ジャガイモのブランチングにおけるカリウム溶出 およびマイクロ波の適用

安藤泰雅¹, 折笠貴寛², 椎名武夫³, 五月女格³, 五十部誠一郎³, 村松良樹⁴, 田川彰男^{5*}

¹ 筑波大学システム情報工学研究科

² 宮城大学食産業学部

³ 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所

⁴ 東京農業大学生物産業学部

⁵ 千葉大学園芸学研究科

Leaching Losses of Potassium during Soaking in Hot Water and Application of Microwave for Blanching Potatoes

Yasumasa Ando¹, Takahiro Orikasa², Takeo Shiina³, Itaru Sotome³,
Seiichiro Isobe³, Yoshiki Muramatsu⁴ and Akio Tagawa^{5*}

¹ Graduate School of Systems and Information Engineering, Tsukuba University,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8577

² School of Food, Agricultural and Environmental Sciences, Miyagi University,
2-2-1 Hatatate, Taihaku, Sendai, Miyagi 982-0215

³ National Food Research Institute, 2-1-12 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642

⁴ Faculty of Bioindustry, Tokyo University of Agriculture, 196 Yasaka, Abashiri, Hokkaido 099-2493

⁵ Graduate School of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo, Matsudo, Chiba 271-8510

The leaching losses of potassium from potatoes during soaking in hot water were measured at four temperatures ranging from 70°C to 100°C. The infinite cylinder diffusion model was used to describe the leaching losses, and the measured data were fitted to a model using a non-linear least squares method. The measured results agreed well with the calculated results. The values determined for the diffusion coefficients were 1.05×10^{-6} to 2.05×10^{-6} ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), and the apparent activation energy determined from an Arrhenius-type equation was 24.4 ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$). The applicability of using microwave for blanching potatoes was also examined. Changes in enzyme (peroxidase) activity, texture and potassium content were measured and compared between blanching by boiling water, microwaves or a combination of microwaves and boiling water. The combination of microwave and boiling water required the least amount of time for inactivation of the enzyme. Blanching using microwave tended to damage samples. Moreover, blanching using microwaves caused significant softening while the combination of microwave and boiling water caused less change in shape and texture. The residual ratio of potassium in the sample blanched using a combination of microwave and boiling was approximately 80%; similar to that of potatoes blanched using boiling water. These results suggest that the combination of microwave and boiling water can be used for blanching potatoes.

(Received Nov. 17, 2010; Accepted Mar. 30, 2011)

Keywords : blanching, potatoes, diffusion, microwave

キーワード : ブラッチング, ジャガイモ, 拡散, マイクロ波

ジャガイモは、ビタミン、ミネラル等の栄養成分を豊富に含み、栽培が簡易であること、単位面積当たりの収量が

高いことから、世界中で広く栽培される主要な作物である。国内においても、ジャガイモの消費量はいも類の中で最も多いが、青果用としての消費は減少している。一方で、その加工適性の高さから冷凍、乾燥品などの加工品として流通することも多く、加工用としての消費量が増加する傾向にある。この理由として、消費者の外食率増加に伴い、業務用としての利用が増加していること、単身世帯の増

¹ 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

² 〒982-0215 宮城県仙台市太白区旗立 2-2-1

³ 〒305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-12

⁴ 〒099-2493 北海道網走市八坂 196

⁵ 〒271-8510 千葉県松戸市松戸 648

* 連絡先 (Corresponding author), tagawa@faculty.chiba-u.jp

加、調理の簡便化志向に伴う家庭用冷凍食品の消費量増加などが挙げられ、今後も加工品としてのジャガイモの消費は拡大すると考えられる。

一般に、青果物の加工過程ではブランチングが行われる。ブランチングの主な目的は、色彩の悪変、テクスチャの変化、栄養成分の損失等の品質劣化に関与する内在性諸酵素を失活させることにある。従前、ブランチングは主に熱湯に浸漬する加熱法によって行われてきた。しかし、この方法は、浸漬操作を含むため、浸漬液への栄養成分の溶出が起こる¹⁾²⁾。また、ブランチング処理水による排水汚染の問題もある。そのため、より高品質な青果物の加工品を得るためには、熱湯浸漬以外のブランチング方法も含め、ブランチング過程における成分溶出を定量的に把握するとともに、色彩やテクスチャ等の品質変化状況を総合的に判断した上で、適切なブランチング方法、条件を設定する必要がある。

