台灣農業研究 (J. Taiwan Agric. Res.) 69(4):298–311 (2020)
DOI:10.6156/JTAR.202012_69(4).0004

研究報告

甘藷誘變品系耐鹽性之研究

陸柏憲[1,*] 詹庭筑[2] 賴永昌[3]

摘要

陸柏憲、詹庭筑、賴永昌。2020。甘藷誘變品系耐鹽性之研究。台灣農業研究 69(4):298–311。

本試驗以甘藷 (*Ipomoea batatas*) 誘變品系 (P、13、17、87、89) 與對照品種「台農 57 號」、「紅心尾」為材料，分別於組織培養、盆栽及田間三方面進行鹽分逆境試驗，分析甘藷於鹽分逆境下之外表型性狀及生理反應，以評估參試品系 (種) 之鹽分耐受性。試驗結果顯示，不同誘變品系之耐鹽指數 (salt tolerance index; STI) 因不同性狀而異，且隨鹽分濃度增加而下降；組培苗期性狀於 0.5% 鹽分濃度下表現穩定，當鹽分濃度達 1.0% 時，甘藷生長明顯受到抑制，其中誘變品系以 13、89 號之根長表現最佳。此外，盆栽試驗結果顯示，甘藷以 150 mM NaCl 處理下塊根重量表現穩定，以誘變品系 87 號之 STI 為最高，且甘藷塊根累積大量 Na^+ 及麥芽糖含量增加，推測為參試品系具較強耐鹽性之原因。進一步評估田間試驗之結果，鹽分逆境對甘藷地上部之負面影響較輕微，而對根部有較大之負面效應，導致甘藷產量降低，但減產程度因不同品系 (種) 而異，其中以「紅心尾」、P 及 87 號產量顯著較高。綜合所有試驗結果，在鹽分逆境條件下，甘藷誘變品系 P、87 號於整個栽培期可正常生長且塊根產量較高，顯示兩品系有較高之鹽分耐受性，可供台灣未來育種選用之耐鹽甘藷雜交親本。

關鍵詞：甘藷、誘變品系、耐鹽性。

前言

作物栽培生產過程中，生物性或非生物性逆境常是限制作物生長發育的環境因子，其中因土壤鹽化所造成的影響屬於非生物性逆境，嚴重限制現今農業發展與土地利用。依據美國農業部 (United States Department of Agriculture; USDA) 訂定之分類標準，土壤 pH 值 < 8.5、飽和抽出液電導度 (electrical conductivity; EC) ≥ 4 dS m^{-1} 時，稱之為鹽土 (saline soil) (United States Department of Agriculture 1975; Zaman *et al*. 2018)。全球土壤鹽化面積根據不同研究者的估算而略有差異，Massoud (1981) 指出在全球 1.5×10^9 ha 已開墾的可耕地中，約有 3.4×10^8 ha 為鹽土。另根據聯合國糧農組織 (Food and Agriculture Organization of the United Nations; FAO) 之統計，全球約有 9.32×10^8 ha 的土壤受鹽分所影響 (Abrol *et al*. 1988)。此外，根據 FAO 之官方網站指出，全球可耕及不可耕地中，近 2.3×10^8 ha 的水田中約有 4.5×10^7 ha 受鹽分影響；近 1.5×10^9 ha 的旱田中約有 3.2×10^7 ha 的土壤受鹽分影響 (Food and Agriculture Organization of the United Nations 2000)。就台灣土壤而言，受鹽分影響之土壤多分布在西部沿海地區，面積約有 2.5×10^4 ha，主要由於海水倒灌及過量施用肥料所致 (Chen *et al*. 2015)。值得注意的是，由於灌溉農業等人類活動所造

投稿日期：2020 年 8 月 7 日；接受日期：2020 年 9 月 28 日。
* 通訊作者：hsien0823@dns.caes.gov.tw
[1] 農委會農業試驗所嘉義農業試驗分所農藝系助理研究員。台灣 嘉義市。
[2] 農委會台中區農業改良場作物改良課助理研究員。台灣 彰化縣。
[3] 農委會農業試驗所嘉義農業試驗分所農藝系研究員兼系主任。台灣 嘉義市。

成之土壤次生鹽鹼化作用 (secondary salinization)，未來全球受鹽分影響之土壤面積仍會持續增加 (Oldeman *et al*. 1991)。

為因應未來氣候變遷、人口成長及土壤鹽鹼化所帶來的糧食安全危機，鹽土的合理開發與利用已是現今農業重要課題 (Vargas *et al*. 2018)。透過土壤改良技術，如淋洗、客土、刮除等方法，可有效改善土壤鹽鹼化的問題 (Zaman *et al*. 2018)。此外，利用育種技術改良作物耐鹽性，選拔適合於鹽地栽培之耐鹽品種，亦是可行策略。針對作物耐鹽性之評估指標，主要可分為兩大類：一是基於作物之耐鹽生理調節機制之分生指標，如無機離子 (K^+、Ca^{2+}、Cl^- 等)、可溶性糖、有機酸、活化氧族 (reactive oxygen species; ROS) 清除系統等 (Taji *et al*. 2002; Ueda *et al*. 2003; Medeiros *et al*. 2014)；另一則是基於作物於鹽分逆境下表現之典型農藝性狀，如發芽率、存活率、相對生長率、株高及產量等 (Zeng *et al*. 2002; Katerji *et al*. 2003; Parida & Das 2005; Grieve *et al*. 2012)。Grieve *et al*. (2012) 評估不同作物在鹽分逆境下之相對產量，並劃分成四種相對耐鹽等級：耐鹽 (tolerant)，如大麥 (*Hordeum vulgare* L.)、棉花 (*Gossypium hirsutum* L.)、燕麥 (*Avena sativa* L.) 等；中度耐鹽 (moderately tolerant)，如高粱 [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]、大豆 (*Glycine max* L.)、小麥 (*Triticum aestivum* L.) 等；中度感鹽 (moderately sensitive)，如甘藷 [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]、玉米 (*Zea mays* L.)、花生 (*Arachis hypogaea* L.)、馬鈴薯 (*Solanum tuberosum* L.) 等；感鹽 (sensitive)，如水稻 (*Oryza sativa* L.)、芝麻 (*Sesamum indicum* L.)、菜豆 (*Phaseolus vulgaris* L.) 等。

甘藷為旋花科 (Convolvulaceae) 之一年生草本作物，主要以莖蔓進行扦插繁殖，與馬鈴薯、樹薯並列為世界三大薯類，主要食用部位為地下塊根，是全球的主要糧食之一 (Yu *et al*. 2016)。近年甘藷於台灣之栽培面積約維持在 10,000 ha，主要用途以鮮食、食品加工為主，為台灣非常重要的雜糧作物 (Lai *et al*. 2008)。台灣甘藷之育種研究迄今雖已育出高產、食味與品質佳及富含機能性之優質品種 (Li & Liao 1994; Lai *et al*. 2008)，但以往之育種程序中並無特別針對耐鹽特性進行選拔評估，以至較少有適合於鹽土中栽培之耐鹽品種育成，亦少有甘藷耐鹽特性之相關研究。在缺乏耐逆境種原之情形下，除透過種間雜交、基因轉殖等方法外，利用物理或化學誘變產生遺傳變異也是獲得耐逆境材料的方法。育種家利用化學誘變劑疊氮化鈉 (sodium azide; NaN_3) 與甲基磺酸乙酯 (ethyl methane sulfonate; EMS) 應用於水稻誘變育種，已獲得耐鹽、耐旱等耐非生物逆境之水稻種原 (Wang *et al*. 2002; Wu 2013; Chou *et al*. 2015)，顯示以誘變方式改變作物特性、擴大作物遺傳變異，以獲得目標性狀是可行的策略。

