

キャッサバデンプン配合麺の調製時における むらし操作時間導入の効果に関する研究

Effect of Steaming Time Preparing Noodles Supplemented with Cassava Starch

江口 智美*§ 山崎 理加** 吉村 美紀**

Satomi Eguchi

Rika Yamazaki

Miki Yoshimura

The physical properties, sensory characteristics and power consumption were evaluated to elucidate the effect of steaming time on the thermal energy saving and palatability of noodles supplemented with cassava starch. Noodles supplemented with 6% cassava starch and noodles prepared with wheat flour were used.

Shortening the boiling time from 10 minutes to 3 minutes and then holding reduced the electrical energy consumption by 32% without any deterioration of palatability. Noodles supplemented with cassava starch that had been boiled for 3 minutes and then steamed for 6 minutes were evaluated as the best in respect of the gumminess. The steaming time more strongly affected the palatability of the noodles than the supplementation with cassava starch when comparing with the noodles prepared from wheat flour. The noodles supplemented with cassava starch became softer with increasing steaming time, whereas there was no further softening of the noodles prepared from wheat after halfway through the steaming period. The results show that steaming the noodles supplemented with cassava starch reduced the thermal energy required and that the texture depended on the steaming time.

キーワード: キャッサバデンプン cassava starch; 麺 noodles; 余熱 remaining heat; 省エネルギー thermal energy saving; 貫入試験 penetration test; 官能評価 sensory evaluation

緒 言

近年、乾麺の総生産量は年々減少している。その中でもゆで時間の長い太いうどんの生産比率は、かつての全体の半分近くから現在の23~24%程度まで低下している¹⁾。

食した時の物理的性質がうどんのおいしさを大きく左右するが、物理的性質には、デンプンの性質が大きく関わる¹⁾。近年は、食感改良や早茹で化²⁾の目的でさまざまなデンプンを配合する工夫がみられる。その中で、キャッサバデンプンの配合は、麺に独特な弾力を与えることが知られている。これは、キャッサバデンプンのアミロペクチン含有量が他のデンプンより高いため保水性に優れ、老化が遅く、粘着性や結着性に富む特性を生かしたものである³⁻⁷⁾。一方で、加熱による吸水膨潤速度が速い特性もあり、湯のびしやすいという欠点も指摘されている^{6,8)}。

また、資源の有効活用および地球温暖化防止の観点から省エネルギー対策が重要課題とされている。家庭での調理に伴う二酸化炭素排出量の削減においては、ガス、電気などの熱源の部分での削減量が最も大きいことが明らかとなっている^{9,10)}。

さらに、キャッサバデンプンの原料となるキャッサバは、食糧問題解決の糸口と期待される作物である¹¹⁾。乾燥地、酸性土壌および貧栄養土壌など様々な悪環境下での栽培が可能であることに加え、トウモロコシやイネなど他のデンプン作物と比べて、単位面積あたりの収穫量も多い¹¹⁾ためである。

そこで、本研究では、これまで湯のびの原因とされてきたキャッサバデンプンの吸水膨潤速度の速さに着目した。キャッサバデンプンを配合した乾麺の調製時に、ゆで調理時間を短縮し、消火後の余熱を利用したむらし調理を導入した。この場合の、麺の物理的性質の変化と嗜好性、調理に伴う消費電力量を併せて検討した。

実験方法

1. 試料の調製

1) 試料

試料には、小麦粉麺（以下MG）とキャッサバデンプン配合麺（以下CA）の2種類の乾麺を用いた。

MG（東亜食品工業(株)製）の材料配合は、中力小麦粉（「ゴールドマーガレット」近畿製粉(株)製、水分14.2±0.3%、灰分0.35±0.02%、粗蛋白8.6±0.3%）100%とした。成分含量比は、タンパク質含量8.8%、脂質含量1.4%、炭水化物含量72.7%、ナトリウム含量1.5%であった。

CA（東亜食品工業(株)製）の材料配合は、中力小麦粉94%とキャッサバデンプン（「松谷さくら」松谷化学工業(株)製）6%とした。成分含量比は、タンパク質含量7.8%、

* 兵庫県立大学環境人間学研究所
(School of human science and environment, University of Hyogo)

** 兵庫県立大学環境人間学部
(School of human science and environment, University of Hyogo)

§ 連絡先 兵庫県立大学環境人間学部
〒670-0092 兵庫県姫路市新在家本町1丁目1-12
TEL 079 (292) 9403 FAX 079 (293) 5710

Table 1. Samples used in this study

Name of test run		Methods for sample preparation	Total heating time (min)
MG	MGd	Dried MG (MG was noodles prepared with wheat flour 100%)	0
	Control	Boiled MGd for 10 min	10
	MG 3	" 3 min + steamed it for 3 min	6
	MG 6	" 3 min + " 6 min	9
	MG 8	" 3 min + " 8 min	11
	MG 10	" 3 min + " 10 min	13
CA	CAd	Dried CA (CA was noodles prepared with wheat flour 94% and cassava starch 6%)	0
	Control 2	Boiled CAd for 10 min	10
	CA 3	" 3 min + steamed it for 3 min	6
	CA 6	" 3 min + " 6 min	9
	CA 8	" 3 min + " 8 min	11
	CA 10	" 3 min + " 10 min	13

脂質含量 1.1%, 炭水化物含量 70.9%, ナトリウム含量 1.4%であった。

MG および CA の形状は、厚さ 2 mm, 幅 3 mm, 長さ 21 cm であった。

2) ゆでむらし試料の調製

ゆでむらし時間を決定するために予備実験を行った。ゆで時間が 0, 1 および 3 分間の場合を検討し、適宜むらし時間を設定した。ゆで時間が 0 および 1 分間の場合、ゆで加工に用いた水の対流が少ないために伝熱が不十分で、麺同士が付着しやすく食用に適さなかった。そこで、むらし調理を導入する場合のゆで時間は 3 分間とした。

予備実験をふまえ、Table 1 に示した条件で、10 種類のゆでむらし試料を調製した。基本 (Control), MG 3, MG 6, MG 8, MG 10, 基本 2 (Control 2), CA 3, CA 6, CA 8 および CA 10 とした。

調製は、10 種類いずれも室温 (25℃) にて行った。直径 27 cm (容量 5 L) のステンレス鋼製鍋と電磁調理器 ((株) 東芝製, MR-T 1, 100 V 仕様) を用いた。ステンレス鋼製鍋にイオン交換水 2 L を入れ、水温 25℃ から蓋をして強火で加熱を開始した。沸騰状態が安定する加熱開始から 12 分後に試料 40 g を 4 束同時に投入した。その後、基本と基本 2 については、蓋をせず強火のまま沸騰状態で MG 及び CA を 10 分間ゆでた。MG 3~10, CA 3~10 については、蓋をせず強火のまま沸騰状態で MG 及び CA を 3 分間ゆでてから消火し、消火後は蓋をしてそれぞれ所定時間放置してむらした。調理中の消費電力量の削減のためには、むらし調理を導入するだけでなく、ゆで調理中の火力を弱めることも有効と考えられる。しかし、予備実験において、ゆで調理中の条件として蓋をせず火力を弱めたところ、100℃ での沸騰状態が安定しなかったため、強火のまま沸騰状態を継続させることとした。いずれも、加熱後直ちに、ボウル中の 20℃ のイオン交換水 2 L に 20 秒間浸漬して冷却してから、ざるにあげ、余分な水分を切った¹²⁾。冷却して余分な水分を切った直後のものを試料とした。

