製パンにおける食塩の影響

岡 野 節 子, 水 谷 令 子

鈴鹿短期大学

Effects of Sodium Chloride on Baking

Setsuko Okano and Reiko Mizutani

Suzuka Junior College

We studied preparation of salt-free or low salt bread in order to decrease the salt intake from bread. A variety of bread of various salt levels were baked, their baking and physical properties were estimated and the following results were obtained.

1) The specific volume of bread slightly increased according to the amount of salt added to the dough and texture of bread containing above 0.5% salt were finer than those of salt-free bread. The physical properties of texture were little affected by salt, suggesting satisfactory bread may be baked without salt addition.

2) When the freeze-bake method was used, the effect of salt on bread was quite different. Although salt-free bread made from frozen dough which had been stored for two weeks at -20°C was almost the same as bread containing salt as far as the specific volume and appearance are concerned, its physical properties were affected by salt. The texture was softer and restoration to the original volume after pressure was applied was better in the salt containing bread. The salt-free bread was easily broken during the shearing test.

For the freeze-bake method, 0.5% salt content obtained adequate quality bread.

Jpn. J. Nutr., **53** (6) 377~384 (1995)

緒 言

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¹⁾、一般的には小麦粉の2%程度の食塩を添加して生地を調製する。その理由は、食塩を添加することによってグルテンを引き締め、ガスの保持力を増し、発酵過程での生地中の雑菌の繁殖を防ぐためとされている²⁾。生地調製時に食塩を添加しないと生地のつながりが弱く、ガス保持力が劣り、成形工程で生地のゆるみとべたつきが著しくなり、ホイロ時間は短く、カマ伸びが悪く、更に焼き上がり製品の焼き色は悪くなるといわれ^{3,4)}、筆者らの実験においても同様のことが確かめられている⁵⁾。

グルテン形成における食塩の関与は Na^+ あるいは Cl^- の静電的効果によるといわれており、たんぱく質分子表面の電荷が中和されることによってたんぱく質分子間の反発力が弱まるので、グルテンの形成が良好になると考えられている^{6,7)}。

さて、平成4年度の国民栄養調査の結果⁸⁾によると、1人1日当たりのパン摂取量は39.4gで、パンからの食塩摂取量は0.5gとなっている。平均的なパンからの食塩摂取量はわずかであるが、3食のうち1食はパン食

Key words : physical property, salt-free bread, freeze-bake method, baking property

パンの物性, 無塩パン, 冷凍製パン法, パンの焼性

であるという現実から、食塩摂取量を低減する1つの方法として無塩あるいは低塩のパンの摂取が考えられる。筆者らはこれまでパン調製過程、あるいはパンの品質評価について研究してきた⁹⁾。そこで、無塩あるいは低塩パンを調製するための基礎的な研究、すなわち食塩がパンの焼性や品質に及ぼす影響について実験した。また、消費者の焼きたてパンの要求を満たすことと、パン製造工程の合理化の目的で行われている冷凍製パン法についても同様の検討を行った。

実験材料と方法

1. 実験材料と使用器具

小麦粉は日清製粉製の強力粉“カメラヤ”，砂糖は市販上白糖，ショートニングとスキムミルクは雪印乳業製の市販品，酵母は冷凍生地にはオリエンタル酵母工業製の圧搾酵母FD-1（菌株名：Saccharomyces cerevisiae），非冷凍生地には，S. I. Lesaffre社（フランス）製の乾燥酵母を用いた。食塩は市販品，水は蒸留水を用いた。

物性測定用のパンの切断には，超音波サンプルカッター（株式会社電製，UCC-3305型）を使用し，圧縮試験はレオメーター（不動工業製，NRM-2002J型）を用いて測定し，測定結果はレオプロッター（理化電機工業製，FR-801型）で解析を行った。破断試験とクリープ試験はレオナー（株式会社電製，RE-3305型）を用いて測定し，測定結果は自動解析装置（CA-3305型）で解析した。

