

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 工程學(二)科

團隊合作獎

052402

「生」機蓬勃

學校名稱：國立岡山高級農業工業職業學校

作者： 職二 郭子齊 職二 李俊傑 職二 李柔嫻	指導老師： 黃琴雲
---	------------------

關鍵詞：生物炭、光合菌、土壤改良

摘 要

有機物在無氧或低氧下，會熱裂解成生質炭，具高表面積，能吸附有機質形成生物炭，促進光合菌生長，改善土壤品質。為了解光合菌對生物炭促進腐熟化的效應，本研究運用光合菌在印度棗、鼠眼木、南洋櫻和桑葚等 4 種生物炭中做成添加劑，探索添加光合菌與生物炭對土壤的影響。實驗發現，農業有機廢棄物做成生物炭，就能改善土壤環境、促進作物成長，結論摘錄如下：

- 一、光合菌與水以 1:20 比例稀釋，種子發芽率與存活率高達 100%。
- 二、校園盆栽土壤添加生物炭和光合菌種植青江菜，發現大部分添加者較未添加者生長更佳。
- 三、以生物炭提供青江菜營養源，有機質比無生物炭至少提高 2% 以上，南洋櫻最高可提升 4%，額外添加光合菌可再提升 0.5%，整體累計提升 4.5%。

壹、 研究動機

學校每年從校園(如圖 1)樹木修剪中產出大量有機廢棄物，帶來髒亂(如圖 2)並影響校園景觀。而我國農業有機廢棄物年近 3,000 萬公噸^[1]，廢棄物處理費又逐年翻漲，如何有效解決，成為一大難題。而在一年級選修環保與化學^[2]課程中得知，可藉著堆肥法將農業有機廢棄物，藉著生化分解轉變成安定腐植酸，做為植物生長養分。生質炭是農業廢棄物在不透氣甚至無氧的狀態下加熱，轉化為高碳物質^[3]，光合菌在農業上應用於生物炭的添加，添加光合菌對於土壤改良具有正面的效用^[4]，校園觀賞樹木廢棄物製備而成的生質炭，添加光合菌做為土壤改良的生物炭，不僅能解決土壤酸化的問題，也能提供光合菌一個有效的生存利用方式，不但可解決龐大校園觀賞樹木枯枝問題，且具有生態保育及高經濟效益達到雙贏成效。



圖 1 校園生態池旁南洋櫻樹木



圖 2 廢棄樹枝

貳、 研究目的

- 一、探討光合菌對種子發芽率影響。
- 二、利用校園廢棄樹枝，提倡廢物再利用，以落實環保議題。
- 三、探討校園不同廢棄樹枝對土壤改良能力。
- 四、探討校園不同廢棄樹枝樣品成分對植物成長高度及葉片影響。

參、研究設備及器材

研究利用光合菌與印度棗、鼠眼木、南洋櫻和桑甚等 4 種不同生質炭作為土壤添加劑，來當土壤改良質材來提升土壤肥力，並以青江菜種植來驗證其效能。

一、 研究器材

高溫爐	烘箱	快速粉碎器	元素分析儀	pH 計	導電度計
-----	----	-------	-------	------	------

二、藥品

印度棗	鼠眼木	南洋櫻	桑葚	光合菌
酵母抽提物 0.5g、琥珀 5g、氯化銨 1g、氯化鈉 0.05g、磷酸氫二鉀 0.1g、七水硫酸鎂 0.02g				

肆、研究過程或方法

本研究應用印度棗、鼠眼木、南洋櫻和桑葚，這些廢棄木材製成生物炭與光合菌做為添加劑，透過種菜過程中了解各項植物品質指標 pH 值、電導度、種子發芽等。實驗得知生物炭及光合菌對種植青江菜及土壤之功效，以了解應用生物炭及光合菌改善土壤品質之效能。

