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しやすい原因

静岡県茶業試験場*

中野 敬之**

野菜・茶業試験場***

松尾 喜義

(平成10年11月4日受理)

Why does Frost Injuries Concentrate on East Side of Canopy Surface on Arc-Shaped Tea (*Camellia sinensis*L.) Bush Planted with Direction from North to South

Takayuki NAKANO

Shizuoka Tea Experiment Station

Kiyoshi MATSUO

National Research Institute of Vegetable, Ornamental Plants and Tea

Summary

In almost cases of past frost disasters for tea (*Camellia sinensis* L.) field, a partial damage has been observed. Especially, frost injuries used to concentrate only on an east side of the arc-shaped canopy surface for tea bushes planted with the direction from north to south. In this research, the difference of frost tolerance for buds and new shoots between the east and the west side of an arc-shaped canopy surface, effects of freezing temperature and melting method were investigated. Adding analysis of the canopy surface temperature on cold nights, it was observed as follows;

1. Freezing tolerance level of buds and new shoots depended on their growth stage. Their injured and dead rate after the freezing treatment increased as they grew. However, buds and new shoots picked up from the east side of the canopy surface generally showed only a little decline in the freezing tolerance than that from the west side.
2. On each growing stage, injured and dead rate of tea buds and new shoots were increased at lower temperature and at longer treatment time. They were influenced by the difference of only 1°C at a critical temperature.
3. In the past meteorological data since 1992 to 1997 at Makinohara AMeDAS, which established in the area of Shizuoka tea experiment station in 1988 by Japanese Meteorological Agency, almost freezing night occurred in the atmospheric pressure distribution of which is low at east and high at west around Japanese land. In such a case,

* 〒439-0002 菊川町倉沢1706-11

** 現：静岡県中遠農林事務所 〒438-8558 磐田市見付3599-4

*** 〒439-8501 金谷町金谷2769

winds used to breeze from west to east.

4. The leaf temperature of the canopy surface was lower at an opposite side of a wind direction. As most patterns of cold night, the wind from west to east rise the leaf temperature of the west side. In this experiment, the maximum difference was over 2°C.

It was concluded that the different leaf temperature between east and west and declination of freezing tolerance induce the partial frost injury on the east side of arc-shaped canopy surface.

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に多くの被害を及ぼしてきた¹⁾。栽培現地における被害実態を調査すると、茶園の立地環境や新芽の生育ステージ、低温時の気象条件など多くの要因によって複雑な被害発生の様相を呈する傾向があり、茶園内に局所的な被害がみられることが多い²⁾。特に、南北方向に定植された茶園では、写真1に示すように茶株面の東側に被害が集中する傾向がある。

チャ以外の植物を含めた凍霜害の発生メカニズムについては、①植物の生育ステージや耐凍性の変動^{3,4,5,6,7,8)}、②植物体の凍結と融解までのプロセス^{9,10,11,12,13,14)}、③植物体の結露や着霜の有無^{15,16,17,18)}、④ほ場の立地条件に伴う微気象の影響^{2,6,8,19,20,21,22,23,24)}と、多方面からの報告があり、様々な条件が起因していることが指摘されている。この中で茶株面の東側に凍霜害が集中しやすい現象については、東側が低温になりやすく着霜量が多いこと⁶⁾、朝日の直射による急速な融解が細胞を損傷させること⁹⁾、および東側の新芽で耐凍性が低いこと³⁾が一因として指摘されているが、関連する諸要因を総合的に検討した事例は少なく断片的な解釈に止まっている。

本研究では、この現象の発生要因を明らかにするため茶株面の位置と茶芽の耐凍性との関係、凍結から融解までの諸条件の影響を低温処理によって調査するとともに、茶園内の気象観測を併行して行った。得られた結果を総合的に検討して、南北うね茶園において凍霜害が茶株面の東側に集中しやすい原因について考察した。

2 材料と方法

2. 1 低温処理による新芽の被害程度の解析

供試材料は茶株面付近に位置する頂・側芽とし、茶株面から約5 cm下の位置で切断して採取した10～15本を処理単位とした。試料採取は午前9～11時に行うように留意した。調査日の天候や採集に費やした時間の差異がサンプルの乾燥程度に及ぼす影響を緩和することを目的に、低温処理前にサンプルを数分間水に浸せきし、その後濡れたままの枝条を10～15本でひとまとめにしてアルミ箔に包み、3基のプログラムフリーザー（㈱タパイエスベックSU-220）に入れた。急激な冷却はサンプル内温度の不均一化を招くと考えられたため、室温から0°Cまで3～5時間かけて低下させ、0°Cの状態で5～8時間維持した。その後の冷却速度は $-1^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}^{-1}$ とし、所定温度まで緩やかに冷却した。

低温処理後、25°Cで14時間日長に調節した恒温器内で水道水を入れた容器に水差し状態で生育させた。被害の調査は新芽の損傷程度や枯死が明確に区別できる時期を選び、試験1-1の萌芽期前では処理の1～2週間後に茶芽が萌芽して新芽になるのを待って行い、試験1-2、1-3は処理の3～5日後に行った。被害程度の判定は新芽の組織全てが黒変したものを枯死芽、組織の一部でも黒変したものを損傷芽（枯死芽を含む）とした（写真2参照）。なお、奇形葉の有無については、調査員により判断が異なるため被害程度に加味しなかった。

