

日本食品保蔵科学会誌

VOL. 39 NO. 1

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

<報 文>

鶏肉のテクスチャーおよび嗜好性に及ぼすパパイン処理の影響…………… (3)
 /松隈美紀・高橋 誠・藤田 守
 松隈紀生・藤田修二・和田浩二

生食用パイナップル (*Ananas comosus* (L.) Merr) 4品種間の低温貯蔵性の比較 …………… (9)
 /照屋 亮・正田守幸・広瀬直人・崎山澄寿
 竹内誠人・與那嶺要・新里良章

<技術報告>

貯蔵中における生鮮バジルの香気の変化…………… (13)
 /野口有里紗・市村匡史

水耕栽培における尿素態窒素およびアンモニア態窒素施用が
 ミツバ (*Cryptotaenia japonica* Hassk) の収量および硝酸イオンに及ぼす影響 …………… (19)
 /嘉悦佳子・森川信也・中村謙治・阿部一博

航空便と船便による果実輸出中に発生する衝撃比較…………… (25)
 /石川 豊・北澤裕明・今野 勉

<総 説>

小麦粉生地および製パン性に対するタンパク質架橋酵素の作用解析…………… (31)
 /野口智弘

<講 座>

身近な野菜・果物～その起源から生産・消費まで (20)
 バナナ (Ⅱ) …………… (37)
 /木下善行

<情 報>

食い倒れ大阪の食文化を支える生物多様性…………… (43)

食い倒れ大阪の食文化を支える生物多様性 (1)
 都市農業が支える大阪の食文化の個性…………… (44)
 /阿部一博

HACCP教育講座の開講にあたり …………… (47)

HACCP教育講座 (1)
 下痢原性大腸菌のリスクと病原機構…………… (49)
 /西川禎一

<文献抄録>…………… (55)

<記 事>…………… (56)

Food Preservation Science

CONTENTS OF VOL. 39 NO. 1 (2013)

<Article> (Japanese)

- Effects of Papain Treatment on the Texture and Palatability of Chicken Meat
 MATSUGUMA Miki, TAKAHASHI Makoto, FUJITA Mamoru,
 MATSUKUMA Norio, FUJITA Shuji and WADA Koji..... (3)

- Cold Storage Characteristics of Four Fresh Pineapple Cultivars (*Ananas comosus* (L.) Merr)
 TERUYA Ryo, SHODA Moriyuki, HIROSE Naoto, SAKIYAMA Sumisu,
 TAKEUCHI Masato, YONAMINE Kaname and SHINZATO Yoshiaki (9)

<Technical Report> (Japanese)

- Changes in the Flavor Components of Fresh Sweet Basil during Storage
 NOGUCHI Arisa and ICHIMURA Masashi..... (13)

- Effect of Urea and Ammonium Nitrogen Application
 on the Yield and Nitrate Ion Concentration
 of Hydroponically Grown Japanese Hornwort (*Cryptotaenia japonica* Hassk)
 KAETSU Keiko, MORIKAWA Shinya, NAKAMURA Kenji and ABE Kazuhiro (19)

- Comparison of Shock during Fruit Export via Air and Marine Transportation
 ISHIKAWA Yutaka, KITAZAWA Hiroaki and KONNO Tsutomu (25)

<Review> (Japanese)

- Studies on the Action of the Enzyme Protein Cross-linking
 on the Formation of Wheat-flour Dough and Bread Making
 NOGUCHI Tomohiro (31)

<Serialization Lecture> (Japanese)

- Bananas (Part II)
 KINOSHITA Yoshiyuki..... (37)

<Information> (Japanese)

- Personality of Food Cultures in Osaka Sustained by
 Intensive Agricultural Products in the Suburbs
 ABE Kazuhiro (44)

- Risk and Pathogenicity of Diarrheagenic/*Escherichia coli*/
 NISHIKAWA Yoshikazu (49)

鶏肉のテクスチャーおよび嗜好性に及ぼすパパイン処理の影響

松隈美紀^{*1}・高橋 誠^{*2}・藤田 守^{*3}
松隈紀生^{*4}・藤田修二^{*5}・和田浩二^{*2§}

* 1 鹿児島大学大学院連合農学研究科

* 2 琉球大学農学部

* 3 中村学園大学栄養科学部

* 4 中村学園大学短期大学部

* 5 佐賀大学農学部

Effects of Papain Treatment on the Texture and Palatability of Chicken Meat

MATSUGUMA Miki^{*1}, TAKAHASHI Makoto^{*2}, FUJITA Mamoru^{*3},
MATSUKUMA Norio^{*4}, FUJITA Shuji^{*5} and WADA Koji^{*2§}

* 1 *United Graduate School of Agricultural Science, Kagoshima University,
1-21-24 Korimoto, Kagoshima 890-8580*

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

* 3 *Department of Nutritional Sciences, Nakamura Gakuen University, 5-7-1 Befu, Jounan, Fukuoka 814-0189*

* 4 *Nakamura Gakuen University Junior College, 5-7-1 Befu, Jounan, Fukuoka 814-0189*

* 5 *Faculty of Agriculture, Saga University, 1 honjo, Saga 840-8502*

In order to examine the effects of papain treatment on the texture (hardness, breaking, and swallowing) and palatability of chicken meat, minced chicken meat treated with different concentrations of papain was subjected to sensory evaluation. The evaluation showed that for all physical properties of texture, the meat treated with papain at 0.3% and 0.5% was significantly more tender than that treated with papain at 0.1% ($P < 0.01$). Further, the meat treated with papain at 0.1% and 0.3% retained a relatively good taste. These results indicated that the appropriate concentration range of papain is at least greater than 0.1% to less than 0.3% from the viewpoint of a good texture and the palatability of chicken meat. To optimize the conditions for papain treatment, meat treated with and without 0.2% papain was also subjected to sensory evaluation. As expected, for all physical properties of texture, the meat treated with papain was significantly more tender than untreated meat ($P < 0.05$), whereas meat tenderization had little effect. Morphological observation of the chicken meat revealed that papain treatment promoted a separation of muscle cells from muscle bundles and a weakening of connective tissue, starting from a very stable level. In addition, an increase of papain concentration promoted endomysium disruption, and at a papain concentration of 0.5%, the endomysium disappeared. These results are consistent with those of the sensory evaluation of the textures and palatability of papain-treated chicken meat, respectively.

(Received Apr. 23, 2012 ; Accepted Jul. 30, 2012)

Key words : *chicken meat, papain, texture, palatability, morphological observation*

鶏肉, パパイン, テクスチャー, 嗜好性, 組織観察

* 1 〒890-8580 鹿児島県鹿児島市郡元 1-21-24

* 2 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1

§ Corresponding author, E-mail : kojiwada@agr.u-ryukyu.ac.jp

* 3 〒814-0189 福岡県福岡市城南区別府 5-7-1

* 4 〒814-0189 福岡県福岡市城南区別府 5-7-1

* 5 〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町 1

摂食行動には、咀嚼機能、舌機能、嚥下機能などの口腔機能が影響している。高齢者は個人差があるものの、加齢に伴う歯の損失、舌の動きの鈍化、唾液分泌量の減少が起りやすく、口腔機能の低下が認められる。口腔内機能の低下は、食の受容性を狭めるばかりか、食事の量や質を低下させ、タンパク質の欠乏とエネルギーの欠乏が複合して起こる低栄養状態を招くことが報告されている¹⁾。口腔機能が低下した高齢者が食べにくい食品物性には、「硬くて破断に強い力を要する」、「柔らかいが噛み切りにくく、噛みしめるのに力を要する」および「食塊形成が難しい」などの特徴があることから、高齢者に適した食事は「食品の柔らかさ」のみならず「食品の潰れやすさ」や「飲み込みやすさ」が重要であると考えられる。

一方、高齢者にとって、毎日の食事は大きな楽しみで、何よりもおいしく食べられることが肝心である。したがって、高齢者が「その人らしい食生活」を得るために、食べやすく、良質なタンパク質をおいしく供給することが必要である²⁾。鶏肉は良質なタンパク質の供給源であるとともに、特有の好ましさとおいしさがあるために、高齢者に適したタンパク質源の一つとして考えられるが、加熱によって硬くなり、咀嚼しにくくなる³⁾ため、食べやすく調理してから食卓に供する必要があった。このような背景から、鶏肉をタンパク質分解酵素で処理した際の軟化に関する報告^{4)~6)}は多くみられるが、酵素処理による軟化とおいしさの関連性についての報告はほとんどみられない。

そこで本研究では、口腔機能が低下した高齢者への食肉として最適な鶏肉質の改良を目的とし、濃度の異なるタンパク質分解酵素を用いてミンチ処理した鶏肉の軟化を試み、高齢者食に必要な食品物性とおいしさの関連性について官能評価を行った。さらに、酵素処理前後における鶏肉組織の構造変化から形態学的な検討を行った。

実験方法

1. 実験材料

鶏ムネ肉（コーニッシュ種、90日成育鶏）を購入後、皮と余分な脂を取り除き、水洗したものを実験材料とした。タンパク質分解酵素は、パパイン（食品用精製パパイン、ナガセ生化学工業株）を用いた。

2. 分析試料の調製

(1) 官能評価試料 鶏ムネ肉を電動式ミートチョッパー（MS-12、南常鉄工）で1回挽きし、ミンチにした。このミンチ肉150gにパパインを0.1、0.2、0.3および0.5%（対肉重量）の割合で添加し、手で20回混ぜ合わせた後、30gずつケーシング（200mm×300mm、フィルム厚90 μ m、ポリエチレン、クリロン株）に入れ、真空包装機（VP-105F、日本電熱株）を用いて真空包装し、0℃で24時間保蔵した。保蔵後、95℃の熱湯で試料の中心温度が75℃に達するまで加熱処理したものを官能評価用試

料とした。また、パパイン処理をしないミンチ肉（非酵素処理鶏肉）についても同様の保蔵および加熱処理を行い、対照区とした。

(2) 組織観察試料 鶏ムネ肉を電動式ミートチョッパーで1回挽きしたミンチ肉150gに、パパインを0.2%および0.5%（対肉重量）の割合で添加し、フードプロセッサー（Bamix、株チェリーテラス）で5秒間混合後、30gずつケーシングに入れ、真空包装機を用いて真空包装し、0℃で24時間保蔵したものを組織観察試料とした。また、パパイン処理をしないミンチ肉（非酵素処理鶏肉）についても同様の保蔵処理を行い、対照区とした。

3. 官能評価

(1) 酵素処理濃度の食品物性およびおいしさへの影響

パネルは中村学園大学栄養科学部および大学院の学生7名（平均年齢23.5歳、女性）で構成した。官能評価の手順、評価の仕方を十分説明してから官能評価を行った。官能評価は官能評価試料（酵素添加0.1、0.3および0.5%）および非酵素処理鶏肉（対照区）の4種類を一度に呈示し、対照区を0として-2から2までの5段階評点尺度法⁶⁾で4項目について評価した。評価項目は、①硬さ（硬い-柔らかい）、②舌での潰れやすさ（困難-容易）、③飲み込みやすさ（困難-容易）、④おいしさ（嫌い-好き）とした。得られた評価値は一元配置分散分析を行い、Tukeyの多重比較を実施し、 $P < 0.01$ を有意と判定した。

(2) 0.2%酵素処理鶏肉の食品物性およびおいしさに対する評価

パネルは中村学園大学栄養科学部および大学院の学生12名（平均年齢23.5歳、女性）で構成した。官能評価は官能評価試料（酵素添加0.2%）および非酵素処理鶏肉（対照区）の2種類を一度に呈示し、上記(1)と同様の4項目について1から5までの5段階評点尺度法で行った。得られた評価値からStudentの*t*検定を用いて、対照区および酵素処理鶏肉との比較（ $P < 0.05$ ）を行った。

4. 硬さ測定

試料には非酵素処理鶏肉（対照区）および0.2%酵素処理鶏肉を用いた。測定はテンシプレッサー（TTP-50BX、タケモト電機株）を用い、厚生労働省で定めた高齢者用食品の硬さ測定法⁷⁾に準拠して行った。すなわち、直径20mmのプランジャーを用い、圧縮速度10mm/s、クリアランス5mm、測定温度 20 ± 2 ℃の条件で試料を圧縮し、得られた応力より硬さを算出した。1つの試料につき測定を3回繰り返し行い、硬さの平均値と標準偏差値を算出した。統計解析はStudentの*t*検定を用いて、対照区および酵素処理鶏肉との比較（ $P < 0.01$ ）を行った。

5. 組織学的観察

(1) 標本の作製 鶏肉の組織学的観察に使用する標本の作製には、組織観察試料（酵素添加0.2%および0.5%）および非酵素処理鶏肉（対照区）を用いた。各試料を5mm角に切り出し、0.1Mリン酸緩衝液でpH7.4

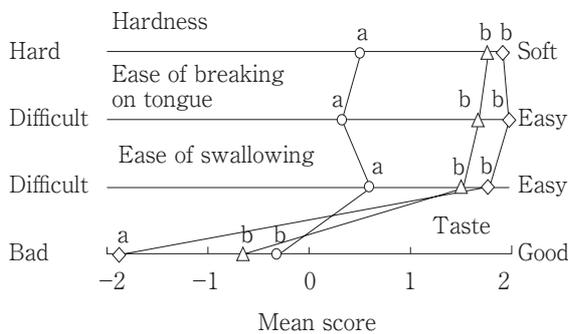
に調整した4%ホルムアルデヒド(和光株)で24時間浸漬して固定した。固定した試料を水洗し、エタノール系列で脱水およびキシレンで透徹後、パラフィンに包埋した。包埋後の試料からマイクロトームで6 μ mの縦断切片を作成し標本とした。

(2)ヘマトキシリン・エオシン(HE)染色 鶏肉の組織構造を観察する目的でHE染色を行った。各標本を脱パラフィンおよび水洗後、マイヤー・ヘマトキシリン(武藤化学株)で20分間染色した後に水洗した。次に、1%エオシンY液(武藤化学株)で5分間染色した後に軽く水洗し、エタノール系列で脱水、キシレンで透徹および封入後、光学顕微鏡(BH-2, オリンパス光学工業株)を用いて75倍および350倍で観察を行った。

結果および考察

1. 鶏肉の酵素処理における酵素濃度の影響

Fig. 1に酵素処理前(対照区)および処理後(酵素濃度:0.1, 0.3および0.5%)の鶏肉試料における官能評価結果を示す。酵素添加後、0℃で24時間保蔵した鶏肉の硬さについて、いずれの酵素濃度においても対照区と比較して、柔らかいと評価された。また、酵素の濃度に伴って柔らかく感じる傾向を示し、酵素0.1%処理鶏肉と酵素0.3%および0.5%処理鶏肉の間にそれぞれ有意差が認められた($P < 0.01$)。これは酵素処理温度が0℃であっても、24時間保蔵によって酵素による鶏肉のタンパク質分解が進行し、特に酵素処理濃度が0.1%以上で十分な柔らかさが得られると考えられた。また、舌での潰れやすさの項目について、酵素0.1%処理鶏肉と酵素0.3%および0.5%処理鶏肉の間にそれぞれ有意差が認められた($P < 0.01$)。これらの結果より、食品の硬さと舌での潰れやすさには大きな関連性があることが示唆された。同様に、飲み込みやすさの項目についても酵素



○0.1% papain treated △0.3% papain treated ◇0.5% papain treated

Fig. 1 Effect of papain concentration on texture and palatability of chicken meat

Seven panel members rated four parameters of chicken meat with papain treated (0.1, 0.3, and 0.5%) on a 5-point scale (from -2 to 2) compared to that of the chicken meat without papain treated as control (score 0). Different letters are significantly different ($P < 0.01$).

0.1%処理鶏肉と酵素0.3%および0.5%処理鶏肉の間にそれぞれ有意差が認められた($P < 0.01$)。

一般に、食物は咀嚼によって表面が十分に滑りやすい一塊の団子状態が形成(食塊の形成)された後に嚥下を行うが、食塊が柔らかすぎると、または粘性が高すぎることで飲み込みにくさの原因になることが知られている⁸⁾。しかし、今回の各酵素濃度の範囲では鶏肉が柔らかすぎると飲み込みにくくなるという傾向は認められなかった。一方で、おいしさの項目では、酵素の濃度に伴って嫌いという傾向を示し、酵素0.1%および0.3%処理鶏肉と酵素0.5%処理鶏肉の間にそれぞれ有意差が認められた($P < 0.01$)。通常、食肉加工のテクスチャーとして嗜好性が高いものは、弾力性と結着性が高く、歯ごたえがあると評価されている⁹⁾。本試験の結果においても、酵素処理による鶏肉の軟化と嗜好性には密接な関連があり、酵素処理時間を一定にした場合、酵素濃度が高すぎると著しく嗜好性は低下した。したがって、酵素処理鶏肉を高年齢者に活用する場合、適度な柔らかさが嗜好性の向上のために必要と考えられた。

以上の結果より、硬さ、舌での潰れやすさ、および飲み込みやすさの項目において高い評価を示し、かつ、有意なおいしさの低下を示さない酵素濃度は少なくとも0.1以上0.3%未満にあると考えられた。そこで、得られた濃度範囲においてより少ない酵素濃度(0.2%)で処理した鶏肉について官能評価を行い、パパイン処理した鶏肉の高年齢者食としての有効性について検討した。

2. 0.2%酵素処理鶏肉の官能評価と硬さ測定

Fig. 2に酵素処理前(対照区)および0.2%酵素処理後

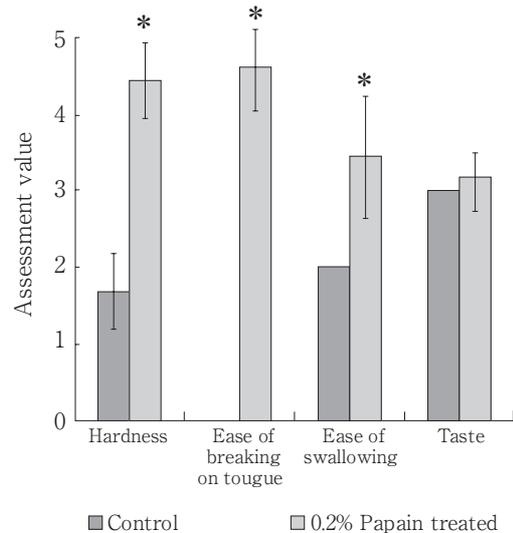


Fig. 2 Effect of 0.2% papain treatment on texture and palatability of chicken meat

Twelve panel members rated four parameters of chicken meat with and without 0.2% papain on a 5-point scale (from 1 to 5).

Values containing asterisks are significantly different from the control at $P < 0.05$ (*).

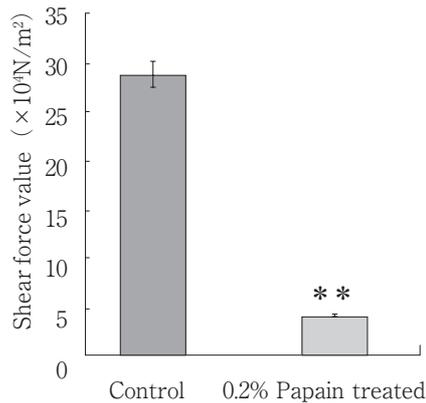


Fig. 3 Shear force value of chicken meat with 0.2% papain treated

Values containing asterisks are significantly different from the control at $P < 0.01$ (**).

