青果物のポリアミン代謝調節機構の 解明に関する研究[†]

太田 英明*

Study on polyamine metabolism in selected fruits and
vegetables at post harvest stage

OHTA Hideaki*

*Department of Food Science and Nutrition, Nakamura Gakuen University
5-7-1 Befu, Johnan-ku, Fukuoka-city, Fukuoka 814-0198

昭和40年の科学技術庁資源調査会の「食生活の体系的改善に資する食料流通体系の近代化に関する勧告」(コールドチェーン勧告書)を契機に、青果物流通利用分野において生理代謝に関する基礎研究から、流通技術の研究開発ならびにその実用化に向けて幅広い研究が取り組まれてきた。しかしながら、今なお青果物の生産地から消費地までの低温流通が完備されているとは言えず、実用的な流通技術の開発と合わせ、流通過程における青果物の生理代謝等に関する基礎研究の推進が強く求められている。

筆者らは、農林水産省中国農業試験場において農産物の流通技術研究を担うために組織された流通技術研究室で、1988年から1996年までの約8年間、青果物の流通技術の開発研究ならびに収穫後生理に関する研究を推進してきた。すなわち、流通技術に関しては、いわゆる「機能性プラスチックフィルム」等の包装資材の評価試験研究^{1)~5)}、予冷-ガス制御の組み合わせによる流通技術の開発研究^{6), 7)}、さらに適正MA包装に関する研究として取り組んできた。また、青果物の収穫後生理に関する研究に関しては、流通過程におけるイチゴ果実の軟化機構の解明^{8), 9)}、ならびにエチレン生成との関連で開始したポリアミン代謝に関する基礎的研究を実施してきた。

本稿では、植物ホルモンには属さないものの、生育促

進、老化抑制などの多様な作用を持つ植物生理活性物質ポリアミンを対象に、収穫後の野菜・果実における代謝調節機構の解明を試みた筆者らの研究を中心に、植物ポリアミンの研究動向について述べる。具体的には、ポリアミンの代謝に関する従来の知見、ポリアミンの分析法の確立、収穫後のブロッコリーにおけるポリアミンとエチレンとの関連、ポリアミン代謝調節機能の解明を目指したバナナおよびカイワレ大根子葉を用いた研究成果に関して記述する。

1. 植物ポリアミンとその代謝¹⁰⁾

ポリアミンは、化学的に第一級アミノ基を二つ以上有する直鎖状の脂肪族炭化水素の総称である。通常トリアミン以上の多価アミン類を意味する場合が多いが、ここでは植物における代謝から意味をもつものとして、ジアミンのプトレシンやカダベリン、トリアミンのスペルミジン、テトラアミンのスペルミン、ならびに代謝中間体のマグマチンを対象に取り扱う (Fig. 1)。このポリアミンは生物一般に数mMから数十mMの濃度で普遍的に存在し、核酸やタンパク質合成の促進、核酸との相互作用による核酸の安定化と構造変化、物質の膜透過性の強化などの機能が認められている。このポリアミンは、植物の部位、生育過程でポリアミンの種類と含量が大きく

[†]平成10年度日本食品保蔵科学会学会賞

*中村学園大学食物栄養学科 (〒814-0198 福岡市城南区別府5-7-1)

Fig. 1 Structures of polyamines

相違することが示されており^{36), 37)}, 特に老化抑制としての役割を持つことも報告されている¹¹⁾。

植物におけるポリアミンの代謝経路をFig. 2に示した(ここでは後述する阻害剤の作用点も合わせて示している)。ポリアミンの合成は、一般にアミノ酸(オルニチン, アルギニン, リジン)の脱炭酸化およびそれに続くアミノプロピル基の転移によって行われる。その生合成は2つの経路がある。動物にもみられる第1の経路はオルニチンから脱炭酸化によって、プトレシンが生成する経路であり、この反応を触媒するのがオルニチンデカルボキシラーゼ(ODC)である。この経路に加えて、植物には第2の合成系として、アルギニンの脱炭酸化反応を受けてマグマチンを生じ、さらにプトレシンに代謝される経路が確認されている。このアルギニンからマグマチンへの変換を触媒するのがアルギニンデカルボキシラーゼ(ADC)である。植物が二種類のポリアミン合成系を有していることは、大変興味深い。

