

福岡県農業総合試験場特別報告

第18号

MA包装による葉ネギおよびカット葉ネギの
鮮度保持に関する研究

平成14年9月

福岡県農業総合試験場

(福岡県筑紫野市大字吉木)

SPECIAL BULLETIN
OF
THE FUKUOKA AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
No. 18

Studies on Modified Atmosphere Packaging
on Quality Stability of Intact or Pre-cut Welsh Onion

by IBARAKI Toshiyuki

THE FUKUOKA AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan

September 2002

MA包装による葉ネギおよびカット葉ネギの
鮮度保持に関する研究

茨 木 俊 行

2002

*九州大学審査学位論文

序

農産物の鮮度保持技術は、販売戦略には欠くことのできないものである。品質の良いものを生産しても、収穫後に適切な鮮度保持が行われないと高価格販売や産地としての厚い信用は望めない。

本県では、1981年の農業総合試験場の発足と同時に流通利用研究室を設け、これまでに主要野菜であるイチゴを始め、ナスやブロッコリー、ブドウ、カキ、ナシなどの鮮度保持方法を確立し、数々の成果を提供してきたところである。

本研究は、県単課題「野菜の鮮度保持のための新技術開発（1993～1994）」、国庫助成課題「環境保全型流通資材を用いた遠隔地野菜のプレ・ポストハーベスト一貫品質保持技術（1995～1997）」および「食の需要動向に対応した暖地特産野菜の品質保持技術の開発（1998～1999）」において、葉ネギおよびその一次加工品であるカット葉ネギについてフィルム包装を主体とした一連の鮮度保持研究を取りまとめたものである。

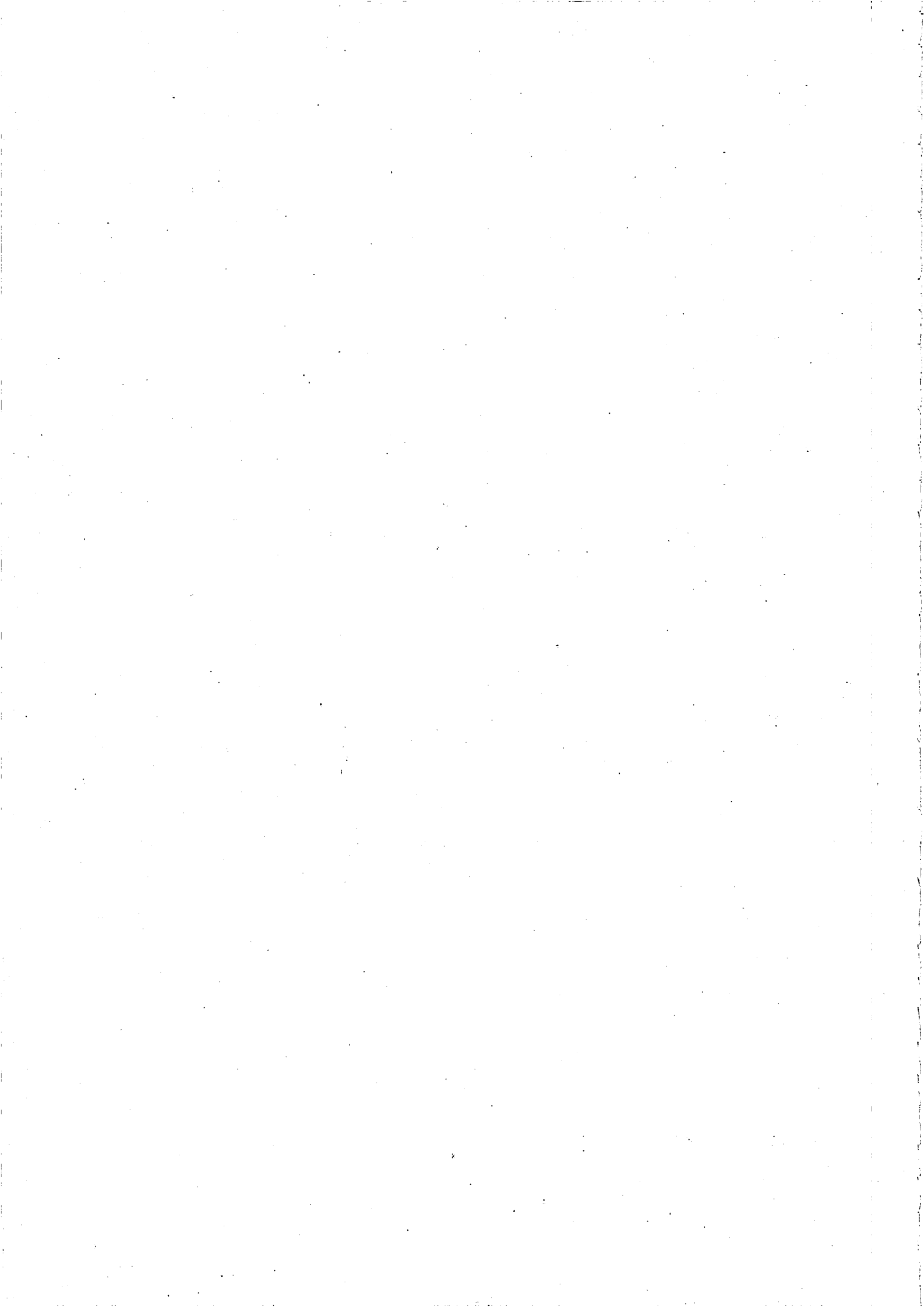
コストをあまりかけずに高品質の青果物を消費者に届けることが求められている今、本研究で得られた成果は、葉ネギのみならず、種々の青果物の安価な鮮度保持の研究に応用が可能であると考えられるため、ここに特別報告として公表することとした。皆様に広く御活用いただければ幸いである。

なお、本研究の遂行にあたり、御指導、御協力を頂いた関係各位に深く感謝の意を表する。

平成14年 9 月

福岡県農業総合試験場長

今 林 惣一郎



目 次

第1章 序 論	1
第2章 収穫時期が葉ネギの呼吸速度、内容成分および鮮度に及ぼす影響	4
第1節 緒 言	4
第2節 材料および方法	4
第3節 結 果	6
第4節 考 察	11
第5節 小 括	14
第3章 雰囲気ガス濃度組成が葉ネギの呼吸速度と鮮度に及ぼす影響	16
第1節 緒 言	16
第2節 雰囲気ガス濃度組成が呼吸速度に及ぼす影響	16
第1項 材料および方法	16
第2項 結果および考察	17
第3節 いくつかの雰囲気ガス濃度組成が葉ネギの内容成分および鮮度に及ぼす影響	19
第1項 材料および方法	20
第2項 結 果	20
第3項 考 察	21
第4節 小 括	24
第4章 二重包装下におけるガス移動シミュレーション	26
第1節 緒 言	26
第2節 発泡スチロール容器と段ボール容器の特性比較	26
第1項 材料および方法	27
第2項 結果および考察	27
第3節 ガス移動の数学的モデル式の作成	28
第4節 フィルム袋内および出荷容器内ガス濃度の予測と包装設計	33
第1項 材料および方法	33
第2項 結果および考察	34
第5節 小 括	38

第5章 フィルム包装および出荷容器が葉ネギの鮮度に及ぼす影響	40
第1節 緒言	40
第2節 フィルムのシール方法および出荷方法が葉ネギの鮮度に及ぼす影響	40
第1項 材料および方法	41
第2項 結果	41
第3項 考察	44
第3節 葉ネギの輸送試験	46
第1項 材料および方法	46
第2項 結果および考察	48
第4節 小括	54
第6章 カット葉ネギの鮮度保持	56
第1節 緒言	56
第2節 カット葉ネギの鮮度評価方法の検討	56
第1項 材料および方法	56
第2項 結果および考察	57
第3節 MA包装によるカット葉ネギの鮮度保持	60
第1項 材料および方法	60
第2項 結果	62
第3項 考察	64
第4節 小括	67
第7章 総括	70
後記	74
謝辞	75
引用文献	76
Summary	80

第1章 序 論

近年、我が国の農産物流通は、量販店や外食産業の台頭、輸入農産物の増大などにより、大きく変化している。また、全国的にみても生産から販売までの技術の平準化が進み、産地間競争が一段と激化してきている。

このような情勢の中で、多くの産地では、消費者が「食べてみたい」、量販店等の流通関係者が「置いてみたい」、外食産業者が「使ってみたい」と言われるような農産物を供給するため、生産から販売におけるブランド化を積極的に推進している。

このブランド化の先駆的な役割を果たしたのがJA筑前あさくらの博多万能ねぎ部会である。同部会では遠隔地出荷のハンディキャップを克服するために、冷却やオゾン殺菌、フィルム包装、さらには航空機輸送などの技術により鮮度を保ったまま京浜地区へ輸送し、「博多万能ねぎ」ブランドを確立した(松本 1986)。しかしながら、高知県や大分県をはじめとする産地でも同様の技術で出荷するようになり、高付加価値化を図る上でも新たな鮮度保持方法を確立する必要に迫られている。

一般に、青果物の鮮度を保つためには、呼吸作用、蒸散作用および微生物作用の抑制が重要であり、特に呼吸作用を抑制することが不可欠である。この呼吸作用抑制に関しては、代表的な方法は二つあり、一つは貯蔵温度(品温)を下げることで、もう一つは青果物を取り巻く大気(雰囲気)の酸素濃度を低く、二酸化炭素濃度を高く保つことである。前者を利用した技術がコールドチェーンや低温貯蔵である。コールドチェーンでは、収穫から消費者の手に渡るまで常に温度を低く保つことにより、呼吸をはじめ、様々な代謝を抑制することが可能になる。一方、後者を利用した技術にはCA(Controlled Atmosphere Storage)貯蔵やMA包装(MAP: Modified Atmosphere Packaging)がある。さらに、MA包装では、0℃付近の温度帯で長期間貯蔵するMAP貯蔵と、流通時の技術であるMAP流通に分けて考えることが妥当である。MAP貯蔵の実用例が富有柿(樽谷 1960)や早生梨(牛嶋・箴島 1988、茨木 1994)であり、MAP流通の実用例が「博多万能ねぎ」(茨木ら 1995)である。

MAP流通(以後特に記さない限り、MAP流通をMA包装とする)は、プラスチックフィルムのガス透過性と青果物の呼吸作用によって簡易に低酸素・高二酸化炭素状態を得ることができる。その簡便さから多くの実用的研究(秋元・黒田 1981、石井・大久保 1984、Mathooko et al. 1993、山下ら 1993)が行われ、安価で手軽な鮮度保持方法として注目されてきた。しかし、本方法においては、青果物の呼吸速度とフィルムのガス透過量は流通時の温度変化などに対応して変化するため、これらに依存したフィルム袋内のガス濃度組成を厳密にコントロールすることは極めて難しい。フィルムの酸素透過係数が大きく、青果物の呼吸速度が小さい場合は、フィルム内の酸素濃度は十分には下らず、MA包装の効果は発揮されない。反対に、フィルムの酸素透過係数が小さく、青果物の呼吸速度が大きい場合には、青果物にとって極端な酸素不足すなわち、嫌氣的な条件に陥る。このような状態では、青果物は正常な呼吸ができず無気呼吸を行い、エタノールやアセトアルデヒド等、異臭を生成し、さらにはピッティングを生ずる場合もある(Kader 1987、太田ら 1991)。

このため、最近、本障害を防止する目的で、フィルムの厚さを変える方法や、フィルムに微細な孔を開けたり、凹凸を施すことにより、ガス透過性を改良したものが開発され、これらの適用研究も実施されている(與座ら 1993、Ibaraki et al. 2000a)。また、フィルムの熱溶着を不完全に行うことでパッケージ自体のガス透過性を高める研究も行

われている(石川ら 2001)。しかしながら、これらの研究の多くは、数種のフィルムに青果物を密封包装し、その鮮度保持結果から青果物に適した包装資材を選定している。

一方、最近では単身者の増大、女性の社会進出に伴い、都市部では生活様式が様変わりし、食生活も外食やレトルト食品等により簡便なものへと変化している。特に若い世代の家庭では包丁を使わずに料理し、生ゴミがでるのを嫌う傾向にある(ゼロ・エミッション型食生活)。こうした状況から、野菜では料理の用途に応じてカットされた一次加工野菜が販売され、その需要は増加の一途にある。主に細断され薬味として料理に使われることが多い葉ネギでは、その需用は特に大きい。しかし、これらカット野菜等の加工品の品質、鮮度、衛生面に関しては数多くの問題が指摘されている。この要因として、切断等の加工による組織の損傷やストレスが考えられる。これにより、呼吸作用や酵素作用が活性化し、内容成分の低下や変色などによる品質劣化が急速に進み、さらに微生物汚染が生じやすい(菅原ら 1987、太田ら 1991、Watada et al. 1996)。そのため、一貫した鮮度保持技術の確立が求められている。

そこで、本研究では収穫後の葉ネギ、並びにその一次加工品であるカット葉ネギを対象として、MA包装による鮮度保持の確立を目指した。すなわち、収穫時期ごとの葉ネギの品質変化を把握するとともに、低酸素・高二酸化炭素の雰囲気下で呼吸速度や内容成分の変化を測定することでMA包装の有効性を明らかにした。また、包装資材のガス透過性と葉ネギの呼吸速度を加味した雰囲気ガス濃度のシミュレーションを試みた。さらには、品質保持の立場から鮮度の変化を科学的に調査し、葉ネギ並びにカット葉ネギの鮮度保持技術の確立に寄与した。

本論文は次のような構成とした。

第2章では、葉ネギの品質や鮮度保持に及ぼす収穫時期の影響について述べる。青果物の品質や鮮度保持に及ぼす収穫前の要因には水管理や肥料などの栽培条件(山県ら 1989)、気温や日長などの気象条件が挙げられる(Kader 1983)。また、収穫時期によっても影響を受けることがハウレンソウ(日坂 1992)や、キャベツ(矢野ら 1981)などで報告されている。葉ネギでは水管理や肥培管理と鮮度保持との関係が検討されているが(林ら 1988)、収穫時期と鮮度保持との関係は未だに明らかにされていない。そこで、収穫時期別の呼吸速度や成分を測定し、鮮度との関係を調べた。

第3章では、MA包装による鮮度保持が可能か否かについて調査し、最適なMA条件について検討する。MA包装は全ての野菜に効果があるわけではなく、‘とよのか’イチゴのように、低酸素・高二酸化炭素条件下においても呼吸速度が低下せず、鮮度保持効果が期待できない青果物も存在する(データ未発表)。そこで、葉ネギが低酸素高二酸化炭素条件下で呼吸が抑制されるか否かを確認した。次に、濃度組成が既知のガス環境を作り出し、これらの雰囲気ガスが葉ネギの呼吸速度、成分および鮮度保持に及ぼす影響を検討することで葉ネギのMA包装に適する酸素・二酸化炭素濃度を明らかにした。

第4章では、出荷容器の特性を把握するとともに、最適MA条件に対するモデル式の構築を目的に、フィルムと出荷容器の二重包装下におけるガス移動のシミュレーションを行い、実測値を予測値と比較することでモデルの有効性について述べた。これまでの多くのシミュレーションでは単一包装の状態について検討されており(Hayakawa et al. 1975、Cameron et al. 1989、Fishman et al. 1995)、葉ネギの出荷のように、二重包装下でのガス移動を予測したシミュレーションはなかった。そこで、椎名ら(1988)が示したモデル式を参考にガス濃度予測を行い、実測値と比較した。

第5章では、具体的な包装条件について述べた。二軸延伸ポリプロピレン(OPP)フィルムは透明性に優れ、コシがあり、機械適性も良いことから、青果物包装に広く用いら

れている。そこで、OPPフィルムの熱溶着方法と貯蔵温度が葉ネギの鮮度に及ぼす影響について検討するとともに、ガス透過性が異なる数種のOPPフィルムを用いて実際に葉ネギを輸送し、内容成分と鮮度に及ぼす影響についても検討した。

第6章では、葉ネギで得られたMA包装の技術をカット葉ネギに応用することを目的に、カット葉ネギの鮮度評価方法を検討するとともに、ガス透過性が異なるフィルムを用いてカット葉ネギにおける内容成分と品質の変化を調査した。カット野菜は分割、切断、整形などの機械的損傷を受けているため、エチレンの発生や、呼吸速度の増大などの生理反応が起こり、カットしない野菜に比べて鮮度低下は非常に速い。そのため、鮮度保持方法の確立とともに、カット野菜独自の鮮度評価方法が求められている。そこで、細胞が切断されていることに注目し、そこから漏出される電解質について鮮度との関係を検討した。また、カット野菜の鮮度保持には低温やMA包装の応用 (Izumi et al. 1996、Mylène et al. 1996) 等の研究が行われている。そこで、カット葉ネギにおいても貯蔵時の温度条件や鮮度保持が可能な包装フィルムについて検討した。

最後に、第7章で、第1章から第6章までの内容を総括した。

第2章 収穫時期が葉ネギの呼吸速度、 内容成分および鮮度に及ぼす影響

第1節 緒 言

青果物の品質や鮮度保持期間に及ぼす収穫前の要因には水管理や肥料などの栽培条件や、気温や日長などの気象条件が挙げられる(Kader 1983)。栽培条件としては、葉ネギでは灌水量を制限することにより、糖やアスコルビン酸含量が増加し、鮮度保持期間を延長できること(林ら 1988)や、アスパラガスでは施肥量を通常の2倍与えると呼吸速度やエチレン生成量が低く、鮮度低下が少ないこと(山県ら 1989)などの報告がある。他方、気象条件としては、冬期に収穫したハウレンソウでは糖含量やアスコルビン酸含量は夏期のものより高く、同一温度下における呼吸速度は冬期のもので早いこと(日坂 1992)や、キャベツでも冬期に収穫したものの糖含量は春期や秋期のものより高いこと(矢野ら 1981)などの報告がみられる。しかしながら、成分含量などの品質や呼吸速度に季節間差が確認されているにもかかわらず、これらと鮮度保持との関係を検討した報告は少なく、特に周年供給されている葉ネギでの報告例はない。

ここでは、葉ネギの収穫時期ごとの呼吸速度と全糖含量、アスコルビン酸含量の経時変化を調査し、鮮度変化との関係を明らかにした。

第2節 材料および方法

1) 呼吸速度の時期別変化

1995年7月29日(夏期)、11月12日(秋期)、1996年1月8日(冬期)および4月23日(春期)に福岡県朝倉郡朝倉町余名持で収穫した九条系葉ネギ(*Allium fistulosum* L.)、いわゆる「博多万能ねぎ」を試験に用いた。

葉ネギ100gを2,400mlのアクリル樹脂製チャンバーに入れ、内径が4mmのアクリル樹脂製パイプ(長さ;90cm、内容積;11.3ml)でエアポンプ(テクノ高槻社製;SPP-3EBS)と連結させた(Fig. 2-1; Upper panel)。これを0~40℃に設定した貯蔵庫に一夜放置し、品温を安定させた。呼吸速度の測定時はエアポンプでチャンバー内の空気を密閉式で循環させた。以後経時的に内部のガスを採取し、島津製作所製のTCDガスクロマトグラフ(GC-8A、カラム;モレキュラーシーブ+ポラパックN、カラムオーブン温度;65℃)により測定した。単位時間当たりに変化した二酸化炭素濃度から呼吸速度(二酸化炭素排出速度)を算出した。また、測定後直ちに安立計器社製の温度計(AP-210)の針状センサー(φ0.5mm)を葉ネギの葉鞘部に差し込み、品温を測定した。

2) 内容成分および鮮度保持期間の時期別変化

1995年7月29日(夏期)、11月6日(秋期)、1996年1月15日(冬期)および4月17日(春期)に収穫したものを試験に供した。

葉ネギは朝収穫し、1束100gに調製した後、5℃に設定した冷蔵庫で一夜保存した。これを二村社製の厚さ0.025mmポリプロピレン(OPP)フィルム袋(80cm×8cm)に詰め、不連続的に熱溶着した(Fig. 2-1: Lower panel)。この方法では、溶着部分に隙間ができるため、内部のガスは容易に外部のガスとの交換が可能である。包装した葉ネギ

30束を発泡スチロール容器に詰め、福岡県農業総合試験場（福岡県筑紫野市吉木）に搬入し、室温および15℃に設定した貯蔵庫中に保存した。以後1日おきに容器1箱を開封し、フィルム内のガス濃度組成を前述のガスクロマトグラフで測定するとともに、全糖含量および還元型アスコルビン酸(以後還元型アスコルビン酸をアスコルビン酸と略す)を測定し、葉先枯れの程度を調査した。各成分分析には1試験区当たり10反復行った。

(1) 全糖の定量

定量には根を切除した葉ネギを用い、これを80%エタノールで加熱処理し、糖を抽出した。抽出液の最終濃度が0.1Nとなるように塩酸を加え、沸騰水中で20分間加水分解し、還元糖液を得た。水酸化ナトリウムで中和した後、ソモギ・ネルソン法で測定した。

(2) アスコルビン酸の定量

全糖含量と同様に根を切除した葉ネギを用いた。測定は須田ら(1995)の方法を参考に行った。即ち、葉ネギを5%メタリン酸で抽出・遠心分離し、No. 5Bの濾紙で濾過後定容した。試験管にpH 7.0のリン酸緩衝液5ml、抽出濾液0.5ml、1mg・ml⁻¹のワサ

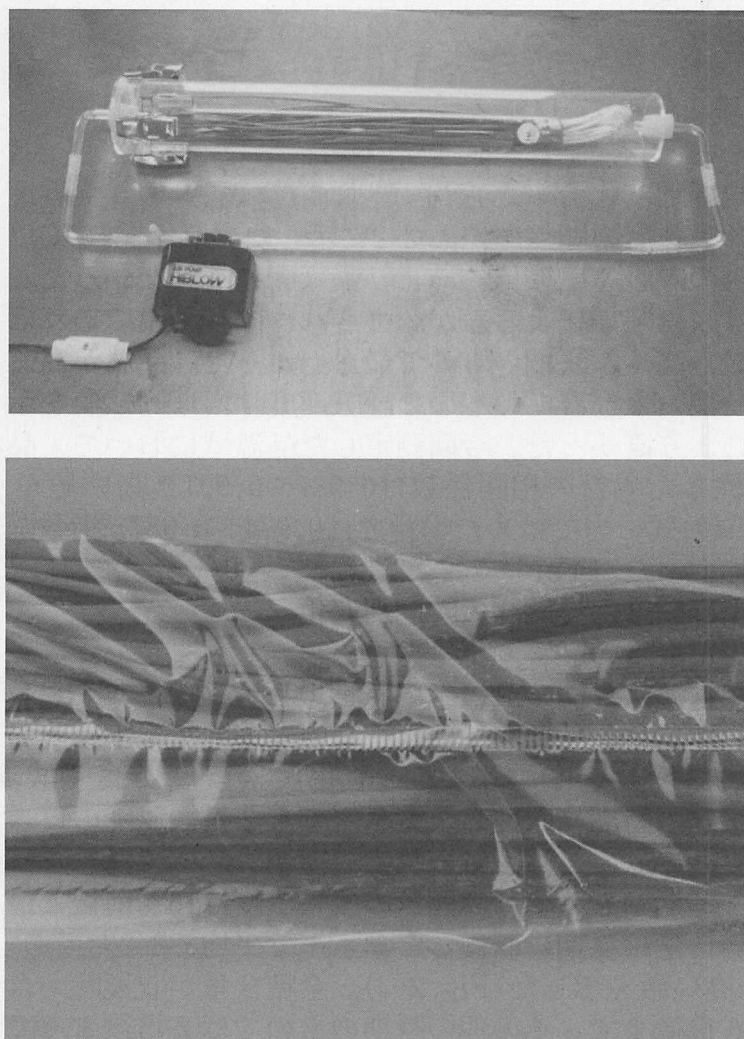


Fig. 2-1 Upper panel : Closed system of measuring the respiration rate of Welsh onion.
Lower panel : Roughly heat-sealed OPP film package.

ビ製ペルオキシダーゼ200 μ l、50mMの過酸化水素水20 μ lを加えて振とうした。35℃の恒温水槽内に20分間保持した後、265nmの波長で吸光度を測定した。過酸化水素水を加えないものを対照にして、吸光度の差を求めた。標準アスコルビン酸の吸光度よりアスコルビン酸含量を求めた。

(3) 葉先枯れの程度の調査

葉先が全く枯れていない状態を0、先端が0～2cm枯れている状態を1、2～4cm枯れている状態を2、5～10cm枯れている状態を3、10cm以上枯れている状態を4に分類し、次式に従い葉先枯れの程度を評価した。

$$\frac{N_0 \times 0 + N_1 \times 1 + N_2 \times 2 + N_3 \times 3 + N_4 \times 4}{N \times 4} \times 100$$

ここで、調査本数をN、葉先枯れ指数0の本数を N_0 、以下同様に N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 と表した。なお、調査個体のすべてが葉先枯れ指数4になった場合に葉先枯れの程度が100になるようにするため、分母に4を乗じた。チャンバー内のすべての葉ネギに対して葉先枯れの程度を調査した。

第3節 結 果

1) 呼吸速度の時期別変化

葉ネギの品温と呼吸速度の関係をFig. 2-2に示した。品温が10℃以下の比較的低い場合では、収穫時期別の呼吸速度には、あまり差は認められなかった。しかしながら、それ以上の品温域では収穫時期による差が認められ、同じ品温であれば冬期に収穫した葉ネギの呼吸速度が最も高く、夏期のもので最も低かった。品温が高くなるにつれこの差は大きくなった。秋期および春期のものの呼吸速度はほぼ同じ値を示し、冬期のものより低く、夏期のものより高かった。今回測定した品温域において、品温と呼吸速度との関係を二次式で近似した場合の相関係数は0.987～0.991と高い値を示した (Table 2-1)。また、Arrheniusの式に当てはめた場合では0.974～0.987、指数関数で近似した場合では0.977～0.984であった (Table 2-2、2-3)。

2) 内容成分および鮮度保持期間の時期別変化

(1) 室温貯蔵した場合の品質変化

貯蔵8日間の平均室温は夏期で31.4℃、秋期で12.7℃、冬期で8.6℃、春期で16.2℃であった。ガス遮断性を有する発泡スチロール容器 (茨木ら 1995) の影響により、葉ネギの雰囲気中のガス濃度は大気に比べて二酸化炭素濃度が高く酸素濃度が低かった (Table 2-4)。いずれの時期に収穫した葉ネギでも2日後以降のガス濃度組成はあまり変化しなかった。夏期のもので雰囲気中の酸素濃度が3.6～8.7%、二酸化炭素濃度が11.2～16.4%であった。冬期のものでは雰囲気中の酸素濃度は16%前後と最も高かった。

貯蔵開始時の全糖含量は夏期に収穫した葉ネギで平均で3.2%であったが、冬期のものは4.2%と、1%も高い値を示した (Fig. 2-3)。全糖含量が収穫時の含有量を保持できたのは春期のもので6日後まで、その他の時期のものでは2日後までで、それ以降は徐々に減少した。その減少割合は収穫時期に関係なく緩やかで、貯蔵開始時を100%とした場合の残存率は最も減少した秋期の6日後で約70%であった。冬期のものでは、6日後で95%、8日後でも88%と糖含量の減少割合は最も低かった。一方、アスコルビン酸含量も冬期のものは夏期のものに比べ含有量が高かった (Fig. 2-4)。夏期および春期のもの

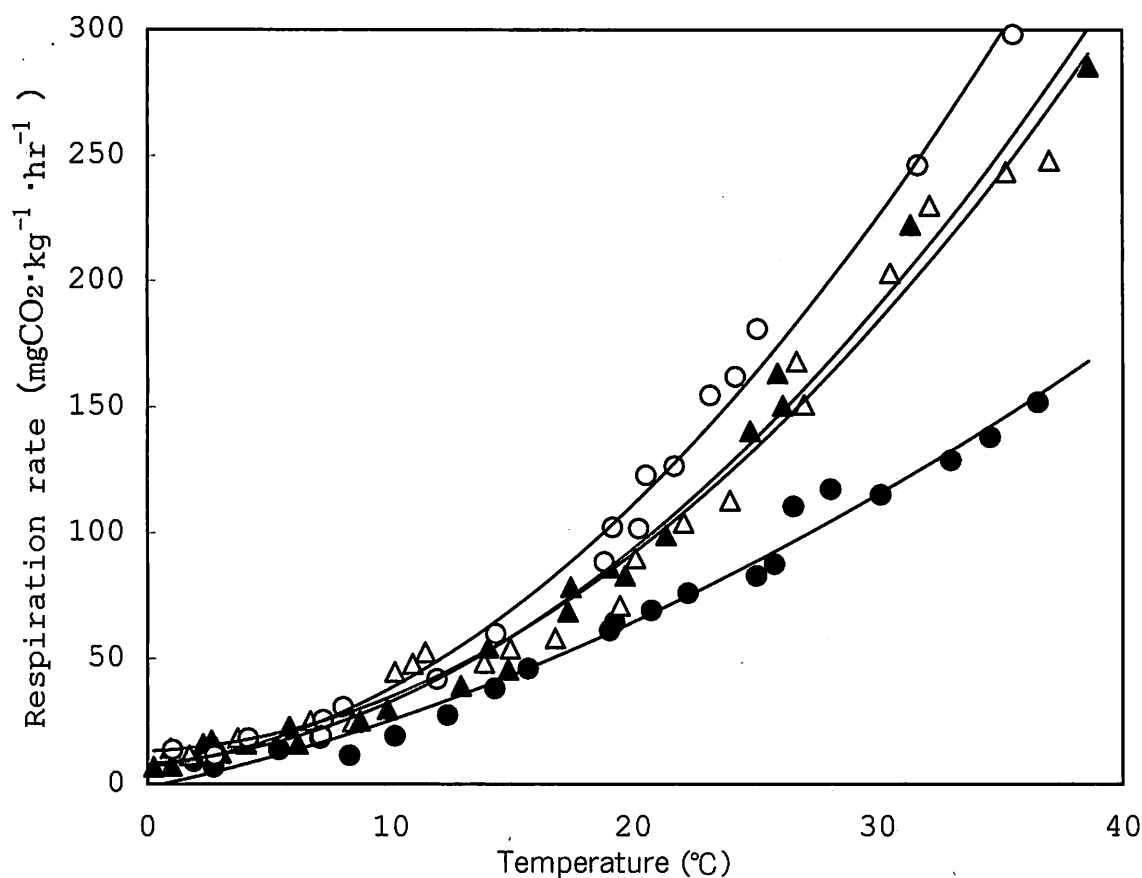


Fig. 2-2 Relation between temperature of Welsh onion and respiration rate.
 ● : harvested in summer (July, '95). ▲ : harvested in autumn (November, '95).
 ○ : harvested in winter (January, '96). △ : harvested in spring (April, '96).
 Lines are quadratic regression equation with temperature and respiration rate
 (see table 2-1).

Table 2-1 Regression equation ($Y=a+b\times T+c\times T^2$) between
 temperature of Welsh onion (T) and respiration rate
 (Y).

Season	a	b	c	R
Summer	1.224	1.9600	0.0629	0.987
Autumn	10.180	0.6573	0.1790	0.989
Winter	10.910	0.5406	0.2189	0.991
Spring	12.560	0.7909	0.1632	0.988

のアスコルビン酸含量は2日後より減少しはじめ、6日後にはそれぞれ50%と30%の残存率にまで減少した。秋期のものは2日後まで貯蔵開始時の含有量を保持したが、それ以降より減少しはじめ、8日後には約50%の残存率にまで低下した。一方、冬期のものではその減少割合は極めて緩やかで、8日後においても貯蔵開始時の83%の残存率であった。

Table 2-2 The Arrhenius equation ($Y = a + b \times K^{-1}$) between the absolute temperature of Welsh onion (K) and respiration rate ($Y : \ln [R]$).

Season	a	b ($\times 10^3$)	R
Summer	29.82	-7.578	0.974
Autumn	29.32	-7.300	0.987
Winter	33.08	-8.403	0.982
Spring	33.83	-8.572	0.987

Table 2-3 An exponential function with the base e : 2.718 ($Y = a \times e^{bT}$) between temperature of Welsh onion (T) and respiration rate (Y).

Season	a	b	R
Summer	8.626	0.0887	0.984
Autumn	10.628	0.0999	0.977
Winter	12.284	0.1018	0.983
Spring	14.178	0.0860	0.983

Table 2-4 Effect of harvest season in Welsh onion on carbon dioxide and oxygen concentrations (%) in film package stored at room temperature and 15 °C.

Harvest Season	Gas	Room temperature				15 °C			
		Days in storage				Days in storage			
		2	4	6	8	2	4	6	8
Summer	CO ₂	15.6	16.4	11.2	13.9	8.5	10.3	6.0	5.7
	O ₂	4.0	3.6	8.7	5.6	12.0	10.4	14.9	15.0
Autumn	CO ₂	6.2	8.5	9.1	8.6	6.3	7.8	8.4	8.0
	O ₂	13.8	11.7	11.3	11.9	13.6	12.4	12.0	12.5
Winter	CO ₂	4.6	4.8	4.0	4.2	8.3	11.2	9.7	11.6
	O ₂	15.9	15.9	16.7	16.4	12.2	9.3	11.8	8.6
Spring	CO ₂	9.3	11.7	12.5	11.4	11.4	10.2	11.0	10.9
	O ₂	10.2	8.3	7.0	8.1	7.9	10.0	9.0	8.9

Mean of room temperature for 8 days in summer was 31.4 °C, in autumn was 12.7 °C, in winter was 8.6 °C, in spring was 16.2 °C.

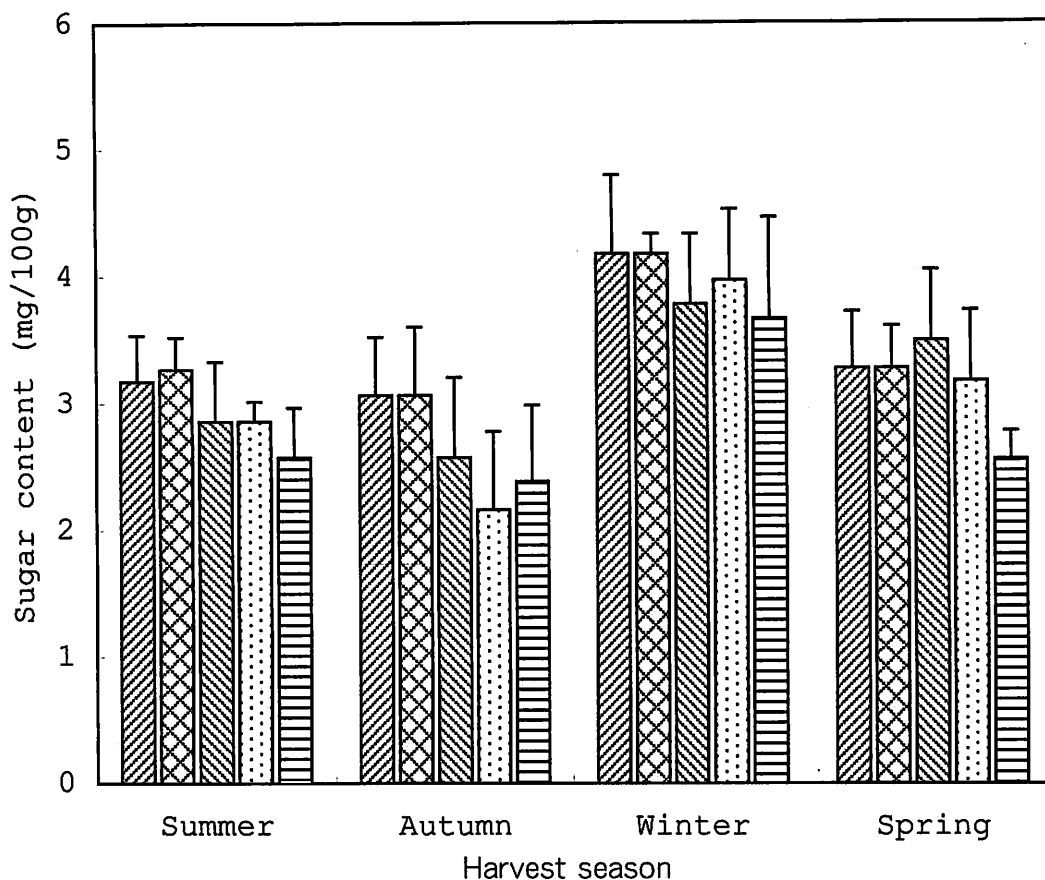


Fig. 2-3 Effect of harvest season in Welsh onion on sugar content during storage at room temperature.

Welsh onions (100g each) were packed into OPP film bag (roughly heat-sealed), and 30 packages each were put into expanded polystyrene containers. These containers were opened every other day for evaluating chemical components and quality stability. ▨: 0 day. ▩: 2 days in storage. ▤: 4 days in storage. ▥: 6 days in storage. ▦: 8 days in storage. Vertical bars are the standard deviation. $n=10$

葉先枯れは、見た目の鮮度や商品性を大きく左右する (茨木ら 1995)。指数が10を超えると枯れた部分が目立ってくる。さらに、指数が20を超えると商品性が認められない程に枯れている状態となる。夏期に収穫した葉ネギでは4日後に指数16となり、6日後には58にも達し、鮮度の低下が著しかった (Fig. 2-5)。秋期、冬期および春期のものでは、4日後まで葉先枯れはほとんど認められなかった。しかしながら、秋期と春期のものではそれ以降急激に葉先枯れが進行し、6日後にはそれぞれ指数が17と15に達した。一方、冬期のものは6日後でも指数が5で鮮度保持に優れた。

これらのことから、室温で貯蔵した場合、夏期収穫の葉ネギでは、室温が高かったためアスコルビン酸含量は早くから減少するとともに、葉先枯れの進行も他の時期に収穫したもの比べて早く、鮮度保持期間が短かった。一方、冬期のものでは、室温が低かったため、全糖含量とアスコルビン酸含量の保持に優れ、葉先枯れの進行も遅く、鮮度保持期間は長かった。

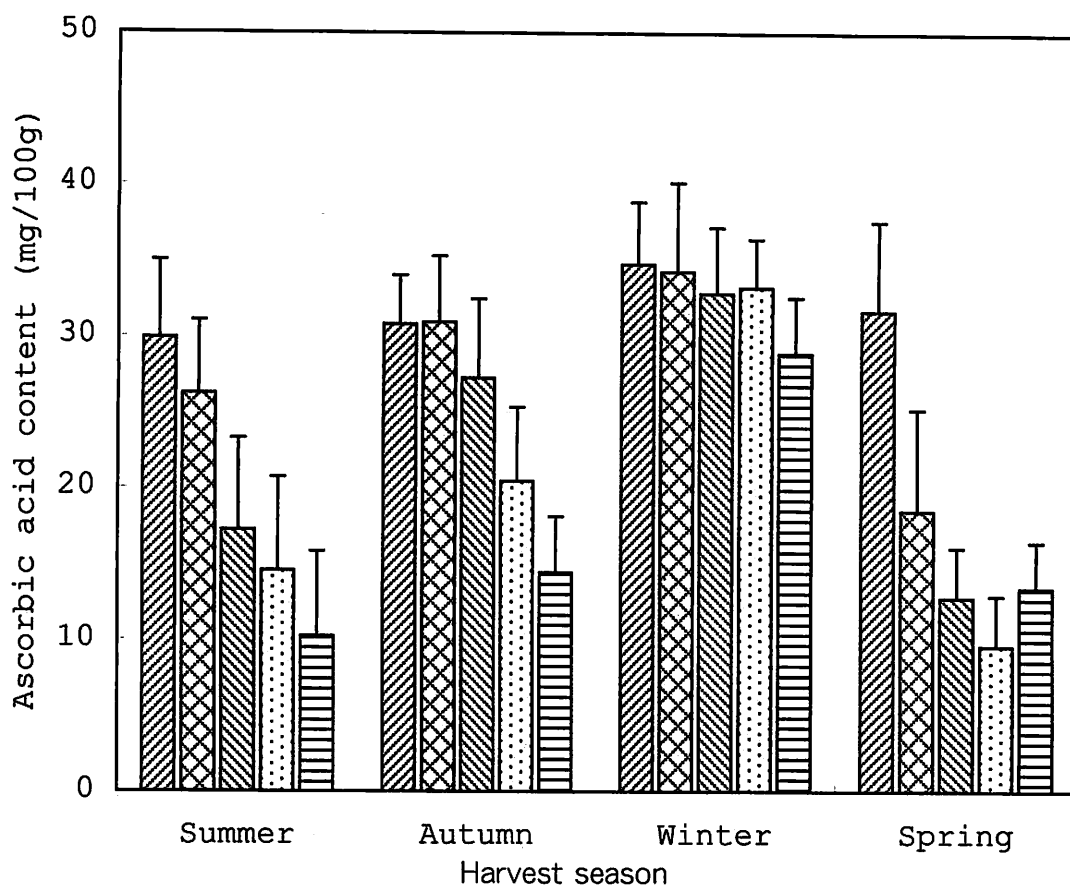


Fig. 2-4 Effect of harvest season in Welsh onion on ascorbic acid content during storage at room temperature.

