

高溫期降根溫對'台農二號'番木瓜生長影響

王 裕 杰¹⁾ 林 慧 玲²⁾

關鍵字：礦物營養、碳水化合物、根系生長

摘要：本研究於台灣之高溫期在設施內比較降低根溫控制系統之番木瓜與無降低根溫生長之差異，試驗共進行 2 次。結果顯示，藉由控制根溫的系統，可將根溫穩定控制在 23 °C，僅隨氣溫變動有小幅度波動。低根溫及對照組之地上部生長如株高、莖徑、節數及第一片展開葉之長寬皆無顯著差異。而根長亦無顯著差異。第一次試驗中，葉綠素及全可溶性糖含量以低根溫組顯著高於對照組；第二次試驗則無顯著差異。兩次試驗中，植株各部位之 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn 及 Cu 含量皆以對照組有高於低根溫組的趨勢。顯示本試驗於設施高溫期降低番木瓜之根溫對番木瓜的生長，並無顯著提升效果。

前 言

溫度對於作物生長發育是一個重要的影響因子，包括生長、光合作用、元素吸收，甚至開花結實。近年來氣候變遷全球暖化，酷熱及酷寒之氣溫對園藝作物生長發育影響甚鉅。因此，如何降低因環境因子所造成作物之災害是為當務之急。一般設施內控制溫度的方法為：增加通風、裝置電扇、水牆或是設置冷房或加裝熱棒等。但是，預調控設施內氣溫所耗費的能源成本相當高，因此，如何節能減碳亦是急需建立之關鍵技術。植株感應溫度的部位主要是葉片及根部；而調控根溫具有改善作物生長的效果(陳, 1996)。因此，如果能針對作物，給予植株根部最適合生長的溫度，期望能達到耐溫度逆境的效果；且控制所需的根溫範圍較整間設施溫控容易許多，預期可減少能源消耗。

台灣的氣候環境易使番木瓜於夏季面臨高溫、冬季面臨低溫逆境。進而導致植株生長不良、兩性花變異、產量降低等現象。兩性花的變異會受到遺傳、溫度、溫差、植株之生

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。

長勢強弱及營養狀況影響(王, 1980; 王, 2000; 李等, 2009; 洪, 2011)。因本次試驗擬藉由在高溫期降低根溫來改善植株生長狀況, 以降低番木瓜受高溫逆境之影響。

材料與方法

(一)試驗材料與試驗方法

本試驗的番木瓜品種為'台農二號', 購自中興大學園藝試驗場葡萄中心之組培苗(約 50 cm 高)。分為對照組及降低根溫組各 7 株, 共 14 株。每單株定植於徑 70 cm、高 24 cm、容量約 58 L 的圓形栽培桶, 使用介質為 Jiffy 泥炭土(10 L), 栽培於中興大學溫室。定植後將植株於地上部 15 cm 處剪斷, 使其重新抽出芽, 並僅留下頂芽。每 2 個月施用 1 次全能型好康多 70 天型 (S-101, 13-11-13-2TE) 50 g。

在低根溫組的栽培桶介質中埋設連接冷水機之金屬管, 以冷水機對流通於金屬管內的水進行降溫。並將冷水機的水溫控制於 18 °C, 植株根溫控制於 23 °C。另將冷水機的溫度感測器埋於植株根部之位置, 以準確控制根溫。每週進行生長調查, 並於處理結束時進行植體分析。處理時間分別為 2015 年 5 月 19 日至 2015 年 7 月 28 日及 2015 年 8 月 14 日至 2015 年 11 月 18 日。

(二)調查項目與分析方法

1. 調查項目

每週調查株高、莖徑、節數、第一展開葉之長寬及根長(量測最長之根), 並取第 1-3 片展開葉、葉柄、莖、根秤量鮮重, 並以烘箱 100 °C 殺菁 1 小時, 70 °C 乾燥 1-3 天, 並秤量乾重。磨粉均質供碳水化合物及礦物元素分析。

2. 分析方法

(1.) 葉綠素含量

參考 Moran (1980) 修改之方法, 使用直徑 1 cm 的打孔器, 在第 1-3 片葉片上各取 3 片葉圓片; 將葉圓片置於玻璃試管中, 加入 5 mL N,N-dimethyl formamide (DMF), 使葉圓片完全浸泡, 用錫箔紙包住試管使其置於黑暗 10 天。當組織呈半透明或白色時, 表示葉綠素已被溶出。以分光光度計 U-2000 測定波長 647 nm 及 664.5 nm 的吸光值, 利用公式計算出葉綠素 a、b 和總葉綠素含量, 單位以 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 表示。

(2.) 碳水化合物分析

將先前二、(二)、6、(2.)之乾燥樣品磨成粉末後, 後精秤 0.1 g 樣品放入 12 ml 之塑膠離心管中, 加入 10 ml 去離子水, 置於 30 °C 水浴中震盪 3 小時, 取出後於室溫下以 4000 rpm 離心 10 分鐘, 再用棉紙過濾, 取上層液測全可溶性糖, 殘渣置於 70 °C 烘箱烘乾, 待其完全乾燥後取出測定澱粉含量。

i. 全可溶性糖

採用 Dubois (1956)測定的方法，取上層液 0.2 mL 加 4.8 mL 去離子水均勻振盪，再取 2 ml 稀釋液，加入 0.1 ml 之 90 % 石碳酸(liquid phenol)，並再加入 6 ml 之濃硫酸(聯工)，置於抽氣櫃中，冷卻 30 分鐘後，以分光光度計(spectrophotometer, Shimadzu UV-200S)測定波長 490 nm 之吸光值，標準曲線以 2 $\mu\text{mol}/\text{ml}$ glucose 配置不同濃度，單位為 % (乾物重為分母)。

ii.澱粉

取上述提到烘乾之殘渣加入 2 ml 去離子水，放入沸水中煮 15 分鐘，取出後迅速冷卻，加入 2 ml 9.2 N HClO_4 後混合均勻並靜置 15 分鐘，再加入 6 ml 去離子水，於室溫下以 4000 rpm 離心 10 分鐘，過濾後取上層液 0.1 ml 上層液和 1.9 ml 去離子水混合均勻，加入 0.1 ml 之 90 % 石碳酸，再加入 6 ml 之濃硫酸，置於抽氣櫃中冷卻 30 分鐘後，以分光光度計測定波長 490 nm 之吸光值，標準曲線以 2 $\mu\text{mol}/\text{ml}$ glucose 配置不同濃度，單位為 % (乾物重為分母)。

