

# 台灣地區果樹寒霜害防護措施

申雍

國立中興大學土壤環境科學系

## 摘要

台灣地區的氣候條件適合栽培多種果樹，農民為充分利用所擁有的氣候和土地資源，通常無法兼顧氣候上的安全性，因而冬季期間易遭受寒霜害。台灣採行「小農」農業經濟體系，農地也多屬「拼盤式農作」型態，每塊果園之面積並不大，且鄰近之果園常種植他種果樹，對於低溫逆境的防護需求並不一定相同，因此國外已研發的方法，並不適合直接引入，仍需針對台灣地區農業現況再予以調整修改。本文從台灣地區可能發生寒霜害的氣象環境與地形條件，以及果園微氣象環境之熱通量傳輸路徑與防護措施分析兩方向進行說明，再分別以葡萄、嫁接梨、和蓮霧三種不同植冠類型的果樹為例，說明針對台灣地區小農制度所設計的果樹寒霜害防護措施以及其防護效果。

## 一、前言

台灣地區的氣候條件適合栽培多種果樹，目前主要栽培的常綠果樹和落葉果數約有二十多類，這些果樹的葉、花、果實多數均易遭受低溫危害(Hackett and Carolane, 1982)。作物因低溫逆境造成的低溫傷害可概分為寒害和凍害兩大類(Levitt, 1980; 朱, 1993)，寒害指當植體溫度仍在 0°C 以上，但已產生生理、生化、或機械性之傷害；有時亦以 10°C 為界，將傷害再細分為寒害(0-10°C)與冷害(>10°C)兩類。凍害乃作物全株或部份因溫度降至 0°C (或以下)，受到冰凍而引起的傷害。霜是空氣中水氣在地物上的凝華現象，葉片上有霜形成，表示葉溫已降至 0°C (或以下)；若空氣中水氣少，則可能不會有霜形成，但作物仍會遭受凍害(Rosenberg et al., 1983)。

由於台灣地區位於歐亞大陸之東緣，自秋末至翌年初春易受大陸冷氣團南下之影響，平地及低海拔山區的月平均最低氣溫自 12 月至翌年 2 月間都低於 15°C，1 月間出現  $\leq 5^\circ\text{C}$  絕對最低溫的頻率除南部沿海地區、恆春半島、及東部沿岸低於 20% 外，其餘地區都在 20% 以上(郭, 1978)。但是，農民為充分利用所擁有的氣候和土地資源，通常無法兼顧氣候上的安全性，冬季期間許多作物都會遭受過寒霜害。根據以往農業氣象災害統計資料顯示，台灣地區由寒霜害造成的農業總損失居第四位，次於颱風、雨害、及早害，平均約四年會發生一次嚴重的寒霜害；而每次寒霜害發生時，對農業造成的損失並不遜於其他三種農業氣象災害(楊, 1995)。

為防制果樹之寒霜害，國外已有許多改善方法被提出，詳細之理論依據、實施方法及所需注意之處，可參見 Barfield 與 Gerber (1979)、Rosenberg 等

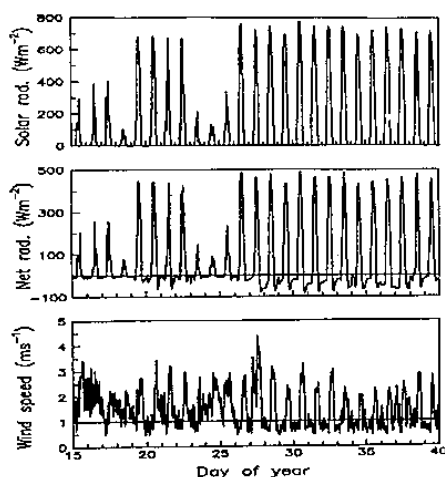
(1983)、真木等(1991)、…等專書。但目前臺灣採行「小農」農業經濟體系，農地也多屬「拼盤式農作」型態，每塊果園之面積並不大，且鄰近之果園常種植他種果樹，對於低溫逆境的防護需求並不一定相同，因此國外已研發的方法，並不適合直接引入，仍需針對台灣地區農業現況再予以調整修改。申與章(1994)、申與詹(1998a、b)曾分別對葡萄、嫁接梨、和蓮霧三種不同植冠類型的果樹，設計適合台灣地區農業現況的防護方法。

