

# 日本食品保蔵科学会誌

VOL. 38 NO. 1

---

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
	津久井重紀夫	東尾 久雄	古庄 律	松田 茂樹	

---

## <報 文>

リボン型製剤を用いたMA包装用段ボール箱内1-MCP処理が  
ニホンナシおよびリンゴの日持ち性に及ぼす影響…………… (3)  
／羽山裕子・櫻村芳記・阪本大輔・中村ゆり

水産物の熱物性値の測定と推算モデルの選定…………… (11)  
／村松良樹・坂口栄一郎・折笠貴寛  
永島俊夫・田川彰男

無洗米副産物を用いた*Lactobacillus brevis* IFO12005による $\gamma$ -アミノ酪酸の生産…………… (19)  
／大友理宣・保莉美佳・押部明德  
島 恵司・戸枝一喜

## <報 文> (英文)

モンゴル伝統薬草類の抗酸化性評価/キンロバイの抗酸化性…………… (25)  
／鳥居恭好・清水敬介・竹永章生

## <研究ノート> (英文)

キュウリ果実の低温による電解質漏出増大に対する高温とコンディショニング処理の効果…………… (31)  
／アフリナ アクター・山崎雅哉・加藤雅也  
高木敏彦・山脇和樹

## <総 説>

米飯の食味形成に及ぼす澱粉および細胞壁分解酵素作用に関する研究…………… (35)  
／辻井良政

## <講 座>

身近な野菜・果物～その起源から生産・消費まで (15)…………… (41)  
キウイフルーツ (II)…………… /矢野昌充

## <情 報>

食と農の資料館めぐり (6)  
大森 海苔のふるさと館…………… (47)  
／小山文大

<文献抄録>…………… (51)

<本会記事>…………… (52)

<会 告>…………… (53)

## Food Preservation Science

## CONTENTS OF VOL. 38 NO. 1 (2012)

## &lt;Article&gt; (Japanese)

- Effects of Treating Apples and Japanese Pears with a Ribbon-based  
Formulation of 1-MCP in a Corrugated Cardboard Box for MA Packaging  
HAYAMA Hiroko, KASHIMURA Yoshiki, SAKAMOTO Daisuke and NAKAMURA Yuri ..... ( 3 )
- Measurement of Thermophysical Properties and Selection of Prediction Model for Selected Seafood  
MURAMATSU Yoshiki, SAKAGUCHI Eiichiro, ORIKASA Takahiro,  
NAGASHIMA Toshio and TAGAWA Akiko ..... (11)
- Production of  $\gamma$ -Aminobutyric Acid from the By-product  
of Non-wash Rice by using *Lactobacillus brevis* IFO12005  
OHTOMO Masanobu, HOKARI Mika, OSHIBE Akinori,  
HATA Keishi and TOEDA Kazuki ..... (19)

## &lt;Article&gt; (English)

- Antioxidant Activities of Mongolian Medical Plants: *Pentaphylloides fruticosa*  
as a Traditional Source of Natural Antioxidants  
TORII Yasuyoshi, SHIMIZU Keisuke and TAKENAGA Fumio ..... (25)

## &lt;Research Note&gt; (English)

- Effect of Heat and Conditioning Treatments on Chilling-induced Increase  
in Electrolyte Leakage of Cucumber Fruit  
AFRINA Akter, YAMASAKI Masaya, KATO Masaya,  
TAKAGI Toshihiko and YAMAWAKI Kazuki ..... (31)

## &lt;Review&gt; (English)

- Effect of Starch and Cell Wall Degradation Endospermous Enzymes  
on the Palatability of Cooked Rice  
TSUJII Yoshimasa ..... (35)

## &lt;Serialization Lecture&gt; (Japanese)

- Kiwifruit (Part II)  
YANO Masamichi ..... (41)

## &lt;Information&gt; (Japanese)

- Omori Nori Museum  
KOYAMA Fumihiro ..... (47)

# リボン型製剤を用いたMA包装用段ボール箱内1-MCP処理がニホンナシおよびリンゴの日持ち性に及ぼす影響

羽山裕子\*<sup>§</sup>・檜村芳記\*<sup>†</sup>・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

† 現所属：農林水産省農林水産技術会議事務局

## Effects of Treating Apples and Japanese Pears with a Ribbon-based Formulation of 1-MCP in a Corrugated Cardboard Box for MA Packaging

HAYAMA Hiroko\*<sup>§</sup>, KASHIMURA Yoshiki\*<sup>†</sup>, SAKAMOTO Daisuke\* and NAKAMURA Yuri\*

\* National Institute of Fruit Tree Science, NARO, 2-1 Fujimoto, Tsukuba Ibaraki 305-8605

The effects of treating apples 'Orin' and Japanese pears 'Kosui' with 1-methylcyclopropene (1-MCP) constituted from a ribbon-like formulation were investigated. The 1-MCP was applied to the fruit in a corrugated cardboard box like those used for MA packaging (hereafter 'MA-box'). Since the ribbon-like formulation generates 1-MCP by absorbing water from the air, it is more practical than the commonly used powder formulations for small containers such as MA-boxes (the latter formulation must be dissolved in water before use). However, 1-MCP is generated at a much slower rate from the ribbon-like formulation, taking 6 hours for all 1-MCP to be liberated. At 3.2 hours, the 1-MCP concentration in the MA-boxes peaked at 66% of the maximum concentration achieved in the air-tight container. The period of time during which the concentration was more than 50% of that achieved in the air-tight container was estimated to be less than 4 hours. The effectiveness of the ribbon-like formulation of 1-MCP at maintaining the quality of 'Kosui' pears in an MA-box was almost equivalent to that of the standard 1-MCP treatment in a gas-tight container; the changes in flesh firmness, ground color, and pH of the fruit juice were extremely reduced during storage. For 'Orin' apples, treatment with the ribbon-like formulation in an MA-box was also effective for maintaining fruit quality during 5 months of cold storage, although it was relatively less effective than treating the apples in a gas-tight container. Overall, treating apples and Japanese pears in an MA-box with a ribbon-like formulation of 1-MCP is thought to be a very useful and convenient method for preserving fruit quality.

(Received Jun. 20, 2011; Accepted Sep. 29, 2011)

**Key words** : Ethylene, fruit quality, shelf-life, storage  
エチレン, 果実品質, 日持ち, 貯蔵

近年開発されたエチレン作用阻害剤1-methylcyclopropene (1-MCP)<sup>1)</sup>は、リンゴ (*Malus domestica* Borh.) などエチレンで老化が促進される様々な果実において、収穫果実に処理すると貯蔵中における果肉軟化や酸含量の低下、地色の黄化 (クロロフィルの分解)、やけ症などの発生を顕著に抑制し、日持ち性を向上させる<sup>2)</sup>ことから、実用化に向けて多くの研究が進められ、すでに米国、カナダ等では普及が進んでいる。日本においても、リンゴ<sup>3)~5)</sup>、ニホンナシ (*Pyrus pyrifolia*

Nakai)<sup>6),7)</sup>、カキ (*Diospyros kaki* Thunb.)<sup>8),9)</sup>において顕著な品質保持効果が認められており、2010年に農薬登録が取得された。

1-MCPは、常温・常圧において気体のため、実際の処理には、本物質を $\alpha$ -シクロデキストリン ( $\alpha$ -cyclodextrin) に包摂させた粉末状の製剤 (商品名スマートフレッシュ) が用いられる<sup>2)</sup>。本製剤を用いて1-MCPを処理する際は、果実を気密性の高い貯蔵庫等に密封し、庫内で本製剤を水に溶解させることにより1-MCPを発生

\* 〒305-8605 茨城県つくば市藤本2-1

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

† 〒100-8950 東京都千代田区霞ヶ関1-2-1

させ、12~24時間程度暴露する。したがって、本製剤を利用するためには、1日の処理対象となる果実全量を12~24時間密閉処理するための施設が必要となる。

このような状況を踏まえ、筆者らは、処理設備の確保が困難な個人出荷等の小規模な経営体で本製剤を利用することを想定し、簡易で機動的な処理方法として、Modified Atmosphere (MA) 包装用として市販されているガス透過性の低い段ボール箱を用いた処理 (MA段ボール箱処理) を検討し、通常の処理とほぼ同等の鮮度保持効果が得られることを明らかにした<sup>10)</sup>。しかしながら、本処理方法では、製剤を水に溶解させて発生させた1-MCPを処理容器である段ボール箱内に規定量封入する必要があり、実用的な技術とは言い難い。そこで、本研究では、新たに開発された大気中の水分を吸収することで1-MCPを発生するリボン型の1-MCP製剤を用いたMA段ボール箱処理について検討した。本処理では、製剤からの1-MCP発生に必要な水分が果実からの蒸散によって供給されるため、MA段ボール箱に果実を封かんする際に製剤を同封するだけで1-MCPを処理することができ、農家等でも容易に実施可能なものと期待される。

## 実験方法

### 1. 実験材料

実験には、茨城県内のニホンナシ生産農家の圃場から収穫したニホンナシ‘幸水’および岩手県内のリンゴ生産農家の圃場から収穫したリンゴ‘王林’の果実を用いた。

### 2. リボン型製剤を封入した気密性容器およびMA包装用段ボール箱における内部1-MCP濃度の変化

(1) 気密性容器内における濃度変化 内容積20ℓのプラスチック製気密性容器を用い、規格上52 $\mu$ ℓを発生するリボン型製剤 (SmartFresh™ Strips, ローム・アンド・ハース・ジャパン) を内部に貼り付け (想定される1-MCP濃度: 2.6 $\mu$ ℓ $\cdot$ ℓ<sup>-1</sup>), 容器内を加湿するために水500mlを入れたアルミトレイ (270mm $\times$ 205mm $\times$ 30mm) を入れて密封した。密封した容器は25℃の室内に放置し、経時的に容器内部の空気を抜き取り1-MCP濃度を測定した。1-MCP濃度は、櫻村ら<sup>10)</sup>と同様に、CP-Pora BOND Q (Varian. Inc.) カラム, および検出器として水素炎イオン化検出器 (FID) を装着したガスクロマトグラフ (GC-14A, 島津製作所) を用いて測定した。

(2) MA包装用段ボール箱内における濃度変化 MA包装用段ボール箱は、櫻村ら<sup>10)</sup>と同様にT-CA (日本トリーカンパッケージ) (内寸: 460mm $\times$ 300mm $\times$ 150mm, 内容積: 20.7ℓ) を用いた。厚さ0.9mmのOPP製粘着テープ (日東電工) を用いて下面をI貼りで閉じた後、2. (1)と同様に箱内部の1-MCP濃度が2.6 $\mu$ ℓ $\cdot$ ℓ<sup>-1</sup>となるように、規格上53.8 $\mu$ ℓの1-MCPを発生するリボン型製剤を箱の内面に貼り付けるとともに、水500mlを入れたアルミトレイを入れ、OPP製粘着テープを用いて上面をI

貼りによって封かんした。封かんした段ボール箱は25℃で保管し、経時的に箱内部の空気を抜き取り1-MCP濃度を測定した。

### 3. ニホンナシ‘幸水’における1-MCPの品質保持効果

2. (2) で用いたものと同規格のMA包装用段ボール箱3箱を用いた。各段ボール箱について、下面をOPP製粘着テープを用いてI貼りで閉じ、収穫当日のニホンナシ‘幸水’果実16果 (5kg相当) を詰めた後、箱内部の壁面に規格上20.7 $\mu$ ℓの1-MCPを発生するリボン型製剤 (規格上想定される1-MCP濃度が1 $\mu$ ℓ $\cdot$ ℓ<sup>-1</sup>となる量) を貼り付けた。その後、上面をI貼りにより封かんし、25℃で5日間貯蔵した後、粘着テープによる上面のシール部をカッターナイフで切り、開封した (リボン型製剤MA段ボール箱処理)。なお、開封直前に段ボール箱内の空気を抜き取り、エチレンおよび二酸化炭素の濃度を測定した。エチレン濃度は、活性アルミナカラムおよびFIDを装着したガスクロマトグラフ (GC-14A, 島津製作所) を用いて、二酸化炭素濃度は、Porapak Qカラムおよび熱伝導度検出器 (TCD) を装着したガスクロマトグラフ (GC-14A, 島津製作所) により測定した。開封後も果実は同段ボール箱内に入れたまま25℃で貯蔵した。また、対照として、通常の1-MCP処理方法に準じ、プラスチック製の気密性容器 (内容積: 20ℓ) 内において、リボン型製剤または粉末型製剤 (SmartFresh™, ローム・アンド・ハース・ジャパン) を用い、1 $\mu$ ℓ $\cdot$ ℓ<sup>-1</sup>の1-MCPを16時間暴露処理した区 (リボン型製剤気密性容器処理, 粉末型製剤気密性容器処理) を設けた。リボン型製剤気密性容器処理および粉末型製剤気密性容器処理の果実は1-MCP処理終了後、無処理果実は収穫後に、それぞれ通常のニホンナシ出荷用段ボール箱に入れ、25℃で貯蔵した。

収穫5日後、10日後、および14日後に各処理区から8果をランダムに取り出し、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。カラーチャート値は、4aを4, 4bを4.5, 5aを5, 5bを5.5としてそれぞれ数値化し、解析に用いた。さらに、果実の赤道部の切断面における果肉硬度を直径8mmの円柱形プローブを装着した硬度計 (FT011, 富士平工業) により測定するとともに、切断面の対向する2カ所から切り出した果肉から搾汁した果汁について、Brixを糖度計 (PR-100 $\alpha$ , アタゴ) で、pHをpHメーター (Twin-pH, HORIBA) によりそれぞれ測定した。収穫当日にも同様の調査を行った。

### 4. リンゴ‘王林’における1-MCPの品質保持効果

2. (2) で用いたものと同規格のMA包装用段ボール箱12箱を用いた。各段ボール箱について、下面をOPP製粘着テープを用いてI貼りで閉じ、収穫翌日のリンゴ‘王林’果実14果 (5kg相当) を詰めた後、6箱は、上面をI貼りにより封かんし (MA段ボール箱単独処理), 残りの6箱は、箱内部の壁面に20.7 $\mu$ ℓの1-MCPを発生す

るリボン型製剤（規格上想定される1-MCP濃度が $1 \mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ となる量）を貼り付けた後に上面をI貼りにより封かんした（リボン型製剤MA段ボール箱処理）。両処理区の段ボール箱はすべて、 $22^\circ\text{C}$ で1日間保管し、引き続き $2^\circ\text{C}$ で3か月間貯蔵した後に開封した。なお、開封直前に段ボール箱内の空気を抜き取り、エチレンおよび二酸化炭素の濃度を測定した。開封後も果実は同段ボール箱内に入れて $2^\circ\text{C}$ で貯蔵した。また、対照として、プラスチック製の気密性容器（内容積： $20 \ell$ ）内において、粉末型製剤を用い、 $1 \mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ の1-MCPを16時間暴露処理した区（粉末型製剤気密性容器処理）を設けた。粉末型製剤気密性容器処理および無処理の果実は、通常のリンゴ出荷用段ボール箱に入れて $2^\circ\text{C}$ で貯蔵した。

収穫3か月後、および5か月後に各処理区から12果をランダムに取り出し、果皮色をリンゴ‘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、果実の赤道部の切断面における果肉硬度を直径11mmの円柱形プローブを装着した硬度計（FT327, 富士平工業）により測定した。また、果肉から搾汁した果汁について、Brixを糖度計（PR-100 $\alpha$ , アタゴ）で測定するとともに、0.1N NaOH溶液を用いてpH8.1まで滴定することにより滴定酸度を求めた。収穫翌日にも同様の調査を行った。

### 実験結果

#### 1. リボン型製剤を封入した気密性容器およびMA包装用段ボール箱における内部1-MCP濃度の推移

リボン型製剤を封入した気密性容器内の1-MCP濃度は、密閉開始から時間の経過とともに上昇し、密閉開始2.5時間後には規格上想定される最高濃度（ $2.6 \mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ ）の75%、4時間後には96%、6時間後には100%となった（Fig. 1）。一方、リボン型製剤をMA包装用段ボール箱に封入した場合、箱内の1-MCP濃度は、封かん後時間の経過とともに上昇し、3.2時間後には規格上想定される最高濃度（ $2.6 \mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ ）の66%に達したが、その後低下し、6時間後には44%、8時間後には30%となった（Fig. 1）。なお、本実験を繰り返し実施したところ、箱

内の1-MCP濃度は箱により若干変動したが、傾向は同じであった。

#### 2. ニホンナシ‘幸水’における1-MCPの品質保持効果

リボン型製剤MA段ボール箱処理の開封時（収穫5日後）における箱内のエチレンおよび二酸化炭素の濃度は、それぞれ $0.27 \mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ および2.52%であった（Table 1）。なお、本処理において、果肉障害の発生は認められなかった。

各処理が貯蔵中の果実品質に及ぼす影響をTable 2に示した。収穫5日後では、各処理とも収穫時に比べてやや果肉硬度が低下し、何れの処理も無処理との間に有意な差は認められなかった。果汁のBrixおよびpHについても処理による差は認められなかった。一方、地色は、何れの1-MCP処理でも、カラーチャート値が無処理よりも低く、黄化が抑制された。特に、粉末型製剤を用いた気密性容器処理で抑制効果が高かった。収穫10日後では、処理方法にかかわらず1-MCP処理により、果肉硬度の低下、果汁pHの上昇、地色の黄化が顕著に抑制され、その程度に処理方法による違いは認められなかった。収穫14日後においても収穫10日後と同様に、果汁pHの上昇

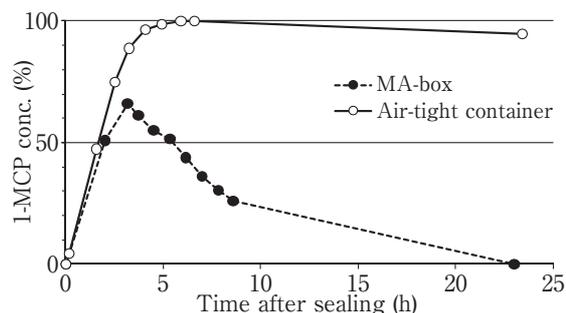


Fig. 1 Changes in 1-MCP concentrations with a ribbon-like formulation of 1-MCP in a corrugated cardboard box prepared for MA packaging (MA-box) (●) or an air-tight container (○)

Y axis is the percentage of maximum concentration achieved in the air-tight container.

Table 1 Gas concentrations in the corrugated cardboard boxes prepared for MA packaging (MA-box) treated with 1-MCP at breaking the seal

	Gas concentration in MA-box	
	Ethylene ( $\mu\text{l} \cdot \ell^{-1}$ )	CO <sub>2</sub> (%)
‘Kosui’ Japanese pears <sup>a</sup>		
MA-box + 1-MCP	$0.27 \pm 0.01^y$	$2.52 \pm 0.06$
‘Orin’ Apple <sup>a</sup>		
MA-box	$1.35 \pm 0.13$	$0.39 \pm 0.05$
MA-box + 1-MCP	$0.47 \pm 0.12$	$0.24 \pm 0.02$

<sup>a</sup>Gas concentration was measured at 5 days after treatment

<sup>y</sup>Means  $\pm$  SE (n = 3)

<sup>a</sup>Gas concentration was measured at 3 months after treatment

**Table 2** Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment using a corrugated cardboard box prepared for MA packaging (MA-box) with the ribbon-like formulation on the quality of 'Kosui' Japanese pears

Storage duration at 25°C	Treatment method		Ground color <sup>z</sup>	Flesh firmness (N)	Brix	pH
	Treatment container	1-MCP generator				
	Before treatment		2.1	26.1	13.6	5.24
5 days	Untreated <sup>y</sup>	—	4.4 c <sup>v</sup>	23.9	13.1	5.26
	MA-box <sup>x</sup>	Ribbon	3.4 b	23.4	12.8	5.31
	Gas-tight container <sup>w</sup>	Ribbon	2.9 ab	23.9	13.1	5.26
	Gas-tight container	Powder	2.3 a	22.7	13.1	5.30
10days	Untreated	—	5.0 b	18.9 a	13.0	5.40 b
	MA-box	Ribbon	3.3 a	22.4 b	12.2	5.19 a
	Gas-tight container	Ribbon	3.0 a	24.6 b	13.4	5.23 a
	Gas-tight container	Powder	3.0 a	22.9 b	12.5	5.23 a
14days	Untreated	—	5.7 b	16.1 a	12.9 ab	5.66 b
	MA-box	Ribbon	4.4 a	19.6 b	12.2 a	5.06 a
	Gas-tight container	Ribbon	4.4 a	23.1 c	13.1 b	4.98 a
	Gas-tight container	Powder	4.5 a	21.3 bc	13.3 b	5.09 a

<sup>z</sup>The ground color of the calyx end was rated using a scale from 1 (green) to 6 (yellow).

<sup>y</sup>Fruit were stored in a conventional corrugated cardboard box.

<sup>x</sup>Fruit were stored in a MA-box following treatment with ribbon-like formulation of 1-MCP (SmartFresh™Strips) in a sealed MA-box for 5 days at 25°C.

<sup>w</sup>Fruit were stored in a conventional corrugated cardboard box following treatment with 1-MCP constituted from a ribbon-like formulation (SmartFresh™Strips) or powder formulation (SmartFresh™) in a gas-tight container for 16h at 25°C.

<sup>v</sup>Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different at P(0.05) by Tukey-Kramer test (n = 8).