(3.)大量及微量元素分析

精秤樣品粉末 0.5 g，置於坩鍋中，放入灰化爐進行灰化：先以 200 $^{\circ}\text{C}$ 加熱 2 小時，再以 400 $^{\circ}\text{C}$ 加熱 1 小時，最後以 550 $^{\circ}\text{C}$ 加熱 2 小時始樣本完全灰化。灰化結束後，於坩鍋內加入 5 mL 2N HCl (Merck company)，用去離子水將坩鍋內的灰分液稀釋，使用#42 號濾紙過濾至 25 mL 定量瓶定量到 25 mL 後倒入塑膠瓶內保存待測。

i.鉀、鎂、鈣、鐵、錳、鋅、銅

鉀、鎂，取 0.1 mL 濾液加 3.9 mL 去離子水混合均勻後，取 0.4 mL 混合液加 3.6 mL 去離子水均勻混合測定，共稀釋 400 倍，單位為 % (乾物重為分母)。鈣，取 0.1 mL 濾液加 3.9 mL 去離子水與 1 mL 5 % 氧化鋇均勻混合後測定，共稀釋 50 倍，單位為 % (乾物重為分母)。鐵、錳、鋅、銅，直接取濾液測定即可，單位為 ppm (乾物重為分母)。

ii.全氮

精秤 0.2 g 乾燥樣品包於濾紙中，置入分解管中，加入 1g 之催化劑 Merck 8030，再加入 4.5 ml 之濃硫酸，放置分解爐中以 410 $^{\circ}\text{C}$ 加熱分解約 2 小時，將完全分解之樣品移至 Micro-Kjeldahl 裝置，加入 20 ml 之 12 N NaOH，通蒸氣使之氯化，並用含 2% Boric acid 20ml 之指示劑之塑膠燒杯接收氨水，至總體積達 50 ml 時為止，最後以 1/14 N 之 H_2SO_4 滴定，並計算氮之百分比。

iii.磷

採用鉬黃法 (Vanadate-molybdate yellow method) 取 1 mL 濾液加入 3 mL 去離子水與 1 mL 鉬黃試劑混合均勻後，靜置 30 分鐘，用分光光度計測其波長 470 nm 的吸光值。

(4.)統計分析

將試驗結果以 CoStat 軟體計算平均值，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) 比較各處間之差異顯著性。

結 果

(一)溫度與根溫之關係

本試驗種植'台農2號'番木瓜，分別於2015年05月19日至2015年07月28日及2015年08月14日至2015年11月18日進行試驗。對照組的根溫會隨著氣溫起伏變化，平均日溫約介在25-35 °C之間。第二次試驗中，10月至11月期間則介於25-27 °C之間。低根溫組之根溫雖也會受氣溫影響，但波動起伏較小，可將根溫穩定控制於23 °C(圖1, 2.)。

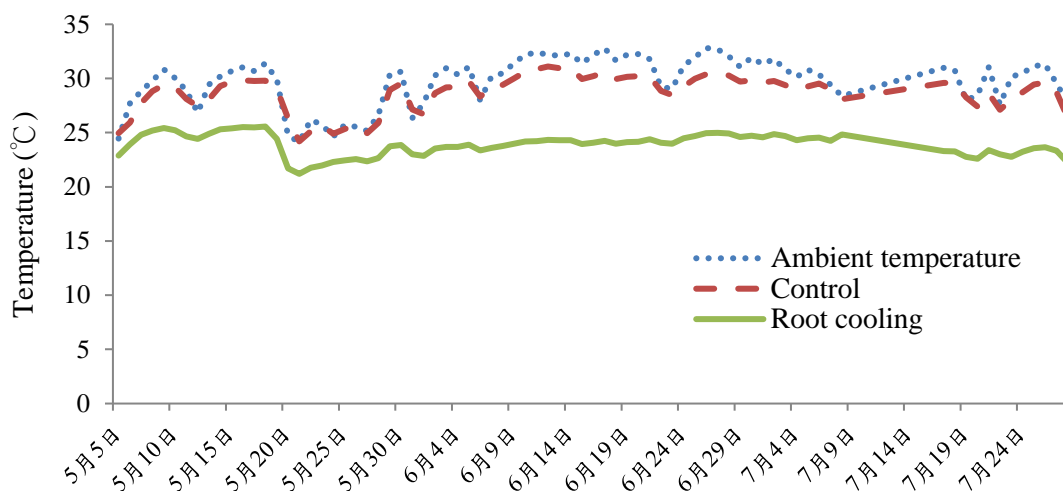


圖 1. 2015.05.19-2015.07.28 試驗期間，低根溫組與對照組土壤及溫室的日均溫。

Fig. 1. The fluctuation ambient temperature, root temperature of control, and cooling treatment in warm season (2015.05.19-2015.07.28).

(二)番木瓜生長調查

處理期間低根溫組的根溫約低於對照組 5 °C。兩次試驗中，對照組與低根溫組的植株株高相近，統計上無顯著差異，但低根溫組有略高於對照組(圖 3.A, B)。低根溫組植株皆在前 5 週具有較粗的莖徑，從第 6 週開始對照組的莖徑較低根溫組粗，而在第 8-9 週時生長趨勢趨於平緩；但於試驗期間，兩處理於統計上並無顯著差異(圖 4.A, B)。兩次試驗中對照組及低根溫組的節數並無顯著差異(圖 5.A, B)。高溫期第一次試驗低根溫組及對照組之葉長無顯著差異(圖 6.A)；第二試驗僅第 1 週顯著長於對照組，第 2 週後兩處理間無顯著差異(圖 6.B)；兩次試驗之葉寬皆無顯著差異(圖 7.A, B)。高溫期試驗中，對照組及低根溫組之最長根長並無顯著差異(圖 8.)。兩次試驗中只有第二次試驗對照組之根部鮮重顯著高於低根溫組 200 g(圖 8.B)；其餘各部位之乾鮮重皆無顯著差異(圖 9.A, B、圖 10.A, B)。

