

## キウイフルーツの収穫後における自己触媒的な エチレン生成の特徴について

矢野昌充・長谷川美典\*

果樹試験場興津支場 〒424-02 静岡県清水市興津中町

Some Features of Autocatalytic Ethylene Production in Kiwifruit

Masamichi Yano and Yoshinori Hasegawa

Okitsu Branch, Fruit Tree Research Station, Okitsu, Shimizu, Shizuoka 424-02

### Summary

The mechanism of autocatalytic ethylene production was studied in relation to kiwifruit ripening.

1. Ethylene production by kiwifruit was induced by 18- and 24-hr ethylene treatments at 20 °C. On the other hand, the other physiological changes associated with ripening were accelerated even by 15-hr or less.

2. The physiological changes such as flesh softening, decrease in acid content and increase in respiration rate were appreciably accelerated by 0.1 to 10 ppm of ethylene at 5 °C, while ethylene production, ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) accumulation and EFE (ethylene forming enzyme) activity were not stimulated by those conditions.

Hence, it is concluded that autocatalytic ethylene production in kiwifruit is less inducible with ethylene treatment than most physiological changes relating ripening.

### 緒 言

クライマクテリック型果実が熟す現象 (ripening) はエチレン生成の増大, 呼吸の上昇, 果肉の軟化, でんぶんの分解と糖の増加, 香気・色素成分の分解と合成, 有機酸の減少といった多様な側面を持つ。これらの現象のうち, エチレン生成の増大が最も中心的な役割を果たし, このエチレンによってその他の現象が一斉に誘導され, 適熟→過熟→老化と進んでいくと考えられる。

キウイフルーツは収穫後にエチレン生成の増大が見られる (Luh・Wang, 1984; Hyodoら, 1987) ので, クライマクテリック型の果実に分類され, このような ripening (キウイフルーツの場合, 収穫後なので以下追熟の用語を使用する) の様式で熟すと考えられてき

た。しかし, この果実の追熟は典型的なクライマクテリック型果実とはかなり異なる。クライマクテリック型果実には生長途上の極微量のエチレンしか生成しないステージから大量のエチレンを生成するステージへの質的な転換がある。キウイフルーツの場合, 果実軟腐病に罹病していない個体, あるいは外的なエチレンの影響を受けていない個体の多くはわずかしかエチレンを生成しない時期が収穫以降も続き, 追熟のために必要なエチレン生成の増大が見られない (Hasegawa・Yano, 1990; 矢野・長谷川, 1992; 矢野・長谷川, 1993)。そのため, 追熟関連の諸現象の発現が不規則で, 事実上熟さないで萎凋してしまう個体があったり, 低温の長期貯蔵ではでんぶんの分解, 果肉の軟化は生じて, エチレン生成の増大や香気の生成のない不完全な追熟個体が生じることが多い (矢野・長谷川, 1993)。

本研究ではキウイフルーツの追熟発現がどのように制御されているかを知らうとした。ripeningの中心的な反応であるエチレン生成はエチレン自身によってオ

1992年9月22日 受理。果樹試験場業績番号:B-195。本研究の一部は園芸学会平成2年度秋季大会, 平成3年度春季大会で発表した。

\*現在:農林水産省 農林水産技術会議事務局 〒100 東京都千代田区霞ヶ関 1-2-1。

ートキャタリティック（自己触媒的）に誘導される特徴がある（Yang, 1987）．そこで、キウイフルーツにエチレン処理を行い、エチレン生成系が誘導される際の特徴を5℃と20℃で検討し、その結果に基づきキウイフルーツの追熟と自己触媒的なエチレン生成の関係を考察した．

## 材料および方法

### 1. 材 料

キウイフルーツ（*Actinidia deliciosa* 品種ヘイワード、香緑、ブルーノ）は静岡県清水市内の生産者で栽培されたものを、同地域の収穫適期である11月中旬に収穫し、5℃の貯蔵庫に保管後、必要に応じて出庫し、供試材料とした．貯蔵中は厚さ0.1mmの低密度ポリエチレンのシートに果実をくるんで20kg入りのコンテナの中に保管した．また、一部の実験には卸売市場で購入したニュージーランド産の‘ヘイワード’を同様に保管して使用した．

