

# ブランチング処理がカットキャベツの遠赤外線および熱風乾燥特性に及ぼす影響

渡邊高志\*・折笠貴寛\*\*・佐々木邦明\*\*\*・小出章二\*\*・武田純一\*\*

## Influence of Blanching on Far-Infrared and Hot Air Drying Characteristics of Cut Cabbage

Takashi WATANABE\*, Takahiro ORIKASA\*\*, Kuniaki SASAKI\*\*\*, Shoji KOIDE\*\*, Jun-ichi TAKEDA\*\*

### Abstract

The influence of hot water blanching and microwave blanching on water transpiration and color changes in cut cabbage during far-infrared drying and hot air drying was investigated. The results revealed that water transpiration was increased in the dried cabbage receiving blanching pre-treatment. Color difference of dried cabbage tended to larger by blanching. Dried cabbage had also bright green color by blanching.

[keywords] microwave blanching, far-infrared drying, cabbage, water transpiration, color

### 1. 諸言

農林水産省の定める指定野菜のひとつであるキャベツは、ヨーロッパを原産地とし、日本には明治初年に導入され、明治末期には重要野菜として各都道府県や民間で育種が本格的に行われるようになった。キャベツのアスコルビン酸含有量は、新鮮物 100 g あたり 41 mg であり、ビタミン C 含有率が高く、摂取量も全野菜中 2 番目に多い野菜であることから、ビタミン C 摂取源としての需要は全野菜中第 1 位と試算される<sup>1)</sup>。岩手県の平成 23 年度におけるキャベツの生産量は 31,200 t であり、東北地方においては第一位の生産量となっている<sup>2)</sup>。しかし、同年における岩手県のキャベツの出荷量は 27,000 t となっており、生産量と比較して約 13% 少なく<sup>2)</sup>、出荷されないキャベツの多くは収穫後に廃棄処分とされていると推察される。この問題の対処法として乾燥処理に着目した。廃棄されるキャベツに乾燥処理を施して有効活用することにより、加工されたキャベツの流通を通して生産者の所得向上が期待できる。また、独特のテクスチャや品質、フレーバに着目することにより 6 次産業化への展開も期待できる。一方、遠赤外線乾燥は熱風乾燥と比べて消費エネルギー面からみた乾燥の効率は良好とされており<sup>3)</sup>、コスト低減が見込まれる乾燥方法として注目されている。高品質な乾燥食品を得るためには乾燥に伴う乾燥特性や品質変化に関する知見は不可欠であるが、キャベツの遠赤外線乾燥過程におけるそれについて調査した報告は見当たらない。また、青果物加工では加工中あるいは加工後において青果物の内在性酵素の作用により様々な品質の劣化が起るため、加工処理前に酵素を失活させるブランチングが行われている<sup>4)</sup>が、ブランチングはキャベツの熱風乾燥における乾燥特性および品質に影響を与えるとする報告<sup>5)</sup>がある。すなわ

ち、遠赤外線を乾燥キャベツの製造に利用するには、ブランチングが乾燥キャベツの乾燥特性および品質に与える影響についても検討する必要があると考えられるが、それについて詳細に検討した例は見当たらない。よって本研究では、キャベツをブランチングした後、遠赤外線および熱風乾燥過程における水分および色彩変化について測定し、ブランチング処理がキャベツの乾燥過程における水分蒸散量および色彩変化に及ぼす影響について検討したので報告する。

### 2. 実験方法

#### (1) 供試材料

供試材料はキャベツ (*Brassica oleracea* var. *capitata*) で、岩手県内の量販店から入手した。なお、産地および品種は限定しなかった。キャベツは入手してから 4 °C の冷蔵庫内に保存し、2 日以内に使用した。Nilnakara et al.<sup>5)</sup> にならい、キャベツの中肋を除去後、約 0.5 cm の幅に千切りにしたもの (以下、試料) を乾燥実験に供試した。なお、一度カットしたキャベツは品質の劣化を考慮して実験当日に使い切った。試料の初期含水率は 105 °C・24 h 法で測定し、18.6±0.66 (d.b. decimal) (n=10) となった。