2. 実験方法

(1) 非冷凍生地パンの調製

パン生地の材料配合は表1に併記した。生地の調製はパン生地用ミキサー（カントーミキサー，CS-20型）にショートニング以外の材料を入れて，7分間攪拌後，ショートニングを添加し，更に8分間混捏を行った。混捏後生地を取り出し，30℃の恒温器内に30分間保持することによって第一発酵を行った。これをガス抜きした後，分割，ローリングした。ベンチタイムを室温で15分間とった後，250gずつに分割して，成形し，これを2個ずつ食パン型（22cm×11cm×12cm）に入れた。第二発酵はホイロ（温度 40℃，湿度 85％）を使用した。一定の高さ（生地の最上部が焼き型上端から2 cm下）まで生地が膨らんだことを確認後，上火 190℃，下火 200℃のガスオーブン内で25分間焼成した。

(2) 冷凍生地パンの調製

冷凍貯蔵した生地を用いてパンを調製する場合は，以下のようにした。すなわち，材料配合は表2のようにして，ミキサーボールの下に氷水を当てて非冷凍生地パンと同様に混捏した。混捏後の生地内温度は18±1℃であった。生地は混捏後，ただちに分割しビニール袋内で薄く伸ばしてから密封し，－60℃の超低温フリーザー中で急速冷凍

表 1 非冷凍生地パンの比容積への食塩添加の影響 (n=6)

	食塩 0 %	食塩 0.5 %	食塩 2 %
比 容 積	4.80±0.13	4.79±0.15	4.96±0.15
材 料 配 合 (小麦粉に対する%)	砂糖 5 %，スキムミルク 2 %，ショート ニング 5 %，乾燥酵母 2 %，水 65 %		

注) 比容積はM±SD。

表 2 冷凍生地パンの比容積への食塩添加の影響 (n=6)

	食塩 0 %	食塩 0.5 %	食塩 2 %
比容積	4.18±0.10	4.23±0.10	4.30±0.10
材料配合 (小麦粉に対する%)	砂糖 6 %，スキムミルク 2 %，ショート ニング 6 %，耐冷凍用圧搾酵母 6 %，水 60 %		

注) 比容積はM±SD。

した。これを1時間後に冷凍庫内（-20℃）に移し、2週間貯蔵した。凍結している生地を冷蔵庫内（5℃）で16時間（前日の17時から当日9時まで）かけて解凍した。生地内温度を室内で13℃まで上昇させたところを解凍の終了とし、非冷凍生地の場合と同じ要領でローリング、成型、焼成してパンを調製した。

図1 くさび型のプランジャー

図2 弾性、粘性測定のための4要素力学モデル

(3) 比容積の算出

パン焼成後室温で1時間放冷した後、菜種を用いた容積置換法によりパンの容積を測定し、比容積（パン容積/パン重量）を求めた。

(4) パン内相の物性測定

パン焼成後、1日目と3日目にパンの内相の物性を測定した。冷凍生地パンの場合は、焼成後1日目に物性を測定した。

測定用試料は、焼成後室温まで冷ましてから密閉容器の中に保存しておいたパンの中央部から測定用試料片を切り取った。圧縮試験及びクリープ試験用の切片は2cm×2cm×2cm、破断試験用は2cm×2cm×4cmとした。試料片は切り取ってから水分が飽和に達したデシケータ内に30分間保管して測定前の試料の乾燥を防いだ。

圧縮試験の測定機器はレオメーター（不動工業製、NRM-2002J型）を用いた。測定条件は荷重 200g、測定速度 2cm/分、プランジャーは圧縮測定弾性測定用円盤型（直径 3cm）、圧縮距離は5mmとした。圧縮曲線の記録及び解析はレオプロッター（理化電機工業製、FR-801型）を用い、硬さ、緩和率、緩和時間を求めた⁹⁾。

破断試験の測定機器はレオナー（株山電製、RE-3305型）を用いた。測定条件は測定速度 1mm/秒、クリアランス 2mmで行った。プランジャーは図1のようなくさび型（幅 1.5cm、長さ 3cm、高さ 2.5cm、先端幅 1mm）を用いてパンを左右に押し切る方法で破断した。破断曲線の記録及び解析は自動解析装置（株山電製、CA-3305型）を用い、破断歪み、破断応力、破断エネルギーを求めた¹⁰⁾。