- (1) 試験1-1 萌芽期前における茶株面の生育場所別、茶芽の耐凍性検定
静岡県茶業試験場内の1983年に南北方向に

図1 低温処理方法の手順と試験構成

Fig. 1 Operational procedure of freezing treatment

定植された‘やぶきた’園を供試した。1997年と1998年の3月に約1週間間隔で、茶株面の東西から枝条を採集して低温処理を行った。季節と茶芽の生育状況を参考にして、 -3 、 -6 、 -9 、 -12 、 -15°C において3水準の温度を選び3基のプログラムフリーザーを用いて処理した。所定の温度で2時間経過させた後、 $+5^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}^{-1}$ の速度で 10°C まで上昇させた。試験規模は1区10本とし反復は設けなかった。

(2) 試験1-2 新芽の生育場所、処理温度および融解方法の違いによる新芽の被害程度の検定

静岡県茶業試験場内の1984年に南北方向に定植された‘やぶきた’園を供試した。1997年は処理温度を -3 、 -4 、 -5°C の3水準として4月3日と7日に、1998年は -2 、 -3 、 -4°C で4月1日、6日および13日に行った。達観調査によると、1997年の萌芽期は4月10日、1998年は4月7日前後と推察された。

採集からフリーザーによる冷却までの手順は試験1-1と同じである。融解方法は、所定温度で2時間経過させた後、①緩速・暗黒区：そのままフリーザー内で $+2^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}^{-1}$ の速度で 10°C まで上昇させる、②急速・暗黒区：アルミ箔に包んだままのサンプルを 25°C の恒

図2 静岡県茶業試験場における茶園微気象の観測状況

Fig. 2 Monitoring profile of micrometeorological phenomena at the tea field of Shizuoka Tea Experiment Station located at the west edge of Makinohara table land with $34^{\circ}46.8' \text{N}$, $138^{\circ}8.6' \text{E}$ and 191m above sea level.

- 1) AMeDAS牧の原観測点は1988年に気象庁が設置した。
- 2) 熱電対温度計は、茶株面の西裾 (□)、西肩 (○)、頂部 (◆)、東肩 (●) および東裾 (■) の葉裏に付けた。
- 3) 熱映像温度計 (Thermo viewer, JTG6300, JEOL L.T.D.) は、供試茶園の北側に設置し、レンズを南へ向けて撮影した。
- 1) Makinohara point of Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS), which has been measuring air temperature, precipitation, duration of sunshine, wind velocity and direction since 1988, established by Japanese meteorological agency.
- 2) Thermocouples were set on under surface leaves of the west edge (□), the west shoulder (○), the top (◆), the east shoulder (●) and the east edge (■) of arc-shaped bush surface. For these temperature changes on cold night, see fig. 3, 4.
- 3) Thermal imagery thermometer (Thermo viewer, JTG6300, JEOL L.T.D.) was set on the north side of tea field. For these thermal image changes, see plate 3~12.

温器に移して3～4時間放置する, ③急速・光区：白熱電球(1kw)の40cm下(5600lx)に20～30分置く方法の3つで比較した。なお, ③では, 白熱電球下に数分間放置するだけでサンプルはかなりの熱を帯びたので, 絶えず手で攪拌しながら行った。1997年の試験規模は1区15本で反復無し, 1998年は15本で2反復とした。

(3) 試験1－3 新芽の生育場所, 処理温度および処理時間の違いによる新芽の被害程度の検定

1998年の4月15日に処理温度を -2 , -3 , -4°C で行った。採集ほ場とフリーザーで冷却するまでの手順は試験1－2と同じである。所定温度に到達直後(0時間), 2時間, 4時間後に試験1－2の②と同じ方法で融解させた。試験規模は1区15本の2反復とした。

2. 2 南北うね弧状樹形茶園の茶株面における葉温分布の調査

1984年に南北方向で定植された後, 曲率半径1,100mmの可搬型動力摘採・整せん枝機で管理されている弧状樹形の‘さやまかおり’園を供試した(図2)。

(1) 試験2－1 熱電対温度計による茶株面の葉温の測定

1998年の2月5日に供試園内の隣接した2うねについて, それぞれ茶株面の頂部に1点, 東, 西の両裾部に2点, 頂部と両裾部の中間部を東, 西肩部として2点の熱電対温度計(JIS type T, 0.32 ϕ)をそれぞれの葉裏にセロハンテープで接着した。また, 隣接した位置にプロペラ式風向風速計(株英弘精機MA-110)を地上1.5mの高さに設置した。これらの観測機器によって1分間隔で測定したデータはデータロガーで10分毎の平均値にまとめ, 計算機を介して記録器に保存した(図2)。測定は, 2月5日の夜から3月31日の朝まで行った。

