

日本食品保蔵科学会誌

VOL. 39 NO. 2

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>

新規バルクコンテナ輸送に伴うダイコンの加速度

および接触部位応力が損傷特性に及ぼす影響の解明…………… (67)

／兼田朋子・中村宣貴・タンマウオン マナスイカン
曾我綾香・吉田 誠・新實誉也
横山幸一・椎名武夫

<報 文> (英文)

ホタテガイ白干し加工の生産性と品質向上のための新しい製法…………… (75)

／山崎雅夫・及川寿恵男

<研究ノート>

精米後の酒米の水分吸着等温線…………… (83)

／小出章二・伊藤 萌・折笠貴寛

<技術報告>

小麦粉生地形成に及ぼす小麦粉タンパク質と…………… (87)

β -ラクトグロブリンの分子間相互作用の影響について

／岡 大貴・菊池千尋・塩野弘二
内田達也・野口智弘・高野克己

<総 説>

「なにわの伝統野菜」の品質向上と栽培技術の改善に関する研究…………… (93)

／嘉悦佳子

<講 座>

身近な野菜・果物～その起源から生産・消費まで (21) ブドウ (I)…………… (101)

／小原 均

<情 報>

食い倒れ大阪の食文化を支える生物多様性 (2) 大阪の淡水魚を育んだ原風景と食文化…………… (105)

／上原一彦

HACCP教育講座 (2) ストレス微生物学からの微生物制御…………… (109)

／土戸哲明・坂元 仁

<文献抄録>…………… (115)

Food Preservation Science

CONTENTS OF VOL. 39 NO. 2 (2013)

<Article> (Japanese)

- Effects of Acceleration and Contact Point Stress on Damage Characteristics
of Stacked Japanese Radishes Under Vibration Assuming Distribution
by Newly Developed Bulk Container
KANETA Tomoko, NAKAMURA Nobutaka, THAMMAWONG Manasikan,
SOGA Ayaka, YOSHIDA Makoto, NIIMI Takaya,
YOKOYAMA Koichi and SHIINA Takeo (67)

<Article> (English)

- New Procedures to Improve Productivity and Quality in the Manufacture
of Boiled-dried Adductor Muscles of Scallop (*shiraboshi*)
YAMAZAKI Masao and OIKAWA Sueo (75)

<Research Note> (Japanese)

- Moisture Adsorption Isotherms of Polished Rice for Sake Brewing
KOIDE Shoji, ITO Moe and ORIKASA Takahiro (83)

<Technical Report> (Japanese)

- Effect of the Molecular Interaction between Wheat Proteins and β -lactoglobulin
on Wheat-flour Dough Formation
OKA Daiki, KIKUCHI Chihiro, SHIONO Kouji,
UCHIDA Tatsuya, NOGUCHI Tomohiro and TAKANO Katsumi (87)

<Review> (Japanese)

- Improvement of Cultivation Techniques
for Improving Quality of “Naniwa Traditional Vegetables”
KAETSU Keiko (93)

<Serialization Lecture> (Japanese)

- Grapes (Part I)
OHARA Hitoshi (101)

<Information> (Japanese)

- The Situation of Freshwater Fish in Terms of Food Culture
and Original Landscape of Osaka
UEHARA Kazuhiko (105)
- Control of Microorganisms from the Viewpoint of Stress Microbiology
TSUCHIDO Tetsuaki and SAKAMOTO Jin (109)

新規バルクコンテナ輸送に伴うダイコンの加速度 および接触部位応力が損傷特性に及ぼす影響の解明

兼田 朋子^{*1}・中村 宣貴^{*1§}・タンマウオン マナスイカン^{*1}
曾我 綾香^{*2}・吉田 誠^{*2}・新實 誉也^{*3}
横山 幸一^{*4}・椎名 武夫^{*1}

- * 1 農研機構食品総合研究所
- * 2 神奈川県農業技術センター
- * 3 キョーラク (株)
- * 4 王子インターパック (株)

Effects of Acceleration and Contact Point Stress on Damage Characteristics of Stacked Japanese Radishes Under Vibration Assuming Distribution by Newly Developed Bulk Container

KANETA Tomoko^{*1}, NAKAMURA Nobutaka^{*1§}, THAMMAWONG Manasikan^{*1},
SOGA Ayaka^{*2}, YOSHIDA Makoto^{*2}, NIIMI Takaya^{*3},
YOKOYAMA Koichi^{*4} and SHIINA Takeo^{*1}

- * 1 *National Food Research Institute, NARO, 2-1-12, Kannondai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8642*
- * 2 *Kanagawa Agricultural Technology Center, 1617, Kamikisawa, Hiratsuka-shi, Kanagawa 259-1204*
- * 3 *Kyoraku Co., Ltd., 2-3-10, Kawaramachi, Chuo-ku, Osaka 541-0048*
- * 4 *Oji Interpack Co., Ltd., 5-12-8, Ginza, Chuo-ku, Tokyo 104-0061*

The damage characteristics of five layers of Japanese radishes stacked in a triple-wall fiberboard box under a vibration treatment (2~30Hz, 0.6G), which was considered a transport model of a newly developed bulk container, are investigated. The differences in the vibration treatment period (0.5, 3, 5, 10, 20, and 40 min) and the position of the Japanese radishes in the stack significantly affected the type and the severity of the damage. Various types of damage, including abrasion, peeling, and bruising of Japanese radishes, are observed differently, depending on the stacking layers. Abrasion and peeling symptoms are found on the upper layers of the stack of the Japanese radishes owing to a non-synchronized movement, whereas bruise symptoms are found on the lower layers. Further, the acceleration transmissibility test of the Japanese radishes against a vibrating table revealed resonant frequencies close to 15Hz in all the layers. The higher the stacking layer, the higher is the acceleration transmissibility. Moreover, the contact stress index obtained from a multipoint pressure sensor revealed that both the maximum and the minimum values at the lower layers are significantly higher than those at the upper layers (maximum value: $P < 0.05$ (15Hz, 20Hz, and 25Hz are excluded); minimum value: $P < 0.01$). A reduction in the load from the upper layers, caused by the non-synchronized movement, most likely results in lower values of the contact stress index of the Japanese radishes in the middle/upper layers. Overall, it appears that the restriction of the free movement of Japanese radishes in the upper layer without any additional stress facilitates the prevention of damages such as abrasion and peeling. Moreover, we need to find an acceptable stacking height to avoid bruising in the lower layers. Further research on the design of packaging conditions for the actual transport condition will enable us to distribute Japanese radishes by using

* 1 〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12
§ Corresponding author, E-mail address: noby@affrc.go.jp
* 2 〒259-1204 神奈川県平塚市上吉沢1617
* 3 〒541-0048 大阪府大阪市中央区瓦町2-3-10
* 4 〒104-0061 東京都中央区銀座5-12-8

the newly developed bulk container without any unacceptable damages.

(Received Apr. 23, 2012; Accepted Sep. 12, 2012)

Key words: newly developed bulk container, multi layer stacking, japanese radish, acceleration transmissibility and contact point stress, damage characteristics

新規バルクコンテナ, 多段積載, ダイコン, 振動伝達・荷重特性, 損傷特性

近年, 栽培技術や流通環境の向上により, 多くの青果物において周年供給が可能となった。一方, 安定的な周年供給を実現するための産地ローテーションにより, 輸送の長距離化が一般化している。国産野菜の約35%は関東地方で消費されるが, その生産地は北海道, 東北, 関東, 東海および九州地域と多岐にわたる¹⁾。北海道産の野菜は, 関東地域に最も多く配送され (約30%), 九州へも約9%が輸送されている¹⁾。

その一方で, 環境への配慮や食料供給コスト削減の観点から, 温室効果ガス排出量の低減や輸送コストの見直しが求められている。国内で消費される国産野菜の供給に関する環境負荷のうち, 約30%が流通によるものである²⁾。現在使われている青果物用輸送容器の大部分は段ボール箱であり, ほぼ100%がリサイクルされているが, さらなる環境負荷低減対策の加速化のために, リユース可能な通い容器の利用が期待されている。また, 青果物の小売価格を構成する要因のひとつである集出荷団体経費の28.5% (1,113円/100kg) を包装・荷造材料費が占めており³⁾, その削減が求められている。

これらの流れを受け, 現在, 新たな流通形態としてダイコン, キャベツなどを対象とした新規リターンブル・バルク・コンテナ (以下, 新規バルクコンテナ) の利用が検討されている。新規バルクコンテナは, 段ボール製の胴枠とプラスチック製のパレットと上ぶたで構成されており, 段ボール箱の約50倍の容積をもつ, 大型でリユース可能な容器である。現行の段ボール箱での輸送と比較して, 包装に関するコストの30%, CO₂排出量の40%の削減が試算されている⁴⁾。また, このシステムが国産野菜および果実の輸送にそれぞれ10%および3%採用された場合, 年間の包材コストは約360億円および約24億円, 合計約380億円が削減されると試算される^{3), 5), 6)}。しかし, 新規バルクコンテナ利用時には青果物はコンテナ内で多段に積載されるため, ハンドリングおよび輸送時の振動・衝撃や荷重などの物理的ストレスによる青果物の損傷発生が懸念される^{7), 8)}。筆者らが行った新規バルクコンテナによるダイコンのモデル輸送試験では, 輸送後のダイコンに割れ傷や押し傷などの発生を確認しているが, 損傷発生のメカニズムは未解明である。新規バルクコンテナ物流の実用化のためには, 輸送中に発生する物理的・生理的な損傷特性について検討することが不可欠である。しかし, 青果物におけるバルクコンテナ物流に関する知見は少なく, また, 新規バルクコンテナは, その素材および規格が従来の輸送容器とは大きく異なる

ため, 従来行われてきた青果物の輸送損傷特性に関する知見をそのまま応用することは困難である。

本報では, 青果物の新規バルクコンテナ輸送時の損傷低減に関する知見を得ることを目的として, ダイコンを対象に, 多段積載時の振動特性と損傷発生メカニズムの解析を行った。

実験材料および実験方法

1. 実験材料

材料には, 新規バルクコンテナによる輸送を想定している品目のひとつであるダイコンを用いた。2011年5月19日に, 茨城県つくば市内の小売店で購入したダイコンを自動車でつくば市の食品総合研究所に輸送した。品温を調整するため, 温度25℃の恒温庫内で, 出荷用段ボール箱に慣行詰め (2段積載) し, 上ぶたを閉じ, 蒸散を抑制するためにポリエチレンフィルムで覆った状態で一晩保管し, 実験に供した。

2. 積載段位が損傷の種類およびその程度に及ぼす影響

振動が多段積載時のダイコン品質に及ぼす影響を明らかにする目的で, 加振後に生じた損傷の種類およびその程度を積載段位ごとに調査した。

(1) **加振条件** 新規バルクコンテナを模擬した振動試験用容器 (450×300×400mm) を作成し, 加振試験に供した。容器フレームはアルミニウム製とし, 壁面および床面にはバルク輸送において利用を想定している新規バルクコンテナ「タフパック」(キョーラク (株) および王子インターパック (株) 製) に使用されている複数両面段ボール (通称: 3層段ボール) 「HiPLE-ACE」(王子インターパック (株) 製) を使用し, フレームの内側に粘着テープで固定した。その容器に, ダイコンを3列×5段の条件で1段ごとに向きを交互にして充填し, フレーム部にラチェット機能つきロープ2本を平行にかけ, 振動台に固定した (Fig. 1-A)。上ぶたは用いず, 容器上部は開放とした。加振処理には3次元サーボ振動試験機 ((株) 鷺宮製作所製, VTVH-5型, 以下, 振動試験機) を用い, 加振条件は, 加振方向: 上下, 波形: 正弦波, 加速度: 0.6G, 掃引周波数: 2~30Hz, 直線掃引時間 (片側) 30secとした。なお, 本実験で用いた加速度および周波数の加振条件は, トラック実輸送時に発生する加速度, 振動試験機の作動可能な条件および現実的な振動試験時間等を考慮し, 加速度0.6Gおよび周波数2~30Hzと決定した。

(2) **損傷評価** 損傷評価には, 目視で損傷の認めら

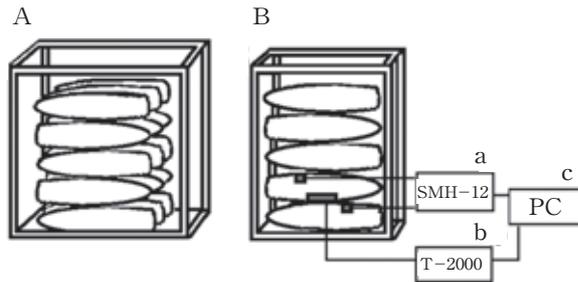


Fig. 1 Loading conditions of Japanese radishes for vibration treatment

A : 3×5 layers* B : 1×5 layers*

*1st, 2nd, 3rd, 4th and 5th layer that started counting from the bottom layer

a : Acceleration data logger

b : Pressure data logger

c : Personal computer for data collection

れないダイコンを選抜し、試験に供した。加振処理を行ったダイコンを所定の加振時間後(30sec, 3, 5, 10, 20 および40min)に容器から取り出し、損傷程度を調査した。反復数は1であった。損傷の評価は目視で行い、表面積に対する損傷面積割合(以下、損傷割合)を損傷の指標とした。損傷評価は加振時間を通じて同一のダイコンを用いて行った。加振処理したすべてのダイコンについて損傷評価を行った後に初期位置に戻し、加振処理を再開した。なお、ダイコンには積載位置および上下左右の区別をつけるためにラベリングし、損傷評価後に容器に戻す際には、常に同じ位置、方向となるよう設置した。

3. 積載段位の違いが加速度および接触部位応力に及ぼす影響

多段積載ダイコンの振動特性を明らかにするため、積載段位ごとに加速度および接触部位応力を測定した。

(1) 加振条件 アルミニウム製フレームおよび複数両面段ボールで作成した振動試験用容器(450×80×400 mm)に、ダイコンを1列×5段の条件で、向きを交互に積載し、振動試験機にて加振処理を行った(Fig. 1-B)。その際、上ぶたは用いず、容器上部は開放とした。

加振条件は、加振方向：上下、加速度：0.6G、波形：正弦波、周波数：2, 5, 10, 15, 20, 25および30 Hz、加振時間：30secとした。

(2) 加速度の測定 加速度の測定は、振動・衝撃解析システム(神栄テクノロジー(株)製, SMH-12)を用いて行った。振動・衝撃解析システムに接続した加速度センサ(昭和測器(株)製, 2366W)をダイコンの頂部側上部にセンサの形状に合わせて果肉を切り出し、その部分にセンサを埋め込み、センサが動かないよう粘着テープで固定した。試験終了時には、センサにずれやゆるみが生じていないことを確認した。センサを埋め込んだダイコンの積載段位を変更することで、1~5段目のダイコンにおける加振中の加速度をそれぞれ測定した。反復数は3であった。時間分解能は500μsec、測定時間

は8secとした。得られた加速度から、加速度伝達率(振動台に対するダイコンの加速度の比)を算出し、加速度の指標とした。以下に、加速度伝達率の算出式を示す。

$$Tr = \frac{A_o}{A_i}$$

ここで、Tr：加速度伝達率、A_i：振動台の加速度最大値、A_o：ダイコンの加速度最大値である。

(3) 接触部位応力の測定 接触部位応力の測定は、多点圧力センサ(Pressure Profile Systems製, 触覚センサT-2000)を用いて行った。センサは、素子数256個(16×16)、サイズ10cm×10cmのものを使用した。多点圧力センサの設置部位はダイコンの下部面とし、加振前の接触部位応力値が高い部分がセンサの中心になるよう、粘着テープで固定した。試験終了時にはセンサにずれやゆるみがないことを確認した。そして、多段積載されたダイコン同士およびダイコンと段ボール床面との接触部位に生じる加振中の応力変動を、センサの設置位置を変更して、1段目から5段目のそれぞれについて測定した。測定時間は30secとした。ダイコンの接触部位は、加振処理時の若干の移動や回転により、ずれが生じる場合がある。また、本システムにおいて、時間分解能は、用いるセンサ素子数に依存する(全センサ素子を用いたときの時間分解能は80msec)。そこで、初期接触範囲とその周辺をカバーするため、および時間分解能を高めるために、測定に用いるセンサ素子数を接触部位近傍の48個に限定した(時間分解能15msec)。48個のセンサで計測された各測定時刻における応力値のうち、最大値から上位10個を抽出してその平均値(応力指数)を求めた。全測定時刻について同様の処理を施し、測定時刻と応力指数から合成波形を作成した。作成された合成波形に対して、単位周期に相当する時間(1.0/加振周波数)(sec)範囲内の応力指数の最大値と最小値をそれぞれ抽出した。さ

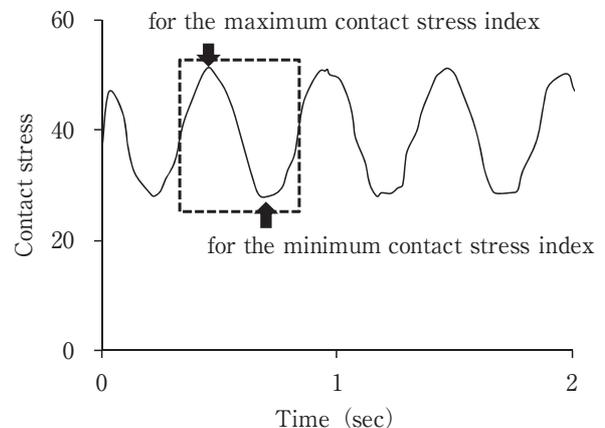


Fig. 2 Procedure for obtaining maximum and minimum contact stress index in Japanese radish (100 points were averaged for both maximum and minimum stress index)