一、研究原理

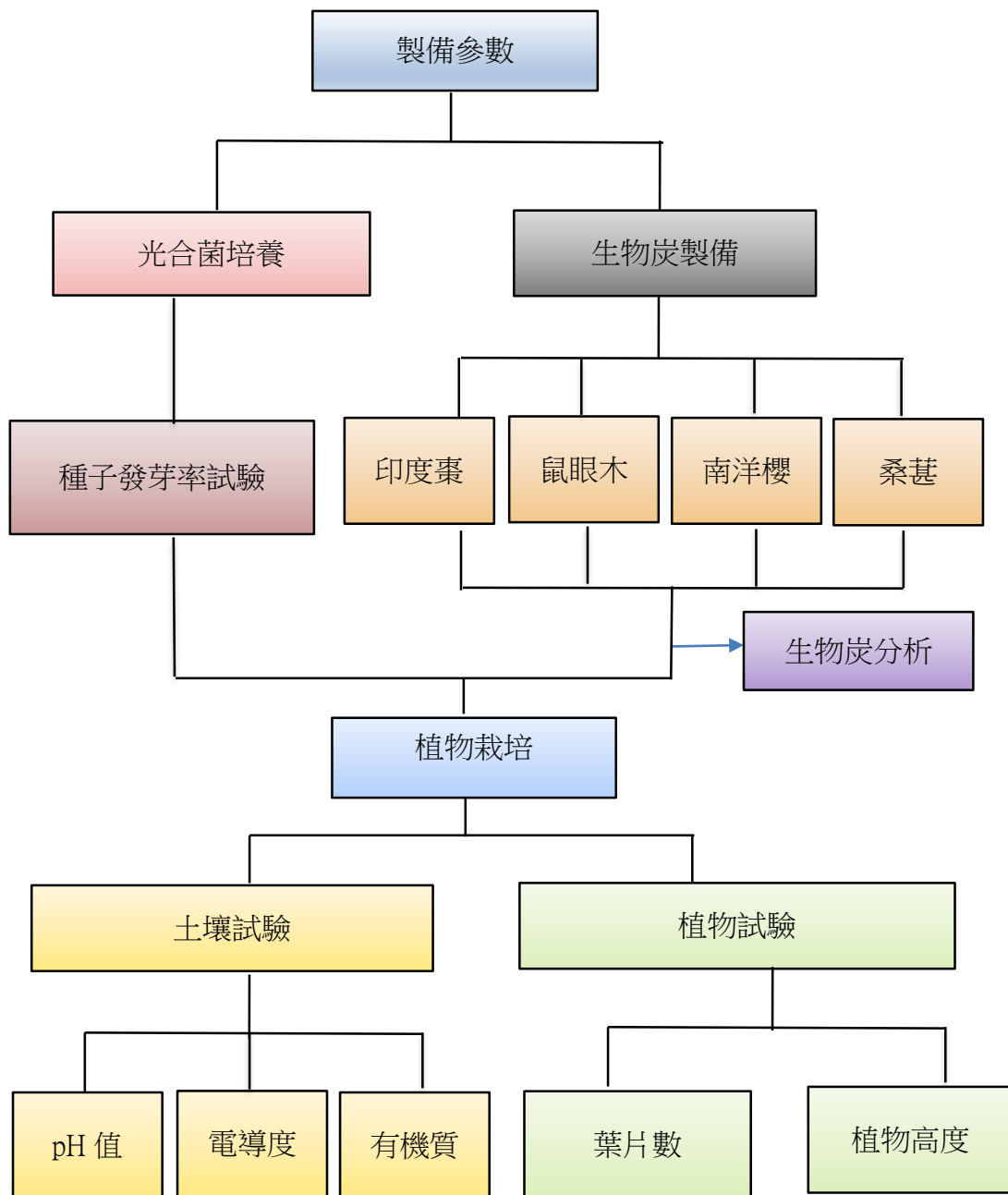
(一)光合菌 (Photosynthetic bacteria; PSB)：自營性微生物之一，可以利用光線為能源，並以二氧化碳或有機物做為碳源，提供自身營養及繁殖，其廣泛分佈於湖泊、海洋、污泥等環境。在大自然中光合菌是具有多種生理功能的微生物，其菌體富含蛋白質，包含必須胺基酸、維生素、天然色素等。也因光合菌本身營養價值高，可作為飼料添加物、餌料、肥料等各方面應用。光合菌還可以降解農藥殘留、有機廢水和多環芳香烴類 (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)等環境危害物質，使光合菌未來具有廣闊的應用前景^[5]。

