

微量水分吸着による未糊化麺と糊化麺の破断特性

和田 淑子, 小川 慶子, 肥 後 温子*

(関東学院大学人間環境学部, * 戸坂女子短期大学)

原稿受付平成 13 年 2 月 28 日; 原稿受理平成 13 年 12 月 17 日

Effect of Low Moisture Absorption on the Breaking Properties of Gelatinized and Non-Gelatinized Noodles

Yoshiko WADA, Keiko OGAWA and Atsuko HIGO*

College of Human and Environmental Studies, Kanto Gakuin University, Yokohama 236-8501

** Toita Women's Junior College, Hachioji, Tokyo 193-0802*

The effect of absorbed moisture at various levels of humidity and under different water conditions was studied on the breaking properties of twelve kinds of commercial noodles differing from each other in the degree of starch gelatinization. When moisture had been absorbed, the noodles consisting of non-gelatinized starch became much softer, while the noodles consisting of gelatinized starch remained hard or became even harder with approximately 15 g of water/100 g of dry matter. The gelatinized noodles were also less soft than the non-gelatinized noodles under limited water conditions which were controlled by water/triethyleneglycol, and a distinct difference in the degree of hardness was apparent between the gelatinized and non-gelatinized noodles at approximately 30 g of water/100 g of dry matter. A positive correlation between the breaking properties (*i.e.*, maximum force and cutting energy) and the degree of starch gelatinization, swelling capacity and viscosity of the noodles was obtained with low moisture absorption.

(Received February 28, 2001; Accepted in revised form December 17, 2001)

Keywords: gelatinized noodle 糊化麺, non-gelatinized noodle 未糊化麺, moisture absorption 水分吸着, breaking property 破断特性.

1. 緒 言

前報¹⁾²⁾において、小麦粉を主原料とする菓子類を吸湿保存すると、破断特性値が大きく変化し、軟化するものと硬化するものに分かれること、吸湿後の破断強度には主成分であるでんぷんの糊化状態が関与することを報告してきた。

この現象は、糊状成分によって充填乾固したガラス状態の食品が吸湿によって粘性を回復し、脆性破断から塑性破断、流動性破断へと変化した状態を捉えたものと考えられるが³⁾、このような水分吸着による食品の破断特性の変化に関する研究は少なく^{4)~6)}、変化要因まで検討したものはほとんどみられない。

そこで、市販の糊化状態の異なる麺について、糊化麺と未糊化麺の違いが吸湿による力学特性の変化にどのように影響するかを調べ、吸湿保存時における軟化・硬化現象の発現状況とその発現要因を捉えようと試み

た。その結果、市販菓子類および手作り小麦粉焼成品と同様に¹⁾²⁾、吸湿させた麺の破断特性とでんぷんの糊化状態との間に関連性が高いことがわかったので報告する。

2. 試料および実験方法

(1) 試料 麺

実験試料には未糊化麺 5 種、糊化麺 7 種の合計 12 種（乾麺、即席麺、パスタ、冷麺）を用い、表 1 にそのサンプルリストを示した。麺の成分組成は市販品の成分表示により、また、麺の密度は菜種法によって求めた。

(2) 試料の吸湿と吸水

1) 吸 湿

大型恒温器内に設置した 10 段階の調湿デシケータ（相対湿度 7.6, 11.3, 22.0, 32.5, 43.0, 56.5, 68.0,

表 1. 市販試料麺の性状

試料名	切断応力 ($\times 10^3 \text{N/m}^2$)	切断エネルギー ($\times 10^2 \text{J/m}^3$)	溶出アミロ ース指数*	膨潤度	α 化度 (%)	粘度** (Pa·s)	形状		成分組成 C : P : F	備考
							幅×厚さ (mm)	密度 (g/cm ³)		
未糊化麺										
a	12.6	7.8	0.19	2.18	19.4	0.08	4.6×1.0	0.80	72 : 9 : 1	きしめん
b	18.3	10.8	0.18	2.13	12.0	0.06	1.8×1.3	0.65	72 : 11 : 2	ひやむぎ
c	41.3	34.7	0.16	2.25	17.1	0.37	1.5×1.5	0.64	72 : 13 : 2	スパゲティ
d	26.6	49.9	0.08	2.29	22.9	0.26	1.4×1.3	0.64	77 : 13 : 1	中華麺
e	23.3	22.4	0.21	2.37	20.0	0.14	1.7×1.3	0.60	74 : 9 : 2	中華麺
糊化麺										
a	15.0	33.0	1.25	4.08	54.3	68.0	1.5×1.0	0.52	69 : 7 : 2	即席中華麺
b	12.1	24.0	1.78	4.43	97.1	16.0	4.7×3.7	0.36	56 : 7 : 15	即席うどん
c	17.4	54.3	2.24	4.69	80.0	34.0	3.4×1.2	0.32	66 : 7 : 2	即席うどん
d	54.3	85.5	0.92	4.85	74.3	24.0	1.6×1.7	0.58	73 : 7 : 1	冷麺
e	15.9	61.2	2.54	4.55	60.0	79.0	2.2×1.0	0.54	74 : 8 : 3	即席冷麺
f	7.64	22.4	1.97	5.23	71.4	22.0	2.2×1.5	0.36	53 : 6 : 21	カップ麺
g	7.25	19.4	2.29	5.59	85.7	18.0	4.4×1.4	0.35	47 : 5 : 17	カップ麺

成分組成は成分表示または製造会社の回答による (糖質 C:たんぱく質 P:脂質 Fは製品 100 g 当たりの g 数). *660 nm 吸光度, **20 rpm.

80.0, 88.0, 97.0%, 以下, 環境湿度という) の中に, 約 5 cm に切った麺を入れて 30℃, 2 週間保存して吸湿試料とした.