の鶏肉試料における官能評価結果を示す。硬さ、舌での潰れやすさおよび飲み込みやすさの項目において、対照区と比べて有意差が認められた ($P < 0.05$)。また、0.2%酵素処理鶏肉のテクスチャーにおいて、すべてのパネリストから対照区と比べてやわらかく、食べやすいという評価を得た。そこで0.2%酵素処理鶏肉についてテンシプレッサーによる硬さ測定を行ったところ $4.29 \pm 0.12 \times 10^4 \text{N/m}^2$ を示し (Fig. 3), 対照区 ($28.90 \pm 1.33 \times 10^4 \text{N/m}^2$) と比べて有意差が認められた ($P < 0.01$)。この結

果は、厚生労働省が定めた高齢者用食品の規格基準において、咀嚼困難者用食品ゲルの硬さ (ゲル $5 \times 10^4 \text{N/m}^2$ 以下) の基準内にあることを確認した。一方、おいしさの項目については、0.2%酵素処理鶏肉は対照区と比べて若干低い値を示したが、有意差は認められなかった。以上の結果は、0.2%パパイイン処理した鶏肉がおいしさを維持し、さらに口腔機能が低下した高齢者にとって十分に食べやすいことを示唆しており、口腔機能が低下した高齢者への鶏肉処理として有効であると考えられた。しかし、パパイインによる鶏肉の軟化効果はパパイインの添加濃度だけでなく、保蔵温度および時間によっても変化すると思われる。今後は酵素濃度に加えて、保蔵温度および時間と鶏肉のテクスチャーおよび嗜好性の関係性を検討する必要がある。

3. 鶏肉の組織学的観察

食肉の食感は、主に構成するタンパク質のうち、筋線維および筋肉内結合組織を構成するタンパク質によってもたらされていると考えられている^{10),11)}。そこで、パパイイン処理の有無における鶏肉の組織学的観察を行い、官能評価による肉質の差異をもたらす要因を解析した。Fig. 4に酵素処理前 (対照区) および酵素処理後の鶏肉試料における筋組織写真 (筋組織, 黒色; 空隙, 白色) を示す。通常、鶏肉の筋組織は厚い疎性結合組織である筋上膜 (筋膜) に包まれ、筋上膜に続く薄い結合組織の筋周膜が多数の筋細胞束を取り囲んで、それらを境界と

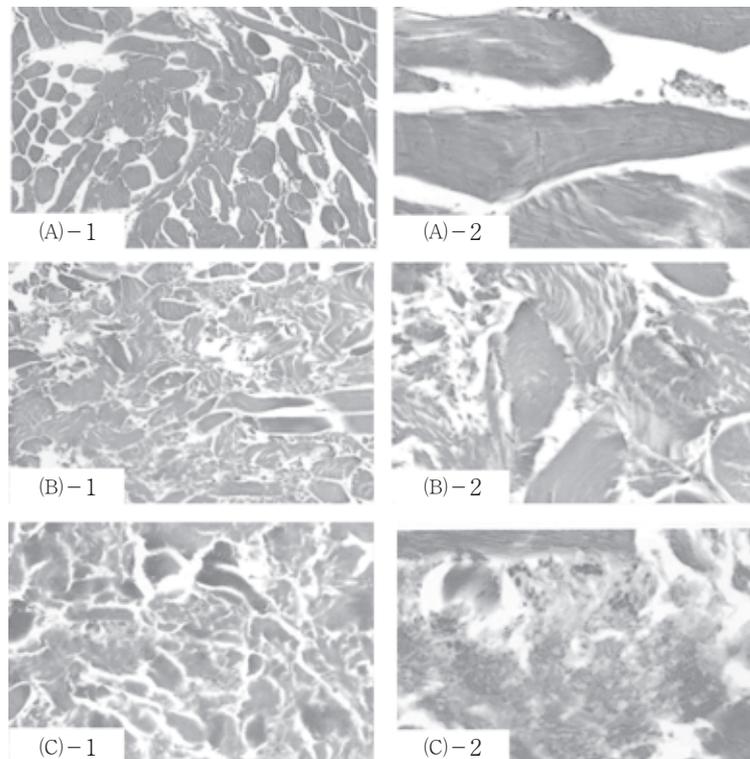


Fig. 4 Optical micrographs of chicken meat before and after papain treated

(A) before papain treated, (B) after 0.2% papain treated, (C) after 0.5% papain treated
(Scale: left, $\times 75$; right, $\times 300$)

している。対照区の筋組織において、一部の筋細胞が筋束から分離している様子が観察された (Fig. 4 (A) - 1)。これは鶏肉のミンチ処理による筋細胞や結合組織の物理的な破断が原因であると考えられた。しかし、筋細胞には明確な横紋が認められ、大部分の筋細胞が筋内膜に包まれていた (Fig. 4 (A) - 2)。一方、0.2%酵素処理鶏肉では、対照区と比べて多くの筋細胞が筋束から分離し、また結合組織についても、対照区では確認されなかった部分的な切断および消失が観察された (Fig. (B) - 1)。さらに、筋内膜に包まれている筋細胞が部分的に観察されたものの、筋細胞の横紋の多くは崩れていた (Fig. 4 (B) - 2)。食肉にパパイを作用させた場合、筋細胞内の筋原線維を構成するタンパク質として知られるミオシンフィラメントのH-メロミオシンは3つのサブフラグメントに分解されると報告されている¹²⁾。また、食肉が柔らかくなる要因として、筋細胞の結合組織からの分離や筋原線維の脆弱化が報告されている^{10), 11)}。したがって、パパイ処理によって筋原線維、特にタンパク質の大半を占めるミオシン分子が分解されることが肉の軟化に大きく寄与し、0.2%酵素処理鶏肉の官能試験におけるテクスチャー比較では、対照区と比べて有意に柔らかく、舌で潰れやすく、また、飲み込みやすいと評価されたと推察された。

一方で、0.5%酵素処理鶏肉では、筋細胞から分離した筋原線維や筋形質などが小片化し、コロイド状に混在していた (Fig. 4 (C) - 1)。また、0.2%酵素処理鶏肉に比べて結合組織は切断および消失部分が大きく、ほとんどの筋内膜および筋細胞の横紋は観察されなかった (Fig. 4 (C) - 2)。食肉のパパイ処理では筋細胞のタンパク質がうま味に関連する遊離アミノ酸やペプチドに分解されることが知られている¹³⁾。したがって、鶏肉へのパパイ処理濃度の増加に伴う嗜好性 (おいしさ) の低下の要因の一つは、本観察で示されたような筋内膜の切断または消失の程度による食肉加熱処理後に肉汁とともに放出される遊離アミノ酸やペプチドの量の差異と推定された。今後嗜好性については、おいしさと関連する食品成分を詳細に分析する必要があると考えられる。

要 約

口腔機能が低下した高齢者への食肉として最適な鶏肉質の改良を目的とし、濃度の異なるパパイを用いてミンチ処理した鶏肉の軟化を試み、高齢者食に必要な食品物性とおいしさの関連性について官能評価および鶏肉組織学的観察を行った。その結果、以下の知見を得た。

① 鶏肉試料における官能評価では、鶏肉へのパパイ処理濃度 (0.1, 0.3および0.5%) の増加に伴い、鶏肉の「硬さ」は柔らかくなり、「舌での潰れやすさ」および「飲み込みやすさ」は容易になる傾向を示した。一方、嗜好性 (おいしさ) についてはパパイ処理濃度の増加に伴い、減少する傾向を示した。

② 0.2%酵素処理鶏肉試料の官能評価では、酵素処理前試料 (対照区) と比べて有意なテクスチャー (「硬さ」, 「舌での潰れやすさ」および「飲み込みやすさ」) の変化を示したが、おいしさの低下は認められなかった。

③ 鶏肉のパパイ処理によって筋細胞の筋束から分離、結合組織の切断および消失が観察され、官能評価におけるテクスチャーの変化の要因と考えられた。

④ 鶏肉へのパパイ処理濃度の増加に伴い、筋内膜の切断または消失が観察され、官能評価におけるおいしさの低下の要因と考えられた。

以上の結果より、パパイ処理による鶏肉の軟化と嗜好性には密接な関連があり、酵素処理時間を一定にした場合、酵素濃度が高すぎると筋内膜が消失し、著しく嗜好性が低下することが明らかとなった。したがって、高齢者食に活用する鶏肉の軟化にパパイを使用する場合、適度な柔らかさが嗜好性の維持のために必要と考えられる。

文 献

- 1) 葛谷雅文：高齢者の栄養評価と低栄養の対策，日本老年学会誌，**40**，199 (2003)
- 2) 高橋智子・川野亜紀・飯田文子・鈴木美紀・和田佳子・大越ひろ：食べ易い食肉の力学的特性と咀嚼運動，日本家政学会誌，**54**，357～364 (2003)
- 3) 藤田尚男・藤田恒夫：標準組織学総論 (医学書院，東京)，pp. 212～225 (1988)
- 4) 中西洋子・成瀬明子・梶田武俊：高度に精製したキウイフルーツプロテアーゼ (アクチニジン) の自己消化に及ぼす温度の影響，日本家政学会誌，**45**，609～614 (1994)
- 5) 鮫島邦彦・崔 一信・石下真人・早川忠昭：アクチニジン (キウイフルーツタンパク質分解酵素) による筋肉構成タンパク質の分解，日本食品工業学会誌，**38**，817～821 (1991)
- 6) 堤ちはる・三好恵子・谷 武子・仙北谷至乃・殿塚婦美子・永弘悦子・河野聡子・吉中哲子：キウイフルーツの豚肉軟化効果について，日本家政学会誌，**45**，603～607 (1994)
- 7) 厚生省保健医療局地域保健・健康増進栄養課，生活習慣病対策室監修：栄養調理六法11年版，高齢者用食品の試験法，p286 (1998)
- 8) 神山かおる：テクスチャー解析によるおいしさの評価，化学と生物，**47**，133～137 (2009)
- 9) 宅見央子・中村弘康・白石浩荘・米谷 俊：高齢者用菓子類の食感に求められる要素，栄養学雑誌，**68**，131～140 (2010)
- 10) LOCKER, R. H.: Degree of muscular contraction as a factor in tenderness of beef, *J. Food Sci.*, **25**, 304～307 (1960)

-
- 11) MARSH, B. B. and LEET, N. G.: Studies in meat tenderness. III. The effects of cold shortening on tenderness, *J. Food Sci.*, **31**, 450~459 (1966)
- 12) KOMINZ, D. R., MITCHELL, E. R., NIHEL, T. and KAY, C. M.: The Papain Digestion of Skeletal Myosin A, *Biochem.*, **4**, 2373~2382 (1965)
- 13) 沖谷明紘: 肉の食味, 日本食生活学会誌, **17**, 94~99 (2006)
(平成24年4月23日受付, 平成24年7月30日受理)
-

生食用パイナップル (*Ananas comosus* (L.) Merr)

4 品種間の低温貯蔵性の比較

照屋 亮^{*1§}・正田守幸^{*2}・広瀬直人^{*1}・崎山澄寿^{*3}
竹内誠人^{*4}・與那嶺 要^{*2}・新里良章^{*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 沖縄県農林水産部糖業農産課

* 4 沖縄県農業研究センター石垣島支所

Cold Storage Characteristics of Four Fresh Pineapple Cultivars (*Ananas comosus* (L.) Merr)

TERUYA Ryo^{*1§}, SHODA Moriyuki^{*2}, HIROSE Naoto^{*1}, SAKIYAMA Sumisu^{*3},
TAKEUCHI Masato^{*4}, YONAMINE Kaname^{*2} and SHINZATO Yoshiaki^{*1}

* 1 *Okinawa Prefectural Agricultural Research Center, 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 Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Sugar Industry
and Agricultural products division, 1-2-2, Izumizaki, Naha-city, Okinawa 900-8507*

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

—Four varieties of fresh pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr)—“summer gold,” “soft touch,” “Bogor” and “N67-10”—, were stored for 15 days at 5°C and 15°C, and they were examined for total acidity, Brix, peel injury, signs of internal browning and weight loss. It was observed that during the storage time, the total acidity of all the varieties increased, whereas Brix remained stable. Peel injury proceeded in 2 varieties, namely “summer gold,” which reached the sales limit by 5 days at 5°C and 15°C, and “soft touch,” which reached the sales limit by 9 days at 15°C. Internal browning proceeded in the “summer gold” variety, and its sales limit was reached by 5 days at 5°C and 15°C. “N67-10” was the only cultivar that maintained good condition throughout the study period (15 days).

(Received May 14, 2012; Accepted Aug. 23, 2012)

Key words : *fresh pineapple, total acidity, Brix, peel injury, internal browning,*
生食用パイナップル, 酸度, 糖度, 果皮障害, 内部褐変

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、2008年度には全世界で約1,900万 t が生産されている¹⁾。日本における主産地は沖縄県であり、缶詰加工用・生食用を合わせ約1万 t が生産されているが²⁾、生食用果実の栽培技術の進展や、個性豊かな生食用品種の普及等により、近年では生食用

果実の割合が増加している³⁾。沖縄県で生産される生食用パイナップルは、完熟に近い状態で収穫されることが多く、日持ちが短い⁴⁾。そのため、低温輸送を前提とした低温貯蔵技術が検討され、‘N67-10’では4°C貯蔵が適していると報告されている⁵⁾。しかし、近年育成された品種については知見がほとんどない。このことから

* 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 〒900-8570 沖縄県那覇市泉崎1-2-2

* 4 〒907-0003 沖縄県石垣市平得地底原1178-6

前報では、生食用4品種について低温貯蔵試験を実施し、低温感受性に品種間差異があることを報告した⁶⁾。

本報では、パインアップルの商品性にかかわる外観品質、酸度および糖度などについて低温貯蔵中の推移を調査し、品種間の比較を行った。

方 法

1. 供試材料

供試品種は沖縄県農業研究センター名護支所圃場にて栽培された‘サマーゴールド’、‘ソフトタッチ’、‘ボゴール’、‘N67-10’の4品種の自然夏実を使用した。このうち‘サマーゴールド’、‘ソフトタッチ’、‘ボゴール’は2009および2010年産果実、‘N67-10’は2009、2010および2011年産の果実を試験に供した。各品種の特徴として、‘N67-10’は、従来より栽培されている缶詰加工と生食用の兼用品種であり、果実重は約1,600gと最も大きい。他の3品種は生食専用品種であり、‘サマーゴールド’は果実重が約1,300gであり、‘ソフトタッチ’、‘ボゴール’は、果実重が約900g程度と小ぶりである。

‘ソフトタッチ’、‘ボゴール’は、出蕾後110~120日目、‘サマーゴールド’、‘N67-10’は、出蕾後125~135日目の適熟期に至った果実を、前報⁶⁾に基づいて選別した。すなわち、‘ボゴール’、‘サマーゴールド’は果皮色の3~4割が黄化した果実を選別し、‘N67-10’、‘ソフトタッチ’は外観からの熟度判定が困難であることから、比重⁷⁾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15日間貯蔵した。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. 測定方法

重量減少率は、電子天秤を使用し、果実重量を経時的に測定した。糖度および酸度は、可食部を磨砕して茶こしで漉した果汁を測定試料とした。糖度の測定には光屈折式デジタル糖度計(APAL-J, アタゴ社製)を用いた。酸度は電気伝導度測定法⁸⁾を検討し、実際の酸度より若干高めの数値となるものの、高い相関性を得たことから採用した。分析手順としては、蒸留水で100倍に希釈した果汁の電気伝導度を導電率計(B-173, 堀場製作所製)で測定し、クエン酸酸度として算出した。また上記の分析は、1個体ずつ測定し果実4個の平均値として表した。

果皮色は、黄化の程度を5段階評価した。すなわち、評点1=果実全体が緑色、評点2=果実表面の20%以下が黄化、評点3=20~50%、評点4=50~70%、評点5=全部黄化、とした。果皮障害は、果皮に発生する褐変や陥没(ピットティング)を5段階評価した。すなわち、

評点1=変化なし、評点2=果皮表面の10%未満、評点3=10~30%、評点4=30~50%、評点5=50~70%、とした。内部褐変は、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、評点1=変化なし、評点2=切断面の10%未満、評点3=10~30%、評点4=30~50%、評点5=50~70%、とした。このうち果皮障害、内部褐変については、平均評点2以上を商品限界とした。

結果および考察

1. 低温貯蔵時における酸糖度・重量減少率の変化

酸度は、ほぼすべての試験区において増加傾向を示した(Fig1)。このうち‘N67-10’は15℃で増加し、5℃では安定的に推移した。その他の品種では両温度で増加した。糖度は、酸度の推移に見られるような変化はなく、‘ボゴール’の15℃では若干低下するものの、その他の品種ではすべての処理区で安定的に推移した。

パインアップルの低温貯蔵に伴う酸度の変動は、‘N67-10’の15℃貯蔵で上昇することが知られており⁴⁾、他の文献では、品種や貯蔵温度によって酸度上昇の程度が異なると報告されている^{9)~11)}。

重量減少率は、いずれの品種においても貯蔵日数の経過とともに直線的に増加し、15℃貯蔵で速やかに増加した。品種では‘ソフトタッチ’で最も速やかに、‘サマーゴールド’が最も緩やかに増加した。

2. 低温貯蔵時における外観品質および内部褐変の変化

果皮色の黄化は、品種や貯蔵温度によって差異が認められた(Fig2)。「サマーゴールド」では5℃、15℃で黄化が進行するのに対し、他の品種では15℃で進行し、5℃での進行は緩やかであった。また‘N67-10’は、黄化の進行が最も遅かった。果皮障害は、‘サマーゴールド’で最も早く進行し、5日程度で商品限界となった。‘ソフトタッチ’は15℃で9日目に商品限界となった。‘N67-10’は15℃で15日前後に商品限界となった。また、本試験で認められた果皮障害は2種類であり、‘サマーゴールド’は褐変、‘N67-10’、‘ボゴール’、‘ソフトタッチ’はピットティングが生じた。

果皮褐変については、パインアップルの低温障害に伴う現象であると報告されている¹²⁾。その他の品種で発生するピットティングについては、貯蔵中の重量減少率が高い‘ソフトタッチ’で多く発生していることから、水分蒸散による小果実の萎凋によるものと考えた。

果実内部については‘サマーゴールド’で内部褐変の進行が早く、5℃、15℃ともに5日目に商品限界となった。その他の品種では‘ボゴール’の15℃で15日目に商品限界となった。前報⁶⁾では、‘サマーゴールド’の低温貯蔵中に発生する内部褐変が低温障害であることを明らかにしていることから、本症状は低温障害によるものと判断した。

本研究結果から、生食用パインアップル4品種の低温

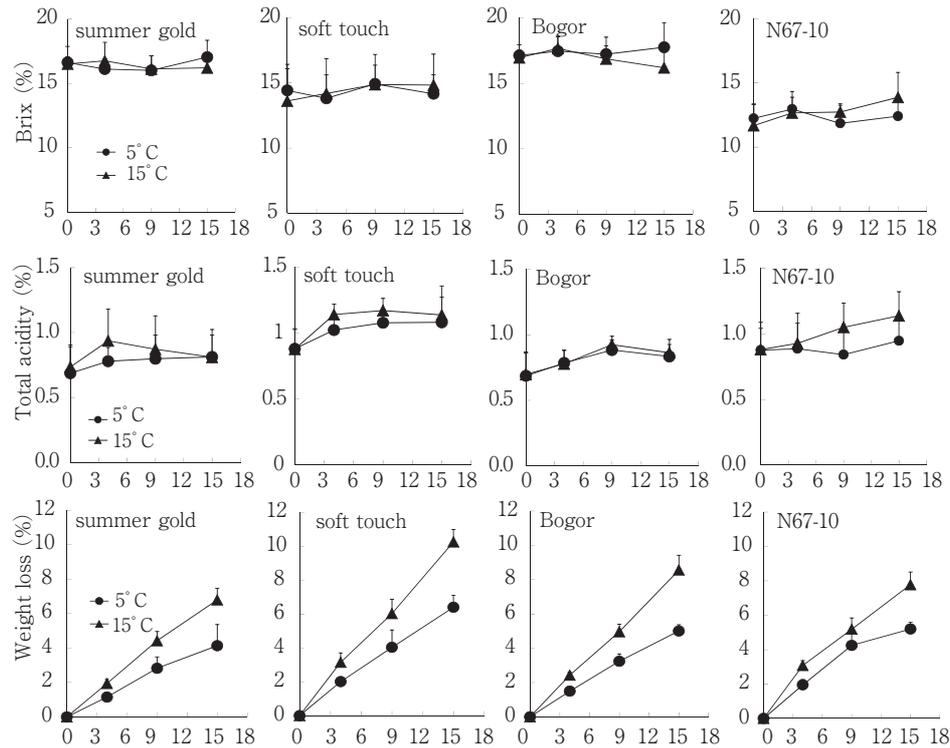


Fig.1 Changes in Brix, total acidity, and weight loss in “summer gold,” “soft touch,” “Bogor” and “N67-10” pineapple varieties during storage

Data are represented as the mean±standard deviation (mean±SD; n=4).