(2) 試験2－2 熱映像温度計による茶株面の葉温の測定

試験2－1で観測中の茶うねについて, 1998年3月24日の午前4時頃から数分間隔で6時頃まで, 熱映像温度計(株日本電子

JTG6300)を用いて茶園の北側から南に向けての映像を撮影した(図2)。

(3) 試験2－3 牧の原における低温時の風向と風速分布

当場内に設置されている牧の原のAMeDAS観測装置(図2)において, 1992～1997年の3月中旬から4月中旬に1時間間隔で収録された気象データについて, 気温が 3°C 以下になった時の風向・風速の度数分布を調査した。なお, 当装置は1988年に気象庁によって設置されたものであり, 気温は百葉箱内で測定され, プロペラ式風向風速計は地上6mの高さに設置されている。

3 結 果

3. 1 低温処理による新芽の被害程度の解析

(1) 試験1－1 萌芽期前における茶株面の生育場所別, 茶芽の耐凍性検定

1997年と1998年の3月における茶芽の生育位置の違いと低温処理による枯死芽率の推移を表1に示した。その結果, 両年とも3月上旬は -12°C 以下の処理でなければ茶芽は枯死しなかった。しかし, 調査日が遅くなり萌芽期が近づくに従って, -6 , -9°C での枯死芽率が増加した。生育位置の違いについては, 1998年3月31日の -3°C 処理を除くと, 茶株面の東側から採集した茶芽の枯死芽率は西側よりも高く推移した。

(2) 試験1－2 新芽の生育場所, 処理温度および融解方法の違いによる新芽の被害程度の検定

1997年の結果を表2に, 1998年の結果を表3に示した。損傷芽率と枯死芽率の推移をみると, これらの高低に最も大きな影響を及ぼす要因は調査日の早晚であり, 調査日が遅いほど -2 ～ -3°C の比較的高めの温度でも枯死した(表2, 3)。

同一調査日内で比較すると, 損傷芽率と枯死芽率に大きな影響を及ぼす要因は処理温度であった。損傷芽率と枯死芽率は処理温度が低いほど増加するというよりも, むしろ僅か 1°C の差により大きく変動する温度帯がみられた。例えば1998年の4月1日では -3°C

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しやすい原因

表 1 茶株面の東西場所から採取した茶芽における低温処理後の枯死芽率

Table 1. Changes of dead bud rate by freezing treatment and comparison between sampling position of tea buds.

処理温度 Freezing temperature (°C)	採取場所 Sampling position of tea buds	Mar. in 1997					Mar. in 1998				
		6th	12th	18th	24th	31st	4th	11th	18th	25th	31st
-3	東 East				0	0					20
-3	西 West				0	0					60
-6	東 East			10	70	100		0	10	40	100
-6	西 West			0	0	90		0	0	30	100
-9	東 East	0 ¹⁾	70	50	90	90	30	0	10	80	100
-9	西 West	0	40	0	20	100	0	0	0	50	100
-12	東 East	60	100	100			70	70	90	100	
-12	西 West	0	0	20			60	10	50	100	
-15	東 East	100	100				100				
-15	西 West	30	90				100				

1) 表中の数値は低温処理後の枯死芽率 (%) を示す。

1) Means followed by all data are dead bud rate (%) after freezing tratment.

表 2 採取場所、低温処理温度および融解方法が茶芽損傷芽率と枯死芽率に及ぼす影響 (1997年処理)

Table 2. Comparison of injured and dead shoot rate after freezing treatment between sampling position, bottom temperature and melting method on the experiment No. 1-2 in 1997.

A 採取場所 Sampling Position of new shoots		B 処理温度 Freezing temperature (°C)		C 融解方法 Melting method		April 3rd		April 7th	
						損傷芽率 Injured (%)	枯死芽率 Dead (%)	損傷芽率 Injured (%)	枯死芽率 Dead (%)
東	East	-3	緩速・暗黒	Slow・Dark		40 ¹⁾	10	100	100
東	East	-3	急速・暗黒	Rapid・Dark		60	20	90	40
東	East	-3	緩速・光	Rapid・Light		60	20	90	80
東	East	-4	緩速・暗黒	Slow・Dark		100	100	100	100
東	East	-4	緩速・暗黒	Rapid・Dark		90	40	100	100
東	East	-4	急速・光	Rapid・Light		100	30	100	100
東	East	-5	緩速・暗黒	Slow・Dark		100	100	100	100
東	East	-5	急速・暗黒	Rapid・Dark		100	70	100	100
東	East	-5	急速・光	Rapid・Light		100	90	100	100
西	West	-3	緩速・暗黒	Slow・Dark		40	10	100	100
西	West	-3	急速・暗黒	Rapid・Dark		30	10	100	100
西	West	-3	緩速・光	Rapid・Light		70	20	100	100
西	West	-4	緩速・暗黒	Slow・Dark		70	50	100	100
西	West	-4	急速・暗黒	Rapid・Dark		90	0	100	100
西	West	-4	急速・光	Rapid・Light		100	70	90	90
西	West	-5	緩速・暗黒	Slow・Dark		100	100	100	100
西	West	-5	急速・暗黒	Rapid・Dark		100	70	100	100
西	West	-5	急速・光	Rapid・Light		100	90	100	100

1) 表中の数値は低温処理後の損傷死芽率 (%) を示す。

1) Means followed by all data are dead shoot rate (%) after freezing treatment.

