

《解 説》

エチレン制御による農産物の鮮度保持

農林水産省農業生物資源研究所(食品総合研究所兼)

主任研究官 漆 崎 末 夫

1. はじめに

収穫後の農産物の品質保持技術は高度化する一方である。農作物の有効利用、食料としての安定的供給に関係するからだけではなさそうである。多分に、高まるグルメ志向など食生活に対する様変わりが背景となっているといえよう。

農産物は収穫後も呼吸をつづける生物に変わりはない。エチレンは呼吸など代謝にかかわる植物ホルモンのひとつであり¹⁾、収穫後の農産物の品質を左右する成熟・老化のホルモンとも呼ばれている。ガスであるため体外に拡散してくるので、評価もし易い。技術化するうえで有利な点が多いのである。ゼオライトや大谷石など多孔質の石材をエチレン制御に利用する研究開発も活発化してきた。「エチレン制御による農産物の鮮度保持」が筆者に託されたテーマであるが、ゼオライトなど多孔質石材利用を中心に執筆した。なお、一部は別の著作から引用したことを予め断わっておきたい。

2. エチレン

エチレンといえばすぐに連想されるのが、かの石油化学原料としてのエチレンである。それほど植物ホルモンとしてのエチレンは影がうすい。しかしながら、かの原料エチレンと何ら変わるものではない。 C_2H_4 (分子量 28.05) という最小のエチレン系不飽和炭化水素であり、通常温度ではガスである(融点 $-169.2^{\circ}C$ 、沸点 $-103.7^{\circ}C$)。比重は 0.975 と空気よりやや軽く、常温では水に約 15% が溶解する(吸収係数、約 0.15)。

植物ホルモンにはエチレンの他にオーキシン、ジベレリン、サイトカイニン、アブサイシン酸それに新たに加えられたブラシノライド(ステロイド系)が知られている。互いにホルモンバランスを形成しつつ、生きた植物の生理活性に影響をおよぼしているのである²⁾。植物体内にあって他のホルモンが固体であるのに対し、エチレンだけは気体である。した

がって植物の内外を容易に移動できる唯一の植物ホルモンといえよう。1901年にオーストリアの Neljubov によって発見されて以来³⁾、ガスクロマトグラフの発達とともにその研究は飛躍的に進展した。これまでに知られている生理活性は次のとおりであり⁴⁾、広範囲にわたっている。

1. 休眠打破
2. 頂芽優性の打破
3. 生長の促進と抑制
4. 側枝の伸長促進
5. 上偏生長(エピナスティー)
6. 側根の発根促進
7. 葉・花または果実の離脱促進
8. 開花の促進と抑制
9. 果実の成熟促進
10. 葉緑素の分解促進
11. 雄花の雌花化
12. 呼吸作用の促進
13. タンパク質合成の促進
14. 他感作用
15. 老化促進
16. 耐病性の増大

果実の成熟を促進したり、植物の老化を促す生理作用があることから、別名を成熟ホルモンとか老化ホルモンとも呼ばれている。エチレンの生成を抑制することが、とりもおおざく鮮度保持の基本となるゆえんである。ちなみに図1は Yang らによって解明されたエチレンのメチオン代謝の経路を示している^{5,6)}。収穫後といえども呼吸をつづける生物に変わりはなく、栽培の延長とみることができよう。生育制御といっても、収穫後は生育を抑制することがねらいとされるのである⁷⁾。収穫直後からのエチレン生成量を測定すると、その基本型はおおむね図2のごとくに示すことができる。エチレン抑制が鮮度保持の基本である前提に立つならば、ピークのレベルが低くかつその位置が右方にあるほど有利であ

