

設施內高氣溫降低根溫處理對甜瓜生長與 果實品質之影響

楊 証 閔¹⁾ 林 慧 玲²⁾ 黃 三 光³⁾

關鍵字：甜瓜、根溫、生長

摘要：夏、秋季高溫，易使設施栽培作物產生高溫逆境，對作物生育或果實品質產生不良影響，因此本試驗於秋季(8-10月)時，對東方甜瓜‘嘉玉’品種進行冷水循環降低根溫的處理。使根溫控制於 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，期望能節省能源，並達到減緩高溫逆境之效果。結果顯示，降低根溫可增加株高與生長速率，但葉面積則與對照組(根溫 $28\pm 4^{\circ}\text{C}$)無明顯增加；控制根溫於 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 對根部呼吸率有顯著增加，但根部活性無顯著差異。鮮乾重於處理間在秋季開花前無顯著差異，採收後處理組葉片鮮乾重則有明顯降低；碳水化合物濃度於兩處理間並無差異，低根溫處理組果實重量較重但糖度較對照組低。

前 言

現今許多作物生長受限於不適生長的環境因子，高溫為其中重要因素之一；溫網室的栽培模式相當普遍，造成設施內氣溫高升。一般根部適合生長的溫度稍低於地上部(Brouwer, 1981)，而且根部對極端溫度之反應較地上部敏感(Cooper, 1973; Nielsen, 1974)，然而最適溫度因作物種而異(Cooper, 1973)。植物感應溫度的部位，主要是葉片其次是根部。一般認為的控溫，都是針對地上部，鮮少對地下部的降溫；而地上部占植株大部分的量，因此針對地上部降溫的範圍較地下部更廣，需消耗大量能源並增加成本；在不影響植物溫度感應的前提下，降低根溫，達到相同效果同時減少能源消耗。因此本試驗設計降低根溫之控制系統評估甜瓜植株於設施高溫環境中生長、發育的影響。

-
- 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教授，通訊作者。
 - 3) 國立中興大學園藝學系助理教授。

材料方法

一、材料

本試驗的甜瓜品種為'嘉玉'東方甜瓜，種子購於農友種苗公司。

二、試驗方法

介質使用荷蘭 Trefpeatmoss (Composition: 30% peat + 70% black peat + 1kg 17-10-14-4 (N-P-K-Mg)) 於中興大學溫室進行栽培。長出兩片本葉之甜瓜苗移植到栽培槽，進行降低根溫處理，溫室遮蔽率約為 40%、溫室內光照在晴天時約為 $467.27 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 、陰天約為 $158.67 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 。栽培槽一為對照組(Control)，一為處理組(Treatment)。對照組種植於約 12 公分厚介質中；處理組種植在相同介質，介質中埋設金屬管通入冷卻水，控制根部溫度於 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 。以冷水機對金屬管內的水進行降溫，如此循環藉由冷水機、金屬管進行降低介質溫度達到降低根溫之效果。冷水機溫度感測器埋至介質中植物根部之位置，以準確控制根溫。分別於開花前與果實成熟採收時，進行兩次的植體採樣。處理時間為 2012 年 8 月 24 日至 10 月 24 日進行。

三、栽培管理

整枝方式採用單蔓整枝(子蔓結果整枝法)，單蔓整枝僅留母蔓，在母蔓第 11~14 節位的子蔓(結果蔓)第 1 節留果，子蔓上果實與母蔓間的葉片要保留不宜摘除(幫助果時膨大)，留果子蔓在第 2 葉展開後留兩葉(促進雌花發育)，其餘子蔓摘除，頂芽生長至約 175 公分、葉片數約 20 片葉，停止摘除側芽，開始去除頂芽，促進開花。定植前，以好康多(S101, 13-11-13-2, 70 天型)作為基肥。秋季每天早上施山崎養液、並每周添加兩次 Fe-EDTA(，下午灌溉自來水，避免鹽害，每株各 30 mL。果實膨大期給水可較營養生長期少。注意天候狀況，土壤水分含量勿過分劇烈變化，避免發生裂果情形。

四、調查與分析項目

(一) 株高:全株高度，單位為公分(cm)。

(二) 生長速率:平均每天之生長量，單位為公分(cm)。

(三) 葉片:將葉片依節位等分成三等份。每株約有 20 節，上位葉約 13-20 節、中位葉為 7-13 節、下位葉為 1-6 節之葉片。並測量葉片鮮乾重、使用 CIAS(CID, Inc)軟體估算葉面積、電解質滲漏率用直徑 1 cm 打孔器打 3 片葉圓片，加入 10 ml 純水，以 100 搖速震盪 3 小時，測樣品 EC 值(E1)。冷凍 24 小時後，解凍以 100 搖速震盪 3 小時，再重複冷凍後解凍 3 小時，測量樣品 EC 值(EC2)。滲漏率為 $EC1 / EC2 * 100\%$ 。

