

No.8821 小麦グルテン形成における食塩の影響

水谷 令子(鈴鹿短期大学)

研究目的

小麦粉ドウの粘弾性は比較的低分子であるグリアジンと高分子のグルテニンの相互作用により形成されるグルテンの網目構造に依るものと考えられている。これら蛋白質の凝集高分子化には塩の存在が必要とされ、製パン、製麺過程では通常NaClが添加される。本研究は、グルテン形成におけるNaClの役割について分子レベルでの知見を得るために、グルテン形成量及びグルテンの物性を反映する小麦粉ドウの粘弾性におけるNaClの影響を調べた。また、NaClの添加によるドウの変化が製パンの過程とパンの焼性にどのような影響を及ぼすかも比較検討した。

研究方法

グルテンの定量；小麦粉に種々の濃度のNaCl溶液を加え、得られた塊を数回同じ溶液を用いてもみ洗った後、遠心分離に依って余分な水分を除いたものを湿麩量とし、これを135°Cで2時間加熱したものを乾麩量としてそれぞれ重量を測定することによって定量した。グルテン形成に関与しなかった蛋白質はLowry法を用いて定量した。

ドウの物性測定；調製したドウの動的粘弾性をレオログラフゾル（東洋精機）を用いて測定した。

パンの焼性；パンは家庭用パン焼き器を用いて調製した。Loaf Volume は菜種法、パンの水分損失量は放置後の重量変化を測定して求めた。また、Loaf Volume とNaCl濃度との関係は3次元のグラフとして示した。焼き上がり後のパンの柔らかさはレオメーター（山電製）によってクリーブ試験をし、その粘弾常数から判断した。

研究結果

グルテン形成量はNaCl濃度が高くなるに従って大きくなった。一方、グルテン形成に関与しない蛋白質量はNaCl濃度が高くなるに従い少なくなった。NaClを添加すると、ドウの動的粘性と弾性は共に低下し、柔らかく、伸び易いドウが形成されることが明かとなった。NaClを添加するとイースト量が少ない場合にはLoaf Volume は小さいが、イースト量が多いとき大きくなった。このことはドウの伸展性の大きいことはガスの保持に重要であり、パン調製の過程でNaClを添加することは伸びのよい、大きなパンを作るために重要であることが解った。またNaCl添加によって柔らかく、保水性の高いパンが得られた。

考察

小麦粉タンパク質の約80%を占めるグリアジンとグルテニンはグルテン形成能を持ち、ドウの物性、小麦粉の加工特性に特に関係が深いタンパク質である。本実験におけるグルテンの定量結果は、NaClを含まない条件下では、乾麩量がNaCl存在下の約80%であった。これはグルテン中に混入していた水溶性タンパク質が蒸留水で洗浄することによってグルテンから遊離したものと考えられる。NaClの存在により明らかに湿麩量が増加したが、これはNaClの静電的な効果によるものでグリアジン分子のサブユニットの会合にイオン結合が必要であることを示している。一方、ドウの物性測定において、NaClを添加するとやわらかく、伸長しやすいドウがえられ、グルテン形成における静電的相互作用が重要であることが示された。

また、パンの焼性実験は以上のようなグルテンの性質をよく反映したものであった。

No.8821 小麦グルテン形成における食塩の影響

水谷 令子 (鈴鹿短期大学)

(1) 小麦蛋白質の凝集性における塩化ナトリウムの影響

1. 緒 言

小麦粉に水を加えて練ると、小麦粉中のタンパク質は相互作用して、特異的な粘弾性を持つ小麦粉生地ドウが形成される。ドウを水中で捏ねて澱粉と水溶性成分を洗い出すと、グルテンが弾力性と粘着性を持つゴム状の固まりとして得られる。グルテンの形成には小麦粉タンパク質の主要成分であるグリアジンとグルテニンが関与している。グリアジンは1本のポリペプチドから成る比較的分子量(約5万)のタンパク質で、70%アルコール可溶性である。一方、グルテニンは多数のサブユニットがS-S結合した高分子量(約50万)のタンパク質で、水に不溶性である¹⁾。小麦粉ドウの持つ粘弾性は、これら2種のタンパク質の相互作用により形成されるグルテンの網目構造によるものと考えられている。このタンパク質の凝集高分子化には塩の存在が必要であると考えられており²⁾、一般に、製パン・製麺過程でNaClが添加されている。

本研究では、グルテン形成におけるNaClの役割について分子レベルでの知見を得るため、グルテン形成量およびグルテンの物性を反映する小麦粉ドウの物性におけるNaClの影響を調べた。

2. 実験材料および実験方法

材料と使用器具

小麦粉は昭和産業株式会社製のパン用ブレンド小麦粉「ネオン」(10℃の冷蔵庫に保存)、塩化ナトリウムは市販の特級試薬を用いた。BSA(牛血清アルブミン)はSigma社製Fraction Vを用いた。試薬調製および実験において使用する水はすべて蒸留水を用いた。タンパク質の比色定量には日本分光株式会社製Ubest-30型分光光度計、ドウの調製には三洋電機株式会社製家庭用パン焼き器(SPM-B2)、ドウの粘弾性測定には東洋精機株式会社製レオグラフ、ゾル、653型を用いた。

