

TDR 霜センサを用いた霜害と凍害の判別 Distinction between frost damage and freezing damage using TDR frost probe

○澁谷和樹* 登尾浩助**
Kazuki Shibuya, Kosuke Noborio

1. 背景

2017年4月、世界的に知られるワインの生産地であるフランスのボルドー地方で、ブドウへの霜害が発生し、ボルドーワインの生産量は約50%低下、被害総額が約1240~2480億円に上る恐れがあると報じられた(日本経済新聞, 2017)。農作物への霜害被害は決して軽微ではなく、被害の軽減を図るには事前に適切な対策を講じることが重要である。しかし、有効とされる燃焼法や送風法といった対策には、労力とコストが非常に掛かるため、連日連夜、予防的に対策を行うことは困難である。従って、霜害の発生前に適切適宜な対策を行えることが最も重要であり、そのための精度の良い霜害の発生予測が必要とされている。しかし、霜害の実態が未だに解明されていないため、精度の良い発生予測の開発に至っていない。現在、農作物が被害を受けた際に「凍害」もしくは「霜害」のどちらによって被害を受けたのか測定して判別する手法がないため、この2つの害を内包した「凍霜害」という言葉が用いられている。しかし、霜が無くとも起こる「凍害」と、霜の発生が起因となる「霜害」による農作物の被害は一見同様に見えるが、被害の程度や発生条件も異なる。葉に霜が付着すると過冷却した細胞の凍結を誘引するため、霜が無くとも起こる自発的な凍結に比べて高い温度で凍り始めることが報告されている(北浦, 1967)。被害の程度は霜害に比べ凍害の被害が重くなることが知られている。そのため、「凍害」と「霜害」を同一視した対策や予測法では有効性や確度の面で十分とは言えない。「凍霜害」として同一視されていた「凍害」と「霜害」を明確に判別する手法が必要であり、2つの害を判別することが可能となれば、「凍霜害」としての画一的な予測法では無く、「凍害」と「霜害」を区別した精度の良い予測法の開発が可能となる。そこで、本研究は、「凍霜害」を「霜害」と「凍害」に区分した新しい知見の獲得を可能とするべく、農作物が特に凍霜害の被害を受け易い箇所である葉への「凍害」と「霜害」を検知・判別する手法の確立を目的とした。

2. 方法

「凍害」と「霜害」を判別するには農作物の凍結が、「着霜によって細胞凍結が誘引された凍結」か「着霜の無い自発的な凍結」であるか知る必要があるため、霜の有無と葉の凍結を同時に検知可能なセンサが必要である。そこで、本研究グループが開発した、霜を検知可能なTDR霜センサの一部を農作物の葉(キャベツ)に貼付することで(Fig. 1)、霜の有無と葉の凍結を同時に測定可能であるか、恒温室(エスペック社製, TBE-5H20A6PJJ)において試験を行った。TDR霜センサはTDR(時間領域反射)法を用いることで、センサの検知部近傍の物質の比誘電率を算出する。この比誘電率は物質によって異なるため(例: 空気=1, 氷=3.5, 水=80)、検知部に付着した霜(氷)や接触している葉の凍結を測定可能であ

*明治大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Meiji University

**明治大学農学部 School of Agriculture, Meiji University

キーワード: 気象環境 気象災害

る。また、目標である農作物の葉への霜の発生を時差無く検知するために、検知部となる電極を厚さ $75\mu\text{m}$ と非常に薄いベースフィルムに印刷することで、検知部の熱容量を厚さ約 $150\mu\text{m}$ の葉の熱容量に近似させた。恒温室では、水蒸気が昇華することで発生する白霜を再現することは困難であったため、結露が凍結することで発生する水霜の再現を行った。霧吹きによって結露を再現し、温度の制御によって結露を凍結させて水霜を発生させた。TDR 霜センサを 5cm の高さに設置し、比誘電率 ϵ (ケツト科学研究所製、特注) を測定した。比誘電率と、センサ温度・葉温 (T 型熱電対)、気温・相対湿度 (Campbell Scientific 社製、HMP45C) はデータロガー CR3000 (Campbell Scientific 社製) を用いて 1 分間隔で測定した。

