

日本食品保蔵科学会誌

VOL. 38 NO. 3

会 長	高井 陸雄	副 会 長	上田 悦範	小宮山美弘	早坂 薫
編集委員長	上田 悦範				
編 集 委 員	石田 裕	稲熊 隆博	井上 茂孝	今堀 義洋	竹永 章生
	津久井亜紀夫	東尾 久雄	古庄 律	松田 茂樹	

<報 文>

オウトウ輸出時に荷物が受ける衝撃力と緩衝効果 (135)
 /石川 豊・北澤裕明・高橋和博

水耕栽培における窒素施用量およびアンモニア態窒素と硝酸態窒素の割合が
 ‘毛馬’ キュウリ (*Cucumis sativus* L. cv. Kema) の苦味発現および収量に及ぼす影響 (141)
 /嘉悦佳子・森川信也・中村謙治・阿部一博

カキ葉の機能性成分に及ぼす栽培法の影響 (147)
 /松本敏一・持田圭介・松崎 一・鶴永陽子

<報 文> (英文)

1-Mechylcyclopropene処理がコマツナの収穫後の品質に及ぼす影響 (153)
 /徳地隆宏・鈴木康生・寺井弘文

エチレン生成速度はトマトの物理ストレス応答の敏感な指標である (159)
 /タンマウォン マナスイカン・臼田浩幸・根井大介・梅原仁美
 佐竹隆顕・中村宣貴・ロイ ポリトシュ・椎名武夫

<研究ノート>

乾燥技術の違いによる食品中の有用成分の変化 (169)
 /山口明子・西 麗・廣瀬潤子
 浦部貴美子・灘本知憲

<総 説>

カキ ‘西条’ 熟柿の生産および品質管理に関する研究 (177)
 /赤浦和之

<講 座>

身近な野菜・果物～その起源から生産・消費まで (17) (185)
 シ ョ ウ ガ /後藤昌弘・澤 蘭

<文献抄録> (191)

<本会記事> (192)

<会 告> (193)

Food Preservation Science

CONTENTS OF VOL. 38 NO. 3 (2012)

<Article> (Japanese)

- Reducing Shock to Cherry Cargoes during Export
 ISHIKAWA Yutaka, KITAZAWA Hiroaki and TAKAHASHI Kazuhiro (135)
- Effect of the Amount of Nitrogen Application and Ratio of Nitrate and Ammonia Nitrogen
 on Bitterness and Yield of Cucumbers (*Cucumis sativus* L. 'Kema') in Hydroponics
 KAETSU Keiko, MORIKAWA Shinya, NAKAMURA Kenji and ABE Kazuhiro (141)
- Influence of Cultivation Method on the Functional Components of Persimmon Leaf Tea
 MATSUMOTO Toshikazu, MOCHIDA Keisuke, MATSUZAKI Hajime and TSURUNAGA Yoko..... (147)

<Article> (English)

- Effects of 1-Methylcyclopropene on the Postharvest Quality
 of Komatsuna (*Brassica rapa* L. Perviridis Group)
 TOKUCHI Takahiro, SUZUKI Yasuo and TERAHI Hirofumi (153)
- Ethylene Production Rate: A Sensitive Indicator for Determining the Occurrence
 of Mechanical Stress in Tomato Fruits
 THAMMAWONG Manasikan, USUDA Hiroyuki, NEI Daisuke, UMEHARA Hitomi,
 NAKAMURA Nobutaka, ROY Poritosh, SATAKE Takaaki and SHINA Takeo..... (159)

<Research Note> (Japanese)

- Changes in Food Items Because of Processing with Different Drying Methods
 YAMAGUCHI Akiko, NISHI Rei, HIROSE Junko,
 URABE Kimiko and NADAMOTO Tomonori (169)

<Review> (Japanese)

- Studies of Production and Quality Management of Soft-ripened
 'Saijo' Persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) Fruit
 AKAURA Kazuyuki..... (177)

<Serialization Lecture> (Japanese)

- Ginger
 GOTO Masahiro and SAWA Ran..... (185)

オウトウ輸出時に荷物が受ける衝撃力と緩衝効果

石川 豊^{*1§}・北澤裕明^{*1}・高橋和博^{*2}

^{*1} (独)農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所

^{*2} 山形県農業総合研究センター園芸試験場

Reducing Shock to Cherry Cargoes during Export

ISHIKAWA Yutaka^{*1§}, KITAZAWA Hiroaki^{*1} and TAKAHASHI Kazuhiro^{*2}

^{*1} National Food Research Institute, National Agriculture and Food Research Organization,
2-1-12 Kannondai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8642

^{*2} Horticultural Institute, Yamagata Integrated Agricultural Research Center,
423 Shima, Sagae-shi, Yamagata 991-0043

A method was proposed to reduce the amount of shock experienced by cherry cargos being shipped from Japan's Yamagata Prefecture to Taipei, Taiwan. In this study, cherries were first packaged in 500g plastic containers, which were then loaded into corrugated fiberboard containers two packages per container. A total of 10 such corrugated fiberboard containers were then loaded into a larger corrugated fiberboard packaging container. This packaging style was found to reduce shock acceleration at the very bottom by half as compared to the ordinary shipping method, in which three two-package boxes were fastened together with the help of plastic bands. Consequently, shock-induced damage to the cherries during export was significantly decreased. In addition, we investigated the shock absorbing effectiveness of the selected cushioning material. We determined that five-mm-thick urethane sheeting could decrease shock acceleration at the very bottom by 1/2.4~1/3.7 and that adding additional sheets could decrease the shock even further. However, we also found that the sheeting other than one at the bottom did not provide sufficient cushioning effects.

(Received May 16, 2011 ; Accepted Nov. 21, 2011)

Key words : acceleration, cherry, cushioning materials, export, packaging

加速度, オウトウ, 緩衝材, 輸出, 包装

わが国の果実生産は、担い手の高齢化や後継者不足、国内市場での少子高齢化による需要の減少等による産地の脆弱化が進む一方、輸入果実の増加による国産果実の市場シェアの縮小、食の安全性確保など新たな対応が求められており、極めて厳しい環境にある。一方、近隣アジア諸国の高い経済成長や富裕層の増大、世界的な日本食ブームの広がりなどを背景に、高品質な日本産果実にとって海外市場は安定した販路の一つとして大きく期待されているところであり、日本政府も農林水産物等の輸出額を平成29年までに1兆円規模にするという目標を掲げている¹⁾。

平成20年における山形県の果実産出額は462億円（全国6位）であり、その中でオウトウ（*Prunus avium*）産出額は233億円、果実全体の約半分を占めている²⁾。一方、

県ではオウトウの販路拡大の1つとして海外輸出を積極的に進めてきた。輸出先は台湾と香港が中心であり、現地では米国産やチリ産の「チェリー」と比べて価格が2倍以上になることから糖度や外観など品質が差別化の重要なポイントとなっている。

しかし、台湾や香港など現地の店頭に並んでいるオウトウの中には輸送中の衝撃により損傷を受けているものも少なくない。青果物の海外への輸送工程においては、国内向けの輸送で想定される^{3)~5)}以上の振動および衝撃が発生することが報告されている⁶⁾ものの、多くの場合、包装形態は国内向けと同じものが使用されているために果実損傷が発生するものと考えられる。したがって、輸出に適した低コストかつ適正な緩衝性能をもつ包装形態を確立することが喫緊の課題といえる。

^{*1} 〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

§ Corresponding author, E-mail: yishi@affrc.go.jp

^{*2} 〒991-0043 山形県寒河江市大字島字島南423

国内輸送におけるアウトウ果実の包装形態にはさまざまなものがある。段ボール箱に直接1 kgのアウトウをバラ詰めする方法、500 g パックに果柄をそろえて1 粒ずつ手詰めし、2 パックを1 kg用段ボール箱に梱包する方法、バラ詰め500 g パック2 パックを1 kg用段ボール箱に梱包する方法などである。事前に行った予備試験において、段ボール箱にそのままバラ詰めする方法で海外輸送した場合、損傷果発生率が極端に高くなることが明らかとなっている。また、手詰めパックは、損傷果発生率こそ低かったが、作業性やコストを考えると適当ではない。そこで本研究では、バラ詰め500 g パック2 パックを1 kg用段ボール箱に梱包する方法について輸送中の衝撃発生状況の調査を行い、包装形態や包装内の位置の違いによりアウトウが受ける衝撃加速度の違い、さらに緩衝材の効果などについて検討した。

実験方法

1. 試料

供試試料は、2008年6月24日に山形県農業総合研究センター園芸試験場にて収穫したアウトウ‘佐藤錦’の果

実とした。

海外輸送については、収穫後ただちに段ボール詰めした試料をその日のうちに宅配便にて成田空港まで常温配送した。翌25日に通関・検疫を行った後、航空機にて台湾へ配送した。26日に台北の空港に到着し、通関・検疫を済ませ、空港内の低温倉庫に保管した。27日に台北市内の百貨店まで配送し、輸送環境記録計を回収、品質調査を行った。

落下試験については、収穫後ただちに段ボール詰めした試料を宅配便にて茨城県つくば市の研究所まで常温配送し、翌日荷が到着後、10℃に制御したチャンパー内に24時間保存したものを試験に供した。

2. 包装形態

供試した包装形態は以下の2通りである。

- ① アウトウ果実約500 gをバラ詰めしたA-PET樹脂製パックを段ボール箱（外寸180×275×75mm）に2パック梱包し（図1（a））、さらにその段ボール箱を3個積み重ねてポリプロピレン製バンドで結束した（図1（b））
- ② 外装段ボール箱（外寸310×420×420mm、以下外装

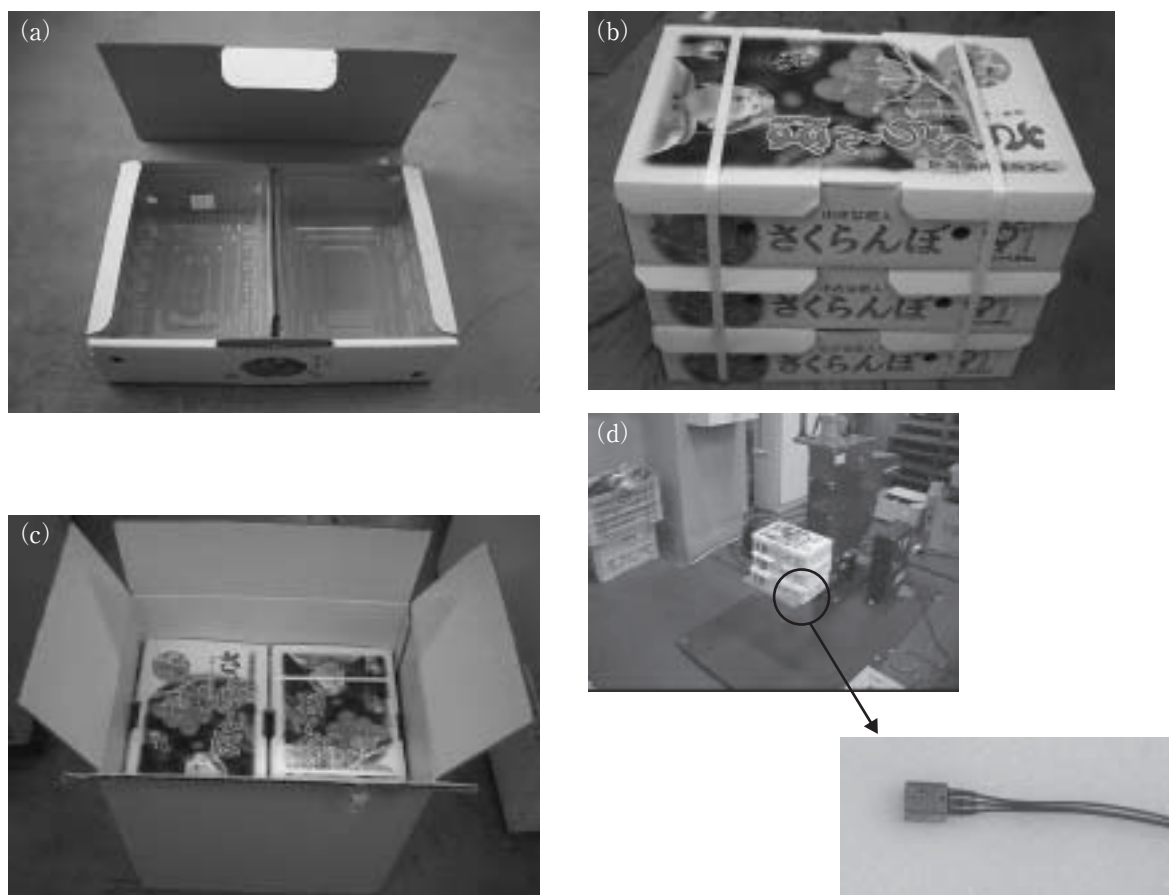


図1 アウトウの包装形態および落下試験

- (a) アウトウを入れる段ボール箱
- (b) (a) 段ボール箱の3段重ね（現行バンド掛け法）
- (c) (a) 段ボール箱10個を外装箱に梱包（外装箱梱包法）
- (d) 落下試験機および3次元加速度センサー

箱)に図1(a)に示した段ボール箱を2列で5段づつ、計10個入れた(図1(c))

3. 海外輸送時の衝撃計測方法⁷⁾

図1(a)段ボール箱内のパックを1個取り除き、そのスペースに輸送環境記録計(Der-mini, 神栄テクノロジー, 寸法130×90×62mm, 重量約800g)を貼り付け、輸送中の振動発生を記録した。記録計の計測条件は、フレーム長:512ポイント, サンプル周期:1.0ms, フィルターモード:PASSおよびデッドタイム:1sとし、トリガレベル設定より2.5G以上の上下・左右・前後3方向の加速度をそれぞれ衝撃として記録した。

4. 落下試験の衝撃計測方法⁷⁾

図1(a)段ボール箱底面および外装箱底面に3次元加速度センサー(2366W, 昭和測器, 寸法8.0×7.0×5.5mm, 重量1.2g)を両面テープで貼り付けた。一定の高さから垂直に荷を落下させるために落下試験機(DTS-50, 神栄テクノロジー)を使って落下時の衝撃加速度を測定した(図1(d))。計測された衝撃加速度を衝撃・振動解析ソフトウェア(SMS-500, 神栄テクノロジー)に入力して3方向合成加速度を算出した。

緩衝材による衝撃軽減効果を評価する試験では、一般的な発泡ウレタンシート(密度15kg/m³, 25%圧縮応力1.85kPa)を用いた。厚さは5mmのものを使用し、1~3枚を段ボール箱内底面とオウトウを入れたパックとの間に配置した。

5. オウトウの損傷評価

損傷評価項目は、損傷発生割合と損傷程度とし、評価方法は高橋ら⁸⁾の方法によった。

損傷発生割合については、図1(b)の包装形態では3箱6パック内にあるすべての試料について損傷発生の有無を評価し、発生割合とした。図1(c)の包装形態では5段のうち上・中・下段に位置する3箱6パックを取り出し、そのすべての試料について損傷発生の有無を評価し、発生割合とした。

損傷程度については、上記損傷発生割合で調査した試料のうち、損傷が発生した果実のみを対象に、

$$\Sigma (\text{損傷指数} \times \text{損傷果実数}) / \text{すべての損傷果実数}$$

損傷指数:軽度を1, 甚大を2

として評価を行った。

結 果

1. 輸送工程における包装形態の違いが衝撃発生に及ぼす影響

一般的な包装形態である1kgオウトウを梱包した段ボール箱を3段重ねた図1(b)と本研究において新たに提案した形態である外装箱に1kgオウトウを梱包した段ボール箱2列、5段で計10箱を入れた図1(c)を用意して同時に山形から台湾・台北まで輸送した。ともに飛行機への積み込み・積み下ろし時、台湾における関税・通関時に大きな衝撃を受けていることが確認された(図

2)。衝撃の大きさを比較すると、図1(b)の包装形態(図2(a))では飛行機積み込み時に22G、台湾での関税・通関時に23G、30Gと大きな衝撃が発生しているのに対し、図1(c)の包装形態(図2(b))では最大でも13Gの衝撃しかなく、外装箱に入れることにより輸送中の衝撃を大きく緩和することができることが明らかとなった。

台湾到着後にオウトウの損傷果を評価した結果、1(b)の包装形態では発生割合が34.3%、損傷程度が1.4であったのに対して、1(c)の包装形態では発生割合が23.3%、損傷程度が1.0であり(表1)、外装箱に梱包することによりオウトウの損傷を低減できることが明らかとなった。この結果は、衝撃加速度の発生状況の結果(図2)とも一致した。

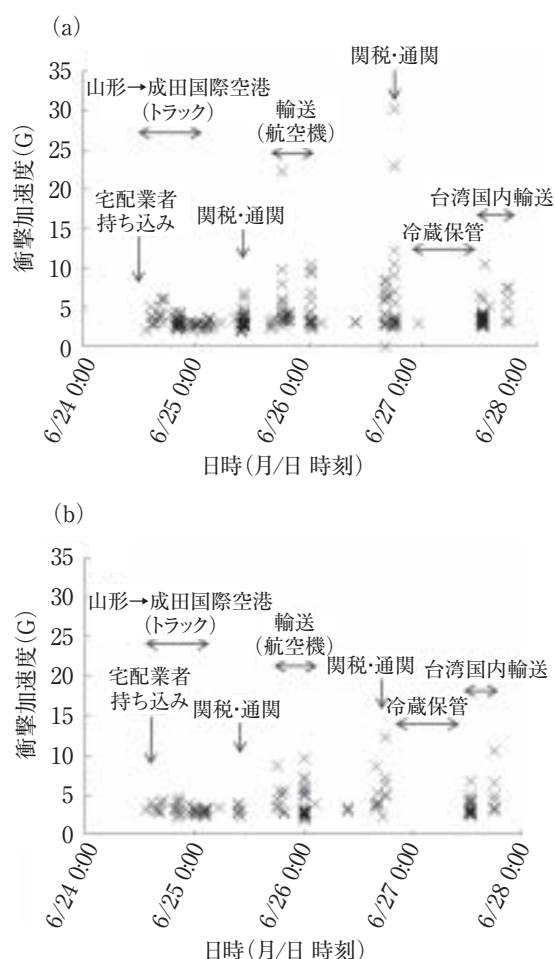


図2 オウトウ輸送工程における衝撃加速度の発生

- (a) 現行バンド掛け法(図1(b))における最下段段ボール箱の底面で発生した衝撃加速度
(b) 外装箱梱包法(図1(c))における最下段段ボール箱の底面で発生した衝撃加速度

表1 包装形態の違いが輸送後の果実損傷に及ぼす影響

包装形態	損傷発生割合(%)	損傷程度
現行バンド掛け法(図1(b))	34.3	1.4
外装箱梱包法(図1(c))	23.3	1.0

2. 落下試験による段ボール箱内の衝撃加速度

図2において実輸送条件下では包装形態により発生する衝撃加速度が異なることを明らかにしたが、このデータには輸送中における荷扱いや貨物の積載位置などの違いも含まれており、単純に両者の緩衝性を比較することはできない。そこで、同一高さから荷を落下させ、ともに最下段の段ボール箱底面に設置した加速度計で落下時の衝撃加速度の測定を行った。落下高さ20, 25, 30cmともに図1(c)の包装形態での衝撃加速度は、図1(b)の包装形態の約半分であった。外装箱に荷を入れることにより緩衝性が大きく向上することが明らかとなった(図3)。

図1(c)の包装形態では、外装箱中に段ボール小箱が5段で入っている。高さ20cmから落下させた場合、最下段では169G、3段目では90G、最上段では65Gであり、最下段で衝撃は最大となり上段ほどその値は小さくなった(図4)。また、結果は示していないが、図1(b)の包装形態においても最下段が最も衝撃加速度が大きく、上段ほど小さくなる傾向がみられた。落下高さが25cm, 30cmでも同様に上段ほど衝撃は小さくなった。

段ボール箱内の果実損傷を防止するための方法として、

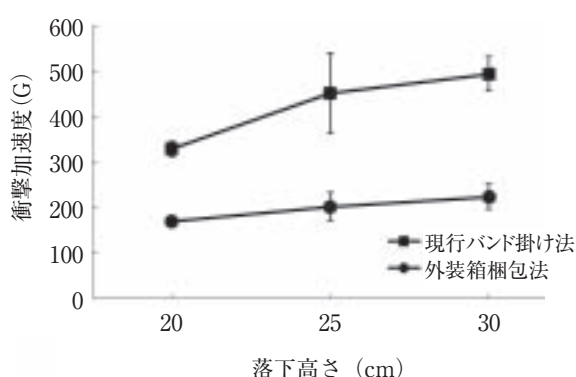


図3 包装形態の違いが落下衝撃加速度に及ぼす影響 (最下段の段ボール箱底面)

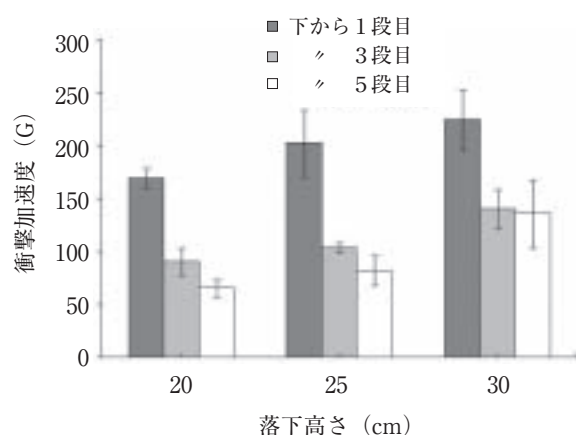


図4 外装箱使用時(図1(c))における段ボール箱位置の違いが落下衝撃加速度に及ぼす影響

果実を1果ずつ保持する窪みをもった発泡ポリエチレン製の緩衝材⁹⁾や果頂部を上にして果柄をパック底面に把持する形態のトレイ¹⁰⁾など多くの方法が考案されているが、いずれも包装容器、さらには包装システム自体を大きく見直さなくてはならず、コスト増、作業効率のダウンなどが予想される。本研究では、最も一般的に使われている緩衝材の一つである発泡ウレタンシートを段ボール箱内底面とパックとの間に配置して、その緩衝特性について計測を行った。20cmの高さから落下させた場合、最下段の段ボール箱ではウレタンシートなしでは衝撃加速度266Gだったものが、1枚敷くと113G(ウレタンなしに比べて1/2.4)、2枚で73G(同1/3.6)、3枚で42G(同1/6.3)と大きく低下することが明らかとなった。さらに落下高さを30, 40cmと高くすると、ウレタンシートなしに比べて1枚で1/3.7~1/4.0、2枚で1/5.9~1/6.7、3枚で1/10.5~1/10.8となった(図5)。

図1(b)の包装形態において上段と下段それぞれの段ボール箱にかかる衝撃加速度を比較した結果、明らかな違いが認められた(図6)。上段では、ウレタンシートなしのもので下段に比べて衝撃加速度が約半分と低かった。しかし、ウレタンを配置することによる緩衝効果

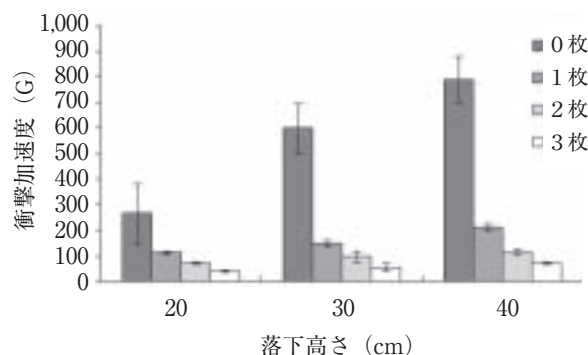


図5 現行バンド掛け法(図1(b))最下段の段ボール箱底面においたウレタンシートの枚数が落下衝撃加速度に及ぼす影響

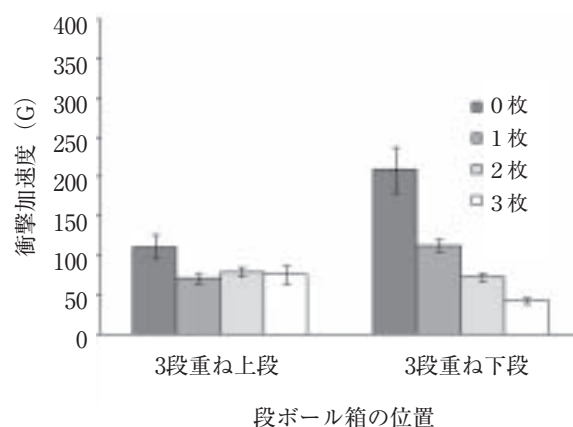


図6 現行バンド掛け法(図1(b))における段ボール箱の位置がウレタンシートの緩衝性に及ぼす影響

は小さく、ウレタンを3枚重ねてもウレタンなしのものに比べて20～30%小さくなるだけの効果しか認められなかった。

考 察

国内においてオウトウはさまざまな包装形態により流通されている。その中で代表的なタイプの一つが、果実約500gを入れたA-PET樹脂製パックを段ボール箱に2パック梱包したものである(図1(a))。一般的には、これを3箱程度まとめてポリプロピレン製バンド等で結束して流通している。国内輸送においては、この包装形態で特段の問題は指摘されていないが、同じ包装形態で海外への輸送を行った場合、非常に多くの損傷果が発生することが報告されている⁶⁾。現状において取扱量が国内流通に比べて圧倒的に少ない海外向けに段ボール箱のサイズや原紙の種類、段の構成等を変更して新たな包装形態を提案することは難しい。そこで現状の包装形態を大きく変更することなく有効な緩衝性を持たせることを前提として本研究を行った。

外装箱を使って1kg箱を10個まとめた包装形態(図1(c))では、従来の包装に比べて損傷程度を軽減することができた。この原因としてはまず、外装箱底面の段ボールが緩衝材の役割を果たしたことや荷の重量が増えたことにより落下時の跳ね返りが減ったことなどにより落下時の衝撃が半減したことがあげられる。さらに、輸送中の荷物取り扱いの現状は、国内輸送においては集配施設などでの荷扱い時に大きな衝撃が発生すること¹⁾、海外への航空機輸送時には航空機への積み込み・積み下ろし時に大きな衝撃が発生すること⁶⁾などが報告されている。荷のサイズを大きく、重くすることにより荷扱い時の放り投げに代表される手荒な取り扱いを防ぐことができたことも衝撃を低減する要因になったものと考えられる。

段ボール箱を数段重ねて輸送する場合、箱の位置により衝撃の大きさ、果実の損傷程度に違いがあることが報告されている⁷⁾。下段であるほど衝撃は大きく、上の段になるほど衝撃は小さくなる傾向がみられた。特に最下段が際立って大きな衝撃を受けることが明らかとなった。これは、上段の箱については最下段の段ボール自体が緩衝材の役割を果たすためであると考えられる。また、外装箱に入れることで最下段の衝撃は小さくなったが、それより上の段については外装箱による緩衝効果はあまりみられなかった。

次に比較的簡単に果実の受ける衝撃を軽減できる方法として一般によく使われている発泡ウレタンシートの挿入を行った。枚数が多くなるほど衝撃を吸収して衝撃加速度が小さくなり、5mm厚1枚で $1/2.4 \sim 1/3.7$ となった。これは、5mm厚のウレタンシートを1枚入れることで40cmの高さから落下させた際の衝撃を20cmの高さからの衝撃程度に軽減できることを示している。また、ウレ

