

二酸化炭素の動的蓄積がハウレンソウの呼吸と鮮度に及ぼす影響

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2022-06-08 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 秋元, 浩一, 前澤, 重禮, 加藤, 百合 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/5838

二酸化炭素の動的蓄積が ホウレンソウの呼吸と鮮度に及ぼす影響

秋元浩一*・前澤重禮・加藤百合

生産流通管理学講座
(1996年7月18日受理)

Effects of Dynamic Accumulation of Carbon Dioxide on Respiration and Freshness of Spinach

Koichi AKIMOTO, Shigenori MAEZAWA and Yuri Kato

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

SUMMARY

The temperature of fruits and vegetables packed in film pouches rises through respiration, which results in a further increase in respiration. However, the accumulation of CO₂ produced simultaneously represses such respiration. In order to analyze this phenomenon, the effects of dynamic increases in the ambient carbon dioxide of products on respiration and freshness were investigated using spinach (*Spinacia oleracea* L.). The slow accumulation of carbon dioxide was found to effectively repress respiration and might be better for the maintenance of freshness. It was suggested that a carbon dioxide concentration of 10% through 30% was effective, but at concentrations over 30% respiration became abnormal and freshness was lost sooner.

Res. Bull. Fac. Agr. Gifu Univ. (61) :75-80, 1996

要 約

包装された青果物は呼吸によって品温上昇をきたし呼吸を刺激するのに対し、排出二酸化炭素の蓄積は呼吸を抑制すると予測される。その挙動を解析するための基礎資料を得るため、青果物周囲の二酸化炭素濃度を動的に変化させ、その青果物の呼吸と鮮度に与える影響をホウレンソウを用いて検討した。その結果、周囲の二酸化炭素濃度が10~30%程度で呼吸は抑制され鮮度は維持された。二酸化炭素濃度増加の速度が緩やかである程、効果的であったが、急な変化の場合、異常呼吸を示した。また30%以上の濃度になると異常呼吸を示し、二酸化炭素排出量が大きく鮮度の消失も早くなることが示唆された。

I. 緒 言

収穫された青果物は、依然として生命活動を続け呼吸によりエネルギーの供給を行うため、蓄積されていた体内の呼吸基質を消耗させながら品質を低下させる。一般に生長が盛んで貯蔵力の弱いものほど、その呼吸量は著しいとされている¹⁾。呼吸活性は青果物の内的状態を示す最も適切な指標の一つとして考えられている²⁾。これらのことから青果物の鮮度保持にはいかにその呼吸を抑制し、体内成分の損耗を防ぐかが重要な意味を持つ。大気と異なった環境ガス組成下で青果物を貯蔵する方法として、CA (Controlled atmosphere), MA (Modified Atmosphere), 減圧などの貯蔵や、高濃度二酸化炭素短時間処理及びこれらの併用法などがある。予め鮮度保持に適正なガス濃度を設定し継続的に維持するCA貯蔵は、低温維持との組合せによりさらに有効である^{1,3)}。しかし設備や運転経費が高くなる欠点があるため、CA貯蔵庫による貯蔵対象として実用化されている青果物はリンゴについて行われている程度である⁴⁻⁶⁾。一方、

* 現在、九州大学教授 (農学部)

MA包装による方法は、フィルムのガス透過性と青果物の呼吸作用とのバランスによりCA類似のガス環境が実現できるため簡易CAとも言われ^{6,7)}、低コストな方法である。しかし、本法はフィルム内のガス組成は成行きであるから制御は困難で、MA効果が期待できないガス組成になったり、極端な低酸素・高二酸化炭素状態になって、品質が急速に低下することがある⁸⁻¹⁰⁾。また、青果物の呼吸により排出される二酸化炭素は、フィルムのガス透過性の違いによって包装内に蓄積される速度が異なる。これは青果物の呼吸による包装内ガス組成の変化と、包装フィルム面を通した外気とのガス交換によって動的に変化する。この挙動が青果物の鮮度に与える影響は無視できない。すなわち、呼吸による品温上昇は青果物の呼吸増大を刺激し、逆に排出二酸化炭素の蓄積は呼吸を抑制すると予測される。品温変化が青果物の呼吸に与える影響については多くの研究がみられる¹¹⁻¹⁴⁾が、環境ガスの動的変化について検討した研究はみられない。そこで本研究では、MA包装設計の基礎資料を得るため青果物周囲の二酸化炭素濃度を動的に変化させ、青果物の呼吸速度と鮮度に与える影響についてハウレンソウを用いて検討した。

