

果実の成熟(追熟)とエチレン

兵 藤 宏 Hiroshi HYODO
静岡大学農学部

果実の一生は、開花、受精(単為結果の場合もある)に始まり、細胞分裂、肥大により生育が進み、やがて十分な成育段階に達する。この時点で、果実は成熟(ripe)し、食することができるが、ある種の果実では成育後、樹上から果実を収穫し、追熟(後熟; ripening)させることが必要である。この種の果実の典型的なものとしては、アボカド、バナナがある。我々人間が果実を利用する場合には、成熟、追熟した果実を用いている。ここで成熟という言葉は、生物学的というより、果実を食することができるかどうかという人間の利用の概念が入っている。英語においても“ripen”という語は古代サクソン語“ripi”(収穫するとか集めるという意)から由来し⁽¹⁾、生物学的には厳密な意味を持っていないらしい。

一方、果実の個体の一生をみると、成育段階から成熟(追熟)段階に移行するときに、生理学的、生化学的に大きな変化がみられる。すなわち、呼吸の増大、クロロフィルの分解、果肉の軟化、揮発性物質、芳香の生成、でんぶんの糖化などである。この中でも、KiddとWest⁽²⁾によりクリマクテリック(climacteric—更年期)と名づけられた呼吸の増加は特に有名であり、また成熟現象の一つの大きな指標となっている。これらの変化は、果実の生長から老化(senescence)への移行現象ともみなすことができる。Biale⁽³⁾はクリマクテリックについて次のように述べている。

“The climacteric rise might be considered as the stage in fruit physiology which delineates between development and maturation on one side and senescence on the other. It can be looked upon as the

beginning of the end”.

クリマクテリック呼吸の増大はエチレンにより引き起こされる。エチレンは果実における成熟ホルモン(ripening hormone)とみなされてきたが、近年、植物生理学、植物生化学の分野の多くの研究者により広汎な研究がなされ、植物の生理に基本的な、かつ重要な役割を果たすことが明らかになってきた⁽⁴⁻⁶⁾。エチレンは果実の成熟をはじめ、落葉、落果、植物の生長抑制、花の萎凋などを引き起こし、老化を促進するホルモンとも言える。本稿では、果実の成熟、追熟における生理学的、生化学的变化について紹介するとともに、果実におけるエチレンの生成、作用、役割を考えてみたい。

1. 果実の成熟、クリマクテリックおよびエチレン

1) 果実の成育と呼吸

果実の成育と呼吸との関連は、図1のように示される⁽⁷⁾。果実は、細胞分裂(cell division)の後、肥大(cell enlargement, development)し、やがて成育(maturation)段階に達する。果実の呼吸をみると、若い、未熟の果実は呼吸が盛んであるが、生長するに従って呼吸量は減少し、十分に成育した果実では著しく低下する。しかし、果実の種類によっては老化に入る前に一時的に呼吸の高まりがみられるものがある(クリマクテリック)。図1において、成熟は成育、クリマクテリック、老化にまたがった段階(相)として存在する。ところで、Biale⁽³⁾は、呼吸の様相から果実を大きく2つに大別している(図2)。1つは、成熟(追熟)に伴って呼吸

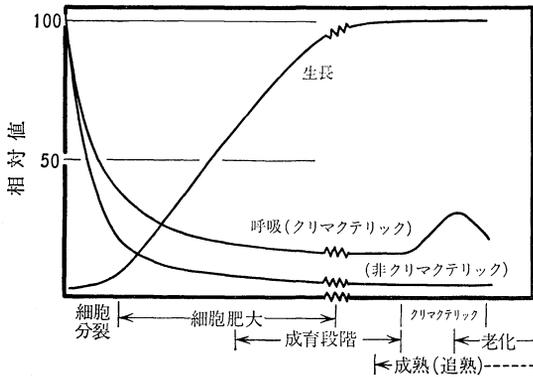


図1 果実の成育と呼吸 (Biale による⁽⁷⁾)

が増大するもの(呼吸のクリマクテリックを持つもの)であり、他の1つは成熟に伴って呼吸の上昇がみられないものである。前者(A型)に属するものとして、アボカド、バナナ、洋ナシ、リンゴ、トマト、メロンなどがあり、後者(B型)の代表的な例は、カンキツ果実(温州ミカン、オレンジ、グレープフルーツ、レモンなど)である。

図2の呼吸のクリマクテリックを示す曲線で、(a)、(b)、(c)、(d)、(e)はそれぞれ前クリマクテリック(preclimacteric)、クリマクテリック最小(climacteric minimum)、クリマクテリック上昇(climacteric rise)、クリマクテリック最大、頂点(climacteric maximum or peak)、クリマクテリック後(postclimacteric)と呼ばれる。リンゴ果実は樹上でも収穫後でも成熟し、い

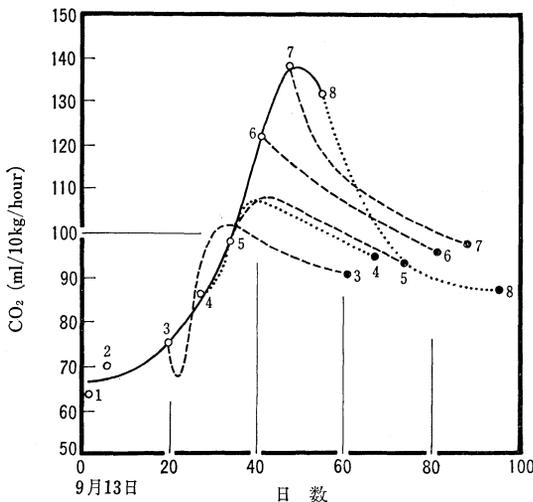


図3 リンゴ果実の呼吸量の変化
実線は樹上の果実。点線、破線はいろいろの段階で収穫し、その後12°Cで貯蔵した果実(HulmeとRhodes⁽¹²⁾による)。

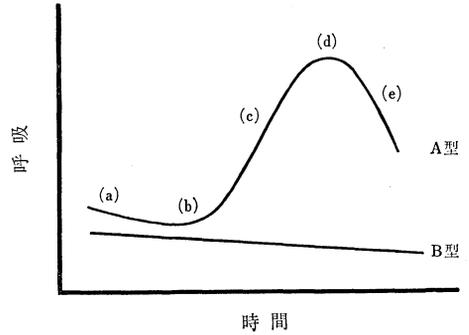


図2 果実の呼吸様式の2つの分類

れも呼吸の増大がみられる。リンゴ果実におけるクリマクテリック呼吸増大の例を図3に示す。呼吸のクリマクテリックは、果肉の軟化、でんぶんの糖化、クロロフィルの分解などとともに、成熟過程の一連の現象の中でも特に代表的なものである。これらの一連の現象は、果実におけるエチレンの生成と深いかわりあいがある。

ところで、B型に属する果実はなぜ呼吸の増大がみられないのであろうか。カンキツの成熟果実は、通常、エチレンを生成しない(たとえ生成してもごく微量である)。呼吸のクリマクテリックはエチレンにより引き起こされる。したがって、カンキツ果実でも外からエチレンを与えれば呼吸は増大する^(8,9)。また、カンキツ果実は幼果のエチレンをつくる時期にはエチレン生成に伴って呼吸の増加がみられる⁽¹⁰⁻¹²⁾。一方、後述するように、成熟したカンキツ果実でも傷害組織ではかなりの量のエチレンが生成される^(13,14)。しかし、これは傷害により誘導されるエチレンで、成熟とは関係しない。

