送風防霜法におけるチャ樹冠面の風速と葉温上昇量との関係

静岡県農林技術研究所茶業研究センター*

中野 敬之[†]

パナソニック環境エンジニアリング株式会社**

関口 幸彦・成田 和隆

(平成26年 8 月28日受理)

Relationship of Wind Speed and Canopy Leaf Temperature Rise
for Air Stirring Frost Protection in Tea FieldTakayuki Nakano[†]

Shizuoka Prefectural Research Institute of Agriculture and Forestry, Tea Research Center

Yukihiko Sekiguchi & Kazutaka Narita

Panasonic Environmental Systems & Engineering Co., Ltd.

Summary

Wind speed and leaf temperature under wind machine running were measured in frost nights. Hot-wire anemometers and thermometers were placed side by side on bush canopies in terms of distance 5.4 m, 10.8 m, 16.2 m, 21.6 m, 27.0 m points ahead of the wind machine. Wind speed showed a maximum at 10.8 m point closest to the wind machine, but changed smaller as distance. Leaf temperature rise showed a maximum at 5.4 m - 10.8 m points, but changed smaller as distance. Between 10.8 - 27.0 m points, leaf temperature rise seemed to increase as wind speed was large. Leaf temperature rise was greater amount despite wind speed is small at 5.4 m point. From these results, frost-protective effect of the air stirring method is dependent on the leaf temperature rise caused by the wind hits the tea bush canopy, but on another factor in the range close to the wind machine.

Key words : Air Stirring Method, Frost Protection, Leaf Temperature, Tea, Wind Speed.

キーワード：チャ，防霜，送風法，葉温，風速

1 緒 言

凍霜害は一番茶の安定生産を脅かす気象災害で，中山

間部の茶産地を中心にこれまで多くの被害を及ぼしてきた¹⁾。現在，国内茶産地で最も普及されている対策は防霜ファンによる送風法であるが，その起源は古く，1914年にドイツのブドウ畑で試みられたのが最初と言われて

* 〒439-0002 静岡県菊川市倉沢1706-11

** 〒486-8524 愛知県春日井市鷹来町字上仲田3905-3

[†] Corresponding author : takayukil_nakano@pref.shizuoka.lg.jp

いる²⁾。日本国内の茶園での最初の試みは、1928年に奈良県で煙霧を茶園上空に漂わせるために送風機が用いられたが、効果範囲が狭かったとされている³⁾。1960年代になると、高橋ら⁴⁾や木村ら⁵⁾が地上1.5m程の高さから加熱した暖かい空気を送風する装置を試作・検討し、ある程度の温度上昇効果が認められた。しかし、エンジンを用いた大型の送風機が実用的でなかったからか、ほとんど普及されなかった。このように、約50年前まで茶園で試みられた送風法は、人工的に発生させた物質を茶園に送り込むためのものであった。

ところが、1970年代前半に1,000W以下の電動小型送風機が開発されると、静岡県、三重県、埼玉県などを中心として全国的に茶園への応用試験が展開され^{3, 6)}、ほぼ同時に普及が始まった。この技術がそれまでと大きく異なる点は、単に送風機の小型化に成功したのみではなく、送風機を地上5～6mに設置し、放射冷却で温度低下した地表面に高所の暖かい空気を吹き下ろすことをねらいとしたことである。この機種に関する当時の試験成績は多数あるが³⁾、研究論文として残っている資料は非常に少なく、此本らは地上6mに設置した750～950Wの3機種について検討した結果、樹冠面の葉温上昇と実際の降霜における被害芽率の低下を認め、防霜ファン1台当たりの効果範囲を250～300㎡とした⁶⁾。

1979年に広域で大規模な凍霜害が発生した。当時における静岡県の茶園面積22,000haに対して、防霜ファンの設置面積は僅か526haであったとされている⁷⁾。しかし、被覆法に比べて効果が安定していたことから送風法の評価は急激に高まって、翌年以降は毎年数百haの規模で設置が進み、2011年現在での設置面積は9,170haに達している¹⁾。