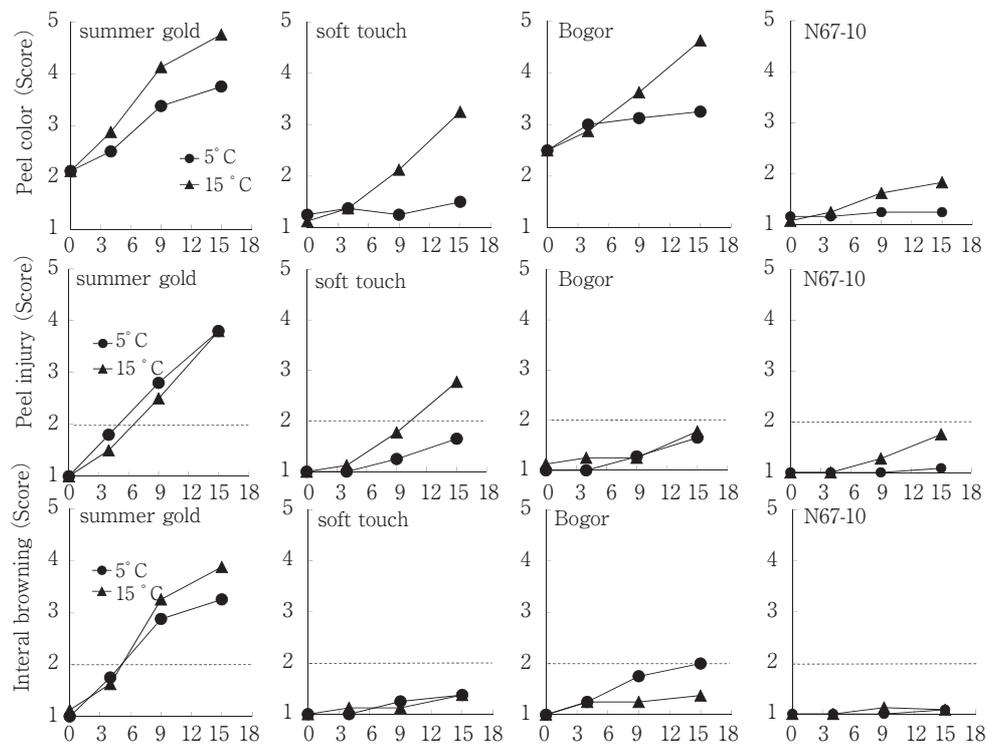


Fig.2 Changes in the peel color, peel injury, and internal browning in “summer gold,” “soft touch,” “Bogor” and “N67-10” pineapple varieties during storage

(the dotted lines correspond to the limit of salability.)

貯蔵において、商品性保持期間の短い品種は‘サマーゴールド’であり、パイナップルの鮮度保持における低温耐性の重要性が示された。また、貯蔵試験中の果皮色の黄化、重量減少率の推移などから、貯蔵温度は5℃のほうが良いと考えられた。さらに沖縄県における低温輸送の現状としては、5～7℃程度に保持された冷蔵コンテナによる船舶輸送の活用が考えられる¹³⁾。このことから生食用パイナップルの貯蔵条件としては、5℃がより好適であると判断した。

パイナップルにおける低温障害は、一定期間の低温ストレスを与えた場合に発生する生理障害であり、障害に関与する成分については、遺伝子発現レベルで明らかにされている¹⁴⁾。沖縄県では、現在も様々なパイナップルの品種改良が行われており³⁾、特徴的な品種が育成・普及されている。パイナップルの品種改良では貯蔵性も重要な育種目標となっており、今後貯蔵性に優れた品種の育成を加速するためには、迅速・簡易な低温耐性系統の評価技術の開発が重要になると思われる。

文 献

- 1) FAO:FAOSTAT (FAO統計)
<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>
- 2) 農林水産省：農林水産統計・平成21年産パイナップルの収穫面積、収穫量及び出荷量（沖縄県）http://www.maff.go.jp/j/tokei/pdf/syukaku_pineapp_09.pdf
- 3) 正田守幸：身近な野菜・果物～その起源から生産・消費まで（14）パイナップル伝来と産業化および国内生産の現状について，日食保蔵誌，**37**，249～255（2011）
- 4) 田尻貴巳・秋永孝義・山崎聖司・國分田佳弘：沖縄県産パイナップルの最適貯蔵温度，農業施設，**26**，145～151（1995）
- 5) 川満芳信・與儀喜代政・濱上昭人・野瀬昭博・比嘉正和：パイナップル果実の糖，有機酸，プロメラインにおける品種間差異，季節および収穫後の変化，沖縄農業，**30**，2～19（1995）
- 6) 照屋 亮・広瀬直人・正田守幸・崎山澄寿・竹内誠人・大城良計：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，日食保蔵誌，**37**，109～114（2011）
- 7) SMITH, L. G. : Pineapple specific gravity as an index of eating quality, *Tropical Agriculture*, **61**, 196～199（1984）
- 8) 藤原孝之・磯崎真英・小西信幸・坂倉 元：電気伝導度法によるトマトおよびイチゴ果汁の遊離有機酸濃度の測定，食科工誌，**47**，227～232（2000）
- 9) 塩見慎次郎・丁野久美・中村怜之輔：成分変化から見たパイナップル果実の追熟性について，日食保蔵誌，**30**，231～234（2002）
- 10) MOHAMMED, M. and WICKHAM, L. : Biochemical changes and sensory evaluations in pineapple during storage at refrigerated and non-refrigerated temperatures, *Acta Hort.*, **425**, 571～580（1995）
- 11) WEERAHEWA, D. and ADIKARAM, N. K. B. : Some biochemical factors underlying the differential susceptibility of two pineapple cultivars to internal browning disorder, *Cey. J. Sci.*, **34**, 7～20（2005）
- 12) DULL, G. G. : The biochemistry of fruits and their products, (Academic Press, New York), **2**, 303～324（1971）
- 13) 新井祥穂・永田淳嗣：沖縄・石垣島におけるパイナ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）
- 14) STEWART, R. J., SAWYER, B. J. B., BUCHERL, C. S. and ROBINSON, S. P. : Polyphenol oxidase is induced by chilling and wounding in pineapple, *Aust. J. Plant Physiol.*, **28**, 181～191（2001）
(平成24年5月14日受付，平成24年8月23日受理)

貯蔵中における生鮮バジルの香気の変化

野口有里紗*[§]・市村匡史*

* 東京農業大学農学部

Changes in the Flavor Components of Fresh Sweet Basil during Storage

NOGUCHI Arisa*[§] and ICHIMURA Masashi*

* Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture, 1737, Funako, Atsugi, Kanagawa 243-0034

We determined the effect of different packaging materials on the flavor, ascorbic acid and total phenol content of sweet basil. In spite of the film packaging, the flavor of basil greatly decreased during the 14 days of storage. The content of the main component of flavor was 1,8-cineol, it was most decreased when the basil was stored in perforated polyethylene film bag. The results of the sensory analysis showed that the degree of off-flavor at 20°C was at its minimum in the samples from the perforated polyethylene film bag. In addition, the perforated polyethylene film bags maintained the freshness and weight of the sample. Fresh basil in the oriented polystyrene sheet box showed chilling injuries at 5°C, because of the high contents of ascorbic acid and total phenols at this temperature. Of all the packaging material that we used, the perforated polyethylene film bags are strongly recommended for retaining the flavor of sweet basil during storage. In future, more suitable perforation conditions can be determined for improved, modified storage atmosphere.

(Received Aug. 18, 2011 ; Accepted Jun. 27, 2012)

Key words : sweet basil, fresh herbs, flavor, storage, package

スイートバジル, 生鮮ハーブ類, 香気, 貯蔵, 包装

スイートバジル (*Ocimum basilicum* L.) は, フレッシュハーブの中でも人気が高く, パスタやサラダなどの料理に利用される。ハーブは香りの良さに加えて, 抗酸化性や抗菌作用などの機能性成分の含有量が高い¹⁾ ことでも注目されている食材である。

青果物の品質を収穫後も維持するためには, 温度と周辺のガス環境を適切に保つことが必要である。しかし, 青果物によって最適な環境が異なるため, 様々な性質のフィルムを包装資材に用いて品質の維持に努めている。スイートバジルは葉菜であるためしおれやすく, かつ低温障害を受けやすいため²⁾, いかに新鮮さを維持したまま流通させるかが重要となっている。さらにスイートバジルでは, 新鮮さに加えてその特徴である香りの強さと機能性を保持させることも重要である。現在, フレッシュハーブの包装容器には外観品質の維持を目的とした微細孔フィルムをはじめ, さまざまな材質のものが使用されている³⁾。しかし, フレッシュハーブの香りを高く維持する包装方法を検討する研究はこれまでに行われて

いない。微細孔包装資材のひとつであるPプラス(住友ベークライト社)を用いてルッコラやスイートバジルなどのフレッシュハーブを貯蔵した場合, 貯蔵期間が従来資材によるオープン包装よりも延長したとの報告がある⁴⁾。しかし, この場合の調査項目は外観品質のみであり, 香気や抗酸化性などについての測定は行われていない。

そこで本試験では, フレッシュハーブの流通中の香気維持方法の知見を得るために, 4種の包装による収穫後のスイートバジルの香気の変化について調査した。

実験方法

1. 実験材料

人工光ファイトトロンで栽培したスイートバジルを用いた。栽培条件は昼温/夜温が30/25°C, 12時間日長, 光量400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とした。開花前の上位節を本葉8枚のついた茎ごと採取して, 新鮮重を測定した後にただちに実験材料とした。

* 〒243-0034 神奈川県厚木市船子1737

§ Corresponding author, E-mail: a3noguch@nodai.ac.jp

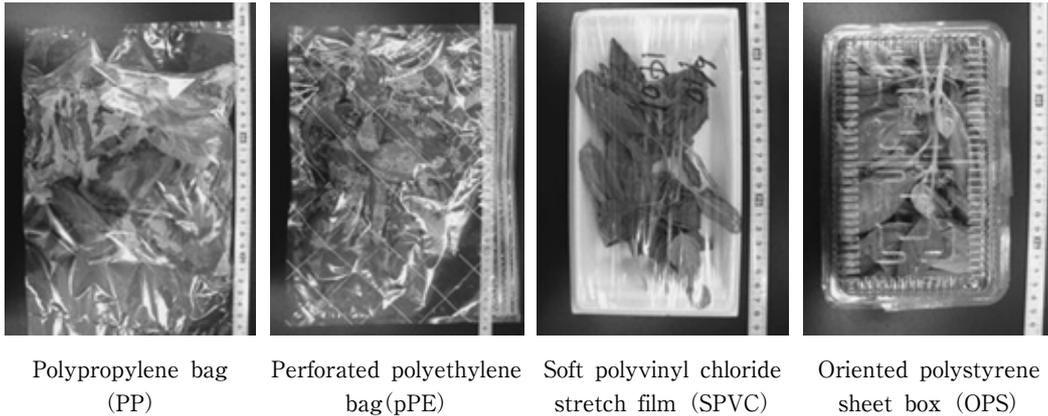


Fig. 1 Packaging of materials used in this experiment

2. 方 法

(1) 貯蔵方法 包装容器には、①無孔ポリプロピレン袋（以下PPと表記。0.03mm厚・大きさ120×230mm）、②微細孔ポリエチレン袋（以下pPEと表記。0.05mm厚・大きさ180×220mm・微細孔サイズφ0.10mm、孔数1個）、③ポリ塩化ビニル樹脂ストレッチフィルム（以下SPVCと表記。0.011mm厚）、④ポリスチレン樹脂ケース（以下OPSと表記。大きさ190×127×42mm蓋つき）を用いた。それぞれの包装材で収穫後のスイートバジル4本（約20g）を貯蔵した。①・②は袋口を密閉、③は発泡ポリスチレントレー（大きさ200×110mm）にスイートバジルを載せて密封するように包装し、④は蓋をセロハンテープで閉じた（Fig.1）。これらを5℃および20℃のインキュベーターで3, 7, 14日間貯蔵した後に香気成分の分析の材料とした。

(2) 香気成分分析 香気成分をGC（shimadzuGC-9A CROMATOPAC C-R4A カラム Carbowax20M FID キャリアガスHe）で測定した。およそ3gの生葉と直径10mmのガラスビーズ20mlを容量160mlのガラス濾過瓶に入れ、ゴム栓で密閉した後、室温下で毎分160往復15分間の往復振盪機にかけて葉を潰して香気を生成させた。瓶内のヘッドスペースガスをガスタイトシリンジで1ml抜き取り、ガスクロマトグラフで分析した⁴⁾。得られた香気量はガスクロマトグラムの総面積の大きさで評価した。

(3) 官能検査 スイートバジルの外観の新鮮さと香りの強さについて官能検査を行った。収穫当日を最高値8、商品価値がないと判断した場合を0とする9段階の尺度で評価した。パネルは東京農業大学農学部農学科園芸環境システム学研究室の学生17人で構成した。

(4) アスコルビン酸含有量 生葉およそ5gに5%メタリン酸を加えて乳鉢中で磨砕した後、メスフラスコに定容した。これをろ過して得られた抽出液を用いて、ヒドラジン法（衛生試験法準拠）で測定した。

(5) 総フェノール量 生葉およそ1gに10倍量の80%メタノールを加えホモジナイズした後、ろ過して得

られた抽出液を用いて、フォリン-チオカルト法⁵⁾で測定した。

実験結果

新鮮重は、PPとpPEでは貯蔵14日目でも貯蔵前重量の90%以上を保っていたが、OPSでは貯蔵3日で70%以下となり大きく減少した。SPVCとOPSでは新鮮重の減少率が大きかった。また、5℃の貯蔵では20℃よりも新鮮重が維持された（Fig.2）。

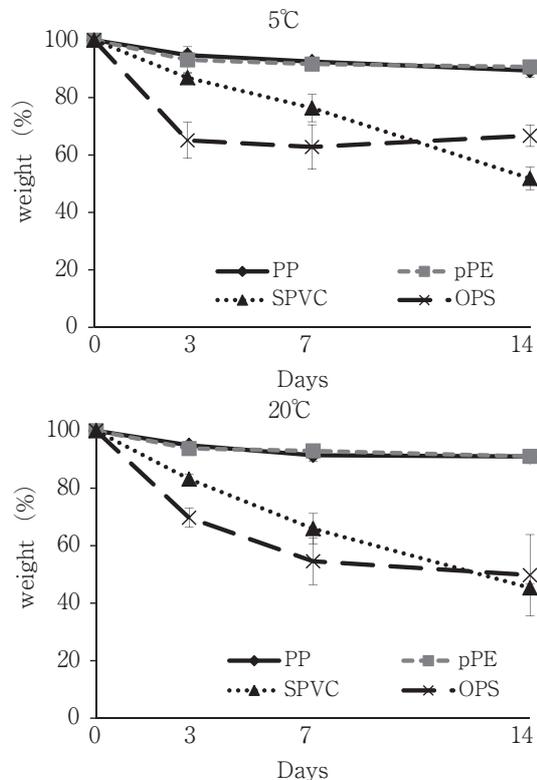


Fig. 2 Changes in the weight of the sweet basil packages

n=3. PP (◆) : Polypropylene bag, pPE (■) : Perforated polyethylene bag, SPVC (▲) : Soft polyvinyl chloride stretch film, OPS (×) : Oriented polystyrene sheet box.

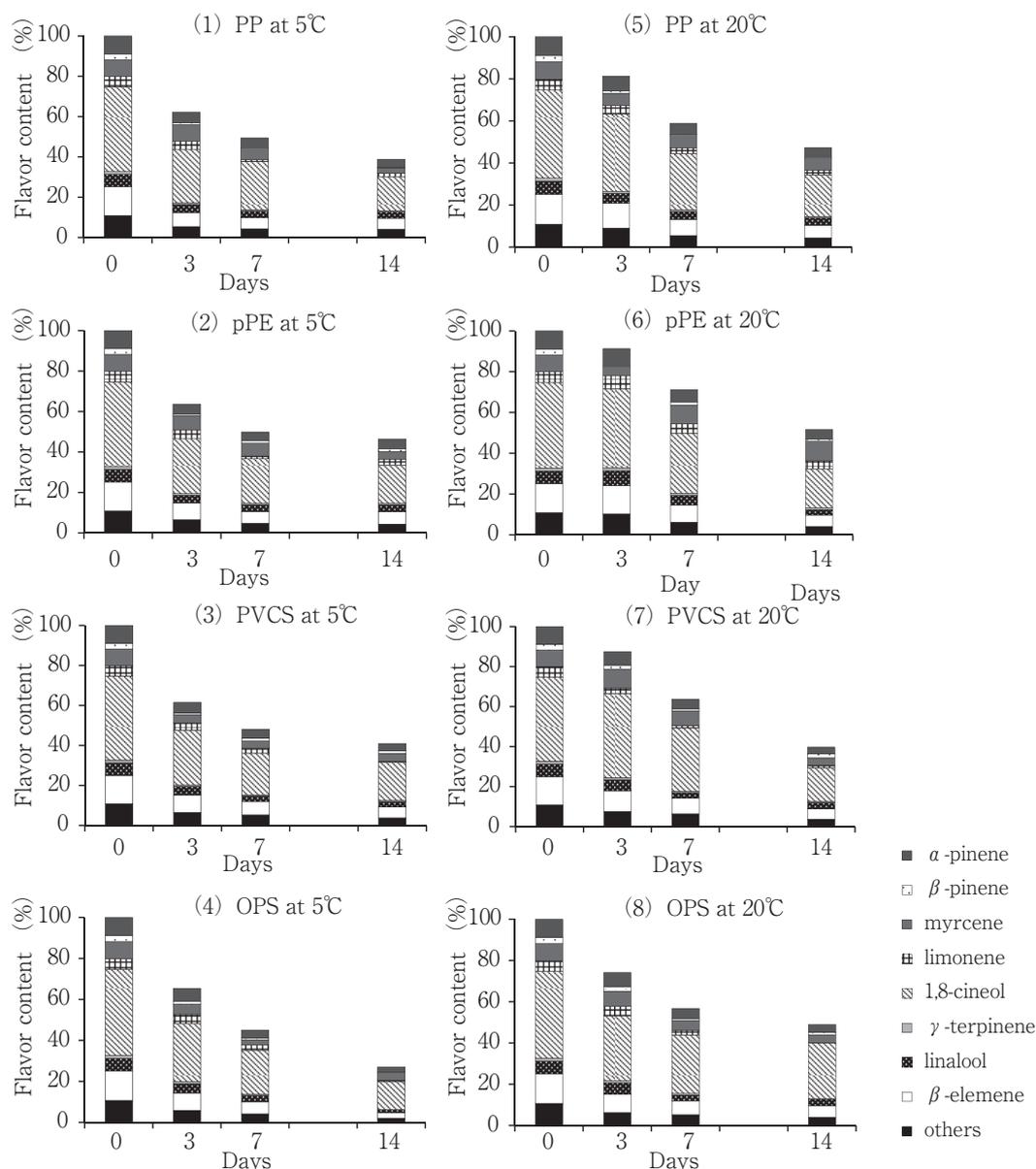


Fig. 3 Changes in the flavor content and components of sweet basil

n=6. (1) Polypropylene bag stored at 5°C, (2) Perforated polyethylene bag stored at 5°C, (3) Soft polyvinyl chloride stretch film stored at 5°C, (4) Oriented polystyrene sheet box stored at 5°C, (5) Polypropylene bag stored at 20°C, (6) Perforated polyethylene bag stored at 20°C, (7) Soft polyvinyl chloride stretch film stored at 20°C, (8) Oriented polystyrene sheet box stored at 20°C.

