

ニホンナシ園における防霜ファン、多目的防災網 および燃焼資材の組合せによる防霜効果

大谷義夫

摘要:これまで晩霜対策については、燃焼法、送風法、多目的防災網被覆法または散水氷結法など単体での防霜効果は検討されてきたが、それらを組み合わせた効果については明らかにされていない。そこで、これらの2または3種の組合せによる相乗効果を明らかにし、果実被害軽減を図るため、晩霜対策の組合せ試験を行った。その結果、防霜対策の昇温効果は、燃焼資材(+2.5℃程度) > 防霜ファン(+0.5℃程度) > 多目的防災網(±0℃)の順に高いことが明らかとなった。また、防霜対策の組合せによる昇温効果は、燃焼資材設置が通常の1/2の場合、‘防霜ファン+多目的防災網+燃焼資材’の組合せが2℃程度と最も高く、次いで、‘燃焼資材+防霜ファン’と‘燃焼資材+多目的防災網’の組合せが1℃程度の昇温効果があることが明らかとなった。さらに昇温効果を高めるためには、燃焼資材の設置数を増やすことで、設置数に比例して温度を高めることができ、晩霜被害の軽減が図れると考えられた。

キーワード: 組合せ, 多目的防災網, ニホンナシ, 燃焼資材, 晩霜害, 防霜ファン

Effects of Combining Wind Machines, Net Covering, And Combustion on Preventing Late Frost Damage in Japanese Pear Orchards

Yoshio OYA

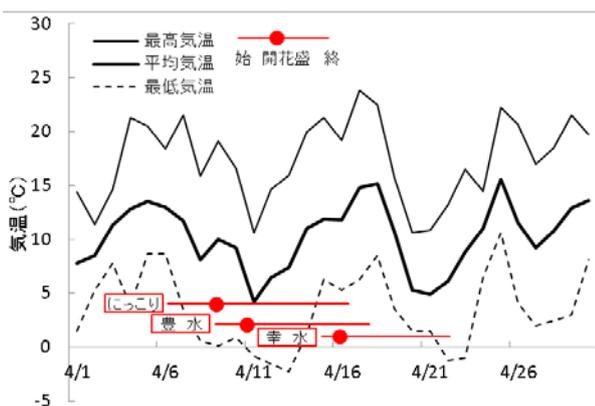
Summary: Combustion, wind machines, net covering, and freezing have all been considered as methods to protect pears from frost, including late frost, but effect of combining these methods on rising temperature has not been studied. Therefore, to understand the synergistic effects of two or three of these methods in combination to protect against late frost was examined. Used on their own, each method raised temperatures as follows: combustion method about +2.5℃, wind machine method about +0.5℃, and multipurpose net covering ±0℃. We next tested the effectiveness of the combustion when combined with other methods. A combination of wind machines, net covering, combustion methods was the most effective combination, resulting in an increased of about 2℃. Conversely, the combinations of the combustion material and wind machines methods, and combustion material and net covering methods resulted in 1℃ increase in temperature. Therefore, the temperature rising effect could effective in reducing late frost damage.

Key words: Combination, Combustion, Japanese Pear Orchards, Late Frost Damage, Net Covering, Wind Machine

I 緒言

果樹栽培において、開花期や幼果期における低温は、果実生産に深刻な被害を与える。近年は温暖化傾向が著しくなり、果樹類の生育が進み晩霜害を受ける頻度が多くなっている。1987年、1989年、2013年は過去に類をみない晩霜害が発生し、本県果樹生産に甚大な影響を及ぼした。特に2013年は、開花期から果実肥大初期であったニホンナシは、晩霜による低温被害により17.8億円もの被害が発生した(栃木県農政部, 2013)。被害は県内全域に及び、生育ステージ、地形や凍霜害対策の違いによって被害程度が異なった。

第1図は、2013年4月の栃木県農業試験場果樹園に設置されている気象観測装置(Weather bucket, (有)アグリウエザー)の気温経過を示しているが、12日と22日前後2日を中心に気温の低い日が続いた。この時期は、ニホンナシの開花期から幼果期であったため、晩霜や持続した低温の被害を受けた。また、12から14日は、‘にっこり’と‘豊水’の開花期であり、人工受粉を積極的に行ったが、県内で最高気温が10℃以下の日もみられ、結実不良により着果不足となった。22~24日は、‘にっこり’と‘豊水’の幼果期であり、-4℃を下回る低温により果実に裂皮やケロイド障害などの障害が発生した。県内全域では、第2図に示すとおり4月中有下旬に記録した最低気温は県東部を中心に-4℃以下の低温に遭遇し、被害金額は7.9億円にもなり全滅に近い被害となった産地もみられた。



第1図 栃木農試果樹園の気温経過(2013年)

従来、果樹類の晩霜対策は燃焼資材を燃焼させる燃焼法、地上数m上空の逆転層の暖かい空気を利用する送風法、多目的防災網で被覆する方法および潜熱を利用する散水氷結法がとられてきた(橋本, 1983)。

燃焼法は、かつて古タイヤなどの燃焼により防止対策としては一般的に行われてきたが、ばい煙公害の問題や連夜に及ぶ作業による肉体的・精神的疲労などから防霜ファンによる送風法に取って代わるようになってきた。しかし、晩霜対策

としての昇温効果は燃焼法が最も高いことから、近年、煙の発生が少なく、取り扱いが容易で安価な市販の燃焼資材も利用されている。燃焼法の昇温効果として、永山ら(2007)は市販の燃焼資材(霜よけくん、霜キラー)の燃焼時間は3時間弱、地上2.5mの温度上昇効果は約2.5℃と報告している。

