

# ニホンナシ果実発育の早晩性、貯蔵性とエチレン生成との関係

田辺賢二・伴野 潔・田村文男  
井ノ口和人

## 緒 言

近年、食生活が著しく向上し、多様化してきたのに伴い、果実の消費傾向も量から質へ変化してきている。これに伴い果樹産地では高品質の果実を長期間にわたって安定して供給する必要にせまられている。ナシ産地鳥取でも、このような状況に対応すべく、従来の二十世紀の単一栽培から脱皮し、早生ナシ、中生ナシ、晩生ナシ品種を組み合わせた品種の多様化を推進している。

他方、ニホンナシ果実品種間の発育肥大および成熟特性の差異には、果実中の生長調節物質が密接に関係している。なかでもエチレンが、特に深い関連を有していると考えられている<sup>(1)</sup>。ニホンナシ果実におけるエチレン生成は、果実幼果期には各品種とも微量であるが、成熟期になり品種間に差がみられ、エチレン生成の高まるものと高まらないものがあり、さらに、貯蔵性のすぐれる品種はエチレン生成量の少ない品種であることが、これまでの研究で明らかになっている<sup>(2)</sup>。しかし、品種間のエチレン生成量の違いは、何に由来するのかはまだ明らかにされていない。そこで、本実験は、ニホンナシの早生、中生、晩生品種を用いて果実発育に伴うエチレン生成量、エチレン前駆物質およびエチレン生成酵素の動きを調べ、早晩性および貯蔵性との関連を明らかにする目的で行ったものである。

# 第1章 早生、中生、晩生品種の果実発育に伴う エチレン生成量、果肉中のエチレン含量、 ACC含量およびEFE活性の動き

高等植物におけるエチレン形成の経路は、メチオニンを基質として、S-アデノシルメチオン (SAMと略記)、1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸 (ACCと略記) を経てエチレンに転換する経路であることが、Yangらの研究をはじめとして、多くの研究結果より立証されてきた<sup>(1,13)</sup>。また、エチレンの生合成経路の中で、SAMからACCを生成する反応にはACC合成酵素が、ACCからエチレンに転換する反応にはエチレン生成酵素 (Ethylen forming enzyme: EFEと略記) が、関与していると考えられている<sup>(4)</sup>。

上田 (1981) は、'新水' および '八雲' の果実発育に伴うメチオニン、ACC含有およびエチレン生成量の動きを調べ、エチレン生成量の違いは、メチオニンおよびACC生成力の差に由来すると考察した<sup>(15)</sup>。また、トマト果実ではACC含有が熟度の進展とともに増加し、キュウリ果実では減少するが、ACCの添加によるエチレン生成の促進 (EFF活性) は、トマトでもキュウリでも熟度の進展とは関係なく、一定の値であったとされている<sup>(14)</sup>。

そこで本章は、ニホンナシの早生、中生、晩生品種を用いて、果実成熟に関与するホルモンであるエチレンの発生量と果肉中に含まれるエチレン含量、エチレン前駆物質であるACC含量、さらにEFE活性が果実発育に伴ってどのように変化するかを調査し、品種間の早晩性と貯蔵性との関係を明らかにしようとした。

## 材料および方法

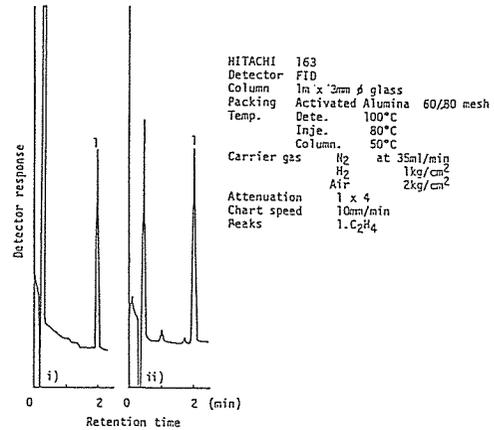
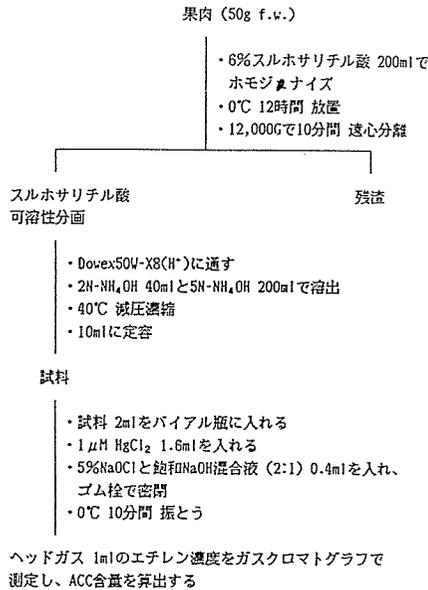
材料として、本学日本梨開発実験施設の11年生 '新水'、'新興'、岩美町田中園の12年生 '新興' および本学農場果樹園の9年生 '二十世紀'、'菊水' を供試した。

1988年6月下旬から、それぞれの供試品種の成熟期 (収穫適期: '新水' 8月16日、'菊水' 9月6日、'二十世紀' 9月16日、'新興' 10月20日、'新雪' 11月30日) にかけて、各品種の果実を経時的に採取し、果径、果重を測定した。また、7月下旬から成熟期にかけて果肉硬度を測定した。

5月下旬から成熟期まで、各品種の果実発育に伴うエチレン生成量、果肉中のエチレン含量、エチレン生成酵素 (EFE) 活性の動きを調査し、7月下旬から成熟期まで、ACC含量、CO<sub>2</sub>排出量を調査した。エチレン生成量は、採取した果実をプラスチック製密閉容器に入れ、21°Cで5時間静置した後、容器中のヘッドガスを2ml採取しガスクロマトグラフ (FID) により測定した。エチレン含量は、減圧採取法で測定した<sup>(12)</sup>。すなわち、採取後の果実を水中において5分間減圧吸引し、果実組織中の空気を水と置換させ水上置換で採取した。採取した空気の容量を測定後、ガスクロマトグラフを用いてエチレン濃度を測定し含量を算出した。EFE活性は、ガラスビンにACC濃度1mMの溶液10mlと、果肉1gを4分割にして入れ、21°Cで2時間振とう後、容器中のヘッドガスを2ml採取し、ガスクロマトグラフによりエチレン含量を測定した。ACC含量は第1図に示す方法にしたがってエチレン生成量を測定し、ACC純品から発生したエチレン生成量と比較することにより算出した。このACC測定方法は、ACCと次亜塩素酸ナトリウムからエチレンが生成され

る反応を利用したものである<sup>(11)</sup>。CO<sub>2</sub>排出量は、エチレン生成量の測定と同様の方法で行い、採取したガスをガスクロマトグラフ (TCD) により測定した。また、粗蛋白量当たりのEFE活性を調べるために、ケルダール法により果実中の全窒素量を測定し、6.25を乗じて粗蛋白量とした (ただし、蛋白質中の窒素を16%と仮定した)<sup>(10)</sup>。

