

氏 名(本籍) 高 野 博 幸

学位の種類 博 士 (農 学)

学位記番号 農 第 5 3 3 号

学位授与年月日 平 成 7 年 10 月 12 日

学位授与の要件 学位規則第 4 条第 2 項該当

学位論文題目 パンおよびパン酵母に関する研究

論文審査委員(主 査) 教 授 目 黒 熙

教 授 藤 本 健四郎

教 授 大久保 一 良

論文内容要旨

序論

我が国のパン生産量は昭和20年以降急速に伸び、現在では小麦粉換算で120万トンに達し、食生活に欠くことのできない食品となっている。パンの基本原料は小麦粉、食塩、酵母および水で、小麦粉以外の農産物の粉を混入したコンボジットフラワーの製パンへの利用研究が各国で行われているが、製パン適性の面からの研究は行われていない。また、健康志向が強まっている中で、食塩摂取過多が各国において大きな問題となっている。製品によって異なるが、パンには0.5~2%の食塩が使用されており、使用量の低減と食塩代替品が求められているが、有用な代替品は見出されていない。さらに、新鮮な焼き立てパンに対するニーズが強まり、これに応えられる冷凍生地製パン法の確立が労働の軽減といった観点からも求められたが、問題解決となる有用な方法が見出されていなかった。

本研究では、製パンへの米粉および食塩代替品の利用、更に、冷凍生地製パン法の確立を目的に、基礎的・応用的側面から検討した。第一章では、製パンに適した米粉の調製法とライスブレッドの高品質化技術について、第二章では、食塩代替品を利用した減塩あるいは無塩パンについて、第三章では、冷凍耐性酵母の検索と育種による冷凍生地製パン法の確立についてそれぞれ検討した。

第一章 製パンに適した米粉の調製法とライスブレッドの高品質化技術の確立

「緒言」 パンには、栄養強化あるいは自国産農産物の有効利用等を目的に、小麦粉以外の農産物が使われている。本章では、我が国の主要農産物である米を製パンへ利用する際の最適調製法とライスブレッドの高品質化技術について検討した。第一節では、 α 化処理の有無が生地物性および製パン性に及ぼす影響について、第二節では、米粉添加パン生地の発酵中における糖組成の消長について、第三節では、製パンに適する米粉の調製法について、さらに、第四節では、米粉高置換添加ライスブレッドの高品質化技術について、基礎的・応用的側面からそれぞれ検討した。

「第一節」 生米粉あるいは α 化処理米粉を小麦粉に20%まで置換添加すると、吸水率は米粉添加量の増大に伴って生米粉では減少し、 α 化米粉では増大を示した。生地物性への影響は、生米粉の方が α 化処理米粉よりも少なかった (Fig. 1, 2)。粘度特性では、最高粘度が生米粉の添加で増大し、 α 化処理米粉の添加では低下した (Fig. 3)。生米粉が生地物性に対し影響が少ないのは、小麦粉澱粉に比べ米粉澱粉は粒が硬く吸水速度が遅れるため、このことは水が制限されたパン生地では、糊化開始温度の低い小麦粉澱粉はパン生地中の水を十分に吸収し糊化するが、遅れて糊化する生の米澱粉は水不足のため糊化不十分となり、最終製品であるパンの食味などに悪影響を及ぼすと考えられる。事実、食味評価での触感、食味、総合評価は、生米粉添加パンよりもエクストルーダーで α 化処理した米粉添加パンの方が良いという評価となった (Fig. 4)。

「第二節」 パン生地の発酵に対し生米粉は初期発酵を、 α 化処理米粉は後期発酵を増大する効果がある (Fig. 5)。米粉単独では、 α 化処理米粉は短時間内に発酵が停止するのに対し、生米粉は長時間にわたり発酵が持続していた (Fig. 6)。各米粉と小麦粉および小麦粉に米粉を添加したときの糖組成の消長から、生米粉添加による初期発酵の増大は、米粉中に存在する β -アミラーゼ、 α -グルコシダーゼ、インベルターゼの作用およびシュクロース合成酵素の解糖作用で発酵性糖が生成されること、一方、 α 化処理米粉の添加による後期発酵の増大は、 α 化処理によって糊化したデンプンが小麦粉中のアミラーゼの基質となりマルトースが高含量となること (Fig. 7, 8)。さらに、発酵中の糖組成の変化と炭酸ガス発生が一致することを確認した (Fig. 9)。これらの結果から、製パンには生米粉と α 化処理米粉の両方の性質を兼備した米粉が良いことが判った。

「第三節」 生米粉と α 化処理米粉の長所を兼備した米粉は、 α 化処理では得られないので、生米粉から製パンに適する米粉を得るため、粉碎機および粉碎条件を変え各種米粉を調製した (Table 1)。無糖生地発酵に対しては、上新粉以外は全て初期発酵力が増大し、後期発酵力は損傷澱粉含量に依存し、生米粉から α 化処理米粉の特性を保持した米粉が得られた (Fig. 11)。小麦粉に20~50%置換添加したときの吸水率は、添加量の増大に伴い小麦粉に比べ粒度が粗く損傷澱粉

含量の少ない米粉（10%以下）では減少、粒度が細かく損傷澱粉含量が多い（20%以上）米粉では増大、粒度が小麦粉と同程度かあるいは細かく損傷澱粉含量が13~15%のものは吸水率に差がなく、生地物性に対する影響も少なかった（Fig. 10）。米粉20%置換添加したときの製パン性およびパンの食味は、米粉の粒度が小麦粉より細かく、損傷澱粉含量が10~15%のものが良かった。

「第四節」 米粉20%置換添加したパンで食味評価が良かった米粉を50%まで置換添加すると、添加量の増大に伴ってパン体積、パン品質は低下し、特に50%添加ではパンとして実用性に乏しかった（Fig. 12）。30~40%置換添加でのパン体積、パン品質はイースト量を3%、カビの α -アミラーゼを120~240SKB 使用することで改善され（Fig. 13、14）、240~300SKB 使用すると砂糖無使用量でも高品質のパンが得られた（Fig. 15）。米粉30%添加、砂糖無添加パンは食味評価でも普通（評価点0）程度と評価された。40%添加ではやや劣る（-1）と評価されたが、米粉添加の特徴を保持したライスブレッドが得られた（Fig. 16）。

第二章 食塩代替品による減塩および無塩パンに関する研究

「緒言」 製パンにおいて食塩は生地物性の改良、風味の付与、貯蔵性の向上など、重要な役割を果たしている。しかし、高血圧、脳卒中など各種の疾患と関係があるということから、食塩摂取量の低減は我国のみならず西欧諸国においても大きな社会問題となっている。これまでも食塩の低減および代替品に関する研究が行われているが、効果的な低減となっておらず、代替品に関しても満足できる製品は見出されていない。

