チャの裂傷型凍害の発生に關与する二、三の要因

関谷直正*・田中勝夫*・山下正隆*

Some Factors Responsible for the Occurrence of Bark Splitting Injury Caused by Frost in Tea Plants

By Naomasa SEKIYA,* Katsuo TANAKA* and Masataka YAMASHITA*

1 ま え が き

幹の裂傷型凍害は、比較的温暖な南九州に発生が多いという特殊な寒害であり、寒地で発生¹⁾の多い凍裂と區別される。凍裂は、主として厳寒期に発生し材部から裂けるのに対して、裂傷型凍害は、主として晩秋から初冬にかけてのいまだ耐凍性の十分ついていない時期に発生して皮層部が裂ける。

茶樹は秋から冬にかけて日長の短縮と気温の低下に伴って秋芽の生長は止まり、樹体各部の硬化は進行し、次第に耐凍性を獲得していく。一方、この時期に当たる10月下旬～12月上旬のハードニング期間中は、気圧配置も時折冬型となり、寒気を伴ったシベリア高気圧が南下し、これが移動性となり夜間の放射冷却が起り、降霜を伴うような気象条件に遭遇すると、その時期における耐凍性獲得の程度と低温の程度に応じて裂傷型凍害が発生する。また、この時期はまだ幹の形成層の活性も比較的高く、水分も比較的多いため、裂傷が起き易くなるものと考えられる。このように、裂傷型凍害の発生は、耐凍性獲得の程度とそのときの気象条件との間に密接な関係があるため、著者らは、これらに關連する要因についての研究を行い若干の知見を得たので、ここに報告する。

この報告では、まず、この試験に用いた裂傷型凍害の検定手法について述べ、次いで、裂傷の発生に關与する二、三の条件およびハードニングに關与する二、三の要因について述べる。

2 裂傷型凍害の検定手法について

裂傷の発生したものは必ず凍害を伴っているが、凍害を受けたものは必ず裂傷を生ずるとは限らない。裂傷型凍害は、凍害を受けただけで裂傷の発生していないものも含むため、裂傷型凍害抵抗性の検定には、裂傷発生の

検定と耐凍性の検定の両方を併用しなければならない。

木本類の幹の耐凍性検定法として、電気伝導度法により判定する方法^{2,3)}や、幹の形成層の活性、幹の褐変度などにより判定する方法^{4,5,6)}があるが、従来行われている方法は、品種の抵抗性のランク付けのような大まかな判定には適用できるが、ハードニング過程における耐凍性の微妙な変化などを判定することは困難であり、そのままでは適用できないため、これらの変法について検討した。その結果、幹の個体間差を消去することによって十分適用できると考えられた。

また、人為裂傷発生法については、簡便で正確に判定できる方法について検討した結果、ほ場から掘り取った幼茶樹の根および枝を全部切除後、バットに適宜植えた後、十分かん水して低温処理を行う方法は、多くの個体を処理することができ、また、裂傷も比較的容易に発生するため、著者らの行った裂傷の抵抗性判定のための実験は、すべてこの方法によった。

2.1 人為裂傷型凍害発生法

2.1.1 低温処理条件と裂傷型凍害の発生

2.1.1.1 試験方法

するが⁷⁾1年生幼木を、12月上旬には場から掘り取り、土壤を充てんしたプラスチックバットに5本ずつ植え、各処理とも15本を供試した。低温処理の温度は、 -1°C ～ -14°C の範囲とし、低温処理の時間は、冷凍機を作動させてから調査までの時間とした。反復低温処理は、低温処理開始23時間後に一旦室温に戻して結氷を融解させ、その後再び所定の時間低温処理を行った。調査は、いずれも低温処理開始16時間および23時間後に行った。

2.1.1.2 試験結果および考察

裂傷発生のための低温処理温度、処理時間および処理の反復回数を表1に示した。

* 農林水産省茶業試験場枕崎支場

Makurazaki Branch, National Research Institute of Tea

表1 低温処理温度、時間および反復処理と
裂傷発生率 (%) (1972)

低温処理回数 低温処理 持続時間 低温処理温度	1 回 目		2 回 目	
	16 時間	23 時間	16 時間	23 時間
-1°C	0	0	0	0
-3	20	33	93	93
-5	0	20	20	33
-7	20	40	80	93
-9	20	53	67	93
-14	0	0	73	87

注：12月上旬処理。1回目、2回目は処理の反復を示す。

-3°C~-9°Cの間では、1回の処理で、いずれの温度でも発生したが、低温処理を反復することによって発生率は増加した。処理温度については、明らかな傾向はみられないが低温処理時間が長いほうが発生率は増加する傾向がみられた。一方、-1°Cの処理では全く発生はみられず、-14°Cでは1回目は全く発生はみられなかったが、2回目の反復低温処理ではほとんどの株に裂傷が発生した。

裂傷の最も発生し易い処理温度は、品種および処理時期におけるハードニングの程度によって若干異ると考えられるが、著者らが行った多くの実験から、12月上旬ごろまでは-3°C程度で十分と考えられた。

