番木瓜葉片高溫逆境指標之比較

李 芸 嫣[1)] 謝 慶 昌[2)]

關鍵字：番木瓜、葉綠素螢光、電解質滲漏率、乙烯釋放率、呼吸率

摘要：本研究主要比較番木瓜高溫逆境指標。全球暖化伴隨著極端氣象，對農業生產的衝擊與影響日益受到重視，因此篩選出具有耐熱之基因型是重要的。本試驗以網室栽培番木瓜品種'Havay'、'Thailand-1'，採取成熟葉片(45°角)作為材料，以50 ℃作為高溫逆境篩選溫度，結果顯示，葉綠素螢光變化與電解質滲漏率、乙烯釋放率及呼吸率皆有良好之正相關性；且葉綠素螢光測定的方法簡單、快速、靈敏且為非破壞性檢測，因此葉綠素螢光可以作為番木瓜在高溫逆境下非破壞性生理指標，可快速篩選出具有耐熱潛力之品種，加速育種選拔效率。

前 言

近十年來人類所關切的議題之一就是全球暖化，以目前氣候變遷的趨勢，到 21 世紀末全球溫度平均可能上升攝氏 1.5-5.8 ℃(Rosenzweing *et al*., 2001)。生長季節每提高 1℃造成美國中西部地區玉米和大豆產量減少 17 % (Lobell and Asner, 2003)、菲律賓稻米產量減少 15% (Peng *et al*., 2003)。過去一世紀以來全球氣溫上升約 0.6 ℃ (Liao, 1998)，根據我國氣候變遷研究單位的報告顯示，台灣過去百年來氣溫上升的速率遠大於全球平均值(近藤和盧，2009)，顯示台灣長期暖化趨勢較全球平均值高，更須重視暖化的問題。作物感受到逆境傷害時，應當會啟動相對應的生理機制，栽培者若能察知此變化，或許能以此作為非生物逆境的判別依據，提早作出因應。尋求理想的評估逆境傷害程度的方法，必須快速、靈敏且對組織非破壞性，本試驗比較葉綠素螢光、電解質滲漏率、乙烯釋放率和呼吸率等四種高溫逆境指標，評估高溫逆境對番木瓜葉片的影響，期葉綠素螢光技術能應用在生理與植物育種上，加速番木瓜耐高溫品種之選育。

---

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。
2) 國立中興大學園藝學系副教授，通訊作者。

材 料 與 方 法

一、試驗材料

本試驗材料取網室栽培的'Havay'、'Thailand-1'品種番木瓜，採取成熟葉片(45°角)。

二、試驗方法

於 2011 年 03 月 15 日採取成熟葉片(45°角)，摘採後的葉片先用濕紙巾將表面擦拭乾淨，裁剪成約 5x5 cm 大小，葉片中間部份畫上兩個直徑大於 1 cm 的圓形，作為以後測量部位。為了減少葉片失水，將葉片放置鋪有兩張紙巾且加 3 ml 純水的培養皿中，置於 50 ℃高溫黑暗環境下，每 1 小時以攜帶式葉綠素螢光分析儀測定葉片。每一品種 4 重複。

於 2011 年 12 月 01 日採樣，摘採後的葉片先用濕紙巾將表面擦拭乾淨，每葉中間部份以打孔器(直徑 1.0 和 1.8 cm)取圓片，為了減少葉圓片失水，將圓片放到鋪有兩張紙巾且加 3 ml 純水的培養皿中，放置於 50 ℃高溫黑暗環境下，每 2 小時測量其電解質滲漏率、乙烯釋放率和呼吸率。每一品種 3 重複。

三、調查項目

(一)葉綠素螢光

先以黑色絨布覆蓋住樣品，進行暗適應(dark-adapted)處理 30 分鐘，再利用攜帶式葉綠素螢光分析儀(portable chlorophyll fluorometer, MiNi-PAM, Walz, Germany)測定。其探針可藉由特殊光纖(Special Fiberoptic 2010-F)提供測定光及飽和脈衝光，並計算光系統 II 之活性，以 Fv/Fm 表示之。螢光參數：

