

# 新しい食品の殺菌・除菌技術

芝崎 勲 著

昭和51年4月 初版  
昭和55年7月 再版  
昭和57年4月 三版

定価 2,000円

発行 株式会社 光 琳

〒110 東京都台東区入谷1-27-4

電話 (03) 875-8671(代)

食品工業, Vol. 17, No. 10(1974)~Vol. 18, No. 24(1975)

連載「新食品殺菌・除菌講座」より

# 「新しい食品殺菌・除菌技術」目次

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 1. はじめに .....                 | 1   |
| 2. 加熱殺菌における基礎的諸問題             |     |
| 2・1 微生物と温度 .....              | 2   |
| 2・2 微生物の耐熱性に及ぼす影響因子 .....     | 21  |
| 2・3 微生物の耐熱機構 .....            | 38  |
| 2・4 その他の細胞成分と耐熱性 .....        | 51  |
| 3. 加熱殺菌技術に関する最近の話題            |     |
| 3・1 高温短時間殺菌法の最近の動向 .....      | 56  |
| 3・2 ハイドロロックの連続殺菌装置 .....      | 61  |
| 3・3 マイクロ波処理の食品殺菌への応用 .....    | 67  |
| 3・4 レトルト食品における殺菌 .....        | 75  |
| 3・5 無菌充填の効用 .....             | 80  |
| 3・6 無菌充填のための環境殺菌 .....        | 87  |
| 3・7 加熱殺菌における併用効果 .....        | 93  |
| 3・8 放射線との併用 .....             | 102 |
| 4. 殺菌技術に関する最近の話題              |     |
| 4・1 冷殺菌などに関する最近の話題－薬剤殺菌 ..... | 110 |
| 4・2 ハロゲン系殺菌剤 .....            | 120 |
| 4・3 放射線などによる殺菌 .....          | 128 |
| 4・4 その他の殺菌方法 .....            | 138 |
| 4・5 除菌 .....                  | 145 |

## 加熱殺菌における基礎的諸問題

(その1)

芝 崎 勲

(大阪大学工学部醸酵工学科・教授)

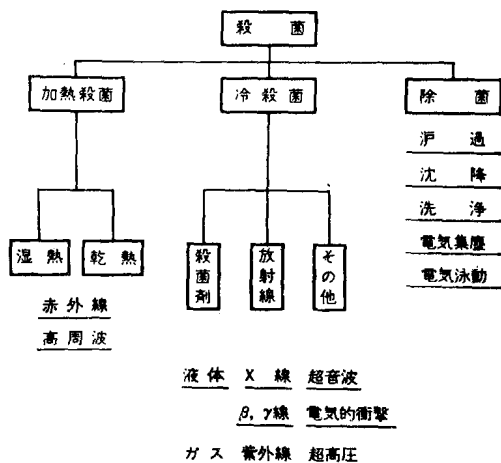
### 1. はじめに

現在、われわれ人類が食べている食糧は主として農産物、畜産物、水産物であり、これらが収穫されてから、そのままの形で、あるいは工場で加工された後、製品となって消費されている。その間、原材料それ自体、加工中のもの、あるいはまた加工された後の製品であっても、食品はいろいろの原因によって変質を受ける危険性をもっている。この変質は食品としての価値を変えるすべての悪変ということが出来るが、その原因としては物理的なもの、化学的なもの、生物学的なものに大別することができる。食品の加工においてはこれら悪変を防止することを常に考えながら行なわれているが、単に食品を加工すること自体がこれら悪変を防止するという場合も多い。このような食品変質（変敗）を防止するためには多くのいろいろな方法があつて、温度や水分のコントロールから、物理的あるいは化学的な方法が適用され、食品貯蔵（Food Preservation）に貢献しているわけである。

食品の殺菌、除菌というのは、これら食品の変敗を起こす微生物を死滅、抑制あるいは排除して食品の貯蔵性を向上させる技術であつて、食糧工業における重要な単位操作であるとともに、食品産業全般にわたつても重大な関心事のひとつである。さらにまたこのような微生物を殺菌、除菌する技術は、食品関係ばかりではなく、醸造、醸酵工業はもちろん、医薬品製造ならびに医療関係においてもきわめて重要なものである。さらに微生物は一般工業材料、建築材料、衣料などの侵害の大きい原因

となることも最近とくに注目され、これら諸分野においても殺菌、除菌技術の重要性が認識されている。

一般に殺菌方法は第1図に示したように大きく加熱殺菌と冷殺菌とに区別することができる。前者は熱水、蒸気、熱風を用いて、直接ないし間接に目的物を加熱して微生物を死滅させるのが普通であるが、特殊な方式として赤外線や高周波を照射する方法も採用されている。これは後述するように微生物の発育限界温度をはずれる高温によって微生物が損傷を受け、さらに高温にさらされて死滅することを利用するものである。



第1図 殺菌方法のいろいろ

冷殺菌は薬剤、放射線照射、その他にわけることができ、主として常温付近で適用して微生物を死滅させる方法である。抗菌作用をもつ薬剤を用いて微生物を死滅させるのが薬剤殺菌であり、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線のような電離放射線を照射したり、紫外線を照射して殺菌効果を挙げるのが冷殺菌である。その他の方法、たとえば加圧、超音波、電氣的衝撃などによっても微生物に損傷を与えることができることも知られている。

除菌は微生物を死滅させる方法ではないが、慣例的に殺菌とともにとり扱うことが多く、 $\gamma$ 線殺菌などという表現をすることが多い。除菌には気体、液状のものを $\gamma$ 線照射したりあるいは沈降する方法が主体であるが、このほか洗浄も本来の目的のほかに除菌効果を十分期待することができる。

このような殺菌、除菌の分野の全般にわたる最近の成書としては、

G.F. Reddish 編: "Antiseptics, Disinfectants, Fungicides, and Chemical and Physical Sterilization," (2nd edition), Lea and Febiger (1957).

G. Sykes: "Disinfection and Sterilization," (2nd edition), E. & F.N. Spon Ltd. (1965).

C.A. Lawrence and S.S. Block 編: "Disinfection, Sterilization and Preservation," Lea and Febiger (1968).

W.B. Hugo 編: "Inhibition and Destruction of the Microbial Cell," Academic Press (1971).

芝崎: 食品殺菌工学, (第二版) 光琳書院 (1969). が代表的なものである。このほか、食品保蔵, The Technology of Food Preservation, Food Microbiology などのなかで殺菌に関連した事項をとり扱っているし、さらに加熱殺菌に関して単独にまとめた成書も2, 3見いだすことができる<sup>2)</sup>。

筆者は大阪大学工学部醸酵工学科において「殺菌および食品貯蔵工学」の講座を担当してすでに十数年になるが、わが国で食品殺菌、除菌の分野での成書のないことより、光琳全書の24番目として上記「食品殺菌工学」をまとめたが、すでに執筆してから7年を経過した。執筆当時においても内容の構成不備、文献調査の不足、ページ数の制限などにより必ずしも満足すべき内容のものといえないと思いながら現在に至っている。

今回より10回程度の予定でこの講座を執筆するにあたり、上述の「食品殺菌工学」を基盤とし、その内容の不備な点を補いつつ、その後の進歩を総合してまとめるよう予定している。しかしきわめて広範な殺菌、除菌の分野の文献をすべて調査することは不可能であるし、筆者自身浅才ですべてに精通しているわけでもないで、内

容にかなりの濃淡が出ることが予想されることは読者諸賢よろしく諒とされたい。

本講座の内容予定としては、加熱殺菌においては基礎的な問題として主として微生物の耐熱性をとり扱った分野の進歩を総説し、ついで加熱殺菌技術の最近の話題ということで、断片的となるかもしれないが、4つぐらいのテーマについてまとめてみたい。冷殺菌と除菌については、紙面の許す範囲内で多くの研究を紹介する予定である。

## 2. 加熱殺菌における基礎的諸問題

食品関係はもちろん、他の醸酵、医薬品、医療関係の分野においても、殺菌、除菌技術で最も重要な地位を占めているのが加熱殺菌である。これは Nicolas Appert, Louis Pasteur, Robert Koch 以来の加熱殺菌技術であるが、まず基礎的問題として微生物と温度との関係を取り上げてみると、おびただしい数の研究が見いだされる。しかしながらこれら研究情報を直接、間接に検討するとき、基礎学問的興味の点から見ても、また実際技術の基礎となる問題についても、現在なお明らかに研究不足の面が数多く見いだされる。しかしわが国においてはこの分野を専門とする研究者はきわめて少ないといわざるをえない状態にある。

