

製パンに関する研究 (第一報)

—低温発酵について—

大金 裕子・高橋久美子・奥村美代子

I 緒 言

品質のよいパンを得るには、イーストによるガス発生力の増大と、パン生地ของガス保持力の増加を時間的に一致させることが大切な条件である。

このため、従来からの製パン法には、パン酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) の最適発酵温度として 30°C 前後で発酵させる方法がとられて来たが、最近食生活の流れの中の一つとして“手づくり化”が大きくクローズアップされて以来、家庭でも容易にパンが作られるようになって来た。しかし、夏期以外の発酵最適温度保持は、操作の上で非常にめんどろであり、このため冷蔵庫に入れて発酵させる低温発酵法¹⁾ が用いられるようになって来た。

従来からの製法については、パン製造技術の著しい進歩とともに数多くの研究報告がなされているが、低温発酵法についての文献はまだ数少ない。²⁻⁵⁾

そこでわれわれは、この低温発酵パンについて一般的な製品テストを膨化率、比容積、気孔率、テクスチャー特性値と官能検査で行い、果してイーストが低温中でどの様な挙動と影響を示すかに焦点をあて、培養基での培養、ならびにパン生地について検鏡による検索を行ったので、その結果を報告する。

II 実験材料及び実験方法

1. 実験材料及び配合割合

本実験のために使用した材料及びその配合割合は下表のとおりである。

2. 実験器具

本実験のために使用した器具は下表のとおりである。

3. 実験方法

1) 供試材料

i 低温発酵パン

	材 料 名	メ ー カ ー	使 用 量	小麦粉に対する百分比
製 パ ン 素 材	小 麦 粉	日清製粉KK カメリヤ強力粉	400g	100
	イ ー ス ト	オリエンタル酵母工業KK	6g	1.5
	砂 糖	台糖KK グラニュー糖	20g	5
	油 脂	雪印乳業KK 無塩バター	12g	3
	食 塩	日本専売公社塩化ナトリウム99%以上	8g	2
	水	水道水	180ml	45
培 養 基	ポテトデキストロース寒天培地 NaCl	日水製薬KK 和光純薬工業KK		

器 具 名	メ ー カ ー	摘 要
メ ン パ ン 機	松 下 電 器	消費電力 130W・回転数 450/分・回転羽根式
オ ー プ ン	大 阪 ガ ス	ガス超高速レンジ
レオロメーター	飯 尾 電 機	RMT 1300
顕 微 鏡	オ リ ン パ ス	光学顕微鏡

1項で配合された実験材料をメンパン機に入れ、1.5分・最終生地温度30°Cに混捏したのち、1次発酵の条件として、温度0・5・10・15°Cと時間5・10・15・20・25時間の組合せで実験を進めたが、その結果、経時的に5時間で好成績が得られたので、更に一部のテスト項目に1・3時間の実験を追加した。2次発酵と培焼は1次発酵の条件如何にかかわらず、ガス抜きめん棒でガス抜きを行い、37°C・50分発酵させたのち、ガス超高速レンジ、200°C・25分で培焼した。

なお、低温の生地は温度を早く上げる必要があり、⁶⁾ベンチタイムはなしとした。

ii 常温発酵パン

i項の実験結果と比較するため、実験材料をメンパン機で9分・最終生地温度31°Cで混捏したのち、32°C・45分の1次発酵とガス抜き後、ベンチタイム15分をとり、35°C・50分の2次発酵を経て、200°C・25分で培焼した。⁷⁾

2) 測定方法

i 膨化率

50mlメスシリンダーに生地5gを入れ、一定時間経過後、生地の膨化状態を1次・2次発酵別に測定し、発酵前の容積に対する増加率を算出した。

ii 比容積

製品を菜種置換法により測定し、容積を重量で除して算出した。

iii 気孔率

2次発酵後の生地の容積を菜種置換法により測定し、重量で除して算出した。

iv テクスチャー特性値

レオロメーター(感度電圧5V、運動速度12サイクル/分)を用いて、硬さ・凝集性を測定した。供試材料片は20mm×20mm×20mmとし、プランジャーの直径およびクリアランスは多点測定法の文献⁸⁾から、プランジャー直径13mm・18mmに対して、クリアランスを1・2・3・4・5mmの5水準で測定した。

