

# 日本食品保蔵科学会誌

VOL. 41 NO. 6

---

会 長	高井 陸雄	副 会 長	太田 英明	小宮山美弘	早坂 薫
編集委員長	太田 英明				
編 集 委 員	稲熊 隆博	井上 茂孝	今堀 義洋	恩田 匠	竹永 章生
	古庄 律	松田 茂樹	宮本 敬久		

---

## <報 文>

- バオバブ (*Adansonia digitata*) フルーツパルプの水溶性  
 食物繊維の糖組成およびラットを用いた耐糖能の評価 ..... (247)  
 /米澤加代・谷岡由梨・石田 裕  
 島田剛志・古庄 律
- 沖縄産黒糖の常温保存における物理化学的およびフレーバー特性の変化 ..... (253)  
 /広瀬直人・前田剛希・高良健作・和田浩二
- 浸透圧を利用した渋ガキ果肉の脱水と脱渋ならびに加工品の品質に関する研究 ..... (261)  
 /平 智・佐藤祐樹・秋元彩夏  
 佐伯葉子・松本大生

## <報 文> (英文)

- 小麦リコンビナントPDI-ERO 1によるジスルフィド  
 結合形成の解析および製パン性に及ぼす影響 ..... (267)  
 /野口智弘・西堀史也・塩野弘二  
 岡 大貴・野口治子・高野克己

## <資 料>

- 玄米食の安全性について ..... (273)  
 /前田雪恵・辻井良政・矢富伸治  
 井上明浩・高野克己

## <講 座>

- HACCP教育講座 (12) 植物未利用素材の活用と安全性 ..... (277)  
 /樋口かよ

- <文献抄録> ..... (283)

## Food Preservation Science

**CONTENTS OF VOL. 41 NO. 6 (2015)****<Article>** (Japanese)

- Sugar Composition of Water-soluble Dietary Fiber Prepared from Baobab  
(*Adansonia digitata*) Fruit Pulp, and Evaluation of Glucose Tolerance in Rats  
YONEZAWA Kayo, TANIOKA Yuri, ISHIDA Hiroshi,  
SHIMADA Tsuyoshi and FURUSHO Tadasu ..... (247)
- Changes in the Physicochemical and Flavor Characteristics of the Okinawan  
Brown Sugar “*Kokuto*” during Storage at Ambient Temperature  
HIROSE Naoto, MAEDA Goki, TAKARA Kensaku and WADA Koji ..... (253)
- Dehydration and Astringency Removal from Persimmon Flesh  
by Osmotic Pressure, and Study of Fruit Quality  
TAIRA Satoshi, SATO Yuki, AKIMOTO Ayaka,  
SAEKI Yoko and MATSUMOTO Daiki ..... (261)

**<Article>** (English)

- Influence of Disulfide Bond Formation Via Recombinant  
PDI-Ero 1 Processing of Proteins and Baking Quality  
NOGUCHI Tomohiro, NISHIBORI Fumiya, SHIONO Koji,  
OKA Daiki, NOGUCHI Haruko and TAKANO Katsumi ..... (267)

**<Research Data>** (Japanese)

- Information on Safety of Brown Rice Meal  
MAEDA Yukie, TSUJII Yoshimasa, YATOMI Shinji  
INOUE Akihiro and TAKANO Katsumi ..... (273)

**<Serialization Lecture>** (Japanese)

- Utilization and Safety of Unused Plant Materials  
HIGUCHI Kayo ..... (277)

# バオバブ (*Adansonia digitata*) フルーツパルプの水溶性食物繊維の糖組成およびラットを用いた耐糖能の評価

米澤加代<sup>\*1</sup>・谷岡由梨<sup>\*1</sup>・石田 裕<sup>\*1</sup>  
島田剛志<sup>\*2</sup>・古庄 律<sup>\*1§</sup>

\*1 東京農業大学短期大学部栄養学科

\*2 (株)エコロジーヘルスラボ

## Sugar Composition of Water-soluble Dietary Fiber Prepared from Baobab (*Adansonia digitata*) Fruit Pulp, and Evaluation of Glucose Tolerance in Rats

YONEZAWA Kayo<sup>\*1</sup>, TANIOKA Yuri<sup>\*1</sup>, ISHIDA Hiroshi<sup>\*1</sup>,  
SHIMADA Tsuyoshi<sup>\*2</sup> and FURUSHO Tadasu<sup>\*1§</sup>

\*1 Department of Nutrition, Junior College of Tokyo University of Agriculture,  
1-1-1, Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156-8502

\*2 Ecology Health Labo Inc, 1-3-8 Nakamura-kita, Nerima-ku Tokyo 176-0023

In this study, soluble dietary fiber (SDF) prepared from baobab (*Adansonia digitata*) fruit pulp (BFP) was found to be composed of 82.9% acidic and 10.1% neutral sugar. When the methoxylated content of BFP-SDF was assayed, the proportion of methoxylated galacturonic acid was found to be 14.1%. The effect of BFP-SDF on the regulation of blood glucose level was examined *in vitro* and *in vivo*. BFP-SDF significantly reduced both glucose diffusion and permeation rates in cultured Caco-2 cells. In oral glucose-tolerance tests conducted on Sprague-Dawley rats, compared to control rats administered 40% glucose solution, rats administered 40% glucose solution supplemented with 5% or 10% BFP-SDF showed significantly decreased postprandial blood glucose levels at 90 min and 120 min after administration. These results suggest that inclusion of BFP-SDF in the diet has a hypoglycemic effect in mammals, mainly due to a decrease in the diffusion of ingested glucose in the intestine.

(Received Jul. 30, 2015 ; Accepted Sep. 17, 2015)

**Key words** : Baobab (*Adansonia digitata*), soluble dietary fiber, sugar composition, hypoglycemic effect, blood glucose

バオバブフルーツ, 水溶性食物繊維, 糖組成, 血糖抑制効果, 血糖値

バオバブ (*Adansonia digitata*) は、アフリカを中心にオーストラリアなど亜熱帯から熱帯の乾燥したサバンナに自生する巨木で樹齢は数百年から数千年といわれている<sup>1)</sup>。樹齢が100年を越える頃から開花・結実し、1本に20~500個の果実ができる。果実は大きなものでは2kgにも達し、現地では完熟、乾燥した果実のパルプ部分を粉末化したものをバオバブフルーツパルプ (BFP) としてそのままあるいは水やミルクに溶かして飲食されている。果実以外にも種子、根や葉、樹皮に至るまで現地では広く生活に利用されている。

BFPは、ビタミンやミネラルなどが豊富で非常に栄養価が高い<sup>2)</sup>だけでなく、食物繊維 (DF) を約40%含み、そのうち水溶性食物繊維 (SDF) の割合は約30%と他の果物と比べ水溶性食物繊維含有量が非常に多いことが特徴である。EUでは2008年にNOVEL FOOD (新規食品) として認定されており、日本においても近年BFPの機能性が注目されスーパーフルーツの一つとして取り上げられている。私たちは、高コレステロール添加した食餌中のセルロース相当量をBFPに含まれるDFに置換した餌をラットに与えると糞中へのコレステロール排泄量

\*1 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1

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

\*2 〒176-0023 東京都練馬区中村北 1-3-8

が上昇すると同時に、血清および肝臓中総コレステロールが低下することを見出ししている<sup>3)</sup>。食物繊維は、小腸アミラーゼなどの消化酵素による分解を受けないため直接大腸まで到達する。そこで、一部は腸内細菌による発酵によって短鎖脂肪酸が生成され、このうちプロピオン酸は肝臓におけるコレステロール合成を阻害することが報告されておりコレステロール代謝に重要であることが示唆されている<sup>4)</sup>。また、食物繊維の摂取により胆汁酸排泄量が増加し、生体内のコレステロールプールを減少させ、血漿中のコレステロール濃度の低下にも関与している可能性が示唆されている<sup>4),5)</sup>。これらのことから、私たちが見出したBFPを添加した高コレステロール食を摂取したラットの血清および肝臓中総コレステロールの低下と糞中コレステロール排泄量の増加は、BFPのSDFの効果であることが示唆された。

そこで今回は、BFP-SDFの構成糖の特性を明らかにするとともに、糖質代謝に及ぼすBFP-SDFの効果を検討することを目的として、グルコース拡散阻害試験、Caco-2細胞を用いたグルコース能動移送透過阻害試験およびラットを用いたグルコース負荷試験を実施した。

## 実験方法

### 1. 実験試料および水溶性食物繊維画分の調製方法

実験試料には、エコロジーヘルスラボ(株)において輸入したセネガル産BFPを使用した。BFPの成分組成をTable 1に示した。分析値はエコロジーヘルスラボ(株)が民間に成分分析を委託して得られた値を使用した。食物繊維(DF)の定量とSDF粗抽出物(BFP-SDF)の抽出は、既報<sup>6)</sup>に準じて行った。ピーカーにBFPと、その10倍量の純水を加え、ウォーターバスにて80℃で加温しながら60分攪拌後、5,000rpmで40分間遠心分離を行い上清と沈殿物に分けた。上清を分取後、沈殿物に対して同様の操作を2回繰り返した。得られた上清をすべて合わせ、全容量の4倍量のエタノールを加えて静かに攪拌した後、60分間静置してエタノール不溶な物質を沈殿

させた。次いで、200meshのナイロン布で沈殿物を濾別し、得られた濾別物を再度純水に溶解後、4倍容のエタノールを加えてエタノール不溶物質を沈殿させた。同様の操作を2回繰り返して得られた濾別物を純水に溶解後、透析用セルロースチューブ(日本メディカルサイエンス製)に移し、10倍量の純水で数時間毎に水を交換しながら3回透析後、チューブ内液を凍結乾燥し、これをBFP-SDFとした。なお、バオバブフルーツより得られたBFP-SDFの回収率は約21%であった。

### 2. 測定方法

(1) BFP-SDFの成分組成および糖組成 水分、灰分は五訂日本食品標準成分表の試験法<sup>7)</sup>に従った。BFP-SDFの酸性糖の分析はm-ヒドロキシジフェニル法<sup>8)</sup>で、中性糖の分析はアンスロン硫酸法<sup>9)</sup>で行った。メタノールの分析はJEROMEらの方法<sup>10)</sup>に従った。

また、測定した酸性糖(ガラクトツロン酸として)量とメタノール量を以下の計算式に当てはめてBFP-SDF中の酸性糖のメトキシル化度を算出した。

メトキシル化度(%)

$$= \text{メタノール (mol)} / \text{ガラクトツロン酸 (mol)} \times 100$$

(2) BFP-SDF水溶液の粘度 BFP-SDFの粘度測定は振動型粘度計SV10型(株エー・アンド・デイ製)を使用し、測定は20℃、振動子駆動周波数は30Hzで行った。なお機器の校正は純水およびJISの標準粘度校正溶液(日本グリース製JS2000)を用いた。

### (3) グルコース拡散阻害に及ぼすBFP-SDFの効果

グルコース拡散阻害試験は海老原らの方法<sup>11)</sup>に従った。すなわち、マイクロファイバーフィルター VCWP 04700 Nitrocellulose (Millipore製)で仕切られた3室(a, b, c)からなる拡散速度測定装置を用いて行った。装置はあらかじめ37℃に保温した恒温槽に静置し、a室に2%グルコース溶液、b室(中央)にBFP-SDF溶液c室に蒸留水をそれぞれ満たした。3種の溶液はあらかじめ37℃で保温しておき同時に注入し、各室内にそれぞれの溶液を完全に満たしたときを測定開始時間とした。なおc室にはあらかじめ攪拌子(長径15mm太さ5mmの楕円型)を入れておき、測定開始時に作動(1,200rpm)させた。一定時間後、c室に移動するグルコース量を酵素法(Glucose C II-Test Wako, 和光純薬製)により測定した。

(4) Caco-2細胞を用いたグルコース能動移送透過阻害試験 グルコースの培養細胞能動移送試験にはCaco-2細胞を用いた。すなわち、理化学研究所より分与されたCaco-2細胞を培養液(MEM+20%FBS)の入った細胞培養フラスコに播種し、37℃、5%CO<sub>2</sub>気相下で前培養後、この細胞を12ウェル用BDバイオコートセルカルチャーインサートプレート(ファルコン)に播種した<sup>6),12)</sup>。コンフレントになるまで培養したCaco-2細胞を滅菌リン酸緩衝液(PBS)で洗浄した後、試験区のインサートプレート(IP)上に0.5%および1.0%BFP-SDF

Table 1 Composition of baobab fruit pulp (g/100g dry weight)

Component	Baobab fruit pulp
Moisture	8.8
Crude protein	1.6
Crude fat	1.0
Carbohydrate	84.6
Ash	4.0
Dietary fiber*	
Soluble dietary fiber	30.6
Insoluble dietary fiber	11.0

\*Dietary fiber was determined by a modification of the enzymatic-gravimetric method of Prosky *et al.*: *J. AOAC Int.*, 77 (3), 690~694 (1994)

を含む0.5%グルコース/PBSを1mlずつ添加した。また、対照区のウェルには0.5%グルコース/PBSを1ml添加した。コンパニオンプレート (CP) 側にはPBSを1.5ml入れ、5%CO<sub>2</sub>気相下で37℃、2時間放置した。放置後、CP上のPBSを回収し、透過したグルコースを酵素法 (Glucose CII Test Wako, 和光純薬製) で測定した。なおグルコース能動移送透過率は対照区 (PBS) の測定平均値を100%として算出した。

(5) **グルコース負荷試験におけるBFP-SDFが血糖値の推移に及ぼす影響** ラットを用いたグルコース負荷試験<sup>6)</sup>における血糖値の推移に及ぼすBFP-SDFの投与の影響に関する実験は、日本SLC(株)より購入したSD系雄性ラット7週齢 (体重約220g) 8匹を用いた。固形飼料 (MF: オリエンタル酵母工業(株), 東京) で飼育したラットを12時間絶食させ、対照実験として40%グルコース溶液2.5ml (グルコースとして1g負荷) をstomach tubeにて経口投与した。血糖値の測定は投与前 (0分)、投与後30分、60分、90分、120分に尾静脈より採血し、メディセーフミニGR-102 (テルモ(株), 東京) を用いて行った。次いで、動物の個体による感受性の違いに由来する誤差を低減させるため、対照実験に用いた同一のラットを試料や投与によるストレスの影響を考慮して3日間の間隔をあけて本実験に使用した。同条件で絶食させたラットに、1%、5%、10%のBFP-SDFを含む40%グルコース溶液2.5mlを同様に経口投与して血糖値の推移を観察した。また、動物を用いた実験は東京農業大学実験動物委員会の定める「動物の飼育および保管等に関する基準」に従って実施した。

(6) **統計処理** 各実験結果は平均値±標準誤差 (mean±SE) で示した。有意差検定は、統計ソフト‘Statcel 3’を用いてBonferroni/Dunnの多重比較検定を行い、 $p < 0.01$ あるいは $p < 0.05$ で統計的に有意とした。

## 実験結果

### 1. BFP-SDFの成分組成および糖組成

BFP-SDFの一般成分および糖組成をTable 2に示した。BFP-SDFには、中性糖が10.1%、ウロン酸 (ガラクトン酸として) が82.9%含まれており、BFP-SDFはウロン酸を主成分とする糖組成を示した。また、メトキシル化ガラクトン酸は14.1%であった。

**Table 2** General and sugar composition of SDF prepared from baobab fruit pulp

Component	BFP-SDF (%)
Moisture	8.3
Acidic sugar	82.9
Neutral sugar	10.1
Methoxylated galacturonic acid	14.1
Ash	8.6

### 2. BFP-SDF水溶液の粘度

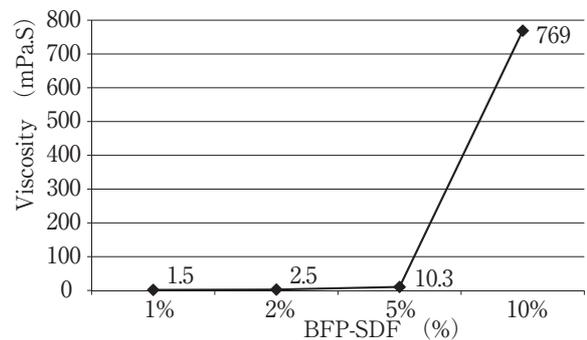
BFPより抽出したBFP-SDF水溶液の粘度の変化をFig. 1に示した。純水の粘度を1.0mPa・sとした場合、1%では1.5mPa・s、2%では2.5mPa・s、5%では10.3mPa・s、10%で769mPa・sであった。

### 3. グルコース拡散阻害に及ぼすBFP-SDFの効果

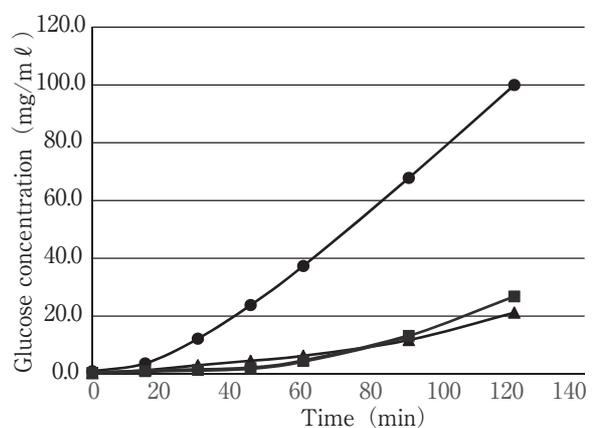
7mmの水相 (コントロール) またはBFP-SDF溶液相を挟んだ拡散装置を用い、グルコース拡散阻害試験を行った。その結果、実験開始20分以降、グルコース溶液から反対側チャンバーに向けて、コントロールはグルコース拡散が顕著に進行し、120分経過後には100mg/dlに達した。一方、2% BFP-SDF溶液相を挟むと、緩やかに拡散が進行し、120分経過後も20mg/dlに留まり、コントロールの約20%にまで拡散は阻害されていた。さらに、4% BFP-SDF溶液相を用い同様に実施したが、グルコース拡散阻害は2% BFP-SDF溶液と同程度であった (Fig. 2)。