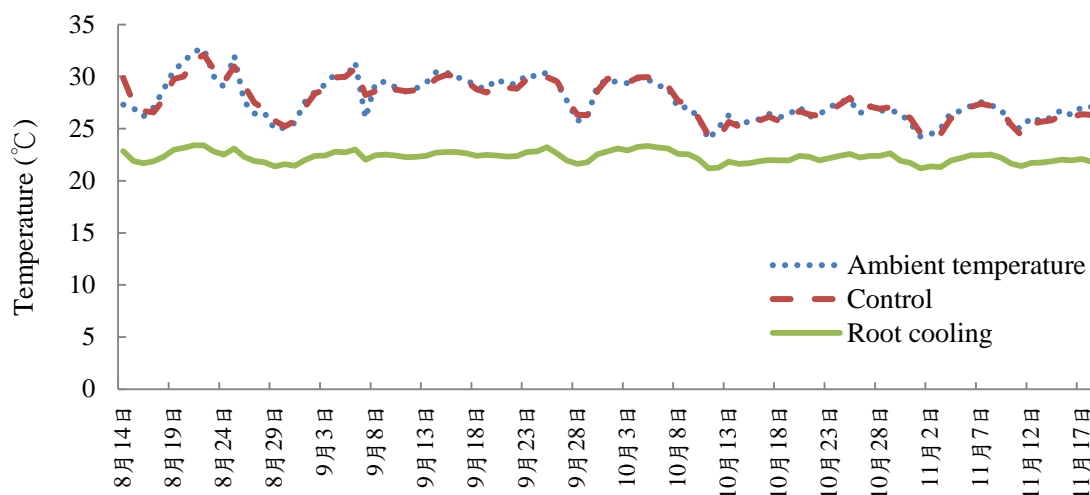


圖 2. 2015.08.14-2015.11.18 試驗期間，低根溫組與對照組土壤及溫室的日均溫。
Fig. 2. The fluctuation ambient temperature, root temperature of control, and cooling treatment in warm season (2015.08.14-2015.11.18).

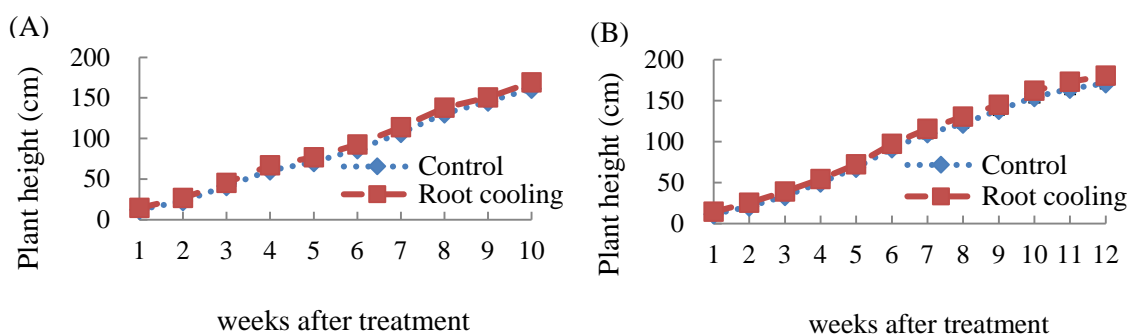


圖 3. 高溫期降根溫對番木瓜植株株高之影響。(A) 2015.05.19 - 2015.07.28、(B) 2015.08.14 - 2015.11.18。

Fig. 3. Effect of root temperature on plant height of papaya in warm season. (A) 2015.05.19 - 2015.07.28; (B) 2015.08.14 - 2015.11.18.

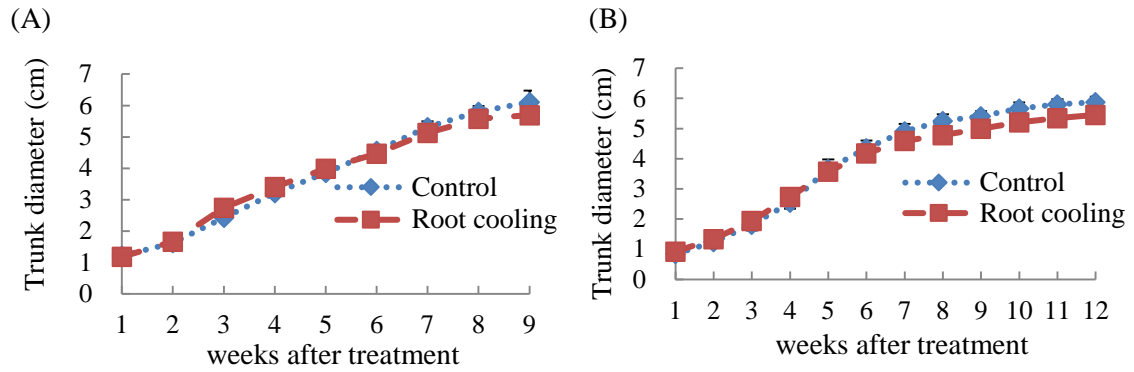


圖 4. 高溫期之根溫對番木瓜植株莖徑之影響。(A) 2015.05.19 - 2015.07.28、(B) 2015.08.14 - 2015.11.18

Fig. 4. Effect of root temperature on trunk diameter of papaya in warm season. (A) 2015.05.19-2015.07.28; (B) 2015.08.14-2015.11.18.

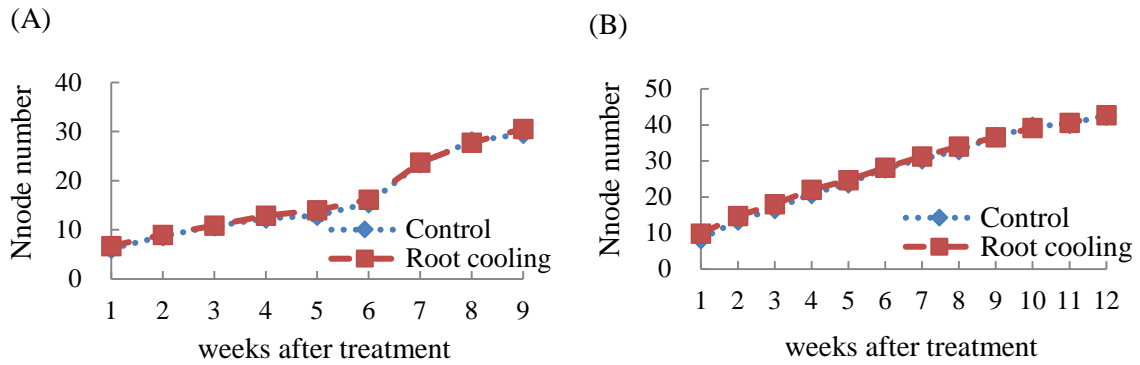


圖 5. 高溫期降根溫對番木瓜植株節數之影響。(A)2015.05.19 - 2015.07.28、(B) 2015.08.14 - 2015.11.18。

Fig. 5. Effect of root temperature on node number of papaya in warm season. (A)2015.05.19 - 2015.07.28; (B) 2015.08.14 - 2015.11.18.

