加熱条件の違いがもたらす 離乳食に用いる粥の品質への影響

柴田(石渡)奈緒美・梅村詩音

(岐阜大学教育学部)

(令和2年11月25日受付, 令和3年4月5日受理)

The effects of different heating condition on the quality of rice porridge to use for the baby food

Naomi Shibata-Ishiwatari, Shion Umemura

Faculty of Education, Gifu University, 1-1, Yanagito, Gifu-shi, Gifu, 501-1193

〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1

We focused on three cooking methods of rice porridge that is the first solid food given to infants: “rice in a pot”, “using the rice porridge mode on a rice cooker”, and “cooked rice in a pot”. The findings revealed that the gelatinization degree of all sample was about 95%. “Using the rice porridge mode on a rice cooker” had the highest amount of amylose and reducing sugars in 1.0g of rice porridge liquid, which was consistent with the properties at the end of cooking. The amount of reducing sugars produced was highest in the “cooked rice in a pot” since it took a long time to reach the deactivation temperature of the starch degrading enzyme. However, the concentrations of reducing sugars, amylose and eluted solids in the rice porridge liquid were lowest because i) water was added to cooked rice, which has low water absorbability; ii) the amount of added water was higher than other methods; and iii) the heating time in pot cooking after adding water was shorter. Because the heating time at 90°C or higher of “cooked rice in a pot” is shorter than other methods, it had the hardest rice grains. As shown above, even though all the heating conditions used in the present study were designed to make “*jyubai-gayu*”, hardness and viscosity varied depending on heating conditions.

1. 緒 言

2019年の日本の出生数は過去最少の86万5,239人となり¹⁾, 少子化が大きな社会問題となっている。また三世代世帯の割合が減少しているにもかかわらず²⁾, 女性の就業率は増加していることから³⁾, 今後、今まで以上に子育て世帯への支援が求められるであろう。子育てに関する悩みは子どもの年齢に伴い変化するが、平成27年度乳幼児栄養調査⁴⁾より、生後6か月頃から始まる離乳食に関して約74.1%の保護者が何らかの悩みを抱えている

ことが報告されており、なかでも「作るのが負担、大変」と回答した割合は全体の33.5%と最も高かった。そこで筆者らは、離乳食の中でつぶし粥を対象とし、調理者への科学的根拠に基づく知識の提供と、乳児の食の安心・安全の貢献に向けた研究を行っている。

離乳開始時のつぶし粥は一般的に10倍粥と呼ばれる。10倍粥の名称は、乳児が口の中でつぶすことができることを目的とし、生米1に対して10倍量の水で調製することに由来するが、近年では炊飯器や電子レンジなどの家電製品を利用した調理方法も普及しているため⁵⁾, 調理

条件によっては生米に対して使用する水の量は10倍とは限らない。しかし、すべての10倍粥の調理方法の共通点として、加熱調理とすりつぶす2つの工程からなる点が挙げられる。そのため、分析を行う際は加熱調理方法とすりつぶし方の違い、それぞれの側面から整理する必要がある。粥に関する研究は、加熱時の昇温速度の違いによる物理的、化学的性状や官能評価への影響⁶⁾、アミロース含有量の異なる米におけるテクスチャーの違い⁷⁾など、多数報告されているが⁸⁻¹⁵⁾、これらの粥の調製は生米を鍋で加熱する方法を採用している報告が多い。現在は炊飯器を用いた方法が離乳食作りの主流となっているため⁵⁾、現在の離乳食作りを反映した加熱条件を研究対象にする必要があると考えられる。そこで本稿では、10倍粥の作り方として20年前と2019年において利用率が高かった「生米を鍋で調理する」と「炊飯器で炊いたご飯を鍋で調理する」、そして、2019年に利用率が高かった「炊飯器のお粥モードで炊く」の3種類の加熱条件⁵⁾を対象とし、10倍粥を想定した離乳食に用いる粥の品質の違いについて整理した内容を報告する。

2. 実験方法

(1) 10倍粥を想定した離乳食に用いる粥の加熱条件の選定

10倍粥の加熱条件は、本や近年、普及しているSNSやインターネットに掲載されているレシピをもとに決定した¹⁶⁻²⁰⁾。

1) 試料および調理器具

試料には無洗米（令和元年、岐阜県産コシヒカリ）を用い、すべての加熱条件において一度の調理に生米を75gに水を加え、 $23.2 \pm 0.2^\circ\text{C}$ で30分間浸漬させた後、加熱を開始した。一般的に米飯や粥を調理する際、加熱過程で吹きこぼれないよう文化鍋や土鍋が使用されることが多い。しかし、離乳食でつぶし粥を調理するレシピでは鍋が使用されていたことから、調理器具はIH対応ダイヤモンドコートパン鍋（底面160mm、高さ80mm、アイリスオーヤマ(株)）と、ガラス蓋（直径180mm、アイリスオーヤマ(株)）を使用した。なお、加熱過程において粥が吹きこぼれないことを予備実験で確認した。炊飯器はIH炊飯ジャー（JKU-A型、タイガー魔法瓶(株)）、加熱機器は火力を6段階に設定できるIHコンロ（IHK-TK3、アイリスオーヤマ(株)）を使用した。