(二)生物炭(biochar):根據國際生物炭倡議組織(International Biochar Initiative, IBI)採用的定義中，農業資材生物炭為一種纖細且具有多孔性結構的顆粒，外觀與一般燃燒所產生之焦炭(charcoal) 類似，並且由生質物如木材、樹葉等有機物質，在反應溫度小於 700°C 並於密閉空間中，限制氧氣的狀況下加熱分解所產生的固態物質。可做為燃料或與土壤摻配，成為土壤改良材料，具有復育土壤、促進作物生長及固碳之效果^[6]。

(三)分析儀器:

- 1.pH 值測定為檢測水體中之酸鹼濃度，亦稱氫離子濃度指數（Hydrogen ion concentration 簡稱 pH 值）。pH 愈趨向於 0，表示溶液酸性愈強； pH 愈趨向於 14，表示溶液鹼性愈強。利用二電極浸於待測溶液形成一電池，其中一電極為測量電極，對於溶液中氫離子濃度改變有極敏感電位變化；另一個電極為參考電極藉測定二電極電位差⁽⁷⁾。
- 2.電導度（electrical conductivity,EC）為一種度量固體肥料調配成營養液後分解形成離子態之程度。一般而言，解離程度越高或溶液中離子量越強者，其電導度越大，換言之， EC 之大小來代表溶液中總離子量之多寡。電導度計係一種設計來測量 EC 大小之儀器，其設計原理係將電流通過 1 cm^2 截面及長 1 cm 之液柱時產生之電阻(Ω)的倒數，單位為 mho/cm 或 S/cm (siemens per centimeter)⁽⁸⁾。
- 3.元素分析儀(Elemental Analyzer) 利用高溫燃燒的方式檢測 N、C、H、S、O 的含量，樣品在燃燒管 1150°C 燃燒後，He 氣將燃燒後的氣態產物經由還原管， NO_x 被還原成 N_2 ，其他產物 CO_2 、 H_2O 、 SO_2 進入各吸附管，分別被不同的吸附管吸附， N_2 直接由 He 氣帶入 TCD 檢測器檢測含量，吸附管依序加溫脫附 CO_2 、 H_2O 、 SO_2 再分別進入 TCD 檢測器檢測個別成分含量。信號經處理後定量運算，即可自動分別列計各成分之重量百分比⁽⁹⁾。

二、實驗架構



三、實驗步驟

(一) 光合菌培養

1.配製光合菌準備酵母抽提物 0.5g、琥珀 5g、氯化銨 1g、氯化鈉 0.05g、磷酸氫二鉀 0.1g、七水硫酸鎂 0.02g 配製完放在照射的到太陽的地方培養七天，顏色由淺紅變深紅。(圖 3)

2.進行實驗種子發芽率時有三種方式:

- 第一種方式：不加任何蓋或包裝。
- 第二種方式：只有培養皿蓋。
- 第三種方式：不加培養皿蓋，利用不透光黑色塑膠袋作包裝。

3.發芽率試驗:光合菌與水做稀釋比例為 0:10(對照組)、1:10、1:20、1:30、1:40、1:50、1:60、1:70 和 10:0(光合菌組)，共 9 組(圖 4)



圖3 光合菌培養過程



圖4 發芽率試驗

(二) 生物炭製備

1.收集學校的廢棄木材鼠眼木、桑葚、印度棗、南洋櫻(圖 5、圖 6)。



圖5 學校樹木修枝



圖6 廢棄木材破碎

2.水洗：

材料運送過程中難免會有汙染，本研究係以廢棄木材為主，因取得地點不同，故材料煅燒之前要先初步水洗，以清水沖洗後，再以蒸餾水多次潤洗，以降低對結果產生影響之可能性。(圖 7)