#### (2) ブランチング方法

熱湯およびマイクロ波によるブランチング処理を行った。いずれのブランチング処理においても、処理後に加熱した試料をステンレスのトレーに広げて静置し、0-4 °C で 15 min 空冷した。

#### 1) 熱湯浸漬法

試料約 300 g を 94±3 °C の熱湯に 120 s 浸漬した。なお、温度制御は IH クッキングヒーター (KZ-P8, パナソニック株式会社) を用いて行い、熱湯の量は 4 L 程度とした。

\* 岩手大学大学院農学研究科

\*\* 岩手大学農学部

\*\*\* 岩手大学地域連携推進センター

## 2) マイクロ波処理法

試料約 300 g を 1 L のビーカーに入れ、ビーカーの口をラップで覆ったのち電子レンジ (MRO-DF6, 株式会社日立製作所) 内に静置し、マイクロ波を出力 800 W で 150 s 照射した。なお、本研究では、熱耐性が高く、ブランチング処理の指標として用いられる Peroxidase<sup>4)</sup> の残存活性比が 0.1 以下になったときを酵素失活とみなし、予め予備実験において熱湯浸漬時間およびマイクロ波照射時間を求めたところ、それぞれ 120 s, 150 s であった。

### (3) 乾燥方法

#### 1) 遠赤外線乾燥

遠赤外線乾燥装置の概略図を図 1 に示す。試料約 100 g を定温送風乾燥器 (DKM600, ヤマト科学株式会社) 内の、高さ 26 cm に固定した金網に広げて静置し、乾燥器内温度を 25 °C に設定した。風速は熱式風速計 (405-V1, 株式会社テスト) にて測定したところ、 $0.19 \pm 0.028$  m/s であった。定温送風乾燥器内の両側面に遠赤外線放射パネル (TE スーパーアグリヒーター, 東洋興産株式会社) を取り付け、電圧調節器 (RSA-5, 株式会社東京理工舎) を 2 台接続して一定の電圧 (130 V) を供給した。1 h 経過後の含水率変化が 0.03 (d.b. decimal) 以下になったときを乾燥終了とした。

#### 2) 熱風乾燥

遠赤外線乾燥と同様に試料約 100 g を定温送風乾燥器内に静置し、風速  $0.19 \pm 0.028$  m/s の条件下で乾燥実験を行った。

#### 3) 乾燥温度の設定

遠赤外線および熱風乾燥における水分蒸散量および色彩変化の比較のため、岡本ら<sup>3)</sup> の報告にならう、熱風乾燥終了時における試料表面温度を遠赤外線乾燥におけるそれと揃え、乾燥速度を同程度に制御した。試料表面の温度変化を素線径 0.3 mm の T 型熱電対を用いて測定し、データロガ (GL220, グラフテック株式会社) に記録したところ、乾燥終了時の試料表面温度が遠赤外線乾燥のそれとほぼ同じ値となったことから、熱風乾燥における乾燥空気温度は 53 °C に設定した。また、乾燥空気温度と相対湿度をそれぞれ T 型熱電対と相対湿度・電圧変換モジュール (B-530, グラフテック株式会社) を用いて測定し、乾燥処理中の定温送風乾燥器内空気の絶対湿度を質量基準湿度図表から求めたところ、 $0.003 \sim 0.012$  (kg/kg-DA) となった。