v 官能検査

外観・内相についてパン採点基準に従って評価した。

vi イーストの培養

ポテトデキストロース寒天培地を使用して、1.5%イースト水溶液を0.85%の食塩水で希釈し、温度と時間の組合せによる低温培養後、37°C・48時間の混釈平板培養を行い、その結果をプレートカウント法で測定した。

vii 検鏡

パン生地を常法⁹⁾に従い、ホルマリン緩衝液で固定

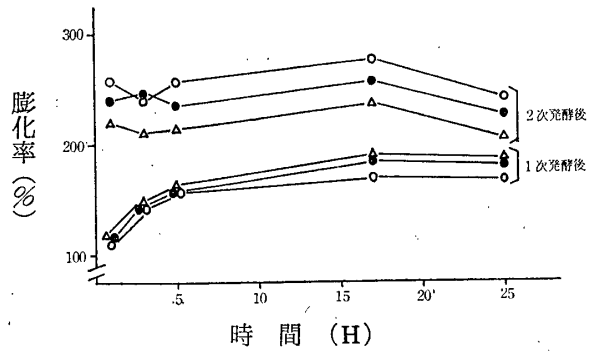


図1 1次発酵温度・時間と膨化状況

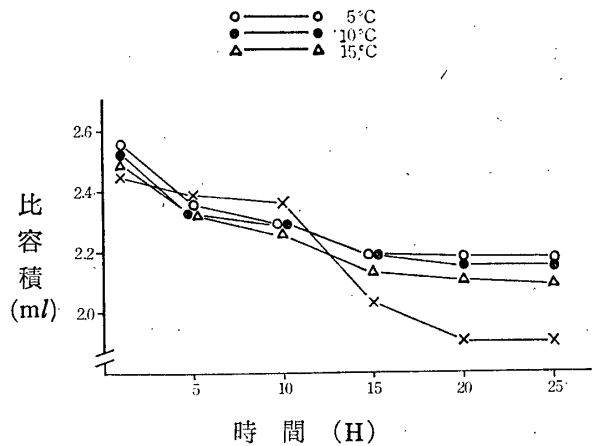


図2 1次発酵温度・時間と製品の容積

してパラフィン切片を得た後、メチレンブルーで染色し、光学顕微鏡で検索した。

III 実験結果および考察

1. 膨化率

図1に示すとおり、膨化に対する1次発酵の温度・時間の与える影響を測定した結果は、1次発酵では温度別に殆んど差はみられないが、2次発酵後は低温発酵ほど高い膨化をみせている。また経時的には、1次発酵1時間の低い膨化状況も2次発酵後は他の1次発酵時間と同等の膨化を示しており、低温・短時間で押えられていたイーストの2次発酵中の急速な活性をあらわしている。

しかし、2次発酵後の経時的な膨化傾向は、1時間より3時間が温度に関係なく低く、その後17時間まで継続した膨化の伸びをみせ、この経時的膨化の状況はイーストの発酵と生地の熟成の面から外観・内相など製品に与える影響としての問題点を残している。

2. 比容積

図2に示すとおり、発酵温度および発酵時間が焼上

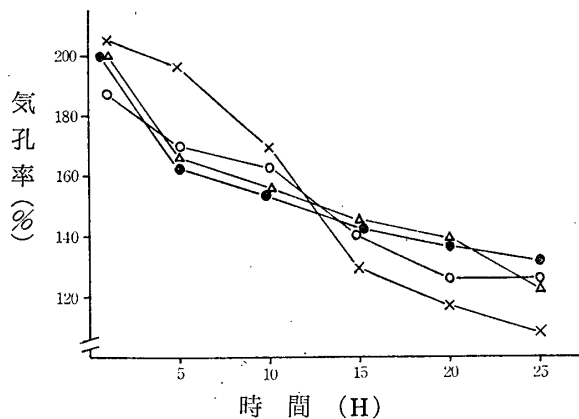


図3 1次発酵温度・時間と気孔状況

○ 0°C
● 5°C
△ 10°C
× 15°C

製品にどのような影響をおよぼすかを知るためにその容積を測定した結果は、発酵温度については、0・5・10・15°C と温度が低い程比容積の値は大きく、経時的にはいずれの温度についても1時間が最大値を示している。また0・5・10°Cにおいては、5時間以内に比容積は急激に減少し15時間以後はあまり変化はみられない。しかし15°Cにおいては10時間まではあまり変化はないが、それ以後は他に比較して膨らみのない製品になっている。従って低温発酵パンの焼上製品の容積は1次発酵時間の短い方がより膨らみのある製品の得られることが判明した。