II. 材料及び方法

供試材料には岐阜市内の農家で実験当日収穫されたハウレンソウ‘オーライ’を用いた。試料は10月11日播種後40～50日の露地栽培ものである。

実験当日午前8時に収穫した試料を研究室搬入後、12株を1サンプルとしてアクリルパイプ（外径124mm、内径118mm、長さ520mm）に入れ、20℃に設定した環境試験装置内に静置した（図1）。試料を挿入した上記装置内パイプ中には3時間外気を通気し、引き続き二酸化炭素濃度を徐々に増加させた修整空気を通気した。二酸化炭素濃度の増加はポンベのcockの調整によって12段階で0%から40%まで増加させ、各段階で一定濃度に保つ時間を各々変化させて4実験区を設定して検討した（図2参照）。また同時にパイプ内に実験開始時から終了時まで外気だけを通気させる対照区を設けた。パイプは呼吸速度測定

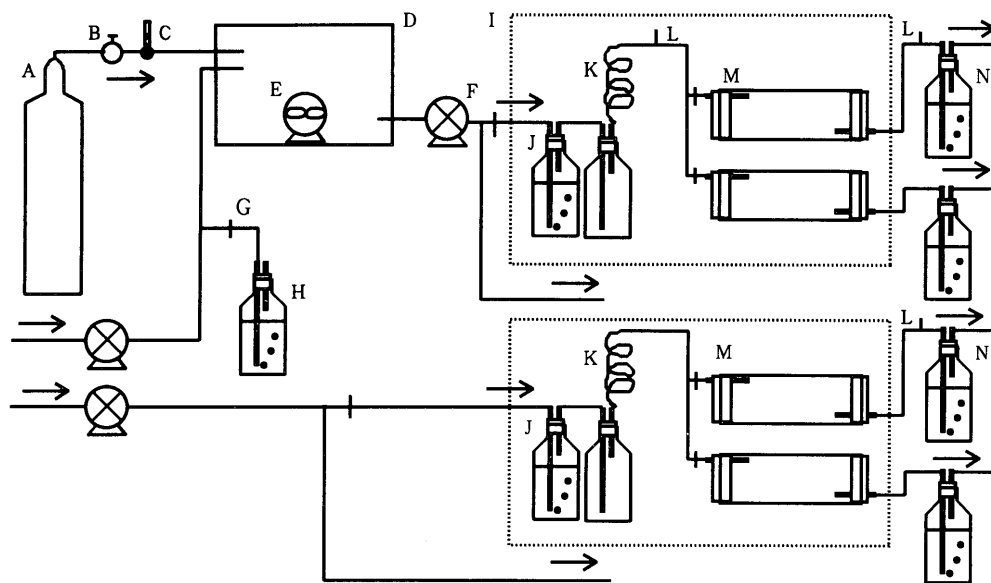


図1 実験装置の概要

- | | | |
|---------------------------|------------|-------------|
| A : CO ₂ ガスボンベ | F : ポンプ | K : 銅パイプ |
| B : 圧力調整器 | G : ピンチコック | L : ガス採取口 |
| C : 流量計 | H : 排気用ビン | M : 試料室 |
| D : 角型デシケータ | I : 環境試験装置 | N : 流量確認用ビン |
| E : ファン | J : 調湿装置 | |

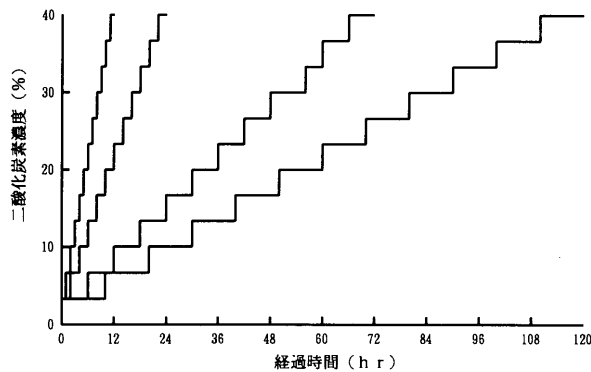


図2 4種類の実験区における修正空気中の二酸化炭素濃度の変化の様相

表1 4種類の実験区における修正空気中の二酸化炭素濃度を0%から40%まで増加させる時間とステップ

実験区	増加時間	増加ステップ	平均濃度勾配
12時間増加区	12時間	1時間	3.33%/hr
24時間増加区	24時間	2時間	1.67%/hr
72時間増加区	72時間	6時間	0.56%/hr
120時間増加区	120時間	10時間	0.33%/hr

