

小麦ふすまの製パン性に関する研究

筒井 知己 金井 節子

Studies on the Baking Properties of Wheat Bran

TOMOMI TSUTSUI and SETSUKO KANAI

Physical properties of wheat flour replaced with 5 to 20% of bran (WFRB) were estimated and baking properties were estimated using WFRB. Water absorption capacity of WFRB increased gradually, but adhesive properties of WFRB decreased gradually as bran level increased. Functional properties of water soluble fraction prepared from WFRB decreased gradually as bran level increased.

Among the bread made from WFRB, the bread made from wheat flour replaced with 5% of bran showed the highest loaf volume. The multiple regression analysis showed that the hardness of dough(X_1) and water binding capacity of wheat flour(X_2) were totally correlated to the loaf volume of the bread made from WFRB(Y). And the following multiple regression equation was obtained: $Y = -10559.7 + 56.4379X_1 + 107.745X_2$.

日常の食事で、食物繊維の摂取量が少ないと、大腸憩室症、アテローム性動脈硬化症、結腸ガンをおこしやすいことが知られている¹⁾。また食物繊維の不足や、精製糖の過剰摂取が糖尿病に結びつくとの報告もある²⁾。そのような理由から近年食事の中に食物繊維を取り入れることに深い興味もたれている。食品に添加される食物繊維素材としては、小麦ふすま、粉末 α -セルロース、ビール粕、りんご粕、おから、ココナッツ残渣などがあるが、これらはすでにパン³⁾、クッキー⁴⁾、ケーキ⁵⁾、ベーカリー製品⁶⁾などに利用されている。このうち小麦ふすまは、小麦を製粉する際に分離された皮部を主体とする成分で、少量の胚乳や胚芽も含んでいる。小麦ふすまは、小麦全粒粉の約25%の重量に相当し、繊維やタンパク質を多く含み、繊維の主成分は、セルロース、ヘミセルロース、リグニンなどである。これらの食

物繊維は水に不溶性で、腸の内部では腸壁を刺激し、腸の働きを正常化するといわれている。

小麦ふすまは、すでにヒポクラテスの時代から便秘予防の緩下剤として使用されていた。そして今日欧米では、小麦ふすまを添加して焼き上げたパンや、全粒粉のパンが製造されている。しかし小麦ふすまの問題点として、小麦粉に小麦ふすまを添加すると、粉の水分吸着量が増加し、パンのローフボリュームやパンの色調、味にマイナスの影響を与えることが知られている⁷⁾。さらに小麦ふすまの添加はパンを硬くする傾向がある。そこで今回我々は、食用小麦ふすまと市販強力小麦粉を用いて、小麦ふすま添加小麦粉を調製し、その物理的特性を測定するとともに、製パン試験を行い、各物理的特性と製パン性との間にどのような関連があるか検討を加えたので、ここにその結果を報告する。

実験方法

1. 試料の調製法

市販強力小麦粉（昭和産業㈱、ネオン、粗タンパク質12.4%、粗灰分0.3%）と、食用小麦ふすま（東京製粉㈱、粗タンパク質17.3%、粗繊維3.5%、粗灰分3.2%）を用い、強力小麦粉の5%、10%、15%、20%を食用小麦ふすまでおきかえた粉を調製し、それぞれの粉を三回ふるいにかけて。そしてこれらの粉を、それぞれふすま添加小麦粉5%物、10%物、15%物、20%物とした。

2. 小麦粉の水分吸着量の測定法

各小麦粉1.5gを遠心チューブにとり、蒸留水15mlを添加してから、ガラス棒で1分間攪拌した。さらに10分後同様に攪拌し、この操作を3回繰り返した。次に遠心チューブを、久保田KR-20000S遠心分離機で、1600G、25分間遠心分離した。遠心チューブ内の上澄液は別の容器に移し小麦粉抽出液とした。次に各小麦粉に吸着された水の重量を算出し、小麦粉100gあたりの水の吸着量に換算して水分吸着量とした。