2) 加熱条件

「生米を鍋で調理する」（以後、「鍋」と記す）は、調査をしたすべてのレシピにおいて^{16, 17, 19, 20)}、10倍粥の名称の由来通り生米1に対して10倍量の水を用いること、沸騰するまで強火で加熱し、蓋をずらして弱火で加熱した後、10分間蒸らすことが共通していた。そこで本研究では、生米75gに水750g加えて浸漬させた後、蓋をして強火に相当する火力6（1400W）で6分間加熱し沸騰させた。沸騰後は蓋を30mm横にずらし、弱火に相当

する火力2（200W）で40分間加熱後、消火した。なお消火と同時に再度蓋をし、10分間蒸らした。

「炊飯器でお粥を調理する」（以後、「炊飯器」と記す）についても、調査をしたすべてのレシピにおいて、10倍粥の名称の由来通り生米1に対して10倍量の水を用いていた。そこで生米75gに水750g加えて浸漬させた後、炊飯器にプログラミングされているお粥モードで炊飯した。

「炊飯器で炊いたご飯を鍋で調理する」（以後、「炊飯器+鍋」と記す）において米飯を鍋で加熱する工程は、「鍋」と同様に沸騰するまで強火で加熱をすること、その後、蓋をずらして弱火で加熱すること、蒸らすことがすべてのレシピで共通していた。また米飯を鍋で加熱する際には水を加える必要がある。加水量の違いは調理後の品質に影響を及ぼすことが予想されたため、炊いた米飯を鍋で加熱する粥のレシピを調査した。その結果、10倍粥を想定した離乳食に用いる粥では、米飯の重量1に対して5～6倍量の水を加えていた¹⁸⁻²⁰⁾。なかでも、5倍量の水を用いた方法が最も多かったことから¹⁸⁻²⁰⁾、本研究は米飯を鍋で加熱する際は、米飯の重量1に対して5倍量の水を加えることにした。以上の調査をもとに、「炊飯器+鍋」は以下に決定した。まず生米75gに水112g加えて浸漬後、白米・無洗米モードで炊飯し、 $160.2 \pm 2.8\text{g}$ の米飯（水分含量 $61.5 \pm 1.1\%$ ）を調理した。その後、鍋に米飯と水800gを加えて蓋をし、強火に相当する火力6（1400W）で5分半加熱した。沸騰後は蓋を30mm横にずらし、弱火に相当する火力2（200W）で10分間加熱後、消火した。なお消火と同時に再度蓋をし、10分間蒸らした。

すべての加熱条件において、調理終了後、ただちに試料をステンレス製の容器に移し、プラスチックフィルムをした。その後、ユニバーサルデザインフード自主規格²¹⁾の測定温度を参考とし、試料の中心温度が $20.5 \pm 1.9^\circ\text{C}$ になるまで 20°C に設定した恒温槽（DO-600FA、アズワン(株)）で静置し、以降に示す実験に使用した。

(2) 粥飯および粥液の分離

十分に攪拌した粥100gを、直径180mm、目開き $500\mu\text{m}$ のステンレス製ふるいの上に均一の厚さに広げ、5分間放置した。その後、分離された液の重量を測定した。以後、分離された液を粥液、ふるいに残った試料を粥飯、粥液と粥飯に分離する前の状態を粥と称する。測定は、5回ずつ繰り返し行った。

(3) 離乳食に用いる粥の品質測定

1) 温度履歴

測定にはシース型熱電対（直径1.0mm）をデータロガー（LR8431、日置電機(株)）に取り付け、5秒ごとに測定した。挿入位置は、炊飯器は炊飯釜底中央から10mm上部の位置に、鍋は鍋底中心から20mm上部の

位置とした。測定は、各試料5回ずつ繰り返し行った。

2) 糊化度

粥を液体窒素で急速凍結後、日本食品分析センターに糊化度の算出を依頼した。なお、分析方法にはグルコアミラーゼ第2法²²⁾を採用した。測定は、各試料5回ずつ繰り返し行った。

3) 含水率

粥および粥飯3.0gを105℃に設定した恒温槽（DO-600FA, アズワン(株)）を用いて24時間乾燥させた後、試料の重量を測定した。含水率の算出式は以下の式を用いた。

$$\text{含水率}(\%) = (\text{乾燥前の試料重量}(\text{g}) - \text{乾燥後の試料重量}(\text{g})) / \text{乾燥前の試料重量}(\text{g}) \times 100$$

