

日本食品保蔵科学会誌

VOL. 36 NO. 4

会 長	松本 信二	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	内野 昌孝	竹永 章生
	寺井 弘文	津久井亜紀夫	藤島 廣二	松田 茂樹	

<報 文>

- MA包装用段ボール箱を利用したニホンナシおよびリンゴの1-メチルシクロプロペン処理 (165)
 / 樫村芳記・羽山裕子・阪本大輔・中村ゆり

<研究ノート>

- ハトムギを用いた紅麹の発酵条件と発酵により得られる有用成分に関する研究 (173)
 / 岡田幸子・多田幹朗・河野勇人・三宅剛史

<研究ノート> (英文)

- テクスチャーの異なる米飯のベクチン含量とポリガラクトクトロナーゼ活性量の違いについて (177)
 / 辻井良政・上矢素子・内野昌孝・高野克己

<資 料>

- 量販店における青果物の温度管理の一考察
 あるスーパーチェーンの実測例 (183)
 / 秋永孝義・川崎聖司

<講 座>

- 身近な野菜・果物～その起源から生産・消費まで (12) ワ サ ビ (I) (189)
 / 山根京子

- <文献抄録> (197)

- <本会記事> (198)

- <会 告> (207)

Food Preservation Science

CONTENTS OF VOL. 36 NO. 4 (2010)

<Article> (Japanese)

- 1-Methylcyclopropene Treatment of Japanese Pear and Apple
Using a Corrugated Cardboard Box Prepared for MA Packaging
KASHIMURA Yoshiki, HAYAMA Hiroko, SAKAMOTO Daisuke and NAKAMURA Yuri (165)

<Research Note> (Japanese)

- Establishment of Solid Culture Method for *Coix Lacryma-jobi* with *Monascus pilosus*
OKADA Sachiko, TADA Mikio, KONO Isato and MIYAKE Tsuyoshi..... (173)

<Research Note> (English)

- Effect of Pectin Contents and Polygalacturonase Activity
on Cooked Rice Texture
TSUJII Yoshimasa, UWAYA Motoko, UCHINO Masataka and TAKANO Katsumi (177)

<Research Data> (Japanese)

- Quality Management of Fresh Fruit and Vegetables at a Supermarket Chain in Japan
AKINAGA Takayoshi and KAWASAKI Seishi..... (183)

<Serialization Lecture> (Japanese)

- Wasabi (Part I)
YAMANE Kyoko (189)

MA包装用段ボール箱を利用したニホンナシおよびリンゴの 1-メチルシクロプロペン処理

檜村 芳記^{*†§}・羽山 裕子^{*}・阪本 大輔^{*}・中村 ゆり^{*}

^{*} 農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所

1-Methylcyclopropene Treatment of Japanese Pear and Apple Using a Corrugated Cardboard Box Prepared for MA Packaging

KASHIMURA Yoshiki^{*†§}, HAYAMA Hiroko^{*},
SAKAMOTO Daisuke^{*} and NAKAMURA Yuri^{*}

^{*} National Institute of Fruit Tree Science, National Agriculture and Food Research Organization,
2-1, Fujimoto, Tsukuba, Ibaraki 305-8605

The effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment in a plastic-lined corrugated cardboard box prepared for MA packaging (MA box) on the shelf life of Japanese pears and apples were investigated. The half periods of 1-MCP concentration in an MA box sealed by using adhesive sealing tape applied on the center seam of the top and bottom (single-strip closure) or all edges of the flaps (six-strip closure) were estimated to be 5.23 h and 9.06 h, respectively. ‘Kosui’ and ‘Shinsei’ Japanese pears and ‘Orin’ apples were exposed to 1-MCP at initial concentrations of 0, 1 and 2 $\mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ for 24 h in an MA box sealed by either of two methods, i.e., single-strip closure or six-strip closure. The treated fruits were then stored at 20°C in an open MA box for 2 weeks for ‘Kosui’, 3 weeks for ‘Shinsei’ and 6 weeks for ‘Orin’. The qualities of the fruits treated with 1-MCP in a sealed MA box were almost equivalent to those of the fruits treated with 1-MCP in a gas-tight container for all cultivars after storage, regardless of 1-MCP concentration and the sealing method used. Storage in an MA box without 1-MCP treatment was ineffective in improving the shelf life of Japanese pears and apples. 1-MCP treatment in an MA box is thought to be useful in the direct-to-consumer sales of Japanese pears and apples.

(Received Nov. 5, 2009 ; Accepted May 6, 2010)

Key words : apple (*Malus pumila*), Japanese pear (*Pyrus pyrifolia*), MA packaging, 1-MCP, shelf life
リンゴ, ニホンナシ, MA包装, 1-MCP, 日持ち

1-メチルシクロプロペン (1-MCP) は強力なエチレン作用阻害剤であり¹⁾, リンゴ (*Malus pumila* Mill.) 等では 1 $\mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ 以下の極めて低い濃度で収穫果実に処理することにより貯蔵中における果肉軟化や滴定酸度の低下, 地色の変化 (クロロフィルの分解) を顕著に抑制することが知られている²⁾。1-MCPの処理効果は常温で貯蔵した果実でも認められることから^{3), 4)}, 温度制御が困難な流通・販売過程における品質保持技術としても有用である。

1-MCPは常温・常圧において気体であり, 本剤による効果を得るためには, 気密性の高い容器や施設内におい

て十分な時間をかけて暴露処理し, 果実の組織内に浸透させる必要がある⁵⁾。リンゴで確実に処理効果を得るには12~24時間の処理が必要とされており⁶⁾, 本剤を利用するには1日の処理対象となる果実全量に対処可能な施設を整備する必要がある。したがって, 個人出荷等小規模な出荷への導入を進めるためには, より簡易で機動的な処理技術が必要である。最も一般的な果実の出荷容器である段ボール箱⁷⁾内で1-MCPを処理できれば, 出荷過程における処理も可能となる。段ボール箱を用いた1-MCP処理は, 近年, 日本の先進的な果樹生産農家が経営改善に向けて積極的に取り組んでいる消費者への直接

^{*} 〒305-8605 茨城県つくば市藤本 2-1

[§] Corresponding author, E-mail: kasimura@affrc.go.jp

[†] (現所属): 農林水産省農林水産技術会議事務局 (〒100-8950 東京都千代田区霞が関 1-2-1)

販売⁸⁾においても有用な手法になるものと期待される。しかしながら、1-MCPは段ボールを容易に透過するため²⁾、通常の出荷用段ボール箱に1-MCPを封入しても処理効果は得られない⁹⁾。一方、果実の貯蔵用として、ライナーにプラスチックフィルムをラミネートしガス透過を抑制することによりMA包装資材として利用できる段ボール箱が開発、市販されている。このような段ボール箱では封入した1-MCPがある程度保持されることが期待される。MANENOIら¹⁰⁾は、パパイヤを対象に低密度ポリエチレン (LDPE) をライナーに用いた段ボール箱を利用した1-MCP処理による追熟抑制効果を認め、自由度の高い処理方法として少量出荷等における利用が期待できるとしている。

そこで、本研究では、日本における主要果実のうち1-MCPの処理効果が高いニホンナシ (*Pyrus pyrifolia* Nakai) およびリンゴを対象に、MA包装用として市販されている段ボール箱を用いた1-MCP処理の実用性について検討した。なお、本研究では、生産者から消費者への直接販売における利用を想定した。すなわち、本段ボール箱をMA包装資材として利用する場合は、密閉状態を保ったまま適切な温度で貯蔵されるが、直接販売では出荷後における温度制御が困難なこと、消費者へ届けられた段ボール箱は速やかに開封されるものと考えられることから、密封期間は24時間とし、開封後20℃で貯蔵した場合の果実品質に及ぼす影響を検討した。また、供試品種は、1-MCP処理により常温における日持ち性が向上するニホンナシの‘幸水’および‘新星’、ならびにリンゴの‘王林’とした。

実験方法

1. 実験材料

実験には、2005年8月25日および同年8月29日に、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所 (茨城県つくば市) の圃場から収穫したニホンナシの‘幸水’および同年9月27日に同圃場から収穫した‘新星’の果実、ならびに2005年10月31日に青森県内のリンゴ生産農家 (青森県黒石市) の圃場から収穫したリンゴ‘王林’の果実を用いた。

2. MA包装用段ボール箱の1-MCP保持能力

(1) 段ボール箱に封入した1-MCPの濃度変化 カボスの低温貯蔵用として開発されたMA包装用段ボール箱T-CA¹¹⁾ (日本トールカンパッケージ) (内寸: 460mm×300mm×150mm) を、厚さ0.09mmのOPP製粘着テープ (日東電工) を用いてH貼り (Six-strip closure) またはI貼り (Single-strip closure) によって封かんした (Fig. 1)。SmartFreshSM (ローム・アンド・ハース・ジャパン) を用いて発生させた1-MCPを箱内部における濃度が1.2~1.6 $\mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ となるように封入後、20℃において約2時間おきに12時間後まで箱内部の空気を抜き取り1-MCPの濃度を測定した。1-MCPの濃度は、カラムとしてCP-

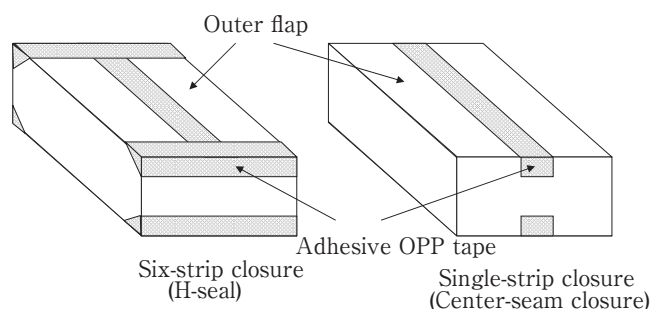


Fig. 1 Method used for sealing the corrugated cardboard box prepared for MA packaging

PoraBOND Q (Varian, Inc.), 検出器としてFIDを装着したガスクロマトグラフ (GC-9 A, 島津製作所) を用いて測定した。測定は、H貼り、I貼りともに各3箱を用いて行った。

(2) 1-MCP保持能力の算出 単位時間に箱外へ拡散する1-MCPの量はFickの法則から箱内部の1-MCP濃度に比例するものとみなせることから、透過量を Q (μl)、箱内部の1-MCP濃度を C ($\mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$)、箱の表面積および透過度をそれぞれ A (m^2)、 p ($\text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \ell$) とすると $dQ = -pA C dt$ が成立する。ここで、箱の内容積を V (ℓ) とすると、 $dC = (-pA/V) C dt$ となり、 pA/V を p' (h^{-1})、時刻0における1-MCP濃度を C_0 ($\mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$) とすれば、時刻 t (h) における濃度 C_t ($\mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$) は $C_t = C_0 \exp(-p't)$ となる。したがって、横軸に時間、縦軸に1-MCP濃度の対数をプロットすれば両者の間に線形関係が成り立ち、その傾きから p' を求めることができる。本実験では、測定時刻に対する1-MCP濃度の対数の回帰直線から p' を求め、 $\ln(2)/p'$ により濃度が半減するに要する時間 (半減期) を算出した。

3. ニホンナシ‘幸水’における1-MCPの品質保持効果

収穫当日に、1-MCP保持能力の測定に用いたものと同規格の段ボール箱8箱にそれぞれ16個の果実を入れ、OPP製粘着テープを用いてH貼りにより封かんした。このうち4箱は20℃で24時間貯蔵した後、粘着テープによるシール部をカッターで切り、引き続き20℃で貯蔵した (MA単独処理)。一方、残り4箱は1-MCPを箱内における濃度が1 $\mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ となるように封入し、20℃で24時間貯蔵した後、粘着テープによるシール部をカッターで切り、引き続き20℃で貯蔵した (MA内1-MCP処理)。また、プラスチック製の気密性容器内において1 $\mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ の1-MCPを16時間暴露処理した果実 (1-MCP密封処理) および無処理の果実を通気性のプラスチックコンテナに入れて20℃で貯蔵した。

貯蔵2週間後に各処理区から12果を取り出し、ていあ部の地色をニホンナシ地色用カラーチャート (富士平工業) により評価した。さらに、果実の赤道部の切断面における果肉硬さを8mm径プローブを装着した硬度計 (Ft 110, Italest) により測定するとともに、切断面の対向

する2箇所から切り出した果肉から搾汁した果汁のBrixを糖度計(PR-100, アタゴ)で、pHをpHメーター(pHboy-P2, 新電元工業)によりそれぞれ測定した。収穫当日にも12果について同様な調査を行った。

4. ニホンナシ‘新星’における1-MCPの品質保持効果

‘幸水’と同様に収穫当日の果実をMA包装用段ボール箱に詰め、H貼りまたはI貼りにより封かんした。H貼りにより封かんした箱については、1-MCPを封入しない区および1-MCPを箱内における濃度が $1\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ となるように封入した区を設けた。一方、I貼りにより封かんした箱については、1-MCPを封入しない区および1-MCPを箱内における濃度が $1\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ または $2\mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1}$ となるように封入した区を設けた。各処理区とも4箱を供試し、20℃で24時間貯蔵した後、粘着テープによるシール部をカッターで切り、引き続き20℃で貯蔵した。また、1-MCP密封処理および無処理の果実を通気性のプラスチックコンテナに入れて20℃で貯蔵した。

