

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 植物學科

第二名

052106

甘藷生長期與淹水逆境對甘藷耐受性之探討

學校名稱：高雄市立高雄高級中學

作者： 高二 謝晉紘 高二 柯宜彤	指導老師： 曾嫻霖 蔡喬木
-------------------------	---------------------

關鍵詞：甘藷、生長期、淹水逆境

摘要

本研究以臺農 57 號(TNG57)、臺農 71 號(TNG71)及臺農 73 號(TNG73)甘藷作為研究對象，測量不同生長期葉片的抗氧化力是否有所差異，以及淹水逆境對於甘藷的耐受性與抗氧化能力之影響。結果發現生長期、淹水逆境皆會影響甘藷植株體內的類黃酮含量、總酚含量、清除 DPPH 與超氧陰離子能力，以及還原力等抗氧化指標高低，且推論品種亦可能是影響甘藷抗氧化能力的因子之一。在甘藷種植後 120d(day)時進行淹水逆境處理，結果顯示塊根的含醣量、乾物率及澱粉含量皆無顯著的影響，推論甘藷植株在 120d 遭遇淹水後，仍能夠修復受損傷的部位。抗氧化能力受許多因子影響，其背後機制與相互影響的關聯性，仍待進一步探討。

壹、前言

一、研究動機與文獻回顧

近來研究發現，植物中所含之還原物質如 kaempferol 等，可使其提供某些植物一定程度的抗氧化活性，達到有效抑制細胞因活性氧所造成的老化現象(Wang et al., 2007)。植物的抗氧化活性常以測定多酚、類黃酮、清除 DPPH (α, α -diphenyl- β -picrylhydrazyl)、清除超氧陰離子與還原力做為評估指標(張聖顯、陳怡蓉, 2013)。

類黃酮是只存在植物體內的抗氧化物質，因其具有極佳的抗氧化力，可提供氫質子給過氧化自由基以中止反應，本身則形成穩定的類黃酮自由基，並能夠有效抑制低密度脂蛋白(LDL)的氧化(Torel et al., 1986)。多酚類化合物是植物的二級代謝產物(secondary metabolites)，一直是被廣為研究的植物性化學物質之一。除了因其廣泛存在於植物界，且容易由飲食中攝取外，越來越多的研究指出多酚類對於人體健康具有正面效益，植物中的多酚類化合物可當做生物內的還原劑、金屬螯合劑以及活性氧清除劑等(黃毓清, 2003)。超氧陰離子具有毒性，會形成羥基自由基及過氧化氫化合物(hydroperoxide)，造成細胞受損、發炎、動脈粥狀硬化及老化。植物體內含有超氧歧化酶(superoxide dismutase, SOD)，能催化超氧陰離子轉為 H_2O_2 及 O_2 (江佩錚, 2007)，防止膜脂質硬化。抗氧化研究時，DPPH 常被用作檢測抗氧化劑提供氫原子之能力。還原力可提供某些植物一定程度的抗氧化活性。

甘藷(sweet potato)富含多酚和類黃酮，葉子具有最高的抗氧化能力與還原力(Lako et al., 2007；許夏芬等, 2000)，可能對於慢性疾病的預防有深遠的好處(Brunetti et al., 2009；Duračková, 2010)。甘藷適合生長的环境很廣泛，可達南北緯 40 度，加上甘藷對於環境的適應性極佳，且其葉片與塊根均可作為食物成為營養來源，在糧食作物上扮演了極為重要的角色(CGIAR, 2005)。

近幾年來台灣的強降水現象，淹水成為臺灣栽種甘藷最大的天然災害，對葉菜與塊根的產量、品質都有影響(黃，2013)，臺灣是一個長年多雨的島嶼，每年的降雨量皆超過世界平均(虞國興，2015 年)，而且近年來溫室氣候加劇，農作物的生產及價格皆受其影響(Hansen and Coffey, 2011)。高中選修生物提及淹水逆境(flooding stresses)指的是水分過多時，會導致植物根部缺氧，進而影響礦物質的吸收，經查閱文獻顯示，淹水逆境時會藉由刺激乙炔形成，使體內的抗氧化能力會有所改變(Kuan-Hung LIN et al., 2006)。甘藷身為 2004-2008 年台灣最豐富的粗糧(COA, 2008)，含有許多抗癌物質(錢明賽，1998)，理應受到更多關注與研究。在 Santiago Suárez 等人在 2020 年的研究，甘藷葉片的最佳收成期(即營養含量最多的時候)為種植後 60 天；不同品種甘藷之抗氧化能力似乎有所差異，黃酮類化合物的分佈和含量在不同環境因子下都有明顯差異，可能受到季節變化、輻射強度、營養狀況、微生物侵害、機械損傷以及植物種間競爭等影響(諸姮等，2007)。除此之外，環境因子或逆境亦可能是影響抗氧化能力之因素(Warren Roberts et al., 1991)。

綜上所述，本研究選定台灣本土育種的三種甘藷：臺農 57 號、臺農 71 號及臺農 73 號作為研究對象，測量不同生長期葉片的抗氧化力是否有所差異，以及淹水逆境對於甘藷的耐受性與抗氧化力之影響。

二、研究目的

(一) 探討三種甘藷葉片的生長時間對抗氧化能力的影響

1. 探討葉片類黃酮(Flavonoid)含量隨生長時間的變化
2. 探討葉片多酚含量隨生長時間的變化
3. 探討葉片清除 DPPH 自由基能力隨生長時間的變化
4. 探討葉片清除超氧陰離子能力隨生長時間的變化
5. 探討葉片還原力隨生長時間的變化

(二) 探討淹水逆境對三種甘藷塊根乾物率與含糖量的影響

1. 探討甘藷塊根乾物率(乾重/鮮重)的影響
2. 探討甘藷塊根總糖、澱粉含量的影響

(三) 探討淹水逆境對三種甘藷的塊根和葉片抗氧化能力的影響

- 1 探討淹水逆境對甘藷葉片及塊根類黃酮含量的影響
- 2 探討淹水逆境對甘藷葉片及塊根多酚含量的影響
- 3 探討淹水逆境對甘藷葉片及塊根清除 DPPH 自由基能力的影響
- 4 探討淹水逆境對甘藷葉片及塊根清除超氧陰離子能力的影響
- 5 探討淹水逆境對甘藷葉片及塊根還原力的影

(四) 探討淹水逆境對三種甘藷生長的影響

1. 探討淹水逆境對甘藷葉片面積的影響
2. 探討淹水逆境與甘藷不定根個數的關係

貳、 研究設備及器材

一、 儀器設備

電子秤、分光光度計、比色管、微量吸管(pipette)、磁攪拌加熱器、磁攪拌子、離心機、4°C 及-20°C 冰箱、保麗龍箱、90L 的普力桶、恆溫水浴槽、60-mesh 篩網、試管震盪器、超音波震盪器、研鉢

二、 藥品

DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)、乙醇、三氯乙酸、蒸餾水、赤血鹽、六水合三氯化鐵、碳酸鈉、磷酸氫二鈉、磷酸二氫鈉、沒食子酸(Gallic acid)、福林酚試劑(Folin-Ciocalteu Phenol Reagent)、槲皮素(Quercetin)、phenazine methosulphate(PMS)、dihydromicotineamidadenibe dinucleotide(NADH)、tetrazolium(NBT)、氮磷鉀肥、苯酚(phenol)、濃硫酸(18.4C_M)、過氧酸、葡萄糖(glucose)

三、 植株選用及來源

採用臺農 57 號、臺農 71 號、臺農 73 號。其中臺農 57 號、臺農 73 號向嘉義農業事務所購買，臺農 71 號則購買自全聯福利中心。

參、 研究過程與方法

一、 種植方式及採樣時間

(一) 種植方式

1. 土壤：甘藷塊根肥大，需要土壤通氣良好，因此選用土質鬆軟的砂質土。
2. 種植：將臺農 57 號、臺農 71 號、臺農 73 號 3 種不同品種的甘藷，選取 6-8 節，節間短、未發根、莖粗大，長度約 20-30 公分的健壯藷苗，以斜插法將藷苗基部 3 節以上埋入土內，深度約 5 公分。將甘藷種於內徑 61*39*25 公分的保麗龍箱內，種植密度為株距 15~20 公分，每盆保麗龍箱種植 4 株，共 6 盆，總共 24 株。將土壤濕度固定範圍於 60-70% (李良、高景輝，1985；Thompson et al. 1992)，每天檢查 3 次，分別為早上 7:30、中午 12:30、下午 5:30。分兩次施肥，第一次在剛種植時，第二次為種植後 30~45 天，肥料以有機質肥料為主，並向農會購買氯化鉀的肥料作為補充肥料 (李良、高景輝，1985)。

(二) 採樣時間、種植時間

根據 Suárez 等人(2020)設計甘藷葉片採收的間隔期方法，設定種植甘藷時為種植第一天(9 月 2 日)，並於採收期前 15 天，即種植後的 30 天採集第一次葉片(10 月 2 日)，之後每隔 15 天採集一次甘藷葉，共採集 2 次(10

月 16 日、及 10 月 30 日)；葉片採集完畢後裝入夾鏈袋中，並用奇異筆標示該葉片所屬的品種，放入-20°C 冰箱冷凍 72 小時使其乾燥。

(三) 葉片採樣方法：採集從頂芽算起，第二片完全展開的葉子。

二、淹水逆境處理及時間

在保麗龍箱與土壤齊高處鑽孔，並放入普力桶中，並於普力桶內加水至與鑽孔齊高處，每天檢查三次以確保水位保持在適當高度。收成前一個月(120 天之後)，各品種隨機取一箱做淹水逆境處理 7 天(如附錄)。

三、實驗樣品處理

(一) 甘藷葉片樣品製備：將冷凍乾燥的甘藷葉，以 0.2g 甘藷葉/5mL 乙醇的濃度，加入 95%乙醇，以 3000 rpm 離心 3 分鐘，收集上清液做為樣品。

(二) 甘藷塊根樣品製備：將甘藷放置 -20°C 冰箱冷凍乾燥 72 小時以上，接著用烘箱 75°C 乾燥 4 天，直到組織重量不再減少，乾燥後之樣品利用研鉢磨成粉末，並以 60 mesh 篩網過篩，於-20°C 冰箱保存備用。

四、葉片類黃酮含量的測定

(一) 實驗原理：根據 PARK, Y.K et al.(2002)提出的方法測定總類黃酮含量，因類黃酮和鋁離子在鹼性環境下會形成黃色錯合物，黃色錯合物的含量會影響該樣本的吸光度。

(二) 實驗步驟

1. 標準品製備：取 10mg 槲皮素，以 80%乙醇定量至 10ml，再分別稀釋 10、20、40、80 倍作為標準品，分別取不同吸釋倍率的標準品 0.5mL、1M 醋酸鉀和 10% 氯化鋁 (AlCl_3) 各 100 μL 、蒸餾水 2.8mL，混合均勻後於室溫避光反應 30 分鐘，再以分光光度計測量 415nm 之吸光度，繪製標準曲線。

2. 計算樣品所含的類黃酮：分別取用乙醇萃取所得之不同樣品 0.5mL，加入 1M 醋酸鉀和 10%氯化鋁各 100 μL 、蒸餾水 2.8mL，混合均勻後於室溫避光反應 30 分鐘。避光後於波長 415nm 下測其吸光度，利用槲皮素標準液繪製標準曲線，再對照計算出各葉片樣本的類黃酮含量。

五、葉片多酚含量的測定

(一) 實驗原理：根據 Taga et al.(1984) 及 Singleton et al.(1999) 提出的 Folin-Ciocalteu 方法，由磷鉬酸酚指示劑(Folin-Ciocalteu's Phenol Reagent)作為呈色劑，因其在鹼性環境下與酚類化合物結合會因自身氧化還原($\text{Mo(VI)} + \text{phenols} \rightarrow \text{Mo(V)}$)而生成藍色化合物，故多酚含量與藍色深淺呈正相關。

(二) 實驗步驟

1. 沒食子酸標準品製備：取沒食子酸 10mg，以 80%乙醇定量至 10mL，再分別稀釋 10 倍、20 倍、40 倍、80 倍作為標準品，分別取不同吸釋倍率的標

準品 100 μ L、蒸餾水 2.8mL、Folin-Ciocalteu Phenol Reagent 100 μ L、20%Na₂CO₃均勻混合後避光 30 分鐘，繪製標準曲線。

2. 計算樣品所含的類黃酮濃度：分別取以乙醇萃取所得之不同樣品 100 μ L、蒸餾水 2.8mL、Folin-Ciocalteu Phenol Reagent 100 μ L、20%Na₂CO₃均勻混合後避光 30 分鐘。避光後於波長 750nm 下測其吸光度，利用沒食子酸標準液繪製標準曲線，再對照計算出各葉片樣本的類黃酮含量。

