

鹽分處理對葉用甘藷生長及抗氧化力之影響

陳奎名¹⁾ 黃三光²⁾

關鍵字：葉用甘藷、鹽分逆境、抗氧化力

摘要：本研究主要探討葉用甘藷：'桃園二號'、'日本種'、'紫葉種'在不同濃度鹽份(0、100、200 mM NaCl)處理下之生長及生理反應。鹽分處理下，三種葉用甘藷植株生長皆會受到抑制，但因植株節間縮短能增加先端 20 公分枝條之葉片數使單枝鮮重增加；此外，達到採收標準日期會延後，但以桃園二號受影響較為輕微。桃園二號在鹽分處理下 SOD、CAT、APX 活性皆呈上升之趨勢，日本種在鹽分處理組之 APX 活性會顯著增加，但 SOD、CAT 和 POD 則反之，紫葉種在 200 mM NaCl 處理組之 SOD、CAT 及 APX 活性皆顯著高於對照組。總酚類化合物含量和 FRAP 抗氧化力在桃園二號及紫葉種之 200 mM NaCl 處理組會顯著高於對照組。綜合上述，桃園二號在 200 mM NaCl 處理下，對植株達到採收標準日期之影響較小，且能使單枝鮮種增加，還能提高抗氧化物質含量及抗氧化力，未來可進一步評估其推廣於鹽害土壤栽培之可行性。

前 言

甘藷，學名為 *Ipomoea batatas* (L.) Lam.，英名為 Sweet potato，屬旋花科(convolvulaceae)，牽牛花屬(*Ipomoea*)，俗稱地瓜、番薯。鹽度(Salinity)是限制作物生長及影響產量的主要環境因子(Parida and Das, 2005)。鹽分逆境會使植物生長受抑制、加速發育(accelerated development)、衰老，而長期暴露在鹽分逆境中會導致植物死亡，其中最先發生的症狀是生長受抑制，後續才出現其他症狀(Zhu, 2007)。植物主要的活性氧物質(ROS)清除酵素包括超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、過氧化氫酶(Catalase, CAT)、及抗壞血酸過氧化酶(Ascorbate peroxidase, APX) (Mittler, 2002)。酚類化合物(Phenolic compounds)被

1) 國立中興大學園藝系碩士班研究生。

2) 國立中興大學園藝系副教授，通訊作者。

認為是植物界中最重要，數量最龐大且最為常見的化合物(Naczki and Shahidi, 2004)。酚類化合物包含各式各樣的分子，被歸類為植物二次代謝產物，具有多樣的結構及廣泛的功能。酚類化合物抗氧化是藉由迅速提供氫離子給自由基以干擾脂質和其他分子的氧化(Bravo, 1998)。植物會透過提升抗氧化能力以應對逆境造成的負面影響，從而提升對逆境的耐受性。本研究目的擬透過鹽分處理在不影響葉用甘藷生長前提下，提升抗氧化物質含量以增加其食用價值。

材料與方法

一、試驗材料

本試驗使用葉用甘藷'桃園二號'、'日本種'及'紫葉種'等三個品種，'桃園二號'和'日本種'由國立中興大學園藝學系宋好老師提供，'紫葉種'由國立中興大學園藝學系謝慶昌老師提供。將葉用甘藷分段扦插，每段 3~4 節，扦插於 35 格穴盤，介質為 Potground H (Klasmann-Deilmann, Germany, less decomposed black peat : white peat = 9 : 1)，一個月後移至長條盆(長 58cm、寬 16cm、高 20cm)中，介質為 Potground H，並進行斷根及修剪，每盆種植四株，每品種 18 盆，共 54 盆，移植兩週後開始試驗。

二、試驗方法

(一) 鹽分處理

試驗地點為國立中興大學園藝學系溫室，於 2020 年 4 月 9 日開始試驗，試驗分成對照組(0 mM)、100 mM 及 200 mM NaCl 澆灌處理組，鹽水每兩天澆一次，每盆澆 400 ml，對照組則以自來水澆灌，鹽水澆灌至 2020 年 5 月 14 日停止，之後以少量自來水維持介質濕潤，以不會發生淋洗作用而降低土壤鹽度為原則。試驗期間每週以花寶 2 號(HYPONEX, N : P : K=20 : 20 : 20)稀釋 1000 倍澆灌施肥，並視情況噴灑農藥防治病蟲害。

