新近水果採後處理研發技術

吳俊達
國立臺灣大學 園藝暨景觀學系

摘　要

由於果品採後溫度管理之預冷(precooling)及低溫貯運技術已經發展相當成熟，近年來採後處理技術的研發逐漸轉向貯運環境濕度與氣體組成之調控。本文簡要介紹改變濕度包裝(modified humidity packaging)、活性包裝(active packaging)、動態氣調（dynamic controlled atmosphere）三項採後處理技術。「改變濕度包裝」概念，是降低包裝袋內濕度以避免因為儲運溫度波動造成水氣凝結，引起病害發生及產品組織氣體交換障礙，並能同時使產品維持於失水較低的狀態；實際技術操作包括包裝袋打孔(package perforation)、選用透水氣性高的包材、吸濕劑使用等。在改變產品儲運環境氣體組成控制方面，「活性包裝」為最近迅速開發的領域，其指的是一個包裝系統可主動改變袋內條件，以延長櫥架壽命或增進食品安全性、風味特性與維持產品品質。而利用持續監測庫內產品葉綠素螢光(chlorophyll fluorescence)反應或乙醇揮發變化，作為產品遭受逆境的即時(real time)指標，以調整氣調庫內氧氣分壓之「動態氣調」技術，可使產品貯藏在比傳統氣調條件更低的氧環境，因而貯藏壽命更長、品質維護更佳、降低生理障礙發生率。三

者強調主動與即時瞭解貯運園產品狀態，以達到延長產品採後主運性和品質保持的目地。

前　言

水果如同新鮮蔬菜、花卉，都是採後仍具有生命的商品，且由於高含水量、呼吸代謝旺盛、質地柔軟之易敗壞(perishable)特性，使其在採收到消費或加工利用之間的採後處理(postharvest)階段，很容易因為產品老化、蒸散失水、組成份持續改變、生理障礙(physiological disorders)、物理傷害、病源微生物感染而喪失利用價值，導致損耗(Kader, 2002a)。Kader(2005)評估，全世界所收穫的新鮮園產品，高達三分之一產品會在採收到消費前的作業過程中損失；而許(1977)調查報告亦指出，臺灣水果運輸到零售損耗率約9~21%。因此，水果採後需要特殊專業的技術進行保鮮處理，以延長其貯藏期限及維持品質。

溫度是影響新鮮果品採後壽命最重要的環境因子，因為溫度直接或間接左右水果生理代謝、蒸散作用、乙烯感受與生成、生理障礙發生、機械傷害反應、病害發展速率(Kader, 2002a)；溫度管理當然是水果採後處理技術發展的重心，在實際產業應用上，也已開發出相當多成熟的技術。以採收後迅速移除產品田間熱的降溫預冷(precooling)技術為例，就包括室冷(room cooling)、強制風冷(forced-air cooling)、水冷(hydrocooling)、冰冷(package-icing)、真

空預冷(vacuum cooling)等方式(Kader, 2002a; Thompson, 2004)，以因應不同性質園產品或實務操作需求考量。然而，對於多數熱帶原生的果樹種類，如香蕉、鳳梨、芒果、番木瓜、番荔枝、番石榴，是屬於寒害敏感型(chilling-sensitive)果品，採後置於其結凍點(freezing temperature)以上、寒害臨界溫度(critical temperature)(15～3℃)(Kader, 2002a; Wang, 2004)以下之低溫環境，往往有寒害(chilling injury)發生之虞，嚴重者會導致品質劣變、完全喪失利用價值。另外，熱帶地區高溫高濕的氣候特性，適合病蟲害孳生傳播，採後病蟲危害引起的果腐也較嚴重，利用低溫抑制病源微生物或檢疫滅蟲處理的策略，亦因寒害生理障礙問題而受限。因此，藉由低溫作為採後處理保鮮手段，對於寒害敏感型的熱帶水果產品而言，能夠運用的溫度範圍與延緩劣變效果就受到明顯的限制與壓縮(Yahia and Singh, 2009)，除了低溫外，尚需配合其他因子控制，才能達到較理想的貯運壽命。換言之，尋求溫度管理以外的環境調控技術達到品質維護與減低腐損，對熱帶水果而言，相對的更為重要。

臺灣由於地理位置及風土氣候關係，主要栽培生產的水果種類，以熱帶果樹種類為大宗，大約佔整個水果產值的 49%(行政院農業委員會，2010)。近年來，熱帶水果由於健康飲食趨勢、對外來珍異果品的好奇、國際貿易障礙解除、觀光旅遊業蓬勃發展等因素，需求量漸增，進而刺激其栽培面積擴張，全球貿易量亦逐年攀