2. 測定方法

1) ゆでむらし試料調製中の水温変化

ポータブル温度計 (ハンナインスツルメンツ・ジャパン (株) 製, HI 9063) を用いて、ゆでむらし試料調製中の水温変化を測定した。

2) 消費電力量

電力計 (日置電機(株)製, 3168) を使用して、1 分間隔で電力を測定した。その結果から、(1) 式を用い、消費電力量を算出した。

$$\text{消費電力量(Wh)} = \text{消費電力(W)} \times \text{時間(h)} \quad \dots(1)$$

なお、関西電力(株) 姫路支店に測定を依頼した。

3) 原材料と乾麺の走査型電子顕微鏡観察

原材料 (中力小麦粉, キャッサバデンプン) と乾麺試料 (MGd, CAd) を、予め銅箔両面テープを貼付した試料台上に置き、蒸着装置 (日本電子(株)製, MP-19010 NCTR) で金を蒸着させた。高真空モード、加速電圧 10 kV, 倍率 1,000 倍の条件下で、走査型電子顕微鏡 (日本電子(株)製, JCM-5000) による観察を行った。

4) 示差走査熱量測定 (DSC)

i) 乾麺試料の糊化温度、糊化エンタルピー変化

乾麺試料の MGd と CAd をそれぞれミル (岩谷産業(株)製, IFM-800) で摩砕した。濃度が 20% (w/w) となるように、銀製密封容器 (容量 70 μ L) に 10 mg を量りとり、イオン交換水 40 mg に分散させ密封した。これを、DSC (セイコーインスツル(株)製, DSC-6100 型) を用いて、1℃/min の速度で、25~140℃ の温度範囲で昇温測定を行った。リファレンスはイオン交換水とした。得られた DSC 曲線から、糊化開始温度、糊化ピーク温度、糊化終了温度、試料乾物重量当たりの糊化エンタルピー変化 (デンプンの糊化による、水素結合の切断に伴う吸熱エンタルピー変化¹³⁾) を求めた。

ii) ゆでむらし試料の糊化温度、糊化エンタルピー変化、糊化度

松永の方法^{14, 15)} に準じた。すなわち、各ゆでむらし試料を調製冷却後、イオン交換水を加えてホモジナイザー (イカジャパン(株)製, ウルトラタラックス T-25 ベーシック)

キャッサバデンプン配合麺の調製時におけるむらし操作時間導入の効果に関する研究

で磨砕した。エタノール（ナカライテクス(株)製、試薬一級）で脱水を3回繰り返した後、アセトン（和光純薬工業(株)製、試薬一級）で完全に脱水、脱アルコール処理をし、ろ紙（東洋濾紙(株)製、No.2）を通して粉末脱水試料とした。これを、DSC（セイコーインスツル(株)製、DSC-6100型）を用いて、乾麺試料の場合と同様に、糊化開始温度、糊化ピーク温度、糊化終了温度、試料乾物重量当たりの糊化エンタルピー変化を測定した。ゆでむらし調理時間の糊化に対する影響を検討するために、各ゆでむらし試料の糊化度を(2)式により求めた。

$$\text{糊化度}(\%) = (E_{100} - E_x) / E_{100} \times 100 \quad \dots(2)$$

ただし、 E_{100} ：乾麺試料糊化エンタルピー（J/g dry matter）、 E_x ：ゆでむらし試料糊化エンタルピー（J/g dry matter）である。

5) 貫入試験

ゆでむらし試料を調製後、直ちに麺線を約3cmの長さで切断し、測定に供した。直径3.0mmのポリアセタール樹脂製貫入プランジャー（No.4）およびロードセル1.96Nを装着した単軸圧縮・引張型レオメータ（(株)山電製、レオナーRE-3305）を用いた。圧縮速度1.0mm/sで、試料の高さの95%を圧縮した。得られた貫入力-貫入歪曲線の形状は各試料で異なり、明確な破断点が見られず、麺の部位によって貫入力の差が見られた。そこで、麺の部位による硬さの違いを検討するために、「破断強度解析Ver 1.0」を用いて、貫入ひずみ0.2、0.5、0.6および0.8の4点における貫入力を測定した¹⁶⁻¹⁸⁾。

1つの試料につき試料片5個以上を3回調製し、合計試料片数を15個以上とした。

6) 食感の官能評価

MG3およびCA3は食用に適さないと予備評価より判断し、官能評価用の試料から除いた。

パネルは、兵庫県立大学の教員及び学生31名(男性3名、女性28名、平均年齢22.0±3.1歳)とした。

各試料の食感評価は、室温(25℃)において行った。基本試料を提示し、5段階評点法(1~5)を用いて、基本に対する相対評価で行った¹⁹⁾。試料は、ゆでむらし試料を調製冷却後、直ちに、各パネル毎に基本試料の麺線を三本と基本以外の各試料の麺線を一本ずつ(約3g、約21cm)皿に並べて提供した。評価項目^{12,20-22)}は、「硬さ(こし、しこしこ感)」「こしが無い(1)⇔こしがある(5)」、「粘弾性(もちもち感、弾力)」「もちもちしない(1)⇔もちもちする(5)」、「滑らかさ(しっとり感、つるつる感)」「ざらざら(1)⇔つるつる(5)」、「歯切れのよさ」(切れにくい(1)⇔切れやすい(5))、「中芯感」(芯が無い(1)⇔芯がある(5))のそれぞれの識別と嗜好(嫌い(1)⇔好き(5))、「総合的な好ましさ」(嫌い(1)⇔好き(5))の計11項目とした。硬さ(こし、しこしこ感)は、適当に硬く粘りがあって柔らかいがプツンと切れにくいこと²⁰⁾を、歯切れのよさは、噛んだ

時にプツンと切れやすいこと²⁰⁾を、中芯感は、麺線の中心部の噛みごたえがあり麺線の表面部と中心部の部位による食感の違いが感じられることを表すものとした。

7) 解析

貫入試験の測定値および貫入試験の測定値と官能評価で得られた食感特性値の相関の解析には、統計ソフト(エス・ピー・エス・エス(株)製、SPSS Statistics 17.0)を使用した。官能評価の解析には、表計算ソフト(日本マイクロソフト(株)製、Microsoft Excel 2007)を使用した。

貫入試験の測定値については、有意水準5%で、一元配置分散分析を行った。有意な試料差が認められた場合には、その後の検定としてTukeyの方法による多重比較を行った。

官能評価の評価値については、有意水準5および1%で、試料とパネルについての二元配置分散分析を行った。有意な試料差が認められた場合には、スチューデント化された範囲の表を用いてt検定を行った¹⁹⁾。