3. 気孔率

図3に示すとおり、2次発酵後の容積/重量比は比容積と同じく、いずれの発酵温度についても1時間で最大値を示し、下降の仕方もほぼ似た値を示している。一般にすだちのよいパンは気孔率250以上¹⁰⁾と云われており、比較のため常温発酵で測定した結果は288であったのに対し200に近い値であり、低温発酵では製品的に低い気孔率しか得られていない。比容積の場合0°Cが最大値であったのに対し、気孔率では特に大きな差は示さず、培焼の際の温度上昇時になおよく発酵を続けていたものと思われるが、今回は生地 of 伸展性やガス発生率についての実験は行ってないのでそれらについての判断は出来ず残された今後の課題である。

4. テクスチャー特性値

1) 硬さ

図4-1、4-2に示すとおり、1次発酵温度と時間ごとの硬さは非常に近似しており、差はあまりみられなかった。これは本実験においては、いずれも培焼後60分以内に機器測定を行ったため、パンの硬さに大き

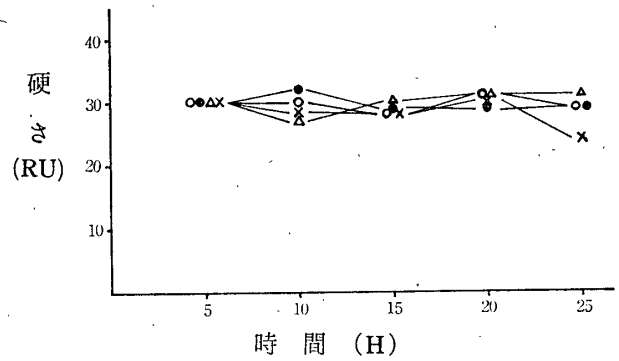


図4-1 1次発酵温度・時間と硬さ

プランジャー直径：13mm

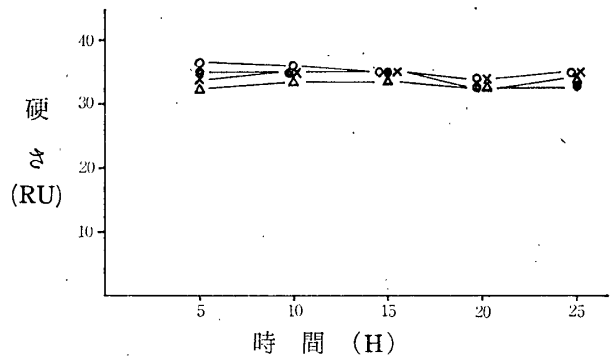


図4-2 1次発酵温度・時間と硬さ

プランジャー直径：18mm

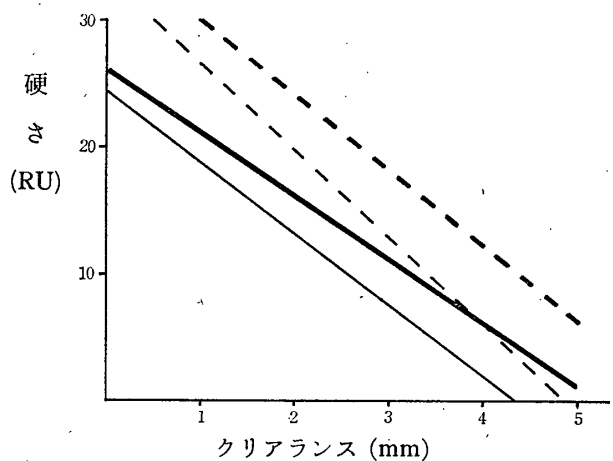


図5 クリアランスと硬さの相関関係

18mm { --- 低温発酵
 - - - 常温発酵
13mm { — 低温発酵
 — 常温発酵

な影響を与えるものは製法如何よりも、経時的なでんぷん老化に起因するものと考えられる。また測定に用いたプランジャー直径と発酵時間ならびに発酵温度についての相関関係の検査を行った結果は高度に有意であったのでその回帰式を表1に示す。

