

簡論農產品之物理處理法

(A Review of Recent Advances in Drying and Precooling of Farm Products)

臺灣大學農業工程學系客座教授
夏威夷大學農業工程學系主任

王 兆 凱

農產品由收割之時起其品質即逐漸降低，此為生理上之必然現象。產品有生命，其品質之延續與生命之延續有極密切之關係。而生命之式續則由其本身能量儲蓄之多寡及外界環境對其生命延續妨害之多寡而定。

農產品之處理加工方法極多，但一般言之，可分為二，曰化學加工方法：曰物理加工方法。化學處理方法，一般皆先摧毀產品之生命，而後處理其殘體，以求長期保存其殘餘之有機物。農產品經化學加工後，即成為另一種新的產物，其色、香、味及營養價值皆與原產品不盡相同。

物理處理方法則以在短時期內延續產品之原有品質為目的。近代各國生活水準普遍提高，消費者對新鮮產品之需要日增。同時農業機械化促進鄉村社會組織及農業經濟組織的改變。由於大農場的發展，以及小農之間的彼此合作統銷統售，使得收割後的產品需經多日始能到達消費者手中，於是短期品質之保持之重要性日增。

如前所述，物理處理方法是以延續農產品之品質及減少運銷損失為目的。簡言之，物理處理方法是以改變或控制產品的生理活動，以期延長產品品質之保持。

於設計產品之處理或運銷設備時，對產品本身性質之了解極為重要。設計冷藏及預冷裝置，首先必須知道適當之冷卻溫度；設計運銷包裝設備則必須知道該產品之彈性，表皮硬硬、以及韌度對此種性質之影響。例如，洋山芋 (white potatoes) 若在 40°F 以下之溫度有一星期以上之儲藏，則其中之澱粉將會轉變或糖素，品質已變，是以儲藏溫度應在 40°F 以上至 70°F 之間。又如香蕉，於本省外銷產品中，位居第二，僅次於糖。然在運輸途中之損失有時高百分達之二、三十，可謂驚人。近來改用冷凍船，增建冷藏庫，欲求保持品質，然此種種施設尚不足以解決品質保持之基本問題。如要解決其基本問題，則必須從減少其運輸途中之機械損傷 (Mechanical Damage) 從手研究。試問，香蕉在運輸途中有多少損失是由機

械損傷所引起？人體表面上之細菌千千萬萬，日常不足為害，一旦皮膚少有傷口，則立刻侵入使之紅腫發炎，擾人為害。由是推之，產品亦然。機械損傷往往觸發生理上或病理上之傷害，使產品變質腐爛。如欲減少機械損傷及在合乎經濟條件下改良包裝及搬運系統，則必須先了解產品的工程性質以及機械損傷與生理病害之間的關係。換言之，對產品之基本特性有一充分之了解，始能為其設計一合適之處理方法。

物理處理方法，晚近以來，發展極快，方法亦多，本人謹就所知，摘其要者，概述如下：

一、預 冷

冷藏對於農產品之物理加工方法而言，是指自華氏 30 度至低於室溫之溫度。凡低於 30°F，則稱的凍藏。

冷藏車或冷藏運輸之工具，其使用之目的在於保冷。其內部之空氣流動緩慢，不適於對產品之急速冷卻。例如，一包心白菜，收穫後之溫度可能在華氏 85 度左右。若將此一白菜立刻投入一經冷卻至 35°F 之普通冰箱內，則此白菜之菜心可能在 24 或 36 小時後始能接近 35°F，若將此白菜裝箱或紮捆之，則可能需加倍之冷卻時間。在此期間中，產品本身之生理化學變化加以外界病害之影響對產品品質之損傷可能已很嚴重。常人不知其因，而怨冷藏方法無效，事實上，損傷之發生是在冷藏生效之前。是以欲以冷藏方法保持產品品質，首要之務當在產品收穫後之急速冷卻。因其為產品進入冷藏車之前，故又稱為「預冷」。

通常預冷之方式可分為三：

(一) 氣冷 (Air Cooling)

氣冷為使用冷空氣預冷產品。預氣之速度與冷空氣之速度有密切之關係。冷空氣之速度，一般應在每分鐘一百英尺 (100fpm) 以上。尤以蔬菜為然，因其由呼吸產生之熱量較果實為高。