送風法は、茶葉の霜害回避(此本, 1975; 山本・黒柳, 1975)を目的に導入が進んだものであるが、茶の他にカンキツ(中川ら, 1993; 大庭ら 1987)、リンゴ、ニホンナシ(多比良ら, 1996)、オウトウなど多くの果樹で利用されている。地上7から8mに大型の防霜ファンを設置し、上空の温度の高い空気を園地へ送風して晩霜を防止する方法で、温度や時間により自動で稼働することができるために、軽労化が可能となった。しかし、防霜ファンによる昇温効果について、多比良ら(1996)は棚面気温が0.2から1.4℃、果実温が0.8から1.8℃高くなり、防霜ファンにより果実被害が軽減されたと報告している。上空の温度の影響が大きく、昇温効果も不安定な側面を持つ。



第2図 JA別の4月中下旬の晩霜・低温によるニホンナシ被害金額²(2013年)

² 気温は共済連で設置したほ場のデータ(※はアメダス)

多目的防災網被覆法は、園内の温度上昇効果が少ないため、晩霜対策として積極的に推進されていないが、多比良ら(1997)は、多目的防災網(9 mm ラッセル)により、棚面気温で0.0から0.4℃、果実温が0.6から1.1℃高くなり、多目的防災網被覆により果実被害が軽減されたと報告している。

散水氷結法は、スプリンクラー等からの散水により作物体に用水を付着させ、その水が氷結する際に放出する潜熱を利用して、凍結温度付近(0℃)を保持し、気温の低下から作物体を保護する効果がある。多量の水を必要とするため、用

水の確保と散水器具等の事前の設置が必要となる。

これらの晩霜対策については、単体の効果について調査が進んだ結果、地域の実情に応じて整備が進み、2015年時点で栃木県内のニホンナシ園では多目的防災網が栽培面積の約95%、防霜ファンが40%設置された。しかし、防霜ファンと燃焼資材の組合せなど、それぞれの組合せの効果については明らかにされていないため、現地指導に活かされていないだけでなく、組合せの方法によっては防止できた晩霜被害も存在したことが考えられる。そこで、これら凍霜害対策の組合せがニホンナシ園の温度低下防止効果(以下、昇温効果)に及ぼす影響および果実被害軽減効果について検討した。

II 試験方法

1. 晩霜対策の組合せが昇温効果に及ぼす影響(試験1)

試験は、2013年4月11日から12日にかけて栃木農試果樹園で行った。処理区は、第1表のとおり多目的防災網展張の有無、防霜ファン稼働の有無、燃焼資材使用の有無の3要因2水準でL8(2⁷)型直交表に割付けて実施した。各処理区の面積は10a以上とした。

第1表 直交表に割付けた処理区の概要

試験区No.	処理内容(晩霜対策の種類)		
	多目的防災網	防霜ファン	燃焼資材
1	有	有	有
2	有	有	無
3	有	無	有
4	有	無	無
5	無	有	有
6	無	有	無
7	無	無	有
8(無処理)	無	無	無

防霜ファンはフルタ電気株式会社製で、高さ8mに羽根径700mmの防霜ファンを4aごとに1機設置し、12日1:00から7:00まで連続稼働させた。なお11日の日中の最高気温は8.7℃、防霜ファン稼働時の棚面の気温は-0.8℃であった。

多目的防災網は9mm×9mmの角目にクロス目合のラッセル多目的防災網を用い、天面は常時展張、側面は11日17時に地面まで下降させた。

燃焼資材は米国Duraflame社製のDuraflame(発熱量18,900kcal・本⁻¹)を20本・10a⁻¹(メーカー基準30~42本・10a⁻¹)設置し、12日の1:30から2:00に点火した。本来は、メーカー基準数を設置する必要があったが、12日以降も低温が続く予報で、在庫も少なかったことから、半数の設置で試験を行った。燃焼時間は概ね3時間であったため、4:30に10本・10a⁻¹追加した。

気温は、防霜ファン直下(地上7.0m)および棚面(地上

1.8m)に小型防水データロガー(TR-51, ティアンドデイ社)を設置し、測定した。なお、露天での温度変化を調査する目的で、センサーへの被覆は行わなかった。果実の被害は胚珠の褐変、幼果の火ぶくれ症状のみならず、花卉の褐変も被害とみなし、果そうの被害は果そう当たり1果(花)以上被害があった場合に被害とみなした。果そう被害率は、全調査果そう当たりの被害のあった果そうの割合とし、4月18日に調査した。調査品種は、試験実施中に満開期であった'っこり'または'豊水'とした。なお、6区~8区は'っこり'または'豊水'樹が栽植されていなかったため調査できなかった。

2. 燃焼資材の設置数が昇温効果に及ぼす影響(試験2)

試験は、2013年12月12日から13日にかけて栃木農試果樹園で行った。燃焼資材として'防霜ロック(栃木農産, スチール缶に灯油を入れロックウールを芯として燃焼)'を用い、燃焼資材の設置数によるニホンナシ園内の温度上昇効果を検討した。処理区は、防霜ロックを10a当たり40個、20個、10個および0個とし、それぞれ2倍区、1倍区、1/2倍区および無処理区とした。燃焼用の燃料は灯油を用い、点火前に缶内に4Lを注ぎ入れた。着火は13日2:30、外気温4.1℃時点で行った。その後、2時間程度で燃焼が弱まってきたため、缶内に2L灯油を追加し4:30に再点火した。多目的防災網は、燃焼資材設置区は上面側面とも展張し、無処理区は閉張した。気温は、防霜ファン直下(地上7.0m)および棚面(地上1.8m)に小型防水データロガーを設置し、測定した。