升(Yahia and Singh, 2009)；為了增長熱帶水果保存壽命以便能輸運到更遠距離市場，帶動溫度管理以外的採後貯運技術的研發。本文介紹水果採後處理新近開發應用的改變濕度包裝(modified humidity packaging)、活性包裝(active packaging)、動態氣調貯藏(dynamic controlled atmosphere storage)三項技術概念，以供爾後我國果品外銷貯運之參酌。

改變濕度包裝

水份是新鮮水果最主要的組成份(佔鮮重的 80-95%)，同時也是其品質要項之一(Kader, 2002a)。果實採後蒸散失水仍然持續進行，但由於已切離樹體，無法再有根部吸收的水份補充，一般失水達到產品收穫鮮重 3-10%時，就會顯現表面皺縮、萎凋、質地軟化、喪失脆度等品質劣變現象，而不再具有商品價值(Kader, 2002a; Rodov et al., 2010)。所以採後處理常以低透水性材料包裝，使果實周圍形成一個高相對濕度且空氣流速低的微氣候環境，以減少果實與環境的蒸氣壓差(vapor pressure deficit)，降低失水速率。但是，往往被忽略的是，這種包裝技術卻容易引起微環境濕度過高而呈現產品表面凝水(condensation)或稱為「出汗(sweating)」現象，尤其是當貯藏環境溫度波動、低溫鏈(cold chain)中斷回溫、空氣循環不足時，凝水情況越是嚴重(Rodov et al., 2010)。凝水帶來的負面影響包括促進微生物生長、阻礙氣體交換、果實成份由傷口滲流出產品

外(Rodov et al., 2010)。因此，衍生出改變濕度包裝(modified humidity packaging）的概念與技術。

「改變濕度包裝」觀念由 Shirazi and Cameron(1987)最先提出，是指園產品利用塑膠袋包裝時，調整袋內相對濕度，避免水氣凝結，並能同時兼顧維持產品低失水率的一種包裝方法(Rodov et al., 2010)。實際操作技術主要包括：

1.包裝膜打孔(film perforation)：利用低水氣通透性包材減少水分散失，並於包裝膜上打孔以增加水氣通透。為最簡單降低袋內濕度的方法。唯此法對包裝袋氣體通透性之影響，遠較對水氣通透性影響為大，所以氣變包裝（modified atmosphere packaging）效益可能因此消失殆盡；且打孔數量愈多，袋內相對濕度受外界濕度影響也愈明顯。例如，以低密度聚乙烯袋包裝‘Keitt’芒果，雖可抑制果實後熟，但因袋內凝水導致病害發生率偏高；Ben-Yehoshua et al.（1998）採用厚度 40 μm 低密度聚乙烯袋，進行不同打孔（每孔直徑 2 mm）數目‘Keitt’芒果包裝試驗，打孔面積在 0.2 cm^2 以上即有稍微降低袋內相對濕度，明顯降低凝水現象，可防止病害發展，亦能避免芒果失水皺縮。

2.選擇透水氣性高的包材：利用親水性塑膠材質，如 ethylene-vinyl acetate(EVA) 、 polyamide(PA, nylon) 、 polyester(polyethylene terephthalate, PET)、polystyrene(PS)、polyvinylchloride (PVC)增加

對水氣的通透性，減少袋內相對濕度(Rodov et al., 2010)。市面上已有許多商品化的包裝袋是利用此原理來避免袋內濕度過高造成凝水現象，如 Pebax®、Xtend®。藉由調整塑膠聚合物比例達到不同的透氣性與水氣通透率。選擇高透水氣性包材達到袋內濕度控制的效果，兼具濕度調控及氣變功能，但袋內水氣的通透仍受包裝袋外貯藏環境之影響。

3. **添加吸濕劑 (hygroscopic additives) 或濕度緩衝包材 (humidity-buffering packaging film)**：包裝袋內放入 NaCl、矽膠、多孔沸石（zeolites）等吸濕劑以吸收袋內水氣，避免相對濕度過飽和凝水，商品化的產品如 Desi Pak®、Sorb-it®、Tri-Sorb®、Getter Pak®、2-in-1 Pak®、MiniPax®、StripPax®等。使用吸濕劑調節袋內濕度的策略，並不致破壞氣變包裝功能，且降低袋內溼度效果亦不受袋外環境影響。但需考慮吸濕劑水氣吸收能力及效能持久性。另外，應用濕度緩衝包材，可將袋內相對濕度穩定在理想的範圍內，商品如 Humidipak、Everfresh bag。

