

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 植物學科

第三名

052105

好咖配好茶

學校名稱：臺南市私立德光高級中學

作者： 高二 王崇洺	指導老師： 林聖鈞
---------------	--------------

關鍵詞：肥料發酵、pH 值與鉀離子、成長與逆境

摘要

俗話說：「資源再利用，環境永常青」，本研究取樣淺焙及深焙咖啡渣與茶葉渣經過不同時間發酵後當作肥料進行白菜植栽顯示，白菜種籽較適合於酸性咖啡土中發芽，而茶葉渣土壤 pH 值相對較鹼，雖會延緩發芽，但因土壤富含營養，於成長後期更有利白菜生長，並以發酵 2 週土最佳。實驗中擇優取淺焙咖啡土與茶葉土混合當肥料，最佳可獲得比淺焙咖啡土高出 5.17 倍的成長。進一步讓白菜先於淺焙咖啡土發芽後再移植至全茶葉土，成長速率可達淺焙咖啡土的 15.8 倍。此外，富含鉀離子的茶葉土所種植的白菜能透過減少葉片氣孔數、使澱粉代謝，並藉由根部提前累積脯胺酸來應對滲透壓變化，以增加根系與葉片對抗鹽逆境與缺水的問題。本研究利用適化咖啡土 pH 值與茶葉土養分相互搭配，可有效縮短發芽時間、大幅增加產率，並提升耐鹽抗旱能力，除有助活化廢棄物外，並可提升農業競爭力。

壹、研究動機

一、研究動機

(一)俄烏戰爭引爆全球糧食危機

根據聯合國統計，新冠疫情讓全球飢餓人口增加 18%，達到約 7.5 億人，航運塞港危機、能源成本高漲與極端氣候等因素導致糧食價格高漲與供需緊繃。烏克蘭素有「歐洲糧倉」之稱，俄羅斯也是全球糧食及化肥出口大國，而俄烏戰爭爆發至今仍看不到盡頭，故聯合國秘書長指出「烏克蘭的農業，俄羅斯的糧食、化肥無法恢復生產，全球糧食安全就無法真正解決」，可見在全球化體系下，台灣也無法置身事外。

(二)台灣為手搖飲王國

台灣飲料市場蓬勃發展，茶葉沖泡後所剩茶渣，因其含水量高達 90%，運輸不便、焚燒困難，尚若不處理幾天就會產生腐敗，為處理每年所產生約 30 萬噸的茶渣需花費 3 億元以上。此外，根據國際咖啡組織(ICO)2020 年的調查，台灣人一年喝掉 28.5 億杯咖啡，所產生的咖啡渣也只能送往垃圾掩埋場，造成巨大的環境污染，若能將茶渣與咖啡

渣充分再利用，除可節省清運成本外，亦可創造額外附加價值。

(三)對應極端氣候與環境之抗逆境能力

台灣四面環海，植物除須面臨高鹽害環境影響外，並須應對全球暖化所帶來的嚴重缺水問題，故在全球糧食危機及氣候變遷的挑戰下，如何透過資源再生，提升農作物產量與植物適應逆境之韌性，為本研究重要課題。

二、文獻探討

(一)茶葉與咖啡的成分及土壤 pH 值對植物成長的影響

茶葉與咖啡中含有豐富的有機化合物(如咖啡因、茶鹼、蛋白質、碳水化合物…)及無機礦物質(如氮、磷、鉀…)，沖泡後的營養及應用價值仍高，已被用於製作驅蟲劑及植物有機肥等。文獻指出，施肥時當肥料養分在被植物吸收利用前，它必須被溶解在土壤中，而土壤酸鹼度對礦物質或養分溶解度的影響很大。由於茶葉渣屬中性偏鹼與咖啡渣屬性偏酸，將因其添加量不同或相互配比改變，而影響土壤的 pH 值與植物對養分的吸收，故其相互之關聯最適合植物生長，仍待釐清。

(二)堆肥再利用

前人研究指出，茶葉渣與咖啡渣若沒有經過發酵腐熟過程，直接施加於土壤或植物上，植物不僅無法直接吸收其中的養分，恐將因其相互堆疊密不透氣而使茶葉渣與咖啡渣產生腐爛，招引蟲害，甚至因腐熟過程所產生的熱量，灼傷植物的根系而影響生長，而不同堆肥發酵時間對茶葉渣與咖啡渣的腐熟轉化及植物生長最有幫助，尚未有系統性完整的探討。

因此，本研究將透過不同堆肥發酵時間之茶葉渣與咖啡渣，取樣與土壤混合，並調整不同肥料之配比及排列組合方式，以獲取不同的土壤 pH 值與養分，進而評估其對植物生長特性與抗逆境之影響。

貳、研究目的

- 一、不同肥料及發酵時間對其外觀顏色與肥料土 pH 值之影響
- 二、不同肥料土對白菜發芽與其生長的影響
- 三、不同肥料土混合比例對白菜生長之影響
- 四、不同肥料土排列對白菜生長特性的影響
- 五、不同肥料土對白菜抗鹽逆境的影響
- 六、不同肥料土對白菜抗旱逆境的影響

參、研究設備及器材

- 一、研究材料: 咖啡渣(淺焙、深焙咖啡)、茶葉渣(綠茶)、小白菜。
- 二、實驗藥劑: RO 去離子水(以下簡稱 RO 水)、氯化鈉、退染溶液(50%甲醇+1%SDS)、乙醇、碘液、Evans blue、液態氮、磺基水楊酸、醋酸、甲苯、磷酸、甘油。
- 三、實驗器材: 密封發酵桶、發酵土、保鮮膜、濾紙、燒杯、量筒、量匙、磅秤紙、電子精秤、手套、泥土、透明花盆、量尺、滴管、防爆管、試驗玻璃瓶、酸鹼值量測儀(pH meter)、離子層析儀、電子顯微鏡、分光光度計。

肆、研究過程與方法

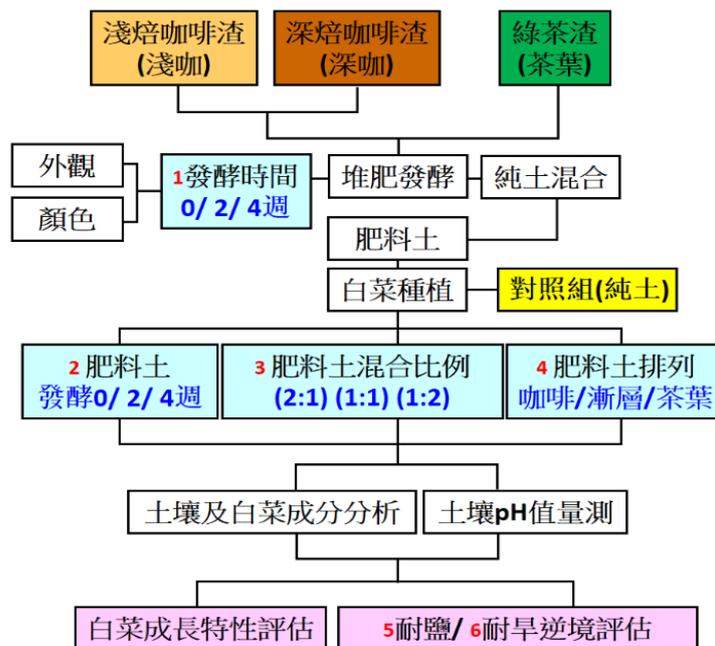


圖 4-1 實驗流程圖

一、不同肥料及發酵時間之堆肥製備

(一)相同的咖啡豆，因烘焙時間由長到短，可以粗略分為深焙、中焙及淺焙 3 大類。

為做差異化之比較，本實驗分別選擇淺焙、深焙咖啡渣與茶葉渣進行評估。

(二)取 300 克發酵土，將其均勻平鋪於發酵桶底部後，取 180 克咖啡渣將其均勻平鋪於發酵土上，隨後再以 300 克發酵土將其均勻且完全覆蓋後密封進行發酵。

(三) 茶葉渣亦採同步驟(二)方法進行肥料發酵後，以作為植栽的肥料。為便於內文說明，淺焙咖啡渣、深焙咖啡渣及茶葉渣，分別以淺咖、深咖及茶葉簡稱，而不同肥料發酵時間參數如表 4-1 所示。

(四) 發酵環境: 溫度 $27.5\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 、濕度 $57\pm 2\%\text{RH}$ 。

(五) 發酵時間: 分別為未發酵(原素材)、發酵 2 週、發酵 4 週。

表 4-1、不同肥料之發酵時間參數

實驗一	實驗組		
發酵時間	無發酵	2 週	4 週
肥料	淺咖/ 深咖/ 茶葉		

二、不同肥料土對白菜生長的影響

(一) 分別以不同發酵時間(無發酵、發酵 2 週、發酵 4 週)所得淺咖、深咖與茶葉作為實驗組之肥料，對照組則為純土不添加任何肥料。

(二) 取實驗組之肥料各 30 克與 1200 克泥土充分均勻混合後進行植栽; 對照組則僅以 1230 克泥土種植小白菜，不施加任何肥料，每盆各播種 30 顆白菜種籽。為便於說明，內文將以簡稱取代，如發酵 2 週淺咖與純土混合之土壤，簡稱為 2 週淺咖土，依此類推，如表 4-2 所示，共 10 種條件。

(三) 取樣步驟(二)不同肥料土，分別溶於 150ml RO 水後進行其 pH 值與成分之分析量測，以瞭解發酵時間對肥料土之酸鹼值與成分變化的影響。

(四) 每盆植栽，固定以 100 毫升/天之 RO 水澆水。

(五) 觀察並量測記錄各植栽之葉長、全株長與葉片數，並測量記錄葉片鮮量與全株鮮重(葉片鮮重+莖鮮重+根鮮重)，如圖 4-2 所示，再進行分析比較。

表 4-2、實驗組與對照組之不同肥料土發酵時間參數

實驗二	實驗組			對照組
發酵時間	無發酵	2 週	4 週	---
肥料土	淺咖土/ 深咖土/ 茶葉土			純土

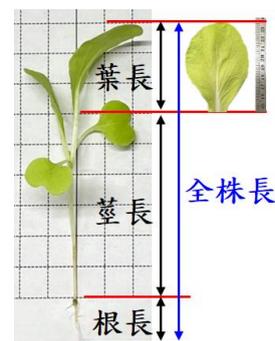


圖 4-2 白菜成長性質量測

三、不同肥料土混合比例對白菜生長的影響

- (一) 取實驗二對白菜生長最佳之前三名肥料土，分別依表 4-3 比例混合後作為肥料土進行植栽。
- (二) 取樣上述步驟(一)之不同肥料土，分別溶於 150ml RO 水後，以 pH meter 進行其 pH 值量測，以瞭解不同肥料土混合比例對土壤酸鹼值之影響。
- (三) 每盆植栽，固定以 100 毫升/天之 RO 水澆水，並進行觀察分析比較。

表 4-3、實驗組之不同肥料土配比參數

實驗三	實驗組					
2 週肥料配比	20 克淺咖+ 10 克茶葉	15 克淺咖+ 15 克茶葉	10 克淺咖+ 20 克茶葉	20 克深咖+ 10 克茶葉	15 克深咖+ 15 克茶葉	10 克深咖+ 20 克茶葉
肥料土簡稱	淺咖茶葉土 (2:1)	淺咖茶葉土 (1:1)	淺咖茶葉土 (1:2)	深咖茶葉土 (2:1)	深咖茶葉土 (1:1)	深咖茶葉土 (1:2)

四、不同肥料土排列對白菜生長特性的影響

- (一) 為獲得最佳白菜生長條件，分別設計以下三種種植方式(如圖 4-3 所示)並進行比較，(a)讓白菜種籽於淺咖土壤發芽後，再移植到茶葉土種植，(b)以表層土壤為淺咖土，再透過實驗三所得最佳淺咖與茶葉土混合比例作為 pH 值漸層土，底層為茶葉土，其中淺咖土與漸層土之整層厚度為 1 公分，(c)表層為淺咖土(厚度 1 公分)，而底層為茶葉土等方式進行植栽並觀察分析比較。

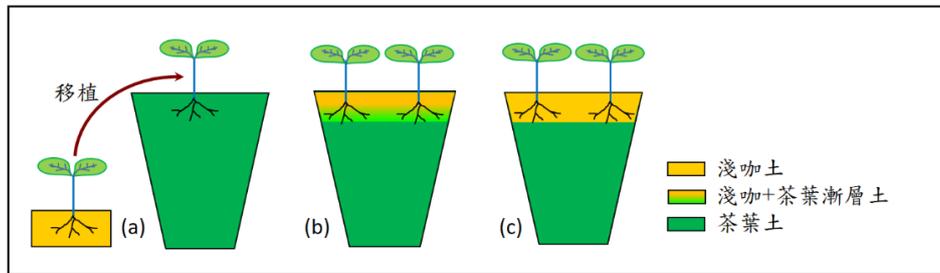


圖 4-3 不同肥料土排列配置之示意圖，(a)茶葉土、(b)淺咖+茶葉漸層土及(c)淺咖/茶葉土

五、離子層析儀之溶液成分分析

- (一) 將白菜根及葉片樣本利用液態氮磨碎，並溶於 150ml RO 水中。
- (二) 分別將白菜與肥料土溶液樣品，以 8000rpm 離心 5 分鐘後，再經 0.45 μ m 孔徑濾紙過濾。視待測物濃度稀釋至檢量線範圍內，將稀釋好的樣品及標準品放入離子層析儀(型號 Thermo scientific)之自動進樣器內進行溶液的陰、陽離子定量分析。

六、鹽逆境處理

- (一) 配置 NaCl 水溶液 150mM、250mM 各 100ml，並放入培養皿中。
- (二) 將處理過的植株葉片與根系完全浸泡於 NaCl 溶液中，蓋上蓋子培養 3 小時。

七、細胞死亡染色

- (一) 配製 0.25% Evans blue 染劑，將植物根尖分別浸泡於 Evans blue 溶液並淹沒樣品，靜置 15 分鐘。
- (二) 取出根尖，以蒸餾水稍微退染，置於培養皿上拍照紀錄。
- (三) 將根分別放入離心管中，並加入退染溶液(50%甲醇 + 1%SDS)。
- (四) 在單槽乾浴器 50°C 下加熱 1 小時。
- (五) 取加熱後的溶液 200 μ l，以分光儀(型號 Thermo Scientific)測量 OD595 的吸光值。

八、澱粉染色測定

- (一) 取各組植株的葉片各兩片，將葉片置於酒精內隔水加熱。
- (二) 待葉綠色褪去後取出，將已褪色的葉片滴上碘液並進行觀察。

九、耐旱試驗處理與葉片染色評估

- (一) 將原種植於 ϕ 2cm*3cm 小花盆之白菜移植至完全乾燥之土壤中，於 30°C 恆溫環

境不澆水下，觀察經 0~4 天的白菜外觀及其根葉之變化。

(二) 取樣不同天數葉片分別浸泡於 0.25% Evans blue 溶液並淹沒樣品，靜置 15 分鐘。

(三) 取出葉片用純水清洗表面並吸去葉面水分後，放入煮沸的無水乙醇:甘油(9:1)中，除去葉綠素至葉片底色顯出白色為止。

(四) 將脫掉葉綠素而呈現有明顯藍色斑的葉片平展拍照。

(五) 接續上述研究方法七之(三)~(五)步驟，測量不同耐旱天數之葉片 OD595 吸光值。

十、脯胺酸(Proline)含量測定

(一) 將植物根尖樣本利用液態氮磨碎。

(二) 加入 3% 1.8ml 的磺基水楊酸(sulfosalicylic acid)並混和均勻。

(三) 在常溫下 5000g 離心 20 分鐘，加入 0.4ml Ninhydrin(0.25g Ninhydrin + 6ml 醋酸 + 4ml 6M 磷酸)、0.4ml 樣本液、0.4ml 醋酸混合均勻。

