

凍結小麦生地 of 製パン性に関する研究

筒井 知己 金井 節子

Studies on the Baking Properties of Frozen Wheat Dough

TOMOMI TSUTSUI and SETSUKO KANAI

Functional properties of frozen wheat dough (FMG) and gluten prepared from FMG were estimated and baking properties were estimated using FMG. Freeze dried sample of FMG indicated lower water absorption capacity and higher adhesive properties than the freeze dried sample of non-frozen dough (NFG).

The gluten prepared from FMG indicated lower emulsifying properties than the gluten prepared from NFG. Among the bread made from FMG, the bread made from the dough frozen for 1 month showed the highest loaf volume. And the loaf volume of the bread was positively correlated to the foam capacity of the gluten.

パン生地を冷凍貯蔵した後、解凍すると製パン性が低下する。この原因の1つとして酵母の凍結損傷があげられ、他の一因として凍結による生地の損傷、具体的にいえば、①タンパク質の凍結変性、②氷結晶の生育にともなうグルテン膜の破損、③氷結晶の生育にともなう水和生地成分からの脱水などの影響が考えられている¹⁾。またタンパク質の変性の程度は、小麦粉の種類により異なり、強力粉を用いた生地は、薄力粉を用いた生地より凍結による変性が少ないと報告されている²⁾。一方生地の凍結の方法としては、従来-30℃から-40℃で急速に凍結し、-20℃に貯蔵する方法が良好と考えられていたが、Lehmann³⁾が、食パン生地を各種温度で凍結、貯蔵後、製パン性を比較検討した結果によると、通常のフリーザー(-18℃)での、緩慢凍結の冷凍生地が最も製パン性がすぐれており、ブラストフリーザーを用いた-37℃、-

46℃の凍結では、むしろ製パンスコアは低下していた。この理由として井上⁴⁾は、緩慢凍結した生地中のイーストは、その細胞内にほとんど氷結晶が生成されていないため、凍結によるイーストの損傷が少なかったものと考えている。しかし一般に、食品の緩慢凍結は、細胞内で氷結晶を生長させ、組織を破壊し、冷凍食品としての品質を低下させるといわれている。そこで今回我々は、強力小麦粉を用いた生地を、緩慢凍結後、長期間貯蔵して、そのタンパク質の溶解性の変化や、グルテンの機能特性の変化、生地の製パン性等を比較検討し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

カナディアン・ウェスタンNo1 (ICW) 小麦粉(粗タンパク質14.4%、粗灰分0.5%) 3.6kgに食塩72gを加え、アイコーミキサー

Key words : Baking property, Frozen wheat dough, Functional property of gluten

AM-20で10分間攪拌後、水2,412kgを加え、フック型練り混ぜ具にかえて低速で10分間ミキシングし生地を製造した。この生地を338gずつ分割し、二重にかさねた厚手のビニール袋に加え密封してから、 -20°C の冷凍庫に入れ、一昼夜凍結した。次に凍結した生地を、 -18°C の冷凍庫に移し、1、3、5ヵ月の各期間貯蔵した。なお同じ貯蔵条件の生地は、それぞれ4個作製した。一定の貯蔵日数経過後、凍結生地4個のうち1個の半分を凍結乾燥した。凍結乾燥生地は、サンヨー・フードドリンクミキサーSM-G411で5分間粉碎してから、50メッシュのふるいを通し、凍結小麦粉試料とした。なお各凍結小麦粉試料の水分含量は、未処理物（凍結期間0）1.4%に対して、凍結期間1ヵ月物4.3%、凍結期間3ヵ月物4.6%、凍結期間5ヵ月物4.3%であった。また凍結生地の残り半分は、解凍後、ガーゼに包み、流水中ででんぷんの濁りがなくなるまでよく揉んだ。次にガーゼ中のグルテンを集め、凍結乾燥して凍結グルテン試料とした。なお別に、ICW小麦粉を用いて前述と同様に混捏して作成した生地から、グルテンを調製し、これを凍結乾燥してグルテン未処理物試料とした。