図5はクリアランスに対する硬さをプランジャーの

表1 クリアランスと硬さの相関関係

1次発酵 温度 °C	プランジャー直径			
	13 mm		18 mm	
	回帰式	r検定 (n=180)	回帰式	r検定 (n=180)
0	$y = -4.93x + 25.79$	-0.956**	$y = -5.87x + 34.71$	-0.985**
5	$y = -4.78x + 24.22$	-0.953**	$y = -6.02x + 34.65$	-0.979**
10	$y = -4.94x + 25.25$	-0.958**	$y = -6.06x + 35.95$	-0.982**
15	$y = -4.43x + 23.81$	-0.936**	$y = -5.48x + 34.67$	-0.978**
各温度 の総計	$y = -5.03x + 26.01$	-0.998** (n=720)	$y = -6.01x + 36.06$	-0.995** (n=720)
常温	$y = -5.57x + 24.23$	-0.934**	$y = -6.83x + 33.25$	-0.979**

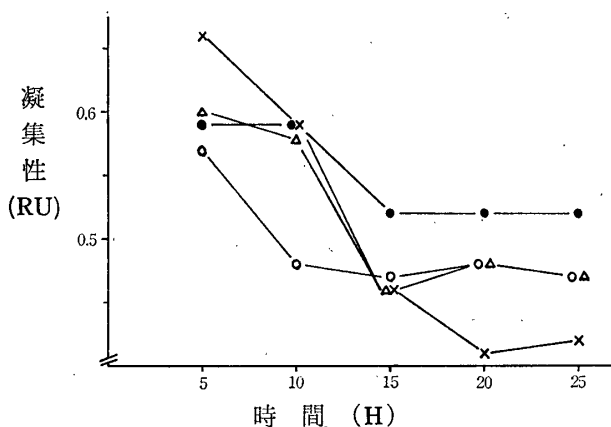


図6-1 1次発酵温度・時間と変形比
プランジャー直径：13mm

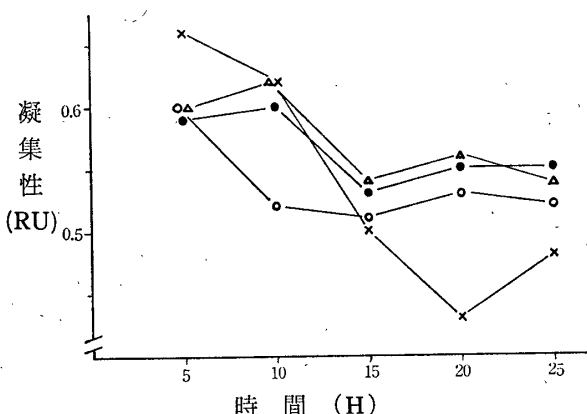


図6-2 1次発酵温度・時間と変形比
プランジャー直径：18mm

○ ○ 0°C
● ● 5°C
△ △ 10°C
× × 15°C

直径別に回帰直線で書いたもので、プランジャー表面積の増加に伴う供試材料から受ける面圧抵抗が硬さの

差としてあらわしている。また比較対照とした常温発酵にくらべて低温発酵は温度・時間別にみて、いずれもやや硬い傾向を示しているが膨化率、比容積、気孔率にみられる程の差はあまりない。

2) 凝集性

プランジャーの繰返し加歪に対する変形比の凝集性は図6-1, 6-2に示すとおり、プランジャー直径に対してほぼ同じ傾向を示している。

全体的には1次発酵10時間迄は凝集性は0.6近辺にあり、15時間以上では0.5近辺にある。その中で発酵温度別にプランジャー直径に関係なくあらわれた凝集性の特徴として、0°Cの供試材料では10時間で急激に低下し、その後はほとんど変わらない。また、15°Cの供試材料では5時間で高い凝集性を示すが、その後直線的に20時間まで大きく低下したのち横這いとなる。この結果からも、1次発酵時間の短い方が、低温発酵の場合良い製品が得られることが判明した。

5. 官能検査

食品のテクスチャー測定は機器による測定と官能検査値との併用によってはじめて実際の価値をあらわすものであり、今回は調理研究室員5名をパネルとした官能検査を行った。使用した試料はA：常温発酵、B：5°C1時間、C：5°C25時間の3種類としてテストを行った。結果は表2のとおりでAの常温発酵の値を100としてB73、C55で官能的に常温発酵にはとても及ばないが、機器テストの結果と同じく低温発酵でも短時間発酵のものは比較的良好の結果を得ている。