なお測定は、各試料10回ずつ繰り返し行った。

4) 溶出固形物

粥液3.0gを105℃に設定した恒温槽（DO-600FA, アズワン(株)）を用いて24時間乾燥させた後、試料の重量を測定した。溶出固形物の算出式は以下の式を用いた。

$$\text{溶出固形物の割合}(\%) = \text{乾燥後の試料重量}(\text{g}) / \text{乾燥前の試料重量}(\text{g}) \times 100$$

なお測定は、乾燥後の重量が少量であると予想されたため、各試料10回ずつ繰り返し行った。

5) アミロース

試料は粥と分離して得た粥飯の2種類用意した。分析には、凍結乾燥した試料をミルミキサー（フォースミル FM-1, アズワン(株)）で十分に粉碎し、目開き100 μm のふるいを通過した乾燥粉末を用いた。また、実験に使用した生米に含まれるアミロース量を測定するため、生米を同様な手法を用いて調製した乾燥粉末を準備した。

アミロースの定量には、簡易比色定量²³⁾を適用した。乾燥粉末0.05gに95%エタノール0.5mL, 1N NaOH4.5mLを加え沸騰水中で10分加熱した後、蒸留水で50mLに希釈した。希釈液は2.5mL分注した後、1N 酢酸0.5mL, ヨウ素・ヨウ化カリウム溶液1.0mLを加えて50mLに定容し、30℃に設定した恒温槽で20分静置した。この溶液を、分光光度計（ASV11D-H, アズワン(株)）を用いて波長620nmの吸光度を測定し、乾燥粉末1.0gあたりのアミロース量に換算した。標準物質には標準アミロース（ポテトアミロース Type III, SIGMA）を用いた。また、調理終了時の粥の重量、粥と粥飯の含水率、粥液の割合および測定した粥と粥飯のアミロース量から、粥液1.0g中に含まれるアミロース量を推算した。なおこの際、平均値を用いて算出した。測定は、各試料4回ずつ繰り返し行った。

6) 還元糖

試料は粥と分離して得た粥飯の2種類用意した。分析には、凍結乾燥した試料をミルミキサー（フォースミル FM-1, アズワン(株)）で十分に粉碎し、目開き100 μm のふるいを通過した乾燥粉末を用いた。

還元糖の定量には、ソモギ・ネルソン法²⁴⁾を適用した。

乾燥粉末0.5gに50%エタノールを加え、25℃で1時間振とう抽出した後、遠心分離（5,000rpm, 30分）を施し、上澄み液を得た。この上澄み液1.0mLにソモギ試薬1.0mLを加え、沸騰水中で10分間加熱し、冷却後にネルソン試薬1.0mL, 蒸留水2.0mLを加えた。この溶液を、分光光度計（ASV11D-H, アズワン(株)）を用いて波長520nmの吸光度を測定し、乾燥粉末1.0gあたりの還元糖量に換算した。標準物質にはグルコース（無水ぶどう糖, 関東化学(株)）を用いた。また、調理終了時の粥の重量、粥と粥飯の含水率、粥液の割合および測定した粥と粥飯の還元糖の量から、粥液1.0g中に含まれる還元糖の量を推算した。なおこの際、平均値を用いて算出した。測定は、各試料4回ずつ繰り返し行った。

7) 破断応力の測定

岸本ら²⁵⁾、富田ら²⁶⁾の測定方法を参考とし、粥飯1粒の破断応力を測定した。粥飯1粒を卓上型物性試験測定器（TPU-2LD, (株)山電）の試験台に横に置き、くさび形プランジャー（接触面積2.0mm²）を使用して、ひずみ率100%, 圧縮速度1.0mm/secで定速1回圧縮測定を行った。測定は個体差が大きいのを考慮し、各試料15回ずつ繰り返し行った。

(4) 統計処理

結果はすべて平均値と標準偏差（SD）で示し、統計処理にはエスミ Excel 統計 Ver7.0を使用した。加熱条件の違いについて一元限配置分散分析を行い、その後ボンフェローニの多重比較検定を行った（ $p < 0.01$ ）。また、アミロースと還元糖の含有量は、同じ加熱条件における粥と粥飯についても同様な検定を行った（ $p < 0.01$ ）。

