

創傷對‘月華’ 苦瓜果實呼吸作用 及乙烯生成之影響

郭純德¹ 蔡平里²

- 1.國立宜蘭技術學院園藝科
- 2.國立台灣大學園藝學系

摘 要

碰撞，誘使‘月華’ 苦瓜綠熟果實之呼吸率和乙烯生成率，提早大量增加，並導致瓜果迅速老化劣變；摘除苦瓜的果梗，仍造成瓜果輕微傷害，而略減其櫥架壽命。以刀切割處理瓜果，會促使創傷乙烯迅速且大量地生成，停滯期僅約2至3小時；且創傷乙烯的產生，隨切割程度之加重而增加。苦瓜果實的不同組織部分，其呼吸率和乙烯生成速率並不相同；種子及其周圍組織最高，果皮組織次之，縱切對半果實再次之。就果皮組織而言，內果皮部分遠較整個果皮組織及中外果皮部分為高。苦瓜果皮組織，經內徑1.1公分打孔器切割成重約1.2公克之小圓柱，其呼吸率、乙烯生成速率、ACC和MACC含量，在切割後2小時迅速增加，並於第6小時達到高峰後迅速下降，而EFE活性，則在第6小時明顯增加，第10小時達到高峰。

關鍵詞：苦瓜、果實、創傷乙烯、呼吸率、碰撞、切割、櫥架壽命

Wound ethylene production and wound-induced respiration
increment by fruit tissues of bitter gourd (*Momordica
charantia* L., cv. Moon Shine)

Chun-Teh Kuo¹ Ping-Lie Tsai²

1.Department of Horticulture, National I-Lan Institute of Technology

2.Department of Horticulture, National Taiwan University

Abstract

Effects of wounding on respiration, ethylene production and ACC and MACC content, and EFE activity by fruit tissues of 'Moon Shine' bitter gourd was investigated. Wound ethylene production and wound-induced respiration rate increment of many plant tissues, the same as bitter gourd fruit, can be enhanced by various mechanical damage. Respiratory rate and ethylene emanation in the fruit of bitter gourd noticeably increased after impact wounding by dropping, and slightly increased after taken off fruit stalk only. A large amount of ethylene was induced in 2-3 hours after excision of fruit. However, the more excision was made, the more ethylene produced. Ethylene production varied in different excised fruit tissues: seed and aril were higher than pericarp and half fruit; endocarp was higher than mesocarp and epicarp, and pericarp. The respiratory rate, ethylene production, ACC and MACC content, increased remarkably after 2 hours, and reached to its peak after 6 hours when pericarp tissue of mature green fruit was wounded by means of slicing into small column of 1.2 gram. Meanwhile, the

increment in EFE activity and the reach to its peak was found after 6 hours and 10 hours, respectively.

Key words: bitter gourd, *Momordica charantia* L., cv. Moon Shine, fruit, wound ethylene, respiratory rate, impact, excision, shelf-life

前 言

苦瓜 (*Momordica charantia* L.) 係葫蘆科 (Cucurbitaceae) 苦瓜屬一年生經濟栽培的攀緣性草本植物，性喜高溫，其果實屬漿果，在台灣多作為果菜食用[1]。據韓與林氏 (1995) 調查報告指出，台灣苦瓜在貯運過程中經常黃化與霉爛，失去商品價值，機械傷害為三大主要原因之一[2]。蔬菜水果等園產品在貯藏、運輸的過程中，極易受到擦傷、壓傷或切割傷害，而誘導植物組織產生大量的乙烯，造成本身及其他混裝果蔬品質的劣變，甚至失去商品價值[3,4]。創傷包含各種機械性傷害，大都會促使各種蔬果提早後熟或劣敗[3,5,6,7]。

植物體或其組織經切傷或擦傷後，會快速地誘導乙烯合成，此種經由創傷所形成的乙烯，通常稱之為創傷 (或受傷) 乙烯 (wound ethylene) [3,4,8]。在園產品採收後處理學上，創傷乙烯往往是造成許多園產品品質劣變的重要原因之一。除了創傷乙烯之外，因創傷而導致植物組織的呼吸作用異常，二氧化碳大量的生成，也是果實或其組織受傷的一個良好指標[7,9]。

創傷乙烯的生成，主要是由於組織受傷後，會誘導ACC合成酵素 (ACC synthase) 的合成，進而導致ACC含量的累積及乙烯的生成大量增加；簡單的說，植物組織因受傷而快速誘發乙烯的生成，是藉由ACC的合成所控制的 [3,4,8,10]。網紋洋香瓜在受到撞傷之後，會生成大量之創傷乙烯，導致果實迅速軟化劣變[11]。甜橙中果皮[4]和溫州蜜柑果皮[12]經切割後，其ACC含量，乙烯形成酵素 (ethylene forming enzyme; EFE) 活性和創傷乙烯均明顯地增加；印度南瓜[13]及網紋洋香瓜[11]等，也都有相似的反應型式。

近年來，台灣外食人口、速食餐飲業等迅速增加，各類調理蔬果（minimally processed fruits and vegetables）之需求也逐日地急遽增加[14]。所謂調理蔬果，即生鮮的蔬菜水果除了經清洗、整修，再經去皮、切塊、切片或切絲等處理後，封裝在塑膠軟袋內，或以塑膠盤盛裝外覆聚乙烯（PE）膜，供立即食用或及烹調使用者稱之[14,15]。惟蔬果經切割後迅速劣變，其櫥架壽命（shelf-life）大幅減短；苦瓜切片也不例外，據陳氏等（1996）報告指出，在室溫（25至28℃）和15℃下，其櫥架期限分別不到1天和5天[14]。調理苦瓜切片之劣變現象，包括黃化、異味和霉爛。不過其劣變反應之原因及機制並不清楚，無文獻可稽，尚待進一步研究解明之。