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10ml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をすて、各小麦粉に吸着された水の重量を測定し、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. 小麦粉溶液の粘度の測定法

各小麦粉溶液（小麦粉125mg/50mlの水）を、ビーカー中で10分間攪拌後、ビーカーの上部をラップでおおってから、 90°C の湯につけ、10分間加熱した。その後溶液の温度を 25°C まで冷却してから、溶液のうち1mlをとり、その粘度を東京計器製ELD型粘度計で、No38

のローターを用い、温度 25°C で測定した。

4. 小麦粉生地の多重バイト試験法

多重バイト試験には、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。

5. ゲル口過

各小麦粉0.5gを遠心チューブにとり、これにpH7.0、1%SDS溶液15mlを加え、ガラス棒で1分間攪拌した。次にこの攪拌操作を10分ごとに繰り返し、2時間の間継続しておこなった。さらに各小麦粉溶液が入った遠心チューブを、久保田KR-20000S遠心分離機で、18000G、40分間遠心分離した。次に遠心チューブの上澄液の全部または一部（3ml）を、セファロース6Bカラム（26.4mm×410mm）に添加し、展開溶液として、pH6.8、0.05M トリスー塩酸緩衝液（0.1%SDSと0.02%アジ化ソーダを含む）を用いて溶出した。上澄液を全部添加した場合は、溶出液を2.8mlずつ分取し、その280nmの吸収を、日立100-60型分光光度計で測定した。また溶出液中の糖量を、フェノールー硫酸法で測定するため、分取した溶液0.4mlに、水1.6ml、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。

6. グルテンの成分組成と親油性の測定法

各グルテンの粗タンパク質含量は、ケルダール法により測定した。また各グルテンの疎水性を測定するために、0.05%グルテン溶液（0.01N酢酸に溶解してある）2mlに、 $10\mu\text{l}$ のANS-Mg（8-Anilno-1-Naphthalenesulfonic acid Mg Salt）溶液（4.96mg/10mlメタノール）を加え、攪拌後、各溶液の蛍光を、日立蛍光光度計F-1200型で、励起スペクトル390nm、蛍光スペクトル470nmで測定した。またこれと同時に、ANS-Mg溶液を加えない

グルテン溶液の蛍光値を測定し、ブランク値とした。次に先のANS-Mg溶液を加えたグルテンの蛍光値からブランクの蛍光値を差し引いた値を、各グルテンのタンパク質量で割り、各グルテンの疎水値とした。

7. 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、メルカプトエタノールで処理したグルテン溶液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、さらに脱色した物を、アタゴ・デシトマスターケミックを用いて、590nm の吸収を測定した。

8. 機能特性の測定法

各グルテンの乳化活性と乳化安定性は、0.5%グルテン溶液（0.01N 酢酸に溶解してある）と市販コーン油（味の素株）を用いて、PEARCE と KINCELLA⁵⁾ の方法にしたがって測定した。各グルテンの起泡容量と起泡安定性は、1%グルテン溶液（0.01N 酢酸溶液に溶解してある）を用いて、TASNEEM と SUBRAMANIAN⁶⁾ の方法に従って測定した。

9. 製パン試験

製パン試験は、未凍結の生地はそのままを、また凍結生地は、10℃で解凍した物を、フナイオートベーカリー FAB-72 に加え、次に表1の第2段階のように、砂糖12g、スキムミルク4g、バター8g、ドライイースト2g、水10ml を加え、5分間生地をミキシングした。さらに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、焼成をおこなった。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。なお製パンには、同じ凍結条件の生地を三個用い、すべて同条件で焼成した。次に各パンの

Table 1 Typical bread formula

First step

Frozen or nonfrozen dough 338g

Ingredient	Quantity
Wheat flour	200 g
Salt	4 g
Water	130 ml

Second step

Ingredient	Quantity
Sugar	12 g
Skim milk	4 g
Butter	8 g
Dry yeast	2 g
Water	10 ml

