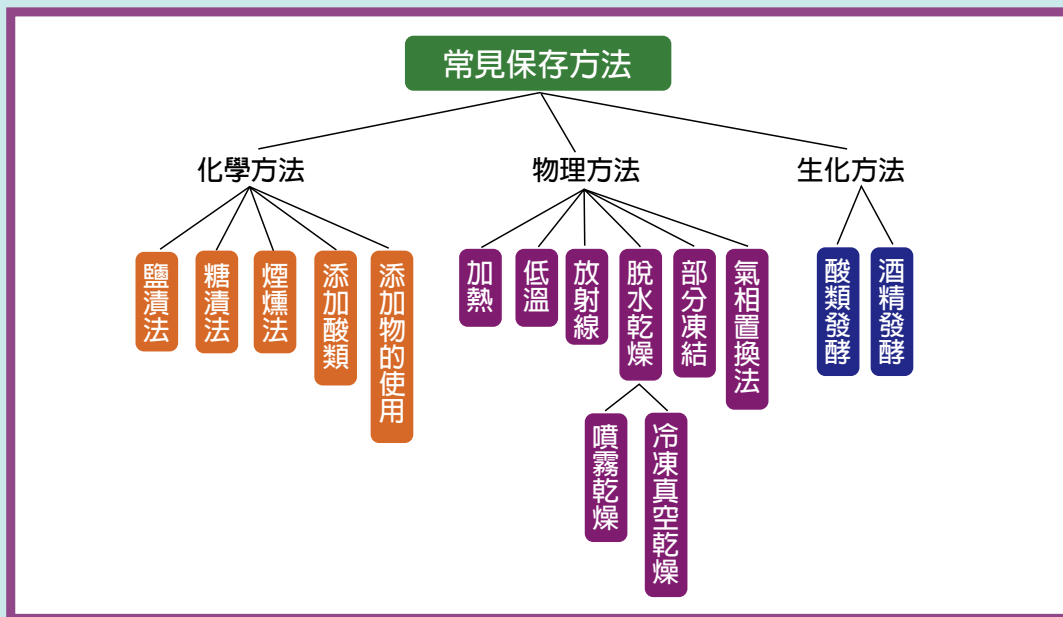


冷凍真空乾燥

冷凍真空乾燥法是把冷凍、真空和乾燥3種技術結合起來，主要是利用凍結和真空的技術移除食物、藥物或農牧產品中的水分，以降低產品的溼度，而可以在室溫下長期保存不至於腐壞。

■ 徐崇榮 · 何佳靜 · 陳智信 · 王仁俊 · 黃耿祥 · 楊智惠

人類一直在尋找保存食物的方法，以便能在農牧歉收的情況下，度過食物缺乏的危機。例如，利用鹽漬製作泡菜，在冬天的時候就有青菜可以食用。另外，臘肉、鹹魚的製作都是靠著保存技術，讓大眾可以隨時取用。食物保存方式是多樣性的，冷凍真空乾燥（lyophilization）的脫水乾燥法是目前常見的保存方法之一。



● 食物保存方法的分類

乾燥技術的起源

冷凍真空乾燥法在食物上的應用，可以追溯到南美洲祕魯印加人對於馬鈴薯和其他農作物的冷藏儲存。他們把農作物放置在馬丘比丘（Machu Picchu，其意是「古老的山」）或者比馬丘比丘還高的山上，因為山上的低氣溫可以使農作物冷凍。此外，高海拔的低氣壓可以使農作物所含的水分逐漸蒸發掉。由此看來，利用冷凍真空乾燥概念的始祖很可能就是印加人。

在二次世界大戰期間，冷凍真空乾燥的應用主要是為了保存盤尼西林與血漿，之後才漸漸應用在食物保存上，因為冷凍真空乾燥食物的保存期限比添加防腐劑的效果長也較好。它的另一個特色是產品重量輕，因此被用來當作太空人食物的儲存技術。