ところで、もう一つのジアミンであるカタペリンはリジンの脱炭酸化反応によって生じ、この反応に関与するのがリジンデカルボキシラーゼである。

次に、プトレシンからスペルミジンに、スペルミジンからスペルミンに生合成される。スペルミジンはプトレシンにアミノプロピル基が供与されて生じる。また、スペルミンはさらにもう1つアミノプロピル基が結合して生じる。スペルミジンを生成するのがスペルミジンシンターゼ、スペルミンを生成するのがスペルミンシンターゼである。アミノプロピル基は脱炭酸化S-アデノシルメチオニン(dSAM)より供与される。dSAM自体はS-アデノシルメチオニン(SAM)よりSAMデカルボキ

Fig. 2 Pathways of polyamine and ethylene biosyntheses and inhibition points of their inhibitors

DFMA, difluoromethylarginine;
DFMO, difluoromethylornithine;
MGBG, methylglyoxal bis (guanyldihydrazone);
CHA, dicyclohexylamine;
AOA, aminooxyacetic acid;
NBD, norbornadiene
SAM, S-adenosylmethionine;
dSAM, decarboxylated S-adenosylmethionine;
MTA, 5'-methylthioadenosine;
ACC, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid.

シラーゼによる脱炭酸化反応によって生じる。この反応がスペルミジンやスペルミン合成の律速段階だと考えられている。

上述のように脱炭酸化S-アデノシルメチオニン(dSAM)は、エチレンの生合成で良く知られるメチオニンから代謝されたSAMの脱炭酸反応によって生じることから、エチレンとポリアミン双方の代謝でSAMがともに必要とされている。この共通の前駆体を持つことが代謝調節機構を考える上で極めて興味深いものになっている。すなわち、エチレン生成系に傾くとSAMから1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸(ACC)が生じ、エチレンを生成し老化が促進され、一方、ポリアミン生成の系に傾くと老化が抑制されるとするEVEN-CHENら¹²⁾の仮説であり、その検証はポストハーベスト研究に携わる筆者らの大きな関心事であった。

2. 植物ポリアミンの分析方法¹⁵⁾

この種の研究では、鋭敏かつ簡便な分析方法が必要であるが、従来法は^{13)~16)}, 主としてポリアミンをダンシル化、あるいはベンゾイル化して、薄層クロマトグラフィー(TLC)あるいは高速液体クロマトグラフィー(HPLC)で分離し検出するため、操作が煩雑であり長時間の前処理を必要とした。また副反応物の妨害ピークも出やすいことから、多試料を短時間で処理には不都合であり容易な抽出・分析方法が求められていた。そこ

Fig. 3 Schematic diagram of the HPLC system

A postcolumn reaction was prepared by adding 2.0ml of 2-mercaptoethanol, 2ml of 30% Brij 35 and 0.8g of OPA dissolved in 20ml of wthanol to 980ml of 0.4M boric acid containing 0.4M potassium hydroxide, and protected from light.

で、遊離アミノ酸を鋭敏な感度で分析できる蛍光検出器を用いたHPLCを参考に、分離したポリミアンをオルトフタルアルデヒド (OPA) とチオールで蛍光誘導体に変えるポストカラムHPLC法による分析法を検討した^{17), 18)}。

本研究で設定したHPLC分析の構成図をFig. 3に記載した。試料中のポリアミンを5%過塩素酸の強酸性溶液で抽出、水中にてタンパク質等を沈降 (1時間)、遠心分離後、カラムに酸性アミノ酸を分離するための強酸性交換樹脂 (Polyamine Pak) を装着したHPLCに注入、移動相に10%アセトニトリル含有クエン酸ナトリウム溶液を用いて、分離後、OPA試薬と反応させ、その誘導体を蛍光検出器で分析する方法である¹⁹⁾。

