米粉，小麦粉およびそのデンプン焼成品の破断特性

肥後温子[§]，和田淑子^{*}

文教大学女子短期大学部

^{*} 関東学院大学

Comparison of Breaking Properties of Products Baked with Rice Powders, Wheat Powders and their Starches

Atsuko Higo[§] and Yoshiko Wada^{*}

Bunkyo University Women's College, 1100 Namegaya, Chigasaki, Kanagawa 253-8550

^{*} Kantogakuin University, 1-50-1 Mutsuura Higashi, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa 236-8503

The breaking properties of baked products such as cookies made from rice powders or starches were compared with those made with wheat flours or starches. Using non-glutinous rice resulted in baked products with the maximum stress and elastic modulus, which enhanced with increased relative humidity. The breaking properties of glutinous rice powder products were lower than those of non-glutinous rice powder products but higher than those of wheat powder products, while the breaking properties of rice starch products were similar to those of rice powder products. Total energy showed a strong correlation with swelling capacity and energy and starch solubility for all baked products. The baked rice powder products increased in hardness relative to increased paste materials, increased density and the amount of non-homogeneous structures.

(Received Feb. 18, 2009 ; Accepted Jul. 14, 2009)

Keywords : rice powder, rice starch, breaking property, baked product, moisture absorption

キーワード : 米粉，米デンプン，破断特性，焼成品，吸湿

小麦粉の自給率（エネルギーベース）は14%と低く，米の自給率は100%と高い¹⁾。自給率向上のために米製品の用途を拡大する方策がとられ，近年は米粉パン，米めん，米粉ケーキなどに関する研究開発が急増している^{2)~5)}。また小麦粉代替として米粉を活用したクリームスープ⁶⁾，ルー⁷⁾，スポンジケーキ⁸⁾，クレープ⁹⁾などの報告例がある。一方，製菓用原料粉として米粉を使用するに当たり，調理加工特性や基礎物性が小麦粉とどのように異なるかを知る研究報告はあまりみられない。

そこで本研究では，低水分系焼菓子のモデルとなるクッキーテストを用い，小麦粉を米粉（上新粉）および米デンプンに置き換えて焼成した焼菓子についてテクスチャー特性を比べる一連の実験を行った。その結果，小麦粉を100%米粉に置き換え，加水しながら混捏成形する条件では，小麦粉焼成品にみられるソフトでサクサクとした食感は得難いこと，特に米粉焼成品は吸湿による硬化が大きいたことが明らかになった。

実 験 方 法

1. 焼成試料の作成

米粉として，うるち米を原料とする上新粉（ロール製粉，約80~100メッシュ）と水稻もち米を原料とする白玉粉，うるち米がゆ（粉末品）とうるち α -化米（32メッシュ以下に粉碎），さらに，うるち米デンプン，もち米デンプンを用い，薄力小麦粉と小麦デンプンを対照として比較した。

生地配合は原料粉100g，バター30g，砂糖30gを一定とし，加水量を生地の混捏操作性から，うるち米と小麦粉は水20~60gとした。もち米粉は水30~60g，米がゆおよび α -化米粉末は水40g，米および小麦デンプンは水30，40gの配合割合とした（表1参照）。

生地調製は攪拌機（ケーキマスター MK-710，ナショナル製）でバターを2分間，砂糖を加え1.5分間，粉を加え2分間，水を加え1分間攪拌し，5mm厚さ，3×4cmに成形後，ガスオーブン SN-008PLZ（東京ガス製）で180℃15~18分間焼成，140℃乾燥しクッキー様焼成品とした¹⁰⁾。

2. 吸湿試料の作成

前報¹⁰⁾¹¹⁾と同様に，焼成試料を30℃の大型恒温器内の調湿用デシケータに入れ，塩類の飽和溶液で調湿した11

〒253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷1100

^{*} 〒236-8503 横浜市金沢区六浦東1-50-1

[§] 連絡先 (Corresponding author), higo@shonan.bunkyo.ac.jp

表 1 米粉，小麦粉およびそのデンプン焼成品のサンプルリスト

原料粉		配合割合 (g)						製造メーカー
小麦粉 (薄力粉)	水	20, 30, 40, 50, 60	／	原料粉 100・バター 30・砂糖 30				日本製粉
うるち米粉 (上新粉)	水	20, 30, 40, 50, 60	／	同上				桑野食品工業
もち米粉 (白玉粉)	水	— 30, 40 — 60	／	同上				加藤食品
うるち米がゆ粉末*	水	— — 40 — —	／	同上				和光堂ベビーフード
うるち α -化米粉末	水	— — 40 — —	／	同上				尾西食品
小麦デンプン	水	— 30, 40 — —	／	原料粉 100・バター 30・砂糖 30				籠島澱粉
うるち米デンプン	水	— 30, 40 — —	／	同上				島田化学工業
もち米デンプン	水	— 30, 40 — —	／	同上				島田化学工業