以下、加熱殺菌の基礎的諸問題として、1) 微生物と温度、2) 微生物の耐熱性に影響する諸因子、3) 微生物の耐熱機構—の3つの項目に大別して述べることにする。

### 2.1 微生物と温度

加熱殺菌の最終的目標は、殺菌すべき材料に対しては加熱による損傷、劣化を最小限度にとどめ、目標とするレベルまで存在する微生物を迅速に死滅させることにある。このためには殺菌すべき材料に対する加熱処理の影響を十分解明しておく必要があるとともに、対象となる微生物の加熱に対する挙動を詳細に検討し、それに基づいて加熱殺菌技術を有効に適用しなければならない。

#### 2.1.1 微生物の発育温度域

微生物は一般にその発育のための最適温度域の相違す

第1表 微生物の発育温度範囲<sup>3)</sup>

| 微生物の区分  | 発 育 温 度 範 囲 (°C) |       |       |
|---------|------------------|-------|-------|
|         | 最 低              | 最 適   | 最 高   |
| 低 温 性 菌 | 0~5              | 15~20 | 30    |
| 中 温 性 菌 | 10~25            | 30~40 | 35~50 |
| 高 温 性 菌 | 25~45            | 50~55 | 70~90 |

第2表 好気性芽胞細菌の發育温度域<sup>1)</sup>

| 菌 種                                | 菌株数 | 各種温度(℃)で發育可能な菌株数 |     |     |     |     |    |    |    |    |
|------------------------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                                    |     | 28               | 33  | 37  | 45  | 50  | 55 | 60 | 65 | 70 |
| <i>Bacillus stearothermophilus</i> | 87  | 0                | 10  | 73  | 81  | 87  | 87 | 87 | 87 | 45 |
| <i>B. coagulans</i>                | 73  | 53               | 73  | 73  | 73  | 72  | 66 | 23 | 0  |    |
| <i>B. subtilis</i>                 | 154 | 154              | 154 | 154 | 150 | 105 | 17 | 0  |    |    |
| <i>B. brevis</i>                   | 57  | 57               | 57  | 57  | 38  | 16  | 7  | 0  |    |    |
| <i>B. circulans</i>                | 55  | 55               | 55  | 51  | 18  | 6   | 1  | 0  |    |    |
| <i>B. pumilus</i>                  | 65  | 65               | 65  | 65  | 64  | 43  | 0  |    |    |    |
| <i>B. macerans</i>                 | 13  | 13               | 13  | 13  | 13  | 9   | 0  |    |    |    |
| <i>B. cereus</i>                   | 50  | 50               | 50  | 50  | 23  | 0   |    |    |    |    |
| <i>B. sphaericus</i>               | 42  | 42               | 42  | 42  | 15  | 0   |    |    |    |    |

第3表 嫌氣的芽胞細菌の發育温度域

| 菌 種                              | 發育温度域(℃) |       |       |
|----------------------------------|----------|-------|-------|
|                                  | 最低       | 最適    | 最高    |
| <i>Cl. thermosaccharolyticum</i> | 43       | 55~62 | 71    |
| <i>Cl. nigrificans</i>           | 27       | 55    | 70~65 |
| <i>Cl. tartarivorum</i>          | 37       | 55~60 | 67    |
| <i>Cl. thermoaceticum</i>        | 45       | 55~60 | 65    |
| <i>Cl. thermocellulaseum</i>     | 30       | 55~60 | 65    |
| <i>Cl. thermocellum</i>          | —        | 50~68 | —     |

ることから、低温性(12°~18°C)、中温性(25°~37°C)、高温性(50°~60°C)の3種類に大別されている。この最適發育温度域をはずれるにしたがつて、高温側でも低温側でも發育速度は低下するが、とくに高温側ではその低下が急激に起こる傾向にある。それぞれのグループの微生物に応じて第1表<sup>3)</sup>に示すように、最高發育限界温度域は、低温性のもので30°C、中温性のもので35°~50°C、高温性のもので70°~90°Cとなっており、最低限界温度域は、低温性で0°~5°C、中温性で10°~25°C、高温性で25°~45°Cとなっている。しかし低温性のもので-10°C以下で發育するものも見だされているし、中温性のものでかなり高温域でもまた低温域でも發育可能なものが見だされている。この表は一般微生物と發育温度との関係を示す概括的なものであるが、次に食品関係で問題となる代表的なものについて詳しく述べることにする。

まず土壤微生物としてきわめて普遍的に存在して、食品貯蔵上重要な *Bacillus* 属のものは、その發育限界温度域はかなり広い。たとえば Gordon および Smith<sup>4)</sup> は高温で發育可能な 216 菌株の好気性孢子形成細菌の分類学的研究において、28°~70°C にわたる温度での發育の

可能性を各菌株について検討し、第2表のような結果を示している。典型的な好熱性細菌である *B. stearothermophilus* の菌株のうち、約1/2は70°Cで發育可能であり、65°Cでは87株すべて發育している。*B. coagulans* では65°Cですべての菌株が發育することはできないし、*B. subtilis*、*B. circulans* は60°Cで、*B. pumilus*、*B. macerans* は55°Cで、*B. cereus*、*B. sphaericus* は50°Cですべて發育不可能であった。低温側の28°Cでは *B. stearothermophilus*、*B. coagulans* を除いて他のすべての菌株は發育可能であった。この表では *Bacillus* の代表的菌種の發育温度の一応の順位を示しているわけであって、その菌種、菌株特有の特性であるとともに、そのものの前歴条件などの実験諸条件によってこの温度範囲、とくに上限または下限温度にふれのあることも事実である。この表では28°C以下の温度での發育の状態はわからないが、*Bacillus* ではかなり低い温度(-7°~-10°C)でも發育の可能なことが示されている。たとえば Larkin および Stokes<sup>5)</sup> は低温性 *Bacillus* 10株について種々のグリセリン添加培地で generation time を検討し、-2°Cで4日、-4.5°Cで7日の値を示し、さらに-5°~-7°Cでは次に示すような結果を得ている。

|                         | generation | time (日) |
|-------------------------|------------|----------|
| <i>B. psychrophilus</i> | W3         | 10.5     |
| "                       | W16A       | 8.5      |
| <i>B. globisporus</i>   | T38C       | 9.5      |
| "                       | W8         | 11.5     |
| <i>B. insolites</i>     | W16B       | 10.5     |

以上 *Bacillus* に属する細菌は好熱性のものがあるとともに高温に耐えるものも多数存在し、また一方、低温性のものかかなり存在していて、食品貯蔵上なかなかやっかいな細菌といえることができる。これと同様なことが

嫌気性芽胞細菌についてもいえる<sup>12)6)</sup>。これらのうち好熱性のものとしては第3表に示したような菌が挙げられるし、このほかに *Cl. chauvoei* (50°C), *Cl. sporogenes* (50°C), *Cl. bifermentans* (50°C), *Cl. perfringens* (50°C), *Cl. roseum* (62°C) など 50°C 付近の高温でも発育可能である。また一方、低温でもかなりのものが発育可能なことも見いだされている。10°C 以下でも発育可能なものとして *Cl. madisonii* (8°C), *Cl. putrefaciens* (0°C), *Cl. roseum* (8°C), *Cl. botulinum* (3.3°, 10°C) などを挙げるができる。しかし上に示した

*Bacillus* のように 0°C 以下で発育するものはないようである。たとえば Segner ら<sup>7)</sup>は *C. botulinum* type C の marine および Terrestrial strain 計 6 株の最低発育可能温度を種々の培地で調べ、15.6°C ではいずれのものも発育するが 10°C ではまったく発育が認められないとしている。

酵母の発育の最低温度は大体 0°C 付近にあるが、0°C 以下で発育可能なものもしばしば報告されている (-4°C, -9°C)。最適温度は 20°~35°C, 最高温度は 30°~47°C となっている (第4表)<sup>8)</sup>。