グルテンの定量

グルテンの定量には重量法を用いた。小麦粉 5 g, NaCl 溶液 15ml を均一に混合し, 室温 (28 ± 1 °C) に 15 分間静置後, 4000 回転/分で 10 分間 (室温) 遠心し, 上清と沈殿に分離した。沈殿を取り出し, 先に用いた NaCl 溶液でもみ洗いし (200ml ずつ用いて 3 回繰り返した), 澱粉を除去すると, グルテンはガム状の固まりとして得られた。グルテンを再度遠心して余分な水分を除去し, 得られた湿麩の重量を秤量した。次にこれを電気炉に入れ, 135°C で 2 時間加熱したものを乾麩とし, その重量を秤量した。小麦粉に対する重量% をそれぞれ湿麩量, 乾麩量とした。

タンパク質損失量の測定

グルテン形成に関与しなかったタンパク質量を初回の遠心操作で得られた上清のタンパク質量を行うことによって求めた。また, 3 回の澱粉除去操作中に溶出するタンパク質についても, それぞれの洗液中のタンパク質量を定量することによって求めた。定量にはいずれも Lowry 法³⁾を用いた。検量線は BSA を標準物質とし, 最小二乗法を行い, 作製した。

ドウの物性測定

ドウの粘弾性を動的測定法によって測定した。動的測定法は, 試料に振動を与え, その応答を観察するものである。本実験で用いた装置はゾル状の試料に正弦的な微小変形 (ズリ歪) を与え, その応答として応力を調べる装置である。試料の弾性的成分と粘性的成分の大きさは分けて測定することができる。測定に用いたドウは, 小麦粉 150g, 蒸留水 100ml をパン焼き器に入れて捏ね (28分) の操作のみ行い調製した。これを直ちに器具から取り出し試料セルにつめ, 粘弾性の変化を 1 時間観察, 測定した。NaCl 濃度は 0 % と 2 % で行った。温度調節器で 30.0°C に保ちながら, 測定を行った。

3. 結 果

グルテン形成量における NaCl の影響

グルテン形成量における NaCl の影響を調べた結果を表 1 に示す。蒸留水 (0 M NaCl) で小麦粉を練ると, 湿麩量, 乾麩量は, それぞれ 26 %, 10 % となった。NaCl 濃度が高くなるに従い, 両者共に増加し, 0.10 M NaCl の条件下においては, 湿麩量, 乾麩量はそれぞれ 34 %, 13 % となり, 上限に達した。このことより, NaCl が存在すると, グルテンの形成が促進されることが, 明らかとなった。NaCl の存在しない条件下で得た湿麩は, もろく, くずれ易かった。それを加熱過程を経て得た乾麩は, 大きく膨らむことなく, 比較的小さな固まりとなった。NaCl 存

表1 グルテン形成量におけるNaCl濃度の影響

NaCl濃度 (M)	湿麩量 (%)	乾麩量 (%)
0	26.06±1.16	10.16±0.41
0.01	31.51±0.86	11.38±0.37
0.05	33.83±1.39	12.37±0.56
0.10	33.99±1.93	12.76±1.13
0.15	33.57±0.54	12.75±0.65
0.20	34.10±0.64	12.83±0.29
0.25	34.38±1.03	12.60±0.49

平均±標準偏差 (n=8)

在下で得た湿麩は粘弾性に富み、加熱により大きく膨らんだ。この傾向はNaCl濃度の低い0.01M NaCl存在下においても観察できた。

タンパク質損失量

同量の小麦粉から得られるグルテン量が条件によって増減するという事は、グルテンの定量操作中に、タンパク質が失われていることになる。そこで、どの段階で、どの程度のタンパク質が失われるか測定した。結果を表2に示す。初回の遠心上清には、グルテン形成に関与しなかったタンパク質が検出できるはずである(A)。また、澱粉除去処理中に溶出するタンパク質は、手もみ作業に使用した600ml (200ml×3回)の洗液中に検出できるはずである(B)。NaCl濃度が高くなるに従い、Aの値は大きくなった。しかし、Bの値は逆に小さくなった。またBにおいては、1回目の操作で損失量が大きく、2回目以降の操作については、0Mと0.01M NaClで多少検出できただけで、他の条件下では、検出できなかった。

表2 各操作に於けるタンパク質損失量

NaCl濃度 (M)		0	0.01	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
A		(mg/5g小麦粉)						
		95.0	98.7	104.0	110.9	110.4	122.5	125.7
B		76.4	31.6	20.0	28.8	28.0	24.8	24.0
作業回数	1st	62.4	26.0	20.0	28.8	28.0	24.8	24.0
	2nd	14.0	5.6	0	0	0	0	0
	3rd	0	0	0	0	0	0	0
損失総量 A+B		171.4	130.3	124.0	139.7	138.4	147.3	149.7