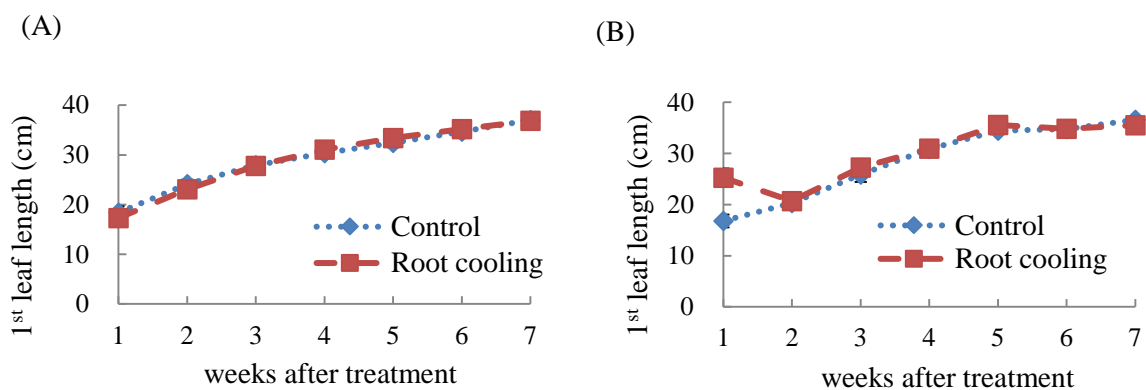


圖 6. 高溫期降根溫對番木瓜植株第一展開葉片葉長之影響。(A) 2015.05.19 - 2015.07.28、(B) 2015.08.14 - 2015.11.18。

Fig. 6. Effect of root temperature on first leaf length of papaya in warm season. 2015.05.19 - 2015.07.28; (B) 2015.08.14 - 2015.11.18.

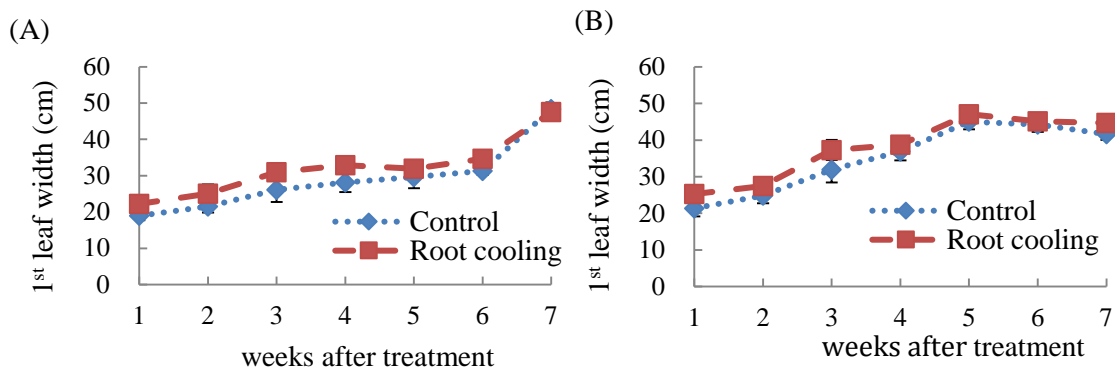


圖 7. 高溫期降根溫對番木瓜植株第一展開葉片葉寬之影響。(A) 2015.05.19 - 2015.07.28、(B) 2015.08.14 - 2015.11.18。

Fig. 7. Effect of root temperature on first leaf width of papaya in warm season. (A) 2015.05.19 - 2015.07.28; (B) 2015.08.14 - 2015.11.18.

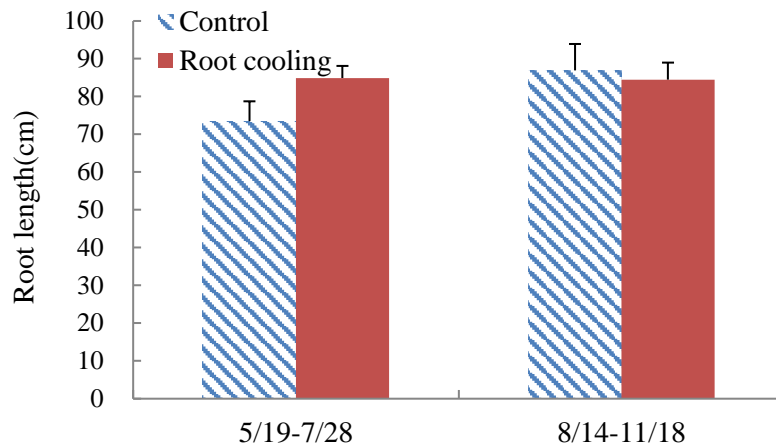


圖 8. 高溫期降根溫對番木瓜植株最長根長之影響 (2015.05.19 - 2015.07.28、2015.08.14 - 2015.11.18)。

Fig. 8. Effect of root temperature on longest root length of papaya in warm season. (2015.05.19 - 2015.07.28; 2015.08.14 - 2015.11.18.)