隨著未來土壤次生鹽鹼化面積逐漸增加之趨勢，若能培育、選拔出耐鹽甘藷品種，並於受鹽分影響之土壤上栽培生產，可使鹽化土壤產生較好的經濟和生態效益，亦可舒緩全球因氣候變遷、人口增長而造成之糧食與能源危機。本文以經 NaN_3 誘變甘藷「台農 73 號」('Tainung No. 73'; 'TN73') 雜交種子所獲之誘變品系 (P、13、17、87、89) 為材料，分別於組織培養、盆栽及田間試驗三方面進行鹽分逆境處理，分析甘藷於鹽分逆境下之生理反應及農藝性狀表現，以評估參試品系 (種) 之鹽分耐受性，期能作為未來甘藷耐鹽品種改良，以及展開甘藷耐鹽性相關研究之參考。

材料與方法

供試材料

試驗材料來自行政院農委會農業試驗所嘉義分所之甘藷誘變品系，其來源係利用「台農 73 號」種子經疊氮化鈉 (NaN_3) 誘變後而得 (品系代號：P、13、17、87、89)。試驗對照品種為「紅心尾」('Hong Xin Wei')、「台農 57 號」('Tainung No.57'; 'TN57')，「紅心尾」為澎湖地區常見之主要栽培品種，特性為具有較佳之鹽分耐受性；'TN57' 為全台種植面積最廣之黃皮黃肉品種，特性為塊根食味佳且產量及品質穩定。

建立甘藷誘變品系瓶苗

甘藷誘變品系 (P、13、17、87、89) 定植於溫室中，待其生長至一定長度後剪取先端苗，去除葉片及葉柄，利用節間進行組織培養。將甘藷節間放置流動清水清洗 1 h，再以 2% (v/v) 次氯酸鈉水 (hypochlorous acid) 消毒 20 min 後，以無菌水清洗 3 次。將消毒完成之節間接種於 MS (Murashige & Skoog 1962) 基本鹽類培養基 (含 30 g L^{-1} 蔗糖、30 g L^{-1} Na-alginate，pH 5.7 ± 0.1)。接種後之甘藷瓶苗置於溫度 25℃ ± 2℃、光照週期 16 h 之環境中培養繁殖。

甘藷誘變品系組織培養耐鹽試驗

剪取甘藷誘變品系 (P、13、17、87、89) 及 'TN57' 之瓶苗節間 (約 2 cm) 作為試驗材料，接種於含 MS 基本鹽類培養基 (成分同瓶苗) 之試管中。培養基中添加不同重量百分比之氯化鈉 (sodium chloride; NaCl) 處理，包含 0.0、0.5 及 1.0% (0.00、85.99 及 172.84 mM)。接種後之試管置於溫度 25℃ ± 2℃、光照週期 16 h 之環境中生長。在不同鹽分濃度處理後 30 d，調查莖長、根長、株高 (莖長與根長之和) 及鮮重等苗期性狀。每支試管接種一條甘藷節間視為 1 重複，每個處理共作 8 重複。

甘藷誘變品系耐鹽盆栽試驗

試驗材料源於田間繁殖之甘藷誘變品系 (P、13、17、87、89)、「紅心尾」及 'TN57'，剪取先端苗扦插於盆栽中進行試驗。對照組每週澆灌 0 mM NaCl，處理組每週澆灌 150 mM (約 0.87% w/w) NaCl，持續 140 d 後採收，並於收穫後測量塊根重量、塊根鈉含量及塊根醣類分析。每個盆栽扦插兩株甘藷苗，視為 1 重複，共設置 2 重複。

塊根鈉含量委託財團法人食品工業發展研究所代為分析。塊根醣類含量分析包含葡萄糖 (glucose)、果糖 (fructose)、蔗糖 (sucrose) 及麥芽糖 (maltose)。試驗方法參考 Picha (1985) 之步驟，取 5 g 之甘藷泥加入 80% 乙醇，混合均勻後置入 80℃熱水中，隔水加熱萃取 3 次。萃取液過濾後定量至 10 mL，再以 0.45 μm 拋棄式針筒過濾器過濾後，進行高效液相層析儀 (high performance liquid chromatography; HPLC) 分析 (pump model No. LC1150, GBC Scientific Equipment, Dandenong, Australia)。使用 reverse phase C18 分析管柱 (Model No. LiChrolut RP-18, Merck, Darmstadt, Germany)，流動相 (mobile phase) 組成為 80% 的氰甲烷 (acetonitrile) 與 20% 的純水，流速為 1 mL min^{-1}，管柱加熱溫度為 45℃。HPLC 分析時所使用之 4 種醣類標準品，購自 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)。

甘藷誘變品系一般田間栽培試驗

試驗材料源自已於田間繁殖之甘藷誘變品系 (P、13、17、87、89) 及 'TN57'，剪取先端苗扦插於農業試驗所嘉義分所之普通田間進行試驗。每個甘藷品系 (種) 種植 3 行各 6 m，行距 1.10 m，株距為 0.25 m，視為一小區 (plot)，共進行 3 重複。種植前進行整地，採畦作栽培，肥料用量為 110 (N)-55 (P_2O_5)-220 (K_2O) kg ha^{-1}，作為基肥一次施用。其餘栽培管理及病蟲害防治，依一般甘藷田間栽培管理模式進行。本次田間試驗之期作為 2018 年秋作，栽培期共 150 d。於收穫後調查小區地上部重量、塊根產量及收穫指數。

台南市七股區鹽土種植試驗

種植材料源自已於田間繁殖之耐鹽甘藷品系 (P、13、17、87、89)、「紅心尾」及 'TN57'，剪取先端苗作為試驗材料，扦插於台南市七股區之鹽化土壤進行試驗。該田區土壤經電導度計 (Spectrum 2265 FSTP, Spectrum Technologies, Aurora, IL, USA) 與 pH/EC 計測定土壤 EC 值為 5.31 dS m^{-1}、土壤 pH 值為 7.28，符合 USDA 定義鹽土之標準 (EC 值 ≥ 4 dS m^{-1}、土壤 pH 值 < 8.5)。甘藷參試品系 (種) 之試驗規劃及栽培管理同於前述一般田間栽培試驗。本次鹽土田間試驗之期作為 2019 年秋作，栽培期共 150 d。於收穫後調查小區地上部重量、塊根產量及收穫指數。

耐鹽指數 (salt tolerance index; STI)

試驗中各性狀之 STI 值為鹽分處理組與對照組之比值，數值越高則代表耐鹽性越佳，其運算公式：STI = NaCl – treated value/control value。

試驗設計

組織培養及盆栽試驗採完全隨機設計 (complete randomized design; CRD)，田間試驗採完全隨機區集設計 (randomized complete block design; RCBD)。試驗所得數據計算平均值與標準誤 (standard error of mean; SEM)，並以套裝軟體 RStudio 進行變方分析 (analysis of variance; ANOVA)。若處理因子達顯著差異 ($P < 0.05$)，則進一步利用最小顯著差異測驗法 (least significant difference; LSD) 比較處理間均值。

結果

甘藷誘變品系組織培養耐鹽試驗

以甘藷誘變品系 (P、13、17、87、89) 及對照品種 'TN57' 為材料，接種於含 0.0%、0.5%、1.0% NaCl 之 MS 基本鹽類培養基中 (含 30 g L^{-1} 蔗糖、30 g L^{-1} Na-alginate，pH 5.7 ± 0.1)。經 30 d 後調查試管苗之株高、莖長、根長及鮮重等苗期性狀 (表 1)。株高之試驗結果顯示 (表 1A)，參試品系 (種) 於 0.5% NaCl 下與 0.0% 對照組未達 5% 顯著差異，且各品系 (種) 之間亦無顯著差異；而各品系 (種) 之 STI 值多接近 1，且 'TN57'、P、13、89 號達 1 以上。當鹽分濃度達 1.0% 時，參試品系 (種) 之株高顯著下降，僅 13 號未達 5% 顯著差異；在不同參試品種中，以 13、17、89 號株高顯著最高；於 1.0% 鹽分濃度下之 STI 值大幅下降，以 89 號 (0.81) 為最高。