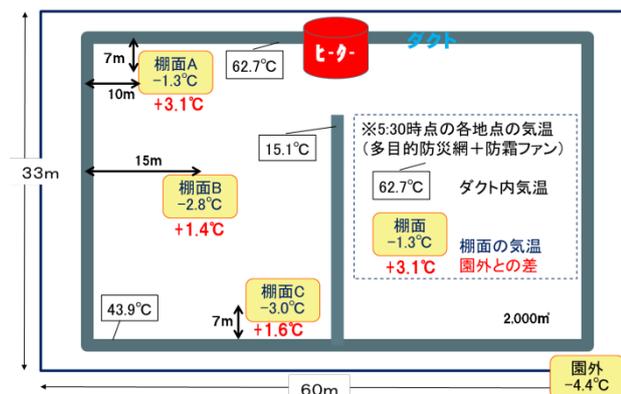
3. ハウス用暖房機を改良した防霜ヒーターが昇温効果に及ぼす影響

1) ロの字形ダクト配置(試験3-1)

試験は、2013年12月12日から13日にかけて栃木農試果樹園で行った。各処理区の処理面積は20aとし、上面および側面を多目的防災網(9mm×9mmの角目にクロス目合のラッセル多目的防災網)で被覆した。既存の燃焼資材は、資材の配置、着火の労力や不眠などの肉体的、精神的疲労が問題となる。そこで、燃焼資材として、ハウス用暖房機の低床化かつ移動を可能とした'防霜ヒーター'を開発し(フルタ社製、熱量約100,000kcal・h⁻¹)、防霜ヒーターから左右にφ60cmのダクトを出し、第3図のように園の外周の内側約5mにダクトを配置した。ダクトから温風を排出できるように、ヒーター出口から1/3は2m間隔、その先1/3は1.5m間隔、さらにその先1/3は1m間隔にφ10cmの開口をダクト斜め上方に加工した。また、防霜ヒーターの点火は12月13日2:30、外気温4.1℃時点に行った。

処理区は、防霜ヒーター稼働+多目的防災網展張+防霜ファン稼働とした防霜ヒーター1区、防霜ヒーター稼働+多目的防災網展張+防霜ファン停止とした防霜ヒーター2区、および燃焼資材なし+多目的防災網なし+防霜ファン停止

とした無処理区の3処理区を設置した。気温は、第3図のとおり、棚面(地上1.8m)およびダクト内に小型防水データロガーを設置し、測定した。



第3図 防霜ヒーターおよびダクト配置状況(2013年12月13日)



第4図 棚下用に改良した防霜ヒーター

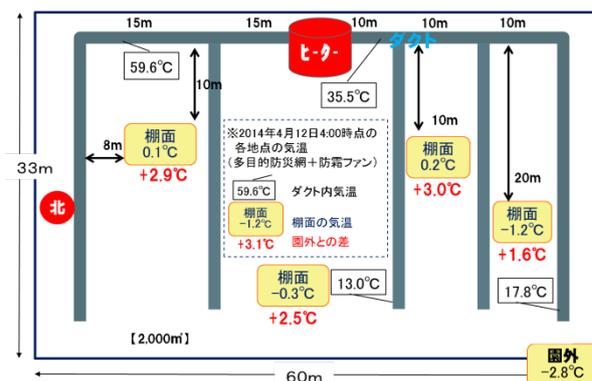
2) 櫛形ダクト配置(試験3-2)

また、園内の気温分布に-1.3から-3.0°Cの不均一があったため、2014年4月12日から13日に第5図に示すとおりダクトの配置を串刺し状に配置し、追加試験を行った。多目的防災網は上面側面とも展張し、防霜ファンの有無を検討した。処理区は、防霜ヒーター稼働+多目的防災網展張+防霜ファン稼働とした防霜ヒーター1区、防霜ヒーター稼働+多目的防災網展張+防霜ファン停止とした防霜ヒーター2区、および燃焼資材なし+多目的防災網なし+防霜ファン停止とした無処理区の3処理区を設置した。気温は、第5図のとおり、棚面(地上1.8m)およびダクト内に小型防水データロガーを設置し、測定した。

4. 散水氷結法の検討(試験4)

市街地に樹園地をもつ生産者は、煙や騒音が発生するため燃焼資材や防霜ファンが設置できない状況にあるため、散水氷結法の効果を確認した。

試験は、2013年12月22日から23日にかけて栃木農試果樹園で行った。各処理区の処理面積は15aとし、多目的防災網は閉張した。散水器具はサンホープ社製のアグリスパイクセットを用い、棚上50cmから散水(3.55mm・h⁻¹)した。ア

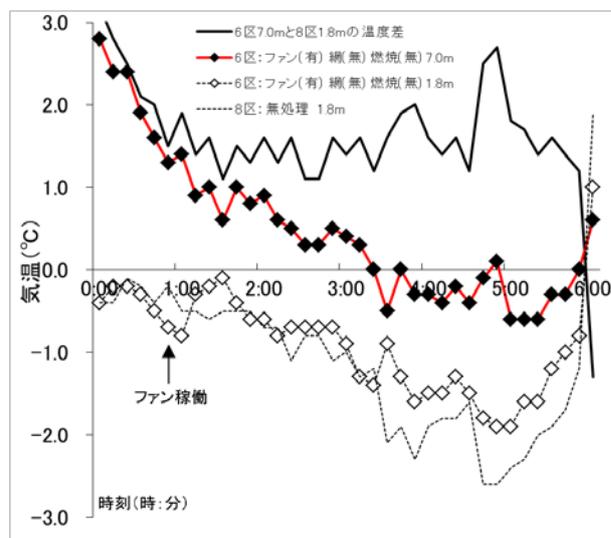


第5図 防霜ヒーターおよびダクト配置状況(2014年4月12日)