#### (4) 測定項目

生鮮およびブランチング処理試料を遠赤外線および熱風乾燥させ、乾燥過程における質量および乾燥前後における色彩をそれぞれ測定した。また、ブランチング前後における試料表面および断面における微細構造を測定した。なお、測定に用いられる試料は、生鮮 (fresh)、ブランチング無処理 (Unblanched; 以下, UB)、熱湯浸漬処理 (Hot Water; 以下, HW)、マイクロ波処理 (Micro Wave; 以下, MW)、乾燥法は遠赤外線乾燥 (Far Infrared; 以下, FIR) および熱風乾燥 (Hot Air; 以下, HA) とした。

#### 1) 質量 (含水率) 変化

各乾燥過程における試料質量変化を 1 h 間隔で電子天秤 (GF-3000, 株式会社エー・アンド・デイ) を用いて測定した。減少した質量は全て蒸発水分量とみなし、乾量基準含水率 (d.b decimal) (以下, 含水率) に換算した。また、以下の式 (1) により自由含水率比 (MR) を算出した。

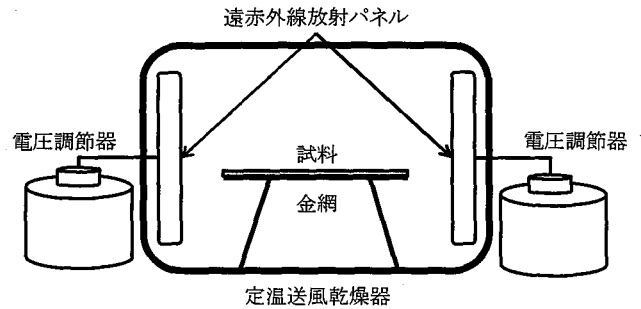


図 1 遠赤外線乾燥装置の概略図

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

ただし、 $M$ ,  $M_0$ ,  $M_e$  はそれぞれ含水率、初期含水率、平衡含水率を示す。

#### 2) 色彩変化

試料の色彩は簡易型分光色差計 (NF-330, 日本電飾工業) を用いて  $L^*a^*b^*$  表色系により測定した。1 試料につき試料表面の 3 点を測定し、その平均値を実験値とした。乾燥前後の  $L^*$  値、 $a^*$  値および  $b^*$  値の差 ( $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  および  $\Delta b^*$ ) から以下の式により色差  $\Delta E$  を算出した。

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2)$$

#### 3) 微細構造

UB および各ブランチング処理試料の表面と切断面における微細構造を、走査型電子顕微鏡 (JSM-6510LA, JEOL) を用いて加速電圧 5 kV、真空度  $3.0 \times 10^{-4}$  Pa で観察した。

## 3. 結果および考察

### (1) 乾燥過程における試料含水率変化

UB, HW, MW の遠赤外線および熱風乾燥における MR 経時変化を図 2 にそれぞれ示す。なお、図中の実線および破線は後述するモデル式による計算値である。これらの図から、ブランチング無処理および各ブランチング処理試料の遠赤外線乾燥および熱風乾燥における含水率は、時間の経過とともに緩やかに減少していることが分かる。一般に乾燥青果物における含水率変化は減率乾燥第一段にあることが多く、その解析には指数モデルが良く用いられている<sup>6) 7)</sup>。本研究においても指数モデルを用いて解析することとした。指数モデルは次式で示される<sup>8)</sup>。

$$MR = \exp(-k_1 t) \quad (3)$$

ここで  $k_1$  は減率乾燥第一段における乾燥速度定数 ( $\text{h}^{-1}$ ) であり、 $t$  は乾燥時間 (h) である。MR の測定値を式 (3) に当てはめ、最小二乗法により定数  $k_1$  を決定した。図 2 に式 (3) による含水率の計算値を実線を用いて示す。MR が 1~0.05 の範囲における測定値と式 (3) による計算値はよく一致しており、MR が 1~0.05 の範囲において、実験値と式 (3) との適合性が高いことが示された ( $R^2 > 0.99$ )。一方、本研究の各試料における MR が 0.05 から平衡含水率に達するまでの期間において、指数モデルの適合性が低くなった。よって、MR が 0.05 以下の範囲においては式 (3) 以外のモデルを当てはめる必要がある。Page 式は様々な農産物の含水率変化を精度良く表す式