### 2. 実験1. エチレン処理によるエチレン生成系および追熟の誘導と処理時間との関係

キウイフルーツを入れたプラスチック容器に、20℃で、989 ppmのエチレンを含む空気を0.1 liter・min<sup>-1</sup>の流速で通気した．所定の時間経過後、果実を24時間エチレンのない条件下に開放した後、厚さ20μmの低密度ポリエチレン小袋に1個ずつ入れ（非密封）、20℃に保管した．その後、2ないし5日間の間隔を置いて、エチレン生成量、1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸（ACC）含量、エチレン生成酵素（EFE）活性、果実内エチレン濃度の測定を行った．また、キウイフルーツの追熟に伴って生じる現象の主なものは果肉の軟化、でんぷんの糖化（可溶性固形物の上昇）、呼吸の上昇である（Aripaiaら、1984；Harman・McDonald、1983；Ben-Arie・Sonego、1985）ので、この3種類の追熟関連の諸性質の測定を行った．なお、エチレン生成量、呼吸量、果実内エチレンおよび果肉硬度は1個ずつ、その他の項目は5個を混合試料として分析を行った．

この実験は供試した果実のすべてにエチレン生成の増大が認められた時点、あるいはエチレン処理後30日経過した時点で終了した．一部の果実では実験中に果実軟腐病（以下軟腐病と略）が発生し、その個体はエチレン処理とは無関係に多量のエチレンを生成した．軟腐病の症状が認められた個体については実験系から除外し、1処理区当たり健全果実を最低8個そろえる

条件で実験を行った．結果はそれらの個体の平均値で示した（以下の実験についても同様である）．

### 3. 実験2. 低温条件下でのエチレン処理によるエチレン生成系の誘導

キウイフルーツを硬質ポリ塩化ビニル（PVC）製の容器に入れ、0.1、1、10、1000 ppmとなるようエチレンを注入した．この容器は5℃に一定期間静置した．この際、容器内の炭酸ガスの蓄積、酸素の減少を防ぐため、原則として48時間ごとに新しい空気と入れ替え、エチレン濃度を調整し直した．エチレン処理が終了した果実について、実験1と同様、エチレン生成、追熟に関係する諸性質の調査を行った．

### 4. 実験3. 低温でエチレン処理した果実の20℃移行後のエチレン生成の誘導

傷害エチレンは低温条件では生成せず、室温に移行することによって急激に増加することが知られている（Field・Barrowclough、1989）．同様の現象がキウイフルーツの自己触媒的なエチレン生成でも生じるかどうかを調べるため、低温（5℃）でエチレン処理した後20℃に移し、エチレン生成の調査を行った．

実験2と同様の条件でエチレン処理を行ったキウイフルーツを5℃のままエチレンフリーの状態に2昼夜置いた後、20℃に移した．キウイフルーツは1個ずつ厚さ20μmの低密度ポリエチレン小袋に入れた（非密封）．このキウイフルーツを20℃へ移した後、エチレン生成の増大の有無を経時的に調べた．実験1と同様、全個体のエチレン生成が増大した時、あるいは20℃へ移行30日ないし40日経過後に実験を終了した．なお、この実験にのみニュージーランド産の‘ヘイワード’を使用した．

### 5. エチレン生成の測定

キウイフルーツを1個ずつポリスチレン製の容器（内容積約230ml）に入れ、20℃に3時間放置後、容器内に蓄積したエチレン量をガスクロマトグラフィー（充填剤：ポラパックQ、2mガラスカラム、注入口、検出器、カラム温度：いずれも70℃、検出器：FID、機種：島津4CM）で測定した．

### 6. ACC, EFE, 果実内エチレンの測定

20℃に出庫後の果実についてACC含量、EFE活性および果実内エチレン濃度の測定を行った．

ACCは果肉部から80%エタノールで抽出し、エタノール除去後、Lizada・Yang（1979）の方法で測定した．

EFE活性は果肉から切り取った円形切片（φ8×3

mm) について測定した. この切片を 1 mM の ACC と 0.5 M マニトールを含む 10 mM リン酸緩衝液 (pH 6.0) 2 ml とともに 10 ml の試験管に入れ, ダブルゴム栓で封じ, 25 °C で振とうした. 2 時間後, この試験管内部のヘッドスペースガスを取り, 生成したエチレンをガスクロマトグラフィーで定量した.

