

[別紙 2]

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 黒木 信一郎

青果物の貯蔵・流通過程における環境要因が、収穫後の青果物の呼吸作用(ガス交換)に与える影響に関する研究報告は数多い。しかしながら、既往の研究のほとんどは青果物内部の空間構造やガス環境をブラックボックス化した、見かけ上のガス交換について議論したものであり、青果物組織への O_2 の供給、および発生した CO_2 の組織外への排出を考慮した研究、すなわちガス交換の物理的プロセスに言及した研究は極めて少ない現状にある。このため、呼吸速度の時間依存性や周囲環境変動時の応答性、限界 O_2 濃度の理論的証明等、未解明の課題が依然として残されており、収穫後の青果物の生理作用に合理的な解釈を与える上では、ガス交換における生化学的プロセスおよび物理的プロセスの双方を考慮して論じる必要があると考えられる。

以上の事柄を鑑みて、本論文では、キュウリ果実を充実した果肉組織を持つ青果物の一つとして取り上げ、収穫後における青果物のガス交換特性について、特にその物理的プロセスを解明することを目的とした。

本論文は5章から構成され、第1章では研究の背景について触れ、収穫後における青果物のガス交換の物理的プロセスが現状ではブラックボックス化されていることを指摘し、青果物内部のガス拡散プロセスを解明する必要性について指摘した。

第2章では、青果物組織内のガス拡散の支配的な通路であると考えられている細胞間隙、特に気体で満たされた細胞間隙(gas-filled intercellular space)の体積およびその経時変化について検討し、空隙率および gas-filled intercellular space の体積が収穫後の時間経過に伴い減少することを示した。また X 線 μ CT を用いて、貯蔵1日目および5日目のキュウリ果肉組織切片の断層画像を平面分解能 $2.48\mu\text{m}$ 、スライス厚 $2.48\mu\text{m}$ で500枚取得し、果肉組織の3次元画像を再構築した。これにより、キュウリ果肉組織内における gas-filled intercellular space を可視化し、それらが複雑に発達したネットワーク構造を形成していることを明らかにした。さらに、貯蔵1日目および5日目における gas-filled intercellular space のサイズ分布を比較することにより、貯蔵期間の経過に伴いキュウリ果肉組織内の gas-filled intercellular space の細分化が進行することを明らかにした。

第3章では、青果物の有効ガス拡散係数測定について検討し、不活性ガスである Ne を利用することによって同一個体の連続的な計測を可能とする非破壊的かつ非侵襲的な有効ガス拡散係数測定法を考案した。本計測により、キュウリ果実の有効ガス拡散係数が、収穫後の時間経過に伴い低下することを明らかにした。またこの低下の理由は、第2章にて gas-filled intercellular space の細分化が観察されたことから、ガス拡散の主要な通路である細胞間隙のうち、気体で満たされている部分(gas-filled intercellular space)が減少し、逆に液体で満たされた部分(liquid-filled intercellular space)が増加したことに起因するガス拡散抵抗の増大であることを示した。以上により、青果物組織内部の空間構造とガス拡散特性

の関係を定量的に示した。

第4章では、外気から取り込んだ O_2 が組織内部で消費される過程である青果物のガス交換モデルを、Michaelis-Menten 型の反応速度を適用した反応拡散方程式により構築し、周囲環境の種々の O_2 濃度に対するキュウリ果実のガス交換速度の表現に本モデルが有効であることを示した。また、追熟型を除く青果物に一般的に認められる、収穫後の時間経過に伴うガス交換速度の漸減現象について、ガス交換の物理的プロセスおよび生化学的プロセスが及ぼす影響をそれぞれ数値シミュレーションによって検討し、キュウリ果実に関しては、組織内におけるガス拡散係数の低下のみにより、5日間の貯蔵期間中におけるガス交換速度の減少分の15%程度が説明されること、したがって収穫後におけるキュウリ果実のガス交換速度においては、生化学的プロセスの影響が支配的であることを示した。

以上、本研究ではキュウリ果実を対象とし、青果物組織内に存在する gas-filled intercellular space の3次元可視化、および有効ガス拡散係数の計測を通して、青果物のガス交換の物理的プロセスを明らかにした。また反応拡散方程式の適用により、物理的プロセスを考慮したガス交換の数値モデルを構築すると共に、収穫後におけるキュウリ果実のガス交換速度に対する、物理的プロセスおよび生化学的プロセスのそれぞれの寄与を数値シミュレーションによって明示し、収穫後における青果物のガス交換速度の時間依存性について理論的な解釈を与えたものであり、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。