

# 早春期における防霜ファン制御のためのチャ冬芽耐凍性の評価

忠谷浩司

## Evaluation of Freezing Hardiness of Winter Tea Buds for Control of Frost Protection Fans in Early Spring

Koji CHUTANI

キーワード：チャ、防霜、冬芽、耐凍性

### 1. 緒言

凍霜害は、チャの栽培における気象災害の中で最も被害程度が大きく、被害金額も多い<sup>1)</sup>。このため、全国の茶産地では送風法や散水氷結法などの防霜対策が実施され、滋賀県では経済茶園の90%以上に防霜ファンが整備されている。

一般的にチャの防霜対策は、萌芽期の2週間前から実施するとされており、滋賀県の技術指針でも「萌芽期前から実施する」と記載されている<sup>5)</sup>。防霜ファンは温度センサーで測定する茶株面温度が設定温度を下回ると運転が開始される仕組みになっており、その温度設定は生産者自らが平年の萌芽期の早晚や当該年の気象推移、冬芽の生育状況などを勘案して行っている。

ところが、近年、早春期の気温変動が大きい上に萌芽期そのものの年次間差が大きいことから、防霜ファンの運転開始時期や稼働開始の温度設定が難しくなっている。このため、生産現場では安全を見越して、萌芽期以前のかかなり早い時期から防霜ファンを運転開始する事例や、稼働開始の温度設定を高めにする事例が増加している。このような過剰な防霜ファンの稼働は消費電力を著しく増加させ、生産コストの増大による茶業経営の圧迫を招いている。

チャにおける凍霜害発生の有無は、その時点での茶芽の耐凍性と遭遇した低温のレベルによって決定されるため、茶芽の耐凍性から耐凍温度を把握し、それに応じて防霜ファンの稼働開始温度の設定を行うことが、最も合理的で効率的な防霜対策であると考えられる。冬芽の耐凍性に応じた防霜ファンの温度制御に関しては、茶園の気温推移から冬芽の耐凍温度を推定して制御に利用する方法が報告されているが<sup>6, 7, 8)</sup>、本法は既に蓄積された冬芽の耐凍温度データを利用した推定モデルを使ったものであり、データ蓄積のない滋賀県では冬芽の耐凍性を何らかの方法で評価した上で、防霜ファンの制御に反映させる必要がある。

従来、チャ冬芽の耐凍性は、人為的な低温に一定時間遭遇

させ、数日後以降に外観の枯死、内部組織の変色程度で被害度を判定することで評価されてきたが<sup>2, 4, 6, 11)</sup>、防霜ファン制御への利用を前提とした場合には、リアルタイムに耐凍性を評価するための迅速な手法が必要である。

最近になって、吉田ら<sup>12)</sup>や松永<sup>3)</sup>が開発した電解質漏出測定法は、低温処理したチャ冬芽を水に浸漬した際に漏出する電解質量を測定して耐凍性を評価するもので、鳥屋尾ら<sup>10)</sup>が提案した手法を迅速で簡便に改良したものである。本法は、耐凍性の時期的消長や品種比較などを客観的に評価できる優れた手法であり、相対評価の指標としての有効性が示されているものの、耐凍温度の把握など絶対的な指標として利用できるかどうかについては検討されていない。

そこで、本研究では、防霜ファンの稼働制御への利用を前提としたチャ冬芽の耐凍性評価法確立のため、早春期に採取したチャ冬芽について、低温処理後の電解質漏出量と枯死率との関連性について検討し、迅速かつ簡便なチャ冬芽の耐凍温度把握の可能性について検討した。

### 2. 材料および方法

#### 2. 1 サンプルの採取

滋賀県内5か所の集団茶園(甲賀市水口町今郷, 甲賀市土山町布引, 畑, 甲賀市信楽町向山, 宮尻)および茶業指導所(甲賀市水口町波濤が平)からそれぞれ1か所の調査茶園を選定した。調査茶園は品種‘やぶきた’の成木園で、刈刃の曲率半径3000mm(3000R)の乗用型摘採機または可搬型摘採機で管理された弧状仕立て茶園とした。