表3 採取場所，低温処理温度および融解方法が茶芽の損傷芽率と枯死芽率に及ぼす影響(1998年処理)

Table 3. Comparison of injured and dead rate after freezing treatment between sampling position, freezing temperature and melting method on the experiment No. 1-2 in 1998.

A 採取場所 Sampling position of new shoots	B 処理温度 Freezing temperature (°C)	C 融解方法 Melting method	April 1st		April 6th		April 12th	
			Injured (%)	Dead (%)	Injured (%)	Dead (%)	Injured (%)	Dead (%)
East	-2	Slow・Dark	3 ^{1)a2)}	0 ^a	10 ^a	0 ^a	100 ^a	90 ^a
East	-2	Rapid・Dark	0 ^a	0 ^a	13 ^{ab}	0 ^a	87 ^a	70 ^a
East	-2	Rapid・Light	0 ^a	0 ^a	20 ^{abc}	0 ^a	83 ^a	63 ^a
East	-3	Slow・Dark	0 ^a	0 ^a	60 ^{ad}	13 ^{ab}	100 ^a	100 ^a
East	-3	Rapid・Dark	0 ^a	0 ^a	70 ^{ac}	10 ^{ab}	100 ^a	97 ^a
East	-3	Rapid・Light	0 ^a	0 ^a	77 ^{bd}	47 ^b	100 ^a	93 ^a
East	-4	Slow・Dark	90 ^b	70 ^b	100 ^d	97 ^c	100 ^a	100 ^a
East	-4	Rapid・Dark	83 ^b	60 ^b	100 ^d	00 ^c	100 ^a	100 ^a
East	-4	Rapid・Light	73 ^b	50 ^b	100 ^d	00 ^c	100 ^a	100 ^a
West	-2	Slow・Dark	0 ^a	0 ^a	3 ^a	0 ^a	100 ^a	87 ^a
West	-2	Rapid・Dark	3 ^a	0 ^a	7 ^a	3 ^a	100 ^a	93 ^a
West	-2	Rapid・Light	0 ^a	0 ^a	13 ^{ab}	0 ^a	20 ^b	7 ^b
West	-3	Slow・Dark	3 ^a	0 ^a	77 ^{bd}	50 ^b	100 ^a	97 ^a
West	-3	Rapid・Dark	0 ^a	0 ^a	47 ^{ab}	13 ^{ab}	100 ^a	97 ^a
West	-3	Rapid・Light	7 ^a	0 ^a	60 ^{ab}	27 ^{ab}	83 ^a	60 ^a
West	-4	Slow・Dark	70 ^b	57 ^b	100 ^b	00 ^c	100 ^a	100 ^a
West	-4	Rapid・Dark	67 ^b	43 ^b	100 ^d	97 ^c	100 ^a	100 ^a
West	-4	Rapid・Light	67 ^b	50 ^b	100 ^d	97 ^c	100 ^a	100 ^a
効果の 有意性の Effest	Sampling position	A	* 3)	NS	NS	NS	**	**
	Freezing temperature	B	***	***	***	***	***	***
	Melting method	C	NS	NS	NS	NS	***	***
	A × B		***	NS	NS	NS	*	NS
	A × C		NS	NS	NS	**	***	***
	B × C		NS	NS	NS	*	***	***
	A × B × C		NS	NS	NS	*	***	**

1) 表中の数値は，15本の新芽を低温処理した後の損傷芽率と枯死芽率で，2反復の平均値である。

2) 同一の英小文字を付した区間に有意差がないことを示す (Tukey 5%)。

3) *, **, ***は，それぞれ危険率10，5，1%有意差が認められたことを示す。

1) Means are average of which 15 pieces of new shoots are treated with repeated twice.

2) Means followed by the same letters are not significantly different at 5% level according to Tukey's multiple range test.

3) *, ** and *** denote that the significance levels are less than 10, 5 and 1%, respectively.

と-4℃処理間で，4月6日では-2℃と-3℃処理間で極端な差が認められた(表3)。新芽の生育位置や融解方法については両年とも明らかな差はみられなかった。しかし，1998年の4月13日の-2℃処理では西側から採集した新芽について電球で急速に融解した場合

のみ，枯死芽率と損傷芽率が極めて小さかった(表3)。

(3) 試験1-3 新芽の生育場所，処理温度および処理時間の違いによる新芽の被害程度の検定

-2，-3，-4℃へ到達直後にサンプルを

融解させた場合(0時間), 2時間および4時間処理した場合における影響を表4に示した。その結果, -4°C では0時間でもほとんどの新芽が枯死したが, $-2, -3^{\circ}\text{C}$ では処理時間が長いほど損傷芽率と枯死芽率が増加した (表4, 写真2)。

表4 採取場所, 低温処理温度と時間が茶芽の損傷率と枯死率に及ぼす影響

Table 4. Comparison of injured and dead shoot rate after freezing treatment between sampling position, freezing temperature and duration on the experiment No. 1-3 in 1998.