物性を測定するため、厚さ2cmにスライス後、耳の部分除去して、一辺5.5cmの正方形に整形した。この小片の硬さや弾力性を、飯尾電気製レオメーターで、直径18mmのプランジジャーを用い、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。

実験結果および考察

1. 小麦粉の水分吸着量

未処理小麦粉と各凍結処理小麦粉の水分吸着量は、表2のようになった。この表では凍

Table 2 Centrifuge absorption of wheat flour

	storage month			
	0	1	3	5
Centrifuge absorption (%)	84.8	87.1	87.1	86.8

結処理小麦粉は、いずれも未処理物より、水分吸着量が多少多い結果を示していた。しかし凍結処理小麦粉の水分含量は、未処理小麦粉より3%程度多いので、実際に吸着された水の量を比較すると、凍結処理小麦粉の方が、

0.6~0.9%少なかった。この理由として、凍結保存中に、生地中の氷結晶等により生地の構造が破壊され、その構成成分（でんぷん、タンパク質等）が影響をうけ、水分吸着状況が変化したことが考えられる。

2. 小麦粉溶液の粘度

未処理小麦粉および凍結処理小麦粉より調製した小麦粉溶液(90℃で10分間加熱後、25℃まで放冷した物)の粘度は、表3のようになった。各小麦粉溶液の粘度では、未処理物が最も高く、凍結期間が長い小麦粉溶液ほど粘

度が低下していた。この結果は、凍結期間が長い小麦粉ほど、凍結変性により膨潤しにくくなっていることを示していた。

3. 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、未処理小麦粉より凍結処理小麦粉の方が多少高かったが、応力の生地凍結日数による差は、ほとんどみられなかった。一方付着性も、未処理小麦粉より、凍結処理小麦粉の方が大きく、凍結期間が長い粉ほどその値も増大していた。

Table 3 Shear rate-shear stress values of heated solutions of wheat flour

Shear rate(sec ⁻¹)	Shear stress(dyne/cm ²)			
	Storage month of dough			
	0	1	3	5
19.2	0.86	0.54	0.56	0.56
38.3	1.07	0.77	0.82	0.75
76.8	1.51	1.30	1.28	1.14
192.0	3.17	2.66	2.49	2.19
383.0	5.73	4.98	4.40	3.73