在莖長性狀方面 (表 1B)，0.5% NaCl 處理組與 0.0% 對照組相比未達 5% 顯著差異，且各參試品系 (種) 間亦無顯著差異。當鹽分濃度為 0.5% 時，STI 值介於 0.86 與 1.32 之間，以 'TN57' 之 STI 值為最高。當鹽分濃度達 1.0% 時，莖部生長明顯受到抑制，以 17、89 為最長，其餘品系 (種) 次之；此時 STI 值亦大幅降低，以 89 號 (0.75) 為最高。

在根長性狀方面 (表 1C)，當鹽分濃度為 0.5% 時，處理組與 0.0% 對照組未達 5% 顯著差異，且各參試品系 (種) 間亦無顯著差異；STI 值介於 0.94–1.26 之間，以誘變品系 P 為最高。當鹽分濃度達 1.0% 時，部分甘藷品系根部生長明顯受到抑制，根長顯著下降，僅誘變品系 13、89 號未達 5% 顯著差異；各品系 (種) 之間無顯著差異，STI 值皆大幅度下降，以誘變品系 13 號 (0.87) 為最高。

於植株鮮重方面 (表 1D)，當鹽分濃度為 0.5% 時，與 0.0% 對照組相比部分品系鮮重出現顯著增加的情形，如 'TN57'、13、17 號，其 STI 值達 1.99、1.40 及 1.51；各參試品系 (種) 中以 13、17、89 號顯著最重。當鹽分濃度達 1.0% 時，各品系之鮮重有顯著下降的表現，皆低於 0.0% 對照組與 0.5% 處理組，而僅 'TN57' 與 0.0% 對照組無顯著差異；各品系 (種) 之間以誘變品系 89 號顯著較重；各參試品系 (種) 之 STI 值皆低於 0.5，以 'TN57' (0.47) 為最高。

綜合上述結果，參試品系 (種) 之耐鹽程度有相似的表現，皆在 0.5% 鹽分濃度下與 0.0% 對照組相比未達 5% 顯著差異，可以正常生長發育，且 'TN57' 及部分品系更有促進生長的情況 (STI 值大於 1.0)。然而當鹽分濃度達 1.0% 時，'TN57' 及參試品系之生長發育顯著受到抑制，不論是莖長、根長、株高或鮮重，皆有明顯下降之表現，且各品系之 STI 值大幅下降，僅部分品系仍可維持 0.5 以上。此外，由試驗結果顯示，參試品系 (種) 在不同性狀下亦有不同程度的耐鹽表現，在 0.5% 鹽分濃度時，'TN57' 在株高、莖長、鮮重之 STI 皆是最高，呈現相當不錯的耐鹽性；然而當鹽分濃度為 1.0%，株高、莖長 STI 值則以 89 號品系為最高，根長以 13 號為最高。

甘藷誘變品系耐鹽盆栽試驗

以甘藷誘變品系 (P、13、17、87、89) 及對照品種 'TN57'、「紅心尾」為材料，取先端

表 1. 不同 NaCl 濃度對甘藷品系 (種) 組織培養苗之影響。

Table 1. Effect of different concentrations (0.0, 0.5 and 1.0%) of NaCl on *in vitro* sweet potato traits.

Treatment	Variety and mutant lines of sweet potato					
	'TN57'	P	13	17	87	89
(A) Plant height (cm)						
0.0% NaCl	14.75 ± 0.65 bA[z]	15.25 ± 0.93 bA	14.38 ± 0.72 bA	17.56 ± 1.02 aA	15.11 ± 0.82 bA	11.00 ± 0.53 cAB
0.5% NaCl	17.06 ± 1.23 aA	17.24 ± 1.11 aA	15.63 ± 1.43 aA	16.75 ± 1.10 aA	14.90 ± 4.05 aA	12.56 ± 0.74 aA
STI[y]	1.16	1.13	1.09	0.95	0.99	1.14
1.0% NaCl	4.30 ± 1.69 bcB	3.61 ± 1.36 bcB	10.80 ± 2.59 aA	6.59 ± 2.24 abcB	2.85 ± 0.89 cB	8.88 ± 1.90 abB
STI	0.29	0.24	0.75	0.38	0.19	0.81
(B) Shoot length (cm)						
0.0% NaCl	3.03 ± 0.18 bA	4.90 ± 0.28 aA	3.95 ± 0.44 bA	4.93 ± 0.34 aA	3.91 ± 0.40 bA	3.78 ± 0.24 bA
0.5% NaCl	4.00 ± 0.66 aA	4.24 ± 0.18 aA	3.98 ± 0.14 aA	4.86 ± 0.33 aA	4.13 ± 0.42 aA	4.60 ± 0.21 aA
STI	1.32	0.86	1.01	0.99	1.05	1.22
1.0% NaCl	1.81 ± 0.12 bB	1.68 ± 0.22 bB	1.84 ± 0.14 bB	2.53 ± 0.24 aB	1.81 ± 0.21 bB	2.84 ± 0.38 aB
STI	0.60	0.34	0.47	0.51	0.46	0.75
(C) Root length (cm)						
0.0% NaCl	11.73 ± 0.52 aA	10.35 ± 1.06 aA	10.43 ± 0.78 aA	12.64 ± 1.14 aA	11.20 ± 0.72 aA	7.23 ± 0.54 aA
0.5% NaCl	13.06 ± 1.19 aA	13.00 ± 0.96 aA	11.65 ± 1.46 aA	11.89 ± 1.11 aA	10.98 ± 3.75 aA	7.96 ± 0.74 aA
STI	1.11	1.26	1.12	0.94	0.98	1.10
1.0% NaCl	4.05 ± 2.01 aB	3.61 ± 1.79 aB	9.03 ± 2.61 aA	3.88 ± 2.05 aB	1.14 ± 0.76 aB	5.60 ± 1.42 aA
STI	0.35	0.35	0.87	0.31	0.10	0.78
(D) Fresh weight (g)						
0.0% NaCl	0.26 ± 0.03 cB	0.49 ± 0.04 abA	0.53 ± 0.09 abB	0.57 ± 0.06 aB	0.37 ± 0.04 bcA	0.59 ± 0.07 aA
0.5% NaCl	0.52 ± 0.09 bcA	0.57 ± 0.07 bcA	0.74 ± 0.05 abA	0.86 ± 0.12 aA	0.34 ± 0.10 cA	0.63 ± 0.12 abA
STI	1.99	1.17	1.40	1.51	0.93	1.05
1.0% NaCl	0.12 ± 0.02 bcB	0.10 ± 0.01 bcB	0.22 ± 0.05 abC	0.16 ± 0.03 abcC	0.09 ± 0.02 cB	0.27 ± 0.07 aB
STI	0.47	0.21	0.41	0.28	0.24	0.46

[z] Mean ± standard error. Means within each row (in small letter) and within each column (in capital letter) followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by least significant difference (LSD) test.

[y] STI: salt tolerance index.