3. 小麦粉抽出液の成分組成の測定法

各小麦粉抽出液のタンパク質含量は、クマシーブリリアントブルーG-250を用いたバイオラッド・プロテイン・アッセイキットを用いて、色素結合法で測定した。すなわち各小麦粉抽出液0.1mlに、5mlの色素液を加え、10分放置後、595nmの吸光度を日立100-6D型分光光度計で測定した。なお標準物質としては牛血清アルブミンを用いた。また各小麦粉抽出液の全糖量を、フェノール-硫酸法で測定するため、各抽出液0.02mlに水1.98ml、80%フェノール0.05ml、硫酸5mlを順次加えて発色させ、その490nmの吸光度を同じ分光光度計で測定した。なお標準物質としては、グルコースを用い検量線を作成した。

4. 機能特性の測定法

各小麦粉抽出液の乳化活性と乳化安定性は、市販コーン油（味の素㈱）を用いて、PEARCE

とKINCELLA⁸⁾の方法にしたがって測定した。また起泡容量と起泡安定性は、各小麦粉抽出液25mlを用いてTASNEEMとSUBRAMANIAN⁹⁾の方法に従って測定した。

5. 小麦粉生地の多重バイト試験法

多重バイト試験法には、タケトモ電気製テンシプレッサーTTP-50Xを用いた。各小麦粉0.5gをテンシプレッサーのプレートにのせ、水1mlを加え、スパーテルで1.5分間攪拌後、直径36mmのプランジャーを用い、クリアランス0.1mm、9mm/secのバイトスピード、ロードレンジ10kgで、200バイトまで、圧縮、戻りを測定した。

6. SDSポリアクリルアミドゲル電気泳動

SDSポリアクリルアミドゲル電気泳動は、レゾルマックススラブ電気泳動装置（アトー・コーポレーション）を用い、分離ゲルのアクリルアミド含量12.5%、濃縮ゲルのアクリルアミド含量4.5%で、電極緩衝液としては、pH8.6、0.025Mトリス、0.192Mグリシン緩衝液を用いた。次にアプリケーションに、各小麦粉の1%SDS抽出物10 μ lを添加した後、30mAの定電流下で約1.5時間4℃で泳動させた。泳動後ゲルをクマシーブリリアントブルーR250溶液で約30分間染色し、さらに脱色した後、アタゴ・デンシトマスターケミックを用いて、590nmの吸光度を測定した。

7. 製パン試験

製パン試験は、表1のような原料配合でおこなった。市販小麦強力粉、またはふすま添加小麦粉に、砂糖、食塩、スキムミルク（雪印乳業㈱）、ドライイースト（オリエンタル酵母㈱）を加え三回ふるいにかけて。次にこれら

Table 1 Typical bread formula

Ingredient	Quantity
Wheat	200 g
Sugar	12 g
Salt	4 g
Skim milk	4 g
Dry yeast	4 g
Water	144ml

をフナイオートベーカリーFAB-72に加え、水144mlを加えて5分間ミキシングした。さらにバターを加え製パンの標準コースにセットして、3時間50分かけて、混捏、発酵、焼成を行った。製パンは、同じ配合の物を3回繰り返して焼成した。焼成したパンは、重量を測定後、ローフボリュームを菜種置換法で測定した。次にパンの物性を測定するため、厚さ2cm巾に切断後、耳の部分除去して5.5cmの正方形に整形した。この硬さや弾力性を、飯尾電気製レオメーターで、30mm（直径）のプランジャーを用い、サイクルスピード、6 cy/m、クリアランス5mm、ロードレンジ20kgで測定した。また各パンの色調は、日本電色色差計ND-300Aを用いて測定した。