2) 果実の軟化と細胞膜の透過性の変化

果実の成熟(追熟)に伴って起こる他の現象の例をみたい。果実の軟化は成熟中に起こる一つの例である。アボカド果実では、クリマクテリック呼吸の増大と呼応して、不溶性ペクチンが減少して可溶性ペクチンが増加する⁽¹⁵⁾。また、バナナ果実(果肉)の追熟中の糖(蔗糖、ブドウ糖、果糖)の変化は著しい。緑熟バナナ果肉の20~25%を占めるでんぶんは、追熟の進行に伴って分解し、完熟したものでは1~2%になってしまう。これに対して、糖は緑色果実では1~2%であったものが追熟果実では15~20%にまで増加する。一方、メロンはエチレンにより追熟が促進されるが、エチレン処理により全糖含量には有意な差がみられない。メロンは貯蔵

でんぶんをほとんど持たないので、分解して糖を供給する源がないことに起因するのであろう⁽¹⁶⁾。

呼吸のクリマクテリックと時を同じくして、細胞の膜透過性が増大する。Brady ら⁽¹⁷⁾は、バナナ切片を用いてエチレンによる呼吸の促進とともに組織からのアミノ酸の溶出が増加することを観察した。この膜透過性の増大が、エチレンの生成とそれと呼吸したクリマクテリック呼吸の原因となるのか、同時的に起こる現象であるのかは明らかではない。また、Von Abrams と Pratt⁽¹⁸⁾は、メロン果肉組織を用いて、エチレンが細胞膜の透過性を増大させることを報告している。同様に、Kende ら^(19,20)は、アサガオの花が開花して短時間のうちに凋む(老化する)現象がエチレンにより引き起こされることを見つけ、エチレンが膜の透過性の増大、組織中のリン脂質の減少を引き起こすことを報告した。エチレンの細胞における生成部位が細胞膜、細胞壁であろうという研究^(21~23)は、果実成熟における細胞膜、細胞壁の変化の重要性を示すものである。ちなみに、Kosiyachinda と Young⁽²⁴⁾は、アボカドからミトコンドリアをとり、コハク酸酸化酵素の活性を調べている。温度をいろいろ変えて活性の対数値を図示すると(Arrhenius plot)、前クリマクテリックのミトコンドリアでは9°C付近で折れ曲がり(相転移)を示すが、クリマクテリック上昇の時点では、20°C付近でもう1つの折れ曲がりが生じる。これは、ミトコンドリア膜に変化が起こっていることを示唆している。

3) クリマクテリック呼吸増大の意味

クリマクテリック呼吸の増加は、どのような意味を持つのであろうか。Biale ら⁽²⁵⁾は、アボカド果実の成熟のいくつかの段階でミトコンドリアをとり、その酸化活性、リン酸化の活性を調べたところ、クリマクテリック果実のミトコンドリアのほうが前クリマクテリックのそれよりも酸化の活性が高いことを見いだした。また、リンゴ酸を基質にした場合、前クリマクテリック果実のミトコンドリアに TPP (チアミンピロリン酸) を加えると、酸化の速度は著しく高められ、クリマクテリック果実のミトコンドリアでは前者に比してそれほど大きい効果はなかった。一方、ピルビン酸の酸化は、リンゴ酸をスーパーカーとして加えたとき TPP により著しく促進された。この TPP の効果は亜ヒ酸により失われ、グルタミン酸

はそれを回復させる。これらの結果は、TPP が、リンゴ酸の酸化により生成したオキサロ酢酸の蓄積をピルビン酸の酸化を促進することにより抑制していることを示唆しており、¹⁴C-リンゴ酸を用いた実験からこの考えは裏づけられた。前クリマクテリック果実のミトコンドリアでは、TPP を加えることにより ADP に対する反応性が高くなる。前クリマクテリック果実のミトコンドリアでは、リンゴ酸の酸化の律速段階はピルビン酸からアセチル CoA の生成のところにあり、TPP の添加は脱炭酸を促進する。したがって、TPP の濃度の変化がクリマクテリックに伴う呼吸の変動の調節因子であろうという可能性が考えられた。一方、Millerd ら⁽²⁶⁾は、前クリマクテリック果実(アボカド)の切片に DNP (2,4-ジニトロフェノール) を加えると酸素吸収を促進するが、クリマクテリック果実では促進効果がないことを見だし、内生の非共役物質(uncoupler) がクリマクテリック呼吸の原因ではないかと述べている。しかし、その後の Biale らのミトコンドリアを用いた研究では、クリマクテリックの進行とともに P/O 比、ADP/O 比は増加し、よい RC (respiratory control) 比を示すことから、上記の考え方は否定的となった。すなわち、アボカド果実切片に ³²P を与えてアデニル酸へのとりこみを調べたところ、前クリマクテリックでは、とりこまれた ³²P のうちの 1.4% がエステル化されたが、クリマクテリックピークの切片では 8% がエステル化された。ADP/ATP 比は前クリマクテリックの 2.30 からクリマクテリックで 0.88 と減少した。したがって、ADP/ATP 比がクリマクテリック呼吸の増加の要因とは考えられない。一方、カンタールメロン果肉の ATP、ADP の量を成熟のいろいろの段階で測定した結果によると、ATP の量はクリマクテリック呼吸の増大の間に 2 倍に増加したが、ADP の量はほとんど変動しないままであった⁽²⁷⁾。

Barker と Solomos⁽²⁸⁾ はバナナ果実のクリマクテリック呼吸の増大と並行してフルクトース-1,6-2リン酸(FDP)の増加(最高値で 20 倍)があることを見いだした。同様の事実が Salminen と Young⁽²⁹⁾ によって見いだされている。寺井と緒方⁽³⁰⁾は、同様にエチレンをあたえて呼吸が増加したバナナ果肉、果皮組織で解糖系中間物質の増加を報告している。Salminen と Young⁽²⁹⁾ はフォスホフルクトキナーゼ(PFK)の活性を測定し、クリマクテリックピークでは前クリマクテリックに比べ

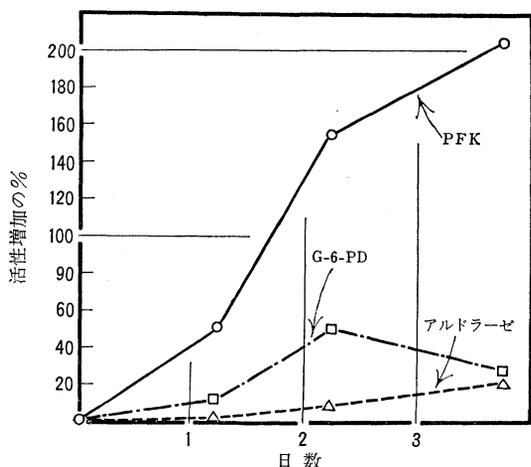


図4 バナナ果実の PFK, アルドラーゼ, グルコース-6-リン酸脱水素酵素 (G-6-PD) のクリマクテリック中の活性変動 (Salminen と Young⁽²⁸⁾ による)

て PFK の活性は 2.5 倍に増加することを明らかにした (図 4)。この活性の差は、組織からの酵素の抽出のしやすさが成熟とともに変わったことによるものではないことは、抽出されたタンパク質の量、PFK 以外の酵素の活性を調べることによって明らかである。これらの結果は、クリマクテリック呼吸では解糖系が促進されていることを示している。