六、葉片清除 DPPH 自由基能力的測定

(一)實驗原理：DPPH 是一種穩定的自由基，溶於乙醇中呈現藍紫色，在波長 517nm 下有強烈吸光值。當樣本作為抗氧化劑，將 DPPH 自由基還原成 DPPH₂時，溶液顏色會轉成淡黃色，在 517nm 下吸光度也會下降。而呈現的顏色愈淡，表示清除 DPPH 自由基的能力愈強，即此樣品抗氧化能力愈好。

(二) 實驗步驟

1. 標準品的配製：取 2mL 乙醇，加入等體積新鮮配置之 1mM 的 DPPH 乙醇溶液，均勻混合後避光反應 30 分鐘。待 30 分鐘後，利用分光光度計測定波長 517nm 下測定吸光度。
2. 樣品測定：分別取以乙醇萃取所得之不同樣品 2mL，加入等體積新鮮配置之 1mM 的 DPPH 乙醇溶液，均勻混合後避光反應 30 分鐘。待反應完全後，利用分光光度計測定波長 517nm 下測定吸光度。清除 DPPH 自由基能力以公式：DPPH 自由基清除能力(%)= [(對照組 517nm 下吸光值-實驗組 517nm 下吸光值)/對照組 517nm 下吸光值]×100%表示。

七、葉片清除超氧陰離子清除能力

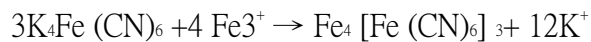
(一) 實驗原理：參考 Robak 和 Gryglewski(1988) 的方法，在非酵素系統中，藉由 PMS 與 NADH 作用產生的超氧陰離子，將 NBT 還原成 diformazan(藍黑色)，此化合物在 560 nm 有最大吸光度。因此若試樣與超氧陰離子反應，將會減少 diformazan 產生，並降低其吸光值，故其吸光值愈低，表示試樣清除超氧陰離子的能力愈強。

(二) 實驗步驟

1. 標準品的配製：取 1mL 的乙醇，依序加入 300 μ M NBT、120 μ M PMS、936 μ M NADH 溶液各 250 μ L。於室溫並避光處靜置 5 分鐘。待 5 分鐘後，利用分光光度計測量其在 560 nm 時的吸光度。
2. 樣品測定：120 μ M PMS、936 μ M NADH 溶液各 250 μ L。於室溫避光靜置 5 分鐘。待反應完全後，利用分光光度計測量其在 560 nm 時的吸光度。清除超氧陰離子能力以公式：超氧陰離子清除活性% = [(對照組 560nm 下吸光值-實驗組 560nm 下吸光值)/對照組 560nm 下吸光值]× 100%表示。

八、葉片還原能力的測定

(一) 實驗原理：利用甘藷葉片將 $K_3Fe(CN)_6$ 還原成 $K_4Fe(CN)_6$ ， $K_4Fe(CN)_6$ 再與溶液中的 Fe^{3+} 作用，生成 $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ 的普魯士藍化合物，並在 700 nm 波長測定吸光值。吸光值越高表示其還原能力越好。



(二) 實驗步驟

1. 標準品的配製：還原力依 Pulido et al. (2000) 的方法測定。取 200 μ L 的乙醇，加入 200 μ L 的磷酸鈉緩衝溶液(0.2 M, pH 6.6)及 1% 赤血鹽溶液，經混合後，以 50°C 水浴反應 30 分鐘，反應後，迅速於 0°C 冰浴 2 分鐘。加入同體積 10% 三氯醋酸溶液(trichloroacetic acid)，3000 rpm 離心 10 分鐘。上清液與蒸餾水及 0.1% 三氯化鐵(ferric chloride)以 5:5:1 混合均勻，反應 10 分鐘後，利用分光光度計測量其在 700 nm 的吸光度。
2. 樣品測定：分別取以乙醇萃取所得之不同樣品 200 μ L，加入 200 μ L 的磷酸鈉緩衝溶液(0.2 M, pH 6.6)及 1% 赤血鹽溶液，經混合後，以 50°C 水浴反應 30 分鐘，反應後，迅速於 0°C 冰浴 2 分鐘。加入同體積 10% 三氯醋酸溶液(trichloroacetic acid)，3000 rpm 離心 10 分鐘。上清液與蒸餾水及 0.1% 三氯化鐵(ferric chloride)以 5:5:1 混合均勻，反應 10 分鐘後，利用分光光度計測量其在 700 nm 的吸光度。還原能力以公式：還原能力 = 實驗組 700nm 下吸光值 - 對照組 700nm 下吸光值表示。

九、塊根澱粉含量的測定

(一) 實驗原理：改自黃哲倫等(2016)、Dubois(1956)、張立祥(2007)的方法。藉由乙醇萃取出樣本中的可溶性醣類，再以過氯酸分解澱粉，並由苯酚硫酸法測定澱粉分解後的葡萄糖含量，以葡萄糖當量來標示澱粉含量。苯酚硫酸法是利用單糖與硫酸作用形成糖醛。此化合物會和試劑中的苯酚形成穩定呈色，其吸收波長高峰約在 490nm。

(二) 實驗步驟

1. 標準品的配置：配置 1M 的葡萄糖溶液，再分別稀釋至 20 倍、40 倍、80 倍、160 倍，再分別取 0.1ml 稀釋後的葡萄糖溶液，並加水 1.9ml，0.1mL 的 5% 苯酚與 6mL 的濃硫酸(18.4C_M)，利用超音波震盪器使其在室溫下反應 30 分鐘，再利用分光光度計測定其在 490nm 的吸光度。
2. 計算樣品所含的澱粉濃度：秤取 0.1g 乾燥甘藷粉末，加入 1mL 的 80% 乙醇，放入水浴鍋中在 80°C 下震盪 30 分鐘後，離心 5 分鐘。以滴管吸除上層 80% 乙醇，再於烘箱以 70°C 烘乾。乾燥樣品加入 0.5ml 純水，於 100°C 震盪加熱 30 分鐘。冷卻後加入 0.2mL 之 9.2N 過氯酸(HClO₄)並以震盪器震

盪 15 分鐘後，定量至 1 毫升。離心 10 分鐘後，取上清液 0.1mL 加入 1.9mL 純水、0.1mL 石炭酸(phenol)和 6mL 濃硫酸。震盪均勻後靜置 30 分鐘，分光光度計於波長 490nm 測定吸光值。利用葡萄糖標準液繪製標準曲線，再對照計算出各塊根樣品的澱粉含量。

十、塊根中可溶性醣含量的測定

(一) 實驗原理：根據 Dubois(1956)的方法，苯酚硫酸法是利用單糖與硫酸作用形成糖醛。此化合物會和試劑中的苯酚形成穩定呈色，其吸收波長高峰約在 490nm。

(二) 實驗步驟

1. 標準品的配置：同澱粉的標準品的配製方法。
2. 計算樣品所含的澱粉濃度：秤取 0.1g 乾燥甘藷粉末，加入 1mL 的蒸餾水，放入水浴鍋中在 30°C 下震盪 3 小時後，離心 20 分鐘。以滴管吸取上清液 0.08ml 的液體，加入 1.92ml 的蒸餾水、0.1mL5%的石炭酸(phenol)和 6mL 濃硫酸。震盪均勻後靜置 30 分鐘。以分光光度計於波長 490nm 測定吸光值。利用葡萄糖標準液繪製標準曲線，再對照計算出各塊根樣品的醣類含量。

十一、探討淹水逆境對三種甘藷的塊根和葉片的抗氧化能力有何影響

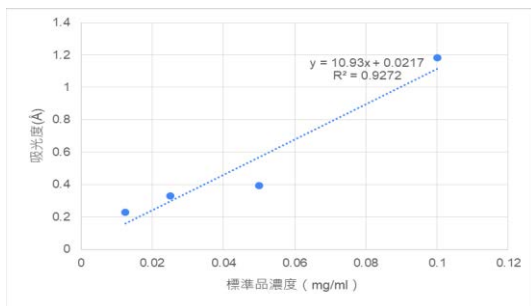
種植收成前一個月（120 天之後），於三種品種隨機選取一箱，以淹水逆境處理 7 天作為實驗組，其餘作為對照組。利用上述實驗原理與步驟測定對照組與實驗組甘藷葉片及塊根的類黃酮含量、多酚含量、清除 DPPH 自由基能力、清除超氧陰離子能力以及還原力；再將測定所得之數據經獨立樣本 T 檢定，分析比較對照組與實驗組是否有達顯著差異水準。

肆、 研究結果

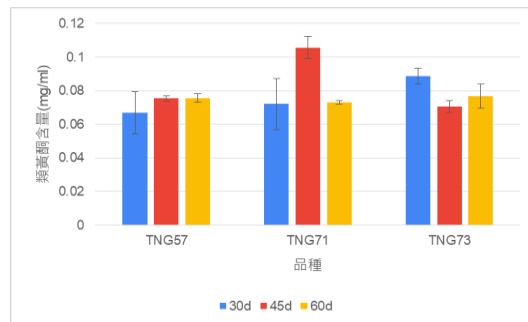
一、 探討甘藷品種與生長時間對葉片抗氧化能力有何影響

(一) 探討甘藷葉片類黃酮含量隨生長時間的變化（收穫天數以 d 表示）

根據標準曲線(圖一)，定量各組類黃酮濃度，並進行比較。發現濃度最高的天數為：臺農 57 號在 45d 及 60d，臺農 71 號在 45d，臺農 73 號則是在 30d (圖二)。根據單因子變異數分析 (oneway ANOVA)，臺農 57 號的三個生長期皆無顯著差異(30d 與 45d, $p=0.744>0.05$ ；30d 與 60d, $p=0.729>0.05$ ；45d 與 60d, $p=1.000>0.05$)；臺農 71 號的 30d 與 45d 則有顯著差異($p=0.037<0.05$)；而臺農 73 號中，30d 與 45d 則有顯著差異($p=0.033<0.05$)。根據實驗結果，甘藷葉片的類黃酮含量隨生長時間並無增加或減少之趨勢。



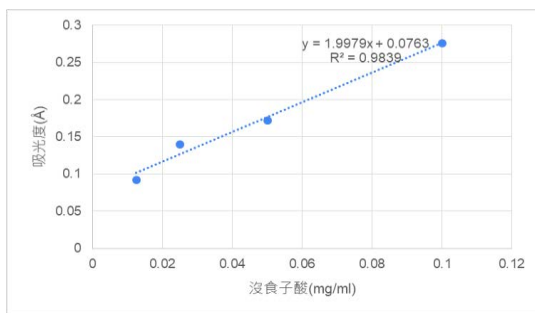
圖一、定量類黃酮的標準曲線



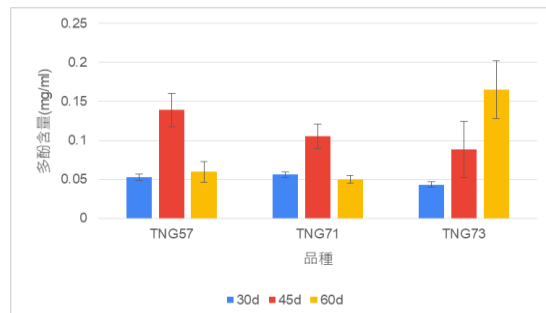
圖二、3 個品種的甘藷葉片隨收穫時間不同的類黃酮含量

(二) 探討甘藷葉片多酚含量隨生長時間的變化

根據標準曲線(圖三)，定量各組濃度(圖四)，發現臺農 57 號及臺農 71 號濃度最高時發生於 45d，臺農 73 號濃度最高則在 60d，且濃度隨時間有增加的趨勢。根據單因子變異數分析，臺農 57 號的 45d 與 30d、60d 皆分別有顯著性差異(30d 與 45d, $p=0.022<0.05$ ；45d 與 60d, $p=0.027<0.05$)；臺農 71 號中 30d 與 45d 則有顯著差異($p=0.043<0.05$)；而臺農 73 號的三個生長期中，兩兩皆無顯著差異(30d 與 45d, $p=0.414>0.05$ ；30d 與 60d, $p=0.082>0.05$ ；45d 與 60d, $p=0.176>0.05$)。