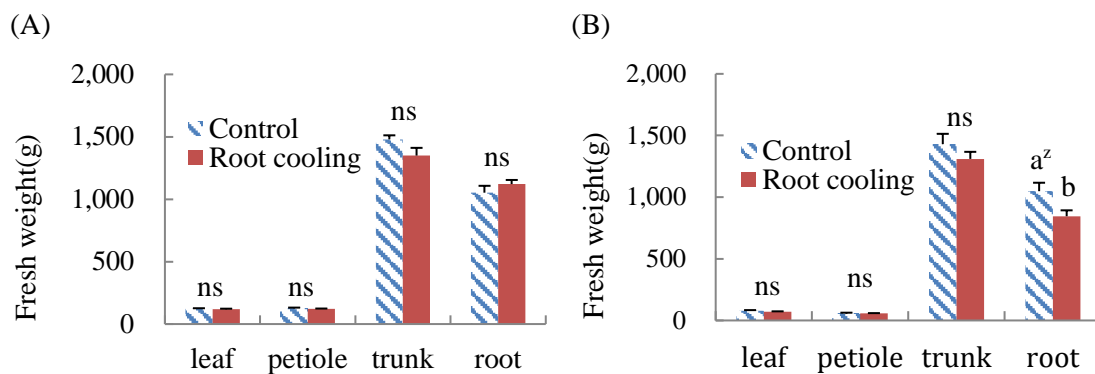


圖 9. 高溫期降根溫對番木瓜植株各部位鮮重之影響。(A) 2015.05.19 - 2015.07.28、(B) 2015.08.14 - 2015.11.18。

Fig. 9. Effect of root temperature on fresh weight of papaya in warm season. (A) 2015.05.19-2015.07.28; (B) 2015.08.14-2015.11.18.

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

(三)葉綠素含量

第一次試驗，處理組之葉綠素含量皆略高於對照組，其中葉綠素 b 呈顯著差異(圖 11.A)。第二次試驗於統計上並無顯著差異，不過對照組之葉綠素含量有略高於處理組的趨勢(圖 11.B)。

(四)碳水化合物含量

第一次試驗，處理組葉片之全可溶性糖含量高出對照組 1.43 %；處理組葉柄之全可溶性糖含量高出對照組 1.99 %；處理組莖部之全可溶性糖含量高出對照組 2.69 %；處理組根部之全可溶性糖含量高出對照組 2.37%，皆呈顯著差異。但澱粉含量兩處理間並無顯著差異(圖 12.A, B)。第二次試驗，植株各部位之全可溶性糖及澱粉含量在兩處理間皆無顯著差異(圖 13. A, B)。

(五)礦物元素含量

第一次試驗，對照組植株各部位之氮總含量皆略高於處理組，但無顯著差異；各部位之氮濃度也皆以對照組高於處理組，其中葉柄、莖部及根部分別高出 0.34 %、0.3 %及 0.37 %，呈顯著差異。各部位之磷濃度也皆以對照組高於處理組，其中葉柄、莖部及根部分別高出 0.13 %、0.11 %及 0.07 %，呈顯著差異。各部位之鉀濃度也皆以對照組高於處理組，其中葉柄、莖部及根部分別高出 0.71 %、1.4 %及 1.19 %，呈顯著差異。根部之鈣濃度以對照組顯著高於處理組 0.07 %。葉柄之鎂濃度以對照組顯著高於處理組 0.16 % (表 1)。

第一次試驗中，對照組葉片之錳濃度含量高出處理組 0.77 ppm；而根部之錳含量以對照組顯著高於處理組 3.39 ppm。處理組葉片之銅濃度顯著高於對照組 6.14 ppm；而葉片之銅濃度顯著高於對照組 1.07 ppm (表 1)。第二試驗中，植株各部位之氮、磷、鉀、鈣、鎂濃度除了根部皆無顯著差異，但以對照組有高於處理組的趨勢(表 2)。

討 論

(一)番木瓜植株之生長狀況

試驗進行於 2015.05 - 2015.07 及 2015.08 - 2015.11。並且可以從試驗期間的溫度記錄得知，有使用冷水機進行降溫的處理，其根溫顯著較對照組低(圖 1、圖 2)。而台灣於夏季時，氣溫約為 25-40 °C 之間，而土壤由於具有比熱及熱通量等因素，使其溫度的起伏較小(蔡等, 2008)，試驗期間約介於 25-30 °C 之間。根據 Lange(1961)及王(1995)表示，番木瓜生長最適溫度為 25-30 °C，而前人研究指出，根部之生長適溫大多會略低於地上部(陳, 1996b)，而當環境溫度過高時，會有兩性花變異的現象產生。固本次試驗將根域溫度控制在 20-25 °C。

這兩次試驗中，番木瓜的株高在對照組及處理組之間並無顯著差異，但降低根溫組有

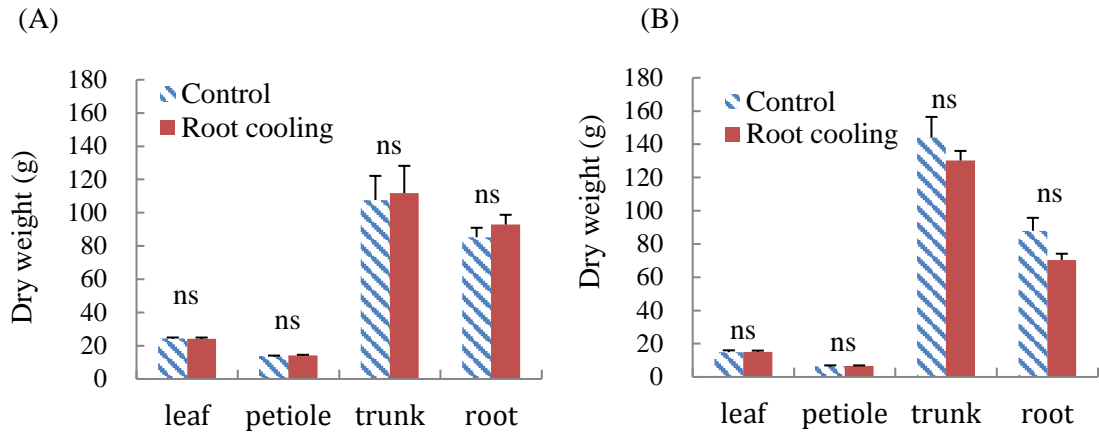


圖 10. 高溫期降根溫對番木瓜植株各部位乾重之影響。(A) 2015.05.19 - 2015.07.28、(B) 2015.08.14 - 2015.11.18。

Fig. 10. Effect of root temperature on dry weight of papaya in warm season. (A) 2015.05.19 - 2015.07.28; (B) 2015.08.14 - 2015.11.18.