また、表2の外観・内相別に分散分析を行った結果は表3のとおりで、内相の調査項目間には有意差がみられないが、1次発酵条件間では高度に有意差を示し、本実験の結果に差のあることを統計的にもうら付けて

表2 官能検査結果

調査項目	評点	試料			
		A	B	C	
外観	体積	10	9.3	6.7	5.7
	表皮の色	8	7.3	5	4.3
	形の均等	3	2.7	2	1
	焼上げ均等	3	3	2	1
	表皮の質	3	2.3	1.3	1
	割れ方	3	2	1.7	0.7
	小計	30	26.6	18.7	13.7
内相	す立ち	10	8	5.7	3.7
	内部の色	10	8.7	8.7	8.7
	触感	15	13	8.7	5.3
	香り	15	10	7.3	6.7
	味	20	15	10.3	6.7
	小計	70	54.7	40.7	31.1
合計	100	81.3	59.4	44.8	
百分比(A=100)		100	73.1	55.1	

表3 官能検査の分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	
外観	調査項目間	9176.44	5	1835.29	60.25**
	1次発酵条件間	1410.11	2	705.06	23.15**
	誤差	304.56	10	30.46	
	計	10891.11	17		
内相	調査項目間	3750.66	4	937.67	3.19
	1次発酵条件間	5634.13	2	2817.07	9.58**
	誤差	2352.54	8	294.07	
	計	11737.33	14		

$$F_{10}^5(0.01) = 5.64 \quad F_{10}^2(0.01) = 7.56$$

$$F_8^4(0.05) = 3.84 \quad F_8^2(0.01) = 8.65$$

いる。

6. イーストの培養

図7に示すとおり、培地を用いてイーストを低温培養し、その消長を検索した結果、パン生地と異なり培

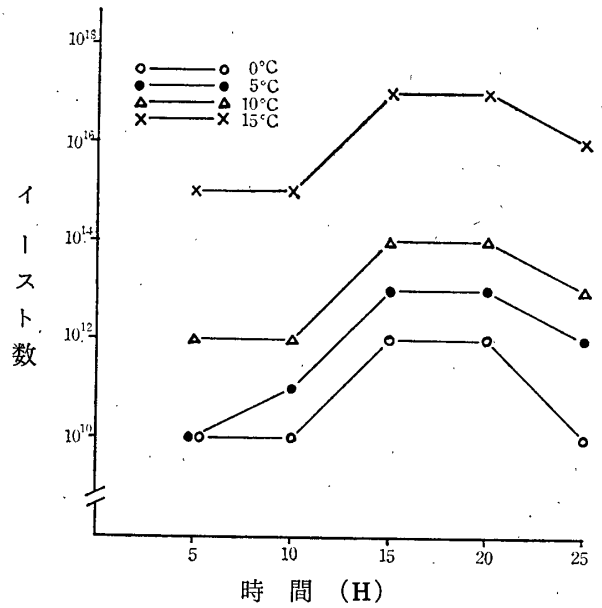


図7 1次発酵温度・時間とイースト数

地であるためイーストにとって栄養成分その他条件的には異なるが、低温中におけるその挙動を知ることができた。

即ち温度が高い程その増殖は大であるが経時的にみただけでは、いずれの温度についても20時間を過ぎた時から減少の方向に向かっている。これは製品テストにおいてみられた25時間発酵による結果が得られなかったことと一致する。即ち低温中においてイーストは10時間から15時間の間によく増殖し、10時間までは横這いの状態を保って増殖に変化はないが、その間に養分を失うことなく存在しているので、製パンの場合2次発酵における自己の最適発酵温度を得て一躍活性化するために、膨化、比容積、気孔の点で短時間低温発酵が長時間低温発酵より、良い成績が得られた結果と一致している。

7. 検鏡

図8にみられるとおり、低温発酵生地の混捏直後の生地中におけるイーストは生地温度が30°Cであるので出芽をはじめ活性化しかけている。5°C・5時間の1次発酵においては両極出芽がみられるがそれほど激しい増殖はみられず、2次発酵において細胞の急激な増殖と多極出芽がみられる。5°C・25時間では1次発酵においてすでに増殖がみられ細胞は巨大化して2次発酵とあまり大差ない状況を示している。2次発酵ではほとんどの細胞が巨大化し、他に比較して出芽も少なくイーストが長時間の低温内においてすでに活性化し、製パン時には気胞膜が破れてガス漏れの状態になっているものと推察され、製品テストおよび官能検査でみ