および地色の黄化は、1-MCP処理により抑制され、その程度に処理方法による違いは認められなかった。一方、果肉硬度低下の抑制効果については、リボン型製剤MA段ボール箱処理とリボン型製剤密閉容器処理との間に有意差が認められ、前者の果肉硬度が後者のそれよりも低かった。果汁のBrixは、リボン型製剤MA段ボール箱処理で、リボン型製剤および粉末型製剤を用いた気密性容器処理に比べて有意に低かった。

### 3. リンゴ '王林' における1-MCPの品質保持効果

MA段ボール箱開封時(貯蔵3か月後)における箱内のエチレンおよび二酸化炭素濃度は、1-MCP製剤を封入した箱で顕著に低かった(Table 1)。MA段ボール箱単独処理、リボン型製剤MA段ボール箱処理ともに果肉障害の発生は認められなかった。

各処理が貯蔵中の果実品質に及ぼす影響をTable 3に示した。貯蔵3か月後では、リボン型製剤MA段ボール箱処理で無処理に比べて果皮の黄化が抑制された。果肉硬度の低下は、処理方法にかかわらず1-MCP処理により抑制されたが、その効果の程度には違いが認められ、リボン型製剤MA段ボール箱処理の効果は、粉末型製剤気密性容器処理に比べて劣った。滴定酸度の低下は、粉末型製剤気密性容器処理により抑制されたが、リボン型製剤MA段ボール箱処理は、無処理との間に有意差はな

かった。また、貯蔵中における果実の減量歩合は、粉末型製剤気密性容器処理でも抑制されたが、MA段ボール箱単独処理およびリボン型製剤MA段ボール箱処理により顕著に抑制された。果汁のBrixは、粉末型製剤気密性容器処理でのみ有意に高かった。貯蔵5か月後においては、果皮色にリボン型製剤MA段ボール箱処理による抑制効果は認められなかったが、果肉硬度低下および果実の減量歩合は3か月後とほぼ同様の傾向が認められた。滴定酸度の低下は、処理方法にかかわらず、1-MCP処理により抑制された。また、無処理およびMA段ボール箱単独処理では貯蔵やけが発生し、特にMA段ボール箱単独処理で発生が多かった。

### 考 察

一般的に使用されている粉末型の1-MCP製剤は、水に溶解後20~30分間ですべての1-MCPを放出するとされているが<sup>2)</sup>、筆者らの試験では溶解後2~3分以内という極めて短時間ですべての1-MCPを放出した(未発表)。一方、本研究で用いたリボン型の1-MCP製剤の1-MCP放出は、粉末型製剤に比べ著しく緩慢であり、含有するすべての1-MCPを発生するまでの所要時間は6時間であった。このような特性は、リボン型製剤が時間をかけて大気中の水分を吸収することによるものと考えられる。

**Table 3** Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment using a corrugated cardboard box prepared by MA packaging (MA-box) with the ribbon-like formulation of 1-MCP on the quality of 'Orin' apples

Storage duration at 2 °C	Treatment method		Skin color <sup>z</sup>	Flesh firmness (N)	Brix	Titratable acidity (g·100ml <sup>-1</sup> as malic acid)	Weight loss (%)	Storage scald	
	Treatment container	1-MCP generator						Rating <sup>y</sup>	Percentage <sup>x</sup> (%)
	Before treatment		3.6	66.9	13.7	0.281			
3 months	Untreated <sup>w</sup>	—	5.8 b <sup>i</sup>	50.1 a	14.5 a	0.207 a	3.7 c		
	MA-box <sup>v</sup>	—	5.3 ab	47.0 a	14.5 a	0.206 a	0.9 a		
	MA-box	Ribbon	5.0 a	56.6 b	14.5 a	0.232 ab	0.8 a		
	Gas-tight container <sup>u</sup>	Powder	5.2 ab	64.0 c	15.2 b	0.246 b	3.1 b		
5 months	Untreated	—	5.9 ab	44.7 a	14.8 b	0.185 a	5.9 c	1.3	58.3
	MA-box	—	6.2 b	43.8 a	14.6 ab	0.162 a	1.2 a	2.3	91.7
	MA-box	Ribbon	5.2 ab	57.3 b	14.2 a	0.230 b	1.1 a	0	
	Gas-tight container	Powder	4.9 a	63.0 c	15.0 b	0.241 b	4.8 b	0	

<sup>z</sup>Skin color was rated using a scale from 1 (green) to 7 (yellow).

<sup>y</sup>Storage scald was rated using a scale from 0 (none) to 3 (severe).

<sup>x</sup>Percentage of the fruit that storage scald appeared.

<sup>w</sup>Fruit were stored in a conventional corrugated cardboard box at 2 °C following 1 day at 22 °C.

<sup>v</sup>Fruit were stored in a MA-box following treatment with or without ribbon-like formulation of 1-MCP (SmartFresh™ Strips) in a sealed MA-box for 3 months at 2 °C following 1 day at 22 °C.

<sup>u</sup>Fruit were stored in a conventional corrugated cardboard box following treatment with powder formulation of 1-MCP (SmartFresh™) in a gas-tight container for 16h at 22 °C.

<sup>i</sup>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)

また、今回供試したMA包装用段ボール箱は、一般的な段ボール箱に比べればガス透過性が低いものの、1-MCPを全く透過させないものではない<sup>10)</sup>。このため、本段ボール箱内でリボン型製剤を用いて1-MCPを放出させた場合、1-MCPが製剤から徐々に放出されたことに加え、放出された1-MCPの一部が箱外に透過したため、箱内の1-MCP濃度は最大でも目標とする濃度の6~7割程度に留まり、目標濃度の50%以上の濃度を保持できた時間も4時間に満たなかったものと考えられる。また、1-MCPは果実に吸着されることから<sup>11)</sup>、実際の処理時における箱内の1-MCP濃度は、果実を入れずに実施した試験 (Fig. 1) における値よりもさらに低かったものと予想される。しかしながら、ニホンナシ '幸水' に対する1-MCPの処理効果は、リボン型製剤を用い、MA段ボール箱内で処理しても、果肉硬度低下の抑制程度はやや劣るものの、気密性容器を用いた処理とほぼ同等の高い鮮度保持効果が得られた (Table 2)。同様に、リンゴ '王林' においても、リボン型製剤MA段ボール箱処理の効果は、粉末型製剤気密性容器処理に比べて若干劣ったものの、果肉硬度や滴定酸度の低下、貯蔵やけの発生が顕著に抑制されるなど高い鮮度保持効果が得られた (Table 3)。1-MCPの処理効果は、1-MCPの濃度および暴露時間によって左右されるが<sup>2)</sup>、ニホンナシ '幸水' では、今回

のリボン型製剤MA段ボール箱処理における暴露条件で、ほぼ最大に近い処理効果が得られる可能性が考えられる。本品種については、粉末型製剤を用いた気密施設内での処理においても、処理濃度が $0.5 \mu\text{l} \cdot \text{l}^{-1}$ でも $1 \mu\text{l} \cdot \text{l}^{-1}$ と同等の効果が得られること、さらに、処理濃度 $1 \mu\text{l} \cdot \text{l}^{-1}$ では4時間処理で16時間処理と同等の効果が得られることが報告されている<sup>7)</sup>。一方、リンゴ '王林' におけるMA段ボール箱内での1-MCP処理の効果は、粉末型製剤を用いた前報<sup>10)</sup>においても、気密性容器内における処理効果を下回っている。前報<sup>10)</sup>では処理開始時の1-MCP濃度を高くしても処理効果が高まらなかったことから、1-MCP濃度が原因とは考えにくいですが、リンゴ '王林' では、MA段ボール箱内における1-MCP処理の効果は、密閉容器内処理の効果に及ばない可能性がある。

本研究では、果実を出荷箱内で1-MCP処理した後に、そのまま流通・販売することを想定し、果実をリボン型製剤とともに封かん後そのまま開封せずに放置した。その結果、25 °Cで5日間放置したニホンナシ '幸水' の段ボール箱内には、果実が生成したエチレンや二酸化炭素が高濃度で蓄積していた (Table 1)。1-MCP処理された果実は、周囲にエチレンが存在しても老化が促進されることはないが、高濃度の二酸化炭素に長時間曝されると果肉褐変などの炭酸ガス障害が発生する可能性がある。

本研究では炭酸ガスに起因すると考えられる障害の発生は認められなかったが、果実の呼吸量は、収穫時の熟度や貯蔵温度などの影響を受けることから、実用化にあたってはさらに詳細な検討が必要である。リンゴ‘王林’においても、1-MCP処理の有無にかかわらずMA包装用段ボール箱内で3か月間の貯蔵することにより箱内に二酸化炭素が蓄積したが、その濃度はCA貯蔵等で用いられる炭酸ガス濃度(2%)<sup>12)</sup>以下に留まっており、ニホンナシ‘幸水’と同様、炭酸ガス障害の発生は認められなかった。なお、果実のエチレン生成や呼吸は1-MCP処理によって抑制されることから<sup>2)</sup>、リボン型製剤MA段ボール箱処理におけるエチレンおよび炭酸ガスの濃度はMA段ボール箱単独処理よりも低かったものと考えられる。

貯蔵中におけるリンゴ果実の減量歩合は、MA包装用段ボール箱内で貯蔵することにより顕著に減少した。MA包装用段ボール箱は、水蒸気の透過性も低いいため、通常の出荷用段ボール箱に比べて箱内部の湿度が高く、その結果蒸散が抑制されたものと考えられる。なお、MA包装用段ボール箱による減量歩合の抑制効果は、貯蔵3か月後に一度開封した後も持続しており、テープによる封かんの有無にかかわらずMA包装用段ボール箱内で貯蔵することにより蒸散が抑制されたものと考えられる。一方、粉末型製剤気密性容器処理と無処理を比較すると、両処理区の果実ともに通常の出荷用段ボール箱で貯蔵したが、減量歩合は前者が後者より少なく、既存の報告<sup>13),14)</sup>と同様、1-MCP処理により果実の蒸散が抑制されたものと考えられる。

なお、今回の研究では、箱内部のガス組成を品質保持に適した条件にするという観点からは貯蔵温度を設定しなかったため、果肉硬度や酸含量の低下抑制等、MA包装用段ボール箱自体による品質保持効果は認められなかった。また、1-MCP処理しなかった果実では、MA包装用段ボール箱で貯蔵することにより、通常の出荷用段ボール箱での貯蔵に比べて貯蔵やけの発生が多かった。貯蔵やけの発生には、エチレンが深く関与している<sup>15)</sup>ことから、MA段ボール箱内に蓄積したエチレンがやけ症の発生を助長した可能性が考えられる。

本研究の結果、ニホンナシ‘幸水’やリンゴ‘王林’では、果実をリボン型の1-MCP製剤とともにMA包装用段ボール箱に入れ、粘着テープを用いてI貼りで封かんすることにより、高い鮮度保持効果を得られることが明らかとなった。本手法は、これまでに報告した粉末型製剤を用いた方法<sup>10)</sup>に比べて実用性が高いより簡便な方法であることから、消費者への直接販売等における利用が期待できる。

## 要 約

ニホンナシ‘幸水’やリンゴ‘王林’を用い、リボン型製剤を用いてMA包装用段ボール箱内で1-

methylcyclopropene (1-MCP) を処理した場合の鮮度保持効果について検討した。リボン型の1-MCP製剤は、水に溶解させて1-MCPを発生させる粉末型の製剤に比べて1-MCPの発生速度が遅く、規定量の1-MCPを発生するまでの所要時間は6時間であった。また、MA包装用段ボール箱内でリボン型製剤を用いて1-MCPを発生させた場合、箱内の1-MCPの濃度は最大でも規定量の66%であり、規定量の50%以上の濃度を保持した時間は4時間に満たないものと推測された。一方、ニホンナシ‘幸水’やリンゴ‘王林’に対する1-MCPの処理効果は、リボン型製剤を用いてMA包装用段ボール箱内で処理しても、果肉硬度の低下、地色の黄化、pHの上昇が顕著に抑制され、粉末型製剤を用いて気密性容器内で処理した場合とほぼ同等の高い鮮度保持効果が得られた。本方法を用いれば、処理庫等の設備がなくても簡便に1-MCP処理できることから、個人出荷等の小規模な経営体においても利用しやすいより実用的な処理方法として期待できる。

## 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) 艾乃吐拉・木合塔尔・壽松木章・小森貞男: 1-メチルシクロプロペン (1-MCP) 処理がリンゴ3品種の貯蔵性に及ぼす影響, *園学研*, **4**, 439~443 (2005)
- 4) TATSUKI, M., ENDO, A. and OKAWA, H.: Influence of time from harvest to 1-MCP treatment on apple fruit quality and expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors, *Postharvest Biol. Technol.*, **43**, 28~35 (2007)
- 5) 櫻村芳記・羽山裕子・阪本大輔: 収穫から処理までの日数および保管温度がリンゴ‘ふじ’における1-メチルシクロプロペンの品質保持効果に及ぼす影響, *園学研*, **9**, 361~366 (2010)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) HARIMA, S., NAKANO, R., YAMAUCHI, S., KITANO, Y., YAMAMOTO, Y., INABA, A. and KUBO, Y.: Extending shelf-life of astringent persimmon

- (*Diospyros kaki* Thunb.) fruit by 1-MCP, *Postharvest Biol. Technol.*, **29**, 318~323 (2003)
- 9) 倉橋孝夫・松本敏一・板村裕之: 1-methylcyclopropene (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凍後の軟化と日持ち性に及ぼす影響, *園学雑*, **74**, 63~67 (2005)
- 10) 樫村芳記・羽山裕子・阪本大輔・中村ゆり: 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, *日食保蔵誌*, **36**, 165~171 (2010)
- 11) NANTHACHAL, N., RATANACHINAKORN, B., KOSITTRAKUN, M. and BEAUDRY, R. M.: Absorption of 1-MCP by fresh produce, *Postharvest Biol. Technol.*, **43**, 291~297 (2007)
- 12) 工藤亜義: CA貯蔵の現状と今後の展開—りんごCA貯蔵の現状と問題点—, *日食保蔵学第56回大会講演要旨集*, 5~8 (2007)
- 13) AKBUDAK, B., OZER, M. H., ERTURK, U. and CAVUSOGLU, S.: Response of 1-methylcyclopropene treated “Granny Smith” apple fruit to air and controlled atmosphere storage conditions, *J. Food Quality*, **32**, 18~33 (2009)
- 14) WEIS, S. A. and BRAMLAGE, W. J.: 1-MCP: How useful can it be on New England apples? *Fruit Notes*, **67**, 5~9 (2002)
- 15) DU, Z. and BRAMLAGE, W. J.: Roles of ethylene in the development of superficial scald in ‘Cortland’ apples, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **119**, 516~523 (1994)
- (平成23年6月20日受付, 平成23年9月29日受理)
-

## 水産物の熱物性値の測定と推算モデルの選定

村松良樹<sup>\*1§</sup>・坂口栄一郎<sup>\*2</sup>・折笠貴寛<sup>\*3</sup>  
永島俊夫<sup>\*1</sup>・田川彰男<sup>\*4</sup>

\* 1 東京農業大学生物産業学部食品香粧学科

\* 2 東京農業大学地域環境科学部生産環境工学科

\* 3 宮城大学食産業学部環境システム学科

\* 4 千葉大学大学院園芸学研究科

### Measurement of Thermophysical Properties and Selection of Prediction Model for Selected Seafood

MURAMATSU Yoshiki<sup>\*1§</sup>, SAKAGUCHI Eiichiro<sup>\*2</sup>, ORIKASA Takahiro<sup>\*3</sup>,  
NAGASHIMA Toshio<sup>\*1</sup> and TAGAWA Akio<sup>\*4</sup>

\* 1 *Department of Food and Cosmetic Science, Faculty of Bioindustry, Tokyo University of Agriculture, 196, Yasaka, Abashiri-shi, Hokkaido 099-2493*

\* 2 *Department of Bioproduction and Environment Engineering, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture, 1-1-1, Sakuraoka, Setagaya-ku, Tokyo 156-8502*

\* 3 *Department of Environmental Sciences, School of Food, Agricultural and Environmental Sciences, Miyagi University, 2-2-1 Hatadate, Taihaku-ku, Sendai-shi, Miyagi 982-0215*

\* 4 *Graduate School of Horticulture, Chiba University, 648, Matsudo, Matsudo-shi Chiba 271-8510*

The thermophysical properties (thermal conductivity, thermal diffusivity, and specific heat) of salmon, skipjack, and scallop were determined at seven different temperatures between 5° C and 50° C. The transient heat flow probe method was used for the simultaneous estimation of the thermophysical properties of samples of these fish. The effects of temperature on the thermophysical properties of the samples were investigated. The thermal conductivity and thermal diffusivity of the samples increased with the temperature. The specific heat of the samples was almost equal in the range of measurement temperatures. The observed values of the thermal conductivity of the samples were compared with the values calculated from three typical structural models for thermal conductivity, i.e., the series, parallel, and random models. The most suitable prediction model for the samples was the parallel model. The observed values of the thermal diffusivity for the samples agreed well with the values calculated from Martens's equation. An additive relationship exists between the specific heat of the sample, the composition, and the specific heat of each component.

(Received Jul. 4, 2011 ; Accepted Sep. 29, 2011)

**Key words** : *thermal conductivity, thermal diffusivity, specific heat, probe method, seafood*

熱伝導率, 熱拡散率, 比熱, プローブ法, 水産物

食品の熱物性値は、それらの加工処理装置・設備の設計や合理的操作方法を検討するために必要である。これまで様々な食品の熱物性値が測定・報告されており、これらは熱物性ハンドブック<sup>1)</sup>などのいくつかの書籍<sup>2)~4)</sup>に取りまとめられている。食品の種類は多岐にわたるため、

すべての食品に関する熱物性値の実験データを得ることは極めて難しい。そのため、簡便に、しかも精度よく食品の熱物性値を予測・推算できる手法や予測モデルがあれば、実用上便利である。

水産物の熱物性値に関して、前田と田中 (1987)<sup>5)</sup>,

\* 1 〒099-2493 北海道網走市八坂196

§ Corresponding author, E-mail : y-murama@bioindustry.nodai.ac.jp

\* 2 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1

\* 3 〒982-0215 宮城県仙台市太白区旗立 2 丁目 2-1

\* 4 〒271-8510 千葉県松戸市松戸648

(1988)<sup>6)</sup>, および田中ら (1989)<sup>7)</sup>は, 平行平板法によりマグロの熱伝導率を測定している。エビやホタテ貝柱, イカ, タコ, カツオ, カキむき身の熱伝導率は非定常プローブ法により測定<sup>8)~12)</sup>されている。KUMBHARら (1981)<sup>13)</sup>は, Nixの方法により12種類の水産物の熱伝導率と熱拡散率を測定し, これらの熱物性値と温度の関係を調べている。また, DSCを用いてKARUNAKARら (1998)<sup>9)</sup>, ZHANGら (2001)<sup>11)</sup>, HUとMALLIKARJUWAN (2005)<sup>12)</sup>は, エビやカツオ, カキのむき身の比熱を求めている。最近では, 常圧および高圧下におけるサケの熱伝導率がZHUら (2008)<sup>14)</sup>により報告されているが, ほかの農産物や食品に比べて, 水産物の熱物性値, 特に熱拡散率に関するデータの蓄積量や同一試料の同一条件下において複数の熱物性値を測定した例は少ない。また, 貯蔵や調理過程を想定して, 温度を変化させて水産物の熱伝導率や熱拡散率を測定した例は, KARUNAKARら (1998)<sup>9)</sup>, HUとMALLIKARJUWAN (2005)<sup>12)</sup>, KUMBHARら (1981)<sup>13)</sup>による報告がみられる程度である。ましてやサケやカツオ, ホタテ貝柱の熱伝導率や熱拡散率を, 数段階の温度条件下で測定した例はほとんどない。

食品の熱物性値は, 温度ばかりでなく, 成分組成や構造にも依存する<sup>15)</sup>。そのため, これらを加味した形の熱物性値予測モデルを求めておけば, 実用上より便利になると考えられる。しかし, これまでの水産物の熱物性値に関する研究では, その熱物性値を, 温度や水分の関数として表している例はいくつかあるが, 成分組成や構造との関係も加味した形のモデルで整理した例は極めて少ない。

これらのことから本研究では, 5~50℃の温度範囲において, 3種類の水産物(サケ, カツオ, ホタテ貝柱)の3種類の熱物性値(熱伝導率, 熱拡散率, 比熱)を同一条件下で測定した。熱物性値の測定には, 筆者らが提案した非定常プローブ法による熱物性値の同時推算方法<sup>16)</sup>を採用した。得られたデータを基に試料の熱物性値と温度との関係を調べるとともに, 試料の熱物性値を精度よく推算できる予測モデルを把握したので報告する。

## 実験方法

### 1. 試料

試料は, 量販店で購入したサケ, カツオ, およびホタテ貝柱の3種類である。試料の水分は加熱乾燥式水分計(A&D, MX-50)を用いて測定した。この際, 1辺の長さが1cm程度の立方体に成形した試料を約5g用い, 加熱温度160℃で, 試料の質量減少量が1分間で0.05g以下になったとき平衡状態に達したとみなして, このときの値を試料水分とした。その結果, 試料の湿量基準含水率(以下, 水分と記す)の測定値は, それぞれ73.8%(サケ), 69.6%(カツオ), 77.0%(ホタテ貝柱)となり, 食品成分表<sup>17)</sup>の値とほぼ一致した。これらのことから本研究では, 試料水分の測定結果を基に食品成分表<sup>17)</sup>から算出した試料の成分組成を熱物性値の解析に用いることにした。このようにして算出した試料の成分組成をTable 1に示す。