タンの厚さが薄い場合には落下時に緩衝材の上に乗っている荷の重量で緩衝材がつぶれて荷が底に衝突する、いわゆる‘底付き’が懸念されたが、オウトウ重量が500gと軽量でありかつパック底面に突起もないため、5mm厚でも底付きはなく、十分緩衝効果があることが確認できた。

発泡ウレタンシートの緩衝効果が最下段の段ボール箱では十分にあることが確認できたが、3段目ではほとんどないことがわかった。これは下段に配した段ボールの緩衝効果により衝撃加速度がかなり緩和されているため、上段の段ボール箱にウレタンシートを配してもそれ以上の緩衝効果は得られなかったためであると考えられる。

要 約

本研究によりオウトウの海外輸送を行う際の衝撃軽減効果について明らかにすることができた。オウトウ500gを詰めたパック2つを入れた段ボール箱を3つ梱包した形状に比べて外装箱に2列5段、計10箱梱包した形状にすることで最下段の段ボールにおいて落下時の衝撃加速度をほぼ半分程度に軽減することが可能となり、実輸送時のオウトウ損傷程度も大きく改善できることが明らかとなった。

発泡ウレタンシートを段ボール箱底面に配して緩衝効果を確認した。最下段の段ボールでは、5mm厚1枚で衝撃加速度を $1/2.4 \sim 1/3.7$ にすることができ、2、3枚とシート枚数を増やすことでさらに衝撃を小さくできることが明らかとなった。しかし、上段の段ボール箱ではウレタンシートの緩衝効果は小さかった。

文 献

- 1) 農林水産省：農林水産物・食品の輸出促進対策の概要〈www.maff.go.jp/j/export/pdf/taisaku.pdf〉(2010)
- 2) 農林水産省：生産農業所得統計〈<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001068083>〉(2010)
- 3) 岩元陸夫・河野澄夫・早川 昭：青果物輸送の等価再現化に関する研究(第1報)―多段積載時の段ボール箱および内容レタスの振動特性ならびに損傷性―，農機誌，**39**，343～349(1977)
- 4) 岩元陸夫・河野澄夫・早川 昭：青果物輸送の等価再現化に関する研究(第2報)―損傷度の定義と輸送シミュレーション時の加速度レベルの設計―，農機誌，**40**，61～67(1978)
- 5) 岩元陸夫・河野澄夫・早川 昭：青果物輸送の等価再現化に関する研究(第3報)―損傷に影響する振動衝撃加速度パワースペクトルの評価―，農機誌，**42**，369～374(1980)
- 6) ISHIKAWA, Y., KITAZAWA, H. and SHIINA, T. : Vibration and shock analysis for fruit and vegetables transportation—Cherry transport from

- Yamagata to Taiwan by airplane-, *JARQ*, **43**, 129～135 (2009)
- 7) 北澤裕明・石川 豊・路 飛・胡 耀華・中村宣貴・椎名武夫：イチゴ輸送中の衝撃解析と損傷発生予測，園学研，**9**，221～227 (2010)
- 8) 高橋和博・中條誉志幸・小野寺玲子・伊東良久・石川 豊・中村ゆり・羽山裕子：オウトウ輸出における荷傷み防止方法，東北農業研究，**63**，105～106 (2010)
- 9) 中村宣貴・梅原仁美・根井大介・岡留博司・石川 豊・中野浩平・前澤重禮・椎名武夫：包装条件の違いがイチゴ果実の損傷に及ぼす影響，農業施設，**39**，1～8 (2008)
- 10) 紺屋朋子・大森定夫：イチゴの包装装置の開発（第1報）—果柄把持トレイを対象とした選別・トレイ詰め試験装置—，農機誌，**72**，80～85 (2010)
- 11) 斎藤勝彦・久保雅義・劉 剛：宅配便で輸送される荷物が受ける衝撃力の実態，日本包装学会誌，**7**，23～33 (1998)
- (平成23年5月16日受付，平成23年11月21日受理)
-

水耕栽培における窒素施用量およびアンモニア態窒素と硝酸態窒素の割合が‘毛馬’キュウリ (*Cucumis sativus* L. cv. Kema) の苦味発現および収量に及ぼす影響

嘉悦佳子^{*1§}・森川信也^{*1}・中村謙治^{*2}・阿部一博^{*3}

*1 大阪府環境農林水産総合研究所

*2 エスペックミック(株)

*3 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科

Effect of the Amount of Nitrogen Application and Ratio of Nitrate and Ammonia Nitrogen on Bitterness and Yield of Cucumbers (*Cucumis sativus* L. ‘Kema’) in Hydroponics

KAETSU Keiko^{*1§}, MORIKAWA Shinya^{*1}, NAKAMURA Kenji^{*2} and ABE Kazuhiro^{*3}

*1 *Research Institute of Environment, Agriculture and Fisheries, Osaka Prefectural Government, 442 Shakudo, Habikino-shi, Osaka 583-0862*

*2 *Especcmic Corp, 3-11-17 Ikeda, Neyagawa-shi, Osaka 572-0039*

*3 *Graduate School of Agriculture and Biological Science, Osaka Prefecture University, 1-1 Gakuen-cho Naka-ku, Sakai-shi, Osaka 599-8531*

The purpose of this study was to establish a deep - flow hydroponic culture system to reduce the degree of bitterness in cucumbers (*Cucumis sativus* L. ‘Kema’) which consumers do not favor. The effect of the amount of nitrogen application and the ratio of nitrate and ammonia nitrogen on the degree of bitterness and yield of ‘Kema’ cucumbers grown in hydroponics was analyzed. Commercially available 90% nitrate nitrogen and 10% ammonia nitrogen fertilizers were used for this study. In conventional cultivation, cucumbers were cultivated with 1/2 units of standard (Ohtsuka-A) nutrient solution. The ‘Kema’ cucumbers cultivated with 2/3 units of standard nutrient solution were more bitter in taste than the ones cultivated with 1/3 units of standard nutrient solution. ‘Kema’ cucumbers cultivated with less nitrate nitrogen were less bitter in taste than the ones cultivated conventionally. Moreover ‘Kema’ cucumbers cultivated with less nitrate and more ammonia nitrogen showed more yield than the ones cultivated conventionally. These findings suggest that the bitterness of ‘Kema’ cucumbers is related to the amount of nitrate nitrogen; additionally, hydroponic cultivation utilizing less nitrate and more ammonia nitrogen can help maintain the yield.

(Received Sep. 21, 2011 ; Accepted Dec. 12, 2011)

Key words : ammonia nitrogen, cucumber, bitterness, hydroponics, nitrate ion concentration

アンモニア態窒素, キュウリ, 苦味, 水耕栽培, 硝酸イオン

現在, 大阪府では, 古くからの大阪地場産野菜である17品目の野菜が「なにわの伝統野菜」に認証されており, 消費者に注目されている¹⁾。

「なにわの伝統野菜」の一種である‘毛馬’キュウリは, 大阪市都島区毛馬町発祥の半白系の黒イボ胡瓜であ

る^{2), 3)}。現在は大阪府の河南町や堺市などで栽培されている。‘毛馬’キュウリには特有のテクスチャーがあり⁴⁾, そのテクスチャーを生かして, 奈良漬や糠漬などの加工品として食されている^{5), 6)}。

しかし, ‘毛馬’キュウリには苦味があり, しばしば

*1 〒583-0862 大阪府羽曳野市尺度442

§ Corresponding author, E-mail: kaetsuk@mbbox.epcc.pref.osaka.jp

*2 〒572-0039 大阪府寝屋川市池田3-11-17

*3 〒599-8531 大阪府堺市中区学園町1-1

過度に苦い果実が生産されることがある⁷⁾。そのために、‘毛馬’キュウリの苦味を抑制できる栽培技術の開発が求められている⁷⁾。そこで、筆者らは、‘毛馬’キュウリの湛液型水耕栽培(以下、水耕栽培)において、低濃度の化学肥料を施用した培養液で栽培したり、化学肥料の代わりに有機質肥料を施用したりすると、苦味を低減できることを明らかにした^{8),9)}。また、‘毛馬’キュウリにおいて、果実の苦味と果実中に含まれている硝酸イオン濃度には、相関関係があることも明らかにした⁸⁾。しかし、苦味を低減させるために培養液濃度を低下させると、収量が慣行栽培以下になり、果実色が薄くなった。また、有機質肥料を施用すると、栽培前に有機態窒素を硝化するために約3週間以上の期間が必要となることやバイオフィームがシステムを詰まらせるなど、栽培が不安定であった。

一方、葉菜類であるホウレンソウとコマツナの水耕栽培において、全施肥中のアンモニア態窒素の割合を大きくすると、作物中に含まれる硝酸イオン濃度が低下することが報告されている¹⁰⁾。

そこで、本研究では、‘毛馬’キュウリの水耕栽培において、窒素施用量が果実の収量および苦味の発現に及ぼす影響を検討した。また、施用したアンモニア態窒素と硝酸態窒素の割合が‘毛馬’キュウリ果実の収量および苦味の発現に及ぼす影響を検討した。

実験材料および実験方法

1. 栽培概要

大阪府環境農林水産総合研究所にて採種した‘毛馬’キュウリ種子を、2010年3月5日にパーミキュライトに播種した。播種後、ビニルトンネル内で育苗し、同年4月2日に1試験区につき2株ずつ定植した。同研究所所有のガラス温室(全長:20m, 横幅:5.4m)内で水耕栽培を行った。1試験区につきプラスチック製容器を1つ使用し、その中に培養液20ℓを満たして栽培した。栽培期間中は培養液中の溶存酸素を保持するために十分な曝気(培養液1ℓあたり0.77ℓ/min)を行った。栽培槽の培養液量を維持するため、随時給水を行った。

栽培は、下記の施肥管理の異なる5試験区で行った。

- ・対照区: 大塚A処方1/2単位¹¹⁾で全施肥窒素量の10%をアンモニア態窒素で、90%を硝酸態窒素で施用(キュウリ水耕栽培の慣行の施用量)。
- ・2/3-10%区: 大塚A処方2/3単位で全施肥窒素量の10%をアンモニア態窒素で、90%を硝酸態窒素で施用。
- ・2/3-55%区: 大塚A処方2/3単位で全施肥窒素量の55%をアンモニア態窒素で、45%を硝酸態窒素で施用。
- ・1/2-40%区: 大塚A処方1/2単位で全施肥窒素量の40%をアンモニア態窒素で、60%を硝酸態窒素で施用。

- ・1/3-10%区: 大塚A処方1/3単位で全施肥窒素量の10%をアンモニア態窒素で、90%を硝酸態窒素で施用。

2/3-55%区, 1/2-40%区および1/3-10%区の3試験区の硝酸態窒素施用量は同量になるように設定した。対照区, 2/3-10%区および1/3-10%区は、市販されている慣行の化学肥料である大塚ハウス1号・2号(大塚アグリテクノ株式会社)の配合と合わせた。

栽培期間中は、培養液の無機窒素濃度(硝酸イオン濃度, 亜硝酸イオン濃度およびアンモニウムイオン濃度), ECおよびpHを定期的に測定した。すべての試験区の仕立法や摘心および病虫害防除は大阪府が刊行している栽培指針に準じて行った¹²⁾。

同年5月17日から販売規格(果長:約30cm, 太さ:3cm⁷⁾)に達した‘毛馬’キュウリ果実を適宜収穫した。

2. ‘毛馬’キュウリ果実中に含まれる硝酸イオン濃度測定

同研究所において、各試験区の平均的な‘毛馬’キュウリを2本収穫して測定に供した。収穫直後に、収穫した果実の果皮をピーラーで果皮表面から1mm厚で切り取り、ナイフで細かく刻み分析に供した。また、果肉についても同様に分析に供した。各試験区の試料に純水を加えてホモジナイザー(PRO Scientific Inc. 製 PRO200 Homogenizer)で粉碎後、小型反射式光度計(Merch社製 RQフレックス)で、各部位に含まれる硝酸イオン濃度を測定した¹³⁾。それぞれの収穫および測定は、同年5月28日, 6月9日および6月20日に同様に行った。

3. 官能検査

同年6月21日に同研究所において、各試験区の平均的な‘毛馬’キュウリを3本収穫して、最も苦味の強い部位である果梗部から約10cmをフードプロセッサーですりおろし、官能検査を15人の被験者(20歳代から60歳代までの男女)を対象に行った。官能検査は、“苦味なし”を0点, “少し苦い”を1点, “苦い”を2点, “苦味が強い”を3点, “非常に苦い”を4点の5段階評価とした。

実験結果

1. 窒素施用量およびアンモニア態窒素と硝酸態窒素の割合が収量に及ぼす影響

各試験区の栽培期間を通して施用した全窒素施用量をFig.1に示した。大塚A処方2/3単位で施用した2/3-10%区と2/3-55%区の全窒素施用量は約35gで最も多く、ついで1/2単位で施用した対照区と1/2-40%区が約25gであった。1/3単位で施用した1/3-10%区が約16gで最も少なかった。また、2/3-55%区, 1/2-40%区および1/3-10%区の硝酸態窒素施用量は約15gと同量であった。

各試験区の1株当たりの積算収穫果数をFig.2に示した。1株当たりの積算収穫果数は、2/3-55%区が約19.0本, 対照区, 2/3-10%区および1/2-40%区が

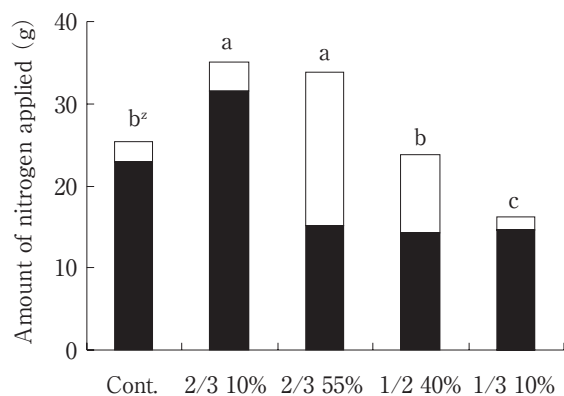


Fig. 1 Effect of the amount of nitrogen application and the ratio of nitrate and ammonia nitrogen on the amount of nitrogen in the hydroponic solution during the cultivation period

■ : Nitrate nitrogen ; □ : Ammonia nitrogen

Cont. : 1 / 2 units of standard solution ($\text{NH}_4\text{-N}:\text{NO}_3\text{-N}=10\%:90\%$) ; 2 / 3 -10% : 2 / 3 units of standard solution ($\text{NH}_4\text{-N}:\text{NO}_3\text{-N}=10\%:90\%$) ; 2 / 3 -55% : 2 / 3 units of standard solution ($\text{NH}_4\text{-N}:\text{NO}_3\text{-N}=55\%:45\%$) ; 1 / 2 -40% : 1 / 2 units of standard solution ($\text{NH}_4\text{-N}:\text{NO}_3\text{-N}=40\%:60\%$) ; 1 / 3 -10% : 1 / 3 units of standard solution ($\text{NH}_4\text{-N}:\text{NO}_3\text{-N}=10\%:90\%$)

*: Different letters indicate significant difference between the means at a 5% level (Fisher's least significant difference [LSD] test)

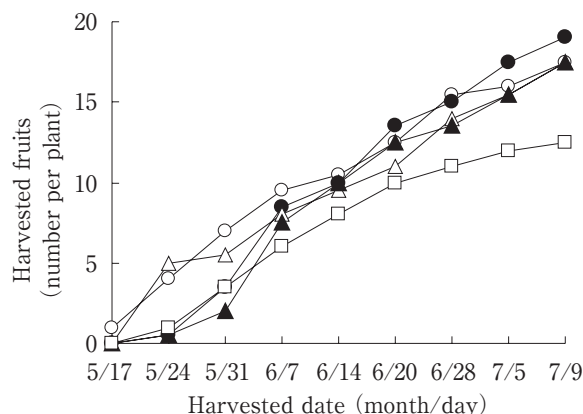


Fig. 2 Effect of the amount of nitrogen application and the ratio of nitrate and ammonia nitrogen on the total number of harvested 'Kema' cucumbers

△ : Cont. ; ○ : 2 / 3 -10% ; ● : 2 / 3 -55% ; ▲ : 1 / 2 -40% ; □ : 1 / 3 -10% (details shown in Fig. 1)

約17.5本であり、1 / 3 -10%区が約12.5本で最も少なかった。

2. 窒素施用量およびアンモニア態窒素と硝酸態窒素の割合が培養液に含まれる窒素形態に及ぼす影響

各試験区における培養液中に含まれる硝酸イオン濃度 (I) と亜硝酸イオン濃度 (II) およびアンモニウムイオン濃度 (III) の推移結果をFig. 3に示した。

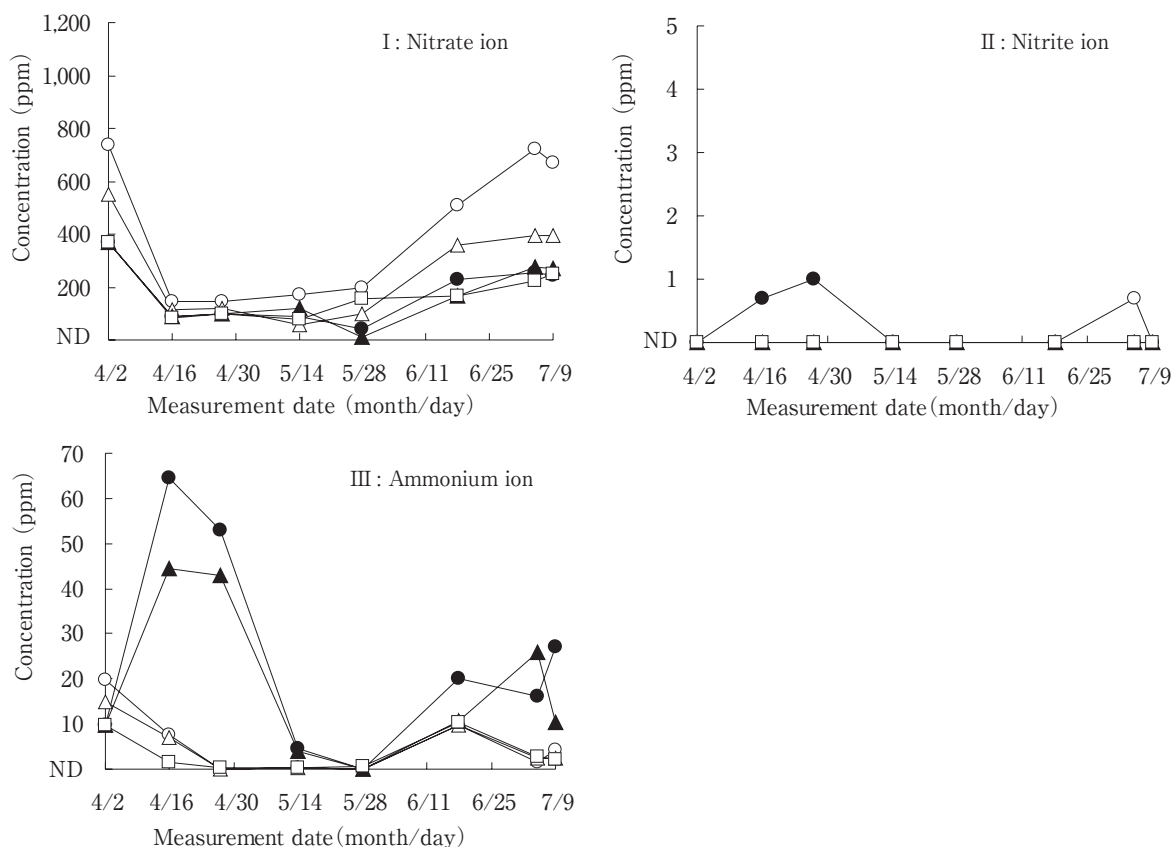


Fig. 3 Changes in nitrate (I), nitrite (II), and ammonium (III) ion concentrations of the hydroponic solution during the cultivation period

△ : Cont. ; ○ : 2 / 3 -10% ; ● : 2 / 3 -55% ; ▲ : 1 / 2 -40% ; □ : 1 / 3 -10% (details shown in Fig. 1)

栽培開始時の硝酸イオン濃度は、2/3-10%区が約740ppmで最も高く、ついで対照区が約550ppmであった。硝酸態窒素施用量が同量である2/3-55%区、1/2-40%区および1/3-10%区が約370ppmで最も低かった。その後、栽培開始から2週間後に全試験区とも硝酸イオン濃度は約100ppmにまで低下して、栽培開始から8週間後まで全試験区とも低濃度で推移した。これ以降は、全試験区とも増加して、収穫終了時には2/3-10%区が約670ppmで最も高く、ついで対照区で約400ppm、2/3-55%区、1/2-40%区および1/3-10%区が約250ppmで最も低かった。

亜硝酸イオン濃度は、栽培開始後2週から4週までの間2/3-55%区で約1ppmであったが、その後、低下して亜硝酸イオンは検出されなかった。また、2/3-10%区以外の4試験区では、栽培期間を通して亜硝酸イオンは検出されなかった。

栽培開始時のアンモニウムイオン濃度は、2/3-10%区が約20ppmで最も高く、ついで約15ppmであった対照区で、2/3-55%区、1/2-40%区および1/3-10%区が約10ppmで最も低かった。その後、慣行の化学肥料と同様の窒素配合である対照区、2/3-10%区および1/3-10%区は、栽培開始後からアンモニウムイオン濃度は低下して、栽培終了時まで約3ppm以下の低濃度で推移した。

一方、2/3-55%区と1/2-40%区は、栽培開始からアンモニウムイオン濃度が上昇して、2週間後には2/3-55%区が約65ppm、1/2-40%区が約45ppmとなり、栽培開始から4週間後まで維持した。その後、急速に低下して、栽培開始から8週間後にはアンモニウムイオンが検出されなかったが、その後、再び増加し、栽培終了時には2/3-55%区が約17ppmで1/2-40%区が約10ppmであった。

各試験区における培養液中に含まれるpH (I) とEC (II) の推移結果をFig. 4に示した。培養液中に含まれるpHは、試験区ごとで差異は見られず、全試験区とも栽培初期に約8.0で、その後低下し、栽培期間中は約6.0か

ら約7.0までの間を推移していた。

栽培開始時のECは、2/3-10%区が約2.8mS/cmで最も高く、対照区と2/3-55%区が約3.0mS/cmで、1/2-40%区が約2.0mS/cmで、1/3-10%区が約1.5mS/cmで最も低かった。栽培期間中に対照区、1/2-40%区および1/3-10%区は栽培開始時からECの変化はなかった。しかし、2/3-10%区と2/3-55%区は、栽培開始時からECの値が増加し、2/3-10%区は約4 mS/cmで、2/3-55%区は約3 mS/cmで推移した。

3. 窒素施用量およびアンモニア態窒素と硝酸態窒素の割合が‘毛馬’キュウリに含まれる硝酸イオンに及ぼす影響

‘毛馬’キュウリに含まれる硝酸イオン濃度の結果をFig. 5に示した。硝酸イオン濃度は、2/3-10%区が約240ppmで最も高く、ついで対照区が約210ppmであり、2/3-55%区、1/2-40%区および1/3-10%区が約150ppmで最も低かった。この結果は、硝酸態窒

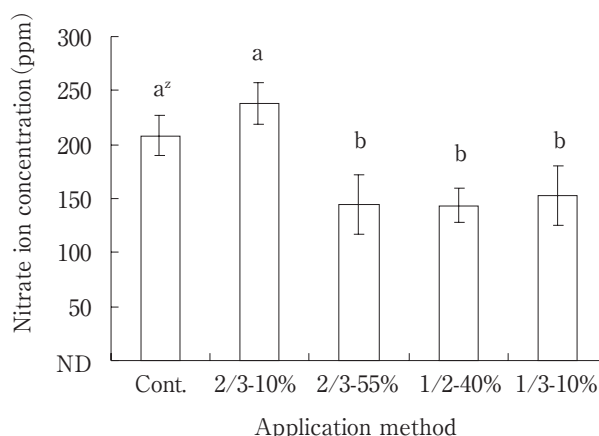


Fig. 5 Effect of the amount of nitrogen application and the ratio of nitrate and ammonia nitrogen on nitrate ion concentration in ‘Kema’ cucumbers

Values are means of 3 replicates, and bars represent the S. E. *: Different letters indicate significant difference between the means at a 5% level (Fisher's least significant difference [LSD] test)

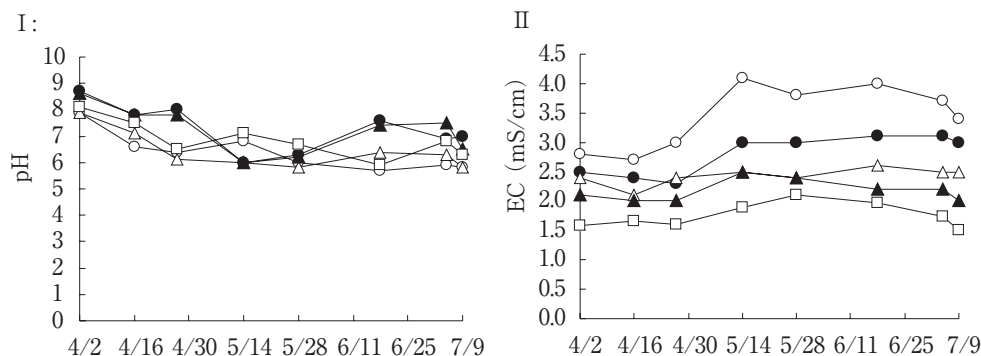


Fig. 4 Changes in pH (I) and EC (II) of the hydroponic solution during the cultivation period

△: Cont. ; ○: 2/3-10%; ●: 2/3-55%; ▲: 1/2-40%; □: 1/3-10%
(details shown in Fig. 1)

素施用量の結果と一致した。

4. 窒素施用量およびアンモニア態窒素と硝酸態窒素の割合が‘毛馬’キュウリの苦味に及ぼす影響

‘毛馬’キュウリの苦味についての官能試験の結果をFig. 6に示した。‘毛馬’キュウリの苦味は、2/3-10%区が約3.0点と最も高く評価され、ついで対照区が約2.3点であり、2/3-55%区、1/3-10%区および1/2-40%区が約1.1点から約1.4点で最も低く評価された。この結果は、‘毛馬’キュウリに含まれる硝酸イオン濃度の結果と一致した。

考 察

‘毛馬’キュウリの収量については、水耕栽培の慣行施用量である対照区以上の全窒素施用量であった2/3-55%区、2/3-10%区および1/2-40%区の3試験区は対照区と同等以上の収量であった。しかし、水耕栽培の慣行施用量以下の全窒素施用量であった1/3-10%区は対照区以下の収量であった。このことから、水耕栽培の慣行施用量以上の窒素施用量で‘毛馬’キュウリを水耕栽培する必要があることが示唆された。また、2/3-55%区と2/3-10%区のように慣行栽培より窒素施用量が多い場合、アンモニア態窒素施用量の割合が大きい方が多収になった。

本試験では、施用した硝酸態窒素施用量が多いほど、‘毛馬’キュウリに含まれる硝酸イオン濃度が高いという結果であった。‘毛馬’キュウリに含まれる硝酸イオン濃度はキュウリの苦味の強さに関係しており、‘加賀太’キュウリでは、果実中の硝酸イオン濃度が高いと、窒素代謝活性が高くなり、ククルピタシンC生合成の促進が起きるとの報告がある¹⁴⁾。このことから、水耕栽培において、硝酸態窒素施用量が多いと栽培中の‘毛馬’キュウリに硝酸イオンがより多く蓄積することで、窒素代謝活性が高まりククルピタシン等の苦味成分の生合成が促進されたと考えられた。

また、慣行栽培より硝酸態窒素施用量が少なくアンモニア態窒素施用量が多い2/3-55%区と1/2-40%区は、栽培初期に施用して高濃度であったアンモニウムイオンが、硝化菌の働きにより硝酸イオンに変化したため、栽培後期にはアンモニウムイオン濃度が低下し、硝酸イオン濃度が増加したと考えられた (Fig. 3)。また、慣行栽培より硝酸態窒素とアンモニア態窒素の施用量がともに少ない1/3-10%区では、苦味を抑制できたが、収量は対照区以下であった。しかし、1/3-10%区と同量の硝酸態窒素を施用した2/3-55%区と1/2-40%区では、苦味を抑制でき、収量は対照区以上であった。ハウレンソウの水耕栽培において、供給される硝酸態窒素が少なくアンモニア態窒素が多い場合、植物体はアンモニア態窒素を多く吸収することが報告されている¹⁵⁾。栽培開始から2週間後から4週間後まで2/3-55%区と1/2-40%区の硝酸イオン濃度が低く、アンモニウム

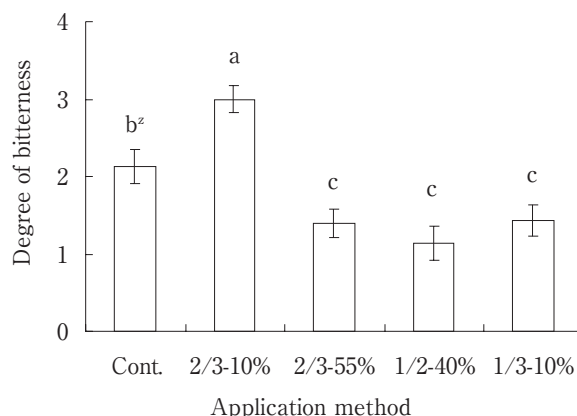


Fig. 6 Effect of the amount of nitrogen application and the ratio of nitrate and ammonia nitrogen on the degree of bitterness of ‘Kema’ cucumbers

0 = “not bitter”, 1 = “weak”, 2 = “moderate”, 3 = “strong”, 4 = “too strong”

Values are the means of 3 replicates, and bars represent the S.E. The horizontal axis represents the application method whose details are shown in Fig. 1.

