

アサマ NEWS パートナ

2009-05 No. 130

バイキン博士の衛生雑談

食と微生物

23. 加熱殺菌-2

Z 値

微生物の加熱殺菌に当たって、加熱温度を高くすれば、当然、短時間で殺菌できることになる。このことは加熱温度を高くすればD値（菌数を10%に減らす時間）は短くなり、温度を低くすれば、逆に長くなることを意味する。加熱温度を変えながら実験を行うと、温度の増加にともなって減少するD値のデータが得られる。この際、加熱温度を横軸に、D値の対数を縦軸にプロットすると、熱死滅-D値の関係と同じように、直線関係がみられる（図1）。すなわち、D値を1/10に縮めるために高めねばならない温度はつねに一定である。この温度幅をZ値と呼ぶ。図1の例ではD値を100分（ 10^2 分）から10分（ 10^1 分）にするために上げる温度は10℃であり、Z値はしたがって10℃になる。

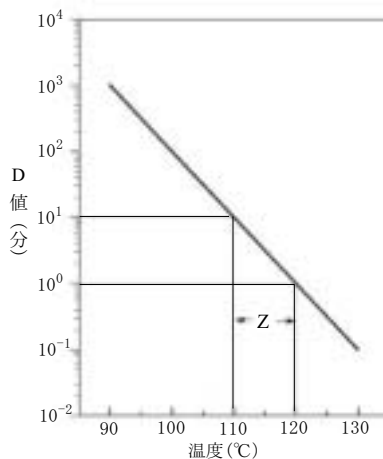


図1 D値とZ値

いま、100℃でのD値がともに1分になる二つの微生物を考える。一方の微生物のZ値が5、他方の微生物のZ値が10であったとして、D値と加熱温度との関係をプロットすると図2のようになる。加熱温度を10℃あげて110℃にすると、それぞれのD値は、Z値=10の微生物では0.1分、Z値=5の微生物では0.01分になる。つまり、微生物のZ値が大きいということは、加熱温度を高くしても加熱死滅時間（D値）が縮まりにくいことを意味する。言い換え

れば温度上昇の効果が小さい。したがってZ値は微生物の耐熱性にかかわる一つの尺度と言える。

微生物の種類によって、Z値の大きさは異なり、胞子をつくらない細菌・真菌についてはふつう4～8℃、細菌の胞子については普通6～10℃の範囲にある。これから分かるように、殺菌温度を上げたときの効果は、胞子をつくらない細菌・真菌は細菌胞子に比べて、ずっと高くなる。

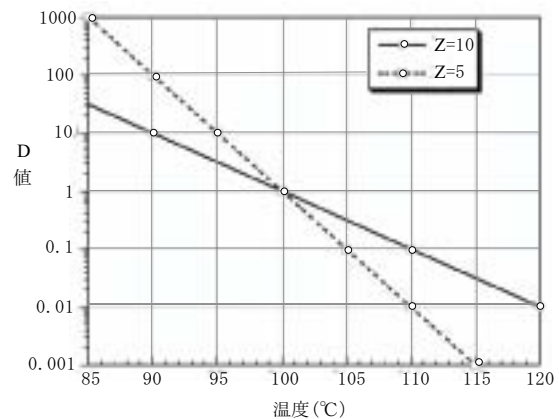


図2 異なるZ値をもつ2つの微生物のZ値

F 値

包装した食品を加熱容器、例えばレトルトに入れて加熱する際、レトルト内の温度の上昇に遅れて食品の温度が上昇する。レトルト内と、食品の中心温度（正確には最も温度の低い部分）は、例えば図3に示すような経過をたどるだろう。

このとき、加熱過程全体にわたる加熱殺菌効果はどのように計算すればよいだろうか。

加熱の全工程を通して加熱温度は時時刻々変わり、したがって加熱効果も変わる。温度が110℃のときの加熱効果は、121℃の1/10であるかも知れないが、しかしゼロではない。

