

日本食品保蔵科学会誌

VOL. 37 NO. 3

会 長	松本 信二	副 会 長	上田 悦範	小宮山美弘	早坂 薫
編集委員長	上田 悦範				
編 集 委 員	石田 裕	稲熊 隆博	井上 茂孝	内野 昌孝	竹永 章生
	寺井 弘文	津久井亜紀夫	藤島 廣二	松田 茂樹	

<報 文>

- 生食用パインアップル (*Ananas comosus* (L.) Merr) における低温感受性の品種間差異 (109)
 / 照屋 亮・広瀬直人・正田守幸
 崎山澄寿・竹内誠人・大城良計

<研究ノート> (英文)

- PC12細胞に対する緩慢な酸化ストレス：神経組織における慢性的酸化損傷の簡易モデル (115)
 / 佐藤広顕・MAGOON Joanne・高野克己・小西康生

<技術報告>

- サツマイモを原料とする対馬の伝統食品『せんだんご』より
 調製する麺帯「ろくべえ」のテクスチャー (121)
 / 岡 大貴・入澤友啓・野口智弘
 内野昌孝・岡田早苗・高野克己

<講 座>

- 身近な野菜・果物～その起源から生産・消費まで (13) (127)
 リンゴ (Ⅲ) / 工藤亜義

<情 報>

- 食と農の資料館めぐり (4)
 柿 博 物 館 (135)
 / 小野良允

<文献抄録> (137)

<本会記事> (138)

<会 告> (142)

Food Preservation Science

CONTENTS OF VOL. 37 NO. 3 (2011)

<Article> (Japanese)

Varietal Difference of Chilling Sensitivity for Fresh Pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr)

TERUYA Ryo, HIROSE Naoto, SHODA Moriyuki,

SAKIYAMA Sumisu, TAKEUCHI Masato and OOSHIRO Yoshikazu (109)

<Research Note> (English)

Mild Oxidative Stress on the PC12 Cell Line: A Simple

Model of Chronic Neural Tissue Oxidative Damage

SATO Hiroaki, MAGOON Joanne, TAKANO Katsumi and KONISHI Yasuo (115)

<Technical Report> (Japanese)

The Texture of *Rokubee* Noodles Prepared from Tsushima's Traditional Preparation, *Sendango*

OKA Daiki, IRISAWA Tomohiro, NOGUCHI Tomohiro,

UCHINO Masataka, OKADA Sanae and TAKANO Katsumi (121)

<Serialization Lecture> (Japanese)

Apple (Part III)

KUDOU Tuguyoshi (127)

<Information> (Japanese)

Japanese Persimmon Museum

ONO Yoshitada (135)

生食用パイナップル (*Ananas comosus* (L.) Merr) における 低温感受性の品種間差異

照屋 亮^{*1§}・広瀬直人^{*1}・正田守幸^{*2}
崎山澄寿^{*2}・竹内誠人^{*3}・大城良計^{*1}

* 1 沖縄県農業研究センター

* 2 沖縄県農業研究センター名護支所

* 3 沖縄県農業研究センター石垣島支所

Varietal Difference of Chilling Sensitivity for Fresh Pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr)

TERUYA Ryo^{*1§}, HIROSE Naoto^{*1}, SHODA Moriyuki^{*2},
SAKIYAMA Sumisu^{*2}, TAKEUCHI Masato^{*3} and OOSHIRO Yoshikazu^{*1}

* 1 *Okinawa Prefectural Agricultural Research Center, Regional Agriculture System Section,
820, Makabe, Itoman-city, Okinawa 901-0336*

* 2 *Okinawa Prefectural Agricultural Research Center, Nago Branch, 4605-3, Nago, Nago-city, Okinawa 905-0012*

* 3 *Okinawa Prefectural Agricultural Research Center, Ishigaki Branch,
1178-6, Hiraechisokobaru, Ishigaki-city, Okinawa 905-0012*

We conducted a cold storage test on Okinawan-grown fresh pineapples-‘Summer gold,’ ‘Soft touch,’ ‘Bogor,’ and ‘N67-10’-, to examine varietal differences in internal browning among these varieties and the causes of these differences. Internal browning occurred in ‘Summer gold,’ ‘Soft touch,’ and ‘Bogor.’ It was particularly notable in ‘Summer gold,’ progressing at a storage temperature of 5 °C, and even 15 °C. During the storage of ‘Summer gold,’ its polyphenol oxidase activity (PPO) increased, whereas its ascorbic acid content decreased. These results made it clear that the internal browning in ‘Summer gold’ is one of the symptoms of chilling injury. There was no relationship between polyphenol content and the chilling injury in the fruits during their storage.

(Received Dec. 15, 2010 ; Accepted Apr. 14, 2011)

Key words : *fresh pineapple, internal browning, chilling injury, PPO activity, ascorbic acid,*
生食用パイナップル, 内部褐変, 低温障害, PPO活性, アスコルビン酸

パイナップル (*Ananas comosus* (L.) Merr) は、熱帯アメリカ原産の多年草であり、19世紀におけるスミス・カイエン種の発見以降、世界中に広く伝播し栽培されている¹⁾。2002年度には全世界で約1,440万tが生産されており、熱帯果実ではバナナ、マンゴーに次いで生産量が多い品目である²⁾。日本では沖縄県において、主に缶詰加工用として栽培されてきた。しかし、1990年の缶詰輸入自由化以降、生産量は減少傾向にある³⁾。近年では従来の加工用途に代わって生食用パイナップルの生産量が増加し、2008年度でのパイナップル生産量約

10,000tのうち、生食用は約5,000tとなっている⁴⁾。生食用パイナップル生産では、食味や果皮色などの果実品質が重要視されるため、生産農家はより水準の高い肥培・品質管理を行っている^{3), 5)}。そのため生食用パイナップルの生産体系は、加工用と比較して集約的になるが、取引単価および労働生産性は高い⁵⁾。また八重山地方などの離島地域では、農家や地域組織主導による流通形態が構築されており⁵⁾、堅調な需要にも支えられていることから、生産規模は今後も拡大することが予想される。ところで生食用パイナップルは、高品質な果実を得

* 1 〒901-0336 沖縄県糸満市真壁820番地

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

* 2 〒905-0012 沖縄県名護市名護4605-3

* 3 〒907-0003 沖縄県石垣市平得地底原1178-6

るために完熟に近い状態で収穫されることが多く、棚持ち期間が短い⁶⁾。そのため遠隔地への船舶輸送を前提とした、低温貯蔵による鮮度保持技術を確立したが、適応できる品種は限定されており^{7),8)}、近年育成された生食用品種⁹⁾に関する検討例は少ない。パインアップルの低温貯蔵において、商品性を低下させる主要因は、内部褐変 (internal browning) と呼ばれる低温障害である¹⁰⁾。低温障害の発生はポリフェノールオキシダーゼ (以下 PPO) が関与し、フェノール性物質の酸化によって生じると報告されている¹¹⁾。また、低温障害の感受性は、品種によって異なることが報告されている¹²⁾。

そこで本報では、県内で栽培されている生食用パインアップル 4 品種の低温貯蔵試験を実施し、果実内部に発生する内部褐変の品種間差異とその要因について検討した。

方 法

1. 供試材料

沖縄県農業研究センター名護支所圃場にて栽培し、2009年7月4日～8月3日、2010年7月9日～8月16日にかけて収穫した、生食用 4 品種の自然夏実を用いた⁹⁾。各品種の特性を Table 1 に示す。‘サマーゴールド’は、果実重が約1,300 g であり、糖度は約17%、酸度は約0.7%であった。‘ソフトタッチ’、‘ボゴール’は、果実重が約900g程度と小ぶりであり、‘ソフトタッチ’は酸度が約0.9%と高いのに対し、‘ボゴール’は約0.7%と低かった。‘N67-10’は、缶詰加工と生食用の兼用品種であるが、果実重は約1600 g と最も大きく、糖度は約12%であり、ほかの生食用品種に比べて低いことが特徴であった。

‘ソフトタッチ’、‘ボゴール’は、出蕾後110～120日、‘サマーゴールド’、‘N67-10’は、出蕾後125～135日の適熟期に至った果実を使用した。このうち‘ボゴール’および‘サマーゴールド’は果皮色の3～4割が黄化した果実を選抜し供試した。一方、‘N67-10’および‘ソフトタッチ’は緑熟 (果皮色は全体的に緑色だが内部は熟した状態) 傾向にあり、外観からの熟度判定が困難であったため、比重¹³⁾による熟度判定を行い、適熟と判定された果実を試験に供した。

2. 貯蔵条件

収穫後の果実は段ボール箱に静置して密封し、5℃設定 (実測温湿度: 5.1℃, 39.2%RH) および15℃設定 (実測温湿度: 15.0℃, 38.0%RH) の低温室内で2週間貯蔵した。貯蔵中は定期的に4個をサンプリングし、分析に供した。

3. 内部褐変の評価

サンプリングした果実を縦方向に半割し、その切断面に発生している褐変の程度を5段階で評価した。すなわち、1: 発生無し, 2: 切断面の1割未満に発生, 3: 切断面の3割未満, 4: 切断面の5割未満, 5: 切断面の7割未満, とした。

