

総合論文

園芸生産物の流通環境条件に関する生理学的考察

中 村 怜之輔
(生産物利用学講座)

Physiological Aspect of Postharvest Handling Conditions in Horticultural Crops

Reinosuke Nakamura
(*Department of Agricultural Products Technology*)

The physiological responses of fruits and vegetables to transit conditions such as vibration, temperature, humidity and air composition were investigated as a basic problem of postharvest handling of horticultural crops.

Temperature: The respiratory metabolism of some fruits and vegetables was disturbed by rapid change of ambient temperature exceeding the range of 20 °C. Quality deterioration of some vegetables under fluctuating temperatures was rapid compared to those held under constant temperature. These effects of temperature on the physiology and keeping quality of horticultural crops were different depending on the kind of commodity and its developmental stage.

Air composition: Critical O₂ concentration estimated by extinction point, the lowest O₂ level at which the respiratory quotient remains at 1.0, was different for the various horticultural crops. The respiratory responses of fruits and vegetables to high CO₂ were different and depended on the kind of commodity and its developmental stage. In non-climacteric fruits and several vegetables, in which ethylene evolution was not detected, high CO₂ had little or no effect at all on respiration. In some vegetables such as cucumber and lettuce treated with high CO₂, ethylene evolution was induced during or after treatment and then respiration increased. These results indicate that the respiratory response of fruits and vegetables to high CO₂ might be mediated through the effects of CO₂ on ethylene synthesis and/or action.

Humidity: The respiratory responses of horticultural crops to relative humidity seemed to be classified into three groups; accelerative, inhibitive and insensitive at low humidity. In climacteric fruit such as bananas, ripening was accelerated under low humidity. Softening was observed in some fruits and vegetables under low humidity. The induction of softening seemed to be independent of endogenous ethylene concentration. These results may indicate that polygalacturonase activity is induced and then degradation of cell wall polysaccharides is initiated directly by

water deficit stress under low humidity.

Vibration: Some fruits and vegetables were physiologically sensitive to artificial vibrating conditions which were not sufficient to produce direct injury. Through intensive vibration, some metabolic pathways were suppressed while others were activated. As a result, intensive vibration above the critical point for every fruit and vegetable caused quality deterioration.

Based on the above observations, improvement of postharvest handling techniques of horticultural crops are discussed from a physiological point of view.

Key words : horticultural crops, postharvest handling, postharvest physiology, respiration, ethylene biosynthesis

1. 序 章 — 流通科学の展開

園芸生産物は、流通工程を経て栽培地から消費地に届けられて始めて真に生産物となる。従って、園芸生産の概念は栽培の終点である収穫で完結するものではなく、収穫後の流通工程をも含めたものとして理解すべきである。その上で、流通工程に関わる諸技術とその基礎としての成熟・老化の制御を一つの研究領域として捉えようとするのが園芸生産物利用(園芸利用)の科学(Postharvest Horticulture)の目標である。今、流通工程は時間的及び距離的の両面で拡大の一途をたどっており、時間的には栽培技術との組合せによって周年化に、距離的には国境を越えて地球レベルにまで達している。この傾向は今後一層進展することが予想され、園芸生産物の高品質化及び安定供給化の上で、流通工程の科学的展開と整備はますます重要性を増してゆくものと考えられる。

流通工程は、収穫を始点として、その後選別、包装、予措、箱詰、輸送、貯蔵などの各工程が連結されたものである。これら各工程は、それぞれ独自の技術で成立しているが、とりわけ輸送工程は生産物の移動工程であり、流通工程の中でも中心的な意義を持っている。そのため、従来輸送工程を指して流通工程と呼ぶ場合もあるが、これは狭義の解釈であろう。また貯蔵の概念も、意図された貯蔵と、輸送工程中の一時的保管や輸送工程自体の長期化との間に判然とした区別をつけることはむしろ不自然であろう。従って、流通工程を広義に解釈した上で、貯蔵はその間での一時的停滞として捉え、貯蔵を流通工程の静的な場面、その他の工程を動的な場面とし

て理解する方が合理的ではないかと考えられる。

流通工程のうち貯蔵工程に関わる基礎研究の歴史は古く、それに基づいた技術展開も目ざましいものがある。一方、その他の工程、とりわけ輸送工程に関する基礎研究の歴史は浅く、技術的にみても輸送工程は現実に存在しても輸送技術として整備されているかどうかは疑わしい状況であるのが現状である。今後、輸送工程の広域化傾向の中で、早急に技術確立が望まれる分野であろう。

日本の青果物輸送技術革新は、1955年の鉄道技術研究所(鉄道技研)と岩手農試の共同によるリンゴの輸送試験より始まったといわれている。その後約10年間、鉄道技研と各県農試とで多くの輸送試験が反覆され、その成果に基づいて日本の青果物輸送の形態が木箱から段ボール箱に切り換えられた。それまでもいくつかの輸送試験は散見されるものの、実際に技術革新が行われたという意味でこれが青果物輸送技術の科学的展開の幕明けであり、その経過は北尾次郎(1960)の総説によくまとめられている。その後、1965年には科学技術庁の勧告に基づき、ワールドチェーン整備に向けた取り組みが急展開を始めた。また、九州大学の中馬 豊とその研究グループによって、選果、包装、予措、輸送の各工程に関わる基礎研究が精力的に行われ、流通の科学は大幅に進展した。航空輸送については、琉球大学の秋永孝義が体系化を目指して地の利を生かした独自の研究を展開しており、その成果は高く評価されている。

いうまでもなく、園芸生産物は物体であると同時に生物体である。従って、流通技術革新は、対象物の物性的及び生理的特性に基づいて、根拠のある施設・設備の改善や取り扱い方法の改善を行う形で進

められなければならない。そこで筆者らは、1970年以來、主として輸送技術改善の基礎資料を得る目的で、生理的側面からの基礎研究に取り組んできた。研究の手法としては、まず現実の輸送システムの実態調査を行い、第1段階として直ちに改善点の指摘を行う。次に第2段階として、実際の輸送環境に沿った形でシミュレーション研究を基礎的にを行い、その成果に基づいて基本的改善方向を設定した上、その実現化に向けての輸送システム改善を具体的に提示してゆく。この2段階を組み合わせながら、できる所からたとえわずかずつではあっても、技術改善の推進に取り組もうとしてきた。

このような考え方に基ついて、まず輸送環境特性を振動・衝撃、温度、湿度及び空気組成の4項目に分けて把握した上、それぞれについてシミュレーション研究を実施し、輸送環境を中心としながらも広く流通環境に対する青果物の生理的反応を再整理することを目標として研究を進めた。その研究成果は、関係学術誌で公表した上これまでも随時取りまとめて提示してきたが^{2,3,4,5,6,7)}、本稿はそれらをさらに取りまとめ、その後得られた研究成果を加えて、筆者らの研究成果を中心として園芸生産物の流通技術改善の展開方向について論じようとしたものである。

2. 流通環境特性

流通工程のうち、貯蔵工程では環境は制御されているが、輸送工程での正確な環境制御は困難であり、時と場合によって異なってくる。正確な意味では二度と同じ条件は得られないどころか、極端には輸送環境が不明の場合も見受けられる。従って、輸送技術改善を目指した研究は、まず、輸送環境特性の把握から始められるのが通例である。筆者らも、各種青果物について10回の輸送環境調査を実施し、これまでの調査結果を含めて輸送環境の概要を把握しようとした。