のラインを示す。流れはいずれも左から右へ流れる。上部ラインの最初の排気用ピンはライン圧を常圧に保つためのものである。修整空気は液化二酸化炭素と外気との混合により発生させ、二酸化炭素はポンベ(A)から直接角型デシケータ(D) (30.0×49.5×32.0cm) に送り、外気は吸気、排気用のエアーポンプ(F) (イワキ製エアーポンプ、型式：AP-115N、最大空気量：18l/min、吐出最大圧力：1.0kgf/cm²、最大真空度：310Torr) を接続して送った。修整空気中の二酸化炭素濃度は流量計(C)の目盛りにより調節し、二酸化炭素の圧力は調整器(B)で1.5kgf/cm²に調整固定した。角型デシケータ内に流入した修整空気はファン(E) (サンヨー株式会社製、型式：109-006) により攪拌した。ガラス瓶の中に水を入れ、口にゴム栓(17号)を付けて長さ約10cmのガラス管(外径7mm、内径5mm)を2本通し、一方のガラス管から空気を送り込み、もう一方のガラス管から流出するようにしたものを用途別に排気用ピン(H)、流量確認用ピン(N)、調湿装置(J)とした。得られた修整空気と対照区用の外気をエアーポンプで環境試験装置(I)内に送り、調湿装置を通すことで実験期間中、高湿度(飽和)の空気にした。試料室(M)はアクリルパイプの両端にゴム栓(40号)を付け、長さ約10cmのガラス管を1本通したものとした。調湿装置と試料室間を銅パイプ(K)で接続し、通気させる空気が銅パイプを通過することで20℃前後になるようにした。また銅パイプ中に水滴が残らないよう、銅パイプは螺旋状にして縦に静置し、落ちる水滴は空の瓶で受けるようにした。そして流量100ml/minの飽和空気を連続通気し、試料室への流量を実験期間中一定に保つために、流量確認用ピンを通気する気泡の量を確認しながらピンチコック(G)で調節し、余分な修整空気や外気は、試料室へ通気する前に排気用ピンや軟質塩化ビニルチューブ(外径8mm、内径4mm)から排出した。ガス採取口(L)は通気させる空気のガス組成をできるだけ正確に測定をするために、T字管の真ん中の口を約3cm切り取り、約2.5cmのガラス管をビニルチューブで接続し、さらにその上からシリコンチューブで覆い、ガラス管の先端にGC用の注入口ゴム栓を取り付け、マイクロシリンジの針の穴がT字管の中心にくるようにした。

用と品質変化測定用の2種類で合計4本である。実験区を表1に示した。

鮮度の評価はホウレンソウの商品価値が葉身の黄色、萎凋など外観上の鮮度によることから、卸売市場の関係者の意見をもとにして研究室員5人により、鮮度状態を5段階得点して評価した。ガス濃度の測定は、修整空気発生装置により得られた修整空気中のガス濃度と、修整空気がパイプ内に通気されパイプ内を通過した空気のガス濃度を、ガスクロマトグラフ(以後GCと表記する)法¹⁶⁻¹⁹⁾により酸素、窒素、二酸化炭素について測定した。ガス採取は実験装置に取り付けてあるGC用の注入口ゴム栓にマイクロシリンジの針を刺し、ガスを0.2ml抜き取りCG(島津製作所製、型式：GC-14A、検出器：TCD、検出器温度：100℃)により測定した。カラムはモレキュラシーブ5AとポラパックQの並列カラム、キャリアガスはヘリウムである。