(1)Fo：最低螢光值(minimum fluorescence)

(2)Fm：最高螢光值(maximum fluorescence)

(3)Fv：最高至最低螢光值之間的差值(variable fluorescence)，計算公式為 Fv = (Fm-Fo)

(4)Fv/Fm：光系統 II 在暗適應(dark-adapted)下的最高光效能(maximum quantum yield)，計算公式為 Fv/Fm =(Fm-Fo)/Fm，可描述光合作用胞器之生理狀態，健康植株其 Fv/Fm 幾乎是常數(0.832±0.004)。

(二)電解質滲漏率

將一片葉圓片(直徑 1.8 cm)放入置 EC 瓶中，並加入 5 ml 純水，以 90 rpm 震盪 3 小時後，以電導度計(electrical conductivity meter, SUNTEX, Taiwan)測定初始電導度(initial electrical conductivity, EC0)；再將 EC 瓶置於-20 ℃下一天，以低溫破壞其膜體系統，取出解凍後再震盪 3 小時，測定其最大電導度(maximum electrical conductivity, EC1)。計算公式：EC(%) =(EC0/EC1)×100 %。

(三)乙烯釋放率

將三片葉圓片(直徑 1.0 cm)置於 25 ml 三角瓶中，密閉 2 小時後抽取 1 ml 瓶內氣體，以氣相層析儀(gas chromatograph, Shimadzu. Model GC-8A-FID)測定其乙烯濃度，計算乙烯釋放率，單位以 μl $C_2H_4/kg^{-1}hr^{-1}$ 表示之。

(四)呼吸率

將三片葉圓片(直徑 1.0 cm)置於 25 ml 三角瓶中，密閉 2 小時後抽取 1 ml 瓶內氣體，以紅外線二氧化碳分析儀(IR-analyer, Maihak, UNOR610)測定其二氧化碳濃度，並計算呼吸率，單位以 ml $CO_2/kg^{-1}hr^{-1}$ 表示之。

結 果 與 討 論

一、葉綠素螢光

葉綠素是植物界最普遍的吸光色素，也是光合作用中最主要捕捉光能的光合色素，通常葉綠素分子吸收波長在 650-680 nm 的紅光，分子會由基態 S_0 跳渡到激發態 S_1；另外，吸收波長在 420-450 nm 的藍光，分子會由基態 S_0 跳渡到激發態 S_2，因為被激發的葉綠素分子很不穩定，會放出一切熱能以快速沉降到 S_1 的最底層，接著葉綠素分子從 S_1 回到 S_0 時，其能量的釋放有幾種不同的途徑: (1)光化學途徑，天線分子吸收的光能，其能量以感應共振或非輻射傳送的形式傳給反應中心，反應中再傳遞電子，經由電子傳遞鏈產生 ATP 和 NADPH 供暗反應使用；(2)非光化學途徑，天線分子主要以熱的形式消散過多能量；(3)釋放螢光，螢光為一種光的形式，波長大約在 670-690 nm。葉片中葉綠素分子吸收的光能，可以用來驅動光合作用(光化學)，當光合作用場所(膜系統)受損，無法進行光化學反應，則過剩的能量以熱能或葉綠素螢光消散，避免累積過多能量產生活性氧造成組織傷害(江，2007；Krause and Weis, 1991)，因此可以藉由測定葉綠素螢光產量評估植物受溫度逆境傷害程度。

利用葉綠素螢光儀，從得到的螢光誘導曲線變化量化光合作用，可以得到一些螢光參數；Fo 最低螢光值、Fm 最高螢光值、Fv/Fm 暗適應下 PS II 的最高光效能、光照下 qP 光化學消散、qN 非光化學消散、NPQ 非光化學消散，qN 與 NPQ 代表意義相似，只是計算方式不同(黃，2005；Butker, 1978; Bilger and Bjorkman, 1990)。在逆境下，Fo、qN、NPQ 會上升；Fm、Fv/Fm、qP 則是下降。Fo 上升是因為激發能進入反應中心的速率下降，或者部分葉綠素天線與反應中心分離；Fm 下降主要和水解酵素活性降低，或 PS II 內和環繞在 PS II 之電子傳遞減緩有關；逆境下電子傳遞受阻，因此 qP 下降、qN 和 NPQ 上升。這些螢光參數有助於評估植株在逆境的生理表現。