以下將先從台灣地區可能發生寒霜害的氣象環境與地形條件，以及果園內熱通量傳輸路徑與防護措施分析兩方向進行說明，再分別以葡萄、嫁接梨、和蓮霧三種台灣地區果樹主要植冠類型為例，說明對不同植冠類型果樹所設計的防護措施以及其防護效果。

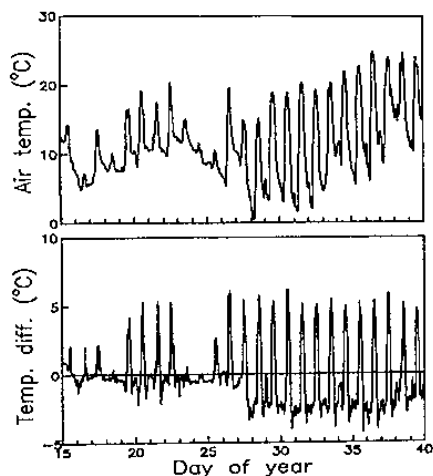
## 二、易生寒霜害的氣象環境與地形條件

民國 82 年初，在 1 月 15 日至 1 月 17 日，以及 1 月 24 日至 1 月 27 日，有兩次寒流來襲，尤其第二次寒流來襲後，台灣中南部之農業與養殖漁業均曾傳出災情，此期間相關之氣象要素的連續記錄分別如圖 1、2 所示。由日射量、淨輻射量及風速之記錄(圖 1)，可知在兩次寒流來襲時，天空雲量增多，使得晝間入射的日射量與夜間損失之長波輻射量減少，復由於冷空氣急速侵入，故氣溫與葉溫迅速下降，但都未降至 5°C 以下，且兩者數值非常接近(圖 2)。但是兩次寒流之後數日，葉溫與氣溫在夜間的變化迥異。第一次寒流後(1 月 18 日至 1 月 23 日)，葉溫與氣溫仍非常接近，清晨最低葉溫仍保持在 5

°C以上；然而，第二次寒流後(1月28日至2月2日)，不僅葉溫與氣溫差距頗大，且日夜溫差大，每日清晨最低葉溫可降至0~2°C。日射量與淨輻射量之統計顯示，在1月18日至1月23日間，平均每晝間入射之總日射量與夜間逸失的淨輻射量分別為8.7與0.7 MJ m<sup>2</sup>day<sup>-1</sup>，但在1月28日至2月2日間則分別為16.9與2.0 MJ m<sup>2</sup>day<sup>-1</sup>。風速記錄則顯示1月18日至23日夜間之風速較1月28日至2月2日夜間為大且多變化。



圖一、寒霜害好發期間的典型氣象環境。



圖二、寒霜害好發期間氣溫與葉溫的典型變化。

此兩次寒流過後，葉溫與氣溫表現不同之原因，在於第一次寒流後，日夜仍均為陰天，不僅白天入射之日射量少，夜間葉片因長波輻射損失的熱量亦少，但地面空氣的混合程度則因風速增強而加大，因此不僅日夜溫差小，葉溫與氣溫間的差異也不大。反之，第二次寒流後，日夜均晴朗，白天入射之日射量大，使得地面氣溫及葉溫升高，夜間因強烈的輻射冷卻，形成深厚的夜間穩定層，而地面空氣的混合程度亦因風速小而變差，因此不僅日夜溫差大，且葉溫亦明顯低於氣溫。