3.乾燥：

經水洗流程後，材料的含水量升高，除了會影響煅燒時間，焦油也會激烈噴濺，造成人員危險。故先進行乾燥，以去除大量水分，防止危險因子發生，進而保護研究人員安全。(圖 8)



圖7 水洗



圖8 乾燥

4.廢棄木材之鍛燒：

- (1)將材料適量裝入熱裂解鋼製容器內，此動作為使鋼製容器內成缺氧狀態，再把容器放入程式高溫爐中進行反應。
- (2)啟動程式高溫爐，以室溫下約 $5.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升溫速率持續加熱至 500°C 後維持 120 分鐘。(圖 9)
- (3)結束後，待容器溫度降至室溫後取出內容物，即為生物炭，在將生物炭浸泡去離子水中，以清除留在活性炭表面之焦油，而後，將生物炭放入 $105\pm 2^{\circ}\text{C}$ 之烘箱，烘乾後保存備用。(圖 10、圖 11)



圖9 廢棄木材之鍛燒



圖10 生物炭清洗



圖11 生物炭烘乾

5.生物炭特性分析:

- (1)將烘乾之生物炭經磨碎機均勻磨碎，即可得到生物炭成品。(圖 12)
- (2)基本特性分析:各秤取3克不同生物炭，加入 15 mL 蒸餾水，攪拌、靜置 60 分鐘，使用 pH 計(圖 13)及電導度計(圖 14)測定，記錄數據。
- (3)測定樣品碳、氮、氫、硫，精秤樣品重量，壓成錠片，利用元素分析儀檢測碳、氮、氫、硫的含量(圖 15)。



圖 12 磨碎

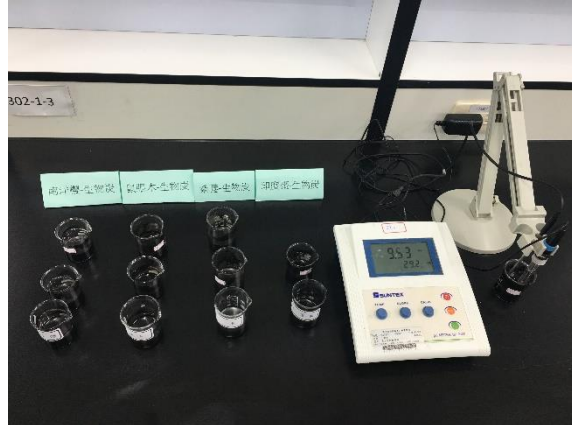


圖 13 生物炭 pH 值測定

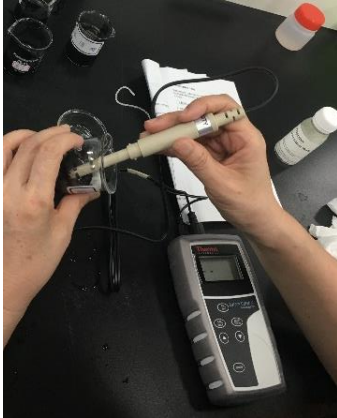


圖 14 生物炭電導度測定



圖 15 生物炭元素分析

(三)植物栽培：

- 1.把種子分別浸泡於水和光合菌中 6 小時(圖 16)，取出種子栽種於盆栽內。
- 2.秤取校園土壤 7000 克、生物炭 70 克，均勻混合後進行作物栽種(圖 17)。
- 3.發芽時：每週使用適合比例配製光合菌 100mL，裝入噴瓶中澆水。
- 4.持續觀察記錄六週:
 - (1)每週分別採集土壤樣品，以水與土壤比例 5:1 之萃取液(圖 18)，測定土壤酸鹼值 pH 值、電導度(圖 19、圖 20)。

(2)有機質測定:(圖 21)