果実内のエチレンは水中に入れたキウイフルーツから減圧下で捕集した気体についてガスクロマトグラフィーで定量した.

### 7. 追熟関連諸形質の測定

呼吸量はキウイフルーツを 1 個ずつポリスチレン製の容器 (内容積約 230 ml) に入れ, 20 °C に 3 時間放置後, 容器内に蓄積した炭酸ガスをガスクロマトグラフィー (充填材: WG-100, 検出器: TCD, 注入口, カラム温度: 50 °C, 機種: 日立 624) で測定した.

香気成分は呼吸量の測定と同様の条件で採取した空気をガスクロマトグラフィー (充填剤: PEG-6000, 注入口温度: 70 °C, 検出器温度: 180 °C, カラム温度: 4 °C/分で 160 °C まで昇温, 検出器: FID, 機種: 島津 4CM) で分析し, 全ピークのピーク面積総計の大小で香気成分の多少を判定した.

酸含量は果肉をおろし金ですりおろし, ガーゼでろ過したろ液について, 0.156 規定の水酸化ナトリウムによる中和滴定を行い, クエン酸として算出した.

果実硬度はユニバーサル硬度計 (円錐型プランジャー) で果皮の上から測定した. 測定は果実の中央部 2 か所について行い, 平均値で示した.

可溶性固形物は酸測定用に調製したろ液について屈折糖度計で測定した.

## 結 果

### 実験 1. エチレン処理によるエチレン生成系および追熟の誘導と処理時間との関係

キウイフルーツのエチレン生成系が誘導されるために必要なエチレンの最少処理時間を求めた. 第 1 図に 989 ppm のエチレンを 0, 15, 18, 24 時間処理した時の ' Hayward ' のエチレン生成量を示した. 18, 24 時間のエチレン処理を行った場合には処理後 3~5 日で大量のエチレンを生成するようになった. これに対し, 0, 15 時間処理では処理後長期間にわたってエチレン生成の増大が起こることはなかった. ' Hayward ' で得られたこの結果は他の品種, あるいは収穫時

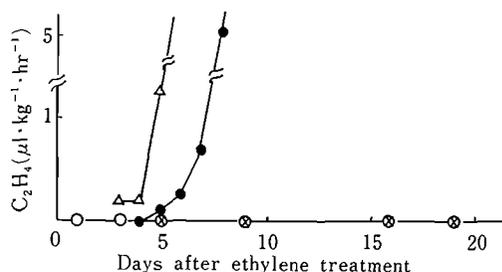


Fig. 1. Ethylene production by kiwifruit treated with ethylene for various periods. ○: untreated fruit, ×: 989 ppm ethylene for 15 hr, ●: ethylene for 18 hr, △: ethylene for 24 hr.

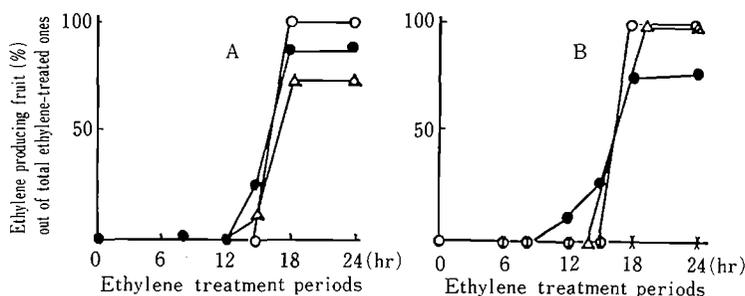


Fig. 2. Minimum treatment time of 989 ppm ethylene required for the induction of ethylene evolution in three kiwifruit cultivars (A) and 'Hayward' at different harvest dates and after different storage periods (B). Symbols for (A) ○: 'Hayward', △: 'Bruno', ●: 'Kouryoku'. Symbols for (B) ×: harvested in Aug., △: harvested in Nov., ○: harvested in Nov., ●: harvested in Nov. and stored for 12 month at 5 °C

