



岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

低温感受性の高い青果物の電気伝導度特性

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2022-06-08 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 前澤, 重禮, 秋元, 浩一 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/5817

低温感受性の高い青果物の電気伝導度特性

前澤重禮・秋元浩一

生産流通管理学講座
(1996年7月18日受理)

Characteristics of Electric Conductivity of Low-temperature Sensitive Vegetables

Shigenori MAEZAWA and Koichi AKIMOTO

Department of Production and Distribution Management
(Received July 18, 1996)

SUMMARY

To examine the relation between chilling injury and electric conductivity of low-temperature sensitive vegetables, we first estimated the extent of chilling injury and measured the electric conductivity in three sites on cucumber and eggplant. Next, we compared the electric conductivity and electrolyte leakage at injured (pitting) and non-injured sites of chilling injured vegetables. It was found that the time - courses of electric conductivities resembled those of the extent of surface pittings. We further discovered that the electric conductivities and electrolyte leakages at the surface pitting were always higher than those at non - injured surface sites of the vegetables, and that the differences between the two sites slightly increase with time. These results suggest that electric conductivity in connection with electrolyte leakage of low-temperature sensitive fruits should be considered as an index of chilling injury.

Res. Bull. Fac. Agr. Gifu Univ. (61) : 81-86, 1996

要 約

低温感受性の高い青果物の低温障害と電気伝導度の関係を調べるために、キュウリ果実とナス果実について部別に低温障害程度を評価すると共に銅線電極を用いて個体レベルで電気伝導度の測定を試みた。その結果、両果実において低温障害指標と電気伝導度の経時変化には関連性が観察された。次に、低温障害果実の電解質漏出割合と電気伝導度について障害（ピットティング）部位と正常部位の値を比較した。ピットティング部位の電解質漏出割合と電気伝導度は正常部位の値より常に大きい値を示し、両者の差は経日的に増加した。以上の結果から、電解質漏出と関連した電気伝導度は低温障害と密接に関連し障害発生の推定に役立つ指標となる可能性が示された。

緒 言

低温障害は低温感受性の高い青果物において発生する生理障害であり、障害果実では果皮表面の一部にピットティングが発生する。このピットティングが青果物の流通中に発生すると商品価値は著しく低下するため、低温障害の発生を抑制、軽減する対策が検討され、巧みな温度制御¹⁾や環境ガス制御²⁾が低温障害の発生抑制に有効であることが報告されている。

近年の青果物流通では単一品目を大量輸送することが主流であるが、消費者の要求の多様化に対応して「野菜の詰め合わせセット」に代表されるような数種品目の混載流通が広まりつつある。青果物の最適貯蔵温度は品目によって異なり、低温障害発生時期も品目や流通環境に依存する。そのため多品目の青果物

を同時に輸送・貯蔵するにはきめ細かな環境制御が不可欠となる。多品目の青果物を同時に流通させる場合、実際の流通過程で各品目の障害発生時期を個々に予測できれば、流通環境を制御して低温障害を回避することが可能となる。最近 Lurie ら³⁾ が果実のクロフィルの蛍光特性が低温障害の誘起と関連することを報告するなど、障害発生予測に関連する指標の研究が重視されつつある。低温感受性の高い青果物では、障害発生に伴い電解質漏出割合が増大することが見い出されて、電気的特性に着目した研究は報告されているものの⁴⁾、青果物の個体レベルにおける電気伝導度を指標として低温障害との関連性を調べた報告はない。そこで著者らは、低温障害の発生時期を推定する手法の確立を最終目標に設定し、本研究では低温感受性の高い青果物（キュウリ果実およびナス果実）について、銅線電極を用いて電気伝導度の連続測定を試み障害発生程度と比較し両者の関連性を検討した。