苗扦插於盆栽中進行耐鹽試驗。試驗分成控制組 (澆灌 0 mM NaCl) 與氯化鈉處理組 (每週澆灌 150 mM NaCl)，持續 140 d 後採收，並於收穫後測量甘藷塊根重量、鈉含量及醣類分析 (圖 1)。

盆栽試驗結果顯示 (表 2)，150 mM NaCl 處理組以「紅心尾」有最重之塊根，而 'TN57'、13、87、89 與「紅心尾」無顯著差異，誘變品系 17 號塊根顯著較輕。另一方面，僅誘變品系 87 號與 0 mM NaCl 控制組相比出現顯著差異，多數未達 5% 顯著差異。部分參試品系 (種) STI 值大於 1.0，如 'TN57' (1.06)、「紅心尾」 (1.21)、13 號 (1.02) 與 87 號 (1.47)，而 P (0.83)、17 (0.78)、89 (0.74) 之 STI 值則皆小於 1.0。

進一步分析甘藷塊根鈉離子之含量 (表 3)，0 mM NaCl 控制組以誘變品系 17 號塊根有顯著最高之含量，而 'TN57'、P、13 及 89 號則與 17 號無顯著差異，而以「紅心尾」及 87 號顯著較低。在 150 mM NaCl 處理組中，以誘變品系 17 號有顯著最高之鈉離子含量，其餘各參試品系 (種) 次之，且彼此間無顯著差異。此外，150 mM NaCl 處理組之塊根鈉離子含量與 0 mM NaCl 控制組相比，各參試品種 (系) 皆有顯著增加的情況。就 STI 值之結果，「紅心尾」、87、89 號皆約 9.00 左右為最高，P、13 及 17 號次之，'TN57' 僅 3.98 為最低。

甘藷塊根醣類分析之結果 (圖 1) 顯示 'TN57' 於 0 mM 控制組之葡萄糖、果糖、麥芽糖及蔗糖依序為 0.72、0.52、5.15 及 0.84 mg L^{-1}；150 mM NaCl 處理組為 0.74、0.53、12.15 及 0.00 mg L^{-1} (低於偵測極限)。「紅心尾」於 0 mM 控制組依序為 2.02、1.67、4.66 及 0.09 mg L^{-1}；150 mM NaCl 處理組為 2.01、1.16、5.32 及 0.35 mg L^{-1}。誘變品系 P 於 0 mM 控制組依序為 2.51、1.86、4.76 及 0.60 mg L^{-1}；150 mM NaCl 處理組為 1.88、1.36、11.96 及 0.00 mg L^{-1} (低於偵測極限)。誘變品系 13 號於 0 mM 控制組依序為 2.70、1.57、3.79 及 0.43 mg L^{-1}；150 mM NaCl 處理組為 2.32、1.18、8.71 及 0.00 mg L^{-1} (低於偵測極限)。誘變品系 17 號於 0 mM 控制組依序為 1.79、0.95、8.34 及 1.40 mg L^{-1}；150 mM NaCl 處理組為 0.93、0.59、12.37 及 0.21 mg L^{-1}。誘變品系 87 號於 0 mM 控制組依序為 2.11、1.04、3.27 及 0.29 mg L^{-1}；150 mM NaCl 處理組為 2.18、1.01、5.24 及 0.00 (低於偵測極限)。誘變品系 89 號於 0 mM 控制組依序為 2.02、1.48、5.83 及 0.19 mg L^{-1}；150 mM NaCl 處理組為 1.18、1.08、9.49 及 0.12。綜合前述結果，'TN57'、「紅心尾」、P、13、87 號葡萄糖含量變化不顯著；而 17、89 號則有下降的趨勢。此外，「紅心尾」、17 及 89 號果糖含量也有下降之表現。值得注意的是，150 mM NaCl 處理組之參試品系 (種) 中，麥芽糖含量皆明顯高出 0 mM 控制組。而蔗糖含量方面除「紅心尾」是增加外，其餘各品系 (種) 則是明顯下降，其中 P、13、87 號與 'TN57' NaCl 處理組之塊根，蔗糖含量甚至低於偵測極限。

甘藷誘變品系田間試驗

以甘藷誘變品系 (P、13、17、87、89) 及對照品種 'TN57'、「紅心尾」為材料進行田間栽培試驗，於 2018 年秋作定植於一般甘藷栽培田區、2019 年秋作定植於台南市七股區之鹽土田區 (EC 值為 5.31 dS m^{-1})。經 150 d 栽培期後收穫，並調查小區地上部重量、塊根產量及收穫指數。試驗結果顯示 (表 4)，一般田區之參試品種中，以誘變品系 87、17 及 89 號地上部重量較高，且三者間未達 5% 顯著差異；P、13 號及 'TN57' 較低，且三者無顯著差異。就小區產量之結果，以 P 及 'TN57' 為最高，而 13、17、87、89 次之，且四者間無顯著差異。各參試品系 (種) 之收穫指數差異介於 0.44 至 0.64 之間，以 'TN57' (0.64) 為最高，誘變品系 P (0.63) 次之，而 13、17、87、89 號較低。鹽土田區之栽培試驗結果，地上部重量以 13、87 號顯著較重，且與 P、89 號無顯著差異；對照品種 'TN57'、「紅心尾」與 17 號則顯著較輕。就塊根產量而言，鹽土田區下之 'TN57' 與各參試品系未達 5% 顯著差異；以「紅心尾」、P、87 號顯著較高，而 13、17 及 89 號顯著較低。就收穫指數而言，各參試品系 (種) 變異程度較廣，介於 0.17 至 0.62 之間；'TN57' 達 0.62 為最高，其次為「紅心尾」、17 號及 P，