^z: Different letters indicate significant difference between the means at a 5% level (Fisher’s least significant difference [LSD] test)

イオン濃度が高かったため、‘毛馬’キュウリは硝酸態窒素の代わりにアンモニア態窒素の形態で窒素成分を吸収したと考えられた。このことから、2/3-55%区と1/2-40%区の収量が慣行栽培以上になったと考えられた。なお、収穫終了時に培養液中の硝酸イオン濃度が増加したが、これは植物体が大きくなり、肥料成分以上に水を要求したことから給水量が増加したためと考えられた。

以上の結果から、‘毛馬’キュウリの苦味発現には、硝酸施用量が大きく関係していることが明らかになった。また、硝酸態窒素施用量が低い場合、慣行栽培より多くアンモニア態窒素を施用することで、収量を維持しつつ‘毛馬’キュウリの苦味を抑制することが示唆された。

要 約

‘毛馬’キュウリは栽培法の違いにより苦味に差が生じる。そこで、本研究では消費者に敬遠される‘毛馬’キュウリの苦味を抑制できる栽培技術を確立することを目的として、水耕栽培における窒素施用量が果実の収量および苦味の発現に及ぼす影響を検討した。また、施用したアンモニア態窒素と硝酸態窒素の割合が‘毛馬’キュウリ果実の収量および苦味の発現に及ぼす影響を検討した。

市販されている養液栽培用混合化学肥料の配合 (90%の硝酸態窒素と10%のアンモニア態窒素) で、キュウリの慣行の施用量である大塚A処方1/2単位より窒素施用量が多い2/3単位で栽培すると‘毛馬’キュウリの

苦味が強くなり、1/2単位より窒素施用量が少ない1/3単位で栽培すると‘毛馬’キュウリの苦味が弱くなった。また、慣行栽培以下の硝酸態窒素施用量で栽培すると、‘毛馬’キュウリの苦味が慣行栽培より弱くなった。

一方、硝酸態窒素施用量が少ない条件で、アンモニア態窒素施用量が多いほど‘毛馬’キュウリの積算収穫果数は多かった。

したがって、‘毛馬’キュウリの苦味発現には、硝酸施用量が大きく関係していることが明らかになった。また、硝酸態窒素施用量が低い条件では、慣行栽培より多くアンモニア態窒素を施用することで、収量を維持しつつ‘毛馬’キュウリの苦味を抑制することが示唆された。

文 献

- 1) 内藤重之・森下正博：「なにわの伝統野菜」の復活と地域・産業の取り組み，大阪食とみどり技セ研報，**43**，5～12（2007）
- 2) 伊藤庄次郎：蔬菜品質解説，31～34（1952）
- 3) 熊澤三郎：胡瓜栽培の経済的研究，農及園，**8**，371～384（1932）
- 4) 森下正博：キュウリ果実のテクスチャーの品種間差，大阪食とみどり技セ研報，**39**，1～5（2003）
- 5) 森下正博：‘毛馬’キュウリ，なにわの伝統野菜，6～9（1999）
- 6) 森下正博：大阪府＝なにわの伝統野菜の復活による‘天王寺蕪，毛馬胡瓜’のEマーク商品化，施設と園芸，**122**，33～36（2003）
- 7) 森下正博：大阪在来‘毛馬’キュウリの来歴と品種特性，大阪農技セ研報，**37**，27～34（2001）
- 8) 嘉悦佳子・森川信也・磯部武志・中村謙治・阿部一博：栽培法の差異および湛液型水耕栽培における培養液濃度の差異が‘毛馬’キュウリ（*Cucumis sativus* L. cv. Kema）の苦味発現および品質に及ぼす影響，日食保，**36**，221～226（2010）
- 9) 嘉悦佳子・森川信也・磯部武志・中村謙治・阿部一博：水耕栽培における施肥法および培地の差異が‘毛馬’キュウリ（*Cucumis sativus* L. cv. Kema）の苦味発現および品質に及ぼす影響，日食保，**36**，227～233（2010）
- 10) 建部雅子・石原俊幸・石井かおる・米山忠克：培地の窒素形態およびCa:K比がホウレンソウとコマツナの硝酸，アスコルビン酸，シュウ酸含有率に与える影響，土肥誌，**66**，535～543（1995）
- 11) 池田英男：用水と培養液の調整（日本施設園芸協会編：最新養液栽培の手引き）（誠文堂，東京）（1996）
- 12) 大阪府環境農林水産部農政室：なにわふるさと野菜栽培指針（大阪府環境農林水産部農政室，大阪），1～7（2004）
- 13) 建部雅子：作物栄養診断のための小型反射式光度計システムによる硝酸及び還元型アスコルビン酸の簡易測定法，土肥誌，**66**，147～112（1995）
- 14) 加納恭卓・山辺 守・石本兼治・福田秀範：‘加賀太’キュウリ（*Cucumis sativus* L. cv. Kagafutokyuri）の葉および果実における苦味発現と窒素代謝との関連，園学雑，**68**，391～396（1999）
- 15) 岩田正利：窒素形態の差異と蔬菜の生育3，園学雑，**31**，39～52（1962）
（平成23年9月21日受付，平成23年12月12日受理）

カキ葉の機能性成分に及ぼす栽培法の影響

松本 敏一^{*1§}・持田 圭介^{*2}・松崎 一^{*2}・鶴永 陽子^{*3}

^{*1} 島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センター

^{*2} 島根県農業技術センター

^{*3} 島根大学教育学部

Influence of Cultivation Method on the Functional Components of Persimmon Leaf Tea

MATSUMOTO Toshikazu^{*1§}, MOCHIDA Keisuke^{*2}, MATSUZAKI Hajime^{*2} and TSURUNAGA Yoko^{*3}

^{*1} Faculty of Life and Environmental Sciences, Shimane University,
2059, Kamihonjo, Matsue, Shimane 690-1102

^{*2} Shimane Agricultural Technology Center, 2440, Ashiwata, Izumo, Shimane 693-0035

^{*3} Faculty of Education, Shimane University, 1060, Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504

The influence of cultivation method on the functional components of persimmon leaf tea was investigated using cv. 'Saijo'. Suitable cultivation methods are as follows: ① heavy pruning during winter for the formation of succulent shoots, ② application of double the regular quantity of fertilizer to enhance tree growth, and ③ harvesting of all succulent shoots at each harvest. The leaves harvested in August showed about 50~70% lower ascorbic acid concentration than those harvested in June, resulting in a different leaf quality.

(Received Apr. 11, 2011; Accepted Nov. 7, 2011)

Key words: persimmon leaf tea, cultivation method, yield, ascorbic acid, polyphenol

柿葉茶, 収穫法, 収量, アスコルビン酸, ポリフェノール

島根県は渋ガキ「西条」の主産地であるが、単価の低迷や農業者の高齢化等によりその生産額は年々減少している。そのため、耕作放棄園が増加する結果となり、景観保全や農家の所得向上のため、その有効活用が急務となっている。

近年、消費者の健康志向により、健康食品関連商品の販売額が年々伸びている。その中でも茶は、最近では特定保健用食品として認可された商品も開発され、手軽に摂取できることからその需要は高まっている。すでに商品化されているクワ葉茶は、解熱、鎮咳の効能の他、最近の研究で血圧抑制効果やがん抑制効果も明らかになっている¹⁾。最近、販売量が徐々に増えているカキ葉茶は、アスコルビン酸やポリフェノールを多く含み^{2),3)}特にアスコルビン酸含量はオレンジの26倍、レモンの17倍⁴⁾と著しく高い。また、機能性として抗酸化作用⁵⁾、抗アレルギー作用^{6),7)}、育毛作用⁸⁾、などが報告され、健康茶と

しての人気の高まっている。しかし、市販のカキ葉茶やその原材料は中国産が多いことから、最近では安心安全の面で消費者から敬遠される傾向があり、国内産の原材料を使った製品の需要が高まっている。一方、カキにおける栽培研究では果実生産や生理障害等に関する報告がほとんどである。そこで、本研究ではカキ葉茶用の原材料としての葉の収穫を目的とした栽培法について、葉に含まれる機能性成分（アスコルビン酸および可溶性ポリフェノール）に及ぼす影響を検討した。

実験方法

1. 供試樹及び栽培方法

島根県益田市市内のカキ園に栽植の21年生普通系「西条」を本実験に供試した。圃場におけるカキ樹の栽植密度は約50本/10aで、供試したカキ園は、実験を開始した2003年以前の3年間は施肥、剪定、防除等の栽培管理が

^{*1} 〒690-1102 島根県松江市上本庄町2059

§ Corresponding author, E-mail: tmatsumoto@life.shimane-u.ac.jp

^{*2} 〒693-0035 島根県出雲市芦渡町2440

^{*3} 〒690-8504 島根県松江市西川津町1060

全くされていない放任園であった。各試験区とも樹勢がほぼ同程度である3樹を選んで3反復とし、発生する徒長枝を収穫した。収穫時期は6月下旬および8月下旬の2回とし、6月下旬の収穫後に2次伸長枝を発生させるため、徒長枝は基部を1cm程度残して剪定鋏で収穫した。以下の栽培試験には、施肥試験以外は隣接する生育の同程度の樹を用いた。TSURUNAGAら⁹⁾は、長い新梢から得られたカキ葉の総アスコルビン酸含量は非常に多いが、新梢先端部にも多く含まれ、カキ葉茶材料に適すると報告している。したがって、収穫した徒長枝から柔らかい先端部を含むカキ葉茶の材料として利用可能な葉を収穫物とした。

(1) 冬季剪定の強度と収穫量 研究初年度である2003年2月に剪定強度を、弱剪定区(剪定後の2年枝密度で15本/m²)および強剪定区(0本/m²)の2段階を設け、発生する徒長枝の収穫量を調査した。

(2) 徒長枝の収穫方法の検討 6月下旬の1回目収穫時において、長さ50cm以下の徒長枝を残してそれ以上の長さの徒長枝を収穫する一部収穫区と徒長枝をすべて採取する全収穫区を設けた。なお、8月下旬の2回目収穫時は両区ともすべての徒長枝および2次伸長枝(以下、徒長枝等)を収穫した。

(3) 施肥量と収穫量 年間に施用する化成肥料の量を、慣行施用区(窒素成分量で20kg/10a)および2倍施用区(40kg/10a)の2段階に設定し、元肥として3月中旬に全施用量の2/3を、追肥として6月中旬に1/3を施用した。なお、施肥の影響を避けるため隣接樹は供試しなかった。

2. 葉中の機能性成分含量の比較

上記試験で収穫した葉の機能性を比較するため、アスコルビン酸およびポリフェノール含量の測定を鶴永ら^{10), 11)}の方法に準じて行った。分析用試料は、各樹から収穫した枝5本からすべての葉を回収して1サンプルとし、真空凍結乾燥機(CHRIST社, ALPHA 1-4 LDC-1 M)で乾燥後粉末にして各分析に供試した。

(1) 総アスコルビン酸含量の分析 乾燥試料200mgに2%メタリン酸水40mlに加え、1時間放置して抽出した後、50mlに定容した。その抽出液を0.45μmのメンブレンフィルターでろ過した。酸化型アスコルビン酸を還元型に変換することで総アスコルビン酸(以下T-AsA)含量を測定するため、ろ過した抽出液にジチオスレイトー

ル(和光純薬工業)を添加し、高速液体クロマトグラフ(以下HPLC)で分析した。HPLC装置は島津高速液体クロマトグラフ装置(島津製作所, LC10Aシステム), UV-VIS検出器(SPD10A)を用いた。カラムはInertsil ODS-2(GLサイエンス, Ø4.6×250mm), 移動相は1%メタリン酸, 検出器波長254nm, カラム温度40℃, 流速1.0 ml/分で分析した。

(2) 可溶性総ポリフェノールの分析 乾燥試料200mgに超純水(ミリQ水)を添加し、10分間沸騰水中で加熱抽出し50mlに定容したものを熱水試料液とした。測定は、フォリン-チオカルト試薬を用いたフォリン法¹²⁾によって定量し、アストラガリン相当量として表した。

実験結果

1. 栽培試験

(1) 冬季における剪定強度と収穫量 剪定強度を強(剪定後の2年生枝密度で0本/m²)と弱(同10本/m²)で比較したところ、強剪定区での年間収穫量が弱剪定区の約2倍となった。一方、2回目の収穫時である8月の収穫量では強剪定区が弱剪定区の約3.6倍となった(表1)。また、乾物率については、6月収穫時において弱剪定区で高くなったが、8月収穫時および6月と8月の平均では顕著な差はみられなかった。なお、試験開始後に供試樹3本のうちの1本の樹勢が著しく悪くなり、その樹を調査対照から除外したため、統計処理は行っていない。

(2) 徒長枝等の収穫方法の検討 カキ葉茶材料である徒長枝等の最適な収穫方法を検討するため、6月下旬の1回目採取時に発生した徒長枝を全て採取する区(全収穫区)と50cm以上のみ採取する区(一部収穫区)を設け、これらの収穫量を比較した(表2)。その結果、

表1 カキ‘西条’の葉生産栽培における剪定強度と葉茶材料の収穫量及び乾物率

	収穫量(kg/樹)		乾物率(%)	
	弱剪定	強剪定	弱剪定	強剪定
6月	3.59	6.55	28.0	25.9
8月	1.56	5.60	31.4	34.4
年平均収穫量 および年平均乾物率	2.57	6.07	29.7	30.1

表2 カキ‘西条’の葉生産栽培における収穫方法と葉茶材料の収穫量および乾物率

	収穫量(kg/樹)			乾物率(%)		
	全部収穫	一部収穫	有意性	全部収穫	一部収穫	有意性 ^{a)}
6月	3.72	1.59	*	28.0	27.0	ns
8月	1.63	3.28	ns	28.3	36.2	ns
年平均収穫量 および年平均乾物率	2.68	2.44	ns	28.1	31.6	ns

^{a)}検定によりnsは有意差がないことを、*は5%水準で有意差があることを示す(n=3)

6月の収穫量は全部収穫区が3.72kg/樹で一部収穫区で約2.3倍と多かったが、有意差はなかった。また、8月収穫時および6月と8月の平均収穫量でも各区間に有意な差は認められなかった。一方、乾物率については、6月収穫時では全部収穫区と一部収穫区に有意差はなかったが、8月収穫時および年平均では一部収穫区が全部収穫区より有意に高かった。また、一部収穫区では、8月の2回目収穫時において6月収穫時に残した枝の葉に損傷や褐変部が目立った。

(3) 施肥量と収穫量 施肥量を慣行施用区(窒素成分で20kg/10a)および多施用区(40kg/10a)の2段階で検討した。施肥量、実施年にかかわらず6月の収穫量が8月より多かった(図1)。また、年間収穫量に占める

6月収穫量の割合をみると、実験初年度である2004年はいずれの施肥区も約60%であったのに対し、2年目、3年目では70~75%となった。また、肥料を通常の2倍にした多施用区では、実験3年目でも収穫量の減少は認められなかった。

(4) 葉中の機能性成分含量の比較 収穫時期および施肥量による葉中の機能性成分含量について、2004~2006年の3か年間について比較検討を行った。アスコルビン酸含量については、いずれの年とも施肥量による顕著な差は認められなかったが、収穫時期では6月葉が8月葉より高かった(図2)。一方、ポリフェノール含量については、逆に8月葉が6月葉より高くなる傾向が認められた(図3)。

考 察

カメリア属の茶の木の葉以外の原材料からつくられる茶で生産量の多いものにクワ茶があげられる。クワは古くからカイコの餌として広く栽培されてきたが、養蚕業の衰退に伴い栽培面積も減少していった¹³⁾。しかし、クワ葉の高い機能性が注目され、クワ茶が商品化された。クワ茶には、フラボノイドのルチンやケルセチン、モラセチン、イノコステインなどが含まれ、解熱や鎮咳の他、血圧抑制効果やがん抑制効果も確認されている¹⁾。

カキ葉茶も商品化されており、機能性や製茶方法に関するいくつかの報告^{9)~11)}があるが、カキ葉茶用の原料生産に関する研究、すなわち葉生産のための栽培方法につ

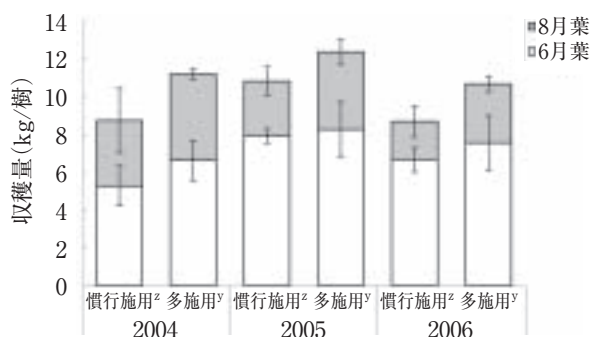


図1 カキ‘西条’の葉生産栽培における施肥量が葉茶材料の収穫量に及ぼす影響

図中の縦線は標準誤差 (n = 3)

z : N20kg/10a, y : 40kg/10a

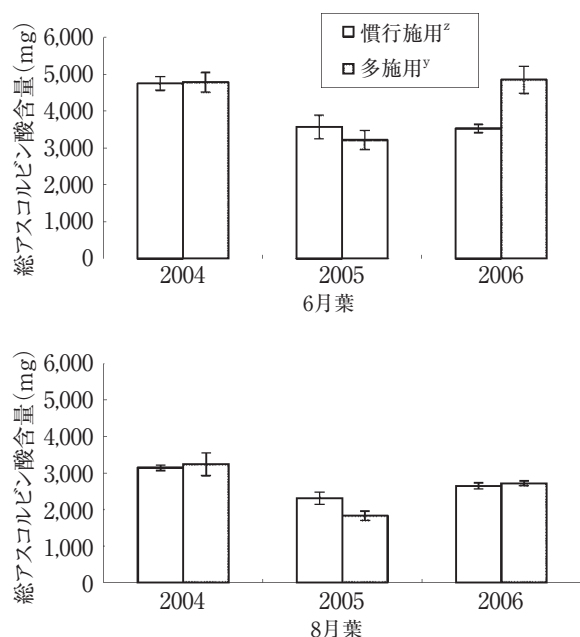


図2 カキ‘西条’の葉生産栽培における施肥量が葉茶材料の総アスコルビン酸含量に及ぼす影響

図中の縦線は標準誤差 (n = 3)

z : N20kg/10a, y : 40kg/10a

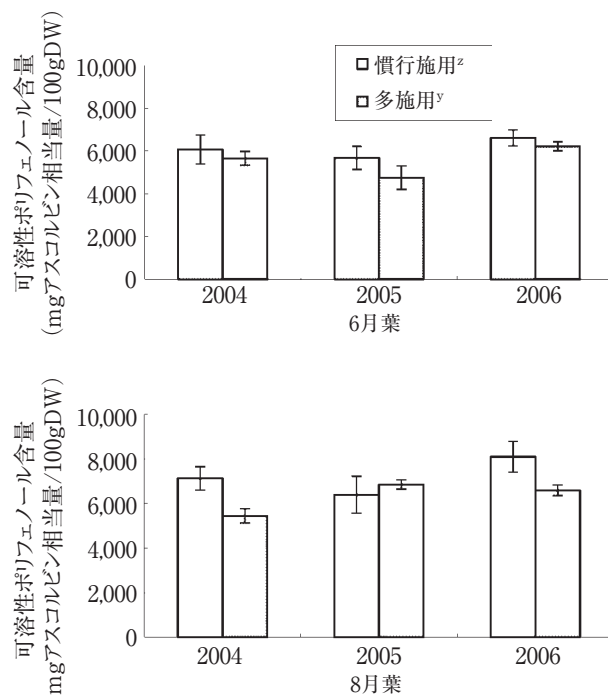


図3 カキ‘西条’の葉生産栽培における施肥量が葉茶材料の可溶性総ポリフェノール含量に及ぼす影響

図中の縦線は標準誤差 (n = 3)

z : N20kg/10a, y : 40kg/10a

いての報告はほとんどない。そこで、樹の生育に悪影響が出ないカキ葉の安定生産のための栽培法および葉の収穫法について葉に含まれる機能性成分分析結果と共に検討した。

島根県においてカキ‘西条’は、5～6月上旬にかけて新梢が急速に伸長しその後は停止する¹⁰⁾ことから、葉茶材料としての徒長枝の収穫適期は6月と考えられる。そこで、本実験において6月下旬に徒長枝の基部を1cm程度残して収穫したところ、新たな徒長枝の他に採取した徒長枝基部から2次伸長枝の発生がみられた。これらの伸長は8月でほぼ停止した(データ省略)ことから、9月以降の台風等の強風による葉の損傷を避けるため、2回目の徒長枝等の収穫は8月下旬が適当であると考えられる。また、6月の1回目の収穫時に50cm以下の枝を収穫せずに残す一部収穫区では、8月の2回目収穫時において残した枝の葉に損傷や褐変部が目立ったことから、収穫する葉の品質を考えると6月収穫時には全部収穫が好ましいと判断される。

葉に含まれる機能性成分について検討したところ、アスコルビン酸含量については8月葉は6月葉の50～70%しかないことから、収穫時期で大きな差があることが明らかとなった。鶴永ら¹⁰⁾も、カキ葉中のアスコルビン酸含量およびポリフェノール含量は6～7月が最も高くなると報告している。つまり、各収穫期における葉を茶の材料にした場合には、製品間で機能性成分含量が異なることとなる。したがって、製品であるカキ葉茶中のアスコルビン酸、ポリフェノール含量をある程度均一にするためには、異なる時期での収穫物を混合する等の必要があると考えられる。

徒長枝等の収穫による樹への影響について検討した。6月と8月における徒長枝等の収穫後には骨格枝の先端部のみ、すなわち収穫前の1割以下しか葉が残らないことから、その後の樹へ負担による悪影響が懸念される。そこで、施肥量を慣行の2倍にしたところ、実験3年目でも収穫量の減少は認められず、1年目とほぼ同程度となった。したがって、3年間の栽培試験結果から、6月と8月の2回、徒長枝等を収穫し主枝や亜主枝等の骨格となる枝の先端の葉は残す強剪定法により、3月の元肥と6月の追肥量を通常の2倍にすることで樹の消耗を避けることができ、毎年の収穫が可能であると考えられる。

島根県では、主枝および亜主枝を高さ1.5mで切断することにより発生させた徒長枝等を1回または2回収穫するカットバック法が普及部門での調査研究において検討されている¹⁴⁾。この方法は、クワにおいて、樹幹の剪定位置を地表から51～100cmにする中刈仕立、または101cm以上にする高刈仕立と似ており¹⁵⁾、徒長枝等が収穫しやすい高さに集中しているため収穫作業が容易である。しかし、カキはクワと異なり、収穫時には葉がすべてなくなるカットバック法のような仕立法では樹の消耗が激しく、枯死する可能性があるという問題がある¹⁴⁾。さら

に、カットバック後は元の樹形に戻すことは極めて困難であるため、果実生産のためのカキ栽培を再開する場合は改植が必要となる。このため、カキ栽培を中止した農家であってもカキ葉収穫園として圃場を提供することに躊躇される場合が考えられる。一方、本実験で検討した強剪定法では、主枝と亜主枝を残しているため本来の樹形を維持しており、2～3年後には果実生産も可能である。したがって、カットバック法のような農家への心理的影響は少ないと考えられる。また、実験初年度のカキ葉茶材料の収穫量を10a換算で比較すると、本実験の強剪定法では641kg(データ省略)、カットバック法では645kg¹⁴⁾とほぼ同程度であった。以上のことから、カキ葉栽培には本実験で用いた強剪定法が適していると考えられる。

カキ葉茶材料としての栽培では、登録農薬がないことから無農薬での栽培を余儀なくされる。したがって、病虫害の発生状況によっては収穫が皆無となる危険性がある。笹川ら¹⁴⁾は、カットバック法による無農薬でのカキ葉栽培期間中に、コナカイガラムシ、イラガ、円星落葉病および角斑落葉病が発生し、特に落葉病により9月以降の収穫が困難な園があったと報告している。さらに、9月のみの1回収穫では病虫害が多いことから、品質の高い葉を収穫するためには6月と9月上旬の2回収穫が好ましいと結論づけている。したがって、カキ葉生産のための栽培においては、病虫害の被害を避けるため2回収穫と耕種の防除等の何らかの対策が不可欠となる。今後は、カキ葉栽培においてより効率的な収穫法と効果的な耕種の防除法の開発が期待される。

要 約

カキ‘西条’を用いて、カキ葉茶材料のための栽培法を検討した。その栽培管理としては、多くの徒長枝等を効率的に発生させるため冬の剪定は強めにする、施肥量は通常の2倍とする、発生した徒長枝等はすべて採取する方法が適当と考えられた。また、葉に含まれるアスコルビン酸は、8月葉は6月葉の50～70%と葉の品質には収穫時期で大きな差があった。

文 献

- 1) 勝部拓矢・山崎幸一：クワ葉茶エタノール抽出成分が示すHL-60細胞のアポトーシス誘導活性、日本食品科学工学会誌, **49**, 195～198 (2002)
- 2) 水野瑞夫：カキノキ。日本薬草全書(新日本法規, 東京), pp.143～145 (1995)
- 3) 奥田拓道：柿の葉茶。健康・栄養食品事典(東洋医学舎), pp.385～386 (2002)
- 4) 健康の科学編集部：カキの葉茶。機能性健康茶読本(東洋医学舎), pp.130 (1997)
- 5) 棟久美佐子・井上知明・小松正幹：日本茶及び「健康茶」浸出液の抗酸化作用について(Ⅱ), 京都府保

- 環研年報, **44**, 20~25 (1999)
- 6) 小谷麻由美・藤田晃人・田中敏郎: ヒト好塩基球細胞およびマウスにおける柿の葉抽出物のアレルギー抑制効果, 栄食誌, **52**, 147~150 (1999)
- 7) 松本元伸・小谷麻由美・藤田晃人・田中敏郎: 柿葉抽出物のNC/Ngaマウスにおけるアトピー性皮膚炎抑制作用, 栄食誌, **54**, 3~7 (2001)
- 8) 桑名隆一郎・伊達あけみ・沢村豊・盛岡雅史: 毛乳頭をめぐる育毛剤の新しい研究開発, フレグランスジャーナル, **23**, 41~48 (1995)
- 9) TSURUNAGA, Y., MATSUMOTO, T., KURAHASHI, T., MOCHIDA, K. and ITAMURA, H.: Effects of shoot length on amounts of functional components of leaves and shoots for leaf tea from Japanese persimmon 'Saijo', *Food Preservation Science*, **32**, 147~152 (2006)
- 10) 鶴永陽子・松本敏一・倉橋孝夫・板村裕之: 収穫時期の違いがカキ '西条' の葉における機能性成分含量に及ぼす影響, 園学研, **5**, 321~324 (2006)
- 11) 鶴永陽子・田中大介・松本敏一・鈴木芳孝・板村裕之: 柿葉茶中のアスコルビン酸含量を高く保持するための蒸熱処理時間における指標としての新梢長利用の可能性, 日食保蔵誌, **33**, 267~271 (2007)
- 12) SWAIN, T. and HILLIS, W.E.: The phenolic constituents of *prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic constituents, *J. Sci. Food. Agric.*, **10**, 63~68 (1959)
- 13) 挾本佳代: 日本の桑栽培面積の推移と世界の桑栽培の現状, アジア太平洋研究, **30**, 41~46 (2006)
- 14) 笹川悦世・神田巳樹夫・吉野克仁: 平成20年度柿葉省力多収栽培実証圃の調査結果, 平成20年度果樹調査研究実績検討会資料, 10~12 (2009)
- 15) 直井利雄・町井博明: 6. 桑の仕立・収穫法, 改訂蚕糸学入門. 日本蚕糸学会編 (創造社, 東京), pp.71~78 (2002)
- (平成23年4月11日受付, 平成23年11月7日受理)

Effects of 1-Methylcyclopropene on the Postharvest Quality of Komatsuna (*Brassica rapa* L. Perviridis Group)

TOKUCHI Takahiro*, SUZUKI Yasuo* and TERAJ Hirofumi*[§]

* Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, Rokkodai-cho 1-1, Nada-ku, Kobe 657-8501

Komatsuna (*Brassica rapa* L. Perviridis Group) rapidly turns yellow and degrades at ambient temperature after harvest. The effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on the postharvest quality of komatsuna were investigated. Komatsuna was treated without (control) or with 0.1, 0.5, or 1 $\mu\text{l}/\ell$ 1-MCP for 24 h at 20°C in the dark, and then stored in a perforated polyethylene bag at 20°C in the dark. In the control, yellowing was observed on the tops of the leaves, and the score was less than 4 on day 3. 1-MCP treatment delayed yellowing, and komatsuna treated with 0.1, 0.5, and 1 $\mu\text{l}/\ell$ 1-MCP started to yellow on days 4, 5, and 6, respectively. The chlorophyll a and b content was significantly higher in komatsuna treated with 1 $\mu\text{l}/\ell$ than in the others on day 3, and, thereafter, the decrease was retarded. The decrease in chlorophyll content reflects yellowing. 1-MCP treatment reduced weight loss and was likely to suppress carbon dioxide production to a greater extent than that observed in the control. In comparison with the control, 1 $\mu\text{l}/\ell$ 1-MCP treatment drastically suppressed the decrease in ascorbic acid and β -carotene content during storage. These results demonstrate that 1-MCP treatment is useful for the retention of komatsuna quality during storage.

