

ナシ園の防霜ファンによる温度上昇効果と防霜効果

多比良和生・佐久間文雄*・檜山博也**・片桐澄雄

キーワード：ニホンナシ，バンソウ，トウガイ，ボウソウファン，キショウサイガイ

Effect of Wind Machines on Rising Temperatures and preventing late frost damage in a Japanese pear Orchard.

Kazuo TAHIRA, Fumio SAKUMA, Hironari HIYAMA and Sumio KATAGIRI

Summary

The effect of wind machines on rising temperatures and preventing late frost damage in a Japanese pear orchard was examined.

1. The minimum temperature in a pear orchard on May 4, 1991 was -2°C . The rate of damaged pear fruit was negligible where wind machines were used, and was 7.1~57.4% in the control. Most of the damage was in the upward spurs of the control.
2. The minimum temperature in a pear orchard on March 6, 1993 was -2.4°C . The increase of air temperature at 1.8m above the ground surface ranged between 0.2 and 1.4°C . The increase of fruit temperature at 1.8m above the ground surface ranged between 0.8 and 1.8°C . The rate of damaged pear fruit was negligible where wind machines were used, and was 77.2% in the control.
3. The minimum temperature in a pear orchard on March 30, 1994 was -3.8°C . The rate of damaged pear fruit was both 100% where wind machines were used and in the control.

I. 緒言

近年暖冬化傾向の中でナシの生育が進み、晩霜害を受ける頻度が多くなった。特に、昭和62年(5)、平成元年は過去に類を見ない晩霜害が発生し、大打撃を受けた。

従来古タイヤなどの燃焼により防止対策がとられてきた(1)が、ばい煙公害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が設置されるようになった。防霜ファンは茶葉の霜害回避(2, 6)を目的に導入が進んだものであるが、最近では、茶の他にカンキツ(3, 4)、リンゴ、ナシ、オウトウなど多くの果樹で利用されている。茨城県では、下妻市、千代田町などのナシ産地で導入された。しかし、防霜ファンによるナシ園での晩霜防止の事例は少なく、防止効果について

も不明な点が多かった。そこで、低温時におけるナシ園の防霜ファンによる温度上昇効果と防霜効果を検討した。

II. 材料及び方法

試験1(平成3年5月4日)

下妻市黒駒及び下妻市江において防霜ファンを設置したナシ園と、隣接した防霜ファンを設置していないナシ園において、5月14日(低温遭遇後10日)に‘幸水’の短果枝、長果枝別に上向き、横向きの果そうを各10果そうずつを抽出し、全果実を次の被害程度に分類して調査した。

なお、平成3年5月4日(‘幸水’満開後2週間)下妻市内ナシ園では、午前1時頃より氷点下に下がり日の出直

* 現在茨城県農業総合センター生物工学研究所

** 退職

前には -2°C まで低下した。被害程度のカテゴリ基準は、①健全果、②果実が黄変またはアントシアンが形成され赤味を帯びたもの、③果実がひぶくれ、浮き皮状となりケロイドのできたもの、④果頂部を中心に果面に裂傷を受けたもの、⑤裂傷が果肉深く重症なもの、以上5段階とした。なお、④~⑤の被害果は実害があり、この合計の率を被害果率とした。

試験2(平成5年3月6日)

所内のナシ園に設置された防霜ファン(フルタDFA1025, ファン径100cm, 高さ8m)を作動させ、防霜ファン区とした。なお、平成5年3月5~6日にかけて岩間町所内ナシ園では最低気温が -2.4°C になった。4基ある防霜ファンのうち1基の直下で燃焼資材(炎弾3号)を燃焼し、防霜ファン+燃焼区を設置した。また、防霜ファンの風の影響のない地点(防霜ファンの後方50m)を対照区とした。