本研究では、製パンにおける食塩使用量の低減あるいは製パンにおいて食塩と同程度の役割を発揮する新規代替製品の探索・利用を目的とし、第一節では、食塩の低減と塩化カリウム併用、さらに、第二節では、新規代替品としてグルコン酸ナトリウムおよびグルコン酸カリウムの使用による食塩低減と食塩無使用でのパンの高品質化技術についてそれぞれ検討した。

「第一節」 生地物性は食塩使用量の増大に伴って改良されるが、作業性からは食塩1~1.5%が最低必要と思われ、KCl では生地物性の改良効果が得られなかった (Fig. 17)。無糖パン生地の発酵に対しては、食塩使用量の増大に伴って初期発酵が遅延され、マルトース発酵への移行が遅れ発酵が長時間持続する。KCl でも同様の傾向が認められたが、食塩ほど顕著ではなかった (Fig. 18)。食パンの食味あるいは風味にとって食塩は少なくとも1%必要で、KClでは1%で苦味を感じ食べられず、単独使用は不可能であった (Fig. 19)。生地物性、製パン性、食味などから、食塩は1.25%まで低減可能といえる。食塩とKCl との併用では、食塩量は風味の付与に必要な1%、KCl 使用量は苦味を感じない0.5%以下が良いといえる。食味評価の結果、食塩1.25、1.5および食塩1%にKCl 0.25%~0.5%併用したパンは、味および総合評価に有意な差がなく (Fig. 20)、貯蔵性と老化速度にも各試料間に差がなかった。これらの結果から、食パン製造時の食塩使用量2%は1.25%に、KClを0.25~0.5%併用するなら食塩は1%まで低減可能なことを見出した。

「第二節」 KCl に替わる食塩代替品としてグルコン酸ナトリウム (GNa) あるいはグルコン酸カリウム (GK) の有用性については全く研究が行われていない。GNaあるいはGK共に、単独使用したときの生地物性は食塩1.5%使用の時と同程度有り、生地物性の点からは100%代替が可能といえる (Fig. 21)。製パン試験の結果、食パンでは100%代替してもパン体積には影響がなく、食味としてはGNaおよびGK共に苦味がなく、食塩使用量の75%を代替しても充分受容できる製品であった。100%代替では、食塩使用のパンとは食味が異なるが、食塩無使用パンでの旨味が全くなく食べられないということはなく、食塩使用パンに馴れていることで違和感はあるが、食塩あるいはカリウムが制限されている人達に今までにない高品質なパンを提供することが可能といえる (Fig. 22)。菓子パンでは食塩が0.5~1%使用されているが、GNaあるいはGKで100%代替しても生地物性、パン体積、パン品質、特に食味にはほとんど影響なく、食塩無使用で品質の優れた菓子パン類を製造することが可能であることを見出した (Fig. 23)。食パンの貯蔵中における老化速度を硬さの変化から調べた結果、GNaあるいはGK共に100%代替しても食塩2%使用パンの老化速度と大差がなく (Fig. 24)、

貯蔵性にも差はなく、GK使用で減塩あるいは無塩化が可能なことを見出した。

第三章 冷凍耐性酵母の検索と新規酵母の育種による冷凍生地製パン法の確立

「緒言」 新鮮な焼き立てパンに対するニーズと、製パン工程の省力化とを同時に解決する方法として、発酵を行ったパン生地を冷凍し、必要時に解凍・焼成を行い、直ちにパンを販売するという冷凍生地製パン法の確立が求められた。しかし、発酵によって活性化したパン生地中の酵母は、冷凍によって障害を受けるため、冷凍生地から高品質のパンを得ることは極めて難しい。

本研究では、冷凍生地製パン法で高品質のパンを得るためには、冷凍しても障害を受けることのない酵母を見出すことであると考へ、酵母の側から冷凍生地製パン法の確立を図ることを目的として、第一節では、冷凍耐性酵母の探索とその特性、さらに、第二節では、新規冷凍耐性酵母の育種とその特性についてそれぞれ検討した。

「第一節」 -20°C に冷凍保存したパン生地の解凍後の発酵力は、冷凍前の発酵時間が長くなるに従って低下し、貯蔵期間の延長に伴いさらに低下した (Fig. 25)。この原因は、発酵によって活性化状態となった酵母が、冷凍保存中に凍結障害を受け、活性化状態で冷凍しても障害を受けない、いわゆる冷凍耐性酵母の検索を行い、パン酵母と同種の *Saccharomyces cerevisiae* から冷凍耐性酵母 (FRI-413) を、さらに検索を行い *Kluyveromyces thermotolerans* (FRI-501) を見出した。パン酵母としての発酵能は、FRI-413には無糖および高糖生地発酵力がなく、FRI-501は無糖生地発酵力はないが高糖生地発酵力を保持していた。そして、低糖生地発酵力は市販パン酵母に比べ両菌株共50%以下と劣っていた (Fig. 26)。しかし、発酵を行ったパン生地を冷凍し、解凍後の発酵力、パン体積およびパン品質を調べると、全ての点で、冷凍前の発酵時間が長いほど良いという従来のパン酵母とは全く異なった性質を保持していた (Fig. 27)。従来のパン酵母は、活性化状態にした菌体を小麦粉とエタノールに共存させ冷凍すると、解凍後の発酵力が著しく低下するが、FRI-413は同様の条件下で冷凍しても解凍

後の発酵力は、ほとんど低下しないという特徴を保持していた (Fig. 28)。

「第二節」 冷凍耐性酵母が検索によって見出されたことで、パン酵母として発酵力の優れた冷凍生地製パン用酵母の検索が各パン酵母企業によって行われ、砂糖や油脂を多く使用するパン類の冷凍生地製パンに適用可能な酵母が実用化された。しかし、砂糖無添加で製造するパン類 (例：フランスパン) の冷凍生地製パンに適する酵母は自然界から見出されていない。そこで、冷凍耐性酵母FRI-413と冷凍耐性のない無糖用酵母 (CY-M) との性的交雑による無糖生地用高活性冷凍耐性酵母の育種を行った。性的交雑法で得られた二倍体菌株から目的とする菌株をスクリーニングした。その結果、各種パン生地での発酵力に関してはCY-Mの性質 (Fig. 29, 30) を、冷凍耐性に関してはFRI-413の性質 (Fig. 31) を保持した新規冷凍耐性酵母 FTY-3を取得した。当該酵母は無糖から中糖パン生地 (砂糖20%) までの冷凍生地製パンに適用が可能であることを見出した (Fig. 32)。