写真1 採取した枝

2017年2月27日～4月4日の間、2～8日間隔で、調査茶園から写真1のような長さ5cm内外の枝を20本採取し、秋整枝で切断された枝条の最上位にある第1側芽を調査対象とした。

## 2. 2 茶芽の調整と低温処理

採取した枝は茶業指導所に持ち帰り、アルミニウム製のチャック袋（生産日本社製、AL-14）に入れて一晩冷蔵庫に保管した。なお、袋に入れる前の枝は、中野<sup>4)</sup>の方法に準じて、採取日の天候や採取条件の影響を緩和するため、約5分間バットに張った水道水に浸漬した。

採取翌日、低温インキュベーター（サンヨー製、MIR251）で2時間の低温処理を行った。処理温度は表1に示すとおりで、当該時期の冬芽の耐凍性に依りて設定した。

表1 調査日と低温処理の温度

調査日	処理温度		
2月27日	-12℃	-10℃	
3月6日	-12℃	-10℃	
3月14日	-10℃	-8℃	
3月21日	-10℃	-8℃	
3月23日	-8℃	-6℃	-4℃
3月28日	-8℃	-6℃	-4℃
3月31日	-8℃	-6℃	-4℃
4月4日	-6℃	-4℃	
4月7日	-6℃	-4℃	
4月14日	-6℃	-4℃	

## 2. 3 電解質漏出量の測定

2. 2で低温処理した枝のうち10本を電解質漏出量測定に供した。測定は、吉田ら<sup>12)</sup>ならびに松永<sup>3)</sup>の方法を基に、より迅速かつ簡便にできるような改良した。

低温処理後の枝は冷蔵庫内で約1時間解凍した後、写真2のように基部からメスで切断した第1側芽を2芽1組で秤量した。これを1組ずつ48ウェルのマイクロプレートに入れ、0.5mLの蒸留水を加えて穏やかに振とうした後、



写真2 切断した冬芽

0.1mLを採取し携帯型導電率計（HORIBA製、B-173）で導電率を測定した。測定後はプレートにふたをして25℃のインキュベーター（日本医化製、LH-200RD）内で2時間静置した後、穏やかに振とうし0.1mLを採取して再び導電率を測定した。

25℃静置前の導電率を静置後の導電率から差引きした導電率の変化量を冬芽からの電解質漏出量とし、添加水量が冬芽の新鮮重の20倍量となるように換算した。

## 2. 4 低温処理による枯死率の調査

2. 2で低温処理した枝のうち残りの10本は、枯死率の判定に供した。中野<sup>4)</sup>の方法を参考に、低温処理した枝をチャック袋に入れたまま冷蔵庫内で解凍し、バット内で吸水させた成形培地（松村工芸製、アクアフォーム）に挿した。その後、25℃14時間日長のインキュベーター（日本医化製、LPH-220N）内で適度に給水しながら培養し、2～3週間生育させた後に第1側芽の枯死率を判定した。

さらに、統計ソフト（スタットソフトジャパン製、STATISTICA）を使用し、得られた電解質漏出量と枯死率の関係性を解析した。

## 3. 結果および考察

### 3. 1 冬芽の電解質漏出測定改良

電解質漏出測定の一連の流れを図1に示した。

測定は、冬芽が着生した枝の採取→低温処理（2時間）→冬芽の切断→秤量→蒸留水添加→導電率測定→恒温静置（25℃、2時間）→導電率測定の手順で行い、従来の手法から以下の2つの手順を簡略化した。

従来法<sup>12)</sup>では、冬芽秤量後の蒸留水添加量を冬芽重量の20倍量としてその都度計量しながら添加するのに対し、本試験では一律0.5mLを添加し、測定後に20倍量中の測定値に換算する手順とした。また、従来法<sup>3, 12)</sup>では、導電率測定後に試料液を全量回収して測定を継続するのにに対し、ここでは測定のために採った0.1mLの試料液はそのまま廃棄するようにした。これによって、測定時間が短縮されるとともに作業の煩雑性が解消され、測定の所要時間は低温処理およびインキュベーションの時間（いずれも2時間）を含めて5～6時間となった。なお、測定値にはややバラツキがみられるため、1調査か所の1処理温度につき5～10反復の測定が必要と