このように、今では茶園での主要な防霜対策となっている送風法であるが、普及当初の1970年代以後の研究例は少なく、防霜の理論や技術は当時のままでほとんど変わっていない。特に、茶や農業気象関係の書籍では、「高所の暖かい空気と地表近くの冷たい空気を混合し、放射冷却で冷えた作物体温を直接暖める」⁸⁾、「暖かい空気を下方に吹き降ろすことにより茶株面付近の気温を高める」⁹⁾、「夜間にできる地表付近の逆転層を攪拌し、茶株周辺の気温を上昇させる」¹⁰⁾、「ファンで耕地の空気をかき混ぜて上層の暖かい空気を下方に吹き付けて地面付近の気温を暖める」¹¹⁾等と解説されており、総じて「地表（地面、茶株面、接地）付近の空気（気温）を暖める」ことが防霜効果の原理との解釈が伝承されている。

ところで、筆者らは、熱映像温度計でファン稼働による茶園内の温度分布を観測したところ、温度上昇部分はファンの首振りに伴って左右に大きく動き、風が直接当たっている部分のみ温度が上昇している現象が認められた¹²⁾。また、地上3mに設置したファンを下方へ5度傾けて樹冠面上に風を流すようにすると温度上昇量は少なく、下方へ10度以上傾けて樹冠面に直接風が当たるようにすると温度上昇が大きかった^{13, 14)}。これらの結果は、送風法の防霜効果が植物体付近の空気を暖めることではなく、風が植物体に直接当たって暖めることを示唆しており、従来からの解釈を再検討する必要がある。

そこで、筆者らは、茶園内に風速計と温度計を併せて配置し、ファンの稼働によって変動する樹冠面での風速と葉温上昇量との関係を調査して、風が樹冠面に直接当たって暖める効果について検討した。

2 材料および方法

試験は、静岡県農林技術研究所茶業研究センター（静岡県菊川市倉沢1706の11）のA6ほ場で実施した。供試園は、1984年4月に180cm×30cmの単条植えで南北うね方向に長さ30mで定植された樹高約60cmの‘おくひかり’園で、樹冠面の形状が曲率半径3000 mmの乗用型摘採機で管理されている。防霜ファンは供試園の西端に設置されている。

図1に示した実験機器の配置により、2005年1月18日～4月26日の夜間（20：00～翌日8：00）にタイマー制御によって、30分間隔で高位置（地上7m、俯角40度）と低位置（地上3m、俯角20度）のファン（パナソニック環境エンジニアリング株式会社製、羽根径：90cm、出力：2.2kw、首振り角度：120度、首振り速度：0.55回/分）を交互に15分ずつ稼働させ、供試園の西端から東に向かって送風した。この設定では、計算上、地上7mファンからの送風はファンから7.6m先、地上3mファンは6.6m先の方向に送風していることになる。

なお、タイマーはダイヤルによるアナログ形式なので、実際に防霜ファンが稼働する時刻には数分間のずれが懸念された。このため、防霜ファンが実際に稼働している時間帯は配電盤から後述するデータロガーに電圧信号を出すよう配線を行った。

図1の①～⑤に示したように、防霜ファンから5.4m間隔で樹冠面の頂部に熱線風速計（日本カノマックス株式会社製、型式0964-01）を設置し、その30cmほど横の葉裏に熱電対温度計（JIS type T, φ0.3）をセロハンテー

図1 実験施設の概要と観測機器の配備

ブで接着した。防霜ファンの西側にある櫓の地上1m, 3m, 7mの高さに自然通風シェルター（コーンシステム株式会社製，型式KDC-A1-12）を被せた温湿度計（ヴァイサラ株式会社製，型式HMP45A）を設置した。また，①の位置に放射収支計（英弘精機株式会社製，型式MF-11）を設置した。以上の観測データは全て1分間隔で測定され，データロガー（アドバンテスト株式会社製，R7326B）を介してノート型のパーソナルコンピュータに記録した。