実験結果および考察

1. 各小麦粉の水分吸着量

強力小麦粉とふすま添加小麦粉の水分吸着量は、表2のようになった。小麦ふすまは、水分吸着量を増加させるといわれている¹⁰⁾が、ふすま添加小麦粉では、ふすまの添加率が上がるにつれ水分吸着量も増加していた。そしてふすまの添加量(X)と、水分吸着量(Y)との間には $Y=0.467X+78.546$ ($r=0.99$)の回帰式が得られた。

2. 小麦粉抽出液の成分組成

各小麦粉抽出液の化学組成は、表3のようになった。小麦ふすまのタンパク質含量は、強力小麦粉より幾分多いが、抽出液中のタンパク質量は、強力小麦粉もふすま添加小麦粉もほとんど差はなかった。

Tellerら¹¹⁾が北米産小麦ふすまのタンパク質構成成分を調べた結果では、小麦ふすまタンパク質の18.0~22.9%がアルブミン、11.4~16.1%がグロブリン、9.1~17.9%がプロラミン、19.1~25.7%がグルテンであり、小麦ふすまには、胚乳部のタンパク質に比べ、グロブリンやアルブミンが多く含まれている。したがってふすまの添加量がさらにふえれば、溶出されるタンパク質の量ももう少しふえるものと思われる。一方抽出液中の水溶性糖量は、ふすまの添加量がふえるにつれ増加していた。Saundersら¹²⁾によると、ふすまの水溶性糖の35.3%がショ糖であり、この他にラフィノース、ネオケストース、キシロース、アラビノース、グルコース、フルクトース等が含まれている。またふすまから、ペントサンの一部が抽出されることも報告されている¹³⁾。

3. 小麦粉抽出液の機能特性

各抽出液の乳化特性は、表4のように、起泡特性は表5のようになった。強力小麦粉抽

Table 2 Centrifuge absorption of wheat flour

Centrifuge absorption (%)	Wheat flour	5% of bran	10% of bran	15% of bran	20% of bran
		79.1	80.6	82.8	85.0

Table 3 Chemical composition of water soluble fractions (WSF) from wheat flour

	WSF from wheat flour	WSF from wheat flour replaced with			
		5% of bran	10% of bran	15% of bran	20% of bran
Protein (mg/ml)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5
Total sugar (mg/ml)	3.6	3.6	4.1	4.7	5.3

Table 4 Emulsifying Properties of WSF from wheat flour

	WSF from wheat flour	WSF from wheat flour replaced with			
		5% of bran	10% of bran	15% of bran	20% of bran
Emulsifying activity index (m ² /g)	39.43	5.31	2.58	2.06	2.65
Emulsion stability index (min)	1.43	1.00	0.68	0.55	0.48

Table 5 Forming properties of WSF from wheat flour

	WSF from wheat flour	WSF from wheat flour replaced with			
		5% of bran	10% of bran	15% of bran	20% of bran
Foam capacity (% volume increase)	380	304	279	266	256
Foam stability (% foam volume)	79.5	78.1	72.2	71.0	67.6

出液の乳化活性は、既報¹⁴⁾の各種タンパク質の乳化活性に比べかなり高い値であった。小麦粉抽出液中には、タンパク質や糖質が含まれているが、この他に遊離の脂質も含まれている。この中で糖脂質は、パンのローフボリュームに好影響を与えることが知られている¹⁵⁾。この糖脂質のような物質が乳化性へ影響を与えているものと思われる。しかし乳化活性、乳化安定性とも、ふすまの添加量が多くなるにつれて低下していった。一方起泡容量、起泡安定性も、強力小麦粉抽出液が最も高く、ふすまの添加量が多くなるにつれて低下していった。この理由としてふすま抽出液中には、タンパク質とともに可溶性糖質が含まれており、糖質は親水性の物質であるので、タンパク質の乳化力を低下させているものと思われる。

