

食品の低温保存

大阪大学工学部醸酵工学教室 高野光男

1. まえがき

世界的な食糧不足が次第に人類に重くのしかかっている。これに対処するに、現在ある食糧資源の利用度を高める努力は最も具体的で、かつ効果的と言える。そのためには食品の寿命を長くして流通を容易にせねばならない。食品は殆どが生物そのものか生物由来のものであり、きわめて複雑な多成分多相系であって、食品の寿命を終らせる反応もまた多様である。ただ、その主成分は共通して“水”であり、生食品と言われるものでは50～90%をしめる。水は生物におけるあらゆる反応の場として、あるいは機能分子の構造維持に、または反応成分として重要な役割をこなしている。したがって、多様な食品の寿命を長くする共通の方法はこの水の働きをおさえることにあると言える。これには乾燥、凍結、常温固定の3つの方法があり、何れも古くから利用されているが、凍結は食品本来の品質を維持する上で最もすぐれたものと考えられる。

低温技術を食品へ利用する際考慮すべき特徴の第1は、上にのべたように主役を演ずるものがこの水であるという性質を充分把握せねばならぬ点である。第2はその使命である流通のために、生産加工から貯蔵集配施設、輸送、小売、消費者個々の冷蔵庫に到る多岐かつ膨大なワールド・チェン体系が確立されねばならぬ点である。これには相当な投資が要求され、その確立をうながす社会的諸背景がないと不可能である。冷凍食品の品質はこのチェン全体の技術水準によってきまると考えねばならない。

我国は近年都市開発や公害区域の拡大に伴う食糧生産地帯の制約、生活様式の変化、家庭用冷蔵庫の普及などから、冷凍食品産業は著しく拡大し、昭和48年度には総生産金額にして1,000億円をこえているとみられる¹⁾。これは

過去10年で15倍近い増加であるが、2兆8,000億円といわれる米国市場からみれば、未だ成長期以前の段階にある。

冷凍食品の普及のためには、その品質が鍵となるが、具体的には凍結直後における初期品質と、貯蔵流通後の品質の2つに分けて考える事が出来る。以下それらについて略記してみよう。

2. 冷凍食品の初期品質に影響する因子

基本的には原料中の水の存在状態と、氷結に伴うその移動が初期品質を決定するとみてよい。

2-1. 凍結前の状態 収穫の時期では、たとえば農産物では熟成度、魚肉のあるものでは産卵期の影響が顕著である。これは原料中の糖分、脂質の含有量、分布が氷晶形成に著しい影響を与えるためである。野菜では一般にBlanchingと称する温和な熱処理が行われる。これは凍結、保存、融解過程を通じて色、香、texture、栄養価などに好ましくない変化を触媒する酵素を失活させると共に、酸素その他のガスを除く効果がある。筋組織をもつ魚肉類では死後硬直を完了させてから凍結する事が重要で、畜肉の例では、0～10℃の低温で約20時間おき解糖代謝を終らせてから凍結している。これは融解硬直による保水性の低下を防ぐためである。

2-2. 凍結速度の影響 大部分の食品は多細胞組織からなっている。夫々の細胞は細胞膜によって他と非連続の溶液相をもち、それらの外側に連続の溶液相があるのが一般の形である。冷却速度が毎分1℃以下の緩慢な凍結では、平衡に近い状態を保ちつつ変化するから、弱い過冷却状態すなわち少ない氷核から出発して凍結がおこる。この場合氷核の存在する確率は細胞外連続相の方が当然高いから、細胞外凍結がおこり、氷は水以外の分子を除外しつつ安

定な結晶として生長する。一方過冷却状態にある細胞内の水は同一温度の細胞外の氷より蒸気圧が高いため細胞外にひき出されて氷結し、結果として細胞の脱水と氷晶分離がおこる。このような凍結は細胞を生きた状態で保存する目的には有効であるが、食品には好ましくない。食品では多数の氷核から細胞内凍結をおこさせるような急速な冷却速度が要求される。

2-3. 食品の凍結方法 重要と思われる具体的方法をあげると次のようなものがある。

(1) エア・ブラスト法 コンベアにのせた原料と -30°C 前後の冷却空気を互に向流させる方

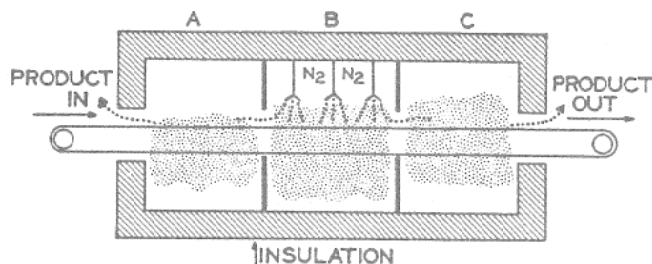


図-1. LNによる食品の凍結法²⁾、Aで予冷された原料はBでLNを滴下されて凍結し、Cで $-18 \sim 30^{\circ}\text{C}$ の保存温度とされてとり出される。

法で、安価で便利であるが、乾燥しやすい、凍結速度がおそいなどの欠点がある。

(2) 流動層法 形状が均一のものに対して用いられる。メッシュのコンベア上の原料層の下から -30°C の冷風を毎秒 2m 以上の線速度で送って流動させる。効率がよく凍結速度が大で、乾燥が少ないなどの利点があるが原料の形状に限界がある。