貯蔵3週間後に、各処理区から12果を取り出し、地色を除く果実品質を‘幸水’と同様に調査した。収穫当日にも12果について同様な調査を行った。

5. リンゴ‘王林’における1-MCPの品質保持効果

ニホンナシ‘新星’と同様の処理区を設けた。ただし、果実の箱詰めは収穫翌日に行うとともに、1-MCP密封処理における処理時間は24時間とした。各処理区とも4箱を供試した。

貯蔵3週間後、貯蔵6週間後および貯蔵8週間後に、各処理区から12果を取り出し、赤道部の果色をリンゴ‘王林’用カラーチャート(富士平工業)により評価した。さらに、赤道部の対向面2箇所の果皮を薄く削ぎ取り、果肉硬度を11mm径プローブを装着した硬度計(Ft110, Italest)により測定した。また、果肉硬度測定部位を除いた果肉から搾汁した果汁について、Brixを糖度計(PR-100, アタゴ)で測定するとともに、0.1N NaOHを用いてpH8.1まで滴定することにより滴定酸度を求めた。収穫翌日にも12果について同様な調査を行った。

結 果

1. MA包装用段ボール箱の1-MCP保持能力

MA包装用段ボール箱内の1-MCP濃度は、いずれの封かん方法でも時間の経過とともに低下したが、低下速度はI貼りで速かった(Fig.2)。封かん後の経過時間を説明変数、箱内の1-MCP濃度の対数を目的変数として回帰分析を行ったところ、いずれの箱でも決定係数は0.99以上となり、濃度変化は回帰式により精度よく予測できるものと考えられた(データ省略)。本回帰分析により得られた回帰係数から算出した1-MCP濃度の半減期は、H貼りで9.06時間、I貼りとした場合はH貼りの約6割となる5.23時間であった(Table 1)。

2. ニホンナシ‘幸水’における1-MCPの品質保持効果

ニホンナシ‘幸水’における1-MCP処理が貯蔵後の果

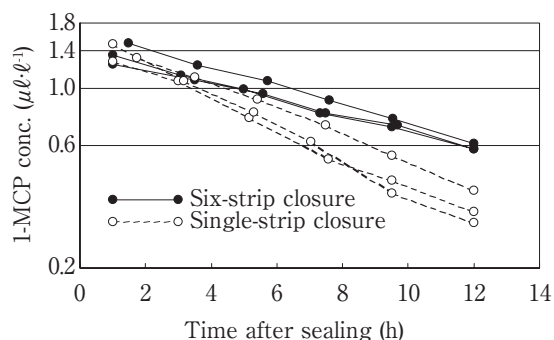


Fig. 2 Change in 1-methylcyclopropene (1-MCP) concentration in corrugated cardboard boxes prepared for MA packaging, which were sealed with adhesive OPP tape by six-strip closure (●) or single-strip closure (○) and then left to stand for 12 h at 20℃

Table 1 Effects of sealing method on dissipation of 1-methylcyclopropene (1-MCP) from corrugated cardboard box prepared for MA packaging at 20℃

Sealing method ^z	Half period ^y (mean ± S.E. (n = 3)) (h)
Six-strip closure	9.06 ± 0.43
Single-strip closure	5.23 ± 0.32

^z Refer to Fig.1.

^y Time required for the 1-MCP concentration in the box to decrease by half.

実品質に及ぼす影響をTable 2に示した。8月25日に収穫した果実を用いた1回目の試験、8月29日に収穫した果実を用いた2回目の試験ともに、貯蔵中の果肉軟化は1-MCP密封処理およびMA内1-MCP処理により、地色の変化はMA内1-MCP処理により、それぞれ無処理に比較して抑制された。ただし、1回目の試験で、1-MCP密封処理における果肉硬度はMA内1-MCP処理よりも有意に高かった。一方、MA単独処理における果実品質は無処理とほぼ同等であったが、Brixは無処理および1-MCP密封処理よりも低かった。また、MA単独処理では、貯蔵後に果肉の水浸状化や褐変、果心の褐変や腐敗が認められた。

3. ニホンナシ‘新星’における1-MCPの品質保持効果

ニホンナシ‘新星’における1-MCP処理が貯蔵後の果実品質に及ぼす影響をTable 3に示した。MA内1-MCP処理における果肉硬度は、封かん方法、1-MCPの処理濃度にかかわらず1-MCP密封処理と同等に保持されていたが、食味はやや劣る傾向にあった。H貼りで封かんしたMA単独処理における果肉硬度は1-MCP密封処理と同等であったが、1-MCP密封処理では貯蔵前とほぼ同様な食感が維持されていたのに対し、シャキシャキとした食感が失われ、弾力に富む肉質となっていた。MA単独処理では、果汁のpHはいずれの封かん方法でも1-MCP密封処理よりも高かった。なお、無処理およびMA単独処理では、果肉の褐変が多発し、食味も不良であった。

Table 2 Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment using corrugated cardboard box prepared for MA packaging (MA box) sealed by six-strip closure^z on quality of 'Kosui' Japanese pears stored for 2 weeks at 20°C

Harvest date	Treatment method		Flesh firmness (N)	Brix	pH	Ground color ^y
	Treatment container	1-MCP conc. ($\mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$)				
25Aug.	Before storage		23.26	11.78	5.14	3.3
	Untreated ^x	/	17.53a ^u	12.81b	5.26a	4.4b
	Gas-tight container ^w	1	25.27c	12.55b	5.20a	3.8ab
	MA box ^v	0	19.53ab	11.38a	5.41a	4.5b
		1	22.20b	12.18ab	5.35a	3.7a
29Aug.	Before storage		24.95	10.86	5.25	3.0
	Untreated	/	16.59a	12.90b	4.98a	4.4bc
	Gas-tight container	1	22.11b	12.97b	4.97a	3.8ab
	MA box	0	18.15a	12.12a	5.16b	4.5c
		1	21.53b	12.49ab	4.99a	3.3a

^z Refer to Fig.1.^y The ground color of the calyx end was rated using a scale from 1 (green) to 6 (yellow).^x Fruits were stored in a plastic container.^w Fruits were stored in a plastic container following treatment with 1-MCP in a gas-tight container for 16h at 20°C.^v Fruits were stored in an open MA box following treatment with or without 1-MCP in a sealed MA box for 24h at 20°C.^u At each harvest date, numbers followed by the same letter within a column are not significantly different at $P < 0.05$ by Tukey-Kramer test ($n = 12$).**Table 3** Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment using corrugated cardboard box prepared for MA packaging (MA box) on quality of 'Shinsei' Japanese pears stored for 3 weeks at 20°C

Treatment method		Flesh firmness (N)	Brix	pH
Treatment container	1-MCP conc. ($\mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$)			
Before storage		21.35	11.91	4.88
Untreated ^z	/	20.55a ^w	11.96a	4.98ab
Gas-tight container ^y	1	25.58c	11.96a	4.86a
MA box sealed by six-strip closure ^x	0	23.58bc	11.56a	5.17c
	1	24.24bc	11.82a	4.93ab
MA box sealed by single-strip closure ^x	0	22.15ab	11.58a	4.99b
	1	23.58bc	11.56a	4.94ab
	2	23.31abc	12.14a	4.97ab

^z Fruits were stored in a plastic container.^y Fruits were stored in a plastic container following treatment with 1-MCP in a gas-tight container for 16h at 20°C.^x Fruits were stored in an open MA box following treatment with or without 1-MCP in a sealed MA box for 24h at 20°C. Refer to Fig.1 about the sealing method.^w Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different at $P < 0.05$ by Tukey-Kramer test ($n = 12$).

4. リンゴ '王林' における1-MCPの品質保持効果

リンゴ '王林' における1-MCP処理が貯蔵後の果実品質に及ぼす影響をTable 4に示した。貯蔵3週間後における果肉硬度、滴定酸度および果色は、封かん方法、1-MCPの処理濃度にかかわらず、すべてのMA内1-MCP処理で1-MCP密封処理と同等またはそれ以上に保持された。一方、MA単独処理における果肉硬度、滴定酸度、果色は無処理と同等であった。貯蔵6週間後における果実品質も貯蔵3週間後とほぼ同様な傾向にあったが、

Brixは1-MCP密封処理で高く、I貼りで封かんしたMA単独処理で低かった。また、 $2 \mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ の1-MCPを封入しI貼りで封かんしたMA内1-MCP処理における果肉硬度は1-MCP密封処理よりも高かった。貯蔵8週間後では、すべてのMA内1-MCP処理において、滴定酸度および果色は1-MCP密封処理と同等に保持され、果肉硬度も1-MCP密封処理には劣るものの、無処理よりは高く保持されていた。一方、MA単独処理における果肉硬度、滴定酸度、果色は無処理と同等であった。Brixは、貯蔵6

Table 4 Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment using corrugated cardboard box prepared for MA packaging (MA box) on quality of ‘Orin’ apples

Storage duration at 20℃	Treatment method		Flesh firmness (N)	Brix	Titratable acidity (g · 100ml ⁻¹ as malic acid)	Skin color ^z
	Treatment container	1-MCP conc. (μl · l ⁻¹)				
	Before storage		71.00	13.81	0.50	3.4
3 weeks	Untreated ^y	/	47.73a ^y	14.87a	0.41a	5.7bc
	Gas-tight container ^x	1	70.84b	14.36a	0.55b	3.3a
	MA box sealed by six-strip closure ^w	0	47.63a	14.18a	0.43a	5.2b
		1	74.17b	14.38a	0.55b	3.3a
	MA box sealed by single-strip closure ^w	0	44.43a	13.88a	0.43a	6.1c
		1	72.15b	13.43a	0.61c	3.5a
		2	72.25b	14.60a	0.56bc	3.2a
6 weeks	Untreated	/	44.46b	14.96bc	0.32a	7.0b
	Gas-tight container	1	70.24c	15.40c	0.41bc	4.3a
	MA box sealed by six-strip closure	0	41.13a	14.40ab	0.37ab	6.4b
		1	72.41cd	14.73ab	0.44c	4.7a
	MA box sealed by single-strip closure	0	41.63b	14.13a	0.33a	7.0b
		1	72.28cd	15.08bc	0.45c	4.5a
		2	73.71d	14.88bc	0.47c	4.8a
8 weeks	Untreated	/	42.30a	14.35bc	0.31a	7.0b
	Gas-tight container	1	74.22c	14.70c	0.41bc	5.5a
	MA box sealed by six-strip closure	0	39.22a	13.97ab	0.31a	7.0b
		1	67.93b	14.57bc	0.38b	6.2a
	MA box sealed by single-strip closure	0	42.00a	13.60a	0.29a	7.0b
		1	66.84b	14.61bc	0.41bc	6.3ab
		2	68.56b	14.35bc	0.44c	5.9a

^z Skin color was rated using a scale from 1 (green) to 7 (yellow).^y Fruits were stored in a plastic container.^x Fruits were stored in a plastic container following treatment with 1-MCP in a gas-tight container for 24h at 20℃.^w Fruits were stored in an open MA box following treatment with or without 1-MCP in a sealed MA box for 24h at 20℃. Refer to Fig.1 about the sealing method.^v For each storage duration, numbers followed by the same letter within a column are not significantly different at $P < 0.05$ by Tukey-Kramer test ($n = 12$).

週間後と同様、1-MCP密封処理で高く、I貼りで封かんしたMA単独処理で低かった。

考 察

本研究で用いた段ボール箱は酸素や二酸化炭素の透過を抑制するため内外のライナーにLDPEフィルムをラミネートしたものであり¹¹⁾、1-MCPについても一定の保持効果が認められた。実験から推定した半減期に基づけば、封かん時に1 μl · l⁻¹の1-MCPを封入した場合、12時間後および24時間後における1-MCPの濃度は、それぞれH貼りで0.40 μl · l⁻¹、0.16 μl · l⁻¹、I貼りで0.20 μl · l⁻¹、0.04 μl · l⁻¹となる。1-MCPによる品質保持効果を得るために必要な処理濃度および処理時間は、果実の種類や品種、成熟度などにより大きく異なる²⁾。ニホンナシでは、濃度0.5 ~ 1 μl · l⁻¹、16時間以上の処理により果肉軟化や果汁pHの上昇、地色の変化が抑制され

ることが報告されている^{9), 12), 13)}。本研究においても、1-MCP密封処理は‘幸水’および‘新星’における果肉軟化を抑制した。また、MA内1-MCP処理も、1-MCP密封処理に比べるとやや劣るものの、同様な効果が認められたことから、供試した段ボール箱は実用的には十分な1-MCPの保持能力を有しているものと考えられる。ただし、‘新星’のMA内1-MCP処理における食味は1-MCP密封処理よりも劣る傾向にあり、本保持能力は最大の処理効果を得るにはやや不十分であった可能性がある。段ボール、特に吸湿した段ボールは多量の1-MCPを吸着することから¹⁴⁾、箱内部の1-MCP濃度は想定以上に低下していた可能性もある。しかしながら、‘新星’におけるMA内1-MCP処理の効果には封かん方法や処理濃度による顕著な違いが認められなかったことから、このような食味の低下がMA内1-MCP処理における1-MCP濃度の低下に起因するものとは断定できない。一方、MA単独処