* 植物油，レシチン，ビタミン E，B₁ を含む

段階の湿度環境下 (R.H. 7.6, 11, 22, 32, 43, 56, 68, 75, 80, 88, 97%) に 2 週間調湿保存した。

3. 破断特性値の測定

前報¹⁰⁾¹¹⁾と同様に，レオロメーターマックス RX-1600 (アイテックノ製) を用い，先端部 12×1 mm のくさび型プランジャー，圧縮速度 200 mm/min，クリアランス 3 mm の条件で圧縮し，破断曲線から最大応力 (破断曲線の最大ピーク値)，総エネルギー (曲線で囲まれた全面積)，初期弾性率 (測定開始時の立ち上がり傾斜)，発生ピーク数 (凸数) を求めた。測定数は同実験の繰り返しを含むと 18~24 回，測定時の室温は 22±3℃ であった。

4. 糊化関連値の測定

(1) 粘度

焼成試料をミニブレンダー (オスター社製) で粉碎後，クロロホルム・メタノール 2:1 混液により脱脂し，60 メッシュ以下の脱脂粉体 20 g に 45℃ 温湯 40 ml を加えて 11 000 rpm で 1 分間，24 000 rpm で 3 分間ホモジナイズした後，40℃ の恒温水槽中で 2 時間振とう膨潤させ，粘度計 TV-20H (東機産業 BM 型)，ローター 28H5，20 rpm，40℃ で測定した。

(2) 膨潤度，デンプン溶出率

脱脂粉体 2 g に 45℃ 温湯 40 ml を加え，40℃ 恒温水槽中で 2 時間振とう膨潤後，1 900 g で 20 分間遠心分離し，上清液の 660 nm ヨード呈色値と沈澱重量を測定した。小麦，うるち米，もち米の各デンプンの完全糊化液をヨード呈色して標準曲線を作り，各焼成品のデンプン含有量 (粉中の粗デンプン量¹¹⁾ と配合割合から計算) を 100 としてデンプン溶出率を求め，沈澱重量，脱脂粉体量，溶出成分量を計算式にあてはめて膨潤度を算出した¹⁰⁾¹²⁾。

5. 焼成品の吸着水分量と形状測定

吸湿後の試料を粉碎して，135℃ で恒温になるまで常圧乾燥し，吸着水分量 (g/乾物 100 g) を求めた。形状を示すため，焼成品の厚さと密度を測定した¹¹⁾¹²⁾。

実験結果および考察

1. 米粉，小麦粉焼成品の調湿による変化

うるち米粉には小麦粉に含まれるグルテンが無い

ため，生地が伸びやすく切れやすい。また小麦粉より吸水性に富むため²⁾⁵⁾，生地がパサつきやすい。生地調製時の操作性を改良するため，予備的にグルテン有りの米粉生地についても検討した。その結果，グルテンが無くとも原料粉 100 g に水 20 g 以上加水し押し伸ばせば生地作りが可能であり，グルテン有無の影響は比較的小さいと判断して表 1 の材料配合とした。

焼成試料を調湿保存すると，図 1 に示すようにいずれの焼成品も R.H. 68% 付近より吸着水分量が増大する傾向がみられた。また，原料穀粉 (米粉，小麦粉) よりそれらのデンプン焼成品の方により明らかな S 字状カーブの吸湿曲線がみられた。なお，原料粉の違いによる吸着水分量の差は少なかったが，加水量の多い焼成品，糊化した原料粉 (米がゆ， α -化米) を使用した焼成品 (図 10 参照) は，吸着水分量が増える傾向があった。