冷卻空氣之最高速度可達 2,500fpm，但實際商業上之應用均以 1,200fpm 為限。一般所謂高速冷卻者亦不過 800~1,000fpm，如將空氣速度由 100fpm 提高到 1,000fpm，則產品之冷卻速度可增加三至六

倍。

為比較產品之冷卻速度，一般均用「半冷時間」(Half Cooling Time)。半冷時間之定義如下：

設一產品原有之溫度為 t_1 ，突被置於一不同溫度 t_0 之環境中。假設該產品之內部熱傳導率 (Conductivity) 遠高於其於週遭環境之熱交換率 (Surface Coefficient)，則其溫度可由牛頓定律推得如下：

$$\frac{dt}{d\theta} = -C(t-t_0)$$

得：

$$\frac{t-t_0}{t_1-t_0} = e^{-C\theta} \dots\dots\dots(1)$$

其中：

- θ = 時間
- t = 物體之溫度
- t_1 = 物體之初溫
- t_0 = 環境之溫度

$$C = \frac{hA}{c\rho v}$$

h = 表面熱交換率 Surface Coefficient

A = 物體之表面面積

c = Specific Heat

ρ = Specific Weight

v = 物體之體積

在上式中，當 $\frac{t-t_0}{t_1-t_0} = \frac{1}{2}$ 時所需之時間， $\theta_{\frac{1}{2}}$ ，

即為半冷時間。例如 75°F 之蘋果置於 35°F 之冷藏庫中。蘋果之溫度降低至 55°F 所須之時間即為一個半冷時間。由 55°F 至 45°F 所需之時間與由 75°F 降至 55°F 所需之時間相等。換言之，由 75°F 至 45°F 需二個半冷時間。

若水果裝在紙箱之內，又紙箱又堆集在堆高車所用之墊板之上，以至通風不良時，則其半冷時間可高達四十八小時。但若紙箱周圍有適當之空隙，使空氣之速度保持在 100fpm 左右時，則半冷時間可降低至 20 小時左右。倘將空氣速度提高至 800fpm，則半冷時間僅需七小時。又若不用紙箱而用通風之木箱，則在此高速之下，半冷時間可縮至一小時。

另一種方法為採用上下開孔之紙盒，再由此孔中將冷空氣送入。此種紙盒亦可堆積至六、七個高度，而四周亦不需留空隙。如此，所需空氣量約為 0.1 cfm/lb. of fruit。半冷時間約為五小時。若將空氣量提高至 0.4 cfm/lb. of fruit 則半冷時間可降低至

二小時。不封口（無上蓋）之紙盒，用 400 至 500fpm 之風速，其半冷時間約在 1 至 1 $\frac{1}{2}$ 小時之間。

(一) 水冷 Hydrocooling

空氣取之不盡，用之不竭，取用方便，且能適用於各種產品，各種不同不包裝。惟單位冷卻費頗高，半冷時間長，不够經濟。因空氣本身即為絕緣體，熱傳導之效率低，高速空氣之裝置亦不易設計。於是有人以水為預冷之媒介。水之熱傳導效率遠高於空氣。下列之表可資明證：

Product	Cooling fluid & temperature	Surface coefficient Btu/(HR)(fr ²)(°F)	Flow rate fpm
Apple	Water	10.40	22.5
	Water	12.29	40
	Water	14.83	53.5
	Air	3.75	300
	Air	7.69	900

欲求預冷速度增加，操作費用減少，利用水冷乃為當然之事。芹菜、胡蘿蔔、洋山芋、桃子，小型瓜類等皆可使用水冷。惟水冷水果有時會促進產品之呼吸率，而使產品變軟，此種情形在柑橘預冷時即有發現，必須注意。

提高冷卻水之流動速度可以減低其半冷時間。以預冷桃子為例，如將其直接浸入 32°F 之冷水中，其半冷時間約為十四分鐘。如改用蓮蓬淋水則半冷時間可縮短至六分鐘。一般商業上應用之水冷裝置，其水流量至少在 10gpm/ft² 以上。