理では、無処理と同様に品質が低下した。‘新星’におけるH貼りで封かんしたMA単独処理の果肉硬度は1-MCP密封処理と同等であったが、これは肉質が異常になったことによるものであり、いずれの品種においても箱自体による品質保持効果はなかったものと考えられる。本研究では消費者への直接販売における利用を想定し、封かん後24時間で開封したこと、および20℃で貯蔵したことから、本段ボール箱が本来目的としているMA包装による効果は得られなかったものと考えられる。

リングにおける1-MCP処理については多くの研究がなされており、最大の効果を得るための処理条件は品種や果実の成熟度によって異なるものの、概ね処理濃度は $0.25 \sim 1 \mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ 、処理時間は12～16時間とされている³⁾。本研究においては、リング‘王林’の果肉軟化、滴定酸度の減少および果色の変化が、処理方法にかかわらず1-MCP処理により抑制される傾向にあった。ただし、貯蔵8週間後では、MA内1-MCP処理の果肉硬度はいずれも1-MCP密封処理における値を下回っており、I貼りで封かんし1-MCPを $1 \mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ で封入した処理の果色は無処理と同等であったことから、MA内1-MCP処理の効果は1-MCP密封処理の効果に及ばなかったものと考えられる。しかしながら、ニホンナシ‘新星’の場合と同様、MA内1-MCP処理の効果には封かん方法や処理濃度による明確な違いは認められず、このような処理効果の違いが供試した段ボール箱の1-MCP保持能力によるものと断定することはできない。一方、貯蔵6週間後および貯蔵8週間後におけるBrixは、1-MCP密封処理で高く、I貼りで封かんしたMA単独処理で低かった。1-MCP処理はBrixの維持に有効との報告もあるが^{215), 16)}、多くの報告は影響しないとしている^{17)~22)}。今回の研究でも、MA内1-MCP処理におけるBrixは無処理と同等であったことから、1-MCP密封処理におけるBrixの高さは1-MCP処理の直接的な影響とは考えがたい。I貼りで封かんしたMA単独処理で低かったことを含め、Brixにおける処理間差の原因は明らかでない。

本研究の結果、今回供試したMA包装用に開発された段ボール箱を用いた1-MCP処理は、ニホンナシおよびリングに対して気密性容器内における処理とほぼ同等の品質保持効果を有するものと考えられた。消費者への直接販売等において本段ボール箱を出荷箱として利用し、発送時に1-MCPを封入すれば、開封後における日持ちを大幅に延長できるものと期待される。今回の研究では、手間のかからないI貼りでもH貼りと同等の品質保持効果が得られたことから、実用性は高いものと考えられる。ただし、本処理の効果は気密性容器内における処理に比べてやや劣る傾向が認められたこと、1-MCPの処理効果は品種や果実の成熟度に左右されることから、実用化に当たっては、より確実に処理効果を確保するための検討が必要である。

要 約

ニホンナシおよびリングに対して高い品質保持効果を示す1-MCPについて、消費者への直接販売等における活用を容易にするため、ライナーにLDPEをラミネートしたMA包装用として市販されている段ボール箱を用いた処理の実用性を検討した。ニホンナシの‘幸水’、‘新星’およびリング‘王林’の果実を本段ボール箱に詰め、 $1 \mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ または $2 \mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ の1-MCPとともにH貼りまたはI貼りにより封かんし24時間密封することにより、気密性容器内で処理した場合とほぼ同等の品質保持効果が得られた。ニホンナシ、リングともに、本段ボール箱を用いた1-MCP処理の効果に封かん方法および1-MCP濃度による大きな違いは認められなかった。I貼りにより封かんしたMA包装用段ボール箱を用いた1-MCP処理は、消費者への直接販売等において利用可能な簡易技術として期待できる。ただし、ニホンナシ‘新星’における貯蔵3週間後の食味、リング‘王林’における貯蔵8週間後の果肉硬度は気密性容器内で1-MCPを処理した果実よりも低かったことから、処理方法の改良が必要と考えられた。

文 献

- 1) SISLER, E. C. and SEREK, M.: Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments, *Physiol. Plant.*, **100**, 577～582 (1997)
- 2) BLANKENSHIP, S. M. and DOLE, J. M.: 1-Methylcyclopropene: a review, *Postharvest Biol. Technol.*, **28**, 1～25 (2003)
- 3) BEAUDRY, R. and WATKINS, C.: Use of 1-MCP on apples, *Perishables Handling Quarterly*, **108**, 12～16 (2001)
- 4) MIR, N. A., CURELL, E., KHAN, N., WHITAKER, M. and BEAUDRY, R. M.: Harvest maturity, storage temperature, and 1-MCP application frequency alter firmness retention and chlorophyll fluorescence of ‘Redchief Delicious’ apples, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **126**, 618～624 (2001)
- 5) BLANKENSHIP, S.: Ethylene effects and the benefits of 1-MCP, *Perishables Handling Quarterly*, **108**, 2～4 (2001)
- 6) KOSTANSEK, E. and PEREIRA, W.: Successful application of 1-MCP in commercial storage facilities, *Acta Hort.*, **628**, 213～219 (2003)
- 7) 農林水産省大臣官房統計部: 平成18年青果物・花き集出荷機構調査結果の概要 (訂正版) (2009)
- 8) 農林水産省大臣官房情報課: 平成19年度農林漁業現地事例情報 認定農業者の経営改善に向けた取組事例 (2007)

- 9) 島田智人：植物調節剤1-MCP剤によるニホンナシ“幸水”の日持ち性向上効果，雑草とその防除，**40**，73～77 (2003)
- 10) MANENOI, A., BAYOGAN, E. R. V., THUMDEE, S. and PAULL, R. E.: Utility of 1-methylcyclopropene as a papaya postharvest treatment, *Postharvest Biol. Technol.*, **44**, 55～62 (2007)
- 11) 高橋 徹・佐藤正典・後藤隆子・奥 正和・高橋基・森 大蔵：青果物の鮮度保持における機能性段ボール包装の効果 I. 普通段ボール箱との比較，東洋食品工業短大・東洋食品研究所研究報告書，**25**，1～7 (2004)
- 12) ITAL, A. and TANAHASHI, T.: Inhibition of sucrose loss during cold storage in Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) by 1-MCP, *Postharvest Biol. Technol.*, **48**, 355～363 (2008)
- 13) 樫村芳記：新規鮮度保持剤1-MCPの作用機構と利用の展望，日本農薬学会誌，**30**，262～264 (2005)
- 14) VALLEJO, F. and BEAUDRY, R.: Depletion of 1-MCP by ‘non-target’ materials from fruit storage facilities, *Postharvest Biol. Technol.*, **40**，177～182 (2006)
- 15) CROUCH, I.: 1-Methylcyclopropene (SmartFresh™) as an alternative to modified atmosphere and controlled atmosphere storage of apples and pears, *Acta Hort.*, **600**, 433～439 (2003)
- 16) ÖZKAYA, O. and DÜNDAR, Ö.: Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ‘Fuji’ apple quality during long-term storage, *J. Food Agric. Environ.*, **7**, 146～148 (2009)
- 17) DeLONG, J. M., PRANGE, R. K. and HARRISON, P. A.: The influence of 1-methylcyclopropene on ‘Cortland’ and ‘McIntosh’ apple quality following long-term storage, *HortScience*, **39**, 1062～1065 (2004)
- 18) FAN, X., BLANKENSHIP, S. M. and MATTHEIS, J.P.: 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **124**, 690～695 (1999)
- 19) MOYA-LEON, M. A., VERGARA, M., BRAVO, C., PEREIRA, M. and MOGGIA, C.: Development of aroma compounds and sensory quality of ‘Royal Gala’ apples during storage, *J. Hort. Sci. Biotech.*, **82**, 403～413 (2007)
- 20) PRE-AYMARD, C., FALLIK, E., WEKSLER, A. and LURIE, S.: Sensory analysis and instrumental measurements of ‘Anna’ apples treated with 1-methylcyclopropene, *Postharvest Biol. Technol.*, **36**, 135～142 (2005)
- 21) PRE-AYMARD, C., WEKSLER, A. and LURIE, S.: Responses of ‘Anna’, a rapidly ripening summer apple, to 1-methylcyclopropene, *Postharvest Biol. Technol.*, **27**, 163～170 (2003)
- 22) WARNER, H., KOLLMAN, G., FAUBION, D. and BATES, B.: Apples... and beyond: future goals of 1-MCP, *Acta Hort.*, **628**, 221～226 (2003)
- (平成21年11月5日受付，平成22年5月6日受理)

ハトムギを用いた紅麹の発酵条件と発酵により得られる有用成分に関する研究

岡田 幸子^{*1}・多田 幹朗^{*2}・河野 勇人^{*3}・三宅 剛史^{*3}

^{*1} 株式会社半鐘屋

^{*2} 中国学園大学現代生活学部

^{*3} 岡山県工業技術センター

Establishment of Solid Culture Method for *Coix Lacryma-jobi* with *Monascus pilosus*

OKADA Sachiko^{*1}, TADA Mikio^{*2}, KONO Isato^{*3} and MIYAKE Tsuyoshi^{*3}

^{*1} Hanshoya Co. Ltd., 23, Fushimi-cho, Tsuyama, Okayama 708-0032

^{*2} Faculty of Livelihood, Chugoku Gakuen University, 83, Niwase, Kita-ku Okayama, Okayama 701-0197

^{*3} Industrial Technology Center of Okayama Prefecture, 5301, Haga, Kita-ku Okayama, Okayama 701-1296

Coix lacryma-jobi var. *ma-yuen* contains functionally important nutritional constituents. *Monascus pilosus* is a microorganism used for the preparation of koji, and it also contains biologically active components. Therefore, production of koji with *Monascus pilosus* contributed to the development of foods of high nutritional value. However, there has been no detailed study on solid fermentation of *Coix lacryma-jobi* var. *ma-yuen* with *Monascus pilosus*. In the present study, we performed solid fermentation and traced the time-dependent production of functional constituents during the fermentation process. The production of free amino acid, γ -aminobutyric acid (GABA), anti-oxidant activity, and OD₅₀₀ value was found to increase with the growth of *Monascus pilosus*.

(Received Dec. 21, 2009 ; Accepted May 26, 2010)

Key words : *Coix Lacryma-jobi*, solid culture, GABA, TAS activity, *Monascus pilosus*

ハトムギ, 固体培養, γ -アミノ酪酸, 抗酸化活性, 紅麹菌

ハトムギ (*Coix lacryma-jobi* var. *ma-yuen*) は東南アジアを原産とする穀物であり, 消炎, 利尿, 排膿, 鎮痛, 緩下など, さまざまな作用が知られている¹⁾。古くから食用および漢方薬や民間薬としても用いられてきた。このハトムギを精白したものは, 薏苡仁 (ヨクイニン) と称され, 日本薬局方に収載されている¹⁾。その薬理成分としては, 抗癌作用物コイクセノリド²⁾および, 排卵誘起物質³⁾等の機能性成分が単離されている。

また, ハトムギは, 米や麦, 粟, きび, ひえなどの, ほかの穀物と比較して, たんぱく質, 脂質の含有量が多く, 有用アミノ酸も比較的バランスよく含まれ, 糯性で粘りがあるなどの特徴がある。米と混炊したり, 餅などにして, 食品としても用いられてきた⁴⁾。

一方, 紅麹菌 (*Monascus pilosus*) は, 中国, 台湾および沖縄などで, 豆腐よう (豆腐鯨), 紅酒等の発酵食

品製造のための麹菌として用いられてきた^{5), 6)}。これらの麹は, 紅麹菌の菌糸の発育が進むに従い, 深紅赤色の鮮やかな色を呈することから紅麹と呼ばれる。中国の古書「本草綱目」には, 「消食活血」(消化を助け, 血行をよくする) とその効能が記載され, 薬用菌類としても利用されてきた⁷⁾。さらに遠藤らによって発見されたモノコリンKは, コレステロールの生合成を阻害することがわかっている⁸⁾。また, 血圧降下作用^{9)~13)}のあることなど, 生理活性に関する論文が数多く発表されている。

以上のことから, ハトムギを基質として, 紅麹を作製することで, 機能性の高い食品開発につなげることができると考えられた。しかしながらハトムギ紅麹の製造については詳細に検討されていなかった。そこで筆者らは, ハトムギの, 紅麹菌を用いた固体培養による製造法を調整した。さらにこの固体培養法過程における, 色素生成

^{*1} 〒708-0032 岡山県津山市伏見町23

^{*2} 〒701-0197 岡山県岡山市北区庭瀬83

^{*3} 〒701-1296 岡山県岡山市北区芳賀5301

§ Corresponding author, E-mail: hanshoya@k6.dion.ne.jp

量、遊離アミノ酸含量、 γ -アミノ酪酸 (GABA) 生成量および抗酸化能 (TAS活性) の推移について調べた。

実験方法

1. 供試材料

供試紅麹として、グンゼ研究開発センター製の粒湿体 (1 G-WL-K 5, *Monascus pilosus* IFO4520) を用いた。また供試ハトムギとして、福田龍製の市販ハトムギを用いた。この供試ハトムギは、精白していても胚芽が残っている状態のもので、米に比べ粒体が大きく硬質である。