²Means followed by the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

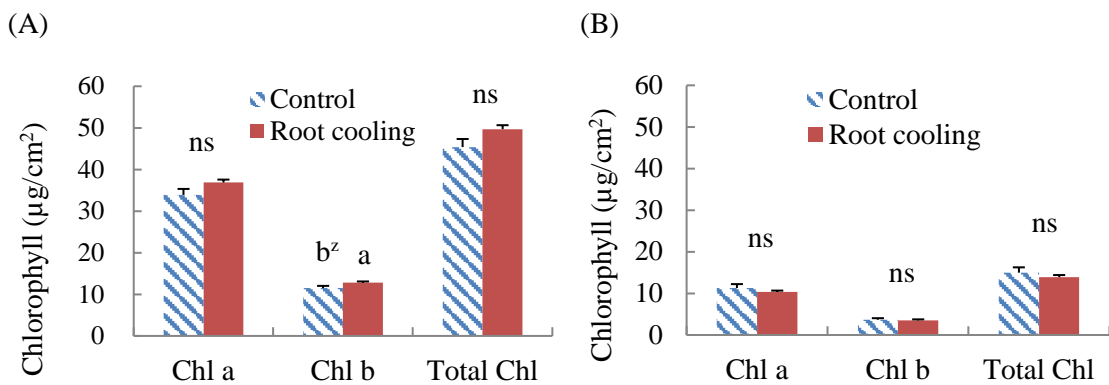


圖 11. 高溫期降根溫對番木瓜植株第 1-3 片展開葉葉綠素含量之影響。(A) 2015.05.19 - 2015.07.28、(B) 2015.08.14 - 2015.11.18。

Fig. 11. Effect of root temperature on chlorophyll concentration of leaf of papaya in warm season. (A) 2015.05.19 - 2015.07.28; (B) 2015.08.14 - 2015.11.18.

²Means followed by the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

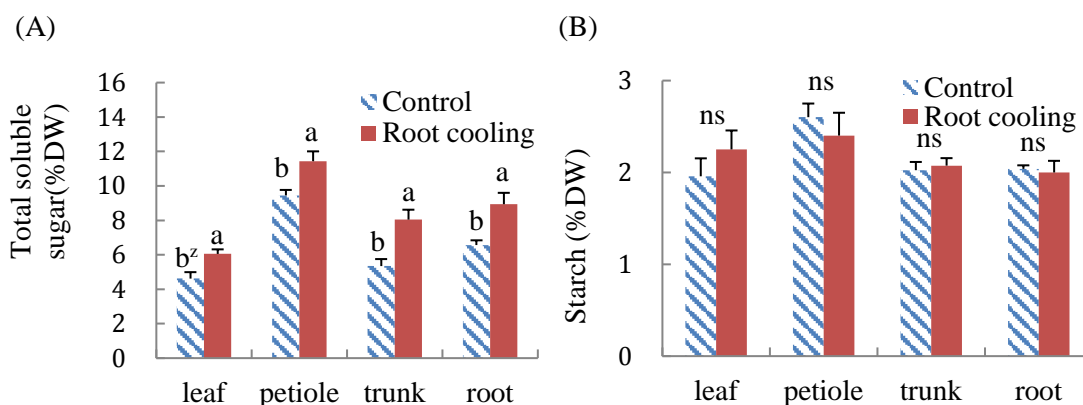


圖 12. 2015.05.19 - 2015.07.28 降根溫對番木瓜植株碳水化合物含量之影響。(A)全可溶性糖、(B)澱粉。

Fig. 12. Effect of root temperature on carbohydrate of papaya in warm season (2015.05.19 - 2015.07.28).(A) Total soluble sugar; (B) Starch.

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

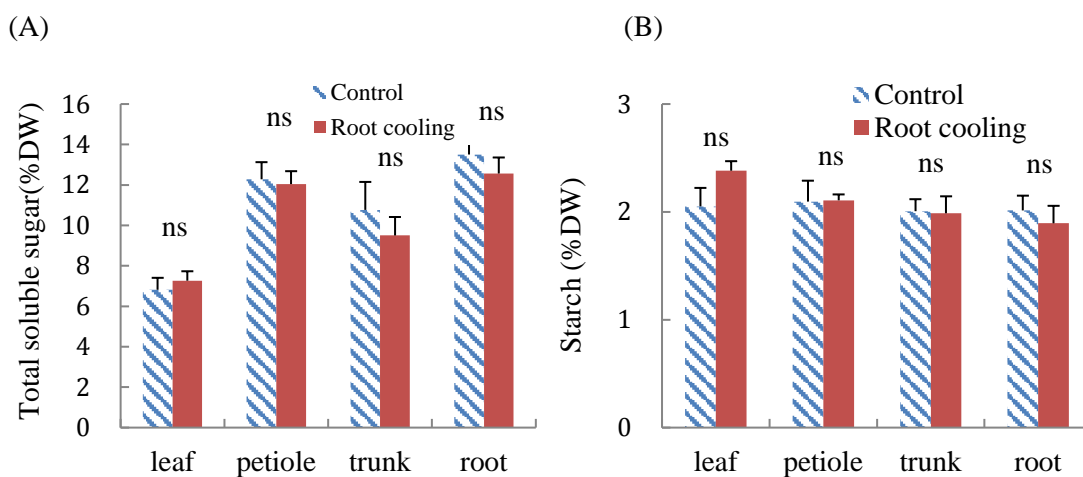


圖 13. 2015.08.14 - 2015.11.18 降根溫對番木瓜植株碳水化合物含量之影響。(A)全可溶性糖、(B)澱粉。

Fig. 13. Effect of root temperature on carbohydrate of papaya in warm season (2015.08.14 - 2015.11.18). (A) Total soluble sugar; (B) Starch.