(四) 放入 100 度水浴槽反應 1 小時，加入 1.6ml 甲苯強力震盪 15 秒，並靜置 10 分鐘，測量上述溶液 520nm 吸光值後換算濃度。

十一、葉片氣孔觀察

(一) 將經過鹽逆境與耐旱試驗之植物葉片分別置於電子顯微鏡(型號 JSM IT-100)之試片載台上，於葉片周圍貼覆銅膠帶並註記樣本編號，以利導電和樣品確認。

(二) 將試片放入電子顯微鏡中，進行白菜保衛細胞與氣孔觀察，並比較其差異。

伍、研究結果

一、不同肥料及發酵時間對其外觀顏色與肥料土 pH 值之影響

圖 5-1(a)及(d) 為未發酵之淺咖及深咖外觀，如圖所示隨咖啡豆烘焙的時間越長，咖啡外觀的顏色越深，而淺咖顏色則較淺，呈紅褐色。將上述兩種咖啡經過發酵處理後，隨著發酵時間增加，不論淺咖(圖 5-1(b, c)或深咖(圖 5-1(e, f)的顏色將越深，而茶葉也有類似的情形，如圖 5-1(g)~(i)所示。

肥料發酵後除外觀顏色改變外，為瞭解各肥料發酵時間與純土混合後之土壤 pH 值變化，取樣進行量測。由圖 5-2 顯示，淺咖土較酸，pH 值為 5.98，其次為深

咖土，pH 值為 6.37，茶葉土 pH 值為 6.51，而純土之 pH 值接近中性為 6.81。此外，隨發酵時間增加，淺咖土與深咖土之 pH 值均有變小(酸化)趨勢，其中又以淺咖土較深咖土為酸且發酵 4 週最為顯著。茶葉土則隨發酵時間增加，反而有變鹼情形。

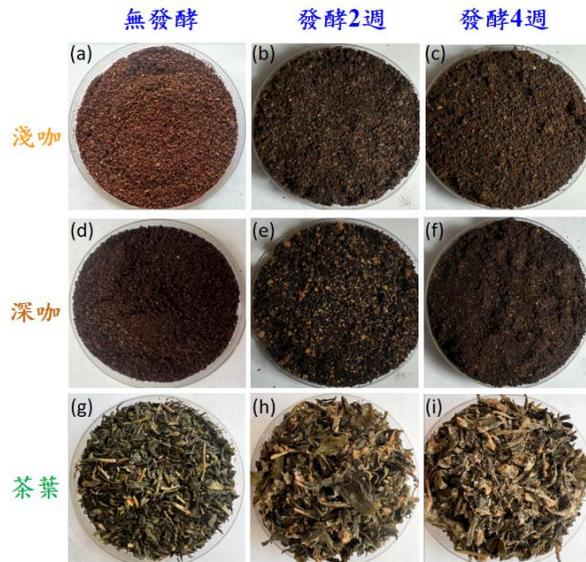


圖 5-1 不同肥料發酵時間之外觀與顏色

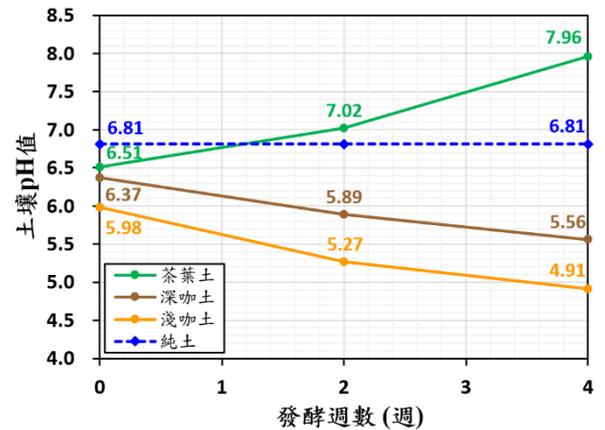


圖 5-2 不同發酵時間對肥料土 pH 值變化

二、不同肥料土對白菜發芽與其生長的影响

(一) 不同 pH 值肥料土對白菜發芽特性影响之探討

有鑑於前人研究以無發酵咖啡及茶葉植栽引起發霉疑慮，故植栽前先行評估發現當無發酵咖啡或茶葉與純土混合比例高於 4% 就會有發霉情形，所以本實驗肥料均以 3% 添加。有了上述 10 種不同肥料土 pH 值資訊後，進行白菜播種與發芽數觀察(如圖 5-3)，於播種後第二天種籽才陸續發芽，第五天後發芽數最多，到第七天後則趨緩。接著以發芽率表示(如圖 5-4)，於播種第三天，主要以純土、淺咖土全部及 2 週深咖土的發芽率有超過 10%。在第五天，除未發酵深咖土、4 週深咖土及 4 週茶葉土等之發芽率仍小於 20% 外，其餘各肥料土發芽率都明顯提升，其中又以無發酵茶葉土及 2 週肥料土發芽最明顯，第 7 天結果如圖 5-5。

進一步以 10 種肥料土之 pH 值彙整與發芽率之關係作圖(如圖 5-6)，在 pH 值 5.5~6.0 條件下之肥料土，於播種初期較適合白菜種籽發芽，而土壤環境太酸(pH 值<5.5)或太鹼(pH 值>7)則都不利。

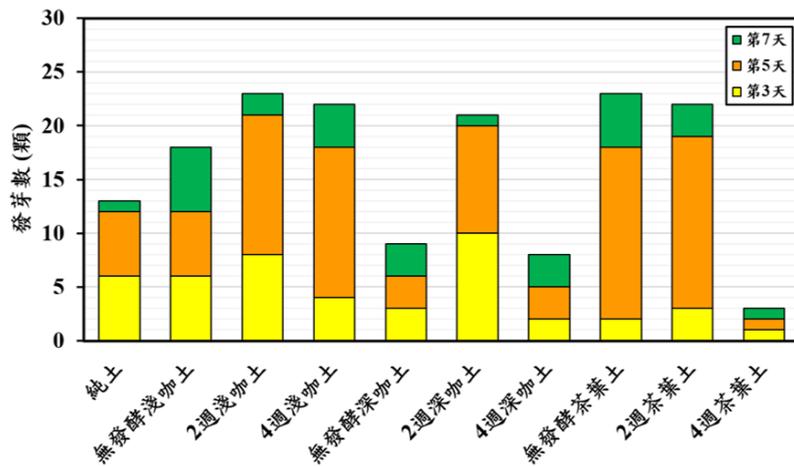


圖 5-3 不同肥料土播種白菜天數與發芽數目關係圖

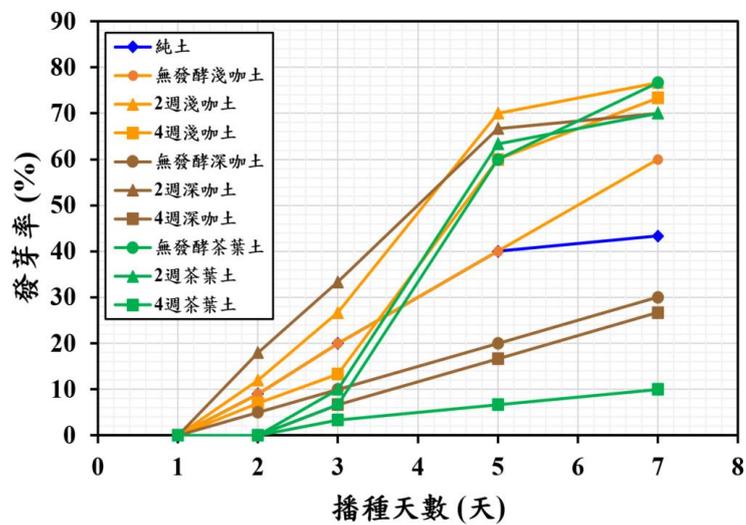


圖 5-4 不同肥料土播種白菜天數與發芽率關係圖

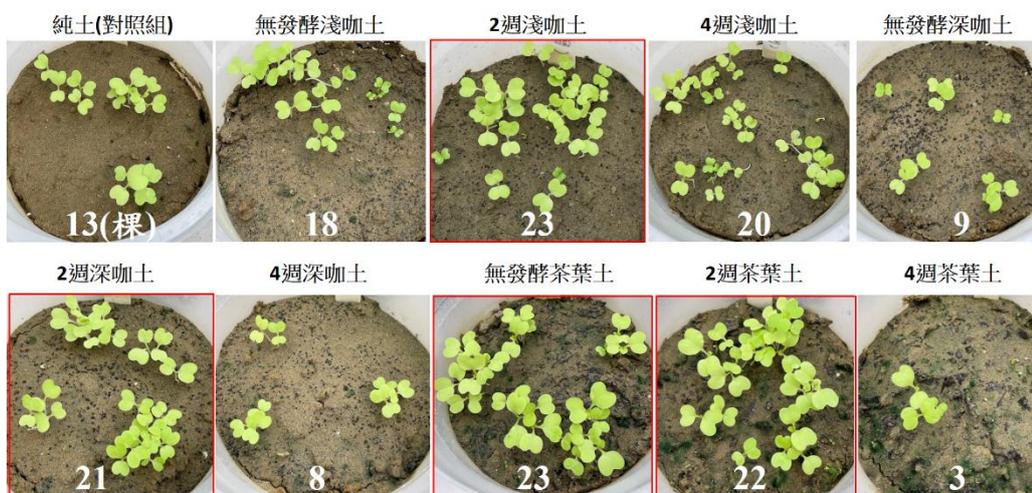


圖 5-5 白菜於不同肥料土播種第 7 天之發芽情形

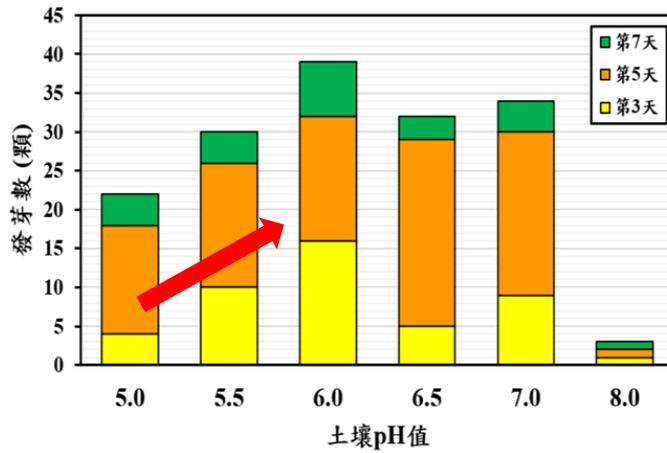


圖 5-6 不同肥料土播種白菜天數與發芽數之關係

(二) 不同 pH 值肥料土壤對白菜成長之影響

白菜種籽發芽後於不同 pH 值土壤下成長 7~21 天之全株形貌，如圖 5-7 所示。由第 7 天全株觀察(圖 5-7(a))，純土、淺咖土及深咖土系列之成長高度，均介於 2~3 公分，而無發酵茶葉土及 2 週茶葉土之成長較為顯著，葉片也較大。於第 14~21 天，白菜整體成長與第 7 天趨勢類似，仍以茶葉土系列較佳(如圖 5-7(b)及(c)所示)。由全株鮮重進一步比對(如圖 5-8(a, b))，於種植第 9 天後，各肥料土條件之全株鮮重均顯著增加。以種植 21 天為例，全株鮮重高低依序為: 茶葉土系列≥深咖土系列≥淺咖土列≥純土，其中又以 2 週土之生長狀態最佳。

此外，將不同成長天數之全株白菜再分切成葉片與莖後，分別量測其鮮重。圖 5-8(c, d)為分切成葉片後量測其葉鮮重與成長天數之關係顯示，各條件之葉片鮮重，皆隨種植天數增加而增加。此重量增加，除葉片尺寸變大及葉長增加(如圖 5-9(a, b))之因素外，葉片數增加也扮演重要關鍵，如圖 5-10 所示。於播種 7 天內，整體葉片數均落於 2~3 片，而到第 14 天，僅茶葉土系列有再增加，而到第 21 天，除淺咖土系列仍維持 3 片葉子外，其餘都有增加。整體而言，仍以茶葉土系列在葉片數及葉鮮重上領先，其次為深咖土系列，但 4 週深咖土及 4 週淺咖土，不論在全株鮮重或葉鮮重表現都較不理想。另外白菜於播種第 7 天後除莖的直徑有略為變粗外，全株長度也都有增加(如圖 5-9(c, d))，其中又以茶葉土系列增加最顯著。

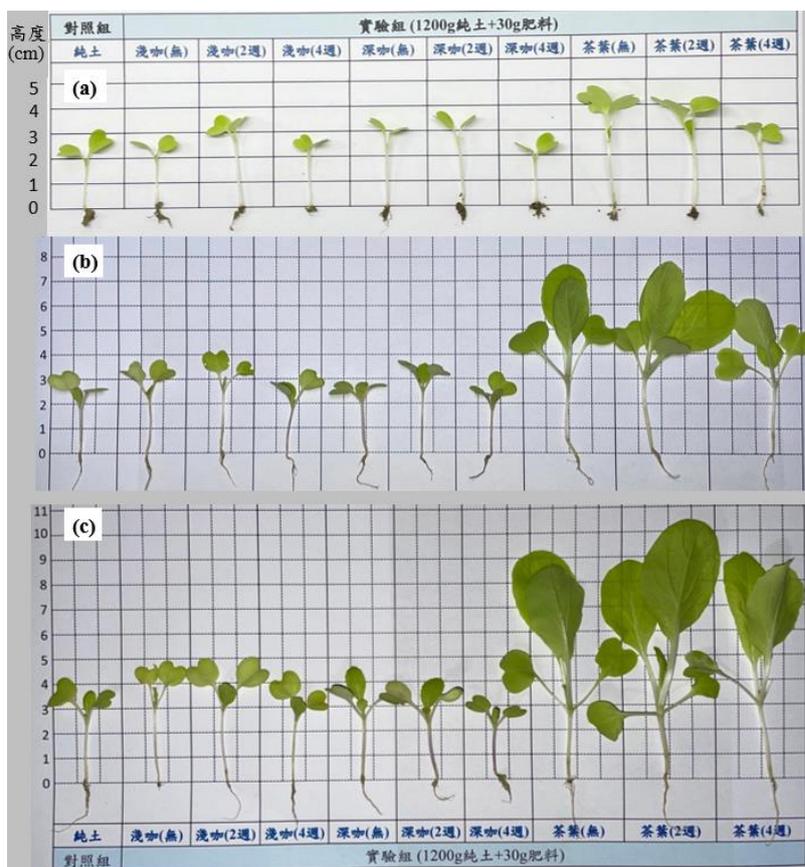


圖 5-7 白菜於不同肥料土成長(a)7、(b)14 及(c)21 天之全株形貌，圖中左起依序為純土、無發酵淺咖土、2 週淺咖土、4 週淺咖土、無發酵深咖土、2 週深咖土、4 週深咖土、無發酵茶葉土、2 週茶葉土、4 週茶葉土