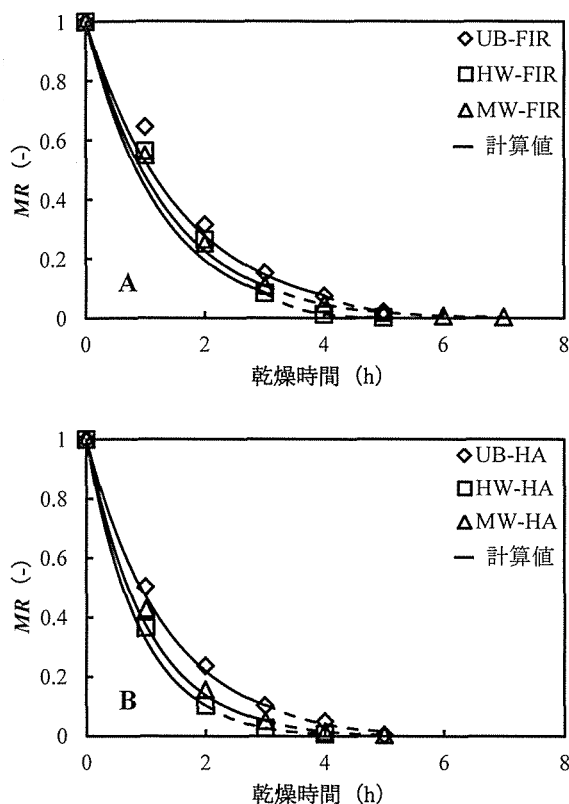


図2 各乾燥過程における試料含水率比

(A) および (B) はそれぞれ遠赤外線乾燥, 熱風乾燥を示す. 実線は式 (3) による計算値, 破線は式 (4) による計算値を示す.

として用いられている<sup>9)~11)</sup>. Page式は次式で表せられる.

$$MR = \exp(-k_2 t^N) \quad (4)$$

ただし,  $k_2$ はPage式における乾燥速度定数 ( $h^{-1}$ ) であり,  $N$ は定数である.  $MR$ が約0.05以下の範囲における $MR$ の測定値を式 (4) に当てはめ, 非線形最小二乗法により定数 $k_2$ と $N$ を決定した.  $MR$ の測定値と式 (4) による計算値を図2に破線を用いて示す. 計算値と実測値はよく一致しており ( $R^2 > 0.99$ ),  $MR$ が0.05から乾燥終了の範囲における試料の含水率変化は式 (4) によって精度良く表すことができることが示された.

(2) ブランチングによる乾燥過程における水分蒸散量の増加

式 (3) および式 (4) によって算出された定数 $k_1$ および $k_2$ を表1に示す. 各条件における定数 $k_1$ および $k_2$ の値は, ブランチング処理により, それぞれ約1.2~1.5倍および1.3~3倍に大きくなったことから, ブランチング処理は乾燥処理における水分蒸散量を1.2~3倍程度増大させることが示された. Nilnakara et al.<sup>9)</sup> は, ブランチング処理されたキャベツの乾燥過程における水分蒸散量増加の要因はHW処理に伴う試料表面の軟化であると報告している. しかし, 水分蒸散量増加はブランチング処理による軟化だけではなく, 他にもいくつかの要因があると考えられる. 五月女ら<sup>12)</sup> は走査型電子顕微鏡を用い, ジャガイモをブランチング処理した際の試料微細構造の変化を確認している. ブランチングによる試料の損傷が確認できれば, 試料内部における水分拡散抵抗が変化するため, 水分蒸散量が増減すると考えられる. そこで本研究では, ブランチングによる試料損傷の有無を確認するため, 生鮮およびブランチング処理試料