3 結 果

試験を開始した2005年1月18日から3月18日の19:00～翌7:00における地上1m, 3m, 7mの気温，葉温，気温と葉温の格差，風向風速および正味放射量の平均値を表1に示した。高さ別の気温では，地上7mと3mの差はほとんどなく，地上7mは地上1mより0.1～1.1℃高かった。しかし，葉温は気温よりも0.9～6.1℃低く，その差は正味放射量が低い時に大きくなる傾向であった。

凍霜害が発生する実際の場面では，晴天で正味放射量が低く風のない夜間，放射冷却によって地表面の空気が上空よりも低下する接地逆転層が発生する場合に生じることが多い^{4, 9, 10, 11)}。そこで，このような凍霜害が発生する条件に近い気象条件として，①地上1mと7mの気温較差が大きい，②気温が0℃以上でも葉温が氷点下を記録している，③風速が1.5m/秒以下の微風条件，④夜間の正味放射量が -0.090kW/m^2 以下となる期日を選び，データ解析の対象とした。

本研究におけるデータの解析方法と手順については，具体例として2005年1月21日の観測データを使って説明する。1月21日19:00から1月22日8:00までにおけるファンからの距離5.4mと16.2m地点の葉温と風速を図2

に示したが，ファンが稼働している時間帯は葉温と風速が明らかに高まった。

次に，図2中のaで示した1月21日21:15～22:20における葉温と風速の推移を図3に示した。ファンの配電盤から送られた電圧信号を確認してみると，この間では地上3mファンは21:26～21:42，地上7mファンは21:55～22:13に稼働しており，その間の葉温は高まり風速が大きかった。ただ，図3を詳細に見ると，ファンが稼働してから葉温が十分に高まるまでに2～3分かかっていること，ファンが停止しても葉温が下がりきるまで，数分かかることが伺われた。したがって，ファンの稼働を開始した6分後から10分後までの葉温の平均値（図3のd）と稼働直前5分間の葉温の平均値（図3のc）との差を，ファン稼働による葉温上昇量（℃）とした。一方，ファン稼働による樹冠面の風速については，葉温上昇量との関係を比較検討することから，葉温上昇量を算出した同じ時間帯（図3のd）での平均値を用いることにした。

本研究では20:00から翌7:30まで30分間隔で地上7mファンを12回，地上3mファンを11回稼働させたが，図2を詳細にみると，19:30頃の実験開始直前の葉温はファン稼働前後の葉温よりもかなり低く，その一方，7:00以後の陽光が差し込む頃から葉温は上昇した。このため，気象条件が安定している21:30～翌6:30（図2のb）において2機のファンが9回ずつ稼働した時間帯のデータを集計することにした。

上記の方法で先に選定した調査日毎に集計し，地上7mと3mファンを9回ずつ稼働させた時の樹冠面の風速と葉温上昇量との関係について集計した。図4には，代表例として，2005年1月21日，2月3日，2月5日，2月13日，2月20日，2月27日，3月1日，3月6日，3月18日のデータを示した。なお，図4には，最も相関係数が高かった対数の近似曲線を書き加えた。