Ⅲ. 実験装置

実験装置の概要は図1に示したとおりである。図中は上下2つのラインに分かれ、上部が二酸化炭素濃度を変化させるライン、下部が対照区

IV. 結果及び考察

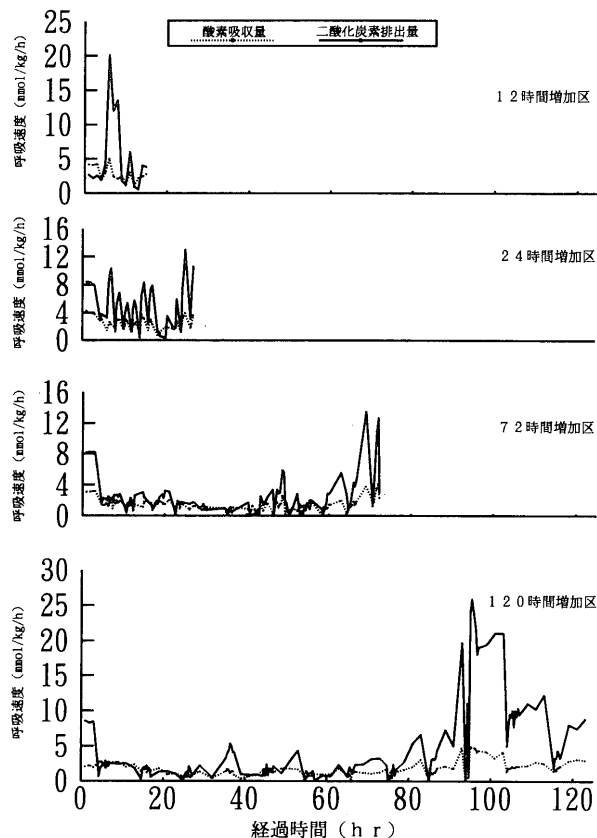


図3 環境中の二酸化炭素濃度増加によるハウレンソウの呼吸速度の変化

増加後から68時間後までは外気通気時の40～60%に抑えられている。その後変化し、69時間後には3.8mmol/kg/h, 72時間後には4.2mmol/kg/hrと外気通気時よりも上回った。二酸化炭素排出量は外気通気時8.0mmol/kg/hr程度であるが、二酸化炭素濃度増加後から68時間後までは外気通気時の約35%に抑えられ、また49時間後、63時間後に増加のピークはあるものの平均して外気通気時の70%に抑えられた。69時間後から高低の変化が大きくなり、69時間後には13.5mmol/kg/hr, 72時間後には12.8mmol/kg/hrと外気通気時を大きく上回った。

120時間区における酸素吸収量は外気通気時には2.2mmol/kg/hr程度であったが、二酸化炭素濃度増加後から92時間後までは外気通気時の40～60%に抑えられた。93時間後から変化が大きくなり、93時間経過以降にはいくつかの例外を除いて上回った。二酸化炭素排出量は外気通気時8.6mmol/kg/hr程度であったが、二酸化炭素濃度増加後から92時間後までは外気通気時の30～40%に抑えられ、また36時間後、53時間後、83時間後、89時間後に増加のピークはあるが、外気通気時の70%に抑えられた。93時間後から変化が大きくなり、93時間後には20.0mmol/kg/hr, 95時間後には26.0mmol/kg/hrなどと外気通気時を大きく上回った。

この4種類の二酸化炭素の濃度増加パターンに対するハウレンソウの呼吸速度の反応を考察すると、供給する二酸化炭素濃度の増加により、特に10%から30%の範囲では二酸化炭素排出量が大きく抑制されるとともに酸素吸収量も抑制されるという傾向が認められる。この現象は24時間区にやや、72, 120時間区においては顕著に表れていることから濃度増加の速度が緩やかであることが抑制効果も高くなるということができよう。一方、濃度が30%を超える付近から二酸化炭素排出量は異常増加した。この異常現象は濃度変化が急な12時間区でも表れている。久保ら²⁾や東尾ら²⁰⁾は、一定濃度以上の二酸化炭素によって青果物は生理障害を引き起こすことがあり、またレタスやハウレンソウは比較的二酸化炭素濃度に対する耐性が

呼吸速度の変化を図3に示した。図は、初期3時間は外気のみ通気し、その後、所定で二酸化炭素を増加させた時の結果を示している。12時間区における酸素吸収量は外気通気時4.0mmol/kg/hr程度であったが、二酸化炭素濃度増加後は実験期間中はほぼ一定で外気通気時よりも低く抑えられた。二酸化炭素排出量は6時間後20.0mmol/kg/hrと外気通気時の8.6mmol/kg/hrを上まわり、以降も大きな値をとり異常呼吸になった可能性が高い。