表1 各乾燥過程における乾燥速度定数 $k_1$ および $k_2$

	FIR			HA		
	UB	HW	MW	UB	HW	MW
$k_1 (h^{-1})$	0.64	0.82	0.74	0.76	1.13	0.99
$k_2 (h^{-1})$	0.21	0.28	0.63	0.59	1.02	0.79

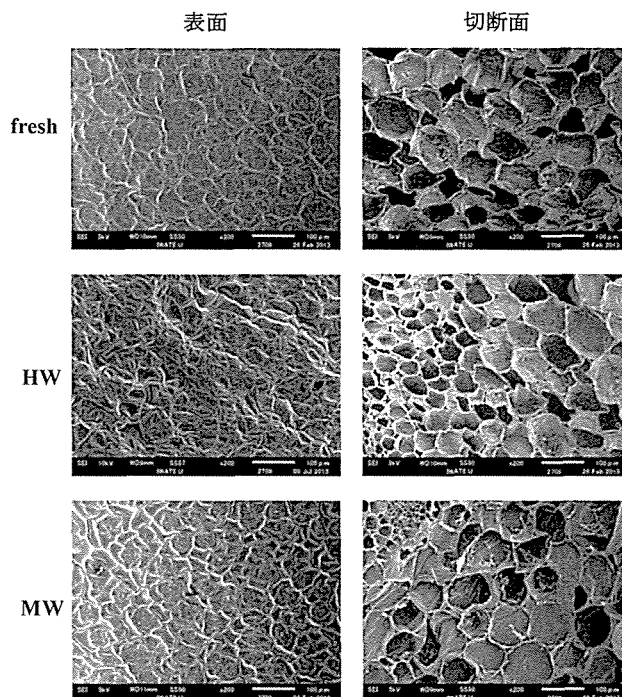


図3 ブランチング処理後の試料微細構造 (倍率200倍)

の微細構造を走査型電子顕微鏡で観察した. 図3に各試料の微細構造を示す. その結果, 試料表面および切断面において, HW, MWともにfreshとほぼ同様の構造を維持しており, 明らかな物理的損傷は認められなかった. よって, 本実験条件下においては, 物理的損傷による水分拡散の向上は起こらなかったと考えられる. 五月女ら<sup>12)</sup> はジャガイモのブランチングにおいて, 熱湯浸漬処理された試料は, 生鮮試料やスチームおよびアクアガス処理されたものと比較して明らかな微細構造変化がみられたとしており, 本研究とは違う結果を報告している. その要因としては加熱時間の違いが考えられた. 本研究のブランチング処理時間は熱湯浸漬で120 s, マイクロ波照射で150 sであったが, 五月女らは熱湯浸漬やスチーム, アクアガスなどの加熱処理時間を30 minと, 本研究と比較して長時間加熱処理しており, ブランチングによる損傷が本研究より著しくなったと考えられる. これらから, ブランチング処理時間の長期化や試料の形状, 加熱温度などの条件が変化することにより試料の損傷が発生すれば, 水分拡散の向上に伴う水分蒸散量の増大が起こる可能性があると考えられる. 今後は, ブランチング処理による試料の表面軟化や収縮抑制効果について調べ, 水分蒸散量増加の要因について検討する必要がある.

(3) 色彩変化

UB, HW, MWの遠赤外線および熱風乾燥における乾燥前後の色差 $\Delta E$ を表2に示す. ブランチング処理を行った試料の乾燥後の色差

表2 各乾燥前後における色差

	FIR			HA		
	UB	HW	MW	UB	HW	MW
$\Delta E$	7.2±1.3	17.9±1.9	10.3±1.1	4.3±1.5	10.4±1.1	8.0±0.7

は、ブランチング無処理試料のそれと比較して大きくなる傾向がみられ、色彩は鮮やかな緑色を呈した。この要因としては、ブランチング処理により生ずる葉緑体のタンパク質の熱変性によりクロロフィルの状態変化が生じ、主波長のシフトが起こるため<sup>13)</sup>と考えられた。通常、乾燥試料において色差が小さい方が望ましいと判断されることが多いが、本研究の乾燥キャベツにおいては、ブランチング処理によって緑色が鮮やかになることは品質の向上になると考えられる。よって、ブランチング処理は乾燥キャベツの緑色を鮮やかにし、品質を向上させる手段となる可能性が示された。

