

# 冷凍真空乾燥

## 壹、前言

自從人類養成定時飲食習慣以來，人們一直在尋求保護食物的最佳方法，盡可能使食物保持得長久一些。特別是在農業歉收的情況下，我們如何才能使食物保存得更加長久。由於缺乏現代技術，如電、機器和冷凍設備，傳統的食物保存方法就僅限於一些天然的方法，如醃製、使用天然防腐劑、日晒及自然冷凍法等。雖然其中的很多方法是行之有效的，但並非完美。

今天，雖然這些傳統的方法仍在使用，但先進的食物保存方法更注重食物的味道、營養、保存期以及食用方便性。新的挑戰是“如何發明一種方法能使食物長期地保存，而且不改變它的味道、品質、外表和芳香呢。如今流行的食物保存方法有很多，如脫水乾燥法、食品裝罐法、真空冷凍乾燥法等，但到底哪一種方法是最佳的。

答案非常清楚，使用冷凍乾燥法進行脫水。我們一直在尋找一種製造及保存食品的最佳方法，力圖使產品的營養在製造過程中不流失。研究結果表明，冷凍乾燥法最可以保持食物的新鮮、營養及品質。經過冷凍乾燥法處理過的植物，能保存自然界中新鮮植物所含的營養成份，其中包括滋養人體免疫系統的各植物營養素。一般而言，當植物被採摘後，其中的植物營養素會隨著植物存放的時間延長而被破壞和減少，運用冷凍乾燥法，我們可以有效地保留植物中的植物營養素和其它營養成份。

## 貳、冷凍乾燥的意義

將物品的水分或揮發性物質以蒸發(液體汽化為氣體)或昇華(固體直接變為液體)的方法抽取，稱之為乾燥。影響乾燥速率的主要因素為溫度與壓力，在工業上所使用的方法很多，可分為兩大類：自然乾燥法及機械設備乾燥法。

### 1、自然乾燥法

利用自然環境的風、太陽能、寒氣等環境能，將物品中的水分蒸發，稱為自然乾燥法。使用自然乾燥法的優點為：

- (1) 設備簡單、維護容易
- (2) 操作成本低廉雖然自然乾燥法具有設備簡單，成本低廉的優點，但其相對的缺點不少，如
  - a、需要較長的乾燥時間。
  - b、如果採用陽光直接照射其受紫外線長時間的影響，對農業產品（如水果、蔬菜等）的品質有損。
  - c、氣候變化莫測，難掌握乾燥的過程，尤其是夜間更無法進行乾燥作業。
- (3) 在開放的空間進行乾燥，亦受塵埃、蒼蠅、蚊子、昆蟲、鼠、狗等昆蟲、家畜所污染。
- (4) 被乾燥物易變成暗褐色。