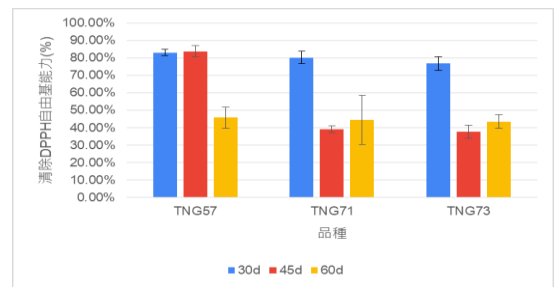
圖三、定量多酚的標準曲線



圖四、3 個品種的甘藷葉片隨收穫時間不同的多酚含量

(三) 探討甘藷葉片清除 DPPH 自由基能力隨生長時間的變化

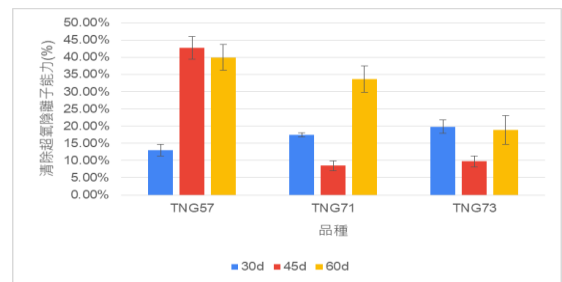
如圖五顯示，臺農 57 號清除 DPPH 能力最佳時間在 45d；而臺農 71 號及臺農 73 號清除能力最佳時皆在 30d，而且三組的清除能力最高都在 80% 左右。根據單因子變異數分析，臺農 57 號 30d 與 60d、45d 與 60d 有顯著差異(30d 與 60d, $p=0.006<0.05$ ；45d 與 60d, $p=0.002<0.05$)；臺農 71 號的三個生長期則無明顯差異(30d 與 45d, $p=0.091>0.05$ ；30d 與 60d, $p=0.116>0.05$ ；45d 與 60d, $p=0.568>0.05$)；而臺農 73 號的 30d 與 45d、30d 與 60d 皆分別有顯著差異($p<0.001$)。



圖五、3 個品種的甘藷葉片隨收穫時間不同之清除 DPPH 自由基能力

(四) 探討甘藷葉片清除超氧陰離子能力隨生長時間的變化

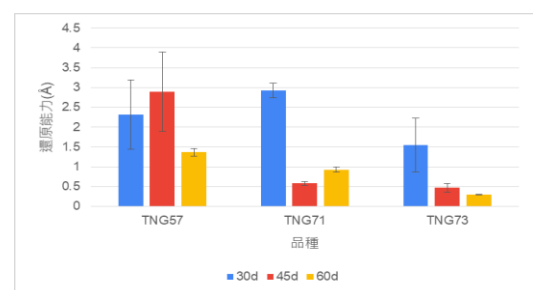
由圖六顯示，臺農 57 號清除能力最佳時間在 45d，臺農 71 號在 60d，而臺農 73 號則在 30d，臺農 57 號和 71 號清除能力的變化趨勢均為先降後升。根據單因子變異數分析，臺農 57 號的 30d 與 45d、60d 皆分別有顯著差異(30d 與 45d, $p=0.002<0.05$ ；30d 與 60d, $p=0.006<0.05$)；臺農 71 號的三個生長期則兩兩皆有顯著差異(30d 與 45d, $p=0.007<0.05$ ；30d 與 60d, $p=0.046<0.05$ ；45d 與 60d, $p=0.011<0.05$)；而臺農 73 號中，30d 與 45d 有顯著性差異($p=0.008<0.05$)。



圖六、3 個品種的甘藷葉片隨收穫時間不同之清除超氧陰離子能力

(五) 探討甘藷葉片還原力隨生長時間的變化

由圖七得知臺農 57 號在 45d 時還原能力最佳，而臺農 71 號及臺農 73 號則在 30d 時還原能力最佳。根據單因子變異數分析，臺農 57 號的三個生長期，兩兩皆無顯著性差異(30d 與 45d, $p=0.872>0.05$ ；30d 與 60d, $p=0.492>0.05$ ；45d 與 60d, $p=0.313>0.05$)，臺農 71 號的三個生長期則兩兩皆有顯著差異(30d 與 45d, $p=0.007<0.05$ ；30d 與 60d, $p=0.046<0.05$ ；45d 與 60d, $p=0.011<0.05$)，而臺農 73 號的三個生長期，兩兩皆無顯著性差異。

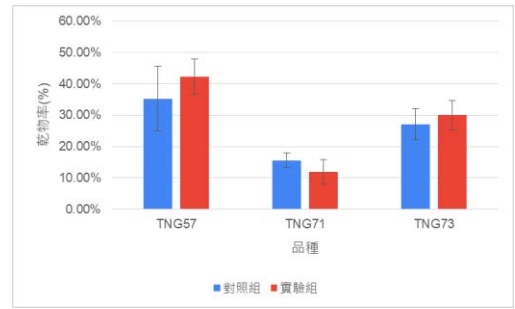


圖七、3 個品種的甘藷葉片隨收穫時間不同之還原能力

二、探討淹水逆境對甘藷塊根乾物率與含糖量的影響

(一) 探討淹水逆境對甘藷塊根乾物率的影響

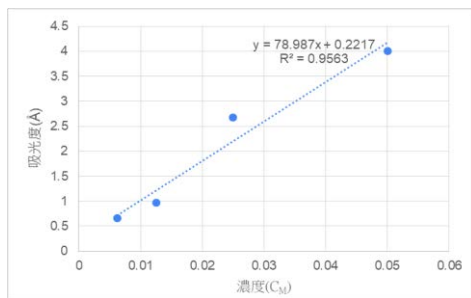
由圖八顯示，臺農 57 號及臺農 73 號於淹水後，乾物率皆呈上升趨勢；而臺農 71 號則呈下降趨勢。根據獨立樣本 T 檢定，發現三個品種皆無顯著差異 (TNG 57, $p=0.368>0.05$ ；TNG 71, $p=0.268>0.05$ ；TNG 73, $p=0.509>0.05$)。



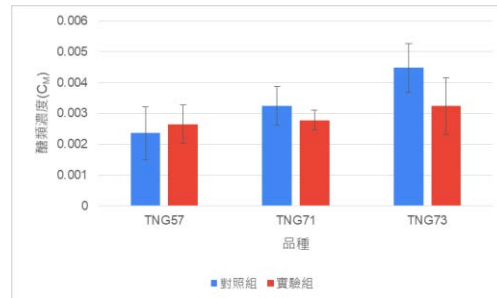
圖八、淹水前後 3 個品種塊根的乾物率

(二) 探討淹水逆境對甘藷塊根中含糖量的影響

根據葡萄糖標準曲線(圖九)，對照定量各組濃度，並利用獨立樣本 T 檢定所得的數據(圖十)，發現臺農 57 號的塊根的醣類濃度含量在淹水後有增加的趨勢，但無顯著差異($p=0.652>0.05$)；而臺農 71 號、臺農 73 號的塊根的醣類濃度則在淹水後有增加的趨勢，但兩者皆無顯著差異(TNG 71, $p=0.316>0.05$ ；TNG 73, $p=0.153>0.05$)。



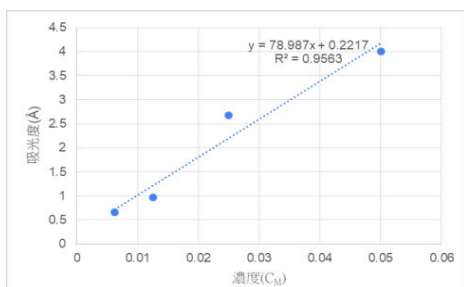
圖九、定量含糖量濃度的標準曲線



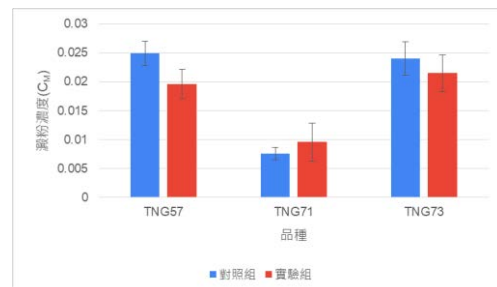
圖十、淹水前後 3 個品種的塊根之含糖量

(三) 探討淹水逆境對甘藷塊根澱粉含量的影響

根據標準曲線(圖十一)，定量各組的澱粉濃度，並利用獨立樣本 T 檢定計算所得的數據顯示(圖十二)，相較於對照組，臺農 57 的澱粉濃度有顯著減少的現象 ($p=0.049<0.05$)，臺農 73 經淹水處理後，澱粉濃度也有減少的趨勢，但與對照組無顯著差異($p=0.371>0.05$)。而臺農 71 甘藷則在淹水處理後，塊根澱粉濃度似乎有增加的現象，但與對照組也無顯著差異($p=0.386>0.05$)。



圖十一、定量澱粉濃度的標準曲線



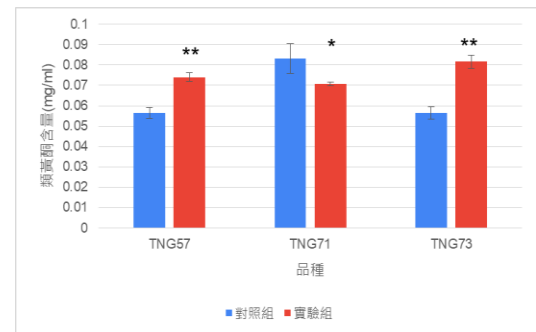
圖十二、淹水前後 3 個品種塊根之澱粉濃度

三、探討淹水逆境對三種甘藷的塊根和葉片的抗氧化能力有何影響

(一) 探討淹水逆境對甘藷葉片及塊根類黃酮含量的影響

1. 對葉片類黃酮含量的影響

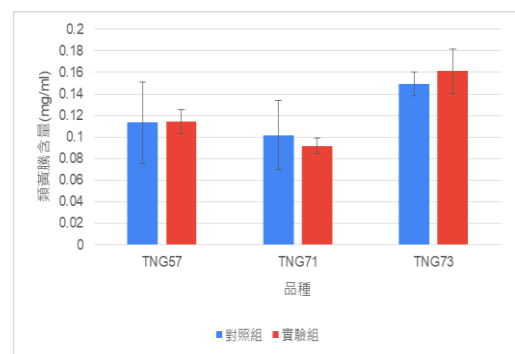
由圖十三，各組類黃酮濃度並根據獨立樣本 T 檢定計算所得的數據顯示，發現臺農 57 號及臺農 73 號經淹水後，葉片內的類黃酮濃度皆呈明顯上升趨勢，且有達顯著差異 (TNG 57, $p < 0.001$; TNG 73, $p < 0.001$) ; 而臺農 71 號經淹水後葉片內的類黃酮含量呈下降趨勢，且有達顯著差異 ($p = 0.044 < 0.05$) 。



圖十三、淹水前後 3 個品種的葉片類黃酮含量

2. 對塊根中類黃酮的含量的影響

由圖十四，各組類黃酮濃度並根據獨立樣本 T 檢定計算所得的數據顯示，臺農 57 號及臺農 73 號塊根中的類黃酮濃度在淹水後有上升，並未達顯著差異 (TNG 57, $p = 0.969 > 0.05$; TNG 73, $p = 0.425 > 0.05$) ，而臺農 71 號塊根中的類黃酮含量則呈下降趨勢，也未達顯著差異 ($p = 0.619 > 0.05$) 。

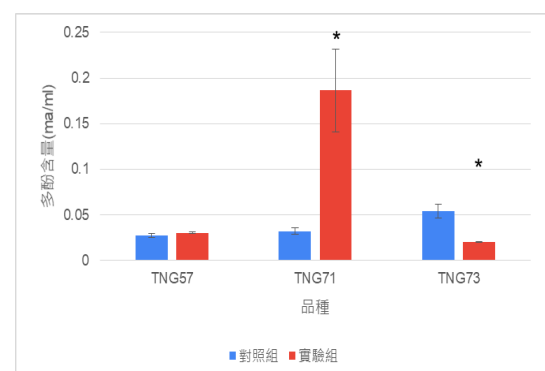


圖十四、淹水前後 3 個品種的塊根類黃酮含量

(二) 探討淹水逆境對甘藷葉片及塊根多酚含量的影響

1. 對葉片多酚含量的影響

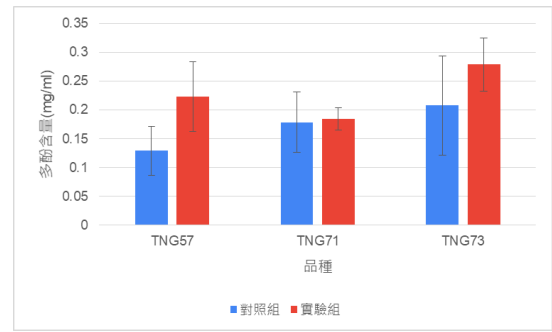
由圖十五，各組葉片多酚濃度並根據獨立樣本 T 檢定計算所得的數據顯示，臺農 57 號於淹水後，葉片內的多酚濃度呈現上升趨勢，但未達顯著差異 ($p = 0.091 > 0.05$) ，臺農 71 號葉片中多酚含量則呈顯著上升趨勢，有達顯著差異 ($p = 0.027 < 0.05$) ; 而臺農 73 號於淹水後其葉片中的多酚含量呈明顯的下降趨勢，且有達顯著差異 ($p = 0.015 < 0.05$) 。