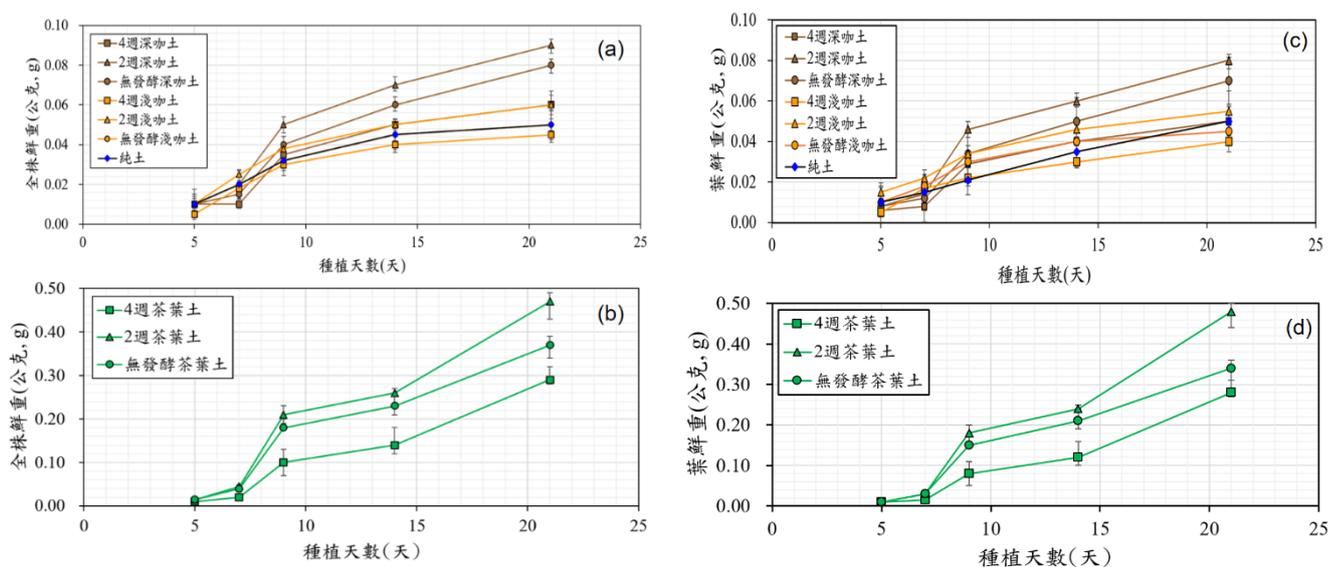


圖 5-8 白菜於不同 pH 值土壤成長 5~21 天後之(a, b)全株鮮重與(c, d)葉鮮重關係

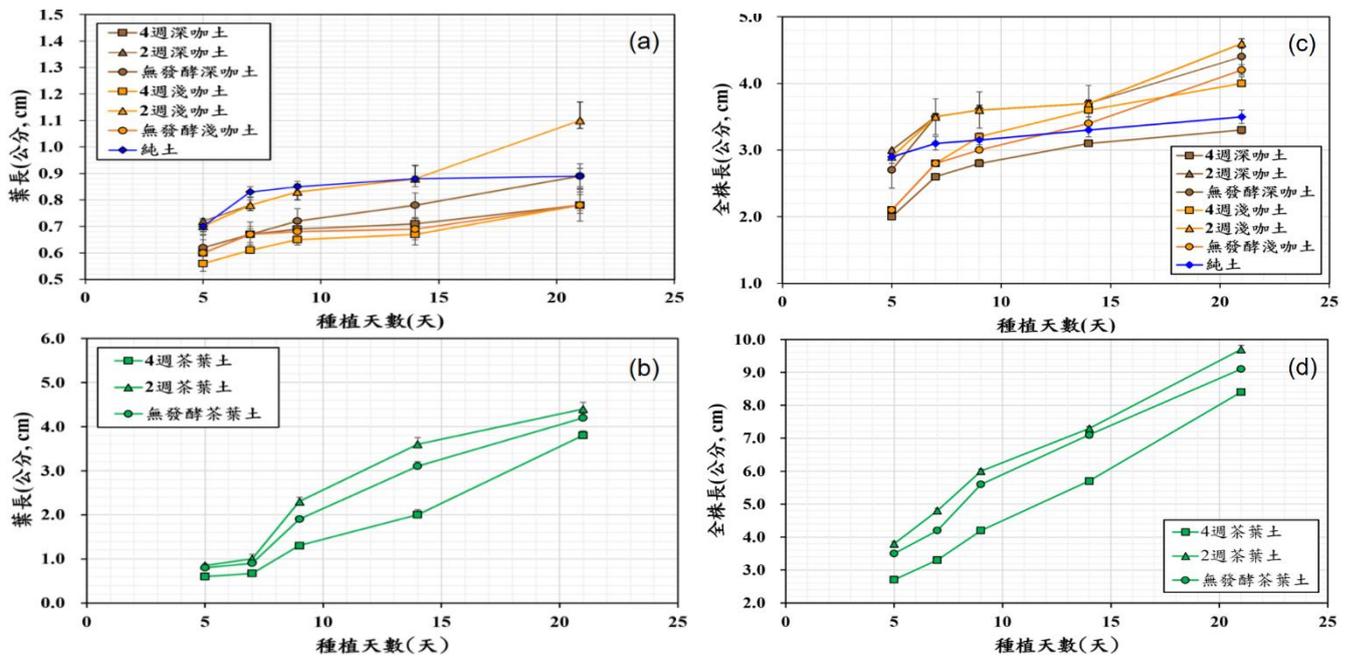


圖 5-9 白菜於不同肥料土成長 5~21 天後量測(a, b)葉長及(c, d) 全株長與成長天數之關係

(三) 不同肥料土對白菜成長特性的影響

由上述結果發現，不同肥料土種植除造成白菜成長特性差異外，於種植第 9 天後，於淺咖土及深咖土系列之白菜莖部底處可發現逐漸有紅褐色出現(如圖 5-11(b)及(c))，且隨種植時間增加，顏色更為明顯外，並逐漸覆蓋整株莖部甚至延伸到葉面，使葉面呈黃綠色或粉黃色(如圖 5-11(e))，其中又以淺咖土相較於深咖土系列明顯，而純土及茶葉土系列則無此情況發生(如圖 5-11(a)及(d))。

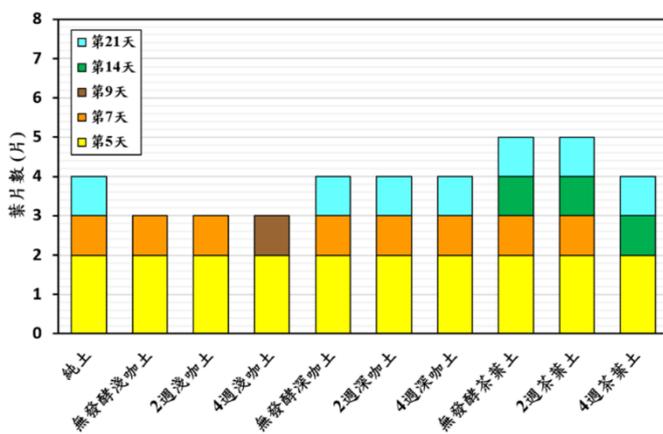
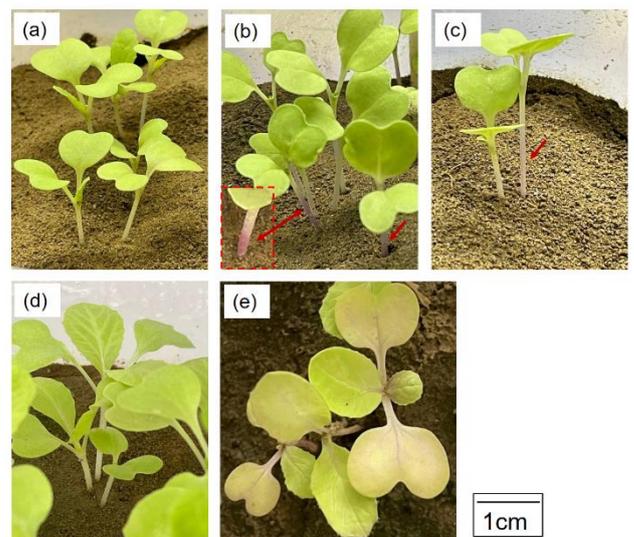


圖 5-10 白菜於不同肥料土成長 5~21 天之葉片數與成長天數之關係



5-11. 不同肥料土壤種植白菜之莖部顏色變化，(a)純土、(b, e)淺咖土、(c)深咖土及(d)茶葉土

(四) 研究結果與討論

1. 肥料土發酵時間對土壤 pH 值影響的探討

為釐清不同肥料土發酵時間對土壤 pH 值與白菜成長行為的影響，在學研單位協助下，利用離子層析儀進行不同肥料土溶液之成分分析(如圖 5-12 及圖 5-13)，結果可區分成陰離子與陽離子兩大類。在陰離子方面，主要有磷酸根離子(PO_4^{3-})與硫酸根離子(SO_4^{2-})，如圖 5-12 顯示，淺咖土與深咖土系列，隨發酵時間增加，土壤中所含磷酸根離子與硫酸根離子均有增加的趨勢，且淺咖土所含陰離子濃度的總和又較深咖土系列高，以此研判淺咖土系列其 pH 較小(較酸)，應與其所含磷酸根離子與硫酸根離子濃度總和較高有關。此外，在茶葉土系列則隨發酵時間增加，土壤中所含磷酸根離子與硫酸根離子均有減少趨勢，此結果可進一步說明圖 5-2 不同肥料土之 pH 值，隨發酵時間變化之原因。

在陽離子部分，則有銨根離子(NH_4^+)、鉀離子(K^+)、鎂離子(Mg^{2+})及鈣離子(Ca^{2+})等。圖 5-13 為所分析不同肥料土溶液與其陽離子濃度之關係顯示，除純土以鈣離子為主外，其餘均以鉀離子最多，鎂離子次之。此外，整體肥料土之陽離子濃度以茶葉土系列 \geq 淺咖土系列 \geq 深咖土系列，其中又以 2 週茶葉土最高，而 4 週深咖土最低。

2. 不同肥料土 pH 值與成分對白菜成長影響之探討

由前面文獻探討可知，土壤中之氮、磷、鉀、鎂等離子皆為植物生長之重要營養成分，如以上述所分析 10 種土壤成分中之陰、陽離子總和濃度計算，應以 2 週茶葉土最高，其次為 4 週淺咖土，而第三為 4 週茶葉土，此亦應為白菜較佳成長速度或重量表現之優先順序，但實際則不然。判斷雖然在此土壤環境之營養成分較佳，但是如 4 週淺咖土因 pH 值=4.91 太酸及 4 週茶葉土則因 pH 值=7.96 太鹼，都不利於白菜根系之營養吸收。由此可知，土壤 pH 值對白菜生長的影響，遠勝於土壤所含的養分，整體而言在土壤 pH 值=5.5~7.0 環境下，較適合白菜生長。圖 5-14 為以白菜種植 21 天後量測各肥料土所得全株平均鮮重相對於純土條件的重量百分比

關係可知，以茶葉土系列 \geq 深咖土系列 \geq 淺咖土系列 \geq 純土，其中又以發酵 2 週土最佳。此結果與不同土壤 pH 值之白菜成長狀況優劣的趨勢一致。因此，如能將土壤 pH 值與營養成分適當控制，將可獲得最佳白菜成長效果。

至於為何只有在淺咖土與深咖土系列所長出之白菜莖部會呈現紅褐色，透過取得肥料土溶液進行觀察，如圖 5-15 所示，即可發現純土為透明無色，淺咖與深咖土系列呈現褐色至紅褐色，而茶葉土則呈青綠色，由此可清楚了解其差異，乃白菜根透過吸收咖啡土中之色素所致。

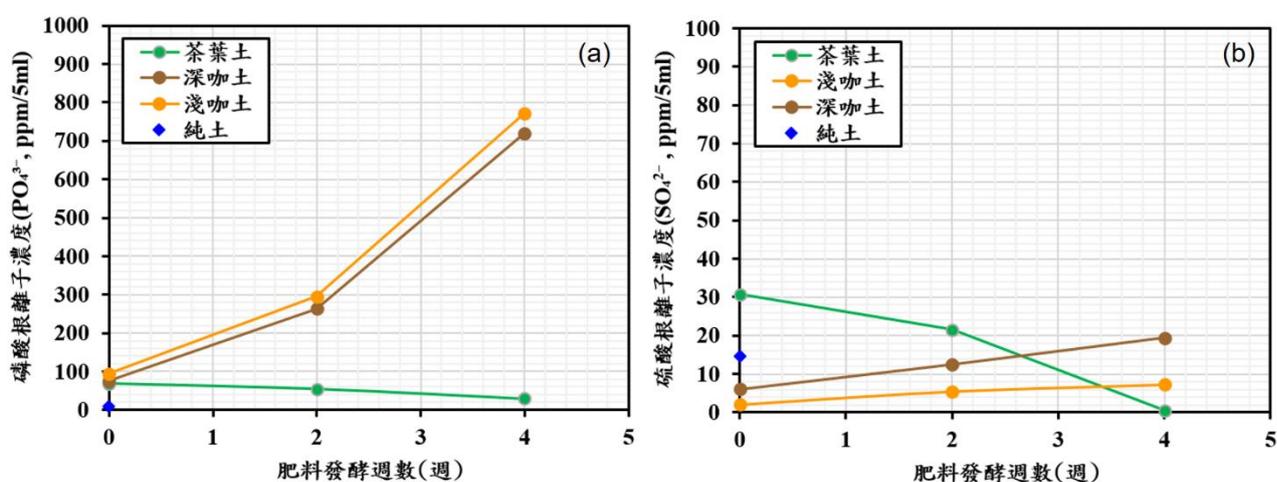


圖 5-12 不同肥料土所含陰離子濃度與發酵時間之關係，(a)磷酸根離子及(b)硫酸根離子

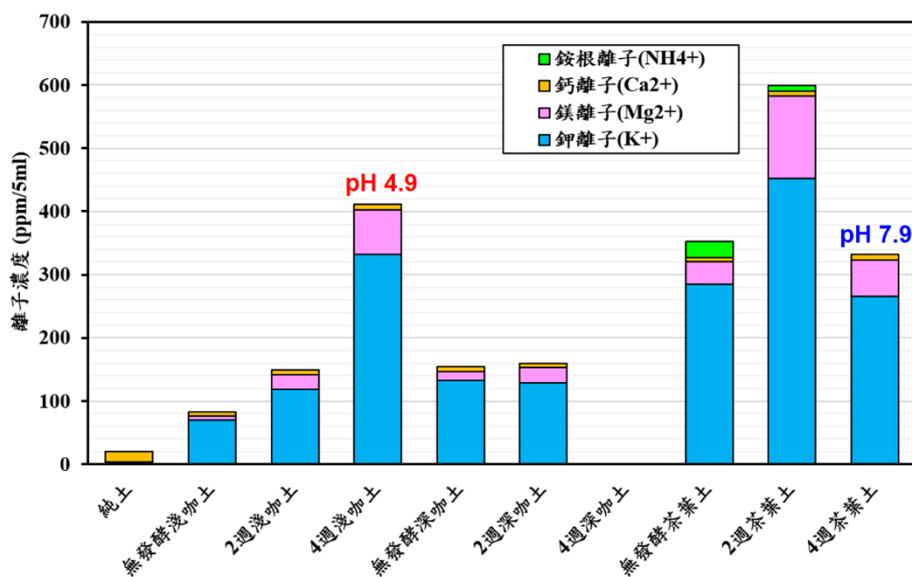


圖 5-13 不同肥料土所含陽離子濃度與發酵時間之關係

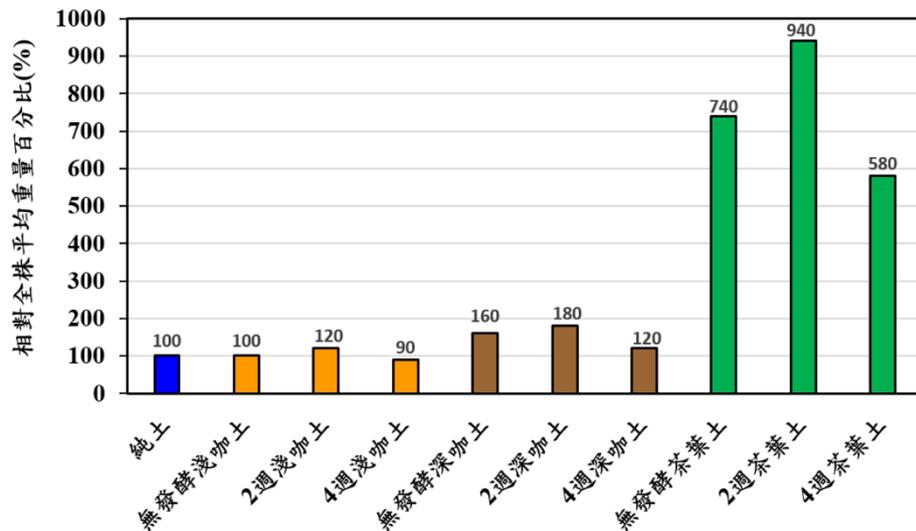


圖 5-14 種植 21 天後量測各肥料土所得白菜全株鮮重相對純土條件之重量百分比關係



圖 5-15 不同肥料土壤溶液之顏色，左起依序為純土、無發酵淺咖土、2 週淺咖土、4 週淺咖土、無發酵深咖土、2 週深咖土、4 週深咖土、無發酵茶葉土、2 週茶葉土、4 週茶葉土

三、不同肥料土比例對白菜生長的影响

由實驗二的結果可知，整體白菜的生長速度與產率，以 2 週茶葉土之效果最佳，2 週深咖土次之，而 2 週淺咖土則居第三。由於對照組純土之整體結果並未優於添加肥料者，故以下不列入討論。為瞭解是否可透過這三種最佳肥料土組合相互搭配，以獲得更好的成長效果，故藉由實驗二所得到最適合白菜生長之土壤為 pH 值 5.5~7.0 條件下，以表 4-3 配置不同比例淺咖及深咖與茶葉混合之肥料土，並進行白菜植栽與比較。