碳水化合物的全可溶性糖，精秤樣品 0.1 g，加 10 ml 去離子水(置於 50 ml 離心管)， 30°C 水浴振盪，每小時攪拌離心管內液體接著以 4000 rpm 室溫下離心 10 分鐘。以 Miracloth (CALBIOCHEM)過濾上述液體，取濾液 0.2 ml(葉)(果實 0.1 ml)加 4.8 ml(果實 4.9 ml)去離子水振盪均勻，取出 2 ml 混合液加入 liquid phenol 與 6 ml 濃硫酸振盪均勻，靜置 30 分鐘後，以 490 nm 波長測定吸光值。澱粉則將前述之殘渣以 80°C 烘乾 8 小時以上，加入 2 ml

去離子水，以沸水煮 15 分鐘，取出後迅速冷卻，加入 2 ml 9.2N HClO₄ 振盪，15 分鐘內不時攪拌。接著加到 10 ml 去離子水，以 4000 rpm 室溫下離心十分鐘，取離心後上層液 0.1 ml，加入 1.9 ml 去離子水、0.1 ml liquid phenol 與 6 ml 濃硫酸，振盪均勻，靜置 30 分鐘後，以 490 nm 波長測定吸光值。

(四) 莖部: 調查鮮、乾重，方法同四、(三)。

(五) 根部: 調查鮮乾重、全可溶性糖與澱粉方法同四、(三)。

(六) 果實: 果實品質調查，於採收後調查鮮重，單位為公克(g)，果長、果寬、果腔長、果腔寬、果肉厚，單位為公分(cm)、硬度與可溶性糖，單位分別為牛頓/平方公分(N·cm⁻²)與 ° Brix。

五、統計分析

將試驗結果以 SAS 軟體(Statistical Analysis System, Institute Inc)計算平均值，並利用 ANOVA 進行變方分析(analysis of variance)及最小顯著差異檢定(least significant difference test, LSD)比較各處理間之差異顯著性。

結 果

本試驗使用農友種苗'嘉玉'品種東方甜瓜，於秋季(8-10 月)進行降低根溫處理栽培。由溫度自動記錄中當時氣溫的變化，秋季時溫室內溫度於中午 12 時至下午 15 時最高可接近 40°C，低溫則在夜晚 20°C(圖 1)。白天氣溫，約正午時達到最高溫，且溫度變化幅度相當明顯、而快速；對照組(未控制)的根溫變化，則會較氣溫延遲數小時後緩慢地隨著氣溫而變化，溫度波動的幅度不大；而東方甜瓜適合根溫為 20-25°C，低根溫處理使用冷水機設定於 23°C 以降低介質溫度，達到冷卻根溫的效果。低根溫處理根溫維持在 23±2°C，而對照組未控溫之根溫會隨著溫度變化而起伏，其根溫約 28±4°C，兩者根溫有明顯的差異。

甜瓜幼苗移植後第 4 天至第 10 天，對照組與低根溫處理之株高並無顯著差異(圖 2)，至第 10 天開始低根溫處理組株高明顯高於高根溫對照組，而第 4 天至第 10 天兩處理生長速率無顯著差異，第 10 天至第 17 天低根溫處理組生長速率明顯優於高根溫對照組，第 17 天至第 20 天之生長速率則無顯著差異(圖 3)。開花前兩處理間的葉面積無明顯差異，而採收後的葉面積，高根溫對照組的上位葉與中位葉的葉面積明顯大於低根溫處理組，而下位葉兩處理無差異，總葉面積方面，高根溫對照組則顯著較低根溫處理組大，對照組與處理組的葉面積分別為 4825 及 4012 平方公分，上位葉於採收後葉面積較開花前葉面積大(圖 4)。甜瓜植株於開花前葉片、莖部與根部的鮮重與乾重於兩處理間，並無顯著差異。採收後高根溫對照組的葉片鮮重與乾重較低根溫處理組高出 36.2g 與 3.9 g，而莖部與根部兩處理間則沒有差異(圖 5)。