### 2、機械設備乾燥法

機械設備乾燥的乾燥法，通常可分為四大類：熱風乾燥、噴霧乾燥、薄膜乾燥及真空乾燥。

- (1) 熱風乾燥：利用加熱設備產生熱能，以流動的空氣吸收熱能產生熱風，以此熱風吹拂被乾燥物之乾燥的方法稱之熱風乾燥。

- (2) 薄膜熱乾燥：將液狀、漿狀或泥狀被乾燥物，以機械方法壓縮噴出成為液滴或薄層，增大其與空氣接觸面積，再以熱風吹拂乾燥之。
- (3) 薄膜乾燥熱：將漿狀被乾燥物薄敷在加熱的迴轉圓鼓的表面，以進行熱交換，漿狀的被乾燥物乾燥後，及自圓鼓上脫離落下，此種乾燥方稱之為薄膜乾熱乾燥。
- (4) 真空乾燥：將被乾燥物至於封閉的容器中，抽取容器內之空氣，使容器內之壓力降低漸趨向真空的狀態，依其真空度的不同，使被乾燥物內液態水蒸發或水分凍結而昇華，以達到乾燥的目的。應用真空乾燥的好處如下：
- a. 依真空度的不同，在常溫或低溫，均可進行乾燥的作業。
  - b. 如屬中度的真空度作業則可快速的使被乾燥物中的水分或液體固態化，再使其昇華而乾燥，如此可使被乾燥物之品質維持原樣而不產生變化，尤其農產品及食品採用真空乾燥得方法，可以保持其原有之味道與品質。
  - c. 在真空環境中加熱乾燥，可防止被乾燥物氧化作用，避免物品之變質。
  - d. 真空乾燥的速度快，使用於工業、農業或食品業上可降低處理時間及掌握成本。
  - e. 控制真空環境中的真空度及溫度，可以選擇性的去除被乾燥物的水分或其中的發揮性物質。

真空乾燥對被處理之物品具有上述之優點，尤其是農產品及食品對保鮮度及原味的維持，可直接影響產品的價值，採用真空乾燥的方法是一項明智的選擇。

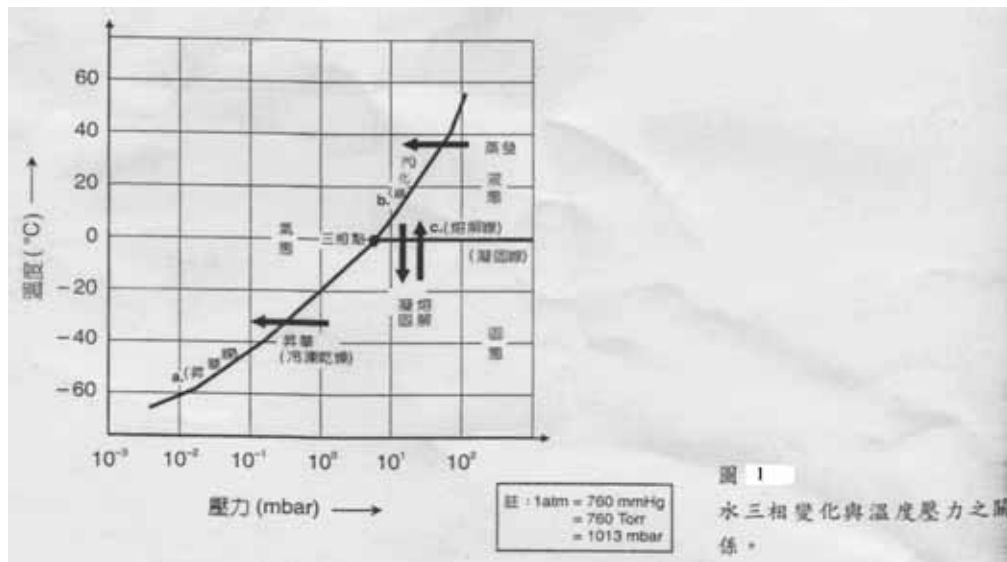


### 參、真空乾燥原理

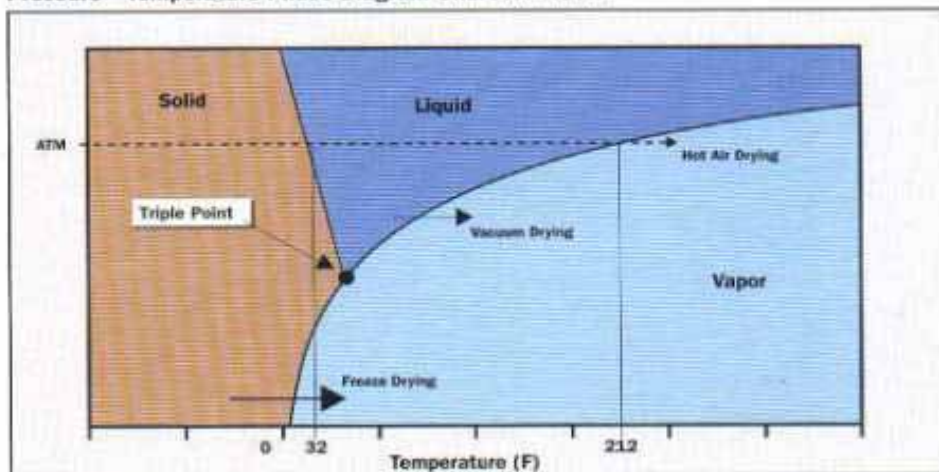
在採用真空冷凍處理物品的乾燥過程，主要影響物品乾燥的特性為溫度（熱能）與環境氣體壓力，要了解真空冷凍乾燥的原理，就必須對物品的三相（固體、液體、氣體），以及溶解、凝固、蒸發、昇華等現象有所了解。