(一) 不同肥料土比例對土壤 pH 值之影响

圖 5-16 為不同肥料土混合後之土壤 pH 值變化，可知隨淺咖土及深咖土中所含

茶葉比例增加，土壤之 pH 值皆有增加的趨勢(即越趨鹼性)，其中整體淺咖茶葉土系列之 pH 值介於 5.47~6.15(偏酸性); 而深咖茶葉土系列之 pH 值則介於 6.31~6.78(偏中性)。

(二) 不同肥料土 pH 值對白菜發芽特性之探討

圖 5-17 為 6 種不同肥料土播種後之白菜發芽率與天數的關係，如圖所示，淺咖茶葉土系列於播種第二天後種籽即開始發芽，於第五天後發芽數最多，而第七天後則趨緩。而深咖茶葉土系列則直到播種第四天後才陸續發芽，於第七天後則趨緩僅少數再發芽。

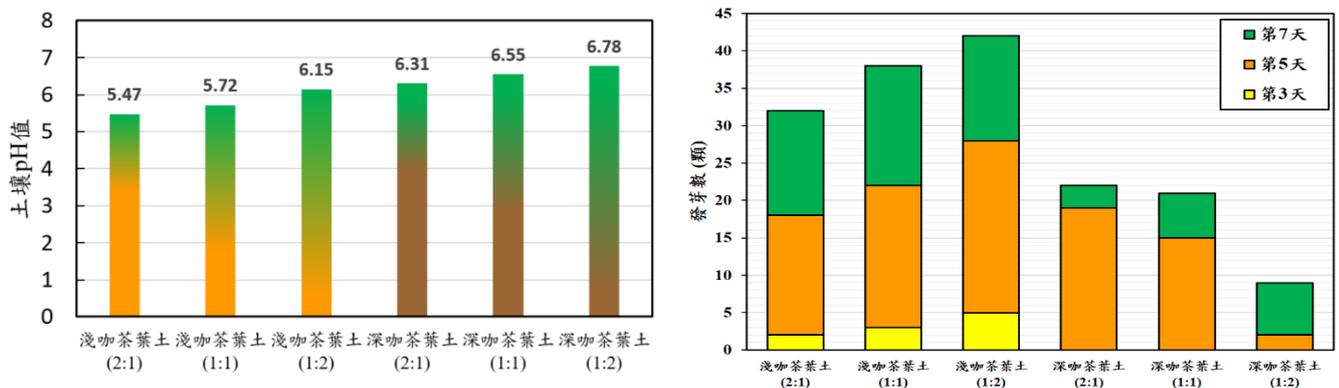


圖 5-16 不同肥料土比例混合後之土壤 pH 值變化 圖 5-17 不同肥料土比例播種後之白菜發芽率與天數關係

(三) 不同肥料土比例對白菜成長的影響

白菜種籽發芽後於不同肥料土成長 7~21 天之全株形貌，如圖 5-18 所示。由第 7 天全株觀察(圖 5-18(a))，在淺咖茶葉土系列，隨淺咖中所含茶葉比例增加，白菜成長高度也隨之增加，高度約介於 2~3 公分; 而深咖茶葉土系列，則隨所添加茶葉比例增加，白菜有生長較緩慢的情形。經種植 14 天後觀察(圖 5-18(b))，淺咖茶葉土系列白菜的成長效果仍較深咖茶葉土系列為佳，除葉片變大外，葉片數也增加，而在此階段深咖茶葉土系列則隨所含茶葉比例增加，白菜成長高度與第 7 天比較有反

轉的情形，且隨種植天數增加，此趨勢越明顯(圖 5-18(c))。

為進一步比較差異，以全株鮮重進行比對(如圖 5-19(a))，於種植第 9 天起，各肥料土條件之全株鮮重均顯著增加，以種植 21 天為例，淺咖茶葉土系列之白菜全株鮮重介於 0.11~0.31 克，而深咖茶葉土系列則介於 0.055~0.11 克。結果顯示，兩系列之全株鮮重皆隨土壤中茶葉添加量及種植天數增加而增加，其中又以淺咖茶葉土系列之生長狀態較佳。

此外，將不同成長時間之全株白菜再分切成葉片與莖後，分別量測其鮮重，如圖 5-19(b)顯示，淺咖茶葉土系列之白菜葉鮮重介於 0.10~0.29 克，而深咖茶葉土系列則介於 0.04~0.09 克。整體而言，淺咖茶葉土系列不論在葉片數目及葉鮮重增加上均較深咖茶葉土系列顯著。在白菜之葉長與全株長方面(如圖 5-20)，也以淺咖茶葉土系列較佳，並以添加較高茶葉量者表現較突出。

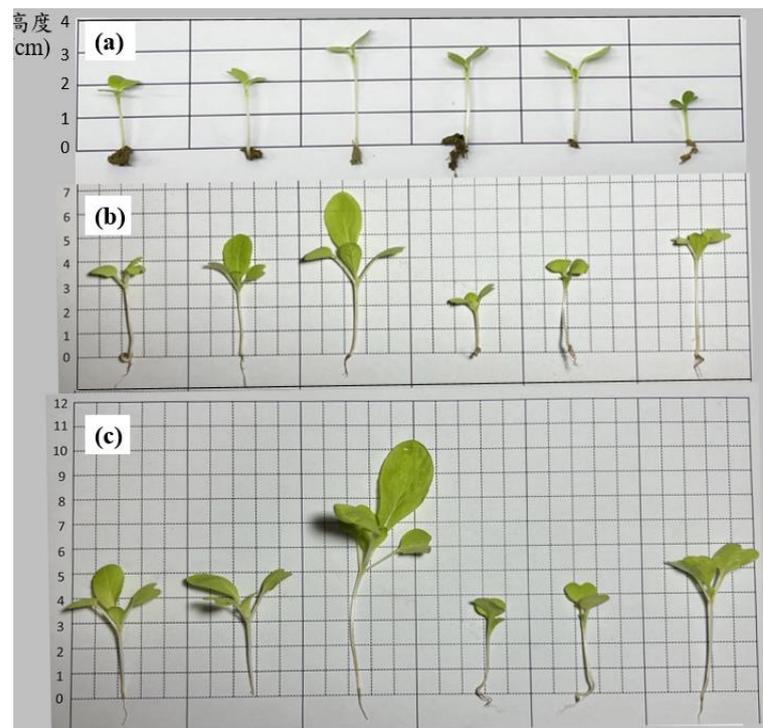


圖 5-18 白菜於不同肥料土比例成長(a)第 7 天、(b)第 14 天及(c)第 21 天情形，左起依序為淺咖茶葉土(2:1)、淺咖茶葉土(1:1)、淺咖茶葉土(1:2)、深咖茶葉土(2:1)、深咖茶葉土(1:1)、深咖茶葉土(1:2)

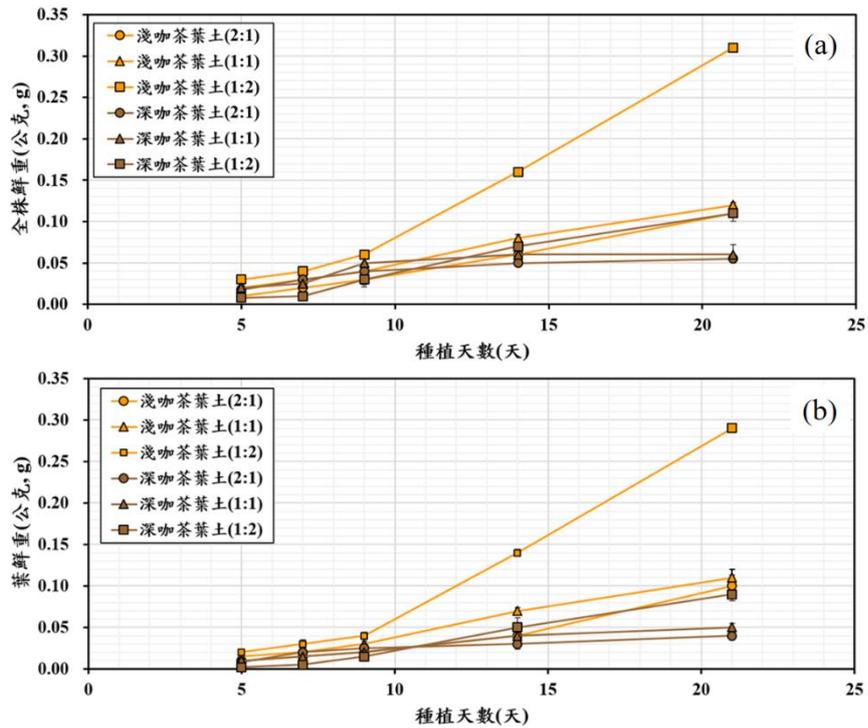


圖 5-19 不同肥料土比例種植白菜所量得其(a)全株鮮重及(b)葉鮮重與成長天數的關係

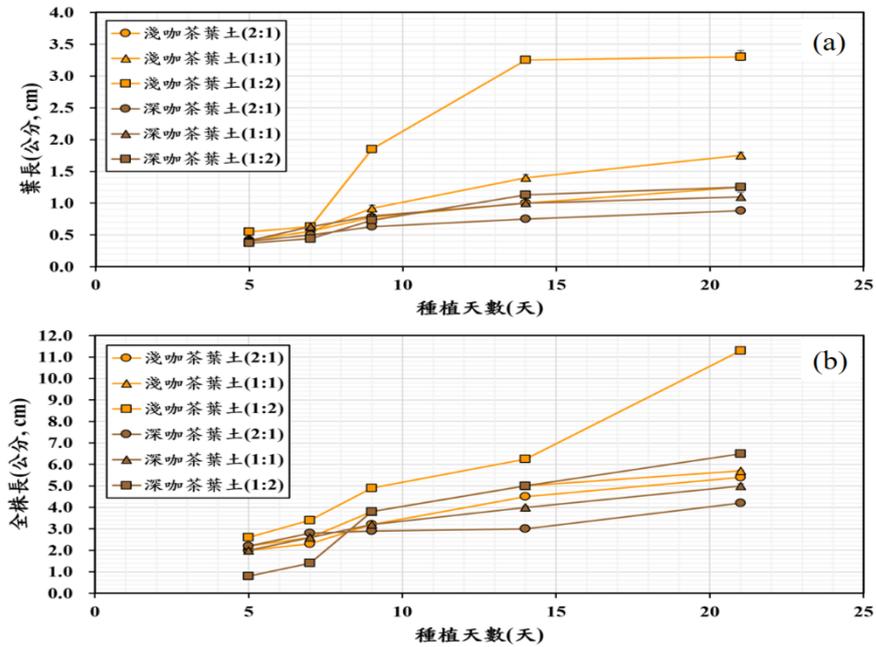


圖 5-20 不同肥料土比例種植白菜所量得其平均(a)葉長及(b)全株長與成長天數的關係

(四) 研究結果與討論

1. 不同肥料土比例對土壤 pH 值影響之探討

由圖 5-2 可知，本試驗發酵 2 週之淺咖土、深咖土及茶葉土的 pH 值分別為 5.27、

5.89 及 7.02。因此，依表 4-3 所示比例，於淺咖土及深咖土中添加中性之茶葉後，將隨所添加茶葉比例增加，使土壤 pH 值也隨之增加，但整體淺咖茶葉土系列之 pH 值仍較偏酸性; 而深咖茶葉土系列之 pH 值則較偏中性。

2. 不同肥料土比例對白菜發芽率與成長特性影響之探討

綜合圖 5-16 及圖 5-17 所示 6 種肥料土之 pH 值與發芽數的關係可發現，淺咖茶葉土系列之 pH 值(5.47~6.15)較偏酸性下，相較於偏中性之深咖茶葉土系列更適合白菜種籽發芽，此與實驗二所得結果一致(pH 值=5.5~6.0，如圖 5-6 所示)。

由白菜發芽後之成長特性比較，於圖 5-12 及圖 5-13 之 2 週淺咖土與 2 週深咖土之營養成分相近下，當添加相同比例營養成分較佳之 2 週茶葉情形下，仍以淺咖茶葉土系列之白菜成長效果優於深咖茶葉土系列，研判應與淺咖茶葉土系列之 pH 值較偏酸性，有利於白菜發芽及營養吸收有關。

進一步以 6 種不同肥料土種植白菜 21 天後所量得全株平均鮮重相對於純淺咖土的重量百分比關係，如圖 5-21，以淺咖茶葉土系列 \geq 深咖茶葉土系列，其中全系列淺咖茶葉土之鮮重表現，也均優於實驗一單純淺咖土或深咖土之結果，但在深咖茶葉土系列，除深咖+高茶葉添加比者略優於純深咖土外，其餘兩者都遠低於純深咖土，研判淺咖土偏酸性(pH 值=5.27)，即使添加中性之茶葉土後其 pH 值(5.47~6.15)仍較酸性下，除適合白菜發芽外，又有營養較佳之茶葉可提供白菜成長，最佳可獲

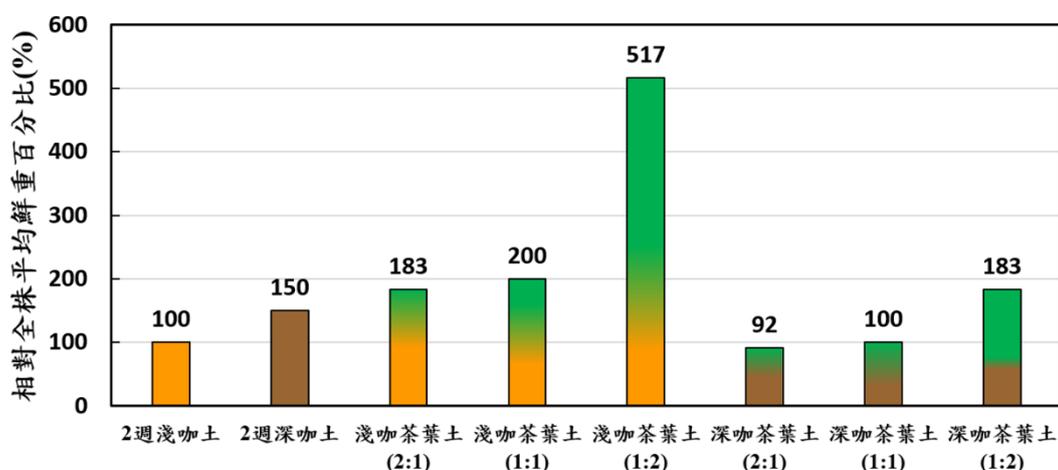


圖 5-21 不同肥料土比例種植 21 天後所量得白菜全株平均鮮重相對於 2 週淺咖土的重量百分比關係

得比實驗二 2 週淺咖土高出 5.17 倍的成長效果。而深咖土之 pH 值(5.89)，經添加中性之茶葉土後，深咖茶葉土系列之 pH 值(6.31~6.78)，將隨所添加茶葉量增加而越偏鹼性，即使有養分較佳之茶葉可補充營養，仍無法提供適合白菜成長之環境與產出。

四、不同肥料土排列對白菜生長特性的影響

綜合實驗二與實驗三之結果大致可獲得以下兩點結論，(一)白菜種籽適合於偏酸性土壤環境中發芽，搭配(二) 2 週茶葉土提供白菜充分營養，幫助其成長茁壯。故如果能讓白菜種籽先於 2 週淺咖土 (pH 值=5.27) 中發芽後，再分別透過如圖 4-3 的三種方式，將有助於縮減 3~5 天原於中性茶葉土(pH 值=7.02)之種籽發芽時間(如圖 5-17)，所省下的時間應有機會增加白菜的生長期與產量，因此以此構想設計實驗四進行評估。

(一)肥料土排列對白菜成長的影響

試驗顯示，白菜種籽於 2 週淺咖土中(酸性土)約 2 天就開始發芽，而不同肥料土排列成長 7~21 天之全株形貌，如圖 5-22 所示，由第 7 天全株觀察(圖 5-22(a))，經淺咖土發芽後再移植至茶葉土之成長高度，約為 3 公分，而淺咖+茶葉漸層土與淺咖/茶葉土的成長較為明顯，高度約 4~4.5 公分。經與實驗二不同肥料土及實驗三不同肥料土比例之結果比較，此不同肥料土排列方式確實優於上述條件，顯示此概念之可行性。於第 14 天，白菜整體成長趨勢與第 7 天結果接近，但葉片數目已由原本 2 片皆增加至 5 片外，葉片也明顯變大且變長(圖 5-22(b))，而到第 21 天，則淺咖土移植至茶葉土之成長高度，已超越其它兩組條件(圖 5-22(c))。