葉綠素螢光參數 Fv/Fm 已廣泛用於評估逆境誘導光合系統改變(Sthapit *et al*., 1995; Binder and Fielder, 1996; Nedbal *et al*., 2000; Taub *et al*., 2000; Perks *et al*., 2004)，因為 Fv/Fm 下降代表 PS II 反應中心光傷害或是螢光消散增加，兩者皆是逆境干擾植物生理的指標(Hsu, 2007)。番茄葉片(Willits and Peet, 2001)、龍眼(Yamada *et al*.,1996)葉片、酪梨果實(Woolf and Laing, 1996)的 Fv/Fm 皆會隨著溫度增加而下降；本試驗結果亦相同結果，兩品種番木瓜成熟葉片其葉綠素螢光值(Fv/Fm)皆會隨著高溫處理時間增加而下降，50 ℃處理

2 小時後，'Havay'和'Thailand-1'的 Fv/Fm 分別下降約 44.4 和 91.5 % (圖 1)。Song 等(2001)將四種品種蘋果果實'McIntosh'、'Cortland'、'Jonagold'、'Nothern Spy'放置在 46 ℃下 0、4、8、12 小時，這四種品種蘋果果實其 Fv/Fm 皆隨著處理時間增加而下降，但'McIntosh'、'Cortland'、 'Nothern Spy'在 12 小時後會降至 0.3 左右，而'Jonagold'維持在 0.56，表示'Jonagold'有較好的耐熱性。高溫逆境(38 ℃)下，較耐熱的'Robin'品種番茄其葉綠素螢光明顯比不耐熱的'Roma'品種高(Murkowski, 1996)。因此由葉綠素螢光反應結果得知'Havay'葉綠素螢光值下降較緩慢，可能是耐熱品種；而'Thailand-1'葉綠素螢光值下降快速，可能為熱敏感品種。

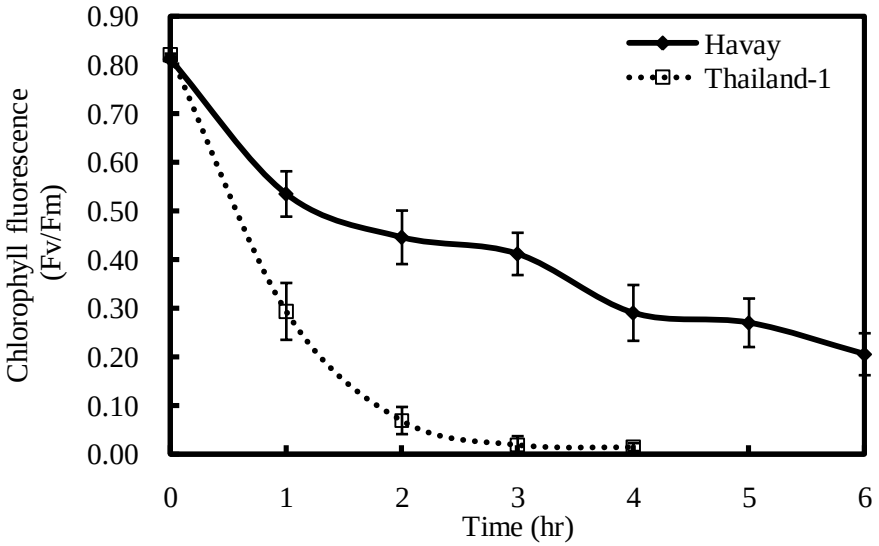

圖 1. 'Havay'和'Thailand-1'番木瓜成熟葉片在 50℃下葉綠素螢光的變化。

Fig. 1. Change in chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) of 'Havay' and 'Thailand-1' papaya mature leaves during 50℃ treatment.