2) 吸 水

トリエチレングリコールと水を混合した水分含量 10~80% のモデル的な水分制限環境 (水/トリエチレングリコール混合比を 10/90~80/20 とする) の溶液 500 ml 中に, 各麺を 24 時間浸漬し, ペーパータオルで表面の水分を拭き取って吸水試料とした.

(3) 溶出アミロース指数, 膨潤度の測定

前報²⁾と同様に, クロロホルム・メタノール (2:1) で脱脂した粉体試料 2 g (83 メッシュ以下) に温湯 40 g を加え, 40±1℃ 恒温槽中で 2 時間振とう膨潤させて, 1,900×g で 20 分間遠心分離後, 上清液の 660 nm ヨード呈色値より溶出アミロース指数, 沈澱物重量と上清の可溶成分量より膨潤度を求めた.

$$\text{膨潤度} = \frac{\text{沈澱物重量 (g)}}{[\text{脱脂粉体重量 (g)} - \text{上清の可溶成分量 (g)}]}$$

(4) α 化度, 粘度の測定

1) α 化 度

脱脂粉体 100 mg, pH 4.5 の 2 M 酢酸緩衝液 15 ml に 25 mg % グルコアミラーゼ (SIGMA 製, Amyloglucosidase A-7420, 58 unit/mg) 5 ml を加えて 37℃ で 160 分間分解後, 25 mM 塩酸で反応を停止し, 生成した糖量をソモギー・ネルソン法で測定した後, 完全糊化区を 100 として求めた.

2) 粘 度

脱脂前麵粉体 15 g に 45℃ の温湯 40 ml を加え, 11,000 rpm で 1 分間, 24,000 rpm で 3 分間ホモジナイズし, 40℃ の恒温水槽中で 2 時間振とう膨潤させた後, 粘度形 TV-20 H (東京計器 BM 型) を用い, ローター (28・H5), 試料温度 40℃, 20 rpm で測定した.

(5) 吸着水分量と吸湿曲線

吸湿後の麺を粉碎して 135℃・3 時間常圧乾燥法により水分量を測定し, 乾物 100 g 当たりの吸着水分量より水分吸着曲線を作成した. 吸水させた試料についても同様の乾燥法により, 吸水量を求めた.

(6) 破断特性の測定

レオロメーターマックス RX-1600 (アイテクノ製) を用い, 麺を直径 10 mm の穴あき台にプランジャーに直角方向に固定して, 先端部 6×1 mm の金属製くさび型プランジャー, ロードセル 2 kg (一部 20 kg), 切断速度 5 mm/s, チャート速度 20 mm/s の条件で切断した. 各試料は 1 回に 13~15 個を 2 回繰り返し測定し, 曲線のピークの最高値から切断応力, 総面積から切断エネルギーを求め, 麺線の接触面積で除して破断特性値とした.

(7) 麺の水和特性と破断特性との関係

膨潤度, 溶出アミロース指数, α 化度, 粘度などの水和特性と, 切断応力, 切断エネルギーなどの破断特性との関係を検討した. この場合, 粘度は対数値を使用し, 破断特性値の変化は乾燥時の麺の硬さを 1.00

微量水分吸着による未糊化麺と糊化麺の破断特性

とする吸湿・吸水後の硬さの相対比で表した。

3. 実験結果および考察

(1) 試料麺の性状

実験に用いた市販麺の吸湿前の破断特性、水和特性および形状・成分組成は表1のとおりである。試料麺の選択基準として、①糊化麺と未糊化麺の両方をサンプルとすること、②主原料が小麦粉で副材料が少ないこと、③麺の形状が均一であることを考慮した。しかし、実際には伝統的な乾麺であるきしめん、ひやむぎ、中華麺にもそば粉、やまいも粉、鶏卵乾燥粉、卵白、グルテンなどが添加されており、副材料を含まないのはスパゲティのみであった。

表示したように、12種の市販麺は、膨潤度、溶出アミロース指数、 α 化度および粘度から未糊化麺5種と糊化麺7種に分類でき、糊化麺のうち3種は特に脂質含量が多いことがわかった。また、未糊化麺の形状は均一な直線状であったが、糊化麺の多く（冷麺を除く）は密度が低く、麺線の幅や厚さが不均一であった。表に示すように、切断応力、切断エネルギーは試料麺でかなりの差がみられ、未糊化麺ではスパゲティ、糊化麺では冷麺の硬さがきわ立った。

(2) 麺の吸湿曲線

R. H. 7.6~97%の環境湿度下における麺の吸湿曲線を図1に示した。試料麺の吸湿曲線はすべてS字状曲線を示したが、糊化麺の方がやや緩慢なS字カーブとなった。同一湿度環境下での吸着水分量は脂質含量の影響が大きく、脂質含量が多い3種の糊化麺は吸着水分量が少ない傾向を示した。脂質含量の少ない糊化麺と未糊化麺の吸着水分量は比較的差が少なかったが、でんぷん含量の多い未糊化麺1種は例外的に高い値がみられた。吸湿には脂質、でんぷん含量などの成分組成の影響が大きいことが知られており²⁾⁷⁾、本実験に使用した試料麺は成分が不統一で、糊化と未糊化による麺の吸着曲線の違いを明確に論ずることは困難であるので、同一の吸着水分量で麺の硬さの変化を検討する必要があると考える。

(3) 吸湿による破断特性の変化

1) 吸湿後の破断曲線

R. H. 7.6~97.0%の環境湿度下に保存した麺の破断曲線のうち、R. H. 22, 56, 80, 97%の測定結果を図2に例示した。未糊化麺は硬いが一気に割れる鋭い破断曲線を示し、糊化麺の多くは上下動の多い複数の破断点を有するやや横幅の広い破断曲線を示す傾向はあ