表1 試験期間における19:00~翌07:00までの気温、風速、正味放射量の平均値と最低葉温

月日	地上7m 気温 a	地上3m 気温	地上1m 気温 b	葉温 c	温度格差 I a-b	温度格差 II (逆転度) a-c	風向	風速 m/秒	正味放射量 kw/m ²
	℃	℃	℃	℃	℃	℃			
1月18日	3.3	3.2	2.8	-0.5	0.5	3.8	SW	0.7	-0.066
1月19日	4.9	4.9	4.4	0.2	0.5	4.7	NW	1.6	-0.103
1月20日	1.3	1.3	1.0	-2.0	0.3	3.2	W	2.2	-0.107
1月21日	0.9	0.9	0.4	-3.5	0.5	4.4	SW	1.1	-0.114
1月22日	4.5	4.4	3.8	1.0	0.8	3.5	SSE	2.7	-0.055
1月23日	3.0	3.1	2.8	1.6	0.3	1.4	ENE	2.6	-0.055
1月24日	6.1	6.0	5.5	1.5	0.6	4.6	W	1.4	-0.090
1月25日	5.8	6.0	5.7	4.9	0.1	0.9	ENE	2.8	-0.010
1月26日	1.7	1.5	0.9	-2.6	0.9	4.4	W	1.0	-0.084
1月27日	4.6	4.5	4.0	1.2	0.6	3.3	SSW	1.4	-0.051
1月28日	6.3	6.2	5.7	3.8	0.6	2.5	NE	3.0	-0.083
1月29日	7.4	7.3	6.9	4.7	0.5	2.7	W	1.5	-0.061
1月30日	2.0	2.1	1.8	-0.8	0.2	2.8	W	1.4	-0.075
1月31日	0.1	0.2	-0.2	-3.4	0.3	3.5	WNW	1.8	-0.109
2月1日	-2.5	-2.4	-2.6	-5.0	0.1	2.4	WNW	2.4	-0.107
2月2日	-0.6	-0.5	-0.9	-3.3	0.3	2.7	W	0.9	-0.104
2月3日	1.4	1.3	0.8	-3.3	0.6	4.7	W	1.3	-0.107
2月4日	4.1	4.2	3.8	0.8	0.3	3.3	SW	2.2	-0.102
2月5日	2.9	2.9	2.5	-1.5	0.5	4.4	W	1.3	-0.102
2月6日	3.8	3.7	3.1	-0.2	0.8	4.0	SW	1.8	-0.061
2月7日	6.9	7.0	6.6	5.0	0.4	1.9	SE	1.6	-0.012
2月8日	6.2	6.1	5.7	3.9	0.5	2.3	W	0.9	-0.054
2月9日	8.4	8.5	8.3	7.1	0.2	1.4	WNW	0.6	-0.011
2月10日	3.6	3.7	3.3	0.2	0.3	3.4	WSW	1.0	-0.091
2月11日	0.8	0.8	0.4	-3.1	0.4	3.9	WNW	1.1	-0.105
2月12日	2.6	2.4	1.8	-1.9	0.7	4.4	WNW	0.8	-0.080
2月13日	1.9	1.9	1.5	-2.0	0.4	3.8	WSW	1.2	-0.105
2月14日	3.5	3.4	2.9	-0.6	0.6	4.2	SW	0.7	-0.069
2月15日	7.7	7.7	7.2	5.3	0.4	2.4	ENE	3.5	-0.019
2月16日	9.4	9.5	9.2	8.1	0.2	1.4	E	0.8	-0.023
2月17日	8.4	8.5	8.2	6.6	0.2	1.9	ENE	2.6	-0.042
2月18日	4.5	4.7	4.4	3.6	0.1	1.0	ENE	8.2	-0.008
2月19日	7.5	7.4	7.0	5.4	0.4	2.0	W	1.2	-0.048
2月20日	0.7	0.8	0.4	-3.0	0.3	3.8	SW	1.3	-0.114
2月21日	0.2	0.2	-0.1	-3.5	0.3	3.6	WNW	1.4	-0.111
2月22日	3.3	3.2	2.6	-0.9	0.7	4.3	SSW	0.8	-0.069
2月23日	6.7	6.7	6.3	2.2	0.4	4.5	W	1.8	-0.100
2月24日	5.5	5.6	5.3	4.5	0.1	1.0	SE	2.8	-0.018
2月25日	4.1	4.2	3.9	0.2	0.3	4.0	WNW	1.5	-0.098
2月26日	-0.4	-0.4	-0.7	-4.5	0.3	4.1	WNW	0.8	-0.114
2月27日	1.4	1.4	1.0	-2.7	0.4	4.0	W	1.0	-0.095
2月28日	2.8	2.8	2.4	-1.1	0.5	3.9	W	0.8	-0.084
3月1日	1.7	1.5	0.8	-3.2	0.9	5.0	WSW	0.7	-0.101
3月2日	3.9	4.0	3.6	0.3	0.3	3.6	SW	0.6	-0.078
3月3日	5.3	5.4	5.2	4.2	0.2	1.1	ENE	2.5	-0.010
3月4日	3.2	3.2	2.8	-0.3	0.3	3.5	S	0.8	-0.078
3月5日	2.8	2.9	2.5	1.6	0.2	1.2	NE	2.9	-0.041
3月6日	1.9	1.8	1.3	-1.5	0.7	3.4	W	1.4	-0.098
3月7日	5.1	5.1	4.6	0.6	0.5	4.5	W	1.1	-0.098
3月8日	8.8	8.8	8.4	4.5	0.4	4.3	S	1.1	-0.082
3月9日	10.1	9.8	9.1	4.0	1.1	6.1	S	1.4	-0.080
3月10日	13.0	13.0	12.7	11.2	0.3	1.8	WNW	0.5	-0.012
3月11日	10.5	10.5	10.2	8.7	0.3	1.8	W	1.5	-0.044
3月12日	1.1	1.3	1.1	-1.5	0.1	2.7	SW	1.5	-0.094
3月13日	-0.7	-0.6	-0.9	-4.0	0.2	3.3	WNW	0.8	-0.106
3月14日	1.0	1.0	0.4	-3.0	0.6	4.0	WNW	1.2	-0.085
3月15日	6.3	6.4	6.1	4.6	0.2	1.8	WNW	1.1	-0.027
3月16日	9.4	9.2	8.6	4.7	0.8	4.7	NW	1.7	-0.068
3月17日	12.5	12.5	12.1	10.5	0.4	2.1	WSW	2.1	-0.040
3月18日	4.1	4.1	3.7	-0.7	0.4	4.8	W	1.5	-0.114
3月19日	5.5	5.4	4.8	0.7	0.7	4.8	W	2.0	-0.090
3月20日	6.5	6.5	6.2	2.3	0.4	4.3	SSW	1.6	-0.091