冷凍などのジャガイモ加工過程においても、貯蔵期間における品質劣化を抑制するためにブランチングが行われる。ジャガイモに多く含まれる成分としてカリウムがある。カリウムは、ナトリウムとともに体液の酸アルカリ平衡と細胞の浸透圧を調整しており³⁾、人体に必須の無機質である。カリウムは可溶性であるため、調理時の煮熟処理により約30%が溶出するといわれている⁴⁾。そのため、熱湯浸漬ブランチングにおいてもカリウムの溶出が考えられるが、ジャガイモの熱湯浸漬ブランチング処理によるカリウムの溶出について詳細に調査した例は見当たらない。そのため、本研究では、熱湯浸漬ブランチング過程における栄養成分溶出状況を把握するため、ジャガイモに豊富に含まれるカリウム含有量の経時変化を数段階の浸漬温度条件下で測定し、その結果について数値的な解析を試みた。

一方、従来のブランチングにおいて問題となっていた、処理時間の長期化、栄養成分損失、エネルギーコストの増大などを解決する方法として、マイクロ波を利用したブランチングが検討されている^{5)~7)}。マイクロ波加熱は、被加熱物分子中の、双極子やイオンなどの振動・回転による発熱であり⁸⁾、被加熱物だけが発熱し、加熱炉や雰囲気などをほとんど加熱しないため熱効率が高い⁹⁾。そのため、マイクロ波は加熱速度が速い(スピード加熱特性)、省エネルギー効果が高い、といった特徴を持つ¹⁰⁾。現在までの研究により、青果物のマイクロ波ブランチングは、熱湯浸漬など既存のブランチング法と比較して、処理時間の短縮および栄養成分の損失抑制などの利点を有することが報告されている⁵⁾。しかし、試料表面部分の加熱が十分でない¹¹⁾、テクスチャの劣化がある¹²⁾などの欠点も報告されている。Collins ら¹³⁾は、ジャガイモのブランチングにおいて、マイクロ波と熱湯の併用加熱を行い、温度変化および酵素失活状況を測定することで、熱湯浸漬ブランチングと比較して、短時間で酵素が失活することを示した。しかし、併用加熱

を適用し、その栄養成分、力学物性等の品質変化を詳細に調査した例は見当たらない。そこで、本研究では熱湯浸漬やマイクロ波照射のみによるブランチングの欠点を克服する新たなジャガイモのブランチング方法の提案を目的とし、熱湯ブランチング、マイクロ波のみによるブランチングおよびマイクロ波・熱湯併用ブランチング過程における栄養成分、力学物性等の品質変化について調査した。また、得られた結果から、マイクロ波・熱湯併用ブランチングにより品質劣化を防止しつつ、酵素を十分失活させる効果を示したので、熱湯ブランチング過程におけるカリウム残存率変化の数値解析結果と併せて報告する。

実 験 方 法

1. 浸漬過程におけるカリウム含有量変化の解析

(1) 供試材料

供試材料には、近隣の小売店で入手したジャガイモ(男爵薯)を底面直径16 mm、長さ50 mmの円柱形に成形したものを用いた。試料質量は約11 gであった。

(2) 浸漬条件

浸漬温度は、70, 80, 90 および 100℃ の4段階とした。70, 80 および 90℃ の浸漬処理では、恒温槽内で各温度に制御した水道水中に試料を完全に浸漬させた。100℃ の浸漬処理では、約3 Lの沸騰水中に試料を完全に浸漬した。浸透圧の影響を受けないようにするため、試料と浸漬水が質量比で1:300以上となるよう水量を保った¹⁴⁾。各温度条件において、浸漬温度は設定温度±0.4℃以内に保たれた。

