

低温発酵法による食パン製造と添加油脂の発酵能と製品品質への影響 (冷凍パン生地 of 食パン製造への応用-V)

田尻尚士*

Effect of Oil and Fat Additions on Fermentation Efficiency and the Quality of Final Products in Bread Making by Low Temperature Fermentation (Application of Frozen Dough to Bread Making-V)

Takashi TAJIRI*

Synopsis

The low temperature fermentation has been commonly used for bread making as a process to adapt the first fermentation processing from night to early morning or for 24-hours for securing supply of oven-fresh products and mass production in large-scale factories and chain stores. This method has, however, inherent problems such as a decrease in yeast activity, staling and drying of the dough in the furnace and internal coarse pores in the products.

To overcome these problems, we produced bread by fermenting the dough at a temperature of 10°C for 12 hours or at 5°C for 24 hours after adding shortening oil, unsalted butter, margarine, lard beef tallow, or salad oil. The usefulness of these oils as additives were evaluated by measuring the water content, generation of CO₂ gas, expansion, springness, and internal color tone during the entire process of bread making and each parameter was compared with those of commercially available breads which had been produced by fermenting at the conventional temperature (40°C/60 min) or at low temperature fermentation.

In low temperature fermentation, shortening oil and unsalted butter were the most appropriate as additive in terms of their high fusibility, decentralization power, and mixability with flour.

On the other hand, lard and beef tallow were found inappropriate because of their high coagulability, crystallinity, low decentralization and mixability. Margarine and salad oil were intermediate in each measured parameter and judged appropriate.

Shortening oil, unsalted butter, and probably margarine too were considered to be useful as an additive oil for low temperature fermentation if production conditions such as the first fermentation time, the oil addition rate, and the furnace and baking temperature and time were improved. Attention should be paid to the operation from the first fermentation to the second fermentation process especially to gas removal subsequent to the first fermentation.

はじめに

食パンの製造所要時間は通常 4 ~ 5 時間とされ、

その大半は発酵処理操作に費やされる。

近年、製造操作時間の短縮化や製造法の合理化が

* 近畿大学農学総合研究所 (The Institute for Comprehensive Agricultural Sciences, Kinki University, Nakamachi, 3327-204,631, JAPAN)

求められる一方で、大手製パン業界では大型店舗の出現に伴い販売域の拡大やチェーン店化により、食パン生地を工場内で捏和し、低温（5～10℃）下での輸送過程で発酵処理を行い、焼き上げて製品とするオープンフレッシュ法が多用されている。本法では従来の食パン生地配合では輸送中での生地の老化や酵母の活性低下などによりガス発生量が減少することから膨張力も低下して製品パンの品質、とくに食品物性が低下する。

本報では、食パン生地の老化と発酵能の劣化防止策として、生地の低温下での保水性と酵母の熱耐性

の強化を目的に添加油脂に着目し、ショートニング、無塩バター、マーガリン、牛脂、豚脂およびサラダオイルを各々添加して食パン生地を調整し、低温発酵能と製品品質を、水分含有量、ガス発生量、製品膨張度、弾力度および製品内部色調を測定し、添加油脂の適性効果を検討した。