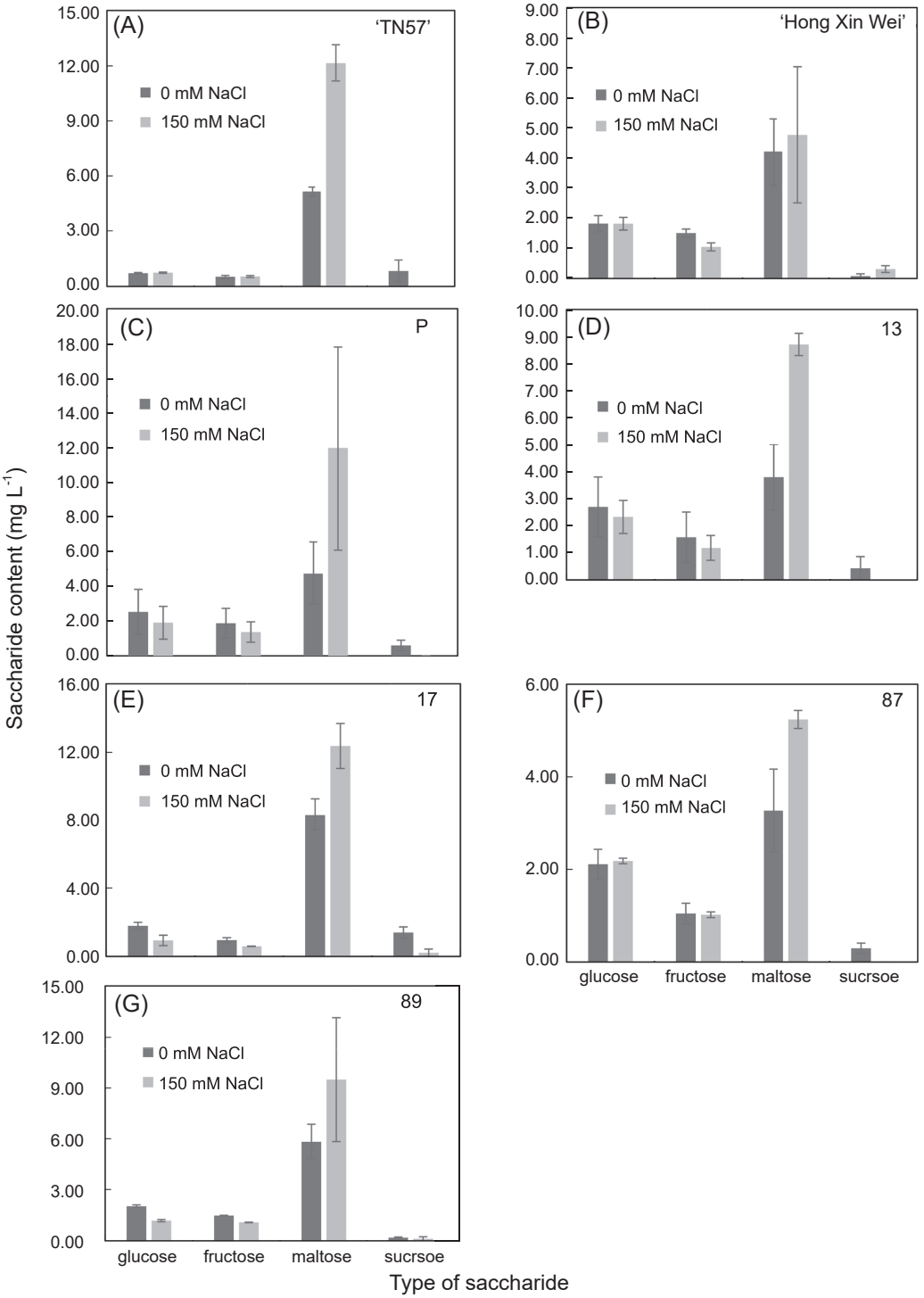


圖 1. 150 mM NaCl處理下甘藷品系 (種) 塊根之醣類分析。(A) 'TN57'；(B) 「紅心尾」;(C) P；(D) 13；(E) 17；(F) 87；(G) 89。

Fig. 1. Changes of the soluble sugar content of sweet potato mutant tubers under 150 mM NaCl. Vertical bars indicate standard error of mean. (A) 'TN57'; (B) 'Hong Xin Wei'; (C) P; (D) 13; (E) 17; (F) 87; and (G) 89.

表 2. 150 mM NaCl 處理對甘藷品系 (種) 塊根重量之影響。

Table 2. Effect of 150 mM NaCl on sweet potato tuber weight.

Tuber weight (g)	Variety, line and mutant lines of sweet potato						
	'TN57'	'Hong Xin Wei'	P	13	17	87	89
0 mM NaCl	564.5 ± 6.5 aA[z]	560.3 ± 15.3 abA	376.8 ± 83.0 bcA	501.9 ± 43.7 abcA	321.9 ± 33.9 cA	345.1 ± 86.9 cB	506.0 ± 62.4 abcA
150 mM NaCl	596.5 ± 50.5 abA	678.5 ± 53.5 aA	314.5 ± 27.5 bcA	512.0 ± 63.0 abcA	249.8 ± 56.3 cA	506.5 ± 16.9 abcA	376.8 ± 100.2 abcA
STI[y]	1.06	1.21	0.83	1.02	0.78	1.47	0.74

[z] Mean ± standard error. Means within each row (in small letter) and within each column (in capital letter) followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by least significant difference (LSD) test.
[y] STI: salt tolerance index.

表 3. 150 mM NaCl 處理對甘藷品系 (種) 塊根鈉離子含量分析。

Table 3. The sodium ion content of sweet potato mutant tubers under 150 mM NaCl.

Sodium ion (mg 100 g^{-1})	Variety, line and mutant lines of sweet potato						
	'TN57'	'Hong Xin Wei'	P	13	17	87	89
0 mM NaCl	28.5 ± 8.5 abB[z]	9.8 ± 0.1 bB	25.0 ± 0.2 abB	22.5 ± 6.2 abB	42.4 ± 17.3 aB	14.2 ± 1.8 bB	16.6 ± 2.7 abB
150 mM NaCl	113.4 ± 0.4 bA	89.8 ± 7.6 bA	126.0 ± 30.3 bA	116.9 ± 36.1 bA	272.5 ± 27.8 aA	139.2 ± 29.0 bA	148.2 ± 45.3 bA
STI[y]	3.98	9.19	5.05	5.20	6.43	9.80	8.91

[z] Mean ± standard error. Means within each row (in small letter) and within each column (in capital letter) followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by least significant difference (LSD) test.
[y] STI: salt tolerance index.

表 4. 甘藷品系 (種) 於田間試驗與鹽土試驗之農藝性狀表現。

Table 4. The agronomy traits of sweet potato mutants under normal and saline soil field.

Cultivation environment and crop season	Trait	Variety, line and mutant lines of sweet potato						
		'TN57'	'Hong Xin Wei'	P	13	17	87	89
Normal soil field	Stem weight (kg $plot^{-1}$)[z]	10.6 ± 0.2 d[y]	-	13.5 ± 1.7 cd	14.7 ± 3.3 bcd	18.0 ± 1.6 ab	20.4 ± 2.6 a	17.4 ± 1.8 abc
Fall Crop 2018	Yield (kg $plot^{-1}$)	19.2 ± 0.4 ab	-	22.8 ± 2.0 a	16.4 ± 1.6 bc	14.0 ± 0.9 c	16.1 ± 2.0 bc	14.6 ± 0.6 bc
	Harvest index	0.64	-	0.63	0.53	0.44	0.44	0.46
Saline soil field	Stem weight (kg $plot^{-1}$)	5.3 ± 0.2 b	10.6 ± 1.8 b	15.0 ± 1.6 ab	23.7 ± 3.5 a	5.4 ± 0.4 b	27.7 ± 5.9 a	15.8 ± 5.4 ab
Fall Crop 2019	Yield (kg $plot^{-1}$)	8.6 ± 0.3 abc	12.3 ± 2.7 ab	11.9 ± 4.3 ab	5.0 ± 0.2 c	4.4 ± 0.3 c	13.9 ± 3.0 a	6.2 ± 0.2 bc
	Harvest index	0.62	0.54	0.44	0.17	0.45	0.33	0.28

[z] The experiment was replicated three times with plot size of 6.0 m × 3.3 m. The sweet potato was planted in 1.10 m × 0.25 m of row and plant spacing.
[y] Mean ± standard error. Means within each row (in small letter) followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by least significant difference (LSD) test.

而 13、87 與 89 號之收穫指數則較低。整合田間試驗之結果顯示，鹽土栽培之甘藷產量及收穫指數與一般田區相比皆有下降之表現。收穫指數以 'TN57' 降幅最低，而 13 號下降最多。值得注意的是，雖然地下部的生長受到鹽分逆境之影響，但地上部卻有促進生長之情形發生，如 P、13、87 號等誘變品系其地上部莖葉重量高於一般田區。

討論

目前全球已超過 100 個國家出現土壤鹽化的現象，估計全球 3.1×10^8 ha 灌溉地區中約 20% 的土地受鹽分影響；而因海平面上升及次生鹽鹼化之衝擊下，預計鹽土面積將持續增加 (Qadir *et al*. 2014; Zaman *et al*. 2018)。當土壤中鹽分濃度過高時，將造成生物多樣性喪失及生態系統瓦解，且作物因鹽分逆境而導致減產或死亡 (Shahid 2013)。此外，根據 Qadir *et al*. (2014) 研究指出，全球因土壤鹽化導致土地退化，每年於作物栽培生產上的經濟損失估計高達 257 億美元。目前台灣鹽化土壤面積約為 2.5×10^4 ha 左右，主要分布於西部濱海地區，範圍約從彰化鹿港往南延伸至屏東枋寮一帶 (Chen *et al*. 2015)。為解決土壤鹽化造成的危機，除多種土壤改良方法及調整作物的栽培管理外，種植耐鹽作物或改良作物耐鹽性為另一可行策略 (Zaman *et al*. 2018)。