材料および方法

1. 供試材料および貯蔵方法

低温感受性の高い青果物としてキュウリ果実‘三河みどり’‘南極一号’とナス果実‘玉名’‘千両’を、低温耐性の強い青果物としてアスパラガス‘メリーワシントン’とジャガイモ‘今金男爵’を用いた。これら全ての材料は岐阜市内の量販店から購入したため、収穫後の経過日数や等級などは不明であった。1 実験区あたり 5 果実供試し、2℃に調温したインキュベータ（日立CR-41, 406リットル）内に設置したプラスチック製角型デシケータ内に静置した。低温貯蔵開始と同時に、青果物の電気伝導度を連続的に測定する実験区ではデシケータ内を調湿（相対湿度97±2%）したが、予め障害を発生させておいた後に電気伝導度を経日的に測定する実験区では調湿しなかった。

2. 低温障害発生割合の評価

ピットイング（直径1mmから5mmの円型の小陥没）は果実表面に不均一に発生するため、低温障害発生割合を低温障害指標として表した。すなわち、図1のように基部、赤道部、果頂部に区分した果実表面において、ピットイング部位の面積の和が各部表面積の1%未満を低温障害指標0とし、1~25%を1（わずか）、26~50%を2（ふつう）、51~75%を3（ひどい）、76~100%を4（かなりひどい）とし、5果実の平均値を算出した。

3. 電気伝導度の測定法

電気伝導度は銅線電極（0.32mmφ、長さ2.5mの銅線2本一対の先端を極間距離2.0mm、有効極長2.0mmとした電極）を用い、果実表面に対して垂直に5mmの深さだけ突き刺してデジタル式電導度計（東亜電波工業製、CM-40S）で測定した。電気伝導度の連続測定は、1果実に計3点、基部、赤道部、果頂部に各1点電極を突き刺し、各値をデータロガー（日本電気三栄DL-1200）を通してパソコンで自動記録した。そして、実験開始時の電気伝導度の値を100%とした相対値の経時変化を求め相対電気伝導度として表した。一方、低温障害が発生した後に電気伝導度を経日的に測定する実験区では、低温障害が発生した5果実について、基部、赤道部、果頂部における果実表面のピットイング部位と正常部位を各3ヶ所選び、銅線電極を果実表面に対して垂直に突き刺してその都度電気伝導度値を計測して平均値を求めた。インキュベータは10℃の低温室内に設置し、測定はインキュベータの扉を開けた後できる限り速やかに行い、測定に伴う品温上昇を最小限に抑えた。

4. 電解質漏出割合の測定法

4. 電解質漏出割合の測定法

果実個体の赤道部付近を1cm幅で輪切りにし、切断片におけるピットイング部位および正常部位の下部果肉を表皮と平行に直径8mmのコルクボーラーでくり抜いて採取し（図1）、脱イオン蒸留水20mlに浸した。20℃で3時間静置した後、果実片の入っ

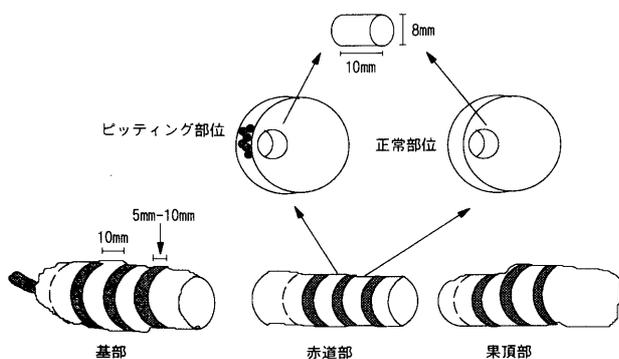


図1 電解質漏出割合測定試料の調製

た溶液の電気伝導度を簡易型ECメータ（科学共栄社CM-50D）で測定した（A値）。次に、この果実片を含む溶液をワーリングブレンダーで1分間ホモジナイズし、その溶液の電気伝導度を同様に測定し（B値）、 $(A/B) \times 100$ を電解質漏出割合（%）とした。

結果および考察

健全なキュウリ果実の基部、赤道部、果頂部における任意の位置に銅線電極を突き刺して、2℃貯蔵したときの低温障害指標と電気伝導度の経時変化を図2に示した。ピッチングの発生時期は部によって異