1) 振動・衝撃

輸送中、多かれ少なかれ振動・衝撃は避けることはできないが、強度や回数は輸送手段によってかなり異なってくる。

陸上輸送の場合、鉄道では振動・衝撃の強度は1 G以下であることが示されている⁸⁾。トラックでは、ほとんどが1 G以下であるが、2 Gや3 Gの強度も多く発生することが実測されており^{9,10)}、振動回数も

1 kmあたり300回以上に達する¹⁰⁾。トラックでは、構造と大きさ、道路条件、走行条件、積荷量などによって振動特性が異なってくるのは当然であるが、同じトラックでも積荷場所や荷積方法によっても大きく異なってくる。積荷場所との関係を見ると、下段前部で最小、上段後部で最大になる傾向が共通して認められる³⁾。

海上輸送の場合、振動強度からみると0.1—0.2 G程度であり、これは主として船のエンジン振動に由来するものとされている^{2,11,12)}。近年、長距離輸送にフェリーが利用されることが多くなっているが、時間及び距離の短縮、燃費の節約、運転者の労働条件改善などの点で有利であるとともに、振動軽減の点からも青果物の鮮度保持の上で有利であるといえる。ただし、波が荒い場合には、船の動揺による圧迫の影響は無視できないものと思われ、別な観点からの解析が必要であろう。

航空輸送の場合、飛行中の振動強度は小さく、ほとんど問題にならないが、空港での荷積時の取り扱いが粗雑であり、回数は少ないが予想外に大きい振動・衝撃が生じる場合がある¹³⁾。航空輸送の場合、ただ時間短縮効果のみで評価するのではなく、前後の荷積技術改善を含めて、システムとしての航空輸送技術の確立を目指すべきだろう。

荷積時の振動・衝撃が大きいことは一般的にいえることであり、箱の衝突や落下の場合には10 Gに及ぶ衝撃が生じることがあって、ただ1回だけであっても箱内青果物の傷害の原因になることがある¹⁰⁾。

2) 温度

トラック常温輸送の場合、積荷温度は外気温の影響を受けることは避けられない。夏季高温時の昼間走行の場合、晴天ならば積荷最上段の箱内温度は35℃にもなり、しかも一旦上昇すると箱単位で扱われるかぎり低下しにくく、高温状態が長時間にわたって続くことが多い。雨天時や寒冷期には逆に最上段の箱内温度は低下傾向となり、最下段で高くなる場合が多い。おそらくトラックのエンジン熱や走行に伴う発熱に由来するものと考えられる²⁾。また振動による箱内摩擦熱によって果実温度が1—2℃上昇することも知られている¹⁴⁾。

近年、野菜を中心として予冷出荷の普及は目ざましいものがあり、果実や切花にまで拡大している。このこと自体は鮮度保持技術として好ましいことで

あるが、その後常温輸送が行われることが多い現状の中では、保冷に十分配慮することが必須条件となる。保冷が不十分であると、輸送中に急激な温度上昇が起これ、短時間で外気温に戻る実測されている⁹⁾。このような急激な温度変化は、ただ1回であつても生理的悪影響を誘導することも考えられ、またせっかくの予冷効果も疑わしくなってくる。予冷技術の導入によって、一般的に温度変動が大きくなる傾向にあると考えられ、予冷はその後の保冷技術を含めて考えるべきであろう。

トラック低温輸送の場合、積荷温度は外気温と冷却効率の両方に支配されるが、低温トラックの冷却効率はそれ程高いものではなく、輸送中の温度変動はかなり大きくなる場合が多い。

航空輸送の場合、空港で屋外に放置されるとコンテナ内温度は短時間に上昇し、40℃にも達することが実測されている。飛行中は急激に低下するが、到着後に再び急上昇に見舞われ、短時間に温度の急変が繰り返されることが指摘されている^{13,15)}。航空輸送技術は空港施設の改善を含めて考えてゆく必要がある。

3) 湿度

輸送中の箱内湿度は、箱の材質、緩衝材の種類、内容物の蒸散活性などによって異なってくるが、同時に積荷全体が開放系か密閉系かによつても変化様相は異なってくる。普通の段ボール箱の開放系積荷の場合、箱内湿度は80-90%RHに保たれる場合が多いが、箱内温度が上昇するような条件では時に65%RH程度にまで低下することが実測されている^{1,2,16,17,18)}。海上輸送の場合あるいはコンテナに密閉された場合には、1箱単位では開放系であつても積荷全体として密閉系となり、船倉またはコンテナ内湿度は数時間ではほぼ飽和状態に達することが多い^{2,12,19,20,21)}。一方、航空輸送の場合、機内湿度は10-15%RHとなり、コンテナを使用すれば支障は生じないものの留意すべき点であろう¹³⁾。

湿度は温度と連動して変化するため、箱内温度が上昇するような条件下では急速な湿度低下が起これ、萎れの原因になるとともに生理的にも悪影響が生じることが予想される。逆に温度低下が起これると一時的過湿状態となり、結露の原因となる。予冷後に急速な箱内温度上昇が起これ、品温との差が大きくなるとやはり結露が生じることがある。いずれにしても、結露は急速な温度変化が起これた証拠であり、

好ましいことではない。さらに、段ボール箱の強度が吸水によって低下し、箱の破壊や荷くずれが生じ、二次的に箱内青果物に損傷が生じることがある。

4) 空気組成

箱内空気組成の変化様相も、積荷全体が開放系か密閉系かによつて大きく異なってくる。普通の段ボール箱の場合、一見は密閉度が高いように見えるが、箱面や間隙からのガス交換は十分に行われており、生理的に影響が生じるほどの空気組成の変化は起これない^{1,16,17,18)}。とくに、振動条件下ではガス交換が促進され、静置条件下よりも箱内空気組成の変化は小さい¹⁴⁾。

コンテナに密閉されるなどで積荷全体が密閉系におかれると、箱単位では開放系であつても積荷全体としては密閉度に応じて酸素濃度の低下及び炭酸ガスやエチレン濃度の上昇が起これる。内装にプラスチック・フィルム包装が使用された場合、フィルムのガス透過度に応じた空気組成の変化が起これるのは当然である²²⁾。エチレンは輸送中には傷害による発生が多くなる条件におかれていることに十分留意する必要がある。

3. 温度

1) 輸送工程での変温の影響

園芸生産物の生理活性は温度の関数であり、0℃から40℃付近までの温度域では温度上昇に伴って活性も高くなる。しかし、15℃と30℃に不連続点があり、15℃以下ないしは30℃以上の温度域では生理的にみて変調が生じることとはよく知られていることである。15℃から30℃の間の温度域では、生理活性は温度変化に伴ってほぼ可逆的に変化すると考えてよいが、温度変化が不連続点を越えると、変化の程度、保持時間、生産物側の資質などに応じて、生理的に部分的または全面的な不可逆的变化が誘発される。低温側での不可逆的变化が低温障害であり、高温側でのそれが高温障害である。実際に、具体的障害として表現されてくる限界温度は、生産物の種類や資質によってかなり異なってくる。

輸送工程での温度環境は、常温輸送が主体となっている日本の現状では、短時間にかなり大きい変動が生じることが避けられないことであり、とくに予冷の導入によって温度変動は一層大きくなる傾向にある。高温側では夏季高温時には箱またはコンテナ

内温度が35℃にも達することがあり、低温側では冬季厳寒期には15℃以下になることは十分にあり得ることである。従って、輸送工程で生理的にみて不連続点を越える温度変動が生じる可能性があることを前提として、温度管理や品質管理に配慮する必要がある。

