



公開
 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：1801020100

農業部苗栗區農業改良場113年度科技計畫研究報告

計畫名稱：**地被植物對增加果園土壤固碳之應用研究 (第1年/全程3年)**

(英文名稱) **The application of groundcover plants to increase the orchard soil carbon storage research**

計畫編號：113前瞻-18.1.2-苗-01

全程計畫期間：自 113年1月1日 至 115年12月31日

本年計畫期間：自 113年1月1日 至 113年12月31日

計畫主持人：任心怡

研究人員：賴瑞聲

執行機關：農業部苗栗區農業改良場



1131062



一、執行成果中文摘要：

柑橘果園土壤碳匯監測結果顯示，西湖鄉香檬果園在112年的土壤碳儲量為29.81公噸/公頃，至113年2月增加至55.34公噸/公頃，但在113年10月稍微增加至56.33.13公噸/公頃，增加了約 1.95%。推測113年初，農友於果園施用稻殼、米糠及腐熟雜木碎屑覆蓋土壤，並進行深翻作業，促進了碳匯量的提升。苑裡柑橘果園於113年2月定植地被植物石莧、蠅翼草、金腰箭舅及心葉水薄荷，初期土壤碳匯量為34.33公噸/公頃，經自然生長管理，四種地被植物對土壤碳匯的提升效果分別為石莧71%、蠅翼草38%、金腰箭舅68%及心葉水薄荷46%，其中石莧碳匯效果最佳。此外，原地草種亦貢獻了23%的碳儲量增加，顯示地被植物在土壤碳匯管理中的潛力。卓蘭鄉柑橘果園於113年2月的土壤碳匯量為77.82公噸/公頃，但至113年10月下降至58.32公噸/公頃，減少約25.06%，推測與果園採用定期割草及使用除草劑的管理方式有關。另調查顯示，石莧地上部生長量最佳，定植9個月後全長約90.04公分，乾重約3.06公克，生物量積累高；蠅翼草側枝根數約5.00個，莖節數約12.40節，顯示根系擴展能力強且地上節點生長穩定；金腰箭舅地下部長度約8.96公分；心葉水薄荷全長11.46公分，乾重僅0.45公克。

二、執行成果英文摘要：

Soil carbon monitoring in citrus orchards showed that in Xihu Township, carbon stock increased from 29.81 tons/ha in 2023 to 55.34 tons/ha in February 2024 and further to 56.33 tons/ha in October 2024, a 1.95% increase. This improvement was likely due to applying rice husks, rice bran, and decomposed wood chips combined with deep tillage.

In Yuanli Township, cover crops (Desmodium, Wedelia, Bidens, and Hydrocotyle) increased carbon stock by 71%, 38%, 68%, and 46%, respectively, with Desmodium performing best. Native grasses added 23%, highlighting the potential of cover crops for soil carbon management.

In Zhuolan Township, carbon stock decreased from 77.82 tons/ha in February 2024 to 58.32 tons/ha in October, a 25.06% reduction, possibly due to mowing and herbicide use. Growth analysis showed Desmodium had the best biomass accumulation (90.04 cm, 3.06 g), followed by Wedelia, Bidens, and Hydrocotyle, which showed the weakest growth.

三、計畫目的：

1. 調查苗栗地區有機、友善及慣行栽培下，土壤特性及碳匯量調查，建立不同栽培方式果園碳匯基礎值，比較耕作管理對碳匯造成的差異。
2. 篩選碳匯效率高之果園地被植物，調查其特性如對作物生長影響、病蟲害、土壤特性變化及光合效率。

四、重要工作項目及實施方法：

一、柑橘草生栽培及碳匯試驗果園建立：

柑橘碳匯試驗果園分別於西湖鄉(臺灣香檬)、苑裡鎮(帝王柑)、卓蘭鎮(茂谷柑)；西湖鄉柑橘果園面積0.6公頃，春夏季約每1.5個月割草，秋冬季約每2個月割草；苑裡鎮蕉埔里柑橘果園約0.4公頃，草生管理方法為樹冠下用拔草並留下適合草種，果園走道以割草方式，割草頻率可維持2-3個月一次；卓蘭柑橘果園面積為0.8公頃，割草及除草劑方式管理。

二、試驗設計：





採用完全隨機設計 (CRD)，於每果園隨機選取 15 株柑橘樹，各定植 4 種地被植物 (石莧、蠅翼草、金腰箭舅、心葉水薄荷) 及原地草種，每種地被植物 3 重複。每株柑橘樹冠下設置約 7 平方公尺地被植物區域。

