

第 1 章

食品冷凍の理論

1.1 冷蔵倉庫と食品衛生

1. はじめに

食品の安全・安心が強く叫ばれている今日、食品用冷蔵倉庫の衛生管理は益々重要になっている。食品用冷蔵倉庫は広い意味で、倉庫業法に基づく登録を受けた営業冷蔵倉庫（8類倉庫）、食品製造工場の冷蔵冷凍庫、小売業の陳列用冷蔵庫、さらには家庭用冷蔵庫などが含まれる。営業冷蔵倉庫は、農畜水産物の生鮮品および凍結品等の加工品などを10℃以下で保管する倉庫であり、保管温度によってF級（フローズン）とC級（チルド）の2種類に大きく分けられ、-20℃以下のF級は主に冷凍食肉や魚介類、-20～10℃のC級は野菜や果実、塩干魚類などが保管される。営業冷蔵倉庫は、食品原材料を保管し食品製造工場へ配送する拠点であり、また、工場から配送された商品を小売店へ配送する拠点でもある。さらに近年、商品の価値を高めるための梱包・包装・値札つけなどの流通加工を行う物流センターとしても機能するようになった。一方、食品製造工場の冷蔵冷凍庫は、原材料や製品の保管だけではなく、冷却や凍結という製造工程の一つとして用いられる場合もある。小売業の陳列用冷蔵庫や家庭用の冷蔵庫は主に食品の保管に利用される。

本稿では、これらの食品用冷蔵倉庫において衛生上重要である事項、すなわち低温貯蔵ならびに冷却工程に関することについて、国際標準として世界的に導入が進んでいる衛生管理システムであるHACCP（Hazard Analysis and Critical Control Point）に則して述べる。

2. HACCP と冷蔵倉庫

HACCPとは、原材料の生産から消費者への提供に至る全段階において、事前に危害（ヒトの健康に害を及ぼす要因：Hazard）の発生を予測し、それを防止する上で重要な管理点（Critical Control Point；CCP）を設けて、これを常に監視することで食品の安全性を保証する衛生管理手法である。1993年にコーデックス委員会がHACCP適応のガイドラインを採択したことで、国際的に推奨され、各国で導入が進んだ。HACCPは、最終製品の抜き取り検査に重点を置く従来型の衛生管理手法とは異なり、生産した全ての製品について安全性を保証するものである。HACCPは食品製造工場に限られたものではなく、原材料の一次生産から消費までのフードチェーンの全てを通して実施されるべきものであり、冷蔵倉庫

においても食品の安全性を確保するため、HACCPの概念を導入した衛生管理を行うことができる。

HACCPには、①危害因子の分析、②重要管理点の決定、③許容限界（Critical Limit）の設定、④監視方法の決定、⑤逸脱時の改善措置の設定、⑥検証方法の設定、⑦記録の保存、の7つの原則がある。各原則に則して説明する。

3. 冷蔵倉庫に関する危害因子分析（原則1）

危害因子とは、ヒトの健康に害を及ぼす恐れのある因子のことであり、化学的、物理的、生物学的危害因子に分類できる。化学的有害因子には、フグ毒やキノコ毒など原材料由来の自然毒や、機械油や洗浄剤などのように製造工程中に混入した有害化学物質などを挙げることができる。物理的有害因子には、原材料や製造工程由来の金属片や石片などの混入異物がある。生物学的有害因子には、食中毒や病気を引き起す細菌、ウイルス、寄生虫などが含まれる。

冷蔵倉庫における危害因子としては、生物学的有害因子である食中毒細菌や低温細菌の増殖、寄生虫の生存、そして化学的有害因子であるヒスタミンの産生などが挙げられる。一般に物理的有害因子の増大はないと考えられる。以下に冷蔵倉庫に関する危害因子を述べる。

3.1 食中毒細菌

細菌が全く存在しない、いわゆる無菌の状態にある食品は、レトルトパウチ食品や缶詰に限られており、その他の食品では多かれ少なかれ細菌に汚染されている。細菌の中にはヒトに病気を起こす病原細菌や食中毒細菌などの衛生上問題になる細菌や、食品を変敗させる腐敗細菌がいる。

細菌による食中毒は、感染型食中毒と毒素型食中毒に分けられる。表1に主な食中毒細菌の型別と増殖条件をまとめた。感染型食中毒は、食品中で増殖した食中毒細菌が食品とともに摂取され、腸管に到達して増殖し、下痢、腹痛、発熱などの急性胃腸炎の症状を起こす食中毒である。多くの場合、摂食から発病までの潜伏期間は8～24時間と毒素型食中毒と比較して長いのが特徴である。感染型食中毒の原因細菌として、サルモネラ（*Salmonella* spp.）、腸炎ビブリオ（*Vibrio parahaemolyticus*）、カンピロバクター（*Campylobacter jejuni*）、病原性大腸菌（pathogenic *Escherichia coli*）、ウエルシュ菌（*Clostridium perfringens*）、コレラ菌（*Vibrio cholerae*）、ビブリオ・バルニフィカス（*Vibrio vulnificus*）などを挙げることができる。