A:遠心操作によるタンパク質損失量

B:でんぷん除去操作(手もみ作業)によるタンパク質損失量

3回操作の合計値を示す

ドウの物性

小麦粉ドウの物性に、NaClがどのような影響をあたえるかについて調べた結果を図1に示

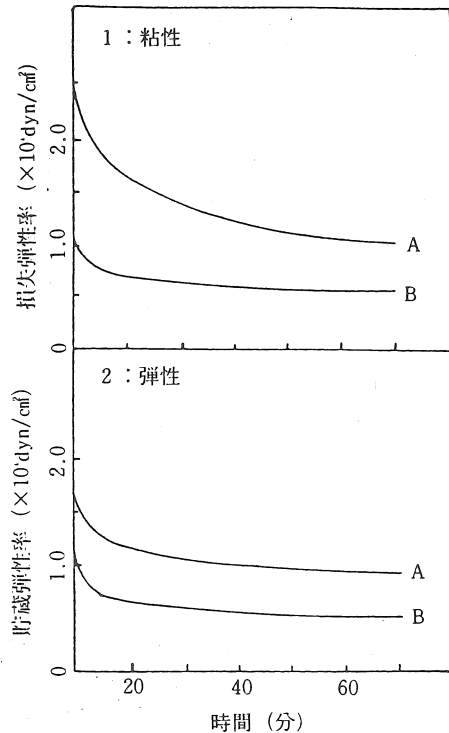


図1 ドウの粘弾性における NaCl の影響
A : NaCl 0% B : NaCl 2%

す。図中の A, B はそれぞれ NaCl 無添加, NaCl 添加 (小麦粉に対して 2%) のドウを示している。縦軸は、力の大きさを表している。NaCl 添加により粘性, 弾性が低下し、粘性は、NaCl 無添加のドウの 44~50%, 弾性は 55~60% となった。NaCl 無添加のドウは、測定開始後、粘性, 弾性共、徐々に減少し、60 分後には、約 2 分の 1 の値になった。NaCl 無添加のドウも同様であった。以上のことより、NaCl を添加すると、ドウの粘性, 弾性は共に低下し、やわらかく、伸び易いドウが形成されることが明らかとなった。

4. 考 察

小麦粉タンパク質は、その溶解性の差に基づき、アルブミン、グロブリン、グリアジン、グルテニンおよび不溶性タンパク質に分類されている⁴⁾。グリアジンとグルテニンは小麦粉全タンパク質の約 80% を占め、グルテン形成能を持ち、ドウの物性、小麦粉の加工特性に特に関係の深いタンパク質である。このグルテン形成には塩の存在が必要であると考えられている。一般に、小麦粉には 100g 中約 0.4~0.5g の灰分が含まれている⁵⁾ ので、小麦粉を蒸留水で練ると、グルテンが形成される。しかし、本実験におけるグルテンの定量結果は、NaCl を含まない条件下では、乾麩量が NaCl 存在下の値の約 80% であった。これは表 2 の結果より澱粉除去操作

中におけるタンパク質の溶出が原因であることが明らかとなった。グルテン中には、普通グリアジン、グルテニンの他に水溶性タンパク質であるアルブミン、グロブリンが混入している⁴⁾。グルテン内部あるいは表面に結合していたアルブミン、グロブリンが、蒸留水で洗浄することによって、グルテンから遊離したと考えられる。また、遠心時の上清に残存するタンパク質は、おそらくアルブミンであろう。NaCl濃度の増加に伴い増加した上清残存タンパク質は塩溶性タンパク質であり、混合、静置中にグルテンから遊離したと考えられる。しかし、遊離したタンパク質が、果たしてアルブミン、グロブリンであるかどうかということについては、タンパク質の電気泳動やカラムクロマトグラフィーを行い、確認する必要があるであろう。ところで、NaClの存在により明らかに湿麩量が増加した。すなわち、グルテンの形成にNaClが関与していたことになる。NaClはイオン結合物質であるから、 Na^+ あるいは Cl^- の静電的効果がグルテンの形成に影響を及ぼしていると考えられる。グリアジン分子は、アミノ酸組成の研究から、非解離性アミノ酸や非極性側鎖を多く含むことが知られており、その会合、解離には、サブユニット表面の水素結合、疎水結合が重要であることが示されている^{6,7)}。しかし、これらの結合が有効に作用するには、サブユニットが十分に接近する必要があると考えられている。pHを変化させた状態でNaClを添加したところ、グリアジンの会合、解離が促進したという報告があるが、これはタンパク質分子表面の電荷を Na^+ あるいは Cl^- がマスクして、タンパク質分子間の反発力を弱めるためであると説明されている^{6,7)}。すなわち、サブユニット分子の会合、解離には、水素結合、疎水結合を補助する形でイオン結合が必要であることになる。グルテニンの会合、解離は、S-S結合が関与しているが、上記の非共有結合の重要性はグルテニンのアミノ酸組成がグリアジンと同様、非解離性アミノ酸や非極性アミノ酸を多く含むことから示唆される。本実験の結果はグルテン形成におけるNaClの静電的効果を示しており、イオン結合の重要性が明らかとなった。その機構を解明するために、塩の種類や小麦粉の品種を変えてタンパク質化学的な実験をさらに続けていきたいと考えている。