グリスパイクの設置間隔は9.6×6.6mとした。散水開始の設定温度は2°C(12月22日22:00)とし、日の出60分後で気温5°C以上(23日10:00)になり、付着した氷が溶けるまで連続散水した。気温は、棚面(地上1.8m)に小型防水データロガーを設置し、測定した。また、結果枝内部の温度は、結果枝に幅2mm、深さ10mmの穴を開け、10mm内部の温度を調査した。

III 結果

4月の果樹園の気温は、第1図のとおりおおむね10日間で上昇と下降を繰返し、12日および22日を中心に最低気温が氷点下の日が数日経過した。調査日の気温は、12日0時に-0.4°Cで、その後も気温が低下し5時に最低(-2.6°C)となった。また、第6図のとおりファン直下ではあるが地上7mの気温も5時に最低気温を記録し、その後上昇した。なお、棚面と防霜ファン直下の気温差は、1時から5時まで1から2°Cで、防霜ファンの効果が高まるとされる3から4°C以上よりも小さかった。



第6図 防霜ファン稼働時の棚面(1.8m)と防霜ファン直下(7.0m)の気温経過(2013年4月12日)

1. 晩霜対策の組合せが昇温効果に及ぼす影響(試験 1)

1) 単体処理の効果

第2表のとおり、単体処理の効果は、燃焼資材有が無にくらべ最低気温が1.0℃有意に高く、-1.5℃以下の経過時間が107分有意に短くなった。多目的防災網(0.1℃)および防霜ファン(0.5℃)に有意な差はなかった。また、最大温度差、平均温度差の傾向も最低気温と同様であった。

2) 3つの処理の組合せ効果

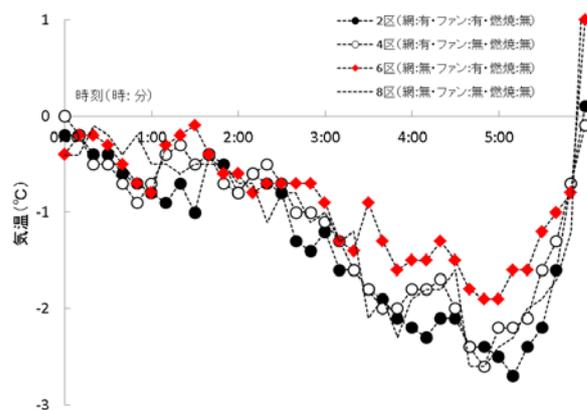
3つの処理の組合せについて第2表に示した。最低気温は1区が-0.8℃と最も高く、8区(無処理)より最大温度差で2.4℃、平均温度差で1.2℃の昇温効果があった。次いで、3区と5区が-1.4℃で、8区より最大温度差で1.5、1.9℃、平均温度差で0.7℃の昇温効果を示した。

3) 防霜ファンの影響

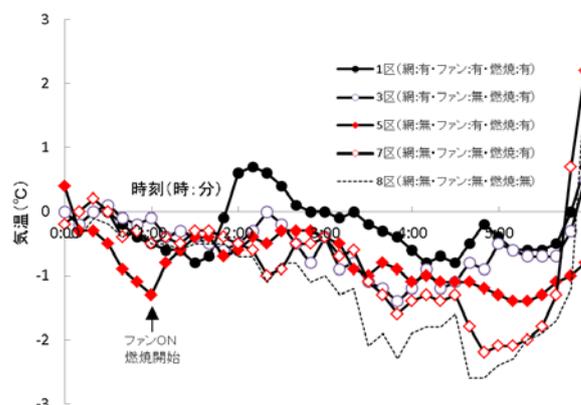
多目的防災網(無)・燃焼(無)の条件で防霜ファンの効果について第7図に示した。6区は8区よりも気温の急激な低下が抑制され、防霜ファンの稼働により最低気温で0.7℃、最大温度差で1.2℃、平均温度差で0.4℃の昇温効果がみられた。一方、多目的防災網(有)・燃焼(無)の条件では、2区と4区の差は0.1℃と小さく、多目的防災網の展張により防霜ファンの効果が相殺された。

4) 燃焼資材の影響

多目的防災網(無)・防霜ファン(無)の条件で燃焼資材の効果は、第2表および第8図に示した。7区と8区の最大温度差は1.0℃であったが、最低気温差、平均温度差は0.4℃と小さかった。一方、多目的防災網の効果について、3区と7区で比較すると、3区は最低気温が-1.4℃と高く、7区との差が0.8℃、最大温度差で0.9℃、平均温度差で0.3℃高く、多目的防災網を展張することで昇温効果の上乗せが図られた。また、防霜ファンの効果について、5区と7区で比較すると、5区は最低気温が-1.4℃と高く、7区との差が0.4℃、最大温度差で0.5℃、平均温度差で0.2℃高く、防霜ファンを稼働す



第7図 防霜ファン処理区の気温(2013年4月12日, 1.8m)



第8図 燃焼資材処理区の気温(2013年4月12日)

ることで昇温効果の上乗せが図られた。

5) 低温遭遇時間が果そう被害率に及ぼす影響

第9図に過疎被害率と-1.5℃以下の経過時間との関係を示した。果そう被害率は、2区が79.0%、4区が61.0%と明らかに高く、処理間では-1.5℃以下の経過時間が長いほど高くなった。

2. 燃焼資材の設置数が昇温効果に及ぼす影響(試験 2)

試験は、気温が低い状態での効果を確認するため、無処理区で2013年12月13日2:30に-4.0℃となった時点で点火した。その結果を第9図に示した。急激に園内の気温が上