供試樹は60リットルポット植え‘幸水’3年生各3樹で、ハウス内で開花結実させたものを3月5日に試験ほ場へ移動した。供試樹は満開後11日(3月6日現在)であり、防霜ファン区及び防霜ファン+燃焼区では、ファンより20m地点に設置した。各処理区で気温(高さ3.5m, 1.8m, 0.2m)及び果実温(高さ1.8m)を測定した。防霜ファン区及び防霜ファン+燃焼区では、ファンより20m地点で観測した。果実温は1mmの針型センサーで測定した。

防霜ファン+燃焼区では、3月6日午前3:00, 4:00, 及び5:30の3回炎弾3号を各6個燃焼させた。3月6日午後供試樹をハウス内へ戻し、3月8日及び3月31日に被害程度を調査した。

3月8日(低温遭遇後2日)の調査では、被害程度の軽い順に①健全果、②果実が黄変またはアントシアンが形成され赤味を帯びたもの、③果実がひぶくれ、浮き皮状となりケロイドのできたもの、④果頂部を中心に果面に裂傷を受けたもの、以上4段階に分けて調査した。

3月31日(低温遭遇後25日)の調査では、被害程度の軽い順に①健全果、②果実がひぶくれ、浮き皮状となりケロイドのできたもの、③果頂部を中心に果面に裂傷を受けたもの、④裂傷が果肉深く重症なもの、以上4段階に分けて調査した。なお、③~④の被害果は実害が大きく、この合計の率を被害果率とした。

試験3(平成6年3月30日)

所内のナシ園に設置された防霜ファンを作動させ、防霜ファン区とした。また、防霜ファンの風の影響のない地点(防霜ファンの後方50m)を対照区とした。なお、平成6年3月29~30日にかけて岩間町所内ナシ園では最低気温が -3.8°C になった。

供試樹は60リットルポット植え‘幸水’3年生各3樹で、ハウス内で開花結実させたものを3月29日に試験ほ場へ移動した。供試樹は満開後27日(3月30日現在)であり、防霜ファン区はファンより20m地点に設置した。各処理区で気温(高さ3.5m, 1.8m)及び果実温(高さ1.8m)を測定した。防霜ファン区では、ファンより20m地点で観測した。果実温は1mmの針型センサーで測定した。3月30日午後供試樹をハウス内へ戻し、3月30日及び4月16日に被害程度を調査した。

3月30日(低温遭遇直後)の果実調査では、被害程度の軽い順に①健全果、②果頂部を中心に果面に裂傷を受けたもの、③果実が黒変したもの、以上3段階に分けて調査した。新梢の調査では、先端の枯死率を調査した。4月16日(低温遭遇後16日)の果実調査では、被害程度の軽い順に①健全果、②果頂部を中心に果面に裂傷を受けたもの、③果実が落果するもの、以上3段階に分けて調査した。なお、②~③の被害果は実害が大きく、この合計の率を被害果率とした。

Ⅲ. 結果

試験1(平成3年5月4日)

防霜ファンが設置されている下妻市黒駒の上野氏園は、被害果率(被害程度④と⑤の発生率)は0%であり、実害はなかった(Table 1)。舗装道路をはさんで隣接する飯村氏園は、防霜ロックを燃焼した(10a当たり10個以下)が、被害がみられた。被害の状況は短果枝上向き果その果頂部を中心に裂傷がみられ、その被害果率は29.8%に達した。しかし、摘果前であり収量に影響はなく、摘果を丁寧に実施して果実品質への影響もなかった(Table 1)。

防霜ファンが設置されている下妻市江の山中氏園は、被害はみられなかった(Table 1)。舗装道路をはさんで隣接する倉持氏園は、もみがらを燃焼したが、効果はほとんど認められず、短果枝上向き果そので被害果率は57.4%に達した(Table 1)。