小麦粉ドウの粘弾性を測定した結果、NaCl存在下では、やわらかくて、伸長し易いドウが得られた。この結果は、NaCl添加時の湿麩の形状、性質と一致する。すなわち、グルテンの物性がドウの物性に反映されていることになる。ドウの物性をタンパク質の構造から説明したモデルが提出されているのでその代表的なものを示すことにする⁴⁾。図2は、グルテンがS-S結合によって架橋し、網目構造を形成しているモデルである。S-S結合による架橋が弾性に関与し、SH-SS交換反応による架橋の組み替え速度が粘性に関与していると考えている。図3は、グリアジン、グルテニンが非共有結合で結合して網目構造を形成しているモデルである。グリアジンは比較的小さな球状タンパク質であり、その分子間結合力は弱いので、粘性に富むかたまりとなる。グルテニンは高分子量タンパク質であり、分子間結合が強いため、弾性をもつかたまりとなる。この二者が混合してできるグルテンは、適度な粘弾性をもつようになる。本実験では、S-S結合に関与する試薬を全く使用しなかったにもかかわらず、NaClの有無だけで、明らかにドウの粘弾性が変化した。このことから、グルテンのモデルとしては後者を支

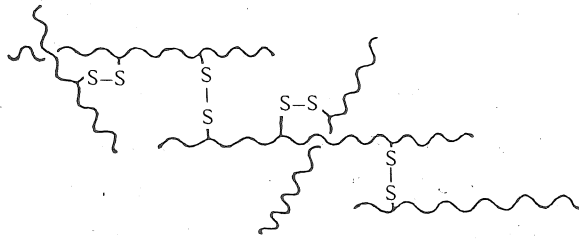


図2 S-S結合で架橋したグルテンのモデル

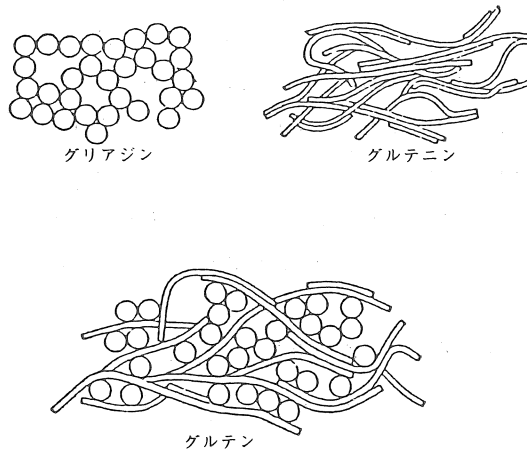


図3 非共有結合を持つグルテンのモデル

持する結果となった。しかし、脂質や糖類の関与するドウのモデルや、グルテン中の水の存在状態により、ドウの物性が決まると推論するモデルもある。これらのことは、グルテンの構造、物性が単なるグリアジン、グルテニンのタンパク質会合だけでは説明できない、極めて複雑なものであることを示している。

我々は、本実験の結果をもとにして、グルテン形成に関する分子レベルでの基礎的研究をさらに続けていきたいと考えている。

最後に、本実験を行うにあたり、有益な御助言をしていただきました、名古屋大学農学部食品第二研究室の早川茂博士に感謝致します。また、ドウの物性測定をさせていただきました、三重大学生物資源学部水産食品化学研究室の丹羽栄二博士始め研究室の皆様へ感謝致します。

参考文献

- 1) 並木満男ら共編, 現代の食品化学, p.210 三共出版 (1985)
- 2) Preston, K. R., *Cereal Chem.*, 58, 317 (1981)
- 3) Lowry, O. H., Rowebrough, N. J., Farr, A. L. and Randall, R. J., *J. Biol. Chem.*, 193, 265 (1951)
- 4) 山内文男編著, 食品タンパク質の科学, p.71 食品資材研究会 (1983)

- 5) 科学技術庁資源調査会編, 四訂 日本食品標準成分表, p.40 (1982)
- 6) Kasarda, D. D., Bernardin, E. and Nimmo, C. C., Advances in Cereal Sci. and Tech., ed. by Pomeranz, Y., Amer. Ass. of Cereal Chem. Inc., St. Paul, p.275 (1976)
- 7) Bernardin, J. W., Proceedings of the 10th National Conference on Wheat Utilization Research, Arizona, p.101 (1977)