### 4. Caco-2細胞を用いたグルコース能動移送透過阻害試験

BFP-SDFをグルコース吸着フィルターと仮定し接触するCaco-2細胞をバイオフィルターとして用いグルコ



**Fig. 1** Relationship between BFP-SDF concentration and BFP viscosity



**Fig. 2** Glucose diffusion rate across a 7-mm layer of BFP-SDF solution

● Control ; ▲ 2% BFP-SDF ; ■ 4% BFP-SDF

ース透過性について検討した (Fig.3)。コントロールのグルコース移送透過率を100%としたとき、0.5% BFP-SDFのグルコース移送透過率は43.4%であり、コントロールと比べ顕著に低下していた ( $P<0.01$ )。また、1.0% BFP-SDFの透過率は42.9%であり、0.5% BFP-SDFと同程度であった。

### 5. グルコース負荷試験におけるBFP-SDFが血糖値の推移に及ぼす影響

SD系ラットにBFP-SDFを5.0%あるいは10%含む40%グルコース溶液2.5mlをstomach tubeにより投与し、投与後30分毎の血糖値を測定した (Fig.4)。5.0%BFP-SDF投与群では、投与開始から90分まで有意差はないものの、グルコース溶液のみを投与した対照群に比べ、血糖値の上昇が抑えられる傾向を示した。一方、10.0%BFP-SDF投与群では、投与開始から60分まで、5.0%BFP-SDF投与群と同様の傾向を示したが、投与後90分対照群に比べて有意に血糖値が低下 ( $P<0.05$ ) していた。さらに、投与後120分において、5.0%投与群では

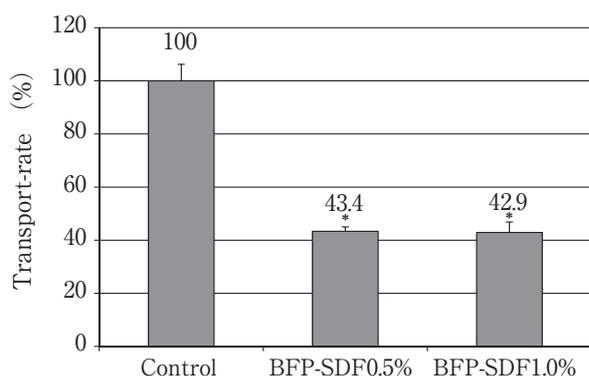


Fig. 3 Glucose transport-rate across Caco-2 cells after addition of 0.5% or 1.0% BFP-SDF

\*Significantly different from the control ( $p<0.01$ )

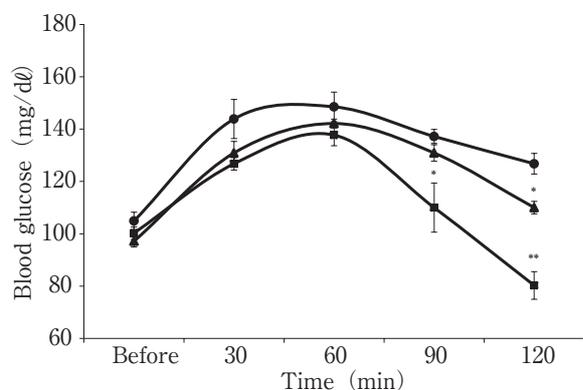


Fig. 4 Postprandial blood glucose levels after administration of a single dose of BFP-SDF preparation in rats

Values represent mean  $\pm$ SE ( $n=8$ )

Asterisks indicate significant difference from the control experiment at the each corresponding time point: \* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$ .

● Control; ▲ 5% BFP-SDF; ■ 10% BFP-SDF

110.0 $\pm$ 2.4mg/dl ( $P<0.05$ ), 10.0%投与群では、80.3 $\pm$ 5.3mg/dl ( $P<0.01$ )であり、対照群の126.6 $\pm$ 4.0mg/dlと比べ血糖値の顕著な低下がみられた。

## 考 察

筆者らは、先にBFP-SDFに豊富に含まれるSDFに着目し、体重増加と血清中総コレステロール濃度抑制効果について検討し、高コレステロール負荷食を与えたラットを用いて、BFP-SDF摂取による体重増加の抑制、および血清、肝臓中コレステロール濃度の有意な抑制と糞中へのコレステロール排泄量の上昇を認めている。このことから、BFP-SDFは高コレステロール血症予防のための機能性食品として利用可能であることを明らかとしている<sup>3)</sup>。今回はBFP-SDFの機能性についてさらに追究することを目的として、BFP-SDFの成分組成、特に糖組成、および糖代謝に及ぼす影響について検討を行った。

BFP-SDFには、中性糖が10.1%、ウロン酸 (ガラクトツロン酸として) が82.9%含まれており、BFP-SDFの主成分はペクチンであると推定された。また、メタノール量の測定結果をもとにメトキシル化度を算出した結果は14.1%であった。一般にメトキシル化ガラクトツロン酸が42.9%以上の場合は高メトキシル (HM) ペクチン、それ以下であれば低メトキシル (LM) ペクチンであること定義されている<sup>13)</sup>ことから、今回の実験によりBFP-SDFのペクチンはLMペクチンであると示唆された。

次にグルコース拡散阻害試験を行ったところ、BFP-SDF濃度が2%においてグルコースの拡散阻害率は120分後で約21.2%であり、BFP-SDFのグルコース拡散阻害作用を確認した。本試験方法は、ニトロセルロース膜を用い物理的作用のみを介しグルコースの拡散を観察したものであるが、生体内において吸水してゾル化したBFP-SDFがグルコースの拡散を抑制することを予想させる結果と考えられる。さらに、小腸管内を想定した培養細胞 (Caco-2細胞) をバイオフィルターとして用いた透過移行阻害試験においてはBFP-SDF濃度0.5%において約43%の透過移行阻害がみられ、より明確に生体内でのBFP-SDFによるグルコースの吸収阻害を推察する結果が示された。これらの *in vitro* における結果をもとに、BFP-SDFが実際の動物における糖質代謝に及ぼす影響についてラットを用いてグルコース負荷試験を行った。ペクチンについては糖質代謝や脂質代謝を改善する効果があるという報告が数多くなされている<sup>14)~17)</sup>。今回の結果は、グルコース溶液のみを投与した対照実験に比べ、5.0%および10%BFP-SDFを同時に投与した場合、投与30分後において有意な差はないものの血糖上昇抑制傾向がみられた。SDFの血糖値に及ぼす効果の一つとして、食後の急激な血糖値の上昇を抑制することがあげられる。これは、水分を吸収してゾル化したSDFが高い粘性をもつことで胃から小腸への内容物の通過時間が遅延する結果と考えられている。例えば、ウチワサボテン葉

から抽出したSDFは2%水溶液で約3,000mPa・sの高粘性を示し、投与後30分での血糖値の有意な上昇抑制効果を示すことを私たちは報告している<sup>18)</sup>。一方、BFP-SDFの場合は、純水に対する相対粘度が1%で1.5倍、5%で10.3倍、10%で769倍であることから、BFP-SDF溶液は低濃度において粘性が低いといえる。このことから、本実験においては5%BFP-SDFを含む40%グルコース溶液を投与した場合は、溶液の粘性が比較的低いために胃から小腸への通過時間が短く、このため小腸に短時間で到達したゾルの表層近くのグルコースは吸収が投与初期の段階で進行し、血糖値が上昇したと考えられる。

しかし、投与90分後以降は10%BFP-SDF群が対照群に比べて有意に低下 ( $P < 0.05$ ) した。また、120分後ではさらに顕著な差 ( $P < 0.01$ ) が認められ、その差は40mg/dl以上であった。一方、5%BFP-SDF群においても120分後では対照群に比べて有意に低下 ( $P < 0.05$ ) した。これらの結果はFig. 4に示したように、BFP-SDFはグルコース投与後90分以降の血糖値を速やかに低下させることが特長であることを示しているものと考えられる。すなわち、ゾルの中心に存在するグルコースについては、拡散阻害試験やCaco-2細胞を用いた透過移行阻害試験の結果が示すようにグルコースの吸収が抑制されることから、血糖値の低下が速やかに起きたのではないかと推察される。本報では投与後の血中インスリン濃度の推移は測定していないが、既報<sup>19)~22)</sup>と同様、食後血糖値の短時間での正常化はインスリンの分泌応答の制御を介して、膵臓の負担軽減に関与するという点で意味があると考えられた。これら一連のBFP-SDFの糖質代謝に及ぼす実験結果は、BFP-SDFが食後血糖値のコントロールに有益に関与する物質である可能性を示唆するものとする。その一方で、BFP-SDFはラットを用いたグルコース負荷試験において、グルコース投与後60分までの血糖値上昇抑制には効果が低く、また90分以降での血糖値の低下作用が顕著にみられるものの10%のBFP-SDFを投与することが必要であり、実際に食品としてBFPを摂取することを考えると困難であることが課題となる。しかしながら、糖組成の分析から明らかになったように、BFP-SDFの主成分はLMペクチンであると推察されることから、低濃度のBFP-SDFであってもCaイオンを添加することで架橋構造を形成させ、ゾルの粘度を上昇させることが可能であると考えられる。BFP-SDF溶液の粘度に及ぼすCaイオン添加の効果と、それを用いた血糖値上昇抑制作用については、次の研究で明らかにしたいと考えている。

日本や欧米先進諸国でみられる生活習慣病の抑制においてDF摂取の一層の増加が望まれている。その一環としてBFPの利用は大いに期待されるが、今後はさらに機能性加工食品としての利用方法についても知見を広げることが必要であろう。

## 要 約

バオバブ (*Adansonia digitata*) フルーツパルプ (BFP) の成分特性、ならびに機能性成分であるDF、ことにSDFの糖代謝に及ぼす影響について検討した。

BFP-SDFは酸性糖が82.9%で中性糖が10.1%であった。また、メトキシル化度が14.1%であったことから、BFP-SDF中の主成分はLMペクチンであること推察された。

BFP-SDFを用いた*in vitro*におけるグルコース拡散阻害実験においてグルコースの拡散が阻害されることを認めた。また、Caco-2細胞を用いた試験により透過吸収阻害も起こりうることを明らかにした。また、BFP-SDF粗標品を5.0%および10%含む40%グルコース溶液2.5mlをラットに単回経口投与した場合、対照グルコース溶液投与のみのものに比べて、投与後90分以降での血糖値が有意に低下することを認めた。その作用機序として小腸内での拡散および吸収の阻害により血糖値の急激な上昇が抑制されることが推察された。以上のことからバオバブフルーツは食後血糖値をコントロールするための有用な食材であることが考えられた。

## 文 献

- 1) 吉田 繁 (写真), 蟹江節子 (文): 地球遺産 最後の巨樹 (講談社, 東京) (2002)
- 2) BERRY, R. E.: Tropical fruits and vegetables as potential protein sources, *FOOD TECHNOL-CHICAGO*, **35**, 45~49 (1981)
- 3) 米澤加代・野口有希・谷岡由梨・石田 裕・島田剛志・古庄 律: バオバブフルーツ (*Adansonia digitata*) 粉末摂取は高コレステロール負荷食を与えたラットの体重増加と血清コレステロール濃度の上昇を抑制する, *日食保蔵誌*, **40**, 21~24 (2014)
- 4) 日本食物繊維学会監修: 食物繊維—基礎と応用—第3版 (第一出版, 東京), pp.136~141 (2008)
- 5) LEVRAT-VERNY, M. A., BEHR, S., MUSTAD, V., RÉMÉSY, C. and DEMIGNÉ, C.: Low levels of viscous hydrocolloids lower plasma cholesterol in rats primarily by impairing cholesterol absorption, *J Nutr.*, **130**, 243~248 (2000)
- 6) 石田 裕・古庄 律・鈴野弘子・山本祐司・印南敏・田所忠弘: サツマイモ葉はラットの血糖上昇を抑制する, *日本食生活学会誌*, **15**, 111~117 (2004)
- 7) 五訂日本食品標準分析表, 科学技術庁資源調査会
- 8) NELLY, B. and GUSTAV, A. h. : New Method for quantitative determination of uronic acid, *Anal. Biochem*, **54**, 484~489 (1973)
- 9) 菅原龍幸・前川昭男監修: 新食品分析ハンドブック (建帛社, 東京), p.108 (2000)
- 10) KLAVONS, J. A. and BENNETT, R. D.: Determination

- of Methanol Using Alcohol Oxidase and Its Application to Methyl Ester Content of Pectins, *J. Agric. Food Chem.*, **34**, 597~599 (1986)
- 11) EBIHARA, K., MASUHARA, R. and KIRIYAMA, S.: Major determination of plasma glucose-flattening activity of a water-soluble dietary fiber, effects of konjak mannan on gastric emptying and intraluminal glucose-diffusion, *Nutr. Repo. Internal.*, **23**, 1145~1156 (1981)
- 12) KONISHI, Y. and SHIMIZU, M.: Transepithelial transport of ferulic acid by monocarboxylic acid transporter in Caco-2 cell monolayers, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **67**, 856~862 (2003)
- 13) 日本食物繊維学会監修：食物繊維—基礎と応用—第3版（第一出版，東京），p.45 (2008)
- 14) SCHWARTZ, SE., LEVINE, GD.: Effects of dietary fiber on intestinal glucoseabsorption and glucosetolerance in rats, *Gastroenterology*, **79**, 833~836 (1980)
- 15) FÅK, F., JAKOBSDOTTIR, G., KULCINSKAJA, E., MARUNGRUANG, N., MATZIOURIDOU, C., NILSSON, U., STÅLBRAND, H. and NYMAN, M.: The physico-chemical properties of dietary fibre determine metabolic responses, short-chain Fatty Acid profiles and gut microbiota composition in ratsfed low- and high-fat diets, *PLoS One*, **10** (5) (2015)
- 16) SILVA, D. C., FREITAS, A. L., PESSOA, C. D., PAULA, R. C., MESQUITA, J. X., LEAL, L. K., BRITO, G. A., GONÇALVES, D. O. and VIANA, G. S.: Pectin from *Passiflora edulis* shows anti-inflammatory action as well as hypoglycemic and hypotriglyceridemic properties in diabetic rats, *J Med Food*, **14**, 1118~1126 (2011)
- 17) SÁNCHEZ, D., MUGUERZA, B., MOULAY, L., HERNÁNDEZ, R., MIGUEL, M. and ALEIXANDRE, A.: Highly methoxylated pectin improves insulin resistance and other cardiometabolic risk factors in Zucker fatty rats, *J. Agric Food Chem.*, **56**, 3574~3581 (2008)
- 18) 古庄 律・石田 裕・鈴野弘子・斉藤守史・三成由美・徳井教孝・印南 敏：ウチワサボテン葉から抽出した水溶性食物繊維画分は2型糖尿病ラットの食後血糖値上昇を抑制する，日本食物繊維学会，**11**，15~22 (2007)
- 19) INNAMI, S., ISHIDA, H., NAKAMURA, K., KONDO, M., TABATA, K., KOGUCHI, T., SHIMIZU, J. and FURUSHO, T.: Jew's Mellow Leaves (*Corchorus olitorius*) Suppress Elevation of Postprandial Blood Glucose Levels in Rats and Humans, *Int. J. Vitami. Nutr. Res.*, **75**, 39~46 (2005)
- 20) EBIHARA, K., MASUHARA, R., KIRIYAMA, S. and MANABE, M.: Correlation between viscosity and plasma glucose and insulin-flattening activities of pectins from vegetables and fruits in rats, *Nutr. Repo. internal.*, **23**, 985~992 (1980)
- 21) JENKINS, D. J. A., LEEDS, A. R., GASSULL, M. A., COCNET, B. and ALBERTI, K. G. M. M.: Decrease in postprandial insulin and glucose concentrations by Guar and Pectin, *Annals of internal med.*, **86**, 20~23 (1977)
- 22) 藤原啓子・松岡 瑛：低粘性水溶性食物繊維（難消化性デキストリン）の耐糖能改善効果，栄養学雑誌，**53**，361~368 (1995)  
(平成27年7月30日受付，平成27年9月17日受理)

# 沖縄産黒糖の常温保存における 物理化学的およびフレーバー特性の変化

広瀬直人<sup>\*1§</sup>・前田剛希<sup>\*1</sup>・高良健作<sup>\*2</sup>・和田浩二<sup>\*2</sup>

\*1 沖縄県農業研究センター

\*2 琉球大学農学部

## Changes in the Physicochemical and Flavor Characteristics of the Okinawan Brown Sugar “Kokuto” during Storage at Ambient Temperature

HIROSE Naoto<sup>\*1</sup>, MAEDA Goki<sup>\*1</sup>, TAKARA Kensaku<sup>\*2</sup> and WADA Koji<sup>\*2</sup>

\*1 Okinawa Prefectural Agricultural Research Center, 820 Makabe, Itoman City, Okinawa 901-0336

\*2 Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, 1 Senbaru, Nishihara, Okinawa 903-0213

Changes in the physicochemical and flavor characteristics of the Okinawan brown sugar “Kokuto” during storage for 21 months at ambient temperature were investigated. Changes in moisture content and water activity were small. Decrease in L\* value and increase in the color value were observed, and differences in color characteristics among different kinds of *Kokuto* reduced with preservation. The color value of *Kokuto* increased concomitantly with a decrease in free amino acid content. The change in polyphenolic content was small. The antioxidant activity of *Kokuto* increased till the sixth month and then decreased afterwards. During storage, the content of sulfur-containing compounds showed a large decrease, while the contents of 3-ethyl-2, 5-dimethylpyrazine and dihydro-2-methyl-3 (2H)-furanone increased. These results suggest that the Maillard reaction progressed during storage of *Kokuto* at ambient temperature. The degree of scattering of volatile compounds varied according to the samples of newly produced *Kokuto*; however, the difference in scattering reduced with preservation.