1) 風向と風速は牧之原AMeDASの観測値。それ以外は本試験において、各月日の19:00から翌07:00まで1分間隔で記録された平均値を示す。

図2 2005年1月21～22日の試験における高さ別気温，樹冠面の葉温と風速の推移

図3 2005年1月21日21:15～22:20における樹冠面の葉温と風速の推移

その結果，全ての調査日において，樹冠面の風速が早いほど葉温上昇量も増加する傾向であった。しかし，調査日によって葉温上昇量や9回繰り返しでの変動幅には違いが認められた。具体的には，1月21，2月20日，2月27日のように葉温上昇量が全て4℃以下と小さいが，繰り返しの分散が小さいケース，2月5日，2月13日，3月1日，3月18日のように場所によっては4℃を超え

るほど葉温上昇量が高いが分散が大きいケース，および2月3日，3月6日のような中間型のケースに分かれた。

一方，ファンからの距離別観測点によっては，特異的な葉温上昇が認められた。地上7mファンの5.4m地点では，風速が2m/秒以下の弱い風であっても葉温上昇量が大きく，上述したケースⅡでは4℃以上の葉温上昇が認められた。

図4 樹冠面の風速と葉温上昇量との関係

地上3m-距離5.4m (①), 地上3m-距離10.8m (②), 地上3m-距離16.2m (③), 地上3m-距離21.6m (④), 地上3m-距離27.0m (⑤), 地上7m-距離5.4m (●), 地上7m-距離10.8m (●), 地上7m-距離16.2m (●), 地上7m-距離21.6m (●), 地上7m-距離27.0m (●), 地上7mの平均気温 (a), 地上1mの平均気温 (b), 平均葉温 (c), 逆転度 (a-c)