(2) 小麦粉の製パン性における食塩の影響

1. 緒 言

小麦粉はパン、菓子、麺などの原料として家庭調理用として、あるいは食品工業用として広く利用されている。これら小麦粉を原料として食品を加工する場合には小麦タンパク質特有の性質を利用しているものが多い。小麦粉から調製するパンの焼性、特にルーフボリュームはグルテンタンパク質の質的、量的性質に多く依存している¹⁾。従来から良質のパンを調製するためには小麦粉に食塩を添加することが必須とされ、一般的には、小麦粉の2%程度の食塩を加えている。これは、食塩添加によってパン生地(ドウ)の伸展性が増し、かつ生地の安定性が高まるためといわれている²⁾³⁾。パンの品質は比容積が大きく、小さく均一な気泡が分散しているものがよいとされている³⁾。従ってパン生地が酵母の生成する炭酸ガスをその組織中に多く保持することが出来る場合によく膨れたパンが出来ると考えられる。食塩の添加はおそらく小麦グルテンの網目構造形成のためになんらかの役割をしていると考えられるが現在その機構についての知見はほとんどない。

本研究では、グルテン形成における食塩の影響を調べるための基礎的な実験を行った。ドウの膨化、パンの焼性、パンからの水分損失量、およびパンの物性を測定してそれぞれに対する食塩添加の影響を調べた。

2. 実験材料および実験方法

材料と使用器具

小麦粉は昭和産業株式会社製のパン用ブレンド小麦粉「ネオン」、砂糖は市販上白糖、ドライイーストは東洋醸造販売の「フェミルパン」、スキムミルクとショートニングは市販品(雪印株式会社)、食塩は試薬1級の市販品(和光純薬株式会社)を用いた。小麦粉は10℃の冷蔵庫中に、ドライイーストは-20℃の冷凍庫に保存した。

パンおよびドウの調製には家庭用パン焼き器(サンヨーホームベーカリー;SPM-B2)を使用した。

パンの調製

1回のパンの調製には小麦粉250g,砂糖10g,スキムミルク6g,ショートニング15g,水は蒸留水180mlを使用した。ドライイーストは通常は小麦粉の重量に対して0.5%を用いたが実験によってはその量を変えた。

ルーフボリュームおよび水分損失量の測定

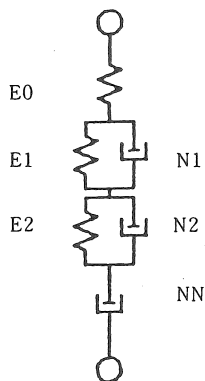
詳細な方法は前報に示した⁴⁾すなわち,焼き上がりのパンの容積はパン調製後24時間経過した後菜種法を用いて測定し,老化速度は表面積がほぼ等しいパンをデシケーター中に保存して,経時的に水分損失量を測定した。水分損失量は,はじめのパンの重量に対するデシケーター中で保存している間に減少した重量を%で示した。

発酵ドウの膨化測定

小麦粉150g,砂糖6g,ドライイースト1g,蒸留水100mlをパン焼き器に入れてこね(28分)の操作のみ行いドウを調製した。これを直ちに器具から取り出して,正確に50gずつ口径3.7cmの200ml容メスシリンダーに入れ,27±1℃に保ちながら膨張したドウの容積をメスシリンダーの目盛りから読みとった。

パンの物性測定

パンの柔らかさはパンを調製した後約24時間経過したものをを用いてクリープ(歪緩和)試験を行った。測定に用いたパンは食塩無添加(ルーフボリューム,1596ml;A),食塩2%添加(ルーフボリューム,1494ml;B)である。クリープ試験は試料に一定荷重を加えたときの変形距離を経時的に測定するものである。本実験に用いたクリープメーターはバネとダシュポットを第1図のように接続した力学模型からなっている。バネ部分では弾性を,ダシュポット部分では粘性を,バネとダシュポットを並列に接続した部分では粘弾性を測定することが出来る。パンの中心部から2.5×2.5×2.5cmを注意深く切り取って測定用の試料とした。調製した試料は水を入れて相対湿度を100%としたデシケーター内に保持し,測定前の乾燥を防いだ。この方法によって再現性のある測定値を得ることが出来た。測定にはクリープメーター(RE-3305,山電製,東京)を用い,荷重は5g/表面積cm²とした。プランジャーは円板型(直径55mm,厚さ8mm)のものを使用した。荷重保持時間は5分間である。データ解析はコンピューターソフト(山電,クリープ測定用)を用いて行った。実験は室温(27±1℃)で行った。