(Received Jun. 15, 2015; Accepted Sep. 21, 2015)

**Key words**: brown sugar, storage at ambient temperature, color value, volatile compound, Maillard reaction  
黒糖, 常温保存, 着色度, 香気成分, メイラード反応

沖縄県の特産品である黒糖は、サトウキビ (*Saccharum* spp. hybrid) の搾汁液をそのまま加熱濃縮して製造される含みつ糖である<sup>1)</sup>。黒糖は、ショ糖以外にサトウキビ由来の成分を含有するほか、製造工程中の加熱によって生成するカラメル様物質や複雑多様なメイラード反応物に由来する独特な色調<sup>1)</sup>と、サトウキビにはない風味(甘い焦げ臭など)をもち、甘味料としての利用に加えて、嗜好品、あるいは風味づけに利用されている。また、近年の健康志向により、黒糖に含有されるポリフェノール類<sup>2),3)</sup>やポリコサノール類<sup>4)</sup>などの有用成分や、抗酸化能<sup>5)</sup>、LDL(低比重リポタンパク)酸化抑制作用<sup>6)</sup>や抗動脈硬化作用<sup>7)</sup>などの機能性について、多数報告されている。

一方、黒糖は保存によってフレーバーや色調に変化が生じ<sup>8)</sup>、風味や品質が変化することが経験的に知られているが、詳細に検討した報告はない。そこで、黒糖を常温で21か月保存し、物理化学的特性およびフレーバー特性の変化を追跡した。

### 実験方法

#### 1. 供試材料およびサンプリング方法

黒糖は、全出荷量の約7割を占める「30kg固形」黒糖を供試した。沖縄県内7か所の製糖工場(伊平屋島、伊江島、粟国島、多良間島、西表島、波照間島、与那国島)より、製造日の異なる黒糖(2012年2月5日、15日、および25日)を各1箱ずつ(7種類×3箱、合計21箱)

\*1 〒901-0336 沖縄県糸満市真壁820番地

§ Corresponding author, E-mail: hirosent@pref.okinawa.lg.jp

\*2 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1番地

用いた。黒糖は出荷箱に入れた状態で、常温暗所（平均室温 $25.5 \pm 4.4^\circ\text{C}$ 、湿度 $63 \pm 13\% \text{RH}$ 、平均値 $\pm$ 標準偏差、最高値は $33.7^\circ\text{C}$ と99%、最低値は $17.0^\circ\text{C}$ と22%）にて21か月保存し、3か月毎にサンプリングした。30kg固形黒糖は、内装紙（内面に直鎖状短鎖分岐ポリエチレンをラミネートした二重クラフト紙：LLDPE#60/SEK90g/m<sup>2</sup>-SEK90g/m<sup>2</sup>）を装填した出荷用の段ボール箱に、製造直後の黒糖（完全に固まっていない粘土状の黒糖で、品温は80~90℃である）を1層あたり2~3kg程度撞き入れ、2時間程度かけて45℃以下まで放冷後、この操作を10~13回繰り返す。そのため、1箱の黒糖を製造するには1~2日間を要し、各層の成分や特性にばらつきが生じることが報告されている<sup>9)</sup>。そこで、各層から均一に試料を採取できるように、内装紙を剥がした黒糖試料（縦550mm×横340mm×高さ150mm）の縦方向に幅18mm×奥行10mmを削り取り、分析用試料とした。なお、分析は3反復で行い、平均値を用いた。

## 2. 試薬類

アミノ酸分析の標準物質にはアミノ酸混合標準液H型（和光純薬工業）、ガスクロマトグラフ-マススペクトロメトリー（GC-MS）用標準物質にはC7~C25のn-アルカン混合溶液（東京化成工業）を用いた。フォーリン&チオカルト・フェノール試薬（Folin & Ciocalteu's phenol reagent）はMP Biomedicals社製、DPPH（1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl）は和光純薬工業社製、MES（2-Morpholinoethanesulfonic acid, monohydrate）は同仁化学社製、TroloxはSigma-Aldrich社製（アメリカ）である。その他の試薬は市販の特級試薬を使用した。

## 3. 成分分析方法

黒糖試料を乳鉢ですり潰して粉末状とし、水分および水分活性を測定した。水分は加熱乾燥式水分計（MX50, エー・アンド・デイ）、水分活性は電解質電気抵抗湿度センサ式水分活性計（LabSwift-aw, ケット科学研究所）で測定した。色調の測定には黒糖の20%水溶液を用い、分光測色計（CM-2600d, コニカミノルタ）で透過反射光を測定して、L\*a\*b\*表色系で表示した。着色度の測定には黒糖の4%水溶液を用い、0.2NのNaOHでpH 7.0に調整した後に420nmの吸光度を測定し（ $\mu$ Quant, Bio-Tek）、ICUMSA色価を算出した<sup>10)</sup>。アミノ酸の分析にはアミノ酸分析システム（LC-VPアミノ酸分析システム、島津製作所）を使用した。カラムはShim-pack Amino-Na（島津GLC）を用い、*o*-フタルアルデヒドを反応試薬として蛍光強度（Ex=348nm, Em=450nm）を蛍光検出器（RF-10AXL, 島津製作所）で測定した。有機酸の分析には有機酸分析システム（LC-10A, 島津製作所）を用いた。カラムはShim-pack SPR-H（7.8×250mm, 2本直列, 島津GLC）を用い、移動相は5mM *p*-トルエンスルホン酸、緩衝液には5mM *p*-トルエンスルホン酸と100 $\mu$ M EDTAを含む20mM Bis-Trisを用いた。流速を0.7ml/minとし、カラム温度は1本目を

25℃、2本目を45℃とした。検出器には電気伝導度検出器（CDD-6A, 島津製作所）を用いた。糖組成は液体クロマトグラフ（LC-20A, 島津製作所）で分析した。カラムはAsahipak-NH<sub>2</sub>P-50（4.6×250mm, Shodex）を用い、移動相は75%アセトニトリル、流速を1.0ml/minとし、カラム温度は40℃とした。検出器には蒸発光散乱検出器（ELSD-LT, 島津製作所）を用いた。ポリフェノール含量と抗酸化能の分析には、黒糖試料1.0gに10mlの80%エタノールを加え、70℃で30分間振とうした抽出液を用いた。ポリフェノール含量はFolin-Ciocalteu法<sup>11)</sup>を一部改変して測定し、没食子酸相当量として算出した。すなわち、96ウエルプレートに試料抽出液とフォーリン&チオカルト・フェノール試薬、および5%炭酸ナトリウムを各50 $\mu$ lずつ加え、ミキサーで20分間攪拌した後750nmの吸光度を測定した。抗酸化能はDPPHラジカル消去活性測定法により測定し、Trolox相当量で算出した<sup>12)</sup>。96ウエルプレートに試料抽出液と80%メタノール、200mM MES buffer (pH6.0)、および800 $\mu$ M DPPHを各50 $\mu$ lずつ加え、ミキサーで20分間攪拌した後540nmの吸光度を測定した。

分析結果の統計処理には統計ソフト（エクセル統計2012, 社会情報サービス）を用いた。

## 4. 香気成分分析方法

黒糖試料を乳鉢ですり潰し、目開き1.4mmのふるいを通した粉末を測定に用いた。ヘッドスペースガスの採取にはヘッドスペースサンプラー（G1888 Network Headspace Sampler, Agilent Technologies）を用い、ガスクロマトグラフ（GC）（7890A, Agilent Technologies）またはGC-MS（5975C, Agilent Technologies）により分析した。20ml容のバイアルに黒糖試料を3.0g量りとり、80℃で20分間加熱した後に、バイアル圧力11.0psiで1分間ヘッドスペースガスを採取した。サンプラーのループ温度は170℃、トランスファーライン温度は210℃とした。GC分析のカラムはDB-WAX（60m×0.25mm I.D., 0.25 $\mu$ m, J&W）を用い、スプリット比10:1で試料を注入した。カラム温度は初期温度40℃（5分間）、昇温5℃/分、最終温度200℃（3分間）とした。キャリアガスにはヘリウムを使用し、流速は1.2ml/minとした。注入口温度および検出器温度は250℃とし、水素炎イオン化検出器（FID）で分析した。GC-MS分析のカラムと温度プログラムは、GC分析と同一条件とした。イオン化はEI法により行い、イオン源およびインターフェイス温度は230℃、イオン化電圧は70eVとした。香気成分の同定は質量スペクトルおよび標準物質の保持指標（Retention Index）を用いて行った。

## 実験結果と考察

### 1. 物理化学的特性の変化

水分は保存期間を通じて5%前後（最大値6.9%、最小値3.9%）で推移し、有意な変化はみられなかった。

水分活性も0.65Aw前後（最大値0.72Aw，最小値0.60 Aw）で推移し，水分と同様に明確な変化はみられなかった（Table 1）。微生物の生育限界は0.60~0.65Awであるが<sup>13)</sup>，黒糖の水分は6%以下，水分活性は0.6~0.7 Aw前後<sup>14)</sup>と低く，微生物による被害発生リスクは小さいと考えられる。しかし，水分活性が0.65Aw以上と高い黒糖試料には，*Xeromyces bisporus*やカワキコウジカビなどのように0.6~0.7Aw程度の乾燥した環境を好む好乾性カビ<sup>15)</sup>の発生が観察された。カビによるトラブルを回避するには，黒糖の製造段階における水分活性の低減が重要であると推察された。

保存期間が長くなるとともに，L\*値の減少と着色度の増加が認められ，黒糖試料間の色調の差が小さくなること観察された（Fig. 1, Table 1）。

黒糖の有用な特徴の一つである着色は，主に製糖工程における加熱により生成するカラメル様物質と，同じく加熱によるメイラード反応生成物質に由来する<sup>1)</sup>。このうちメイラード反応は室温程度の低温でも進行することが報告されている<sup>16)</sup>。黒糖中の主要な遊離アミノ酸含有量は，常温保存中に減少し，保存6か月までにブドウ糖および果糖が大きく減少した（Table 1）。また，遊離アミノ酸の減少量が大きい黒糖では，着色度の増加も大きくなった（Fig. 2）。これらの結果から，黒糖においても，常温保存中にメイラード反応がゆるやかに進行していることが推察された。加工食品原料として黒糖を見ると，特性を生かすためには着色度の増加が望ましいと思われる。窒素含有量が黒糖の色合いに影響を及ぼすことが報告されている<sup>17)</sup>ことから，アミノ酸含有量が高い原

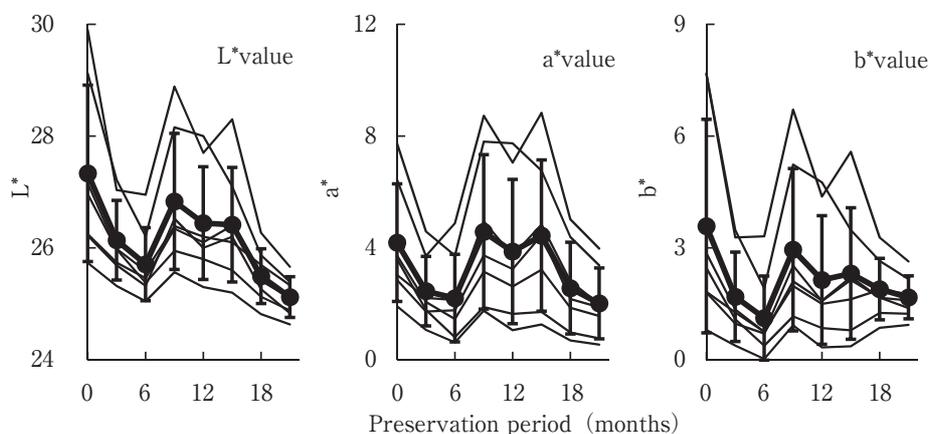
**Table 1** Changes in the physicochemical characteristics of *Kokuto* during storage at ambient temperature

	Preservation period (months)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Water contents (%)	5.30 ± 0.90	5.18 ± 0.76	5.68 ± 0.57	5.64 ± 0.55	5.21 ± 0.68	5.73 ± 0.41	5.24 ± 0.69	4.98 ± 0.65
Water activity (Aw)	0.65 ± 0.04	0.65 ± 0.03	0.66 ± 0.02	0.66 ± 0.02	0.67 ± 0.02	0.67 ± 0.02	0.65 ± 0.02	0.66 ± 0.02
Color value (value×10 <sup>4</sup> )*	1.27 ± 0.25	1.21 ± 0.26	1.49 ± 0.44	1.65 ± 0.48	1.77 ± 0.48	1.78 ± 0.44	2.52 ± 0.47	2.43 ± 0.65
Asparagine (mg/100g DW)	484.7 ± 198.8	439.3 ± 185.5	274.1 ± 152.7	250.4 ± 152.7	230.9 ± 142.7	203.0 ± 133.0	161.1 ± 105.1	148.5 ± 103.0
Aspartic acid	90.6 ± 30.8	84.0 ± 29.0	77.2 ± 30.1	75.3 ± 30.6	73.2 ± 29.4	66.1 ± 28.1	64.0 ± 27.2	67.7 ± 30.2
Alanine	33.3 ± 11.8	28.9 ± 10.8	24.8 ± 10.6	23.0 ± 9.8	22.3 ± 9.8	19.7 ± 8.9	17.7 ± 7.8	19.4 ± 8.9
Glutamic acid	29.7 ± 6.6	24.8 ± 5.3	17.0 ± 3.8	15.1 ± 3.8	14.8 ± 4.0	12.8 ± 3.8	10.8 ± 3.4	8.7 ± 3.1
GABA	15.7 ± 2.8	14.6 ± 3.3	9.5 ± 2.0	8.6 ± 2.0	7.9 ± 1.8	6.9 ± 1.8	5.8 ± 1.4	5.3 ± 1.5
Sucrose (g/100g DW)	84.44 ± 7.13	84.14 ± 2.81	81.66 ± 1.43	91.70 ± 1.86	79.72 ± 3.43	78.17 ± 3.03	70.67 ± 1.65	70.55 ± 1.53
Fructose	0.43 ± 0.06	0.48 ± 0.12	0.52 ± 0.17	0.19 ± 0.09	0.20 ± 0.09	0.17 ± 0.07	0.17 ± 0.07	0.23 ± 0.09
Glucose	0.26 ± 0.12	0.29 ± 0.12	0.24 ± 0.14	0.05 ± 0.07	0.05 ± 0.08	0.03 ± 0.05	0.05 ± 0.07	0.06 ± 0.07
Aconitic acid (mg/100g DW)	211.3 ± 47.8	199.4 ± 49.0	156.2 ± 38.9	151.7 ± 37.5	142.9 ± 31.2	124.6 ± 30.3	110.4 ± 27.0	92.8 ± 22.0
Malic acid	76.8 ± 8.7	72.8 ± 9.1	72.2 ± 10.7	76.2 ± 11.1	73.0 ± 9.4	68.4 ± 11.9	72.9 ± 11.9	71.4 ± 13.4
Citric acid	73.1 ± 7.4	64.2 ± 8.4	63.9 ± 8.0	70.0 ± 8.9	67.0 ± 8.1	63.2 ± 7.0	68.1 ± 8.3	65.6 ± 10.9
Total polyphenols (mg/g DW)	3.26 ± 0.37	2.89 ± 0.40	2.85 ± 0.22	3.02 ± 0.26	2.83 ± 0.09	2.93 ± 0.28	3.01 ± 0.23	2.92 ± 0.09
Antioxidant activity (μmol TE/g DW)**	6.46 ± 1.13	9.50 ± 1.64	9.17 ± 1.02	7.58 ± 1.92	8.67 ± 0.75	8.64 ± 0.81	8.14 ± 1.36	5.54 ± 0.95

Mean of 7 kinds of *Kokuto* are shown (n=3, mean±SD).

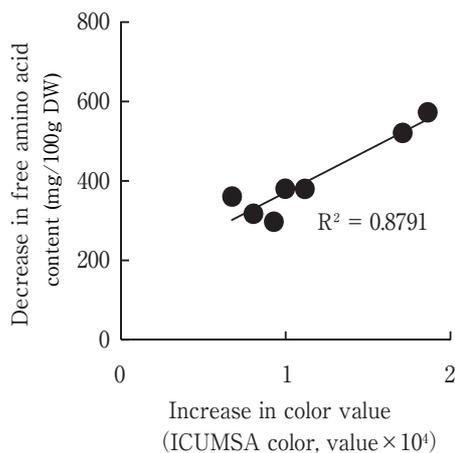
\*Color value: ICUMSA color

\*\*Antioxidant value: DPPH assay



**Fig. 1** Changes in the color value of *Kokuto* during storage at ambient temperature

— : 7 kinds of *Kokuto* (mean, n=3), ● : Mean of 7 kinds of *Kokuto* (Error bar indicates SD)



**Fig. 2** Correlation between color value and free amino acid content in *Kokuto* during storage for 21 months at ambient temperature

Values were calculated from measurements recorded before and after preservation.

Total content of 5 kinds of free amino acids (asparagine, aspartic acid, alanine, glutamic acid, and GABA) were evaluated.