(3) カリウム含有量

ジャガイモ試料からのカリウムの抽出は、希酸抽出法¹⁵⁾¹⁶⁾に従った。すなわち、1%塩酸溶液100 mlおよび試料をミキサーにより摩砕した後、ホモジナイザ(HG-200, アズワン株式会社)を用いて均質化(8000 rpm, 30 s)した。その後、室温で1時間程度攪拌することによりカリウムを抽出した。さらに、1%塩酸溶液で適宜希釈した後、原子吸光度計(AA-6800, 株式会社島津製作所)を用いて測定を行った。ランプはカリウム用の中空陰極ランプを用い、測定波長は766.5 nmとした。測定用溶液を直接に、ネブライザで吸入噴霧し、アセチレン-空気フレームに導入して吸光度を測定した。得られた測定値を以下の式(1)¹⁶⁾に当てはめ、カリウム含有量を求めた。

$$\text{カリウム含有量} = \frac{A \times V \times d \times 100}{W \times 1000} \text{ (mg/100g)} \quad (1)$$

ここで、 A は測定用試料溶液中の濃度 ($\mu\text{g/ml}$)、 V は試料液量 (ml)、 d は希釈倍率、 W はブランチング前の試料質量 (g) である。カリウムの測定は3~4回の反復を行い、その平均値を実験値とした。

(4) 拡散方程式による計算

Arroqui ら²⁾ および Pedreschi ら¹⁷⁾ は、ブランチング過

程におけるビタミンおよび糖の保持についてそれぞれ調査するとともに、それらの溶出については浸漬温度が高いほど早く、かつ拡散理論により説明できるとしている。本研究においても同様に、拡散理論適用の可能性が考えられる。そこで、供試した試料の形状（円柱状）から、各温度における測定結果を拡散方程式厳密解の無限円筒モデルへ非線形最小二乗法により当てはめを試みた。拡散方程式の無限円筒モデルは以下の式(2)により表される¹⁸⁾。

$$\frac{C-C_w}{C_0-C_w} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{a^2 \alpha_n^2} \exp(-D \alpha_n^2 t) \quad (2)$$

ここで、 C は浸漬後における試料中カリウム含有量、 C_0 は浸漬前における試料中カリウム含有量、 C_w は浸漬液中カリウム含有量、 D は拡散係数 ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)、 t は時間 (s)、 a は試料半径 (m)、 α_n は以下に示す第 1 種 0 次のベッセル関数の根を表す。

$$J_0(a \alpha_n) = 0 \quad (3)$$

なお、本研究では、浸漬液量が試料質量に対して十分多いことから、液中のカリウム濃度は無視できるとして、 $C_w = 0$ とみなした。また、測定値と計算値の間の標準偏差 S.D. (%) を以下の式によって算出した。

$$\text{S.D.}(\%) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_{\text{exp}} - V_{\text{cal}})^2} \quad (4)$$

ここで、 N はデータ数、 V_{exp} は実測値 (%), V_{cal} は計算値 (%) をそれぞれ示す。

2. マイクロ波・熱湯併用ブランチング法の検討

(1) 供試材料

供試材料には、前述のジャガイモを一辺 25 mm の立方体に成形したもの（約 18 g）を用いた。

(2) ブランチング方法

比較するブランチング方法は、熱湯ブランチング（以下、熱湯処理）、マイクロ波ブランチング（以下、MW 処理）、マイクロ波・熱湯併用ブランチング（以下、併用処理）の 3 方法とした。熱湯処理では、約 3 L の沸騰した水道水に試料全体を完全に浸漬し、加熱した。MW 処理では、3 試料 (54.3 ± 3.6 g) を、電子レンジ (MRO-DF6, 日立製作所株式会社) によりマイクロ波照射（設定出力 500 W）し、加熱した。併用処理では、予め沸騰した水道水 1 L および 3 試料 (55.4 ± 2.7 g) の入った 1 L ビーカ（胴径 110 mm, 高さ 150 mm）を電子レンジ内に静置し、マイクロ波照射（設定出力 500 W）、加熱した。各ブランチング後、直ちに氷水中に浸漬し、約 15 分間冷却操作を行った。