クリープ試験の測定機器はレオナー（株山電製、RE-3305型）を用いた。測定条件は荷重 30g、プランジャーは円盤型（直径 3cm、厚さ 8mm）、荷重保持時間 2分間とした。クリープ曲線の記録及び解析は自動解析装置（株山電製、CA-3305型）を用い、瞬間弾性率、遅延弾性率、定常粘性率、遅延粘性率を求めた¹¹⁾。これらは、図2に示したバネとダッシュポットの4要素力学モデルに当てはめて計算されたものである。得られた結果は、食塩添加量の異なるパンの間で有意差があるかどうかを確かめるために統計処理を行った。

(5) 官能検査

試料は、非冷凍生地を用いて焼成したパンと、冷凍生地を用いて焼成したパンについて、焼成後1日目と3日目の一対比較法による官能検査を行った。食塩2%添加量のパンを標準として2種類の試料（0%あるいは0.5%）を示し、どちらが好ましいかを検査したものである。検定は片側検定¹²⁾によった。評価は皮の硬さ、内相のきめ、内相の弾性、内相の口当たりの3項目とした。パネルは本学職員 12人である。

表 3 非冷凍生地で焼成したパン内相の破断試験結果 (n=8; M±SD)

	焼成後 1 日目			焼成後 3 日目		
	食塩 0 %	食塩 0.5 %	食塩 2 %	食塩 0 %	食塩 0.5 %	食塩 2 %
破 断 歪 み (cm/cm)	0.87±0.01	0.87±0.01	0.86±0.01	0.87±0.01	0.87±0.01	0.87±0.01
破 断 応 力 (g) ×10 ⁵ N/m ²	2.23±0.31	2.10±0.60	2.13±0.49	2.85±0.39	2.67±0.43	2.73±0.87
破断エネルギー ×10 ⁴ J/m ³	2.38±0.26	2.35±0.29	2.17±0.27	3.88±0.26	3.76±0.40	3.68±0.88

結 果 と 考 察

1. 非冷凍生地パンの場合

(1) パンの比容積と内相

食塩を小麦粉に対して 0 %, 0.5 %, 2 % 添加してパンを調製し, その比容積を求めた。結果は表 1 に示した。食塩の添加量が多くなるに従って, わずかではあるが比容積は大きくなったが, 試料間で有意差はなかった。また, パン切断面 (写真 1-a) の気泡の状態をみると, 食塩 2 % 添加パンの気泡の大きさ (きめ) が最も細かく, 食塩 0 % パンではきめが粗く, 気泡の方向も一定ではなかった。すなわち, 食塩を添加することにより比容積はわずかに大きくなるだけであるが, 食塩 0 % パンよりは少量の食塩添加でもきめの細かなパンができることが分かった。

写真 1-a 非冷凍生地を用いて焼成した切断面

写真 1-b 冷凍生地を用いて焼成した切断面

(2) パンの内相の物性

焼成したパンの 1 日目と 3 日目の内相の破断試験の結果を表 3 に示した。試料間の違いを破断エネルギー値で比較すると, 食塩添加量が多くなるに従ってわずかに小さくなったが, 試料間で有意差はなかった。パン焼成後 3 日目になると, いずれの破断特性値においても 1 日目よりも大きくなった。しかし, 1 日目も 3 日目もすべての測定項目において試料間で有意差はなかった。

(3) 官能検査

非冷凍生地を用いて焼成したパンの官能検査の結果は表 4 に示した。焼成後 1 日目では, どの評価項目においても有意差は認められなかった。焼成 3 日目になると, パン内相の口当たりについて食塩 0 % パンは食塩 2 % 添加パンに対し 1 % 水準で有意差が認められたが, このことは食塩の味が大きく影響しているのではないかと考えられる。しかし, 他の評価項目については有意差は認められなかった。