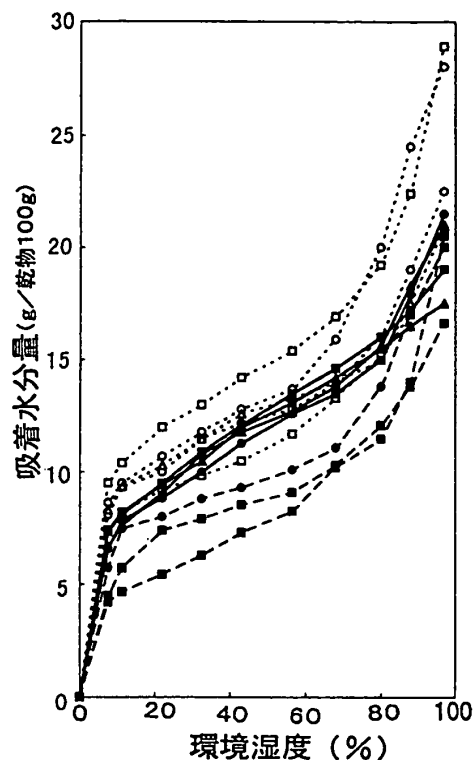


図1. 未糊化麺と糊化麺の吸湿曲線

未糊化麺：---○--- a, b, ---□--- d, e, ---△--- c (脂質量 1~2 g/100 g).

糊化麺：---●--- c, ---■--- a, ---▲--- d, e (脂質量 1~3 g/100 g), ---●--- b, ---■--- f, g (脂質量 15~21 g/100 g).

るが、糊化・未糊化に関わらず各麺の低~中湿度域までの破断曲線は類似しており、吸湿時にも破断特性が変化しにくい領域があることがわかった。R. H. 80, 97%の高湿度になるにつれて破断点のピークは低くなり、未糊化麺の方は軟化傾向が顕著に表れたが、糊化麺は高湿度域で切断しにくく曲線の横幅が長くなり、切断エネルギーが増大する傾向がみられた。

(4) 吸湿による破断特性値の変化

1) 環境湿度下における切断応力、切断エネルギーの変化

未糊化麺と糊化麺の各環境湿度下での切断応力と切断エネルギーについて、各麺を試料数 26~30 個ずつ測定して平均値と標準偏差を求め、表2に記した。さまざまな市販麺を用いたので麺の種類により硬さに大きな差があり、特に形状が不均一な糊化麺では測定値にかなりばらつきがみられたが、各麺は吸湿により硬さが変化し、ついに軟化することがわかる。しかし、糊化麺と未糊化麺との吸湿後の硬さの変化傾向を実測値のままで比較検討することは不明瞭であり、困難であった。そこで、各々の試料麺の吸湿前の値を基準値

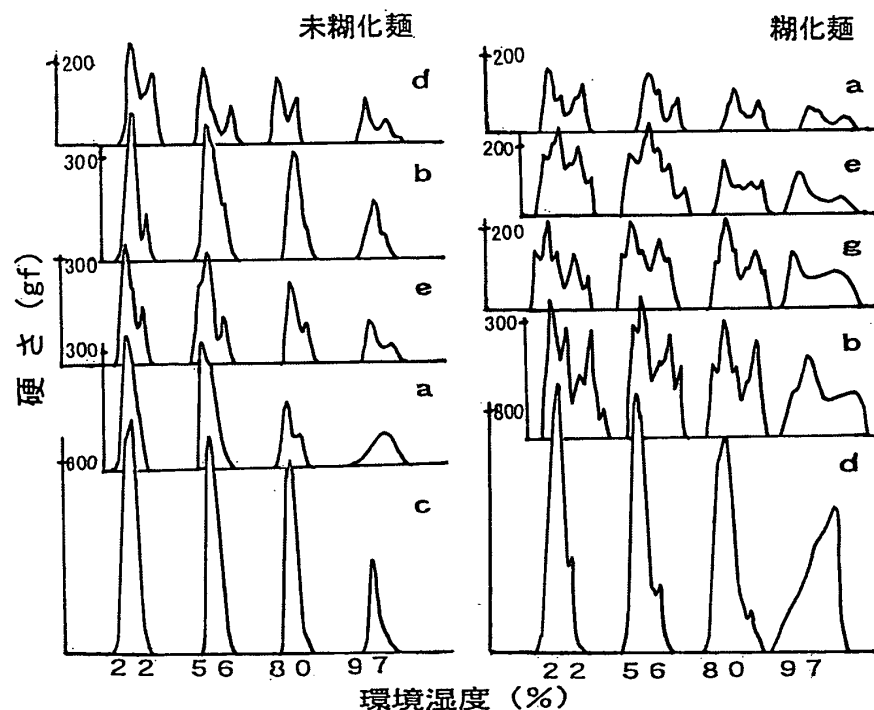


図2. 吸湿による破断曲線の変化

a~gは麺記号 (表1 参照).