方法及原理

冷凍真空乾燥法是把冷凍、真空和乾燥3種技術結合起來，簡稱「凍乾」（freeze drying），又稱為「昇華乾燥」。主要是利用凍結和真空的技術移除食物、藥物或農牧產品中的水分，降低產品的溼度。經過冷凍真空乾燥

最早印加人在高山上儲存食物	二次大戰時，保存盤尼西林和血漿
<p>1</p> <p>我是結冰的馬鈴薯</p>	<p>2</p> <p>盤尼西林</p>
<p>3</p> <p>之後，應用到食物上（如即溶咖啡粉）</p>	<p>4</p> <p>發展至太空食物和登山客食物</p> <p>太空食物</p> <p>登山客食物</p>

● 日常生活中常見的冷凍真空乾燥產品

在低溫及高真空環境中，利用昇華的原理，把冷凍凝結在物質中的水分直接以昇華為水蒸氣的方式除去，就可以達到乾燥的目的。



- 經過冷凍真空乾燥所製備的香蕉，有比較長的保存期限以及較完整的營養成分，已經用來製造太空人的食物。
(圖片來源：Astronaut Food@網站，<http://astronautfoods.co.uk/>)

後的食物、藥物和農牧產品，可以在室溫下長期保存而不至於腐壞，也可以在需要使用時加水讓它復原。

冷凍真空乾燥的原理是利用樣品中的水分在高真空、低溫度的環境中，可以由固態的冰昇華成氣態的水蒸氣，再使水蒸氣冷凝成液態水而排除，藉以使水分脫離產品。

通常由冰轉換成水蒸氣的過程，是先經由固態到液態的相變化—融化，再經由液態到氣態的相變化—氣化。然而，適當地改變溫度或壓力，可直接產生由固態到氣態的相變化—昇華。在低溫及高真空環境中，利用昇華的原理，把冷凍凝結在物質中的水分直接以昇華為水蒸氣的方式除去，就