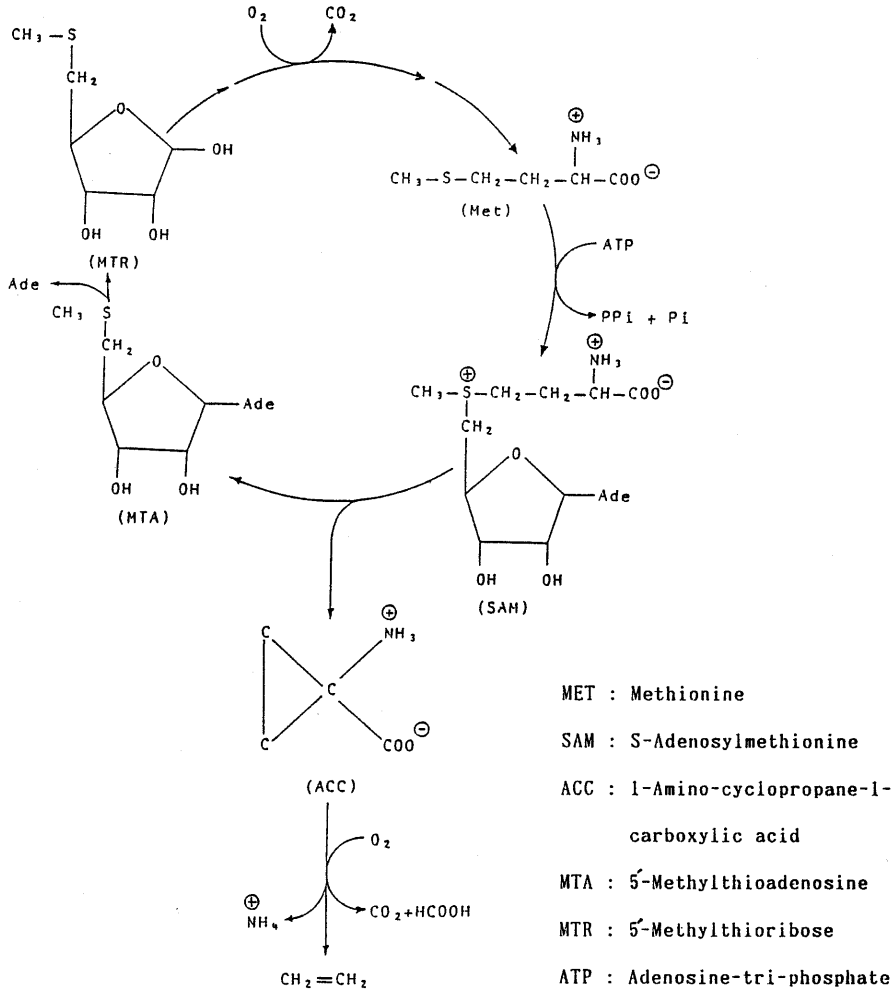


図1 エチレンのメチオニン代謝

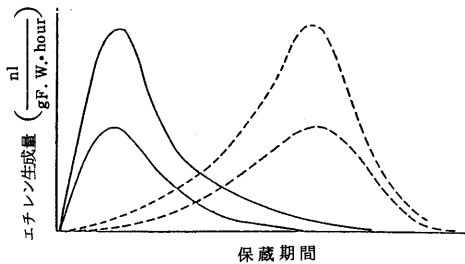


図2 農産物からのエチレン生成パターン

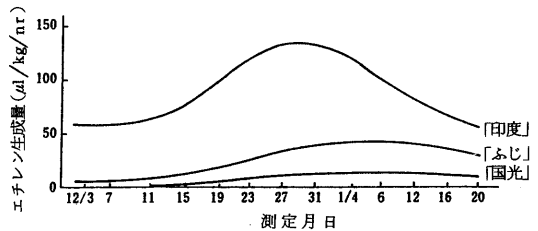


図3 リンゴ果実のエチレン生成量

ることはいまでもない。図3は品種間差をみたりんご果実の場合である⁸⁾。ピークのレベルが高く、その位置が左方にある「印度」は鮮度保持がむずかしく、貯蔵に向いていないのである。生成エチレン量に關係する要因は多いが、収穫後のポストハーベ

スト要因(表1)ばかりでなく、栽培条件、収穫期など収穫前のプレハーベスト要因(表2)もからむところにエチレン抑制のむずかしさがあるといえよう。

表1 農産物からのエチレン生成増減にかかわる環境要因

温度	温度の影響は大きい。低温になるほどエチレン生成量は減少する(低温貯蔵)。低温および高温障害をうける温度域に注意。温度障害をうけると傷害、病害エチレン生成を伴うことになる。
湿度	湿度は蒸散量を左右し、植物の生命活動の源である水分含量に影響するのでその制御には最善の注意が必要である。青果物の最適湿度に合わせて湿度をコントロール。
振動	植物に接触刺激を与えるとエチレンが生成する。輸送中の振動によって傷害に至らないまでもエチレンが生成し、それによって青果物の鮮度低下がもたらされる場合がある。
風	乾燥にかかわる。当たる風が強いほど乾燥し易いので、湿度制御と同様に注意。
光	温度と深い関連。直射日光があたると温度が上昇し、青果物をいため易い。
圧力	減圧と高圧がある。減圧によって青果物の内生エチレンが抽出されることになり、その分だけ老化が遅延される(減圧貯蔵)。航空輸送中の減圧も鮮度保持のうえではプラスとなっているといえる。高圧はその反対でエチレン抽出に障害となるが、水蒸気の蒸散を抑制する利点がある。
酸素	植物の呼吸にかかわる。低酸素となるほど呼吸が抑制される(CA貯蔵)。植物は酸素を必要としない無気呼吸という方法によって呼吸可能であるが、これによってアルコールや酢酸を生成し、品質が低下する。
薬剤散布	収穫後も薬剤散布される場合があるが、青果物によってはエチレン増大を伴う。
衛生環境	汚ない不衛生な場所に保蔵すると、青果物は病害をうけ易い。
保蔵姿勢	垂直、逆垂直、水平の各保蔵姿勢によって、生成エチレン量が異なる。
アレロパシー	エチレン生成量の多い青果物の近くにエチレン生成量の少ない青果物を保蔵すると、後者の青果物は高濃度エチレンの影響を受けて老化が促進される。
エチレン処理	エチレン処理すると、呼吸が盛んとなるなど青果物は老化が進む。このとき様々に変化する。未熟の果実は熟度が進み、緑色の果皮は黄橙色に変色する。カキの渋味は緩和され、やがて甘くなっていく。