表2. 未糊化麺と糊化麺の吸湿・吸水後の破断特性値

環境湿度 (%)	切断応力 ($\times 10^3 \text{ N/m}^2$)											
	未糊化麺					糊化麺						
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	f	g
7.6	12.1 $\pm$ 1.5	17.8 $\pm$ 2.0	42.7 $\pm$ 4.6	27.9 $\pm$ 5.9	25.3 $\pm$ 3.8	16.6 $\pm$ 4.8	11.7 $\pm$ 2.6	16.8 $\pm$ 3.8	54.8 $\pm$ 8.9	15.4 $\pm$ 5.9	7.8 $\pm$ 3.2	6.9 $\pm$ 1.9
11.3	12.9 $\pm$ 1.6	18.4 $\pm$ 4.9	40.2 $\pm$ 5.6	25.0 $\pm$ 6.3	22.5 $\pm$ 2.3	14.2 $\pm$ 6.2	12.5 $\pm$ 3.4	17.6 $\pm$ 6.2	55.3 $\pm$ 12	15.4 $\pm$ 5.1	7.4 $\pm$ 2.7	6.9 $\pm$ 2.8
22	12.9 $\pm$ 1.4	18.7 $\pm$ 3.4	41.0 $\pm$ 8.0	26.9 $\pm$ 6.0	22.1 $\pm$ 3.7	15.8 $\pm$ 4.9	12.1 $\pm$ 4.2	17.8 $\pm$ 7.7	56.3 $\pm$ 9.8	17.0 $\pm$ 6.1	7.5 $\pm$ 2.0	8.0 $\pm$ 3.1
32.5	11.3 $\pm$ 1.5	20.5 $\pm$ 2.6	40.6 $\pm$ 8.3	20.5 $\pm$ 4.8	23.5 $\pm$ 4.3	15.2 $\pm$ 6.7	15.1 $\pm$ 4.1	19.5 $\pm$ 5.2	62.8 $\pm$ 10	20.3 $\pm$ 6.0	8.0 $\pm$ 3.9	7.1 $\pm$ 3.1
43	12.1 $\pm$ 2.2	20.4 $\pm$ 4.0	41.4 $\pm$ 7.8	21.3 $\pm$ 5.0	21.2 $\pm$ 3.7	17.3 $\pm$ 4.6	16.1 $\pm$ 3.9	20.2 $\pm$ 7.2	65.9 $\pm$ 11	21.1 $\pm$ 7.5	8.2 $\pm$ 3.9	8.7 $\pm$ 4.0
56.5	10.2 $\pm$ 2.1	16.2 $\pm$ 3.8	43.5 $\pm$ 6.7	17.1 $\pm$ 3.5	20.7 $\pm$ 3.7	17.9 $\pm$ 4.7	16.3 $\pm$ 4.3	20.9 $\pm$ 7.2	64.6 $\pm$ 18	18.7 $\pm$ 5.2	8.5 $\pm$ 2.3	9.4 $\pm$ 3.2
68	9.0 $\pm$ 1.3	11.5 $\pm$ 2.6	36.1 $\pm$ 6.3	14.0 $\pm$ 3.1	17.5 $\pm$ 3.0	19.2 $\pm$ 4.7	17.0 $\pm$ 4.5	18.2 $\pm$ 8.3	60.3 $\pm$ 12	18.9 $\pm$ 6.2	9.2 $\pm$ 3.4	9.5 $\pm$ 3.6
80	6.7 $\pm$ 1.3	10.2 $\pm$ 2.0	33.2 $\pm$ 5.8	10.8 $\pm$ 3.2	11.0 $\pm$ 1.2	14.2 $\pm$ 4.9	12.7 $\pm$ 2.9	13.0 $\pm$ 3.4	47.8 $\pm$ 10	12.9 $\pm$ 3.3	9.3 $\pm$ 3.3	9.9 $\pm$ 3.0
88	4.5 $\pm$ 1.2	5.5 $\pm$ 0.8	23.4 $\pm$ 2.0	10.5 $\pm$ 2.4	11.5 $\pm$ 1.4	9.4 $\pm$ 3.2	11.0 $\pm$ 3.1	11.9 $\pm$ 4.7	48.3 $\pm$ 12	8.7 $\pm$ 2.5	6.2 $\pm$ 2.3	9.3 $\pm$ 2.4
97	3.4 $\pm$ 0.5	4.2 $\pm$ 0.6	16.4 $\pm$ 0.6	6.9 $\pm$ 1.6	3.9 $\pm$ 0.3	8.1 $\pm$ 3.0	10.8 $\pm$ 3.0	8.5 $\pm$ 4.2	28.2 $\pm$ 5.6	8.3 $\pm$ 2.7	4.2 $\pm$ 2.0	4.1 $\pm$ 0.9