4. アスコルビン酸

搾汁液に対して10倍量 (w/v) の5%メタリン酸を加えてホモジナイズし、孔径0.45μmのメンブレンフィルターで濾過したものを測定用試料とした。分析は島津製作所製LC-20ABシステムを使用した。分離は250mm×内径4.6mmアミノカラム (昭和電工社製: Shodex Asahipack NH2-504E) を用いて行った。移動相は75%アセトニトリル/25%60mMリン酸とし、流速を1.0mL/min, 試料注入量を10μLとした。検出はフォトダイオードアレイ検出器 (島津製作所製: SPD-20A) を用い、検出波長は246nmで行った。

5. ポリフェノール含量

ポリフェノール含量は、フォーリンデニス法¹⁴⁾を改変したマイクロプレート法によって測定した。すなわち、搾汁液5gを80%メタノールで5倍希釈し、これに4倍希釈したフェノール試薬、10%炭酸ナトリウム溶液を同量加え、20分間攪拌した後にマイクロプレートリーダー (Bio-TEK社製: μQuant) を用い、波長700nmを測定した。なお、標準試薬は没食子酸を使用し、得られたデータは没食子酸当量として表した。

6. ポリフェノールオキシダーゼ (PPO) 活性

DANらの方法¹⁵⁾を改変し測定した。すなわち、搾汁液3mLに0.1Mリン酸緩衝液 (pH6.5) を3mL加えて氷冷し、時々振りまぜながら1時間静置したものを粗酵素液とした。次に1cm角の石英セルに粗酵素液0.5mL, 30℃に保温した175mMカテコール溶液2mLを加え、30℃で2分間反応させた。この反応時における420nmの吸光度

Table 1 Initial parameter values for ‘Summer gold’, ‘Soft touch’, ‘Bogor’ and ‘N67-10’ pineapple varieties

Variety	Weight (g)	Total acidity (%)	Brix (%)
Summer gold	1,270 ± 305	0.68 ± 0.20	16.6 ± 1.2
Soft touch	943 ± 144	0.88 ± 0.15	14.4 ± 2.0
Bogor	858 ± 147	0.69 ± 0.17	17.1 ± 0.8
N67-10	1,574 ± 255	0.81 ± 0.16	11.8 ± 0.6

Data are the means of 12 fruits ± S.D.

の変化を、恒温機つき分光光度計（島津製作所製：UV 1700）によって測定し、1分間あたりの上昇幅を算出した。

結果および考察

1. 低温貯蔵時における内部褐変発生の推移

内部褐変は、いずれの品種においても貯蔵前には認められなかったが、‘サマーゴールド’では貯蔵初期から発生し、貯蔵4日目では評点2前後、9日目では3前後に達した。ほかの品種では‘ボゴール’、‘ソフトタッチ’において若干の内部褐変が発生し、‘ボゴール’の5℃貯蔵では、15日に平均評点が2に達した。また、‘N67-10’は内部褐変の発生がほとんど認められなかった（Fig.1）。なお、‘サマーゴールド’に発生した内部褐変は、果皮直下で発生していたものと果実芯部周囲で発生していたものが確認されたが、発生部位の異なる内部褐変が同一の機作によるものかは今後の調査が必要である（Fig.2）。

2. 低温貯蔵時におけるアスコルビン酸の推移

貯蔵前のアスコルビン酸は、‘サマーゴールド’が約20mg/100g、‘ソフトタッチ’および‘ボゴール’で約

30mg/100g、‘N67-10’で約40mg/100gであった。貯蔵中のアスコルビン酸は‘サマーゴールド’、‘ボゴール’で大きく減少した。特に‘サマーゴールド’の15℃貯蔵、15日目においては定量限界以下となった（Fig.3）。MillerやSELVARAJAHらは、パインアップルの内部褐変発生に伴い、アスコルビン酸が減少すると報告している^{16),17)}。本試験においても内部褐変の発生が顕著な‘サマーゴールド’で大きく減少することが確認された。

3. 低温貯蔵時におけるポリフェノールオキシダーゼ（PPO）活性の推移

貯蔵前のPPO活性は、‘サマーゴールド’が最も高く、ほかの3品種の2倍程度であり、いずれの温度においても貯蔵によって増加した。ボゴールの15℃でも同様の傾向が認められたが、ほかの品種では明確な増加は認められなかった（Fig.4）。

パインアップルの低温貯蔵に伴う生理障害では、活性酸素などの発生に伴う酸化ストレスの増加で植物細胞内の細胞膜が損傷を受けることによって、PPO活性は増加し、アスコルビン酸は減少すると報告されている^{10),11)}。本試験において低温貯蔵に伴う内部褐変、アスコルビン酸の減少、PPO活性の増加が認められた品種

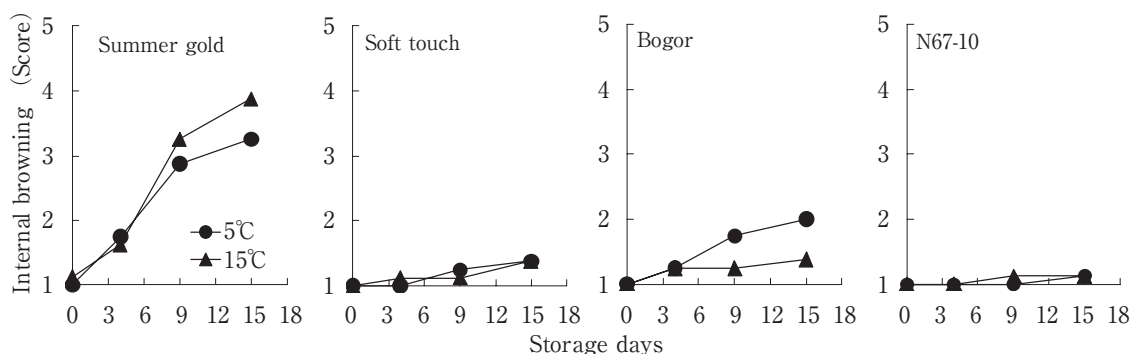


Fig.1 Changes in the score on sensory evaluation of internal browning symptoms of ‘Summer gold,’ ‘Soft touch,’ ‘Bogor’ and ‘N67-10’ pineapple varieties during storage

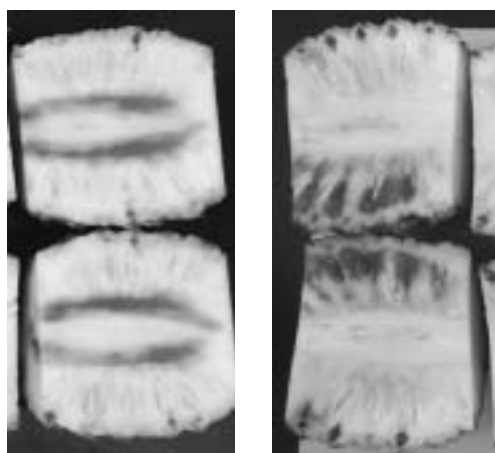


Fig.2 Different types of internal browning symptoms in ‘Summer gold’ pineapple

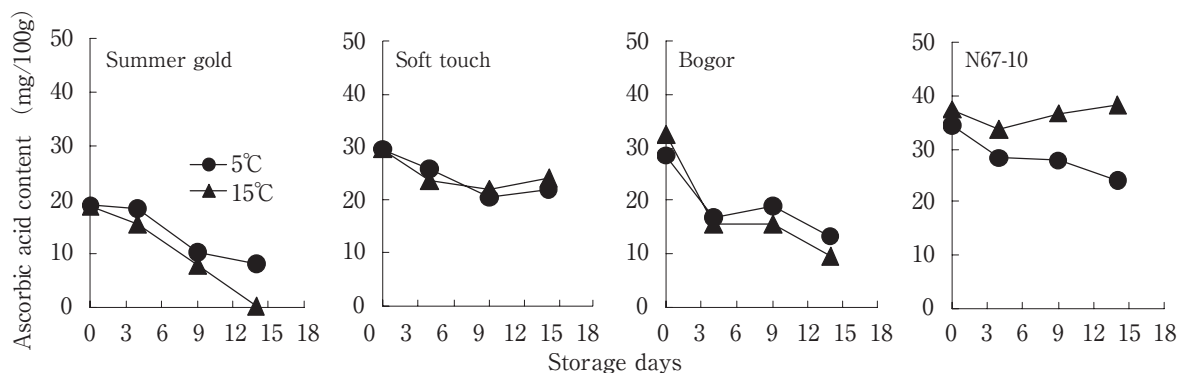


Fig. 3 Changes in the ascorbic acid content of 'Summer gold,' 'Soft touch,' 'Bogor' and 'N67-10' pineapple varieties during storage