三、試驗處理

1. 定植時間：1-2 月將石莧、蠅翼草、金腰箭舅、心葉水薄荷地被植物定植於柑橘樹冠下方。
2. 調查時間：地被植物定植9 個月後，調查土壤碳匯量以評估地被植物對土壤碳匯的影響。
3. 土壤採樣與分析
4. 採樣深度：每個採樣點分兩層深度採樣分別為0-10公分及10-30公分。
5. 調查時間：初始調查 (1 -2月)：篩選地被植物前測定土壤總體密度、有機質、有機碳及酸鹼值。定植9個月後調查，再次測定土壤有機質。
6. 採樣方法：於每試驗區內定期採集 0-10 公分與 10-30 公分兩層土壤樣本，測定土壤有機碳含量與碳匯累積量。
7. 調查項目
 - (1) 土壤碳匯效益評估：土壤樣品調查有機碳、總體密度及記錄採樣深度，以公式計算之：碳庫(SOC stock)： $SOCs = \text{總體密度} * \text{有機碳} * \text{深度} * \text{面積}$
 - (2) 定植於柑橘樹冠下四種地被植物石莧、蠅翼草、金腰箭舅及心葉水薄荷柑橘單產量。
 - (3) 地被植物生長量調查地被植物的生物量、植株長度與重量、根系長度，作為碳匯效果輔助指標。
 - (4) 四種地被植物石莧、蠅翼草、金腰箭舅及心葉水薄荷光合作用速率隨PPFD變化的比較。

五、結果與討論：

一、土壤總體密度：

苑裡柑橘果園表土和底土總體密度均最低 (表土為 $1.40 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ ，底土為 $1.62 \pm 0.08 \text{ g/cm}^3$)，土壤偏砂質壤土較鬆軟；西湖柑橘果園表土和底土密度最高 (表土為 $1.57 \pm 0.13 \text{ g/cm}^3$ ，底土為 $1.72 \pm 0.07 \text{ g/cm}^3$)，土壤較緊實。卓蘭柑橘果園土壤密度居中 (表土為 $1.54 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$ ，底土為 $1.64 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$)。

二、果園土壤碳儲量

苑裡果園土壤總體密度較低 (表土 1.40 g/cm^3 ，底土 1.62 g/cm^3)，年初有機碳含量偏低 (表土 1.11%，底土 0.58%)，總 SOC 僅 34.33 Mg/ha ；西湖果園在今年 2 月敷蓋雜木腐熟堆肥，導致底土有機碳含量顯著高於表土 (1.71% vs 0.69%)，總 SOC 達 55.34 Mg/ha ；卓蘭果園因去年底施用高有機質肥料，表土有機碳含量最高 (2.54%)，土壤密度適中 (表土 1.54 g/cm^3 ，底土 1.64 g/cm^3)，表層與深層 SOC 均衡 (39.12 與 38.70 Mg/ha)，總 SOC 高達 77.82 Mg/ha 。

三、西湖鄉112年及113年柑橘果園土壤碳匯變化

西湖鄉香檬果園碳儲量從112年3月的29.81公噸/公頃顯著提升至113年2月的55.34公噸/公頃，增加了約 85.67%，隨後在113年10月進一步增加至59.13公噸/公頃，相較113年2月增加了約 6.84%。上述變化與113年2月地被植物定植 (如石莧、蠅翼草、金腰箭舅及心葉水薄荷) 及土壤管理措施 (113年初施用稻殼、米糠及腐熟雜木碎屑)。

四、113年定植地被植物對果園土壤碳匯影響

苑裡鎮果園顯示出四種地被植物均對土壤碳匯有正向的累積效果，其中石莧從34.33增加到58.72公噸/公頃，碳匯累積量 24.39 公噸/公頃 ，增幅約 71.05%，是碳匯提升效果最顯著的植





物；蠅翼草從34.33增加到47.38公噸/公頃，碳匯累積量 13.05公噸/公頃，增幅約 38.02%。金腰箭舅從34.33增加到57.94公噸/公頃，碳匯累積量 23.61公噸/公頃，增幅約 68.79%，與石莧相近，表現出強大的碳匯提升潛力，心葉水薄荷：從34.33增加到50.14公噸/公頃，碳匯累積量 15.81公噸/公頃，增幅約 46.05%， 原地草種：從34.33增加到42.29公噸/公頃，碳匯累積量 7.96公噸/公頃，增幅約 23.19%。推測苑裡鎮柑橘果園地被植物可增加土壤碳匯是因定植後採自然生長。

西湖鄉柑橘果園土壤碳匯金腰箭舅碳匯量從55.34提升到68.24，增加了 12.9 公噸/公頃，是唯一顯著提升的植物；原地草種：增加了 10.79 公噸/公頃，也表現出穩定的碳匯效果；石莧、蠅翼草與心葉水薄荷：均出現不同程度的碳匯量下降，其中石莧減少了 5.3 公噸/公頃，蠅翼草減少了 3 公噸/公頃，心葉水薄荷則減少了 0.51 公噸/公頃。西湖鄉果園中，碳匯量的下降可能與管理方式（如割草頻率或土壤養分分布）有關，而金腰箭舅和原地草種仍表現出一定的適應能力和累積效果。