貫入試験の測定値と官能評価で得られた食感特性値については、有意水準5および1%で、Spearmanの順位相関係数を求めた。

実験結果及び考察

1. 調理中の水温変化と消費電力量

ゆでむらし試料を調製中の水温変化と消費電力の1分間隔の平均値をFig.1に示した。

水温変化については、基本と基本2の調製では、麺を投入してから1分後に一旦は98.8℃まで水温が低下したが、その後は再び温度が上昇し、麺を投入してから2分後以降は沸騰状態を保った。それに対し、むらし調理を導入したMG、CAの調製では、麺を投入した際に一旦は低下した水温は、ゆで調理中に再び上昇したが、その後、消火してむらし調理を開始すると同時に水温は低下し続けた。むらし調理を開始して3分後には93.2℃、6分後には89.2℃、8分後には86.9℃、10分後には84.3℃となった。

消費電力量については、消費電力の1分間隔の平均値が沸騰後も一定であったことから、今回使用した電磁調理器には、沸騰センシング機能²³⁾の搭載がなかったことが確認された。

また、基本と基本2では、沸騰までの12分間とゆで10分間の計22分間における消費電力量は、1分から22分までの消費電力の平均値が1,223Wであったので、448Whであった。MG、CAでは、沸騰までの12分間とゆで3分間の計15分間における消費電力量は、1分から15分までの消費電力の平均値が1,223Wであったので、306Whであった。したがって、本研究の調理条件におけるむらし調理の導入により削減できた消費電力量は、一回の調製につき、143Whつまり32%であった。

2. 原材料と乾麺表面の構造観察

原材料として用いた中力小麦粉とキャッサバデンプンの

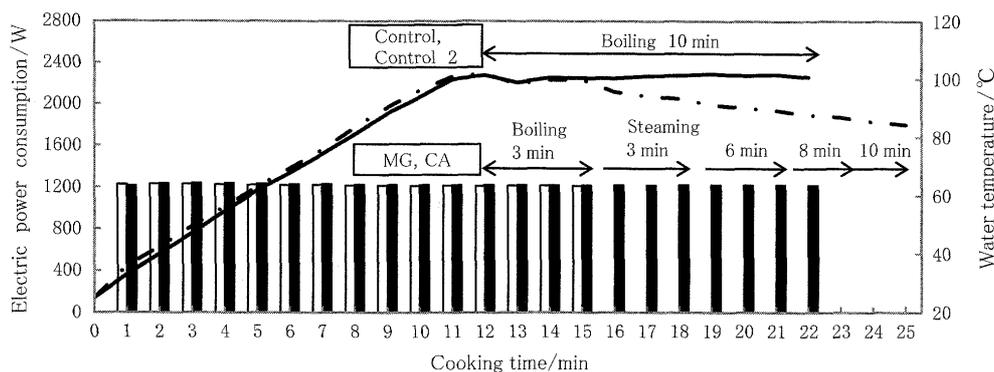


Fig. 1. Water temperature and the average of electric power consumption at 1 minute interval during cooking of noodles (stainless steel pot : $\phi=27$ cm, water : 2 L)
 Water temperature ($^{\circ}\text{C}$) : — Control and Control 2, --- MG and CA
 Electric power consumption (W) : ■ Control and Control 2, □ MG and CA

表面構造を Fig. 2 に、乾麺表面の構造を Fig. 3 に示した。

中力小麦粉では、 $2\sim 10\ \mu\text{m}$ 程度の小粒子と $20\sim 33\ \mu\text{m}$ 程度の大粒子が見られた。一般に、デンプンの粒子径は植物の成長とともに増大するので、粒子径分布は正規分布する⁵⁾。しかし、小麦デンプンは特異的で、粒子径分布が $2\sim 40\ \mu\text{m}$ と非常に幅広いが、 $2\sim 10\ \mu\text{m}$ の小粒子群と $15\sim 40\ \mu\text{m}$ の大粒子群に分かれ、中間群がない⁵⁾ ことが知られている。本研究でもその様子が観察された。

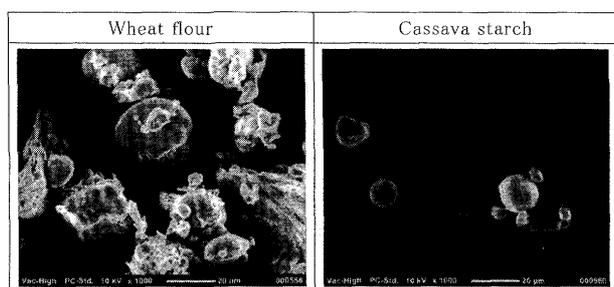


Fig. 2. Scanning electron micrograph of wheat flour and cassava starch
 $\times 1,000$, high vacuum mode, by scanning electron microscope (JEOL JCM-5000) at accelerating voltage of 10 kV after sputtering with gold coating

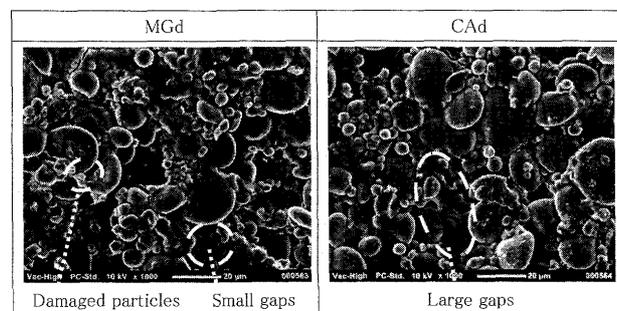


Fig. 3. Scanning electron micrograph of noodles
 MGd : dried MG
 CAAd : dried CA
 $\times 1,000$, high vacuum mode, by scanning electron microscope (JEOL JCM-5000) at accelerating voltage of 10 kV after sputtering with gold coating

キャッサバデンプンでは、 $8\sim 18\ \mu\text{m}$ 程度の粒子が見られた。一般に、キャッサバデンプンは、粒子径 $2\sim 40\ \mu\text{m}$ で平均粒子径 $20\ \mu\text{m}$ ⁵⁾ とされている。本研究の原材料は小さめの粒子径分布であった。

MGd の表面には、 $20\ \mu\text{m}$ 程度の大粒子の隙間を、 $10\ \mu\text{m}$ 程度の大きめの小粒子と $2\sim 5\ \mu\text{m}$ 程度の小さめの小粒子が埋めている様子が見られ、隙間が少なかった。また、小さめの小粒子に損傷が多く見られた。

CAd の表面には、 $20\ \mu\text{m}$ 程度の大粒子が多く、その隙間を、キャッサバデンプンと中力小麦粉からと考えられる小粒子が埋めている様子が見られた。MGd に比べると中力小麦粉からの $2\sim 5\ \mu\text{m}$ 程度の小さめの小粒子が少ないため、MGd ほど隙間が密に埋められておらず、隙間が多かった。

児島らにより、うどんの組織構造は物性と関係が深い²⁴⁾ ことが示されており、原材料および乾麺表面の構造から、糊化に関わる MGd と CAd の性質が以下のように考えられる。

