農業氣象災害調查與防護技術
寄接梨寒霜害防護方法
93-104, 2003

寄接梨寒霜害防護方法

李炳和*[1]、廖志翔[1]、申雍[2]
[1]交通部中央氣象局
2 國立中興大學土壤環境科學系
E-mail: phlee@cwb.gov.tw

摘要 ---------- 94
一、前言 ---------- 94
二、發生寒霜害的氣象環境與地形條件 ---------- 95
三、熱通量傳輸路徑 ---------- 95
四、寒霜害防護措施分析---------- 96
五、寒霜害防護方法之實例---------- 97
六、結語 ---------- 99
七、誌謝 ---------- 99
八、引用文獻 ---------- 99
ABSTRACT---------- 101

寄接梨寒霜害防護方法

李炳和*[1]、廖志翔[1]、申雍[2]
[1]交通部中央氣象局
2 國立中興大學土壤環境科學系
E-mail: phlee@cwb.gov.tw

摘要

梨爲台灣重要之經濟果樹之一，栽培總面積近一萬公頃，其中以台中縣近六千公頃最多，爲本省主要生產地區。寄接梨梨穗嫁接期在 12 月至 1 月，此期間適逢臺灣低溫期，接穗後初期若遇寒潮爆發，梨穗即發生寒霜害，造成果農嚴重的損失。本文從臺灣地區可能發生寒霜害的氣象環境與地形條件，以及梨園微氣象環境之熱通量傳輸路徑與防護措施分析等，分別進行說明，並以臺中縣東勢地區三種防護措施爲例，分析其防護效果、設計上的優缺點及改進之道。

關鍵詞：寄接梨，寒霜害，防護措施。

一、前言

臺灣位處歐亞大陸和太平洋交接處，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℃，1 月間出現≦5℃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)。

寒霜害經常造成農業嚴重的損失，與颱風、豪雨、乾旱災害並列爲臺灣四大氣象災害。根據以往農業氣象災害統計資料顯示，臺灣地區由寒霜害造成的農業總損失居第三位，僅次於颱風、豪雨災害。以近十(82-91)年臺中縣的氣象災害爲例，本期間曾發生二次的寒霜害，分別是 84 年 2 月的寒害及 89 年 4 月的霜害，梨的受害程度都在 50%以上，每次損失金額均超過新台幣三億元(農業統計年報，1993-2002)。

爲防止果樹遭受寒霜害，國內外已研究出多種防護方法，但由於果樹種類、果園面積、地形及地勢...等不盡相同，因此需配合果樹及果園特性研發經濟有效的防護措施。國內外研究的防護方法，如 pvc 覆蓋葡萄棚架上，以減少長波輻射的損失(章，1994)、將風扇置於植株葉冠上方(Gerber, 1979)或置於果樹棚架下方(申及章，1994)，以強制對流方式，減少霜害之發生；更有應用輻射加熱方法，直接將熱能投射於植株群落，以達增溫效果(Rosenberg *et al.*, 1983)。

以下將先從臺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，再分別比較東勢地區寄接梨現有的三種措施之防護效果，並說明設計上之優缺點及其改進之道。

二、發生寒霜害的氣象環境與地形條件

引發臺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)、徐及辛(1979)、郭(1980)、徐(1981)等人對臺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≦5℃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臺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，易成爲冷空氣聚積之處，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，徐及黃(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

圖 1 爲土壤-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_R、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)。

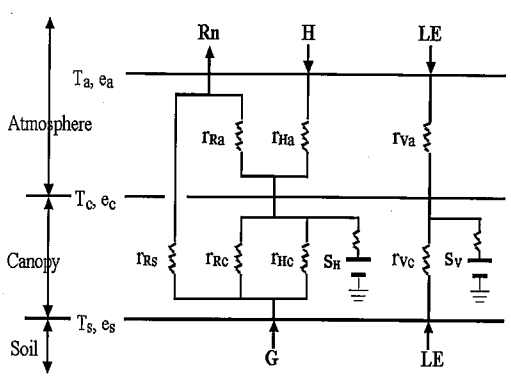


圖 1.果園中夜間熱通量輸送路徑示意圖。

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。

四、寒霜害防護措施分析

以下就國內外寒霜害之各種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，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，做爲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爲防護果樹低溫逆境的措施並不多見，可能因爲果樹樹型多高大，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，在國外已成爲一種常見的防護措施(Barfield and Gerber, 1979；眞木等，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爲防護措施的實例。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 1 m 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，但若能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(申及章，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，因爲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(Martsolf, 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。

爲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。申及詹(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，可以更有效率的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

水的比熱爲 1 cal $g^{-1}℃^{-1}$，但水的蒸發熱卻需要 580 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爲果樹的防護措施。若採用灑水方法做爲防護措施，則夜間一旦啓用，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(眞木等，1991；申及詹，1998b)。