圖十五、淹水前後 3 個品種的葉片多酚含量

2. 對塊根多酚含量的影響

由圖十六，各組塊根多酚濃度並根據獨立樣本 T 檢定計算所得的數據，發現三個甘藷品種中的多酚含量皆於淹水後呈現上升趨勢，但未達顯著差異 (TNG 57, $p=0.091>0.05$; TNG 71, $p=0.852>0.05$; TNG 73, $p=0.278>0.05$)。

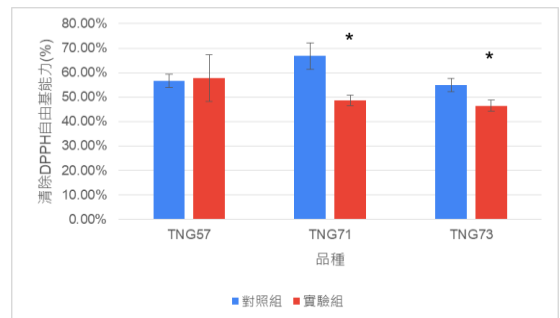


圖十六、淹水前後 3 個品種的塊根多酚含量

(三) 探討淹水逆境對甘藷葉片及塊根清除 DPPH 自由基能力的影響

1. 對葉片清除 DPPH 自由基能力的影響

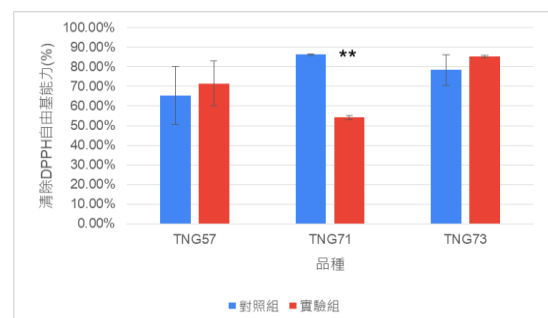
由圖十七發現，臺農 57 號於淹水後其葉片清除 DPPH 能力與對照組相當，並無顯著差異 ($p=0.845>0.05$)；而臺農 71 號及臺農 73 號於淹水後，其葉片清除 DPPH 的能力呈明顯的下降趨勢，且有達顯著差異 (TNG 71, $p=0.006<0.05$; TNG 73, $p=0.014<0.05$)。 [獨立樣本 T 檢定分析]



圖十七、淹水前後 3 個品種的葉片清除 DPPH 自由基能力

2. 對塊根清除 DPPH 自由基能力的影響

由圖十八發現，臺農 57 號及臺農 73 號於淹水後清除 DPPH 自由基能力上升，但無顯著差異 (TNG 57, $p=0.601>0.05$; TNG 73, $p=0.275>0.05$)；而臺農 71 號經淹水後，清除 DPPH 自由基能力下降，且達顯著性差異 ($p<0.001$)。 [獨立樣本 T 檢定分析]

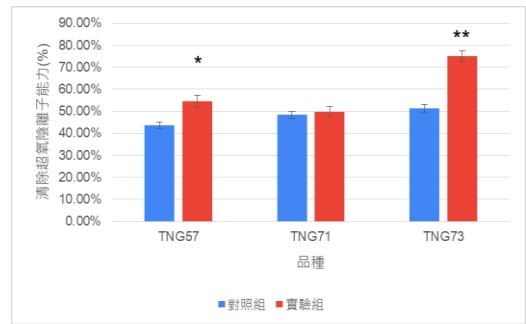


圖十八、淹水前後 3 個品種的塊根清除 DPPH 自由基能力

(四) 探討淹水逆境對甘藷葉片及塊根清除超氧陰離子能力的影響

1. 對葉片清除超氧陰離子能力的影響

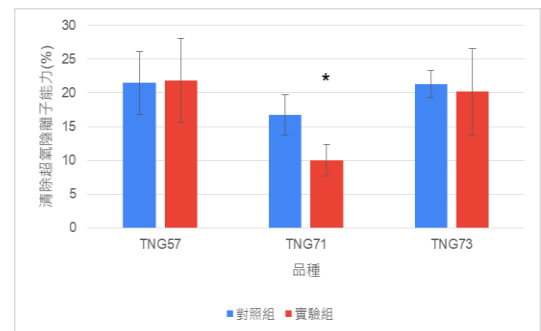
由圖十九發現，淹水後臺農 57 號及臺農 73 號的葉片清除超氧陰離子能力皆有明顯的上升趨勢，且有達顯著差異 (TNG 57, $p=0.108<0.05$ ；TNG 73, $p<0.001$)，而臺農 71 號則呈現些微的上升趨勢，但未達顯著差異($p=0.203>0.05$)。[獨立樣本 T 檢定分析]



圖十九、淹水前後 3 個品種的葉片清除超氧陰離子能力

2. 對塊根清除超氧陰離子能力的影響

由圖二十發現，臺農 57 號甘藷的塊根於淹水後，其清除超氧陰離子能力呈些微的上升趨勢，但未達顯著差異 ($p=0.934>0.05$)；臺農 71 號，其塊根清除超氧陰離子能力呈明顯下降趨勢，有達顯著差異($p=0.038<0.05$)，而臺農 73 號則於淹水後，其塊根清除超氧陰離子能力呈些微的下降趨勢，但未達顯著差異($p=0.778>0.05$)。[獨立樣本 T 檢定分析]

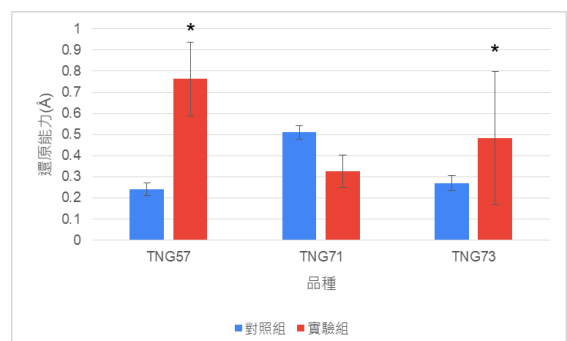


圖二十、淹水前後 3 個品種的塊根清除超氧陰離子能力

(五) 探討淹水逆境對甘藷葉片及塊根還原力的影響

1. 探討淹水逆境對甘藷葉片還原能力的影響

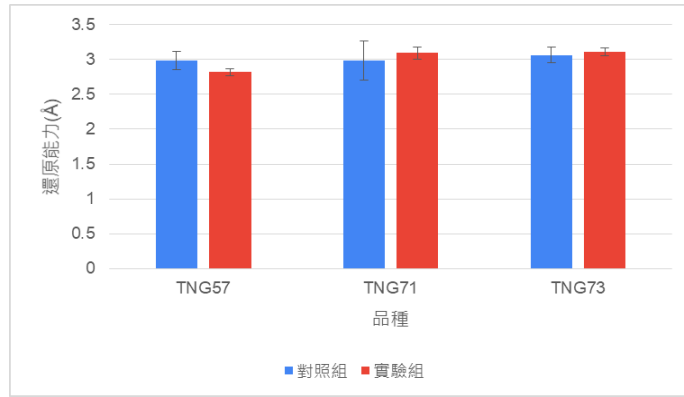
由圖二十一發現，臺農 57 號於淹水後其葉片的還原能力呈上升趨勢，有達顯著差異 ($p=0.032<0.05$)，臺農 73 號則是淹水後的還原能力呈些微上升的趨勢，但未達顯著差異 ($p=0.365>0.05$)；而臺農 71 號葉片的還原能力則呈明顯的下降趨勢，有達顯著差異($p=0.018<0.05$)。[獨立樣本 T 檢定分析]



圖二十一、淹水前後 3 個品種的葉片還原能力

2. 探討淹水逆境對甘藷塊根還原能力的影響

由圖二十二發現，臺農 57 號甘藷的塊根於淹水後，其還原能力呈些微的下降趨勢，但未達顯著差異($p=0.113>0.05$)；臺農 71 號及臺農 73 號甘藷的塊根則於淹水後，還原能力呈些微的上升趨勢，但未達顯著差異(TNG 71, $p=0.281>0.05$ ；TNG 73, $p=0.587>0.05$)。[獨立樣本 T 檢定分析]

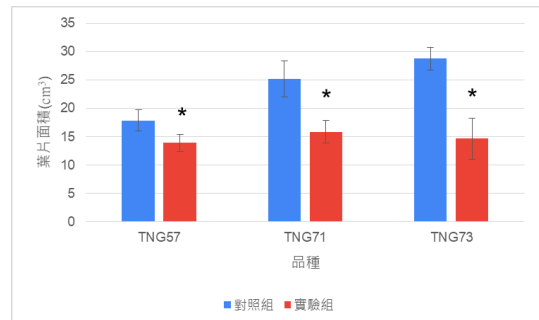


圖二十二、淹水前後 3 個品種的塊根之還原能力

四、探討淹水逆境對甘藷的生長影響

(一) 對葉片面積的影響

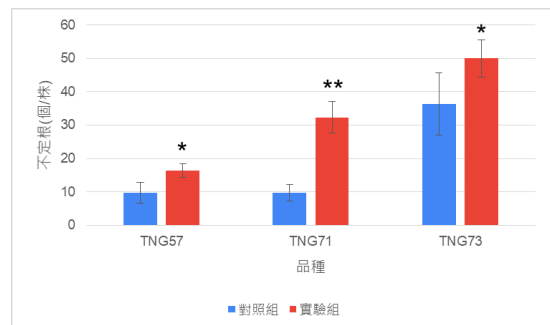
根據 Image.J 所計算出的葉片面積，如圖二十三顯示，經過淹水處理的三種甘藷，葉片面積皆比未經淹水的甘藷葉片小。三者的對照組與實驗組皆有顯著差異 (TNG57 $p=0.023<0.05$ ；TNG71 $p=0.006<0.05$ ；TNG73 $p=0.02<0.05$) [獨立樣本 T 檢定分析]



圖二十三、淹水對 3 個品種的葉片面積之影響

(二) 對不定根個數的關係

根據圖二十四所顯示，淹水處理的三種甘藷，相較於未經淹水處理的甘藷，其不定根個數皆有顯著上升的趨勢，且三者皆有顯著差異。(TNG57 $p=0.018<0.05$ ；TNG71 $p<0.01$ ；TNG73 $p=0.048<0.05$) [獨立樣本 T 檢定分析]



圖二十四、淹水對 3 個品種的不定根之影響

伍、 討論

一、 探討甘藷品種與生長時間對葉片抗氧化能力的影響

(一) 葉片的類黃酮含量隨生長時間的變化

臺農 71 在 45d 測得之類黃酮濃度最高，與其他生長期有顯著差異(圖二)；若比較相同品種甘藷葉片在不同生長期的類黃酮濃度，可以看出其類黃酮濃度均有所差異，隨生長時間並無一致的趨勢；又比較同一生長時間不同品種甘藷葉片的類黃酮濃度，發現不同品種的甘藷累積類黃酮的能力也有所差異。根據前人研究，不同生長時間或成熟度所測得之類黃酮含量並不一定有隨之增加或減少的趨勢 (江, 2007), 賴等(2010)的研究，臺農 10 號(TNG10)、臺農 57 號(TNG57)、臺農 66 (TNG66) 和黃葉 (YSP)的甘藷所含的類黃酮濃度為 TNG10 > TNG57 > YSP > TNG66，顯見品種可能是影響類黃酮濃度的原因之一，而不同的生長期也可能是影響類黃酮含量的因素。

(二) 探討甘藷葉片多酚含量隨生長時間的變化

若比較相同品種甘藷葉片在不同生長期的多酚濃度，其多酚濃度均有所差異，又比較同一生長時間不同品種甘藷葉片的多酚濃度，發現在 30d 時三種品種的多酚濃度都接近 0.05，而其餘天數則三品種的多酚含量則無相似。根據賴等 (2010) 的研究，不同品種甘藷所含的多酚濃度為 TNG57 > TNG10 > TNG66 > YSP，意即品種可能是影響多酚濃度的原因之一，再根據 Santiago Suárez et al.(2020)之研究，甘藷品種「尚樹 19 號」的多酚含量為 60d>45d>30d，且三個不同生長期之多酚含量皆有顯著差異，由此也可看出，不同的生長期也可能是影響多酚含量的因素。

(三) 探討甘藷葉片清除 DPPH 自由基能力隨生長時間的變化

臺農 57 號清除 DPPH 能力最佳時間在 45d；而臺農 71 號及臺農 73 號清除能力最佳時皆在 30d，生長 60d 時三種品種皆會降至 44% 左右，為最高清除能力的一半(圖五)。根據 Suárez 等人在 2020 年的研究，黃葉甘藷品種 YSP 的 DPPH 自由基清除活性在 45d、60d 時最高，但沒有任何顯著差異。賴等人在 2010 年之研究中，臺農 10 號和臺農 57 均表現出比臺農 66 和 YSP 有較佳的 DPPH 自由基清除力，再加上我們發現 DPPH 自由基清除活性皆在成熟度較高(生長期較長)時會顯著降低。綜上所述，DPPH 自由基清除活性可能因品種、生長期而有不同。