3. 結果および考察

(1) 温度履歴および糊化度

3種類の加熱条件における温度履歴を Fig. 1 に示す。「鍋」は加熱開始から約6分後に最高温度である97.5 $\pm$ 0.4℃まで上昇し、弱火で加熱した40分間は95℃前後を保った後、蒸らし工程において79.5 $\pm$ 1.6℃まで低下した。「炊飯器」は炊飯開始から約40分かけて100℃付近まで上昇し、炊飯終了まで98℃前後を保っていた。「炊飯器+鍋」は炊飯開始から約20分かけて60℃付近まで一定の速度で温度上昇し、95℃付近まで著しく上昇した後は炊飯終了まで95℃前後を保っていた。炊飯終了後、直ちに米飯を鍋に移し、水を800g加えて加熱を開始すると、加熱開始から5分半かけて94℃付近まで上昇し、10分間90℃前後を保った後、蒸らし工程において79.1 $\pm$ 1.6℃まで低下した。

調理終了時の糊化度は、「鍋」は95.5 $\pm$ 1.7%, 「炊飯器」は95.4 $\pm$ 0.7%, 「炊飯器+鍋」は94.4 $\pm$ 1.2%となり、有意な差は確認されなかった。デンプンが糊化するためには、水と加熱が必要となる。加水量は通常の米飯よりも多く、かつすべての加熱条件が米デンプンの糊化温度

Figure 1 Temperature history during cooking process ($n=5$).
(A) rice in a pot, (B) using the rice porridge mode on a rice cooker, (C) cooked rice in a pot.

帯である $62\sim 67^{\circ}\text{C}$ ²⁷⁾を40分以上保っていたことから、糊化度に有意な差がみられなかったと考えられる。また、離乳食に含まれるデンプンの糊化度は80%以上と定められているが²⁸⁾、本実験で調理した粥はすべて基準を満たしていることが確認された。

(2) 調理終了時の重量、含水率、溶出固形物、アミロースおよび還元糖含有量

調理終了時の粥を観察すると、「炊飯器+鍋」の粥飯はその他の粥飯と比較すると最も形状を保っており、粥液はさらさらしていた。これに対して「炊飯器」の粥飯の表面は崩れており、粥液のとろみが強かった。Table 1に、各調理に使用した米と水の分量、調理終了時の粥の重量、分離した際の粥液の割合、粥液に溶出した固形物の割合、粥および粥飯の含水率を示した。

調理終了時の重量は、「鍋」は $698.8 \pm 3.0\text{g}$ 、「炊飯器」は $792.9 \pm 4.8\text{g}$ 、「炊飯器+鍋」は $913.0 \pm 8.4\text{g}$ と有意な差が確認された ($p < 0.01$)。「鍋」と「炊飯器」は、調理に用いた生米の重量 75g に対して10倍量の 750g の水を使用したのに対し、「炊飯器+鍋」は、炊飯器で炊きあがった米飯の重量 $160.2 \pm 2.8\text{g}$ に対する5倍量の水 800g を加えたことや、鍋で加熱する時間は15分半と他の加熱条件よりも短いため蒸発量が少なくなり、調理終

了時の重量が最も重くなったと考えられる。また「炊飯器」と「鍋」は同じ加水量であるが、炊飯器は鍋よりも蒸発しにくい調理器具であるため、蒸発量が抑制されたと考えられる。分離後の粥液の割合は「炊飯器+鍋」の $37.6 \pm 6.7\%$ が最も高く、「鍋」、「炊飯器」と続いた ($p < 0.01$)。これに対して粥液に溶出した固形物の割合は、「炊飯器」の $4.4 \pm 0.1\%$ が最も高く、次いで「鍋」、「炊飯器+鍋」となった ($p < 0.01$)。粥の含水率は加熱条件の違いによる有意な差はみられず、すべての加熱条件で約91%となったが、粥飯の含水率は「炊飯器」が他の加熱条件よりも有意に高くなった ($p < 0.01$)。「炊飯器」の粥液はとろみが強く、粥飯にまとわりついたため粥飯の含水率が最も高くなったと考えられる。

ところで、米飯の粘りや吸水性にはアミロースが関与すること^{7, 29, 30)}、米飯の加熱時に液中に溶出する固形物には米粒表面から剥離した組織細胞やデンプン³⁰⁾、そして還元糖の生成が関与することが知られている³¹⁾。前述した粥と粥液の性状の違いは、これらの量に由来すると考え、粥および粥飯に含まれるアミロースと還元糖を測定した。

実験に使用した生米に含まれるアミロース量は $193.3 \pm 4.8\text{mg/g}_{\text{dry sample}}$ となり、大島ら³¹⁾が定量した搗搗後のコシヒカリに含まれるアミロース量とほぼ等しいことを