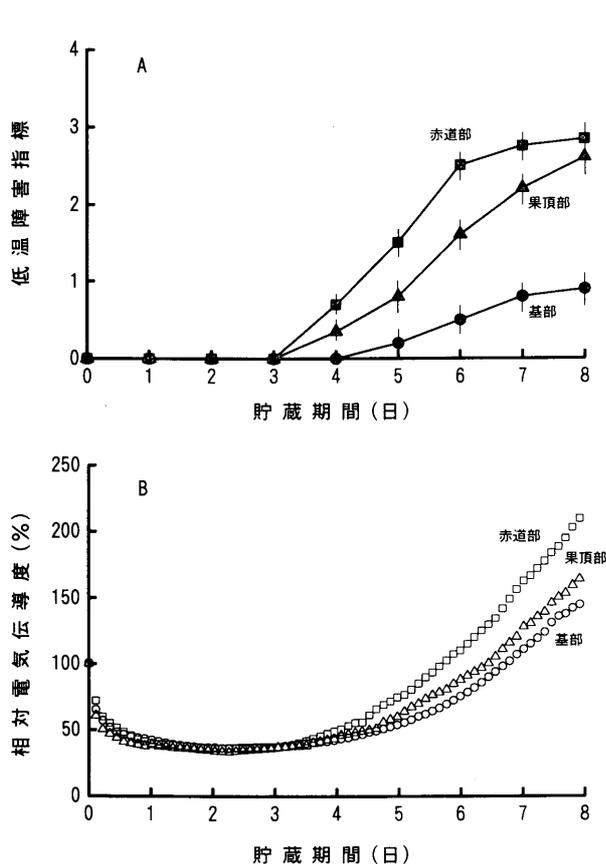


図2 2℃貯蔵したキュウリ果実の各部における低温障害指標(A)と電気伝導度(B)の経時変化（縦棒は標準偏差を表す）

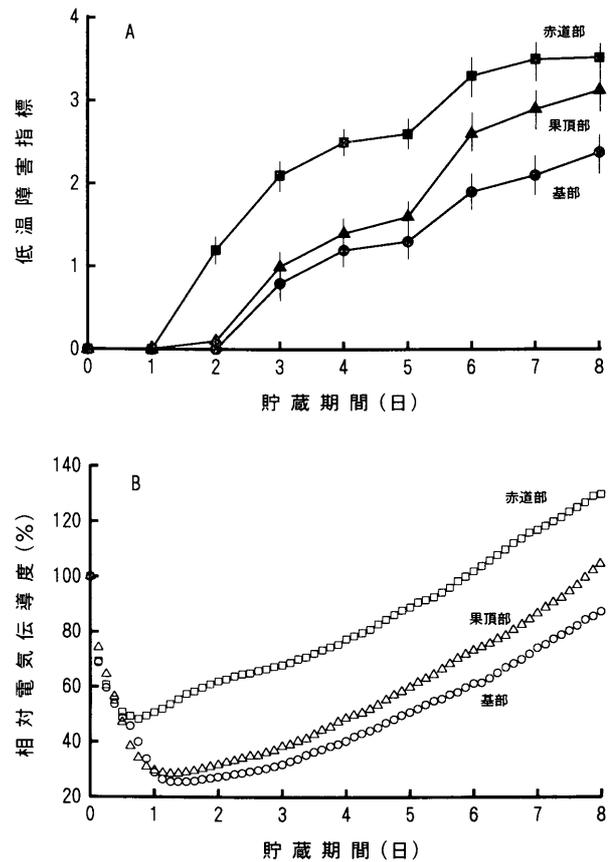


図3 2℃貯蔵したナス果実の各部における低温障害指標(A)と電気伝導度(B)の経時変化（縦棒は標準偏差を表す）

なり、赤道部と果頂部は貯蔵4日後、基部は5日後であった。また、障害発生程度も部によって異なり、貯蔵8日後の赤道部、果頂部、基部における低温障害指標はそれぞれ2.8、2.5、1であり、障害程度は基部<果頂部<赤道部の順に大きくなった。一方、電気伝導度は貯蔵開始後の品温の低下に伴って減少したが貯蔵1日～3日後まではほぼ一定であり、貯蔵3日～4日後にかけて増加しはじめ、各部の増加割合は基部<果頂部<赤道部の順に大きくなり、低温障害指標の大小関係と一致した。