一般に、園芸生産物の温度管理は、常温、低温にかかわらずできるだけ定温に保持するのが原則である。一方、輸送工程での温度管理はむずかしく、定温の原則は実情に合致しないことも事実である。輸送工程での温度管理を考察する場合の基礎資料としては、変温することを前提にした上で、変温と生産物の生理や鮮度保持性との関係を知ることが実情に即した考え方ではないかと思われる。そこで、筆者らは各種青果物について急激な変温下での生理活性の変化や変温耐性について調査を行った。

2) 急激な変温の生理

夏季高温時に、予冷後常温でトラック輸送されたり、航空輸送されたりした場合、ただ1回ではあるが短時間で急激な温度変動が生じる場合があることは先述した通りである。このような場合、急激な温度変動に伴って呼吸活性を始めとした生理活性の急激な変動が起こることが予想されるが、その実態についての情報は少ないのが現状である。その理由は、刻々と変化する温度条件下で、それに対応した呼吸活性を迅速かつ正確に計測することが技術的に困難であることに主として由来する。

このような技術的な困難性を解決するために、筆者らはマイクロコンピュータ、ガスクロマトグラフ及び恒温器を組み合わせて、コンピュータ制御で任意の変温条件を設定しながら刻々と変化する温度下での青果物の炭酸ガス排出量、酸素吸収量及びエチレン生成量を自動的に同時計測できる装置（ガス代謝自動計測装置）を開発した^{23,24)}。この装置で、任意の変温条件を設定しながら、各種青果物の呼吸活性の変化様相を調査した。

例えばキュウリの場合、5℃から35℃まで3時間または6時間で直線的に昇温させると、炭酸ガス排出量及び酸素吸収量の両面からみて呼吸活性が一時的に異常に高くなり、やがて35℃での値に収束してゆくことが明らかになった²⁵⁾。この現象を呼吸の過上昇現象と呼ぶことにする。この過上昇はゆるやかに昇温させた場合や上昇幅が10℃になるとほとんど

認められなくなり²⁵⁾、また青果物の種類によって過上昇を起こしやすいものと、ほとんど起こさないものがあることが明らかとなった²⁵⁾。このような計測を各種青果物について反覆して行い、その結果に基づいて急激な温度上昇に伴う生理的反応からみた分類を提案した^{6,26)}。

ここにみられた過上昇は、急激な温度上昇によって呼吸活性に一時的に混乱が生じることを示すものであり、生理的にみて好ましいことではない。野菜類の多くは過上昇を起こしやすく、急激な温度上昇はできるだけ避けることが望まれる。たとえやむを得ず温度上昇が起こることがあっても、上昇幅は10℃以下にとどめる配慮が必要であろう。

モモや成熟トマトのようにエチレンを生成しているもの場合、急激な昇温によってエチレン生成は一時的に急激に促進され、やがて低下した²⁶⁾。輸送工程でエチレン生成が増加するような条件は、鮮度保持の上で極力避ける必要があり、この点からみても急激な温度上昇は好ましいことではない。

3) 変温耐性

平均温度は同じ値であっても、小さな変動が反覆して生じた場合の青果物に対する影響を把握するため、種々の変温幅で周期的な変温条件を人為的に設定して、鮮度保持性との関係を基礎的に調査した^{27,28,29,30,31,32)}。例えばナスの場合、10℃定温条件下と±2℃、±5℃及び±7.5℃の変温条件下の商品性限界に達するまでの日数を比較すると、±5℃ではもはや10℃の効果はほとんどなくなり、20℃定温下と同じ程度になった²⁸⁾。同じ手法で各種青果物について反覆調査したところ、わずかな変温でも敏感に悪影響を受けて急速に鮮度低下を起こすものと、変温があってもあまり悪影響を受けないものがあることが明らかになった^{28,29,32)}。さらに、低温耐性の小さい青果物では、変温によって低温障害が軽減されることが認められた³⁰⁾。このような調査結果を基にして、変温耐性で青果物を分類することを提案した^{6,7)}。

変温耐性の小さいものは、輸送工程での厳密な温度管理が必要となるが、変温耐性の大きいものは許容される範囲内でやや粗い温度管理でも實際上支障は生じない。温度管理の精度を種類ごとに設定することも、輸送工程の実情に即した鮮度管理技術ではないかと考えられる。

4. 空気組成

1) 低酸素条件の生理

園芸生産物の鮮度保持のための基本技術の一つとして、環境空気組成を人為的に調節して低酸素・高炭酸ガス条件におくことが有効であることはよく知られていることである。実際にも、CA 貯蔵やプラスチック・フィルム包装の形で使われている。その原理は、酸素及び炭酸ガスの濃度に応じて呼吸活性が抑制され、鮮度保持上有益に作用してくるものと考えられてきた。

酸素濃度の低下によって呼吸抑制が起こることは、呼吸作用の原理や多くの実験例からみて明確である。多くの基礎研究に基づき、実際の鮮度保持技術としては嫌気呼吸が誘発されない範囲でできるだけ低い濃度という意味で、5～3%が適切な濃度とされている。この点について、筆者らも自作のガス代謝自動計測装置^{23,24)}を活用して、各種青果物について吸収酸素量と排出炭酸ガス量の両面から再検討を行った。その結果、嫌気呼吸が誘発される限界酸素濃度は種類によって異なり、トマトやウンシュウミカンでは5%、モモやリンゴでは3%であり、カキではほとんど0%に近い値となった³³⁾。このことから、低酸素条件は青果物の種類ごとに設定する必要があると考えられる。また、エチレンを生成している果実では、低酸素条件下では生成量が抑制されることが明らかとなり³⁴⁾、この面でも鮮度保持上で有効である。

2) 高炭酸ガス条件の生理

従来、高炭酸ガス条件の呼吸抑制の根拠としては、青果物体内からのガス拡散や呼吸基質の消耗が抑制されること、解糖系やTCA回路に関わる酵素活性が阻害されることなどが指摘されてきた。しかし、これらはいずれも間接的なものであり、明確な根拠にはなり得ないと考えられる。また、直接的に個体レベルで呼吸抑制を実験的に示した例は限定されたものであって、これも高炭酸ガス条件による呼吸抑制の根拠にはなり得ない。高炭酸ガス条件下で、微量の排出炭酸ガス量を測定することが技術的に困難であることに主として由来するものと考えられる。

そこで筆者らは、ガス代謝自動計測装置を用いて、高炭酸ガス条件下での呼吸反応をエチレン生成と関連づけながら反覆調査した。酸素濃度を20%に保つ

た上で、60%炭酸ガスで短時間処理した場合の酸素吸収量からみた呼吸活性は種類によって大きく異なり、モモ、トマト、バナナ、ブロッコリーなどでは明らかに呼吸活性の低下がみられたが、ナシ、ブドウ、ウンシュウミカン、ニンジンなどでは呼吸活性に変化はみられず、カキや野菜類の多くでは逆に処理中または処理解除後に呼吸活性の増加が認められた^{35,36,37)}。このような種類による反応の差は、慣行のCA貯蔵条件に近いガス条件下でも同様であった^{38,39)}。さらに、高炭酸ガス条件下で呼吸抑制がみられたブロッコリー、変化がなかったニンジン及び呼吸促進がみられたキュウリについて、高炭酸ガス条件の影響をミトコンドリア・レベルで調査したところ、個体レベルでの調査結果とよく一致した⁴⁰⁾。一方、エチレン生成との関連をみると、高炭酸ガス条件下で呼吸抑制がみられた青果物はすべて処理時にエチレン生成を行っているものであり³⁷⁾、しかもエチレン生成は高炭酸ガス条件によって明らかに抑制された^{41,42)}。これらの結果を総合すると、高炭酸ガス条件の呼吸抑制効果はエチレンを介したものであり、直接的に呼吸抑制効果があるかどうかは疑わしいものと思われる。