卓蘭鎮的果園中，所有地被植物的碳匯量均大幅下降石莧從77.82下降至50.04，減少了 27.78 公噸/公頃， 蠅翼草、心葉水薄荷、原地草種：分別減少了 25.48 公噸/公頃、22.99 公噸/公頃 和 11.69 公噸/公頃，顯示出整體碳匯下降的趨勢；金腰箭舅：減少了 9.58 公噸/公頃，下降幅度相對較小。卓蘭鎮的果園表現出明顯的碳匯下降趨勢，可能與採用的管理方式（如除草劑使用和頻繁割草）對地被植物生長的抑制作用有關，導致碳匯累積效果普遍較差。

六、結論：

本研究探討地被植物對柑橘果園土壤碳匯、光合作用效率及產量的影響，結果顯示地被植物管理能有效提升碳匯潛力。苑裡果園中，石莧與金腰箭舅的碳匯累積量最高，分別增加24.39與23.61公噸/公頃，卓蘭果園因頻繁割草及使用除草劑，碳匯量顯著下降，西湖果園中，金腰箭舅與心葉水薄荷分別增加14.43與10.69公噸/公頃，但石莧和蠅翼草碳匯有所下降，推測與管理不當有關。光補償點分析顯示，石莧與蠅翼草適合高光環境，金腰箭舅適合中光環境，心葉水薄荷則在低光環境表現最佳。產量方面，苑裡果園中石莧單株平均產量最高，達95.9公斤；西湖果園中金腰箭舅產量達18.04公克，表現優異。生長量分析顯示，石莧地上部生長量最高，碳匯提升最顯著。本研究建議根據光照條件選擇地被植物，並改善管理方式，以提升果園碳匯效益，促進農業永續發展。

七、參考文獻：

1. Xiang, Y., Li, Y., et al. (2022). Factors shaping soil organic carbon stocks in grass covered orchards across China: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 807(Pt 2)
2. McClelland, S. C., Paustian, K., & Schipanski, M. E. (2021). Management of cover crops in temperate climates influences soil organic carbon stocks: A meta-analysis. *Ecological Applications*, 31(3), e02278.
3. 陳忠義、黃文俊、王亞男、吳宗賢. 2013. 福山地區山紅柿不同冠層高度光 合作用及二氧化碳固定效益之研究. 臺大實驗林研究報告27(1)：17-23. 1.
4. 陳昶璋、黃盟元、黃文達、王裕文、許明晃、楊棋明. 2007. 五節芒與培地 茅對土壤碳庫影響之研究. 中華民國雜草學會會刊28(2)：131-140. 2.
5. 陳昶璋. 2008. 刈割對蘆葦生物量與土壤有機碳庫之影響. 國立臺灣大學生 物資源暨農學院農藝學系碩士論文.
6. 郭雅紋. 2012. 土壤管理對土壤碳匯能力之影響. 臺中區農業改良場特刊 .(111):41-43.





地被植物對增加果園土壤固碳之應用研究

前言

近年來，極端氣候現象如豪雨、乾旱、高溫等對農業與生態環境的衝擊日益嚴峻。根據 IPCC 報告，人類活動（如燃燒化石燃料）已顯著增加大氣中二氧化碳（CO₂）濃度，進一步加劇溫室效應。本研究旨在透過草生栽培技術及篩選適合果園的地被植物利用光合作用固定大氣中的 CO₂，並促使植物殘體分解為土壤有機碳，從而提升土壤碳匯。碳匯是植物通過光合作用將大氣中的二氧化碳與土壤水分轉化為有機碳並固定於植物體內的過程，不僅能降低大氣中 CO₂ 濃度，還可將太陽能轉化為可利用的生物能量，充分展現自然生態的價值。本研究致力於篩選並導入適合地被植物至柑橘果園中，根據不同環境條件採取因地制宜導入柑橘果園，經果園草生栽培提高土壤碳匯功能，提升農業土壤碳匯能力及生態效益。

摘要

本研究針對臺灣西湖鄉、苑裡鎮及卓蘭鎮三處柑橘果園，導入四種地被植物（石莧、蠅翼草、金腰箭及心葉水薄荷）進行草生栽培試驗，分析其對土壤碳匯增益影響。結果顯示，西湖鄉香檬果園土壤碳儲量從 112 年的 29.81 Mg/ha 增至 113 年 2 月的 55.34 Mg/ha，增加約 85.67%，並在 113 年 10 月稍增至 56.33 Mg/ha，增幅約 1.79%。碳匯增長與 113 年初的稻殼、米糠及腐熟雜木碎屑覆蓋土壤相關。苑裡帝王柑果園中，石莧碳匯增幅達 71.05%，蠅翼草 38.02%，金腰箭 68.79%，心葉水薄荷 46.05%，原地草種 23.19%，其中石莧表現最佳，且其地上部生長量及乾重均為最高，顯示對土壤碳匯的顯著促進作用。相較之下，卓蘭茂谷柑果園因定期割草及除草劑管理方式，所有地被植物碳匯量均下降，其中石莧減少 27.78 Mg/ha，顯示管理措施對碳匯的影響顯著。另不同地被植物在光合作用效率與光補償點的表現差異顯著。石莧和蠅翼草在高光強（ $>1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ）下光合作用效率高，適合光照充足的果園；金腰箭於中光環境表現穩定，適應性廣；心葉水薄荷則具最低光補償點（ $39.64 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ），耐陰性強，適合果樹陰影區域覆蓋。整體研究顯示，合理配置地被植物能有效提升果園土壤碳匯能力及生態效益，並為碳匯管理提供科學依據，推動農業永續發展與溫室氣體減量技術的應用。

