

# 降根溫處理對設施牛番茄生育之影響<sup>1</sup>

戴振洋<sup>2</sup>、盛中德<sup>3</sup>、田雲生<sup>2</sup>

## 摘 要

本試驗目的在於探討降根溫處理對設施番茄生育的影響。由試驗結果顯示，本試驗降根溫設備在最高溫下與對照處理降溫效果約達8°C，不同降根溫處理在番茄園藝性狀(株高、莖粗、葉長、葉寬、葉厚度及節數)，或在果實性狀方面如果長、果徑、單果重及總可溶性固形物等處理間，並無顯著性差異。對葉片與根部元素方面，分析結果顯示處理間在氮、磷、鉀、鈣及鎂等無機養分含量，處理間均未達顯著性差異。莖部元素方面，對照無降根溫者(C處理)之氮與鈣含量顯著高於降根溫處理者(A及B處理)，磷含量則呈現相反趨勢，降根溫處理者顯著優於對照無降根溫者。綜合本試驗結果如單純利用降根溫方式(最高溫下處理根溫僅能降至30°C)，其單果重仍偏小(41-76 g)無法達到商品販售要求，仍有待克服番茄高溫下生產問題，以尋找更佳降溫處理效果。

**關鍵詞：**番茄、根溫、設施、果重

## 前 言

跨政府氣候變遷小組(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)報告指出，在 21 世紀晚期，全球氣溫將提升 2-5°C，而臺灣農業環境受到全球氣候變遷影響下，地區微氣候暖化趨勢極為明顯，即使秋冬作栽培，性喜冷涼乾燥的番茄，果實著果也漸趨困難。溫度是影響番茄產量及品質的主要因素，番茄生育過程中尤以開花期對高溫逆境最為敏感。果菜類番茄其標的物為果實，番茄在夜溫超過 21°C 以上著果率即會顯著下降，尤其是在夏作 5-9 月栽培時，夜溫往往超過 24°C，日溫則高於 32°C，高溫致使著果率極低<sup>(3,13,16)</sup>。在低溫(15°C 以下)、高溫(32°C 以上)或其他逆境下仍能促使番茄正常著果，是栽培技術的關鍵<sup>(13)</sup>。依研究顯示，促進番茄著果方式主要以機械振動授粉、植物生長調節劑、蜜蜂授粉及熊蜂授粉等方法進行處理<sup>(13)</sup>。為節省人工噴灑著果劑，臺灣使用熊蜂在溫網室番茄授粉的情形大幅成長，而設施內高氣溫相對不利熊蜂授粉，且高氣溫下常導致有高根溫，對番茄的生長著果有不利影響<sup>(20)</sup>，隨著科技發展與進步，精準控制根溫較氣溫應可更符合能源效益<sup>(2)</sup>。因此，值得思考現有番茄促進著果方式，降低根溫是否符合未來整體的收益。

<sup>1</sup> 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 1018 號。

<sup>2</sup> 行政院農業委員會臺中區農業改良場副研究員及副研究員兼課長。

<sup>3</sup> 國立中興大學生物產業機電學系退休教授。

根為植物的重要營養器官之一，其功能包括支持植物體、貯存合成有機物質、吸收水分、養分及合成植物荷爾蒙，進而影響其生長與分化<sup>(2,4,5,8,16,18)</sup>。番茄自幼苗階段開始，隨著生長、花芽分化、開花、著果到採收，不同階段的最適根溫亦不相同，在花分化期到第一花序開花在 25-30°C，營養生長階段為 20-30°C，果實採收階段 15-30°C<sup>(16)</sup>。通常土溫即被視作根溫，是根部感受的溫度，根溫會隨著氣溫的變化而改變。作物的根部適溫會略低於地上部適溫，當作物根溫於適溫範圍內，會促進根部的水分吸收並提升根部的生長能力，番茄在根溫 25°C 時吸收水分速度最高，根溫再升高則吸水速度就下降<sup>(9,11)</sup>。故番茄根部功能及生理反應在夏季時會受到高溫的影響，根部細胞易發生脂質過氧化作用，細胞膜受損，導致根部活性降低、生長受阻及吸收能力下降，且無足夠水分供應地上部影響蒸散作用進行。番茄對於多種逆境呈現的反應是複雜的生理反應，不能以單一逆境進行推斷<sup>(9,18,20)</sup>。是否可利用降根溫方式達到促進高溫期設施番茄正常生育，進而使番茄能順利著果，以符合栽培者整體收益，值得驗證其實際應用之效益。