高炭酸ガス条件による呼吸変動はエチレン生成に対する影響と密接に関係することが明らかになったので、高炭酸ガス条件とエチレン生成系酵素活性との関係について詳細に検討した^{43,44,45,46,47)}。その結果、高炭酸ガス条件でエチレン生成が抑制される青果物ではACC合成酵素及びACC酸化酵素活性のいずれも抑制され、エチレン生成が誘導される青果物ではACC合成酵素活性が誘導された。さらに、カボチャの傷害誘導ACC合成酵素活性の高炭酸ガス条件による抑制は、mRNAへの転写段階での抑制に起因することが明らかになった。

以上から、高炭酸ガス条件の鮮度保持効果を、単純に呼吸抑制と結びつけて一括して解釈する従来の考え方には無理があるように思われる。そこで、筆者らの研究成果に基づいて、高炭酸ガス条件に対する生理的反應の差から青果物を分類することを提示した⁷⁾。呼吸活性及びエチレン生成の両面からの反応特性に応じて、個々に高炭酸ガス条件の鮮度保持効果を考察してゆく必要がある。

高炭酸ガス条件はエチレン作用の阻害効果⁴⁸⁾やカビ発生防止効果⁴⁹⁾もあり、多くの要因を含めて総合

的に発揮されるものと考えられる。実際に、高炭酸ガス条件は鮮度保持効果を持つことは確かであり、有効な園芸生産物の鮮度保持技術として基本的なものであるだけに、今後多面的な基礎研究が必要であろう。

5. 湿度

1) 乾燥の生理

園芸生産物は収穫後も生理作用の一つとして蒸散作用を継続しているが、自らの調節機能はほとんど失われてしまっており、蒸発に近い形になっている。従って、流通工程が開放系である場合、温度や湿度などの環境条件に応じて多かれ少なかれ水分欠乏条件下におかれていて、表裏一体の問題として萎れを避けることができない状況にある。一般的には、萎れ防止の意味から蒸散はできるだけ抑制される方向で条件設定が行われており、85~90%RHが目標とされる場合が多い。この目標値は、強く萎れない程度に、かといってあまり過湿にならない程度にということであって、明確な生理的根拠に基づくものではない。

これまでも、湿度条件と呼吸活性との関係について、いくつかの青果物の種類及び品種で論じられてはいるものの、必ずしも一致した見解が示されているわけではない。同一種類でも品種や研究者によって異なり、低湿条件で呼吸抑制が起こる場合もあれば逆の場合もあり、またほとんど影響のない場合もあって、一定した傾向はみられない。このことは、種類による差か、あるいは低湿に伴う萎れに起因する他要因が複合的に作用してくるためかとはよくわかっていなかった。

このような背景の中で、筆者らは低湿に伴う萎れと青果物生理との関係を整理するために、青果物に対する萎れの内的影響を中心に検討を加えた。まず、萎れに対する青果物の生理的反応を総括的に知ることを目的として、63種類を対象にして異なった湿度条件下での呼吸活性とエチレン生成の変化様相を調査した。その結果、湿度に対する生理的反応は、呼吸活性からみて大きく3類型に分かれた。①低湿により呼吸促進：バナナ、セイヨウナシ、キウイフルーツなどのクライマクテリック型果実、多くの果菜類、根菜類中の直根類やイモ類。②低湿により呼吸抑制：チュウゴクナシ、ニホンナシ、イチゴ、大部

分の葉菜類、茸類、花卉類。③低湿・高湿にかかわらず呼吸差なし：ブドウ、オレンジ。エチレン生成反応も種類によって異なり、さらにいくつかの類型に分かれることが明らかになった⁵⁰⁾。

本研究では、利用部位別に果実、葉、茎、花、根、未熟種子、子実体に分けたが、それぞれ外部形態や内部形態が異なり、また生理活性も大きく異なることから、同じ低湿条件におかれても萎れ速度及び程度が異なってくるのは当然のことである。萎れ、つまり水分損失を一種のストレスと考えた場合、萎れの量的・質的な差に伴ってストレスの程度も異なり、それに基づく生理的反応も異なってくることは容易に推察されるところである。また、一般に植物器官は多かれ少なかれエチレン生成能力を持っており、水分損失ストレスがエチレン生成誘導の引き金になることが推察される。この場合、ストレスに対する感受性は、種類、発育相、部位などの植物側の生理的特性によって異なってくるものと思われる。従って、本研究で示された種類による低湿条件に対する生理的反応の差は、萎れ速度及び程度に基づくストレスの強弱と、植物側の生理的特性に基づくストレスに対する反応の強弱とが、複雑に重なり合った結果として生じてくるものと考えられる。このような考え方に基づけば、低湿に伴う萎れと呼吸活性との関係を単純に促進的または抑制的といった一つの傾向で表現するには無理があり、青果物の種類によっていくつかの類型に分けて考える必要があることを提案した⁵⁰⁾。

低湿に伴う萎れとエチレン生成との関係について、キュウリ、ナス及びピーマンについてさらに詳細に調査した⁵¹⁾。その結果、萎れの程度が大きくなるに従ってエチレン生成量は増加し、また生成誘導の時期も早くなった。さらに、萎れが急速に起こる条件下でエチレン生成量は多くなることが認められた。低湿によって一旦エチレン生成が誘導されると、その後高湿条件に戻してもエチレン生成は継続することが明らかになった。このような知見は、実際に流通工程での湿度制御を考察する場合の基礎問題として重要である。

バナナやトマトでは、低湿条件がクライマクテリック・ライズの開始時期及び程度の両面で促進的に作用することが認められ^{52,53,54)}、このことはおそらくクライマクテリック型果実に共通の現象ではないか

と推察される。さらに、低湿条件で肉質の軟化が成熟の進行以上に促進されたが、この軟化促進はキュウリやダイコンでも認められたことから^{54,55)}、成熟型にかかわらず青果物全体に及ぶ現象と考えられる。低湿による軟化促進の機構について検討したところ、軟化に深く関わっていると考えられる要因の一つであるポリガラクトソナーゼ (PG) が、内生エチレンの関与なしに低湿に伴う水分損失ストレスによって直接的に誘導される可能性が示唆された⁵⁵⁾。低湿条件におかれたキュウリから PG 遺伝子断片をクローニングし、その発現解析を行ったところ、この遺伝子はエチレン生成誘導とは関係なく低湿に伴う水分損失ストレスに応答することが認められた⁵⁶⁾。

以上の結果から、低湿に伴う萎れは、単に外観品質の劣化の問題のみではなく、水分損失が一つのストレスとなって二次的に種々の生理的反応が誘導され、内的品質の低下に深く関わってくることが明らかになった。種類間でみられる反応の差から一応類型化することを試みたが、これは反応の多様性を整理し、全体像を総括的に理解するための一つの提案であって、本質的なものであるかどうかは現段階では確証はない。あるいは、種類を問わず水分損失ストレスが一定値に達すると生理的反応誘導のシグナルとして作用し、その上で表現の差としての種類間の差であるのかも知れない。この点、さらに慎重な解析が必要であろう。

いずれにしても、低湿に伴う萎れは園芸生産物の外的及び内的両面からみて、品質低下要因になるものと判断される。従って、実際流通工程での取り扱い、種類ごとに萎れに対する生理的反応を考慮した上、適切に対応する必要がある。