材料與方法：

一、柑橘草生栽培及碳匯試驗果園建立：

柑橘碳匯試驗果園分別於西湖鄉(臺灣香檬)、苑裡鎮(帝王柑)、卓蘭鎮(茂谷柑)；西湖鄉柑橘果園面積 0.6 公頃，春夏季約每 1.5 個月割草，秋冬季約每 2 個月割草；苑裡鎮蕉埔里





柑橘果園約 0.4 公頃，草生管理方法為樹冠下用拔草並留下適合草種，果園走道以割草方式，割草頻率可維持 2-3 個月一次；卓蘭柑橘果園面積為 0.8 公頃，割草及除草劑方式管理。

二、試驗設計：

採用完全隨機設計 (CRD)，於每果園隨機選取 15 株柑橘樹，各定植 4 種地被植物 (石莧、蠅翼草、金腰箭舅、心葉水薄荷) 及原地草種，每種地被植物 3 重複。每株柑橘樹冠下設置約 7 平方公尺地被植物區域。

三、試驗處理

定植時間：1-2 月將石莧、蠅翼草、金腰箭舅、心葉水薄荷地被植物定植於柑橘樹冠下方。

調查時間：地被植物定植 9 個月後，調查土壤碳匯量以評估地被植物對土壤碳匯的影響。

四、土壤採樣與分析

採樣深度：每個採樣點分兩層深度採樣分別為 0-10 公分及 10-30 公分。

調查時間：初始調查 (1-2 月)：篩選地被植物前測定土壤總體密度、有機質、有機碳及酸鹼值。定植 9 個月後調查，再次測定土壤有機質。

採樣方法：於每試驗區內定期採集 0-10 公分與 10-30 公分兩層土壤樣本，測定土壤有機碳含量與碳匯累積量。

五、調查項目

1. 土壤碳匯效益評估：土壤樣品調查有機碳、總體密度及記錄採樣深度，以公式計算之：碳庫(SOC stock)： $SOCs = \text{總體密度} * \text{有機碳} * \text{深度} * \text{面積}$
2. 定植於柑橘樹冠下四種地被植物石莧、蠅翼草、金腰箭舅及心葉水薄荷柑橘單產量。
3. 地被植物生長量調查地被植物的生物量、植株長度與重量、根系長度，作為碳匯效果輔助指標。
4. 四種地被植物石莧、蠅翼草、金腰箭舅及心葉水薄荷光合作用速率隨 PPFD 變化的比較及光補償點調查。





結果與討論

一、土壤總體密度：

苑裡柑橘果園表土和底土總體密度均最低 (表土為 1.40 g/cm^3 ，底土為 1.62 g/cm^3)，土壤偏砂質壤土較鬆軟；西湖柑橘果園表土和底土密度最高 (表土為 1.57 g/cm^3 ，底土為 1.72 g/cm^3)，土壤較緊實。卓蘭柑橘果園土壤密度居中 (表土為 1.54 g/cm^3 ，底土為 1.64 g/cm^3)。

表一、113 年 1 月份 果園土壤總體密度調查

	苑裡	西湖	卓蘭
表土 0-10 公分	1.40 ± 0.05	1.57 ± 0.13	1.54 ± 0.05
底土 10-30 公分	1.62 ± 0.08	1.72 ± 0.07	1.64 ± 0.01

二、果園土壤碳儲量

苑裡果園土壤總體密度較低 (表土 1.40 g/cm^3 ，底土 1.62 g/cm^3)，年初有機碳含量偏低 (表土 1.11% ，底土 0.58%)，總 SOC 僅 34.33 Mg/ha ；西湖果園在今年 2 月敷蓋雜木腐熟堆肥，土壤有機質已飽和，另又割以定植地被植物 (1.71% vs 0.69%)，總 SOC 為 55.34 Mg/ha ；卓蘭果園因去年底施用高有機質肥料，表土有機碳含量最高 (2.54%)，土壤密度適中 (表土 1.54 g/cm^3 ，底土 1.64 g/cm^3)，總 SOC 高達 77.82 Mg/ha 。