(Received May 30, 2011 ; Accepted Dec. 5, 2011)

Key words : komatsuna, 1-MCP, quality
コマツナ, 1-MCP, 品質

Komatsuna (*Brassica rapa* L. Perviridis Group), a leafy vegetable, is produced throughout Japan because of its short growing period and its ability to adjust to various environments. It contains large amounts of vitamins and carotenes^{(1), (2)}. After harvest, its outer leaves rapidly turn yellow at ambient temperatures. It has been reported that when it is stored at 28°C in the dark, the chlorophyll and ascorbic acid contents in the leaves decrease to 20% of their initial value in 3 days⁽³⁾. The greenness of the leaves is an important quality index, and the retention of this quality during distribution is valuable.

Ethylene production is related to yellowing of leaves through chlorophyll degradation in some leafy vegetables after harvest. Application of an inhibitor of ethylene action or of ethylene synthesis to vegetables and fruits is an effective way to control the effect of ethylene. 1-Methylcyclopropene (1-MCP), a competitive inhibitor of ethylene, inhibits ethylene action⁽⁴⁾. 1-MCP has been permitted for use towards postharvest quality retention of many horticultural crops in various countries⁽⁵⁾. Many

studies have been conducted on the effects of 1-MCP on fruits and flowers, but only a few have focused on leafy vegetables⁽⁶⁾. So far, 1-MCP treatments have been reported to prolong the shelf life of some leafy vegetables, including coriander leaves⁽⁷⁾, sweet basil⁽⁸⁾, parsley⁽⁹⁾, rocket⁽¹⁰⁾, and Asian leafy vegetables^{(11), (12)}. Furthermore, 1-MCP treatment delays the development of russet spotting in lettuce induced by exogenous ethylene, and increases its storage life^{(13), (14)}. On the other hand, 1-MCP does not improve the shelf life of Chinese cabbage⁽¹⁵⁾.

Therefore, this study was conducted to clarify the effects of 1-MCP treatment on the shelf life and postharvest quality of komatsuna.

Materials and methods

Fresh komatsuna (*B. rapa* L. Perviridis Group) was purchased from Sinkakobeseika Co., Ltd. (Kobe, Japan). Komatsuna of average size that was sound was selected for use. The roots were dipped in 1% sodium hypochlorite solution and rinsed with distilled water.

The komatsuna was treated without (control) or

[§] Corresponding author, E-mail: terai@kobe-u.ac.jp

with 1-MCP (Smart Fresh™ 0.14% A.I., Rohm and Haas, Tokyo, Japan) at concentrations of 0.1, 0.5, or $1 \mu\text{l}/\ell$, in a 24.8 ℓ polyethylene container sealed with a rubber stopper for 24 h at 20°C in the dark. After 1-MCP treatment, the komatsuna were placed in a polyethylene bag ($0.03 \times 355 \times 450\text{mm}$) with 4 punched holes (ϕ 5 mm). The bags were stored at 20°C in the dark until analysis. The day on which 1-MCP treatment was started was defined as day 0.

The quality of the leaves was evaluated visually according to changes in freshness and yellowing of leaves, as follows: 5 = fresh without any yellowing, 4 = acceptable for consumers with a slight loss of freshness, 3 = yellow at the leaf apex, 2 = one-half of the leaf blade yellow, 1 = entire leaf blade yellow.

Chlorophyll was assayed according to the method of MORAN¹⁶⁾. Leaf samples (0.5 g) were immersed in 30 ml of *N,N*-dimethylformamide and stored overnight at 5°C in darkness. The chlorophyll content was determined by measuring the absorbance of the solvent at 647 and 664 nm. β -Carotene content was assayed according to the method of OYANAGI and ANDO¹⁷⁾. L-Ascorbic acid (AsA) and L-dehydroascorbic acid (DHA) content was assayed, according to the method of ROE *et al.*¹⁸⁾. Leaf samples (0.5 g) were taken on the day of measurement.

To measure carbon dioxide production, komatsuna were placed in a 3,360 ml container. The containers were sealed for 1 h at 20°C, and the headspace gas was withdrawn with a syringe. The carbon dioxide concentration was determined with a TCD gas chromatograph (GC-8 A, Shimadzu, Kyoto, Japan), using a Porapak Type Q column (Waters Corp., Milford, MA). The injector, column, and detector temperatures were 100, 90, and 100°C, respectively. The results of carbon dioxide production on a fresh weight basis were reported as $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

Results

1. Effects of 1-MCP treatment on the visual quality

Komatsuna was stored for 7 days at 20°C in the dark following treatment with 1-MCP for 24 h. The quality score is shown in Fig. 1, and marketability was considered lost at scores less than 4. The scores for each treatment continued to diminish during storage. In the control, yellowing was observed on the tops of the leaves, and the score was less than 4 on day 3. Treatment with 1-MCP

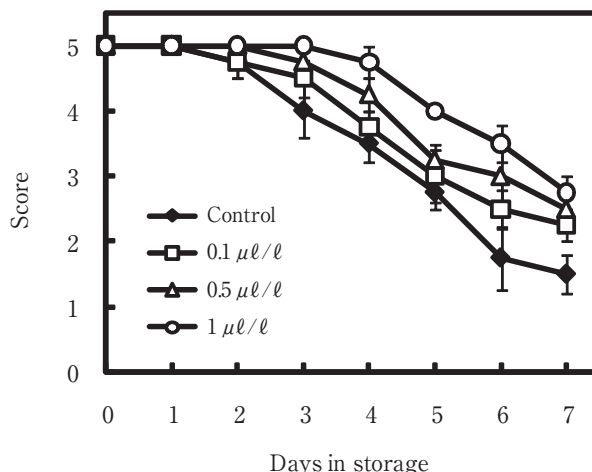


Fig. 1 Changes in quality value of komatsuna during storage at 20°C

Komatsuna was treated without (control (◆)) or with 1-MCP at 0.1 (□), 0.5 (△), or 1 (○) $\mu\text{l}/\ell$ for 24 h. Vertical bars are the SE of 4 replications.

delayed yellowing; komatsuna treated with 0.1, 0.5, and $1 \mu\text{l}/\ell$ 1-MCP showed scores below 4 on days 4, 5, and 6, respectively. At the end of day 7, the scores were 1.5 for the control komatsuna and 2.3, 2.5, and 2.8 for those treated with 0.1, 0.5, and $1 \mu\text{l}/\ell$ 1-MCP, respectively. These results indicate that 1-MCP treatment prolongs the shelf life, and that treatment with $1 \mu\text{l}/\ell$ was the most effective.

2. Effects of 1-MCP treatment on chlorophyll content

Changes in the content of chlorophyll a and b during storage after 1-MCP treatment are shown in Fig. 2. Until day 2, there were no changes in chlorophyll a content in all treatments including control. After day 3, chlorophyll a levels started to decrease. However, the chlorophyll a levels were significantly higher in komatsuna treated with $1 \mu\text{l}/\ell$ than in the others on day 3, and thereafter, the decrease was retarded. The changes seen in chlorophyll b content during storage were similar to those seen with chlorophyll a.

3. Effects of 1-MCP treatment on weight loss

The rates of weight loss during storage after treatment with various concentrations of 1-MCP are shown in Fig. 3. Progressive weight loss was observed after all treatments during the storage period. The rates of weight loss at the end of storage were 12.7, 11.4, 11.1, and 10.3% for the control and 0.1, 0.5, and $1 \mu\text{l}/\ell$ 1-MCP-treated komatsuna, respectively. These results indicate that

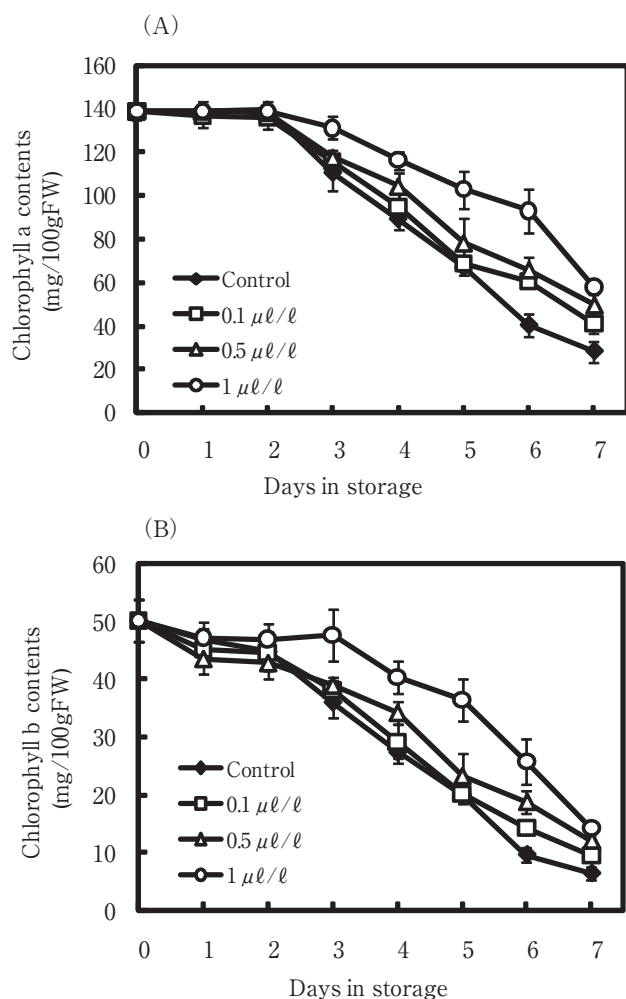


Fig. 2 Changes in chlorophyll a (A) and b (B) contents of komatsuna during storage at 20°C

Komatsuna was treated without (control (◆)) or with 1-MCP at 0.1 (□), 0.5 (△), or 1 (○) $\mu\text{l}/\ell$ for 24 h. Vertical bars are the SE of 4 replications.

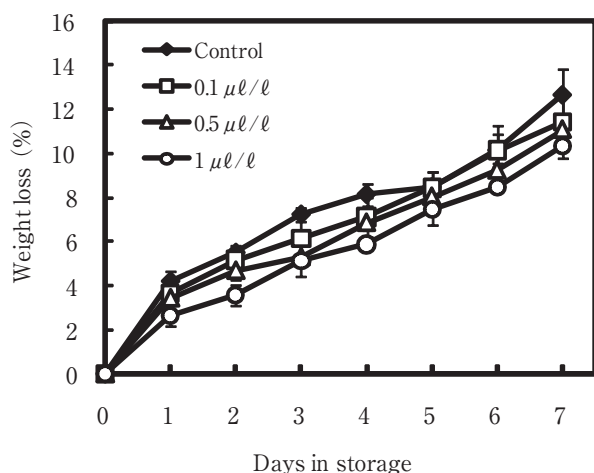


Fig. 3 Changes in weight loss of komatsuna during storage at 20°C

Komatsuna was treated without (control (◆)) or with 1-MCP at 0.1 (□), 0.5 (△), or 1 (○) $\mu\text{l}/\ell$ for 24 h. Vertical bars are the SE of 4 replications.

1-MCP treatment tends to reduce weight loss during the storage of this vegetable in a dose-dependent manner.

4. Effects of 1-MCP treatment on carbon dioxide production

The rate of carbon dioxide production during storage after 1-MCP treatment is shown in Fig. 4. Carbon dioxide production increased from day 4 in the control. The pattern of carbon dioxide production from komatsuna treated with 0.1 $\mu\text{l}/\ell$ 1-MCP was similar to that of control komatsuna. Komatsuna treated with 0.5 and 1 $\mu\text{l}/\ell$ exhibited similar drifts in carbon dioxide production, and these values were more likely to be suppressed than those in the control komatsuna, except during days 3~5.

5. Effects of 1-MCP treatment on ascorbic acid content

Changes in AsA and DHA content during storage after 1-MCP treatment are shown in Fig. 5. The AsA content of the control komatsuna consistently decreased during storage, especially from day 0 to day 3. The rate of decrease in AsA during storage was progressively suppressed upon treatment with increasing concentrations of 1-MCP. There were no differences in AsA content between control and 0.1 $\mu\text{l}/\ell$ 1-MCP-treated komatsuna, except on day 5. Treatment with 1 $\mu\text{l}/\ell$ 1-MCP drastically suppressed the decrease in AsA content during storage, in comparison with that in the control. The DHA content, which was low compared to that of AsA,

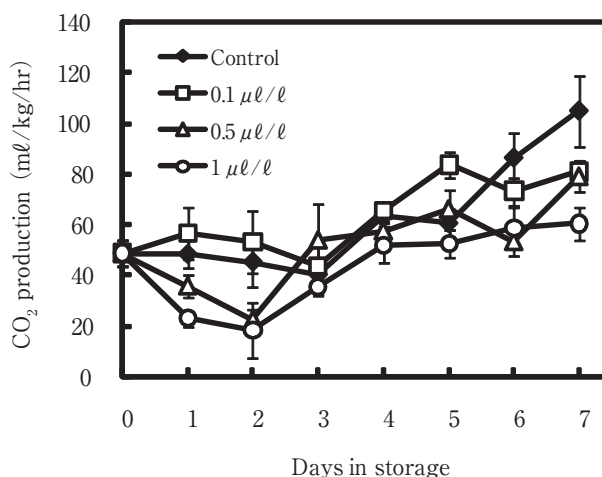


Fig. 4 Changes in CO₂ production of komatsuna during storage at 20°C

Komatsuna was treated without (control (◆)) or with 1-MCP at 0.1 (□), 0.5 (△), or 1 (○) $\mu\text{l}/\ell$ for 24 h. Vertical bars are the SE of 4 replications.

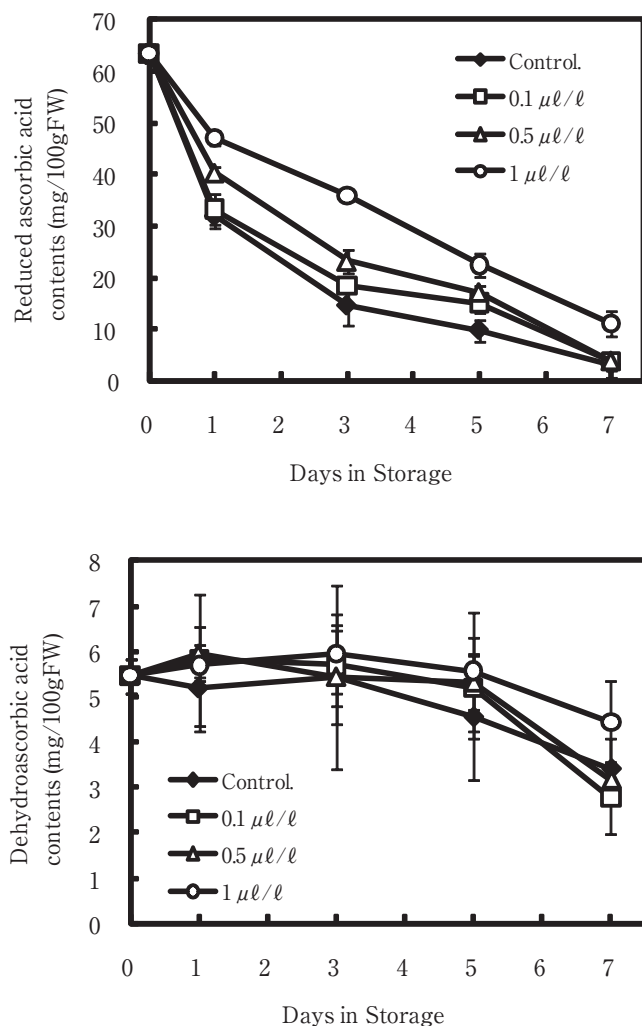


Fig. 5 Changes in reduced ascorbic acid and dehydroascorbic acid contents of komatsuna during storage at 20°C

Komatsuna was treated without (control (◆)) or with 1-MCP at 0.1 (□), 0.5 (△), or 1 (○) $\mu\text{l/l}$ for 24 h. Vertical bars are the SE of 4 replications.

was almost constant during storage and was not affected by 1-MCP treatment.

6. Effects of 1-MCP treatment on β -carotene content

Changes in the content of β -carotene during storage after 1-MCP treatment are shown in Fig. 6. The β -carotene content of the control komatsuna started to decrease at day 1, and consistently decreased thereafter. There were no differences in β -carotene content between control and 0.1 $\mu\text{l/l}$ 1-MCP-treated komatsuna from day 1 to day 6. The β -carotene content was significantly higher in komatsuna treated with 1 $\mu\text{l/l}$ 1-MCP than in the control komatsuna during storage.

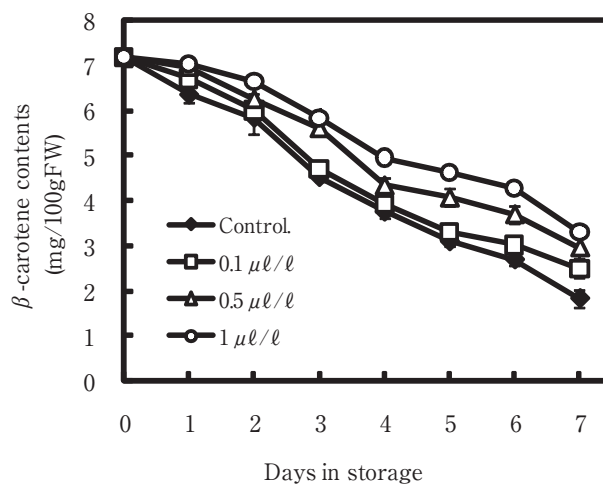


Fig. 6 Changes in β -carotene contents of komatsuna during storage at 20°C

Komatsuna was treated without (control (◆)) or with 1-MCP at 0.1 (□), 0.5 (△), or 1 (○) $\mu\text{l/l}$ for 24 h. Vertical bars are the SE of 4 replications.

Discussion

This study demonstrated that 1-MCP treatment could delay the yellowing of komatsuna during storage (Fig. 1). The decrease in chlorophyll content reflected the yellowing and reduced marketability of the leaf vegetable. While treatment with 0.1 $\mu\text{l/l}$ 1-MCP showed little effect compared to control, the 1 $\mu\text{l/l}$ 1-MCP treatment was very effective in delaying yellowing. The period of marketability of komatsuna treated with 1 $\mu\text{l/l}$ 1-MCP was 5 days, while that of the control was 3 days; in other words, 1-MCP treatment prolonged the period of marketability by 2 days (Fig. 1). These results show that treatment with 1-MCP at a concentration of 1 $\mu\text{l/l}$ is sufficient for maintaining the greenness of komatsuna.

1-MCP is an inhibitor of ethylene action and prevents ethylene effects in a broad range of fruits, vegetables, and ornaments¹⁹⁾. Because of its mechanism of action, its effects on climacteric fruits have been investigated in detail⁶⁾. The effect of 1-MCP on leafy vegetables has not been studied in depth because they generally produce very low levels of ethylene, although in some of them, endogenous ethylene is related to senescence. 1-MCP extends the shelf life of coriander leaves⁷⁾, sweet basil⁸⁾, parsley⁹⁾, mizuna¹²⁾, and tatsoi¹²⁾, while in rocket¹⁰⁾, pak choy, Chinese mustard, choy sum, and garland chrysanthemum¹²⁾, 1-MCP is effective only in

the presence of exogenous ethylene. A climacteric-like peak in ethylene production has been observed in coriander leaves⁷⁾ and sweet basil⁸⁾ after harvest, but not in parsley⁹⁾. As far as we know, there is no information about such a pattern in mizuna and tatsoi. Thus, we might not be able to attribute the effects of 1-MCP treatment to its inhibitory effect on the action of ethylene produced after harvest. However, it has been reported that the threshold level for ethylene action on non-climacteric produce is well below $0.005 \mu\text{l}/\ell$ and that such low levels of ethylene are sufficient to exert a detrimental effect on postharvest life²⁰⁾. Taking this into consideration, undetectable levels of climacteric-like ethylene might be related to the senescence of some leafy vegetables. In this study, 1-MCP treatment was found to be effective in prolonging the greenness of komatsuna. Thus, we cannot exclude the possibility that endogenous ethylene might be related to senescence. Further studies on the effects of ethylene and 1-MCP treatment in the presence of exogenous ethylene, on the greenness of komatsuna, and on ethylene production during storage are required to understand the availability of 1-MCP to a greater extent.

Weight loss of vegetables during storage is an important factor that determines the quality of leafy vegetables. In this study, $1 \mu\text{l}/\ell$ 1-MCP had the effect of inhibiting this weight loss, a finding similar to that seen in sweet basil⁸⁾. Treatment with $1 \mu\text{l}/\ell$ significantly reduced carbon dioxide production compared to control, except for days 3 ~ 5 (Fig. 4). These data indicate that treatment with $1 \mu\text{l}/\ell$ 1-MCP reduced weight loss and respiration and effectively maintained the freshness of komatsuna. Green leafy vegetables, including komatsuna, are rich in antioxidants, including ascorbic acid and carotene, and it is important to maintain their content in order to retain their quality during storage. In this study, 1-MCP treatment effectively maintained ascorbic acid and β -carotene levels during storage (Figs. 5 and 6). Although it is not known if ethylene directly regulates the amount of these antioxidants, similar results have been reported for total ascorbic acid content in lettuce²¹⁾ and for DHA in spinach²²⁾. Our experiments suggest that 1-MCP treatment is useful for maintaining the quality, including vitamins and β -carotene content, of komatsuna.

