

多孔性循環碳材應用於水果保鮮之初探

- ◎林業試驗所森林利用組·林柏亨 (afarmer@tfri.gov.tw)、林振榮
- ◎林業試驗所林業經濟組·詹為巽
- ◎林業試驗所木材纖維組·徐健國

水果保鮮新資材

水果保鮮是水果從產地到消費者過程中十分重要的關鍵技術，其保鮮時間的長短影響生產者提供給拍賣市場的良率、終端銷售通路販售成本、消費者賞味期限等。臺灣處於亞熱帶地區，四季溫度適宜、日照充足、降雨量充足，盛產香蕉、鳳梨、芒果等熱帶水果，素有水果王國之美稱。鳳梨、釋迦、芒果是近年來臺灣自豪的水果外銷品項，外銷至國外亦須要相關技術以確保水果新鮮程度及符合進口國當地檢疫法規，水果保鮮過程倘有差錯將造成貿易商嚴重損失，並損壞本國外銷水果地位及形象。

回顧水果延長保鮮方法，不外乎以調控環境減緩其代謝速率、化學藥劑抑制乙烯代謝途徑等延長蔬果成熟反應為主，亦須一併考慮其呼吸型式以做有效保鮮策略選擇。水果依呼吸型式(Respiration pattern)分為更年性果實(Climacteric fruits)與非更年性果實(Non-climacteric fruits)兩大類，更年性果實當果實尚未成熟前即可採收，並可使用後熟處理法使水果成熟後銷售，如蘋果、酪梨、香蕉、楊桃等；反之，即為非更年性果實，如葡萄、葡萄柚、檸檬、枇杷等。社會大眾對食品安全重視程度日益增長，水果保鮮方式應朝以更環保、安全、減少化學藥劑使用並增加特色方向發展。

臺灣每年約使用約600萬立方公尺之木質資源，並產生約90萬公噸之木竹剩餘資材，其

中有經過處理量佔約63.5%，木竹剩餘資材處理方式大多是以傳統焚燒掩埋進行，僅5%有經過回收處理再利用，高達36.5%之木竹剩餘資材直接廢棄，相較於稻桿、廢菇包、豬雞糞等處理量接近100%，足見林業剩餘資材尚有許多發展空間以使資源循環妥善利用。又這些剩餘資材除處理困難造成廠商困擾，傳統燃燒方式亦衍生環境及空汙問題，如可應用循環經濟模式，開發高附加價值應用取代傳統燃燒方式，將可增加國內林業競爭力並減少二氧化碳排放量。本文初步探討以利用林業剩餘資材製成多孔性循環碳材，藉由其多孔性材質具有吸脫附能力，應用於水果保鮮層面，以妥善利用林業剩餘資材並增加其產物附加價值。

水果後熟作用

水果採收後之後熟作用已被國內外學者廣泛研究，採收後之水果可視為進行生化



生物質燒製之多孔性碳材。(林柏亨 攝)



水果老化外觀顏色變化—以香蕉為例。(林柏亨 攝)

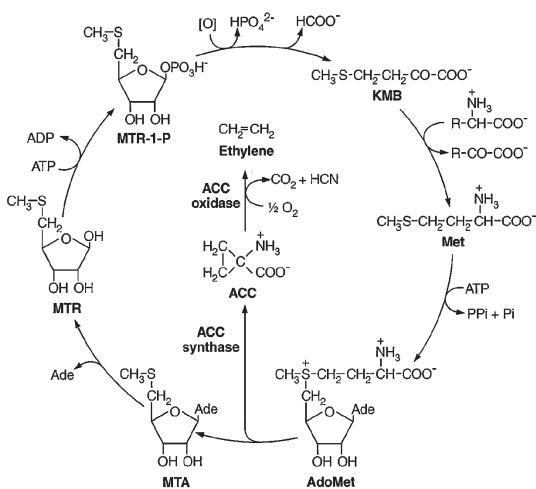
反應獨立個體進行代謝，代謝過程主要消耗果實中的醣類產生生化反應之能量及代謝物，乙烯即為其中之代謝物之一。乙烯代謝是以蛋胺酸為起始物，經S-腺苷核甲硫胺酸合成酶(AdoMet synthase (ATP:methionine S-adenosyltransferase))催化形成S-腺苷核甲硫胺酸(AdoMet)，再由1-氨基環丙烷-1-羧酸酶(1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase)催化形成環狀前驅物1-氨基環丙烷-1-羧酸(1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid)，最後經由1-氨基環丙烷-1-羧酸氧化酶(1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid oxidase)催化產生乙烯。

Brug and Brug的研究指出，芒果乙烯釋放率約為2 ppm per μ l/kg/hr，芒果在儲存環境中達到0.04~0.4 ppm即會引發成熟反應。研究中亦整理酪梨(0.1 ppm)、香蕉(0.1~1 ppm)、檸檬(0.25~0.1 ppm)、橘子(0.1 ppm) 會引發成熟反應乙烯最低濃度。芒果以及鳳梨釋迦屬於更年性水果，可在未成熟時採收，並在採收