## 材料與方法

### 一、試驗品種與地點

1. 供試品種：和生種苗公司牛番茄‘768’。
2. 試驗地區：臺中區農業改良場(以下簡稱臺中場)蔬菜溫室。

### 二、試驗環境

1. 栽培方式：介質槽耕及微量介質袋栽培方式<sup>(12,14)</sup>，介質槽耕使用雜草抑制蓆材質包覆為槽高 30 cm×槽寬40 cm，微量袋耕以塑膠袋材質裝填介質容量1.5 L，袋距間隔45 cm。
2. 灌溉機具：臺中場研發之自動肥灌系統，具有5支文氏管注肥器，可設定灌溉配方、灌溉量與灌溉驅動模式，介質槽耕微噴灌。
3. 冰水主機：中興大學盛中德教授團隊研發冰水作業系統，外觀長59 cm、寬41 cm及高59 cm，可設定降溫及加溫(4-100°C±5°C)，馬達1/2HP，加熱功率1,200 W，電壓單相220 V、電流10 A，冰水機內水循環容量240 L，銅管直徑8.1 mm作為介質降溫循環管路，管路流量為4 L/min。
4. 土壤感測器(三合一型含土壤溫度、土壤濕度及 EC)：
  - (1)輸出格式：RS485(Modbus 協定)。
  - (2)土壤溫度：供電電壓 5-24 V DC，輸出訊號 0-2 V，測量範圍-30-70°C，準確度±0.2°C，響應時間≤1 sec，測量區域以中央探針為中心，直徑 65 mm、高 65 mm 之圓柱體範圍。
  - (3)土壤電導度(EC 值)：供電電壓 5-24 V DC，輸出訊號 0-2 V，測量範圍 0-20 dS/m 或 0-20 ms/cm 或 0-20,000 μs/cm，準確度±2.0% 或 0.02 ms/cm，穩定時間≤1sec，測量區域以中央探針為中心，直徑 65 mm、高 65 mm 之圓柱體範圍。
  - (4)土壤(濕度)水分：供電電壓 5-24 V DC，輸出訊號 0-2 V，測量範圍 0-100% (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) 容積

含水率之準確度 $\pm 3\%$ (0-54%)、 $\pm 5\%$ (54-100%)，測量區域以中央探針為中心，直徑 65 mm、高 65 mm 之圓柱體範圍。

5. 溫室：於臺中場內強固型單開頂塑膠布10連棟溫室(N24.001456, E120.531684)，長度40 m，每棟寬度4.8 m，水槽高度3.5 m，圓弧屋頂高度4.85 m，側邊捲收塑膠布和防蟲網，南北走向，中間8棟屋頂開設單側電動氣窗，氣窗開口面向東方，全開之垂直開口寬度1.1-1.2 m。本試驗在溫室東側於南北向的田區3及4實施，每田區有2個栽培槽面積約60 m<sup>2</sup>，槽高30cm，槽寬0.4 m，走道寬1.1 m。

### 三、試驗方法

1. 試驗處理：本試驗處理分別為(A)微量介質降根溫袋耕(田區 4 內排列微量介質袋，介質容量 1.5 L)，銅管環繞介質袋深度 12-15 cm，每袋種植 1 株；(B)降根溫槽耕(田區 4 進行，槽高 30 cm×槽寬 40 cm)，銅管埋沒介質深度 12-15 cm，株距 45 cm；(C)對照槽耕(田區 3 進行，槽高 30 cm×槽寬 40 cm)，株距 45 cm。試驗設計採完全逢機(CRD)排列方式，三重複，每處理調查 4 株。
2. 實施方法：於 2020 年 7 月 20 日進行番茄育苗，播種於 128 格穴盤，依照一般慣行育苗管理方式，於 8 月 21 日將番茄幼苗植株分別定植於上述各處理介質中，其栽培介質購自市售商業之泥炭介質(pH 值 6.42、EC 值 0.27 dS/m、氮含量 7.8 g/kg、磷含量 2.4 g/kg、鉀含量 2.4 g/kg、鈣含量 10.4 g/kg 及鎂含量 2.2 g/kg)，養液灌溉水量控制為供給養液後，泥炭介質保持濕潤狀態及底部不過量滴水為原則。降根溫處理為透過冰水主機降溫後的冰水，經由銅管埋入不同處理栽培介質進行降根溫作業，在介質循環後之冰水，在進入冰水主機桶內進行內部降溫循環，以製造穩定的 4-10°C 左右的冰水溫度，冰水降根溫作業時間為自早上 6 點至下午 6 點止，共 12 小時。各處理安裝土壤感測器(含土壤溫度類型)1 臺，分別記錄其處理的根部土壤溫度變化。
3. 番茄整枝方式：採用單幹整枝方式，番茄生育期間的栽培管理依慣行方式行之，養液調配參考日本山崎配方<sup>(1)</sup>略修正，每噸水分別添加硝酸鉀 KNO<sub>3</sub> 400 g、硝酸鈣 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O 360 g、磷酸一鉀 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 120 g、硫酸鎂(MgSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O) 250 g、鐵(Fe·EDTA) 20-30 g、綜合微量元素 20-30 g。
4. 調查項目與方法：
  - (1) 生育性狀與產量：於採收期末調查植株株高、莖粗、葉片數目與植株頂端向下第四片成熟葉之最大葉長、葉寬及葉厚度等園藝性狀。此外，並於採收初期、中期及後期，取樣調查果實品質，包括果高、果徑、果皮肉厚度、總可溶性固形物及單果重等項目。
  - (2) 植體分析：採收期末進行植株樣品取樣，分析葉、莖及根之 N、P、K、Ca、Mg 等養分含量分析<sup>(25)</sup>。所採集植體樣品以 70°C 烘乾進行養分含量分析，以濕灰法(硫酸)分解後