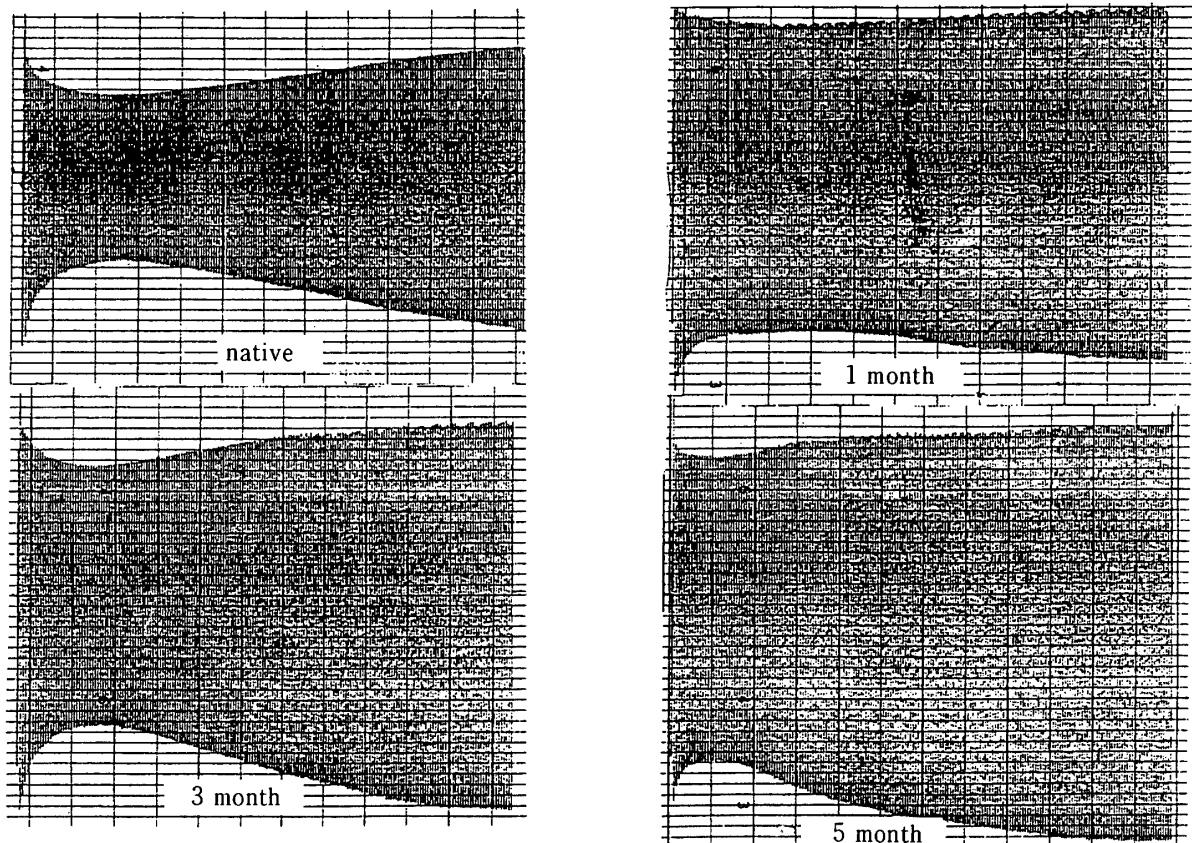


Fig. 1 Multi-biting test of flour

以上の結果のうち、応力の変化は、主にグルテンの凍結による変性と関連しているものと思われる。一方付着性の各値は、小麦粉の水分吸着量と、直接相関はみられなかった。凍結処理小麦粉の水分吸着量は、未処理小麦粉より多少増加しているのので、同一量の水（小麦粉1gあたり2gの水で、この水の量は、小麦粉の吸着量を上まわっている）を添加しても、付着性が出やすいものと思われた。

4. ゲル口過

団野ら⁷⁾は、1% SDS 溶液 (pH6.8、0.05 M リン酸に溶解してある) を用いて、小麦粉からタンパク質を抽出している。そして彼らは、この抽出で、小麦粉全窒素のおよそ77%が抽出され、AUS (0.1M 酢酸-3M 尿素-0.01M セチルトリメチルアンモニウムブロマイド) を用いた場合より抽出効率がよかったと報告している。しかしこの抽出の場合、主成分はグリアジンで、高分子量タンパク質グルテニンは、ほとんど抽出されてこない。今回の未処理小麦粉から、1% SDS で抽出されたタンパク質のゲル口過の結果は、図2のようになり、主に三つのピークに分離した。第1ピークは、ボイドボリュームの少しあとに溶出する高分子量の成分であり、第2ピークは分子量の多少小さいグリアジン成分であった。一方第3ピークは、タンパク質の量は少

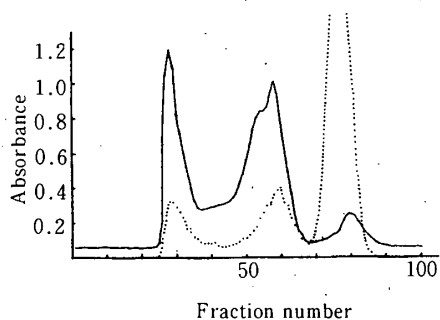


Fig. 2 Gel filtration pattern of sodium dodecyl sulfate extract from dough on Sepharose CL-6B column.

Solid line indicates protein (280nm).

Dotted line indicates carbohydrate (480nm).