ガスクロマトグラフィーで測定した香気量は、いずれの試験区でも貯蔵日数の経過に伴い減少した。もっとも多く香気を保持したのは20°C貯蔵のpPEであった。5°Cよりも20°C貯蔵で保存される香気総量が高くなる傾向がみられたが、分散分析で検定した結果、包装による有意差はみられなかった (Fig. 3)。香気の主成分はいずれの試験区でも1,8-cineolであった。また、測定した香気成分のすべてが貯蔵に伴い減少し、pPEでは貯蔵に伴い香気全体に占める1,8-cineolの割合が低下していった。

官能検査のうち外観の新鮮さでは、PPおよびpPEでの評価が良好であった。OPSでは貯蔵3日目にはスコアが4以下となり、評価が非常に低くなった (Fig. 4)。5°C

ではいずれの包装資材でも、貯蔵3日目に低温障害の発生を確認した。頂芽や葉縁部に褐変がみられ、貯蔵期間が長くなるほど葉身の褐変部分の面積が増加した。また、香気の官能検査ではPPの評価が最も高かったが、いずれの包装資材でも貯蔵日数の経過に伴ってスコアが低下した。OPSでは、外観の評価と同様に3日目にスコアが大きく低下した (Fig. 5)。

アスコルビン酸含有量は、5°C貯蔵のOPSで最も高く保持された。SPVCでは貯蔵7日目でも貯蔵開始前の70%のアスコルビン酸を保持していた。その他の区では、貯蔵日数の経過に伴い含有量が低下し、7日までに貯蔵開始前のおよそ半分となった (Fig. 6)。総フェノール量

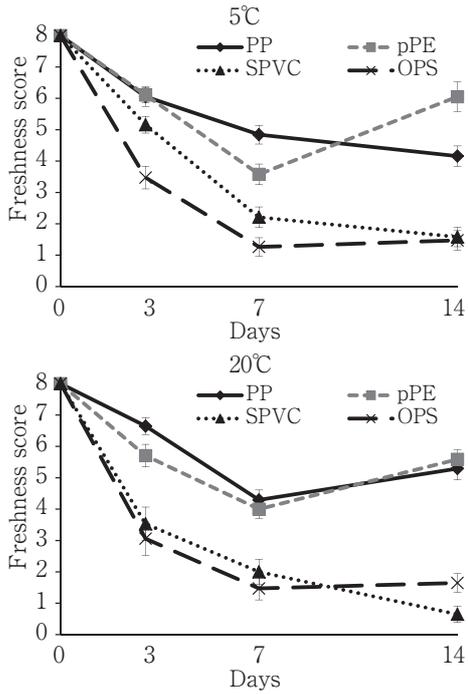


Fig. 4 Result of the sensory analysis showing changes in the freshness score of sweet basil packages

Freshness scores : 8, freshness at harvest and 0, no freshness; n = 17. PP (◆) : Polypropylene bag, pPE (■) : Perforated polyethylene bag, SPVC (▲) : Soft polyvinyl chloride stretch film, OPS (×) : Oriented polystyrene sheet box.

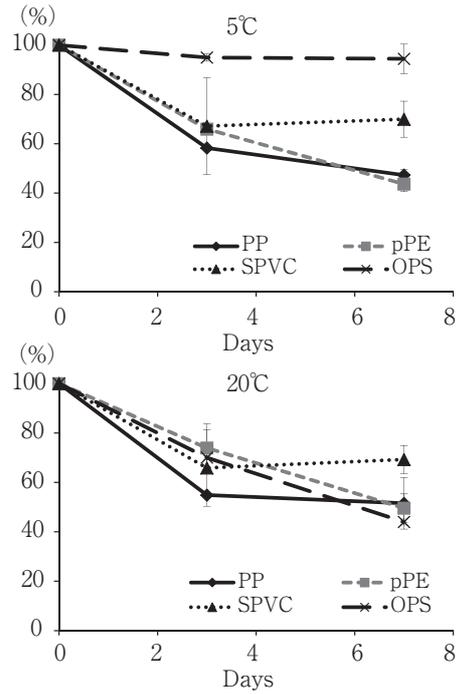


Fig. 6 Changes in the ascorbic acid content of the sweet basil packages

n = 3. PP (◆) : Polypropylene bag, pPE (■) : Perforated polyethylene bag, SPVC (▲) : Soft polyvinyl chloride stretch film, OPS (×) : Oriented polystyrene sheet box.

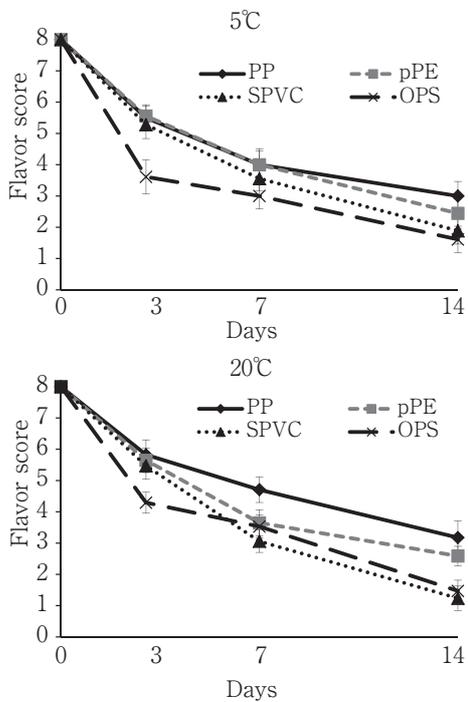


Fig. 5 Result of the sensory analysis showing changes in the flavor score of the sweet basil packages

Flavor scores : 8, fragrant harvest and 0, no scent; n = 17. PP (◆) : Polypropylene bag, pPE (■) : Perforated polyethylene bag, SPVC (▲) : Soft polyvinyl chloride stretch film, OPS (×) : Oriented polystyrene sheet box.

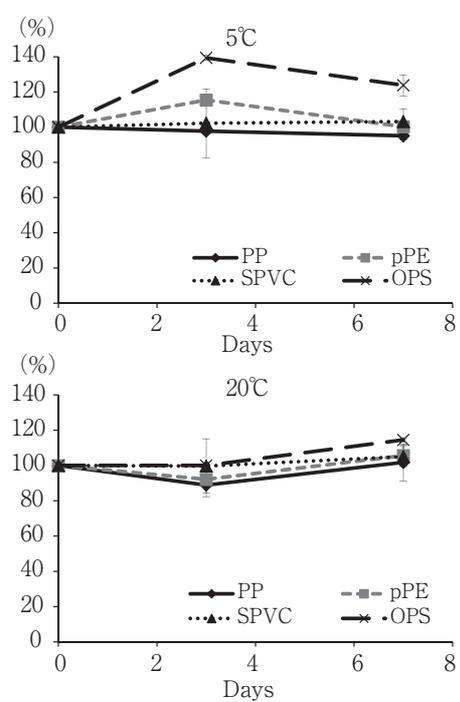


Fig. 7 Changes in the total phenol content of the sweet basil packages

n = 3. PP (◆) : Polypropylene bag, pPE (■) : Perforated polyethylene bag, SPVC (▲) : Soft polyvinyl chloride stretch film, OPS (×) : Oriented polystyrene sheet box.

は、OPSで最も高かった。5℃貯蔵ではすべての包装で貯蔵3日に増加した後、減少に転じる傾向がみられた。20℃貯蔵では貯蔵日数の経過に伴い、微増する傾向がみられた (Fig.7)。

新鮮重と香気量はpPEで最も多く保持されたが、香気量には包装方法による有意差はみられなかった。官能評価は、外観と香気いずれもPPの評価が高かった。アスコルビン酸含有量と総フェノール量は、5℃のOPSで最も高くなった。

考 察

スイートバジルの貯蔵中における包装と温度の違いによる香気の変化を調査した。本試験で用いた包装は4種類で、それぞれの素材の特性⁶⁾は、①PP：ガス透過性が高く、水蒸気透過性が低い・安価で軽い、②PE：ガス透過性が非常に高く、水蒸気透過性が低い・加工適性が高く機能性フィルムのベース素材とされることが多い、③SPVC：ガス透過性と水蒸気透過性が高い・フィルム加工してラップとして用いられることが多い・熱に弱い、④OPS：ガス透過性のうち特に酸素透過性が高く、水蒸気透過性が高い・透明性と剛性が高く容器に加工して使用される、である。

PPとpPEでは貯蔵中の外観がよく、香気も保持されていた。これは容器を密封したことにより、水分と香気が保持されたことが原因と思われる。官能検査による香気の評価はPPが高かったが、ガスクロマトグラフィーで測定した香気生成量はpPEが最も高くなり官能検査と一致しなかった。スイートバジルの香気の主成分は1,8-cineolやLinaloolであるが、貯蔵3日目以降のpPEでは香気中における1,8-cineolの割合が次第に減少している。1,8-cineolやLinaloolは今回測定した成分の中では閾値⁷⁾が小さいものではあるが、スイートバジル香気の官能主成分はMethylchavicolや1-octen-3-olであるとの報告⁸⁾もある。後藤ら⁹⁾は、バジルをポリエチレン袋で20℃6日間貯蔵すると官能検査のスコアが貯蔵前の半分になったと、本試験と同様の結果を報告している。一方、シソでは無孔ポリエチレン袋10日10℃貯蔵での官能検査による香気の減少はわずかであり¹⁰⁾、また、ミントのポリエチレン袋による2℃貯蔵では香気の評価スコアの半減まで15日を要している¹¹⁾。同じシソ科のフレッシュハーブ、同じ包装容器でも、官能検査による貯蔵後の香気の評価は違いが大きい。香気は多数の成分により構成され、また成分により閾値が異なる。本試験でも閾値の異なる成分それぞれの量が貯蔵により変動したため、香気生成量の減少と官能評価の変化が一致していない。このことから、香気評価では特定の成分の定量だけではなくGC-Oや官能検査による品質の確認も行うべきである。香気はおいしさの要素のひとつであるため、包装によって香気を維持し劣化変質を防ぐことが重要である。特に香りを大切にスパイスやコーヒーなどでは、揮発性成分

の透過や吸着が少ないプラスチックフィルムが容器に使用されている。本試験で香気が高く維持されていたPPとPEは保香性が低いとされている資材である⁶⁾。しかし、スイートバジルをはじめとするフレッシュハーブは植物体そのものが香気を発するのではなく、物理的刺激により香気を生成する。このため包装資材による吸着や透過などの影響が小さく、フレッシュハーブの香気保持を目的とした包装資材にPPやPEを使用できる可能性が示された。

スイートバジルの貯蔵による香気の変化は貯蔵温度の影響を受け、低温では香気生成量が少なくなった。これは低温貯蔵したサンプルをただちに振盪処理して香気を生成させたため、20℃のものよりも香気成分が揮発しにくかったためと考えられる。香気以外のスイートバジルの品質として、機能性の高さ¹⁾があげられる。機能性成分として作用するアスコルビン酸や総フェノール量は香気と異なり5℃の貯蔵で高くなる傾向がみられ、特に5℃のOPSでは貯蔵中の水分の減少などを考慮しても非常に高く保持された。しかし、スイートバジルは5℃以下の貯蔵で低温障害を発生し²⁾、本試験でも5℃貯蔵3日目に障害の発生を確認している。機能性が高く保持されても、外観品質が著しく低下しているものは商品にできない。スイートバジルでは外観と機能性成分の含有量が一致していなかったことから、貯蔵による機能性の変化についても確認する必要がある。

本試験で調査した包装と温度では、香気と機能性を同時に最適に保持する条件をみつけることはできなかった。青果物は品目によって最適貯蔵条件が異なる¹²⁾。そのため包装容器に孔をあけ、孔の大きさや数を調整して、それぞれに最適なガス環境を実現するMA包装技術の開発がすすめられている。しかし、最適なMA包装を行うには、対象となる青果物の呼吸や包装内ガス組成などのデータと、鮮度や品質の評価方法の検討が必要となる。フレッシュハーブの香気と品質の双方を高く維持する包装条件を明らかにするために、本試験のデータを基に包装内ガス環境などを詳細に検討することが必要である。

要 約

スイートバジルの貯蔵中における香気の変化を4種の包装方法で調査した。重量と外観は微細孔ポリエチレン袋でもっとも多く保たれたが、香気は総生成量と主成分の1,8-cineolはどの包装方法でも大きく減少した。官能検査による香気の評価は微細孔ポリエチレン袋がもっとも高かった。アスコルビン酸含有量と総フェノール量の最適貯蔵条件は5℃のOPSケースであったが、低温障害が発生した。本試験で検討した包装方法では、外観と香気・機能性成分を同時に最適に保持することができなかった。今後は微細孔ポリエチレン袋のガス交換条件や貯蔵温度など、フレッシュハーブの保存に最適な条件を詳細に検討する必要がある。

文 献

- 1) ZHENG, W. and WANG, S. Y.: Antioxidant Activity and Phenolic Compounds in Selected Herbs, *J. Agric. Food Chem.*, **49**, 5165~5170 (2001)
- 2) LANGE, D. D. and CAMERON, A. C.: Postharvest shelf life of sweet basil (*Ocimum basilicum*), *HortScience*, **29**, 102~103 (1994)
- 3) 中谷延二: スパイス・ハーブの機能と最新応用技術 (シーエムシー出版, 東京), pp.267~275 (2011)
- 4) 野口有里紗・市村匡史・池田富喜夫: ガラスビーズの振動処理で生じるスイートバジル葉の香気成分, *日食品保蔵誌*, **30**, 65~68 (2004)
- 5) LOWRY, O. H., ROSEBROUGH, N. J., LEWIS, F. A. and RANDALL, R. J.: Protein measurement with the folin phenol reagent, *J. Biol. Chem.*, **193**, 265~275 (1951)
- 6) 日本食品包装研究協会編: 最新食品用機能性包材の開発と応用 (シーエムシー出版, 東京), pp.91~99 (2006)
- 7) 吉儀英記: 香料入門 (フレグランスジャーナル社, 東京), pp.472~482 (2002)
- 8) SHEEN, L. Y., OU, Y. H. T. and TSAI, S. J.: Flavor characteristic compounds found in the essential oil of *Ocimum basilicum* L. with sensory evaluation and statistical analysis, *J. Agric. Food Chem.*, **39**, 939~943 (1991)
- 9) 後藤昌弘・村山 讓・山田喜八: スイートバジル, パープルバジルの品質保持, *日食保蔵誌*, **19**, 61~67 (1993)
- 10) 寺井弘文・土田広信・水野雅史: 香辛野菜の青ジソと花ミョウガの品質保持, *日食保蔵誌*, **18**, 105~111 (1992)
- 11) 後藤昌弘・村山 讓・山田喜八: 生鮮香草の品質保持 (第1報) ミント類について, *日食保蔵誌*, **15**, 10~17 (1989)
- 12) KADER, A. A.: Postharvest technology of horticultural crops (University of California, Agriculture and Natural Resources Communications Services—Publications, Oakland) (2002)
(平成23年8月18日受付, 平成24年6月27日受理)

水耕栽培における尿素態窒素およびアンモニア態窒素施用が ミツバ (*Cryptotaenia japonica* Hassk) の収量 および硝酸イオンに及ぼす影響

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

* 1 地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所

* 2 エスペックミック(株)

* 3 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科

Effect of Urea and Ammonium Nitrogen Application on the Yield and Nitrate Ion Concentration of Hydroponically Grown Japanese Hornwort (*Cryptotaenia japonica* Hassk)

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

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

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

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

The aim of this study was to examine the effect of urea nitrogen or ammonium nitrogen application on the nitrate ion concentration, product quality, yield of Japanese hornwort plants grown by deep-flow hydroponics. It is known that nitrate ions are one of the causes of high blood methemoglobin levels in humans. The growth of Japanese hornworts cultured with urea nitrogen or ammonium nitrogen was delayed compared with the growth obtained using a standard chemical fertilizer (90% nitrate nitrogen and 10% ammonia nitrogen). The nitrate ion concentration of Japanese hornworts grown with urea nitrogen and with ammonium nitrogen decreased by 20% and 80~90%, respectively, compared with those grown with the standard chemical fertilizer. There was no difference in the quality of plants grown with urea nitrogen and the standard chemical fertilizer; however, the quality of Japanese hornworts grown with ammonium nitrogen was inferior to that of plants grown with other nitrogen sources. The total chlorophyll content increased and leaf color darkened in Japanese hornworts grown with urea nitrogen.

(Received Sep. 14, 2011; Accepted Jul. 23, 2012)

Key words : ammonium nitrogen, hydroponics, Japanese hornwort, leaf color, nitrate ion, urea nitrogen
アンモニア態窒素, 水耕栽培, ミツバ, 葉色, 硝酸イオン, 尿素態窒素

大阪府の農産物である「なにわ特産品」に認証されているミツバは、大阪府では泉州地域を中心に生産されており、平成22年度に全国第7位の出荷量と全国第8位の作付面積を誇っている¹⁾。また、生産者は、昭和40年代からミツバの水耕栽培に取り組み、現在、大阪府産ミツバの多くは湛液型水耕栽培（以下、水耕栽培）で生産さ

れている^{2),3)}。

しかし、水耕で栽培されるミツバには、約8,000ppmの高濃度の硝酸イオンが存在すると報告されている⁴⁾。人が摂取する硝酸イオンは野菜に由来することや多量摂取によりメトヘモグロビン血症や生殖機能障害などの原因になると報告されている^{5),6)}。現在、FAO・WHO合同

* 1 〒583-0862 大阪府羽曳野市尺度442

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

* 2 〒572-0039 大阪府寝屋川市池田3-11-17

* 3 〒599-8531 大阪府堺市中区学園町1-1

食品添加物専門家会合では、硝酸イオンの1日の耐容摂取量を体重1kg当たり0~3.7mgとしている⁷⁾。このことから、体重60kgの人では、硝酸イオン濃度の1日の耐容摂取量は約220mgである。その場合、上記のミツバを約27g食すると1日の耐容摂取量に相当する。そこで、ミツバに存在する硝酸イオンを低減する栽培技術の確立が求められている。

筆者らは、ミツバ水耕栽培において、これまでに化学肥料の代わりに有機質肥料を施用するとミツバ中の硝酸イオンを低減できることを明らかにした⁸⁾。また、三代らは、尿素複合ペースト肥料を使用してホウレンソウを栽培するとホウレンソウ中の硝酸イオンを低減できると報告している⁹⁾。

そこで、本研究では、ミツバ水耕栽培において、窒素源として硝酸態窒素の代わりに尿素態窒素とアンモニア態窒素を施用すると、ミツバの収量と硝酸イオンにどのような影響を及ぼすかを検討した。

実験材料および実験方法

1. 栽培概要

2009年12月3日に300ブロックのウレタンマット2枚にミツバ‘白茎三ツ葉’（タキイ種苗）を1ブロックあたり20粒程度となるよう播種した。播種後、人工気象器（エスベックミック（株）製人工光型育苗装置6型）（気温：25℃、日長：12時間、光量子束密度：約170 μ mol/m²/s）内で育苗し、同年12月28日に1試験区あたり62株ずつ定植し水耕栽培を行った。栽培槽は、容量75 ℓ の樹脂製容器を使用し、栽培槽とその下部に設けた貯水槽の間をポンプにより常時循環し、栽培槽中の溶存酸素を維持する構造とした。なお、栽培槽と貯水槽の水量と合わせると、試験区の水量は110 ℓ であった。