(3) プレート法 2枚の冷却された金属表面の間にはさむ方法で厚さが一定の原料に限られる。経済的で、乾燥も少ないが、凍結は緩慢である。

(4) 冷媒凍結 沸騰状態の窒素(LN)、 CO_2 、 CCl_2F_2 (R-12)が用いられる。LNを用いる方法の概略を図-1に示した。利点としては脱水が少ない、酸素を除きつつ凍結しうる、凍結速度が大、装置が簡単で連続化が容易などあるが、LNの場合冷媒コストが高くつくのが難点である。R-12を使用する場合、冷却効率はLNに変わらず、一方回収が容易である点で経済的であり有望である。表1で、大規模に行なう

表-1. 種々の方法による食品凍結経費の比較²⁾

(製品kg当り円)^{*1)}

	単位	プレート法	エア・ブラスト法	流動層法	冷媒法		
		(包装品)	(非包装品)		LN ^{*2)}	R-12 ^{*3)}	
冷媒費	(円)	0	0	0	15.3	4.0	
設備、運転費	(円)	3.3-6.6	3.3	2.7	2.2	3.3	
水分損失	(%)	0.5%	3.0	1.0	1.4 ^{*4)}	0.1	
水分による原価損失							
50円/kgの製品に対し(円)		0.25	1.5	0.5	0.7	0.05	
500円/kgの製品に対し(円)		2.5	15	5	7.0	0.5	
凍結経費							
50円/kgの製品に対し(円)		3.5-6.9	4.5	3.2	18.2	7.35	
500円/kgの製品に対し(円)		6-9	18.3	7.7	24.2	7.38	

*1) 大量を効率よく運転したとした。

*2) kg当り13.5円のを食品kg当り1.15kg使用している。

*3) CCl_2F_2 液kg当り200円で、吸着などによる損失を食品100kg当り2kgとしている。

*4) 食品kg当りLNを1.5kg使用すれば0.5%とすることが出来る。

場合のコストを比較した。ここで、冷媒の単価は原報²⁾(米国)のままであり、我国の場合、その地域によって異なる価格を計算し直す必要がある。

3. 凍結貯蔵後の品質に影響する因子

現在のコールド・チェンは -18°C 前後にあるものが多い。この温度は微生物による汚染を防止するだけであって、他の物理学的化学的变化は防止できない。

3-1. 微生物汚染 一般の食品汚染菌は 3°C 以下、好低温菌でも -10°C 以下で完全に発育はおさえられる。しかし、微生物は凍結を通じて障害をうけるが、かなりの部分は生残り、昇温する機会があれば、著しく発育する。したがって、原料に当初から含まれる微生物には留意する必要があり、前処理、凍結、保存を通じて十分な衛生状態が保たれねばならない。著者らは、食品成分中のあるもの、たとえば脂肪酸、が凍結保存中にサルモネラ菌などを死滅させる事を見出した³⁾。これが実用に供しうれば、末端が不備なコールドチェンであっても、冷凍食品を普及させることが出来る。

3-2. 物理的变化 主なものは冷凍やけ(Freezer Burn)と称される表面昇華による乾燥と、氷晶変化(Recrystallization)である。前者の防止のためには包装化が一般化しているが、大きな魚などでは表面に氷層を作らせるIce Glazingがとられている。Recrystallizationは個々の氷の結晶が、保存中に系の自由エネルギーを減少する方向で互に融合しあい安定な大きな氷に成長して行く現象で、初期品質を劣化させる。これを防止するには親水基の多い凍結保護剤の添加か、保存温度を -50°C 以下にする以外にない。

3-3. 化学的变化 -18°C 附近では、一般の食品は共晶点以上にあり、かなりの溶液部分を残している。その溶液部分の濃度は凍結濃縮のためかなり高いから、化学反応の中で温度効果より濃度効果の影響を強くうけるものは、 0°C 以上より $0\sim-10^{\circ}\text{C}$ で反応速度が増大することになりその例は多い。 -18°C 附近では加水分解、褐変のような酵素作用、脂質の酸化、蛋白質の

不溶化、葉緑素、ビタミンの分解などが早い速度でおこる。これらを防止するためには、blanching等の加熱処理、酵素失活剤の使用、脱気、抗酸化剤の添加などが行なわれている。

3-4. T-TTについて⁴⁾ 上で述べた保存中の変化は殆ど温度依存性である。そこでである保存温度での品質有効期間を求めるため、T-TT(Time-Temperature Tolerance)と称される膨大な資料⁵⁾が用意されるに到った。米国農業局所属のWestern Regional Research Lab.の研究者たちが、各品温に保った各種冷凍食品を10年間にわたって官能検査によってしらべたもので、これに併行して各国からも報告があり、現在コールドチェンにおける品質管理の指針となっている。

4. 食品凍結保存の問題点

冷凍食品はConvenience Foodsと称されるもの(調理ずみの冷凍食品)に代表されるように、便利さという点が強調されて普及して来た。しかし本来の流通機能を高める目的から言えば、現在の -18°C 保存の6~10ヶ月貯蔵期間を目標としたものでは不完全と思われる。より高性能で輸送機関から小売、家庭の末端まで普及可能な冷凍装置の開発がのぞまれる。さらに、冷凍食品の品質規格の設定、微生物管理を中心とした安全性の問題も考慮されねばならない。これらは低温技術と低温生物学の発展をまつ処が多い。

参考文献

- 1) 三井：食品工業17-3, 52(1974)。
- 2) O.R. Fennema, W.D. Powrie and E.H. Marth: Low Temperature Preservation of Foods and Living Matter, Marcel Dekker, Inc., New York (1973)。
- 3) 高野, Simbol, Yasin, 芝崎:凍結及び乾燥研究会会誌21(印刷中)(1975)。
- 4) W.B. Van Arsdell, M.J. Copley and R.L. Olson: Quality and Stability of Frozen Foods, Wiley-Interscience, New York (1969)。
- 5) W.B. Van Arsdell, Food Technol., 11, 28(1957)。