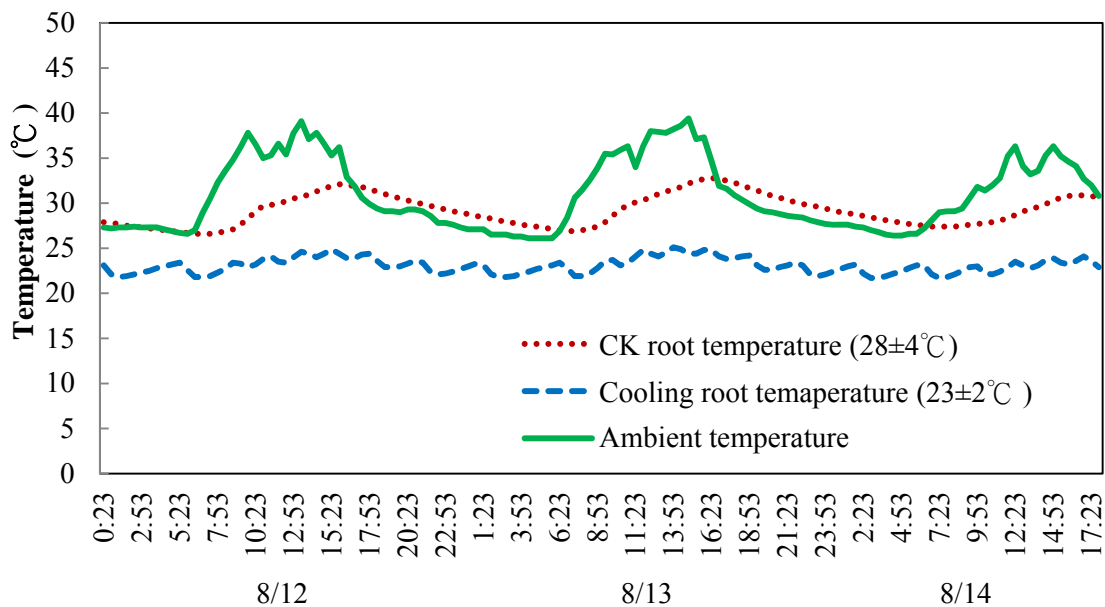


圖 1. 試驗期間對照組根溫、降根溫處理與氣溫於秋季之變化

Fig. 1. The fluctuation ambient temperature, root temperature during experiment.

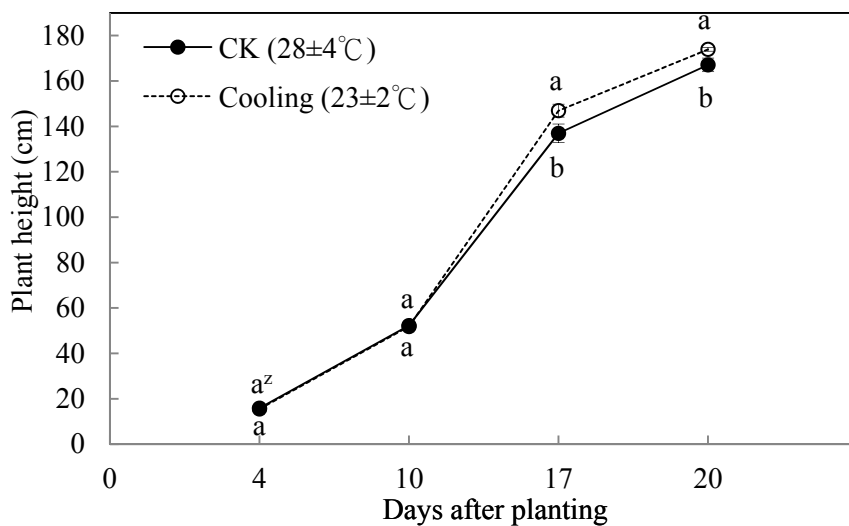


圖 2. 根溫對'嘉玉'甜瓜植株株高之影響

Fig. 2. Effect of root temperature on plant height of 'Jill' melon. The vertical bar represents the mean ± SE (n=26). Plant were treated in autumn (Aug. 24 to Oct. 24, 2012).

^zMeans followed by the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

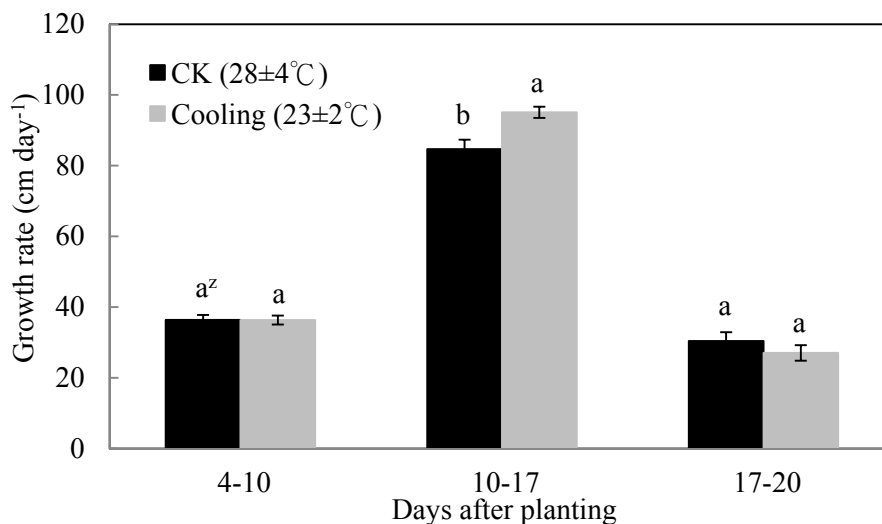


圖 3. 根溫對'嘉玉'甜瓜植株生長速率之影響

Fig. 3. Effect of root temperature on growth rate of 'Jill' melon. The vertical bar represents the mean± SE (n=26). Plant were treated in autumn (Aug. 24 to Oct. 24, 2012).

^zMeans followed by the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

開花前，葉片可溶性糖含量在上、中、下位葉於兩處理之間並無顯著差異，澱粉含量則會隨著葉位降低，其澱粉含量會隨之下降(圖 6A)。採收後的葉片碳水化合物方面，上、中、下位葉的可溶性糖含量皆無差異，澱粉方面，低根溫處理組於上、中位葉皆較高根溫處理組明顯高出 0.6%的澱粉含量，下位葉兩處理間則是無顯著差異(圖 6B)。開花前根部碳水化合物方面，可溶性糖與澱粉含量，兩處理間也呈現無顯著差異(圖 7A)。採收後的根部碳水化合物方面低根溫處理組較高根溫對照組根部的可溶糖含量高出 0.3%，澱粉含量於兩處理間則無明顯差異(圖 7B)。