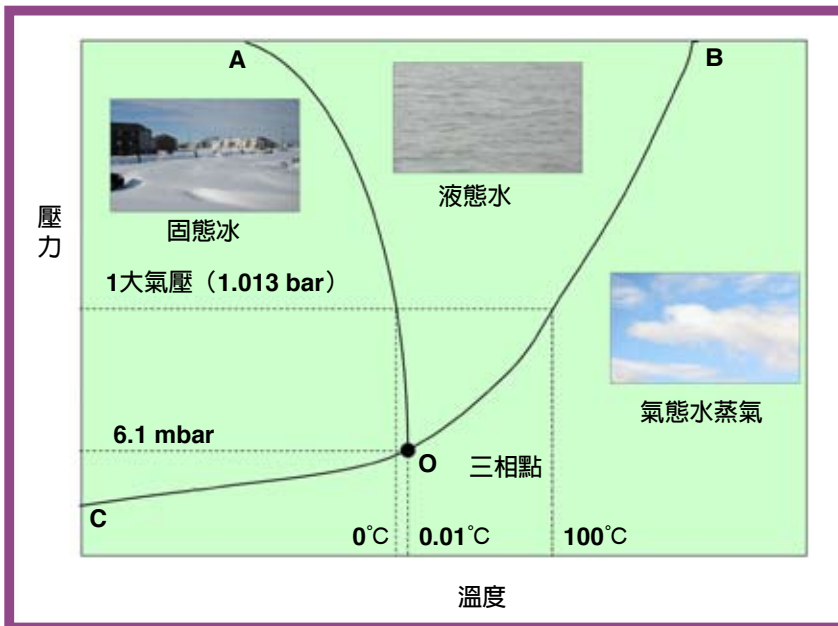
可以達到乾燥的目的。

熱量與質量的傳送

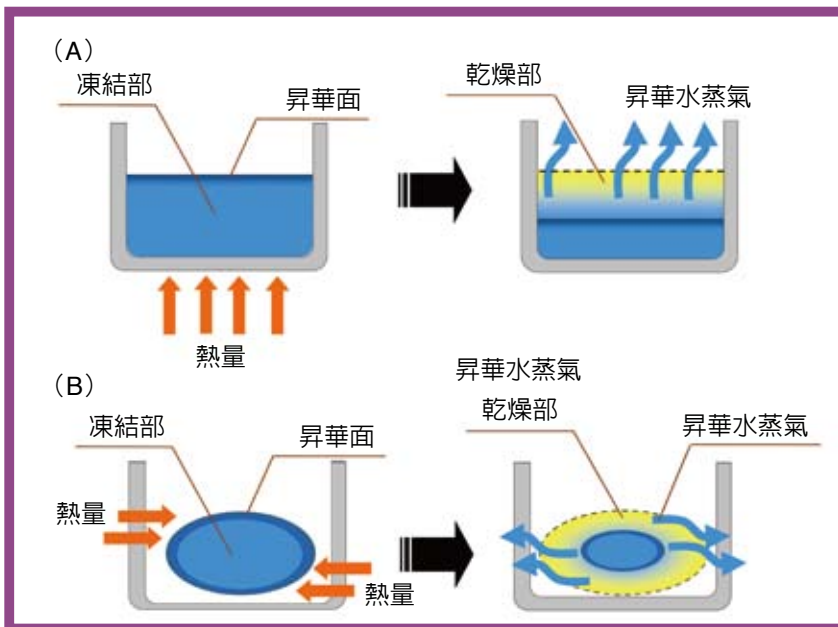
冷凍真空乾燥過程中的熱量與質量的傳送，與材料本身熱導率、比熱、密度、凍結溫度等物性參數，以及凍結方式、凍結溫度、加熱方式、真空度等參數有關。最常見的幾種熱量與質量的傳送方式如下：



- 新鮮的蔬果經過冷凍真空乾燥後，顏色與乾燥前並無太大差異，可以保持比較完整的營養成分，且有較長的保存期限。



● 水的相圖可以分成固態冰、液態水和氣態水蒸氣3個區域。這些區域之間可以用三條曲線畫分，冰和水之間的融化曲線（OA）、水和氣態水蒸氣之間的氣化曲線（OB），以及冰和氣態水蒸氣之間的昇華曲線（OC）。O點稱為三相點，對應的溫度及蒸氣壓分別是攝氏0.01度及6.1mbar（4.58mmHg，611Pa），在這個溫度和壓力下，冰、水和氣態水蒸氣可以共存。