図3にナス果実の各部における低温障害指標と電気伝導度の経時変化を示した。ナス果実においてもピッチングの発生時期は部によって異なり、赤道部、果頂部では貯蔵2日後、基部では3日後であった。また貯蔵8日後の各部における障害発生指標は2.3～3.5であり、障害程度は基部<果頂部<赤道部の順に大きくなった。電気伝導度は赤道部において貯蔵約18時間後から、基部、果頂部では約1.5日から増加し、各部の増加割合は基部<果頂部<赤道部の順に大きくなり、低温障害指標の大小関係と一致した。また、電気伝導度が増加しはじめる時期は低温障害の発生時期とほぼ一致した。予備実験において、溶液の電気伝導度は温度低下に伴い減少することを観察しているため、両果実において貯蔵開始直後から電気伝導度が減少したのは常温にあった果実を2℃に移したことによって品温が低下したためと考えられる。

両果実における全ての部で、低温障害指標と電気伝導度の増大関係が一致し、さらに、各部での低温障

害発生時期は電気伝導度の増加時期とほぼ一致したことから、電気伝導度は低温障害発生と密接に関連する指標であることが示唆される。このように電気伝導度が低温障害に関連する指標であり、障害発生に伴い増大する傾向を示すことから、低温耐性の強い青果物では低温貯蔵しても障害発生は無く、電気伝導度に変化は生じないはずである。そこで、低温耐性の強い青果物としてアスパラガスとジャガイモを2℃貯蔵して電気伝導度を連続測定したところ、低温障害は発生せず電気伝導度値は貯蔵期間を通してほとんど変化せず一定であった(図4)。またキュウリ果実とナス果実を低温障害が発生しない常温に貯蔵(20℃)