果實品質方面，果重、果肉重與硬度方面無顯著差異，可溶性固形物以低根溫處理組會較高根溫對照組高出 2°Brix，果實長寬與果肉長寬、厚度兩處理間也無顯著差異(表 1)。

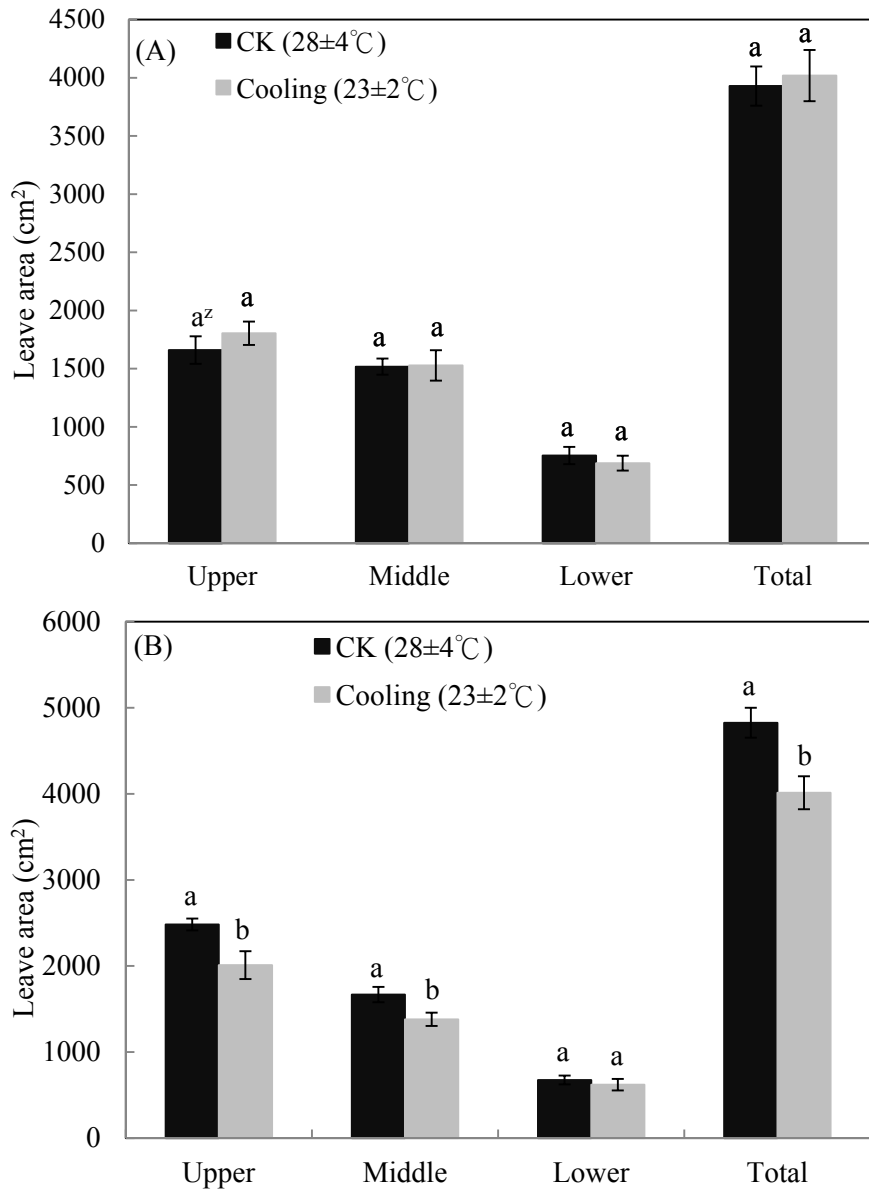


圖 4. 根溫對'嘉玉'甜瓜開花前(A)與採收後(B)葉面積之影響

Fig. 4. Effect of root temperature on leaf area of 'Jill' melon before anthesis (A) and harvest (B). The vertical bar represents the mean± SE (n=10). Plant were treated in autumn (Aug. 24 to Oct. 24, 2012).

