そば切りの水回し工程の解析[†]

堀金 彰[§], 山田純代, 引地良行*, 大場聖司**, 松倉 潮***, 今井 徹

独立行政法人食品総合研究所

* 千穂田精衡株式会社

** 静岡県農業試験場

*** 独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構作物研究所

Analysis of Mixing Process of Hydrated Buckwheat Flour (Development of Quality Evaluation Method of Buckwheat Noodle Part I)

Akira Horigane[§], Sumiyo Yamada, Yoshiyuki Hikichi*, Seiji Ohba**,
Ushio Matsukura*** and Toru Imai

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

* Chihoda-Seiko Co., Ltd., 1276 Uenomuro, Tsukuba, Ibaraki 305-0023

** Shizuoka Agricultural Experiment Station, 678-1 Tomigaoka, Toyoda, Shizuoka 438-0803

*** National Institute of Crop Science, 2-1-18 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8518

The process of preparing buckwheat noodle mainly consists of three steps, mixing of hydrated buckwheat flour, spreading of the dough, and cutting. It is difficult, however, to allow buckwheat flour to develop its own viscosity in an air-conditioned laboratory as the hydrophilic globulin and albumin lack binding power. It is possible to take advantage of wheat flour to help buckwheat flour bind together, but addition of binder will lose the pure and clean taste of buckwheat. This paper describes the mixing method of hydrated buckwheat flour without binder for quality evaluation. Time course study of moisture distribution in hydrated buckwheat flour was studied by proton nuclear magnetic resonance imaging. The physical property analysis was carried out by the creep test. Buckwheat flour was hydrated in a bowl and mixed by hand with a mixing appliance for 1 to 4 min. Viscosity of buckwheat flour increased in 3 min. Proton imaging revealed that the intensity of proton signal became homogeneous, and the spin-lattice relaxation time decreased in 1 to 3 min and reached steady state. Creep compliance curves followed the same time course change. The data showed the mixing process of hydrated buckwheat flour completed in 3 min. The results can be utilized for the quality evaluation of buckwheat noodle.

(Received Oct. 30, 2003 ; Accepted Mar. 27, 2004)

そばは、世界各地で食料として利用されている¹⁾²⁾。伝統食品として日本人に親しまれているそば切りの食味は、ゆで麺の香り、咀嚼感、喉ごしの触感などにより評価され、製造技術に関して多くの書籍が出版されている^{3)~5)}。そば切りは、一般的にはつなぎを加えて調製される場合が多く、そば粉のみで調製される十割そばに比べて風味に大きな差異が生じる。そばのタンパク質はグロブリン、アルブミン、グルテリンなどで構成され⁶⁾、そば切りの麺帯調製工程におけるつなぎの役割を果たしているが、水溶性の

タンパク質は乾燥に弱いとされ、そば切りの製造には熟練が求められている。一般的なそば切りの品質評価には小麦粉がつなぎとして用いられ、麺線や風味への影響が検討されている⁷⁾⁸⁾。本来、風味や食感が重視されるそば切りの品質評価においては、つなぎを使用しないことが望ましいが、空調設備が備えられている実験室や調理室は湿度が低いと乾燥に弱い十割そばの調製は困難である。しかし、そばの品種間差異や栽培条件、加工工程がそば切りの品質に及ぼす影響を詳細に検討するためには、実験室における十割そばの調製技術の確立が必要である。

そこで本研究では、丸抜きの全粒粉を原料としたそば切りの品質評価法を開発するため、水回し、延し、切りの3工程のうち、まず、水回し工程の改良を図り、加水の均質化を磁気共鳴画像(MRI)診断法^{9)~11)}で測定・評価すると

[†] そば切りの品質評価試験法の開発 (第1報)