Table 1 Quantity of materials, separation experiment, and the measurement of moisture content

	pot	rice cooker	rice cooker and pot	
			process of rice cooker	process of pot
Raw rice (g)	75.0	75.0	75.0	—
Cooked rice (g)	—	—	—	160.2 ± 2.8
Water (g)	750.0	750.0	112.0	800.0
Weight in the end of the cooking (g)	698.8 ± 3.0 ^c	792.9 ± 4.8 ^b	(160.2 ± 2.8)	913.0 ± 8.4 ^a
Ratio of rice porridge liquid (%)	21.4 ± 3.0 ^b	14.5 ± 3.6 ^c	—	37.6 ± 6.7 ^a
Ratio of eluted substance contained in the rice porridge liquid (%)	4.1 ± 0.2 ^b	4.4 ± 0.1 ^a	—	2.9 ± 0.2 ^c
Moisture content of rice porridge (%)	90.2 ± 0.9 ^{n.s.}	90.5 ± 0.7 ^{n.s.}	—	91.7 ± 1.0 ^{n.s.}
Moisture content of rice grain (%)	87.0 ± 0.5 ^b	89.3 ± 0.6 ^a	—	86.9 ± 0.6 ^b

Values are mean ± SD ($n \geq 5$).

Different letters within the same row are significant difference ($p < 0.01$).

^{n.s.}: There was not the significant difference ($p > 0.01$).

Table 2 Measurement of amylose in the rice porridge and rice grain

	pot	rice cooker	rice cooker and pot
rice porridge (mg/g _{dry sample})	195.8 ± 5.6 ^{n.s.}	192.6 ± 4.5 ^{n.s.}	190.9 ± 5.2 ^{n.s.}
rice grain (mg/g _{dry sample})	184.6 ± 4.9 ^{n.s.}	189.5 ± 5.8 ^{n.s.}	188.4 ± 3.0 ^{n.s.}
Estimated concentration of amylose in the rice porridge liquid (mg/g)	1.52	6.62	1.18

Values are mean ± SD ($n=4$).

^{n.s.}: There was not the significant difference ($p > 0.01$).

Estimated value was calculated using average of the experimental values.

Table 3 Measurement of reducing sugar in the rice porridge and rice grain

	pot	rice cooker	rice cooker and pot
rice porridge (mg/g _{dry sample})	4.3 ± 0.2 ^{cx}	6.5 ± 0.2 ^{bx}	7.0 ± 0.1 ^{ax}
rice grain (mg/g _{dry sample})	2.7 ± 0.1 ^{cy}	3.6 ± 0.1 ^{by}	4.8 ± 0.1 ^{ay}
Estimated concentration of reducing sugars in the rice porridge liquid (mg/g)	0.68	1.99	0.50

Values are mean ± SD ($n=4$).

^{abc}: Different letters within the same row are significant difference ($p < 0.01$).

^{xy}: Different letters within the same column are significant difference ($p < 0.01$).

Estimated value was calculated using average of the experimental values.

確認した。次に、粥と分離して得た粥飯中に含まれるアミロースの量を Table 2 に示す。すべての加熱条件において、粥は190 mg/g_{dry sample} 前後、粥飯には187 mg/g_{dry sample} 前後のアミロースが含まれていたが、粥、粥飯の両方において加熱条件の違いによる有意な差はみられなかった。また、調理前の生米と3種類の加熱条件で調理した粥のすべてにおいても、アミロース量に有意な差はみられなかった。精白米のデンプンは、アミロースとアミロペクチンから構成されており、アミロース量は米の品種に依存する⁷⁾。本研究は共通の生米を実験に使用したため、10倍粥と粥飯の両方において加熱条件の違いによる差がみられなかったと推察される。しかし、アミロースは米

飯の粘りや粥液の性状に影響することが報告されていることから^{7, 29, 30)}、粥液1.0 gに含まれるアミロースの量を推算した。その結果、粥液1.0 g 中に含まれるアミロースの推算値は、「炊飯器」、「鍋」、「炊飯器+鍋」の順に多く、粥液に溶出した固形物の割合が高い順番と同じだった。またアミロース含有量が高くなるに従い粥液の流動性指数は低くなることから⁷⁾、今回推算した結果は、調理終了時の粥の性状と一致することが確認された。

次に、粥および粥飯に含まれる還元糖の量を Table 3 に示す。粥は、「炊飯器+鍋」の7.0 ± 0.1 mg/g_{dry sample} が最も多く、次いで「炊飯器」、「鍋」と続いた。粥飯においても、含有量の高い順番は粥と同様であり、粥、粥飯

Table 4 Effect of the heating condition on the breaking stress and strain of rice grain

	pot	rice cooker	rice cooker and pot
Breaking stress (N/m ²)	501.1 ± 32.8 ^b	333.3 ± 20.9 ^c	591.2 ± 45.9 ^a
Breaking strain (%)	82.2 ± 1.6 ^{n.s.}	81.9 ± 2.0 ^{n.s.}	81.1 ± 1.9 ^{n.s.}

Values are mean ± SD (n=15).