2.1.2 断根処理と裂傷型凍害の発生

2.1.2.1 試 験 方 法

するがわせ1年生幼木を、12月中旬には場から掘り取り、土壌を充てんしたプラスチックバットに断根処理を行った後5本ずつ植え、各処理とも15本を供試した。処理は、無断根、根量の半分切除、根量の全部を切除したものの3区とした。低温処理温度は-9°Cとし、反復低温処理を行い、それぞれ、処理16時間後および23時間後に裂傷発生の有無について調査した。

2.1.2.2 試験結果および考察

低温処理を行う際の断根の多少が、裂傷発生に対してどのような影響があるかについて検討した結果を表2に示した。

第1回目の低温処理では、根の全くついていない状態

表2 断根の程度と裂傷発生率 (%) (1972)

低温処理回数 低温処理 持続時間 処 理	1 回 目		2 回 目	
	16 時間	23 時間	16 時間	23 時間
無 断 根	0	13	40	47
半量断根	0	20	47	53
全 断 根	27	27	33	47

注：12月中旬 -9°C 処理

にしたものに発生が多い傾向にあったが、反復処理した場合は処理間にほとんど差はみられなかった。このように、断根したほうが裂傷は発生し易い傾向がみられたが、完全断根は無断根に比べ水分は吸収され易いと考えられ、このため、幹の形成層の部分にできた氷片への水の供給が容易となり裂傷が発生し易くなると思われる。

2.2 耐凍性判定のための電気伝導度法および褐変法

電導度法については、供試材料を地際部で切り取り、切り取った材料は地際部から約1cmを切り捨て、枝などはすべて除去し、1cmづつの長さに切断し、この小片を低温処理用(A)、無処理用(B)、煮沸処理用(C)、に分けたペトリ皿に個体間差や部位間差がなくなるように配分する。処理後小片を蒸溜水中に入れ、20時間後に浸出液の電導度を測定し、次式により凍害率を求めた。

$$\text{凍害率}(\%) = \frac{A-B}{C-B} \times 100$$

褐変法については、電導度法で用いたように材料を調整し、低温処理後、試料の乾燥を防ぐため、湿したろ紙を敷いたペトリ皿に入れてふたをして冷蔵し、3日後に皮層をはぎ、形成層の褐変の程度により、0~5までの指数を与え、次式により褐変率を求めた。

$$\text{褐変率}(\%) = \frac{\sum \text{褐変度} \times \text{被害小片数}}{5 \times \text{全小片数}} \times 100$$

上記の方法で求めた凍害率および褐変率は、いずれも耐凍性の判定法として十分適用できると考えられたため、著者らの行った耐凍性判定のための実験は、すべてこの方法によった。

3 裂傷の発生に関与する二、三の条件

裂傷型凍害の発生は、過去の発生事例によると、比較的温暖な日が続いたのち、急に冷え込むようなときに発生が多くなっている。しかし、このような気象状態となるには寒冷前線の南下によりまず降雨があり、その後冬の気圧配置となり、次いで、シベリア高気圧が移動性となって夜間の放射冷却が起るという経過をたどるため、裂傷の発生直前の土壌水分は比較的多く、気温の日較差は大きい。そこで、これら土壌水分、気温の日較差、地温などが裂傷の発生に対しどのような影響を及ぼしているかについて検討した。

3.1 裂傷の発生に及ぼす気温の日較差の影響

3.1.1 試 験 方 法

するがわせの鉢植(1鉢3本植)1年生幼木を各処理5鉢供試した。低温処理当日の昼温を、実験1は15°C、25°C、実験2は10°C、35°Cの2段階とし、いずれも11時から18時まで所定の温度に設定したグロースキャビネット中に置いた。裂傷発生のための低温処理は、11月24日および25日に-5°Cで行った。

3.1.2 試験結果および考察

裂傷型凍害の発生は、過去の発生事例からみて昼間の気温が比較的高く、夜温が急に低下するようになるときに多くみられるため、これら発生前日の昼間の気温の高低が、裂傷の発生に及ぼす影響について検討した。

気温の日較差が裂傷の発生に及ぼす影響については、表3にみられるように、昼温 15°C と 25°C および 10°C と 35°C の間には、いずれも裂傷の発生に差異はみられなかった。このように、発生前日の昼温の高低は、裂傷の発生に対してはほとんど関係なく、発生当日の夜間の低温に影響されるものと思われる。

表3 処理当日の昼間の気温の高低と裂傷発生率(%)

実験1 (1972)

低温処理回数 低温処理 持続時間 低 温	1 回 目	2 回 目	
	16 時 間	9 時 間	21 時 間
15°C	53	87	100
25°C	40	100	100

注：11月24日 - 5°C 処理

実験2 (1972)