24時間区における酸素吸収量は外気通気時3.8mmol/kg/hr程度であったが、二酸化炭素濃度増加後は外気通気時よりも低下した。次の二酸化炭素濃度増加ステップに移り1時間後には最も低下し、外気通気時の約40%の水準に抑えられ、その後は徐々に増加したが、次の増加ステップに移ると再び低下するというような変動を繰り返した。二酸化炭素排出量は外気通気時8.2mmol/kg/hr程度であったが、二酸化炭素濃度増加後は酸素消費速度と同様の反応を示し、外気通気時の15～30%に抑えられた。24時間経過以降は変化が大きく、最も二酸化炭素排出量が多いのは25時間後の13.0mmol/kg/hrであった。

次に72時間区をみると酸素吸収量は外気通気時3.1mmol/kg/hr程度であったものが、二酸化炭素濃度

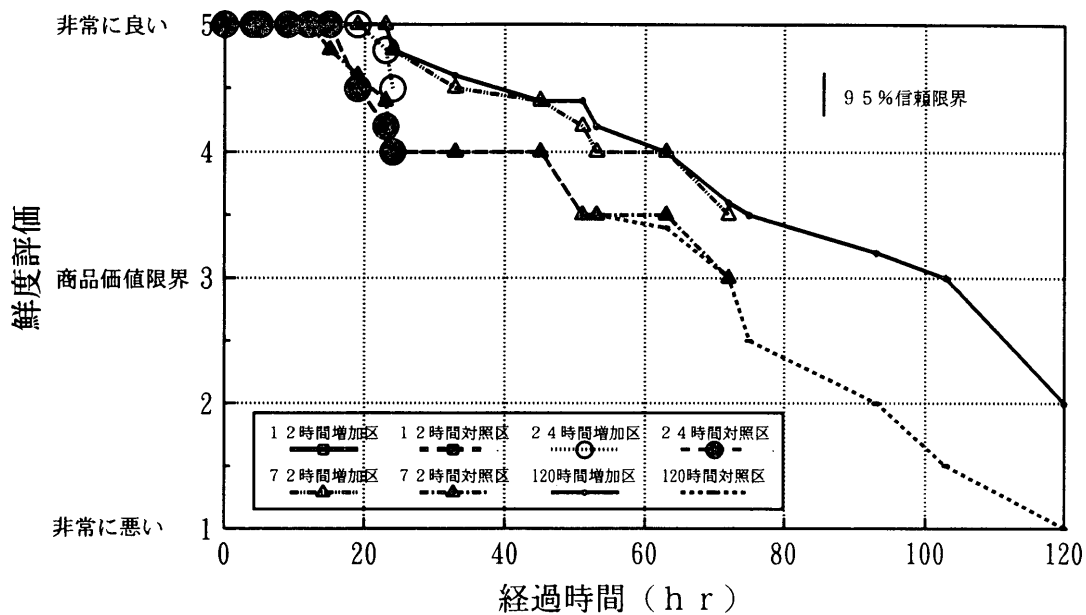


図4 各実験区毎のハウレンソウの鮮度変化

低いと報告している。このことを併せ考えると、二酸化炭素濃度が30%を超えた場合の異常な二酸化炭素排出量や急な濃度変化は、二酸化炭素による生理障害²¹⁾が生じたものであろう。

図4に鮮度の変化を実験区毎に示した。12時間区を除いて対照区の鮮度は二酸化炭素増加区より劣化が速いことが示されている。12時間区はガス環境の影響以前に短時間であったことが差違のなかった原因であろう。変化のあった実験区の特徴はいずれも時間経過に伴って外葉から、また葉身周辺から萎凋が進行したが、対照区の萎凋が顕著であった。120時間増加区が103時間後、対照区では73時間後に鮮度劣化のため商品価値限界に達した。特に120時間区における123時間後には黄化を伴う変化が顕著であった。72時間増加区の変化は120時間増加区とほぼ類似の傾向を示している。一方、24時間区では処理区が対照区より良好な鮮度維持となっていることは同一であるが、20時間以降の劣化が大きい。12時間区は時間が短いことによりと考えられるが、12時間まで鮮度良好であった。このように二酸化炭素濃度増加区が対照区より鮮度が維持される結果となったのは、対照区の呼吸は2倍前後と大きいだけでなく、二酸化炭素排出量の大きさに対し、酸素吸収量が小さいという無気呼吸など異常な呼吸現象が続いたためではないかと考えられた。また、ハウレンソウでは収穫後、主な呼吸基質である糖の減少が先行し、その後、葉身の緑色が分解するようであったという日坂²²⁾の報告や、黄化に伴い還元型アスコルビン酸が減少したという山内²³⁾の報告から、本実験でも呼吸の高まりとともに内容成分に何等かの変化が生じたと推察される。

