

403

カタストロフィ・モデルによるパン酵母増殖の解析と

糖流加法によるパン酵母の生産

(広島大・工・醗酵) ○ 広田文人, 南波 章, 永井史郎

1 目的 プロセスを制御する場合、プロセス変数が検出可能で、そのプロセスの動特性を明確にする必要がある。一般に、微生物の培養過程は多くの要因の支配を受け、しかも高度な非線形特性を有し、その動力学的特性を完全に記述することは困難である。一般性をもつ抽象化されたモデルは広い応用性を持つ。例えば Monod の増殖速度式が微生物の培養に広く応用されていることでもうなづける。しかし、この动力学モデルを具体的問題として個々の微生物培養に応用しようとするとき、抽象化される過程で考察されなかった種々の要因が重要となる場合が多い。このような見地から醗酵動力学をプロセス制御に応用するためには、更に総合的に系全体を把握するモデルを考えることも必要となる。

パン酵母の培養過程は培地中の容存酸素および糖濃度によって大きく支配されることは古くから知られている。高い糖濃度はエタノールの副生を促進し菌体の対基質収率を低下させる。このため培地の供給速度を制御しながら糖濃度を低く保つ必要がある。しかもこの培養系では生成されたエタノールが再び Diauxie 的に質化されるといった複雑なプロセスを含む。このような基質の濃度関係によって生ずる非連続的な現象で、且つそれぞれの現象の発現に時間おくれを伴うような Diauxie 増殖系はカスプ型カタストロフィモデルとして認識することができる。この場合の动力学モデルは図 I のようなエタノールの生成および消費速度を縦軸に糖およびエタノール濃度を S および A 軸とする折れ目をもつ曲面 M で示される。曲面 M は O, S, A を含む平面によって上半曲面 M_U エタノール生成(糖消費)相と下半曲面 M_L エタノール質化相に分けられる。 S, A が O, C_1, C_2 にぶくまれる領域にあれば履歴によって M_U か M_L のいずれかの相に属する。回分培養においては、糖の消費エタノールの生成について系は M_U 上を A から B に向けて移動し、折れ目 B 点に達すると相は急激に M_L 上の B 点に対応する B' 点に移りエタノールの質化が始まり系は M_L 上を原点 O に移動する。

本研究はパン酵母培養において糖流加制御を実施する実験において生起する諸現象をこのモデルに基づいて解析し、実際に培養制御への応用について検討した。

2. 方法 使用菌株: *Saccharomyces cerevisiae* HUT 7099 及び市販パン酵母

培地: (基本培地) KH_2PO_4 0.5%, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.1%
 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1.7%, Yeast, ext 0.1%
 (流加培地) Glucose 200%, KH_2PO_4 10%
 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2%, Yeast, ext 2%

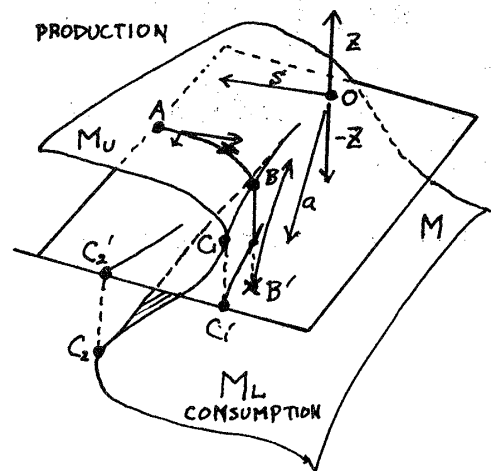


図 I

シンポジウム(醗酵動力学とその応用)

培養方法：予備的な培養として糖を少量ずつ添加、菌の状態を調整後、本培養に入る。初菌体濃度、推定増殖収率、比増殖速度を基準にして初期糖流加速度(K)を決定した。その後、この初期値を用い糖流加速度を指数関数的に増加させながら培養を行なった。培養期間中、排ガス中のエタノール濃度を半導体型ガスセンサーで検知し培養液中のエタノール濃度を推定。エタノール濃度の増減傾向から流加速度の制御を行なった。エタノール濃度の推定、糖流加速度の制御、溶存酸素及びpHの管理はすべてマイクロコンピュータ TICS-12A を用いたオンライン制御により行なった。

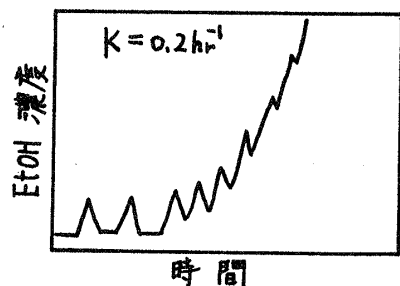
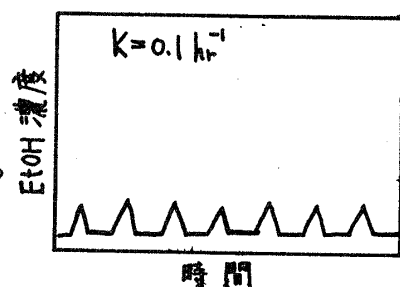
分析法：菌体量は乾燥菌体又は吸光度法により求めた。培養液中の残糖量、残エタノール濃度は試料中の菌体除去後各々 Somogyi - Nelson 法、ガスクロマトグラフィ法で測定した。

3. 結果 (i) 糖流加培養過程中、一般的にエタノールの急激な生成(0~15 ppm)に続き系が反転し急速に消失するパルスの挙動が周期的に認められた。糖流加速度($K=0.1 \text{ hr}^{-1}$)ではパルスの挙動は見られるものの残存エタノールは低い水準に保たれ安定な流加培養が実現できた。糖流加速度($K=0.2 \text{ hr}^{-1}$)以上の培養下は頻繁なパルスの挙動と共に残存エタノール濃度は徐々に増加し、その後エタノールの多量生成がみられた(以上、図参照)。

(ii) 糖流加速度($K=0.1 \text{ hr}^{-1}$)での培養中、糖をパルスのように添加すると急激なエタノール生成が起る。この時の系の応答は急速であり、過剰糖濃度に対するエタノール生成速度を指標とした制御は有効と考えられる。その後、糖の流加にもかわらぬエタノールは急速に消費された。同様の条件下エタノールをパルスのように添加するとエタノールは直ちに消費され始める。エタノール消費段階で糖のパルスの添加を行うと直ちに系は反転しエタノール生成が始まる。

これらの実験結果は糖およびエタノール濃度とエタノール生成および消費速度の3変数を軸とした上述のカスプ型カタストロフィーモデル¹⁾によって解析できる。このモデルを用いてパン酵母の安定した培養経過を得るための糖流加方法について検討した。

1 野口 広, カタストロフィーの理論, 講談社(1973).



パン酵母の糖流加法下の培養過程中的エタノール生成