期、貯蔵期間の異なるキウイフルーツについてもほぼ同様であった(第2図A, B)。したがって、このエチレン処理の条件ではエチレン生成系を誘導するには最低18時間の処理が必要と考えられた。

第3図はエチレン処理時間の異なる果実について呼吸量、EFE活性と果実内エチレン濃度の経時変化を調べたものである。果実内エチレンは18時間処理によってはじめて高まり、エチレン生成量と同じ傾向を示した(第3図C)が、EFE活性はこれとは著しく様相を異にした(第3図B)。エチレン生成の誘導には不十分であった15時間処理でもEFE活性はかなり増加していた。ただし、18時間以上処理してエチレン生成系全体として誘導された場合と異なり、時間の経過とともに、徐々に減少した。このパターンは呼吸の変化(第3図A)に類似しており、同じ追熟関連の現象でもエチレンに対する反応はかなり異なることが明らかとなった。

第4図に果肉の軟化、可溶性固形物の増加(たぶんでんぷんの分解)、EFE活性および果実内エチレン濃度についてエチレン処理時間との関係について示した。エチレンに対する前3者の反応の大きさは処理時間との間に相関があり、処理時間が長くなるほど反応は大きくなった。果実内エチレン濃度はこのような反応は示さず15時間以下の処理ではまったく変化はなく、18時間以上で著しく増大した。

以上の結果は追熟に関係する諸形質のうち、エチレ

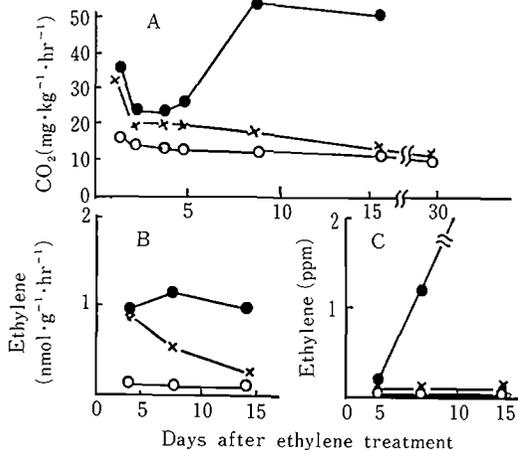


Fig. 3. Changes in respiration rate (A), EFE activity (B) and internal ethylene concentration (C) of kiwifruit exposed to 0 ppm (○) and 989 ppm ethylene for 15 (×) and 24 hr (●).

ン生成系 (EFE 活性を除く) の誘導には呼吸の上昇、果肉の軟化、でんぷんの糖化、EFE 活性の誘導よりも十分なエチレンとの遭遇が必要であることを示している。

## 実験2. 低温条件下でのエチレン処理によるエチレン生成系の誘導

キウイフルーツは貯蔵中にエチレン生成の増大を伴うことなく果肉が軟化したり、でんぷんが分解することがある(第5図のVIの果実がこれに相当する)。このような追熟状態にエチレンがどのように関与しているかを知るため、エチレンに対する反応を5°Cで調べた(第5図)。この図には低温での反応の特徴を知るために対照区として20°Cでの反応をも示している。エチレンに対する反応の違いによって、調査した5種類の要因は2つに分類された。エチレン生成系と香気成分は、20°C・1000 ppmでは明らかに誘導あるいは生成されるにもかかわらず、5°Cではまったく変化はなかった。これに対して他方のグループ、果肉の軟化、酸の減少および呼吸は低温でも明らかに促進された。

低温条件下では追熟に関係する多くの反応は進行するものの、自己触媒的なエチレン生成系の誘導が起こりにくい理由を知るため、低温でエチレン処理を行った果実についてACC含量、EFE活性及び果実内エチレン濃度の測定を行った(第1表)。ACC含量、EFE活性はエチレン処理濃度が高い場合にやや上昇が認め

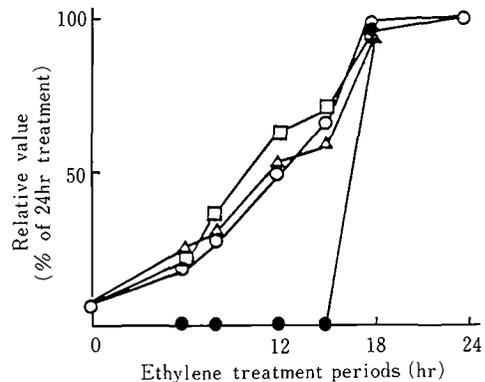


Fig. 4. Effect of ethylene treatment periods on EFE activity (○) internal ethylene concentration (●), decrease in fruit firmness (△) and increase in soluble solid (□).