Different letters are significant difference ($p < 0.01$).

n.s.: There was not the significant difference ($p > 0.01$).

ともに加熱条件の違いによって、含有量は有意に異なることが明らかとなった ($p < 0.01$)。還元糖の生成はアミラーゼやグルコシダーゼなどの各種デンプンの分解酵素の活性に依存しており、60℃付近で最大となったのち、70℃以上ではほぼ失活する³²⁻³⁴)。Fig. 1 に示した温度履歴より、「鍋」は加熱開始から約4分後に失活温度帯である70℃に到達したため、還元糖の量が最も少なくなったと考えられる。これに対して、炊飯器を利用した加熱条件は70℃に到達するまで20分前後の時間を要したため、「鍋」よりも還元糖が多くなったと推察される。しかし、「炊飯器+鍋」の粥液中の溶出固形物の割合は $2.9 \pm 0.2\%$ と最も低く (Table 1)、さらさらとした性状とは相反する結果を示した。これは調理終了時の重量の違いに由来すると考え、粥液1.0gに含まれる還元糖の量を推算した。その結果、粥液1.0g中に含まれる還元糖の推算値は、「炊飯器」が1.99mg/gと最も多く、次いで「鍋」、「炊飯器+鍋」と続き、今回推算した結果は、アミロースの含有量と同様に、調理終了時の粥の性状と一致した。

(3) 粥飯の破断応力測定

Table 4 に粥飯1粒の破断応力と破断ひずみの測定結果を示す。「炊飯器+鍋」は $591.2 \pm 45.9 \text{ N/m}^2$ と本加熱条件の中で最も高い値となったが、岸本ら²⁶⁾が報告している米飯1粒の破断応力の値 (約 630 N/m^2) よりも低かった。これは、本研究では離乳食に使用する粥を対象としているため、炊飯器で炊いた米飯に加水し、鍋で加熱する工程が加わっていることが原因として挙げられる。また、加熱条件の違いは破断応力の値が有意に異なり、「炊飯器+鍋」、「鍋」、「炊飯器」の順に粥飯がかたいことが明らかとなった ($p < 0.01$)。粥飯は100℃に近い温度帯で長く加熱すると、やわらかい粥飯になると報告されている¹⁰⁾。「炊飯器+鍋」も90℃付近の温度帯で加熱する工程が含まれているが、他の加熱条件で90℃以上を保っていた時間よりも短かったため、粥飯の軟化が抑制されたと考えられる。しかし破断ひずみは3種類すべての粥飯において82%前後で破断しており、有意な差はみられなかった。富田ら²⁶⁾は炊く前に生米を浸漬することで、破断ひずみは低くなること、浸漬過程の吸水量がほぼ等しい米飯の破断ひずみは大きな差がないことを報告している。本研究で測定した試料は、すべて加熱を施す前に30分間浸漬させており、浸漬時の吸水量が等しいため、粥飯の破断ひずみに有意な差がなかったと推察される。

(4) 粥の特徴

各加熱条件の粥の特徴は以下のようにまとめられる。

「鍋」は、調理終了時の粥の重量が最も少なかった。また、デンプン分解酵素の失活温度帯である70℃に最も早く到達したため、還元糖の生成量は最も少なかった。

「炊飯器」は、最もとろみのある粥だった。これは粥液中のアミロースや還元糖の濃度が最も高いことが原因として挙げられる。また、最もやわらかい粥飯だった。

「炊飯器+鍋」は、通常分量で炊いた米飯に、加水し、鍋で加熱する方法である。米飯に加えた水は800gと他の方法よりも多い点や、鍋で加熱する時間が他の方法よりも短いため、調理終了時の粥の重量が最も重くなった。また、粥液中の溶出固形物、アミロースそして還元糖の濃度が最も低いため、粥の性状は最もさらさらとしていたが、粥飯はかたかった。

以上のように、今回対象とした加熱条件はすべて離乳開始時の10倍粥を想定した方法であるにもかかわらず、調理終了時の性状やかたさが異なることが明らかとなった。粥の品質に影響を及ぼす大きな要因として3点に整理できる。1点目は生米を加熱する際の温度履歴の違いである。生米の鍋による調理と炊飯器を利用した調理では、還元糖の生成に関与する酵素の失活温度帯までに要する時間や、酵素活性が最大となる60℃の滞在時間は異なる。また炊飯器を利用した場合でも、白米モードやお粥モードなど、利用するモードによって温度履歴が異なるため、還元糖の生成量は3種類の加熱条件で有意に異なることが明らかとなった。2点目は加水量の違いである。「炊飯器+鍋」は他の加熱条件よりも加水量が多いため、還元糖の量は最も多いにもかかわらず粥液中の濃度に換算すると濃度が低くなり、最もさらさらとした性状となった。3点目は加水するタイミングである。炊いた米飯に水を加え加熱を施しても、デンプンの糊化はすでに完了しているため、デンプンの吸水性は低下している。すなわち、鍋で米飯を加熱する工程では溶質量は炊飯器の工程終了時から増加しないが、加水によって溶媒が著しく増加したと考えられ、その結果、分離後の粥液の割合は「炊飯器+鍋」が最も高くなったと推察される。