4. 小麦粉の多重バイト試験

各小麦粉の多重バイト試験結果は、図1の

ようになった。圧縮に対する応力は、ふすまの添加量が多くなるにつれて低下し、ふすま添加小麦粉20%物の応力は、強力小麦粉の応力の44.9%の値であった。応力のこのような低下は、ふすまの添加により、小麦粉中のグリアジン、グルテニンの含量が低下し、混捏したときのグルテンの形成量が少なくなったためと思われる。一方附着力も、ふすまの添加量が多くなるにつれて低下したが、ふすま添加小麦粉20%物の附着力は、強力小麦粉の附着力の65.2%の値であった。圧縮に対する応力の低下の状況に比べ、附着力の低下率が小さいのは、ふすまから、可溶性糖質やペントザンのような物質が溶解し、附着性に影響を与えているためと考えられる。

5. SDSポリアクリルアミドゲル電気泳動

各小麦粉の1% SDS抽出物のSDSポリアクリルアミドゲル電気泳動図は、図2のよ

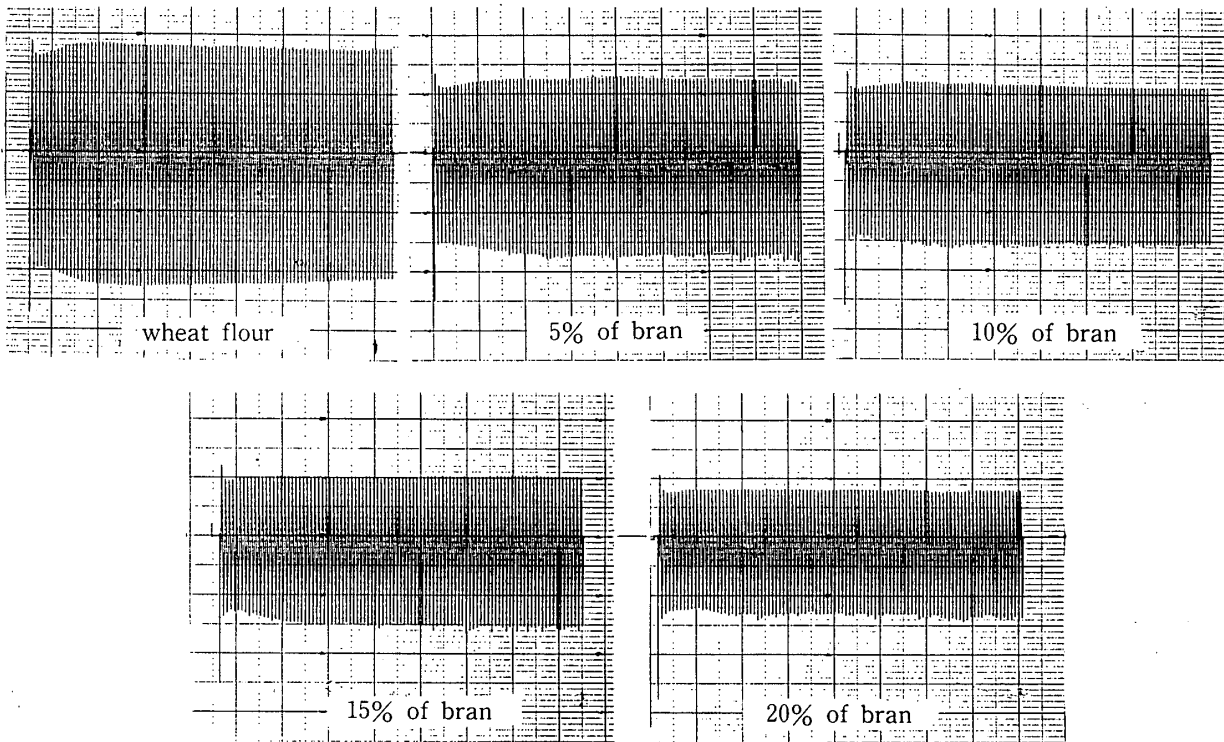


Fig. 1 Multi-biting test of wheat flour

Table 6 Physical Properties of flour

	Wheat	Wheat flour replaced with			
	flour	5 % of bran	10% of bran	15% of bran	20% of bran
Hardness (g)	88.2 (100%)	60.8 (68.9%)	55.6 (63.0%)	51.2 (58.0%)	39.6 (44.9%)
Adhesiveness (g)	106.4 (100%)	90.4 (85.0%)	77.4 (72.7%)	73.6 (69.2%)	69.4 (65.2%)