活性包裝

活性包裝(active packaging)乃指一個包裝系統可主動改變袋內條件，以延長產品櫥架壽命或增進食品安全性、風味特性與維持產品品質(Yam et al., 2005)。與傳統包裝僅以惰性阻絕物，提供產品保護、商品資訊、便利運輸及收納的被動特性不同。Yam 等（2005）

將活性包裝技術類型概分為氣體吸收/釋放包裝(gas absorbing/emitting packaging)、活性成份控制釋放包裝(controlled release packaging)、選擇性通透包裝膜(selective permeable films)三大群。簡述如下：

1.氣體吸收/釋放包裝：利用包材塑膠膜本身或在包裝袋內放入小藥包（sachet）吸收/釋放氣體。常見的有可以吸收袋內氧氣、水氣、乙烯，或釋出二氧化碳、乙醇氣體到袋內功能的包裝膜/小藥包，以營造一個理想的包裝袋內微環境，利於延長產品櫥架壽命。

2.活性成份控制釋放包裝：應用包材作為活性成份傳送介面釋放活性成份，如抗菌劑、抗氧化劑、酵素、調味料、營養添加劑（nutraceuticals）以抑制微生物引起的腐敗與增進食品品質。這類型活性包裝最受到重視的是抗菌包裝及抗氧化包裝。由於近年來消費者對食品安全的意識擡頭，抗菌包裝活性成份的研發趨勢，是以天然成分取代人工合成的添加物(Lazar et al., 2010)。例如許多生體外的試驗研究已指出一些植物精油(essential oils)具有抑菌或抗氧化功能，因此成為抑菌活性包裝用以取代化學抑菌劑的天然物，常用的精油有效成分有麝香草酚(thymol)、丁香酚(eugenol)、薄荷腦(menthol)、桉葉醇(eucalyptol)。Montero-Prado等(2011)比較肉桂精油(cinnamon essential oil)PET 塑膠盒活性包裝對室溫貯藏的‘Calanda’ 桃果實病害發生率與櫥架壽命的影

響，經過 12 天精油貼片活性包裝(active label packaging)處理組感病率 13%，明顯低於一般 PET 塑膠盒包裝對照組的 86%。如何調控包裝內活性成分釋出速率，應是此類活性包裝成功的關鍵。

3.選擇性通透包裝膜：可透氣性包裝膜對於氧氣、水氣、二氧化碳的通透速率具有調控選擇能力，以建立新鮮園產品保鮮有利的袋內環境。

除了活性包裝外，另有一類稱為「智慧型包裝(intelligent packaging or smart packaging)」，是指可執行偵查、感測、記錄、追蹤等智慧型功能，以利食品延長櫥架壽命、提高安全性、增進品質決策選定，或提供資訊、警示可能問題的包裝系統。活性包裝研發重點較著重在抑菌包裝的保護功能；而智慧型包裝則主要增加提供資訊的功能，作為產品保鮮、食用之參考。著名的例子是紐西蘭公司開發的 ripeSense®感測貼片(sensor label)，應用於更年型水果包裝，如西洋梨，貼片呈現紅色代表包裝盒內果品口感是清脆；貼片轉成橘色表示果品仍有一定硬度；當果實後熟軟化呈現多汁綿密風味時，貼片則變為黃色，所以可提供消費者食用品質的選擇資訊。

動態氣調技術

傳統氣調貯藏(controlled atmosphere storage, CA storage)是在整個貯藏期間，庫內氣體組成維持在‘推薦最適氣體組成’(Kader, 2002b)。事實上，由於園產品是有生命的產品，在貯藏期間的代謝

變化應該是動態的，而非穩定不變(Saltveit, 2003)。所以，這種恆定的氣調(static CA)條件應該不會是所謂的‘最適合氣體組成’，甚至在貯藏期間某些時段會是‘不適合的氣體組成’。動態氣調(dynamic controlled atmosphere)的概念因此產生。