Symbols are the same as shown in Fig. 2-3.

(2) 15℃で貯蔵した場合の品質変化

15℃で貯蔵した場合のフィルム袋内の酸素濃度が比較的低かったのは冬期および春期のもので、その値は冬期で8.6~12.2%、春期のもので7.9~10.0%であった (Table 2-4)。夏期のものでは酸素濃度は10.4~15.0%とさらに高かった。

全糖含量の経時変化をFig. 2-6に示した。夏期と春期の葉ネギで6日後まで貯蔵開始時の含有量を保っていた。秋期に収穫したものでは経時的な減少が目立ち、6日後には貯蔵開始時の64%にまで減少した。アスコルビン酸含量も時間の経過とともに漸減した (Fig. 2-7)。しかし、その中では夏期のもので4日後まで貯蔵開始時の含有量を保っていた。冬期に収穫した葉ネギで室温貯蔵のものより経時的な減少が目立ち、2日後より減少し始め、6日後には65%の残存率にまで低下した。冬期に収穫した葉ネギでは、4日後で葉先枯れが指数9に達し、6日後には44と急増し鮮度の低下が著しかった (Fig. 2-8)。秋期のものでは4日後まで葉先枯れの進行を抑制できたが6日後には指数19になり、商品性は失われた。夏期および春期の葉ネギで葉先枯れが少なく、特に春期のものでは6日後においても指数は4であった。

これらのことから、15℃で貯蔵した場合、冬期に収穫した葉ネギでは、アスコルビン酸含量の減少が早くから始まるとともに、葉先枯れも早くから進むことから、鮮度保持期間が短くなった。春期のものでは、葉先枯れは進まず外観的には優れたが、アスコルビン酸の低下が早くから起こった。一方、夏期のものでは、全糖含量の低下は少なく、

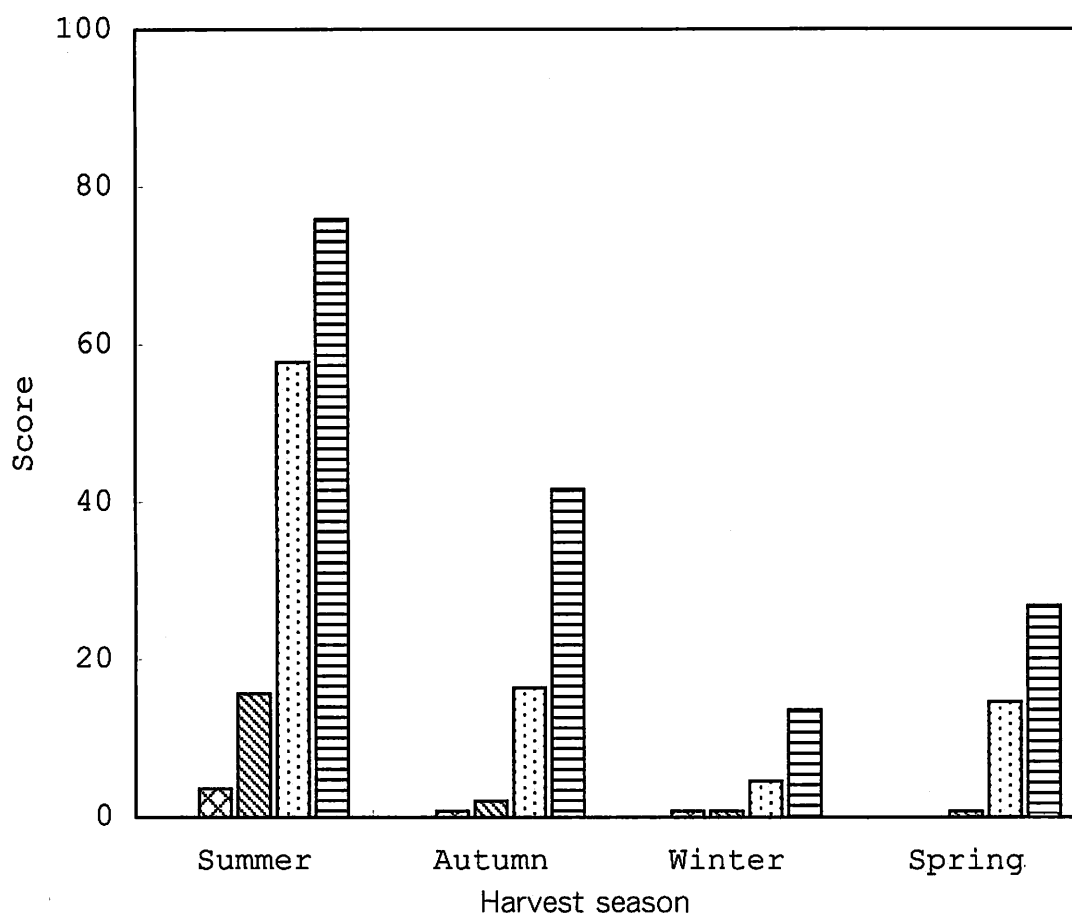


Fig. 2-5 Effect of harvest season in Welsh onion on score of withering leaf tip by sensory evaluation during storage at room temperature.

Score of withering leaf tip of Welsh onion was defined as follows.

$$\frac{N_0 \times 0 + N_1 \times 1 + N_2 \times 2 + N_3 \times 3 + N_4 \times 4}{4 \times N} \times 100$$

N_0 : number of Welsh onion that did not have withering leaf tip. N_1 : number of Welsh onion that had withering leaf tip less than 2 cm in length. N_2 : number of Welsh onion that had withering leaf tip 2 ~ 5 cm in length. N_3 : number of Welsh onions that had withering leaf tip 5 ~ 10 cm in length. N_4 : number of Welsh onion that had withering leaf tip longer than 10 cm. N : number of Welsh onion that was investigated in this test. Symbols are the same as shown in Fig. 2-3.

アスコルビン酸含量も4日後まで収穫時の状態を保持でき、葉先枯れの進行も比較的遅く、鮮度保持期間が長かった。

第4節 考 察

葉ネギの呼吸速度は収穫時期により異なり、それぞれは二次式に近似できた。青果物の貯蔵温度が上昇すると、呼吸速度が高くなることは昔から知られている（緒方

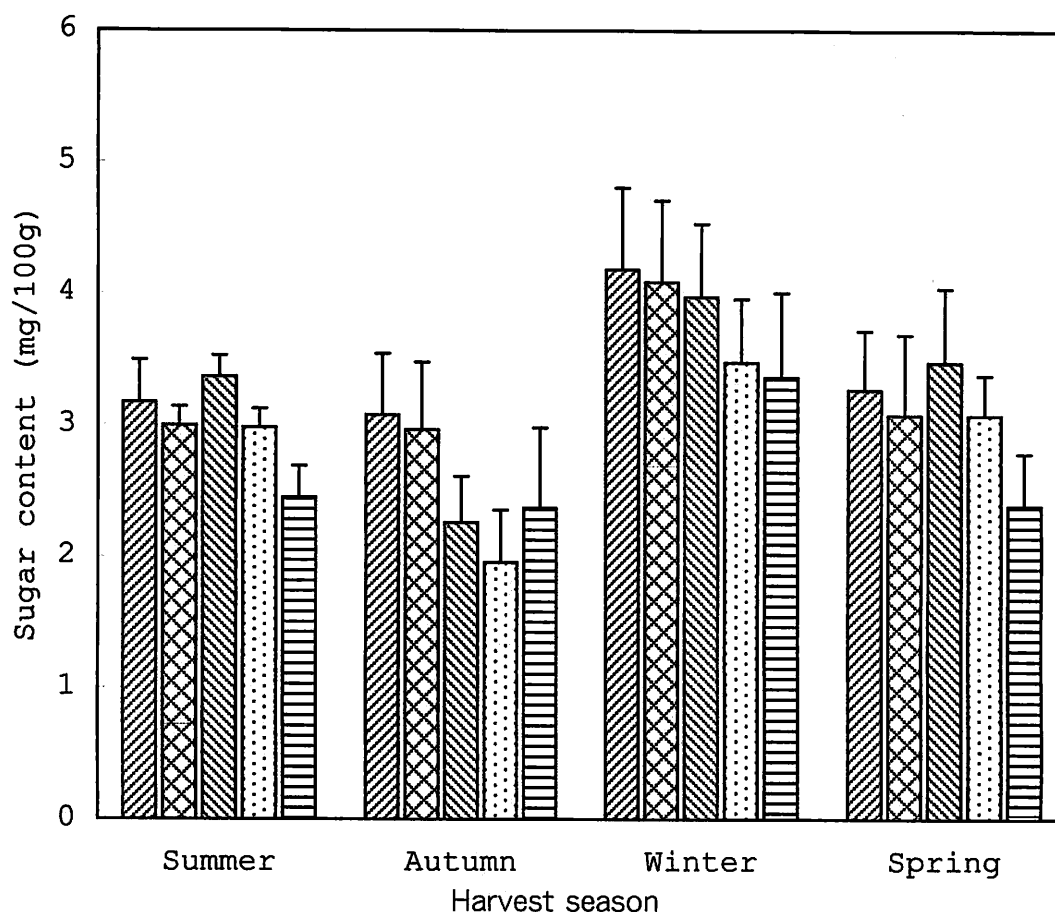


Fig. 2-6 Effect of harvest season in Welsh onion on sugar content during storage at 15 °C.

Symbols are the same as shown in Fig. 2-3.

1974)。呼吸速度と品温（温度）との関係は、温度係数 (Q_{10}) や Arrhenius の式 (Song et al. 1992)、指数関数 (Beadry et al. 1992) など示されている。しかし、これらは必ずしも明確な根拠があるわけではない (牧野 2000)。著者らは、流通中に考えられる温度域 (0 °C 付近から 35 °C 付近まで) と、それに対応する呼吸速度を収穫時期ごとに細かく調査し、簡単な二次式で示した。これらの温度域では、高い相関 (0.987~0.991) が得られた。しかしながら、Arrhenius の式や指数関数で表した場合では、相関は二次式で表した場合ほど高くはなく、特に指数関数で表した場合では、高温域において実測値との差は大きくなった。このことから、葉ネギにおいては呼吸速度と品温との関係は簡単な二次式で示すことが可能である。収穫時における葉ネギの呼吸速度を推測した。収穫前 1 週間の平均気温は夏期で 28.0 °C、秋期で 12.8 °C、冬期で 3.6 °C、春期で 10.9 °C であった。気温 = 品温と仮定して、収穫時の呼吸速度を Table 2-1 に示す近似式から予測した結果、夏期のものの呼吸速度は $105.4 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 、秋期では 46.6 (同)、冬期で 15.7 (同)、春期では 40.6 (同) であり、夏期のものの呼吸速度は冬期のものの 6.7 倍であった。同様に、品温が 15 °C のときの葉ネギの呼吸速度を予測すると、冬期のものの呼吸速度は $68.3 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ であり、夏期のもの (44.8 (同)) に比べ約 1.5 倍であった。同様に 25 °C では冬期のものでは 161.3 (同) で、夏期のもの (89.5 (同)) に比べ約 1.8 倍となり、品温が高くなるにつれ両者の差は大きくなった。このように、同じ温度でも

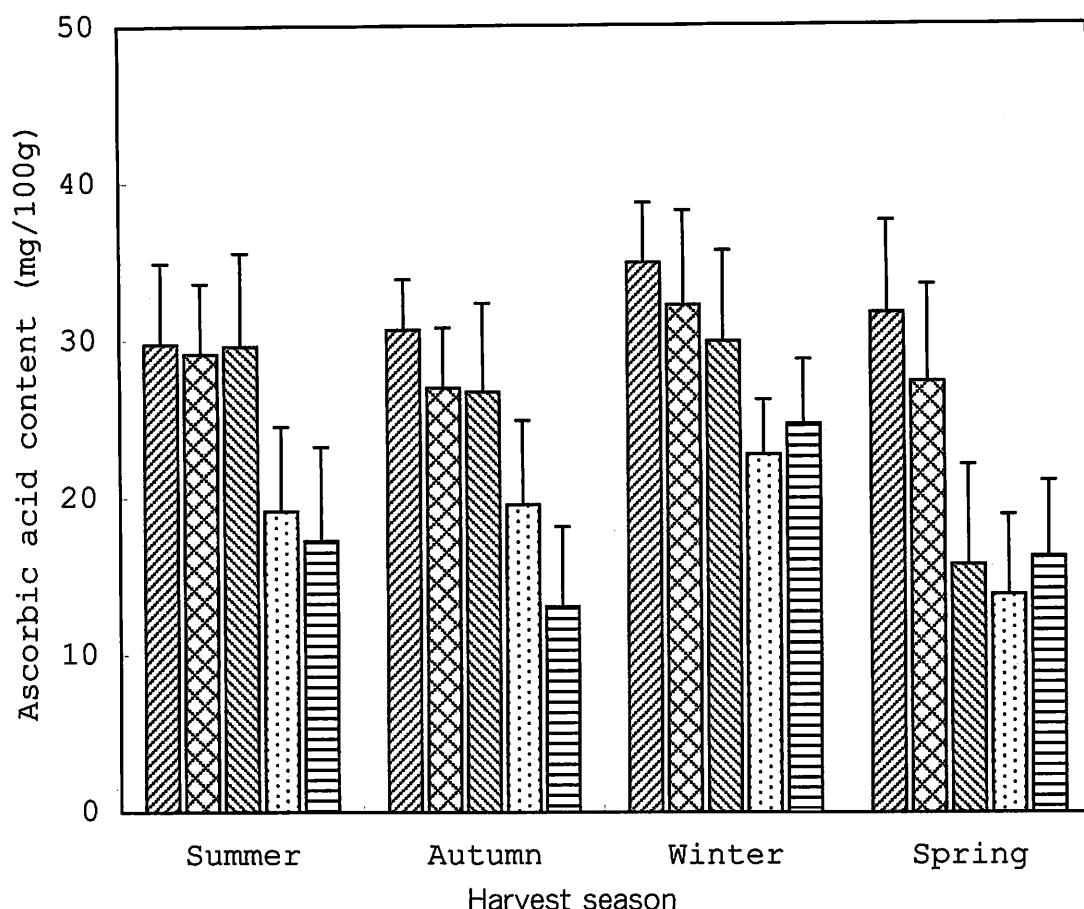


Fig. 2-7 Effect of harvest season in Welsh onion on ascorbic acid content during storage at 15 °C.
Symbols are the same as shown in Fig. 2-3.

収穫時期により呼吸速度が異なる現象はホウレンソウ（日坂 1992）でも確認されている。これには品温の変動が影響していることが考えられる。森ら（1983）は青果物の品温が上昇すると、呼吸速度の一時的に過剰な上昇現象が認められ、これは温度変化（上昇）が大きいほど著しかったと報告している。また、温度が低下する場合には速やかに呼吸も低下すると報告していることから、品温上昇に伴う青果物のストレスの方が品温低下に伴うストレスより大きいと考えられる。そのため、比較的高い温度域では、低温下で生育した冬期の葉ネギの方が高温下で生育した夏期のものより品温の変動が大きく、そのために呼吸速度が高くなったものと考えられる。一方、比較的低い温度域では、品温低下に伴うストレスが低いことから、収穫時期による差は少なかったと考えられる。

青果物の鮮度保持を左右する要因には、呼吸速度やその基質である全糖含量があげられる。Kader（1987）は腐敗しやすい青果物は呼吸速度が高いと報告している。Brashら（1995）は収穫後のアスパラガスでは、呼吸速度が高いほど鮮度保持期間は短いことを認め、日坂（1992）も、ホウレンソウで栽培来歴の違いから生じる呼吸速度の大小が鮮度保持に影響すると報告している。葉ネギの呼吸速度は収穫時期により異なり、それぞれの収穫時期ごとの気温下では夏期のものの方が冬期のものより高かった。これとは逆に、同一品温であれば夏期に収穫した葉ネギで最も低く、冬期のもので最も高かった。これらの結果は、葉ネギの鮮度保持期間と良く一致し、呼吸速度が低いほど鮮度保持期

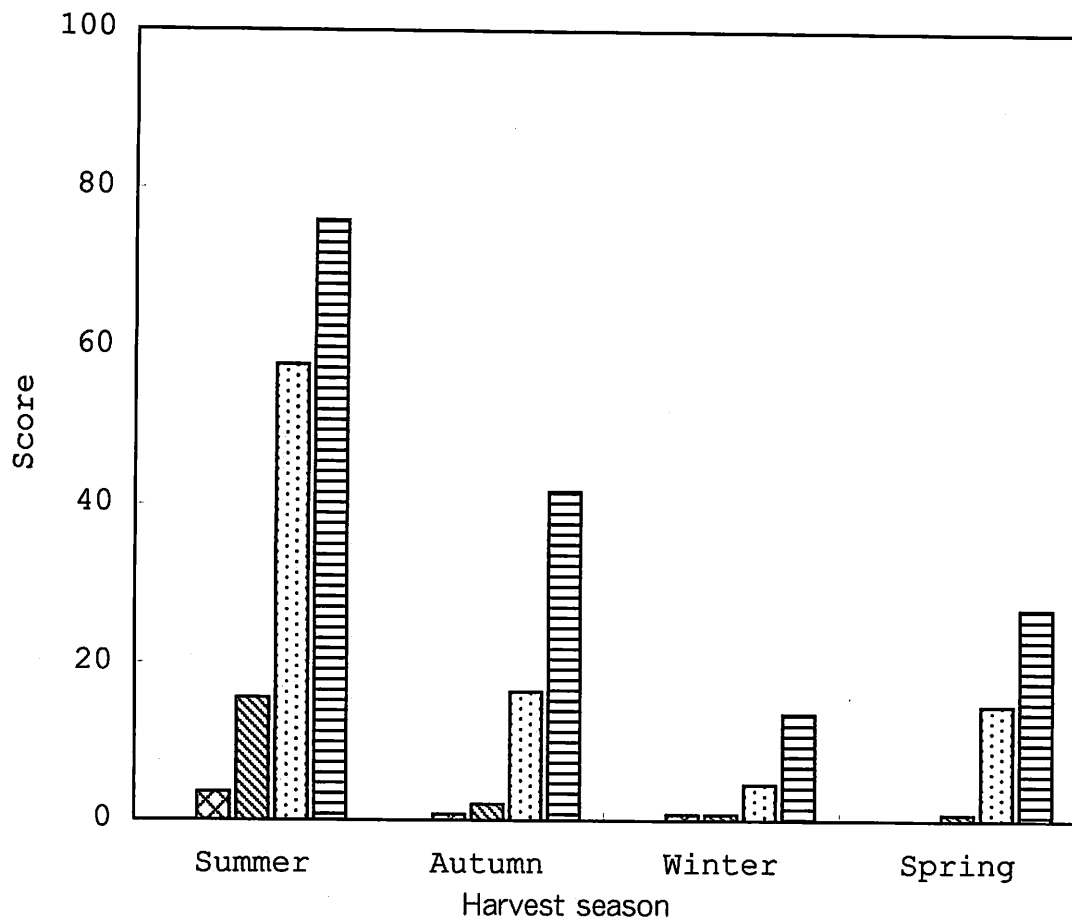


Fig. 2-8 Effect of harvest season in Welsh onion on score of withering leaf tip by sensory evaluation during storage at 15 °C.
Symbols are the same as shown in Fig. 2-3.

間が長いことが明らかになった。

一方、鮮度保持と糖含量の関係では次の報告がある。西条 (1988) は夏まきキャベツの貯蔵可能日数と糖含量を測定し、糖含量が高い品種ほど貯蔵可能日数が長いという結果から、糖の消失までの日数が長いほど貯蔵性が高いと推測している。また、日坂 (1989) は冬期収穫のハウス、露地作のハウレンソウの糖含量を比較し、露地作のものの方が2倍程高いにもかかわらず、呼吸速度も高いため、糖の消失速度に差はなく、鮮度保持期間にも差がなかったと報告している。今回の試験では、夏期に収穫し常温貯蔵した葉ネギの鮮度低下が早かったにもかかわらず、そのときの全糖含量の減少割合は比較的少ないなど、鮮度保持期間と全糖含量の変化との間には必ずしも明確な関係は認められなかった。これらのことから、葉ネギでは全糖含量よりもむしろ呼吸速度の方が鮮度保持に影響を及ぼすものと思われる。

第5節 小 括

葉ネギの収穫時期ごとの鮮度保持期間を明らかにするために、1995年7月、11月、1996

年1月および4月に収穫したものの温度別の呼吸速度を調査し、室温および15℃に設定した貯蔵庫中に出荷容器ごとに保存し、品質の変化を調査した。

(1) いずれの時期に収穫した葉ネギにおいても、品温と呼吸速度の関係は二次式で近似できた。同じ品温であれば、呼吸速度は冬期に収穫したものが最も高く、夏期のもので最も低かった。これとは逆に、収穫時における呼吸速度は夏期のもので最も高く、冬期のもので最も低かった。

(2) 室温で貯蔵した場合、夏期収穫の葉ネギでは、アスコルビン酸含量が早くから低下し、葉先枯れの進行も他の時期に収穫したものに比べ早く、鮮度保持期間が短くなった。冬期のものでは、内容成分の保持に優れ、葉先枯れの進行も遅く、鮮度保持期間も長かった。

(3) 15℃で貯蔵した場合、夏期収穫の葉ネギでは、葉先枯れの進行も遅く、鮮度保持期間が長かった。冬期のものは、内容成分が早くから減少し、葉先枯れも早くから進むことから鮮度保持期間が短かった。

(4) 葉ネギの呼吸速度は鮮度保持期間に影響を及ぼし、呼吸速度が低いほど鮮度保持期間が長かった。

第3章 雰囲気ガス濃度組成が 葉ネギの呼吸速度と鮮度に及ぼす影響

第1節 緒 言

青果物を取り巻く空気（雰囲気）の酸素濃度が大気中の酸素濃度より低くなると鮮度保持効果が徐々に高くなり、ある一定の濃度にまで低下するとその効果は最高に達すると考えられている (Kader 1987)。雰囲気の酸素濃度がこの条件に合致すれば、青果物は呼吸をはじめとする様々な代謝が抑制される。また、アスコルビン酸やカロテン、糖、有機酸などの内容成分の減少も抑制でき、色やテクスチャーを保持することが可能になる (池田・茨木 1998)。しかし、酸素濃度がこの値より高い場合では呼吸活性を抑制できず、青果物は貯蔵期間が長くなるにつれ黄化や果肉の軟化、カビの発生、腐敗などが認められる (Kader 1987)。また、低い場合では青果物は無気呼吸をし、緑色は保たれるものの、不快な異臭が発生し、味が悪くなる (Ibaraki et al. 1999)。一方、青果物を取り巻く雰囲気中の二酸化炭素濃度が大気中の二酸化炭素濃度より高くなると呼吸が抑制され、低酸素のときと似たような鮮度保持効果が期待できる。これは、TCAサイクル中の脱炭酸反応が阻害されるためにサイクルがスローダウンすることによって考えられている (Kader 1987)。しかしながら、‘とよのか’ イチゴのように、低酸素・高二酸化炭素条件下においても呼吸速度が低下せず、鮮度保持効果も期待できない青果物も存在する (データ未発表)。そのため、低酸素・高二酸化炭素条件下における葉ネギの呼吸速度を測定することはMA包装が葉ネギの鮮度保持に効果的であるか否かを判断する上で重要である。

MA包装はその簡便さから多くの研究が行われている。特に鮮度保持効果が顕著に認められるブロッコリーではたくさんの研究がなされ、呼吸の抑制、アスコルビン酸やクロロフィルなどの成分の保持が認められている (川嶋ら 1988、太田ら 1991、與座ら 1992、山下ら 1993、宮本ら 1993、池田・茨木 1998)。しかしながら、MA包装に適するガス組成を求めるに当たり、数種類のプラスチックフィルムで青果物を密封包装しその鮮度保持結果より最適なMA条件を類推している研究が多い。そこで、葉ネギにおいてMA包装の有効性を検証するとともに、MA包装に適する雰囲気ガス条件を求めた。

第2節 雰囲気ガス濃度組成が呼吸速度に及ぼす影響

様々な雰囲気ガス濃度組成下における葉ネギの呼吸速度を測定することにより、酸素濃度および二酸化炭素濃度と呼吸速度との関係を明らかにし、MA包装の有効性を検証した。

第1項 材料および方法

1997年5月に福岡県朝倉町で収穫した葉ネギを用いた。様々な雰囲気ガス濃度組成下における葉ネギの呼吸速度を測定するため、葉ネギ100gを2,400ml容の円柱形チャンバーに入れた (Fig. 2-1: Upper panel)。TCDガスクロマトグラフ測定時におけるアルゴンガスの影響を取り除くため、チャンバー内のガスを一旦窒素ガスで置換した。その後、ガス混合調製装置 (Fig. 3-1) から得られる雰囲気ガスをチャンバー内に導入した。

ガス濃度の設定は、Leeら (1991) の試験を参考に、二酸化炭素濃度を0.2~13.8%、酸素濃度を4.1~15.9%とし、それぞれを組み合わせ、合計で36種類の雰囲気ガスを作り出した。チャンバー内が目的のガス濃度に達した後、第2章第2節に準拠して呼吸速度を測定した。この試験は15℃に設定した貯蔵庫内で行った。

第2項 結果および考察

Table 3-1において、各種雰囲気ガス濃度組成下における葉ネギの呼吸速度の測定結果を示した。今回設定したガス濃度組成下では、葉ネギからは無気呼吸特有の異臭は観察されなかった。また、低酸素条件あるいは高二酸化炭素条件下で呼吸速度が抑制されていたことを考えると、この36通りのガス条件下では葉ネギは無気呼吸しなかったものと考えられる。この測定した二酸化炭素濃度 $[CO_2]$ と酸素濃度 $[O_2]$ を変数として、重回帰分析した結果、葉ネギの呼吸速度 r は、

$$r = 30.40 - 2.06 \times [CO_2] + 0.57 \times [O_2]$$

と表すことができた。ここで、

r : $mg\ CO_2 \cdot kg^{-1} \cdot hr^{-1}$

$[CO_2]$: %, $[O_2]$: %

である。

相関係数は0.92であった。二酸化炭素濃度の係数は負であり、酸素濃度の係数は正であった。これは、二酸化炭素濃度が高くなるほど、また、酸素濃度が低くなるほど呼吸が抑制されることを表している。したがって、葉ネギはMA効果が期待できる野菜であることが明らかになった。二酸化炭素濃度の係数の絶対値は酸素濃度の係数の4倍弱であった。これは、呼吸速度に及ぼす影響は二酸化炭素濃度の変化割合の方が酸素濃度の変化割合より大きいことを示している。

得られた呼吸速度式の有効性を検討するため、重回帰分析による予測値と実測値との比較を行った (Fig. 3-2)。この結果、予測値 (Y) と実測値 (X) との間には $Y = 0.921X + 1.70$ 、相関係数 $r = 0.959$ の高い正の相関関係が得られ、本呼吸速度式の有効性が示唆された。青果物の呼吸速度を酸素濃度と二酸化炭素濃度を変数として数式で表すことはMA包装の設計には不可欠である。YangとChinnan (1988) は呼吸速度を貯蔵時間との

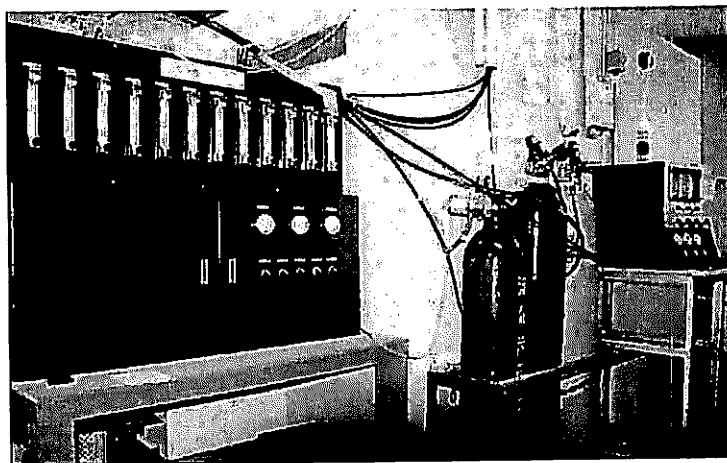


Fig. 3-1 Apparatus of modified air system.

Table 3-1 Effect of carbon dioxide and oxygen concentration on respiration rate of Welsh onion.

Gas concentration (%)		Respiration rate (mg CO ₂ • kg ⁻¹ • hr ⁻¹)	
CO ₂	O ₂	Experimental data	Predictive data
0.24	4.10	27.10	29.75
0.42	4.58	33.50	29.69
0.26	5.31	29.30	30.48
0.31	7.99	36.70	32.08
0.26	11.41	30.80	34.35
0.26	11.74	37.60	34.56
0.28	14.72	36.00	36.41
0.43	15.27	38.30	36.46
3.40	4.22	24.90	23.42
3.83	4.34	26.30	22.62
3.51	7.77	26.80	25.45
3.39	8.04	18.20	25.86
3.52	11.62	27.20	27.88
3.16	12.13	25.20	28.93
3.35	15.07	31.30	30.41
3.73	15.17	30.30	29.70
6.08	4.21	18.20	17.98
6.82	4.71	18.50	16.79
5.83	6.81	18.10	20.14
6.97	7.99	20.80	18.57
6.17	9.65	20.70	21.25
6.87	11.61	21.30	21.08
6.24	14.82	21.70	24.39
7.02	15.24	25.90	23.08
10.11	4.59	9.00	10.05
10.21	4.60	5.80	9.85
10.39	7.99	12.30	11.64
10.00	8.08	10.50	12.49
9.95	12.32	9.70	15.28
10.60	14.79	15.00	15.53
9.93	15.50	18.10	17.34
10.71	15.62	17.80	15.84
13.77	4.90	4.30	2.82
13.77	7.81	6.70	4.67
13.65	11.75	9.70	7.42
13.40	15.88	11.20	10.55

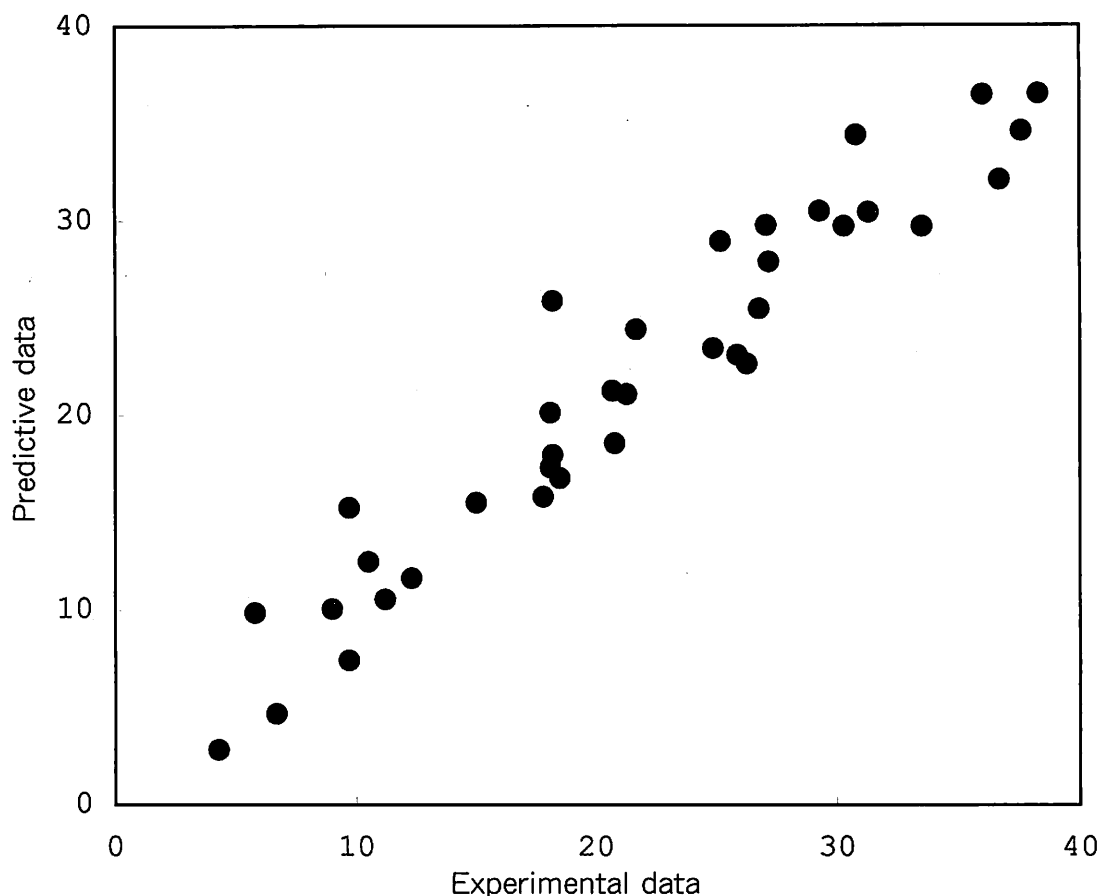


Fig. 3-2 Correlation between experimental and predictive values of respiration rate of Welsh onion. (mg CO₂ · kg⁻¹ · hr⁻¹)

二次機能で示した。また、Cameronら（1989）はトマトの酸素消費量を酸素濃度を変数とする指数タイプの関数で表している。これらの試みはいずれも経験式である。Leeら（1991）は、呼吸速度を理論的に表現する数式を試みた。すなわち、酸素濃度と二酸化炭素濃度を変数とするミハエリスーメンテンタイプの酵素反応式にあてはめて呼吸速度を表した。しかしながら、数多くの酵素の反応結果である呼吸生理を、単純なミハエリスーメンテンタイプの酵素式にあてはめること自体、やや不自然であると思われる。それゆえ、経験式により導かれた式であるが、測定結果と、計算結果が非常によく一致したという事実により、葉ネギでは重回帰式により呼吸速度を表現することが適切であると考えられる。

第3節 いくつかの雰囲気ガス濃度組成が葉ネギの内容成分および鮮度に及ぼす影響

葉ネギのMA包装に適する条件を得ることを目的として、濃度組成が既知の種々のガス環境を作り出し、これらの雰囲気ガスが葉ネギの呼吸速度、内容成分および鮮度保持に及ぼす影響を検討した。

第1項 材料および方法

1996年1月に、福岡県朝倉町で生産された葉ネギを供試した。収穫、調製(1束100g)後1夜5℃に設定した冷蔵庫で冷却したものを試験場に搬入した。

1) 雰囲気ガス環境の設定

本実験で設定した雰囲気ガス組成をTable 3-2に示した。ここでは、酸素と二酸化炭素の合計を大気と同じ21%に設定した。これは、実際に青果物をフィルムに入れて貯蔵した場合、貯蔵期間が1週間程度の比較的短い場合であれば、酸素と二酸化炭素の合計値はあまり変化しないためである (Beaudry et al. 1992、與座ら 1993)。

2) 呼吸速度の測定

葉ネギ400gを14.4ℓのアクリル樹脂製チャンバーに入れ、Table 3-2に示すガスを毎時7ℓの流速で1夜導入しチャンバー内のガスを置換した。測定時はエアポンプをアクリル樹脂製パイプで連結させ、チャンバー内の雰囲気を密閉式で循環させ、1時間ごとのガス濃度を4時間に渡ってTCDガスクロマトグラフにより測定し、単位時間当たりに変化した酸素濃度と二酸化炭素濃度から呼吸速度を算出した。また、雰囲気ガスをエアポンプに導入するまでのアクリル樹脂製パイプの内容積(約10ml)は計算上無視した。

3) ガス制御チャンバーによる貯蔵試験

葉ネギ600gを上記チャンバーに入れ、Table 3-2に示すガスを毎時7ℓの流量で連続的にチャンバー内に導入した。以後1日おきに葉ネギを取り出し、全糖含量、アスコルビン酸含量および葉先枯れを第2章第2項に準拠して調査した。また、クロロフィルを下記により分析した。上記成分分析には各区6反復行った。

(1) クロロフィルの定量

測定には葉先20cmの葉身部分を用いた(松本 1986)。これを80%の熱エタノールで抽出し、遠心分離後定容して、665nmと649nmの波長の吸光度を測定した(與座ら 1993)。

第2項 結 果

1) 雰囲気ガス環境が呼吸速度に及ぼす影響

各雰囲気ガス環境下における葉ネギの呼吸速度をTable 3-3に示した。二酸化炭素排出速度はチャンバーA内の葉ネギ(以下特に記さない限りチャンバーA内の葉ネギをA区、同様に、B区、C区、D区、E区と略す)で111mg CO₂・kg⁻¹・hr⁻¹であった。しかし、酸素濃度が低くなる(二酸化炭素濃度が高くなる)とともに呼吸速度は低下し、酸素濃度が最も低いE区では53mg CO₂・kg⁻¹・hr⁻¹と、約半分までに低下した。同様に、酸素

Table 3-2 Atmosphere compositions used in this experiment.

Sample	N ₂ (%)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)
A		air	
B	79.2	15.1	5.7
C	78.8	11.5	9.7
D	79.8	7.6	12.6
E	78.8	4.1	17.1

Table 3-3 Effect of several atmosphere compositions on respiration rates during storage at 15 °C.

Respiration rates	A ^{a)}	B	C	D	E
Carbon dioxide production ^{b)}	111	97	78	62	53
Oxygen consumption ^{c)}	88	76	66	53	45
Respiration quotient	0.92	0.93	0.86	0.85	0.86

a) See table 3-2 for abbreviation.

b) mg CO₂ · kg⁻¹ · hr⁻¹.

c) mg O₂ · kg⁻¹ · hr⁻¹.