らに、それらの最大値、最小値のそれぞれについて100周期分の平均をとり、加振処理中における接触部位の最大応力指数および最小応力指数とした (Fig. 2)。

実験結果

1. 積載段位の違いが損傷の種類およびその程度に及ぼす影響

ダイコンを5段積載し加振処理を行った結果、上段のダイコンに加振処理中の回転や飛びはね、立ち上がりなど、積載位置の変化を伴う動きが観察された (Fig. 3)。また、発生した損傷は、「押し傷」、「擦り傷」および「剥皮傷 (えぐれ、裂傷を含む)」であった。それら3種類の損傷割合は、それぞれ最大で0.6%、24.0%および7.4%であった。「割れ傷」は発生しなかった。

「押し傷」の発生経過をFig. 4に示す。「押し傷」は、加振30sec後に2段目で発生し、10min後にはすべての段で発生が確認された。加振20min後の「押し傷」による損傷割合は、1, 2, 3, 4および5段目で、それぞれ0.2%、0.5%、0.6%、0.1%および0.1%であった。「押し傷」による損傷割合は、上下をダイコンで挟まれた2段目および3段目が0.5%前後であったのに対して、段ボール床と接している1段目および上段の4, 5段目の損傷割合は0.2%以下であった。また、加振40min後には「押し傷」の発生部位に「擦り傷」が発生し、判別は困難となった。

Fig. 5に「擦り傷」の発生経過を示す。「擦り傷」は、1段目を除いて加振30sec後から発生した。加振10min後の損傷割合は、1, 2, 3, 4および5段目で、それぞれ0.2%、2.2%、2.0%、8.1%および5.7%であった。さらに、加振40min後の損傷割合は、1, 2, 3, 4および5段目でそれぞれ11.6%、3.9%、19.8%、18.7%および23.7%であった。「擦り傷」による損傷割合は、

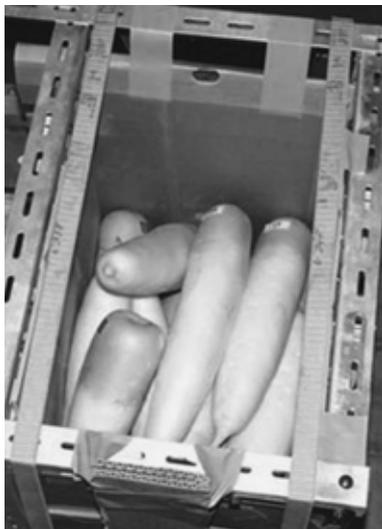


Fig. 3 Change in the position of Japanese radish in the experimental box caused by vibration treatment

加振30sec後には4段目および5段目の平均値が3段目以下の下段の平均値を上回っていた。しかし、加振40min後には、3段目にも上段とほぼ同程度の損傷が生じ、3, 4および5段目の「擦り傷」損傷割合はダイコン表面積の約2割に及んだ。

Fig. 6に「剥皮傷」の発生経過を示す。「剥皮傷」は、最上段の5段目で加振30secから確認され、10min後の損傷割合は、1, 2, 3, 4および5段目でそれぞれ0.1%、0.9%、0.1%、0.5%および1.9%であった。また、40min後の損傷割合は、1, 2, 3, 4および5段目

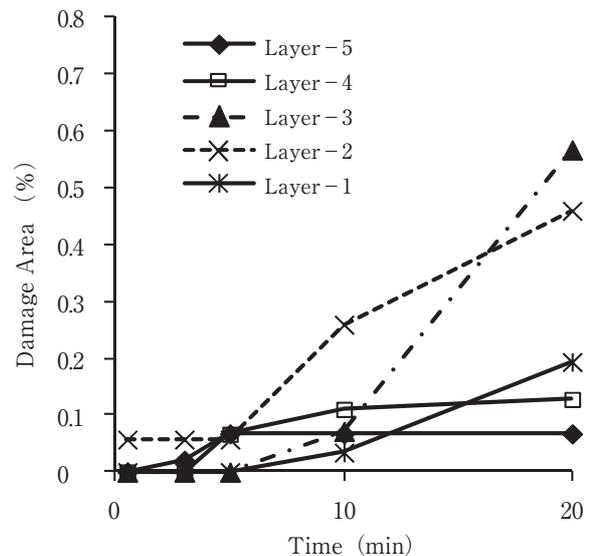


Fig. 4 Influence of vibration treatment on the occurrence of damage area (bruise symptom, %) on Japanese radish skin among loading layers

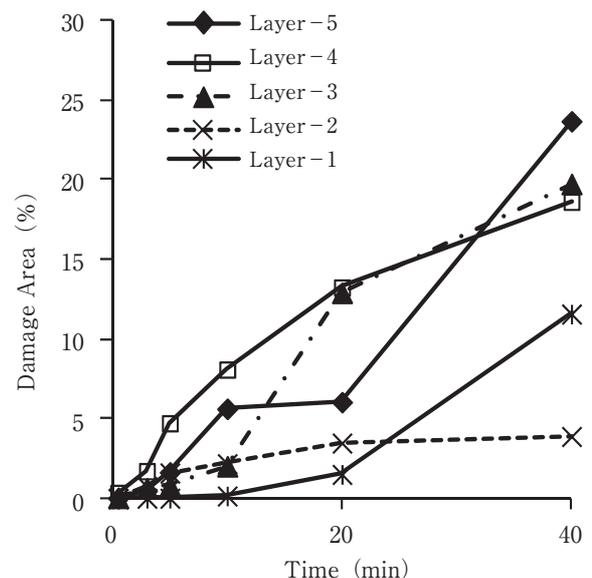


Fig. 5 Influence of vibration treatment on the occurrence of damage area (abrasion symptom, %) on Japanese radish skin among loading layers

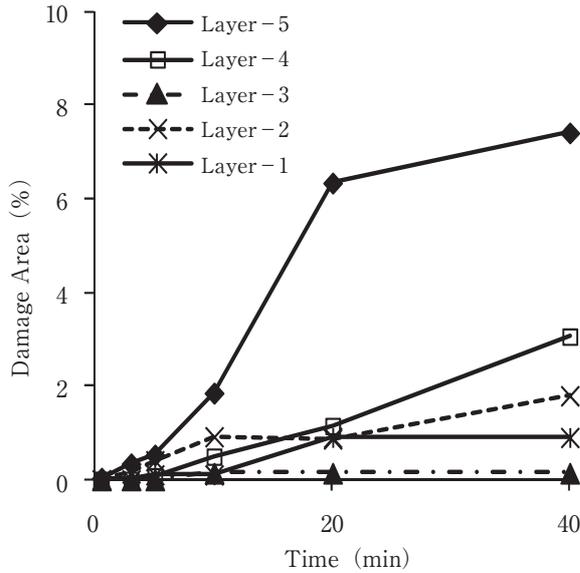


Fig. 6 Influence of vibration treatment on the occurrence of damage area (peeling symptom, %) on Japanese radish skin among loading layers

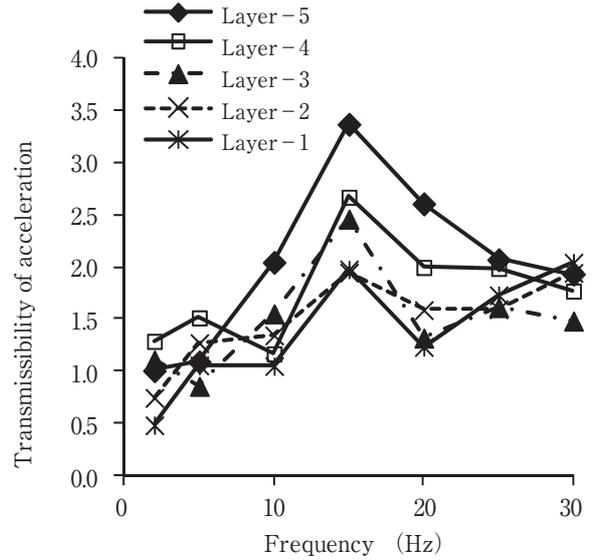


Fig. 7 Effect of vibration frequency on the transmissibility of acceleration in Japanese radish among loading layers

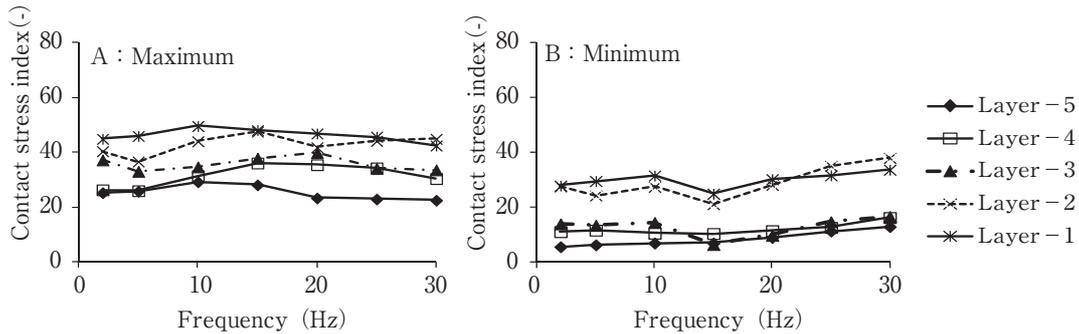


Fig. 8 Effect of vibration frequency on the maximum contact stress index (A) and the minimum contact stress index (B) in Japanese radish among loading layers

でそれぞれ0.9%, 1.8%, 0.1%, 3.1%および7.4%であり, 10min後と比較して拡大した。「剥皮傷」による損傷割合は, 上段, 特に最上段の5段目で大きく, 1段目から3段目では小さかった。

2. 積載段位の違いが加速度および接触部位応力に及ぼす影響

(1) 加速度伝達率 周波数と積載段位が加速度伝達率に及ぼす影響について検討した結果, いずれの段位においても, 15Hzで加速度伝達率が最大値を示し, 15Hz近傍に共振点を有するものと考えられた (Fig. 7)。また, 15Hzにおける加速度伝達率は, 2.0~3.4であり, 上段ほど大きかった。

(2) 接触部位応力 接触部位応力に及ぼす影響について検討した結果, 最大応力指数は, 1段目42~50, 2段目37~47, 3段目33~40, 4段目26~36および5段目22~29であった (Fig. 8-A)。最大応力指数は下段ほど大きい傾向があり, 15Hz, 20Hzおよび25Hzを除く周波

数において有意な差が認められた ($P < 0.05$) (Table. 1-A)。最大応力指数に対する周波数の影響は, 15Hz近傍のピークとして観察されたが, 加速度伝達率に対する影響ほど顕著ではなかった。

一方, 最小応力指数は, 1段目25~34, 2段目21~38, 3段目6~17, 4段目10~16および5段目6~13であった (Fig. 8-B)。最小応力指数はすべての周波数において, 上段部分は下段部分よりも有意に小さい値を示した ($P < 0.01$) (Table. 1-B)。また, 3段目以下では15Hzに下向きのピークがみられた。

考 察

変形の程度の小さい青果物に包装容器内で相対運動が生じるためには, 輸送容器と内容物との間に空隙が必要である。そのため, 多段積載された青果物が振動衝撃などにより上下運動をした場合, 空隙に接している上段ほど相対運動の機会が多く, 下段ほど少ないと推察される。

Table 1 Effect of vibration frequency on the maximum contact stress index (A) and the minimum contact stress index (B) in Japanese radish among loading layers

A: Maximum	Frequency (Hz)						
	2	5	10	15	20	25	30
Upper-layers	29.5 ± 11.3	28.2 ± 11.7	31.7 ± 10.6	33.9 ± 12.5	32.8 ± 14.4	30.4 ± 12.4	28.8 ± 9.5
Lower-layers	42.6 ± 9.7*	41.2 ± 9.2*	46.7 ± 11.3*	47.7 ± 12.2	44.3 ± 12.2	44.9 ± 13.2	43.6 ± 12.4*

B: Minimum	Frequency (Hz)						
	2	5	10	15	20	25	30
Upper-layers	10.3 ± 6.5	10.5 ± 6.5	10.7 ± 6.8	8.0 ± 5.0	10.1 ± 5.4	12.9 ± 7.2	15.3 ± 9.7
Lower-layers	27.8 ± 5.2**	27.0 ± 3.7**	29.5 ± 6.7**	23.1 ± 3.4**	29.2 ± 7.5**	33.4 ± 11.9**	35.9 ± 11.6**

n=5~8

Each data value is represented as mean ± SE

Upper-layers: Average value of layer-3, 4, 5

Lower-layers: Average value of layer-1, 2

: Significantly different between Upper-layer and Lower-layer by Student's test ($p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

5段積載されたダイコンに加振処理を行ったところ、発生する損傷の種類やその程度は、積載段位によって大きく異なった (Fig. 4, 5, 6)。これらの損傷は、加振処理中に発生したダイコンの相対運動 (Fig. 3) および荷重に由来するものと推察された。「押し傷」および「擦り傷」の損傷割合は、最大で0.6%および24.0%であり、「擦り傷」の発生割合が大きかった。これは「押し傷」の発生部位に重なるようにして「擦り傷」が発生することで、本来は存在する「押し傷」が「擦り傷」に隠れてしまい、結果として、損傷割合の値を本来よりも小さくした、と考えられた。また、いずれの段位においても15Hz近傍に共振点を有し、15Hzにおける加速度伝達率は上段ほど大きかった。青果物の振動による損傷程度は、加速度伝達率との間に高い相関を示すことが明らかにされている⁹⁾。今回の検討において、上段で「擦り傷」や「剥皮傷」が特異的に発生した原因は、上段部分において加振中に飛び跳ねなどの相対運動が発生したためであり、その現象は加速度伝達率の値を用いて説明できた。今回の試験では、容器上部は上ぶたを用いず開放状態であった。仮に上ぶたを用い、飛び跳ね等の相対運動により最上段のダイコンが上ぶたに衝突した場合、追加的な損傷が引き起こされる可能性がある。また、実際のバルク輸送では、バルクコンテナを積み重ねての輸送が想定されていることから、上部バルクコンテナの荷重が下部バルクコンテナ内の青果物にかかることを防ぐために、内容物と上ぶたの間には一定の間隙が確保されることが望ましい。跳ね上がりによる移動距離以上の間隙を確保することで、内容物の上ぶたへの衝突を防止するとともに、上部バルクコンテナの荷重が内容物にかかることを防止することができると考えられる。なお、長距離輸送において走行する道路の大部分はアスファルト舗装路面であると想定され、その振動加速度は0.2~0.3G

であると報告されている¹⁰⁾。加速度が大きいほど加速度伝達率のピーク周波数は低く、加速度伝達率も小さくなることから^{11), 12)}、ダイコンの実輸送における加速度伝達率のピーク周波数は、今回の検討 (0.6G) で得られた15Hz近傍よりも高周波数側にシフトすると推察される。

筆者らは2009年12月に、モデル輸送試験を実施した。すなわち、新規バルクコンテナ (サイズ: 縦1,150×横1,130×高さ888 (mm)) にダイコン200本を積載し (25×8段積載)、神奈川県三浦市の神奈川県農業技術センター三浦半島地区事務所から、茨城県つくば市の食品総合研究所を経由して、滋賀県草津市のキョーラク草津工場まで、635kmの行程をトラックで輸送した。草津工場に到着したダイコンのうち、1段目、3段目および8段目からランダムに抽出した各10本について損傷評価試験を行ったところ、「割れ傷」は1段目で2本、8段目で1本確認されたが、今回の検討では発生しなかった。ダイコンの「割れ傷」の発生要因のひとつとして、ダイコンの膨圧の高さが考えられる。今回の検討に使用したダイコンは、収穫・洗浄後に一晩の品温調整を行った。一方、モデル輸送試験では、収穫直後のダイコンを水洗し、新規バルクコンテナに充填したが、その際、新規バルクコンテナ内部にガセット式の内袋 (プラスチックフィルム) をセットした。その結果、今回の検討で使用したダイコンよりも、モデル輸送試験で使用したダイコンの膨圧は高く維持され、「割れ傷」を発生させる一因となった可能性が考えられた。

積載段位の違いが接触部位応力に及ぼす影響について検討した結果、最大応力指数、最小応力指数ともに、上段部分は小さく、下段部分は大きかった (Fig. 8)。15Hzにおける3段目以上の最小応力指数が小さかったことは、4段目および5段目で発生したはね上がりによる上からの荷重の消失によるものと考えられた。荷重の消失

は、間接的に相対的な運動が大きいことを示すことから、相対運動に起因すると考えられる「擦り傷」を、接触部位応力を指標として予測することが可能であると考えられた。しかし、接触部における周波数の影響は加速度に対する影響ほど顕著ではなく、その理由のひとつとして応力測定の時間分解能が低いことが考えられた。本実験では、応力の測定はセンサの垂直成分のみに対して実施したが、対象物の相対運動を測定するためには、垂直成分に加えて、水平成分を測定する必要がある。しかし、測定箇所を増加は時間分解能の低下を意味することから、「擦り傷」発生程度の指標の精緻化には十分とは言えない。特に、高周波数域における多点圧力センサの利用においては、応答性について十分な注意が必要である。その一方で、今後、多点圧力センサの周波数分解能が向上することで、従来は有限要素法(Finite Element Method, FEM)などを用いて予測することしかできなかった青果物輸送時に発生する応力分布について、さらなる有用な知見が得られることが期待される。以上のことから、現段階では、「擦り傷」発生程度の指標には、三軸方向の加速度を解析でき、垂直方向および水平方向の力も測定できる加速度測定が、応力測定よりも適していると考えられる。