(二) 採收標準及時間

桃園二號：採收標準為株高 24 公分以上，採收先端 20 公分之嫩梢，採收時間為所有供試植株均達採收標準時方進行採收；日本種：為簇生型(Fascicle)，採收標準為株高 20 公分以上，採收先端 15 之公分嫩梢，採收時間為所有供試植株均達採收標準時方進行採收；紫葉種：採收標準為株高 24 公分以上，採收先端 20 公分之嫩梢，採收時間為所有供試植株均達採收標準時方進行採收。

三、調查項目及方法

(一) 生育性狀調查

1. 單枝鮮重/乾重：先端 20 公分(日本種為 15 公分)之枝條鮮重及乾重，單位：公克(g)。
2. 單枝葉片鮮重/乾重：先端 20 公分(日本種為 15 公分)之完全展開葉之鮮重及乾重。單位：公克(g)。
3. 單枝葉面積：取先端 20 公分(日本種為 15 公分)完全展開之葉片以相機(Nikon, Coolpix

P330,日本)拍攝,再以 Image J 軟體計算葉面積。單位:平方公分(cm^2)。

4. 比葉重(Specific leaf weight, SLW):以葉片乾重除以葉面積,單位: g/cm^2 。

5. 葉片水分含量:(葉片鮮重-葉片乾重)/葉片鮮重*100%,單位:%。

(二) 葉綠素讀值

使用葉綠素計(SPAD 502 Plus Chlorophyll Meter, Spectrum)測量葉用甘藷葉片之葉綠素相對含量,測量須避開葉片中肋及葉脈。測量由枝梢頂點往下第4片~第6片成熟葉,每片葉測兩點,每株測兩片葉,每重複4株,將讀值平均代表該重複之測量數值。

(三) 葉綠素螢光參數(F_v/F_m):以手持式葉綠素螢光儀(PAR-FluorPen FP 110-D, PSI)測量,測量前植株先進行暗適應處理30分鐘,測量由枝梢頂點往下第4片~第6片成熟葉,每片葉測兩點,每株測兩片葉,每重複4株,將讀值平均代表該重複之測量數值。

(四) 抗氧化酵素活性測定

1. 超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD):參考 Beyer and Fridovich (1987)之方法。取葉用甘藷由枝梢頂點往下第4片~第6片成熟葉0.5 g放入研鉢中,加5 ml 磷酸緩衝液(50 mM, pH 7.8)及適量海砂,於冰浴下研磨,以4 °C 13000 rpm 離心15分鐘,吸取0.05 ml 上清液,加1.5 ml 磷酸緩衝液(50 mM, pH 7.8)、0.3 ml 甲硫胺酸(Methionine, 130 M)、0.3 ml 硝基四氫唑藍(Nitro blue tetrazolium, NBT, 750 μM)、0.3 ml EDTA 2Na (100 μM)、0.3 ml 核黃素(Riboflavin, 20 μM)以及0.25 ml 去離子水。混和均勻後於4000 lux 光強度下反應20分鐘,以分光光度計測量波長560 nm 下之吸光值。

2. 過氧化氫酶(Catalase, CAT):參考 Aebi (1974)之方法。取葉用甘藷由枝梢頂點往下第4片~第6片成熟葉0.1g 放入研鉢中,加4ml 磷酸緩衝液(50 mM, pH 6.8)及適量海砂,於冰浴下研磨,以4 °C 13000 rpm 離心15分鐘,吸取0.2 ml 上清液,加2.7 ml 磷酸緩衝液(100 mM, pH 7),及0.1 ml 過氧化氫(H_2O_2 , 0.1 M)後放入分光光度計中,測量波長240 nm 照射下一分鐘之吸光值變化。

3. 抗壞血酸過氧化酶(Ascorbate peroxidase, APX):參考 Kato and Shimizu (1987)之方法。取葉用甘藷由枝梢頂點往下第4片~第6片成熟葉0.1 g 放入研鉢中,加4 ml 磷酸緩衝液(50 mM, pH 6.8)及適量海砂,於冰浴下研磨,以4 °C 13000 rpm 離心15分鐘,取上清液0.1 ml,加入1 ml 磷酸緩衝液(0.15 M, pH 7)、1 ml sodium L-ascorbate (1.5 mM)、0.4 ml EDTA (0.75 mM)及0.5 ml 過氧化氫(H_2O_2 , 0.006 M)後,放進分光光度計中,測量波長290 nm 照射下一分鐘之吸光值變化。