試料部位の違いが熱物性値に及ぼす影響を, サケの切り身を用いて調べた。その際, 3枚におろしたサケの切り身の背側と腹側から, それぞれ幅3cm×厚さ2cm×長さ17cm程度の大きさに切り出した試料を測定に用いた。その結果, 10℃において, サケの熱伝導率は, 背側では0.499W/m・℃, 腹側では0.498W/m・℃となった。また, 10℃におけるサケの熱拡散率は, 背側と腹側双方とも $1.14 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$ となった。このように切り身の部位が異なっても試料の熱物性値はほぼ同じ値であった。

### 2. プローブ法による熱物性値の測定方法

非定常プローブ法は試料中に入れたプローブの温度変化を測定し, この温度変化のデータを用いて試料の熱物性値を求める方法である。本研究では, 非定常プローブ法により試料の熱物性値を5, 10, 15, 20, 30, 40, 50℃の7段階の温度条件下で測定した。水産物の貯蔵や調理・加工過程を考慮すると, より低温度領域および高温度領域での測定が必要となるが, 本研究では使用した測定装置の性能や測定精度の都合上, 調理の前処理段階までの温度領域において試料の熱物性値を測定することにし

Table 1 Amount (mass fraction and volume fraction) of each component for each sample

Sample	Content, %					
	Moisture	Protein	Fat	Carbohydrate	Fiber	Ash
Salmon						
Mass fraction	73.8	21.1	3.9	0.1	0.0	1.1
Volume fraction	78.1	16.9	4.5	0.1	0.0	0.5
Skipjack						
Mass fraction	69.6	28.2	0.6	0.1	0.0	1.5
Volume fraction	75.5	23.1	0.7	0.1	0.0	0.7
Scallop						
Mass fraction	77.0	17.0	0.1	4.6	0.0	1.3
Volume fraction	82.5	13.7	0.1	3.1	0.0	0.6

た。熱物性測定の際、サケおよびカツオに関しては、幅 3 cm × 厚さ 2 cm × 長さ 17 cm 程度の大きさに成形した試料を用いた。これらの試料については、プローブは、幅 3 cm × 厚さ 2 cm の断面の中央に、試料の筋繊維方向に対して垂直になるように挿入した。供試したホタテ貝柱の大きさおよび形状は直径 3 cm × 高さ 2.5 cm 程度の円柱状であった。熱物性測定の際には、これを 5 つ円柱状になるように重ねて直径 3 cm × 高さ 12.5 cm にした。ホタテ貝柱の熱物性測定の際には、プローブは、直径 3 cm の断面の中央に、筋繊維に対して平行になるように挿入した。

本研究で用いた測定装置および測定方法は文献<sup>16)</sup>と同様である。すなわち、プローブと試料が熱的平衡に達した後、プローブ内の加熱線に電流を流し、このときのプローブ内熱電対の示す熱起電力変化（プローブの温度変化）をアンプで増幅してデータロガーに記録した。本研究では、設定温度に制御した水に試料を浸漬して試料温度を制御した。この際、試料の水分変化を防ぐために、試料を厚さ 0.01 mm の食品包装用ラップフィルム（原材料：ポリ塩化ビニリデン）で包み、さらにその上を厚さ 0.01 mm のビニール袋（原材料：ポリエチレン）で包んだ。試料および試料中に挿入したプローブを設定温度と平衡化させるために要した時間は 1.5 ~ 2.0 時間であった。本研究ではアンプの精度や予備実験の結果からプローブの温度上昇が 2 °C 程度になるように加熱線に流れる電流を 130 mA、通電時間を 3 分間とした。プローブの温度変化は 1 秒間隔で 3 分間測定した。

### 3. 熱物性値の推算方法<sup>16), 18)</sup>

測定データであるプローブ温度の経時変化を測定条件ごとに以下の式 (1)<sup>16), 18)</sup>に最小二乗法を適用してあてはめ、パラメータ  $F, G$  の値を決定した。

$$\Delta\theta = F \cdot \ln t + G \dots\dots\dots (1)$$

$\Delta\theta$  :  $t$  秒後におけるプローブの温度差 (°C).  $t$  : 加熱経過時間 (s).  $F$  : 定数 (°C).  $G$  : 定数 (°C).

式 (1) は、プローブの温度変化と時間の関係を表した式で、ある一定の時間を経過すると、プローブの温度差 ( $\Delta\theta$ ) と加熱経過時間の対数 ( $\ln t$ ) の間に直線関係が成り立ち、その直線の勾配が  $F$ 、切片が  $G$  であることを示している。ここで、パラメータ  $F, G$  は、それぞれ以下のように定義される<sup>16), 18)</sup>。

$$F = \frac{q' \times Pc}{4\pi\lambda} \dots\dots\dots (2)$$

$$G = \frac{q}{4\pi\lambda} \left( \ln \frac{4x\beta}{r^2} \right) - Ic = \frac{q' \times Pc}{4\pi\lambda} \left( \ln \frac{4x\beta}{r^2} \right) - Ic \dots (3)$$

$\beta$  :  $\beta = \exp(-\gamma) = \exp(-0.5772) = 0.5615 (-)$ .  $\gamma$  : オイラー定数 0.5772 (-).  $x$  : 試料の熱拡散率 (m<sup>2</sup>/s).  $\lambda$  : 試料の熱伝導率 (W/m · °C).  $F$  : 定数 (°C).  $G$  : 定数 (°C).  $I$  : 電流 0.13 (A).  $Ic$  : 補正係数 0.2878 (°C).  $Pc$  : 補正係数 8.673 (1/m).  $q$  : プローブの単位時間単位長さあたりの発熱量 2.037 (W/m).  $q = q' \times Pc = I^2 \times R \times Pc$ .  $q'$  :

プローブの単位時間あたりの発熱量 (W).  $R$  : 抵抗 13.9 ( $\Omega$ ).  $r$  : プローブの外半径 0.0005 (m).

式 (1) のパラメータ  $F, G$  の値は、加熱経過時間 30 ~ 180 秒におけるプローブ温度変化のデータを式 (1) にあてはめて決定した。次にパラメータ  $F, G$  の値、補正係数  $Pc, Ic$  の値を用いて、式 (2), (3) から試料の熱伝導率、熱拡散率をそれぞれ算定した。本研究では、補正係数  $Pc, Ic$  の値は、それぞれ 8.673, 0.2878 で、 $q = q' \times Pc = I^2 \times R \times Pc = 0.130^2 \times 13.9 \times 8.673 = 2.037$  W/m であった。試料の比熱は、式 (2), (3) から算定した熱伝導率、熱拡散率の値、および密度の値を次の熱拡散率の定義式に代入することにより得た。

$$x = \frac{\lambda}{1,000c\rho} \dots\dots\dots (4)$$

$x$  : 試料の熱拡散率 (m<sup>2</sup>/s).  $\lambda$  : 試料の熱伝導率 (W/m · °C).  $\rho$  : 試料の密度 (kg/m<sup>3</sup>).  $c$  : 試料の比熱 (kJ/kg · °C).

なお、式 (4) において、試料密度の値は、Table 1 に示した各試料の成分組成と各温度における各成分の密度の文献値<sup>19)</sup>を用いて次式<sup>19)</sup>から算出した。

$$\rho = \frac{1}{\sum_j X_j / \rho_j} \dots\dots\dots (5)$$

$\rho$  : 試料の密度 (kg/m<sup>3</sup>).  $\rho_j$  : 各成分の密度 (kg/m<sup>3</sup>).  $X_j$  : 各成分の質量分率 (-).

計算に用いた食品構成成分の密度の文献値<sup>19)</sup>を Table 2 に示した。

## 実験結果および考察

### 1. プローブ温度の経時変化と熱物性値の同時推算

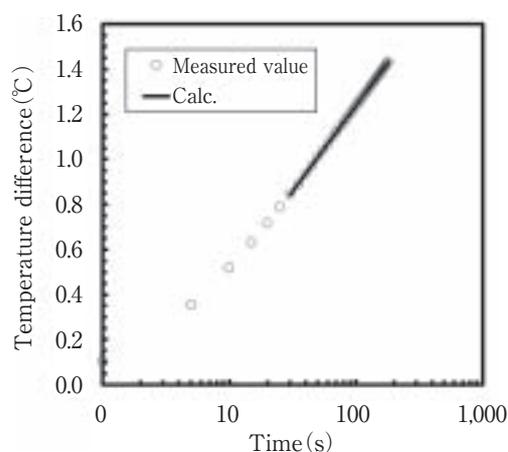
測定データであるプローブ温度の経時変化を測定条件ごとに式 (1) に最小二乗法を適用してあてはめ、パラメータ  $F, G$  の値を決定するとともに測定値と式 (1) との適合性を調べた。この際、加熱経過時間 30 ~ 180 秒におけるプローブ温度の測定データを式 (1) にあてはめた。その結果、加熱経過時間 30 ~ 180 秒においては、いずれの測定条件に関しても、プローブの温度変化と時間の関係は式 (1) で精度よく表されることがわかった。測定結果の一例として 5 °C においてサケの熱物性値を測定した際のプローブ温度変化の測定値と式 (1) による計算値との比較を Fig. 1 に示す。図中の記号 (○) は測定値、実線は、加熱経過時間 30 ~ 180 秒における測定データを式 (1) にあてはめて得られた計算値である。Fig. 1 に示した試料および条件において、式 (1) による計算値と測定値との平均平方誤差 RMSE<sup>20)</sup> (以下、平均平方誤差を RMSE と記す)、決定係数 R<sup>2</sup> (以下、決定係数を R<sup>2</sup> と記す) の値は、それぞれ  $1.161 \times 10^{-3}$  (°C), 0.999 (-) 以上となった。Fig. 1 に示していないほかの試料および条件に関してもこれと同様に、RMSE の値は  $1.1 \times 10^{-3}$  (°C) 程度、R<sup>2</sup> の値は 0.999 (-) 以上

**Table 2** Thermal property models for intrinsic thermal conductivity, density, and specific heat of major components of foods (CHOI and OKOS, 1986)

Thermal property	Major component	Group models temperature function
Intrinsic thermal conductivity (W/m·°C)	Water*	$\lambda_w = 5.7109 \times 10^{-1} + 1.7625 \times 10^{-3}T - 6.7036 \times 10^{-6}T^2$
	Protein*	$\lambda_p = 1.7881 \times 10^{-1} + 1.1958 \times 10^{-3}T - 2.7178 \times 10^{-6}T^2$
	Fat*	$\lambda_f = 1.8071 \times 10^{-1} - 2.7604 \times 10^{-4}T - 1.7749 \times 10^{-7}T^2$
	Carbohydrate*	$\lambda_c = 2.0141 \times 10^{-1} + 1.3874 \times 10^{-3}T - 4.3312 \times 10^{-6}T^2$
	Ash*	$\lambda_m = 3.92962 \times 10^{-1} + 1.4011 \times 10^{-3}T - 2.9069 \times 10^{-6}T^2$
Density (kg/m <sup>3</sup> )	Water*	$\rho_w = 9.9718 \times 10^2 + 3.1439 \times 10^{-3}T - 3.7574 \times 10^{-3}T^2$
	Protein*	$\rho_p = 1.3299 \times 10^3 - 5.1840 \times 10^{-1}T$
	Fat*	$\rho_f = 9.2559 \times 10^2 - 4.1757 \times 10^{-1}T$
	Carbohydrate*	$\rho_c = 1.5991 \times 10^3 - 3.1046 \times 10^{-1}T$
	Ash*	$\rho_m = 2.4238 \times 10^3 - 2.8063 \times 10^{-1}T$
Specific heat (kJ/kg·°C)	Water**	$c_w = 4.1762 - 9.0864 \times 10^{-5}T + 5.4731 \times 10^{-6}T^2$
	Protein*	$c_p = 2.0082 + 1.2089 \times 10^{-3}T - 1.3129 \times 10^{-6}T^2$
	Fat*	$c_f = 1.9842 + 1.4733 \times 10^{-3}T - 4.8008 \times 10^{-6}T^2$
	Carbohydrate*	$c_c = 1.5488 + 1.9625 \times 10^{-3}T - 5.9399 \times 10^{-6}T^2$
	Ash*	$c_m = 1.0926 + 1.8896 \times 10^{-3}T - 3.6817 \times 10^{-6}T^2$

\*for the temperature range -40 to 150° C

\*\*for the temperature range 0 to 150° C

**Fig. 1** Comparison of the observed temperature changes of the probe with the results calculated from equation (1) for salmon at a temperature of 5° C

The solid line shows the values calculated from equation (1).

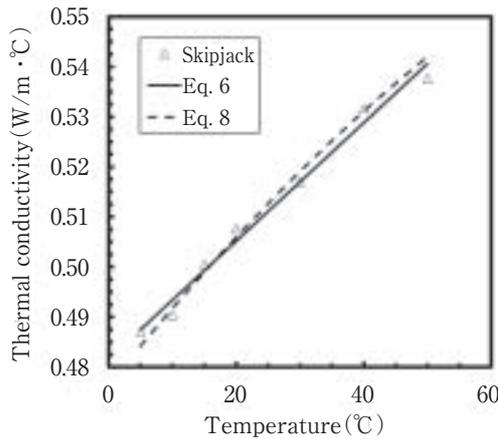
となり、加熱経過時間30~180秒におけるプローブの温度変化の測定値と式(1)による計算値はよく一致した。これより既報<sup>6)</sup>に従い、式(1)におけるパラメータ  $F, G$  の値と補正係数  $P_c, I_c$  の値を用いて試料の熱物性値を決定した。

本研究では、各条件において、熱物性測定は5回繰り返した。式(2)~(4)からそれぞれ算出した熱伝導率、熱拡散率、比熱の値の5回の測定データの平均値と各測定データとの誤差範囲はいずれも $\pm 3\%$ 以下となり、各条件における測定データの平均値を測定値とした。

## 2. 熱伝導率

試料の熱伝導率は式(2)から得た。その結果、サケおよびカツオの熱伝導率は、5~50°Cにおいて0.48~0.55W/m·°C、ホタテ貝柱の熱伝導率は、5~50°Cにおいて0.49~0.57W/m·°Cとなった。MURAKAMI (1994)<sup>8)</sup>は、非定常プローブ法により生のホタテ貝柱や加熱調理したホタテ貝柱の熱伝導率を室温(24~28°C)で測定し、生のホタテ貝柱の熱伝導率は0.54~0.57W/m·°Cであると報告している。また、文献11)において、温度24°Cにおける生のカツオの熱伝導率は0.56~0.57W/m·°Cであることが示されている。これらの文献値および文献1)~4)において示されているサケなどの水産物の熱伝導率の文献値と測定値を比較した結果、同様の条件下では、本研究で得られた試料の熱伝導率の値は文献値と同程度の値となり、本研究で採用した熱物性値測定方法の妥当性が確認できた。

水産物をはじめ食品の熱伝導率は、温度の関数であり、一般に凍結点以上の温度領域では温度が高いほど大きくなる。KUMBHARら(1981)<sup>13)</sup>は、12種類の水産物の熱伝導率を測定し、これらの熱伝導率と温度の関係を調べ、凍結点以上では、熱伝導率は、温度の増加とともに大きくなり、温度の一次式で表されることを報告している。HUとMALLIKARJUAN (2005)<sup>12)</sup>は、0~50°Cにおけるカキむき身の熱伝導率を温度の二次関数で表している。また、KARUNAKARら(1998)<sup>9)</sup>はエビの熱伝導率と温度、水分との関係を求めている。本研究においても試料の熱伝導率と温度の関係を調べた。カツオの熱伝導率と温度の関係をFig. 2に示す。Fig. 2中の記号( $\Delta$ )は熱伝導率



**Fig. 2** Comparison between the measured thermal conductivity and the values calculated from equations (6) and (8) for skipjack

The solid and broken lines show the values calculated from equations (6) and (8), respectively.

の測定値である。図から温度が高くなるにつれて熱伝導率は大きくなる傾向があり、この間に一次の関係があることが伺える。ここに示していないほかの試料についても、これと同様の傾向が得られた。このことから本研究では、各試料の熱伝導率の測定データを、最小二乗法を適用して次式にあてはめた。

$$\lambda = a_1 T + b_1 \quad \text{..... (6)}$$

$\lambda$  : 試料の熱伝導率 (W/m·°C).  $T$  : 温度 (°C).  
 $a_1$  : 定数 (W/m·°C<sup>2</sup>).  $b_1$  : 定数 (W/m·°C).

Fig.2中の実線は式(6)による計算値で、図からわかるように測定値と計算値はよく一致している。Fig.2に示していないサケおよびホタテ貝柱に関しても測定データと式(6)による計算値はよく一致した。このように、試料の熱伝導率と温度の関係は式(6)で表されることがわかった。各試料の式(6)におけるパラメータ、式(6)による計算値と測定値とのRMSEおよびR<sup>2</sup>の値をTable 3に示す。

熱伝導率は、温度や成分組成ばかりでなく、各成分の空間配置にも依存する<sup>15)</sup>。そのため、成分組成や空間配置・構造を対応させた形で熱伝導率のモデル化を図っておけば、実用上より便利になると考えられる。しかし、このような形で水産物の熱伝導率のモデル化を検討した研究例は少ない。水産物の熱伝導率のモデル化に関する

報告のうち、HUとMALLIKARJUAN (2005)<sup>12)</sup>は、カキむき身の熱伝導率の推算に並列モデルの適用が可能であることを示している。KARUNAKARら (1998)<sup>9)</sup>は、エビの熱伝導率の推算に並列モデルを利用している。またRAHMANとDRISCOLL (1991)<sup>10)</sup>は、イカ、エビ、タコの熱伝導率の測定値を直列モデル、並列モデル、およびRandomモデルによる熱伝導率の推算値と比較し、試料ごとに最適な伝熱モデルを把握している。

本研究では、直列モデル<sup>15)</sup> (式(7))、並列モデル<sup>15)</sup> (式(8))、およびRandomモデル<sup>21)</sup> (式(9))の計3種類の伝熱モデルに関して検討を行った。試料を構成するすべての成分が、直列モデルでは熱流に対して直角、並列モデルでは平行に配置され、Randomモデルでは各成分が無秩序に分布しているとしたモデルである。これらの3種類の伝熱モデルに、各成分の体積分率と熱伝導率の値を代入して試料の熱伝導率を算出し、測定データと各モデルとの適合性を調べた。

直列モデル<sup>15)</sup> :

$$\frac{1}{\lambda} = \sum_i \frac{\phi_i}{\lambda_i} \quad \text{..... (7)}$$

並列モデル<sup>15)</sup> :

$$\lambda = \sum_i \phi_i \lambda_i \quad \text{..... (8)}$$

Randomモデル<sup>21)</sup> :

$$\lambda = \lambda_w^{\phi_w} \times \lambda_p^{\phi_p} \times \lambda_f^{\phi_f} \times \lambda_c^{\phi_c} \times \lambda_m^{\phi_m} \quad \text{..... (9)}$$

式(7)~(9)における各成分の熱伝導率は文献値<sup>19)</sup>を用いた。各成分の質量分率、密度の値<sup>19)</sup>から算出した各試料の各成分の体積分率をTable 1に示す。各試料の各成分の体積分率 $\phi_i$ は式(10)から算出した<sup>19)</sup>。

$$\phi_i = \frac{X_i / \rho_i}{\sum_j X_j / \rho_j} \quad \text{..... (10)}$$

$\lambda$  : 試料の熱伝導率 (W/m·°C).  $\lambda_c$  : 炭水化物の熱伝導率 (W/m·°C).  $\lambda_f$  : 脂質の熱伝導率 (W/m·°C).  $\lambda_i$  : 各成分の熱伝導率 (W/m·°C).  $\lambda_m$  : 灰分の熱伝導率 (W/m·°C).  $\lambda_p$  : タンパク質の熱伝導率 (W/m·°C).  $\lambda_w$  : 水の熱伝導率 (W/m·°C).  $\rho_i, \rho_j$  : 各成分の密度 (kg/m<sup>3</sup>).  $\phi_c$  : 炭水化物の体積分率 (-).  $\phi_f$  : 脂質の体積分率 (-).  $\phi_i$  : 各成分の体積分率 (-).  $\phi_m$  :

**Table 3** Values of the parameters, root mean squared error (RMSE), and coefficient of determination (R<sup>2</sup>) obtained from equation (6) for each sample

Equation		Salmon	Skipjack	Scallop
6	$a_1$ (W/m·°C)	$1.330 \times 10^{-3}$	$1.179 \times 10^{-3}$	$1.390 \times 10^{-3}$
	$b_1$ (W/m·°C)	$4.822 \times 10^{-1}$	$4.816 \times 10^{-1}$	$4.906 \times 10^{-1}$
	RMSE (W/m·°C)	0.0015	0.0022	0.0027
	R <sup>2</sup>	0.9948	0.9855	0.9842

灰分の体積分率 (-).  $\phi_p$ :タンパク質の体積分率 (-).  $\phi_w$ :水の体積分率 (-).  $X_i, X_j$ :各成分の質量分率 (-).