Solomos と Laties⁽³¹⁾ はチェリモヤ (cherimoya) 果実を用いて興味のある研究結果を報告している。チェリモヤはクリマクテリック果実であり、クリマクテリック呼吸はエチレンにより引き起こされる。青酸ガス (HCN) をチェリモヤに与えると、エチレンを与えたときと同じように呼吸の増加が起こり、またエチレン生成が誘導される。このことはアボカド果実についても同様に認められる⁽³²⁾。チェリモヤ果実にシアンを与えると、エチレンの場合と同様に呼吸の増加とともに FDP の著しい増

表 1 チェリモヤ果実の呼吸、解糖系中間体、ATP のレベルに及ぼすシアンとエチレンの影響 (Solomos と Laties⁽³¹⁾ による)

試料	処理	呼吸量	G6P	FDP	ATP	乳酸
		$\mu\text{l O}_2/\text{g FW/hr}$	nmol/g FW			
1	Control	42	122	0.5	48	100
2		39	110	0.5	40	75
3	HCN	110	98	2.1	156	90
4	400 $\mu\text{l/l}$	100	141	3.9	102	106
5		152	154	21	110	121
6	C ₂ H ₄	144	232	2.9	115	85
7	17 $\mu\text{l/l}$	146	163	3.1	134	101
8		150	180	4.2	121	78

加があり、ATP も増加する (表 1)。チェリモヤ果実で起こっている解糖系の促進は、パスツール効果の反映では説明できない。なぜならば、ATP 濃度は増加し、エタノールや乳酸の生成量は増加していないからである (酸酵型にはなっていない)。ATP 濃度の増加はアロステリック酵素である PFK の活性を低下させ、解糖系を抑制することが期待されるはずである。エチレンにより促進された呼吸はシアン耐性呼吸 (cyanide-resistant respiration) と共通したところがある⁽³¹⁾。しかし、エチレンがどのようにしてシアン耐性呼吸を誘導するのか、また ATP が増加しているのになぜ解糖系が促進されているかは明らかでない。クリマクテリック呼吸はしばしば組織からの CO₂ の放出であらわされるが、O₂ 吸収を測定することも必要である。リンゴ果実では、クリマクテリックピークで RQ が増加する。これは、多くはリンゴ酸やピルビン酸が酸素の吸収を伴うことなく脱炭酸されることに起因する⁽¹⁾。クリマクテリックに関連して、リンゴ酸酵素の活性変動も興味ある問題である。

4) エチレンとクリマクテリック呼吸

クリマクテリック呼吸の進展は、成熟に付随した他の現象と同様に、いったん始まると人為的に速度を落とすことはできるが(たとえば CA 貯蔵)、これを元の状態に戻すことはできない。すなわち、老化への進行は不可逆である。クリマクテリック呼吸はエチレンに起因する。エチレンがクリマクテリックの誘因物質であることを証明するためには、次の 3 つの点で実験的事実が得られることが必要である。

- i) クリマクテリック (呼吸) と同時に、あるいは先行してエチレンが生成されるか (内生エチレンの生成)?
- ii) 外からエチレンを与えるとクリマクテリックが促進されるか?
- iii) 内生エチレンを除くとクリマクテリックが抑えられる (遅れる) か?

Pratt と Goeshl⁽³³⁾ は、ハニーデュー (Honey Dew) メロンのエチレン生成とクリマクテリック呼吸の時間的様相を調べ、クリマクテリック呼吸の増大に先行してエチレンの生成が起こることを明らかにした (図 5)。ii) については、アボカド果実にエチレンを与えるとクリマクテリックの出現は早められ、エチレンの濃度を高くするにつれてより早く呼吸の増加が始まるが、クリマク

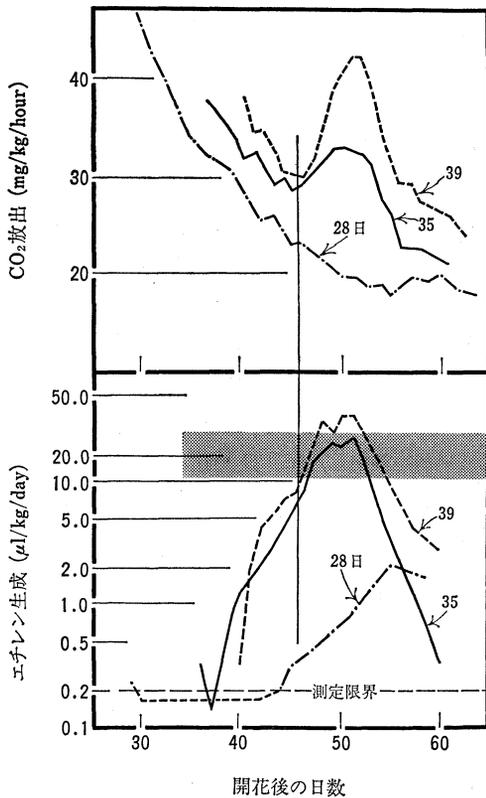


図5 Honey Dew メロンによる呼吸とエチレン生成
 図中の数字は開花後の収穫した日数をあらわす。点描した部分
 は果実内のエチレン濃度が3ppmに達するところをおおま
 かに示している (Pratt と Goeschl⁽³⁸⁾ による)。

トリックピークでの呼吸量には相違がないことが知られて
 いる⁽³⁴⁾。iii)の実験的根拠としては、BurgとBurg⁽³⁵⁾
 の報告を参照することができる。すなわち、バナナ果実
 を減圧下におくと、成熟に達する時間(実験ではクロロ
 フィルの分解を観察している)が延長し、酸素を空气中
 の存在量(約150mmHg)に加えた状態でも同じような
 結果が得られる。これは、減圧にすることにより、生成さ
 れたエチレンが速やかに除かれることによるものと考え
 られる。Rhodes⁽³⁶⁾は、クリマクテリックという言葉は
 果実の中で起こる一連の生化学的変化を含む臨界相
 (critical phase)の全体にあてはめられるべきであり、
 これはエチレンの自動触媒的 (autocatalytic) 生成によ
 り始められるものであると述べている。エチレンの生成
 がどのように誘導されるのか、またその制御はどのよう
 になされているのかが次の問題である。

2. 果実の成熟とタンパク質代謝

果実の成熟は成育からクリマクテリックを経て老化に
 至る過程と言えるが、その間に積極的なタンパク質合成
 を伴っているだろうか。老化に至る過程にタンパク質合
 成は必要であろうか。また、タンパク質代謝の速度には
 どのような変化がみられるだろうか。

すでに述べてきたように、成熟に伴う一連の現象とし
 て、クロロフィルの分解、カロチノイドの合成、エチレ
 ンを含む揮発性物質の生成、不溶性ペクチンの可溶化、
 でんぶんの糖化、クリマクテリック呼吸における解糖系
 の促進などがある。これらの反応を触媒する酵素系は、
 十分に生成あるいは活発化されるであろう。事実、
 Hulme⁽³⁷⁾は、リンゴ果実のクリマクテリック呼吸の増
 加に伴ってタンパク質の量が増加することを報告し、
 Rowanら⁽²⁷⁾もメロン果実で呼吸の増加に伴ってタンパ
 ク質の量が増加することを示している。しかしながら、
 タンパク質含量の増加は必ずしもタンパク質の合成の促
 進によるものとは言えない。タンパク質の分解速度が低
 下することによっても起こりうるし、正味のタンパク質
 の量が減少していてもある種の酵素の合成は活発に起こ
 っている可能性もある。アボカド果実では、成熟に関
 連して全タンパク質量の増加はみられていない⁽²⁵⁾。