環境湿度 (%)	切断エネルギー ($\times 10^3 \text{ J/m}^2$)											
	未糊化麺					糊化麺						
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	f	g
7.6	7.3 $\pm$ 1.1	10.5 $\pm$ 2.1	37.0 $\pm$ 6.7	53.6 $\pm$ 13	26.3 $\pm$ 4.5	35.3 $\pm$ 9.4	23.4 $\pm$ 4.6	51.6 $\pm$ 10	82 $\pm$ 14	52.6 $\pm$ 19	22.2 $\pm$ 8.5	20.8 $\pm$ 5.3
11.3	8.0 $\pm$ 0.9	10.6 $\pm$ 2.2	28.7 $\pm$ 8.2	51.3 $\pm$ 12	21.2 $\pm$ 5.2	31.0 $\pm$ 10	25.8 $\pm$ 7.6	58.1 $\pm$ 21	88 $\pm$ 16	68.5 $\pm$ 24	20.8 $\pm$ 8.0	17.5 $\pm$ 7.5
22	8.1 $\pm$ 1.0	11.3 $\pm$ 2.9	38.3 $\pm$ 6.6	44.8 $\pm$ 11	19.7 $\pm$ 4.6	33.0 $\pm$ 9.6	22.5 $\pm$ 7.3	52.7 $\pm$ 24	100 $\pm$ 19	63.0 $\pm$ 21	24.7 $\pm$ 6.0	20.0 $\pm$ 8.4
32.5	6.7 $\pm$ 0.7	12.3 $\pm$ 1.3	39.2 $\pm$ 8.8	39.9 $\pm$ 8.5	20.3 $\pm$ 3.3	35.0 $\pm$ 16	22.7 $\pm$ 6.6	59.7 $\pm$ 17	111 $\pm$ 16	80.2 $\pm$ 25	24.7 $\pm$ 10	19.4 $\pm$ 7.0
43	8.0 $\pm$ 1.6	11.7 $\pm$ 2.5	41.2 $\pm$ 7.0	40.7 $\pm$ 10	20.7 $\pm$ 4.1	39.3 $\pm$ 9.6	22.0 $\pm$ 4.9	55.9 $\pm$ 19	130 $\pm$ 25	76.5 $\pm$ 25	24.0 $\pm$ 11	17.7 $\pm$ 9.3
56.5	6.7 $\pm$ 1.2	10.5 $\pm$ 2.3	45.7 $\pm$ 8.0	29.8 $\pm$ 5.6	14.5 $\pm$ 2.3	34.7 $\pm$ 9.8	21.1 $\pm$ 6.0	57.5 $\pm$ 21	117 $\pm$ 31	77.1 $\pm$ 23	22.2 $\pm$ 6.6	19.6 $\pm$ 7.0
68	5.2 $\pm$ 0.9	10.0 $\pm$ 2.5	33.9 $\pm$ 5.3	29.1 $\pm$ 5.6	16.0 $\pm$ 3.1	38.6 $\pm$ 8.7	27.7 $\pm$ 6.8	52.2 $\pm$ 25	96 $\pm$ 21	75.3 $\pm$ 23	24.0 $\pm$ 8.5	22.9 $\pm$ 8.3
80	4.1 $\pm$ 0.7	11.6 $\pm$ 2.0	33.7 $\pm$ 6.5	20.3 $\pm$ 5.6	10.1 $\pm$ 2.3	29.0 $\pm$ 10	24.8 $\pm$ 6.2	35.5 $\pm$ 8.6	100 $\pm$ 20	45.9 $\pm$ 12	26.3 $\pm$ 9.7	24.4 $\pm$ 7.9
88	4.2 $\pm$ 1.2	12.7 $\pm$ 2.0	17.6 $\pm$ 1.1	19.0 $\pm$ 3.0	10.5 $\pm$ 1.5	29.4 $\pm$ 9.5	37.5 $\pm$ 9.7	36.0 $\pm$ 15	143 $\pm$ 37	42.2 $\pm$ 11	21.7 $\pm$ 7.7	23.9 $\pm$ 5.6
97	5.2 $\pm$ 0.7	13.3 $\pm$ 1.5	14.9 $\pm$ 0.9	14.2 $\pm$ 2.9	12.1 $\pm$ 0.7	53.5 $\pm$ 21	23.4 $\pm$ 7.0	43.6 $\pm$ 20	122 $\pm$ 26	54.5 $\pm$ 19	23.3 $\pm$ 12	19.6 $\pm$ 4.7

微量水分吸着による未糊化麺と糊化麺の破断特性

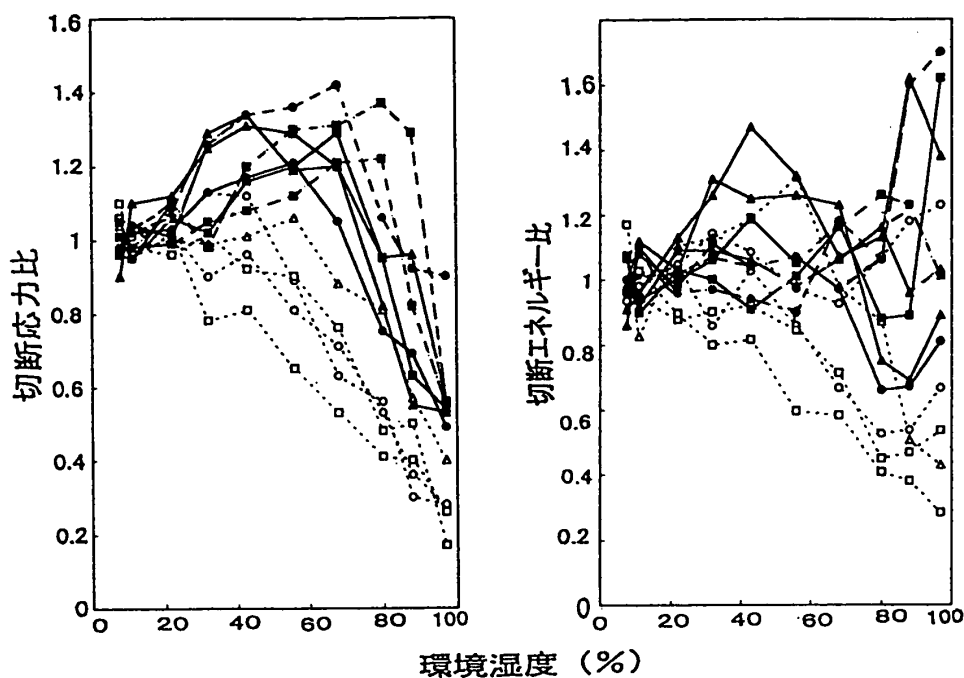


図3. 吸湿による破断特性値の変化

未糊化麺：---○--- a, b, ---□--- d, e, ---△--- c (脂質量1~2 g/100 g).

糊化麺：—●— c, —■— a, —▲— d, e (脂質量1~3 g/100 g), --●-- b, --■-- f, g (脂質量15~21 g/100 g).