計算に用いた食品構成成分の熱伝導率の文献値<sup>9)</sup>をTable 2に示した。

式(7)~(9)による熱伝導率の推算値と測定値とのRMSEおよび百分率誤差RE(以下,百分率誤差をREと記す)の値をTable 4に示す。Table 4からわかるように,すべての試料に関して,式(7)~(9)のなかで,式(8)におけるRMSEの値,REの値は最も小さく,式(8)と測定データとの適合性が最も高かった。一例として式(8)から算出したカツオの熱伝導率の値をFig.2中に破線で示した。このように,試料の熱伝導率の推算には,試料を構成する各成分が熱流に対して平行に配置されたモデルである並列モデル(式(8))が最も適していることがわかった。

3. 熱 拡 散 率

式(3)より推算した試料の熱拡散率は $1.1 \times 10^{-7} \sim 1.4 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ となり,同じ条件では試料ごとに著しい差はなかった。また,凍結点以上の温度領域におけるタ

ラヤサバの熱拡散率<sup>2),4)</sup>は $1.0 \times 10^{-7} \sim 1.6 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ で,これらの値と本研究で得られた試料の熱拡散率を比較すると両者は同程度の値が得られており,本研究の手法で得られた試料の熱拡散率は適当な値と考えられる。

Fig.3にホタテ貝柱の熱拡散率と温度の関係を示す。図から試料の熱拡散率は温度が高くなるにつれて大きくなる傾向があることが伺える。Fig.3中の実線は熱拡散率の測定データを次式にあてはめて得られた計算値である。

$$\kappa = a_2 T + b_2 \dots\dots\dots (11)$$

$\kappa$ :試料の熱拡散率 ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).  $T$ :温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$a_2$ :定数 ( $\text{m}^2/\text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ).  $b_2$ :定数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

Fig.3に示したように式(11)による熱拡散率の計算値と測定値はほぼ一致した。Fig3.に示していないサケ,およびカツオについても同様の結果が得られた。このように,試料の熱拡散率と温度の関係は式(11)で近似することができた。最小二乗法により決定された式(11)のパラメータの値, RMSEおよび $R^2$ の値をTable 5に示す。

食品の熱拡散率は,温度ばかりでなく,水分の関数で

Table 4 Values of the root mean squared error (RMSE) and relative error (RE) obtained from equations (7), (8), and (9) for each sample

Equation		Salmon	Skipjack	Scallop
Series model 7	RMSE ( $\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )	0.0944	0.0982	0.0659
	RE (%)	17~20	16~22	10~14
Parallel model 8	RMSE ( $\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )	0.0057	0.0024	0.0155
	RE (%)	0~2	0~1	1~4
Random model 9	RMSE ( $\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$ )	0.0372	0.0429	0.0182
	RE (%)	6~8	6~10	2~5

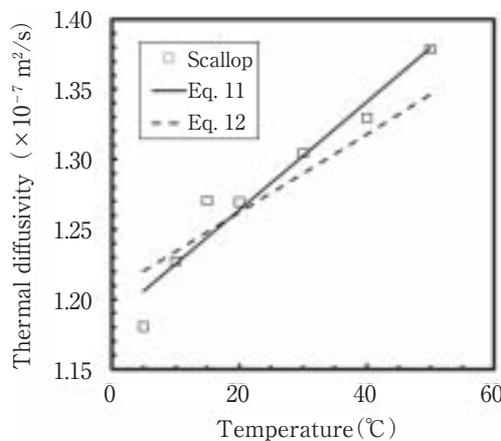


Fig. 3 Comparison between the measured thermal diffusivity and the values calculated from equations (11) and (12) for scallop

The solid and broken lines show the values calculated from equations (11) and (12), respectively.

**Table 5** Values of the parameters, root mean squared error (RMSE), and coefficient of determination (R<sup>2</sup>) obtained from equation (11) for each sample

Equation		Salmon	Skipjack	Scallop
11	$a_2$ (m <sup>2</sup> /s · °C)	$2.033 \times 10^{-10}$	$3.740 \times 10^{-10}$	$3.861 \times 10^{-10}$
	$b_2$ (m <sup>2</sup> /s)	$1.224 \times 10^{-7}$	$1.158 \times 10^{-7}$	$1.186 \times 10^{-7}$
	RMSE (m <sup>2</sup> /s)	$8.323 \times 10^{-10}$	$1.190 \times 10^{-9}$	$1.452 \times 10^{-9}$
	R <sup>2</sup>	0.9220	0.9580	0.9424

もあり、熱拡散率と温度、水分との関係を示す以下の式が提案されている。

Martensの式<sup>22)</sup>：

$$\alpha = (0.057363X_w + 0.00028(T+273)) \times 10^{-6} \dots\dots (12)$$

Dickersonの式<sup>4)</sup>：

$$\alpha = 0.088 \times 10^{-6} + (\alpha_w - 0.088 \times 10^{-6})X_w \dots\dots\dots (13)$$

$\alpha$ ：試料の熱拡散率 (m<sup>2</sup>/s).  $\alpha_w$ ：水の熱拡散率 (m<sup>2</sup>/s).  $T$ ：温度 (°C).  $X_w$ ：水の質量分率 (-).

式 (12), (13) から試料の熱拡散率を算出し、測定データと比較した。その結果、すべての試料において、測定データと各式による推算値とのRMSEの値、REの値は、式 (12) ではRMSE =  $2.0 \times 10^{-9} \sim 2.3 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, RE = 0 ~ 4 %, 式 (13) ではRMSE =  $2.9 \times 10^{-9} \sim 4.0 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, RE = 0 ~ 6 %となった。測定データとの適合性は両式とも良好であったが、式 (12) の適合性が式 (13) より高いという結果が得られた。Fig. 3中の破線は式 (12) による推算値で、両者はほぼ一致している。これはサケやカツオに関しても同様であった。このように試料の熱拡散率は水分や温度の関数として表されたMartensの式 (式 (12)) により十分精度よく推算できることがわかった。

#### 4. 比 熱

式 (4) から得た試料比熱の測定値は3.7~4.0kJ/kg · °Cとなり、各試料の比熱にはほとんど差はなかった。また、測定を行った温度範囲では、試料比熱は温度に関係なく、ほぼ一定の値が得られた。

比熱は加成性の成り立つ熱物性値<sup>15)</sup>、CHOIとOKOS (1986)<sup>19)</sup>は、比熱の加成性を加味した次式を提案している。

$$c = \sum_i X_i c_i \dots\dots\dots (14)$$

式 (14) のほかに、以下のような食品の成分組成との関係を考慮した比熱に関する実験式が提案されている。

Siebelの式<sup>1)</sup>：

$$c = 0.837 + 3.349X_w \dots\dots\dots (15)$$

Charmの式<sup>4)</sup>：

$$c = 2.093X_f + 1.256X_s + 4.187X_w \dots\dots\dots (16)$$

HeldmanとSinghの式<sup>23)</sup>：

$$c = 1.424X_c + 1.549X_p + 1.675X_f + 0.837X_m + 4.187X_w \dots\dots\dots (17)$$

$c$ ：試料の比熱 (kJ/kg · °C).  $c_i$ ：各成分の比熱

(kJ/kg · °C).  $X_c$ ：炭水化物の質量分率 (-).  $X_f$ ：脂質の質量分率 (-).  $X_i$ ：各成分の質量分率 (-).  $X_m$ ：灰分の質量分率 (-).  $X_p$ ：タンパク質の質量分率 (-).  $X_s$ ：無脂固形分の質量分率 (-).  $X_w$ ：水の質量分率 (-).

本研究では、式 (14) ~ (17) から試料の比熱を推算し、測定データと比較した。式 (14) から試料比熱を算出する際、各試料の成分組成 (質量分率)  $X_i$  の値はTable 1の値を、また、各成分の比熱 $c_i$ は文献値<sup>19)</sup>を用いた。計算に用いた各成分の比熱の文献値<sup>19)</sup>をTable 2に示した。その結果、式 (14) による比熱の推算値は測定値より5%程度低い値が得られ、試料の比熱は式 (14) から推定可能であることが示された。

このように、プローブ温度の経時変化のデータを基に、式 (1) ~ (3) から同一条件における熱伝導率、熱拡散率の値を推算し、さらにこの結果と式 (4) を用いて比熱の値も、同時に且つ容易に求めることができた。これより試料の熱伝導率は並列モデル (式 (8)), 熱拡散率はMartensの式 (式 (12)), また比熱は加成性モデル (式 (14)) により十分精度よく推算できた。今後は、より低温域ならびに高温域で熱物性値を測定し、水産物の貯蔵・流通・加工・調理などのプロセスで用いられる広範な温度領域において適用可能な熱物性値推算モデルを構築したいと考える。

#### 要 約

非定常プローブ法により水産物 (サケ, カツオ, ホタテ貝柱) の3種類の熱物性値を5~50°Cの温度範囲で測定した。その結果、以下の知見を得た。

- ① 試料の熱伝導率は、次の並列モデルによる熱伝導率の推算値とよく一致した。

$$\lambda = \sum_i \phi_i \lambda_i$$

$\lambda$ ：試料の熱伝導率 (W/m · °C).  $\lambda_i$ ：各成分の熱伝導率 (W/m · °C).  $\phi_i$ ：各成分の体積分率 (-).

- ② 試料の熱拡散率は、次のMartensの式により推算できることがわかった。

$$\alpha = (0.057363X_w + 0.00028(T+273)) \times 10^{-6}$$

$\alpha$ ：試料の熱拡散率 (m<sup>2</sup>/s).  $T$ ：温度 (°C).  $X_w$ ：水の質量分率 (-).

- ③ 試料比熱の測定値は、次式による比熱の推算値とほぼ一致した。

$$c = \sum_i X_i c_i$$

$c$  : 試料の比熱 (kJ/kg · °C).  $c_i$  : 各成分の比熱 (kJ/kg · °C).  $X_i$  : 各成分の質量分率 (-).

上記①～③のモデルは、成分組成がわかれば熱物性値を推算することが可能であるため、熱計算や加工装置設計、操作法の選定の際に有用となる。

## 文 献

- 1) 日本熱物性学会編：熱物性ハンドブック（養賢堂，東京），pp.439～476（1990）
- 2) 大下誠一：食品加熱の科学（渋川祥子編，朝倉書店，東京），pp.58～73（1996）
- 3) SARAVACOS, G. D. and MAROULIS, Z. B.: Thermal conductivity and diffusivity of foods, In Transport properties of foods (Marcel Dekker Inc., New York), pp.269～358（2001）
- 4) SINGH, R. P.: Heating and cooling processes for foods, In HELDMAN, D. R. and LUND D. B. (Eds.), Handbook of food engineering (Marcel Dekker Inc., New York), pp.247～276（1992）
- 5) 前田明美・竹中はる子：生鮮食品の熱定数の測定—魚肉について—, *Thermophys Prop.*, **8**, 61～64（1987）
- 6) 前田明美・竹中はる子：食品の熱物性—魚肉・家禽肉の熱定数の測定—, *Thermophys Prop.*, **9**, 61～64（1988）
- 7) 田中明美・根岸勝雄・竹中はる子：食品の熱物性, *Thermophys Prop.*, **10**, 163～166（1989）
- 8) MURAKAMI, E. G.: Thermal processing affects properties of commercial shrimp and scallops, *J. Food Sci.*, **59**, 237～241（1994）
- 9) KARUNAKAR, B., MISHRA, S. K. and BANDYOPADHYAY, S.: Specific heat and thermal conductivity of shrimp meat, *J. Food Eng.*, **37**, 345～351（1998）
- 10) RAHMAN, M. S. and DRISCOLL, R. H.: Thermal conductivity of seafoods: calamari, octopus and king prawn, *Food Australia*, **43**, 356～360（1991）
- 11) ZHANG, J., FARKAS, B. E. and HALE, S. A.: Thermal properties of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*), *Int. J. Food Prop.*, **4**, 81～90（2001）
- 12) HU, X. and MALLIKARJUNAN, P.: Thermal and dielectric properties of shucked oysters, *LWT Food Sci. Technol.*, **38**, 489～494（2005）
- 13) KUMBHAR, B. K., AGARWAL, R. S. and DAS, K.: Thermal properties of fresh and frozen fish, *Int. J. Refrig.*, **4**, 143～146（1981）
- 14) ZHU, S., MARCOTTE, M., RAMASWAMY, H., SHAO, Y. and LE-BAIL, A.: Evaluation and comparison of thermal conductivity of food materials at high pressure, *Food Bioprod. Process*, **86**, 147～153（2008）
- 15) 矢野俊正：食品工学の基礎（光琳，東京），pp.195～244（1992）
- 16) 村松良樹・坂口栄一郎・永島俊夫・田川彰男：非定常プローブ法による食品の熱物性値の新規同時推算法，*日食保蔵誌*, **34**, 11～18（2008）
- 17) 香川芳子監修：五訂増補食品成分表2006（女子栄養大学出版部，東京），pp.147～187（2005）
- 18) 村松良樹：食品の熱物性値の新規同時推算法と予測モデルに関する研究，*日食保蔵誌*, **36**, 135～142（2010）
- 19) CHOI, Y. and OKOS, M. R.: Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods, In “Food engineering and process applications Vol.1 Transport phenomena” (Elsevier Applied Science Publishers), pp.99～101（1986）
- 20) MURAMATSU, Y., TAGAWA, A. and KASAI, T.: Effective thermal conductivity of rice flour and whole and skim milk powder, *J. Food Sci.*, **70**, 279～287（2005）
- 21) WOODSIDE, W. and MESSMER, J. H.: Thermal conductivity of porous media. I Unconsolidated sands, *J. Applied Physics*, **32**, 1688～1699（1961）
- 22) 林 弘通：食品物理学（養賢堂，東京），pp.84～125（1989）
- 23) HELDMAN, D. R.: Prediction model for thermophysical properties of foods, In IRUDAYARAJ, J. (Eds.), Food processing operations modeling (Marcel Dekker Inc., New York), pp.1～23（2001）  
（平成23年7月4日受付，平成23年9月29日受理）

# 無洗米副産物を用いた *Lactobacillus brevis* IFO12005 による $\gamma$ -アミノ酪酸の生産

大友理宣\*<sup>1</sup>・保莉美佳\*<sup>2</sup>・押部明德\*<sup>3</sup>  
畠 恵司\*<sup>2</sup>・戸枝一喜\*<sup>4</sup>§

\* 1 秋田銘醸 (株)

\* 2 秋田県総合食品研究センター

\* 3 東北農業研究センター

\* 4 東京農業大学生物産業学部食品香粧学科

## Production of $\gamma$ -Aminobutyric Acid from the By-product of Non-wash Rice by using *Lactobacillus brevis* IFO12005

OHTOMO Masanobu\*<sup>1</sup>, HOKARI Mika\*<sup>2</sup>, OSHIBE Akinori\*<sup>3</sup>,  
HATA Keishi\*<sup>2</sup> and TOEDA Kazuki\*<sup>4</sup>§

\* 1 Akitameijou Co., Ltd., 4-23 Daikumachi, Yuzawa, Akita 012-0814

\* 2 Akita Research Institute of Food & Brewing (ARIF), 4-26 Sanuki, Arayamachi, Akita 010-1623

\* 3 National Agricultural Research Center for Tohoku Region,  
4 Akahira, Shimo-kuriyagawa, Morioka, Iwate 020-0198

\* 4 Department of Food and Cosmetic Science, Faculty of Bioindustry, Tokyo University of Agriculture,  
196 Yasaka, Abashiri, Hokkaido 099-2493

The efficiency of a technique for the production of  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) by using *Lactobacillus brevis* IFO12005 and the by-product of non-wash rice (NWRB) was evaluated. The rate of conversion of monosodium glutamate (MSG) to GABA by the IFO12005 strain using NWRB (NWRB:water = 1:3) was low (26%). Enzyme processing of NWRB (enzyme-processed NWRB) when NWRB was the sole source of nutrition was very effective for GABA production. When the MSG of 24% for NWRB was added to enzyme-processed NWRB medium (NWRB:water = 1:8), all the MSG was converted to GABA (13.8mg/g) by the IFO12005 strain. GABA at a concentration of 16.1mg/g was obtained with a conversion rate of 97% by using a 30- $\ell$  jar fermentor containing 20kg of enzyme-processed NWRB medium.

(Received Jul. 20, 2011 ; Accepted Oct. 13, 2011)

**Key words** :  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA), non-wash rice, *Lactobacillus brevis* IFO12005

$\gamma$ -アミノ酪酸, 無洗米, *Lactobacillus brevis* IFO12005

無洗米は米を洗わないで炊飯できる利便性のほか、洗米による排水汚染の制御などの面から消費が急速に拡大している。現在、市場に出回っている無洗米としてはSJ無洗米<sup>1)</sup>、TWR無洗米<sup>2)</sup>、BG無洗米<sup>3)</sup>などがある。SJ無洗米は、普通精米に水を加えて精米同士をこすりあわせて糠を除去し、その後乾燥し、製造したものである。TWR無洗米は加熱したタビオカデンプンを使用して糠を取り除くことによって製造されたものである。BG無洗米は

糠を使用して糠を取り除くBran Grind製法で製造されたものである。無洗米の製造工程で1-2%の糠を主体とした副産物が副生する。無洗米副産物の一部は肥料等に利用されているが、低利用な副産物である。利用研究としては無洗米副産物の反すう動物に対する飼料特性<sup>4)</sup>の報告があるが、研究例は少ない。無洗米副産物には糖質、タンパク質、繊維などの栄養成分が多く含まれているため発酵原料として有望であるが、現状は十分に活用

\* 1 〒012-0814 秋田県湯沢市大工町 4-23

\* 2 〒010-1623 秋田県秋田市新屋町字砂奴寄 4-26

\* 3 〒020-0198 岩手県盛岡市下厨川字赤平 4

\* 4 〒099-2493 北海道網走市八坂196

§ Corresponding author, E-mail: k3toeda@bioindustry.nodai.ac.jp

されていない。

一方、 $\gamma$ -アミノ酪酸 (GABA) は血圧降下作用<sup>5)</sup>、精神安定作用<sup>6)</sup>、急性腎不全に対する防護効果<sup>7)</sup>をもつことが知られている。GABA生産については米胚芽、茶や微生物などの内在グルタミン酸脱炭酸酵素<sup>8)</sup>を利用してGABAを富化した食品素材が報告されている<sup>9),10)</sup>。乳酸菌によるGABA富化食品素材<sup>11)~15)</sup>が報告されているが、無洗米副産物を発酵原料としGABAを富化させる研究報告はない。

筆者ら<sup>14)</sup>は米糠を唯一の栄養源とした酵素処理米糠培地を用い、乳酸菌*Lactobacillus brevis* IFO12005によりグルタミン酸からGABAを1.4% (w/w) 生産できることを報告した。本報では、無洗米副産物を唯一の栄養素とした培地を調製し、IFO12005を用いた発酵によるGABA含有組成物の生産を目的とした。無洗米副産物の前処理法および培養条件を検討した結果、グルタミン酸からGABAへの高い変換効率を保持し、GABA濃度が16.1mg/gのGABA含有組成物の生産法を開発したので報告する。

## 実験方法

### 1. 実験試料

試料は大潟村カンントリーエレベータ公社において、BG無洗米機 (東洋精米機製作所製)<sup>3)</sup>による製造工程で副産する無洗米副産物 (by-product of non-wash rice: NWRB, Table 1) を用いた。グルタミン酸モノナトリウム・一水和の特級 (MSG, 和光純薬工業製) を用いた。

### 2. アミノ酸分析

試料液1.0gに40%トリクロロ酢酸0.25mLを添加後、遠心分離 (2,900×g, 10分) により除タンパクした。得られた上澄液中のアミノ酸をアミノ酸自動分析機JLC-300 (日本電子製) を用いて分析した。

MSGからGABAへの変換率 (%) は生成したGABAモル濃度を添加MSGモル濃度で除して算出した。

### 3. 糖分析

NWRBの酵素処理により生成される単糖・オリゴ糖および培養液中の残存する糖はDX-500 (ダイオネクス製) 高性能陰イオン交換クロマトグラフ (HPAEC-PAD) を用いて分析した<sup>16)</sup>。

Table 1 Composition of NWRB

Component	Content (g/100g)
Moisture	10.0
Crude perotein	15.9
Crude fat	14.1
Carbohydrates	51.2
Crude ash	8.8
Dietary fiber	1.9

### 4. 菌数の測定

乳酸菌は乳酸菌数測定用培地 (BCP加プレートカウントアガール, 日水製薬製) を用いて30℃で3日間培養し、菌数測定した。

### 5. 乳酸菌培養

GABA生産乳酸菌としてはIFO12005が赤糠を用いることによりMSGからGABAを高生産<sup>14)</sup>することを確認しているため、IFO12005を実験に供した。なお、IFO 12005は醗酵研究所から入手したものをを用いた。現在、当該株はNBRC12005として入手可能である。保存にはMRS培地 (Difco製) を用いた。前培養培地は、1%MSGを含むGY液体培地 [グルコース2%, 酵母エキス1% (酵母, 武田キリン食品製)] を用い、30℃, 2日間回転振とう培養 (200rpm) した。

培養液は90%乳酸にてpH4.5に調整後、加圧滅菌 (121℃, 15分) し、前培養液を培地に対し5% (v/w) 接種後、30℃で所定時間回転振とう培養 (200rpm) した。経時的にGABA, グルタミン酸濃度を測定した。

### 6. 酵素処理NWRBの調製

NWRB250g, 水750ml [加水割合3倍 (NWRBに対して)] の混合液を90%乳酸にてpH4.5に調整し、市販酵素剤の液化アミラーゼ酵素剤YA (天野製薬製), 蛋白分解酵素剤デナプシン10P (ナガセケムテック製), 繊維分解酵素剤ペクチナーゼナガセ (ナガセケムテック製) をNWRB重量に対してそれぞれを1/1,000加え、攪拌しながら酵素処理した。酵素処理は、40℃ (60分) →40~55℃ (30分) →55℃ (60分) →55~100℃ (60分) →100℃ (10分) →100~40℃ (50分) の条件で実施した。本法により得られた酵素処理液を酵素処理NWRBとした。