防霜ファン設置園では、実害のある被害程度④と⑤の発生率が0%で、防霜効果が高かった。

Table 1. Effect of wind machines on preventing late frost damages in 1991

Place	treatment	flower bud	direction	Z ①	Y ②	X ③	W ④	V ⑤	total	injured fruit (④+⑤)	(%)
Ueno	Wind Machines	spur	upper	18	19	2	0	0	39	0.0	
		spur	side	10	22	2	0	0	34	0.0	
		axillary bud	upper	5	21	0	0	0	26	0.0	
		axillary bud	side	16	13	0	0	0	29	0.0	
Iimura	Control	spur	upper	0	8	25	12	2	47	29.8	
		spur	side	2	19	18	3	0	42	7.1	
		axillary bud	upper	3	12	14	4	0	33	12.1	
		axillary bud	side	15	13	8	4	0	40	10.0	
Yamanaka	Wind Machines	spur	upper	17	3	1	0	0	21	0.0	
		spur	side	18	2	0	0	0	20	0.0	
		axillary bud	upper	17	6	0	0	0	23	0.0	
		axillary bud	side	20	3	0	0	0	23	0.0	
Kuramoti	Control	spur	upper	4	7	9	26	1	47	57.4	
		spur	side	3	10	14	19	0	46	41.3	
		axillary bud	upper	1	2	15	20	0	38	52.6	
		axillary bud	side	7	13	7	14	0	41	34.1	

Z)healthy fruit
Y)reddish fruit
X)peel puffing
W)lacerated wound
V)severe lacerated wound

試験 2(平成 5 年 3 月 6 日)

防霜ファン区の棚面気温は対照区の棚面気温より 0.2~1.4℃高く推移し、防霜ファン区のナシ幼果の果実温は対照区の果実温より 0.8~1.8℃高く推移した (Table 2)。防霜ファン+燃焼区の棚面気温は対照区の棚面気温より 0.4~1.7℃高く推移し、防霜ファン+燃焼区のナシ幼果の果実温は対照区の果実温より 0.7~1.8℃高く推移した (Table 2)。

3月8日の調査では、被害程度が最も大きい指数④の発生率が、防霜ファン区及び防霜ファン+燃焼区で0%に対して対照区では77.2%の被害果率となった (Table 3)。3月31日の調査では、被害程度が最も大きい指数④の発生率が、防霜ファン区及び防霜ファン+燃焼区で0%に対して対照区では61.0%の被害果率であった (Table 4)。

3月8日の調査で指数②(果実が黄変またはアントシ

Table 2. Effect of wind machines on rising temperatures in 6 March 1993

Treatment	position (height)	Temperatures(℃)									
		3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	6:30	7:00	7:30
Wind ^Z Machines	air tem. 3.5m	0.2	-0.2	-0.8	-0.8	-0.9	-0.6	-1.4	-1.1	0.2	2.5
	air tem. 1.8m	-0.1	-0.4	-0.8	-1.0	-0.9	-1.0	-1.6	-1.4	-0.2	1.8
	air tem. 0.2m	0.3	-0.1	-0.3	-0.7	-0.6	-0.4	-1.1	-0.8	0.3	2.8
	fruit tem. 1.8m	0.7	0.1	0.2	-0.1	-0.2	0.1	-0.7	0.1	1.3	3.7
Wind ^Z Machines + burning	air tem. 3.5m	0.2	-0.3	-0.5	-0.8	-0.8	-0.8	-1.4	-0.8	0.4	2.4
	air tem. 1.8m	0.3	-0.2	-0.3	-0.8	-0.8	-0.6	-1.2	-0.8	0.3	2.4
	air tem. 0.2m	0.2	-0.2	-0.2	-0.6	-0.6	-0.5	-1.0	-0.7	0.3	2.2
	fruit tem. 1.8m	0.7	0.1	0.3	-0.3	-0.2	0.0	-0.6	0.1	1.2	3.5
Control	air tem. 3.5m	-0.8	-1.1	-0.9	-0.8	-1.1	-1.4	-1.8	-0.5	-0.1	3.3
	air tem. 1.8m	-1.4	-1.8	-1.5	-1.2	-1.3	-1.8	-2.4	-0.8	-0.2	3.3
	air tem. 0.2m	-2.4	-2.7	-2.8	-2.4	-2.2	-3.0	-3.4	-1.9	-0.6	4.5
	fruit tem. 1.8m	-1.1	-1.3	-1.3	-1.0	-1.2	-1.2	-1.5	-0.9	-0.2	4.0

