

食品真空凍結乾燥製程技術

前言

凍結乾燥係將被乾物預先凍結，在高度真空下，利用水之昇華作用進行乾燥(Drying by sublimation)。此種產品乾燥過程中，因保持相當低的溫度及壓力，食品利用凍結乾燥，製品具有下列幾項特點：

- 一、沒有因為乾燥引起之收縮(Shrinkage)及不溶解物之表面凝集現象。
- 二、不破壞天然之組織、構造。
- 三、幾乎無蛋白質之變性及維生素之破壞，氧化及其他化學反應少，適用熱變性敏銳之食品脫水。
- 四、可避免表面硬化(Case hardening)及殼質化。
- 五、保持良好之風味及芳香成分。

因之凍結成品之保存性及復水性(Rehydration)很好，使用時只要加入水，即可恢復原料之性狀。以往因成本高，市場較難擴展，近年來凍乾機械技術不斷的改進，設備價格合理化，故應用層面逐漸擴大。水產品則因尚在開發，目前主要產品有蝦仁、小蝦、絲蚯蚓等，亦有相當之生產量。

凍結乾燥裝置

凍結乾燥裝置主要由一、乾燥室二、真空裝置三、加熱裝置四、凝縮裝置五、控制器所組成，各裝置主要形式及功用，如下所述：

一、乾燥室

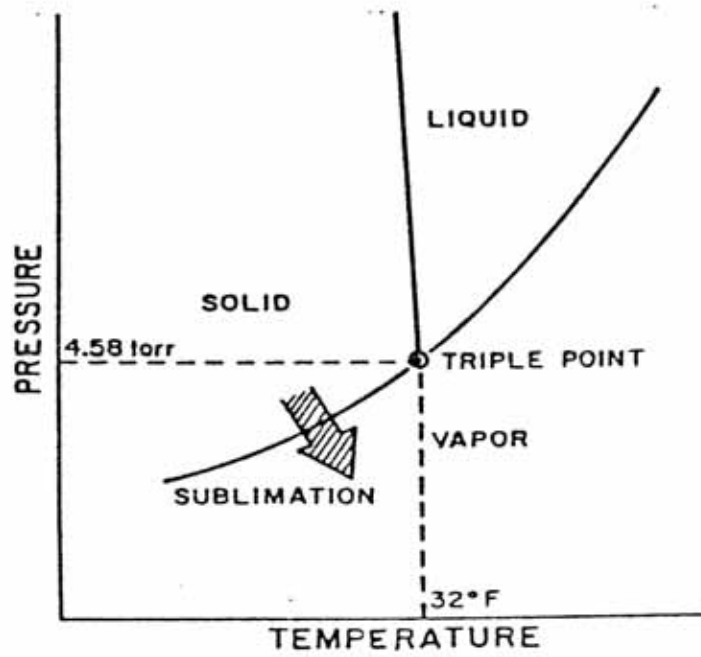
目前實用的型式有圓筒型及箱型兩種。圓筒型操作容易，製作經費低廉，為死角較多。箱型製作費較高，但空間可充分利用。放置原料之棚架，若係採用單板加熱(Single plate heating)或輻射加熱(Radiant

heating)則使用固定方式，若係採用複板加熱(Double plate contact heating)則使用活動方式。為便於清理，室內配線、配管宜力求簡捷。製作材料以不銹鋼最佳，否則則利用橡膠或合成樹脂等圖料做表面處理，以防止由於金屬腐蝕而造成之食物污染。