所謂「動態氣調貯藏」是利用持續監測貯藏庫內園產品葉綠素螢光(chlorophyll fluorescence)反應或乙醇揮發釋出變化，作為產品遭受低氧逆境的即時(real time)指標，據此以調整氣調庫內氧氣分壓(Hoehn et al., 2009)。測定氣調庫內空氣中乙醇濃度藉以評估水果遭受低氧逆境程度，主要是基於高等植物組織在低氧逆境下會進行無氧呼吸(anaerobic respiration)形成乙醇；而葉綠素螢光指標利用的原理是，當逆境發生時，綠色組織葉綠體光擷取系統Ⅱ(light-harvesting complex Ⅱ; LHC Ⅱ)吸收光源後，將能量匯聚到光系統Ⅱ(photosystem Ⅱ; PSⅡ)之 P680 葉綠素反應中心(reaction center)，P680 激發釋出的電子傳遞受阻，反應中心因此無法順利將電子傳給 Q_A(plastoquinone A)、經光反應(light reaction)把能量轉移到 ATP 或 NADPH 高能化合物上，而以螢光及熱的形式發散出來，所以逆境會造成綠色組織葉綠素螢光量增高，因此葉綠素螢光是目前生理研究評估植物遭受逆境常用的指標(葉，2008; DeEll et al., 1999)。這兩項非破壞性園產品低氧逆境指標中，以葉綠素螢光指標較靈敏、相關性較佳(DeEll et al., 1999; Hoehn et al., 2009)。

Prange 等(2003)測試蘋果在 20℃氧氣分壓逐漸降低之氣調環境下，果實葉綠素螢光訊號在氧氣濃度低於 1%時，即可偵測到其葉綠素螢光訊號的激烈增強，直到氧氣濃度再度提高到 1%時，該訊號才恢復到未遭受低氧逆境的水準，產品葉綠素螢光與逆境程度呈現良好且即時的相關性。目前已開發商品化的動態氣調貯藏系統如 HarvestWatch™，便是利用葉綠素螢光指標作為調整庫內氧氣分壓的根據。

動態氣調貯藏技術提供即時監測貯藏園產品生理狀態，作為調整貯藏‘最佳’環境條件的參考，形同與園產品互動、對話，而非單憑人類主觀的判斷，故在水果保鮮的效果更優。以蘋果為例，由於動態氣調貯藏系統可使園產品貯藏在比傳統氣調更低的氧氣濃度環境(接近低氧逆境發生之臨界點)，所以動態氣調貯藏後的蘋果硬度較高、無氧呼吸情況減少、果皮色澤較鮮豔，且能降低燙斑(scald)生理障礙發生率(Zanella et al., 2005)。

結　　語

水果已成為國際農產品貿易的重要項目，為了維持品質與延長果品貯運壽命，以期能運抵更遠的國外市場，採後處理的重要性日益彰顯。果品貯運環境濕度與氣體成分管理，雖然被視為溫度管理的「輔助性(supplement)採後處理技術」(Kader, 2002a)，但近年來隨著園產品輸運的時間與距離增加，加上消費大眾對產品品質與食

品安全的日漸重視，許多採後處理技術開發已朝向對溫度以外的環境因子進行管控，以延長低溫貯運的保鮮期限。我國果樹產業以熱帶、亞熱帶水果為主，利用低溫貯運技術明顯受到限制。因此，藉由其他環境因子管理達到保鮮目的，也相對較溫帶水果重要。改變濕度包裝、活性包裝、動態氣調概念與技術，強調主動與即時瞭解貯運園產品狀態，對於未來我國果品採後處理技術研發與應用，更有其實用的參考價值存在。

引用文獻

1.許文富. 1977. 果菜運銷價差及運銷成本之研究. 國立臺灣大學農業經濟研究所.臺北. 83pp.

2.葉思瑋. 2008. 番石榴果實寒害指標評估及採後處以技術之研究. 國立臺灣大學園藝學系碩士論文. 臺北行政院農業委員會. 2010. 農產品生產量值.

(http://www.coa.gov.tw/htmlarea_file/web_articles/coa/14993/099010.xls)

3.Ben-Yehoshua, S., V. Rodov, S. Fishman, and J. Peretz. 1998. Modified-atmosphere packaging of fruits and vegetables: reducing condensation of water in bell peppers and mangoes. Acta Horticulturae 464:387-392.

4.DeEll, J. R., O. van Kooten, R. K. Prange, and D. P. Murr. 1999.

Applications of chlorophyll fluorescence techniques in postharvest physiology. Horticultural Reviews 23:69-107.

5.Hoehn, E., R. K. Prange, and C. Vigneault. 2009. Storage technology and applications. p.17-50. In: E. M. Yahia (ed.). Modified and controlled atmospheres for the storage, transportation, and packaging of horticultural commodities. CRC Press, Baca Raton, FL.