うになった。強力小麦粉の1% SDS抽出物では、高分子側から低分子側まで十数本のタンパク質ピークが確認できた。一方ふすま添加小麦粉では、高分子側、低分子側ともピークの数が増加していた。これはふすま中のタンパク質が1% SDSで可溶化してきたためと思われる。

6. 製パン試験結果

各小麦粉を用いて焼き上げたパンの外観は、図3のようになり、各パンの重量とローフボリュームは表7のようになった。ふすま添加小麦粉5~15%物を用いたパンは、強力小麦粉を用いたパンに比べ、ローフボリュームが

20~25%増加していた。しかしふすま添加小麦粉20%物を用いたパンのローフボリュームは強力小麦粉のパンよりも少し減少していた。小麦ふすまは、吸水量がかなり大きいので、小麦ふすまを小麦粉に添加すると、生地に対して影響を与え、パンのローフボリュームを低下させることが知られている¹⁶⁾。また細かいふすまより、粗いふすまの方が、パン体積低下への影響が大きいことが報告されている¹⁶⁾。しかしふすま添加小麦粉5~15%物を用いたパンのローフボリュームが大きかった理由として、ふすまを添加することによって生地の発酵が促進されたこと¹⁶⁾と、ふすまから抽出

されるペントザンのような物質の生地への影響が考えられる。水溶性のペントザンは、グルテンと相互作用を示し、グルテンの網目を補強し、パン体積を増加させるといわれている¹³⁾。次に各パンの内層の様子が図4に示されているが、ふすま添加小麦粉5%物と10%

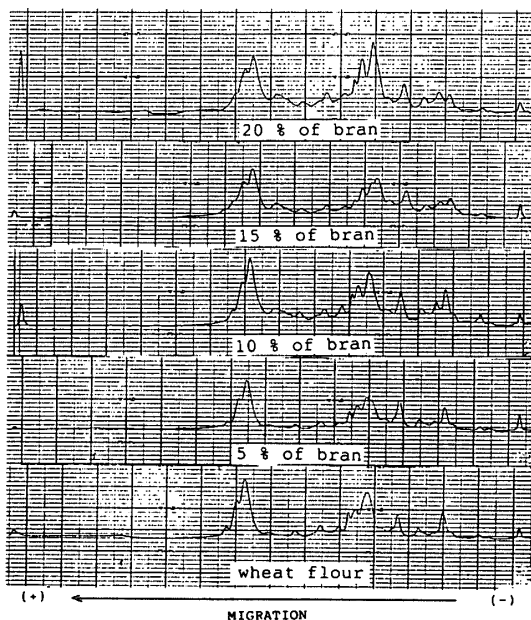


Fig. 2 Densitometric tracings of sodium dodecyl sulfate extracts from wheat flour.

物の内層は、比較的すだちがよく、強力小麦粉のパンの内層とほとんど差はなかった。しかしふすま添加小麦粉15%物ではふくらみが不十分で、内層も多少あらかくなっていた。ふすま添加小麦粉20%物では、内層はさらにあらく、生地の中でグルテンが、酵母の発酵により生成する二酸化炭素の泡を、十分には保持できないような状態のように思われた。次に各パンの硬さをレオメーターで測定した結果は、表8のようになった。ふすま添加小麦粉5~15%物のパンは、強力小麦粉のパンに比べて大分やわらかく、一方ふすま添加小麦粉20%物のパンは、強力小麦粉のパンよりもかなり硬かった。これらの各パンの内層の色調は、表9のようになり、ふすまの添加量が多くなるにつれてパンの褐色の色調が濃くなっていた。