吸収速度もE区はA区の約半分の値であった。

今回の実験ではいずれのチャンバー内の葉ネギにおいても異臭は認められなかった。また、呼吸商もほぼ同じ値を示したことから、酸素濃度が4%と最も低い設定のE区においても無気呼吸はしなかったものと考えられる。

2) 雰囲気ガス環境が成分および鮮度に及ぼす影響

葉ネギの全糖含量は酸素濃度を高く設定した雰囲気下のものほど減少した (Fig. 3-3)。しかし、減少割合は小さく、大気と同じガス組成のA区においても、貯蔵4日後には貯蔵前の90%、最も値が低かった6日後でも81%に留まった。酸素濃度が低いD区およびE区では全糖含量の低下は明確には認められなかった。アスコルビン酸含量も全糖含量と同様に酸素濃度を高く設定した雰囲気下のものほど減少割合は高かった (Fig. 3-4)。その減少割合は全糖含量の減少割合より大きく、A区では貯蔵2日後に貯蔵前の約80%、8日後には約60%にまで減少した。また、B区およびC区でも経時的に減少した。一方、酸素濃度が低いD区およびE区では、アスコルビン酸含量の減少は貯蔵8日後まで認められなかった。クロロフィル含量も同様に、酸素濃度を高く設定した雰囲気下の葉ネギほど早くから低下し、A区では貯蔵4日後から、B区およびC区では6日後から減少し、特にA区では6日後に貯蔵前の約56%にまで低下した (Fig. 3-5)。D区およびE区では貯蔵8日後でもクロロフィル含量の低下は認められなかった。

葉先枯れの程度の経時変化をFig. 3-6に示した。A区では貯蔵2日後にすでに指数14となり、4日後には48と急激に増加し、商品性が失われた。同様にB区では2日後に指数10、4日後には35に達した。C区では2日後では指数5であったが、4日後には24となった。したがって、程度の差こそあれ、A区～C区では葉先枯れが早くから発生し、貯蔵2日後から4日後には商品性を失った。一方、D区およびE区では、4日後までは指数10未満で商品性を保つことができたが、6日後にはそれぞれ45と35と急激に増加し、商品性がないまでに葉先枯れが進行した。

第3項 考 察

葉ネギでは、他の青果物と同様に、低酸素・高二酸化炭素条件下で全糖含量、アスコルビン酸含量およびクロロフィル含量の経時的な減少を抑えることができた。特に、D区およびE区ではこれらの成分の減少は貯蔵8日後においても認められなかった。これは、低酸素に設定した試験区ほど呼吸速度が抑制されたためと考えられる。呼吸商が1より

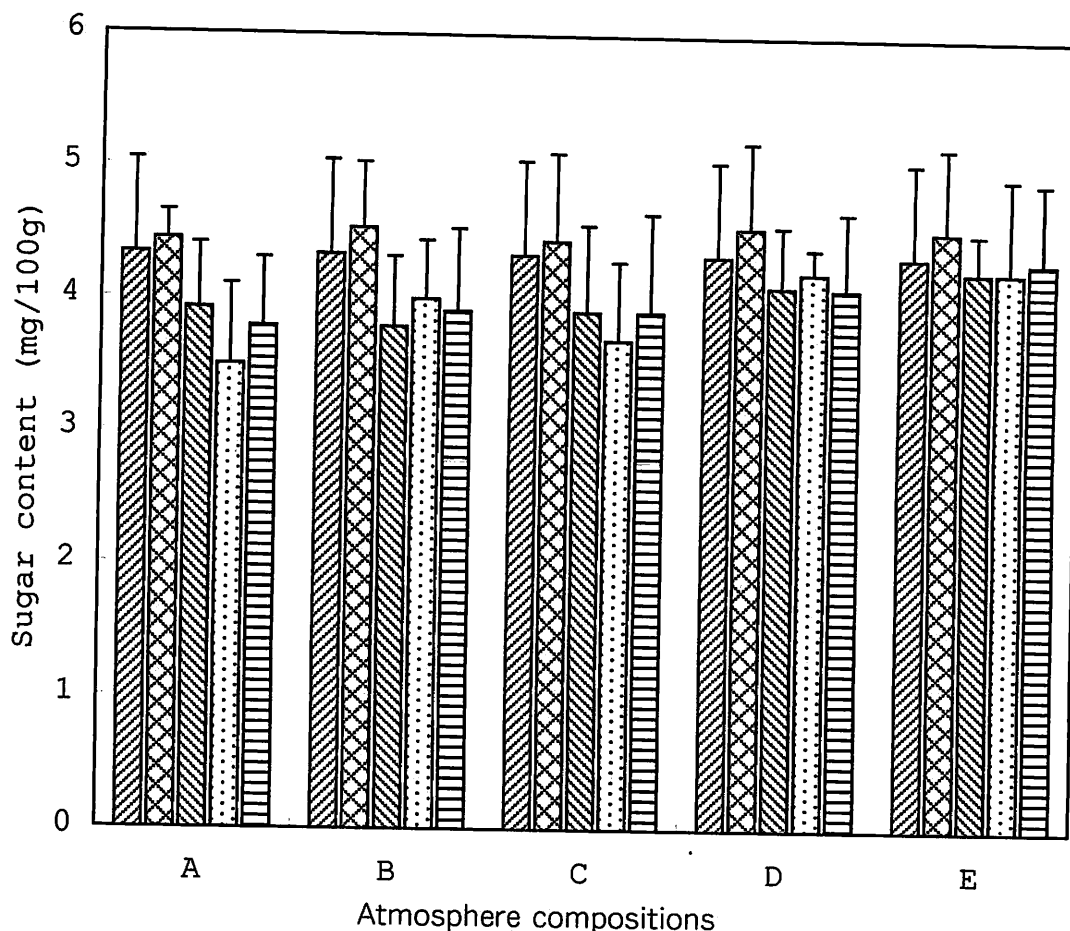


Fig. 3-3 Effect of several atmosphere compositions on sugar content of Welsh onion during storage at 15 °C.

Welsh onions were stored in the acrylic chambers (14.4ℓ each) for 8 days at 15 °C under a continuous stream of atmosphere compositions shown in table 3-2. ▨: start. ▩: 2 days in storage. ▤: 4 days in storage. ▥: 6 days in storage. ▦: 8 days in storage. Vertical bars are the standard deviation. n=6

小さいためアスコルビン酸や糖が主な呼吸基質であるとは考えられないが、ブロッコリーなどにおいても、呼吸が抑制されるほど内容成分の低下も抑制されることが明らかにされている（池田・茨木 1998）。一方、葉先枯れなどの外観変化では、成分と同様に低酸素・高二酸化炭素条件下で劣化を抑えることができた。しかし、D区およびE区においても貯蔵6日後から葉先枯れが発生することから、葉ネギでは成分の変化（減少）より外観の変化が先に現れた。異臭が認められなかったことや、各チャンバー内の葉ネギの呼吸商がほぼ同じであったことから、15 °Cでは酸素濃度が4.1%の雰囲気下でも葉ネギは無気呼吸しなかったものと考えられる。しかしながら、20 °Cにおいては、酸素濃度が4～5%を下回ると一部ではあるが無気呼吸する個体が認められた（茨木ら 1995）。そのため、15 °Cにおいても酸素濃度が4%以下では無気呼吸する可能性があるものと考えられる。

呼吸や品質の劣化を極限まで抑制することで長期間の貯蔵を図るCA貯蔵に対して、

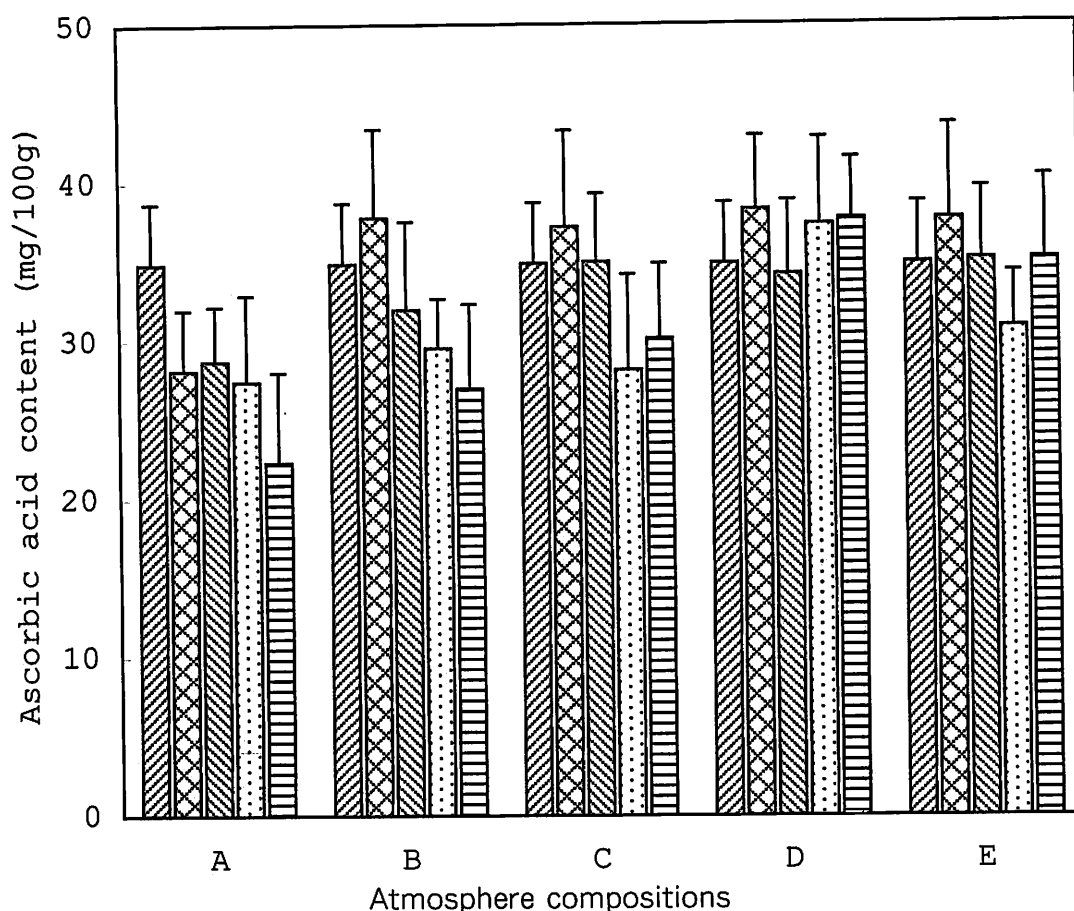


Fig. 3-4 Effect of several atmosphere compositions on ascorbic acid content of Welsh onion during storage at 15 °C.
Symbols and atmosphere compositions are the same as shown in Fig. 3-3 and table 3-2, respectively.

MA包装は収穫から消費者の口に入るまでの短期間の鮮度保持を目的としている。また、目標とする雰囲気ガス組成を機械的かつ迅速に制御できるCA貯蔵に対して、ガス組成は青果物の呼吸速度やフィルムのガス透過性、流通時の温度などの不安定要素が相互に絡み合って徐々に作られる。これは、MA効果によって図れる鮮度保持と、無気呼吸による鮮度の低下とは極めて近い関係にあることを示している（石井・大久保 1984）。そのため、無気呼吸の危険を冒してまで酸素濃度を極度に低下させる必然性はないと考えられることから、MA包装に適する酸素濃度はある程度の幅を持たせることが重要である。

これらのことから、15 °Cの恒温下においては、雰囲気酸素と二酸化炭素の組成比を8 : 13から4 : 17の間に保つことにより、アスコルビン酸含量や全糖含量を収穫時と同等に保持できるとともに、葉先枯れを抑制できると見なされた。第2章に示したように、葉ネギを15 °Cで貯蔵する場合、収穫時期により鮮度保持力が異なり、外気温が低い冬期には鮮度低下が早くなることが認められている。以上から、1月に収穫した今回の実験では、鮮度保持期間は4日間であったが、他の時期にはより長く品質を保つことが可能と推測される。

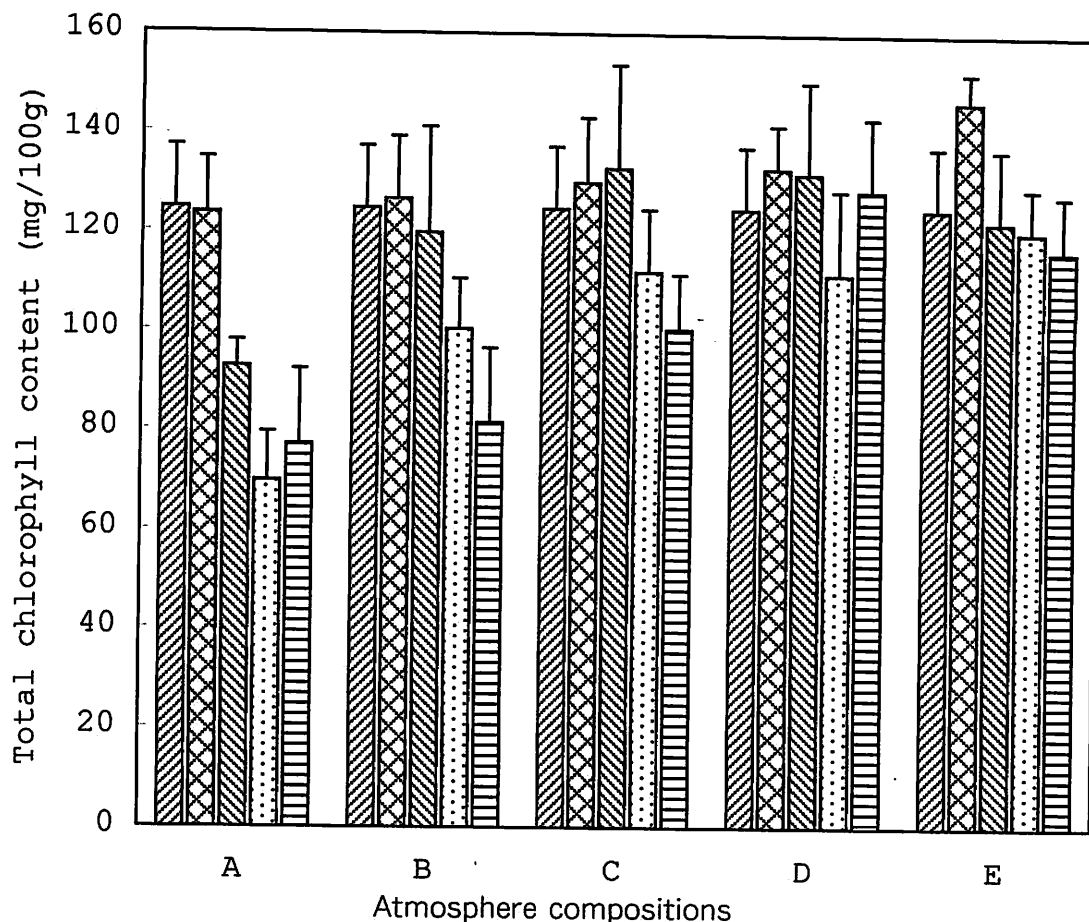


Fig. 3-5 Effect of several atmosphere compositions on total chlorophyll content of Welsh onion during storage at 15 °C.
 Symbols and atmosphere compositions are the same as shown in Fig. 3-3 and table 3-2, respectively.

第4節 小 括

MA包装が葉ネギの鮮度保持に効果的であるか否かを判断するため、酸素濃度および二酸化炭素濃度と呼吸速度との関係を明らかにした。また、15 °Cの環境下において種々のガス濃度組成が呼吸速度、成分および鮮度保持に及ぼす影響を検討した。

(1) 葉ネギの呼吸は低酸素・高二酸化炭素条件下で抑制された。呼吸速度は雰囲気酸素濃度と二酸化炭素濃度を変数とする重回帰式で表すことができた。

(2) 大気下や、酸素濃度が高い雰囲気下のもものでは全糖含量、アスコルビン酸含量およびクロロフィル含量は経時的に減少した。しかしながら、酸素濃度が低い条件下(8%、4%)のものではこれらの成分の低下は認められなかった。葉先枯れも酸素濃度が低いほど抑制できた。

(3) 葉ネギの鮮度を保つには酸素と二酸化炭素の組成比をそれぞれ、8 : 13から4 : 17の間に保つと良いと考えられた。

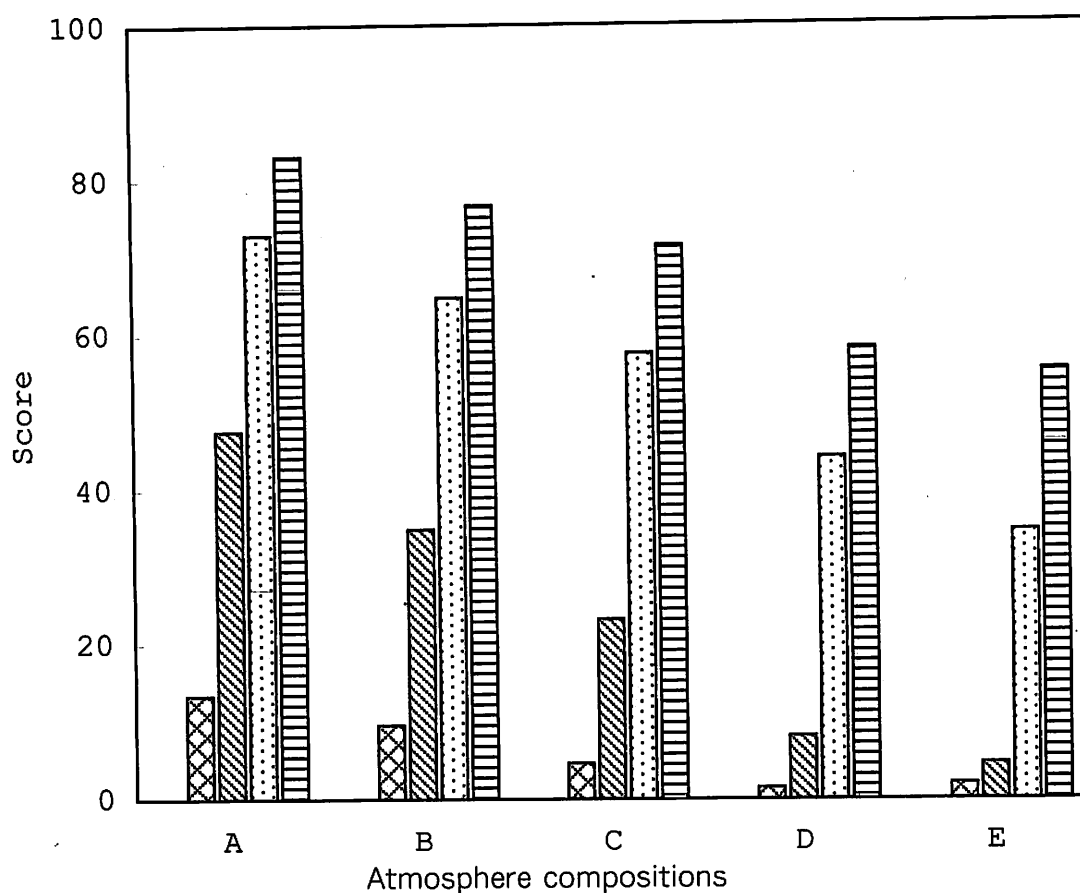


Fig. 3-6 Effect of several atmosphere compositions on score of withering leaf tip of Welsh onion during storage at 15 °C.
 Symbols and atmosphere compositions are the same as shown in Fig. 3-3 and table 3-2, respectively.

第4章 二重包装下における ガス移動シミュレーション

第1節 緒 言

福岡県産の葉ネギでは、冷却やフィルム包装を行い、輸送時間の短縮のために航空輸送を行っている。さらに、冷却した葉ネギの品温を低く保つために発泡スチロール容器に詰めて出荷している（松本 1986）。この発泡スチロール容器はポリスチレン樹脂を発泡させて成型したもので（田中・田島 2000）、保冷性のみならずガス遮断性が期待される。その一方で、発泡スチロール容器は使用後の処理にコストがかかること（2001年現在55円/10ℓ：東京都）、難分解性のため、再利用や焼却されずに放置された場合には、環境に与える負荷が大きいことなどが指摘されている。そのため、葉ネギでも、発泡スチロール容器に替わり、段ボール容器での出荷が検討され始めている。そこで、これらの出荷容器の特性を把握する必要がある。

一方、MA包装は簡易かつ低コストで低酸素・高二酸化炭素条件を作り得るため、青果物の鮮度保持方法として期待されている（Kader et al. 1989）。しかしながら、多くの場合、包装資材は経験的に選択されており、必ずしもMA包装の効果が発揮されないこともある。輸送中の青果物の呼吸作用は、温度や振動、二酸化炭素濃度や酸素濃度などに影響を受けるため（Kader et al. 1989、中村ら 1986）、誤った包装により低酸素状態が続くと、青果物は無気呼吸を行ない、その結果として袋内に異臭が充満する。これとは逆に、通常の大気下のガス組成では、黄化を引き起こし、内容成分の減少が認められる（Lipton and Harris 1974、Charles and Roger 1991）。このため、個々の青果物に適した袋内雰囲気ガス濃度を得るための包装設計が強く求められている。包装設計には、当該青果物に適した雰囲気ガス濃度と、その呼吸速度を把握するとともに、フィルムのガス透過係数など諸因子に関する情報が不可欠である（平田 1993）。このような情報をもとに、プラスチックフィルム（Hayakawa et al. 1975、椎名ら 1988、Cameron et al. 1989、1994、Fishman et al. 1995）やポリエチレンフィルムをラミネートした出荷容器（内野ら 1996）で青果物を包装したときのフィルム内ガス濃度組成を求めるための数学的モデルが開発されている。しかし、葉ネギで実際に行われている、プラスチックフィルムで包装後ガス遮断性を有する出荷容器に入れて出荷するような、二重包装下における出荷を想定した数学的モデルは開発されていない。

そこで、椎名ら（1988）が示したモデル式を参考にして二重包装下における数学的モデルの作成を試みるとともに、これらで得られた予測値と実測値を比較した。さらに、第3章で得た、葉ネギのMA包装に適するガス組成が得られるような条件を検討した。

第2節 発泡スチロール容器と段ボール容器の特性比較

発泡スチロール容器と段ボール容器に葉ネギを詰めた場合の保冷性およびガス遮断性を比較検討した。

第1項 材料および方法

1) 出荷容器の保冷性比較

葉ネギ(1束100g)をOPPフィルムで包装し、不連続的に熱溶着した(Fig. 2-1: Lower panel; 溶着部に隙間ができるため、内部のガスは外部のガスと容易に交換できる)。その30束を、温度計(ACR社製データロガーXT-182; 針状センサー)とともに発泡スチロール容器および段ボール容器(内寸法; W250×D600×H190 mm: 28.5l)に詰めた。5℃に設定した貯蔵庫に2時間冷却後航空機で東京へ輸送し、その時の葉ネギの品温を測定した。

2) 出荷容器のガス遮断性比較

葉ネギをOPPフィルム袋を用いて不連続的に熱溶着し、その15束を発泡スチロール容器および普通段ボール容器に詰めた。これを20℃の貯蔵庫中に静置し、48時間後に出荷容器のふたを開けた。フィルム袋内および出荷容器内のガス濃度の変化をTCDガスクロマトグラフで測定した。

第2項 結果および考察

1) 出荷容器の保冷性比較

実際の流通過程で測定した、段ボール容器および発泡スチロール容器内における葉ネギ品温の経時変化をFig. 4-1に示した。いずれの容器でも冷却(5℃2時間)により品温は25℃から約14℃に低下した。輸送中は段ボール容器内の葉ネギの方が早く品温が上昇したが、両容器内の品温の差は最大でもわずか1.9℃であった。20℃に達するのに要した時間は、段ボール容器内の葉ネギで冷却終了後約5時間、発泡スチロール容器では約7時間であり、2時間程度の差が観察された。このように、葉ネギを詰めた場合では、発泡スチロール容器の保冷性は一般に認識されている程には認められなかった。これは、葉ネギの発泡スチロール容器の内容積が28.5lであるのに対し、内部にはわずか3kgの葉ネギ(1束100g、30束入り)しか入っていないためと考えられる。

2) 出荷容器のガス遮断性

出荷容器内およびOPPフィルム袋内の二酸化炭素および酸素濃度の経時変化をFig. 4-2に示した。葉ネギを発泡スチロール容器に詰めた場合、フィルム袋内では、二酸化炭素濃度が増加し、酸素濃度が減少した。そして、調査開始24時間頃より容器を開封する48時間後までは二酸化炭素濃度が酸素濃度を上回った。容器開封後は二酸化炭素濃度は漸減するとともに、酸素濃度は漸増した。容器を開封するまでの発泡スチロール容器内のガス濃度はフィルム袋内と同様に、二酸化炭素濃度が増加し、酸素濃度が減少した。容器開封直前には二酸化炭素濃度は4.5%にまで上昇し、酸素濃度は17.8%にまで低下した。一方、葉ネギを段ボール容器に詰めた場合では、フィルム内の二酸化炭素濃度は約6%、酸素濃度は約15%で平衡に達した。段ボール容器開封後は数時間で二酸化炭素濃度は4%、酸素濃度は16%に変化し、その後はほとんど変動がなかった。容器を開封するまでの段ボール容器内のガス組成は大気の組成とほぼ同じであった。フィルムの熱溶着方法を不連続的に行ったため、呼吸によりフィルム袋内に増加した二酸化炭素濃度は、フィルム表面からのガス透過もさることながら、多くは熱溶着した部分の隙間から容器内へ比較的容易に移動した。発泡スチロール容器内の二酸化炭素濃度が上昇し、酸素濃度が減少したことは、この容器がガス遮断性を備えていることを示すものである。このことは、容器開封後にフィルム内の二酸化炭素濃度が低下し、酸素濃度が上昇したことからも伺える。一方、段ボール容器内の二酸化炭素濃度の上昇、酸素濃度の低下は認められなかったことから、この容器にはガス遮断性はほとんど備わっていないと考えられ

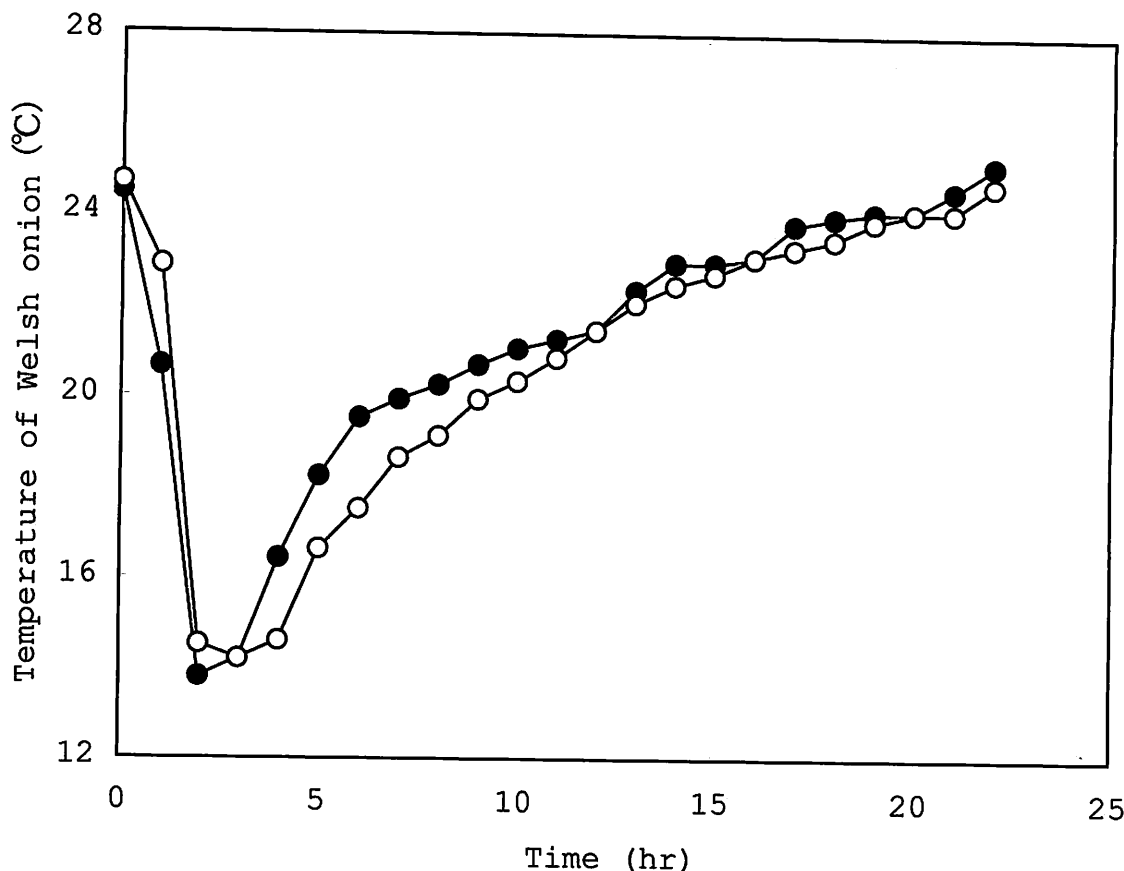


Fig. 4-1 Changes in temperature of Welsh onion in two types of containers during transportation. ○ : expanded polystyrene (EPS) container, ● : ordinary corrugated fiber-board container. Every 100g of Welsh onion was packed into OPP film bag, and 30 bags were put into one container.

る。

第3節 ガス移動の数学的モデル式の作成

二重包装下における数学的モデルの作成を試みた。

Fig. 4-3に二重包装下におけるガス移動の概念図を示した。フィルム内の葉ネギは、呼吸により酸素を消費し、二酸化炭素を排出するため、フィルム内の酸素分圧は低下し、二酸化炭素分圧は上昇する。その結果、フィルムの内と外（出荷容器内）の間に分圧差が生じ、この分圧差によって二酸化炭素はフィルムの内から外へ、酸素はフィルムの外から内へ移動する。同様に、出荷容器内と大気の間にも分圧差が生じ、二酸化炭素は出荷容器内から大気へ、酸素は大気から出荷容器内へ移動する。

葉ネギを入れたときのフィルム袋内二酸化炭素量 $[V_{ic}(ml)]$ は二つのプロセスにより決定される。すなわち、葉ネギの呼吸による二酸化炭素の上昇量 $[R(ml)]$ と、フィルムを透過する二酸化炭素の量 $[PM_{ic}(ml)]$ である。それゆえ、ある時刻 (t) におけるフィルム袋内の二酸化炭素量を $V_{ic}(t)$ とすると、それから微小時間 $[dt(hr)]$ 経過後の二

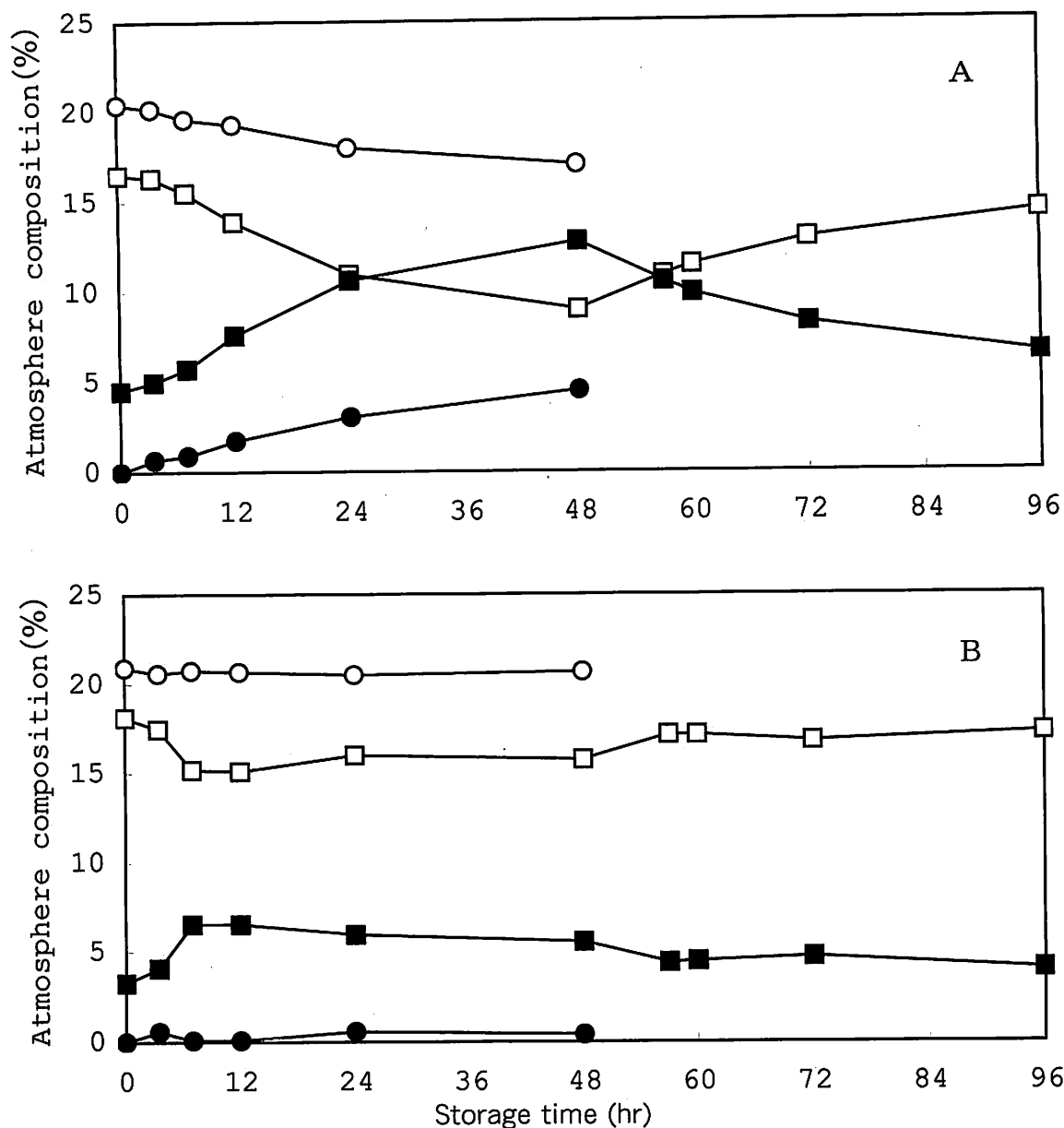


Fig. 4-2 Changes in CO_2 and O_2 concentrations in containers and film bags during storage at 20°C .

A: EPS containers, B: ordinary corrugated fiberboard containers. ●: CO_2 concentration in container, ○: O_2 concentration in container, ■: CO_2 concentration in film, □: O_2 concentration in film. Every 100g of Welsh onion was packed into OPP film bag (roughly heat-sealed), and 15 bags were put into each containers. These containers were opened 48 hours after storage.