EFE activity and internal ethylene concentration were determined 5 days after exposed to 989 ppm ethylene. Decrease in flesh firmness and increase in soluble solids were determined 20 days after treatment.

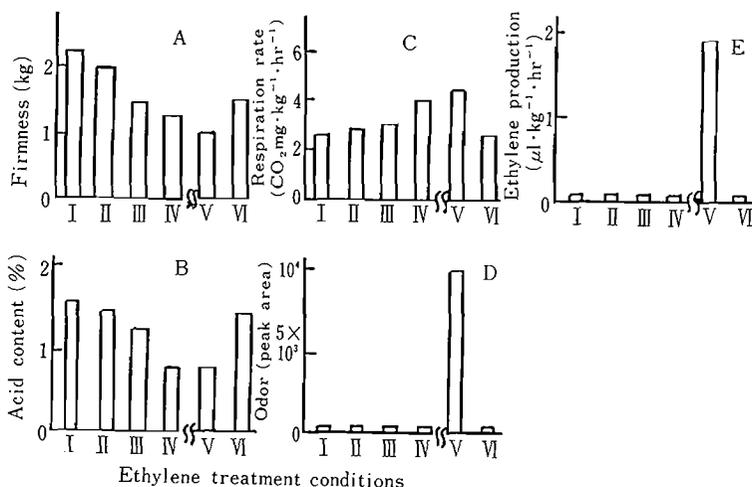


Fig. 5. Ethylene production and ripening in kiwifruit treated with ethylene under various conditions

A : flesh firmness, B : acid content, C : respiration rate, D : aromatic compounds, E : ethylene production.

I : untreated, II : 0.1 ppm of ethylene for 50 days at 5 °C. III : 1 ppm, IV : 10 ppm, V : treated with 1000 ppm of ethylene for 24 hr, placed at 20 °C for 1 week, and transferred to 5 °C for 5 days, VI : untreated fruit which softened during cold storage.

Table 1. Effect of ethylene treatment at 5°C on ethylene production rate, EFE activity, ACC content and internal ethylene concentration in kiwifruit.

Treatment	Ethylene production rate <sup>y</sup>	EFE activity	ACC content	Internal ethylene concentration <sup>x</sup>
	$\mu\text{l} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$	$\text{n mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$	$\text{n mol} \cdot \text{g}^{-1}$	ppm
Control	<0.1	0.08±0.01	0.49±0.09	0.05
0.1ppm	<0.1	0.12±0.05	0.55±0.11	0.05
1 ppm	<0.1	0.26±0.13	0.59±0.19	0.06
10 ppm	<0.1	0.64±0.39	0.79±0.15	0.08
1000ppm <sup>z</sup>	1.85	3.92±0.73	2.10±0.29	1.26

<sup>z</sup> Treated with ethylene at 20°C for 24 hr, kept at 20°C for 1 week, and then placed at 5°C for 5 days.

<sup>y</sup> Measured at 5°C.

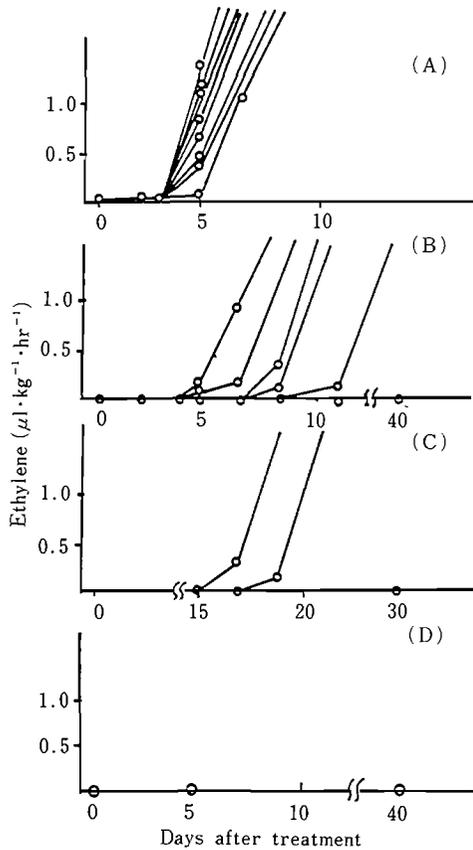
<sup>x</sup> Measured 2 days after ethylene treatment.