〒305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-12

* 〒305-0023 茨城県つくば市上の室 1276

** 〒438-0803 静岡県磐田郡豊田町富丘 678-1

*** 〒305-8518 茨城県つくば市観音台 2-1-18

[§] 連絡先 (Corresponding author), horigane@affrc.go.jp

ともに、生地の物性の測定値との比較も行った。

実験方法

1. 試料

原料は、平成 14 年度産の中国産マンカン種の丸抜き（横山製粉，札幌市）を用いた。製粉には，ステンレス製臼を備えた小型製粉装置試作機（千穂田精衡，つくば市）を用い，上臼を氷冷水で冷却した。上下の臼のクリアランスは約 0.2 mm とし，篩分けを行わずにそば全粒粉を調製した。製粉後の水分含量は，14.5%（135℃，4 時間）で，平均粒径が 0.092 mm，最頻径が 0.088 mm であった（Fig. 1）。そば粉は製粉後，直ちに 0℃ で冷蔵保存して水回し試験に供した。供試期限は，製粉後 1 週間以内とした。

2. 水回し方法

市販の調理用ボール（KK401PG，積水化学）を用い，そば全粒粉 100 g の全体にイオン交換水 50 ml を 1 回で加

Fig. 1 A particle distribution curve of buckwheat flour

Particle size was measured with a dry powder method with a particle size counter (LS 13 320, Beckman Coulter). Average particle size of buckwheat flour was 0.092 mm and the particle size of the largest fraction was 0.088 mm. Buckwheat was milled with a stainless steel mortar. Upper mortar was chilled with iced water.

Fig. 2 A mixing appliance and process in a bowl

A mixing appliance with a handle and three rods (10 mm in diameter, 50 mm in length) which move inside when large pressure added at the side of bowl. a handle; b, a rod; c, a spring; d, hydrated buckwheat flour; e, a bowl

え，試作した攪拌器具（千穂田精衡製）で水回しを行った（Fig. 2）。加水物の水回しは手動で行った（120 rpm）。水回し開始時から 1 分毎に 4 分間までの混和物を調製し，MRI 測定および物性測定に供した。

3. MRI 測定

MRI 装置は，開口径 330 mm の自己遮蔽型超伝導磁石（4.7T, Oxford, 英国）を備えた水平開口型磁気共鳴画像診

Fig. 3 Magnetic resonance imaging (MRI) apparatus (A) used for the measurement of proton imaging of hydrated buckwheat flour and the inside of the disk for the sample (B);

An actively shielded 4.7T super conducting magnet with a 33cm horizontal bore (a), a polyacetal resin sample disk (b) which includes a fiber optic thermometer with a sheath for the guide (c) and a lid (d) which was fixed with polycarbonate resin screws, a removable carbon resin rod (e), serving as a supporting apparatus to exchange the sample, a quadrature RF coil (f), 16 cm in diameter and 40 cm in length which accommodates the disk and a spacer (g) in a horizontal bore of the coil, tuner shanks and signal cables (h). The detection unit supported by an acrylic resin cradle (i) was fixed in a horizontal bore of the magnet for measurement. Hydrated buckwheat flour (j) was fixed in a chamber of the disk.

Fig. 4 Preparative method to measure creep and creep recovery curves of hydrated buckwheat flour

A: A pressure vessel (a) was used to form the hydrated buckwheat flour sample to cylindrical form (b, 50 mm in diameter, 70 mm in height). B: The cylindrical sample was pressed with a pressing disk (c) of hydraulic pressure machine to form a flat disk, 20 mm in thickness (d). C: A set of punching appliance (punch, e; piston, f; spacer, g) was used to prepare the small cylindrical sample (15 mm in diameter and in length, h) for rheological analysis. D: Creep curve was measured with a creep meter (Rheoner 3305, Yamaden). The sample was pressurized with a flat disk, 30 mm in diameter with the load of 50 gf at 23℃.

Fig. 5 Time course experiment showing the hydration of buckwheat flour dough after mixing

Distilled water (50 ml, 23°C) was added to buckwheat flour (100 g) in a bowl and were mixed by hand (120 rpm) with a mixing appliance for 1 to 4 min.