本方法によって、当該ポリアミン類5種類はプトレシン4.8分、カタベリン12.0分、スベルミジン16.5分、アグマチン26.5分、スベルミン41分と完全に分離し、各ポリアミンとも0~5 nmoleでピーク積算値と濃度との間に相関係数0.991から0.999の良好な直線関係が得られた。実際の青果物素材 (ホウレンソウ等) を用いた各ポリアミンの回収率は95~100%と高値を示し、その簡便な抽出法を合わせ多数の植物試料を容易に分析できることが

Fig. 4 Effect of temperature on the ethylene evolution from broccoli during storage

可能となり、以後の試験には本方法を適用した。

3. 貯蔵温度が収穫後ブロッコリーのポリアミンとエチレンに及ぼす影響²⁰⁾

植物 (青果物、穀類) の生育途上におけるポリアミンと温度 (特に低温) に関する報告はいくつかある。例えば、WANG²¹⁾はキュウリの実生を低温処理するとプトレシンやスベルミン含量には変化なく、スベルミジン含量が増大することを示した。またNADEAUら¹⁶⁾は小麦が低温下でプトレシンを蓄積することを報告している。収穫後の青果物に関しては、筆者らが葉菜類に関して貯蔵温度がポリアミン含量に関する影響を調査した報告³⁵⁾以外、青果物ポリアミンの挙動はほとんど知られていない。

そこで、収穫後の鮮度保持試験に最も広く利用されるブロッコリーを用いて、低温貯蔵中におけるポリアミンとエチレンの関連を追究した。本試験では、現状の流通過程を想定し、室温区として23°C、低温区として2°Cと合わせ、2日後に2°Cから23°Cに温度を変化させた試験区と、その反対に2日後に23°Cから2°Cに温度を低下した試験区を設定した。

ブロッコリー花蕾の貯蔵中のポリアミン含量変化をFig. 4に示した。2°C区で貯蔵するとプトレシン含量が増大し、反対に23°C区ではプトレシン含量は急速に減少した。また貯蔵途中で温度を23°C→2°Cに変える変温区では、温度を変更した実験開始2日後のレベルを保持していた。一方、2°C→23°Cの変温区では、急速にプトレシン含量が低下して、以後23°C区とほとんど同じレベルで推移した。

スベルミジンに関してはプトレシンとはかなり異なる

Fig. 5 Effect of temperature on the putrescine content of broccoli during storage

パターンが観察された。すなわち、2℃区でスベルミジン含量が増大することではなく、次第に減少する傾向がみられた。23℃区ではやはりスベルミジン含量が低下するものの、プトレシンの場合と比較すると低下速度は緩やかで、特に貯蔵2日後までの低下は僅かであった。2℃→23℃の変温区では変温1日後までは低温の2℃区と変わらなかったが、その後は直線的に含量が低下していった。23℃→2℃の変温区では変温1日後は23℃区と同様に含量が低下したが、それ以降は含量の減少が止まり、実験開始3日後(変温開始1日後)のレベルを保持していた。

MACDONALDら²²⁾は、このプトレシン蓄積がカンキツ類の低温障害時に生ずることを認め、低温障害の程度とプトレシン濃度が比例することからプトレシン蓄積が低温障害の原因ではないかと考察している。しかしながら、本試験におけるブロッコリーの場合、2℃下では特に低温障害は観察されなかった。もともとブロッコリーは低温に対する耐性が高い野菜のため、上記のプトレシンの増加は低温障害の原因ということは考え難く、逆に低温下でのプトレシンの蓄積が花蕾の老化抑制に役立っている可能性が考えられた。

貯蔵中におけるエチレン生成量をFig. 5に示した。図から明らかなように、23℃室温区ではエチレン生成量が大きく、4日後1g当たり1.49nl/時の最高値を示した。これに対して、2℃区では、エチレン生成はほとんど認められない。2日後に23℃から2℃へ温度を低下させた変温区でも、低温区同様にその発生は認められなかった。反対に、2℃から23℃に上昇させたものは、エチレンが発成し、1g当たり1nl/時の生成量になっていた。

このようなポリアミンとエチレンの拮抗関係に着目し

Fig. 6 Ethylene evolution by unchilled (23°C; ○), chilled (2°C; ●), and rewarmed (2→23°C; ▲) whole banana fruit