第2表 処理区ごとの最低気温、-1.5℃以下の経過時間および果そう被害率

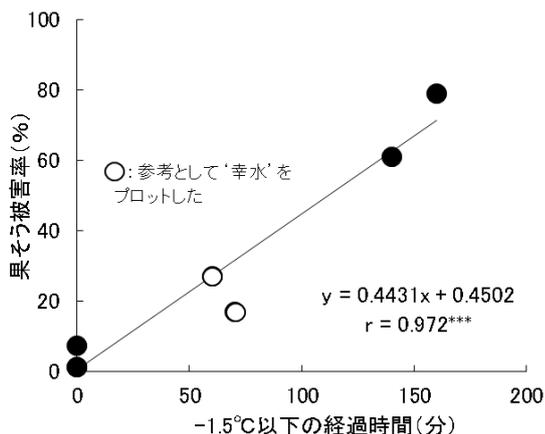
試験区No.	多目的 防災網	防霜 ファン	燃焼 資材	最低気温 (°C) ^z	最大温度差 (°C) ^y	平均温度差 (°C) ^y	-1.5℃以下の 経過時間(分)	果そう被害率 (%)
1	有	有	有	-0.8	2.4	1.2	0	1.2
2	有	有	無	-2.7	0.5	0.0	160	79.0
3	有	無	有	-1.4	1.9	0.7	0	1.2
4	有	無	無	-2.6	0.6	0.1	140	61.0
5	無	有	有	-1.4	1.5	0.7	0	7.3
6	無	有	無	-1.9	1.2	0.4	60	— ^x
7	無	無	有	-1.8	1.0	0.5	70	—
8(無処理)	無	無	無	-2.6	—	—	140	—
最低気温 (°C)	有	-1.9	-1.7	-1.5 b ^w				
	無	-2.0	-2.2	-2.5 a				
-1.5℃以下の 経過時間(分)	有	75	55	18 b				
	無	68	88	125 a				

^z気温は棚面(高さ1.8m)のデータ

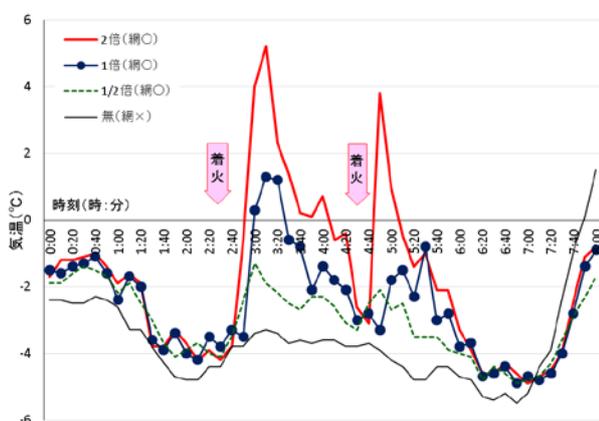
^y温度差は8区(無処理区)との気温差

^x果そう被害率の"—"は処理区に調査樹が無く、データが無いことを示す

^w表中の英字は、同符号間で5%水準で有意差なし



第9図 満開時の安全限界温度-1.5°C以下の気温と果そう被害率



第11図 燃烧資材設置数別の気温経過(2013年12月13日) 昇し、燃烧資材設置数が2倍区で8.7°C、1倍区で4.8°C、1/2倍区で2.1°C棚面気温が上昇した。第10図は燃烧資材2倍区の燃烧状况である。火柱は30から50cmの高さで2時間程度経過した。その後、火力が弱くなり気温が低下したため、灯油を追加したところ同様に気温が上昇した。なお、燃烧资材処理中の平均気温は、2倍区が4.3°C、1倍区が2.5°C、1/2区が1.5°C、無処理区よりも高かった。また、多目的防災網の有無では、多目的防災網があることで低下が1.0°C抑えられた(データ略)。

3. ハウス用暖房機を改良した防霜ヒーターが昇温効果に及ぼす影響

1) ロの字形ダクト配置(試験3-1)

第12図に防霜ヒーターの気温経過を示した。防霜ヒーターの利用により、着火後緩やかに気温が上昇し、稼働時間中の平均気温は無処理区に対して防霜ヒーター1区が1.4°C、2区が0.8°C高かった。また、最低気温は、防霜ヒーター1区が無処理区よりも1.9°C高く、急激な気温の低下を防止できた。

第3図に12月13日5:30時点でのダクト内の気温と棚面の気温を示した。ダクト内の気温は、ヒーターから遠くなるほど低くなり、ヒーターから約100m離れたところでは15.1°Cと



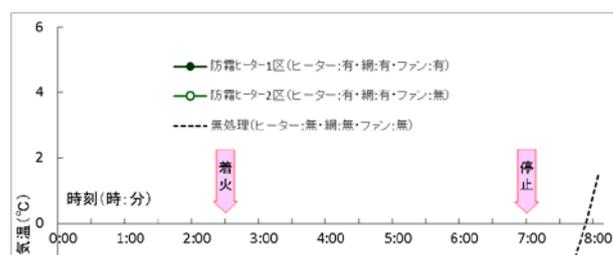
第10図 2倍区(40個・10a⁻¹)の燃烧状况

なり約47°C低くなった。

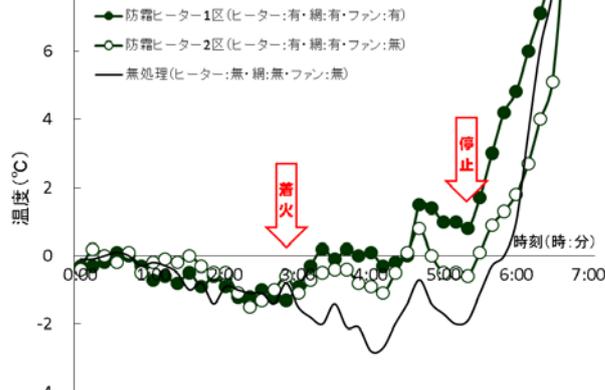
このため、第3図のとおり棚面の気温もヒーターから遠いほど低くなり、10m付近(棚面A)が無処理区よりも3.1°C高かったのに比べ、80m付近(棚面C)では1.6°Cであった。