酸化炭素量 $[V_{1c}(t+dt)]$ は、

$$V_{1c}(t+dt) = V_{1c}(t) + dR + dPM_{1c} \quad (1)$$

と表される。また、微小時間における葉ネギの呼吸による二酸化炭素上昇量およびフィルムを透過する二酸化炭素量はそれぞれ次式により表すことができる。

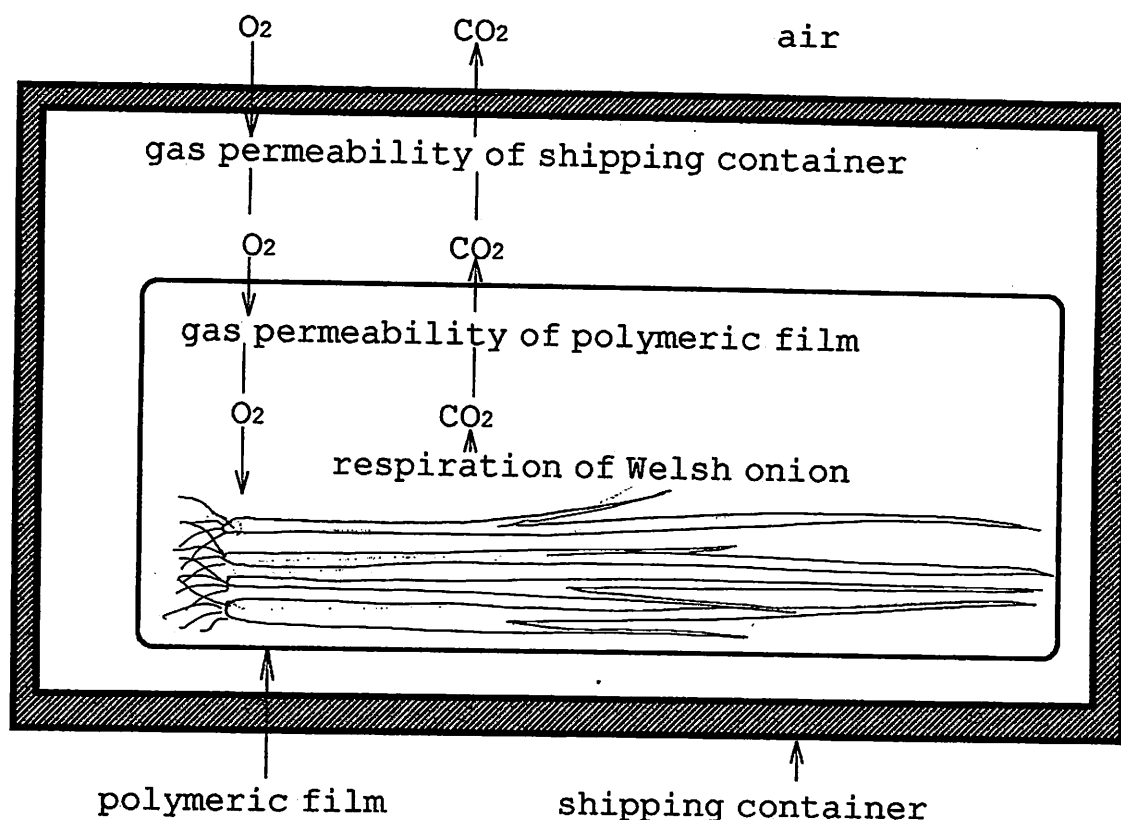


Fig. 4-3 Schematic model of Welsh onion and its environment illustrating two levels of barriers to gas change.

$$dR = \frac{r}{44} \cdot \alpha \cdot W \cdot dt \quad (2)$$

$$dPM_{1c} = \frac{K_{1c}}{24} \cdot A_1 \cdot (P_{2c} - P_{1c}) \cdot dt \quad (3)$$

ここで、

r : 葉ネギの呼吸速度 ($\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$)

α : 15°C における二酸化炭素のモル容積 ($\text{ml} \cdot \text{mM}^{-1}$)

W : 葉ネギの質量 (kg)

K_{1c} : 15°C におけるフィルムの二酸化炭素透過係数 ($\text{ml} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$)

A_1 : フィルム袋の有効面積 (m^2)

P_{1c} , P_{2c} : フィルム袋内および出荷容器内の二酸化炭素分圧 (atm)

である。

葉ネギの呼吸速度式はこのシミュレーションと同じ時期に収穫し、呼吸速度を予測した第3章第2節に示した次式を用いた。

$$r = 30.40 - 2.06 \times [\text{CO}_2] + 0.57 \times [\text{O}_2] \quad (4)$$

ここで、

r : $\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$

$[\text{CO}_2]$: % ; $[\text{O}_2]$: %

である。

同様に、フィルム内酸素量〔 $V_{10}(\text{ml})$ 〕は葉ネギによる酸素消費量とフィルムを透過する酸素量により決定される。それゆえ、ある時刻 (t) におけるフィルム袋内の酸素量を $V_{10}(t)$ とすると、それから微小時間経過後の酸素量〔 $V_{10}(t+dt)$ 〕は、

$$V_{10}(t+dt) = V_{10}(t) - \frac{dR}{rq} + dPM_{10} \quad (5)$$

で表される。ここで、呼吸商 (rq : 単位は無し) の計算には実測値である0.92を代入した。また、微小時間におけるフィルム袋を透過する酸素量〔 $PM_{10}(\text{ml})$ 〕は、

$$dPM_{10} = \frac{K_{10}}{24} \cdot A_1 \cdot (P_{20} - P_{10}) \cdot dt \quad (6)$$

と表される。ここで、

K_{10} : 15°Cにおけるフィルムの酸素透過係数 ($\text{ml} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$)

P_{10} 、 P_{20} : フィルム袋内および出荷容器内の酸素分圧 (atm) である。

フィルム内窒素量はフィルムを透過する窒素量により決定され、葉ネギの呼吸の影響を受けない。それゆえ、ある時刻 (t) におけるフィルム袋内の窒素量を $V_{1N}(t)$ とすると、それから微小時間経過後の窒素量〔 $V_{1N}(t+dt)$ 〕は、

$$V_{1N}(t+dt) = V_{1N}(t) + dPM_{1N} \quad (7)$$

で表される。ここで、微小時間におけるフィルム袋を透過する窒素量〔 $PM_{1N}(\text{ml})$ 〕は、

$$dPM_{1N} = \frac{K_{1N}}{24} \cdot A_1 \cdot (P_{2N} - P_{1N}) \cdot dt \quad (8)$$

と表される。ここで、

K_{1N} : 15°Cにおけるフィルムの酸素透過係数 ($\text{ml} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$)

P_{1N} 、 P_{2N} : フィルム袋内および出荷容器内の酸素分圧 (atm) である。

出荷容器内 (フィルム袋外) における二酸化炭素量〔 $V_{2c}(\text{ml})$ 〕はフィルムを透過する二酸化炭素量〔 $PM_{1c}(\text{ml})$ 〕と出荷容器を透過する二酸化炭素量〔 $PM_{2c}(\text{ml})$ 〕により決定される。それゆえ、ある時刻 (t) における出荷容器内の二酸化炭素量を $V_{2c}(t)$ とすると、それから微小時間経過後の二酸化炭素量〔 $V_{2c}(t+dt)$ 〕は、

$$V_{2c}(t+dt) = V_{2c}(t) - n \cdot dPM_{1c} + dPM_{2c} \quad (9)$$

$$dPM_{2c} = \frac{K_{2c}}{24} \cdot A_2 \cdot (P_c - P_{2c}) \cdot dt \quad (10)$$

と表される。ここで、

n : 出荷容器内のフィルム袋の数 (-)

K_{2c} : 出荷容器の二酸化炭素透過係数 ($\text{ml} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$)

A_2 : 出荷容器の有効面積 (m^2)

P_c : 大気中の二酸化炭素分圧 (atm)

である。

同様に、ある時刻 (t) における出荷容器内の酸素量を $V_{20}(t)$ とすると、微小時間経過後の酸素量〔 $V_{20}(t+dt)$ 〕は、

$$V_{20}(t+dt) = V_{20}(t) - n \cdot dPM_{10} + dPM_{20} \quad (11)$$

と表される。ここで、微小時間における出荷容器を透過する酸素量 $[PM_{20}(\text{ml})]$ は、

$$dPM_{20} = \frac{K_{20}}{24} \cdot A_2 \cdot (P_0 - P_{20}) \cdot dt \quad (12)$$

と表される。ここで、

K_{20} ：出荷容器の酸素透過係数 ($\text{ml} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$)

P_0 ：大気の酸素分圧 (atm)

ある時刻 (t) における出荷容器内の窒素量を $V_{2N}(t)$ とすると、微小時間 $[dt(\text{hr})]$ 経過後の窒素量 $[V_{2N}(t+dt)]$ は、

$$V_{2N}(t+dt) = V_{2N}(t) - n \cdot dPM_{1N} + dPM_{2N} \quad (13)$$

と表される。ここで、微小時間における出荷容器を透過する窒素量 $[PM_{2N}(\text{ml})]$ は、

$$dPM_{2N} = \frac{K_{2N}}{24} \cdot A_2 \cdot (P_N - P_{2N}) \cdot dt \quad (14)$$

で表すことができる。ここで、

K_{2N} ：出荷容器の酸素透過係数 ($\text{ml} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$)

P_N ：大気の酸素分圧 (atm)

である。なお、各分圧に関しては、フィルム内の圧力を $P_1(\text{atm})$ 、出荷容器内の圧力を $P_2(\text{atm})$ 、フィルム内の体積を $V_1(\text{ml})$ 、出荷容器の体積を $V_2(\text{ml})$ とすると、

$$P_{1C} = \frac{V_{1C}}{V_1} \cdot P_1 \quad (15)$$

$$P_{10} = \frac{V_{10}}{V_1} \cdot P_1 \quad (16)$$

$$P_{1N} = \frac{V_{1N}}{V_1} \cdot P_1 \quad (17)$$

$$V_1 = V_{1C} + V_{10} + V_{1N} \quad (18)$$

$$P_{2C} = \frac{V_{2C}}{V_2} \cdot P_2 \quad (19)$$

$$P_{20} = \frac{V_{20}}{V_2} \cdot P_2 \quad (20)$$

$$P_{2N} = \frac{V_{2N}}{V_2} \cdot P_2 \quad (21)$$

$$V_2 = V_{2C} + V_{20} + V_{2N} \quad (22)$$

の式が成り立つ。

(1) から (22) までのモデル式を表計算ソフトに組み込むことでガス濃度の予測を行った。なお、フィルム内および出荷容器内の圧力は大気の大気と同じと仮定した。また、包装フィルムおよび出荷容器のガス透過係数は次節に示した。

第4節 フィルム袋内および出荷容器内ガス濃度の予測と包装設計

第3節により得られたモデル式を評価するために、葉ネギを入れた場合と入れない場合のフィルム袋内および出荷容器内ガス濃度の経時変化について、予測値と実測値を比較した。さらに、葉ネギの包装設計のための条件を検討した。

第1項 材料および方法

1) 供試材料

1997年5月に朝倉町で収穫した葉ネギを供試した。

包装資材として、OPPフィルムおよび発泡スチロール容器を用いた。これらの資材は葉ネギの実際の出荷に用いられているものである。OPPフィルムの有効面積は 0.093m^2 であった。有効体積は、葉ネギを入れない場合で 800ml 、葉ネギを入れた場合で 700ml に設定した。OPPフィルム袋は連続した直線で熱溶着した。この方法では、溶着部分に隙間ができないため、フィルムは完全に密封できる。また、発泡スチロール容器の有効面積および有効体積はそれぞれ、 0.54m^2 と $22,440\text{ml}$ であった。

2) ガス透過係数の測定

今回の一連の実験は特に記さない限り、 15°C の貯蔵庫中(暗黒条件)で実施した。フィルムのガス透過係数は太田ら(1991)の簡易パウチ法で測定した。また、発泡スチロール容器のガス透過係数は簡易パウチ法を参考に次のように測定した。即ち、容器をガムテープで封をし、内部の空気を窒素ガスで置換した。これに、二酸化炭素および酸素を封入し、外気と容器内のガスの間に濃度差を生じさせた。以後経時的に内部のガス組成をTCDガスクロマトグラフで測定した。ガス透過係数(K ; $\text{ml} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$)の計算は次式を用いた。

$$K = -\ln\left(\frac{C_t - C_a}{C_0 - C_a}\right) \cdot \frac{V}{A \cdot dt}$$

ここで、

C_t : 測定時における目的のガス濃度 (%)

C_a : 外気のガス濃度 (%)

C_0 : ガス注入直後のガス濃度 (%)

V : 初期空気量 (ml)

A : フィルム (容器) の表面積 (m^2)

dt : 微小時間 (day)

である。

同一包装資材においてそれぞれ4回測定し、平均で表示した。

3) フィルム袋内および出荷容器内ガス濃度組成の予測 (葉ネギを入れない場合)

まず、二重包装下におけるガス濃度組成の予測を実験的に確認するため、フィルム内に葉ネギを入れない状態でフィルム袋内および出荷容器内ガス濃度組成の変化を測定した。空のフィルム袋20個を発泡スチロール容器に詰めた。その後、容器のふたを閉め、ふたの周りをガムテープでしっかりと封をした。フィルム内および出荷容器内のガスを経時的に採取し、TCDガスクロマトグラフで測定した。なお、フィルム袋内のガスの採取にあたっては、フィルム袋の内面および外面にビニールテープを貼り、スポンジ性の両面テープで出荷容器に接触させた。この部分を通して外部よりシリンジでフィルム袋内のガスを採取した (Fig. 4-4)。ガス濃度組成の予測にあたっては、フィルム袋内および容器内のガス濃度初期値を実測値と同じ濃度に設定した。また、フィルム袋内および

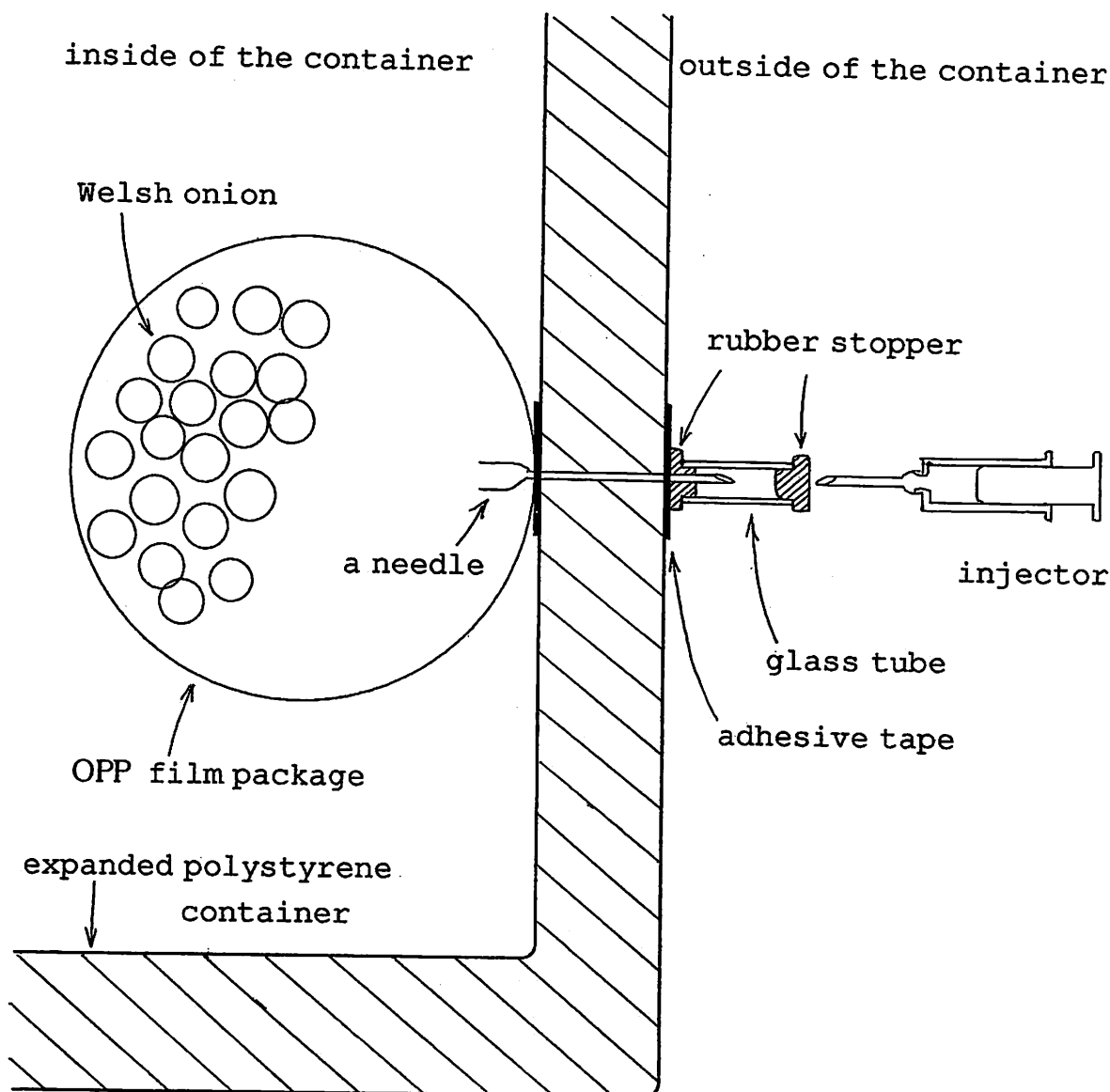


Fig. 4-4 Diagram of the cross section of gas collecting system.

容器内の圧力を1気圧に設定し、微小時間 dt を0.1時間で計算した。

4) フィルム袋内および出荷容器内ガス濃度組成の予測 (葉ネギを実際に入れた場合)

実際の葉ネギの出荷を想定した実験を試みた。葉ネギ1束(重量:100g、比重:0.33g・cm⁻³)をOPPフィルム袋に詰め、連続した直線で熱溶着した。この袋20個を発泡スチロール容器に詰め、ふたをした。3)と同様にフィルム内および出荷容器内のガス濃度を測定し、ガス濃度組成の予測を行った。また、Hirataら(1996)の方法に従い、実測値と予測値の相関係数を求め、t検定を行い有意性を調査した。

第2項 結果および考察

用いたOPPフィルムと発泡スチロールのガス透過係数をTable 4-1に示した。OPPフィルムの二酸化炭素および酸素透過係数は太田ら(1991)が示した数値とよく一致した。発泡スチロールの二酸化炭素透過係数はOPPフィルムの二酸化炭素透過係数の約12

Table 4-1 Gas permeability of film packaging and EPS containers at 15 °C.

Property	Thickness (mm)	Permeability (ml · m ⁻² · day ⁻¹ · atm ⁻¹)		
		CO ₂	O ₂	N ₂
OPP film	0.025	3,570	1,137	678
EPS container	18.0	42,955	47,089	45,673

倍であった。一般に、プラスチックフィルムのガス透過係数は二酸化炭素、酸素、窒素の順に高い（太田ら 1991）。今回測定したOPPフィルムでもこの順番と同じ結果を得た。しかし、発泡スチロールでは、これらのガス透過係数の違いは明確ではなかった。発泡スチロールのガス透過係数は内野ら（1996）が測定したポリエチレンフィルムをラミネートした機能性段ボール容器より高い値を示した。

フィルム袋の中に葉ネギを入れないときのフィルム内および容器内二酸化炭素濃度と酸素濃度の変化をFig. 4-5に示した。この実験では、フィルム内において葉ネギの呼吸による二酸化炭素の増加と酸素の低下はない。そのため、フィルム内の二酸化炭素濃度と酸素濃度の初期値がそれぞれ、13.5%と4.5%に設定した場合（Fig. 4-5A）、OPPフィルム内二酸化炭素の実測値はほぼ直線的に減少し、酸素濃度は直線的に増加した。このとき、二酸化炭素濃度と酸素濃度の実測値と予測値の差は、それぞれ最大でも0.4%と0.1%であった。一方、出荷容器内の二酸化炭素濃度は、実験開始時には0.4%であったものが最大で2.1%にまで上昇した。酸素濃度は21.3%であったものが最大で20.2%に低下した。予測値においては、最大に変化したときの値はそれぞれ2.5%と20.1%であった。フィルム内の二酸化炭素濃度と酸素濃度の初期値がそれぞれ、9.8%と9.3%に設定した場合（Fig. 4-5B）においても、フィルム内および出荷容器内のガス濃度予測値は実測値を非常によく表現したものになった。これらの結果から、今回提唱したシミュレーションモデルは二重包装下におけるモデルとして有効であることが明らかになった。

葉ネギをOPPフィルム袋で包装し、発泡スチロール容器に詰めたときの容器内およびフィルム袋内のガス濃度変化実測値と予測値をFig. 4-6に示した。呼吸によりフィルム袋内に排出された二酸化炭素は、フィルムのガス透過性により袋外（容器内）へ、呼吸により吸収された酸素を補うために容器内の酸素は袋内に移動した。これらの移動量が出荷容器を通した移動量より多いために容器内の二酸化炭素濃度は上昇し、酸素濃度は低下した。48時間後には二酸化炭素濃度は試験開始直後より1.7%上昇し、酸素濃度は0.9%低下した。この値はシミュレーションによる予測値と良く一致した。これに対してフィルム袋内の二酸化炭素濃度は実測値と予測値とはわずかながら相違した。これは、予測値の二酸化炭素濃度が徐々に上昇したのに対し、実測値はそれよりも緩やかに上昇した。そのため、予測値と実測値の差は最大で1.5%に広がった。同様に、酸素濃度の予測値と実測値の差は最大で1.2%であった。この差は、フィルム内および出荷容器内の圧力を大気の大気圧と同じと仮定したことと起因すると考えられる。また、呼吸速度式を算出するときに用いた葉ネギと今回のシミュレーションに用いた葉ネギとでは収穫日がわずかに異なった。このことや、個体差、雰囲気ガス組成のわずかな差が実測値と予測値の差になって現れたものと考えられる。しかしながら、これらの実測値と予測値の相関係数は0.989であり、99.9%レベルで有意性が認められた。これらの数値はHirataら

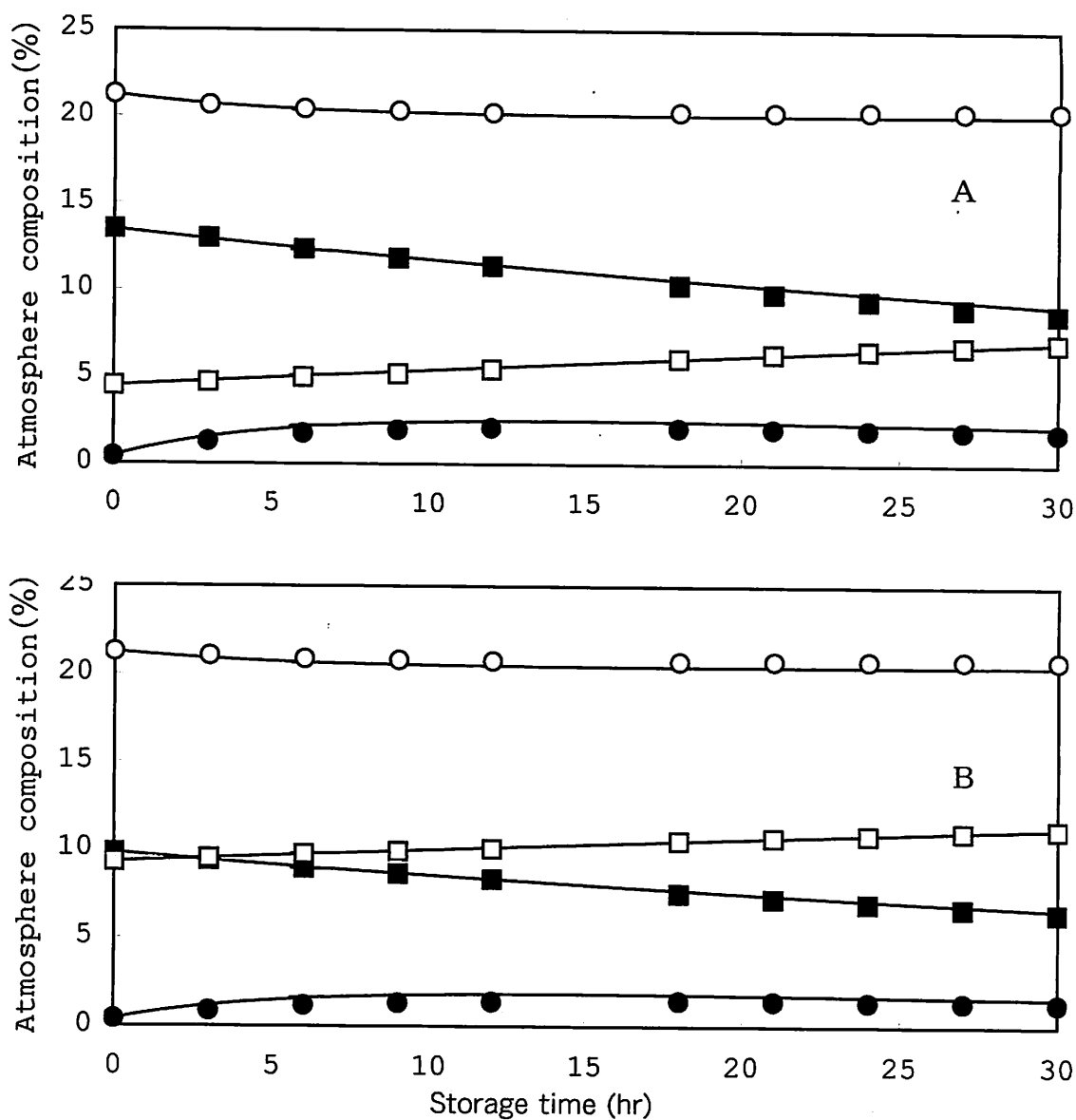


Fig. 4-5 Changes in gas concentrations of CO₂ and O₂ in OPP film package (without Welsh onion) and EPS container at 15 °C.
 A: Initial CO₂ and O₂ concentrations in film package are 13.5% and 4.5% respectively. B: Initial CO₂ and O₂ concentrations in film are 9.8% and 9.3%, respectively. ■: experimental data of CO₂ concentrations in OPP film package. □: experimental data of O₂ concentrations in OPP film package. ●: experimental data of CO₂ concentrations in EPS container. ○: experimental data of O₂ concentrations in EPS container. Lines are predictive data.

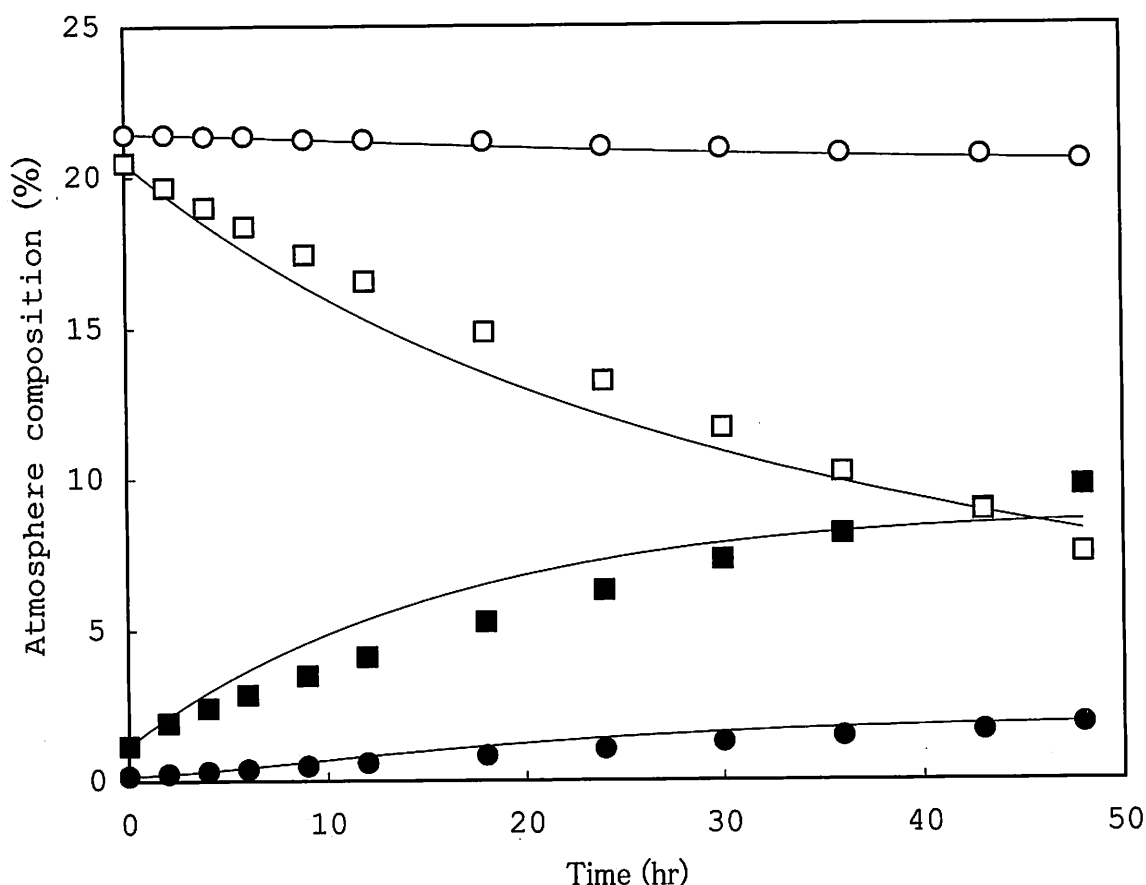


Fig. 4-6 Changes in gas concentrations of CO₂ and O₂ in OPP film and EPS container of Welsh onion at 15 °C.

100g of Welsh onion was sealed completely with unperforated OPP film. The number of film packages in an EPS container was 20. Initial volume of film package was 700 ml. Symbols are the same as in Fig.4-5.

(1996) が微孔を有するフィルムで示したシミュレーション結果と同等のレベルにあり、今回のシミュレーション式が実測値を予測するのに有効であることが示された。

第3章第3節では、15°C貯蔵時における酸素濃度を、4～8％に保つとMA効果が発揮できることを明らかにした。そこで、フィルム内の酸素濃度がこのような値になるようにシミュレーションの条件を検討した。シミュレーションの設計にあたっては、実際の流通を模して48時間後に出荷容器を開封するようにした。その結果、葉ネギを発泡スチロール容器に詰めた場合、二酸化炭素、酸素、窒素のガス透過係数 (ml・m⁻²・day⁻¹・atm⁻¹) をそれぞれ、4,100、1,700、1,300程度に調節することで、フィルム内の酸素濃度は貯蔵42時間後に10％を下回り、96時間後には6.5％に低下する (Fig. 4-7)。また、段ボール容器に詰めた場合でも、二酸化炭素、酸素、窒素のガス透過係数 (ml・m⁻²・day⁻¹・atm⁻¹) をそれぞれ、4,200、1,800、1,400程度に調節することで発泡スチロール容器を用いたときと同様の結果を得ることが可能である (Fig. 4-8)。これらのガス透過係数は、OPPフィルムのガス透過係数 (Table 4-1) よりわずかに高い程度であり、OPPフィルムに微細孔を開けることで得ることができるものと考えられる。

第2章で示したように、葉ネギの呼吸速度は収穫時期により異なるので、今回行った5月以外の時期に収穫した葉ネギでは改めて呼吸速度を測定し、数式化する必要がある。

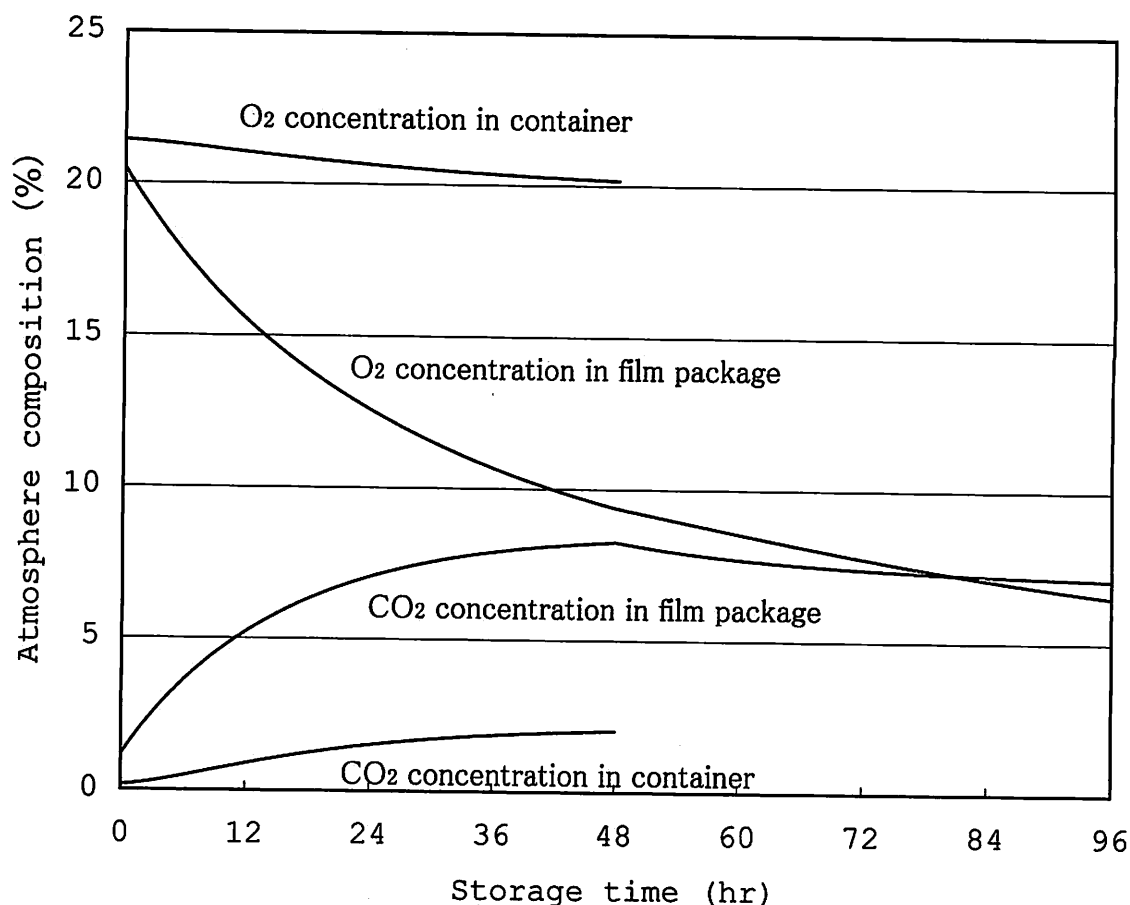


Fig. 4-7 The model prediction for suitable gas condition of Welsh onion at 15 °C. Curves represent time course of CO₂ and O₂ concentrations in film package and EPS container predicted by the model system. CO₂, O₂ and N₂ permeability of film are 4,100, 1,700 and 1,300 (ml · m⁻² · day⁻¹ · atm⁻¹), respectively. Permeabilities of EPS container were shown in table 4-1.

さらに、実際には流通時の温度は刻々と変化する。そのため、今後は呼吸速度の季節変化や流通時の温度変化等のパラメータを計算式に加える必要がある（徐ら 1996）。

第5節 小 括

発泡スチロール容器と段ボール容器の保冷性とガス遮断性を比較するため、葉ネギをこれらの容器に詰め、品温並びに容器内のガス濃度の変化を調査した。また、葉ネギの呼吸、フィルムおよび出荷容器のガス透過性を加味した、二重包装下におけるガス移動の数学的モデル式の作成を試み、葉ネギのフィルム袋内および出荷容器内のガス濃度を予測し、実測値との比較を行った。さらに、葉ネギのMA包装に適するガス組成になるような条件を検討した。

（1）葉ネギの品温は出荷容器間に差が認められたものの、その差はわずかであった。これは容器の内容積に対する葉ネギの重量が少ないことによるものと考えられた。また、発泡スチロール容器にはガス遮断性が認められ、容器内には二酸化炭素が蓄積し、反対

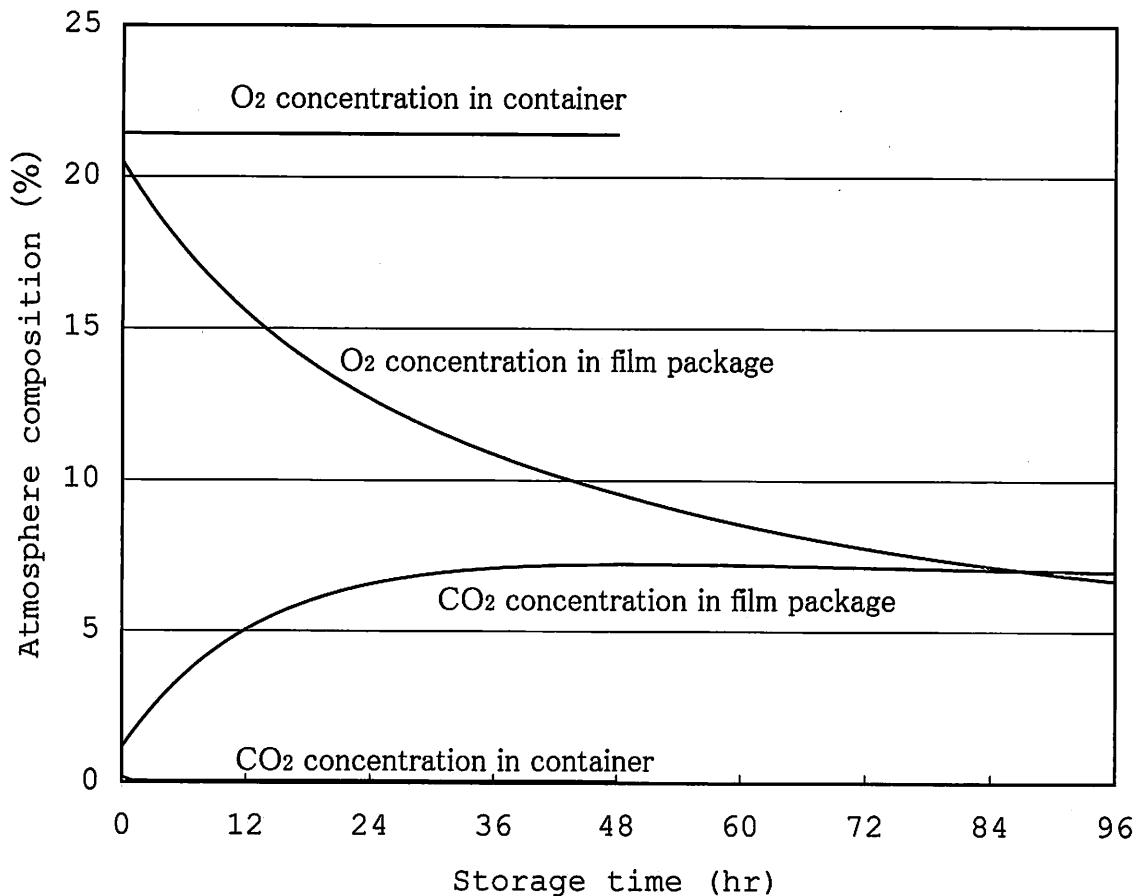


Fig. 4-8 The model prediction for suitable gas condition of Welsh onion at 15 °C. Curves represent time course of CO₂ and O₂ concentrations in film package and corrugated fiberboard container predicted by the model system. CO₂, O₂ and N₂ permeability of film are 4,200, 1,800 and 1,400 (ml · m⁻² · day⁻¹ · atm⁻¹), respectively. Permeabilities of ordinary corrugated fiberboard container were preset ∞.