Fig. 6 Time course change of T1 value during mixing of hydrated buckwheat flour and dough

T1 value was measured for the rectangle pixel unit (20 × 20 mm) of 3 planes (pss = +4, 0, -4 mm) of the samples (100 mm in diameter and 17 mm in height). The values are means of 5 measurement of central and 4 concentric circle positions of each plane. Measuring parameter of MRI: Repetition time was 1.0 sec. The field of view was 110 × 110 mm. Pixel size was 3.43 × 3.43 mm and slice thickness was 1.04 mm. Inversion recovery times: 0.04, 0.08, 0.16, 0.32 and 0.64 sec. Total experimental time was 1.3 min. Vertical bars represent the mean ± SE (n = 15). Heights in each column not followed by the same alphabetical letter are significantly different at $p < 0.05$ by Tukey's multiple tests.

Fig. 7 Time course change of T2 value during mixing of hydrated buckwheat flour and dough

T2 values were measured for the rectangle pixel unit (20 × 20 mm) of 3 planes (pss = +4, 0, -4 mm) of the samples (100 mm in diameter and 17 mm in height). The values are means of 5 measurement of central and 4 concentric circle positions of each plane. Measuring parameter of MRI: Repetition time was 1.0 sec. The array of echo time were 4, 8, 16, 32, 64 msec. The field of view was 110 × 110 mm. Pixel size was 3.43 × 3.43 mm and slice thickness was 1.04 mm. Total experimental time was 1.3 min. Vertical bars represent the mean ± SE (n = 15).

断装置 (Varian UNITY-SIS 330, 米国) を用いた。MRI 測定は, quadrature coil 型のイメージング測定用プローブ (内径 180 mm) をクレードルに固定した測定装置を用い, 200 MHz で画像を取得した。本研究では水回し 1~4 分間の経時変化を測定するために迅速な測定が必要であるが, 定法に従ってイメージング測定プローブを超伝導磁石から外して試料を交換すると, MRI 測定の前に RF コイルの共振周波数を磁気共鳴周波数に合わせるためのチューニングや, 静磁場の不均一性を取り除くためのシム調整作業に 10 分以上の時間を必要とする。そこで, イメージング測定用プローブとクレードルを超伝導磁石に固定して測定できる

ように MRI 撮像用ディスク (内径 100 mm, 深さ 17 mm) を作製し, その中にそば粉の混和物を収容し, イメージング測定用プローブの定位置に固定して測定を行った。試料の交換は, 着脱可能なカーボン樹脂製の支持棒を用いて, 後部開口部より MRI 撮像用ディスクのみをイメージング測定用プローブから取り外す方法を採用し, チューニングとシム調整を省略して測定前の機器調整時間の短縮を図った。MRI の撮像は, MRI 撮像用ディスクをイメージング測定用プローブの定位置に固定した後, 支持棒を取り外し, 開口部のシールド用蓋を閉めて行った (Fig. 3)。

小麦や米穀粒中の水分分布の非破壊分析には, 緩和時間が指標として用いられている。MRI 装置では, 電磁波によって励起されたスピンのエネルギーが周辺の格子に移り指数関数的に減衰するのが観察される。縦緩和時間 (spin-

Fig. 8 T1-weighted spin-echo images of proton of hydrated buckwheat flour during mixing of hydrated buckwheat flour and dough

Repetition time was 1.0sec. Echo time was 10 msec. The field of view was 110×110 mm. Pixel size was 0.43×0.43 mm and slice thickness was 1.04 mm. Total experimental time was 5.8 min. The vertical color bar shows the intensity of proton signals.

lattice relaxation time, T1) は、このシグナルが初期値の $1/e$ に減衰するまでの時間を示す。そば粉の混和物の縦緩和時間は、予備実験で 0.5 秒以下であったため、反復時間は約 2 倍の 1 秒とした。T1 イメージは inversion recovery 法（反転回復時間 0, 0.04, 0.08, 0.16, 0.32 および 0.64 秒）を用い、そば粉の混和物を厚さ 1.04 mm でスライスし、中心部および中心部から前後 4 mm の距離の計 3 カ所で撮像した。迅速に T1 を測定するため積算回数は 1 回とし、field of view は 110×110 mm、撮像 matrix は 32×32 、画像の面分解能は 3.43 mm とした。各 T1 イメージの測定に要した時間は 3 分 15 秒であった。T1 値の測定領域は 20×20 mm とし、各 T1 イメージ画像の中央部および同心円状に 30 mm 離れた 4 箇所、合計 5 カ所で測定を行った。3 枚の T1 イメージを用いて 15 箇所の T1 値を測定し、平均値を求めた。有意差検定は、Tukey の多重検定により行い、危険率 5% 以下を有意とした。統計解析ソフトは、エクセル統計 Ver5.0（エスミ）を用いた。