表 4 非冷凍生地を用いて調製したパンの官能検査結果

	焼成後 1 日目				焼成後 3 日目			
	食塩 2 % : 0 %		食塩 2 % : 0.5 %		食塩 2 % : 0 %		食塩 2 % : 0.5 %	
皮 の 硬 さ	9	3 ^{NS}	5	7 ^{NS}	—	—	—	—
内 相 の き め	8	4 ^{NS}	5	7 ^{NS}	7	5 ^{NS}	5	7 ^{NS}
内相の弾力性	7	5 ^{NS}	4	8 ^{NS}	9	2 ^{NS}	7	5 ^{NS}
内相の口当たり	9	3 ^{NS}	8	4 ^{NS}	11	1 ^{**}	6	6 ^{NS}

注) 検査は食塩 2 % 添加パンとの一対比較法を用いた。表中の数字はそれぞれの検査において好ましいと評価した数で、数字が大きいほど好ましいと評価される。

** $p < 0.01$, NSは有意差なし。

表 5 冷凍生地で焼成したパン内相の破断試験結果 (n=8; M±SD)

	焼成後 1 日目			焼成後 3 日目		
	食塩 0 %	食塩 0.5 %	食塩 2 %	食塩 0 %	食塩 0.5 %	食塩 2 %
破 断 歪 み (cm/cm)	0.92±0.01	0.92±0.01	0.91±0.01	0.54±0.20 ^{*e,h}	0.92±0.01 ^{*h}	0.92±0.01 ^{*e}
破 断 応 力 (g) ×10 ⁵ N/m ²	3.88±0.69 ^{*a}	3.42±0.54 ^{*c}	2.61±0.33 ^{*a,c}	0.09±0.55 ^{*f,i}	4.30±0.73 ^{*i}	4.11±0.54 ^{*i}
破断エネルギー ×10 ⁴ J/m ³	5.56±0.50 ^{*b}	5.32±0.57 ^{*d}	4.59±0.51 ^{*b,d}	3.36±1.48 ^{*g,j}	7.08±0.95 ^{*j}	6.09±1.51 ^{*s}

^{*a~j} 同一文字間では有意差あり (* $p < 0.05$)

2. 冷凍生地パンの場合

(1) パンの比容積と内相

食塩を小麦粉に対して 0 %, 0.5 %, 2 % 添加して調製した生地を、実験方法の(2)で示した方法で冷凍貯蔵した。2 週間後に生地を解凍して焼成したパンの比容積の値を表 2 に示した。比容積においては試料間で有意差はなかったが、食塩添加量が増えるに従いわずからず大きくなる傾向があった。また、パンの切断面を観察すると (写真 1-b), 冷凍生地から調製したパンは非冷凍生地から調製したパンよりきめの状態は悪かった。

(2) パンの内相の物性

冷凍した生地から調製したパン内相の物性を測定した。破断試験の結果を表 5 に示した。焼成後 1 日目においては、破断歪みには有意差がなく、破断応力及び破断エネルギーは食塩 2 % 添加パンが最小で、食塩 0.5 % 添加パン、食塩 0 % パンの順に大きくなった。これらは食塩 2 % 添加パンに対し、5 % 水準で有意差が認められた。焼成後 3 日目になると食塩 0 % パンで破断応力、破断エネルギーは最小となり、食塩 0.5 % 添加パンが最大となった。

すべての破断特性値において、食塩 2 % 添加パンに対し食塩 0 % パンは有意差が認められた。また、食塩 0 % パンと食塩 0.5 % 添加パン、食塩 2 % 添加パンの間にも有意差が認められた。食塩 0 % パンでは組織が崩れ、試験した 3 つの破断特性値はすべて有意に小さかった (表 5)。そこで、破断試験における応力-歪み曲線をみると (図 3), 食塩 0 % パンでは破断中にパンの組織が壊れ、破断応力も小さい。すなわち、食塩 0 % パンの破断エネルギーが 3 試料中最小になったのは、パンが軟らかいのではなく、もろいことを示している。応力-歪み曲線と破断特性値を比較することによって、パンの破断時の状態を推測することができた。