透過植物組織培養篩選耐逆境植株為一有效率之選拔方法 (Chandler *et al*. 1988; Vijayan *et al*. 2003; Zair *et al*. 2003; Dasgupta *et al*. 2008)，通常利用兩種方法進行：一是藉由體細胞變異或誘變劑誘導作物細胞突變，並從中進行篩選；另一則是直接從作物種原中行離體篩選 (*in vitro* screening)。Dasgupta *et al*. (2008) 以 15 個不同甘藷種原為材料，接種於含 3 個不同 NaCl 濃度 (0, 0.5 及 1.0% w/v) 之培養基中，並依據莖部及根部之個數及長度為選拔指標，成功篩選出 6 個感鹽品系 (未能於 0.5% NaCl 下生長)、3 個中等耐鹽品系 (能於 0.5% NaCl 下生長)，以及 6 個強耐鹽性之甘藷種原 (能於 1.0% NaCl 下生長)。本文亦利用 'TN57' 及 5 個誘變甘藷品系之組培苗進行鹽分逆境試驗 (0.0、0.5 及 1.0%) (表 1)，結果發現 6 個參試品種 (系) 皆能於 0.5% 及 1.0% 鹽分逆境下生長，表示參試品種 (系) 皆有較強之耐鹽性。值得注意的是，於 0.5% 鹽分濃度下各性狀之耐鹽指數皆高於 0.9 以上，且有促進生長之趨勢；當鹽分濃度達 1.0%，植株生長才明顯受到抑制。另外，根據 Mukherjee (2001) 研究指出，培養基在添加 0.5% NaCl 下，4 種甘藷品種之反應都相當穩定，而在 1.0% NaCl 下生長開始下降，與本文之試驗結果相符。甘藷組培苗生長受到抑制，可能由於鹽分介質增加培養基的滲透勢，影響根部對水分及養分的吸收，進而抑制植株生長發育。加總 1.0% 鹽分濃度下各性狀之耐鹽指數，可初步將參試品系 (種) 苗期之相對耐鹽性由高到低排序：89、13、'TN57'、17、P、87；另由於甘藷生產較注重塊根，若由根長性狀之耐鹽指數來說，誘變品系 13、89 號之苗期耐鹽性較佳。

在鹽分逆境下，土壤滲透勢降低，造成植株根部吸水困難，形成植株體內出現生理乾旱 (physiological drought) 的現象。為解決此困境，植物透過滲透調節 (osmotic adjustment) 作用，即分泌無機離子 (如 K^+、Ca^{2+}、Cl^- 等)、小分子有機酸、可溶性糖、脯氨酸 (proline)、甜菜鹼 (betaine)、山梨糖醇 (sorbitol) 等，降低細胞滲透勢，以利細胞能繼續吸收水分而恢復正常生長 (Ashraf & Harris 2004; Bartels & Sunkar 2005; Parida & Das 2005; Arzani 2008)。Wu *et al*. (2013) 以不同甜菜 (*Beta vulgaris* L.) 品種為材料，處理 4 種不同鹽分濃度 (0、50、100 及 200 mM) 後測量無機離子 (Na^+、K^+、Ca^{2+})、脯氨酸及可溶性糖 (文中採用蔗糖標準品) 等含量，結果顯示甜菜莖部及根部之 Na^+ 含量隨鹽分濃度增加而顯著上升，但於 200 mM 時根部可溶性糖 (蔗糖) 顯著降低。比較本文 150 mM NaCl 盆栽試驗，同樣發現所有參試品系 (種) 中，塊根鈉離子含量顯著增加 (表 3)，而 'TN57' 及誘變品系之蔗糖含量皆下降 (圖 1)。本文 NaCl 處理組之總可溶性醣類 (葡萄糖、蔗糖、果糖、麥芽糖) 較控制組高，此與 Kitayama *et al*. (2020) 之研究相符，推測係因甘藷面臨鹽分逆境啟動滲透調

節之緣故；但進一步檢視不同醣類含量增減不一，非全數增加，此與 Hunsche *et al*. (2010) 在鹽分逆境下之番茄根部試驗結果相似。本次盆栽試驗塊根醣類分析中，葡萄糖、果糖及蔗糖皆有下降之趨勢，僅麥芽糖有顯著增加的情形 (圖 1)，而麥芽糖是否作為甘藷面臨鹽分逆境之重要醣類，以及可作為耐鹽性篩選指標仍需進一步試驗。

雖然 Na^+ 是植物生長之有益元素 (Kitayama *et al*. 2020)，但植物體內若有高濃度 Na^+，則會影響細胞水勢及胞內離子平衡，進而毒害細胞抑制植株生長。此外，濃度過高之 Na^+ 會與 K^+ 競爭酶上之 K^+ 結合位，導致 K^+ 離子平衡被干擾 (Tester & Davenport 2003; Bartels & Sunkar 2005; Grieve *et al*. 2012)。一般植物利用以下三種機制避免過量 Na^+ 之危害：(1) 根部限制對 Na^+ 之吸收；(2) 透過 Na^+/H^+ 反向運輸蛋白 (antiporter) 將 Na^+ 隔離於液胞中；(3) 透過 Na^+/H^+ 反向運輸蛋白將 Na^+ 反向排出細胞 (Bartels & Sunkar 2005; Grieve *et al*. 2012; Yu *et al*. 2016)。根據 Yu *et al*. (2016) 研究發現，甘藷根部主要透過將 Na^+ 隔離於液胞中以調節鹽分濃度下之離子平衡。Kitayama *et al*. (2020) 以 0、25 及 50 mM 之 NaCl 溶液處理兩甘藷品種，結果顯示塊根鈉含量隨鹽分濃度升高而增加，此與 Yu *et al*. (2016) 及本文試驗結果相符 (表 3)。經本文盆栽試驗，發現甘藷在 150 mM 鹽分逆境下塊根會累積大量 Na^+，而以誘變品系 17 號之含量顯著最高；此外，參試品系 (種) 中「紅心尾」、87 及 89 號與控制組相比，其累積之 Na^+ 含量高達近 9 倍。值得一提的是，研究指出栽培鹽生植物 (halophytes) 或耐鹽性高之植物可透過植株體內吸收並累積大量鹽分進行植生復育 (phytoremediation) 以改良鹽土 (Boonsaner & Hawker 2012; Jesus *et al*. 2015)。本文「紅心尾」及誘變品系 87、89 號於 150 mM 鹽分逆境下可累積大量 Na^+，且仍能維持正常生長發育，其具應用於植生復育以改良鹽土之潛力。

植物在面臨鹽分逆境時，經一系列耐鹽生理機制反應，最終於外表型表現。因此相對於生理指標，外表型指標更具耐鹽性之綜合意義。且外表型調查對於儀器及設備之要求較低，適用性高且易於進行為其優點。Parida & Das (2005) 指出植物遭遇鹽分逆境時，植物生長發育受到抑制，進一步導致生質量 (biomass) 降低、生產力下降或植株死亡。雖然鹽分逆境對所有植物皆有害，但不同物種之耐受性及致死濃度下之生長減少速率差異很大。根據 Dasgupta *et al*. (2008) 研究指出，隨鹽分濃度上升，甘藷培植體根、莖、葉等部位之性狀有顯著受抑制之現象，但抑制程度隨不同甘藷基因型而異，此與本文組織培養試驗於 1.0% NaCl 處理之結果相符。因此，研究者認為可依據在鹽分逆境下之外表型指標評估甘藷耐鹽性 (Dasgupta *et al*. 2008)。另一方面，本文鹽土試驗結果，顯示參式品種 (系) 於 EC 值為 5.31 dS m^{-1} 之鹽土仍可正常生長，但不同品系間之農藝性狀仍有顯著差異，表現不同耐鹽程度 (表 4)。此外，誘變品系 P、13、87 之地上部鮮重反而有高於一般田區之結果 (表 4)。整合本文組培、盆栽及田間試驗之結果，發現於鹽分逆境下甘藷莖部皆有促進生長之趨勢，推測可能是植物通過加速生長以降低體內鹽分濃度的緣故。