本文擬探討碰撞和切割等創傷，對苦瓜的完整果實和果皮組織等，所造成之生理反應（physiological responses）與櫥架壽命之影響。期藉此逐步建立苦瓜果實採後處理流程與調理苦瓜保鮮技術之基本資料，推廣農民與業者參考利用。

材料與方法

本試驗以苦瓜栽培品種‘月華’為材料，取自台南縣東山鄉黃姓農友露天隧道棚架式栽培苦瓜園。試驗用果實於82年3月25日及4月1日授粉標誌，並分別於82年4月16日及4月27日晨採收，當日傍晚抵達台北市台灣大學園藝學系園產品處理研究室進行系列之研究。

一、碰撞與去果梗對完整苦瓜果實劣變之影響

碰撞處理，係以開花後22天及26天綠熟苦瓜，在離地45公分高處以自由落體方式摔落在襯有瓦楞紙板之地面上10次，而對照組為保護極為良好之綠

熟果實。去果梗處理，乃在處理室直接將果梗摘除，而對照組為保留果梗未受傷之綠熟苦瓜。以呼吸率和乙烯生成速率為劣變指標，將經處理之苦瓜單一果實置放在6公升呼吸缸，通以經飽和高錳酸鉀溶液去除乙烯，並經蒸餾水潤濕之新鮮空氣。控制氣體流通之裝置，如Claypool與Keefer氏（1942）所述[16]，流速以每小時換氣一次（6公升）為原則，每天2至3次以塑膠針筒在呼吸缸出氣口抽取1 ml空氣樣品，分別注入氣體色層分析儀(Shimadzu GC-8A)及紅外線氣體分析儀（Rosemount analytical Model 880），測定乙烯及二氧化碳濃度，再換算為果實之呼吸率及乙烯釋放率。

二、切割傷對苦瓜果皮組織呼吸率與創傷乙烯生成之影響

將綠熟苦瓜縱切為1/4、1/16、1/32及對照組之完整果實，分別置於氣體流通之2或5公升呼吸缸內。以自動取樣注射（auto-sampling）系統，分別取得從呼吸缸流出氣體樣本1 ml，注入氣體色層分析儀（中國層析，8700FID）及紅外線氣體分析儀，分別測定乙烯及二氧化碳濃度，再換算為乙烯釋放率及呼吸率。每72分鐘取樣一次，連續24小時。每處理三重複。

三、果實的不同組織部分呼吸率與乙烯之生成

將苦瓜對半縱切，取果皮組織部分、果腔內絨膜組織及種子，以及對照之半個苦瓜。將處理過之樣本置流通氣體呼吸缸內，以自動取樣注射系統，分別取得從呼吸缸流出氣體樣本1 ml，注入氣體色層分析儀（中國層析，8700FID），及紅外線氣體分析儀，測定乙烯及二氧化碳濃度，換算為乙烯釋放率及呼吸率。每72分鐘取樣一次，連續24小時。每處理三重複。

以打孔器切取直徑1.1公分，約1.2公克之苦瓜果皮組織小圓柱，以及將小圓柱形果皮組織之內果皮（endocarp）與中外果皮（meso- & epicarp）切割分開，分別置於呼吸缸中，通入每小時約1公升之加濕新鮮空氣。以自動取樣

系統，每48分鐘取樣，注入氣體色層分析儀及紅外線氣體分析儀，分別測定乙烯生成速率及呼吸率。

四、苦瓜小圓柱果皮組織創傷乙烯之生合成

以打孔器切取直徑1.1公分，約1.2公克之苦瓜果皮組織小圓柱，並分別測定創傷後1.5、3、5、7、8.5小時小圓柱組織之呼吸率，乙烯生成率，ACC含量，MACC含量，及EFE活性之變化。每處理包括三個小圓柱果皮組織，三重複。分析方法與步驟如下所述：

(一) 呼吸率及乙烯生成率之測定

將苦瓜果皮組織小圓柱3個，重約3.6公克置放在以血清塞密封之三角瓶(50ml)內1小時，直接以塑膠針筒抽取1 ml氣體，分別注入氣體色層分析儀及紅外線氣體分析儀，測定乙烯及二氧化碳濃度。

(二) ACC和MACC的萃取與分析

切取2公克果皮組織，置入含5 ml 80%酒精之試管中，在70 °C熱水浴裡抽取組織中的ACC計3次。將抽取液(約15ml)進行減壓蒸發，待酒精及水完全蒸發後，加1 ml去離子水，並使用渦動器(vortex)將試管壁物質全部溶出，取200 µl依Lizada and Yang(1979)之方法定量[17]，以 n mole ACC / g FW表示之。

(三) 活體內EFE活性的測定

活體內EFE之活性，係以小圓柱果皮組織將外加ACC轉變為乙烯的能力來表示[18]。以打孔器切取苦瓜果皮組織小圓柱3個，秤重後置入含有3 ml的酵素分析液之固定瓶中，經減壓至400mmHg大氣壓力持續1分鐘。將小圓柱組織移至50ml三角瓶，通入去乙烯新鮮空氣後密封，置30 °C水浴反應3小時，抽取1 ml氣體，以氣體色層分析儀分析乙烯濃度。