原料粉 100 g に水 40 g を加えた (以後，水 40 と略記) うるち米粉 (上新粉)，もち米粉 (白玉粉)，うるち米がゆ， α -化米および小麦粉 (薄力粉) 焼成品の吸湿後の破断曲線と，それらの最大応力，総エネルギーを図 2 に示す。原料粉の破断物性の違いが R.H. 43% 以下の低湿度よりも R.H. 80% 以上の高湿度で明確になったので，低湿度 (R.H. 22%，焼成時と類似) の曲線と合わせて図 2 の下段に高湿度 (R.H. 88%) の曲線を縮小表示した。

2. うるち米粉焼成品の破断特性

図 2 のように低湿度と高湿度で破断特性が全く異なることが確認できたので，R.H. 7.6~97% と湿度環境を変えて米粉焼成品の物性変化を捉え小麦粉焼成品と比較した。

水 20, 40, 60 うるち米粉と小麦粉焼成品の総エネルギー，最大応力，初期弾性率，ピーク数の調湿後の変化を図 3 に示す (R.H. 7.6% は数値変動率が大きいので，図では除外した)。

R.H. 7.6~97% における総エネルギー (10^4 J/m³，最小値~最大値) が，小麦粉焼成品では水 20: 28~40，水 40: 40~120，水 60: 65~280，うるち米粉焼成品では水 20: 20~56，水 40: 45~299，水 60: 72~530 となり，最大応力 (10^5 N/m²，最小値~最大値) は小麦粉では水 20: 12~30，水

図 1 調湿した焼成品の吸着水分量

図 2 米粉焼成品（水 40）の代表的な破断曲線

40 : 30~48, 水 60 : 48~88, うるち米では水 32~60, 水 40 : 73~236, 水 60 : 120~386 となった。これは両焼成品とも水 20 < 水 40 < 水 60 の順に硬くなるが、含水率にかかわらずうるち米粉の方が硬化しやすいことを示すものである。

低湿度 (R.H. 11~32%) と高湿度 (R.H. 80~97%) との圧縮破断特性を比べると、小麦粉焼成品は低湿度より高湿度で最大応力が低下して軟化する場合が多く (水 60 以外), うるち米粉焼成品は総エネルギー, 最大応力が低湿度の 3

図 3 うるち米粉焼成品（水 20～60）の吸湿による破断特性の変化

倍以上に増大して硬化する場合が多かった（水 20 以外）。

高湿度で小麦粉焼成品が軟化しうるち米粉焼成品が硬化する傾向は、初期弾性率（測定開始時の傾斜）に最も顕著に示された。例えば水 60 の小麦粉焼成品の初期弾性率（ 10^6 N/m²，最小値～最大値）は低湿度で 56～60 であったが、高湿度では 24～40 と低下し、うるち米粉焼成品は低湿度で 93～98 であったが、高湿度では 152～170 と増大した。高湿度で小麦粉焼成品は歪みやすくなり、うるち米粉は歪まない強固な性状を示した結果といえる。

小麦粉と米粉焼成品の破断特性の違いがピーク数にも表われた。低湿度のピーク数（最小値～最大値）が、小麦粉焼成品では水 20：5.2～5.8，水 60：4.0～4.4，うるち米粉では水 20：3.6～3.8，水 60：2.0～2.3 となり、小麦粉焼成品は低湿度でピーク数の多いショートネスに富む脆性破断を示したが、うるち米粉は破断時のピーク数が少なくショートネス性を発現し難いことがわかった。また、うるち米粉は破断時のピーク数が少なく一気に割れるため、最大応力が

大となったと推察できる。

原料粉に対して水分量と油脂量を同配合にした場合、小麦粉焼成品はクッキー状のサクサクと砕ける破断物性となり、米粉焼成品は硬くて煎餅に近い¹¹⁾パリンと割れる破断物性を示す傾向がある。うるち米粉の加水量を少なくすれば破碎しやすくなるが、水 20 は生地がまとまりにくく実用的でないといえる。

図 3 において総エネルギーまたは最大応力が極大となる硬化点の湿度が、小麦粉では水 20：R.H. 56～68%，水 40：68～80%，水 60：80% 付近、うるち米粉では水 20：68～88%，水 40：88～97%，水 60：97% 付近となり、小麦粉焼成品と比べてうるち米粉焼成品は高湿度域まで硬さが保持されやすいこともわかった。