4. 過氧化物酶(Peroxidase, POD):參考 Curtis (1971)之方法。取葉用甘藷由枝梢頂點往下第4片~第6片成熟葉0.1g 放入研鉢中,加4 ml 磷酸緩衝液(50 mM, pH 5.8)及適量海砂,於冰浴下研磨,以4 °C 13000 rpm 離心15分鐘,吸取0.1 ml 上清液,加入愈創木酚(Guaiacol, 21.6 mM)和過氧化氫0.9 ml (H_2O_2 , 0.039 mM)後,放入分光光度計中,測量波長470 nm 照射下一分鐘之吸光值變化。

(五) 類胡蘿蔔素(Carotenoids)含量測定:參考 Lichtenthaler (1987)之方法。取葉用甘藷由枝

梢頂點往下第 4 片~第 6 片成熟葉 0.1 g，切碎後放入試管中，加入 10 ml 萃取液[80% 丙酮 (Acetone)及 20% 甲醇(Methanol)之混和溶液]，以石臘膜將試管封口，並以鋁箔紙包覆隔絕光源，置於室溫 24 小時後以分光光度計測量光波長 645 nm、652 nm、663 nm 及 470 nm 下之吸光值。

(六) 總酚類化合物(Total phenolic compounds, TPC)含量測定：參考 Keith 等人(1958)之方法。取葉用甘藷由枝梢頂點往下第 4 片~第 6 片成熟葉 0.5 g 放入研鉢中，加入 5 ml 磷酸緩衝液(0.1 M, pH 7)及適量海砂，於冰浴下研磨，以 4 °C 13000 rpm 離心 15 分鐘，吸取 0.5 ml 上清液，加入 0.5 ml 去離子水、0.1 ml Folin-Ciocalteu phenol reagent (Merck)、0.2 ml 20% 碳酸鈉(Na_2CO_3)及 8.7 ml 去離子水均勻混和，以 100 °C 熱水浴 3 分鐘後放入冷水中降溫使其終止反應，以分光光度計測量光波長 660 nm 下之吸光值。標準曲線以 100 ppm Caffeic acid 配製。

(七) 葉片電解質滲漏率(Electrolyte leakage)：取葉用甘藷由枝梢頂點往下第 4 片~第 6 片成熟葉，以直徑 1 公分打孔器避開葉脈取 6 片葉圓片，放入試管中加 10 ml 之純水，以 100 rpm 震盪 3 小時。以電導度計(Electrical conductivity meter, SUNTEX)測量初始電導度(EC_0)，以 95 °C 熱水浴 2 小時，並以保鮮膜蓋住試管口，待樣品降至室溫後測量最大電導度(EC_1)。電解質滲漏率($\%$)= $(\text{EC}_0/\text{EC}_1)*100\%$ 。

(八) 試驗前後介質電導度：於試驗前及試驗結束時採樣適量介質，於室內風乾。取 6g 風乾介質加入 30 ml 純水(1:5)，以 100 rpm 震盪 2 小時，以 Whatman No.1 濾紙過濾，以電導度計測量濾液之電導度。單位：dS/cm。

(九) FRAP 鐵離子還原抗氧化力測定：取 0.1 g 葉用甘藷樣品，放入研鉢中，加入 4 ml 醋酸緩衝溶液(30 mM, pH 3.6)及適量海沙研磨，在 4 °C，15000 rpm，離心 10 分鐘，取 0.05 ml 上清液加 0.7 ml Working reagent (預熱至 37 °C)，於 37 °C 水浴反應 10 分鐘，以分光光度計測量光波長 593 nm 下之吸光值。

四、統計分析：試驗採用完全隨機試驗設計(Completely randomized design, CRD)，試驗數據以 SAS 套裝軟體(Version 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, U.S.A.)進行 ANOVA 變方分析，各處理間平均值以最小顯著差異(Least significant difference, LSD)分析差異顯著性。

結 果

一、鹽分處理試驗前後介質 EC 及 pH 值之變化

試驗前栽培介質 pH 值為 5.72、EC 值為 2.86 dS/m。試驗結束桃園二號 0 mM NaCl 處理組(T0) pH 值為 6.23、EC 值為 1.45 dS/m，100 mM NaCl 處理組(T100) pH 值為 5.85、EC 值為 8.09 dS/m，200 mM NaCl 處理組(T200) pH 值為 5.65、EC 值為 14.38 dS/m。日本種 0 mM NaCl 處理組(J0) pH 值為 6.63、EC 值為 0.75 dS/m，100 mM NaCl 處理組(J100) pH 值

為 6.28、EC 值為 7.13 dS/m，200 mM NaCl 處理組(J200) pH 值為 5.95、EC 值為 11.97 dS/m。紫葉種 0 mM NaCl 處理組(P0) pH 值為 6.47、EC 值為 1.22 dS/m，100 mM NaCl 處理組(P100) pH 值為 6.07、EC 值為 8.65 dS/m，200 mM NaCl 處理組(P200) pH 值為 5.9、EC 值為 11.87 dS/m(表 1)。