結 果

一、碰撞與去果梗對完整苦瓜果實劣變之影響

嘉南地區春季採收之‘月華’苦瓜，經摔傷後會提早黃化、軟化、及腐爛，呼吸率與創傷乙烯的大幅增加，較對照組提早2至6天（圖1、圖2）。較高採收成熟度（花後26天）的苦瓜，其櫥架壽命較低成熟度者（花後22天）為短[19]。採收成熟度之高低不同，並不能改變因創傷所促成瓜果提早老化劣變之發生；不過相同創傷程度之處理所造成的影響，在高成熟度者較不明顯（圖2），而較低成熟度者則比較明顯（圖1）。摘除苦瓜果梗，仍會造成輕微的創傷，誘使乙烯生成率及呼吸率的提早上升1至2天（圖3）。

二、切割傷對苦瓜果皮組織呼吸率與創傷乙烯生成之影響

綠熟苦瓜果皮組織經不同程度切割後，均約2至3小時大量地產生乙烯，在7至8小時達最高峰，創傷乙烯生成量隨切割程度之增加而增加。呼吸率的變化趨勢和創傷乙烯的相似（圖4）。

三、果實的不同組織部分呼吸率及乙烯之生成

就半個果實大小之果皮組織，種子與其周圍組織，以及半個果實而言，種子與其周圍組織之乙烯生成速率最高，果皮組織居次，而半個果實再次之。種子與其周圍組織和果皮組織之高峰分別在切割後第8及第7小時，而半個果實組織並無明顯之高峰發生；創傷乙烯大量生成之停滯期約2至3小時。呼吸率的生成也有相似之趨勢。不過，種子組織之呼吸率在創傷後馬上增加，並於第4小時達到高峰，而果皮組織及半個果實對照組之呼吸率，在監測24小時內極為穩定並無明顯變化（圖5）。就苦瓜小圓柱果皮組織而言，內果皮之創傷乙烯生成速率最高，於創傷後第6至第8小時達最高峰，停滯期約2至3小時，而果皮組織以及中外果皮組織之創傷乙烯生成速率較低，而且平緩並無明顯

高峰（圖6）。至於呼吸率變化，亦以內果皮組織較高，停滯期也相似約2至3小時，不過呼吸率上升後並不下降，亦無明顯高峰，而中外果皮組織則與乙烯相似，平緩而穩定（圖7）。

四、苦瓜小圓柱果皮組織創傷乙烯之生合成

苦瓜果皮組織經打孔洞切割成約1.2公克小圓柱後，其呼吸率在第3小時開始增加，在4至6小時達高峰。ACC、MACC含量，與創傷乙烯在第2小時開始增加，而均在第6小時達到高峰。EFE活性在創傷後第6小時明顯上升，在第10小時達高峰後下降（圖8）。

討 論

各種機械傷害包括了切、割、擦、壓、碰傷等，都會促使植物器官或組織產生乙烯。雖然植物如何將機械傷害轉為生理反應之化學機制尚未完全解明，不過人類應用它，已有千年的歷史[3]。中東地區無花果（sycamore fig）的熟成（ripening），是利用刀子切刺未成熟果實所誘導的[5]。事實上，無花果果實的發育，受到創傷乙烯的促進[6]。

通常，創傷會促使各種蔬果提早後熟或劣敗[3,5,6,7]。網紋洋香瓜[11]和綠熟番茄果實[20]經落地式碰傷，其會創傷乙烯會明顯地增加。不過也有一些報告指出，碰傷並不會增加乙烯的生成，如胡瓜[21]和蓮霧[22]等。碰傷會導致胡瓜幼果之內果皮與中果皮組織明顯的外傷，但在碰撞後48小時期間，並不會促使該組織乙烯產生量的增加[21]。蓮霧果實容易遭受物理損傷，只要由10公分以上之高度落下即產生明顯碰傷，但這種由不同高度落下，所造成不同程度之碰傷結果，對果實呼吸率或乙烯釋放率，並無明顯促進效應

[22]。經長期貯藏過的金冠 (golden delicious) 蘋果，自30公分高處落地碰撞處理，其乙烯之生成非但沒有增加，反而呈線性地降低[23]。其實，蘋果果實之成熟度，會影響其創傷乙烯的生成；更年前期的蘋果組織經切割後，其乙烯生成增加[24]，不過已達更年高峰的蘋果，其果肉經切割後乙烯之生成不增反減[25]。

碰撞的傷害，會促使綠熟苦瓜創傷乙烯和呼吸率提早且大量地生成 (圖1，圖2)，導致提早後熟和劣敗，和網紋洋香瓜[11]與綠熟番茄[20]相似。花後26天成熟度的綠熟苦瓜，經碰撞後其後熟劣變僅提早1至2天 (圖2)，而花後22天成熟度的綠熟苦瓜，則因碰撞其後熟劣變提早約3至6天 (圖1)。由此可知，就綠熟苦瓜而言，成熟度之高低，僅僅改變碰撞所造成的傷害程度，而不能影響碰撞所造成傷害的發生與否。更高成熟度，如已達更年高峰的苦瓜，經切割後其乙烯生成率，是否如更年高峰蘋果般的下降，因未經試驗故不可得知。但成熟度越高苦瓜創傷乙烯越不明顯，可能係組織日益老化，乙烯生成能力降低所致 (圖1、圖2)。