なお、エチレンガスのガスクロマトグラフおよび標準線を第2図および第3図に、ACCの検量線を第4図に、CO<sub>2</sub>の標準線を第5図に示した。



第1図 果肉中の1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) の抽出および測定方法

第2図 エチレンの代表的なガスクロマトグラフ

## 結 果

### (1) 果実の横径、縦径および果重の動き

果実の横径の動きを第6図に、縦径の動きを第7図に、果重の動きを第8図に示した。横径については、'新雪'は10月上旬まで、その他の品種は9月上旬まで急速に肥大し、その後緩慢となった。また、'新水'、'新雪'は他の品種に比べて肥大が早く進み、幼果期で約10mm程大きく、極晩生で大玉品種の'新雪'は、収穫期には約30mm大きかった。縦径は各品種とも横径に比べてゆるやかに肥大した。また、'新雪'は横径と同様に、他品種に比べて肥大が早く進んだ。果実は各品種とも増加がS字曲線を示し、'新雪'以外の品種は9月上旬に増加が緩慢になったのに対して、'新雪'は10月中旬まで増加しつづけ、収穫期には他の品種の約2倍の重さであった。

### (2) 果肉硬度の動き

果肉硬度の動きを第9図に示した。各品種間で測定開始時の7月中旬にすでに差があり、'新水'

が最も低く、‘菊水’、‘二十世紀’は‘新水’の約1.5倍、‘新雪’は約2.5倍であったが、収穫期には各品種とも1 kg前後まで減少した。

### (3) エチレン生成量および果肉中のエチレン含量の動き

エチレン生成量の動きを第10図に、果肉中のエチレン含量の動きを第11図に示した。各品種とも生成量と含量は同じような動きであった。幼果期は低い値で推移し、成熟期に入ると‘新水’ではいずれの量も増加しその量は5品種中で最も多く、次いで‘菊水’でも増加した。‘二十世紀’では一時やや増加したが、その後減少した。‘新興’および‘新雪’は、成熟期にも生成量の増加はごくわずかであった。

### (4) ACC含量の動き

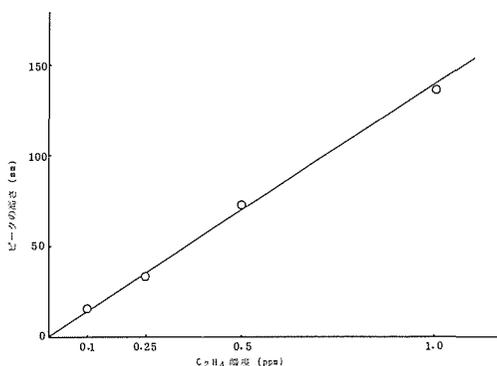
ACC含量の動きを第12図に示した。‘新水’、‘菊水’、‘二十世紀’では、成熟期に増加しその後減少した。‘新興’、‘新雪’は成熟期にも増加しなかった。しかし、品種間にエチレン生成量にみられたような大きな差はなかった。

### (5) EFE活性の動き

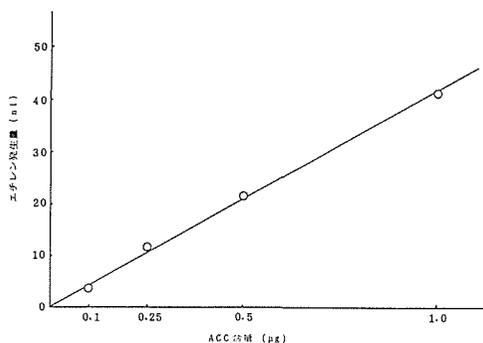
果肉中のEFE活性の動きを第13図に示した。各品種とも6月下旬から7月下旬まで、一時的に高まった。その後成熟期になると、‘新雪’以外の品種果実では急激に高まるが、‘新雪’では高まらなかった。また、各品種果実における粗蛋白1 mg当たりのEFE活性の動きを第14図に示した。各品種とも前述のEFE活性の動きと同様に、‘新雪’以外は成熟期に高まりをみせた。

### (6) CO<sub>2</sub>排出量の動き

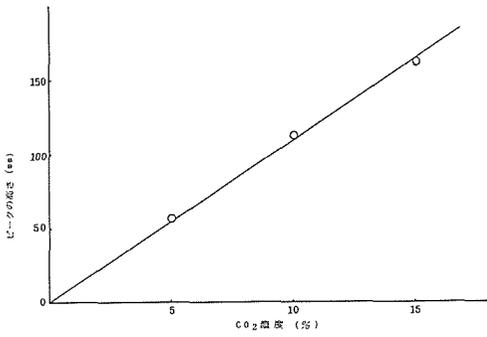
CO<sub>2</sub>排出量の動きを第15図に示した。成熟期に‘新水’は増加をつづけ、‘菊水’は一時増加したが、その後減少した。‘二十世紀’、‘新興’、‘新雪’は成熟期にも減少をつづけ、後半わずかに増加した。