表二、三區柑橘果園不同土壤深度碳匯量調查結果

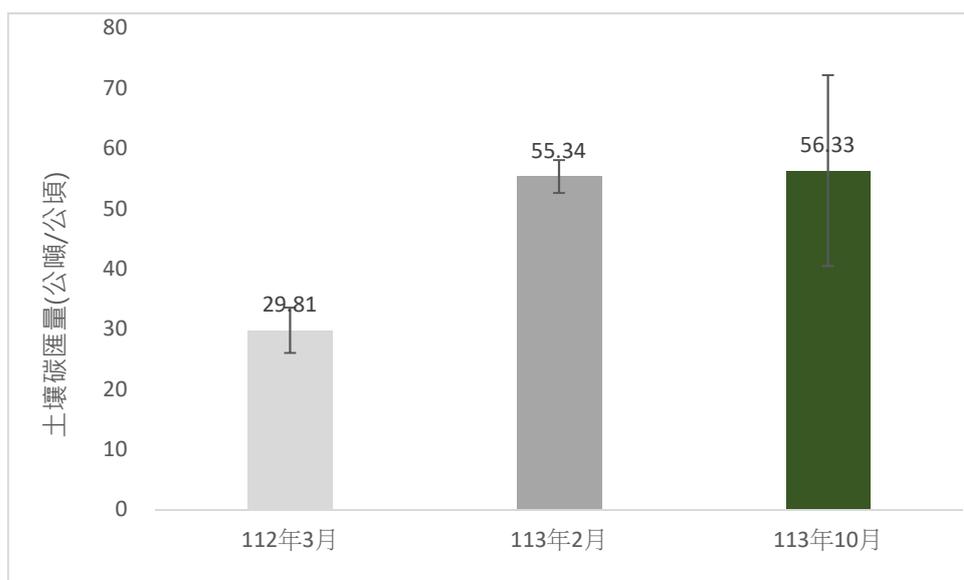
	土壤深度 (公分)	土壤總體密 (g/cm^3)	有機碳(%) (1-含石率%)	SOC (Mg/ha)	總 SOC (Mg/ha)
苑裡鎮 (帝王柑)	0-10	1.4	1.11	1	15.54
	10-30	1.62	0.58	1	18.79
西湖鄉 (香檬)	0-10	1.57	1.34	0.98	20.62
	10-30	1.72	1.03	0.98	34.72
卓蘭鎮 (茂谷)	0-10	1.54	2.54	0.96	37.55
	10-30	1.64	1.18	0.96	37.16



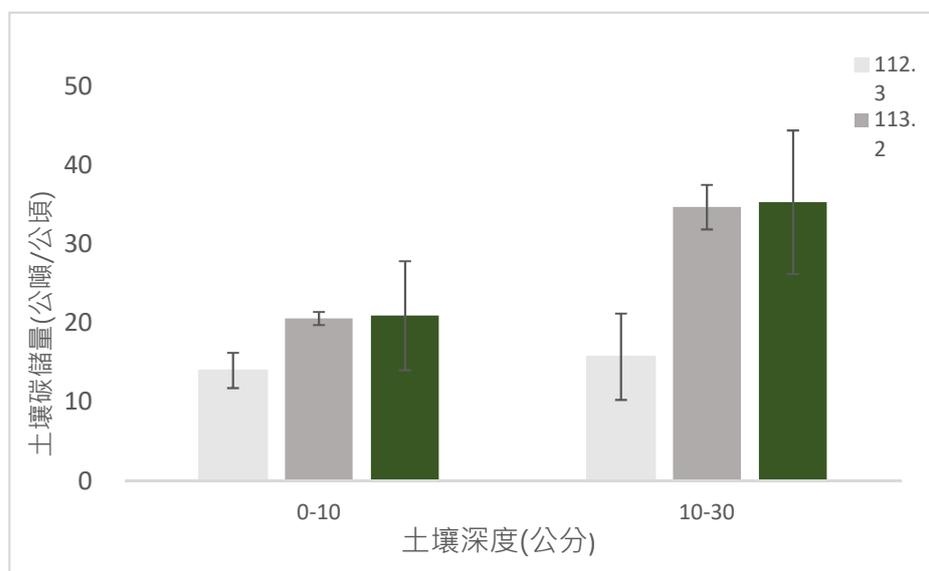


三、西湖鄉 112 年及 113 年柑橘果園土壤碳匯變化

西湖鄉香檬果園碳儲量從 112 年 3 月的 29.81 公噸/公頃顯著提升至 113 年 2 月的 55.34 公噸/公頃，增加了約 85.67%，隨後在 113 年 10 月進一步增加至 56.33 公噸/公頃，相較 113 年 2 月增加了約 1.79%。上述變化與 113 年 2 月地被植物定植（如石莧、蠅翼草、金腰箭舅及心葉水薄荷）及土壤管理措施（113 年初施用稻殼、米糠及腐熟雜木碎屑）。