6.Kader, A. A. 2002a. Postharvest biology and technology: an overview. p.39-47. In: A. A. Kader (ed.). Postharvest technology of horticultural crops (3rd ed.). University of California Agriculture and Natural Resources Publication, Davis, CA.

7.Kader, A. A. 2002b. Modified atmospheres during transport and storage. p.135-144. In: A. A. Kader (ed.). Postharvest technology of horticultural crops (3rd ed.). University of California Agriculture and Natural Resources Publication, Davis, CA.

8.Kader, A. A. 2005. Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce. Acta Horticulturae 682: 2169-2175.

9.Lazar, E. E., J. J. Jobling, and N. Benkeblia. 2010. Postharvest disease management of horticultural produce using essential oils:

today’ s prospects. Stewart Postharvest Review 3:15.

10.Montero-Prado, P., A. Rodriguez-Lafuente, and C. Nerin. 2011. Active label-based packaging to extend the shelf-life of "Calanda" peach fruit: changes in fruit quality and enzymatic activity. Postharvest Biology and Technology 60:211-219.

11.Prange, R. K., J. M. DeLong, and P. A. Harrison. 2003. Oxygen concentration affects chlorophyll fluorescence in chlorophyll-containing fruit and vegetables. Journal of the American Society for Horticultural Science 128:603-607.

12.Rodov, V., S. Ben-Yehoshua, N. Aharoni, and S. Cohen. 2010. Modified humidity packaging of fresh produce. Horticultural Reviews 37:281-329.

13.Saltveit, M. E. 2003. Is it possible to find an optimal controlled atmosphere? Postharvest Biology and Technology 27:3-13.

14.Shirazi, A. and A. C. Cameron. 1987. Modified humidity packaging: a new concept for improving the success of modified atmosphere packaging of fresh produce. HortScience 22:1055.

15.Thompson, J. F. 2004. Pre-cooling and storage facility. In: K. Gross (ed.). The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and

nursery stocks. USDA Agriculture Handbook Number 66. (http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/index.html)

16. Wang, C. Y. 2004. Chilling and freezing injury. In: K. Gross (ed.). The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. USDA Agriculture Handbook Number 66. (http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/index.html)

17. Yahia, E. M. and S. P. Singh. 2009. Tropical fruits. p.397-444. In: E. M. Yahia (ed.). Modified and controlled atmospheres for the storage, transportation, and packaging of horticultural commodities. CRC Press, Baca Raton, FL.

18. Yam, K. L., P. T. Takhistov, and J. Miltz. 2005. Intelligent packaging: concepts and applications. Journal of Food Science 70:R1-R10.

19. Zanella, A., P. Cazzanelli, A. Panarese, A. Coser, M. Cecchinel, and O. Rossi. 2005. Fruit fluorescence response to low oxygen stress: modern storage technologies compared to 1-MCP treatment of apple. Acta Horticulturae 682:1535-1542.

Recent Advances in Technologies of Postharvest Handling in Fruit Products

Chun-Ta Wu

Department of Horticulture and Landscape Architecture

National Taiwan University

Abstract

Since techniques of postharvest temperature management in fruit products, such as precooling and cold storage, have been well established, the recent trend in research and development of postharvest technologies in fresh fruit is toward to emphasis on humidity and atmosphere control. Three postharvest technologies, namely modified humidity packaging, active packaging, and dynamic controlled atmosphere, are briefly discussed in this presentation. Modified humidity packaging is a group of technologies, including package perforation, utilization of packaging materials with enhanced water vapor permeability, and application of hygroscopic additives and humidity buffering, that attempt to reducing the risk of water condensation in the package while still maintaining produce water loss as low as possible. Regarding control of atmosphere compositions, active packaging defined as a packaging system that actively changes

the condition of the package to extend shelf life or improve food safety or sensory properties is an active exploring and rapid progressing area. By continue monitoring chlorophyll fluorescence of produce or ethanol emission in the headspace of storage room, technology of dynamic controlled atmosphere can fine-tune the oxygen partial pressure in the storage room based on the real-time index just mentioned to more optimal conditions than that of conventional static controlled atmosphere. As a consequence, fruits stored in dynamic controlled atmosphere exhibit longer storability, better organoleptic quality, and lower incidence of physiological disorders when compared with those in regular controlled atmosphere storage. These techniques emphasize to take initiative and real-time information of the stored commodity to adjust the microenvironments in order to prolong postharvest life and quality maintenance of fresh fruit.