2. ハトムギの吸水・蒸煮方法

供試ハトムギは、室温下で2倍量の水に10時間流水浸漬し、含水率39%前後の浸漬物を得た。この浸漬ハトムギを、蒸煮装置 (SanpoスーパーボイラーS-1, 三宝ステンレス工業製) を用いて、蒸煮・殺菌処理した。

3. ハトムギ紅麹の固体培養方法

固体培養は、インキュベーター (ヤエガキ多段式自動醗酵機HKW-60型, ヤエガキF&S製) を用いて行った。培養温度は、 $34 \pm 2^\circ\text{C}$ に設定した。

4. 含水率測定

含水率は、供試ハトムギに当倍量の水を加えて室温下で静置し、経時的にケット法により調べた。

5. 色度の測定

色度として、測定サンプルを10倍量の60%エタノールに3日間浸漬後、濾過 ($\phi 0.20\mu\text{m}$) した溶液の500nmにおける吸光度 (OD_{500}) を測定した。

6. 菌体量の測定

菌体量は、グルコサミン含量測定により評価した。サンプル0.5gを60%硫酸2mlに加え24時間放置し、水で1Nに希釈した後、 121°C で1時間加水分解した。この加水分解物を中和してアセチルアセトン試薬と共に 90°C で1時間加熱後水冷し、96%エタノール5mlとエールリッヒ試薬0.5mlを加え攪拌して1時間放置した。調整した溶液の530nmにおける吸光度 (OD_{530}) を測定 (UV-1200, 島津製作所製) して菌体量を求めた。

グルコサミン含量と530nmにおける吸光度 (OD_{530}) の計算式を次に記す。

$$y = 0.017x + 0.006$$

$$(y; \text{OD}_{530}, X; \text{グルコサミン量 (mg/100ml)})$$

7. 抗酸化活性測定方法

抗酸化活性は、抗酸化能測定キットTAS (Total Antioxidant Status) キット (Randox laboratories製) を用いた。サンプルの乾燥粉末水溶液 (50mg/ml) を被験液として用い、そのTAS活性を測定し、トロロックス等量で求めた。

8. アミノ酸分析

遊離アミノ酸は、サンプルの乾燥粉末を10倍量の60%エタノールに3日間浸漬し、濾過 ($\phi 0.20\mu\text{m}$) したものを、アミノ酸分析計 (JLC-500/V, 日本分光製) を用いて分析した。

実験結果および考察

1. ハトムギ紅麹の固体培養法の検討

紅麹菌の培養には、液体培養法と固体培養法があるが、固体培養において液体培養時よりも大量の酵素を分泌生産することがわかっている¹⁴⁾。また、固体培養では、乾燥・粉末化などの後処理も簡便であることから、本研究では固体培養における次の諸条件について検討した。

(1) ハトムギの吸水条件の検討 原料に使用したハトムギは、非常に硬質であり、米よりも粒度が大きいため十分な吸水には、長い時間を要すると思われる。そこで吸水条件を調べた。その結果、データには示さないが約7時間で飽和状態に達することがわかった。従って、以下の実験は、十分な時間をとり、ハトムギを10時間浸漬したものをを用いた。

(2) 紅麹菌の接種菌量の検討 固体培養における紅麹菌の植菌量について検討した。まず、洗浄と雑菌の増殖の抑制のために、流水中で浸漬し十分吸水させた供試ハトムギを1時間蒸煮した。蒸煮ハトムギは、 40°C まで冷却した後、紅麹菌を供試ハトムギの重量に対して、それぞれ1%, 3%, 5%, 10%植菌し、開放型の発酵箱に入れ、インキュベーター内で静置培養し、生育状態を肉眼観察することにより評価した。その結果、種菌量が10%未満の製麹条件では、紅麹菌の生育が不良であり、1%と3%では20日間培養しても紅麹菌の生育がみられず、また5%では生育が遅く、発色が不良であった。10%の植菌量では十分な発育が認められたことから、植菌量は10%以上を用いることが必要であるとわかった。

(3) 紅麹菌の増殖性 蒸煮ハトムギを発酵箱に入れ、紅麹菌を10%植菌した。ハトムギ紅麹の固体培養において、菌体量は培養10日目までは増加したが、その後の増加は認められなかった。なお、製麹中の品温は、培養開始～7日目までは $30 \sim 34^\circ\text{C}$ 、8日目～14日目までは $35 \sim 42^\circ\text{C}$ 、15日目～21日目までは $30 \sim 34^\circ\text{C}$ で推移した。

(4) ハトムギ紅麹の製造方法 以上の検討を踏まえて、ハトムギ紅麹の固体培養を以下の方法で行った。

蒸煮ハトムギを発酵箱に入れ、紅麹菌を10%植菌した。培養温度は $34 \pm 2^\circ\text{C}$ に設定し、製麹中の品温を $30 \sim 42^\circ\text{C}$ の範囲で推移するように調整した。この方法により、培養期間21日を経過した培養物をハトムギ紅麹として用いた。本培養法による培養物の写真をFig. 1に示した。

2. ハトムギ紅麹の固体培養における色素生産

紅麹菌の色素は食品着色料として利用されている。紅麹菌が産生する色素は、これまでに黄色のモナスシン、アンカフラビン、橙赤色のルプロパンクタチン、モナスコプリン、赤紫色のモナスコブルラン、ルプロパンクタタミンの6種類が知られている¹⁵⁾。本研究では、ハトムギ紅麹の培養中における色素生産について試料抽出液の500nmにおける吸光度 (OD_{500}) の値を経時的に測定することによって検討した。Fig. 2に示したとおり、培養初

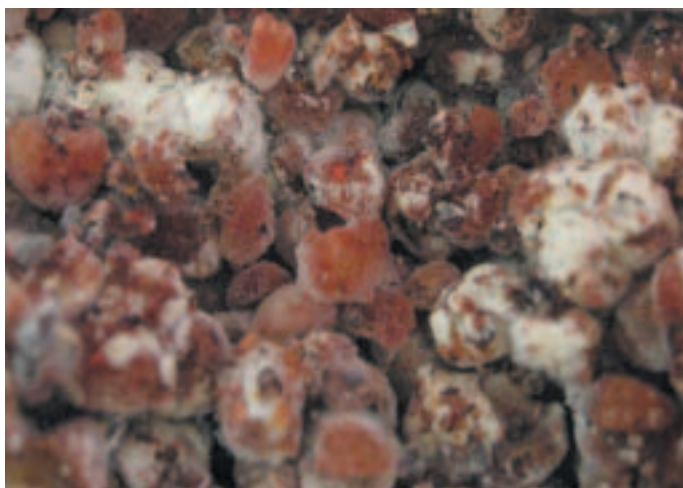


Fig. 1 *Hatomugi beni-koji* on the 21st cultivation day

Hatomugi was soaked in water for 10 h and then dehydrated. After autoclaving, the *Hatomugi* was mixed with mature *beni-koji* (10% of the total weight of *Hatomugi*) prepared with *Monascus pilosus* IFO 4520, and this mixture was incubated at $34 \pm 2^\circ\text{C}$ for 21 days.

期から色素の生産が始まり、培養15日でピークを迎え、その後は増加せずほぼ一定となることがわかった。このことから紅麹菌の菌体内で生産される色素等の代謝産物が、その菌体の生育期に生産されていると推測された。

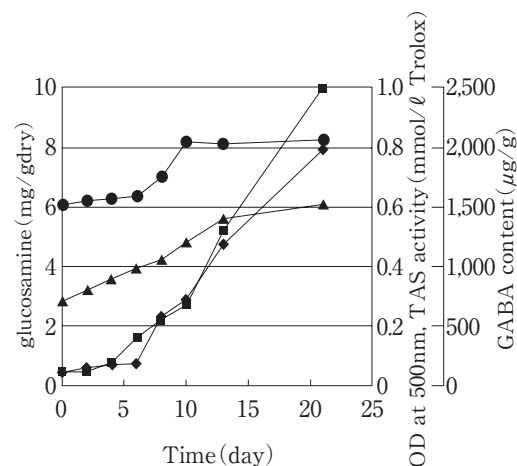


Fig. 2 Changes in glucosamine content, optical density at 500 nm, γ -amino butyric acid content, and total antioxidant status (TAS) during solid culture of *Hatomugi beni-koji*

The mycelial weight during solid culture of *Hatomugi beni-koji* was estimated from the glucosamine content (●). The OD₅₀₀ value (▲), GABA content (◆), and TAS (■) in *Hatomugi beni-koji* during solid culture were estimated as described in the text.

3. ハトムギ紅麹の固体培養におけるアミノ酸組成、GABA含量の推移

固体培養における遊離アミノ酸の推移をTable 1に示した。またGABA含量の推移をFig. 2に示した。培養21

Table 1 Changes in amino acid content in *Hatomugi beni-koji* during solid culture

($\mu\text{g/g}$ dry weight)

Amino acids	<i>Hatomugi</i> (Raw material)	<i>Hatomugi beni-koji</i> (7 th cultivation day)	<i>Hatomugi beni-koji</i> (21 st cultivation day)	<i>Beni-koji</i> (1 G-WL-K 5)
Asp.	6.3	114.4	2612.9	107.4
Thr.	5.6	608.3	606.5	150.5
Ser.	11.0	216.2	991.4	135.8
Glu.	19.7	573.4	1592.5	207.4
Gly.	6.0	132.4	1481.7	88.4
Ala.	12.9	482.5	7247.3	989.2
Cys.	3.3	56.3	261.3	96.8
Val.	6.2	195.2	2763.4	0
Met.	2.7	191.9	650.5	163.1
Ileu.	3.3	140.3	2109.7	76.8
Leu.	3.6	338.8	4987.1	171.6
Tyr.	1.0	189.2	1379.1	120.0
Phe.	6.7	484.2	838.7	115.8
GABA	2.9	83.7	2531.2	392.6
Lys.	5.6	269.0	1340.9	337.9
His.	12.1	514.3	650.5	156.8
Arg.	4.0	155.1	90.3	588.4
Pro.	15.4	467.7	2086.0	88.4

Hatomugi material was mixed with mature *beni-koji* (1 G-WL-K 5 Gunze Ltd., 10% of the total weight of *Hatomugi*) prepared with *Monascus pilosus*, and this mixture was incubated at $34 \pm 2^\circ\text{C}$ for 21 days. The amino acid content in *Hatomugi beni-koji* was measured as follows: 5 grams of the sample was soaked in 50ml of 60% ethanol solution for 3 days and the filtrate ($\phi 0.20 \mu\text{m}$) was analyzed using a JLC-500/V amino acid analyzer.

日目まで、アルギニンなどの一部のアミノ酸を除き、ほとんどのアミノ酸含量が増大した。アミノ酸の一種であるGABAは、血圧降下作用等の機能性を有することが知られている。供試ハトムギ中のグルタミン酸含有量は20 $\mu\text{g/g}$ 程度であり、GABA含有量は、3 $\mu\text{g/g}$ 程度であった。固体培養により、7日間後には83 $\mu\text{g/g}$ に、21日間後には2,531 $\mu\text{g/g}$ と増大した (Fig.2)。なお、米では、吸水過程において、GABA含量の増大が報告されているが¹⁶⁾、ハトムギについては顕著な増大は認められなかった (データは示していない)。

4. ハトムギ紅麴の固体培養における抗酸化活性の推移

固体培養における抗酸化活性 (TAS活性) の推移を Fig.2に示した。ハトムギ紅麴を培養すると、紅麴菌の生育に従って、抗酸化活性が高まることがわかった。このTAS活性は、紅麴菌の生産物、あるいはハトムギの代謝分解物等に由来すると考えられた。

TAS活性を示す機能性物質については、今後の解明が待たれる。この抗酸化性を有するハトムギ紅麴は、加齢や生体内酸化に起因する疾病予防に効果が期待される。

要 約

本報告では、ハトムギの、紅麴菌による固体培養法を用いた製造方法およびその生産物「ハトムギ紅麴」の機能性成分について検討した。ハトムギを紅麴菌で固体培養させることにより、遊離アミノ酸や、GABAの成分、および抗酸化活性が増大した。

- ① ハトムギは、7時間以上吸水処理が必要であり、ハトムギの紅麴菌による固体培養は、種用紅麴を10%以上用いる必要があった。
- ② 固体培養におけるハトムギ紅麴の菌体量、色度は、培養10日目まで増加した。
- ③ 固体培養におけるハトムギ紅麴のGABA含量は、培養日数の経過とともに顕著に増大した。
- ④ 固体培養におけるハトムギ紅麴の遊離アミノ酸は、培養日数の経過とともに顕著に増大した。
- ⑤ 固体培養におけるハトムギ紅麴の抗酸化活性 (TAS活性) は、培養日数の経過とともに顕著に増大した。