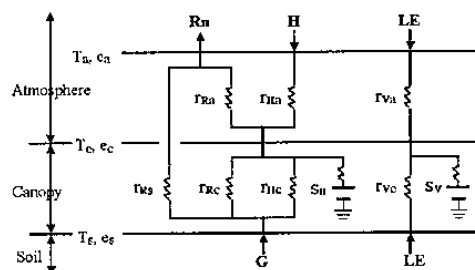
由以上分析可知，能引發台灣地區果樹遭受寒霜害的氣象環境，多發生於冬季冷鋒通過後，因高壓

下沉氣流造成之晴朗、乾燥、無風至微風的夜晚，此時不僅輻射冷卻強烈，且因風力微弱不足以打破夜間穩定層而導致顯熱供輸不足，因而導致植被溫度顯著下降。顏(1961)、徐與辛(1979)、郭(1980)、徐(1981)等人對台灣地區平地與低海拔山區低溫形成原因進行的分析，也都指出冷鋒通過後的強烈輻射冷卻效應是導致低溫逆境形成的主因。

地形條件也會影響發生局部地區發生寒霜害的機率。例如，依臺灣地區一月份 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 絕對最低溫度出現頻率的分佈圖(郭, 1978)，可推知沿雪山山脈下降的冷空氣易使台中盆地東北方的地區發生寒霜害；位於群山中的南投埔里盆地，易成為冷空氣聚積之處，也容易發生寒霜害；位於中央山脈西側的雲嘉地區，冬季處於東北季風的背風側，天氣多屬晴朗穩定，夜間輻射冷卻強烈，低溫出現頻率則相對升高；北部地區冬季氣溫雖低，但因東北季風氣流受地形抬升影響，天空雲量較多，地面輻射冷卻弱，因此遭受寒霜害的機會並未相對增多；東部地區因輻射冷卻受山勢侷限，且有暖洋流流經，因此也不容易發生寒霜害。又如，依氣溫遞減率，山區高度越高氣溫越低，但是在山頂和山坡地區因空氣容易流動，並不容易發生寒霜害，反而是谷底地區因冷空氣下滑累積容易發生寒霜害，徐與黃(1984)曾依此原則進行山區霜害危險度區劃。受陸風影響之沿海地區，因冷空氣不易聚集並不容易發生寒霜害，但受大型遮蔽物影響形成之局部靜風地區，仍可能發生寒霜害(徐等, 1995)。

### 三、熱通量傳輸路徑與防護措施分析

圖3為土壤-植被-大氣間主要熱通量傳輸路徑的示意圖，其中  $T_a$ 、 $T_c$ 、 $T_s$  分別代表空氣、植被頂梢葉溫、與土表溫度； $e_a$ 、 $e_c$ 、 $e_s$  分別代表空氣、植被頂梢、與土表之水蒸氣壓； $R_n$ 、 $H$ 、 $LE$ 、 $G$  分別代表淨輻射、顯熱、潛熱、與土壤熱流； $r_a$ 、 $r_H$ 、 $r_V$  分別代表以輻射、顯熱、與潛熱方式傳輸的傳遞阻力； $S_H$ 與 $S_V$ 則分別代表可外加之熱源與水氣源。顯熱與潛熱之傳輸主要以對流方式行之，因此  $r_H$ 和 $r_V$  主要受風速及空氣穩定性之影響(Rosenberg et al., 1983; Monteith and Unsworth, 1990)；輻射傳遞阻力則主要決定於傳輸路徑上是否有輻射屏蔽之存在(Incropera and De Witt, 1990)。