デンプンの粒子径と糊化温度、糊液の粘性との関係について、同一種類のデンプンでも、一般に、大粒子の方が小粒子よりも糊化温度が $2\sim 5^{\circ}\text{C}$ 低い⁶⁾ ため先に糊化を始め、高い粘性を示す⁶⁾ とされている。MGd と CAd を比較すると、MGd の方が中力小麦粉からの大粒子が多くなるため、MGd の方が先に糊化を始めると考えられる。ただし、小麦デンプンでは、加熱によりまず大粒子が吸水膨潤を起こし、次いで小粒子が膨潤できる温度に達しても相対的な自由水の欠如から十分な膨潤が抑制され、全体の系での糊化が進行しない⁵⁾ と言われている。MGd では、この現象に加え、表面構造に隙間が少ないため吸水が進みにくく、大粒子の十分な膨潤も抑制される。このため、途中から糊化が進みにくくなると考えられる。対照の CAd では、糊化が始まるのは MGd よりも遅いが、隙間が多いため次第に吸水しやすく、粘性の高い大粒子の糊化が充分に進みやすいと考えられる。

キャッサバデンプン配合麺の調製時におけるむらし操作時間導入の効果に関する研究

また、損傷デンプンと吸水率の関係について、損傷デンプンは吸水率が高い²⁵⁾ことが知られている。小麦粉の場合、損傷していないデンプンは自重の約40%の水分を吸収するのに、損傷デンプンは自重の2倍の水分を吸収する²⁵⁾。MGdでは、小粒子に損傷が多く見られたが、大粒子の糊化も十分に進行しないため、損傷デンプンの吸水率に対する影響はほとんど表れないと考えられる。

3. 糊化温度、糊化エンタルピー変化、糊化度

Fig. 4に示すように、DSC曲線の55~71°Cの範囲にデンプンの糊化による第1吸熱ピーク、86~101°Cの範囲にアミロースと脂質の複合体の融解による第2吸熱ピーク²⁶⁾が見られた。デンプンの糊化によるうどんの物性への影響を検討したため、第1吸熱ピークを比較した。各試料の糊化開始温度 T_o 、糊化ピーク温度 T_p 、糊化終了温度 T_c 、試料乾物重量当たりの糊化エンタルピー変化 ΔH を求め、Table 2にそれらの値および糊化度を示した。

まず、乾麺試料のMGdとCAdを比較した。糊化温度、糊化エンタルピー変化ともにはほぼ一致し、本研究のキャッサバデンプンの配合が6%の条件では、キャッサバデンプン配合の有無による有意差はなかった。一般に、糊化温度は、小麦粉で52.0~63.0°C、キャッサバデンプンで58.5~70.0°Cとされている²⁷⁾。糊化エンタルピー変化は、中

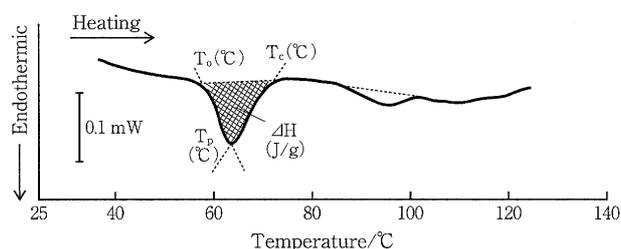


Fig. 4. Typical heating DSC curve

T_o : the onset gelatinization temperature
 T_p : the peak gelatinization temperature
 T_c : the conclusion gelatinization temperature
 ΔH : endothermic enthalpy of gelatinization

Table 2. Gelatinization temperature (T_o : the onset, T_p : peak, T_c : conclusion), enthalpy change (ΔH) and gelatinization ratio of noodles
 Heating rate: 1°C/min, $n \geq 2$

		T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J/g)	Gelatinization ratio (%)
MG	Control	—	—	—	0.00	100.0
	MGd	56.0	63.6	70.7	3.63	—
	MG 3	56.0	64.7	69.5	0.71	80.5
	MG 6	57.0	64.3	69.9	0.31	91.3
	MG 8	57.5	63.6	68.5	0.10	97.3
	MG 10	58.7	63.8	68.7	0.10	97.2
CA	Control 2	62.6	66.8	70.4	0.02	99.4
	CAd	55.9	63.6	70.3	3.64	—
	CA 3	58.7	63.9	69.1	1.00	72.6
	CA 6	59.9	65.1	70.9	0.40	89.0
	CA 8	60.3	65.0	69.8	0.14	96.1
	CA 10	—	—	—	0.00	100.0

力小麦粉では小さく、キャッサバデンプンでは大きいとされており、キャッサバデンプンでは澱粉粒の崩壊が起きていることも報告されている²²⁾。MGd, CAdともに小麦粉が原材料の主体であるが、糊化温度は小麦粉よりも高くなっていた。これは、SEM観察 (Fig. 2, Fig. 3)で見られたように、製麺によりデンプン粒子の凝集が起こり、粒子間への水の浸入が阻害された²⁸⁾ためと考えられる。DSC測定に供するために、麺をミルで磨砕はしているが、その磨砕後の粉体の状態も、原材料の粉体よりも粒子凝集した状態にあると考えられる。

次に、ゆでむらし試料の各MGとCAを比較した。

糊化開始温度は、むらし時間が同じ場合に、CAよりもMGの方が低く、むらし時間が長くなるにつれてMG, CAともに高くなった。

糊化終了温度は、MGではむらし時間が長くなるに伴い少し低くなったのに対し、CAではほとんど変化が見られなかった。

糊化度は、MG, CAともにむらし時間が長くなるに伴い高くなった。これにより、むらし調理を取り入れた場合でも糊化が進むことが示された。MGとCAのむらし時間の変化による糊化度の変化範囲を比較すると、MGの方が小さかった。また、むらし時間を同じにしたMGとCAの糊化度を比較すると、むらし時間が3および6分間ではMGの方が大きく、8分間ではMGの方がわずかに大きい、ともに同程度であり、10分間ではCAの方が大きかった。このことは、SEM観察の結果 (Fig. 3)から推察された糊化の進行の違いと一致した。

また、完全糊化したのは、基本とCA 10のみであった。MGでは、むらし調理を導入すると、むらし時間が8分間以上で糊化が進行しなくなった。これは、むらし10分間後も調理水温は84.3°Cであり、糊化終了温度はそれより低い68~71°Cの範囲であったこと、またSEM観察 (Fig. 3)より、吸水しにくいと推察される麺線の構造であったことから、水温の影響ではなく、麺線の構造の影響であったと考えられる。一方、CAでは、基本2はわずかに完全糊化に至らなかった。全加熱時間が13分間であるCA 10では完全糊化がみられたことや、SEM観察 (Fig. 3)の結果より、糊化が始まるまでに時間がかかると推察される麺線の構造であったことから、基本2では、吸水は十分に進んでいたが、完全糊化のためには加熱時間が不足していたために、完全糊化に到達しない部分がわずかにあったと考えられる。したがって、CAでは、調理水温が糊化終了温度よりも低下しない条件のもとで、十分な加熱時間さえ確保できれば、糊化が次第に進み続けると考えられる。

4. 貫入試験

貫入試験で得られた貫入力-貫入ひずみ曲線を Fig. 5に、貫入ひずみ0.2, 0.5, 0.6および0.8におけるそれぞれの貫入力を比較した結果を Table 3に示した。貫入ひずみ