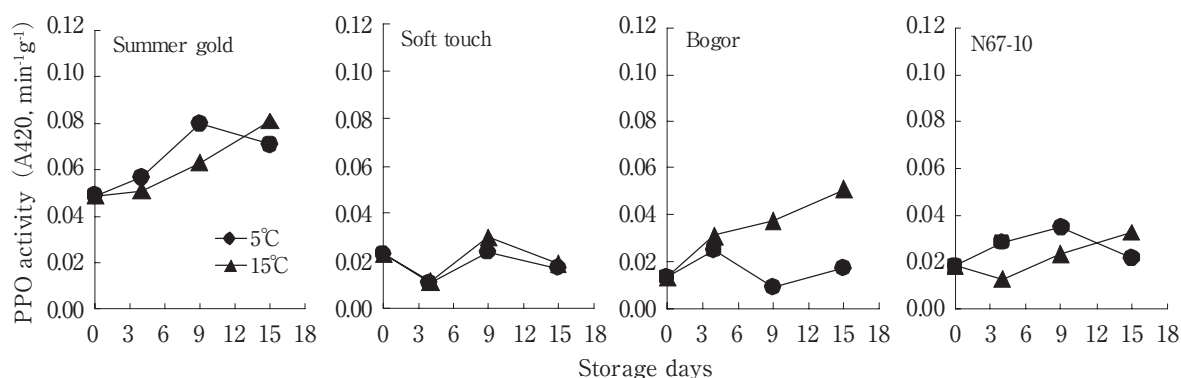


Fig. 4 Changes in the PPO activity of 'Summer gold,' 'Soft touch,' 'Bogor' and 'N67-10' pineapple varieties during storage

は「サマーゴールド」であった。また「ボゴール」の15℃においてもPPO活性の増加やアスコルビン酸の減少が認められ、内部褐変もわずかに発生した。一方、「N67-10」および「ソフトタッチ」は内部褐変がほとんど発生せず、PPO活性やアスコルビン酸含量に大きな変化は認められなかった。以上の結果から、「サマーゴールド」は低温感受性が強い品種であり、生食用パイナップルの低温感受性は、品種により異なることが明らかとなった。

4. 低温貯蔵時におけるポリフェノール含量の推移

貯蔵前のポリフェノール含量は、「ソフトタッチ」で約40mg/100gであり、ほかの3品種は約50mg~60mg/100g程度であった。貯蔵中のポリフェノール含量は、「サマーゴールド」の15℃貯蔵や「N67-10」の5℃貯蔵で若干低下したものの、その他は品種や貯蔵温度に関わらず、むしろ若干増加するようであった (Fig. 5)。

パイナップルの低温障害においては、桂皮酸などのフェノール性物質が、PPOとの作用を受けてキノン体

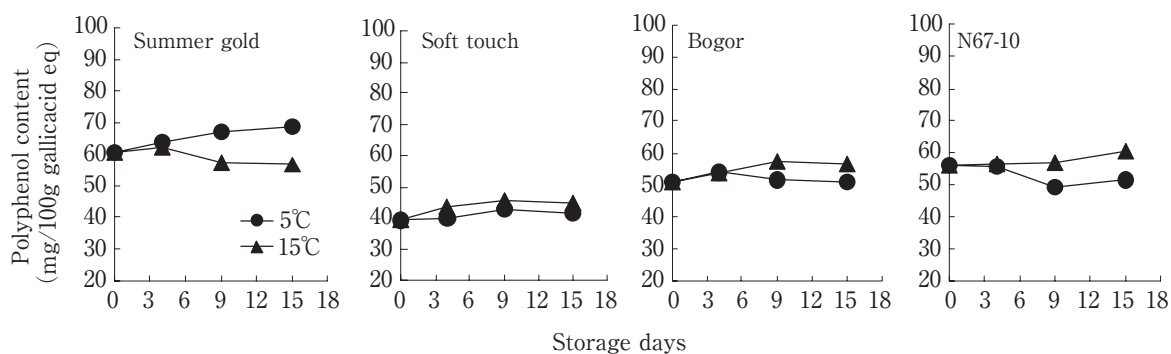


Fig. 5 Changes in the polyphenol content of 'Summer gold,' 'Soft touch,' 'Bogor' and 'N67-10' pineapple varieties during storage

となり、重合や他成分との反応を介して褐変物質が生成すると報告されている¹⁰⁾。このことから、低温貯蔵期間における内部褐変の発生によって、ポリフェノール含量は減少すると予想したが、結果は異なった。一般に、植物が低温ストレスを受けると、植物細胞中の細胞膜などが傷害を受けることが知られている¹⁸⁾。また、プロテアーゼなどの加水分解酵素は、植物細胞中の液胞に局在することが知られている¹⁹⁾。本試験で低温障害が発生した品種、試験区において、ポリフェノール含量が低下しない要因としては、低温障害の進行に伴い、液胞に局在していたプロテアーゼが細胞内に溶出してタンパク質と反応し、アミノ酸が遊離する。つぎにフェニルアラニンアンモニアリアーゼなどによって、芳香族アミノ酸から桂皮酸などが生合成されると考えられる^{10), 20)}。このことから、低温障害を受けたパインアップルの細胞内部では、フェノール性物質がPPOによって酸化され褐変物質となる一方で、生合成によりフェノール性物質が供給し続けられていると考えられる。この点については今後、検証が必要である。

本研究は、生食用パインアップルの低温感受性に品種間差があることを示した。生食用パインアップルの流通実態については、沖縄県は島嶼県であるため、本土市場への輸送手段が低温船舶輸送、常温航空輸送に大別される⁷⁾。また輸送経路は、沖縄本島、石垣・宮古島などの主要離島、周辺離島、の順に多段階となる²¹⁾。さらに近年では、市場を通さない宅配便などの直接販売が隆盛しており^{3), 5)}、流通形態は多岐に渡っている。また栽培品種については、これまでの主力品種であった‘N67-10’に代わり、市場単価の高い‘ボゴール’および‘ソフトタッチ’の栽培面積が近年増加しており、その他の品種も注目を集めている⁹⁾。以上のことから、生食用パインアップルの貯蔵特性については、今後も様々な観点からの検討が必要である。本結果は、生食用パインアップルの収穫後の取り扱いが、品種によって異なることを示唆するものであり、生産者や流通業者にとって有益な情報になると考える。

文 献

- 1) 小那覇安優：果樹園芸大百科17熱帯特産果樹（農文協，東京），pp.83～93（2000）
- 2) HEWETT, E. W.: Recent technological advances in postharvest handling and processing of tropical fruits, International seminar on postharvest handling and processing of tropical & subtropical fruits, (TFNet, Malaysia), pp.48～67（2003）
- 3) 菊地 香・中村哲也：パインアップル産地の生産・流通対応に関する研究—加工中心から生食へ転換する東村をもとに—, 沖縄農業, **38**, 35～47（2004）
- 4) 内閣府沖縄総合事務局：「パインアップルの栽培面積・収穫面積及び収穫量」農林水産統計年報
- 5) 新井祥穂・永田淳嗣：沖縄・石垣島におけるパインアップル生産の危機と再生, 東京大学人文地理学研究, **17**, 35～49（2006）
- 6) 田尻貴巳・秋永孝義・山崎聖司・國分田佳弘：沖縄県産パインアップルの最適貯蔵温度, 農業施設, **26**, 145～151（1995）
- 7) 広瀬直人・前田剛希：沖縄県産農産物の低温輸送および鮮度保持技術の開発—（第三報）パイナップルの船舶・航空複合輸送—, 沖縄県農業研究センター研究報告, **1**, 11～14（2008）
- 8) 吉武 均・小那覇安優：パイナップル果実収穫後の酸味上昇と貯蔵温度, 九州農業研究, **55**, 238（1993）
- 9) 正田守幸：沖縄県におけるパインアップル生産の歴史と試験研究の概要, 農業技術, **65**, 151～158（2010）
- 10) PAULL, R. E. and ROHRBACH, K. G.: Symptom development of chilling injury in pineapple fruit, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **110**, 100～105,（1985）
- 11) STEWART, R. J., SAWYER, B. J. B., BUCHERI, C. P. and ROBINSON, S. P.: Polyphenol oxidase is induced by chilling and wounding in pineapple, *Aust. J. Plant Physiol.*, **28**, 181～191（2001）
- 12) STEWART, R. J., SAWYER, B. J. B. and ROBINSON, S. P.: Blackheart development following chilling in fruit of susceptible and resistant pineapple cultivars, *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **42**: 195～199（2002）
- 13) SMITH, L.G.: Pineapple specific gravity as an index of eating quality, *Tropical Agriculture*, **61**, 196～199（1984）
- 14) KUBOTA, N., YAKUSHIJI, H., NISHIYAMA, N., MIMURA, H. and SHIMAMURA, K.: Phenolic contents and L-phenylalanine ammonia-lyase activity in peach fruit as affected by rootstocks, *J. Japan Soc. Hort. Sci.*, **70**, 151～156（2001）
- 15) DAN, K., NAGATA, M. and TAMASHITA, I.: Changes in phenylalanine ammonia-lyase and polyphenol oxidase activities with occurrence of browning in shredded lettuce during storage, *Food Preservation Science*, **25**, 209～213（1999）
- 16) MILLER, E. V.: Physiological studies of the fruit of the pineapple (*Ananas cosmos* (L.) Merr.) with special reference to physiological breakdown, *Plant Physiology*, **26**, 66～75（1950）
- 17) SELVARAJAH, S., BAUCHOT, A. D. and JHON, P.: Internal browning in cold-stored pineapple by a postharvest application of 1-methylcyclopropen, *Postharvest Biology and Technology*, **23**, 167～170（2001）
- 18) YOSHIDA, S. and NIKI, T.: Cell membrane permeability and respiratory activity in chilling