第4表 酵母の発育温度域<sup>8)</sup>

| 菌 種                                           | 最低温度<br>(°C) | 最適温度<br>(°C) | 最高温度<br>(°C) |
|-----------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| <i>Saccharomyces carlsbergensis</i>           | 0            | 25           | 33.5         |
| <i>S. cerevisiae</i> var. <i>ellipsoideus</i> | 0.5          | 30~35        | 40~41        |
| <i>S. marxianus</i>                           | 0.5          | —            | 46~47        |
| <i>Hansenula suaveolens</i>                   | 3            | 30           | 30~35        |
| <i>Hanseniaspora valbyensis</i>               | 5            | —            | 32~33        |
| <i>Torulopsis candida</i>                     | 5            | 22           | 32           |
| <i>Torulopsis molischiana</i>                 | 5            | 22           | >42          |
| <i>Candida parapsilosis</i>                   | 0            | 20~25        | 30           |
| <i>Clonostroma apiculata</i>                  | 3            | 30           | 35           |
| <i>Rhodotorula gracilis</i>                   | 5            | 27           | 37~42        |

第5表 好熱性糸状菌の発育温度域<sup>9)</sup>

| 菌 種                                                        | 最低温度<br>(°C) | 最高温度<br>(°C) |
|------------------------------------------------------------|--------------|--------------|
| Phycomycetes                                               |              |              |
| <i>Mucor miekei</i>                                        | 25           | 57           |
| <i>Mucor pusillus</i>                                      | 20           | 55           |
| Ascomycetes                                                |              |              |
| <i>Allescheria terrestris</i>                              | <28          | >48          |
| <i>Chaetomium thermophile</i>                              | 27           | 58           |
| <i>Myriococcum albomyces</i>                               | 26           | 57           |
| <i>Talaromyces</i> ( <i>Penicillium</i> ) <i>dupontii</i>  | 27           | 59           |
| <i>Talaromyces</i> ( <i>Penicillium</i> ) <i>emersonii</i> | 30           | 60           |
| <i>Thermoascus aurantiacus</i>                             | 22           | 55           |
| Deuteromycetes                                             |              |              |
| <i>Humicola grisea</i> var. <i>thermoidea</i>              | 24           | 56           |
| <i>Humicola insolens</i>                                   | 23           | 55           |
| <i>Humicola lanuginosa</i>                                 | 30           | 60           |
| <i>Humicola stellata</i>                                   | 22           | 50           |
| <i>Malbranchea pulchella</i> var. <i>sulfunea</i>          | 27           | 56           |
| <i>Paecilomyces</i> sp.                                    | <30          | 55~60        |
| <i>Sporotrichum thermophile</i>                            | 24           | 55           |
| <i>Stilbella thermophila</i>                               | 25           | 55           |
| <i>Torula thermophila</i>                                  | 23           | 58           |

酵母に比べてかびには高温性のものがあるし、また低温性のものも多数見いだされている。第5表は Emerson<sup>9)</sup> がまとめた好熱性かびの発育温度範囲であって、かびの発育最高温度は大体 60°C ということができ、酵母よりかなり耐熱性であるといえる。5°C あるいはこれ以下の低温で発育可能なものとしては、*Alternaria*, *Cladosporium*, *Cephalosporium*, *Humicola*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Pullularia*, *Botrytis*, *Phoma*, *Geotrichum* などより見いだされている<sup>10)</sup>。

| 菌 種                           | 発 育 温 度 域 (°C) |         |     |
|-------------------------------|----------------|---------|-----|
|                               | 最 低            | 最 適     | 最 高 |
| <i>Streptococcus pyogenes</i> | 10             | 37      | 60  |
| <i>Strept. equinus</i>        | 10             | 45      | 50  |
| <i>Strept. thermophilus</i>   | 20             | 40~45   | 53  |
| <i>Lactobacillus lactis</i>   | 18~22          | 40      | 50  |
| <i>L. thermophilus</i>        | 30             | 50~62.8 | 65  |
| <i>L. helveticus</i>          | 20~22          | 40~42   | 50  |
| <i>Thermas aquaticus</i>      | 40             | 70~72   | 79  |

無芽胞細菌においても次に示すような高温性のものが見いだされているし<sup>11)12)</sup>、また一方、10°C 以下で発育可能なものも多い<sup>6)</sup>。たとえば *Micrococcus cryophilus* (-4°C), *M. colpogenes* (4°C), *M. denitrificans* (5°C), *M. halodenitrificans* (0°C), *P. nigrifaciens* (4°C), *P. gelatica* (0°C), *P. mephitica* (5°C), *P. iridescens* (5°C), *P. aptata* (1°C>), *P. viridilivida* (1.5°C), *P. delphinii* (1°C>), *P. asplenii* (1.0°C), *P. coronafaciens* (1°C), *P. lachrymans* (1°C), *P. maculicola* (0°C), *P. atrofaciens* (2°C), *P. martyniae* (1.5°C), *P. bowlesiae* (-1°C), *P. fluorescens* (-6°C), *A. delmarva* (-8°C), *Flavobact. deciderium* (-6.5°C), *Proteus ichthyosmus* (-5°C), *Serratia sp.* (-5°~ -10°C)。

#### 2・1・2 微生物の湿熱での耐熱性

腐敗菌、病原菌などの多数の微生物の耐熱性をまとめた表はあまり見あたらない。筆者が種々の文献などからまとめたのが第6表<sup>13)</sup>であり、また第7表は Corry<sup>14)</sup> ができる限り同じような条件のもとで求められた種々の

第6表 微生物の耐熱性<sup>13)</sup>

| 微 生 物                          | 耐 熱 性  |       | 微 生 物                          | 耐 熱 性  |        |
|--------------------------------|--------|-------|--------------------------------|--------|--------|
|                                | 温度(°C) | 時間(分) |                                | 温度(°C) | 時間(分)  |
| <i>Pseudomonas fragi</i>       | 50     | 35    | <i>Lact. plantarium</i>        | 65~75  | 15     |
| <i>Ps. chlororaphis</i>        | 63     | 10    | <i>Lact. thermophilus</i>      | 71     | 30     |
| <i>Ps. fluorescens</i>         | 53     | 25    | <i>Pediococcus cerevisiae</i>  | 60     | 8      |
| <i>Flavo. ferrugineum</i>      | 52     | 10    | 火 落 菌                          | 60     | 10     |
| <i>Serratia sp.</i> (低温性)      | 30     | 30    | <i>Bacillus</i> 孢子             | 100    | 2~1200 |
| <i>Vibrio marinus</i> (低温性)    | 25     | 80    | <i>Clostridium</i> 孢子          | 100    | 5~800  |
| <i>Brevibact. ammoniagenes</i> | 55     | 10    | 酵 母                            | 50~60  | 10~15  |
| <i>Sarcina maxima</i>          | 55     | 20    | <i>Can. utilis</i>             | 55     | 10     |
| <i>Sal. typhi-murium</i>       | 55     | 10*   | <i>Can. nivalis</i> (低温性)      | 45     | 120    |
| <i>Sal. typhi</i>              | 60     | 5     | <i>Han. anomala</i>            | 50     | 30*    |
| <i>Sal. senftenberg</i>        | 60     | 6*    | <i>Sacch. fragilis</i>         | 54     | 7      |
| <i>Staph. aureus</i>           | 63     | 7     | <i>Sacch. rouxii</i>           | 50     | 14*    |
|                                | 60     | 15    | <i>Pichia membranaefaciens</i> | 54     | 5      |
| <i>E. coli</i>                 | 60     | 5~30  | <i>Sacch. cerevisiae</i>       | 50     | 9*     |
| <i>Mycobact. tuberculosis</i>  | 61     | 30    | カ ビ                            | 60     | 5~10   |
| <i>A. aerogenes</i>            | 47     | 60    | カ ビ 菌核                         | 82~85  | 1000   |
| <i>Acetobact. roseus</i>       | 50     | 5     |                                | 90~100 | 300    |
| <i>A. aceti</i>                | 60     | 10    | <i>Asp. niger</i> 孢子           | 50     | 4*     |
|                                | 80     | 5     | <i>Pen. thomii</i> 孢子          | 60     | 2.5*   |
| <i>A. schutzenbachii</i>       | 55     | 10    |                                |        |        |
| <i>A. xylinum</i>              | 55     | 10    |                                |        |        |
| <i>Strept. thermophilus</i>    | 70~75  | 15    |                                |        |        |
| <i>Lact. bulgaricus</i>        | 71     | 30    |                                |        |        |