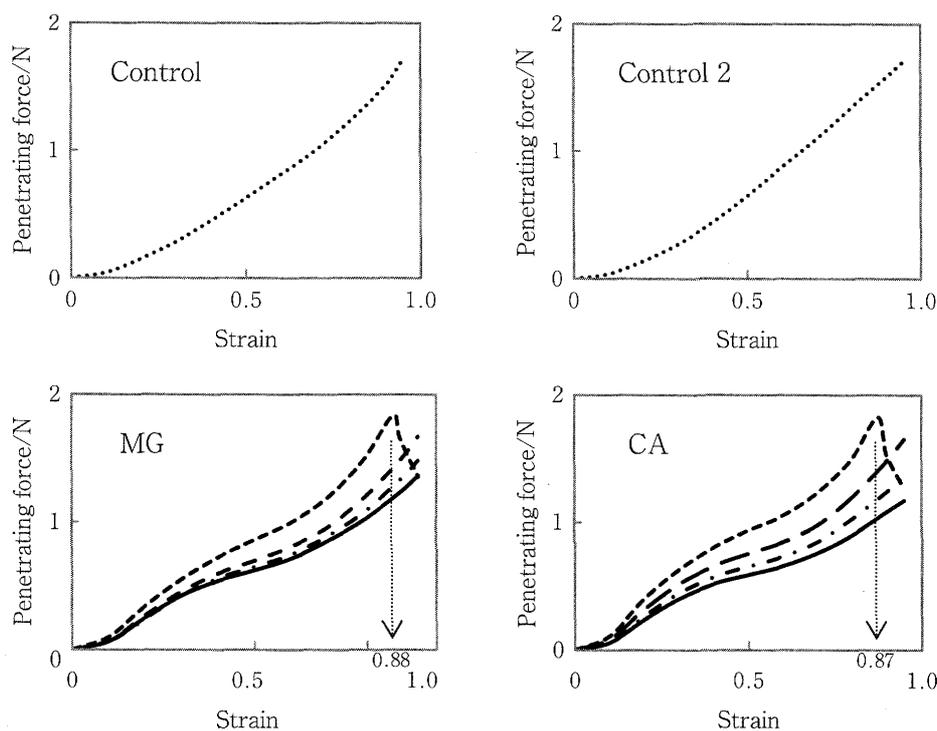


Fig. 5. Force-strain curve of noodles
(Crosshead speed : 1.0 mm/s, plunger : $\phi=3.0$ mm)

- Boiling for 10 min
- Boiling for 3 min + Steaming for 3 min
- Boiling for 3 min + Steaming for 6 min
- Boiling for 3 min + Steaming for 8 min
- Boiling for 3 min + Steaming for 10 min

0.2における貫入力には表面の近くを噛む時の硬さ、貫入ひずみ0.5および0.6における貫入力は中心部を噛む時の硬さ、貫入ひずみ0.8における貫入力は中心を過ぎて噛む時の硬さと想定した。

Fig. 5に示したように、MG3とCA3でのみ貫入ひずみ0.9付近（MG3では貫入ひずみ0.88、CA3では貫入ひずみ0.87）で破断点が現れたが、麺構造が壊れた様子は観察されなかった。このことから、むらし時間が3分間では、加熱が不十分で特に中芯がかなり硬く、試料がプランジャー底面と側面に受けた貫入抵抗が大きすぎたために、見かけの破断点が現れたと考えられる。

まず、キャッサバデンプン配合麺の性状を検査するために、Table 3に示した各貫入ひずみにおける基本と基本2の貫入力を比較した。貫入ひずみ0.2および0.5では、基本と基本2の貫入力に有意な差は見られなかったが、貫入ひずみ0.6および0.8では、基本2の方が大きな貫入力を示した。これは、キャッサバデンプン配合麺が示す高い粘弾性⁶⁾によるものと考えられる。

次に、むらし調理を導入した影響を検査するために、各貫入ひずみにおける基本および基本2と各試料の貫入力を比較した。

貫入ひずみ0.2では、基本と基本2が他のすべての試料

よりやわらかかった。これは、基本と基本2では調理中の水温が低下しないため、麺表面の糊化が最も十分に進んだためと考えられる。また、むらし時間が3分間のMG3とCA3は、まだ表面近くも十分に膨潤が進んでおらず、かなり硬いことが分かった。

貫入ひずみ0.5における基本2、MG8、CA8、MG10およびCA10、貫入ひずみ0.6におけるMG6およびCA6、貫入ひずみ0.8におけるMG6およびCA6は、基本との間で硬さに差がなかった。全加熱時間は、むらし6、8および10分間でそれぞれ、9、11および13分間となるので、むらし調理を導入したMGとCAでも、ゆでのみの調理である基本と近いトータル10分間ほどで同程度の硬さが得られたと言える。麺の中心よりも表面の方が、湯に接するので早く温度が上がり高温を保つ時間が長いので、先に基本と同じ位の硬さになったが、中心部は、むらし調理を導入するとやわらかくなるまでに時間を要した。

また、貫入ひずみ0.8における貫入力は、基本2において、MG3およびCA3を除くいずれの試料よりも大きかった。このことは、基本2では麺を深く噛んだ時の弾力が他の試料と比較して最も大きいことを示していると考えられる。あわせて、Table 3には示していないが、麺の各部位による貫入力の差を検査したところ、貫入ひずみが0.8

キャッサバデンプン配合麺の調製時におけるむらし操作時間導入の効果に関する研究

Table 3. Penetrating force of noodles

		Penetrating force (N)			
		Penetrating strain of 0.2	Penetrating strain of 0.5	Penetrating strain of 0.6	Penetrating strain of 0.8
MG	Control	0.152±0.024 d	0.627±0.050 ef	0.812±0.047 d	1.233±0.068 c
	MG 3	0.342±0.028 b	0.858±0.055 b	0.994±0.063 b	1.485±0.101 a
	MG 6	0.267±0.024 c	0.695±0.033 d	0.804±0.035 d	1.184±0.056 c
	MG 8	0.243±0.024 c	0.646±0.033 e	0.743±0.039 e	1.070±0.068 d
	MG 10	0.250±0.024 c	0.621±0.025 ef	0.712±0.028 e	1.012±0.051 d
CA	Control 2	0.138±0.022 d	0.650±0.064 e	0.875±0.056 c	1.339±0.072 b
	CA 3	0.403±0.047 a	0.935±0.048 a	1.052±0.056 a	1.505±0.085 a
	CA 6	0.319±0.040 b	0.754±0.043 c	0.845±0.042 cd	1.200±0.065 c
	CA 8	0.265±0.036 c	0.653±0.037 de	0.732±0.041 e	1.028±0.061 d
	CA 10	0.238±0.044 c	0.588±0.041 f	0.657±0.047 f	0.901±0.083 e

n≥15

Values followed by a different letter are significantly different (p<0.05).