食品を加熱する際、過程全体を通しての殺菌効果を、加熱の基準とする温度での殺菌効果に換算した値をF値（単位は分）と呼んでいる。すなわち、食品の中心温度が上昇して一定の温度に達し、さらに加熱終了後に下がっていく間の刻々の殺菌効果を積算し、これが、基準温度で加熱したときの何分間の殺菌効果に相当するかという数値である。

この基準温度として121℃（250°F）をとることが多いので、以下の説明も121℃での加熱を例として行う。

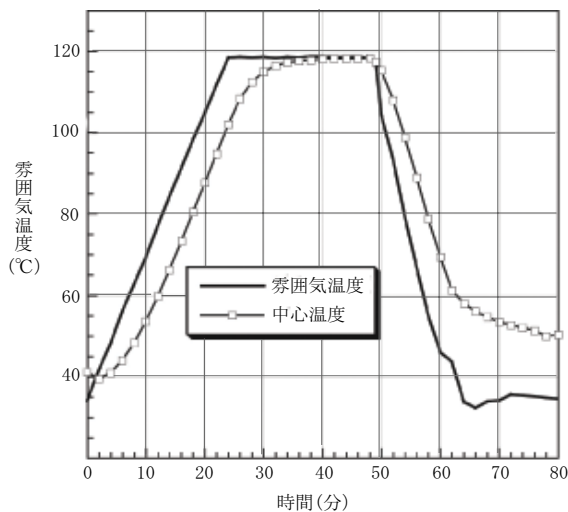


図3 レトルト加熱の際の温度経過

F値の計算

F値を計算するためには刻々変化する加熱温度での殺菌効果を121℃での殺菌効果と比べなければならない。ある温度例えば110℃での殺菌効果と121℃での殺菌効果との比を致死率（Lethal rate）とよびLであらわす。これは、その加熱温度でのD値を121℃でのD値と比べたものになる。たとえば121℃でのD値が0.2分（ $D_{121}=0.2$ ）、110℃では2分（ $D_{110}=2$ ）であったとすると、110℃での致死率Lは $0.2/2=0.10$ となる。つまり、110℃での加熱効果は121℃の1/10に下がり、したがって121℃での加熱と同じ効果を得るためには10倍の加熱時間を必要とする。

致死率の計算は一般につきのようになる。

$$L = 10^{\frac{T-121}{Z}}$$

すなわち、致死率Lを求めるために、Z値が必要になる。

致死率を時間にたいしてプロットすると、図4のようになる。図5に示すようにL値のグラフから、刻々の微小な加熱時間とその時のL値を掛け合わせたものをつぎつぎに積算すれば全体の加熱効果、すなわちF値が求められる。時間を小さくすればF値の近似はより正確になり、その極