● : Mean of 7 kinds of *Kokuto* (n=3)

料サトウキビを用いた黒糖製造や、黒糖のエイジングによる着色度増強などによる、新たな黒糖高付加価値化技術の展開が期待される。

アミノ酸の減少は種類によって異なり、アスパラギンやグルタミン酸、 $\gamma$ -アミノ酪酸 (GABA) の減少が大きかった (Table 1)。アミノ酸は着色や香気生成に関与することに加えて、味や食品機能に大きな影響を及ぼしていると考えられることから、黒糖品質への影響を含め、今後詳細な検討が必要である。

黒糖中の有機酸は、顕著な減少を示したアコニット酸を除き、保存中に大きな変化は見られなかった (Table 1)。

ポリフェノール含量は保存期間中に大きく変化しなかった (Table 1)。黒糖の抗酸化能に寄与する主要な物質はポリフェノール類であることが報告されている<sup>6)</sup>。従って抗酸化能もポリフェノール含量と同様の挙動を示すことが予想されたが、保存開始から6か月までは増加傾向、それ以降は減少傾向がみられ、ポリフェノール含量と異なる挙動を示した (Table 1)。メイラード反応産物であるメラノイジンは抗酸化能を有し<sup>18)</sup>、糖蜜を加熱することで抗酸化能が上昇する<sup>19)</sup>と報告されている。ポリフェノール類や抗酸化能は、黒糖の食品機能に大きく影響していることから、今後の詳細な検討が必要である。

## 2. フレーバー特性の変化

黒糖の香気成分をGCおよびGC-MS分析した結果、アルコール類3成分、アルデヒド類4成分、ピラジン類8成分、含硫化合物1成分、ケトン類6成分、カルボン酸1成分の計23成分が検出された (Table 2)。総香気成

分量は保存に伴い減少したが、保存に伴う挙動は香気成分によって異なった (Fig. 3)。含硫化合物のdimethyl sulfideは製造直後の黒糖では23成分の中で最も多いが、保存初期の3~6か月で急激に減少し、21か月ではすべての黒糖において保存開始時の94%以上が消失した。dimethyl sulfideは低沸点の成分で官能的には磯のにおいや青草臭を呈し、コーヒー等の加熱食品にも含まれている<sup>20)</sup>が、揮発性が非常に高いため、保存に伴い揮散したものと考えられた。

ピラジン類およびケトン類は、それぞれメイラード反応の副反応であるストレッカー分解で生成する香気成分やメイラード反応の中間生成物であるアマドリ化合物の分解により生成する香気成分である<sup>21)</sup>。いずれも黒糖の香ばしい香りや甘い香りに大きく寄与すると考えられる化合物であるが、dimethyl sulfideに比べると減少はゆるやかであった。サトウキビに含まれる主要なアミノ酸であるアスパラギンと糖類との反応では、主にジメチルピラジン類が生成される<sup>22)</sup>。このうち3-ethyl-2, 5-dimethylpyrazineは6か月以降若干増加し、その後に大きな減少は認められなかった。また、dihydro-2-methyl-3(2H)-furanoneは保存3か月までは増加し、その後減少したが、他のケトン類のように大きな減少は認められなかった。これらの香気成分の長期保存中の増加は、黒糖の常温保存におけるメイラード反応のゆるやかな進行を示唆するものと考えられた。カルボン酸のbutyric acidは保存15か月までは多少の増減があり、18か月以降で急激に減少した。butyric acidはサトウキビ搾汁液には含有されない<sup>23),24)</sup>ことから、製造工程中に微生物により二次的に生成した成分と考えられる。アルコール類とアルデヒド類では大きな減少は認められなかった。

各保存黒糖の官能基ごとの香気成分量を変数として主成分分析を行い、0, 6, 12, 18か月のスコアを抽出した。その結果、第1主成分の寄与率は46.8%、第2主成分は21.2%であり、第1主成分と第2主成分の累積寄与率は68.0%であった (Table 3)。7種類の黒糖はFig. 4に示すような2次元散布図上に分布し、保存に伴って第1主成分の差異が小さくなり、香気特性は類似してることが示唆された。一方、第2主成分のスコアは第1主成分のスコアよりはばらつきが認められ、因子負荷量の分布からアルコール類やアルデヒド類の香気成分量が影響していることが明らかとなった。香気成分と色調は黒糖を特徴づける要素であるが、いずれも保存によって黒糖間の差異が小さくなることが明らかとなった。今後は、黒糖が有する食品機能性の推移や、黒糖の主な用途である焼酎や和菓子など加工製品における原料特性などについても検討を進めていきたい。

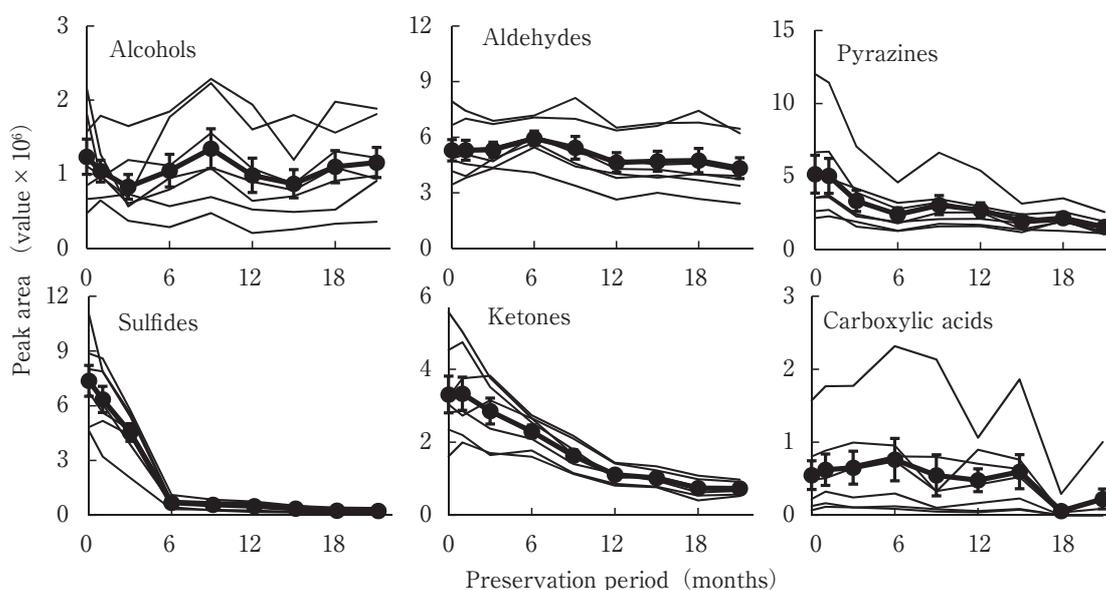
## 要 約

黒糖を常温で21か月保存し、物理化学的およびフレーバー特性の変化を追跡した。水分や水分活性の変化は小

**Table 2** Changes in the content of volatile compounds in *Kokuto* during storage at ambient temperature

Compounds	R.T.	Preservation period (months)								
		0	3	6	9	12	15	18	21	
<b>Alcoholss</b>										
Ethanol	9.472	85.6 ± 50.7	56.7 ± 26.4	87.4 ± 46.8	125.7 ± 64.7	91.0 ± 54.6	80.6 ± 43.7	96.2 ± 48.8	97.4 ± 43.2	
2,3-Butanediol	28.090	17.5 ± 17.8	14.5 ± 22.2	10.5 ± 10.8	3.3 ± 1.8	3.0 ± 2.4	3.1 ± 3.3	11.5 ± 6.9	16.9 ± 9.5	
2-Furanmethanol	29.966	20.4 ± 9.4	11.8 ± 3.3	6.8 ± 1.7	5.5 ± 1.5	4.5 ± 0.8	3.4 ± 0.7	2.4 ± 1.1	1.4 ± 1.7	
<b>Aldehydes</b>										
Acetaldehyde	5.527	321.0 ± 58.7	358.8 ± 51.8	413.3 ± 46.7	417.7 ± 95.9	370.0 ± 89.1	374.4 ± 87.7	374.0 ± 106.8	343.0 ± 94.0	
2-Methyl propanal	6.724	111.1 ± 64.1	89.4 ± 40.3	97.1 ± 41.7	63.5 ± 35.6	44.9 ± 22.2	47.8 ± 26.5	50.2 ± 28.6	46.4 ± 25.4	
2-Methyl butanal	8.757	48.4 ± 30.2	38.1 ± 19.5	42.4 ± 23.1	27.1 ± 17.7	20.5 ± 13.3	20.4 ± 13.3	22.1 ± 16.0	19.4 ± 12.6	
3-Methyl butanal	8.866	48.4 ± 16.6	45.7 ± 13.0	40.7 ± 13.4	34.4 ± 15.3	27.7 ± 12.9	27.3 ± 12.6	27.4 ± 14.3	23.9 ± 10.9	
<b>Pyrazines</b>										
Methyl pyrazine	19.854	58.8 ± 45.6	35.4 ± 25.2	27.8 ± 17.0	32.9 ± 23.1	27.6 ± 16.8	20.4 ± 10.2	16.7 ± 9.5	13.2 ± 6.7	
2,5-Dimethyl pyrazine	21.558	264.5 ± 198.2	152.1 ± 105.0	98.6 ± 63.7	113.6 ± 88.3	99.4 ± 66.8	72.7 ± 36.9	53.1 ± 33.6	41.9 ± 25.5	
2,6-Dimethyl pyrazine	21.724	92.0 ± 17.5	64.1 ± 12.1	50.9 ± 10.8	58.7 ± 17.2	54.9 ± 16.0	37.6 ± 9.4	33.3 ± 6.2	28.2 ± 6.4	
2,3-Dimethyl pyrazine	22.259	9.7 ± 10.0	8.4 ± 8.0	7.3 ± 5.7	8.0 ± 7.7	6.7 ± 6.1	5.5 ± 3.7	4.3 ± 4.0	3.0 ± 3.7	
2-Ethyl-6-methyl pyrazine	23.290	11.1 ± 4.1	9.9 ± 3.1	7.2 ± 2.0	7.5 ± 3.0	7.1 ± 3.2	4.1 ± 0.5	3.6 ± 1.9	2.8 ± 2.0	
2-Ethyl-5-methyl pyrazine	23.488	12.1 ± 8.6	7.2 ± 4.4	5.0 ± 2.3	5.6 ± 3.3	4.5 ± 2.3	2.5 ± 1.7	1.8 ± 1.7	1.0 ± 1.6	
2,3,5-Trimethyl pyrazine	23.878	30.0 ± 23.8	28.0 ± 20.5	20.1 ± 13.8	23.3 ± 18.8	21.4 ± 15.5	15.5 ± 9.0	13.8 ± 9.9	11.7 ± 7.6	
3-Ethyl-2,5-dimethyl pyrazine	24.894	37.1 ± 21.2	27.4 ± 12.8	23.0 ± 8.6	54.2 ± 16.7	49.1 ± 11.9	35.2 ± 5.5	88.3 ± 21.8	52.5 ± 5.6	
<b>Sulfides</b>										
Dimethyl sulfide	5.933	736.1 ± 207.8	453.1 ± 119.9	68.4 ± 23.3	57.4 ± 20.1	49.6 ± 20.6	35.9 ± 14.1	24.6 ± 11.4	23.3 ± 10.6	
<b>Ketones</b>										
Acetone	6.794	78.5 ± 26.4	89.7 ± 19.8	115.4 ± 18.7	63.8 ± 11.6	35.6 ± 5.6	36.6 ± 6.2	34.6 ± 7.7	25.8 ± 5.5	
2,3-Butanedione	10.515	106.0 ± 28.2	54.4 ± 9.1	36.4 ± 5.4	36.8 ± 8.5	28.5 ± 7.1	27.2 ± 5.5	17.3 ± 6.4	21.0 ± 4.5	
2-Hexanone	13.057	16.4 ± 9.2	10.8 ± 5.4	5.0 ± 1.6	4.1 ± 1.9	2.8 ± 1.1	2.6 ± 0.9	0.3 ± 0.7	0.4 ± 0.9	
Dihydro-2-methyl-3(2H)-furanone	19.685	31.7 ± 24.5	67.7 ± 48.4	32.0 ± 18.7	30.1 ± 18.0	20.4 ± 11.1	15.2 ± 7.5	13.3 ± 8.0	10.6 ± 5.3	
3-Hydroxy 2-butanone	20.393	20.0 ± 6.8	14.5 ± 3.5	9.8 ± 2.9	9.1 ± 2.9	7.4 ± 3.0	6.2 ± 2.0	3.3 ± 0.9	4.8 ± 2.6	
1-Hydroxy 2-propanone	20.821	77.9 ± 48.8	48.2 ± 22.9	30.8 ± 7.8	19.4 ± 5.7	16.4 ± 2.1	14.4 ± 2.2	5.5 ± 2.5	10.6 ± 1.5	
<b>Carboxylic acids</b>										
Butyric acid	29.147	54.9 ± 48.3	65.1 ± 55.2	76.1 ± 71.1	54.6 ± 69.1	47.9 ± 38.5	59.6 ± 57.3	5.8 ± 9.8	22.2 ± 33.3	
Total peak area		2289.4 ± 707.3	1750.9 ± 339.3	1312.0 ± 237.7	1256.2 ± 331.2	1040.9 ± 258.1	948.3 ± 190.4	903.5 ± 212.8	821.5 ± 166.9	

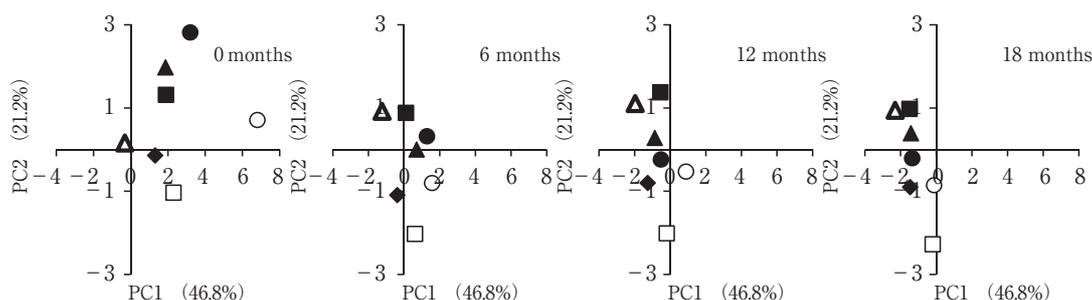
Mean of 7 kinds of *Kokuto* are shown (n=3, mean ± SD).

**Fig. 3** Changes in the content of volatile compounds in *Kokuto* during storage at ambient temperature

— : 7 kinds of *Kokuto* (n=3), ● : Mean of 7 kinds of *Kokuto* (Error bar indicates SD)

**Table 3** Component loadings determined by multivariate analysis of *Kokuto*

Element	Component 1	Component 2
Alcohols	-0.149	0.901
Aldehydes	0.667	-0.545
Carboxylic acids	0.412	0.299
Sulfur containing compounds	0.734	0.180
Ketones	0.936	0.099
Pyrazines	0.870	0.172

**Fig. 4** Changes in the scatter diagram of *Kokuto* during storage at ambient temperature●○▲△■□◆: 7 kinds of *Kokuto*

さかった。保存期間が長くなるとともに、 $L^*$ 値の減少と着色度の増加が認められ、黒糖試料間の色調の差が小さくなるのが観察された。遊離アミノ酸の減少が大きい黒糖は着色度の増加も大きくなった。ポリフェノール含量の変動は小さかったが、抗酸化能はポリフェノール含量と異なる挙動を示した。香气成分の挙動は成分によって異なり、含硫化合物は保存と共に減少した。しかし、3-ethyl-2, 5-dimethylpyrazineとdihydro-2-methyl-3 (2H)-furanoneは保存中に増加した。これらの結果より、黒糖の常温保存中にメイラード反応が進行していると考えられた。製造直後の黒糖では、試料によって香气成分の放散量が異なるが、保存期間が長くなるとともに、その差は小さくなった。

**謝 辞** 本研究は、平成23～25年度沖縄黒糖安定供給支援事業において実施した。沖縄県黒砂糖協同組合をはじめ、ご協力頂いた黒糖工場の皆様に厚く感謝申し上げます。

## 文 献

- 中田栄太郎・前田直彦・谷口 修・酒井一幸：黒糖製造法，シュガーハンドブック（朝倉書店，東京），pp.106～118（1964）
- 和田浩二：沖縄県特産物の機能性成分と加工利用に関する食品化学的研究，日食保蔵誌，**37**（1），17～27（2011）
- 荻 貴之・前田剛希：沖縄産黒糖に含まれるフラボ
- ン配糖体，沖工技報，**10**，7～11（2008）
- 4) ASIKIN, Y., TAKAHASHI, M., HIROSE, N., HOU, D. X., TAKARA, K. and WADA, K. : Wax, policosanols, and long-chain aldehydes of different sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) cultivars, *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, **114**, 583～591（2012）
- 5) 仲宗根洋子・和田浩二・玉城典子・桜井達生・又吉悟・高良健作：沖縄産黒糖の抗酸化性について，琉大農学報，**41**，305～308（1994）
- 6) 前田剛希・荻 貴之：沖縄産純黒糖の抗酸化能と糖類分解酵素阻害活性，沖工技報，**10**，1～5（2008）
- 7) OKABE, T., TODA, T., INAFUKU, M., WADA, K., IWASAKI, H. and OKU, H. : Antiatherosclerotic function of Kokuto, Okinawan noncentrifugal cane sugar, *J. Agric. Food Chem.*, **57**（1），69～75（2009）
- 8) 和田浩二・奥由香里・平敷兼清・与那覇恵・玉村隆子・仲宗根洋子：沖縄産カチワリ黒糖の貯蔵に伴うフレーバーの変化，琉大農学報，**44**，299～305（1997）
- 9) 秋永孝義・國府田佳弘：黒糖の貯蔵に関する基礎的研究，農業機械九支報，**38**，58～61（1989）
- 10) CHOU, C. C. : Determination of color and turbidity in sugar products, Cane sugar handbook (Wiley, N.Y.), pp.882～903（1993）
- 11) FURUTA, S., SUDA, I., NISHIBA, Y. and YAMAKAWA, O. : High tert-butylperoxyl radical scavenging activities of sweet potato cultivars with purple flesh, *J. Food. Sci. Technol. Int. Tokyo*, **4**，33～35

- (1998)
- 12) 沖 智之・増田真美・古田 収・西場洋一・須田郁夫：紫サツマイモを原材料としたチップスのラジカル消去活性，日食科工誌，**48** (12)，926～932 (2001)
- 13) 宇田川俊一：食品における真菌（カビ）汚染と危害，食衛誌，**28** (4)，219～229 (1987)
- 14) 秋永孝義・岡留博司・國府田佳弘：黒糖の品質に関する基礎的研究（第1報）黒糖の物理化学的特性，農業機械誌，**56** (5)，51～56 (1994)
- 15) 諸角 聖・藤川 浩・和宇慶朝昭・千葉隆司：食品のカビ汚染と防止対策，東京健安研報，**55**，3～12 (2004)
- 16) 石原克之・米澤弥矢子・古賀秀徳・太田富久：アスパラギンと還元糖溶液の37℃での長期間インキュベーションによるアクリルアミドの生成，補完代替医療誌，**9** (1)，43～48 (2012)
- 17) 秋永孝義・野瀬昭博・岡留博司・國府田佳弘：黒糖の品質に関する基礎的研究（第2報）黒糖の品質と無機成分の関係，農業機械誌，**58** (3)，11～17 (1996)
- 18) 加藤博道：食品・生体系におけるアミノカルボニル反応に関する研究，農化誌，**66** (2)，101～109 (1992)
- 19) 氏原邦博・吉元 誠・和田浩二・高橋 誠・須田郁夫：サトウキビジュース糖蜜の抗酸化活性に及ぼす加熱加工の影響，日食科工誌，**60** (4)，159～164 (2013)
- 20) 松浦弘明・藤山勝二・池内義弘：熱脱着ガスクロマトグラフィー/質量分析法による食品中のジメチルスルフィド及びジメチルジスルフィドの定量，分析化学，**54** (11)，1075～1082 (2005)
- 21) 奥村蒸司：メイラード反応とフレーバーの生成，醸協，**88** (3)，178～187 (1993)
- 22) 藤巻正生・倉田忠男：食品の加熱香気，化学と生物，**9** (2)，85～96 (1971)
- 23) 氏原邦博・増田亮一・杉浦 誠・永田茂穂・杉本明・寺島義文・福原誠司：サトウキビジュースにおける有用成分の生育時期別推移と加工時の消長，日作九支報，**70**，75～77 (2004)
- 24) WALFORD, S. N. : Composition of Cane Juice, *Proc. S. Afr. Sug. Technl. Ass.*, **70**, 265～266 (1996)  
(平成27年6月15日受付，平成27年9月21日受理)
-

## 浸透圧を利用した渋ガキ果肉の脱水と 脱渋ならびに加工品の品質に関する研究<sup>†</sup>

平 智\*<sup>§</sup>・佐藤 祐樹\*・秋元 彩夏\*  
佐伯 葉子\*・松本 大生\*

\* 山形大学農学部

### Dehydration and Astringency Removal from Persimmon Flesh by Osmotic Pressure, and Study of Fruit Quality

TAIRA Satoshi\*<sup>§</sup> SATO Yuki\*, AKIMOTO Ayaka\*,  
SAEKI Yoko\* and MATSUMOTO Daiki\*

\* Faculty of Agriculture, Yamagata University, 1-23 Wakaba-machi, Tsuruoka, Yamagata 997-8555

The astringency of peeled persimmon fruit (*Diospyros kaki* Thunb.) after harvest can be removed during drying. Dehydration and astringency removal may also be induced via osmotic pressure by dipping the flesh in a concentrated sucrose solution. We examined the influence of dipping conditions and fruit maturity on the degree of dehydration and loss of astringency in persimmon flesh. Peeled fruits were individually dipped in a sucrose solution in a small plastic container that was sealed with a lid and kept under a constant temperature for several days. Dehydration of the flesh in 50° Brix sucrose solution progressed faster as the temperature increased from 35°C to 50°C. However, the degree of dehydration was similar for all conditions after 7 days of dipping. Dehydration progressed faster and the magnitude was greater as fruit maturity advanced. Although a loss of astringency did not occur in flesh dipped at 5°C, astringency disappeared rapidly in the flesh as the dipping temperature increased to between 20°C to 50°C. The loss of astringency occurred more easily in mature than immature flesh. The ease of astringency loss varied among years. The total scores for product quality with respect to taste were higher for more mature fruits, except when they were overripe. These results suggest that the flesh from fruit at 80–100% maturity was suitable for processing. The fruit quality was different from traditional dry or semi-dry persimmon in the texture and was influenced by cutting and by the cultivar used.