文 献

- 1) 日本公定書協会編：第9改正，日本薬局方解説書 (広川書店)，PD-900 (1976)
- 2) UKITA, T. and TANIMURA, A: Studies on the Anti-tumor Component in the Seeds of *Coix Lachryma-Jobi* L. VAR. *Ma-yuen* (ROMAN.), *Chem. Pharm. Bull. Japan*, **9**, 43~46 (1961)
- 3) Isolation of Ovulatory-Active Substances from Crops of Job's Tears (*Coix lacryma-jobi* L. var. *ma-yuen* STAPF.), *Chem. Pharm. Bull.*, **36** (8), 3147~3152 (1988)
- 4) 有坂将美・楠正 敏・谷地田武雄：ハトムギの食品への利用性に関する研究，新潟県食品研究所研究報告，**20**，65~70 (1985)
- 5) 広井忠夫：紅麴菌の食品加工への利用，*New Food Industry*, **30**，1~6 (1988)
- 6) 横井庄一：紅麴素材の開発と利用，食品と開発，**28**，47~50 (1993)
- 7) 木村幸一・鈴木真海：新註校定 国驛本草綱目，第7冊「紅麴」，pp.256~258 (1975)
- 8) 根岸恵則・黄 正財・蓮見恵司・村川茂雄・遠藤章：Monascus属におけるMonacolinK (Mevinolin) の生産性，*醗酵工学*，**64**，509~512 (1986)
- 9) 辻 敬介・市川富夫・田辺伸和・阿部士朗・樽井庄一・中川靖枝：紅麴菌体量が高血圧自然発症ラットの血圧降下に及ぼす影響，*日食工誌*，**39**，919~924 (1992)
- 10) 井上 清・向山美雄・辻 敬介・田辺伸和・高橋誠・阿部士朗・樽井庄一：紅麴抽出物が本態性高血圧者の血圧に及ぼす影響，*医学と薬学*，**31**，231~240 (1994)
- 11) 辻 敬介・中川靖枝・市川富夫：紅麴の抽出物と色素が高血圧自然発症ラットの血圧，ミネラル出納，コレステロール代謝に与える影響，*家政誌*，**44**，109~114 (1993)
- 12) 久代登志男・橋田 潤・河村 博・三ツ林裕己・斎藤友昭・鈴木裕太郎・高橋直之・石井利明・木村卓朗・辻 敬介・田辺伸和・浅野幸一・阿部士朗・樽井庄一：本態性高血圧に対する紅麴の臨床評価：プラセボを対照とした多施設二重盲検比較試験，*日腎会誌*，**38**，625~633 (1996)
- 13) 河野勇人・三宅剛史・産本弘之・野崎信行：抗酸化能を有する食品の開発，岡山県工業技術センター報告，**32**，57 (2006)
- 14) 秦 洋二：麴菌の固体培養での遺伝子発現特性 (ミニレビュー)，*日本農芸化学会誌*，**76**，715~718 (2002)
- 15) 谷村顕雄編：5-8-1 モナスカス色素 (紅麴の生成する色素)，天然着色料ハンドブック (光琳，東京)，444~453 (1979)
- 16) 三枝貴代：米胚芽中の γ -アミノ酪酸 (GABA) を増やす，*化学と生物*，**33**，211 (1995)

Effect of Pectin Contents and Polygalacturonase Activity on Cooked Rice Texture

TSUJII Yoshimasa^{*1§}, UWAYA Motoko^{*2}, UCHINO Masataka^{*2} and TAKANO Katsumi^{*2}

^{*1} Alpha Foods Co., Ltd., Kitaaraki 645, Taisya-cho, Izumo-shi, Shimane 699-0722

^{*2} Faculty of Applied Bioscience, Tokyo University of Agriculture, Sakuragaoka 1-1-1, Setagaya-ku, Tokyo 156-8502

The effect of the pectin decomposition in cooking rice was investigated. Samples were nine types of non-glutinous japonica and indica, we measured pectin content of the milled rice, as well as cooked rice and the polygalacturonase (PG) activity. Pectin content was 291~133 mg/kg (dry weight) in the milled rice and 179~89 mg/kg (dry weight) in the cooked rice. The short-grain japonica rice of non-glutinous type had more pectin than indica one. The pectin decreased by 40.7~33.3 % in cooking rice. PG activities of the samples were 35~23 U/g (fresh weight). The extent of decomposition of pectin was correlated to the values of hardness of cooked rice ($r = -0.800$, $p < 0.05$) and the PG activities of milled rice ($r = 0.677$, $p < 0.05$).

(Received Mar. 24, 2010 ; Accepted Jun. 28, 2010)

Key words : polygalacturonase, pectin, cooked rice, texture and cell wall

ポリガラクトクロナーゼ, ペクチン, 炊飯米, 物性, 細胞壁

Rice (*Oryza sativa*) is the staple diet of people in the East and Southeast Asia. The amount of rice produced worldwide is over 600 million tons per year. However, the tastes of cooked rice differs according to cultivars. For example, Koshihikari has softness and adhesiveness, and is Japanese people's favorite. The palatability of cooked rice is commonly based on its physical texture and chemical components^{1,2}. In particular, the hardness of cooked rice is an important physical characteristic and the evaluation of food quality evaluation. Shibuya reported that cooked rice is softened to decompose of the endogenous cell wall³. Therefore, the state of the cell wall of cooked rice is important in determining its taste.

During the softening of fruit and vegetable, pectins and hemicelluloses typically undergo decomposition and solubilization, which are considered to contribute to the loosening and disintegration of the cell walls⁴.

Modifications in the polymers of the cell walls are complicated and considered to involve the co-ordinated and interdependent actions of a range of enzymes for cell wall metabolism, such as polygalacturonase [PG] (E.C. 3.2.1.15), pectinesterase [PE] (E.C. 3.1.1.11), β -galactosidase (E.C. 3.2.1.

23), α -L-arabinofuranosidase (E.C. 3.2.1.55), endo-(1,4) β -glucanase (E.C. 3.2.1.4), xyloglucan endotransglycosylase (E.C. 2.4.1.207) and expansin⁴.

PG, an important pectolytic glycanase, is a primary enzyme playing a significant role in pectin dissolution in vivo. The role of PG in fruit ripening has been studied most extensively in tomatoes⁵. In addition, this characteristics of PG have been reported avocados⁶, bananas⁷, peaches⁸, pears⁹, rice shoots¹⁰, strawberries¹¹, tomatoes¹² and mangoes¹³. We reported that two isoforms of PG were purified from the endosperm of milled rice. It was surmised that they decompose the pectin during rice cooking and affect the texture of cooked rice¹⁴.

The extent of decomposition of pectin is the most important factor in the softening of fruits and vegetables and it has been reported apples¹⁵ and peaches^{16)~18)}. Since rice is eaten as a mass of cooked grain, the hardness of rice is determined not only by the softness of the cell walls but also by the bond between them. Therefore, the decomposition of pectin during cooking may be related to the texture of cooked rice. We reported the decomposition of pectin, hemicellulose, and cellulose, components of the cell walls, in cooking¹⁹. In this study, we measured the texture of cooked rice, the pectin decomposition

§ Corresponding author, E-mail : tsujii-y@alpha-come.co.jp

during cooking, polygalacturonase activities, and reported the relationships among them.

Materials and Methods

1. Rice samples and preparation

The short-grain japonica rice of non-glutinous type (Koshihikari, Akitakomachi, Hitomebore, Sasanishiki and Chinese 294 (C294)), the medium-grain japonica rice of non-glutinous type (M202 and Calrose) and the long-grain indica rice of non-glutinous type (L 205 and Thailand White Rice (TWR)) were used. Sample preparation was as follows: harvested in 2004, the samples were stored at low temperature (4°C) before the test. They were milled with a mixer type rice milling machine (MR-D 500 TWINBIRD Co., Tsubame), to an extent of 10% (degree of polish) or 90% milling yield.

These samples were supplied directly from Kitoku Shinryo Co., Ltd. (Rice wholesaler, Tokyo). This study has selected the rice commonly consumed and eaten on a daily in Japan (Koshihikari, Akitakomachi, Hitomebore and Sasanishiki), USA (M 202 and L 205), China (Chinese 294) and Thailand (Thailand White Rice).

2. Texture of cooked rice

The milled rice samples (10 g) were put into an aluminum cup (40mm×42mmΦ). As cooking conditions, the rice was soaked in 16 g of pure water at room temperature (25°C) for 1 hr and heated with an electric rice cooker (SR-3100, National Co., Tokyo) under ordinary cooking. The cooked rice samples were kept in the vessel for about 2 h at room temperature (25°C) and used for measurements. The hardness and stickiness of cooked milled rice were measured with a Creep meter (RE 2-33005 II, YAMADEN Co., Tokyo). The conditions for measurement were as follows: using a circular plunger (product made of stainless steel 40mmΦ), with the speed of 0.5mm/sec, and with compression carried out a clearance of high 17 mm. The measurement was conducted 10 times (20 cups), and the result was expressed as an average.

3. Measurement of Mido score

The Mido score was measured with the Toyo Mido meter MA-90 B (Toyo Seimaiki Seisakusho Co., Wakayama)^{20)~22)}. The 33 g of milled rice was packed into a cartridge, soaked into hot water for 12 min, and then the surface shininess of the cooked rice was measured with the commercial protocol.

4. Extraction of pectin

Milled rice and cooked rice were homogenized in two volumes of 0.5% ammonium oxalate¹⁴⁾. After continuous shaking for 1 hr, the precipitate was removed by centrifugation at $18,000 \times g$ for 30 min. Precipitation was carried out twice. The supernatant was collected. Alpha - amylase (1,000 U, Sigma-Aldrich Co.) was added to the supernatant and incubated at 37°C for 12 hr. This was added to 4 volumes of 99.5% ethanol and the resulting mixture was centrifuged at $18,000 \times g$ for 30 min. The precipitate was collected, and added to 80% ethanol, and then the mixture was centrifuged at $18,000 \times g$ for 30 min and this step was repeated 6 times. This fraction was a part of that of the pectin fraction. Pectin content was measured by the m-hydroxydiphenyl method²³⁾. Pectin decomposition was calculated from the pectin content of the raw rice and cooked rice.

5. Extraction of crude enzyme

The milled rice was added to water in the ratio of 1 : 1.8 and left it at the room temperature for 1 hr. This mixture was homogenized (15,000 rpm, 3 min); (NS-51 K, MICROTEC Co., Chiba) and was swung with a resipro shaker for 1 hr. Then the insoluble precipitate was removed by centrifugation at $18,000 \times g$ for 30 min. The supernatant was withdrawn and ammonium sulfate was added up to 90% saturation. The precipitate withdrawn by centrifugation at $18,000 \times g$ for 30 min was resuspended in 0.02 M phosphate buffer (pH 7) and dialyzed with the same buffer. The dialyzed sample was centrifuged at $18,000 \times g$ for 30 min to remove the precipitant. All the process was carried out at 4°C.

6. Enzyme assay

PG activity was assayed by measuring the amount of released reducing sugars. A standard assay was carried out by incubating 0.1ml of enzyme solution with 0.25ml of 0.5% pectic acid as a substrate and 0.15ml of 0.2 M McIlvaine buffer, pH 4.5 at 50°C for 60 min. After incubation, decomposed pectic acids were measured as residual sugar by the method of Somogyi - Nelson^{24), 25)} using a galacturonic acid as a standard. One unit of enzyme activity was defined as the extrication of 1 μM of reducing sugars formed per minute under a standard assay condition.

7. Statistical analysis

Analysis of variance was conducted using Statcel

(OMS publishing Inc.). Data were subjected to the analysis of variance followed by the Fisher's Protected Least Significant Difference to compare means at $p < 0.05$. Pearson's correlation coefficient was calculated²⁶⁾.

Results

1. Texture of cooked rice, Mido score, and the extent of decomposition of pectin during the rice cooking

Texture of cooked rice indicated a different values (Table 1). The values of hardness ranged from $2.10 \times 10^2 \text{ N/m}^2$ for Koshihikari to $4.98 \times 10^2 \text{ N/m}^2$ for TWR, and the values of adhesiveness ranged from $0.8 \times 10^3 \text{ J/m}^2$ for TWR to $24.0 \times 10^3 \text{ J/m}^2$ for Koshihikari ($p < 0.05$). The values of hardness of long grains were higher than those values of short ones.

The Mido scores (the quality of cooked rice) of the samples were measured with the Mido meter. Mido scores ranged from 70.4 for Koshihikari to 33.5 for TWR (Table 1). Mido scores were clearly different

among short, medium and long grains. The milled rice had pectin contents ranging from 133mg/kg (dry weight) for TWR to 291mg/kg for Sasanishiki (Table 1). On the basis of these results, it was found that short grains had more pectin than long ones. The medium grains had a pectin content between those of the short and long grains, Sasanishiki had a higher pectin content than the other short grains ($p < 0.05$). The cooked rice had pectin contents ranging from 89mg/kg (dry weight) for TWR to 179 mg/kg for Sasanishiki. As for cooked rice, pectin contents were higher in short grains than long grains. Pectin contents of cooked rice were less than those of milled one. Pectin contents decreased by about 33.0% for TWR to 40.7% for Koshihikari during rice cooking, respectively. The extent of decomposition of pectin for short grains was higher than that for long grains ($p < 0.05$).