A 採取場所 Sampling position of new shoots		B 処理温度 Freezing temperature ($^{\circ}\text{C}$)	C 処理時間 Freezing duration hrs.	損傷芽率 Injured (%)	枯死芽率 Desd (%)
東	East	-2	0	0 ^{1)a2)}	0 ^a
東	East	-2	2	77 ^b	10 ^a
東	East	-2	4	100 ^b	77 ^{bc}
東	East	-3	0	13 ^a	0 ^a
東	East	-3	2	100 ^b	90 ^{bc}
東	East	-3	4	100 ^b	100 ^c
東	East	-4	0	100 ^b	100 ^c
東	East	-4	2	100 ^b	100 ^c
東	East	-4	4	100 ^b	100 ^c
西	West	-2	0	47 ^b	3 ^a
西	West	-2	2	93 ^b	40 ^{ab}
西	West	-2	4	100 ^b	90 ^c
西	West	-3	0	57 ^b	0 ^a
西	West	-3	2	100 ^b	70 ^{bc}
西	West	-3	4	100 ^b	100 ^c
西	West	-4	0	93 ^b	73 ^{bc}
西	West	-4	2	100 ^b	100 ^c
西	West	-4	4	100 ^b	100 ^c
効果の	採取場所	Sampling position	A	NS	NS
有意性	処理温度	Freezing temperature	B	*** ³⁾	***
Effect	処理時間	Freezing duration	C	***	***
		A $\times$ B		***	*
		A $\times$ C		NS	NS
		B $\times$ C		**	***
		A $\times$ B $\times$ C		NS	NS

1) 表中の数値は, 15本の新芽を低温処理した後の損傷芽率と枯死芽率で, 2反復の平均値である。

2) 同一の英小文字を付した区間に有意差がないことを示す (Tukey 5%)。

3) *, **, ***は, それぞれ危険率10, 5, 1%で有意差が認められたことを示す。

1) Means are average of which 15 pieces of new shoots are treated with repeated twice.

2) Means followed by the same letters are not significantly different at 5% level according to Tukey's multiple range test.

3) *, ** and *** denote that the significance levels are less than 10, 5 and 1% , respectively.

図3 低温時における風向，風速，および茶株面の葉温の推移

Fig. 3 Changes of wind direction, wind velocity and leaf temperatures of canopy surface at cold night in 1998.

- 1) 図中の記号はそれぞれ，風向 (Δ)，風速 (▲)，と茶株面の西裾 (○)，西肩 (□)，頂部 (◆)，東肩 (■)，および東裾 (●) の葉温を示す。
- 1) Wind direction (Δ), wind velocity (▲), leaf temperature of the west edge (○), the west shoulder (□), the top (◆), the east shoulder (■) and the east edge (●).

図4 日の出における茶株面葉温の推移

Fig. 4 Changes of leaf temperatures of canopy surface around daybreak time.

- 1) 観測期間中に気温が氷点下になった19日間の平均値をまとめた。
- 2) 図中の記号はそれぞれ，茶株面の西裾 (○)，西肩 (□)，頂部 (◆)，東肩 (■)，および東裾 (●) の葉温を示す。
- 1) Leaf temperature mean average value of 19 frost days in experiment period.
- 2) Leaf temperature of the west edge (○), the west shoulder (□), the top (◆), the east shoulder (■) and the east edge (●).

2. 2 南北うね弧状樹形茶園の茶株面における葉温分布の調査

(1) 試験2-1 熱電対温度計による茶株面の葉温の測定

1998年の2月6日から3月31日までの調査期間において茶株面の葉温が氷点下を記録したのは19日間であった。代表的な例として、3月4, 17, 18, 24日の結果を図3に示した。茶株面が氷点下を記録する場合はほとんどが西高東低の気圧配置で、その時の供試園内の風向は西～南で微風条件が多かった。茶株面の葉温は西肩で最高値を、東肩で最低値を示すことが多く、ほとんどの場合両者間に 1°C 以上の差が認められ、特に3月17日の午前5時頃や3月18日の午前0～3時では 2°C 以上

の差が認められた(図3)。この現象が風向と密接に関係していることを示唆する具体例として、3月18日があげられる。この日は、午前3～4時に風向が南に変わったが、この時間帯は茶株面の葉温は、東西間で差がなくなった(図3)。

低温になった19日間について部位別に葉温の平均値を求め、その推移を図4に示した。これをみると、日の出に伴う葉温の上昇は午前6時半頃からと推定される。それ以後の葉温の上昇量は、東肩、頂部、東裾、西肩、西裾の順序で多く、午前6時半から8時までの葉温の上昇速度は東肩で $+0.13^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 、西肩で $+0.07^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ であった。

図5 牧の原AMeDAS観測点における気温が 3°C 以下での風向風速の度数分布(1992～1997年の集計値)
Fig. 5 Frequency distribution (min./year) of wind direction and velocity below 3°C of air temperature.