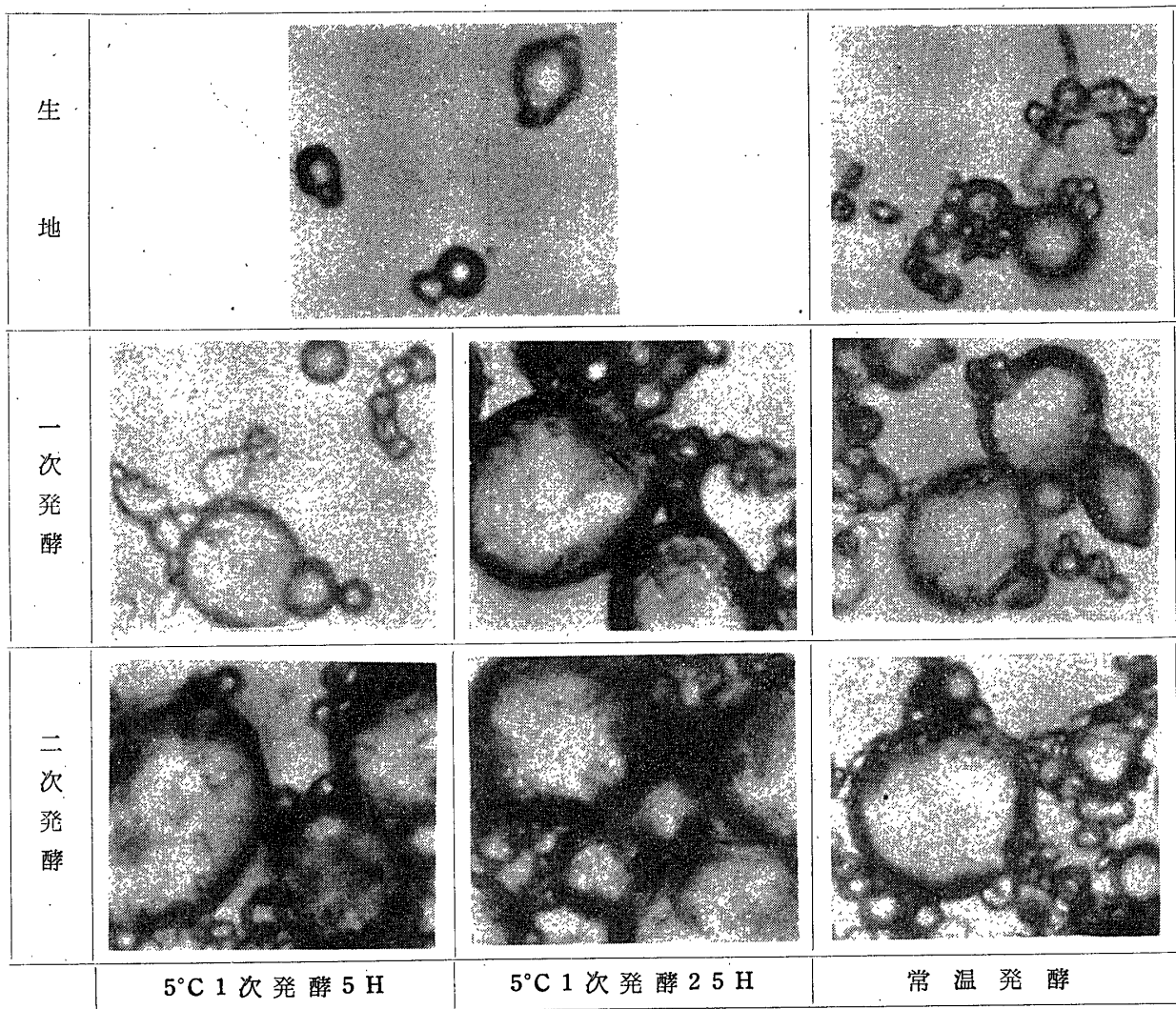


図8 発酵温度・時間とイーストの生態 (×800)

