

バイキン博士の衛生雑談

食と微生物

22. 加熱殺菌-1

加熱殺菌の用語

加熱殺菌の工程では、D値、Z値、F値、さらには致死率などという、一般には見慣れない、また理解し難い用語が現れる。F値というのは加熱工程の設計には鍵とされる値だけれども、現在では加熱する食品に挿入した温度センサーのデータから自動的に計算されるので、以前のように手計算に頼ることはなくなった。そのため、これらの用語についての意味は理解されないまま、F値が一人歩き、ときには間違いのもとにもなっている。

ここでは一般に使われる用語について説明しながら、食品の加熱殺菌工程について、2回にわたって解説する。

細菌胞子（芽胞）

包装食品を加熱殺菌して長期間の保存に耐えるようにしようとするとき、まず問題になるのが細菌胞子（芽胞とも呼んでいる）である。胞子を作る細菌の大部分は土壌を本来の住みかとする菌種で、現在は23属の細菌が知られているが、食品に特に関係の深い属は表1に示した6属の細菌である。このうち好気性細菌の上から4つの属は以前はバチラス属に、また嫌気性細菌（2属）はクロストリジウム属に包括されていた。

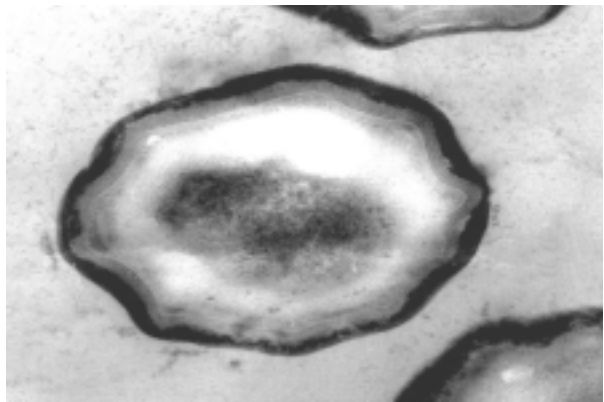
表1 胞子（芽胞）をつくる細菌

好気性細菌	アリサイクロバチルス
	バチルス
	パエニバチルス
	ブレビバチルス
	スポロラクトバチルス
	スポロサルシナ
嫌気性細菌	クロストリディウム
	デスルフォトマクナム

細菌胞子の耐久性

細菌種によっては栄養の枯渇が胞子形成のきっかけになっているけれども、菌種によっては胞子をつくるのに特別な栄養素を必要とするものもあり、細菌が胞子をつくるための前提条件は必ずしも明らかにされていない。いずれにせよ、作られた胞子（写真）は、中心の細胞質には水をほとんど含まず、さらにその細胞質は周辺を5層の厚い殻で覆われている。そのため胞子は、厳しい環境条件に耐え抜く特性を持っている。

写真 セレウス菌胞子の電子顕微鏡写真



胞子の耐久性については、いろいろなデータがある。信頼できる報告として、例えば深海底堆積の深さ150cmの層（少なくとも5,800年以前に堆積した）に好熱性の芽胞菌が発見されており、さらにロシアのアブイゾフは、無菌的に採取した北極圏の3,600m深さの氷から、50～100万年前に堆積した胞子細菌を分離している。

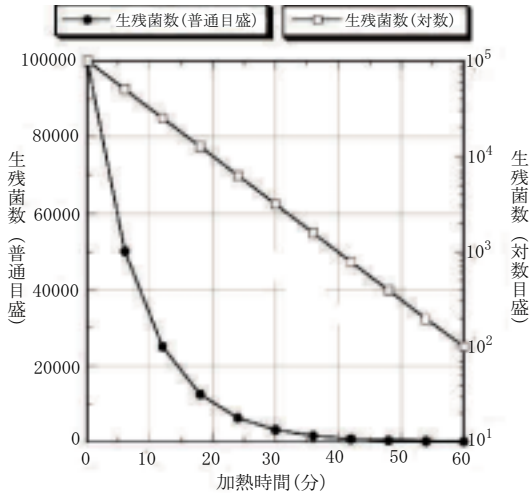
胞子は、貧栄養の環境ばかりでなく、乾燥・高熱、またアルコール、消毒剤、紫外線など、普通の細菌には耐えられない環境にも強い抵抗性を示す。

微生物の加熱死滅

細菌、あるいは細菌胞子を培養器の中で加熱すると、図1のような経過をとって死滅する。左側の通常の見盛りでは、加熱の初期に大部分の個体が死滅し、急速に数を減らしながら、時間が経つとともに死滅が緩やかになっていることが見てとれる。一方、細菌数を対数でプロットすると（右側の見盛り）、時間とともに起こる菌数の減少は直線で示されるようになる。

多くの微生物について熱死滅曲線をとると、死滅の全

図1 微生物の熱死滅



過程を通して、このような直線関係をみることは少ない。また、微生物の種類によっては直線にならず、上あるいは下に湾曲した死滅曲線になるものもある。しかし、多くの場合に、少なくともある時間範囲で、近似的な直線関係が得られる。