(四) 探討甘藷葉片清除超氧陰離子能力隨生長時間的變化

若比較相同品種，不同生長期的清除超氧陰離子能力，我們發現均有所差異，再比較不同品種，相同生長期時的清除超氧陰離子能力，發現其清除超氧陰離子能力也有所差異。根據賴等及 Santiago Suárez et al.在 2020 年的研究結果與我們得到結果類似，即不同品種和不同生長期可能是影響清除超氧陰離子的因素之一。

(五) 探討甘藷葉片還原力隨生長時間的變化

我們發現臺農 57 的多酚含量之變化與還原能力呈正相關($R=0.74$)，而臺農 71 號的多酚含量之變化與還原能力呈負相關($r=-0.5$)；臺農 73 號的多酚含量之變化與還原能

力呈負相關($r=-0.85$)，這結果與洪淑玲(2013)在蔬菜樣品在多酚含量和還原力測定兩種實驗做出來的趨勢非常接近，而林書賢(2008)則發現不同採摘期的石柿柿葉之多酚含量與還原力之間具有顯著相關。

二、探討淹水逆境對甘藷塊根乾物率與含醣量的影響

(一) 探討淹水逆境對甘藷塊根乾物率（乾重/鮮重）及含醣量的影響

我們的結果顯示臺農 57 號及臺農 73 號於淹水後，乾物率呈上升趨勢，臺農 71 號則些微降低，但三者的對照組和實驗組皆無顯著差異。含糖量的部分則是臺農 57 號有增加；臺農 71 號和臺農 73 號則是降低，但三者的對照組和實驗組也是皆未達顯著差異。黃哲倫等 (2016) 與 Wu and Chu (2001) 的淹水逆境研究，在種植後 45d 以淹水逆境處理，以及種植後 110d 以淹水逆境處理，其乾物率及含醣量相較於對照組亦沒有顯著差異，皆與我們實驗相符。

Ton and Hernandez(1978)在甘藷淹水後 5d 即採收，乾物率有顯著下降。Wu and Chu (2001)在臺農 66 號淹水 14d 後才採收，乾物率及含醣量就可恢復到正常值，賴等人 (2016)在臺農 66 號淹水後 35d 採收，其乾物率及含醣量也與對照組沒有顯著差異。我們實驗則是於淹水後 30d 採收，三種品種的乾物率及含醣量雖有些微變化，但與對照組皆沒有顯著差異。因此我們推論淹水後甘藷的恢復時間也可能會影響乾物率及含醣量的變化，若淹水後即進行採收，乾物率及含醣量雖然可能會降低，之後會再慢慢恢復。另外，根據 Collins and Wilson(1988)的研究顯示，甘藷品種 Jewel 和 Centennial 經歷淹水逆境後，乾物率及含醣量的變化有所不同；在我們的研究中，三個品種所呈現的升降趨勢也有些不同，意即不同品種的甘藷對淹水逆境的反應可能會有所差異。

至於淹水逆境造成乾物率及含醣量下降的機制可能是因為植株光合作用效率下降與光合產物供源方向的改變，使得塊根的澱粉及醣類的含量減少(Wu and Chu, 2001；吳，1998)，在此逆境之下，甘藷葉片中同化作用的產物無法往其他部位轉運，生成澱粉(吳，1998)，Paul G. Thompson 等人(1992) 的研究也指出，乾物率及含醣量隨甘藷所生長環境的水分上升而有上升的趨勢，和水分有關的逆境可能會影響乾物率及含醣量，不同作物的反應可能不同。

(二) 探討淹水逆境對甘藷塊根澱粉含量的影響

我們實驗結果發現，臺農 57 號塊根及臺農 73 號塊根的澱粉濃度，在淹水後有減少的趨勢，且臺農 57 號有顯著差異；而臺農 71 號塊根的澱粉濃度則在淹水後有增加的趨勢，但無顯著差異。根據前人研究，淹水逆境會造成甘藷塊根數目減少及塊根變小，導致甘藷塊根減產，臺農 66 號在生長 60d 時淹水逆境處理，結果澱粉含量顯著降低(Wu and Chu, 2001)，Thompson et al. (1992)在生育期間以過量水灌溉甘藷，澱粉含量同樣降低；Ton and Hernandez (1978)的試驗，在收穫前 5d 進行淹水，澱粉含量也顯著降低。黃哲倫等人(2016)則發現，不論是春作或秋作，在 110d 時進行淹

水逆境處理，會降低澱粉含量，但是在 45d 時進行淹水逆境處理，澱粉含量卻會增加，因此根據我們及前人的研究顯示，大部分甘藷品種經淹水逆境可能造成澱粉濃度下降，但於不同生長期進行淹水逆境處理可能造成澱粉濃度上升。簡言之，除了品種差異之外，進行淹水的時間點、以及淹水後恢復的時間都可能是影響澱粉濃度的原因之一。

淹水逆境造成澱粉含量降低的機制跟缺氧有關，尤其是根或根莖受到週期性或長期缺氧時，碳的同化和光合產物的利用都會受到抑制 (Vartapetian, 1997)。文獻也指出，遭受淹水逆境後，甘藷植株合成澱粉受到明顯抑制，且塊根內之澱粉也開始分解，此現象可能與淹水逆境下塊根內旺盛之無氧呼吸作用有關，此外淹水逆境也會降低塊根組織內蔗糖磷酸合成酶和澱粉合成相關酵素的活性，增加蔗糖合成酶的活性，使蔗糖分解為葡萄糖，降低澱粉的合成 (Wu and Chu 2001)。

三、探討淹水逆境對三種甘藷的塊根和葉片的抗氧化能力有何影響

(一) 對甘藷葉片類黃酮含量的影響

我們實驗結果顯示，臺農 57 號及臺農 73 號經淹水後，葉片內的類黃酮濃度皆顯著上升；而臺農 71 號經淹水後葉片內的類黃酮含量則顯著下降。前人研究發現 Taoyuan 2 號、Simon 1 號及 Sushu 18 號三種不同品種的甘藷，在淹水過後，葉片中的類黃酮含量變化皆有上升的趨勢，但沒有顯著差異，品種與淹水逆境兩種因子的交互作用對類黃酮含量的影響都不明顯 (Lin 等，2006 年)。

根據 Pereira, D.M 等人在 2009 年的研究指出，類黃酮普遍存在於植物體內，且具有減少植物對於紫外光災害的傷害，類黃酮在植物體內的含量，確實會因外在環境的誘導(如淹水逆境)而增加 (Frank Van Breusegem et al., 2009)，造成的主要原因是逆境會使 ROS (Reactive oxygen species)的數量上升，促使植物體內細胞成分被破壞，為了降低其所帶來的傷害，植物體內的類黃酮可能會藉由充當抗氧化劑的角色，協助維持 ROS 的數量的穩定 (Frank Van Breusegem et al., 2009)。本研究結果也顯示臺農 57 號及臺農 73 號經淹水後，葉片內的類黃酮濃度皆顯著上升，至於臺農 71 號經淹水後葉片內的類黃酮含量顯著下降，可能與品種差異或其他因子有關，有待進一步的探討。

(二) 對甘藷塊根類黃酮含量的影響

臺農 57 號及臺農 73 號塊根中的類黃酮濃度在淹水後有稍微上升，而臺農 71 號塊根中的類黃酮含量則呈下降趨勢，但皆未達顯著差異。比對前人研究，春作時臺農 57 號類黃酮含量高於 72 號，秋作時則無顯著差異，推論春作時雨水充沛，可能影響塊根抗氧化活性之高低 (吳明鴻，2008)，綜合上述，甘藷塊根的類黃酮含量抗氧化能力可能受淹水、受栽培年度、生育時期影響。

(三) 對甘藷葉片多酚含量的影響

我們的實驗結果發現，臺農 57 號及臺農 71 號於淹水後，葉片內的多酚含量皆上升；而臺農 73 號於淹水後其葉片中的多酚含量顯著下降。Lin 等人在 2006 年的研究，Taoyuan 2 號、Simon 1 號及 Sushu 18 號在淹水後的多酚含量皆明顯下降，顯示淹水逆境會造成甘藷多酚含量的變化。Lin 等人亦指出 Taoyuan 2 號、Simon 1 號淹水後的多酚變化顯著高於 Sushu 18 號，本研究也發現臺農 71 號的變化趨勢與其他兩種不同當中，顯示品種可能會影響多酚的含量。

植物體的多酚種類繁多，在植物體內有多種協助抗氧化的方式，藉由酚類上的羥基提供了氫(hydrogen donor)，從而中斷了自由基的形成，並生成了更穩定的化合物。另外，酚類具有疏水性的苯環及親水性的羥基，這使得酚類可與蛋白質有交互作用，從而阻止了因自由基生成的酵素，如脂氧合酶(Lipoxygenase) (Pereira, D.M et al., 2009)。

(四) 對甘藷塊根多酚含量的影響

我們發現臺農 57 號、臺農 71 號及臺農 73 號三品種的塊根經淹水逆境後，多酚含量皆呈些微的上升趨勢，但未達顯著差異。比對前人研究，秋作不同生育期的淹水逆境處理不影響塊根多酚含量，但春作不同生育期淹水逆境處理則顯著影響塊根的多酚含量，生育初期淹水逆境處理的多酚含量略高於對照組，而生育初期及後期各淹一次水的處理多酚含量升高許多(黃毓清, 2003)，顯示淹水逆境可能增加甘藷塊根多酚含量，但效果受到淹水逆境處理的時間、淹水次數等其他因子的影響。

甘藷塊根中主要之抗氧化成分為黃酮類(flavonoids)和酚酸類(phenolic acids)等酚類化合物 (Rie Kurata et al., 2019)，這些酚類化合物與胺基酸反應時具有相乘作用，形成抗氧化活性之物質；根據黃毓清(2003)的研究，比較不同甘藷塊根的多酚含量，結果為芋仔番薯最高，臺農 57 號最低；紫色系甘藷高於黃白色系；塊根低於葉片，因此綜合以上資料，逆境、淹水逆境處理的時間、淹水次數與甘藷品種及部位都會影響多酚含量。

(五) 對甘藷葉片清除 DPPH 自由基能力的影響

研究結果顯示臺農 57 號於淹水後其葉片的清除 DPPH 能力升高，但無顯著差異，而臺農 71 號及臺農 73 號於淹水後，其葉片清除 DPPH 的能力則顯著上升。清除 DPPH 自由基能力是評估抗氧化物質供氫能力，進而制氧化連鎖反應進行的能力 (劉宏澤等, 2012)，根據前人研究指出，植物內源性抗氧化物質含量因部位不同而異，進而產生抗氧化能力高低之差異 (Zulkefli et al., 2013)；因葉片為進行光合作用的主要部位，有氧化代謝過程中會產生活性氧化物質(ROS)，若淹水逆境存在時，會過量產生單態氧、過氧化氫及氫氧自由基而形成氧化逆境 (林禎祥, 2017)，而內源性抗氧化物質的產生是植物體重要的保護機制之一(蔡和顏, 2013；Harbour and Bolton, 1975；Kwon et al., 2002)。因此抗氧化物質多寡可能跟清除 DPPH 自由基能力有關 (林禎祥, 2017)。因此在本實驗中的淹水逆境可能會影響植物體內清除 DPPH 自由基能力，此外，採收期也可能會影響葉片清除 DPPH 的能力 (劉宏澤等, 2012)。

(六) 對甘藷塊根清除 DPPH 自由基能力的影響

根據我們的研究結果顯示，臺農 57 號及臺農 73 號塊根，於淹水後清除 DPPH 自由基能力上升，但未達顯著差異；而臺農 71 號經淹水後，清除 DPPH 自由基能力顯著下降。推論淹水會影響塊根清除 DPPH 自由基能力，但可能受到測定時間或品種差異而使結果不同。在品種差異上的原因，根據黃哲倫 (2013)的報導，不同品種的甘藷塊根清除 DPPH 自由基能力不同，文獻也指出，深紫色甘藷清除 DPPH 自由基能力大於淺紫色甘藷 (Oki et al., 2002)，推論 DPPH 自由基能力可能與花青素含量有關 (黃哲倫, 2013)，甘藷含有相當豐富的多酚化合物，而花青素正好也是多酚之一，紅色薯皮和紫色薯肉為花青素提供顏色，而黃白色薯肉則無花青素；臺農 73 號為紫肉品種，但其花青素含量並沒有很高，相較其他紫色薯肉品種，提供高抗氧化能力的功能較不明顯 (鄭等, 2008)。