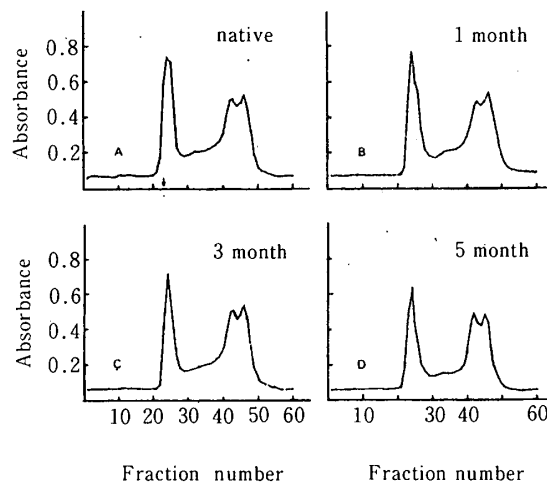


Fig. 3 Gel filtration patterns of sodium dodecyl sulfate extracts from dough on Sepharose CL-6B column.

Solid line indicates protein (280nm).

なく、糖質が多量に含まれていた。凍結処理小麦粉（凍結期間1ヵ月）から抽出されたタンパク質の溶出パターンは、図3Bのようになり、未処理の小麦粉の溶出パターン（図3A）とほとんど変化はみられなかった。しかし凍結処理小麦粉（凍結期間3ヵ月）の溶出パターン（図3C）では、第1のピークが多少低下しており、凍結処理小麦粉（凍結期間5ヵ月）の溶出パターン（図3D）では、第1ピークはさらに低下し、第2ピークも少し低下していた。以上の結果から、凍結期間が3ヵ月以上の小麦粉では、タンパク質、グリアジンの高分子量成分が、1% SDS で多少抽出されにくくなっており、凍結5ヵ月の小麦粉では、低分子量側のグリアジンも抽出されにくくなっていることがわかった。

5. グルテンの成分組成と親油性

各小麦粉より調製したグルテンの粗タンパク質含量は、表4のようになった。凍結期間3ヵ月の生地から調製されたグルテンは、グルテン未処理物に比べ、粗タンパク質含量が、十数%低下しており、逆にでんぷんの割合が多いことを示していた。実際に解凍した生地をガーゼに包んで流水中でもんでいくと、凍結期間が長い生地から得られたグルテンは、グルテン未処理物に比べ、やわらかい物性で

Table 4 Crude protein content of glutens

	storage month			
	0	1	3	5
Crude protein content (%)	89.4	84.5	75.5	77.7

Table 5 ANS hydrophobicity of glutens

	storage month			
	0	1	3	5
ANS hydrophobicity	2.9	3.6	3.5	3.6

あった。これら各グルテンの粗タンパク質含量が異なっていたのは、生地の凍結によるグルテン変性の影響が大きいものと思われる。一方各グルテンのANS疎水値は、表5のようになった。凍結処理グルテンは、いずれも未処理グルテンに比べ、ANS疎水値が高く、凍結によりグルテンが変性を受け、疎水分位が露出してきていることを示していた。

6. SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動

各グルテンのSDS ポリアクリルアミドゲル

電気泳動図は図4のようになった。今回用いた12.5%アクリルアミド含量の分離ゲルへは、分子量十数万までのタンパク質が移行できる。また各グルテンはいずれも、SDSとメルカプトエタノールで処理されているので、グリアジン、グルテニンとも、S-S結合が切断されていてサブユニットに解離している。グルテン未処理物、凍結グルテンとも全般的な泳動パターンでは、大きな相違はみられなかった。しかし凍結グルテン（凍結期間3ヵ月）では、分離ゲルの原点側に、二、三のピークがあらわれており、何らかのタンパク質が変性してきているものと思われた。また同様のピークは凍結期間5ヵ月のグルテンでも、わずかにみられた。