た従来の研究は他にも報告されている。すなわち、*Tradescantia*の花弁²³⁾、リンゴのプロトプラスト²⁴⁾を用いた試験では、ポリアミン添加がエチレン生成を抑制することが認められている。反対に、エンドウ実生²⁵⁾では、エチレンを与えることでポリアミン生成が抑制されることが示されており、ポリアミンがエチレンと逆の関係を示すことが報告されてきた。

上述のように、筆者らの試験によって収穫後の段階でも、ブロッコリーのエチレン生成が認められない低温の2℃区で貯蔵するとプトレシン含量が増大し、反対にエチレン生成が盛んに認められる23℃区ではプトレシン含量が急速に減少することが初めて確認された。この知見は生成するポリアミンおよびエチレンの濃度差はあるものの、収穫後でも一見したところ、老化促進ホルモンのエチレン生成に伴いポリアミンが低下するという先の仮説と類似していた。

4. バナナ追熟過程におけるポリアミンとエチレン²⁶⁾

エチレンは多くの果実の成熟促進に必要とされている。一方、ポリアミン含量はアボカド²⁷⁾、エンドウ²⁸⁾、トマト²⁹⁾ではクライマクテリックエチレンの生成の開始とともに減少する。特に、非成熟変異トマトでは内生エチレンの生成が観察されず、果実の生育とともにポリアミン含量やポリアミン代謝関連の酵素の活性化が起こることが示されている³⁰⁾。このように成熟に関してポリアミンとエチレンは逆の作用を示す場合が多い。

この興味ある収穫後段階におけるポリアミンとエチレンの代謝調節機構の解明を目的に、典型的なクライマクテリック型果実のバナナを用いて、追熟過程におけるポリアミンとエチレンの挙動に関して試験を実施した。

供試したバナナはエチレングス未処理の緑熟期のもの

で、果実を1個ずつ切り分けて、ブロッコリー同様、低温区として2℃、室温区として23℃、および変温区の3つの試験区に分けて暗所中で保存した。変温区では2日間2℃の低温区で貯蔵した後に23℃区に移して貯蔵した。試料のバナナは果皮と果肉に分けて、それぞれ分析した。

バナナ果実の貯蔵中におけるエチレン発生量の変化をFig. 6に示した。23℃貯蔵区、および2℃から23℃への変温区において、ほぼ同様に実験開始4日後からエチレンの発生が始まり、6日後にエチレン生成がピークに達し、果皮の黄化と果肉の軟化が観察された。反対に、2℃区では、試験した10日間にわたってエチレン生成も全く認められず、果皮は次第に緑色から黒褐色に変色

し、典型的な低温障害の症状を呈した。

この時のバナナ果肉および果皮におけるプトレシン含量の変化をFig. 7に示した。果肉に関して、エチレン生成とともに追熟がみられる23℃区と、2℃から23℃に変更した変温区では、当初の予想に反して、貯蔵4日後からプトレシン含量が逆に増加し始め、6～7日後、すなわちエチレン生成が最大となる日数では当初の約4倍にも増大していた。これに対して、2℃の低温区では全試験期間にわたって、実験開始時と同じ、約40 nmole/gのプトレシン濃度で推移していた。

果皮に関しても、やはり果肉の場合同様の傾向がみられたが、プトレシン含量増大の開始は果肉の場合より1～2日早まっていた。一方、果肉および果皮におけるスベルミジン含量は全試験期間にわたって、果肉・果皮ともに実験開始時とほぼ同じレベルの含量を維持していた。

25℃下のアボガド果実においてエチレン生成に伴ってプトレシン、スベルミジンおよびスベルミン含量が減少すること²⁷⁾、ポリアミン含量とエチレン生成が逆になる関係はトマト果実^{29), 30)}でもみられるなど、従来研究例から、エチレン生成に伴ってプトレシン含量が減少するだろうと期待した。しかしながら、予想に反して本試験によって、バナナの追熟過程ではプトレシン含量が顕著に増大、エチレン生成とプトレシン蓄積が平行関係にあるということが判明した。このことはエチレンとポリアミンの拮抗関係が一般的でないことを示すものである。