一方、毒素型食中毒では、食品中で細菌が増殖したと

表1 食中毒細菌の型別と増殖条件*

病原細菌	型	酸素要求性	最低水分活性	pH			温度 (°C)		
				最低	至適	最高	最低	至適	最高
<i>Bacillus cereus</i>	毒素感染	通性嫌気性	0.92	4.3~4.9	—	9.3	4	30	50
<i>Campylobacter jejuni</i>	感染	微好気性	0.987	4.9	6.5~7.5	9	32	42~43	45
<i>Clostridium botulinum</i> A型ならびにタンパク質分解性B型およびF型	毒素	偏性嫌気性	0.94	4.6	—	—	10	37~40	48
<i>Clostridium botulinum</i> E型ならびにタンパク質非分解性B型およびF型			0.97	5.0	—	—	3.3	30	45
<i>Clostridium perfringens</i>	感染	偏性嫌気性	0.93	5.5~5.8	7.2	8~9	12	43~47	50
<i>Escherichia coli</i> 病原性株	感染	通性嫌気性	0.95	4.3	6~8	9~10	2.5	37	45.6
<i>Listeria monocytogenes</i>	感染	通性嫌気性	0.92	4.39	7.0	9.4	-0.4	37	45
<i>Salmonella</i> spp.	感染	通性嫌気性	0.94	3.8	7~7.5	9.5	5.2	35~43	46.2
<i>Staphylococcus aureus</i> 増殖	毒素	通性嫌気性	0.86	4.0	6.5~7.3	9.8	6.6	30~40	50
<i>Staphylococcus aureus</i> 毒素産生			—	4.5	7~8	9.6	10	40~45	48
<i>Vibrio cholerae</i>	感染	通性嫌気性	0.970	5.0	7.6	9.6	10	37	43
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	感染	通性嫌気性	0.94	4.5	—	11	5	35~37	44.5
<i>Vibrio vulnificus</i>	感染	通性嫌気性	0.96	—	—	—	>8	37	43
<i>Yersinia enterocolitica</i>	感染	通性嫌気性	0.975	3.8	7.2	9.6	-1.3	25~37	42

*厚生省生活衛生局肉乳衛生課監修：HACCP 衛生管理計画の作成と実践データ編¹⁾より

きに生産した毒素が、食品とともに摂取され、腸管で吸収されることにより嘔吐などの症状を起こす。感染型食中毒よりも潜伏期間が短く、概ね30分~8時間である。毒素型食中毒の原因細菌として、黄色ブドウ球菌 (*Staphylococcus aureus*)、ボツリヌス菌 (*Clostridium botulinum*)、嘔吐型のセレウス菌 (*Bacillus cereus*) を挙げることができる。感染型食中毒では細菌が生きた状態で体内に入る必要があるため滅菌すれば食中毒は発生しないが、毒素型食中毒では、滅菌しても毒素が残れば食中毒が発生する。特に、黄色ブドウ球菌が生産するエンテロトキシンやセレウス菌が生産する嘔吐毒のセレウリドは耐熱性があり、加熱滅菌しても毒素が食品に残存する。

表1に示すようにほとんどの食中毒細菌は10°C以下でも増殖できるので、冷蔵倉庫での貯蔵温度と貯蔵期間の設定には注意を要する。また、細菌は2分裂を繰り返して増殖するが、その倍加時間は数十分間であり短時間で増殖する。たとえば、腸炎ビブリオは最適増殖条件下で倍加時間は約10分間であり、3時間後には26万倍に、4時間後には1千7百万倍になるので、冷蔵倉庫での貯蔵温度について徹底した管理が必要である。

3.2 冷蔵倉庫で増殖する細菌

細菌はその増殖温度によって、低温細菌、中温細菌、高温細菌に分けられる(表2)。食中毒細菌の多くは中温細菌、腐敗細菌は中温細菌あるいは低温細菌である。中温細菌の一部と低温細菌は低い温度でも増殖できる。低温性細菌の多くは最低増殖温度が0°C付近であるが、中には最低増殖温度が-7°Cという細菌もいる。チルド、氷温、パースシャルフリージングといった食品の貯蔵温度帯は10~-5°Cなので、これらの貯蔵温度は必ずしも

表2 増殖温度による細菌の類別*

細菌		増殖温度 (°C)		
		最低	至適	最高
低温細菌	偏性	-7~-10	12~15	約18
	通性	約0	20~30	37~40
中温細菌		5~7	37	40~45
高温細菌	偏性	>37	55	
	通性	37	55	

*藤井建夫：「魚のスーパーチリング」²⁾より一部改変

安心できるものではない。食品中で完全に細菌の増殖が停止する温度は概ね-10°C以下といわれている³⁾。

食中毒細菌の多くは中温細菌であるが、前述のように、ほとんどの食中毒細菌が10°C以下でも増殖できる。特にエルシニア・エンテロコリチカ (*Yersinia enterocolitica*) の最低増殖温度は-1.3°Cであり、リステリア・モノサイトジェネス (*Listeria monocytogenes*) の最低増殖温度は-0.4°Cである。エルシニア食中毒の主な原因食品は、食肉、サンドイッチ、野菜ジュース、井戸水である。ネズミなどの野性小動物が保菌し、糞尿を介して食肉や飲料水を汚染する¹⁾。リステリアは、家畜、野生動物、魚類、河川、下水、飼料など自然界に広く分布している。わが国のリステリアによる食中毒は、ナチュラルチーズによる集団事例が1件あるだけであるが、米国では毎年約2500人が発症し、約500人が死亡していると推定される。食肉、牛乳、ナチュラルチーズ、サラダ、スモークサーモンなどが主な原因食品である¹⁾。いずれの食中毒細菌においても冷蔵倉庫を過信しないことが重要である。