

## 細菌細胞のガラス転移現象：

### 乾燥および熱ストレスへの適応

共生基盤学専攻 食品安全・機能性開発学講座 食品総合技術監理学 正田 雅輝

#### 1. はじめに

チョコレート等の乾燥食品は水分活性 (water activity,  $a_w$ ) の低い食品であり, 食中毒原因細菌の増殖が難しく, 微生物的な衛生管理は重要視されてこなかった。しかし, 乾燥食品を原因とする食中毒事例が世界的に多発しており, これは, 食中毒原因細菌が乾燥環境下においても死滅することなく生存し続けていることを意味している。実際に多数の研究報告において, 腸管出血性大腸菌や *Salmonella* といった食中毒原因細菌が低水分活性環境下で長期間生存し続けることが示されている。さらに, 乾燥食品中で細菌の加熱殺菌効果が低下するという報告もされており, 低水分活性環境下にある細菌は外的ストレスに対して耐性を有することで適応している可能性が考えられる。しかし, このような耐性獲得の明確な原因は未だ明らかとなっておらず, 早急な原因解明が求められている。

本研究では低  $a_w$  環境下でのストレス耐性獲得の要因として, ガラス転移現象による細菌細胞のガラス化を提唱する。ガラス転移現象とは, 温度や水分含量の変化に伴い, 物質内の分子運動性が上昇/低下することで生じる状態変化のことである。すなわち, 細菌細胞を物質粒子として捉え, 低  $a_w$  環境下で細菌細胞がガラス化している, との仮説を立てた。よって本研究では, ガラス転移現象が生じる温度であるガラス転移温度 (glass transition temperature,  $T_g$ ) を測定することで細菌細胞のガラス転移現象の発生を検討し, 乾燥環境下での細菌のストレス耐性獲得の要因解明を目的とした。

#### 2. 方法

1) 供試試料 *Salmonella* Typhimurium および *Salmonella* Chester の2菌株を用いた。

2) 昇温レオロジー測定 各条件 ( $a_w$  0.43, 0.57, 0.75, 0.85, 0.99) に調整した供試試料のガラス転移温度を昇温レオロジー測定システムを用いて測定した。試料重量を 100 mg, 初期圧力を 5 MPa とし, 初期温度 10°C から 3°C/min での昇温操作を行い, 温度上昇に伴う圧力低下を検討した。

3) 熱耐性の検証 上記と同様の条件に調整した供試試料を PET フィルムに 50 mg 毎に密封包装し, 恒温槽を用いて一定時間 (0s, 60s, 180s, 300s, 600s) の加熱を行った。加熱温度は 60°C, 反復数は 3 回とし, 加熱後の試料中の生存菌数を平板塗抹法により求めた。

#### 3. 結果と考察

昇温レオロジー測定システムにより, 温度上昇に伴う細菌細胞の軟化挙動が確認され, 細菌細胞のガラス転移温度が測定された。さらに, 細菌細胞の  $a_w$  低下に伴う  $T_g$  の上昇が見られ, 両者は相関関係にあることが明らかとなった。また, 熱耐性の検証実験から, 低  $a_w$  条件の細菌では熱による死滅割合の低下が確認された。これより, 細菌細胞は低  $a_w$  環境下でガラス転移を生じ, ガラス状態となることで, 乾燥のみならず熱やその他の環境ストレスにも耐性を示すことが明らかとなり, 長年未解明であった乾燥食品中での細菌の長期的生存の要因がガラス転移にあることを突き止めた。

#### 4. まとめ

本研究では, 低  $a_w$  環境下での食中毒細菌のストレス耐性獲得の要因に対し, ガラス転移現象という新たなアプローチを行った。実験結果から細菌細胞のガラス転移現象が確認されただけでなく,  $T_g$  と  $a_w$  に明確な相関関係も認められた。また, 細菌細胞のガラス化による殺菌効果の低下も確認され, 細菌の外的ストレス耐性の獲得にガラス転移現象が大きく関与していることを明らかとした。