実験材料と方法

低温発酵による食パン製造法および基本的材料配合は既報^{1)~4)}に準じ、製造法と材料配合は Fig. 1 に示した。

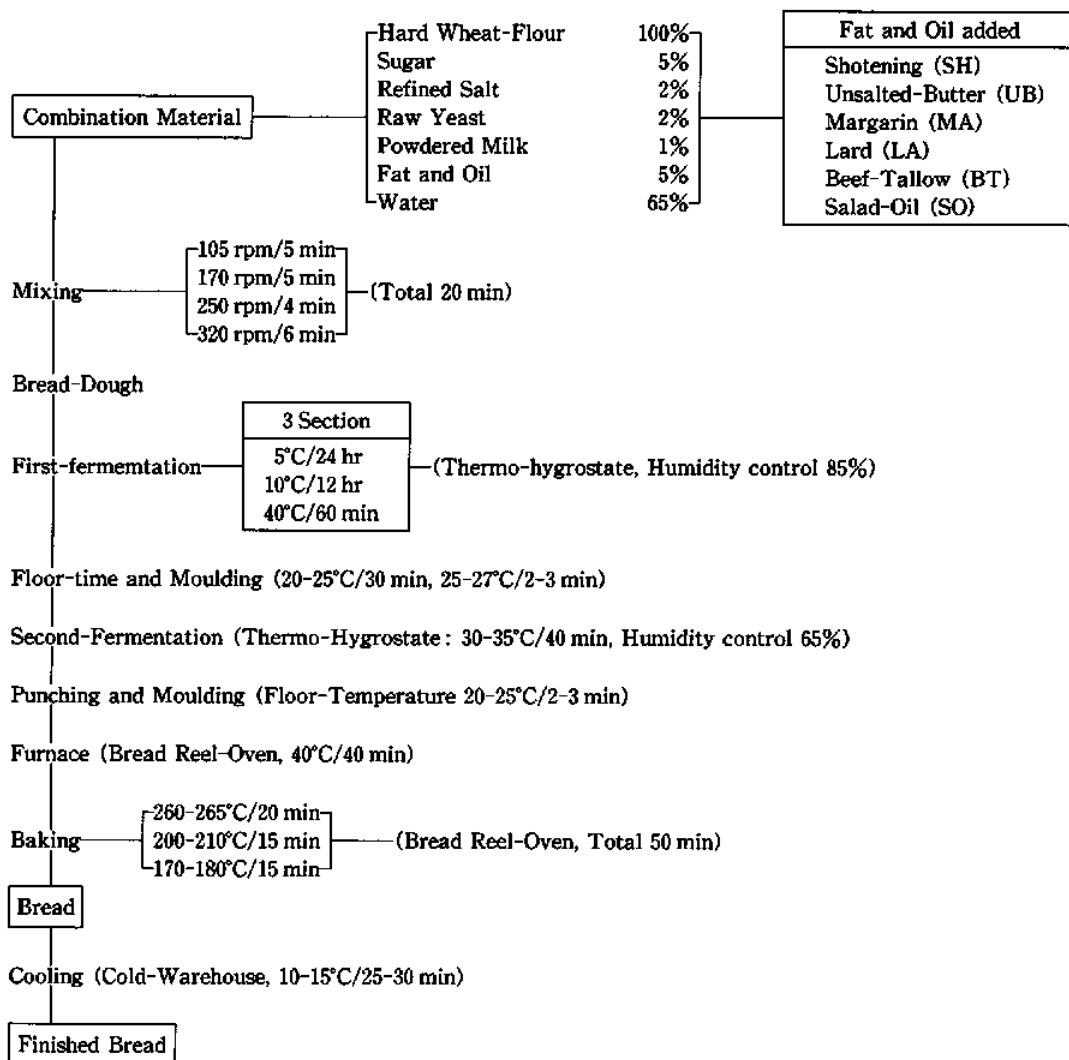


Fig. 1. Combination material and processes for bread making

*Standardize of Combination = Hard Wheat-Flour weight 100% Quantity of added ingredients are expressed as percentages to the flour weight

1. 実験材料

- (1) 小麦粉：日清製粉社製スーパーカメラヤ（湿グルテン36.0%）
- (2) 砂糖：上白糖（大洋漁業社製）
- (3) 食塩：食卓塩（三井高圧社製）
- (4) イースト：オリエンタル酵母（压榨酵母, *Saccharomyces Cever isiae*）
- (5) 粉乳：無糖粉乳（明治乳業社製）
- (6) 油脂：ショートニング（日本リーパー, スパークアトランク）、無塩バター（雪印乳業社製）、

マーガリン（雪印乳業社製）、ラード（ダイエー精肉店）、牛脂（ダイエー精肉店）、サラダオイル（味の素社製）

- (7) 添加水：水道水

2. 低温発酵法による食パン製造法

小麦粉、粉乳、砂糖、食塩を製パン用ミキサー（藤沢製作所社製、VMC-O-75-30型）に投入し、底速（105 rpm/5 min）で混捏し、次いで油脂とイースト（材料用添加水の一部を用いて5倍容に溶かす）を添

