

学位論文題名

パン酵母の製造法および製パン性能の改良に関する研究

学位論文内容の要旨

わが国のパン酵母の工業生産は1931年に始まり、現在では国内企業7社によって年間約38,000トンのパン酵母が生産されている。製パン上、パン酵母には、高糖生地発酵性と低糖生地発酵性という2つの重要な性質がある。わが国では菓子パン製品が多く、パン酵母生産量の約90%が高糖生地発酵性の強い汎用のパン酵母であり、残りの10%は食パン用、冷凍生地用などの専用品であると推定される。したがって、一種類の汎用のパン酵母株で製パンの幅広い要求に対応する必要があるが、培養条件と製パン性能との関係が明らかでなかった。

本研究では、このような背景の中で、高糖生地発酵性の強い2倍体の汎用のパン酵母の収率および製パン性能の改良を目的とし、

1. パン酵母の発酵諸特性と製パン性能との関係を明確にするため菌体成分、酵素活性、発酵特性と製パン性能との関係の検討を行った。
2. パン酵母培養の原料と培養条件の検討を行うと共に、得られた最良条件を大量培養の場で再現させるため、パン酵母培養の糖供給速度と比増殖速度、酸素要求と供給速度の検討を行った。
3. パン酵母の発酵性能を向上する主要な培養条件を決定すると共に、製パン性能に対し効果が大きい糖蜜の流加法と培地浸透圧が発酵性能を向上するメカニズムの解明について研究を行った。

本研究によって、原料の種類と使用方法、最適溶存酸素（DO）濃度を決定することができ、収率および製パン性能に対し糖蜜の流加法と培地浸透圧の影響が大きいことを見いだすことができた。回分培養での糖濃度、流加培養における指数期と成熟期の糖供給速度を決定すると共に、パン酵母の酸素要求量とその酸素量を供給するのに必要な攪拌動力を決定することができた。パン酵母の製パン性能に対し効果が大きい培養条件は糖蜜の流加法と培地浸透圧であることを見いだし、両者の発酵性能を向上させる作用メカニズムが異なり、糖蜜の間欠流加法はパン酵母の解糖系酵素活性を向上し、培地浸透圧の上昇は、細胞内への基質の取り込み速度を促進し、かつパン酵母に耐浸透圧性を付与する結果であることを明らかにした。得られた結果より、一種類の汎

用のパン酵母株で製パンの幅広い要求に対応することが可能となり、パン酵母製造の研究ならびに製造法の発展に寄与した。

本研究を要約すると、

1. 製パン性能の代替特性に関しては、(1)食パン仲種の初期発酵の代替特性はインベルターゼ活性、マルターゼ活性、マルトース8%の液体培地での炭酸ガスの発生量 ( $M_8$ 、無糖生地第1発酵60分の生地膨張量 (無糖生地 I)、無糖生地ファーモグラフ初期発酵の加速度 (ファーモグラフ  $a_0$ )、無糖生地ファーモグラフ発酵終了時間 (ファーモグラフ  $F_i$ )。 (2)食パンホイロ所要時間と比容量の代替特性は蔗糖10%液体発酵での炭酸ガスの発生量 ( $F_{10}$ )。 (3)菓子パン仲種の初期発酵の代替特性はマルターゼ活性、 $M_8$ 、無糖生地第2発酵40分の生地膨張量 (無糖生地 II)、ファーモグラフ  $a_{00}$ 。 (4)菓子パンホイロと比容量の代替特性は  $F_{10}$ 、蔗糖40%の液体発酵での炭酸ガスの発生量 ( $F_{40}$ )、無糖生地 II、高糖生地である。
2. 炭素源 (糖蜜、粗糖、エタノール)、窒素源、リン酸源、ビタミン類に関しては、(1)ケーン糖蜜、ステッフエン製糖法のビート糖蜜 (HB)、イオン交換樹脂製糖法のビート糖蜜 (HA糖蜜) を炭素源とする場合、ケーン糖蜜に HB 糖蜜を混合するとパン酵母の収率が高いが、製パン性能が低下し、HA 糖蜜の混合により食パンホイロの所要時間、菓子パン性能が向上した。(2)粗糖を炭素源とする場合、食パンホイロの所要時間が長かったが、ケーン糖蜜並の収率および製パン性能のパン酵母を得、酵母分離液の色相および BOD 重荷はそれぞれケーン糖蜜の  $1/3$  と  $1/2$  以下に軽減した。(3)エタノールを炭素源とする場合、対エタノール収率約40%であり、食パン仲種の初期発酵が低下し、食パンホイロ所要時間が短縮した。(4)硫酸、アンモニア、尿素を窒素源とする場合、アンモニアは収率が高く、食パン性能は窒素源による差が認められなかったが、硫酸は菓子パン性能が高かった。(5)リン酸源を培養始発時にパン酵母の  $P_2O_5$  2.5~3.0%の範囲内になるように添加して培養すると、収率が高く、製パン性能が良好なパン酵母が得られた。(6)ビタミン類は、ケーン糖蜜を含有糖基準で20%混合した HB 糖蜜で、窒素源に尿素を使用した場合にビオチンの添加が必須であり、チアミンを添加する収率が低下するが、製パン性能が向上した。ケーン糖蜜では複数のビタミン添加が必要であり、ピリドキシンの存在により製パン性能の良好なパン酵母が得られた。
3. 種菌の培養条件、製品培養の温度、培養 pH、DO 濃度、糖蜜の流加法、培地浸透圧に関しては、(1)熟成していない種菌を用いると収率ならびに発酵性能が高いパン酵母が得られた。(2)培養温度30℃で培養したパン酵母の製パン性能が良好であった。(3)培養 pH 6.5~7.0で培養したパン酵母は食パン仲種の初期発酵が低下するが、菓子パン性能が良好であった。(4)培養全期間を通じて DO 濃度0.6 ppm 以上で培養したパン酵母の製パン性能は良好であった。(5)糖蜜