- stressed callu, *Plant and Cell Physiology*, **20**, 1237～1242 (1979)
- 19) BOLLER, T. and KENDE, H. : Hydrolytic enzymes in the central vacuole of plant cells, *Plant Physiology*, **63**, 1123～1132 (1979)
- 20) ZHOU, Y., DAHLER, J. M., UNDERHILL, S. J. R. and WILLIS, R. B. H. : Enzyme associate with blackheart development in pineapple fruit, *Food Chemistry*, **80**, 565～572 (2003)
- 21) 坂本英夫：沖縄県内の二重辺境性克服と農業の集約化, 奈良大学紀要, **13**, 24～37 (1984)
(平成22年12月15日受付, 平成23年4月14日受理)
-

Mild Oxidative Stress on the PC12 Cell Line: A Simple Model of Chronic Neural Tissue Oxidative Damage

SATO Hiroaki^{*1§}, MAGOON Joanne^{*2}, TAKANO Katsumi^{*3} and KONISHI Yasuo^{*2}

^{*1} Department of Food and Cosmetic Science, Faculty of Bioindustry, Tokyo University of Agriculture,
196 Yasaka, Abashirishi, Hokkaido 099-2493, Japan

^{*2} Biotechnology Research Institute, National Research Council Canada,
6100 Royalmount Avenue, Montrécal, Québec, Canada H4P 2R2

^{*3} Department of Applied Biology and Chemistry, Faculty of Applied Bioscience, Tokyo University of Agriculture,
1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156-8502, Japan

Here we constructed a mild oxidative system using the PC 12 cell line for *ex vivo* screening of antioxidants that are effective in reducing chronic oxidative damage in neural tissues. Nerve growth factor-induced differentiated PC 12 cells were exposed to various concentrations of hydrogen peroxide (H₂O₂) for six days. For three days after treatment initiation, the survival rate of cells exposed to less than 50 μM H₂O₂ was similar to that of untreated cells, whereas H₂O₂ concentrations higher than 50 μM exhibited a significant lethal effect. However, six days after treatment initiation, the survival rate of cells exposed to 50 μM H₂O₂ decreased significantly. This condition may thus mimic natural chronic oxidative damage of neural tissues. A well-known antioxidant, N-acetyl-L-cysteine, was added either before, during, or after H₂O₂ exposure to rescue cells from oxidative damage. N-acetyl-L-cysteine addition before and during oxidant treatment significantly rescued cells from damage, while addition after H₂O₂ treatment exhibited only a weak rescue effect. This simple method may be applied to screen for natural and artificial antioxidants with further modifications.

(Received Nov. 15, 2010 ; Accepted Feb. 21, 2011)

Key words : Oxidative stress, Hydrogen peroxide, PC12 cell, Screening, Neural cell
酸化ストレス, 過酸化水素, PC12細胞, スクリーニング, 神経細胞

Oxidative stress results from disturbances between reactive oxygen species (ROS) production in cells and the biological systems involved in ROS detoxification or repair of ROS-induced damage¹⁾. ROS are formed during various biochemical reactions and cellular functions, in which the steady state of ROS is normally balanced by intracellular antioxidants such as superoxide dismutase and glutathione peroxidase. However, environmental, physical, and chemical stresses can induce deficiencies in these intracellular antioxidants. ROS can react with cellular molecules resulting in lipid peroxidation and DNA damage, which can interfere with cellular functions and induce apoptosis and necrosis in different cell types²⁾. Hence, oxidative stress is associated with many diseases in various tissues, including the brain with Alzheimer's and Parkinson's disease^{3),4)}, as well as liver and heart disease.

In addition to endogenous antioxidants, some dietary nutrients and compounds such as vitamin C⁵⁾, selenium⁶⁾, and bioflavonoids⁷⁾, also act as scavengers of excess ROS. Thus, regular antioxidant intake could limit or prevent the harmful effects caused by ROS^{8),9)}. Different *in vitro*, *ex vivo*, and *in vivo* test systems are available to evaluate the antioxidant capacity of natural or artificial substances¹⁰⁾. Substances were first assessed with simple *in vitro* test systems, and then the results confirmed with *ex vivo* and *in vivo* test systems. In particular, an *ex vivo* test system using cultured cells would be a useful intermediate screening test that avoids unnecessary animal experiments. To examine the antioxidant effect of given substances with *ex vivo* systems, excess amounts of oxidant are often administered to a cell model to achieve rapid results. However, the excess amounts of the oxidants used for such *ex vivo* tests would be too

harsh to permit cell cultures to mimic natural oxidative stress, which could overshadow a compound's antioxidant ability in the context of chronic oxidative stress. Additionally, cells and tissues exhibit different responses to acute and chronic exposure to oxidative stress^{11)~13)}. Hence, we are interested in developing a rapid *ex vivo* method that allows the screening of natural and artificial antioxidants that would be effective against chronic oxidant stress. In order to mimic natural chronic stress conditions as closely as possible, in this study we used hydrogen peroxide (H_2O_2) to create mild oxidative conditions in the rat pheochromocytoma (PC12) cell line, which is a well-established model for studying many aspects of neuronal cell biology.

Materials and Methods

1. Reagents

RPMI-1640 MEDIUM, L-glutamine ($\times 100$), horse serum, and fetal bovine serum (FBS) were purchased from HyClone (South Logan, UT, USA). Antibiotic-Antimycotic Solution ($\times 100$; Penicillin G, Streptomycin, Amphotericin B) was purchased from Wisent (Saint-Jean-Baptiste, QC, Canada). Nerve growth factor (NGF; 2.5 S), N-acetyl-L-cysteine (NALC) and 3-(4, 5-dimethylthiazol-2-yl)-2, 5-diphenyltetrazolium (MTT) were purchased from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA).

2. Cell cultures

PC12 cells (ATCC: CRL-1721) were grown and maintained in medium 1 (RPMI-1640 supplemented with 10% horse serum, 5% FBS, 2 mM L-glutamine, 100 mU/ml Penicillin G, 100 μ g/ml Streptomycin and 250 ng/ml Amphotericin B) on rat-tail collagen-coated plates (BD, Franklin Lakes, NJ, USA). Cell cultivation and maintenance was performed in a humidified environment of 5% CO_2 and 95% air at 37°C throughout all experiments.

3. NGF-induced differentiation of PC12 cells

The dispersed PC12 cells were seeded on collagen-coated 96 well Costar tissue culture plates (BD) at a cell density of 2×10^4 cells/well. After a 1-day incubation, the cell culture medium was replaced with medium 2 (RPMI-1640 supplemented with 1.0% horse serum and 0.5% FBS, 2 mM L-glutamine, 10 mU/ml Penicillin G, 10 μ g/ml Streptomycin, 25 ng/ml Amphotericin B) containing 50 ng/ml NGF, and then incubated for 6 days. The medium was renewed on day 3 after the beginning of the treatment. Thereafter, the cells were used as NGF-

induced cells.

4. H_2O_2 -induced cell death

To examine cell viability in the presence of oxidant, PC12 cells were exposed to medium containing H_2O_2 . The medium of NGF-induced PC12 cell cultures was replaced with medium 2 containing various concentrations of H_2O_2 ranging from 0 to 200 μ M. Then the cells were incubated at 37°C for 1, 2, 3, or 6 days. The medium in the culture was renewed daily throughout the cultivation. Cell viability after H_2O_2 exposure was measured by MTT assay.

5. NALC rescue of cells from H_2O_2 -induced cell death

To examine the effect of the timing of NALC addition on H_2O_2 -induced cell death, NALC was added to cells as follows:

(1) Administration before H_2O_2 treatment

Differentiated PC12 cells were exposed for 1 day at 37°C to medium 2 containing several concentrations of NALC ranging from 0 to 100 μ M. The culture medium was then replaced by medium 2 containing 50 μ M H_2O_2 and each concentration of NALC. The cells were further incubated at 37°C for 6 days. The medium in the culture was renewed daily throughout the incubation.

(2) Administration during H_2O_2 treatment

Differentiated PC12 cells were exposed to medium 2 containing 50 μ M H_2O_2 and several concentrations of NALC ranging from 0 to 100 μ M at 37°C for 6 days. The culture medium was renewed daily throughout the incubation.

(3) Administration after H_2O_2 treatment

Differentiated PC12 cells were incubated with medium 2 containing 50 μ M H_2O_2 at 37°C for 1 day. Then the culture medium was replaced by medium 2 containing 50 μ M H_2O_2 and several concentrations of NALC ranging from 0 to 100 μ M. The cells were further incubated at 37°C for 6 days. The medium in the culture was renewed daily throughout the incubation.

6. MTT assay

Cell viability was determined by the MTT colorimetric assay¹⁴⁾. Cells were incubated for 3 h at 37°C with 50 μ l 2mg/ml MTT solution (dissolved in medium 1). During the incubation, metabolically active cells reduced the dye to purple formazan. Finally, the medium containing MTT was removed. The formazan crystals were dissolved with 100 μ l dimethyl sulfoxide and the absorbance measured at

595 nm.