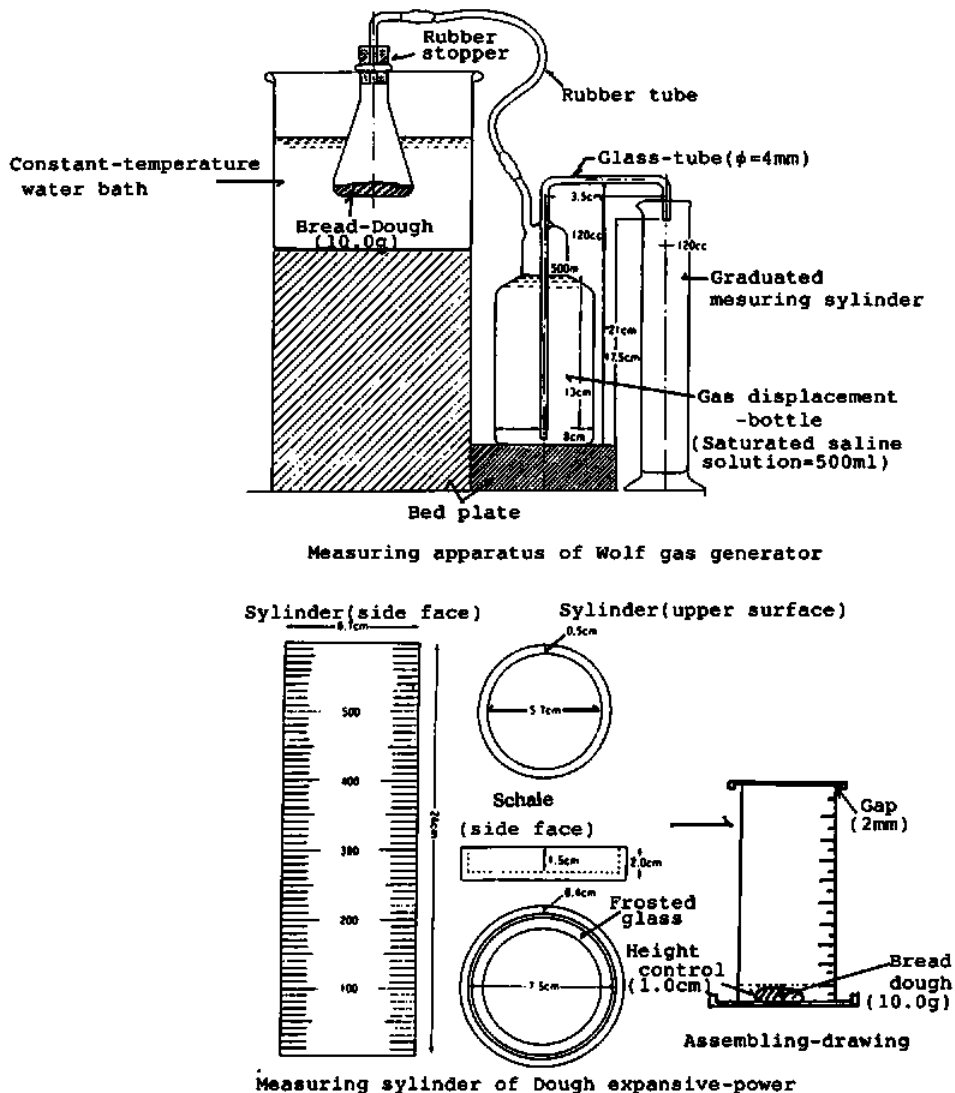


Fig. 2. Apparatus for fermentation and measurement of gas generation, expansive-power of bread-dough and finished bread.

加して中速 (170 rpm/5 min) で材料小麦粉の1/3量の水を加えて混捏し、さらに中高速 (250 rpm/4 min) で各材料を十分にむらなく混捏し、次いで高速 (320 rpm/6 min) で混捏して耳たぶ様のソフト感をもつ生地を作成した。

油脂の添加区は、ショートニング (SH)、無塩バター (UB)、マーガリン (MA)、ラード (LA)、牛脂 (BT)、サラダオイル (SO) の6種を用い、各々材料は、小麦粉重5%に限定して添加した。

生地作成後直ちに製パン用恒温発酵器 (大船製作所社, OF-6型) を用いて、加湿度85%下で第一発酵を行なった。低温発酵区は5°C/24 hr, 10°C/12 hr 2区分、対照区は通常発酵温度の40°C/60 minを設定した。第一発酵後直ちにフロアタイム (20~25°C/30 min) とモルディング (25~27°C/2~3 min) を行い、次いで第二発酵 (30~35°C/40 min, 加湿度65%) を行なったのち、ガス抜きとモルディング (20~25°C/2~3 min) を行なった。食パン用鉄製パン型に生地を整形、投入し発酵器中で焙炉 (40°C/40 min) した後、リールオープン (藤沢製作所社, ER-6-40型) に投入して3段階の焼き上げ温度下 (260~265°C/20 min → 200~210°C/15 min → 170~180°C/15 min 計50 min) で焙焼した。製品パンは低温恒温室 (10~15°C/25~30 min) 内で放冷して実験試料とした。

3. 測定項目と方法

生地および製品の測定項目と方法を次に挙げる。

(1) 水分含有量: デジタル式赤外線電子水分計 (長計量器社製 LB-30型) を用いた。

(2) ガス発生量: ウォルフ改変ガス発生装置⁹⁾ (ウォルフファーメンター改変法, イースト工業会指定); パン生地を試料容器に投入しゴム栓を閉めてガス置換瓶のゴム管と接続後, 容器を30°Cの恒温水槽に入れた。発生したガスはガス置換瓶に集り, 押し下げられた飽和食塩水はガラスシリンダー内に集積するのでこの飽和食塩水量を測定してガス発生量とした。これらの装置は Fig. 2 に示した。

(3) 生地膨張度: Fig. 2 に示した装置を用いシリンダー法¹⁰⁾ によって測定した。本法はイースト工業会指定で, 生地を丸め, 平らになった面が上面となるようにシリンダーの底面から詰める。シリンダーをシャーレにのせ, 麵棒で生地表面を平らにし, シリンダー上端に濡れ布をかけ, 各発酵温度と各処理時間で発酵させ, 生地の高さを丸く膨んだ頂部で計測した。なお, ガス発生量は炭酸ガスが主成分で,

生地膨張度は生地の乾燥に留意して経時的に測定した。

(4) 弾力度: デジタル式レオメーター (株式会社サン科学社製, CR-200D型) を用い, 感圧軸 No. 14 を用いて測定した。

(5) 色調: ハンター表色法¹¹⁾ によってデジタル色差計 (日本電色工業社製 ND-1001型) で測定した。なお, 色調値は $Lb/|a|$ より算出した。

結果と考察

低温発酵法による食パン製造法と材料配合は, 既報¹²⁾ を基準に, 製造業者7社より聞き取り調査 (以下聞き取り調査値) を行いその結果を参考として選択決定した。

なお, 比較対照として製造業者よりの聞き取り調査値と平均値を用いた。

1. 水分含有量の消長

食パン製造工程中における添加油脂と発酵温度による水分含有量は聞き取り調査値の平均値を基準に比較検討した。結果は Fig. 3 に示した。

製品食パンの水分含有量は, 聞き取り調査値平均 (発酵温度40°C, 発酵時間60分) 41.2% で, 聞き取り調査によれば製造工程中においても水分含有量はほぼ一定であるとされる。

第一発酵処理温度別の製品食パンの水分含有量を聞き取り調査値の平均値を基準に, 製造業者間で多用される油脂の SH と比較すると, (各発酵温度区の最高値は) 40°C/60 min 43.9 (+6.6%)*, 低温発酵 10°C/12 hr 43.5% (+5.6%)*, 5°C/24 hr 43.7% (+6.1%)* であった。