基於產量的耐鹽性指標篩選，可視為植株耐鹽性生理機制的整體表現，代表遺傳及環境效應對植物生長的綜合影響 (Arzani 2008)。Houshmand *et al*. (2005) 以 8 種不同杜蘭小麥 [*Triticum turgidum* L. subsp. *durum* (Desf.) Husn.] 品系為材料 (包含耐鹽與感鹽品系)，進行一般田及鹽土之田間比較試驗，並根據產量構成要素、產量及收穫指數等性狀評估小麥耐鹽性之表現。結果發現，由於鹽分影響，所有小麥品系之產量相關性狀皆顯著降低，此與本文田間試驗發現：栽培於鹽土之甘藷產量皆低於一般田區產量之結果大致相符 (表 4)。根據 Grieve *et al*. (2012) 研究指出，甘藷耐鹽指標之土壤 EC 域值 (threshold) 為 1.5 dS m^{-1}，當超過域值時即開始減產，且 EC 值每增加 1.0 dS m^{-1} 即減產 11%，被列為中等感鹽之作物。比較本次田間試驗之結果，參試品系 (種) 於鹽土 (EC 值為 5.31 dS m^{-1}) 栽培之甘藷產量較一般田區減產約 4 至 6 成，略高於 Grieve *et al*. (2012) 之研究結果。僅誘變品系 87 號減產約 14%，推測係因甘藷之遺傳組成為多倍

體且高度異質結合，並經 NaN_3 誘變後，不同基因型之個體遺傳變異較大的緣故。值得注意的是，鹽土田間試驗收穫時發現誘變品系地上部生長正常；而地下部以鬚根、鉛筆根居多，塊根數較少，推測是因為土壤鹽分逆境影響根部發育及光合產物之分配所致。就收穫指數而言，'TN57' 於一般田與鹽土差異不大，係因地上部及地下部在鹽土田區之生長皆受抑制；而誘變品系 P、13、87、89 號於一般田與鹽土之收穫指數差異較大，係因其地上部生長旺盛，而塊根收量降低的緣故。綜上所述，鹽分逆境對甘藷根部有較大之負面效應，而對地上部之負面影響較輕微。

植物耐鹽機制相當複雜且不同基因型間遺傳多樣性大，單一指標難以準確判斷耐鹽性之強弱。本文僅透過生理、外表型性狀與 STI 評估甘藷耐鹽性，未來仍需進一步針對甘藷進行耐鹽指標之相關分析，方能篩選出可確切代表甘藷耐鹽性強弱之性狀指標，建立綜合耐鹽性評價系統，進而使甘藷耐鹽性分析結果更具代表性。本文以經由 NaN_3 誘變而得之甘藷誘變品系為材料，於組培、盆栽及田間三方面試驗參試品系 (種) 之耐鹽性。由組培試驗結果顯示，甘藷苗期根部之耐鹽性以誘變品系 13、89 號為最佳；然而就盆栽試驗之結果而言，甘藷塊根以「紅心尾」、87 號之 STI 較高。此外，甘藷在鹽分逆境下會導致根部累積大量 Na^+ 及麥芽糖含量增加，其是否可作為耐鹽性篩選指標仍需進一步試驗。田間試驗之結果而言，誘變品系 P、87 號於栽培期可正常生長發育且產量較高，顯示兩品系對於鹽分逆境之耐受性較佳，未來可供作為甘藷耐鹽相關研究之種原材料，或甘藷耐鹽育種之親本來源，藉以因應全球土壤鹽化面積持續攀升之危機。

引用文獻

Abrol, I. P., J. S. P. Yadav, and F. I. Massoud. 1988. Salt-affected Soils and Their Management. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 131 pp.

Arzani, A. 2008. Improving salinity tolerance in crop plants: A biotechnological view. *In Vitro* Cell. Dev. Biol. Plant 44:373–383. doi:10.1007/s11627-008-9157-7

Ashraf, M. and P. J. C. Harris. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Sci. 166:3–16. doi:10.1016/j.plantsci.2003.10.024

Bartels, D. and R. Sunkar. 2005. Drought and salt tolerance in plants. Crit. Rev. Plant Sci. 24:23–58. doi:10.1080/07352680590910410

Boonsaner, M. and D. W. Hawker. 2012. Remediation of saline soil from shrimp farms by three different plants including soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. J. Environ. Sci. Health A 47:558–564. doi:10.1080/10934529.2012.650559

Chandler, S. F., K. Y. Paek, E. C. Pua, E. Ragolsky, B. B. Mandal, and T. A. Thorpe. 1988. The effectiveness of selection for salinity tolerance using *in vitro* shoot culture. Intl. J. Plant Sci. 149:166–172. doi:10.1086/337704

Chen, Z. S., Z. Y. Hseu, and C. C. Tsai. 2015. The Soils of Taiwan. Springer. Dordrecht, Germany. 127 pp. doi:10.1007/978-94-017-9726-9

Chou, S. Y., I. C. Tsai, W. J. Chang, and H. S. Wu. 2015. Salt tolerant characters of salt tolerant rice mutant CNY1031130. Crop Environ. Bioinform. 12:183–197. (in Chinese with English abstract) doi:10.30061/CEB.201512_12(4).0003

Dasgupta, M., M. R. Sahoo, P. C. Kole, and A. Mukherjee. 2008. Evaluation of orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes for salt tolerance through shoot apex culture under *in vitro* NaCl mediated salinity stress conditions. Plant Cell Tissue Organ Cult. 94:161. doi:10.1007/s11240-008-9400-2

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2000. Extent and causes of salt-affected soils in participating countries. http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/topic2.htm#top (visit on 03/01/2020)

Grieve, C. M., S. R. Grattan, and E. V. Maas. 2012. Plant salt tolerance. p.405–459. *in*: Agricultural Salinity Assessment and Management. 2nd ed. (Wallender, W. W. and K. K. Tanji, eds.) ASCE. Reston, VA. 1124 pp.

Houshmand, S., A. Arzani, S. A. M. Maibody, and M. Feizi. 2005. Evaluation of salt-tolerant genotypes of durum wheat derived from *in vitro* and field experiments. Field Crops Res. 91:345–354. doi:10.1016/j.fcr.2004.08.004

Hunsche, M., C. Lankes, H. Hoffstall, and G. Noga. 2010. Vegetative performance, leaf water potential, and partitioning of minerals and soluble sugars: Traits for ranking the NaCl-tolerance of tomato genotypes? Plant Growth Regul. 62:151–162. doi:10.1007/s10725-010-9500-y

Jesus, J. M., A. S. Danko, A. Fiúza, and M. T. Borges. 2015. Phytoremediation of salt-affected soils: A

review of processes, applicability, and the impact of climate change. Environ. Sci. Pollut. Res. Intl. 22:6511–6525. doi:10.1007/s11356-015-4205-4

Katerji, N., J. W. van Hoorn, A. Hamdy, and M. Mastrorilli. 2003. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. Agric. Water Manag. 62:37–66. doi:10.1016/S0378-3774(03)00005-2

Kitayama, M., T. Samphumphuang, R. Tisarum, C. Theerawitaya, K. Cha-um, M. Takagaki, and S. Cha-um. 2020. Calcium and soluble sugar enrichments and physiological adaptation to mild NaCl salt stress in sweet potato (*Ipomoea batatas*) genotypes. J. Hortic. Sci. Biotechnol. doi:10.1080/14620316.2020.1749532

Lai, Y. C., Z. T. Li, T. L. Jeng, and W. H. Tsai. 2008. Breeding of the new sweet potato variety, Tainung No. 73. J. Taiwan Agric. Res. 57:279–294. (in Chinese with English abstract) doi:10.6156/JTAR/2008.05704.05

Li, L. and C. H. Liao. 1994. The achievement and prospect of sweet potato breeding in Taiwan. p.11–28. *in*: Proceeding of a Symposium on Root Crop Yield Improvement, Processing and Utilization. November 25, 1993. Chiayi, Taiwan. Taiwan. Chiayi Agricultural Experiment Branch, TARI. Taichung, Taiwan. (in Chinese with English abstract)

Massoud, F. I. 1981. Salt affected soils at a global scale and concepts for control. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 21 pp.