(二) 真空預冷 Vacuum Cooling

真空預冷發明之時期較晚。此預冷方法需昂貴之建造費用，一個每小時能冷卻三十萬磅高苜的真空預冷裝置，需耗資二十萬美金。真空預冷主要是依靠產生表面水份之蒸發，以達預冷之目的。因之，其應用範圍較狹，僅限於潤葉之蔬菜，如白菜、菠菜等。真空預冷之優點在於迅速，全部預冷可在半小時內完成，且不受包裝方法之影響。

二、乾 燥

乾燥為處理穀物必須經過之程序之一。以米為例，為求獲得優良之品質，則必須在其含水量 18%—24% 時加以收割。但若若儲藏穀米，則其含水量決不能高於 14 $\frac{1}{2}$ %。

乾燥普通多採日晒法，此法端賴週遭之水汽壓力

與產品水汽壓力之不平衡。欲維持此種不平衡，熱量必須傳入被乾燥之穀物。

近年來穀物乾燥之研究工作，大多集中於高速乾燥及階段乾燥方面。肉類及蔬菜則有冷凍乾燥之方法。

(一) 高速乾燥

乾燥速度受以下二種因素控制：一、熱量傳入產品之速率；二、產品本身生理條件之限制。溫度過高，乾燥速度過快，足以傷害產品品質，一般說來，乾燥速度往往為水分在產品本體內之移動速率所限制。欲增加熱量傳入產品之速度，如以空氣為熱傳導媒介，則可利用超聲波 (Ultra Sonic Wave) 或高速空氣以增加 Film Coefficiency 以提高熱傳導率。

另一方面，為不用空氣為媒介。亦有用高頻率電波場 (High frequency field) 及產品本身之 dielectric property 即可在產品體內產生熱量，而致乾燥。或利用 Radiation transfer of Heat 直接傳熱。

以上提及的各種方法，限於經濟條件，尚少在商業上應用。唯最近一、二年來，對有些高價農產品之乾燥處理，採用這些新式方法則極有可能。

(二) 階段乾燥 (間歇乾燥)

高速乾燥對於穀物常有不良之影響。以穀米為例；乾燥速率對米品質之影響遠勝於乾燥溫度。乾燥太快，則糙米表面應力太大，產生裂痕，於是加工後碎米量大增。再者以熱空氣為乾燥媒介時，除了最初幾分鐘外，其餘熱效率 (Thermal Efficiency) 均很低。從乾燥效率着眼，則合理的乾燥方法應該是間歇乾燥。因乾燥速率常隨一近似 exponential curve 而變化，開始很高，隨即很快降低。間歇乾燥即利用起始時之快速乾燥，隨之給一休息期間，使產品內之水份得以重新均勻分配。如此，既可減少表面應力所引起的損失。又可以在下次乾燥期間獲得有效的快速乾燥速率。

例如穀子乾燥，最近研究結果，認為下列方式最為有效。

- 一、初次乾燥——溫度 130°F，保持30至45分鐘。
- 二、再次乾燥——初次乾燥後6小時，再乾燥、溫度°F，保持20至30分鐘。
- 三、每6小時後乾燥一次，每次溫度 130°F，時間20分鐘。直至穀子的含水量降低至14½%為止。
- 四、最後不用加熱的空氣完成乾燥。

此種間歇乾燥，往往利用較高之乾燥溫度，因其帶來較高之乾燥速度。穀子之乾燥溫度一般皆在 100°F 左右，過高之溫度將會影響其品質。但在間歇乾燥中，雖用高於 100°F 之溫度，因時間短暫，穀子本身之溫度仍不會超過 100°F。

(三) 冷凍乾燥

冷凍乾燥是將產品冷凍後，再設法使其水份昇華，此種方法可使產品在乾燥期間不致變形，以圖日後使用時再加水份即可使其恢復原狀。此法特別適用於肉類及蔬菜。惟設備費昂貴，乾燥速度慢同時乾燥時香味消失損傷品質是其缺點。目前科學家正孜孜研究如何使其保有香味，如何增加乾燥速度，俾改良冷凍乾燥效果。又有人主張以惰性氣體取代水昇華後之空隙，不過都尚在研究階段，有待繼續努力。