7. グルテンの機能特性

各グルテンの乳化特性は、表6のように、起泡特性は表7のようになった。グルテンの乳化活性、乳化安定性とも未処理の物が最も値が高く、凍結日数が長くなるにつれて各値は低下していた。各グルテンのタンパク質含量は、凍結期間が長いものほど少ないので、その影響も大きいものと思われるが、タンパク質の凍結変性の影響もあるものと思われる。一方起泡容量は、未処理のグルテンに比べ、凍結処理したグルテンの方が値が高く、中でも凍結期間1ヵ月のグルテンは、最も高い値を示した。また起泡安定性は、凍結期間が長くなるにつれて増加していた。これらの起泡特性にもやはり、グルテンのでんぷん含量の

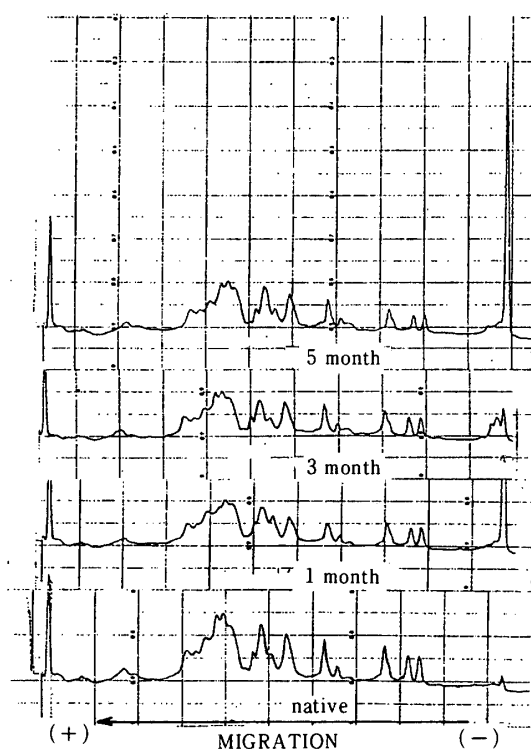


Fig. 4 Densitometric tracings of sodium dodecyl sulfate extracts from gluten.

Table 6 Emulsifying properties of glutens

	storage month			
	0	1	3	5
Emulsifying activity index(m ² /g)	15.27	15.05	14.23	14.22
Emulsion stability index(min)	1.26	1.25	1.18	0.90

Table 7 Forming properties of glutens

	storage month			
	0	1	3	5
Foam capacity (% volume increase)	163.3	180.0	176.7	173.3
Foam stability (% foam volume)	68.4	70.6	70.9	71.4

差異やグルテンの凍結変性が影響を与えているものと思われた。

8. 製パン試験結果

各凍結生地を用いて焼き上げたパンの外観は、図5のようになり、各パンの重量とローフボリュームは、表8のようになった。各パ

ンの中では、凍結期間1ヵ月の生地を用いたパンが、ローフボリューム1512ml(三回の平均値)と最も大きくふくらんでおり、凍結期間3ヵ月の生地、凍結期間5ヵ月の生地、未処理の生地の順でローフボリュームは低下していた。次にこれらの各パンの内層は、図