低温処理回数 低温処理 持続時間 処 理	1 回 目	2 回 目	
	16 時 間	9 時 間	21 時 間
10°C	0	0	80
35°C	0	0	67

注：11月25日 - 5°C 処理

3.2 裂傷の発生に及ぼす地温の影響

3.2.1 試 験 方 法

やえほの鉢植1年生幼木(1鉢3本植)を各処理4鉢供試し、試験は10月下旬～12月上旬に行った。地温は、5°C、7.5°C および対照(2.5°C→0°C)の3段階とし、冷凍庫の中に恒温水そうを入れ、この中に鉢を入れて鉢土が5°C および7.5°C になるように調節した。対照は、冷凍庫内の恒温水そう外に置いた。対照区の地温は、低温処理開始後5～6時間で約2.5°C に下がり、約20時間後までは2°C 前後で経過したが、30～35時間後に0°C となり土壌全体の凍結が起った。裂傷発生のための低温処理は、-4～-5°C で2回反復低温処理を行った。

3.2.1.2 試験結果および考察

表4にみられるように、裂傷の発生は、発生率でみると、概して地温の高いほうがわずかに多い傾向を示した。しかし、裂傷の大きさについては顕著な差がみられ、対照区に比べて地温の高いほうがかなり大きく、また、低温処理時間が長いほうが裂傷部の大きさの差は大きくなっていく傾向がみられた。

地温が高い場合は、土壌の凍結が起らないために、皮層と木部の間にできた氷片の肥大に必要な水分が常に供給され、裂傷の大きさは低温処理時間の経過とともに大きくなるが、対照区では、地温の低下のため十分な水分の供給が妨げられ、また、後には土壌凍結が起って土壌中からの吸水が不能となるため、低温処理の初期には裂傷が発生するが、その後の拡大が緩慢になるものと考えられる。一方、自然条件下においては、裂傷の最も発生し易い時期は、まだ地温はかなり高いため氷片の肥大に必要な十分な水分が地下部から供給されるため、低温の

表4 地 温 と 裂 傷 発 生

実験1 (1973)

項 目 低温処理 持続時間 地 温	裂 傷 発 生 率 (%)			裂 傷 の 大 き さ (mm)	
	8 時 間	18 時 間	36 時 間	18 時 間	36 時 間
5°C	0	58	100	長さ 16.6 幅 3.7	長さ 18.6 幅 4.2
2.5→0°C (対照)	0	76	67	11.6 1.6	12.6 1.5

注：11月29日 - 4～-5°Cで2回反復処理

実験2 (1973)

項 目 低温処理 持続時間 地 温	裂 傷 発 生 率 (%)			裂 傷 の 大 き さ (mm)	
	8 時 間	18 時 間	36 時 間	18 時 間	36 時 間
7.5°C	0	75	100	長さ 18.3 幅 3.0	長さ 19.5 幅 4.6
2.5→0°C (対照)	33	67	92	11.8 1.3	11.0 1.2

注：12月9日 - 4～-5°Cで2回反復処理

持続時間が長ければ、それだけ大きな裂傷が発生し易くなると思われる。

3.3 裂傷の発生に及ぼす土壌水分の影響

3.3.1 試 験 方 法

するがわの鉢植1年生幼木（1鉢3本植）を各区5鉢用い、裂傷発生のための低温処理は11月中旬－5℃で行った。処理区の土壌水分条件は表5のように行い、中湿区と多湿区はかん水量を違えて適宜調節し、低温処理当日に土壌水分を測定した。なお、処理までの土壌水分管理は一般の鉢栽培管理に準じた。

表5 裂傷発生試験の土壌水分処理

中 湿 → 乾 燥	低温処理2週間前から中湿状態におき、5日前から無灌水として乾燥状態にする。
" → 中 湿	" 中湿状態にする
" → 多 湿	" 中湿状態におき、当日多湿状態にする
乾 燥 → 乾 燥	" 乾燥状態にする
" → 中 湿	" 乾燥状態におき、当期中湿状態にする
" → 多 湿	" " 当日多湿状態にする

表6 土 壌 の 乾 湿 と 裂 傷 発 生 率 (%) (1972)

低温処理回数 低温処理持続時間 処 理	1 回 目		2 回 目	土 壌 水 分	
	16 時 間	23 時 間	16 時 間	乾土比 (%)	対容水量比(%)
中 湿 → 乾 燥	0	7	60	67.8	38.3
" → 中 湿	7	13	100	92.6	52.4
" → 多 湿	20	40	100	99.6	56.3
乾 燥 → 乾 燥	0	13	27	57.2	32.4
" → 中 湿	0	20	93	87.2	49.3
" → 多 湿	7	27	100	94.9	53.7

注：11月中旬－5℃処理

が本試験結果から、裂傷の発生は、発生前における土壌水分の急激な変化には関係なく、発生時における土壌水分の多少に影響されると考えられる。

4 幹のハードニングに關与する二、三の要因

幼茶樹の幹は、秋から冬にかけて気温の低下とともに次第に耐凍性を獲得し、裂傷の抵抗性も増していく、従って、このような耐凍性獲得に及ぼす低温の影響を明らかにするとともに、幼茶樹の幹におけるハードニングの進行過程を明らかにするために、緑茶用の数品種を用いて調査を行った。

4.1 ハードニングに及ぼす低温の影響

4.1.1 試 験 方 法

するがわの1年生幼木（1鉢5本植）を各処理3鉢用い、試験は11月上旬、11月下旬、12月上旬の3時期に行った。低温遭遇処理は昼間は、自然条件下におき、夜間のみ0℃、5℃、10℃に設定した中に3日間おいた