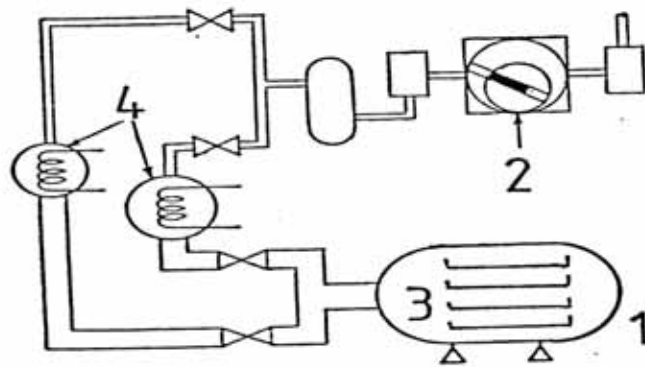
二、真空裝置

水之三相臨界點 (Triple point) 在 $32^{\circ}\text{F}(0^{\circ}\text{C})$ 時為 $4.58\text{torr}(\text{mmHg})$ ，其三相之變化如圖一所示，故在實用規模裝置中之真空度需達 $1\sim 0.01\text{mmHg}$ 。目前常用之真空裝置有機械幫(Pumping system)或蒸汽噴射機器(Ejecter system)兩種。機械幫之凍結乾燥系統如圖二所示，其因必須配用凝縮器以除去水蒸氣，設備費用較高，但達到所需真空度之速度較快，運轉時除去 1 公斤水蒸氣所用之電力約為 $0.7\sim 1.1\text{KW}$ ，費用尚低。蒸汽噴射式凍結乾燥系統如圖三所示，水蒸氣及非凝縮氣體同時排除，因無機械轉動，故障少、設備費用亦較低，但運轉時高壓蒸汽及冷卻水用量大，除去 1 公斤水蒸氣需 $8\sim 9$ 公斤之高壓水蒸氣。

機械幫或蒸汽噴射方式各有優劣，不過用水，燃料能源缺乏處所，似以機械幫方式為宜。此等裝置運轉 5 分鐘後即需使系統降至 5mmHg ，10 分鐘後降至所需之真空度。凍結乾燥在最初 $1\sim 2$ 小時之真空負荷為最大，但中期後昇華減慢，負荷減至 $1/5$ 以下，故實際裝設時，都有主要與輔助兩系統，依各段不同蒸汽的負荷而轉換。如有數台乾燥室運轉時，也可以利用操作之時差，共同或交換使用真空裝置，以降低轉成本。

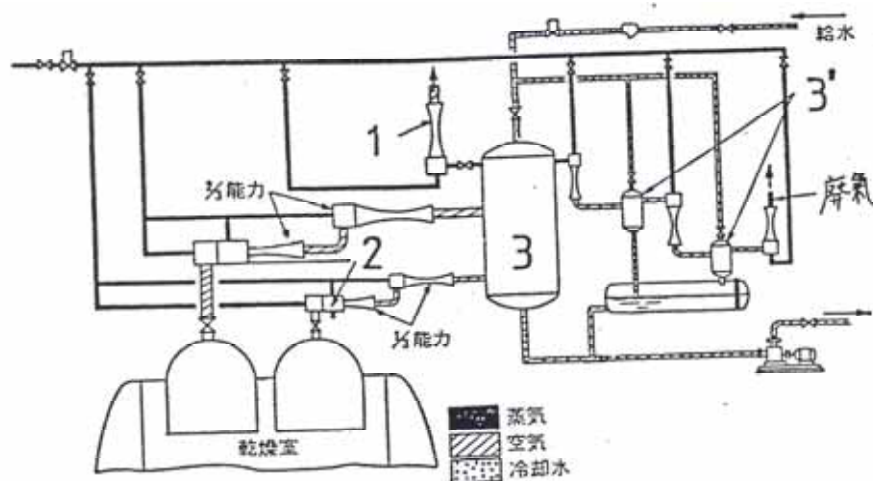


圖一 水之三相變化壓力、溫度曲線



圖二 機械泵凍結乾燥系統

- 1. 乾燥室 2. 機械泵
- 3. 加熱器 4. 凝結器



圖三 蒸氣噴射式凍結乾燥系統

1.噴射管 2.蒸氣環 3.凝縮器

三、凝結裝置

1 公克冰在 0.1mmHg 狀況下昇華，可形成 100.000L 之水蒸汽，為維持抽氣真空幫之性能及芳便保養維護，此等水蒸汽必須藉低溫凝縮，小型實驗室可用乾冰混合有機溶劑，但大量水蒸汽之凝縮，則需使用 FREON 或氨為冷媒之壓縮冷凍機，配合翼管、蛇管、多管、板面、迴轉等方式之冷卻器來除去，不管任何方式，主要要求水蒸汽能均勻凝結成冰，且需方便除霜。