TagerとBiale⁽³⁸⁾は、バナナ果実の成熟とピルビン
 酸脱炭酸酵素およびアルドラーゼの活性変動を調べ、ど
 ちらの酵素も前クリマクテリックでは活性は非常に低い
 が、クリマクテリック、クリマクテリック後の段階で活
 性が顕著に増加することを報告した。この事実は、すで
 に述べたようにクリマクテリック呼吸に伴い解糖系の酵
 素(PFK)の活性や、中間物質の濃度が増加することと
 合致している。しかしながら、TagerとBiale⁽³⁸⁾の実
 験ではピルビン酸脱炭酸酵素の活性測定は組織切片で行
 なっているが、アルドラーゼ活性は組織からの抽出液で
 測定しており、Young⁽³⁹⁾によれば酵素を抽出する際
 にタンニンによる酵素の不活性化を抑えるべく十分な注
 意を払えば、前クリマクテリック果実の抽出液中にもク
 リマクテリックのそれとほぼ同じ程度のアルドラーゼ活
 性が見いだされるという。Dilley⁽⁴⁰⁾は、リンゴ果実から
 リンゴ酸酵素を抽出してその活性を調べ、前クリマクテ
 リックと比較してクリマクテリック後では活性は約2倍
 に増加することを報告している。

一方、アボカド果実の前クリマクテリックとクリマクテリック段階の切片を使って ^{14}C -バリンと ^{14}C -ロイシンのタンパク質へのとりこみをみた実験^(41,42)では、前クリマクテリックに比較してクリマクテリックの上昇時ではかなりの増加がみられるが、クリマクテリックピークでは大きく減少した。 ^{14}C -アミノ酸のとりこみはピュエロマイシンの添加で強く抑えられたが、アクチノマイシンDによっては抑制されなかった。クリマクテリック呼吸はピュエロマイシンによって抑えられなかったので、呼吸の増加はタンパク質の合成と共役していないことが推察された。洋ナシ果実にシクロヘキシミドを与えると成熟の一連の反応が抑えられ⁽⁴³⁾、この抑制効果はクリマクテリックの初期の段階のほうが後期に与えられたときよりも大きい。呼吸はシクロヘキシミドによっては抑えられないが、このものは ^{14}C -フェニルアラニンのタンパク質へのとりこみを阻害し、その程度は特にクリマクテリックの初期で大きかった。このことは、クリマクテリックの初期に合成されるタンパク質（酵素）が、その後の成熟の過程に重要な役割を果たすことを想定させる。また、洋ナシ果実のリンゴ酸酵素の活性と ^{14}C -アミノ酸のリンゴ酸酵素へのとりこみを調べた Frenkel ら⁽⁴³⁾の実験によると、クリマクテリックの初期と中期を比較すると、中期のほうがリンゴ酸酵素分画（ポリアクリルアミド電気泳動）へのアミノ酸のとりこみは増加していた。リンゴ果実の果皮切片で ^{14}C -バリンのタンパク質へのとりこみを調べた結果⁽⁴⁴⁾によると、とりこみは前クリマクテリックで低く、クリマクテリックの進展とともに急激に増加し、クリマクテリックピークの後ではとりこみは衰えることが知られた。

興味深いことに、前クリマクテリックのとりこみの低い果皮切片でも、空気中でインキュベーションしておく間に (aging) とりこみの速度は増加し、クリマクテリック果実からとった切片と同じくらいの値になる。同様のことは、リンゴ酸脱炭酸活性、酢酸の脂質へのとりこみについてもみられ、Hulme らはエイジングの系とクリマクテリックの系との間に共通した点があることを示唆した。リンゴ果皮切片でのアミノ酸のタンパク質へのとりこみは、エチレン処理をしてクリマクテリックが促進された果実でも同様に促進され⁽⁴⁵⁾、バナナ果肉切片においても、エチレン処理した組織で促進された⁽⁴⁶⁾。シクロヘキシミドは、エチレンによって誘導されたバナナ切

片の成熟、クリマクテリック呼吸を著しく抑制するが、この場合、すでにクリマクテリック呼吸の高まりが始まってしまった組織では、シクロヘキシミドの阻害作用は減少する。前クリマクテリック（緑色バナナ）とクリマクテリックピーク（黄色バナナ）とを比較すると、タンパク質のポリアクリルアミド電気泳動のパターンに相違がみられるという報告もある⁽⁴⁶⁾。Brady と O'Connell は、さらにエチレンを与えてクリマクテリックを誘導した果肉切片とエチレン処理をしない果肉切片にそれぞれ ^3H -バリンと ^{14}C -バリンをとりこませ、タンパク質を抽出し、ポリアクリルアミド電気泳動の後、ゲルを切って放射能を測定し、 $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ の比を求めた⁽⁴⁷⁾。その結果、成熟果肉のほうが放射能のとりこみは大きく、ゲル上のかんりの部分のタンパク質にとりこみの増加がみられ、その大きさの程度はタンパク質の成分により異なった。

エチレンはイチヂク果実の成熟を促進する。Marei と Romani⁽⁴⁸⁾ は、成育途中のイチヂク果実に樹上で連続的にエチレンを与えながら（この処理により果実は4、5日後に成熟に至る）、経時的に（毎日）果実をとり、組織切片に ^3H -ウリジンと ^3H -フェニルアラニンを与えて RNA とタンパク質へのとりこみを調べている。それによると、エチレン処理後1日で rRNA, tRNA への ^3H -ウリジンのとりこみは強められ、同様に ^3H -フェニルアラニンのタンパク質へのとりこみも高められた。このタンパク質へのとりこみの促進は数日間持続した。この実

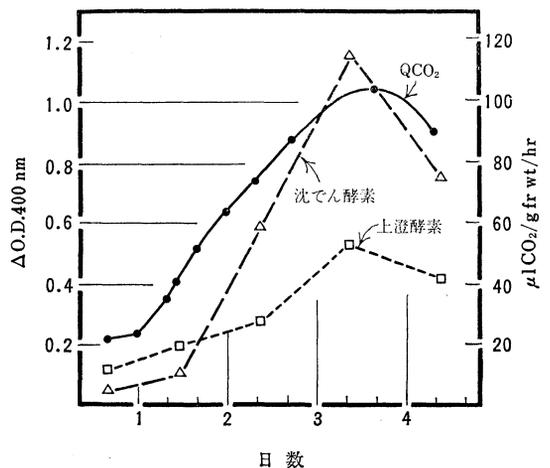


図6 バナナ果実における呼吸のクリマクテリックと酸性フォスファターゼ活性（上澄液画分および沈殿画分）の増大(De Leo と Sacher⁽⁵⁰⁾による)

験は、成熟現象に伴い（あるいは先行して）、核酸、タンパク質の合成が促進されていることを示している。

なお、これまで述べたクリマクテリック果実組織やエチレン処理した果実でタンパク質の合成が高められるという結果とは反対に、バナナ、アボカドの果肉切片で ^3H -ウリジンや ^{14}C -ロイシンの RNA、タンパク質へのとりこみがエチレンを与えた組織では促進されず、むしろ阻害される傾向にあることが報告されている⁽⁴⁹⁾。

De Leo と Sacher⁽⁵⁰⁾ は、バナナ果実のクリマクテリックに伴って酸性フォスファターゼ活性の著しい増大があることを見いだした(図6)。バナナ果肉の摩砕液を遠心分離した上澄液と、その沈殿をさらに 1% Triton X-100 を加えて抽出した上澄液 (Triton 可溶分画) のいずれにおいても、クリマクテリックとともにフォスファターゼの活性は増加した。上昇の度合は Triton 可溶分画のほうがはるかに大きかった。フォスファターゼ活性の増加は、アクチノマイシン D、シクロヘキシミドを与えることにより強く抑えられるので、タンパク質合成を伴って起こっていることが示唆される。フォスファターゼ活性の著しい増大は、アボカド果実においてもクリマクテリックの組織で観察されている⁽⁵¹⁾。