4 考 察

防霜に関する研究は、本来ならチャの新芽が実際の被害を受ける4月以降での降霜時に実施すべきとの考えであろうが、その時期での降霜は突発的で葉温が氷点下になる頻度は少ないので、安定したデータの取得は困難である。また、本研究では、夜間低温時の茶園における気象環境を調べることが目的なので、低温になる頻度が高い1～3月に試験を実施した。ただ、厳冬期には強風を

伴った低温が多いことから、試験を実施した62日間の中から4月以後の降霜時に類似した気象条件を呈した期日を抽出して解析した。

その結果、図4に示した9日間を含めて、夜間の気温は地上7mと3mではほとんど差がなく、地上7mと1mでは0.1～1.1℃の僅かな差が認められた。一方、葉温は地上7m気温より0.9～6.1℃低く、その差は正味放射量が低い時に大きくなる傾向であった。筆者は2004年2月にも同じ場所で同様な実験を行ったが、地上7m, 5m, 1mの気温がそれぞれ3.0℃, 2.5℃, 0.5℃に対して、

葉温が -7.0°C を記録したことがあった。此本らは、地上2, 4, 6, 10mの気温と葉温の推移を調査したが、本研究結果と同様に高い場所ほど気温は高いが、その差は小さく、気温と葉温との格差の方が大きかった⁶⁾。高市・米谷は、正味放射量 $-0.09\text{kW}/\text{m}^2$ 、風速 $0.3\text{m}/\text{秒}$ の場合、地上1.5mの気温と樹冠面葉温との温度格差が 5.5°C に及ぶと計算した¹⁵⁾。

このように、放射冷却時の茶園では、気温と葉温との格差が極めて大きい特性がある。果樹では、防霜の対象となる花や果実は枝の下方にあり、周辺の枝や葉からの放射フレックスを受けるためか、植物体の温度は周辺の気温と大きく変わらない傾向がある¹⁶⁾。しかし、機械摘採のため表面を平らに整形された茶樹の樹冠面では、葉は天空に向けて剥き出しの状態になっていることから、他の物体からの放射フレックスを受けずに冷却し続けることが温度格差の原因と考えられる。

ところで、栽培現地で発生している凍霜害は、被害が茶園内の局部に集中することがほとんどで、傾斜地の斜面方向では東～南東側、南北うね茶園では樹冠面の東側に被害が発生することが多い¹⁷⁾。中野・松尾は熱画像による解析の結果、南北うね茶園では樹冠面の西側が東側よりも葉温が高いことを明らかにし、その原因については、西高東低の冬型気圧配置からもたらされる西からの微風が樹冠面の西側に当たって温度が高まると考察した¹⁸⁾。

以上に示した2点（①夜間冷却時には地上1～7mでの高さ別の気温に大きな差はないが、気温と葉温との差は大きい、②実際の場面では、気温よりも温度低下した葉に風が当たった部位は凍霜害が抑制されている）も考慮して、筆者らは、送風法による主要な防霜効果は、「高所から暖かい空気を下方に降ろして茶樹付近の空気を暖める」ではなく、「放射冷却によって低温になった樹冠面に風を吹き付けて直接暖めること」と仮説を立てた。本研究では、それを明らかにするため、防霜ファン茶園内の数カ所に風速計と温度計を併設して観測を行い、風速と葉温上昇量との関係を調査した。

その結果は図4に示したとおりで、送風するファン設置の高さ（地上7m、地上3m）に関係なく、樹冠面の葉温上昇量は風速に大きく依存している傾向が認められ、筆者らの仮説の正当性を伺わせた。しかしながら、ファンの間近である5.4m地点では風速が小さいにも関わらず、高い温度上昇が認められた。この現象が「高所から暖かい空気を下方に降ろして茶樹付近の空気を暖める」による効果かどうかについては不明であるが、本研究ではその現象が少面積だったので、茶園全体の葉温上昇効

果に及ぼす影響はそれほど大きくなかったと考えられる。

本研究では、ファン稼働直前と稼働後の短い時間における葉温の格差を葉温上昇量としたが、実際の場面では防霜ファンは数時間連続して稼働する。本研究で認められた風速に起因しない葉温上昇が、防霜ファンを長時間稼働させた場合や異なる地形条件でどのような影響を受けるのかを確認しなければならない。また、図4で示された調査日によって葉温上昇量や変動幅が異なる原因についても詳細な検討が必要である。