四、加熱裝置

凍結乾燥時，1 公克冰之昇華潛熱約 670 卡。若不補充熱量，乾燥品溫下降至與乾燥室真空平衡之溫度，而使乾燥速度減慢，乾燥成本增加。

加熱裝置主要的目的，在不影響被乾燥食品品質之範圍內，有效的補給裝置，使乾燥更合乎經濟的原則。

加熱的方式可大別為：

- (一) 單板加熱(Single plate heating)
- (二) 複式加熱(Duble contact plate heating)
- (三) 針板加熱(Spiked plate heating)
- (四) 紅外線加熱(Ultrared lamp heating)
- (五) 輻射加熱(Radient heating)
- (六) 誘電加熱(Dielectric heating)

然上列各法均有其優缺點及使用必須之特殊裝置乙及溫度控制方式，為便於比較列如表一所示，以供選用時之參考。

表一 凍結乾燥加熱裝置性能比較

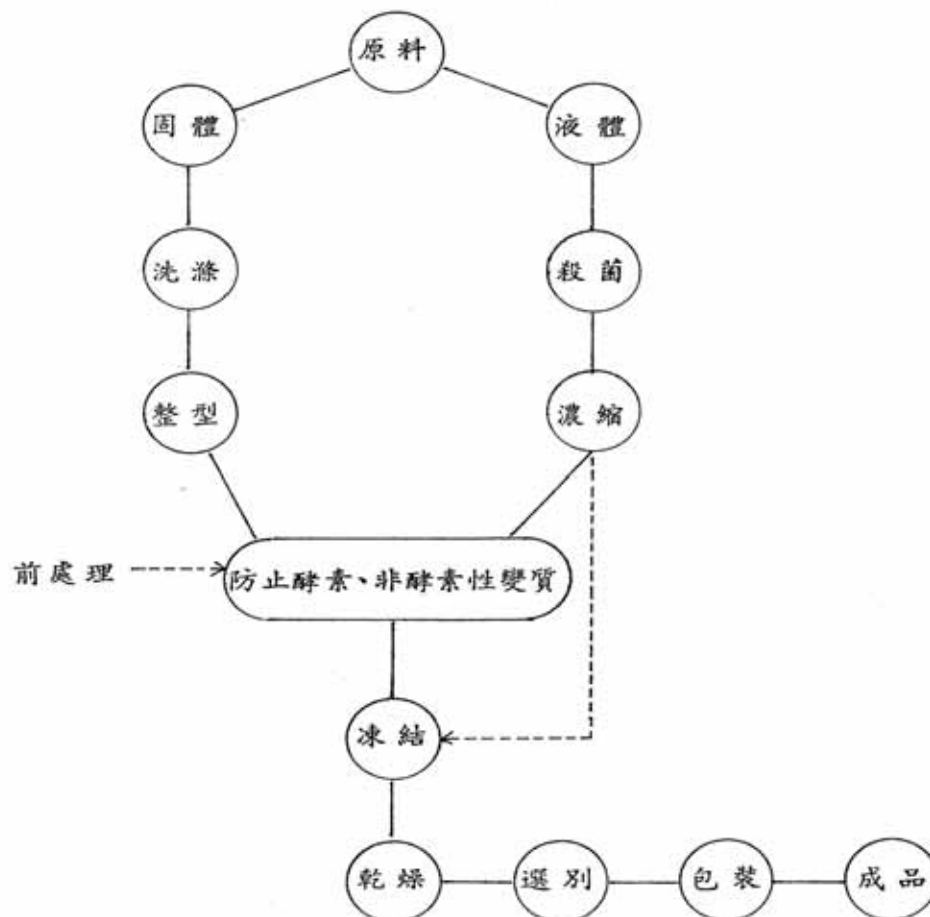
方式 項目	單板加熱	複式加熱	釘板加熱	紅外線加熱	輻射加熱	誘電加熱
熱傳導法	與加熱棚接觸	以油壓機等加壓加熱板	加熱板上裝設釘子，被乾燥物夾於釘子與加熱板中間加熱	普通紅外線	加熱板之輻射	微波
特殊裝置		加壓機構		紅外燈		Magnetron, Klystron 等微波發生裝置
溫度控制	熱電偶	熱電偶	熱電偶	人力	熱電偶	人力
優點	構造及操作簡易	乾燥迅速	乾燥迅速	表面乾燥迅速	構造及操作簡易	被乾燥物厚度不拘，乾燥迅速
缺點	乾燥慢	不易調整其接觸面	乾燥前後操作繁雜，且製品被針孔損壞	乾燥慢，控制不易		溫度控制困難，Magnetron 會消耗，必須既設人員操作
乾燥時間 厚 1/2” 厚 1”	16-24 36-48	4-7 6-12	3-6 3-6	16-24 36-48	6-7.5 12-14	2-6 2-6