3.3.2 試験結果および考察

表6に示されるように、低温処理時の土壌水分の多少は裂傷の発生に及ぼす影響が大きく、乾燥区では発生が少なく、中、多湿区で発生が多かった。一方、発生前における土壌水分の急激な変化が裂傷の発生に及ぼす影響については、低温処理直前の土壌水分を急激に変化させた場合も発生率は変わらず、裂傷の発生に対して影響は認められなかった。

裂傷型凍害の過去の発生事例では、乾燥が続いたのちに降雨があって気温が低下した場合に多いとされている。

後、野外においた。低温遭遇処理終了後1週間、2週間、3週間目、にそれぞれの処理区について、低温処理を行い、凍害率（電導度法）および褐変率（褐変法）を調査し、また、幹の皮層の水分および形成層活性について調査した。

4.1.2 試験結果および考察

図1、表7に示されるように低温遭遇処理による耐凍性の強化は、11月上旬、11月下旬の、いずれの時期の処理でも明らかに認められた。低温遭遇処理1週間後には、凍害率、褐変率はともに対照区に比べてわずかに小さくなっており、すでに耐凍性の強化が認められる。2週間、3週間後には対照区との差が増し、低温遭遇処理による耐凍性の強化が顕著に認められた。しかし、12月に入ると気温の低下とともに自然条件下でもかなり耐凍性を獲得するため、12月上旬の処理効果は小さく、11月下旬処理でも処理20日後には対照との差が小さくなった。また、耐凍性獲得に及ぼす低温の影響は、低温になるほど

図1 3日間の低温遭遇処理が耐凍性獲得に及ぼす影響

注：凍害率は電導度法，褐変率は褐変法によって測定し，11月上旬は -5°C ，11月下旬は -7°C ，12月上旬は -8°C で処理

表7 3日間の低温遭遇処理が皮層水分および形成層の活性に及ぼす影響 (1975)

項目 調査時期 処理時期 処理		皮 膚 含 水 率 (%)			形 成 層 の 活 性		
		処理1週間後	処理2週間後	処理3週間後	処理1週間後	処理2週間後	処理3週間後
11月上旬	0°C	65.9	63.2	61.2	冊	冊	冊
	5°C	—	—	63.6	冊	冊	冊
	10°C	67.6	62.4	60.9	冊	冊	冊
	対 照	68.3	—	62.1	冊	冊	冊
11月下旬	0°C	62.7	60.9	65.4	冊	+	+
	5°C	64.4	61.4	66.4	冊	冊	冊
	10°C	67.9	61.3	66.0	冊	冊	冊
	対 照	62.1	62.8	69.0	冊	冊	冊
12月上旬	0°C	53.7	64.4	62.7	冊	冊	冊
	5°C	65.4	63.6	64.4	冊	冊	冊
	対 照	69.0	64.5	65.1	冊	冊	冊

注：形成層の活性の判定は幹のはく皮の難易で行い，活性のもっとも高いものを冊，もっとも低いものを—で表示した。

大きく 0°C 処理で顕著であった。一方，皮膚の水分についてみると，概して対照区に比べて低い傾向がみられた。形成層の活性については，対照区に比べて概して差はみられなかったが，11月下旬の 0°C 処理区では明らかに形成層の活性低下が認められた。

このように，ハードニング時期にある程度の低温に遭遇すると，その低温が夜間だけで，しかも3日間程度の

短期間であっても，1週間後にはすでに耐凍性の強化が認められており，ハードニングの時期に低温に遭遇すれば，低温の程度に応じて速やかに耐凍性が獲得されるものと考えられる。従って，自然条件下においては秋から冬にかけて時々現われる低温のたびごとに，低温の程度とひん度に応じて急速に耐凍性を増していくものと思われる。

4. 2 肥培条件がハードニングに及ぼす影響

4. 2. 1 試 験 方 法

するがわせ1年生幼木（1鉢5本植）を各区3鉢供試し、肥培処理は、秋肥の窒素施用量を違えて処理し、肥培良、中、不良の3区を設けた。肥培良区は、1鉢（9号鉢）当り硫酸12gを、9月上旬、下旬、10月上旬、下旬の4回に分けて施した。肥培中区は、硫酸6gを、9月上旬、10月上旬の2回に分けて施した。肥培不良区は無窒素とした。低温遭遇処理は、11月中旬に行い、昼間は戸外に置き、夜間のみ0℃、5℃に3日間置き、その後は戸外に置いた。処理後2週間目に低温処理を行って凍害率、褐変率を調査し、また、幹の水分、形成層の活性を調査した。

4. 2. 2 試験結果および考察

ハードニングの時期に、低温に遭遇することにより耐凍性を獲得するが、肥培条件の違いが耐凍性獲得に対してどのような影響を及ぼすかについて検討した結果を表8に示した。

肥培良区では、0℃で低温遭遇処理を行ったものについては、凍害率、褐変率、幹の含水率のいずれも小さく、形成層の活性も比較的低く、明らかに耐凍性の強化が認められたが、5℃で低温遭遇処理を行ったものについては耐凍性の強化はほとんど認められなかった。肥培中区でも、低温遭遇処理の効果は肥培良区とほとんど同じ傾向を示した。しかし、肥培不良区では、褐変率で低温遭遇処理の効果がみられた外は、凍害率、含水率ともに対照区に比べて差異はなく、処理の効果は認められなかった。