このような各パンのローフボリュームが、各小麦粉の物理的特性とどのような関連があるか検討したところ、ふすまを添加した各パンのローフボリューム(Y)と、物理的特性のうち、生地 hardness (X_1)、各小麦粉の水分吸着量(X_2)との間には正の相関があり、 $Y =$

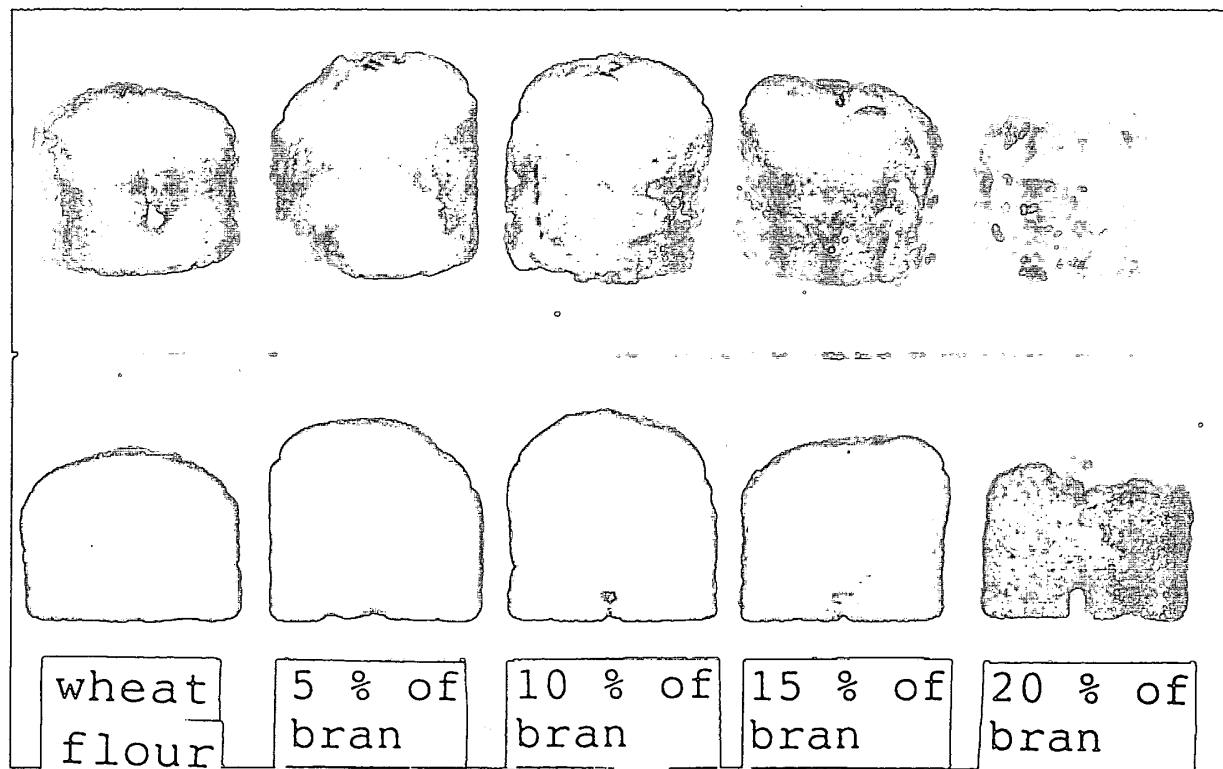


Fig. 3 Bread baked from wheat flour replaced with 5 to 20% of bran.