^{14}C -アミノ酸のとりこみの研究は、クリマクテリック初期、中期にタンパク質合成が促進されることを示した。この合成の促進は、クリマクテリックのピークやクリマクテリック後では消失した。クリマクテリック初期、中期にみられるタンパク質合成の促進は、成熟に伴って増大する酵素活性と密接な関連があるように思われる。成熟の初期にタンパク質合成が活発になり、種々の酵素を誘導生成し、成熟の充分な進行とともにやがてタンパク質合成は衰える。

3. 果実におけるエチレンの生成と誘導

リンゴ果実や洋ナシ果実からエチレンが生成されるこ

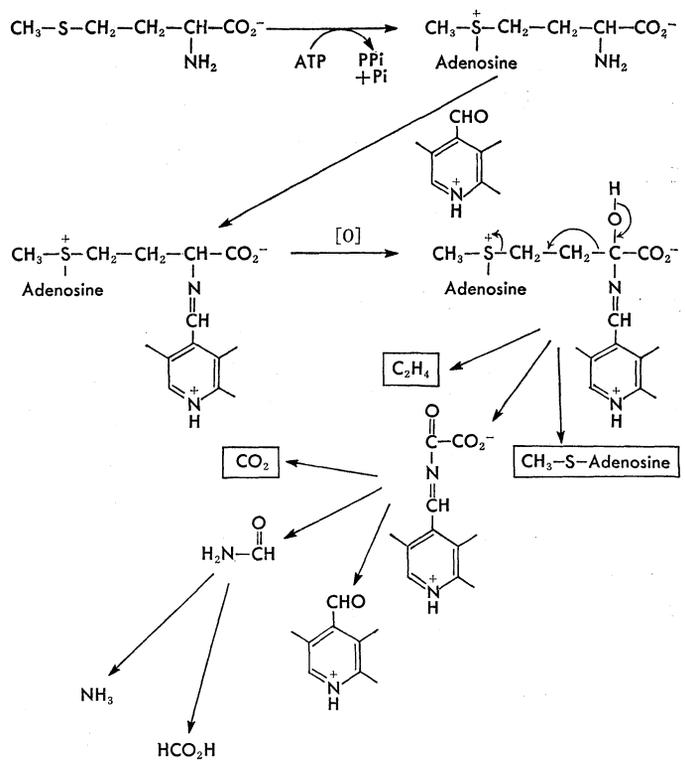


図7 メチオニンからエチレンの生成経路 (Murr と Yang⁽⁵⁸⁾ による)

とは、エンドウ胚軸の生長抑制試験（エンドウ上胚軸の3重反応）などにより明らかにされていたが、Gane⁽⁵²⁾はこのことを、リンゴ果実に通気してそのガスを臭素に吸収させ、油状成分を蒸留で分離してアニリンと反応させ、N,N'-ジフェニルエチレンジアミンを得ることにより化学的に証明した。そして、ガスクロマトグラフがエチレンの定量に用いられるようになってからは、エチレンの生成の研究は飛躍的に進歩した。エチレンの生成については、多くの総説があり、最近のものとしては Lieberman と Kunishi⁽⁵³⁾ や Yang⁽⁵⁴⁾ の総説によくまとめられている。

メチオニンがリンゴ果実組織でエチレン生成に促進効果を示し、 ^{14}C -メチオニンの3,4位の炭素がエチレンにとりこまれることを明らかにした Lieberman らの研究⁽⁵⁵⁾以来、多くの研究がメチオニンを基質としてのエチレンの生成について行なわれ、リンゴ果実⁽⁵⁵⁻⁵⁸⁾、アボカド果実⁽⁵⁷⁾、バナナ果実⁽⁵⁶⁾、エンドウ胚軸⁽⁵⁶⁾、ヤエナリ胚軸⁽⁵⁹⁾、インゲン葉⁽⁵⁰⁾、ミカン果実^(13,14)などでメチオニンからエチレンが生成されることが証明された。一

方, Owens ら⁽⁶¹⁾はリゾビトキシン (rhizobitoxine) が, また Murr と Yang⁽⁵⁸⁾ はL-カナリン (canaline) がメチオニンからエチレンへの転換を著しく阻害することを報告した. これら阻害剤はピリドキサルリン酸の関与する反応を抑制するので, メチオニンからエチレンの生成される経路にはピリドキサルリン酸を補酵素とする反応が存在することが強く示唆された. また, DNP がメチオニンからエチレンへの転換を強く抑えることが示され⁽⁵⁹⁾, アンカップラーとしての DNP が ATP の生成を抑制した結果であると考えられる. ATP はメチオニンを活性化して S-アデノシルメチオニンを形成し, これがエチレン生成の重要な中間物質となることが予想された. 一方, DNP はリン脂質 2 重層に結合するという報告がある⁽⁶²⁾. とすれば, 膜構造を変化させることによりエチレン生成を抑制するという事も考えられる. メチオニンからのエチレン生成には酸素が必要である⁽⁵⁷⁾. メチオニンの炭素のうちで 3 と 4 の炭素がエチレンにとりこまれ, カルボキシル基は二酸化炭素になる(図 7). Adams と Yang⁽⁶³⁾ は, エチレンの生成されている組織で S-アデノシルメチオニンの代謝産物として 5'-メチルチオアデノシン (MTA) と 5-メチルチオリボース (MTR) の存在を証明し, MTA と MTR の CH₃S の部

分が転移して再びメチオニンを生成するために用いられることを明らかにした. Mattoo と Lieberman⁽²³⁾ は, リンゴ果実からプロトプラストを作り, 再び細胞壁を形成させる実験から, エチレン生成部位は細胞壁-細胞膜複合体であると報告している.

カンキツ果実はリンゴ, バナナ, アボカド, 洋ナシなどと異なり, 成熟果実では通常エチレンが生成されない. このことは, カンキツ果実がクリマクテリックを示さない理由でもある. しかし, 幼果のある時期にはエチレンが大量に生成され^(10,12), また幼果, 成熟果を問わず果実に傷害を与えることによりエチレン生成がひき起こされる. 特に, 果皮のアルベド (albedo) 組織を分離してインキュベーションしておく, 多量のエチレンの生成がみられる⁽¹³⁾(図 8). 果実 (一般に植物組織) に傷をつけるとエチレンが生成されることはよくみられる現象である^(6,64). エジプトイチヂクの受粉はすずめばちによって媒介されるが, すずめばちのいない地方で単為結果したエジプトイチヂクの果実を, 切り傷をつけることにより (エチレンを生成させて) 成熟させることが古くから経験的に行なわれてきた⁽⁶⁾. カンタループメロン果肉切片は個体果実に比べてエチレン生成が著しく高くなる⁽⁶⁵⁾. サツマイモ塊根では切断傷害によりエチレン生成が誘導される⁽⁶⁶⁾. 成熟したグレープフルーツの果皮からフラベド (flavedo) を分離して放置しておく間に, エチレン生成は著しく増大する⁽⁶⁷⁾. 温州ミカン果実ではフラベドよりもアルベドのほうがエチレン生成は大であった⁽¹²⁾. 傷害アルベド切片でエチレン生成能が十分高くなった組織を用いてエチレン生成の前駆物質を調べたところ, この場合もメチオニンがよい基質であった^(13,14). [2-¹⁴C]-メチオニン, [3-¹⁴C]-メチオニン, [CH₃-¹⁴C]-メチオニンの 3 つの基質を比較すると, [3-¹⁴C]-メチオニンの放射能が圧倒的によくエチレンにとりこまれた⁽¹⁴⁾. このことは, メチオニンの C-3, C-4 がエチレンにとりこまれるというこれまでの結果を支持している. 無傷の個体果実のレベルで考えたとき, カンキツの幼果でみられたエチレン生成能が, 成熟するにつれてなぜ失われてゆくのか, さらに幼果においても樹上ではエチレン生成はみられず採取後数日して著しいエチレン生成が起こるのはどうしてなのか, 興味ある問題である.