就如同其他逆境一般，創傷誘發許多蔬菜水果產生大量乙烯；創傷乙烯的產生，隨著創傷程度的嚴重性增加而增加，但嚴重到某一程度之後則銳減。早期的研究者發現蘋果、番茄與甘藷組織經切半後，其乙烯生成明顯增加，但進一步切碎或打成碎泥 (homogenized) 後，乙烯之產量減少，甚至不產生 [26]。植物組織經切、割等 (cutting, excision, separation, subdivision) 創傷後，會誘導大量的創傷乙烯生成，例如無花果幼果[6]、牽牛花花瓣[27]及酪梨果肉組織[28]等。綠熟苦瓜果皮組織經切割後，其乙烯生成速率均較未切傷完整的瓜果為高，而且大量增加的發生時間較早 (圖4)。網紋洋香瓜[11]和硬皮甜瓜[7]的果肉組織也有相同的生理反應。

長度2公分菜豆葉柄片段之乙烯生成量，隨著再切段數目的增加與切割面面積的增加，而按比率地增加[29]。甘藷因切割誘致乙烯的生成量係隨著切割面面積按對數比率（in proportion to the logarithm）增加[26]。溫州蜜柑幼果經切割為完整果實1/8、1/4、1/2等塊狀組織後，其創傷乙烯生成速率高峰無明顯不同，惟隨著創傷嚴重性之增加，其乙烯提早大量生成[30]。經切割為完整果實1/32、1/16、1/4大小的條狀苦瓜果皮組織，其創傷乙烯的生成速率均較完整果實為高，而且隨著創傷程度的嚴重性增加而增加；不過各種不同切割程度之乙烯生成，在時序上並無明顯不同，約在創傷後2至3小時開始大量生成。（圖4）就不同切割程度對創傷乙烯生成時序上及生成量多寡上，苦瓜和溫州蜜柑對切割創傷的生理反應並不相同。除了創傷程度大小，影響其創傷乙烯生成之外，溫度也會影響它的生成。黃化豌豆幼苗生長部位經切離後，會誘導乙烯的形成，而且此乙烯的生成，與溫度及氧濃度都有密切關係[31]。酪梨果實經切傷後，在14℃下其後熟指標如乙烯高峰、呼吸更年高峰，均較未受傷果實提早2天；不過在20℃，二者之後熟速度相近並無差異[32]。

創傷乙烯的生成，都是短時間而且大量的。乙烯產生量極低的牽牛花，在受傷後1小時，增加10倍[27]。印度南瓜果皮組織經切割後，在幾個小時之內其乙烯產生量，ACC含量，及ACC合成酵素活性均增加了好幾倍[33]。許多的研究報告指出，植物組織創傷乙烯的生成，並不是立刻激增的，創傷乙烯的產生會有一停滯期（lag period），其後才會快速明顯的上升[10,34]。番茄組織經切割創傷後，經30分鐘停滯期後，乙烯生成才快速增加[10]，白化豌豆苗切段之停滯期30分鐘[34]，印度南瓜需時3小時[13,35]，網紋洋香瓜需2小時[11]，而酪梨果肉組織圓片則需24小時[28]。就如同其他植物組織一樣，苦瓜果皮組織切片或小圓柱之創傷乙烯生成，並不是立即且大量的，其停滯期約2至3小時（圖4、圖5、圖6、圖8）。Saltveit和Dilley氏（1978）曾經推測

認為停滯期，是內在乙烯擴散的結果，而快速增加期，則是由於乙烯之生成被誘發所導致[36]。Hoffman & Yang氏(1982)以實驗證實了這樣的推測，他們利用蛋白質合成抑制劑可以有效延長停滯期，顯示植物體在受傷後，最初產生的少量乙烯是由其植物原本之乙烯擴散而得，其後大量激增的乙烯是由於生成乙烯的有關酵素，如ACC合成酵素(ACC synthase)和乙烯形成酵素(EFE)，被創傷誘發所導致，因此，抑制蛋白質的合成，即延遲了創傷乙烯高峰的到來[37]。苦瓜果皮組織小圓柱，其EFE活性在切割後第六小時才明顯增加，第10小時達到高峰(圖8)。

相對於葉片或胚軸組織，貯藏器官和果實之組織對於創傷的反應較慢。甘蔗根部組織片段在切割後1.5小時其創傷乙烯達高峰，3小時即降低到未經切傷之生成速率[38]；甘蔗葉片組織圓片經切割後很快地增加10倍，而在切割後2小時即快速降低[39]。然而，綠熟香蕉經切片後1個小時，其乙烯生成率由0.05增加到0.4 $\mu\text{l/kg/hour}$ ，第10小時增加到1.0 $\mu\text{l/kg/hour}$ ，但第20個小時則降低到0.4 $\mu\text{l/kg/hour}$ 。完整馬鈴薯其乙烯生成量約0.015 $\mu\text{l/kg/hour}$ ，經切割後很快地增加到0.4 $\mu\text{l/kg/hour}$ ，經過12小時降低至0.1 $\mu\text{l/kg/hour}$ [40]。番瓜果實與葉片經切割後產生大量乙烯，兩者之停滯期大不相同，分別為90分鐘與10分鐘[41]。