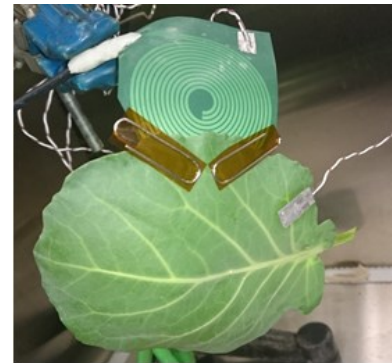


Fig. 1 葉にセンサを貼付した様子
Sensor attached to leaves

3. 結果と考察

再現した霜を発生させ、貼付したセンサによって葉の凍結と霜の発生を同時に測定した結果を Fig. 2-A に示した。10 分経過後、霧吹きによって結露を再現した。32 分経過後、室温の低下に伴い結露が凍結し、霜が発生した。霜の発生直後に、葉の凍結を意味する潜熱による葉温の上昇が測定された。霜害は放射冷却によって過冷却した農作物に霜が付着することで発生するものであり、霜の付着が農作物の細胞凍結の引き金となる (酒井, 1982) ことが報告されている。つまり、霜の発生直後に葉温が上昇したことは、霜害の発生メカニズムと同様に、霜によって葉の凍結が誘引されたためと考えられた。葉の凍結と霜の発生によって比誘電率は大きく低下するため (比誘電率: 水 = $80 \rightarrow$ 氷 = 3.5)、明確に霜害の発生を測定可能であることが分かった。霜による凍結と、前述した霜の無い葉の自発的な凍結とは、凍結開始温度が異なった (Fig. 2-B)。霜を発生させた場合、 -6°C 前後で凍結し始めたが、霜を発生させず自発的な凍結をさせた場合、 -9°C 前後で凍結し始めた。葉に霜が付着することによって細胞凍結が誘引されるため、霜の有無によって凍結開始温度が異なることが報告されており (酒井, 1982)、クワの葉の場合、霜がない場合は約 -5°C で凍結し、霜がある場合は約 -2°C で凍結することが報告されている (北浦, 1967)。本研究でも、凍結開始温度には明瞭な差が生じたため、霜による凍結 (霜害) と自発凍結 (凍害) を再現できたと考えられた。今までは、凍結時に放出される潜熱による、葉温の昇温を測定することで葉の凍結を測定してきた。しかし、それが「霜による凍結」なのか「霜のない低温による自発凍結」なのか、つまりは「霜害」なのか「凍害」なのか判別出来なかった。しかし本研究において、降霜を検知可能なセンサの一部を葉に貼付して比誘電率を測定することで「霜害」と「凍害」を明確に判別可能であることが示された。

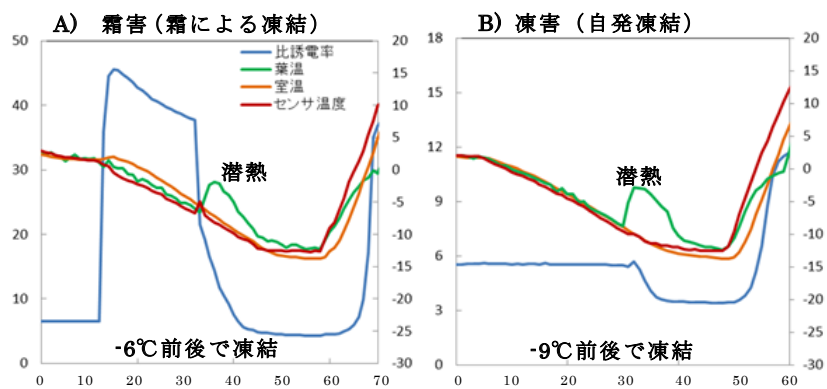


Fig. 2 測定結果 (A: 霜害, B: 凍害)
Measurement results (A: Frost damage, B: Freezing damage)