

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 土谷 英範

葉菜類の最も急速な冷却が可能な予冷方式として広く利用されている真空冷却は、現場において品温が下がらない等、投入されるエネルギーに対して適切な冷却効果が得られないという問題点が指摘されている。一方、既往の研究では、外観上に表れる葉色の变化等の原因や、低圧環境が試料個体あるいは細胞に与える影響等については明らかにされていない。また、熱電対によるポイント計測が品温の計測に多用されているが、それらが品温を代表するとは考えにくく、フラッシュポイントや真空破壊時に温度が急変する真空冷却に特有の現象を論じるためには、面情報としての温度が必要である。

そこで、研究の目的を、青果物の詳細な温度分布を計測し、細胞レベルでの真空冷却による影響に基づいて真空冷却特性を明らかにし、対象物の温度むらとその均一化のプロセスや真空冷却直後の温度戻りの原因等を詳細に示すことにおいた。

本論文は6章からなり、第1章では研究の背景について触れ、真空予冷における問題点を指摘した。

第2章では、レタス1個体の質量から葉の総数、および1葉毎の質量の推算を可能とし、さらに、個体質量および葉の位置から1葉毎の表面積を推算し、レタスの形態に特有な構造を定量的に示した。さらに、葉の水分分布に基づいて比熱および熱伝導率を推算し、レタスの熱物性値を定量的に示した。

第3章では、まず、水およびレタスの真空冷却を行い、蒸発表面積が増加するにつれて真空チャンバ内の全圧が設定圧力に到達するまでの時間が遅くなることを指摘し、表面積と設定圧力への到達時間との関係を定式化した。次に、真空チャンバ内が水蒸気で飽和している条件下では、真空チャンバ内圧力に基づいた Antoine 式による飽和蒸気温度の計算により、フラッシュポイント以後の水温および葉温の推算が可能であることを示した。

第4章では、組織片の真空冷却を行うために、顕微鏡を介して細胞レベルでの変化をリアルタイムで観察可能な装置を構築した。まず、表皮細胞のクチクラ層を含めた組織の真空冷却では、個々の細胞の脱水に起因する葉緑体集積度の増大および膨圧の低下をとらえ、真空冷却された青果物の葉色の变化やしおれ等の原因を細胞レベルで明らかにした。また、表皮細胞のクチクラ層の有無が、真空冷却中の細胞からの脱水に大きな影響を及ぼしたことから、真空冷却中の水分の蒸発は、主に青果物の気孔を通して生じていることを示した。さらに、フラッシュポイント付近で原形質流動がほぼ停止する理由は、周囲環境が低酸素になることに起因すると結論付けた。一方、細胞の生死を分けるのは急激な圧力低下でも温度低下でもなく細胞内の水分であり、脱水の影響が最も大きいことを示した。

第5章では、真空冷却特性の異なる種々の青果物を用い、熱画像を導入することで、従来は困難であるとされていた、青果物の真空冷却中の表面温度変化プロセスを面情報として計測可能な装置を構築した。計測の結果、真空冷却の初期段階では冷却むらが大きく、

徐々に温度が均一化していく現象が可視化され、予冷後における保冷库の役割の重要性が確認された。

第6章では、対象をレタスに絞って計測した結果、葉、茎、切り口等の各部位の中にも温度差があることを明らかにし、熱電対による温度のポイント計測では、各部位を代表する温度が把握できないことを示した。また、従来明確ではなかった真空冷却中のレタスの品温低下メカニズムについて、葉では水分蒸発、葉肋では熱伝導が冷却の主要因であることを示した。一方、真空破壊時の品温上昇は、まず水分の凝縮熱による温度上昇があり、それに続いて周囲の空気からの熱伝達による温度上昇が生じることを実験的に裏付けた。また、レタスの真空冷却時の外葉は、真空破壊時には内葉の温度上昇を防止する役割があることを明らかにし、収穫時に外葉を取る等の調製を行わずに真空予冷することが品質低下を抑える方法の一つであることを指摘した。

以上のように、本研究は、レタスの個体質量を基にした表面積、比熱および熱伝導率の推算、ならびに、真空冷却中における一定条件下でのレタス葉温の推算を可能とし、種々の青果物の組織片による細胞レベルでの観察および青果物個体を用いた表面温度計測を通して所定の冷却効果を詳細に理解するための真空冷却特性を明らかにしたものであり、学術上、応用上貢献するところが少なくない。よって審査委員一同は本論文が博士（農学）の学位論文として価値あるものと認めた。