測定氮、磷、鉀、鈣及鎂含量<sup>(25)</sup>，其中以蒸餾法測定全氮量<sup>(17)</sup>；利用鉬黃法呈色及分光光度計於 420 nm 下比色，測定其全磷量<sup>(27)</sup>；利用發光分析儀測定其全鉀量<sup>(23)</sup>；利用原子吸收分析儀測定其鈣及鎂含量<sup>(24)</sup>。

5.分析方法:各小區所得數據資料經變方分析後，若處理差異顯著，則以 L.S.D. (Fisher's Least Significant Difference)測驗法比較處理間平均值之差異性。

表一、不同根溫處理之容器

Table 1. The containers of different root zone temperature treatments

Treatment	Root temperature	Containers	Medium volume (Liter/plant)
A	Reducing <sup>z</sup>	Minor medium plastic bag	1.5
B	Reducing	Trough	30.0
C	Natural	Trough (CK)	30.0

<sup>z</sup>Reducing root temperature by cool water of water chiller and copper tube

## 結果與討論

### 一、番茄生育期間最高氣溫期之不同降根溫處理溫度比較

比較在番茄生育期間(8月21日-12月1日)最高氣溫期之不同降根溫處理間差異，在每處理安裝1組土壤溫度、濕度、EC值三合一感測器，3組分別記錄根部土壤溫度變化，表一為氣溫及各處理介質溫度監測生育期間的最高氣溫之結果，顯示最高氣溫43.7°C，各處理介質溫度以對照處理(C)最高為38.8°C，而降根溫處理不論是微量介質降根溫袋(A)或降根溫槽(B)介質溫度在30°C左右，在最高溫下與對照處理(C)能從38.8°C降至30°C，降溫效果約達8°C，平均溫度降溫效果則介質溫差約達5°C。當日最低氣溫26.2°C，各處理介質溫度對照處理(C)為27.1°C，而降根溫處理的微量介質降根溫袋(A)24.9°C及降根溫槽(B)24.8°C，在最低溫下與對照處理(C)能從27.1°C降至24.8-24.9°C，降溫效果約達2.2-2.3°C，平均溫度降溫效果則介質溫差約達2.7-3.1°C。依照根溫變化(表二)得知，在最高溫下與對照處理(C)降溫效果約達8°C，在最低溫下降溫效果約達2.2-2.3°C，配合相關生育性狀調查，以確定夏作番茄降根溫栽培效果，是否能解決高溫期所面臨的問題。

### 二、不同降根溫處理對番茄園藝性狀之影響

由不同降根溫處理對番茄園藝性狀調查結果顯示(表三)，番茄植株株高、莖粗、葉長(頂端下第四葉)、葉寬(頂端下第四葉)、葉厚度(頂端下第四葉)及節數在不同處理間番茄園藝性狀差異均不顯著。其中植株株高以 C 處理(對照)的株高 213 cm 較高，其次為 B 處理(降根溫槽)201 cm 與 A 處理(微量介質降根溫袋)200 cm 較低。植株莖粗以 C 處理的莖粗 13.0 mm 較高，其次為 A 處理 11.8 mm 與 B 處理 11.3 mm 較低。葉長 C 處理的 52.0 cm 較高，其次為 A 處理 49.3 cm 與 B 處理 47.8 cm 較

低。葉寬以 C 處理的 45.8 cm 較高，其次為 B 處理 43.3 cm 與 A 處理 43.0 cm 較低。葉厚度以 A 處理的 0.14 mm 較高，其次為 B 處理 0.13 mm 與 C 處理 0.12 mm 較低。節間數不同處理間在 19.0-21.5 之間，各處理間均差異不顯著。