Medeiros, C. D., J. R. C. Ferreira Neto, M. T. Oliveira, R. Rivas, V. Pandolfi, É. A. Kido, J. I. Baldani, and M. G. Santos. 2014. Photosynthesis, antioxidant activities and transcriptional responses in two sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) cultivars under salt stress. Acta Physiol. Plant. 36:447–459. doi:10.1007/s11738-013-1425-4

Mukherjee, A. 2001. Effect of NaCl on axillary shoot proliferation in sweet potato. Ann. Trop. Res. 23:1–10.

Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Physiol. Plant. 15:473-497. doi:10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

Oldeman, L. R., R. T. A. Hakkeling, and W. G. Sombroek. 1991. World map of the status of human-induced soil degradation: An explanatory note. 2nd ed. International Soil Reference and Information Center. Vienna, Austria. 35 pp.

Picha, D. H. 1985. HPLC determination of sugars in raw and baked sweet potatoes. J. Food Sci. 50:1189–1190. doi:10.1111/j.1365-2621.1985.tb13045.x

Parida, A. K. and A. B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotoxical. Environ. Saf. 60:324–349. doi:10.1016/j.ecoenv.2004.06.010

Qadir, M., E. Quillérou, V. Nangia, G. Murtaza, M. Singh, R. J. Thomas, P. Drechsel, and A. D. Noble. 2014. Economics of salt-induced land degradation and restoration. Nat. Resour. Forum 38:282–295. doi:10.1111/1477-8947.12054

Shahid, S. A. 2013. Irrigation-induced soil salinity under different irrigation systems- Assessment and management: Short technical note. Clim. Change Outlook Adapt. Intl. J. 1:19–24.

Taji, T., C. Ohsumi, S. Iuchi, M. Seki, M. Kasuga, M. Kobayashi, K. Yamaguchi-Shinozaki, and K. Shinozaki. 2002. Important roles of drought- and cold-inducible genes for galactinol synthase in stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*. Plant J. 29:417–426. doi:10.1046/j.0960-7412.2001.01227.x

Tester, M. and R. Davenport. 2003. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. Ann. Bot. 91:503–527. doi:10.1093/aob/mcg058

Ueda, A., M. Kanechi, Y. Uno, and N. Inagaki. 2003. Photosynthetic limitations of a halophyte sea aster (*Aster tripolium* L.) under water stress and NaCl stress. J. Plant Res. 116:63–68. doi:10.1007/s10265-002-0070-6

United States Department of Agriculture. 1975. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Soil Conservation Service and United States Department of Agriculture. Washington, DC. 754 pp.

Vargas, R., E. I. Pankova, S. A. Balyuk, P. V. Krasilnikov, and G. M. Khasankhanova. 2018. Handbook for Saline Soil Management. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Lomonosov Moscow State University. Moscow, Russia. 132 pp.

Vijayan, K., S. P. Chakraborti, and P. D. Ghosh. 2003. *In vitro* screening of mulberry (*Morus* spp.) for salinity tolerance. Plant Cell Rep. 22:350–357. doi:10.1007/s00299-003-0695-5

Wang, C. S., T. H. Tseng, and C. Y. Lin. 2002. Rice biotech research at the Taiwan Agriculture Research Institute. Asia Pacific Biotech 6:950–956. doi:10.1142/S0219030302001969

Wu, G. Q., N. Liang, R. J. Feng, and J. J. Zhang. 2013. Evaluation of salinity tolerance in seedlings of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars using proline, soluble sugars and cation accumulation criteria. Acta Physiol. Plant. 35:2665–2674. doi:10.1007/s11738-013-1298-6

Wu, Y. P. 2013. Drought tolerant rice lines by screen-

ing an ‘IR64’ mutant stock. J. Taiwan Agric. Res. 62:195–208. (in Chinese with English abstract) doi:10.6156/JTAR/2013.06203.01

Yu, Y., T. Xu, X. Li, J. Tang, D. Ma, Z. Li, and J. Sun. 2016. NaCl-induced changes of ion homeostasis and nitrogen metabolism in two sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars exhibit different salt tolerance at adventitious root stage. Environ. Exp. Bot. 129:23–36. doi:10.1016/j.envexpbot.2015.12.006

Zair, I., A. Chlyah, K. Sabounji, M. Tittahsen, and H. Chlyah. 2003. Salt tolerance improvement in some wheat cultivars after application of *in vitro* selection pressure. Plant Cell Tiss. Org. Cult. 73:237–244. doi:10.1023/A:1023014328638

Zaman, M., S. A. Shahid, and L. Heng. 2018. Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques. Springer. Berlin, Germany. 164 pp. doi:10.1007/978-3-319-96190-3

Zeng, L., M. C. Shannon, and C. M. Grieve. 2002. Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by multiple agronomic parameters. Euphytica 127:235–245. doi:10.1023/A:1020262932277

The Study of Salt Tolerance in Sweet Potato Mutants

Po-Hsien Lu[1,*], Ting-Zhu Zhan[2], and Yung-Chang Lai[3]

Abstract

Lu, P. H., T. Z. Zhan, and Y. C. Lai. 2020. The study of salt tolerance in sweet potato mutants. J. Taiwan Agric. Res. 69(4):298–311.

In this study, the mutants (P, 13, 17, 87, 89), 'TN57' and 'Hong Xin Wei' of sweet potato (*Ipomoea batatas*) were used as experimental materials. The salt stress was conducted in three aspects: tissue culture, potted trial and field experiment. The physiological and phenotype responses of sweet potato under salt stress were analyzed to evaluate the salt tolerance of the mutants. The results showed that different mutants responded differently to salt stress, and their salt tolerance index (STI) varied with different traits and decreased with increasing salt concentrations. The seedlings of tissue culture for mutants performed stably at 0.5% and was significantly inhibited at 1.0% salt concentration. Among them, the root length of No. 13 and No. 89 of mutants performed best. In addition, the results of the potted experiment showed that the root weight of sweet potato was stable under 150 mM salt stress, and the STI of the mutagenic line, No. 87, was the highest. It was worth noting that under 150 mM salt stress, sweet potato accumulated large amounts of Na^+ and maltose content in the roots, which might be the reason to explain why the mutants had strong salt tolerance. Further evaluation in the results of the field experiment showed that the salt stress had a slight negative impact on the shoots of sweet potato, but had larger negative effect on the roots, and it caused to the decreasing of yield for sweet potato. However, the degree of yield reduction varied with different genotypes. Among them, 'Hong Xin Wei', P and No. 87 were significantly higher. In the potted trial and the saline soil field experiment, the sweet potato mutant P and No. 87 could grow normally and had higher yields throughout the whole cultivation period. It indicated that the two lines had higher salt tolerance and could be used as the experimental materials of salt-tolerance in the breeding program of sweet potato.

Key words: Sweet potato, Salt tolerance, Mutant line.

Received: August 7, 2020; Accepted: September 28, 2020.

* Corresponding author, e-mail: hsien0823@dns.caes.gov.tw

[1] Assistant Research Fellow, Department of Agronomy, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.

[2] Assistant Research Fellow, Crop Improvement Section, Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Changhua County, Taiwan, ROC.

[3] Research Fellow and Head, Department of Agronomy, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi, Taiwan, ROC.