微生物のこのような対数的死滅過程は、また、薬物、放射線など、他の要因による死滅のさいにも見られる。

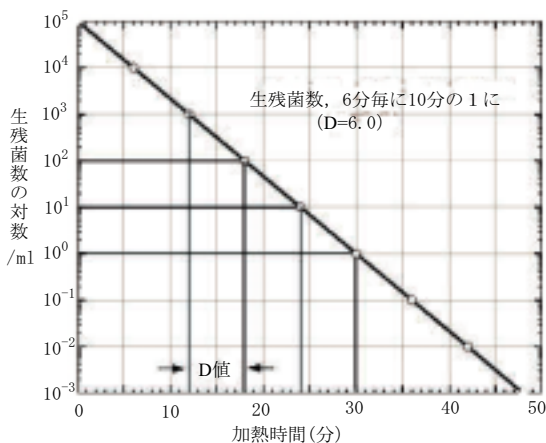
このような対数的死滅のひとつの特徴は、終わりががないということである。すなわち、細菌数は、対数目盛で100、10、1、0.1、0.01…と減っていくけれども、ゼロにはならない。菌数が1/10というのは一見おかしいように見えるけれども、これは菌の存在する確率が1/10、つまり同じ実験を繰り返せば10回に1回の確率で、菌が検出されるだろう、ということの意味する。

実際の殺菌工程でも、たとえば、一袋のレトルト食品に生残菌数が0.01というのは、生き残った微生物が存在する確率が0.01ということで、つまり、100袋に一つの確率で菌が生き残っているということの意味する。

D 値

微生物の熱死滅がほぼ対数的におこることから、図2で示すように、微生物数を1/10に減少させるに要する加熱時間は一定になる。かりに10³の菌数が6分で1/10の10²に減ったとすると、つぎの6分でその1/10の10¹ (=10)

図2 微生物の対数的死滅とD値



に、さらに次の6分でその1/10の10⁰ (=1) に減少する。

この時間（単位はふつうは分）をD値（decimal reduction time, DRT, 90%死滅時間）と呼ぶ（図2）。加熱温度が高ければ菌は速やかに死滅し、菌数を1/10にする時間は少なくなるから、どの加熱温度でのD値であるかをしめすために、加熱温度を添字で、D₁₂₁、D₁₀₀のように表す。

いくつかの細菌種について調べられたD値を表2、3に示した。

より多くの細菌種についてのD値データは、多くの参考書を参照して下さい。

表2 微生物の熱死滅（耐熱性胞子細菌を除く）

微生物種	加熱温度(°C)	D値(分)	Z値(°C)
バクテリア			
カンピロバクター	56	0.78	4.94
大腸菌	57.2	0.8-1.5	
リステリア	58	1.2-2.4	5.1-6.7
サルモネラ	62.8	0.11	5.3
ブドウ球菌	63	0.8	
エルシニア	58	1.4-1.8	4.00-4.52
真菌			
ペニシリウム	60	4	
Byssochlamys	90	1.3-12	
ビール酵母	60	0.11-0.32	
同上, 子嚢胞子	60	8.2-22.2	4.5-5.5

表3 胞子細菌の熱死滅

微生物種	加熱温度(°C)	D値(分)	Z値(°C)
好気性菌			
セレウス菌	100	5	10
セレウス菌	121	0.03	9.9
枯草菌	104	14	
枯草菌	121	0.5	
バシラス・コアギュランス	120	2.3	7.2
嫌気性菌			
ボツリヌス菌, A型	104	17.6	9.9
ボツリヌス菌, E型	79.4	1.10-1.65	
ウェルシュ菌	100	6-17	9-24
スポロジエネス菌	121	0.10-1.5	
<i>C. thermosaccharolyticum</i>	121	3.0-4.0	

(清水 潮 元東京大学・広島大学教授)

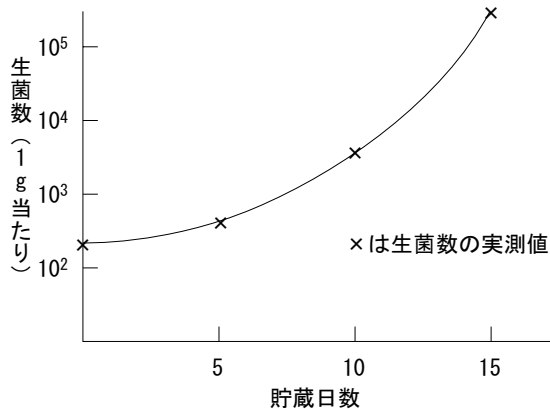
食品加工と微生物

その43. 冷蔵食品の生菌数測定の問題点

賞味期限や消費期限の決め方は大丈夫か

次の間は筆者が『月刊HACCP』に連載している記事からの引用である。今回はここで取り上げた生菌数測定の問題について考えてみたい。

■Q121 あるメーカーでは辛子明太子（要冷蔵、10℃以下貯蔵）の菌数上限値を $10^5/g$ とし、その値に達する日数の8割の日数を賞味期限として設定している。図は、賞味期限を設定するために10℃で貯蔵試験を行い、食品衛生法で定められている一般生菌数測定法（標準寒天培地を用い、35℃2日間培養後に計数する）によって生菌数を測定した結果を示したものである。生菌数は15日目に $10^5/g$ に達したので、このメーカーでは辛子明太子の賞味期限を12日間に設定した。しかしこの賞味期限設定の方法は不適当と考えられる。それはなぜか、100字程度で説明せよ。