に酸素濃度が低下した。しかし、普通段ボール容器にはガス遮断性は認められなかった。

(2) フィルム内に何も入れない場合、フィルム袋内および発泡スチロール容器内のガス濃度組成の実測値とシミュレーションによる予測値は良く一致したことから、今回のガス移動モデル式が妥当なものであると考えられる。

(3) フィルム内に葉ネギを入れたときでは、予測値と実測値は概ね一致したものの、最大で二酸化炭素濃度で1.5%、酸素濃度で1.2%の差が認められた。しかしながら、実測値と予測値との間には高い相関が認められたことから、このシミュレーションモデルは葉ネギの二重包装時に有効であることが明らかになった。

(4) MA効果を発揮するには、フィルムの二酸化炭素、酸素、窒素の透過係数 (ml · m⁻² · day⁻¹ · atm⁻¹) をそれぞれ、4,100、1,700、1,300程度に調節すると良い。今後は季節や温度変化をパラメータに加える必要がある。

第5章 フィルム包装および出荷容器が 葉ネギの鮮度に及ぼす影響

第1節 緒 言

青果物のフィルム袋密封包装は、蒸散による乾燥や目減りを抑えるのみならず、低酸素・高二酸化炭素状態を作り出すことによって呼吸速度を抑制し、内容成分の損耗や黄化を遅らせることができる(Kader 1986, Kader et al. 1989、Aaron 1996)。しかしながら、フィルム内のガス組成は青果物の呼吸速度とフィルムのガス透過性により影響を受ける。そのため、包装フィルムの誤った選択は、しばしば酸素濃度を極端に減少させることがある。このような状態では、青果物は正常な呼吸ができず、無気呼吸とともに、異臭を発生する(Lipton and Harris 1974、Ballantyne et al. 1988、Charles and Roger 1991)。

一方、OPPフィルムは透明度が良く包装内の青果物が新鮮に見えること、フィルムにコシがあり包装の際の機械装置への適応性が高いことなどの望ましい特性を備えており(大久保 1998)、わが国では青果物の包装用フィルムとして広範に利用されている。しかし、一般にOPPフィルムのガス透過性は低く、青果物にとって適正なMA条件を維持するには困難な傾向にある。例えば、青果物をOPPフィルムで密封し、高温で輸送した場合では、異臭が発生し、青果物の鮮度は低下すると予想される。そのため、現在では、直径が5mm程度の穴を開けた穿孔OPPフィルムがナスやピーマンの包装に使用されている。また、葉ネギではOPPフィルムで不連続的に熱溶着することにより、極度の酸素不足を回避してきた。しかしながら、これらの包装方法は、フィルムの穴や不連続な熱溶着部分の隙間からのガス移動量が多く、雰囲気ガスを最適な低酸素、高二酸化炭素濃度にするのができない。その結果、青果物の黄化や、内容成分の損耗が観察されている。そこで、未穿孔OPPフィルムの熱溶着方法や貯蔵温度の相違が葉ネギの内容成分および鮮度保持に及ぼす影響を把握する必要がある。

第4章第4節における包装設計のためのシミュレーションでは、葉ネギのMA包装に適するフィルムのガス透過性はOPPフィルムの透過性より少し良くするように調整することが必要と指摘した(15℃)。著者らは、OPPフィルムに微細な孔を開けることにより、ガス透過性を高めたフィルムが製造、販売されていることに注目した(大久保 1998)。この微細孔を有するフィルムのガス透過性は、フィルムそのもののガス透過性と、開けられた微細孔の面積により決定される(Hirata et al. 1996)。そのため、孔の数やサイズを調節することにより、種々の野菜のMA包装に適合したガス透過性を持ったフィルムを得ることができる。そこで、この微細孔フィルムを用い、実際の流通に適応した流通方法の改善が求められている。

第2節 フィルムのシール方法および出荷方法が葉ネギの鮮度に及ぼす影響

未穿孔OPPフィルムの熱溶着方法や貯蔵温度の相違が葉ネギの内容成分および鮮度保持に及ぼす影響について検討した。

第1項 材料および方法

1) 20℃における呼吸速度の測定

葉ネギはあらかじめ20℃に設定した恒温庫中に一夜放置し、品温を安定させたものを用いた。葉ネギ100gを2,400 ml容の円柱形チャンバーに入れた。その後チャンバー内の酸素濃度と二酸化炭素濃度の合計値が約21%になるように設定した酸素、二酸化炭素および窒素の混合ガスをチャンバー内に導入した。3時間経過後、エアポンプを用いてチャンバー内の空気を密閉式で循環させた。以後、経時的にチャンバー内のガス濃度をTCDガスクロマトグラフにより測定し、単位時間当たりに変化した二酸化炭素および酸素量から呼吸速度を算出した。この試験は、36通りの混合ガスについて呼吸速度を測定した。

2) 貯蔵試験

朝倉町で生産された葉ネギを供試した。葉ネギを収穫、調製(1束100g)して1夜5℃に設定した冷蔵庫中で冷却した。葉ネギは朝倉町比良松の包装工場にて未穿孔OPPフィルムで包装した。包装は、粗に封をしたもの (Fig. 2-1 Lower panel: 溶着部分に隙間ができるため、そこからフィルム袋内外のガス交換が容易; 以後特に記さない限り、粗に封をした、とする) と、連続した直線で熱溶着したもの (密封が可能; 以後特に記さない限り、密封した、とする) の2種類を用意した。これを筑紫野市の農業総合試験場に持ち帰り、貯蔵試験に供した。貯蔵温度の影響を調査するため、葉ネギが販売されている低温ショーケースより低い温度 (5℃) と、高い温度 (20℃) を設定した。包装された葉ネギはそれぞれ5℃と20℃の恒温庫中で9日間貯蔵した。以後第2章第2節並びに第3章第2節に準拠し、フィルム内ガス濃度組成、アスコルビン酸含量、クロロフィル含量および葉先枯れの程度を測定した。また、異臭と立ち上がり (葉ネギを水平に置いたときに観察される茎部の曲がり) を達観により調査し、これらをもとに総合鮮度を評価した。

(1) 異臭、立ち上がりの評価基準

異臭や立ち上がりが全く認められない状態を一、わずかに認められるものの、商品性には何ら問題がない状態を+、商品性に影響を及ぼす状態を++、激しく認められる状態を+++として表した。

(2) 総合鮮度の評価基準

収穫時の状態を5、市場出荷可能な状態を4、商品性の限界を3、食べられる限界を2、食べられない状態を1として5段階の評点をつけ、その平均で表した。

第2項 結 果

1) 20℃における呼吸速度の測定

異なる酸素濃度の条件下における葉ネギの呼吸速度 (二酸化炭素生成量) をFig. 5-1に示した。酸素濃度の低下とともに呼吸速度はほぼ一律に減少した。酸素濃度が5%のときの呼吸速度は20%のときの約半分まで低下した。しかし、酸素濃度が4~5%以下の条件下では呼吸速度が酸素濃度の低下とともに減少するものと、それよりも高くなるものが認められた。具体的には、この範囲の呼吸速度の最小値が41.4 ($\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$)、最大値が80.4 (同) と約2倍の開きがあった。これは、このような低い酸素濃度では呼吸が抑制されるものと呼吸が促進されるものがあることを示している。後者の葉ネギは、酸素濃度が極端に低い条件下では呼吸速度 (二酸化炭素排出速度) は増加するというKaderの報告 (1987) と一致しており、これらの条件下では葉ネギは正常な呼吸を行わず、無気呼吸したものと考えられる。したがって、20℃における葉ネギのMA包装に適する酸素濃度の下限値は4~5%と推測される。

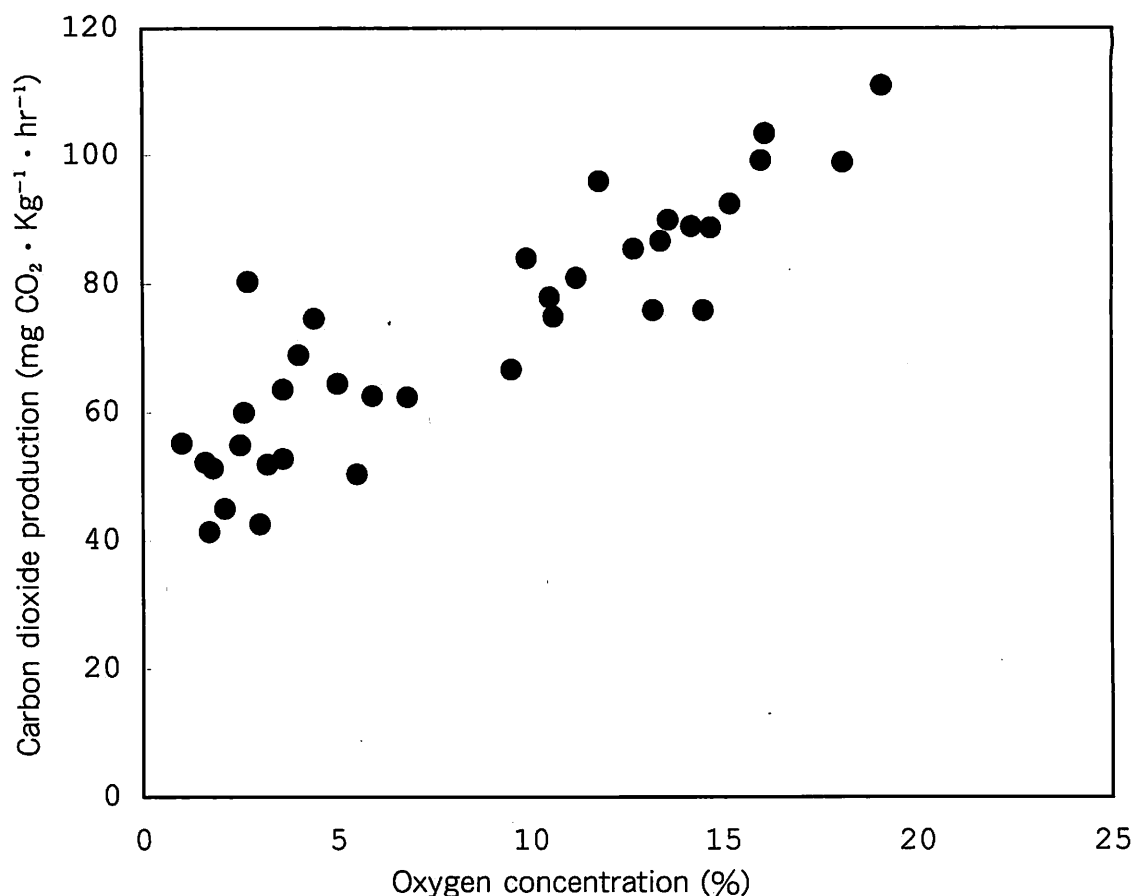


Fig. 5-1 Relation between the concentration of oxygen and carbon dioxide production in the glass chamber.
Every 100g of Welsh onion was placed in the acrylic chamber (2,400 ml).

2) 貯蔵試験

OPPフィルムで粗に封をし、5℃、20℃で貯蔵した試験区における包装フィルム内の酸素濃度および二酸化炭素濃度は、大気的气体組成とほぼ同じ値を示した (Fig. 5-2)。一方、OPPフィルムで密封し、5℃、20℃で貯蔵した試験区では、袋内の酸素濃度は減少し、二酸化炭素濃度は増加した。これらの変化は、5℃よりも20℃でより顕著に認められ、20℃では2日後の酸素濃度はすでに2～3%にまで低下し、それ以降は平衡に達した。5℃でも4日後以降に4～5%で平衡に達した。

葉ネギのアスコルビン酸含量は、密封し5℃で貯蔵したものでは9日間変化は認められず、貯蔵開始時の含量を保持していた (Fig. 5-3)。また、密封し20℃で貯蔵した葉ネギ、並びに粗に封をし5℃下で貯蔵した葉ネギでは、アスコルビン酸含量の減少は僅かであった。しかし、粗に封をし20℃で貯蔵した葉ネギのアスコルビン酸含量は、2日後までは貯蔵開始時の含量を保っていたが、それ以降は徐々に減少し、貯蔵9日後には貯蔵開始時の約40%にまで低下した。

葉ネギのクロロフィル含量の経時変化をFig. 5-4に示した。クロロフィル含量はアスコルビン酸含量とほぼ同様の変化を示した。即ち、密封した試験区では、貯蔵温度の違いにかかわらず、クロロフィル含量に変化はみられなかった。また、粗に封をし5℃で貯蔵したもののクロロフィル含量の減少は僅かであった。一方、粗に封をし20℃で貯蔵

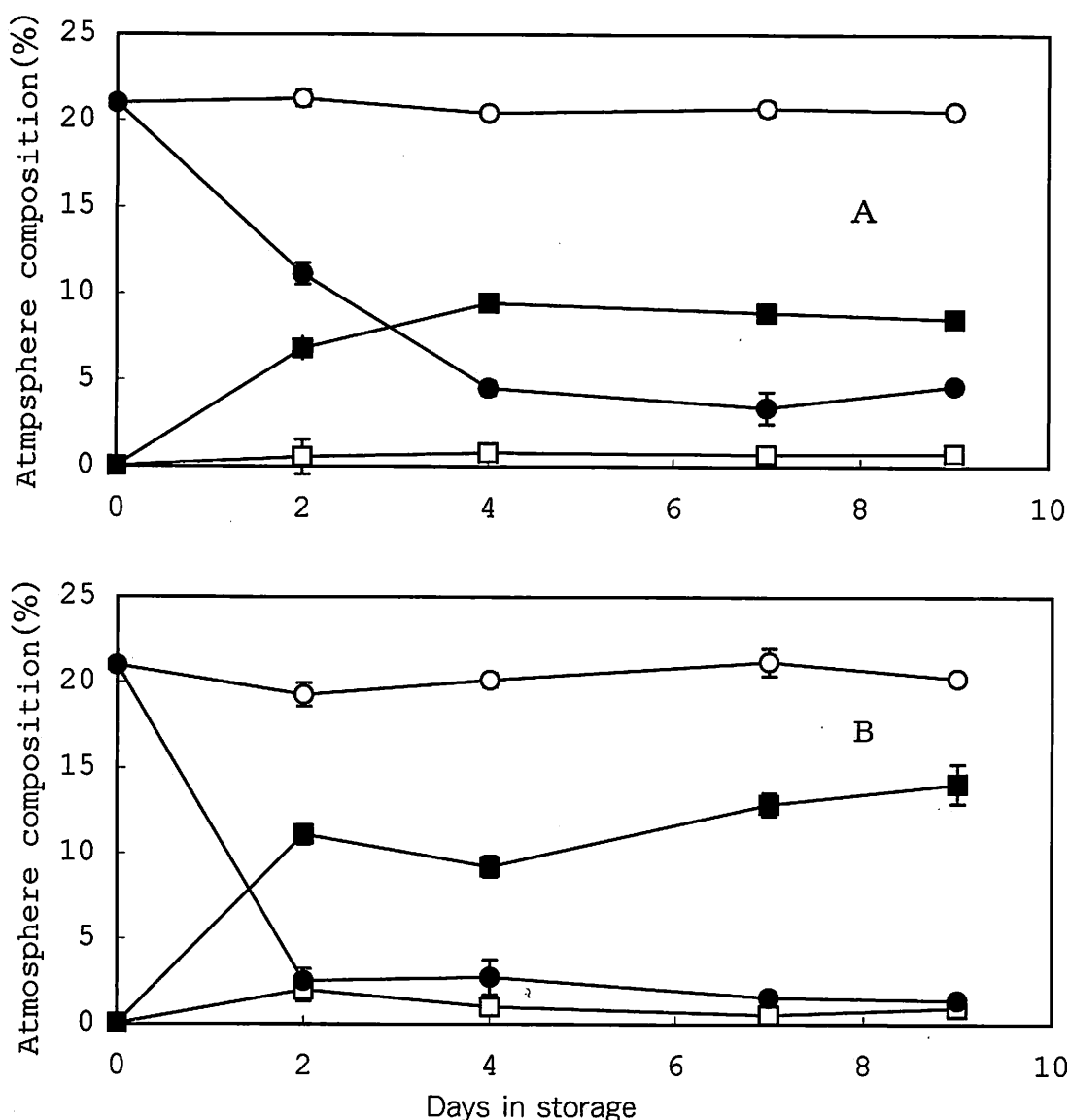


Fig. 5-2 Changes in CO₂ and O₂ concentrations in roughly or completely heat-sealed OPP film packages during storage.

A: stored at 5°C, B: stored at 20°C, □: CO₂ in roughly heat-sealed OPP film package, ○: O₂ in roughly heat-sealed OPP film package, ■: CO₂ in completely heat-sealed OPP film package, ●: O₂ in completely heat-sealed OPP film package. Data represent mean values and standard deviations of 6 determinations.

したものでは、減少割合が大きく、貯蔵9日後には貯蔵開始時の約30%にまで低下した。

葉先枯れの程度の経時変化をFig. 5-5に示した。粗に封をし、20°Cで貯蔵したときの葉先枯れは、貯蔵2日後に僅かに認められ、その後急激に進行し、貯蔵4日後には指数が20を超えて商品性を失った。また、密封し20°Cで貯蔵したものの葉先枯れは4日間認められなかったが、7日後に増加し、さらに9日後には指数が20を超えた。一方、5°Cで貯蔵した場合では、熱溶着方の違いに係わらず貯蔵期間中の葉先枯れはほとんど認められなかった。

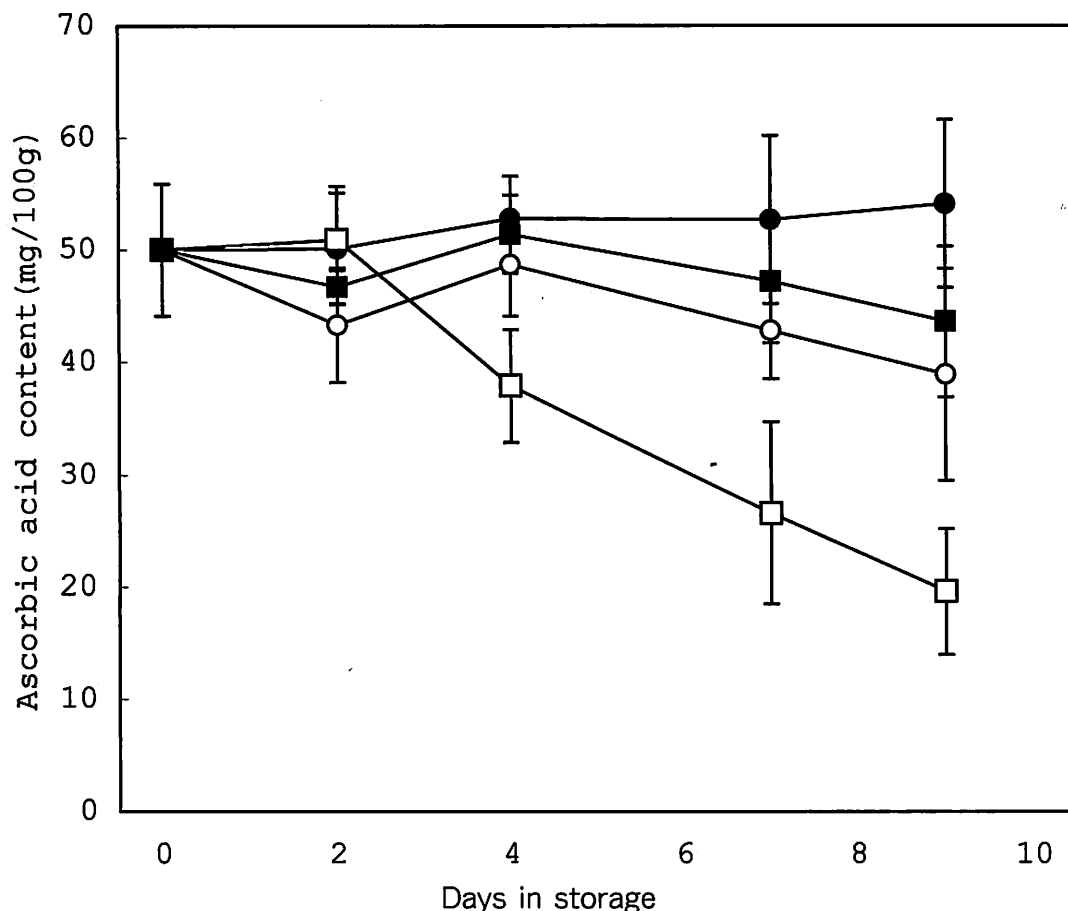


Fig. 5-3 Changes in ascorbic acid content in Welsh onion during storage.
 ○ : roughly heat-sealed at 5 °C, ● : completely heat-sealed at 5 °C, □ :
 roughly heat-sealed at 20 °C, ■ : completely heat-sealed at 20 °C. Data
 represent mean values and standard deviations of 6 determinations.

粗に封をし20 °Cで貯蔵したときの葉ネギの品質は著しく低下した (Fig. 5-6)。この評価値の低下は、葉先枯れ (Fig. 5-7 : Upper panel) や立ち上がり (Fig. 5-7 : Lower panel : 茎部の湾曲)、色の変化 (緑色から黄緑色への変化) 等に起因した。特に、葉ネギの立ち上がりは貯蔵2日後から観察され始め、その後際立った変化を示した (Table 5-1)。また、密封し20 °Cで貯蔵したものの品質は4日間保持されたが、それ以降著しく低下した。この品質劣化は不快な異臭と葉先枯れに起因した。異臭は貯蔵2日後に僅かに発生し、7日後以降は顕著になった (Table 5-1)。また、粗に封をし5 °Cで貯蔵したものの品質低下は緩やかであった。一方、密封し5 °Cで貯蔵したものは内容成分の保持に優れ、葉先枯れや異臭は認められず、立ち上がりもほとんど観察されなかった。その結果、少なくとも貯蔵9日間は品質が保持された。

第3項 考 察

青果物の呼吸は鮮度低下の速度と深く関係している (Brash et al. 1995)。第2章に示

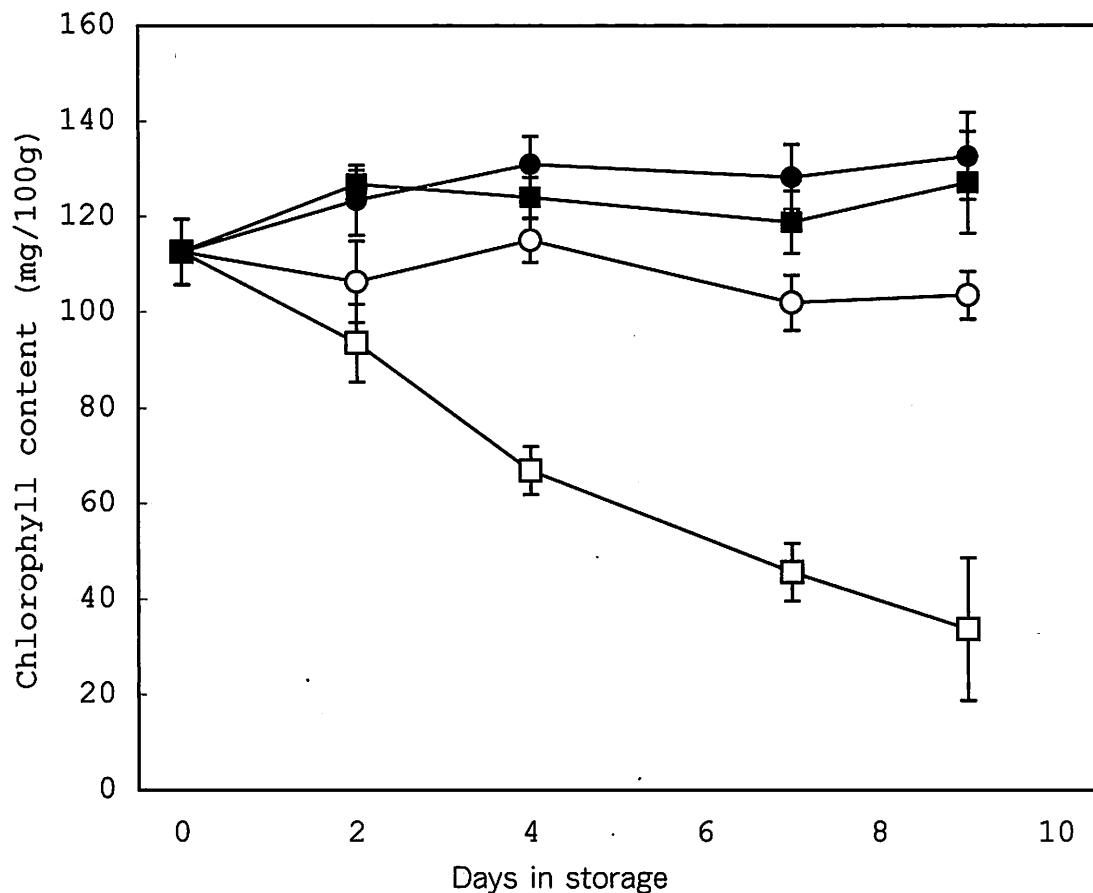


Fig. 5-4 Changes in chlorophyll content in Welsh onion during storage. Symbols are the same in Fig. 5-3. Data represent mean values and standard deviations of 6 determinations.

したように、葉ネギの呼吸速度は温度を従属変数とした二次式で近似することが可能で、貯蔵温度が高いほど呼吸速度は大きくなる。MA効果が期待できない粗に封をした試験区と比較すると、5℃で貯蔵したときの葉ネギでは内容成分の低下はあまり認めることができなかったが、20℃で貯蔵した場合では葉先枯れが発生し、内容成分の低下も顕著であった。

Figure 5-1より、葉ネギのMA包装に適する酸素濃度の下限値は、20℃で4～5%とみなすことができた。酸素濃度がこの値を下回ると無気呼吸する可能性がある。本研究では、密封し20℃で貯蔵したときでは、フィルム袋内の酸素濃度は、2～3%を示した。この葉ネギでは、内容成分は保持され、かつ葉先枯れは4日間観察されなかったが、不快な異臭が認められた。このことは、酸素濃度が2～3%の条件では葉ネギは正常な呼吸ができずに、無気呼吸をしたことを意味している。反対に、密封し5℃で貯蔵したものではOPPフィルム袋内の酸素濃度は、葉ネギのMA貯蔵に適した雰囲気ガス組成であったと思われる。すなわち、この葉ネギの内容成分は保持され、葉先の枯れや立ち上がり現象はほとんど観察されなかったため、MA包装として有効であったと評価された。他方、粗に封をし、5℃または20℃で貯蔵した試験区では、フィルム袋内の酸素濃度は大気の状態に近く、MA効果は期待できないことが示された。

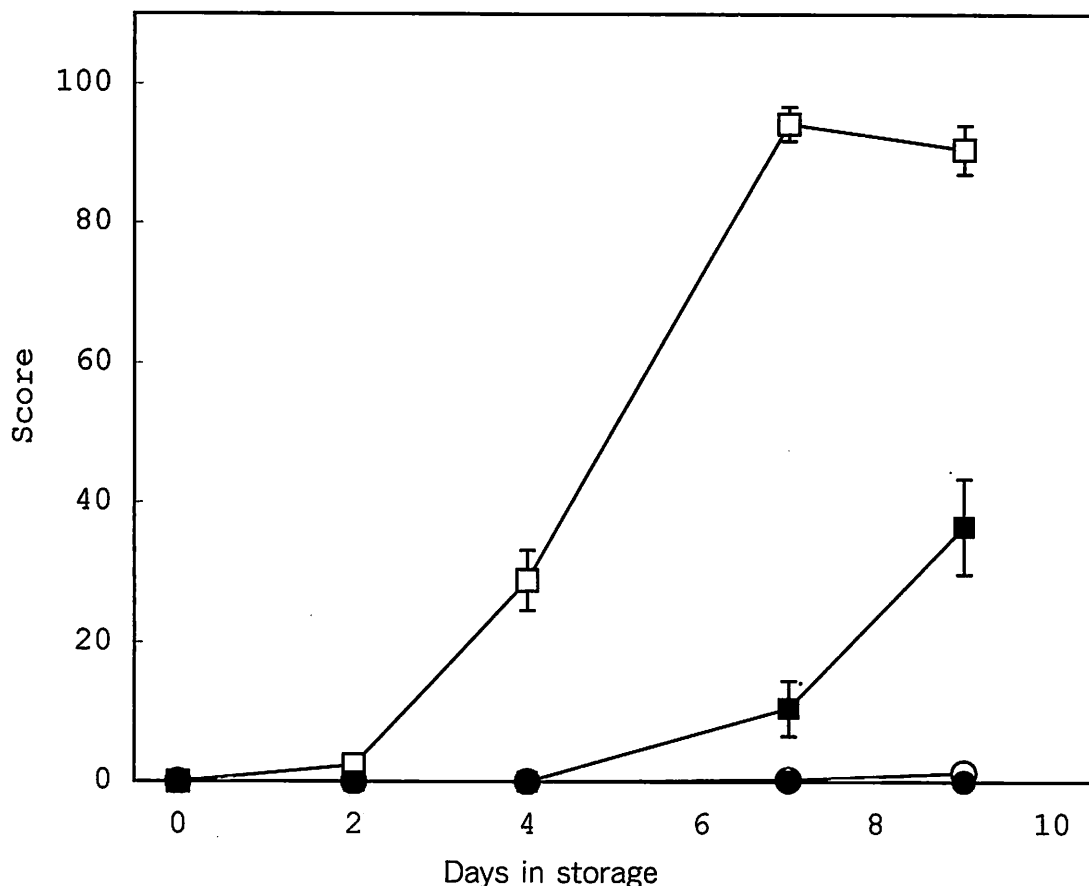


Fig. 5-5 Changes in score of withering of leaf tip in Welsh onion during storage. Symbols are the same in Fig. 5-3. Data represent mean values and standard deviations of 6 determinations.

以上の結果は、葉ネギの品質を保持するためには、第一に温度を低く保つことがより効果的であるということを示唆している。しかし、熱溶着の方法の違いにより、同じ貯蔵温度においても内容成分と品質に相違がみられたことと考えると、望ましいガス組成下の包装が葉ネギの品質保持期間を延ばすということが可能である。以上の結果から、葉ネギはOPPフィルムを用いて密封し、5℃下で貯蔵させることが望ましいことが明らかになった。

第3節 葉ネギの輸送試験

葉ネギの流通方法の改善を目的として実際に葉ネギを福岡から東京に輸送し、その後福岡に転送するという条件を設定し、包装フィルムおよび出荷容器が葉ネギの鮮度に及ぼす影響を検討した。

第1項 材料および方法

1998年5月18日にJA筑前あさくらの朝倉選果場（朝倉町比良松）で包装された葉ネギを試験に用いた。葉ネギ（100g）は下記試験区に従ってフィルム包装し、30束を出荷容

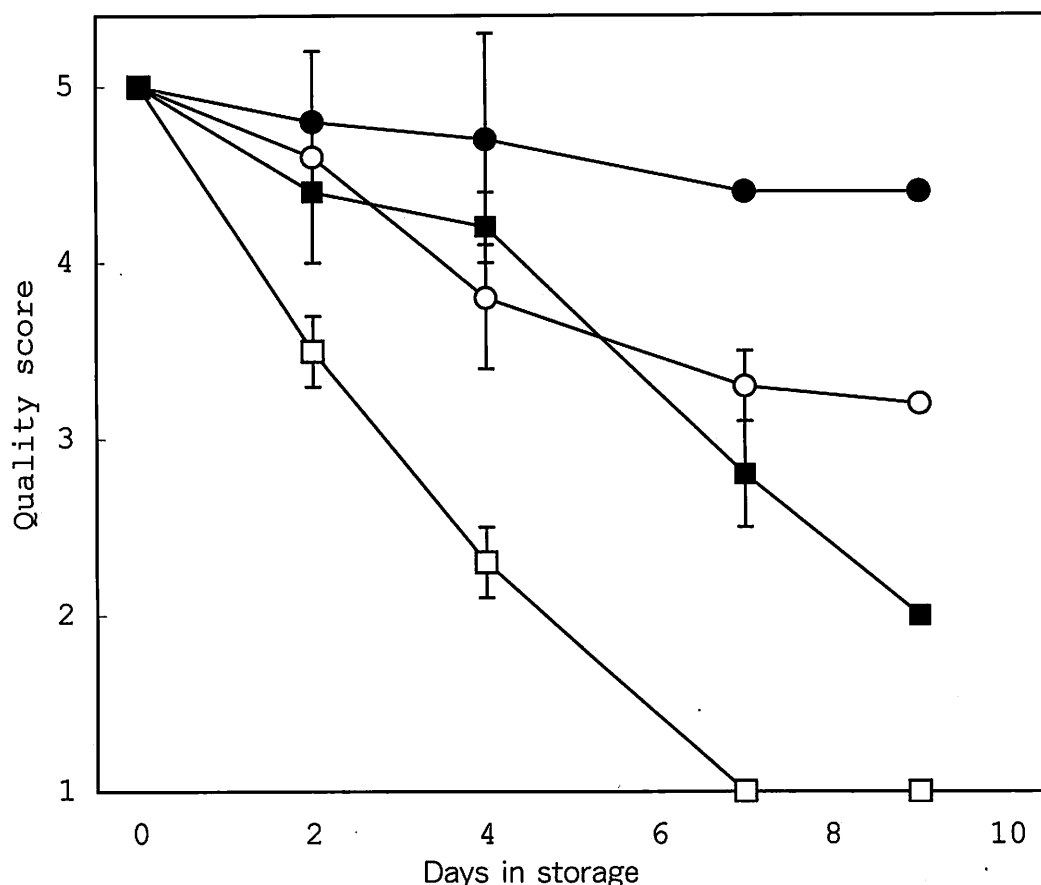


Fig. 5-6 Changes in overall quality of Welsh onion during storage.
 Symbols are the same in Fig. 5-3. Quality scores ; 5 : quality at harvest,
 3 : acceptable for sale, 1 : inedible. Data represent mean values and
 standard deviations of 6 determinations.

器に詰めて羽田空港まで空輸し、東京都中央卸売市場（大田市場）に搬送した。市場到着（19日朝）後、直ちに宅急便にて陸路で福岡県農業総合試験場に転送した（20日午後）。輸送の際の葉ネギの品温を安立計器社製の温度計（AP-210）の針状センサー（ $\phi 0.5$ mm）を葉ネギの葉鞘部に差し込み測定した。その後、低温ショーケースでの販売を想定して、出荷容器から葉ネギを取り出し、15℃の恒温庫中に横置きで保存した。以後、経時的に1回の調査当たり6袋を取り出し、品質を評価するとともに内容成分を測定した。

1) 試験区の構成

- ①葉ネギ100gをOPPフィルムで粗に封をし、発泡スチロール容器に詰めたもの。
- ②葉ネギ100gをOPPフィルムで密封し、発泡スチロール容器に詰めたもの。
- ③葉ネギ100gを微細孔フィルムA（ $\phi 50\mu\text{m}$ の孔（Fig. 5-8）を1袋当たり10個有するフィルム）で密封し、段ボール容器に詰めたもの。
- ④葉ネギ100gを微細孔フィルムB（ $\phi 50\mu\text{m}$ の孔を1袋当たり5個有するフィルム）で密封し、段ボール容器に詰めたもの。

なお、OPPフィルムおよび微細孔フィルムの有効面積は 0.093m^2 であった。

2) 内容成分の測定

全糖含量、アスコルビン酸含量、クロロフィル含量を、第2章第2節および第3章第



Fig. 5-7 Upper panel : Withering of the leaf tip
Lower panel : Deformed shape

2 節に準拠して測定した。

3) 品質の調査

葉先枯れの程度、異臭、立ち上がりの程度および総合鮮度を第 2 章第 2 節および本章第 2 節に準拠して調査した。

なお、時間は福岡到着時を基点（0 日）として、葉ネギ輸送開始時を－2 日、到着翌日を 1 日後と表した。

第 2 項 結果および考察

葉ネギの品温は試験区の違いはあまり認められず、ほぼ同様に变化した。包装直後には 12℃であったが、輸送中に徐々に上昇し、東京到着時は 20℃に達した。その後福岡に転送されるまでは 22～25℃で推移した。福岡到着後の品温は、貯蔵温度とほぼ同じ 15℃で推移した。

Table 5-1 Development of undesirable odor and deformed shape of Welsh onion.

Treatment		Undesirable odors				Deformed shape			
		Days in storage				Days in storage			
		2	4	7	9	2	4	7	9
Heat-seal	Temp.								
Roughly	5 (°C)	—	—	—	—	—	—	+	++
Completely	5	—	—	—	—	—	—	—	—
Roughly	20	—	—	—	—	+	+	++	+++
Completely	20	+	+	+++	+++	—	—	—	—

Undesirable odor and deformed shape of cut onion in each storage temperature were evaluated using a rating scale of - to + + +. A rating of - had quality at harvest, a rating + was considered acceptable for sale, a rating of ++ was considered to eat, a rating scale of +++ was considered to inedible.

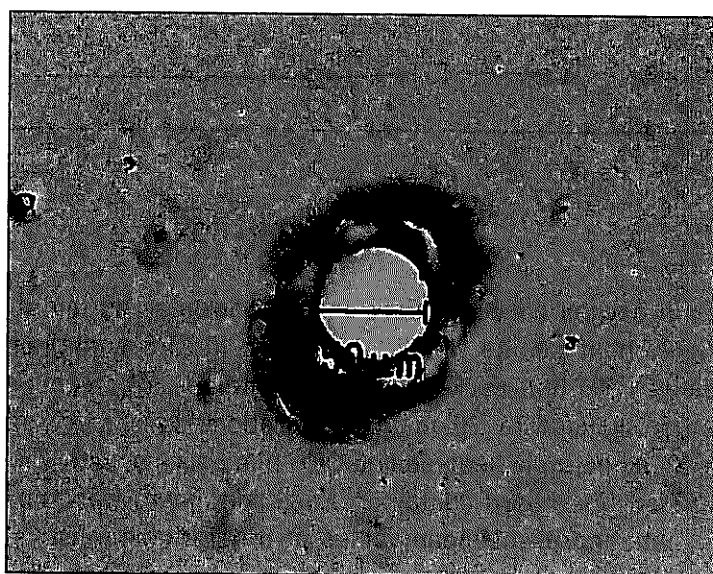


Fig. 5-8 Micro-perforation with laser beams.

OPPフィルムで粗に封をし、発泡スチロール容器に詰めたときのフィルム内酸素濃度は、福岡到着時には3.7%にまで低下していたが、発泡スチロール容器を開封した後は16~18%に上昇した (Fig. 5-9)。この試験区において福岡到着時にフィルム内の酸素濃度が低い値を示したのは、葉ネギの呼吸により消費された雰囲気酸素濃度と外気の酸素濃度との間に差が生じたにもかかわらず、外気からの酸素の流入が発泡スチロール容器のガス遮断性により妨げられたことによると考えられる。福岡到着後は発泡スチロール容器のふたを開けたことにより、熱溶着の隙間部分を通して外気の酸素が流入し、雰囲気酸素濃度は急速に上昇した。OPPフィルムで密封し、発泡スチロール容器に詰めた場合では、福岡到着直後にフィルム内の酸素濃度は1.8%にまで低下し、福岡到着時に容器のふたをあけた以降も2%以下の濃度で平衡に達し、嫌気状態を示した。これは、

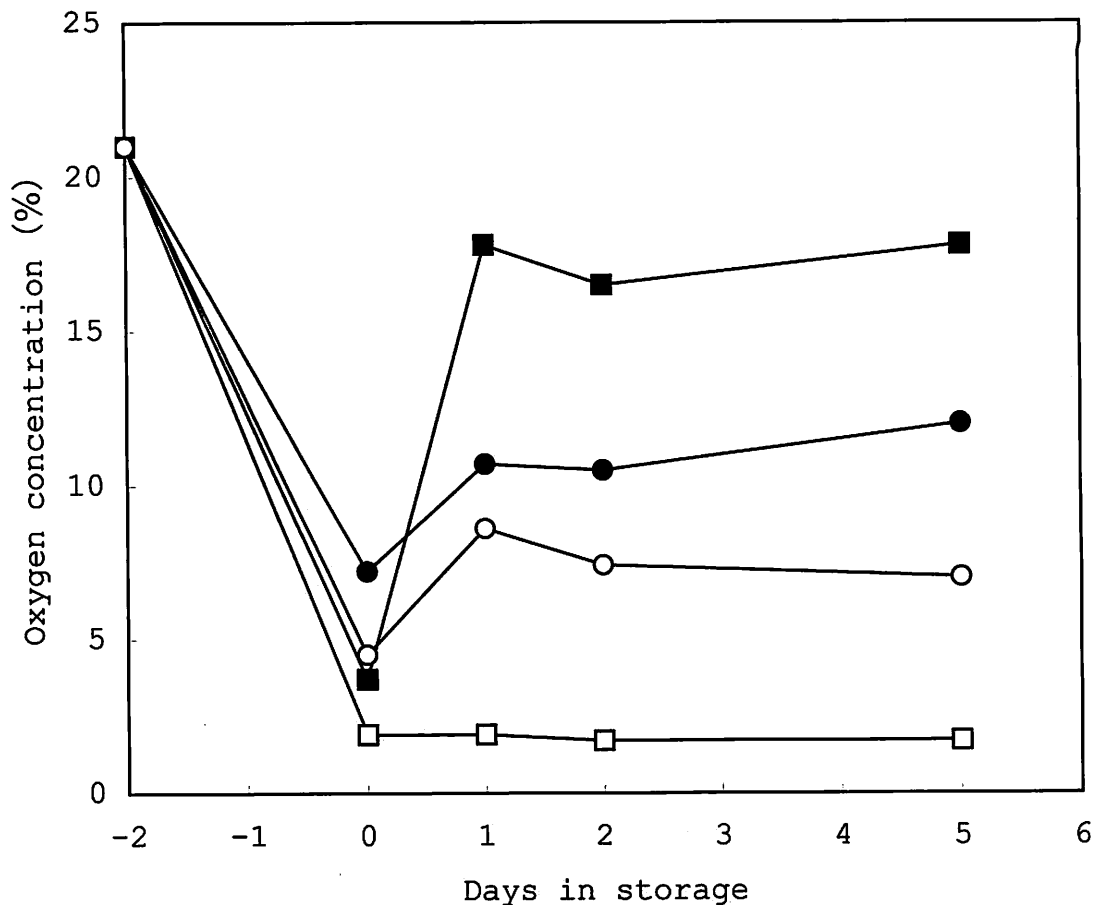


Fig. 5-9 Changes in oxygen concentrations in film packages during storage.
 ■ : roughly heat-sealed OPP film package in EPS container, □ : completely heat-sealed OPP film package in EPS container, ● : completely heat-sealed OPP film package with 10 micro-perforations in corrugated fiberboard container, ○ : completely heat-sealed OPP film package with 5 micro-perforations in corrugated fiberboard container. Each containers were opened at 0 days in storage. Data represent mean values of 6 determinations.