Results and discussion

1. H₂O₂-induced cell death

NGF can induce neuronal differentiation of PC12 cells¹⁵⁾. Therefore, NGF-induced differentiated PC12 cells were used as a model of neural tissue in this study. PC12 cells were exposed to media containing various concentrations of H₂O₂ for 7 days (Fig.1). The LT 50 of cells without supplied H₂O₂ was estimated to be 12.5 days (Table 1). 3 days after treatment with H₂O₂ concentrations greater than 100 μ M, significant lethal effects were observed, but most of the cells exposed to 50 μ M or less of H₂O₂ survived at a rate similar to control cells where no H₂O₂ was added. However, upon exposure to 50 μ M H₂O₂ for 6 days, the cell survival rate dropped by approximately 40%. Under these conditions the LT 50 was estimated to be 6.6 days, indicating that cell

death following H₂O₂ administration was hastened by approximately twofold compared to cells maintained in medium without any supplied oxidant. On the basis of this result, medium supplemented with 50 μ M H₂O₂ served as mild oxidative conditions for the following experiments.

2. Rescue effect of NALC on mild oxidative conditions

To examine the rescue effects of antioxidants on H₂O₂-induced cell death in our mild oxidative model, one well - known antioxidant, NALC, was administered to the model system. NALC at various concentrations ranging from 0 to 100 μ M was added to the differentiated PC12 cells exposed to 50 μ M H₂O₂ at three different times : ① NALC administered prior to H₂O₂ treatment initiation ; ② NALC administered concomitantly with H₂O₂ treatment initiation ; and ③ NALC administered after H₂O₂ treatment initiation.

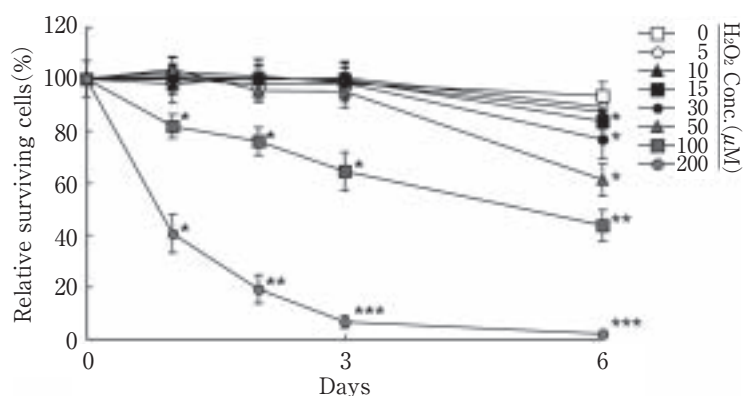


Fig. 1 Effect of H₂O₂ on viability of NGF-induced differentiated PC12 cells

Cell viability was determined by MTT assay. Experiments were repeated six times, and error bars represent the standard error of the means. Values indicated by the same number of asterisks (0 to 3) were not significantly different at $p < 0.05$ according to TUKEY's procedure for multiple comparisons with each H₂O₂ concentration.

Table 1 Median lethal time (LT 50) in days for NGF-induced differentiated PC12 cell response to various H₂O₂ concentrations

H ₂ O ₂ Concentration (μ M)	LT 50 (Days)
0	12.5
5	9.1
10	10.0
15	7.8
30	7.5
50	6.6
100	4.9
200	1.2

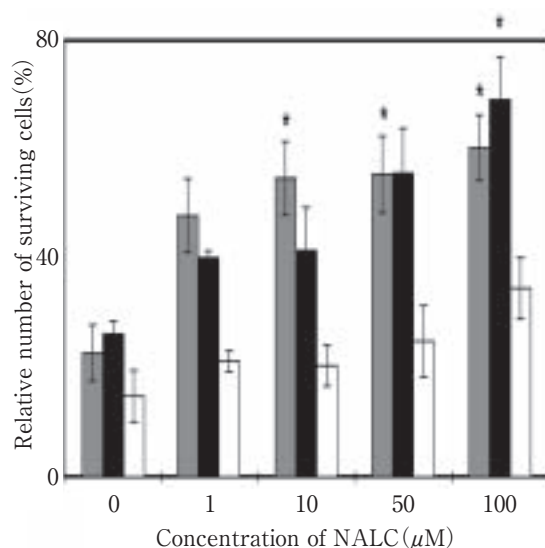


Fig. 2 Rescue effect of NALC on mild oxidative damage of PC12 cells

NALC was administered to the cell culture at three different times, *i.e.* before (gray bar), during (closed bar), and after (open bar) H₂O₂ treatment, as described in the Materials and Methods section. Experiments were repeated three times, and error bars represent the standard error of the means. Asterisks indicate significant differences from the control group ($p < 0.05$). Statistical analyses were performed using Tukey's procedure for multiple comparisons.

As shown in Fig.2, when NALC was administered to cells in advance of H₂O₂ exposure, a significant rescue effect was observed when the NALC concentration exceeded 10 μM. When NALC was administered to cells concomitantly with H₂O₂ exposure, NALC at concentrations of 100 μM displayed significant rescue effects on the mild cellular oxidative stress. In contrast, when NALC was added to the cell culture after the initiation of H₂O₂ treatment, no significant rescue effect was observed, even though a weak increase in cell survival was observed. Consequently, our mild oxidative model suggests that NALC is effective for preventive treatment against oxidative damage and for reduction of damage during surgery, but not for recovery from damage. Although we used a well-known antioxidant here as a pilot test, this model should also be applicable for the screening of natural and artificial substances whose antioxidant ability is unknown. To improve and develop our concept of the mild oxidative model for *ex vivo* screening of antioxidants effective against chronic oxidative stress, we need more detailed examinations, *e.g.* determination of whether cell death is necrotic or apoptotic, and administration of

other oxidants that induce different manners of cell death.

References

- 1) HALLIWELL, B.: Free radicals, antioxidants, and human disease: curiosity, cause, or consequence? *Lancet*, **344**, 721~724 (1994)
- 2) AMES, B. N., SHIGENAGA, M. K. and HAGEN, T. M.: Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **90**, 7915~7922 (1993)
- 3) CADET, J. L. and BRANNOCK, C.: Free radicals and the pathobiology of brain dopamine systems, *Neurochem. Int.*, **32**, 117~131 (1998)
- 4) ANDERSEN, J.: Oxidative stress in neurodegeneration: cause or consequence? *Nat. Med.*, **Suppl 10**, S 18~S 25 (2004)
- 5) MARUYAMA, W., DOSTERT, P., MATSUBARA, K. and NAOI, M.: N-methyl(R) salsolinol produces hydroxyl radicals: involvement to neurotoxicity, *Free Radic. Biol. Med.*, **19**, 67~75 (1995)
- 6) SAITO, Y., YOSHIDA, Y., AKAZAWA, T., TAKAHASHI, K. and NIKI, E.: Cell death caused by selenium deficiency and protective effect of antioxidants, *J. Biol. Chem.*, **278**, 39428~39434 (2003)
- 7) RICE-EVANS, C. A., MILLER, N. J., BOLWELL, G. P., BRAMLEY, P. M. and PRIDHAM, J.B.: The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids, *Free Radic. Res.*, **22**, 375~383 (1995)
- 8) van LEEUWEN, R., BOEKHOORN, S., VINGERLING, J. R., WITTEMAN, J. C., KLAVER, C. C., HOFMAN, A. and de JONG, P. T.: Dietary intake of antioxidants and risk of age-related macular degeneration, *JAMA*, **294**, 3101~3017 (2005)
- 9) ENGELHART, M. J., GEERLINGS, M. I., RUITENBERG, A., van SWIETEN, J. C., HOFMAN, A., WITTEMAN, J. C. and BRETELIER, M. M.: Dietary intake of antioxidants and risk of Alzheimer disease, *JAMA*, **287**, 3223~3239 (2002)
- 10) KAUR, I. P. and GEETHA, T.: Screening methods for antioxidants-a review, *Mini-Rev. Med. Chem.*, **6**, 305~312 (2006)
- 11) CUNHA-OLIVEIRA, T., REGO, A. C., MORGADINHO, M. T., MACEDO, T. and OLIVEIRA, C. R.: Differential cytotoxic responses of PC 12 cells chronically exposed to psychostimulants or to hydrogen peroxide, *Toxicology*, **217**, 54~62 (2006)
- 12) HAUDEK, V. J., GUNDACKER, N. C., SLANY, A., WIMMER, H., BAYER, E., PABLE, K. and GERNER, C.: Consequences of Acute and Chronic Oxidative

Stress upon the Expression Pattern of Proteins in Peripheral Blood Mononuclear Cells, *J. Proteome Res.*, **7**, 5138~5147 (2008)

- 13) MOSELEY, R., HILTON, J. R., WADDINGTON, R. J., HARDING, K. G., STEPHENS, P. and THOMAS, D. W.: Comparison of oxidative stress biomarker profiles between acute and chronic wound environments, *Wound Repair Regen.*, **12**, 419~429 (2004)
- 14) BURTON, J. D.: The MTT assay to evaluate chemosensitivity, *Methods Mol. Med.*, **110**, 69~78 (2005)
- 15) GREENE, L. A. and TISCHLER, A. S.: Establishment of a noradrenergic clonal line of rat adrenal pheochromocytoma cells which respond to nerve growth factor, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **73**, 2424~2428 (1976)

PC12細胞に対する緩慢な酸化ストレス： 神経組織における慢性的酸化損傷の簡易モデル

佐藤広顕^{*1§}・MAGOON Joanne^{*2}

高野克己^{*3}・小西康生^{*2}

* 1 東京農業大学生物産業学部食品香粧学科
(〒099-2493 北海道網走市八坂196)

* 2 Biotechnology Research Institute, National
Research Council Canada
(6100 Royalmount Avenue, Montreal, Quebec,
Canada H4P 2R2.)