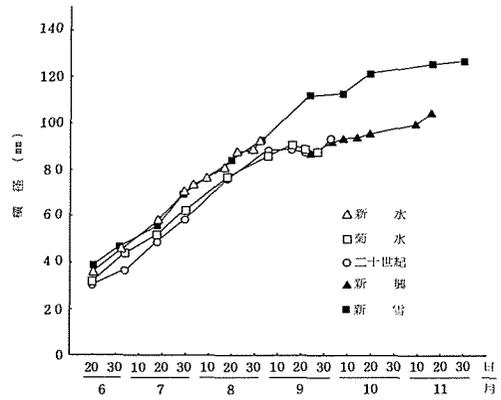
第3図 エチレン検量線



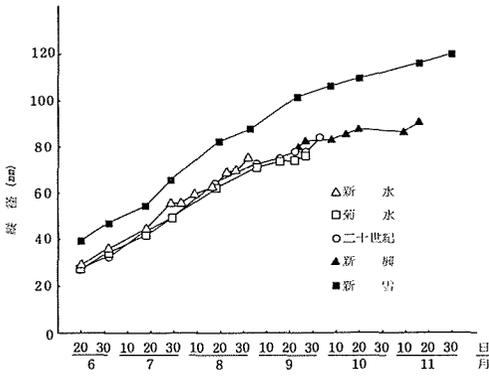
第4図 ACC検量線



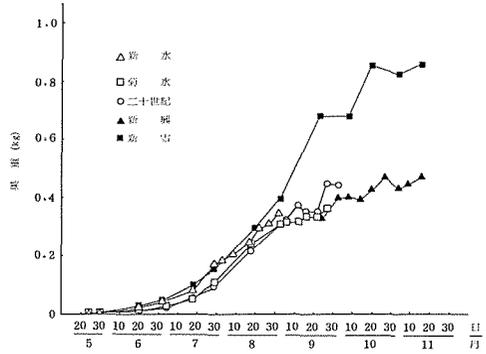
第5図 CO<sub>2</sub>検量線



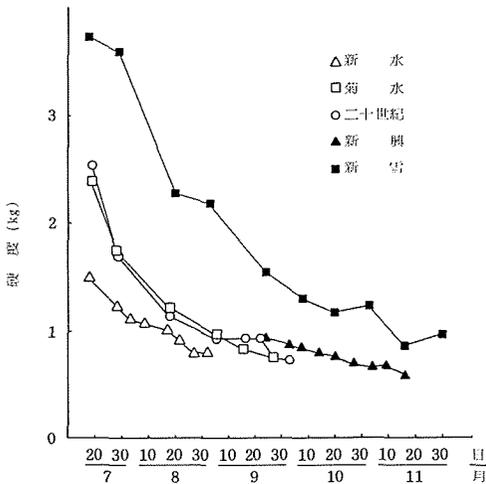
第6図 ニホンナシ各品種の果実発育における果径(横径)の動き



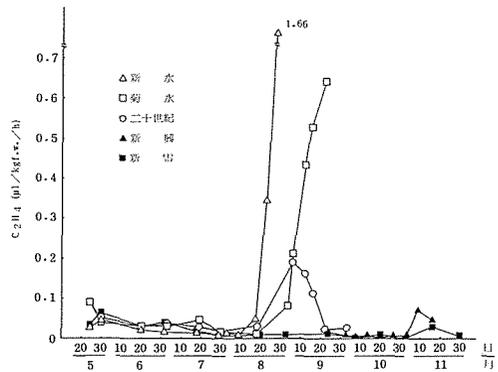
第7図 ニホンナシ各品種の果実発育における果径(縦径)の動き



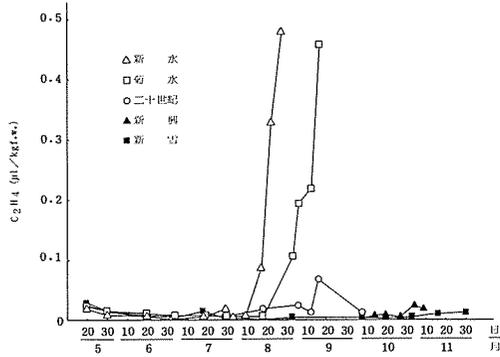
第8図 ニホンナシ各品種の果実発育における果重の動き



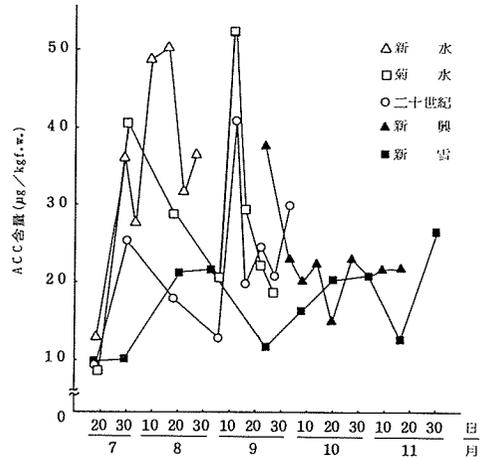
第9図 ニホンナシ各品種の果実発育に伴う果肉硬度の動き



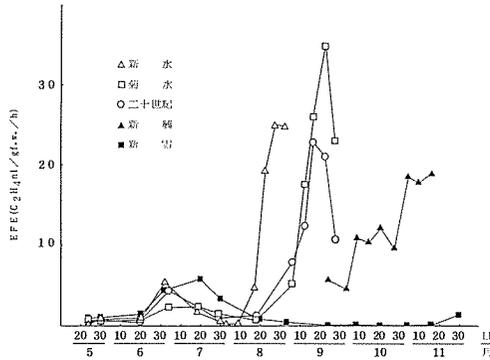
第10図 ニホンナシ各品種の果実発育に伴うエチレン生成量の動き



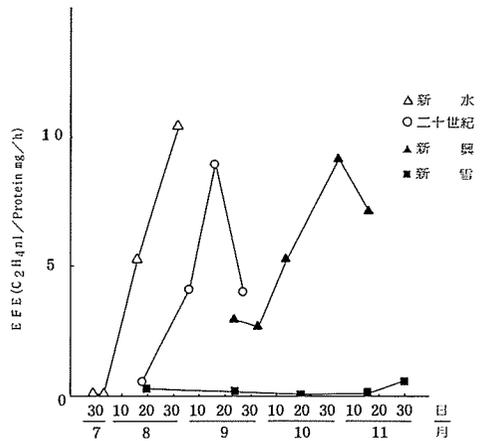
第11図 ニホンナシ各品種の果実発育に伴う果肉中のエチレン含量の動き



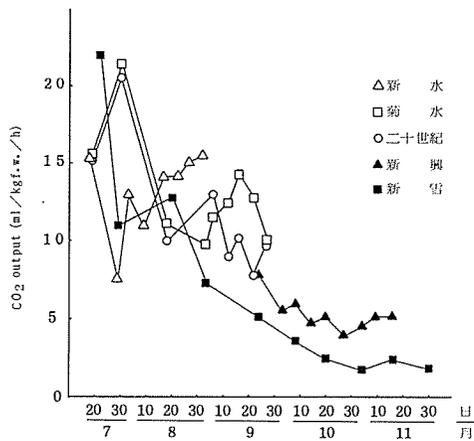
第12図 ニホンナシ各品種の果実発育に伴うACC含量の動き



第13図 ニホンナシ各品種の果実発育に伴う果肉中のEFE活性の動き



第14図 ニホンナシ各品種の果実発育に伴う果肉中のEFE活性の動き



第15図 ニホンナシ各品種の果実発育に伴う $CO_2$ 排出量の動き

## 考 察

果実発育に伴う果径の変化は、各品種とも6月中旬以降は縦径の生長に比べて横径の生長の方が盛んであった。また、品種間差異は横径では‘新水’、‘新雪’が他の品種に比べて生長が早く、‘新雪’以外の4品種果実では9月上旬に生長が緩慢になるのに対し、‘新雪’の横径は10月上旬まで伸長を続けた。縦径は‘新雪’が他品種果実に比べて測定開始時にすでに約10mm大きく、生長も早いいため収穫期には約30mmのひらきがあった。果実の変化は、幼果期は各品種とも増加が緩慢で、7月中旬～8月下旬まで急速に増加し、その後、‘菊水’、‘二十世紀’、‘新興’はゆるやかに増加したのに対し、‘新雪’は10月中旬まで増加しつづけた。このことより、果実の肥大および果重の増加は、各品種とも7～8月の真夏で気温の最も高い時期に盛んに行われるが、‘新雪’はその時期に限らず、10月まで果実生長が盛んであることがうかがわれた。