(3) 測定項目

i) パーオキシダーゼ活性

パーオキシダーゼ（以下、POD）は、耐熱性が高い酵素であることから、多くの青果物のブランチングに関する研究において処理時間を決定するための指標として用いられ

ている^{19)~21)}。本研究においても POD 活性をブランチングの指標として用いた。POD 活性の測定は小倉ら²²⁾の方法に従った。なお、本実験では残存活性率が 0.1% を下回った時点で失活とみなした。

また、各ブランチングにおける加熱の進行を視覚的に確認するために、以下に示す処理を行った。各ブランチングにおいて、加熱 30 秒ごとに、試料を底面に対して平行に 2 分割し、その切断面に 0.1 mol/L ピロガロールおよび 3% 過酸化水素水を均一に塗布した。2 分間の反応により、POD 活性残存領域が呈色した後、試料断面をデジタルカメラ (E-510, オリンパス株式会社, 解像度: 314×314 dpi) を用いて撮影した。画像形式は JPEG 形式とし、画像解析ソフト (Photoshop CS2, Adobe) を用いて画像処理を行った。

ii) ブランチング後における試料中心部の状態

ブランチング後の試料中心部における損傷の状態を確認するため、以下に示す操作を行った。ブランチング後の試料より、厚さ約 1 mm の切片を中央部から平行に切り出し、その切断面を撮影した後、前述の方法により画像処理を行った。

iii) 力学物性変化

試料の力学物性は、クリープメータ (RHEONER RE-3305S, 株式会社山電) により測定した。直径 3 mm の円柱状プランジャ（ポリアセタール樹脂製）を用い、移動速度は $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ とした。なお、試料とプランジャとの接触点（トリガーポイント）は荷重 0.2 N を感知する位置とした。例として、図 1 に生試料の歪率 (%) と荷重 (N) の関係を示した。荷重は圧縮開始から上昇し、図中の点 P でピークを示した。P は生物降伏点 (Bioyield point) と呼ばれる²³⁾。本研究では、生物降伏点すなわち歪率 P における荷重をプランジャ断面積で除した値を破断応力²⁴⁾²⁵⁾、P における歪率を破断歪率²⁴⁾²⁶⁾ とそれぞれ定義した。また、硬さを示す指標として、生物降伏点以降の特定の歪率範囲の荷重平均値を硬さとすることが多い²⁶⁾²⁷⁾。本研究においては、試料内部の硬さの指標として、P から歪率 60% までの荷重の平均値を硬さと定義した。

iv) カリウム含有量

図 1 生試料の歪率と荷重の関係

図2 浸漬過程におけるカリウム含有量変化

図3 カリウムの拡散係数 D の Arrhenius プロット表1 カリウム溶出に関する拡散係数 D

浸漬温度 (°C)	拡散係数 D ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	S.D. (%)
70	1.05×10^{-6}	1.30
80	1.31×10^{-6}	3.46
90	1.74×10^{-6}	3.55
100	2.05×10^{-6}	2.09

各ブランチング後のカリウム含有量を測定し、カリウム残存率を算出した。カリウム含有量の測定は前項(1. 浸漬過程におけるカリウム含有量変化の解析)と同様の方法により行った。

実験結果および考察

1. 浸漬過程におけるカリウム含有量変化の解析

熱湯浸漬ブランチング過程において、栄養成分の溶出がいくつか報告されており¹⁾²⁾、本研究においても、ジャガイモ中に豊富に含まれているカリウムの溶出について検討した。図2に70~100°Cの4段階の温度条件において浸漬した際のカリウム含有量の測定値と式(2)による計算値の比較を示す。測定値と計算値の間の標準偏差 S.D. は、1.30~3.55 (%)の間であった。式(2)により得られた拡散係数 D の値を表1に示す。拡散係数 D は浸漬温度が高いほど大きくなり、温度依存性があることが伺える。一般に、反応速度定数と温度の関係には、Arrhenius 型の式が成り立つことが多い。そこで、本研究においても、表1における拡散係数 D と絶対温度 T の間に以下の Arrhenius 型の式が成り立つと仮定した。

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right) \quad (5)$$

ここで、 D_0 は係数 ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)、 ΔE はみかけの活性化エネルギー ($\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$)、 R は気体定数 ($=8.314$) ($\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)、 T は絶対温度 (K) をそれぞれ表す。