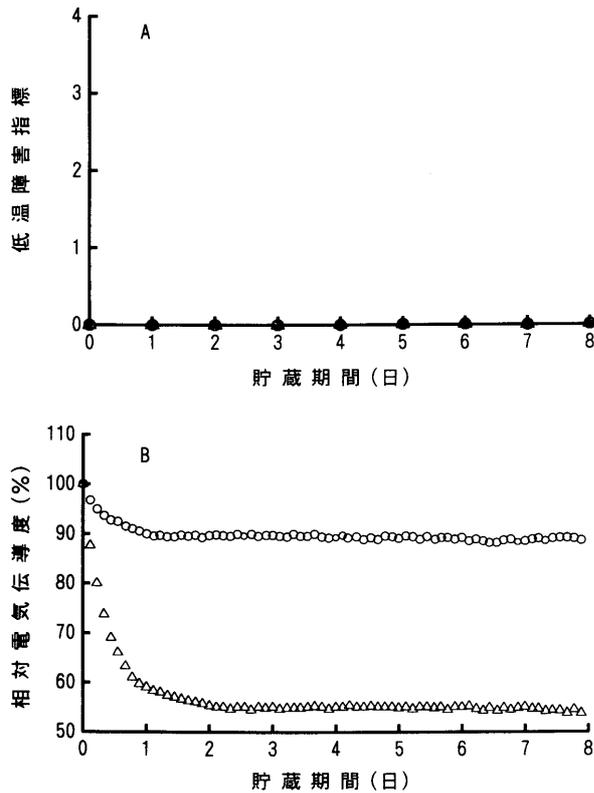


図4 2℃貯蔵したアスパラガス(△)とジャガイモ(○)の低温障害指標(A)と電気伝導度(B)の経時変化

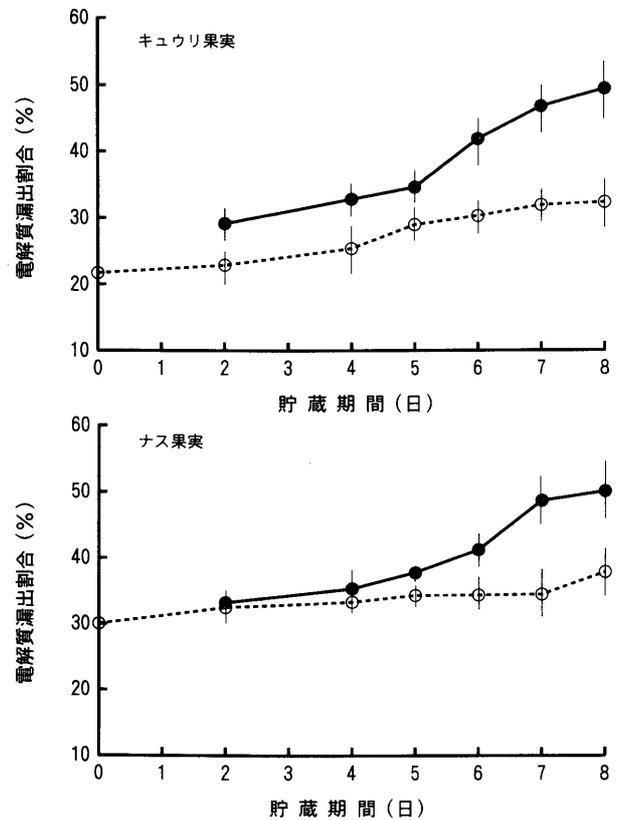


図5 2℃貯蔵したキュウリ果実とナス果実の赤道部におけるピッティング部位(●)と正常部位(○)の電解質漏出割合の経日変化(縦棒は標準偏差を表す)

しても全ての部で電気伝導度は変化せず一定であった。これらの結果は低温障害と電気伝導度の密接な関連性を支持し、図2および3で認められた電気伝導度の増大は低温障害に特有であることを示している。

低温障害の発生は組織細胞からの電解質漏出の増大と関与していることが報告されている⁵⁾。また、低温障害の発生機構としては膜変性説が広く受け入れられているため^{6, 7)}、本研究で観察された個体レベルの電気伝導度の増大はピッティングの下部果肉組織において膜変性が生じ、電解質の漏出が増大したためと考えられる。また、低温障害が発生した青果物においてもその果皮には障害を受けていない正常な果皮部分(正常部位)が観察されることから、障害を受けた果実においても部位によって電解質の漏出割合は異なることが推定される。そこでこのことを確かめるために、電気伝導度の連続測定で用いたキュウリ果実、ナス果実について低温障害発生後にピッティング部位およびピッティングが発生していない正常部位の下部組織の電解質漏出割合をそれぞれ測定して比較した。

図5に両果実のピッティング部位と正常部位の電解質漏出割合の経日変化を示した。両果実においてピッティング部位の電解質漏出割合は貯蔵期間を通して正常部位より常に大きな値を示した。また、ピッティング部位では貯蔵5, 6日後から大きく増加したが、正常部位の値もわずかに増加する傾向にあり、両者の差は経日的に大きくなった。これらの結果は、低温障害を受けたキュウリ果実、ナス果実においてピッティング部位の下部果肉では正常部位に比べて多くの電解質が漏出し、細胞組織における膜変性がかな

り進行していることを示している。また、低温障害が進行するとピット部位だけでなく正常部位においても電解質の漏出が若干進行していることを示唆している。

低温貯蔵の開始時には電気伝導度測定用の銅線電極を適当に突き刺して固定した部位（2 mm間隔で突き刺した2本の銅線間部位）における障害発生の有無を推定することはできない。そのため図2および3に示した個体レベルでの電気伝導度は、果皮表面全体に不均一に発生するピットと間接的には関連づけられるものの、低温障害発生と直接的に結びついていると断定することはできない。上述したようにピット部位の下部果肉における電解質漏出は正常部位に比べて進行していることが示唆され（図5）、また、電気伝導度が低温障害の発生に伴い増大する傾向を示したことを考え合わせると、果皮に不均一に発生したピット部位における電気伝導度は正常部位における値より大きく、また両者の差は低温障害の進行につれて大きくなると推測される。銅線電極を用いれば、障害が発生した果実についてピット部位と正常部位の電気伝導度を区別して測定することができる。そこで、両果実について低温障害の発生後にピット部位と正常部位の電気伝導度をそれぞれ測定し、低温障害と電気伝導度の関連性を比較検証した。