二、電解質滲漏率

細胞膜是動態結構，支持許多生物化學和生物物理的反應，環境逆境會對其造成影響(Leshem, 1992)。已證明溫度會改變膜體流動性(Cossins *et al*., 1978; Pehowich, 1998)。低溫下膜體流動性會下降；高溫下膜體流態化增加使雙層脂質分離，因此膜體的流動性也可做為環境逆境的指標之一(Los and Murata, 2004)。

溫度逆境除了改變膜體流動性，還會影響光合能力、酵素活性、代謝過程(Dubey, 1997)，適溫範圍外，藉由膜組成和結構改變破壞膜體穩定性(Georigieva, 1999; Yeh-Jin *et al*., 2004)，這些改變會提高膜體通透性，影響細胞膜完整性(Campos *et al*., 2003)。測量植株葉片組織於不同溫度下之電解質滲漏(electrolyte leakage)程度，為一敏感且可快速評估植物對溫度敏感性之方法。Ahn 等(2004)將不同耐熱性馬鈴薯葉片浸泡在 23 ℃及 47 ℃下，23 ℃所有品種電解質滲漏率皆相似，47 ℃下不耐熱的品種電解質滲漏率比耐熱品種高。電解質滲漏率除了可以評估溫度逆境對細胞膜穩定性的傷害程度，還可以評估其他非生物逆境，像是水分逆境(Bajji *et al*., 2001)、輻射(Fan and Sokorai, 2005)。以上結果表示電解質滲漏率可作為一有效的逆境指標。在電解質滲漏率方面(圖 2)，兩品種皆會隨著高溫處理時間增加而增加，在高溫處理 2、4、6 小時後，'Havay'品種電解質滲漏率分別是 9.55、9.26、14.02 %；'Thailand-1'品種則分別是 15.03、18.06、26.39 %；'Havay'和'Thailand-1'品種電解質滲漏率分別增加約 32.2 和 63.9 %，推測可能是因為'Havay'品種較耐熱，因此可以維持較好的膜體完整性。

三、乙烯釋放率和呼吸率

乙烯是植物五大荷爾蒙之一，其生成量的增減與植株當前的生理狀態有關。因此監測乙烯生成量變化，應能作為植株是否受到逆境傷害的依據。以 43 ℃處理 15、30 及 60 分鐘，隨著熱處理的時間增加，阿拉伯芥乙烯生成量有減少的趨勢，顯示高溫對乙烯的生成有不利的影響，推測其原因，可能是乙烯生成途徑中，ACO 的活性受到高溫所抑制，故

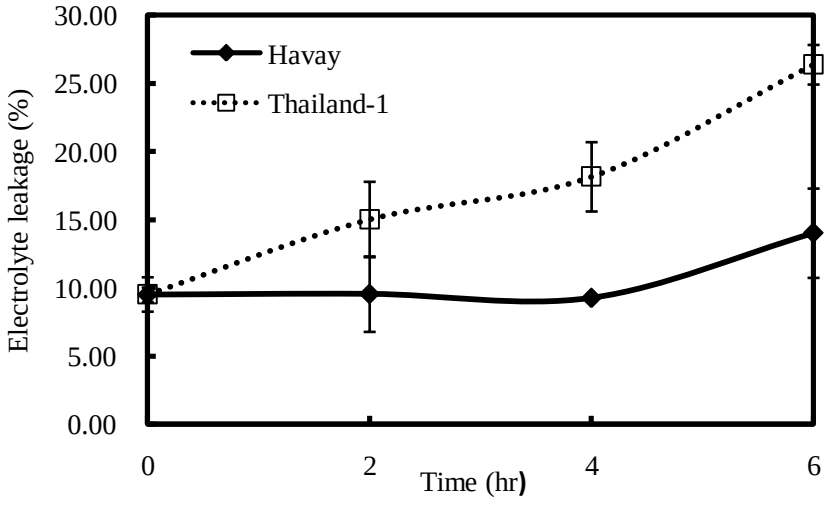

圖 2. 'Havay'和'Thailand-1'番木瓜成熟葉片在 50℃下電解質滲漏率的變化。

Fig. 2. Change in electrolyte leakage of 'Havay' and 'Thailand-1' papaya mature leaves during 50℃ treatment.

