-70\text{kg}/\text{cm}^2$ 或以上的高壓，水質也需注意，過濾系統是必備的。由於是高壓操作，所以需要加壓泵，且管線、電磁閥等也都要能耐高壓，所以價格上稍貴。由於不論使用面積的大小都需要至少一台加壓泵(動力噴霧機)，此為初始成本高的主因；但若大面積使用而仍維持一台加壓泵時，其成本可大幅降低。若施工面積在 300 坪或以上，目前含溫濕度控制器與兩層次過濾系統的高壓造霧系統其造價(含施工)大約 10 坪在 3000~4000 元。

另有雙流體式噴嘴，除了供水的水線外尚需有「氣線」，不需高的水壓為其優點，但需另外添購壓縮機來給氣，且此類噴嘴單價較高，為一般噴嘴的 20 倍以上。市面上另有一些主要設計來噴藥的噴霧系統，其使用的壓力不高，所以霧粒較大，適合藥水的霧滴附著於葉面與葉背，但若以降溫為主要訴求，此類系統則略遜一籌，因為水霧顆粒較大，未完全蒸發已落於地面或葉面上。高壓噴霧系統亦可用來噴藥，但只能使用水溶性的藥劑，且壓力應調低。

旋轉離心造霧 Spinning Atomizer

市面上的加濕機，但基於蒸發冷卻的原理，此設備亦可用來降溫。機種消耗功率為 0.5 馬力。耗水量約為 $80\text{cc}/\text{min}$ ，產生的霧粒粒徑平均為 $43\mu\text{m}$ ，霧粒在 1 米的內即可完全蒸發，當降溫使用時，可懸吊於作物上一米的距離。平均 10 坪 1 台。零售價為 4500 元/台，100 坪溫室的投資在 5 萬元以下。此機器安裝容易，僅需提供進水管線與電源線，且對水質的要求很低。

超音波造霧

一般用於造景，電子零件(C3835 為核心元件)與振盪片封裝於底座，由於振盪片屬消耗性材料。在園藝上使用可用於如組織培養室或植物生長箱的小空間內。