果肉硬度の変化は、早生品種果実ほど軟化速度が早く、収穫期に近い‘菊水’、‘二十世紀’は同様の動きであった。

エチレン生成量と果肉中のエチレン含量の動きは、各品種とも同じような動きをみせた。リンゴの‘ふじ’、‘国光’では、果実中のエチレン含量が急増するが、それに伴ってエチレン生成量の急激な増加が起こらない<sup>(16)</sup>。ニホンナシ果実では、本実験においてそのような現象はみられなかった。成熟期に入ると生成量および含量は、早生品種で貯蔵性の悪い‘新水’では特に増加した。中生品種の‘菊水’と‘二十世紀’では、貯蔵性の悪い‘菊水’で発生量、含量ともに多く、貯蔵性の良い‘二十世紀’は、いずれも少量であった。また、晩生品種で貯蔵性の良い‘新興’、‘新雪’では、わずかしか発生せず、また含量も増加しなかった。このことより、ニホンナシ果実の早晩性と貯蔵性のちがいは、エチレン生成量およびエチレン含量に大きく影響されていると考えられた。しかし、エチレンの前駆物質であるACC含量が、各品種ともほとんど差がなく、EFE活性が‘新雪’以外の品種果実では成熟期にエチレン生成量の差によらず同様に高まることから、エチレン生成量および含量の品種間差は‘新雪’以外の品種では、ACC量やEFE活性の差によるものではないかと考えられる。EFEは細胞膜に強く結合して存在し、メチオニンは液胞中に大量に存在すると考えられている<sup>(3,6)</sup>。このことから、EFEは細胞膜にあり、ACCは液胞中に含まれるため、品種間により液胞膜透過性にちがいがあり、生成するエチレン量に差があるのではないかと推察された。

CO<sub>2</sub>排出量については、ある種の果実は成熟期後半に呼吸の上昇がみられ、これをクライマクテリックライズといい、呼吸上昇がみられるものをクライマクテリック型果実と称している<sup>(5)</sup>。一般に、ニホンナシはこのクライマクテリック型の果実に含まれるといわれているが、北村(1981)は、‘新高’などクライマクテリックが認められる品種と、‘二十世紀’など認められない品種があると述べている<sup>(7)</sup>。本実験においてCO<sub>2</sub>排出量の動きをみると、‘新水’、および‘菊水’では、成熟期後半の吸水量の増加(クライマクテリック)がみられたが、‘二十世紀’、‘新興’、‘新雪’ではみられなかった。なおこのクライマクテリックがみられた品種果実は貯蔵性が悪く、みられなかった品種果実は貯蔵性が良いものであった。

以上のことから、ニホンナシ果実においては、エチレン生成が増大し吸収量の増加と果実成熟を急速に促進するものと、エチレン生成が増大せず、吸収量は漸減し成熟が緩慢に進むタイプとがあり、このエチレン生成量はEFE活性が高く、ACCが結びつきやすい状態であれば多量に生成

され、EFE活性が高くACCが十分に存在していても、結びつきにくい状態であれば生成されにくいのではないかと推察された。

## 第2章 ‘二十世紀’，‘新興’，および‘新雪’ 果実に対するACCならびにEthepon 処理がエチレン生成量におよぼす影響

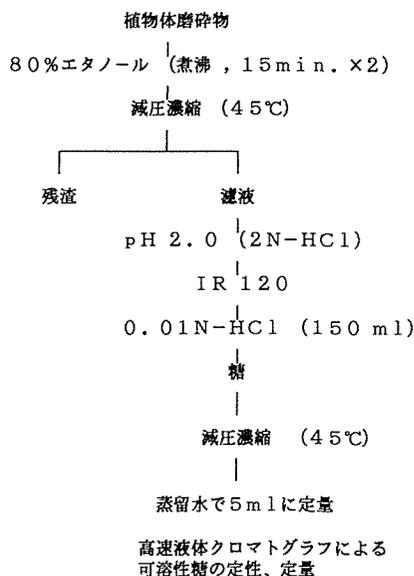
第1章の結果を裏づけるため、果実にACC処理を行うことによって生成するエチレン生成量を調べ、EFE活性の違いを調査した。

### 材料および方法

‘二十世紀’（果色2.5），‘新興’（果色4.0），‘新雪’（果色2.0）を採取し、ACC10mM，Ethepon 50ppmを2時間浸透させ21°Cで静置し，2日毎にエチレン生成量とCO<sub>2</sub>排出量を第1章と同様の方法で測定した。

また，‘二十世紀’は処理後10日後の果実糖度，酸含量および可溶性糖類を，‘新興’，‘新雪’，は処理後20日後の果実糖度，硬度，酸含量を測定した。糖度は果実赤道面の果肉の果汁を屈折糖度計を用いて測定し，硬度も果実赤道面の果肉硬度を測定した。可溶性糖類は果実を細切してエタノールで抽出し，第16図の方法で得られた糖分画を液体クロマトグラフによって，グルコース，フラクトース，シュクロース，ソルビトールの4種の糖について定性，定量した。

酸含量は，水酸化ナトリウムを用いて中和滴定をする滴定酸度としてリンゴ酸に換算して求めた<sup>(12)</sup>。



第16図 糖の精製方法

## 結 果

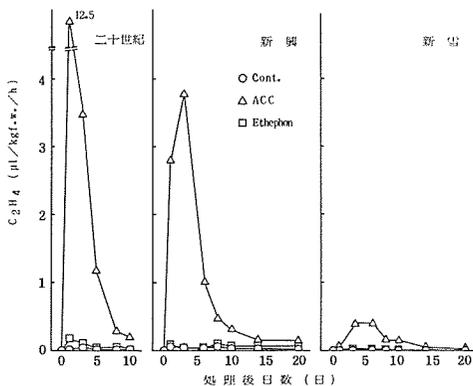
### (1) エチレン生成量の動き

エチレン生成量の動きを第17図に示した。各品種ともACC処理果で最も多くの生成が認められ，‘二十世紀’では処理後1日目に多量に生成し，‘新興’は3日目に最も多くみられた。しかし，‘新雪’は，5日目にやや生成が認められたものの，その量はわずかであった。Ethepon処理果は各品種とも，無処理果と同じような動きを示した。