の流加を間欠にすると収率は低下したが、製パン性能は良好であった。(6)食塩を添加して培地浸透圧を高めて培養すると収率は低下したが、製パン性能が良好であった。

4. 糖供給速度と比増殖速度、酸素要求と供給速度に関しては、(1)収率において、回分培養での糖濃度は6%が上限値であり、流加培養では、指数期の糖供給速度 $0.471 \text{ g sugar/g yeast}$ が上限値であり、熟成期の糖供給速度は $0.118 \text{ g sugar/g yeast hr}$ が熟成度において下限値であった。(2)増殖に必要な酸素量は $1 \text{ kg O}_2/\text{Kg yeast}$ であり、タービン翼型の通気攪拌槽における攪拌所要動力は、通気量 $1 \text{ VVM}$ のとき $0.343 \text{ KW/Kg yeast}$ であった。

5. パン酵母の製パン性能に対し効果が大きい培養条件は糖蜜の流加法、培地浸透圧、培養pHであり、(1)糖蜜を間欠流加すると製パン性能を向上させた。(2)NaClを添加して培地浸透圧を高めて培養したパン酵母の製パン性能が良好であった。(3)培養pH6.5で培養と食パン性能が良好であった。(4)糖蜜の間欠流加により醗酵性能が向上することは、phosphofructokinase, alcohol dehydrogenase 活性が向上した結果であり、培地浸透圧による効果はパン酵母細胞内への基質の糖の取り込み速度の促進ならびに耐浸透圧性を付与した結果であると考えられた。

以上により、良好な品質のパン酵母を安定して製造することが可能となり、食塩の添加濃度と糖蜜の流加法を変えることによって、パン酵母の食パン性能と菓子パン性能をある程度自由に変えることができるようになった。そのため、一種類のパン酵母菌で幅広い製パン性能法に対応することが可能となった。その結果、製造工程を増設しなくても済み、多額の設備投資を必要としない大きなメリットをもたらした。

## 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 富 田 房 男

副 査 教 授 千 葉 誠 哉

副 査 教 授 仁 木 良 哉

本論文は和文226頁、図32、表106、引用文献100、緒言、本論5章、和文総括からなり、ほかに参考論文15編が付されている。

わが国では、食パン・菓子パン両方に使用されている汎用のパン酵母の生産量は全酵母生産量の約90%以上を占めていると推定され、残り10%は、一種類のパン酵母で目的とするパンの特徴、

を発揮させるのには効率が悪いために、パンの製品に対応した専用品が生産されている。一種類のパン酵母菌株を用い培養条件を変えることによって、製パンの幅広い要求に対応することができれば製造者にも、使用者にも経済的であるが、汎用のパン酵母の製造条件と製パン性能との関係についてはほとんど明らかになっていなかった。