● 兩種常見的一維熱量與質量傳送方式

(1) 熱量完全由底層凍結部傳入，昇華的水蒸氣也沿著相同方向擴散出去。這一種方式多用在冷凍真空乾燥即溶咖啡、果汁等液狀產品。

(2) 熱量完全由頂層乾燥部傳入，昇華的水蒸氣則由相反方向往頂層擴散出去，通常用在可以加工的顆粒狀產品和液狀產品上。

(3) 熱量由底層凍結部和頂層乾燥部同時傳入，而昇華的水蒸氣只能由頂部乾燥層擴散出去。這一種方法類似多層隔板式的冷凍真空乾燥機的操作。

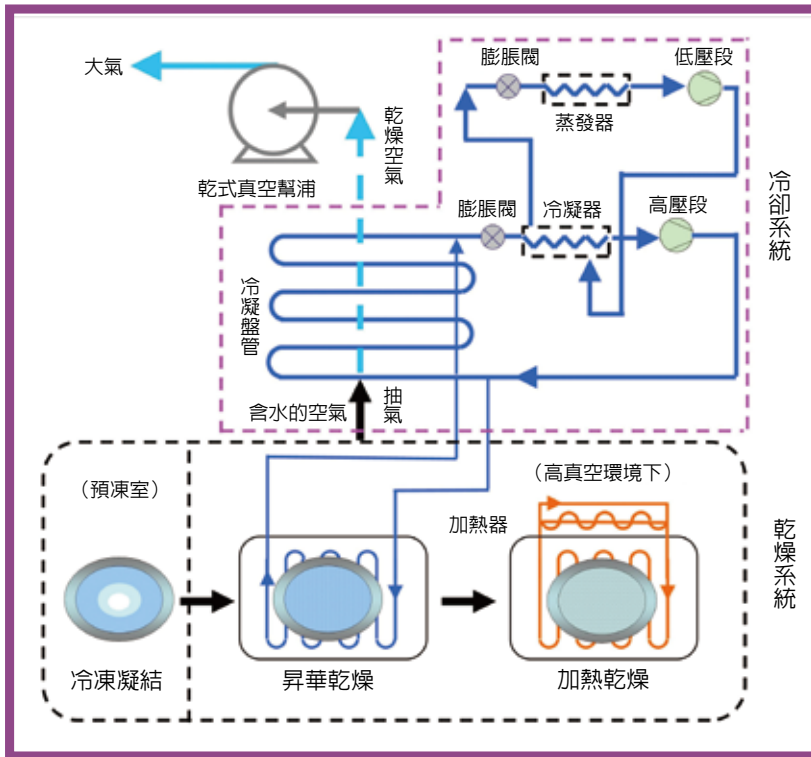
(4) 熱量由底層乾燥部和頂層乾燥部同時傳入，昇華的水蒸氣也由底層乾燥部和頂層乾燥部底層擴散出去。這一種方式多用在特殊形狀的產品上。

(5) 熱量在材料內部產生，昇華的水蒸氣由兩邊擴散出去，微波加熱的冷凍真空乾燥機的操作便屬於這一種方式。

(6) 球狀和圓柱狀產品的熱量與質量傳送方式。

乾燥過程

冷凍真空乾燥過程由3個步驟依序進行，卻又互相關聯。



● 冷凍真空乾燥的流程依序由冷凍凝結、昇華乾燥和加熱乾燥步驟所組成。

冷凍凝結 先把要冷凍真空乾燥的物質冷凍到凝結點以下攝氏10~20度，使所含的水變成固態冰。

昇華乾燥 冷凍凝結的物質經由昇華過程，把所含的固態冰變成氣態的水蒸氣。在這個過程中，冰不會融化。冰要直接昇華成水蒸氣有一個非常重要的條件，就是要在接近真空的環境中。

脫附或加熱乾燥 升高溫度以乾燥物質中殘存的水分。

殘存的水分受到凡得瓦力、氫鍵等作用力的影響，而降低乾燥的速率。因此，需要升高溫度來氣化殘存的水分，但並不能破壞其中的成分。這個步驟對於物質保存的穩定性非常重要。

冷凍真空乾燥的應用

藥物製劑的高安定性

冷凍真空乾燥有助於提高藥物製劑的安定性，包括化學、物理及生物穩定性，並可以解決

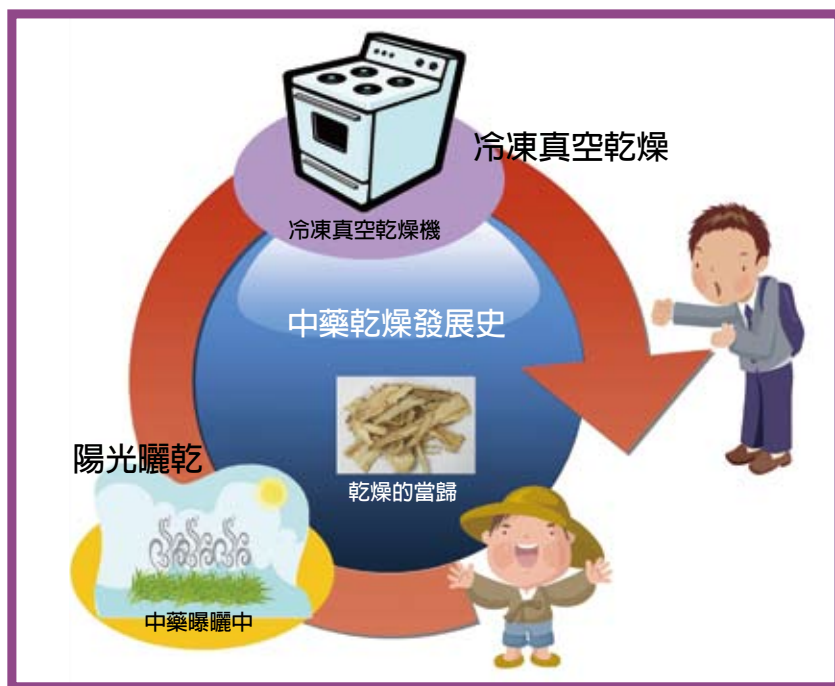
藥品水溶液不安定，以及加熱導致藥物結構破壞的問題。因此，冷凍真空乾燥可以維持藥物本身的藥效、安全性，並增加藥物的保存期限。以往中藥在陽光曝曬、風乾及泡製的過程中，都會使其中的有效成分遭受破壞。文獻研究證實，經過冷凍真空乾燥的中藥藥材的有效成分明顯高於經傳統方法所製成的。