^zMeans followed by the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

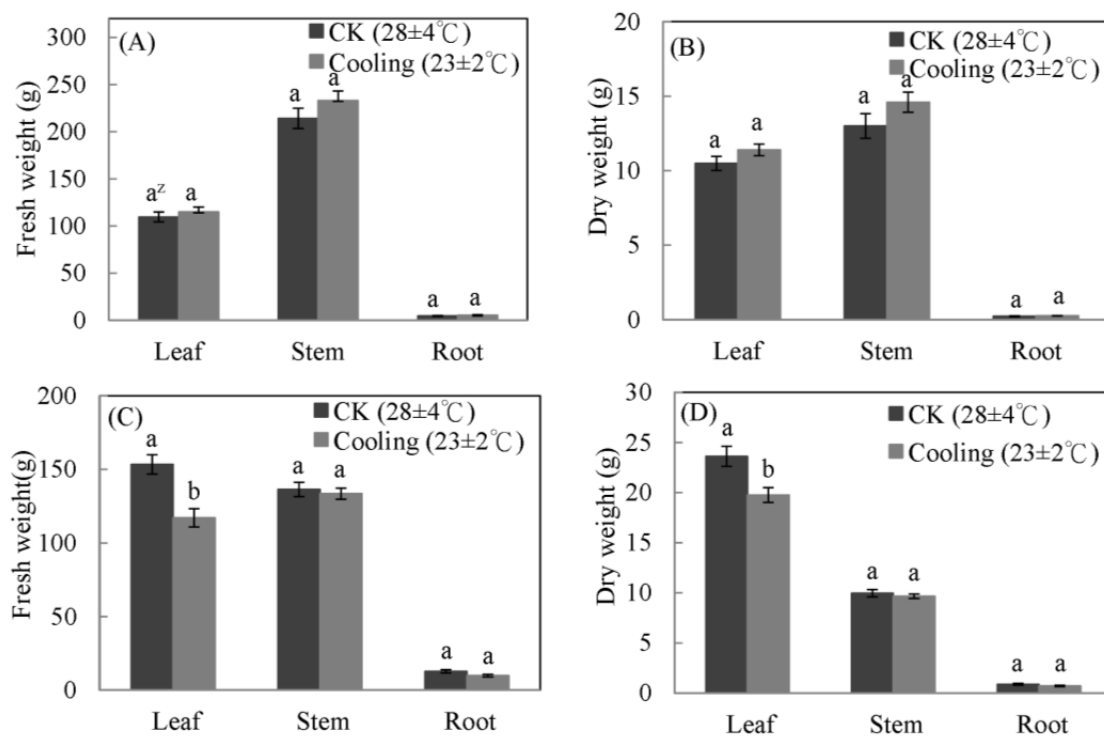


圖 5.根溫處理對'嘉玉'甜瓜開花前對甜瓜葉片、莖部與根部鮮重(A)、乾重(B)和採收後對甜瓜葉片、莖部與根部鮮重(C)、乾重(D)之影響

Fig. 5. Effect of root temperature on fresh weight(A) and dry weight (B) of leaf, stem and root of 'Jill' melon before anthesis and fresh weight(C) and dry weight (D) of leaf, stem and root of melon at harvest. The vertical bar represents the mean± SE (n=10). Plant were treated in autumn (Aug. 24 to Oct. 24, 2012).

^zMeans followed by the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

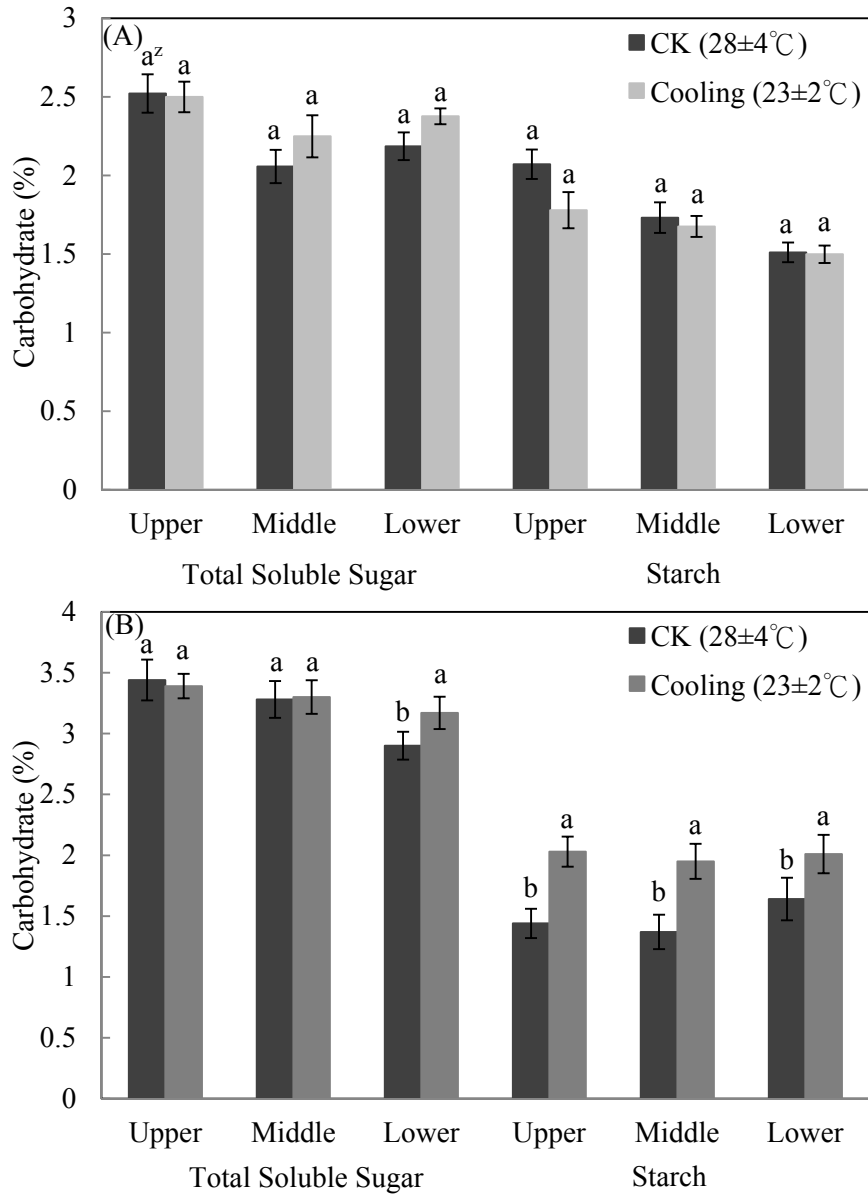


圖 6. 根溫處理對'嘉玉'甜瓜開花前(A)與採收後(B)葉片碳水化合物之影響

Fig. 6. Effect of root temperature on carbohydrate of 'Jill' melon leaf before anthesis(A) and at harvest(B). The vertical bar represents the mean± SE (n=10). Plant were treated in autumn (Aug. 24 to Oct. 24, 2012).