図6および7にそれぞれ2℃貯蔵して低温障害が発生したキュウリ果実およびナス果実の基部、赤道部、

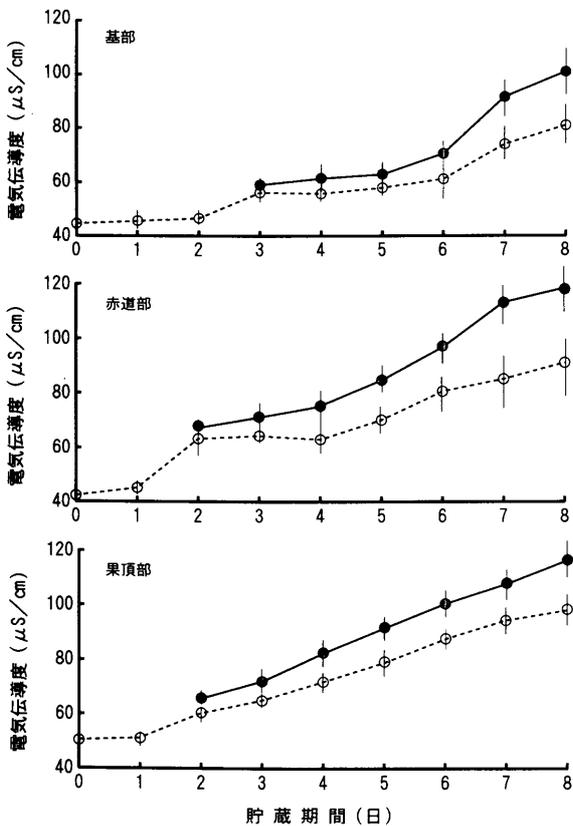


図6 2℃貯蔵したキュウリ果実におけるピット部位(●)と正常部位(○)の電気伝導度の経日変化(縦棒は標準偏差を表す)

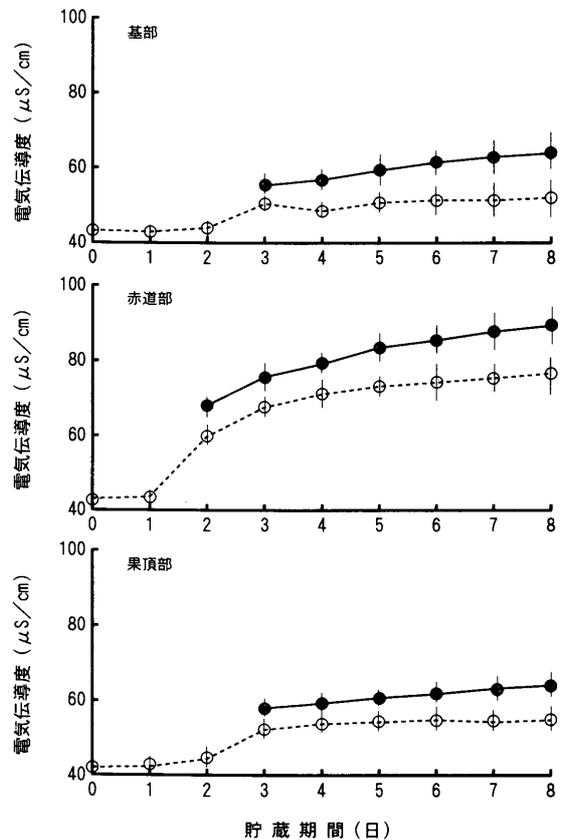


図7 2℃貯蔵したナス果実におけるピット部位(●)と正常部位(○)の電気伝導度の経日変化(縦棒は標準偏差を表す)