一方、「押し傷」は、ダイコンに常に相当の応力が生じることで発生すると考えられた。下段では接触部位応力が大きいことから、「押し傷」の発生程度がより大きく、上段で小さいと考えられるが、本実験条件では、「押し傷」の損傷割合は最大応力指数が最も大きい1段目よりも、2段目、3段目で大きかった(Fig.4)。1段目と2段目の接触部位応力を、センサ48個中の最大値のみで比較すると、ダイコン同士が接触していた2段目の最大応力値は、床面と接していた1段目よりも、15Hz、20Hz、25Hzおよび30Hzの各周波数においてそれぞれ、28.4%、52.2%、49.6%および35.2%大きかったことから(Table 2)、1段目では底板の段ボールによる緩衝効果が生じ、その結果、「押し傷」が軽減されたと推察した。すなわち、今回の実験条件では、「押し傷」の発生には、ダイコンと段ボールの接触よりも、ダイコン同士の接触がより大きな要因となったこと、「押し傷」の軽減対策の検討に際しては、底板の物性の影響について

も考慮する必要があること、などが示唆された。容器内下段における「押し傷」は、主として垂直方向の応力に起因しており、そのような損傷の発生予測には、接触部位応力の測定が有効であると考えられた。さらなる多段積載や、軟弱な青果物、例えばウンシュウミカンなどのバルク輸送を検討する場合には、接触部位応力について検討することが損傷メカニズムの解明のために特に重要になると思われる。

青果物の輸送容器内での移動、それに伴う損傷発生については従来から問題視されており、特にイチゴ^{9),13)}やモモ¹⁴⁾などの軟弱な青果物について、いくつかの検討が行われてきた。また、レタスを充填した段ボール箱の多段積載について、加振時には段ボール箱の共振により生じた加速度を受け、上段の段ボール箱内のみでレタスに自由運動(回転)が生じ、損傷を生じることが明らかにされている¹⁵⁾。本研究において、上段部分で加速度伝達率が大きく、飛び跳ねなどの相対運動が発生することで、損傷程度が大きかった(Fig.3)ことは、岩元ら¹⁵⁾の結果と一致する。

相対運動による損傷を軽減するためには、青果物を固定することが有効であると考えられるが、中村ら¹¹⁾は、固定によりイチゴに下向きの力が発生することを、岩元ら¹⁵⁾は、容器上部の空間をなくして内容物を固定すると容器の多段積載時に内容物に荷重が直接加わることを報告している。すなわち、新規バルクコンテナを用いた輸送時の青果物の損傷を低減するためには、上段部分の相対運動を抑制しつつ、内容物に追加的な応力が発生しない固定方法を開発する必要がある。

以上より、多段積載されたダイコンの損傷特性は積載段位により異なること、加速度センサおよび多点圧力センサを用いた評価は損傷発生メカニズム解析に有効であることが示された。新規バルクコンテナ輸送においては、内容物青果物の損傷を軽減するために、下段における接触部位応力が許容範囲内である段数を設定するとともに、上段部分の共振による相対運動を抑制する包装方法の検討が品目別に必要と考えられた。今後、実輸送条件の振動特性を明らかにし、今回の検討で得られた基礎的知見とあわせ、損傷レベルを許容範囲内に抑える包装・物流条件を解明する必要がある。

Table 2 Difference of the maximum contact stress index between Layer-1 to Layer-2 in Japanese radish during vibration treatment

	Frequency (Hz)						
	2	5	10	15	20	25	30
Layer-1	25.2	25.8	29.2	28.0	23.3	22.9	22.4
Layer2	26.2	25.9	31.3	36.0	35.4	34.2	30.3
Differnce (%)*	4.1	0.6	7.4	28.4	52.2	49.6	35.2

* (Layer-2-Layer-1)/Layer-1×100

要 約

5段積載したダイコンに加振処理を施し、多段積載時の振動特性と損傷発生メカニズムの解析を行った。

ダイコンに発生する損傷の種類やその程度は、積載段位によって大きく異なり、「押し傷」は下段で、「擦り傷」および「剥皮傷」は上段で多かった。

いずれの積載段位においても共振周波数は15Hz近傍であり、また、上段ほど加速度伝達率は大きかった。最大および最小応力指数は、ともに上段で小さく、下段で大きかった。共振周波数である15Hz近傍において最小応力指数の減少がみられたが、共振に由来する相対運動により一時的に上からの荷重を失ったためと推察された。

これらの結果から、上段では相対運動により「擦り傷」や「剥皮傷」が発生し、下段は荷重が大きいため「押し傷」が発生したことを説明できた。また、加速度伝達率を測定することで、「擦り傷」の発生程度予測が可能であると示唆された。

ダイコンのバルク輸送時の損傷を防ぐための対策として、上段の適切な固定による相対運動の抑制および適正な積載段数の設定による下段の接触部位応力の低減が有効であると考えられ、そのための包装、輸送技術の開発が今後の課題として示された。

謝 辞 本研究は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「コスト・環境負荷同時低減のためのバルクコンテナ物流技術の開発」(22014)によって実施した。

文 献

- 1) 農林水産省：平成21年青果物産地別卸売統計，農林水産省 (2011) (<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001072638>)
- 2) 吉川直樹・天野耕二・島田幸司：野菜の生産・輸送過程における環境負荷に関する定量的評価，環境システム研究論文集，**34**，245～252 (2006)
- 3) 農林水産省：食品流通段階別価格形成調査（青果物経費調査）—平成21年度—，農林水産省 (2011) (http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/syokuhin_kakaku/)
- 4) 折笠貴寛・ロイ ポリトシユ・吉田 誠・曾我綾香・大野誠治・新實誉也・横山幸一・芳賀 浩・中村宣貴・椎名武夫：新規バルクコンテナを利用した青果物流通による温室効果ガス排出量削減の可能性，日本LCA学会研究発表会講演要旨集，(第5回)，20～21 (2010)
- 5) 農林水産省：作物統計調査（作況調査・野菜）—平成21年産—，農林水産省 (2011) (http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/index.html)
- 6) 農林水産省：作物統計調査（作況調査・果樹）—平成21年産—，農林水産省 (2011) (http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kazyu/index.html)
- 7) 池田浩暢・石井利直・茨木俊行・小島孝之・太田英明：輸送振動がブロッコリー (*Crassica oleracea var. italica*) の呼吸速度および内容成分に及ぼす影響，日食保蔵誌，**27**，263～268 (2001)
- 8) THAMMAWONG, M., KANETA, T., NAKAMURA, N., YOSHIDA, M., SOGA, A. and SHINA, T.: Influence of Impact Stress on the Postharvest Physiological and Chemical Properties of Cabbage Heads, *Food Preser. Sci.*, **37**, 273～282 (2011)
- 9) 中村宣貴・梅原仁美・根井大介・岡留博司・石川 豊・中野浩平・前澤重艶・椎名武夫：包装条件の違いがイチゴ果実の損傷に及ぼす影響，農業施設，**39**，2～8 (2008)
- 10) 多々良泉・辻 聡宏・御厨初子・田中政信・劉 蛟艶・小島孝之・太田英明：輸送過程で発生する振動がイチゴの呼吸速度および品質に及ぼす影響，日食保蔵誌，**25**，15～20 (1999)
- 11) 中村宣貴・梅原仁美・岡留博司・中野浩平・前澤重禮・椎名武夫：振動周波数および振動方向がイチゴ果実の損傷に及ぼす影響，農業施設，**38**，101～108 (2007)
- 12) 津田和城，中嶋隆勝：がたを有する被包装物の振動に関する数値的検討，日本包装学会誌，**14**，35～46 (2005)
- 13) 北澤裕明・石川 豊・中村宣貴・椎名武夫：イチゴ輸送中の損傷を防止する新たな包装形態，日食保蔵誌，**31**，19～23 (2008)
- 14) KITAZAWA, H., ISHIKAWA, Y., NAKAMURA, N., LU, F. and SHINA, T.: Improvement of Packaging to Reduce Deterioration Peach Fruit Caused by Vibration, *Food preser. Sci.*, **34**, 331～336 (2008)
- 15) 岩元睦夫・河野澄夫・早川 昭：青果物輸送の等価再現化に関する研究 (第1報)，農業機械，**39**，333～349 (1977)
(平成24年4月23日受付，平成24年9月12日受理)

New Procedures to Improve Productivity and Quality in the Manufacture of Boiled-dried Adductor Muscles of Scallop (*shiraboshi*)

YAMAZAKI Masao^{*1§} and OIKAWA Sueo^{*2}

* 1 Faculty of bioindustry, Tokyo Univ.Agri

* 2 Nikko Co. Ltd.

Shiraboshi is a boiled-dried adductor muscle of scallop, which is predominantly produced in North-Hokkaido, Japan. The manufacture of *shiraboshi* has certain limitations such as less productivity in opening and threshing of the shell for its processing and the appearance quality by excessive browning of the adductor muscle. In this study, a new improved procedure for the manufacture of *shiraboshi* was developed based on the consideration that the generation of glucose-6-phosphate was responsible for the browning. A new preheating treatment of the rare muscle introduced immediately after the shell opening-threshing process led to the inactivation, and the hot water extract obtained was a glycine and taurine enriched broth, a valuable by-product. Moreover, the shell opening-threshing process was improved by using saturated steam that allowed localized and quick heating of the shell surface. The new procedure increased the yield of the scallop adductor muscle and reduced the loss due to solving out during boiling/steaming process. Consequently, the new procedure introduced involves two modified processes: firstly, for improving the productivity of the *shiraboshi* preparation and secondly, for obtaining a novel value-added by-product.

(Received Apr. 11, 2012 ; Accepted Oct. 15, 2012)

Key words : *New procedures, productivity and quality, boiled-dried adductor muscles of scallop, by-products shiraboshi*

The boiled-dried adductor muscle of scallop called “*shiraboshi*” is predominantly manufactured at North-Hokkaido area in Japan. *Shiraboshi* is processed from live scallop caught from the coast of Okhotsk Sea. To obtain the adductor muscle from the scallop, the scallop is left in the air without seawater overnight, the molluscos body in the shell is threshed from the scallop by boiling and/or steaming (100 °C for 5 ~7 min), and then the muscle is separated manually from the molluscos body. The adductor muscle of the scallop is boiled in salt water for seasoning (9~14% NaCl for 11~16 min), and then is heated for 50~60 min at 80~90 °C by a hot air heater. The drying process is performed daily using a hot air dryer (60 °C for 60 min per day) and/or by sun drying, until the moisture content of the material decreases to 40% and re-iteration of procedure until it falls to 16%, thus requiring ~1 month for drying of the *shiraboshi* product.

Traditionally, the method employed by the scallop-

processing industry involves boiling and/or steaming the whole scallop several minutes for opening the shell and threshing the molluscos body from the scallop. In our previous study¹⁾, we reported an improved protocol for the opening and threshing technique in which the scallop was exposed to superheated-steam under the pressure, thus the heating the shell surface up to ca. 60 °C for easier access to opening the shell and threshing the molluscos body while leaving the adductor muscle raw. However, certain modifications such as improving the efficiency of opening - threshing process, which requires leaving the scallop overnight for weakening, still need to be addressed. Additionally, exposing / subjecting the adductor muscles to high temperatures for extended time during the boiling and/or steaming reduces the yield owing to loss of the solid contents from the muscle by solving out.

The commodity/commercial value of *shiraboshi* is

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

largely influenced by its appearance such as color and firmness. Thus, while moderately browning of the *shiraboshi* product is graded high, the excess browning of the product lowers the commodity value. The browning during cooking is thought to be the most likely cause of the Maillard reaction with D-glucose-6-phosphate (G6P) and D-fructose 6-phosphate (F6P)²⁾. G6P and F6P are intermediates of the glycolytic pathway triggered during the postmortem changes in glycogen of the adductor muscle³⁾. Thus, the color figuration of the adductor muscle during the manufacturing process is affected by endogenous sugar phosphate, and therefore it is necessary to use flesh materials and to be heated to avoid the excess production of G6P and F6P. Hence, enhancing the productivity and prevention of solving out of the solid content are important for the scallop-processing industry, the understanding of which remains limited by the availability of only a few reports on the processing of the scallop adductor muscle.

The development of individual process involved manufacturing *shiraboshi*, including scallop heating with superheated steam^{4),5)}, seasoning by salt soaking at low temperature^{6),7)}, and introduction of programmed controlling of the temperature and humidity for the drying process⁸⁾ to improve the product quality having better appearance, and to shorten the processing time are addressed in the current study. Particularly, the bottleneck in manufacturing *shiraboshi*, like, low productivity due to leaching out of adductor constituents and generation of G6P during the processing, have been described and the new method is developed to provide solutions.

Materials and methods

1. Materials

Frozen adductor muscle of scallop (*Patinopecten yessoensis*) was purchased from ice making and freezing factory of Tokoro Fisheries Cooperative Association.

Live scallop, Japanese scallop (*P. yessoensis*), occurring in Yubetsu sea area in Sea of Okhotsk was purchased from Yubetsu Fisheries Cooperative Association.

2. Determination of glucose 6-phosphate

G6P was determined using the modified F-kit for the estimation of D-glucose, D-glucose-HK (Megazyme Itn. Ltd., Ireland). Glucose 6-phosphate dehydrogenase

(Oriental Yeast Co. Ltd., Japan) solution was used instead of mixture solution of hexokinase and glucose 6-phosphate dehydrogenase in F-kit. First, 4 g of adductor muscle was soaked into 8 ml of straub solution (0.3 M KCl, 0.1 M KH₂PO₄, 0.05 M K₂HPO₄), transferred into a sterilized filter bag and then homogenized with a stomacher for 90 s. The homogenate was diluted with straub solution to an appropriate concentration, heated at 100°C for 10 min to inactivate endogenous enzymes present in the muscle, and then the G6P content of the sample was determined using the modified F-kit. Standard solution of G6P monosodium salt (Calzyme Lab., Inc., USA) was used for obtaining the standard curve.

3. Preparation/Separation of the adductor muscle from the scallop

The traditional procedure was followed, in which, the scallop was boiled in water for 5 min at 90°C. The adductor muscle was manually extracted from the molluscos body obtained with boiling of scallop.

The new procedure involved the use of the scallop sheller test model for laboratory (Nikko Co. Ltd.). This device allows spreading the saturated steam effectively and covers the entire shell surface, where it is adhere/attached to adductor muscle. To facilitate opening the shell, the scallop was heated for 10s with saturated steam, after which the visceral organs were manually removed from the molluscos body. Further, the shell bound to the adductor muscle was heated for 10s, thereby allowing the separation of the muscle from the shell.

4. Determination of yield rate and denaturation by heating scallop in the new procedure

The solid content that solve out from the scallop materials during boiling and steaming treatment was calculated from the weight of the extract in each treatment and the Brix value from the sugar refractometer. The yield was calculated as a percentage of the substance to the total scallop material. The extent of denaturation of the adductor muscle during the heat treatment was estimated based on the whiteness of the muscle surface. L*, a* and b* values were obtained by measurement of the surface using a chroma meter with colorimeter (Konica Minolta CR-400). The whiteness was calculated by the following formula:

$$W = 100 - \{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}\}^{1/2}$$

5. Production of *shiraboshi* by using the new procedure

The adductor muscles were isolated from 100 kg

of live scallops by using the traditional or new procedure and immediately boiled with tap water at 70°C for 25 min, following which the boiled adductor muscles were heated 3 times with superheated steam at 140°C for 5 min. The drying procedure with set program coordination of temperature and humidity was carried out for 10 days until the moisture content of the adductor muscles become ~16%.

6. Determination of free amino acids in extract as by-products

The scallop adductor muscles were boiled in water of the same weight at 70°C for 25 min. One gram of the broth was mixed with the same volume of 5% trichloroacetic acid (TCA) to precipitate the proteins contained in the broth. After centrifugation (10,000 rpm, 10 min) the supernatant was mixed with 2 ml of n-hexane and the mixture was allowed to stand for a few minutes after which, it was filtered through a cellulose acetate membrane (0.2 µm). The amino acid concentration in the filtrate was determined using an amino acid analysis system, LaChrom Elite (Hitachi High-Technologies Corp., Japan) with a post-column NIN method. The temperature for the ninhydrin reaction was set to 130°C (reagent flow rate: 0.25 ml/min). The reacted amino acids were detected by recording the absorbance at 570 nm.

Results and Discussion

1. Establishment of glucose-6-phosphate assay

Since an earlier report²⁾ showed that the G6P and F6P were mainly responsible for/involved in the browning of the cooked adductor muscle of the scallop, the author attempted to establish a new method specifically for assaying G6P by using a commercially available F-kit for D-glucose assay. The kit contains hexokinase, adenosine-5'-triphosphate (ATP), nicotinamide-adenine dinucleotide phosphate (NADP⁺) and glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6P-DH). While hexokinase and ATP allow synthesis of G6P and adenosine-5'-diphosphate from glucose and ATP, G6P-DH catalyzes the oxidation of the G6P concomitantly reducing NADP⁺ to give nicotinamide - adenine dinucleotide phosphate (NADPH). Thus, it was expected that this assay could be applied for the detection of G6P instead of glucose by bypassing the reaction catalyzed by hexokinase. In the modified assay, G6P-DH instead of hexokinase and G6P - DH. To confirm the

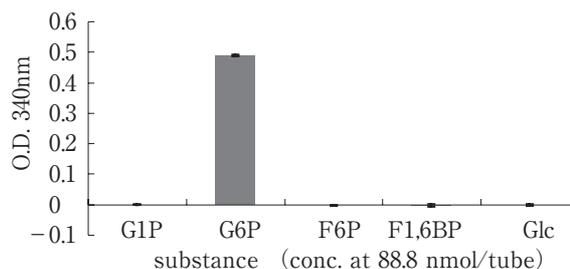


Fig. 1 Specificity of the new G6P assay established in this study

The specificity of the colorimetric reaction by the newly established G6P assay was confirmed: glucose-1-phosphate (G1P), glucose-6-phosphate (G6P), fructose-6-phosphate (F6P), fructose 1,6-bisphosphate (F1,6BP) and glucose (Glc) (88.8 nmol each) was used for the G6P assay.