^zMeans followed by the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

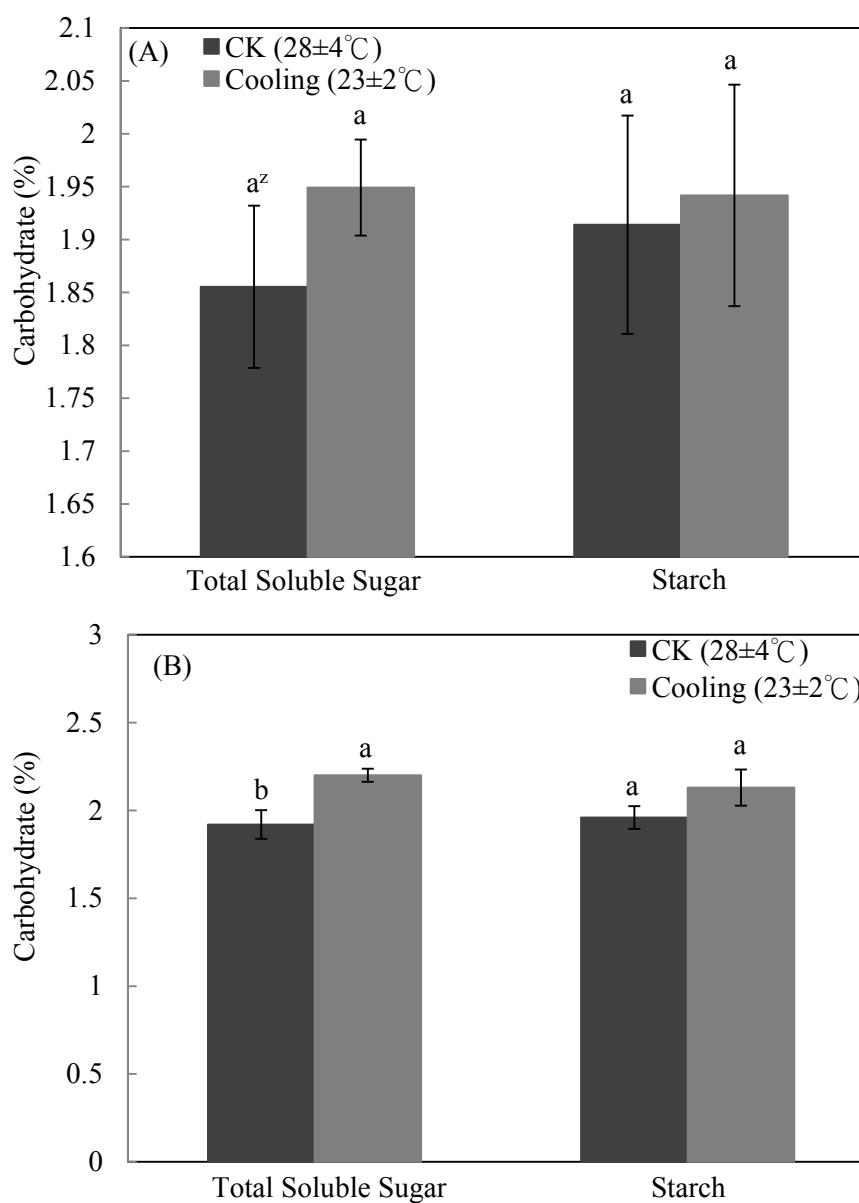


圖 7. 根溫處理對'嘉玉'甜瓜開花前(A)與採收後(B)根部碳水化合物之影響

Fig. 7. Effect of root temperature on carbohydrate of 'Jill' melon root before anthesis(A) and at harvest(B). The vertical bar represents the mean± SE (n=10). Plant were treated in autumn (Aug. 24 to Oct. 24, 2012).

^zMeans followed by the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

表 1. 根溫處理對'嘉玉'甜瓜果實鮮重品質之影響

Table 1. Effect of root temperature on quality of 'Jill' melon fruit.

	28±4°C	23±2°C	Significant
Fruit weight (g)	357.72	366.25	ns ^z
Weight of pulp (g)	276.44	282.57	ns
Firmness (N · cm ⁻²)	54.82	57.89	ns
Total soluble solid (%)	13.47	11.30	*
Length (cm)	83.01	82.05	ns
Width (cm)	94.95	93.00	ns
Length of Fruit lumen (cm)	61.39	61.22	ns
Width of Fruit lumen (cm)	63.37	59.36	ns
Thickness of Fruit (cm)	15.99	15.40	ns

Plant were treated in autumn (Aug. 24 to Oct. 24, 2012).