圖一、113 年至 112 年西湖鄉香檬果園土壤碳匯量變化



圖二、113 年至 112 年苑裡鎮帝王柑果園土壤碳匯量變化





四、113 年定植地被植物對果園土壤碳匯影響

苑裡鎮果園顯示出四種地被植物均對土壤碳匯有正向的累積效果，其中石莧從 34.33 增加到 58.72 公噸/公頃，碳匯累積量 24.39 公噸/公頃，增幅約 71.05%，是碳匯提升效果最顯著的植物；蠅翼草從 34.33 增加到 47.38 公噸/公頃，碳匯累積量 13.05 公噸/公頃，增幅約 38.02%。金腰箭舅從 34.33 增加到 57.94 公噸/公頃，碳匯累積量 23.61 公噸/公頃，增幅約 68.79%，與石莧相近，表現出強大的碳匯提升潛力，心葉水薄荷：從 34.33 增加到 50.14 公噸/公頃，碳匯累積量 15.81 公噸/公頃，增幅約 46.05%，原地草種：從 34.33 增加到 42.29 公噸/公頃，碳匯累積量 7.96 公噸/公頃，增幅約 23.19%。推測苑裡鎮柑橘果園地被植物可增加土壤碳匯是因定植後採自然生長。

西湖鄉定植的 4 種地被植物中，整體土壤碳匯表現呈現明顯差異，其中金腰箭舅碳匯量增加最多，達 14.43 公噸/公頃，增幅約 26.08%，心葉水薄荷亦有良好表現，增加 10.69 公噸/公頃，增幅約 19.32%；相比之下，石莧和原地草種碳匯量分別減少 3.37 公噸/公頃（6.09%）和 3.11 公噸/公頃（5.62%），蠅翼草下降最顯著，減少 13.67 公噸/公頃（24.70%）。整體而言，金腰箭舅和心葉水薄荷展現較高的碳匯提升潛力。西湖鄉 4 種地被植物的土壤碳匯表現差異可能與不定期割草管理有關，部分地被植物被割除影響了碳匯的累積。

卓蘭鎮的果園中，所有地被植物的碳匯量均大幅下降石莧從 77.82 下降至 50.04，減少了 27.78 公噸/公頃，蠅翼草、心葉水薄荷、原地草種：分別減少了 25.48 公噸/公頃、22.99 公噸/公頃 和 11.69 公噸/公頃，顯示出整體碳匯下降的趨勢；金腰箭舅：減少了 9.58 公噸/公頃，下降幅度相對較小。卓蘭鎮的果園表現出明顯的碳匯下降趨勢，可能與採用的管理方式（如除草劑使用和頻繁割草）對地被植物生長的抑制作用有關，導致碳匯累積效果普遍較差。





表三、調查柑橘果園土壤 0-30 公分土壤碳匯變化

	草種	113 年 2 月 (公噸/公頃)	113 年 10 月 (公噸/公頃)	碳匯變化量 (公噸/公頃)
苑裡	石莧		58.72	24.39
	蠅翼草		47.38	13.05
	金腰箭舅	34.33	57.94	23.61
	心葉水薄荷		50.14	15.81
	原地草種		42.29	7.96
西湖	石莧		51.97	-3.37
	蠅翼草		41.67	-13.67
	金腰箭舅	55.34	69.77	14.43
	心葉水薄荷		66.03	10.69
	原地草種		52.23	-3.11
卓蘭	石莧		50.04	-27.78
	蠅翼草		52.34	-25.48
	金腰箭舅	77.82	68.24	-9.58
	心葉水薄荷		54.83	-22.99
	原地草種		66.13	-11.69

五、以苑裡鎮柑橘果園地被植物生長特性與土壤碳匯提升分析

石莧碳匯從 34.33 公噸/公頃增加至 58.72 公噸/公頃，碳匯增加 24.39 公噸/公頃，增幅最大，顯示其在提升土壤碳匯，石莧的地上部生長量最大約 90.04 公分，乾重也最高約 3.06 克，生物量累積直接促進了碳匯的顯著提升。蠅翼草碳匯從 47.38 公噸/公頃 增加 13.05 公噸/公頃，增幅次低，全長較短約 37.26 公分，乾重較低約 1.00 公克，顯示其對碳匯的提升較有限；金腰箭舅碳匯變化量從 34.33 公噸/公頃增加至 57.94 公噸/公頃，碳匯增加 23.61 公噸/公頃，接近石莧也表現出很強的碳匯提升，生長特性：地下部根長約





8.96；心葉水薄荷碳匯從 34.33 公噸/公頃 增加至 50.14 公噸/公頃，碳匯增加 15.81 公噸/公頃，增幅居中，整體生長量最弱全長約 11.46 公分，乾重約 0.45 公克；原地草種碳匯從 34.33 公噸/公頃 增加至 42.29 公噸/公頃，碳匯增加 7.96 公噸/公頃，貢獻最低。整體表現而言石莧和金腰箭舅在生長量與碳匯提升方面表現最佳，分別增加 24.39 公噸/公頃和 23.61 公噸/公頃，適合作為優先推廣的地被植物。再者為心葉水薄荷碳匯增加 15.81 公噸/公頃，雖生長量較低，但仍具穩定的碳匯潛力。蠅翼草和原地草種的碳匯效果相對較低。

表四、草種定植於柑橘果園後經 9 個月生長量調查(未割草)