られた結果と一致している。

対照とした常温発酵生地の混捏直後は、攪拌時間が9分のために盛んな増殖がみられ、1次発酵ですでに細胞が巨大化し、2次発酵においてそれがますます増進されて多極出芽を行っている。

これらの比較から、生地や1次発酵でのイーストの生態より以上に、2次発酵におけるイーストの生態すなわち出芽、増殖状況および細胞の巨大化の傾向とその密度の示す過程が、製品に大きな影響を与えていると考えられる。

IV 要約

低温発酵パンについての製品テストを、物理・生物学的性質と官能検査で調査し、さらに常温発酵パンと比較した結果は次のように要約される。

1. 低温と常温発酵の特性比較

機器による物理的性質の測定値ならびに官能検査の結果を、それぞれの常温発酵測定値を100として比較し、とりまとめた結果は図9に示すとおりで

1) 低温発酵パンは、すべての特性値で常温発酵パンを上回るものではなく、製品としては劣る。

2) 膨化率を除いたすべての特性値が経時的に明らかに低下の傾向を示しており、低温発酵法を用いる場合、1次発酵は発酵時間が短いほど常温発酵パンに近いものが得られる。

2. イーストの生態比較

検鏡によるイーストの生態および製品テストと官能検査の結果から

1) 生地や1次発酵でのイーストの生態が製品を左右する以上に2次発酵後のイーストの生態が大きな影響を与えている。

2) 2次発酵後のイーストの生態は、出芽、増殖が

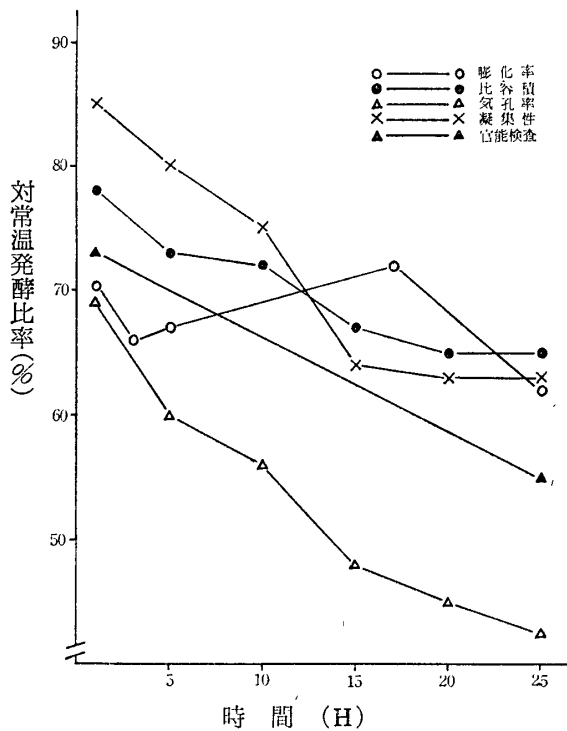


図9 常温発酵に対する試験特性の傾向

さかんほど、また巨大化した細胞の少ないほど、製品として良い結果を得ている。

以上の結果から、今回の2次発酵条件を37°C・50分と一定する低温発酵パンの場合、発酵時間が短いほど

常温発酵パンに類似した製品が得られることがわかった。

しかし、2次発酵のイーストの生態からみて、2次発酵条件が製品に大きな影響を与えることがわかったので、今後は2次発酵の温度と時間についての検討も合わせてすることが必要である。

最後に、本実験の顕微鏡写真撮影に際し、御協力頂いた京都府衛生研究所細菌微生物室、御理解頂いた本学村岡雅一郎助教授、ならびにパネラーとして、御協力頂いた調理研究室の先生方に、厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 食生活：1, 1976
- 2) 庄司一郎・柴田昌英：郡山女子大学紀要11, 1973
- 3) 庄司一郎・倉沢文夫：家政誌, 28, 1977
- 4) 吉田レイ・唐沢恵子・小黒純子：家政誌, 26, 1975
- 5) 稲田和子・園田豊一・橋本潤・松本博：栄養と食糧第15回近畿支部会講演要旨集1976
- 6) 食生活：1, 1977
- 7) 田中智子：パン 日本放送出版協会1977
- 8) 辻昭二郎：家政誌, 27, 1976
- 9) 田中克己・浜清：顕微鏡標本の作り方 裳華房
- 10) 山崎清子・島田キミエ：調理と理論 同文書院