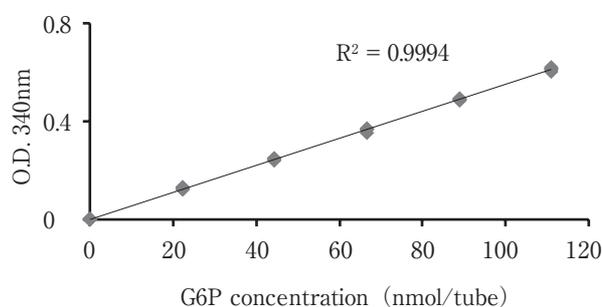


Fig. 2 Standard curve for the G6P assay

Standard solutions of G6P monosodium salt (0~110nmol) were employed to obtain the standard curve for the G6P assay.

specificity of the modified method, glucose 1-phosphate, G6P, fructose-6-phosphate, fructose-1,6-phosphate and glucose were used as substrates. Remarkably, the assay (Fig. 1) exclusively detected G6P. Furthermore, it was confirmed that detection by the modified method demonstrated that an absorbance at 340 nm due to NADPH was proportional to concentration of G6P (Fig. 2). Consequently, it was concluded that the modified method is suitable for the quantitative assay/estimation of G6P.

2. Effect of thawing time on G6P production in frozen adductor muscles

Prior speculation that glycogen metabolites were responsible for the browning required the examination of the course of the G6P production in the adductor muscle as a function of time. For this purpose, frozen muscle was defrosted in the refrigerator (4°C), and the G6P present in the samples was extracted and assayed by the newly established methods for its quantification. The content of G6P in the adductor muscle increased

between 3~12 h post thawing and then decreased (Fig. 3). The temperature at the center of the adductor muscle exceeded 0°C at 3 h post thawing and rose to 4°C before 6 h post thawing (data not shown). These findings suggest that the endogenous production of G6P commenced above 0°C in the adductor muscle. A previous report²⁾ indicated that fast production of G6P occurred in the adductor muscle that was rapidly thawed under running water (15°C) for 45 min.

The effect of the preheating treatment of the adductor muscle for the prevention of G6P production was examined by preheating the muscle

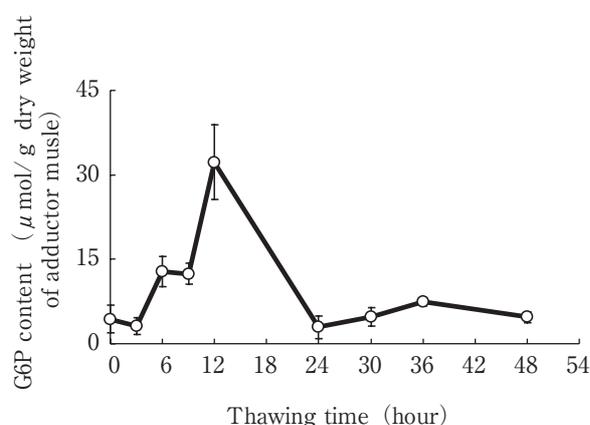


Fig. 3 Change in G6P content in the adductor muscles of the scallop during thawing

Frozen adductor muscles of the scallop ($n=5$) were thawed and stored in the refrigerator (4°C) for 48h. The G6P contents in the extracted muscle samples were estimated with the newly established assay.

by boiling until their central temperature reaches to 40, 50, 60 and 70°C and then storing at 4°C for 0~48 h. The muscle G6P content collected at several time intervals is displayed in Fig. 4. It was observed that G6P content in the muscle without preheating treatment increased and decreased depending on the storage time (Fig. 4; Column A), whereas this change in the levels of G6P were not observed in the muscles that had been preheated above 50°C. The plausible reason could be that preheating could have inactivated the endogenous enzyme(s) of the/involved in the glycolytic pathway. It was observed that inactivation of endogenous enzyme(s) by preheating within 6 h after death was critical for the retardation/prevention of G6P production in the adductor muscle during refrigeration.

3. New procedure for *shiraboshi* production and its effects on the productivity

Traditionally, the procedure for opening and threshing the shell reduced the yield of the adductor muscle owing to leaching of solid content in the broth during the extended boiling step. The new protocol employed saturated steam that allows rapid localized heating, thus aiding opening and threshing the shell. Thus, relatively lower yield rate was obtained according to the traditional procedure, because of the leaching of substantial solid content in the broth (Table 1) caused by extended exposure to high temperatures. Additionally, because the adhered substances on scallop, such as marine organisms and their metabolites are also eluted into

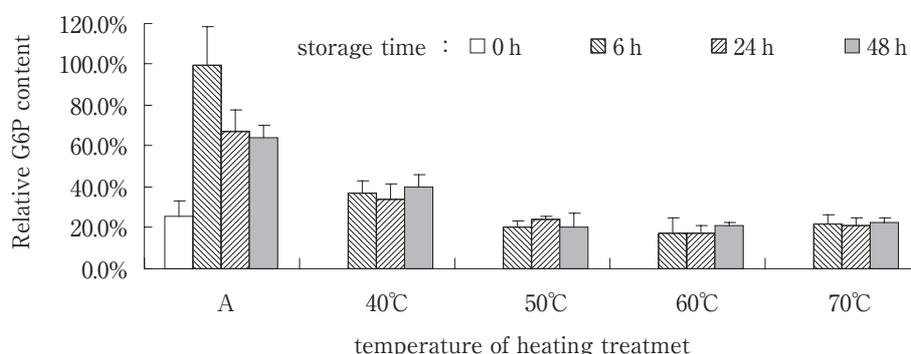


Fig. 4 Effect of the preheating treatment of the adductor muscles of scallop on the generation of G6P in the muscle during cold storage

The adductor muscles of the scallop were preheated by boiling. Upon reaching a central temperature of 40~70°C, each sample was stored for 0~48h in the refrigerator (4°C). Column A indicated the thawing of the frozen adductor muscle without preheating. The muscles were collected at several time intervals. The G6P content in the samples after the storage were determined by the new G6P assay. The G6P content in the adductor muscles without preheating treatment, which were stored at 4°C for 6h, was set to 100%.

Table 1 Effect of the procedure to open and thresh shell on yield rate and denaturation of surface of adductor muscle

	yield rate ^{*3}		whiteness ^{*4} of surface (denaturation)
	solid content in broth	adductor muscle	
traditional procedure ^{*1}	9.5%	11.8%	70.8 ± 1.7
new procedure ^{*2}	0.4%	13.2%	56.7 ± 1.3

^{*1} : traditional procedure condition : boiling for 5 min at 90°C

^{*2} : new procedure condition : saturated steaming for 10sec each shell surface

^{*3} : yield rate: mass of product per mass of live scallop

^{*4} : whiteness: $W = 100 - \{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}\}^{1/2}$

L*, a*, b* value: Chroma meter difference with colorimeter (KONICA MINOLTA CR-400)

the broth, the broth is rendered unsuitable for secondary usage as by-products. On the other hand, saturated steam ensures the rapid heating of the shell surface to enable opening and threshing, thus reducing the amount of solid content in the broth and consequently increasing the yield rate of the scallop adductor muscle as compared to the traditional procedure.

The degree of whiteness/paleness of the adductor muscle surface represents the extent of denaturation caused by heating. No difference was observed between the degree of whiteness between raw muscle and that after saturated-steam treatment (data not shown). In the traditional opening-threshing procedure, whitening of the adductor muscle due to heat denaturation was observed along with less productivity ease in adductor muscle isolation process.

The adductor muscles obtained from the traditional and new procedures were further processed to furnish *shiraboshi* products. The yield rate of the final product was 3.00% on following the new procedure as against 2.25% (data not shown) by traditional procedures. The alteration in the isolation procedure of the adductor muscle clearly produced a difference in the productivity in the *shiraboshi* preparation. The new procedure, which uses saturated steam for a short time interval, improved productivity over 30% in comparison with the traditional procedure.

4. Utility value of the hot water extract obtained as the by-product in the new process

The adductor muscles of scallop obtained by the new procedure of opening and threshing the shells were boiled at 70°C for 25 min, to inactivate the endogenous enzyme (s) involved in G6P production. The amino acid content in the broth was analyzed (Table 2), and it was observed that glycine and

Table 2 Free amino acid content of extract from adductor muscle of scallop with hot water^{*1}

	mg/scallop ^{*2} (kg)	composition ^{*3} (%)
Gly	453.5	41.7
Tau	404.9	37.2
Arg	150.5	13.8
Ala	29.6	2.7
Glu	25.4	2.3
others	23.3	2.1
total	1087.2	100.0

^{*1} : extraction with wap water at : 70°C, for 25min

^{*2} : amounts of free amino acid from live scallops

^{*3} : relative proportion of free amino acids extract contains

taurine accounted for approximately 80% of the total free amino acids present in the extract. Glycine and taurine are constituents of bile acid and related to cholesterol metabolism in humans and animals. Whilst the former is sweet in taste, the latter shows valuable bioactivity⁹⁾. Thus, the hot water extract, obtained on boiling the muscle to inactivate endogenous enzyme (s), would be a useful by-product.

The traditional procedure also gives off/supplies hot water extract of the adductor muscle at the seasoning step. However, since the extract contains high salt concentration and browning, it finds limited industrial use. Thus, although the extract contains taste components in abundance, it is either wasted or traded to condiment companies at a low price. Meanwhile, the hot water extract obtained from the new improved *shiraboshi* processing procedure is a novel by-product. The lyophilized powder of the extract showed low salinity (0.1% : data not shown) and no browning. The powder possesses acceptable flavor of the boiled adductor muscle of scallop. Additionally the extract can be applied to spray drying method without desalting

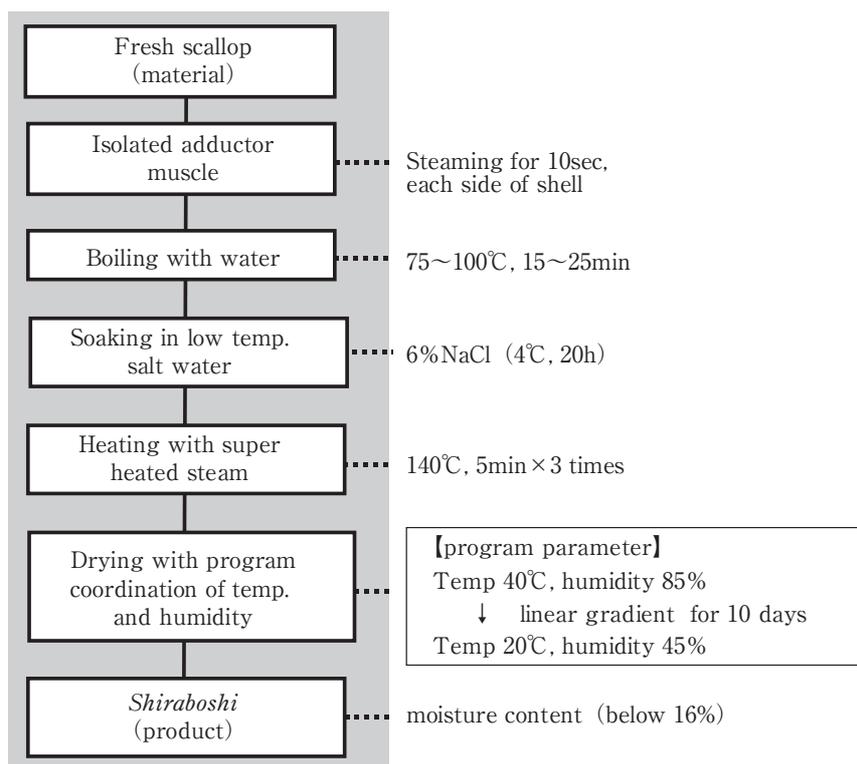


Fig. 5 A new process for *shiraboshi* production

A newly proposed method for manufacturing *shiraboshi* based on the results obtained from this study. Fresh scallops were steamed for 10s to enable opening and threshing the shells. The adductor muscles were manually isolated and boiled with tap water at 75~100°C for 15~25min to inactivate the endogenous enzyme (s). The materials were soaked into 6% NaCl water at 4°C for 20h for seasoning, heated 3 times at 140°C for 5min each, and then dried with programmed coordination of the temperature and humidity.

and addition of diluents.

In the new procedure, additional processing is required, in which the adductor muscle is boiled to prevent the generation of endogenous G6P immediately after the opening - threshing step (Fig. 5). G6P is known to be one of the causative agents for browning in cooked adductor muscle¹⁰⁾. Thus, it is necessary to understand the role of G6P in the browning of *shiraboshi* products. The new procedure in conjunction with the use of saturated steam processing for opening - threshing the shell improved the productivity of the *shiraboshi* preparation. Further, the hot water extract obtained as a by-product in the inactivation step was identified as a valuable material.

Acknowledgments The author is grateful thanks to Kohken Perfumery Co. Ltd. for performing the free amino acid analysis. This study was supported partly by Grants-in-Aid for Regional R & D Proposal -Based Program from Northern Advancement

Center for Science & Technology of Hokkaido Japan.

References

- 1) YAMAZAKI, M. and IWASAKI, Y.: Opening and threshing technique for processing of adductor muscle of scallop from frozen and fresh shells using superheated steam under pressure. *J. Jpn. Assoc. Food Preserv. Sci.*, **33**, 131~134 (2007)
- 2) KAWASHIMA, K. and YAMANAKA, H.: Effects of cold storage, freezing and thawing on browning of cooked scallop adductor muscle. *Fisher. Sci.*, **61**, 1031~1034 (1995)
- 3) KAWASHIMA, K. and YAMANAKA, H.: Influences of seasonal variations in contents of glycogen and its metabolites on browning of cooked scallop adductor muscle. *Fisher. Sci.*, **62**, 639~642 (1996)
- 4) NISHIOKA, F., ASAOKA, D. and YAMAZAKI, M.: The research on the high quality of the boiled-dried adductor muscle of scallop (*shiraboshi*) using the superheated steam. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, **51**, 167~171 (2004)

- 5) YAMAZAKI, M., NISHIOKA, F. and ASAOKA, D. : Method for producing white-dried scallop. *Japanese patent* no. 4378747 (patented 2 Oct. 2009)
- 6) YAMAZAKI, M. : Method for producing high-quality white dried scallop. *Japanese Patent Application* No. 2009-142727 (filed 5 May 2009)
- 7) YAMAZAKI, M. and MURASAKI, K. : Production procedure of dry adductor of scallop. *Japanese Patent Application* No. 2009-284502 (filed 26 Nov. 2009)
- 8) YAMAZAKI, M. : Method for producing high-quality scallop dried without seasoning. *Japanese Patent Application* No. 2008-162531 (filed 27 May 2008)
- 9) CHEN, W. , GUO, Jun-X. and CHANG P. : The effect of taurine on cholesterol metabolism. *Mol Nutr Food Res.*, **56**, 681~90 (2012)
- 10) KAWASHIMA, K. and YAMANAKA, H. : Relations between glycolysis and browning of cooked scallop adductor muscle. *Fisher. Sci.*, **62**, 800~805 (1996)

ホタテガイ白干し加工の生産性と品質向上のための新しい製法

山崎雅夫*¹・及川寿恵男*²

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

* 2 (株) ニッコー
(〒084-0924 北海道釧路市鶴野110-1)

ホタテガイの閉殻筋(貝柱)を、煮熟-乾燥させた白干しは北海道北部が主産地となっている。白干しの製造工程には様々な問題点があるが、主には貝の開殻、脱殻操作における生産低下や過度な褐変による製品の外観品質低下である。本研究では白干し製造の生産性を向上させる新しい操作と工程を開発した。第一に内在G6Pの産出が褐変に影響するという仮説をもとに、開殻脱殻工程後の生に近い貝柱を素早く加熱し失活させる新しい工程を導入した。この結果、失活工程で得られる熱水抽出液はグリシン、タウリンに富み高付加価値の副産物であった。第二に貝の外側から限定的に短時間飽和蒸気をあてる操作に開殻脱殻工程を改良した。この新しい操作によって従来の煮熟蒸煮中の固形分溶出に起因する貝柱歩留まりの低下やエキスの損失を改善した。2つの工程改良を含む新操作は白干しの生産性を改善すると共に新しい副産物を得るという結果を得た。

(平成24年4月11日受付, 平成24年10月15日受理)

精米後の酒米の水分吸着等温線

小出章二*[§]・伊藤 萌*・折笠貴寛*

* 岩手大学農学部

Moisture Adsorption Isotherms of Polished Rice for Sake Brewing

KOIDE Shoji*[§], ITO Moe* and ORIKASA Takahiro*

* Faculty of Agriculture, Iwate University, 3-18-8, Ueda, Morioka-shi, Iwate 020-8550

Polished rice for sake brewing is subjected to a rice storage period called “*karashi*” until soaking. Generally, just polished rice for sake brewing has a low moisture content, and the moisture content tends to increase during rice storage; however, the equilibrium moisture content (EMC) in adsorption has not yet been indicated. In this study, a major sake brewery rice variety ‘Yamada-nishiki’ was used as the sample and polished to 70% of the apparent polishing ratio, and the EMCs of ‘Yamada-nishiki’ were determined at various conditions of temperature and relative humidity. It was observed that the obtained EMCs fitted the Chen-Clayton equation well ($R^2 = 0.997$), and the calculated parameters were used to demonstrate the contour line shown by the moisture contents of ‘Yamada-nishiki’ (70% of the apparent polishing ratio), as affected by temperature and relative humidity. In addition to this, it was shown that the cracking ratio of ‘Yamada-nishiki’ (70% of the apparent polishing ratio) during soaking (15°C, 120min) increased with decreasing moisture content of polished ‘Yamada-nishiki’. Our study indicates the fundamental knowledge on moisture control of polished rice for sake brewing during the rice storage period “*karashi*,” which is one of important processes during sake brewing.