後以後熟方式使其完熟，而在成熟的過程中其呼吸速率及乙烯的形成會達到一高峰而後開始下降。果實成熟的過程中，除了內部葉綠素開始降解，合成類胡蘿蔔素、花青素、精油和香氣等成分，細胞壁降解酶的活性增加，最直觀的表現為香氣的散發、外表變色以及肉質開始變軟，為了能讓水果在長時間的運輸過程中保持完整，不會產生變色、腐爛等現象，抑制其後熟是必要的手段。而當水果中的乙烯受體接觸到乙烯後，會透過不同的標靶基因呈現不同反應，水果出現變軟變甜等開始成熟的反應。

減緩水果後熟策略

現今主要抑制後熟的策略有調控水果儲存溫濕度、氣調(Controlled Atmosphere, CA)儲存以及使用1-甲基環丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)。以儲存溫度來看，一般而言越低溫其後熟速率越慢，但過低溫時會造成無法後熟或回溫後後熟過快等問題，根據過去的研究指出，當芒果保持在15.5至18°C時，外皮顏色不變，且味道仍然保持酸味；鳳梨設維持在6°C的溫度下，其果實內葡萄糖和果糖濃度能夠最大限度地保留，並有效減緩維生素C和可滴定酸度的減少，同時能有效抵抗鳳梨果實的褐化現象；鳳梨



乙烯生物合成途徑和蛋氨酸循環(Miyazaki and Yang 1987)。

釋迦在6°C的儲存溫度下可以保持果肉品質良好時間較久，或是先儲存於10°C下5~10天後轉至20°C下儲存可最大限度保持果實外觀完善，並且可以正常後熟。

氣調儲存是指將水果儲存環境內的大氣組成以人為的方式進行添加或移除，使其異於一般大氣組成，進而達到延長水果儲存壽命。根據過去的文獻指出，在低氧氣或高二氧化碳濃度的情況下，可以有效抑制水果後熟的情形。芒果在氣調儲存條件氧氣濃度為3%及二氧化碳濃度為6%的條件下時可儲存最長達38天，並能正常熟成，保持良好外觀、氣味、可溶性固形物成分及含糖量；鳳梨的建議氣調儲存條件氧氣濃度為2~5%及二氧化碳濃度為5~10%；鳳梨釋迦建議氣調儲存條件氧氣濃度為3~5%及二氧化碳濃度為5~10%。另外氣調儲存大多數會輔以1-MCP延長水果儲存壽命，1-MCP是一種氣體乙烯抑制劑，其作用之原理為當1-MCP接觸水果細胞中乙烯受體時，會產生不可逆反應而暫緩水果成熟老化之生理反應，目前已廣泛應用於蔬果運輸中。在芒果、鳳梨及鳳梨釋迦儲存上1-MCP亦有所貢獻，可有效延遲水果褐化、減緩水果新陳代謝、限制氧化酶的活性。

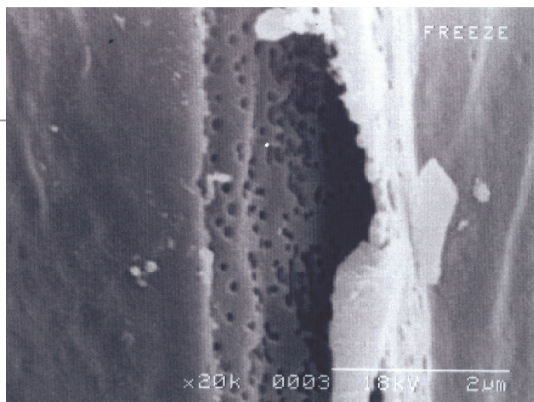
蘇紘立藉由專利與書目分析探討臺灣保鮮技術發展，歸結蔬果保鮮重要性為新鮮度與運銷各國之重要基石，並歸結蔬果保鮮可以呼吸作用、蒸散作用、乙烯作用三方面下手，另指出減少乙烯氣體的產生與接觸，可防止蔬果加速老化，以維持高品質蔬果。劉佩玲指出蔬果保鮮可藉由環境控制、充氣、塗布保鮮劑等方式處理即可得到保鮮效果。環境控制通常就是控制呼吸作用的速率

達成保鮮之目的。常見呼吸作用方式為降低所處之環境溫度，溫度越低蔬果呼吸作用越緩慢，生化反應所消耗蔬果體內醣類亦慢，伴隨乙烯代謝途徑亦會減少產生濃度，蔬果成熟速率減緩而保持其品質。其他還可以利用控制儲藏環境之濕度等減緩蔬果之生理運作。氣體保鮮方式指的是藉由對儲藏環境所含有氣體濃度作人為控制，通常監測、改變二氧化碳、氧氣濃度，抑制蔬果呼吸作用而減緩成熟，常需搭配溫度控制效果較顯著。