	全長(cm)	地上部(cm)	地下部(cm)	乾重(g)	乾根重(g)
石莧	90.04 ± 20.89 a	92.52 ± 20.11 a	-2.48 ± 2.40 a	3.06 ± 2.01 a	-0.06 ± 0.05a
蠅翼草	37.26 ± 16.02 b	31.46 ± 16.16 b	5.80 ± 2.70 a	1.00 ± 0.42 ab	0.05 ± 0.02a
金腰箭舅	18.06 ± 10.69 b	-22.02 ± 28.02 b	8.96 ± 7.47 a	-0.22 ± 0.33 b	0.05 ± 0.13a
心葉水薄荷	11.46 ± 10.72 b	12.78 ± 10.01 b	-1.32 ± 1.35 a	0.45 ± 0.32 ab	-0.01 ± 0.01a

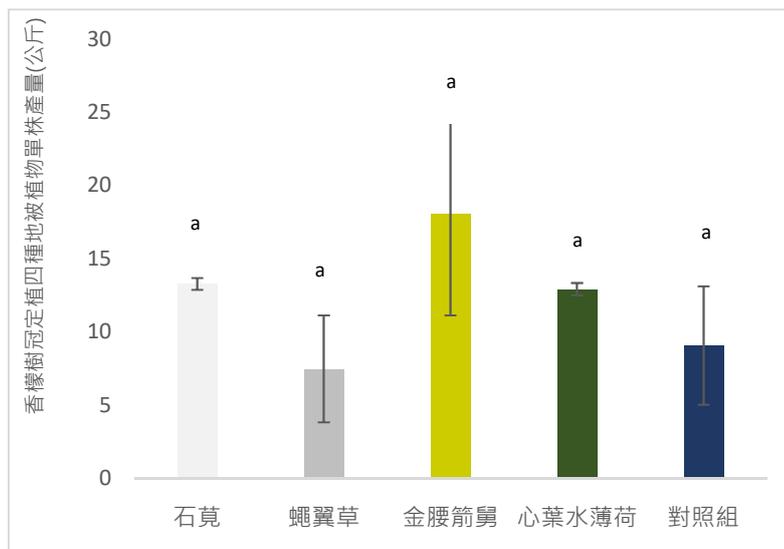
	分株	莖節	葉片數	側枝根
石莧	0.80 ± 0.86 a	4.40 ± 3.42 ab	3.40 ± 6.10 ab	2.56 ± 0.98 a
蠅翼草	0.20 ± 0.20 a	12.40 ± 3.52 a	4.40 ± 4.19 a	5.00 ± 6.65 a
金腰箭舅	-2.00 ± 1.00 b	4.60 ± 1.98 ab	3.40 ± 3.69 ab	1.31 ± 3.30 a
心葉水薄荷	0.40 ± 0.40 a	0.00 ± 3.57 b	-8.60 ± 2.29 b	1.43 ± 0.64 a



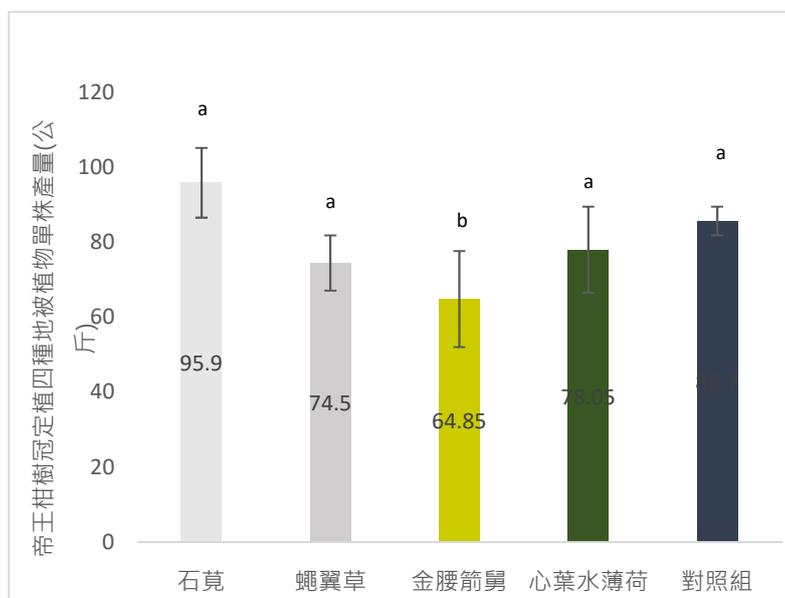


六、柑橘樹冠下定植篩選地被植物與產量關係

定植石莧、蠅翼草、金腰箭舅、心葉水薄荷與原地草種做產量比較，香檬產量以金腰箭舅單株產量最高為 18.04 g，其次為石莧和心葉水薄荷單株產量分別為 13.27 g 和 12.92 g，蠅翼草和原地草種單株產量分別為 7.47 g 和 9.07 g，統計分析五種地被植物處理在香檬產量上皆無顯著差異。定植於帝王柑果園地被植物，石莧單株平均產量 95.9 公斤，並達顯著差異，其次為原地草種 85.7 公斤、心葉水薄荷單株平均產量 78.05 公斤及蠅翼草單株平均產 74.5 公斤。



