

加熱殺菌過程における細菌死滅挙動の予測シミュレーション

共生基盤専攻 食品安全・機能性開発学講座 食品総合技術監理学 安部 大樹

1. はじめに

近年では、消費者の食に対する健康志向、天然物志向が強くなり、生またはより生に近く、かつ安全性の高い食品への需要が非常に大きくなっている。そのため、製品の安全性を確保しつつ、食品の品質への悪影響を最小限に留める殺菌条件の決定が重要となる。しかし、食品業界で主に用いられている殺菌モデルは自然発生的な細菌死滅のバラつきを表現できないため、細菌集団の減少を確率的に捉える確率論モデルが必要であると報告されている。本研究では、低温増殖性芽胞形成細菌を例に挙げて、加熱殺菌中における細菌数の変化を表す従来の速度論モデルから、乱数シミュレーションを用いることで「細菌数がどのような範囲にバラつくのか」を表現した。また、実測値との比較を行うことで、作成した乱数シミュレーションモデルの検証を行なった。

2. 方法

- 1) 供試試料 道総研から入手した *Bacillus simplex* No.10 株を使用した。
- 2) 生存芽胞数の変化の測定 Spo8-agar を用いて芽胞を形成させた *Bacillus simplex* を 0.3 M リン酸緩衝液を用いて、初期菌数を芽胞液 10 μ L あたり 10^5 Colony Forming Unit (CFU)となるよう調整し、サーマルサイクラーを用いて 94°C で加熱した。加熱後の芽胞液を Tryptic soy agar 上で 30°C, 48 時間培養することで生存芽胞数を計測した。
- 3) 生存芽胞数予測シミュレーションモデルの開発 各加熱条件における生存芽胞数を最小二乗法によってワイブルモデルにフィッティングした。「個々の細菌が死滅する時間」について、得られたワイブルモデルを累積確率分布とすることで乱数シミュレーションを行なった。
- 4) シミュレーションモデルの検証 1 加熱条件につき 60 反復ずつ同様の条件で 10^6 CFU ($n=1, 2, 3, 4, 5$)の芽胞液を加熱し、生存芽胞数を計測した。

3. 結果と考察

94°C 加熱による *B. simplex* の生存芽胞数の変化をワイブルモデルで表した結果、平均二乗誤差 (RMSE) は 0.13 と良好な当てはまりを示した。また、*B. simplex* の細菌集団の生存確率の変化の実測値と反復数 10^6 の乱数シミュレーションによる予測値の比較を行った結果、全ての初期菌数において、決定係数は 0.95 以上、RMSE は 0.03 以下と非常に高い精度な予測が示された。加えて、*B. simplex* の生存芽胞数の確率密度分布においても、実測値と予測値の間に顕著な相似性が見られた。従来の死滅モデルから細菌挙動のバラつきを表現することができたことから、乱数シミュレーションを用いることで、より詳細な食品の微生物学的リスクの評価が可能となることが示唆された。

4. まとめ

本研究では、乱数シミュレーションを用いて、従来の速度論モデルから単一温度加熱における低温増殖性芽胞形成細菌の生菌数のバラつきを予測するモデルを作成した。生存芽胞数の分布および細菌集団の生存確率について、乱数シミュレーションによる予測の有効性が示された。また、並行して行われた加熱温度を変動させた場合についても細菌数のバラつきを表現することができることが示された。以上のことから、乱数シミュレーションを用いることで速度論モデルから細菌減少のバラつきを導き、より詳細な食品の微生物学的リスク評価に利用できる可能性が示唆された。