圖 1 為水三相變化與溫度壓力之關係。C 線為水由固態吸熱化為液態溶解線，也就是液體經由熱量的抽取而凝結為固態的現象，我們對液體凝結為固態的現象稱之為凝固。B 線為汽化線，也就是水由液態吸取熱量化為氣態的現象，我們對此現象稱之為蒸發，b 線上之壓力稱之為飽和蒸氣壓。A 線維持昇華也就是水經凍結為固態後，不經液化的過程而直接變化成氣體的現象，我們稱此現象為昇華。昇華為真空冷凍乾燥處理過程一個很重要的作用，尤其是處理農產品及食品，先經農產品或食品的先期冷凍，使得其內含的水分形成冰的結

構，然後經由真空抽取降壓的過程，使得其中的水分子部經過液體狀態，而直接昇華為氣體比由冷凍物中直接逸出。自此冷凍乾燥過程中，物質之固態例子一直被「鎖」於基體中而不相互作用，故可以保持處理後的物品成份及結構與原物品相同，只是除去其中所含之水分而已。



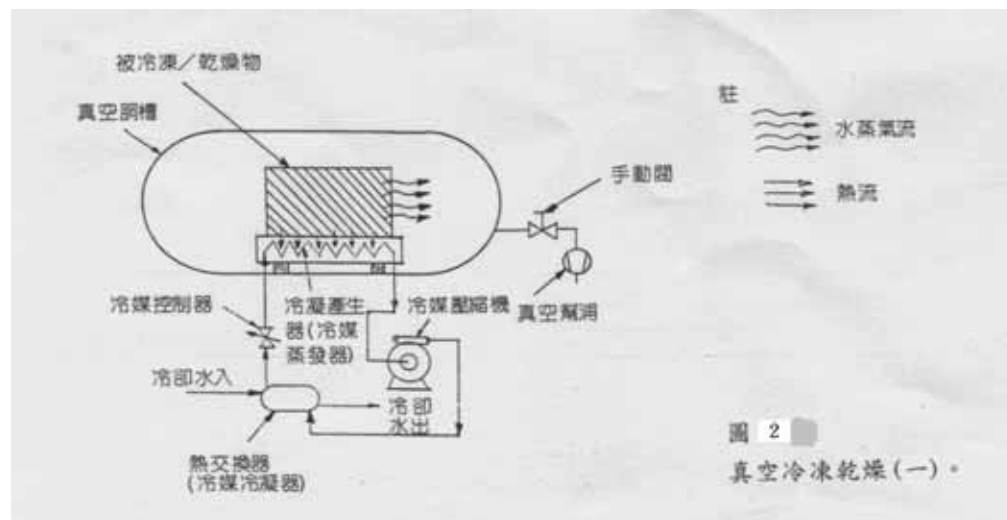
Dehydration Comparison  
Pressure—Temperature Phase Diagram Chart for Water