(七) 對甘藷葉片清除超氧陰離子能力的影響

我們研究結果顯示，臺農 57 號及臺農 73 號經淹水後，葉片清除超氧陰離子能力顯著升高；臺農 71 號則些微升高。根據 Lin 等人在 2006 年的報導顯示淹水逆境可能會影響植物體內清除超氧陰離子的能力，並推論品種也會影響淹水後葉片的清除超氧陰離子能力。植物在淹水逆境下，其體內的活性氧族(reactive oxygen species, ROS)會提高，而影響植物的生長 (Schwanz et al., 1996; Carvalho and Amancio, 2002)，最主要的原因是因為淹水會使植物缺氧，並使植物的抗氧化酶系統失靈，清除自由基能力降低，進而使得 ROS 數量過多而破壞細胞 (劉桂東, 2019；Lin et al., 2009)，但劉桂東 (2019)同時指出，在淹水 5d，植物體內的抗氧化酶活性沒有顯著差異；但淹水 10 d，植物體內的超氧陰離子就會大量增加，這可能是根系在淹水後十天已經受到了淹水逆境的影響，顯示遭遇淹水的時間長短也是影響超氧陰離子的因素之一。

(八) 對甘藷塊根清除超氧陰離子能力的影響

在塊根方面，臺農 57 號甘藷的塊根於淹水後，其清除超氧陰離子能力呈些微的上升趨勢；臺農 71 號及臺農 73 號，其塊根清除超氧陰離子能力呈下降趨勢，其中，臺農 71 號有達顯著差異。劉桂東在 2009 年的研究說明不同抗氧化酶在不同植物器官的數量不同，會造成不同器官對淹水逆境反應的差異。綜合上述報導，影響植物清除超氧陰離子能力的因素有很多種，如淹水天數、器官不同、品種等，本研究僅證明了清除超氧陰離子會隨品種與器官的不同而表現不一。

(九) 對甘藷葉片及塊根還原力的影響

我們實驗顯示臺農 57 號及臺農 73 號於淹水後葉片的還原力皆呈上升趨勢，其中，臺農 57 號有達顯著差異；而臺農 71 號葉片的還原能力則顯著下降。比對前人的研究，Taoyuan 2 號、Simon 1 號及 Sushu 18 號淹水後葉子的還原力皆有下降的趨勢 (Lin et al., 2006)，顯示淹水逆境可能會影響植物體內的還原力，而在淹水後，Simon 1 還原力顯著高於 Taoyuan 2 號(Lin et al., 2006)，顯示品種會影響淹水逆境後葉片的還原力。

比較三個品種的塊根經淹水逆境後之還原能力，發現臺農 57 號甘藷的塊根於淹水後，其還原能力呈些微的下降趨勢；臺農 71 號及臺農 73 號甘藷的塊根則於淹水後，還原能力呈上升趨勢。但三者皆未達顯著差異。比對前人研究，黃哲倫 (2003) 的研究比較不同品種甘藷塊根的還原力，顯示品種會影響淹水逆境後的還原力。本研究則發現淹水後還原力的表現為臺農 57 號高於臺農 73 高於臺農 71，但未達顯著差異，目前無法得知淹水逆境對三品種塊根之還原力是否有顯著影響；是否涉及其他因子共同交互作用，尚待進一步探討。

四、探討淹水逆境對三種甘藷生長的影響

(一) 對甘藷葉片面積的影響

根據本研究結果，經過淹水逆境處理的三種甘藷，其葉片面積皆小於未經淹水的對照組。根據陳宗祈(2019)的研究結果，不論夏作或秋作的甘藷在經過淹水後，兩者的葉面積都小於未經過淹水處理的樣本，與本研究結果相同。

根據 Irina Mozo et 在 2021 年的研究指出，植物在逆境下會改變其性狀以適應環境，Paul J. Kramer (1951) 的研究亦指出，植物在經過嚴重的淹水逆境時，下位葉會有枯黃且凋零的情況，而只保留了莖頂的葉片。因此，葉片面積的大小與植物的耐受性有著很大的關聯。

(二) 淹水逆境與甘藷不定根個數的關係

根據我們研究的結果，經過淹水的三種甘藷，其不定根個數皆多於未經淹水的對照組。根據 Thikra Dawood et al. 人在 2014 的研究，歐白英(*Solanum dulcamara*) 這種植物在經過淹水後，其不定根個數也有顯著的變多，此與本研究結果相符。

不定根的個數與植物的淹水耐受性有一定程度的關聯 (Ann Bot, 2017)。淹水逆境會減少土壤中的氧氣，使得植物的根部死亡(Armstrong, 1979)，但在莖的部位會生成不定根。不定根的構造內部富含通氣組織 (aerenchyma)，讓氧氣在植物體內容易運輸 (Takahashi et al., 2014)，此外不定根也可以增加植物吸收營養物質(Trought and Drew, 1980;Khan et al., 1982)。換言之，淹水逆境可以增加不定根相關的基因表現 (Thikra Dawood. et al., 2014)，以提高植物在淹水逆境的耐受性。

陸、 結論

- 一、生長期的不同會影響甘藷植株體內抗氧化之能力，而不同品種在不同生長時期表現出的抗氧化能力也有所不同。植物體內的抗氧化物質(如多酚、類黃酮)也會隨生長期不同而有所變化，然而不同品種內的多酚及類黃酮含量的變化趨勢，對於抗氧化能力可能是正相關或負相關。推論植物體內的抗氧化物質不只此二種，尚有其他物質影響植物的抗氧化能力。
- 二、在甘藷生 120d 後，實施淹水逆境處理，甘藷塊根的含醣量、乾物率及澱粉含量的變化，相較於對照組皆無顯著性差異，推論甘藷植株在種植後 120d 遭遇淹水 7d 後，仍有能力自主修補傷害的部位，使得含醣量、乾物率及澱粉含量相較於對照組沒有顯著差異。
- 三、淹水逆境對於甘藷植株的抗氧化能力有影響，臺農 57 號、臺農 73 號多有上升的趨勢，臺農 71 則多有下降的趨勢。其中，葉所受影响多有顯著差異，而塊根所受影响多無顯著差異。因此推論品種和器官的差異皆可能為影響抗氧化能力的因子，仍有待進一步探討其背後機制、個因子之間是否有交互作用等。至於臺農 71 號經淹水後，有多項抗氧化能力指標改變的趨勢，皆與臺農 57 號及臺農 73 號不同，也有待進一步探討。
- 四、在甘藷生長 120d 後，實施淹水逆境，對於葉片面積以及不定根數量皆有顯著的影響。在淹水逆境下，根系受損使下位葉枯黃、葉片面積減少，不定根個數增加以利植物根部氧氣及養分的獲取，二者皆顯示面對淹水逆境，甘藷會改變部分性狀以適應環境的變動。

柒、參考文獻

- 李良、高景輝(1985)·甘藷品種間光合產物的生產及分配之研究·*中華農學會報*，131:10-23。
- 劉新裕、呂秀英、王昭月、賴永昌(1990)·環境因子對山藥生長與產量之影響·*中華農業研究*。
- 許夏芬、張肇霖和朱燕華(1998)·數種蔬菜中類黃酮含量及抗氧化性分析。
- 錢明賽(1998)·蔬果中之抗氧化物質·*食品工業*，30(8)，21-34。
- 宋立江、狄瑩、石碧(2000)·植物多酚研究與利用得意義及發展趨勢·*化學進展*，12(2) 161-170。
- 鄔家琪(2001)·鹽分對小胡瓜種子發芽與幼苗生長之影響·*宜蘭技術學報*，(6)，1-10。
- 范貴珠、陳心怡(2002)·土壤鹽度對嫩楊苗木生長、水分狀態及葉綠素濃度之影響·*國立中興大學農學院實驗林管理處*，24(4)，57-72。
- 郭淑綾、邵貽沅(2003)·不同甘藷品種皮、葉及藤之抗氧化功能評估。
- 黃毓清(2003)·不同甘藷加工性質與抗氧化特性之探討·高雄：實踐大學食品營養研究所。
- 諸姮、胡宏友、盧昌義、李雄(2007)·植物體內的黃酮類化合物代謝及其調控研究進展·*廈門大學學報：自然科學版*，46(A01)，138-142。
- 江佩錚(2007)·不同成熟度金柑抗氧化活性及其有效成分之研究。
- 王友升、董銀卯、宋彥、黑維儉(2008)·甘藷葉中清除自由基活性物質的提取、保存與定性分析·*安徽農業科學*，36(1)，4-7。
- 林書賢(2008)·探討採摘期對石柿柿葉抗氧化性之影響與柿葉茶之研製。
- 吳明鴻(2008)·有機栽培技術對甘藷塊根之多酚、類黃酮及抗氧化活性之影響·嘉義：國立嘉義大學農藝學系。
- 鄭統隆、施怡如、曾東海、賴永昌、吳明哲(2008)·甘藷花青素與多酚含量之研究·*台灣農業研究*，57(1)，33-48。
- 沈馨仙、郭旻奇、張思平(2010)·鍾佳玲和楊榮季：抗氧化劑及常見之抗氧化活性評估方法。
- 許婉君(2012)·山萵苣之抗氧化與抑制酪胺酸酶效能評估。
- 賴永昌、黃哲倫(2012)·食用甘藷栽培技術及品種介紹·*農業試驗所特刊第163號*·農業試驗所。
- 劉宏澤、劉景平、賴永昌(2012)·葉片與採收期對葉菜甘藷葉片之多酚含量及DPPH自由基清除能力之影響·*台灣農藝學會*，9(2)，98-107。
- 洪淑玲(2013)·深色蔬果抗氧化力之探討。
- 張聖顯、陳怡蓉(2013)·金絲桃屬植物抗氧化能力比較分析·*花蓮區農業改良場彙報*，32:21-32。
- 許嘉錦、陳葦玲、劉惠菱、楊宏瑛、張致盛(2013)·氣候變遷園藝作物生產調適·*臺中區農業改良場特刊*，43-57。

- 蔡尚翰、顏昌瑞(2013)·5-氨基酮戊酸可提高作物的耐逆境能力·*植物種苗*，15(4):1-9。
- 黃哲倫(2013)·淹水逆境處理對春、秋作甘藷產量、塊根成分、品質與儲藏特性之影響·*嘉義：國立嘉義大學農藝學系*。
- 鄭建瑋，陳威誠，劉育綺，陳冠銘，蔡曜鍵，梁致遠等(2015)·乙醇萃取紫肉甘薯，紅肉甘薯及黃肉甘薯的抗氧化能力比較·*MC-Transaction on Biotechnology*，7 (1)，12-21。
- 虞國興(2015)·臺灣真的缺水嗎·*科學月刊*，544。
- 黃哲倫、劉啟東、廖文昌、賴永昌(2016)·淹水逆境對甘藷塊根營養成分及品質之影響·*中華農業氣象會*，13(3)，126-133。
- 林禎祥、林孟輝(2017)·魚腥草 DPPH 自由基清除能力及產量組成研究·*桃園區農業改良場研究彙報*，81：1-10。
- 張立詳·(2017)·臺灣綠化樹木醣類含量年變化研究—以樟樹和楓香為例。
- 聯合國糧食及農業組織(2018)·災害導致數十億美元的農業損失，乾旱是罪魁禍首·*聯合國糧食及農業組織*。
- 劉中華、林志堅、李華偉、許泳青、李國良、邱永祥、邱思鑫、湯浩(2018)·基於 SRAP 標記的甘藷遺傳多樣性與起源演化分析·*植物資源學報*，19(3)，468-477。
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.
- Harbour, J. R., & Bolton, J. R. (1975). Superoxide formation in spinach chloroplasts: electron spin resonance detection by spin trapping. *Biochemical and biophysical research communications*, 64(3), 803-807.
- Armstrong W. (1979). Aeration in higher plants In: Woolhouse HW, ed. *Advances in botanical research*. London, UK: Academic Press, 236 – 332.
- Trought MCT, Drew MC.. (1980). The development of waterlogging damage in young wheat plants in anaerobic solution cultures. *Journal of Experimental Botany* 31: 1573 – 1585.
- Khan MR, Ventura W, Vergara BS.. (1982). Uptake through aquatic roots and distribution of ¹⁵N-tagged ammonium in deepwater rice In *Proceedings of the 1981 International Deepwater Rice Workshop*. Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute.
- Taga, M. S., Miller, E. E., & Pratt, D. E. (1984). Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61(5), 928-931.
- Akin, D. E., Fales, S. L., Rigsby, L. L., & Snook, M. E. (1987). Temperature effects on leaf anatomy, phenolic acids, and tissue digestibility in tall fescue 1. *Agronomy Journal*, 79(2), 271-275.
- Collins, W. W., & Wilson, L. G. (1988). *Reaction of sweet potatoes to flooding* (No. RESEARCH).
- Robak, J., & Gryglewski, R. J. (1988). Flavonoids are scavengers of superoxide anions. *Biochemical pharmacology*, 37(5), 837-841.
- Roberts, W., & Russo, V. (1991). Time of flooding and cultivar affect sweet potato yield. *HortScience*, 26(12), 1473-1474.