本研究では、食パン・菓子パン両方に使用されている高糖濃度発酵性の強い2倍体の汎用のパン酵母を用い、パン酵母の発酵諸特性と製パン性能との関係、原料および培養条件、ならびにパン酵母培養槽の設計基礎について検討し、パン酵母の発酵特性ならびに製造方法と製パン性能との関係を明らかにし、製パン性能の優れたパン酵母の製造法ならびに培養槽節制の基礎を確立した。また、製パン性能に対して影響が大きい糖蜜の流加法と培地浸透圧効果の違いのメカニズムを明らかにした。

緒言では、パン酵母製造業界の歴史的背景および現状ならびに本研究の製造技術および学問的な必要性について述べられている。

本論、第一章では、パン酵母製造の概要ならびに本研究で用いた培養法および製パン性能の測定法を述べると共に、培養条件を変えた16種類の培養を行ったパン酵母について、菌体成分や発酵特性と製パン性能との関係を解析し、製パン性能の代替特性となる発酵特性を見だし体系づけを行うことができたことが述べられている。

第二章では、原料によるパン酵母の収率および品質の改良について述べられており、下記の内容が含まれている。

1. 炭素源にケーン糖蜜を用い、窒素源は  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  と  $\text{NH}_4\text{OH}$  を組み合わせて用い、パン酵母の  $\text{P}_2\text{O}_5$  が2.5~3.0%になるようにリン酸源を培養始発時に添加し、ビタミン類特に thiamine ならびに pyridoxine を添加して培養することによって、品質の優れたパン酵母を収率良く製造することが可能であることを示した。
2. 粗糖ならびに ethanol を原料とするパン酵母の製造法を研究し、収率および品質の良好なパン酵母の製造法を確立した。

第三章では、培養条件によるパン酵母の収率および品質の改良について述べられており、下記の内容が含まれている。

1. 熟成していない種菌を用い、培養温度30℃、培養 pH6.5、溶存酸素濃度0.6ppm 以上を確保し、糖蜜を間欠流加し、NaCl を1.5~2.0%に培地に添加して培地浸透圧を高めて培養することにより、製パン性能の優れたパン酵母を製造することができた。

第四章では、パン酵母の培養の生物工学的な研究について述べられており、下記の内容が含まれている。

1. 指数増殖期の糖供給速度 $0.412 - 0.471 \text{ g sugar/g yeast hr}$ の範囲内で、比増殖速度 $0.195 \sim 0.210 \text{ hr}^{-1}$ 、収率 $49.61 \sim 52.26\%$ が得られ、熟成した酵母を得るためには熟成期の糖供給速度は $0.118 \text{ g sugar/g yeast hr}$ が下限値であり、このときの収率は約 $25\%$ であった。
2. パン酵母の増殖に必要な酸素量は $1 \text{ kg O}_2/\text{Kg growth yeast}$ であり、タービン翼型の通気攪拌槽では、この酸素量を供給するのに必要な攪拌動力は、通気量 $1 \text{ VVM}$ のとき、 $0.343 \text{ KW/Kg yeast}$ が得られた。

第五章では、パン酵母の製パン性能に対し効果が大きい培養条件は糖蜜の流加法、培地浸透圧ならびに培養 pH が得られることを述べると共に、糖蜜の流加法ならびに培地浸透圧による品質改良の効果のメカニズムを解明するため生物化学的な研究について述べられており、下記の内容が含まれている。

1. 糖蜜を間欠流加して培養するとパン酵母の発酵性能を向上することは、パン酵母のphospho-fructokinase および alcohol dehydrogenase 活性が向上した結果であると考えられる。
2. NaCl を添加して培地浸透圧を高めて培養すると、パン酵母の発酵性能が向上したことは、パン酵母の細胞内への基質糖の取り込み速度が促進し、かつ耐浸透圧性を獲得した結果であると考えられる。

以上のように、パン酵母の製造法による製パン性能の改良について微生物学的、生物学ならびに生物化学的な検討と解析を行い、パン酵母の製パン性能に及ぼす製造方法に関する研究について基礎および応用面での貢献を果たした。

よって、審査員一同は別に行った学力確認試験の結果と併せて、本論文の提出者 小川 紀児は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。