総括

食品の多様化、高級化、高品質化そして食品に対する健康志向、製パン業界の合理化などのニーズに合致した製パン用原料の開発・利用によるパンの高品質化技術を確立した。

1) 米への加熱処理の有無が生地物性およびパン品質などに多大な影響を及ぼし、特に無糖生地発酵において生米粉の利用は、米に存在する酵素で発酵に必要な糖が初期段階で生成され初期発酵が増大する。 α 化処理米粉は糊化した米澱粉が小麦粉中の酵素で分解され後期発酵に必要な糖が生成され後期発酵が増大する。

生地物性に対する影響は生米粉は比較的小さいが、 α 化処理米粉は著しく、この影響はパン体積にもそのまま現れること。さらに、パンの食味は α 化処理米粉の方が良いことを見出した。

製パンに適した米粉とは、生米粉と α 化処理米粉の長所を保持したものが良く、凍結粉碎機で生米粉の粒度と損傷澱粉含量をコントロールすることによって得られることを見出した。この米粉は20%まで置換添加が可能で、食味を含め極めて高品質のパンが得られた。さらに、米粉を30あるいは40%置換添加した場合、 α

ーアミラーゼを用いることによって、砂糖無添加で高品質のライスペッドを得ることができ、我が国特有のライスペッドとして期待でき、コンポジットフラワ－の製パン性を検討するうえで大きな指標が得られた。

2) 食パンで減塩の可能性について検討した結果、2%使用されている食塩は1.25~1.5%まで低減可能なこと、さらに食塩1%と塩化カリウム0.25%の併用が可能で、生地物性およびパン品質に何ら影響がないことを見出した。また、グルコン酸ナトリウムあるいはグルコン酸カリウムを使用するなら、食塩使用量の75%まで代替可能であり、100%代替したパンでも作業性、パン体積を損なうことなく、食味の点でも食塩無使用パンよりも優れた高品質パンが得られることを見出した。また、菓子パンでも同様の結果を得た。

これらの結果は、食塩摂取過多が問題となっている我が国を含め多くの国にとって極めて有用な結果であり、さらに、ナトリウムあるいはカリウム摂取が制限されている人達にとってもパンを美味しく食べることができ、製造する側にとっても朗報といえる。

3) 冷凍生地製パンに適した冷凍耐性酵母(FRI-413)を世界で始めて見出した。この酵母は、無糖および高糖生地発酵力に欠けるが、低糖生地発酵力を保持しており、この酵母を用いた冷凍生地からの食パンは、市販酵母を用いたときよりも品質が優れていた。さらに冷凍耐性酵母の検索を行い、低糖と高糖生地発酵力を保持した冷凍耐性酵母(FRI-501)を見出した。この酵母を利用した冷凍生地の貯蔵可能期間は6週間以上あり、冷凍生地製パン用酵母として極めて優れた酵母であるといえる。

冷凍耐性酵母(FRI-413)と冷凍耐性のない無糖用パン酵母を親株として用い、性的交雑法によって高活性の冷凍耐性酵母を育種した。この酵母は冷凍生地製パン法で砂糖無添加のフランスパンから砂糖20%添加のパンまでを製造することができる。冷凍耐性酵母の発見によって、我が国における冷凍生地製パン法の実用化が急速に進展した。今後は、高活性で多目的冷凍耐性酵母の開発・育種を進めることで、冷凍パン生地からのパンの高品質化を図る必要がある。

参考文献

- 1)高野博幸、山方次郎、花木満、小柳妙、田中康夫、食総研報、34, 35(1979).
- 2)高野博幸、小柳妙、田中康夫、日食工誌、27, 50(1980).
- 3)高野博幸、豊島英親、渡辺敦夫、小柳妙、田中康夫、食総研報、48, 43(1986).
- 4)高野博幸、豊島英親、小柳妙、田中康夫、食総研報、48, 52(1986).
- 5)高野博幸、田中康夫、小柳妙、パン類の製造法、特願昭56-151072(昭和56年9月)、特公開58-51838、特公告 60-55090、特許 61-1327515(昭和61年7月30日)。
- 6)高野博幸、食糧—その科学と技術—(食総研編)、22, 25(1982).
- 7)高野博幸、宮崎裕一、日野明寛、朝来壮一、田中康夫、日食工誌(投稿中)。
- 8)高野博幸、垣内利仁、伊勢直躬、焙焼製品へのグルコン酸ナトリウムおよびグルコン酸カリウムの利用：特願平6-303381(平成6(1994)年12月7日)。
- 9)田中康夫、高野博幸、伊藤寛、サッカロミセス・セレビスエフTY(FRI-413)、特願昭57-40044(昭和57(1982)年3月13日)、特開昭58-158179、特許1290653(昭和60(1985)年11月29日)。
- 10)高野博幸、醸協、84, 88(1989)。
- 11)高野博幸、日野明寛、遠藤久則、中川信明、佐藤明男、新規パン酵母、特願平1-59638(平成1(1989)年3月14日)、特開平2-238876、特許1788535(平成5(1993)年9月10日)。
- 12)H. TAKANO, A. HINO, H. ENDO, N. NAKAGAWA, and A. SATO, Freeze Resistant Bakers' Yeast(USA), 特願第07/808,586(1991.12.17)、特許第5,352,606(1994.10.04)。
- 13)H. TAKANO, A. HINO, H. ENDO, N. NAKAGAWA, and A. SATO, Novel Bakers' Yeast(EPC), 特願第90400634.3(1990.3.9)、特許第0388262(1994.9.23)。(英、仏、独、伊、オランダ)。
- 14)高野博幸、田中康夫、小柳妙、伊藤寛、魚住純、冷凍パン生地 of 製造法、特願昭57-40043(昭和57(1982)年3月13日)、特開昭58-158122、特許1272930(昭和60(1985)年7月11日)。
- 15)高野博幸、日野明寛、北林延夫、パン生地膨張力の測定・分析装置、特願平4-1361980(平4年4月28日)。
- 16)高野博幸、日野明寛、吉川恵則、山田善隆、パン酵母の製造法、特願昭63-294508(昭和63年11月)、特開平2-142466、特公平6-50979、特許第1923893(平成7(1995)年4月25日)。
- 17)日野明寛、高野博幸、田中康夫、サッカロミセス・セレビスエフTY-2(FRI-501)、特願昭60-95382(昭和60(1985)年5月7日)、特開昭61-254186、特許第1533442(昭和1(1989)年12月12日)。
- 18)A. HINO, H. TAKANO, and Y. TANAKA, *Cereal Chem.*, 64, 269(1987)。
- 19)H. Hino, K. Mihara, K. Nakashima, and H. Takano, *Appl. Env. Microbiol.*, 56, 1386(1990)。
- 20)日野明寛、高野博幸、北林延夫、新田房二郎、大石勉、田中康夫、日食工誌、35(5), 344(1988)。
- 21)小柳妙、高野博幸、高橋任子、田中康夫、食総研報、34, 29(1979)。
- 22)田中康夫、高野博幸、伊東弥生、食総研報、42, 60(1983.3)。
- 23)豊島英親、田中康夫、高野博幸、石間紀男、食総研報、48, 63(86.3)。
- 24)田中康夫、高野博幸、綾野雄幸、太田富貴雄、渡辺幸男、田中和男、福野滋樹、栄養と食糧、31(3), 273(1978)。