- Thompson, P. G., Smittle, D. A., & Hall, M. R. (1992). Relationship of sweetpotato yield and quality to amount of irrigation. *HortScience*, 27(1), 23-26.
- Woolfe, J. A. (1992). *Sweet potato: an untapped food resource*. Cambridge University Press.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Schwanz, P., Picon, C., Vivin, P., Dreyer, E., Guehl, J. M., & Polle, A. (1996). Responses of antioxidative systems to drought stress in pendunculate oak and maritime pine as modulated by elevated CO₂. *Plant physiology*, 110(2), 393-402.
- Vartapetian, B. B., & Jackson, M. B. (1997). Plant adaptations to anaerobic stress. *Annals of Botany*, 79(suppl_1), 3-20.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178. Academic press.
- Kitts, D. D., Wijewickreme, A. N., & Hu, C. (2000). Antioxidant properties of a North American ginseng extract. *Molecular and cellular biochemistry*, 203(1), 1-10.
- Chu, Y. H., Chang, C. L., & Hsu, H. F. (2000). Flavonoid content of several vegetables and their antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(5), 561-566.
- Pulido, R., Bravo, L., & Saura-Calixto, F. (2000). Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(8), 3396-3402.
- Carvalho, L. C., & Amâncio, S. (2002). Antioxidant defence system in plantlets transferred from in vitro to ex vitro: effects of increasing light intensity and CO₂ concentration. *Plant Science*, 162(1), 33-40.
- Kwon, S. Y., Jeong, Y. J., Lee, H. S., Kim, J. S., Cho, K. Y., Allen, R. D., & Kwak, S. S. (2002). Enhanced tolerances of transgenic tobacco plants expressing both superoxide dismutase and ascorbate peroxidase in chloroplasts against methyl viologen-mediated oxidative stress. *Plant, Cell & Environment*, 25(7), 873-882.
- Oki, T., Masuda, M., Furuta, S., Nishiba, Y., Terahara, N., & Suda, I. (2002). Involvement of anthocyanins and other phenolic compounds in radical-scavenging activity of purple-fleshed sweet potato cultivars. *Journal of Food Science*, 67(5), 1752-1756.
- Park, Y. K., Alencar, S. M., & Aguiar, C. L. (2002). Botanical origin and chemical composition of Brazilian propolis. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(9), 2502-2506.
- Yordanova, R. Y., Alexieva, V. S., & Popova, L. P. (2003). Influence of root oxygen deficiency on photosynthesis and antioxidant status in barley plants¹. *Russian journal of plant physiology*, 50(2), 163-167.
- Lin, K. H. R., Weng, C. C., Lo, H. F., & Chen, J. T. (2004). Study of the root antioxidative system of tomatoes and eggplants under waterlogged conditions. *Plant Science*, 167(2), 355-365.

- Chen, H., Qualls, R. G., & Blank, R. R. (2005). Effect of soil flooding on photosynthesis, carbohydrate partitioning and nutrient uptake in the invasive exotic *Lepidium latifolium*. *Aquatic Botany*, 82(4), 250-268.
- Saigusa, N., Terahara, N., & Ohba, R. (2005). Evaluation of DPPH-radical-scavenging activity and antimutagenicity and analysis of anthocyanins in an alcoholic fermented beverage produced from cooked or raw purple-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* cv. Ayamurasaki) roots. *Food science and technology research*, 11(4), 390-394.
- Huang, Y. C., Chang, Y. H., & Shao, Y. Y. (2006). Effects of genotype and treatment on the antioxidant activity of sweet potato in Taiwan. *Food Chemistry*, 98(3), 529-538.
- Lin, K. H. R., Tsou, C. C., Hwang, S. Y., Chen, L. F. O., & Lo, H. F. (2006). Paclobutrazol pre-treatment enhanced flooding tolerance of sweet potato. *Journal of Plant Physiology*, 163(7), 750-760.
- Lin, K. H., Chao, P. Y., Yang, C. M., Cheng, W. C., Lo, H. F., & Chang, T. R. (2006). The effects of flooding and drought stresses on the antioxidant constituents in sweet potato leaves. *Botanical Studies*, 47(4), 417-426.
- Lako, J., Trenerry, V. C., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S., & Premier, R. (2007). Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry*, 101(4), 1727-1741.
- Pociecha, E., Kościelniak, J., & Filek, W. (2008). Effects of root flooding and stage of development on the growth and photosynthesis of field bean (*Vicia faba* L. minor). *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(4), 529-535.
- Rudikovskaya, E. G., Fedorova, G. A., Dudareva, L. V., Makarova, L. E., & Rudikovskii, A. V. (2008). Effect of growth temperature on the composition of phenols in pea roots. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55(5), 712-715.
- Wang, Y. C., Chuang, Y. C., & Ku, Y. H. (2007). Quantitation of bioactive compounds in citrus fruits cultivated in Taiwan. *Food chemistry*, 102(4), 1163-1171.
- Balakhnina, T. I., Bennicelli, R. P., Stepniewska, Z., Stepniewski, W., & Fomina, I. R. (2010). Oxidative damage and antioxidant defense system in leaves of *Vicia faba* major L. cv. Bartom during soil flooding and subsequent drainage. *Plant and soil*, 327(1), 293-301.
- Hernández, I., Alegre, L., Van Breusegem, F., & Munné-Bosch, S. (2009). How relevant are flavonoids as antioxidants in plants?. *Trends in plant science*, 14(3), 125-132.
- Kumutha, D., Ezhilmathi, K., Sairam, R. K., Srivastava, G. C., Deshmukh, P. S., & Meena, R. C. (2009). Waterlogging induced oxidative stress and antioxidant activity in pigeonpea genotypes. *Biologia Plantarum*, 53(1), 75-84.
- Pereira, D. M., Valentão, P., Pereira, J. A., & Andrade, P. B. (2009). Phenolics: From chemistry to biology. *Molecules*, 14(6), 2202-2211.

- Brunetti, L., Menghini, L., Orlando, G., Recinella, L., Leone, S., Epifano, F., ... & Vacca, M. (2009). Antioxidant effects of garlic in young and aged rat brain in vitro. *Journal of medicinal food*, 12(5), 1166-1169.
- Ďuračková, Z. (2010). Some current insights into oxidative stress. *Physiological research*, 59(4).
- Liao, W. C., Lai, Y.-C., Yuan, M.-C., Hsu, Y.-L., & Chan, C.-F. (2010). Antioxidative activity of water extract of sweet potato leaves in Taiwan. *Food Chemistry*, 127(3), 1224 – 1228.
- Hansen, J., & Coffey, K. (2011). Agro-climate tools for a new climate-smart agriculture.
- Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of food science and technology*, 48(4), 412-422.
- Liao, W. C., Lai, Y. C., Yuan, M. C., Hsu, Y. L., & Chan, C. F. (2011). Antioxidative activity of water extract of sweet potato leaves in Taiwan. *Food Chemistry*, 127(3), 1224-1228.
- ZulkEfli, H. N., Mohamad, J., & Abidin, N. Z. (2013). Antioxidant activity of methanol extract of *Tinospora crispa* and *Tabernaemontana corymbosa*. *Sains Malaysiana*, 42(6), 697-706.
- Takahashi H, Yamauchi T, Colmer TD, Nakazono M.(2014). Aerenchyma formation in plants In: van Dongen JT, Licausi F, eds. Low-oxygen stress in plants: sensing and adaptive responses to hypoxia. *Plant Cell Monographs*, 21. Berlin: Springer, 247 – 265.
- Dawood, T., Rieu, I., Wolters-Arts, M., Derksen, E. B., Mariani, C., & Visser, E. J. (2014). Rapid flooding-induced adventitious root development from preformed primordia in *Solanum dulcamara*. *AoB Plants*, 6.
- Petropoulos, S., Fernandes, Â., Karkanis, A., Ntatsi, G., Barros, L., & Ferreira, I. C. (2017). Successive harvesting affects yield, chemical composition and antioxidant activity of *Cichorium spinosum* L. *Food chemistry*, 237, 83-90.
- Zhang, Q., Huber, H., Beljaars, S. J., Birnbaum, D., de Best, S., de Kroon, H., & Visser, E. J. (2017). Benefits of flooding-induced aquatic adventitious roots depend on the duration of submergence: linking plant performance to root functioning. *Annals of botany*, 120(1), 171-180.
- Stathers, T., McEwan, M., Gibson, R., Mwangi, R. O. M., Carey, E. E., Namanda, S., ... & Mkumbira, J. (2018). Everything you ever wanted to know about sweetpotato, Topic 5: Sweetpotato seed systems.
- Kurata, R., Sun, H. N., Oki, T., Okuno, S., Ishiguro, K., & Sugawara, T. (2019). Sweet potato polyphenols. In *Sweet potato* (pp. 177-222). Academic Press.
- Song, S. Y., Park, D. H., Seo, S. W., Park, K. M., Bae, C. S., Son, H. S., ... & Cho, S. S. (2019). Effects of harvest time on phytochemical constituents and biological activities of *Panax ginseng* berry extracts. *Molecules*, 24(18), 3343.
- Suárez, S., Mu, T., Sun, H., & Añón, M. C. (2020). Antioxidant activity, nutritional, and phenolic composition of sweet potato leaves as affected by harvesting period. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 178-188.

Xiao, F., Xu, T., Lu, B., & Liu, R. (2020). Guidelines for antioxidant assays for food components. *Food Frontiers*, 1(1), 60-69.

Irina Mozo , María E. Rodríguez , Silvia Monteoliva , Virginia MCLuquez.(2021).Floodwater Depth Causes Different Physiological Responses During Post-flooding in Willows. *Frontiers in Plant Science*.

附錄



臺農 57 號
淹水逆境處理方式



臺農 71 號
淹水逆境處理方式



臺農 73 號
淹水逆境處理方式

【評語】 052106

1. 本研究主要目的在探討淹水逆境對甘藷耐受性影響。
2. 結果發現生長期、淹水逆境對甘藷植株體內的類黃酮含量、總酚含量、清除 DPPH 與超氧陰離子能力，以及還原力等抗氧化指標高低等皆有影響。
3. 此外亦觀察到品種可能是影響甘藷抗氧化能力的因子之一。
4. 實驗設計多為既定實驗步驟，但能整合一貫性以探討淹水耐受性與修復能力部分佳，結果紀錄完整，討論度廣，文獻引用與對比良好。
5. 本研究對甘藷生長及淹水逆境下抗氧化能力進行了系列分析，獲得初步成果與結論，對抗氧化能力之機制仍須經進一步的實驗驗證。
6. 研究探討甘藷與淹水逆境之關聯，仍需進一步說明清楚。

作品簡報

甘藷生長期與淹水逆境對甘藷耐受性之探討

組別：高中組 科別：植物組

壹、研究動機：

- 颱風過後甘薯葉菜價波動較其他葉菜類少
- 淹水逆境對甘藷營養價值的影響

貳、文獻探討：

- 淹水逆境對於甘藷總產量未有顯著影響，但對於品質的影響則有待進一步探討 (Robert, 1991)
- 淹水逆境時會藉由刺激乙炔形成，使體內的抗氧化能力會有所改變 (Kuan-Hung LIN et al., 2006)
- 植物中所含之還原物質，可提供某些植物抗氧化活性，以抑制細胞因活性氧造成的老化現象(Wang et al., 2007)
- 甘藷葉可於種植30天後第一次採集，之後每隔15天採集一次(Suárez,2020)

參、研究目的

- 探討三種甘藷葉片的生長時間對抗氧化能力的影響
- 探討淹水逆境對三種甘藷塊根乾物率與含醣量的影響
- 淹水逆境對於塊根糖類濃度的影響
- 探討淹水逆境對三種甘藷的塊根和葉片抗氧化能力的影響
- 探討淹水逆境對三種甘藷生長的影響