一方、植物においてポリアミンは遊離型の他に結合型でも存在する。結合型ポリアミンはクマル酸およびコーヒー酸などのフェノール酸³¹⁾やタンパク質³²⁾と結合している。これら結合型ポリアミンの生理的役割としては一種のファイトアレキシン(抗菌物質)として作用する例が報告されているが一般的には解明されていない。

この結合型ポリアミンから遊離のポリアミンが生成する可能性も否定できなかった。このため、プトレシンに関して両者の含量を求め、その結果をTable 1に示した結合型に関してトリクロロ酢酸で処理し、遠心分離した

Fig. 7 Putrescine contents in pulp and peel tissue of unchilled (23℃; ▲) whole banana fruit

Table 1 Free and bound polyamine contents of banana fruit stored at 23℃ and 2℃

Days after storage (day)	Pulp putrescine content ^a		Peel putrescine content ^a	
	free	bound	free	bound
0	20.9±2.1	3.8±1.4	25.9±1.8	2.2±0.1
7 (2℃)	27.1±1.7	2.9±1.3	27.5±1.8	3.7±2.4
(23℃)	131.9±11.3	32.4±8.0	79.9±6.1	14.4±1.3

^aValues are means (nmol/g fr. wt.)±S. D. (n=4)

Fig. 8 Ethylene production of pieces of green banana fruit after cutting treatment (25°C)

沈澱からはプトレシンが検出されなかったで、ここでは上澄液の加水分解物の値のみを示した。結合型プトレシン含量は実験開始時の果肉で遊離型の約18%, 果皮で8.5%と低値であった。遊離型および結合型プトレシンに関して、7日後の2°C区では実験開始時とほぼ同じ値を示したのに対して、23°C区では顕著なプトレシン含量の増加が認められた。しかしながら、絶対的量は遊離型と比較すると少量であり、結合型プトレシンから遊離のプトレシンが生成するということは考えられず、遊離プトレシンは代謝生成したものと推測された。

5. バナナ切片のポリアミンとエチレン³³⁾

前項のバナナ追熟過程でエチレン生成とプトレシン蓄積がほぼ同時に生じる代謝制調節機構を解明するために、エチレン未処理の緑熟バナナ果肉をスライスした切片を25°Cに保管し、その時のエチレンおよびポリアミン含量の変化を調査した。

緑熟バナナの果肉切片におけるエチレン生成の様子をFig. 8に表した。切断したため、エチレン生成は果実全体の場合と違って、損傷で生じるエチレン(損傷エチレン)とみなされる。ここで切片に切断して約4時間からエチレン生成が認められ、6時間後にピークに達し、その後は減少した。同時に測定したプトレシンおよびスペルミジン含量の変化をFig. 9に示した。

プトレシン含量は切断処理後、約8時間のタイムラグで増加が認められ、24時間後には231 nmole/gに達していた。一方、スペルミジン含量の増加は僅かであった。エチレン生成との関連ではプトレシン蓄積が起くるのは、エチレン生成が開始されて4~5時間経過してからであり、そこでエチレン生成がプトレシンの蓄積に関与して

Fig. 9 Putrescine (●) and spermidine (○) contents in green banana fruit pieces after cutting treatment (25°C)

いる可能性も考えられる。いずれにしても、エチレン生成とプトレシン蓄積が同時に起こること、すなわち平行関係にあることは他の野菜、果実では報告が見当たらない。このため、代謝阻害剤を用い試験を実施した。

供試代謝阻害剤にはポリアミンとエチレン生成の代謝経路に阻害的に作用する6種類を用いた(代謝上の作用点はFig. 1参照)。すなわち、ポリアミン代謝では、アルギニンからマグマチンへの代謝を選択的に阻害するジフロロメチルアルギニン(DFMA)、オルニチンからプトレシンへの代謝を阻害するジフロロメチルオルニチン(DFMO)、プトレシンからスペルミジンを阻害するジシクロヘキシルアミン(CHA)の3種類を、一方、エチレン生成代謝関連では、S-アデノシルメチオニン(SAM)から脱炭酸化SAMへの代謝を阻害するメチルグリオキサグアニルヒドラジン(MGBG)、SAMからACCを阻害するアミノシクロ酢酸(AOA)、ならびにエチレンの結合部位に対して、拮抗的に結合しエチレン作用を阻害するノルボルナルジエン(NBD)の3種類の計6種類であった。