2) 過湿の生理

乾燥とは逆に、園芸生産物が密閉系におかれ、かつ温度変動が生じると湿度が95%RH 以上になることもしばしば見受けられる。この場合、生産物自身に対する影響としては、ウンシュウミカンで浮皮果の発生が促進されることはよく知られていることであるが、その他の生理的影響についてはよくわかっていない。今後、流通工程がプラスチック包装、コンテナ、船などの密閉系におかれる機会は増加の途であり、萎れからは解放されたとしても、過湿による悪影響が生じるかも知れない。乾燥、過湿を含めて、流通工程の湿度環境についての生理学的考察

は重要な課題である。

3) 湿度と低温耐性

ナス栽培中の土壌水分を湿潤状態にすると、果実含水量の増加と組織の浸透圧の低下がみられ、このような果実では収穫後に低温障害が発生しやすくなる⁵⁷⁾。これは栽培時の問題であるが、収穫直後に2%程度の軽い萎れを与えることによっても低温障害が軽減されることが認められている^{58,59)}。

また、貯蔵前のコンディショニング処理によって低温障害が防止または軽減されることは、多くの青果物で報告されているが、筆者らもナス、キュウリ、チュウゴクナシで低温障害軽減効果があることを認めた^{59,60)}。この効果の機構としては、低温順化やエイジングに起因するのではないかとされているが、コンディショニング中に萎れが進行することも、何らかの形で関与してくるのではないかと考えられる。青果物の大部分は水であり、その動態が様々な形で生理的影響を持つことは十分考えられることである。その一つとして、低温耐性に関わってくるのかも知れない。このような観点からも、湿度環境についての基礎研究が必要であろう。

6. 振動・衝撃

1) 傷害の生理

流通工程のうち、動的工程での振動・衝撃は程度の差はあっても避けることはできないことである。その場合、振動・衝撃の強度に応じて園芸生産物に摩擦、圧迫、変形などが生じ、それらの程度が一定以上に大きくなると組織の破壊が起こって擦り傷、打ち傷、押し傷、折れ傷として表現されてくる。破壊限界以上の大きい振動・衝撃が加わるとただ1回だけでも傷害の原因となるが、たとえ限界以下の小さいものでも無視することはできない。1回1回はたとえ小さくても、外力が反覆して加えられると生産物の強度は急速に低下し、遂には疲労破壊現象が起こることが多くの基礎研究の結果として示されている^{61,62,63)}。従って、流通工程での振動・衝撃の許容度は、強度と回数からみた総刺激量から判断しなければならない。一定強度以下ならば許容されるということではなく、総刺激量を可能なかぎり小さくする必要がある。そのため、流通工程を通じての全振動・衝撃回数をできるだけ少なくすることと同時に1回1回の強度を小さくする配慮が必要である。少

なくとも、3 G以上の振動・衝撃はたとえ回数が少なくても生産物に与える影響は大きく、極力避ける必要がある。

生産物が傷害を受けるか、または傷害に至らなくても圧迫や摩擦が生じると、それらの刺激に対するストレス反応として種々の酵素活性の増大、呼吸活性の増大、エチレン生成量の増加などを始めとして、種々の生理活性の増大が起こることはよく知られているところである⁶⁴⁾。傷害によるエチレン生成は、元々エチレンを生成するものでも、健全な状態では生成しないものでも、いずれの場合にもみられることである。さらに前者の場合、健全な状態ではまだエチレンを生成しない熟度でも傷害によって急激に生成するようになり、すでにエチレン生成のみられる熟度では生成量が多くなる。このような生理活性の増大によって、傷害を受けた個体自身が生理的に鮮度低下を起こすことはいままでのように、同時に同じ箱またはコンテナ内の他の健全な個体にも悪影響を及ぼすことになる。

2) 振動・衝撃の生理

1回1回は傷害に至らない程度であっても、それが反覆して加えられた場合の生理的影響を知るために、筆者らは各種青果物に人為的な反覆振動を加え、振動処理中及び処理後の呼吸活性の変化様相を調査した^{65,66,67)}。全体としてみると、振動を開始すると直ちに呼吸活性の増大が認められ、振動継続中は増加し続けた。数時間後、振動を中止すると徐々に復元するが、ほぼ完全に元の値にまで戻するのに振動条件によっては10時間以上を要することがあった。このことから、短時間の振動の影響が生理的にみて長時間にわたって継続する可能性があることがうかがわれた。

振動強度との関係を見ると、1 G振動区よりも2 G振動区で呼吸活性の増加程度は大きくなったが、3 G振動区では振動開始直後には増加が認められたものの、やがて振動中に低下傾向となり、振動中止後も低い値となった。このことから、3 G振動区では何らかの生理的異常が誘発される可能性が考えられた。

そこで、振動による呼吸活性の変化を内的に考察するため、トマトとニホンナシについて TCA サイクルを構成する有機酸含量の変化を調査した。その結果、3 G振動区ではクエン酸と α -ケト・グルタル

酸の一時的増加とその後の急減、及び、リンゴ酸の急減が認められた⁶⁸⁾。このような有機酸含量の短時間での急激な変動は、単に呼吸活性の変化からのみでは説明できないことであり、3 G振動区では生理的異常が誘発され、別な代謝系が活性化したものと推察された。

その後、ウンシュウミカンについて落下や振動に伴う有機酸含量の変化が報告されている⁶⁹⁾。それによると、落下処理によってクエン酸とリンゴ酸の急減及び α -ケト・グルタル酸の急増が認められた。振動処理による影響は落下処理よりやや弱くなるものの、1 Gまたは1.5 Gで30分間の処理によってクエン酸の一時的増加とそれに続く減少、リンゴ酸の減少、 α -ケト・グルタル酸の増加が認められた。このような現象は、筆者らのトマトやニホンナシで認められたこととよく一致することである。

以上のことから、青果物は振動・衝撃という物理的ストレスに対して、生理的にみて一定の許容域を持つものと推察された。許容域の範囲内では、加えられる刺激量に応じて生理的反応は大きくなるが、刺激が除去されると可逆的に徐々に元の状態に復元することができる。しかし、刺激量が許容域を越えると生理的に異常となり、別な代謝系の活性化が誘発されて完全に元の状態に復元できなくなる。つまり、生理的にみて一種の疲労破壊が生じたことになるものと考えられる。この場合の限界刺激量の程度は、1回1回の強度と回数による総刺激量で判断する必要があることは、先述の物理的な疲労破壊の場合と同様である。

生理的疲労破壊が起こった場合、食味にも大きく影響してくることが考えられる。実際、トマトで振動処理後追熟させた上、完熟時の食味を調査したところ、3 G振動区で甘味や酸味の低下、肉質の軟化が明らかにみられ、しかも催色期に振動処理を行った場合にこの変化が大きくなることが認められた⁶⁶⁾。

流通工程での振動・衝撃の許容量は、物理的及び生理的両面で一定の限界値があり、これは刺激総量で判断してゆく必要があるが、1回の強度としては3 Gが限界ではないかと考えられる。

7. 流通のモーダル・シフト

日本の園芸生産物輸送の形態は、1960年代に物流のモータリゼーションの中で鉄道からトラックに移

行した。これは、主としてトラックの簡便性と機動性に基づくものと思われる。一方、トラック輸送は、振動特性からみると生産物の品質保持の観点からみて必ずしも安全性が高いとはいえず、走行条件によっては輸送中の品質劣化が生じる危険性を包含している。このようなトラック輸送の特性は、輸送距離の延長に伴って顕在化し、安全な輸送可能距離は種類に応じて自ら限界が生じる。ここに登場するのがカーフェリーの利用である。