1) 1992～1997年の3月中旬(左上), 3月下旬(右上), 4月上旬(左下)および4月中旬(右下)において、1時間間隔で記録された風向、風速データについて気温が 3°C 以下時間数を集計して1年当たりの平均値を求めた。

1) Data was calculated since 1992 to 1997 at areal observation system of Makinohara AMeDAS.

(2) 試験2-2 熱映像温度計による茶株面の葉温の観測

3月24日に実施した熱映像温度計の撮影結果を写真3～10に示した。3月24日も西高東低の気圧配置で西からの微風条件であった(図3)。茶株面の葉温は頂部を境に西側と東側で大きく異なり、ほとんどの場合東側が低く推移した(写真3～10)。試験2-2では10分毎の平均値を収録したので、図3ではほぼ一定の風向で推移しているようにみえるが、実際に茶園に立って風向風速計を観察すると、普段は西からの微風であっても瞬時的に南風や東風が吹くことがあり、その度に茶株面温度の分布は写真8、9のように東西間の差がなくなった。

(3) 試験2-3 牧の原における低温時の風向と風速分布

当場内に設置されている牧の原台地のAMeDAS(図2)による1992～1997年の観測値を集計し、気温が 3°C 以下になった時間帯における風向風速の分布を調査した。その結果、3月中下旬は一部で北～東の強風がみられたが、4月にはなくなった。調査期間を通してみると、低温時は西からの微風条件が最も多かった(図5)。

4 考 察

南北うね茶園において茶株面の東側で凍霜害が集中しやすい原因についてはこれまでに結論が明確にされていないことから、栽培現場では様々な説明がなされているようである。特に、生産者や指導者の間では、朝日の直射による急速な融解を主因とする説が支持されている。しかし、チャ以外の植物を含めた過去の研究を参照すると、朝日説を証明する根拠は乏しく、むしろ、これに懐疑的な結果を示した報告が多い。

淵之上⁹⁾は、チャ新芽の低温処理試験において、急速な融解が被害率を有意に高めた結果をもとに朝日の直射による影響を一因として指摘した。しかし、原田・中山¹⁰⁾は同様な結果を得ながらも急速融解の影響が軽微であることを重視し、朝日説に対して懐疑的な考察

をしている。一方、高橋ら⁹⁾は、春先の低温時は西からの微風条件が多いことと茶株面が風向の反対側で最低温度を示す現象を見出したが、この結果が朝日説を否定する材料にならないと言及している。

チャ以外の植物における同様な現象については、代表例として山の南東部斜面で多発する樹木の凍霜害に関する一連の研究があげられる。今田・武藤¹¹⁾は、低温処理後のトドマツを直射日光下に置くと被害が顕著になったことから、朝日の直射による急激な融解が原因と結論づけた。吉田・酒井^{13,14)}は、ツゲとイヌツゲを供試して急速融解のメカニズムを調査し、組織氷点付近の温度通過速度が早いと被害が顕著になることと細胞外凍結によって脱水状態になった細胞が急速な融解により吸水することが問題であると考察した。しかし、酒井・吉田¹³⁾は、融解速度が $+1^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ を超えない限りトドマツの芽は有害な影響を受けないこと、朝日の直射による温度の上昇速度が $+0.1^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ であることを指摘し、今田・武藤¹¹⁾が6月に日中の太陽下で融解させたことを理由に朝日説を否定している。一方、吉田ら⁸⁾は、山の南東斜面において凍結後に被覆して朝日を遮っても被害程度が緩和されなかったこと、南東斜面における芽の生育が進んでいたこと、および南東斜面が最も低温になりやすいことを明らかにして、朝日以外の影響を指摘した。

本研究における低温処理試験の結果では、被害に大きな影響を及ぼした要因は生育ステージ、処理温度および処理時間であった。新芽が生育に伴い耐凍性を急速に消失する現象は築瀬⁷⁾が指摘した結果と同様で、特に試験1-2において被害芽率は1週間の調査間隔で極端な増加を示した(表2、3)。本研究では試験1-1、1-2、1-3とも、東側の新芽で被害芽率が高い傾向が認められたが(表1、2、3)、一般に南北うね茶園では新芽の生育は茶株面の東側で早い特性があることから、耐凍性の低下が早かった可能性が示唆された。

一方、試験1-2の同一調査日において被

害芽率の高低を比較すると、処理温度の影響が最も大きく僅か 1°C の違いで損傷芽率と枯死芽率が大きく異なった(表 1, 2, 3, 4)。しかし、融解方法による影響はほとんど認められず、淵之上⁹⁾と原田・中山¹⁰⁾の研究結果と異なっていた(表 2, 3)。むしろ、急速融解を組み合わせた一部の区では、低温遭遇時間が短縮されたためか逆に損傷芽率が低下した。本研究で急速融解による被害の拡大を再現できなかった原因については、低温処理の具体的方法や手順、フリーザー内の温度分布、更に被害程度の判定法などの違いによる影響が考えられるので、個々の要因についての再検討が必要であろう。しかし、日の出頃の茶株面葉温の上昇速度は、朝日が当たる東側肩部で $+0.13^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 、西側肩部で $+0.07^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ と僅かな差であったこと(図 5)と前述したトドマツでの経過を考慮すると、同様な試験を継続して自然界で起こり得ない処理によって急速融解による被害拡大を再現できたとしても、朝日説を証明する根拠にはならないと考えられる。