(Received Jun. 10, 2015 ; Accepted Oct. 9, 2015)

**Key words** : astringency removal, dehydration, dry fruit, osmotic pressure, persimmon

脱渋, 脱水, ドライフルーツ, 浸透圧, カキ

干し柿は、平安時代に記された『延喜式』(927年)に祭礼用の菓子としての記載がみられるように、日本で古くから親しまれてきた果実加工品の一つである<sup>1),2)</sup>。また、あんぼ柿も干し柿と同様に渋ガキ果実を剥皮後に乾燥させた加工品であるが、干し柿よりも多くの水分を含む、当初の果肉重の50%程度にまで乾燥させたものを通常そう呼んでいる<sup>3)</sup>。最近では、干し柿よりも鮮明な果肉色を有し、軟らかい食感のあんぼ柿の生産が増加する傾

向にある<sup>4)</sup>。

干し柿やあんぼ柿を製造するにあたっては、果肉の乾燥過程が重要であるが、自然(天日)乾燥では普通、干し柿で30日前後、あんぼ柿でも20日前後の製造期間を要する<sup>5)</sup>。また、自然乾燥では乾燥期間や製品の品質が天候のよしあしに大きく左右される。そのため、最近では、電力や火力を利用した人工(強制)乾燥が増加している<sup>6)</sup>。しかし、人工乾燥では、果肉表面が過乾燥状態に

<sup>†</sup> 本報告の一部は、日本食品保蔵科学会創立40周年記念(第64回東京)大会(2015年6月27, 28日, 東京農業大学)において発表した。

\* 〒997-8555 山形県鶴岡市若葉町1-23

§ Corresponding author, E-mail : staira@tds1.tr.yamagata-u.ac.jp

なってその後の水分の蒸発や製品の食感が悪くなったり、原料の大きさや一度に乾燥機に入れる量、さらに、乾燥機内での位置の違いなどによって、乾燥程度にむらが生じたりするなど問題も多い<sup>7)</sup>。したがって、これらの乾燥法以外に原料を効率的に脱水できる新しい方法の開発も期待される。

新しい脱水技術の一つに浸透圧脱水法がある。浸透圧脱水法とは、果肉細胞よりも浸透圧が高い溶液を用いて、果肉中の水分を溶液中に移行させることによって果肉の脱水を進める方法である。この方法は、天候に左右されることなく、軟らかい食感と豊かな風味をもつドライフルーツの製造を可能にする方法として近年注目されている<sup>8)</sup>。しかし、干し柿やあんぼ柿の製造にはまだ応用されていない。なお、渋ガキ果実の加工の際は、脱水と同時に脱渋を完了させる必要があり、脱渋過程についての検討も不可欠である。

本研究では、浸透圧脱水法を用いた渋ガキ果実の新しい加工法に関する基礎データを得ることを目的として、主に脱水条件の違いと原料果実の熟度が果肉の脱水と脱渋ならびに加工品の食味に及ぼす影響を調査した。

## 実験方法

実験は2012～2014年に、主に山形大学農学部実験圃場（鶴岡市）栽植の不完全渋ガキ‘平核無’成木の果実を供試して行った。また、品種間差異の検討には、同実験圃場の完全甘ガキ‘次郎’成木の果実、同学部附属やまがたフィールド科学センター高坂農場（鶴岡市）栽植の完全渋ガキ‘伝九郎’高接樹の果実ならびに福島市内の商業果樹園産の不完全渋ガキ‘蜂屋’果実を供試した。

収穫した果実は直ちに、あるいは1～3日間冷蔵庫に保管したのちナイフで剥皮し、果肉重を測定してから、果肉重の約5倍量のショ糖溶液（以下、ショ糖液と記す）の入ったプラスチック容器（ポリプロピレン製、15×15×9.8cm）に1個ずつ入れて果肉全体を浸漬した。容器にはふたをして、一定温度条件下で6～7日間保持した。

調査時には取り出した果肉を流水で洗浄したのち、キッチンペーパーで水分を十分拭き取り、果肉重、果肉硬度、果肉の可溶性固形物含量ならびに可溶性タンニン濃度を測定した。果肉硬度は、果実硬度計（藤原製作所製、KM-5型、円錐プランジャー使用）で測定した。可溶性固形物含量は、杉浦らの方法<sup>9),10)</sup>によって、ポリエチレングリコールを加えて果汁に含まれる可溶性タンニンの影響を取り除いてから測定した。ただし、脱水が進んで搾汁が困難になった果肉については、一定量の果肉細片を蒸留水とともにホモゲナイズし、さらしでろ過した溶液にポリエチレングリコールを加えてから測定した。可溶性タンニンは、TAIRA (1996) の方法<sup>11)</sup>に従って、没食子酸を標準物質として測定した。

### 1. 浸漬温度の影響

2012年に、50°Brix（ショ糖と蒸留水の重量比が1：1の溶液を以下このように記す）のショ糖液に‘平核無’を浸漬して、5℃、20℃、35℃あるいは50℃で果肉の脱水と脱渋の進行状況を調査した。5℃および50℃処理には9月27日収穫の果頂部付近のカラーチャート（農研機構果樹研究所作成の‘平核無’用を使用）値が平均1の果実、20℃および35℃処理には10月19日収穫のカラーチャート値が平均3の果実を供試した。

### 2. 果実熟度の影響

2013年に、熟度の異なる‘平核無’果実を50°Brixのショ糖液に浸漬し、35℃に保持して、果実の熟度が脱水と脱渋に及ぼす影響を調査した。果実熟度は果面の着色程度（果面の何%が着色しているか）を指標として、0%着色果（9月25日収穫、果頂部付近のカラーチャート値が平均0）、20%着色果（10月4日収穫、カラーチャート値平均2）、50%着色果（10月18日収穫、カラーチャート値平均4）、100%着色果（10月29日収穫、カラーチャート値平均6）ならびに過熟果（11月28日収穫、カラーチャート値平均8）を供試した。

### 3. 食味試験

2014年に、‘平核無’の60%着色果（10月14日収穫、カラーチャート値が平均4）、80%着色果（10月21日収穫、カラーチャート値が平均5）、100%着色果（10月28日収穫、カラーチャート値が平均6）、過熟果（11月17日収穫、カラーチャート値が平均8）ならびに‘伝九郎’の100%着色果（11月10日収穫、カラーチャート値が平均6）を、果肉重の約5倍量の66°Brix（ショ糖と蒸留水の重量比が2：1の溶液を以下このように記す）のショ糖液に浸漬した。保持温度は、‘平核無’は40℃あるいは50℃、‘伝九郎’は40℃とした。食味試験は、浸漬開始後1日、3日ならびに6日に行った。パネリストは、山形大学農学部果樹園芸学研究室のスタッフあるいは学生の計6人（女性および男性各3人）である。評価項目は、外観、硬さ、甘味、香り、風味、渋味および総合評価の7項目とし、いずれも5段階のスコア、すなわち、外観、香り、風味および総合評価については、1（悪い）～5（よい）、硬さについては、1（軟らかい）～5（硬い）、甘味は、1（弱い）～5（強い）、渋味は、1（まったく渋くない）～5（渋い）とした。

### 4. カットの有無と品種間差異の影響

2013年に、10月29日収穫の果頂部付近のカラーチャート値が平均6の‘平核無’の100%着色果をはく皮後縦に4等分した果肉切片を、果肉重の約5倍量の50°Brixショ糖液に浸漬して35℃に保持し、カットしない果肉と比較した。

また、2012年に、11月16日収穫の‘平核無’100%着色果（カラーチャート値が平均6）、12月23日収穫の‘次郎’（カラーチャート値が平均6）ならびに果頂部付近のカラーチャート値が平均6の‘蜂屋’果実（収穫日

は不明)を、さらに、2013年には10月29日収穫の‘平核無’100%着色果(カラーチャート値が平均6)と11月8日収穫の‘伝九郎’100%着色果(カラーチャート値が平均6)を供試して、35℃で50°Brixのショ糖液に浸漬し、脱水と脱渋の進行状況を比較した。なお、これらのうちの一部については食味試験も行った。

### 実験結果および考察

#### 1. 果肉の脱水と軟化に及ぼす影響

浸漬温度の影響の検討に先立って、処理に用いるショ糖濃度の影響について予備的な検討を行った<sup>12)</sup>。その結果、30°Brixでは脱水がほとんど進まないこと、また、66°Brixのほうが50°Brixよりわずかではあるが脱水がよく進むことがわかった。66°Brixを超える濃度のショ糖液の作成は溶解度の問題からかなり困難だったので、実験には50°Brixあるいは66°Brixのショ糖液を用いることにした。

50°Brixのショ糖液に浸漬した‘平核無’の果肉は、保持温度が高いほど脱水が速く進む傾向が認められた(Fig.1)。ただし、浸漬後7日の果肉重は保持温度にかかわらず、いずれも処理開始時の50%程度であった。

5℃および50℃では、当初平均約2.3kgあった果肉硬度が1.0kg程度にまで低下したのに対して、20℃および35℃では徐々に軟化が進み、浸漬後4日には完全に軟化(果肉硬度0kg)した(データ略)。なお、5℃では果肉の表面付近が特に軟化したが、50℃では果肉全体がゴム質化し、さらには硬化した。

ただし、本実験に供試した果実の熟度が5℃および50℃と20℃および35℃とで異なっているため、浸漬温度が果肉の肉質の変化に及ぼす影響については今後精査が

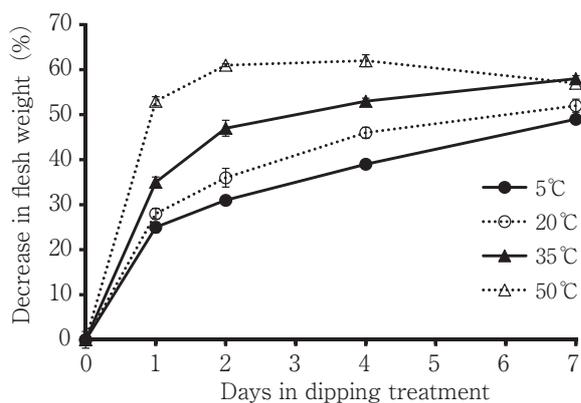


Fig.1 Effects of keeping temperature on decrease in flesh weight during dipping treatment in ‘Hiratanenashi’ persimmon

Fruits for 5℃ and 50℃ treatments were harvested on 27 September, 2012 and those for 20℃ and 35℃ treatments were harvested on 19 October, 2012. Fruit flesh were dipped in 50° Brix sucrose aqueous solution. Vertical bars indicate S. E. (n=3). No bar can be seen when S. E. is smaller than the symbol.

必要である。

35℃・50°Brixでは、熟度の進んだ果実ほど脱水が遅い傾向があった。また、脱水の程度も熟度が進むほど低下する傾向が認められ、0～50%着色果では浸漬後7日で当初の果肉重の約50%になったのに対して、過熟果では40%に満たなかった(Fig.2)。

過熟果は浸漬後3日には完全に軟化していた。100%着色果の果肉硬度は浸漬後3日以降大きく低下し、浸漬後5日には完全に軟化した。0%, 20%および50%着色果も浸漬後7日には完全に軟化した(データ略)。なお、未熟な果肉ほど表面付近がやや弾力のある肉質になった。

#### 2. 果肉の脱渋と可溶性固形物含量に及ぼす影響

5℃では可溶性タンニンが浸漬期間中に2倍程度にまで濃縮され、まったく脱渋しなかった。20～50℃では、保持温度が高いほど脱渋が速く進み、浸漬後7日にはいずれも脱渋が完了した(Fig.3)。

可溶性固形物含量は浸漬開始時に10°Brix程度であったが、5～35℃ではそれぞれの脱水程度に応じて20°Brix前後にまで増加した(ただし、50℃処理区についてはデータなし)。

また、可溶性タンニンは、熟度の進んだ果実ほど減少が速い傾向があった。50°Brix・35℃では、浸漬後5日の時点で、いずれの熟度の果肉でも脱渋が完了した(Fig.4)。

可溶性固形物含量は、浸漬期間中いずれの熟度の果肉でもしだいに増加した。浸漬後7日時点で、0%および20%着色果では約20°Brix、50%、100%および過熟果では約25°Brixまで増加した(データ略)。

あんぼ柿は本来、果肉が軟らかく繊維質を感じないのが特徴である<sup>13)</sup>が、本研究では0～50%着色果を原料にした場合、脱水後の肉質がかなり硬く、あんぼ柿様にならなかった。これに対し、100%着色果を用いた場合は、軟らかく繊維質を感じない肉質になった。渡部(2007)<sup>5)</sup>

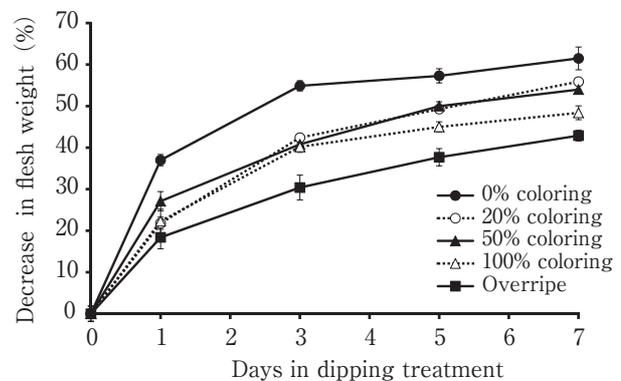
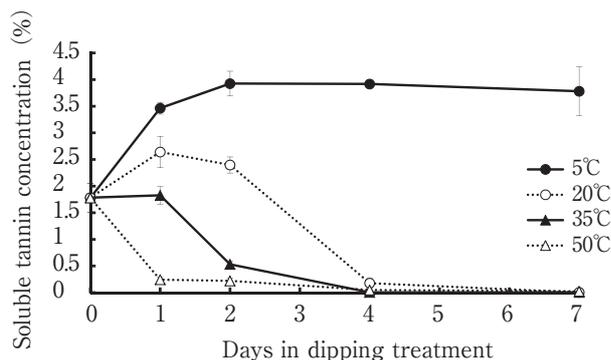


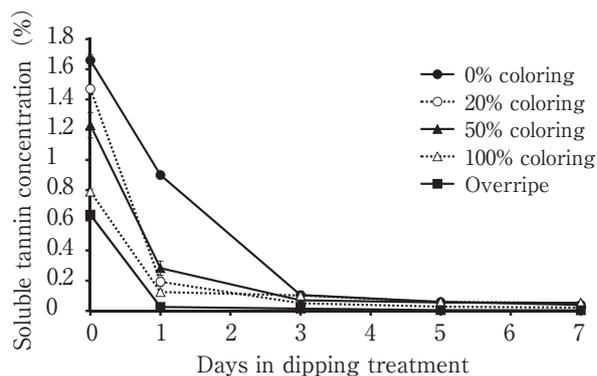
Fig.2 Effects of fruit maturity on decrease in flesh weight during dipping treatment in ‘Hiratanenashi’ persimmon

Fruit flesh were dipped in 50° Brix sucrose aqueous solution at 35℃ in 2013. Vertical bars indicate S. E. (n=3). No bar can be seen when S. E. is smaller than the symbol.



**Fig. 3** Effects of keeping temperature on soluble tannin concentration in flesh during dipping treatment in 'Hiratanenashi' persimmon

Fruits for 5°C and 50°C treatments were harvested on 27 September, 2012 and those for 20°C and 35°C treatments were harvested on 19 October, 2012. Fruit flesh were dipped in 50° Brix sucrose aqueous solution. Vertical bars indicate S. E. (n=3). No bar can be seen when S. E. is smaller than the symbol.