MRI 装置において、電磁波で励起され、位相の揃ったスピンは、スピン間でエネルギーの授受を行い位相が乱れた平衡状態に戻る。この緩和過程の時定数である横緩和時間（transverse relaxation time, T2）を、マルチエコー法で測定した。そば粉の混和物の横緩和時間は、予備実験で数十ミリ秒以下であったため、反復時間は T1 と同様に 1 秒とした。T2 イメージの測定は、エコー時間を 0.01, 0.011, 0.013, 0.015, 0.02 および 0.03 秒とし、6 エコーを測定した。各 T2 イメージの field of view は、 110×110 mm、撮像 matrix は 32×32 、積算回数を 1 回とし、測定時間は 3 分 15 秒であった。T2 値の測定領域は 20×20 mm とし、各 T2 イメージ画像の中央部および同心円状に 30 mm 離れた 4 箇所、合計 5 カ所で測定を行った。3 枚の T2 イメージを用いて 15 箇所の T2 値を測定した。

プロトン MRI の撮像パルス系は、Spin Echo 法を用い

た。field of view は 110×110 mm、撮像 matrix は 256×256 、積算回数を 2 回、スライス厚は 1.04 mm とし、反復時間 1 秒、エコー時間 0.01 秒で T1 強調画像を取得し、水分分布の状態変化を観察した。撮像に要した時間は 8 分 32 秒であった。

4. 物性測定

加水の均質化による物性変化の測定は、クリープ試験機（Rheoner 3305, 山電）を用いて測定した。そば粉の混和物は、水回し 1 分の崩れやすい試料からくくりの段階に達する 4 分後の試料まで脆性や粘性が大きく変化する。クリープ試験の分析試料は、一定条件で成型されることが必要であるため、物性測定用の試料調製器具を作製し精度の向上を図った（Fig. 4）。物性測定に供した試料は、そば全粒粉 100 g の全体にイオン交換水 50 ml を 1 回で加え、攪拌器具を用いて手動で水回しを行い、1 分毎に 4 分間までの混和物を調製した。混和物は、内径 50 mm のシリンダー状の加圧成型容器に入れ、上部のプランジャーを手で押して高さ約 70 mm の円筒状に充填した（Fig. 4, A）。充填後、成型物を押し出し、プログラミング混捏装置（CMX-100, 千穂田精衡）を用いて開放系で高さ 20 mm に圧縮（0.2 N, 30 mm/秒）した（Fig. 4, B）。圧縮成型物は、直径 15 mm のボーラーで打ち抜いて両端をトリミング刃（No. 130, フェザー）で切断し、高さ 15 mm の円筒状の分析試料を調製した（Fig. 4, C）。円筒状試料（直径 15 mm、高さ 15 mm）を測定ステージの中央部の試料台（ $\phi 16$ mm）に設置した（Fig. 4, D）。物性測定は、試料を直径 30 mm の円盤状プランジャー（No. 1, $\phi 30$ mm, 山電）で 50 gf の一定荷重で圧縮変形（5～10%）させ、60 秒後に除重したときの圧縮応力に対する経時的な変形量、すなわちクリープ・コンプライアンスを測定した。