表2 農産物からのエチレン生成増減にかかわる植物自体の要因

生理的要因	エチレン生成量にピークがある。他の要因によってピークの高さ(エチレン生成量)、位置(鮮度保持期間)が変わる。エチレンは刺激に対する感応物質でもあるので、その生成量は、生理的に生体の老化過程を反映する。例えばエチレン生成量が増す時期は生体の活性が高い場合が多い。老化に伴い、刺激に対する感応が鈍り、エチレン生成量は減少コースをたどる。
種類	農産物の種類によって差がある。一般的に、リンゴ、メロンなど果実類はジュンギク、ホウレンソウなど葉菜類やニンジン、ダイコンなど根菜類と比べて多量のエチレンを生成する。カーネーションなどの切り花などはエチレン生成量は少ない。
品種	品種間差の大きいもの、小さいもの様々である。リンゴなどの果実類は品種間差の大きいものが多い。カーネーションなどは比較的小さい。
栽培条件	栽培条件によって農産物の品質が変わる。例えば、堆肥など有機物中心の有機栽培されたものは食味の良いものが多い。栽培条件によって生成エチレン量にかなりの開きが生じる。
収穫期	未熟・完熟など収穫期にかかわる果実の熟度のちがいはエチレン生成量の差は大きい。完熟したものは未熟のものよりエチレン生成量が増すと多い。成長段階で収穫されたものはエチレン生成量が少ない傾向がある。
傷害	傷害エチレンといわれているように、植物に傷がつくとエチレンが生成する。傷がつき物理的劣化のひどい青果物ほどエチレン生成量が多い。
病害	病原菌の中にはエチレンを生成するものが多い(エチレン生成菌)。例えば、クズや大豆に宿主するシュードモナス菌は多量のエチレンを生成する。
薬害	殺虫剤、殺菌剤などによって薬害をうけた組織から生じる、傷害エチレン、病害エチレンの生成をも伴う場合が多い。

3. エチレンモニタリングシステム

エチレンはガスであるから、植物体内で生成したエチレンは体外に拡散する。体外のエチレン濃度が優る場合には体内に拡散することはいうまでもない。高濃度のエチレンガスで処理することによって未熟果が追熟されるのは、そのためである。植物内外のエチレンは平衡関係にあるとみてよいから、体外エチレン量は体内エチレン量の比例的パラメーターとなるはずである。筆者らが開発したエチレンモニタ

リングシステムと名づけられた装置は体外に拡散したエチレン量を連続的に定量するシステムといつてよい^{9, 10)}。本システムはすでに実用化されており、非破壊鮮度評価や食べごろ評価などに利用されようとしている。別の著作とも重複するので、ここでは装置の概要を簡単に説明し、2, 3の実験例を紹介するのにとどめたい。

図4に示す構成の本システムは定速度でガスを攪拌しながらエチレンを採取し分析するように設計されている。ガスクロマトグラフ装置にはガス流路を切替えるストリーム閉ループ切換器が連結されており、一定時間毎にガス流路が切替わるように自動化されている。ガス切替えと同時にガスの一定量が大气と置換され、呼吸に伴う酸素不足を回避するシステムとなっている。分析されたエチレン濃度(ppm)はバーグラフによって自記されるので、測定終了後には図5に示すようなモニタ像がえられる。