クリマクテリックや成熟に先行して (あるいは並行して), 果実中ではどのようにエチレン生成は誘導される

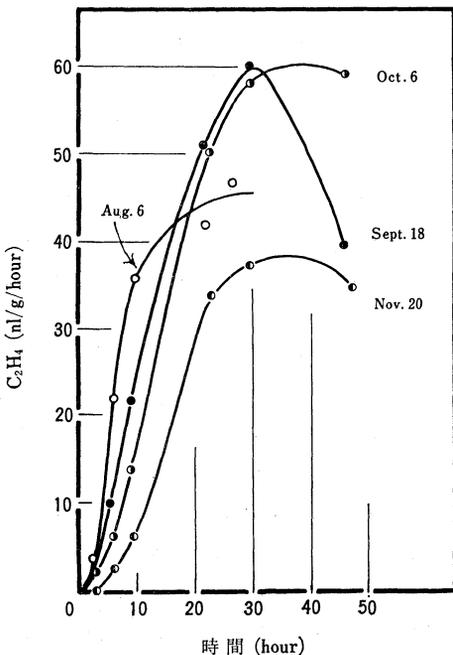


図 8 温州ミカン果実アルベド切片によるエチレン生成
 図中日付は果実を採取した日をあらわす (Hyodo⁽¹³⁾ による)

のであろうか。

エチレン以外の植物ホルモンがエチレン生成を誘導することが知られている^(6,68)。たとえばオーキシンやカイネチンはエチレン生成に強い促進効果を示し、アブジジン酸 (ABA) についても同様の効果がいくつかの植物組織で報告されている^(69,70)。最近、ミカン果実組織においても、ABA がエチレン生成の誘導期を短縮させることがわかった⁽¹⁴⁾。Dilley⁽⁷¹⁾ は、仮説として、果実中におけるジベレリン酸 (GA) と ABA の量比がエチレン生成を制御すると述べている。果実が成熟に至る前には GA が ABA に対して優位であり、エチレン生成は低く抑えられるが、ABA が優位になるとエチレン生成の速度は高まり、成熟を誘導するという。その他、果実におけるエチレン生成に関しては、植物ホルモンの作用、エチレン合成酵素、エチレンの生成部位などについて興味ある問題が残されている。

4. エチレンの作用機構

エチレンは核酸やタンパク質合成を促進し^(48,72,73)、またある種の酵素を誘導することが知られている。その代表的なものはフェニルアラニンアンモニアリアーゼ (PAL) である。エチレンを与えることにより PAL が誘導される例は、サツマイモ塊根⁽⁷⁴⁾、グレープフルーツアラベド組織⁽⁶⁷⁾、エンドウ上胚軸⁽⁷⁵⁾、スエーデンカブ塊根⁽⁷⁶⁾、アメリカボウフウ塊根⁽⁷⁶⁾、ニンジン塊根⁽⁷⁷⁾、レタス葉⁽⁷⁸⁾などでみられる。しかし、エチレンはすべての植物で PAL を誘導するわけではなく、ジャガイモ塊茎傷害組織ではエチレン処理はむしろ PAL の誘導に対して阻害的である⁽⁷⁹⁾。エンドウ胚軸を用いた実験では、エチレンによる PAL の誘導はシクロヘキシイミドやアクチノマイシン D により強く抑制される⁽⁷⁵⁾ので、エチレンによるこの酵素の誘導に際しては、エチレンは直接的あるいは間接的に DNA に働いている可能性が示唆される。

分子構造からみると、作用においてエチレンは非常に特異的である。エチレンと同様の作用を有する物質として、プロピレン、塩化ビニル、アセチレンなどの不飽和炭化水素およびその誘導体が知られているが、エチレンの次に作用の強い化合物プロピレンでもエチレンの 100 倍以上の濃度が必要である⁽⁸⁰⁾。Burg と Burg⁽⁸⁰⁾ は、エチレンは金属 (鉄あるいは銅) 酵素と結合して酵素を活性化すると考えた。しかし、現在なおエチレンの標

的としての酵素は証明されていない。Abeles ら⁽⁸¹⁾ と Beyer⁽⁸²⁾ は、それぞれ重水素で置換したエチレン (C_2D_2) を使って、これをエンドウ幼植物に与えて十分に生理作用を起こしたことを確認した後、エチレンを回収して D が H で置換されたかどうかを調べた。その結果、与えた C_2D_2 は変化せずにもとのまま回収された。したがって、エチレンは作用する際に C と H の結合は切れず、弱いファン・デル・ワールスの相互作用で働くことが推察される。過塩素酸水銀から遊離させた ^{14}C -エチレンをアサガオ幼植物に与えて放射能のゆくえを調べた結果によると⁽⁸³⁾、 ^{14}C は特異的に RNA (4S-RNA) にとりこまれることが示された。Beyer⁽⁸⁴⁾ は最近、非常に純化した ^{14}C -エチレンをエンドウ幼植物に与えてその代謝を調べ、量的には少ないが ^{14}C -エチレンは組織にとりこまれ、また $^{14}CO_2$ としても放出されることを報告した⁽⁸⁴⁾。

エチレンの分子レベルでの作用機構を考えたとき、現在なお本質的なものは解明されていない。エチレンは気体である点が他の植物ホルモンと非常に異なっている。また、これまでの研究で、エチレンが機能を果たす場合にはエチレンが常に存在することが必要であることが知られている (一度エチレンを与えたら、その作用はエチレンをとり除いても続くということはない)。したがって、果実あるいは他の植物組織で実際にエチレンが生理作用をあらわしているときには、おそらくエチレンは絶えず生成されていることであろう。

*

クリマクテリック果実では、成熟に伴ってタンパク質の合成、酵素の誘導、呼吸の増大を含めて一連の劇的な変化が生ずる。これが非可逆的な老化の過程へと進む道でもある。この一連の変化は、内生あるいは外から与えられたエチレンによって引き起こされる。ただし、エチレンはいつも同じ程度に効果をあらわすとは限らない。エチレンに対する果実の感受性は、果実の成育、成熟の度合によって異なる。果実は成熟が進むにつれ、また樹から切り離れた (採取した) 果実のほうがエチレンに対してより敏感である⁽⁸⁵⁾。これは、果実の中に阻害因子が含まれ、エチレンに対する感受性を左右することによると考えられている⁽⁸⁵⁾。果実の成熟、クリマクテリックの間に起こる変化の本質はまだ多くの点で十分に解明されていない。エチレン生成はどのように誘導されるか？

エチレンの作用機構は？ エチレン作用の調節は？ クリマクテリック呼吸の内容は？ 代謝の変動と老化との関連は？ などである。これらの問題の多くは、Post-harvest Physiology (収穫後の生理学) の分野で研究がなされているが、植物生理学、植物生化学の上でも重要な問題である。