図3に浸漬過程における拡散係数 D の Arrhenius プロットを示す。表1における D 値を式(5)に最小二乗法を適用して当てはめ、パラメータ D_0 と ΔE を算出した。図よ

り表1における D 値と式(5)による計算値は良く一致し、浸漬過程におけるカリウム溶出時の拡散係数 D は Arrhenius 型の温度依存性を有することが確認された。また、得られた D_0 および ΔE の値はそれぞれ 5.34×10^{-3} ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) および 24.4 ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) であった。過去の報告によると、ジャガイモの熱湯ブランチング過程におけるアスコルビン酸およびグルコース損失のみかけの活性化エネルギーは、それぞれ 24.8 ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)²⁸⁾ および 29.1 ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)²⁹⁾ である。カリウムの溶出におけるみかけの活性化エネルギーはそれらと比較し、やや低くなる結果となった。これは、カリウム溶出に関する拡散係数 D の温度依存性がアスコルビン酸およびグルコースのそれと比較し、低いためであると考えられる。また、Anthon らの報告³⁰⁾によると、ブランチングの指標酵素とされるパーオキシダーゼの失活のみかけの活性化エネルギーは 478 ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) であり、カリウム溶出のみかけの活性化エネルギーと比較し高い値である。このことから、活性化エネルギーの値から判断してカリウム溶出を最小限に抑えながら、酵素失活を達成するためには、高い温度によるブランチングが適切であると考えられた。

2. マイクロ波・熱湯併用ブランチング法の検討

(1) POD 活性

熱湯処理、MW 処理および併用処理の各ブランチング過程における POD 活性の経時変化を図4に示す。POD の失活までに要する時間は、熱湯処理において 240 s、MW 処理および併用処理において 120 s であった。2450 MHz の電磁波の 100°C の水への浸入深度は 70 mm 程度であるため³¹⁾、併用処理において、試料の周囲に存在する 1 L の水を透過できたと考えられる。すなわち、沸騰水とマイクロ波のエネルギーによる加熱が同時に行われたため、処理時間が短縮されたものと考えられた。この結果より、本実験では、処理時間を熱湯処理において 240 s、MW 処理および併用処理において 120 s に決定した。

図5に POD 活性残存領域の経時変化を示した。図中の a 領域(低輝度部(白色))は POD 失活領域、b 領域(高輝度部(濃色))は POD 残存領域を示す。本実験では、試料

の糊化が進行した領域は濃く呈色したが、未糊化領域は薄く呈色した。c 領域は未糊化領域であり、低輝度であるが POD が残存している領域を示す。すなわち、a 領域は加熱が進行した領域、b および c 領域は加熱が不十分な領域である。熱湯処理では、外部からの熱伝達のみによる加熱であるため、加熱の進行は遅いことが分かる。MW 処理ではマイクロ波特有の内部加熱効果が現れ、速いスピードで加熱が内部から進行した。しかし、図 6 に示したように、試料中心部における空隙の形成、変形といった損傷が確認された。これは、試料内部の急速な加熱により水が気化し、試料内部の圧力が上昇したためと考えられる。併用処理では、外部からの加熱が速いスピードで進行するという結果となった。電波の浸透距離が大きいと、四方八方から来た電波が中心部に集中して合成されるので、中心部のみがスポット的に加熱され、電波の浸透距離が小さいと端部のみ加熱されて、いわゆるエッジランナウェイを生じやすくなる¹²⁾。ジャガイモにおける 2450 MHz の電波の浸入深度は 17 mm (25℃) 程度であり³¹⁾、マイクロ波が直接照射される MW 処理では、1 辺 25 mm の立方体試料の中心部に電波が集中し、内部からの加熱になったものと考えられた。併

用処理では、試料の周りに存在する水によってマイクロ波が減衰し、試料に直接供給されるマイクロ波エネルギーが小さかったため、試料表面部からの加熱になり、内部の急速な加熱が起こらないことから、試料の損傷は生じず(図 6)、かつ処理時間が短縮される結果となったものと考えられる。