(Received May 31, 2012 ; Accepted Sep. 3, 2012)

Key words : polished rice for sake brewing, “*karashi*”, apparent polishing ratio, equilibrium moisture content, cracking ratio

精米後の酒米, 枯らし, 見かけ精白歩合, 平衡含水率, 浸漬割れ率

精米後の酒米の水分は, 精白歩合を低く設定するほど, 精米時間の増加に伴い低水分となる^{1),2)}。そこで精米後酒米は, 枯らし場や紙製米袋内で一定期間調湿する「枯らし」期間を設けた後洗米・浸水・水切りを行うことが多い^{3),4)}。この枯らしは冬季の比較的低温下で, 時間をかけて行われるため, 枯らし期間における平衡水分の予測や制御法の確立が望まれている。しかし, これまで精米後酒米の平衡含水率に関するデータは見当たらず, 枯らし期間での精米後酒米の水分調湿は経験的に行われてきた。

そこで本研究では, 酒造好適米の代表的品種である山田錦を供試材料として精米し, 枯らし工程を想定して温度と湿度から平衡となる水分を視覚的に表現できるように水分等高線図を作成した。ここでは, 「酒造用原料米全国統一基準法」での酒造適正分析⁵⁾を参考に, 見かけ精白歩合 (白米質量/玄米質量の比に100をかけた値, 以

後歩合と称する) を70%とした酒米「山田錦」を種々の条件 (温度, 湿度) の下で平衡含水率を計測し, 測定値を水分吸着等温線の実験式として用いられるChen-Clayton式⁶⁾にあてはめ, 得られたパラメータから水分等高線図を示した。併せて本研究では, 水分の異なる歩合70%の酒米を浸漬させ, その吸水工程における浸漬割れ率の水分依存性について調査した。本結果は, 精米後の酒米の水分調湿後の平衡水分値の算出や平衡水分の視覚的表現法を提案するうえで基礎的知見を与えるものである。

実験方法

1. 供試材料

供試材料は, 平成21年度兵庫県産「山田錦」(新米玄米, 2.1mm篩で選別) である。玄米は35°Cのインキュベータ内で約5時間乾燥させ, その後シリカゲルの入っ

* 〒020-8550 岩手県盛岡市上田3-18-8

§ Corresponding author, E-mail: shojides@iwate-u.ac.jp

たデシケータを用いて、玄米の初期水分を11.5% (wet basis) となるよう乾燥した後、シリカゲルの入ったデシケータ内に静置させ、これを平衡含水率の計測用玄米試料とした。一方、浸漬割れ米の計測用の玄米は、35°Cのインキュベータ内で最大で約5時間乾燥させた後、デシケータ内に静置 (水分調整) させ、玄米初期水分を約16.0, 14.0, 11.3%に調整した。これらの玄米試料は、醸造用テスト精米機として用いられるインバータ内蔵醸造用立型小型精米機 (チヨダエンジニアリング, HS-4, Japan) を用いて精米した^{7)~9)}。精米は、碎米・胴割れ米・未熟米を除いた酒米を供試材料とし、砥石回転数を1,000rpm (精白ロール周速度: 5.24m/s) とし、玄米30gを精白室に投入した。精米歩合は、30分毎 (精白歩合75%以下では測定間隔は10分以下) に精白ロールの回転を一時停止し、精白米室から米粒を取り出し、その質量を電子天秤 (A & D: HA-180M, Japan, 測定精度0.1mg) で迅速に測定し、これと初期投入量から算出した。精米は、歩合が70%となった時点で終了とした。精米にはおよそ3時間程度を要した。酒米水分は10g粒-135°C-24時間法により計測し、これを5g粉碎-105°C-5時間法となるように換算した^{8),9)}。

2. 平衡含水率の計測

精米後、歩合70%の酒米は水分吸着等温線の測定のため、シリカゲルの入ったデシケータに静置した。測定前の酒米の水分は7.57%であった。

測定は、既往の報告と同様の8種類の飽和塩溶液¹⁰⁾を入れたガラス製デシケータ各々に、碎米を目視にて取り除いた酒米約6g (薄層) を入れ、これらを一定温度 (5, 15, 25°C) に設定したインキュベータ内に置き、酒米の質量の履歴を計測した。ここに、質量の測定は、各温湿度条件下の酒米を取り出し、電子天秤を用いて計測し、1日当たりの質量変化が0.1mg/day以下となったときを水分平衡とみなした。今回、水分平衡に要した日数は測定開始日から14日から35日間であり、その間酒米表面にカビ発生等の異変は見られなかった。

3. 平衡含水率の解析

平衡含水率の解析は穀物に対して適合性の高いChen-Clayton式を採用した^{6),10)~12)}。

$$rh = \exp \left[-a \cdot T^b \cdot \exp \left(-c \cdot T^d \cdot \frac{M_d}{100} \right) \right] \dots \dots (1)$$

ここに、 rh は相対湿度 (decimal), M_d は平衡含水率 (% dry basis), T は絶対温度 (K) で、 a, b, c, d はパラメータである。これより、精米後酒米の平衡含水率とデシケータ内の相対湿度から、上式のパラメータを非線形最小自乗法により算出した。このChen-Clayton式とパラメータを用いると、相対湿度と温度から平衡含水率は次式で計算できる。

$$M_d = \frac{-100 \cdot \left[\ln \left(\frac{-\ln(rh)}{a} \right) - \ln(T) \cdot c \right]}{b} \cdot T^{-d} \dots (2)$$

4. 浸漬割れ率の計測

浸漬割れ率の計測用として精米された歩合70%の酒米の水分はそれぞれ14.6, 13.4, 11.2%であった。浸漬試験は、酒造適正分析⁹⁾に準じ、浸漬水温15°C、浸漬時間を120分とした。ここに、浸漬水は蒸留水を用いた。測定粒数は1回当たり100粒とし浸漬後は浸漬割れの有無を目視で計測し浸漬割れ率を算出した。測定は3反復行い、測定値は平均値±標準偏差 (SE) で示した。これより、精米後の酒米の水分が浸漬割れ率に与える影響を、一元配置分散分析により検定した。

以上の精米および精米後酒米の平衡含水率の測定、浸漬割れ率の計測は、供試材料が研究室に搬入されてから70日以内に実施・計測した。

結果および考察

1. 平衡含水率

図1に精米後の酒米の吸着過程の平衡含水率の温度・湿度依存性を示す。これより精米後の酒米は、他の穀物と同様^{10)~12)}に、同じ相対湿度の条件では温度の低下とともに含水率は増加し、同じ温度条件では相対湿度の増加とともに含水率が大きく増加することが示された。次に、測定値をChen-Clayton式にあてはめ、非線形最小自乗法で得られたパラメータを表1に記す。また、パラメータを用いて、計算された水分吸着等温線を図1に実線で示す。これを見ると、Chen-Clayton式による近似の適合性は極めて良好 ($R^2=0.997$, $RMS=0.369\%$ dry basis) であり、また図1よりChen-Clayton式による計算値と測定値は非常によく一致することが示された。

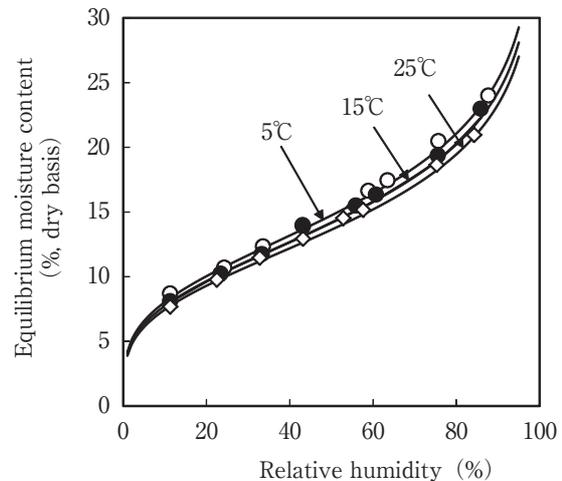


Fig. 1 Moisture adsorption isotherms for polished rice ('Yamada-nishiki'; apparent polishing ratio at 70%) for sake brewing: ○; equilibrium moisture content at 5°C, ●; 15°C, ◇; 25°C, -; values were calculated using the Chen-Clayton equation.

Table 1 Parameter values for the Chen-Clayton equation for adsorption data and statistics of fitting

	Parameters					R^2
	a	b	c	d	RMS	
‘Yamada-nishiki’ (apparent polishing ratio at 70%)	4.301	0.023	0.145	1.183	0.369	0.997

* RMS indicates root mean square in %, dry basis

ここでは、図1をより視覚的に表現するため、既往の報告¹⁰⁾と同様に、計算により得られたパラメータ(表1)をChen-Clayton式に代入し、含水率 M_d を次式で水分値 M_w に計算し、温度と湿度を軸とする水分等高線図を作成した(図2)。

$$M_w = \frac{100M_d}{100 + M_d} \dots\dots\dots (3)$$

図2の縦軸は相対湿度(%), 横軸は温度(°C)を示し、図中の等高線は精米後酒米の吸着過程の平衡水分値を示している。すなわち、温度と湿度の値がわかれば、その環境下の平衡水分を視覚的に推算できる。例えば、低水分に精米された精米歩合70%の酒米を温度15°C, 相対湿度65%の環境下で調湿すると、その平衡水分は14.3%となることがわかる。また、同じ相対湿度の場合、低温になるほど平衡水分は高くなり、温度5°C, 相対湿度65%のとき、平衡水分は14.8%に増加することが図2より見てとれる。なお、図2は歩合70%の精米後の酒米のデータをChen-Clayton式で解析して作成したものであるが、大吟醸用の酒造好適米では精米直後の酒米は水分10%を下回ることも多く^{4),13)}、多くの酒造現場では、

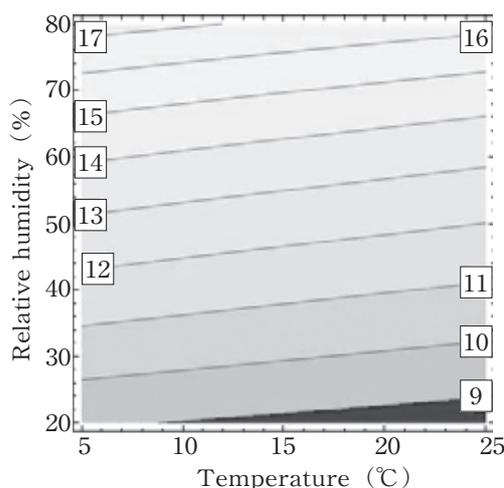


Fig. 2 Counter line based on the Chen-Clayton equation that shows the equilibrium moisture contents (% wet basis) for polished rice (‘Yamada-nishiki’; apparent polishing ratio at 70%) for sake brewing, as affected by temperature and relative humidity

The value with a square frame indicates the equilibrium moisture contents.

「枯らし」期間を設けて、枯らし場や紙製米袋内にて精米時に生じた摩擦熱の放熱と蒸散した水分を外気から吸湿させて米を安定化させて使用している^{4),13)}。よって、本研究で提案した精米後の酒米の水分調湿後の平衡水分値の算出法や平衡水分を視覚的に表現する水分等高線図の作成方法は、大吟醸用白米の枯らし期間における水分調湿に即応できると考える。今後は、酒造好適米を歩合40%まで精米し、同様の測定を行い、大吟醸用白米用の水分等高線図を作成する予定である。

2. 浸漬割れ率

浸漬後の精米後酒米の浸漬割れ率を図3に示す。これより精米後酒米は水分の減少に伴い、浸漬割れ率が高くなることが示された。また、一元配置分散分析の結果、各水分における浸漬割れ率は1%水準で有意差が認められた。精米後酒米の水分の減少に伴い、浸漬割れ率が高くなる現象は既往の報告^{2),13)}と同様であるが、歩合70%付近の精米後の酒米の浸漬割れに関する定量的なデータは極めて乏しいことと、浸漬割れの多寡は吸水率等に影響を及ぼすため、本データは浸漬・水切り・蒸きょう等の工程に有益な知見を与えると考える。筆者らは、これまで炊飯用の精白米の外部裂傷(水浸裂傷粒)の発生率は水分の減少に伴い増加し、浸漬水温の上昇とともに減ずることを示し、併せて水浸裂傷の発生メカニズムを明

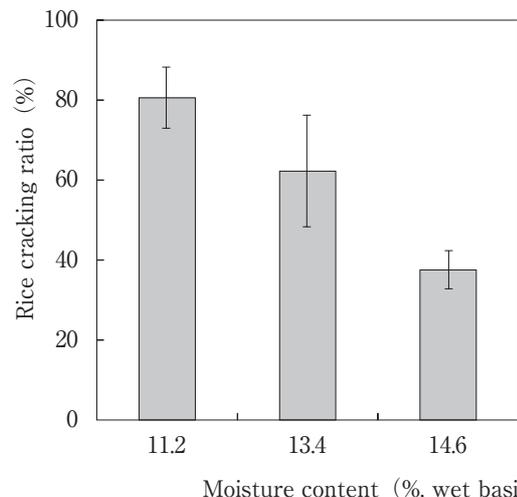


Fig. 3 Rice cracking ratio of polished rice (‘Yamada-nishiki’; apparent polishing ratio at 70%) for sake brewing during soaking (15°C, 120min); The data are represented by the mean values and standard deviations of 3 independent trials (n=3)

らかにしたが^{14),15)}, 精米後の酒米の浸漬割れは水分のみならず品種や精米歩合, 心白発現率, 心白発現量, 心白の形状等に大きく影響される^{16),17)}。この酒米の浸漬割れのメカニズム解明は今後の課題である。

要 約

酒造好適米の代表的品種である山田錦を供試材料として, 見かけ精白歩合を70%とした精米後酒米を種々の条件(温度, 湿度)下での平衡含水率を計測した。その結果, 水分吸着等温線の実験式として用いられるChen-Clayton式は測定値を精度高く近似でき, 得られたパラメータから温度と湿度を軸とする水分等高線図を示した。さらに, 精米後酒米(見かけ精白歩合70%)を浸漬(15℃, 120分)させたところ, 浸漬割れ率は水分が低いほど高い結果を呈した。本結果は, 精米後の酒米の枯らし期間中の水分調湿を考えるうえで基礎的知見を与えると考ええる。

謝 辞 本研究は, 飯島記念食品科学振興財団の補助による成果の一部である。本研究を進めるにあたり供試材料をご提供頂きました岩手県工業技術センターの皆様へ感謝申し上げます。

文 献

- 1) 野白喜久雄: 白米水分と吸水率, 醸協, **71**, 744~749 (1976)
- 2) 秋山裕一・熊谷知栄子: 吟醸酒のはなし, (技報堂出版, 東京) (1998)
- 3) 吉沢 淑: 酒造原料米の性質を探る—酒米適性の予報をめざして—, 醸協, **72**, 331~337 (1977)
- 4) 中山繁喜・菊池 潔: 精米後の枯らし条件と浸漬割れ, 岩手県工業技術センター報告, **16**, (2009)
- 5) 山本隆一・堀末 登・池田良一編: イネ育種マニュアル(養堅堂, 東京), pp.66~73 (1996)
- 6) CHEN, C. S. and CLAYTON, J. T.: The effect of temperature on sorption isotherms of biological materials, *Trans. ASAE*, **14** (5), 927~929 (1971)
- 7) 武田俊久・荒巻 功・木崎康造・岡崎直人: 小型精米機による精米特性の評価, 醸協, **89**, 477~480 (1994)
- 8) 小出章二・西山喜雄・滝川裕子: 研削式精米に関する研究(第1報)—歩留り・碎米率特性—, 農業機械学会誌, **60** (5), 19~26 (1998)
- 9) 小出章二・西山喜雄: 研削式精米に関する研究(第2報)—精米動力・精米エネルギー予測モデル—, 農業機械学会誌, **63** (6), 63~67 (2001)
- 10) 小出章二・福士祥代: 低温貯蔵におけるソバの水分吸着等温線, 日本食品保蔵科学会誌, **33** (3), 119~122 (2007)
- 11) 村田 敏・河野俊夫・小出章二・田川彰男: ソバの乾燥特性の測定, 農業機械学会誌, **52** (3), 61~67 (1990)
- 12) KOIDE, S., KOISHI, M. and ATUNGULU, G. G.: Study on the storability of grain amaranth at low temperature, *Food Preser. Sci.*, **38** (2), 93~99 (2012)
- 13) 佐藤稔英・中山繁喜・米倉裕一・平野高広・山口佑子: 醸造用白米の「浸漬割れ」防止処理, 岩手県工業技術センター報告, **16**, (2009)
- 14) 村田 敏・小出章二・河野俊夫: 水浸時の精白米の裂傷に関する研究, 農業機械学会誌, **54** (1), 67~72, (1992)
- 15) 小出章二・田子雅則・西山喜雄: 胴割れ米とひび割れ米の水浸裂傷, 日本食品科学工学会誌, **48** (1), 69~72 (2001)
- 16) 荒巻 功・小川 清・山本幸治・鈴木潤一・菅野正彦・木崎康造・岡崎直人: 同一品種から分別した心白米および非心白米の精米特性, 生物工学会誌, **73**, 381~386 (1995)
- 17) 吉田 充・堀金明美: 米の吸水過程のMRIによる観察, 醸協, **103**, 10~16 (2008)

(平成24年5月31日受付, 平成24年9月3日受理)

小麦粉生地形成に及ぼす小麦粉タンパク質と β -ラクトグロブリンの分子間相互作用の影響について

岡 大貴^{*1}・菊池千尋^{*2}・塩野弘二^{*2}
内田達也^{*3}・野口智弘^{*1§}・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

Effect of the Molecular Interaction between Wheat Proteins and β -lactoglobulin on Wheat-flour Dough Formation

OKA Daiki^{*1}, KIKUCHI Chihiro^{*2}, SHIONO Kouji^{*2},
UCHIDA Tatsuya^{*2}, NOGUCHI Tomohiro^{*1§} 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, Tokyo 156-8502

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

Here we investigated the effect of skim-milk proteins on both the decline in baking quality and on the reversal of the decline in baking quality of skim milk. β -lactoglobulin (β -Lg) molecule interacted with a part of gliadin and lysed the gliadin molecules. In case of the heated mixture of β -Lg and κ -casein (κ -CN), the influence of β -Lg on gliadin resolvability was low. Further, these results revealed that the decline in the baking quality of non-heated skim milk or low-heated skim milk was because of the dissolved part of gliadin. In addition, the results suggest that the decline in the baking quality of high-heated skim milk was reversed because of the influence of β -Lg on gliadin resolvability; hydrophobic interactions of the heated polymer of β -Lg and κ -CN with gliadin reduced the resolvability of gliadin.