表 1. 'Havay'和'Thailand-1'番木瓜成熟葉片在 50℃下乙烯釋放率的變化。

Table 1. Change in ethylene production in of 'Havay' and 'Thailand-1' papaya mature leaves during 50℃ treatment.

Temperature and cutivars	Ethylene production (μl $C_2H_4.kg^{-1}.hr^{-1}$)			
	0	2	4	6
'Havay'				
25℃	2.08a[z]A	1.59aA	1.98aA	0.88aA
50℃	2.08aA	0.46bB	0.10cB	0.00bB
'Thailand-1'				
25℃	1.31aA	1.23aA	1.06bA	1.06aA
50℃	1.31aA	0.36bB	0.00cC	0.00cC

[z] Mean separation within columns (small letter) and within rows (capital letter) was by Duncan's multiple range test at 5 % level.

無法正常表現(Arteca and Arteca, 2007)。整體而言，乙烯的產生或抑制、呼吸率增減是植物應對部分逆境的反應，也是植物啟動相關生理機制的關鍵。因此在逆境下，藉由測定乙烯生成量和呼吸率，應可適度反映出植株當前的生理狀態，有利於栽培者管理。在所有處理時間下，'Havay'和'Thailand-1'品種乙烯釋放率都受到高溫抑制，並不會隨著高溫處理時間增加而增加(表 1)。'Havay'品種呼吸率在高溫處理 4 小時達到最高峰，而後逐漸下降；'Thailand-1'品種呼吸率則隨著處理時間逐漸增加，並且顯著高於'Havay'品種(表 2)。

超過 40 ℃的高溫會抑制乙烯生產，但不會出現永久性組織傷害，因為組織回到許可的低溫會恢復乙烯產生(Field, 1985)；不同作物在溫度逆境下呼吸率也會不同，有報各指出，傷害發生初期呼吸率會上升，細胞死亡時就下降(Lweis and Morris, 1956)。不同作物在溫度逆境下乙烯生合成會不同(Arshad and Frankenberger, 2002)。舉例來說，小麥葉片在 35℃下乙烯生合成會受到輕微抑制，在 40℃下受到嚴重的抑制；大豆乙烯生合成會隨著溫度上升到 40℃而增加，但在 45℃下受到抑制(Tan *et al*., 1988)。蘋果暴露在 36℃以上，ACC 含量會累積和降低乙烯產量(Yu *et al*., 1980)；許多水果短期暴露在 38℃或 38℃以上，會使 ACC 氧化酶快速失活(Dunlap *et al*., 1990; Klein and Lurie, 1990; Paull and Chen, 1990)。在高溫下許多更年型果實會被抑制後熟或呈現不規則的後熟。採收的梨和酪梨在高於 30-35℃下，其呼吸速率和乙烯產量被抑制、表面出現熱傷害(Maxie *et al*., 1974; Lee and Young, 1984)。高於 30℃的溫度，番茄的轉色、軟化、呼吸率和乙烯產量皆被抑制(Yakir *et al*., 1984; Inaba and Chachin, 1988)。Inaba 和 Chachin (1989)指出番茄最高乙烯產量在 25℃

表 2. 'Havay'和'Thailand-1'番木瓜成熟葉片在 50℃下呼吸率的變化。

Table 2. Change in respiration rate in of 'Havay' and 'Thailand-1' papaya mature leaves during 50℃ treatment.

Temperature and cutivars	Respiration rate (ml CO_2.kg^{-1}.hr^{-1})			
	0	2	4	6
'Havay'				
25℃	46.01b[z]C	87.83cB	118.25cA	84.94cB
50℃	46.01bC	152.75bB	173.62bA	166.08bAB
'Thailand-1'				
25℃	91.37aC	156.51bA	108.91cB	90.08cC
50℃	91.37aD	243.67aC	211.68aB	213.27aA

[z] Mean separation within columns (small letter) and within rows (capital letter) was by Duncan's multiple range test at 5 % level.