(2) 力学物性

図 7 にブランチング前後の破断応力および硬さを示した。各ブランチング後における試料は、未処理試料と比較し、低くなり、軟化する傾向であった。これは、試料内のプロトペクチンが可溶性のペクチンに変化し、細胞の結合力が低下したためであると考えられる³²⁾。MW 処理における硬さは、熱湯、併用と比較し、有意に低い値となった。中沢ら³³⁾は、マイクロ波加熱後におけるジャガイモの組織構造を観察し、細胞壁が壊れ、内容物質が流出していることを確認した。さらに、流出した細胞内容物が糊の役目をして、硬さなどのテクスチャに影響を与えると考察している。本研究においても、マイクロ波照射により、試料内の組織構造が破壊されたため、軟化が促進されたものと考えられる。一方、MW 処理における破断応力は、熱湯、併用とほぼ同様の値であった。破断応力には試料表面部の性状が大きく関与する。MW 処理では、マイクロ波のエネルギー供給が試料内部に集中したため、試料表面の組織構造はマイクロ波による影響を受けにくかったと考えられた。破断歪率は非加熱、熱湯処理、MW 処理および併用処理において、それぞれ 5.43 ± 0.93 , 6.43 ± 1.28 , 18.90 ± 5.41 および 6.39 ± 3.03 (%) であり、MW 処理において極めて大きくなる傾向が見られた。前述のように、マイクロ波処理に起因する細胞壁の破壊により物性が変化し、試料の弾力が増したことで、破断歪率が増大したと考えられた。併用処理では試料に直接供給されるマイクロ波のエネルギーが少なかったこと、処理時間が短縮されたことなどにより、マイクロ

図 4 ブランチング過程における POD 活性変化

図 5 POD 活性残存領域の経時変化

(a→: POD 失活領域, b→: POD 残存領域, c→: POD 残存領域 (未糊化につき呈色が薄い領域))

図6 ブランチング後における試料中心部の状態

図7 ブランチング前後の力学物性

(図中のバーは標準誤差を示す。同じ系列中の異なる英小文字は Tukey-Kramer 法において試験区間で 1% レベルで有意差があることを示す ($n=9$).)

波照射による軟化は抑制され、熱湯処理とほぼ同様の力学物性を維持する結果となった。

(3) カリウム含有量

図8にブランチング後のカリウム残存率を示した。カリウムの残存率は、浸漬操作を含まない MW 処理と浸漬操作を含む熱湯処理の間に有意差が見られた。併用処理における試料表面温度を光ファイバー温度センサ (FS100-2M, 安立計器株式会社) により測定したところ、104℃前後で推移していた。前述のように、浸漬時におけるカリウム溶出には温度依存性がある。併用処理ではマイクロ波照射により試料表面付近の温度が約 104℃ と通常の沸騰温度より高温になったことにより、カリウムの溶出がやや促進されたものの、熱湯処理よりも短い浸漬時間であったことからカリウム溶出量は熱湯処理とほぼ同値になったと考えられた。また、併用処理において、処理水の浸透圧の上昇が、カリウムの溶出に対し、抑制的に働いた可能性がある。

本研究において、処理時間、力学特性維持の観点から、併用ブランチングの利点が見られたが、今後、エネルギー効率や品質が最適となる、併用ブランチングのためのマイクロ波照射条件および環境条件について検討する必要がある。

要 約

熱湯ブランチング過程におけるカリウム溶出現象の解析を行った結果、熱湯浸漬過程における円柱状試料のカリウム含有量変化には拡散方程式の無限円筒モデルが適用さ

図8 ブランチング後のカリウム残存率

(図中のバーは標準誤差を示す。異なる英小文字は Tukey-Kramer 法において試験区間で 5% レベルで有意差があることを示す ($n=6$).)

