

微生物菌体の乾燥

山口大学工学部 山本修一

乾燥は食品をはじめとして各種バイオテクノロジープロセスの最終工程として重要な位置を占めている。一般には乾燥は何らかの形で物質（材料）に熱を与え水（溶媒）を除去する操作として理解されているが、実際には保蔵・運搬に関連して容量減と安定性の向上を目的とした操作である。化学工学の単位操作としての乾燥は前者についての設計のみを取扱っており、安定性に関しての研究は充分ではない。

生物材料を扱う研究者にとって凍結乾燥は比較的良好に使用される方法であるのに対して、対流（熱風）乾燥は、熱に不安定な物質には不適当な方法として認識されている。しかしながら、乾燥条件によってはほとんど熱による劣化を起こさずに乾燥させることも可能であることが酵素の乾燥等で示されている。¹⁻⁴⁾

乾燥操作中に何が起きているかを考えてみよう。熱風からの熱量が材料に伝わるとともに、材料内部では水分が材料表面に拡散移動し、表面から蒸発する。材料内部には水分濃度分布が形成され、時間とともに平均水分含有量は減少し、材料温度は上昇する。多くの劣化反応は水分濃度に強く依存することが知られている。¹⁻³⁾

このような乾燥時の劣化反応の数式モデルはオランダのアイントホーヘン工科大学とワーゲニンゲン農科大学のグループにより行われた。^{1,2)} モデルは水分移動を表す拡散方程式、熱収支式反応速度式により構成され、水分濃度と温度の関数としての拡散係数と反応速度定数が与えられれば、乾燥時の平均含水率、温度、平均転化率が数値的に計算される。このモデルで酵素の乾燥は、ほぼ記述できるようである。^{3,4)} ところで微生物菌体の乾燥は、どのように考えればよいのであろうか？

前述のモデルを基に *Lactobacillus plantarum* の乾燥が解析されている。⁵⁾ デンプンと混合してペレット状に成形した菌体を材料として、主として流動層により比較的低温での乾燥実験を行い、菌体の失活を測定している。

前述の酵素に関しては熱失活速度式のみを考えればよかったのに対して、この菌体乾燥では脱水失活 (dehydration inactivation) を考慮しなければならないと主張している。そして脱水失活を含水率のみで決まる関数として表現し、モデルに組み込んでいる。熱失活が無視できる 30°C 以下の乾燥実験結果は、乾燥方法（流動層、噴霧乾燥、デシケーターによる平衡乾燥）や乾燥強度によらず、残存活性はほぼ一本の曲線で含水率に相関する。したがって、この系では凍結乾燥を使用しても失活は避けられない。

このような脱水失活はどうして起きるのであろうか？ 色々の議論がなされてきているが、細胞壁（膜）の損傷がもっとも可能性の高い原因であると考えられている。また、水分についても単分子層吸着水量に対応する含水率を菌体失活の限界含水率と定義している報告もある。酵素の乾燥では水分移動方程式をはじめとして均相モデルの使用についての疑問が生じないが、微生物菌体内には種々の不連続境界が存在する。また、乾燥収縮による変形の影響もあるかもしれない。このように菌体の乾燥についてはまだ不明な点が多く、限られた報告しかないうえに相反する結果も見受けられる。

酵素の乾燥においては、共存する固形分により安定性（失活）は大きく変化する。⁴⁾ 菌体乾燥においても同様であると考えられるので最適な固形分の選択は非常に重要であるが、その選択は容易ではない。水分活性をはじめとしていくつかの指標が考えられるが最近、ガラス転移点の重要性が指摘されている。⁶⁾ ガラス転移点は高分子化学では常に重要な因子として認識され、この温度より上ではゴム状態、下ではガラス状態として存在し、ガラス状態では水分は移動しにくいと考えられている。凍結乾燥で高品質を得るためには常にガラス転移点以下で操作をすることが望ましいと主張されている。⁶⁾ このようなガラス転移点もまた一つの指標になり得るかもしれない。

すでに述べたように菌体乾燥研究の歴史は長いに限られた報告しかないうえに、内容についても不十分なものが多い。しかしながら、大量生産が要求されるときは熱風対流乾燥がもっとも効率的なので今後、さらに研究されていくべきであろう。

- 1) Bruin, S. and Luyben, K. C. A. M.: *Advances in Drying*, ed. by Mujumdar, A. S., vol. 1, p. 155, Hemisphere (1979).
- 2) Kerkhof, P. J. A. M. and Schoeber, W. J. A. H.: *Advances in Preconcentration and Dehydration of Foods*, ed. by Spicer, A., p. 349, Applied Science (1974).
- 3) 山本, 佐野: 粉体工学誌, 24, 383 (1987).
- 4) Yamamoto, S. and Sano, Y.: *Chem. Eng. Sci.*, 47, 177 (1992).
- 5) Lievense, L. C. et al.: *Chem. Eng. Sci.*, 47, 87 (1992).
- 6) Roos, Y. and Karel, M.: *Biotechnol. Prog.*, 6, 159, (1990); 7, 49 (1991).