3. もち米粉焼成品の破断特性

うるち米粉と同じ方法で、もち米粉（白玉粉）焼成品の破断物性を測定した。水 40 のもち米粉焼成品の破断曲線を図 2 に、R.H. 11～97% における破断特性値の変化を、う

るち米粉と小麦粉を対照として図 4 に示す。

低湿度 (R.H. 11~32%) におけるもち米粉焼成品の最大応力 (10^5 N/m^2) は 57~72, ピーク数は 3.8~4.2 であり, 硬さはうるち米粉に近く, ピーク数は小麦粉とうるち米粉のほぼ中間であった。高湿度 (R.H. 80~97%) になると, もち米粉焼成品は総エネルギー (10^4 J/m^3), 308~402, 最大応力 (10^5 N/m^2) 165~206 といずれも大きくなったが, R.H. 80% 前後をピークに低下し, 初期弾性率は R.H. 56% 付近より低下傾向を示した。

図 4 より, もち米粉焼成品はうるち米粉焼成品以上に高湿度で硬化するが, うるち米粉とは破断特性がかなり異なることが示唆されたので, 原料穀粉の異なる焼成品の物性の違いについてさらに検討した。

4. 原料穀粉と加水量の異なる焼成品の破断特性

うるち米粉, 小麦粉については水 20~60 とした焼成品について, もち米粉は水 30~60 とした焼成品について, 最大応力, 初期弾性率, ピーク数を縦軸に, 総エネルギーを横軸にとって物性値の違いを比べると, 図 5 のようになる (いずれも低湿度での平均値)。

原料穀粉の種類にかかわらず最大応力, 初期弾性率と総エネルギーの間にはかなり高い正の相関が認められ, 加水量が増すほどこれら数値が大きくなる傾向が明らかになった。また, ピーク数と総エネルギーの間には弱い負の相関が認められた。原料穀粉別では, 水 20 を除いたうるち米粉焼成品は小麦粉焼成品に比べて最大応力, 初期弾性率が大きくてピーク数が少ない傾向があり, もち米粉焼成品はうるち米粉と小麦粉の中間的な物性を示した。

以上の結果は, 米粉製品は生地をまとめる操作のために加水量を増やさざるを得ないが, 加水するほど焼成品が硬くなり, ショートネス性の発現を妨げることを示すものである。

5. 糊化うるち米焼成品の破断特性

うるち米粉焼成品が小麦粉やもち米粉焼成品に比べて破断抵抗が大きい理由として, 粉の粒度, 共存成分, 糊化デンプンの影響などの要因が考えられる。

そこで, うるち米粉の代わりに糊化したうるち米製品の米がゆ粉末と α -化米を用い, 糊化デンプンの影響を調べた。水 40 焼成品の破断曲線を図 2 に, 吸湿による破断特性値の変化を図 6 に示す。

R.H. 11~97% での総エネルギー (10^4 J/m^3 , 最小値~最大値) が, 米がゆ焼成品では 52~610, α -化米焼成品では 40~329 となり, 米がゆ焼成品の総エネルギーはうるち米粉よりかなり大きく, 高湿度では 2 倍以上高い値となった。一方, 米がゆ, α -化米は R.H. 11~97% でのピーク数が 1.8~4.1, 1.6~3.8 とうるち米粉の 1.4~2.7 よりやや多いため, 最大応力は若干低値であった。

初期弾性率が低湿度で高く高湿度で低下する物性変化も, うるち米粉と大きく異なり, むしろ図 4 のもち米粉との共通点が多かった。表 2 のように米がゆ粉末と α -化米

図 4 うるち米粉およびもち米粉焼成品 (水 40) の吸湿による破断特性の変化

は糊化特性値が大きいので, 糊化デンプンの増粘結着力によって硬化することが予測される^{10)~12)} (図 9 参照)。なお, α -化米は原料段階で硬く粉碎し難かったために粒度が荒く, 加水後焼成しても粒子間の結着が不十分で米がゆ粉末ほど硬化しなかった可能性が考えられる。

6. 小麦デンプン, うるち米デンプン, もち米デンプン焼成品の破断特性

小麦粉, うるち米粉, もち米粉の代替として, 小麦デンプン, うるち米デンプン, もち米デンプンを用い, 同様に焼成して破断特性に及ぼすデンプンの関与を検討した。水 40 焼成品の破断曲線 (R.H. 22%, 88%) を図 7 に, 同焼成品の破断特性値の R.H. 11~97% における変化を図 8 に示す。水 30 焼成品については, 表 2 に結果の一部を示すに留めた。