られるものの、20°Cでエチレン生成系が誘導されている時に比較するといずれも著しく低い値であり、果実内エチレン濃度も著しく低いことから、エチレンの生成は事実上行われていないと判断された。

### 実験3. 低温でエチレン処理した果実の20°C移行後のエチレン生成

第6図はエチレン処理の濃度と時間をいくつか設定

しての処理を5°Cで行い、処理後に20°Cへ移し、移行後にエチレン生成系の誘導が起こるかどうかを調べた結果である。エチレン処理濃度、処理時間が十分な場合(10 ppm, 14日)には20°Cに移した後、比較的速やかにエチレン生成が開始された。エチレン処理濃度、処理時間が不足している場合(例えば、0.2 ppmで14日)には無処理と同様、20°Cに移しても



**Fig. 6.** Time course of ethylene production by an individual fruit after treatment with various concentration of ethylene for various periods at 5 °C and transfer to 20 °C. A: treated with 10 ppm of ethylene for 14 days, B: 10 ppm of ethylene for 7 days. C: 0.2 ppm of ethylene for 27 days, D: 0.2 ppm of ethylene for 14 days. Eight fruit were used for each experiment.

エチレン生成の増大は生じなかった。誘導のための条件をある程度充足している場合（10 ppm で 7 日間）にはかなり遅れるものの個体によってはエチレン生成が起こることがあった。

### 考 察

筆者らは本研究でキウイフルーツの追熟の特徴である次の 2 点について解明の手掛りを得ようとした。①収穫後長期間にわたってエチレン生成の増大が見られないことの原因。②低温下で長期貯蔵すると、エチレン生成の増大が見られないのに追熟に類似した現象が

見られることの原因。

Yang (1987) は果実のエチレン生成を生長途上の微量なエチレン生成（システム I）と ripening に関する自己触媒的なエチレン生成（システム II）に分類している。前出の 2 点にはいずれもシステム I からシステム II の自己触媒的なエチレン生成系への変換の問題が関係しているように思われる。また、貯蔵中の果肉の軟化が微量なエチレンでも促進される (McDonald・Harman, 1982) ことを根拠に、キウイフルーツはエチレンに対して極めて感受性が高いとされている。しかし、追熟の中心的な反応である自己触媒的なエチレン生成について研究している例は少ない。そこで、本研究ではエチレン処理によってキウイフルーツのエチレン生成系が誘導される際の特徴を解析しようとした。

追熟関連の諸現象を誘導できるエチレンの処理条件を調べてみた結果、5°、20 °C いずれにおいても自己触媒的なエチレン生成の誘導はエチレンが関与するその他の現象（例えば、果肉の軟化など）に比較して起こりにくいことが明らかとなった。エチレンの代わりに、エテホンで処理した場合でも類似の結果が得られている (永田・栗原, 1983; 長谷川・矢野, 1989)。追熟中に起こる現象のうち、果肉の軟化などはわずかのエチレンとの接触でも促進されることから、エチレンに対する感受性が高いという評価は確かに正しい。しかし、自己触媒的なエチレン生成の誘導については、一定のいき（閾）値以上のエチレンとの接触（恐らく時間×濃度）が必要で、それ以下の場合にはエチレン生成の増大はまったく起こらないため、エチレン生成の誘導に関しては感受性が高いという表現は正確ではない。