* 3 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)

神経疾患の原因の一つとして、慢性的な酸化ストレスがあげられる。酸化ストレスの軽減には、抗酸化物質が用いられる。抗酸化試験には、培養細胞を用いたスクリーニングが用いられるが、培養細胞への過度の酸化ストレスは、結果が迅速に得られる反面、慢性的なストレスに対する抗酸化性を見落とす可能性がある。本研究では、慢性的な酸化モデルを構築するため、神経系の研究で広く用いられるPC12細胞に対する過酸化水素 (H_2O_2) による緩慢な酸化ストレス系を作成した。神経成長因子誘導による分化PC12細胞を H_2O_2 を含む培地に6日間晒し、その生存率を調べた。その結果、50 μM H_2O_2 で処理した細胞は、処理開始後3日までは、その生存率にほとんど影響がなかったのに対し、6日後には生存率が顕著に低下した。そこで、本実験では、この条件を緩慢な酸化ストレス系として用いた。さらに、抗酸化剤として知られるN-アセチル-L-システイン (NALC) をストレス細胞に添加した。その結果、 H_2O_2 処理前および処理中にNALCを添加した場合は、細胞の酸化損傷が顕著に軽減された。しかし、処理後に添加した場合はその軽減率は低かった。本研究では、試験的な試みとして、すでに抗酸化剤として知られるNALCを用いたが、さらに改良を加えることにより、天然および人工物質から抗酸化剤をスクリーニングすることに応用が可能であると考えられる。

(平成22年11月15日受付, 平成23年2月21日受理)

サツマイモを原料とする対馬の伝統食品『せんだんご』より 調製する麺帯「ろくべえ」のテクスチャー

岡 大 貴^{*1§}・入澤友啓^{*2}・野口智弘^{*1}
内野昌孝^{*2}・岡田早苗^{*2}・高野克己^{*2}

* 1 東京農業大学応用生物科学部食品加工技術センター

* 2 東京農業大学応用生物科学部生物応用化学科

The Texture of *Rokubee* Noodles Prepared from Tsushima's Traditional Preparation, *Sendango*

Oka Daiki^{*1§}, IRISAWA Tomohiro^{*2}, NOGUCHI Tomohiro^{*1},
UCHINO Masataka, OKADA Sanae^{*2} and TAKANO Katsumi^{*2}

* 1 Food Processing technology Center, Department of Applied Biology and Chemistry,
Tokyo University of Agriculture, 1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku 156-8502

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

Sendang is a traditional processed food item that is characteristic of Tsushima, Nagasaki prefecture. It is prepared by fermenting sweet potatoes. *Rokubee* is a type of noodle made from *sendango*, and its texture is unique in comparison to other types of noodles. In this study, we researched the physical properties of *rokubee* and the ingredients of *sendango* by means of an electron microscope. We found that *sendango* was largely composed of approximately 90% starch and approximately 6% fiber. These molecular were bound each other and made particles based on electron microscope observation. The physical property of *rokubee* noodles was particularly different from other noodles in terms of its adhesiveness and hardness. These results suggested that fiber is a very important ingredient in the maintenance of the unique property of *rokubee* noodles.

(Received Nov. 11, 2010 ; Accepted Mar. 30, 2011)

Key words : *sendango*, fermentation, sweet potato, noodle starch

せんだんご, 発酵, サツマイモ, 麺, 澱粉

世界各地にそれぞれ特有の食文化があり、幾世代にも受け継がれてきた伝統食品や郷土料理がある。長崎県対馬は、海に囲まれた山島で耕地に恵まれず¹⁾、米麦の生産はほとんど期待できないことから²⁾、サツマイモを救荒作物として利用してきた³⁾。厳しい自然環境の中で、サツマイモを無駄なく利用するため、食用に適さないクズイモから保存食品である『せんだんご』がつくられてきた。『せんだんご』は砕いた原料イモを水に浸漬させた後、板の上で静置させ、団子状に丸め乾燥させる。乾燥後、再び水に浸漬し、アクや繊維質を取り除き、残った澱粉質を乾燥させて作られる(図1)。このように自然放置を繰り返すことから、腐敗法とも言われている⁴⁾。

その製造法の詳細は小崎らが報告している⁵⁾。

『せんだんご』は「ろくべえ」と呼ばれる麺をはじめ、「せんそば」や「せんちまき」など主食から間食まで幅広く加工利用されている³⁾。「ろくべえ」はせんだんごに水を加え、混捏し生地を調製後、ろくべえせぎ(またはろくべえ突き)と呼ばれる押し機にて沸騰水浴中に押し出し作られる。本来、サツマイモ澱粉のみでは、このような製法で麺帯は形成できず、生地すら形成できないため、この麺形成性および加工特性はせんだんご特有のものと考えられる。

せんだんごは現在も対馬の一部の農家で作られているが、製造には経験を要することから、生産農家が減少し、

* 1 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1

§ Corresponding author, E-mail : d30ka@nodai.ac.jp

* 2 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1

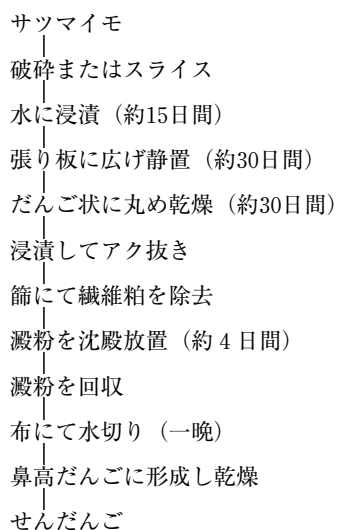


図1 “せんだんご”の製造工程

製造技術の伝承が大きな問題となっている。また、対馬一地域における伝統食品であるため、研究報告は少ない。そこで『せんだんご』の性状について基礎的知見を得るため、一般成分および代表加工食品である「ろくべえ」のテクスチャーを調査したので報告する。

試料および実験方法

1. 試料

試料のせんだんごは、平成20年12月に長崎県対馬にて、3地域の農家から各1種 (S1-S3)、および市販品3種 (S4-S6)、計6種を採取し用いた (図2)。成分分析および走査型電子顕微鏡観察の対照としては、対馬産のサツマイモ (農林一号) を用いた。

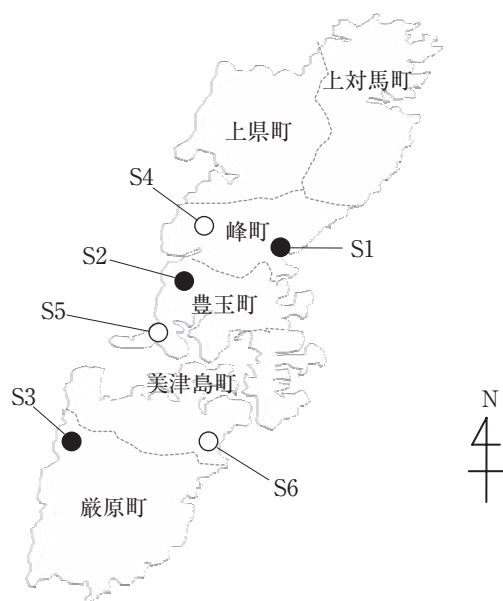


図2 試料採取地

黒印：採取した地域 (S1：峰町, S2：豊玉町, S3：厳原町)
 白印：市販品の製造地域 (S4：峰町, S5：豊玉町, S6 美津島町)

2. 成分分析

水分測定にはモイスターアナライザー (MX-50 エーアンド・デイ社製) を用い、タンパク質、無機質、脂質は五訂日本食品標準成分表分析マニュアル¹⁴⁾に準じ、測定した。

澱粉の定量は、McCREADY⁶⁾らの過塩素酸抽出-フェノール・硫酸法にて行った。なお、フェノール・硫酸法にて求めた低分子糖量を差し引いた値を澱粉量とした。

繊維質はセルロース、ヘミセルロース、ペクチン、リグニンの総量を繊維質量とした。すなわち、Van-Soest法^{7),8)}のNDF法およびADF法にてセルロース、ヘミセルロース、リグニン量⁹⁾を求め、ペクチンは硫酸法^{10),11)}にて抽出後、3,5-ジメチルフェノール法^{12),13)}を用いて定量した。

3. 走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察

せんだんごの粉末、および凍結乾燥させたサツマイモ (農林一号) の切片を、両面テープにて試料台に固定化し、イオンスパッタリング装置 (E102, 日立社製) を用いて、白金パラジウムコーティングした。観察は走査型電子顕微鏡 (S-4000, 日立社製) にて加速電圧 5 kV で行った。