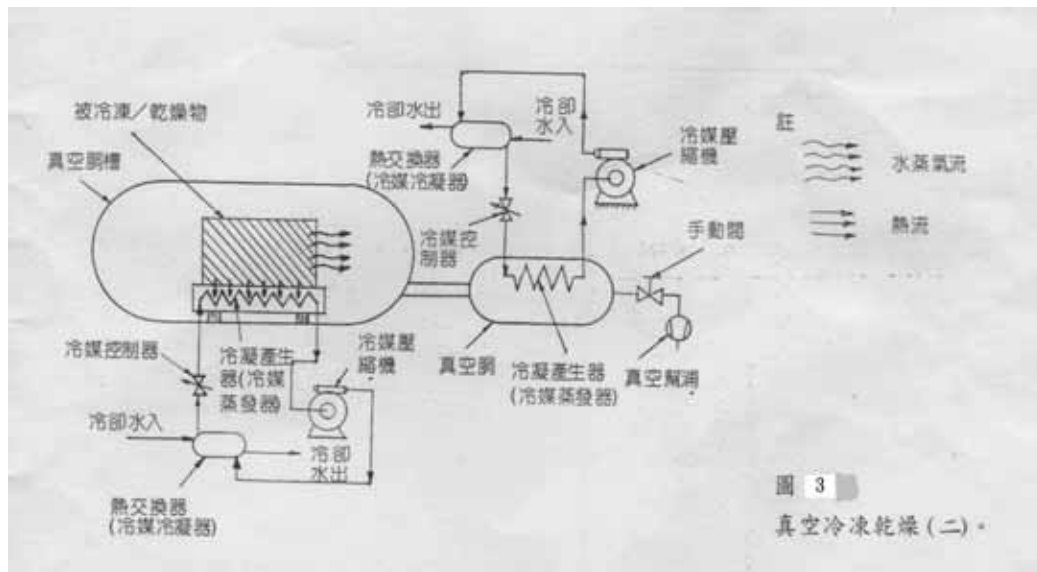
Courtesy of Marone Processing, Inc.

#### 肆、真空冷凍乾燥步驟

所謂真空冷凍乾燥即是對被乾燥物先施加冷凍處理，其所用的冷凍方法是採取傳統的冷媒壓縮機法（如圖 2 所示），待被乾燥物內的水分被凍結成固態水後，再以抽真空的方式處理，以降低真空腔槽內的壓力，促使被乾燥物內的固態水能昇華而抽排至真空系統外。



如圖 3 所示，冷媒壓縮機對被乾燥物施加以冷凍處理，同時真空幫浦亦對真空腔槽抽取真空，此時被乾燥物內之液態水尚未冷凍固態化，抽離真空系統中氣體含有液態水蒸發之飽和水蒸氣，易在真空系統內凝結為水滴，對真空系統內之零組件造成傷害，宜在真空幫浦之真空裝置冷媒壓縮機冷凍系統，以凍結抽離真空系統時空氣所含的飽和水蒸氣。



真空冷凍乾燥之操作條件有下列四項重要條件。

- a、被乾燥之冷凍物須達到其成份物質的最低共融點溫度。
- b、真空腔槽抽真空需在中度真空之範圍內，亦即  $2 \times 10^{-3} \sim 25 \times 10^{-3}$  Torr 之間。
- c、冷凝產生器表面溫度需維持在  $-30^{\circ}\text{C}$  至  $60$  之溫度，方可將昇華之水蒸氣凝結為水。
- d、加熱裝置之加熱溫度控制在  $-30^{\circ}\text{C}$  至  $+60^{\circ}\text{C}$  之間，以便於凍結水之昇華。

有效及具有經濟價值的真空乾燥方法，被非選取真空自體冷凍乾燥、真空加熱乾燥或真空冷凍乾燥其中之任何一種，而是採取其三種中之不同組合方式，以達最佳的乾燥效率與品質控制。