図 5 米粉焼成品の破断特性値の特徴 (総エネルギー基準)

うるち米粉および小麦粉焼成品：水 20～60，
もち米粉焼成品：水 30～60

R.H. 11～97%における小麦，うるち米，もち米デンプンの総エネルギー (10^4 J/m^3 ，最小値～最大値) は 34～78，54～555，70～730 でもち米デンプンが最も大きかったが，最大応力 (10^5 N/m^2 ，同) は 21～45，54～290，44～240，初期弾性率 (10^6 N/m^2 ，同) は 13～45，53～110，28～105 でうるち米デンプンが最も大きく，ピーク数は 1.4～4.8，1.0～3.2，1.2～5.2 でうるち米デンプンが最も少なかった。

小麦粉，うるち米粉，もち米粉の破断特性を示す図 2 と図 4，小麦，うるち米，もち米デンプンの破断特性を示す図 7 と図 8 を比べると類似点が多い。穀粉とデンプンとの共通点が多いことから，デンプン成分が破断特性に及ぼす影響がきわめて大きいと推察される。

デンプン焼成品は原料粉焼成品に比べて脆性破断を示す領域が R.H. 7.6～56% 付近までと長いにもかかわらず，R.H. 68～97% における物性変化が大きくて R.H. 88% より

図 6 糊化したうるち米粉焼成品 (水 40) の吸湿による破断特性の変化

軟化し，うるち米粉焼成品のように R.H. 97% まで硬さが保持されることはなかった。

7. 焼成品の破断特性値と糊化特性値との関係

すべての原料粉に共通の加水量である水 40 焼成品を中心に，低湿度と高湿度の破断特性値 (平均) と，焼成品の糊化特性値 (粘度，膨潤度，デンプン溶出率) を表 2 にまとめて示す。また，表 2 に示した穀粉焼成品 7 種について，破断特性値と糊化特性値との相関を求め，図 9 に示す。これらの糊化特性値は α -化度とも関係があり¹²⁾，焼成品内組織の増粘結着力を知る指標と考えてきた^{10)～12)}。

粘度，膨潤度，デンプン溶出率とも，加水量が多い焼成品ほど大きく，糊化した米がゆ， α -化米は桁違いに大きい値を示した (表 2)。加水量が同じ場合には，小麦粉 < うるち米粉 < もち米粉の順に糊化特性値が大となり，デンプン類も同原料順に大となることがわかった。6% デンプン液

表 2 米粉, 小麦粉およびそのデンプン焼成品の破断特性値と糊化特性値

焼成品	破断特性値				糊化特性値		
	最大応力平均 $\times 10^5 \text{ N/m}^2$		総エネルギー平均 $\times 10^4 \text{ J/m}^3$		粘度 mPaS	膨潤度	溶出率 %
	RH 11~32%	RH 80~97%	RH 11~32%	RH 80~97%			
小麦粉・水 20	27	14	27	31	70	2.9	0.26
水 40	39	38	42	102	210	3.4	0.45
うるち米粉・水 20	33	57	22	52	230	3.0	0.60
水 40	83	228	48	270	380	3.5	1.2
もち米粉・水 40	66	186	49	362	820	4.0	2.0
うるち米がゆ粉末・水 40	73	207	74	582	44 000	8.2	11
うるち α -化米粉粉末・水 40	50	144	43	298	13 500	5.8	5.2
小麦デンプン・水 30	20	17	33	36	—	3.0	1.1
水 40	25	38	36	62	—	3.5	1.5
うるち米デンプン・水 30	60	186	41	325	—	3.2	1.2
水 40	63	243	54	430	—	4.0	1.8
もち米デンプン・水 30	45	156	66	388	—	3.8	3.0
水 40	52	220	76	620	—	4.4	3.6

図 7 米デンプン焼成品 (水 40) の代表的な破断曲線

のアミログラムで米デンプンの粘度が小麦デンプンより 3 倍ほど高い報告¹³⁾や, 米は最高粘度に到達する温度が 93℃と最も高い報告¹⁴⁾があるので, 180℃オープン焼成下で小麦より粘性が増す可能性は高いと考えられる。