Z)The thermometer measured twenty meters from wind machines.
Y)3:27 - 1.2℃→ -0.2℃

Table 3. Effect of wind machines on preventing late frost damages in 8 March 1993

Treatment	late frost damages		
	reddish fruit (%)	peel puffing (%)	lacerated wound (%)
Wind Machines	10.2 ab ^z	0.4	0.0 a
Wind Machines+burning	16.9 a	0.6	0.0 a
Control	6.2 b	16.5	77.2 b
	**	NS	**

Z) Mean values within a column followed by the same letter are not significantly different(p=0.05, Tukey's multiple range test)

Table 4. Effect of wind machines on preventing late frost damages in 31 March 1993

Treatment	late frost damages		
	Keloid (%)	slight lacerated wound (%)	severe lacerated wound (%)
Wind Machines	0.0	0.0	0.0a ^z
Wind Machines+burning	0.0	0.0	0.0a
Control	7.3	9.0	61.0 b
	NS	NS	**

Z) Mean values within a column followed by the same letter are not significantly different(p=0.05, Tukey's multiple range test)

アンが形成され赤味を帯びたもの), 及び指数③(果実がひぶくれ, 浮き皮状となりケロイドのできたもの)は, その後の追跡調査でその大部分が商品として問題はなかった (Table 3, 4)。

防霜ファン区は, 裂傷した果実の発生はみられず, 防霜効果が高かった。

試験3(平成6年3月30日)

防霜ファン区の棚面気温は対照区の棚面気温より1.1~2.5℃高く推移した。防霜ファン区のナシ幼果の果実温は対照区の果実温より23:00までは0.2~1.1℃高く推移したが, 24:00以降は逆に0.0~1.2℃低く推移した。

対照区の果実温は, 29日の23:36頃に-1.7℃から-0.7℃へ急激に上昇した。また, 防霜ファン区の果実温は, 30日の1:05頃に-1.7℃から-1.1℃へ急激に上昇した (Table 5)。

3月30日の果実調査では, 被害程度が最も大きい指数③の発生率が, 防霜ファン区で94.2%, 対照区で100%であった (Table 6)。

4月16日の果実調査では, 各処理区ともにすべての果実がすでに落果していた (Table 6)。新梢先端の枯死率は, 防霜ファン区5.3%, 対照区39.6%であった (Table 7)。

Table 5. Effect of wind machines on rising temperatures in 29~30 March 1994

Treatment	position (height)	Temperatures(℃)										
		23:00	24:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	
Wind ^z Machines	air tem. 3.5m	0.6	-1.1	-2.2	-2.3	-2.4	-2.3	-3.1	-2.6	2.8	6.6	
	air tem. 1.8m	1.1	-0.4	-1.6	-1.7	-1.9	-1.9	-2.7	-2.3	3.0	7.3	
	fruit tem. 1.8m	0.0	-1.2	-2.2 ^y	-1.9	-2.0	-2.2	-2.7	-3.1	-1.6	0.9	
Control	air tem. 3.5m	-0.8	-2.0	-3.2	-3.3	-2.9	-3.8	-4.2	-3.9	1.2	5.8	
	air tem. 1.8m	-1.4	-2.2	-3.2	-3.4	-3.0	-3.5	-3.8	-3.5	2.5	7.0	
	fruit tem. 1.8m	-1.1 ^x	-0.9	-1.0	-1.1	-1.3	-1.8	-2.7	-3.0	-1.2	0.0	

Z)The thermometer measured twenty meters from wind machines.