### 7. 酵素処理NWRBによるGABAの調製

(1) NWRBおよび酵素処理NWRBによるGABA生産  
NWRB 5g, 水15mlの混合液および酵素処理NWRB (NWRB 5g相当量) 20gを加圧滅菌 (121℃, 15分) した。それぞれの混合溶液に別途滅菌したMSGを加え、グルタミン酸の終濃度は1.59% (w/w) とした。

(2) 酵素処理NWRBによるGABA生産における加水の影響  
酵素処理NWRBの最適濃度を調べるために、NWRBと水の比は、1:4, 1:6, 1:8に設定した。酵素処理NWRB60g (NWRBとして20g) に、それぞれ水を15ml (1:4), 45ml (1:6) および75ml (1:8) 加えた。1:4, 1:6, 1:8の各試験区のグルタミン酸終濃度は1.55, 1.12および0.68% (w/w) とした。

(3) 酵素処理NWRBによるGABA高生産条件の検討  
酵素処理NWRB 8g (NWRB 2g含有) を水8mlで加水 (NWRB:水=1:7) したものに、MSGをNWRB重量に対して8, 16, 24, 32, 40% (w/w) に相当する量を添加した。各試験区のグルタミン酸終濃度はそれぞれ0.71, 1.40, 2.10, 2.80, 3.51% (w/w) とした。

## 8. GABA含有組成物の30 ℓ ジャー生産試験

30 ℓ ジャー培養装置MSJ-N 2型（丸菱バイオエンジニアリング）にpH4.5に調整した酵素処理NWRB（NWRBとして2.5kg）を加熱滅菌（121℃，15分）した。別途滅菌したMSGを加え，グルタミン酸終濃度は2.36%（w/w）とした。なお，NWRBと水の比は，1：7とした。培養は30℃，200rpmで行った。

### 実験結果および考察

#### 1. NWRBおよび酵素処理NWRBによるGABA生産

NWRBおよび酵素処理NWRBを用い，IFO12005による培養4日後のGABAの生成量をTable 2に示した。NWRBではGABA生成濃度（変換率）は2.8mg/g（25.7%）であり，未変換のグルタミン酸が14.8mg/gであったが，酵素処理NWRBを用いた場合，培養4日目で10.8mg/g（98.7%）のGABAが生産された。NWRBでのGABAの低い生産性の原因として栄養源の不足が考えられる。Table 3に酵素処理NWRBの培地中の糖組成および培養4日後の培養液中の糖組成を示した。NWRBには糖として，イソマルトースのみが8.7mg/g含まれていたが，酵素処理することによりグルコース，イソマルトース，マルトースおよびマルトトリオースが2.3～13.6mg/gに増加した。これはNWRB中の澱粉が酵素処理により生成したものと考えられる。赤糠の酵素処理によりグルコース，マルトースの増加<sup>14)</sup>が認められているが，酵素処理NWRBにも同様に認められた。培養4日後にはグルコースが完全に消費され，マルトースも著しく消費された。以上のことから酵素処理により生成したグルコース，マルトースが乳酸菌の栄養源となった結果，菌体増殖が起こり，GABAが高生産されたものと考えられる。赤糠のプロテアーゼ処理により，総遊離アミノ酸量が2倍に増加することを認めている<sup>14)</sup>。今回，酵素処理NWRB中のアミノ酸は測定していないが，用いた酵

Table 2 Effect of enzyme processing of NWRB

Enzyme processing	mg/g		GABA conversion rate (%)
	Glu	GABA	
-	14.8	2.8	25.7
+	0.2	10.8	98.7

Glutamic acid and IFO12005 were added to NWRB enzyme processed NWRB liquid mixture and cultivated for 4 d at 30℃.

Table 3 Sugar-composition in medium of enzyme-processed NWRB

Culture time (d)	mg/g			
	Glucose	Isomaltose	Maltose	Maltotriose
0	2.3	10.5	12.6	13.6
4	0	8.2	1.6	11.8

素剤はプロテアーゼも含まれていることから増加したアミノ酸も栄養源になったものと考えられる。しかし，酵素処理NWRB中のグルタミン酸は0.01mg/g以下であり，MSG添加量に比べ無視できる濃度と考えられる。

#### 2. GABA生産における酵素処理NWRBの加水割合の影響

培養に伴うMSGからGABAへの変換率をFig. 1に示した。試験区1：4（NWRB：水）の培養1日目ではGABAが1.7mg/g生成し，変換率19.3%（w/w）と低い値となったが，試験区1：6および1：8では，GABAがそれぞれ5.7，4.7mg/g生成し，95%以上の高い変換率であった。試験区1：4での低いGABA生産の原因としては菌の生育不良が考えられる。IFO12005によるGABAの高生産には $10^8$ cfu/ml以上の菌体量が必要であることがわかっている<sup>14)</sup>。本試験では生菌数は測定していないが，加水割合が低い場合，糖濃度が高すぎるためにグルコースによるカタボライト制御による菌の生育の遅れが原因として考えられる。

#### 3. 酵素処理NWRBによるGABA高生産条件の検討

NWRB重量に対し8～40%（w/w）のMSGを添加した試験区の培養5日後のGABA生成結果をFig. 2に示した。8，16，24%の各試験区のGABA濃度と変換率はそれぞれ4.4mg/g（変換率：100%），8.9mg/g（97.3%），13.8mg/g（100%）であり，MSG添加濃度に伴いGABA濃度も増加した。しかし，32%区，40%区のGABA濃度（変換率）はそれぞれ15.6mg/g（84.2%），18.5mg/g（80.7%）であり，GABAの濃度

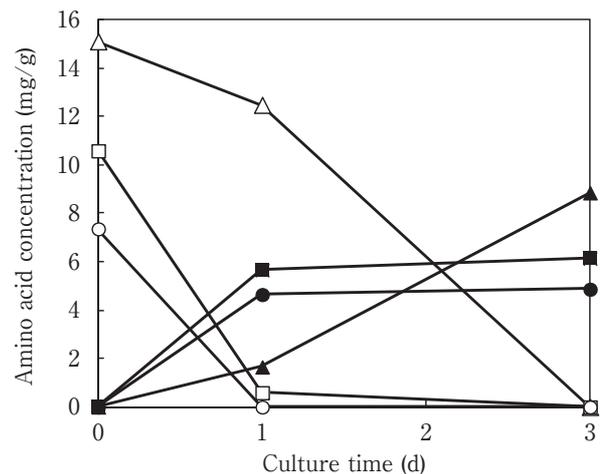


Fig. 1 Effect of ratio of NWRB and water in enzyme-processed NWRB medium on production of GABA

The enzyme-processed NWRB medium was cultivated for 4 d at 30℃ with addition of glutamic acid and IFO12005 to alter hydration rate.

Symbols for GABA : GABA concentration : NWRB : water = 1 : 4 (—▲—), NWRB : water = 1 : 6 (—●—), NWRB : water = 1 : 8 (—■—); symbols for glutamic acid : NWRB : water = 1 : 4 (—△—), NWRB : water = 1 : 6 (—○—), NWRB : water = 1 : 8 (—□—)

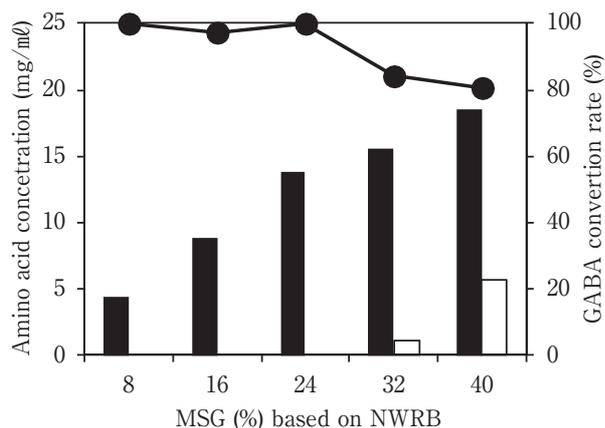


Fig. 2 Effect of MSG concentration on production of GABA using enzyme-processed NWRB medium

An 8% to 40% of MSG based on NWRB and IFO12005 were added to the enzyme-processed NWRB, which was cultivated for 5 d at 30°C.

Symbols for GABA conversion rate; (—●—), GABA (■), Glutamic acid (□)

が高くなったが未変換のMSGも増加した。24%添加区では添加したMSGすべてが変換され、13.8mg/gのGABAが生成した。早川ら<sup>13)</sup>はIFO12005を用いたGYP培地により、1%のMSGからGABAが5.16mg/g生成したことを確認している。また、筆者ら<sup>14)</sup>もIFO12005を用いた酵素処理赤糠により、14.1mg/gのGABAの生成を報告した。以上のことから、GABA生産において酵素処理NWRBはGYP培地より優れており、酵素処理赤糠と同程度以上のGABA生産性があることがわかった。

#### 4. GABA含有組成物の30ℓジャー生産試験

30ℓジャー培養装置を使用し、NWRB2.5kgスケールのGABA生産(35°C, 40時間)についてFig. 3に示した。MSGからGABA変換率は、培養20時間で51%に達し、GABAの濃度も8.49mg/gとなり、培養40時間には添加したMSGはすべてGABAに変換され、生産濃度として16.1mg/gに達した。IFO12005の菌体増殖においても、培養24時間まで急激に増殖し、40時間後には最大菌体数 $2 \times 10^9$ cfu/mlに達した。本結果からジャー培養では酵素処理赤糠を超えるGABA生産性があることがわかった。上野ら<sup>15)</sup>は*Lactobacillus* sp. L13を用いてGYP培地のpHを5に制御することにより、グルタミン酸からGABAを6.7%生産できることを報告した。本実験では、pH制御を行っていないため、pH制御を含むジャー培養の条件を最適化することにより、GABA高生産性が期待できる。

得られた液体および固形分を含む濾過残渣のGABA含有濃度および重量は、それぞれ液体16.3mg/g, 18.3kgおよび濾過残渣20.6mg/g, 2.68kgであった。以上の結果から、本法を用いることによりGABA含有組成物として液体および濾過残渣(固体)の生産が可能と判断され、食品副産物のNWRBを用いて廃棄物を出すことなくGABA生産が可能となった。また、GABAを含有した酵

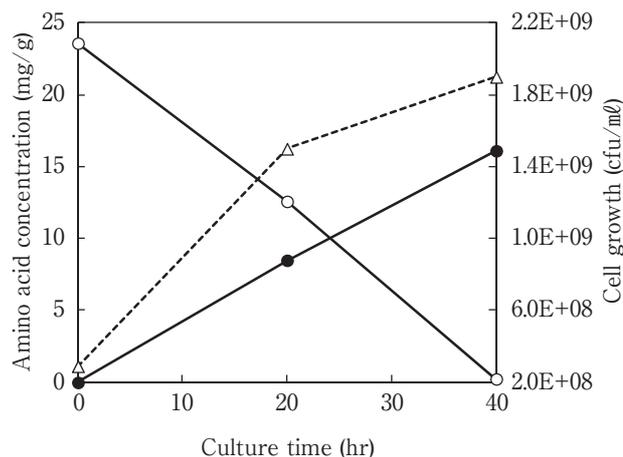


Fig. 3 Production of GABA from enzyme-processed NWRB medium using 30-ℓ jar fermentor

The enzyme-processed NWRB medium was cultivated at 200 rpm at 30°C for 40 h.

Symbols for GABA (—●—), glutamic acid (—○—), cell growth of IFO 12005 (—△—)

素処理赤糠の培養液では、固液分離しないで、そのまま乾燥することにより家畜およびペットフード用に利用できることから、酵素処理NWRBの培養液も同様に飼料などに利用可能と思われる。

今回、実験材料としたBG無洗米製造時のNWRBは、平均粒径は29μmと非常に細かいことから、固形分を含むもろみおよび濾過残渣を微粉砕することなく食品に利用可能である。また、SJR方式およびNTWP方式を用いた無洗米製造時に発生する無洗米副産物もNWRBと成分組成が似ていると考えられるため、本法によるGABA生産が可能と思われる。

## 要 約

*Lactobacillus brevis* IFO12005および無洗米副産物(NWRB)を用いてγ-アミノ酪酸(GABA)の効率的な生産法を検討した。NWRBを唯一の炭素源としてIFO12005を用いた乳酸発酵によるグルタミン酸(MSG)からのGABA生成量(変換率)は2.8mg/g(25.7%)と低かった。そこで、NWRB[加水割合3倍(NWRBに対して)]を酵素処理することで、IFO12005の発酵に必要な栄養素である(少糖, アミノ酸)を増量した酵素処理NWRBを開発した。酵素処理NWRBを用いたIFO12005によるGABA生成量(変換率)は10.8mg/g(98.7%)と著しく改善されたが、培養は4日間を要した。酵素処理NWRBの加水割合を無洗米粕重量の4倍から6~8倍に増加させることで、GABA変換率91%以上で培養期間が1日に短縮された。さらに、7倍加水した酵素処理NWRBにおけるさらなるGABA高生産性を検討した。結果、NWRB重量に対しMSG(w/w)を8~24%添加区では、GABA変換率は97%以上であり、24%区ではGABAが13.8mg/g生産された。30ℓジャー培養装置に

よる酵素処理NWRB20kgスケールの培養により97%のGABA変換率で16.1mg/gのGABA含有組成物を製造することができた。

謝 辞 本研究は農林水産省委託プロジェクト「農林水産バイオリサイクル研究」(平成17~18年度)の助成により行われたものである。

#### 文 献

- 1) 柴田恒彦・河野征弘：我が社の無洗米設備，その開発と普及，—スーパージフライス設備—，*ジャパンフードサイエンス*，**37**(8)，39~43 (1998)
- 2) 金本繁晴・柴田恒彦：無洗米—新しい無洗米化処理装置 (NTWP) の開発—，*日本食生活学会誌*，**13**，2~9 (2002)
- 3) 雑賀慶二：米のとき汁公害とBG無洗米の開発，*ジャパンフードサイエンス*，**37**(8)，33~38 (1998)
- 4) 永西 修・川島知之：無洗米製造副産物の第一胃内消化特性と栄養価，*Grassl. Sci.*，**49**，471~476 (2003)
- 5) STANTON, H. C. : Mode of action of gamma aminobutyric acid on the cardiovascular system, *Arch.Int.Pharmacodyn.*，**143**，195~204 (1963)
- 6) 岡田忠司・杉下朋子・村上太郎・村井弘道・三枝貴代・堀野俊郎・小野田明彦・梶本修身・高橋 励・高橋丈夫： $\gamma$ -アミノ酪酸蓄積脱脂コメ胚芽の経口投与における更年期障害及び初老期精神障害に対する効果，*日食工誌*，**47**，596~603 (2000)
- 7) KIM, H. Y., YOKOZAWA, T., NAKAGAWA, T. and SASAKI, S. : Protective effect of gamma - aminobutyric acid against glycerol-induced acute renal failure in rats, *Food & Chem. Toxicol.*，**42**，2009~2014 (2004)
- 8) UENO, Y., HAYAKAWA, K., TAKAHASHI, S. and ODA, K., Purification and characterization of glutamate decarboxylase from *Lactobacillus brevis* IFO12005, *Biosci. Biotech. Biochem.*，**61**，1168~1171 (1997)
- 9) 津志田籐二郎・村井敏信・大森正司・岡本順子： $\gamma$ -アミノ酪酸を蓄積させた茶の製造とその特徴の分析，*農化*，**61**，183~187 (1988)
- 10) SAIKUSA, T., HORINO, T. and MORI, Y.: Distribution of free amino acid in the rice kernel and kernel fractions and the effect of water soaking on the distribution, *J. Agric. Food Chem.*，**42**，1122~1125 (1994)
- 11) KONO, I. and HIMENO, K. : Changes in  $\gamma$ -aminobutyric acid content during beni-koji making, *Biosci. Biotech. Biochem.*，**64**，617~619 (2000)
- 12) YOKOYAMA, S., HIRAMATSU, J. and HAYAKAWA, K. : Production of  $\gamma$ -aminobutyric acid from alcohol distillery lees by *Lactobacillus brevis* IFO12005, *J. Biosci. and Bioeng.*，**93**，95~97 (2002)
- 13) 早川 潔・上野義栄・河村真也・谷口良三・小田耕平：乳酸菌による $\gamma$ -アミノ酪酸の生産，*生物工程*，**75**，239~244 (1997)
- 14) 大友理宣・木村貴一・渡辺誠衛・戸枝一喜：米糠を用いた*Lactobacillus brevis* IFO12005による $\gamma$ -アミノ酪酸含有組成物の生産，*生物工程*，**84**，479~483 (2006)
- 15) 上野義栄・平賀和三・森 義治・小田耕平：漬物から $\gamma$ -アミノ酪酸 (GABA) 高生産性乳酸菌の分離と応用，*生物工程*，**85**，109~114 (2007)
- 16) 渡辺隆幸・保莉美佳・戸枝一喜・伊藤英晃：秋田味噌のイソマルトースとグルコースの比率，*味噌の科学と技術*，**56**，291~294 (2008)

(平成23年7月20日受付，平成23年10月13日受理)

# Antioxidant Activities of Mongolian Medical Plants: *Pentaphylloides fruticosa* as a Traditional Source of Natural Antioxidants

TORII Yasuyoshi<sup>\*1§</sup>, SHIMIZU Keisuke<sup>\*2</sup> and TAKENAGA Fumio<sup>\*1</sup>

\* 1 College of Bioresource Sciences, Nihon University, 1866 Kameino, Fujisawa-shi, Kanagawa 252-0880

\* 2 Japan Pet and Animal College, 3-17-17 Akatsuka-Shinmachi, Itabashi, Tokyo 175-0093

A recent increase in lifestyle-related diseases has drawn attention to the disease-preventing and health-promoting effects of traditional foods. Although the standard Mongolian meal is based on animal-derived foods, lifestyle-related diseases in Mongolia are uncommon. The present study examined Mongolian medical plants naturally growing on steppes as a source of antioxidants. A total of 20 samples were collected, and methanol extracts of these plants were tested for antioxidant activity. A rosaceous plant, *Pentaphylloides fruticosa* (Mongolian name, Borolzgono; Japanese name, Kinro-Bai), had the highest antioxidant effect in the 1, 1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl radical scavenging assay and the ferric rhodanate method and had the highest polyphenolic content. In Mongolia, tea made from *P. fruticosa* has been used to treat liver diseases, in which inflammation plays an important pathophysiological role. The polyphenolic components, as well as compounds such as ursolic acid, may have anti-inflammatory and cell-regulatory properties that contribute to liver protection.

(Received Jul. 7, 2011; Accepted Oct. 20, 2011)

**Key words** : mongolian medical plants, antioxidant, *Pentaphylloides fruticosa*, borolzgono  
モンゴル薬草, 抗酸化性, キンロバイ

A recent increase in lifestyle-related diseases has drawn attention to the disease-preventing and health-promoting effects of traditional foods. The protective effects of traditional foods must be evaluated, especially since the Western lifestyle is gaining popularity worldwide. Many studies have suggested that traditional foods have protective effects against a variety of lifestyle-related diseases, including cancer, diabetes, cardiovascular disease, and atherosclerosis<sup>1)</sup>. Our recent work has focused on discovering and evaluating the functional components of traditional foods that reduce disease occurrence and progression; these components are therefore candidates for chemoprevention and chemotherapy. In particular, these functional components are being investigated for antioxidant and enzyme inhibitory properties. Many such factors were previously thought to be non-nutritional and thus unimportant; however, they have recently been found to have various health-promoting activities.

The staple Mongolian diet is based on animal-

derived foods, including mutton and cow's and horse's milk. Nevertheless, lifestyle-related diseases in Mongolia are less common than in other populations with a high consumption of animal-derived foods. Although the major dietary sources of antioxidants are typically vegetables and fruits, the consumption of vegetables and fruits in Mongolia is low. Therefore, the consumption of the medical plants that grow on the Mongolian steppe may contribute to the overall health of the Mongolian population. Nomads likely obtain nutritional factors that are deficient in animal-derived foods from medical plants and herbs. However, research on the chemical and functional components of Mongolian medical plants remains scarce. In the present study, we examined whether Mongolian medical plants growing on steppes are a source of antioxidants.

## Materials and Methods

### 1. Chemicals

1, 1-Diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH) was obtained

§ Corresponding author, E-mail: torii@brs.nihon-u.ac.jp

from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA). All other chemicals were of analytical grade and were purchased from WAKO Chemical Co. (Japan).