五、控制裝置

為維持最適的乾燥環境及正確的運轉，在節省勞力，減輕運轉經費的原則下，乾燥流程中必須正確的測定並控制各裝置之操作，以求得良好的成品。重要之實用控制裝置有溫度測定、低溫之電抗、乾燥率、流程控制及溫壓(Fempomatic & Balometric)控制等。

凍結乾燥製品

為求凍結乾燥之品質良好，乾燥工程必須確定並建立各階段之理想條件，依不同形態如固體、液體，其乾燥工程如下圖所示：



圖四 實品之凍結乾燥工程圖

一、 前處理：

前處理之目的大別為：

- (一) 抑制或酵素活性，減少酵素性變質。
- (二) 非酵素性變質如變色之抑制。
- (三) 提高乾燥之效率。

酵素變質得防止，大部分可用加熱方式使酵素失去活性外，亦可調節酸鹼度(PH)，還原性物質添加等方法，以提高其效果。藉加熱使酵素不活化的處理，在食品加工上稱為殺菁，殺菁與殺菌不同，通常係利用 95~100℃之熱水，高壓蒸氣，過熱空氣處理，表二簡介一些常見之蔬菜果實的殺菁條件供參考。未適用加熱之熱原料亦可藉枸橼酸，醋酸調整 PH 值，還原性物質有亞硫酸鈉等鹽類，或 Ascorbic acid 等，重合磷酸鹽則可封鎖重金屬離子所造成之變色。其他非酵素性如胺、羰基褐變(Amino-Carbonyl 反應)，可添加 0.05%亞硫酸鈉，油質之氧化可添加抗氧化劑，脂溶性色素退色可用酚系抗氧化劑防止。甘油，Propylene-glycol，Sorbitol 添加改善色、味外，亦可兼具抗氧化之效果。

表二 乾燥原料處理前殺菁條件

品 名	殺 菁 條 件
蘆筍	熱水 2~4 分
蠶豆	熱水 2~3 分
毛豆	5%熱塩水 5~10 分
包心菜	細片 11.5 分，剖片(1/4)4 分
紅蘿蔔	整棵 20 分，1/215 分，1/410 分，切片 2~3 分
牛蒡	0.7%熱醋酸
花椰菜	熱蒸氣 4~5 分
洋菇	熱水 2.5，1%枸橼酸 30~60 秒
松茸	整粒蒸氣 3~6 分，剖片 2~3 分，1%枸橼酸 30~60 秒
玉薯黍	去皮 6~10 分
豌豆夾	熱水 60~90 秒，去皮豌豆 2~4 分
扁豆	熱水 2~4 分
菠菜	熱水 2~4 分
白菜	細片 1~1.5 分，切片(1/4)4 分
長蔥	熱水 1~1.5 分
青芋	熱水 8~12 分
甘椒	熱水 2~4 分

二、凍結：

凍結處理不良，會產生組織之破壞，導致彈性，黏性，硬性，保水性顯著變化。

凍結方式可分為：

- (一) 冷卻空氣凍結法：主要為管棚式空氣凝結，強制送風式(air-blast)為-25~-40℃冷卻空氣以風速 3~5 米/秒凍結，半強制送風式(Semi-air blast)風速 1~2 米/秒。
- (二) 鹽水凍結：利用食鹽水或酒精等不凍液浸漬凍結，適用全魚之凍結，酒精凍結有殺菌作用。
- (三) 接觸凍結(contact freeze)：以-30~-40℃冷卻金屬板加壓凍結，多用於調理食品。
- (四) 液氮凍結：食品直接浸漬-150℃之液氮凍結，唯其成本太高，尚未實用化。