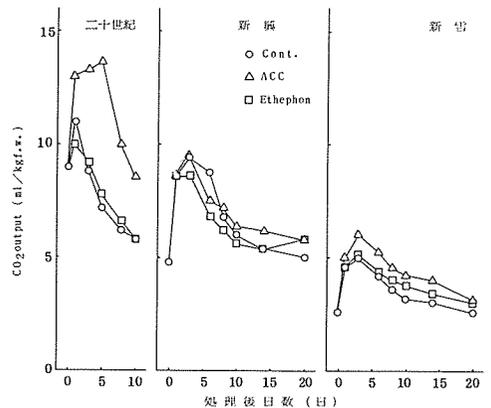
### (2) CO<sub>2</sub>排出量の動き

CO<sub>2</sub>排出量の動きを第18図に示した。‘二十世紀’ではACC処理果が最も多く排出し，処理後6日目でピークに達しその後減少した。Ethepon処理果と無処理果はほとんど差がなく，1日目で多く排出しその後減少した。‘新興’，‘新雪’は各処理間に差はみられなかった。また品種間では‘新雪’が他の2品種より少ない量で推移した。

### (3) 果実成分のちがひ



第17図 二十世紀, 新興および新雪果実に対するACCならびにEthepon処理がエチレン生成量におよぼす影響



第18図 二十世紀, 新興および新雪果実に対するACCならびにEthepon処理がCO<sub>2</sub>排出量におよぼす影響

‘二十世紀’果実の処理後10日目の果実成分を第1表に示した。糖度はACC処理果が高く無処理果, Ethephon 処理果が低かった。酸含量はACC処理果が少なく, 無処理果, Ethephon処理果が多かった。可溶性糖類は, ACC処理果がシュクロース, グルコースが多く, 全量でもACC処理果が最も多かった。またACC処理果は他の処理果に比べて急速に果色が進んだ。

‘新興’果実の処理後20日目の果肉成分を第2表に示した。糖度でACC処理果が高かったが, 硬度, 酸含量は差がなかった。果色の変化には各処理とも差はみられなかった。

‘新雪’果実の処理後20日目の果肉成分を第3表に示した。糖度, 酸含量ともに差がなく, 硬度は無処理果が高かった。果色は各処理とも‘新興’と同様に差はみられなかった。

第1表 二十世紀果実に対するACC及びEthepon処理の影響

処 理	糖度 (Brix)	酸度 (%)	糖 (mg/gf.w.)				
			Sucrose	Glucose	Fructose	Sorbitol	Total
無処理	9.9	0.27	3.04	23.30	64.75	5.16	96.25
ACC 10mM	10.2	0.26	5.79	30.89	63.00	4.04	103.72
Ethepon 50ppm	10.0	0.27	4.85	25.71	62.10	3.78	96.44

## 考 察

エチレン生成量は, ‘二十世紀’および‘新興’でACC処理果において多量に生成された。これは, 両品種とも処理果がEFE活性の高い時期のものであったため, 細胞膜中のEFEに結びつきやすい状態のACCが多量に与えられることによって, ‘二十世紀’は反応が速く1日目に, ‘新興’でも4日目には多量にエチレンを生成し, またその後のエチレン生成量の減少は処理したACCが消費されたことによると考えられた。一方, ‘新雪’はEFE活性が低かったため, ACCを多量に与えてもエチレン生成はおこらず, 微量にとどまったものと考えられた。

‘二十世紀’の10日後の果肉成分は, ACC処理果では多量に生成されたエチレンによって糖度の増加, 酸含量の減少, 可溶性糖類, 特にシュクロースの増加が起こり, また, 葉緑素の分解,

第2表 新興に対するACC及びEthephon処理の影響

処 理	糖度(Brix)	硬度(kg)	酸度(%)
無処理	12.3	0.70	0.23
ACC 10mM	12.7	0.74	0.24
Ethephon 50ppm	12.3	0.79	0.25

第3表 新雪に対するACC及びEthephon処理の影響

処 理	糖度(Brix)	硬度(kg)	酸度(%)
無処理	11.4	1.19	0.14
ACC 10mM	11.4	1.07	0.13
Ethephon 50ppm	11.6	1.04	0.14

消失があったため果色が急速に進んだものと考えられる。一方、‘新興’，‘新雪’の20日後の果肉成分は、‘新興’の糖度でACC処理果が少し高かった以外は差がなく、両品種とも果肉成分に影響をおよぼす程、エチレンは生成されなかったと考えられる。

CO<sub>2</sub>排出量は‘二十世紀’でACC処理果が高い値を示した。これは生成されたエチレンによって、呼吸量が増大したためと考える。一方、‘新興’においては、EFE活性もかなり高くACCを与えることにより、エチレン生成の高まりが認められた。しかし、それに伴うCO<sub>2</sub>排出量の上昇はきわめて少なかった。‘二十世紀’に比べてエチレン生成量の少ないことが原因とすれば、呼吸を増大させるエチレン濃度に達していなかったとも解釈される。たま、オレンジやレモンなどの非クライマクテリック型の果実と同様に、エチレンと呼吸は連動しない型の果実ともみなされる。‘新雪’はACC処理果が他処理果と比べて少し多いが、大きな差がなく、呼吸量に影響を与えるほどの高濃度エチレンが生成しなかったものと考えられる。

### 第3章 各品種果実の収穫後におけるエチレン生成量、果肉中のエチレン含量、ACC含量およびEFE活性の動き

一般に、ニホンナシ果実の貯蔵性は早生品種ほど貯蔵性が悪く、晩生品種になると貯蔵性が良くなる傾向にある<sup>(2)</sup>。しかし、収穫期を同じくする品種間にも貯蔵性のちがいがある<sup>(15)</sup>この品種間の貯蔵性のちがいは、収穫後に生成されるエチレンの多少が大きく影響していると考えられている。

本章では、早生、中生、晩生品種果実を用いて、収穫後のエチレン生成量、エチレン含量、ACC含量およびEFE活性の動きを調べ、品種間の貯蔵性との関連を検討した。

#### 材料および方法

‘新水’、‘菊水’、‘二十世紀’、‘新興’および‘新雪’果実の収穫後におけるエチレン生成量、果肉中のエチレン含量、ACC含量、EFE活性およびCO<sub>2</sub>排出量を調べた。

各品種果実を収穫適期に採取し、21°Cで静置し3日毎にそれぞれ第1章と同様の方法で測定した。

#### 結 果

##### (1) エチレン生成量および果肉中のエチレン含量の動き

エチレン生成量を第19図に、エチレン含量を第20図に示した。エチレン生成量とエチレン含量は同じような動きをみせた。‘新水’では収穫後4日目ごろから増加し、9日目にはピークに達し、その後減少した。‘菊水’では4日目ごろから増加し、その後も増加しつづけた（エチレン含量は10日目で調査終了）。‘二十世紀’、‘新興’、‘新雪’ではほとんど生成されなかった。

##### (2) ACC含量の動き

ACC含量の動きを第21図に示した。‘新水’は収穫後1日目に減少しその後増減を繰り返した。‘菊水’では急激に増加しつづけた。‘二十世紀’、‘新興’は増加がみられず、‘新雪’はゆるやかに増加した。