れ、拡散係数の値には Arrhenius 型の温度依存性が確認された。

また、最適なブランチング条件の把握を目的とし、ジャガイモのブランチングに熱湯浸漬、マイクロ波およびマイクロ波・熱湯併用法を適用して酵素活性、力学物性、カリウム残存率について検討したところ、以下の知見が得られた。

(1) 試料中のパーオキシダーゼ活性の失活に要する時間は、熱湯ブランチングにおいて 240 s、マイクロ波および併用ブランチングにおいて 120 s となり、マイクロ波を利用したブランチングでは処理時間が半分に短縮された。

(2) マイクロ波のみによるブランチングでは、内部からの急速な加熱により、試料の損傷が見られたが、併用ブランチングでは、試料の損傷は観察されなかった。これは、試料に直接供給されるマイクロ波エネルギーが小さかったため外部からの加熱となったことが原因であると推察された。

(3) マイクロ波のみによるブランチングでは、試料の著しい軟化が見られたが、併用ブランチングでは熱湯ブランチングとほぼ同等の力学物性を維持した。

(4) カリウムの残存率は、浸漬操作を含まない MW 処理と浸漬操作を含む熱湯処理の間に有意差が見られた。併用ブランチングでは、処理時間が短縮されたものの、試料表面が高温になったため、カリウムの溶出がやや促進されたものと推察された。

本研究の一部は、浦上食品・食文化振興財団の助成により実施されたものである。ここに記して謝意を表す。

文 献

- Selman, J.D., Vitamin retention during blanching of vegetables. *Food chem.*, **49**, 137-147 (1994).
- Arroqui, C., Rumsey, T.R., Lopez, A. and Virseda, P., Losses by diffusion of ascorbic acid during recycled water blanching of potato tissue. *J. Food Eng.*, **52**, 25-30 (2002).
- 柴崎一雄, 藤巻正生, 金田尚志, 不破英次, 稲垣長典, 食品