23°Cにおいて、それぞれの代謝阻害剤を含む溶液でバナナ果肉切片をインキュベートし20時間後のポリアミン含量とエチレン生成量をTable 2に要約した。

蒸留水のみを用いた対照区では、実験開始時と比較してプトレシン含量は374%増大し、スペルミジン含量は11%増加した。エチレン生成量は15 nl/gであった。

供試6種類の阻害剤のうち、プトレシン蓄積に対して阻害効果が認められたのは、アルギニンからマグマチンへの阻害剤DFMA、SAMから脱炭酸化SAMへの代謝を阻害するMGBG、SAMからACCを阻害するAOAおよびエチレン作用を阻害するNBDであった。

Table 2 Effects of DFMO, DFMA, MGBG, CHA, AOA and NBD on polyamine accumulation and ethylene evolution in sliced banana tissues incubated for 20 hr (23°C)

Treatment	putrescine (nmol/g fr. wt.)	spermidine (nmol/g fr. wt.)	ethylene (nl/g fr. wt.)
7.5mM DFMO	215.7±10.8	53.4±4.1	14.5±2.5
7.5mM DFMA	63.9±7.7	54.6±4.9	15.8±1.3
10mM MGBG	86.9±9.8	44.8±1.9	8.8±1.4
10mM CHA	280.4±35.1	—	12.5±0.4
5mM AOA	60.4±2.3	50.7±6.3	0
6mM/1NBD	70.9±5.5	57.0±1.3	28.5±4.3
Control	225.6±15.4	61.5±3.8	15.0±0.8
0 hr	60.4±4.1	53.2±4.2	0

ここで注目すべきものは、DFMAとAOA阻害試験結果であった。DFMOによる処理はプトレシン含量にはほとんど影響を与えなかったのに対し、DFMAはプトレシン含量を対照区より30%まで減少させた。このことは、プトレシン合成がアルギニン、マグマチン経路で行われていることを示唆していた。また、DFMOおよびDFMA処理した果肉切片でのエチレン発生量は対照区とほぼ同じ発生量であった。エチレン生成が認められる状態でも、DFMAによってプトレシン合成は阻害されており、プトレシンの蓄積によってエチレンが生成することは考えられない。

一方、ACC (1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸) シンターゼに対する阻害剤であるアミノオキシ酢酸 (AOA) で処理するとプトレシンおよびスpermidineの蓄積とエチレンの生成が完全に阻害された。すなわち、AOAによってエチレン生成が阻害されると、プトレシンの蓄積まで抑制された。つまり、バナナでは、エチレンがプトレシン蓄積に何らかに関与していることも推定される。このことは、エチレンの作用を阻害するNBD処理によってもプトレシンの蓄積が抑制されていることから、エチレンが生成することによってプトレシンが蓄積するという機構が考えられた。ただ、AOAはピリドキサルリン酸のアナログ (類似物) として作用するので、AOAはACC合成酵素のみならず、同じようにピリドキサルリン酸を必要とする酵素であるODCやADCが阻害された可能性もあり、この点はさらに追究が必要であろう。

上述のように、DFMAによりプトレシン蓄積が抑制されることから、プトレシンの増大は、ADCの活性に大きく依存しているものと推定される。このことをさらに追究するため、 ^{14}C でラベルしたアルギニンを用いてADCの活性を測定し、その結果をFig. 10に示した。

Fig. 10 ACD activity in green banana fruit after cutting treatment (●) and that of control (○)

未処理バナナ (対照区) では、ADCの活性は認められないものの、切断処理区ではエチレン生成にともない、その活性は直線的に増大し16時間後に最大の0.86 pkat/gに達しその後減少した。すなわち、プトレシン蓄積というポリアミン代謝は、オルニチン経路よりもアルギニンからの経路で調節されているという阻害剤試験の結果を支持していた。