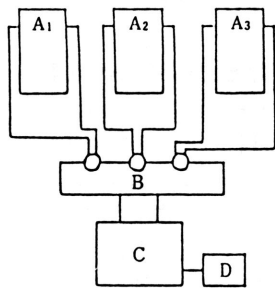


図4 エチレンモニタリングシステムの構造

- A₁, A₂, A₃ : 保蔵チャンバー
- B : ストリーム閉ループ切換器
- C : ガスクロマトグラフィ本体
- D : 記録計

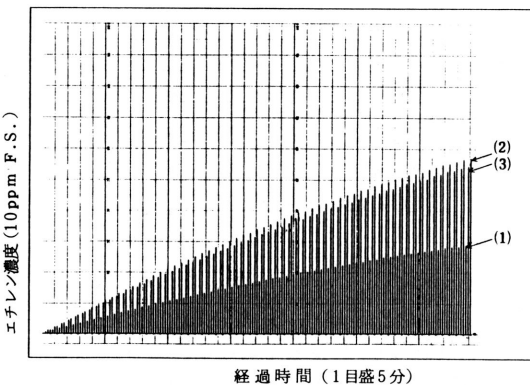


図5 エチレンバーグラフ

5分間隔で記録されたリング果実からのエチレン量：
①、②および③は保蔵姿勢を変えたリング果実

シュンギク

垂直および水平の両姿勢におけるエチレン生成量の差異を実測した。埼玉県熊谷の農家で収穫したあと、ビニール袋に小分けして段ボール箱に垂直詰めにして搬入したシュンギク(茎葉)を供試した(垂直姿勢 681.6 g, 水平姿勢 686.6 g)。エチレンモニタリング時間はおよそ午後3時から翌朝9時までとして揃えた。測定、放置を繰り返しながら生成エチレン量を比較したのである(図6)。水平姿勢では保蔵を始めてからほぼ4時間後より垂直姿勢よりもエチレン生成量が高くなり始め、その後はその差が増大する一方であった。その差は保蔵開始1日後に最大に達して約2倍となり、その後は縮小する傾向がみられた。垂直姿勢ではシュンギクの茎に変化がみられないのに対し、水平姿勢では立ち上がろうとして屈曲する。屈曲する水平姿勢でエチレン量が多いのである。エチレン量の少ない垂直姿勢で保蔵するのが鮮度保持にとって有利といえよう。垂直姿勢のホウレンソウ、アスパラガス、スイートコーンでは鮮度の指標物質とされる糖、アデノシン-3-リン酸、クロロフィルなどの含量も高いのである¹¹⁾。

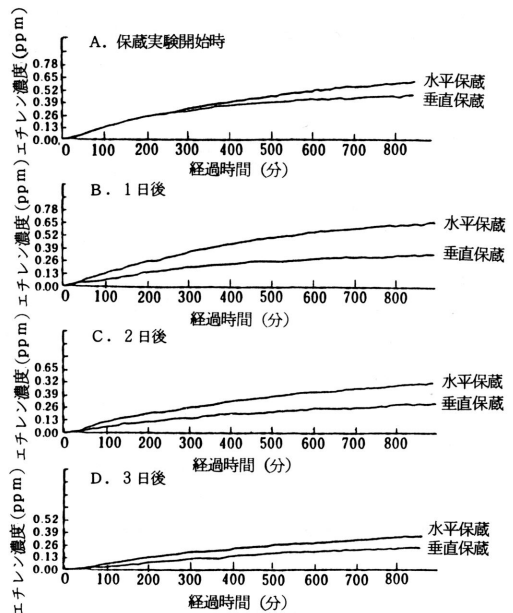


図6 シュンギクから生成したエチレン量の経時変化(温度15℃前後)

カーネーション切り花

収穫直後の花茎の揃った健全な切り花を供試した。切り花長をチャンバーのサイズに合わせて40 cmに切り揃え、この30本を1束として実験用とした。準備した3束はそれぞれ垂直姿勢、逆垂直姿勢および水平姿勢に保蔵した。密閉系から生じるガス環境の影響を少なくするため、1回のモニタリング時間はおよそ24時間とした。24時間毎にチャンバーを開いて蒸散量を測定するとともに、カーネーション花器のローリングインなど花もち状態をチェックした。図7に品種カリフォルニアホワイトの場合の結果を示す。生成エチレン量は保蔵開始当初では姿勢間で差異は認められなかったが、2日後途中より垂直姿勢で増大しはじめ、その後は他姿勢との差が大きくなるばかりであった。逆垂直姿勢で花持ちがよいのはいうまでもない。エチレンはほとんどが花器より生成しており、その量は花器の乾燥と密接な関係があるらしい。逆垂直姿勢は花器水分を保持し易

い姿勢といえよう。

成熟ウメ果実

密閉閉鎖系に伴う酸素濃度をチェックするため、呼吸の盛んな成熟ウメ果実を供試してエチレンモニタしつつ、酸素濃度を測定した。酸素濃度はウメ果実を保蔵したチャンバー内に酸素濃度センサーをセットし、1時間毎にチェックした。

チャンバーサイズ：たて29.8 cm×よこ148.8 cm
×高さ29.8 cm=132.14 l

成熟ウメ果実：54個、1592.0 g

チャンバー内の温度および相対湿度はそれぞれ26℃、70%で、実験中はほぼ一定していた。約7時間経過後も酸素濃度は19.80%を示し、大気酸素濃度20.20%とほとんど変わらなかった。果実の呼吸は盛んであり、エチレン量は増大の一途をたどった(蒸散量5.4 g、平均蒸散速度0.77 g/h)。通常はこれの1/10以下のエチレン濃度であり、酸素濃度はほとんど変わっていないとみてよい。

4. 大谷石などで多孔質石材の利用

多くの微細な孔を有する大谷石やゼオライトなど多孔質石材は活性炭と並んでガスを吸着するため、その用途は脱臭や乾燥に向けられていた¹²⁾。筆者らはエチレン脱着型の植物生育調節剤の研究開発過程で、ゼオライト系多孔質石材のエチレン吸着吸収性をみとめた。大谷石も一種の天然ゼオライトであり、農産物の貯蔵庫として利用されている大谷洞窟にはエチレン吸着吸収による効果があるものとみられている。大谷石など多孔質石材をフィルムに混入して低温とする洞窟条件へのアプローチは“天然に学ぶ”をモットーに始められたのである。