圖三、果園中夜間熱通量輸送路徑示意圖。

夜間植被以長波輻射方式損失的熱量必須靠流向植被之顯熱、潛熱、和土壤熱流進行補充，否則植被溫度將持續下降。在易於發生寒霜害的氣象環境下，強烈之輻射冷卻效應不僅導致熱量急速損失，而微弱的風力又無法有效打破強烈的夜間穩定層，因此減弱由植被上方較暖空氣向下輸送的顯熱，且冷高壓下沉的乾空氣也導致潛熱的供應減少。一般而言，受植被葉片之輻射屏蔽效應影響，土表溫度通常不僅顯著高於植被頂梢的葉溫，也高於植被上方的氣溫，表明土壤內儲有大量熱能(顯熱與潛熱)可供利用，惟由於受植被枝葉減弱風速之效應，使得植被內的傳遞阻力 $r_{hc}$ 、 $r_{vc}$ 增大，因而不易於向上傳輸到最易受害的植被頂梢部位。

由上述相關熱通量傳輸路徑的分析，可瞭解有關寒霜害的物理性防護措施，可從減少長波輻射損失，增加流向植被之顯熱、潛熱、及土壤熱流量，或補充額外的能量等方向著手。以下綜合整理以往開發相關防護措施時的想法與經驗，並針對一些常被提及之防護措施的優缺點進行分析。

#### (一)減少長波輻射損失

利用PVC塑膠布、不織布、遮陰網、...等長波輻射不易穿透的覆蓋材料作成的輻射屏蔽，能有效阻擋長波輻射的逸失(Blanc et al., 1963)，是一種防護低溫逆境的有效措施。利用塑膠布搭建的簡易溫室和低矮棚架，已被廣泛用於台灣中北部地區，做為冬季蔬菜的保溫措施使用；塑膠布覆蓋也常被用於水稻秧苗的防寒措施中。以棚架覆蓋塑膠布做為防護果樹低溫逆境的措施並不多見，可能因為果樹樹型多高大，且每株果樹所需的單位面積大，搭建大型防護措施並無法獲得經濟效益。此外，因溫室效應產生之日間高溫，和棚架與覆蓋物對光合作用有效輻射量之減低等不利因素也可能影響果品之產值。

但是，若能準確預測低溫逆境發生的日期，並能將不織布或遮陰網等輕柔材質的覆蓋材料快速的覆蓋於植株上，且取下時又不會對植株造成傷害，則可考慮於發生低溫逆境的期間，利用阻擋長波輻射損失的方法進行防護。

#### (二)增加顯熱供應

以高架風扇打破地表的夜間穩定層，使作物上方的暖空氣得以向下輸送，增加葉片顯熱之供給，在國外已成為一種常見的防護措施(Barfield and Gerber, 1979; 真木等, 1991)。需注意的是，當夜間輻射冷卻強烈時，地表的逆溫現象明顯，夜間穩定層非常安定，需於大範圍內佈設多組大馬力的高架風扇，才能有效打破此逆溫層並將較高處的暖空氣引下。在台灣地區由於每戶果園面積小，且栽植的果樹種類多，因此尚未見到大面積聯合使用高架風扇做為防護措施的實例。對新社地區小規模高架

風扇試驗區農戶訪視的經驗指出，由於設置面積過小因而防護的效果並不好，且因高架風扇維護不易，目前多已荒廢不用；有農民曾將風扇改設於植被上方約1m處，雖然維護作業相對較方便，但因高度不足導致可提供的顯熱有限，因此仍無法有效防護低溫逆境。

由於葉片的輻射屏蔽效應，土表溫度通常高於植被頂梢的溫度，因而由土表到植被頂梢間的空氣係處於不安定的狀態，惟由於枝葉對渦流形成的壓抑效應，土壤中儲存的熱量並不易向上傳輸，但若提供適當的傳輸環境與誘發機制，土壤中儲存的大量熱源也可供做防護的顯熱熱源(申與章, 1994)。

#### (三)提供額外熱源

利用夜間地面氣溫剖面具逆溫分佈的特性，若利用加熱器稍微加熱空氣，則被加熱的空氣會因逆溫的壓制作用而停留在某一高度下，因此也可使植被週遭的空氣暖合起來，而達到防護的目的。原則上，使用多量小型加熱器的防護效果要比用少數大型加熱器好，因為大型加熱器易造成急速上升的熱氣流，反而達不到預期目的，且大型加熱器產生的高溫也可能會對作物造成直接危害(Martsoif, 1979)。