目前之凍結溫度為-30~-40℃。蘆筍在-30℃15 分內凍結，成品之彈性及保水性甚佳。蟹肉以 Polycello 袋真空包裝，10 分內通過 0~-5℃行冷風循環快速凍結，乾燥後不會產生海綿化現象，保持凍結前的品質。

三、乾燥：

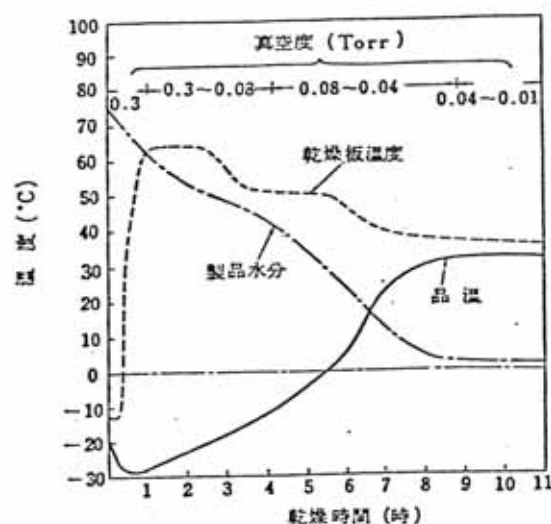
棚架放置被乾物之重量，依加熱方式，被乾物之種類不同而有差異，實用規模之乾燥重量以 6~8 小時一次之方式平方公尺放置 5~15 公斤為宜。板式加熱之容量比及乾燥所需的時間如表三所示：

表三 凍結乾燥原料容量比及乾燥時間

原料名稱 Material	乾燥比 Drying Ratio	容量比 Loading lb/ft ²	乾燥時間 Drying Time (hr)
生牛肉 Raw Beef	3.6:1	2.5	6.5
生豬肉 Raw Pork	3.2:1	2.5	7.5
生羊肉 Raw Lamb	2.9:1	2.5	7.5
調理牛肉醬 Cooked Beef Mince	3.0:1	3.0	6.5
調理牛肉片 Cooked Beef Slices	2.9:1	3.0	7.0
調理豬肉片 Cooked Pork Slices	2.9:1	3.0	7.5
調理羊肉片 Cooked Lamb Slices	2.9:1	3.0	7.5
調理醃肉 Cooked Home Mince	2.5:1	3.0	9.0
調理小牛肉醬 Cooked Veal Mince	3.3:1	3.0	7.0
調理雞肉 Cooked Chicken	2.9:1	2.5	7.5
生鱈排 Raw Cod Flakes	5.1:1	2.5	8.5
調理鱈排 Cooked Prawns	4.0:1	2.5	9.0
調理大蝦 Cooked Monice	5.1:1	1.5	6.0
乾酪醬 Cheese Mince	1.6:1	2.0	8.0
蠶豆 Broad Beans	4.5:1	1.5	8.5
菜豆 France Beans	10.0:1	2.0	8.5
芽甘藍 Brussels Sprouts	8.6:1	2.0	9.5
甘藍 Cabbage	13.2:1	2.0	9.5
胡蘿蔔片 Carrot Dice	10.0:1	2.0	9.0
花椰菜 Cauliflower	11.0:1	1.5	8.5
豌豆 Peas	4.6:1	2.0	8
馬鈴薯片 Potato Chips	5.0:1	1.5	8
蘋果片 Apple Dice	9.2:1	2.0	8.5
黑葡萄 Black Currants	5.7:1	1.5	8.5
李子 Plums	8.4:1	1.75	8.0
覆盆子 Raspberries	8.7:1	1.75	8.5
草莓 Strawberries	15.0:1	1.75	9.0

乾燥時，每公克冰昇華潛熱約 670 卡，故欲加速乾燥，必須適當加熱，但過熱除造成物品之融解外，以導致以乾部份之熱變形，以單板加熱方式凍乾操作，初期昇華速度快可使用 70~80℃，乾燥中期約