4.1 大谷石、ゼオライトなど石材の特性

ゼオライトはアルカリ金属またはアルカリ土類金属のアルミノケイ酸塩で結晶水を有し、その化学組成は $Me \cdot xAl_2O_3 \cdot ySiO_2 \cdot zH_2O$ (Me: 金属, x, y, z: 定数)で示すことができる。ゼオライトを含む大谷石は一種の天然ゼオライトといえるが、その含量は多くはない。大谷石石材協同組合の調査によれば、イオン交換能がすぐれているクリノプチロライトやモルデナイトの含量は、例えば秋田県二ツ井産ゼオライトの平均70%であるという¹³⁾。石英や長石など不純物が多いらしい。分極性のエチレンなどガス吸着はゼオライト結晶内のカチオニックな部分の存在とも関係しているとみなせるだけに、ゼオライト含量を評価しておく必要がある。

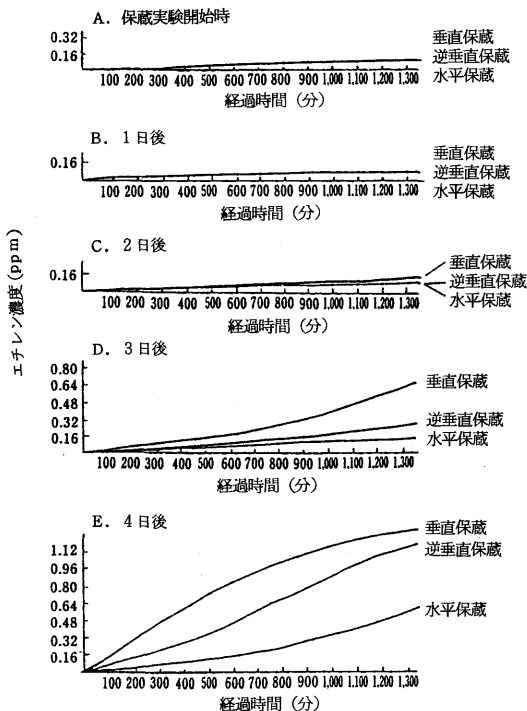


図7 カーネーション品種(カリフォルニアホワイト)のエチレンモニタリング(温度≈25℃)

垂直保蔵：30本、347.0 g
逆垂直保蔵：30本、348.9 g
水平保蔵：30本、347.4 g

大谷石は、かつて地表面の裂け目から噴出した流紋岩質角礫(砂と小石)や火山灰などが海水中に沈んで凝固してできたとされており、ゼオライトを含む凝灰岩の一種とみてよい。そのため多孔質で比重も1.6と小さい。このことは重さのわりにかさ高く、気孔率が高いことを意味している。気孔の細孔径は広範囲に分布しているらしく、細孔によってとくにガス分子をふるい分ける分子ふるい機能は均一に設計された合成ゼオライト^{14,15)}におよばないという。

4.2 ガス除去剤としての保鮮利用

農産物より代謝生成するガスのうち保鮮にかかわるのはエチレン、水蒸気、炭酸ガスその他有臭ガスであろう。保鮮にはガスコントロールが必要であり、ガス除去はガスコントロールの基本といてよい。

まず、吸着そのものによる除去剤(吸着剤)としての利用である。吸着剤とするには、すでに吸着している水蒸気や炭酸ガスなどガスを脱着して活性化させる必要がある。最も一般的な方法は熱処理である。両性元素であるケイ素や塩基性元素であるアルミニウムなどを主成分とする以上、活性化によって水蒸気はもちろん、アンモニアなどの塩基性ガスや硫化水素などの酸性ガスも吸着が増大するにちがいない。独特な芳香臭やフィトンチッド(他感物質)なども例外ではないはずである。同じガス吸着剤として知られる活性炭と比べてアンモニアガスで1~10倍(2~ 3×10^{-8} g/g)、硫化水素ガスで20~30倍(7~ 8×10^{-4} g/g)にもなるという実測例がある。水蒸気吸着量はさらに高く、吸水率で50%にも達する石材もある。エチレンについてはどうであろうか。実測したエチレン吸着量 1.1×10^{-7} g/g¹⁶⁾はこれらガスにはとうでいおよばない。2重結合によって電子的な分子歪みをもつ極性ガスであるものの、吸着量は少ない。やはりエチレンと同じ有機物で疎水的な活性炭がまさる。吸着要因のひとつともいえる疎水的な相互作用によるちがいとみてよいだろう。そのかわりエチレンが水に吸収され易い点は石材にとって有利といえよう(吸収係数0℃, 0.266; 25℃, 0.108)。

農産物を保蔵する環境は水蒸気が飽和気味であり、水蒸気を吸着飽和した石材がエチレンを吸収し易いことが示唆されよう。洞窟内の水蒸気をたっぷり吸った大谷石は一段とエチレン吸収能が高まっているにちがいない。エチレンばかりでなく、水に溶け易いアンモニアなどはなおさらである。また、フィルムを防曇性とするため練り込まれる界面活性構造の防曇剤(植物性の油脂類が中心で、水蒸気飽和に