(四) 其他方法

以上所提為一般所常用之物理處理方法。其他方法尚多不及列舉。惟下列兩項，近年使用漸廣，應加注意。

一、控制空氣成份儲藏法 (Controlled-atmospheric storage)

簡述之，此法係控制密閉儲藏室中之空氣成份，降低氧氣含量及 3% 至 5% 左右，提高兩氧化碳氣之含量至 2% 至 5% 之間，以求降低產品之生理活動。此方法在使用時往往配合溫度及相對濕度之調節可更收成效。美國各地出產之蘋果現已普遍採用此法儲存。儲存期間已可達到一年以上。其他菓物應用此法者尚不普遍。惟有關此方法已試驗由各州立大學之農學院進行者甚多，想來數年之內必可推廣而應用到其他產品之上。

二、高速粒子衝擊 (Nuclear Irradiation)

在原子分裂時所產生之粒子對一般生物均具有殺傷作用。近年來有利用較低速粒子殺菌者。農產品附着有害菌類甚多，經消毒後往往有助於產品生命之延長及品質之保持。近來研究則多集中于部份毀害產品之生理組織以求減低產品之生理活動以延長品質保持之時期。此法應用於鳳梨及其他新鮮菓物上已略有成效，惟尚未達成功之階段。

(五) 相對濕度之控制

農產品之儲藏為使用物理處理方法之最終目的。以上所述各法均有助於儲藏時期之延長。除此而外，相對濕度之控制亦極為重要。一冷藏庫之設計是否成功端視相對濕度及風速控制之是否成功而定。蔬菜所需之相對濕度往往在 90% 之間，果實較低約在 85% 至 59% 之間。

相對濕度之高低不但隨產品種類而變，即使同一產品若其熟度不同時，相對濕度之高低亦需隨之而變。以香蕉為例在八或七分熟時，其儲藏之最好溫度為華氏 56° 度至 60° 度，相對濕度為 90% 至 95%。熟度增加時其相對濕度應降低至 85% 至 90% 之間，溫度不變。

相對濕度之高低直接影響植物生理活動之進行與產品表面細菌之繁殖。冷藏庫中相對濕度之控制不但需依靠工程師在設計時之注意，更有賴於日常操作管理者之注意。

Summary

A review of agricultural process engineering methods Recent progress in precooling has been discussed and various methods of precooling were compared. Some design data on aircooling and hydrocooling systems were presented.

Methods of high speed drying have been mentioned and intermittent drying of rough rice has been used as an example to illustrate the advantages of intermittent drying. Other processing methods that have been discussed were: the controlled atmospheric storage, the use of nuclear irradiation and the importance of relative humidity control

(上接42頁)

辦乙案，茲就有關農業工程事業方面，草擬十二項目（如附紙）請討論研議之。

議決：照所擬項目修正通過函送中華農學會參考。散會。

本會第十一屆第五次理監事聯席會議紀錄

時間：五月廿九日下午四時

地點：水利局第三會議室

出席：孫清波、易任、張建勛（易任代）、沈百先、徐田璋、劉如松（徐田璋代）、張學珊、陳震基、廖日旺（林光風代）、黃慶銓（陳震基代）、林光風、劉濟業（沈百先代）、張建勛

主席：沈百先

紀錄：黃金鑾

主席：報告上次會議記錄執行情形及會務進行（略）

總幹事報告：籌備參加六六工程師節工程展覽之展品情形及會計收支（略）

討論事項

一、准中國工程師學會函請本會同意聯合舉辦年會一節，請核議案。

議決：同意參加。

二、為本會農業工程手冊編訂委員會為展開工作需要、擬請增加副主任委員一位，請推定案。

議決：推請徐田璋先生為副主任委員。

三、關於在美國會員如何聯繫其應邀之常年會費應如何徵收，請討論案。

議決：(一)推請在美本會會員方根壽先生、胡萬旺先生兩位為聯絡員徵求新會員，並請自本年度起負責代收會費，如所需郵費及其費用，即在徵收會費內報支，於本年底彙報本會。(二)本會發刊之農工學報應即自本年度起按期分寄各會員。

散會。