為進一步比較差異，以全株去除根部後之鮮重進行比對(如圖 5-23)，於種植第 7 天後，各土壤條件之全株鮮重均顯著增加，其中又以移植至茶葉土之條件，變化最為明顯且最佳，以種植 21 天為例，全茶葉土之白菜全株鮮重為 0.94 克、淺咖+茶葉漸層土為 0.45 克、淺咖/茶葉土為 0.40 克(如圖 5-23(a))。此外，由全株白菜再分切

成葉片後量測其鮮重與成長天數之關係顯示(如圖 5-23(b))，各土壤條件之葉片鮮重，亦隨種植天數增加而增加，並與全株鮮重趨勢一致。在葉長與全株長方面，均以淺咖土移植至全茶葉土條件表現較突出(如圖 5-23(c, d))。

(二) 研究結果與討論

由此三種不同肥料的排列，雖都先於酸性淺咖土中使白菜種籽發芽，但只有全茶葉土條件是採用移植方式，故於移植後之前 7 天其成長高度均略低於其他兩者。進一步從根系觀察，其根系(如圖 5-24(a))相較於其他兩組條件(如圖 5-24(b, c))皆明顯為短且稀疏，可能與需適應新環境有關，但此影響在第 9 天後則逐步扭轉，研判為白菜發芽後其適應環境的能力很強，並在 2 週茶葉土充分提供養分下，可快速成長，甚至超越過去在中性茶葉土之成長速率(如圖 5-7 及圖 5-8)。此外，由第 7 天淺咖+茶葉漸層土及淺咖/茶葉土所種植之白菜根系均已超過 1 公分，也就是淺咖土層之厚度，其中又以淺咖+茶葉漸層土條件之根系成長較佳，顯示透過土壤 pH 值由酸性漸轉至中性，越有利植物適應不同土壤環境，故可獲得較佳成長高度(如圖 5-23(d))。

隨著種植天數增加，以第 21 天為例(如圖 5-24(d~f))，三種條件之根系除有主根外，亦在其周邊長出許多側根，即白菜可更充分的吸收茶葉土所提供的養分，此伴隨著白菜生長葉片數增加，葉長及莖長變長且變粗之良好生長狀況，其中優劣又以淺咖土移植至茶葉土>淺咖+茶葉漸層土>淺咖/茶葉土，進一步取樣 3 種肥料土排列之不同深度土壤溶液進行分析(如圖 5-25)，淺咖土將因澆水逐步滲入茶葉土，而影響茶葉土層(過渡區)之 pH 值與營養成分，導致淺咖/茶葉土之白菜成長不如淺咖+茶葉漸層土與全茶葉土之原因。

白菜種植 21 天後所量得全株平均鮮重相對於純淺咖土的重量百分比關係，如圖 5-26 顯示，以移植至全茶葉土最佳，不僅可獲得比僅有淺咖土條件之 15.8 倍成長效果，也優於原純茶葉土並可提高 2 倍的產率，而淺咖+茶葉漸層土次之，與原 2 週淺咖土比較，產率亦可達 7.5 倍以上，顯示透過酸性土使白菜種籽發芽後，再於

中性富含養分之茶葉土成長，確實可有效縮短發芽時間並大幅提升產率。

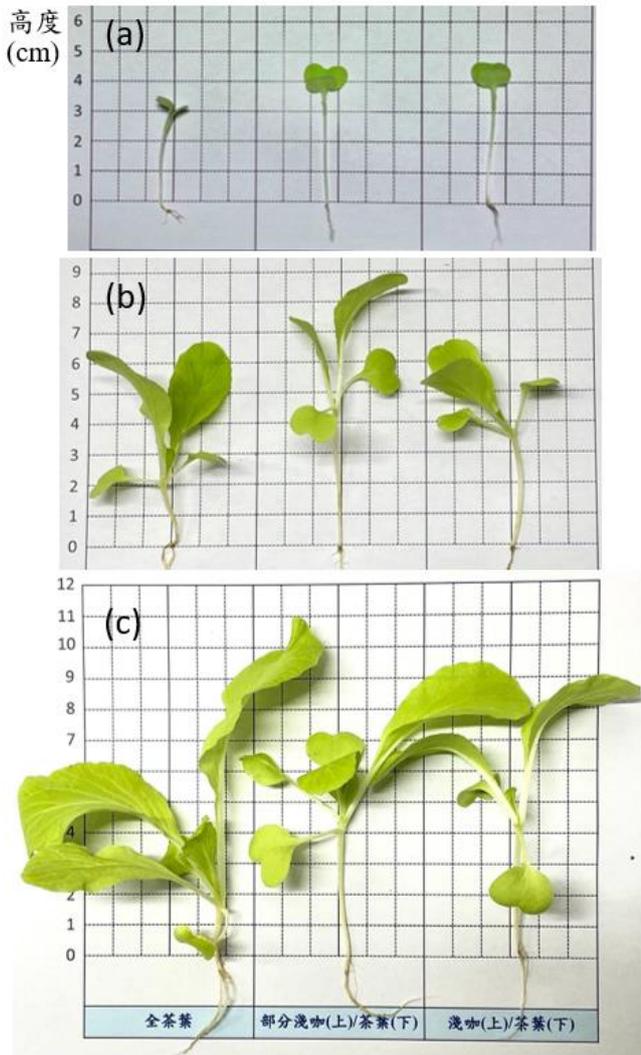


圖 5-22 不同肥料土排列種植白菜(a)第 7 天、(b)第 14 天及(c)第 21 天之全株形貌，左起為由淺咖移植至茶葉土、淺咖+茶葉漸層土及淺咖/茶葉土

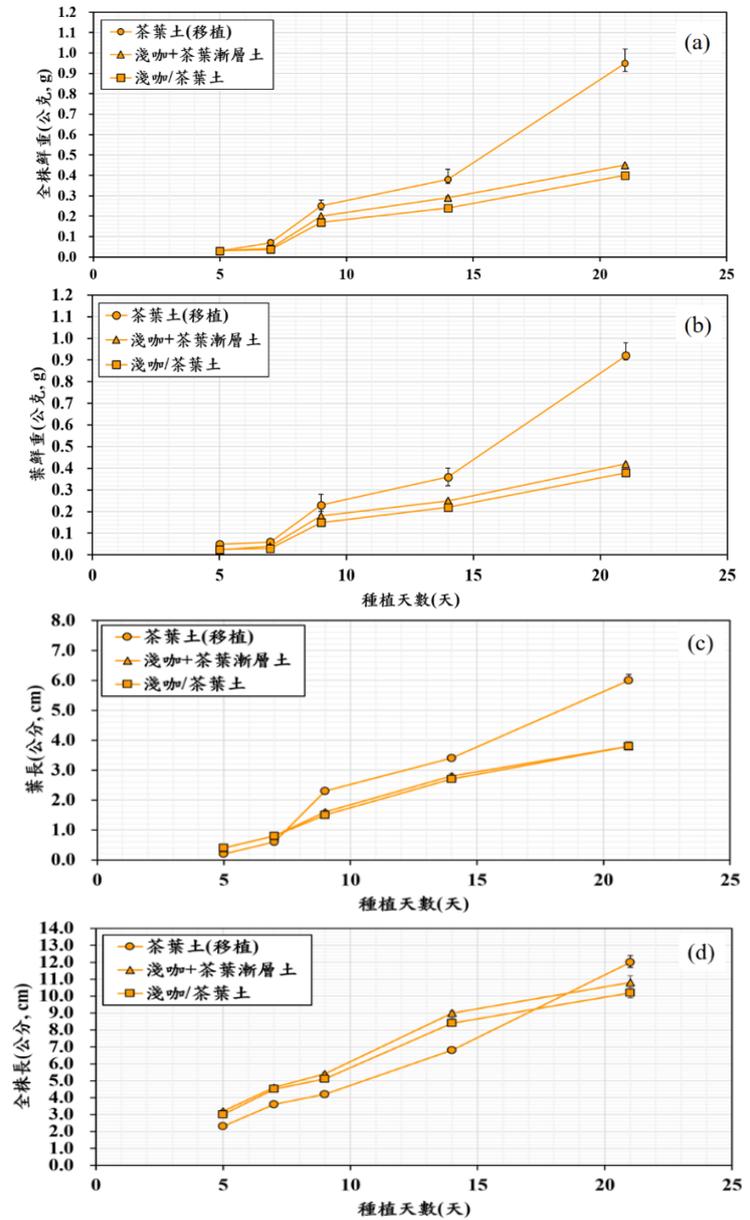


圖 5-23 不同肥料土排列種植之白菜量測其平均(a)全株鮮重、(b)葉鮮重、(c)葉長及(d)全株長與成長天數的關係

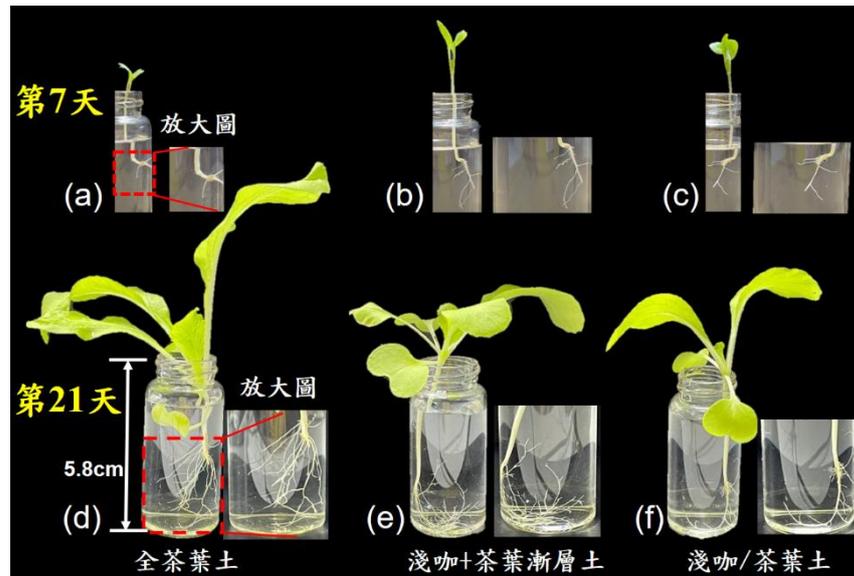


圖 5-24 不同肥料排列土壤種植(a-c)第 7 天及(d-f)第 21 天之白菜全株外觀，左起依序為由淺咖土移植至全茶葉土、淺咖+茶葉漸層土及淺咖/茶葉土

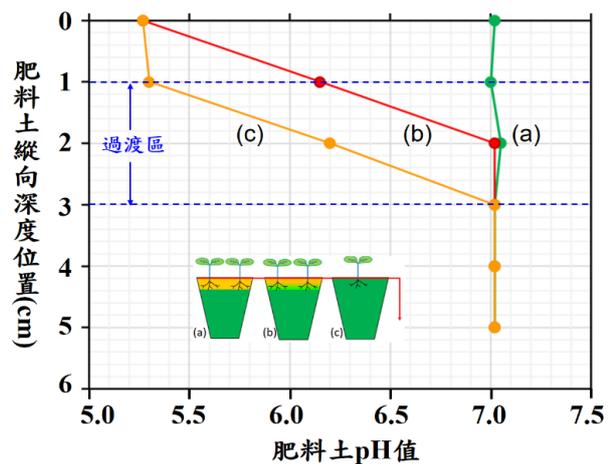


圖 5-25 不同肥料土排列之土壤縱深位置與其 pH 值 變化之關係

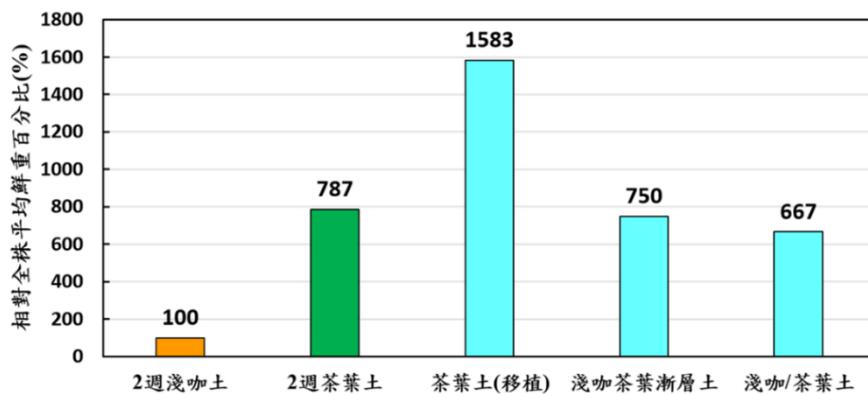


圖 5-26 三種不同肥料排列土種植白菜 21 天所量得全株平均鮮重相對於 2 週淺咖土的重量百分比關係

綜合上述實驗顯示，在適合白菜生長之 pH=5.5~7.0 環境下，又以 2 週茶葉土成長效果最佳，為探究其原因，進一步由圖 5-12 及 5-13 肥料土成分分析發現，主要影響因子依其含量依序為鉀、磷及鎂離子，其中又以鉀離子濃度高低與白菜成長速率呈高度正相關(如圖 5-14)，故大膽猜測，鉀離子在白菜成長過程對提供所需的營養與適應環境的能力，扮演關鍵的角色。

為驗證此推論是否正確，分別取樣如圖 5-13 土壤中含有不同鉀離子濃度之純土、2 週淺咖土及 2 週茶葉土所種植 21 天的白菜(圖 5-27)，並取葉片與距根部 1 公分處之莖部進行成分分析，如圖 5-28 顯示白菜中所含鉀離子濃度愈高除葉長、全株成長均較佳外，根長也較長且側根較茂盛。由文獻得知，植物側根有助於對抗逆境，由於好奇白菜中所含鉀離子濃度差異是否有助於其抵抗環境逆境? 因此，選定純土、2 週淺咖土及 2 週茶葉土所種植白菜著手進行以下耐鹽及耐旱等逆境實驗。

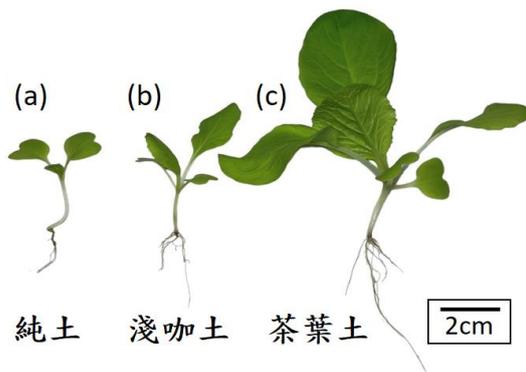


圖 5-27 不同鉀離子濃度之(a)純土、(b)2 週淺咖土及(c)2 週茶葉土所種植 21 天的白菜外觀

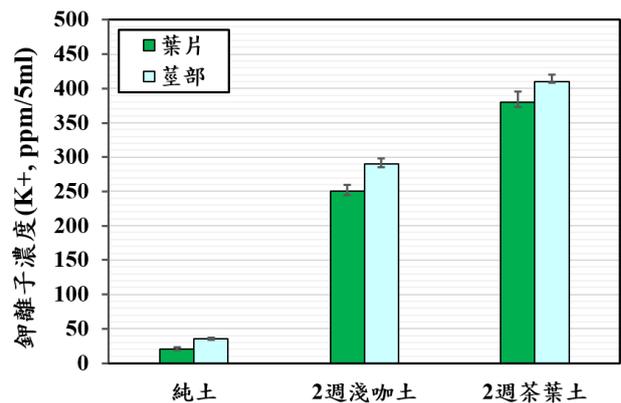


圖 5-28 以純土、2 週淺咖土及 2 週茶葉土所種植白菜的鉀離子濃度

五、不同肥料土對白菜抗鹽逆境的影響

(一) 白菜鉀離子濃度對其抗鹽逆境的影響

為瞭解三種白菜中鉀離子的濃度差異對提升其鹽害耐受性，故分別取白菜進行純 RO 水和 150 及 250mM NaCl 鹽逆境處理過後，觀察其根部細胞死亡的程度，如圖 5-29，於純土環境生長之白菜根經 150mM NaCl (低濃度)鹽逆境處理過，已明顯呈現藍色(即細胞已死亡)，而於 2 週茶葉土生長之白菜最佳(高鉀離子含量)能減少鹽處理下細胞的死亡。與純土之白菜比較，在低濃度 150mM 處理能減少約 5 成