実験結果および考察

1. 水回しによる加水の浸透

そば切りの粘性は、加水によるアルブミンやグロブリンなどの親水性タンパク質がつなぎとなって形成されると考えられており、そば切りの調製工程では加水物の乾燥を防ぐことが重要とされている。一般的に手打ちの水回しは 10 分程度の工程である。一方、試作した攪拌器具を用いた水回し工程においては混和物の形状から判断すると、約 3 分間で混和物が直径 30 mm 程度の粒状になり、水回しの完了が観察された (Fig. 5)。4 分後の混和物は、塊状になり、くくりの段階に達していると考えられる。木鉢を用い、室温 23℃、相対湿度 50% (ハイエスト I 型、佐藤計量器製作所) に空調されている実験室でそば粉 500 g に 48% 程度の加水を行って素手で水回しを行った結果、10 分後の水分損失は約 4% に達した。これに対し、試作したプラスチック製の攪拌器具は、水回し工程の時間を 3 分程度に短縮することができたため水分損失が 1% 程度に減り、水回し終了後に加水物を円筒状に成型しても端部のひび割れの発生を防止することができた。また、従来から水回しの工程では、手に付着した加水物を掻き落とす手間を省くため、竹箸などが利用されているが、試作した攪拌器具は表面構造が滑らかなプラスチック製であるため付着が少なく、水回し工程の効率化を図ることが出来た。

2. MRI 測定

水分の運動性を示す縦緩和時間 (T1) は、水回し開始 1 分後では 0.45 ± 0.03 秒であった (Fig. 6)。水回し 2 分では、T1 値がやや減少した。3 分後には T1 値が 0.28 ± 0.002 秒と大きく減少した。これは、水回しによる混和物の粘度の上昇などによって水分の運動性が低下したことを示すと考えられる。4 分後も T1 値は 3 分後とほぼ同一の値を示しており、T1 値を指標とすると、水回し 3 分後に混和物の水分動態はほぼ定常状態に達すると考えられる。

プロトンの動きによる局所磁場変動によって影響される横緩和時間 (T2) は、水回し 1 分後では 6.43 ± 0.4 ミリ秒であった (Fig. 7)。水回し 2 分後の T2 値は 6.45 ± 0.1 ミリ秒でほぼ同じであった。3 分後の T2 値は 6.11 ± 0.1 ミリ秒とやや減少し、4 分後とほぼ同じ値であった。水回し工程で得られた T2 値は、T1 値の場合とは異なり、明白な変化の傾向は認められなかった。水回し工程における内部組織の水分動態は、プロトン MRI 測定によるイメージング画像より、1 分後では水分の分散が不十分なため、赤色で示される水分含量の高い混和物と青色で示される水分が浸透していないそば粉の部分の不均一性が大きかった (Fig. 8)。攪拌 2 分後では、まだ不均一性が大きい加水の浸透が広がり均一性が向上した。全体が同一色に変化した 3 分後には混和物のプロトン強度の均一性が急激に向上した。水回し 4 分後のイメージング画像は、3 分後と同一でプロトン

Fig. 9 Creep and creep recovery curves of hydrated buckwheat flour after mixing for 1 to 4 min

○, 1 min; △, 2 min; □, 3 min; ×, 4 min. Rheological changes of hydrated buckwheat dough were measured with the load of 50 gf at 23℃. Buckwheat flour and 50 ml of water were mixed with a mixing appliance shown in Fig. 2. The distortion rate was between 5 to 10%. Vertical bars represent the mean $\pm$ SE (n=5).

強度の均一性がほぼ等しい画像が得られた。MRI 測定法による縦緩和時間 (T1) およびイメージング画像を指標にすると、丸抜き全粒粉の水回し時間は、本法では 3 分間の短い時間で終了することが明らかとなった。

3. 物性測定

加水物の生地粘弾性を測定するために行ったクリープ試験では、クリープ・コンプライアンス特性は水回し時間の経過とともに上昇し、柔らかく流動変化しやすい生地に变化していることを示している (Fig. 9)。加水の均質化が進むにつれてクリープ・コンプライアンス特性の変化は次第に小さくなり、水回し 3 分および 4 分後の特性曲線はほぼ同様の値を示した。したがって、物性測定の結果より、水回しは 3 分間で完了すると考えられる。この結果は、MRI 測定における混和物のプロトンの分布が均一化したことと一致しており (Fig. 8)、そば粉全粒粉を原料とした水回し工程は、本法では 3 分間の短い時間で完了することが明らかとなった。