Table 7 Loaf volume of baked bread

	Wheat	Wheat flour replaced with			
	flour	5% of bran	10% of bran	15% of bran	20% of bran
Weight of baked bread (g)	293.3	291.6	292.8	294.2	293.9
Loaf volume (ml)	1238	1551	1506	1486	1218

Table 8 Hardness of baked bread

	Wheat	Wheat flour replaced with			
	flour	5% of bran	10% of bran	15% of bran	20% of bran
Hardness (kg)	0.70±0.1	0.44±0.05	0.42±0.04	0.46±0.09	1.20±0.10

Table 9 Crumb color of baked bread

	Wheat	Wheat flour replaced with			
	flour	5% of bran	10% of bran	15% of bran	20% of bran
L	73.81	68.6±2.3	67.96±1.5	65.14±0.2	58.15±1.0
a	-2.0	-1.3±0.7	0±0.5	1.45±0.3	2.38±0.4
b	15.0	11.9±0.9	12.4±0.4	12.8±0.3	14.1±0.4
Color difference value vs. control	—	6.1	6.7	9.6	16.3

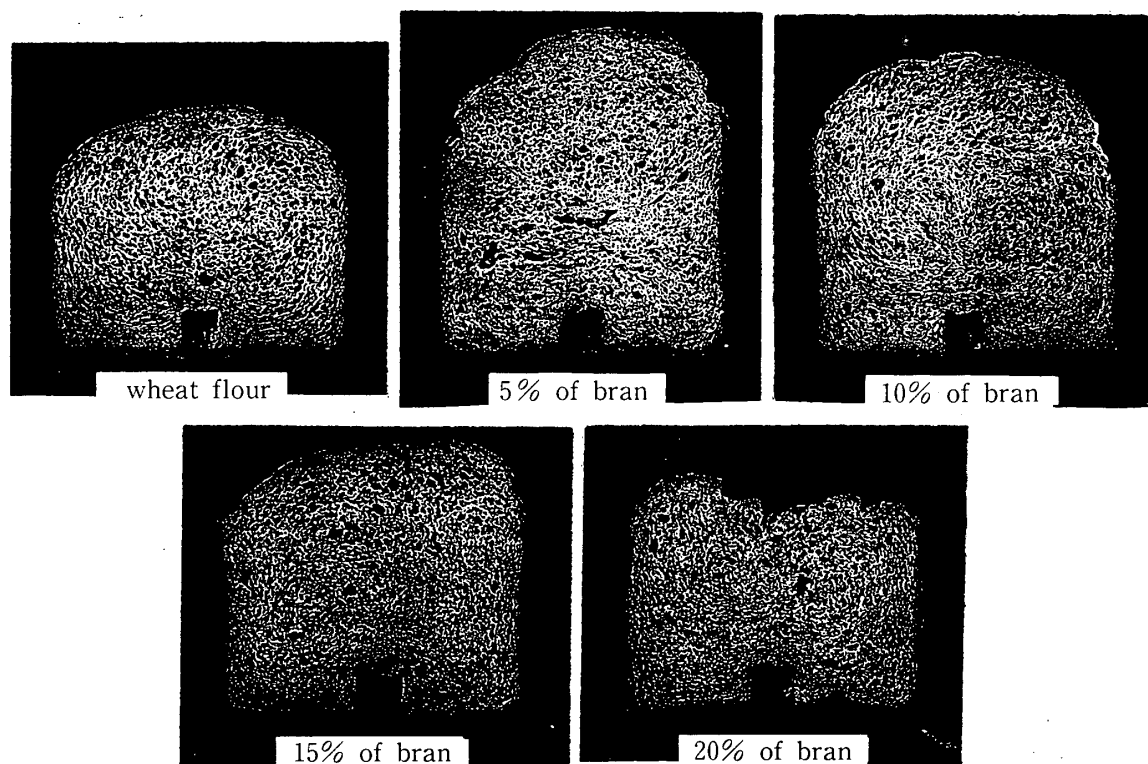


Fig. 4 Vertical cross-sections of bread.