##### (3) EFE活性の動き

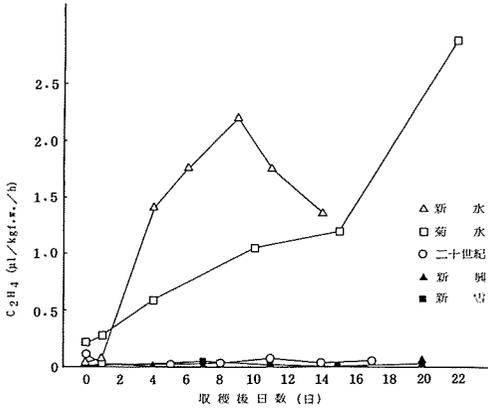
EFE活性の動きを第22図に示した。‘新水’では収穫後4日目に高まり、9日目でピークに達し、その後低下した。‘菊水’は1日目で高まり、4日目でピークに達しその後低下したが一定の値を保った。‘二十世紀’、‘新興’は収穫時の活性より一時高まるが、それほど大きな変化をみせなかった。‘新雪’はゆっくりとした高まりをみせ、15日目でピークに達した。

##### (4) CO<sub>2</sub>排出量の動き

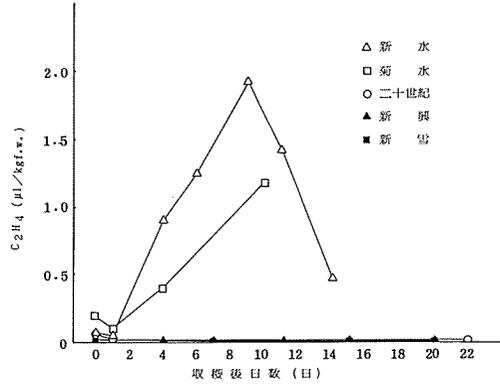
CO<sub>2</sub>排出量の動きを第23図に示した。CO<sub>2</sub>排出量は収穫時に品種間で差があり、‘新水’が最も多く、‘菊水’、‘二十世紀’、‘新興’、‘新雪’の順であった。収穫後は各品種とも大きな変化がなく、‘二十世紀’は減少し、他の品種は一時増加して減少、その後再び増加するという動きをみせ、‘新水’、‘菊水’ではその増減の差が大きかった。

(5) 果肉硬度の動き

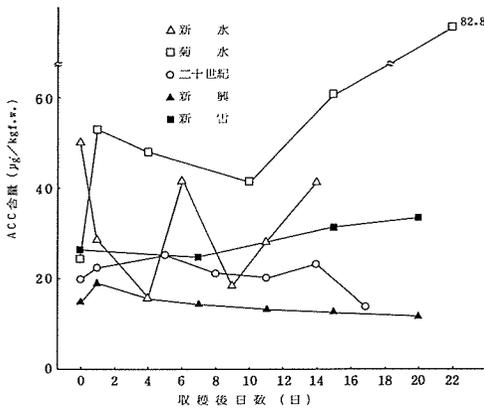
果肉硬度の動きをへ第24図に示した。'新水'では軟化が10日目から進み、'菊水'では1日目から急速に進んだ。'二十世紀'、'新興'では、軟化、硬化をくり返し、'新雪'では軟化がほとんど進まなかった。



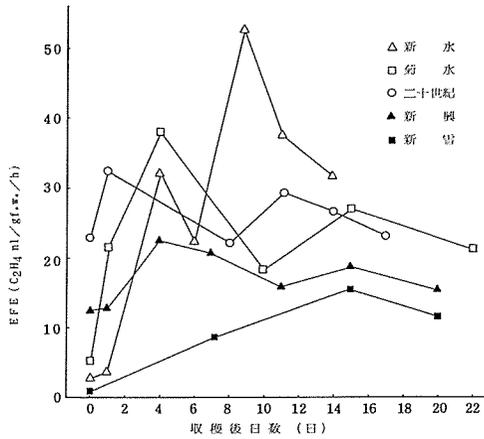
第19図 収穫後の果実におけるエチレン生成量の品種間差異



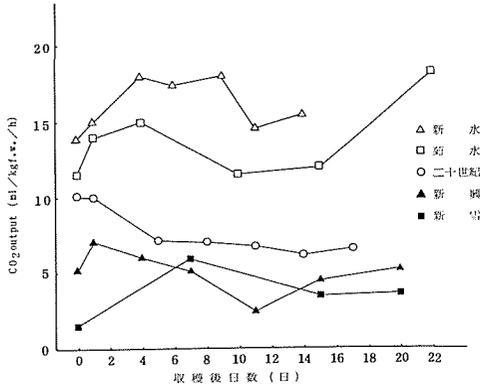
第20図 収穫後の果実におけるエチレン含量の品種間差異



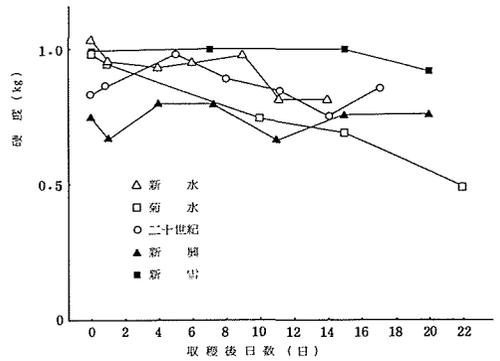
第21図 収穫後の果実におけるACC含量の品種間差異



第22図 収穫後の果実におけるEFE活性の品種間差異



第23図 収穫後の果実におけるCO<sub>2</sub>排出量の品種間差異



第24図 収穫後の果実における果肉硬度の品種間差異

## 考 察

早生品種である‘新水’は貯蔵性が悪く、本実験でも収穫後約1週間をすぎると果皮黒変が生じ、2週間たつと貯蔵不可能となった。また、中生品種で貯蔵性の悪い‘菊水’は収穫後10日ごろには水浸状になり、食べるのが不可能となった。しかし、‘二十世紀’は17日を過ぎても、‘新興’、‘新雪’は20日を過ぎても可食状態であった。

それぞれの結果を各品種別にみると、‘新水’ではエチレン生成量およびエチレン含量は増加し、果皮黒変発生期の9日目にピークに達した。ACC含量は大きく増減を繰り返し、EFE活性は高まりつづけてエチレンと同時期にピークに達した。また、CO<sub>2</sub>排出量も9日前後で高くなり、果肉もその日以降軟化が進んだ。これらのことより、‘新水’の貯蔵性の悪い原因は、EFE活性の高まりによって多量に含まれるACCが急激にエチレンに転換され、そのエチレンがCO<sub>2</sub>の排出、果肉軟化を促進するためであると考えられる。