一方, 水分含有量が最低を示すのは SO で 40°C/60 min +4.4%*, 10°C/12 hr +1.9%*, 5°C/24 hr +2.4%* となるが, 低温発酵下では安定性を示し, 製造工程中の常温発酵下では不安定となった。

各発酵処理温度間での水分含有量は微差であって, 添加油脂間での差は0.7~1.0%前後となり, その消長は類似していた。

製造工程中での水分含有量の安定性についてみると, 各発酵処理温度とも添加油脂では UB が最良であって, 含有量は SH と SO の中間値を示した。

MA と LA は各発酵処理温度とも製造工程中での含有量の消長が激しく安定性に欠けた。一方, 添加油脂 BT は安定性を有するが全般的に含有量が高くなる傾向となった。

低温発酵法による食パン製造における添加油脂の

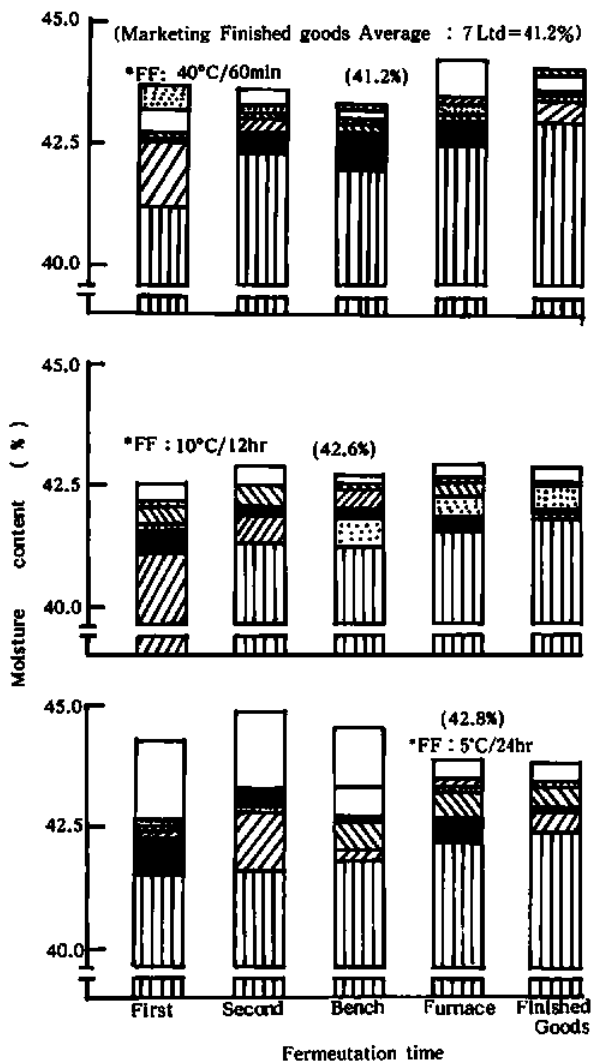


Fig. 3. Effect of fermentation temperature and added fat or oil on the moisture content during baking processes of bread.

Number in parenthesis represents average of seven different bakeries.

*FF: First-fermentation temperature. (Refer to Fig. 1 for details of processing)

- Shortening (SH)
- Unsalted-Butter (UB)
- ▨ Margarin (MA)
- ▧ Lard (LA)
- ⋯ Beef-Tallow (BT)
- ▤ Salad-oil (SO)