2) 楕形ダクト配置(試験3-2)

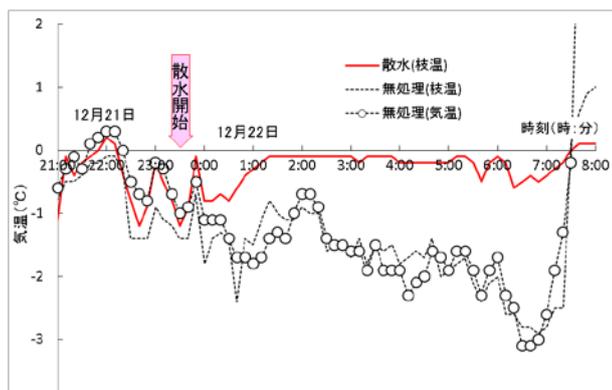
第4図のとおり、2014年4月11から12日にダクトの配置を変更し、再度試験を実施した。気温経過を第13図に示した。平均気温は無処理区に対して、防霜ヒーター1区が2.6°C、2区が1.3°Cと1区で高く、防霜ファンとの組合せで上昇した。また、4月(楕形配置)と12月(ロの字配置)の調査をくらべると、4月の方がヒーターから遠い位置での温度差が大きくなり、ダクトの配置を改良した効果があった。



第12図 防霜ヒーター(ロの字ダクト配置)の気温経過(2013年12月13日)



第13図 防霜ヒーター(楕形ダクト配置)の気温経過(2014年4月12日)



第 14 図 散水法による気温および枝温の推移
(2013 年 12 月 21～22 日)

4. 散水氷結法の検討(試験 4)

第 14 図のとおり、無処理区の枝の温度は気温と同様の推移を示し、12 月 22 日の最低気温 -3.0°C に対し、枝温は -3.2°C であった。一方、散水氷結法は 0°C 付近で推移し、温度低下が抑制された。第 15 図は散水した日の日の出頃の状況で、枝全体から氷柱が垂れ下がっていた。また、10時には気温が 10°C 程度まで上昇し、ほとんどの氷が溶け、正午には枝の表面が乾燥した(観察)。

IV 考察

1. 燃焼資材による温度上昇効果

近年、果樹の防霜対策に用いる燃焼資材については、取り扱いが容易で煙の発生が少ない資材が開発、商品化され県内の生産者においても使用されている。また、一斗半切缶に入れたロックウールを芯として燃料を燃焼させる方法(特開 2008-196723)など、安価に手作りする方法も普及が進んでいる。今回供試した資材は、米国デュラフレーム社が 1969 年に開発し、天然の薪よりも燃焼ガスの質や燃焼残渣がクリーンとされている暖炉用薪である。原料はインセンス・シーダー(アメリカ杉)のおがくずとワックスでこの 2 つをブレンドし、煙が少なく火力を中位としたもので、持ち運びが容易で燃やした後の灰分は作物や土壌に害を与えないという特徴がある。一方、単価がやや高く、 10a 当たり 40 個使用で約 3 万円、着火にやや時間を要する。2013 年春では、メーカー使用基準量の半数の $20\text{本}\cdot 10\text{a}^{-1}$ で試験を行った(試験 1)が、 1°C の昇温があり防霜ファンや多目的防災網にくらべ最も効果が高かった。2013 年冬では、市販の一斗半切缶に入れたロックウールを芯として灯油を燃焼させる「防霜ロック」を用いて、設置数の試験を行った(試験 2)。資材設置数に比例して気温が高くなり、多目的防災網展張条件下では、メーカー基準の半量の $10\text{個}\cdot 10\text{a}^{-1}$ で 1.5°C 、 $20\text{個}\cdot 10\text{a}^{-1}$ で 2.5°C の昇温効果が認められた。地形や園地条件によって気温低下が大き



第 15 図 散水氷結法による氷結状況(2013 年 12 月 22 日)
いは場においては、燃焼資材の設置数を増やすことにより、より大きい昇温効果が発揮できることが明らかとなった。

試験 1 では、多目的防災網が展張している場合とない場合(防霜ファン停止)、防霜ファンが稼働している場合とない場合(多目的防災網なし)での燃焼資材の効果も検討した。その結果、燃焼資材の効果は通常の半分の設置数でも、多目的防災網の展張または防霜ファンの稼働により最大温度差で無処理区よりもそれぞれ 1.0 から 1.9°C 高くなり、燃焼資材効果の上乗せが期待できることが明らかとなった。特に、多目的防災網の相乗効果が高いが、開花前の多目的防災網の展張は、降雹防止のため(松浦・坂本, 1978)にも必要な作業であるため、降雪の危険性がない場合は積極的な推進を期待したい。

また、燃焼資材の効果について、永山ら(2007)は露天(多目的防災網無し)において慣行(灯油と剪定枝チップをミルク缶に入れたもの、 $50\text{個}\cdot 10\text{a}^{-1}$)、霜よけくん(米糠油をモールド製の植木鉢に流し込んで固めたもの、 $50\text{個}\cdot 10\text{a}^{-1}$)、霜キラー(塊状の米糠油、ロックウールを半裁缶に入れて燃焼させる、 $30\text{個}\cdot 10\text{a}^{-1}$)を比較したところ、霜キラーは温度上昇効果が高く燃焼時間が 3 時間弱であったとしている。温度センサーの設置位置が 2.5m と高いが、防霜ロック同様の霜キラーで、最大 2.7°C の温度上昇効果であった。試験 2 では防霜ロックを $20\text{個}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 使用した場合でも、最大で 4.8°C の温度差があり永山ら(2007)の調査結果よりも温度上昇が優れていることから、多目的防災網の相乗効果が大きいと考えられた。