容器のふたを開けた後もフィルムを密封しているため、酸素の流入量が極わずかで、酸素濃度は低い状態で推移したものと考えられる。一方、微細孔フィルムA区およびB区内の酸素濃度は福岡到着時にはそれぞれ、7.2%と4.5%にまで低下したが、その後上昇し、到着2日後にはそれぞれ10~12%と7~8%で平衡に達した。福岡到着時の酸素濃度がそれ以降の酸素濃度より低い値を示したのは、輸送中の高温により葉ネギの呼吸速度が上昇したために酸素濃度が一時的に減少したためであり、その後15℃で貯蔵することにより、呼吸が抑制され、その結果、フィルム内の酸素濃度が上昇したものと考えられる。内容成分の調査では、全糖含量はいずれの試験区においても、福岡到着の2日後まで低下は認められなかった(Fig. 5-10)。しかし、OPPフィルムで粗に封をした葉ネギと、完全に熱シールした葉ネギでは、統計的な有意差は認められないものの、福岡到着5日後に全糖含量はやや減少する傾向を示した。一方、微細孔フィルムA区およびB区の葉ネギでは、全糖含量の減少は5日後においても認められなかった。クロロフィル含量は、雰

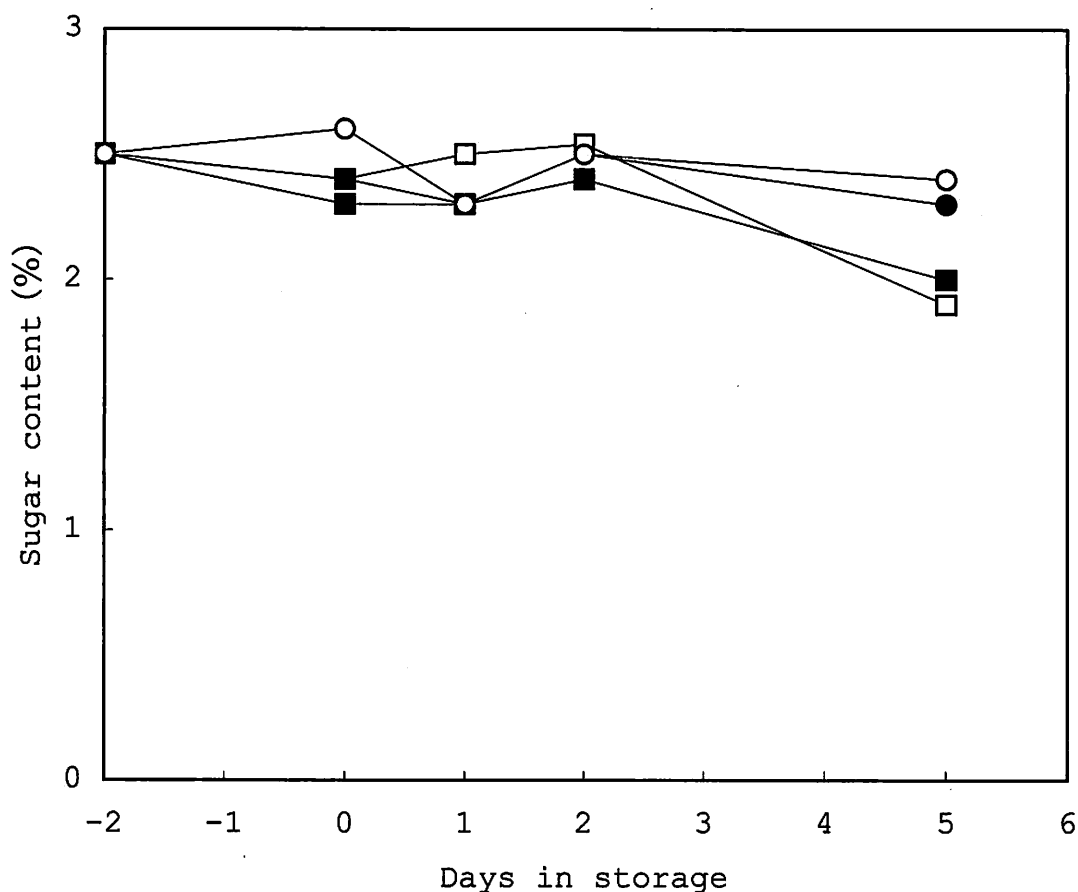


Fig. 5-10 Changes in sugar content in Welsh onion during storage.
 Symbols are the same in Fig. 5-9. Each container was opened at 0 days
 in storage. Data represent mean values of 6 determinations.

囲気の酸素濃度が低く推移した試験区、すなわち、OPPフィルムで密封した区および微細孔フィルムB区で収穫時の含量を保持できた。また、微細孔フィルムA区では、福岡到着の2日後まではクロロフィル含量の低下は認められなかったが、5日後には低下した (Fig. 5-11)。一方、雰囲気酸素濃度が高く推移した、OPPフィルムで粗に封をした区では、福岡到着1日後よりクロロフィル含量は低下した。

外観の調査では、葉先枯れはいずれの試験区においても福岡到着2日後まではあまり認められなかった (Fig. 5-12)。5日後には雰囲気酸素濃度が高位に推移したOPPフィルムで粗に封をした区や、酸素濃度が比較的高かった微細孔フィルムA区で葉先枯れは増加したが、雰囲気酸素濃度が低いOPPフィルムで密封した区では、比較的抑制された。しかし、この試験区では福岡到着時に無気呼吸特有の異臭がすでに観察され、以後激しく臭うようになった (Table 5-2)。また、無気呼吸をした葉ネギ特有の水浸状を示す葉も観察された。OPPフィルムで粗に封をした区においても、福岡到着時に異臭が観察された。これは、そのときに酸素濃度が一時的に低下したためと考えられ、その後容器の開封に伴う酸素濃度の上昇により異臭は感じられなかった。一方、微細孔フィルムAおよびBで包装された葉ネギでは、異臭を感じることはなかった。酸素濃度が低く推移したOPPフィルムで密封した区では立ち上がり現象はあまり認められなかったが、それ

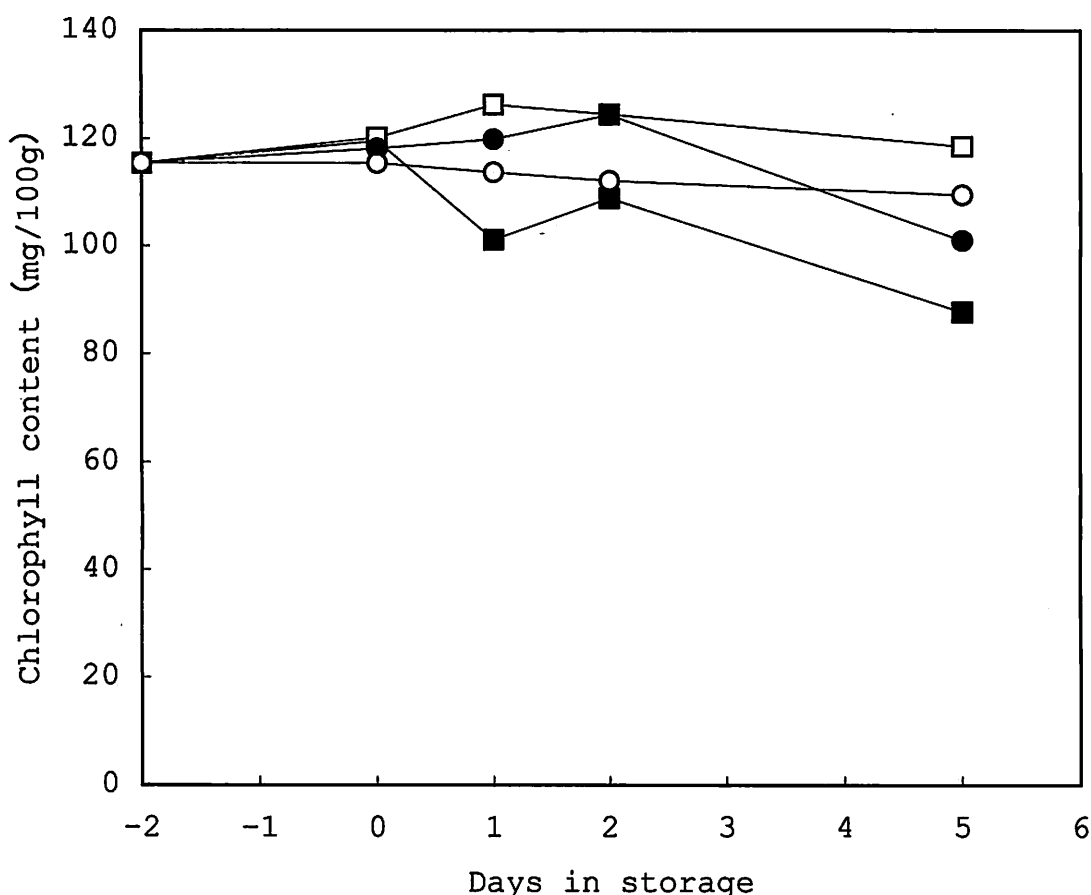


Fig. 5-11 Changes in chlorophyll content in Welsh onion during storage. Symbols are the same in Fig. 5-9. Each container was opened at 0 days in storage. Data represent mean values of 6 determinations.

以外の試験区、特に微細孔フィルムA区では1日後より激しくなった。

いずれの試験区においても、福岡到着時の総合鮮度の低下はあまり認められなかった (Fig. 5-13)。OPPフィルムで粗に封をすると、フィルム内の酸素濃度が大気に近い状態になり、MA効果が認められないことが多い。しかし、第4章に示したように、発泡スチロール容器にはガス遮断性が認められることから、OPPフィルムで粗に封をした区においても、福岡到着時には酸素濃度はかなり低い状態となり、MA効果を保つことができたと考えられる。そのため、福岡到着時や翌日（1日後）までは鮮度を保つことができた。また、OPPフィルムで密封した区では、福岡到着後も酸素は常に2%を下回る状態で推移したが、1日後までは糖やクロロフィルをよく保持し、また、異臭もそれほどまでには認められなかった。このことは、葉ネギが店頭に並んだ当日か翌日までに販売できれば、微細孔フィルムなどを用いずともこれらの方法で販売上はあまり問題にならないことを示している（茨木ら 1995）。しかし、それ以降の販売や消費者が購入してさらに数日間食わずに冷蔵庫の中に入れておく状況を考えると、より良い鮮度保持方法が求められる。福岡到着2日後以降、OPPフィルムで粗に封をした区では立ち上がりや葉先枯れなどにより鮮度が低下した。また、OPPフィルムで密封した区では無気呼吸特有の異臭や水浸状を示す葉が観察され、鮮度は大きく低下した。このことは雰囲気酸素濃度が2%を下回るような環境下では葉ネギの鮮度はかえって低下することを示している。し

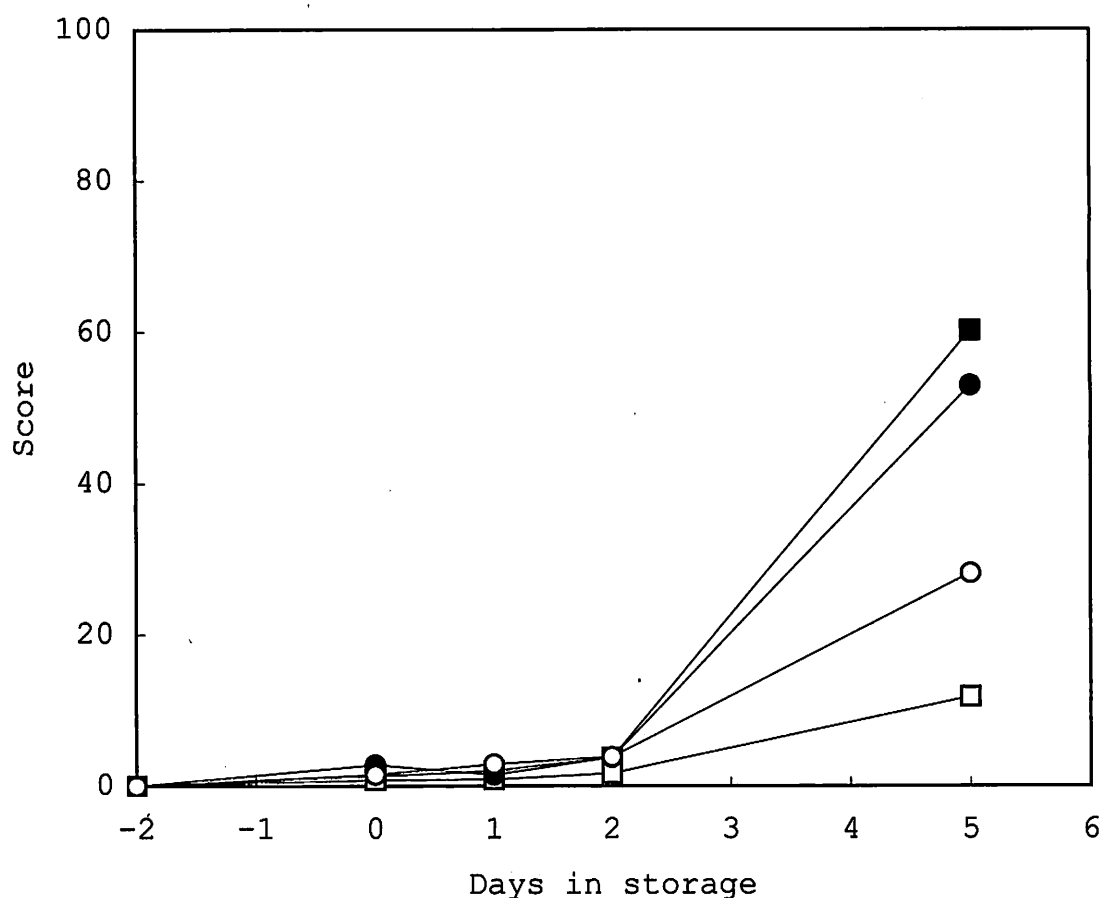


Fig. 5-12 Changes in score of withering of leaf tip in Welsh onion during storage. Symbols are the same in Fig. 5-9. Each container was opened at 0 days in storage. Data represent mean values of 6 determinations.

Table 5-2 Development of undesirable odor and deformed shape of Welsh onion.

Treatment		Undesirable odors					Deformed shape				
		Days in storage					Days in storage				
Heat-seal	Perforation	-2	0	1	2	5	-2	0	1	2	5
Roughly	0	—	+	—	—	—	—	+	++	++	+++
Completely	0	—	+	+	+++	++	—	—	—	+	+
Completely	10	—	—	—	—	—	—	+	+++	+++	+++
Completely	5	—	—	—	—	—	—	+	+	++	++

たがって、OPPフィルムを完全に密封することは、5℃の低温貯蔵では効果的であるが、実際の流通を考えるとかえって品質が悪くなる可能性があることを示している。一方、微細孔フィルムは孔の面積や数でフィルム内の酸素濃度を自由にコントロールすることが可能である。今回用いた2種類の微細孔フィルムのうち、B区では目的とする酸素

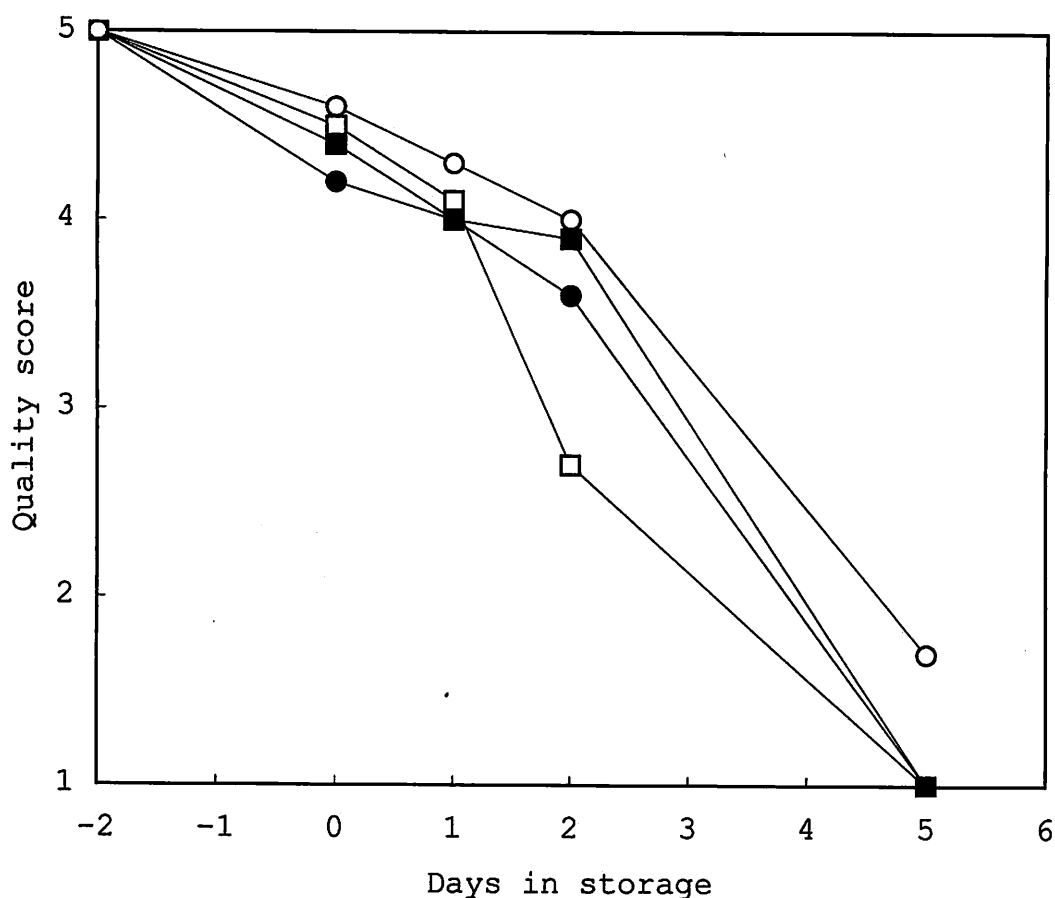


Fig. 5-13 Changes in overall quality of Welsh onion during storage. Symbols are the same in Fig. 5-9. Each container was opened at 0 days in storage. Data represent mean values of 6 determinations.

濃度が4～8％に調節することができ、鮮度を比較的高く保つことができた。このフィルムでは、段ボール容器での出荷を想定しているため、出荷容器によるガス遮断性は期待できない反面、出荷容器を開封した後も酸素濃度を比較的低く制御できるという特徴を持っている。そのため、小売店での販売時においても鮮度低下を抑制できることから、葉ネギの出荷方法として優れることが明らかになった。

第4節 小 括

葉ネギをOPPフィルムで粗に封をし、あるいは密封した後、5℃と20℃でそれぞれ貯蔵したときの内容成分と鮮度の変化を観察した。また、葉ネギを実際に東京市場まで空輸し、転送を想定して福岡までトラック便で送り返すという、現実に即した輸送試験を実施した。

(1) 20℃における葉ネギの呼吸速度は酸素濃度が低下するとともに減少した。しかし、酸素濃度が4～5％以下では、呼吸速度(二酸化炭素排出速度)が高くなるものも認められたことから、この温度における葉ネギのMA包装に適する酸素濃度の下限値は4～5％であると考えられた。

(2) 葉ネギをOPPフィルムで粗に封をしたときのフィルム内ガス濃度組成は貯蔵温度に係わらず大気中の濃度と同じであった。そのため、20℃で貯蔵したときの葉ネギの内容成分は著しく減少し、葉先枯れも観察され品質劣化が際だっていた。しかし、5℃で貯蔵した場合では内容成分や品質の低下は緩やかであった。

(3) 葉ネギをOPPフィルムで密封したときのフィルム内酸素濃度は、20℃で2～3%、5℃では4～5%にまで減少した。これらの場合、内容成分の経時的な減少は貯蔵後もほとんど認めることはできなかった。しかし、20℃で貯蔵したときでは、葉先枯れや無気呼吸による不快な異臭が認められた。5℃で貯蔵したときは低温とMA効果により、内容成分や外観を維持でき、品質低下を抑制できた。

(4) 葉ネギをOPPフィルムで完全に熱シールしたものは、福岡到着後もフィルム内の酸素濃度は2%を下回り、無気呼吸による品質低下が著しく進行した。直径が50 μ mの孔を10個有するフィルムで包装し、普通段ボール容器に入れて輸送したものは、葉ネギに適するMA条件を満たすことはできなかったが、微細孔を5個有するフィルムを用いると、出荷容器開封時には酸素濃度が4.5%を示し、その後の貯蔵時においても7～9%と葉ネギに適する酸素濃度を維持でき、鮮度低下を抑制することが可能となり、葉ネギの出荷方法として優れた。

第6章 カット葉ネギの鮮度保持

第1節 緒 言

近年、レストランなどの外食産業では、カット野菜などの簡単な一次加工野菜が使われるようになった。また、各家庭においても皮むき、洗浄、カットなどの面倒な作業をせずに済むことや、ゴミとなる残さを出さずに済むといった利点からカット野菜の需用は伸びている。カット野菜は分割、切断、整形などの機械的損傷を受けているため、呼吸速度の増大などにより、鮮度の劣化は急速に進む (Watada et al. 1996)。そのため、鮮度保持方法の確立が求められている。一般に、鮮度保持のための研究にはまず、品質の変化を示す客観的な指標を明らかにする必要がある。カットニンジンでは、切り口の細胞から水分が失われるため、カット面が白く変色する。この現象を利用し、Izumiら (1996) は、カット面の色調の変化をカットニンジンの品質変化の指標とした。カットレタス (結球) では、フェニルアラニンアンモニリアーゼ活性の上昇は、見た目の鮮度変化と密接な関係があり、鮮度変化を予想する上で有効な指標となった (Couture et al. 1993、Gloria et al. 1996)。一方、カットしていない葉ネギでは、葉先の枯れは鮮度低下の良い指標となり得た (Ibaraki et al. 1999)。根を除去するために、茎の一部を切り取った葉ネギでは、茎の内側部分が伸長し、これが商品性に大きく影響を及ぼす。Hongら (2000) は、この茎内部の伸長を計測することでこの葉ネギの鮮度を評価した。この現象はカット葉ネギにおいても認められるが、カット幅が4 mm～5 mmと小さいカット葉ネギではこの評価の応用は困難であるため、カット葉ネギの品質評価方法が求められている。

一方、カット野菜の鮮度を保つために、低温やMA包装を応用した研究が行われてきた (Izumi et al. 1996、Mylène et al. 1996)。また、微生物制御面からの試みも行われている (Neelima et al. 1990、Zhang and Farber 1996)。カットしない葉ネギでは、MA包装により呼吸や内容成分の減少を抑制させ、葉先の枯れなどの外観の劣化を遅らせることができることは既に示したとおりである。葉ネギや他の野菜の包装に用いられているOPPフィルムは透明性や機械適性に優れる。しかし、第5章に示したようにOPPフィルムは葉ネギを包装するにはガス透過性が低すぎ、特に葉ネギより呼吸速度が高いカット葉ネギでは、フィルム内が低酸素状態となりやすく、無気呼吸による障害が発生しやすい。そのため、カット葉ネギの包装に適するフィルムが求められている。

第2節 カット葉ネギの鮮度評価方法の検討

カット葉ネギの鮮度を示す指標について検討した。

第1項 材料および方法

福岡県農業総合試験場で収穫した葉ネギを試験に供した。よく研いだステンレス製の包丁で約4 mm幅に刻んだ。このカットネギ5 gを厚さ0.03 mmのポリエチレンフィルム袋 (90×200 mm) に入れ、直線で熱溶着 (密封) した後、0、5、10、15、および20℃の恒温庫中に保存した。以後、経時的に袋からカット葉ネギを取り出し、官能評価するとともに、漏出電解質を調査した。

1) 呼吸速度の測定

カット葉ネギ100gと、25mlの2N-KOHとともにデシケーター中に入れた。KOH溶液中に溶け込んだ二酸化炭素含量をHClで逆滴定することで呼吸速度を算出した。

2) 官能評価

開封時の異臭および腐敗の程度は、全く認められない状態を－、わずかに認められる状態を＋、かなり認められる状態を++、激しく認められる状態を+++として表した。

3) 電解質の測定

電解質の漏出は広瀬（1985）の方法に準拠した。すなわち、開封後のカット葉ネギに10倍量の水を加え、30℃の恒温水槽中に2時間放置した。途中で1回、容器ごとよく振とうさせた。その後、No. 2のろ紙でろ過し、そのろ液について電気伝導度（EC）を測定した。また、ろ液中に漏出してくるカリウム量を炎光光度計（EKO社製：Model FLD）で測定した。さらに、カット葉ネギに10倍量の蒸留水を加え、10,000rpmで5分間ホモジナイズし、No. 2のろ紙でろ過したろ液についてもカリウム含量を測定した。

4) クロロフィルの測定

第3章第3節に準拠した。

第2項 結果および考察

貯蔵温度が低いほどカット葉ネギの呼吸速度は低下した（Table 6-1）。5℃と10℃で貯蔵したときのカット葉ネギの呼吸速度は0℃で貯蔵したときに比べて、それぞれ1.8倍、2.2倍であったが、15℃と20℃で貯蔵したときは、それぞれ3.2倍、5.2倍と高い値を示した。青果物の呼吸は、その結果として糖などの栄養分を損失させ、味や青果物の価値を減じる（Kader 1987）。カットしていない葉ネギでは、呼吸速度と鮮度とは密接な関係が認められ、呼吸速度が低いほど鮮度保持に優れることが認められた（茨木ら 1997 b）。Table 6-2にカット葉ネギの異臭と腐敗の経時変化を示した。0、5および10℃で貯蔵した場合、葉がやや水浸状になり、葉色が濃緑色になる傾向が認められたものの、総じて貯蔵後6日間は商品性が認められた。しかし、15℃と20℃で貯蔵した場合、それぞれ貯蔵後4日後と3日後に異臭の発生が認められ、次いでそれぞれ5日後と4日後にわずかに腐敗が認められた。15℃で貯蔵した場合は商品性を保ったのは貯蔵3日後までで、4日後には商品性は認められないものの食べられる状態、5日後には食べられない状態になった。また、20℃で貯蔵した場合は、商品性を保ったのは貯蔵2日後までで、3日後にはなんとか食べられる状態、4日後には食べられない状態を示した。このように、呼吸速度が高かった15℃や20℃で貯蔵した場合に鮮度の低下は早くから認められ

Table 6-1 Respiration rate of cut Welsh onions.

Temperature	Respiration rate (mg CO ₂ · kg ⁻¹ · hr ⁻¹)	Relative
0℃	90.5	(1.0)
5	164.0	(1.8)
10	198.1	(2.2)
15	286.1	(3.2)
20	469.0	(5.2)

Table 6-2 Results of sensory evaluation

Storage temperature	Undesirable odor							Decay						
	Days in storage							Days in storage						
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6
0(°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	+	++	+++	-	-	-	-	-	+	+
20	-	-	-	+	++	+++	+++	-	-	-	-	+	++	+++

Undesirable odor and decay of cut Welsh onions at each storage temperature were evaluated using a rating scale of - to + + +. -, +, ++, +++ = no undesirable odor or decay, slight, medium, strong odor and decay, respectively.

た。菅原ら(1987)は細切りレタスでは流通温度は10℃以下が適当と報告している。これらを考え合わせると、カット葉ネギにおいても流通、貯蔵温度は10℃以下が望ましいことが明らかになった。

10倍量の水に漏出した電解質のEC測定値は、貯蔵開始後数日までは貯蔵日数が長くなるにつれ減少する傾向を示した(Fig. 6-1)。この減少割合は貯蔵温度が高くなるほど大きかった。しかし、10℃以下の温度で貯蔵したものは貯蔵6日後まで減少を続けたのに対し、15℃で貯蔵した場合は3～4日後、20℃では3日後までEC測定値は急速に低下したが、それ以降は増加に転じた。Fig. 6-2に15℃貯蔵におけるカット葉ネギのカリウム漏出量とホモジナイズ後のカリウム抽出量の変化を示した。カリウムは細胞内では液胞中に多く存在し、大部分が水溶性である。そのため、包丁による切断や、ホモジナイズによる細胞の機械的破壊、さらには腐敗などにより細胞が崩壊すると、液胞中に存在した水溶性カリウムは水中に漏出する。ホモジナイズしたときのカリウムは200～250mg/100gでほぼ一定の値を示した。これは、切り口の治癒や細胞の腐敗に関わらず、ホモジナイズによって全細胞が機械的に損傷し、そのため測定量も高く、ほぼ一定の値を示したと考えられる。これに対し、10倍量の水に漏出させた時のカリウム測定値の経時変化は15℃や20℃で貯蔵したときのECの経時変化と同様の傾向を示した。この現象(最初の数日間は減少し、その後上昇に転じる)は次のように考えられる。一般に植物に傷が生じると、その部分において癒傷組織が形成したり、あるいは乾燥により、傷口からの細菌の進入や細胞液の漏出を抑えられている。また、その速度は貯蔵温度が高いほど速くなる。今回の試験では、貯蔵日数の経過とともに、ECの測定値が緩やかに低下したことから、カット葉ネギにおいても、切り口からの細胞液の漏出が徐々に抑制されたことが伺える。また、貯蔵温度が高いほど低下割合が大きかったことは、貯蔵温度が高いほど切り口の治癒が早かったものと推測される。貯蔵温度が高い場合にその後の測定値が急激に高くなったが、これは細胞が腐敗によって破壊され、細胞液の漏出が促進されたためと思われる。電解質やカリウムの漏出は植物の生理障害を測定するときに用いられることがあり、広瀬(1985)やHariyadiとParkin(1991)はキュウリ低温障害の

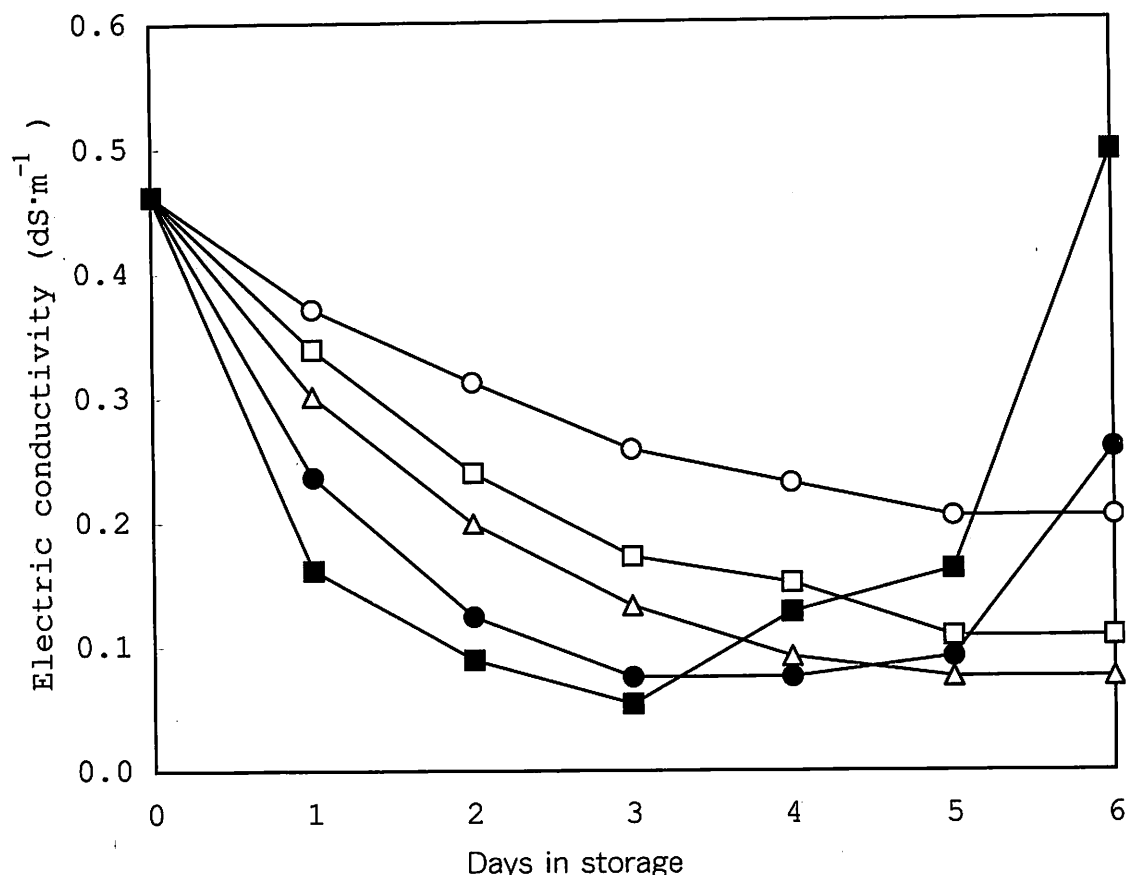


Fig. 6-1 Changes in electric conductivity in cut Welsh onion during storage.

○ : storage at 0 °C, □ : storage at 5 °C, △ : storage at 10 °C, ● : storage at 15 °C, ■ : storage at 20 °C.

程度を測定するのにこれらの漏出量を測定した。これらの研究の場合、貯蔵初期における電解質の漏出は認められず、低温障害発生と同時に漏出が始まった。これはカット葉ネギの場合と異なり、健全な植物体を用いたために貯蔵初期の漏出が認められなかったため、その後の障害とともに電解質の漏出が認められた。われわれの研究では、15 °Cで貯蔵した場合は5日後から、20 °Cで貯蔵した場合は4日後からカット葉ネギは腐敗し始めた。この腐敗した日とEC値が増加に転じた日とがほぼ同じであることから、葉ネギの細胞は腐敗により崩壊し、そこより電解質が漏出したものと考えられる。

著者らはカットしていない葉ネギでは鮮度の劣化とともにクロロフィル含量は減少することを明らかにした (Ibaraki et al. 1999)。カット葉ネギでは、貯蔵温度が0、5および10 °Cのときにはクロロフィル含量には変化はほとんど認められなかったが、貯蔵温度が15 °Cおよび20 °Cのときにはそれぞれ貯蔵4日後および3日後からクロロフィルの低下が認められた (Fig. 6-3)。これはカットしていない葉ネギと同様に、クロロフィル含量は葉ネギの鮮度の低下とともに減少することを示している。したがって、クロロフィル含量を測定することはカット葉ネギの鮮度を評価する上で有用である。

このように、カット葉ネギ漏出液のECおよびカリウム含量はカット葉ネギの鮮度と深い関わりを持っていることが明らかになった。さらには、クロロフィル含量も鮮度を評

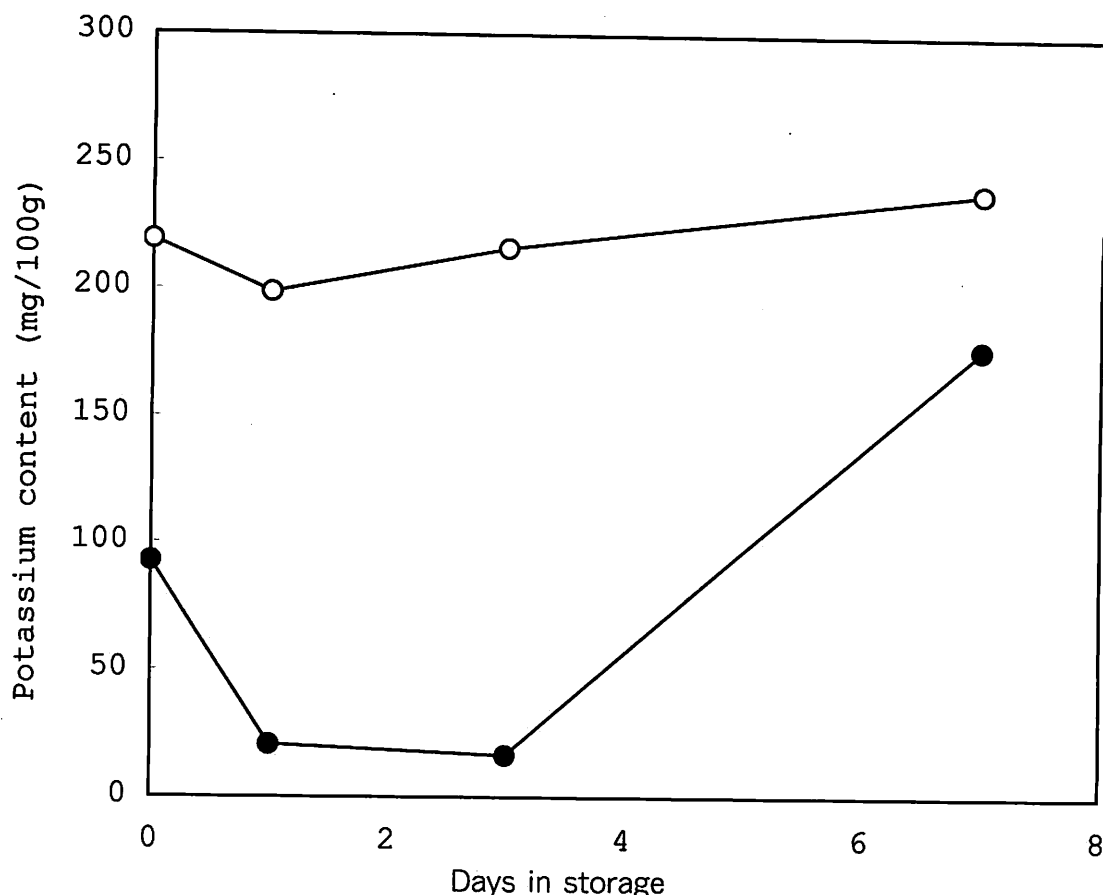


Fig. 6-2 Changes in potassium content during storage at 15 °C.
○: extracted by homogenization, ●: extracted by leakage.