適性については、製造工程中での水分含有量の安定性や製品食パンの含有量より判定してUBが最も適性度が高い。

2. 炭酸ガス発生量の消長

製パンにおいて添加油脂の種類と量が生地が発酵

能と保存性および栄養価を左右し、製品品質に大きく影響するが、これらは第一発酵の良否に起因⁷⁾するとされている。

炭酸ガス(CO₂)発生量は、第一発酵操作の良否の目安となることより経時的に発生量を測定した。その結果を Fig. 4 に示した。

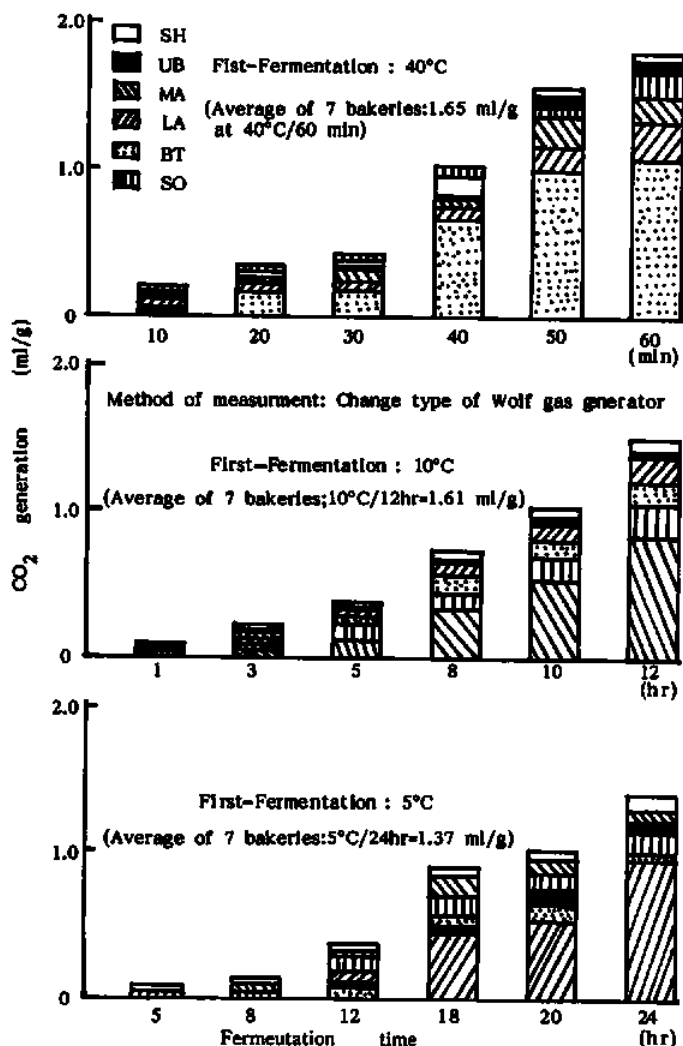


Fig. 4. Effect of fermentation temperature and added fat or oil on carbon dioxide generation during baking processes of bread.

(Maker average: Average of seven bakeries)

(Refer to Fig. 1 and 2)

低温発酵法は遅延発酵法とも呼ばれ、夜間から早朝に至る長時間を経て、早朝の作業性を合理化することを目的に考案され、CO₂発生量が緩慢に増加することが知られている。

製造業者よりの聞き取り調査平均値は、40°C/60 min: 1.65 ml/g, 10°C/12 hr: 1.61 ml/g, 5°C/24 hr: 1.37 ml/gであった。これらを基準に比較すれば、常温発酵40°C/60 minではMA, LA, TB油脂添加生地のコ₂発生量は顕著に少なく適性に欠け

た。一方、SH+10.9%**、UB+7.2%**、SO+3.0%**となり、これら3者は適性を有した。因みに製造業者間ではSHとUBの混合使用が多い。

低温発酵法の10°C/12 hrでは、全油脂区でCO₂発生量が減少して、SH-7.4%**となったので、CO₂発生状況より発酵時間の延長(10°C/14~16 hr)が必要と判断された。

5°C/24 hrでは、SH+2.9%**、MA-5.1%**、UB-10.2%**となり、一方、SO, BT, LAは顕著に発

生量が少なく不適性であった。SH, MA, UB 油脂においても発酵時間の延長 (5%/26~28 hr) が必要と判断された。

これらの結果より、低温発酵法下では添加油脂は SH, MA, UB に適性が認められるが添加量と発酵時間の改善が必要であった。

低温発酵法では、酵母の活性化が抑制され、発酵中に生成されるエタノールが親水性を発して生地中の水分を吸水することより、生地は乾燥するとともにアルコール発酵に伴う代謝生産物が生地内相のガスセル核の膨張を阻害し、パン体積 (高) を減少させ、内相すだちの荒れの原因⁹⁾となる。

生地の乾燥防止やアルコール発酵に伴うアセトアルデヒドやアセトンなど香気成分を多発し、疎水性を有する動物性油脂や硬化油¹⁰⁾を含有する SH, UB, MA に有効性が認められた。

総合的には、各発酵処理温度、各添加油脂ともに CO₂ の経時的発生量は類似した様相を示した。

3. 膨張倍率の消長

膨張率はシリンダー法によってパン生地を基準に製パン工程の主要操作毎に経時的に測定し、製造業

者の平均値と比較検討した。これらの結果は Fig. 5 に示した。

良質のよく膨んだ食パンは、パン生地の熟成が良く、生地中のガス泡の1つ1つが膨張して内部のガス発生とこれを漏洩しないように包み込んで伸長するガス泡膜が形式されている。膜が破壊して隣接のガス泡と合体して大きくなると焼成後のパンはすだちが粗く膨みの悪い食パンとなる。膨張度を保つためには確実に1つ1つのガス泡を形式させることが不可欠で、発酵時間が過度となれば低下する。とくに油脂はガス泡膜形式に際し、小麦粉中のグルテン間の間隙をうめ、生地の膨張中のブレークダウンを防止¹¹⁾するので、パン生地から製品に至るまでの膨張度を測定し、添加油脂の適性を求めた。

膨張度の全般的傾向についてみると、常温発酵 40°C/60 min では、第一発酵時で製パン時より膨張度が高くなるに対して、低温発酵 10°C/12 hr, 5°C/24 hr では製パン時に最大膨張度を示し異なる様相を呈した。一方、第一発酵から第二発酵、ベンチタイムに至っては全区で膨張度は低下したが、焼成・冷却後の製品パンで膨張度は上昇し、回復した。