死亡(如圖 5-30)，而高濃度 250mM 處理後則能減少約 4 成。由實驗得知，鉀離子除能促進白菜生長，並改變其生理反應進而減少其在鹽逆境下細胞死亡的程度。

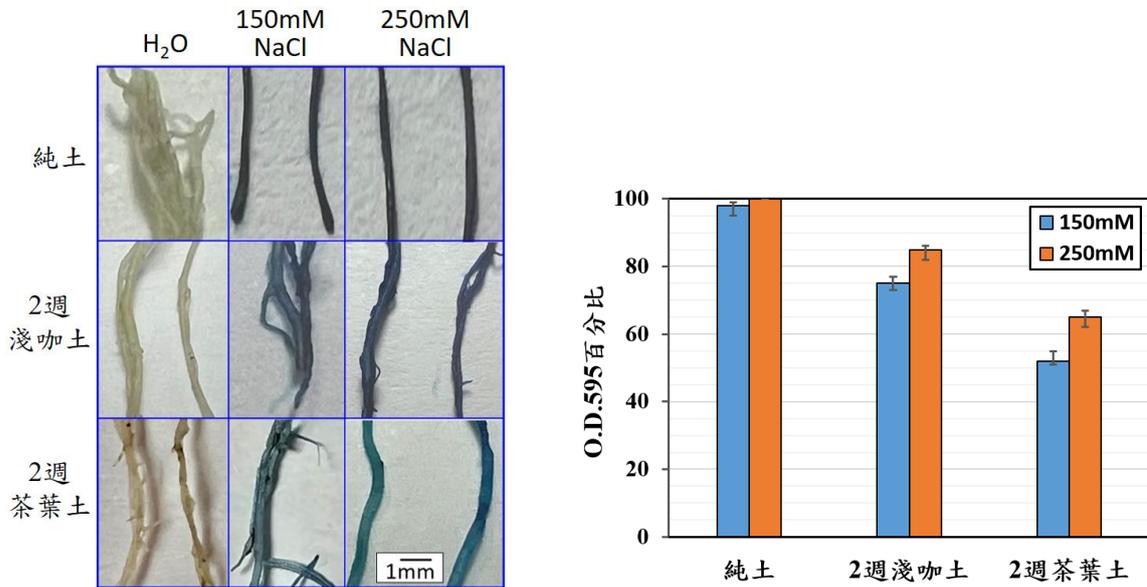


圖 5-29 不同肥料土所種白菜於鹽逆境處理前後之根部細胞死亡染色

圖 5-30 不同肥料土所種白菜於鹽逆境處理前後之根部細胞死亡量化

(二) 研究結果與討論

1. 白菜葉片氣孔觀察

為瞭解植物為何能耐鹽及其耐鹽能力之差異，除從上述根系觀察，也透過葉片氣孔觀察比較，以進一步掌握其控制關鍵。由純土所種白菜葉(低鉀含量)經過 150mM 鹽逆境處理後觀察，少部分氣孔已有受損情形，隨著鹽濃度提高，除氣孔受損更嚴重外(如圖 5-31(a)紅色箭號所示)，也發現保衛細胞有脫水情形(圖

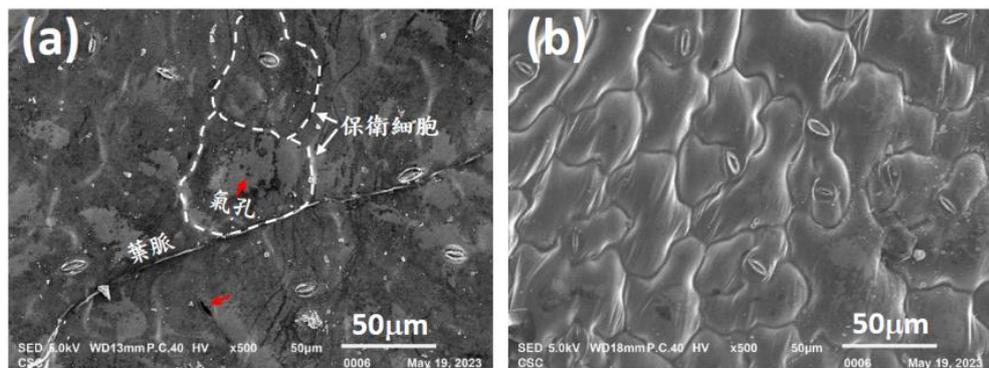


圖 5-31 以電子顯微鏡觀察(a)純土及(b)淺咖土/茶葉土所種植白菜經 250mM 鹽逆境處理後之葉片保衛細胞及氣孔外觀

5-31(a)白色虛線處示意)，而相較於高鉀含量的淺咖土或茶葉土所種植的白菜，可透過關閉葉片氣孔，使保衛細胞更飽滿(如圖 5-31(b))。文獻指出，鉀離子有助於調節氣孔的運動，推測藉此關閉葉片氣孔減少鹽入侵的傷害與水分流失，進而增加白菜耐鹽的能力。

2. 葉片澱粉含量變化檢測

經由上述氣孔觀察推測，透過葉片中鉀離子調節「氣孔閉合」的確可提升白菜在鹽逆境下生存的能力，於是開始思考此耐鹽受性是否與植物產生的某種物質變化有關，因此決定探討植物葉片產生的「澱粉」含量是否會在面臨鹽逆境時產生變化，故分別將純土與 2 週茶葉土所種植的白菜葉經過 150mM 鹽逆境處理後進行澱粉染色檢定。

由圖 5-32 顯示，經純土所種植之白菜，不論有、無經過鹽逆境處理其葉片澱粉含量均無明顯變化，而原茶葉土白菜葉片之澱粉含量較高(顏色深)，但經鹽逆境處理後其澱粉含量則減少，研判以茶葉土所種植的白菜可提高澱粉含量，在遇到鹽逆境時能促使澱粉分解，產生可溶性的醣類，進而提升白菜在鹽逆境下之抗性。

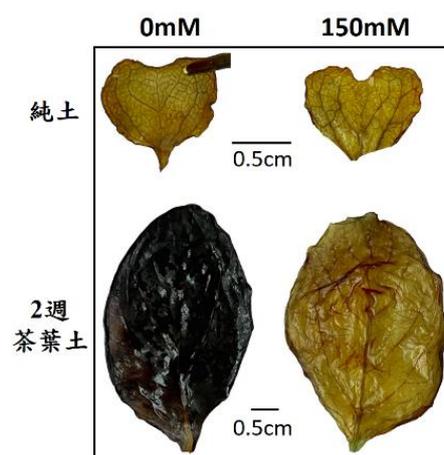


圖 5-32 純土及茶葉土所種植白菜葉經鹽逆境處理前後之澱粉含量變化

六、不同肥料土對白菜抗旱逆境之影響

(一) 白菜耐旱實驗

為釐清白菜於 28°C 不澆水乾燥土壤環境下之耐旱受性，分別取樣純土、2 週淺咖土與茶葉土所種植白菜進行實驗(如圖 5-33(a~c))，第一天整體均良好，僅距根部之小葉片有些微下垂，第 2 天後則純土之白菜葉片已開始枯萎，而淺咖

土及茶葉土則分別於第3及第4天才陸續出現由下部葉片往上枯萎情形(圖 5-33(d, f))。

(二) 葉片染色觀察

取樣不同天數耐旱試驗後之白菜葉片進行染色觀察發現(如圖 5-34)，於純土環境之白菜(低鉀含量)對缺水逆境較為敏感，取第2天離體葉片分析約7成細胞死亡(圖 5-35)，隨天數增加除染色面積持續擴大外，染色深度也隨之增加，表示細胞受損程度越嚴重。而相對於鉀含量較高之茶葉土所種植之白菜則較輕微，顯示其耐旱能力較佳。進一步由圖 5-35 結果與耐鹽試驗(圖 5-30)比較得知，白菜遭受鹽逆境之脅迫，遠勝於耐旱逆境的影響。

(三) 研究結果與討論

1. 葉片氣孔觀察

為瞭解植物為何能耐旱及其耐受能力之差異，取樣第2天耐旱試驗之純土與茶葉土葉片進行氣孔觀察。由純土所種植白菜葉觀察，少部分氣孔已有受損情形(如圖 5-36(a)紅色箭號所示)，在缺水蒸散作用增加時，將導致植株與葉片開始脫水枯萎，此與圖 5-33 結果一致，而高鉀含量之淺咖土或茶葉土所種植的白菜，可藉由關閉葉片氣孔(如圖 5-36(b))減少水分散失，進而提升白菜的耐旱能力，其中又以茶葉土所種植白菜之耐旱性優於淺咖土。

2. 白菜根之脯胺酸(Proline)檢測

植物為維持細胞內的水勢，以利於在高溫或缺水環境下能正常代謝，除了透過增加根系來提升吸水力外(如圖 5-27)，經查詢文獻指出，脯胺酸能幫助提升植株根部的滲透壓，防止植物細胞或組織缺水，進而抵抗滲透壓逆境，因此好奇想了解不同肥料土所種植白菜其根部的脯胺酸變化。

圖 5-37 為耐旱逆境不同天數下之脯胺酸變化量顯示，白菜根部其 Proline 含

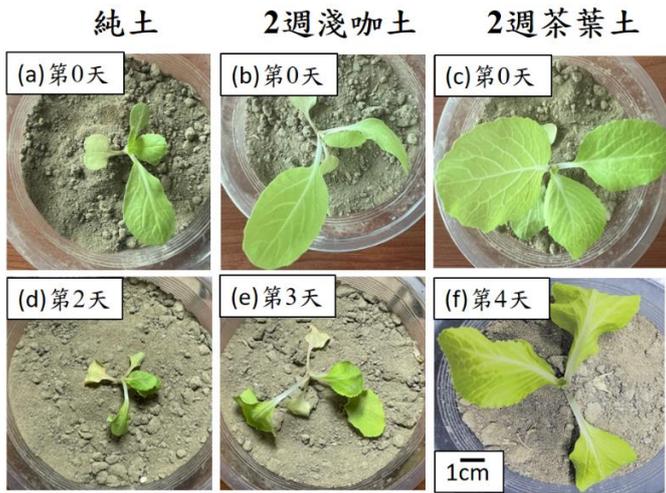


圖 5-33 以純土、淺咖土及茶葉土所種植白菜於耐旱逆境不同天數之外觀形態

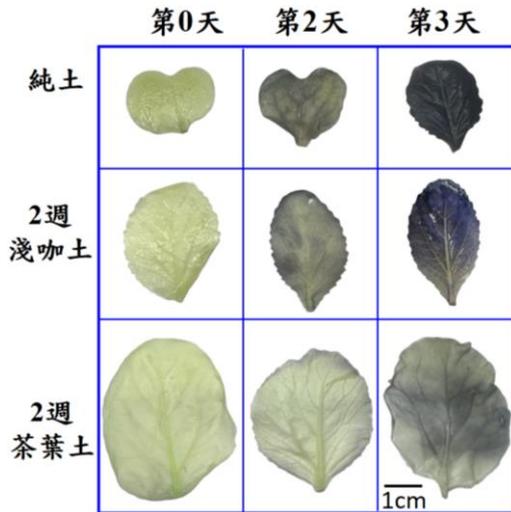


圖 5-34 以純土、淺咖土及茶葉土所種植白菜於耐旱逆境不同天數下之葉片細胞死亡染色

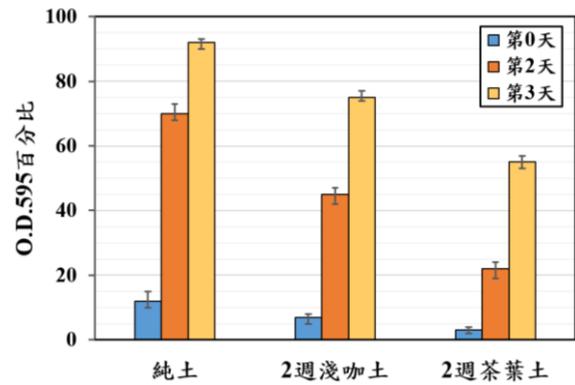


圖 5-35 以純土、淺咖土及茶葉土所種植白菜於耐旱逆境不同天數下之葉片細胞死亡量化

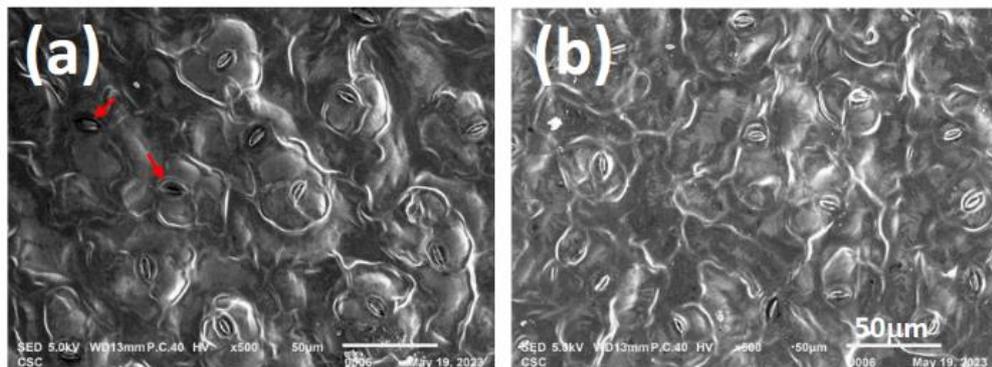


圖 5-36 以電子顯微鏡觀察(a)純土及(b)茶葉土所種植白菜經第 2 天耐旱逆境之葉片保衛細胞及氣孔外觀

量在耐旱逆境後皆有增加的趨勢，但第 2 天後只有茶葉土(高鉀含量)之白菜 Proline 仍持續增加，其餘皆略微降低，推論在更長耐旱逆境下，已無法負荷逆境，導致白菜提升脯胺酸的能力降低，而高鉀含量之白菜在感受到耐旱逆境後，可提前在白菜根部累積 Proline，提高植株本身的滲透壓，進而增加植物抵