価する上で有用である。

第3節 MA包装によるカット葉ネギの鮮度保持

未穿孔OPPフィルムを対照として、2種類の微細孔フィルムを用いて10 °C貯蔵時におけるカット葉ネギの鮮度の変化を調査した。

第1項 材料および方法

福岡県朝倉町で収穫した葉ネギを供試した。葉ネギはネギスライサー（CHUBU社製SWW-820）で5 mm幅にカットした。その50gを3種類のフィルムに入れ10 °Cで貯蔵した。

1) 包装フィルム

未穿孔OPPフィルム（以後フィルムAとする）の厚さは、0.02 mm、有効面積は0.043 m²、フィルム内の体積は350mlとした。このフィルムにレーザー光線により直径が50μmの孔（Fig. 5-8）を24個開けたフィルム（以後フィルムB）と48個開けたフィルム（以後フィルムC）を試験に用いた。フィルムのガス透過性は第4章第4節に示した太田ら（1991）の方法に従い測定した。

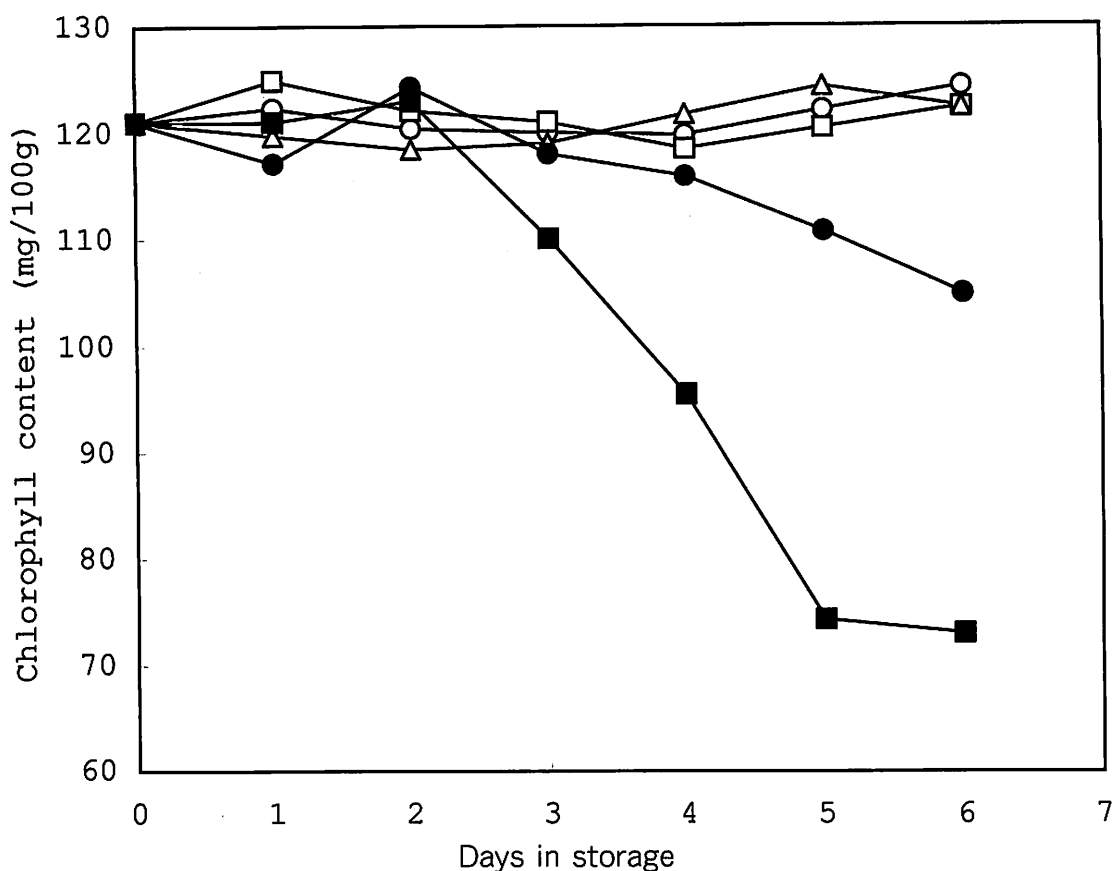


Fig. 6-3 Changes in chlorophyll content in cut Welsh onion during storage. Symbols are the same as in Fig. 6-1.

2) 糖の定量

カット葉ネギ 1gに蒸留水を加えて磨碎し、3,000rpmで10分間遠心分離した。その上澄液を湯浴中（80℃）で10分間加温し、酵素を失活させた後再度12,000rpmで5分間遠心分離後、ベーリンガー・マンハイム社製のFキット（製品番号；716-260）を用いてグルコース、フルクトースおよびスクロースを測定した（Bergmeyer and Bernt, 1974）。

3) クロロフィルの定量

カット葉ネギ 5gに80%エタノール30mlを加え、アルミホイルでふたをして60℃15分間インキュベート後、ホモジナイズ・ろ過してクロロフィルを抽出した。定容とした後665nmと649nmの波長を測定した（Wintermas and Demonts, 1956）。

4) ECとカリウムの測定

本章第2節に従い、ECおよびカリウム含量を測定した。

5) エタノールの定量

カット葉ネギの無気呼吸の指標としてエタノールを測定した。カット葉ネギの蒸留水抽出物を遠心分離（3,000rpm、10分間）し、上澄液の一定量をベーリンガー・マンハイム社製のF-キット（製品番号；176-290）を用いて測定した（Beutlar and Michal 1977）。

6) 官能評価

10℃で貯蔵したカット葉ネギを袋から取り出し、異臭の程度を本章第2節により、総

合鮮度を第5章第2節に準拠して評価した。

第2項 結 果

各フィルムのガス透過性をTable 6-3に示した。

未穿孔のフィルムAでカット葉ネギを包装したときのフィルム内酸素濃度は急激に低下し、貯蔵1日後には2%に達し、それ以降貯蔵終了時（9日後）まで2%未満で推移した（Fig. 6-4A）。一方、二酸化炭素濃度は1日後には16%、5日後には28%に達した。24個の微細孔を有するフィルムBで包装したときの酸素濃度は貯蔵3日後までは徐々に低下し、それ以降7日後まで12~10%で推移した（Fig. 6-4B）。二酸化炭素濃度は貯蔵1日後以降9~12%を示した。48個の微細孔を有するフィルムCでは、酸素濃度と二酸化炭素濃度は貯蔵1日後にそれぞれ、16~17%、4~5%に達した（Fig. 6-4C）。

いずれのフィルムで包装したときでも、葉ネギ中のスクロース含量は貯蔵後緩やかに低下したが、その中でもフィルムBで包装したものの減少割合は小さかった（Fig. 6-5 I）。同様に、フィルムAおよびフィルムCで包装したときの葉ネギ中のグルコース含量の減少は顕著で10日後には貯蔵開始時の約40~50%にまで低下した（Fig. 6-5 II）。しかし、フィルムBで包装したものは、スクロース含量と同様にわずかに低下したのみであった。一方、供試した3種類のフィルムで包装したときの葉ネギ中のフルクトース含量の減少傾向は明らかではなかった（Fig. 6-5 III）。

カット葉ネギ中のクロロフィル含量の経時変化をFig. 6-6に示した。何れのフィルムで包装した場合でも、貯蔵2日後まではカット直後の含有量を保持していた。しかし、微細孔を48個有するフィルムCで包装した葉ネギは4日後に急速に減少し、それ以降も緩やかに低下した。一方、フィルムAおよびフィルムBで包装した葉ネギのクロロフィル含量は貯蔵4日以降は緩やかに低下した。10日後における残存率はフィルムAで76%、フィルムBで87%、フィルムCで62%であり、フィルムBで最も優れた。

ECは貯蔵限界を知る上で重要な指標となる。EC値が減少から上昇に転じるときは葉ネギが腐敗した日とほぼ等しい。未穿孔のOPPフィルムで包装したときの葉ネギ溶出液のECは貯蔵4日後にはすでに上昇し、以後増大した（Fig. 6-7）。フィルムBおよびCではECが低下傾向から上昇に転じたのはそれぞれ貯蔵6~8日後、4~6日後であった。カリウム漏出量もECと同様の変化を示した（Fig. 6-8）。

Table 6-3 Gas permeability of unperforated or perforated OPP film at 10 °C.

Property	Thickness (mm)	Permeability (ml · m ⁻² · day ⁻¹ · atm ⁻¹)		
		O ₂	CO ₂	N ₂
A	0.02	970	2,420	150
B	0.02	24,467	22,163	23,970
C	0.02	130,938	128,707	139,963

A: unperforated OPP film,

B: OPP film with 24 micro-perforations,

C: OPP film with 48 micro-perforations.

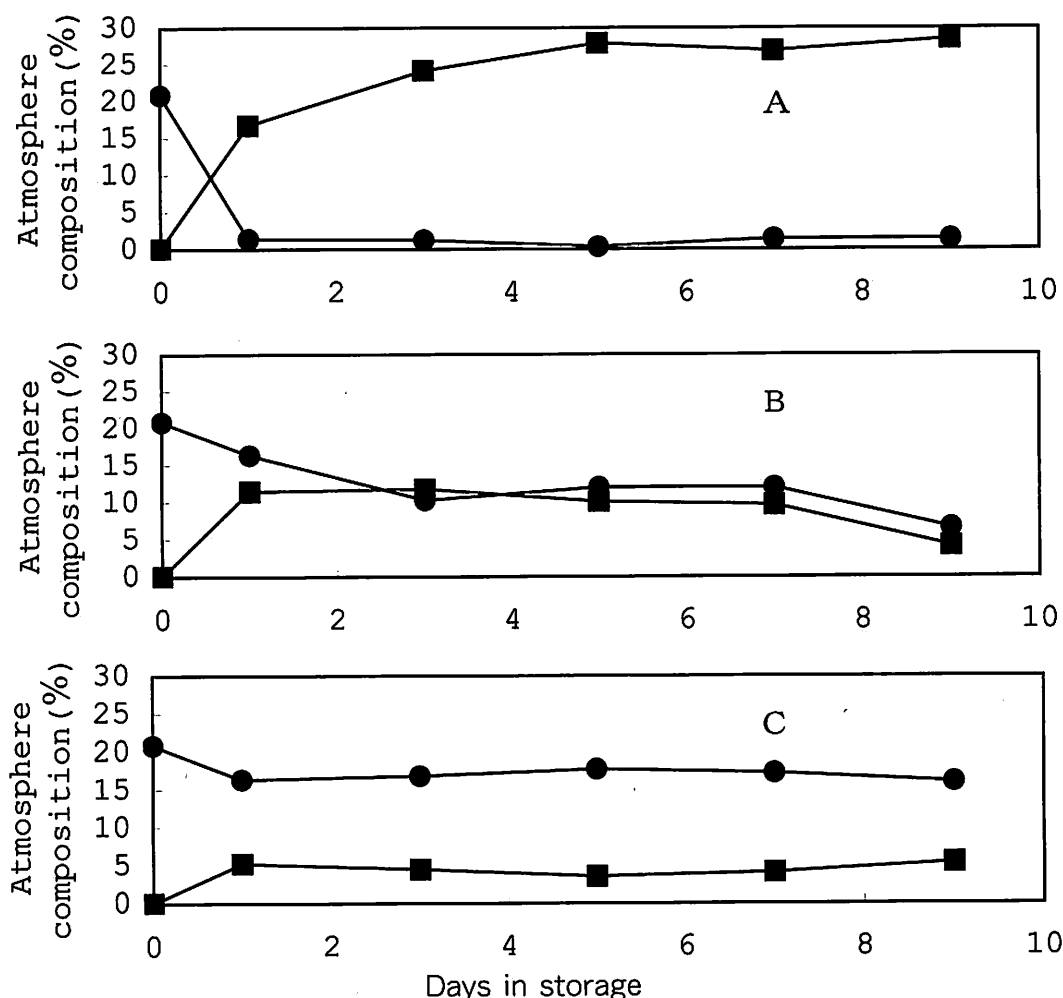


Fig. 6-4 Changes in CO₂ and O₂ concentrations in OPP film packages during storage at 10 °C.

A: unperforated OPP film, B: OPP film with 24 micro-perforations, C: OPP film with 48 micro-perforations, ●: oxygen in package, ■: carbon dioxide in package.

エタノール含量の経時変化をFig. 6-9に示した。微細孔を有するフィルムで包装したときの葉ネギ内のエタノールは検出されなかった。しかし、未穿孔のフィルムAで包装した葉ネギでは、貯蔵4日後に検出され4日後から8日後にかけては13~15mg/100g、10日後には20mg/100gに達した。カット葉ネギの異臭および鮮度の評価をTable 6-4並びにFig. 6-10に示した。未穿孔のフィルムAで包装した葉ネギでは無気呼吸特有の異臭が観察され、特に貯蔵4日後以降は激しくなった。この変化に伴って、細胞が水浸状になった。このフィルムで包装した葉ネギは、商品性はわずかに2日後までしか認められず、4日後には商品性が失われ6日後には食べられない状態にまで鮮度は低下した。微細孔を有するフィルムCで包装したときの葉ネギは貯蔵中に酸素濃度が高いときに観察される葉の黄化やしおれ、カビ臭が認められ、これらの鮮度低下要因は貯蔵日数の増加とともに激しくなった。商品性は4日後まで認められたが、6日後には商品性は失われ8日後には食べられない状態にまで鮮度は低下した。これらに反して、微細孔を有するフィ

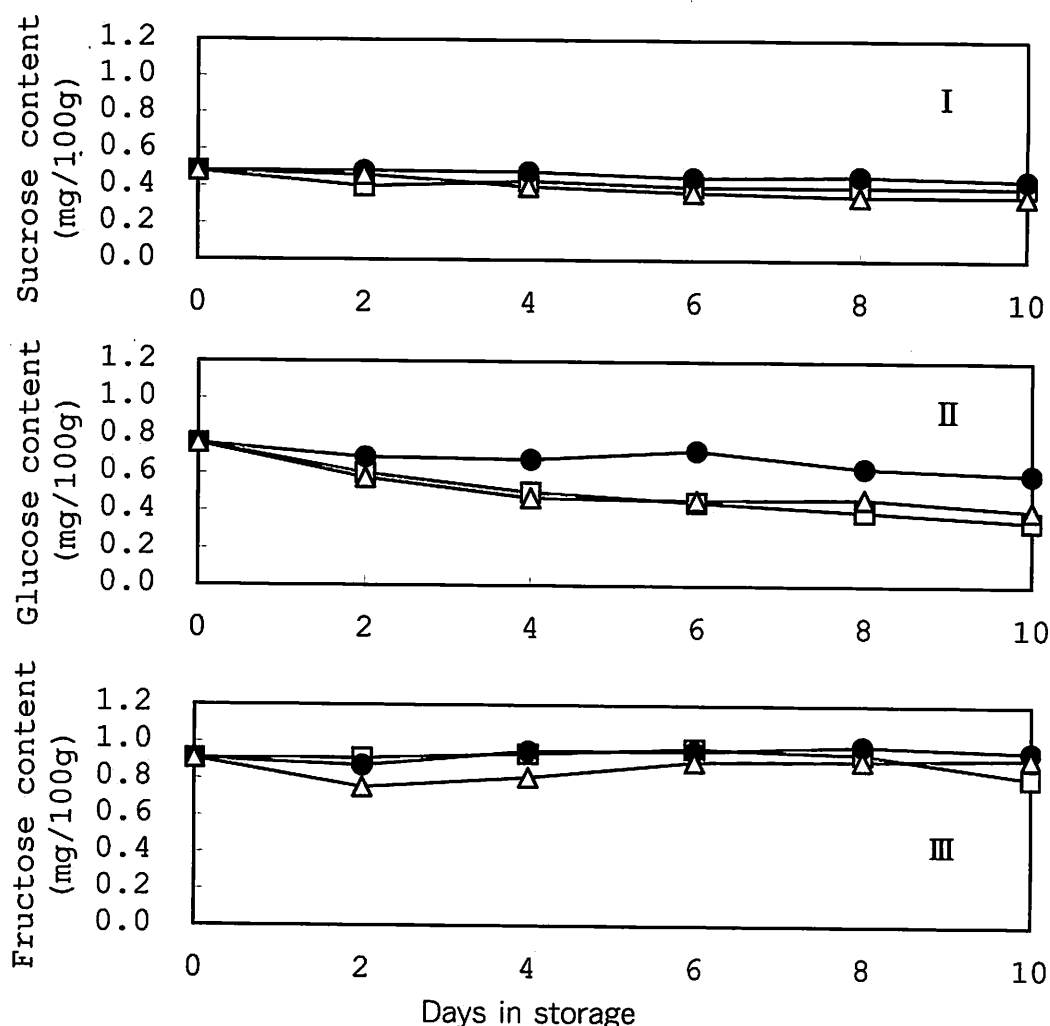


Fig. 6-5 Changes in sugar content in cut Welsh onion during storage at 10 °C
□ : unperforated OPP film, ● : OPP film with 24 micro-perforations, △ :
OPP film with 48 micro-perforations.

ルムBで包装した葉ネギは4日後まで異臭は認められず、商品性も6日後まで認められた。

第3項 考 察

フィルム内のガス濃度組成は青果物の重量や呼吸速度、フィルムからのガス透過量に依存する (Kader at al. 1989)。青果物の呼吸速度は貯蔵時の温度や状態 (カット処理等の有無) 等により変化し、フィルムのガス透過量はフィルムのガス透過係数、有効面積、フィルム内の有効体積等により変化する。未穿孔のOPPフィルムでカット葉ネギを包装したときは、フィルム内酸素濃度が2%にまで急激に低下し、二酸化炭素濃度も増加した。これに伴って、葉ネギは無気呼吸特有の異臭を発するようになった。これは、今回設定した条件下でカット葉ネギを包装するにはOPPフィルムのガス透過係数が低すぎることがその要因にあげられる。Kader (1987) は、雰囲気酸素濃度が2%を下回ると

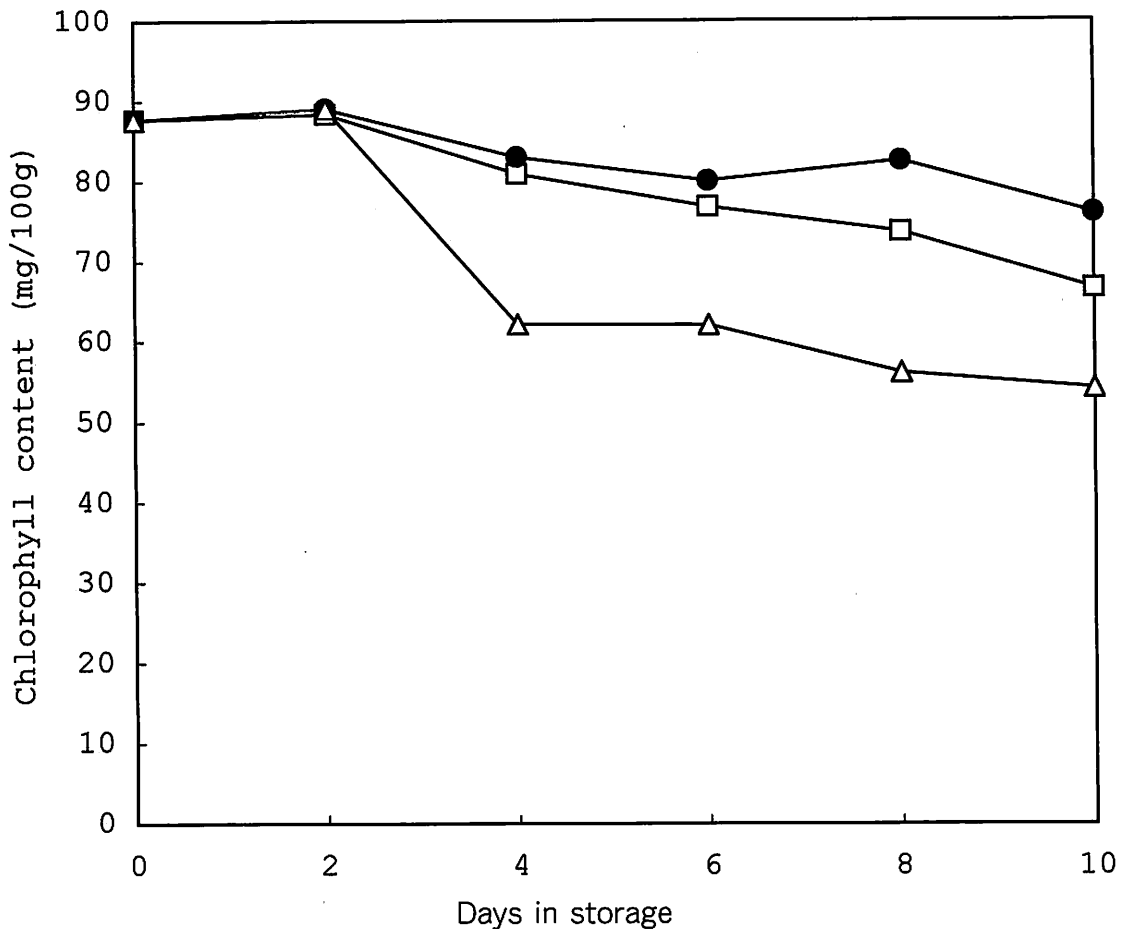


Fig. 6-6 Changes in chlorophyll content in cut Welsh onion during storage at 10 °C. Symbol are the same as in Fig. 6-5.

青果物は無気呼吸し、その結果、雰囲気中の二酸化炭素濃度が上昇すると述べている。それゆえに、このフィルムAで包装した葉ネギは無気呼吸をしたものと考えられる。これは、無気呼吸の代謝産物であるエタノールがこのフィルムで包装した葉ネギでのみ検出されたことや、無気呼吸をした葉ネギに特徴的である水浸状を示す葉（茨木ら 1997a）が観察されたという実験事実により示唆される。微細孔を有するフィルムCで包装したときのフィルム内酸素濃度は貯蔵2日後以降16%を示し、葉の黄化、しおれ、かび臭が認められた。このような症状はカットされていない葉ネギにおいて、雰囲気中の酸素濃度が大気中の酸素濃度に近い状態の時に認められる特徴で（茨木ら 1997a）、カット葉ネギにおいても同様の症状が認められた。これはフィルムCのガス透過係数が高すぎたことがその要因にあげられる。今回の実験では、エタノールは検出されないものの、糖やクロロフィル含量の成分の低下も認められた。

MA包装はホールの葉ネギの呼吸を抑制し（茨木ら 1997a）、クロロフィルや糖などの内容成分の減少を抑制できる（Ibaraki et al. 1999）。直径が50 μ mの微細孔をフィルム当たり24個を有するフィルムBで包装したときのフィルム内酸素濃度は、それでも10%にまで低下し、糖やクロロフィルなどの内容成分を保持でき、見た目の鮮度劣化も抑制できた。その結果、カット葉ネギの商品性を貯蔵6日後まで保持することができた。

ECは、細胞中に含まれるカリウムなどの成分が切り口や傷などから水に溶出すること

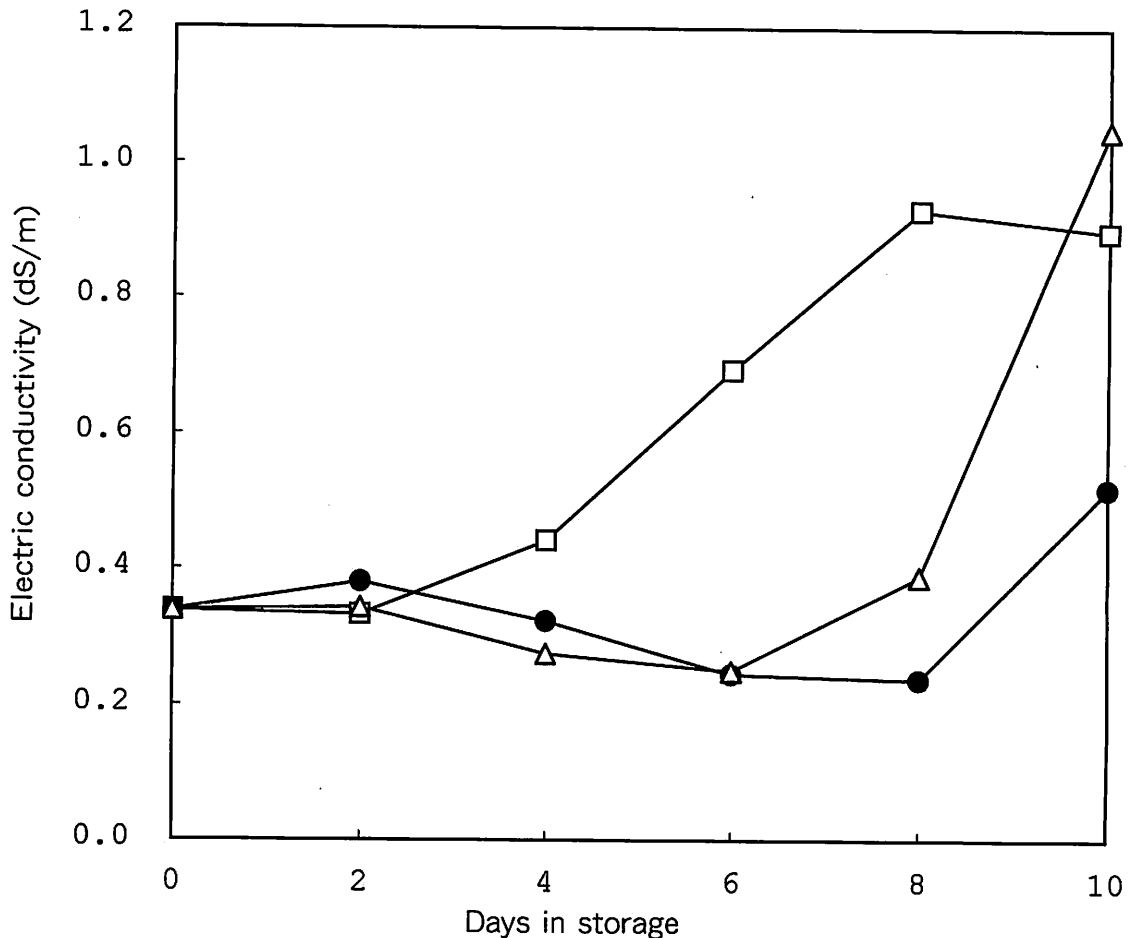


Fig. 6-7 Changes in electric conductivity in cut Welsh onion during storage at 10 °C. Symbols are the same as in Fig. 6-5.

により増加する。カット野菜の場合、通常では切り口におけるカサの形成や乾燥によりECは減少し、腐敗などにより細胞組織が崩壊すると上昇する。今回用いたフィルムA、B、Cでは、ECが下降傾向から上昇に転じた日はそれぞれ、貯蔵後2、6～8、および4～6日後であった。それらの日数は葉ネギの商品性の限界と概ね一致した。このことは、ECの測定が葉ネギの鮮度を調査する上で効果的であることを改めて示す結果となった。

以上の結果から、未穿孔のOPPフィルムはカット葉ネギの鮮度を保持するにはガス透過性が低すぎることが明らかになった。また、微細孔を有するOPPフィルムは無気呼吸によって引き起こされる鮮度低下を避けることが可能である。しかし、微細孔の直径と数に起因する孔の全面積が広すぎると酸素濃度があまり低下せず、MA効果は期待できない。カット葉ネギ50gを、直径が50 μ mの微細孔を24個有するOPPフィルム(有効面積：0.043m²、有効体積：350ml)で包装し、10 °Cで貯蔵すると鮮度を長く保持できることが明らかになった。

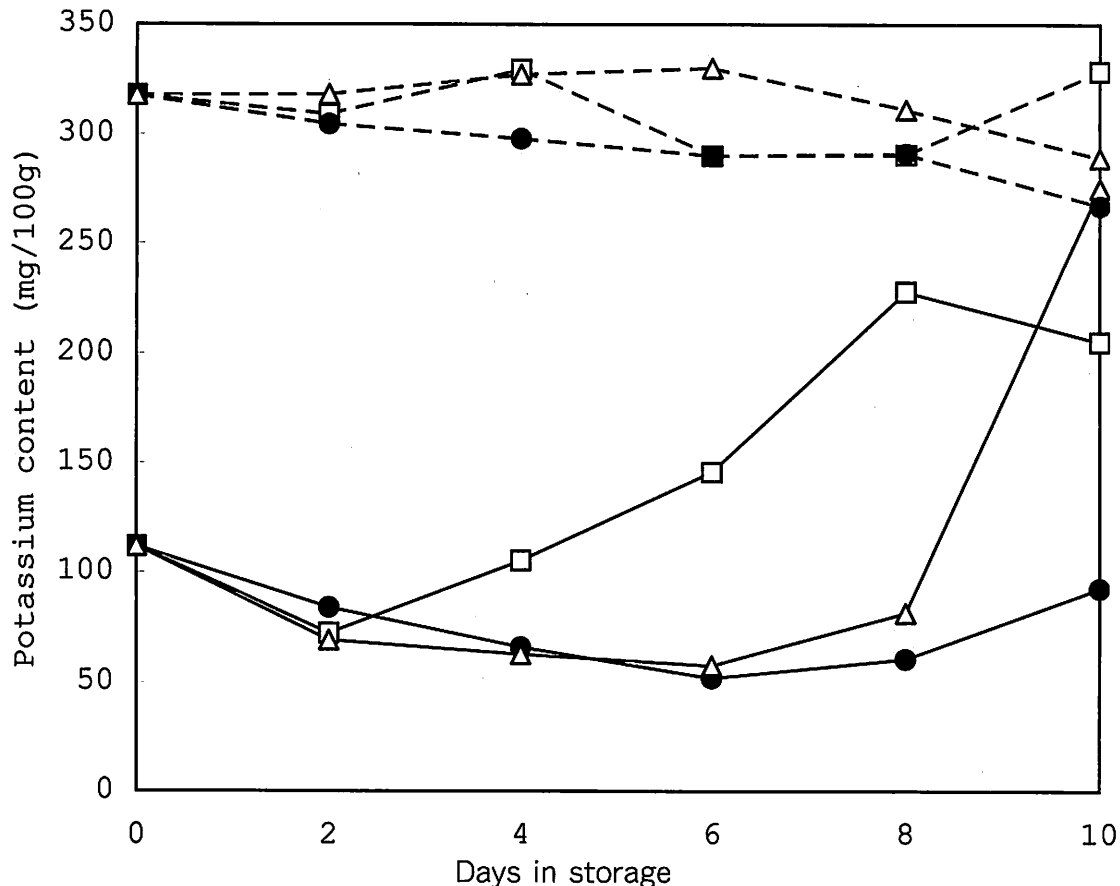


Fig. 6-8 Changes in potassium content in cut Welsh onion during storage at 10 °C. Symbols are the same as in Fig. 6-5.
 ----- : extraceted by homogenization, — : extracted by leakage.

第4節 小 括

カット葉ネギの鮮度とそれから漏出させた電解質溶液のECおよびカリウム含量を比較することにより、カット葉ネギの鮮度評価方法を検討した。また、微細孔、あるいは微細孔がないOPPフィルムでカット葉ネギを包装し、10 °Cで貯蔵したときの内容成分の変化と鮮度保持を検討した。

(1) 0、5、10 °Cで貯蔵した場合、カット葉ネギの鮮度は6日間安定していた。これに反して、15、20 °Cで貯蔵したときはそれぞれ4日と3日後より異臭が認められ、それ以降激しくなった。このことから、カット葉ネギの貯蔵温度は10 °C以下が望ましい。

(2) 15、20 °Cで貯蔵した場合、葉ネギから漏出した電解液のECはそれぞれ最初の4日と3日間は減少したがそれ以降増加した。また、カリウム含量はECと同様の変化を示した。このことから、電解質の漏出は細胞が腐敗により崩壊したときに発生するものと考えられた。また、クロロフィル含量も腐敗とともに低下した。

(3) EC、カリウム含量およびクロロフィル含量はカット葉ネギの鮮度を評価する上で良い指標となり得た。

(4) 未穿孔のOPPフィルムで包装したときの酸素濃度は急激に2 %にまで低下し、二

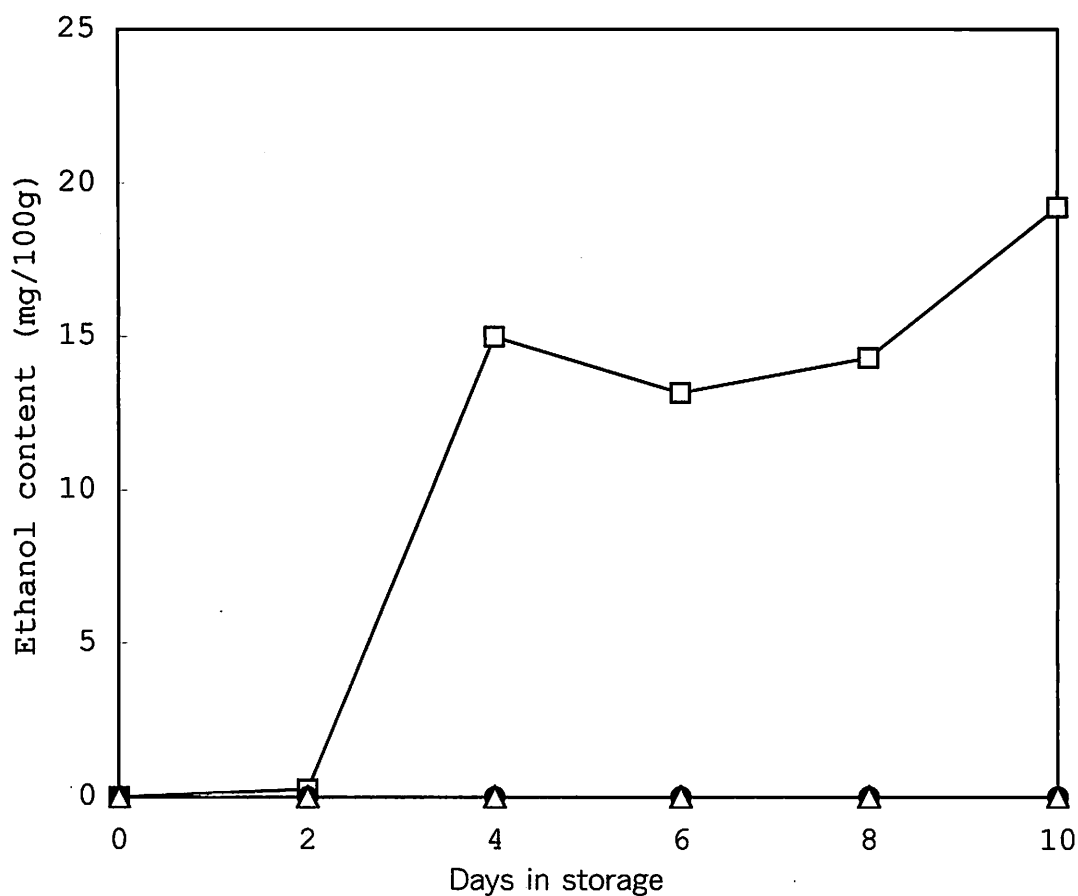


Fig. 6-9 Changes in ethanol content in cut Welsh onion during storage at 10 °C. Symbols are the same in Fig. 6-5.

Table 6-4 Changes in undesirable odor

Property	Days in storage					
	0	2	4	6	8	10
A	-	-	++	+++	+++	+++
B	-	-	-	+	++	++
C	-	-	+	++	+++	+++

Undesirable odor of cut onions at each storage temperature were evaluated using a rating scale of - to + + +. -, +, ++, +++ = no undesirable odor, slight, medium, strong odor, respectively.

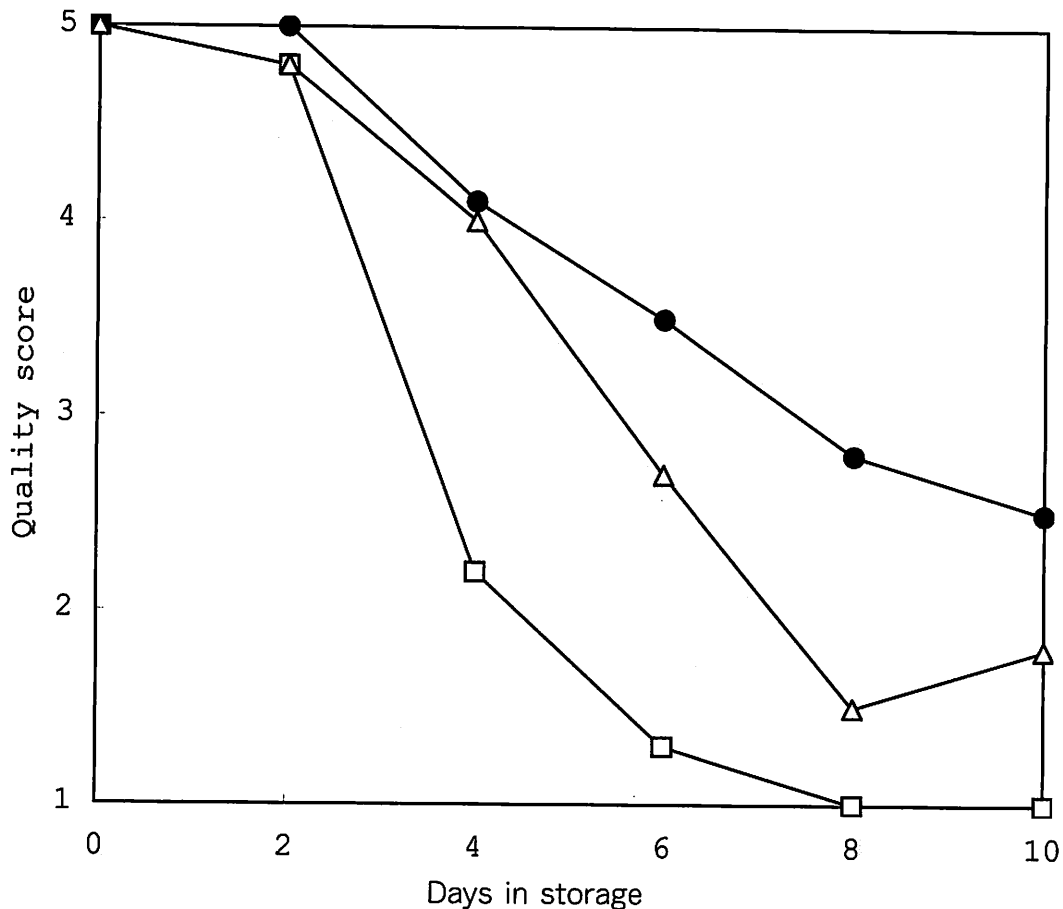


Fig. 6-10 Changes in overall quality of cut Welsh onion during storage.
Symbols are the same in Fig. 6-5.