二、鹽分處理對葉用甘藷達採收日數之影響

桃園二號統一於 2020 年 5 月 14 日採收、紫葉種統一於 2020 年 5 月 21 日採收、日本種統一於 2020 年 5 月 28 日採收。桃園二號 T0 於 5 月 7 日達採收標準，T100 及 T200 於 5 月 14 日達採收標準。日本種 J0 於 5 月 14 日達採收標準，J100 及 J200 於 5 月 28 日達採收標準。紫葉種 P0、P100 及 P200 分別於 5 月 7 日、5 月 14 日和 5 月 21 日達到採收標準(表 2)。

表 1. 鹽份處理前後介質 pH 值及 EC 值

Table 1. The pH and EC values of cultivation medium before and after salt treatment.

	處理	pH	EC (dS/m)
試驗前	Potground H	5.72	2.86
試驗後	T0 ²	6.23a ¹	1.45c
	T100	5.85b	8.09b
	T200	5.65c	14.38a
	J0	6.63a	0.75c
	J100	6.28b	7.13b
	J200	5.95c	11.97a
	P0	6.47a	1.22c
	P100	6.07b	8.65b
	P200	5.90b	11.87a

¹: For each species, means with the same letter in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

²: T0：桃園二號 0 mM NaCl (對照組)；T100：桃園二號 100 mM NaCl；T200：桃園二號 200 mM NaCl；J0：日本種 0 mM NaCl；J100：日本種 100 mM NaCl；J200：日本種 200 mM NaCl；P0：紫葉種 0 mM NaCl；P100：紫葉種 100 mM NaCl；P200：紫葉種 200 mM NaCl。

表 2, 鹽分處理對葉用甘藷達採收標準日期之影響

Table 2. Effect of salt treatment on the date reaching harvest standard in leafy sweet potato.

處理	達採收標準日期
T0 ¹	5 月 7 日
T100	5 月 14 日
T200	5 月 14 日
J0	5 月 14 日
J100	5 月 28 日
J200	5 月 28 日
P0	5 月 7 日
P100	5 月 14 日
P200	5 月 21 日

¹: T0：桃園二號 0 mM NaCl (對照組)；T100：桃園二號 100 mM NaCl；T200：桃園二號 200 mM NaCl；J0：日本種 0 mM NaCl；J100：日本種 100 mM NaCl；J200：日本種 200 mM NaCl；P0：紫葉種 0 mM NaCl；P100：紫葉種 100 mM NaCl；P200：紫葉種 200 mM NaCl。

三、鹽分處理對葉用甘藷生長性狀之影響

試驗結果顯示桃園二號 T200 之單枝鮮重 12.59 g、單枝乾重 1.45 g、單枝葉片鮮重 5.76 g、單枝葉片乾重 0.35 g、單枝葉片數 9.7 片、單枝葉面積 278.45 cm² 以及比葉重 2.39 mg·cm⁻² 皆顯著高於 0 mM 和及 100 mM。葉片水分含量 T0 92.1% 顯著最高。日本種 J200 的單枝鮮重 26.09 g、單枝乾重 2.54 g、單枝葉片鮮重 12.46 g、單枝葉片乾重 1.22 g、單枝葉面積 430.98 cm² 顯著最高，J0 處理的單枝葉片數和葉水分含量顯著最高，J100 比葉重為 3.03 mg·cm⁻² 顯著最高。紫葉種 P200 的單枝乾重 2.05 g、單枝葉片鮮重 8.09 g、單枝葉片乾重 0.92 g、單枝葉片數 8.3 片以及比葉重 2.60 mg·cm⁻² 皆顯著最高，P100 的單枝鮮重顯著最高，單枝葉面積以 P100、P200 顯著高於 J0，但此兩處理之間無顯著差異，P0 的葉片水分含量顯著最高(表 3)。

表 3. 鹽分處理對葉用甘藷桃園二號(T)、日本種(J)、紫葉種(P)生長性狀之影響

Table 3. Effect of salt treatment on growth phenotypes of leafy sweet potato.