以上のことより、環境中の二酸化炭素濃度の高まりは、緩やかな変化で10～30%の範囲ではハウレンソウの呼吸速度を抑制し、かつ鮮度維持にも効果的であることが分かった。しかし、30%を超すと異常呼吸となり鮮度の消失も早くなることが示唆された。

引用文献

- 1) 緒方邦安編：『青果保蔵汎論』東京：建帛社48, 179, 67-68, 1977.
- 2) 久保康隆・稲葉昭次・喜安英伸・中村怜之輔：高濃度炭酸ガスと低濃度酸素条件が青果物の呼吸活性に及ぼす影響。岡山大学農学報(73):27-33, 1989.
- 3) 伊藤和彦：『貯蔵施設』，農産物流通技術研究会編『93年版農産物流通技術年報』東京：流通システム研究センター85-90, 1993.

- 4) 田村 勉・萩沼之孝：‘C A 貯蔵’，園芸学会編“一部門別の解説－園芸学全編”東京：養賢堂629-635, 1973.
- 5) 邨田卓夫：C A 貯蔵・MA 貯蔵. 日食工誌**37**(4):321, 1990.
- 6) 山下市二：C A, MA 貯蔵の現状. 農及園**67**(1):105-110, 1992.
- 7) 太田英明：‘プラスチックフィルム’，農産物流通技術研究会編“91年版農産物流通技術年報”東京：流通システム研究センター100-109, 1991.
- 8) 青柳光昭：野菜・果実のMA 包装貯蔵の現状と今後. 食品流通技術**22**(11):14-18, 1993.
- 9) 山下市二：C A 貯蔵の新技術動向とMASCA. 日食低温誌**18**(1):24-29, 1992.
- 10) 山下市二・渡辺和幸・妹尾良夫・河合正毅：修整空気システムC A 貯蔵装置の改良・自動化. 日食低温誌**18**(1):18-23, 1992.
- 11) 伊東卓爾・中村怜之輔・松本幸大：低温貯蔵中の温度変動幅と変動周期が青果物の鮮度保持に及ぼす影響. コールドチェーン研究**4**(4):147-152, 1978.
- 12) 伊東卓爾・中村怜之輔・稲葉昭次：温度変動下での数種野菜類の呼吸速度の変化. 岡山大農学報(65):33-37, 1985.
- 13) 垣生俊夫・青果物のコールドチェーンにおける品質保持に関する研究. 愛媛大学経営農学研究(27):43-50, 1985.
- 14) 伊東卓爾・中村怜之輔：青果物の温度変動許容度. 園学雑**54**(2):257-264, 1985.
- 15) 国立天文台編：“理科年表”東京：丸善株式会社388-389, 1988.
- 16) DAY,R.A.Jr・A.L.UNDERWOOD／鳥居泰男・康智三訳：“定量分析化学”東京：培風館424-460, 1982.
- 17) 株式会社島津製作所第一化学計測事業部：“ガスクロマトグラフGC-14A取扱説明書”京都：島津製作所, 1990.
- 18) 河合聰：“ガスクロマトグラフィ入門－薬学・医学・農学への応用－”東京：三共出版株式会社6-59, 1987.
- 19) 吉江洋一：‘ガスクロマトグラフ（GC）法’，芝哲夫ら監修“機器分析のてびき(2)”東京：化学同人7-24, 1985.
- 20) 東尾久雄・南出隆久・緒方邦安：高濃度炭酸ガス短時間処理による青果物の品質保持効果. 日食工誌**27**(4):192-198, 1980.
- 21) 樽谷隆之・北川博敏編：“園芸食品の流通・貯蔵・加工”東京：養賢堂136-137, 1982.
- 22) 日坂弘行：ハ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**(12):956-963, 1989.
- 23) 山内直樹・緒方邦安：果実，そ菜のアスコルビン酸に関する生理化学的研究（第3報）. 園学雑**47**(1):121-127, 1978.