Y) 1:05 -1.7℃→-1.1℃

X)23:36 -1.7℃→-0.7℃

Table 6. Percentage of injured fruit in 1994

Treatment	30 March		16 April
	lacerated wound (%)	black fruit (%)	the falling of fruit (%)
Wind Machines	5.8	94.2	100.0
Control	0.0*	100.0*	100.0
			NS

NS and * are nonsignificant and significant at P=0.05, respectively, by t-test.

Table 7. Percentage of injured vegetative shoot in 1994

Treatment	Percentage of injured vegetative shoot (%)
Wind Machines	5.3
Control	39.6*

* are significant at P=0.05, respectively, by t-test.

IV. 考察

1. 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3つの効果があるといわれている(6)。第1点は、気温の高い位置の空気をほ場に送り込むことによって、気温が上昇する(2, 3, 4, 6)。試験2では、0.2~1.4℃上昇し、試験3では、1.1~2.5℃上昇した。中川ら(3)はカンキツ園で防霜ファンを作動させたところ0.2~3.5℃の幅で昇温効果があったと報告している。また、大庭ら(4)はカンキツ園で防霜ファンを作動させたところ1.5~2.0℃の幅で昇温効果があったと報告している。気温の逆転強度によって温度上昇に差がみられたが、約1~2℃の昇温効果が認められ、中川ら(3)及び大庭ら(4)の報告と一致した。なお、試験2では地表面からの距離が0.2m, 1.8m, 3.5mの3点で気温を測定したところ、防霜ファンが作動すると地表面に近い0.2m地点が常に気温が高く推移した。このことは、地表に近い位置にある作物(茶など)ほど防霜ファンによる防霜効果が大きいものと推測された。

第2点としては、植物体温の低下を防止する(6)。試験2に示したように、防霜ファン区、防霜ファン+燃焼区はいずれもナシ幼果の果実温を0.7~1.8℃上昇させる効果がみられた。試験3では、防霜ファン区のナシ幼果の果実温は対照区の果実温より24:00以降は逆に0.0~1.2℃低く推移する現象がみられた。防霜ファン区の果実温は、1:00に-2.2℃まで低下し、1:05頃に-1.7℃から-1.1℃に急激に上昇した。この時にナシ果実に霜害が発生したものと考えられる。霜害発生の前まではほとんど果実温の方が気温よりも高く推移したことから、植物体温の低下阻止に働いたと思われる。

第3点は、解凍の緩徐作用がある(6)。このことについては今回の試験では判然としなかった。今後さらに検討する必要があると思われる。

2. 防霜ファンによる防霜効果

佐久間ら(5)の昭和62年に発生した凍霜害の実態調査では、下妻市のナシ園で-3.9℃まで気温が低下し、被害率は‘幸水’35.8%、‘豊水’61.2%であり、特に‘豊水’の短果枝上向き果そうで被害が大きかったと報告している。試験1では、下妻市のナシ園で-2℃まで気温が低下し、対照区の短果枝上向き果そうで被害率は57.4%に達した。最低気温が今回の方が高く、被害率が比較的高かった理由は、ナシのステージの違いが大きいのと思われる。また、短果枝上向き果そうで被害率が高いことは、佐久間ら(1)の報告と一致した。

発育程度別にみた霜害を受ける危険限界温度は、‘長十郎’の場合満開期以降-1.7℃といわれている(1)。本試験においても試験1で-2℃、試験2で-2.4℃、試験3で-3.8℃まで気温が低下したため、いずれの場合も霜害が発生した。試験2、試験3では、ハウス内で開花結実させたポット植え樹を試験ほ場へ移動して供試しているが、露地で開花結実した地植え樹と被害程度が同じであるかは検討していない。今後検討する必要があると思われる。試験結果の利用にあたりハウス内で開花結実させたポット植え樹より露地で開花結実した地植え樹の方が耐寒性が弱いと考えにくいので、今回の試験以上の被害はないと思われる。つまり、今回の試験で被害のみられなかったものについては、露地で開花結実した地植え樹でも同じ結果になると思われる。