空重：坩鍋置於烘箱以 105°C 烘 4 小時，乾燥 45 分鐘，秤重。

105°C 乾重：秤植物土為 0.2 克後，放進烘箱烘 4 小時，冷卻後可測 105°C 乾重。

550°C 乾重：秤完 105°C 乾重後，放進高溫爐中升溫 2 小時至 550°C，恆溫 4 小時，冷卻後可測 550°C 秤重。

有機質公式: $(105^{\circ}\text{C 重量}-550^{\circ}\text{C 重量})/(105^{\circ}\text{C 重量}-\text{空重量})\times 100\%$ 。

(3)測量記錄青江菜六週成長情形，以了解作物在其生長過程中的變化。(圖 22、圖 23)

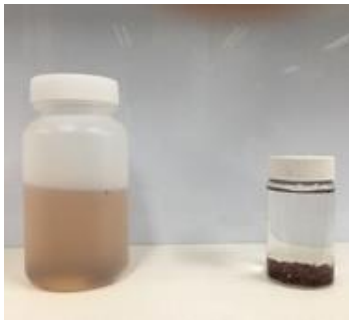


圖 16 種子浸泡



圖 17 栽種種子

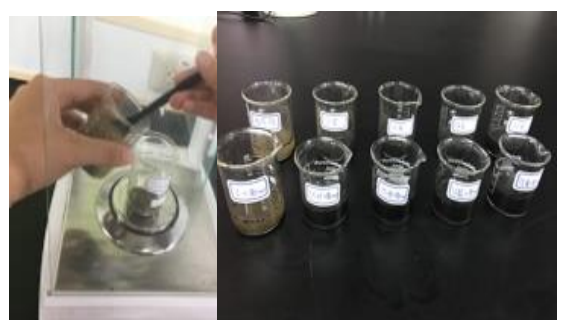


圖 18 採集土壤樣品



圖 19 土壤 pH 值測定

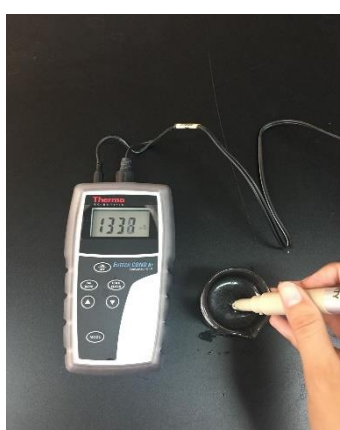


圖 20 土壤電導度測定

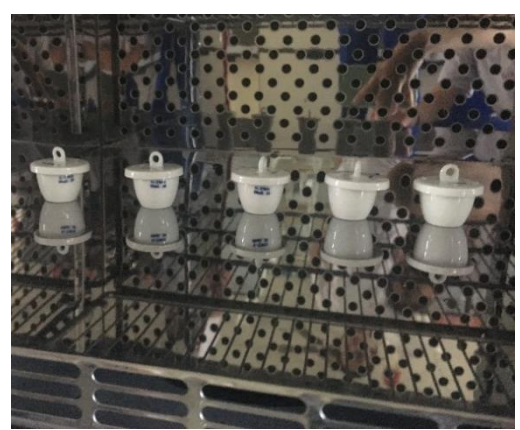


圖 21 土壤有機質測定



圖 22 測量青江菜植株高度



圖 23 青江菜成長狀況

伍、研究結果

一、光合菌培養測定：

1.種子發芽方式：做種子發芽率，使用三種方式如下

第一種方式：發現培養皿水份流失而引發放置培養皿內部的種子苗乾燥甚至發霉。

第二種方式：加蓋這個方法會使幼苗無法自然生長，因為加蓋幼苗發芽時頂到蓋子，幼苗發芽時就會往旁邊生長。

第三種方式：呈現密閉狀態（在裡面放一杯水，讓它在裡面可以進行水循環），選用黑色是為了不透光，因為要針對光合菌檢測種子發芽率，所以要排除其他變因。其中第三種方式效果最好，使用不透光黑色塑膠袋作包裝進行種子發芽率。