- 25) 綾野雄幸、太田富貴雄、渡辺幸男、田中和男、福野滋樹、田中康夫、高野博幸、*栄養と食糧*、31(5)、449(1978).
- 26) 田中康夫、川上加代子、高野博幸、*食総研報*、36、64(1980.3).
- 27) H. HINO, W. CHAKAMAS, S. KAWAI, S. MURAO, K. YANO, H. TAKANO, and M. TAKAGI, *Biosic. Biotech. Biochem.*, 56(2), 228(1992).
- 28) 日野明寛、高野博幸、*醸協*、84(10), 695(1989).
- 29) 遠藤久則、中川信明、門倉一、日野明寛、高野博幸、*イースト技報*、58, 37(1988.11).
- 30) 末沢保彦、高野博幸、日野明寛、*香川県発酵食品試験場報告*、80, 11(1988).
- 31) 末沢保彦、高野博幸、日野明寛、*香川県発酵食品試験場報告*、80, 16(1988).
- 32) 高橋浩男、高野博幸、小柳妙、田中康夫、眞鍋勝、松浦慎治、*日食工誌*、26, 375(1979).
- 33) 高野博幸、田中芳一、梅田圭司、佐藤友郎、*食総研報*、27, 17(1972.3).
- 34) 高野博幸、梅田圭司、*日食工誌*、21, 267(1974).
- 35) 高野博幸、田中芳一、梅田圭司、佐藤友郎、*食総研報*、27, 64(1972.3).
- 36) 高野博幸、青木章平、梅田圭司、佐藤友郎、*食総研報*、29, 48(1974.3).
- 37) 高野博幸、鈴木忠直、梅田圭司、*日食工誌*、21, 483(1974).
- 38) H. TAKANO, K. UMEDA, S. TAHARA and N. TAKAHASHI, *Plant Cell Physiol.*, 17, 239(1976).
- 39) 高野博幸、田中芳一、梅田圭司、佐藤友郎、*食研報*、27, 59(1972.3).
- 40) 高野博幸、梅田圭司、佐藤友郎、*食研報*、29, 55(1974.3).
- 41) 高野博幸、青木章平、梅田圭司、佐藤友太郎、*日食工誌*、21, 273(1974).
- 42) 高野博幸、*植物の化学調節*、10, 84(1975).
- 43) 高野博幸、川嶋浩二、梅田圭司、*食総研報*、33, 74(1978.3).
- 44) 高野博幸、梅田圭司、佐藤友郎、菅原利昇、*食総研報*、25, 32(1970.2).
- 45) 高野博幸、川嶋浩二、早川昭、梅田圭司、佐藤友郎、*食研報*、25, 1(1970.2).
- 46) 梅田圭司、高野博幸、佐藤友太郎、*日食工誌*、16, 508(1969).
- 47) 梅田圭司、川嶋浩二、高野博幸、佐藤友太郎、*日食工誌*、16, 515(1969).
- 48) 川嶋浩二、高野博幸、梅田圭司、佐藤友郎、*食総研報*、25, 17(1970.2).
- 49) 青木章平、佐藤友太郎、高野博幸、梅田圭司、*日食工誌*、23, 283(1976).
- 50) 梅田圭司、高野博幸、早川昭、佐藤友郎、*食研報*、25, 24(1970.2).
- 51) 龜山研二、高野博幸、梅田圭司、青木章平、*日食工誌*、22, 454(1975).
- 52) 梅田圭司、高野博幸、佐藤友太郎、菅原利昇、*日食工誌*、16, 15(1969).
- 53) 梅田圭司、高野博幸、佐藤友郎、*日食工誌*、17, 55(1970).
- 54) 梅田圭司、高野博幸、佐藤友郎、*食総研報*、25, 4(1970.2).
- 55) 梅田圭司、高野博幸、佐藤友郎、戸塚耕二、麻生和衛、*畜産学会誌*、24, 617(1971).
- 56) 戸塚耕二、田島政彦、庄司圭吾、梅田圭司、川嶋浩二、高野博幸、*実験動物*、22, 251(1973).

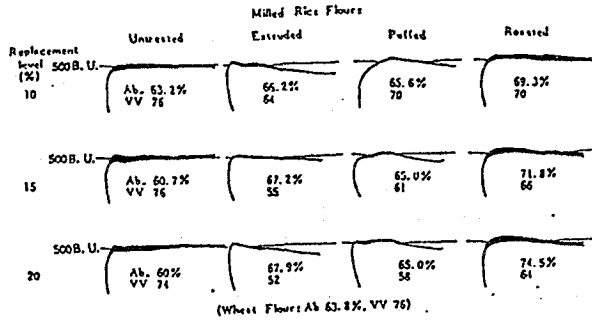


Fig. 1 Farinograms of the Dough of Wheat flour which was replaced with 10 to 20% of Milled Rice Flours.

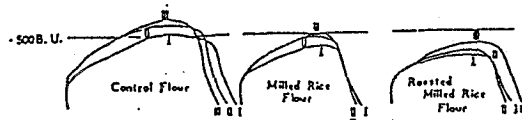


Fig. 2 Extensograms of Control Flour and 20% Replaced Flour with Rice Flours. (1: 45 min., 2: 90 min., 3: 135 min.)

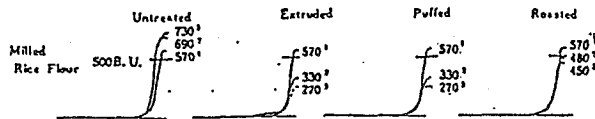


Fig. 3 Amylogram of Control Flour, and 15 and 20% Replaced Flour with Rice Flours. (1: Control, 2: 15% replaced flour, 3: 20% replaced flour)

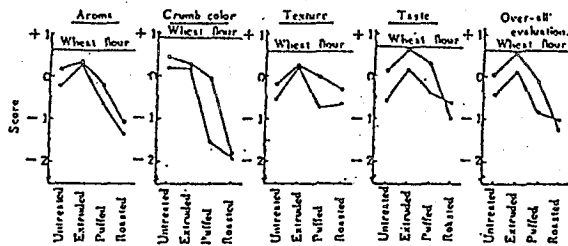


Fig. 4. Quality Evaluation of Bread made from 20% Replaced Wheat Flour with Rice Flours.