Theologis (1992) は ACC 合成酵素のアンチセンス遺伝子を導入したトマトでの実験から、エチレンがライプニングに及ぼす影響を 2 つに分類している。1 つは果肉の軟化促進に代表されるタイプで、エチレンが電気関係で使用される加減抵抗器 (rheostat) 状の作用を示し、エチレンとの接触（例えば時間）が増加するとそれに応じて反応（軟化の程度）が大きくなる。他方はリコピンの生成が代表的な例で、スイッチ (switch) 的に作用し、一定時間以上、エチレンと接触した時はじめてその生合成反応にスイッチが入る。このような差異は前者はエチレンが遺伝子発現の翻訳段階に作用し、後者は転写段階への作用である違いから生じると説明されている。キウイフルーツの場合に

も、追熟関連の多くの現象（果肉の軟化、EFE活性の増大、でんぷんの分解）にはエチレンが加減抵抗器状に作用し、自己触媒的なエチレン生成にはスイッチ的に作用し、エチレンの作用が2つに分けられることが本研究の結果から明らかとなった。今後、自己触媒的なエチレン生成の誘導を遺伝子発現の面から検討する必要がある。

キウイフルーツは収穫後長期間にわたってエチレン生成は起こらない（矢野・長谷川, 1993）。この事実はキウイフルーツの場合、通常の条件ではエチレンは勿論他の内生の植物生長調節物質等がエチレン生成を誘導することはないことを示している。また、収穫期の3か月も前から自己触媒的なエチレン生成を誘導できる態勢は整っている（第2図B）のに、収穫したあと数か月後に至るまで、軟腐病など外的な要因がない限り、エチレン生成の能力が発揮される機会はない（矢野・長谷川, 1993）。このことはキウイフルーツのエチレン生成は収穫後も依然としてシステムⅠによるものであり、それによるエチレン生成は極めて微量でシステムⅡのエチレン生成を引き起こせるほどの濃度に蓄積してはいないことを示している。本研究で明らかになった‘自己触媒的なエチレン生成の誘導はエチレンのスイッチ的な作用による’という性質は内生エチレンによってシステムⅡのエチレン生成が誘導されにくいことに関与している可能性がある。軟腐病由来のストレスエチレンのような外的要因によって生じる比較的高濃度のエチレンが継続して存在しない限り、通常レベルの内生エチレン（0.03 ppm程度、矢野、未発表）では自己触媒的なエチレン生成を引き起こせないのではないと思われる。

キウイフルーツを低温で長期貯蔵した場合エチレン生成の増大が見られないのに追熟に類似した現象が見られることについては、次のように考察できる。軟腐病や灰色カビ病の罹病個体がエチレンを生成するため（Hasegawa・Yano, 1990）、貯蔵容器、貯蔵庫内には多かれ、少なかれエチレンが蓄積する。このエチレンは微量であっても低温での貯蔵が長期に及べば、果実軟化の促進の原因となることは従来の知見（McDonald・Harman, 1982）に加え、本研究の結果からも明らかである。また、エチレン吸着剤の使用やCA条件で軟化が抑制できること（真子, 1983; Ben-Arie・Sonogo, 1985; Harman・McDonald, 1983; Arpaiaら, 1984）もこの考えを支持している。しかしながら、本研究で明らかになったように自己触媒的

なエチレン生成は低温では誘導されない。これについて、Sfakiotakisら（1989）はプロピレン処理による実験で同様の結果を得ている。したがって、エチレン生成の増大はないのに、果肉の軟化した不完全な追熟状態のキウイフルーツが生じることになる。なお、この際のエチレン濃度が高いと貯蔵庫から出庫後エチレン生成が増大し、本格的な追熟が始まる可能性があることは実験3の結果から容易に想像できる。

キウイフルーツが追熟しにくい現象はこの果実の自己触媒的なエチレン生成が起こりにくいことにその原因を求めることができた。この特性はキウイフルーツを貯蔵・販売する際に考慮しなければならない。エチレン生成が起こりにくくて追熟しにくいことは、貯蔵あるいは販売する際の傷みが少ないメリットを生む。半面、熟さない果実を消費者にそのまま販売されることにつながる。エチレン生成が誘導されにくい利点を活かして、出荷・販売の直前まで任意の期間貯蔵し、出荷直前にエチレン処理して熟させて出荷する新しい流通体系に切替える必要があるように思われる。