(1.00) として、各環境湿度ごとに相対比(切断応力比, 切断エネルギー比)を求めて吸湿による変化を検討した。その結果、図3に示すように、未糊化麺の切断応力比は環境湿度の増加に対して漸次減少する負の相関があるが、糊化麺の多くはR. H. 68%付近まで硬さの上昇傾向が認められた。R. H. 56~97%の中~高湿度域で未糊化麺と糊化麺の破断挙動に明らかな差異が生じ、例えば、R. H. 68%での未糊化麺5種の切断応力比は0.55~0.88, 糊化麺7種は1.05~1.42, R. H. 97%の高湿度では未糊化麺0.18~0.40, 糊化麺0.46~0.90と糊化麺の方が軟化が少なく、乾燥時よりも韌性を帯びて容易に破断されにくくなることがわかった。

2) 吸着水分量当たりの破断特性値の変化

同じ環境湿度における各麺の吸着水分量に差があるので(図1参照)、次いで、横軸に試料の吸着水分量(g/乾物100g)をとり、同一吸着水分量(含水量)当たりの麺の破断特性値(切断応力比, 切断エネルギー比)を比較した。

図4のように、硬さや形状の異なる麺でも吸湿前の硬さを1.00とすると吸湿後の切断応力比, 切断エネルギー比の変化に一定の傾向がみられた。すなわち、

未糊化麺は乾物100g当たり吸着水分量が7gから30gと増すにつれて次第に切断応力比が低下し、吸着水分量に対して負の相関を示した。一方、糊化麺の切断応力比は、吸着水分量が5gから15gではいったん増加し、その後低下する傾向がみられた。切断エネルギー比も、大部分の麺については切断応力比と同様に糊化麺の方が軟化傾向が少なかったが、15g/乾物100g以降で未糊化麺1種と糊化麺2種に切断に要するエネルギーが増大する傾向がみられるなど、試料間の挙動に差がみられた。

糊化麺が吸着水分量15g/乾物100g前後(環境湿度70%付近に相当する)まで硬さが保持あるいは増加する原因については後に考察する。

(5) 吸水による破断特性値の変化

吸湿による実験では、吸着水分量が20g/乾物100g付近までしか達しない麺が多いので、これよりも若干水分含量の多い領域での破断特性値の変化を明らかにしておく必要があると考え、水と自由な比率で混合できるトリエチレングリコールで調節した水分10~80%の段階的水分制限環境下での麺の破断特性値の挙動を調べた。

その結果、未糊化麺は環境水分30%において切断

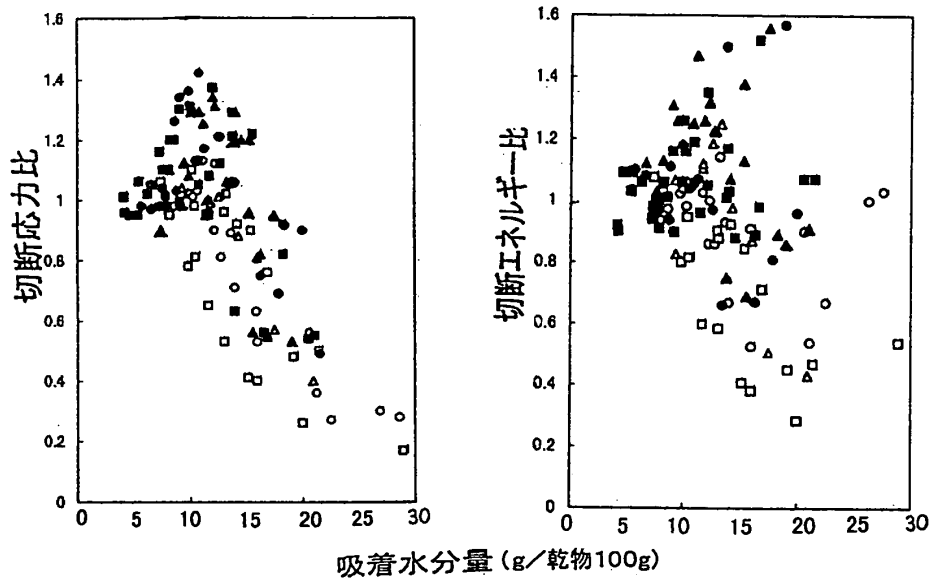


図4. 吸湿水分量当たりの破断特性値

未糊化麺：○a, b, □d, e, △c, 糊化麺：●b, c, ■a, f, g, ▲d, e.

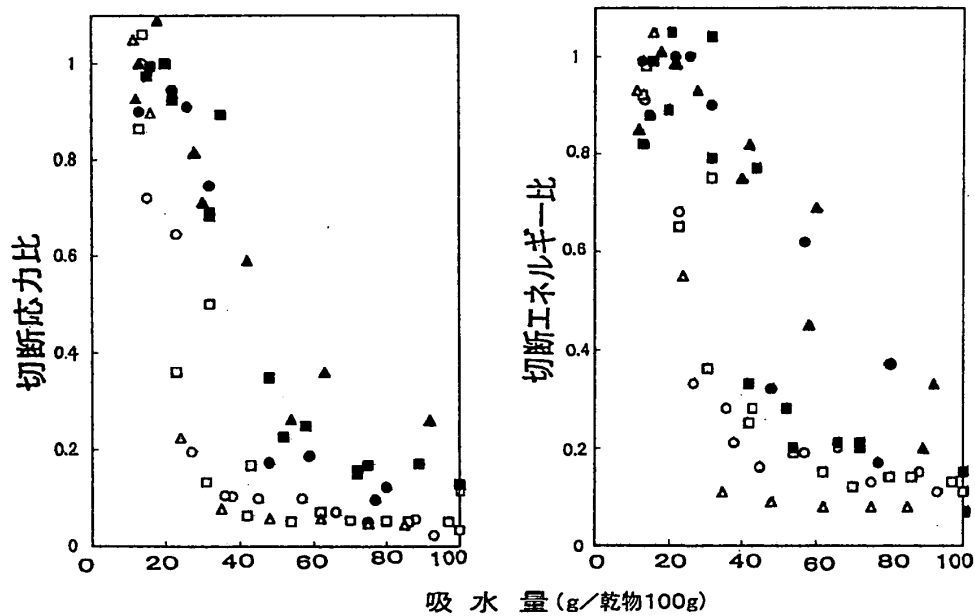


図5. 吸湿量当たりの破断特性値の変化

未糊化麺：○a, b, □d, e, △c, 糊化麺：●b, c, ■a, f, g, ▲d, e.