と0.2のときの貫入力の差、および貫入ひずみが0.6と0.2のときの貫入力の差が、基本2で最も大きく、次いで基本で大きかった。このことは、ゆで調理のみの場合の方が、むらし調理を導入する場合よりも、麺の部位による貫入力差が出るため、弾力が現れやすく、特に、キャッサバデンプン配合麺を調理する場合にこの影響が現れやすいことを示していると考えられる。

さらに、各貫入ひずみにおけるMGとCAを比較した。MGは、貫入ひずみ0.2ではむらし時間が6分間以上で、他の貫入ひずみではむらし時間が8分間以上で硬さに変化が見られなくなった。一方、CAは、貫入ひずみ0.2ではむらし時間が8分間以上で硬さに変化が見られなくなったが、他の貫入ひずみでは、むらし時間が長くなるほどだんだんやわらかくなった。これは、DSC測定 (Table 2) による完全糊化試料からの考察と一致した。

むらし時間が3および6分間と短い段階では、CAよりMGの方がやわらかく、その傾向は貫入ひずみが小さいほど、つまり麺の表面に近いほど大きかった。一方、むらし時間が8および10分間と長くなると、MGよりCAの方がやわらかくなる傾向が見られた。これは、SEM観察 (Fig. 3) からの推察やDSC測定 (Table 2) による糊化開始温度や糊化度の結果と一致した。ただし、むらし時間が8分間の糊化度ではMGとCAは同程度であったことから、デンプンの性質の違いによりCAの方がやわらかくなる傾向にあったと考えられる。

5. 食感の官能評価

食感の官能評価の結果をFig. 6に示した。「粘弾性の嗜好」「滑らかさの嗜好」「歯切れのよさの嗜好」の3項目以外のすべての項目で、1%の危険率で試料間に有意差が得られた。「粘弾性の嗜好」については5%の危険率で試料間に有意差が得られた。試料間に有意差が得られなかった「滑らかさ」については、もともと違いが小さかったか、人間にとって評価が困難な項目であろう²⁰⁾とされている。「歯切れのよさ」についても同様の理由で試料間に有意差が得られなかったと考えられる。

総合的な好ましさでは、いずれの試料も基本との間に有

意差がなかった。したがって、むらし調理を導入した場合でも、通常のゆで調理のみの場合と同程度のおいしさを得られることが分かった。貫入試験 (Table 3) の結果からは、むらし調理を導入すると、麺の部位による食感の違いが得られにくくなり、好ましくないと考えられたが、影響はなかった。

また、すべての評価項目において、MGとCAのむらし時間が同じもの同士を比較した場合、有意差はなかった。このことから、本研究でのキャッサバデンプン配合率6%の条件では、食味への影響は、キャッサバデンプン配合の有無よりも、むらし時間の差異の方が大きかったと言えた。キャッサバデンプンの配合を高めた場合には、キャッサバデンプン配合の影響の方が大きくなることも考えられるため、配合率を変えた場合についても今後検討が必要である。

ただし、傾向としては、CAに特徴的な食感も見られた。「歯切れのよさの識別」「中芯感の識別」から、むらし時間が6および8分間の場合では、MGよりもCAの方がプツンと切れにくく、麺線の中心部の噛みごたえがある傾向が見られた。これは、キャッサバデンプンの配合が麺に粘弾性のある独特の食感を与える⁶⁾ことや、SEM観察 (Fig. 3) で推察されたCAにおける大粒子デンプンの糊化の進みやすさと一致した。この食感について、「粘弾性の識別」の結果として現れなかったのは、評価項目としてそのまま「粘弾性」を問うよりも、「歯切れのよさ」や「中芯感」として問う方が、麺線の表面部と中心部の部位による食感の違いが意識され、ふさわしかったためと考えられる。麺の粘弾性を問う場合、噛んだ時に麺線の表面部で粘りを、中心部で硬さを感じ、全体として特長のあるコシを呈する⁹⁾とされているためである。

全体的にみると、「総合的な好ましさ」を含め、CA6が最も好まれ、CA10が最も好まれない傾向にあった。うどんのおいしさを表す食感記述語は「こし」「しこしこ」「つるつる」であり、表面は水分含量が高く滑らかであるが、中心部はこしのあるものが好まれる¹²⁾とされている。本研究の結果では、総合的な好ましさとは滑らかさには関連性が認められなかったが、「歯切れのよさ」や「中芯感」な

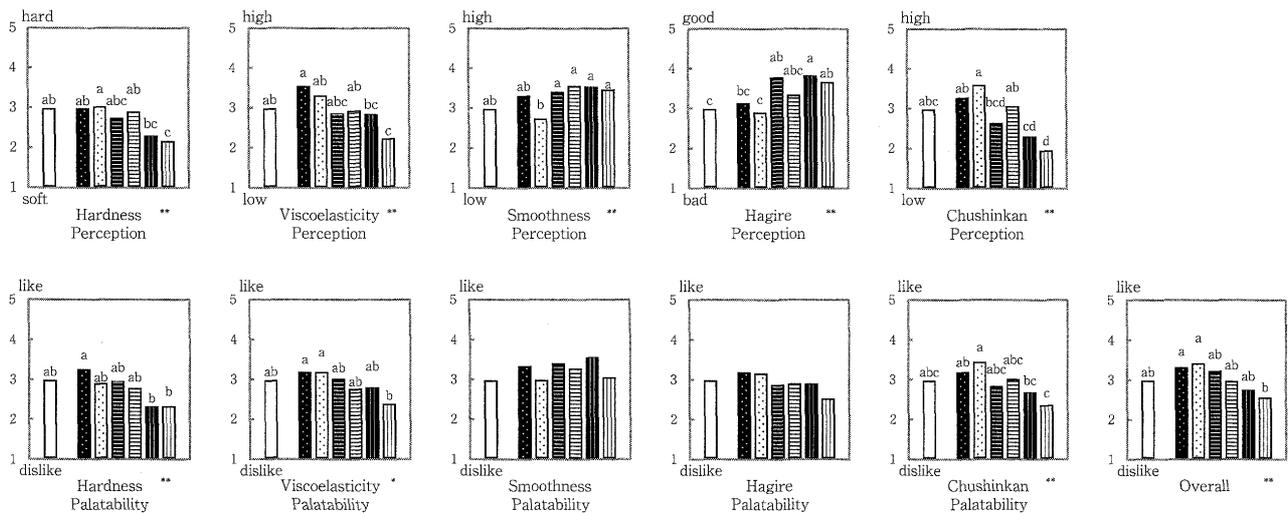


Fig. 6. Scores of the sensory evaluation of the noodles (n=31, 22.0±3.1 years old)
 □ Control, ■ MG 6, ▨ CA 6, ▩ MG 8, ▪ CA 8, ▫ MG 10, ▬ CA 10
 Values followed by a different letter are significantly different (p<0.05).

*significant at p<0.05, **significant at p<0.01

Hagire means that noodles are cut by tooth easily.

Chushinkan means that core of noodles have chewy texture.