4. ろくべえの調製

せんだんご20 gに水16 mlを加え、混捏後、だんご状に丸め1分間茹で表面を糊化させ、再度混捏し生地を調製した。なお、ろくべえせぎでは均一で長い麺形成が困難であるため、ろくべえと同じ麺径になるよう口径をφ3 mmに調整したシリンジに生地を入れ、沸騰水浴中に押出し、麺を2分間茹でた後、流水で1分間洗浄を行い、ろくべえとした。対照として、下記の市販麺製品を用いた。澱粉麺である甘薯冷麺 (麺径2.2 mm, 原料; サツマイモ澱粉, 中力粉, 卵白粉末, 食塩, 食用油脂, 酒粕), および馬鈴薯冷麺 (麺径2.7 mm, 原料; ジャガイモ澱粉, 小麦粉, 重曹, 食塩, 酒粕, 加工澱粉) と、小麦麺である讃岐うどん (麺径3.5 mm, 原料; 小麦粉, 澱粉, 食塩), および稲庭うどん (麺径3.1 mm, 原料; 小麦粉, 澱粉, 食塩) を使用した。

5. テクスチャーの測定

圧縮型物性測定機テンシプレッサーMyBoy II (タケトモ電機社製) を用いて、低高圧縮測定を行った。楔型プランジャー (幅1 mm×長さ20 mm) を用い、表1に示す条件にて、室温23℃に制御した試験室にて各試料20本

表1 低圧縮測定の測定条件

Distance (mm)	30	Plunger area (cm ²)	1.000
2nd Distance (mm)	3.0	Deformation (%)	30
Clearance (mm)	0.1	2nd Deformation (%)	95
Thickness1 (mm)	10	Static time (sec)	0
Thickness2 (mm)	13	2nd Static time (sec)	0.5
Bite speed (mm/sec)	2.0	Loadcell (kg)	5

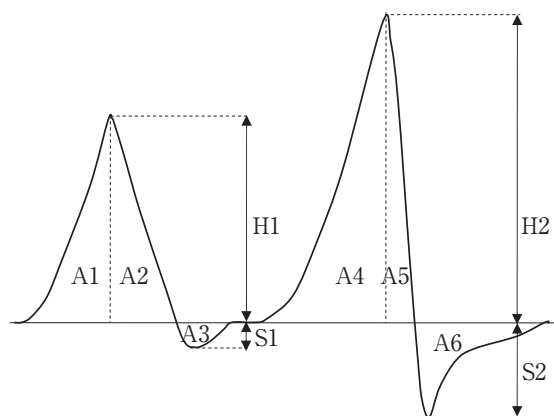


図3 低高圧縮測定のプロファイル

H1 : 低圧縮の硬さ, S1 : 低圧縮の付着, H2 : 高圧縮の硬さ,
S2 : 高圧縮の付着 (単位はともに gw/cm^2),
コシ: $(A4 + A5)/(A1 + A2)$

測定を行った。基本的なテクスチャープロファイルを図3に示した。H1を低圧縮の硬さ, H2を高圧縮の硬さ, S1を低圧縮の付着, S2を高圧縮の付着, 高圧縮の応力(A4 + A5)を低圧縮の応力(A1 + A2)で除した値をコシとした。

実験結果

1. せんだんごの一般成分

各種せんだんごおよびサツマイモの一般成分を無水物

換算値で表2に示した。せんだんごでは各試料間に成分値の大きな差はなく、澱粉 $89.3 \pm 0.6\%$ 、次いで繊維質 $5.8 \pm 0.4\%$ 、タンパク質 $1.5 \pm 0.7\%$ 、無機質 $0.6 \pm 0.2\%$ 、脂質 $0.2 \pm 0.1\%$ を示した。サツマイモと比較して、澱粉が約9%多く、ほかの成分の値は各々1/2～1/5に減少していた。繊維質では、サツマイモに比べ各成分は減少し、特にペクチンが約60%減少していた。一方、セルロースはその減少は小さかった。

2. SEMによるせんだんごの観察

せんだんごをSEMにて観察したところ、サツマイモ切片同様に、粒径5～25 μm 程度の釣鐘型の形状をした澱粉粒が確認された。また、複数の澱粉粒が繊維質によって固まりを形成している様子が観察された(図4)。

3. ろくべえのテクスチャー

各種せんだんごを用いて調製したろくべえのテクスチャー値を表3に示した。それぞれの項目において、各試料間でほぼ同様の値を示したことから、ろくべえの各値の平均値を100として、各種対照麺と相対的に比較したチャートを図5に示した。

澱粉麺である甘薯および馬鈴薯冷麺と比較すると、低圧縮の付着性では、ろくべえ($0.53\text{gw}/\text{cm}^2$)は、甘薯67($0.38\text{gw}/\text{cm}^2$)、馬鈴薯50($0.29\text{gw}/\text{cm}^2$)に比べ、有意に高く、高圧縮の付着性では、甘薯と馬鈴薯の中間的位置にあった。

小麦麺である讃岐および稲庭うどんと比較すると、低

表2 各せんだんごとサツマイモの成分値 (g/乾物100g)

	タンパク質	無機質	脂質	澱粉	繊維質	繊維質組成比 (%)			
						ペクチン	セルロース	ヘミセルロース	リグニン
S1	1.9	0.6	0.1	89.4	5.5	2.5(45.8)	2.3(41.8)	0.6(11.1)	0.1(1.3)
S2	2.0	0.8	0.3	88.4	5.9	2.7(45.4)	2.4(41.0)	0.6(10.0)	0.2(3.6)
S3	1.4	0.7	0.2	89.2	6.0	2.8(45.6)	2.4(40.3)	0.7(10.9)	0.2(3.1)
S4	1.5	0.4	0.2	89.7	5.6	2.8(50.2)	2.1(38.0)	0.5(9.7)	0.1(2.2)
S5	0.2	0.5	0.5	90.2	6.4	2.9(45.3)	2.6(40.0)	0.7(10.4)	0.3(4.2)
S6	2.0	0.5	0.2	88.8	5.4	2.5(45.2)	2.4(43.4)	0.1(1.1)	0.1(1.1)
平均値	1.5	0.6	0.2	89.3	5.8	2.7(46.3)	2.4(40.8)	0.6(10.4)	0.2(2.6)
サツマイモ	3.6	3.0	0.6	81.3	11.3	6.3(56.2)	3.2(28.3)	1.1(9.6)	0.7(5.9)

S1 : 峰町, S2 : 豊玉町, S3 : 巖原町, S4 : 峰町 (市販品), S5 : 豊玉町 (市販品), S6 : 美津島町 (市販品)

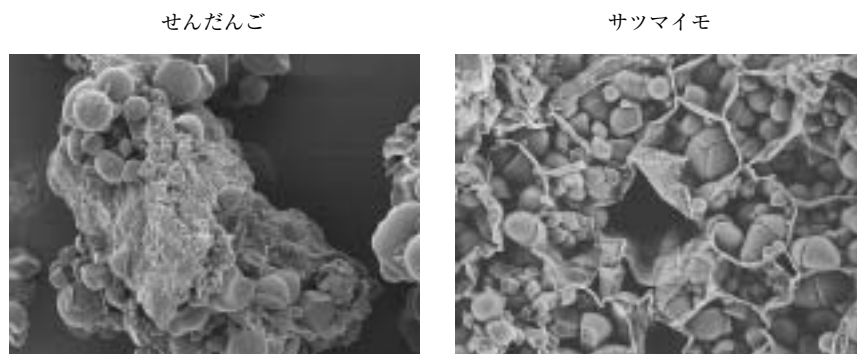


図4 せんだんごおよびサツマイモ切片 (500倍)

30 μm

表3 各種せんだんごを用いて調製したろくべえのテクスチャー値

	低圧縮		高圧縮		コシ
	硬さ (gw/cm ²)	付着性 (gw/cm ²)	硬さ (gw/cm ²)	付着性 (gw/cm ²)	
S 1	11.3±1.1	0.48±0.07	258.9±23.9	1.69±0.31	28.1±1.6
S 2	12.2±1.0	0.51±0.13	228.2±18.0	1.32±0.27	26.5±2.0
S 3	12.1±1.1	0.46±0.08	236.1±17.1	1.58±0.24	28.7±2.0
S 4	13.1±1.4	0.59±0.15	226.0±19.4	1.49±0.27	26.0±2.7
S 5	11.2±1.2	0.50±0.15	267.7±20.7	1.84±0.47	28.6±1.9
S 6	12.7±1.7	0.61±0.15	246.5±21.0	1.81±0.73	25.9±1.6

測定値は平均値±標準偏差で示した。(n=20)