水果保鮮除了環境與乙烯濃度控制外，也需要考慮到微生物的影響。Miller等人指出，普遍認知認為柑橘類水果在足夠的室溫下存放可以由綠轉黃，但在實驗室觀察到綠色成熟橘子在儲存箱中有非常高的比例非常快轉變成黃色，他們利用馬鈴薯和番茄做為測試對象，結果發現柑橘類水果本身會散發乙烯外，分離出的*Penicillium digitatum*這種菌種會散發乙烯促進水果成熟及腐敗。

多孔性碳材應用於減緩水果後熟

林業剩餘資材為富含纖維素、半纖維素、木質素之物質，這些組成主要以碳元素所構成，這些材料經過減氧或缺氧高溫環境下，進行熱裂解反應而產生之多孔隙物質，其熱裂解過程常伴隨可燃氣及醋液產生。近年受到廣泛關注生物炭(Biochar)，起源具信是由亞馬遜流域的原住民用來作為土壤改良劑並增加農作物產量，國內學者研究指出利用銀合歡製成之生物炭作為紅土土壤改良劑，結果發現在土壤中添加5%生物炭可以改善土壤酸鹼質、有機碳含量、鹽飽和度等，顯見於土壤中添加生物炭不但可以改善土壤亦可



利用掃描式電子顯微鏡觀察木材經燒製材料表面塌陷及孔隙的形成。(林柏亨攝)

增加土壤肥力，更有碳吸存能力，有望成為解決溫室效應良方。

回顧國內外學者有關多孔性碳材做為減緩水果後熟相關的研究，陳靜修等人的研究指出以漂流木為原料經不同燒製溫度產生之木炭可作為蔬果保鮮使用；Bailén等人研究指出利用不同類型和質量活性炭的乙烯吸附能力，預測乙烯吸附過程的性能，通過浸漬鈣顆粒活性炭(GAC)來改善乙烯的去除，並分析該產品對去除番茄釋放的乙烯的影響，該產品乙烯的最佳模型是Langmuir等溫線，可吸附超過 1.25gL^{-1} ，此研究顯示活性炭具有消除或減緩乙烯對儲存環境水果質量的影響；Fulton等人分別以花旗松和榛果殼各在 370°C 及 620°C 兩種溫度下熱解後製成生物炭，再與泥炭藓以1：1的體積比混合放入血清瓶中，再加入去離子水直至其含水量或飽和，儲存於 21.6°C ，之後定期收集各樣本氣體以氣相層析火焰離子化偵測器檢測其乙烯的含量，檢測結果顯示隨著放置時間的增加，其樣本氣體內的乙烯含量逐漸下降至0；Amirah等人將棕櫚仁殼、甘蔗渣和椰子殼三種不同原料所製成之木炭與香蕉密封在一起，定期檢測其乙烯含量等參數評估其延遲香蕉成熟的效果，結果當香蕉置於椰子殼所

製成之木炭中可延遲其更年峰出現的時間，顯示椰子殼所製成之木炭對於吸收乙烯延緩香蕉熟成的效果最佳；Lonardo等人比較生物炭代替活性碳(activated charcoal)的可能性，他們將白楊木的芽體放入混合生物炭及活性碳的培養基中，經過14天和21天的培育後，發現在含有生物炭的培養基內的乙烯濃度低於不含生物炭的培養基，未來應用在水果保鮮還需要進一步研究。

林業廢棄資材有利水果保鮮

水果保鮮是水果產銷非常重要的關鍵技術，其保鮮時間的長短直接關係供應者的獲利。臺灣熱帶水果品項每年替臺灣賺進大量外匯，亦建立臺灣水果品牌國際形象。倘保鮮環節有任何差錯，恐不符合進口國當地檢疫法規，而造成貿易商嚴重損失，並損壞本國外銷水果地位及形象。

綜觀水果保鮮方式，主要以調控環境減緩其代謝速率及降低微環境乙烯濃度等，水果呼吸型式亦須一併考慮以篩選出最佳的保鮮策略。臺灣每年產生約90萬公噸之林業廢棄資材，高達一半是以傳統焚燒掩埋進行。國內外學者已對多孔性碳材進行減緩水果後熟相關的研究，證實多孔性碳材具有做為水果保鮮產品之潛力。臺灣屬於海島國家許多資源需藉由運輸運自臺灣，林業剩餘資材長期未有有效再利用，可將傳統線性經濟模式引入循環經濟模式概念，將傳統直接掩埋及燃燒林業剩餘資材轉換為高附加價值產品之原料，使資源妥善充分利用，並可望提升產業的競爭力。♻️

(參考文獻請洽作者)