応力比, 切断エネルギー比ともに著しく低下して軟化するが, 糊化麺はある程度の破断抵抗が残ることが明らかとなった。この結果を試料麺の吸水量当たり (g/乾物 100 g) で比較したものが図5である。未糊化麺は吸水量 30 g/乾物 100 g 付近から一斉に軟化するが, 糊化麺は 30 g/乾物 100 g 付近 (環境水分 30% 付近に当たる) まで硬さが保持され, 吸水量 50 g/乾物 100 g 付近 (環境水分 40% 付近に当たる) で軟化

することがわかった。

吸湿による水分吸着と吸水とでは軟化するメカニズムも異なると考えられるが, 糊化麺の方が吸湿にも吸水にも強く, 硬さを保持できる水分領域が広いことが確認できた。

(6) 破断特性値と膨潤度, 糊化度, 粘度との関係
吸湿後の麺の硬さが糊化の程度と関連が深いことが示唆されたので, 次に, 同一吸着水分量における試料

微量水分吸着による未糊化麺と糊化麺の破断特性

吸着水分量 13g / 乾物 100g

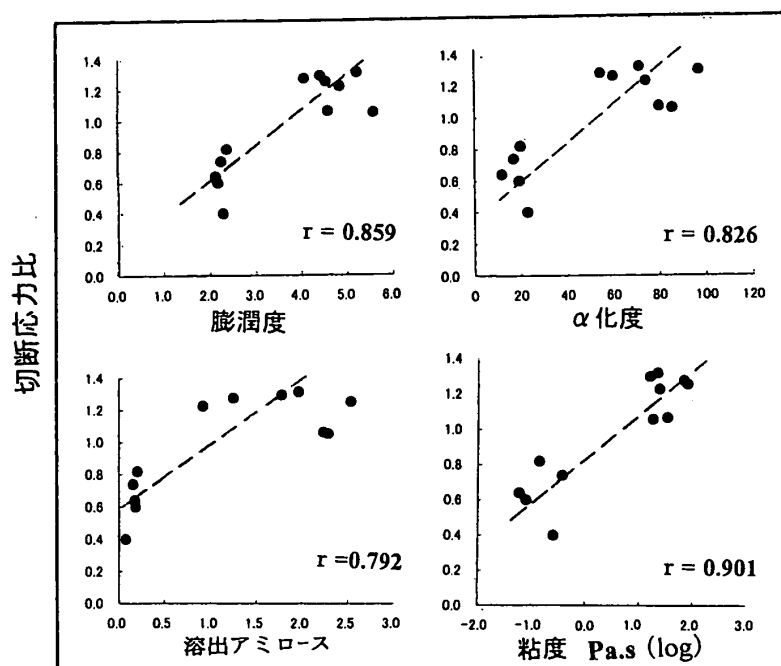


図6. 破断特性値と膨潤度・糊化度・粘度との相関
 r = 相関関数.

麺の破断特性値と膨潤度、溶出アミロース指数、 α 化度、粘度との相関を調べ、いずれの要因が硬さに影響するかを検討した。その際、図4のY軸に平行線を引いて測定値の近似曲線との交点から同一吸着水分量での切断応力を求めた。

その結果、麺の吸着水分量 12~13 g/乾物 100 g において、12 種の麺の切断応力比と膨潤度との間の相関係数は $r=0.80\sim0.86$ 、溶出アミロース指数との間では $r=0.74\sim0.79$ 、同様に、 α 化度で $r=0.77\sim0.83$ 、粘度で $r=0.81\sim0.90$ となり、また、10~15 g/乾物 100 g と吸着水分量の範囲を広げても $r=0.65$ 以上が得られ、吸湿後の硬さと各測定値との間に相関がみられた。図6には、吸着水分量 13 g/乾物 100 g における結果を例示した。

以上の結果は、10~15 g/乾物 100 g 付近において、膨潤度、溶出アミロース指数、 α 化度、粘度が高いほど吸湿後に硬化しやすいことを裏付けたものであるが、糊化麺のもつ属性のうち、どの要因が硬さに最も寄与しているかまでは特定できなかった。

(7) 水分吸着後の軟化・硬化要因の検討

糊化麺が微量水分を保持すると組織が強靱になり、切断応力、切断エネルギーが増大することをこれまで述べてきた。

近年、食品をガラス化の理論で説明することによってテクスチャー変化の本質を明らかにしようとする研究が盛んになり、パスタをはじめとする麺、菓子類、乾飯などもガラス体として捉えられるようになった⁸⁾⁹⁾。この理論に従えば、でんぷん主体の乾燥食品のもつパリッとした食感や強靱な力学的特性は、乾燥・冷却によって高分子鎖が不規則な構造のままガラス化した状態であり、ガラス転移点 (T_g) より高水分の領域 (ラバー状態) はガラス状態時に抑制されていたマトリックスの分子運動が活発になって、食感の軟化、吸湿固結、酵素反応、褐変などが起きやすくなる状態であるという。でんぷんは一種のガラス状ポリマーであり、非晶質領域を主体としたガラス転移が水の存在によって著しく影響を受けること⁹⁾、吸水後の水は高分子の自由体積を増やし、分子運動性を高めることもわかってきた⁷⁾。