^zn.s., *, indicated nonsignificant or significant at p<0.05, respectively.

討 論

一、甜瓜植株生育情形

溫度波動的趨勢低根溫與高根溫在根溫表現上有明顯差異(圖 1)。8 月份設施內對照組即高根溫為 28±4°C，低根溫處理組則皆控制在 23±2°C。栽培期間，因栽培管理上的限制，使高度達到 175 公分後開始摘心，故秋季栽培第 17-20 天的生長速率因此較第 10-17 天稍有減緩，不過在第 10-17 天的生長速率，低根溫處理組明顯優於高根溫處理組；株高方面，移植後第 10 天(圖 2)以前，處理之間株高並無顯著差異；然而，從第 10 天開始至試驗終了，低根溫處理組便顯著較高根溫處理組在株高方面有明顯地增加。前人研究以介質耕進行胡瓜降低根溫的實驗，對照組(高根溫)與處理組(低根溫)土深 5 公分處分別為 30.9 與 24.3°C，發現株高於處理之間並無顯著差異(Moon *et al.*, 2007)；Monje 等(2007)以小麥固定地上部溫度為 24°C、進行不同根溫的處理，根溫分別為 24、28、30、32 與 35°C，種植後第 15 天，處理間開始有顯著差異，株高以處理根溫 24°C 為最高，結果顯示隨根溫增加，對小麥生長造成影響如降低其株高，甚至在 35°C 高溫時，造成植株死亡，因此作者認為高根溫可能會限制光合作用，降低氣孔導度，對莖部造成傷害，最後可導致植株死亡。前人研究顯示，植株若生長於高溫環境下，進行降低根溫處理，對植株株高、莖部延長的能力是有幫助的，與本實驗的低根溫處理表現有相同趨勢，顯示高溫環境中，對植物根部降溫，對其生長與發育是具有幫助的。葉面積於開花前處理間也呈現無顯著差異，採收後低根溫處理組的上位葉和下位葉的葉面積皆較高根溫處理組有顯著地降低，採收後兩處理

皆較開花前的上位葉面積有顯著地增加，顯示開花結果期上位葉仍持續地生長(圖 3B)。Malcolm 等(2008)以櫻桃砧木為實驗材料，其主要生長於溫帶地區，實驗中將根溫分別控制在 5、12、19°C，發現隨著溫度增加，葉面積有顯著增加的趨勢；小麥進行根溫 24-35°C 的處理，因溫度增加而葉面積成降低的趨勢(Moon *et al.*, 2007)。而鮮、乾重於秋季開花前，葉、莖、根於兩處理間無差異(圖 4A、4B)，採收後葉片鮮、乾重於低根溫處理組較高根溫處理組有明顯地降低(圖 4C、4D)。前人研究對原生於熱帶地區的葫蘆科蛇瓜根溫處理 20、25、30°C，隨根溫增加其葉片與根部鮮重有明顯上升的趨勢(Adebooye *et al.*, 2009)；Liu 和 Huang(2005)指出冷季草蓴蓴股類於根溫 35°C 較低溫 20°C 顯著降低根部的生物量，推測可能是因為高溫抑制生長所導致。試驗中，可能植株對高根溫與低根溫處理間根溫的感應類似，導致葉面積與鮮乾重方面並無顯著差異(圖 3、圖 4)。另外，Dennis 等(2005)以蘋果為實驗材料處理 7、15 與 25°C 根溫，發現隨著溫度增加，枝條提早開花與開花的比率越高；在本試驗中根溫處理對甜瓜的開花結果無顯著差異。熱帶與溫帶植物適合生長的根溫完全不同，故根溫的選擇因植物品種而異。‘嘉玉’東方甜瓜栽於試驗中，高根溫處理對生長並無明顯抑制效果，推測與品種特性相關。根溫對植物的影響因作物特性而不同，‘嘉玉’甜瓜則具備耐高溫、耐濕與耐寒力弱的特性，適合在溫暖期至高溫期(2-8 月)栽培，喜好的晝間溫度為 25-30°C。可能設施內高溫為‘嘉玉’甜瓜仍可維持正常生長之溫度，導致本次實驗的降低根溫處理無顯著提升生長之效果。

二、葉片與根部碳水化合物含量

胡瓜於 38°C 高根溫環境中，運移至根部的光合產物轉化成可溶性糖高於根溫處理 25°C，不可溶性糖如澱粉則是以根溫 25°C 高於根溫 38°C (Du and Tachibana, 1994a)。葉片為主要的供源(source)器官，輸出光合產物，供作物生長及代謝所需之碳源，而根部為主要的積貯(sink)器官。Meharg and Killham(1988)指出高根溫促進新固定的碳源運移至根部，且植物根部呼吸所利用的碳源為新固定的碳源為主，故移轉至根部的碳源增加，但被呼吸作用消耗，對根生長並無幫助。試驗中開花前，兩處理間之葉片碳水化合物含量並無顯著差異(圖 5A)。採收後的葉片，可溶性糖於兩處理間並無顯著差異，澱粉含量在低根溫處理組則明顯較高根溫處理組有增加的現象(圖 5B)。根部低根溫處理組可溶性糖也有增加的趨勢(圖 6A、6B)，可能低根溫處理組較高根溫處理組提高根部呼吸率，故推測可能先將可溶性糖運移至根部貯藏，保留作為呼吸作用之基質，此與根部呼吸率較旺盛需要大量的可溶性糖作為基質是相符合的。