肥培条件と低温遭遇処理効果との関係では、過去の裂傷型凍害の発生事例などから推察して、肥培条件の良好なものは処理効果が低く現われ、不良なものは高く現われるのではないかと考えられたが、逆に、肥培条件の良好なものは処理効果が高くで、肥培不良なものは処理効果が低くでる結果が得られた。

本試験では、低温遭遇処理を行った時期が11月中旬であり、その後、自然条件下でも数回低温に遭遇しており、対照区でもかなりハードニングが進行していたと考えられ、5℃処理の効果は現われなかったものと思われる。また、この時期では、肥培不良のものは肥培良のものに比べ、かなり耐凍性が強化されており、低温遭遇処理により、肥培条件にかかわらずいづれも同程度まで耐凍性が強化されたため、肥培不良区の処理効果が相対的に小さくなったものと考えられる。しかし、低温遭遇処理時期がいまだ耐凍性の強化されていない10月下旬～11月上旬ごろであれば、逆に肥培良好区の処理効果は小さく、肥培不良区の処理効果は高く現われるのではないかと思われる。

4. 3 ハードニング過程における一時的な気温の上昇がディハードニングに及ぼす影響

4. 3. 1 試 験 方 法

するがわせ1年生幼木（1鉢3本植）を各処理3鉢用い、高温遭遇処理は12月上旬に行い、昼夜とも温度を25℃、20℃、15℃に設定した人工気象室の中に、それぞれ1日、3日、7日間置いて後、直ちに耐凍性判定のための低温処理を行った。耐凍性の判定は、褐変法にて行い、また、幹の水分、形成層の活性を調査した。

4. 3. 2 試験結果および考察

耐凍性を獲得していく過程において、一時的な比較的短期間の高温に遭遇した場合、ディハードニングの現象がみられるか否かについて検討を行った。

表9にみられるように、1日間処理に比べ、3日間、7日間と高温遭遇処理日数が長くなるにつれて褐変率は小さくなっており、耐凍性が強化されていることが推察され、いずれの温度下でもハードニングは進行していたと考えられる。幹の水分についても、7日間処理では少なくなる傾向がみられた。このように、ハードニングの過程において、25℃程度の高温が1週間続いても耐凍性獲得の進行を止めることはできず、処理期間、処理温

表8 肥培条件および低温遭遇処理が耐凍性獲得に及ぼす影響（1976）

肥 培 条 件	処 理 温 度	凍 害 率 (%)	褐 変 率 (%)	幹の含水率(%)	形成層の活性
良	0℃	10.9	42	56.9	冊
	5℃	23.7	56	58.7	冊
	野 外 放 置	19.3	47	58.7	冊
中	0℃	11.0	36	55.8	冊
	5℃	18.0	60	57.5	冊
	野 外 放 置	14.6	47	56.5	冊
不 良	0℃	13.5	27	55.4	冊
	5℃	13.4	36	54.4	冊
	野 外 放 置	13.1	47	54.8	冊

注：低温遭遇処理2週間後調査、-6℃処理

表9 ハードニング時間における一時的な高温遭遇が耐凍性に及ぼす影響 (1974)

遭遇 期間	低温処理温度 遭遇温度	褐 変 率 (%)				幹の含水率 (%)	形成層活性
		-5°C	-6°C	-7°C	-8°C		
1 日 間	15°C	23	32	33	55	54.4	++
	20°C	36	36	58	83	56.2	++
	25°C	20	18	33	56	54.2	++
	野 外 放 置	18	23	36	52	55.6	++
3 日 間	15°C	6	21	38	—	55.1	++
	20°C	6	26	16	—	54.6	++
	25°C	6	21	45	—	54.7	++
	野 外 放 置	4	5	13	—	54.7	++
7 日 間	15°C	6	5	7	37	53.7	++
	20°C	7	13	17	41	53.9	++
	25°C	12	12	19	40	54.5	++
	野 外 放 置	1	3	6	4	53.4	++

度に応じて若干 ハードニングの進行を遅らせたに過ぎなかった。

裂傷型凍害は、過去の発生事例から、発生前は比較的温暖な日が続き、その後急に低温がきた場合に発生が多いとされており、そのような気象条件で耐凍性が弱まり、そのために発生し易くなるのではないかと考えられていたが、これらの結果から、自然条件下で、ハードニングの進行過程において 比較的高温となっても、それが短期間であれば、幹の耐凍性への影響は小さいと考えられ、発生の多くなる原因は、耐凍性が弱まるからではなく、ハードニングの進行が緩慢となるからであり、また、そのような温暖な日が続いた後に起りがちな降霜を伴う気象に起因していると思われる。