次に、冷凍生地から調製したパンの焼成1日目における物性を明らかにするために、パン試料片をその厚さの25%（5 mm）圧縮する圧縮試験とクリープ試験を併せて行った。圧縮試験の結果を表6に示した。硬さと緩和率において、食塩0%パンは食塩2%添加パンとの間で有意差があった。また、硬さについては、食塩0.5%添加パンと食塩2%添加パンの間に有意差が認められた。すなわち、生地に食塩を添加するとパンは軟らかくなることが示された。

同時に測定したクリープ試験の結果を表7に示した。弾性率、粘性率は食塩添加量が多くなるに従って小さくなったが、測定値にバラツキがみられ、クリープ解析によって試料間の明らかな違いを述べることは困難であった。

(3) 官能試験

冷凍生地を用いて焼成したパンについての官能検査の結果を、表8に示した。焼成1日目では、皮の硬さについて食塩0%パンと食塩0.5%添加パンは、食塩2%添加パンに対して1%水準で有意差が認められた。焼成後3日目になると、すべての評価項目において試料間の有意差は認められなかった。

パンの内相組織は、焼成によって固定化されたグルテンとでんぷんからなる固相と、それによって囲まれた

図3 冷凍生地を用いて調製したパンの応力-歪み曲線(パン焼成後3日目)

表6 冷凍生地を用いて焼成したパン内相の圧縮試験結果

(n=8; M±SD)

	食塩0%	食塩0.5%	食塩2%
硬 さ (g)	100.78±12.55* ^a	94.13±13.39* ^c	65.33±9.86* ^{a,c}
緩 和 率 (%)	33.62±1.60* ^b	32.59±1.29	30.77±1.92* ^b
緩和時間 (秒)	6.76±0.70	6.70±0.64	6.10±0.57

^{a-c} 同一文字間で有意差あり (p<0.05)

表7 冷凍生地を用いて焼成したパンのクリープ解析結果

(n=8; M±SD)

		食塩0%	食塩0.5%	食塩2%
変形	(120秒後; cm)	1.38±0.40	1.45±0.15	2.14±1.06
弾性率 (N/m²)	瞬間E _H (×10 ⁵)	1.66±0.62	1.47±0.27	1.28±0.47
	遅延E _V (×10 ⁵)	7.69±4.06* ^a	6.62±1.41* ^d	3.71±2.52* ^{a,d}
粘性率 (N/m²)	定常η _H (×10 ⁷)	20.53±3.06* ^{b,e}	8.29±5.70* ^c	4.28±1.88* ^b
	遅延η _V (×10 ⁶)	7.22±4.40* ^c	5.79±2.10	3.02±1.87* ^c

^{a-e} 同一文字間で有意差あり (p<0.05)

表 8 冷凍生地を用いて調製したパンの官能検査結果

	焼成後 1 日目				焼成後 3 日目			
	食塩 2 % : 0 %		食塩 2 % : 0.5 %		食塩 2 % : 0 %		食塩 2 % : 0.5 %	
皮 の 硬 さ	11	1 **	10	2 **	—	—	—	—
内 相 の き め	8	4 ^{NS}	7	7 ^{NS}	8	4 ^{NS}	9	3 ^{NS}
内相の弾力性	8	4 ^{NS}	7	5 ^{NS}	9	3 ^{NS}	7	5 ^{NS}
内相の口当たり	9	3 ^{NS}	8	4 ^{NS}	7	5 ^{NS}	8	4 ^{NS}

注) 検査は食塩 2 % 添加パンとの一対比較法を用いた。表中の数字はそれぞれの検査において好ましいと評価した数で、数字が大きいほど好ましいと評価される。

** $p < 0.01$, NSは有意差なし。

空間・気相との二相系からできていて、パンの老化はこの固相における変化と考えることができる。この固相が硬くなれば、パン全体の弾力性が失われ老化することになる²⁾。食塩 0 % パンが焼成後 3 日目になると硬くなり、また測定中に崩れたのは老化現象がかなり進んでいると考えられ、食塩 0 % パンが時間の経過とともに硬くなっていく速度（老化）が速いという有本の報告¹³⁾とも一致した。