## 2. Mongolian plant materials

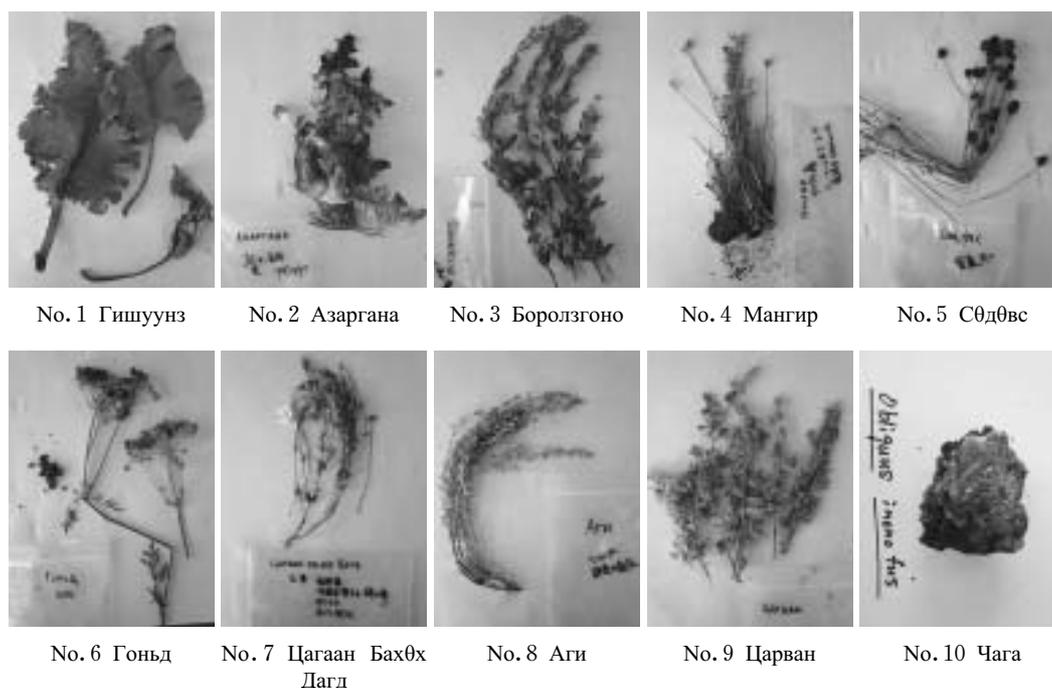
A total of 20 plant varieties were collected in August 2004 in the Khentii Aimag prefecture of

Mongolia under the instruction of the local nomadic population. Among these plants, 10 showed antioxidant activity (Table 1 and Fig. 1). As indicated in Table 1, some of these plants have been used for medicinal purposes. The remaining plants showed very weak or no antioxidant activity

**Table 1** Mongolian medical plants with antioxidant activity

No.	Mongolian names	Scientific names	Subjects	Japanese names of related plants	Function/usage
1	Гишуун (Gishuun)	<i>Rumex acetosa</i>	Polygonaceae	Suiba	Starter for Tarag (yogurt) production
2	Азаргана (Azargana)	<i>Cirsium dipsacolepis</i>	Compositae (Asteraceae)	Mori-azami	Edible
3	Боролзгоно (Borolzgono)	<i>Pentaphylloides fruticosa</i>	Rosaceae	Kinnro-bai	Liver diseases (hepatitis and others)
4	Мангир (Mangir)	<i>Allium altaicum</i>	Liliaceae	Chive or Negi	Edible
5	Сөдөвс (Söd öws)	<i>Sanguisorba officianalis</i>	Rosaceae	Waremokou	Gastric medicine
6	Гоньд (Gonbd)	<i>Libanotis buchtormensis</i>	Umbelliferae (Apiaceae)	Ibuki-bouhuu	Spice, cold and flu
7	Цагаан Ба Хөх Дэгд (Tsagaan Ba Khökh Degd)	<i>Lomatogonium rotatum</i>	Gentianaceae	Hime-sennburi	Pneumonia
8	Аги (Agi)	<i>Artemisia austriaca</i>	Compositae (Asteraceae)	Niga-yomogi	Shampoo
9	Царван (Tsarwan)	<i>Artemisia sp.</i>	Compositae (Asteraceae)	Takane-yomogi	Cough, throat ache, asthma
10	Чара (Tsaga*)	<i>Obliguus inonofus</i>	Poliporales	Kabanoanatake	Immunity activation, cancer prevention, exhaustion

\*: "Tsaga" is originally Russian name of the mushroom, and also used in Mongolia.



**Fig. 1** Mongolian medical plant extracts with antioxidant activity (sample nos. 1-10)

Identification and characterization of each plant listed in Table 1.

and are not listed. Although close relatives of most of the collected plants can be found in Japan or China, they do not have a similar traditional usage.

Approximately 100 g of each dried, ground plant material was soaked in 1 ℓ of methanol for 5 days and mixed every 24 h by gentle inversion of the bottles. The final extracts were filtrated with Whatman filter paper No. 1 (Whatman Ltd., England). An aliquot of the filtrated extracts were concentrated under vacuum on a rotary evaporator at 40°C to measure the concentrations of the extracted components. Working solutions (5mg/ml) of the extracts were prepared in methanol and stored at 4 °C until use.

### 3. Assays for polyphenolic contents and antioxidant activities

Water and methanol extracts were prepared from dried plant samples by extraction with a 5-fold volume of solvent and were used in further experiments. The polyphenol concentration of each extract was determined with the Folin-Denis method using gallic acid and epicatechin as standard polyphenolic compounds<sup>2),3)</sup>.

Antioxidant activities were assessed by the peroxide value (also known as the ferric rhodanate method)<sup>4),5)</sup> in which ferric chloride, potassium thiocyanate, and linoleic acid were used as substrates. Antioxidant activities were also measured by the DPPH-radical scavenging assay<sup>6)</sup>. Working solutions of the test extracts were prepared in methanol. A 1-100 µg/ml solution of ascorbic acid was used as standard. A 0.002% DPPH solution was prepared in methanol, and 1 ml of the DPPH solution was mixed with 1 ml of the sample solution or standard solution. The solution mixtures were kept in the dark for 30 min; then, the optical density was measured at 517 nm using a spectrophotometer (UV-mini 1040, Shimazu Co., Japan). Methanol (1 ml) mixed with the DPPH solution (1 ml) was used as a blank. The optical density was recorded, and percentage inhibition was calculated as:

DPPH scavenging activity (%) = [(A - B)100%]/A  
where A is the optical density of the blank, and B is the optical density of the sample.

## Results and Discussion

Reactive oxygen species (ROS) -induced peroxidation of biomolecules, such as lipids, contributes to the development and progression of

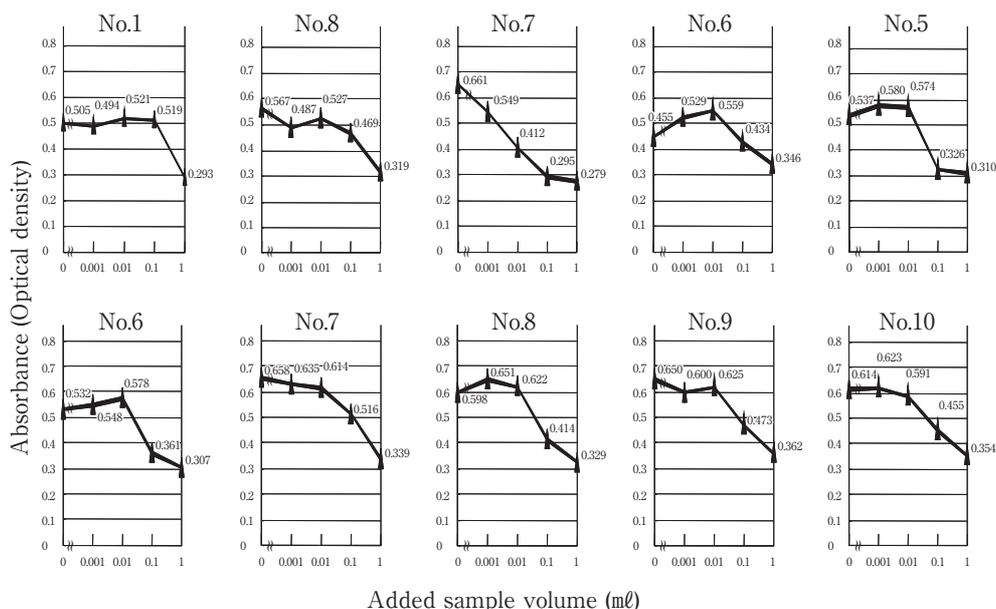
various lifestyle - related diseases. Antioxidant components in food scavenge ROS and thus suppress the lipid peroxidation. In the present study, some of the samples displayed markedly high antioxidant properties. Other samples, in contrast, displayed weak or no antioxidant properties (data not shown).

Among the samples tested, sample no. 3, a rosaceous plant named *Pentaphylloides fruticosus* (Mongolian name, Borolzgono; Japanese name, Kinro-Bai), had the strongest antioxidant properties in the DPPH radical scavenging assay (Table 2) and the ferric rhodanate method (Fig. 2). The water extracts of the plants were similarly effective as the methanol extracts. After partial purification of sample no. 3, the antioxidant activity was found in the water-soluble fraction and then in the ethyl-acetate fraction after stepwise fractionation (data not shown). The extract of sample no. 3 contained a higher concentration of polyphenolic components than extracts of other samples, and 11.3% of the total polyphenolic compounds were recovered in the ethyl-acetate fraction.

Hot-water extracts of *P. fruticosus* have been used as a traditional medicine for liver diseases in Mongolia. *P. fruticosus* is used for herbal tea in Europe and also used as a remedy for fever and gastric problems in China traditionally. In Japan, a plant closely related to *P. fruticosus* grows as an alpine plant but is not utilized for medicinal purposes. Antioxidant effect of *P. fruticosus* has not been examined and reported in former related studies<sup>7)</sup>. The aqueous extract of *P. fruticosus* has

**Table 2** Polyphenol contents and DPPH radical scavenging activity of Mongolian medical plants extracts (sample nos. 1-10)

No.	Relative polyphenol content in extracts (µg/ml)	Polyphenol content in plant body (mg/g, wet weight)	DPPH radical scavenging activity (%)
1	14.39	0.68	94.64
2	8.18	1.07	69.89
3	61.23	3.06	96.91
4	12.09	0.60	93.30
5	32.35	1.62	96.39
6	24.94	1.24	89.59
7	17.61	0.88	91.68
8	25.14	1.26	93.18
9	18.79	0.94	93.81
10	21.92	1.10	78.31



**Fig. 2** Inhibitory effects of Mongolian medical plant extracts (sample nos. 1-10) on lipid peroxidation. Oxidative degradation of free linoleic acid was detected by the ferric rhodanate assay

been reported to have a protective effect against chronic toxic hepatitis in an experimental rat model<sup>8</sup>). Many liver disorders, such as hepatitis and hepatoma, are related to chronic inflammation and excessive ROS formed by toxic chemicals, alcohol, and viral infection. Therefore, antioxidants in medical plants may be used to treat inflammatory liver disorders. *P. fruticosa* is also rich in ursolic acid, a tri-terpene commonly found in herbs, which can regulate hepatic lipid metabolism via activation of PPAR- $\gamma$ <sup>9</sup>). Recently, ursolic acid was also reported to have anti-tumor effects<sup>10</sup>). However, ursolic acid is not a polyphenolic compound and has weak antioxidant activity. Therefore, we speculate that *P. fruticosa* contains high levels of antioxidant polyphenolic compounds aside from ursolic acid. We are currently pursuing the purification and identification of the active components in *P. fruticosa* and will perform further functional evaluations in a cell culture system.

Presently, antioxidation is considered an important feature of foods. ROS are highly reactive oxygen-related molecules. A small, but significant, portion of oxygen molecules in the body is converted to ROS via enzymatic or non-enzymatic reactions. Most ROS is rapidly scavenged and detoxified. However, excess ROS production leads to ROS that goes unscavenged and can have severe consequences. In particular, ROS rapidly attacks lipids and other

biomolecules including nucleic acids, resulting in peroxidation. An accumulation of peroxidized lipids can induce atherosclerosis and other cardiovascular diseases. Oxidative damage to genomic DNA can cause cancer and other diseases.

Antioxidants are chemical agents that suppress peroxidation. As such, they play an indispensable role in homeostasis and health maintenance. Many traditional foods and medical plants are used in Japan and other areas for longevity; recently, some have been shown to have strong antioxidant activities. For example, there is a wide variety of antioxidant foods and plants in the southern Japanese islands, the Okinawa islands, where the indigenous population is known for its longevity. The consumption of antioxidants contained in the traditional Okinawan meal may promote Okinawan longevity. However, in recent years, the Okinawan lifespan has declined; this may be due to a shift towards a Western lifestyle after a long occupation by United States and recent urbanization. Indeed, obesity and other lifestyle-related diseases are increasing in Okinawa, and the average lifespan has declined each year. The situation in Okinawa may foreshadow similar crises in Japan and other Asian countries, including Mongolia. Therefore, it is critical to investigate the health benefits of traditional foods.

The longevity and health of the Japanese and Okinawan populations are likely due to their large

variety of foods. In contrast, there is a smaller variety of foods in Mongolia. For hundreds of years, the Mongolian people have had a nomadic lifestyle. The staple foods of the Mongolian nomads are meats and dairy products. Their only common plant-derived foods are wheat breads or noodles and tea. Although consumption of vegetables and fruits is increasing in Mongolia, it remains lower than that of Japan and the United States. Many epidemiologic studies have demonstrated that excessive consumption of animal-derived foods contributes to an increased risk of lifestyle-related diseases, including cardiovascular diseases. The increase in lifestyle-related disease in Japan, Okinawa, and other countries may be a result of an increased consumption of animal-derived foods. However, data from the Mongolian government and the WHO<sup>11)</sup> indicate that those diseases are less common in Mongolia than expected. While the morbidity rate of coronary disease in Mongolia is almost equal to that of the United States, the morbidity rate of diabetes is approximately 1/5 that of Japan and the United States. In the United States, which has a high prevalence of lifestyle-related diseases and obesity, the government has enacted a national project named "Healthy People 2000" in order to reduce the occurrence of these diseases. It is surprising that the Mongolian population, which consumes mostly meat and dairy products, should have a low rate of lifestyle-related disease. This phenomenon is termed the "Mongolian Paradox", which is based on the famous French paradox. French people consumed many animal-derived fats but have a lower rate of cardiovascular than other European populations. It is now thought that the French population is protected due to a high consumption of red wine, which contains antioxidants, such as anthocyanidine pigments from red grapes. Therefore, we hypothesize that factors found in traditional Mongolian foods help prevent lifestyle-related diseases.

The use of traditional medicines and medical plants in Asia has 3 important origins: *Ayul Veda* from India, Chinese medicine, and Tibetan medicine. Mongolian medicine has been influenced by these practices, especially by Tibetan medicine and Tibetan Buddhism. Nevertheless, the medicinal usage of Mongolian plants has a long tradition that is unique to the Mongolian climate, geological conditions, and nomadic lifestyles.

We hypothesize that the factors underlying the "Mongolian Paradox" are the use of fermentation and medical plants. Fermentation is used for milk storage and hygiene. Fermentation of milk with *Lactobacterium* and other microorganisms, such as yeasts, increases the nutritional value of milk by inducing the production of vitamins by microorganisms; fermentation also results in the production of probiotics and prebiotics that enhance immunity.

The Mongolian people have utilized medical plants as a natural gift, "Medicine Box on Green". Under the Munkhtengel (The Eternal Sky, an object of worship in the Mongolian culture), "Mongolian Paradox" is ongoing and supports the Mongolian people's health. The present study on Mongolian traditional medicine may benefit the health of not only the Mongolia people, but also those around the world.

**Acknowledgement** The authors deeply thank Mr. Hisayuki Tanaka (Japan / Mongolia Cultural Relationship Supporting Association "ALLIANCE") and Mr. Bold (Mongolian Nomad) for their cooperation in sampling the plant samples. We also thank Dr. Dambadarjaa Purevdorj (Mongolia University of Science and Technology, School of Food Science and Biotechnology) for many helpful suggestions.

### References

- 1) OHGASHI, H., OSAWA, T., TERAQ, J., WATANABE, S. and YOSHIKAWA, T. eds.: *Food Factors for Cancer Prevention* (Springer-Verlag), pp.39~46 (1997)
- 2) VINSON, J. A., HAO, Y., SU, X. and ZUBIK, L.: Phenol Antioxidant Quantity and Quality in Foods: Vegetables, *J. Agri. Food Chem.*, **46**, 3630~3634 (1998)
- 3) VINSON, J. A., SU, X., ZUBIK, L. and BOSE, P.: Phenol Antioxidant Quantity and Quality in Foods: Fruits, *J. Agric. Food Chem.*, **49**, 5315~5321 (2001)
- 4) KOCH, R. B., STERN, B. and FERRARI, C. G.: Linoleic acid and trilinolein as substrates for soybean lipoxidase, *Arch. Biochem. Biophys.*, **78**, 165~179 (1958)
- 5) NAGASHIMA, M., FUKUDA, Y. and ITO, R.: Antioxidative lignans from industrial wastewater in cleaning of black sesame seed, *Nippon Shokuhin Kagaku Kougaku Kaishi*, **46**(6), 382~388 (1999)

- 6) NORUMA, T., KIKUCHI, M. and KAWAKAMI, Y.: Proton-donative antioxidant activity of fucoxanthin with 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), *Biochem. Mol. Biol. Int.*, **42**, 361~370 (1997)
- 7) MYAGMAR, B. E. and ANIYA, Y.: Free radical scavenging action of medicinal herbs from Mongolia, *Phytomedicine.*, **3**, 221~229 (2000)
- 8) KOLPAKOV, M. A., GREK, O. R., BASHKIROVA, Y. V., LYUBARSKII, M. S. and RAVILOVA, Y. R.: Hepatoprotective Properties of Aqueous Extract from *P. fruticosus* during Chronic Toxic Hepatitis, *Bull. Exp. Biol. Med.*, **131**(5), 470~472 (2001)
- 9) JIA, Y., BHUIYAN, M. J., JUN, H. J., LEE, J. H., HOANG, M. H., LEE, H. J., KIM, N., LEE, D., HWANG, K. Y., HWANG, B. Y., CHOL, D. W. and LEE, S. J.: Ursolic acid is a PPAR- $\gamma$  agonist that regulates hepatic lipid metabolism, *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, **21** (19), 5876~80 (2011)
- 10) KUTTAN, G., PRATHEESHKUMAR, P., MANU, K. A. and KUTTAN, R.: Inhibition of tumor progression by naturally occurring terpenoids, *Pharm. Biol.*, **49** (10), 995~1007 (2011)
- 11) National statistical office of Mongolia: Mongolian Statistical Yearbook 2010, (2011).

## モンゴル伝統薬草類の抗酸化性評価/ キンロバイの抗酸化性

鳥居恭好\*<sup>1</sup>・清水敬介\*<sup>2</sup>・竹永章生\*<sup>1</sup>

\* 1 日本大学生物資源科学部食品生命学科  
(〒252-0880 神奈川県藤沢市亀井野1866)

\* 2 日本ペット&アニマル専門学校  
(〒175-0093 東京都板橋区赤塚新町3-17-17)

世界各地の伝統食品の機能性、特に健康増進・疾病予防効果は、生活習慣病の増加に伴い近年重視されている。種々の生活習慣病に活性酸素種による脂質など生体分子の過酸化反応が深くかかわっているとされる。モンゴル産薬用植物は長い伝統と独特の背景を有し注目に値する。モンゴル遊牧民の伝統的主食は畜肉と乳製品である。動物性食品の過剰摂取は生活習慣病のリスク因子であるが、モンゴルにおける冠状動脈性心臓病・糖尿病罹患率は食習慣から推定されるより低い。私たちはこの現象を「French Paradox」に準え「Mongolian Paradox」と位置づけ、検討を進めている。

遊牧民の指導のもと、薬用植物試料20数種をモンゴル国ヘンティ県で採集し試料とした。全草より水およびメタノール抽出物を得、ポリフェノール定量、抗酸化活性評価を行った。

本研究で用いた試料のうち、数種に極めて強い抗酸化活性を見いだした。このうち最も強い抗酸化活性とポリフェノール含量を示したバラ科キジムシロ属の多年草 *Pentaphylloides fruticosus* (モンゴル名: Borolzgono, 和名: キンロバイ) は、全草を煎じて肝臓の薬として用いられている。肝炎や肝がんなど肝臓病の多くはその前駆病変として慢性の炎症を伴うことが知られ、強い抗酸化性をもつ薬草が肝臓病の治療に用いられてきたことは作用機作の面から興味深い。

(平成23年7月7日受付, 平成23年10月20日受理)

# Effect of Heat and Conditioning Treatments on Chilling-induced Increase in Electrolyte Leakage of Cucumber Fruit

AFRINA Akter<sup>\*1</sup>, YAMASAKI Masaya<sup>\*2</sup>, KATO Masaya<sup>\*2</sup>,  
TAKAGI Toshihiko<sup>\*2</sup> and YAMAWAKI Kazuki<sup>\*1§</sup>

\* 1 *The United Graduate School of Agricultural Science, Gifu University, Yanagido, Gifu 501-1193*

\* 2 *Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Ohya, Suruga-ku, Shizuoka 422-8529*

The efficacy of water heat and conditioning treatments to improve chilling tolerance in cucumber fruits was determined based on electrolyte leakage from flesh sections. Water heat treatment at 40~50°C for 15~60 min significantly retarded the chilling-induced increase in electrolyte leakage (CIEL) of cucumber fruit stored at 1°C. Conditioning treatments ranging from 10°C to 40°C for cucumber fruit showed little effect on retarding the CIEL, and lower temperatures of 10°C~15°C required longer durations.