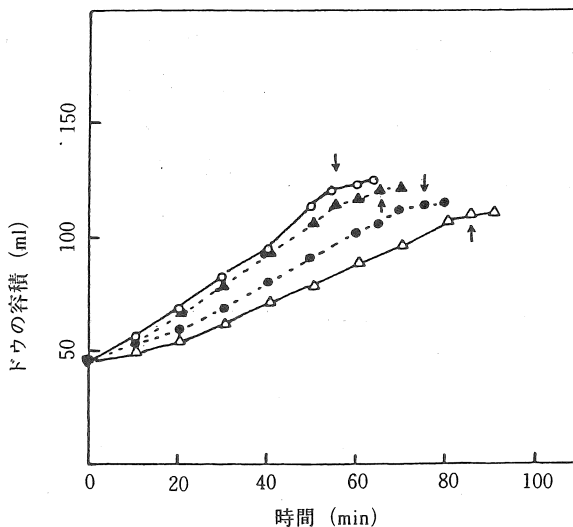


第1図 クリープメーターの力学モデル
弾性, 粘性および粘弾性測定のための6要素模型

3. 結果および検討

発酵ドウの膨化

発酵過程のドウの容積変化は第2図に示した。食塩を加えないで調製したドウは時間経過に



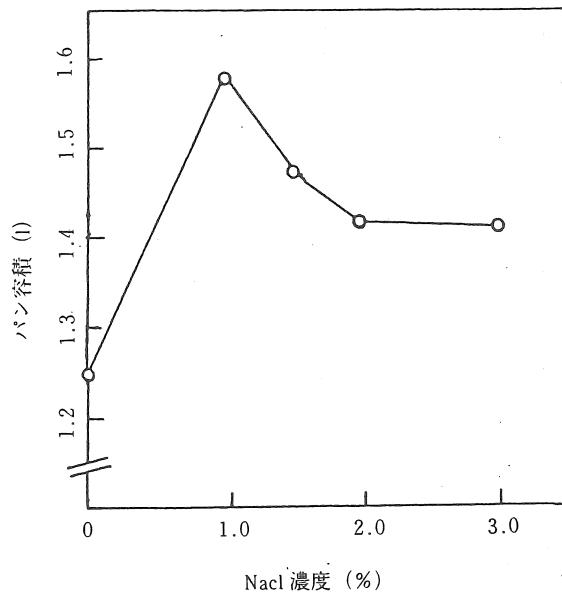
第2図 ドウの膨化における食塩濃度の影響
ドウ50gを用いて $27 \pm 1^\circ\text{C}$ にて測定した。↑はドウの破壊点を示した。食塩濃度は小麦粉に対して0% (—○—), 1% (—▲—), 2% (—●—), 3% (—△—)とした。

したがって直線的に膨張したが、ついには大きな泡状の膨らみを生じ、それ以上時間が経過してもわずかしか膨張しなかった。膨張が一次関数的でなくなったところをドウの破壊点(図中に↑で示した)とした。食塩無添加ドウの破壊点は55分で、ドウははじめの容積の約2.9倍となった。食塩を添加すると膨張は抑えられ、また破壊点までの時間は長くなった。食塩量が多くな

るに従ってこのことは著しかった。食塩添加によってドウの膨化が抑制されたのは、グルテンによって作られたドウの網目構造が強靱であることを示していると考えられる。一方、食塩が添加されない場合にはドウの網目構造が弱く、弾性が弱いので、ガス量が少ない場合(測定初期)においてはよく膨化するけれどもガス圧が大きくなると生成した炭酸ガスの気泡を内部に保持しきれなくなつてついに破壊点に至つたものと考えられる。

パンの膨化

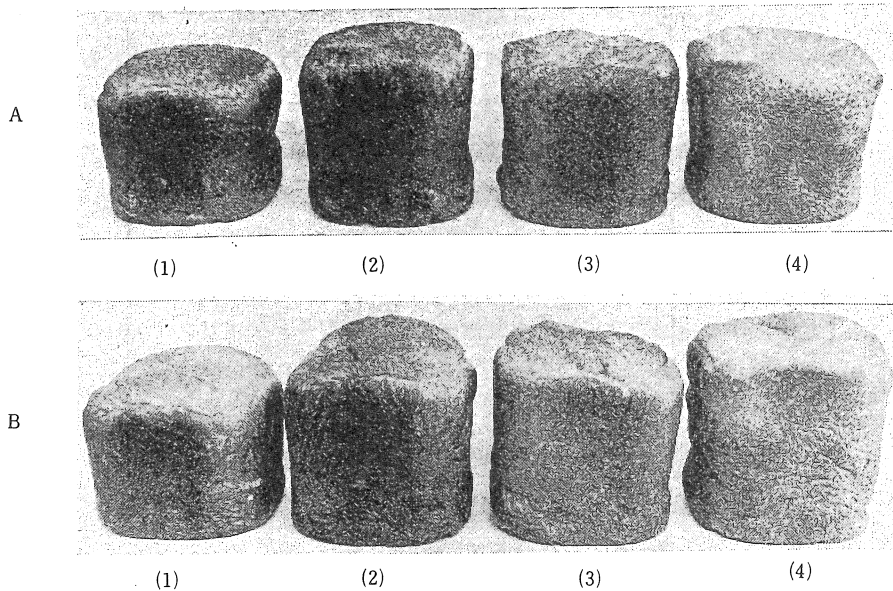
パンを焼き上がり後24時間経過した後測定した容積(ルフボリュウム)における食塩添加の影響を第3図に示した。