2. Polygalacturonase Activity

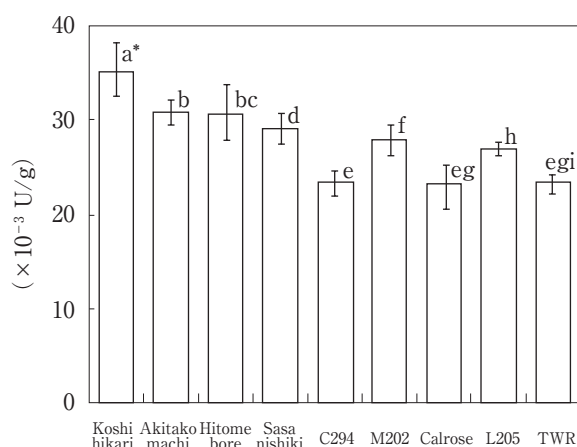
Polygalacturonase activity was 23 ~ 35 units/g (milled rice) for all the samples (Fig. 1). Koshihikari of

Table 1 Textures of cooked rice, Mido scores, and the extents of pectin decomposition during the rice cooking

Grain type	Sample	Hardness ($\times 10^2 \text{ N/m}^2$)	Adhesiveness ($\times 10^3 \text{ J/m}^2$)	Pectin (mg/1kg dry weight)		Pectin decomposition (%)	Mido SCORE
				Milled rice	Cooked rice		
Short	Koshihikari	2.10 ^{a*}	24.0 ^a	243 ^a	144 ^a	40.7 ^a	70.4
	Akitakomachi	2.40 ^b	20.9 ^b	245 ^{ab}	149 ^{ab}	39.2 ^{ac}	70.3
	Hitomebore	3.31 ^c	17.3 ^c	209 ^c	125 ^c	40.1 ^{ac}	69.4
	Sasanishiki	3.67 ^d	16.4 ^{cd}	291 ^d	179 ^d	38.2 ^{bc}	69.4
	C 294	4.28 ^f	10.0 ^e	189 ^e	114 ^e	39.2 ^{ac}	56.1
Medium	M 202	4.01 ^f	14.1 ^f	206 ^{cf}	127 ^{cf}	38.5 ^{bc}	64.9
	Calrose	4.50 ^g	10.3 ^e	182 ^{eg}	118 ^{ceg}	35.1 ^d	53.8
Long	L 205	4.59 ^h	1.0 ^g	159 ^h	106 ^h	33.4 ^{de}	34.1
	TWR	4.98 ⁱ	0.8 ^h	133 ⁱ	89 ⁱ	33.3 ^{de}	33.5

The Mido score is measured with Mido-meter.

*means for values followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$).



*Means in the columns with the same letter are not significantly different ($p < 0.05$).

Fig. 1 Polygalacturonase activities of different varieties milled rice

Table 2 Correlations between rice properties

		1	2	3	4
1	Polygalacturonase activity	1.000			
2	Pectin decomposition	0.677*	1.000		
3	Hardness	-0.908**	-0.800*	1.000	
4	Adhesiveness	0.798*	0.900**	-0.925**	1.000

*, **: significant at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively.

short grains had the highest polygalacturonase activity and other short grains had higher polygalacturonase activities than medium and long grains ($p < 0.05$).

3. Correlation

Correlation coefficients between the texture of cooked rice, the extent of decomposition of pectin during rice cooking and polygalacturonase activity are summarized in Table 2. The values of hardness values of cooked rice significantly correlated to the extent of decomposition of pectin ($r = -0.800$, $p < 0.05$). By increasing the extent of decomposition of pectin, the rice became increasingly soft. Polygalacturonase activity significantly correlated to the extent of decomposition of pectin ($r = 0.677$, $p < 0.05$), the values of adhesiveness ($r = 0.798$, $p < 0.05$) and those of hardness values ($r = -0.908$, $p < 0.01$) of cooked rice. This result supported the proposal that endospermous polygalacturonase can be used to estimate the texture of cooked rice.

Discussion

The cell walls of plants consist of rigid and inextensible cellulose microfibrils held together by a coextensive network of hemicellulose, pectin, and structural glycoproteins^{(27), (28)}. The spaces in the cellulose / hemicellulose network are filled with highly hydrated pectin which also form a network, held together by ester bonds between pectin molecules and by ionic calcium cross links between de-methyl-esterified homogalacturonans⁽⁴⁾. The cellulose / hemicellulose and pectin networks may be constituent by covalent links between pectin and xyloglucan which are the major hemicellulosic component⁽²⁹⁾. Thus, pectin acts as an intercellular cement to give firmness to tissues⁽³⁰⁾.

In our results, the extent of decomposition of pectin significantly correlated to the values of hardness of cooked rice ($r = -0.800$, $p < 0.05$). In both bananas and plantains, the extent of decomposition of pectin rose sharply in the first 10 min of cooking to 28% and 30%, respectively⁽³¹⁾. One factor is

polygalacturonase (PG), a primary enzyme playing a significant role in pectin dissolution. In our results, PG activity significantly correlated to the values of hardness of cooked rice ($r = -0.908$, $p < 0.01$) and the extent of decomposition of pectin ($r = 0.677$, $p < 0.05$). Moreover, PG activity significantly correlated to the the values of adhesiveness of cooked rice ($r = 0.798$, $p < 0.05$). Probably, the decomposition of pectin is considered to have an influence on promoting the outflow of starch as the cell walls break down. Also in pears, different softening behaviors were observed when the cultivars of pear, such as La France, Yali, and Nijisseiki, ripened. Endo-PG activity was high in La France, low in Nijisseiki and undetectable in Yali, and the expressions of PG genes were different among them⁽³²⁾.

Rice consists of plant tissues containing various kinds of chemical components such as starch (amylose, amylopectin, etc.), water, proteins (contents, enzymes, etc.), lipids, the components of cell wall components, minerals, physiologically active substances, pigments, fragrances, etc.⁽²⁾. Therefore, the hardness and adhesiveness of cooked rice are related to the physical structure and contents of components constituting a rice grain. From our results, it was found that the hardness and adhesiveness of cooked rice differ according to grain types, namely, short, medium and long grains. As for long grains, there was negligible adhesiveness⁽²⁾. The texture of cooked rice was related to the important factors such as contents of amylose and protein⁽²⁾. However, it is difficult to compare of new rice and old one on the basis of chemical components. Sensory tests in breeding programs to evaluate cooked rice are also important though such testing takes much time and work⁽²⁾. On the contrary, a rice eating quality evaluation system like the Mido-meter, which can estimate the taste of cooked rice, is simple and useful⁽³³⁾. Although measurement systems have been improved, and so rice eating quality evaluation systems have a margin of error which differs from

maker to maker and it cannot be said that these systems are satisfactory^{34)~36)}. We suggest that PG activities constitute a benchmark of the rice quality because of the physical effect of PG on cooked rice.

Conclusion

In this study, it was found that polygalacturonase (PG) activity affects the extent of decomposition of pectin and that it possibly influences the hardness and adhesiveness of cooked rice (grains). Since PG activities vary with the rice cultivars, it is considered that the texture of cooked rice has the same tendency. That is, it is thought that polygalacturonase activity is one of the factors which affects the tastes of cooked rice and a benchmark of high—palatability rice.

Acknowledgments We are thankful to the Kitoku-Shinryo Co, Ltd. for supplying us with rice grain.

Reference

- 1) OHTSUBO, K., TOYOSIMA, E. and OADOME, H.: Good taste of rice and rice cookers. Conditions of the delicious rice, *Food industry*, **38**, 18~26 (1995)
- 2) CHIKUBU, S.: Science of rice (1 st ed.) (Asakura Publishing Co., Ltd., Tokyo) pp.9~137 (1995)
- 3) SHIBUYA, N. and IWASAKI, T.: Effect of cell wall degrading enzymes on the cooking properties of milled rice and the texture of cooked rice, *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **31**, 656~660 (1984)
- 4) BRUMMELL, D. A. and HARPSTER, M. H.: Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants, *Plant Mol. Biol.*, **47**, 311~340 (2001)
- 5) SITRIT, Y. and BENNETT, A. B.: Regulation of tomato fruit polygalacturonase mRNA accumulation by ethylene: A Re~examination, *Plant Physiol.*, **116**, 1145~1150 (1998)
- 6) AWAD, M. and YOUNG, R. E.: Postharvest variation in cellulose, polygalacturonase, and pectinmethylesterase in avocado (Persea Americana Mill, cv. fuerte) fruits in relation to respiration and ethylene production, *Plant Physiol.*, **64**, 306~308 (1979)
- 7) NEELAM, P., SANJAY, M. and SANWAL, G. G.: Purification and characterization of polygalacturonase from banana fruit, *Phytochemistry*, **54**, 147~152 (2000)
- 8) PRESSEY, R. and AVANTS, J. K.: Separation and characterization of endopolygalacturonase and exopolygalacturonase from peaches, *Plant Physiol.*, **52**, 252~256 (1973)
- 9) ANDREWS, P.: Estimation of the molecular weights of proteins by Sephadex gel~filtration, *Biochem J.*, **91**, 222~233 (1964)
- 10) KONNO, H. and TSUMUKI, H.: An exo~polygalacturonase from rice shoots, *Phytochemistry*, **30**, 2115~2118 (1991)
- 11) NOGATA, Y., OHTA, H. and VORAGEN, A. G. J.: Polygalacturonase in strawberry fruit, *Phytochemistry*, **34**, 617~620 (1993)
- 12) HOBSON, G. E.: The firmness of tomato fruit in relation to polygalacturonase activity, *J. Hort. Sci.*, **40**, 66~72 (1965)
- 13) PRASANNA, V., PRABHA, T. N. and THARANATHAN, R. N.: Multiple forms of polygalacturonase from mango (Mangifera indica L. cv Alphonso) fruit, *Food Chemistry*, **95**, 30~36 (2006)
- 14) TUJII, Y., UCHINO, M. and TAKANO, K.: Purification and characterization of polygalacturonase from polished rice, *Food Pres. Sci.*, **33**, 189~196 (2007)
- 15) JIN, C. H., KASHIWAGI, T. and MIZUNO, M.: Structural changes in the cell wall pectic polysaccharides accompanied by softening of apple (Malus pumila Mill) cultivars Fuji and Kinsei, *Food Pres. Sci.*, **25**, 293~300 (1999)
- 16) MURAMATSU, N., TANAKA, K., ASAKURA, T. and HAJI, T.: Changes in cell wall polysaccharides and physical properties of peach (Prunus persica Batsch) fruit during ripening, *J. Japan Soc. Hort. Sc.*, **73**, 534~540 (2004)
- 17) MURAMATSU, N., TANAKA, K., ASAKURA, T., TATSUKI, M. and HAJI, T.: Isolation and Characterization of Alkali~soluble Pectic Polysaccharides in Peach (Prunus persica Batsch) Fruit, *J. Japan Soc. Hort. Sc.*, **73**, 541~545 (2004)
- 18) MURAMATSU, N., TANAKA, K. and ASAKURA, T.: Characterization of Water~soluble Pectic Polysaccharides in Peach (Prunus persica (L.) Batsch), *J. Japan Soc. Hort. Sc.*, **73**, 592~594 (2004)
- 19) TUJII, Y., KIOSE, N., TATSUDA, N., YAGUCHI, Y., UCHINO, M. and TAKANO, K.: Change in The Endospermous Cell Wall of Cooked Rice and Its Effects on The Palatability of Cooked Rice, *Food Pres. Sci.*, **35**, 127~134 (2009)
- 20) SAIKA, K.: The structure of a rice taste sensor and its application. "TOYO Taste~Meter", a practical measurement system for rice, *food industry*, **35**, 37~43 (1992)

- 21) UMEMOTO, T., AOKI, N. and EBITANI, T.: Naturally Occurring Variations in Starch Synthase Isoforms in Rice Endosperm, *J. Appl. Glycosci.*, **50**, 213~216 (2003)
- 22) SATO, H., SAITO, S. and TAIRA, T.: Selection for high palatable rice lines by use of Mido Meter and Rapid Visco Analyser, *Jpn. j. Crop. Sci.*, **72**, 390~394 (2003)
- 23) BLUMENKRANTZ, N. and ASBOE-HANSEN, G.: New method for quantitative determination of uronic acids, *Anal. Biochem.*, **54**, 484~449 (1973)
- 24) SOMOGYI, M.: Notes on sugar determination, *J. Biol. Chem.*, **195**, 19~23 (1952)
- 25) NELSON, N.: A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose, *J. Biol. Chem.*, **153**, 375~80 (1944)
- 26) YANAI, H.: 4 Steps Excel statistics (OMS publishing Inc., Saitama), pp.151~175 (1998)
- 27) McCANN, M. C. and ROBERTS, K.: Architecture of the primary cell wall. In: C. W. Lloyd (Ed.) The cytoskeletal basis of plant growth and form. (Academic Press, London), pp.109~129 (1992)
- 28) CARPITA, N. C. and GIBEAUT, D. M.: Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth, *Plant J.*, **3**, 1~30 (1993)
- 29) THOMPSON, J. E. and FRY, S. C.: Evidence for covalent linkage between xyloglucan and acidic pectins in suspension-cultured rose cells, *Planta*, **211**, 275~286 (2000)
- 30) ALONSO, J., RODRIGUEZ, M. T., CANET, W., ALONSO, J., RODRIGUEZ, T. and CANET, W.: Effect of calcium pretreatments on the texture of frozen cherries. Role of pectinesterase in the changes in the pectic materials, *Agric. Food Chem.*, **43**, 1011~1016 (1995)
- 31) BAOXIU, Q., KEITH, G. M. and JOHN, O.: Effect of cooking on Banana and Plantain texture, *J. Agric. Food Chem.*, **48**, 4221~4226 (2000)
- 32) HIWASA, K., NAKANO, R., HASHIMOTO, A., MATSUZAKI, M., MURAYAMA, H., INABA, A. and KUBO, Y.: European, Chinese and Japanese pear fruits exhibit differential softening characteristics during ripening, *J. Exp. Bot.*, **55**, 2281~9220 (2004)
- 33) OHTAKA, T., IWASAKI, T., SAIKA, K., HOSAKA, Y., TATSUBAYASHI, K., ISHII, Y., SHIMOHARA, Y., TORIBA, S., TANAKA, R., KATO, H. and KAMEI, Y.: The structure of a rice taste sensor and its application. The food industry. Vol. 35, No. 24, (KORIN PUBLISHING Co., Ltd. Japan) pp.20~72 (1992)
- 34) YANASE, H.: Quality assessment of the rice and applications. (1). Present condition and problems of evaluation equipment (taste meter, etc.) for rice eating quality, *J. Food Sci.*, **33**, 32~40 (1994)
- 35) KAWANO, S.: Present state and problems of rice eating quality measuring equipment using near infrared spectroscopy, *Syokuhin to Gijutsu*, **319**, 1~8 (1998)
- 36) KASUGA, O.: Standardization for rice eating quality evaluation system, *Journal of the Society of Agricultural Machinery*, **60**, 133~139 (1998)