なお、本研究での調査対象は「葉温上昇効果」であって、「防霜効果」でないことを改めて述べておく。

5 摘 要

防霜ファンからの距離5.4, 10.8, 16.2, 21.6, 27.0m地点の樹冠面に温度計と風速計を併設して、防霜ファンの稼働による樹冠面の風速と葉温上昇量との関係を調査した。10.8～27.0m地点では、風速が大きいほど葉温上昇量が増加したが、防霜ファンから最短の5.4m地点では風速が小さいにもかかわらず葉温上昇量が大きかった。以上の結果より、送風法による茶園での葉温上昇効果は、風が樹冠面に当たること依存すると考えられるが、防霜ファンに近い範囲では風速に起因しない葉温上昇が認められた。

6 引用文献

- 1) 静岡県経済産業部農林業局茶業農産課（2013）：静岡県茶業の現状〈お茶白書〉。静岡，61.
- 2) 上村賢治（1976）：カリフォルニアの送風防霜法。農業気象，32（3），155-159.
- 3) 青野英也（1980）：チャの凍霜害関係研究文献集録。農林水産省農林水産技術会議事務局。
- 4) 高橋恒二・青野英也・田中静夫・築瀬好充・吉川 茂（1961）：茶樹の凍霜害に関する研究。降霜時の微細気象と凍霜害の応急的ならびに栽培的防止法の研究。東近農試研報，茶業部，8，28-151.
- 5) 木村政美・大石貞男・日高 保（1966）：防霜用送風機の効果に関する研究。静岡県茶業試験場研究報告，第1号，23-36.
- 6) 此本晴夫・鈴木幸隆・木村政美・岩崎正男・木村 進・小野循男（1976）：茶園における小型ファンの防霜効果。静岡県茶業試験場研究報告，第7号，43-57.
- 7) 静岡県農政部茶業農産課（1998）：平成10年静岡県茶業の現状。静岡，27-28.
- 8) 本条 均（1997）：防霜。新編農業気象学会用語解説編集委員会編。新編農業気象学会用語解説集。日本農業気象学会，157.
- 9) 此本晴夫（1988）：茶樹の気象災害防止法。社団法人静岡県茶業会議所編。新茶業全書，社団法人静岡県茶業会議所，pp.184-196.
- 10) 築瀬好充（1994）：茶園の気象災害。岩浅潔編。茶の栽培と利用

- 加工. 養賢堂, pp.245-265.
- 11) 坪井八十二 (1986) : 気象と農業生産. 養賢堂, pp.195-197.
- 12) 中野敬之 (2008) : 気象災害と対策 凍霜害. 社団法人農山漁村文化協会編. 茶大百科Ⅱ. 社団法人農山漁村文化協会. pp.471-480.
- 13) 中野敬之・丹羽明広 (2003) : 防霜ファンの高さが葉温の上昇効果に及ぼす影響. 農業環境工学関連5学会2003年合同大会講演要旨, 78.
- 14) 中野敬之・成田和隆・丹羽明広・関口幸彦 (2004) : 昇降式防霜ファンの俯角が茶株面の葉温上昇効果に及ぼす影響. 農業環境工学関連4学会2004年合同大会講演要旨, 157.
- 15) 高市益之・米谷 力 (1993) : 冬季の成木茶園における温度分布と樹体の凍結・融解. 農業気象, 49(2), 81-90.
- 16) 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.
- 17) 青野英也・築瀬好充・田中静夫 (1974) : 1972年春の茶園凍霜害の実態. 茶研報, No.41, 16-36.
- 18) 中野敬之・松尾喜義 (2000) : 南北うねの弧状樹形茶園において茶株面の東側に凍霜害が集中する原因. 茶研報, No.88, 9-24.