(○ : Milled rice flour, ● : Brown rice flour)

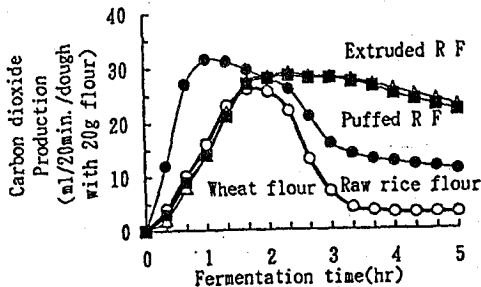


Fig. 5 Effect of rice flour on wheat flour-yeast dough fermentation. (Replaced for 20% of wheat flour).

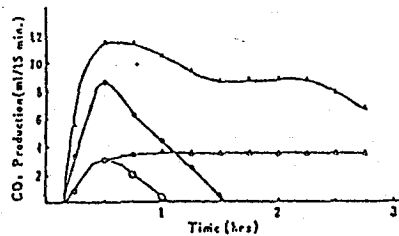


Fig. 6 CO₂ production of untreated rice flour and gelatinized rice flours

△-△ Untreated milled rice flour
○-○ Gelatinized milled rice flour
▲-▲ Untreated brown rice flour
●-● Gelatinized brown rice flour

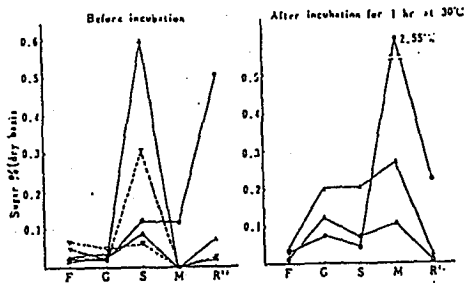


Fig. 7 Sugar concentrations of untreated rice flour and extruded rice flour before and after incubation*

*: Incubation for 1 hr at 30°C in aqueous suspension
 1) F: fructose, G: glucose, S: sucrose, M: maltose, R: raffinose
 ● = Wheat flour
 ▲ = Untreated milled rice flour, △ = Untreated brown rice flour
 ◻ = Extruded milled rice flour, ▽ = Extruded brown rice flour

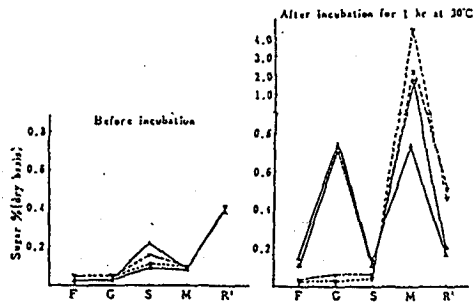


Fig. 8 Effect of rice flour addition* to the wheat flour on the sugar concentrations of the dough before and after incubation for 1 hr at 30°C

*: Replaced for 20% of the wheat flour
 1) F: fructose, G: glucose, S: sucrose, M: maltose, R: raffinose
 △ = 30% wheat flour + 10% untreated milled rice flour
 ▲ = " " + 10% untreated brown rice flour
 ▽ = " " + 10% extruded milled rice flour
 ▾ = " " + 10% extruded brown rice flour

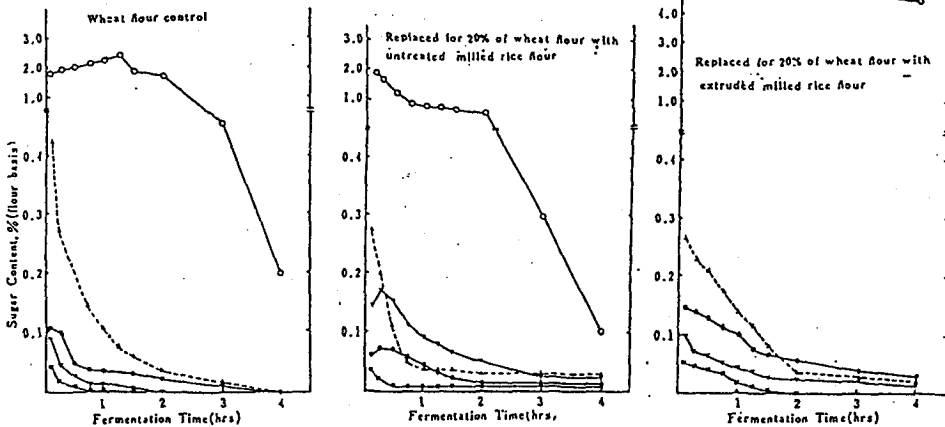


Fig. 9 Changes in sugar concentration of wheat flour-yeast dough* during fermentation
 ○ Maltose, ▽ Glucose, ◻ Fructose, ◻ Sucrose, ▲ Raffinose

Table 1 Average of the particle size and damaged starch of wheat and rice flour.

	Particle size (Average) (μ)	Damaged starch (%)	Milling machine & milling condition
Wheat flour	7.5	8.6	Commercial Bread Making Flour
Rice flour I	12.0	11.7	Brabender Experimental Mill
			Commercial Type "Cryo-Mill"
Rice flour V	3.6	13.4	milled cryogenically at -120°C
Rice flour VI	3.8	14.2	controlled machine temp. at 10°C
Rice flour VII	3.2	24.1	do at 30°C
Johshinko	12.8	16.8	Commercial raw rice flour

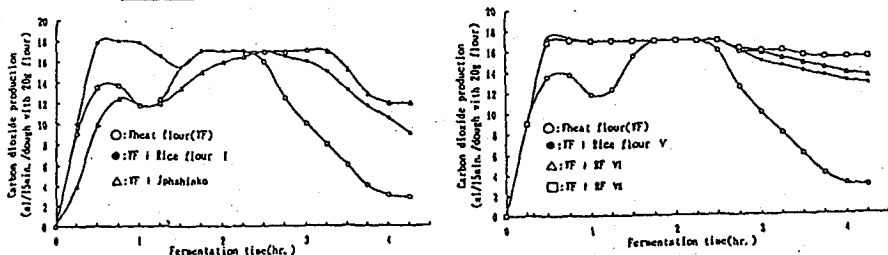


Fig. 10 Effect of rice flour addition* to the wheat flour on flour-yeast dough fermentation.
 (*: Replaced for 20% of the wheat flour)

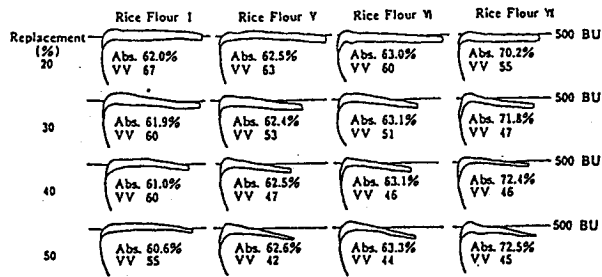


Fig. 11 Farinograms of 20 to 50% Replaced Flour with Rice Flours.
(control flour : abs. 63.0%, V V 73)