栽培は、90%の硝酸態窒素と10%のアンモニア態窒素を含む市販されている慣行の化学肥料を施用した対照区と、対照区の窒素等量の半分を尿素態窒素（尿素、和光純薬工業（株））で施用した尿素施用区と、対照区の窒素等量の半分をアンモニア態窒素（硫酸アンモニウム、和光純薬工業（株））で施用したアンモニア施用区の3試験区で行った。なお、キャベツ、インゲン、トマト、タマネギ、カブおよびホウレンソウにおいてアンモニア態窒素のみで養液栽培を行うと、慣行栽培の10分の1以下の収量しか得ることができないとの報告があったため¹⁰⁾、全量を尿素態窒素およびアンモニア態窒素に置き換えるのではなく、50%のアンモニア態窒素と50%の硝酸態窒素で栽培を行うと、収量が約8割以上維持されたと報告があったため¹⁰⁾、本試験でも窒素施用量の半量を尿素態窒素およびアンモニア態窒素に置き換えて栽培を行った。対照区は、養液栽培用の化学肥料である大塚ハウス1号・2号（大塚アグリテクノ（株））を大塚A処方¹¹⁾の1単位（EC約2.4mS/cm）（N260ppm,P120ppm,K405ppm）で施用した。なお、各試験区の全窒素施用量は同量になるように

施用した。

栽培期間中は、ミツバの生育調査および培養液のECとpHならびに無機窒素濃度（調査項目：硝酸態窒素濃度・亜硝酸態窒素濃度・アンモニア態窒素濃度）を定期的に測定した。なお、対照区は2010年3月2日に販売規格に達し収穫したのに対し、尿素施用区は対照区より9日遅れた2010年3月11日に販売規格に達し収穫した。また、アンモニア施用区は草丈の伸長が著しく遅延し、販売規格に達しなかったため、尿素施用区と同日に収穫した。ゆえに、全試験区の栽培終了日は2010年3月11日である。

2. 収量調査および内容成分測定

莖長が販売規格である約25~30cmに達した時に収穫し、収量調査（調査項目：草丈・生体重・乾物重・水分含量・葉身のSPAD値）を行った。

また、収穫したミツバを葉身と葉柄に分け、それぞれを細かく刻み、ミツバの内容成分（クロロフィル含量・硝酸イオン濃度）の測定に供した。それぞれに蒸留水を加えて希釈し、ホモジナイザー（PRO Scientific Inc. 製PRO 200 Homogenizer）で粉碎後、小型反射式光度計（Merck社製RQフレックス）で、各部位に含まれる硝酸イオン濃度を測定した¹²⁾。なお、ミツバ収穫物全体に含まれる硝酸イオン濃度についても測定を行った。また、それぞれにアセトンを加えて80%アセトン抽出を行い、ホモジナイザーで細かくすり潰した後、50mlに定容した。分光光度計で643nmと667nmの吸光度を測定し、Arnonの計算式によりクロロフィル含量を測定した¹³⁾。それぞれの測定は、3反復行った。

実験結果

1. 尿素およびアンモニア施用が培養液に含まれる窒素形態に及ぼす影響

本試験では、各試験区の全窒素施用量は同量になるように施用し、栽培期間中の全窒素施用量は約35gであった。

栽培期間中の全施用窒素量は水耕栽培の培養液中に含まれる硝酸態窒素濃度と亜硝酸態窒素濃度とアンモニア態窒素濃度の推移結果をFig. 1に示した。

硝酸態窒素濃度について、アンモニア施用区では対照区の半分の濃度で推移し、尿素施用区では栽培開始時は対照区の半分の濃度であったが、栽培5週目以降、対照区と同等であった。亜硝酸態窒素濃度について、アンモニア施用区では対照区同様に検出されず、尿素施用区では栽培2週目以降、30~40ppmを推移した。アンモニア態窒素濃度について、栽培期間中、20ppm以下を推移した対照区に比べ、尿素施用区では約50ppm、アンモニア施用区では約100ppmの高濃度で推移した。

したがって、慣行栽培に比べ、ミツバ水耕栽培で尿素態窒素を施用すると亜硝酸態窒素やアンモニア態窒素が、アンモニア態窒素を施用するとアンモニア態窒素が高濃

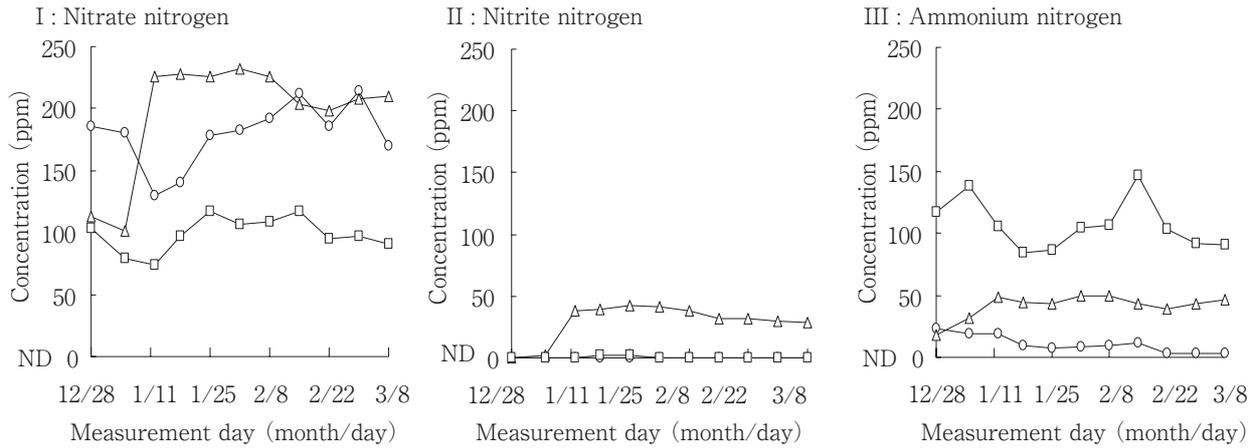


Fig. 1 Changes in nitrate (I), nitrite (II), and ammonium (III) nitrogen concentrations of the hydroponic solution during the cultivation period

○ : Control, △ : Urea, □ : Ammonium

度で培養液に含まれていた。

2. 尿素およびアンモニア施用がミツバの草丈および収量に及ぼす影響

栽培期間中のミツバの草丈の変化についてFig. 2に示した。3試験区とも栽培開始時から栽培4週目までは同様に草丈は伸長していたが、その後、尿素施用区とアンモニア施用区の草丈の伸長が対照区に比べ遅延した。

対照区と尿素施用区の収穫物の様子をFig. 3に、収穫物の収量調査結果をTable 1に示した。なお、この調査は、尿素施用区およびアンモニア施用区は収穫日の3月11日に、対照区は収穫日の3月2日に行った。尿素施用区の草丈と生体重、乾物重、水分含量は、対照区と同等であった。根長について、尿素施用区で著しく低かったのは、栽培期間中に培養液中のアンモニア態窒素と亜硝酸態窒素が高濃度になったことによる根部の生育障害が起きたと考えられた。収穫物の外観品質は、根部を除き、尿素区は対照区と同等であった (Fig. 3)。しかし、アンモニア施用区は、全項目で対照区に劣っていた。また、葉身のSPAD値は、アンモニア施用区で約32、対照区で約41だったのに対して尿素施用区は約46で高かった。

したがって、ミツバ水耕栽培で硝酸態窒素の代わりに一部を尿素態窒素およびアンモニア態窒素で施用すると、ミツバの草丈の伸長は遅延したが、尿素態窒素を施用するとミツバの商品価値に重要な品質である葉色が濃くなった。

3. 尿素およびアンモニア施用がミツバに含まれる内容成分含量に及ぼす影響

ミツバの葉身に含まれるクロロフィル含量の測定結果をFig. 4に示した。クロロフィルa含量は、尿素施用区が約195mg/100 g FWであり、約175mg/100 g FW含まれる対照区に比べ約1割増加した。また、アンモニア施用区では約50mg/100 g FWであり、対照区に比べ約7割低下した。クロロフィルb含量は、尿素施用区が約80mg/100 g FWであり、約72mg/100 g FW含まれる対照区に比

べ約1割増加した。また、アンモニア施用区では約20mg/100 g FWであり、対照区に比べ約7割低下した。これらにより、全クロロフィル含量は、対照区に比べ、尿素施用区は約1割増加した。

ミツバの葉身、葉柄および収穫物全体に含まれる硝酸イオン濃度の測定結果をFig. 5に示した。葉身中の硝酸イオン濃度は、尿素施用区が約1,700ppmであり、約2,200ppm含まれる対照区に比べ約2割低下した。アンモニア施用区では約420ppmであり、対照区に比べ約8割低下した。また、葉柄中の硝酸イオン濃度は、尿素施用区が約3,500ppmであり、約4,300ppm含まれる対照区に比べ、葉身と同様に約2割低下した。また、アンモニア施用区では約520ppmであり、対照区に比べ約9割低下した。なお、ミツバ収穫物全体に含まれる硝酸イオン濃度は、約3,700ppm含まれる対照区に比べ、尿素施用区では約2,900ppmで約2割、アンモニア施用区では約500ppmで

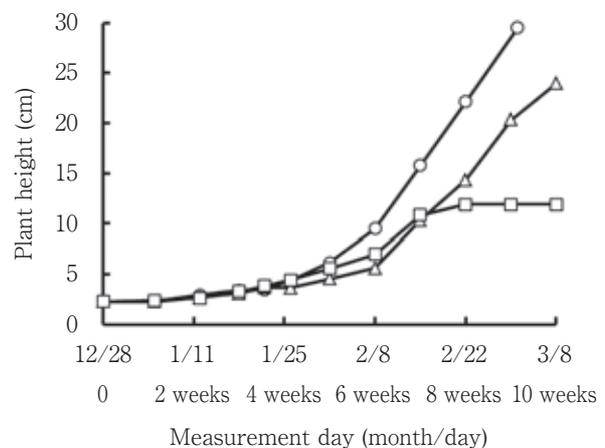


Fig. 2 Changes in the height of Japanese hornwort plants during the cultivation period

Values are the means of three replicates and bars represent the S.E.

○ : Control, △ : Urea, □ : Ammonium

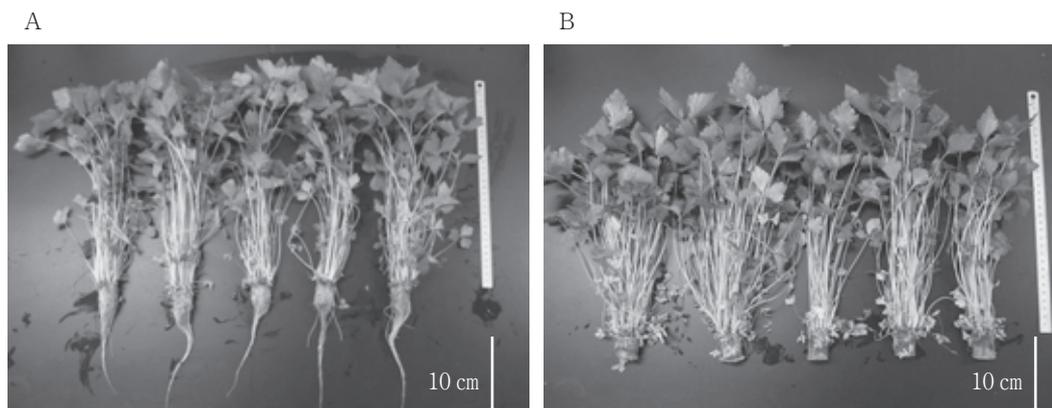


Fig. 3 Effect of urea and ammonium nitrogen application on the quality of Japanese hornwort

A: Control, B: Urea

Table 1 Effect of urea and ammonium nitrogen application on the growth and yield of Japanese hornwort

Application method	Plant height (cm)	Root length (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Water content (%)	SPAD
Control	29.5 a ^z	19.1 a	42.0 a	3.07 a	92.7 a	40.9 b
Urea	28.1 a	2.8 b	41.0 a	2.80 a	92.3 a	46.1 a
Ammonium	11.9 b	4.3 b	9.3 b	0.23 a	92.5 a	31.7 c

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

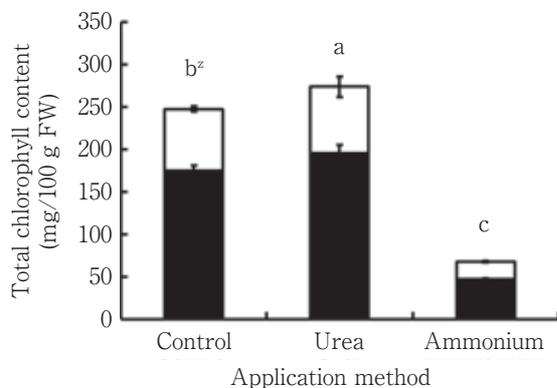


Fig. 4 Effect of urea and ammonium nitrogen application on the total chlorophyll content of Japanese hornwort

Values are the means of three replicates and bars represent the S.E.

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

■: Chlorophyll a, □: Chlorophyll b

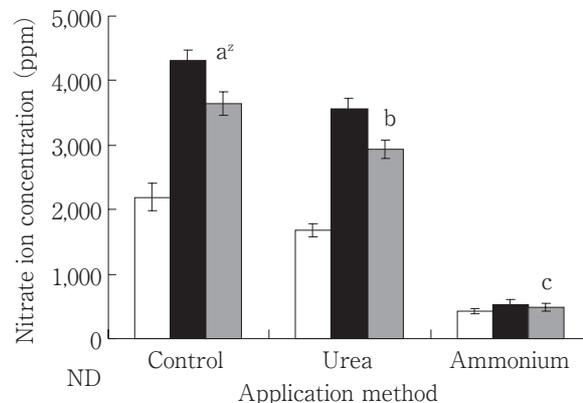


Fig. 5 Effect of urea and ammonium nitrogen application on the nitrate ion concentration of Japanese hornwort

Values are the means of three replicates and bars represent the S.E.

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

□: Leaf, ■: Petiole, ▒: Leaf and petiole

約9割低下した。

考 察

本研究では、ミツバ水耕栽培において、硝酸態窒素の一部を尿素態窒素やアンモニア態窒素で施用すると、ミツバ中の硝酸態窒素が低減することが明らかになった。

IKEDAらは、トマトの水耕栽培において尿素態窒素を施用すると、硝酸態窒素やアンモニア態窒素を施用するより収穫物に含まれる全窒素量が低下したと報告している¹⁴⁾。また、ホウレンソウの水耕栽培において、供給される硝酸態窒素が少なくアンモニア態窒素が多い場合、植物体はアンモニア態窒素を多く吸収することが報告さ

れている¹⁵⁾。尿素は培養液に溶解すると、硝化菌の働きによりアンモニア態窒素に変化し、その後、亜硝酸態窒素に変化し、最終的には、硝酸態窒素となる¹⁶⁾。これらのことから、ミツバ水耕栽培において、尿素態窒素やアンモニア態窒素を施用すると、培養液中に硝酸態窒素のほかに、アンモニア態窒素や亜硝酸態窒素が存在するため、植物が必要としている窒素を硝酸態窒素以外のこれらの窒素形態で吸収することができ、収穫物に蓄積する硝酸イオンが低減したと考えられた。なお、本研究において、尿素施用区で栽培期間中に硝酸態窒素濃度が高くなったのは、栽培初期からの草丈の伸長の遅延により硝酸態窒素の吸収量が低かったためと考えられた。また、植物は硝酸態窒素を有機態窒素化合物へ同化するとの報告がある¹⁷⁾。この過程について、まず、植物は硝酸態窒素を亜硝酸態窒素に還元して、次に、亜硝酸態窒素をアンモニア態窒素に還元し、最終的に、アンモニア態窒素を有機態窒素化合物へ同化する¹⁸⁾。本試験の対象作物であるミツバは好アンモニア性植物であり、他の好硝酸性植物より水耕栽培における培養液のアンモニア態窒素を吸収することができる¹⁹⁾と報告されている。本試験の培養液中のアンモニア態窒素について、アンモニア施用区では約100ppmで、約50ppmであった尿素施用区の2倍の濃度であった。アンモニア施用区では、著しく高濃度でアンモニア態窒素を含有したため、収穫物中の硝酸イオンは低減したが、根部の生育障害が起き窒素成分を吸収することができず、生育が止まり葉色も慣行栽培に劣ったと考えられた。しかし、尿素施用区では、培養液中のアンモニア態窒素濃度が約50ppmで、アンモニア施用区より低く対照区より高いため、収穫物中の硝酸イオンが低減し、収穫物の葉色は濃かった (Fig. 1-III)。これは、水耕栽培において有機態窒素の一種である尿素態窒素を施用して栽培すると、植物体内での有機態窒素化合物やタンパク質への同化が効率良く進み、構造中に窒素を含む有機化合物であるクロロフィルの合成が効率良く進むことで、葉緑素量 (SPAD値) が指標となる作物の葉色は濃くなるという報告があり^{20), 21)}、本研究でも同様の結果であった。

したがって、ミツバ水耕栽培において、硝酸態窒素の代わりに一部を尿素態窒素やアンモニア態窒素で施用すると、ミツバ中の硝酸イオンを低減できる可能性が示唆された。また、培養液中のアンモニア態窒素濃度が、ミツバの生育や葉色に大きく影響を及ぼすことが明らかになった。

要 約

水耕栽培のミツバには硝酸態窒素が多く含まれており、メトヘモグロビン血症の原因の一つと報告されている硝酸態窒素の低減化が求められている。そこで、本研究では、ミツバの湛液型水耕栽培 (以下、水耕栽培) において、尿素態窒素施用やアンモニア態窒素がミツバの収量

および品質に及ぼす影響を検討するとともに、ミツバ中の硝酸態窒素の低減効果を明らかにした。

ミツバ水耕栽培において、慣行化学肥料 (90%の硝酸態窒素と10%アンモニア態窒素) を施用した対照区と、対照区の窒素等量の半分を尿素態窒素で施用した尿素施用区と、対照区の窒素等量の半分をアンモニア態窒素で施用したアンモニア施用区の3試験区を設け栽培を行った。

アンモニア態窒素を施用すると、慣行化学肥料を施用した収穫物より、硝酸イオンを約8~9割低減したが、品質は悪かった。しかし、尿素態窒素を施用すると慣行化学肥料を施用した収穫物と同等の外観品質であり、ミツバ中のクロロフィル含量が高く葉色が濃くなるとともに、硝酸イオン濃度を約2割低下することができた。

したがって、ミツバ水耕栽培において、硝酸態窒素の代わりに一部を尿素態窒素やアンモニア態窒素で施用すると、ミツバ中の硝酸イオンを低減できる可能性が示唆された。また、培養液中のアンモニア態窒素濃度が、ミツバの生育や葉色に大きく影響を及ぼすことが明らかになった。

文 献

- 1) 農水省統計部：平成22年産秋冬野菜，指定野菜に準ずる野菜等の作付面積，収穫量及び出荷量 (農水省統計部，東京)，p. 65 (2011)
- 2) 泉州農と緑の総合事務所：泉州の特産作物 (泉州農と緑の総合事務所，大阪)，pp. 21~22 (2002)
- 3) 山崎基嘉・瓜生恵理子・嘉悦佳子・瓦谷光男・根来淳一・西田真子：種子温湯処理方法の違いがミツバ種子の発芽率に及ぼす影響，大阪環農水研報，2，29~31 (2009)
- 4) 中原光久：ミツバ水耕栽培における液体ケイ酸カリ肥料の添加が生育及び硝酸イオン濃度に及ぼす影響，農業環境工学関連7学会合同大会講演要旨集，p. 964 (2005)
- 5) 孫 尚穆・米山忠克：野菜の硝酸：作物体の硝酸生理，集積，人の摂取，農及園，71，1179~1182 (1996)
- 6) 国包章一：硝酸性窒素および亜硝酸性窒素の健康影響，水環境学会誌，19，965~968 (1996)
- 7) EU Scientific Committee for Food : Opinion on nitrate and nitrite (Expressed on 22 September 1995), Annex 4 to document III/56/95, CS/CNTM/NO3/20-FINAL (1995)
- 8) 嘉悦佳子・森川信也・磯部武志・中村謙治・阿部一博：水耕栽培における施肥管理および栽培時期がミツバ (*Cryptotaenia japonica* Hassk.) の収量および品質に及ぼす影響，日食保蔵誌，37，217~225 (2011)
- 9) 三代恭広・太田勝巳・松本真悟：側条施肥栽培におけるペースト肥料の窒素組成の違いがホウレンソウの硝酸含量に及ぼす影響，土肥誌，76，849~857