凍霜害が局部的に発生する原因については、上述した茶芽の生理的要因とは別に耕地微気象学の見地からの検討も必要である。本研究で茶株面の葉温分布を調査した結果、高橋⁹⁾が指摘したように低温時における主風向の反対側である茶株面の東側が低温になりやすかった(図 3, 4, 写真 3~10)。特に東、

西肩部の葉温はほとんどの場合で 1°C 以上の差があり、顕著な場合は 2°C 以上になった。これらの差は試験 1-2, 1-3 の低温処理において茶芽の生死を分けた水準差以上の違いであり、たとえ東西間における茶芽の耐凍性が同等であっても、被害芽率が大きく異なる可能性が伺えた。

傾斜に対して等高線に沿って植えられた弧状樹形の茶園では、茶株面の山側よりも谷側で新芽の生育が遅れたり、凍霜害を受けやすい特性がある。この現象は、谷方向へ流れる風の反対側である茶株面の谷側で温度低下が著しいことが原因と説明されており^{5,19,24)}、朝日の方向に起因しない。このため、これと同様な現象である南北うねの平坦地茶園において茶株面の東側で凍霜害が発生しやすい原因についても、朝日の方向を考慮しなくとも茶株面の葉温差のみで説明が可能と考えられる。

このように弧状樹形茶園で風向の反対側で茶株面葉温が低下しやすい現象は、遮蔽物の風下で凍霜害が集中しやすい現象と類似している。例えば、三原²²⁾や静岡県茶業試験場²⁾は、防風林や防風垣の風下で凍霜害の被害が顕著であることを、早川²¹⁾は、風があるときは高速道路の風下側で冷却されやすいことを指摘している。凍霜害は中山間部の谷底や窪地での発生が多く、山の山頂に近いほど発生が少ないことが普遍的な現象として指摘され

図 6 西風が茶株面の葉温に及ぼす影響

Fig. 6 Influence of wind from the west on the leaf temperature of the arc-shaped canopy surface.

ている^{2,6,23)}が、この原因は冷気流の移流と停滞が凍霜害を助長するものと説明されていた⁶⁾。しかし、1979年に開催された農業気象学会のシンポジウム「霜害と夜間の冷気流」²⁰⁾において、三原はたとえ「冷気流」であっても放射冷却で極端に温度低下した植物体にとっては「温風」であることを指摘し、それまでの通説であった霜害冷気流説を否定した。三原の説を本研究結果に当てはめると、「なぜ東側が凍霜害を受けやすいのか」ではなく「なぜ西側が凍霜害を受けにくいのか」という着眼により、図6のように説明される。すなわち、放射冷却で気温より冷え込んだ茶株面に西風が当たることによって、西側の葉温が上昇する。この結果、東側の葉温は相対的に西側より低くなるので、茶株面の東側が凍霜害を受けやすくなると考えられる。

5 摘 要

南北方向に定植され、弧状樹形に仕立てられた茶園では、凍霜害が茶株面の東側に集中する特性がある。本研究では、茶株面の東・西側における茶芽の耐凍性、低温処理および融解方法の違いが、新芽の損傷芽率と枯死芽率に及ぼす影響について、さらに、低温時における茶株面の葉温分布について調査した。低温処理試験結果と茶株面葉温の観測結果を照らし合わせて、その原因について検討した結果、

1. 茶芽の凍結による被害に最も大きな影響を及ぼした要因は生育ステージであり、生育が進むにつれて損傷芽率と枯死芽率が増加した。一部で異なる結果も得られたが、茶株面の東側における茶芽の耐凍性は、総じて西側よりも僅かに低い傾向が伺えた。
2. 茶芽の損傷芽率と枯死芽率は、処理温度が低いほど、また処理時間が長いほど増加した。特に僅か1℃の処理温度差によって枯死芽率や損傷芽率が大きく異なった。
3. AMeDASの牧の原観測点における過去の気象データを集計すると、春先の低温時は西高東低の気圧配置が多く、西からの微風条件下がほとんどであった。

4. 茶株面の葉温は風向の反対側で低下する現象がみられた。すなわち、最も多い西風の微風条件では、茶株面の東側は西側よりも低く推移し、顕著な場合、両者間で2℃以上の差がみられた。

以上の結果より、南北方向に定植された弧状樹形の茶園において、茶株面の東側が凍霜害が集中しやすい現象は、茶株面の東側が低温になりやすいことが主因であるが、東側の耐凍性が低いことも影響していると考えられた。

6 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、野菜・茶業試験場茶栽培部の渡辺利通作業技術研究室長には、熱映像温度計の使用と解析方法に関して指導して頂いた。記して謝意を表する。