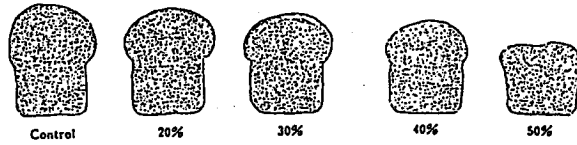


Fig. 12 Effect of Rice Flour Addition on the Loaf Volume.
(yeast : 2g)

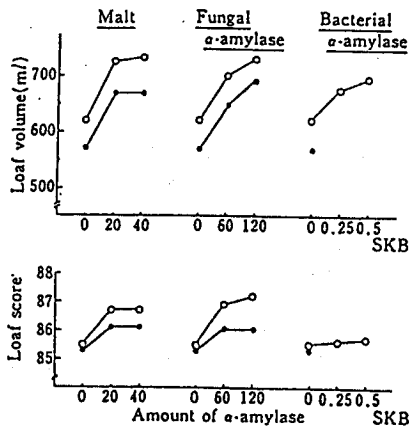


Fig. 13 Effect of α -amylase on the Rice Bread Qualities*.

* : Replaced for 30% of wheat flour with rice flour VI
● : yeast 2g. ○ : yeast 3g

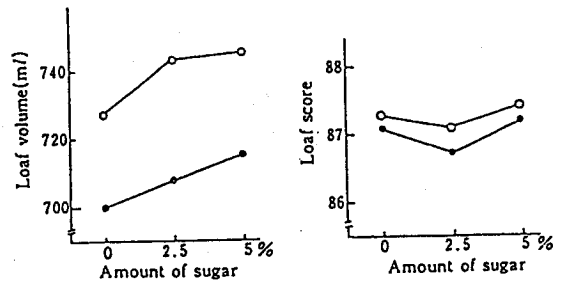


Fig. 14 Effect of Sugar Concentration on the Rice Bread Qualities*.

* : Replaced for 30% of wheat flour with rice flours
yeast 3g
● : fungal α -amylase 120 SKB
○ : fungal α -amylase 240 SKB

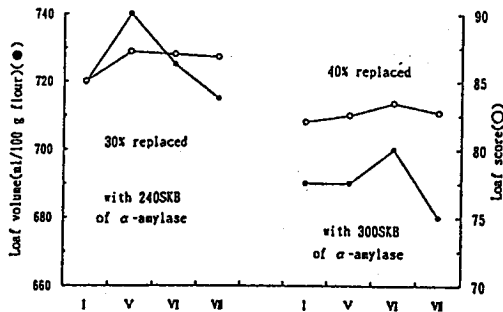


Fig. 15 Effect of fungal α -amylase on the rice bread qualities without sugar (Yeast 3X)

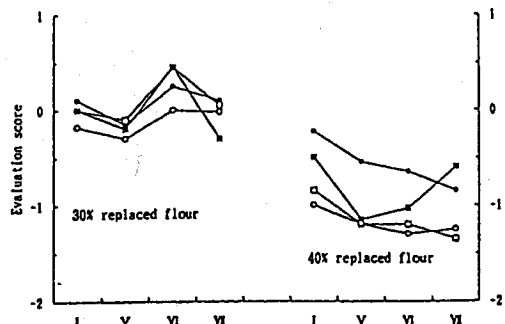


Fig. 16 Quality evaluation of bread made from 30 and 40% replaced wheat flour with rice flours.

(●: Aroma, □: Texture, ■: Taste, ○: Over-all evaluation)

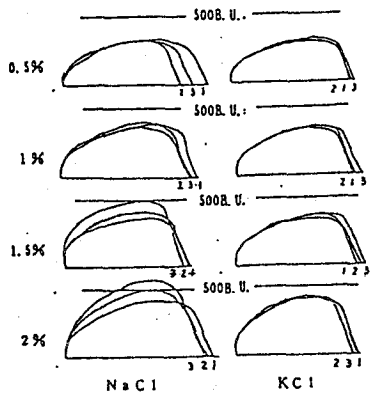


Fig. 17 Effect of NaCl and KCl on the Extensograms.
(1:45 min., 2:30 min., 3:15 min.)

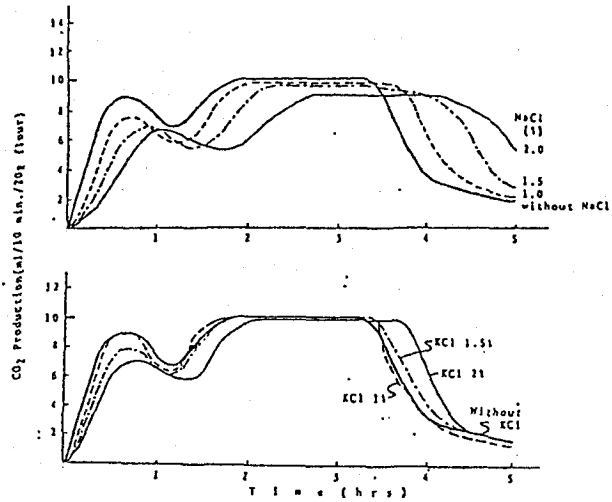


Fig. 18 Fermentation pattern of non-sugar dough with NaCl or KCl by CO₂ production.

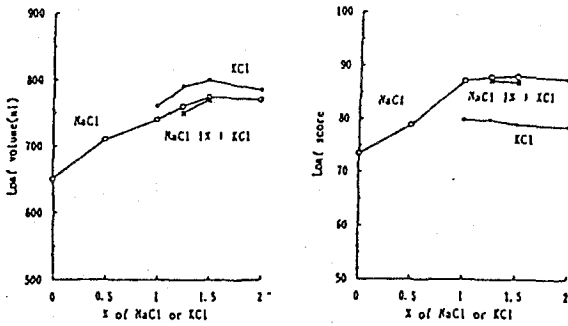


Fig. 19 Effect of NaCl and KCl on loaf volume and loaf score of the white bread.