處理	單枝鮮重(g)	單枝乾重(g)	單枝葉片鮮重(g)	單枝葉片乾重(g)	單枝葉片數	單枝葉面積(cm ²)	比葉重(mg.cm ⁻²)	葉片水分含量(%)
T0 ²	9.42b ¹	0.74c	3.84b	0.38b	6.8b	241.23b	1.59c	92.10a
T100	8.65c	0.90b	3.03b	0.35b	5.9c	166.98c	2.13b	89.60b
T200	12.59a	1.45a	5.76a	0.67a	9.7a	278.45a	2.39a	88.15c
J0	24.50b	2.32b	10.09b	1.11b	12.9a	403.68b	2.76b	90.54a
J100	22.08c	2.28b	9.32c	1.12b	8.8c	377.24c	3.03a	89.50c
J200	26.09a	2.54a	12.46a	1.22a	11.4b	430.98a	2.86b	90.19b
P0	14.69c	1.25c	4.36c	0.53c	3.9c	257.76b	2.06b	91.46a
P100	19.50a	1.77b	6.63b	0.78b	5.8b	348.65a	2.25b	90.91b
P200	18.53b	2.05a	8.09a	0.92a	8.3a	353.31a	2.60a	88.95c

¹: For each species, means with the same letter in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

²: T0：桃園二號 0 mM NaCl (對照組)；T100：桃園二號 100 mM NaCl；T200：桃園二號 200 mM NaCl；J0：日本種 0 mM NaCl；J100：日本種 100 mM NaCl；J200：日本種 200 mM NaCl；P0：紫葉種 0 mM NaCl；P100：紫葉種 100 mM NaCl；P200：紫葉種 200 mM NaCl.

四、鹽分處理對葉用甘藷抗氧化酵素活性之影響

桃園二號 T200 SOD 活性為 169.64 U/g FW、CAT 活性 1.10 U/g FW、APX 活性 3.48 U/g FW 均顯著高於 T0、T100，其中 T0 在三種抗氧化酵素活性皆顯著最低，POD 活性則是以 T100 顯著最高。日本種 SOD、CAT 及 POD 活性以 J0 顯著最高，APX 活性以 J200 3.79 U/g FW 顯著最高。紫葉種 P200 SOD 活性 192.85 U/g FW、CAT 活性 1.16 U/g FW、APX 活性 4.32 U/g FW 顯著最高，P0 POD 活性 1.16 U/g FW 顯著最高(表 4)。

表 4. 鹽分處理對葉用甘藷桃園二號(T)、日本種(J)、紫葉種(P)抗氧化酵素活性之影響
Table 4. Effect of salt treatment on activity of antioxidant enzymes leafy sweet potato.

處理	SOD (U/g FW)	CAT (U/g FW)	APX (U/g FW)	POD (U/g FW)
T0 ²	103.80c ¹	0.53c	1.48c	1.66b
T100	124.60b	0.68b	2.67b	1.95a
T200	169.64a	1.10a	3.48a	1.01c
J0	196.65a	1.45a	2.14c	2.95a
J100	82.12c	1.38a	3.36b	1.38b
J200	94.94b	1.11b	3.79a	0.76c
P0	166.44b	0.60b	1.68c	1.16a
P100	142.13c	0.54c	3.07b	0.79b
P200	192.85a	1.16a	4.32a	0.70c

¹: For each species, means with the same letter in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

²: T0：桃園二號 0 mM NaCl (對照組)；T100：桃園二號 100 mM NaCl；T200：桃園二號 200 mM NaCl；J0：日本種 0 mM NaCl；J100：日本種 100 mM NaCl；J200：日本種 200 mM NaCl；P0：紫葉種 0 mM NaCl；P100：紫葉種 100 mM NaCl；P200：紫葉種 200 mM NaCl

五、鹽分處理對葉用甘藷總酚類化合物含量、FRAP 抗氧化力、類胡蘿蔔素含量、電解質滲漏率及葉綠素螢光之影響

桃園二號的 TPC、FRAP 以 T200 顯著最高分別是 1470.65 $\mu\text{g}\cdot\text{g FW}^{-1}$ 、1734.8 $\mu\text{mole}\cdot\text{g FW}^{-1}$ ，T0 類胡蘿蔔素含量顯著最高，T200 電解質滲漏率 38.47 % 顯著最高，葉綠素螢光以 T0、T100 顯著高於 T200，T0 和 T100 之間無顯著差異。日本種 J0 TPC 1334.07 $\mu\text{g}\cdot\text{g FW}^{-1}$ 、FRAP 1637.6 $\mu\text{mole}\cdot\text{g FW}^{-1}$ 顯著最高，J100 類胡蘿蔔素含量 0.699 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 顯著最高，電解質滲漏率以 J200 32.78 % 顯著最高，葉綠素螢光以 J100 顯著高於 J200，但與 J0 差異未達顯著。紫葉種 P200 TPC 1602.63 $\mu\text{g}\cdot\text{g FW}^{-1}$ 、FRAP 2540.8 $\mu\text{mole}\cdot\text{g FW}^{-1}$ 顯著最高，P0 類胡蘿蔔素含量 0.660 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 顯著最高，P200 電解質滲漏率 43.75 % 顯著最高，Fv/Fm 以 P200 顯著最低(表 5)。