伴うフィルム面での水滴形成をさまたげる)も例外ではないはずである。防曇性の持続に効果があるとみてよい。石材が吸水性であるメリットは少なくないのである。

最近、繭の用途拡大の一環として繭の中に石材を封入して保鮮剤とする試みがなされているが、繭そのものにエチレン吸着能があるわけではない。通常、保鮮剤は通気性の大きい紙や布などに封入包装して実用に供される。今のところ、繭はこれらの類のひとつとみてよい。封入する石材もいろいろと創意工夫されているらしく、ガスによっては吸着吸収能の高いものもあるようである。

次にのべなければならぬのはガスの吸着吸収性を利用したキャリア剤としての利用である。吸着吸収したガスを分解除去することがねらいである。分解は酸化によるのがほとんどであり、酸化剤による場合と酸化触媒剤による場合が知られている。臭素や過マンガン酸カリなどは前者の例であり、白金やパラジウムなどは後者の典型といえよう。同じように利用されているものに活性炭がある。特性に応じてケースバイケースの選択をすべきであろう。筆者らは空気中の酸素を活性ラジカルとし、これによって農産物より生成したエチレンをエチレンオキシドに酸化する触媒系を見出す研究をすでに始めているが、この場合もどちらかと言えば、キャリア剤としての石材利用といてよい。エチレンを除去すると同時にエチレンオキシドという抗菌性物質の生成による品質保持をねらいとしている。

4.3 フィルム改質材としての保鮮利用

先にのべたように大谷洞窟は低温多湿や脱臭の他に、脱エチレンの条件を備えた天然貯蔵庫といえよう。こうしたガス吸着吸収特性をもつ大谷石材を単にガス除去剤として利用する以上に、大谷洞窟をまねて何らかの基材で空間を構成するアプローチは何かもっと可能性を秘めているよう。空間構成基材は汎用性がある、包装でもなじみ深いフィルムにまさるものはない。石材を混入したフィルムづくりと特性解明の研究開発はこうしてスタートしたのである。

図8は低密度ポリエチレンに浸入した石材を示す電子顕微鏡像であるが、フィルム面の凸凹が明らかであろう。バルキーな石材によって樹脂が盛り上がった結果であるが、こうした凸凹によってざらざらした手触りをあたえる。でこぼこ状のフィルム面をもつ、これがひとつの特徴となっている。でこぼこ状であるためにとくに袋包装にあたっては農産物との

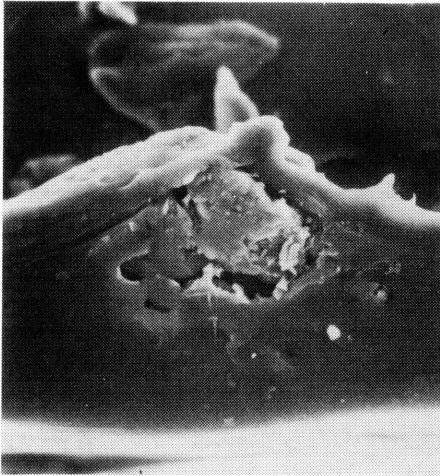


図8 フィルムの断面SEM像
(1000倍, 島津EMX-SM7による)

摩擦が小さくなり, 出し入れに伴う物理的劣化が大幅に軽減された。とくに, ニラやハウレンソウ, シュンギクなど軟弱野菜で効果的であった。

さらに, フィルムに練り込まれている防曇剤によるべとつきが軽減されるなど, 作業性向上のうえで果した機能は少なくない。石材を混入しないで通常の平面にフィルム化した場合と比べて, その差異は明らかであった。図9はフィルム厚みを実測した結果である。フィルム面の凸凹によって測定値はバラつき, 重量換算値との差が大きい(比重, 樹脂0.92; 石材2.50)。とくに, 重量換算で35 μ mのフィルムが著しい。厚みが小さくなるにつれてバルキーな石材による凸凹がひどくなるのであろう。フィルム厚みはガス透過性などフィルム特性を評価するうえで基本的なファクターとなるので, モデルによって理解を深めることとする。

図10はフィルム断面を示すモデル図である。いま, 等質であることを前提としてフィルムに散在する石材をひとつの石材層(y)とし, 樹脂層(x)とに分けることとする。然らばフィルム厚みは次のように表わされよう。