4.4 秋冬季における幼茶樹の幹の耐凍性および裂傷の抵抗性獲得の推移

4.4.1 試験方法

過去の調査事例から、裂傷型凍害に対して強いといわれているかなやみどり、やぶきた、弱いといわれているゆたかみどり、さやまみどり、最も弱いといわれているおくむさし、するがわせの6品種を用いて、幹の耐凍性、裂傷の抵抗性、およびこれらと関係があると考えられている幹の水分、形成層の活性について調査した、

供試材料は、いずれも 春に1年生苗を植付けた幼木を用いた。幹の耐凍性検定には、電導度法および褐変法を用い、また、裂傷の抵抗性検定には、人為裂傷発生法を用いた。

4.4.2 試験結果および考察

電導度法(凍害率)および褐変法(褐変率)による各品種の幹の耐凍性の推移を図2に示した。

耐凍性獲得の推移についてみると、ハードニングの進行は、10月中旬以後11月上旬までは比較的緩慢であり、11月中旬ごろから急に強くなり、12月上旬ごろにはかなり強くなった。品種による耐凍性獲得の差異についてみると、裂傷型凍害抵抗性が強いかなやみどりでは、10月中旬ごろからすでに他の品種よりやや強く、その後順調にハードニングし、11月中～12月上旬には他の品種に比べてかなり強くなった。また、抵抗性の弱いするがわせは、11月中旬までは中程度であったが、その後のハードニングは、他の品種に比べて緩慢となり11月下旬以降最も弱くなった。このように、ハードニングの進行は品種によって若干違いがみられた。

裂傷の抵抗性については、幹の裂傷の抵抗性を人為裂傷発生法により調査し、その結果を表10に示した。概して、耐凍性の獲得の推移と同じように、10月下旬以降

表10 品種における裂傷抵抗性の時期的推移(裂傷発生率)(1974)

調査月日 品 種	10. 14	10. 28	11. 8	11. 18	11. 29	12. 11	12. 23
やぶきた	100	67	33	73	53	27	0
かなやみどり	40	20	0	0	0	0	0
ゆたかみどり	93	60	7	40	13	7	0
さやまみどり	100	67	47	47	80	33	7
するがわせ	80	60	20	13	40	27	7
おくむさし	100	93	87	87	100	53	20

注: -3°C, 2回反復低温処理

図2 品種における耐凍性獲得の時的推移 (1974)

注：凍害率は電導度法，褐変率は褐変法によって測定し，いずれの時期も -5°C で処理，かなやみどりは12月以降ははく皮困難のため，褐変率による判定不能

表11 品種における幹の水分および形成層活性の時的推移 (1974)

項目 調査月日 品 種	幹 の 水 分 (%)							形 成 層 の 活 性						
	10.14	10.28	11.8	11.18	11.29	12.11	12.23	10.14	10.28	11.8	11.18	11.29	12.11	12.23
やぶきた	60.9	60.5	61.3	59.9	58.6	55.5	54.0	冊	冊	冊	冊	冊	冊	冊
かなやみどり	60.4	59.6	58.4	57.0	55.0	52.6	52.5	冊	冊	冊	冊	冊	冊	冊
ゆたかみどり	62.8	64.5	63.6	62.6	61.0	59.0	56.5	冊	冊	冊	冊	冊	冊	冊
さやまみどり	61.7	62.2	60.5	60.0	57.6	56.6	55.3	冊	冊	冊	冊	冊	冊	冊
するがわせ	61.2	61.2	61.9	61.2	60.1	57.1	56.0	冊	冊	冊	冊	冊	冊	冊
おくむさし	62.8	64.0	64.2	63.8	60.4	59.0	57.8	冊	冊	冊	冊	冊	冊	冊

第に抵抗性を増し，12月下旬には，いずれもきわめて割れにくくなった。品種間には，かなりの差異がみられ，かなやみどりのように，10月中旬にはすでに他の品種より強く，11月中旬以降は特に割れにくくなるもの，するがわせのように，11月下旬ごろから他の品種より割れ易くなるもの，ゆたかみどりのように，11月下旬ごろから急に割れにくくなるものなどがあつた。

一方，幹の耐凍性および裂傷の抵抗性に関係が大きいと考えられている幹の水分と幹の形成層の活性についてみると，いずれも，時日の経過とともに水分は減少し，形成層の活性は低下した。品種間差異についてみると，耐凍性および裂傷の抵抗性の最も強いかなやみどりでは，他の品種より幹の水分はもっとも少なく，形成層の活性は低く，耐凍性および裂傷抵抗性の弱いするがわせでは経時的にみると，水分の減少は他の品種よりやや緩

慢であり，形成層の活性は最後まで高かった（表11）。従つて，これらが耐凍性および裂傷の抵抗性に密接に関与していることが推察できる。

本調査では，ハードニングは11月中旬ごろから急激に進行したが，耐凍性の獲得は4.1で明らかなように，低温に遭遇することによって早められるため，ハードニングの時的な推移はその年の気象に大きく左右されると思われる。すなわち，ハードニング過程において，低温に遭遇する時期が早いほど，また，ひん度が多いほど耐凍性はより早い時期から，より強化されると思われる。