\*D値

第7表 微生物の高Aw条件下での耐熱性<sup>14)</sup>

| 微生物                                      | 加熱培地              | 温度(℃)   | D (分)     | Z (℃)   | 研究者                         |
|------------------------------------------|-------------------|---------|-----------|---------|-----------------------------|
| 細菌孢子                                     |                   |         |           |         |                             |
| <i>Clostridium thermosaccharolyticum</i> | 水 (pH 6.8)        | 132     | 4.4       | 6.7     | Kezones ら(1965)             |
|                                          | 糖蜜 (pH 5.0)       | 〃       | 3.3       | 10.0    |                             |
| <i>Bacillus stearothermophilus</i>       | 水                 | 115     | 22.6      | 7.1     | Briggs (1966)               |
| <i>B. megaterium</i>                     | 水                 | 100     | 1.0       | 8.8     | 〃                           |
| <i>Cl. botulinum</i> type E              | 水                 | 80      | 0.6~3.3   | —       | Robert および Ingram (1965)    |
| 細菌栄養細胞                                   |                   |         |           |         |                             |
| <i>Aerococcus viridans</i>               | ハム浸出液+1.1%NaCl    | 55      | 20        | 9~14    | Incze (1963)                |
| <i>Streptococcus faecalis</i>            | チキンアラキング          | 60      | 13.5      | 6.8     | Otto ら(1961)                |
| 〃                                        | 燐酸緩衝液 (pH 7.0)    | 60      | 13.0      | —       | White (1963)                |
| <i>Lactobacillus</i> sp. (2株)            | トマト汁ブローズ (pH 7.0) | 62.8    | 3.12      | —       | Niven ら(1954)               |
| <i>Salmonella senftenberg</i> 775W       | 燐酸緩衝液 (pH 7.0)    | 55      | 11        | —       | Corry および Roberts (1970)    |
| <i>S. typhimurium</i>                    | 〃                 | 55      | 3         | —       |                             |
| <i>S. dublin</i>                         | 〃                 | 55      | 4         | —       |                             |
| <i>S. senftenberg</i> 775W               | 卵アルブミン (pH 9.2)   | 57.5~59 | 4.0~1.25  | 4.5     | Corry および Barnes (1968)     |
| <i>S. typhimurium</i>                    | 〃                 | 55.5~59 | 0.5~0.13  | 4.2     | 〃                           |
| <i>S. typhimurium</i>                    | 種々の卵製品            | 52~60   | —         | 4.2~5.3 | Garibaldi ら(1969)           |
| <i>Escherichia coli</i>                  | 生理的食塩水 (pH 7.0)   | 55      | 4         | —       | Lemeck および White (1959)     |
| <i>Staphylococcus aureus</i>             | 燐酸緩衝液 (pH 7.0)    | 58      | 1.8       | —       | Walker および Harmon (1966)    |
|                                          |                   | 57      | 0.15~0.40 | —       |                             |
| <i>Pseudomonas fragi</i>                 | 脱脂乳               | 50      | 7.4       | —       | Luedecke および Harmon (1966)  |
| <i>P. fluorescens</i>                    | 燐酸緩衝液 (pH 7.0)    | 53      | 4         | —       | Calhoun および Frazier (1966)  |
| 放線菌 (孢子)                                 |                   |         |           |         |                             |
| <i>Thermoactinomyces obgaris</i>         | 燐酸緩衝液 (pH 7.0)    | 100     | 11        | —       | Roberts および Hitchins (1959) |
| <i>Actinobifida dichotonica</i>          | 〃                 | 100     | 71        | —       |                             |
| 酵母                                       |                   |         |           |         |                             |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i>          | 燐酸緩衝液 (pH 7.0)    | 55      | 0.9       | —       | White (1953)                |
| カビ (孢子)                                  |                   |         |           |         |                             |
| <i>Aspergillus chevalieri</i>            | ブラム (aw0.98)      | 65      | 50        | 12.8    | Pitt および Christian (1970)   |
| <i>Xeromyces bisporus</i>                | 60%蔗糖麦芽エキスイ寒天     | 80      | 2.7~3.6   | 12.2    | Dallyn および Everton (1970)   |
| <i>Penicillium</i> sp.                   | ブルーベリージュース        | 74~100  | —         | 5.7     | Williams ら(1941)            |
| ascospores                               |                   | 74~100  | —         | 5.9     |                             |
| sclerotia                                |                   |         |           |         |                             |
| ビールス                                     |                   |         |           |         |                             |
| <i>Rous sarcoma</i>                      | アイスクリームミックス       | 55      | 4         | 7.25    | Sullivan ら(1971)            |
| <i>Reovirus</i>                          |                   | 55      | 1.3       | 3.8     |                             |
| <i>Herpes simplex</i>                    |                   | 55      | 4         | 2.9     |                             |
| <i>Adenovirus</i>                        |                   | 55      | 17        | 2.5     |                             |

微生物の耐熱性を比較のためまとめたものである。Corry も述べているが、微生物の耐熱性に関して細菌についての知見は多数あるが、かびや酵母の耐熱性をとり扱った例はきわめて少ない。

一般に微生物のうちでは、細菌孢子が最も耐熱性が大であって、他のものとは格段の相異がある。しかし菌種によって著しく変動することも事実であって、表に示したように、*Bacillus* では 100°C で死滅時間が2分から1200分というようにきわめて広い範囲にわたっている。しかし低温性 *Bacillus* や *Cl. botulinum* type E の孢子のように100°C以下の温度で短時間に死滅するような例外もある。

無芽胞細菌では乳酸菌系統のもの、すなわち *Lactobacillus* や *Streptococcus*、あるいは結核菌や *Staph. aureus* などが比較的耐熱性が大であるが、*Salmonellae*、*E. coli* などの腸内細菌は熱感受性が比較的大であり、さらに *Pseudomonas* などのグループはさらに死滅しやすい。かびや酵母の耐熱性を詳細に検討したものは少ないが、酵母は大体 *E. coli* 程度と見てよく、かびでは菌糸に比べて孢子などは一般に耐熱性が大である。放線菌の耐熱性のデータはきわめて少ないが、第7表より見れば酵母などに比べかなり耐熱性が高いものと考えられるが、

なお多数の菌種、菌株について検討の余地があろう。

以上述べたことは大体の順位であって、2つの表で耐熱性の接近しているものの厳密な比較はできない。なぜならば、菌種、菌株特有の性質としての耐熱性のほかに、試験条件によっても著しく変動する可能性があるからであって、このことに関しては2・2で詳しく述べる予定である。

次に食品関係で重要と思われる数種の微生物の耐熱性を検討した最近のデータを紹介する。

#### a) 球 菌

球菌には *Monococcus* (単球菌)、*Diplococcus* (双球菌)、*Tetracoccus* (*Pediococcus*) (四連球菌)、*Sarcina* (八連球菌)、*Streptococcus* (連鎖球菌)、*Staphylococcus* (ブドウ状球菌) が含まれるが、この菌群には病原菌や食中毒菌も含まれている。菌によっては必ずしも死滅曲線が対数則にあてはまらないことは *Staphylococcus* などで認められている。第8表は Baird-Parker および Holbrook<sup>15)</sup> が比較的最近発表されたものをまとめた表であって、大部分の例では D<sub>60</sub>°C が10分以下となっている。Walker および Harmon<sup>16)</sup> は牛乳(全乳、脱脂乳)乳精、磷酸緩衝液中での4菌株の *Staph. aureus* の耐熱性を検討している。その結果、大体99.99~99.999