- (2005)
- 10) 岩田正利・谷内武信：窒素形態の差異と蔬菜の生育，園学雑，**22**，183～192 (1953)
- 11) 池田英男：用水と培養液の調整，日本施設園芸協会編，最新養液栽培の手引き（誠文堂，東京）(1996)
- 12) 建部雅子：作物栄養診断のための小型反射式光度計システムによる硝酸及び還元型アスコルビン酸の簡易測定法，土肥誌，**66**，147～112 (1995)
- 13) ARNON, D. : Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*, *Plant Physiology*, **24**, 1～15 (1949)
- 14) IKEDA, H. and TAN, X. : Urea as an Organic Nitrogen Source for Hydroponically Grown Tomatoes in Comparison with Inorganic Nitrogen Sources, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **44**, 609～615 (1998)
- 15) 葭田隆治・有賀利光：作物における硝酸態窒素の吸収・同化とその制御1.有機質肥料と硝酸含量，日作記，**58**，76～77 (1989)
- 16) 岩田正利：窒素形態の差異と蔬菜の生育3，園学雑，**31**，39～52 (1962)
- 17) OAKS, A. : Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation, *Can. J. Bot.*, **72**, 739～750 (1994)
- 18) TAIZ, L. and ZEIGER, E. : *Plant Physiology* (Baifukan, Tokyo), p.279 (2004)
- 19) 池田英男・大沢孝也：NH₄NO₃をN源とした培養液からのそ菜のNO₃-N及びNH₄-Nの吸収特性ならびに培養液のpH変化，園学雑，**50**，225～230 (1981)
- 20) 森次益三・河崎利夫：作物の葉色に及ぼすアンモニア及び硝酸態窒素並びに培養液pHの影響，土肥誌要旨集，**28**，308 (1982)
- 21) WILLIAMS, P. E.V., INNES, G. V. and BREWER, A. : Ammonia treatment of straw via the hydrolysis of urea. I. Effects of dry matter and urea concentrations on the rate of hydrolysis of urea, *Anim. Feed Sci. Technol.*, **11**, 103～113 (1984)
- (平成23年9月14日受付，平成24年7月23日受理)
-

航空便と船便による果実輸出中に発生する衝撃比較

石川 豊^{*1§}・北澤裕明^{*1}・今野 勉^{*2†}

* 1 (独)農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所

* 2 山形県農業総合研究センター園芸試験場

† 現所属：山形県立農業大学校

Comparison of Shock during Fruit Export via Air and Marine Transportation

ISHIKAWA Yutaka^{*1§}, KITAZAWA Hiroaki^{*1} and KONNO Tsutomu^{*2†}

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

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

† *Yamagata Prefectural College of Agriculture*

Shock data were collected using accelerometers placed in corrugated fiberboard containers of apples, pears, and peaches transported from Japan to Taiwan, Hong Kong, and Thailand. Shock severity and frequency were higher during air transport than during marine transport. In air transport, the frequency of shock occurrence was highest during domestic and foreign truck transport, but highest shock acceleration was generated on loading and unloading at airports. In marine transport, shock severity and frequency were lower during ship transport than during truck transport. The frequency of shock occurrence was higher during foreign truck transport than during domestic truck transport, and the shock wave characteristics were different for foreign and domestic truck transport.

(Received Dec. 19, 2011 ; Accepted Apr. 18, 2012)

Key words : export, peach, quality, shock
輸出, モモ, 品質, 衝撃

近年, 世界的な日本食の広がりやアジア諸国等における経済発展に伴う富裕層の増加等により, 高品質な日本の農林水産物・食品の輸出は拡大傾向で推移してきた¹⁾。特に農産物については, 平成20年が2,437億円, 21年が2,646億円, 22年が2,865億円と確実に輸出額を伸ばしてきた²⁾。

農林水産省の輸出戦略の基本的な方針は, 既存の重点個別品目と重点国・地域に対して集中的に輸出対策を実施するという内容である。果実については, リンゴ, ナシ, モモ等が重点個別品目となっており, 台湾, 香港, タイ等が重点国として指定されている¹⁾。

これらの国への輸出では, 対象品目や輸送にかかる日数などの条件により航空便または船便が使われているが, 輸送中に発生する衝撃・振動等について詳細に比較した報告例は少ない³⁾。私たちは, すでにアウトウの航空便

による輸出行程における振動・衝撃を解析し, トラックと飛行機での振動と特性の違いや衝撃の発生頻度などについて報告した⁴⁾。そこで, 本研究では, まず重点個別品目であるリンゴ, ナシ, モモ等の果実を輸出重点国として指定されている台湾, 香港, タイ等へ航空便および船便を使って輸出する際に発生する衝撃について調査を行った。さらに, 同一条件のモモを全く同じ包装条件で梱包し, 同時に航空便と船便で香港まで輸送した際の衝撃発生について比較したので報告する。

実験方法

1. 各種輸送工程における衝撃発生状況の調査(実験1)
(1) 果実輸送スケジュール 2007年から2008年にかけて4回の輸送試験を行った。詳しくは以下のとおりとした。

* 1 〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

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

* 2 〒991-0043 山形県寒河江市大字島字島南423

† 〒996-0052 山形県新庄市大字角沢1366

1) **モモ航空便試験 (香港)**: 2007年9月3日午前中に山形県東根市にてモモの箱詰め作業を行い、一時施設内に保管された後、トラックにモモ段ボール箱を積載して19:40に現地を出発した。同4日9:00頃成田空港に到着、検疫・通関手続きをした後、飛行機に積み替えられ、21:30頃成田を離陸した。同5日2:50頃香港空港に到着、検疫・通関手続きをした後、7:00頃航空会社冷蔵庫に搬入された。同6日1:30頃トラックに積み替えられ調査施設に到着した。

2) **リンゴ船便試験 (台北)**: 2007年11月6日午前中に山形県東根市にてモモの箱詰め作業を行い、一時施設内に保管された後、16:00にリンゴ箱をトラックに積載し、山形県東根市を出発した。同7日9:00頃川崎港に到着、検疫・通関手続きをした後、低温倉庫にて一時保管された。同9日冷蔵コンテナ船に積載後、川崎港を出航した。同13日11:00頃台湾に到着、検疫・通関手続きをした後、再度低温倉庫内で保管された。同15日18:00頃トラックに積み替えられ、保管庫を出発、19:00頃に台北市内の百貨店冷蔵庫に搬入した。

3) **モモ航空便試験 (バンコク)**: 2008年9月1日午前中に山形県東根市にてモモの箱詰め作業を行い、これを運送会社に持ち込んだ後、トラックにモモ段ボール箱を積載して22:00に現地を出発した。同2日4:40頃羽田空港に到着し、輸出業者のトラックに積み替えて10:30に羽田を出発、12:30頃成田空港に到着した。検疫・通関手続きをした後、飛行機に積み替えられ、22:30頃成田を離陸した。同3日7:00頃タイ空港に到着、検疫・通関手続きをした後、19:00頃バンコク市内の百貨店冷蔵庫に搬入した。

4) **ナシ船便試験 (台北)**: 2008年9月18日午前中に佐賀県伊万里市にてナシの箱詰め作業を行い、ただちにナシをトラックに積載し、現地を出発した。同20日11:00頃東京大田市場に到着し、輸出業者の倉庫に保管された。検疫・通関手続きをした後、24日7:00頃から輸送用冷蔵コンテナに積載された後、26日2:00頃東京港を出航した。29日22:30頃台湾に到着、検疫・通関手続き

をした後、10月2日15:00頃トラックに積み替えられ、22:00頃に台北市内の輸入業者の冷蔵庫に搬入された。

(2) **衝撃加速度の計測方法** モモ、リンゴ、ナシ果実段ボール内から一部果実を取り除き、段ボール箱底面に輸送環境記録計 (Der-mini, 神栄テクノロジー, 寸法130×90×62mm, 重量約800g) を貼り付け (Fig.1), 輸送中の衝撃発生状況を調査した。記録計の設定条件は、フレーム長, 512ポイント; サンプリング周期, 1.0ms; デッドタイム (フレーム間の無記録時間), 1sとし、トリガレベル設定より2.5G以上の加速度を衝撃として記録した。

2. モモ輸送工程における衝撃発生状況の船便と航空便の比較 (実験2)

(1) **モモ果実輸送スケジュール** 山形の選果場から船便および航空便にて同時に香港の百貨店に到着するようモモ果実を輸送した。船便については、2009年8月25日午前中に山形県東根市にてモモの箱詰め作業を行い、トラックにモモ段ボール箱を積載して18:00に現地を出発した。8月26日9:20東京港に到着、検疫・通関手続きをした後、コンテナに積み替えを行った。29日東京港を出港し、9月1日15:20香港港に到着した。9月4日14:30に輸入業者の倉庫まで搬送した。一方、航空便については、9月2日午前中にモモの箱詰め作業を行い、トラックにモモ段ボール箱を積載して21:00に現地を出発した。3日7:00成田空港に到着し、20:30飛行機が離陸、4日1:00香港空港に到着し、そのまま空港内の冷蔵庫で保管した。14:40に輸入業者の倉庫まで搬送した。

(2) **衝撃加速度の計測方法** 衝撃測定には衝撃記録計 (G-MEN NR50α, スリック社製) を用いた (Fig.2A)。発泡ポリスチレンの中にこれを組み込み、疑似モモ果実とした (Fig.2B)。モモ段ボール箱内の果実を一部取り除き、そのスペースに疑似モモ果実を挿入した (Fig.2C)。なお、衝撃記録計のサイズは縦75.5mm×横60.5mm×高さ33mm、衝撃記録計と発泡スチロールの合計



Fig.1 Peach packaging container with an accelerometer

A: Accelerometer in a packaging container

B: Corrugated fiberboard container for export

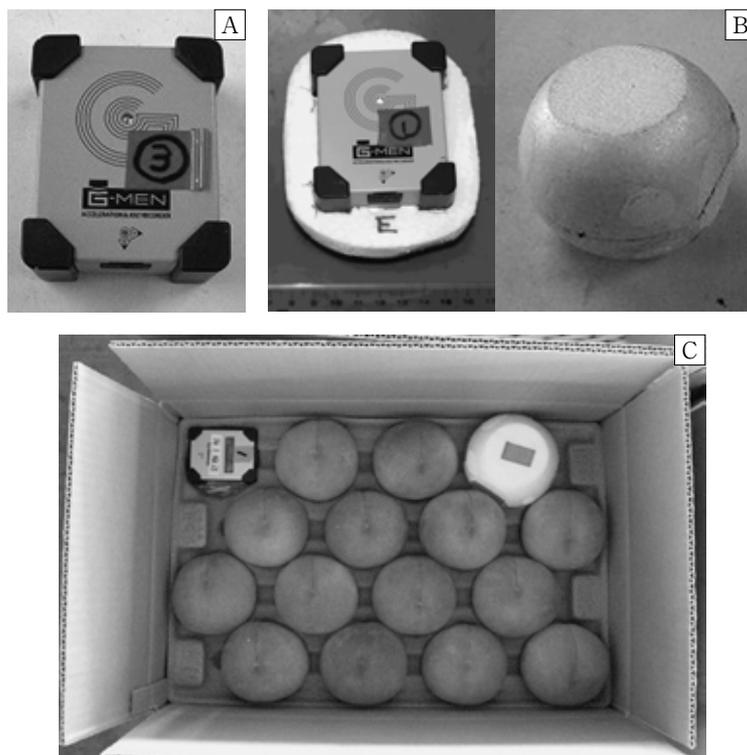


Fig.2 Peach packaging container with a shock recorder

- A: Shock recorder
 B: Shock recorder imbedded in formed polystyrene
 C: Corrugated fiberboard container for export

の重さは約120 g，サイズは約72mm×100mmであった。

衝撃データ収集は、トリガーレベルを設定せず、X-Y-Z軸の3方向の最大加速度を10ms間隔で1分間測定し、データの中から3軸合力の最大値を1分間の加速度(G)代表値として表した。その他の衝撃センサーの能力は、最大加速度50G，測定分解能0.5G，記録容量16,300データである。

結果および考察

1. 各種輸送工程における衝撃発生状況の調査(実験1)

4回の輸送試験ごとに、①産地での箱詰めから空港・港までの輸送区間、②空港・港での通関・検疫等の手続き、飛行機・船への荷の積み込みから輸出先に到着し、手続きが終わるまでの区間、③輸出先の空港・港におけるトラックへの積み込みから百貨店のバックヤードまでの輸送区間の3区間に分けて加速度の大きさ別に発生回数をまとめた(Table 1)。

航空便輸送の場合、衝撃発生回数でみると、①空港・港での通関・検疫等の手続き、飛行機・船への荷の積み込みから輸出先に到着し、手続きが終わるまでの区間に比べて、②産地での箱詰めから空港・港までの輸送区間および、③輸出先の空港・港におけるトラックへの積み込みから百貨店のバックヤードまでの輸送区間で多かった。特に2008年のモモ航空便輸送の国内輸送時に128回と非常に多くの衝撃値が測計測されたが、これは

果実輸送スケジュールにも示したとおり、途中で荷の積み替えがあり、その後のトラックのサスペンションが他のものと異なったためだと考えられる。しかし、各区間での最大加速度値を比べてみると、空港内での荷物の取り扱い時に非常に大きな衝撃を受けることが明らかとなった。一方、船便の場合、船での輸送区間は、前後のトラック輸送と比べて衝撃発生回数は少なく、さらに最大加速度値も小さいことが明らかとなった。船便の場合は、海上コンテナは幅・高さが約8フィート(約2.5m)、長さが20(約6m)および40フィート(約12m)と非常に大型であり、専用のクレーンを使ってこれを直接船へ積載する。一方、航空便の場合は、空港で専用のコンテナ(一辺が1~2m、容量5m³程度と船便に比べると非常に小さい)に積載された後にコンテナドローリー(航空機に搭載するコンテナを運搬するための台車)で飛行機まで運搬される。航空機輸送では、空港内のドローリーによる搬送時に発生する振動・衝撃加速度が極めて高い数値を示すことが報告されていることから⁵⁾、本研究においても、この船と飛行機まで荷を運搬する方法の違いが航空便と船便での衝撃発生の違いを生じさせたと考えられる。

国内輸送と海外現地での輸送を比べると、輸送時間が圧倒的に短い海外の方が多くの衝撃を受けることが明らかとなった。エアサスペンション車とリーフサスペンション車で上下方向の振動を比較した場合、最もピークの

Table 1 Acceleration during transport

	Acceleration				Total	Maximum acceleration (G)
	2.5 - 5 G	5 - 10G	10 - 20G	20G -		
Peach (September 2007 Yamagata → Hong Kong, Air transportation)						
Yamagata → Narita (Truck)	11	6	4	2	23	28.7
Narita → Hong Kong (Airplane)	8	4	1	2	15	64.8
Transport in Hong Kong (Truck)	34	10	6	0	50	16.8
Total	53	20	11	4	88	
Peach (September 2008 Yamagata → Thailand, Air transportation)						
Yamagata → Narita (Truck)	126	5	0	0	131	8.8
Narita → Bangkok (Airplane)	14	6	1	1	22	38.6
Transport in Bangkok (Truck)	11	5	3	0	19	19.0
Total	151	16	4	1	172	
Apple (November 2007 Yamagata → Taiwan, Marine transportation)						
Yamagata → Kawasaki (Truck)	18	7	2	0	27	19.5
Kawasaki → Taipei (Ship)	1	0	0	0	1	3.0
Transport in Taipei (Truck)	34	11	5	4	54	33.9
Total	53	18	7	4	82	
Pear (September 2008 Saga → Taiwan, Marine transportation)						
Saga → Tokyo (Truck)	17	5	2	1	18	20.6
Tokyo → Taipei (Ship)	21	6	2	0	21	15.4
Transport in Taipei (Truck)	28	5	4	0	28	13.9
Total	66	16	8	1	91	

大きい3 Hz付近では振動加速度が約40%まで低下するとの報告がある⁶⁾。国内輸送では、輸送時間が長いものの、現在では多くの場合でエアサス装備のトラックが使われているため、しきい値以上の衝撃は抑えられたと考えられる。一方、海外現地でのトラック輸送の振動解析を行った報告では、リーフサス車の特徴である低周波数での大きな加速度ピークがみられたことから⁴⁾、依然として青果物輸送にはリーフサス車が多く使われ、港や空港までの輸送は1~2時間程度であるが比較的多くの衝撃が発生したものと考えられる。また、国内輸送では全行程の90%以上が高速道路走行であるのに対し、輸出先では一般道での輸送がほとんどであった。高速道と一般道では衝撃発生に大きな違いがあることが報告されており^{7),8)}、路面条件の違いも衝撃回数に影響があったものと考えられる。

輸送中に発生する衝撃の多くは、上下方向にのみ大きな加速度変化が生じ、前後、左右方向には大きな加速度変化がみられない波形パターンであった (Fig. 3)。これは、荷扱い時に荷を落下させたり、輸送中に道路の段差などで荷が跳ねたりすることにより生じたものと考えられる⁷⁾。またそれ以外に、高い周波数の振動が連続して発生するタイプの衝撃 (Fig. 4) や、上下方向ではなく水平方向に単発的な大きな加速度が発生するタイプの衝撃 (Fig. 5) などさまざまなタイプの衝撃が、特に海外での輸送時に発生することが明らかとなった。Fig. 4の

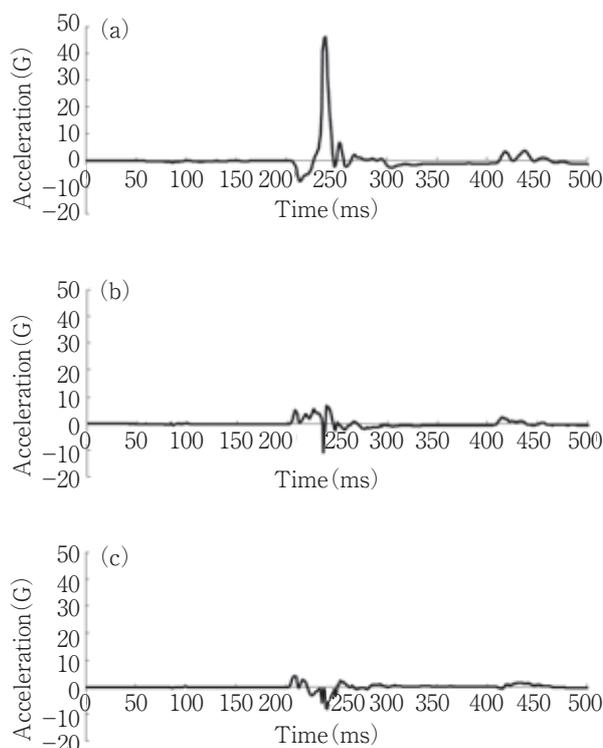


Fig. 3 Typical shock acceleration during domestic truck transport

(a) Vertical, (b) Horizontal X, (c) Horizontal

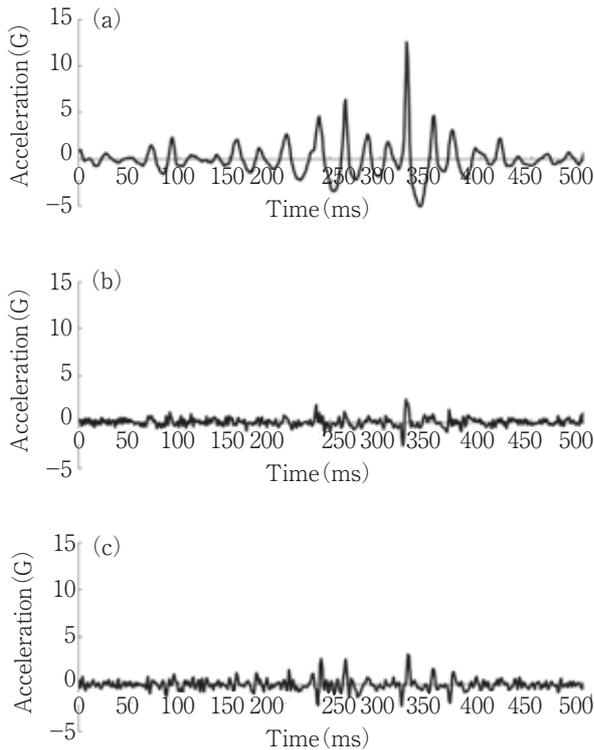


Fig. 4 Typical shock acceleration during foreign truck transport (1)