植物器官不同的組織部位，其乙烯生成速率並不相同。番瓜果實表皮(epidermis)之乙烯之生成量，為其緊臨之果皮組織(fruit pericarp tissue)之2倍[42]。而就酪梨幼果的各個組織部位之乙烯生成速率而言，種皮(seed coat)最高，為果實切割前的400倍，果皮組織和子葉(cotyledons)較低，而種仁(endosperm)則沒有受到刺激與促進。乙烯的大量生成，與ACC含量及ACC合成酵素活性增加是平行配合進行的。成熟酪梨之果皮組織，對創傷的敏感度遠較幼果者為高[43]。綠熟苦瓜果實不同器官或組織部分，其呼吸率

和乙烯生成速率不相同；種子及其周圍絨膜組織最高，為苦瓜果實切離前之3倍和100倍以上，對半縱切果實之果皮組織較低，分別為2倍和10倍，而對半縱切之果實則更低，分別為2倍和3倍（圖5）。

綠熟苦瓜之果皮組織，以打孔器切取重約1.2g之小圓柱果皮組織，並將其內果皮及中外果皮組織切開分離後，內果皮組織之呼吸率與創傷乙烯生成率，經2至3小時後大量增加，創傷乙烯在第6到8小時達到高峰，增加約15至20倍，之後緩緩下降，因創傷誘發之呼吸率增加，則在5到8小時達到高峰，增加約15至20倍，並且居高不下（圖6、圖7）。小圓柱果皮組織之呼吸率及乙烯生成率，在切割後2至3小時開始增加，創傷乙烯在6至8小時達高峰，約為原來之5倍，而呼吸率在5至6小時左右達高峰，約為原來之2倍（圖6、圖7）。就果皮組織、內果皮組織與中外果皮組織，對切割的生理反應而言，內果皮遠大於果皮組織與中外果皮（圖6、圖7）。此可能與各種組織之結構及組成細胞不同所致，值得更進一步探討。

植物組織創傷乙烯的生成，和果實在後熟過程中自動催化乙烯生成之途徑（pathway）與調控（regulation），應該是大同小異的[4,28,37]。酪梨果肉組織圓片所誘導產生的乙烯，也有促進後熟生理作用（ripening function）；基本上，這些被誘發的生理作用，與完整沒有受傷的果實在後熟過程中所表現的生理作用是相同的[28]。早期有關創傷乙烯生合成的研究結果顯示，創傷誘導ACC合成酵素的合成與ACC含量的增加，而導致大量的乙烯生成[4,8,10]。另有一些報告指出，創傷不但誘發ACC合成酵素的合成，同時也誘發EFE的合成[11,28,37]。苦瓜小圓柱果皮組織經切割創傷後2小時，在乙烯大量生成的同時，ACC和MACC含量及呼吸率均同步地大量增加，並均於第6小時達到高峰後迅速降低，而EFE活性則於第6小時開始明顯增加並在第10小

時達到高峰後逐漸下降（圖8）。上述結果和番茄[4]、網紋洋香瓜[11]、酪梨[28]與硬皮甜瓜[37]等是相似的。

綠熟番茄果皮組織經創傷後，再外加cycloheximide（CHI）處理，因創傷而誘導的ACC合成酵素的活性，在30分鐘內就明顯地減半[4]。網紋洋香瓜果肉組織圓片切割創傷後，乙烯的生成速率的大幅增加的同時，圓片組織內的ACC合成酵素含量以及EFE活性亦隨之增加；ACC合成酵素與EFE之生成，均受到蛋白質合成抑制劑 CHI的抑制，此表示創傷乙烯誘發乙烯生成增加，是由於此二酵素之重新被誘導合成所導致[11]。黃氏（1993）將網紋洋香瓜果肉圓片創傷後，以過氯酸汞吸收釋出的創傷乙烯，可抑制EFE的活性之增加；而外加乙烯作用抑制劑 2,5-norbornadiene（NBD）處理創傷圓片，亦能抑制EFE活性之增加；而且外加乙烯的處理會使EFE的活性增加。按上述結果推論，洋香瓜創傷乙烯生成時EFE之增加，部分係受到創傷乙烯的回饋（feedback）刺激所導致[11]。有趣的是，南瓜中果皮組織圓片經乙烯作用抑制劑NBD處理，可促進因受傷所誘導的ACC合成酵素之活性，而外加乙烯則抑制了ACC合成酵素的活性，顯示植物組織經過創傷所誘發形成的乙烯，也會抑制ACC合成酵素的被誘導生成[44]。

結球萵苣經切傷後，其乙烯生成和ACC合成酵素以及苯丙氨酸基裂解酵素（phenylalanine ammonia-lyase; PAL）大量增加。不過，創傷乙烯並非促使PAL活性增加之因子。因為創傷所誘導的PAL之增加，在時序上遠較逆境乙烯為早，而且外加乙烯合成抑制劑AVG，並不能阻止切割所誘導的PAL活性之增加[45]。Henstrand 和 Handa氏（1989）的報告指出，番茄果皮組織經創傷所引起生理反應，有85%不是藉由創傷乙烯所誘導的，因為外加乙烯作用抑制劑STS和NBD，並不能影響由創傷引起的生理表現[46]。許多的報告顯示，分解細胞壁的酵素（如polygalacturonase, cellulysin等）細胞壁被分解後