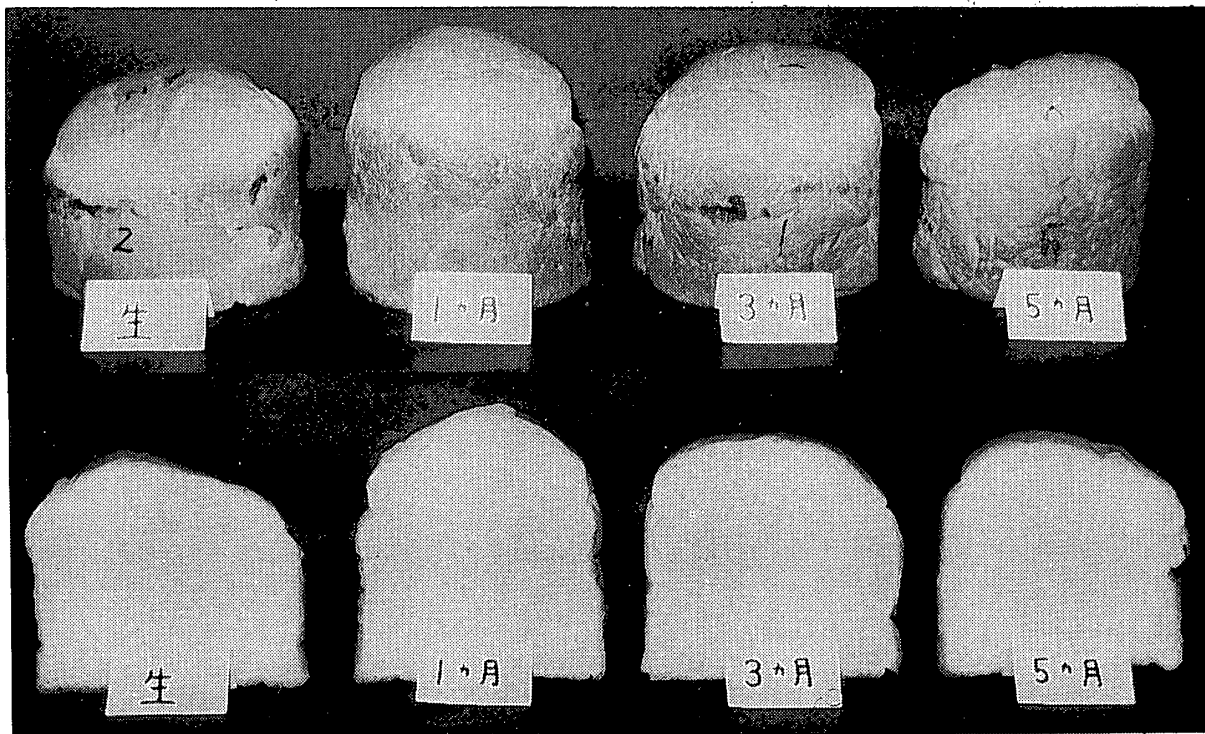


Fig. 5 Bread baked from thawed dough

Table 8 Loaf volume of baked bread

Storage month	Weight of baked bread(g)	Loaf volume (ml)
0	291.3	1308
1	289.1	1512
3	292.6	1441
5	299.2	1395

6 のようになり、凍結期間 1 ヶ月の生地を用いたパンの内層は、すだちが比較的よかった。一方、凍結期間 3 ヶ月の生地、凍結期間 5 ヶ月の生地を用いたパンは、すだちが少し粗なっていた。次に各パンの硬さや弾力性をレオメーターで測定した結果は、表 9 のようになり、冷凍生地を用いたパンは、未処理の生地を用いたパンに比べやわらかく、弾力性も

多少低下していた。これらの中で、凍結期間 1 ヶ月の生地を用いたパンは、比較的やわらかく、適度の弾力性をもっていて良好な品質であることがわかった。このような各パンのローフボリュームが、各グルテンの機能特性とどのような関連があるか検討したところ、図 7 のようになり、各グルテンの起泡容量 (X) と、各パンのローフボリューム (Y) との



Fig. 6 Vertical cross-sections of bread

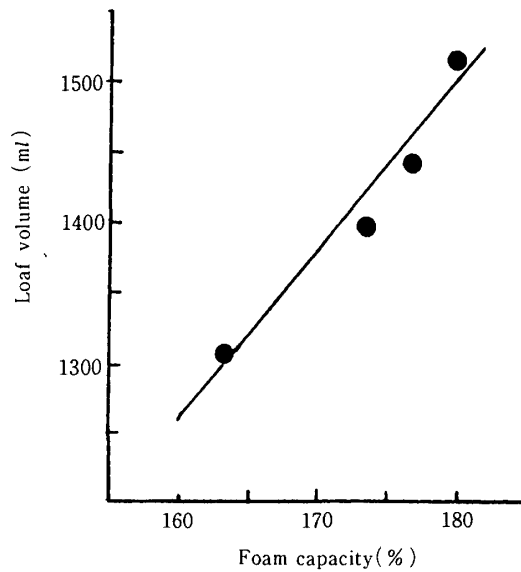


Fig. 7 Relationship between loaf volume and foam capacity of gluten

Table 9 Hardness and elasticity of baked bread

Storage month	Hardness	Elasticity
0	0.75	28.17
1	0.45	24.26
3	0.47	21.17
5	0.34	20.45