## 伍、真空冷凍乾燥所採用的設備

真空冷凍（加熱）乾燥所採用的設備可分為三大類：真空系統設備、加熱系統設備及被乾燥物之冷凍設備。

1、真空系統設備：真空系統設備主要有下列四種：

### （1）真空幫浦

真空幫浦之抽氣能力需達到  $2 \times 10^{-3} \sim 25 \times 10^{-3}$  Torr 之中度真空能力，故其採用的真空幫浦大多為迴轉幫浦、魯式幫浦或水風式幫浦。

### （2）真空腔槽

真空腔槽主要是致放被乾燥物品，材質多採用不鏽鋼，容積大小隨被乾燥物之批量處理體積而定。

### （3）冷凝產生器

冷凝產生器是置於真空幫浦前之冷凝設備，主要是去除真空系統內之蒸發或昇華水氣，且冷凝產生氣之表面溫度需維持在低於  $-30^{\circ}\text{C}$  之溫度，故冷凝產生器所採用之冷凍設備為冷媒壓縮機，且屬於低溫冷媒（例如 R13），亦可採用消耗性液態氮來產生冷凝效果。

### （4）真空零件組

閥、無縫鋼管等。

2、加熱系統設備

對被乾燥物施以加熱以促使水分子蒸發或昇華所需之設備，加熱系統設備可採用下列之一（1）電熱、（2）電磁熱、（3）熱媒油、（4）水蒸氣及（5）輻射熱；採用電熱、電磁熱較易精確的控制溫度。

3、被乾燥物之冷凍設備

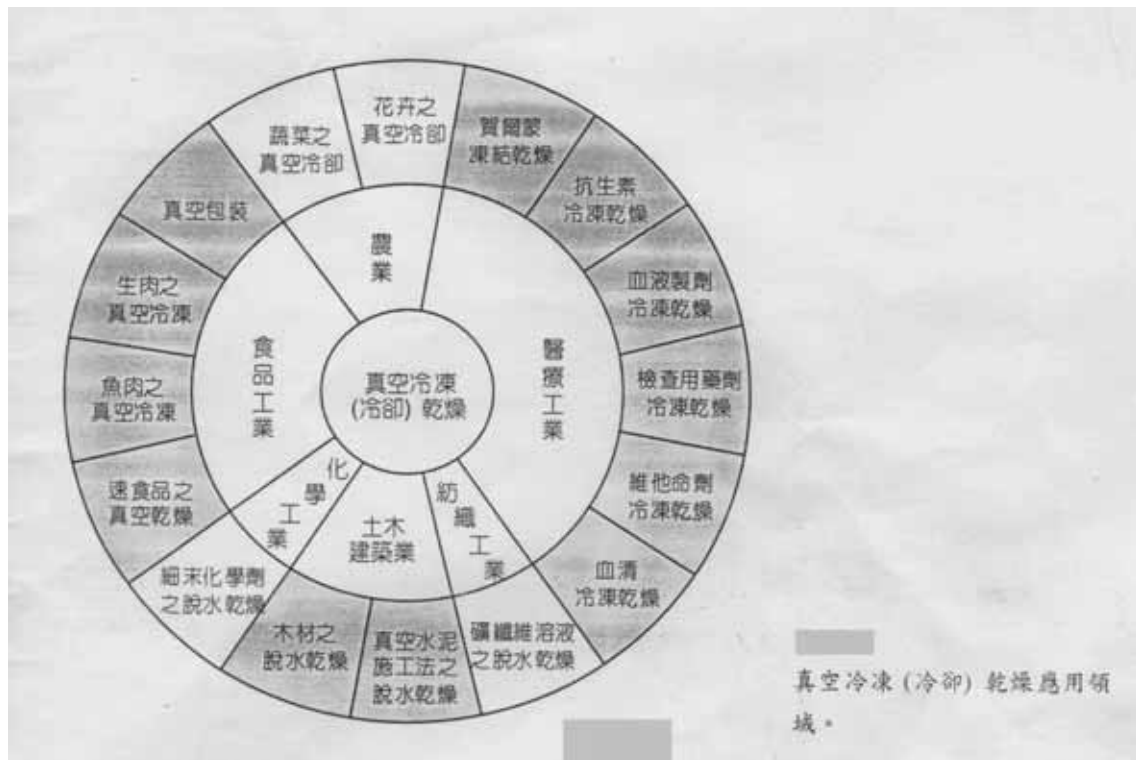
用以冷凍被乾燥物，通常包含下列設備：（1）一般型冷媒壓縮機：往復式、螺旋式或離心式冷媒壓縮機。（2）冷凝產生器。（3）水冷式