References

- 1) IZAKI, Y., YOSHIDA, K., HIDAKA, K. and TODA, K.: Chlorophylls, carotenes and tocopherols in green vegetables and their relationships, *J. Japan. Soc. Nutr. Food Sci.*, **39**, 485~493 (1986)
- 2) ACIKGOZ, F. E. and ALTINTAS, S.: Seasonal variations in vitamin C and mineral contents and some yield and quality parameters in komatsuna (*Brassica rapa* var. *pervidis*), *J. Food Agric. Environ.*, **9**, 289~291 (2011)
- 3) HOSODA, H., NAWA, Y. and KUROKI, M.: Effects of light on postharvest quality in vegetables. Part 1. Changes in chemical components in detached komatsuna leaves during storage, *Rept. Natl. Food Res. Inst.*, **38**, 33~39 (1981)
- 4) MITSUI, B.: An ethylene blocking material 1-methylcyclopropene, *Regul. Plant Growth Dev.*, **41**, 163~169 (2006)
- 5) WATKINS, C. B.: Overview of 1-Methylcyclopropene trials and uses for edible horticultural crops, *HortScience*, **43**, 86~94 (2008)
- 6) WATKINS, C. B. and MILLER, W. B.: A summary of physiological processes or disorders in fruits, vegetables and ornamental products that are delayed or decreased, increased, or unaffected by application of 1-methylcyclopropene (1-MCP), <http://www.hort.cornell.edu/mcp/> (2005)
- 7) JIANG, W., SHENG, Q., ZHOU, X. J., ZHANG, M. J. and LIU, X. J.: Regulation of detached coriander leaf senescence by 1-methylcyclopropene and ethylene, *Postharvest Biol. Technol.*, **26**, 339~345 (2002)
- 8) HASSAN, F. A. S. and MAHFOUZ, S. A.: Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on sweet basil leaf senescence and ethylene production during shelf-life, *Postharvest Biol. Technol.*, **55**, 61~65 (2010)
- 9) ELLA, L., ZION, A., NEHEMIA, A. and AMNON, L.: Effect of the ethylene action inhibitor 1-methylcyclopropene on parsley leaf senescence and ethylene biosynthesis, *Postharvest Biol. Technol.*, **30**, 67~74 (2003)
- 10) KOUKOUNARAS, A., SIOMOS, A. S. and SFAKIOTAKIS, E.: 1-Methylcyclopropene prevents ethylene induced yellowing of rocket leaves, *Postharvest Biol. Technol.*, **41**, 109~111 (2006)
- 11) ABLE, A. J., WONG, L. S., PRASAD, A. and O'HARE, T. J.: 1-MCP is more effective on a floral brassica (*Brassica oleracea* var. *italica* L.) than a leafy brassica (*Brassica rapa* var. *chinensis*), *Postharvest Biol. Technol.*, **26**, 147~155 (2002)

- 12) ABLE, A. J., WONG, L. S., PRASAD, A. and O'HARE, T. J.: The effects of 1-methylcyclopropene on the shelf-life of minimally processed leafy Asian vegetables, *Postharvest Biol. Technol.*, **27**, 157~161 (2003)
- 13) WILLS, R. B. H., KU, V. V. V. and WARTON, M. A.: Use of 1-methylcyclopropene to extend the postharvest life of lettuce, *J. Sci. Food Agric.*, **82**, 1253~1255 (2002)
- 14) FAN, X. and MATTHEIS, J. P.: Reduction of ethylene-induced physiological disorders of carrots and iceberg lettuce by 1-methylcyclopropene, *HortScience*, **35**, 1312~1314 (2000)
- 15) PORTER, K. L., COLLINS, G. and KLIEBER, A. : 1-MCP does not improve the shelf-life of Chinese cabbage, *J. Sci. Food Agric.*, **85**, 293~296 (2005)
- 16) MORAN, R. : Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with *N, N*-dimethylformamide, *Plant Physiol.*, **69**, 1376~1381 (1982)
- 17) OYANAGI, W. and ANDOU, Y.: A simple method for the determination of beta-carotene, *Hokushinetsu J. Anim. Sci.*, **92**, 27~31 (2006)
- 18) ROE, J. H., MARY, B. M., OESTERLING, M. J. and CHARLOTTE, M. D.: The determination of diketogulonic acid, dehydro-L-ascorbic acid, and L-ascorbic acid in the same tissues extract by 2, 4-dinitrophenyl hydrazine method, *J. Biol. Chem.*, **174**, 201~208 (1948)
- 19) BLANKENSHIP, S. M. and DOLE, J. M. : 1-Methylcyclopropene : a review, *Postharvest Biol. Technol.*, **28**, 1~25 (2003)
- 20) WILLS, R. B. H., KU, V. V. V., SHOHEI, D. and KIM, G. H.: Importance of low ethylene levels to delay senescence of non-climacteric fruit and vegetables, *Aust. J. Exp. Agr.*, **39**, 221~224 (1999)
- 21) TAY, S. L. and PERERA, C. O.: Effect of 1-methylcyclopropene treatment and edible coatings

on the quality of minimally processed lettuce, *J. Food Sci.*, **69**, 131~135 (2004)

- 22) GROZEFF, G. G., MICIELL, M. E., GOMEZ, F., FERNANDEZ, L., GUIAMET, J. J., CHAVES, A. R. and BARTOLI, C. G. : 1-Methylcyclopropene extends postharvest life of spinach leaves, *Postharvest Biol. Technol.*, **55**, 182~185 (2010)

1-Methylcyclopropene処理がコマツナ の収穫後の品質に及ぼす影響

徳地隆宏*・鈴木康生*・寺井弘文*

* 神戸大学大学院農学研究科

(〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)

コマツナは収穫後常温下では急速に黄化し、その品質は劣化する。本研究では、1-methylcyclopropene (1-MCP) 処理がコマツナの収穫後の品質に及ぼす影響を調べた。コマツナを0.1 $\mu\text{l}/\ell$ 、0.5 $\mu\text{l}/\ell$ 、1 $\mu\text{l}/\ell$ の1-MCPで24時間、20℃暗所下で処理した。また、1-MCP処理を行わなかったものをコントロールとした。1-MCP処理の後、コマツナを有孔ポリエチレン袋に入れ、20℃暗所下で貯蔵した。その結果、コントロールでは貯蔵3日に葉の先端に黄化がみとめられ、スコアは4未満となった。一方、0.1 $\mu\text{l}/\ell$ 、0.5 $\mu\text{l}/\ell$ 、1 $\mu\text{l}/\ell$ の1-MCP処理を行ったコマツナはそれぞれ貯蔵4日、5日、6日から黄化がみとめられた。これらのことから、1-MCP処理により葉の黄化が遅延することが明らかとなった。1 $\mu\text{l}/\ell$ で処理されたコマツナのクロロフィル含量は貯蔵3日において他の処理区より有意に高く、その後の減少も遅延しており、クロロフィル含量の減少の遅延は黄化を反映していた。また、1-MCP処理はコントロールと比べ重量減少を抑制し、炭酸ガス生成量を抑制した。さらに、1 $\mu\text{l}/\ell$ の1-MCP処理は貯蔵中のアスコルビン酸およびカロテン含量の減少を著しく抑制した。これらの結果から、1-MCP処理は収穫後のコマツナの品質保持に有効であることが明らかとなった。

(平成23年5月30日受付, 平成23年12月5日受理)

Ethylene Production Rate: A Sensitive Indicator for Determining the Occurrence of Mechanical Stress in Tomato Fruits

THAMMAWONG Manasikan^{*1}, USUDA Hiroyuki^{*2}, NEI Daisuke^{*1},
UMEHARA Hitomi^{*1}, NAKAMURA Nobutaka^{*1}, ROY Poritosh^{*1},
SATAKE Takaaki^{*3} and SHIINA Takeo^{*1§}

* 1 National Food Research Institute, National Agriculture and Food Research Organization,
2-1-12, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642

* 2 New Energy and Industrial Technology Development Organization,
1310 Omiya, Saiwai, Kawasaki, Kanagawa 212-8554

* 3 Graduate School of Life and Environment Sciences, University of Tsukuba,
1-1-1, Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8572

Mechanical stresses, including impact stress, play an important role in changes of physiological, biological, eating, and appearance quality of horticultural produces. In this study, the effect of slight impact on the respiration and ethylene production of mature green tomato fruits was examined. First, to exclude changes in respiration and ethylene production derived from the climacteric during experiments, an attempt was made to accurately judge the ripening stage from the rate of ethylene production. No climacteric rises were observed at least within 48 h if the initial ethylene production was less than 8.2 nmol/kg/h. Tomato fruits, identified as mature green by this screening test, were dropped from 5 cm height for 1, 3, or 10 times. Their respiration and ethylene production greatly increased as a result of these very slight impacts when the fruits were dropped. Interestingly, ethylene production of the fruit was promoted by even a single drop from 5 cm, and the increase in ethylene production was more apparent than that of respiration. Moreover, 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment did not inhibit the increase in both of ethylene production and respiration rate caused by dropping the fruits 10 times. From these results, ethylene production seems to be the most predominant factor indicating the physiological change in tomato fruit which was treated with a slight impact, since the injury symptom is not always visible after the physical stress. The ethylene production rate, therefore, should be taken into consideration as one of sensitive indicators for determining the occurrence of mechanical stress in tomato fruits. Furthermore, ethylene production rate might be used as a basic screening parameter for selecting tomato fruits used in study of the effects of chemical and physical treatments on the metabolism and quality of postharvest horticultural produce.

(Received Jul. 11, 2011 ; Accepted Dec. 14, 2011)

Key words : 1-methylcyclopropene (1-MCP), ethylene, mechanical stress, respiration rate, tomato

1-メチルシクロプロペン, エチレン, 呼吸速度, トマト, 物理ストレス

Loss of harvested fresh produce in Japan was about 17% for fruit and 10% for vegetables in 2004¹⁾. The losses are closely related to the various handling procedures from field to consumption²⁾. Among the many factors involved, mechanical injury is responsible for considerable losses^{3),4)}. Both fruits and vegetables are vulnerable to mechanical injury. Even a slight impact often causes some symptom of

injury; the symptom is not always visible immediately after the physical stress^{5),6)}. Mechanical injury on the surface of fresh produces, whether visible or not, can constitute a pathway for fungal infection⁷⁾. Consequently, the resultant diseases can be a major cause of loss of fruits and vegetables.

Mechanical injury may also adversely affect quality⁸⁾, for example through accelerated ripening

§ Corresponding author, E-mail address: shiina@affrc.go.jp

with inferior appearance, impaired flavor, and consequent loss of marketability^{7), 9)~13)}. Mechanical injury may also increase respiration and ethylene production, thereby decreasing the quality of the fresh produce^{14)~16)}, since internal components are consumed in the respiratory process, and ethylene is well known as an “aging hormone”. MACLEOD *et al.* reported increases in the respiration rate and ethylene production of mature green tomatoes dropped from a height of 40 cm¹⁷⁾. They suggested that the more times the fruits were dropped, the higher the respiration rate and ethylene production. However, low temperature (4 °C) has been reported to inhibit the effect of mechanical injury on respiration rate and ethylene production in apricot for a drop from 30 cm¹⁸⁾. In other previous studies, enhancement of respiration rate and ethylene production in plum by a force of 50 N was inhibited by calcium and heat treatment¹⁹⁾. Additionally, increases in respiration and ethylene production during ripening of injured apricots were retarded and/or inhibited by application of 1-methylcyclopropene (1-MCP)¹⁰⁾.

Although several studies have focused on changes in the respiration and ethylene production caused by mechanical injury, little is known about the influence of very slight shock on the respiration and ethylene production. In a highly developed distribution system, especially in advanced countries, very slight impacts are more frequent than the relatively intense impacts simulated by dropping from 30 cm or more. Accordingly, one objective of this study is to investigate the influence of slight impact (dropping from a height of 5 cm) on respiration and ethylene production in mature green tomato fruits.

In addition, the inhibitory effect of 1-MCP treatment on the changes in respiration and ethylene production was also examined in order to provide useful information for the distribution chain of the fresh produce. By visual determination, used in most other studies, ripening may already be initiated in some fruits classed as mature green. When the experiments are conducted with climacteric fruits such as tomatoes, it is necessary to determine the stage of ripening with high accuracy since ripening may affect the results. Inevitably, changes in respiration and ethylene production caused by the mechanical injury would not be distinguishable from those caused by

ripening. Therefore, to eliminate the effects of ripening and climacteric rise on experimental samples and subsequent results, another aim of this study is to propose a new screening method for determination of mature green tomato fruits. This method will improve the accuracy of sample selection for future studies relating to the metabolism and quality changes of postharvest produce.

Materials and methods

1. Plant materials

Fruits of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Momotaro, a popular and common variety in Japan) were obtained from a commercial farm in October and November 2004, and May 2005 (Tsukuba city, Ibaraki prefecture). They were harvested at the mature green stage based on skin color appearance and farmer's judgment, and immediately transferred to a constant temperature of 25 °C at the laboratory (National Food Research Institute, Tsukuba, Ibaraki, Japan), where they were held overnight to equilibrate their temperature at 25 °C. After this pre-storage, the fruits were used for the following screening.

2. Ripening process survey of mature green tomatoes and setting a threshold level of ethylene production rate

Ten tomatoes were individually placed in a 1 ℓ plastic jar, and hermetically sealed for at least 1.5 h. Initial ethylene production rate was determined by analysis of 1 ml of gas withdrawn from the jar. Subsequent ethylene production rate and skin color appearance of tomato fruits were also recorded. Tomato fruits were monitored for 258.5 h on 8 h interval basis for the first 48 h, and on 12 h interval basis for the afterward investigation. A threshold of initial ethylene production rate was set, which defined mature green tomato fruits in metabolic terms. The screening test based on the threshold level of initial ethylene production rate allowed the selection of the fruits for the mechanical impact stress tests.

3. Application of mechanical impact

Tomato fruits were dropped from a height of 5 cm onto a concrete floor, and this treatment was performed 1, 3 or 10 times. No visible damage, even slight water soaking, was observed on surfaces after treatment. The impacts were evenly distributed over the equatorial surfaces of the fruits (on each

fruit, a different part of the equatorial surface struck the concrete floor with each impact). Immediately after the drop treatment, three or four tomato fruits were placed in 2 ℓ and 3 ℓ acryl jars, respectively. Temperature was kept at 25 °C. Respiration and ethylene production rates were determined at 1 h intervals to 9 h intervals based on the speed of change in gas composition. Each jar was tightly sealed for at least 1 h before respiration rate and ethylene production rate were calculated from the increases in amount of carbon dioxide and ethylene, respectively. In this study, three replications of experiment were performed with fruits from three harvest crops, according to difficulty of data collection and time-consuming of screening test and dropping treatment procedures. For each crop, thirty fruits were used for screening test. Twelve to sixteen fruits, with ethylene production less than 8.2 nmol/kg/h (this value was set by the results obtained from the experiment as described in 2.), were then used for dropping treatment.

4. 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment

Six tomatoes were treated with 1 μℓ/ℓ of 1-MCP for 24 h to allow the sufficient protection of ethylene binding sites in the fruits. The dropping treatments were then performed 10 times to 3 tomato fruits, and these fruits were subsequently placed in a 2 ℓ jar. The remaining fruits were also placed in the other jar for non-dropping treatment. The temperature was kept at 25 °C, and the respiration and ethylene production rate were determined according to the method described in 5. Eighteen fruits after screening test were used for three times of experiment.

5. Gas analysis

Ethylene analysis was conducted using a gas chromatograph (Shimadzu model GC 8A, Kyoto, Japan) fitted with a flame-ionization detector held at 160 °C and a Porapak Q column held at 140 °C. For carbon dioxide analysis another gas chromatograph (Shimadzu model GC 6-AM, Kyoto, Japan) fitted with a thermal conductivity detector held at 80 °C and a ZY-1 column held at 70 °C was used. Helium was used as carrier gas for both sets of equipment.

Results

1. Survey of ripening process of mature green tomato fruits : Color development and ethylene production

The color development and ethylene production rate of tomato samples were monitored during 258.5 h. As shown in Fig.1, at the same time of monitoring, the difference of skin color development was observed among three mature green tomato samples which were harvested at the same day. The early development of red color was observed in order of sample-1, -2, and -3.

The ethylene production rates of the same tomato fruits of Fig.1 are shown in Fig.2. Because the wide range of changes in ethylene production were observed among 10 mature green fruits which were harvested at the same day, the ethylene production obtained from three fruits (with rapid, intermediate, and late onset of climacteric rise) were therefore used to represent the changing characteristics of ethylene production during storage. Although typical climacteric rises were confirmed in all samples, the timing of their onset differed among the samples. The onset of increase in ethylene production rate of sample-1 was observed at 22 h after first measurement, whereas that of sample-2 was observed at 72 h. In sample-3, the onset of the increase in ethylene production occurred after more than 150 h, and a peak in the rate was not observed in this fruit within the 258.5 h of observation. The fruit of sample-1 with early increase in ethylene production revealed rapid development of red color, whereas the increases of ethylene production and red skin color development of sample-3 were observed later. By visual determination, the external appearance of tomato fruits was similar at harvest; however ethylene production and internal ripening were different (Fig.3). In this study (within 48 h at 25 °C), we found that onset of internal ripening was observed when initial ethylene production was 20 nmol/kg/h. However, the onset of internal ripening of the fruit was not found when initial ethylene production was less than 8.2 nmol/kg/h.

2. Effect of slight impact stress on physiological aspects of tomato fruits

According to the similar tendency of respiration and ethylene production rate in treated samples of three harvest crops, we showed here the

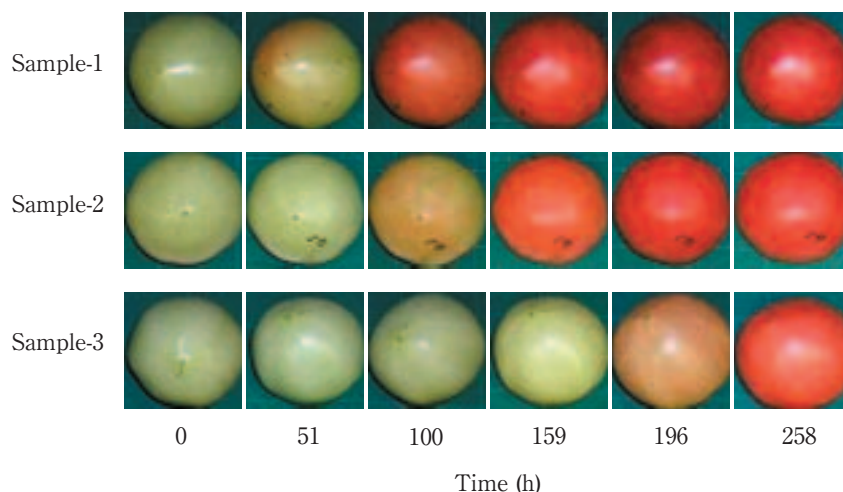


Fig.1 Difference in progress of color development among samples of tomato fruits

The ripening stage of each was visually assessed as mature green before storage.

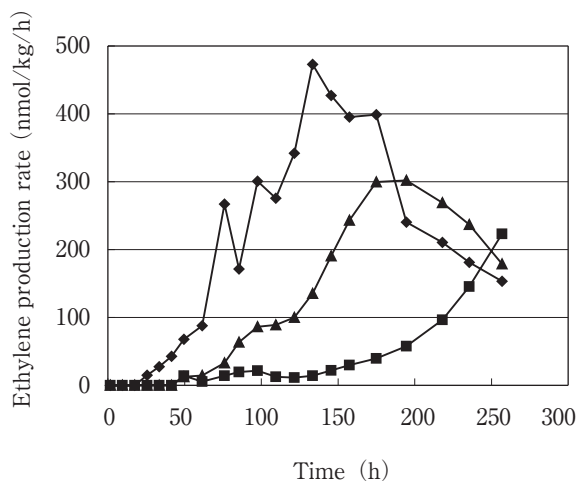


Fig. 2 Ethylene production rate of three tomato fruits during ripening ; (◆), sample-1 ; (▲), sample-2 ; (■), sample-3

All samples were regarded as mature green at the outset, as determined from appearance.

representative data which were collected from the second harvested fruits (Fig. 4, 5). Respiration and ethylene production rates of tomato fruits that had been dropped from a height of 5 cm were expressed as values relative to the values of untreated fruits.

There was slight difference of respiration rate in fruits dropped only once (Fig. 4). However, respiration rate was increased about 1.25 fold in 16 h when the fruit was dropped 3 times, and by about 1.55 fold when the fruit was dropped 10

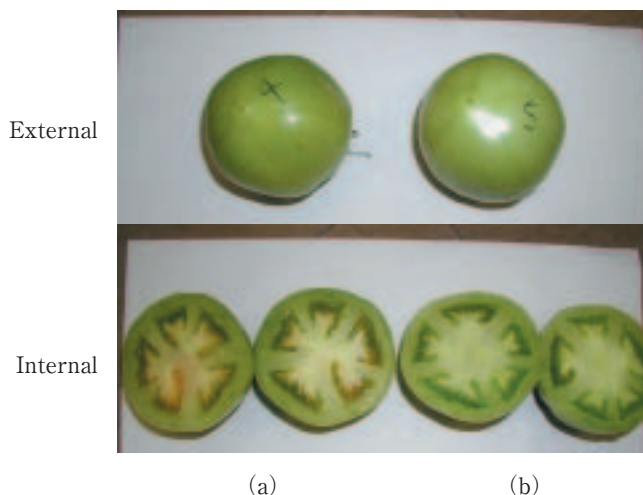


Fig. 3 Relationship between initial ethylene production and internal ripening onset (after 48 h) of tomato fruits

Fruit with initial 20 nmol/kg/h of ethylene production, showing internal ripening onset at 48 h (a) ; fruit with initial ethylene production less than 8.2 nmol/kg/h, lacking of internal ripening onset at 48 h (b). (These photos were taken at 48 h after measurement began)

times. The period of recovery of the respiration rate after the dropping treatment was almost the same, regardless of treatments. After 33 h of treatment, the rate in fruits that were dropped 3 or 10 times had returned almost to the basal level.

For ethylene production rate, a single drop from 5 cm enhanced the ethylene production to about 2 fold within 3 h. In fruits dropped 10 times, ethylene production reached about 6 times the basal level within 12 h. Additionally, the recovery of ethylene production to the basal level was not

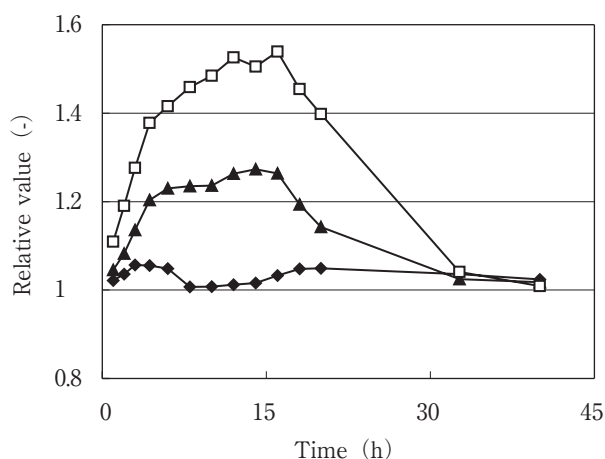


Fig. 4 Respiration rate of tomato fruits dropped (◆) 1, (▲) 3, or (□) 10 times from a height of 5 cm

Data are represented as values relative to those of untreated tomato fruits.

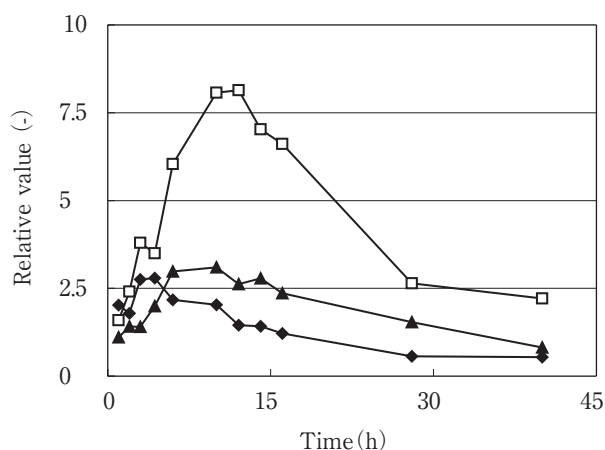


Fig. 5 Ethylene production rate of tomato fruits dropped (◆) 1, (▲) 3, or (□) 10 times from a height of 5 cm

Data are represented as values relative to those of untreated tomato fruits.

achieved in 10 times-treated tomatoes, and higher level of ethylene production had been sustained during 40 h (Fig. 5).

3. Effect of 1-MCP on respiration and ethylene production rates

Respiration rate and ethylene production rate of tomato fruits that were dropped 10 times from 5 cm following 1-MCP treatment were also expressed as values relative to the values in tomato fruits that had been 1-MCP treated but not been dropped (Fig. 6, 7). Respiration immediately increased, and reached a peak 1.5 times the value in reference samples within 8 h of the dropping treatment. There was no difference in the proportional increase in respiration rate of fruits (which had been dropped 10 times) between 1-MCP treated and untreated

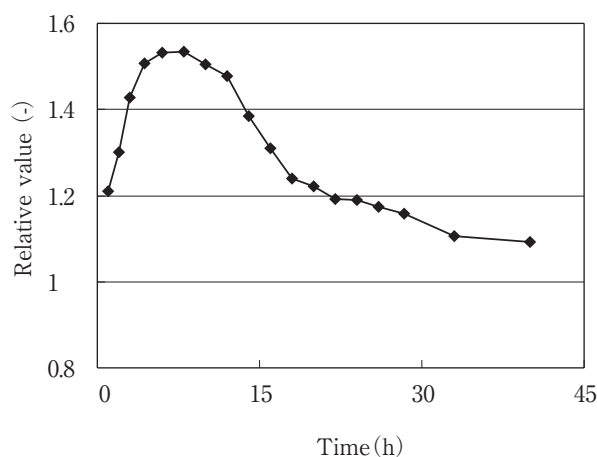


Fig. 6 Respiration rate of tomato fruits dropped 10 times from 5 cm after 1-methylcyclopropene (1-MCP) application

Values shown are relative to those in tomato fruits that had not been dropped.

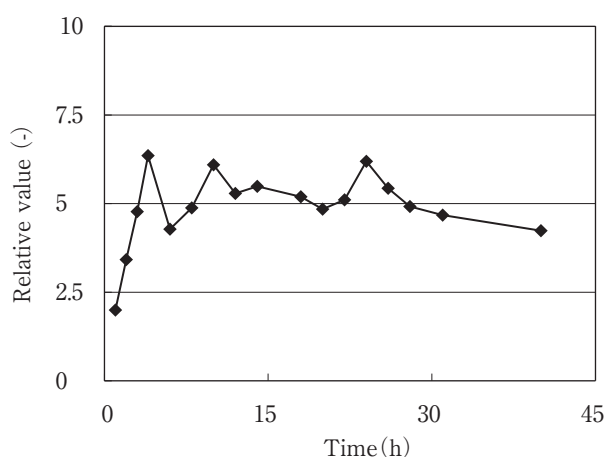


Fig. 7 Ethylene production rate of tomato fruits dropped 10 times from 5 cm after 1-methylcyclopropene (1-MCP) application

Values shown are relative to those in tomato fruits that had been 1-MCP treated but not been dropped.

fruits (Figs. 4, 6). Ethylene production rate was increased even after 1 h, and at 4 h it was about 6.4 fold higher than in fruits that had not been dropped.

Discussion

1. Relationship between initial ethylene production rate and subsequent ripening

The maturity stage of tomato fruits is generally judged by appearance. However, because ripening starts from the inner tissue, visual determination is not sufficiently accurate for studies of metabolic activity (i.e. respiration and ethylene production). This study aimed to identify mature green fruits

from their ethylene production rate. Hereto, the relationship between the initial rate of ethylene production after pre-storage and the rate after subsequent ripening was investigated.

During 258.5 h of monitoring, the tomato fruits which had been classed as similar ripening stage by visual determination revealed the difference of skin color development and ethylene production (Fig. 1, 2). The initial ethylene production rates of fruits that subsequently ripened early tended to be higher than those of fruits that ripened later (data not shown). The rate of ethylene production was assumed in the present study to accurately indicate the ripening stage of the fruit. Moreover, there is difference of ethylene production and internal ripening although the external appearance of tomato fruits was similar at harvest (Fig. 3). It is probable that the difference in ripening progress is caused by a slight individual difference in internal ripening stage when measuring began. In other words, internal ripening was probably already initiated in early ripening fruit at the start of the experiment. However, from our results, it is indicated that there was considerable difference in the progress of ripening among tomato fruits whose initial ripening stage had been classed as similar by visual determination.

Generally, the selection method of living horticultural produces (fruits and vegetables) for physiological or biochemical research experiments is often based on appearance, size, and shape. Nevertheless, from our study, it is suggested that selection of experiment samples judged by visual appearance is not sufficient for further study relating to cellular metabolism. Moreover, since a strong correlation between ethylene production and ripening (in terms of appearance) was confirmed, ethylene production rate might be used as a basic screening parameter for selecting tomato fruits used in study of the effects of chemical and physical treatments on the metabolism and quality of postharvest horticultural produces. However, it must be borne in mind that threshold levels of ethylene production rate might depend on cultivar, commodity, and storage temperature, and the threshold needs to be specified according to the presented experimental design.

2. Effect of mechanical stress on respiration and ethylene production

MACLEOD *et al.* reported that the respiration rate

of tomato fruits that were dropped 4 times from 40 cm onto a hard table top was increased and reached a peak 1 ~ 2 days after the treatment¹⁷⁾. In the present study, one slight impact had little influence on the respiration rate of mature green tomato fruits. On the other hand, when the number of drops was increased, significant increases in respiration rate were observed (Fig. 4). These results indicate the cumulative effect of mechanical injury. Similarly, MAO *et al.* reported that enhanced respiration rate of figs was linearly related with the intensity of mechanical stress²⁰⁾.