表 1 種子發芽率的方式

包裝方式	第一種方式	第二種方式	第三種方式
培養皿蓋	×	✓	×
黑色塑膠袋	×	×	✓

2. 找尋最適合光合菌比例:

我們將光合菌與水做稀釋比例為 0:10(對照組)、1:10、1:20、1:30、1:40、1:50、1:60、1:70 和 10:0(光合菌組)，分別第 3 天和第 6 天測量高度記錄數據。

表 2 發芽率測定















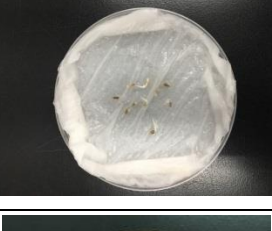



光合菌:水	發芽率 (%)	死亡率 (%)	存活率 (%)	植物平均成長長度(cm)			
				3 天	6 天	3 天	6 天
0:10 (對照組)	70	30	70	0.57	2.01		
1:10	90	10	90	0.49	1.69		

表 2(續) 發芽率測定

光合菌:水	發芽率 (%)	死亡率 (%)	存活率 (%)	植物平均成長長度(cm)			
				3 天	6 天	3 天	6 天
1:20	100	0	100	0.53	1.99		
1:30	90	10	90	0.42	1.97		
1:40	80	20	80	0.54	2.04		
1:50	70	30	70	0.64	2.07		
1:60	80	20	80	0.63	1.05		
1:70	80	20	80	0.48	1.44		
10:0 (光合菌組)	0	100	0	0	0		

三、測定不同生物炭之 pH 值、電導度和元素組成：

生物炭是由有機體材料炭化產生多孔性之炭化物質，化學組成因生物質的來源及種類不同而含量不同，本實驗以印度棗、鼠眼木、南洋櫻和桑葚熱裂解為生物炭質材(如圖 24)，探討生物炭的 pH 值、電導度和元素組成等特性。