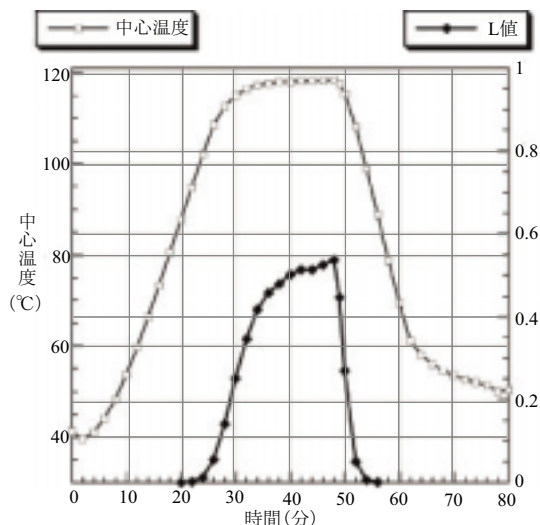


図4 中心温度と致死率L値

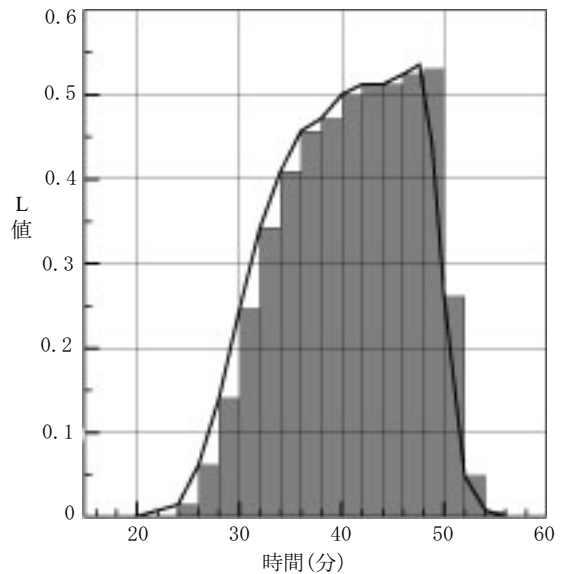


図5 致死率L値からF値の積算
(影の部分で足し合わせたものがF値になる)

限は積分となり、L値のグラフの下面積に一致する。

F₀値、商業的殺菌

加熱殺菌効果の積算値Fを求めるためには致死率Lを知ることが必要になる。この計算にはZ値が組み込まれる。Z値は加熱殺菌の対象になる菌の種類によって異なる。菌種ごとにZ値から殺菌効果を測定するのは厄介であり、一般的な加熱殺菌、とくに缶詰、レトルト食品の加熱の基準としてF値を計算するときには $Z=10^{\circ}\text{C}$ （18,）の値を用いる。これはボツリヌス菌（*Clostridium botulinum*）の最大のZ値がほぼ $Z=10^{\circ}\text{C}$ になるところから便宜的に使われてきたものである。

加熱の基準温度を121℃、また、Z値を10としたときのF値をF₀値と呼ぶ。一般にF値と呼んでいるのは、このF₀値を意味していることが多い。

古くから（1920年代から）、酸度の弱い通常の缶詰食品の殺菌時間についてボツリヌス菌にたいする12D（D値の12倍）の時間が基準とされ、商業的滅菌（commercial sterilization）と呼ばれている。*Cl. botulinum* Type Aの D_{121} 値を0.2分として計算すると12Dは2.4分、すなわち、F₀値は2.4分となる（ $F_0=2.4$ ）。12Dというのは 10^{12} すなわち1兆個の細菌を1にまで減らす加熱時間ということになり、ボツリヌス菌その他の食中毒細菌はほぼ完全に滅菌される。

低いpH、Awなどの条件のためボツリヌス菌が増殖しないような加熱食品では、安全にたいする基準も緩くなり、その食品に腐敗をおこしうる微生物種にたいするD値の5倍（5D）または6倍（6D）などが標準とされる。また、リステリア菌のような食中毒細菌が混入する恐れのある食品でも、5D、あるいは6Dを基準とする考えもある。

しかし、商業的殺菌の基準をどうするかは、実際には複雑な問題をはらんでおり、現在のような大量生産のシステムで5D、6Dという基準をそのまま適用することは危険である。このような基準は個々の製品の性質、また製造される数に応じて見直されなければならない。

（清水 潮 元東京大学・広島大学教授）

食 品 加 工 と 微 生 物

その44. 魚の鮮度の考え方とその指標（1）

「鮮度」には2つの意味がある

前回と同じような書き出しで恐縮であるが、次の間は『月刊HACCP』に掲載した平成10年度管理栄養士国家試験の問題である。今回はここで取り上げられている魚の鮮度の問題について考えてみたい。

■Q40 次の①～⑤は食品の腐敗の記述である。誤っているのはどれか。

- ①魚類などの死後硬直は、筋肉中のたん白質アクチンとミオシン及びアデノシン三リン酸が関与している。
- ②生物の死後硬直状態では筋肉は酸性を呈するが、時間の経過に伴い筋肉は次第に柔らかくなり、酸性から中性域に変わりはじめる。
- ③魚肉の鮮度を判定する方法としてK値の測定がある。これは魚肉中のK濃度を測定することにより求められ、その値が20%前後のものは鮮度良好である。
- ④細菌学的には、一般に食品1g当たりの生菌数が $10^7 \sim 10^8$ に達した時、初期腐敗に入ったとみなされる。
- ⑤揮発性塩基窒素量による腐敗の判定は、新鮮なもので5～10mg%、初期腐敗のもので30～40mg%が一応の目安で行われる。