作物形態特性與生長特性的改變受到許多因素影響，此也是作物調節適應環境的重要策略，特別是葉片形狀對環境變化的反應更為敏感且可塑性較大<sup>(3,9)</sup>。作物不同器官之間有密切之關係，尤其是根與枝條之生長更為緊密<sup>(4)</sup>。本試驗顯示不同降根溫處理對番茄採收期園藝性狀(株高、莖粗、葉長、葉寬、葉厚度及節數)，於各處理間無顯著性差異，顯示目前就本試驗番茄在高溫下與對照處理(C)降溫效果約達 8°C 之下，在採收後期園藝性狀不論是否有降根溫，其表現均無統計上差異。此是否表示夏季高溫介質栽培番茄根溫仍在番茄合理忍受程度，或者降溫效果對番茄園藝性狀表現並不會造成影響，惟番茄屬果菜類，其標的物為果實，綜合各方條件下應以果實產量及品質為處理效果之主要考量。

表二、番茄生育期間不同降根溫處理之根部溫度情形<sup>y</sup>

Table 2. The root zone temperature of different treatments during tomato growth period<sup>y</sup>

Treatment <sup>z</sup>	Temp.	Max. temp.	Min. temp.	Avg. temp.
		----- (°C) -----		
	Air temp.	43.7	26.2	33.5
A	Root temp.	30.0	24.9	27.8
B		30.5	24.8	28.2
C		38.8	27.1	30.9

<sup>z</sup>Description in Table 1. (A: Minor medium plastic bag for reducing root temperature, B: Trough for reducing root temperature, C: Trough (CK) )

<sup>y</sup> Aug. 21-Dec. 1, 2020

表三、不同降根溫處理對番茄採收末期之園藝性狀影響

Table 3. The effects of root zone temperature treatments on the characteristics of tomato at harvest stage

Treatment <sup>z</sup>	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf			
			length (cm)	width (cm)	thickness (mm)	No. (No./plant)
A	200a <sup>y</sup>	11.8a	49.3a	43.0a	0.14a	19.0a
B	201a	11.3a	47.8a	43.3a	0.13ab	21.5a
C	213a	13.0a	52.0a	45.8a	0.12b	21.2a

<sup>z</sup>Description in Table 1. (A: Minor medium plastic bag for reducing root temperature, B: Trough for reducing root temperature, C: Trough (CK) )

<sup>y</sup> Means with the same letters in a column were not significantly different at 5% level by least significance difference.

### 三、不同降根溫處理對番茄果實性狀之影響

本研究分別於番茄採收初期、中期及後期調查果實性狀，根據番茄採收初期果實性狀調查結果顯示(表四)，在果高、果徑、果肉厚、單果重及可溶性固形物含量上，不同處理間大部分性狀差異不顯著。僅在番茄果高以A處理(微量介質降根溫袋)3.76 cm較高，B處理(降根溫槽)3.40 cm次之，兩處理間無顯著性差異，但與C處理(對照)3.37 cm達顯著性差異。果徑以A處理5.11 cm較高，C處理4.82 cm與B處理4.79 cm次之，處理間無顯著性差異。果肉厚以B處理6.76 mm較高，A處理6.17 mm與C處理6.10 mm次之，各處理間無顯著性差異。單果重以A處理52.6 g較高，C處理46.0 g與B處理41.2 g次之，處理間無顯著性差異。可溶性固形物含量以B處理5.14° Brix最高，C處理4.84° Brix及A處理4.83° Brix次之，各處理亦無顯著性差異。

番茄採收中期果實性狀調查結果顯示(表四)，在果高、果徑、果肉厚、單果重及可溶性固形物含量上，不同處理間均無顯著性差異。其中，番茄果高以B處理4.27 cm較高，次之為C處理3.92 cm與A處理3.74 cm。果徑以B處理5.51 cm較高，次之為B處理與C處理，兩者均為5.18 cm。果肉厚以B處理7.44 mm較高，次之為A處理7.17 mm與C處理7.12 mm。單果重以B處理76.5 g較高，依序為C處理59.3 g與A處理54.0 g。可溶性固形物含量以C處理4.44° Brix最高，依序為B處理4.34° Brix與A處理4.33° Brix。在番茄採收後期果實性狀調查結果亦顯示不同處理間其果實性狀亦均無顯著性差異，其中番茄果高不同處理間在3.96-4.19 cm，果徑不同處理間在4.97-5.30 mm，果肉厚不同處理間在7.39-7.48 mm，單果重不同處理間在57.1-67.1 g。可溶性固形物含量不同處理間在4.23-4.30° Brix。