#### 4. 要約

熱湯およびマイクロ波によるブランチング処理が、遠赤外線および熱風により製造された乾燥キャベツの水分蒸散量および色彩変化に与える影響を検討したところ、以下の知見が得られた。

(1) いずれのブランチングにおいても、遠赤外線および熱風乾燥試料の含水率変化は指数モデルとPage式の組み合わせにより表されることが示された。

(2) ブランチング処理はその後の乾燥における水分蒸散量を1.2-3倍程度増加させることが示された。

(3) ブランチング処理により乾燥キャベツの色差は大きくなり、鮮やかな緑を呈した。

以上より、ブランチング処理は乾燥キャベツの緑色を鮮やかにしつつ乾燥時間を短縮させる可能性が示された。

#### 謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金（若手研究B, 23780268）およびJST復興促進プログラム（A-STEP, 241FT0265）の助成により実施された。ここに記して謝意を示す。

#### 参考文献

- 小宮山誠一, 2010. 野菜類の品質向上のための栽培および評価法に関する研究. 北海道立総合研究機構農業試験場報告, 128, 1-16.
- 農林水産省大臣官房統計部, 2011. 農産水産統計, 平成22年産野菜(40品目)の作付面積, 10a当たり収量, 収穫量および出荷量(全国).  
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001102731>, 平成25年10月24日アクセス.
- 岡本慎太郎, 折笠貴寛, 桑島学人, 菰田俊一, 斉藤順一郎, 矢野歳和, 村松良樹, 小出章二, 椎名武夫, 田川彰男, 2012. コマツナの乾燥への遠赤外線の利用. 日本食品科学工学会誌, 59(9), 465-472.
- Aguero, M.V., Ansorena, M.R., Roura, S.I., Valle, C.E., 2008. Thermal inactivation of peroxidase during blanching of butternut squash. LWT, 41, 401-407.

- Nilnakara, S., Chiewchan, N., Devahastin, S., 2009. Production of antioxidant dietary fibre powder from cabbage outer leaves. Food and Bioproducts Processing, 87, 301-307.
- Simal, S., Femenia, A., Garau, M.C., Rossello, C., 2005. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. Journal of Food Engineering, 66, 323-328.
- Doymaz, I., 2005. Drying characteristics and kinetics of okra. Journal of Food Engineering, 69, 275-279.
- Orikasa, T., Wu, L., Roy, P., Muramatsu, Y., Yano, T., Shiina, T., Tagawa, A., 2012. Vacuum drying characteristics of kiwifruit and analysis of drying shrinkage. Journal of Society of Agricultural Structures, Japan, 43(4), 145-151.
- Doymaz, I., 2007. Air-drying characteristics of tomatoes. Journal of Food Engineering, 78, 1291-1297.
- Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., Tabil, L.G., 2007. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. Journal of Food Engineering, 78, 98-108.
- Sacilik, K., Unal, G., 2005. Dehydration characteristics of kastamonu garlic slices. Biosystems Engineering, 92(2), 207-215.
- 五月女格, 鈴木啓太郎, 小関成樹, 坂本晋子, 竹中真子, 2006. 微細水滴を含む過熱蒸気によるジャガイモの一次加工処理. 日本食品科学工学会誌, 53(9), 451-458.
- 小倉長雄, 上野護, 松永政也, 佐藤隆英, 中川弘毅, 1987. 緑葉のクロロフィル活性とブランチング時の色調の変化について. 日本農芸化学会誌, 61(4), 451-456.