的產物以及一些誘發因子 (elicitors) 等，均能夠促進乙烯的生成。有些專家因此而推論，當植物組織受傷時，細胞壁內某種成分被釋放出來，作為一種信號，而誘致乙烯的大量合成 [47,48]。利用免疫交叉反應 (immuno cross-reactivity) 的檢定，發現創傷所誘導的ACC合成酵素，與auxin所誘導的ACC合成酵素，不是同一種蛋白質；因之，創傷與Auxin所誘導的ACC合成酵素，可能是受不同的基因所控制的[49]。植物組織受傷後，會誘致許多基因的表現[50]。然而，大部分的基因表現，並非由受傷乙烯所誘導或控制的 [46]。

機械採收胡瓜之乙烯生成量，為人工採收者之2至3倍，容易導致產品品質之劣變[51]。Peonike氏等人 (1977) 推論，上述乙烯的明顯增加，一來是由於機械切、擦、碰傷誘使創傷乙烯的生成，二來有可能是來自母體之幼年性物質 (juvenility substances) 被截斷了所致。綠熟苦瓜果實在28℃下，櫥架壽命約2至3天[作者未發表資料]；在21℃下其櫥架壽命約4至7天，並且因成熟度不同而有差異 (圖1，圖2)。至於作為調理蔬果的苦瓜果皮組織切片 (寬約2公分)，在28℃及下1天內就黃化、劣變與霉爛[14]，亦即其櫥架壽命不到1天，遠較完整果實為短。此乃因蔬果組織經切割受創嚴重，不但呼吸作用加速進行，一些酵素性及非酵素性之褐變發生，微生物活動等亦十分興旺，導致調理蔬果櫥架壽命，遠遠低於一般的蔬菜和水果[14,15]。總而言之，園產品極易受到各種創傷，刺激乙烯的生成導致產品快速劣變，而減少其新鮮度和櫥架壽命。所以，任何可能會造成植物組織受傷的因素，不論在採收、貯運或行銷過程中，都應極力避免。本來就容易劣變的苦瓜果實及其組織，當然更不例外。

參考文獻

- 1.王進生 (1994), 「 苦瓜 」, 園藝之友, 第四十一期, 第35-38頁。
- 2.韓青梅、林棟樑 (1995), 「 夏季期間南菜北運改良處理技術應用效果之調查 », 83年度建立農水畜產品低溫運銷系統計畫成果報告, 第57-61頁。
- 3.Albeles, F. B., P.W. Morgan and M. E. Saltveit, Jr. (1992), Ethylene in plant biology (2nd ed.), pp.56-119., Academic press, Inc. SanDiego.
- 4.Yu, Y. and S. F. Yang (1980), “Biosynthesis of wound ethylene”, Plant Physiol., Vol.66, pp.281-285.
- 5.Galil, J. (1968), “An ancient technique for ripening sycamore fruit in East-Mediterranean countries”, Econ. Bot., Vol .22, pp.178-190.
- 6.Zeroni, M., S. Ben-Yehoshua, and J. Galil (1972), “Relationship between ethylene and the growth of *Ficus sycomorus*”, Plant Physiol., Vol.50, pp.378-381.
- 7.McGlasson, W. B. and H. K. Pratt (1964), ”Effects of wounding on respiration and ethylene production by Cantaloupe fruit tissue”, Plant Physiol., Vol.39, pp.128-132.
- 8.Boller, T. and H. Kende (1980), ”Regulation of wound ethylene synthesis in plants”, Nature, Vol.286, pp.259-260.
- 9.Burton, C.L. and N. L. Schulte-Pason (1987), “Carbon dioxide as an indicator of fruit impact damage”, HortScience, Vol.22, pp.281-282.
- 10.Konze, J. R. and G. M. K. Kwiatkowski (1981), “Rapidly induced ethylene formation after wounding is controlled by the regulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthesis”, Planta, Vol.151, pp.327-330.
- 11.黃維嫻 (1993), 洋香瓜創傷乙烯合成調控之研究, 國立臺灣大學園藝研究所碩士論文, 85頁。

12. Shimokawa, K. (1983), “An ethylene-forming enzyme in *Citrus unshiu* fruits”, *Phytochemistry*, Vol.22, pp.1903-1908.
13. Hyodo, H., K. Tanaka and K. Watanabe (1983), “Wound-induced ethylene production and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthesis in mesocarp tissue of winter squash fruit”, *Plant Cell Physiol.*, Vol.24, pp.963-969.
14. 陳如茵、蔡美珠、錢明賽 (1996), 「溫度及處理方式對調理蔬果櫥架期之影響」, *中國園藝*, 第四十二卷, 第249-261頁。
15. King Jr, A. D. and H. R. Bolin (1989), ”Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruit and vegetables” *Food Technol.*, Vol.42, pp.132-135.
16. Claypool, L. L. and R. M. Keefer (1942), ”A colorimetric method for CO₂ determination in respiration studies”, *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, Vol.40, pp.177-186.
17. Lizada, M. C. C. and S. F. Yang (1979), “A simple and sensitive assay for ACC”, *Anal. Biochem.*, Vol.100, pp.140-145.
18. Ververdis, P. and P. John (1991), “Complete recovery *in vitro* of ethylene-forming enzyme activity”, *Phytochemistry*, Vol.30, pp.725-727.
19. 郭純德 (1987), 苦瓜果實採收成熟度與採收後生理之研究, 國立臺灣大學園藝研究所碩士論文, 70頁。
20. MacLeod, R. F., A. A. Kader, and L. L. Morris (1976), “Stimulation of ethylene and CO₂ production of mature-green tomatoes by impact bruising”, *HortScience*, Vol.11, pp.604-606.
21. Miller, A.R., J. P. Dalmsso, and D. W. Kretchman (1987), “Mechanical stress, storage time, and temperature influence cell wall-degrading enzymes,