在臺灣栽培的番茄種類有牛番茄、黑柿番茄、桃太郎番茄與小番茄如‘玉女’、‘金童’、‘蜜三’及其他紅或黃小果等系列<sup>(12)</sup>，其中市面上主要流通且農民種植之設施番茄品種以牛番茄系統為主力，少部分為桃太郎與小番茄品種<sup>(12)</sup>。在夏季高溫多濕，造成牛番茄平地栽培極為困難，即使在高冷地牛番茄果實著果也已漸趨困難。藤重宣昭等證實果實採收階段，根溫以 15-30°C 為其最佳範圍<sup>(16)</sup>。本試驗也嘗試以降根溫方式期能在高溫期可正常結果生長，故著果期間並未使用推薦使用外加植物生長調節劑，以提高著果率及果實發育。果實是番茄栽培的標的器官，果實外觀及內容物將影響販售價格及農民收益<sup>(12,13)</sup>。本試驗結果顯示，利用降根溫處理於採收前期、中期及後期對番茄果實之果高、果徑、果肉厚、單果重及可溶性固形物含量上，在不同處理間並無顯著性差異，且果實偏小。根據臺北農產運銷股份有限公司牛番茄的分級標準<sup>(10)</sup>，牛番茄果實依大小規格，可區分為大(L)在 250 g 以上；中(M)在 200-250 g；小(S)在 150-200 g，顯然本試驗單果重仍偏小(41-76 g)，未能達到商品販售要求之經濟栽培目標。建立作物理想的新栽培模式，應涵蓋範圍的周延性很大，包括作物品種特性<sup>(12)</sup>、栽培管理方式<sup>(14,15)</sup>、生長立地環境、施用肥料種類<sup>(1,12,21)</sup>及病蟲害防治等。不同階段的最適根溫亦不相同，在花分化期到第一花序開花在 25-30°C，營養生長階段為 20-30°C，果實採收階段 15-30°C<sup>(16)</sup>。綜合試驗結果在果實性狀方面，如果單純利用本試驗降根溫方式(僅降至 30°C)是無法完全克服高溫下番茄經濟生產，Kawasaki 等指出根區溫度保持在 24.7°C 有較佳相對生

長率(RGR)<sup>(22)</sup>，或許可能需要再調整降根溫處理時間<sup>(2)</sup>、加大降溫差<sup>(29)</sup>或尋找最佳處理<sup>(4,5,15,29)</sup>效果，另或是否應結合植物生長調節劑<sup>(13)</sup>、遮陰降氣溫、噴霧降溫或其他栽培技術<sup>(20)</sup>，則有待進一步試驗探討確定。

表四、不同降根溫處理對番茄採收初、中及末期果實性狀之影響<sup>z</sup>

Table 4. The effects of root zone temperature treatments on the fruit characteristics of tomato at different harvest stage<sup>z</sup>

Treatment <sup>y</sup>	Fruit				Total soluble solid (° Brix)
	height (cm)	diameter (cm)	thickness (mm)	weight (g/fruit)	
early harvest stage					
A	3.76a	5.11a	6.17a	52.6a	4.83a
B	3.40ab	4.79a	6.76a	41.2a	5.14a
C	3.37b	4.82a	6.10a	43.0a	4.84a
middle harvest stage					
A	3.74a	5.18a	7.17a	54.0a	4.33a
B	4.27a	5.51a	7.44a	76.5a	4.34a
C	3.92a	5.18a	7.12a	59.3a	4.44a
late harvest stage					
A	3.96a	4.97a	7.43a	57.1a	4.30a
B	4.19a	5.29a	7.48a	67.1a	4.27a
C	4.12a	5.30a	7.39a	65.0a	4.23a

<sup>z</sup>Description in Table 1. (A: Minor medium plastic bag for reducing root temperature, B: Trough for reducing root temperature, C: Trough (CK) )

<sup>y</sup>Means with the same letters in a column of each stage were not significantly different at 5% level by least significance difference.

#### 四、不同降根溫處理對番茄植株元素含量之影響

以不同降根溫處理番茄葉片無機養分吸收之影響，結果如表五顯示葉片氮含量介於2.01-2.25%、磷含量介於0.36-0.44%、葉片鉀含量介於2.76-3.15%、鈣含量介於4.88-6.05%及鎂含量介於0.94-1.01%，各元素於處理間差異均不顯著。

以不同降根溫處理番茄莖無機養分吸收之影響結果顯示(表五)，莖氮含量以 C 處理(對照)較高1.49%，依序為 B 處理(降根溫槽)3.40%與 A 處理(微量介質降根溫袋)1.09%，各處理彼此間均達極顯著性差異。莖磷含量以 A 處理與 B 處理兩者均為 3.40%顯著優於 C 處理(對照)0.26%。莖鉀含量介於 2.67-2.87%之間處理間差異不顯著。莖鈣含量以 C 處理 1.42%最高，達極顯著性優於 B 處理 1.21%及 C 處理 1.06%，但 B 處理與 C 處理之間並無顯著性差異。莖鎂含量介於 0.49-0.59%之間，處理間差異亦不顯著。