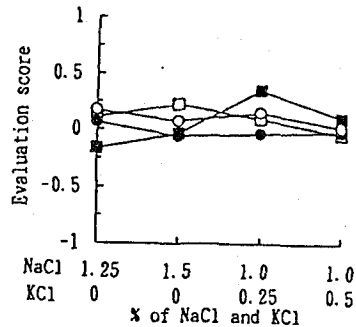


Fig. 20 Sensory evaluation score of white bread with NaCl or KCl.
(□: Aroma, ■: Texture, ○: Taste, ●: Over-all evaluation)

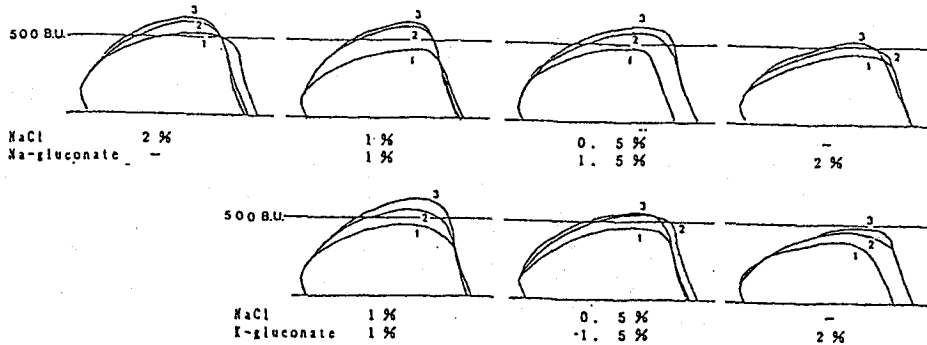


Fig. 21 Effect of Na-gluconate and K-gluconate on the Extensograms.
(1:45 min., 2:30 min., 3:15 min.)

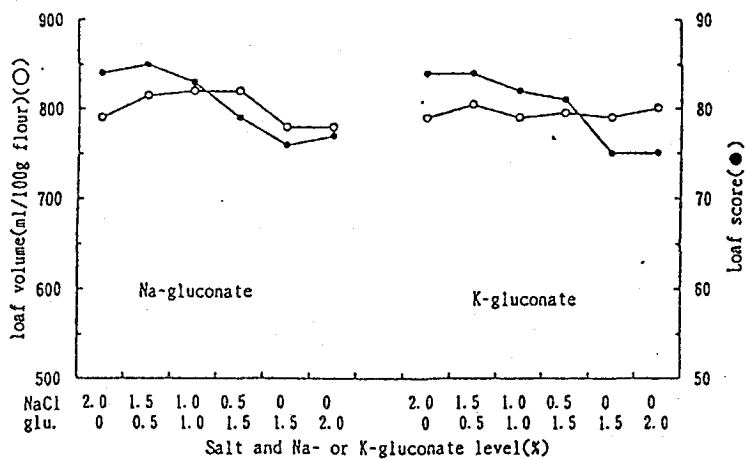


Fig. 22 Effect of NaCl and Na-, or K-gluconate on loaf volume and loaf score of the white bread.

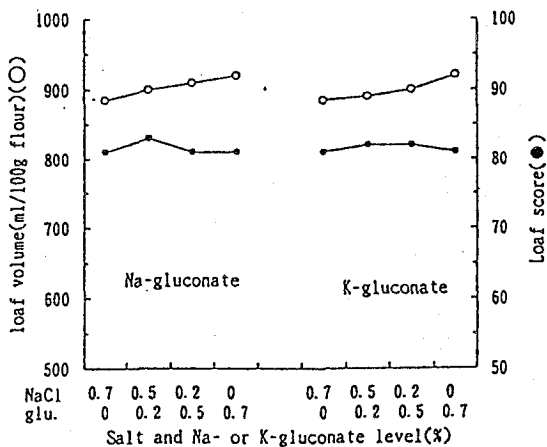


Fig. 23 Effect of NaCl and Na-, or K-gluconate on loaf volume and loaf score of the sweet bread.

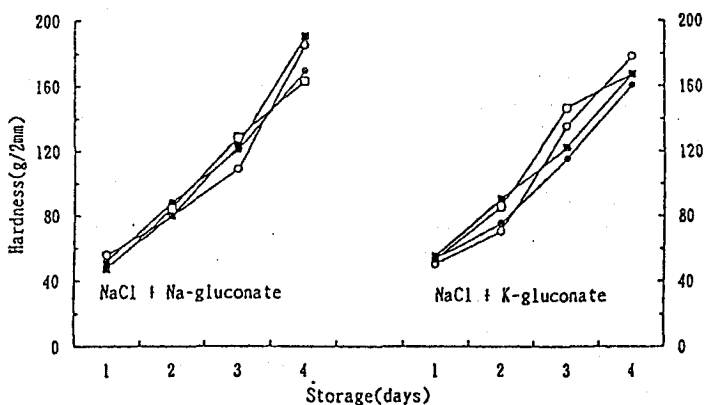


Fig. 24 Effect of NaCl and Na-, or K-gluconate on staling of the white bread during storage at 30°C.
(NaCl + Na-gluconate or K-gluconate,
○:2%+0, □:1%+1%, ■:0.5%+1.5%, ●:0+2%)

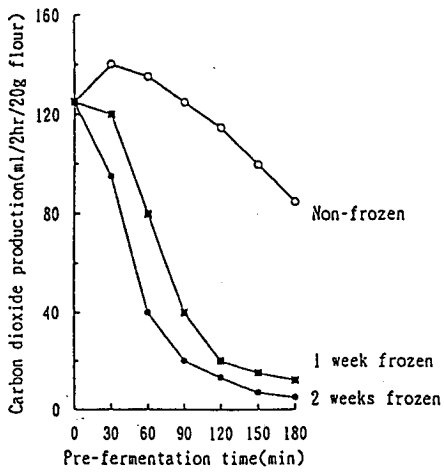


Fig. 25 Fermentation ability of pre-fermented frozen dough* with commercial bakers' yeast after thawed. (*:Low-sugar dough)

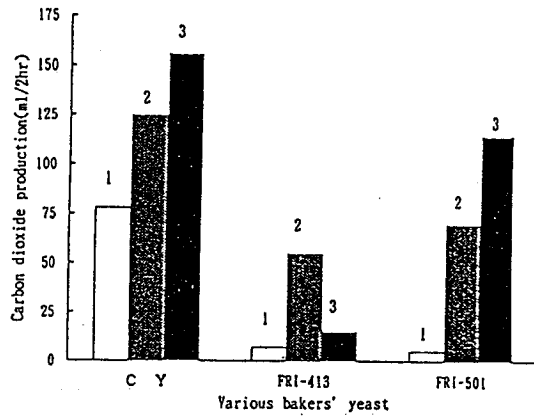


Fig. 26 Fermentation abilities of various yeast (Sugar content, 1: 0, 2:5%, 3:30%)