どから「こし」や「しこしこ」という特徴は当てはまっていた。また、好まれたCA6は、キャッサバデンプン配合による独特の食感をもつことに加え、貫入試験 (Table 3) より、中心部と想定した貫入ひずみ0.6のときの硬さが基本および基本2と同程度であることが分かった。CA10については、貫入試験 (Table 3) より、やわらかくなりすぎてこしがなく、伸びたような状態になっていることが好まれなかった原因と考えられた。キャッサバデンプンの配合による硬さの低下や湯のびし易いといった悪影響は、配合が30%以下の場合ほとんど表れない⁸⁾とされているが、本研究のように配合6%であっても若干の影響が出る傾向にあった。

6. 貫入試験と官能評価で得られた食感特性値の相関

麺のおいしさの指標のひとつである「こし」は、麺の部位による硬さの不均一性が重要な因子とされている²⁹⁾。麺のテクスチャーの解明に関する研究はこれまでも見られるが^{3,20)}、特に、硬さの不均一性に着目した研究として、遠山らの、テンシプレッサーの1バイト法による低変形率における応力と破断応力との比率の検討¹⁸⁾や、四宮の、破断試験による応力変化率の検討²⁹⁾がある。試料の部位による硬さの分布状態だけでなく、硬さの変化率も感覚への影響が大きいと考えられている²⁹⁾。本研究では、麺線の各部位における硬さの違いの関係を検討する目的で、貫入試験での各貫入ひずみにおける貫入力間の相関関係を検討した。また、貫入試験の測定値と官能評価での評価値との間の相関関係の検討により、貫入試験において、各貫入ひずみにおける貫入力が、各貫入ひずみに対応する麺線の深さ方向の部位の貫入力であると想定したことの妥当性の検討と、官能評価で用いた各評価用語に対する食感の評価部

位の検討を行った。そして、麺のおいしさ評価のため、官能評価による評価値間の相関の検討を行った。

貫入試験での貫入ひずみ0.2, 0.5, 0.6および0.8における貫入力の測定値と官能評価での食感の評価値の相関をTable 4に示した。まず、貫入試験での測定値間の相関では、貫入ひずみ0.2および0.5のときの貫入力間、貫入ひずみ0.6および0.8のときの貫入力間でのみ、正の強い相関が得られた。貫入ひずみが同程度である0.5および0.6のときの貫入力間では、有意な相関が得られなかった。これらのことから、麺線の中心までと中心以降では、それぞれ、麺の種類によらず同じように硬さの違いが感じとられるが、麺線の中心部内については、硬さがあまり変わらない麺もあれば、変わる麺もあると考えられた。

次に、貫入試験での測定値と官能評価での評価値との間で相関を見た。貫入ひずみ0.2のときの貫入力が官能評価値との間に有意な相関はなかった。また、貫入ひずみ0.5および0.6のときの貫入力が、多くの官能評価値と強い相関を得ていたことから、麺線の中心部の食感が評価に強く影響を与えたことが確認された。特に、歯切れのよさの識別値は、貫入ひずみ0.6および0.8のときの貫入力間と、中芯感の識別値は貫入ひずみ0.5および0.6のときの貫入力間と、硬さと粘弾性の識別値は貫入ひずみ0.5, 0.6および0.8のときの貫入力間と強い相関があった。これらのことから、歯切れのよさの識別は、麺線の中心部から中心を過ぎるあたりで行われていたこと、貫入試験で貫入ひずみ0.5および0.6のときの貫入力について、麺線の中心部を噛む力を見たことは妥当であったこと、硬さや粘弾性の識別には、歯切れのよさや中芯感の識別よりも、麺線の幅広い部位範囲で感じ取られた食感の評価が現れていたこと

キャッサバデンプン配合麺の調製時におけるむらし操作時間導入の効果に関する研究

Table 4. Correlation among penetrating force and scores of sensory evaluation for food texture

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Penetrating force (Strain of 0.2)														
2. Penetrating force (Strain of 0.5)	0.821*													
3. Penetrating force (Strain of 0.6)	0.357	0.750												
4. Penetrating force (Strain of 0.8)	0.143	0.607	0.964**											
5. Hardness (Perception)	0.523	0.847*	0.955**	0.901**										
6. Hardness (Palatability)	0.145	0.582	0.709	0.764*	0.651									
7. Viscoelasticity (Perception)	0.571	0.857*	0.857*	0.821*	0.937**	0.782*								
8. Viscoelasticity (Palatability)	0.559	0.775*	0.829*	0.739	0.773*	0.771*	0.811*							
9. Smoothness (Perception)	-0.143	-0.464	-0.857	-0.821*	-0.739	-0.600	-0.643	-0.757*						
10. Smoothness (Palatability)	0.179	-0.143	-0.500	-0.536	-0.505	-0.127	-0.321	-0.018	0.571					
11. Hagire (Perception)	-0.321	-0.643	-0.821*	-0.786*	-0.883**	-0.473	-0.786*	-0.505	0.750	0.821*				
12. Hagire (Palatability)	0.595	0.739	0.775*	0.739	0.873*	0.615	0.937**	0.764**	-0.595	-0.234	-0.703			
13. Chushinkan (Perception)	0.750	0.964**	0.821*	0.714	0.937**	0.582	0.929**	0.739	-0.536	-0.321	-0.786*	0.847*		
14. Chushinkan (Palatability)	0.750	0.964**	0.821*	0.714	0.937**	0.582	0.929**	0.739	-0.536	-0.321	-0.786*	0.847*	1.000**	
15. Overall	0.685	0.937**	0.847*	0.721	0.845*	0.725	0.847*	0.927**	-0.667	-0.126	-0.613	0.718	0.883**	0.883**

(*significant at $p < 0.05$, **significant at $p < 0.01$)

が分かった。

そして、官能評価での評価値間の相関を見た。粘弾性と中芯感の識別値と嗜好値に関わる4項目(粘弾性の識別値-粘弾性の嗜好値, 粘弾性の識別値-中芯感の識別値, 粘弾性の識別値-中芯感の嗜好値, 中芯感の識別値-中芯感の嗜好値)で強い相関が見られた。このことから、もちもち感があり、かつ麺線の中心部の噛みごたえがあるものほど好まれたことが分かった。

また、粘弾性と中芯感の識別値と嗜好値、硬さの識別値の計5項目それぞれと、総合的なおいしさ値との間に強い相関が見られたことから、これらが総合的なおいしさに大きく影響を与えていたことが確認された。

総合的なおいしさ値と強い相関が見られた上記5項目のうち、硬さの識別値、粘弾性の識別値、中芯感の識別値と嗜好値の4項目は、歯切れのよさの識別値との間に強い負の相関が、歯切れのよさの嗜好値との間には強い正の相関があった。しかし、歯切れのよさの識別値や嗜好値と総合的なおいしさ値との間には有意な相関が得られなかった。これらのことから、歯切れのよさは、直接的に総合的なおいしさに関わる認識はされにくい、硬さや粘弾性、中芯感と関わりながら、総合的なおいしさに影響を与えていると考えられる。

要 約

キャッサバデンプンを6%配合したキャッサバデンプン

配合麺の調製時にむらし操作を導入した場合の、力学物理的特性変化と嗜好性への影響を検討した。

- 1) ゆで時間を10分間から3分間に短縮し、むらし調理を導入することで、本研究の調理条件により消費電力量を32%削減できた。
- 2) むらし調理の導入により、嗜好性が低下することはなかった。もちもち感と麺線の中心部の噛みごたえがあるものほど好まれたことが分かった。特に、キャッサバデンプン配合麺を3分間ゆでた後6分間むらしたものが、最も好まれる傾向にあった。
- 3) むらし調理を導入した小麦粉麺とキャッサバデンプン配合麺の比較から、嗜好性への影響は、キャッサバデンプンを配合したことよりも、むらし時間の差の方が大きかったことが示された。
- 4) 小麦粉麺は、むらし時間が長くなっても途中から硬さは変わらなくなったのに対し、キャッサバデンプン配合麺は、むらし時間が長くなるほどやわらかくなった。
- 5) 貫入試験と官能評価で得られた食感特性値の相関から、麺の食感評価に関しては、歯切れのよさの識別は、麺の中心部から中心部を過ぎる範囲で行われ、硬さや粘弾性の識別が、麺線の部位の幅広い範囲で行われていたことが分かった。また、総合的なおいしさは、硬さや粘弾性、中芯感と関わって評価されたことが分かった。貫入試験で貫入ひずみ0.5および0.6のときの貫入力について麺線の中心部を噛む力と見たことが妥当であったこ