五、寒霜害防護方法之實例

(一)加熱器(燈泡)加熱空氣法

於梨架上方架設工業用燈泡直接加熱空氣，每燈架上置 350 W 燈泡兩盞，各燈架距離約 10 m(圖 2)。

以此方式可直接加熱空氣外，加熱器的熱能也可以經由輻射的方式傳遞至植被的葉面，而達防護的目的，但由圖 3 知，燈照時間(92.1.6, 0-7 時)之枝條溫度較對照(不照光)僅高約 0.2℃，似乎未達預期效果，此因燈泡置於枝條上方，本體之熱能絕大部分逸散至枝條上方之空氣中(無效熱)，僅少部分輻射熱傳遞至枝條上，因此對枝條溫度之提昇幫助不大。



圖 2.燈泡加熱空氣法。

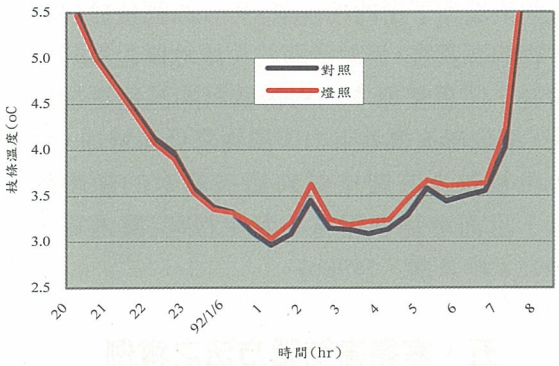


圖 3.燈泡加熱法對寒霜害之防護效果。

本方法使用上雖具省時省力之優點，但裝置成本高、降雨時不能使用、開啓燈泡之電費非常昂貴(2,000 元/公頃/夜)，且預防寒霜害效果不佳，要提高防護效果，必須增加燈泡密度，如此耗電量必然增加，故經濟效益不高，因此較不適合使用於寄接梨寒霜害之防護法。

(二)加熱器(煮水)加熱空氣法

於梨園地上放置爐火(300 個/公頃)，爐火上置廢棄之油桶(如沙拉油、夏油桶...)，以木炭將桶內之水燒開之後，水蒸氣隨即上升，部份水蒸氣自枝條間空隙逃逸，部份附著於枝葉上轉換成蒸發潛熱，可提高葉片溫度。再者，爐火及水桶除可加熱空氣及提高土壤溫度外，且其熱能亦可經由輻射方式，直接傳遞至枝條，可有效提昇枝條溫度，達多重防護效果(圖 4)。



圖 4. 煮水加熱空氣法。

試驗結果顯示(圖 5)，於寒潮低溫之夜晚(92.1.5, 23:00 - 1.6, 07:00)，煮水加熱法(防護區)之枝條溫度較對照區平均高約 0.5℃。

本法在梨的寒霜害預防上，爲經濟又有效之防護措施，但農民認爲小面積施行尚爲可行，而以較大面積的梨園而言，操作時費時又費工，在時間及體力上恐難以負荷，因此應針對缺點再研究改進，如採大型鍋爐將水蒸氣以管路方式輸送，或以電能自動加熱方式.....等，以節省勞力支出。

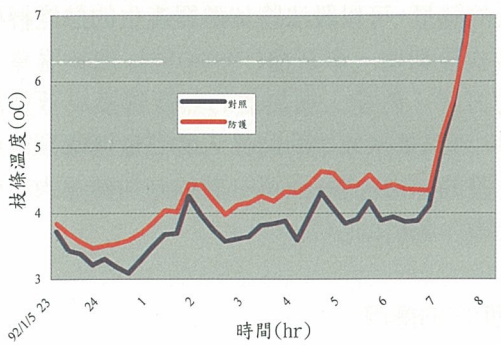


圖 5. 煮水加熱法對寒霜害之防護效果。

(三)PVC 塑膠棚減少輻射損失法

利用塑膠布搭建的簡易溫室，已被廣泛做爲冬季蔬菜的保溫措施，但少用於防護梨樹低溫災害，除因梨樹樹型高大，不易搭建外，且梨園單位面積大，搭建大型防護措施經濟效益低，因此農民極少嘗試。圖 6 是台中縣東勢鎮蘇姓梨農自行搭建的簡易塑膠棚，作爲防護冬季寒霜害及降雨災害措施。



圖 6.簡易塑膠棚防護寒霜害措施。

以塑膠布作爲覆蓋材料，長波輻射不易穿透，能有效阻擋長波輻射的損失，爲防護低溫逆境的有效措施。由圖 7 比較圖得知，設施內枝條溫度自 20 時之後即明顯的上升，至凌晨 1-2 時與設施外之溫度達最大差距(約 1℃)，日出後因溫室效應的關係，枝條溫度仍較設施外高。