The results of this study suggest that although the effect of a single impact is very slight, the respiration rate can be increased with increasing number of impacts. Burton and Schulte-Pason reported that dropping more than 4 times from 50 cm had no further effect on the respiration rate of sweet cherry²¹⁾. However, a decrease in respiration rate of tart cherries with increasing number of impacts was found. Therefore, an increasing number of impacts would differently affect the respiration rate in different commodities, and further studies on the cumulative effect of impacts will supply useful knowledge for handling and transportation of fresh produce.

For the effect of dropping treatment on ethylene production of tomato fruits in this study, the ethylene production rate was enhanced to about 2 fold within 3 h with a single drop from 5 cm. Additionally, we found that the greater the number of drops, the higher the ethylene production is. This increased ethylene production with repeated dropping is wound-induced ethylene, which has been confirmed in many plant tissues such as apricot fruits¹⁸⁾, plum fruits¹⁹⁾, and broccoli stems²²⁾. Previous studies in apricot fruits, cucumbers, and tomatoes also suggested that the mechanical damage could be promoting synthesis of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid to rapidly produce ethylene^{23) ~ 26)}. By dropping, increase in ethylene production rate was more apparent than that of respiration. In addition, ethylene production was promoted by even a single drop from 5 cm. Therefore, increased ethylene production should be more sensitive as indicator of impact stress than is respiration. The occurrence of mechanical injury in a tomato fruit, which caused by even a slight impact, probably induce ripening and cause severe loss of production (amount and quality). Additionally, since the ripening of

climacteric fruits is known to be triggered by ethylene²⁷⁾, the ripening metabolism progresses not only in that fruit, but also in that many surrounded fruits. In other words, shelf life of the batch of fruits is shortened by increased production of ethylene caused by impact stress. From these viewpoints, the rate of ethylene production seems to be the most predominant factor indicating the internal ripening and physiological change in tomato fruit, since the injury symptom is not always visible immediately after the physical stress. The ethylene production rate, therefore, should be taken into consideration as one of sensitive indicators for determining the occurrence of mechanical stress in tomato fruits.

3. Effect of 1-MCP treatment on mechanical stress

1-MCP binds to ethylene receptors and prevents the ethylene signal and action. It is widely known to be beneficial for keeping the quality and extending storage life of fresh produces^{28), 29)}. 1-MCP treatment has also been reported to reduce the levels of ethylene production, respiration, and to delay softening and degreening. In this experiment, in order to examine how 1-MCP treatment influences the ethylene production and respiration rate of mechanical stressed tomato fruits, these responses after dropping between 1-MCP prior treated sample and non-treated one were compared.

From the effect of mechanical stress on respiration and ethylene production discussed above, ethylene production caused by dropping might be considered as one cause of increased respiration in stressed fruits. However, the increase in respiration rate of tomato fruits caused by dropping was not inhibited by 1-MCP treatment. Nor did it inhibit an increase in ethylene production rate. This lack of 1-MCP inhibitory effect suggests that the rise in respiration rate directly affected by dropping stress and not via the secondary effect by an increase in ethylene. The considerable energy required to stress response by dropping would result in an increased respiration rate. Additionally, changes in respiration of dropped and non-dropped tomatoes might be possessed by different signal transduction cascades. The study in melon by BOUQUIN *et al.* also demonstrated different signal cascades of 1-MCP responses. They found that 1-MCP inhibited the accumulation of ethylene-induced *CM-ACO1* mRNA transcripts, while no inhibition of transcript

accumulation and no loss of ACC oxidase activity was observed in wounded leaves previously treated with 1-MCP³⁰⁾.

However, inhibitory effects of 1-MCP on the enhancement of respiration by mechanical injury have been reported. MAO *et al.* indicated that increases in respiration of kiwi fruits caused by cutting were inhibited by prior treatment with 1 $\mu\ell$ / ℓ of 1-MCP for 10 h³¹⁾. PERERA *et al.* reported the same effect in sliced 'Braeburn' apples³²⁾, although a cultivar dependence of the 1-MCP effect was also reported. Because of differences in degree of stress, and among different crop plants, it is difficult to discuss the various effects of 1-MCP that have been reported. The effect of 1-MCP can be influenced by cultivar, physiological age and whether the product is climacteric³²⁾. To avoid ineffective application of 1-MCP, further studies to clarify the factors influencing its effect are required.

Conclusion

A method of identifying mature green tomato fruits from their ethylene production was proposed. This study also demonstrated the difficulty of accurately determining the early ripening stage from skin color. Moreover, a slight difference in ripening stage may markedly affect results of experiments. By using the presented screening method for mature green fruit, the influence of climacteric rise can be excluded at least for 48 h. The method will make a significant contribution to short-term experiments on climacteric fruits. Therefore, several thresholds of ethylene production to determine ripening stage have to be made, depending on temperature, commodity, and cultivar. Respiration rate and ethylene production of mature green tomatoes increased with an increasing number of slight impacts. A slight dropping seems to have a direct effect on the respiration rate of the fruits. 1-MCP did not inhibit this increase in respiration rate, however further studies to clarify the factors influencing 1-MCP effect on mechanical stress are required.

During distribution of the fresh produce, slight impacts are frequent. Enhanced ethylene production is considered to be more harmful than increased respiration, since its effects spread to the fruits surrounding the one that has been stressed. The fresh produce must be handled with the greatest care if the high quality of the produce is to be

maintained throughout the supply chain.

Acknowledgements The authors wish to thank Agrofresh Inc. (Previously, Rohm and Haas Company), Japan, for supplying 1-MCP chemicals.

References

- 1) Ministry Of Agriculture, Forestry And Fisheries, Report of the Statistical Survey on Food Waste. Tokyo, Japan (2004)
- 2) FERREIRA, M. D., FRANCO, A. T. O., KASPER, R. F., FERRAZ, A. C. O., HONORIO, S. L. and TAVARES, M. : Post-harvest quality of fresh-marketed tomatoes as a function of harvest periods, *Sci. Agric.*, **62**, 446~451 (2005)
- 3) MARTINEZ-ROMERO, D., CASTILLO, S. and VALERO, D. : Forced-air cooling applied before fruit handling to prevent mechanical damage of plums (*Prunus salicina* Lindl.), *Postharvest Biol. Technol.*, **28**, 135~142 (2003)
- 4) OLORUNDA, A. O. and TUNG, M. A. : Simulated transit studies on tomatoes ; effects of compressive load, container, vibration and maturity on mechanical damage, *J. Food Technol.*, **20**, 669~678 (1985)
- 5) THIAGU, R., CHAND, N. and RAMANA, K. V. R. : Evolution of mechanical characteristics of tomatoes of two varieties during ripening, *J. Sci. Food Agric.*, **62**, 175~183 (1993)
- 6) VERGANO, P. J., TESTIN, R. F., NEWALL, J. W. C. and TREZZA, T. : Damage loss cost curves for peach impact bruising, *J. Food Quality*, **18**, 265~278 (1995)
- 7) SARGENT, S. A., BRECHT, J. K. and ZOELLNER, J. J. : Sensitivity of tomatoes at mature-green and breaker ripeness stage to internal bruising, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **117**, 119~123 (1992)
- 8) QUINTANA, M. E. G. and PAULL, R. E. : Mechanical injury during postharvest handling of 'Solo' papaya fruit, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **118**, 618~622 (1993)
- 9) BRUSEWITZ, G. H. and BARTSCH, J. A. : Impact parameters related to postharvest bruising of apples, *Trans. of the ASAE*, **32**, 953~957 (1989)
- 10) DE MARTINO, G., VIZOVITIS, K., BOTONDI, R., BELLINCONTRO, A. and MENCARELLI, F. : 1-MCP controls ripening induced by impact injury on apricots by affecting SOD and POX activities, *Postharvest Biol. Technol.*, **39**, 38~47 (2006)
- 11) GARCIA, J. L., RUIZ-ALTISENT, M. and BARREIRO, P. : Factors influencing mechanical properties and bruise susceptibility of apples and pears, *J. Agric. Eng. Res.*, **61**, 11~18 (1995)
- 12) MORETTI, C. L., SARGENT, S. A. and HUBER, D. J. : Chemical composition and physical properties of pericarp, locule, and placental tissues of tomatoes with internal bruising, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **123**, 656~660 (1998)
- 13) MORETTI, C. L., BALDWIN, E. A., SARGENT, S. A. and HUBER, D. J. : Internal bruising alters aroma volatile profiles in tomato fruit tissues, *HortScience*, **37**, 378~382 (2002)
- 14) PEREZ - VICENTE, A., MARTINEZ - ROMERO, D., CARBONELL, A., SERRANO, M., RIQUELME, F., GUILLEN, F. and VALERO, D. : Role of polyamines in extending shelf life and the reduction of mechanical damage during plum (*Prunus salicina* Lindl.) storage, *Postharvest Biol. Technol.*, **25**, 25~32 (2002)
- 15) ROLLE, R. S. and CHISM, G. W. : Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables, *J. Food Quality*, **10**, 157~177 (1987)
- 16) SURJADINATA, B. B. and CISNEROS-ZEVALLOS, L. : Modeling wound-induced respiration of fresh-cut carrots (*Daucus carota* L.), *J. Food Sci.*, **68**, 2735~2740 (2003)
- 17) MCCLEOD, R. F., KADER, A. A. and MORRIS, L. L. : Stimulation of ethylene and CO₂ production of mature-green tomatoes by impact bruising, *HortScience*, **11**, 604~606 (1976)
- 18) DE MARTINO, G., MASSANTINI, R., BOTONDI, R. and MENCARELLI, F. : Temperature affects impact injury on apricot fruit, *Postharvest Biol. Technol.*, **25**, 145~149 (2002)
- 19) SERRANO, M., MARTINEZ-ROMERO, D., CASTILLO, S., GUILLEN, F. and VALERO, D. : Role of calcium and heat treatments in alleviating physiological changes induced by mechanical damage in plum, *Postharvest Biol. Technol.*, **34**, 155~167 (2004)
- 20) MAO, L., YING, T., XI, Y. and ZHEN, Y. : Respiration rate, ethylene production, and cellular leakage of fig fruit following vibration stress, *HortScience*, **30**, 145 (1995)
- 21) BURTON, C. L. and SCHULTE-PASON, N. L. : Carbon dioxide as an indicator of fruit impact damage, *HortScience*, **22**, 281~282 (1987)
- 22) KATO, M., KAMO, T., WANG, R., NISHIKAWA, F., HYODO, H., IKOMA, Y., SUGIURA, M. and YANO, M. : Wound-induced ethylene synthesis in stem tissue of harvested broccoli and its effect on senescence

- and ethylene synthesis in broccoli florets, *Postharvest Biol. Technol.*, **24**, 69~78 (2002)
- 23) MARTINEZ-ROMERO, D., SERRANO, M., CARBONELL, A., BURGOS, L., RIQUELME, F. and VALERO, D. : Effects of postharvest putrescine treatment on extending shelf life and reducing mechanical damage in apricot, *J. Food Sci.*, **67**, 1706~1712 (2002)
- 24) MILLER, A. R., DALMASSO, J. P. and KRETCHMAN, D. W. : Mechanical stress, storage time, and temperature influence cell wall-degrading enzymes, firmness, and ethylene production by cucumbers, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **112**, 666~671 (1987)
- 25) TATSUKI, M. and MORI, H. : Rapid and transient expression of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase isogenes by touch and wound stimuli in tomato, *Plant Cell Physiol.*, **40**, 709~715 (1999)
- 26) WANG, K. L. C., LI, H. and ECKER, J. R. : Ethylene biosynthesis and signaling networks, *Plant Cell*, **14**, S 131~S 151 (2002)
- 27) TRINCHERO, G. D., SOZZI, G. O., CERRI, A. M., VILELLA, F. and FRASCHINA, A. A. : Ripening-related changes in ethylene production, respiration rate and cell-wall enzyme activity in goldenberry (*Physalis peruviana* L.), a solanaceous species, *Postharvest Biol. Technol.*, **16**, 139~145 (1999)
- 28) SEREK, M., SISLER, E. C. and REID, M. S. : 1-Methylcyclopropane, a novel gaseous inhibitor of ethylene action, improves the life of fruit, cut flowers and potted plants, *Acta Hortic.*, **394**, 337~345 (1995)
- 29) BLANKENSHIP, S. M. and DOLE, J. M. : 1-Methylcyclopropene : a review, *Postharvest Biol. Technol.*, **28**, 1~25 (2003)
- 30) BOUQUIN, T., LASSERRE, E., PRADIER, J., PECH, J.-C. and BALAGUE, C. : Wound and ethylene induction of the ACC oxidase melon gene *CM-ACO1* occurs via two direct and independent transduction pathways, *Plant Molec. Biol.*, **35**, 1029~1035 (1997)
- 31) MAO, L., WANG, G. and QUE, F. : Application of 1-methylcyclopropene prior to cutting reduces wound responses and maintains quality in cut kiwifruit, *J. Food Eng.*, **78**, 361~365 (2007)
- 32) PERERA, C. O., BALCHIN, L., BALDWIN, E., STANLEY, R. and TIAN, M. : Effect of 1-Methylcyclopropene on the quality of fresh-cut apple slices, *J. Food Sci.*, **68**, 1910~1914 (2003)

エチレン生成速度はトマトの物理 ストレス応答の敏感な指標である

タンマウオン マナスイカン^{*1}・臼田浩幸^{*2}・根井大介^{*1}

梅原仁美^{*1}・佐竹隆顕^{*3}・中村宣貴^{*1}

ロイ ポリトシュ^{*1}・椎名武夫^{*1}

^{*} 1 農研機構食品総合研究所

(〒305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-12)

^{*} 2 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構

(〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310)

^{*} 3 筑波大学大学院生命環境科学研究科

(〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

衝撃を含む物理的ストレスは、園芸農産物の生理・生物的特性、食味、外観品質などに大きな影響を及ぼす。本研究においては、小さな落下衝撃が緑熟トマトの呼吸速度、エチレン生成速度に及ぼす影響について検討した。初めに、実験途中でのクライマクテリックによる呼吸速度、エチレン生成速度の変化の影響を排除するため、収穫直後のエチレン生成速度から、熟度を詳細・正確に評価することを試みた。その結果、収穫直後のエチレン生成速度が8.2 nmol/kg/h以下であれば、48時間の実験中にクライマクテリックライズに至らず、緑熟状態が維持されることが明らかになった。このスクリーニング手法により、実験期間中に緑熟状態であることを確認したトマトを、5 cmの高さからコンクリート床へ1, 3, 10回落下処理した。このごく小さな落下処理にもかかわらず、トマトの呼吸速度、エチレン生成速度は顕著に上昇した。興味深いことに、エチレン生成速度は1回のみの落下によっても上昇し、その程度は、呼吸速度のそれと比べて大きかった。さらに、落下処理前にエチレン作用阻害剤である1-MCPを処理した場合であっても、10回落下処理では、呼吸速度とエチレン生成速度の上昇は抑えられなかった。これらの結果と、落下処理した果実において目視による損傷が確認されなかったことから、エチレン生成は落下処理によるトマトの生理的変化を最も顕著に示す指標であると考えられた。したがって、エチレン生成速度は、トマト果実における物理的ストレスの発生を敏感に検出する重要な指標として位置づけられる。加えて、エチレン生成速度は、トマトに関して化学的、物理的な処理が代謝や品質に及ぼす影響を解明する研究において、正確で均一な熟度の果実を選択するための有効な指標であると考えられた。

(平成23年7月11日受付, 平成23年12月14日受理)

乾燥技術の違いによる食品中の有用成分の変化

山口 明子^{*1§}・西麗^{*1}・廣瀬潤子^{*2}・浦部貴美子^{*2}・灘本知憲^{*2}

* 1 天野実業(株)

* 2 滋賀県立大学人間文化学部

Changes in Food Items Because of Processing with Different Drying Methods

YAMAGUCHI Akiko^{*1§}, NISHI Rei^{*1}, HIROSE Junko^{*2}, URABE Kimiko^{*2} and NADAMOTO Tomonori^{*2}

* 1 Amano Jitsugyo Co.,Ltd., 4215, Satomi, Satosho-cho, Asakuchi-gun, Okayama 719-0393

* 2 School of Human Culture, The University of Shiga Prefecture, 2500 Hassaka-cho, Hikone, Shiga 522-8533

Changes in total vitamin C content in 5 vegetables (paprika, spinach, parsley, broccoli, and pea) were investigated after the application of different food-processing techniques such as freeze-drying (FD), air-drying (AD), retort sterilization (RT). Drying characteristics such as rehydration and color of the vegetables were also evaluated. Among the 3 processing techniques, FD resulted in the highest vitamin C retention ratio in the vegetables. The rehydration ratios of the dried vegetables were determined after the vegetables were immersed in hot water at 80°C for 30 min. The rehydration ratios obtained after FD were higher than the corresponding ratios obtained after AD. Moreover, the appearances of the FD-treated vegetables after rehydration were almost the same as those of the fresh vegetables. The degree of color difference between the fresh vegetables and the FD-treated vegetables was lesser than that between the fresh vegetables and the AD-treated vegetables. These findings confirmed that FD was the best method for processing of food items.

(Received Oct. 6, 2010 ; Accepted Dec. 12, 2011)

Key words : drying methods, freeze-drying, air-drying, retort sterilization, vitamin C

乾燥技術, 真空凍結乾燥, 熱風乾燥, レトルト殺菌, ビタミンC

食品乾燥の主な目的は、水分含量の多い食品から水を除き、微生物、酵素による腐敗・変質、および食品の組成成分間の化学反応の進行にともなう変質を防止することによって、食品に貯蔵性と輸送性を与えることにある¹⁾。しかしながら、近年、食生活の豊かさと合理化にともない、加工食品や貯蔵食品に対し高度な品質を要求する傾向が強くなってきている。すなわち、色・味・香り・栄養価・形状などを維持した加工が望まれるようになったと言える。そこで、これらを満たす加工方法として真空凍結乾燥（以下：FD）に着目した。

FDは、インスタントラーメン、インスタントコーヒー、インスタント味噌汁などの加工で用いられており、次のような特徴があるとされる。① 常圧乾燥である熱風乾燥（以下：AD）などと比べ、材料は終始低温に維持され、昇華により乾燥するため、材料表面の色、香気成分、および栄養素などの熱的変性が少ない、② 材料

は絶乾状態まで乾燥されるため、防湿性の高い包装方法を用いることにより常温で長期貯蔵が可能となる、③ 乾燥以前の形状と成分がほぼ維持される、④ 乾燥による材料の収縮・表面硬化が抑制され、組織が多孔質になるため、水の付加による復元性が高い²⁾。このような特徴により、FDは原理的には素材を活かす理想的な加工方法と考えられる。

これまでに、種々の乾燥方法の有用性について検討された例として、尾谷らは、アオジソ³⁾やハッカ⁴⁾についてFD、AD、放射乾燥、およびマイクロ波乾燥の各種乾燥方法での乾燥特性を、また、折笠ら⁵⁾は、マイクロ波乾燥による千切りダイコンの乾燥特性をADや真空乾燥と比較しており、マイクロ波の有用性について報告している。一方、原口ら⁶⁾は、赤色化万願寺とうがらしの各乾燥条件（AD、減圧乾燥、FD）におけるポリフェノール含量やビタミンC含量について比較しており、FD、お

* 1 〒719-0393 岡山県浅口郡里庄町里見4215

§ E-mail : ak-yamaguchi@amanofoods.co.jp

* 2 〒552-8533 滋賀県彦根市八坂町2500

よび減圧乾燥がこれら有用性成分を多く残存させることを報告している。しかし、これらの報告は一部の試料についてのみの比較であり、様々な試料を用いて乾燥方法を比較した例はほとんどない。

そこで本研究では、パプリカ、ホウレンソウ、パセリ、ブロッコリー、およびサヤエンドウの可食部位の異なる5つの野菜を試料として、酸化や熱に弱いとされるビタミンCの、FD、AD、およびレトルト殺菌（以下：RT）前後の含量変化について検討した。RTは乾燥技術ではないが、保存技術として広く用いられている方法として比較した。また、FD、およびADによる野菜の乾燥にともなう復元性や色の差異についても考察したので、併せて報告する。

実験方法

1. 供試材料

供試野菜は、パプリカ（水分91.0%）、ホウレンソウ（水分92.2%）、パセリ（水分83.3%）、ブロッコリー（水分88.5%）、およびサヤエンドウ（水分86.7%）を用い、岡山県内の量販店において入手した。特に産地および品種は限定していない。

2. 野菜の処理

野菜は入手当日中に処理した。野菜を水道水で洗浄、不可食部を除去し、パプリカは6mm×6mm、ホウレンソウは20mm×20mm、パセリは20mm×20mm、ブロッコリーは1房ずつ（約30mm×30mm程度の大きさになるように）、サヤエンドウは10mmにカットした。乾燥方法のみによる品質の違いを比較するため、野菜を加工する際に行うブラッシングなどの加熱処理は行わなかった。その後、カットした野菜は後述の乾燥処理（FD、AD）、またはRT処理した。

（1）**FD** カットした野菜は、200×300mmのアルミトレーに重ならないように並べ、(株)大西熱学製、予備凍結テスト機で庫内温度-30℃、風速1.0m/sの条件で4時間以上凍結させた。凍結した野菜は、真空凍結乾燥機にアルミトレーごと入れ、真空度40Pa、トラップ冷却温度-48℃、棚温度40℃の条件で20時間乾燥させた（乾燥条件は、工業的によく用いられる条件：最終品温40～50℃に準じた）。真空凍結乾燥機は、KOX特殊設計事務所製、比較型FDテスト機XD-2400（庫内寸法320×580×390mm、除湿容量1.5ℓ）を使用した。乾燥後の野菜の水分は以下のとおりである。

FDパプリカ：4.4%、FDホウレンソウ：3.8%、FDパセリ：2.8%、FDブロッコリー：3.5%、FDサヤエンドウ：4.4%。

（2）**AD** カットした野菜を600×1,150mmのステンレス製の網に重ならないように並べ、常圧、熱風温度60℃、乾燥時間8～20時間の条件で乾燥した（乾燥条件は、FD品と同程度の水分になるよう設定した）。熱風乾燥機は、(株)省熱学研究所製、Alpha Dry RV101-F6（強制熱

風循環換気方式、庫内寸法765×620×1,200mm）を使用した。乾燥後の野菜の水分は以下のとおりである。

ADパプリカ：5.2%、ADホウレンソウ：5.7%、ADパセリ：2.7%、ADブロッコリー：3.1%、ADサヤエンドウ：3.5%。

（3）**RT** カットした野菜を140×220mmのレトルト殺菌用アルミパウチ（凸版印刷(株)製 130℃、30分規格）に袋詰めした。その後、アルミパウチを殺菌温度121℃、20分間の条件で加熱した（加熱条件は、工業的によく用いられる条件に準じた）。レトルト殺菌機は、(株)日阪製作所製、高温高圧調理殺菌装置フレーバーエースを使用した。

3. 総ビタミンC含量の測定

食品中のビタミンCは、還元型と酸化型の2種類が存在するが、日本ビタミン学会ビタミンC研究委員会の見解に基づき上記2種類は同等とみなされるため⁷⁾、ジチオスレイトール（DTT）による還元処理⁸⁾により、酸化型を還元型に転換し、総ビタミンCとした。

（1）**試薬** 高速液体クロマトグラフ（HPLC）の溶離液の調製には、市販のHPLC用試薬を用いた。その他の試薬は市販の特級試薬を使用した。

（2）**抽出方法** 生鮮品およびレトルト品は約10g、FD品およびAD品は約1gを秤量し、5%メタリン酸水溶液（MPA）35mlを加えて攪拌器（(株)日本精機製作所製 エースホモジナイザー）で15,000rpm、5分間磨砕抽出した。遠心分離機（日立工機(株)製 CR-20）を用いて12,000rpm、0℃、15分間遠心分離を行い、得られた上清を5%MPAで50mlに定容後、0.45μmのマイクロフィルターでろ過した。MPA抽出した100μlの試料に、10mM DTT含有1Mリン酸水素二カリウム50μlを混合し、5分間静置後、25%MPA50μlを加えて測定試料とした。

（3）**測定方法** 総ビタミンC含量の測定は、既報⁹⁾を参考に電気化学検出器（ECD）を装着したHPLCで測定した。HPLCシステムには資生堂NANOSPACE S1-1、データ処理には資生堂データ処理ソフトS-MCをそれぞれ用いた。なお、HPLC分析条件は以下のとおりである。

カラム：(株)資生堂製 CAPCELL PAK C18UG120（4.6mmID.×250mm）、移動相：10mMテトラブチルアンモニウムクロリド含有10mMリン酸緩衝液（pH5.25）、流速：1.0μl/min、カラム温度：40℃、試料注入量：5μl、検出器：(株)資生堂製アンペロメトリック式電気化学検出器350mV。

4. 復元率の測定

乾燥野菜を生鮮物換算重量の4倍量の蒸留水（水温80℃）に浸漬した。浸漬中は、80℃の湯浴（アズワン(株)製 THERMAL ROBO TR-1）中で温度保持させた。0.5～30分間浸漬後、水切りのため網上で5分間静置させ重量を測定した（復元重量）。なお、復元率は生鮮物に対する比率で表すため、乾燥野菜の復元重量を乾燥野菜の生鮮物換算重量に対する割合で表した（復元率=復

元重量/乾燥野菜の生鮮物換算重量×100)⁹⁾。

5. 色差計によるL*・a*・b*値の測定

野菜の個体差によるばらつきを軽減させるため、測定サンプルは電動ミル（リイチ産業㈱製 オースターブレンダー）で粉碎・混合した。生鮮品は16,800rpm、2分間の条件、乾燥品は16,800rpm、1分間粉碎後、生鮮品と同等の水分含量になるよう生鮮換算重量分の蒸留水を加え、さらに16,800rpm、1分間攪拌した。生鮮品のみ、または生鮮換算重量分の蒸留水のみではペースト状にならない場合、生鮮換算重量の2倍の重量となるよう蒸留水を加え試料を調製した。調製した試料は、専用の丸セルに2 gずつ秤量し、色差計（日本電色工業㈱製 Color Meter ZE-2000）で明度（L*値；色の明るさの指標）、色度（赤方向；+a*、緑方向；-a*、黄方向；+b*、青方向；-b*）を測定した。生鮮品との色差は、生鮮品の平均値と乾燥品平均値のL*値、a*値、b*値の差（ ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* ）から、以下の式により色差を算出した⁵⁾。

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

6. 統計解析

データの数値は平均値±標準偏差で表した。また、データ間の有意差検定は、2群間の場合Studentの*t*検定、3群以上の場合Tukey-Kramerの多重比較検定を行い、危険率5%未満を有意とした。

実験結果および考察

1. 乾燥野菜のビタミンC含量

乾燥した野菜の総ビタミンC含量は、乾燥歩留りから計算した生鮮換算含量で示し、生鮮および各処理後（FD、AD、RT）のビタミンC含量の有意差検定を行った。また、総ビタミンC残存率は、生鮮の総ビタミンC含量を100とした時の各処理後の総ビタミンC含量で示した（Table 1）。

Table 1 より、5種類すべての野菜において、FDはADやRTよりも高い総ビタミンC残存率を示した。また、ホウレンソウ、パセリ、ブロッコリー、およびサヤエンドウにおいて、FDと生鮮との間の総ビタミンC含量に有意差がなかったのに対し、ADおよびRTは、生鮮との

Table 1 Changes in the vitamin C content of some vegetables after processing with different methods

Vegetable	Processing method	Total VC	
		content (mg/100g fr. wt.)	(%)*
Paprika (n = 4)	Fresh	187.2 ± 4.7 ^a	100.0
	FD	119.4 ± 9.1 ^b	63.8
	AD	72.8 ± 2.5 ^c	38.9
	RT	96.9 ± 3.2 ^{b,c}	51.8
Spinach (n = 3)	Fresh	32.9 ± 1.6 ^a	100.0
	FD	29.3 ± 1.5 ^a	88.9
	AD	10.8 ± 5.0 ^b	32.8
	RT	2.8 ± 2.3 ^b	8.7
Parsley (n = 2)	Fresh	128.2 ± 1.7 ^a	100.0
	FD	131.3 ± 19.4 ^a	102.4
	AD	79.8 ± 3.5 ^b	62.2
	RT	0.1 ± 1.2 ^b	0.0
Broccoli (n = 5)	Fresh	155.6 ± 6.3 ^a	100.0
	FD	120.7 ± 7.4 ^a	69.6
	AD	4.6 ± 2.1 ^b	4.3
	RT	12.4 ± 9.3 ^b	7.7
Pea (n = 3)	Fresh	73.0 ± 2.8 ^a	100.0
	FD	61.8 ± 4.6 ^a	84.7
	AD	3.2 ± 1.8 ^b	4.4
	RT	3.2 ± 1.9 ^b	4.5

*Percentage of VC content

Each data value is represented as mean ± SE

VC: vitamin C; FD: freeze-drying; AD: air-drying (60°C); RT: retort temperature (121°C)

a~c: Values indicated with the same letter were not significantly different (Turkey's honestly significant difference test; $p < 0.05$).