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

表 1. 2015.05.19 - 2015.07.28 進行根溫處理對番木瓜植株元素含量之影響。(乾物重為分母)
 Table 1. Effect of root temperature on element content of papaya in warm season (2015.05.19 - 2015.07.28). (Dry weight basis)

Treatment	N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)	Fe(ppm)	Mn(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)
Leaf									
Control	3.63 a	0.59 a	1.88 a	1.61 a	1.16 a	108.06 a	53.60 a	35.83 a	3.85 b
Root cooling	3.21 a	0.53 a	1.69 a	1.39 a	1.02 a	99.86 a	42.83 b	29.69 b	4.92 a
Petiole									
Control	1.27 a	0.49 a	2.81 a	0.82 a	0.71 a	18.06 a	15.28 a	19.28 a	2.64 a
Root cooling	0.93 b	0.36 b	2.10 b	0.79 a	0.55 b	15.63 a	14.42 a	13.71 a	2.64 a
Trunk									
Control	1.36 a	0.67 a	2.90 a	0.85 a	1.01 a	32.13 a	25.63 a	20.49 a	4.07 a
Root cooling	1.06 b	0.56 b	1.50 b	0.72 b	0.93 a	22.85 a	22.99 a	16.85 a	3.36 a
Root									
Control	1.38 a	0.76 a	3.78 a	0.58 a	1.11 a	55.97 a	22.74 a	14.66 a	2.58 a
Root cooling	1.01 b	0.69 b	2.59 b	0.55 a	1.17 a	38.13 a	19.35 b	12.00 a	2.64 a

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

表 2. 2015.08.14 - 2015.11.18 進行根溫處理對番木瓜植株元素含量之影響。(乾物重為分母)
 Table 2. Effect of root temperature on element content of papaya in warm season (2015.08.14 - 2015.11.18). (Dry weight basis)

Treatment	N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)	Fe(ppm)	Mn(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)
Leaf									
Control	3.28 a	0.50 a	2.59 a	1.53 a	1.04 a	109.08 a	31.98 a	21.82 a	3.00 a
Root cooling	3.23 a	0.32 a	2.48 a	1.48 a	0.67 a	119.48 a	37.83 a	24.69 a	2.93 a
Petiole									
Control	0.68 a	0.42 a	3.57 a	1.15 a	0.38 a	19.57 a	14.58 a	12.33 a	3.83 a
Root cooling	0.76 a	0.44 a	3.86 a	1.08 a	0.36 a	19.13 a	17.49 a	13.28 a	1.71 a

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

續表 2. 2015.08.14 - 2015.11.18 進行根溫處理對番木瓜植株元素含量之影響。(乾物重為分母)

Continue table 2. Effect of root temperature on element content of papaya in warm season (2015.08.14 - 2015.11.18). (Dry weight basis)

Treatment	N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)	Fe(ppm)	Mn(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)
Trunk									
Control	0.72 a	0.49 a	3.60 a	0.87 a	0.54 a	32.65 a	15.32 a	10.74 a	2.00 a
Root cooling	0.59 a	0.49 a	3.85 a	0.82 a	0.48 a	36.76 a	18.49 a	13.42 a	1.78 a
Root									
Control	0.84 a	0.55 a	4.04 b	0.55 a	0.71 a	48.71 a	17.82 a	13.57 a	1.92 a
Root cooling	0.90 a	0.59 a	4.65 a	0.56 a	0.66 a	43.04 a	20.70 a	14.85 a	2.00 a

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

略高於對照組的趨勢(圖 3.A, B)。Liu 和 Huang(2005)的試驗指出，冷季草於 35 °C 的高根溫下，會抑制其植株的生長。而莖徑方面，兩次試驗皆無顯著差異，於前 4 週低根溫組略高於對照組，但之後為對照組略高於低根溫組(圖 4.A, B)。植株節數在處理間也無顯著差異(圖 5.A, B)。葉長葉寬於兩試驗期間皆無顯著差異(圖 6.A, B、圖 7.A, B)。在最長根長方面，第一次試驗以低根溫組略高於對照組，而第二次試驗則以對照組略高於低根溫組，但皆沒有顯著差異(圖 8)。以上試驗無顯著差異，推測為番木瓜屬熱帶作物，25-30 °C 的根溫雖然略高，但還不至於造成高溫逆境，故生長調查項目中僅株高略高於對照組。

而在乾鮮重方面，第一次試驗中，僅莖部鮮重對照組略高於低根溫組，但各個部位皆無顯著差異；而乾重則以低根溫組於各個部位皆略高於對照組，但也無顯著差異(圖 9.A、圖 10.A)。而第二次試驗中，不論乾鮮重，各部位皆以對照組略高於低根溫組，其中根部之鮮重具有顯著差異(圖 9.B、圖 10.B)。會有這現象推測為 5 月到 7 月期間氣溫較高，低根溫處理會較適合番木瓜生長，但室溫的氣溫不致於造成逆境，故處理間無顯出差異；而 8 月到 11 月期間氣溫漸降，為番木瓜較適合生長之氣溫，故生長較低根溫組佳，也由於兩處理之環境皆於番木瓜生長適溫，故也沒有產生顯著差異。

高溫期進行番木瓜之降低根溫之試驗，此次試驗結果在生長方面皆無顯著之差異，推斷為台灣之夏季氣候對屬於熱帶作物的番木瓜營養生長而言，不會造成高溫逆境傷害，故本次試驗降低根溫之促進生長效果並不顯著，進一步須對生殖生長作探討。

(二)葉綠素含量

Caers 等(1985)的試驗指出，玉米於高溫逆境下，葉綠素的累積及葉綠體之發育明顯

受到抑制。Liu 和 Huang(2005)的試驗指出，高根溫會顯著減少細胞分裂素於根部的累積。而於第一次試驗中，低根溫組之葉綠素含量略高於對照組，且葉綠素 b 有顯著差異，這與前人研究相符(圖 11.A)。第二次試驗之對照組則略高於處理組，但無顯著差異(圖 11.B)。推測台灣之夏季氣溫及根溫並不會造成顯著的逆境反應。

(三)碳水化合物含量

第一次試驗的可溶性糖含量皆以處理組顯著高於對照組，澱粉含量則皆無顯著差異(圖 12.)。根據 Du 和 Tachibana(1994)的研究指出，胡瓜於 38 °C 高根溫逆境下，會將運移至根部之光合產物轉化為可溶性糖。莊(1997)的研究也指出，萵苣在 35 °C 的高根溫下，根部的呼吸率提高，進而需要可溶性糖作為呼吸作用之基質來源，導致可溶性糖於根部的累積增加。而本次試驗中，降低根溫的處理可溶性糖含量較高，可能與低根溫下呼吸作用低，消耗呼吸基質較少，造成可溶性糖較對照組為降低根溫者高。而第二次試驗中，各部位之可溶性糖及澱粉含量皆無顯著差異(圖 13.)，可能高溫期未降根溫並未造成植株顯著的逆境反應。