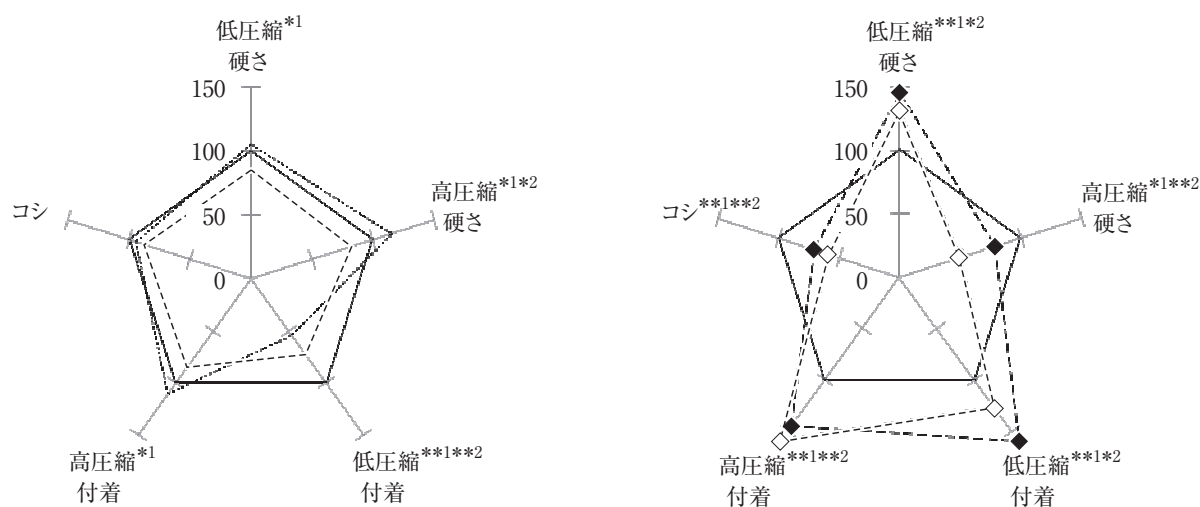


図5 ろくべえと冷麺およびうどんとのテクスチャー値比較

——ろくべえ ---甘薯冷麺 -----馬鈴薯冷麺 ---◆---讃岐うどん ---◇---稲庭うどん

ろくべえの数値を100とした時の相対比で、冷麺(左)および、うどん(右)と比較した。

*, **: $p < 0.05, 0.01$ (Fisherの最小有意差法), *1, **1: ろくべえと甘薯冷麺および讃岐うどん間で有意差あり。

*2, **2: ろくべえと馬鈴薯冷麺および稲庭うどん間で有意差あり。

圧縮の硬さにおいては、ろくべえ (12.1gw/cm²) は、讃岐うどん145 (17.5gw/cm²)、稲庭うどん130 (15.7gw/cm²) に比べ、有意に低い値を示したが、高圧縮の硬さでは、これらに比べ、有意に高い値を示した。低圧縮の付着性においては、ろくべえ (0.53gw/cm²) は、讃岐うどん159 (0.84gw/cm²)、稲庭うどん127 (0.67gw/cm²) に比べ、有意に低く、高圧縮の付着性においても、ろくべえ (1.62gw/cm²) は、両者に比べ、有意に低い値を示した。コシにおいては、ろくべえ (27.3) は、讃岐うどん70 (19.2)、稲庭うどん59 (16.1) と比較し、有意に高い値を示した。

考 察

せんだんごは、サツマイモを原料とし、水浸漬、乾燥を繰り返し行い作られる。その製造過程で繊維質が分離される工程がある。しかし、成分分析の結果より、せんだんご中に繊維質が約6%含有され、原料のサツマイモの約半分が残存していた。これは、長期間の製造による発酵で、繊維質の分解が起こり、微小となった繊維質

が分離できずに残存したものと推察した。SEM観察より、澱粉粒に微小となった繊維質が、絡み合い存在していた。せんだんご中に存在する繊維質が澱粉生地をつなぎとなり、サツマイモ澱粉単独ではできない生地および麺帯(ろくべえ)の形成に関与していると考えられた。

ろくべえは、冷麺より麺径が1.5倍程太く、うどんとほぼ同等の太さではあるが、テクスチャーは冷麺に類似し、うどんよりもつるみや喉越しがよく、さらにコシも強い特徴をもつことが明らかとなった。しかし、表面の付着においては冷麺よりやや粘性がある特徴を示した。

小麦麺ではグルテン形成が物性に大きく影響するが、冷麺などの澱粉麺は澱粉量が大きく影響し、澱粉が多いほど麺は硬く、噛み応えが強くなる¹⁵⁾。また、澱粉原料つまり澱粉構造もテクスチャーに影響していると言われている¹⁶⁾。そのため、ろくべえの特徴的なテクスチャーは9割を占める澱粉構造も大きく関与していると考えられ、長期間の発酵により、繊維質だけでなく、澱粉も部分的に分解されている可能性があるかと推察した。

また、麺の物性改良剤として食物繊維を添加すること

により、つるみが付与され^{15),17)}、引張強度および圧縮応力が増すといった報告もある¹⁸⁾。これらのことより、ろくべえの特徴的なテクスチャーには、澱粉と絡み合い存在する繊維質も起因していると考えられた。さらに、パスタに食物繊維を添加すると、グリセミックインデックスの低減効果が得られるという報告¹⁹⁾もあることから、せんだんごはこの点についても大変興味深い食品であるといえる。

これらのことより、せんだんごのテクスチャー形成および麺形成性の解明は、食品化学、発酵食品学の上からも重要な知見となり、ひいてはこのような特徴的なテクスチャーを示す新規食品素材の開発が目指せると考えられる。

今回、日本で一般的に食されている麺類を用いて物性比較を行い、ろくべえおよびせんだんごの特性を調べたが、韓国には澱粉のみを使った麺や冷麺など様々な麺があり大変興味深い。しかし、これらに関するデータは少なく、今回は比較対象としなかった。また、せんだんごは朝鮮半島や中国から伝播してきたという説があることから、今後はこれら麺類との比較調査を行うとともに、その伝播についても調べていきたい。

要 約

せんだんごは、対馬において伝統的な手法で、サツマイモから製造された澱粉である。せんだんごは‘ろくべえ’という麺をはじめ、主食から間食まで幅広く加工利用されている。せんだんごは澱粉が約90%、繊維質が約6%を占め、SEMの結果、繊維質によって複数の澱粉粒が固まりとして存在していた。さらに、その繊維質はサツマイモ澱粉単独では形成できない生地をつなぎとなり、せんだんごより調製したろくべえは、冷麺やうどんとは異なるテクスチャーを示した。

本研究を行うにあたり、現地調査のご協力や、試料をご提供くださった対馬市豊玉町の斉藤幸枝様をはじめ、対馬の方々に感謝いたします。また、研究調査のご協力をしてくださったPennsylvania State University, Department of Food ScienceのHyun-Ju Lee博士に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 国分猛志：私信，対馬データブック・概要（対馬市役所）（2005）
- 2) 城田吉六：豆酏「檜ぼの」の民族的歴史的背景，対馬豆酏寺門檜ぼの遺跡（厳原町教育委員会，佐賀），p.37（1992）
- 3) 聞き書・長崎の食事，日本の食生活全集 42（月川雅夫編）（農山漁村文化協会，東京），p.290（1985）
- 4) 宮川金二郎・難波敦子：対馬の腐敗法によるくずサツマイモの加工「せんだんご」のルーツ，日本食生活文化調査研究報告集 12，（日本食生活文化財団），pp.1～9（1995）
- 5) 小崎道雄・岡田早苗：対馬の保存食“せん”，日食保蔵誌，31，29～34（2005）
- 6) 中村道徳・貝沼圭二：澱粉・関連糖質実験法，生物化学実験法 19（瓜谷郁三・志村憲助編）（学会出版センター），p.6（1986）
- 7) 前川昭男・菅原龍幸：新・食品分析ハンドブック（建帛社），pp.127～130（2000）
- 8) 印南 敏・池上幸江・中村カホル・土橋文江・綾野雄幸・菅原龍幸・森 文平・中村尚夫・石原英子・手島節三・米山 智・金田よしみ・金谷健一郎・山田浩平・吉岡敏夫：食物繊維定量法の検討Neutral Detergent法と酵素重量法について，栄食誌，41，43～49（1988）
- 9) 木質科学実験マニュアル，日本木材学会（文永堂出版），p.97（2000）
- 10) 真部孝明：ペクチン「その科学と食品のテクスチャー」（幸書房），pp.28～29（2001）
- 11) PHATAK, L., CHANG, K.C. and BROWN, G.: Isolation and Characterization of Pectin in Sugar-Beet Pulp, *J. Food Sci.*, **53**, 830～833（1988）
- 12) McFEETERS, R. F.: Cell Wall Monosaccharide Changes during Softening of Brined Cucumber Mesocarp Tissue, *J. Food Sci.*, **57**, 937～940（1992）
- 13) WALTER, W. M., Jr.FLEMING, H. P. and McFEETERS, R.F.: Base-mediated firmness retention of sweet potato products, *J. Food Sci.*, **58**, 813～816（1993）
- 14) 日本食品標準成分表分析マニュアル（安本教博・竹内昌昭・安井明美・渡辺智子編）（建帛社）（2006）
- 15) 武山進一・笹島正彦・関村照吉・遠山 良：冷麺の茹で伸び防止の検討，岩手県工技セ研報，第9号，pp.177～180（2002）
- 16) 遠山 良・三浦 靖・種谷真一：冷麺の食味特性におよぼすでんぶん原料の影響，日調科誌，30，213～225（1997）
- 17) 林千津子・知地英征：食物繊維（ビートファイバー）の加工食品への利用特性（1），藤女子大学紀要，第38号，pp.73～75（2000）
- 18) 常見崇史・小島登貴子・仲島日出男：米粉を用いた新規製麺技術の開発，埼玉県産技セ研報，8，48～52（2010）
- 19) BRENNAN, C. S. and TUDORICA, C. M.: Evaluation of potential mechanisms by which dietary fiber additions reduce the predicted glycaemic index of fresh pastas, *Int. J. Food Sci. Technol.*, **43** (12), 2151～2162（2008）

（平成22年11月11日受付，平成23年3月30日受理）