(Received Jul. 28, 2011 ; Accepted Oct. 5, 2011)

**Key words** : *cucumber fruit, chilling sensitivity, electrolyte leakage, heat treatment, conditioning treatment*  
キュウリ果実, 低温感受性, 電解質漏出, 熱処理, コンディショニング処理

The cucumber (*Cucumis sativus* L.) is a widely cultivated plant of the gourd family Cucurbitaceae, members of which are known to be warm-season horticultural crops. It is evident that exposure to abiotic stress, such as heat shock before chilling, increases chilling tolerance in chilling-sensitive plants<sup>1)</sup>. HIROSE<sup>2)</sup> reported that pre-storage warming for 24 h at 36°C to 40°C (but not lower than 30°C) considerably reduced chilling injury and the respiratory rate of cucumber fruits during storage at 5°C.

Low temperature conditioning (6 or 8°C) for 3~5 days prior to 0°C storage reduced external chilling injury of avocado<sup>3)</sup>, 5°C for 6 days before 0°C storage for up to 54 days reduced postharvest chilling injury in loquat<sup>4)</sup> and 10 or 20°C for 5~15 days extended the shelf life of eggplant<sup>5)</sup>. Development of chilling injury in cucumber fruits is related to increased electrolyte leakage<sup>6),7)</sup>.

In this report, the efficacy of water heat and conditioning treatments to reduce the chilling sensitivity of cucumber fruit was assessed by measuring electrolyte leakage.

## Materials and Methods

Cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit were obtained from a local market in Shizuoka city, Japan. For water heat treatment, fruit were submerged in water at 40°C (30, 60 min), 45°C (30 min), or 50°C (15 min), and for conditioning treatment fruit were wrapped in a 0.03 mm polyethylene film bag and kept in an incubator at various temperatures (6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, and 45°C) for various durations (1, 2, 3, or 6 days), prior to storage at 1°C for 14 days. After water heat treatment at 45°C for 30 min, samples were kept at 20°C for 0 h (immediately chilled in a slurry of ice and water), 1, 6, and 24 h, and then stored at 1°C to check whether the effect of water heat treatments continued or not at room temperature.

Electrolyte leakage was determined by measuring the electrolytes that leaked from fresh tissue into deionized water. Sections of 1.5 mm thickness were excised transversely from the center of the fruit, including the epidermis but excluding the placenta. These sections were rinsed with 75 ml deionized water for 10 s. Ten pieces of these sections were placed in 75 ml deionized water at 20°C. The

electronic conductivity of this water was then measured 3 times : immediately after placing sections in deionized water, after 3 h, and after autoclaving. In order to determine the total electrolyte conductivity of sections, the sections and deionized water were autoclaved at 120°C for 20 min and then cooled to 20°C.

All experiments in this study had 5 replicates. Tukey's HSD test was used for comparison of differences between groups. Means and standard error were calculated from the data. The level of significance was  $p < 0.05$ .

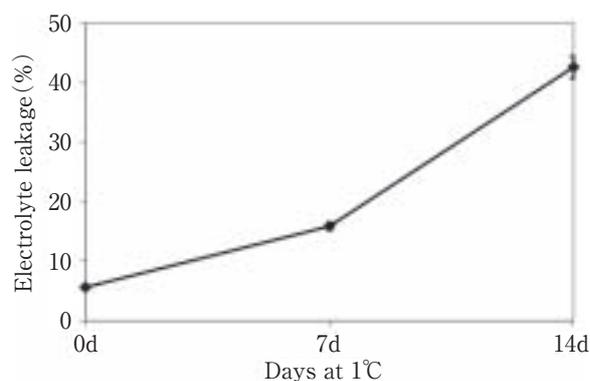
## Results

### 1. Electrolyte leakage from fresh sections of cucumber fruits

The rate of electrolyte leakage from fresh sections of cucumber fruit stored at 1°C was assessed (Fig.1). Samples stored for 14 days showed significantly ( $p < 0.05$ ) increased electrolyte leakage, around 8-fold higher than 0-day samples and 3-fold higher than 7-day samples. From these data, it is clear that fresh cucumber fruit release a higher rate of electrolytes for 14 days at 1°C, which might be due to internal tissue damage without pitting.

### 2. Effect of water heat treatments before chilling on electrolyte leakage from cucumber fruits

Water heat treatment before cold storage of various fruits is a well-known method of food preservation. Before chilling at 1°C for 14 days, various temperatures were applied to cucumber fruits for water heat treatment; cucumber fruit were marinated in hot water at 40°C (30, 60 min), 45°C (30 min) and 50°C (15 min) before storage at 1°C (Fig. 2). Among these water heat treatments,



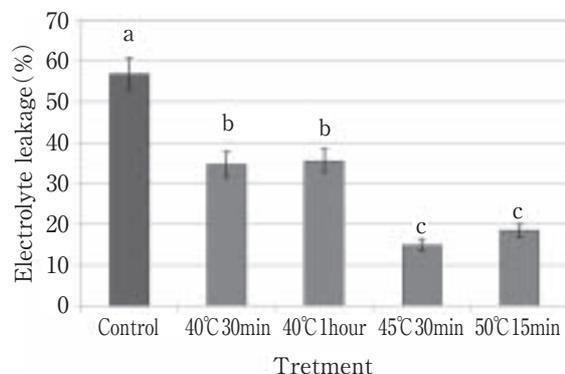
**Fig. 1** Change in electrolyte leakage from fresh sections of cucumber fruit stored at 1°C

treatment at 45°C for 30 min was found to be the most effective in retarding CIEL, which was significantly different between treatment samples. The control sample showed greater electrolyte leakage than heat-treated samples, indicating that water heat treatment was an effective preservation technique before chilling.

Electrolyte leakage of cucumber fruit heated at 45°C for 30 min followed by holding at 20°C was assessed after 14 days of storage at 1°C. It was found that treatment at 45°C for 30 min (20°C, 0 h) was significantly ( $p < 0.05$ ) more effective in retarding CIEL than other treatments (20°C for 1, 6, or 24 h), which showed CIEL similar to initial raw samples (Fig.3). However, under the same condition (20°C), electrolyte leakage increased over time; for example, electrolyte leakage had increased at 24 h of treatment and a similar increasing pattern was observed at 48 h of treatment (data not shown). The rate of electrolyte leakage was markedly high in the control, indicating that water heat treatment before chilling was effective to retard CIEL.

### 3. Effect of conditioning treatment before chilling on electrolyte leakage from cucumber fruit

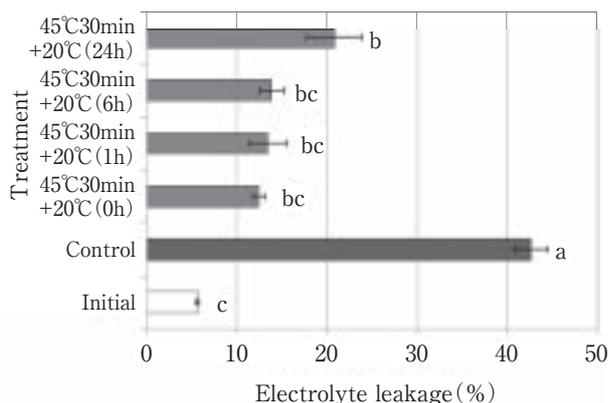
In the conditioning treatments, the rate of electrolyte leakage from control fruit increased during storage at 1°C for 14 days as compared to the initial samples (Fig.4). Cucumber fruits treated from 6 to 20°C showed higher electrolyte leakage relative to control samples. A longer period (6 days) of conditioning treatment at 10, 12, or 15°C resulted in greater retardation of CIEL than did a shorter period (3 days) of conditioning treatment.



**Fig. 2** Effect of water heat treatment on electrolyte leakage from fresh sections of cucumber fruit stored at 1°C for 14 days

Each bar represents mean  $\pm$  SE,  $n = 5$ .

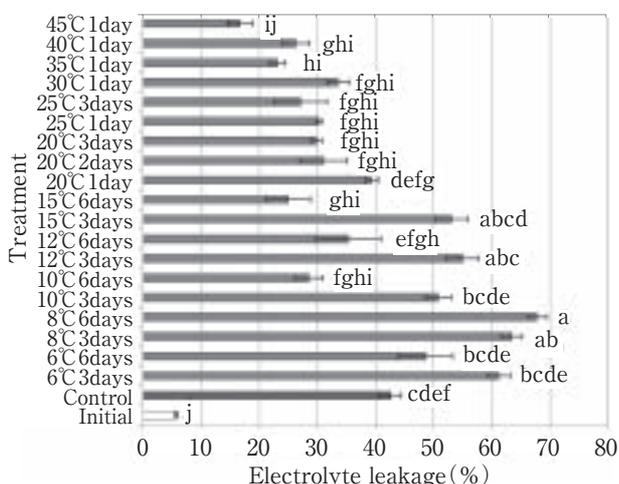
Different letters indicate significant difference, ( $p < 0.05$ )



**Fig. 3** Effect of water heat treatment on electrolyte leakage from fresh sections of cucumber fruit stored at 1 °C for 14 days

Each bar represents mean ± SE, n=5.

Different letters indicate significant difference, (p<0.05)



**Fig. 4** Effect of conditioning treatment on electrolyte leakage from fresh sections of cucumber fruit stored at 1 °C for 14 days

Each bar represents mean ± SE, n=5.

Different letters indicate significant difference, (p<0.05)

Treatment at 25~40°C showed a slight tendency to retard CIEL but was not significantly different, and 1 day of conditioning treatment at 45°C showed significantly retarded CIEL, similar to that seen with water heat treatment.

### Discussion

In the present study, control cucumber fruit (Fig.1) showed a higher rate of electrolyte leakage during long-time storage, an observation supported by similar previous findings with cucumber<sup>8)</sup> and tomato<sup>9)</sup>. It is well known that each cell is a reservoir of electrolytes that is protected by the cell membrane, and the amount of ion release by the

cell is inversely related to the retention capability of the cell membrane. The cell membrane permits the release of more ions when membrane permeability is increased by damage and other environmental factors<sup>8)</sup>.

Water heat treatment at 45°C for 30 min (Fig.2) was found to be most effective in retarding CIEL among all the water heat treatments. These results indicate that the application of water heat treatment before chilling makes the tissue more resistant to the physiological damage that occurs during chilling. McDONALD *et al.*<sup>10)</sup> have also reported that CIEL was retarded upon water heat treatment of tomato fruit before chilling. In general, the positive effect of heat treatment to retard CIEL in cold - stored horticultural products is well documented and reported<sup>9)</sup>. The salient causes of such a protective effect are thought to be the consequences of the induction, synthesis, and accumulation of heat-shock proteins<sup>11)</sup>. In addition to heat-shock proteins, other cellular components are associated with cell permeability and electrolyte leakage in pre-heat-shocked cold-stored cucumber fruit.

Conditioning treatment (Fig.4) of cucumber fruit at 10 to 15°C for a longer period (6 days) was found to be less effective in retarding CIEL than a shorter period (3 days). A similar conditioning effect has been demonstrated in eggplant fruit<sup>5)</sup>. The lower retardation of CIEL with a longer period of conditioning might be due to cold shock before storage, which might be a factor in changing the permeability status of cell walls. The irregular increase in electrolyte leakage with treatment at 10 to 15°C for a shorter period could be due to the excessive damage of cellular components. Electrolyte leakage with conditioning treatment at 45°C was similar to water heat treatment, which might be due to the reduced damage to membrane permeability.

This study reports a greater protective action of water heat and conditioning treatments against chilling injury in the cold storage of horticultural products; however, the core mechanisms of the superiority of water heat and conditioning treatments are still unclear and require further study. Pre-storage treatment with either water heat or conditioning treatment was effective to minimize electrolyte leakage and chilling sensitivity in cucumber.

## References

- 1) SALTVEIT, M. E.: Prior temperature exposure affects subsequent chilling sensitivity, *Physiol. Plant.*, **82**, 529~536 (1991)
- 2) HIROSE, T.: Effects of pre and interposed warming on chilling injury, respiratory rate and membrane permeability of cucumber fruits during cold storage, *J. Jap. Soc. Hortic. Sci.*, **53**, 459~466 (1985)
- 3) WOOLF, A. B., COX, K. A., WHITE, A. and FERGUSON, I. B.: Low temperature conditioning treatments reduce external chilling injury of 'Hass' avocados, *Postharvest Biol. Technol.*, **28**, 113~122 (2003)
- 4) CAI, C., XU, C. J., SHAN, L. L., LI, X., ZHOU, C. H., ZHANG, W. S., FERGUSON, I. and CHEN, K. S.: Low temperature conditioning reduces postharvest chilling injury in loquat fruit, *Postharvest Biol. and Technol.*, **41**, 252~259 (2006)
- 5) ABE, K. and CHACHIN, K.: Chilling injury in eggplant fruits. VII. Influence of conditioning on the occurrence of chilling injury and the changes of surface structure of eggplant fruits, *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.*, **54**, 247~256 (1985)
- 6) CABRERA, R. M. and SALVEIT, M. E.: Physiological response to chilling temperatures of intermittently warmed cucumber fruit, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **115**, 256~261 (1990)
- 7) SALTVEIT, M. E.: The rate of ion leakage from chilling-sensitive tissue does not immediately increase upon exposure to chilling temperatures, *Postharvest Biol. Technol.*, **26**, 295~304 (2002)
- 8) EAKS, I. L. and MORRIS, L. L.: Respiration of cucumber fruits associated with physiological injury at chilling temperature, *Plant Physiol.*, **31**, 308~314 (1956)
- 9) SALTVEIT, M. E.: Influence of heat shocks on the kinetics of chilling-induced ion leakage from tomato pericarp discs, *Postharvest Biol. Technol.*, **36**, 87~92 (2005)
- 10) MCDONALD, R. E., MCCOLLUM, T. G. and BALDWIN, E. A.: Temperature of water heat treatments influences tomato fruit quality following low-temperature storage, *Postharvest Biol. Technol.*, **16**, 147~155 (1999)
- 11) LAFUENTE, M. T., BELVER, A., GUYE, M. G. and SALTVEIT, M. E.: Effect of temperature conditioning on chilling injury of cucumber cotyledons: Possible role of abscisic acid and heat shock proteins, *Plant Physiol.*, **95**, 443~449 (1991)

### キュウリ果実の低温による電解質漏出増大に対する高温とコンディショニング処理の効果

アフリナ アクター<sup>\*1</sup>・山崎雅哉<sup>\*2</sup>・加藤雅也<sup>\*2</sup>  
高木敏彦<sup>\*2</sup>・山脇和樹<sup>\*2</sup>

\*1 岐阜大学大学院連合農学研究科  
(〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)

\*2 静岡大学農学部  
(〒422-8529 静岡県静岡市駿河区大谷836)

キュウリ果実の低温耐性を向上させる熱およびコンディショニング処理の効果をも果肉組織切片の電解質漏出量を測定することで調べた。熱水処理(40~50℃, 15~60分)は、キュウリ果実を1℃貯蔵したときにみられる低温誘導の電解質漏出量の増大(CIEL)を顕著に抑えた。10~40℃の範囲でコンディショニング処理をキュウリ果実に施しても、CIELを抑える効果がみられたが、10~15℃の低い処理温度ではより長い日数を必要とした。

(平成23年7月28日受付, 平成23年10月5日受理)

# 米飯の食味形成に及ぼす澱粉および細胞壁分解酵素作用に関する研究

平成23年度日本食品保蔵科学会奨励賞

辻井良政\*§

\* アルファ食品㈱

## Effect of Starch and Cell Wall Degradation Endospermous Enzymes on the Palatability of Cooked Rice

TSUJII Yoshimasa\*§

\* 1 Alpha Foods Co., Ltd., Kitaaraki 645, Taisyā-cho Izumo-city, Shimane Prefecture 699-0722

**Key words** : rice, enzyme, taste, cell wall, structure

米, 酵素, 食味, 細胞壁, 構造

食品素材は加熱や混合などの物理作用によって、その成分の性状や組織構造が変化する。この変化によって多様な調理食品や加工食品が生み出され、また、変化の程度によってテクスチャーや食感が異なる。米飯では、「炊飯」すなわち精白米を「煮る」「焼く」「蒸す」の3つの加熱工程によって、その「おいしさ」が生み出される。米飯の食味は、粘り、硬さ、こし、甘み、香りおよび外観などで評価されるが、米飯は淡白なため、硬さおよび粘りなどのテクスチャーが大きな影響を与える<sup>1)~3)</sup>。

米飯の食味評価およびテクスチャーと精白米の理化学的成分分析との関係について数多くの研究がなされ、アミロースおよびタンパク質含量の少ない米が、良食味な米飯になる米と判断されてきた。竹生ら(1985年)は米飯の食味と精白米の理化学的性状の関係を解析し、精白米のアミロースおよびタンパク質含量、米粉の粘度特性値、炊飯液のヨウ素呈色度による米飯の食味判定式を提案した<sup>4)</sup>。さらに、竹生らの食味判定式を基に近赤外分析法を用いた食味計が開発された。

精白米の理化学的性状ならびに米飯の食味評価は、米の品種、生産地、気候、栽培条件、収穫後の貯蔵および炊飯プログラムなど様々な要因によって変動することが知られている。一方、近年コシヒカリおよび同近縁種が米の生産の8割以上を占め、精白米の理化学的性状が均質化したため従来の食味判定の精度が低下している。このように米飯の食味に対し多くの要因が関わっていることが、米飯の食味評価をより複雑化させている。また、米飯の食味評価の大きな要因である粘りや硬さなどテク

スチャーが炊飯によって形成されるにもかかわらず、従来の米飯食味に関する研究は、精白米の主成分である澱粉の組成や粘度および糊化特性との関連性から食味評価を論ずることに主眼が置かれてきた。このため、米飯評価の基盤となる食味が形成される機序については、十分な検証が行われていない。

筆者らは、米飯の食味が炊飯によって形成されること、米の品種だけでなく生産地・気候・栽培・貯蔵・炊飯などの様々な条件によって同食味の評価が影響されることに着目した。すなわち、米飯の食味形成要因が炊飯中に作用し、その要因は気候・栽培・貯蔵等の条件によって発現・存在量の変動すると推論し一連の研究を行い、米飯形成に対し米胚乳酵素の作用が大きな要因であることを見出した。食味や炊飯過程で影響を及ぼす酵素作用に関する視点からの報告は少ない。本研究では、特に米飯テクスチャーに影響すると考えられる炊飯中の澱粉分解酵素および細胞壁分解酵素の作用について検討を進めてきた。本総説は、本学会を中心に報告してきた細胞壁分解酵素に関する一連の研究成果を取りまとめたものである。

### 1. 精白米と米飯の細胞壁の比較について<sup>5)</sup>

精白米と米飯より粗細胞壁を調製し、ペクチン、ヘミセルロースAおよびB、セルロースに分画し走査型電子顕微鏡にて観察した結果(図1)、精白米のペクチン画分は繊維状組織が規則正しく密集した構造を形成していたが、米飯ではこの構造が大きく崩壊していた。精白米

\* 〒699-0722 島根県出雲市大社町北荒木645

§ E-mail : tsujii-y@alpha-come.co.jp

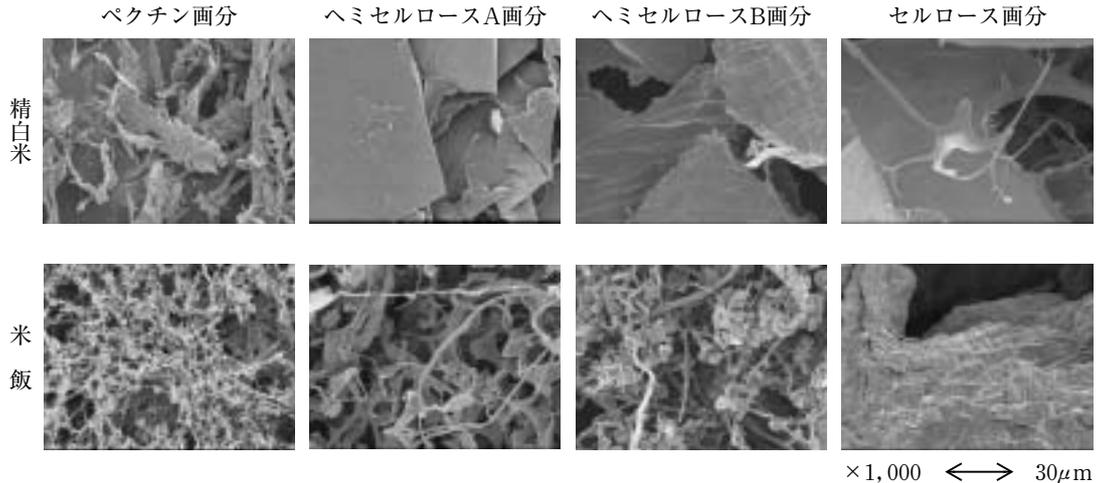


図1 精白米と米飯の細胞壁多糖画分の観察<sup>5)</sup>

のヘミセルロースAおよびB画分はそれぞれ板状の構造であったが、米飯では大きく崩壊し繊維状構造物が観察された。精白米のセルロース画分はヘミセルロース画分と同様に板状構造であり、米飯においても表面の状態に若干の変化が観察できたが大きな変化は確認されなかった。

炊飯による各細胞壁多糖の分解を分子量的に検討するため、ゲルろ過クロマトグラフィー後の各画分の比較の結果、バクチン画分は米飯では精白米で存在した主要ピークが消失し、分子量1万以下の分解物のピークを確認した。(図2)。ヘミセルロースAおよびB画分共に主要な多糖成分である分子量200万以上のピークが低分子量化し、ヘミセルロースAのほうがBよりも低分子量化した。