加熱器除了可直接加熱空氣外，加熱器的熱能也可以經由輻射的方式，直接傳遞至植被的葉面而達防護的目的。一般而言，加熱器的熱量約有2/3會以輻射的方式傳輸。在枝葉繁茂的植被中，受輻射屏蔽效應之影響，雖然以輻射方式傳輸的效率並不高，但產生的熱能卻不易逸失；反之，在枝葉稀疏的植被中，由加熱器所提供的熱量，卻容易以輻射的方式穿透植被而損失。

為避免因加熱器過熱所導致的熱量損失或對作物產生直接傷害，並減少以輻射方式損失的熱量，可以設法將加熱器產生的熱能轉換型式後利用。申與詹(1998a)曾以加熱器煮水的方式，將投入加熱器的熱能轉換成蒸發潛熱，可以更有效地將投入的熱量傳輸到需要防護的植被位置，並可有效控制加熱器的溫度與減少輻射的損失。

#### (四)水的應用

水的比熱為 $1\text{ cal g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，但水的蒸發熱卻需要 $580\text{ cal g}^{-1}$ ，因此除非有充足的溫水來源與均勻有效的灑水系統，否則不應輕率使用灑水方法做為果樹的防護措施。若採用灑水方法做為防護措施，則夜間一旦啟用，就必須連續使用直至清晨日出後，否則反而更易受害。但是，若於清晨日出後，利用灑水系統將植被上已形成的霜洗掉，則可減輕霜害的程度。

適量的水分可增加土壤的熱傳導率和土壤的熱容量，並降低土壤的反射率，因此可於強烈寒流侵襲前進行適度灌溉，使土壤能有效蓄積晝間入射的日

射能量，而於夜間釋出，以減輕所受寒霜害的程度。此外，冬季期間地下水溫通常高於氣溫甚多，若地下水源豐富，且果樹樹型不高又可以耐受短期的浸水，亦可考慮於夜間以地下水淹灌果園進行防護。

#### (五)防風林(網)的應用

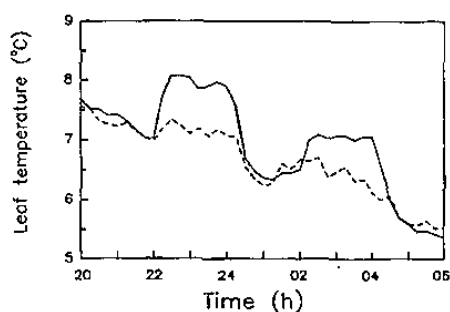
在坡地上種植防風林或設置防風網，阻擋夜間沿坡面下滑的冷空氣，可以減輕位於谷底作物的寒霜害。但於空曠的平原地區設置防風措施，將會使原本已相當微弱的風速更加減緩，導致渦流傳遞阻力因風速降低而增加，減少由植被上方暖空氣向植被輸送的顯熱熱量，反而增加寒霜害的發生機率(真木等, 1991; 申等, 1998b)。

### 四、果樹寒霜害防護案例

#### (一)葡萄

生產冬果之葡萄園，在冬季期間葉片幾乎可完全覆蓋栽培棚架，而棚架與土表間僅存有葡萄的主莖幹與支撐棚架的石柱。披覆在棚架上的葡萄葉片不僅形成輻射屏蔽，阻擋了土表以輻射方式損失的熱能，同時也壓制了棚架與土表間熱對流的形成，減少可由土表流向植被的顯熱熱量。申和章(1994)在臺中縣東勢地區葡萄園之防霜方法試驗中，將風扇改置於葡萄棚架下，利用強制對流方式誘發葡萄植被與土表間的不穩定狀態，以提高此層間的渦流傳遞效率，使儲存於土壤中之熱能加速釋出。