(Received Apr. 10, 2012; Accepted Oct. 11, 2012)

Key words: baking quality, gluten formation, heat denaturation, hydrophobic interaction, κ -casein
製パン性, グルテン形成, 熱変性, 疎水性相互作用, κ -カゼイン

パンには、味や香りの向上、焼き色の良色化、栄養価の向上が期待されることから脱脂粉乳が加えられ製造されている¹⁾。しかし、脱脂粉乳は製造過程において殺菌や噴霧乾燥などの熱処理を受けており、その熱変性度に応じて製パン性が左右される。低度加熱処理した脱脂粉乳を用いると、クラムの硬さの増加や比容積の減少など製パン性が低下し^{2),3)}、高度加熱処理した脱脂粉乳では、製パン性低下が抑制されることが経験的に知られている⁴⁾。筆者らは、ホエータンパク質である α -ラクトアルブミン (α -La) と β -ラクトグロブリン (β -Lg) は、未変性状態では製パン性を低下させることを報告した⁵⁾。また、未変性のカゼインも製パン性を阻害すること、ホエ

ータンパク質とカゼインを混合し加熱するとそれらの製パン性阻害が消失すると共に、加熱によって κ -カゼイン (κ -CN) とホエータンパク質がジスルフィド結合 (SS結合) により複合体を形成することを明らかにした⁵⁾。

しかし、これら乳タンパク質の変性状態が小麦粉生地の骨格となるグルテンの形成性にどのように影響を及ぼしているのかは未解明である。

そこで本報では、 β -Lgの製パン性低下の要因ならびに β -Lgが κ -CNと複合体を形成することによる製パン性低下作用の消失について、小麦粉タンパク質と β -Lgの分子間相互作用に着眼し検討を行った。

* 1 〒156-8502東京都世田谷区桜丘1-1-1

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

* 2 〒156-8502東京都世田谷区桜丘1-1-1

試料および実験方法

1. 試料

東京農業大学富士農場で飼育されている乳牛（ホルスタイン種）より搾乳した生乳を40℃に加熱し、クリームセパレーターにて乳脂肪を分離除去後、非加熱脱脂乳を得た。また、この非加熱脱脂乳を80℃、30分間処理し加熱脱脂乳を調製した。

2. 乳タンパク質の分画

β -LgはASCHAFFEBURGら⁶⁾の方法に従い、 κ -CNはIGARASHIら^{7),8)}の方法に従い分画精製し、凍結乾燥（RLE II-205, 共和真空技術社製）させ試料とした。

3. パンの調製法および製パン性の評価

パンの調製法および製パン性の評価についてはKIKUCHIら⁹⁾の方法に従って行った。なお、 β -Lgおよび κ -CNの添加量は、生地200gに対し脱脂粉乳6g添加に相当するタンパク質量（日本食品標準成分表5訂）とした。パンの比容積およびクラムの硬さは、乳タンパク質無添加の値を100とし相対値（%）で表した。

4. 抗原抗体反応を用いた小麦粉タンパク質と β -Lgの分子間相互作用の解析

グリアジン（TCI）およびグルテニン（TCI）0.5gに脱脂乳0.5ml（タンパク質量として17mg）または0.1Mリン酸緩衝液（pH7.0）に溶解した β -Lgと κ -CNの混合試料0.5ml（タンパク質量として2mgずつ）を添加し混合した。その後、混合物に超純水を加え十分に攪拌洗浄し余分な乳タンパク質を除き、残渣を β -Lg抗体との反応に供した。なお、一次抗体としてRabbit anti-Bovine beta-Lactoglobulin Antibody Affinity Purified（BETHYL Laboratories）、二次抗体にはECL Anti-Rabbit IgG HRP-linked whole antibody from donkey（GE Healthcare）を用いた。検出にはECL PLUS Western Blotting Detection Reagents（GE Healthcare）を用いて、ChemiDoc（Bio-Rad）により行った。

5. 疎水性クロマトグラフィーによるタンパク質の分画

SHEWRYら⁹⁾の方法に従い抽出したグリアジン2mgを0.1M酢酸緩衝液（pH5.0）1mlに溶解し、同緩衝液に

て平衡化させたButyl-Toyopearl 650S（ ϕ 1.35cm×4cm）に供した。その後、エタノール濃度0, 40, 100%のステップワイズ溶出を行い、タンパク質は280nmの紫外外部吸収にて検出した。また、同緩衝液にてpH5.0に調製した β -Lgと κ -CNの混合試料（タンパク質量として1mgずつ）1mlを同担体に供し同様に溶出を行った。溶出した各画分は、ドットプロット法により β -Lgの検出を行った。なお、抗原抗体反応は上記4に従って行った。

6. グリアジンの溶解挙動の解析

グリアジン（TCI）1gに β -Lgと κ -CNの混合試料（タンパク質量として5mgずつ）1mlを添加し混合した。その後、FRANCESら¹⁰⁾の方法を改良しグリアジンを分画し、乳タンパク質が与えるグリアジンの溶解挙動を解析した。すなわち、グリアジンと乳タンパク質の混合物に純水5mlを加えホモジナイザー（ヒスコトロン、マイクロテック・ニチオン社製）にて分散後、遠心分離（6,000xg, 20分間, 室温）し上澄液（可溶性画分, S1）を得た。さらに、沈殿に対し50mMトリス-塩酸緩衝液（pH7.8, S2）を加えて同様の操作を行い、順次50%プロパノール溶液（S3）、0.1M酢酸溶液（S4）、1%SDS溶液（S5）および0.1N水酸化ナトリウム溶液（S6）にて各可溶性画分を得た。各画分はゲル濃度15%のSDS-PAGE（Me+）に供し、セミドライブロットニングによりPVDF膜にタンパク質を転写後、ウエスタンブロット法にてグリアジンを検出した。なお、グリアジンの一次抗体にはAnti Gliadin from Mouse CE-3（Cosmo Bio）、二次抗体にはECL Anti-Mouse IgG, HRP-linked whole antibody from sheep（GE Healthcare）を用い、検出は上記4に従って行った。

実験結果

1. β -Lgと κ -CNの加熱複合体形成が製パン性に与える影響について

β -Lgと κ -CNを非加熱の状態それぞれ生地に添加し製パン性試験を行ったところ、無添加と比較し、比容積（%）は 80.2 ± 5.3 （ \pm SD）、 79.0 ± 0.9 、硬さ（%）は 215.7 ± 19.0 、 142.8 ± 9.6 を示し、 β -Lgだけでなく κ -CNも製パン性を大きく低下させた（Table 1）。また、両

Table 1 The baking quality of bread made from dough containing β -lactoglobulin (β -Lg) and κ -casein (κ -CN)

	Control	β -Lg		κ -CN		Mixture	
		Unheated	Heated	Unheated	Heated	Unheated	Heated
Loaf volume	100.0	80.2*	79.1*	79.0*	89.1*	79.4	105.4
Standard Deviation	3.5	5.3	6.0	0.9	4.3	2.3	4.3
Hardness of crumb	100.0	215.7*	196.5*	142.8*	179.4*	210.4*	86.0*
Standard Deviation	19.1	19.0	22.5	9.6	5.6	10.8	5.0

A comparison of the loaf volume and hardness of crumb values of bread made from dough containing β -Lg, κ -CN and a mixture of β -Lg + κ -CN with those of the bread made from dough containing no skim milk (Control). The values for control were set at 100. The experiments were repeated 8 times. Asterisks indicate values significantly different from that of the control ($p < 0.05$)

乳タンパク質をそれぞれ加熱（80℃，30分）し試験に供したところ，非加熱試料と同様に製パン性は大きく低下した。一方，両乳タンパク質を混合加熱したところ，比容積 105.4 ± 4.3 ，硬さ 86.0 ± 5.0 を示し，製パン性が回復した。

本結果から， β -Lgと κ -CNが加熱により複合体を形成することで，両乳タンパク質の製パン性低下作用が消失することが明らかとなった。

2. β -Lgと κ -CNの加熱複合体と小麦粉タンパク質の分子間相互作用について

非加熱および加熱脱脂乳を添加したグリアジンおよびグルテニンに β -Lg抗体を作用させたところ，非加熱脱脂乳を添加した両小麦粉タンパク質は β -Lg抗体に陰性反応を示した（Fig. 1）。一方，加熱脱脂乳を添加した場合，グリアジンは非加熱脱脂乳と異なり β -Lg抗体に陽性反応を示し，グルテニンは非加熱脱脂乳を添加した場合と同様 β -Lg抗体に陰性であった。

次に， β -Lgと κ -CNの混合試料をグリアジンとグルテニンに添加したところ，混合非加熱試料では非加熱脱脂乳と同様に β -Lg抗体に陰性反応を示した。一方，それらの混合加熱試料を添加したところ，グリアジンは β -Lg抗体に陽性反応を示し，グルテニンは混合非加熱試料と同様に β -Lg抗体に陰性であった。また，非加熱および加熱した β -Lgを両小麦粉タンパク質に添加したところ，共に陰性反応を示したことから， β -Lgはグリアジンおよびグルテニンとは相互作用性が無く， κ -CNと加熱複合体を形成することによってグリアジンと相互作用し合することが明らかになった。

3. β -Lgと κ -CNの加熱複合体とグリアジンの疎水性について

グリアジンおよび β -Lgと κ -CNの混合試料を疎水性クロマトグラフィーに供したところ，グリアジンはエタノール濃度0，40および100%のすべての画分に溶出され，溶出比率はおおむね1：2：1であり，疎水性度の異なるグリアジンが存在することが示唆された（Fig. 2A）。一方，非加熱の β -Lgと κ -CNの混合試料では未吸着画分および40%画分にそのほとんどが溶出されたが，それらの混合加熱試料では未吸着画分が大きく減少しエタノール濃度40および100%画分に溶出された（Fig. 2B）。

次に，得られた各画分の， β -Lgの溶出挙動をドットプロット法により解析したところ，非加熱の β -Lgと κ -CNの混合試料では， β -Lg抗体の陽性シグナルは未吸着画分のみにもみられたが，それらの混合加熱試料の未吸着画分ではシグナルが消失し，40および100%画分に同シグナルがみられた（Fig. 3）。

β -Lgと κ -CNの加熱複合体は，疎水性クロマトグラフィーの溶出挙動がグリアジンと類似し，両者は同様の疎水性であることが示唆された。このことから β -Lgは κ -CNと加熱複合体を形成すると疎水性が高まり，グリアジンとの疎水性相互作用性が強くなると推察した。

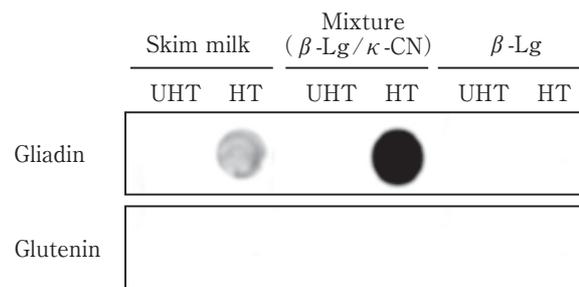


Fig. 1 Molecular interaction of β -Lg with gliadin and glutenin determined using antigen-antibody reaction

Primary antibody of β -Lg, Rabbit anti-Bovine beta-Lactoglobulin antibody (BETHYL Lab.); Secondary antibody of β -Lg, ECL Anti-Rabbit IgG HRP-linked whole antibody from donkey (GE Healthcare); UHT, Unheated; HT, Heated

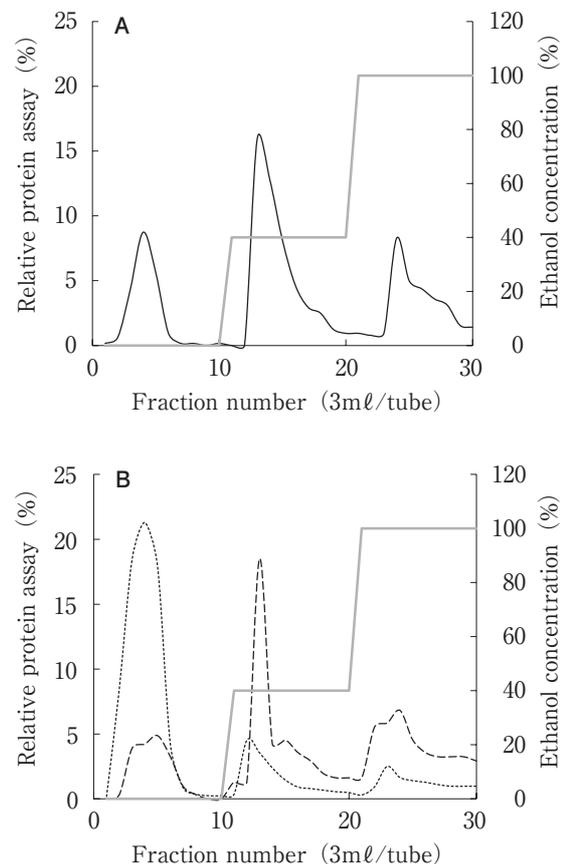


Fig. 2 A comparison of the hydrophobicity of gliadin and the heated polymer (β -Lg/ κ -CN) by using hydrophobic chromatography (Butyl-Toyopearl 650S)

A, Chromatogram of gliadin; B, Chromatogram of a mixture of β -Lg and κ -CN; Symbols, — Gliadin; Unheated mixture of β -Lg and κ -CN; ---- Heated mixture of β -Lg and κ -CN; — Ethanol concentration

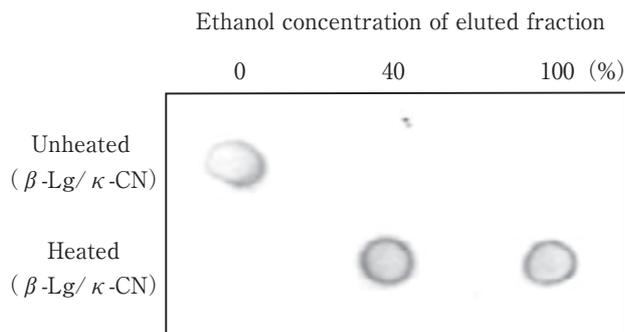


Fig. 3 Dot-blot detection of β -Lg of separated fraction obtained from hydrophobic chromatography experiment

Primary antibody of β -Lg ; Rabbit anti-Bovine beta-Lactoglobulin antibody (BETHYL Lab.), Secondary antibody of β -Lg ; ECL Anti-Rabbit IgG HRP-linked whole antibody from donkey (GE Healthcare)

4. β -Lgと κ -CNの加熱複合体形成がグリアジンの溶解挙動に与える影響について

前述の試験の結果、グリアジンに β -Lgと κ -CNの加熱複合体が疎水性相互作用により会合することが示唆されたので、グリアジンに β -Lgと κ -CNの混合試料を添加し、グリアジンの溶解挙動の変化をウエスタンブロット法にて解析した。その結果、グリアジンはS2, S3およびS4画分に検出されたが、非加熱の β -Lgと κ -CNの混合試料をグリアジンに添加したところ、S1画分からS5画分に溶出し、グリアジンの溶解挙動が変化した (Fig. 4)。一方、それらの混合加熱試料では、グリアジンは無添加と同様にS2, S3およびS4画分に検出され、S1およびS5画分への溶出はみられなかった。また、非加熱および加熱の β -Lgをグリアジンに添加したところ、混合非加熱試料と同様にS1画分からS5画分に溶出がみられた。

以上のことから、 β -Lgはグリアジンに会合し、その疎水性を変化させ溶解性に影響を与えることが明らかになった。Fig. 1において、 β -Lgを添加したグリアジンが β -Lg抗体に陽性を示さなかったのは、 β -Lgが結合したグリアジンが水溶化し、試料作成過程で除去されたためと判断した。なお、非加熱および加熱 β -Lg、非加熱の β -Lgと κ -CNの混合試料をグリアジンに加えるとS5画分にグリアジンが検出された理由については今後検討したい。また、本結果からグリアジンの一部は β -Lgと特異的に相互作用することで同タンパク質が水溶化し、生地形成と製パン性が低下すること、 β -Lgと κ -CNの加熱複合体が結合するとその水溶化が抑制され、生地形成と製パン性が維持されることが示唆された。

今後、 β -Lgが結合するグリアジンの特定を行い、グリアジンが果たす生地形成および製パン性への役割を解明すると共に κ -CNの阻害要因についても検討を進めたい。

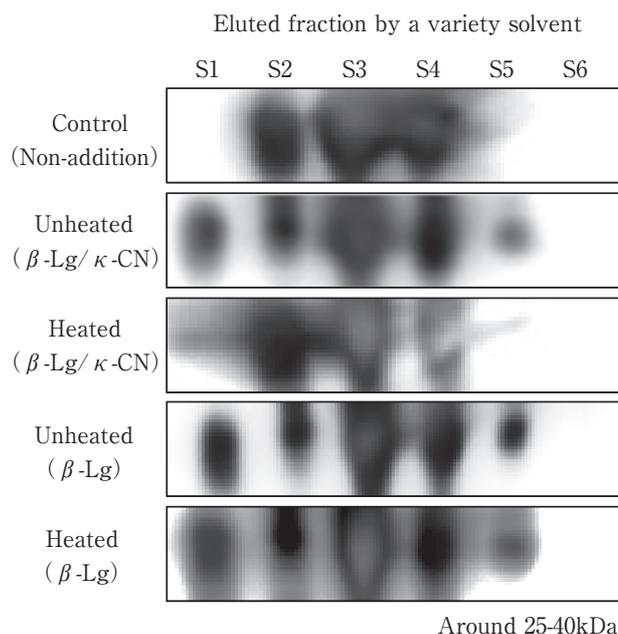


Fig. 4 Western blot analysis of the elution behavior of gliadin containing milk proteins