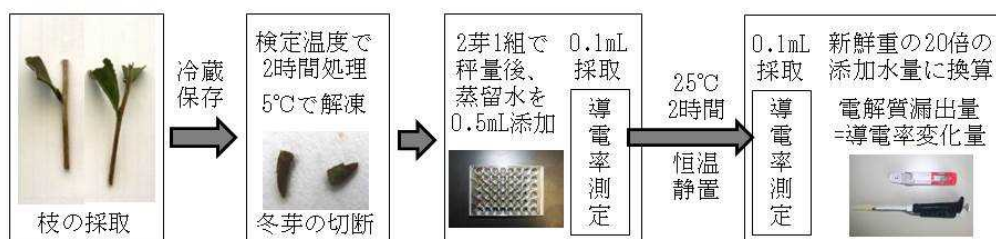


図1 電解質漏出測定の手順

なり、処理温度を2水準とすると、1日に約8調査か所の測定が可能であった。

### 3.2 冬芽の電解質漏出量の推移

低温処理による電解質漏出量の推移について、信楽町向山の例を図2に示した。

低温処理後の電解質漏出量は、一定期間低い値で推移した後、ある時期を境に急激に上昇する傾向がみられた。この時、低い値を示す時期は遭遇した低温に対して耐凍性を有し、逆に高い値を示す場合は、遭遇した温度に対する耐凍性が消失したことを示すと推察された。このように、ある低温に対する耐凍性の有無を判断すれば、調査時点で冬芽が耐え得る低温の限界である「耐凍温度」が把握できると考えられた。

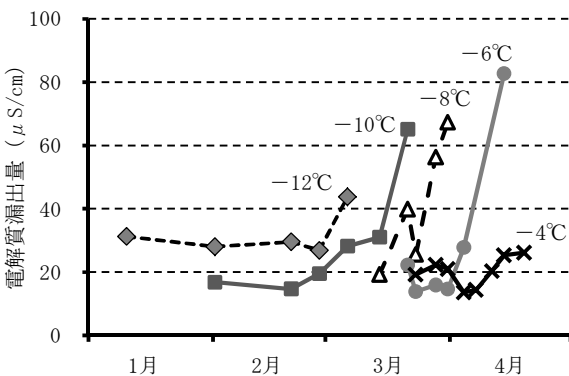


図2 低温処理による電解質漏出量の推移 (信楽町向山)

### 3.3 冬芽の電解質漏出量と枯死率の関係

冬芽の耐凍性の有無を判断するための基準となる電解質漏出量を求めるため、低温処理後の冬芽の枯死率と電解質漏出量の関係性について解析し、その結果を図3に示した。

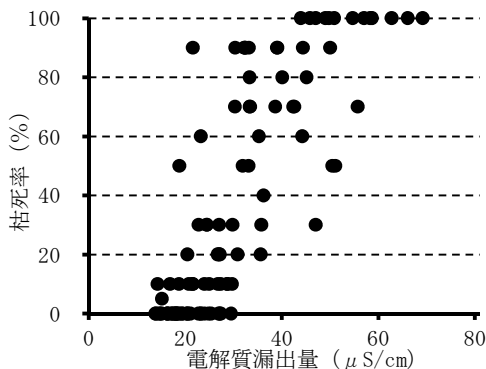


図3 電解質漏出量と枯死率との関係

電解質漏出量と枯死率には強い関係性が認められ、電解質漏出量  $40 \mu\text{S}/\text{cm}$  以上では枯死率が極端に高く、 $20 \mu\text{S}/\text{cm}$  以下では比較的枯死率が低くなった。このため、耐凍性有無の判断基準は電解質漏出量  $20 \sim 40 \mu\text{S}/\text{cm}$  の範囲内に存在する

と考えられた。

ところで、過去の研究では、耐凍性有無の境界点について様々な解釈がなされている。田中ら<sup>7, 8, 9)</sup>は、低温処理後に目視でグレード分けした被害程度から被害発生率を算出、被害発生率10%を耐凍性有無の境界点として、10%以下(LT10)となる温度を耐凍温度と定義している。一方、中野<sup>4)</sup>は、被害程度をグレード分けする方法を使わず、低温処理後に一定期間培養して枯死芽を判定し、枯死芽率50%以上と50%以下の温度から算出した半数致死温度(LT<sub>50</sub>)を耐凍性の指標としている。本研究ではこれに準じて、枯死率50%(半数致死)を超える点を耐凍性有無の境界点とし、電解質漏出量と枯死率の関係から算出することを試みた。