引 用 文 献

- 1) 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。
- 2) 静岡県茶業試験場(1979)：昭和54年の茶の凍霜害に関する調査報告。静岡茶試研報，10，1-83。
- 3) 中野敬之・小林栄人(1993)：萌芽前の低温遭遇が茶芽の生育に及ぼす影響。日本農業気象学会1993年度全国大会講演要旨，238-239。
- 4) 中野敬之・谷 博司(1994)：チャ冬芽の休眠、耐凍性の推移と萌芽期予測への利用。日作東海支部報，118，17-18。
- 5) 鈴木康孝・小林栄人(1995)：傾斜地茶園における畦の山側と谷側の一番茶の生育差とその改善方法。静岡茶試研報，19，9-19。
- 6) 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。
- 7) 築瀬好充(1975)：茶樹の器官による耐凍性の差異とその時期的変化。茶研報，No.42，19-24。

- 8) 吉田静夫・酒井 昭・渡辺富夫 (1968) : 植物の霜害に関する研究II. トドマツの晩霜害におよぼす朝日の影響. 低温科学, 生物編, 26, 51-60.
- 9) 淵之上弘子(1966) : 営利栽培北限地帯における茶樹の生育生理に関する研究. 第6報 新芽の低温害とその後の生育におよぼす影響. 日作紀, 34別, 515-516.
- 10) 原田重雄・中山 仰 (1961) : 凍結・融解の速度と寒害発生との関係について. 茶研報, No.18, 11-15.
- 11) 今田敬一・武藤憲由 (1958) : 北海道主要造林樹種の凍害に関する研究(II). 凍害と朝日の影響. 北大演習林研究報告, 19, 61-78.
- 12) 酒井 昭・吉田静夫 (1967) : 植物の霜害に関する研究I. 霜害におよぼす融解速度の影響. 低温科学, 生物編, 25, 59-70.
- 13) 吉田静夫・酒井 昭 (1967) : 植物の霜害に関する研究I. 急速融解の害. 低温科学, 生物編, 25, 71-79.
- 14) 吉田静夫・酒井 昭 (1968) : 植物の霜害に関する研究II. 凍結状態での温度変動に伴う氷の量の変化. 低温科学, 生物編, 26, 23-31.
- 15) 羽生寿朗・松岡延浩・今 久・中山敬一 (1986) : 作物の霜害と環境条件. 第2報 ダイズ苗葉面の乾湿が凍結温度に及ぼす影響. 農業気象, 41, 331-335.
- 16) 岡野通明・羽生寿郎・中山敬一・今 久 (1989) : ダイズ苗葉の凍結温度への葉面露量の影響. 農業気象, 44, 275-280.
- 17) 田沢 博(1976) : 作物霜害の機構についての提言. 農業気象, 32, 145-147.
- 18) 山中捷一郎・羽生寿郎・西山 司・中山敬一(1982) : 作物の霜害と環境条件. 第1報ダイズ苗の霜害と凍結温度との関係. 農業気象, 38, 23-28.
- 19) 青野英也・築瀬好充・田中静夫・野原定夫・成瀬 弘・丹羽千秋 (1981) : 階段畑茶園における凍霜害発生とその気象特性. 農気東海支部報, 38, 29-32.
- 20) 羽生寿朗(1979) : 昭和54年度全国大会シンポジウム「霜害と夜間の気流」要旨. 農業気象, 35, 103-111.
- 21) 早川誠而・谷 宏・顧 衛・鈴木義則・元田雄四郎(1992) : 夜間の接地気層の冷却について. (1)観測で得られた夜間の冷却に及ぼす地形の影響. 山口大農学報, 40, 1-12.
- 22) 三原義秋・鶴田浩一・根本 修 (1977) : 防風施設によって助長される霜害. 農業気象, 33, 67-74.
- 23) 鈴木義則・佐藤正一・川尻佳合 (1982) : 暖地の凍霜害・寒害と地形気象. (1)宇部小野茶園における最低気温分布. 農業気象, 37, 289-295.
- 24) 高市益行・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, 81-90.

写真1 茶株面の片側のみに発生した凍霜害（静岡県菊川町，1993年4月，手前が北）

Plate.1 Frost injuries occurred partially on arc-shaped canopy surface.

1) Photographes at Kikugawa, Shizuoka in April, 1993. Left side means East.

写真2 -2°Cで0（左），2（中），4時間（右）処理した後の新芽

Plate.2 A scene of new shoots growth after freezing operation on Apr. 15 in 1998.

1) Left, center and right shoots showed 0, 2 and 4 hrs. treatment at -2°C, respectively.

Plate 3 3:49AM

Plate 4 4:11AM

写真3-4 熱映像温度で撮影した茶株面温度（その1）

写真は1998年3月24日に収録した熱画像で，左が東側を示す

In plate. 3-4 left and night side of each platc mean and west side, respectively.

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しやすい原因

Plate 5 4:19AM

Plate 6 4:32AM

Plate 7 4:40AM

Plate 8 5:00AM

Plate 9 5:12AM

Plate 10 5:26AM

写真 4 - 10 熱映像温度で撮影した茶株面温度 (その 2)

写真は1998年 3 月24日に収録した熱画像で、左が東側を示す

In plate. 3-10 left and right side of each plate mean east and west side, respectively.