穀粉焼成品 7 種の間で総エネルギーと膨潤度, または総エネルギーとデンプン溶出率の相関を求めたところ, 0.683~0.772 の相関係数が得られた (図 9)。さらに, デンプン焼

成品 6 種の間で総エネルギーと膨潤度, または総エネルギーとデンプン溶出率間の相関を求めたところ, 0.616~0.929 の係数が得られた。

小麦粉焼成品¹⁰⁾¹²⁾および成分の異なる市販菓子¹¹⁾でも硬さと糊化特性値との間に高い相関を得ており, 糊化したものは高湿度で硬化する傾向がみられた。米がゆや α -化米をはじめ米粉焼成品が硬く破断抵抗が大きい理由として, 組織内でのデンプンの増粘結着力が想定できる。

しかし, 図 10 のように米粉と小麦粉との破断特性値の違いが顕著で, 糊化度のみでは説明がつかない部分がある。そこで, 一部データを補足し, 原料粉の違いが物性に及ぼす影響を探ってみた。

考 察

米粉焼成品は焼成時点でも硬いが, 吸湿すると数倍以上に硬化する特性がある。こうした破断の特徴は, 乾燥したせんべいの硬さ, 湿ったせんべいの硬さ, 吸水した状態で食すビーフンや米めんの独特の硬さに通じると推察でき, 米粉製品が硬くなったという報告も多い²⁾⁸⁾¹⁵⁾¹⁶⁾。そこで, 硬化要因となる水分含有量, 密度, 組織の状態などについて考察した。

(1) 吸着水分量と硬さとの関係

図 1 および図 10 の右側に示すように, 原料の異なる穀粉間および原料の異なるデンプン間での吸着水分量は試料間の差が少なかったが, 米粉・小麦粉などの原料穀粉は S 字状吸着曲線の変曲点である R.H. 68% 付近からの立ち上がりが大きく, デンプン試料よりも高湿度での吸着水分が多くなる傾向がある。また米がゆ, α -化米の吸着水分量が最も多かった。

図 10 に示すように, 糊化した試料ほど吸湿後に硬さが

図 8 米デンプン焼成品（水 40）の吸湿による破断特性の変化

増強され，硬化ピークが高湿度域にシフトして硬化領域が増える現象は，加工小麦デンプンでも確認している¹⁷⁾．糊化デンプンはマトリックス内に保有される水分が多くて束縛度が高く¹⁸⁾，ガラス化領域を増やすこと¹⁹⁾が報告されており，米粉焼成品の硬化要因として注目される．

(2) 焼成試料の密度と硬さとの関係

焼成後の形状は生地膨化により差を生じる．例えば，水 20，水 40 焼成品の厚さ (mm) は小麦粉 7.4～10.5，うるち米粉 5.8～7.2，密度 (g/m^3) は小麦粉 0.68～0.84，うるち米粉 0.86～1.01 となり，うるち米粉焼成品は膨化が少なく高密度であるため，形体上の違いから硬くなりやすいことが考えられる．うるち米粉は糊化時の粘度上昇が大きいため膨化が妨げられると報告されており⁵⁾⁸⁾¹⁵⁾²⁰⁾，押し固めて生地を作る操作が焼成後の組織を高密度にする要因のひとつと考えている．

(3) 生地および焼成組織と破断特性との関係

うるち米粉生地は不均一に吸水し，吸水不足の部分ができて操作時に生地が切れやすくなることがあった．焼成品も小麦粉に比べてボソボソ感があつた．うるち米粉は粒子の膨潤が不均一でざらつきを感じる時の指摘があり⁶⁾，一定の硬さが高湿度まで保持される要因として，未膨潤な部位の存在が考えられる．粘りによるセメント的な結着部に加え，吸水不足の部位が砂利のように混在し，コンクリート的な強固な構造を生み出している可能性がある．

米粉の製粉法は日々改良され，用途に対応した米粉も市販されるようになった．焼成時のメカニズム，品種・粒度などの原料粉の関与，米粉の用途開発などに関しては，今後の研究課題としたい．

要 約

上新粉，白玉粉として販売されているうるち米粉，もち米粉および糊化うるち米製品，米デンプンを用いてクッキー様焼成品を作成し，小麦粉，小麦デンプン焼成品を対照として各調湿条件下での破断特性の違いを比較した．