とも分かった。

文 献

- 1) 安藤剛久 (2008), 「改訂3版乾めん入門」, 日本食糧新聞社, 東京, pp.37-41, 61
- 2) 武山進一, 山口佑子, 笹島正彦, 関村照吉, 遠山良 (2003), 湯戻し法による冷麺の早茹で化と保存中における冷麺の硬化防止について, 岩手県工業技術センター研究報告, **10**, 91-96
- 3) 遠山良, 三浦靖, 種谷真一 (1997), 冷麺の食味特性におよぼすでんぷん原料の影響, 日調科誌, **30**, 213-225
- 4) グリコ栄養食品(株)(2002), 麺類への小麦たん白とタピオカ澱粉の利用, 月刊フードケミカル, **18**(5), 19-22
- 5) 高橋禮治 (1996), 「でん粉製品の知識」, 幸書房, 東京, pp.17-20, 29-30, 36-37, 50, 65, 154-157
- 6) 東川浩 (2000), 加工タピオカ澱粉「C☆CreamTex」(クリームテックス)の製麺への応用, ジャパンフードサイエンス, **39**(6), 53-56
- 7) 稲津忠雄 (1995), タピオカデンプンの配合による麺の品質改善, 香川県食品試験場研究報告, **88**, 28-31
- 8) 横山公一 (2002), タピオカ加工澱粉による麺の新食感開発, 月刊フードケミカル, **18**(12), 33-36
- 9) 三神彩子, 喜多記子, 佐藤久美, 長尾慶子 (2010), 加熱操作法ごとの中華鍋の省エネ性およびCO₂排出量削減効果の評価, 日調科誌, **43**, 98-105
- 10) 長尾慶子, 喜多記子, 松田麗子, 加藤和子, 十河桜子, 三神彩子 (2008), 家庭におけるエコ・クッキングの実践がCO₂削減に及ぼす効果, 家政誌, **59**, 903-910
- 11) Sakurai, T., Plata, G., Rodríguez-Zapata, F., Seki, M., Salcedo, A., Toyoda, A., Ishiwata, A., Tohme, J., Sakaki, Y., Shinozaki, K. and Ishitani, M. (2007), Sequencing analysis of 20,000 full-length cDNA clones from cassava reveals lineage specific expansions in gene families related to stress response, *BMC Plant Biology*, **7**, 66
- 12) 西成勝好, 中沢文子, 勝田啓子, 戸田準 (1999), 「新食感事典」, サイエンスフォーラム, 東京, pp.42-45, 178-183
- 13) 日本熱測定学会 (1994), 「熱分析の基礎と応用 (第3版)」, リアライズ社, 東京, pp.197
- 14) 中町敦子, 中村恵子, 四宮陽子 (2004), ゆで過程におけるスパゲッティの芯の状態変化とアルデンテの評価, 日調科誌, **37**, 151-158
- 15) 松永暁子 (1997), 「松永暁子論文集 (上巻) 澱粉質食品の老化に関する研究」, 松永昌三編, 岩波ブックサービスセンター, 東京, pp.191-194
- 16) 阿部芳子, 上船津暢子, 市川朝子, 下村道子 (2006), 麺の食味と物性におよぼす卵の影響, 日調科誌, **39**, 289-295
- 17) 阿部芳子, 市川朝子, 下村道子 (2006), 中華麺の物性におよぼすかん水の影響, 家政誌, **57**, 461-467
- 18) 遠山良, 種谷真一 (1998), 冷麺製造後の放置と包装後の加熱処理によるテクスチャーの変化, 日調科誌, **31**, 281-288
- 19) 古川秀子 (1994), 「おいしさを測る」, 幸書房, 東京, pp.39-43
- 20) 三木英三, 平田紀子, 難藤晴美, 山野善正 (1995), 茹めんのテクスチャー評価, 香川大学農学部学術報告, **47**, 133-142
- 21) 眞壁優美, 中山由佳, 谷井潤郎 (2009), うどんの性状に及ぼす塩類の影響, 日調科誌, **42**, 110-116
- 22) 岡田久美子, 市川朝子, 下村道子 (2008), 手打ちうどんの物性と食味に及ぼす澱粉・活性グルテン添加の影響, 日調科誌, **41**, 327-336
- 23) 長光左千男, 石丸直昭 (2010), 誘導加熱調理器の超音波振動を用いた沸騰センシング手法の開発, 日本機械学会論文集C編, **76**, 275-281
- 24) 児島雅博, 外川達秋, 村瀬誠, 戸谷精一, 杉本勝之 (1995), 麺の組織構造と物性に及ぼす加水量及び食塩量の影響, 日食科工誌, **42**, 899-906
- 25) 青木法明 (2008), 技術解説米粉の利用と製パンへの利用技術, 食品と技術, **449**, 1-9
- 26) 不破英次, 小巻利章, 檜作進, 貝沼圭二 (2003), 「澱粉科学の事典」, 朝倉書店, 東京, pp.183-184
- 27) 二國二郎, 中村道徳, 鈴木繁男 (1977), 「澱粉科学ハンドブック」, 朝倉書店, 東京, p.36
- 28) 山崎義樹 (2010), 粉体の構造制御による“おいしさ”の向上をめざして, 粉碎誌, **53**, 31-37
- 29) 四宮陽子 (2000), 破断試験によるゆで麺のテクスチャーの特徴と官能評価との関係, 日調科誌, **33**, 198-203

(平成23年1月17日受付, 平成23年10月5日受理)

和文抄録

キャッサバデンプン配合麺の調製時にむらし操作を導入した場合の省エネルギー効果と嗜好性の変化を明らかにすることを目的に, 物性変化と官能特性, 消費電力量を測定した。試料として, キャッサバデンプンを6%配合したキャッサバデンプン配合麺と, 小麦粉麺を用いた。

ゆで時間を10分間から3分間に短縮し, むらし調理を導入することで, 消費電力量を32%削減でき, 嗜好性が低下することもなかった。特に, キャッサバデンプン配合麺を3分間ゆでた後6分間むらしたものが, もちもち感と麺の真ん中の噛みごたえのよさから最も好まれる傾向にあった。ただし, 小麦粉麺との比較から, 嗜好性への影響は, キャッサバデンプンの配合よりも, むらし時間の差の方が大きいことが分かった。物性としては, キャッサバデンプン配合麺はむらし時間が長くなるほどやわらかくなるのに対し, 小麦粉麺はむらし時間が長くなっても途中から硬さは変わらなくなることが分かった。以上より, キャッサバデンプン配合麺は, むらし調理による省エネルギー効果が期待でき, むらし時間が食感に影響する麺であることが示された。