魚介類は畜肉に比べて鮮度低下が早い。畜肉ではと殺後1週間から10日ほど低温で熟成させてから食用にされるのに対し、魚では漁獲後できるだけ早く食卓に供するか、何らかの手段を講じて鮮度保持をする必要がある。したがって魚介類では鮮度ということが品質の上で重要であるが、この鮮度という言葉には混乱があるようなので少し整理しておこう。

魚の死後変化

魚の死後の変化は一般に、硬直、解硬、軟化、腐敗という順に進行するが、そのうち、硬直、解硬、軟化までは魚介類自身が元々持っている筋肉や内臓の酵素（自己消化酵素）によって起こり、その後の腐敗は魚に付着し

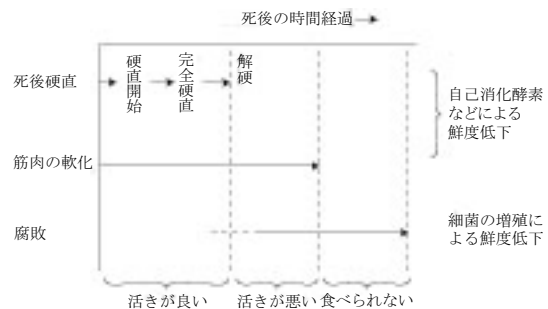


図1 魚の死後変化

ている細菌によって起こる（図1）。

一口に鮮度が悪いといっても、刺身とアジの一夜干しではまったく意味がちがう。刺身で問題となる鮮度はいわゆる活きの良さで、生鮮度ともいわれ、これには細菌は関与しない。一方、アジの一夜干しの場合には食べられるかどうか（腐敗の程度）という意味での鮮度で、この鮮度低下は細菌によって起こる。したがって鮮度低下の問題は、貯蔵初期の生鮮度の低下と、それに遅れて進行する腐敗とを区別して論じる必要がある。

たとえば、鮮魚を冷蔵庫に数日おいておくとアンモニアやトリメチルアミンなど特有の腐敗臭がし始める。いわゆる初期腐敗の状態、これは細菌の増殖によって起こる現象である。刺身は菌ごたえが良くてプリプリした状態が好まれるが、刺身の鮮度が悪いという場合には、腐敗を問題にしているわけではなく、いわゆる活きの良さ（生鮮度）を問題にしているのである。この鮮度の低下は魚自体の酵素作用によって進行するもので、細菌は関与しない。

K値とは

したがって鮮度低下の物差しも両者で異なり、生鮮度の目安としてはATPの分解の程度を指標にしたK値が最もよく用いられている。なおこのK値という呼び方は恒数という一般的な意味で付けられたもので特別な意味はない。

魚肉のATPは酵素的に分解されて、 $ATP \rightarrow ADP \rightarrow AMP$ （アデニル酸） $\rightarrow IMP$ （イノシン酸） $\rightarrow HxR$ （イノシン） $\rightarrow Hx$ （ヒポキサンチン）という順に変化していく。この分解の経路はすべての魚で同じであり、一連の反応はIMPの分解速度で左右される（律速される）ので、ATPからIMPまでが魚肉中の主成分である間は生鮮度が良好で

あるが、時間経過とともにHxR、Hxが増加すると生鮮度は低下したことになる。これらのATP関連化合物の総量はほぼ一定であることから、次式のようにこの総量に占めるHxR+Hxの百分率（モル%）を求め、これをK値と呼んでいる。

$$K値 = (HxR + Hx) \times 100 / (ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx)$$

K値は低いほど生鮮度の良いことを意味し、即殺魚では10%以下、刺身用には20%以下が適当であり、20～60%は調理加工向けの鮮度とされている。

一方、腐敗の指標については次回に述べるが、直接細菌の数（生菌数）を調べたり、その腐敗産物であるアンモニア、トリメチルアミン、揮発性塩基窒素量などが用いられる。なお問題中のmg%はmg/100gのことである。