#### 摘 要

収穫後のキウイフルーツに20℃でエチレン処理し、追熟関連の諸性質を誘導するのに必要な時間・濃度を調べたところ、自己触媒的なエチレン生成には18時間以上の処理が必要であったのに対し、他の諸性質は15時間以下でも促進された。低温、低濃度の条件（5℃、0.1～10 ppm）でのエチレン処理の効果を調べたところ、果肉の軟化、呼吸の上昇および酸含量の低下は明らかに生じたにもかかわらず、自己触媒的なエチレン生成は誘導されず、1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸含量、エチレン生成酵素活性および果実内エチレン濃度の増加は極めてわずかであった。果実を10 ppmエチレンで1週間処理後、20℃に移すと移行直後から急激なエチレン生成の増大が認められたが、濃度が低い場合には移行後エチレン生成の増大は見られなかった。

以上の結果から、自己触媒的なエチレン生成が他の追熟関連諸性質よりも誘導されにくいことが、キウイフルーツの追熟生理の特徴となっていると考えられた。

#### 引用文献

- Arpaia, M. L., F. G. Mitchell, G. Mayer and A. A. Kader. 1984. Effects of delays in establishing controlled atmosphere on kiwifruit softening during and following storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109 : 768-770.

- Ben-Arie, R. and I. Sonego. 1985. Modified atmosphere storage of kiwifruit with ethylene removal. *Scientia Hort.* 27 : 263-269.
- Field, R. J. and P. M. Barrowclough. 1989. Temperature induced changes in ethylene production and implications for post-harvest physiology. p. 191-199. In : H. Clijsters et al. (eds.). *Biochemical and physical aspects of ethylene production in lower and higher plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Harman, J. E. and B. McDonald. 1983. Controlled atmosphere storage of kiwifruit : effects on storage life and fruit quality. *Acta Hort.* 138 : 195-201.
- 長谷川美典・矢野昌充. 1989. キウイフルーツの追熟関連形質の発現と軟腐病. *園学雑*. 58 (別2) : 606-607.
- Hasegawa, Y. and M. Yano. 1990. Effect of the soft rot on the ethylene production during ripening. *J. Japan. Soc. Cold Preserva. Food* 16 : 21-24.
- Hyodo, H., S. Aisawa and S. Ao. 1987. Ethylene formation during ripening of kiwifruit. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 56 : 351-355.
- Lizada, C. C. and S. F. Yang. 1979. A simple and sensitive assay for 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Anal. Biochem.* 100 : 140-145.
- Luh, B. S. and Z. Wang. 1984. Kiwifruit. *Adv. Food Res.* 29 : 279-309.
- 真子正史. 1983. キウイフルーツ貯蔵法の確立. (第4報) エチレン吸着剤の鮮度保持効果について. *園学要旨*. 昭58秋 : 458-459.
- 永田賢嗣・栗原昭夫. 1983. キウイフルーツ長期貯蔵に及ぼすエスレルの影響. *園学要旨*. 昭58秋 : 460-461.
- McDonald, B. and J. E. Harman. 1982. Controlled atmosphere storage of kiwifruit. I. Effect on fruit firmness and storage life. *Scientia Hort.* 17 : 113-123.
- Sfakiotakis, E., G. Stavroulakis, P. Ververidis, and D. Gerasopoulos. 1989. Induction of autocatalytic ethylene production and ripening by propylene in 'Hayward' kiwifruit. p. 173-178. In : H. Clijsters et al. (eds.). *Biochemical and physical aspects of ethylene production in lower and higher plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Theologis, A. 1992. One rotten apple spoils the whole bushels : The role of ethylene in fruit ripening. *Cell* 70 : 181-184.
- Yang, S. F. 1987. The role of ethylene and ethylene synthesis in fruit ripening. p. 156-166. In : W. W. Thomson, E. A. Nothnagel and R. C. Huffaker (eds.). *Plant senescence : Its biochemistry and physiology*, Amer. Soc. Plant Physiol., Rockville, MD.
- 矢野昌充・長谷川美典. 1992. 流通段階におけるキウイフルーツのエチレン生成と追熟. *日食工誌*. 39 : 514-518.
- 矢野昌充・長谷川美典. 1993. 収穫後におけるキウイフルーツのエチレン生成と果実軟腐病の関係について. *園学雑*. 62 : 443-449.