10559.7+56.4379X₁+107.795X₂の重回帰式が得られた。(F₀=2274.69 > F₁²(0.05)=108.5、回帰は有意である)以上の結果から、強力小麦粉の5~10%を小麦ふすまでおきかえると、すだちもよく、ローフボリュームも大きいやわらかいパンを製造できることがわかり、これを食べることで自然に食物繊維も供給できることになるであろう。また小麦粉の生地 hardness や、小麦粉の水分吸着量が、パンのローフボリュームと関連があることが併せて明らかになった。

要 約

強力小麦粉の5~20%を小麦ふすまでおきかえた小麦ふすま添加小麦粉を調製し、その物理的特性を測定するとともに、各小麦粉を用いて製パン試験を行い以下のような結果を得た。

(1) 小麦ふすま添加小麦粉の水分吸着量は、小麦ふすまの添加量が増加するにつれ増加していた。多重バイト試験では、小麦ふすまの添加量が増加するにつれ、生地の圧縮に対する応力や附着性が減少していた。

(2) 各小麦粉抽出液の機能特性では、乳化特性、起泡特性とも小麦ふすまの添加量が増加するにつれ減少していた。

(3) 1% SDS で各小麦粉より抽出されたタンパク質の SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動では、小麦ふすま添加物で、高分子側、低分子側にあらたなタンパク質のピークが出現した。

(4) 各小麦粉を用いた製パン試験では、小麦ふすま添加小麦粉5%物を用いたパンがローフボリュームが最も大きく、すだちもよかった。

(5) 小麦ふすまを添加した各パンのローフボリューム(Y)と、各小麦粉の生地の硬さ(X₁)、各小麦粉の水分吸着量(X₂)との間には、 $Y = -10559.7 + 56.4379X_1 + 107.745X_2$ の重回帰式が得られた。

文 献

- 1) LEELAVATHI, K.A and HARIDAS, R.P.: J. Food Sci. Technol., **30**, 187(1993)
- 2) BURKITT, D.P., WALKER, A.R. and PAINER, N.S.: J. Am. Med. Assoc., **229**, 1068(1974)
- 3) LAI, C.S., HOSENEY, R.C. and DAVIS, A.B.: Cereal Chem., **66**, 217(1989)
- 4) VRATANIA, D. and ZABIK, M.E.: J. Food Sci., **43**, 1590(1978)
- 5) KATHERINE, B.D. and ZABIK, M.E.: J. Am. Diabetic Assoc.: **69**, 50(1976)
- 6) LEELAVATHY, K., HARIDAS, R.P., and SHAMANTHAKA, S.M.C.: J. Food Sci. Technol., **28**, 280(1991)
- 7) FINNEY, P.L., HENRY, S. and JEFFERS, H.: Cereal Chem., **62**, 170(1985)
- 8) PEARCE, K.N. and KINCELLA, J.E.: J. Food Sci., **26**, 716(1978)
- 9) TASNEEM, R. and SUBRAMANIAN, N.: J. Agric. Food Chem., **34**, 850(1986)
- 10) POMERANZ, Y., SHOGREN, M.D. and FINNEY, K.F.: Baker's Digest, **50**, 35(1976)
- 11) TELLER, G.I. and TELLER, W.K.: Cereal Chem., **9**, 560(1932)
- 12) SAUNDERS, R.M. and WALKER, H.G.: Cereal Chem., **46**, 85(1969)
- 13) HOSENEY, R.C., FINNEY, K.F., SHOGREN, M.D. and POMERANZ, Y.: Cereal Chem., **46**, 117(1969)
- 14) 筒井知己, 金井節子: 聖徳栄養短期大学紀要, **24**, 9(1993)
- 15) SOSULSKI, F.W.: Cereal Chem., **39**, 344(1962)
- 16) POMERANZ, Y., SHOGREN, M.D., FINNEY, K.F. and BECHTEL, D.B.: Cereal Chem., **57**, 307(1980)