肆、研究過程與方法

一、種植與採樣

- 土壤：砂質土
- 濕度：60-70%

- 採樣方式
 - 種植後三十天、四十五天及六十天進行採樣
 - 採集從頂芽數起第二片完全展開的葉子

二、淹水逆境的處理方式

- 淹水至與土壤齊高
- 種植後120天實施淹水7天，並在種植後150天採收

三、測定抗氧化能力方式（類黃酮、多酚、DPPH等）

- 利用欲測定的物質與特定藥品進行呈色反應，再測定吸光度
- 將吸光度對照檢量線，算出其濃度或含量

四、利用苯酚硫酸法測定含醣量與澱粉含量

五、利用串聯式質譜儀測量塊根的含糖量

伍、研究結果與解釋

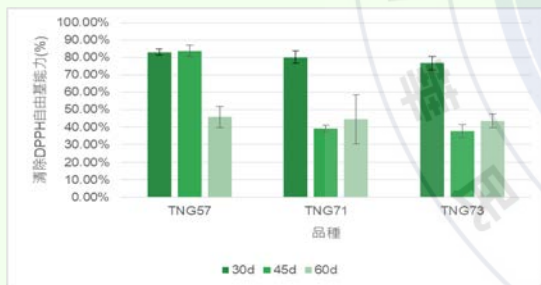
一、甘藷品種與生長時間對葉片的抗氧化能力有關



圖一、3個品種的甘藷葉片隨收穫時間不同的類黃酮含量

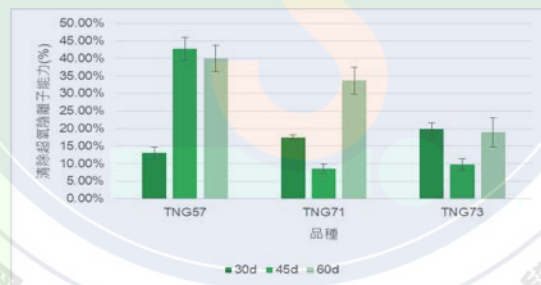


圖二、3個品種的甘藷葉片隨收穫時間不同的多酚含量



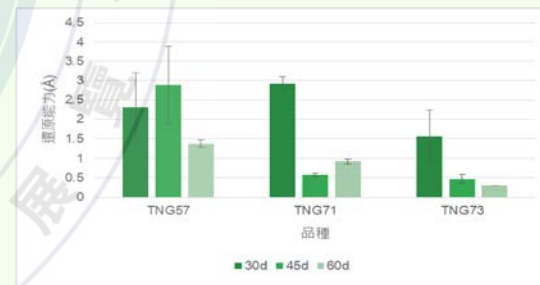
圖三、3 個品種的甘藷葉片隨收穫時間不同

之清除 DPPH 自由基能力



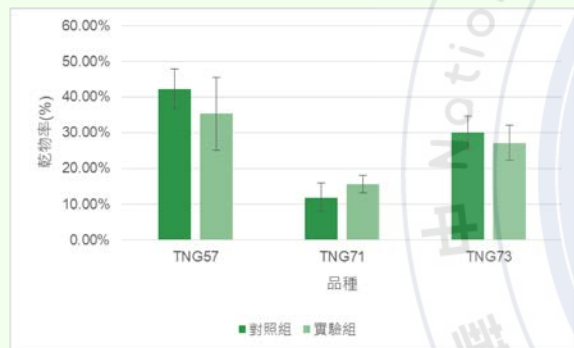
圖四、3 個品種的甘藷葉片隨收穫時間不同

之清除超氧陰離子能力

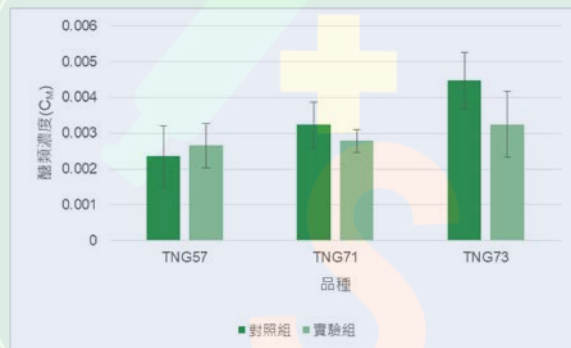


圖五、3 個品種的甘藷葉片 隨收穫時間不同之還原能力

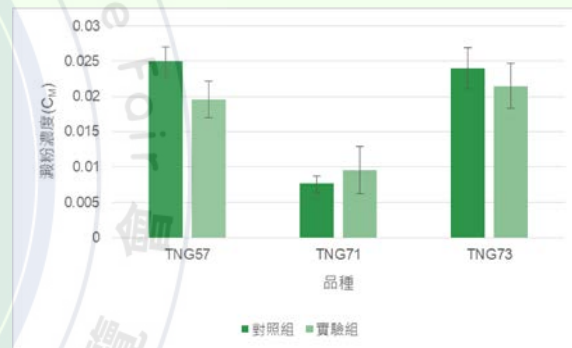
二、淹水逆境對甘塊根乾物率、總含醣量及澱粉無顯著影響



圖六、淹水前後 3 個品種塊根的乾物率

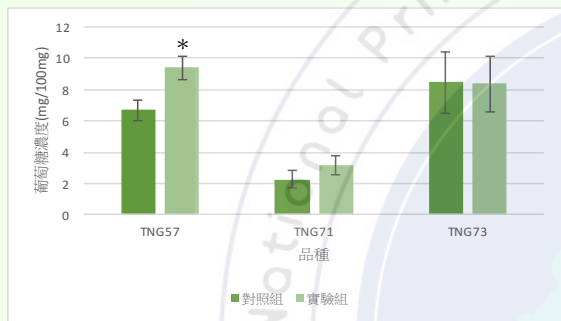


圖七、淹水前後 3 個品種的塊根之含醣量

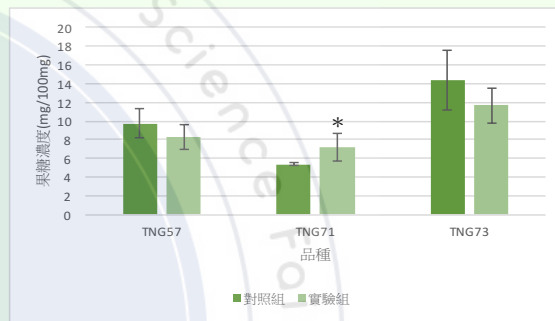


圖八、淹水前後 3 個品種塊根之澱粉濃度

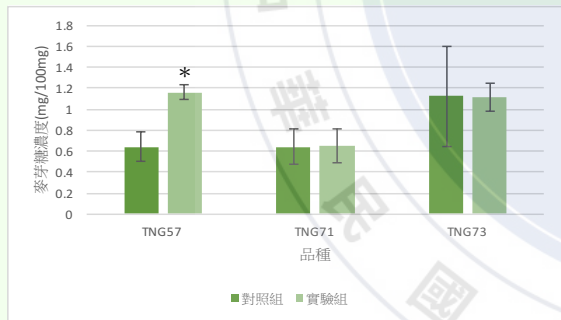
三、淹水逆境對於塊根糖類濃度（葡萄糖、果糖、麥芽糖、蔗糖）有所影響



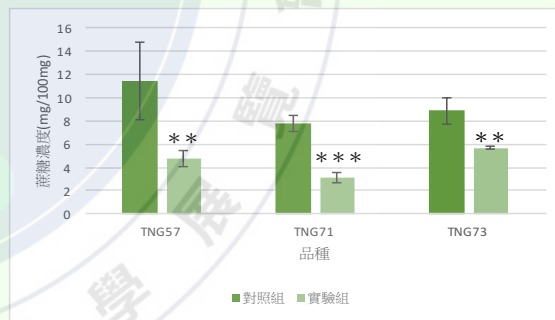
圖九、淹水前後 3 個品種的塊根之葡萄糖濃度



圖十、淹水前後 3 個品種的塊根之果糖濃度

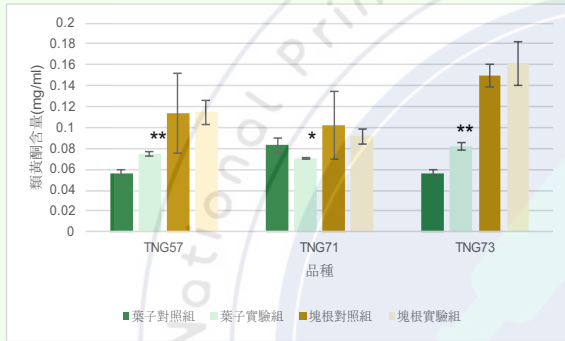


圖十一、淹水前後 3 個品種的塊根之麥芽糖濃度

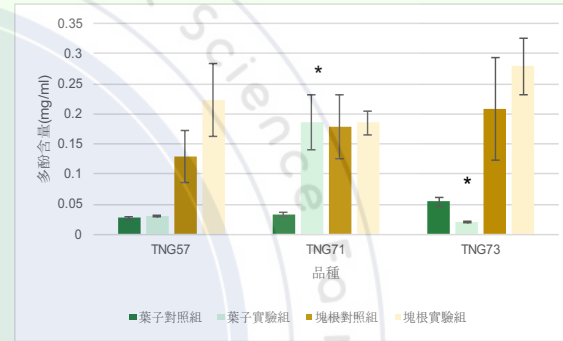


圖十二、淹水前後 3 個品種的塊根之蔗糖濃度

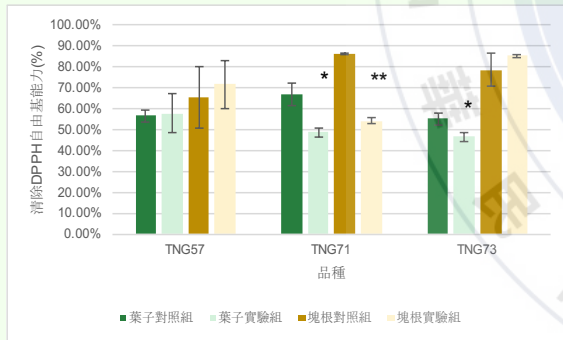
四、淹水逆境對於三種甘藷的塊根和葉片的抗氧化能力有所影響



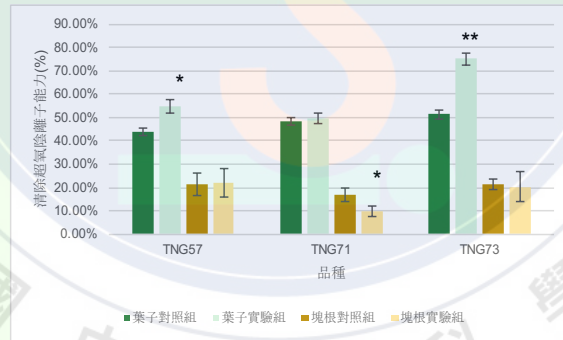
圖十三、淹水前後甘藷葉片及塊根的類黃酮含量



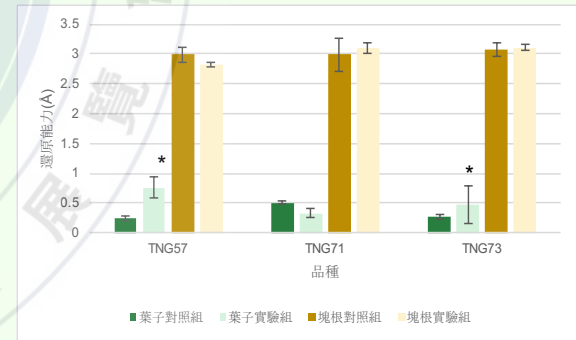
圖十四、淹水前後甘藷葉片及塊根的多酚含量



圖十五、淹水前後甘藷葉片及塊根的清除DPPH自由基能力

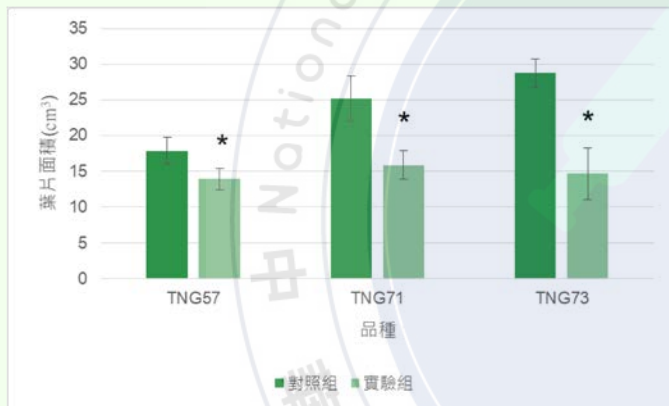


圖十六、淹水前後甘藷葉片及塊根的清除超氧陰離子能力



圖十七、淹水前後甘藷葉片及塊根的還原能力

五、淹水逆境對三種甘藷的塊根和葉片的葉片面積和不定根數有所影響



圖十八、淹水對 3 個品種的葉片面積之影響



圖十九、淹水對 3 個品種的不定根數之影響

陸、結論與討論

- 一、生長期的不同會影響甘藷植株體內抗氧化之能力，而不同品種在不同生長時期表現出的抗氧化能力也有所不同。
- 二、甘藷植株在種植後 120d 遭遇淹水 7d 後，仍有能力自主修補傷害的部位。
- 三、淹水逆境對於甘藷植株的抗氧化能力有影響，臺農 57 號、臺農 73 號多有上升的趨勢，臺農 71 則多有下降的趨勢。
- 四、面對淹水逆境，甘藷會改變部分性狀以適應環境的變動。

柒、參考資料

- 一、黃哲倫(2013) · 淹水逆境處理對春、秋作甘藷產量、塊根成分、品質與儲藏特性之影響
- 二、Liao, W. C., Lai, Y.-C., Yuan, M.-C., Hsu, Y.-L., & Chan, C.-F. (2010). Antioxidative activity of water extract of sweet potato leaves in Taiwan.
- 三、Santiago Suárez, Taihua Mu, Hongnan Sun & María Cristina Añón (2020) Antioxidant activity, nutritional, and phenolic composition of sweet potato leaves as affected by harvesting period, *International Journal of Food Properties*, 23:1, 178-188.