第8表 球菌の耐熱性<sup>15)</sup>

| 菌 種                           | 加 熱 条 件         | D 60°C (分) | Z (°C)  | 研 究 者                      |
|-------------------------------|-----------------|------------|---------|----------------------------|
| <i>Staphylococcus aureus</i>  | 磷酸緩衝液 (pH 7.0)  | 0.43~0.60  | —       | Walker および Harmon (1966)   |
|                               | 全 乳             | 0.50~0.75  | —       |                            |
|                               | 脱脂乳 (pH 6.65)   | 1.30       | —       |                            |
|                               | チーズホエー (pH 6.5) | 1.33       | —       |                            |
| <i>Staph. aureus</i>          | 磷酸緩衝液 (pH 4.5)  | 1.0        | 10.0    | Stiles および Witter (1965)   |
|                               | 〃 (pH 6.5)      | 2.5        | 9.2     |                            |
|                               | 脱脂乳 (pH 6.5)    | 6.5        | 7.2     |                            |
| <i>Staph. aureus</i>          | 脱脂乳             | 5.3        | —       | Kadan ら (1963)             |
|                               | 〃 + 蔗糖57%       | 42.4       | —       |                            |
| <i>Staph. aureus</i>          | 0.5%食塩          | 2.0~2.2    | 5.7~7.4 | Thomas ら (1966)            |
|                               | 脱脂乳             | 3.1~3.3    | 5.1~6.0 |                            |
|                               | 牛肉ブイヨン          | 2.2~2.5    | 5.7~5.8 |                            |
|                               | グリーンピーススープ      | 6.7~7.9    | 4.5~4.6 |                            |
| <i>Staph. aureus</i>          | カスタード           | 7.7~7.8    | 5.8     | Angelotti ら (1961)         |
|                               | チキンスープ          | 5.2~5.4    | 5.4     |                            |
| <i>Staph. aureus</i>          | 豚詰物             | 2.2        | 6.8     | Webster および Esselen (1956) |
| <i>Streptococcus faecalis</i> | 豚詰物             | 9.6        | 8.0     |                            |
| <i>Strept. faecalis</i>       | 生理的食塩水 (pH 7.2) | 0.83~1.02  | —       | White (1952)               |
|                               | 分離牛乳 (pH 6.9)   | 3.33~10.0  | —       |                            |
|                               | 生理的食塩水 (pH 7.2) | 0.11~0.35  | —       |                            |
| <i>Strept. lactis</i>         | 分離牛乳 (pH 6.9)   | 0.2~2.86   | —       |                            |
|                               |                 |            |         |                            |

%の生菌数低下までの死滅経過は対数則にあてはまるが、その後では次第に死滅速度が低下することを認めている。このような現象は加熱時の培地にかかわらず認められるし、菌株間でかなり耐熱性が変動することも示している。第8表ではいろいろの環境条件下での値を示しているが、中性付近の緩衝液や生理的食塩水のような単純な系での  $D_{60^{\circ}\text{C}}$  は大体0.1~2.5分の範囲にはいつている。Thomas ら<sup>17)</sup>は *Salmonellae* と *Staphylococcus* の0.5% 食塩、脱脂乳、牛肉ブイヨン、グリーンピーススープ中での  $D_{60^{\circ}\text{C}}$ 、 $D_{65^{\circ}\text{C}}$  の値を求めている。球菌は加熱に対して適応する傾向のあることも示されており、 $70^{\circ}\text{C}$  でのD値が8分の *Staph. aureus* が、3回の  $70^{\circ}\text{C}$  処理によって  $D=14$  分に上昇することが認められている<sup>18)</sup>。

Duggan ら<sup>18)</sup>は特異的な放射線耐性を示す *Micrococcus radiodurans* の耐熱性を検討し、肉ブューレ中でのD値(分)として、 $51.7^{\circ}\text{C}$  で10.55,  $54.4^{\circ}\text{C}$  7.62,

$57.2^{\circ}\text{C}$  1.92,  $60^{\circ}\text{C}$  0.75 を得ている。

これら球菌に関連して *Streptococcus lactis* に活性のある bacteriophage の耐熱性について、Koka および Mikolajcik<sup>19)</sup> が検討し、次に示したように相当強い耐熱性をもっていることを明らかにしている。

|       |                      |     | D     |
|-------|----------------------|-----|-------|
| 脱脂乳中で | ファージ C <sub>10</sub> | 55℃ | 2500分 |
|       |                      | 60  | 156   |
|       |                      | 65  | 9.9   |
|       | ファージ C <sub>2</sub>  | 55  | 202   |
|       |                      | 60  | 132   |
|       |                      | 65  | 102   |

*Pediococcus*, *Sarcina* など他の球菌についての最近のデータは見あたらないが、*Staphylococcus* などと同程度の耐熱性をもっていると見てさしつかえないであろう。(つづく)

## 加熱殺菌における基礎的諸問題 (その2)

芝 崎 勲

(大阪大学工学部醸酵工学科・教授)

### 2. 加熱殺菌における基礎的諸問題

#### 2・1 微生物と温度

##### 2・1・2 微生物の湿熱での耐熱性

##### b) 腸内細菌

腸内細菌群である Enterobacteriaceae はグラム陰性の短桿菌の広範囲のグループを包含していて、多くのものは病原性を示す。このグループに属するものとしては、*Aerobacter*, *Alginobacter*, *Escherichia*, *Erwinia*, *Klebsiella*, *Paracolonobacterium*, *Proteus*, *Serratia*, *Salmonellae*, *Shigella* が挙げられる。

これら腸内細菌は結核菌などの病原菌に比べて湿熱に対して抵抗性は弱いので、通常行なわれている低温殺菌のプロセスによってすべて殺菌することができると見てよい。

第9表は代表的な腸内細菌の耐熱性をまとめたものである<sup>20)~25)</sup>。ここでは単純な水、緩衝液中での加熱のほかに種々の食品中での結果も含めてあるが、極端に耐熱性の強いものは見いだされていない。

種々の食品中毒の原因菌として最も重要視されている Salmonellae に関しては研究がきわめて多い。しかし Read ら<sup>23)</sup>が示しているように、種々の菌株のうちで *S. senftenberg* 775W が最も耐熱性が大である。たとえば *S. anatum* などでは  $D_{65.6^{\circ}\text{C}} = 1.1 \sim 1.8$  秒であるのに比べて、*S. senftenberg* 775W では34秒と、けたはずれの大きい値が得られている。Goepfert および Biggie<sup>22)</sup> は *S. typhimurium* と *S. senftenberg* 775W の耐熱性をミルクチョコレートの中で比較しているが、単純な糸

では  $D_{57^{\circ}\text{C}}$  がそれぞれ1.2分、31分と Read らと同様な傾向を示す値が得られるのに反して、ミルクチョコレート中では逆の傾向があつて、 $D_{80^{\circ}\text{C}}$  の値が *S. senftenberg* 775W で平均116分であるのに対し、*S. typhimurium* では平均222分の値を得ている。すなわち水分の制限された系では湿熱での結果が必ずしもそのままではまるとは限らないことを示唆している。

Shannon ら<sup>26)</sup> は50株の腸内細菌について脱脂乳中での耐熱性を検討し、*Streptococcus durans* が最も抵抗性が大であることを認め、この場合、固形分や脂質を増加しても熱死滅に対し保護的にははたらないことを示している。Dabbah ら<sup>27)</sup> は殺菌した市販全乳中に浮遊させた *Salmonella enteritidis* の加熱による死滅経過を55, 60, 62.5°Cで検討しているが、一般にはその経過は非対数的であつて、tailing もはなはだしいことを認め、D値を求めることができないとしている。このような傾向はさらに *E. coli*, *Staph. aureus* の場合にも認めている。

Dega ら<sup>21)</sup> は *E. coli*, *Sal. typhimurium*, *Sal. alachua* の耐熱性を脱脂乳中で検討し、この場合、牛乳固形分を10, 30, 42, 51% (W/V) と変えた場合、固形分の増加とともにそれぞれの菌の耐熱性が増大することを認めている。しかしながら10%濃度では Salmonellae の2株より *E. coli* のほうが耐熱性が大であったが、42, 51%濃度では逆の傾向を示すことを認めている。