本研究では各加熱条件で1種類の加水量のみを検証しており、同じ加熱条件において加水量の違いによる品質の差異まで検証を行っていない。また、鍋で加熱する工程では加水量のみならず、加熱時間の違いが性状や粥飯のかたさに影響を及ぼすことは明白であり^{6,10,12)}、今回

最もさらさらとした性状となった「炊飯器+鍋」についても、鍋の工程における加熱時間を長くすることで、他の加熱条件の品質に近くなる可能性を有している。さらには、本研究では品質測定時の試料温度をユニバーサルデザインフード自主規格²¹⁾を参考とし20℃としたが、乳児が喫食するのに適した温度帯は人肌程度であると考えられる。また、さらさら/どろどろといった粥液の性状を反映した粘度は、20℃と喫食時、さらには口腔内の温度(約37℃)において異なること予想されるため、今後、各加熱条件で加水量や加熱時間、そして試料温度の違いによる品質の差異について測定し、整理することが課題として挙げられる。今後、これらの加熱条件によって調製された試料を対象とし、つぶした後のかたさや粘度等を測定することで、加熱条件とつぶし方の2つの工程から離乳食の品質に及ぼす影響について整理する予定である。

4. 結 論

本研究は、現在の離乳食(10倍粥)作りで利用されている割合が高い、「生米を鍋で調理する」、「炊飯器のお粥モードで炊く」、「炊飯器で炊いたご飯を鍋で調理する」の3種類の加熱条件を対象とし、含水率、溶出固形物、破断応力等を分析した。その結果、今回調理したすべての粥は離乳食で規定されている糊化度80%以上を満たしていることを確認したが、離乳開始時に用いる10倍粥を対象とした調理方法であるにもかかわらず、生米を加熱する際の温度履歴、加水量、そして加水するタイミングが異なるため、調理終了時の性状や粥飯のかたさが異なることが明らかとなった。

謝 辞

本研究は、平成31年度公益信託 家政学研究助成基金の支援により実施した。また、本研究にご協力いただきました岐阜大学応用生物科学部 西津貴久先生、宇都宮大学農学部 田村匡嗣先生、実験補助をしてくださりました藤根悦子様により感謝申し上げます。

文 献

- 1) 厚生労働省：令和元年(2019)人口動態統計(確定数)の概況(2020/9/17), https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei19/dl/02_kek.pdf (2020/11/18)
- 2) 総務省統計局：平成27年国勢調査 世帯構造等基本集計結果(2017/9/27), <https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/kekka/kihon3/pdf/gaiyou.pdf> (2020/3/3)
- 3) 総務省統計局：労働力調査(基本集計)2019年(令和元年)平均結果, <https://www.stat.go.jp/data/roudou/sokuhou/nen/ft/pdf/index.pdf> (2020/3/3)
- 4) 厚生労働省：平成27年度乳幼児栄養調査結果の概要(2015), <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11900000-Koyoukintoujidoukateikyoku/0000134460.pdf> (2020/2/28)
- 5) 柴田(石渡) 奈緒美, 梅村詩音：離乳食の調理方法に関するアンケート調査～現在と20年前の10倍粥の調理方法に