- 成分の化学,「食品化学」, (朝倉書店, 東京), pp. 3-93 (1976).
- 4) 香川芳子, 栄養所要量に関する諸表,「五訂食品成分表」, (女子栄養大学出版部, 東京), pp. 344-375 (2002).
 - 5) Ramesh, M.N., Wolf, W., Tevini, D. and Bognár, A., Microwave blanching of vegetables. *J. Food Sci.*, **67**, 390-398 (2002).
 - 6) Becum, S. and Brewer, M.S., Physical, chemical and sensory quality of microwave-blanched snow peas. *J. Food Qual.*, **24**, 479-493 (2001).
 - 7) 安藤泰雅, 折笠貴寛, 椎名武夫, 五月女格, 五十部誠一郎, 村松良樹, 田川彰男, 調理用トマトの乾燥およびブランチングへのマイクロ波の適用, 日本食品科学工学会誌, **57**, 191-197 (2010).
 - 8) 柴田長吉郎, マイクロ波の特性と利用上の注意事項,「工業用マイクロ波応用技術」, 第 1 版, (電気書院, 東京), pp. 5-26 (1986).
 - 9) 村中恒男, マイクロ波加熱の基礎と応用,「光琳テクノブック 電磁波と食品」, 第 1 版, 大森豊明編, (光琳, 東京), pp. 23-98 (1993).
 - 10) 肥後温子, 電子レンジ加熱,「食品加熱の科学」, 第 1 版, 渋川祥子編, (朝倉書店, 東京), pp. 144-156 (1996).
 - 11) 柴田長吉郎,「食品工業への応用」, 工業用マイクロ波応用技術, 第 1 版, (電気書院, 東京), pp. 51-70 (1986).
 - 12) 肥後温子, 食品分野,「マイクロ波加熱技術集成」, 第 1 版, 越島哲夫編, (エヌ・ティー・エス, 東京), pp. 261-417 (1994).
 - 13) Collins, J.L. and McCarty, I.E., Comparison of microwave energy with boiling water for blanching whole potatoes. *Food Technol.*, **23**, 337-340 (1969).
 - 14) Arroqui, C., Rumsey, T.R., Lopez, A. and Virseda, P., Effect of different soluble solids in the water on the ascorbic acid losses during water blanching of potato tissue. *J. Food Eng.*, **47**, 123-126 (2001).
 - 15) 堤 忠一, 小泉英夫, 吉川誠次, 森井ふじ, 小林 純, 塩酸溶液抽出後原子吸光分析による植物性食品中のナトリウムおよびカリウムの定量法, 食品総合研究所研究報告, **34**, 132-140 (1979).
 - 16) 安井明美, 無機成分,「新・食品分析法」, 日本食品科学工学会 新・食品分析法編集委員会編, (光琳, 東京), pp. 119-290 (1996).
 - 17) Pedreschi, F., Trivisani, X., Reyes, C., Troncoso, E. and Pedreschi, R., Kinetics of extraction of reducing sugar during blanching of potato slices. *J. Food Eng.*, **91**, 443-447 (2009).
 - 18) Crank, J., Diffusion in a cylinder, In "The Mathematics of Diffusion," 2nd ed. (Oxford press, London), pp. 69-88 (1975).
 - 19) Agüero, M.V., Ansorena, M.R., Roura, S.I. and Valle, C.E., Thermal inactivation of peroxidase during blanching of butternut squash. *LWT*, **41**, 401-407 (2008).
 - 20) Icier, F., Yildiz, H. and Baysal, T., Peroxidase inactivation and colour changes during ohmic blanching of pea pree. *J. Food Eng.*, **74**, 424-429 (2006).
 - 21) Tijskens, L.M.M., Rodis, P.S., Hertog, M.L.A.T.M., Waldron, K.W., Ingham, L., Proxenia, N. and van Dijk, C., Activity of peroxidase during blanching of peaches, carrots and potatoes. *J. Food Eng.*, **34**, 355-370 (1997).
 - 22) 小倉長雄, 川久保歌子, 飯島 正, 中川弘毅, 竹花秀太郎, トマト果実のパルオキシダーゼについて, 千葉大学園芸学部学術報告, **19**, 55-62 (1971).
 - 23) Mohsenin, N.N., Some Basic Concept of Rheology, In "Physical Properties of plant and Animal Materials," (Gordon and Breach Science Publishers, New York), pp. 95 (1970).
 - 24) 五月女格, 鈴木啓太郎, 小関成樹, 坂本晋子, 竹中真紀子, 小笠原幸雄, 五十部誠一郎, 微細水滴を含む過熱水蒸気によるジャガイモの 1 次加工処理, 日本食品科学工学会誌, **53**, 451-458 (2008).
 - 25) 木村友子, 佐々木弘子, 菅原龍幸, 蒟蒻の物性と食味特性に及ぼす加熱処理と調味液の影響, 家政誌, **55**, 933-943 (2004).
 - 26) 殿塚婦美子, 長田早苗, 谷 武子, 根岸由紀子, 奥崎政美, 香川芳子, アクアガス加熱食材の基礎的調理加工特性に関する研究 (第 1 報) —ブロッコリーについて—, 日本食生活学会誌, **16**, 242-248 (2005).
 - 27) 志塚 淳, 田川彰男, Partial-freezing した長期貯蔵カット野菜の物理的, 電気的評価, 日本食品科学工学会誌, **56**, 453-462 (2009).
 - 28) Garrote, R.L., Silva, E.R. and Bertone, R.A., Losses by diffusion of ascorbic acid during water blanching of potato tissue. *LWT*, **19**, 263-265 (1986).
 - 29) Abdel-Kader, Z.K., Effect of blanching on the diffusion of glucose from potatoes. *Die Nahrung*, **36**, 15-20 (1992).
 - 30) Anthon, E.G. and Barrett, M.D., Kinetic parameters for the thermal inactivation of quality-related enzymes in carrots and potatoes. *J. Agric. Food Chem.*, **50**, 4119-4125 (2002).
 - 31) Mudgett, R.E., Electrical properties of food in microwave processing. *Food Technol.*, **36**, 109-115 (1982).
 - 32) 樽谷隆之, 北川博敏, 園芸食品の成分,「園芸食品の流通・貯蔵・加工」, (養賢堂, 東京), pp. 16-31 (1996).
 - 33) 中沢文子, 高橋淳子, 宮地昭弘, 岩瀬康司, 電子レンジ加熱食品の昇温過程とテクスチャへの影響—通常の含水量の食品—, 家政誌, **43**, 655-659 (1992).

(平成 22 年 11 月 17 日受付, 平成 23 年 3 月 30 日受理)