間に有意差が認められた。一方、パプリカでは、ADおよびRTに加えて、FDにおいても生鮮との間に有意な差がみられた。FDパプリカは、後述にあるとおり、他のFD野菜よりも収縮がみられることから、真空乾燥状態になり、総ビタミンC含量が減少した可能性がある。通常FDは、凍結状態で昇華乾燥されるため、体積変化は生じない¹⁰⁾。しかしながら、工業的にFDした場合、乾燥中に棚温などの影響で被乾燥物が融解することは珍しいことではない²⁾。乾燥中に氷が融解すると、食品表面に水溶性成分が移動、濃縮されるため、熱の影響を受けやすくなり、FDパプリカの総ビタミンC含量が減少したと考えられる。ADでは、水分が常に液状で存在するため、乾燥の進行に伴って食品表層部に溶質の濃縮層が形成される¹¹⁾ことが知られている。したがって、パプリカではADだけでなくFDにおいても、表面に移動したビタミンCが熱の影響により減少したと考えられる。つまり、氷から水蒸気へ相変化するFDの乾燥特性が、ビタミンCを有意に残存させたと推測される。一方、RTは121℃の高温で加熱処理されるため、総ビタミンC含量が減少したと考えられる。ただし、パプリカは酸化抑制作用が強いヘスペリジン¹²⁾を有する¹³⁾ため、加熱によるビタミンCの減少が抑えられ、RT後の総ビタミンC残存率が高くなったと推測される。ヘスペリジンを有するにもかかわらず、FDとADの総ビタミンC含量が減少したのは、水に対する溶解度の低いヘスペリジンが¹⁴⁾、食品表面に移動していないためと考えられるが、抗酸化物質のビタミンC保護効果については今後の検討課題である。

以上の結果より、ホウレンソウ、パセリ、ブロッコリー、およびサヤエンドウにおいて、FDはADやRTと比較してビタミンCを残存させることが示された。パプリカについても、FDはADやRTと比較して総ビタミンC残存率が高い傾向にあった。したがって、FDはビタミンCを残存させるために有効な乾燥方法であると考えられる。

一方、加熱調理とビタミンC残存量の関係についてはいくつか報告がある^{15), 16)}。例えば、山口ら¹⁷⁾は、マイクロ波加熱、炒め加熱、フライ加熱が、茹で加熱や煮込み加熱に比べてビタミンC残存率が高いことを報告している。さらに、柴田ら¹⁸⁾は、水溶性ビタミンであるビタミンB₆の保持率について検討しており、茹でるなどの湿式加熱よりも炒めるなどの乾式加熱による調理のほうがビタミンB₆の保持に有効であることを報告している。これらの報告は、水溶性成分の残存には水分移動の少ない加熱処理が適していることを示唆している。実際の加工食品は、様々な加熱処理後、乾燥などの加工処理を行う。そのため、加熱後の乾燥でどの程度ビタミンCが残存するのかは非常に興味深い。加熱方法（ボイル加熱、スチーム加熱、マイクロ波加熱）と乾燥方法（FD、AD）の組み合わせについては、現在パプリカのみ検討しており、マイクロ波加熱とFDの組み合わせにおいて最も総ビタミンC残存率が高かった（データ未掲載）。今後様々な野菜で検討する必要がある。

2. 乾燥野菜の復元性

Fig. 1に各野菜の乾燥後、Fig. 2に30分間復元後の写真

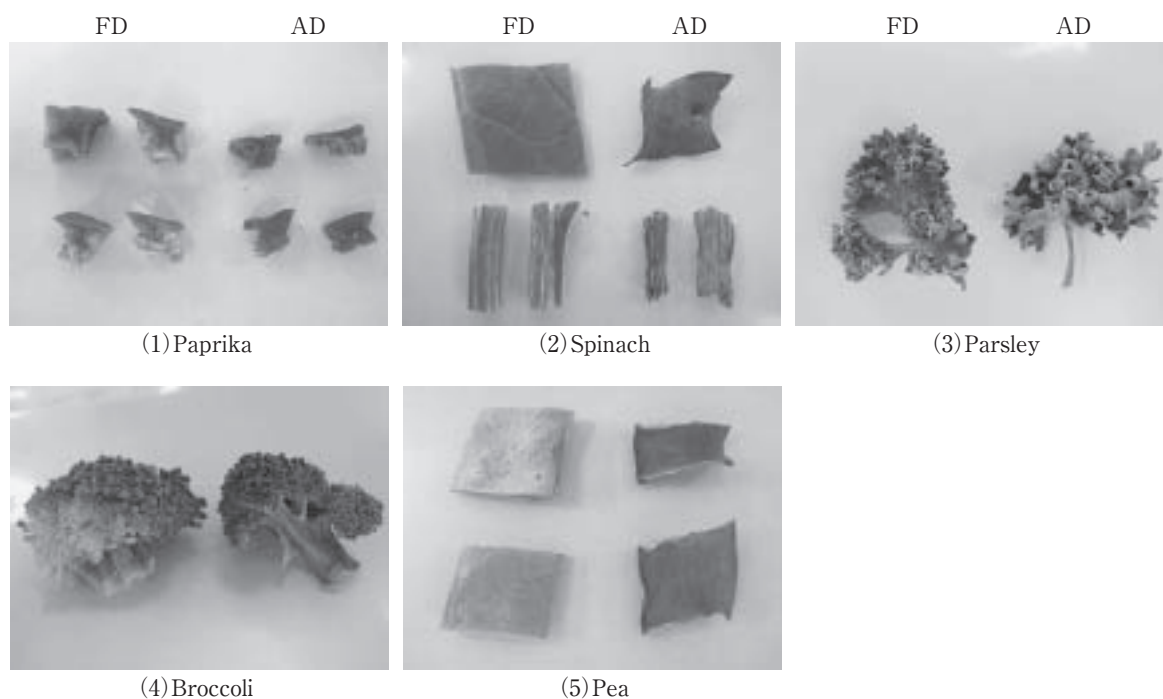


Fig. 1 Appearance of various dried vegetables

Each photograph shows samples treated using FD (samples on the left) and AD (samples on the right).
FD: freeze-drying; AD: air-drying

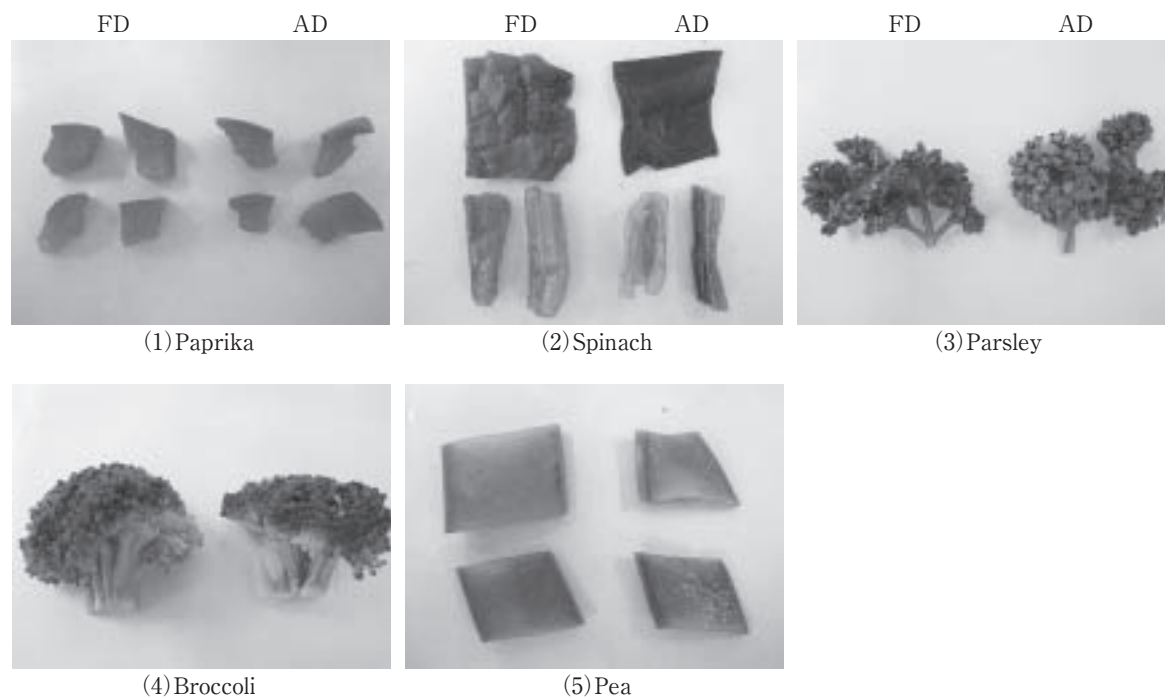


Fig. 2 Changes in the appearance of various dried vegetables on rehydration

The dried vegetables were rehydrated by immersion in hot water at 80°C for 30 min.

Each photograph shows samples treated using FD (samples on the left) and AD (samples on the right).

FD: freeze-drying; AD: air-drying

を示した。また、乾燥野菜の浸漬時間と復元率の平均値をTable 2に示した。復元率は、浸漬時間ごとにFDとADの有意差検定を行った。乾燥食品は、お湯で復元させて喫食することが多いため、80°Cのお湯を用いて復元させた。

Fig.1より、乾燥パプリカは、FD品、AD品ともに果

肉部分の収縮がみられ、特にAD品は果皮に果肉部分が結着するような収縮が確認できた。乾燥ホウレンソウは、FD品では茎部分で収縮がみられ、AD品では葉、茎部分で収縮がみられた。乾燥パセリは、FD品、AD品ともに大きな収縮はみられなかった。乾燥ブロッコリーおよび乾燥サヤエンドウはFD品では大きな収縮がみられず、

Table 2 Rehydration ratios of various drying vegetables

Vegetable	Drying method	Time for rehydration (min)				
		0.5	1	5	10	30
		Rehydration ratio (%)				
Paprika	FD	21.9±0.3	22.6±0.4	29.2±0.4	33.3±0.2	43.5±0.4
	AD	17.3±0.2**	18.3±0.2**	24.9±0.3**	31.1±0.5*	42.0±0.3
Spinach	FD	40.6±0.3	45.5±1.2	62.0±0.9	75.7±2.6	86.9±1.2
	AD	33.9±0.0**	39.0±0.4*	57.6±1.3	71.1±0.4*	81.5±0.4*
Parsley	FD	62.3±2.8	67.7±2.8	81.4±4.6	96.7±1.8	—
	AD	50.0±0.1*	48.0±0.1**	73.3±2.0*	98.8±2.6	—
Broccoli	FD	33.4±1.7	35.8±0.3	55.7±1.0	73.8±0.7	110.0±0.5
	AD	24.1±1.3*	27.9±1.1**	46.0±1.6**	66.3±2.2**	96.1±0.8**
Pea	FD	64.2±0.9	69.0±1.1	77.1±1.0	83.7±1.1	90.8±0.7
	AD	20.5±0.2**	22.1±0.4**	35.1±0.4**	48.5±0.5**	76.3±0.7**

n = 3

Each data value is represented as mean±SE

FD: freeze-drying; AD: air-drying (60°C)

*: Significantly different from freeze-drying by Student's *t* test (**p*<0.05, ***p*<0.01)

ADブロッコリーでは茎部分で収縮が、ADサヤエンドウでは実全体で収縮がそれぞれみられた。したがって、パセリ以外の野菜では、FD品のほうがAD品よりも組織の収縮が抑えられていることが確認できた。またFig. 2より、いずれの野菜においても乾燥後に収縮していた部分は完全には元の形状に戻らず、逆にほとんど収縮していなかった部分は元の形状に近い状態へ復元した。以上の結果より、乾燥による組織の収縮は復元性に大きく影響すると考えられる。乾燥食品の復元性を左右する主な因子は、乾燥品の構造と水分を保持する成分（主としてタンパク質とデンプン）の乾燥中の変化の度合いである¹⁹⁾。つまり、形状変化が抑えられるFDは、ADよりも復元性の優れた乾燥方法と言える。

一方、野菜の復元率は浸漬時間の経過にともなって高くなり、30分後の復元率を最大復元率とした（パセリの復元率は、10分後ほぼ一定に達したため、10分後の復元率を最大復元率とした）。FD品の最大復元率は、パプリカ、ホウレンソウ、パセリ、ブロッコリー、およびサヤエンドウでそれぞれ、43.5%、86.9%、96.7%、110.0%、90.8%であり、AD品の最大復元率は、それぞれ42.0%、81.5%、98.8%、96.1%、76.3%であった。浸漬30分間後でも収縮がみられたパプリカは、FD、ADともに最大復元率40%程度と他の野菜と比べて低い復元率であり、収縮が復元率に影響することが数値で示された。また、パプリカおよびパセリでは、FDとADの最大復元率に有意な差は認められなかったが、その他はいずれの浸漬時間においてもFDはADよりも高い復元率であることが示

された。したがって、見た目の形状だけでなく、復元性においても、FDはADよりも優れた乾燥方法と言える。

加工食品は、組織の軟化、殺菌、および酵素失活などを目的にブランチングなどの加熱処理を行う。それぞれの加工方法に適した加熱処理を行うことで、本研究データよりも復元性の優れた乾燥品をつくることが可能である。今後は、加熱済み乾燥野菜の復元性についても検討する必要がある。

3. 色調の変化と色差

乾燥野菜は通常復元させて使用するため、復元後の色調の変化が重要となる。そこで、乾燥野菜を生鮮品と同等の水分含量になるよう蒸留水を加えて試料を調製し、FD品、AD品それぞれと生鮮品の色調を比較した(Table 3)。

乾燥品は、生鮮品と比較してL*値（明度）が小さくなり、a*値はパプリカでマイナス（緑）方向、その他緑色野菜ではプラス（赤）方向へ変化する傾向が確認された。b*値は、パプリカでプラス（黄）方向、その他緑色野菜ではマイナス（青）方向へ変化する傾向が確認された。また、5種類すべての野菜において、乾燥品と生鮮品の色差（ ΔE^*_{ab} ）は、FDのほうがADよりも小さいことが示された。したがって、FDはADと比較して色の变化の少ない乾燥方法であるといえる。

植物性食品の色は化学的に分類するとフラボノイド系、アントシアン系、カロテノイド系、および葉緑素（クロロフィル）に大別されており、野菜にはこれら種々の色素が含まれている²⁰⁾。これらのうち、カロテノイドと葉

Table 3 Color characteristics of various dried vegetables

Vegetable		Lightness	Chromaticity		ΔE^*_{ab}
		L*	a*	b*	
Paprika	Paste of fresh sample	36.27 ± 0.10	41.40 ± 0.07	55.28 ± 0.08	—
	Paste of FD sample	35.78 ± 0.02	40.59 ± 0.03	57.05 ± 0.13	2.01
	Paste of AD sample	37.09 ± 0.16	40.55 ± 0.07	58.67 ± 0.22	3.59
Spinach	Paste of fresh sample	19.24 ± 0.31	-11.21 ± 0.11	28.44 ± 0.42	—
	Paste of FD sample	19.14 ± 0.02	-11.45 ± 0.09	25.67 ± 0.03	2.78
	Paste of AD sample	17.53 ± 0.03	-9.54 ± 0.06	25.18 ± 0.10	4.04
Parsley	Paste of fresh sample	16.84 ± 0.17	-10.09 ± 0.08	24.64 ± 0.25	—
	Paste of FD sample	15.82 ± 0.09	-7.73 ± 0.04	22.78 ± 0.12	3.17
	Paste of AD sample	14.92 ± 0.06	-7.72 ± 0.04	21.44 ± 0.08	4.41
Broccoli	Paste of fresh sample	43.40 ± 0.64	-18.89 ± 0.07	41.87 ± 0.11	—
	Paste of FD sample	43.80 ± 0.19	-17.08 ± 0.04	42.11 ± 0.10	1.87
	Paste of AD sample	41.91 ± 0.10	-11.60 ± 0.00	40.21 ± 0.08	7.55
Pea	Paste of fresh sample	45.94 ± 0.48	-18.93 ± 0.12	42.62 ± 0.43	—
	Paste of FD sample	41.38 ± 0.05	-16.95 ± 0.01	38.49 ± 0.15	6.47
	Paste of AD sample	43.17 ± 0.35	-12.73 ± 0.03	42.84 ± 0.25	6.80

n = 3

Each data value is represented as mean ± SE

FD: freeze-drying; AD: air-drying (60°C)

緑素は、光合成色素として植物中で非常に重要な役割を果たすとともに、野菜の鮮やかさを決める大きな因子の一つといえる。葉緑素は、緑色野菜中に存在する色素であり、加工時の加熱によりフェオフィチンに分解され、さらにフィトールとなり、緑～黄、褐緑～淡黄と色調は変化し、特有の緑色は消失してしまうように、比較的不安定な性質をもっている²¹⁾。また、カロテノイドは、緑黄色野菜中にクロロフィルと共に含まれる黄～赤の色彩を与える色素であり、熱には比較的安定であるが、加工方法が適正でない場合には酸化して変色または退色する²⁰⁾。FDは低温で、かつ真空中で乾燥できることから、葉緑素やカロテノイドのような熱や酸化に弱い成分の変化が少ないと考えられる。本研究では、FDは変色の少ない乾燥方法であると述べたが、前述のような有用な色素成分がどの程度残存しているかは不明である。乾燥野菜の変色がどのような色素成分に起因しているのかについては、各色素量を分析していく必要がある。一方、本研究は生鮮野菜を乾燥したが、緑色野菜の場合、食塩や重曹を加えて茹でることで加熱後も野菜の色をきれいに保つことができる²⁰⁾。また加熱処理は、酸化酵素、過酸化酵素、加水分解酵素などを失活させ、色、味、香り、ビタミンなどの変化を防止することができる²¹⁾。このように、乾燥前に加熱を施すことで、さらに色の変化を抑えることができると推測される。

以上の結果より、FDの乾燥特性としてビタミンCの保存性、復元性、色の保存性について報告することができた。しかしながら、加工食品の嗜好性には味、香りなどの要因も重要となる。今後は、乾燥食品の風味を決める味、香りについても検討する予定である。

要 約

FDは、真空中で食品の共晶点以下の温度に保持しながら乾燥（昇華乾燥）する方法であるため、他の乾燥方法に比べ色、味、香り、ビタミン類、形状などの変化が少ないとされている。しかしながら、FDにおける有用成分の変化を数値として示すデータはほとんどない。そこで、パプリカ、ホウレンソウ、パセリ、ブロッコリー、およびサヤエンドウをFDし、ビタミンC含量、復元性、色についてADと比較した結果、以下の知見が得られた。

- ① 5種類すべての野菜において、FDは、AD、RTよりもビタミンC残存率が高い傾向を示した。
- ② FDは、ADよりも収縮が少なく、80℃お湯浸漬での復元率が高い傾向を示した。
- ③ 色差計による比較により、FDは、ADと比較して色調の変化が少ないことが示された。

以上の結果より、FDは素材そのものを活かす加工方法であると考えられる。

文 献

- 1) 木村 進：乾燥食品（光琳書院），pp.1～5（1966）

- 2) 高薄一弘：凍結乾燥技術（技術情報協会），pp.3～5，179～181（2001）
- 3) 尾谷 賢・内山智幸・山崎邦雄・清水條資・本田重司・山内順一・山岸 喬・姉帯正樹・金島弘恭：各種乾燥法によるアオジソの乾燥特性，北海道立工業試験場報告，**290**，81～91（1991）
- 4) 尾谷 賢・内山智幸・山崎邦雄・清水條資・姉帯正樹・金島弘恭：各種乾燥法によるハッカの乾燥特性，北海道立工業試験場報告，**291**，141～148（1992）
- 5) 折笠貴寛・柴田高志・根井大介・ロイ ポリトッシュ・中村宣貴・椎名武夫・田川彰男：マイクロ波を利用した千切りダイコンの乾燥特性，食科工，**55**（7），350～354（2008）
- 6) 原口健司・河村真也・上野義栄：赤色化万願寺とうがらしの食品素材としての利活用法検索，京都府中小企業技術センター技報，**34**，44～49（2006）
- 7) 香川芳子：五訂増補食品成分表2010本表編（女子栄養大学出版部），p.259（2009）
- 8) 梅垣敬三・吉村美香・西牟田守・江指隆年：電気化学検出器を装着した高速液体クロマトグラフィーによる血漿ビタミンCの定量方法に関する検討，栄食誌，**52**，（2），107～111（1999）
- 9) 八木昌平・枝川正樹・乙黒親男・原 宏佳・金子憲太郎：半乾燥キャベツの保存中における遊離アミノ酸、ビタミンCおよび一般細菌の変化，日食保蔵誌，**34**，（2），75～83（2008）
- 10) 亀和田光男・林 弘通・土田 茂：乾燥食品の基礎と応用（幸書房），pp.67～68（1997）
- 11) 上西浩史・相良泰行：食品凍結乾燥の基礎知識と実用技術への展開（1）食品分野における凍結乾燥技術の歴史と利用の動向，冷凍，**79**（922），624～630（2004）
- 12) 佐橋佳一：生物化学（産業図書），pp.247～248（1957）
- 13) 今堀和友・山川民夫：生化学辞典（東京化学同人），p.1132（1984）
- 14) 山田未佳・三鼓仁志・津崎ゆかり・三輪尚克・茶圓博人・山本格：糖転移ビタミンPの抗酸化作用と高脂血症マウスにおける酸化ストレス抑制効果，栄食誌，**56**，（6），355～363，（2003）
- 15) 大羽和子・藤江歩巳：油脂を熱媒体とした野菜の加熱調理とビタミンC残存量，名古屋女子大学紀要，**50**，35～43（2004）
- 16) 丹羽悠輝・森山三千江・大羽和子：真空調理に伴う植物性食品の抗酸化機能成分の変化，日調科誌，**40**（4），257～265（2007）
- 17) TOMOKO, Y., YUKA, O., MAMIKO, K., TAKAHIRO, I., YUKIO, I., KAZUKI, K., HITOSHI, T. and TERUYOSHI, M.: Changes in Radical-scavenging Activity of Vegetables during Different Thermal Cooking

- Processes, *J. Cookery Sci. Jpn.*, **40** (3), 127~137 (2007)
- 18) 柴田圭子・安原安代・安田和人：陰膳法による女子大学生のビタミンB₆摂取量の検討（第II報）—食品のビタミンB₆保持率に及ぼす調理法の影響—, *ビタミン*, **74** (8), 423~433 (2000)
- 19) 辻 薦・上原陵一：食品工学（建帛社），pp. 300 ~301 (1981)
- 20) 山崎清子・島田キミエ：調理と理論（同文書院），pp. 358~374 (1983)
- 21) 中林敏郎・木村 進・加藤博通：食品の変色とその化学（光琳書院），pp. 116~192 (1967)
（平成22年10月 6 日受付，平成23年12月12日受理）
-

カキ ‘西条’ 熟柿の生産および品質管理に関する研究

平成23年度日本食品保蔵科学会技術賞

赤 浦 和 之*§

* 島根県立大学短期大学部松江キャンパス

Studies on Production and Quality Management of Soft-ripened ‘Saijo’ Persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) Fruit

AKAURA Kazuyuki*§

* University of Shimane, Matsue College, 7-24-2, Hamanogi, Matsue 690-0044

Key words : cold storage, ethylene treatment, fruit cracking, ‘Saijo’, soft-ripened persimmon
エチレン処理, 西条, 熟柿, 低温貯蔵, 裂果

カキ (*Diospyros kaki* Thunb.) は、日本における最も重要な果実のひとつであり、2008年の生産量は266,600尊で栽培面積は24,300haに及ぶ(農林水産省資料)。カキは甘ガキと渋ガキに大別され、カキ ‘西条’ は主に中国地方で栽培される渋ガキである。‘西条’ は島根県における主要品種であり、その栽培面積は県内のカキ栽培面積の約80%を占めている(島根県資料2002年)。

カキ ‘西条’ は、一般に二酸化炭素やドライアイスにより脱渋処理され、さわし柿として食される。まれに ‘西条’ の熟柿が店頭に出ることがあるが、樹上で熟柿となったものを採取・出荷したものと思われ、裂果した果実が多く価格も低い。種苗特性分類調査報告書(カキ)¹⁾によると、‘西条’ はさわし柿として品質極上であり、熟柿としても品質優秀と評価されている。‘西条’ 熟柿の肉質は緻密で多汁であり、とろけるような中果皮やゼリーのような食感の内果皮は、‘西条’ さわし柿とは大きく異なる特徴である。

現在熟柿の需要は決して多くはないが、飲食業界からは時々まとまった数の熟柿の要望がある。これに応じて需要のある時期に多量の品質の揃った熟柿をつくることのできれば、‘西条’ の消費の拡大につながると期待できる。

収穫期のカキ園をひと回りすれば樹上で熟柿となったカキ果実を幾つか採取することができる。しかしながら、それらのなかには裂果したものや、ヘタすき等の損傷を受けたものが多く、完全な状態の熟柿をまとまった数確保することは困難である。また、脱渋の程度や採取後の日持ちについても不明であるため、安定した品質の熟柿

とはいえない。民間では、収穫したカキ果実を藁つとに入れて室内で貯蔵したり、果実を米びつに埋めておいたりして熟柿をつくることもある(私信)。

筆者は、カキ ‘西条’ 果実収穫後の低温貯蔵、エチレン処理による熟柿生産、エチレン処理後の熟柿化の過程における裂果の制御および個包装した熟柿の低温貯蔵を組み合わせることにより、収穫期から年末さらには年始の時期まで途切れることなく、高い品質の ‘西条’ 熟柿を安定して供給する基礎的な技術を開発した。本総説は筆者が行った一連の研究成果をとりまとめたものである。

エチレンおよび脂肪酸処理による ‘西条’ 熟柿の生産²⁾

カキについては、脱渋後の果実軟化防止の観点から多くの研究があるが^{4)~7)}、積極的に軟化を促進して熟柿を得ようとした研究は見当たらない。カキ果実の軟化にはエチレンによって引き起こされると考えられていることから⁸⁾、まずエチレン処理の効果を調査した。