熱交換器：冷卻冷媒之用。(4) 冷媒控制器：控制冷煤油液體擴散蒸發為氣體之控制器。(5) 管路、閥類等零組件。

## 陸、真空冷凍乾燥技術應用之領域

真空冷凍（冷卻）乾燥技術的應用領域很廣，凡舉農業蔬果之真空冷卻、食品業魚肉品之真空冷凍、醫療工業之藥劑冷凍乾燥，以及化學工業、紡織工業、土木建築業之應用等均屬之，如圖為真空冷凍（冷卻）乾燥技術應用領域分析圖。



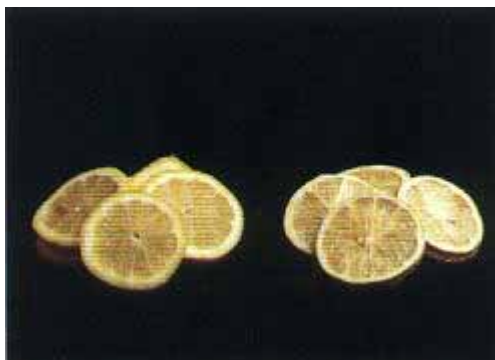
### 1、冷凍乾燥法的優點

- 1.保留完好的營養成分（如：蛋白質、維他命、植物營養素等）。
- 2.保留原味。
- 3.保留食品原有外形、色澤和構造。
- 4.加水後，能快速、完全地還原。
- 5.常溫下能長久儲存，而不需任何防腐劑。
- 6.無需花高費的冷藏。
- 7.冷凍乾燥加工過的食物重量輕，易於攜帶和運輸，且運費較低。
- 8.使食品更濃縮。

## 柒、結論

冷凍乾燥法是對植物最具柔性的處理方法。由於是在溫度相對很低的狀態下進行乾燥的，因此，植物中的大多數營養成份會被完整無缺地保留下來。低溫可以避免植物中的糖份被烤焦，出現我們所熟悉的那種加工過的味道。低溫還能使成品保留原有的自然風味和芳香。由於整個過程進行於真空室內，所以在低溫中就可將冰轉化為蒸汽，也因此不會破壞植物的營養成份。

冷凍乾燥後的成品不會產生任何收縮。一個經過冷凍乾燥的草莓，無論在外形或體積上，都與新鮮的草莓相差無幾。一個被徹底冷凍乾燥的植物在顯微鏡下會呈現出蜂窩狀外表：細胞在釋放水分後，保留下了營養纖維和固狀物，這樣，它的整個構造就得到了完好地保存，使植物易於再次快速水化。這也就是說，水分極易再次進入植物的細胞內，充斥其空間。這就意味著經冷凍乾燥過的植物，一旦暴露在空氣中，就很容易吸收潮氣，因此冷凍乾燥植物必須用密封袋來保存。



新鮮檸檬(左)與冷凍乾燥檸檬(右)的對照



新鮮蔬果(下)與冷凍乾燥蔬果(上)的對照

冷凍乾燥過的豌豆和玉米在湯中只需 3 分鐘就能再次水化，而風乾的豌豆和玉米則需要 10 分鐘。另外，冷凍乾燥法也無需再加防腐劑和添加劑，是一種純天然的製造濃縮過程。