下，在 40℃乙烯產量下降或產量很少；Inaba 和 Chachin (1989)報告，番茄呼吸率高峰在 30℃，即使乙烯產量比在 25℃下低。以 43℃處理 15、30 及 60 分鐘，隨著熱處理的時間增加，阿拉伯芥乙烯生成量有減少的趨勢，顯示高溫對乙烯的生成有不利的影響，推測其原因，可能是乙烯生成途徑中，ACO 的活性受到高溫所抑制，故無法正常表現(Arteca *et al.*, 2007)。

因此試驗中'Havay'、'Thailand-1'品種番木瓜成熟葉片乙烯釋放率隨著高溫處理時間增加而下降，明顯受到抑制(表 1)；'Havay'品種呼吸率雖在高溫處理 4 小時達到高峰，而後與乙烯釋放率結果相同，隨著高溫處理時間增加而下降(表 2)。試驗結果與上述前人研究結果相同，高溫抑制小麥、大豆葉片、番茄乙烯釋放率和呼吸率。

四、四種高溫逆境指標之比較

在高溫 50 ℃下處理 1 小時，'Havay'、'Thailand-1'品種葉綠素螢光值均快速下降，且差異顯著(圖 1)；直到 50℃下處理 6 小時電解質滲漏率才有顯著差異(圖 2)；'Havay'和'Thailand-1'品種番木瓜成熟葉片乙烯釋放率都比對照組 25℃低，表示 50℃抑制乙烯釋放率(表 1)，可能是乙烯生成途徑中，ACO 的活性受到高溫所抑制，故無法正常表現(Arteca and Arteca, 2007)，故無法利用乙烯釋放率評估兩品種耐熱性；'Havay'和'Thailand-1'品種番木瓜成熟葉片呼吸率都比對照組 25℃高(表 2)，其中'Thailand-1'品種在第 4 小時上升顯著。結果顯示，在這四種逆境指標中，以葉綠素螢光測定方法最為快速，並且葉綠素螢光測定是非破壞性生理指標，其餘三者皆是破壞性生理指標。

參 考 文 獻

江忠穎。2007。不同葉色甘藷的葉綠素螢光及葉片反射光譜特性。國立中興大學生命科學系碩士論文。臺灣：台中。p.109。

黃薇綺。2005。高溫、低溫、乾旱與淹水逆境對甘藷葉片葉綠素螢光影響之研究。中國文化大學生物科技研究所碩士論文。臺灣：台北。p.111。

近藤始彦、盧虎生。2009。台湾の稲作における気象変動の影響と研究の現状。農業および園芸。 84: 36-41。

Ahn, Y. L., K. Claussen, and J. L. Zimmerman. 2004. Genotypic differences in the heat-shock response and thermotolerance in four potato cultivars. Plant Sci. 166: 901-911.

Arshad, M. and W. T. J. Frankenberger. 2002. Ethylene, agricultural sources and applications. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York.

Arteca, R. N. and J. M. Arteca. 2007. Heavy-metal-induced ethylene production in *Arabidopsis thaliana*. J. Plant Physiol. 164: 1480-1488.

Bajji, M., J. M. Kinet, and S. Lutts. 2001. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrance stability as a water tolerance test in durum wheat. Plant Growth Regulation 00: 1-10.

Binder, W. D. and P. Fielder. 1996. Chlorophyll fluorescence as an indicator of frost hardiness in white sprice seedling from different latitudes. New Forests. 11: 233-253.

Bilger, W. and O. Bjorkman. 1990. Role of xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in Hedera canariensis. Photosynthesis Research 25: 173-185.

Butker, W. L. 1978. Energy distribution in the photochemical apparatus of photosynthesis. Annu. Rev. Plant Physiol. 29: 345-378.