##### c) 酵母、かびの耐熱性

酵母、かびは食品を腐敗するものではないが、酸性食品や濃縮食品、乾燥食品の変敗の原因菌となるし、また

第9表 腸内細菌の耐熱性<sup>20)</sup>

| 菌 種                                 | 加 熱 条 件           | 殺 菌 条 件 |       | D (分)     | Z (℃) | 研 究 者                        |
|-------------------------------------|-------------------|---------|-------|-----------|-------|------------------------------|
|                                     |                   | 温度(℃)   | 時間(分) |           |       |                              |
| <i>A. aerogenes</i>                 | 牛 乳               | 62      | 30    | —         | —     | HammerおよびBabel (1957)        |
| <i>E. coli</i>                      | 牛 乳               | 61.7    | —     | 6.7       | —     | Longら(1944)                  |
|                                     | 水                 | 60      | —     | 3.6       | —     | RusselおよびHarries (1967)      |
|                                     | 緩衝液(pH 7.0)       | 60      | —     | 0.3       | —     | GoldblithおよびWang (1967)      |
|                                     | 脱脂乳(固形分10%)       | 55.2    | —     | 7.3       | 4.6   | Degaら(1972) 21)              |
| <i>K. pneumoniae</i>                |                   | 55      | 30    | —         | —     | AtmanおよびDittmar (1966)       |
| <i>S. typhi</i>                     | 肉 汁 (pH 7.0)      | 55      | —     | 5         | —     | BeamerおよびTanner (1939)       |
|                                     |                   | 60      | 9     | —         | —     | 〃                            |
| <i>S. typhi</i> (27株)               | 牛 乳               | 60      | 15    | —         | —     | HammerおよびBabel (1957)        |
| <i>S. paratyphi</i> (7株)            | 〃                 | 60      | 10    | —         | —     | 〃                            |
| <i>S. paratyphi</i>                 | 肉 汁               | 55      | —     | 5         | —     | BeamerおよびTanner (1939)       |
|                                     |                   | 60      | 9     | —         | —     | 〃                            |
| <i>S. senftenberg</i> 775W          | トリプトケース<br>ソイブローズ | 57      | —     | 31        | —     | Ngら(1969)                    |
| <i>S. senftenberg</i>               | チキン               | 65      | 15    | —         | —     | Bayne (1966)                 |
|                                     |                   | 75      | 8     | —         | —     | 〃                            |
| <i>S. typhimurium</i>               | チキン               | 60      | 5     | —         | —     | 〃                            |
|                                     | トリプトケース<br>ソイブローズ | 57      | —     | 1.2       | —     | Ngら(1969)                    |
| <i>S. senftenberg</i> 775W          | 水                 | 57      | —     | 31        | —     | GoepfertおよびBiggie (1968) 22) |
|                                     | ミルクチョコレート         | 70      | —     | 440       | 32.4  | 〃                            |
|                                     | 牛 乳               | 65.6    | —     | 3.4秒      | —     | Readら(1968) 23)              |
| <i>S. typhimurium</i>               | 水                 | 57      | —     | 1.2       | —     | 〃                            |
|                                     | ミルクチョコレート         | 70      | —     | 816       | 34.2  | GoepfertおよびBiggie (1968) 22) |
|                                     | 脱脂乳(固形分10%)       | 55.2    | —     | 4.7       | 4.0   | Degoら(1972) 21)              |
|                                     | 卵製品               | 60      | —     | 0.2~5.1   | —     | Garibaldiら(1969) 24)         |
| <i>S. unatum</i>                    | 牛 乳               | 62.8    | —     | 5.1秒      | —     | Readら(1968) 23)              |
| <i>S. binza</i>                     | 〃                 | 〃       | —     | 5.0秒      | —     | 〃                            |
| <i>S. cubana</i>                    | 〃                 | 〃       | —     | 5.7秒      | —     | 〃                            |
| <i>S. meleagridis</i>               | 〃                 | 〃       | —     | 3.6秒      | —     | 〃                            |
| <i>S. newbrunswick</i>              | 〃                 | 〃       | —     | 5.4秒      | —     | 〃                            |
| <i>S. tennessee</i>                 | 牛 乳               | 62.8    | —     | 5.2秒      | —     | 〃                            |
| <i>S. alachua</i>                   | 脱脂乳(固形分10%)       | 55      | —     | 6.2       | 4.1   | Degoら(1972) 21)              |
| <i>S. enteritidis</i>               | 肉 汁               | 55      | —     | 5.5       | —     | BeamerおよびTanner (1939)       |
|                                     | 〃                 | 60      | 24    | —         | —     | 〃                            |
| <i>S. blockley</i>                  | トリプトケース<br>ソイブローズ | 57      | —     | 5.8       | —     | Ngら(1969)                    |
| <i>Salmonella</i> (121株)            | 〃                 | 57      | —     | 0.75~2.62 | —     | 〃                            |
| <i>Proteus vulgaris</i>             |                   | 55      | 60    | —         | —     | AtmanおよびDittmar (1966)       |
| <i>Shigella dysenteriae</i>         | 牛 乳               | 60      | 5     | —         | —     | HammerおよびBabel (1957)        |
| <i>Sh. flexneri</i>                 | 〃                 | 60      | 5     | —         | —     | 〃                            |
| <i>Psychrophilic enterobacteria</i> |                   | 46      | 60    |           |       | PurohitおよびStokes (1967) 25)  |

かびではこのほか毒性物質（マイコトキシン）を生成する菌種があり、食飼料原料ならびに製品中でのかびの増殖はとくに問題となる。

酵母は前述のように耐熱性は低く、栄養細胞での死滅温度は古くより50～60℃の間にあるとされている<sup>2)</sup>。しかし菌種、菌株、環境条件によって変動することは他の微生物と同様である。たとえば、*Sacch. cerevisiae* var. *ellipsoideus* はビール中で58℃、10分の加熱に耐えることが見いだされているが、同じ菌種で50、56、60℃のそれぞれの温度で20分の処理で死滅する3つの菌株のあることも示されている。蜂蜜中では *Saccharomyces* sp. および *Torulopsis mellis* の栄養細胞は60℃、5～10分で、クリーム中では63℃、30分で死滅した例も示されている<sup>2)</sup>。

酵母の胞子は一般に栄養細胞より耐熱性が大きであって、次に示すような例を挙げることができる<sup>2)</sup>。

| 菌 種                                           | 加熱培地  | 死 滅 条 件    |            |
|-----------------------------------------------|-------|------------|------------|
|                                               |       | 栄養細胞       | 胞 子        |
| <i>S. cerevisiae</i> var. <i>ellipsoideus</i> | ビール   | 56℃, 20分   | 58℃, 20分   |
| <i>S. odessa</i> F                            | "     | 52℃, 20分   | > 64℃, 20分 |
| <i>Saccharomyces</i> sp.                      | 楓シラップ | 60℃, 5～10分 | 75℃, 5分    |
| <i>S. cerevisiae</i> var. <i>ellipsoideus</i> | ブドウ果汁 | 60℃, 5分    | 60℃, 15分以上 |

筆者らの得たリン酸緩衝液 (pH4.0) 中での50℃における栄養細胞のD値 (分) は、*C. utilis* 9.7, *Han. anomala* 28.3, *Sacch. cerevisiae* 9.1, *Sacch. rouxii* 14.2であった<sup>23)</sup>。

かびについてのデータは少ないが、一般に菌糸より胞子のほうが耐熱性が大きであるが、後者で大体60℃、5～10分の処理条件で死滅するのが普通とされ、*Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium* などに属するもののなかに抵抗性の強いものが見いだされている。また有性胞子は無性胞子や菌糸より耐熱性が大きであるといわれている。*Byssoschlamys fulva* の子のう胞子はとくに古くより耐熱性が強いといわれ、果実、果汁などの缶詰の変敗の原因としてしばしば問題となっているものである。King ら<sup>24)</sup>はブドウ製品中の *Byssoschlamys* および関連菌を殺菌あるいは抑制するための研究を行なっている。そして *Byssoschlamys fulva* の子のう胞子はブドウ果汁中で88℃で10分のD値を得、ブドウ濃縮果汁中では20分という値を示している、これらの菌で汚染されたものの殺菌には加熱が必ずしも好ましいものではないといっている。