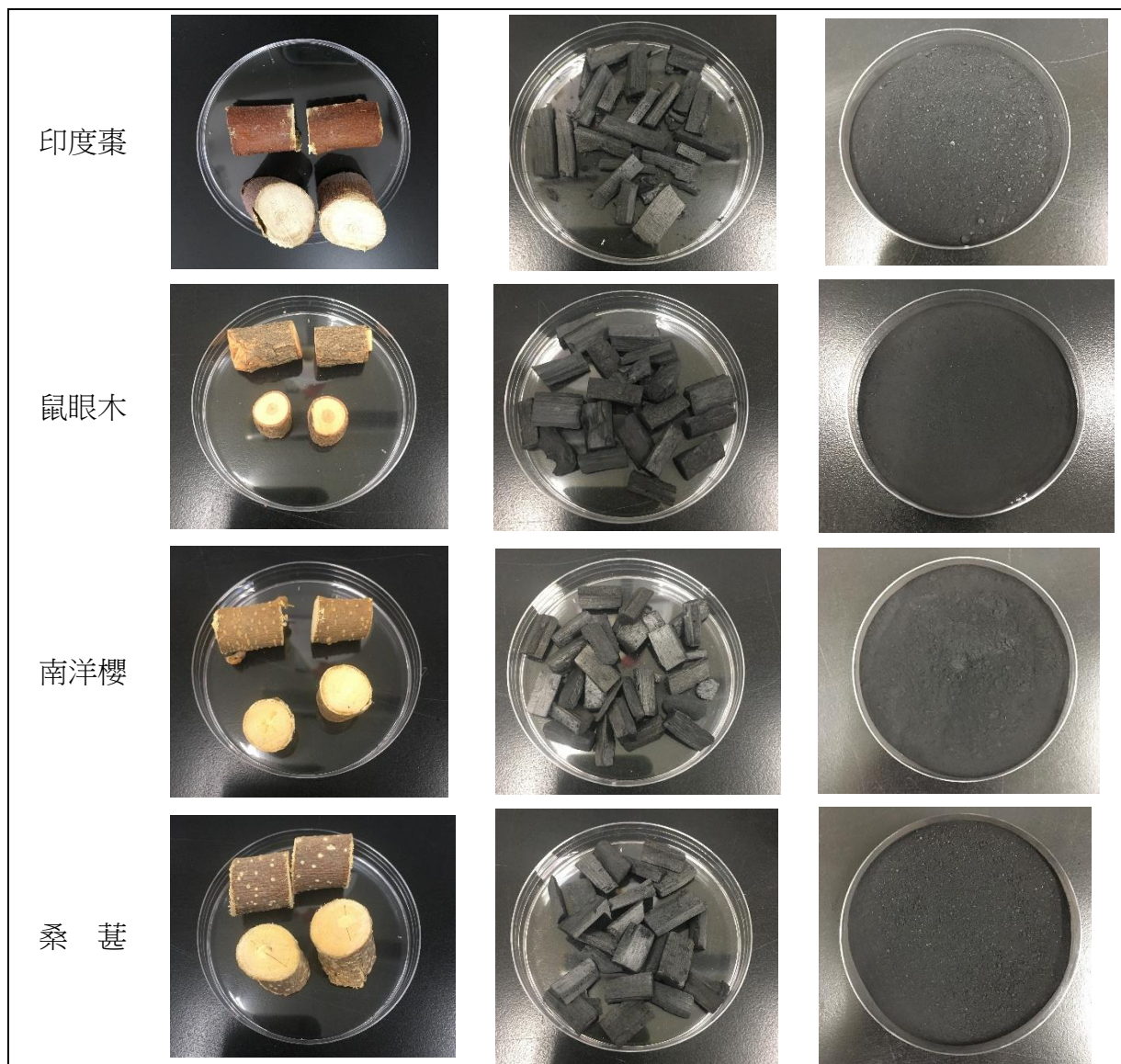


圖 24 生物炭質材

(一)生物炭 pH 值：

本研究在不同溫度裂解下，不同生物質材製成生物炭 pH 值的變化。因裂解過程中可能促進鹼性官能基形成，結果顯示，印度棗、南洋櫻和桑葚生物炭 pH 值皆為鹼性(表 3)。

表 3 生物炭 pH 值

生物炭	印度棗	鼠眼木	南洋櫻	桑葚
pH 值±標準偏差	9.83±0.02	8.25±0.02	9.86±0.03	9.13±0.07

(二)生物炭電導度(EC)：

EC 值(表 4)隨生物質材有極大差異，其中南洋櫻在 500°C 裂解下具有較高 EC 值 6.31mS/cm，鼠眼木在熱裂解溫度 500°C EC 值 0.044 mS/cm 為最低。

表 4 生物炭電導度(mS/cm)

生物炭	印度棗	鼠眼木	南洋櫻	桑 葚
電導度±標準偏差 (mS/cm)	1.24±0.15	0.044±0.01	6.31±0.43	0.64±0.02

(三)生物炭元素組成：

不同質材製成的生物炭的碳含量，隨生物質材及熱裂解溫度不同而有所差異。研究顯示(表 5)，生物炭的元素組成主要為碳，其含量在 70%以上，桑葚裂解含碳量最高；氮含量介於 0.77~1.30%之間。各生物炭在碳氮(C/N)比差異大，其中印度棗裂解碳氮(C/N)100.73，鼠眼木熱裂解碳氮(C/N)57.82。

表 5 生物炭元素分析

生物炭	C%	N%	H%	S%	C/N
印度棗	78.18	0.776	1.534	0.016	100.73
鼠眼木	75.05	1.298	1.578	0.039	57.82
南洋櫻	74.02	1.011	1.621	0.283	73.37
桑 葚	78.58	1.127	1.732	0.058	69.74

三、植物栽培：

生物炭是由有機體材料炭化產生多孔性之炭化物質，化學組成因生物質的來源及種類不同而含量不同，本實驗以印度棗、鼠眼木、南洋櫻和桑葚熱裂解為生物炭質材，將校園土壤 7000 克、70 克生物炭及各別加入 0 mL 和 100 mL 比例 1:20 之光合菌，混合均勻後，各秤取中和土壤 10 g 加入 50 mL 蒸餾水，靜置 50 分鐘，進行土壤試驗、植物葉片數量和成長高度。