テクスチャーの異なる米飯のペクチン含量とポリガラクトチュロナーゼ活性量の違いについて

辻井良政^{*1}・上矢素子^{*2}・内野昌孝^{*2}・高野克己^{*2}

^{*1} アルファー食品㈱

(〒699-0722 島根県出雲市大社町北荒木645)

^{*2} 東京農業大学生物応用化学科

(〒156-8502 東京都世田谷区桜丘1-1-1)

本研究で、短、中および長粒種の9サンプルを用いて、精白米および炊飯米のペクチン量とペクチンの分解に関与するポリガラクトチュロナーゼ活性量の検討を行った。ペクチン量は、短>中>長粒種の順で多く含まれ、精白米で291~133mg/kg(乾物)となり、炊飯米で179~89mg/kg(乾物)であった。ペクチン含量は炊飯米で減少し、分解率は40.7~33.3%で短粒種の分解率が高かった。ポリガラクトチュロナーゼ活性量は、35~23 U/g(精白米)となり短粒種で高い傾向を示し、ペクチン分解率($r=0.677$, $p<0.05$)の間に正の相関が得られた。また、米飯の硬さは、ポリガラクトチュロナーゼ活性量($r=-0.908$, $p<0.01$)とペクチン分解率($r=-0.800$, $p<0.05$)の間に負の相関が得られた。つまり、米胚乳中のポリガラクトチュロナーゼは炊飯過程にペクチンを分解し、細胞間結着を弱め、米飯を柔らかくすると考えられた。

(平成22年3月24日受付, 平成22年6月28日受理)

量販店における青果物の温度管理の一考察 あるスーパーチェーンの実測例

秋永孝義^{*§}・川崎聖司^{*}

^{*} 琉球大学農学部

Quality Management of Fresh Fruit and Vegetables at a Supermarket Chain in Japan

AKINAGA Takayoshi^{*} and KAWASAKI Seishi^{*}

^{*} University of the Ryukyus, 1 Senbaru, Nishihara, Okinawa 903-0213

Without the cooperation of the supermarket, it is very difficult to continuously measure the storage temperature within the display cases of fresh fruit and vegetables or the on-site temperature distribution of the supermarket. We conducted this research in cooperation with a major supermarket in the Okinawa Islands. The temperature and humidity during transportation from the central depot to some stores, and storage temperature of refrigerated display cases for fruits and vegetables were measured in order to investigate the quality management of fresh fruit and vegetables during daily delivery and sales operations in 56 stores in the Okinawa prefecture. Temperature and humidity were measured by recording thermometers every 10 seconds during delivery and in the refrigerated display cases. The surface temperature of the fruit was indirectly measured by an infrared thermometer. Delivery from the distribution center to the store was mainly done using a van-type truck without temperature control. Insulated roll box pallets and gel ices were used for the delivery of the fresh fruit and vegetables, so that they could be transported in conjunction with foods that required no refrigeration, hence reducing transportation costs. The cold storage temperature at the supermarket was 9°C on average, so fruit and vegetables could be kept in the store for a few days and not in refrigerated display cases or cold storage. However, if kept at this temperature for an extended period, chilling injury symptoms will occur on tropical and subtropical fruits in the display cases or during removal from storage.

(Received Feb. 22, 2010 ; Accepted Jun. 2, 2010)

Key words : *quality management, fruit and vegetables, supermarket, temperature, gel ice*

品質管理, 青果物, スーパーマーケット, 温度, 蓄冷剤

2009年現在,日本における国内産野菜の流通量(7,204千t)の約55.5%が一般の食料品店,16%が野菜小売店,9.6%が百貨店,総合スーパー,2%が果実小売店,0.5%がコンビニエンスストア,16.4%がその他のルートを通じて消費者へ届けられている¹⁾。全国展開をしているスーパーマーケットでは青果物の取り扱いに精通した専門家が,仕入れ・貯蔵・輸送・陳列等の指導を行っているが,一般のスーパーマーケットでは各店舗での温度管理や品質管理をパートタイムの従業員が担当することもある。パートタイムの従業員への青果物の取り扱いに関する研修も行われているが,一部の店舗では温

度管理の不備による熱帯果実の低温障害や不適切な陳列がみられる。

そこで,スーパーマーケットにおける青果物の流通全般にわたる問題点を把握するために温度管理の実態調査を企画した。しかし,スーパーマーケットにとっては店頭の青果物の温度管理や輸送方法を調査されることは,行政機関による調査以外には経験がないため,大学等の研究機関が協力を求めても承諾されることが希である。今回,沖縄県の大手のスーパーマーケット(A社)の協力を得て,沖縄県内全域での56か所の各店舗における青果物の輸送方法・温度管理・陳列の実態調査を実施する

^{*} 〒903-0213 沖縄県西原字千原1

[§] Corresponding author, E-mail: akinaga@agr.u-ryukyu.ac.jp

ことができた。2年にわたる調査の結果、示唆に富むデータがえられ、A社に品質向上のためのいくつかの勧告をすることができた。

調査方法

1. 配送センターから店舗までの温度管理

A社配送センター（沖縄県宜野湾市）からいくつかの店舗までの青果物の配送トラック内外の気温・湿度、保冷ボックス内外の気温・湿度を温湿度データロガー（T&D社製TR-72U+TR3110およびTR-71U+TR3110）で1分ごとに連続記録した。なお、青果物の品温は供試材料にヘッドレタスを選び、温度ロガー（T&D社製TR-71S+TR-0106）のサーミスタセンサーを茎の切断部から5cm挿入して芯温として10秒また1分ごとに連続測定した。図1にサーミスタ等の設置方法を示す。A社の配送センターでは特別の理由がない限り青果物は5～10℃に設定した冷蔵庫内で予冷した後冷蔵室内で図2に示す保冷カバー付きのロールボックスパレット（（以下保冷ボックスパレット）形式JIS Z0610RBF²⁾（外寸960W×765D×1460H）レタス10kg箱相当で14ケース積載）に積みつけて各店舗へ配送している。配送時間は沖縄本島内では最長でも2時間を超えることはないが、盛夏期には5℃前後に予冷した蓄冷剤（㈱イノアックコーポレーション



図1 レタスの品温測定の様子



図2 保冷ボックスパレット

右：内部 左：全景

品温測定用のダンボールは最上部に設置、バナナの箱は空箱

COS-4500（650L×425W×25D、蓄冷材CMC4.2kg）2個をボックスパレット内部の青果物のダンボール箱の上部において品温の上昇を防止している。配送用のトラックはA社関連の運送会社のリアゲートリフターを装備した積載量4tのバン型のディーゼルトラックまたはハイブリッドディーゼル車であった。4t車には通常ボックスパレットが12台搭載される。青果物の配送は午前中の第1便が一般的で、各車両満載状態で輸送される。2便目以降はドライカーゴと呼ばれる包装された菓子や飲料、日用品等搭載したボックスパレットと保冷ボックスパレットの混載になる。商品の補充は店舗の規模によるが、1日4回または5回程度行われている。A社は総合スーパー³⁾（食品、日用品、衣料品等を中心にテナント店舗を併設）14店舗、GMS³⁾（大型の総合スーパー）6店舗、食品スーパー（食品と日用品が中心）36店舗、衣料スーパー2店舗、外食チェーン17店舗、ホテル2店舗などを傘下にもつため（2007年当時）、配送の際にはこれらの店舗への配送貨物と青果物が混載されることもある。

2. 店舗における青果物の陳列とショーケースの温度湿度

測定の対象をそれぞれの店舗に陳列してあるすべての青果物の表面温度、ショーケース内の温湿度、店舗の青果物用の一時保管用の冷蔵庫の温度、陳列の状態を調査することにした。青果物の表面温度は放射温度計（堀場製IT-540）を用いて非接触で適宜測定した。ショーケース内の温湿度はショーケース内に設置した温湿度データロガー（T&D製 TR-72U+TR-3110）で1分ごとに測定した。なお、ショーケース内の温湿度はできる限り営業時間中のすべてを記録するように努めた。なお、ショーケースの寸法測定等は営業中には実施が困難なために調査していない。陳列の状況は適宜写真撮影により調査した。店舗の一時保管用の冷蔵庫は現場では「蘇生庫」と呼ばれているが、その内部の様子を写真撮影するとともに、温度計の設置の有無、温度管理表の有無、さらに温湿度を温湿度ローガー（T&D製TR-72U+TR-3110）で測定した。なお、一時保管庫は通常は1日以内にすべての商品が出库するように管理されている。調査は2007年9月～2008年9月に行ったので、調査終了後新規に開店した店舗は調査を実施していない。また、各店舗の一時保管用の冷蔵庫の調査は2007年度のみ実施した。

測定結果と考察

1. 配送中の温度の推移

測定例1. 配送センターから西原町在のGMSまで

測定日時：2008年7月19日：走行距離10.5km、輸送時間（準備時間を含む）32分、外気温32.5℃、湿度74%RH

1便目の輸送を利用して温度を計測。被計測ボックスパレットはトラック中央部に積載した。温度計を設置したレタスは保冷ボックスパレット（レタス10kg箱で14個積載可能）の最上部に積載した。トラックの気温は品温

測定を行った保冷ボックスパレットの天井部外側で計測した。以下の測定も被計測ボックスパレットの積載位置はほぼ同じである。

：蓄冷剤なし

トラック内の気温は図3に示すように上昇を始め、保冷ボックス内の気温も図4に示すように、到着時には10℃を超えていた。レタスの品温は図5に示すようにA社の基準である10℃以下を保持していた。

測定例2．配送センターから名護市在の総合スーパーまで

測定日時：2008年7月26日：走行距離59.5km，輸送時間90分，外気温32.2℃，湿度77%RH，蓄冷剤併用

レタスは蓄冷剤の下に置いた10kg詰めのダンボール箱に積載して輸送した。保冷ボックス内の気温は図6に示

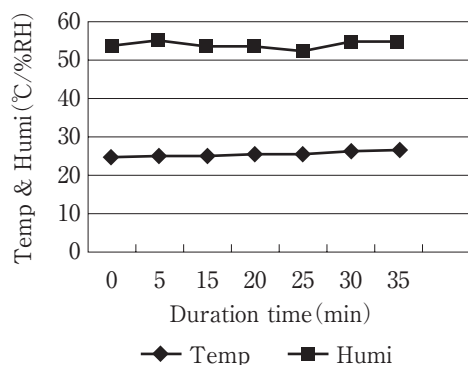


図3 輸送中のトラック内部の温湿度

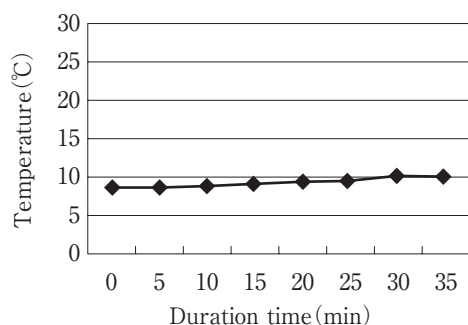


図4 輸送中の保冷ボックスパレット内部の温度

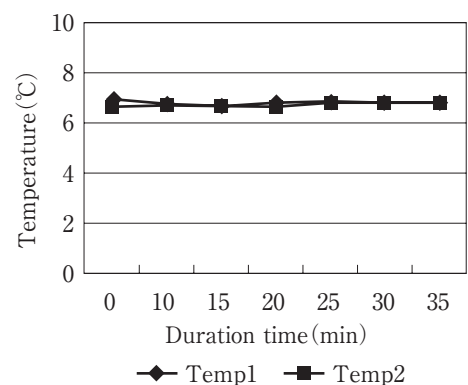


図5 レタスの品温変化

すように約6.5℃前後に保持されていた。レタスの品温は図7に示すように約0.5℃ほど上昇したが7.5℃以下に保持されていた。

測定例3．配送センターからうるま市石川在の総合スーパーまで

測定日時：2008年7月12日：走行距離30.7km，輸送時間53分，外気温32.5℃，湿度70%RH，蓄冷剤2個併用

図8に示すように、トラック内の気温は出発時の28℃から2℃程上昇し約30℃であった。荷下ろし後保冷ボックスパレット内気温は一時的に30℃近くまで上昇していた。しかし、レタスの品温は約7度で保たれていた。