Campos, P. S., V. Quartin, J. C. Ramalho, and M. A. Nunes. 2003. Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of *Coffea* sp. plant. J. Plant Physiol. 160: 283-292.

Cossins, A. R., J. Christiansen, and C. L. Prosser. 1978. Adaptation of biological membranes to temperature. The lack of homeoviscous adapation in the sarcoplasmic reticulum. Biochim. Biophys. Acta. 511: 442-452.

Dubey, R. S. 1997. Photosynthesis in plants under stressful condition. p.859-875. In: Pessarakli M (ed) Handbook of Photosynthesis. Marcel Dekker Inc, New York.

Dunlap, J. R., S. E. Lingle, and G.E. Lester. 1990. Ethylene production in netted muskmelon subjected to postharvest heating and refrigerated storage. HortScience 25: 207-209.

Fan, X. and K. J. B. Sokorai. 2005. Assessment of radiation sensitivity of fresh-cut vegetables

using electrolyte leakage measurement. Post. Biol. Technol. 36: 191-197.

Field, R. J. 1985. The effect of temperature on ethylene production by plant tissue. p.47-69. In: Roberts, J. A., Tucker, G. A. (Eds.), Ethylene and Plant Development. Butterworth, London.

Georigieva, K. 1999. Some mechanisms of damage and acclimation of the photosynthetic apparatus due to high temperature. Bulgaria J. Plant Physiol. 25: 89-99.

Hsu, B. S. 2007. On the possibility of using a chlorophyll fluorescence parameter as an indirect indicator for the growth of *Phalaenopsis* seedlings. Plant Sci. 172: 604-608.

Inaba, M., K. Chachin. 1988. Influence of and recovery from high-temperature stress on harvested mature green tomatoes. HortScience 23: 190-192.

Inaba, M., K. Chachin. 1989. High-temperature stress and mitochondrial activity of harvested mature-green tomatoes. J. Am. Soc. Hort. Sci. 114: 809-814.

Klein, J. D. and S. Lurie. 1990. Prestorage heat treatment as a means of improving poststorage quality of apples. J. Am. Soc. Hort. Sci. 115: 265-269.

Krause, G. H. and E. Weis. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 42: 313-349.

Lee, S. K. and R. E. Young. 1984. Temperature sensitivity of avocado fruit in relation to C_2H_4 treatment. J. Am. Soc. Hort. Sci. 109: 689-692.

Leshem, Y. 1992. Plant membranes: A biophysical approach to structure, development and senescence. Kluwer Academic Piblishers, Dordrecht.

Liao, C. S. 1998. Effects of global climate change on meteorological circumstances in globe and Taiwan area and strategies in respone. (in Chinese with English abstract) p.7-32. In: Effects of Climate Change on Crop Production. C. Y. Lin, C. M. Yang (eds) Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung Hsien, Taiwan ROC.

Lobell, D. B. and G. P. Asner. 2003. Climate and management contributions to recent trends in US agricultural yields. Sci. 299: 1032.

Los, D. A. and N. Murata. 2004. Membrane fluidity and its roles in the perception of environmental signals. Biochim. Biophys. Acta. 1666: 142-157.

Lweis, D. A. and L. L. Morris. 1956. Effect of chilling storage on respiration and deterioration of several sweet potato varieties. Pro. Amer. Soc. Hort. Sci. 68: 421-428.

Maxie, E. C., F. G. Mitchell, and N. F. Sommer. 1974. Effect of elevated temperature on ripening of 'Bartlett' pear (*Pyrus communis* L.). J. Am. Soc. Hort. Sci. 99: 344-349.

Murkowski, A. 1996. Heat stress and spermidine: effect on chlorophyll fluorescence in tomato plants. Biol. Plant. 44: 53-57.

Nedbal, L., J. Soukupová, J. Whitmarsh, and M. Trtílek. 2000. Postharvest imaging of chlorophyll fluorescence from lemons can be used to predict fruit quality. Photosynthetica

38: 571-579.

Paull, R. E. and N. J. Chen. 1990. Heat shock response in field growth, ripening papaya fruit. J. Am. Soc. Hort. Sci. 115: 623-631.