深夜に燃焼資材を配置したり、気温が低下した時点で着火したりすることは生産者にとり大きな労力となる。そこで、着火の自動化、安定的な温度上昇を目的に、ハウス用の暖房機を棚下に配置できる「防霜ヒーター」の試験を行った。一般に、暖房機はハウス内の温度上昇を目的に設置され移動は想定されていない。しかし、試験 3 では、晩霜対策時以外に園内に防霜ヒーターが設置されると作業管理の妨げとなるため、キャスト付きで移動ができることに加え、夜間の着火

第3表 各資材の実用性評価(対策時間4時間としての評価)

資材名	評価項目						
	稼働(着火)の難易	温度上昇効果	煙の量	10a当たり経費	取り扱いの難易	10a当たり設置数	
dhuraflame	中位。年数が経過したものは、着火に時間がかかる	中位	中位	27,000円	易。ただし、1回のみ使用。	40個	
燃焼法	防霜ロック	中位。ただし、事前にロックウールに十分しみこませる必要あり	高い	やや多い	本体:21,220円 灯油:12,000円	中位。事前に室内で投入可能。回収容易。何度も使用可。	20個
	防霜ヒーター	易。温度センサーで自動着火	やや低い	少	本体:40万円? 灯油:2,500円	中位。ただし、事前にダクトを配置する必要あり。	1/2台
防霜ファン	易。温度センサー、タイマーで自動稼働	やや低い	なし	設置費:約40万円 +電気代	易。	2.5機	
多目的防災網	易	低い	なし	網棚:約33万円 網:約17万円	易。開花前に展張する必要あり。ただし、降雪の対応、人工授粉必須。	1面	
氷結法	スプリンクラー	易。温度センサー、タイマーで自動稼働	0℃付近	なし	設置費:約10万円 +水道代	中位。稼働が遅れると、チューブ等が凍結し使用不可。	10個

^a 10a当たりの経費の算出において、各資材の設置数は約2℃程度の温度上昇が得られる数とし、灯油は100円/Lとした。

労力の削減を目的に試験を実施した。燃焼資材の着火には20a 当たり、燃料の投入と着火作業で 20 分程度を要するのに対し、防霜ヒーターは電源を入れるだけで労力削減が可能である。

また、4月(試験3-2)と12月(試験3-1)の調査を比べると、4月の方が防霜ヒーターから遠い位置での温度差が大きくなり、ダクトの配置を楕形に改良した成果があった。果樹園のようにほ場面積が大きい場合には、ダクトの配置は楕形にし、子ダクトを多数配置することで園内の温度ムラが少なくなると考えられた。

2. 防霜ファンによる温度上昇効果

防霜ファンの効果として、上空の気温の高い空気をほ場に送り込むことにより園内の気温を上昇させる、植物体温の低下を防止する、解凍の緩徐作用があることが報告されている(山本・黒柳, 1975)。

カンキツ園で防霜ファンによる温度を実測したところ、中川ら(1993)が0.2から3.5℃、大庭ら(1987)が1.5から2.0℃の幅で効果があったと報告している。また、ニホンナシ園では、多比良ら(1996)が0.2から1.4℃(3月上旬)、1.1から2.5℃(3月下旬)気温が上昇したと報告している。防霜ファンの効果は、気温の逆転強度に影響されるため、多比良らの報告では、上空の温度が高い3月下旬で昇温効果が高かったと推定される。試験1での防霜ファンの効果は0.0から1.2℃と小さかった。これは、4月上旬にもかかわらず、試験実施前日の最高気温が8.1℃(平年17.6℃)と低く、防霜ファンが設置してある地上7mの気温が12日3:30に氷点下まで下がったため、防霜ファンの効果が十分に発揮されなかったためと考えられる。このように、前日の気温が10℃に満たないような場合には、上空の気温も低く推移し逆転強度が低下することになり、防霜ファン単独での昇温効果が得られにくくなることから、燃焼資材を組合わせた対策が必要になると考えられた。

3. 多目的防災網による温度上昇効果

多目的防災網にも多くの種類がある。多比良ら(1997)は、

3月上旬の調査で1.25mm目寒冷紗の棚面気温が0.5～1.0℃、9mmラッセル多目的防災網が0.4から0.7℃の温度上昇効果があったと報告しており、目合いの細かい寒冷紗タイプの効果が高いことを示唆している。一方、本試験では9mm×9mmクロスラッセル多目的防災網で-0.2から0.6℃の温度上昇効果であった。また、2008年に行った多目的防災網の種類別の試験では、4×6mmラッセル多目的防災網、4×6mmクロスラッセル多目的防災網、9×9mmラッセル多目的防災網、9×9mmクロスラッセル多目的防災網、サンサンネットとも無処理区に対する昇温効果や多目的防災網の種類による差は認められなかった(三坂ら, 2012)。このように、通常果樹園で使用する多目的防災網単体での温度上昇効果は判然としないが、試験1で示したとおり、燃焼資材の効果を高めるためや降雹被害防止対策として、開花前の展張は有効であると考えられ、推進を図っていききたい。

4. 晩霜対策の組合せによる温度上昇効果

これまで、晩霜対策については、燃焼法、送風法、多目的防災網被覆法、散水氷結法など単体での効果は検討されてきたが、それらを組み合わせた昇温効果については明らかにされていない。そこで、これらの2または3つの組合せによる相乗効果を明らかにするため、連続した晩霜が予想された2013年4月に試験(試験1)を実施した。

その結果、単体での昇温効果は、燃焼資材(+2.5℃程度) > 防霜ファン(+0.5℃程度) > 多目的防災網(±0℃)の順に高いことが明らかとなった。これは、多比良ら(1996)および多比良ら(1997)による現地ほ場を使った試験と一致する。また、防霜対策の組合せによる昇温効果は、燃焼資材設置がメーカー基準の1/2の場合で‘防霜ファン+多目的防災網+燃焼資材’が2℃程度と最も高く、次いで、‘燃焼資材+防霜ファン’と‘燃焼資材+多目的防災網’の組合せが1℃程度の昇温効果があることが明らかとなった。