以不同降根溫處理番茄根無機養分吸收之影響結果顯示(表五)，氮含量介於 1.55-1.83%、磷含量介於 0.17-0.19%、鉀含量介於 1.84-2.18%、鈣含量介於 1.54-1.66%與鎂含量介於 0.31-0.35%，各元素於處理間差異均不顯著。

根區溫度對作物根系水分、元素吸收利用、生理反應及發育有重要影響<sup>(2,4,8,9,16,18)</sup>。因根溫可以影響作物生長，主要透過光合作用、水分代謝、元素吸收等作用直接或間接影響其生長；另也直接土壤元素及有機質分解、根部吸收有效性元素效益等。應用「植物營養診斷」<sup>(6,7)</sup>方式是藉分析植物之組織或器官中養分、酵素活性或代謝產物等來評估植體營養狀況，其中葉片分析較為簡便而被廣泛應用。以葉片分析診斷作物營養狀態，乃因葉片各無機元素濃度適當與平衡，始可獲得有良好產量與品質<sup>(1,20)</sup>。故葉片要素測定值與已定之適宜值或元素濃度分級比較後，可作為推斷營養狀況後調整栽培技術或施肥量之參考<sup>(14)</sup>。本試驗分別取樣葉片、莖及根部作為分析，以探討根溫處理對番茄營養狀態之診斷。綜合結果可知，根溫處理者在葉片及根部等植體氮、磷、鉀及鎂含量都無顯著差異，僅葉片鈣含量對照無降根溫者高於降根溫處理者(A 與 B 處理)。在莖氮含量及鈣含量則對照無降根溫者呈現極顯著高於降根溫處理者(A 與 B 處理)，但莖磷含量則呈現相反趨勢，降根溫處理者(A 與 B 處理)顯著優於對照無降根溫者。果菜類番茄果實及葉片間無機元素吸收與轉移之間相關性受品種、地區、季節、栽培方式、肥料等不同影響<sup>(3,19,20,28,29)</sup>，馮等研究指出番茄在高根溫(30-40℃)葉片水勢較低，但葉片生長、乾物質累積及光合速率較高，此可能鈣及氮隨水分進入植體累積較多，其中以莖最為顯著<sup>(9)</sup>。依日本所定之番茄葉片要素含量適量基準，葉片氮含量介於 2.5-3.5%之間，磷含量介於 0.2-0.4%，鉀含量介於 4.0-5.0%間，鈣含量介於 3.0-5.0%與鎂含量介於 0.5-1.0%<sup>(6)</sup>。綜合本研究不同處理間對番茄無機養分吸收結果顯示，葉片氮含量介於 2.01-2.25%，較日本適量基準氮含量為大部分偏低，葉片磷含量各處理介於 0.36-0.44%，較日本所定之要素含量適量基準磷含量為偏高，而鉀含量介於 2.76-3.15%，較日本適量基準鉀含量為大部分偏低；鈣含量介於 4.88-6.05%，較日本適量基準鈣含量均屬偏高，僅有鎂葉片含量與日本所定之適量基準差異不大。Tindall 等指出根區溫度在 10-37.8℃之間，以根部溫度在 26.7℃ 各種元素的營養吸收達到最佳峰值<sup>(29)</sup>。顯示本試驗在最高溫下對照處理(C)及降溫處理的根部溫度從 38.8℃降至 30℃，對番茄無機養分吸收大部分差異不顯著，也可能因受限降溫設備效果影響，根部溫差之差異間距應更大，或許能使在無機養分吸收更明顯。

表五、降根溫處理對設施番茄採收末期氮、磷、鉀、鈣及鎂含量之影響

Table 5. The effects of root zone temperature treatments on the N, P, K, Ca and Mg contents in leaf at tomato harvested stage

Treatment <sup>z</sup>	N	P	K	Ca	Mg
	-----		(%)	-----	
A	2.01a <sup>y</sup>	0.36a	2.76a	4.88b	0.94a
B	2.25a	0.44a	3.15a	5.90a	1.01a
C	2.17a	0.43a	2.99a	6.05a	0.99a

<sup>z</sup>Description in Table 1. (A: Minor medium plastic bag for reducing root temperature, B: Trough for reducing root temperature, C: Trough (CK) )<sup>y</sup>Means with the same letters in a column were not significantly different at 5% level by least significance difference.

