

モデルもろみによる清酒発酵の解析

プロセス工学研究室長 小林 健

1. はじめに

清酒製造業界では、熟練技能者の老齢化による後継者不足によって、酒造技能の継承が困難になっており、非熟練労働力による製造を余儀なくされることから、製造工程の自動化の必要性が唱えられている。このような状況に应运、酒類総合研究所でも清酒製造の自動化のための研究を行うことが目標とされている。清酒もろみ制御の自動化に関しては、従来から数例の成功例が報告されているが、報告された自動化技術が実際に採用されている例は非常にまれである。報告されている自動化技術が普及しない理由としては、自動化にかかるコストの問題が大きいのと思われるが、それ以外に、実施する際に高度の技術力を必要とすることが考えられる。即ち、もろみの制御技法の多くが過去のもろみ経過を参考としてコンピュータによる推論によって制御を行う手法によっているため、導入時に酒質の異なる個別の清酒それぞれに各製造場の基本となるもろみ経過を設定する等のソフトウェアのチューニングが必要になることが普及のネックとなっている。また、酒質と制御の因果関係が希薄なために、酒質をこのように変えたいという要望に対して制御する具体的な手段が導けないといった手法上の制限があった。

そこで、もろみ制御の自動化をさらに進めるためには清酒の製造工程と香味との因果関係を明らかにして制御に取り込むといういわば古典的な手法が重要であるという観点から、清酒もろみでの香味生成の主役である酵母による香味生成と発酵条件との関係の解析を行っている。

2. 清酒モデルもろみの開発

清酒の発酵はよく知られているように、麹菌の酵素による蒸米の液化糖化と酵母によるエタノール発酵が同時に進行する並行複発酵という形式をとる。このことが他の酒類に例を見ない20%を越えるエタノールの生成や清酒独自の香味の生成に寄与している。並行複発酵はもろみの制御にも高度な技術を必要とするが、また、その解析も困難である。もろみ中でブドウ糖の供給と消費が同時に行われるため、例えば温度などの発酵条件を変化させると、同時にブドウ糖の供給量も変化し、そのような全部の条件変化の結果としてもろみ成分が変化する。また、天然産物の米を原料とするため、実験の再現性が得られにくい。そこで、我々はモデルもろみとして成分組成を明確に規定できる合成培地で清酒と似通った環境を造り、そこで酵母を培養してモデルもろみ中での香味生成を測定した。

清酒もろみではブドウ糖とアミノ酸が徐々に供給され、それにつれてもろみ液量も増加していくことから培養方式として流加培養を採用し、清酒もろみでの原料からの水溶成分の溶出量を参考にして培地の組成を決定した。モデルもろみのエタノール濃度とブドウ糖濃度を連続的にモニターしながらこれらの濃度が設定した経過の目標値になるように流加培地の供給量を制御した。結果を



図1 モデル清酒もろみ発酵解析制御システム

正確に比較できるように培養は6連で行い、試料のサンプリングを含めて1台のコンピュータで培養の制御を行った。(図1)別途モデルもろみ pHの制御を行った。酵母の嫌気的な増殖に必要な水に不溶性の不飽和脂肪酸等は使用せず代わりに発酵初期に通気を行って酵母の増殖を図った。モデルもろみを正常に発酵させるために、酵母の前培養条件等の検討を行い、条件を設定した。代表的なモデルもろみ経過は図2のようになり、通常のもろみと同様のエタノールを生成した。

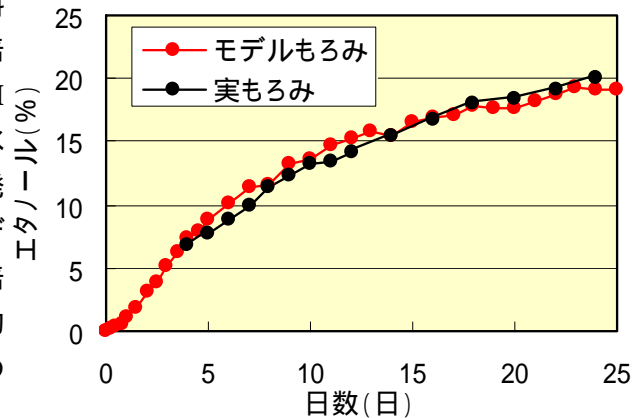


図2 モデル清酒もろみの発酵経過

有機酸と主要な香気成分も概ねもろみと同程度の含有量で推移した。生成したモデルもろみは官能的にも清酒に類似していた。このように、合成培地を用いて清酒もろみの発酵を香味成分を含めて再現した例は報告が無く、清酒の香味成分の解析の有用な手段として期待される。

3. 発酵経過の解析例

ブドウ糖濃度を一定に保ったモデルもろみの香味成分の解析を行った。ブドウ糖濃度が0.5%から5%の範囲(培養温度15℃)ではエタノールの生成経過に大きな変化はなかったが、有機酸の生成はブドウ糖濃度によって変化し、酢酸、乳酸及びピルビン酸はブドウ糖濃度が高い方が高濃度の経過を示した。ブドウ糖濃度10%では、エタノールの生成が遅延し、有機酸の生成も一定の傾向と異なる様子を示した。このことから、ブドウ糖濃度は0.5%という比較的低濃度から5%まで発酵速度には大きな影響を与えていないことと、有機酸の生成は単に発酵速度だけではなく、もろみ中のブドウ糖濃度などの影響を直接受けていることが伺えた。

4. 酵母細胞内 pH の動向

酵母の細胞内 pH が酵母の活性と関連があることが知られている。清酒もろみ中の酵母の活性については主にメチレンブルー染色率が指標とされているが、微妙な活性の測定には至らない。そこで、清酒もろみ中の個々の酵母の細胞内 pH をフローサイトメータを利用して測定する方法を開発した。この方法により、清酒もろみ中の酵母の細胞内 pH は全体的に培養後期に低下しており、清酒もろみ中のカリウムイオンの濃度などで変化することが分かった。また、細胞内 pH は酵母集団全体としてではなく一部の酵母の pH が特に低下することも観測された。モデルもろみにおいてもこれらの現象は観測され、さらに、清酒もろみでは困難な仕込直後からの測定により、仕込初期に発酵が開始すると共に pH が上昇する様子も観測された。今後、発酵条件が明確なモデルもろみにより、細胞内 pH を通した酵母活性の動向が正確に把握できることが期待される。

5. まとめ

清酒もろみの解析の手段としてモデルもろみを開発し、一定の培養条件下での香味生成の測定を行った。通常清酒もろみでは条件設定が困難なブドウ糖濃度を種々に設定することで、ブドウ糖濃度と有機酸生成との関係を見いだすことができた。また、酵母細胞内 pH の測定からもろみ中の酵母の活性に関する情報を得た。今後は種々の発酵条件におけるモデルもろみの香味成分を測定し、清酒のもろみ管理と香味生成の関係を解析したい。