間には、正の相関がみられ、 $Y = 11.55X - 589.4$ ($n=4$, $r=0.98$, $P<0.05$) の回帰式がえられた。以上の結果から、強力粉を用いた生地を、緩慢凍結後、解凍して、副材料を添加し焼き上げる製パン法では、凍結期間1ヵ月程度の生地ならば、かなり良質なパンを製造できることがわかった。しかし凍結期間3ヵ月の生地、凍結期間5ヵ月の生地では、そのタンパク質構成成分のゲルロ過パターンや、SDSポリアクリルアミドゲル電気泳動パターンが変化しており、製パン性でも凍結期間1ヵ月の生地に比べかなり劣っていた。

要 約

未処理小麦粉生地と凍結処理小麦粉生地から、凍結乾燥粉末やグルテンを調製し、その機能特性を測定するとともに、未処理小麦粉生地、凍結処理小麦粉生地を用いて製パン試験を行い以下のような結果を得た。

(1) 凍結処理小麦粉生地の凍結乾燥粉末（以下凍結小麦粉と呼ぶ）は、未処理小麦粉生地の凍結乾燥粉末（以下未処理小麦粉と呼ぶ）に比べ、水分吸着量が多少増加しており、多重バイト試験では、付着性が少し増加していた。また凍結小麦粉は、未処理小麦粉に比べ、沸騰水中での膨潤性が低下していた。

(2) 1% SDSで、未処理小麦粉より抽出されたタンパク質は、セファロース6Bのゲルロ過で、三つのピークに分離する溶出パターンを示した。しかし凍結小麦粉（凍結期間3ヵ月）では、高分子量のピークが減少し、凍結小麦粉（凍結期間5ヵ月）では、さらに広範囲のピークが低下していた。また各グルテンのSDSポリアクリルアミドゲル電気泳動では、凍結期間3ヵ月、凍結期間5ヵ月のグルテンで、分離ゲルの原点近くに、二、三のピ

ークが出現した。

(3) 各グルテンの粗タンパク質含量は、凍結期間が長いグルテンほど低下していた。一方グルテンのANS疎水値は、凍結した物が増加していた。各グルテンの乳化特性は、凍結期間が長いグルテン程低下していた。一方、起泡容量は、凍結期間1ヵ月のグルテンが最も高かったが、起泡安定性は、グルテンの凍結期間が長くなるにつれ増加した。

(4) 未処理生地および凍結生地を用いた製パン試験では、凍結1ヵ月の生地を用いたパンが最もローフボリュームが大きくすだちもよかった。またこのパンは、未処理生地を用いたパンに比べやわらかく、適度な弾力をもっていた。

(5) 各パンのローフボリューム (Y) と、各グルテンの起泡容量 (X) との間には正の相関がみられ、 $Y = 11.55X - 589.4$ ($n=4$, $r=0.98$, $P<0.05$) の回帰式が得られた。

文 献

- 1) 田中康夫, 松本博: 製パンプロセスの科学, 光琳, p177 (1991)
- 2) INOUE, Y. and BUSHUK, W.: Cereal Chem., **68**, 627 (1991)
- 3) LEHMANN, T. and DREESE, P.: AIB Tech. Bull. Vol III, No7., Am Inst, Baking, Manhattan, KS (1981)
- 4) 井上好文: パン科学会誌, 39, 3 (1993)
- 5) PEARCE, K. N. and KINCELLA, J. E.: J. Food Sci., **26**, 716(1978)
- 6) TASNEEM, R. and SUBRAMANIAN, N.: J. Agric. Food Chem., **34**, 850 (1986)
- 7) DANNO, G. and KANAZAWA, K. and NATAKE, M.: Agric. Biol. Chem., **38**, 1947 (1974)