60℃，末期約 40~50℃，圖五表示牡蠣乾燥加熱板及乾燥物溫度之變化，於乾燥終了食品溫會趨於一致，真空度維持在 0.3~0.01mmHg，加熱板溫度初期為 60~70℃，中期維持在 50℃，末期維持 40℃。其他不同水產品凍結所需維持真空度，加熱溫度及所需乾燥時間列如表四，以供參考。

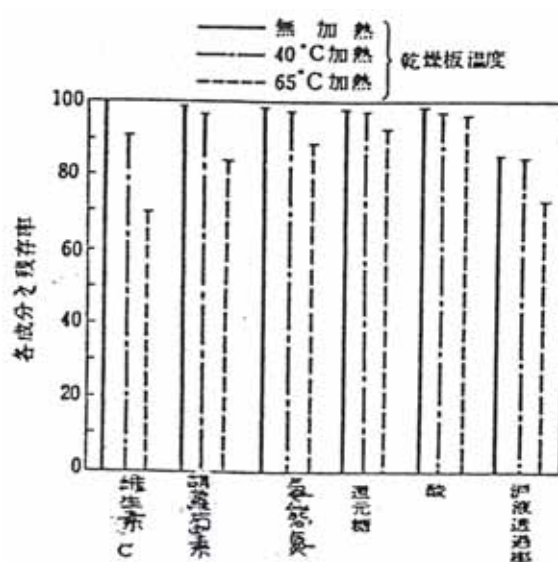


圖五 牡蠣凍乾中乾燥板溫度、製品水份及品溫之變化圖。

表四 不同魚種凍結乾燥所需的時間

魚 種	厚(in)	加熱板溫度(℃)	真空度(mmHg)	乾燥時間(hr)
鯖(全魚)Macerel	1	37	0.09	>33
比目魚片 Halibut steaks	1	37	0.09	25
鮭 片 Salmon steaks	1	37	0.09	25
鰈 排 Sole fillets	1/2	37	0.09	25
鯊 Pilchard	1/2	30	0.1	10
鯖 Mackerel	1/2	30	0.1	10
鱈 Cod	1/2	30	0.1	18
鰈 Sole	1/2	30	0.1	18
淡水鱸 Lake trout	1/2	30	0.1	22
鮭 片 Salmon steaks	1	30	0.1	30
比目魚 Halibut	1/2	30	0.1	10

為求經濟效益，乾燥之溫度均求在不破壞成品品質的前提下，盡量地提高溫度，以圖六為例，加熱溫度在 40℃ 時，成品品質幾無變化，但 65℃ 時，維生素 C，胡蘿菠素，胺基酸及還元糖及產生變化，後二者為化學性褐變的主要成因。魚肉凍結乾燥後之保水性與乾燥溫度有密切之關係，以表五為例，比目魚凍結乾燥後之復原率，隨乾燥溫度之升高而下降，保水力則加熱超過 52℃ 以上，降至 1.00 以下，表六為鮭、鯖及蝦不同凍乾條件之 ATP-ase 活性變化。凍結成品為去除冰晶之多孔結構，沒有外形收縮，表面硬化，不滲透水層行成之現象。因之吸水性強，故乾燥後之成品必須於低濕處所處理包裝，避免回濕而導致成品再次損壞。



圖六 不同加熱溫度對凍乾成品品質之影響

表五 比目魚不同凍乾溫度與復元率及保水力之關係

乾燥溫度(℃)	復元率(g 水/g 全固形物)	保水力(g 水/g 全固形物)
對 照	3.90	1.25
52℃	3.60	1.00
78℃	3.47	0.87

表六 不同凍乾溫度鮭、鯖、蝦之 ATO-ase 之殘存率

乾燥溫度(°C)	鮭	鯖	蝦
52	72	62	80
78	69	55	62

結論

真空凍結乾燥技術於世界各先進國家已有相當的歷史，目前本國多家工廠亦有良好之裝備，並從事生產。由於消費習慣逐漸走向高品質及速食化，其發展前途相當樂觀。

加工過程之前處理及乾燥條件因種類之不同而有所差異，故仍需不斷的研究，才能開發出更新、更高品質之產品。