- firmness, and ethylene production by cucumbers”, J. Amer. Soc. Hort. Sci., Vol.112, pp.666-671.
- 22.洪登村、林宗賢、蔡平里、方祖達 (1989), 「蓮霧果實的損傷概況及寒害病徵觀察」, 興大園藝, 第14卷, 第45-60頁。
- 23.Robitaille, H. A. and H. A. Janick (1973), “Ethylene production and bruise injury in apple”, J. Amer. Soc. Hort. Sci., Vol.98, pp.411-413.
- 24.Rhodes, M. J. C., T. Galil, L. S. C. Woollorton, and A. C. Hulme(1968), “The development of a malate decarboxylation system during the aging of apple disks ”, Phytochemistry, Vol.7, pp.405-408.
- 25.Burg, S. P. and K. V. Thimann(1960), ”Studies on the ethylene of apple tissue”, Plant Physiol., Vol.35, pp.24-35.
- 26.Imaseki, H., I. Uritani and M. A. Stahmann(1968), ”Production of ethylene by injured sweet potato tissue”, Plant Cell Physiol., Vol.9, pp.757-768.
- 27.Hanson, A. D. and H. Kende (1976), “Biosynthesis of wound ethylene in morning-glory flower tissue”, Plant Physiol., Vol.57, pp.538-541.
- 28.Starrett, D. A. and G. G. Laties(1991), ”Involvement of wound and climacteric ethylene in ripening avocado discs”, Plant Physiol., Vol.97, pp.720-729.
- 29.Jackson, M. B. and D. J. Osborne (1970), “Ethylene, the natural regulator of leaf abscission”, Nature, Vol.225, pp.1019-1022.
- 30.Hyodo, H. (1977), ”Ethylene production and respiration of Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.)fruit harvested at different stages of development”, J. Japan. Soc. Hort. Sci., Vol.45, pp.427-432.
- 31.Saltveit, M. E. Jr. and D. R. Dilley(1978b), “Rapidly induced wound ethylene from excised segments of etiolated *Pisum sativum* L., cv Alaska. II Oxygen and temperature dependency”, Plant Physiol., Vol.61, pp.675-679.

- 32.Zauberman, G. and Y. Fuchs (1981) , “Effect of wounding on ‘ Fuerte ’ avocado ripening”, HortScience, Vol.16, pp.496-497.
- 33.Hyodo, H., K. Tanaka and J. Yoshisaka (1985) , “Induction of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase in wounded mesocarp tissue of winter squash fruit and the effects of ethylene”, Plant Cell Physiol., Vol.26, pp.161-167.
- 34.Saltveit, M. E. Jr. and D. R. Dilley (1978a) , “Rapidly induced wounded ethylene from excised segments etiolated *Pisum sativum* L. cv Alaska. I. Characterization of the response”, Plant Physiol., Vol.61, pp.447-450.
- 35.Hyodo, H. (1991) , “Wound-induced ethylene synthesis and its involvement in enzyme induction in mesocarp tissue of *Cucurbita maxima*”, Postharvest Biol. Technol., Vol.1, pp.127-136.
- 36.Saltveit, M. E. Jr. and D. R. Dilley (1978c) , “Rapidly induced wounded ethylene from excised segments etiolated *Pisum sativum* L. cv Alaska. III. Induction and transmission of the response”, Plant Physiol., Vol.62, pp.710-712.
- 37.Hoffman, N. and S. F. Yang(1982) , “Enhancement of wound-induced ethylene synthesis by ethylene in preclimacteric Cantaloupe”, Plant Physiol., Vol.69, pp.317-322.
- 38.Saftner, R. A. (1986) , “Effect of ethylene on sucrose uptake in root discs of sugar beet”, Plant Cell Physiol., Vol. 27, pp.853-860.
- 39.Aharoni, N. and S. F. Yang (1983) , “Auxin-induced ethylene production as related to auxin metabolism in leaf discs of tobacco and sugar beet”, Plant Physiol., Vol.73, pp.598-604.

40. McGlasson, W. B. (1969) , “Ethylene production by slices of green fruit and potato tuber tissue during the development of induced respiration”, *Aust. J. Biol. Sci.*, Vol.22, pp.489-491.
41. Smith, C. J. S., A. Slater, and D. Grierson (1986) , ‘Rapid appearance of an mRNA correlated with ethylene synthesis encoding a protein of molecular weight 35,000”, *Planta*, Vol.168, pp.94-100.
42. Ketsa, S.(1985) , “The role of epidermis in wound ethylene production by fruit pericarp tissue of *rin* mutant tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)”, *Kasetsart J.* 19:59-64. (Cited by Abeles *et al.* eds, 1992).
43. Sitrit, Y., A. Blumenfeld, and J. Riov (1987) , “Ethylene biosynthesis in tissue of young and mature avocado fruit”, *Physiol. Plant*, Vol.69, pp.504-510.
44. Hyodo, H., and H. Fujinami (1989) , “The effects of 2,5-norbornadiene on the induction of the activity of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase and of phenylalanine ammonialyase in wounded mesocarp tissue of *Cucurbita maxima*”, *Plant Cell Physiol.*, Vol.30, pp.857-860.
45. Ke, D. and M. E. Saltveit, Jr. (1989) , ”Wounded-induced ethylene production, phenolic metabolism and susceptibility to russet spotting in iceberg lettuce”, *Physiol. Plant*, Vol.76, pp.412-418.
46. Henstrand, J. M. and A. K. Handa(1989) , ”Effect of ethylene action inhibitors upon wound-induced gene expression in tomato pericarp”, *Plant Physiol.*, Vol.91, pp.157-162.
47. Campbell, A. D. and J. M. Labavitch (1991) , “Induction and regulation of ethylene biosynthesis and ripening by pectic oligomers in tomato pericarp discs”, *Plant Physiol.*, Vol.97, pp.706-713.