圖四顯示在葡萄棚架下設置風扇的防護效果。是晚(民國83年2月2日晚)屬無風至微風狀態，整夜淨輻射之變化不大。因輻射冷卻之故，不論測試區或對照區的葉溫都逐漸下降，但當風扇啟動時，測試區內的葉溫即明顯高於對照區的葉溫，此溫差一直保持至風扇停止轉動，然後兩區的葉溫再趨於一致。此現象在當晚另一測試週期內亦清晰可見。此外，對照區的位置雖離測試區約有25m以上，但在兩次風扇轉動期間，對照區葉溫仍受風扇影響而略為升高。顯示由地面至葡萄棚架間的顯熱輸送量，確可因強制對流而增加，而且由於葡萄棚架下的空氣處於不穩定的狀態，利用少數風扇增加強制對流所造成的效應，可放大及於相當大的範圍。



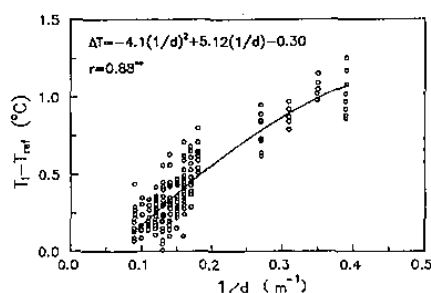
圖四、風扇置於葡萄棚架下的防護效果。

試驗結果顯示，在葡萄棚架下以20m×20m的密度設置風扇，是適合台灣地區冬季葡萄寒霜害的防護方法。其優點包括1.將風扇置於植被下，不僅容易收放與維修，且節省安裝的費用；2.利用原已存在之不穩定狀態，可減少風扇的使用數目；3.每位農民可自行決定是否需在自有的果園中使用，不需聯合其他農民共同設置，適合台灣地區小農之生產制度。

#### (二)嫁接梨

台灣低海拔山區梨園嫁接日期常在12月下旬至1月間進行，嫁接後正逢台灣寒潮頻繁之低溫期，梨穗易受低溫影響癒合。此時原有之徒長枝已被剪除，棚架上僅剩長度約30cm的砧木枝條，透空度極高，土表溫度與植被溫度非常接近，顯示應該無法由土壤中獲取大量顯熱供防護措施使用，因而考慮以外加熱源的方式進行防護。由於植冠層相當薄且高，慮及植冠枝條攔截加熱爐所釋出之輻射熱的效率可能不高，申與詹(1998a)修正國外加熱爐的設計為沸水加熱爐，使能於加熱同時產生多量的水蒸氣，除可藉由水氣於枝條上凝結釋出的凝結熱，以提升接穗的溫度外，亦可避免位於植冠下方加熱爐的溫度過高，對植株產生傷害。

在無風至微風、輻射冷卻強烈的夜晚，利用沸水加熱爐做為熱源，所能提升之葉溫與離加熱爐平均距離之關係示於圖五。由圖中顯示增溫效果將隨著離加熱爐距離而改變，距離愈近增溫效果愈明顯，由距離與增溫之關係式，可推估若使用加熱爐，當溫度達到至90~100°C間時，約可提升距離2.8m內之植株葉溫達1°C以上。