表 5. 鹽分處理對葉用甘藷總酚類化合物含量、FRAP 抗氧化力、類胡蘿蔔素含量、電解質滲漏率及葉綠素螢光之影響

Table 5. Effect of salt treatment on total phenolic compounds, FRAP antioxidant activity, total carotenoid content, electrolyte leakage, and chlorophyll fluorescence in leafy sweet potato.

處理	TPC ($\mu\text{g}\cdot\text{gFW}^{-1}$)	FRAP ($\mu\text{mole}\cdot\text{g FW}^{-1}$)	Carotenoids ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	電解質滲漏率 (%)	Fv/Fm
T0 ²	918.38c ¹	447.8c	0.476a	12.16c	0.827a
T100	1133.44b	874.6b	0.441b	31.53b	0.831a
T200	1470.65a	1734.8a	0.412c	38.47a	0.810b
J0	1334.07a	1637.6a	0.625b	12.72c	0.835ab
J100	1082.30c	919.6c	0.699a	16.56b	0.838a
J200	1310.49b	1309.3b	0.481c	32.78a	0.832b
P0	1374.02b	2314.0b	0.660a	12.60c	0.832a
P100	1391.06b	1878.8c	0.613b	17.33b	0.829a
P200	1602.63a	2540.8a	0.527c	43.75a	0.814b

¹: For each species, means with the same letter in a column are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level

²: T0：桃園二號 0 mM NaCl (對照組)；T100：桃園二號 100 mM NaCl；T200：桃園二號 200 mM NaCl；J0：日本種 0 mM NaCl；J100：日本種 100 mM NaCl；J200：日本種 200 mM NaCl；P0：紫葉種 0 mM NaCl；P100：紫葉種 100 mM NaCl；P200：紫葉種 200 mM NaCl

討 論

一、鹽份處理對栽培介質 EC 值之影響

本試驗中 0 mM NaCl 對照組的介質 EC 值下降至 0.75~1.45 dS/m 之間，100 mM NaCl 處理組 EC 值在 7.13~8.65 dS/m 之間，而 200 mM NaCl 處理組之 EC 值在 11.87~14.38 dS/m 之間(表 1)。日本種及紫葉種 200 mM NaCl 處理組之 EC 值較桃園二號低，其原因可能是種植期間較長，且氣候較熱需時常澆水，造成介質中鹽份流失。所有品種 100 mM 及 200

mM NaCl 處理組的介質 EC 值皆超過 4 dS/m 的土壤鹽化標準(表 1)。

二、鹽份處理對葉用甘藷達採收標準日期之影響

本試驗中桃園二號、日本種、紫葉種 100 mM 及 200 mM NaCl 處理組達採收標準日期皆比其各自之對照組延後，其中 T100、T200 及 P100 晚對照組一週達採收標準日期，而 J100、J200 和 P200 則是晚兩週。已有多篇前人研究說明鹽分逆境會抑制作物的生長，例如：番茄(Zribi *et al.*, 2009)、甜椒(Chartzoulakis *et al.*, 2000)和菜豆(Seemann and Critchley, 1985)。

三、鹽份處理對葉用甘藷生長性狀之影響

本試驗中葉用甘藷在鹽份處理組採收之單枝鮮重、單枝乾重、單枝葉鮮重及單枝葉乾重有增加的趨勢(表 3)，推測是因為鹽分處理造成植株節間縮短，而增加先端 20 公分枝條之葉片數，造成上述調查項目數據大於對照組。單枝葉面積受採收嫩枝的葉片數影響而無一致的表現(表 3)，但鹽份處理後平均每片葉的面積確實呈現下降的趨勢(Data not shown)。Wang and Nil (2000) 以鹽害處理莧菜(*Amaranthus tricolor*)，其葉面積擴大率較對照組慢 1~3 天，而葉面積擴展停止的植株在移除鹽害逆境後，葉面積擴大率則會恢復至對照組的水平。本試驗中三種葉用甘藷之葉片水分含量在鹽份處理後均有下降的趨勢(表 3)。Karlidag 等人(2011b)在草莓鹽害試驗中也有類似的結果，推測其原因為根系吸收表面積(Absorbing surface)減少導致根系無法補充蒸散作用所喪失的水分。