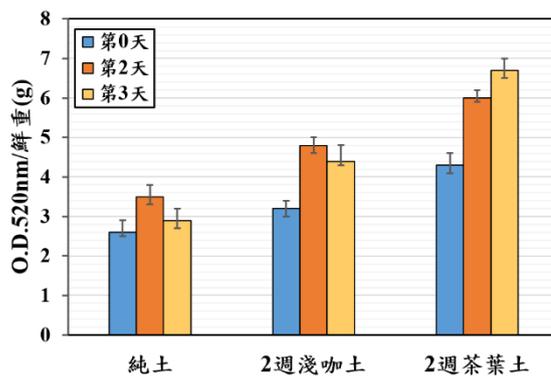


圖 5-37 以純土、淺咖土及茶葉土所種植白菜於耐旱逆境不同天數下之脯胺酸變化量

抗耐旱逆境脅迫之韌性，其中又以茶葉土>淺咖土>純土。彙整本研究肥料土之 pH 值與鉀離子高低對白菜成長與耐鹽抗旱之機制，如圖 5-38 示意圖所示。

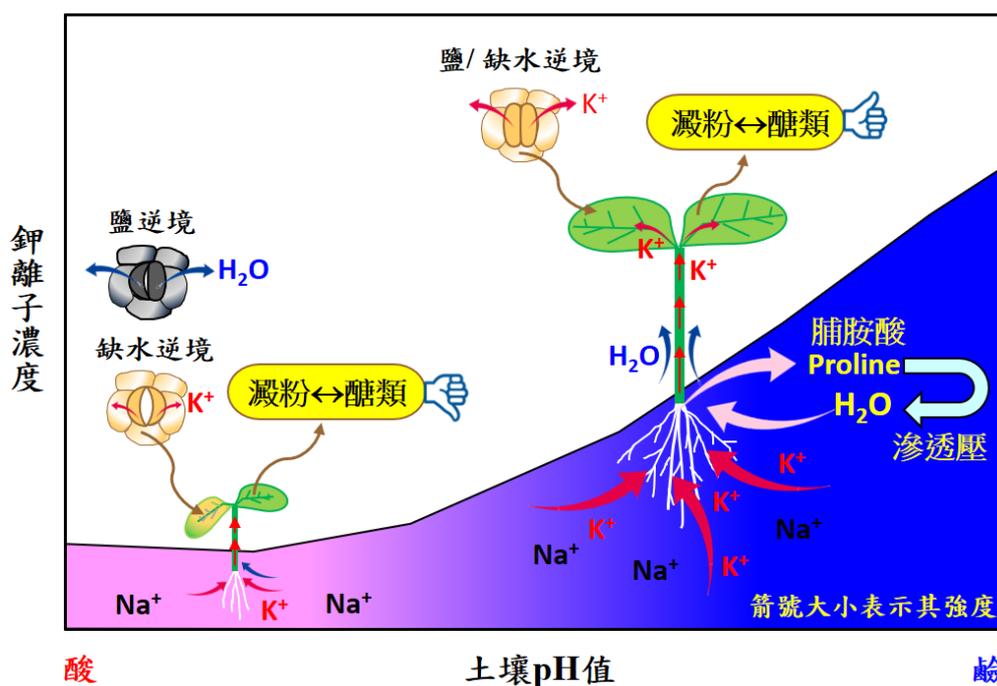


圖 5-38 肥料土之 pH 值與鉀離子高低對白菜成長與耐鹽抗旱之機制

陸、結論

- 一、隨肥料發酵時間增加，淺咖、深咖及茶葉的顏色越深。此外，淺咖土及深咖土，隨發酵時間增加，其 pH 值均有變小酸化之情形，而茶葉土則反之變鹼。

- 二、於肥料土 pH 值 5.5~6.0 條件下，較適合白菜籽發芽，而茶葉土雖較鹼性但營養高，更有利於白菜生長，但不論環境太酸(pH 值<5.5)或太鹼(pH 值>7)則都不利，故在適合白菜生長之 pH=5.5~7.0 範圍內，整體成長速率依序為，茶葉土系列≥深咖土系列≥淺咖土系列≥純土，其中又以發酵 2 週土最佳。
- 三、以不同 2 週肥料土比例混合，淺咖茶葉土系列均優於深咖茶葉土系列，於淺咖茶葉土(1:2) 最佳配比，可獲得比淺咖土高出 5.17 倍的成長效果。
- 四、在不同肥料土排列，以淺咖土發芽後再移植至全茶葉土最佳，成長速率可達茶葉土的 2 倍及淺咖土的 15.8 倍產率，發揮 1+1>2 效果，而淺咖+茶葉漸層土壤次之，與原淺咖土比較，產率亦可達 7.5 倍以上。
- 五、在鹽逆境下，鉀離子能協助植物透過關閉氣孔，藉此減少鹽入侵葉片的傷害與水分散失，並提高澱粉的含量，在遇到鹽逆境時能促使澱粉分解，產生可溶性的醣類，進而提升白菜在鹽逆境下之韌性。
- 六、在缺水逆境，鉀離子能增加根系的發育，藉此提升植物吸水能力，在感受到缺水逆境後可透過關閉葉片氣孔，減少水分散失，並提前在根部累積脯胺酸，提高植株本身的滲透壓，以克服缺水逆境的脅迫。
- 七、本研究透過適化咖啡土 pH 值與茶葉土(高鉀離子)養分搭配，可有效縮短發芽時間、大幅增加產率，並提升耐鹽抗旱之能力，為飲品廢棄物活化找出新路。

柒、參考資料

- 一、曾嘉韋、張瀨文、黃千祐、洪嘉翎、申洛榛、陳亞澤(2010)，好咖來找茶-卡好的植物有機肥，雲林縣，雲林縣斗六市雲林國小。
- 二、咖啡渣與茶葉渣的用途(2012 年 02 月 23 日)·農業知識入口網站·取自 https://kmweb.coa.gov.tw/knowledge_view.php?id=4429
- 三、胡書熏，(2017), 酸鹼溶液對豆科植物萌芽與生長地影響，取自 <https://max.book118.com/html/2017/0329/97681423.shtm>
- 四、D. Neina, (2019), The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation, Applied and Environmental Soil Science, 2019, 1-9.
- 五、郭朝禎(2015)，優游於生物體中的鉀離子，科學發展，512, 44-51。
- 六、王定澤、巴洛克、楊茜雯(2017)，粟之高禾—探討小米不為人知的耐鹽機密，台南市，私立德光中學。
- 七、H. S. Grevil and R. Williams (2002), Influence of potassium fertilization on leaf to stem ratio, nodulation, herbage yield, leaf drop, and common leaf spot disease of alfafa, Journal of Plant Nutrition, 25, 781-795.

【評語】 052105

1. 本研究內容主題明確，以咖啡渣及茶渣當為土壤添加物探討對小白菜發芽跟生長得影響，很生活化，是一個很有應用價值的研究報告。
2. 本研究初步實驗只做白菜，可進一步在其他植物上重複實驗，以驗證結果。
3. 本研究具有創意，成果有機會能實際應用在活化廢棄物上。

作品海報

好咖配好茶



摘要

俗話說:「資源再利用，環境永常青」，本研究取樣淺焙及深焙咖啡渣與茶葉渣經過不同時間發酵後當作肥料進行白菜植栽顯示，白菜種籽較適合於酸性咖啡土中發芽，而茶葉渣土pH值較鹼，但因土壤富含營養，更有利白菜成長後期的生長，並以發酵2週土最佳。擇優取淺咖土與茶葉土混合當肥料，最佳可獲得比淺咖土高出5.17倍的成長效果。進一步讓白菜種籽先於淺咖土發芽後再移植至茶葉土，更可達淺咖土15.8倍的產率。此外，富含鉀離子的茶葉土所種的白菜能透過關閉葉片氣孔、促進澱粉代謝，並藉由根部提前累積脯胺酸來應對滲透壓變化，提升根系與葉片對抗鹽逆境與缺水的問題。

壹、研究動機

俄烏戰爭與極端氣候導致糧食及肥料短缺。台灣飲料市場蓬勃發展，沖泡後所丟棄之咖啡渣與茶葉渣，造成巨大環境污染，若能充分再利用於農作再生肥，除節省清運成本，亦可創造額外價值，為農業永續發展找出新路。

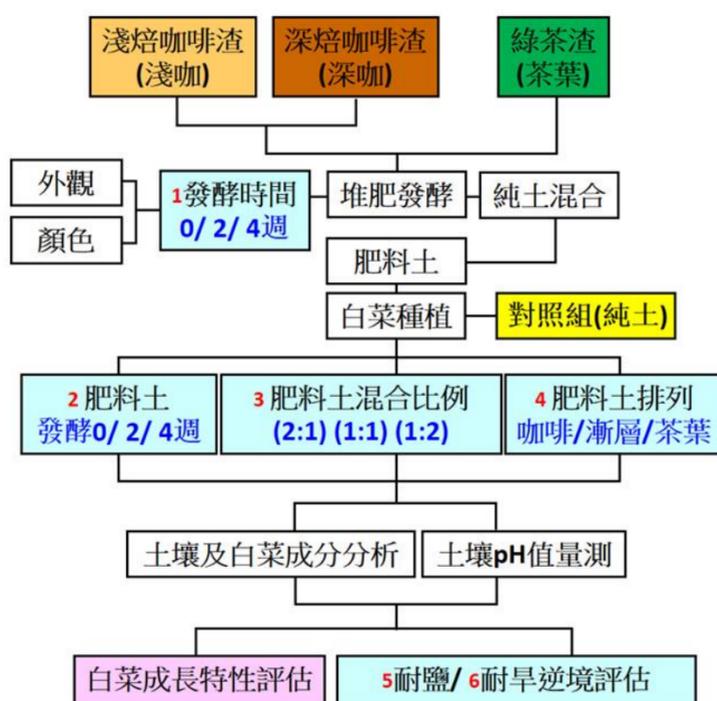
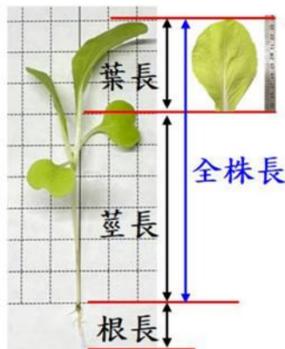
貳、研究目的

- 一、不同肥料及發酵時間對其外觀顏色與肥料土pH值之影響
- 二、不同肥料土對白菜發芽與其生長的影響
- 三、不同肥料土混合比例對白菜生長之影響
- 四、不同肥料土排列對白菜生長特性的影響
- 五、不同肥料土對白菜抗鹽逆境的影響
- 六、不同肥料土對白菜抗旱逆境的影響

參、研究方法

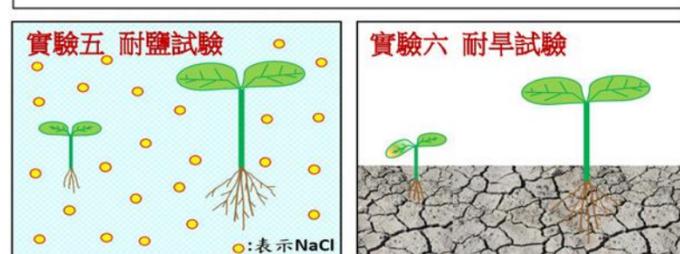
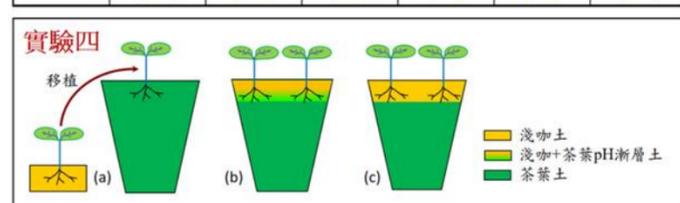
白菜成長評估

葉重+莖重=全株鮮重



實驗設計	實驗組				對照組
	發酵時間	未發酵	發酵2週	發酵4週	---
實驗一	肥料	淺焙/深焙咖啡渣/茶葉渣 (簡稱淺咖/深咖/茶葉)			---
實驗二	肥料土	淺咖土/深咖土/茶葉土			純土

實驗三	實驗組					
	肥料混合比例	20克淺咖+10克茶葉	15克淺咖+15克茶葉	10克淺咖+20克茶葉	20克深咖+10克茶葉	15克深咖+15克茶葉
肥料土簡稱	淺咖茶葉土 (2:1)	淺咖茶葉土 (1:1)	淺咖茶葉土 (1:2)	深咖茶葉土 (2:1)	深咖茶葉土 (1:1)	深咖茶葉土 (1:2)

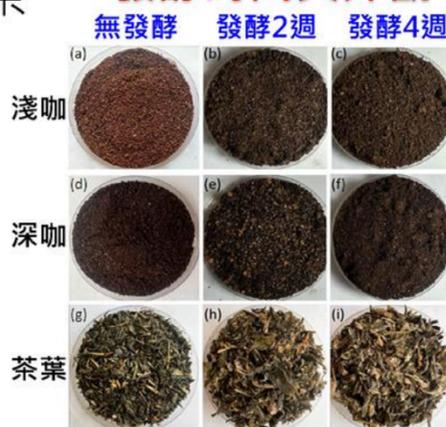


肆、研究結果

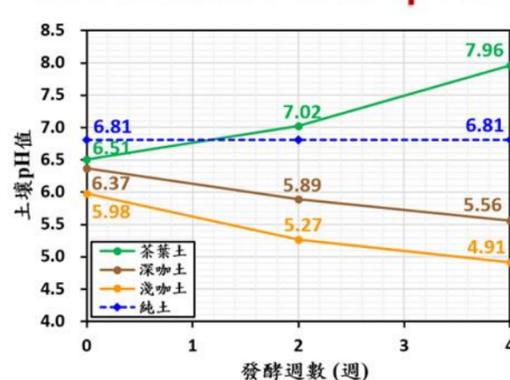
一、不同肥料及發酵時間對其外觀顏色與肥料土之pH值變化

1. 隨發酵時間增加，淺咖、深咖及茶葉的顏色都有變深情形。
2. 淺咖土與深咖土pH值有變小(酸化)趨勢，而茶葉土則變鹼。
3. pH值: 茶葉土 > 深咖土 > 淺咖土。(純土≈ 0週茶葉土)