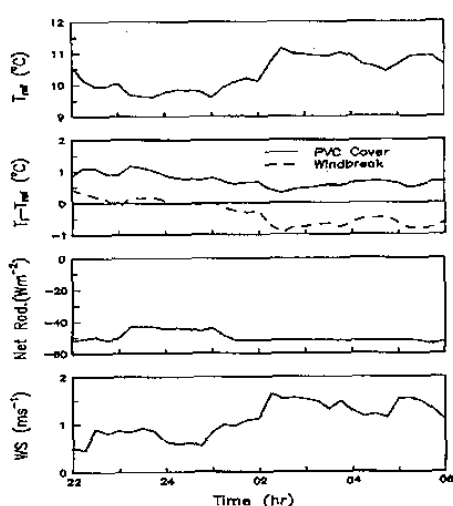
圖五、蒸氣加熱對於嫁接梨穗霜害的防護效果。

試驗結果顯示，可在梨園棚架下以5m×5m的密度擺放利用廢棄藥桶(或沙拉油桶)和小炭火爐組成的沸水加熱爐，是適合台灣地區冬季嫁接梨穗寒霜害的防護方法。其優點包括1.利用水蒸氣較空氣輕且會尋找梨穗枝條凝結的特性，直接將熱量傳輸到需要防護的位置，顯熱與輻射熱的浪費也可減至最少；2.廢物利用，減少所需硬體設備的投資；3.每位農民可自行決定是否需在自有的果園中使用，不需聯合其他農民共同設置，適合台灣地區小農之生產制度。

#### (三)蓮霧

冬季氣溫若降低至 10°C 以下，蓮霧花蕾及幼果即會遭受寒害發生脫落現象，影響產量及產期(郭，1994)。由於蓮霧樹形高大，且枝葉茂密，不論擬利用土壤中儲存的熱量或以外加的方式提供熱量，此熱能都不易由地面向上輸送到植被上方。因此，利用高架式風扇打破夜間穩定層，增加由空氣流向植被的顯熱熱量；或是利用輻射屏蔽阻擋長波輻射逸散，減少淨輻射的損失，是兩種比較可行的防寒措施。為瞭解輻射屏蔽的保溫效果，申與詹(1998b)曾於屏東地區進行以 PVC 帆布覆蓋的防寒措施效果評估。由於若將樹體以 90%防紫外線遮陰網包覆進行遮陰處理，可以提早開花達到調節產期的目的(王，1995)，若能適當設計遮陰網的簡易懸掛措施，使不僅能供遮陰處理使用，也可以在預報低溫逆境發生前快速以遮陰網覆蓋樹體，應該可以使防護措施的硬體投資符合經濟效益。

圖六是田間以防風網擋風與 PVC 帆布覆蓋做為防寒措施效果之比較。是晚(84 年 12 月 31 日晚)輻射冷卻強烈，唯風速有較大變化，在清晨一時以前風速微弱，其後風速轉強。當風速微弱時，地面空氣攪動混合程度低，以 PVC 帆布覆蓋阻擋植被長波輻射逸失可使葉溫較對照處理區，約提高 1°C，但因風速微弱，防風網對葉溫之影響並不明顯。但當風速增強時，地面空氣因攪動混合程度提高，雖然以 PVC 帆布覆蓋處理較對照處理之葉溫提升並不多，但此係反應對照處理區因空氣攪動接受較多顯熱，對照區的葉溫已略有提升的結果。但以防風網防護之葉溫卻低於對照處理，顯示由於防風網會降低風速，但降低風速反而會減少對葉片提供之感熱所致。



圖六、覆蓋與防風網對於蓮霧寒害的防護效果。

試驗結果顯示，利用可懸掛遮陰網的簡易措施，阻擋長波輻射的逸散，並視氣溫的降幅適時使用小型加熱爐提供額外熱量，可能是適合當地蓮霧的防寒措施。其優點包括 1. 懸掛遮陰網的硬體措施也可提

供遮陰處理使用，可節省並分攤硬體設備投資；2. 每位農民可自行決定是否需在自有的果園中使用，不需聯合其他農民共同設置，適合臺灣地區小農之生產制度。

## 五、結語

為因應加入世界貿易組織，具有競爭力之熱帶果樹的種植面積將會增多，因而未來果農受低溫逆境影響所遭致的損失將更為增加。為協助果農因應寒霜害所招致的損失，亟需積極開發相關之防護管理措施。惟囿於個人研究人力、時間與經費之限制，以往僅能依據台灣地區主要果樹的植冠類型進行防護措施設計的研發，還無法進一步推廣並長期觀測防護效果，以進行必要之經濟效益評估。