**Fig. 4** Effects of fruit maturity on soluble tannin concentration in flesh during dipping treatment in 'Hiratanenashi' persimmon

Fruit flesh were dipped in 50° Brix sucrose aqueous solution at 35°C in 2013. Vertical bars indicate S. E. (n=3). No bar can be seen when S. E. is smaller than the symbol.

は、'平核無'を原料にして人工乾燥であんぼ柿を製造する際には、カラーチャート値が7程度の成熟果を用いるのがよいことを報告しており、本研究の結果もそれとほぼ一致するものであった。なお、脱水程度が50%未満であっても脱渋が完了している場合は、十分可食可能であった。

50° Brix・35°Cで100%着色果を原料にした場合、2012年および2014年の処理ではともに浸漬後1日で脱渋したが、2013年は完全に脱渋するまで5日を要した。このことから、同一品種であっても脱渋の難易には年次差がある<sup>1)</sup>ものと思われる。

一方、果肉の可溶性固形物含量は脱水による濃縮効果のために増加したと考えられたが、果肉重ベースの濃縮率から計算される数値以上に増加しているケースがしば

しば認められた。例えば、2014年の実験では、60%着色果の40°C処理で、浸漬後6日の果肉重は当初の約35%であり、濃縮率から計算される可溶性固形物含量は約34° Brixとなるが、測定値は約45° Brixであった。このようなことが起きる原因として、処理中に浸漬液中のショ糖が果肉に浸透したこと、ならびに果肉に含まれていたショ糖が浸漬中にブドウ糖と果糖に加水分解したことが考えられる。カキ果実に含まれるインベルターゼの至適温度は45°C付近とされる<sup>7)</sup>ことから、浸漬温度によって加水分解の程度は異なる可能性もある。この点については、今後より詳しい検討が必要である。

### 3. 加工品の品質と食味評価

先にも述べたように、一般に当初の果肉重の35%程度にまで乾燥させたものを干し柿と呼び、50%程度まで減少させたものをあんぼ柿と呼ぶことが多い<sup>3)</sup>。本研究の場合も、脱水程度が65%程度の場合には干し柿様、50%程度の場合にはあんぼ柿様と呼ぶことにする (Table 1)。

66° Brix・40°Cまたは50°C、浸漬後3日で、いずれの熟度の果肉もあんぼ柿程度まで脱水が進行した。さらに、浸漬後6日には、50°C処理の過熟果および'伝九郎'を除いて、干し柿程度にまで脱水が進んだ。ただ、40°C処理では、いずれの熟度の果肉にも浸漬後6日にカビの発生が観察された。カビは果肉に直接付着するのではなく、ショ糖液に浮いている状態で発見された。なお、50°C処理ではカビの発生は全く認められなかった。

食味試験の総合評価が最も高かったのは、100%着色果・40°C処理の浸漬後1日の果肉であった。次いで、80%着色果・40°C処理の浸漬後1日の果肉が高い評価を得た。ただし、これらの果肉はまだ脱水程度が低く、通常の脱渋ガキに近い外観と食感を有していた。あんぼ柿様の果肉としては、80%着色果・40°C・浸漬後3日、干し柿様の果肉としては、80%および100%着色果・40°C・浸漬後6日の果肉が、それぞれ高い評価を得た。ただし、これらの果肉の肉質は、どちらかといえばやはり脱渋ガキに近いもので、一般に市販されているあんぼ柿や干し柿とはやや異なるものであった。

果肉の可溶性タンニン濃度からみれば、いずれの熟度の果肉も浸漬後1日の時点で脱渋が完了したと判断されたが、食味試験では60%ならびに80%着色果に若干の渋味を感じるパネリストがいた。渋味は、果肉の熟度が進むほど、また浸漬後の日数が経過するほど、感じられなくなる傾向であった。硬さは、原料果肉の熟度が進むほど軟らかいと評価され、甘味は、熟度が進むほど強いと評価される傾向が認められた。なお、これらの傾向は、果肉硬度や可溶性固形物含量の測定値の変化傾向とほぼ一致していた (以上、データ略)。

なお、'平核無'の果肉は、その熟度にかかわらず、浸漬日数の経過とともに褐変が進む傾向が認められたが、'伝九郎'の果肉の外観はほとんど変化しなかった。'伝九郎'は、食味の総合評価も比較的高く (Table 1),

**Table 1** Influence of fruit maturity and dipping temperature on degree of dehydration and eating quality during treatment in persimmon flesh<sup>z</sup>

Cultivar	Fruit maturity	Dipping temperature	Days in dipping treatment					
			1		3		6	
			Degree of dehydration	Eating quality <sup>y</sup>	Degree of dehydration	Eating quality	Degree of dehydration	Eating quality
Hiratanenashi	60%	40°C	△ <sup>x</sup>	2.5 ± 0.2	Anpo	2.2 ± 0.4	Hoshi <sup>v</sup>	3.0 ± 0.5*
		50°C	△	1.5 ± 0.2	Anpo	1.5 ± 0.2	Hoshi	1.8 ± 0.3
	80%	40°C	△	3.7 ± 0.4	Anpo	3.4 ± 0.2	Hoshi	3.4 ± 0.4*
		50°C	Anpo <sup>w</sup>	2.2 ± 0.2	Anpo	2.4 ± 0.2	Hoshi	2.8 ± 0.5
		40°C	△	4.2 ± 0.5	Anpo	2.8 ± 0.5	Hoshi	3.2 ± 0.2*
	Overripe	50°C	△	3.0 ± 0.4	Anpo	2.5 ± 0.3	Hoshi	2.6 ± 0.2
		40°C	△	1.8 ± 0.7	Anpo	3.0 ± 0.5	Hoshi	2.7 ± 0.7*
		50°C	△	1.7 ± 0.3	Anpo	1.8 ± 0.4	Anpo	2.5 ± 0.2
Denkuro	100% coloring	40°C	△	2.3 ± 0.3	Anpo	2.8 ± 0.4	Anpo	3.0 ± 0.6

<sup>z</sup> Fruit flesh were dipped in 66° Brix sucrose aqueous solution in 2014.

<sup>y</sup> Scores for evaluation of eating quality (1, very low; 2, low; 3, moderate; 4, high; 5, very high). Mean ± S.E. (n=6).

<sup>x</sup> Degree of dehydration were under 45%.

<sup>w</sup> Degree of dehydration were approximately 50% like “Anpo-gaki” (semi-dry fruit of persimmon).

<sup>v</sup> Degree of dehydration were approximately 65% like “Hoshi-gaki” (dry fruit of persimmon).

\*Some kind of molds appeared on dipping solutions.

肉質も優れていたことから、このような加工に向いている品種であるといえよう。

Table 1 に示した食味の総合評価について考察を深めるために、原料果実の熟度別に、浸漬日数と温度処理のデータをすべて合わせて平均すると、100%着色果が3.6 ± 2.1 (平均 ± SD, n=36) で最も高い評価、次いで、80%着色果の3.1 ± 2.0 (平均 ± SD, n=36) となった。また、60%着色果の香りと風味には青臭さを感じるパネリストが多く、過熟果は果肉が軟らかすぎるといった評価であった。これらのことから、‘平核無’の加工原料としては、80%または100%着色果が適していると判断された。また、総合評価について、温度条件別にすべての熟度の果実と浸漬日数のデータを合わせて平均すると、40°C処理が3.0 ± 2.2 (平均 ± SD, n=72)、50°C処理が2.2 ± 1.8 (平均 ± SD, n=72) で、40°C処理のほうが高かった。このことから、浸漬温度としては40°Cのほうが適していると判断されるが、前述のように、40°Cでは浸漬期間後期にカビが発生するという問題があり、改善が必要である。

#### 4. カットの有無と品種間差異の影響

50° Brix・35°Cで、4分の1にカットした果肉の脱水の進行は、カットしない果肉よりわずかであるが速く進む傾向を示した。しかし、可溶性タンニン濃度の変化は果肉切断の影響をほとんど受けず、カットの有無にかかわらず浸漬後1日で完全に脱渋した。なお、カットした果肉の可溶性固形物含量のほうがわずかに高い傾向を示し、甘味に関する食味評価値も高かった (以上、データ略)。

カットした果肉は、果肉重ベースで考えると、シヨ糖液に接する表面積が大きいため、脱水がより速く進行すると予測されたが、それほど大きな差ではなかった。ただし、今後カットの仕方などを工夫することで、より効率的な脱水効果が得られる可能性はあるものと思われる。

‘蜂屋’は‘平核無’に比べて、脱水および脱渋の進行がやや遅い傾向があったが、浸漬後7日の脱水程度は‘平核無’と大差なく、脱渋も浸漬後2日で完了した。これに対して、脱渋の必要がない完全甘ガキの‘次郎’は、脱水の進行が‘蜂屋’より遅かった。ただし、浸漬後7日の脱水程度は他の品種とほぼ同じであった。‘伝九郎’も‘平核無’に比べて脱水の進行が遅い傾向が認められ、浸漬後7日で当初の果肉重の約30%の脱水に留まった。ただ、可溶性タンニンの減少は、‘平核無’よりむしろ速い傾向が認められた (以上、データ略)。

このように、同じカキでも品種によって脱水速度が異なること、また、果肉の甘渋にかかわらず脱水はほぼ同様に進行することがわかった。甘ガキは元来、肉質が粗剛であるために干し柿には向かないとされる<sup>13,14)</sup>が、浸透圧脱水法により渋ガキと同様に加工は可能であると考えられた。なお、‘伝九郎’が‘平核無’より脱渋しやすかったのは、同品種が持つ温湯脱渋しやすい性質<sup>15,16)</sup>を反映しているものと考えられる。

#### 5. 結論および今後の研究課題

以上の実験結果から、‘平核無’は80%あるいは100%着色果を原料にして、保持温度35°Cもしくは40°Cで50° Brix以上のシヨ糖液に浸漬することによって短期間で脱渋が完了し、脱水が進んで、食味の比較的優れた加工品

を製造できると判断された。その際、例えば、脱渋ガキのような製品を得たいときは1日程度、あんぼ柿程度に脱水された加工品を得たいときは3日程度、干し柿程度の水分含量の加工品を得たいときには6日程度、というように、浸漬期間を目標とする脱水程度によって決定するのが望ましいと考えられる。ただし、これらの加工品の肉質は、一般的な市販品のあんぼ柿や干し柿とはかなり異なるものであったので、これまでのあんぼ柿や干し柿とは異なる、新しい加工品としての位置づけが必要になるかもしれない。

今後の最も重要な検討課題の一つとして、浸漬中のカビの発生防止があげられる。本研究で、カビはシヨ糖液に浮いている状態で発見されたので、おそらく果肉由来のものではなく、シヨ糖液中か空気中に由来するものが繁殖したと推察される。カビが生育するには水分の存在が不可欠である<sup>17)</sup>が、物質内に糖が共存すると水分活性が低くなるため、高濃度のシヨ糖液ほど高い防腐効果を示す<sup>18)</sup>。一般に、カビが生育不可能となる水分活性は0.80以下とされるが、シヨ糖液は濃度を飽和状態まで高めてもその水分活性は0.85に留まり、カビの発生を完全に防止することは難しいと考えられる。したがって、本加工法を採用しながらカビの発生を防止するためには、より短時間で浸漬処理を終了できる条件を見出すか、浸漬期間中に何回かシヨ糖液を更新する方法などについて検討する必要があると考えられる。

## 要 約

脱水条件ならびに果実熟度が浸透圧脱水による渋ガキ果肉の脱水と脱渋ならびに加工品の品質に及ぼす影響について検討した。

収穫後剥皮した渋ガキ果実を個別にプラスチック容器に入れ、果肉重の約5倍量のシヨ糖液に果肉全体を浸漬した。容器は密閉し、一定温度条件下で6～7日間保持した。

その結果、50°Brix、35～50℃では、保持温度が高いほど脱水は速く進んだが、浸漬後7日の脱水程度にあまり大きな差はなかった。35℃・50°Brix条件下では、熟度の進んだ果実ほど脱水が速く進行し、その程度も大きい傾向が認められた。5℃では脱渋が全く進まなかったが、20～50℃では温度が高いほど脱渋が速く進んだ。また、熟度の進んだ果実のほうが脱渋の進行が速い傾向があった。ただし、脱渋のしやすさには年次差が認められた。過熟果を除いて、熟度が進んだ果実ほど加工品の食味評価が高く、加工原料としては100%あるいは80%着色果が適していると判断された。なお、加工品の品質は、原料果実のカットの有無や品種の違いの影響を受けることが示唆された。

## 文 献

- 1) 北川博敏：カキの栽培と利用(養賢堂、東京), pp. 182～238 (1970)
- 2) 佐藤嘉一：干し柿における鮮度保持技術, 果実日本, **59**, 54～57 (2004)
- 3) 山形県農林水産部：かき振興指標, p. 102 (2002)
- 4) 村上秀司：大阪における干し柿の市場動向, 果実日本, **66**, 69～73 (2011)
- 5) 渡部恵美：減圧乾燥器を用いたあんぼ柿の製造法, 果実日本, **62**, 102～106 (2007)
- 6) 鈴木 栄：干し柿の13年産販売結果と14年産への課題, 果実日本, **57**, 22～26 (2002)
- 7) 松澤恒友：機械乾燥による高品質「市田柿」の加工技術の開発, 果実日本, **66**, 39～42 (2011)
- 8) 尾崎嘉彦：干し柿の製造に関する技術開発の動向, 果実日本, **66**, 34～38 (2011)
- 9) 杉浦 明・片岡郁雄・苔名 孝：屈折計による渋ガキ果実の糖度測定に関する研究, PEGによる除タンニンの効果, 園学要旨 (昭56春), 140～141 (1981)
- 10) 杉浦 明・片岡郁雄・苔名 孝：屈折計による渋ガキ果実の糖度測定に関する研究, カキ12品種についての経時的調査, 園学要旨 (昭57春), 60～61 (1982)
- 11) TAIRA, S.: Astringency in persimmon, In: LINSKENS, H.-F. and JACKSON, J. F. (eds.): Modern Methods of Plant Analysis, Vol. 18, Fruit Analysis (Springer-Verlag, Berlin), pp. 97～110 (1996)
- 12) 佐藤祐樹・平 智：浸透圧脱水法による渋ガキ果実の脱水ならびに脱渋過程, 園学研, **12** (別1), 296 (2013)
- 13) 加藤公道：あんぼ柿づくりの技術的課題, 果実日本, **57**, 28～31 (2002)
- 14) 傍島善次：柿と人生 (明玄書房、東京), pp. 158～168 (1980)
- 15) TAIRA, S., ITAMURA, H., ABE, K. and WATANABE, S.: Comparison of the characteristics of removal of astringency in two Japanese persimmon cultivars, 'Denkuro' and 'Hiratanenashi', *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **58**, 319～325 (1989)
- 16) 平 智・大川久美子・池田香織：山形県庄内地方の在来ガキ4品種の来歴と2, 3の特性について, 山形大学紀要 (農学), **14**, 53～58 (2004)
- 17) 鶴田 理・宇田川俊一：カビと食品 (医歯薬出版、東京), pp. 163～165 (1975)
- 18) 高田明和・橋本 仁・伊藤 凡：砂糖百科 (糖業協会・製糖工業会、東京), pp. 264～278 (2003)

(平成27年6月10日受付, 平成27年10月9日受理)

# Influence of Disulfide Bond Formation Via Recombinant PDI-Ero 1 Processing of Proteins and Baking Quality

NOGUCHI Tomohiro<sup>\*1§</sup>, NISHIBORI Fumiya<sup>\*2</sup>, SHIONO Koji<sup>\*2</sup>,  
OKA Daiki<sup>\*1</sup>, NOGUCHI Haruko<sup>\*2</sup> and TAKANO Katsumi<sup>\*2</sup>

\* 1 Food Processing Center, Faculty of Applied Bioscience, Tokyo University of Agriculture,  
1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156-8502, Japan

\* 2 Department of Applied Biology and Chemistry, Faculty of Applied Bioscience, Tokyo University of Agriculture,  
1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156-0-8502, Japan

Disulfide (SS) bond formation in dough is an important factor in bread making. In this paper, we examine the effects of recombinant protein disulfide isomerase (PDI) and endoplasmic reticulum oxidoreductase 1 (ERO1) on SS bonds in dough. The oxidation regeneration ability of ERO1 for PDI, which results in the formation of SS bonds in proteins, was analyzed. ERO1 obtained from wheat also had oxidation regeneration ability for PDI. In addition, the ability of SS bond formation to reduce ovomucoid degeneration increased about 3-fold with coexistent ERO1 and FAD compared with PDI alone. TaPDI, TaERO1, and FAD were reacted with acid-soluble wheat proteins prepared from hard flour and analyzed by diagonal electrophoresis. PDI has been suggested to form SS bonds in gliadin. Further, in bread-making tests using medium flour with poor suitability for bread making, the specific volume of 4.69cm<sup>3</sup>/g without TaPDI increased to 5.34cm<sup>3</sup>/g with addition of PDI, ERO1, and FAD, similar to that of hard wheat flour bread. From this result, it was possible to confirm the effect of using PDI in poor wheat flour on improving bread quality.

(Received Jun. 15, 2015 ; Accepted Oct. 4, 2015)

**Key words** : protein disulfide isomerase, disulfide bond, bread, endoplasmic reticulum oxidoreductase1, dough  
プロテインジスルフィドイソメラーゼ, ジスルフィド結合, パン,  
エンドプラズミックレティキュラムオキシドレダクターゼ1, 生地

Dough formation and the unique physical properties of flour are derived from the nature of gluten. Gluten is a complex protein formed from gliadin and glutenin, which are hydrated wheat storage proteins. Various interaction are involved in the formation of gluten. Inhibition of SS bond formation results in bread dough with greatly reduced physical properties. Therefore, cross-linking of proteins by disulfide (SS) bond formation is the most important interaction in gluten formation. In general, SS bond formation in proteins requires heat treatment at about 80°C. When heated, the proteins in foods including ham, sausage, boiled fish paste, such as fishery paste products, tofu, yuba, cheese, and processed egg products are gelled at temperatures of 80°C or more.