スーパーやコンビニ、一般商店などの食料品には、原材料名や消費期限（または賞味期限）、殺菌方法、保存方法、メーカー名、栄養・アレルギー関係などの表示があるが、そのうち、消費者が最も気にする項目は消費期限である。とくに陳列時間の短い弁当や惣菜類では時間単位で表示されていて、消費者はできるだけ期限の先のものを選び、少しでも期限オーバーのものはクレームの対象となるので、取扱者も期限には敏感で、期限前に回収してしまうことも多い。しかしこの期限が確とした根拠を持って決められているかという点、どうも怪しい場合が少なくない、というのが今回の話題である。

食品の消費期限を設定する場合、どのようにして決められるかという点、例えば要冷蔵食品の消費期限を決める場合には、ふつうは設問のように、冷蔵庫温度（例えば10℃）で保存試験を行い、その際の菌数変化を、食品衛生法（公定法）に定められている一般生菌数測定法（標準寒天培地を用い、35℃、24～48時間培養、表1）で求め、自社基準値（例えば $10^5/g$ ）に達するまでの日数をもとに消費期限を設定するのが一般的であろう。

表1 食品衛生法に基づく生菌数測定のための培地、培養温度、培養時間の例

食品	培地	培養温度*	培養時間*
粉末清涼飲料	標準寒天培地	35℃	48時間
氷雪	〃	35℃	24時間
氷菓	〃	35℃	48時間
アイスクリーム類	〃	32～35℃	48時間
乳および乳製品	〃	32～35℃	48時間
冷凍ゆでたこ	〃	35℃	24時間
生食用冷凍鮮魚介類	〃	35℃	24時間
生食用かき	〃	35℃	24時間
冷凍食品	〃	35℃	24時間
ミネラルウォーターの源水**	〃	35℃	24時間

*温度、時間の許容幅は省略。

**メンブランフィルター法。

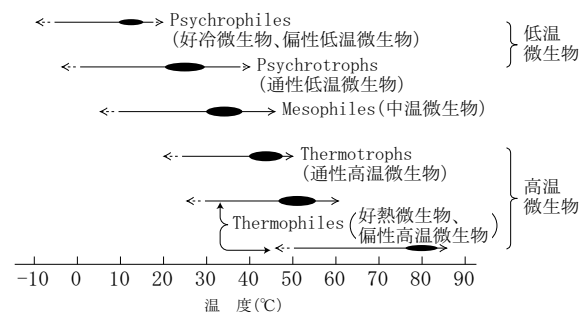


図1 増殖温度による微生物の大別

しかしこの方法は不適当である。なぜなら、微生物は増殖温度の面から、図1のように、低温微生物、中温微生物、高温微生物の3つに大別され、10℃保存中に腐敗を起こすのは主に低温細菌であるが、上記の35℃という培養温度は中温細菌が対象であり、低温細菌は測定できない（35℃では増殖しない）からである。

腐っているのに菌がない？

食品衛生法の生菌数測定法は、もともと規格基準の決められている食品について決められたものであるが、その当時はまだ常温貯蔵が一般的であったため、腐敗微生物の生菌数測定も中温細菌を相手にしていればよく、また当時知られていた食中毒菌も中温細菌が主であったため、低温微生物は考慮されていなかったのであろう。

したがって、この方法は常温下での食品の微生物汚染や中温腐敗菌の増殖程度を知るような場合には有用であり、また食中毒細菌も多くが中温菌であることからそれらによる汚染の可能性を示す目安ともなる。

しかしこの方法を鵜呑みにして、低温貯蔵の食品に用いると、とんでもないことになってしまう。事実、表2に示すように、低温で腐敗した刺身や明太子などの生菌数は、20℃培養では $10^8 \sim 10^9/g$ であるのに、35℃培養では $10^4 \sim 10^5/g$ にしかならず、実際には腐敗しているにもかかわらず、それを見落とすことになる。図2はコロニー数の経時変化を培養温度ごとに見たものであるが、低温腐敗した試料だけでなく、鮮魚でも35℃培養では、20℃培養に比べて出現するコロニー数が著しく低いことがわかる。要冷蔵食品の生菌数は低温細菌の増殖できる20～25℃以