図4のように、電解質漏出量と枯死率の関係に曲線モデルを当てはめたところ、枯死率を従属変数、電解質漏出量を独立変数とした次のモデルで説明できた。この時、半数致死に至る電解質漏出量は  $33 \mu\text{S}/\text{cm}$  であった。

$$Y = 100 / (1 + \exp(7.75 - 0.24 \times X))$$

Y: 処理した低温による枯死率 (%)

X: 処理した低温による電解質漏出量 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

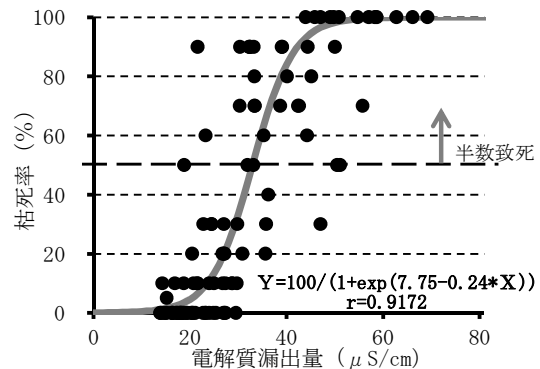


図4 電解質漏出量と枯死率との関係および曲線モデル  
注) 数式は図中曲線のモデル式

### 3.4 電解質漏出量を基準とした耐凍性有無の判定

半数致死に至る電解質漏出量を  $33 \mu\text{S}/\text{cm} \approx 30 \mu\text{S}/\text{cm}$  とした時、この数値が耐凍性有無の基準として妥当かどうか検証するため、電解質漏出量が  $30 \mu\text{S}/\text{cm}$  を超える場合と超えない場合の半数致死に至る頻度と平均枯死率の違いを検討し、表2に示した。

表2 電解質漏出量  $30 \mu\text{S}/\text{cm}$  を境界とした半数致死頻度および平均枯死率の違い

電解質漏出量 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	半数致死頻度 (半数致死数/総数)	平均枯死率 (%)
30未満	3/59	9.7
30以上	30/35	76.7

電解質漏出量が  $30 \mu\text{S}/\text{cm}$  未満の場合は、半数致死に至る頻度は極めて低く、平均枯死率も低くなる一方、 $30 \mu\text{S}/\text{cm}$  以上の場合には、半数致死に至る頻度、平均枯死率ともに著しく大きくなった。

吉田ら<sup>12)</sup>は、電解質漏出量  $40 \mu\text{S}/\text{cm}$  以上の場合には壊死に至る重度の低温障害を受けたと診断され、それ以下の場合にはその温度までの耐凍性があると判断されるとしている。一方、本研究では電解質漏出量  $40 \mu\text{S}/\text{cm}$  以下の場合でも、 $30 \mu\text{S}/\text{cm}$  を超えると枯死率が高まる場合が多く認められた。従って、耐凍性有無の判断基準は、電解質漏出量  $30 \mu\text{S}/\text{cm}$  とするのが妥当であると考えられた。

#### 4. まとめ

以上のように、電解質漏出測定によって早春期におけるチャ冬芽の耐凍性が簡便かつ迅速に評価できることが明らかになった。そして、半数致死の目安である電解質漏出量  $30 \mu\text{S}/\text{cm}$  を超えない低温を判定することで、図5のように、冬芽が耐え得る限界温度である「耐凍温度」を茶園別に導き出すことが可能と考えられた。

電解質漏出の測定時間は、低温処理などを含めて5～6時間であり、2水準の低温処理と測定を流れ作業で実施すれば、サンプル採取当日に耐凍温度の把握が可能と考えられる。また、調査か所が複数の場合、低温処理を2水準とすると1日に8調査か所程度の測定ができるので、サンプリングも含めて2日間で耐凍温度の判断が可能となり、リアルタイムな評価と情報提供が実現できると考えられる。

