

特集 ウェルシュ菌など芽胞形成菌による食中毒予防を徹底せよ!

HACCP計画での孢子形成菌のコントロール

新潟薬科大学 応用生命科学部 教授
一般社団法人日本HACCPトレーニングセンター 理事長
浦上 弘

食品安全で大きな脅威となる 耐熱性の高さ

細菌のつくる耐性の細胞は、孢子または芽胞と呼ばれる。芽胞という言葉はシダやキノコなどがつくる孢子と区別するために用いることがあるが、英語ではどちらも spore である。私が孢子を多用するのは、なるべく専門用語を使わずに食品安全を話したいためである。

食中毒菌の中で孢子をつくるボツリヌス菌、セレウス菌、ウェルシュ菌の3種は土壌から食品を汚染することが多い。しかし土壌に生息しているわけではなく、動物の腸管内で増殖してふん便ともに排せつされたり、動物を殺してその死骸で増殖し孢子となって土に戻り、次の宿主を待つというサイクルを繰り返すと想像される。

孢子の最大の特徴はその耐久性であり、熱にとどまらず、乾燥にも、消毒剤にも耐性が高い。特に耐熱性の高さは食品安全での大きな脅威である。通常の調理加熱では殺せず、その殺滅には121℃、2.45分の加熱、いわゆるレトルト殺菌が必要となる。これはボツリヌス菌 (*Clostridium botulinum*) の

孢子の生き残りを10の12乗分の1(100万分の1のそのまた100万分の1)にする条件である。ちなみに、孢子の耐熱性は同種の菌であっても培養ごとに大きく振れる。私たちは耐熱性の高い孢子で実験をする必要上、ボツリヌス菌の培養と加熱を繰り返して孢子を鍛えている。調整できた最強の孢子(私達はチャンピオンと呼んでいる)でも、その耐熱性は121℃で10秒程度である。病原細菌の中ではボツリヌス菌が最高の耐熱性を有しているが、缶詰などを変敗させる *Bacillus coagulans* はこれより高い耐熱性を有している。

121℃というのは、華氏250度を摂氏に読み替えたための半端な数字である。この高温加熱を1℃の精度で行うことは不可能なので、日本では120℃と表示することが多い。2.45分という時間は実測値ではなく、1920年代に行われた実験の結果を外挿して求められたものである。現在では文献ごとにこの数字は異なり、2.4~2.6分の間で書かれている。しかし日本でいわれることが多い4分という時間は、ボツリヌス菌の科学的データからすると長すぎる。

時間さえかければ、 より低い温度でも殺せるボツリヌス菌

孢子というと120℃と反射的に答える方が多いが、これはボツリヌス菌を数分で殺滅する温度である。時間さえかければ、より低い温度でも殺すことができる。私がある和菓子店でチマキが常温で売られているのを見て、その製造方法を聞いたところ、モチゴメを笹の葉に包んで8時間茹でることであった。

時間の長さに驚いたが、ボツリヌス菌の孢子が生き残るのではないかと心配して、机上でバリデーションを行った。用いたのは、微生物の増殖や殺滅の条件を網羅的に記載している *Microorganisms in Foods* 5¹⁾ である。この本は26種の食中毒微生物について、その増殖や殺滅の条件を網羅的に記載した書籍で、ボツリヌス菌の章だけで300を超える論文を引用している。そのデータは、培養液中や食品中での増殖と殺菌、消毒剤への耐性など多岐にわたる。ボツリヌス菌の場合、熱殺菌のデータの多くは110～120℃のもので、100℃のデータはリン酸緩衝液（このような実験で、pHを安定させるために用いる溶液）や豆、ホウレンソウでのデータであった。100℃でのD値（その温度で9割が死に、生き残りが1/10になる時間）が10～30分程度であることがわかった。長めの30分として計算しても、8時間茹でれば10の16乗分の1にまで殺滅でき、上記の12乗の条件を満たす。「じいさんの代から、こうしているんです」と店主は言っていたが、伝統食での経験によるバリデーションの凄みを感じた。

レトルト加熱は食品の風味や食感を損ねることが多いため、食品産業、特にフードサービスでの使用は限られている。レトルト加熱ができないとすると、増やさないというコントロール手段をとるしかない。HACCPではハザードの完全な除去を求めておらず、許容可能なレベルに抑えれば、ハザードがあってもリスクがないとする。致死性の高いボツリヌス菌ではあるが、幸いなことに乳児を除いて孢子は腸内で発芽しないので、食品中の孢子の残存は問題にならない。しかし乳児では腸内の常在菌が異なるので発芽し、致命的な乳児ボツリヌス

症を引き起こすことがある。土壌から混入したと想像されるが、井戸水で調整したミルクを飲んだ乳児が乳児ボツリヌス症で死亡した例もある。またハチミツの容器には乳児には与えないようにと書かれているが、これはボツリヌス孢子が含まれることがあることによる。健康に良さそうなイメージがあるハチミツであるが、乳児に与えるのは危険である。

温度と時間のコントロールによる 増殖抑制が重要

通常の食品では、調理加熱によって孢子をつくらぬ菌を殺し、生き残った孢子に対しては発芽させない、増殖させないというコントロール手段をとることが多い。水分活性やpHを下げて増殖を抑制することもできるが、すべての食品に適用できる方法ではない。そこで重要になるのが、温度と時間のコントロールによる増殖抑制である。加熱調理の食品では調理後の冷却が重要になる。それが緩慢だと生き残った孢子が冷却中に増殖し、食中毒の原因となるため、冷却スピードにはいくつかの指針がある。米国のFDA（米国食品医薬品局）が推奨する冷却速度は、60℃から21.1℃までで2時間、そこから4.4℃まででは4時間であり、USDA/FSIS（米国農務省/食品安全検査局）の推奨速度も、これとほぼ一致している。一方、日本の大量調理施設衛生管理マニュアルは、これらとかけ離れて厳しい（表1）。

冷却工程で増殖しやすいのは、高温での増殖が速いウェルシュ菌である。米国の指針ではウェルシュ菌の増殖が冷却過程で10倍にならないように管理することが基本となっている²⁾。すなわち、3回までなら許容するが、4回分裂させてはいけな

表1 食品の推奨冷却速度

	温度(℃)		時間
	冷却開始	冷却終了	
FDA	60	21.1	2
	21.1	4.4	4
USDA/FSIS	54.4	26.7	1.5
	26.7	4.2	4.4
大量調理施設 衛生管理 マニュアル	指定なし	20付近	0.5
	指定なし	10付近	1