四、鹽份處理對葉用甘藷抗氧化酵素活性之影響

桃園二號和紫葉種的 SOD 活性受鹽分逆境影響而增加，日本種則是下降，CAT 活性的趨勢與 SOD 相同。在鹽分逆境下，三種葉用甘藷的 APX 活性皆呈現上升的趨勢，反之，POD 活性則是皆呈現降低的趨勢(表 4)。超氧化物自由基(Superoxide radicals)是氧化代謝所產生的有毒副產物，而 SOD 能將超氧化物自由基分解成 H₂O₂ 和 O₂ (Lee *et al.*, 2001)，H₂O₂ 的累積能作為細胞間的信號(Levine *et al.*, 1994)，從而激發應對逆境的相關基因表達和蛋白質生合成(Prasad *et al.*, 1994)。Lee 等人(2001)在水稻鹽分逆境試驗中發現，鹽分逆境下 SOD 活性上升且葉片中 H₂O₂ 含量也上升，推測是 SOD 所誘導，並且能作為氧化逆境的信號傳導，進而刺激活化 H₂O₂ 相關之清除系統。為了保護植物細胞，由環境逆境所造成的 H₂O₂ 累積會影響 CAT 及 APX 的活性(Mizuno *et al.*, 1998)。水稻在鹽分逆境下，葉片 APX 活性會顯著提升，但 CAT 活性卻呈現下降的趨勢，而植物遭受鹽分逆境在細胞間隙(Intercellular space)生成的 H₂O₂ 會先擴散至 Cytosolic APX 所在的細胞液中，再擴散至 CAT 所在的過氧化體(Peroxisome) (Lee *et al.*, 2001)，Asada (1992)指出，Cytosolic APX 有比 CAT 更高的 H₂O₂ 親和力。

五、鹽份處理對葉用甘藷總酚類化合物含量、FRAP 抗氧化力、類胡蘿蔔素含量、電解質滲漏率及葉綠素螢光之影響

本試驗中桃園二號鹽份處理組之 TPC 和 FRAP 有上升的趨勢，其中以 T200 顯至最高，而日本種則是有減少之趨勢，紫葉種 P200 之 TPC 及 FRAP 會顯著大於對照組(表 5)。

Keutgen and Paweltzik (2008)指出草莓以鹽害處理會顯著提升總酚類化合物含量以及FRAP抗氧化力。桃園二號及紫葉種鹽份處理組之類胡蘿蔔素含量呈現減少的趨勢，日本種 J100 之類胡蘿蔔素含量會較對照組顯著增加(表 5)。三品種之鹽份處理組電解質滲漏率均會顯著上升。Khan 等人(2013)在胡瓜鹽份處理試驗中，電解質滲漏率亦會隨鹽份濃度增加而顯著上升。暗適應 Fv/Fm 值反應 PSII 效率，大部分植物在未受逆境影響下，其最佳值約在 0.83 左右(Björkman and Demmig, 1987; Johnson et al., 1993)。本試驗三種葉用甘藷 Fv/Fm 在鹽水澆灌處理後仍有 0.8 以上，推測對其光合作用系統尚無嚴重影響(表 5)。

根據本試驗之結果，桃園二號在 200 mM NaCl 處理下，相較於未經鹽分處理之對照組而言，對植株達到採收標準日期之影響較小，且植株節間縮短能增加先端 20 公分枝條之葉片數使單枝鮮種增加，還能提高抗氧化物質含量及抗氧化力，未來可進一步評估其推廣於鹽害土壤栽培之可行性。

參 考 文 獻

- Aebi, H. 1974. Catalase. In: Methods of enzymatic analyses. Bergmeyer, H.U. ed. New York: Academic Press. pp.673-683.
- Asada, K. 1992. Ascorbate peroxidase - a hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants. *Physiol. Plant* 85: 235-241.
- Beyer, W. F. and I. Fridovich. 1987. Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in conditions. *Anal. Biochem.* 161: 559-566.
- Björkman, O. and B. Demmig. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170: 489-504.
- Bravo, L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutr. Rev.* 56: 317-333.
- Chartzoulakis, K. and G. Klapaki. 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hortic.* 86: 247-260.
- Curtis, D. 1971. *Experimental Cinema*. Londres: Studio Vista.
- Johnson, G. N., A. J. Young, J. D. Scholes and P. Horton. 1993. The dissipation of excess excitation energy in British plant species. *Plant Cell Environ.* 16, 673-679.
- Karlıdag, H., E. Yildirim and M. Turan. 2011b. Role of 24-epibrassinolide in mitigating the adverse effects of salt stress on stomatal conductance, membrane permeability, and leaf water content, ionic composition in salt stressed strawberry (*Fragaria × ananassa*) *Sci. Hortic.* 130: 133-140.
- Kato, M. and S. Shimizu. 1987. Chlorophyll metabolism in higher plants. VII. Chlorophyll degradation in senescing tobacco leaves; phenolic-dependent peroxidative degradation. *Can.*