さらに炊飯過程における各画分の分解の様相を知るため、構成糖について解析を行った。炊飯によってバクチン画分の主要構成糖であるD-ガラクトースが63.7から19.7%と大きく減少した(表1)。逆にD-グルコースは4.1から36.9%と増加し、D-キシロース、D-マンノース、L-アラビノース、L-ラムノースおよびD-リボースもその割合も増加が確認された。バクチン画分は主鎖を構成するガラクトース量が最も変化し、バクチンは炊飯中に主鎖が分解されることが確認できた。ヘミセルロースAおよびB画分では、側鎖の構成糖であるD-グルコースおよびD-ガラクトースが減少し、さらにB画分の主鎖の構成糖であるD-キシロースは12.9%およびL-アラビノースは4.2%と増加した。ヘミセルロース画分はバクチンと異なり炊飯中に主鎖のアラビノキシランではなく、側鎖が分解作用を受けることが示唆され、電子顕微鏡観察においてバクチンより構造の崩壊が少ないことの原因と考えられた。

## 2. 酵素活性量と米飯テクスチャーの関係について<sup>6)</sup>

米胚乳細胞壁のバクチンの主鎖に作用すると考えられるポリガラクトナーゼ(以下、PG)、およびヘミセ

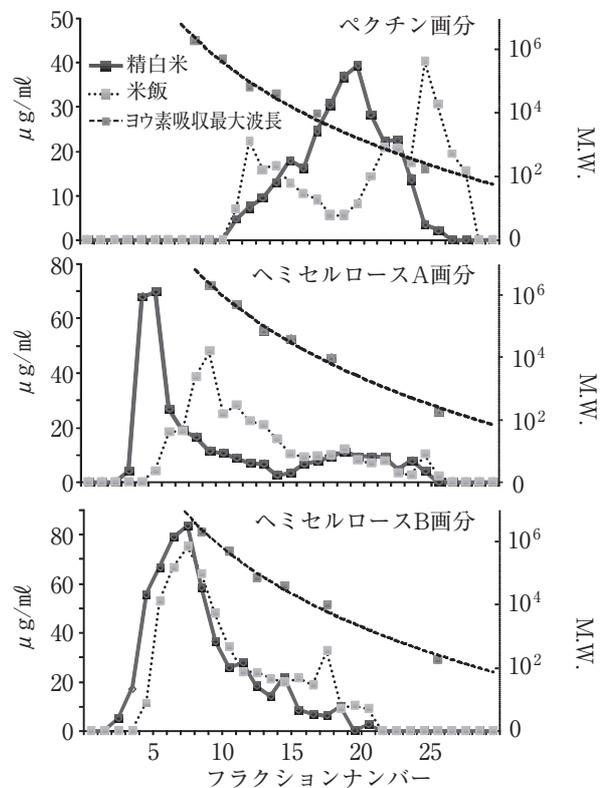


図2 精白米と米飯の細胞壁多糖画分の分子量分布比較<sup>5)</sup>

ルロースの側鎖の分解に作用する考えられるβ-ガラクトシダーゼについて、米飯テクスチャーとの関係を検討した。

PGはポリガラクトナーゼのα1-4結合を切断し、果実の軟化や成熟等に関与することから、種々の報告がある<sup>7,8)</sup>。しかし、イネ根の報告はあるが<sup>9)</sup>、胚乳中PGの報告はなく炊飯中の作用や食味との関連性に関する報告もない。そこで、短、中および長粒種の異なる9品種を用いて、PG活性量、米飯テクスチャーおよび細胞間の結着物質であるバクチン含量の比較を行った<sup>5)</sup>。その結果、各サンプルのPG活性量は35~23U/g(精白米)

表1 精白米と米飯の細胞壁多糖画分の構成糖の比較<sup>5)</sup>

	ペクチン画分		ヘミセルロースA画分		ヘミセルロースB画分	
	精白米	米 飯	精白米	米 飯	精白米	米 飯
D-ガラクトシロン酸	63.70±19.6	19.71± 8.30	0.69±1.18	1.84±1.60	1.35±1.27	1.23±1.88
D-キシロース	8.49± 0.74	5.93± 0.25	47.69±4.17	49.79±4.45	39.45±4.82	51.40±6.21
L-アラビノース	11.99± 0.59	6.01± 0.18	30.38±2.01	34.46±0.45	22.61±3.51	26.37±7.62
D-グルコース	4.08± 0.02	36.91±10.9	18.33±9.47	6.89±5.31	20.04±5.44	11.07±7.28
D-ガラクトース	8.19± 0.76	4.94± 1.03	2.14±1.81	2.40±0.27	6.20±0.50	3.77±1.00
D-マンノース	0.70± 0.36	1.09± 0.36	0.50±0.40	0.66±0.06	4.66±2.81	0.66±0.20
L-ラムノース	1.14± 0.54	2.39± 3.27	0.03±0.02	0.36±0.05	0.75±0.55	0.68±0.17
D-グルクロン酸	0.59± 0.38	0.84± 1.12	0.25±0.39	3.11±0.67	0.94±1.31	3.86±0.53
D-リボース	1.12± 0.20	22.17± 5.20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N=3 A.V.±S.D. N.D.=Not Detected 割合(%) : 「%」=各糖量(μmol/g)/各糖量の総和(μmol/g)×100  
 サンプル=コシヒカリ

表2 各試料米のポリガラクトシロナーゼ活性量と米飯テクスチャーとの関係<sup>6)</sup>

試料米	ポリガラクトシロナーゼ活性	硬 さ	付着性	ペクチン分解率
	(×10 <sup>-3</sup> Unit/g)	(×10 <sup>2</sup> N/m)	(×10 <sup>3</sup> J/m <sup>3</sup> )	(%)
コシヒカリ	35.2	2.10	24.00	40.7
あきたこまち	30.8	2.40	20.94	39.2
ひとめぼれ	30.7	3.31	17.37	40.1
ササニシキ	29.1	3.68	16.43	38.2
M202	27.9	4.01	14.14	38.5
中国米294	23.5	4.29	10.01	39.2
カルローズ	23.2	4.51	10.28	35.1
L205	27.0	4.60	0.96	33.4
T. W. R.	23.4	4.98	0.84	33.3
相関係数				
ポリガラクトシロナーゼ活性	1.000	-0.908**	0.796*	0.677*
ペクチン分解率	0.677*	-0.800**	0.901**	1.000

\*\*… $p < 0.01$  \*… $p < 0.05$

であり、短粒種のジャポニカ米で高い傾向を示した(表2)。米胚乳ペクチンは炊飯中に40.7~33.3%減少し、ペクチン分解率は米飯の硬さ( $r = -0.800$ ,  $p < 0.05$ )との間に負の相関が、PG活性量( $r = 0.671$ ,  $p < 0.05$ )との間に正の相関を示した。

一方、β-ガラクトシダーゼ(以下、Gal)は、果実成熟中に活性量が4~5倍上昇<sup>10),11)</sup>、トマトの成熟過程においてはその作用によって細胞壁多糖が分解され、ガラクトース量が顕著に増加することが明らかにされている<sup>12)</sup>。イネ培養細胞より精製されたGalの報告はあるが<sup>13)</sup>、米胚乳中のGalについての報告はない。そこで、米胚乳Gal活性量と米飯テクスチャーの関係について検討した。「低コストで品質の良い加工・業務用農産物の安定供給技術の開発4系(稲)」のプロジェクトにおいて、様々な形質をもつ新形質米82品種について検討した結果、米胚乳Gal活性量と米飯表面の硬さ(1粒測定法)との間

に負の相関( $r = -0.547$   $p < 0.01$ )が得られた(図3)。

炊飯過程での米粒内で米胚乳PGおよびGalはそれぞれ60℃および80℃まで活性が残存し(図4)、炊飯の昇温過程においてこれらの酵素が米胚乳細胞壁多糖に作用し食味を形成する要因として機能していることを明らかにした。

### 3. 細胞壁多糖分解酵素の精製と性状解析について

炊飯中に作用することが明らかになった米胚乳中PGとGalについて精製と性状解析を行った。まず、米胚乳PGに関して各種クロマトグラフィーによる精製の結果、67kDaのPG-1( $pI 5.43$ )およびPG-2( $pI 4.95$ )の2つのアイソザイムが存在していることを初めて確認した<sup>14)</sup>(図5)。MALDI-TOFMSによる質量分析から得られたペプチドの質量データとThe Rice Annotation

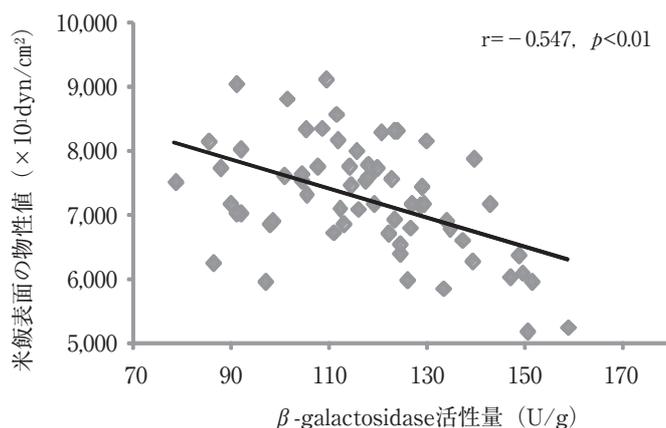


図3 β-ガラクトシダーゼ活性量と米飯テクスチャーの相関

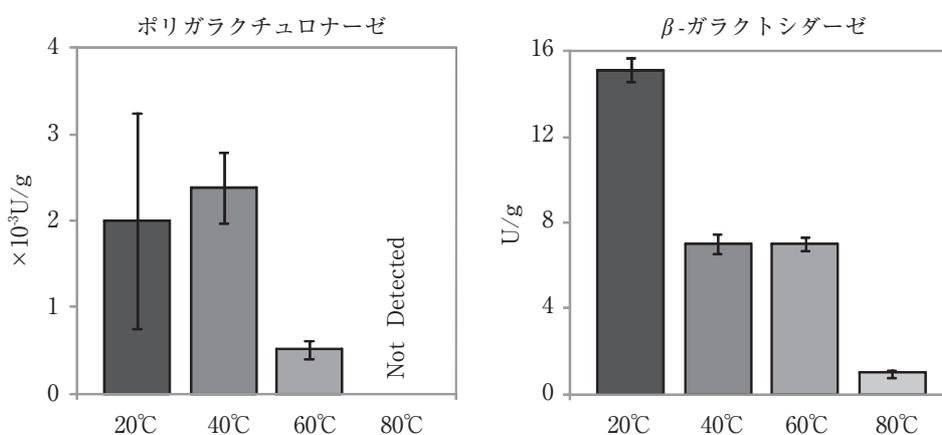


図4 炊飯中の米粒内在酵素の残存活性量の変化

Project Databaseのペプチド情報を比較した結果、イネ中で推定されているPG (Os07g0245200) と高い相同性を示した。両者とも得られた配列情報が同じあることから、翻訳語の修飾に何らかの違いがあると推察している。また、Rice Expression Profile Database (RiceXPro) の情報により、イネのすべての部位で発現していることを確認した。これは、この酵素が細胞壁構築および分解の際に必須な酵素であると考えられた。胚乳では開花後10日目くらいまで発現しており、残存する米胚乳PGが炊飯中に作用していると推察される。

精製した米胚乳PGは特異的にペクチンに作用したが、ほかの細胞壁構成多糖を分解しなかった(図5)。また、エステル化率0%のペクチンを主にエキソ的に、同23~67%のペクチンを主にエンド的に分解し、同90%のペクチンに対して作用しないことを確認した(データ未発表)。米胚乳ペクチンのエステル化率は約25%であることから(データ未発表)、米胚乳PGはエンド的に作用し、炊飯過程で高分子量ペクチンの大きな減少に関与していることが推察された。

米胚乳Galはアフィニティークロマトグラフィーによる精製とN末端のアミノ酸シーケンスの解析結果、約40kDaのタンパク質がイネ中で推定されているGal (AK

103045) と高い相同性を示した(図6)(データ未発表)。これは、イネの培養細胞より精製されたGalと同じ分子量であった<sup>13)</sup>。また、ほかに2つの活性画分を確認していることから、米胚乳中に少なくとも3種のアイソザイムの存在が示唆された(データ未発表)。精製した主要な米胚乳Galは、RiceXProの情報により子房での発現量が最も多く、イネのすべての部位で発現し、胚乳では開花後14日目くらいまで発現していることから、胚乳中に残存する本Galが炊飯中で作用することが推察される。

精製した米胚乳Galは、米胚乳より抽出したヘミセルロースを特異的に分解した(図6)。炊飯によるヘミセルロースの構成糖の変化と合わせて考えると、炊飯中に米胚乳Galがヘミセルロースの側鎖を切断し同構造の崩壊をもたらしていると考えられる。

#### 4. 米胚乳細胞壁多糖分解酵素活性量の品種、生産地などによる変動について

米胚乳の酵素活性量は品種をはじめ生産地や気候などにより変動することが考えられる。そこで、産地の異なるコシヒカリおよび同近縁種5品種(あきたこまち、ひとめぼれ、はえぬき、ヒノヒカリおよびきらら397)の43種を試料として、胚乳中の酵素活性量の変動について

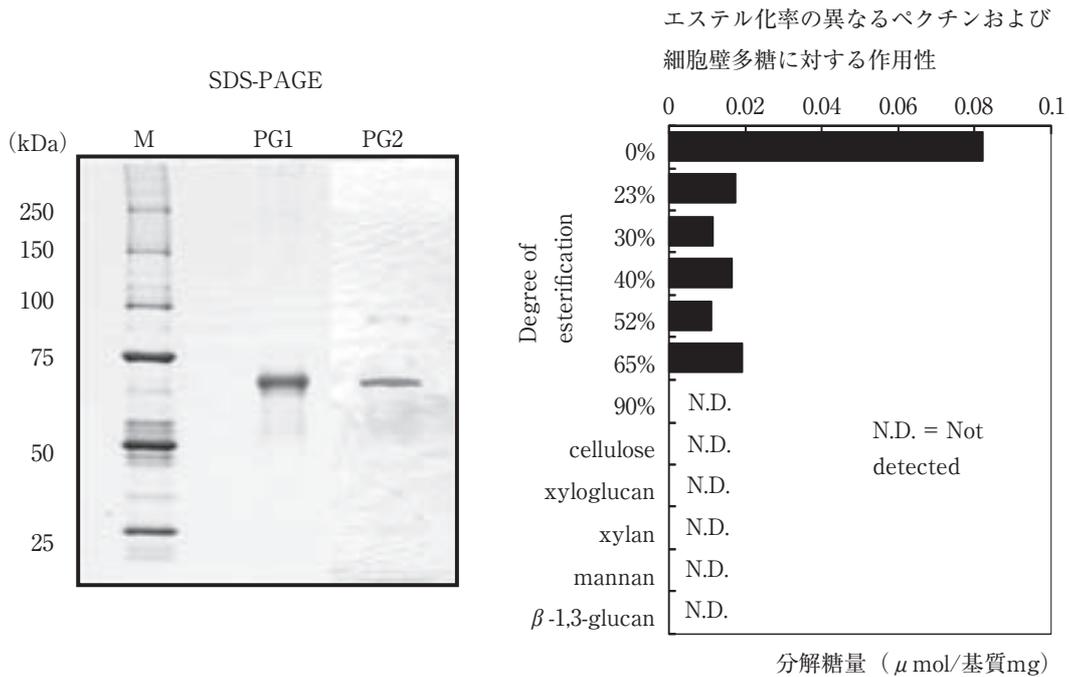


図5 精製した米胚乳ポリガラクトナーゼについて<sup>14)</sup>

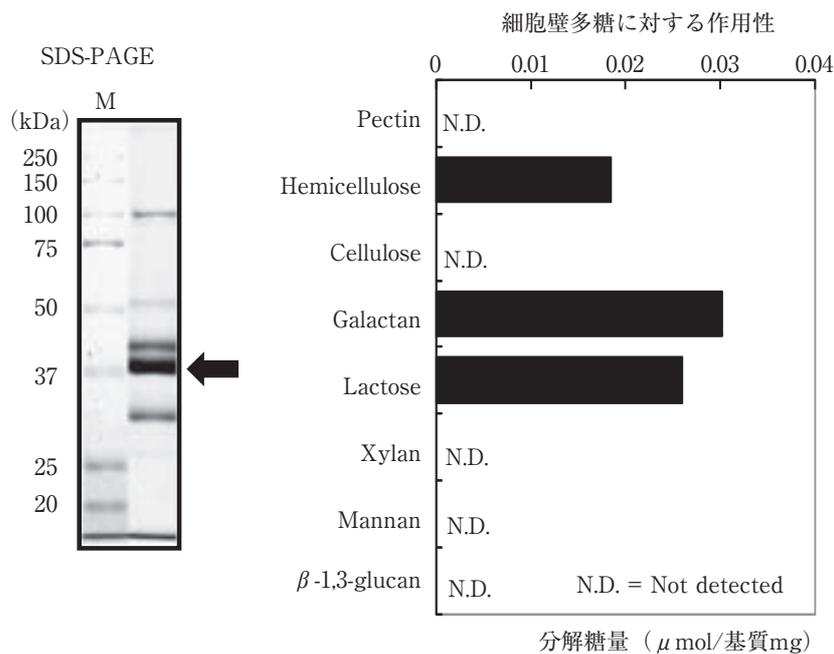


図6 精製した米胚乳 $\beta$ -ガラクトシダーゼについて

検討した。酵素活性量の測定は、簡便、迅速、高感度および基質特異性を向上させるため、合成基質を用いて $\beta$ -グルカナーゼ、 $\alpha$ および $\beta$ -ガラクトシダーゼ、 $\alpha$ -マンノシダーゼおよび $\beta$ -キシラナーゼの5種の細胞壁多糖分解酵素活性量 (U/g) を測定し、その結果を多変量解析に供した。

その一つの結果として、主成分分析による細胞壁多糖分解酵素活性量の様相は、品種特異的にまとまった位置づけを示した (図7)。このように多変量解析によって、

酵素活性量を軸とした品種特性を明らかにできたことは非常に興味深い。これまで単独の酵素活性量の比較では、品種間での様相の違いを得ることが困難であった。炊飯中の酵素作用は複合的な作用であり、本手法はそれを反映できる一つの手段であると言える。さらに、この分布エリアの位置により、品種内特性の要因である地域、気候および貯蔵などほかの要因を含めた食味解析の手法となる可能性を見い出せると考えている。さらに、澱粉分解酵素などの系統の異なる酵素活性量を加えることによ

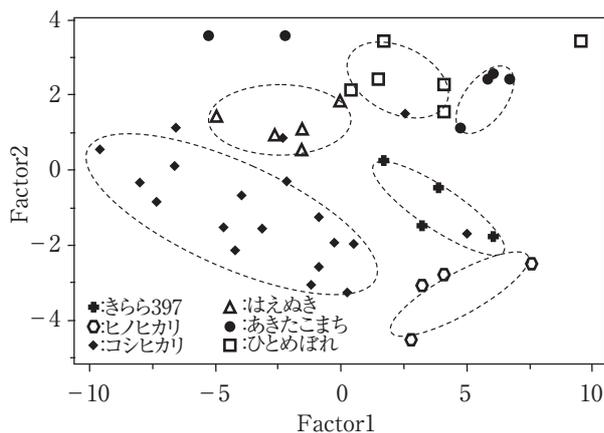


図7 コシヒカリ近縁種の細胞壁多糖分解酵素活性量の様相

り、精度が向上するものと考えられる。これに関しては、現在研究を進めており今後報告する予定である。食味との関係については、今回の解析法を軸とした食味に影響力のある酵素作用と食味要因の解析を行い、食味評価手法等に適用できるように進めていく予定である。

### ま と め

私たちは、これまで米飯食味マーカーとして、澱粉のアミロース含量やタンパク質含量など精白米の成分含量を中心に米飯食味の評価判断として利用してきた。しかし、「コシヒカリ」が良食味米として高く評価されたことにより、米飯食味の基準、評価が大きく変貌した。コシヒカリを中心に食味評価が進展し、育種に関してもコシヒカリから交配された品種が数多く作出された。その

結果、良食味品種同士の比較が困難になり、これまでの評価系では米飯食味判断が困難になり、新しい評価系が必要となっている。

本研究は、これまでとは異なる視点で「米胚乳中の酵素」を中心に酵素の作用性による米飯食味の影響について検討した。本編では、細胞壁分解酵素を中心に話を進め、炊飯過程での細胞壁への影響およびその活性量と米飯テクスチャーの相関を明らかにし、米飯食味に影響をもたらすことを確認した。さらに酵素活性量を用いた分析により、近縁種、同産地、良食味米などの判別や解析に有効な手段として活用できる可能性を見出した。また、酵素活性量は、鮮度の低下や栽培状況などによって変動することから、米の品質の判断にも応用できると考えている。今後は、育種や食味評価の際の新たな指標マーカーや食味評価法の確立および米粉等の加工適性への指標にも「米胚乳酵素活性量の解析」が応用できるように目指していきたい。

**謝 辞** このたびの平成23年度日本食品保蔵科学会奨励賞の受賞に際して、ご高配を賜りました学会関係者の皆様に謹んでお礼を申し上げます。本研究の遂行にあたり終始ご指導を賜りました東京農業大学 応用生物科学部生物応用科学科・高野克己教授に厚く御礼と感謝を申し上げます。また、これまでの研究には東京農業大学応用生物科学部生物応用化学科食料資源理化学研究室の多くの卒業生にご協力いただきました。深甚の謝意に申し上げます。