試験2では3:27頃対照区の果実温が-1.2℃から-0.2

℃へ急激に上昇し、その後-1.5℃まで低下した。防霜ファン区及び防霜ファン+燃焼区では、そのような果実温の急激な上昇はみられなかった。また、最低気温が-2.4℃の場合、燃焼を加えた効果はみられなかった。最低気温がさらに低下した場合に燃焼を加える必要があるか再検討する必要がある。試験3では23:36頃対照区の果実温が-1.7℃から-0.7℃へ急激に上昇し、その後-3.0℃まで低下した。防霜ファン区の果実温は1:05頃-1.7℃から-1.1℃へ急激に上昇し、その後-3.1℃まで低下した。この気温の一時的な急激な上昇時にナシ果実に霜害が発生したものと考えられる。このことから、ナシ‘幸水’の幼果時における霜害を受ける危険限界温度は、-1.2℃~1.7℃程度であると示唆された。このことは、橋本(1)の‘長十郎’の場合満開期以降-1.7℃という危険限界温度とほぼ一致した。試験1, 試験2においては防霜ファン区ではこの危険温度まで果実温が低下しなかった。このことがナシ幼果の被害を阻止できた主要因であったと考えられる。一方、試験1及び試験2の対照区、試験3では、この危険温度以下まで果実温が低下した。このため、被害果率が高まったものと考えられる。中川ら(3)及び大庭ら(4)はカンキツ園で防霜ファンによる温度上昇効果を検討しているが、低温の程度とカンキツに対する防霜ファンによる防霜効果の検討までは行っていない。本試験では、防霜ファンの晩霜害防止効果は、-2.4℃の低温に対しては十分効果が認められるが、-3.8℃の低温に対しては効果がまったく認められなかったことになる。防霜ファンによる温度上昇効果を約1~2℃と考え、危険限界温度を約-1.5℃と考えれば-2.5~-3.5℃以下に気温が低下すれば防霜ファン区でも被害は発生すると考えられる。ナシの生育ステージや防霜ファンの設置園による気温の逆転強度によって多少異なるが、-3.0℃程度の低温までは晩霜防止効果が高いことが示唆された。

V. 摘要

ナシ園の防霜ファンによる温度上昇効果と防霜効果を検討した。

1. 平成3年5月4日の最低気温が-2℃まで低下した時での防霜ファン区は、被害果の発生はみられなかつたのに対し、対照区は7.1~57.4%の被害果率であった。特に、対照区の上向きの短果枝は被害果率57.4%に達した。防霜ファンの晩霜害防止効果は、-2℃程度の低温に対しては十分効果が認められた。

たのに対し、対照区は7.1~57.4%の被害果率であった。特に、対照区の上向きの短果枝は被害果率57.4%に達した。防霜ファンの晩霜害防止効果は、-2℃程度の低温に対しては十分効果が認められた。

2. 平成5年3月6日の最低気温が-2.4℃まで低下した時での防霜ファンの効果は、棚面気温が0.2~1.4℃、果実温が0.8~1.8℃高まった。防霜ファン区は、被害果の発生はみられなかったのに対し、対照区は被害果率77.2%に達した。防霜ファンの晩霜害防止効果は、-2.4℃の低温に対しては十分効果が認められた。
3. 平成6年3月30日の最低気温が-3.8℃まで低下した時での防霜ファン区、対照区の被害果率はともに100%であった。防霜ファンの晩霜害防止効果は、-3.8℃の低温に対しては効果が認められなかった。

謝辞 本研究の遂行にあたり、数々の協力を頂いた、県農業総合センター施設課高野俊雄技師、野口昭治技師、武田光雄副技師、高橋富雄副技師、栗原龍也技術員に深謝の意を表する。

引用文献

1. 橋本登. 霜害対策. 農業技術体系果樹編3基本技術編:15-18
2. 此本晴夫・岩崎正男. 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
3. 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
4. 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災害防除に関する研究(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
5. 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
6. 山本良三・黒柳茂. 1975. 防霜ファンの理論と実際. 1-83. 地球社. 東京.