酸化炭素濃度は上昇した。それゆえ、カット葉ネギは無気呼吸に至った。この状態でエタノールは生産され、いくつかの内容成分は損耗した。さらに、葉ネギの細胞は水浸状になった。

(5) 直径が $50\mu\text{m}$ の微細孔を袋当たり48個有するOPPフィルムで包装したときの酸素濃度は大気の酸素濃度よりわずかに低い程度であった。そのため、エタノールは検出されず、内容成分は損耗した。また、葉ネギの鮮度は低下し、貯蔵6日後には商品性が失われた。

(6) 直径が $50\mu\text{m}$ の微細孔を袋当たり24個有するOPPフィルムで包装したときの酸素濃度は10%にまで低下した。この状態では、エタノールは検出されず、内容成分の損耗はわずかであった。そのため、カット葉ネギは貯蔵6日後まで商品性を維持できた。

第7章 総 括

九州最大の都市、福岡市は支店経済都市であり、関東などとの人的交流が盛んである。そのため、福岡の食文化は関東などの大消費地に流入しやすくなっている。以前は関西以西でしか食べられていなかった葉ネギもその例外ではなく、今では関東地域をはじめ日本全国でも需要が認められるようになった。しかし、福岡で収穫してから関東の市場到着まで2日を要するため、鮮度保持技術の確立が求められていた。朝倉町の葉ネギ生産者らは、1978年より冷却やオゾン殺菌をした後、OPPフィルムで包装し、発泡スチロール容器に詰めて航空輸送するという、当時では最も進んだ鮮度保持技術を施して関東の大消費地へ輸送した（松本 1986）。その頃は、MA包装という概念はまだ一般的ではなかったが、フィルム包装することで青果物の鮮度保持期間が大幅に延長することはすでに認められていた（緒方 1974、Lill 1980）。しかしながら、著者らのその後の調査で葉ネギのフィルム包装が不連続的に熱溶着する方法（Fig. 2-1：Lower panel）であったために、MA効果が必ずしも発揮できない状況であることが明らかになった。そこで、葉ネギの鮮度保持に及ぼす要因を解析した。すなわち、収穫時期の影響を明らかにするとともに、最適な雰囲気ガス濃度組成を把握し、その条件を作り得るプラスチックフィルムを選定した。さらに、ここで得られた技術をカット葉ネギに応用した。

流通中に葉ネギが遭遇すると考えられる温度域（0℃付近から35℃付近まで）と、それに対応する呼吸速度を収穫時期ごとに細かく調査したところ、いずれの時期に収穫した葉ネギにおいても呼吸速度は簡単な二次式で示すことができ、高い相関が得られた。収穫時における呼吸速度は夏期のもので最も高く、冬期のもので最も低かった。室温で貯蔵した場合、貯蔵温度が高い夏期の葉ネギでは、アスコルビン酸含量が早くから低下し、葉先枯れの進行も他の時期に収穫したものに比べて早く、鮮度保持期間が短かった。冬期のもものでは、内容成分の保持に優れ、葉先枯れの進行も遅く、鮮度保持期間が長かった。15℃で貯蔵した場合、呼吸速度は夏期のもので最も低く、冬期のもので最も高かった。夏期の葉ネギでは、葉先枯れの進行も遅く、鮮度保持期間が長かった。冬期のものは、内容成分が早くから減少し、葉先枯れも早くから進み鮮度保持期間が短かった（第2章）。これらの実験結果から、葉ネギの呼吸速度と鮮度は密接に関係し、呼吸速度が低いほど鮮度保持期間が長くなることが明らかになった。Kader (1987) もこのような関係を認め、鮮度低下が速い青果物は呼吸速度が高いと報告している。また、アスパラガス（Brash et al. 1995）やハウレンソウ（日坂 1992）などでも報告されている。また、今回の結果から、気温が高い夏期の葉ネギでは予冷が重要であることが明らかになった。

しかしながら、葉ネギの流通を考えた場合、予冷は行われるものの、輸送時間短縮のため航空機を利用している関係上、流通中の保冷は困難な状況である。発泡スチロール容器を利用し、少しでも品温を低く保たせる方法もあるが、その実効性は低かった（第4章第2節）。そこで、雰囲気ガスの組成を替えることにより呼吸を抑え鮮度を保持するMA包装について検討した。このMA包装は、呼吸や品質の劣化を極限まで抑制することで長期間の貯蔵を図るCA貯蔵に対して、収穫から消費者の口に入るまでの短期間の鮮度保持を目的としている。また、目標とする雰囲気ガス組成を機械的かつ迅速に制御できるCA貯蔵に対して、ガス組成は青果物の呼吸速度やフィルムのガス透過性、流通時の温度などの不安定要素が相互に絡み合って徐々に作られる。この場合、MA効果による鮮度保持と、無気呼吸による品質の劣化とは紙一重の関係にある（石井・大久保 1984）。そのため、無気呼吸の危険を冒してまで酸素濃度を極度に低下させる必然性はなく、特に

常温流通する葉ネギの場合にはMA包装に適する酸素濃度はある程度の安全な幅を持たせる必要があると考えられる。また、MA包装では、青果物が無気呼吸すると外観的には緑色が保たれて鮮度がいいように見えるが、フィルム袋を開封すると不快な異臭が発生し、小売り店等では商品の見切りを見誤る可能性もある。そこで、MA包装を実効あるものにするには呼吸速度やフィルムのガス透過性、流通時の温度などの不安定要素を精査する必要がある。

多くの青果物では低酸素・高二酸化炭素条件下で呼吸速度が抑制されるが、‘とよのか’イチゴのように、低酸素・高二酸化炭素条件下においても呼吸速度が低下せず、鮮度保持効果も期待できない青果物も存在する。そのため、低酸素・高二酸化炭素条件下における葉ネギの呼吸速度を測定し、MA包装の効果が期待できるか否かについて検討した。その結果、二酸化炭素濃度が高くなるほど、また、酸素濃度が低くなるほど呼吸速度は抑制されたことから、葉ネギはMA効果が期待できる野菜であることが確認できた(第3章第2節)。次に、葉ネギのMA包装に適するガス濃度を検討した。その結果、貯蔵温度が15℃においては、二酸化炭素と酸素の濃度割合をそれぞれ、13%と8%から17%と4%に保つとアスコルビン酸含量、全糖含量およびクロロフィル含量の低下は認められず、葉先枯れも抑制できた。この範囲内で貯蔵した場合、葉ネギには異臭が認められなかったことや、葉ネギの呼吸商が一律であったことから、15℃では酸素濃度が4%の雰囲気下でも葉ネギは無気呼吸しなかったものと考えられる。しかしながら、20℃においては、酸素濃度が4~5%を下回ると一部ではあるが無気呼吸する個体が認められた(茨木ら 1995)ことから、15℃においても酸素濃度が4%以下では無気呼吸する可能性があるものと考えられる。このことから、葉ネギの鮮度保持に適するガス組成はこれらの範囲にあるものと推測された(第3章第3節)。

近年、青果物の呼吸速度などを定量解析して数式モデルを作り(Lee et al. 1988)、包装材料のガス透過性と組み合わせたシミュレーション手法により適正な包装設計を行おうとする試みがなされている(椎名ら 1988、Hirata et al. 1995)。葉ネギの場合には、OPPフィルムのみならず、発泡スチロール容器にもガス遮断性が認められた(第4章第2節)。そこで、椎名ら(1988)のモデルを参考に、二重包装下でのガス移動シミュレーションを試みた。その結果、フィルム内が空の場合、フィルム袋内および発泡スチロール容器内のガス濃度組成の実測値とシミュレーションによる予測値は極めて良く一致した。フィルム内に葉ネギを入れたときでは、予測値と実測値は概ね一致したものの、最大で二酸化炭素濃度で1.5%、酸素濃度で1.2%の差が認められた。これは、収穫日のわずかな違いや、個体差、雰囲気ガス組成のわずかな差が今回の実測値と予測値の差になって現れたものと考えられる。しかしながら、実測値と予測値との間には高い相関が認められたことから、このシミュレーションモデルは青果物の二重包装時に有効であることが明らかになった(第4章第4節)。そこで、第3章第3節で得られた、葉ネギのMA包装に適する酸素、二酸化炭素濃度になるようにシミュレーション条件を検討した。その結果、二酸化炭素、酸素、窒素のガス透過係数をそれぞれ、4,100 ($\text{ml}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}\cdot\text{atm}^{-1}$)、1,700 (同)、1,300 (同) 程度に調節すると良いことが明らかになった。これらの数値はOPPフィルムのガス透過係数よりわずかに高い数値である。呼吸速度は収穫時期により異なること(第2章)、実際には流通時の温度は刻々と変化することから、今後は呼吸速度の数値化やフィルムのガス透過係数の測定の際に温度のパラメータを加える必要がある。

OPPフィルムは透明性や包装機械への適応性に優れるため、多くの商品の包装に用いられている。しかしながら、青果物を包装するにはガス透過性はやや低すぎるため(大

久保 1998)、流通時や貯蔵時の温度が高いときには無気呼吸による鮮度の低下が懸念される。そこで、葉ネギをOPPフィルムで不連続的に熱溶着（内部のガスは熱溶着の隙間を通して比較的容易に外部と交換が可能）あるいは連続した直線で熱溶着（熱溶着部分に隙間がないため、密封できる）した後、それぞれ5℃と20℃で貯蔵したときの内容成分と鮮度の変化を観察した。不連続に熱溶着したもののフィルム内ガス濃度組成は貯蔵温度に係わらず大気中の濃度とほぼ同じで、MA効果は期待できなかった。そのため、20℃で貯蔵したときの葉ネギのアスコルビン酸とクロロフィル含量は著しく減少した。また、葉先の枯れも観察され品質劣化が際だっていた。しかし、5℃で貯蔵した場合では内容成分や品質の低下は緩やかであった。一方、連続した直線で熱溶着をしたときのフィルム内酸素濃度は、20℃で2～3%、5℃では4～5%にまで減少した。20℃で貯蔵したときでは、無気呼吸特有の不快感な異臭が認められた。このことは、酸素濃度が2～3%の条件では葉ネギは正常な呼吸ができずに、無気呼吸をしたことを意味している。Figure 5-1では、葉ネギの最適な酸素濃度値は20℃で4～5%とみなすことができ、酸素濃度がこの値を下回ると無気呼吸する可能性が示唆された。このことは今回の貯蔵試験でも裏付けられた。5℃で貯蔵したときは低温とMA効果により、内容成分や外観を維持でき、品質低下を抑制できた。このことから、葉ネギをOPPフィルムで完全に密封包装する場合は貯蔵温度を低く保つことが必要である（第5章第2節）。

しかしながら、5℃のコールドチェーンで葉ネギを流通させることは極めて困難である。そこで、常温流通した場合に無気呼吸を起こさず、かつMA包装の効果が出るようなフィルムの選定が重要である。このフィルムのガス透過性を改善する方法として、無機多孔質を練り混んだフィルムが開発され、それを用いた鮮度保持試験が行われた。しかし、透明性が劣る点、本来のエチレン除去機能が十分に発揮されないという点（太田ら 1991, 徐と邨田, 1993）から、次第に注目されなくなった。代わって、OPPフィルムにレーザー光線で微細な孔を開けたフィルムが開発されている。さらには熱溶着方法を工夫することでMA条件が得られるような技術開発も進められている（石川ら 2001）。第4章第4節の包装設計のためのシミュレーションでは、OPPフィルムよりわずかにガス透過性が良いフィルムを用いると良いことが示唆された（15℃）。そこで、OPPフィルムに直径が50μmという微細な孔を開けることでガス透過性を調節できるフィルムに注目し、輸送試験を行った。これは、実際に行われている転送を想定して行ったもので、葉ネギを実際に東京市場まで空輸し、福岡までトラック便で送り返すという実験である。葉ネギをOPPフィルムで完全に熱溶着したものは、転送後もフィルム内の酸素濃度は2%を下回り、無気呼吸による品質低下が著しく進行した。直径が50μmの孔を10個有するフィルム（有効面積：0.093m²）で包装し、普通段ボール容器に入れて輸送したものは、葉ネギに適するMA条件を満たすことはできなかったが、微細孔を5個有するフィルム（有効面積は同じ）を用いると、出荷容器開封時には酸素濃度が4.5%を示し、その後の貯蔵時においても7～9%と葉ネギに適する酸素濃度を維持でき、鮮度低下を抑制することが可能となった（第5章第3節）。このフィルムは、段ボール容器での出荷を想定しているため、出荷容器によるガス遮断性は期待できない反面、出荷容器を開封した後も酸素濃度を比較的強く制御できるという特徴を持っている。そのため、小売店での販売時や購入後も鮮度低下を抑制することが可能で、葉ネギの出荷に有効であることが示唆された。

近年、外食産業や各家庭において皮むき、洗浄、カットと言った作業をせずに済むことや、ゴミとなる残さを出さずに済むといった利点などからカット野菜の需用は伸びている。しかし、カット野菜は切断などの機械的な損傷を受けており、呼吸活性の増大（Ibaraki et al. 2000a）やエチレンの発生などによる鮮度の劣化が著しい。これらの一

次加工野菜の鮮度を保つため、低温やMA包装を応用した研究が行われてきた(Izumi et al. 1996、Mylene et al. 1996)。カット野菜はカットしていないものに比べて品質劣化パターンが異なるため、新たな鮮度評価方法を検討する必要がある。カット葉ネギの品質とそれから漏出させた電解質溶液の電気伝導度およびカリウムを比較することにより、カット葉ネギの品質評価方法を検討した。その結果、電解質漏出液中の電気伝導度、カリウム含量はカット葉ネギの鮮度を評価する上で有効であることが明らかになった。また、クロロフィル含量も鮮度指標としての有効性も認められた(第6章第2節)。

次に、微細孔、あるいは微細孔がないOPPフィルムでカット葉ネギを包装し、10℃で貯蔵したときの内容成分の変化と品質保持を検討した。その結果、直径が50 μ mの微細孔を袋(有効面積: 0.043m²)当たり24個有するOPPフィルムで包装したときの酸素濃度は10%にまで低下した。この状態では、エチルアルコールは検出されず、内容成分の損耗はわずかであったため、カット葉ネギは貯蔵6日後まで商品性を維持できた(第6章第3節)。

以上述べてきたように、本研究において、葉ネギおよびカット葉ネギの鮮度を保つにはMA包装が効果的であることを明示した。包装資材に関しては、発泡スチロール容器にガス遮断性が備わっていること、OPPフィルムは透明性や機械適性に優れるが、青果物を包装するにはガス透過性が低すぎることも明らかにし、発泡スチロール容器とOPPフィルムの二重包装下におけるガス移動のモデル式を作成した。これをもとに、OPPフィルムに積極的に微細孔を開け、ガス透過性を調節することで、MA包装に適した環境を作り、葉ネギおよびカット葉ネギの鮮度保持を図ることを可能にした。

後 記

青果物のフィルム包装は、古くは1960年に樽谷が富有柿のポリエチレンフィルム包装について研究を行い、すでに実用化している。それ以降も多くの青果物でMAP貯蔵やMAP流通の試験が行われてきた（秋元・黒田1981、石井・大久保1984、山下ら1987、伊藤ら1992）。しかし、卸売市場や小売店で見える限りにおいてはMAP流通で出荷している野菜は葉ネギ以外ではあまり見受けられない。特にブロッコリーでは、多くの研究（與座ら1992、1993、山下ら1993、永井ら1997）が行われているにも係わらず、未だに段ボール出荷が主流になっている。卸売価格の上昇が見込めない厳しい状況下ではあるが、栽培技術が平準化している今日では、産地間競走を勝ち残るためにはMA包装を利用した葉ネギの鮮度保持技術が他の野菜に応用されることを切に望むものである。最後に、今後は環境問題も考慮に入れた実用的な研究が望まれる。

本研究は著者が1993年から1994年にかけて実施した「野菜の鮮度保持のための新技術開発」、1995年から1997年にかけて実施した「環境保全型流通資材を用いた遠隔地野菜のプレ・ポストハーベスト一貫品質保持技術」、1998年から1999年にかけて実施した「食の需要動向に対応した暖地特産野菜の品質保持技術の開発」（ともに地域重要新技術開発促進事業）の研究課題の中で葉ネギに関して行った一連の研究をまとめたものである。また、本研究の大半は日本食品低温保蔵学会誌（茨木ら1995）、日本食品保蔵科学会誌（茨木ら1997a、1997a）並びにFood Science and Technology、Research誌（Ibaraki et al. 1999, 2000a, 2000b, 2001）に報告したが、これらと未発表の成績も含めて体系的にとりまとめた。

謝 辞

本学位論文の作成に当たって、懇篤なるご指導と校閲を賜った九州大学大学院農学研究院教授松本清博士に対して心から感謝を申し上げます。

本研究の遂行および本論文の作成にあたって、終始懇篤なる指導と激励並びに校閲を賜った中村学園大学食物栄養学科教授太田英明博士に衷心から感謝を申し上げます。

本論文の作成ににあたっ懇切なるご指導と校閲を賜った九州大学大学院農学研究院助教授内野敏剛博士並びに琉球大学農学部教授秋永孝義博士に心から感謝を申し上げます。

本研究の遂行に際し、多くの指導を賜った独立行政法人食品総合研究所の椎名武夫博士並びに、独立行政法人農業技術研究機構野菜茶業研究所の山下手二博士に対して心より感謝を申し上げます。

また、本研究の遂行に際し、多くの協力をいただいた福岡県農業総合試験場生産環境研究所の池田浩暢氏、企画課の馬場紀子氏並びに中村学園大学食物栄養学科助手の石井利直博士、池末恵美氏、全国農業協同組合連合会の打田宏博士に感謝を申し上げます。

本研究をまとめるに際し、多くの協力と激励をいただいた福岡県農業総合試験場生産環境研究所の平野稔彦氏、水田一枝氏並びに角重和浩氏に対し感謝を申し上げます。

鮮度保持研究所の端緒を与えていただき、試験研究に対する指導を賜った元福岡県農業総合試験場長松本明芳博士に対し、厚くお礼を申し上げます。

本研究に際し、試料の提供等協力頂いたJA筑前あさくらおよび「博多万能ねぎ部会」、JAふくれんに対し謝意を表します。

引用文献

- Aaron, L. B. 1996. Integrating aseptic and modified atmosphere packaging to fulfill a vision of tomorrow. *Food Technol.* 50 : 56-65.
- 秋元浩一・黒田佐俊 1981. 生鮮エダマメのフィルム包装と品質. *園学雑.* 50 : 100-107.
- Ballantyne, A., Stark, R. and Selman, D. 1988. Modified atmosphere packaging of broccoli florets. *Int. J. Food Sci. Technol.* 23 : 353-360.
- Beaudry, R. M., Cameron, A. C., Shirazi, A. and Dostal-Lange, D. L. 1992. Modified Atmosphere Packaging of Blueberry Fruits : Effect of Temperature on Package O₂ and CO₂. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117 : 436-441.
- Bergmeyer, H. U. and Bernt, E. 1974. *Methods of Enzymatic Analysis* (2). Verlag chemie weinheim, Academic Press, Inc. New York and London 1176-1179.
- Beutlar H. O. and Michal G. 1977. Neue Methode zur enzymatischen Bestimmung von ethanol in Lebensmitteln. *Anal. Chem.* 284 : 113
- Brash, D. W., Chris, M. C., Sandy, W. and Bruce, L. B. 1995. Shelf-life of stored asparagus is strongly related to postharvest respiratory activity. *Postharvest Biol. Technol.* 5 : 77-81.
- Cameron, A., Boylan-Pett, W. and Lee J. 1989. Design of modified atmosphere packaging systems : Modeling oxygen concentrations within sealed packages of Tomato fruits. *J. Food Sci.* 54 : 1413-1416.
- Charles, F., F. and Roger, E., R. 1991. Temperature of Broccoli Florets at time of packaging influences package atmosphere and quality. *HortSci.* 26 : 1301-1303.
- Couture, R., Cantwell, M. I., Ke, D. and Saltveit M. E. 1993. Physiological attributes related to quality attributes and storage life of minimally processed lettuce. *Hort. Sci.* 28 : 723-725.
- Fishman, S., Rodov, V., Peretz, J., and Ben-Yehoshua, S. 1995 Model for gas exchange dynamic in modified-atmosphere packages of fruits and vegetables. *J. Food Sci.* 60 : 1078-1083.
- Gloria, L. G., Mikal, S. and Marita, C. 1996. Wound-induced phenylalanine ammonia lyase activity : factors affect its induction and correlation with the quality of minimally processed lettuce. *Postharvest Biol. Technol.* 9 : 223-233.
- Hariyadi, P. and Parkin, K. L. 1991. Chilling-induced oxidative stress in cucumber fruits. *Postharvest Biol. Technol.* 1 : 33-45.
- Hayakawa, K., Henig, Y. and Gilbert, S. 1975. Formulae for predicting gas exchange of fresh produce in polymeric film package. *J. Food Sci.* 40 : 186-191.
- 林 三徳・山本幸彦・山下純隆・茨木俊行・室園正敏・田中幸孝・高尾宗明 1988. 葉ネギの栽培条件と品質(2) 土壌水分管理法が収穫時の品質並びに貯蔵性に及ぼす影響. *福岡農総試研報.* B-7 : 57-60.
- 平田 孝 1993. MA包装の設計と鮮度予測技術の開発. *野菜の高鮮度流通システムシンポジウム講演要旨(農研セ).* 36-55.
- Hirata, T., Makino Y., Ishikawa Y., Katsuura S. and Hasegawa Y. 1996. A theoretical model for designing modified atmosphere packaging with a perforation. *Transactions of the ASAE.* 39 : 1499-1504.
- 広瀬智久 1985. 冷蔵前並びに冷蔵中の加温処理がキュウリ果実の低温障害, 呼吸及び膜透過

- 性に及ぼす影響。園学雑。53: 459-466.
- 日坂弘行 1989. ホウレンソウ貯蔵中における呼吸量、糖含量の変化と外観の劣化との関係。日食工誌。36: 956-963.
- 日坂弘行 1992. 葉菜類の貯蔵温度と品質に関する研究。千葉農試特別報告。20
- Hong, G., Peiser, G. and Cantwell, M. I. 2000. Use of controlled atmosphere and heat treatment to maintain quality of intact and minimally processed green onions. Postharvest Biol. Technol. 20: 53-61.
- 茨木俊行 1994. 鮮度保持と出荷技術＝ナシ。農業技術体系(果樹：貯蔵・加工編)。78の30-33.
- 茨木俊行・池田浩暢・打田宏・太田英明 1995. フィルム包装及び出荷容器が葉ネギの鮮度に及ぼす影響。日食低保誌。21: 67-71.
- 茨木俊行・池田浩暢・太田英明 1997a. いくつかの雰囲気ガス組成が葉ネギの鮮度保持に及ぼす影響。日食保科誌。23: 3-7.
- 茨木俊行・池田浩暢・太田英明 1997b. 収穫時期が葉ネギの呼吸速度、化学成分および鮮度保持に及ぼす影響。日食保科誌。23: 77-82.
- Ibaraki, T., Ikeda, H. and Ohta H. 1999. Effect of Polypropylene film packaging and storage temperature on chemical components and quality stability of Welsh onion. Food Sci. Technol. Res. 5: 93-96.
- Ibaraki, T., Ishii, T., Ikematsu, M., Ikeda, H. and Ohta, H. 2000a. Modified atmosphere packaging of cut Welsh onion: Evaluating the respiration rate and predicting the gas concentration in the package. Food Sci. Technol. Res. 6: 126-129.
- Ibaraki, T., Ishii, T., Ikeda, H., Ikematsu, M., Shiina, T. and Ohta, H. 2000b. Predicting gas concentrations of Welsh onion in polymeric film packaging and shipping containers. Food Sci. Technol. Res. 6: 340-343.
- Ibaraki, T., Ishii, T., Baba, N., Ikeda, H., Ikematsu, M. and Ohta, H. 2001. Modified atmosphere packaging of cut Welsh onion: Evaluating the respiration rate and predicting the gas concentration in the package. Postharvest Biol. Technol. 7:
- 池田浩暢・茨木俊行 1998. 雰囲気ガス組成がブロッコリーの呼吸速度・内容成分及び品質に及ぼす影響。福岡農総試研報。17: 102-105.
- 石井 勝・大久保増太郎 1984. 低温とポリエチレン袋密封包装によるニラの鮮度保持。園学雑。53: 87-95.
- 石川 豊・鈴木芳孝・前川孝昭 2001. 青果物用「パーシャルシール包装」の開発(1)「パーシャルシール包装」の原理と鮮度保持効果。包装学会誌。
- 伊藤和彦・樋元淳一・李 里特・利平。1992. 各種フィルムを用いたグリーンアスパラガスの包装貯蔵。日食低温誌。18: 98-104.
- Izumi, H., Watada, A. E., Ko, N. P. and Douglas, W. 1996. Controlled atmosphere storage of carrot slices, sticks and shreds. Postharvest Biol. Technol. 9: 165-172.
- Kader, A. A. 1983. Post-Harvest Physiology and Crop Preservation. 455.
- Kader, A. A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmosphere on fruits and vegetables. Food Technol. 40: 99-104.
- Kader, A. A. 1987. Respiration and gas exchange of vegetables. In "Postharvest physiology of vegetables". ed. by J. Weichmann. Food Sci. Technol. 25-43.
- Kader A., Zagory, D. and Kerbel, E. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 28: 1-30.
- 川嶋和子・浅見逸夫・田中喜久・杉浦正・堀井満正・鈴木隆敏 1988. フィルム包装によるブ

- ロッコリーの鮮度保持. 園学雑要旨. 昭63春: 516-517.
- Lee, D. S., Hagggar, P. E., Lee, J. H. and Yam, K. 1991. Model for fresh produce respiration in modified atmospheres based on principles of enzyme kinetics. *J. Food Sci.* 56: 1580-1585.
- Lill, R. E. 1980. Storage of fresh asparagus. *N. Z. J. Experim. Agric.* 8: 163-167.
- Lipton, W. and Harris, C. 1974. Controlled atmosphere effects on the market quality of stored Broccoli. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99: 200-205.
- 牧野義雄 2000. 青果物包装設計の新しいモデルと適用例. *日包学会誌*. 9: 1-13.
- Mathooko, F. M., Sotokawa, T., Kubo, Y., Inaba, A. and Nakamura, R. 1993. Retention of freshness in fig fruit by CO₂-enriched atmosphere treatment or modified atmosphere packaging under ambient temperature. *J. Jap. Soc. HortSci.* 62: 661-667.
- 松本明芳 1986. 野菜類の航空機輸送. 園芸学会秋期大会シンポジウム要旨. 136-143.
- 宮本裕子・今堀義洋・茶珍和雄 1993. ブロッコリーの品質保持における加工プラスチックフィルム包装の影響. *園学雑*. 62 (別2): 590-591.
- 森 健・門間 充・三輪 操. 1983. 青果物の呼吸に及ぼす温度変動の影響. *園学要旨* 58 (秋): 438-439.
- Mylène, B., Francois, C., Claude, W and Josdph, M. 1996. Modified atmosphere preservation of freshly prepared diced yellow onion. *Postharvest Biol. Technol.* 9: 173-185.
- 中村怜之輔・今永 孝・伊東卓爾・稲葉昭次 1986. 振動による数種果実の呼吸強度の変化. *園学雑*. 54: 498-506.
- Neelima, garg, churey, J. J. and Splittstoesser D. F. 1990. Effect of processing conditions on the microflora of fresh-cut vegetables. *J. Food Protection.* 53: 701-703.
- 緒方邦安 1974. 青果物貯蔵汎論
- 太田英明・與座宏一・中谷明雄・椎名武夫・井尻 勉・石谷孝佑 1991. 市販鮮度保持フィルムのエチレン透過性とブロッコリーの鮮度保持. *日食低温誌*. 17: 106-111.
- 大久保増太郎 1998. 最近の野菜の流通について. *日食保科誌*. 24: 385-398.
- 西條了康 1988. 野菜の鮮度保持技術と施設 (1). *農業及園芸*. 63: , 1071-1076.
- 椎名武夫・河野澄夫・岩元睦夫 1988. シミュレーションモデルによるカット野菜包装における内部ガス組成の解析. *園学雑*. 56: 486-492.
- Song, Y., Kim, H. K., and Yam, K. L. 1992. Respiration Rate of Blueberry in Modified Atmosphere at Various Temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 925-929.
- 菅原 渉・河野澄夫・椎名武夫・太田英明 1987. カットレタスの貯蔵・流通技術. *日食低保誌*. 13: 92-98.
- 須田郁夫・西場洋一・古田 収 1995. 酵素反応を利用したビタミンC定量法の改良. *九州農業研究*. 57: 41.
- 田中幹彦・田島一雄 2000. 発泡スチロール容器. 青果物流通技術年報. 95-99.
- 樽谷隆之 1960. カキ果実の利用に関する研究 (4) 富有の冷蔵における包装の効果. *園学雑*. 28: 212-218.
- 内野敏剛・永尾宏臣・村田 敏・河野敏夫・塚崎守啓・中村宣貴 1996. MA段ボール箱によるブロッコリーの鮮度保持と容器内ガス濃度の予測. *農機学九州支部誌*. 45: 36-40.
- 牛嶋 孝・箴島 豊 1988. 日本ナシの鮮度保持・貯蔵. *園学要旨*. 昭63 (春): 502-503.
- Watada, A. E., Ko, N. P. and Minott, D. A. 1996. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biol. Technol.* 9: 115-125.
- Wintermas, J. F. G. M and Demont, A. 1956. Spectrophotometric characteristics of

chlorophylls and their pheophytins in ethanol. *Biochem. Biophys. Acta.* 109: 448-453.

徐歩 前・秋元浩一・前澤重禮 1996. 非定常状態におけるMA包装された青果物呼吸速度の推定法. *日食低温誌.* 22: 11-16.

徐歩 前・邨田卓夫 1993. 数種機能性フィルムによるカットキャベツのMA貯蔵について. *日食低温誌.* 19: 111-116.

山県真人・中野啓三・金森哲夫 1989. 暖地転換畑におけるグリーンアスパラガスの弱茎生産および品質・貯蔵性に及ぼす施肥条件の影響. *四国農試報.* 52: 1-12.

Yang, C. C. and Chinnan, M. S. 1988. Modeling the effect of O₂ and CO₂ on respiration and quality of stored tomatoes. *Transaction of the ASAE.* 31: 920-925.

山下市二・高橋寿幸・下田俊彦・菊池三千雄・柴田茂久 1987. シイタケのフィルム密封貯蔵中及び開封後の成分変化. *日食工誌.* 34: 834-839.

山下市二・永田雅靖・高麗朴・黒木利美 1993. ブロッコリーのMA包装における温度条件が品質に及ぼす影響. *日食工誌.* 40: 764-770.

矢野昌充・伊藤洋・速水昭彦・小濱節雄 1981. 野菜の品質に及ぼす栽培条件の影響に関する研究(2) キャベツ及びニンジンの糖組成・含量. *野菜茶試報告.* A-8: 56-68.

與座宏一・太田英明・野方洋一・石谷孝佑 1992. 常温貯蔵中におけるブロッコリーの品質に及ぼす包装資材の影響. *日食工誌.* 39: 800-805.

與座宏一・野方洋一・武田裕子・小役丸孝俊・太田英明 1993. ポリエチレン積層段ボール箱包装が常温貯蔵中におけるブロッコリーの鮮度保持に及ぼす影響. *日食低温誌.* 19: 107-110.

Zhang, S. and Farber, J. M. 1996. The effects of various disinfectants against *listeria monocytogenes* on fresh-cut vegetables. *Food Microbiology.* 13: 311-321.

Studies on Modified Atmosphere Packaging on Quality Stability of Intact or Pre-cut Welsh Onion

by

Toshiyuki Ibaraki

Summary

Modified atmosphere packaging (MAP) which involves the lowering of oxygen (O_2) and increasing of carbon dioxide (CO_2) content maintains the quality of fresh vegetables and fruits caused by reduced respiration rates, weight loss, chemical component loss, and delay in yellowing. However, the gas composition surrounding fresh commodities is influenced by the respiration rate of the commodity and the gas permeability of the packaging film. Therefore, use of an improper packaging film may induce an off-odor as a result of anaerobic respiration. The objective of this study was to determine the effect of MAP on quality stability of intact or pre-cut Welsh onion (*Allium fistulosum* L.).

The respiration rate, the chemical components including reduced ascorbic acid (RAA) and sugar, and the quality stability of Welsh onion harvested in summer (July, '95), autumn (November, '95), winter (January, '96) and spring (April, '96) were investigated during storage at room temperature or at 15 °C. A quadratic regression equation ($Y = a + b \times T + c \times T^2$), with high relative coefficient ($R=0.993-0.995$), was established between respiration rate ($mgCO_2 \cdot kg^{-1} \cdot hr^{-1}$) (Y) and temperature of Welsh onion (°C) (T). At the same temperature of 15 °C, Welsh onion harvested in winter season showed higher respiration rate than that harvested in summer season. In the Welsh onion harvested in summer and stored at room temperature condition, RAA content decreased markedly and the score of leaf tip withering increased. These indicate that the Welsh onion harvested in summer season and stored at room temperature does not retain good quality. RAA and sugar contents in Welsh onion harvested in winter were kept for 6 days, suggesting that it retains good quality during storage at room temperature. On the other hand, summer season Welsh onion stored at 15 °C indicated much better quality stability than that of winter season. There was a correlation between the respiration rate of Welsh onion and quality stability, meaning that the lower was the respiration rate, the higher was the quality stability.

Respiration rates in packages with various gas mixtures were measured by use of a closed system. An empirical equation for the respiration rate of Welsh onion was estimated as a function of the O_2 and CO_2 concentration. The equation that was obtained by multiple regression analysis has a significantly high correlation coefficient (0.92) and estimated as follows.

$$r = 30.40 - 2.06 \times [CO_2] + 0.57 \times [O_2]$$

The effects of several atmosphere compositions on respiration, nutriment and quality stability of Welsh onion were investigated during storage at 15 °C. Carbon dioxide production from Welsh onion under continuous stream of air (the flow rate was 7 liter $\cdot hr^{-1}$) was 111 $mgCO_2 \cdot kg^{-1} \cdot hr^{-1}$, it was reduced under continuous streams of low oxygen and high carbon

dioxide levels. RAA, sugar and chlorophyll retention were better under low oxygen level than that in air. Sensory score of Welsh onion withering leaf tip was reduced under low oxygen levels. From these results, atmosphere compositions such as including 7.6% O₂ and 12.6% CO₂, 4.1% O₂ and 17.1% CO₂ respectively, gave better quality stability of Welsh onion while avoiding physiological injury.

Using a mathematical model employing previous equation of respiration rate, the gas composition inside the plastic film package and shipping container was predicted. A theoretical model for atmosphere in a polymeric film package containing fresh commodities and in a shipping container was developed and validated by experiments with or without Welsh onion. The model was of three processes: respiration of fresh commodities, and permeability of polymeric film and of the shipping container. When vacant packages were used, changes in CO₂ and O₂ concentrations inside the bi-axial oriented polypropylene (OPP) film package and expanded polystyrene (EPS) container agreed very well with simulated data. The fit indicates the suitability of the proposed model. Changes in O₂ and CO₂ concentrations in the EPS container and O₂ concentration in the OPP film package were approximated when Welsh onion was packed in the film package. The predicted O₂ and CO₂ concentration in the film package differed slightly from the experimental data with a maximal of 1.5% and 1.2%, respectively. However, these experimental and simulated gas concentrations correlated significantly well, indicating that the simulation model can be useful for fresh commodities wrapped both with polymeric film and shipping container. This mathematical model, therefore, is useful for designing MAP system using polymeric film while in shipping containers with gas permeability. Assuming that CO₂, O₂ and N₂ permeability of polymeric film is 4,100 1,700 and 1,300 (ml · m⁻² · day⁻¹ · atm⁻¹), respectively, O₂ concentration in polymeric film will be about 7-8% after 48 hours.

OPP film is widely used for packaging of fresh vegetables in Japan because of its transparency and adaptability for packaging machinery. Generally, the gas permeability of OPP film is too low to maintain the gas conditions suitable for vegetables. If fresh vegetables are wrapped with completely heat-sealed OPP film and shipped at high temperature, off-odors will result and the quality will deteriorate. So, chemical components and quality of Welsh onion wrapped roughly or completely heat-sealed with OPP film were investigated during storage at 5 and 20 °C. Concentrations of O₂ and CO₂ in the roughly heat-sealed packages were the same as in air, whereas O₂ concentration in the completely heat-sealed packages decreased to 2-3% at 20 °C and to 4-5% at 5 °C. Contents of RAA and chlorophyll in onion which was roughly sealed and stored at 20 °C decreased, and withering of leaf tip occurred. This meant that the quality deteriorated severely. However, the contents of RAA and chlorophyll in Welsh onions which were sealed completely and stored at 20 °C, and which were sealed roughly or completely and stored at 5 °C, did not change or only slightly decreased. In Welsh onion sealed completely and stored at 20 °C, off-odor was detected after 2 days and severely after 7 days and leaf tips began to wither after 7 days, suggesting that quality could be kept only for 4 days storage. In Welsh onion sealed completely and stored at 5 °C, off-odors and withering of leaf tip was not observed for 9 days, indicating that quality marketability could be kept for that period.

The effects of combinations of OPP film packages and shipping containers on quality stability of Welsh onion were investigated under actual conditions. In an actual transportation, there was only a small difference in the Welsh onion temperature between EPS container

and usual corrugated fiberboard container. The result suggests that both materials have the almost same holding temperature effect. On the other hand, the gas permeability of OPP film is too low to maintain the gas conditions suitable for intact Welsh onion. Recently, OPP film with micro-perforations is developed owing to avoid the anaerobic respiration. Gas permeability of this film is determined by film itself and perforation. So adjusting the diameter or number of micro-perforations, gas permeability of this film could be suitable for this vegetable. In an actual transportation, O_2 concentration in the completely heat-sealed OPP film packages in the EPS container decreased to 2 %. Therefore, the onion was induced to anaerobic respiration. O_2 concentration in completely heat-sealed OPP film packages with 5 micro-perforations in the corrugated fiberboard container decreased to 4.5% at the container was opened, thereafter increased to 7-9%. Therefore, this film made available to prevent the deterioration caused by anaerobic respiration. So the sugar and chlorophyll contents were comparatively retained. Too many micro-perforations were ineffective, however, because the O_2 concentration in the package was too high to maintain the MAP condition.

To determine the method for evaluating the quality of pre-cut Welsh onion, quality of cut onion was examined and compared with electric conductivity (EC) and potassium contents of electrolyte solution extracted from the onion. Quality of cut onions which were stored at 0, 5 and 10 °C were stable for 6 days. On the other hand, the quality of onions stored at 15 and 20 °C slightly deteriorated after 4 and 3 days of storage, respectively, and thereafter becoming severe. Degree of EC of onions stored at 15 and 20 °C decreased for first 4 and 3 days of storage, respectively, and thereafter began to increase, though degree of EC of onions stored at 0, 5 and 10 °C decreased during storage. The changes in potassium content extracted by homogenization was steady during storage, although the changes in potassium extracted by leakage similar to those in EC stored at 15 or 20 °C. Considering the relationship between degree of EC or potassium content and quality of cut onion, electrolyte leaked from openings when the tissue was collapsed due to decay. So the electrolyte leakage was good parameter to evaluate the decay of onion. Moreover, chlorophyll content is a useful parameter to evaluate the quality of cut onion.

Chemical components and quality stability of pre-cut Welsh onion wrapped with unperforated or perforated OPP film package were investigated during storage at 10 °C. The concentration of O_2 in the unperforated OPP film package decreased rapidly and dropped to 2% while CO_2 increase. Therefore the onion was induced to anaerobic respiration. So the ethanol was produced and chemical components were reduced. Moreover the cellular of this onion became water-soaked. O_2 concentration in the OPP film package with too more micro-perforations decreased slightly. So ethanol was not detected and chemical components were decreased. Moreover the quality of this onion decreased and became unmarketable after 6 days of storage. In cut Welsh onion which was packed with perforated OPP film package (with 24 micro-perforations), O_2 concentration in this package was not considered so low as MAP for onion, but decreased and dropped to 10 %. So ethanol could not be detected and chemical components could be kept or decreased slightly. Therefore the cut Welsh onion was acceptable for sale for 6 days of storage.

These results suggested that MAP is effective technique for maintaining the quality of intact or pre-cut Welsh onion. A theoretical model for atmosphere in a polymeric film package containing fresh commodities and in a shipping container was developed. The simulation

model can be useful for Welsh onion wrapped both with OPP film and EPS container. The gas permeability of OPP film was too low to maintain the gas condition for intact or pre-cut Welsh onion; an OPP film with micro-perforations was available for avoiding the deterioration caused by anaerobic respiration. It appears the gas composition in the package can extend the shelf-life of the commodity. But too more micro-perforations was ineffective because of the O_2 concentration in the package could not be so low to maintain the MAP condition.

福岡県農業総合試験場特別報告
第18号

MA包装による葉ネギおよびカット葉ネギの
鮮度保持に関する研究

発 行 平成14年9月
福岡県農業総合試験場
(福岡県筑紫野市吉木)

著 者 茨 木 俊 行

印刷所 大同印刷株式会社