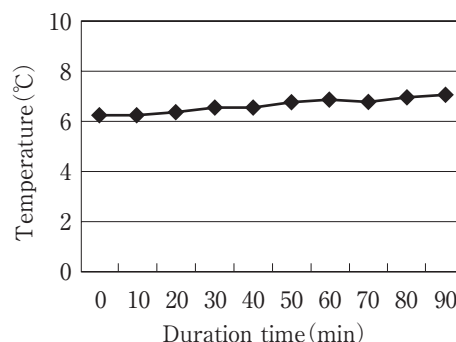


図6 保冷剤を併用した保冷ボックスパレット内の気温

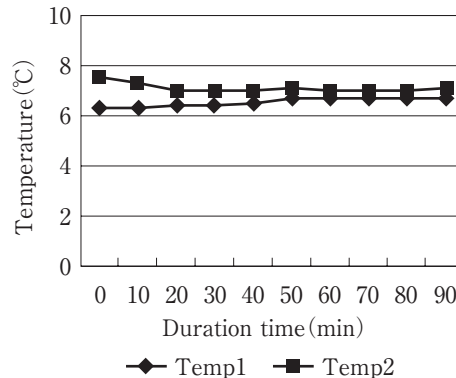


図7 蓄冷剤を併用した場合のレタスの品温

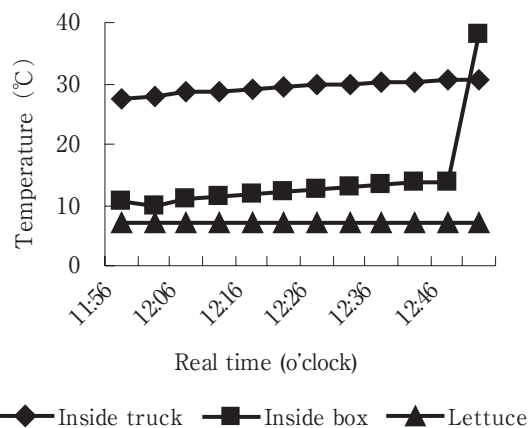


図8 輸送中のトラック内の気温
保冷ボックスパレット内の気温レタスの品温

輸送実験から高温期には青果物輸送には蓄冷剤を併用する現在の輸送体制は短時間の輸送が多い沖縄本島内の輸送に適していることを確認した。A社では冷凍食品には冷凍トラックを、0℃前後の輸送には保冷ボックスパレットより保冷性能がよい低温用のコンテナ（通称ボナコン）とドライアイスの併用、離島への輸送には冷蔵コンテナを利用している。青果物の場合、輸送温度が常温から0℃近い物があり、一律に輸送温度を設定できないことから、A社のように保冷ボックスパレットと蓄冷剤の組み合わせで温度管理を行うことは現実的な温度管理であり優れた方法と考えられる。

2. 各店舗での実態調査

A社のすべての店舗で実態調査を行ったが、本稿では代表的ないくつかの測定例を示す。

測定例1. 那覇市内食品スーパー

果実用ショーケース（多段型 サンヨー CVS-KB025型等⁴⁾）の設定温度は8℃、葉野菜用のショーケースの設定温度は10℃、バック詰め野菜のショーケースの設定温度は11℃であったが、ほぼ10℃以下に保持されていた。しかし、青果物の品温は放射温度計で測定する限り表1のように最大12℃の差があった。これは、商品の補充の時間と霜取りによる温度上昇に起因する物であると考えられた。果実はエチレングスの影響を考慮した陳列方法であった。葉野菜のショーケースでは図9に示すようにショーケースの通風を妨げる詰めかたであった。

測定例2. 西原町内GMS

GMSのため葉野菜、果実、バック詰め野菜の冷蔵ショーケースがそれぞれ2個設置されていた。冷蔵ショー

ケースの設定温度は10℃以下に管理すると表示してあるが、実際は葉野菜の設定温度は10℃と6℃であった。果実のショーケースの設定温度はいずれも6℃であった。バック詰め野菜のショーケースの設定温度は7℃と4℃であった。いずれのショーケースも営業時間中に2回自動霜取り装置が作動して一時的に気温が上昇していた。陳列されている青果物の表面温度は表2に示すように平均16℃でいずれも設定温度よりは高かった。これは、図10に示すように商品の補充の時期や、霜取りの影響と考えられる。また、果実のショーケースの設定温度はマンゴー、パッションフルーツ、パイナップル等の熱帯果実や低温障害が発生する温度域であり、注意が必要である。葉野菜用、バック詰め用のショーケースの温度もキュウリ、苦瓜、ナス等の熱帯原産の野菜には低温障害が発生しやすい温度である⁵⁾。葉野菜のショーケースではオープンショーケースのエアカーテン部分にも商品が積まれており、冷気の循環の障害になっていた。

表3に各店舗のショーケースの温度の測定結果を示すが、葉野菜用のショーケースの中段の平均温度は8℃、果実用のショーケースの中段または上段の平均温度は8℃に保持されていた。また、バック詰め野菜や香味野菜等のショーケースの中段の温度は平均8.5℃に保持されていた。設定温度についてはスーパーマーケット業界団体の一つであるオール日本スーパーマーケット協会では青果物の管理温度を5～7℃、湿度は90～95%RHを目安にしているが、低温障害を回避するため、商品は売り切りを原則とすることを明記してある⁶⁾。A社では多くの青果物を10℃以下の温度に保持することを目標にし

表1 ショーケースの表示温度と青果物の表面温度 (℃)

商 品	果 実	葉野菜	バック類	常温野菜
表示温度	9	10	11	21
表面温度最高	19.3	22.3	19.5	28
表面温度最低	16.7	14.3	15.5	20
表面温度平均	18.2	18.3	17.5	24

(那覇市内食品スーパーの測定例)

表面温度は放射温度計による測定値の平均



図9 冷気循環を妨げる陳列の一例

表2 ショーケースの表示温度と青果物の表面温度 (℃)

商 品	果 実	葉野菜	バック類	常温野菜
表示温度	8	11	9	21
表面温度最高	18.3	20.3	19	24
表面温度最低	12.7	12.7	12	17.7
表面温度平均	15.5	16.5	15.5	20.9

(西原町内GMSの測定例)

表面温度は放射温度計による測定値の平均

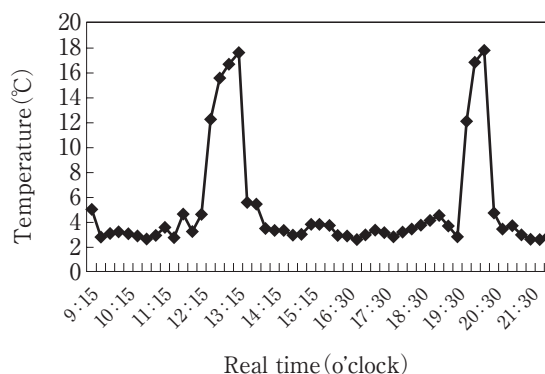


図10 営業中のショーケースの温度変化の一例

表3 各店舗の冷蔵ショーケース、冷蔵庫の平均温度

店舗 略号	葉野菜 用 1	葉野菜 用 2	果実用 1	果実用 2	その他	冷蔵庫	店舗 略号	葉野菜 用 1	葉野菜 用 2	果実用 1	果実用 2	その他	冷蔵庫
GMS 1	6		7		10	10	V10	7		8		10	
GMS 2	9		10		9		V11	10		10		9	
GMS 3	8		6		11	10	V12	9	8	10		10	
GMS 4	5	6	8	5		7	V13	5		5		5	8
GMS 5	7		10			9	V14	14		4		16	
GMS 6	9	3	4	12	9	10	V15	8		2		4	
SC 1	8		3			10	V16	9		10		8	
SC 2	2		8			10	V17	11		8			7
SC 3	10		6			9	V18	8		8		10	
SC 4	6		7			8	V19	9		12		8	6
SC 5	8		7			11	V20	11		8		9	
SC 6	8		7			11	V21	8		8		8	
SC 7	7		10				V22	7		8		7	
SC 8	9		10				V23	10		4		6	
SC 9	7		12			8.5	V24	7		7		8	6
SC10	9		10			5	V25	10		10		10	
SC11	8	3	8			9	V26	7		9			10
SC12	6		8				V27	10		8		11	
SC13	7	6	9	2	10	10	V28	10		10		11	
SC14	9				10	8	V29	8		9		7	
V 1	6				8		V30	7		8			9
V 2	8				9		V31	11		5		5	6
V 3	10				9	7	V32	7		7		6	
V 4	11				15	8	V33	9		10		8	
V 5	7				9	10	V34	11		9			
V 6	8					9	V35	10		9		9	10
V 7	10	2	8		10	9	V36	8		12		9	
V 8	10				10								
V 9	9				10		平均	8	4.7	8	6.8	8.5	8.9

*SC：総合スーパー，GMS：大型総合スーパー，V：食品スーパー
温度は平均温度（℃）

ていることからほとんどの店舗が社内基準を満足している。しかし、取り扱う青果物によっては10℃でも低温障害を起こすものもあり、一温度管理には限界がある。店舗によってはショーケースの温度分布を考慮して、実際の保持温度を変えている店舗もみられた。陳列方法も店舗によって異なり、図11に示すようにエチレン発生量が多い青果物とエチレン感受性が高い青果物を離して陳列してある店舗と図12に示すようにこれらの気遣いが感じられない店舗があった⁷⁾。

3. 各店舗の一時保管用冷蔵庫の調査

それぞれの店舗では青果物の一時保管用に冷蔵庫を設備している。各店舗とも配送センターから一日4回から5回の配送があるものの、青果物に関しては1便が基本であるので、営業時間中は冷蔵庫に保管してある商品が売り場に補充されている。表1に示すように冷蔵庫の温度は各店舗とも約9℃（6～11℃）に保持されていた。また、ほとんどの青果物がダンボール箱のまま冷蔵庫に

保管してあった。青果物とりわけ熱帯果実、野菜を取り扱う場合には保存期間が短いものの一温度管理は低温障害の危険性が伴う。他の調査では現実には熱帯果実のマンゴー等では追熟不良等が見受けられることが報告されており、冷蔵庫内では保冷ボックスを利用して冷えすぎを防ぐなどのさらなる工夫が必要であろう⁸⁾。

ま と め

盛夏期に青果物を配送センターから各店舗へ輸送する際の問題点と店舗における温度管理の問題点を探るべく、A社の協力を得て輸送の実態、各店舗での冷蔵ショーケースの温度を調査した。その結果、いくつかの問題点を指摘することができた。

- ① 蓄冷剤と保冷ボックスの併用でレタスの品温を10℃以下に保持することが可能であった。
- ② バン型のトラックでは室内温度が20℃を超えることもあり、渋滞等を考慮すると青果物の輸送は冷蔵



図11 エチレンの影響を考慮していない例
(リンゴの周りにブドウを陳列)



図12 エチレンの影響を考慮した例
(エチレンを発生する果実をまとめてある)

トラックが望ましい。

- ③ 冷蔵ショーケース内の温度は10℃以下を保持していたが、低温障害が懸念されるため15℃前後の温度帯のショーケースの設定が望まれる。
- ④ エチレンの発生を考慮していない店舗が14店舗、青果物の積み過ぎや板等を用いて冷気の循環を阻害している店舗が11店舗みられた。
- ⑤ 青果物の適切な温度管理，エチレンの影響の排除のために，青果物担当者への青果物の基礎知識の再研修が必要と考えられる。

謝 辞 2年にわたる実態調査を許可され，各種の便宜をいただいた株式会社サンエーの関係者各位と，卒業研究で実際の調査を担当した亀田知明（2007年度），砂川大輔（2008年度）両君に深甚の謝意を表します。

文 献

- 1) 農林水産省大臣官房統計部：国内産生鮮野菜の仕入量及び仕入先別割合，ポケット食品統計—平成20年度版一，p17（2009）
- 2) 日本規格協会：JISZ-0610 ボックスパレット，JISハンドブック62 物流2003，p834，日本規格協会（2003）
- 3) Wikipedia，総合スーパー，フリー百科事典ウィキペディア，<http://ja.wikipedia.org/> または株式会社サンエー 株主の皆様へ 第38期 営業の報告（平成20年3月1日から平成21年2月28日），p.14（2009）等
- 4) 三洋電機(株)，スーパー用ショーケースカタログ，CVS-EB085（3S）等，<http://products.jp.sanyo.com/biz/list/cvs.10html>（2010）
- 5) KADER, A. A : Postharvest Biology and Technology : An Overview, Postharvest Technology of Horticultural Crops, Third Ed., pp. 39 - 47, University of California, ANR Publication3311（2002）
- 6) オール日本スーパーマーケット協会：なぜ青果物の管理温度は5～7℃なのですか（<http://www.ajs.jp/ajslibrary/chishiki.html>）（2008）
- 7) THOMPSON, J., BRECHT, P. E. and HINSCH, T. : Compatible produce for long-distance transport, Refrigerated Trailer Transport of Perishable Products, p 3, University of California, ANR Publication 21614（2002）
- 8) AKINAGA, T. : The temperature management of tropical and subtropical fruits in Japan, Program & Abstracts 4th International Symposium on Tropical & Subtropical Fruits, p69, ISHS（2008）