However, because wheat dough preparation is carried out at 25 ~ 35°C, a SS bond formation mechanism other than heat is inferred. Moreover, there are various enzymes in flour that have

recently been suggested to be involved in dough formation during bread making<sup>1)~4)</sup>. Therefore, with the thought that SS bond formation involves enzyme-catalyzed reactions, we examined protein disulfide isomerase (EC 5.3.4.1; PDI) as a catalyst for SS bond formation and reported the properties of endogenous wheat PDI and recombinant wheat PDI (TaPDI)<sup>5),6)</sup>. In addition, endoplasmic reticulum oxidoreductase 1 (ERO1) involved in the oxidative regeneration of PDI was prepared from recombinant wheat ERO1 (TaERO1) in an *Escherichia coli* expression system<sup>7)</sup>.

In this study, we analyzed the oxidation regeneration of TaPDI by TaERO1 and examined the improvement of bread quality owing to SS bond formation with addition of both enzymes.

## Materials and methods

### 1. Samples

Two types of flour were used in this study :

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

Suzume (Nisshin Flour Milling Co., Ltd., Japan) was used as medium flour and Cameria (Nisshin Flour Milling Co., Ltd.) was used as hard flour. Recombinant wheat PDI (TaPDI)<sup>5)</sup> and recombinant wheat ERO1 (TaERO1)<sup>7)</sup> were prepared using an *E. coli* expression system.

## 2. Assay for PDI activity

The activity of PDI was measured using the method of HOLMGREN<sup>8),9)</sup>. The incubation mixture contained 0.5mg/ml insulin (human, Sigma), 0.1 M potassium phosphate (pH 7.5), 2mM ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), 0.33mM dithiothreitol (DTT), and PDI solution (20 $\mu$ l). The reaction was initiated by the addition of DTT. After incubation for 40min at 25°C. The increasing turbidity of the insulin peptide chains was measured at 650nm. One unit of PDI activity is defined as the amount of enzyme that increases the absorbance at 650nm by 0.01 absorbance units per min at pH7.5 and 25°C.

## 3. Oxidation of TaPDI by TaERO1

The analysis of the oxidation of TaPDI by TaERO1 was carried out according to the modified PDI activity assay of HOLMGREN<sup>8),9)</sup>. DTT solution (5 mM, 66 $\mu$ l) was added to TaPDI solution (20 $\mu$ l) and the mixture reacted at 25°C for 10 min to reduce TaPDI. Then, TaERO1 (0~1.6nmol) and flavin adenine dinucleotide (FAD; 1.6nmol) were added and the mixture reacted for 30 min at 25°C. To determine the amount of PDI in the reaction solution, we measured PDI activity using the PDI activity measurement method described above.

## 4. SS bond formation in proteins by TaPDI

Reduced denatured ovomucoid was prepared according to the method of ONDA<sup>10)</sup>. Ovomuroid (50 mg; Sigma) was dissolved in 0.1M Tris-HCl buffer solution (25 ml including 9M urea, 50 mM DTT, and 1mM EDTA; pH 8.2) and the SS bonds were reduced by processing at 25°C for 30 min. The ovomucoid solution was dialyzed overnight (4°C) with water to obtain a solution of reduced denatured ovomucoid.

TaPDI (5U, 0.8nmol), TaERO1 (1.6nmol), and FAD (1.6nmol) were mixed, and the reaction volume was adjusted to 200 $\mu$ l with water. The mixture was allowed to react for 30min at 25°C. Then, 400 $\mu$ g/ml of reduced denatured ovomucoid solution was added (800 $\mu$ l) and allowed to react for 180min at 25°C. The extent of SS bond formation was determined according to the method of ANDREWS<sup>11)</sup> by measuring the free SH groups.

## 5. Diagonal electrophoresis analysis (non-reducing /reducing two-dimensional SDS/gel electrophoresis)

The formation of SS bonds was analyzed using nonreducing / reducing two - dimensional SDS / gel electrophoresis. Acetic acid solution (20ml, 0.1 M) was added to 2g of hard flour, homogenized with an ultrasonic homogenizer (Hisukotoron, Microtec Co., Ltd.), and dialyzed overnight in water. The solution was centrifuged (10,000 rpm, 20min, 4°C), and the supernatant, which contained the acid-soluble wheat protein, was used in the next experiments. TaPDI (5U, 0.8nmol) and TaERO1 (1.6nmol) were added to the acid-soluble wheat protein solution (3mg/ml), and the mixture was reacted at 37°C for 180 min. The reaction solution was electrophoresed by SDS-PAGE under non-reducing conditions (Me-). After electrophoresis, the gel was cut to separate each sample lane, and subjected to a reduction treatment with 2-mercaptoethanol. These reduced first dimension gel samples were then electrophoresed in a second dimension gel (acrylamide concentration: 12.5% (w/v)). After electrophoresis, the second dimension gel was stained with SYPRO ruby.

## 6. Bread-making test

(1) **Bread-making method** The bread-making tests were carried out using the straight dough method for standard white bread production according to the following recipe: 200g of hard flour or medium flour, 10g of sugar, 8g of yeast, 8g of shortening, 4g of salt, and 137ml (hard flour) or 120ml (medium flour) of water. Mixing of the wheat dough was carried out for 6 min at 20°C using a pin-type mixer (National MFG Co., Ltd.). The dough was fermented for 120 min at 27°C and 200g of dough was molded in a Wide Fine Moulder (Oshikiri Machinery Ltd.). The dough was placed in a pan (15cm  $\times$  5cm), proofed for 60 min at 38°C (85% humidity), and then fired for 20 min at 200°C.

(2) **Physical properties of crumbs** The crumb properties of the bread were measured using materials testing machines (Instron Corp.). After baking, the bread was cooled for 24h at room temperature and cut to a thickness of 20 mm. The stress (N) when the bread is compressed 50% with a plunger (diameter: 23.0 mm) and the hardness of the bread were determined. Cohesiveness, measured twice with 70% compression, was determined by dividing the second value by the first value.

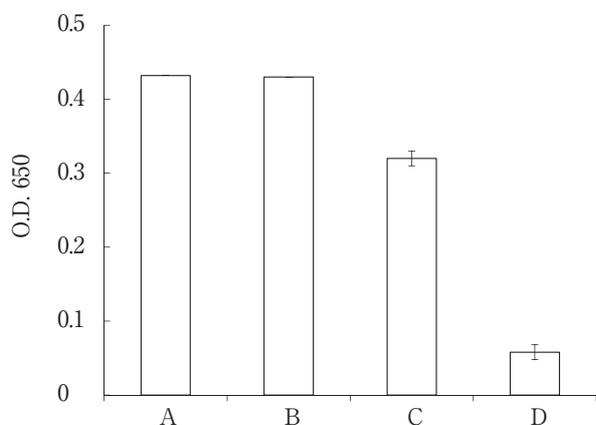
## Results and discussion

### 1. Effect of recombinant TaERO1 on the action of recombinant TaPDI

PDI is reduced by forming SS bonds in substrate proteins and loses its oxidation ability. For this reason, the reduced form of PDI in vivo is regenerated by oxidation by ERO 1, and SS bond formation in the substrate protein progresses continuously. Therefore, we examined the oxidation ability of TaERO 1 for TaPDI acquired from wheat (Fig.1). When only TaPDI was present, the absorbance at 650 nm following reduction was 0.432. On addition of 0.4nmol (0.5 equiv.), 0.8nmol (1 equiv.), and 1.6nmol (2 equiv.) TaERO1 to TaPDI, the absorbance at 650 nm was 0.430, 0.320, and 0.058, which shows that the absorption decreases with increasing concentrations of TaERO1. When insulin, which is insolubilized by SS bonds, is reduced by PDI (reduced state), the absorbance (turbidity) of the reaction solution increases. In the presence of TaERO 1, this increase in absorbance was controlled because the reduced form of TaPDI was oxidized by TaERO 1 and SS bonds were not formed in insulin. This result shows that TaERO 1 was successfully expressed with the ability to oxidatively regenerate TaPDI.

### 2. SS bond formation in proteins by TaPDI or TaPDI-TaERO 1

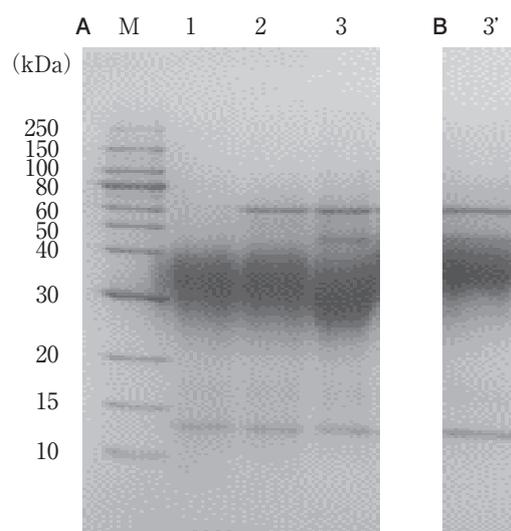
TaPDI was allowed to act on reduced denatured ovomucoid, and then subjected to SDS-PAGE. The SS bond band of obtained by electrophoresis under



**Fig.1** Effect of TaERO 1 concentration on the reduction activity of TaPDI

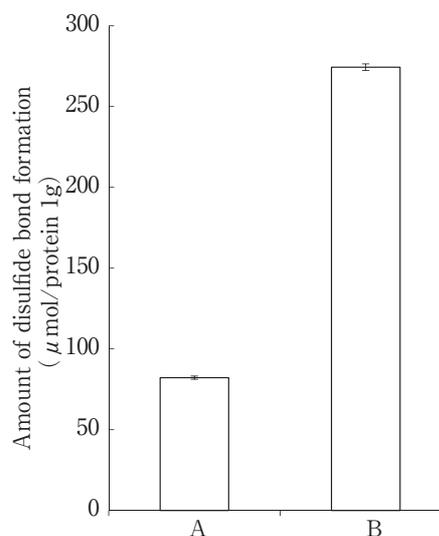
A: TaPDI (0.8 nmol), B: TaPDI (0.8 nmol) + TaERO1 (0.4 nmol), C: TaPDI (0.8 nmol) + TaERO1 (0.8 nmol), and D: TaPDI (0.8 nmol) + TaERO1 (1.6 nmol).

non-reducing conditions was observed at 35 kDa with TaPDI alone, whereas the band shifted to a lower molecular weight (30 kDa) with TaPDI, TaERO 1 (1.6nmol), and FAD (1.6nmol) (Fig.2 A). On the other hand, the band of 30 kDa (Fig.2 A, No. 3) was shifted to 35 kDa by treatment with 2-mercaptoethanol (Fig.2B). With only TaPDI,  $82.2 \pm 1.0 \mu\text{mol}$  SS bonds per 1g reduced denatured ovomucoid were formed (Fig.3). By adding TaERO1



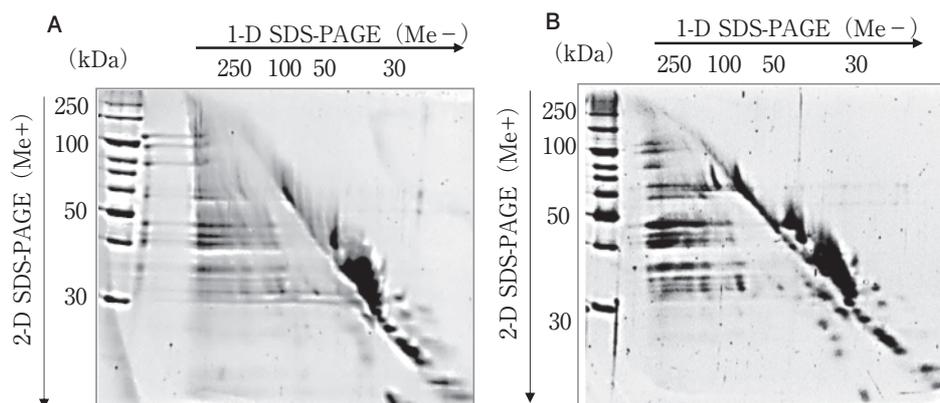
**Fig.2** Refolding of reduced and denatured ovomucoid by TaPDI and TaERO1

A: non-reducing conditions for SS bonds and B: SS bonds reduced. 1: Ovomuroid (Me-), 2: ovomucoid + TaPDI (0.8 nmol) (Me-), 3: ovomucoid + TaPDI (0.8 nmol) + TaERO1 (1.6 nmol) + FAD (1.6 nmol) (Me-), and 3': SS bonds in band No. 3 reduced by treatment with 2-mercaptoethanol.



**Fig.3** Influence of ERO1 on SS bond formation by PDI

A: TaPDI (0.8 nmol) and B: TaPDI (0.8 nmol), TaERO1 (1.6 nmol), and FAD (1.6 nmol).



**Fig.4** Two-dimensional electrophoresis of acid-soluble wheat protein fractions

A: Non-treated and B: TaPDI-TaERO1 treated.

(1.6 nmol) and FAD (1.6 nmol) to TaPDI, the amount of SS bond formation was increased about three-fold to  $274.4 \pm 2.0 \mu\text{mol}$ . Therefore, reduced TaPDI is continuously regenerated through oxidized by TaERO1, and SS bonds were revealed to be efficiently formed in proteins.

It should be noted that the formation of SS bonds was confirmed with only TaPDI, even though no change was seen in the position of the bands in SDS-PAGE. Because there are nine SS bonds in ovomucoid, with the decreased formation of SS bonds with TaPDI, it was suggested that the molecules were not well folded.

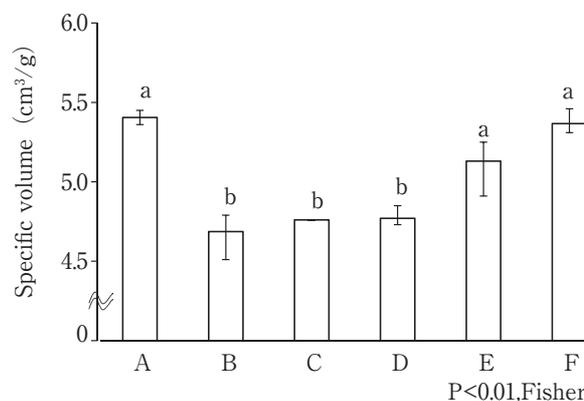
### 3. Action of TaPDI-TaERO1 on acetic acid extracted proteins

The action of TaPDI and TaERO1 on the protein fraction extracted from flour by acetic acid was analyzed by diagonal two-dimensional electrophoresis. The proteins detected on the diagonal of the upper region are considered to have formed intramolecular SS bonds, whereas proteins detected in the lower region are considered to have formed intermolecular SS bonds. In this experiment, gliadin proteins of 30 ~40 kDa and 50 kDa were detected in the diagonal of the upper region in the samples treated with TaPDI-TaERO1 (Fig.4). From this result, SH groups in the gliadin were considered to be formed intermolecular SS bonds by the enzyme treatment. On the other hand, proteins were also detected in the diagonal of the lower region with a broad molecular weight range. From this result, the ability of TaPDI-TaERO1 to form SS bonds between proteins is suggested.

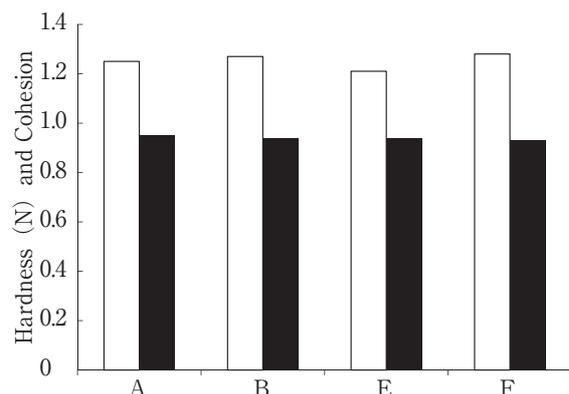
### 4. Influence of PDI and ERO1 on baking quality

The influence of TaPDI, TaERO1, and FAD on

bread-making properties was examined using hard flour and medium flour (Fig.5). The specific volume was  $5.40 \text{ cm}^3/\text{g}$  with hard flour and  $4.69 \text{ cm}^3/\text{g}$  with medium flour. No significant change was seen in the specific volume when only TaPDI (50U; 8nmol) or TaPDI, TaERO1 (8nmol), and FAD ( $8 \mu\text{mol}$ ) were added to 200g of medium flour. However, when excess TaERO1 was added (TaPDI: TaERO1 = 1: 10 or 20), the specific volume increased significantly to 5.13 and  $5.34 \text{ cm}^3/\text{g}$ , respectively. The specific volume of the bread with 20-fold excess TaERO1 was similar to that of hard wheat flour bread. A comparison of the physical properties of the various bread crumb ( Fig. 6 ) showed no significant differences between the stress and cohesion values. SS bond formation by the TaPDI system increased the specific volume of the product, but it did not have an influence on the properties of the crumb. In future studies, we will examine quantitatively the relationship between PDI and ERO1 and improved baking quality, as well as the influence of other



**Fig.5** Effect of TaPDI and TaERO1 on specific volume of baked bread



**Fig.6** Effect of TaPDI and TaERO1 on hardness (□) and cohesion (■) of baked bread

A: Strong flour (Cameria), B: medium flour (Suzume), C: B+TaPDI (50U; 8 nmol), D: B+TaPDI (50U; 8 nmol)+TaERO1 (8 nmol)+FAD (8 μmol), E: B+TaPDI (50U; 8 nmol)+TaERO1 (80 nmol)+FAD (8 μmol), and F: B+TaPDI (50U; 8 nmol)+TaERO1 (160 nmol)+FAD (8 μmol).

oxidizing agents.

### Conclusion

In this study, we examined the functions of TaPDI and TaERO1 acquired from wheat and their influence on bread characteristics. TaPDI was confirmed to be oxidatively regenerated by TaERO1. In addition, SS bond formation in proteins was significantly improved in the presence of TaERO1 compared with TaPDI alone. TaPDI is continuously regenerated by the TaPDI-TaERO1-FAD system, revealing efficient formation of SS bonds in the proteins. When bread making was tested by adding this system to medium flour, which has inferior bread-making properties, the use of only TaPDI did not result in any significant improvement. However, with coexistent TaPDI, TaERO1, and FAD, the specific volume of the bread was improved and was the same as that of hard flour bread. This result confirmed that the addition of PDI, ERO1, and FAD to wheat flours with poor bread-making properties is able to improve the bread quality.