Peng, S., J. Huang, J. E. Sheehy, R. C. Laza, R. M. Visperas, X. Zhong, G. S. Centeno, G. S. Khush, and K. G. Cassman. 2003. Rice yields decline with high night temperature from global warming. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 101: 9971-9975.

Perks, M. P., B. A. Osborne, and D. T. Mitchell. 2004. Rapid predictions of cold tolerance in Douglas-fir seedlings using chlorophyll fluorescence after freezing. New Forests 28: 49-62.

Rosenzweing, C. A., X. B. Iglesias, P. R. Yang, E. Epstein, and E. Chivian. 2001. Climate change and extreme weather events. Implications for food production, plant diseases and pest. Global Change and Human Health 2: 90-104.

Song, J., L. Fan, C. F. Forney, and M. A. Jordan. 2001. Using volatile emissions and chlorophyll fluorescence as indicators of heat injury in apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 126: 771-777.

Sthapit, B. R., J. R. Witcombe, and J. M. Wilson. 1995. Methods of selection for chilling tolerance in nepalese rice by chlorophyll fluorescence analysis. Crop Sci. 35: 90-94.

Tan, C. Z. W. Yu., H. D. Yang, and S. W. Yu. 1988. Effect of high temperature on ethylene production in two plant tissues. Acta Phytophysiol. Sin. 14: 373-379.

Taub, D. R., J. R. Seemann, and J. S. Coleman. 2000. Growth in elevated CO_2 protects photosynthesis against high-temperature damage. Plant Cell Environ. 23: 649-656.

Willits, D. H. and M. M. Peet. 2001. Measurement of chlorophyll fluorescence as a heat stress indicator in tomato: laboratory and greenhouse comparisons. J. Amer. Soc. Hort. Sci.126: 188-194.

Woolf A. B. and W. A. Laing. 1996. Avocado fruit skin fluorescence following hot water treatments and pretreatments. J. Amer. Soc. Hort. Sci.121: 147-151.

Yakir, D., A. Sadovski, H. D. Rabiniwitch, and J. Rudich. 1984. Effect of high temperature on quality of processing tomatoes of various genotypes ripened off the vine. Sci. Hort. 23: 323-330.

Yamada, M., T. Hidaka, and H. Fukamachi. 1996. Heat tolerance in leaves of tropical fruit crops as measured by chlorophyll fluorescence. Sci. Hortic. 67: 39-48.

Yeh-Jin, A., K. Clausen, and J. L. Zimmerman. 2004. Genotypic differences in the heat shock response and themotolerance in four potato cultivars. Plant Sci. 166: 901-911.

Yu, Y. B., S. F. Yang, and D. O. Adams. 1980. Inhibition of ethylene production by 2,4-dinitrolphenol and high temperature. Plant Physiol. 66: 286-290.

Comparison among Heat Stress Indexices in Papaya Leaf

Yun-Yen Li [1)] Ching-Chang Shiesh [2)]

Key word: Papaya, Chlorophyll fluorescence, Electrolyte leakage, Ethylene production, Respiration rate

Summary

The objective of this study was to compare papaya heat stress indices between two cultivars. Global warming is accompanied by extreme weather. It's impact and influence on agricultural production has received much attention. Hence, screening heat tolerance genotypes are very important in the papaya breeding process. In this experiment, we used mature leaves of papaya cultivars, 'Havay' and 'Thailand-1' for screening with 50℃as high stress temperatures. The results indicated that papaya leaves underwent heat stress experiments, electrolyte leakage, ethylene production, and respiration indices all showed good positive correlation with chlorophyll fluorescence. Chlorophyll fluorescence determination method is a simple, rapid, sensitive and non-destructive technique for heat tolerance selection. Chlorophyll fluorescence can be used as a non-destructive physiological indicator in heat stress tolerance, can quickly filter out the heat tolerance species and increase the efficiency of breeding selection.

1) Graduate student in MS program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Associate professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University. Corresponding author.