以上、バナナではADC活性が大きく増大することによってプトレシン蓄積を生ずる調節機構が考えられ、阻害剤を用いた試験結果から、エチレンも関与する可能性も推定された。

6. カイワレ大根子葉のポリアミン³⁴⁾

先に植物が二種類のポリアミン合成系を有し、ODCおよびADCがポリアミン生合成の律速酵素であることを述べた。近年、両者の細胞内における局在性は異なり、ODCは細胞質および核内に存在し、ADCは主に細胞質 (クロロプラスト) 中に存在すると考えられている⁷⁾。

上述の試験結果から、この細胞内の局在性が異なることに対応して両酵素は生理的な役割も異なるように見受けられる。すなわち、ODCは細胞周期や細胞分裂に、また、ADCは生理ストレス反応に関与すると思われる。

収穫後段階における野菜のポリアミン代謝においても、このADCの役割をより明瞭にする必要に迫られた。そこで収穫後の野菜を模倣した単純な系として、切り放したカイワレ大根の子葉を利用して、同様な研究を実施した。カイワレ大根子葉を20℃と4℃に貯蔵した時のプトレシン含量の変化を調査した結果、先のブロッコリー同様に、低温区の4℃下でプトレシンの顕著な増加が認められ、実験開始の25 nmole/gから、3日後では98 nmole/gまで約4倍も増大していた。また、¹⁴Cでラベルしたアルギニンおよびオルニチンを用いて、低温下でのADCおよびODC活性を調査した結果から、ODC活性に変化はないものの、ADC活性は実験開始の0.5 nmole/hr/mg proteinから18時間後には2.1 nmole/hr/mg proteinと約4倍の活性増大が観察された。すなわち、ADC活性の顕著な増大とプトレシン含量の増加と連動していることが認められた。

以上、一連の研究は収穫後の青果物におけるポリアミン代謝調節にアルギニンデカルボキシラーゼ (ADC) が重要な役割を演じていることを示すとともに、流通過程における青果物の生理的変化の特性をポリアミンレベルからより明瞭にすることができた。

最後に本研究の遂行に際し、厚意あるご援助を賜りました実践女子大学名誉教授の三浦洋先生ならびに本学会会長の木村進先生に衷心より感謝申し上げます。本研究は、農林水産省中国農業試験場流通技術研究室(1988年から1996年)で実施されたものである。共同研究者の奥座宏一博士(現農林水産省食品総合研究所)、科学技術庁特別研究員の武田祐子博士ならびに中国農業試験場の野方洋一、楠本憲一両主任研究官に心より感謝申し上げます。