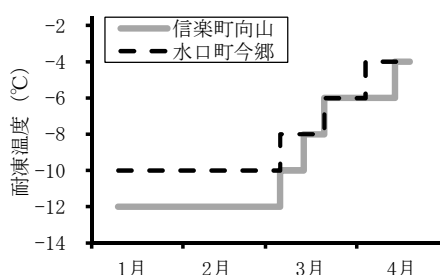


図5 電解質漏出量を基準に判定した耐凍温度の推移

注) 電解質漏出量が  $30 \mu\text{S}/\text{cm}$  を超えない処理温度を耐凍温度とした

一方、本研究は品種‘やぶきた’において耐凍性有無の判断基準を明らかにしたものである。吉田ら<sup>12)</sup>ならびに松永<sup>3)</sup>は、電解質漏出測定を用いて耐凍性の品種間比較を行い、耐凍性の強弱や時期的変化の特性について検出可能としているが、耐凍性有無の判定基準が品種によって異なる可能性があるため、今回の手法を他品種へ適用することについては今後さらに検討が必要と考えられる。

先にも述べたように、防霜ファンは温度センサーで測定す

る茶株面温度が設定温度を下回ると運転が開始される仕組みになっているため、防霜ファンの稼働開始温度を冬芽の耐凍温度より高めに設定することで凍霜害が回避可能と考えられる。今後は、本法を活用した効率的で確実な防霜ファン制御を目指して、ほ場条件を考慮した活用方法や情報提供の方法などについて検討が必要である。

#### 5. 謝辞

本研究は平成 28 年度即応型試験研究として取り組んだものである。

研究の遂行にあたり、甲賀市の茶生産者の方々には調査ほ場を提供いただいた。また、農業技術振興センター茶業指導所の職員諸氏には終始有益なご助言とご協力を、伴和美氏には調査、測定の補助をいただいた。ここに記して深謝の意を表する。

#### 6. 引用文献

- 1) 岩浅 潔編, 1994. 茶の栽培と利用加工. 養賢堂, pp245-251.
- 2) 倉貫幸一, 1983. 冬期における茶芽の耐凍性の品種間差異. 茶研報, 57 : 1-6.
- 3) 松永明子, 2012. 溶出電解質量測定によるチャ冬芽の耐凍性評価法の利用. 茶研報, 114 : 37-43.
- 4) 中野敬之, 2002. 冬から春にかけての気温が茶芽の生育ステージと耐凍性に及ぼす影響. 日作紀, 71 : 43-49.
- 5) 滋賀県農業技術振興センター, 2009. 滋賀県茶生産技術指針. pp27-29.
- 6) 田中敏弘・岩倉 勉・野中寿之, 1992. チャの越冬芽の時期別耐凍性の変化. 茶研報, 76 (別) : 46-47.
- 7) 田中敏弘・美座芳江・勝田雅人・富濱 毅, 2011. 冬芽の耐凍性獲得程度にあわせた防霜ファンの稼働と節電効果. 茶研報, 112 (別) : 14-15.
- 8) 田中敏弘・美座芳江・土屋茂樹・荒木慎介・富濱 毅, 2013. 冬芽の耐凍性にあわせた防霜ファンの稼働と温度設定の自動化. 茶研報, 116 (別) : 30-31.
- 9) 田中敏弘・勝田雅人・内村浩二・富濱 毅・土屋茂樹・荒木慎介, 2014. 早春期におけるチャ冬芽の耐凍温度推定法と防霜ファンの節電制御. 茶研報, 118 (別) : 54-55.
- 10) 鳥屋尾忠之・勝尾 清・家弓実行, 1968. 切り枝の凍結処理による紅茶用品種の耐凍性の検定 (第2報). 茶技研, 36 : 1-5.
- 11) 築瀬好充, 1975. 茶樹の器管による耐凍性の差異と時期的変化. 茶研報, 42 : 19-24.
- 12) 吉田克志・松尾喜義, 2012. 低温処理を行った冬芽および越冬葉からの電解質漏出測定によるチャの耐凍性簡易評価法. 茶研報, 113 : 63-69.