(a) Vertical, (b) Horizontal X, (c) Horizontal Y

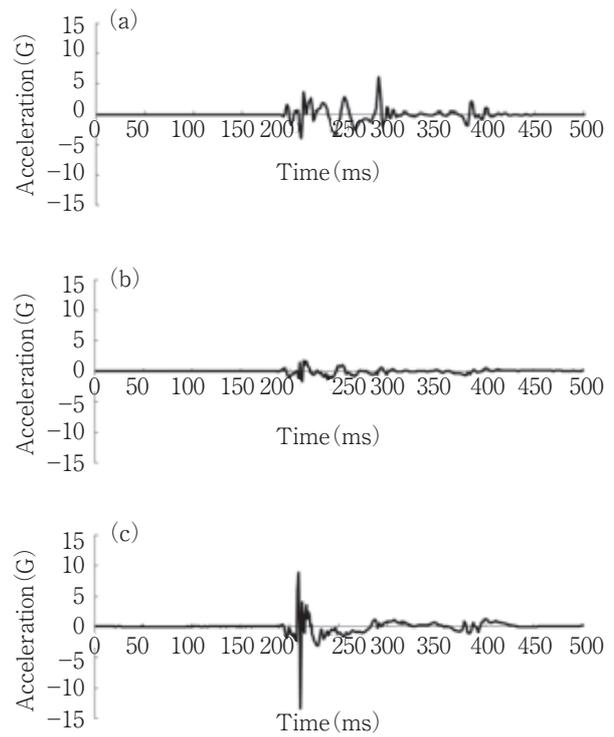


Fig. 5 Typical shock acceleration during foreign truck transport (2)

(a) Vertical, (b) Horizontal X, (c) Horizontal Y

衝撃は、輸出先の百貨店のバックヤードに到着する直前にみられたものである。時間帯としては、荷をトラック荷台から手押し台車等へ積み替えて百貨店まで運搬している時間と考えられる。また、手押し台車で路側帯（アスファルト）や歩道（石ブロック路）を運搬すると10～40Hzの非常に高い周波数の振動が発生することが報告されていることから⁹⁾、この衝撃が手押し台車配送時に歩道の石ブロックなどの路面の凹凸で衝撃が発生したものではないかと考えられる。Fig.5の衝撃も輸出先の港から百貨店への輸送中などのみられるもので、水平方向に単発的な大きな衝撃が加わっていることから荷をトラックに押し込む際に壁などにぶつかることで生じたものではないかと考えられる。海外での輸送では、衝撃の発生回数が多いというだけでなく、発生する衝撃波の特性も国内輸送とは異なり、国内外での荷扱いの違いが改めて明らかとなった。

2. モモ輸送工程における衝撃発生状況の船便と航空便の比較（実験2）

実験1では、航空便輸送と船便輸送において輸送過程で受ける衝撃の違いについてデータを示し、その特徴を把握することができた。しかしこれらのデータでは、輸送する果実や使用した段ボール箱のサイズ、輸送時期、輸出国などが異なっているため、果実が受ける衝撃を単純に比較することはできなかった。そこで、同じ産地のモモを同じ時期、同じ包装形態で航空便および船便で山

形から香港まで輸送し、輸送中に発生する衝撃について比較を行った。また、この調査では衝撃計を段ボール箱底面に貼り付けたのではなく、疑似モモ果実として緩衝材の中に挿入したことから、実験1と比べて、より実際に果実に加わる衝撃に近い条件であるということができた（Fig.6）。船便と航空便の輸送時間を比べると、船便は10日、航空便は2日であり、航空便の方が輸送時間は非常に短かった。しかし、輸送中に発生する衝撃を比較すると、航空便の方が大きな衝撃が多数発生することがわかった。

実験1と比べると衝撃発生回数は少なくなった。これは、実験1では衝撃記録計を段ボール箱底面に設置したのに対し、実験2では緩衝材の中に設置したためであり、モールドの緩衝効果によるものと考えられる。その結果、実験1で測定された比較的小さな衝撃が測定分解能以下となり、航空機と船便の衝撃発生回数の差がより明確となった。

モモ果実を香港へ輸送した際の段ボール箱内果実の乱れや押し傷発生程度について報告されている³⁾。指数1（果実が45度まで傾斜）、2（果実が90度まで傾斜）、3（果実が90度以上傾斜）となった果実の割合は、船便ではそれぞれ9.2、4.8、0.0%であったのに対し、航空便では27.3、11.7、17.3%と多く、結果として押し傷発生程度も航空輸送で大きかった。この結果は、輸送中に発生する衝撃を比較すると、船便に比べて航空便の方が大

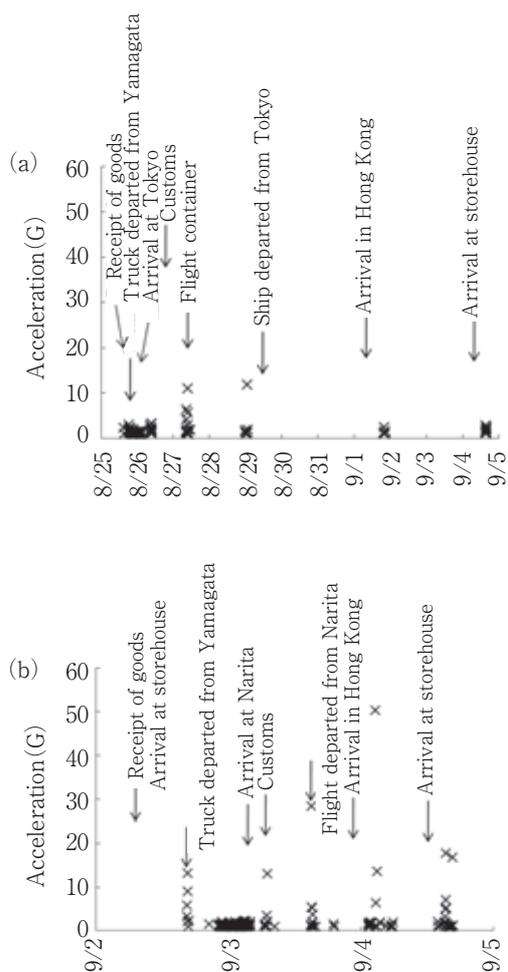


Fig. 6 Shock during transport from Yamagata to Hong Kong

(a) : Marine transportation

(b) : Air transportation

きな衝撃が多数発生するとした本研究の結果を裏つけるものであった。

要 約

リンゴ, ナシ, モモ果実を台湾, 香港, タイへ航空便および船便を使って輸出する際に発生する衝撃について調査を行った。航空便輸送のほうが船便に比べて衝撃発生回数が多いことが明らかとなった。航空便の場合, 衝撃発生は国内, 輸出先でのトラック輸送時に多いものの,

衝撃の大きさでは, 空港内での荷物の取り扱い時に非常に大きな衝撃を受けることが明らかとなった。一方, 船便の場合, 船での輸送区間は, 前後のトラック輸送に比べて衝撃発生回数は少なく, 大きさも小さいことが明らかとなった。また, 海外での輸送では, 衝撃の発生回数が多いというだけでなく, 発生する衝撃波の特性も国内輸送とは異なり, 国内外での荷扱いの違いが明らかとなった。

文 献

- 1) 農林水産省:「我が国農林水産物・食品の総合的な輸出戦略」(2007)
- 2) 農林水産省:農林水産物輸出入統計
(<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kokusai/index.html#m1>) (2011)
- 3) 今野 勉・小野寺玲子・工藤 信・伊東良久・石川 豊・中村ゆり・羽山裕子:モモ輸出における荷傷み防止方法, 東北農業研究, **63**, 107~108 (2010)
- 4) ISHIKAWA, Y., KITAZAWA, H. and SHIINA, T.: Vibration and shock analysis for fruit and vegetables transportation-Cherry transport from Yamagata to Taiwan by airplane-, *JARQ*, **43**, 129~135 (2009)
- 5) 高木雅広・今北 憲・神庭信幸・和田 浩:文化財安全輸送のための取組事例, 日本包装学会年次大会研究発表会予稿集, **19**, 136~137 (2010)
- 6) 白田浩幸・椎名武夫・石川 豊・佐竹隆顕:青果物の3次元輸送振動シミュレーションのための基礎研究, 農業施設, **36**, 215~222 (2006)
- 7) LU, F., ISHIKAWA, Y., SHIINA, T. and SATAKE, T.: Analysis of shock and vibration in truck transport in Japan, *Packaging Technology and Science*, **21**, 479~489 (2008)
- 8) LU, F., ISHIKAWA, Y., SHIINA, T. and SATAKE, T.: Effect of vehicle speed on shock and vibration levels in truck transport, *Packaging Technology and Science*, **23**, 101~109 (2010)
- 9) 劉 建楠・斎藤勝彦:手押し台車配送による包装貨物の蓄積疲労, 日本包装学会誌, **19**, 297~303 (2010)
(平成23年12月19日受付, 平成24年4月18日受理)

小麦粉生地および製パン性に対する タンパク質架橋酵素の作用解析

野口 智弘*§

* 東京農業大学応用生物科学部食品加工技術センター

Studies on the Action of the Enzyme Protein Cross-linking on the Formation of Wheat-flour Dough and Bread Making

NOGUCHI Tomohiro*§

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

Key words : wheat, PDI, Ero1, SS bond, Bread
小麦, PDI, Ero1, SS結合, パン

小麦粉に水を加え混捏すると独特の粘弾性を示す生地(ドウ)が形成される。この生地形成能は他の穀類にはみられない小麦特有のものである。この生地形成能は「パン」や「うどん」などに代表される小麦粉加工品の製造に深くかかわり、小麦粉はその生地の強度により強力粉、中力粉、薄力粉などに分類される。小麦粉の生地形成とその独特の物性は、小麦貯蔵タンパク質であるグリアジンとグルテニンが水和して形成される複合タンパク質・グルテンの性質によるものである。グルテンの形成には様々な結合や分子間相互作用が関与すると考えられているが、ジスルフィド結合(SS結合)形成を阻害すると、特に生地の物性が大きく低下することから、グルテンの形成に対しSS結合によるタンパク質の架橋結合が最も重要であるとされている。また、生地に臭素酸カリウムや酸化アスコルビン酸などの酸化剤を加えると生地強度が大きくなり、これらの作用によりSS結合が増加すると考えられている。

一般に、タンパク質のSS結合形成は、80℃程度の加熱処理が必要とされ、ハム・ソーセージ、カマボコなど水産練り製品、豆腐、湯葉、チーズおよび卵加工品など、タンパク質がゲル化した食品ではいずれも80℃以上の加熱工程が存在する。

しかし、小麦粉生地の形成は25~35℃で行われるため、前述の加熱によるSS結合形成は困難であり、何らかのSS結合形成機序が存在すると推論される。

筆者は、小麦粉の加工特性に大きな影響を及ぼすと言われながらも、その形成の詳細が不明である小麦粉生地

中におけるSS結合形成機序を明らかにすることを目的とし、SS結合を導入するProtein Disulfide Isomerase (EC 5.3.4.1; 以下PDI) と小麦粉生地形成性との関連性の検討を行った。その結果、小麦粒中にPDI活性を検出すると共に、そのタンパク質体を初めて精製し、小麦粉の生地物性とPDI活性量との間に相関性を確認した。さらに、小麦リコンビナントPDIを発現させ、同PDIの機能を明らかにするとともにEndoplasmic Reticulum Oxidoreductase 1 (Ero1) によるPDIの酸化再生メカニズムを明らかにし、小麦粉生地形成の機序の一端を明らかにすることができた。本総説は、本学会を中心に報告してきた小麦粉生地形成に対するPDI-Ero1, SS結合形成系の作用に関する一連の研究成果を取りまとめたものである。

1. 各種小麦粒中のPDI活性量および国産 パン用小麦粒 (*Triticum aestivum* cv Haruyutaka) からのPDI分離精製¹⁾

北海道産ハルユタカ (*Triticum aestivum* cv Haruyutaka) を用い、小麦PDIの分離精製を試みた。小麦粒より粗酵素液を調製し、DEAE-Sepharose Fast Flowカラム (φ 20×160mm, GEヘルスケア社製) およびPDIポリクローナル抗体 (Mouse Antiserum to PDI) を用いたアフィニティークロマトグラフィー (Hi Trap NHS-activated HP, 5 ml, GEヘルスケア社製) にて精製した (図1)。得られた精製PDIの比活性は74.8U/mgを示し粗酵素液に比べ約340倍に上昇した (表1)。SDS-PAGEおよびウエス

* 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘1-1-1

§ E-mail: tomo@nodai.ac.jp

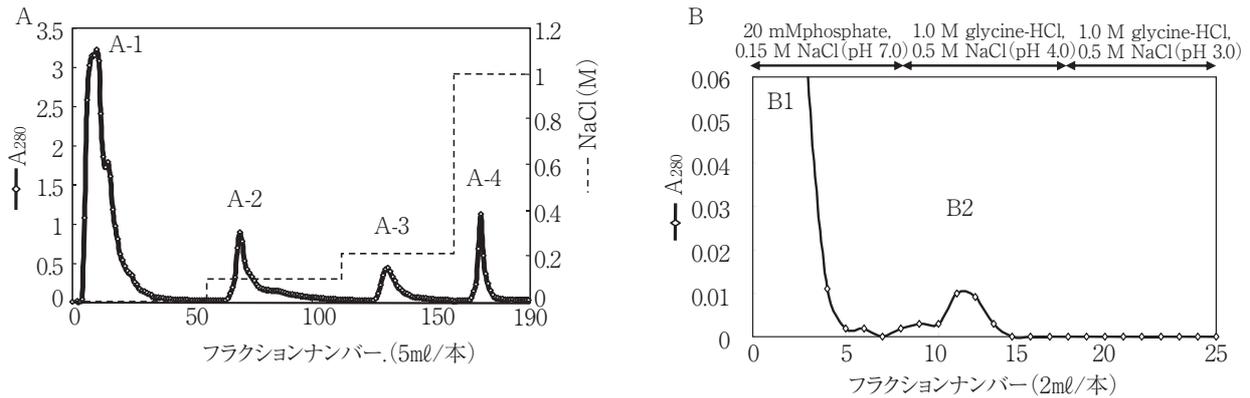


図1 小麦粒（ハルユタカ）PDIの分離精製

A: DEAE-セファロースクロマトグラフィー (pH8.0)

B: DEAE-セファロースクロマトグラフィーにて得られた A-3 画分のアフィニティークロマトグラフィー

表1 小麦粒（ハルユタカ）PDIの分離精製

	PDI活性 (U)	タンパク質 (mg)	非活性 (U/mg)	精製度	回収率 (%)
F 1	642.2	2948.8	0.22	1	100
F 2	323.9	1565.4	0.21	0.95	50.4
A 1	N.D	714.8	-	-	-
A 2	59.1	259.8	0.23	1.04	9.2
A 3	156.6	150.6	1.04	4.77	24.4
A 4	N.D.	21.1	-	-	-
B 1	N.D.	8.5	-	-	-
B 2	30.7	0.4	74.8	341	4.8

(小麦粒100 gあたり)

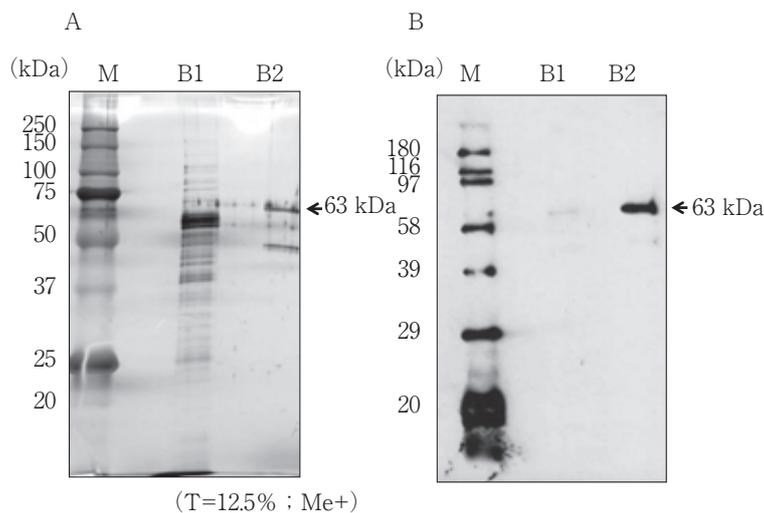


図2 アフィニティークロマトグラフィーにて分離した画分の SDS-PAGE (A) およびウエスタンブロット (B)

1次抗体: 小麦PDIポリクローナル抗体

タンブロットによる解析の結果, 63kDaのタンパク質バンドがPDI抗体に反応した(図2)。同タンパク質のN末端アミノ酸配列は, 小麦PDI (Chinese Spring_CAI 30632) 遺伝子情報のアミノ酸配列と79%の相同性を示

した。以上のことから, 従来遺伝子情報のみでその存在が確認されていたPDIが小麦粒中においてタンパク質体として存在することを初めて明らかにした。

2. 小麦リコンビナントPDI (rPDI)の 発現と性状について²⁾

小麦PDIの小麦粉生地形成に対する影響を検討したが、小麦粒から解析に十分な必要量のPDIを調製することが困難であった。そこで、小麦PDI遺伝子情報を用い小麦rPDIの取得を試みた。

DDBJより、2種の小麦PDI遺伝子情報を検索、取得

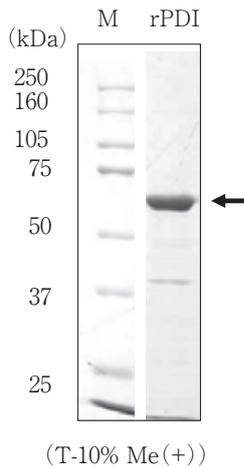


図3 小麦リコンビナントPDIのSDS-PAGE

してプライマーを作製した。小麦根total RNAよりcDNAを調製し、PCRにてPDI遺伝子を増幅した。増幅断片を発現ベクターpET21aに挿入した後、発現宿主大腸菌BL21 (DE 3) を形質転換し、His-Tag融合タンパク質として発現させ、溶菌抽出後、コバルトカラムにて精製した (図3)。得られた精製rPDIは63kDaで比活性は632.2U/mg、最適反応温度およびpHはそれぞれ35℃および8.5であり、同活性は40℃以下およびpH 6~9で安定であり、前述の小麦粒から精製したPDIとほぼ同様であった (図4)。また、SS結合を還元した変性オボアルブミンにrPDIを作用させたところ、そのCDスペクトルは未変性オボアルブミンのスペクトルに回復したことから、rPDIがSS結合を形成することを確認した (図5)。

さらに、取得したrPDIのアミノ酸配列は、植物の主要なPDIファミリーと同様のドメイン構造を示し、N末端に小胞体輸送シグナル配列、活性中心であるチオレドキシシンモチーフ (CGHC) を2か所、およびC末端に小胞体局在シグナル配列のKDELモチーフを有していた。以上、小麦rPDIを初めて発現し、その一般性状が小麦PDIと同様であることを確認すると共に、同rPDIがSS結合形成能力を有すること、活性中心が他の植物起源PDI同様に2か所チオレドキシシンモチーフであることを明らかにした (図6)。