K値で腐敗の程度は表せない

このように鮮度といっても、活きの良さの低下と腐敗とは別のものであることがわかるが、従来、ややもすると、これら二種の鮮度の概念が混同され、鮮度の問題は

すべてK値で表されると考えられてきたきらいがある。しかし上に述べたように、これは明らかに間違いである。たとえば、図2は即殺直後のスケソウダラのK値とトリメチルアミンの変化を示したものであり、K値はトリメチルアミンではとらえることのできない極めて初期の鮮度低下を示しうることがわかるが、このことからK値は鮮度指標としてトリメチルアミンよりも優れているとはいえない。なぜなら、それぞれは活きの良さと腐敗という全く要因の異なる鮮度の指標であるからである。すなわち、K値は活きの良さを表すことはできるが、腐敗の指標にはならず（たとえK値が100%であっても腐敗しているとは限らない）、逆に、アンモニアやトリメチルアミンは細菌の腐敗産物であり、生鮮度を表すものではないからである。魚の鮮度の話をするときには、両者の違いを区別して混乱のないようにする必要がある。

なお、問題文の①～③は腐敗の記述ではないので、設問の「食品の腐敗の記述である」という文章は不適切であり、出題者自身も混乱しているようである。

魚介類が腐りやすいのは

魚介類が畜肉に比べて腐敗しやすい理由としては、①魚介類の皮膚には1cm²当たり10³～10⁵と多数の細菌が付着しており、それらは皮膚粘液で覆われていて簡単には取り除けない、②それらの中には低温でも増殖できるものが多く、このことは低温貯蔵時でも腐敗しやすいことを意味するのでとくに重要である、③畜肉に比べて結合組織の発達が悪く肉質も弱い、細菌の侵入を受けやすい、④筋肉の自己消化作用が強いため、タンパク質の低分子化が速く、細菌の栄養分が供給されやすい、⑤死後の筋肉のpH低下が比較的少なく、畜肉より細菌の増殖に適していること、などがいわれている。

設問の正解は③である。

（藤井建夫：東京海洋大学名誉教授、東京家政大学特任教授）

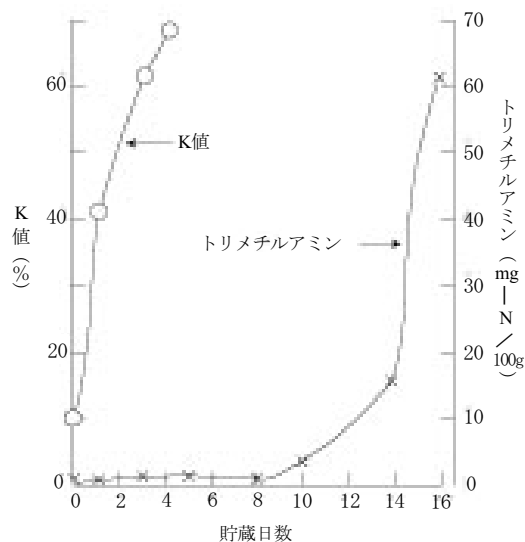


図2 即殺スケソウダラの氷蔵中のK値とトリメチルアミン量の変化

アサマ化成株式会社

E-mail : asm@asama-chemical.co.jp
<http://www.asama-chemical.co.jp>

・本社	〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町20-3	TEL (03) 3661-6282 FAX (03) 3661-6285
・大阪営業所	〒532-0011 大阪市淀川区西中島5-6-13 御幸ビル	TEL (06) 6305-2854 FAX (06) 6305-2889
・東京アサマ化成	〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町16-5	TEL (03) 3666-5841 FAX (03) 3667-6854
・中部アサマ化成	〒453-0063 名古屋市中村区東宿町2-28-1	TEL (052) 413-4020 FAX (052) 419-2830
・九州アサマ化成	〒811-1311 福岡市南区横手2-32-11	TEL (092) 582-5295 FAX (092) 582-5304
・桜陽化成	〒006-1815 札幌市手稲区前田五条9-8-18	TEL (011) 683-5052 FAX (011) 694-3061