第3図 パンの焼き上がり容積における食塩の影響
パンの配合は実験方法に示し、パンの容積は菜種法によって測定した。

食塩を加えない場合、パンの容積は小さく、食塩を小麦粉の1%加えた場合にはその容積は著しく増大した。食塩添加量が増加するとパンの容積はその量に応じて減少した。パンの調製過程を観察していると食塩無添加では一旦大きく膨れるが焼き上がるまでに陥没していった。イースト量を変えて調製したパンの食塩添加、食塩無添加の場合のルフボリュウムを測定しその結果を第1表および第4図に示した。

イースト量が0.5%の場合には食塩無添加の方が容積は大きくなった。しかし、イースト量が1%以上になると食塩添加群の方がパン容積は大きい。第4図に見るように食塩無添加群では中心部が陥没し一旦膨化したものがガス圧に耐えきれずドウが破壊したことを示している。



第4図 パンの出来上がりにおけるイースト量の影響
 A ; 食塩無添加, B ; 食塩添加
 イースト量 (小麦粉に対する%)
 (1)0.5% (2)0.75% (3)1.0% (4)1.25%

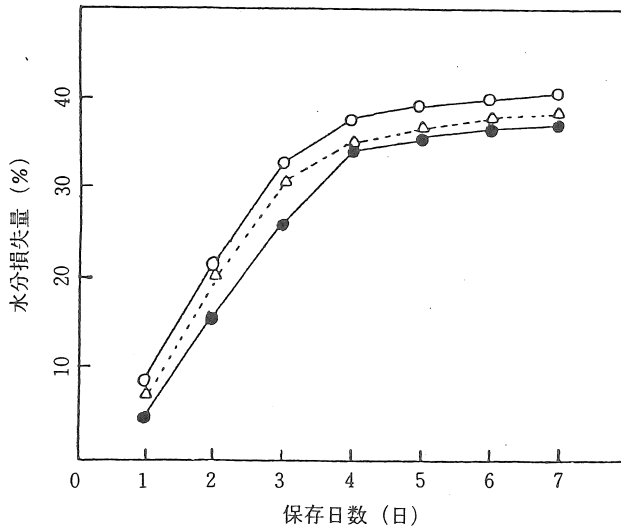
第1表 パンの焼き上がり容積とイースト量との関係

イースト量 (%)		0.5	0.75	1.0	1.25
		(1)*	(2)	(3)	(4)
食塩	無添加(A)*	1,403	1,598	1,412	1,380
	添加(B)	1,310	1,581	1,559	1,634

(ml)
 食塩は小麦粉重量の2%を加えた。
 パン調製のための材料配合は実験方法の項に示した。
 *第4図の符号と対応している。

パンの水分損失量

パンの老化は水分が失われることが大きな要因であると考えられるので表面積をほとんど同じにした試料から失われる水分を経時的に測定した。その結果を第2表、第5図に示した。パンの水分は4日までにほとんど損失しそれ以降の変化は少なかった。食塩を添加すると水分の損失は抑えられた。また、食塩濃度が大きいほど損失量は少なかった。保存日数が短いほど食塩添加の影響は大きい傾向にあるが、試料間に差が出来るため検定を行った。その結果では有意差はなかった。



第5図 パンの水分損失量
 製パン時の食塩添加量；0% (—○—)
 1.5% (—△—)
 3% (—●—)

第2表 パンの水分損失量における食塩の影響

保存期間(日)	食塩濃度				
	0	1	1.5	2	3
1	8.6±1.9 ^a	7.4±1.1	7.4±1.7	6.5±0.4	5.6±2.7
2	21.8±1.8	19.8±2.3	21.0±1.8	19.4±1.0	15.9±2.7 ^b
3	33.2±2.3	30.2±0.4	31.0±1.6	30.3±1.4	26.6±3.0 ^b
4	37.9±0.7	35.4±0.6 ^b	35.6±0.2 ^b	34.8±2.1	35.4±0.4 ^b
5	39.8±0.3	37.3±0.2 ^b	37.5±0.7 ^b	38.0±0.3 ^b	36.6±0.5 ^b
6	40.3±0.5	38.0±0.3 ^b	38.1±0.9 ^b	38.6±0.3 ^b	37.1±0.3 ^b
7	40.7±0.6	38.6±0.2 ^b	38.5±1.0 ^b	38.9±0.4 ^b	37.5±0.3 ^b

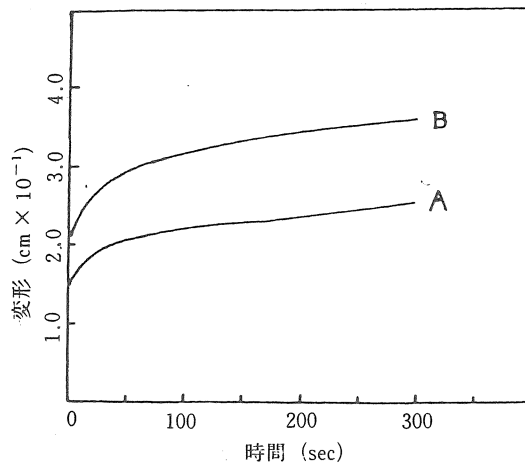
a ; 平均±標準偏差 (n = 4)

b ; p < 0.025

パンのクリープ測定

パンの柔らかさを調べるためにパンのクリープ試験を行いその結果を第6図、第3表に示した。

試料表面積 1 cm² に対して 5 g 荷重したときの変形量は食塩添加パン(B)の方が大きく (第6図) 食塩添加によって柔らかいパンが出来ることを示している。この結果は官能的な観察とも一致した。その内容を見ると、応力には食塩添加の影響はみられなかったが、弾性部分を比較してみると食塩添加は無添加より小さい値を示した。特に遅延弾性は食塩無添加は食塩添加の約2倍であった (第3表)。粘性部分においてもこのことは同様であった。すなわち、パン調製時に食塩を添加するとパンの粘弾性が高まるといえる。