表六、降根溫處理對設施番茄採收末期莖中氮、磷、鉀、鈣及鎂含量之影響

Table 6. The effects of root zone temperature treatments on the N, P, K, Ca and Mg contents in stem at tomato harvested stage

Treatment <sup>z</sup>	N	P	K	Ca	Mg
	-----		(%)	-----	
A	1.09c <sup>y</sup>	0.34a	2.67a	1.06b	0.49a
B	1.32b	0.34a	2.69a	1.21b	0.59a
C	1.49a	0.26b	2.87a	1.42a	0.58a

<sup>z</sup>Description in Table 1. (A: Minor medium plastic bag for reducing root temperature, B: Trough for reducing root temperature, C: Trough (CK) )<sup>y</sup>Means with the same letters in a column were not significantly different at 5%(\*) or 1%(\*\*) level by least significance difference.

表七、降根溫處理對設施番茄採收末期根中氮、磷、鉀、鈣及鎂含量之影響

Table 7. The effects of root zone temperature treatments on the N, P, K, Ca and Mg contents in root at tomato harvested stage

Treatment <sup>z</sup>	N	P	K	Ca	Mg
	-----		(%)	-----	
A	1.59a <sup>y</sup>	0.19a	2.18a	1.50a	0.31a
B	1.55a	0.19a	2.07a	1.54a	0.35a
C	1.83a	0.17a	1.84a	1.66a	0.32a

<sup>z</sup>Description in Table 1. (A: Minor medium plastic bag for reducing root temperature, B: Trough for reducing root temperature, C: Trough (CK) )<sup>y</sup>Means with the same letters in a column were not significantly different at 5% level by least significance difference.

## 結 論

由本試驗結果顯示，此次所使用降根溫試驗設備在高溫下與對照處理降溫效果約可達8°C，不同降根溫處理在番茄園藝性狀或果實性狀方面並無顯著性差異。對葉片及根部元素分析結果顯示處理間在氮、磷、鉀、鈣及鎂等無機養分含量，處理間均未達顯著性差異。莖部元素方面，對照無降根溫者(C處理)之氮及鈣含量顯著高於降根溫處理者(A及B處理)，磷含量則呈現相反趨勢，降根溫處理者顯著優於對照無降根溫者。綜合本試驗如單純利用銅管冷水流通方式，對介質的降溫(最高溫下處理根溫僅能降至30°C)效果，雖可提高著果率12.2-22.6%(科技部期末報告)，但單果重仍偏小(41-76 g)無法達到商業要求之大小規格150-200 g，仍有待克服番茄高溫下生產問題，未來將開發更佳降根溫效果設備，以達到降至24-26°C為宜。

## 誌 謝

本研究承蒙科技部經費補助(MOST 109-2321-B-005-021-)，國立中興大學生物產業機電工程學系盛中德教授團隊協助冰水作業系統規劃及安裝，國立中興大學園藝學系宋好教授提供試驗過程指導及協助，本場游富升研究助理及土壤肥料研究室協助植體及介質分析，謹致謝忱。

## 參考文獻

1. 山崎肯哉 1982 養液栽培全編 博友社 東京，日本。
2. 宋敏麗、溫祥珍、李亞靈 2018 水培控制根際溫度對夏季設施番茄生長的影響 農業工程技術 38(28): 27-31
3. 李曙軒 1984 茄果類的栽培生理 p.281-345 李曙軒(編)蔬菜栽培生理 上海科學技術出版社 上海。
4. 范愛武、劉偉、劉炳成 2004 土溫對植物生長的影響及其機理分析 工程熱物理學報 25(1): 124-126。
5. 馬宇婧、王任、溫祥珍 2018 無土栽培條件下的根溫控制技術 農業工程技術 34: 56-60。
6. 高橋英一、吉野実、前田正男 1980 新版原色作物の要素欠乏過剩症 農文協 東京，日本。
7. 張禮忠、毛知耘譯 1992 利用植物測試診斷礦物元素缺乏症 p.63-76. 植物無機營養 農業出版社 北京，中國。
8. 閻秋豔、段增強、李汛、董金龍、王媛華、邢鵬、董飛 2013 根區溫度對黃瓜生長和土壤養分利用的影響術 土壤學報 50(4): 752-760。
9. 馮玉龍、姜淑梅 2001 番茄對高根溫引起的葉片水分脅迫的適應 生態學報 21(5): 747-751。