發酵時間與外觀



肥料土發酵時間與pH值



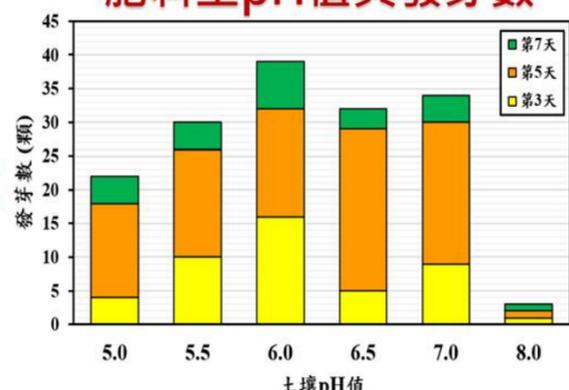
二、不同肥料土對白菜發芽與其生長的影響

(一) 不同發酵時間肥料土對白菜發芽率的影響

1. 播種初期於肥料土pH值5.5~6.0條件下，較適合白菜發芽，而土壤太酸(pH值<5.5)或太鹼(pH值>7)都不利。

肥料土pH值與發芽數

2. 隨種植天數增加，全株鮮重均增加，增幅依序茶葉土系列≥深咖土系列≥淺咖土系列≥純土，並以發酵2週土最佳。

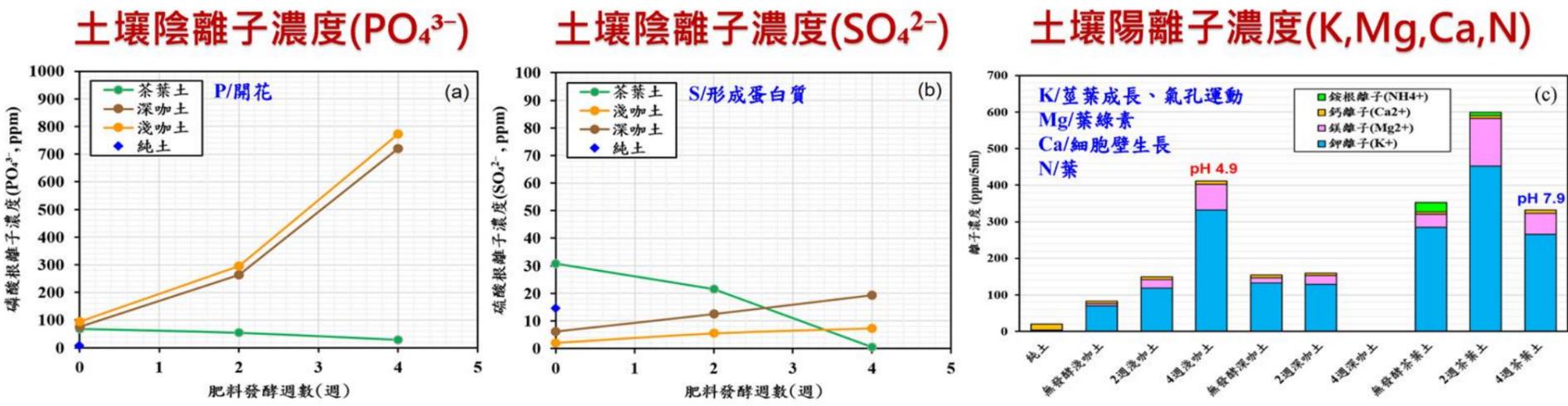


第7~21天成長



(三) 發酵時間對土壤pH值及白菜生長之影響探討

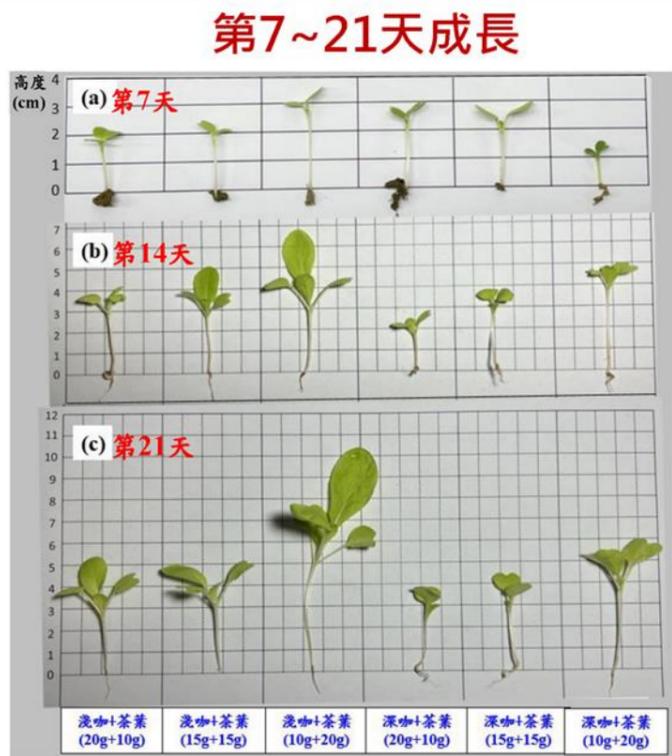
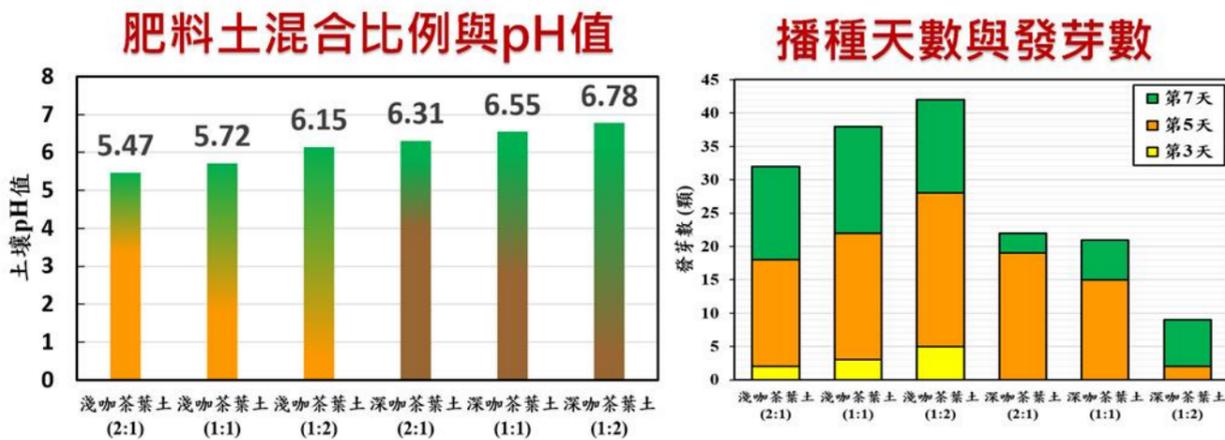
1. 隨發酵時間增加，淺咖土與深咖土系列之**土壤pH值愈酸**，主要是所含**磷酸根與硫酸根離子均有增加趨勢**；而茶葉土系列則反之，愈鹼。
2. 土壤中含**氮、鉀、磷和鎂**等植物營養元素，以**鉀含量最高**，其中**茶葉土系列**成長最佳。
3. 土壤pH值的影響，遠勝於肥料營養，最適白菜成長pH值=5.5~7.0。



三、不同肥料土混合比例對白菜生長之影響

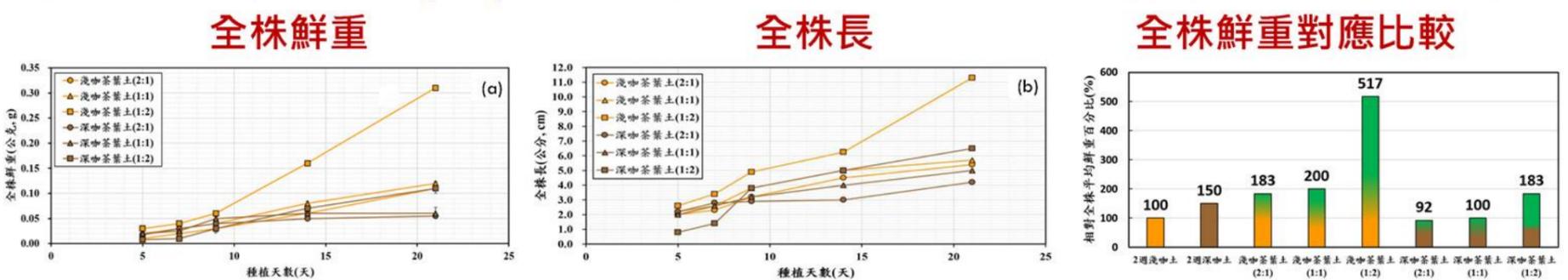
(一) 不同肥料土比例對土壤pH值及白菜發芽特性探討

1. 隨所含茶葉比例增加，淺咖土及深咖土之pH值皆增加，而**淺咖茶葉土**系列之pH值較深咖茶葉土系列**偏酸**。
2. **淺咖茶葉土**系列較深咖茶葉土系列之**發芽率快**。



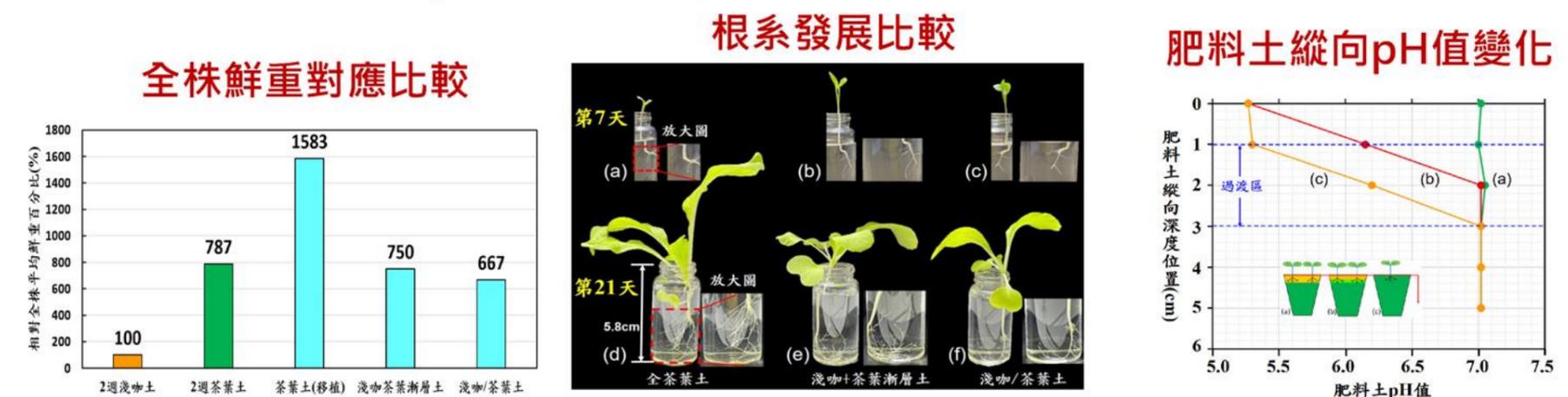
(二) 不同肥料土比例對白菜成長的影響

1. **淺咖茶葉土**系列白菜成長效果較**深咖茶葉土**系列為佳。
2. 淺咖茶葉系列之土壤pH值偏酸性，除適合白菜發芽外，又有營養較佳之茶葉可提供白菜成長，最佳**淺咖茶葉土(1:2)**配比，可獲得比單一淺咖土**高5.17倍**成長，發揮**1+1>2**效果。



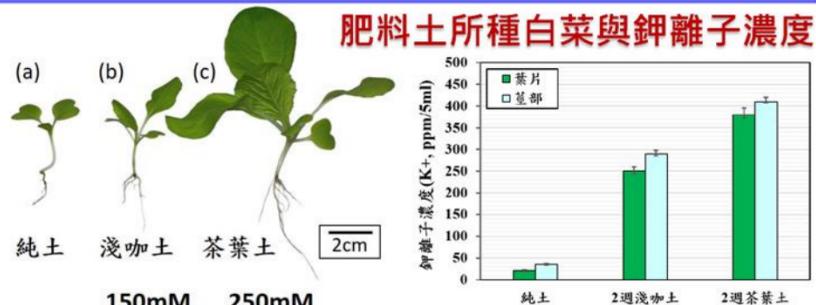
四、不同肥料土排列對白菜生長特性的影響

1. 初期淺咖+茶葉漸層土與淺咖+茶葉土成長較顯著，後期由淺咖土移植至**全茶葉土**之成長則優於前兩組，可達淺咖土**15.8倍產率**，顯示精進肥料土排列，提升產量之可行性。
2. 從根系觀察，初期全茶葉土之根系較短且稀疏，但後期轉為茂密更甚前兩者，研判為**茶葉土營養高有助根系與全株成長**，而表層為淺咖土者經澆水會滲入茶葉土中，而影響茶葉土層(過渡區)之pH值與營養成分，致成長不如全茶葉土。



五、不同肥料土對白菜抗鹽逆境的影響

由上述實驗分析，白菜成長與鉀離子濃度呈高度相關外，也影響根長及側根數。文獻指出，植物側根有助於對抗逆境，故取純土、2週淺咖土及茶葉土白菜研究。

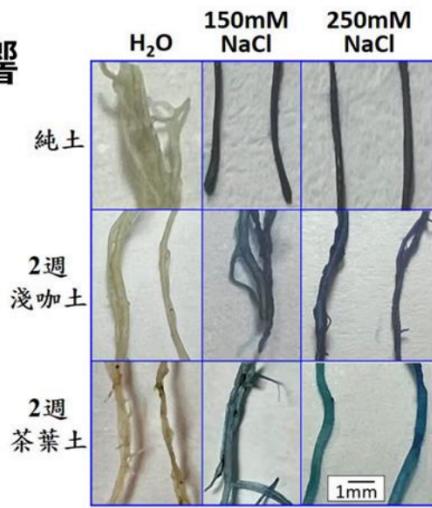


(一) 白菜鉀離子濃度對其抗鹽逆境的影響

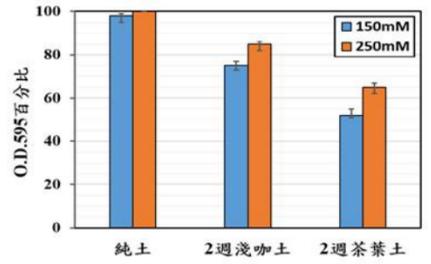
1. 白菜根受鹽逆境之細胞死亡數目，隨其鉀離子含量增加而減少。

(二) 葉片氣孔觀察及澱粉含量變化檢測

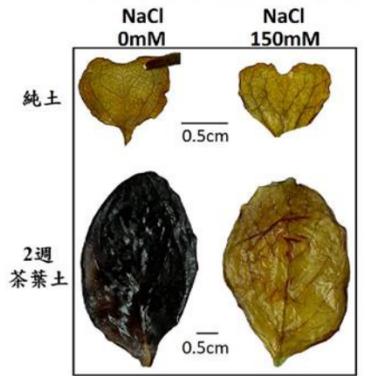
- 高鉀含量的白菜，可透過關閉氣孔，減少鹽入侵與水分流失。
- 茶葉土可提高白菜澱粉含量，在遭遇鹽逆境時促使澱粉分解，產生可溶性醣類，提升耐鹽抗性
- 耐鹽逆境：
2週茶葉土 > 2週淺咖土 > 純土



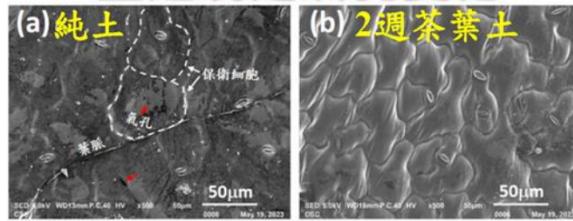
細胞死亡染色與量化



澱粉含量檢測



鹽逆境之氣孔變化



六、不同肥料土對白菜抗旱逆境的影響

(一) 耐旱實驗評估及葉片染色觀察

- 隨天數增加，葉片由下垂轉為枯萎。
- 染色面積擴大變深，表細胞受損嚴重

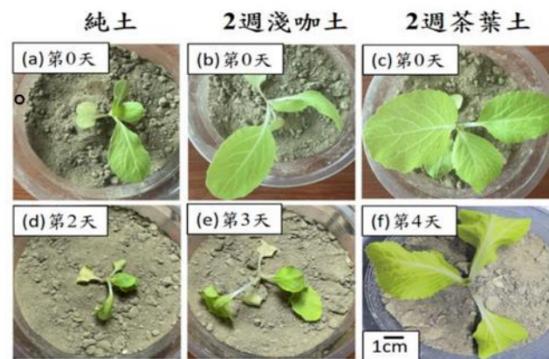
(二) 葉片氣孔觀察

- 在缺水蒸散增加時，低鉀含量葉片將開始脫水枯萎，而高鉀含量白菜，可藉由關閉葉片氣孔，減少水分散失。

(三) 白菜根之脯胺酸(Proline)檢測

- 高鉀含量白菜遭遇缺水逆境後，可提前在白菜根部累積脯胺酸，提高植株的滲透壓與耐旱韌性。

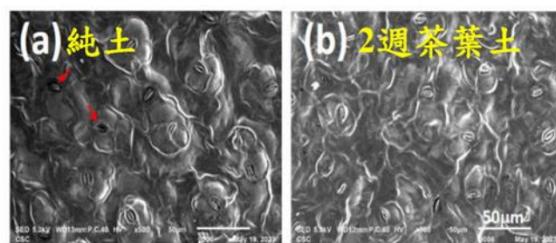
抗旱天數外觀變化



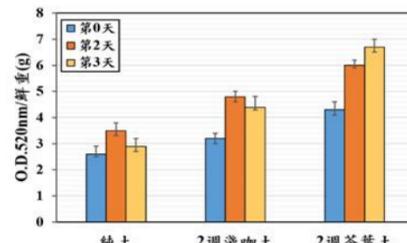
細胞死亡染色



抗旱逆境之氣孔變化

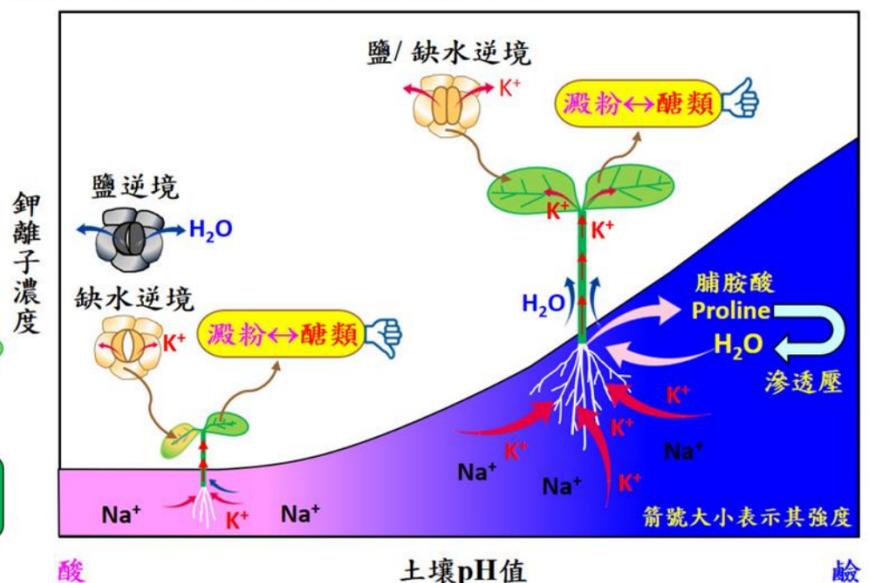


根脯胺酸檢測



伍、結論

- 於單一肥料土建立2週之茶葉土 > 深咖土 > 淺咖土的生長優選順序後，以最佳淺咖茶葉土(1:2)配比，可獲得比淺咖土高出5.17倍成長效果。進一步於淺咖土發芽後再移植至全茶葉土，可達15.8倍產率。
- 富含鉀離子的茶葉土所種植的白菜能透過調節葉片氣孔、促進澱粉代謝，並藉由根部提前累積脯胺酸來應對滲透壓變化，有效提升耐鹽抗旱能力。
- 酸性咖啡土適合白菜種籽發芽，而鹼性茶葉土營養高，如能透過適化土壤pH值與茶葉養分搭配，可有效縮短發芽時間、大幅增加產率，為飲品廢棄物活化與農業永續發展找出新路。



陸、參考資料

- D. Neina, (2019), The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation, Applied and Environmental Soil Science, 2019, 1-9.
- H. S. Grevil and R. Williams (2002), Influence of potassium fertilization on leaf to stem ratio, nodulation, herbage yield, leaf drop, and common leaf spot disease of alfalfa, Journal of Plant Nutrition, 25, 781-795.