日本で本格的な大型カーフェリーの利用が始まったのは、1968年に開設された神戸-小倉間の航路であり、その後急速に展開して1996年には航路長300km以上の長距離カーフェリーは26航路に及んでいる⁷⁰⁾。最近の動向としては、船種の大型化、高速化、豪華化が進み、輸送の安全性と安定性は飛躍的に向上している。フェリーの利用は、振動特性からみると船とトラックのそれが複合されたものとなり、船区間の振動刺激が小さい分だけ生産物の品質保持性は向上し、輸送距離の延長を可能とする。また、航路によっては、陸上より時間的・距離的に短縮される場合もある。その結果、園芸生産物の安全輸送距離は大幅に延長された。逆にいえば、輸送の安全性が確保されたことによって、産地の遠隔化が達成されたといっても過言ではない。

一般に、輸送コストの面からみて、数千kmの船輸送、数百kmの鉄道輸送、数十kmのトラック輸送が等価であるといわれている。このことは、振動特性の面からみてもあてはまると考えられ、日本の地形的特性からみても船輸送の利点をさらに生かす形を工夫する必要があるだろう。一方、船輸送の最大の欠点は速度が遅いことであり、通常のディーゼル推進機構では50km/hの壁を越えることは困難であるとされている。この欠点を克服するために、別な推進機構を持った超高速カーフェリーであるテクノ・スーパーライナー (TSL) 構想が浮上してきた。

TSLは、ガス・タービンによるウォーター・ジェット推進機構を持った高速貨物専用船で、100km/hの船輸送を実現しようとするものである。1989年にTSL技術研究組合が発足し、船型として浮力-揚力複合支持型と浮力-空気圧力複合支持型の検討が開始された。それぞれ1/6及び1/2モデルの実験船が建造されて技術的諸問題が鋭意検討された結果、実用化の可能性のある船型として後者が採用され、1995

年には実際に農水産物のコンテナ輸送試験が反覆された。その結果、振動・衝撃が小さいという船輸送の利点を生かしながら、高速化することが可能であることが実証された^{71,72)}。1996年には、事業化のための支援調査が具体的に開始され、積載量1000トン級の実用船の建造に向けての取り組みが動き始めている。

TSL構想は、陸の高速道に対して、海の高速道ともいべきものである。かつて、陸の高速道が、品質保持性からみて園芸生産物の輸送に安全性と安定性をもたらしたのと同様に、海の高速道にも大きな期待が寄せられている。今後、実現化のためには莫大な船費の負担や船の改良の問題、運営母体の問題、港湾施設の問題、産地形成のあり方の問題等、解決しなければならない諸問題があるものの、TSLが園芸生産物の輸送技術改善上でもたらす効果は大きく、早急な実現が望まれるところである。その際、重要なこととしては、輸送手段をトラックからTSLに単に置き換えるだけではなく、産地側の出荷体制及び消費地側の流通体制の両面でTSLの高速特性を十分に生かす体制を整備し、全体としてTSL輸送システムを構築する必要がある。

園芸生産物の輸送環境特性は、陸・海・空それぞれについて独自のものがある。従って、輸送のモーダル・シフトを考える場合、ただ単なる輸送手段の変更だけではなく、それぞれの環境特性に対する生産物側の生理的反応をも十分に考慮した上、両端を含めて全体システムの見直しが必要である。このことは、先述のTSLの場合のみではなく、トラック、鉄道、フェリー、航空機の場合も同様であり、それぞれ手段が異なるごとに独自の流通システムを構築することが必要であろう。

8. 流通からみた産地形成

園芸生産物の生理的特性は、種類や品種によって異なるのはいうに及ばず、栽培条件や発育相によっても異なってくる。また、異なった生理的特性を持ったものは、流通環境に対する生理的反応も異なってくる。従って、流通工程での品質保持性は、その間の各工程の技術に関わってくるのは当然のこととして、同時に素質として流通適性を持った生産物を栽培することが重要である。その意味で、流通適性そのものが重要な品質構成要因の一つである。外観、

食品特性、流通特性を含めて、総合的に品質の良いものを栽培した上で、適切な流通技術を駆使して始めて良品生産が達成できる。

栽培技術の改善によって流通適性が確保された場合、あるいは輸送のモーダル・シフトで時間・距離の短縮が実現した場合には、それに見合った産地の広域化が可能となる。流通工程の改善は産地の移動や質的転換を含めて産地形成のあり方に大きく関わってくるものと考えられる。

前項で述べた TSL 構想の場合も、この構想を実現化し、育成してゆくためには、産地側としても積荷の周年確保や TSL システムに適合した作目や作型の開発を進めること、つまり産地形成のあり方に対応させる努力が特に必要である。

良質の園芸生産物の安定供給のためには、産地形成の後に流通を考えるのではなく、流通を前提とした産地形成を考えてゆく姿勢が必要である。流通と産地形成とは相互に密接な関わりを持っており、一体として考えてゆくべきものであろう。

9. 摘 要

園芸生産物の流通工程が時間的・距離的に長くなるに従って、この間での管理が品質保持の上で重要な課題になってくる。本研究は、主として輸送工程に焦点を絞りながら、技術改善の基礎資料を得ることを目標として実施されたものである。まず、現実の輸送環境の実態調査を行い、問題点の指摘を行った上、それらに基づいてシミュレーション研究を実施し、振動、温度、湿度及び空気組成環境ごとに生産物の生理的反応を再整理して、技術改善の方向性について生理学的見地から論じようとした。

温度：較差20℃にも及ぶような急激な温度変動は生理的にみて好ましくないこと、小さな周期的変動も定温に比べて鮮度低下が大きいことを明らかにした上、いずれも種類によって耐性が異なることを示唆した。

空気組成：呼吸商1を維持する最小酸素濃度である消滅点からみた酸素濃度の限界点は種類によって異なった。高炭酸ガスと呼吸活性との関係を見ると、種類によって抑制されるもの、変化がないもの、逆に促進されるものがあり、抑制されるものはエチレン生成の抑制を伴っていることが明らかとなった。このことから、高炭酸ガスの鮮度保持効果は、直接

的に呼吸活性を抑制するのではなく、エチレン生成の抑制を介してあらわれるものと思われた。

湿度：低湿に伴う萎れによって、種類によって呼吸活性が抑制される場合、変化がない場合、促進される場合があった。クライマクテリック型果実では低湿で成熟促進がみられた。急激な萎れによってエチレン生成が誘導された。さらに、萎れによって肉質軟化が促進され、これはエチレン生成とは無関係に萎れストレスによって直接 PG 活性が誘導されることが一因であることを示唆した。

振動：振動によって呼吸活性の増大がみられた。振動刺激が一定強度以上になると生理的に変調が誘発され、ひいては食味低下に連なることを示した。

以上の成果に基づいて、主として生理的側面から輸送工程を含めて流通技術改善の方向について論じた。

謝 辞

本研究は、岡山大学農学部 稲葉昭次教授、同久保康隆助教授、現近畿大学生物理工学部 伊東卓爾助教授の協力のもとに、時々の大学院博士生及び修士生、ならびに学部専攻生を加えた研究チームによって行われたものである。多くの方々のたゆみない努力に支えられて遂行されたものであり、関与されたすべての諸氏に深甚の謝意と敬意を表する次第である。