文 献

- 1) 太田英明・奥座宏一・中谷明雄・椎名武夫・井尻勉・石谷孝佑：日食低温誌，**17**，106 (1991)
- 2) 太田英明・中谷明雄・斎尾敏正・奥座宏一・野方洋一・石谷孝佑：近畿中国農業研究，**82**，43 (1991)
- 3) 奥座宏一・太田英明・野方洋一・石谷孝佑：日食工誌，**39**，800 (1992)
- 4) 奥座宏一・野方洋一・前田万里・太田英明：近畿中国農業研究，**83**，90 (1992)
- 5) 奥座宏一・野方洋一・武田祐子・子役丸孝俊・太田英明：日食低温誌，**19**，107 (1993)
- 6) 打田 宏・中村 洋・太田英明：日本包装学会誌，**4**，33 (1995)
- 7) 太田英明：日本真空工業会誌，**10**，7 (1989)
- 8) NOGATA, Y., OHTA, H. and VORAGEN, A. G. J.: *Phytochemistry*, **34**, 617 (1993)
- 9) NOGATA, Y., YOZA, K., KUSUMOTO, K. and OHTA, H.: "Pectins and Pectinase" ed. By VISSER, J. and VORAGEN, A. G. J., ELSEVIER, AMSTERDAM, pp. 591~596 (1996)
- 10) SMITH, T. A.: *Annl. Rev. Plant Physiol.*, **36** 117 (1985)
- 11) KUAR-SAWHNEY, R. and GALSTON, A. W.: "Physiological and Biochemical Studies on Anti-senescence Properties of Polyamines in Plant", In "Biochemistry and Physiology of polyamines in Plants" ed. By SLOCUM, R. D. and FLORES, H.E., CRC press, London, pp. 201~211 (1991)
- 12) EVEN-CHEN, Z., MATOO, A. K. and GOREN, R.: *Plant Physiol.*, **69**, 385 (1982)
- 13) REGGIANI, R., GIUSSANI, P. and BERTANI, A.: *Plant Cell Physiol.*, **31**, 489 (1990)
- 14) REDMOND, J. W. and TSENG, A.: *J. Chromatogr.*, **170**, 479 (1979)
- 15) DIBBLE, A. R. G., DAVIES, P. J. and MUTSCHLER, M. A.: *Plant Physiol.*, **86**, 338 (1988)
- 16) NADEAU, P., DELANEY, S. and CHOUINARD, L.: *Plant Physiol.*, **84**, 73 (1987)
- 17) ZAMBONIN, P. G., GUERRIERI, A., ROTUNNO, T. and PLAMISANO, F.: *Anal. Chim. Acta*, **251**, 101 (1991)
- 18) HYVÖNEN, T., KEINÄNEN, T. A., KHOMUTOV, A. R., KHOMUTOV, R. M. and ELORANTA, T. O.: *J. Chromatogr.*, **574**, 17 (1992)
- 19) OHTA, H., TAKEDA, Y., YOZA, K. and NOGATA, Y.: *J. Chromatogr.*, **628**, 199 (1993).
- 20) OHTA, H., YOZA, K., TAKEDA, Y. and NOGATA, Y.: *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**, 831 (1993)
- 21) WANG, C. Y.: *Physiol. Plant*, **69**, 253 (1987)
- 22) MACDONALD, R. E. and KUSHAD, M. M.: *Plant*

- Physiol.*, **82**, 324 (1986)
- 23) SUTTLE, J. C.: *Phytochemistry*, **20**, 1477 (1981)
- 24) APELBAUM, A., BURGOON, A. C., ANDERSON, J. D., LIEBERMAN, M., BEN - ARIE, R. and MATOO, A. K.: *Plant Physiol.*, **68**, 453 (1981)
- 25) APELBAUM, A., GOLDLUST, A. and ICEKSON I.: *Plant Physiol.*, **79**, 635 (1985)
- 26) TAKEDA, Y., YOZA, K. NOGATA, Y. KUSUMOTO, K., VORAGEN, A. G. J. and OHOTA, H.: *Phytochemistry*, **46**, 57 (1997)
- 27) WINER, L. and APELBAUM, A.: *J. Plant Physiol.*, **126**, 223 (1986)
- 28) TOUMADJE, A. and RICHARDSON, D. G.: *Phytochemistry*, **27**, 335 (1988)
- 29) BAKANASHIVILI, M., BARKAI - GOLAN, R., KIPELIOVITCH, E. and SAFTNER, R. A. and APELBAUM, A.: *Physiological and Molecular Plant physiology*, **31**, 41, (1987)
- 30) SAFTNER, R. A. and BALDI, B. G.: *Plant physiol.*, **92**, 547 (1990)
- 31) EVANS, P. T. and MALMBERG, R. L.: *Annl. Rev. Plant Pathol. Molecul. Biol.*, **40**, 235 (1989)
- 32) MIZRAHI, Y., APPLEWHITE, P. B. and GALSTON, A. W.: *Plant Physiol.*, **91**, 738 (1989)
- 33) YOZA, K. TAKEDA, Y., SEKIYA, Y. NOGATA, Y. and OHTA, H.: *Phytochemistry*, **42**, 331 (1996)
- 34) YOZA, K. and OHTA, H.: Unpublished data.
- 35) 武田祐子・與座宏一・野方洋一・太田英明：園学雑, **62**, 425 (1993)
- 36) GALSTON, A. W.: *BioScience*, **33**, 382 (1983)
- 37) 武田祐子・與座宏一・野方洋一・太田英明：園学雑, **62**, 655 (1993)
-