

以心草紙

● 加熱殺菌理論

古跡 幹人
(2023年6月)

ハザード分析(危害要因分析)の結果、CCP(重要管理点)となるハザード(危害要因)の多くは、加熱(殺菌)工程におけるハザード「微生物の生残」であると思う。その微生物を、大腸菌(群)、サルモネラ属菌、黄色ブドウ球菌、リステリア菌、ボツリヌス菌等、食中毒原因菌を特定してハザードとしている組織も多いと思う。

加熱(殺菌)工程で、意図した管理を達成するために、管理手段と管理基準(CL、ISO22000の場合は許容限界)を決定する。管理手段、もしくは管理手段の組み合わせは、妥当性確認されたものでなければならない。

多くの場合、妥当性確認に用いられる、あるいは、実験的試行として必要な基礎知識が、「加熱殺菌理論」である。

食品衛生法にある、「63°C 30分間以上、もしくはこれと同等以上の殺菌効果を有するもの」の「これと同等の殺菌効果を有する」という科学的根拠として、この「殺菌加熱理論」を用いることで説明が容易になる。

今回は、その「加熱殺菌理論」について記す。

加熱殺菌理論については、既に習得されていると思うが、今回の「以心草紙」が、加熱(殺菌)工程担当者や他の従事者にわかりやすく教えるため、または食品衛生教育、あるいは、食品微生物学等の教育の手助けとなれば幸いである。

【加熱殺菌理論】

加熱殺菌理論では、「D値」「Z値」「F値」といった用語が使用される。そのD値、Z値、F値について説明する。

《D値：Decimal reduction time》

D値とは、一定温度で微生物を加熱した時、生菌数を10分の1に減少させるために必要な時間と定義されている。

例えば、63°CでD値5分であれば、元の菌数が 10^6 の時、5分で10分の1、つまり、菌数が 10^5 に減少するということである。更に追加して5分加熱することで、 10^4 の菌数になる。

菌数を1/100にする場合。(D値5分)
計算は次のようになる。

$1/10$ … D値が5分 ⇨ 5分間

$1/100 (=1/10^2)$ …時間が2倍必要 ⇨ 10分間



(山口市 : ドウダンツツジ)

次に、原料の細菌数によって加熱殺菌に必要な時間を、例を使って考えてみる。(D 値 5 分)

生菌数が 1,000 g あたり、それぞれ、

100 万個と 100 億個であった場合、十分な殺菌(生菌数が 1,000 g あたり 1 個以下とする)に要するそれぞれの時間を求めてみる。

《生菌数が 100 万個の場合の必要な加熱時間》

答え 30 分間 (D 値の 6 倍)

考え方; 1,000,000 個/1,000g を 1 個/1,000g
⇒ 1/1,000,000 にする 1/1,000,000 は

1/10 の 6 乗 よって D 値の 6 倍の時間が必要
5 分間×6=30 分間

《生菌数が 100 億個の場合の必要な加熱時間》

答え 45 分間 (D 値の 9 倍)

考え方: 1,000,000,000 個/1000 g を 1 個/1,000g
⇒ 1/1,000,000,000 にする 1/1,000,000,000 は
1/10 の 9 乗 よって D 値の 9 倍の時間が必要
5 分間×9=45 分間

上記のように、原料の生菌数が高い(汚染の状態が進んでいる)場合は、その原料もしくはその原料を使用して製造した製品の殺菌に必要な時間(加熱時間)が長くなる。ゆえに規定した以上に生菌数がある場合は、通常定めた加熱時間では、殺菌不足となることがある。原材料の汚染防止対策と工程の衛生管理が重要となる。



(山口市 : セイヨウタンポポ)

《Z 値: Heat resistance coefficient》

Z 値は加熱時間 D 値を 10 分の 1 にする(死滅の速度を 10 倍にする)ために必要な追加すべき加熱温度である。多くの微生物では加熱温度の上昇に伴い対数的な死滅あるいはそれに近い死滅の様相を示すため Z 値は菌種毎に一定になる。