$$\text{厚み} = \text{樹脂層}(x) + \text{石材層}(y) = x + y$$

…フィルム1

フィルム面の形状による差異をなくすために, 石材のかわりに樹脂を置換したモデル(3)を仮定する。同じく, この場合のフィルム厚みも次式で表わせよう。

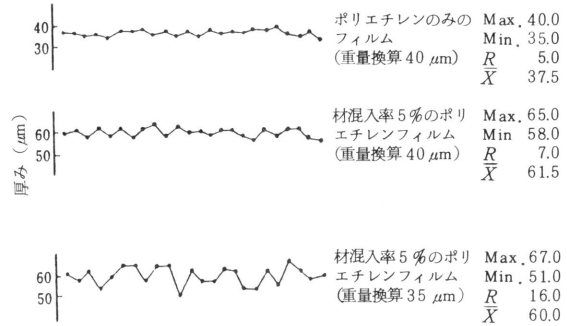


図9 フィルムの厚み
通常の方法で横方向に24カ所測定した

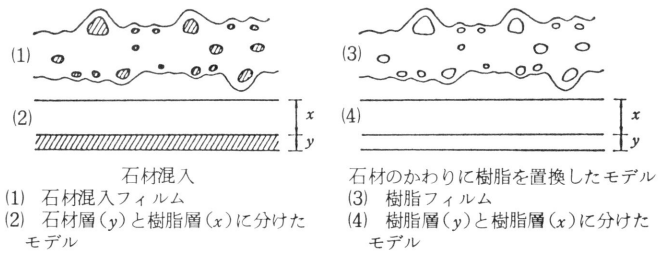


図10 フィルム断面のモデル

$$\text{フィルムの厚み} = \sum \text{樹脂層} + \sum \text{石材層} (\sum \text{樹脂層}) = x + y$$

$$\text{フィルム厚み} = \text{樹脂層}(x) + \text{樹脂層}(y) = x + y$$

…フィルム2

フィルム1, フィルム2でちがっているのは石材か樹脂かという材質だけである。次に示す((1)式)

$$\frac{d_m}{d_t} = Dq \frac{d_c}{d_x} \tag{1}$$

d_m : 透過量

d_t : 時間

d_c : フィルム内外のガス濃度勾配

d_x : 厚み

q : 断面積

D : 拡散定数(=KT/B, B: 摩擦抵抗, K: ボルツマン定数, T: 絶対温度)

は拡散によるガス透過の基本ともいべきFickの式である。材質による差異は, 拡散定数Dを構成する摩擦抵抗Bの差となってあらわれることがわかるであろう。摩擦抵抗Bは気孔率が高く多孔質の石材で劣ることは明らかである。もちろんガスによっては吸着除去されるだろうから, 拡散透過はますます促進されよう。すなわち石材の混入によってガスが拡散透過し易いように改質できるということである。さらに, 石材の特性によっては, 例えばガスの分子

ふるい効果なども期待できよう。また、石材の量によって改質が進むことも然りである。

図 11 はエチレンの吸収透過を実測した結果である。混入石材量は 5% (重量比) と少ないので吸収透過の効果は低いものの、石材によってエチレンが吸

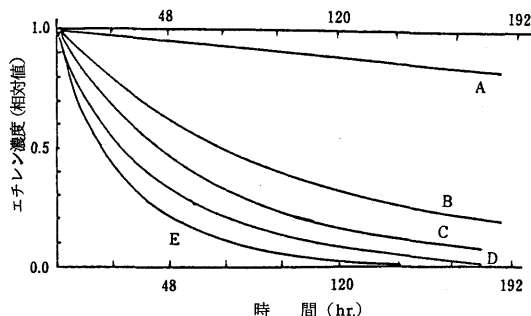


図 11 吸収透過によるエチレンの減衰

- A: エチレンバリア性の高いフィルム
 B: ポリエチレンフィルム (T 40 μm , \bar{X} 37.5 μm)
 C: 同 上 (T 30 μm)
 D: 材 5% 混入ポリエチレンフィルム (T 40 μm , \bar{X} 61.5 μm)
 E: 材の混入率が高いポリエチレンフィルム (混入率 10~20%)
 D および E: 防曇処理 T : 重量換算値
 (容量 374 ml, フィルム面積 138.86 cm^2 , エチレン初濃度 \approx 5 ppm での比較, 温度 20~25 $^{\circ}\text{C}$)
 * 相対湿度 65~70%

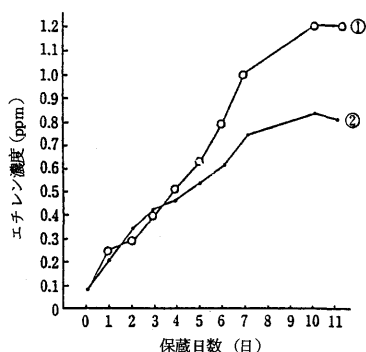


図 12 ニラ (葉部) のフィルム包装内エチレンガス濃度の経時変化

ガス採取用 2 重ゴム栓口をとりつけた縦 60 cm \times 横 20 cm (表面積 2,400 cm^2) のフィルム袋に収穫直後のニラ (葉部) 317.5 g を葉先が上向きなたて姿勢でいれ、フィルム袋口を密封して低温庫 (温度 5 $^{\circ}\text{C}$, 相対湿度 35%) に保蔵し、経時にガス濃度を測定した。