5. 晩霜対策の実用性評価

それぞれの晩霜対策技術について、本試験、多比良ら(1997)、多比良ら(1996)、および永山ら(2007)これまでの



第 16 図 晩霜の危険性がある場合の技術対策(開花期:安全限界温度-1.5°C)

生育ステージ							
安全限界温度 ²⁾	-3.9°C	-2.7°C	-2.7°C	-1.9°C	-1.9°C	-1.5°C	-1.4°C

第 17 図 ニホンナシの安全限界温度(幸水)

²⁾安全限界温度は、植物体が当該温度下に30分置かれた場合に被害がわずかでも発生するおそれがある温度

¹⁾「にっこり」の安全限界温度は、「幸水」と同程度かやや高い

試験成績をもとに、第 3 表のとおり実用性の評価を行った。

1) 燃焼法(資材燃焼)は、供給熱量が大きいため温度上昇が早く効果が最も高いが、夜間に気温の低下を確認しながら設置、着火しなければならぬ。使用が 1 回のみのもので多く、資材を大量に準備しておかなければならぬなどの欠点がある。

2) 燃焼法(防霜ヒーター)は、サーモセンサーによる自動点火、消火が可能のため取り扱いが容易だが、設置コストが高い、温度上昇が 2°C 程度と小さいなどの欠点がある。

3) 防霜ファンは、サーモセンサーで稼働が可能のため取り扱いが容易で安定した温度上昇効果を示すが、導入コストが高い、温度上昇がやや小さく上空の気温に左右されて不安定(地上 7m の気温に影響される)などの欠点がある。

4) 多目的防災網は、取り扱いが容易で防雹対策などと兼用でき、本県ではほとんどの園で設置されているが、昇温効果が小さい欠点がある。しかし、燃焼資材との組合せで昇温効果の上乗せを図ることができる利点がある。

5) 氷結法は、一部機種ではサーモセンサーによる自動稼働が可能となり取り扱いも容易で設置コストは比較的安価だが、水圧を確保するためのポンプが必要、機器の凍結の心配があるなどの欠点がある。

このように、それぞれにメリット、デメリットがあるため、使用時期(ステージ)、場所(栽培環境)、使用回数等を考慮に入れ、実施する必要がある。

これらの試験成績をもとに晩霜対策の基準を作成した(第 16 図)。なお、幸水の開花ステージの安全限界温度は第 17 図のとおり(大谷, 2012)で、開花期から幼果期が最も高く、-1.5°C で 30 分以上おかれた場合に被害が発生する可能性がある。そこで、最も安全限界温度が高い-1.5°C の場合を想定すると、①予想気温が-1°C 以上の場合は「防霜ファン稼働」。

②-1.0 から-2.5°C の場合は「燃焼資材使用」。さらに、効果を高めるために「防霜ファン稼働」または「多目的防災網展張」を組合わせる。③-2.5°C 以下の場合には、「防霜ファン稼働+多目的防災網展張+燃焼資材使用」の組合せが有効である。さらに、気温が低下する場合は、燃焼資材の設置数を増やす等の対策を実施することで、被害軽減が図れると考えられる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、石川昭男氏、大貫悟氏、小田切晃司氏ならびに果樹研究室パート職員の皆様には、試験ほ場の管理、調査等において多大なるご尽力をいただきました。心からお礼を申し上げます。

引用文献

- 橋本登(1983)霜害対策. 農業技術体系果樹編 3 基本技術編:15-18.
- 近野広行(2008)防霜資材燃焼用容器. 特開 2008-196723.
- 此本晴夫(1975)茶園における小型送風機の防霜効果. 農業および園芸 50(9):72-76.
- 松浦永一郎・坂本秀之(1978)ニホンナシ園における防ひょうに関する研究. 栃木農試研報 24:33-41.
- 三坂猛・竹澤雅子・小林正明(2012)ナシの晩霜害防止技術. 栃木農試成果集 30:37-38.
- 永山宏一・志村浩雄・島良七・木幡栄子・尾形正(2007)防霜用燃焼資材としてのバイオディーゼル燃料の実用性. 東北農業研究 60:147-148.
- 中川行夫・小中原実・岩崎正男・岩崎尚・上村賢治(1993)

- 低温時におけるカンキツ園のウインド・マシンによる温度上昇効果. 農業気象 48(4):375-378.
- 大庭義材・草野成夫・栗山隆明・清水博之・吉田守・下大迫三徳(1987)開園植栽方法によるカンキツの総合的気象栽培防除に関する研究(第3報)緩傾斜地におけるウインド・マシンの昇温効果. 福岡農総試研報 B-6:7-12.
- 大谷義夫(2012)なしの低温限界温度の解明. 栃木農試成果集 30:41-42.
- 佐久間文雄・石塚由之・片桐澄雄・鈴木陽子(1989)ニホンナシの凍霜害に関する研究. 1987年ナシ凍霜害の実態調査について. 茨城園試研報 14:17-36.
- 多比良和生・大川啓一・大塚猛・檜山博也・片桐澄雄(1997)ナシ園の多目的防災網被覆による温度上昇効果と防霜効果. 茨城農総七園研報 5:1-6.
- 多比良和生・佐久間文雄・檜山博也・片桐澄雄(1996)ナシ園の防霜ファンによる温度上昇効果と防霜効果. 茨城農総七園研報 4:1-6.
- 栃木県農政部(2013)平成25年4月中下旬の降霜及び低温による農作物の被害状況について.