10. 臺北農產運銷股份有限公司 2011 <http://www.tapmc.com.taipei/Pages/Market/Packing/G00060> (2011.8.30網頁版)
11. 趙玉萍、徐占偉 2014 不同溫光對溫室番茄生理指標的影響 安徽農業科學 42(13): 3791-3792。
12. 戴振洋 2009 設施番茄介質耕栽培技術 台中區農業技術專刊 179: 1-14。
13. 戴振洋 2020 設施番茄著果 豐年70卷(2): 94-99。
14. 戴振洋、林煜恒 2016 不同栽培容器及介質量對設施番茄生育之影響 臺中區農業改良場研究彙報 132 : 13-21。
15. 戴振洋、蔡宜峯 2014 椰纖介質容量對設施番茄生育之影響 台中區農業改良場研究彙報 123: 1-9。
16. 藤重宣昭、杉山直儀、尾形亮輔 1991 トマトの花芽分化と結実に及ぼす根温の影響 園学雑誌 60(1): 97-103。
17. Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. p.595-624. In: Page, A. L., H. Miller and D. R. Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis, Part 2. Academic Press, Inc., New York.
18. Brian, A. K. and P. J. Stoffella 1986 Root systems of vegetable crops : A brief introduction. HortScience 21(4): 951.
19. Brouwer, R. 1981. Co-ordination of growth phenomena within a root system of intact maize plants. Plant and Soil. 63: 65-72.
20. Dorais, M., A. P. Padopoulos and A. Gosselin. 2001. Greenhouse tomato fruit quality. Horticultural Rev. 26: 239-319.
21. Juld, R. 1982. Bag culture Amer. Veg. Grower. 30: 40-42.
22. Kawasaki, Y., S. Matsuo, K. Suzuki, Y. Kanayama, and K. Kanahama. 2013. Root-zone cooling at high air temperatures enhances physiological activities and internal structures of roots in young tomato plants. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 82(4): 322-327.
23. Kundsén, D. and G. A. Peterson. 1982. Lithium, sodium, and potassium. p.225-246. In: Page, A. L., H. Miller and D. R. Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis, Part 2. Academic Press, Inc., New York.
24. Lanyon, L. E. and W. R. Heald. 1982. Magnesium, calcium, strontium, and barium. p.247-262. In: Page, A. L., H. Miller and D. R. Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis, Part 2. Academic Press, Inc., New York.
25. Mills, H.A. and J.B. Jones. 1996. Plant Analysis Handbook II Micro Macro Publishing, Inc.U.S.A. p.362-363.
26. Niklas, K. J., T. Owens, P. B. Reich, and E. D. Cobb. 2005. Nitrogen/phosphorus leaf stoichiometry and the scaling of plant growth. Ecology Letters 8(6): 636-642.

27. Olsen, S. R., and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. p.403-430. In: Page, A. L., H. Miller and D. R. Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis, Part 2*. Academic Press, Inc., New York.
28. Onwuka, B., Mang, B. 2018. Effects of soil temperature on some soil properties and plant growth. *Adv. Plants Agric. Res.* 8(1): 34-37.
29. Tindall, J. A., Mills, H. A., and Radcliffe, D. E. 1990. The effect of root zone temperature on nutrient uptake of tomato. *J. Plant Nutr.* 13(8): 939-956.

# The Effect of Reducing the Temperature of Tomato Root Zone on the Growth of Tomato in Greenhouse<sup>1</sup>

Chen-Yang Tai <sup>2</sup>, Chung Teh Sheng <sup>3</sup> and Yun-Sheng Tien <sup>2</sup>

## ABSTRACT

This study aimed to study the effect of reducing root zone temperature on the tomato growth in greenhouse. The results showed that the use of root zone cooling equipment at high temperature can cool the treatment group by about 8°C compared with the control group. Regardless of tomato horticultural traits such as plant height, stem thickness, leaf length, leaf width, leaf thickness and number of nodes, or tomato fruit traits such as fruit length, fruit diameter, single fruit weight and total soluble solids, there was no significant difference between treatments. The results of elemental analysis of leaves and roots showed that there was no significant difference in the content of inorganic nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium between treatments. The results of elemental analysis of the stem showed that the nitrogen and calcium content of the control group without root temperature reduction (treatment C) was significantly higher than that of the treatment group with root temperature reduction (treatment A and B), while the phosphorus content showed the opposite trend. Based on the results of this experiment, if we only use the method of lowering root temperature (the root temperature can only be reduced to 30°C under the highest temperature), its single fruit weight is still too small (41-76 g) and cannot meet the requirements of premium products. It will not be able to overcome the obstacles to the economic production of tomatoes at high temperatures, and we still need to find a better way.

**Key words:** tomato, root temperature, greenhouse, fruit weight

---

<sup>1</sup>Contribution No.1018 from Taichung DARES, COA.

<sup>2</sup>Associate Researcher and Chief of Crop Environment Section, Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Changhua, Taiwan, ROC.

<sup>3</sup>Retired Professor, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Chung-Hsing University.