Mizuno *et al.* は¹⁰⁾、小麦でんぷんはガラス転移を生じる含水率が 18~22% にあり、完全糊化後保存したでんぷんは不完全糊化でんぷんよりガラス転移の限界水分が多いことを報告している。糊化麺の多くが吸湿後も硬さを保持していた本実験の結果は、糊化麺の方が吸湿後もガラス状態を保ちやすく、ガラス転移点が高い状態にあったと考ええると合理的である。本実験の

場合、市販麺を試料としたため、糊化麺・未糊化麺に冷麺・パスタのように強靱なものもあれば、即席麺・ひやむぎのようにもろく切断しやすいものもあったが、それに関わらず吸湿後の硬さと糊化度との間に相関があり、糊化麺が吸湿に強いことが実証できた。

小麦粉焼成品においても、糊化状態によって軟化する水分量が異なる現象を観察しており²⁾、でんぷんの糊化が食品のガラス化領域を拡げている可能性が高いと考える。でんぷん粒に吸着された水分子は粒を膨潤させ、また、膨潤後でんぷん粒に新たに水の吸着部位が出現すること¹¹⁾¹²⁾、糊化・老化でんぷんは生でんぷんに比べて束縛水量が多いことが報告されており^{13)~15)}、糊化でんぷんの方が固形分のマトリックス内に保有された水が束縛された状態で存在する可能性が高い。糊化麺が未糊化麺に比べて耐湿・耐水性が大きいのはそのためであり、また、糊化麺が吸湿後に硬化する現象は、水和し膨潤したでんぷんが麺の組織間を充填し、セメントのように結着した状態と推察される。

ガラス体が温度や外力によって粘性を回復し、剛性、靱性が減って可塑性、粘性を呈する現象は、窯業やプラスチック工業などの分野で知られているが、食品分野ではまだ研究例が少ない。水分吸着によるでんぷん製品のテクスチャー変化の発生状況と発生要因について、食品のガラス化と水和特性の観点からさらに検討している。

4. 要 約

糊化度の異なる市販の麺類 12 種（未糊化麺 5 種、糊化麺 7 種）を用いて、吸湿による破断特性を比較したところ、原材料、製法、形状、密度の異なる麺類にも関わらず、未糊化麺と糊化麺の間には次のように明らかな差異が認められた。

① 環境湿度 7.6~97%, 吸着水分量 4~28 g/乾物 100 g において、未糊化麺は吸着水分量の増加に伴い切断応力比が低下し、軟化の一途をたどるが、糊化麺は吸着水分量 15 g/乾物 100 g 付近でも硬さが保持され、それ以上の吸着水分量で軟化した。

② 水/トリエチレングリコール混液に浸漬した麺においても、糊化麺は未糊化麺に比べて軟化しにくい傾向がみられ、吸水量 30 g/乾物 100 g 付近において、糊化麺と未糊化麺の破断特性値に差がみられた。

③ 吸着水分量 10~15 g/乾物 100 g 付近の麺の破

断特性値と膨潤度、溶出アミロース指数、 α 化度、粘度間に正の相関があった。

以上の微量水分吸着による麺の破断特性値の変化要因について、食品のガラス化と束縛水量の側面から検討を行った。

本研究は飯島記念食品科学振興財団平成 11 年度学術研究助成によって行われたものであり、感謝の意を表します。

引 用 文 献

- 1) 和田淑子, 霜田有花, 肥後温子: 低水分食品の吸湿によるテクスチャー変化, 家政誌, **48**, 597-606 (1997)
- 2) 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)
- 3) 岡 小天 (編著): 『レオロジー入門』(9 版), 工業調査会, 東京, 287 (1980)
- 4) Lockland, L. B., and Beuchat, L. R.: *Water Activity, Theory and Application to Food*, Marcel Dekker, New York and Basel, U. S. A., 75-99 (1987)
- 5) Zabik, M. E., Fierke, S. G., and Bristol, D. K.: Humidity Effects on Textural Characteristics of Sugar-Snap Cookies, *Cereal Chem.*, **56**, 29-33 (1979)
- 6) Seymour, S. K., and Hamann, D. D.: Crispness and Crunchiness of Selected Low Moisture Foods, *J. Texture Stud.*, **19**, 79-94 (1988)
- 7) 野口 駿: 『食品と水の科学』, 幸書房, 東京, 149, 158, 184-194 (1992)
- 8) 村瀬則郎, 佐藤清隆 (編): 『食品とガラス化・結晶化技術』, サイエンスフォーラム, 東京, 15-38 (2000)
- 9) 窯業協会 (編): 『窯業工学ハンドブック』(2 版), 技報堂出版, 東京, 41-73 (1980)
- 10) Mizuno, A., Mitsuiki, M., and Motoki, M.: Effect of Crystallinity on the Glass Transition Temperature of Starch, *J. Agric. Food Chem.*, **46**, 98 (1998)
- 11) 奈良省三: 澱粉粒の水分吸着について, 澱粉科学, **28**, 24-32 (1981)
- 12) 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会誌, **31**, 19-23 (1985)
- 13) 中沢文子, 野口 駿, 高橋淳子, 高田昌子: 米と米でんぷんの老化過程における水の状態変化のパルス NMR による追跡, 家政誌, **34**, 566-570 (1983)
- 14) 肥後温子, 島崎通夫, 中沢文子, 野口 駿: 各種糖類における結合水量のマイクロ波加熱による変化, 家政誌, **35**, 178-183 (1984)
- 15) 野口 駿: 食品中の水, *New Food Ind.*, **27** (4), 79-87 (1985)