進行防護措施之經濟效益評估與投資報酬估算時，除需長期觀測防護措施在不同逆境強度下的防護效果外，還需要當地發生災害之風險機率的相關資訊。因此，如何依據中央氣象局以往長期收集的氣象記錄，建立各地發生寒霜害(及其他農業氣象災害)的風險分佈圖，也是必須儘快完成的工作。此外，如能就天氣系統的變化趨勢並考量各地不同之地形條件，針對各局部地區分別發布不同等級的寒霜害預警，不但可節省農友佈設防護措施的時間與金錢，同時也可相對提高防護措施的經濟效益。

## 六、參考文獻

- 王德男。1995。十三。蓮霧。臺灣農家要覽 農作篇(二)。P.89-100。豐年社。
- 申雍、章國威。1994。東勢地區葡萄園霜害發生機制及風扇防雙方法之初步試驗。中華農業氣象 1:93-99。
- 申雍、詹文揚。1998a。高接梨園霜害防護措施研究。中華農業氣象 5:149-154。
- 申雍、詹文揚。1998b。屏東地區蓮霧園寒害防護措施之評估。中華農業氣象 5:7-13。
- 朱德民。1993。植物與環境逆境。國立編印館。
- 徐森雄。1981。台灣西南部氣溫之地理分佈特性。中華水土保持學報 12:93-101。
- 徐森雄、黃國禎。1984。臺灣中部地區霜危險度之調查 2. 從小氣後學觀點來推測霜之危險度。國科會防災科技報告 73-02 號。
- 徐森雄、謝杉舟、唐琦、陳泰然、吳清吉、林博雄。1995。嘉和遮體對其東側芒果園微氣候之影響。中華農業氣象 2:169-177。
- 徐晉淮、辛江霖。1979。臺灣地區降霜之分析研究。氣象學報 25:25-34。郭文鑠。1978。臺灣農業氣候區域研究。中央氣象局。
- 郭文鑠。1980。臺灣農業氣候區域規劃。中央氣象局。
- 郭同慶。1994。低溫對屏東地區冬季蓮霧之落花落

- 果及果實品質之影響。中華農業氣象 1：101-105。
- 楊純明。1995。臺灣地區農業氣象災害(1945-1993)及因應之研究方向。中華農業氣象 2：31-35。
- 顏俊士。1961。臺灣之寒害。氣象學報 7：23-34。
- 真木太一、鈴木義則、鴨田福也、早川誠而、泊功。1991。農業氣象災害的對策。養賢堂。
- Hackett, C. and J. Carolane. 1982. *Edible Horticultural Crops*. Academic Press.
- Incropera, F.P. and D.P. De Witt. 1990. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 3<sup>rd</sup>. ed. John Wiley & Sons.
- Levitt, J. 1980. *Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol 1. Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses*. 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press.
- Monteith, J.L. and M. Unsworth. 1990. *Principles of Environmental Physics*. 2<sup>nd</sup> ed. Edward Arnold.
- Rosenberg, N.J., B.L. Blad, and S.B. Verma. 1983. *Micromate. The Biological Environment*. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Sons.

## **Frost/Cold Injury Prevention Techniques for Fruit Trees in Taiwan**

**Yuan Shen**

**Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung-Hsing University**

### **Abstract**

The climatic environments of Taiwan are suitable for growing many kinds of fruit trees. However, the climatic-safe growing period usually were not being considered seriously because growers wished to use the climatic and land resources to their maximum extent. In this regard, occurrences of frost and cold injuries were inevitable. Small and check board-like orchard are the plantation type in Taiwan. Therefore, many frost and cold prevention techniques developed for large orchard are not suitable and need to be modified to accommodate the plantation type in Taiwan. In the paper, the meteorological and geological conditions favorable for frost/cold injury occurrence, heat transport mechanisms in the orchard, and the pros and cons of several commonly used prevention measures were discussed. Prevention techniques designed for three major types of tree canopies in Taiwan and their effects were also discussed using grape, grafted pear, and wax apple as examples.