The fractionated proteins were analyzed using SDS-PAGE ($T = 15\%$). This PAGE was then transcribed onto a PVDF membrane by semidry blotting, and was analyzed by western blotting (Anti-gliadin). S1, Water; S2, 50mM Tris buffer (pH 7.8); S3, 50% Propanol; S4, 0.1M Acetic acid; S5, 1% Sodium dodecyl sulfate; S6, 0.1N Sodium hydrate-soluble fractions

要 約

本研究では、脱脂乳中のタンパク質による製パン性低下の要因ならびに加熱処理による同タンパク質の製パン性低下作用の消失について検討を行った。 β -Lgはグリアジンの一部と結合し、それを水溶化させた。一方、 β -Lgと κ -CNの加熱複合体では、このような現象はみられず、グリアジンの溶解性は変化しなかった。これらのことから、非加熱あるいは低加熱脱脂乳の添加による生地形成および製パン性の低下は、グリアジンの一部に β -Lgが結合することによって、同タンパク質が水溶化することで惹起されることが明らかになった。また、加熱脱脂乳における製パン性の回復は、形成された β -Lgと κ -CNの加熱複合体の疎水性がグリアジンと同程度で、このため加熱複合体が結合したグリアジンの水溶化が生じることなく、生地が形成されたためと推察された。

文 献

- 1) 田中康夫・松本 博編：製パンの科学Ⅱ 製パン材料の科学 (光琳, 東京) (1992)
- 2) LARSON, B. L., JENNESS, R., GEDDES, W. F. and COULTER, S. T.: An evaluation of the methods used for determining the baking quality of nonfat

- dry milk solids, *Cereal Chem.*, **28**, 351~370 (1951)
- 3) VOLPE, T. and ZABIK, M. E.: A whey protein contributing to loaf volume depression, *Cereal Chem.*, **52**, 188~197 (1975)
- 4) HARPER, W. J. and ZADOW, J. G.: Heat induced changes in whey protein concentrates as related to bread manufacture, *N. Z. J. Dairy Sci. Technol.*, **19**, 229~237 (1984)
- 5) 菊池千尋・岡 大貴・上野 宏・塩田 誠・野口智弘・高野克己: 脱脂乳による製パン性阻害に対する乳タンパク質の熱変性の影響, *日食保蔵誌*, **38**, 211~215 (2012)
- 6) ASCHAFFENBURG, R. and DREWRY, J.: Improved method for the preparation of crystalline β -Lactoglobulin and α -Lactalbumin from cow's milk, *J. Biochem.*, **65**, 273~277 (1957)
- 7) IGARASHI, Y.: An improved procedure for the preliminary fractionation of milk proteins, *Int. Dairy J.*, **5**, 305~310 (1995)
- 8) IGARASHI, Y.: Separation of caseins by chemical procedures, *Int. Dairy J.*, **9**, 377~378 (1999)
- 9) SHEWRY, P. R., MIFLIN, B. J., ELLEN, J-L. Lew and KASARDA, D. D.: The preparation and characterization of an aggregated gliadin fraction from wheat, *J. Experimental Botany*, **34**, 1403~1410 (1983)
- 10) FRANCES, M. D., RONALD, C., ROCIO, L. and WILLIAM, H. V.: Sequential extraction and quantitative recovery of gliadins, glutenin, and other proteins from small samples of wheat flour, *J. Agric. Food Chem.*, **53**, 1575~1584 (2005)
- (平成24年4月10日, 平成24年10月11日受理)
-

「なにわの伝統野菜」の品質向上と 栽培技術の改善に関する研究

平成24年度日本食品保蔵科学会奨励賞

嘉悦佳子*§

* 地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所

Improvement of Cultivation Techniques for Improving Quality of “Naniwa Traditional Vegetables”

KAETSU Keiko*§

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

Key words : *bitterness, fertilizer application method, hydroponic culture, “Naniwa Traditional Vegetables”,
nitrate ion concentration*

苦味, 施肥法, 養液栽培, 「なにわの伝統野菜」, 硝酸イオン含有率

1. はじめに

近年, 消費者の食の安全・安心に対する関心が年々高まっている。野菜に含まれる硝酸イオンは, その一例と言われている。硝酸イオンは, 食品添加物(硝酸ナトリウムや硝酸カリウム)として認められており, それ自体を通常に摂取する程度では, ヒトに害を及ぼさない。しかし, 体内で還元されて亜硝酸イオンに変化すると, 呼吸障害症の一つであるメトヘモグロビン血症の原因となり^{1),2)}, 発ガン性物質であるニトロソ化合物に変化する可能性がある³⁾と指摘されている。EUでは野菜の硝酸イオン含有率の規制上限値を設けており⁴⁾, FAO・WHO合同食品添加物専門家会合では一日の硝酸イオンの耐容摂取量を体重1kg当たり3.7mg以下と定められている⁵⁾。現在, 日本では硝酸イオンの摂取上限は定められていないが, 日本で生産されている野菜の硝酸イオン含有率は比較的高い傾向にあり⁶⁾, 野菜中の硝酸イオンを低く抑えることは, より安全・安心な食品の流通に重要である。また, 硝酸イオンは苦味成分の生成に関与するため, 野菜の食味にも影響を与える⁷⁾。それゆえ, 消費者からは野菜に含まれる硝酸イオンの低減技術の開発が求められており, 栽培現場から作物の硝酸イオンを低減する研究が広く行われている^{8),9)}。

現在, 日本では, 地産地消, スローフードおよび地場産野菜などが消費者に注目されている¹⁰⁾。この社会の流

れを受け, 古くからの大阪特産野菜であった「なにわの伝統野菜」が大阪府で復活し, 消費者に注目されている¹¹⁾。そのため, 2005年に「なにわの伝統野菜認証制度」が開始され, 2012年までに17品目の野菜が認証されており, 普及・拡大のための活動が行われている¹²⁾。しかし, 「なにわの伝統野菜」は, 現在, 広く栽培されている品種に比べ, 栽培が困難で収量が少なく, 品質の高い収穫物を得ることが難しいとの問題を抱えている¹²⁾。また, 大阪府特産野菜の収量を確保しつつ硝酸イオンの低減する技術の開発や品質特性の解明に関する研究はほとんどなされていない。

代表的な「なにわの伝統野菜」である‘毛馬’キュウリ (*Cucumis sativus* L. cv. Kema) (以下, 毛馬キュウリ) (図1) は, 果実に特有のテクスチャーがあり¹³⁾, その特徴を生かして, 奈良漬やぬか漬などの加工品として食されている¹⁴⁾。また, 果実に特有の苦味があり, 栽培法によっては苦味が強まることもあり, 過度の苦味は生産者や加工業者から敬遠されている。

また, ‘水ナス’ (*Solanum melongena* L. cv. Mizunasu) (以下, 水ナス) (図1) は, 果皮が柔らかく果肉がみずみずしいことが特徴であり, 現在, 浅漬やぬか漬などの加工品は全国的に知名度が高く, 果実のえぐ味が少ないことにより生食での消費も伸びている¹⁵⁾。生食や調味液漬けなどで消費されると, 多くの硝酸イオンを摂取する可能性があるため, 硝酸イオンを低減する技術が求

* 〒583-0862 大阪府羽曳野市尺度442

§ E-mail : kaetsuk@mbox.kannousuiken-osaka.or.jp



図1 供試材料の毛馬キュウリ (左) と水ナス (右)

められている。

そこで、本研究では、大阪府特産野菜「なにわの伝統野菜」である毛馬キュウリと水ナスを対象として、それらの品質の向上を目指して、それらの硝酸イオン含有率を低下させるために栽培法を改善し、肥料の違いがこれら農産物の硝酸イオン含有率、食味および収量に及ぼす影響を検討した。

2. 培養液制御が水ナスに含まれる硝酸イオン含有率に及ぼす影響

ナスは、果菜類の中で耐肥性があり多肥栽培が行われることが多く、施用した窒素成分を過剰に吸収し含有するため、果菜類の中では硝酸イオン含有率が高い作物と言われている¹⁶⁾。ナスの一種である水ナスは、果実のえぐ味が少なく生食ができる特異的なナスであるため、水ナスの硝酸イオン含有率を低減する栽培技術の開発が求められている。水ナスは、漬け物などの加工品で全国的に知られており、長期間ぬか床に漬けたぬか漬けと短期間調味液に漬けた液漬けでは硝酸イオン含有率が異なる¹⁷⁾。筆者が、水ナス加工品に対する消費者の嗜好性を調査したところ、性別や年齢にかかわらず、ぬか漬けより調味液漬けを消費者は好むことを明らかにした。そこで、水ナスの硝酸イオンを低減する栽培技術の確立を目的として、水耕栽培において無機質肥料の代わりに有機質肥料を施用することや、培養液の代わりに固形培地を使用することで、硝酸イオン含有率に及ぼす影響を検討した。

水ナス‘絹皮水ナス’ (タキイ種苗株) を、有機区 (有機質肥料であるオーガニック332 (大塚アグリテクノ株製) のみを施用した水耕栽培)、培地耕区 (無機質肥料であるマツザキ1号・2号 (株マツザキアグリビジネス製) を大塚A処方1/2単位で施用し、軽石状のパミスサンドを使用した培地耕栽培) および対照区 (無機質

肥料を大塚A処方1/2単位で施用した水耕栽培) の3試験区で栽培し、収穫した果実を実験に供した。なお、水耕栽培における有機質肥料の施用については、篠原が開発した方法を参考にした¹⁸⁾。

本研究の結果、対照区と培地耕区の収穫重量は同等であったが、有機区は対照区に劣った (図2)。果実の硝酸イオン含有率を小型反射式光度計 (Merch社製 RQフレックス) で測定したところ¹⁹⁾、対照区で高く、ついで、培地耕区で対照区の約1/2となり、有機区で対照区の約1/10と低かった (図3)。

養液栽培において有機質肥料を施用すると、培養液の硝酸態窒素濃度が低くなり、硝酸イオン含有率が著しく低下することが明らかとなった。一方、無機質肥料を施用して培地耕栽培を行うと、慣行栽培に比べて硝酸イオン含有率が低かった。培地耕栽培では根部が著しく伸長し根域が複雑化すると報告されており²⁰⁾、作物の根部が培養液に浸っているために硝酸イオンの過剰吸収および蓄積が起こる水耕栽培と比較して、硝酸イオン吸収が過剰にならず、果実の硝酸イオン含有率が低下したと考えられた。岩田 (1962) は、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と報告している²¹⁾。ゆえに、無機質肥料の代わりに有機質肥料を施用すると、培養液の硝酸態窒素が低濃度の状態で、有機質肥料の主成分であるアミノ酸態窒素がアンモニア態窒素や亜硝酸態窒素に変化し、硝酸態窒素の減少分をそれらの硝酸態窒素と異なる窒素成分で植物体が吸収するために²²⁾、収穫果中の硝酸イオン含有率を低下させたと考えられた。また、培養液の代わりに固形培地を使用することで硝酸イオン含有率を低下させることができた。水耕栽培では、作物の根部が直接、培養液に浸っており硝酸イオンの過剰吸収および蓄積が起こるが、固形培地を使用した培地耕栽培は、水耕栽培と比較し、

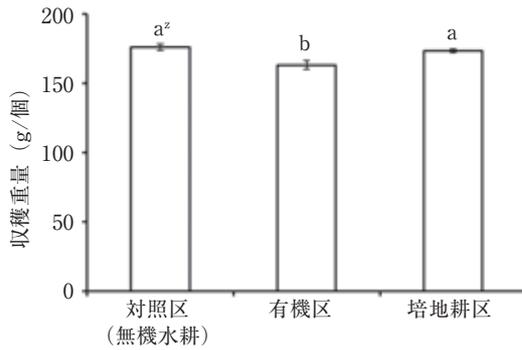


図2 有機質肥料施用および固形培地が水ナスの収獲重量に及ぼす影響

z: 異符号間に5%水準で有意差あり
エラーバーは標準誤差を示す

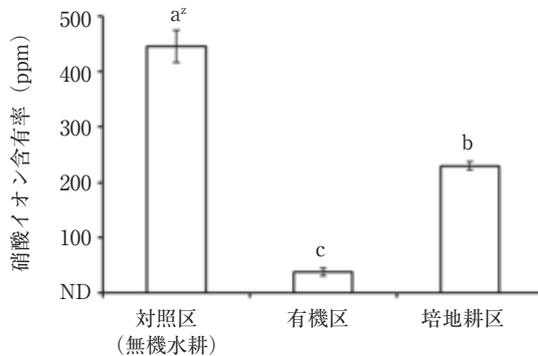


図3 有機質肥料施用および固形培地が水ナスの硝酸イオン含有率に及ぼす影響

z: 異符号間に5%水準で有意差あり
エラーバーは標準誤差を示す

根部の伸長が著しく根域が複雑化すると報告されている²⁰⁾。また、トマトの養液栽培において、培地耕栽培の一種であるロックウール耕栽培を行うと、水耕栽培と比較して、植物体の硝酸イオンが低減したと報告されている²³⁾。ゆえに、本研究でも、水ナスの養液栽培において、固形培地が根域に存在することで、水耕栽培と比較して硝酸イオンの吸収が過剰にならず、果実の硝酸イオン含有率が低下したと考えられた。

したがって、無機質肥料の代わりに有機質肥料を施用すること、および、固形培地を使用することで、水ナス果実の硝酸イオン含有率が低下することが明らかとなった。

3. 肥料形態の制御による毛馬キュウリの硝酸イオン含有率および苦味の低減

毛馬キュウリでは、消費者に敬遠される過度に苦い果実が生産されることがあり、生産者や加工業者から苦味の弱い毛馬キュウリの栽培法が求められている²⁴⁾。ウリ科作物46種の果実に含まれる苦味成分は、ククルピタシンA~Lと命名されており²⁵⁾、キュウリの苦味は、クク

ルピタシンCが原因とされている²⁶⁾。ククルピタシンCは、アセチルCoA→メバロン酸→スクワレンの経路で合成され、その過程における酵素系も解明されている^{27), 28)}。また、石川県の伝統野菜である‘加賀太’キュウリ (*Cucumis sativus* L. cv. Kagafutokyuri) (以下、加賀太キュウリ) では、植物体の硝酸還元酵素の活性が上昇し、硝酸態窒素の還元が活発になり、窒素代謝の活性が高くなると、ククルピタシンC生合成の促進が起きる⁷⁾。このことから、大阪府特産野菜である水ナスの硝酸イオン含有率を低下させる栽培技術の毛馬キュウリへの応用は可能であると考えられた。そこで、窒素代謝にかかわる硝酸イオン含有率の低下が、毛馬キュウリの苦味に及ぼす影響を検討した。

(1) 肥料の形態が毛馬キュウリの硝酸イオン含有率および苦味に及ぼす影響

毛馬キュウリが持つ苦味の低減を目的として、培養液中の硝酸態窒素を低濃度にするのが、硝酸イオン含有率と苦味に及ぼす影響について検討した。全試験区とも無機質肥料である大塚ハウス1号・2号(大塚アグリテクノ(株)製)を施用し、3段階の培養液濃度で低濃度区(EC約0.8mS/cm)、中濃度区(EC約1.2mS/cm)および高濃度区(EC約2.4mS/cm)の3試験区で栽培し、収穫した果実を実験に供した。また、地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所にて22人の被験者を対象に中濃度区を基準とした収穫果の苦味に関する官能試験(1=非常に弱い, 2=弱い, 3=同等, 4=強い, 5=非常に強い)を行った。

本研究の結果、積算収穫果数は高濃度区で最も多く、ついで、中濃度区であり、低濃度区で最も少なく、培養液濃度が高いほど積算収穫果数は多かった(図4)。大阪府内の慣行栽培である土耕栽培では、1株当たり約17本収穫されると報告されているが¹⁴⁾、本研究では、低濃度区で同等となり、中濃度区と高濃度区では同等以上の収穫果数であった。硝酸イオン含有率について、低濃度区では約30ppmであり、中濃度区(約190ppm)と高濃度区(約290ppm)に比べ著しく低下し、培養液濃度が

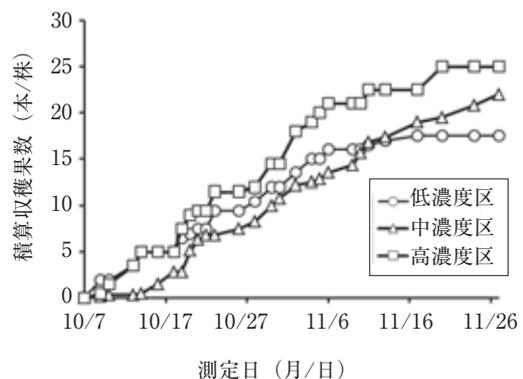


図4 培養液濃度が毛馬キュウリの積算収穫果数に及ぼす影響

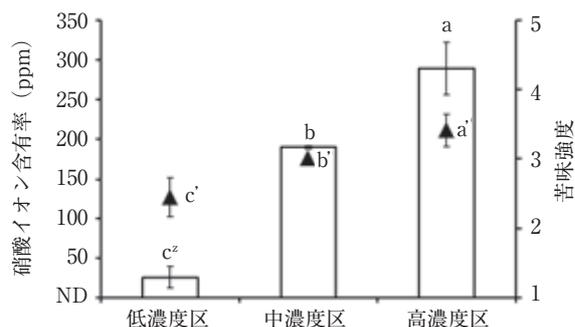


図5 培養液濃度が毛馬キュウリの硝酸イオン含有率および苦味強度に及ぼす影響

□: 硝酸イオン含有率
 ▲: 苦味強度 (1 = 苦味が弱い, 2 = 苦味が少し弱い, 3 = 中濃度区と同等に苦い, 4 = 苦味が少し強い, 5 = 苦味が強い)
 z: 異符号間に5%水準で有意差あり
 エラーバーは標準誤差を示す