- J. Bot. 65: 729 - 735.
- Keith, J. D., R. D. Rowe, and P. Vlad. 1958. Heart disease in infancy and childhood. Macmillan. New York.
- Keutgen, A. J. and E. Paweltzik. 2008. Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. Food Chem. 107: 1413-1420.
- Khan, M. M., R. S. M. Al-Masoudi, F. Al-Said, and I. Khan. 2013. Salinity effects on growth, electrolyte leakage, chlorophyll content and lipid peroxidation in cucumber (*Cucumis sativus* L.). Int. Proc. Chem. Biol. Environ. 55: 28-32.
- Lee, D. H., Y. S. Kim, and C. B. Lee. 2001. The inductive responses of the antioxidant enzymes by salt stress in the rice (*Oryza sativa* L.). J. Plant Physiol. 158: 737-745.
- Levine, A., R. Tenhaken, R. Dixon and C. Lamb. 1994. H₂O₂ from the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response. Cell 79: 583–593.
- Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic membranes. Meth. Enzym. 148: 350-382.
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Sci.7: 405–41.
- Mizuno, M., M. Kamei and H. Tsuchida. 1998. Ascorbate peroxidase and catalase cooperate for protection against hydrogen peroxide generated in potato tubers during low-temperature storage. Biochem. Mol. Biol. Int. 44: 717–726.
- Naczek, M. and F. Shahidi. 2004. Extraction and analysis of phenolics in food. J. Chromatogr. A. 1054: 95–111.
- Parida, S. K., A. B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants. Ecotoxicol. Environ. Saf. 60: 324-349
- Prasad, T. K., M. D. Anderson, B. A. Martin and C. R. Stewart. 1994. Evidence for chilling-induced oxidative stress in maize seedlings and a regulatory role for hydrogen peroxide. Plant Cell 6: 65–74.
- Seemann, J. R., C. Critchley. 1985. Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species *Phaseolus vulgaris* L. Planta. 164(2): 151–162.
- Wang, Y. and N. Nil. 2000. Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase–oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 75: 623–627.
- Zhu, J. K. 2007. Plant salt stress. In: Encyclopedia of life sciences.
- Zribi, L., F. Gharbi, F. Rezgui, S. Rejeb, H. Nahdi and M. N. Rejeb. 2009. Application of chlorophyll fluorescence for the diagnosis of salt stress in tomato '*Solanum lycopersicum* (variety Rio Grande)'. Sci. Hortic. 120: 367–372.

Effect of Salt Treatment on Growth and Antioxidant Activity of Leafy Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.)

Kuei-Ming Chen¹⁾ San-Gwang Hwang²⁾

Key word: Leafy sweet potato, Salt stress, Antioxidant activity.

Summary

This study investigated the growth and physiological responses of leafy sweet potato 'Taoyuan No. 2', 'Japanese Species', and 'Purple Leaves' to different concentrations of salt treatments (0, 100, 200 mM NaCl). Under salt treatment, the growth in three species of leaf sweet potato was inhibited, however, the internodes were shortened resulting in higher top 20 cm leaf number and shoot fresh weight. In addition, the date reaching harvest standard was delayed in all three species in which 'Taoyuan No. 2' was less affected. The activities of SOD, CAT, and APX in 'Taoyuan No. 2' showed an upward trend under salt treatment. The APX activity in 'Japanese species' under salt treatment increased significantly, but its SOD, CAT and POD activities showed an opposite trend. For 200 mM NaCl treatment in the 'Purple leaves', the activity of SOD, CAT and APX was significantly higher than the control. The content of total phenolic compounds and FRAP antioxidant power under 200 mM NaCl treatment were significantly higher than the control in 'Taoyuan No. 2' and 'Purple leaves'. In summary, 'Taoyuan No. 2' treated with 200 mM NaCl showed less effect on the date reaching harvest standard, the top 20 cm shoot fresh weight was higher, and the content of antioxidants and antioxidant capacity were increased relative to the control. Future study may further evaluate the feasibility of cultivating 'Taoyuan No. 2' leafy sweet potato in saline soil.

1) Student in M.S. Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

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

Corresponding author.