最後にこの原稿を読んでいただいた California 大学, Davis 校, S. F. Yang 博士に感謝する。

文 献

- 1) A. C. Hulme & M. J. C. Rhodes: "The Biochemistry of Fruits and Their Products", Vol. 2, ed. by A. C. Hulme, Academic Press, 1971, p. 333.
- 2) F. Kidd & C. West: *Rep. Fd. Invest. Bd.*, p. 30 (1924).
- 3) J. B. Biale: "Handbuch der Pflanzenphysiologie", Vol. 12, Springer Verlag, 1960, p. 536.
- 4) W. Crocker: "Growth of Plants", Reinhold, 1948, p. 139.
- 5) H. K. Pratt & J. D. Goeschl: *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **20**, 541 (1969).
- 6) F. B. Abeles: "Ethylene in Plant Biology", Academic Press, 1973.
- 7) J. B. Biale: *Science*, **146**, 880 (1964).
- 8) C. C. Craft: *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **95**, 689 (1970).
- 9) M. S. Reid & H. K. Pratt: *Plant Physiol.*, **49**, 252 (1972).
- 10) Y. Aharoni: *Plant Physiol.*, **43**, 99 (1968).
- 11) I. L. Eaks: *Plant Physiol.*, **45**, 334 (1970).
- 12) H. Hyodo: *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **45**, 427 (1977).
- 13) H. Hyodo: *Plant Physiol.*, **59**, 111 (1977).
- 14) H. Hyodo: *Plant & Cell Physiol.*, in press.
- 15) A. L. Dolendo, B. S. Luh & H. K. Pratt: *J. Food Sci.*, **31**, 332 (1966).
- 16) H. K. Pratt: "The Biochemistry of Fruits and Their Products", Vol. 2, ed. by A. C. Hulme, Academic Press, 1971, p. 207.
- 17) C. J. Brady, P. B. H. O'Connell, J. Smydzuk & N. L. Wade: *Aust. J. Biol. Sci.*, **23**, 1143 (1970).
- 18) G. J. Von Abrams & H. K. Pratt: *Plant Physiol.*, **42**, 299 (1967).
- 19) A. D. Hanson & H. Kende: *Plant Physiol.*, **55**, 663 (1975).
- 20) P. Beutelmann & H. Kende: *Plant Physiol.*, **59**, 888 (1977).
- 21) S. Odawara, A. Watanabe & H. Imaseki: *Plant & Cell Physiol.*, **18**, 569 (1977).
- 22) A. K. Mattoo, J. E. Baker, E. Chalutz & M. Lieberman: *Plant & Cell Physiol.*, **18**, 715 (1977).
- 23) A. K. Mattoo & M. Lieberman: *Plant Physiol.*, **60**, 794 (1977).
- 24) S. Kosiyachinda & R. E. Young: *Plant Physiol.*, **60**, 470 (1977).
- 25) J. B. Biale & R. E. Young: "The Biochemistry of Fruits and Their Products", Vol. 2, ed. by A. C. Hulme, Academic Press, 1971, p. 1.
- 26) A. Millerd, J. Bonner & J. B. Biale: *Plant Physiol.*, **28**, 521 (1953).
- 27) K. S. Rowan, W. B. McGlasson & H. K. Pratt: *J. Exp. Bot.*, **20**, 145 (1969).
- 28) J. Barker & T. Solomos: *Nature*, **196**, 189 (1962).
- 29) S. O. Salminen & R. E. Young: *Plant Physiol.*, **55**, 45 (1975).
- 30) 寺井弘文, 緒方邦安: 園学雑, **46**, 361 (1977).
- 31) T. Solomos & G. G. Laties: *Plant Physiol.*, **58**, 47 (1976).
- 32) T. Solomos & G. G. Laties: *Plant Physiol.*, **54**, 506 (1974).
- 33) H. K. Pratt & J. D. Goeschl: "Biochemistry and Physiology of Plant Growth Substances", The Runge Press, 1968, p. 1295.
- 34) J. B. Biale: *Adv. Food Res.*, **10**, 293 (1960).
- 35) S. P. Burg & E. A. Burg: *Science*, **153**, 314 (1966).
- 36) M. J. C. Rhodes: "The Biochemistry of Fruits and Their Products", Vol. 1, ed. by A. C. Hulme. Academic Press, 1970, p. 521.
- 37) A. C. Hulme: *J. Exp. Bot.*, **5**, 159 (1954).
- 38) J. M. Tager & J. B. Biale: *Physiol. Plant.* **10**, 79 (1957).
- 39) R. E. Young: *Arch. Biochem. Biophys.*, **111**, 174 (1965).
- 40) D. R. Dilley: *Nature*, **196**, 387 (1962).
- 41) A. Richmond & J. B. Biale: *Plant Physiol.*, **41**, 1247 (1966).
- 42) A. Richmond & J. B. Biale: *Arch. Biochem. Biophys.*, **115**, 211 (1966).
- 43) C. Frenkel, I. Klein & D. R. Dilley: *Plant Physiol.*, **43**, 1146 (1968).
- 44) A. C. Hulme, M. J. C. Rhodes, T. Galliard & L. S. C. Woollorton: *Plant Physiol.*, **43**, 1154 (1968).
- 45) A. C. Hulme, M. J. C. Rhodes & L. S. C. Woollorton: *Phytochemistry*, **10**, 749 (1971).
- 46) C. J. Brady, J. K. Palmer, P. B. H. O'Connell & R. M. Smillie: *Phytochemistry*, **9**, 1037 (1970).
- 47) C. J. Brady & P. B. H. O'Connell: *Aust. J. Plant Physiol.*, **3**, 301 (1976).
- 48) N. Marei & R. Romani: *Plant Physiol.*, **48**, 806 (1971).
- 49) J. A. Sacher & S. O. Salminen: *Plant Physiol.*, **44**, 1371 (1969).
- 50) P. De Leo & J. A. Sacher: *Plant Physiol.*, **46**, 208 (1970).
- 51) J. A. Sacher: *Plant Physiol.*, **55**, 382 (1975).
- 52) R. Gane: *Nature*, **134**, 1008 (1934).
- 53) M. Lieberman & A. Kunishi: *Hort. Sci.*, **6**, 355 (1971).
- 54) S. F. Yang: "Recent Advances in Phytochemistry", Vol. 7, Academic Press, 1974, p. 131.
- 55) M. Lieberman, A. Kunishi, L. W. Mapson & D. A. Wardale: *Plant Physiol.*, **41**, 376 (1966).
- 56) S. P. Burg & C. O. Claggett: *Biochem. Biophys. Res. Comm.*, **27**, 125 (1967).
- 57) A. H. Baur, S. F. Yang, H. K. Pratt & J. B. Biale: *Plant Physiol.*, **47**, 696 (1971).
- 58) D. P. Murr & S. F. Yang: *Plant Physiol.*, **55**, 79 (1975).
- 59) S. Sakai & H. Imaseki: *Planta*, **105**, 165 (1972).
- 60) A. L. Abeles & F. B. Abeles: *Plant Physiol.*, **50**, 496 (1972).
- 61) L. D. Owens, M. Lieberman & A. Kunishi: *Plant Physiol.*, **48**, 1 (1971).
- 62) S. McLaughlin: *J. Membrane Biol.*, **9**, 361 (1972).
- 63) D. O. Adams & S. F. Yang: *Plant Physiol.*, **60**, 892 (1977).
- 64) S. F. Yang & H. K. Pratt: "Biochemistry of Wounded Plant Storage Tissues", ed. by G. Kahl, de Gruyter

Company, Berlin, in press.