5 総 合 考 察

裂傷型凍害の発生機構については，中山，原田⁹⁾は，低温処理を反復することによって人為的に裂傷を発生させることに成功し，水分含量の多い皮層が凍結，融解を繰

り返しているうちに寒害を受け、その部位の細胞が透過性を増してさらに水分含量が多くなり、ここにできた氷塊が大きくなって裂傷を生ずるものと考えた。しかし、その後の研究で、^{4,10} 裂傷の発生に低温の反復が必ずしも必要でなく、水分は地下部から凍結中に供給されることが推定された。また、著者らが行った実験では、12月上、中旬ごろのかなり耐凍性のついた時期でも、 -3°C (この温度では電導度法および褐変法でほとんど凍害は認められない) で反復低温処理を行わなくても比較的容易に発生することから、著者らは、中山らの考えた発生のタイプの外に次のような発生のタイプがあると考えた。まづ幹の部分で耐凍性の最も弱い形成層の一部の凍結、または周辺の細胞間げきの凍結によって生じた氷片は、導管につながる健全な細胞から細胞膜を通じて水の供給を受けて肥大し、氷片が肥大するにつれて周辺の細胞は機械的に破壊され、時間の経過とともにますます氷片は肥大し、遂に皮層が裂けて裂傷を生ずるに至る。これが初霜期に発生するなかで最も多いタイプと思われ、中山らの考えたタイプは、初霜以後に発生するものに多いと思われる。

裂傷型凍害は、主として秋から初冬にかけての降霜を伴う気象状態のときに発生するが、このような気象状態のときは、日中は比較的暖かく夜は放射冷却のため急に冷えるのが普通である。従って、このような気温の日較差の大きいことは裂傷の発生を助長するのではないかと考えられたため、この点について検討したが裂傷発生との関係は認められなかった。

一方、地温および土壤水分の影響については、⁹⁾ 裂傷型凍害発生との関係が大きく、中山ら、鳥屋尾らも多水分条件で発生の多くなることを認めている。しかし、これらはいずれも鉢植えなどでの実験であるため、地温も気温の低下に応じて下り、そのために吸水能力が低下し、土壤水分の多少が大きく影響したとも考えられ、自然条件下では、地温は比較的高いため、土壤水分の影響はこれら実験結果に比べれば小さいものと考えられる。

茶樹は、秋から冬にかけて次第に耐凍性を増していくが、⁴⁾ 成葉や枝葉に比べて幹の基部の耐凍性の獲得は遅れる。しかし、厳寒期には幹の耐凍性は成葉よりもさらに強くなるのが普通である。幹のハードニングの進行は、10月中旬以後11月上旬までは比較的緩慢であり、11月中旬ごろから急に強くなる傾向がみられ、裂傷の抵抗性もほぼ同じ傾向であった。

一方、この時期における耐凍性は低温に遭遇することによって強められるが、どの程度の期間低温に遭遇すれば耐凍性を獲得するかについては十分明らかでないが、3日間夜間だけ低温に遭遇させることにより、1週間後にはすでに耐凍性獲得の効果が認められ、2週間後には顕著となった。

従って、耐凍性は低温に遭遇することにより比較的短期間に強められるものと考えられる。鳥屋尾ら⁸⁾は、裂傷型凍害の発生と初霜日前10日間の平均最高、最低気温を比較した結果、凍害の発生には、初霜前の最高気温の高低とは特に関係は認められないが、最低気温の高いことが関係が大きいとしており、このことは、最低気温が低ければ、その後短期間に耐凍性が強化されて凍害を受けにくくなることを証明しているものと思われる。また、どの程度の低温に遭遇すれば耐凍性を獲得するかについても明らかでないが、4.1において 5°C で処理効果があり、4.2において 5°C の処理効果がなかったことから明らかのように、低温遭遇により或る程度の耐凍性を獲得すれば、それ以上の耐凍性はそれ以下の低温に遭遇しないと獲得できないと思われる。

耐凍性を獲得していく過程において、1時的な高温に遭遇した場合、耐凍性が弱まるかどうかについて検討した結果、 25°C の高温に1週間遭遇しても耐凍性の低下は認められなかった。従って幼茶樹の幹においては、遭遇した高温の程度に応じて耐凍性が低下することはないと考えられ、周期的に訪れる温暖な気象に遭遇しても、ハードニングの進行が緩慢になるだけで、それによって耐凍性が低下することはないと考えられる。

耐凍性と裂傷の抵抗性との関係についてみると、肥培処理によってや、植物生長調節剤を散布して耐凍性を強化した場合においては、¹²⁾ 耐凍性と裂傷の抵抗性は完全には一致しないが、概して耐凍性が強化されたものはそれに応じて裂傷の抵抗性も強化された。また、品種間での耐凍性と裂傷の抵抗性との関係について検討した結果では、耐凍性と裂傷の抵抗性は完全には一致しなかったが、概して深い関係が認められた。鳥屋尾らも初霜期の幹の耐凍性と裂傷の発生とは密接な関係があるとしているが、アッサム雑種と一部の緑茶用品種で、幹の耐凍性の弱いことがそのままでは裂傷の発生に結びつかない場合のあることを認めている。また、夏季から秋季にかけての耐凍性の弱い時期に、土壤水分の欠乏や肥培不良により幹の形成層の活性が弱くなったものでは、凍害を受けても裂傷が起りにくい現象もみられる。