梨穗開花至幼果期，低溫常使梨穗受損，導致開花受阻，無法結果或結果不良，須重新接穗，降雨亦然。因此，覆蓋 pvc 塑膠棚除可有效預防寒霜害外，且可有效防止降雨之傷害(降雨強度大小皆然)，爲寄接梨防護低溫及降雨災害之良好措施。但是，本措施不僅材料昂貴，且梨園多數位山坡或山谷處，或者交通不便之處，運輸及施工成本高，較不符經濟效益。因此，研究改良 pvc 棚之搭建方式，或改用他種廉價材料，或者改變塑膠布之收放方式等，將可大幅降低成本。

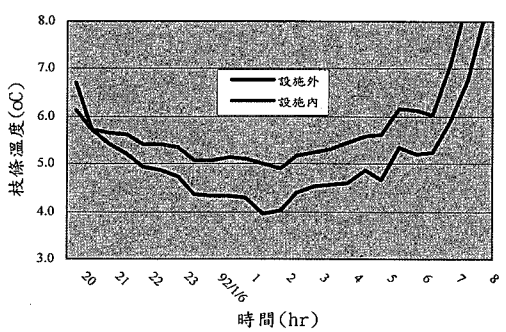


圖 7. pvc 塑膠棚對寒霜害防護之效果。

六、結語

在全球氣候變遷之下，災變天氣頻率日益增高，寄接梨因而常遭受其害，其中又以寒霜害最爲嚴重，而農民卻苦無經濟有效之應變措施，爲協助梨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。

寄接梨防護措施設計的研發，除需長期觀測防護措施在低溫逆境強度下的防護效果外，還需要當地發生寒霜害之風險機率的相關資訊，以進行必要之經濟效益評估，據此才能推廣應用，或進一步試用於他種果樹。

七、誌謝

本文部分內容爲行政院農業委員會研究計畫(編號：92 農科-8.1.1-糧-Z1)，在此謹申謝忱。

八、引用文獻

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。

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，臺北市。

章國威。1994。台灣中部山區葡萄、枇杷霜害之發生機制與預防技術之研究。國立中興大學土壤學研究所碩士論文。

郭文鑠。1978。臺灣農業氣候區域研究。中央

氣象局，臺北市。

郭文鑠。1980。臺灣農業氣候區域規劃。中央氣象局，臺北市。

農業統計年報。1993-2002。行政院農業委員會編印。台北市。

顏俊士。1961。臺灣之寒害。氣象學報 7:23-34。

眞木太一、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，日本。

Barfield, B. J. and J. F. Gerber (eds.). 1979. *Modification of the Aerial Environment of Plants.* 538pp. ASAE. Monogr. 2.

Gerber, J.F. 1979. Mixing the bottom of the atmosphere to modify temperatures on cold nights. p.315-324. *In: Modification of the aerial environment of plant.* B.J. Barfield and J.F. Gerber, eds., ASAE. Monogr.2.

Incropera, F. P. and D. P. De Witt. 1990. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 3rd. ed. John Wiley & Sons, New York.

Martsolf, J. D. 1979. Heating for frost protection. p. 291-314. *In*: *Modification of the aerial environment of plant.* B. J. Barfield and J. F. Gerber, eds., ASAE. Monogr. 2.

Monteith, J.L. and M. Unsworth. 1990. *Principles of Environmental Physics*. 2nd ed. Edward Arnold, London.

Rosenberg, N.J., B.L. Blad and S.B. Verma. 1983. *Microclimate. The Biological Environment.* 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.

Cold Damage Protection Techniques for Grafted-Pear

Ping-Ho Lee[1], Chih-Hsiang Liao[1] and Yuan Shen[2]

[1]Central Weather Bureau, Ministry of Transportation and Communication, Taipei,Taiwan, ROC

[2]Department of Soil & Environmental Sciences, National Chung Hsing Univeristy, Taichung, Taiwam, ROC

E-mail: phlee@cwb.gov.tw

ABSTRACT

Grafted pear is one of the major fruits grown in Taiwan. Among the total planted area of about 10,000 ha, there are 6,000 ha in Taichung County. December and January are the coldest months in Taiwan and also the periods conducting grafting operation. The new buds and flowers could be severely damaged if strong cold air mass moved in during this period. In this paper, we discussed meteorological and topographical conditions favored for cold damages to occur. Heat transfer in the field and potential mitigation methods were also analyzed through micrometeorological measurements. The effects, advantages and disadvantages of three protection methods were also discussed based on the experiments conducted in Donshi, Taichung County.

Key words : Grafted-pear, Cold damage, Protection techniques.