(四)礦物元素之吸收

本次試驗的結果與 Harry 和 Jones(1996)認定之番木瓜葉片元素分析進行比較，N 及 P 有略高現象，K 則是略低於表準值，應為 N 的濃度過高影響到 K 的吸收。但 K 濃度並未低到產生礦物元素營養缺乏障礙(Awada and Long, 1971)，應為栽培環境影響到葉片之元素濃度。另外，本試驗之分析結果與邱及楊(2004)作比較，葉、葉柄及莖部之 N、P 及 K 濃度是相似的。

前人研究指出，當植株生長於生長適溫下，溫度越高元素吸收能力越好。而兩次試驗中，對照組之大量元素皆有增加的趨勢。且第一次試驗之 N、P、K 有顯著差異(表 1)，應為低根溫組根域溫度較對照組低了 5 °C，造成元素吸收能力上的差異。而微量元素方面，兩處理之各部位間皆無顯著差異(表 1、表 2)，顯示根溫對大量元素吸收的影響較微量元素之吸收顯著。另推測夏季之土壤溫度對於番木瓜之根部而言，並不會過高導致失去活性，造成元素吸收能力下降；甚至是夏季的土壤溫度為番木瓜根部適合生長之溫度，故於元素吸收有較佳的表現。

結 論

溫度是影響植株生長及地理分布的重要因子，往往為了讓作物生長於合適的氣溫，花費大量的資源在調控設施內的氣溫。而根部為植株生長之重要器官，其扮演吸收水分、礦物元素、合成荷爾蒙及運輸的功能。不適的溫度會影響根部功能運作，不利於植株生長。若針對植株根部之生長環境來進行溫度調控，將可省下的能源成本，並也可改善溫度逆境的問題。

於高溫期降低番木瓜根溫，從根溫紀錄可得知，對照組於高溫期的根溫介於 25-30 °C，

25-30 °C 為番木瓜生長之最適氣溫，而低根溫組控制其根溫介於 20-25°C。結果顯示，僅第二次試驗之根部鮮重，對照組有顯著高於低根溫組，其他生長調查項目皆無顯著差異。因此推論，試驗期間設施中的溫度是適合番木瓜營養生長，因此降低根溫促進生長之效果不顯著，未來需進一步調查高溫期降低根溫對生殖生長之影響，以評估降低根溫對番木瓜生殖生長及開花之效應。

參 考 文 獻

- 王德男。1980。影響木瓜兩性株型表現之因子研究。中華農業研究。29 (3): 225-237。
- 王德男。1995。番木瓜。台灣農家要覽農作篇(一)。pp.129-136。
- 王聞淨。2000。番木瓜兩性株花器形成之可變動性。國立臺灣大學園藝學系碩士論文。76 p。
- 李美娟、謝明憲、張龍生。2009。番木瓜植株性別決定與花器變動。植物種苗。11 (2): 57-69。
- 邱禮弘、楊耀祥。2004。嫁接處理對台農 2 號番木瓜生育及營養吸收之影響。台中區農業改良場研究彙報。85: 37-46。
- 洪苡萱。2011。改變積儲影響番木瓜營養與生殖生長。國立臺灣大學園藝學系碩士論文。63 p。
- 莊乃穎。1997。根溫處理對葉莖生理之影響。國立中興大學碩士論文。81 p。
- 陳右人。1996。根溫對椗果根生長、開花及葉片中無機元素與碳水化合物含量之影響。中國園藝。42 (2): 131-141。
- 陳右人、曾信光。1996b。地溫對植物生長與發育之影響。中華農業氣象。3 (2):65-89。
- 蔡子衿、吳清吉、許武榮。2008。台灣土壤溫度變化和土壤熱擴散係數推估。大氣科學。36 (2): 83-100。
- Awada, M. and C. Long. 1971. The selection of the potassium index in papaya tissue analysis. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96: 74-77.
- Caers, M., P. Rudelsheim, H. V. Onckelen, and S. Horemans. 1985. Effect of heat stress on photosynthetic activity and chloroplast ultrastructure in correlation with endogenous cytokinin concentration in maize seedlings. Plant Cell Physiol. 26: 47-52.
- Du, Y. C. and S. Tachibana. 1994. Photosynthesis, photosynthate translocation and metabolism in cucumber (*Cucumis sativus*) roots held at supraoptimal temperature. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 63: 401-408.
- Harry, A. M. and J. B. Jones, Jr. 1996. Plant Analysis Handbook II. Printed in the United States of America. 251 p.
- Lange, A. H. 1961. The effect of temperature and photoperiod on the growth of *Carica Papaya*. Ecology 42 (3): 481-486.
- Liu, X. and B. Huang. 2005. Root physiological factors involved in cool-season grass response to high soil temperature. Environ. Exp. Bot. 53: 233-245.

Effect of Cooling Root Temperature on the Growth of 'Tainung No. 2' Papaya (*Carica papaya* L.) during Warm Season

Yu-Jie Wang ¹⁾ Huey-Lin Lin ²⁾

Key words: Mineral nutrient, Carbohydrate, Root growth

Summary

This study is to investigate the effect of cooling root temperature during warm season (2015.05.19-2015.07.28 and 2015.08.14-2015.11.18) on plant growth and development of 'Tainung No. 2' papaya. The results show, the root temperature can be control at 23°C, stability, only a small amplitude effect by ambient temperature under cooling system. There were no significant difference about the plant height, trunk diameter, node number and the length and width of the first expand leaf between the low root temperature and the. Although there was no significant differences to root length, but in the second test, the fresh weight of the roots of the control was significantly higher than the low root temperature. The chlorophylls content of leaves and the total soluble sugar content of the low root temperature were significantly higher than control in the first test, but non in second test. On the other hand, the elements content (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu) of the control have rising trend than low temperature. In conclusion, reduced the root temperature of papaya in warm season in Taiwan couldn't increase the plant growth.

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

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