このようなことから、耐凍性が弱ければ、まず、裂傷の前提となる氷片が形成されるが、その後の裂傷の発生のためには、形成層の活性の強弱、氷片の肥大のための水分供給力、皮層組織の強弱などが関与すると思われる。

そのため耐凍性は弱くても裂傷の抵抗性は強いという場合も考えられるが、概して、耐凍性の強いものは裂傷の抵抗性は強く、耐凍性の弱いものは裂傷の抵抗性は弱い傾向がみられる。

6 摘 要

1. 裂傷の抵抗性判定のために用いた人為裂傷発生法

は、裂傷の抵抗性判定に十分適用できた。

2. 耐凍性判定のために用いた電導度法および褐変法は耐凍性の判定に十分適用できた。

3. 裂傷の発生に及ぼす当日の気温の日較差の影響については、昼間の高温が裂傷の発生を助長することはない、裂傷の発生は発生時の夜の低温に影響された。

4. 裂傷の発生に及ぼす地温の影響については、地温の高いほうは低いほうに比べ、発生率ではわずかに多い傾向であったが、裂傷の大きさは明らかに大きく、低温処理の時間が長くなるにつれて差は大きくなった。

5. 裂傷の発生に及ぼす土壤水分の影響は大きく、乾燥区は、中、多湿区に比べて発生が少なかった。

6. ハードニングに及ぼす低温の影響についてみると、低温遭遇1週間後には耐凍性の強化が認められ、2週間および3週間後には耐凍性の強化が顕著に認められた。

7. ハードニング促進効果に及ぼす低温と肥培条件の影響については、ハードニングの進行中期ごろでは肥培中および良区で低温処理の効果が高く現われ、肥培不良区では効果はほとんどみられなかった。

8. ハードニング過程において、一時的な気温の上昇によりディハードニングの現象が起るか否かについて検討した結果、25°Cで1週間処理しても、ハードニングの進行が緩慢となるだけで耐凍性の低下はみられなかった。

9. 秋から冬にかけての幼茶樹の幹の耐凍性および裂傷の抵抗性獲得の推移についてみると、ハードニングの進行は10月中旬以後11月上旬までは比較的緩慢であり、11月中旬ごろから急に強くなる傾向がみられ、裂傷の抵抗性もほぼ同じ傾向であった。

7 引 用 文 献

- 1) 石田茂雄：北大農学部実演習林研報，15 (2)，303～341 (1952)。
- 2) D. O. KETCHIE, C. H. BEEMAN and A. L. Ballard: *Amer. Soc. Hort. Sci.*, 97 (3), 403～406 (1972)。
- 3) 鳥屋尾忠之，勝尾 清，家弓実行：茶技研，No. 36，1～5 (1968)。
- 4) 鳥屋尾忠之，家弓実行，勝尾 清，松下 繁：茶試研報，No. 9，1～65 (1974)。
- 5) 鳥屋尾忠之，家弓実行，松下 繁：日作九州支部会報，No. 40，17～18 (1974)。
- 6) 上野貞一，平川今夫，田原 誠：茶研報，No. 44，8～13 (1976)。
- 7) 関谷直正，田中勝夫，山下正隆：茶技研，No. 53，23～32 (1977)。
- 8) 鳥屋尾忠之，家弓実行，松下 繁：日作九州支部会報，No. 38，17～18 (1973)。

- 9) 中山 仰，原田重雄：茶研報，No. 38，11～14 (1973)。
- 10) 茶試：昭和47年～50年度試験成績（枕崎支場，茶2研）(1973～76)。
- 11) 茶試：昭和49年度試験成績（枕崎支場，茶2研），73～75 (1975)。
- 12) 茶試：昭和48年～51年度試験成績（枕崎支場，茶2研）(1974～77)。

Summary

The influences of air temperature, soil conditions and fertilization on cold resistance or on the bark splitting injury of young tea plants were investigated using artificial bark splitting technique, electric conductivity method and browning test.

1. The bark splitting injury was not affected by the diurnal range but by the minimum air temperature in the time of the occurrence.

2. The soil temperatures did not affect the occurrence rate of the injury but the size of the split caused under the higher soil temperature was larger than that caused under the lower soil temperature and gradually enlarged with the time of the freezing treatment.

3. The occurrence of the injury markedly decreased with the reduction of soil moisture.

4. The hardening of the young tea plants was accelerated by 3 day's exposure to the air temperature of 0°C.

The increase of the cold resistance by the low air temperature above mentioned was observed 1 week later slightly, and remarkably observed 2-3 weeks later.

The young tea plants exposed to such low air temperature in middle time of the hardening obtained approximately equal cold resistance regardless of the amount of nitrogen applied in autumn.

5. The tea plants in hardening was not de-hardened even by the air temperature of 25°C for 1 week.

6. The hardening was gradual untill mid-October or early November but became rapid from about mid-November.

This process almost coincided with the increasing process of the resistance to the bark splitting injury. (Jan.26,1978)