48. Felix, G., D. G. Grpsskopf, M. Regenass, C. W. Basse, and T. Boller (1991) , "Elicitor-induced ethylene biosynthesis in tomato cells", *Plant Physiol.*, Vol.97, pp.19-25.
49. Nakagawa, N., H. Mori, K. Yamazaki, and H. Imaseki (1991) , "Cloning of a complementary DNA for auxin-induced 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase and differential expression of the gene by auxin and wounding", *Plant Cell Physiol.*, Vol.32, pp.1153-1163.
50. Mehta, R. A., B.L. Parsons, A.M. Metha, H. L. Nakhasi, and A.K. Matoo (1991) , "Differential protein metabolism and gene expression in tomato fruit during wounding stress", *Plant Cell Physiol.*, Vol.32, pp.1057-1065.
51. Peonike, E. F., S. J. Kays, D. A. Smittle, and R. E. Williamson (1977) , "Ethylene in relation to postharvest quality deterioration in processing cucumbers", *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, Vol.102, pp.303-306.

圖1. 開花後22天的‘月華’苦瓜果實經摔傷後，在21℃恆溫室中呼吸率及乙烯生成率之變化。

Fig.1. Changes in respiratory rate and ethylene production rate in harvested fruit of ‘ Moon Shine ’ bitter gourd at maturity of 22 days after anthesis by dropping impact at 21℃ .

圖2. 開花後26天的‘月華’苦瓜果實經摔傷後，在21℃恆溫室中呼吸率及乙
烯生成率之變化。

Fig.2. Changes in respiratory rate and ethylene production rate in harvested fruit
of ‘ Moon Shine ’ bitter gourd at maturity of 26 days after anthesis by
dropping impact at 21℃ .

圖3. 開花後26天的‘月華’苦瓜果實經摘除果梗後，在21℃恆溫室中呼吸率及乙烯生成率之變化。

Fig.3. Changes in respiratory rate and ethylene production rate in harvested fruit of ‘ Moon Shine ’ bitter gourd at maturity of 26 days after anthesis by take off fruit stalk at 21℃ .

圖4. 綠熟苦瓜經縱向切成1/4、1/16、1/32個果實大小樣品，在21℃恆溫室中呼吸率與乙烯生成率之變化。圖示每數值為三重複之平均。

Fig.4. Changes in respiratory rate and ethylene production rate of 1/4, 1/16, 1/32 fruit and whole fruit of bitter gourd at mature green stage after excision at 21℃. Each value is the mean of 3 replications.

圖5. 綠熟苦瓜經切割為半個果實、半個果實果皮組織、及半個果實內含的種子和假種皮，在21℃恆溫室中呼吸率與乙烯生成率之變化。圖示每一數值為三重複之平均。

Fig.5. Changes in respiratory rate and ethylene production rate of 1/2 fruit, pericarp of 1/2 fruit, and seed and aril of 1/2 fruit of bitter melon at mature green stage after excision at 21℃. Each value is the mean of 3 replications.

圖6. 綠熟苦瓜果實經切割為果皮組織、內果皮組織、及中外果皮組織圓片，在21℃恆溫室中其乙烯生成率之變化。圖示每一數值為三重複之平均。最上圖之果皮組織無數據，係因該取樣系統通路受阻所致。

Fig.6. Changes in ethylene production rate of pericarp, endocarp, and mesocarp+epicarp discs of bitter melon fruit at mature green stage after excision at 21°C. Each value is the mean of 3 replications. One missing data of pericarp was due to one channel of auto-sampling system out of function.

圖7. 綠熟苦瓜果實經切割為果皮組織、內果皮組織、及中外果皮組織圓片，在21℃恆溫室中其呼吸率之變化。圖示每一數值為三重複之平均。最上圖之果皮組織無數據，係因該取樣系統通路受阻所致。

Fig.7. Changes in respiratory rate of pericarp, endocarp, and mesocarp+epicarp discs of bitter gourd fruit at mature green stage after excision at 21℃. Each value is the mean of 3 replications. One missing data of pericarp was due to one channel of auto-sampling system out of function.

圖8. 綠熟苦瓜果皮組織經切割為小圓柱後，在21℃恆溫室中其呼吸率、乙烯生成率、ACC與MACC含量及EFE活性之變化。圖示每一數值為三重複之平均。

Fig.8. Changes in respiratory rate, ethylene production, ACC and MACC content, and EFE activity in pericarp tissues of bitter gourd fruit at mature green stage after excision at 21℃. Each value is the mean of 3 replications.