文 献

- 1) 北尾次郎：果実の段ボール包装。農加技研第7回シンポジウム講演集，78-82 (1960)
- 2) 中村怜之輔：青果物の輸送，コールド・チェーン。青果保蔵汎論(緒方邦安編)，建帛社，東京，pp. 139-159(1977)
- 3) 中村怜之輔：青果物の輸送環境の現状とその問題点。コールドチェーン研究，4，40-46 (1978)
- 4) 中村怜之輔：青果物輸送技術の問題点。農流技研会報，4，50-54 (1980)
- 5) 中村怜之輔：農産物流通のあり方。1983年農産物流通技術年報，3-7 (1983)
- 6) 中村怜之輔：輸送中の振動及び変温と青果物の生理。食品の鮮度保持と保存技術II，工業技術会，東京，pp. 39-56 (1989)
- 7) 中村怜之輔：流通・貯蔵中の生理。新編果樹園芸ハンドブック(杉浦 明編)，養賢堂，東京，pp. 696-718(1991)
- 8) 中馬 豊・岩元陸夫・秋本浩一：温州みかんの流通技術改善に関する研究(第2報)長距離貨車輸送時の段ボール箱の劣化。農機誌，33，67-73 (1971)
- 9) 中馬 豊・村田 敏・岩元陸夫・西原明彦・堀 善昭：

- 冷蔵トラックによるイチゴの長距離輸送試験—とくに振動衝撃と品質劣化について. 農機誌, **31**, 292-297 (1970)
- 10) 中村怜之輔・伊東卓爾・阪部正博: トラック輸送時の果実段ボール箱の振動強度. 岡山大農学報, **47**, 41-50 (1976)
- 11) 石橋貞人・田中俊一郎・西富良朗・小倉満雄: 露地野菜の長距離海上低温輸送実用化〔1〕とくにキヌサヤエンドウと石川サトイモについて. 農及園, **51**, 739-742 (1976)
- 12) 中村怜之輔・風岡三信: フィリピン産バナナの冬期の輸送環境調査. 岡山大農学報, **50**, 27-36 (1977)
- 13) 秋永孝義: 沖縄県における農産物の航空輸送の現状と問題点. 昭61年園学シンポジウム講演集, 124-128 (1986)
- 14) 中村怜之輔・稲葉昭次・伊東卓爾: 振動による箱内果実温度及び空気組成の変化. 岡山大農学報, **72**, 27-36 (1988)
- 15) 秋永孝義・國府田佳弘・泉 裕巳・上野正実: ジャンボフレータによる切花の輸送中の環境条件. 農機九州支部誌, **35**, 49-52 (1986)
- 16) 長谷川良雄・倉持八重: 果実輸送用段ボール箱 (第2報) 炭酸ガスおよび温湿度. 鉄道技研報, **50**, 1-7 (1959)
- 17) 長谷川良雄・倉持八重: 果実輸送用段ボール箱 (第3報) 防水ならびに撥水段ボール箱詰の際の箱内炭酸ガスおよび温湿度. 鉄道技研報, **68**, 1-5 (1959)
- 18) 中村怜之輔・稲葉昭次・伊東卓爾: ブドウおよびナシのトラック輸送中の箱内環境と品質変化. 園学要旨, 昭52秋, 464-465 (1977)
- 19) 石橋貞人・田中俊一郎・西富良朗・小倉満雄: 露地野菜の長距離海上低温輸送実用化〔2〕とくにキヌサヤエンドウと石川サトイモについて. 農及園, **51**, 863-866 (1976)
- 20) 秋永孝義・國府田佳弘・泉 裕巳: サヤインゲンの航空輸送時における環境条件及びこれに伴う包装材料の劣化. 農機誌, **43**, 97-102 (1981)
- 21) 秋永孝義・大城信雄・國府田佳弘: サヤインゲンの航空輸送時と海上低温コンテナ輸送の環境条件の比較. 農機誌, **45**, 79-84 (1983)
- 22) 中村怜之輔・伊東卓爾: バナナのポリエチレン密封貯蔵. 岡山大農学報, **53**, 11-21 (1979)
- 23) 稲葉昭次・中村怜之輔: マイクロコンピュータ利用による青果物の品温制御と自動呼吸計測. 岡山大農学報, **69**, 1-7 (1987)
- 24) Inaba, A., Y. Kubo and R. Nakamura: Automated microcomputer system for measurement of O₂ uptake, CO₂ output, and C₂H₄ evolution by fruit and vegetables. 園学雑, **58**, 443-448 (1989)
- 25) 中村怜之輔・稲葉昭次・久保康隆: 急激な温度変動に伴う青果物の呼吸強度の変化 (第3報) 酸素吸収量からみた呼吸の過上昇現象. 園学要旨, 昭61秋, 484-485 (1986)
- 26) 中村怜之輔・塔田和宏・久保康隆・稲葉昭次: 急激な温度変動に伴う青果物の呼吸強度の変化 (第4報) 呼吸の過上昇現象の種類間比較. 園学要旨, 昭63春, 522-523 (1988)
- 27) 伊東卓爾・中村怜之輔・稲葉昭次: 低温貯蔵中の温度変動幅と変動周期が青果物の鮮度保持におよぼす影響 (第1報) 温度変動に伴う青果物内部の温度変化. コールドチェーン研究, **4**, 102-108 (1978)
- 28) 伊東卓爾・中村怜之輔・松本幸大: 低温貯蔵中の温度変動幅と変動周期が青果物の鮮度保持におよぼす影響 (第2報) 温度変動に対するナス果実およびホウレンソウの反応性の相違. コールドチェーン研究, **4**, 147-152 (1978)
- 29) 伊東卓爾・中村怜之輔: 低温貯蔵中の温度変動幅と変動周期が青果物の鮮度保持におよぼす影響 (第3報) 作型別にみたイチゴ果実の鮮度保持. コールドチェーン研究, **5**, 121-125 (1979)
- 30) 伊東卓爾・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**, 202-209 (1984)
- 31) 伊東卓爾・中村怜之輔・稲葉昭次: 温度変動下での数種野菜類の呼吸強度の変化. 岡山大農学報, **65**, 33-37 (1985)
- 32) 伊東卓爾・中村怜之輔: 青果物の温度変動許容度. 園学雑, **54**, 257-264 (1985)
- 33) Kubo, Y., A. Inaba and R. Nakamura: Extinction point and critical oxygen concentration in various fruits and vegetables. 園学雑, **65**, 397-402 (1996)
- 34) 久保康隆・平田 治・稲葉昭次・中村怜之輔: 低濃度酸素環境がモモとバナナ果実のエチレン生合成に及ぼす影響. 日食低温誌, **22**, 79-83 (1996)
- 35) 久保康隆・稲葉昭次・喜安英信・中村怜之輔: 高濃度炭酸ガスと低濃度酸素条件が青果物の呼吸活性に及ぼす影響: 岡山大農学報, **73**, 27-33 (1989)
- 36) Kubo, Y., A. Inaba and R. Nakamura: Effects of high CO₂ on respiration in various horticultural crops. 園学雑, **58**, 731-736 (1989)
- 37) Kubo, Y., A. Inaba and R. Nakamura: Respiration and C₂H₄ production in various harvested crops held in CO₂-enriched atmospheres. J. Amer. Soc. Hort. Sci., **115**, 975-978 (1990)
- 38) 金 永奉・久保康隆・稲葉昭次・中村怜之輔: 低濃度 O₂ 及び高濃度 CO₂ に対するイチゴとトマトの生理的反応研究 (韓国語). 韓国慶南農試論文集 (園芸編), **34**, 57-61 (1992)
- 39) 寧 波・久保康隆・稲葉昭次・中村怜之輔: チュウゴクナシ'鴨梨'果実の高濃度炭酸ガスおよび低濃度酸素環境に対する生理的反応. 園学雑, **66**, 613-620 (1997)
- 40) Mathooko, F. M., T. Fukuda, Y. Kubo, A. Inaba and R. Nakamura: Regulation of mitochondrial activity in cucumber fruit, broccoli buds and carrot by carbon dioxide. Acta Horticulturae, **398**, 71-79 (1995)