- ついて～, 日本調理科学会誌, **53**, 25-33, (2020)
- 6) 江間章子, 貝沼やす子：粥の調理に関する研究(第2報) 加熱条件が全粥の性状に及ぼす影響, 日本家政学会誌, **48**, 391-398 (1997)
 - 7) 高橋智子, 河村彩乃, 大越ひろ：アミロース含有率の異なる米を用いた粥の力学的特性と口中感覚, 咀嚼筋電位, 日本調理科学会誌, **46**, 196-204 (2013)
 - 8) 田口郁栄, 伊藤裕子, 白男川太一, 増田邦子, 大越ひろ, 高橋智子：真空調理粥およびレトルト粥から調製した食べやすいブレンダー粥の調製条件の検討, 栄養学雑誌, **68**, 201-207 (2010)
 - 9) 貝沼やす子：米の調理性に関する研究, 日本家政学会誌, **60**, 775-783 (2009)
 - 10) 貝沼やす子：真空調理法による粥調製方法の検討, 日本家政学会誌, **59**, 825-835 (2008)
 - 11) 岡澤仁志, 小西宏和, 吉田智洋, 勝又明敏, 飯田幸弘, 藤下昌己：嚥下障害患者に対する食品としてのお粥の特性, 岐阜歯科学会雑誌, **35**, 7-12 (2008)
 - 12) 貝沼やす子：加水量が異なる米飯から調製した粥の性状, 日本家政学会誌, **57**, 199-207 (2006)
 - 13) 江間章子, 貝沼やす子：粥の調理に関する研究(第4報) 調理後の経過時間および保温条件が粥の性状に及ぼす影響, 日本家政学会誌, **51**, 571-578 (2000)
 - 14) 江間章子, 貝沼やす子：粥の調理に関する研究(第3報) 鍋の材質および加熱条件が全粥の性状に及ぼす影響, 日本家政学会誌, **50**, 341-347 (1999)
 - 15) 鈴野弘子, 鈴木恵子, 石田裕, 笹田陽子：要介護高齢者施設における食物形態の実態とその物性評価, 日本家政学会誌, **63**, 469-480 (2012)
 - 16) 森崎友紀：ママがんばらないで離乳食, トランスワールドジャパン, 東京, p.15 (2018)
 - 17) 堤ちはる, 新原恵子：いちばんやさしきほんの離乳食, 成美堂出版, 東京, p.28 (2010)
 - 18) パルスシステム生活協同組合連合会：pal・system 子育て123 ご飯から鍋で作る10倍がゆ, https://kosodate.pal-system.co.jp/recipe/recipe_367/ (2019/1/30)
 - 19) オールアバウト：All About 暮らし 離乳食のおかゆ! 10倍粥の作り方・レシピ, <https://allabout.co.jp/gm/gc/303246/> (2019/2/5)
 - 20) 主婦の友社：Baby-mo 離乳食をラクに! 楽しく!, 主婦の友社, 東京, p.72 (2018)
 - 21) 日本介護食品協議会：日本介護食品協議会コーナー ユニバーサルデザインフード(UDF)「かたさ」測定法の検討, 缶詰時報1月号, **90**, 71-73 (2011)
 - 22) 大田朋規, 松島紋子, 中山清貴, 赤崎哲也：税関分析法「でん粉のアルファー化度の測定方法」の改善, 関税中央分析所報, **54**, 5-12 (2015)
 - 23) Juliano B.O.: A simplified assay for milled rice amylose, Cereal Science Today, **16**, 334-360 (1971)
 - 24) 目黒熙, 西田芳明：新・食品成分法, 光琳, 東京, pp.528-564 (1997)
 - 25) 岸本律子, 長谷川悦子, 中嶋加代子, 森光寿, 地上博子：紫黒米混合飯の色調と物性に与える有機酸の影響, 日本調理科学会誌, **46**, 107-113 (2013)
 - 26) 富田晴雄, 坂本薫, John Henderson, 竹森利和：浸漬時間の違いによる米飯の構造とテクスチャーの関係, 日本調理科学会誌, **48**, 18-25 (2015)
 - 27) 山崎清子, 島田キミエ, 渋谷祥子, 下村道子：新版 調

- 理と理論, 同文書院, 東京, pp.51-52 (2007)
- 28) 厚生労働省生活衛生局: ベビーフード指針について (1996), <https://www.mhlw.go.jp/www1/houdou/0806/0626-1.html> (2020/2/28)
- 29) 家村芳次, 影山由香里, 松永恒司, 原昌道: アミロース含量, 心白および腹白が白米の吸水性に及ぼす影響, 日本醸造協会史, **91**, 515-520 (1996)
- 30) 花城勲, 太田健介, 武田千重乃, 水上浩之, 竹田靖史: 炊飯時に溶出する澱粉成分の構造と米飯の付着性, *Journal of applied glycoscience*, **51**, 349-354 (2004)
- 31) 大島誉章, 田村匡嗣, 井坂亜由美, 小川幸春: 炊飯過程における米粒含有成分・含有量の変化, 美味技術学会誌, **11**, 22-28 (2012)
- 32) 馬場由佳: 炊飯過程における米内在性酵素の米飯食味への関与, 日本調理科学会誌, **42**, 369-377 (2009)
- 33) 香西みどり, 石黒恭子, 京田比奈子, 浜藺貴子, 畑江敬子, 島田淳子: 米の炊飯過程における還元糖および遊離アミノ酸量の変化, 日本家政学会誌, **51**, 579-585 (2000)
- 34) Motoko Awazuhara, Atsuko Nakagawa, Junji Yamaguchi, Toru Fujiwara, Hiroaki Hayashi, Keiko Hatae, Mitsuo Chino, Shimada Atsuko: Distribution and Characterization of Enzymes Responsible for Starch Degradation in Rice (*Oryza sativa* Cv. Koshihikari), *J. Agric. Food Chem.*, **48**, 245-252 (2000)