三、果實品質

甜瓜果實發育與可溶性固形物含量決定於光合作用之產物累積。Botía (2005)對甜瓜進行鹽分處理，不同生育階段提高至 6.1 ds · m⁻¹ 鹽分可顯著增加果實硬度。鹽分處理同樣對果實產生滲透調節作用、類似水分逆境的效果，因此降低果實滲透潛勢，增加果實之糖度(Mitchell, 1991)；對照組因高溫產生之高根溫可能對植株產生水分逆境，使得果實較快成熟、糖度較高及硬度較低的果實品質(表 1)。

參考文獻

- 山崎肯哉。1982。養液栽培全篇。博友社。
- 方怡丹。1995。根溫處理對葉萵苣生理之影響。國立中興大學園藝學系碩士論文。
- 林世旻。2011。黃皮洋香瓜直立式栽培之結果生理及使用 NaCl 對果實品質之影響。國立中興大學園藝學系碩士論文。
- 曹幸之、羅筱鳳。2001。甜瓜。蔬菜(II)。復文書局。pp.151-155。
- 莊乃穎。1997。根溫處理對水耕萵苣生理之影響。國立中興大學園藝學系碩士論文。
- 莊國誌。2010。直立式栽培整枝方式及氯化鉀處理對東方型甜瓜植株生育、果實產量與品質之影響。國立中興大學園藝學系碩士論文。
- Adebooye, O. C., G. J. Noga, and C. Lankes. 2009. Root zone temperature affects emergence and growth traits of snake tomato (*Trichosanthes esculentaria* L.). J Cent. Eur. Agric. 10:239-244.
- Botía, P., J. M. Navarro, A. Cerdá, and V. Martínez. 2005. Yield and fruit quality of two melon cultivars irrigated with saline water at different stages of development. Europ. J. Agron. 23:243-253.
- Brouwer, R. 1981. Co-ordination of growth phenomena within a root system of intact maize plants. Plant Soil 63:65-72.
- Cooper, A. J. 1973. Root temperature and plant growth. Research Review No. 4 Commonwealth Bureau of Horticultural and Plantation Crops. East Malling Maidstone Kent.
- Greer DH, J. N. Wunsche, C.L. Norling, and H.N. Wiggins. 2006. Root-zone temperatures affect phenology of bud break, flower cluster development, shoot extension growth and gas exchange of 'Braeburn' (*Malus domestica*) apple trees. Tree Physiol. 26:105-111.
- Du, Y. C. and S. Tachibana. 1994a. Photosynthesis, photosynthate translocation and metabolism in cucumber (*Cucumis sativus*) roots held at supraoptimal temperature. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 63:401-408.
- Liu, X. Z., and B. Huang. 2005. Root physiological factors involved in cool-season grass response to high soil temperature. Environ. Exp. Bot. 53:233-245.
- Malcolm P., P. Holford, B. McGlasson, and I. Barchia. 2008. Leaf development, net assimilation and leaf nitrogen concentrations of five rootstocks in response to root temperature. Sci. Hortic. 115:285-291.
- Meharg, A. A. and K. Killham. 1988. A comparison of carbon flow from pre-labelled and pulse-labelled plants. Plant soil 112:225-231.
- Mitchell, J. P., C. Shennan, and S. R. Grattan. 1991. Developmental changes in tomato fruit composition in response to water deficit and salinity. Physiol. Plant. 83:177-185.

- Monje, O., S. Anderson, and G. W. Stutte. 2007. The effects of elevated root zone temperature on the development and carbon partitioning of spring wheat. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 132:178-184.
- Moon, J. H., Y. K. Kang, and H.D. Suh. 2007. Effect of root-zone cooling on the growth and yield of cucumber at supraoptimal air temperature. *Acta Hort.* 761:271-274.
- Nielsen, K. F. 1974. Root and root temperature, p293-333. In: E. W. Carson (ed.). *The Plant Root and Its Environment*. Univ. Press of Virginia, Charlottesville, Virginia.

Effect of Low Root Temperature on Growth and Fruit Quality of Greenhouse-Grown Melon (*Cucumis melo* L.)

Jheng-Min Yang¹⁾ Huey-Ling Lin²⁾ San-Gwang Hwang³⁾

Key words: melon, root temperature, growth

Summary

In summer, heat stress can cause negative effects on crop growth and fruit quality. The purpose of this study is to investigate the effect of root temperature on plant growth and development of oriental melon 'Jill'. The experiments were conducted in autumn (August-October), 2012. A significant increase in plant height and growth rate but not in leaf area were observed when root temperature was lowered to $23\pm 2^{\circ}\text{C}$. No significant difference on root fresh and dry weight between root cooling and ambient condition can be observed before anthesis; however, leaf fresh and dry weight after harvest were significantly decreased by 30 and 16% under root cooling and ambient condition, respectively, compared with those of control. Carbohydrate content was not statistically different between root cooling and ambient condition. In autumn, the total fruit soluble solid under root cooling condition was significantly decreased relative to the control.

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

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

3) Assistant Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.