圖三、西湖鄉香檬果園樹冠下方定植四種地被植物單株產量



圖四、苑裡鎮帝王柑果園樹冠下方定植四種地被植物單株產量





七、地被植物光補償點與光合作用效率關係探討

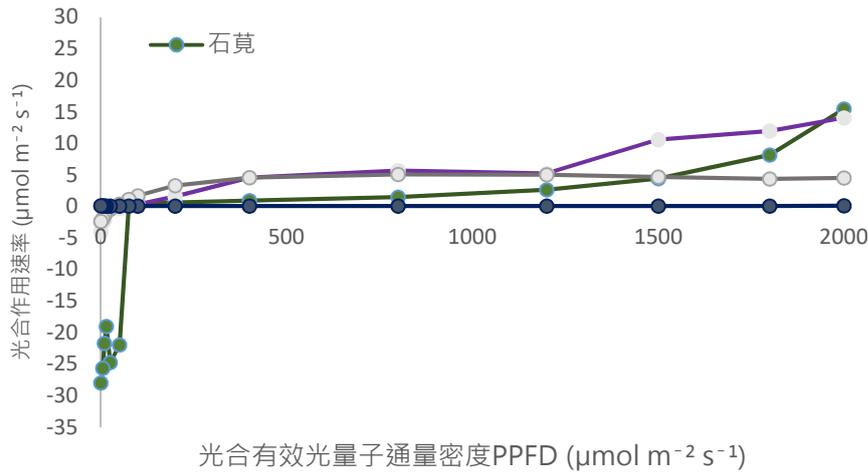
光補償點是指植物光合作用速率與呼吸作用速率相等時的光強 (光量子通量密度, PPFD)。在光補償點時, 植物吸收的二氧化碳量剛好等於其釋放的二氧化碳量, 因此淨碳吸收為零, 光合作用與呼吸作用平衡, 當光強低於光補償點時, 植物的呼吸作用速率高於光合作用速率, 植物處於消耗能量的狀態。當光強高於光補償點時, 光合作用速率高於呼吸作用速率, 植物淨吸收二氧化碳並開始積累碳。

石莧光合作用效率在高光強 ($>1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 下顯著提升, 適應光照充足的環境。光補償點 $96.83 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 需要較高光照才能達到光合作用平衡。石莧光合作用效率高, 適合陽光充足的果園區域, 推測碳匯提升潛力高; 蠅翼草光合作用效率持續隨光照增加而提升, 在高光強 ($>1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 下表現尤為突出。光補償點 $70.65 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 需要中高光照達到平衡。金腰箭舅在光強增加過程中效率增幅平緩, 適合中光強環境, 光補償點 $47.04 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 較低, 適應中低光照。金腰箭舅在中光照條件下表現穩定, 適應性廣, 適合果樹間光線分布不均的區域。心葉水薄荷光合作用效率平穩但相對較低, 適合陰影或低光強環境, 光補償點 $39.64 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 光補償點最低, 可在弱光環境下生存。在陰影區表現最佳, 適用於果樹根部或低光區域的覆蓋。石莧和蠅翼草在高光強下光合作用效率突出, 適合種植於果園光照充足的區域, 有助於提升碳匯能力和果園生態效益。中光環境應用金腰箭舅適應中光強環境效率穩定, 適合於果樹間光線分布不均的條件。低光環境已心葉水薄荷在低光環境下的耐受性最佳, 是果園陰影區域的理想選擇, 以根據光照條件合理配置地被植物, 以達到最佳的生態效益與生產效益。

表五、四種地被植物光補償點

地被植物	光補償點 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
石莧	96.83
蠅翼草	70.65
金腰箭舅	47.04
心葉水薄荷	39.64





圖六、不同地被植物在光合有效光量子通量密度 (PPFD) 下的光合作用速率變化

結論

本研究探討地被植物對柑橘果園土壤碳匯、光合作用效率及產量的影響，結果顯示地被植物管理能有效提升碳匯潛力。苑裡果園中，石莧與金腰箭的碳匯累積量最高，分別增加 24.39 與 23.61 公噸/公頃，卓蘭果園因頻繁割草及使用除草劑，碳匯量顯著下降，西湖果園中，金腰箭與心葉水薄荷分別增加 14.43 與 10.69 公噸/公頃，但石莧和蠅翼草碳匯有所下降，推測與管理不當有關。光補償點分析顯示，石莧與蠅翼草適合高光環境，金腰箭適合中光環境，心葉水薄荷則在低光環境表現最佳。產量方面，苑裡果園中石莧單株平均產量最高，達 95.9 公斤；西湖果園中金腰箭產量達 18.04 公克，表現優異。生長量分析顯示，石莧地上部生長量最高，碳匯提升最顯著。本研究建議根據光照條件選擇地被植物，並改善管理方式，以提升果園碳匯效益，促進農業永續發展。