図 9 米粉焼成品の低湿度および高湿度の破断特性値と糊化特性値との相関

図 10 米粉および米デンプン焼成品（水 40）の高湿度調湿後の破断特性値の特徴

1. うるち米粉焼成品は小麦粉焼成品に比べて総エネルギー、最大応力が大きく、ピーク数が少ない硬い破断特性を示し、高湿度においてさらに硬化した。糊化したうるち米粉製品および加水量の多い焼成品では硬化度が著しく大きかった。
2. もち米粉焼成品はうるち米粉と小麦粉焼成品の中間的な破断特性を示し、高湿度で物性が大きく変化した。
3. うるち米デンプン、もち米デンプン焼成品の破断特性はうるち米粉、もち米粉焼成品の破断特性と類似し、高湿度で硬化した。
4. 米粉焼成品の硬化要因として、デンプン糊の作用、焼成品の密度、組織の不均一さが考えられる。

文 献

- 1) 農林水産省食料需給表（平成 18 年度版）。
- 2) 興座宏一，岡部繭子，島 純，米粉利用の現状と課題—米粉パンについて—，食科工，**55**，444-454（2008）。
- 3) 當麻義人，米粉利用食品の開発，食品と科学，**50**，641 号，78-82（2008）。
- 4) 宮所忠善，米粉パン・米粉ケーキの開発と販売の取組，月刊食料と安全，**6**，42-46（2008）。
- 5) 岡留美穂，林 好子，中川和秀，大野信子，米粉調整法が生地の発酵と製パンに及ぼす影響，和洋女子大学紀要，**48**，45-54（2008）。
- 6) 吉沢優子，クリームスープの粘度および口ざわりに及ぼす小麦粉への米粉配合の影響，家政誌，**35**，833-838（1984）。
- 7) 太田暁子，ルーおよびルー糊化液の性状に及ぼす小麦粉への米粉配合の影響，帝塚山短大紀要，**24**，41-50（1987）。
- 8) 斎藤寛子，松本時子，米粉がスポンジケーキの性状に及ぼす影響，山形県立米沢女子短大紀要，**42**，93-99（2007）。
- 9) 木村友子，加賀谷みえ子，福谷洋子，米粉，そば粉，大豆粉添加並びに甘味料の置換がクレープの性状と嗜好に及ぼす影響，調理科学，**22**，290-298（1989）。
- 10) 和田淑子，霜田有花，肥後温子，小麦粉焼成品の材料配合と糊化状態が吸湿後のテクスチャー変化に及ぼす影響，家政誌，**50**，19-27（1999）。
- 11) 和田淑子，小川慶子，肥後温子，吸湿による市販菓子類の破断特性値の変化とその要因，食科工，**49**，771-781（2002）。
- 12) 肥後温子，和田淑子，低水分においてマイクロ波加熱した焼成菓子類の破断物性，食科工，**52**，297-305（2005）。
- 13) 後藤富士雄，二国二郎監修，澱粉科学ハンドブック，朝倉書店，pp. 227, 228（1980）。
- 14) 高橋禮治，でん粉製品の知識，幸書房，p. 63（2006）。
- 15) Kadan, R.S., Robinson, M.G., Thibodeux, D.P. and Pepperman Jr. A.B., Texture and other physicochemical properties of whole rice bread, *J. Food Sci.*, **66**, 940-944（2001）。
- 16) 庄司一郎，柴田昌英，米粉の混入が小麦粉製品に及ぼす影響（第 1 報），調理科学，**5**，163-168（1972）。
- 17) 肥後温子，和田淑子，加工小麦デンプンがクッキー様焼成品のテクスチャー特性に及ぼす影響，食科工，**55**，224-232（2008）。
- 18) 藤田暉通，金 基淑，低水分食品の吸水に関する熱的研究，凍結及び乾燥研究会誌，**31**，19-23（1985）。
- 19) 川井清司，金 有珍，鈴木 徹，食品，生体関連物質の熱分析によるガラス転移温度の決定と安定性の評価，*Netsu Bussei*, **17**，114-127（2003）。
- 20) 高橋 徹，加熱処理による食品テクスチャー改良，*ジャパニフードサイエンス*，26-30（2005）。

（平成 21 年 2 月 18 日受付，平成 21 年 7 月 14 日受理）