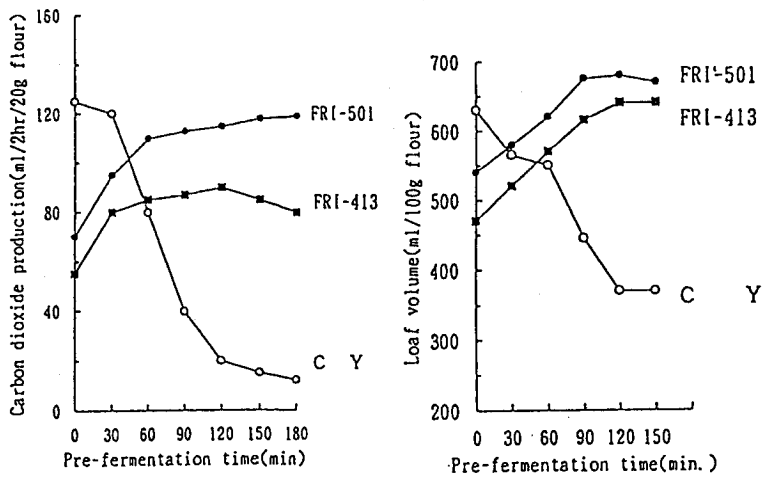


Fig. 27 Effect of pre-fermentation time on the fermentation ability and loaf volume of the LSBD after thawed. (Frozen at -20°C for 1 week)

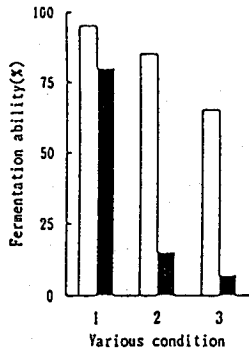


Fig. 28 Fermentation ability of activated yeast and pre-fermented low-sugar bread dough after freezing* and thawing
 1. (Activated yeast)+(Wheat flour)
 2. (1) + (Ethanol 1X)
 3. 2hr Pre-fermented low-sugar dough (*:Frozen storage at -20°C for 7days)
 □: FRI-413, ■: Commercial yeast

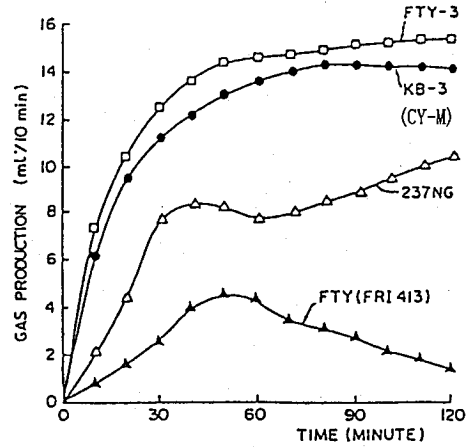


Fig. 29 Fermentation pattern of non-sugar dough with various yeast

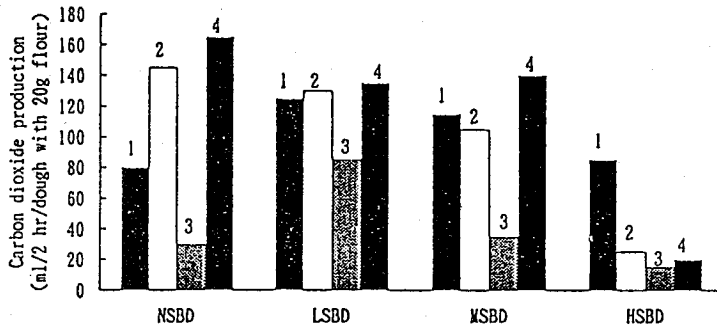


Fig. 30 Fermentation ability of FTY-3 as compared to that of the parent and commercial bakers' yeast with various bread dough.
 (1: Commercial yeast, 2: CY-M, 3: FRI-413, 4: FTY-3)
 (Sugar content: NSBD - 0%, LSBD - 5%, MSBD - 20%, HSBD - 30%)

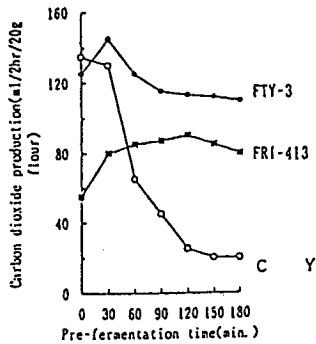


Fig. 31 Fermentation ability of pre-fermented frozen-dough after thawing

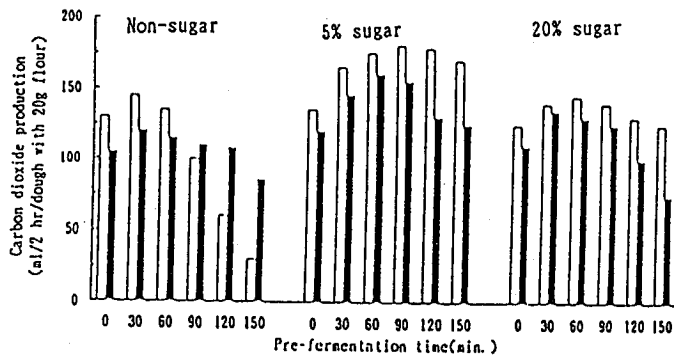


Fig. 32 Fermentation ability of non-frozen and frozen bread dough with FTY-3.
 (□: non-frozen, ■: frozen at -20°C for 1 week)

論文審査の要旨

本論文は、現在世界的に最も重要な食品となっているパン及びパン酵母について食品加工の立場より詳細な研究をおこなったもので、(1)ライスブレッド及び(2)減塩及び無塩パンの開発、(3)冷凍生地製パン法、及びそれに必要な(4)冷凍耐性酵母の検索と育種に成功した。

ライスブレッドは日本の米の需要拡大、及び新しい高品質の食品の開発を目的とし開発された。本研究者は米粉の一部を α 化し、これを生米粉と混合することによりパンの品質を制御する方法を見出し、米粉20%まで加えた極めて高品質のパンの製造に成功した。また、製パンにおいて食塩は生地物性の改良、風味の付与貯蔵性の向上など、重要な役割を果たしている。しかし高血圧、脳卒中など各種の疾患と関係があるということから、食塩摂取量の低減は我が国のみならず西欧諸国においても大きな問題となっている。本研究者は食塩摂取過多対策としてグルコン酸ナトリウム又はカリウムを用いて、食塩無使用または低使用の優れた品質のパンの製造法を見出した。冷凍生地製パンは工場で冷凍生地を製造し、パン屋に配送し、各店で焼きたてのパンを焼きあげ、販売するものである。そのためには耐冷凍性の酵母が必要である。本研究では世界で初めて冷凍生地製パンに適した酵母を見出した。また本酵母と無糖用パン酵母を親株として高活性の新酵母を育種した。これによりフランスパンから20%の砂糖添加のパンまで製造することができた。本酵母を用いた冷凍生地は6週間以上の貯蔵が可能であり、これにより我国の冷凍生地製パン法の実用化が急速に進展した。これは我国の他、米国、ヨーロッパにおいても特許として承認され、製パン技術上重要な研究である。

審査員一同は、本研究者に博士（農学）の学位を授与するのに値するものと認定した。