添加油脂別膨張度について、総合的に判断すると、

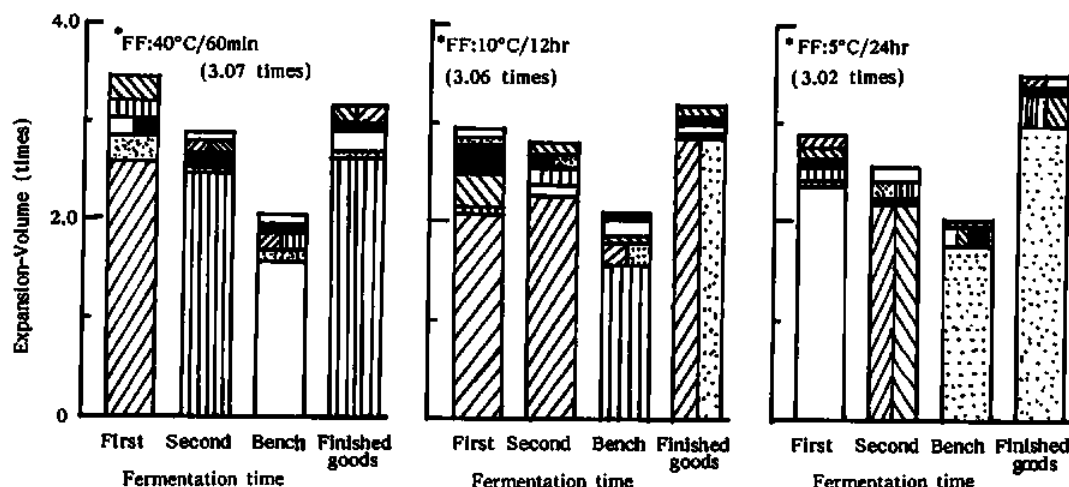


Fig. 5. Effect of fermentation temperature and added fat or oil on the volume increase of dough during baking processes of bread.

*FF: First-fermentation temperature. Volume was measured with the syringe shown in Fig. 2.

(): Average of finished breads from seven

Numbers in parenthesis represent the average of seven different bakeries. (Refer to Fig. 1 and 2 for abbreviation of additives)

SH (white) UB (black) MA (diagonal lines) BT (dotted)
LA (cross-hatch) SO (vertical lines)

MA, UB, SH, LA は良好で適性を有した。

聞き取り調整値の平均値を基準に最良の膨張度を示した MA と比較すれば、40°C/60 min+4.2%*, 10°C/12 hr+4.9%*, 5°C/24 hr+9.6%** となった。

水分含有量, ガス発生量において有効であった SH, UB と MA との比較では、5°C/24 hr で SH+5.4%***, UB+2.1%* となり、低温発酵法における添加油脂は MA, SH, UB が適性を有し有効と判断された。MA, SH, UB, LA は可塑性に富み、作業温度域が広く、混合性に富み、粘度保持性¹²⁾にすぐれ膨張度を高めることから適性度が高いと判断された。

4. 弾力度の消長

弾力度は製品食パンの食味時に歯当たりや歯切れ感などの食品物性に直結するので重要視される。

弾力度には製パン工程中でのベンチタイム, ガス抜き, 焙炉および焼成操作の強度などが関与するが、とくに、発酵処理時の膨張度やガス発生量と生地水分含有量および酵母のアルコール発酵によるガス泡

の大小とガス泡膜の厚さが大きく影響する。この結果を Fig. 6 に示した。

聞き取り調査値と市販製品の総合平均値は、40°C/60 min 7.9 dyn/mm², 10°C/12 hr, 5°C/24 hr 7.6 dyn/mm² で発酵温度区間の差は微少であって、食味時では全く差は認められなかった。

弾力度につき、水分含有量, ガス発生量, 膨張度で良好な様相を示した SH と UB を市販品平均値と比較すると、40°C/60 min SH-2.5%*, UB-14.4%***, 10°C/12 hr SH-4.7%*, UB-11.9%***, 5°C/24 hr SH-4.8%*, UB-12.4%*** であって SH で微差となり UB は顕著な差を示した。なお、食味においては三者間に差は認められず良好であった。一方、MA は肉眼的観察で内相すだちのガス泡孔の大きな跡 (2.5~3.0 mmφ) が若干認められた。また、LA, SO においても同様相であって、熱安定性やクリーミング性に欠け、粗大結晶¹³⁾をつくりやすいこれらの油脂は不適性と判断された。