### References

- 1) NICOLAS, J., and DRAPRON, R.: Lipoxygenase and some related enzymes in breadmaking., *Lipids in Cereal Tech.* (BARNES, P. J., ed.) (Academic Press: London), pp.213~235 (1983)
- 2) VAN, O. M.: Oxidases in baking, *International Food Ingredients*. October, IFI 4, 42~44, 47 (1996)
- 3) FRAZIER, P. J., BRIMBLECOMBE, F. A., DANIELS, N.

W. R. and RUSSEL, E. P. W.: The effect of lipoxygenase action on the mechanical development of doughs from fat-extracted and reconstituted wheat flours, *J. Sci. Food Agric.*, **28**, 247~254 (1977)

- 4) FAUBION, J. M. and HOSENEY, R. C.: Lipoxygenase: Its biochemistry and role in breadmaking., *Cereal Chem.*, **58**, 175~180 (1981)
- 5) ARAI, S., NOGUCHI, T., UCHINO, M. and TAKANO, K.: Purification and Characterization of Wheat Protein Disulfide Isomerase Expressed in *Escherichia coli*., *Food Preser. Sci.*, **37** (4), 173~183 (2011)
- 6) NOGUCHI, T., ARAI, S., NOGUCHI, H., UCHINO, M. and TAKANO, K.: Purification of Protein Disulfide Isomerase from Wheat (Haruyutaka) grain., *Food Preser. Sci.*, **37** (5), 245~248 (2011)
- 7) NOGUCHI, T., TAMURA, R., ARAI, S., OKA, D., NOGUCHI, H., UCHINO, M. and TAKANO, K.: Cloning and Expression of Wheat Ero1., *Food Preser. Sci.*, **37** (6), 283~287 (2011)
- 8) HOLMGREN, A.: Thioredoxin catalyzes the reduction of insulin disulfides by dithiothreitol and dihydrolipoamide., *J. Bio. Chem.*, **254**, 9627~9632 (1979)
- 9) LUNDSTROM, J. and HOLMGREN, A.: Protein disulfide-isomerase is a substrate for thioredoxin reductase and Has thioredoxin-like Activity., *J. Bio. Chem.*, **265**, 9114~9120 (1990)
- 10) ONDA, M., TATSUMI, E., TAKAHASHI, N. and HIROSE, M.: Refolding of Urea-Denatured Ovalbumin That Comprises Non-Native Disulfide Isomers., *J. Biochem.*, **122**, 83~89 (1997)
- 11) ANDREWS, D. C., CALDWELL, R. A. and QUAIL, K. J.: Sulfhydryl Analysis. I. Determination of Free Sulfhydryls in Wheat Flour Doughs., *Cereal Chem.*, **72** (3), 326~329 (1995)

### 小麦リコンビナントPDI-ERO1によるジスルフィド結合形成の解析および製パン性に及ぼす影響

野口智弘<sup>\*1§</sup>・西堀史也<sup>\*2</sup>・塩野弘二<sup>\*2</sup>

岡 大貴<sup>\*1</sup>・野口治子<sup>\*2</sup>・高野克己<sup>\*2</sup>

\*1 東京農業大学応用生物科学部食品加工技術センター  
(〒156-8502 東京都世田谷区桜丘1-1-1)

\*2 東京農業大学応用生物科学部生物応用化学科  
(〒156-8502 東京都世田谷区桜丘1-1-1)

製パンにおいて小麦生地中でのSS結合形成は重要な要因である。本報告では小麦生地中におけるSS結合に

対するリコンビナント小麦プロテインジスルフィドイソメラーゼ (TaPDI) およびエンドプラズミックレティキュラムオキシドレダクターゼ1 (TaERO1) の影響について検討した。まず、タンパク質へSS結合を形成することで還元化したPDIのERO1酸化再生能を解析した。その結果、小麦遺伝情報から取得したERO1はPDIに対し酸化再生能を有していた。また、還元変性オボムコイドへのSS結合形成能は、PDIのみではなくERO1およびFADが共存することで約3倍に増加した。強力粉から調製した小麦酸可溶性タンパク質にPDIおよびERO1,

FADを作用させ、対角線電気泳動にて解析したところ、PDIはグリアジンに対し分子内にSS結合を形成することが示唆された。さらに、製パン適性の劣る中力粉を用い製パン試験を行ったところ、比容積は無添加で $4.69\text{cm}^3/\text{g}$ であったのが、PDIおよびERO1, FADを添加することで、 $5.34\text{cm}^3/\text{g}$ となり強力粉から調製するパンと同等となった。本結果より、製パン性が劣る小麦粉に対するPDIの製パン改良効果を確認することができた。

(平成27年6月15日受付, 平成27年10月14日受理)

# 玄米食の安全性について

前田雪恵<sup>\*1§</sup>・辻井良政<sup>\*2</sup>・矢富伸治<sup>\*1</sup>  
井上明浩<sup>\*1</sup>・高野克己<sup>\*2</sup>

\* 1 アルファー食品(株)

\* 2 東京農業大学応用生物科学部生物応用化学科

## Information on Safety of Brown Rice Meal

MAEDA Yukie<sup>\*1§</sup>, TSUJII Yoshimasa<sup>\*2</sup>, YATOMI Shinji<sup>\*1</sup>,  
INOUE Akihiro<sup>\*1</sup> and TAKANO Katsumi<sup>\*2</sup>

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

\* 2 Faculty of Applied Bioscience, Department of Applied Biology and Chemistry, Tokyo University of Agriculture,  
1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156-8502

**Key words** : brown rice, processed brown rice, cooked brown rice, safety  
玄米, 玄米加工品, 玄米食, 安全性

最近、健康志向のため主食を白飯から玄米米飯に変える人々が増えてきているが、玄米の安全性に関する論文は少ない。本資料では、実際に玄米米飯を喫食した場合の人体への影響について、情報を集約することを目的とした。

なお、玄米の残留農薬については、1995～2005年に行われた農薬残留実態調査で検出された農薬の濃度はいずれも基準値以下と低く、通常の喫食状況からみて特に問題となるものはないと考えられる<sup>1)</sup>ため、ここでは省略する。

### 1. 玄米米飯の喫食実績における安全性について

#### (1) 主食として喫食されている米飯の現状

米は世界人口の約半数以上の主食であり、毎年6億t以上の米が収穫されている。生産量の上位10位は、中国、インド、インドネシア、ベトナム、タイ、バングラデシュ、ミャンマー、フィリピン、ブラジルおよび日本であり<sup>2)</sup>、アジア圏が中心である。

米を主食としていないアメリカやヨーロッパの国々でも、米飯を中心とした脂質が少なく栄養価が高いバランスのとれた日本型食生活が、健康上の観点から評価されており<sup>3)</sup>、海外の一部では米の消費量が増加してきている<sup>4)</sup>。

#### (2) 世界の玄米食の現状

古来より多くの日本人は、米飯を主食として生活してきた。稲作自体は少なくとも縄文時代晩期後半から開始されており、弥生時代には稲作が普及し米飯が主食になったと考えられている。弥生時代から室町時代までは玄米食がほとんどであった<sup>5),6)</sup>。

安土桃山時代から徐々に精白米が食べられるようになり、江戸時代には白米食が増加し、「江戸煩い」と呼ばれる奇病が江戸市中の武士、町民に流行した<sup>5)</sup>。この病は白米食の普及によるビタミンB<sub>1</sub>欠乏が引き起こした「脚気」のことであり、江戸や大阪など都市部に多くみられ、半搗き米、玄米および雑穀食が主食だった地域では「江戸煩い」はみられなかった<sup>5)</sup>。明治大正時代も都市市民は白米食であり、脚気が二大国民病の一つであった<sup>5),7)</sup>。

1910年に、鈴木梅太郎博士は米ぬかからオリザニン(現在のビタミンB<sub>1</sub>)と名づけた有効物質を分離したと発表し<sup>8),9)</sup>、またオリザニンが脚気の予防、治療に有効な物質であることも発表した<sup>8),9)</sup>。鈴木博士が世界で初めてビタミンを発見したとされている<sup>8)</sup>。

当時はオリザニンに脚気予防、治療に効果があると認められず、また鈴木博士が農芸化学者であるため、医者から敬遠されたようだ<sup>9)</sup>。

しかし、昭和になるとビタミンなどの栄養知識が広まり、白米食が脚気の原因とされ半搗き米や麦飯が奨励さ

\* 1 〒699-0722 島根県出雲市大社町北荒木645

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

\* 2 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘1-1-1

れた。

戦時下の主食の配給制度により、これまで雑穀食等であった地域も米飯食となり、半搗き米や玄米米飯が全国的に食された<sup>5)</sup>。

このように日本では長きに亘り玄米食であり、むしろ玄米から白米に移行したことが原因で脚気などの病気を引き起こしていた。すなわち、玄米食による人体への悪影響があったとは考えられず、そのような記述もみられなかった。

世界的には、インドをはじめアジアやアフリカで消費されている加工米の1種のパーボイルドライスがある<sup>10)</sup>。パーボイルドライスとは、粳ごと水に浸漬し吸水させ、蒸気で蒸し、乾燥させた加工米である。乾燥後は、普通の粳と同様に精米機あるいは臼と杵で精米される。一度熱処理を行うことで米澱粉を糊化させ、精米時の米粒の損壊を防ぐメリットがある<sup>11)</sup>。また、糠層の栄養分が胚乳に移行しているため、栄養価が精白米よりも高く、玄米や発芽玄米に近い加工米である。世界の米の約5分の1がパーボイルドライスに加工されている報告がある<sup>12)</sup>。これも同様に人体への影響の報告はみつからなかった。

### (3) 新たな玄米食文化の確立

近年、生活習慣病予防食品として玄米米飯が見直され、発芽玄米が市場に登場し話題となり、現在は約40億円規模の市場がある<sup>13)</sup>。発芽玄米は、発芽を誘発させた玄米で、 $\gamma$ -アミノ酪酸 (GABA) を豊富に含んでいる。発芽玄米の他にも様々な新規玄米加工品が発売されている。表面を研削された加工米、「金芽米」や「金芽ロウカット米」(東洋ライス(株)) および玄米をアルファ化米させた「ぶちっともち玄米」(アルファ食品(株)) などである。これらの製品は、玄米独特な食味や炊飯の不便さにより敬遠されている玄米を、食べやすく、簡便に炊けるように加工されたものである。玄米加工品のニーズがあり、これらの新製品がつくられ新たな玄米食として広がりがつつある。

## 2. 玄米食の臨床試験について

玄米米飯および加工品について、いくつか臨床研究が行われている。

市販されている表面加工玄米を1日2食3か月間摂取した高コレステロール血症の女性18名および男性2名に有害事象はみられなかった<sup>14)</sup>。また、同製品を1日2食1か月摂取した健康者である女性4名および男性10名にも有害事象はみられず、臨床検査にも異常値は認められなかった<sup>15)</sup>。さらに同製品を用いたそのほかの臨床試験では同様に有害事象がみられず、便秘解消の効果があった<sup>16)</sup>。

台湾の大学生(女性7名、男性2名)を対象に白米、玄米および発芽玄米を1日3食摂取するクロスオーバー試験が行われた<sup>17)</sup>。各米飯の摂取期間は7日間とし、5日間のウォッシュアウト期間を設けた。試験開始前と各

米飯摂取後の血中脂質レベルに有意な変動は認められなかった。その他の血液生化学検査には特に問題となる点は観察されなかった<sup>17)</sup>。

韓国においても臨床研究が行われ、肥満女性24名が白米飯を、23名が玄米および黒米混合した米飯を6週間摂取したが、副作用はみられなかった<sup>18)</sup>。

つぎに糖尿病患者24名(女性12名、男性12名)に対して行われた臨床研究では、白米と発芽玄米を1:1で配合した米飯を1日1食半以上、3か月間摂取させた結果、被験者の17%に軟便がみられた<sup>19)</sup>。また、健康者(女性12名)が白米と発芽玄米を1:1で配合した米飯を1日400g、68日間摂取した結果、排便良好および便秘改善が確認された<sup>20)</sup>。発芽玄米1食分(171.8g)の摂食前後の血糖測定試験においても、下痢等の胃腸症状や低血糖などの異常所見はなかった<sup>21)</sup>。

長野県梓川地区で長期間摂取されている『あずさ発芽玄米』のアンケートでは、体調(健康状態)の変化について「便通の改善」が最も多く回答され約9割を占めた。次いで、「血圧が安定した」が約2割、「ダイエット効果があった」が約1割回答された<sup>22)</sup>。

毎日食べ2年以上継続している人が130名もあり、体調(健康状態)のよい変化を感じた対象については、摂食頻度が多く、摂取期間も長いという傾向が示された。自覚症状として、体調の悪化などの報告はなかった<sup>22)</sup>。

当社では過去に玄米成分を添加した加工米を製造し、これらを用いた臨床試験を行った。 $\gamma$ -オリザノール含有玄米エキス添加米を3食(1食150g以上)、30日間摂食させ、 $\gamma$ -オリザノールを7.5mg/100g含有する加工米を摂取した女性16名および男性16名、 $\gamma$ -オリザノールを3.75mg/100g含有する加工米を摂取した女性17名および男性15名に自覚症状に問題なく、また採血の結果も異常を示す検査値は認められなかった<sup>23)</sup>。

## 総 括

世界的、歴史的に長い期間玄米米飯が食べられているということは、食文化的に食経験を証明されているといえるのではないかと考えられる。また、臨床試験による1週間~3か月の玄米および玄米加工品の摂食において便秘解消などは認められたが、玄米を継続して喫食しても有害事象はみられなかった。

食味の好みから白米飯が好まれているが、玄米は健康によいというイメージから食べ続けられている。健康のために、より食べやすいように加工して食されていることから、危険性より健康効果のほうが大きいと考えられる。このようにずっと食べられ続けていることが安全性の証明につながるのではないかと示唆される。

## 文 献

- 1) 小林麻紀・高野伊知郎・立石恭也・酒井奈穂子・田村康宏・富澤早苗・上條恭子・井部明広: 米中の農薬

- 残留実態 (1995年4月～2005年3月), 食衛誌, **48** (2), 35～40 (2007)
- 2) 国際連合食糧農業機関 (FAO) 「FAO統計データベース」(生産, 作物, 米 (モミつき) (2012年) Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) -FAOSTAT-Production, Crops, Rice, Paddy, 2012)
- 3) 小田紘一郎: データブック 世界の米 (社農山魚村文化協会), 72 (1991)
- 4) USDA Grain: World Markets and Trade (2015)
- 5) 樋口清之: 新版 日本食物史—食生活の歴史— (1987)
- 6) 下田吉人: 玄米食の科学, 家事と衛生, **19** (4), (1943)
- 7) 秋元 稔: 栄養上から見た玄米の興味ある性質, 家事と衛生, **10** (6) (1934)
- 8) 荒井綜一: 鈴木梅太郎とオリザニン その英知と理念が語るもの, 化学と生物, **47** (2) 118～120 (2009)
- 9) 鈴木梅太郎: ヴィタミン研究の回顧, 「科学知識」科学知識普及會 (1931)
- 10) 木村俊範・松田従三・池内義則・吉田富穂: パーボイルドライスに関する研究 (第1報) —製造方法およびもみの吸水特性について—, 農業機械学会誌, **37** (4) 557～561 (1975)
- 11) ITOH, K., KAWAMURA, S. and IKEUCHI, Y.: PROCESSING AND MILLING OF PARBOILED RICE, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060 (1985)
- 12) Md. Rabiul ISLAM, SHIMIZU, N. and KIMURA, T.: Quality Evaluation of Parboiled Rice with Physical Properties, *Food Sci. Technol. Res.*, **7**(1), 57～63 (2001)
- 13) 2012年食品マーケティング便覧No. 3/富士経済
- 14) 上野和行・福本恭子・三星 知・本田裕加・五十嵐幸子・長井一彦・岡島英雄: 高コレステロール血症患者における玄米食摂取による脂質代謝改善効果, 日本食生活学会誌, **25** (2), 101～104 (2014)
- 15) 上野和行・福本恭子: 玄米食摂取による臨床検査値の変動に関する研究, 日本食生活学会誌, **20**(4), 320～323 (2010)
- 16) UENO, K. and FUKUMOTO, K.: Effects of Brown rice on clinical laboratory data, lipid metabolism, and ferrokinetics, *Jpn J TDM.*, **28** (4), (2011)
- 17) 許 慈芳・喜瀬光男・染谷幸子・伊藤幸彦・王 銘富・山本 茂: 白米, 玄米および発芽玄米がコレステロール排泄に及ぼす影響, 日本栄養士会雑誌, **51** (2), 130～136 (2008)
- 18) KIM, J. Y., KIM, J. H., LEE, d. H., KIM, S. H. and LEE, S. S.: Meal replacement with mixed rice is more effective than white rice in weight control, while improving antioxidant enzyme activity in obese women., *Nutrition Research.*, **28** (2), 66～71 (2008)
- 19) 早川富博・鈴木祥子・小林真哉・福富達也・井出正芳・大野恒夫・大河内昌弘・多気みつ子・宮本忠壽・丹村敏則・岡田美智子: 糖尿病患者における発芽玄米摂取による糖・脂質代謝への影響, 日本農村医学会雑誌, **58** (4), 438～446 (2009)
- 20) 海老塚広子・佐々木千恵・喜瀬光男・有田政信: 発芽玄米含有レトルト米飯を摂取したときの健康人の栄養状態及び身体状況に与える影響, 日本食生活学会誌, **18** (3), 216～222 (2007)
- 21) 伊藤幸彦・申 曼珍・喜瀬光男・速水 耕・芳野原・吉原理恵・横山淳一: 空腹時高血糖者の食後血糖, インスリン反応に及ぼす発芽玄米摂取の影響, 日食化誌, **12** (2), 80～84 (2005)
- 22) 中澤弥子: 発芽玄米の長期摂取は人々の健康にどのように影響するか—松本市梓川地区住民を対象とするアンケート調査—, 長野県短期大学紀要, **61**, 69～78 (2006)
- 23) 金山 功・福本育夫・鳥海善貴・村田幸治・矢富伸治・沖田健一・吉岡牧美・亀井 勉: 玄米エキスを添加加工米の血清コレステロール値低下作用に関する検討, 健康・栄養食品研究, **3** (1), 55～64 (2000)