収穫期をほぼ同じくするが、成熟の度合がちがう‘菊水’と‘二十世紀’を比較すると、‘菊水’ではエチレン生成量、エチレン含量、ACC含量が増加しつづけて、EFE活性は4日目にピークに達しその後高い値で安定した。また、CO<sub>2</sub>排出量も16日目以降多量に排出し、果肉の軟化は収穫後すぐに急速に進んだ。一方、‘二十世紀’はエチレン生成量およびエチレン含量ともに少なく、ACC含量も少なかった。しかし、EFE活性は収穫時ですでに高く、その後高い値で安定した。CO<sub>2</sub>排出量は減少し、果肉は‘菊水’ほど軟化が進まなかった。以上のことから‘菊水’による多量のエチレン生成は、ACC含量が増加し、EFE活性が高いため多量のACCがエチレンに転換されることにより、さらにそのエチレンによってCO<sub>2</sub>排出量の増加、果肉の軟化が促進される。また、‘二十世紀’のエチレン量が増加しないのは、EFE活性が高い値であるのにもかかわらず、ACC含量が少なく、さらに第1章で述べた液胞膜透過性が低いことによるのではないかと考えられる。

‘新興’、‘新雪’のエチレン生成量とエチレン含量が微量であったのは、‘二十世紀’と同様の原因によるものであり、その量はCO<sub>2</sub>排出量と果肉軟化にあまり影響しなかったと推察された。

## 第4章 新水および二十世紀果実のエチレン生成量、CO<sub>2</sub>排出量ならびにEFE活性と温度との関係

本章は、温度がエチレン生成量、CO<sub>2</sub>排出量およびEFE活性にどのように影響を与えるかを調べるために行った。

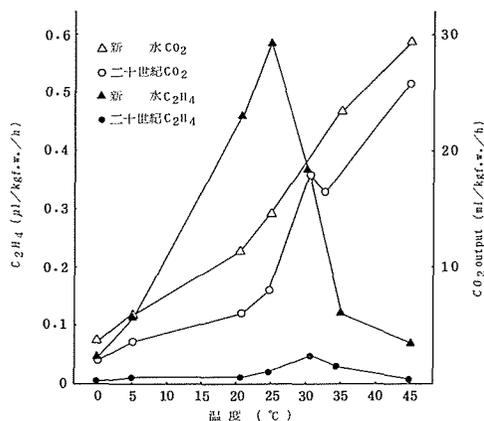
### 材料および方法

‘新水’（8月24日、果色4.0）と‘二十世紀’（9月29日、果色3.5）を採取し、24時間21°Cで放置した後、エチレン生成量、CO<sub>2</sub>排出量およびEFE活性と温度との関係を調べた。

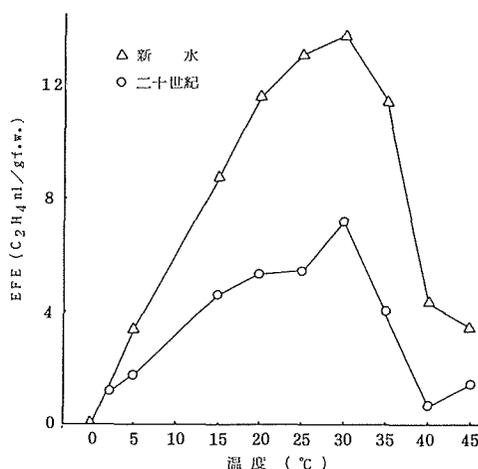
エチレン生成量とCO<sub>2</sub>排出量は、果実温を一定にするために0～45°Cに設置した恒温器に4時間静置した後、第1章と同様の方法で測定した。EFE活性は、0～45°CのACC濃度1mMの溶液10mlに4分割にした果肉を1g入れて、20分毎に10秒間振とうを2時間行い、ガスクロマトグラフによりエチレン量を測定した。

### 結 果

エチレン生成量とCO<sub>2</sub>排出量は第25図に、EFE活性は第26図に示した。‘新水’、‘二十世紀’ともにCO<sub>2</sub>排出量は温度上昇につれて増加したのに対し、エチレン生成量は、‘新水’で25°Cの時に最も多く、‘二十世紀’は‘新水’に比べて極めて少ないが、30°Cの時に生成された。EFE活性は、‘二十世紀’で‘新水’に比べると半分の活性しか認められなかったが、両品種とも30°Cで活性のピークを示した。



第25図 新水および二十世紀果実のエチレン生成量ならびにCO<sub>2</sub>排出量と温度との関係



第26図 新水および二十世紀果実のEFE活性と温度との関係

## 考 察

EFE活性は‘新水’では30°C前後で活性が高まったのに対し、‘二十世紀’は温度にそれほど影響されずに平均した値であった。また、CO<sub>2</sub>排出量は温度上昇につれて両品種とも増加し、エチレン生成は‘新水’では25°Cをピークに多量に生成されたが、‘二十世紀’はあまり影響されずに30~35°Cに少量の発生がみられたのみであった。

このことにより、‘新水’は気温の高い8月上旬から中旬にかけてEFE活性が高まり、エチレン生成が増加し成熟が急速に進むが、‘二十世紀’は温度にあまり影響されないため、エチレン生成が少量であり、このことが成熟が緩慢となる原因の一つではないかと考えられる。

また、いくつかの青果物で、30°C以上の高温域の一定の条件での短時間処理が、成熟、老化の抑制効果を持つ場合があることが知られている<sup>(5,9)</sup>。本実験では両品種ともEFE活性が高温下で低下し、エチレンの生成量が少なかった。以上のことから、果実における高温での成熟、老化の抑制は、EFE活性の低下によるエチレン生成量の減少によるものではないかと考えられた。

## 第5章 総合考察

貯蔵性の悪い早生品種の‘新水’，中生品種の‘菊水’は成熟期に多量のエチレンを生成し，収穫後も著しい生成量の増加がみられる。このエチレンが呼吸量の増加や果肉の軟化をひきおこし成熟速度が速まる。また，貯蔵性の良い中生品種の‘二十世紀’と晩生品種の‘新興’は，成熟期にも収穫後もエチレンの生成量が少量であり，呼吸量の増加もおこらず，貯蔵後の成熟は緩慢に進行した。さらに貯蔵性の極めて良い晩生品種の‘新雪’ではエチレン生成量は微量であり，呼吸量は減少し，果肉は軟化が進まなかった。

このことより，早生品種で貯蔵性の悪い品種果実ほどエチレンを生成する量が多く，収穫後も生成を続け，そのエチレンは呼吸量および果肉の軟化に影響を与えられられる。

この成熟に関係するエチレンは，ACCを前駆物質としてEFEが作用することによって生成されるが，ACCが各品種にあまり差がないこと，EFE活性が‘新雪’以外の品種果実では成熟期に高まり，貯蔵後も一定の値であることから，エチレン生成量のちがいは，‘新雪’以外の品種の果実では，ACCの量やEFE活性の違いによるものではなく，EFEが存在する細胞膜とACCが含まれる液胞との間にある液胞膜の膜透過性の違いによるものではないかと推察される。これは，‘二十世紀’，‘新興’，‘新雪’果実に，EFEと結びつきやすい状態でACCを処理すると，EFE活性の高まっていた‘二十世紀’と‘新興’からは多量のエチレンが生成されたが，EFE活性の低い‘新雪’からは，少量しか生成されなかったことから考えられる。