5. 製品パン内相の色調動向

製パン品質として内相色調が重要視され、光輝あ

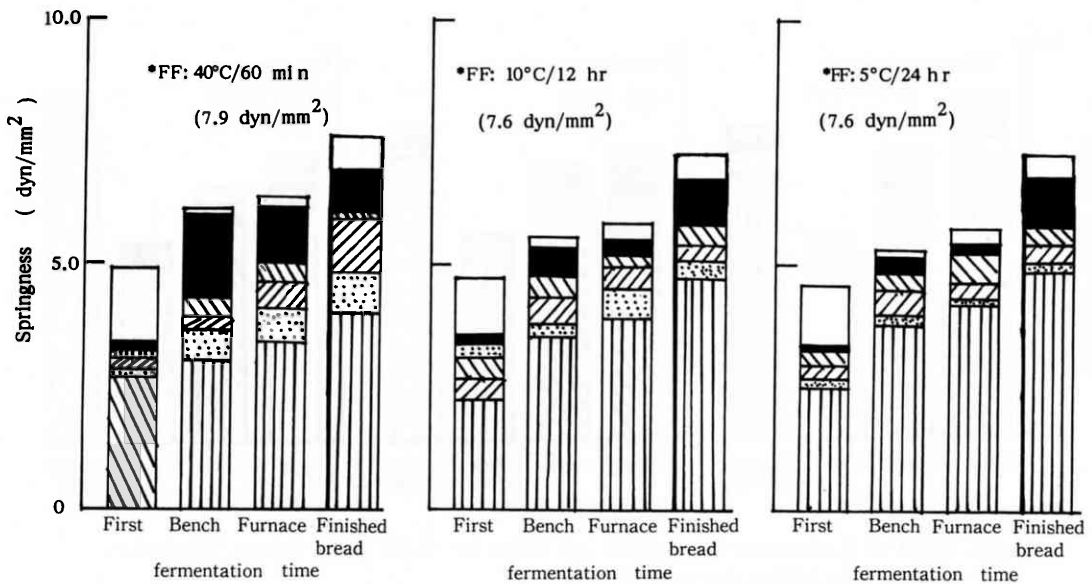


Fig. 6. Effect of fermentation temperature and added fat or oil on springness of dough during baking processes of bread.

*FF: First-fermentation temperature, (): Average of finished breads from seven different bakeries.

(Refer to Fig. 1)

SH UB MA LA BT SO

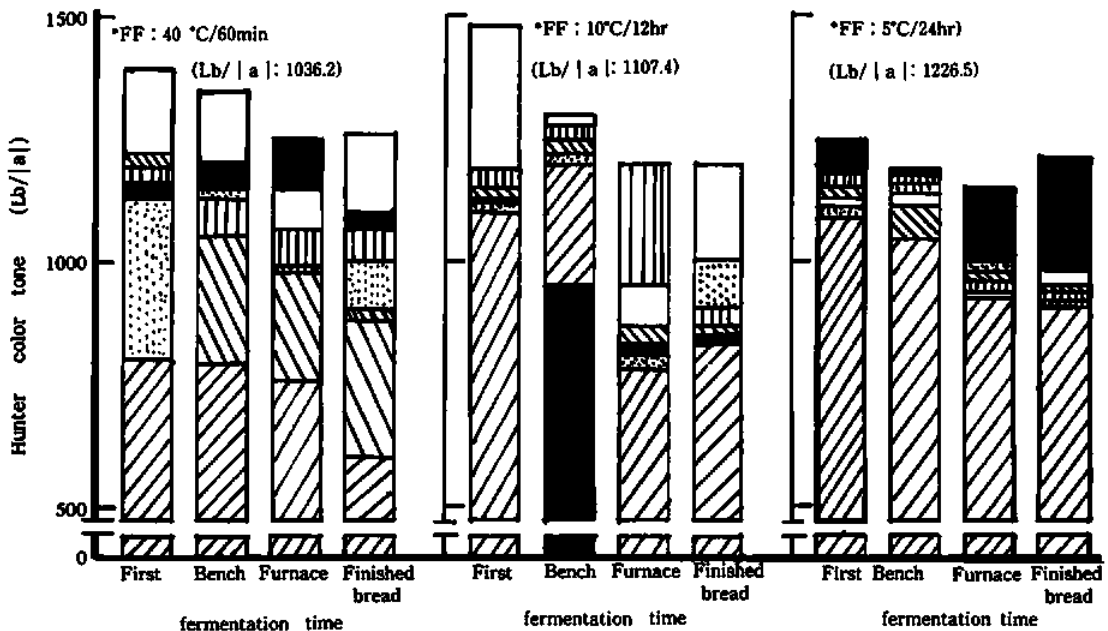


Fig. 7. Effect of fermentation temperature and added fat or oil on inside color of tone of finished bread during baking processes of bread.

Method of measurement: Hunter color tone = $Lb/|a|$. *FF: First-fermentation temperature.

(): Average of finished bread from seven different bakeries. (Refer to Fig. 1)

るクリーミーホワイトが最良とされる。

色調は Hunter Color Value 法⁹⁾を用いて測定した。本法では a (色相: +赤, -緑), b (彩度: +黄, -青), L (明度: +明, -暗) を表し, L と b が増大すれば黄化し, a は一域で絶対値が減少することより, 変色が顕著に表現される $Lb/|a|$ で算出した。なお, 0 は無彩色 (灰色) となる。

製品パンのクリーミーホワイトの $Lb/|a|$ 値は 1100~1200 であって, 700~830 では乳灰色でくすんだ色彩感を, また, 1200~1350 では乳黄色を呈した。結果は Fig. 7 に示した。

開き取り調査による第一発酵生地内相の平均値は $Lb/|a|$ は $40^{\circ}\text{C}/60\text{ min}$ 1320.5, $10^{\circ}\text{C}/12\text{ hr}$ 1365.6, $5^{\circ}\text{C}/24\text{ hr}$ 1300.4 であり, これらを基準に比較すれば $40^{\circ}\text{C}/60\text{ min}$ SH + 8.7%**, $10^{\circ}\text{C}/12\text{ hr}$ SH 8.6%**, $5^{\circ}\text{C}/24\text{ hr}$ UB - 4.2%* (第一発酵での最高値を呈した油脂) となり, 数値的には少差であることが認められたが, 肉眼的にはほとんど差が無く, $40^{\circ}\text{C}/60\text{ min}$ と $5^{\circ}\text{C}/24\text{ hr}$ 間では後者が僅かに乳黄色化する傾向が認められた。