第6図 パンのクリープ解析図
A ; 食塩無添加, B ; 食塩 2 %

第3表 パンのクリープ解析

			食塩	
			無添加	添加
			(dyn/cm ²)	
応力			4.9000×10 ³	4.9000×10 ³
弾性・ 部分	瞬間	★E ₀	8.8779×10 ⁴	7.1730×10 ⁴
	遅延	E ₁	3.1608×10 ⁵	1.6464×10 ⁵
	遅延	E ₂	3.1225×10 ⁵	1.9696×10 ⁵
			(poise)	
粘性・ 部分	定常	NN	9.6280×10 ⁷	6.7753×10 ⁷
	遅延	N ₁	1.3455×10 ⁷	7.3669×10 ⁶
	遅延	N ₂	1.3531×10 ⁶	8.7323×10 ⁵

各試料について4回測定しその平均値を示した。
★第1図のクリープメーター模型の各要素の符号と対応する。

4. 考 察

小麦グルテンの形成における食塩の影響を調べる目的で調理科学的な実験を行った。パンを調製する前段階である発酵ドウの膨化は食塩添加によって抑えられた。しかしドウの破壊点に至るまでの時間は食塩添加量が増加するにしたがって長くなった。このことは食塩無添加ドウはガス圧に対する強度が小さいことを示している。松本はドウの破壊点での膨化が大きいほどパンのルーフボリュームは大きいといっている⁵⁾。しかし本実験の場合にはドウの膨化とパンのルーフボリュームとの関係は発酵時間やイースト量などによって異なった結果を示した。実際にパンを焼いてみると第3図で示した実験では食塩添加はパンのボリュームを大きくしたが第4図に示したイースト量が0.5%の場合には食塩無添加でむしろ大きくなった。このように実

験条件が厳密にコントロールされない場合、特に温度の制御が厳密でない場合の解釈は難しい。しかし第1表に示した結果から判断すればガス圧にたいするドウの強さやドウの伸展性は食塩添加によって高まることは明かである。

食塩を添加して調製したパンはしっとりしており、柔らかで、しばらく放置しても硬くならない。このことはパンの柔らかさが食塩によって増すとともにパンの老化も食塩添加によって抑えられることを示している。経時的なパンからの水分損失量は食塩添加によって抑えられた。この現象はロウによっても示されている⁶⁾がその機作は明かでない。今後検討が必要である。

パンのクリープ解析によって求めた粘性および弾性は食塩を添加した場合に小さくなった。特に遅延部分に於てその違いは明かであり、食塩添加はパンの粘弾性を高めることに効果があった。すなわち物性測定の結果からも食塩はパンを柔らかにすることが解った。

小麦タンパク質のグルテニンとグリアジンが凝集して高分子のグルテンを形成するためには食塩の存在が必要であり、⁷⁾⁸⁾パンの焼性にはグルテン形成量とその性質、特にドウの伸展性が大きく影響するといわれる。¹⁾⁹⁾本研究においても食塩がグルテン形成に大きく関与し、さらにパン焼性に影響を及ぼすことが示された。今後グルテンの形成における食塩の役割については分子レベルの実験によって検討をしていく予定である。

本研究をするにあたって名古屋大学農学部早川茂博士に貴重な助言を頂いた。また、パンの物性測定には名古屋大学農学部食品工業化学第2講座のクリープメーターを使用させて頂いた。記して感謝致します。

参考文献

- 1) Aitken, T. R. and Geddes, W. F., *Cereal Chem.*, 15, 181 (1938)
- 2) Tanaka, K., Furukawa, K. and Matsumoto, H., *Cereal Chem.*, 44, 675 (1967)
- 3) 井川憲明, 手ざわり舌ざわりの科学, p.154, 講談社 (1987)
- 4) 岩崎ひろ子, 岡野節子, 水谷令子, 鈴鹿短期大学紀要, 第8巻 102 (1988)
- 5) 松本博, 調理科学, 3, 38 (1970)
- 6) Lowe, B., ロウの調理実験 (日本語版) P.502, 柴田書店 (1964)
- 7) Preston, K. R., *Cereal Chem.*, 58, 317 (1981)
- 8) 早川茂ら, 未発表
- 9) Orth, R. A. and Bushuk, W., *Cereal Chem.*, 49, 268 (1972)