一般細菌; Z 値=5~8°C

耐熱性の芽胞; Z 値=7~11°C

Z 値を利用して、別の加熱温度での加熱時間を算出することが出来る(同等の殺菌条件の算出)。

例えば、Z=7°C の場合、法に規定されている加熱殺菌条件 63°C、30 分間と同等の殺菌条件を 70°C、77°C、84°C での加熱時間を求めると、

70°C は 63+7°C 30 分間の 1/10 で 3 分間

77°C は 70+7°C 3 分間の 1/10 で 18 秒間

84°C は 77+7°C 18 秒間の 1/10 で 1.8 秒間

となる。

次に、腸管出血性大腸菌 O157 の加熱殺菌条件である「75°C、1 分間以上」も法に規定された加熱殺菌条件(63°C 30 分間)から算出できる。

(大腸菌の Z 値は 8°C)

計算式は次の通り。

$$\begin{aligned} \text{加熱時間 (分)} &= 30 \times 10^{(63-75) / 8} \\ &= 30 \times 10^{(-12) / 8} \\ &= 30 \times 0.032 = 0.96 \text{ (分)} = 58 \text{ 秒} \end{aligned}$$

このようにして、設定した殺菌温度での殺菌時間を求めることができる。

《F 値: Minimum Sterilization time》

F 値は基準温度で一定数の細菌を死滅させるのに要する加熱時間である。

例えば、法律で定められているレトルト食品の加熱殺菌条件は、ボツリヌス菌を死滅させる加熱条件である中心温度 120 度 4 分間である。

この場合、基準温度は 120°C、F 値は 4 となる。

加熱温度は通常、加熱の全工程を通して刻々と変化する。その刻々と変化する加熱温度での殺菌効果を基準温度に換算し、積算した加熱効果の総和を F 値で表す。Z 値 10°C とした場合、110°C で 20 分間加熱後に、120°C F 値 4 の殺菌効果を得るためには、残り 120°C で 2 分間加熱すればよい。110°C での殺菌時間は 40 分 (Z 値 10°C から 120°C F 値 4 と同等は 110°C 40 分殺菌)。残りの 20 分間を 120°C で同等の殺菌を行うことになる。

120°C では 4 分の殺菌時間なので、

必要な時間 = 4 分 × 20 分 / 40 分 = 2 分となる。

また、基準温度内でない別の温度における F 値は Z 値から求めることができる。(Z 値 10°C)

加熱温度 110°C

110 = 120 - 10°C 4 分間 × 10 加熱時間 40 分間

加熱温度 120°C

120°C 4 分間 (法に規定される加熱殺菌条件)

加熱温度 130°C

130 = 120 + 10°C 4 分間 × 1/10 加熱時間 24 秒間

F 値は通常、一般細菌を対象とする場合、生菌数を対象とする場合は生菌数を 5 桁減少させる加熱時間 (5 D)、危険度の高いポツリヌスを対象とする場合は 12 桁減少させる強さの時間 (1 2 D) を標準としている。

上述した通り、加熱殺菌条件を加熱理論によって設定することは可能ではあるが、加熱工程、食品の菌数、菌種等様々な要因が殺菌結果に影響する。実際の適用にあたっては製品の微生物検査等によりその効果を検証することが必須である。

定期的な食品衛生教育で、HACCP (ISO22000、FSSC22000) と一般衛生 (PRP) を主体に講義しなければならない。加熱殺菌工程で特定された管

理手段を CCP として管理するようにカテゴリー分けした (ISO22000:2018; 8.5.2.4.3 項、Codex; 手順 6/原則 1) 場合の教育で、加熱殺菌工程の重要性、管理基準 (許容限界)、モニタリングシステム、改善措置 (修正、是正処置) 等、一連の CCP に関する内容についての説明は必ず実施しなければならない。

しかしながら、食品衛生、食品安全の従業員教育は、ただ単に HACCP プランの内容を説明するだけでは、十分に理解させることはできない。なぜこの工程が CCP となったのか、その理由。他の工程と何が異なるのか。ハザード分析の結果を十分に理解させなければならない。

そして、今回の「加熱殺菌理論」にまで踏み込んだ内容を少し加えることにより、決められた管理基準 (許容限界) と、モニタリングシステムの正しい運用ならびに、管理基準 (許容限界) の逸脱が示す“重要な意味”の理解、および逸脱時に取るべき行動の意義を深めることに役立つのではないかと思う。

ハザード分析、管理基準 (許容限界) の設定、モニタリングシステムの確立、改善措置 (修正、是正処置) 等、一連の HACCP プランの有効的な運用、および、その効果的な教育について、担当責任者が食品微生物学を含めた食品衛生について学習し、深く理解していることが必須となる。



(山口市 : サツキ)