Pitt および Christian<sup>30)</sup> は耐乾燥性のかび、*Asp.*

*amstelodami*, *A. carnoyi*, *A. chevalieri*, *A. chinensis*, *A. mangini*, *A. tonophilus*, *A. repens*, *A. ruber*, *Xer. bisporus* について耐熱性を検討した結果、*A. chevalieri*, *A. mangini*, *Xer. bisporus* の子のう胞子がとくに大であって、プラムエキスイス寒天 (pH3.8,  $a_w = 0.98$ ) 上で、*A. chevalieri* の子のう胞子のD値は、65℃…50分, 70℃…17.2分, 75℃…6.6分, 80℃…3.3分,  $F_{82.2^\circ\text{C}} = 2.2$ 分 という結果が得られている。また *Xeromyces* の子のう胞子では、 $D_{80^\circ\text{C}} = 2.7 \sim 3.6$ 分,  $F_{82.2^\circ\text{C}} = 2.0 \sim 2.5$ 分であった。

以上の結果より、このような耐乾燥性かびを多数含むおそれのある果実、果汁製品の加熱殺菌はかなり困難で、別の方法を講じなければならないことになる。

かびの菌核 (sclerotium) の耐熱性については、90～100℃の熱処理に耐えるものがあるが、これも缶詰果実の変敗の原因となることが知られている。この点については古く Williams ら<sup>31)</sup>が *Penicillium* に属する高真空下でも発育可能な菌株をコケモモあるいはその畑より分離し、その1株より生成した菌核が異状耐熱性をもっていることを認めている。すなわち、

sclerotia  $F_{82.2^\circ\text{C}} = 1000$ 分  $z = 10.3^\circ\text{C}$   
ascospore " = 9.7  $z = 10.6$

#### d) 細菌胞子

好気性の細菌でも嫌気性の細菌であっても、それらの形成する胞子は一般に耐熱性が大きであって、普通の殺菌プロセスにおける指標となるものである。とくに酸性食品 (pH4.5以下) の場合を除いては細菌胞子のうちで最も耐熱性の大きいものを完全に死滅させる加熱条件を適用しなければならない。

好気性細菌ではとくに病原性のもので耐熱性の強い胞子を形成するものは見いだされていないが、嫌気性細菌では耐熱性の強い典型的な腐敗菌が存在するとともに、病原菌として注目すべき *Cl. botulinum* などがある。

細菌胞子に対する加熱処理の影響について述べる場合、発芽、増殖温度域と死滅温度域との中間において胞子に対して特異的な影響を及ぼす温度条件のあることに注目しなければならない。すなわち Curran および Evans<sup>32)</sup>は致死的でない高温処理によって、休眠中の胞子の発芽が誘導されることをはじめて見だし、この現象を熱活性化 (heat activation) と呼んだ。現在すべての細菌胞子がこのように活性化されるとはいえないけれども、多くの研究者によってこの熱活性化現象が観察されている。heat activation と heat shock という言葉があるが、普通これらを同意語と解釈されている。このような熱活性化によって細菌胞子の生菌数が増加したり、あるいは発芽の速度が増大するものである。

Shull および Ernst<sup>33)</sup> は *B. stearothermophilus* の胞子の熱死滅曲線が3つの相に分けることができることを示し、加熱の初期において生菌数が急激に上昇する相があるが、これは休眠胞子が熱活性化されて起こる現象である。この相を過ぎると徐々に死滅が起こり、遂に對数的死滅経過を示す最後の相にはいつてゆく。

第10表<sup>34)</sup>は *Bacillus* の胞子の熱活性化のための条件例を示したものであって、この表より加熱期間は加熱温度や菌種によって異なることが明らかである。このような熱活性化現象は *Clostridium* についても同様に認められている。たとえば *C. sordellii*, *C. aureofoetidum* では未加熱の胞子よりも70℃でそれぞれ30分、60分加熱したほうが生菌数が増加するし、*C. subterminale* では70℃、60分あるいは75℃、30分の加熱処理で熱活性化される。さらにまた *C. perfringens* の食中毒株も加熱によって活性化されることも示されている。

しかし一方、加熱処理によって発芽開始のための栄養要求性に変化が起こることが認められているし、ある種の胞子は加熱処理によって逆の影響の起こること (de-activation) も示されている。しかし後者は一時的な現象であって、より強く胞子を熱処理するときは真の活性化が起こる。

第11表には比較的最近発表された好気性細菌胞子の耐熱性を示したものである<sup>34)~44)</sup>。同一菌種、菌株であっても研究者によって結果が異なるのは後述する測定条件の影響が大きききいているからである。しかし多数の菌種のうち *B. stearothermophilus* の胞子が最も耐熱性が大であって、121℃でD値は10分程度となっている。*B. subtilis*, *B. megaterium* などは121℃で1分以内の値を示している。さらに最近 Bond ら<sup>44)</sup> は未同定の *Bacillus* sp. の胞子が異常に乾熱に對し抵抗性を示しているのに湿熱では80℃のD値が61分となっていると報じている。また Shehata および Collins<sup>45)</sup> は *Bacillus* の種々の低温性菌の胞子の耐熱性を検討しているが、いずれも90℃でのD値は5~6分となっている。

第12表は嫌気性細菌胞子の耐熱性を示す諸結果をまとめたものである<sup>34)45)~50)</sup>。大体 *Bacillus* の胞子とほぼ同等の耐熱性を示すということが出来るが、例外として *C. botulinum* type E は極端に耐熱性は小さく、80℃程度でのD値が数分である。しかし一方 *C. thermosaccharolyticum* のように132.2℃でDが4.43分というように *B. stearothermophilus* をはるかにしのぐ耐熱性をもっているものも見いだされている。中毒菌として注目すべき *C. botulinum* は Type A, B, C, D, E とあるが、

第10表 *Bacillus* 胞子の heat activation<sup>34)</sup>

| 微生物                          | 熱活性化の条件 |        | 研究者                          |
|------------------------------|---------|--------|------------------------------|
|                              | 温度 (℃)  | 時間 (分) |                              |
| <i>B. stearothermophilus</i> |         |        |                              |
| NCA1518                      | 110     | 7~10   | FinleyおよびFields (1962, 1963) |
| M                            | 110     | 9      | FieldsおよびFinley (1962, 1963) |
| NCIB8919                     | 115     | 15     |                              |
|                              | 121     | 1~2    | CookおよびBrown (1964)          |
|                              | 100     | 13時間   |                              |
|                              | 115     | 8~12   | CookおよびGilbert (1965)        |
| <i>B. megaterium</i>         | 60      | 50     |                              |
|                              | 70      | 17     | PowellおよびHunter (1955)       |
|                              | 80      | 8      |                              |
| QMB1551                      | 50~60   | 10     | LevinsonおよびHyatt (1964)      |
|                              | 65      | 10     | LevinsonおよびHyatt (1960)      |
|                              | 60      | 60     | RodeおよびFoster (1962)         |
| Texas                        | 60      | 60     | +                            |
| <i>B. cereus</i>             | 55~60   | 60     | PowellおよびHunter (1955)       |
| NCTC945                      | 70      | 30     | Hitchinsら (1963)             |
| <i>B. subtilis</i> M3        | 70      | 30     | Hitchinsら (1966)             |
| <i>B. pantothenicus</i>      |         |        |                              |
| NCTC8162                     | 60      | 80     | Winddowson (1967)            |
| 種々の <i>Bacillus</i>          | 70      | 30     | Gould (1962)                 |
| <i>B. subtilis</i> 5230      | 75      | 40     | BustaおよびOrdal (1964)         |