製造業者の市販パン内相色調 $Lb/|a|$ は, $40^{\circ}\text{C}/60$

min 1036.2, $10^{\circ}\text{C}/12\text{ hr}$ 1107.4, $5^{\circ}\text{C}/24\text{ hr}$ 1226.5 であったが, 本研究で良好な色調を示した油脂と比較すると, $40^{\circ}\text{C}/60\text{ min}$ SH + 21.9%** , UB + 6.6%** , SO + 2.6%* $10^{\circ}\text{C}/12\text{ hr}$ SH + 8.2%** , $5^{\circ}\text{C}/24\text{ hr}$ UB - 2.1%* であって, 低温発酵法では $10^{\circ}\text{C}/12\text{ hr}$ SH, $5^{\circ}\text{C}/24\text{ hr}$ では UB が適性を有すると判断された。

低温発酵法における添加油脂の効果は, 生地の保存される温度と油脂が液体か固体かにより異なる。軟質性の油脂は, グルテン中の残存率が高く, 小麦粉脂質との混合率が高く, 固体状のままの分散化が大きい SH, UB は適性¹⁴⁾を有するが, 一方, 油脂の凝固や結晶性が高い硬質油脂である LA, MA, TB, SO では添加率が高い LA で 10% 前後, SO では 20~30% のハードフレークが必要¹⁵⁾とされているので, 本実験の添加率 5% では不適性となることが確認された。

総 括

食パンの低温発酵法は遅延発酵法ともいわれ, 夜間から早朝または一昼夜に至る長時間の発酵時間を

経て、焙炉、焼成し製品入手するなど、作業性を合理化するとされているが、大型店舗の出現やチェーンストア化のなかで輸送中における発酵やオープンフレッシュを容易にすることで注目されている。

低温発酵法は、発酵工程中の生地乾燥や酵母の老化、油脂の固化や酸化、分散力低下などの問題点があり、製品パンは内相すだちが粗く、水分含有量が上昇するので重くなることや、色調面でもやゝ乳黄色化する欠点がある。

本法では、低温発酵温度処理と時間を夜間より早朝発酵を基準とした10°C/12 hr、一昼夜発酵の5°C/24 hrの2区を設定するとともに、添加油脂として製菓業界で多用される可塑性複合油脂ショートニング(SH)、脂肪粒練圧固形型油脂無塩バター(UB)、可塑・流動性油脂マーガリン(MA)、動物性硬質油脂ラード(LA)、牛脂(BT)および植物性複合精製油脂サラダオイル(SO)の6種を生地に添加し、大規模大量生産法での材料配合を基準として食パンを製造し、製造工程中における水分含有量、ガス発生量、生地膨張度、弾力度および内相色調を測定し、添加油脂の有効適性を検討した。

低温発酵法での添加油脂は、製品パンの品質を製造業者の市販食パンを基準に比較検討すると、製造工程において僅かな有意差は認められるものの、発酵処理時間の延長などを考慮すれば、軟質・流動固形型のショートニング、無塩バターが有効と考えられる。一方、硬質固形型および液体型のマーガリン、ラード、牛脂、サラダオイルでは、水分含有量や発酵能力に欠け、膨張性や弾力が劣り、色調面でも乳灰色化を呈し、艶に欠けるなど全般的に品質が低下し、低温発酵法での添加油脂として適性に欠けると判断された。

なお、油脂の添加率や配合比および発酵時間の延長などについては、さらに改良が必要と判断された。

食パンの低温発酵法による製造において、軟質性の固体状で分散力に富み、小麦粉脂質との混合性が

高い可塑性複合油脂のショートニングや脂肪粒練圧固形型油脂の無塩バターなどが添加油脂として有効であり、凝固性や結晶化が高く分散能の劣る硬質油脂のラード、牛脂は不適性であり、マーガリン、サラダオイルは両者の中間様相を呈することから、適性は低いと判断された。

引用文献

- 1) 田尻尚士：冷凍パン生地の食パン製造への応用-1, 近畿大学農学部紀要, 9, 45~56(1976)
- 2) I. TAJIRI: *Mem. Fac. Agr. Kinki Univ.* 17, 71~82 (1984)
- 3) 田尻尚士：近畿大学農学部紀要, 18, 59~67 (1985)
- 4) 田尻尚士：近畿大学農学部紀要, 19, 37~46 (1986)
- 5) 田中康夫・松本 博：製パンプロセスの科学, 光琳, 東京, 143~146 (1991)
- 6) 緒方邦安：青果保蔵論議, 建帛社, 東京, 286~288 (1985)
- 7) J.C. BAKER, M.D. MAIZE: *Cereal Chem.* 19, 84~91 (1942)
- 8) V.S. BAVISOTIE and L.A. ROCH: *Am. Soc. Brew. Chem.* 1, 16~23 (1961)
- 9) In.P. SLUIMER: *Baker's Dig.* 55(4), 6~13 (1981)
- 10) J.L. LOGAN and E.M. LEARMOUTH: *Chem. and Ind.*, 1220~1224, Sept. 24 (1955)
- 11) R.C. HOSENZY, H. RAO, J. FAUBION and J.S. SIDHU: *Cereal Chem.* 57, 163~167 (1980)
- 12) F.E. LUDDY et al: *J. Am. Oil Chemist's Soc.* 32, 522~529 (1955)
- 13) W.H. KNIGHTCY: *Baker's Digest*, Feb. 28, 8~14 (1955)
- 14) 小原哲二郎編：食用油脂とその加工, 建帛社, 東京, 160~162 (1987)