果頂部におけるピット部位と正常部位の電気伝導度の経日変化を示した。貯蔵期間を通してキュウリ果実、ナス果実共に基部、赤道部、果頂部においてピット部位の電気伝導度が正常部位の値を上回った。このことは銅線電極によって測定される個体レベルの電気伝導度は電解質の漏出を伴う低温障害発生と密接に関連することを示唆している。また両果実においてピット部位および正常部位の電気伝導度は時間経過と共に増大する傾向を示した。この結果は低温障害の発生に伴って電気伝導度が増大するのは果皮に発生するピット部位だけではないことを示している。すなわち生理障害を誘発する低温度効果は果実全体に及び、果皮組織の破壊が生じた箇所に低温障害の症状が出現すると考えられる。キ

キュウリ果実、ナス果実の低温障害の発生メカニズムを顕微鏡観察から考察した報告^{8, 9)}によれば、低温による細胞の損傷が表皮細胞より数層内部で生じることによって内部柔組織が崩壊し、その後、表皮細胞の構造変化が生じるとされており、本結果もこれらの報告と矛盾しなかった。図5のように低温障害が発生した後、時間が経過するにつれて電解質の漏出が増加していることから低温障害は経日的に進行していると考えられる。さらに、図6および7において同一個体におけるピッチング部位と正常部位の電気伝導度の差が経日的に微増する傾向を示していることを考え合わせると、個体レベルで測定される電気伝導度値は低温障害の進行と関連した指標を探る上で着目すべき指標であることが示唆される。

低温障害が発生する温度帯は青果物の品目によって異なるため、低温感受性の高い青果物を数品目混載して同時に大量輸送し貯蔵する場合は慎重に温度制御する必要がある。本研究では低温障害の発生時期を予測できる指標を探るため、果実の電気的特性に着目し個体レベルで電気伝導度を測定した。銅線電極を突き刺した果実では挿入部位の組織が破壊されるため、それに伴って発生する障害は回避できない。しかし、電気伝導度は低温障害が発生する時期に増加する傾向を示すことから個々の品目について1個体の電気伝導度を測定するだけで同一品目全体の障害特性を評価できる可能性がある。今後、低温障害の発生時期を推定する手法を工夫していく上で電気伝導度は注目すべき指標である。

文 献

- 1) Hatton, T.T. : Reduction of chilling injury with temperature manipulation. in "Chilling Injury of Horticultural Crops" (Wang, C.Y. ed). CRC Press, Florida, 269-280. 1990.
- 2) Forney, F.F. and Lipton, W.J. : Influence of controlled atmosphere and packing on chilling sensitivity. in "Chilling Injury of Horticultural Crops" (Wang, C.Y. ed). CRC Press, Florida, 257-268. 1990.
- 3) Lurie, S., Ronen, R. and Meier, S. : Determining chilling injury induction in green peppers using nondestructive pulse amplitude modulated (PAM) fluorometry. J. Am. Soc. Hort. Sci., **119** (1), 59-62. 1994.
- 4) 伊藤卓爾・中村怜之輔：数種野菜の低温障害発生に及ぼす温度変動の影響。園学雑。 **53**(2), 202-209. 1984.
- 5) 辰巳保夫・岩本光弘・邨田卓夫：ウリ科果実の低温障害と果実組成切片からのイオン漏出について。園学雑。 **50**(1) : 114-119. 1981.
- 6) 辰巳保夫・邨田卓夫：青果物の低温障害に関する研究：(第1報)キュウリ果実の低温障害と生体膜の変性について。園学雑。 **47**(1) : 105-110. 1978.
- 7) Murata, T. : Relation of chilling stress to membrane permeability. in "Chilling Injury of Horticultural Crops" (Wang, C.Y. ed). CRC Press, Florida, 201-210. 1990.
- 8) 辰巳保夫・前田恵子・邨田卓夫：キュウリ果実の低温障害に伴う表皮構造の変化。園学雑。 **56** (2) : 187-192. 1987.
- 9) 阿部一博・岩田隆・緒方邦安：ナス果実の低温障害に関する研究(第1報)障害の一般的様相とピッチングの顕微鏡観察。園学雑。 **42**(4) : 402-407. 1974.