また，温度との関係を考えて，‘新水’は8月上旬から中旬の30°C前後の温度によって，EFE活性が促進されエチレンを多量に生成して成熟が急速に進むが，‘二十世紀’はあまり温度に影響されないために成熟が緩慢に進むのではないかとみなされる。さらに，いくつかの果実では高温条件下におくと，成熟，老化が抑制されることが報告されているが，本実験の結果から，ナシ果実のEFEも高温により活性が低下し，エチレン生成量が減少して成熟，老化が抑制されるのではないかと推察される。

### 摘 要

本研究は，ニホンナシの早生，中生，晩生品種を用いて，果実発育および収穫後におけるエチレン生成量，エチレン含量，エチレンの前駆物質であるACC含量，さらにACCがエチレンに転換する反応に関与する酵素であるエチレン生成酵素（EFE）活性の動きを調べ，早晩性および貯蔵性との関係を検討したものである。その結果を要約すると以下のとおりである。

1. 果実発育に伴う各品種のエチレン生成量，エチレン含量，ACC含量，EFE活性およびCO<sub>2</sub>排出量を調査した。エチレン生成量，含量は各品種とも幼果期には差がないが，成熟期になると‘新水’，‘菊水’で顕著に増加し，またEFE活性も高まった。一方，‘二十世紀’，‘新興’はEFE活性は高まるが，エチレン生成量，含量ともに微量であった。ACC含量は‘新水’，‘菊水’，‘二十世紀’で成熟期に一時高まるが品種間に大きな差はみられなかった。また，CO<sub>2</sub>排出量は‘新水’，‘菊水’で成熟期に増加するが，他品種果実は減少した。

2. ‘二十世紀’，‘新興’，‘新雪’果実に，ACC10mM，Ethephon 50ppmを処理し，エチレン生

成量とCO<sub>2</sub>排出量を調べた。エチレン生成量は‘二十世紀’、‘新興’でACC処理果できわめて多かった。CO<sub>2</sub>排出量は‘二十世紀’のACC処理果に多かった。しかし、‘新興’ではほとんど認められなかった。

3. 収穫後における各品種のエチレン生成量、エチレン含量、ACC含量、EFE活性およびCO<sub>2</sub>排出量の動きを調べた。‘新水’、‘菊水’ではエチレン生成量、含量ともに増加し、EFE活性も高まった。ACC含量は‘新水’では増減を繰り返す、‘菊水’は増加しつづけた。CO<sub>2</sub>排出量は両品種とも高い値で増減した。一方、他品種果実では、収穫後に大きな変化はみられなかった。

4. ‘新水’と‘二十世紀’果実におけるエチレン生成量、CO<sub>2</sub>排出量およびEFE活性と温度との関係を調べた。CO<sub>2</sub>排出量は両品種果実とも温度が上昇すると増加したが、エチレン生成量は‘新水’では25°Cをピークに多量に生成され、‘二十世紀’は温度にあまり影響されずに、30°C前後で少量の生成が認められる程度であった。また、EFE活性は‘新水’では30°Cピークに高まったが、‘二十世紀’は平均した値であった。

5. 以上の結果から早晩性、貯蔵性とエチレンについては次のように考えられた。即ち、早生、中生をとわず、貯蔵性の劣る品種では、ACCとEFEの反応系が果肉細胞内で支障なく行われ、エチレン生成が多量にみられる。これに対し、中生、晩生の貯蔵性にすぐれる品種では、二つのタイプがある。その一つは‘新雪’にみられるようにACCは存在するものの、EFE活性がきわめて低いもの、もう一つはACCも存在し、EFE活性も高まるものの、両者の反応が支障を受けエチレンが生成されないものである。

## 参 考 文 献

- 1) Adams, D. O. and S. F. Yang (1979) : Ethylene biosynthesis : Identification of I-aminocyclopropane-I-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methion to ethylene. Proc. Natl. Acad. Sci. USA76 : 170-174
- 2) 福井謙一郎 (1986) 日本ナシ果実の発育に伴う果肉中の生長調節物質の動き 鳥取大学農学部卒業論文
- 3) Guy, M. and H. Kende. (1984) Planta 160 : 281-287
- 4) 兵藤宏 (1987) エチレンの生合成と代謝 園芸学会昭和62年度秋季大会シンポジウム講演要旨 : 122-129
- 5) 伊庭慶昭 垣内典夫 福田博之 荒木忠治 (1985) 果実の成熟と貯蔵, PP, 7-10養賢堂
- 6) Kende, H. and Barmgarther, B. (1974) Planta. 116, 279.
- 7) 北村利夫他 (1981) 果実・野菜の成熟生理と貯蔵に関する研究(第2報)園芸学会雑誌 49(4) : 608-616
- 8) 倉石晋 (1976) 植物ホルモン 第2版, PP, 98-112 東京大学出版会
- 9) 小倉長雄他 (1976) 種々の温度に貯蔵されたトマト果実によるエチレン生産およびこれら果実についてのエチレン処理の影響について, 日本農芸化学雑誌50 : 519-523
- 10) 京都大学農学部農芸化学教室編 (1957) 農芸化学実験書(増補)第二巻 PP, 518-521 産業図書株式会社版
- 11) Lizard, C. C. and S. F. Yang (1979) : A Simple and Sensitive Assay for I-

Aminocyclopropane-1-Carboxylic Acid. Anal. Biochem. 100 : 140-145

- 12) 大阪府立大学農学部園芸学教室編 (1983) 園芸学実験・実習, PP.162-163, PP. 184-185 養賢堂
- 13) Peiser, G. D., T. T. Wang, N. E. Hoffman, S. F. Yang, H. W. Liv and C. T. Walsh (1984) Proc. Natl. Acad. Sci. USA81 : 3059-3063
- 14) 寺井弘文 水野進 (1985) トマトとキュウリ果実の生育・成熟に伴う 1-3 アミノシクロプロパン-1-カルボン酸(ACC)含量とエチレン生成酵素活性の変化 園芸学会雑誌 53(4) : 467-473
- 15) 上田康司 (1981) 日本ナシの成熟生理と鮮度保持に関する研究 鳥取大学農学部学位論文
- 16) 吉岡博人 青葉幸二 福元将志 (1987) リンゴ品種の早晩性と果実の貯蔵性, NADP-リンゴ酸酵素活性との関係 園芸学会昭和62年度春季大会研究発表要旨 : 472-473