収透過し易く改質されることは確かであろう。農産物を保蔵 (包装) した実測例を図 12 に示す。改質されたフィルムでエチレン濃度が低く推移しており、改質による効果が明らかであろう。同じようなことが炭酸ガスや酸素ガスについてもいえるが、水蒸気に対してはそれほど変わらなかった。これには石材の示す高い吸水性能が関係しているとみられている。石材を混入することによって、弱小ながらも吸収透過するガスに選択性が生じる、これもまたひとつの大きな改質であろう。このような改質はフィルム包装による保鮮にとって好ましい特性といえてよい。改質は混入石材の増量によって進むはずであるが、増量に伴ってフィルム物性が変わってくることは避けられない。厚みも増して固く曲げ難くなるので、包装用としては限度があることはいうまでもない。

さらに、こうしたセラミックスの一種ともいえる石材が常温付近で微弱な遠赤外光を発することは注目ししよう。フィルムに混入してもそれほど変わらないのである。現在のところ保鮮するうえで有効とする決め手はないが、静菌などに効果がありそうである。石材を混入したフィルムに保蔵 (包装) したニンジンにカビがほとんど生えなかったのはなぜであろうか。

段ボール箱などの内側にクリストバライトなど石材を層状に塗付することによって保鮮する試みも、石材の改質材としての特殊な利用形態といえてよい。図 10 のモデル (2) に相当しよう。石材が表層に分布しているので、ガスの吸着除去が迅速であることはいうまでもない。そのうえ通気性の大きい段ボールをベースとしているので、吸収透過にもすぐれているなど利点が少なくない。また、石材混入フィルムを段ボール箱の内側に張り合わせてガスをコントロールする試みがなされるなど、石材の特性を利用した保鮮のための資材開発が活発になりつつある。

5. 鮮度保持システム (鮮蔵庫)

高湿度や高炭酸ガスおよび低酸素などのガス条件がエチレン抑制にとって効果的であることは疑う余地がない¹⁷⁾。フィルム包装もこれらガス条件を利用した鮮度保持法といえよう。フィルムに混入した多孔質石材はガス条件を変えるための改質材であったのである。エチレンを徹底的に制御するという見地から、筆者らはガス拡散に有効な減圧条件を加えた、保冷を前提とするエチレン制御のシステムを開発中である。低温、高炭酸ガスおよび低酸素などによ

てエチレン代謝そのものを抑制し、それでも生成したエチレンは減圧(微減圧)によってすみやかに体外への拡散をはかり、次いでエチレンをガス移動によって除外する3段階制御のシステムとなっている¹⁸⁾。現在、スダチ果実など2,3の農産物で実験を重ねているが、広範囲に応用できそうである。

6. おわりに

農産物の生理機能を制御しつつ品質保持のマーカーとしてダイナミックかつ非破壊的に定量できるところにホルモンガス、エチレンの強みがあるといえよう。ガスを吸着吸収し易い構造の大谷石、ゼオライトなど多孔質石材はガス制御剤として鮮度保持と切っても切れない関係になりつつある。資源的にも恵まれているので、広範囲な応用もできよう。現在、筆者らは触媒系をセットした機能の開発に意欲を燃やしている。

引用文献

- 1) F. B. Abeles, *Ethylene in Plant Biology*, Academic Press, New York and London, 197 (1973)
- 2) 今関英雄, 植物生理学7, 朝倉書店, 東京, 145 (1981)
- 3) D. Neljubov, *Beih. Bot. Zentralbl.*, **10**, 128 (1901)
- 4) 太田保夫, 個別大気汚染〔エチレン〕, 環境汚染と指標生物(松中昭一編), 朝倉書店, 東京, 134 (1978)
- 5) D. O. Adams, S. F. Yang, *Plant Physiol.*, **60**, 892 (1977)
- 6) K. H. Yung, S. F. Yang and F. Schlenk, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **104**, 771 (1982)
- 7) Ed., M. Lieberman, *Post-Harvest Physiology and Crop Preservation*, Plenum Press, New York and London (1981)
- 8) 中山正義, 太田保夫, 横田 清, 農業および園芸, **48** (2), 1533 (1973)
- 9) 漆崎末夫, 長嶋直樹, 太田保夫, 農業および園芸, **60** (10), 1308 (1985)
- 10) S. Urushizaki, *Ann. Rept. NIAR*, **1**, 33 (1985)
- 11) 武田吉弘, 太田保夫, 農業および園芸, **58** (6), 79 (1983)
- 12) ゼオライトとその利用編集委員会, ゼオライトとその利用, 技報堂, 東京 (1967)
- 13) 大谷石材協同組合, 新製品・新技術および新市場の開拓—天然ゼオライト(大谷石含有)の開発—, 1 (1979)
- 14) R. M. Barrer, *Brenn. Chem.*, **35**, 325 (1954)
- 15) R. M. Barrer, *Brit. Chem. Eng.*, **4**, 267 (1959)
- 16) 漆崎末夫, 62 (秋)園芸学会シンポジウム講演, 145 (1987)
- 17) A. A. Kader, *Hort. Science*, **20**(1), 54 (1985)
- 18) 漆崎末夫, 井部和彦, 松本 豊, 是久和郎, 特願昭62-118777 (1987)