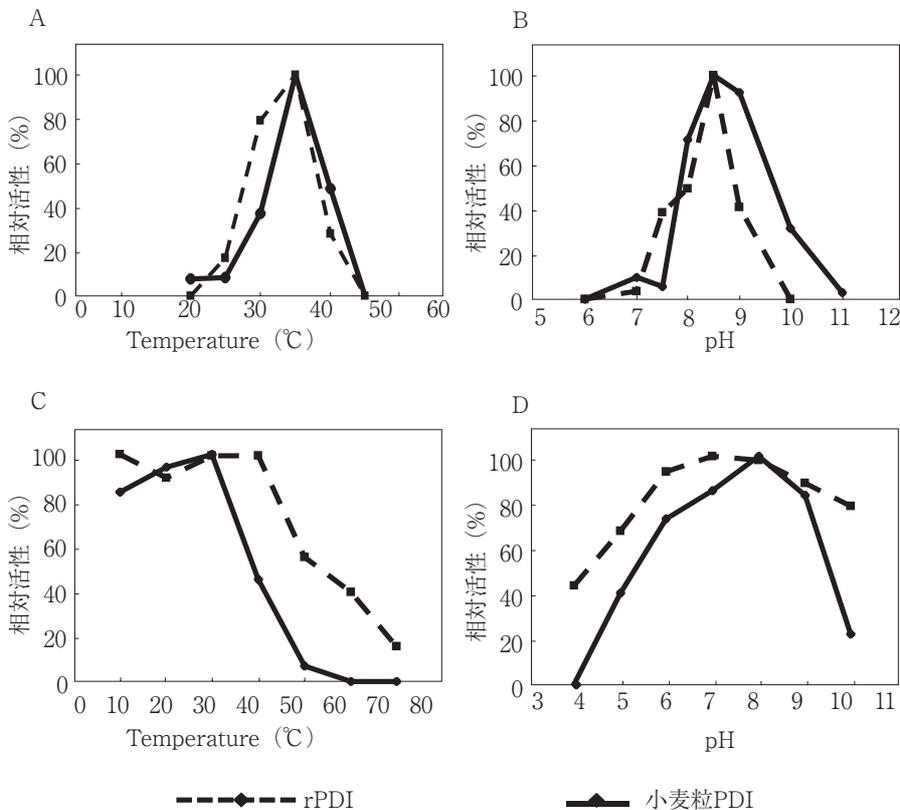


図4 小麦粒PDIおよびrPDIの酵素性状

A: 至適温度 B: 至適pH C: 温度安定性 D: pH安定性

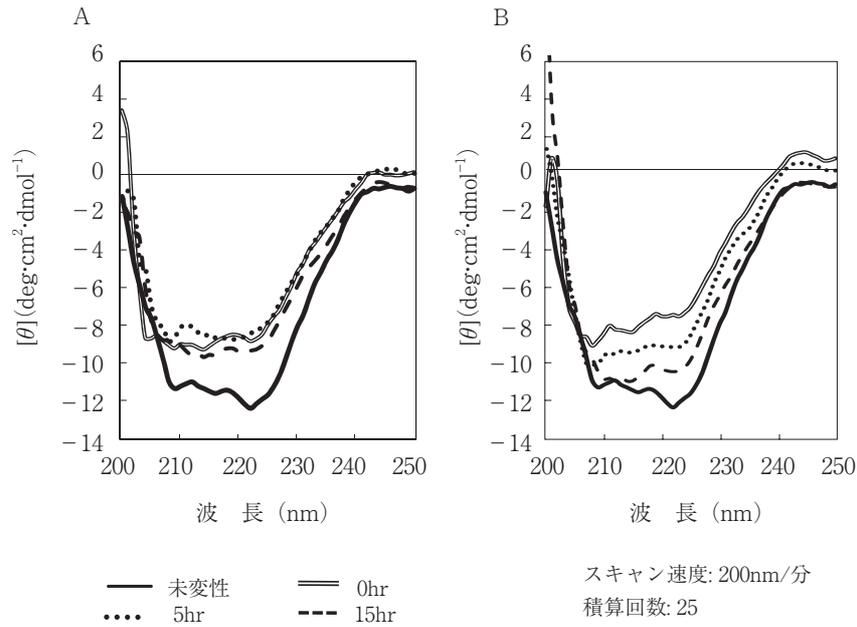


図5 還元変性オボアルブミンのPDI添加によるCDスペクトル変化
A: 無添加 B: PDI添加

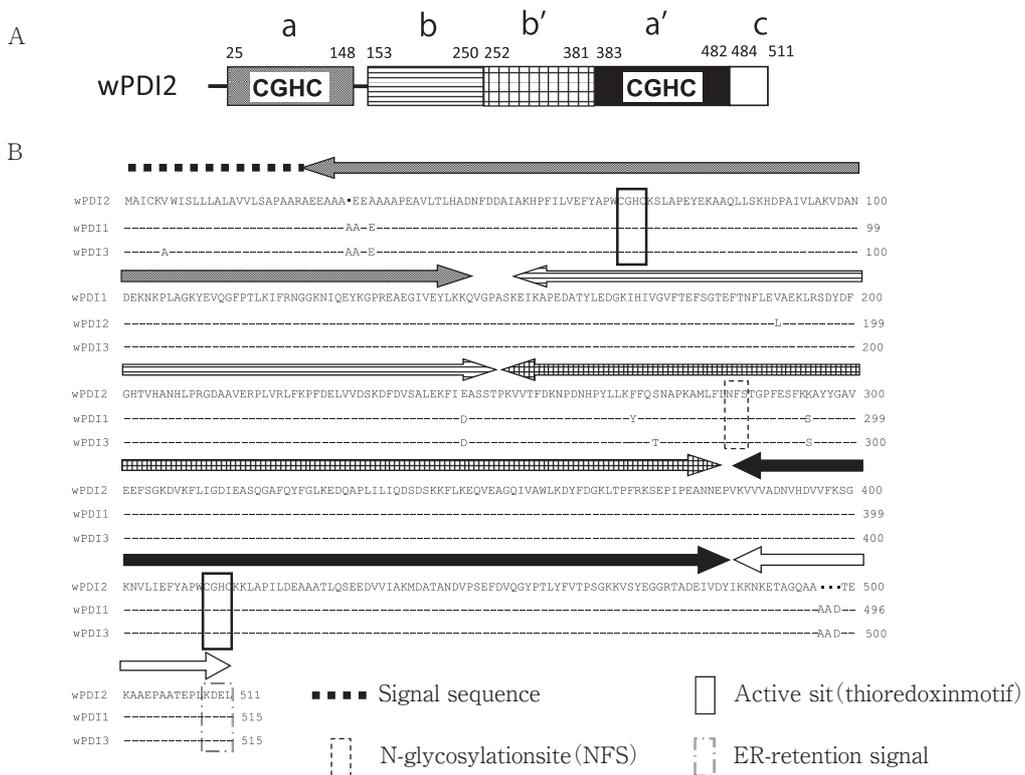


図6 小麦PDIの一次構造

A: wPDI2のドメイン構造 B: wPDIの一次構造比較

3. 製パン性に及ぼすPDIの作用の影響について

製パン性に対するPDI作用の影響を解析するため、強力粉に比べ製パン性の劣る中力粉（雀、日清製粉）を用い、rPDI添加による製パン性向上効果を検討した。rPDIを強力粉と中力粉の活性量差の約2倍である350U/小麦粉100g添加したところ、パンの比容積が4.17±0.1cm³/gから4.40±0.14cm³/gと5.5%増加し、PDIの添加により中力粉の製パン性が改善された（表2）。このことから、PDIの作用によって、製パン適性の劣る中力粉の製パン性改善が示唆されたが、強力粉のパンの比容積と比べ小さく、当初の予想に反しその効果か小さかった。

表2 製パン性に及ぼすrPDIの影響

	中力粉	中力粉 + rPDI添加	強力粉
PDI活性 (U/小麦粉100g)	314	314 + 350添加	493
非容積 (cm ³ /g)	4.17 ± 0.1 ^a	4.40 ± 0.14 ^b	4.95 ± 0.14 ^c
硬さ (N)	1.08 ± 0.1 ^a	0.98 ± 0.05 ^a	0.75 ± 0.10 ^b

※A.V. ±S.D., P<0.05

4. 小麦リコンビナント Endoplasmic Reticulum Oxidoreductase 1 (Ero 1) の発現および性状と製パン性への影響³⁾

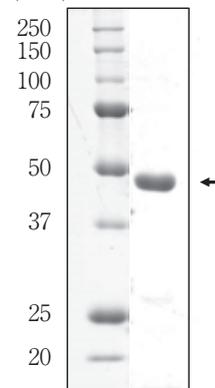
PDIは、タンパク質にSS結合を形成させると還元型となり、その機能を失う。このため、生地中にてSS結合形成が進行するためには、PDIの酸化再生機構の存在が必要である。前述の中力粉におけるrPDIの添加効果が小さかったのは、PDIの酸化再生が不十分であったためと推論した。

真核生物において、PDIの酸化を担うEro 1が知られている⁴⁾。しかしながら、小麦Ero 1の報告はこれまでになく、遺伝情報の登録もされていない。そこで、小麦リコンビナントEro 1 (rEro 1) の発現取得のため、DBJ

より検索取得したヒトおよび酵母Ero 1の遺伝子情報を基に共通配列からプライマーを作製し、3'-RACEおよび5'-RACEによりEro 1の両末端の配列を決定した。小麦根total RNAよりcDNAを調製し、Ero 1遺伝子をPCRにて増幅後、発現ベクターpET21aに挿入した。発現宿主大腸菌BL21 codon Plus (DE3)-RILを形質転換し、49kDaのrEro 1の発現、取得に成功した（図7、8）。また、Ero 1活性をFlavin Adenine Dinucleotide (FAD) 退色法⁵⁾およびO₂消費量にて確認したところ、rEro 1によるFADの退色およびO₂消費量が増大し、rEro 1のFADに対する電子供与活性が確認された（図9）。

そこで、PDIおよびEro 1、FADの製パン性への影響を解析するため、中力粉（雀、日清製粉）を用い、rPDIおよびrEro 1、FADの添加による製パン試験を行った。PDIのみを350U（小麦粉100g）添加した場合、前述のように比容積は5.5%しか増加しなかったが、PDI25U、Ero 1（PDI25Uのモル比で20倍量）およびFAD（4μmol）を併用し試験したところ、比容積は約11%増加した（図10）。このことから、Ero 1およびFADが共存することでPDIの酸化再生機構が補完され、小麦粉生地中のSS結合形成が進行し、製パン性が向上したものと推察された。

(kDa) M rEro1



【T-12.5% Me (+)】

図7 小麦リコンビナントEro 1のSDS-PAGE

```

Ero1-1 MSEGPPPAADGAVRRRRRWAAGALLVALLAVALSSRGFPSSLSRGGGCGCFGARKYTMVEDCCCDYETVDAINEEVLNPIQLDLVALPFFRYFK 100
Ero1-2 MSEGPPPAADGAVRRRRRWAAGALLVALLAVALSSRGFPSSLSRGGGCGCFGARKYTMVEDCCCDYETVDAINEEVLNPIQLDLVALPFFRYFK 100
Ero1-3 MSEGPPPAADGAVRRRRRWAAGALLVALLAVALSSRGFPSSLSRGGGCGCFGARKYTMVEDCCCDYETVDAINEEVLNPIQLDLVALPFFRYFK 100

Ero1-1 VKLWDCPFWDDGMCRLRDCSVCECPDNEFPEPFKPKYSGLSPENMICQEGKPEATVDRTLDTKVKFGWVETDNPWTSDDETDNAEMTYVNLQNLPERY 200
Ero1-2 VKLWDCPFWDDGMCRLRDCSVCECPDNEFPEPFKPKYSGLSPENMICQEGKPEATVDRTLDTKVKFGWVETDNPWTSDDETDNAEMTYVNLQNLPERY 200
Ero1-3 VKLWDCPFWDDGMCRLRDCSVCECPDNEFPEPFKPKYSGLSPENMICQEGKPEATVDRTLDTKVKFGWVETDNPWTSDDETDNAEMTYVNLQNLPERY 200

Ero1-1 TGYTGDSARRIWDAIYKENCCKYPSSEDMCQEKKALYKLSGLHSSISVHIAYDYLLDESANLWGHNSLLHDRVLYKPERVENLYFTYLFVLRVAVTKAAD 300
Ero1-2 TGYTGDSARRIWDAIYKENCCKYPSSEDMCQEKKALYKLSGLHSSISVHIAYDYLLDESANLWGHNSLLHDRVLYKPERVENLYFTYLFVLRVAVTKAAD 300
Ero1-3 TGYTGDSARRIWDAIYKENCCKYPSSEDMCQEKKALYKLSGLHSSISVHIAYDYLLDESANLWGHNSLLHDRVLYKPERVENLYFTYLFVLRVAVTKAAD 300

Ero1-1 YLEQAEYNTGNPEEDLKTQSLVRQLLYNHKLSACLPFDEAKLWQGENGPELQKQEIQKQFRNISAIMDCGCEKC:LGWKLQVLGLTALKILFSVDGE 400
Ero1-2 YLEQAEYNTGNPEEDLKTQSLVRQLLYNHKLSACLPFDEAKLWQGENGPELQKQEIQKQFRNISAIMDCGCEKC:LGWKLQVLGLTALKILFSVDGE 400
Ero1-3 YLEQAEYNTGNPEEDLKTQSLVRQLLYNHKLSACLPFDEAKLWQGENGPELQKQEIQKQFRNISAIMDCGCEKC:LGWKLQVPLGLTALKILFSVDGE 400
                                active site
                                (CXXCXC motif)

Ero1-1 NNLNQFQLQRNEVIALVNLNRLSESVKVFVHETGSSSQEIIKQQSFSTLQKGAS 455
Ero1-2 NNLNQFQLQRNEVIALVNLNRLSESVKVFVHETGSSSQEIIKQQSFSTLQKGAS 455
Ero1-3 NNLNQFQLQRNEVIALVNLNRLSESVKVFVHETGSSSQEIIKQQSFSTLQKGAS 455

```

図8 小麦Ero 1の一次構造

下線：膜貫通領域 太字：活性中心

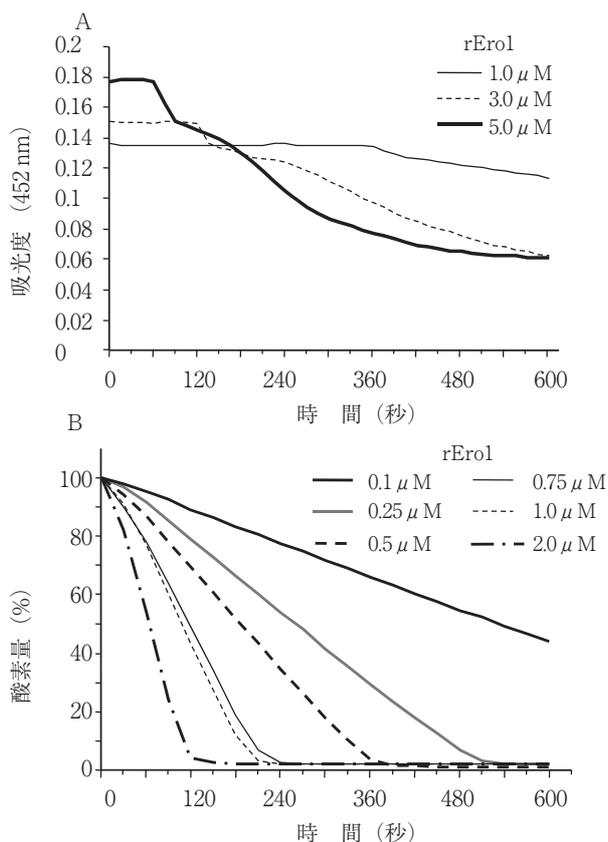


図9 rEro1の活性測定

A: FADの退色試験 B: 酸素消費量試験

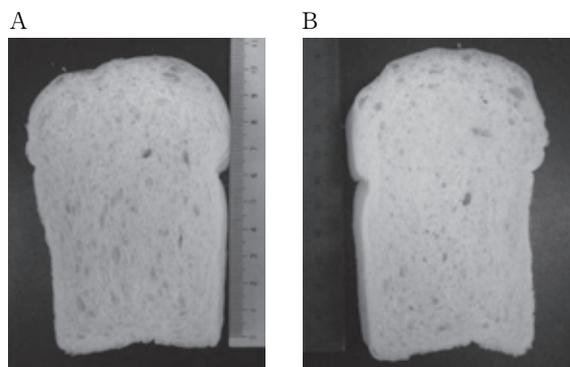


図10 製パン性に与えるrPDIおよびrEro1の影響

A: 中力粉のみ B: 中力粉100gに対し, rPDI25U, rEro1 (PDI25Uのモル比で20倍), FAD 4 μmol

まとめ

タンパク質にジスルフィド (SS) 結合を形成する Protein Disulfide Isomerase (PDI) 活性を小麦粉中に検出した。さらにハルユタカ粒より63kDaのPDIタンパク質を精製取得し, 小麦粒中にタンパク質としてPDIが存在することを初めて明らかにした。また, 小麦rPDIを初めて発現し, その一般性状が小麦PDIと同様であることを確認すると共に, 同rPDIがSS結合形成能力を有すること, 活性中心が他の植物起源PDI同様に2か所のチオレドキシシモチーフであることを明らかにした。

PDIの作用によって主にグリアジンにSS結合が形成され, グリアジンの疎水性が増加することで, 製パン性が改善されることを明らかにした。さらにPDIの酸化再生化の機構について検討を行い, PDIの酸化再生に必要な小麦 Endoplasmic Reticulum Oxidoreductase 1のリコンビナント体 (rEro1) を初めて発現取得した。また, Ero1がFlavin Adenine Dinucleotide (FAD) と共役してPDIを酸化再生することによって, タンパク質中のSS結合の形成が著しく促進されることを明らかにし, 同作用によって製パン性が向上した。

本研究は, 小麦粉生地形成におけるタンパク質架橋化に対して, 酵素学的な観点から解析した初めての成果であり, 小麦PDIおよびEro1によるSS結合形成が小麦粉の加工特性に大きな影響を及ぼすこと, 従来詳細が不明であった小麦粉生地形成中のタンパク質架橋化反応の一端を明らかにした。今後は, さらにPDI-Ero1, SS結合形成系による製パン性改善機構についてより詳細な解析を行い, 小麦粉生地の加工性改善および製品の品質改善に寄与する技術の開発を目指したい。

謝辞 このたびの平成24年度日本食品保蔵科学会奨励賞の受賞に際して, ご高配を賜りました学会関係者の皆様に謹んでお礼申し上げます。本研究は東京農業大学応用生物科学部食品加工技術センターおよび同生物応用化学科食料資源理化学研究室にて遂行されたものであり, ご指導いただきました東京農業大学松本信二名誉教授, 高野克己教授に厚く御礼と感謝を申し上げます。また, 日々の弛まぬ努力により研究を推し進めて頂きました, 学生の方々にこの場を借りて感謝を申し上げます。

文献

- 1) 野口智弘・新井智美・野口治子・内野昌孝・高野克己: 小麦 (ハルユタカ) 粒中のプロテインジスルフィドイソメラーゼ (PDI) の分離精製, 日本食品保蔵科学会誌, **37**, 245~248 (2011)
- 2) ARAI, S., NOGUCHI, T., UCHINO, M. and TAKANO, K.: Purification and characterization of protein disulfide isomerase from wheat expressed in *Escherichia coli*., *Jpn. Food Pres. Sci.*, **37**, 173~183 (2011)
- 3) 野口智弘・田村良太・新井智美・野口治子・内野昌孝・高野克己: 小麦Ero1遺伝子のクローニングと発現, 日食保蔵誌, **37**, 283~287 (2011)
- 4) FRAND, A. R., CUOZZO, J. W. and KAISER, C. A.: Pathway for protein disulfide bond formation, *Trends Cell Biol.*, **10**, 203~210 (2000)
- 5) GROSS, E., KASTNER, D. B., KAISER, C. A. and FASS, D.: Structure of Ero1 p, Source of Disulfide Bonds for Oxidative Protein Folding in the Cell, *Cell*, **117**, 601~610 (2004)