- 41) 久保康隆・塔田和宏・稲葉昭次・中村怜之輔：高濃度炭酸ガスがモモおよびトマト果実のエチレン生合成に及ぼす影響。園学雑，**65**，409-415 (1996)
- 42) 久保康隆・平田 治・稲葉昭次・中村怜之輔：高濃度炭酸ガス環境下での青果物の呼吸活性とエチレン生成—処理温度と炭酸ガス濃度の影響。園学雑，**65**，403-408 (1996)
- 43) Mathooko, F. M., Y. Kubo, A. Inaba and R. Nakamura: Partial characterization of 1-amino-cyclopropane-1-carboxylate oxidase from excised mesocarp tissue of winter squash fruit. 岡山大農学報，**82**，49-59 (1993)
- 44) Mathooko, F. M., Y. Kubo, A. Inaba and R. Nakamura: Regulation by carbon dioxide of wound-induced ethylene biosynthesis in tomato pericarp and winter squash mesocarp tissues. Postharvest Biol. Technol., **3**，27-38 (1993)
- 45) Mathooko, F. M., Y. Kubo, A. Inaba and R. Nakamura: Inhibition of auxin-induced ethylene production in cucumber fruit discs by carbon dioxide. Postharvest Biol. Technol., **3**，313-325 (1993)
- 46) Mathooko, F. M., Y. Kubo, A. Inaba and R. Nakamura: Induction of ethylene biosynthesis and polyamine accumulation in cucumber fruit in response to carbon dioxide stress. Postharvest Biol. Technol., **5**，51-65 (1995)
- 47) Mathooko, F. M., Y. Kubo, A. Inaba and R. Nakamura: Characterization of the regulation of ethylene biosynthesis in tomato fruit by carbon dioxide and diazocyclopentadiene. Postharvest Biol. Technol., **5**，221-233 (1995)
- 48) 久保康隆・辻 宏之・稲葉昭次・中村怜之輔：外生エチレンによるバナナ果実の追熟に及ぼす高濃度炭酸ガスの影響。園学雑，**62**，451-455 (1993)
- 49) Mathooko, F. M., T. Sotokawa, Y. Kubo, A. Inaba and R. Nakamura: Retention of freshness in fig fruit by CO₂-enriched atmosphere treatment or modified atmosphere packaging under ambient temperature. 園学雑，**62**，661-667 (1993)
- 50) 薛 彦斌・久保康隆・稲葉昭次・中村怜之輔：湿度条件に対する青果物の生理反応の類型。岡山大農学報，**86**，61-69 (1997)
- 51) 薛 彦斌・久保康隆・稲葉昭次・中村怜之輔：収穫後の湿度条件がキュウリ，ナスおよびピーマン果実のエチレン生成に及ぼす影響。日食低温誌，**22**，3-10 (1996)
- 52) 薛 彦斌・久保康隆・稲葉昭次・中村怜之輔：湿度条件がバナナ果実の追熟および肉質に及ぼす影響。園学雑，**64**，657-664 (1995)
- 53) 薛 彦斌・久保康隆・中村怜之輔：湿度条件がバナナ果実の追熟特性に及ぼす影響。日食科工誌，**43**，541-545 (1996)
- 54) 薛 彦斌・久保康隆・稲葉昭次・中村怜之輔：湿度条件がトマトとキュウリ果実の生理及び肉質に及ぼす影響。日食科工誌，**43**，164-171 (1996)
- 55) 薛 彦斌・石川恭子・久保康隆・稲葉昭次・中村怜之輔：低湿による数種青果物の軟化と内生エチレンとの関係。園学雑，**65**，169-176 (1996)
- 56) 石川恭子・薛 彦斌・久保康隆・稲葉昭次・中村怜之輔：水分損失ストレスに应答するキュウリのPG 遺伝子断片のクローニングとその発現。園学雑，**64** (別2)，664-665 (1995)
- 57) 中村怜之輔・藤井誠記・稲葉昭次・伊東卓爾：栽培中の土壌水分及び施肥量がナス果実の収穫後の低温耐性に及ぼす影響。園学雑，**55**，490-497 (1987)
- 58) 中村怜之輔・藤井誠記・稲葉昭次・伊東卓爾：ナス果実の貯蔵前の水分減少が低温耐性に及ぼす影響。岡山大農学報，**68**，19-25 (1986)
- 59) 中村怜之輔・稲葉昭次・伊東卓爾：ナス及びキュウリ果実の低温耐性に及ぼす栽培条件と収穫後の Stepwise cooling の影響。岡山大農学報，**66**，19-29 (1985)
- 60) 寧 波・久保康隆・稲葉昭次・中村怜之輔：チュウゴクナシ'鴨梨'果実の低温障害発生と貯蔵性に及ぼす温度の影響。園学雑，**61**，461-467 (1992)
- 61) 岩本睦夫・河野澄夫・早川 昭：青果物輸送の等価再現化に関する研究 (第1報) 多段積載時の段ボール箱および内容レタスの振動特性ならびに損傷性。農機誌，**39**，343-349 (1977)
- 62) 岩本睦夫・河野澄夫・早川 昭：青果物輸送の等価再現化に関する研究 (第2報) 損傷度の定義と輸送シミュレーション時の加速度レベルの設計。農機誌，**40**，61-67 (1978)
- 63) 河野澄夫：振動衝撃が果実の損傷に及ぼす影響とその測定法。昭54年園学シンポジウム講演集，151-157 (1979)
- 64) 今関英雄：傷害植物の物質代謝。科学，**40**，226-232 (1970)
- 65) 中村怜之輔・伊東卓爾：振動が果実の呼吸生理に及ぼす影響I。振動中および振動直後のトマト果実の呼吸強度の変化。園学雑，**45**，313-319 (1976)
- 66) 中村怜之輔・伊東卓爾・稲葉昭次：振動が果実の呼吸生理に及ぼす影響II。トマト果実の追熟に対する振動の影響。園学雑，**46**，349-360 (1977)
- 67) 中村怜之輔・今永 孝・伊東卓爾・稲葉昭次：振動による数種果実の呼吸強度の変化。園学雑，**54**，498-506 (1986)
- 68) 中村怜之輔・伊東卓爾・稲葉昭次・今永 孝：振動によるトマトとナシ果実の有機酸含量の変化。園学雑，**55**，

- 99-103 (1986)
- 69) 増田亮一・早川 昭・河野澄夫・岩本睦夫：落下・振動
衝撃がミカン果実の有機酸組成に及ぼす影響：主成分分
析法による解析. 食総研報, **52**, 36-46 (1988)
- 70) 林 作治：輸送用機器(カーフェリー). 1996年農産物流
通技術年報, 109-116 (1996)
- 71) 菅井和夫：超高速船テクノスーパーライナー (TSL) の
技術問題. 平7年園学シンポジウム講演集, 174-178(1995)
- 72) 井尻 勉：TSLによる生鮮食品輸送. 1996年農産物流通
技術年報, 159-165 (1996)