在製藥上，冷凍真空乾燥主要應用在穩定藥物的有效成分，進而延遲藥物與化學反應或生物活動有關的「運動時鐘」(kinetic clock)，也就是延長藥物的保存期限。

以一個例子來說明，有一個藥品如果沒有經過冷凍真空乾燥，因為它的不安定性，需要存放在攝氏4~8度的冰箱中。當它在冰箱保存的前4周內，它的藥效最多維持在原本的90%；4周後，藥效便會逐漸衰退到對抗疾病所需的最低效能以下而無法使用。也就是說，當這一個藥品製備好後，都需存放在攝氏4~8度的環境中，而且從運送到醫生指示病人服用的時間跨度不可超過4周。

這樣一來，對製藥公司而言，無疑是一種產量上的瓶頸。如果這一個藥品的產量超

把冷凍真空乾燥技術應用在食品上，
可以防止腐敗、提高營養保存價值、減少化學反應的發生、
常溫儲藏、保持食物的形態與色澤等。



- 傳統的中藥製程容易造成藥材中，像是揮發油、植物蛋白、微生物等有效成分的流失。利用冷凍真空乾燥技術，可以把藥材中的有效成分保留下來。

過市場需求，大部分的藥品在超過有效期限後就會被丟棄，而造成很大的損失；如果產量低於市場需求，則會造成大部分病人無藥可用的窘境。

有鑑於此，科學家利用冷凍真空乾燥技術，把這類藥品的有效期限由4周延長至100周。而且藥物的安定性增加，使得藥物不必存放在攝氏4~8度的環境中，不僅大幅延長了藥物運送與保存期限，也讓製藥公司有足夠的時

間進行藥物安全性檢驗。

因此，把冷凍真空乾燥技術應用在製藥業上，不僅是基於便利性與商業性的考量，在用藥安全上也為病人帶來一大福音。

食品的延長保存 冷凍真空乾燥技術的應用範圍相當廣泛，在食品加工上，尤其是對溫度敏感、容易變質，而想要保持原味，不破壞組織、不變質者，都可以使用低溫冷凍乾燥法保存。冷凍真空乾燥的食品有下列幾點

特色：重量輕、體積小、能壓縮，容易攜帶；有效保存食物的營養成分；保存期限較長；節省再水化（rehydrate）時間，而且復原可以更為完整。

把冷凍真空乾燥技術應用在食品上，可以防止腐敗、保存營養價值、減少化學反應的發生、常溫儲藏、保持食物的形態與色澤等。冷凍真空乾燥技術在醫藥品的應用上，可以避免藥品的熱變性，並使藥品有較長的保存期限、可常溫儲藏、再溶解性佳等。此外，冷凍乾燥技術在生物科技方面的應用日新月異，涵蓋的範圍相當廣泛，從生物製藥到細胞保存與移植等，可以說這一項技術已經與科技發展緊密結合。

誌謝

行政院國家科學委員會及義守大學。

徐崇榮·何佳靜

王仁俊·楊智惠

義守大學生物科技學系

陳智信·黃耿祥

義守大學生物醫學工程學系