一連の実験において、カキ ‘西条’ 果実は収穫適期の10月下旬から11月上旬に島根県松江市の果樹園で採取し、ポリエチレン袋に密封し0℃で貯蔵した。貯蔵を終えた果実は20℃で6時間静置後、ポリカーボネート製デシケーターに入れ20℃でエチレン処理を行った。

エチレン濃度20および100ppmの48時間処理では処理開始後6日に果実を斉一に熟柿にしたが、100ppmの24時間処理では斉一性に欠けることが明らかとなった(表1)。したがって収穫時期や低温期間、収穫から貯蔵までの日数の異なる果実を用いることを考慮したとき、よ

* 〒690-0044 島根県松江市浜乃木7-24-2

§ E-mail: k-akaura@matsue.u-shimane.ac.jp

表1 エチレン処理濃度と時間がエチレン処理‘西条’果実の熟柿化に及ぼす影響²⁾

濃度, 時間	熟柿化率 ^z (%)		
	5 日 ^y	6 日	7 日
100ppm, 48時間	0	100	100
100ppm, 24時間	0	83.3	100
20ppm, 48時間	0	100	100

Z 「渋味を感じない」と評価された果実の割合 (n=12)

Y エチレン処理開始後日数

り高いエチレン濃度のほうが適用範囲が広いと考え、この後の一連の研究では100ppm48時間処理をエチレンの標準処理方法とした。

これに先立つ実験において、‘西条’果実の軟化はヘタ近傍から始まることが認められた。このヘタ近傍の軟化を果実軟化開始の指標としたとき、脂肪酸の一種であるリノレン酸およびエチレン処理のいずれも無処理に比べ有意に軟化開始日までの日数を短縮したが、その効果はエチレン処理のほうが大きかった (表2)。また、リノレン酸処理および無処理では軟化開始までの日数に果実間でばらつきがあったのに対し、エチレン処理では処理開始後3日には軟化開始を誘導した。いっぽう、いずれの処理においても軟化開始から3日後には斉一に熟柿となった。脂肪酸は、樹上での処理がカキ果実の成熟を促進したが³⁾、収穫後の果実への処理においても成熟促進の効果が認められた。このように、いずれの処理でも熟柿形成に効果があったが、熟柿完成日数の斉一性、熟柿完成日の予測および大量処理が可能であることから、実用性の観点からみると、エチレン処理が最も優れていると考えた。

収穫果実の低温貯蔵期間の長さがエチレン処理による果実の熟柿化に及ぼす影響を調査したところ、貯蔵期間8週間の果実では、処理開始後5日に一部の果実が熟柿になった。いずれの貯蔵期間においても、処理開始後6日にはすべての果実が完全に脱渋し熟柿が完成した。なお、貯蔵期間4, 6および8週間の果実では裂果がみられた (表3)。特に6, 8週間という比較的長期の貯蔵果実を用いた場合、裂果の発生は処理果実全体の4分の1から3分の1にも達した。裂果した果実は熟柿として販売できないため、この歩留まりの低さは熟柿の安定生産における大きな障害となる。裂果と貯蔵期間との関係の詳しい調査および裂果防止の方法について検討する必要性が生じた。

エチレン処理した果実の熟柿化にともなう果皮色、果実硬度、脱渋の程度およびタンニン含量の変化をみたところ、果皮色は処理開始から熟柿完成に至る6日間に、カラーチャート値にして3程度増加し、7日以降はほとんど変化しなかった (図1)。⁴⁾ ‘西条’をエチレン処理により熟柿にすることにより果皮の赤味が増加し、カラー

表2 γ -リノレン酸とエチレン処理が‘西条’果実の軟化開始日に及ぼす影響²⁾

処 理	処理開始から軟化開始 ^z までの日数 (日)
γ -リノレン酸	16.3 \pm 6.3b ^y
エチレン	3.0 \pm 0.0a
無処理	22.7 \pm 6.7c

Z ヘタ近傍の軟化を軟化開始の指標とした

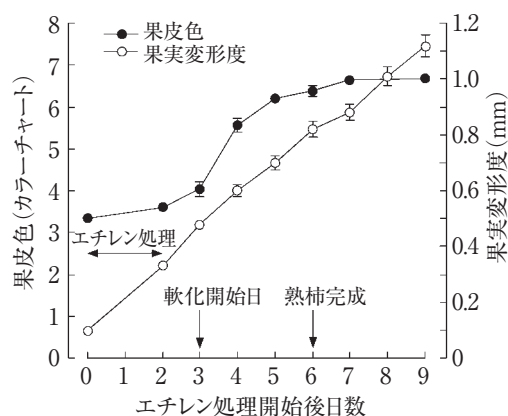
Y 同一カラムの異なる文字間には5%水準で有意差が認められる (Tukey HSD test)

表3 低温貯蔵期間の長さの違いが‘西条’果実の熟柿化に及ぼす影響²⁾

貯蔵期間 (週)	熟柿化率 ^z (%)			裂果率 (%)
	5 日 ^y	6 日	7 日	
2	0	100	100	0.0 (n=24)
4	0	100	100	4.2 (n=24)
6	0	100	100	25.0 (n=24)
8	4.2	100	100	33.3 (n=36)

Z 「渋味を感じない」と評価された果実の割合

Y エチレン処理開始後日数

図1 エチレン処理したカキ‘西条’果実の熟柿化にともなう果皮色および果実変形度の変化²⁾

果実変形度は、値が大きいほど果実の軟化程度が大きいことを示す。

図中の縦線は標準誤差 (n=20) を表す。

チャート値にして3程度の改善がみられたことは、果皮の赤味が不足しがちな‘西条’にとって好ましい結果といえよう。

可溶性タンニン含量は、処理開始後3日すなわち軟化開始日の直前から急激に減少し、6日には極めて少なくなった。官能検査による渋味も、タンニン含量よりやや遅れて減少を始めたが、6日には完全に脱渋した (図2)。

筆者は熟柿の食べ方について、ヘタを含む果肉部分を約1cm含んで切り落とし、種子をよけて縦半分に切ったものを横にして器に入れ、果肉をスプーンですくって食べるスタイルを提唱したいと考えている (図3)。この

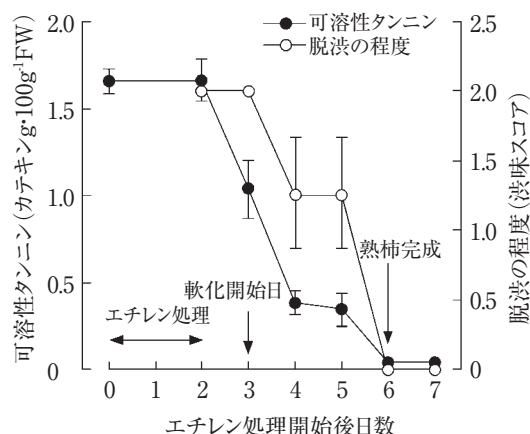


図2 エチレン処理したカキ「西条」果実の熟柿化にともなう可溶性タンニンおよび脱渋の程度の変化²⁾

図中の縦線は標準誤差 (n = 4) を表す。



図3 ヘタを含む果肉部分約1cmを切り落とし、縦半分にかットした熟柿

本技術でつくられた熟柿はカットした後その切断面はシャープな縁を保持する。果肉はスプーンですくって食べることができる。

食べ方を考慮するとエチレン処理開始後6日の熟柿は、果実を切ったり果肉をすくい取ったりしても果実が容易に崩れないという点で最も優れていた。

熟柿の包装および低温貯蔵⁹⁾

カキ果実の貯蔵性は一般に軟化の程度を指標として判定されることが多く、岩田¹⁰⁾らが提唱した軟化度の分類基準がカキ果実の軟化の指標として広く使われてい

る^{11)~13)}。この分類基準によると、本研究における熟柿はすべて軟化度Ⅳ、すなわち、「非常に軟弱となる。または果皮の一部が破裂している」に分類され、熟柿の軟化はこの基準ではとらえることができない。そこで本研究では新たな基準の導入が必要となった。筆者は料理店で熟柿がカットされて供されることを想定していることから、熟柿切断面の果肉の縁の状態に着目し(図3)、縁が崩れないでそのままの形を保持する最大日数を熟柿の貯蔵可能期間とした。

「西条」熟柿の貯蔵可能期間は20、10および5℃では、それぞれ2、6日および10日あまりと判断された(図4)。松江における11月の平均気温は約10℃であり、収穫後に自然に熟柿となった「西条」は涼しいところに置いておくと数日間適度な軟らかさを保つことが観察されているが、本実験の結果はこのことと一致した。有孔ポリエチレン袋個包装およびポリエチレン袋真空個包装により、5℃における熟柿の貯蔵可能期間は20日にも達した(表4)。5℃低温条件とはいえ、20日にもおよぶ熟柿の貯蔵可能期間は、出荷調整や出荷後消費までの貯蔵には十分な長さと思われる。

真空個包装では熟柿の中心維管束が水浸状態になったが、異臭は認められなかった。また、収穫果実のエチレン処理前の低温貯蔵期間の長さは、熟柿の貯蔵性には影

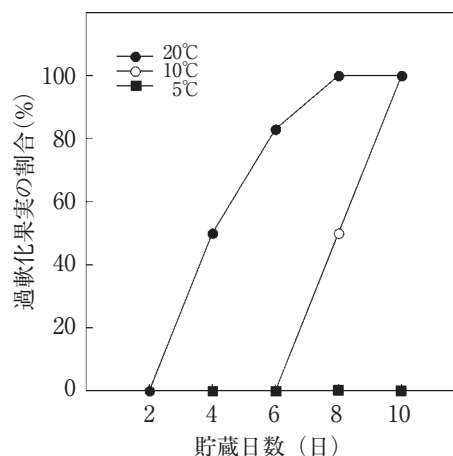


図4 貯蔵温度が熟柿の貯蔵性に及ぼす影響⁹⁾

熟柿6個を有孔コンテナーに入れ貯蔵した。
熟柿果肉の切断面の縁が崩壊した状態の果実を過軟化果実とした。

表4 果実の包装が熟柿の貯蔵可能日数および中心維管束の浸潤に及ぼす影響⁹⁾

包 装	貯蔵可能日数 ^Z (5℃)	中心維管束の浸潤 ^Y (%)
PE袋 有孔 果頂付近 ^X	22	0
PE袋 有孔 ヘタ付近 ^W	20	0
真空包装	22	100 ^{**V}

Z 貯蔵可能日数は、熟柿をカットしたとき断面の縁に崩壊がみられない最大の日数で表す (n = 8)

Y 中心維管束に浸潤がみられる果実の割合 (5℃20日貯蔵果)

X 果頂部が孔 (φ5 mm×2) の近くになるように果実をポリエチレン袋に個包装した

W ヘタ部が孔 (φ5 mm×2) の近くになるように果実をポリエチレン袋に個包装した

V 1%水準で有意差が認められる (Kruskal-Wallis test)

表5 エチレン処理前果実の0℃貯蔵期間が熟柿の貯蔵性に及ぼす影響⁹⁾

0℃貯蔵期間	過軟化果の割合 ^z (%)	
	22日 ^y	24日
2週間	0	0
4週間	0	50

Z カットしたとき断面の縁に崩壊がみられた熟柿果実を過軟化果とした

Y 熟柿は有孔 (φ5mm×2) ポリエチレン袋に個包装し5℃で貯蔵した

響を与えなかった (表5)。熟柿の果皮は非常に軟らかいため傷つきやすく、包装や出荷に際しての箱詰め等において細心の注意を要する。熟柿を個包装することにより果皮の損傷を防止できるだけではなく、袋の部分をつかむことにより果実部分に力を加えることなく熟柿を取り扱うことができる利点も得られる。

裂果の発生とその抑制^{14), 15)}

カキの裂果については果実生育中に果頂部で起こる果頂裂果が知られている^{16), 17)}ほか、樹上で熟柿となった果実でもみられるが、収穫果実が熟柿となる過程での裂果についての報告は見当たらなかった。‘西条’果実の熟柿化の過程で裂果、すなわち果皮に深い裂開が生じる現象の発生が本研究において頻繁にみられ、収穫後の低温貯蔵期間と裂果率の関係を調査したところ、これらの間には有意な相関が認められた (図5)。果実表面に認められた微小なひび割れと裂開の相対的な発生位置はきわめてよく一致したことから (表6)、裂開はひび割れに起因するものと推察された。エチレン処理前の低温貯蔵期間におけるひび割れの発達が裂果の原因のひとつであると考えられたので、ひび割れが多い果実は熟柿の材料としてはできるだけ用いないほうがよいと思われた。

裂果はエチレン処理終了後の熟柿化期間においても制御が可能であった。0℃で6週間貯蔵した果実を用いてエチレン処理を行い、処理果実を有孔ポリエチレン袋または1果あたりの開口面積が異なる数種のコンテナに詰め20℃で4日間貯蔵したところ、有孔ポリエチレン袋個包装により裂果率は有意に減少した。有孔コンテナ包装も同様に裂果率を低下させた。1果あたりの開口面

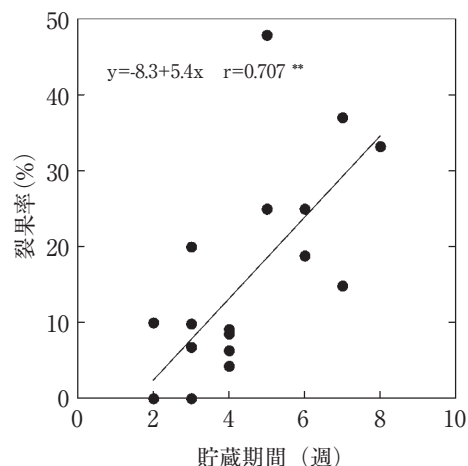


図5 エチレン処理前の0℃貯蔵期間の長さとの関係¹⁴⁾

表6 果実におけるひび割れと裂開の位置関係¹⁴⁾

	相対位置 ^z
ひび割れ	0.20 ± 0.11ns
裂開	0.20 ± 0.08

Z 果頂からひび割れの分布の中心および裂開の中央までの距離を果実縦径で割った値

積の大きなコンテナ包装ではヘタの脱落が多く、また果実重の減少は最大であった (表7)。実用の観点から、1果あたりの開口面積42.5mm²のコンテナ包装および開口面積39.3mm²の有孔ポリエチレン袋個包装が、裂果抑制に対して効果的であることが示された。

0℃で6週間貯蔵した果実を用いた実験において得られた、1果あたりの開口面積42.5mm²のコンテナ包装による3.3%という裂果率は、実用の観点から許容できる値であろう。同じ貯蔵条件の果実を用いた別の実験においてもこの包装条件で裂果率は6.6%という低い値になったことから¹⁵⁾、0℃での貯蔵期間は6週間まで延長が可能であると考えた。

換気による着色の改善¹⁸⁾

カキ‘西条’果実を数週間0℃で貯蔵後、20℃で48時間、密封容器内でエチレン100ppm処理を行い、処理後

表7 包装容器の果実あたりの開口面積が熟柿の裂果およびヘタ脱落、果重減少に及ぼす影響¹⁵⁾

包装	裂果率 (%)	ヘタ脱落 (%)	果重減少 (%)	湿度 (%)	開口面積/果実 (mm ²)
コンテナ φ5×1	23.3a ^z	16.7ns	0.33b	76.8a	3.3
コンテナ φ5×13	3.3b	20.0ns	2.44b	68.1b	42.5
コンテナ φ9×13	0.0b	43.3ns	3.77a	57.0c	137.8
有孔ポリエチレン袋	13.3b	16.7ns	0.91b		39.3

Z 同一カラムの異なる文字間には5%水準で有意差が認められる (Tukey-Kramer test)

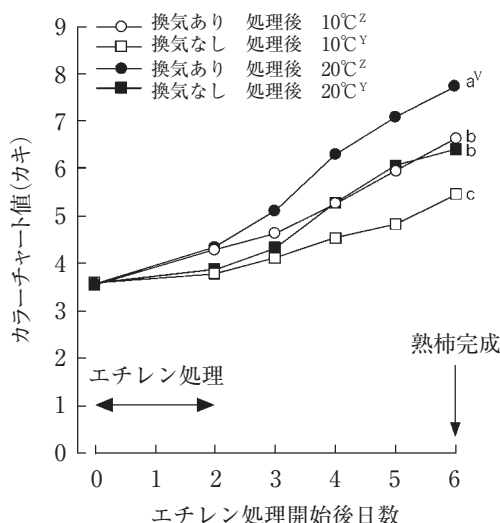


図6 エチレン処理中の換気および処理後の温度が熟柿の着色に及ぼす影響¹⁶⁾

収穫後0℃で4週間貯蔵した果実を用いた。

Z エチレン処理24時間+換気1時間+エチレン処理24時間
10℃で4日間貯蔵

Y エチレン処理48時間 10℃で4日間貯蔵

X エチレン処理24時間+換気1時間+エチレン処理24時間
20℃で4日間貯蔵

W エチレン処理48時間 20℃で4日間貯蔵

V 異なる文字間には5%水準で有意差が認められる (Tukey-Kramer test)

10または20℃で4日間貯蔵し熟柿を得た。このときエチレン処理中に容器を1時間開封して換気し、この換気が果実の着色に及ぼす影響について調査したところ、10および20℃いずれの温度条件においても、エチレン処理中の換気による着色の改善が認められたが、同じ換気条件では20℃での着色改善効果が10℃に比べて大きかった(図6)。収穫後の‘富有’においても果皮の着色は10℃、15.6℃よりも25℃貯蔵で促進されることが報告されている¹⁹⁾。エチレン処理した‘西条’は、10℃でも脱渋して熟柿になるが、着色の点においては20℃がより望ましいといえる。また、換気による熟柿の着色改善の効果はエチレン処理前の低温貯蔵期間が長いほうが大きかった¹⁸⁾。果実全体が半透明になり、しかも赤味が増した‘西条’熟柿の透き通るような美しさは、外観の点からも従来の‘西条’にはみられない魅力となるであろう。

確立した‘西条’熟柿の 生産方法と供給可能期間

収穫果実の低温貯蔵からエチレン処理、エチレン処理果実の20℃貯蔵、熟柿の低温貯蔵までの手順を図7に示した。それぞれの過程に必要な日数は、収穫果実の0℃低温貯蔵期間は、最短1週間から裂果率を考慮して最長6週間、エチレン処理開始から熟柿完成までは固定の6日、熟柿の5℃貯蔵では最長20日となる。最も早い収穫

収穫果実をポリエチレン袋に密封し、0℃で貯蔵(1～6週間)

↓

袋を切り開き、果実温を20℃付近まで上げる(約6時間)

↓

果実をコンテナに密封し20℃で100ppm48時間エチレン処理を行う

↓

果実を有孔容器(開口面積/果実39.3mm以上)に入れ、20℃で4日間貯蔵して熟柿を得る

↓

熟柿を真空または有孔袋に個包装し、5℃で貯蔵(最長20日)

図7 確立した西条熟柿生産・貯蔵技術

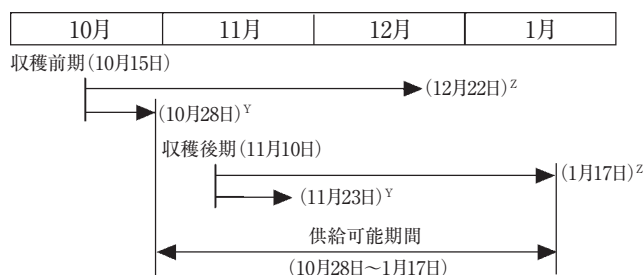


図8 西条熟柿の供給可能期間

Z 最も遅い出荷日は収穫後68日

(収穫果0℃貯蔵42日+熟柿化期間6日+熟柿5℃貯蔵20日)

Y 最も早い出荷日は収穫後13日

(収穫果0℃貯蔵7日+熟柿化期間6日)

が10月中旬、最も遅い収穫が11月上旬の系統の西条を用いた場合、西条熟柿の供給可能期間は、10月末頃から翌年1月中旬頃までとなる(図8)。

カキ果実は悪酔いを軽減すると言われており、飲酒前のカキ果実の摂取は飲酒後の血中アルコール濃度を低下させることが示されている²⁰⁾。‘西条’のさわし柿が市場からほほ姿を消し、飲酒の機会が増える12月に本研究で確立した技術を用いて生産した高品質の西条熟柿を安定的に供給できれば、‘西条’の消費拡大に結びつくことが期待される。

熟柿の利用例

本技術を用いて生産された‘西条’熟柿は、現在主に地元においてさまざまな利用法が検討されており、そのいくつかの例を示す(図9～13)。

謝 辞 本研究を行うにあたり終始ご指導を賜った島根大学生物資源科学部 板村裕之教授に深く感謝いたします。また、島根県立大学短期大学部健康栄養学科の教員の皆様には多大なご協力をいただき御礼申し上げます。また、地元での熟柿の利用にあたりご助言ご支援をいた



図9 拍子切りにした西条熟柿の果肉を寒天ゼリーの中に浮かせたデザート

本技術でつくられた熟柿は適度な軟らかさをもつため、カットした後その形をよく保持する。この特徴をうまく利用した一品。
島根県出雲市 日本料理おかや提供



図10 カットした冷凍西条ガキ熟柿

真空個包装した熟柿は取り扱いが容易で、冷凍保存にも向く。この技術でつくられた西条ガキ熟柿は凍結状態でも鋭利な刃物で種もろともカットできる。カキのない季節には、冷凍熟柿をこのようなシンプルな形で冷たいデザートとしても提供できる。
島根県出雲市 日本料理おかや提供



図11 西条ガキ熟柿の和風シャーベット

冷凍熟柿は剥皮が容易で、しかも剥皮後の凍った状態の果肉もスプーン等で容易に削り取ることができる。削り取った果肉の塊を容器に盛りつけ、ゆで小豆をあしらえば和風の冷たいデザートになる。
島根県出雲市 日本料理おかや提供



図12 西条ガキ熟柿と鴨肉のロースト

西条ガキ熟柿はイタリアンにも使われる。熟柿のロースト（左）と鴨肉のローストを盛り合わせた一皿。熟柿は中心部まで熱が通るように加熱（180℃で10分程度）してあるが、渋戻りは認められなかった。
溝口淑之氏提供



図13 西条ガキ熟柿のパナコッタ、ソルベ、ズッペッタ

西条ガキ熟柿の滑らかな食感を活かした冷菓パナコッタ、ソルベ、ズッペッタ。これらを盛り合わせた後に、熟柿を包丁でたたきつぶしてつくった熟柿ソースがかけられている。この果実ソースは熟柿ならではの利用法といえる。
溝口淑之氏提供

だいた島根大学生物資源科学部 小林伸雄教授に心より感謝いたします。最後に、長年にわたり貴重な西条を提供くださいました松江市の石川昌一様に御礼申し上げます。

文 献

- 1) 広島県果樹試験場：昭和53年度種苗特性分類調査報告書（カキ），p.164，広島県果樹試験場（1979）
- 2) 赤浦和之・孫 寧静・板村裕之：エチレンおよび脂肪酸処理がカキ‘西条’果実の熟柿化に及ぼす影響，園学研，7，111～114（2008）
- 3) 平田尚美・黒岡 浩・新城勝文：カキ果実の発育生理に関する研究（第7報）油脂および脂肪酸，グリセリン処理による平核無果実の樹上脱渋とその機構について，園学要旨，昭和41秋，63～64（1966）

- 4) 倉橋孝夫・松本敏一・板村裕之: 1-methylcyclopropane (1-MCP) 処理とエチレン吸着剤処理が収穫時期の異なるカキ ‘西条’ 果実のドライアイス脱渋後の軟化と日持ち性に及ぼす影響, 園学雑, **74**, 63~67 (2005)
- 5) NAKANO, R., HARIMA, S., OGURA, E., INOUE, S., KUBO, Y. and INABA, A.: Involvement of stress induced ethylene biosynthesis in fruit softening of ‘Saijo’ persimmon, *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **70**, 581~585 (2001)
- 6) 許 昌国・中務 明・加納弘光・板村裕之: カキ ‘西条’ 果実の急速な軟化に伴うエチレン生成と軟化および細胞壁分解酵素活性の変化, 園学雑, **72**, 460~462 (2003)
- 7) 許 昌国・中務 明・板村裕之: 1-methylcyclopropane (1-MCP) 処理がカキ ‘西条’ ドライアイス脱渋果のエチレン生成と軟化および細胞壁分解酵素活性に及ぼす影響, 園学雑, **73**, 184~188 (2004)
- 8) 板村裕之: カキ果実の成熟および脱渋後の軟化に関する研究, 日食保蔵誌, **32**, 81~88 (2006)
- 9) AKAURA, K. and ITAMURA, H.: Packaging and Storage of Soft-ripened ‘Saijo’ Persimmons for Improving Sales, *Food Preserv. Sci.*, **35**, 23~28 (2008)
- 10) 岩田 隆・中川勝也・緒方邦安: 果実の収穫後における成熟現象と呼吸型の関係 (第1報) カキ果実における呼吸型のclimactericの有無, 園学雑, **38**, 194~201 (1969)
- 11) 板村裕之・横井 誠・山村 宏・内藤隆次: カキ ‘西条’ の長期貯蔵に関する研究, 日本食品低温保蔵学会誌, **19**, 14~19 (1993)
- 12) 平 智・磯部志帆: 脱渋方法の違いと貯蔵温度がプラスチックフィルム包装したカキ ‘平核無’ 果実の貯蔵性に及ぼす影響, 日食保蔵誌, **31**, 261~265 (2005)
- 13) 平 智・今井絵里子: プラスチックフィルム包装したカキ ‘平核無’ 樹上脱渋果の長期貯蔵性について, 日食保蔵誌, **33**, 255~259 (2007)
- 14) AKAURA, K.: Fruit Cracking in ‘Saijo’ Japanese Persimmons (*Diospyros kaki* Thunb.) during Soft Ripening, *Food Preserv. Sci.*, **34**, 191~195 (2008)
- 15) AKAURA, K. and ITAMURA, H.: Effects of Packaging after Ethylene Treatment on Soft Ripening and Fruit Cracking in ‘Saijo’ Persimmons, *Food Preserv. Sci.*, **36**, 9~15 (2010)
- 16) 山田昌彦・池田 勇・山根弘康・平林利郎: カキのへたすきと果頂裂果の遺伝, 園学雑, **57**, 8~16 (1988)
- 17) 長谷川耕二郎・中島芳和: カキ ‘前川次郎’ の果実品質に及ぼす種子の影響, **59**, 255~262 (1990)
- 18) AKAURA, K.: Effects of Intermittent Ventilation during Ethylene Treatment and Storage Temperature on Peel Color of Soft-ripened ‘Saijo’ Persimmons, *Food Preserv. Sci.*, **36**, 3~8 (2010)
- 19) 新川 猛・尾関 健・加藤雅也・生駒吉識: 収穫後の高温処理によるカキ ‘富有’ 果肉中のカロテノイド含量の増強, 園学研, **7**, 123~128 (2008)
- 20) ITAMURA, H., SUN, N., NIMURA, M., SHIMOSAKI, S., NAKATSUKA, A., ANDO, H., NAGAMATSU, H., KATSUBE, T., TSURUNAGA, Y., ASANO, Y., ARAKAWA, O., KAMEI, T., MURATA, K., SUGINAKA, K., FUNAKI, K., MATSUMOTO, T., KOJIMA, Y., UEMURA, E., MURAKAMI, N. and MATSUZAKI, H.: Effect of Ingestion of the Japanese Persimmon ‘Saijo’ Fruit on Ethanol Levels in the Blood of Humans and Rats, 日食保蔵誌, **37**, 155~165 (2011)