- 65) W. B. McGlasson & H. K. Pratt: *Plant Physiol.*, 39, 128 (1964).
- 66) H. Imaseki, I. Uritani & M. A. Stahmann: *Plant & Cell Physiol.*, 9, 757 (1968).
- 67) J. Riov, S. P. Monselise & R. S. Kahan: *Plant Physiol.*, 44, 631 (1969).
- 68) J. A. Sacher: *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 24, 197 (1973).
- 69) E. Gertman & Y. Fuchs: *Plant Physiol.*, 50, 194 (1972).
- 70) S. Mayak & D. R. Dilley: *Plant Physiol.*, 58, 663 (1976).
- 71) D. R. Dilley: *Hort Sci.*, 4, 111 (1969).
- 72) F. B. Abeles & R. E. Holm: *Plant Physiol.*, 41, 1337 (1966).
- 73) R. E. Holm, T. J. O'Brien, J. L. Key & J. H. Cherry: *Plant Physiol.*, 45, 41 (1970).
- 74) H. Imaseki, M. Uchiyama & I. Uritani: *Agric. Biol.*

Chem., 32, 387 (1968).

- 75) H. Hyodo & S. F. Yang: *Plant Physiol.*, 47, 765 (1971).
- 76) M. J. C. Rhodes & L. S. C. Woollorton: *Phytochemistry*, 10, 1989 (1971).
- 77) E. Chalutz: *Plant Physiol.*, 51, 1033 (1973).
- 78) H. Hyodo, H. Kuroda & S. F. Yang: *Plant Physiol.*, in press.
- 79) H. Hyodo & S. F. Yang: *Z. Pflanzenphysiol.*, 71, 76 (1974).
- 80) S. P. Burg & E. A. Burg: *Science*, 148, 1190 (1965).
- 81) F. B. Abeles, J. M. Ruth, L. E. Forrence & G. R. Leath-er: *Plant Physiol.*, 49, 669 (1972).
- 82) E. M. Beyer, Jr.: *Plant Physiol.*, 49, 672 (1972).
- 83) K. Shimokawa & Z. Kasai: *Agric. Biol. Chem.*, 32, 680 (1968).
- 84) E. M. Beyer, Jr.: *Plant Physiol.*, 56, 273 (1975).
- 85) I. Adato & S. Gazit: *Plant Physiol.*, 53, 899 (1974).

プロフィール

江藤 守総 (Morifusa Eto) 昭和5年2月20日生<略歴>昭和27年九州大学農学部農芸化学科卒業/32年同大学農学部助手/38年同助教授/52年同教授, 現在にいたる。この間, 34~36年米国ウィスコンシン大学研究員, 48~49年カリフォルニア大学客員教授<研究テーマと抱負>環状のリン酸エステル, アミド類の化学, 生化学に特に興味をもっている

北川 泰雄 (Yasuo Kitagawa) 昭和21年6月27日生<略歴>昭和44年京都大学農学部農芸化学科卒業/46年同大学大学院農学研究科修士課程修了/50年同博士課程修了/同年名古屋大学農学部付属生化学制御施設助助手(栄養制御部門), 現在にいたる<研究テーマと抱負>セリンと糖の相互転換代謝に関連する諸酵素の細胞生化学, 易動性体蛋白質の生化学的解析, 肝薬物水酸化系に関する栄養生化学。一見, 支離滅裂に見えるかもしれないが, 動物の栄養学という巨大な対象を, 分子と分子の組合せの総合として説明することを目標にして情熱を燃やしている<趣味>ペーパーグライダーを作って子供と一緒に近くの公園で飛ばすこと

小林 裕和 (Hirokazu Kobayashi) 昭和29年12月30日生<略歴>昭和52年鳥取大学農学部農学卒業, 現在, 名古屋大学大学院農学研究科博士課程(前期課程)(生化学制御施設代謝制御)在学中<研究テーマと抱負>光合成CO₂固定反応の生化学的研究。頭のとぎには自信ないが, 生命現象に対する興味は人一倍強いつもりである<趣味>有形無形を問わず一般に創造すること

角谷 和男 (Kazuo Sumiya) 昭和2年2月19日生<略歴>昭和28年京都大学理学部物理学卒業/同年同大学木材研究所助手/32年同講師/39年同助教授,

現在にいたる<研究テーマと抱負>樹木の内在リズム: 樹木の環境要因と内的要因による材質の変化。林学と林産学との結びつき(境界領域問題)に興味をもち, 樹木生理を主体的にやりたい<趣味>油絵と謡曲をやったことがあるが, 現在は無芸大食

田仲 可昌 (Yoshimasa Tanaka) Vol. 10, No. 10, p. 698 参照, 現在筑波大学生物科学系。本年5月より英国に留学

田矢 洋一 (Yoichi Taya) 昭和21年12月8日生<略歴>昭和44年東京大学理学部生物化学科卒業/49年同大学大学院博士課程修了/同年国立がんセンター研究所研究員, 現在にいたる<研究テーマと抱負>当面は, 高等生物における遺伝情報発現の制御機構を分子レベルで解明することに取り組みたいと思えます<趣味>旅行, 探検, 蝶の蒐集, 少林寺拳法(2段), 空手(2段)

西村 暹 (Susumu Nishimura) Vol. 14, No. 8, p. 548 参照

根岸 孝 (Takashi Negishi) 昭和4年4月23日生<略歴>昭和24年帯広農専農芸化学科卒業/25年帯広畜産大学助手/38年同助教授/51年同教授, 現在にいたる。この間, 38~39年カナダ国立食品研究所留学<研究テーマと抱負>多核芳香族炭化水素および重金属と農業汚染とのかかわりあい, ならびに畜産廃棄物の利用法<趣味>馬術, 登山

兵藤 宏 (Hiroshi Hyodo) 昭和13年10月3日生<略歴>昭和41年名古屋大学大学院農学研究科博士課程修了/以後, 同大学農学部助手を経て, 現在静岡大学農学部助教授。この間, 44, 52年カ

リフォルニア大学(Davis)に留学<研究テーマと抱負>植物ホルモン(特にエチレン)の生成と作用の研究, および果実の成熟(追熟), 植物組織の老化の研究に興味を持ち, 少しずつ進めている<趣味>音楽鑑賞(特にクラシック), 将棋(1級くらい?), お酒少々

松本 幸雄 (Sachio Matsumoto) Vol. 12, No. 10, p. 222 参照

水谷 正寛 (Masahiro Mizutani) 昭和8年1月9日生<略歴>昭和31年神戸大学理学部生物学科卒業/以後, 北海道大学大学院理学研究科修士課程修了, 同博士課程中退, 米国テキサス大学医学部留学, 武田薬品中央研究所(主任研究員)を経て, 51年(財)食品薬品安全センター, 現在にいたる<研究テーマと抱負>実験奇形学分野の研究<趣味>レコード(クラシック)

柳川 弘志 (Hiroshi Yanagawa) Vol. 16, No. 2, p. 123 参照

柳田 藤治 (Fujiharu Yanagida) 昭和7年4月13日生<略歴>昭和33年東京農業大学農学部醸造学科卒業/同年同大学助手/41年同講師/53年同教授, 現在にいたる<研究テーマと抱負>発酵食品, 特に食酢製造と酢酸菌の生理<趣味>読書, 陶磁器蒐集。

訂正——前号 p. 164の本欄中, 内山充先生の項に誤りがございましたので, 以下のように訂正させていただきます。御迷惑をおかけしましたことを深くおわび申し上げます。(編集部)
(誤)“……34年同大学医学部薬学科助教授/43年同薬学部教授……”→(正)“……34年東北大学医学部薬学科助教授/43年同薬学部教授……”