濃いほど積算収穫果数は多かった(図5)。また、苦味強度は、中濃度区と比較して、低濃度区で2.6点と弱く、高濃度区で3.2点と強く、培養液濃度が低いほど苦味は弱かった(図5)。なお、苦味が低減してもテクスチャーは維持した。苦味を有する加賀太キュウリでも、窒素肥料の多施用により苦味果の発生率が高くなり、苦味系統果実は、果実中に含まれる全窒素含量が高いとの報告があり、本研究結果はそれらの報告と同様の結果となった^{7), 29)}。植物は窒素態肥料の過剰供給や日照不足が要因となって、タンパク質への同化が間に合わず、硝酸イオンを植物体中に含有するとの報告がある³⁰⁾。また、上西ら(2007)はハウレンソウに関して窒素施肥量が作物中の硝酸塩濃度に大きく影響するとの報告をしており³¹⁾、栽培期間中の窒素施肥量が増えるにつれ硝酸態窒素施肥量も増え、植物は吸収効率のよい硝酸態窒素を優先的に吸収するため、高濃度の培養液で栽培すると収穫果中の硝酸イオン含有率が高まったと考えられた。

したがって、毛馬キュウリにおいて無機質肥料を施用した場合、培養液濃度が低いほど、硝酸イオン含有率が低下し、苦味も低減することが明らかとなった。

(2) 肥料の形態が毛馬キュウリの硝酸イオン含有率および苦味に及ぼす影響

水耕栽培において無機質肥料の代わりに有機質肥料を施用することや、培養液の代わりに固形培地として使用することで、硝酸イオン含有率と苦味に及ぼす影響について検討した。栽培は、有機区(有機質肥料であるオーガニック332(大塚アグリテクノ(株)製)のみを施用した水耕栽培)、培地耕区(無機質肥料である大塚ハウス1号・2号(大塚アグリテクノ(株)製)を大塚A処方1/2単位で施用し、軽石状のパミスサンドを使用した培地耕栽培)および対照区(無機質肥料を大塚A処方1/2単位で施用した水耕栽培)の3試験区で栽培し、収穫した

果実を実験に供した。なお、水耕栽培における有機質肥料の施用については、篠原が開発した方法を参考にした¹⁸⁾。また、同研究所にて12人の被験者を対象に収穫果の苦味に関する官能試験(0 = 苦味なし, 1 = 少し苦い, 2 = 苦い, 3 = 苦味が強い, 4 = 苦味が強すぎて食べられない)を行った。

本研究の結果、積算収穫果数は全試験区とも約22本で同等であった(図6)。養液栽培を行った本研究では、全試験区で大阪府内の慣行栽培より多くの収穫果を得ることができた。硝酸イオン含有率について、有機区では約2 ppmで慣行栽培(約230 ppm)に比べ著しく低く、培地耕区では約170 ppmで慣行栽培(約230 ppm)に比べ約3割低下した(図7)。また、苦味強度は、対照区で3.7点と最も強く、ついで、約3.0点の培地耕区であり、有機区で0.8点と最も弱かった(図7)。水ナスの結果と同様に、無機質肥料の代わりに有機質肥料を施用すると、硝酸イオン含有率は低減した。

したがって、無機質肥料の代わりに有機質肥料を施用すると、慣行栽培と同等の生育で収量も同等であり、硝

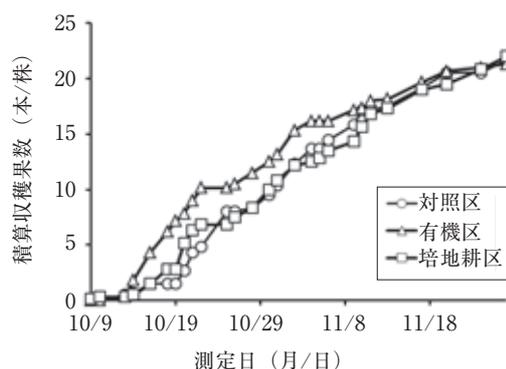


図6 有機質肥料施用および固形培地が毛馬キュウリの積算収穫果数に及ぼす影響

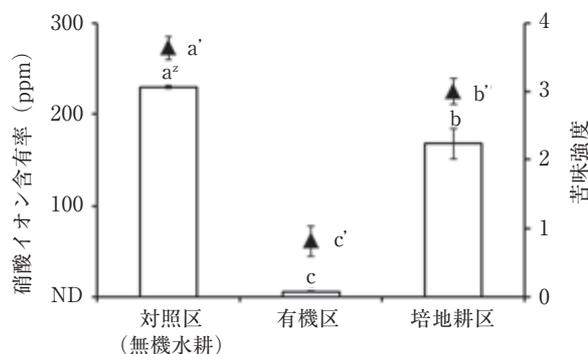


図7 有機質肥料施用および固形培地が毛馬キュウリの硝酸イオン含有率および苦味強度に及ぼす影響

□: 硝酸イオン含有率
 ▲: 苦味強度 (0 = 苦味なし, 1 = 少し苦い, 2 = 苦い, 3 = 苦味が強い, 4 = 苦味が強すぎて食べられない)
 z: 異符号間に5%水準で有意差あり
 エラーバーは標準誤差を示す

酸イオン含有率は低下し苦味も低減することがわかった。また、固形培地の使用で毛馬キュウリの硝酸イオン含有率は低下し苦味も低減することが明らかとなった。

(3) アンモニア態窒素施用が毛馬キュウリの硝酸イオン含有率および苦味に及ぼす影響

前述の結果から、硝酸態窒素を低濃度でアンモニア態窒素などの硝酸態窒素以外の窒素成分を高濃度で施用すると、植物体の必要とする窒素成分が補われ、毛馬キュウリの苦味を低減しつつ、生育を維持できることがわかった。そこで、本研究では、水耕栽培において、硝酸態窒素の代わりにアンモニア態窒素施用が毛馬キュウリの硝酸イオン含有率と苦味に及ぼす影響を検討した。

本研究では、市販の無機質肥料の配合（硝酸態窒素が90%，アンモニア態窒素が10%）を対照区とし、60%を硝酸態窒素で40%をアンモニア態窒素で施用した中アンモニア区および40%を硝酸態窒素で60%をアンモニア態窒素で施用した高アンモニア区、対照区の3試験区で栽培し、収穫した果実を実験に供した。また、同研究所にて15人の被験者を対象に収穫果の苦味に関する官能試験（0 = 苦味なし、1 = 少し苦い、2 = 苦い、3 = 苦味が強い、4 = 苦味が強すぎて食べられない）を行った。

本研究の結果、積算収穫果数は全試験区とも約22本で同等であった（図8）。硝酸イオン含有率について、中アンモニア区と高アンモニア区で約140ppmであり、約210ppmであった対照区の2/3にまで低下した（図9）。また、苦味強度は、対照区で2.4点と最も強く、ついで、約1.4点の中アンモニア区であり、高アンモニア区で0.8点と最も弱く、全施用量中のアンモニア態窒素を施用した割合が高いほど苦味は低減することが明らかとなった（図9）。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おり²¹⁾、中アンモニア区と高アンモニア区で栽培開始から2週間後から4週間後まで培養液中の硝酸態窒素濃度が低く、アンモニア態窒素濃度が高かったため、毛馬キュウリは硝酸態窒素の代わりにアンモニア態窒素の形態で窒素成分を吸収したため、収量も維持したと考えられた。

したがって、硝酸態窒素の代わりにアンモニア態窒素を施用することで、慣行栽培と同等の収量を維持しつつ、硝酸イオン含有率が低下し、苦味も低減することが明らかとなった。

(4) 毛馬キュウリについてのまとめ

毛馬キュウリでは収穫果の硝酸イオン含有率を低下させることで、苦味を低減することが明らかとなった。加賀太キュウリでは、果実中の全窒素量が高いと、窒素代謝活性が高くなり、ククルビタシンC合成の促進が起きるとの報告がある²²⁾。本研究では、無機質肥料を施用した高濃度培養液での水耕栽培において、植物体に硝酸イオンがより多く含有することで、窒素代謝活性が高まり、ククルビタシンC合成が促進されたと考えられた。

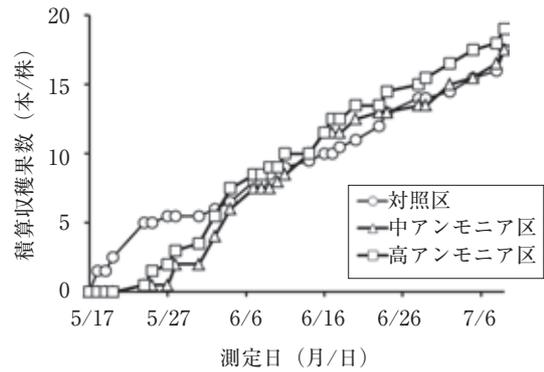


図8 アンモニア態窒素施用が毛馬キュウリの積算収穫果数に及ぼす影響

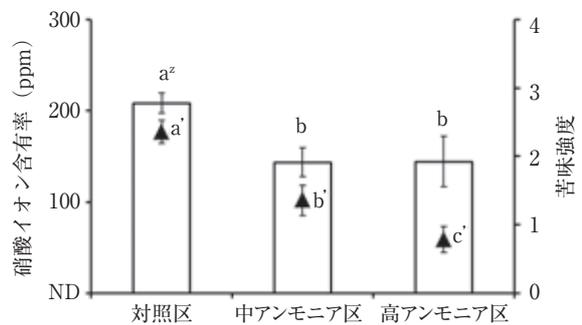


図9 アンモニア態窒素施用が毛馬キュウリの硝酸イオン含有率および苦味強度に及ぼす影響

□：硝酸イオン含有率
▲：苦味強度（0 = 苦味なし、1 = 少し苦い、2 = 苦い、3 = 苦味が強い、4 = 苦味が強すぎて食べられない）
^z：異符号間に5%水準で有意差あり
エラーバーは標準誤差を示す

したがって、無機質肥料の代わりに有機質肥料の施用や硝酸態窒素の代わりにアンモニア態窒素の施用、ならびに、固形培地耕栽培を行う果実の硝酸イオン含有率を低下する前述の栽培技術により、毛馬キュウリの苦味を低減することが明らかとなった。

4. おわりに

本研究において、無機質肥料の代わりに有機質肥料を施用することや硝酸態窒素の代わりにアンモニア態窒素などの形態の異なる窒素源を施用することで、大阪府特産野菜「なにわの伝統野菜」である水ナスおよび毛馬キュウリに含まれる硝酸イオン含有率が低下することがわかった。さらに、苦味を有する毛馬キュウリでは、前述の方法で、硝酸イオン含有率が低下するとともに、果実のテクスチャーを維持しつつ、苦味を低減することがわかった。また、栽培期間中に施用した硝酸態窒素量が、野菜の硝酸イオン含有率に大きく影響することがわかった。

したがって、消費者が敬遠する硝酸イオンおよび苦味

を低減して、大阪府特産野菜「なにわの伝統野菜」の品質を向上する栽培技術を確認した。この栽培技術は、今後の「なにわの伝統野菜」の普及に大きく寄与するものと考えられる。今後も大阪府特産野菜の品質向上を目指した栽培技術の確立に関する研究を遂行し、農業振興に寄与する栽培技術を開発したい。

謝 辞 本研究は、地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所および大阪府立大学大学院生命環境科学研究科において行ったものであり、本研究に対して平成24年度日本食品保蔵科学会奨励賞を与えて頂きましたことに際しまして、本研究を遂行するにあたり、筆者を研究の道へ導き終始ご指導を賜りました大阪府立大学大学院生命環境科学研究科・阿部一博教授に厚く御礼を申し上げます。また、本研究の遂行にご指導を頂きました地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所・森川信也主任研究員、磯部武志主任研究員、研究に関するご指導を賜りました草刈真一農学博士、近畿大学生物理工学部・泉秀実教授、共同研究をさせて頂きましたエスバックミック株式会社・中村謙治様、ホシザキ電機株式会社・阿知波信夫様、ダイキン工業株式会社・西岡克浩様、ならびに関係各位に感謝と御礼を申し上げます。

文 献

- 1) 谷村顕雄：亜硝酸およびその関連物質に関する最近の研究，食品衛生研究，**33**，1105～1111（1983）
- 2) 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）
- 3) 三輪 操：亜硝酸塩，硝酸塩およびN-ニトロ化合物の生体内合成，肉の化学，**27**，105～110（1986）
- 4) 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)
- 5) 田代正一：EUの硝酸塩指令に関する一考察，鹿大農学術報告，**50**，95～101（2000）
- 6) 田中章男：食品の硝酸レベルと健康問題，土と水と食品の硝酸(NO₃)をめぐる諸問題，日本学術会議土壌・肥料・植物栄養学研究連絡委員会・日本土壌肥料学会，東京，pp.44～52（1998）
- 7) 加納恭卓・山辺 守・石本兼治・福田秀範：‘加賀太’キュウリ (*Cucumis sativus* L. cv. Kagafutokyuri) の葉および果実における苦味発現と窒素代謝との関連，園学雑，**68**，391～396（1999）
- 8) OAKS, A.: Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation, *Can. J. Bot.*, **72**，739～750（1994）
- 9) 野菜茶業研究所：野菜の硝酸イオン低減化マニュアル，野菜茶業研究所，三重，pp.1～145（2006）
- 10) 河野公子：食育，食科工，**54**，204（2007）
- 11) 小林宏至：南大阪の野菜と果物，関西国際空港が拓く南大阪の可能性/堺・南大阪地域学の世界，**6**，103～111（2007）
- 12) 内藤重之・森下正博：「なにわの伝統野菜」の復活と地域・産業の取り組み，大阪食とみどり技セ研報，**43**，5～12（2007）
- 13) 森下正博：キュウリ果実のテクスチャーの品種間差，大阪食とみどり技セ研報，**39**，1～5（2003）
- 14) 森下正博：毛馬キュウリ，なにわの伝統野菜，大阪府立農林技術センター，大阪，pp.11～15（1999）
- 15) 中村 隆・森下正博・原 忠彦・因野要一：水ナス果実特性の品種・系統間差，大阪農技セ研報，**34**，1～5（1998）
- 16) 六本木和夫：果菜類の栄養診断に関する研究（第3報）葉柄汁液の食品の硝酸レベルと健康問題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）
- 17) KAETSU, K. and ABE, K.: Characteristics of Pickles Made from Eggplant (*Solanum melongena* L. cv. ‘Mizunasu’), a Vegetable Indigenous to Osaka, *Vegetarian Research*, **13**, in press (2013)
- 18) 篠原 信：有機質肥料の養液栽培—並行複式無機化法による養液内微生物生態系構築法，農及園，**81**，753～764（2006）
- 19) 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）
- 20) 土屋幹夫・小原 勝・熊野誠一・小合龍夫：水耕および砂耕条件下におけるイグサ (*Juncus decipiens* Nakai) の根の発生と伸長，日本作物学会中国支部研究集録，**36**，11～17（1995）
- 21) 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）
- 22) 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）
- 23) 宮田尚稔・池田英男・小島敬良：メタン発酵消化液が養液土耕，やしがら耕，ロックウール耕および水耕におけるトマトの生育に及ぼす影響，日本土壌肥料学雑誌，**76**，619～627（2005）
- 24) 森下正博：大阪在来毛馬キュウリの来歴と品種特性，大阪農技セ研報，**37**，27～34（2001）
- 25) REHM, S., ENSLIN, P. R., MEEUSE, A. D. J. and WESSELS, J. H.: Bitter principles of the Cucurbitaceae. 7. The distribution of bitter principles in this plant family, *J. Sci. Food. Agric.*, **8**，679～686（1957）
- 26) 下間 実：ウリ科植物の苦味物質の遺伝・生化学的研究，生研時報，**12**，85～91（1961）
- 27) BALLIANO, G., CAPUTO, O., VIOLA, F., DELPRINO, L. and CATTEL, L.: The transformation of 10 α -cucurbita-5, 24-dien-3 β -ol into cucurbitacin C by

- seedings of *Cucumis sativus*, *Phytochemistry*, **22**, 909~913 (1983)
- 28) BALLIANO, G., CAPUTO, O., VIOLA, F., DELPRINO, L. and CATTEL, L.: Cyclization of squalene-23-epoxide to 10 α -cucurbita-5, 24-dien-3 β -ol by microsomes from *Cucurbita maxima* seedings, *Phytochemistry*, **22**, 915~921 (1983)
- 29) 加納恭卓・関沢雅代・橋本 尚・山辺 守・石本兼治・亀田英喜: '加賀太' キュウリの苦味果発生における系統分類育種の効果, 平成6年度園学北陸支部要旨, p.15 (1994)
- 30) 王子善清・高 祖明・脇内成昭・岡本三郎・河本正彦: 野菜中での硝酸塩及び亜硝酸塩の集積と亜硝酸塩の毒性, 神大農研報, **16**, 291~296 (1984)
- 31) 上西愛子・野村 研・北浦健生・河田隆弘・北 宜裕: ホウレンソウのシュウ酸塩および硝酸塩濃度に及ぼす窒素施用量と灌水量の影響, 農業生産技術管理学会誌, **14**, 9~14 (2007)
- 32) KANO, Y., GOTO, H., FUKUDA, H. and ISHIMOTO, K.: Relationship between the occurrence of bitter cucumber (*Cucumis sativus* L. cv. Kagafutokyuri) and total nitrogen, nitrate-N, amino acid-N and protein contents in the leaf and peel, *J. Japan. soc. hort. sci.*, **70**, 438~442 (2001)
-