以上の実験から、生地を直捏法で調製し、ただちに焼成する場合には、パン容積、硬さ、老化速度における食塩添加の影響はほとんどみられず、食塩 0 % パンで内相のきめの粗さが観察されたにすぎなかった。一方、冷凍生地からパンを調製した場合には、食塩添加でパン容積には差がほとんどみられなかったが、軟らかさ、弾力性、老化速度において食塩添加の効果は著しかった。しかし、食塩 0.5 % 添加と 2 % 添加では、その差は大きくなかった。従って、冷凍製パン法においても、パン調製時に通常の食塩添加量である 1.5 ~ 2 % を減らすことも可能であり、このことによって食塩摂取量の低減化も期待できるものと考えられる。今後、材料配合を変化させたり、乳化物質の添加等によって、無塩あるいは低塩での良質の冷凍生地パンを調製する実験をしたいと考えている。

要 約

パンからの食塩摂取量を減らす目的で、無塩あるいは低塩のパンの調製に関する実験を行った。食塩添加量の異なるパンを調製して、その焼成と内相の物性を調べた。結果は以下のようであった。

1) パンの比容積は、食塩添加量が多くなるに従ってわずかに大きくなるにすぎないが、食塩を 0.5 % 以上添加したパンは食塩 0 % パンに比べてきめが細かくなった。

内相の物性には食塩添加による影響はほとんどみられず、食塩無添加でも満足できるパンを作ることができた。

2) しかし、冷凍製パン法においては、食塩の影響は異なった。2 週間 -20℃で貯蔵した生地で焼いた食塩 0 % パンでは、比容積と内相の外観は食塩を加えたパンとほとんど同じであったが、内相の物性には食塩の影響がみられた。

食塩添加量の増加に伴って内相は軟らかくなり、圧縮した後の戻りが大きくなった。

食塩 0 % パンでは、破断試験中に組織が壊れた。

冷凍製パン法の場合、小麦粉に対して 0.5 % の食塩量で適当な品質のパンが得られた。

文 献

- 1) Preston, K. R. : Effects of neutral salts upon wheat gluten protein properties. I. Relationship between the hydrophobic properties of gluten proteins and their extractability and turbidity in neutral salts, *Cereal Chem.*, **58**, 317 (1981)
- 2) 松本 博, 田中康夫編: 製パンプロセスの科学, p.167 (1991) 光琳, 東京
- 3) 竹谷光治: 新しいパン基礎知識, p.52 (1989) パンニュース社, 東京
- 4) 山崎清子, 島田キミエ: 調理と理論, p.76 (1988) 同文書院, 東京
- 5) 岡野節子, 岩崎ひろ子, 水谷令子: 小麦粉の製パン性における食塩の影響, 鈴鹿短期大学紀要, **9**, 107 (1989)
- 6) Kasarda, D. D., Bernardin, J. E. and Nimmo, C. C. : Advances in Cereal Sci. and Tech., p.275 (1976) Pomeranz, Y., Amer. Ass. of Cereal Chem Inc., St. Paul
- 7) Bernardin, J. E. and Kasarda, D. D. : The microstructure of wheat protein fibrils, *Cereal Chem.*, **50**, 735 (1973)
- 8) 厚生省保健医療局健康増進栄養課監修: 平成 6 年版国民栄養の現状 平成 4 年調査成績, p.41 (1994) 第一出版, 東京
- 9) 辻昭二郎: パンのテクスチャー測定モデルとしてのソフトスポンジのbiteまたは圧縮曲線の解析, 家政学雑誌, **29**, 419~424 (1978)
- 10) 赤羽ひろ, 中濱信子: 調理におけるレオロジー測定 (その 3), 調理科学, **22**, 173~182 (1989)
- 11) 赤羽ひろ, 中濱信子: 調理におけるレオロジー測定 (その 1), 調理科学, **21**, 245~252 (1988)
- 12) 下村道子, 島田淳子: 調理科学講座 1 調理とおいしさの科学, p.202 (1993) 朝倉書店, 東京
- 13) 有本尚子: パンのテクスチャーに及ぼす塩化ナトリウムの影響, 徳島文理大学紀要, **32**, 119 (1989)

(受付: 平成 6 年12月26日)