そば切りの官能検査のための試料調製法 (素案) においては、歩留まり 89% を目標に挽砕した丸抜きそば粉を使用し、そば粉 80%、小麦粉 20% の混合物を試料とし、粉 2 kg に対し加水量 45~48% で水回しを行うこととされている¹²⁾。この方法による二八そばの茹で時間は 45 秒であるが、20 番の切り刃で調製した十割そばの茹で時間は 25~30 秒程度である。そば本来の風味を評価するためには、香りなどを損なわない適正な茹で時間の設定が必要と考えられる。今後、そば粉の粒度などが水回しにおよぼす影響を検討する必要があるが、本法を利用した十割そばの評価が、品種や栽培条件に起因するそばの品質特性をより明確に表すことが期待される。

要 約

そば切りは乾燥に弱いため、空調された実験室において十割そばを調製することは困難である。本研究では、そば本来の食感や風味を損なわない十割そばの品質評価法を開発するため、水回し工程における加水の均質化の経時変化を磁気共鳴画像診断 (MRI) 法および物性試験で解析した。そば全粒粉の加水物を原料とし、水回し器具を用いて経時的な試験を行った結果、水回し 3 分間で混和物の塊状物の形成が進むとともに手に対する負荷が大きくなり、クリープ試験の粘性も増加した (Fig. 9)。MRI 測定では、プロトン磁気共鳴画像における水分分布の均一性が認められ、縦緩和時間 (T1) が大きく低下した。物性試験では、クリープコンプライアンス曲線が上昇した。しかし 3~4 分間における変化は殆ど認められなかった。したがって、水回し工程は、本法では 3 分間で完了することが明らかとなり、十割そばの研究室内における品質評価への応用が期待できる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、ご助言をいただいた製粉会社各社の皆様に感謝申し上げます。特に手打ち蕎麦に関する多くのご助言をいただいた、横山製粉の川原修司氏、星野物産の阿左美久男氏に深く感謝申し上げます。また、本研究を遂行するにあたり、ご助言をいただいたバリエーションの高橋琢磨氏およびつくば食料科学研究所の堀口雅昭博士に感謝申し上げます。なお、本研究の一部は、日本食品科学工学会第 50 回大会において報告した。

文 献

- 1) 俣野敏子, そばに関する最近の研究, 日作紀, **59**, 582-589 (1990).
 - 2) 池田清和, 伝統食品としての蕎麦とその良さを知る, 日栄食誌, **55**, 295-297 (2002).
 - 3) 片倉康雄, 手打ちそばの技術, 旭屋出版 (1988).
 - 4) そば・うどん技術教本「第 1 巻」, そばの基本技術, 日本麺類業団体連合会, 柴田書店 (1984).
 - 5) Udesky, J., The book of soba, Kodansha International, (1988).
 - 6) Javornik, B., Nutritional quality and composition of buckwheat proteins, Buckwheat Research 1983, Proceedings of the 2nd International Symposium on Buckwheat, Miyazaki, 199-212 (1983).
 - 7) 吉中哲子, 石綿きみ子, 本山百合子, つなぎの種類によるそば切りのレオロジー的性質について, 青葉学園短期大学紀要, **9**, No. 4, 37-44 (1984).
 - 8) 堤ちはる, 山岸純子, 本山百合子, 三橋扶佐子, 吉中哲子, つなぎの違いによるそば切りの経時変化, 日調科誌, **23**, 373-381, (1990).
 - 9) Stapley, A.G.F., Hyde, T.M., Gladden, L.F. and Fryer, P. J., NMR imaging of the wheat grain cooking process, *Int. J. Food Sci. Technol.*, **32**, 355-375 (1997).
 - 10) Takeuchi, S., Fukuoka, M., Gomi, Y., Maeda, M. and Watanabe, H., An application of magnetic resonance imaging to the real time measurement of the change of moisture profile in a rice grain during boiling, *J. Food Eng.*, **33**, 181-192 (1997).
 - 11) 小島登貴子, 関根正浩, 鈴木敏正, 堀金明美, 永田忠博, ゆで麺のテクスチャーに対する水分分布の影響, 食科工, **47**, 142-147 (2000).
 - 12) そば生産物品質特性等調査成績書 (平成 13 年度), 社団法人日本蕎麦協会編, 53-54 (2000).
- (平成 15 年 10 月 30 日受付, 平成 16 年 3 月 27 日受理)