



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	寒冷地における醸造用ブドウの耐凍性と組織内成分との関連性および耐凍性推定モデルの構築に関する研究
Author(s)	来田, 祐太朗
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第16758号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16758
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99603
Type	doctoral thesis
File Information	KITA_Yutaro_abstract.pdf, 論文内容の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



【博士論文】

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称： 博 士（農学）

氏名 来 田 祐 太 朗

寒冷地における醸造用ブドウの耐凍性と組織内成分との関連性 および耐凍性推定モデルの構築に関する研究

北海道は夏季に冷涼な亜寒帯気候に属し、20 世紀後半までは生育期の積算温度不足や日射量の制約により、欧州系醸造用ブドウ (*Vitis vinifera*) の安定栽培は困難であると考えられてきた。そのため、北海道におけるブドウ栽培では、耐寒性に優れる北米系品種や野生種の導入、ならびにそれらを交配親とした育種が進められ、寒冷地条件下でも比較的安定して生産可能な品種体系が構築されてきた。しかし近年、地球温暖化の進行に伴い生育期の気温が上昇したことで、‘ピノ・ノワール’をはじめとする一部の伝統的な欧州系醸造用ブドウの栽培が可能となり、北海道のワイン産業は量的拡大のみならず品質面においても著しい発展を遂げている。しかし、冬季の低温環境は現在も依然として厳しく、越冬期に発生する凍害は、醸造用ブドウの安定生産を制約する最も大きな要因の一つである。また、秋季の高温化は低温馴化の開始時期を遅延させ、十分な耐凍性が獲得されないまま厳冬期を迎えるリスクを高める可能性が指摘されており、寒冷地における凍害リスクは将来的に増大することが懸念されている。ブドウの耐凍性は、器官や組織によって異なる生理機構により成立していることが知られている。越冬芽では深過冷却や凍結脱水によって細胞内凍結が回避される一方、当年生枝では細胞外凍結が生存維持に重要な役割を果たすと考えられている。低温馴化過程においては、組織含水率の低下、可溶性炭水化物の蓄積、アミノ酸やフェノール化合物などの代謝変化が耐凍性向上に関与することが報告されてきた。しかし、これらの知見の多くは特定の品種や短期間の調査に基づくものであり、北海道のような厳寒地条件下において、遺伝的背景の異なる複数の醸造用ブドウ品種を対象に、耐凍性の季節変動と生理・代謝特性との関係を長期間かつ体系的に解析した研究は限られている。また、従来の耐凍性評価法である凍結処理試験や示差熱分析は、精度の高い評価が可能である反面、時間と労力を要するため、栽培現場で迅速に凍害リスクを把握する手法としては実用性に課題が残されている。そこで本研究では、寒冷地における醸造用ブドウの安定生産に資することを目的として、越冬芽および当年生枝の耐凍性の季節変動および品種間差の詳細を明らかにするとともに、耐凍性成立に関与する生理・代謝的要因を包括的に解明し、さらに得られた知見に基づいて簡便かつ実用的な耐凍性推定手法の構築を試みた。

本研究の第1章では、北海道で栽培されている欧州系品種、北米系品種、ならびに野生種由来の交配品種を含む計10品種を供試し、3シーズンにわたり調査を行った。越冬芽および当年生枝を対象に、示差熱分析および電解質漏出法を用いて耐凍性を評価するとともに、組織含水率、可溶性炭水化物、アミノ酸およびポリフェノール類の含量を定量し、耐凍性との関連性を解析した。これらの調査は、耐凍性の動態を詳細に把握するため、晩秋の低温馴化開始期から厳冬期、さらには春季の脱順化期まで連続的に実施した。その結果、すべての品種において耐凍性は秋季から初冬にかけて段階的に向上し、厳冬期に最大値を示した後、春季に脱順化が進行するという共通

した季節変動パターンが認められた。一方、最大耐凍性の水準、低温馴化の進行速度、脱順化開始時期には顕著な品種間差が存在した。特に、*V. amurensis* や *V. riparia* を遺伝的背景に持つ交配品種は、*V. vinifera* 品種と比較して高い最大耐凍性を示し、寒さの厳しい条件下でも安定した耐寒性を保持する傾向が認められた。さらに、*V. vinifera* 品種間においても耐凍性獲得特性には差異が認められ、欧州系品種であっても寒冷地適応性には一定の多様性が存在することが明らかとなった。耐凍性と生理指標との関係を解析した結果、越冬芽および当年生枝の耐凍性は含水率と強い正の相関を示し、低温馴化に伴う組織含水率の低下が耐凍性向上において中心的役割を果たすことが判明した。含水率の低下は、細胞内凍結の回避や氷晶形成の抑制に寄与すると考えられ、寒冷地における耐凍性成立の基盤的要因であることが示唆された。また、可溶性炭水化物含量は耐凍性と負の相関を示し（含量が高まると LT_{50} が低下する）、特にグルコースやフルクトースなどの単糖類、ならびにラフィノースファミリーオリゴ糖（RFO）の蓄積が、高い耐凍性の形成に関与している可能性が示された。これらの糖類は、細胞内の浸透圧調節や膜構造の安定化を通じて低温耐性を高める役割を果たしていると考えられる。この場合、耐凍性に寄与する糖の種類やその寄与度は品種によって異なり、寒冷地における耐凍性獲得戦略には明確な品種特異性が存在することが明らかとなった。このことは、単一の生理指標のみで耐凍性を一律に評価することの限界を示すと同時に、品種特性を考慮した評価や管理の重要性を示している。さらに、アミノ酸の一種であるプロリンや総ポリフェノール含量について解析した結果、これらの成分は多くの場合耐凍性との明確な相関を示さず、北海道の栽培条件下において耐凍性を規定する主要因ではない可能性が示唆された。この結果は、ブドウの耐凍性が、特定の代謝物の単純な増減ではなく、含水率および糖代謝を中心とした複数の生理・代謝要因が相互に関与する複雑な過程をとおして、成立することを示している。

次に第2章では、第1章で得られた生理学的指標の中でも特に強い関連性を示した含水量と可溶性炭水化物含量に着目し、これらを説明変数とする耐凍性推定モデル（LTE 推定モデル）を構築した。先行研究で本植物に対して提案された JUG、TOT および ISC モデルに加え、新たに VIT モデルを定義し、3年間の‘ピノ・ノワール’越冬芽データを用いて回帰分析を行った。その結果、ISC モデルが最も高い推定精度を示したものの、全体の約24%の分散は説明されず、細胞構造の変化など、他の要因の寄与も大きいことが示唆された。今後は、これら多様な生理的・形態学的因子を加えた統合的モデルの開発が必要であると考えられた。また、生産現場での実用化という観点では、可溶性炭水化物の測定に HPLC 分析が必要であることが制約となるため、糖度計による簡易指標の活用や代替測定法の開発が実用化への鍵となる。さらに、現在のモデルは測定時点の耐凍性を推定するものであるが、寒冷地栽培では凍害リスクの事前察知が求められるため、気象データと連携した短期予測モデルへの発展も重要な課題である。

以上のとおり、本研究は寒冷地における醸造用ブドウの耐凍性成立に関与する生理・代謝的基盤を、品種間差および季節変動の両面から包括的に明らかにした点で高い学術的意義を有する。また、簡便な耐凍性推定手法を提示した点において、実践的意義も大きい。本成果は、気候変動下における北海道のブドウ栽培の安定化、ならびに寒冷地に適した品種選定および栽培管理技術の高度化に貢献するものと期待される。