第11表 好気性細菌胞子の耐熱性<sup>34)</sup>

| 菌 種                          | 浮 遊 液       | 温度(℃) | D (分)          | 研 究 者                                     |
|------------------------------|-------------|-------|----------------|-------------------------------------------|
| <i>B. stearothermophilus</i> |             |       |                |                                           |
| NCIB 8919                    | 水           | 100   | 3000           | Briggs (1966)                             |
|                              | 〃           | 115   | 25             | CookおよびGilbert (1965)                     |
|                              | 〃           | 〃     | 24             | Briggs (1966)                             |
|                              | 酵 母         | 〃     | 34             | CookおよびGilbert (1965)                     |
| NCIB 8157                    | 水           | 121   | 4              | Briggs (1966)                             |
|                              | 〃           | 115   | 11             | LeyおよびTallentire (1964)                   |
| NCA 1518                     |             | 115.6 | 7.03           | Thorpe (1960)                             |
|                              | 脱脂乳         | 127   | 8秒             | Busta (1967)                              |
| NCA 1518 smooth株             | リン酸緩衝液      | 121.1 | 2.32           | RatmanおよびFelds (1966) <sup>35)</sup>      |
| rough株                       | 〃           | 〃     | 1.42           |                                           |
| NCIB 8224                    | リン酸緩衝液      | 115.6 | 5.24           | Thorpe (1960)                             |
|                              | (pH 7.0)    | 121.1 | 14.0           | Murrell (1964)                            |
| ATCC 7953                    |             | 100   | 459            | MurrellおよびWarth (1965) <sup>36)</sup>     |
|                              |             |       | 714            |                                           |
| <i>B. stearothermophilus</i> |             | 119   | 9.6            | Guzmanら (1972) <sup>37)</sup>             |
|                              | オクラ・食塩水     | 120   | (6.5-15.2) 3.4 | GibrielおよびAbd-El Al (1973) <sup>38)</sup> |
|                              | ソラマメ・食塩水    | 〃     | 4.2            |                                           |
|                              | エンドウ・食塩水    | 〃     | 4.2            |                                           |
| <i>B. subtilis</i>           |             |       |                |                                           |
| NCTC 8236                    | 水           | 100   | 11.3           | Briggs (1966)                             |
|                              |             | 105   | 2~2.5          |                                           |
| Bac 1-11                     | リン酸緩衝液      | 107.5 | 14             | PutおよびAalbersberg (1967)                  |
|                              | (pH 6.8)    | 110   | 6.9            |                                           |
|                              |             | 112.5 | 4.3            |                                           |
|                              |             | 115   | 2.2            |                                           |
|                              |             | 117.5 | 1.3            |                                           |
|                              |             | 121   | 0.57           |                                           |
|                              | 油で揚げた米      | 112.5 | 4.5            |                                           |
|                              | (pH 6.4)    | 121   | 0.76           |                                           |
| Bac 1-12                     | リン酸緩衝液      | 107.5 | 16.6           | PutおよびAalbersberg (1967)                  |
|                              | (pH 6.8)    | 110   | 9.1            |                                           |
|                              |             | 112.5 | 4.9            |                                           |
|                              |             | 115   | 2.75           |                                           |
|                              |             | 117.5 | 1.55           |                                           |
|                              |             | 121   | 0.71           |                                           |
|                              | 濃縮乳(pH 6.4) | 112.5 | 6.7            |                                           |
|                              |             | 121   | 1.45           | PutおよびAalbersberg (1967)                  |
| 5230 (15u)                   | リン酸緩衝液      | 121.1 | 0.48           | Pheilら (1967)                             |
|                              | (pH 7.0)    | 121.1 | 0.08           | Murrell (1964)                            |
|                              | 〃           | 121   | 0.35           | Pflug (1960)                              |
| <i>B. subtilis</i> 1A52      | リン酸緩衝液      | 100   | 4.4            | WalkerおよびMatches (1965) <sup>39)</sup>    |
| <i>B. subtilis</i> 5230      | (pH 7)      | 77    | 720            | FoxおよびEder (1969) <sup>40)</sup>          |
|                              |             | 95    | 32             |                                           |
|                              |             | 104   | 14             |                                           |
|                              |             | 121   | 0.5            |                                           |

第11表 (つづき)

| 菌 種                                             | 浮 遊 液             | 温度(℃) | D (分)      | 研 究 者                                         |
|-------------------------------------------------|-------------------|-------|------------|-----------------------------------------------|
| <i>B. subtilis</i>                              | 水                 | 100   | 1.5        | GibrielおよびAbd-El Al (1973) <sup>38)</sup>     |
| <i>B. subtilis</i> var. <i>niger</i>            | リン酸緩衝液 (pH 7.0)   | 100   | 1.67, 6.67 | MurrellおよびWarth (1965) <sup>36)</sup>         |
| <i>B. megaterium</i>                            | 水                 | 100   | 50秒        | LeyおよびTallentire (1964)                       |
| ATCC 8245                                       | 水                 | 100   | 1.0        | } Briggs (1966)                               |
| NCTC 7581                                       | 水                 | 115   | 0.025      |                                               |
|                                                 | リン酸緩衝液 (pH 7.0)   | 121.1 | 0.04       | Murrell (1964)                                |
|                                                 | リン酸緩衝液 (pH 7.0) ♪ | 100   | 2.10       | MurrellおよびWarth (1965) <sup>36)</sup>         |
| IA 34                                           | リン酸緩衝液 (pH 7.0) ♪ | 100   | 12.9       | } WalkerおよびMatches (1965) <sup>39)</sup>      |
| IA 28                                           | ♪                 | ♪     | 12.9       |                                               |
| IA 47                                           | ♪                 | ♪     | 5.8        | } Mikolajcik (1970) <sup>41)</sup>            |
| <i>B. megaterium</i>                            | 脱脂乳               | ♪     | 2.35       |                                               |
| <i>B. megaterium</i>                            | 水                 | 100   | 1.6        | } GibrielおよびAbd-El Al (1973) <sup>38)</sup>   |
|                                                 | ♪                 | 120   | 0.02       |                                               |
|                                                 | マンゴージュース          | 100   | 0.8        |                                               |
|                                                 | グ ア バジュース         | ♪     | 1.0        |                                               |
|                                                 | ト マ トジュース         | ♪     | 1.6        |                                               |
|                                                 | オレンジジュース          | 100   | 0.8        |                                               |
|                                                 | 食塩水(0.5~15%)      | ♪     | 2.2~2.3    |                                               |
|                                                 | 1%ベクチン            | ♪     | 2.0        |                                               |
|                                                 | 15%蔗 糖            | ♪     | 1.6        |                                               |
| <i>B. coagulans</i> sp 33                       |                   | 106   | 6.3~7.3    | } PutおよびWyhinga (1963)                        |
|                                                 |                   | 108   | 4.2~4.6    |                                               |
|                                                 |                   | 110   | 2.2~2.5    |                                               |
|                                                 |                   | 112   | 1.2~1.8    |                                               |
|                                                 | リン酸緩衝液 (pH 7.0) ♪ | 121.1 | 3.0        | Murrell (1964)                                |
| ATCC 7050                                       | 脱脂乳               | 100   | 270        | MurrellおよびWarth (1965) <sup>36)</sup>         |
|                                                 | 脱脂乳               | 100   | 1.97       | Mikolajcik (1970) <sup>41)</sup>              |
| <i>B. coagulans</i> var. <i>thermoacidurans</i> | リン酸緩衝液 (pH 7.0)   | 89    | 32.05      | El-BisiおよびOrdal (1956)                        |
| ATCC 8038                                       |                   | 93    | 18.8       | } El-BisiおよびOrdal (1956)                      |
| ATCC 8038                                       |                   | 96    | 8.31       |                                               |
|                                                 |                   | 86    | 71.14      |                                               |
|                                                 |                   | 89    | 11.57      |                                               |
|                                                 |                   | 93    | 6.06       |                                               |
| <i>B. cereus</i>                                | リン酸緩衝液 (pH 7.0) ♪ | 100   | 5.5        | Briggs (1966)                                 |
| NCTC 5893                                       | ♪                 | 121.1 | 0.0065     | Murrell (1964)                                |
| —                                               | ♪                 | 100   | 0.83, 14.2 | MurrellおよびWarth (1965) <sup>36)</sup>         |
| T                                               | ♪                 | 100   | 7.2        | WalkerおよびMatches (1965) <sup>39)</sup>        |
| IA 54                                           | ♪                 | ♪     | 4.8        | ♪                                             |
| IA 31                                           | 脱脂乳               | 100   | 3.10       | Mikolajcik (1970) <sup>41)</sup>              |
| <i>B. cereus</i> 1                              | ♪                 | ♪     | 2.70       | } GibrielおよびAbd-El Al (1973) <sup>38)</sup>   |
| 7                                               | 水                 | 100   | 0.8        |                                               |
| <i>B. cereus</i>                                | リン酸緩衝液 (pH 7.2)   | 110   | 8.0        |                                               |
| <i>B. licheniformes</i>                         | クエン酸緩衝液 (pH 4.5)  | ♪     | 1.6        | } MargalithおよびShoenfeld (1962) <sup>42)</sup> |
| <i>B. licheniformis</i> NCTC 7589               |                   | 100   | 13.5       |                                               |
|                                                 |                   |       |            | Briggs (1966)                                 |