(一)土壤試驗：

1. pH 計測定記錄數據(表 6、圖 25)。

表 6 混和土壤 pH 值

	第 0 天	第二週	第三週	第四週	第五週	第六週	六週平均值
對照組	7.61	7.33	7.70	7.31	7.60	7.24	7.47
印度棗	7.51	7.45	8.01	7.44	8.05	7.61	7.68
鼠眼木	7.55	7.62	7.96	7.70	7.89	7.37	7.68
南洋櫻	7.54	7.64	7.91	7.59	8.16	7.39	7.71
桑 葚	7.50	7.52	7.92	7.66	7.79	7.38	7.63
印度棗光合菌	7.53	7.69	8.01	7.49	8.25	7.51	7.75
鼠眼木光合菌	7.58	7.50	7.90	7.71	7.92	7.57	7.70
南洋櫻光合菌	7.55	7.83	8.08	7.68	8.33	7.63	7.85
桑 葚光合菌	7.52	7.50	7.95	7.75	7.89	7.56	7.70

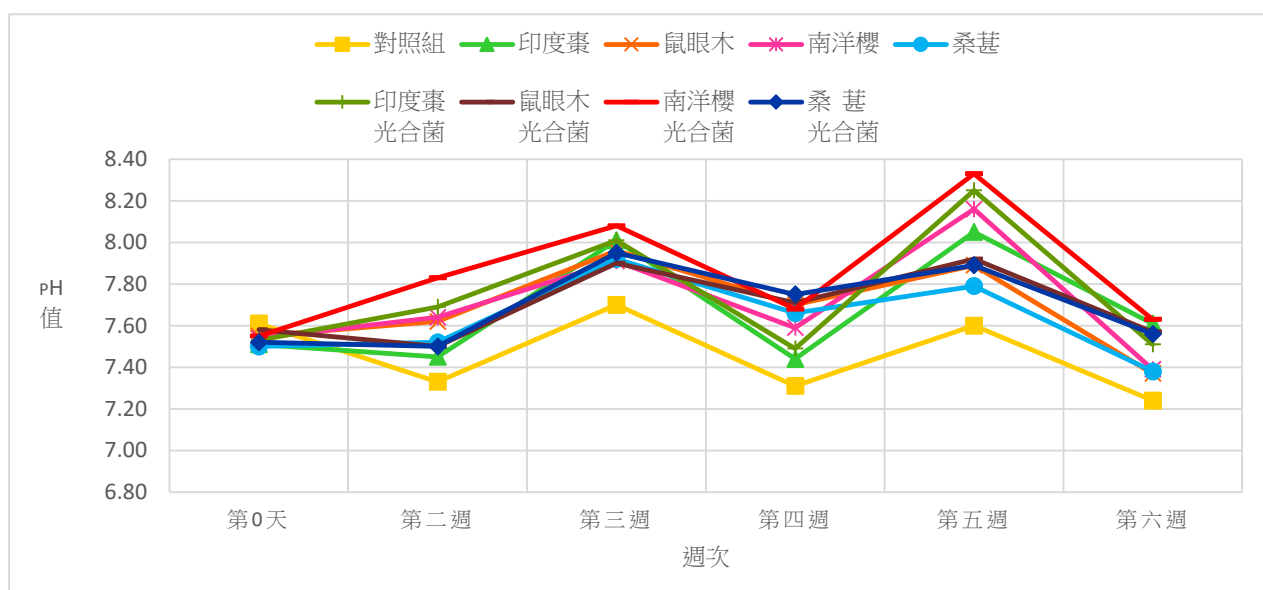


圖 25 混和土壤六週 pH 值變化圖

2.電導度(EC 值)測定紀錄數據(表 7、圖 26)。一般而言，自來水之 EC 為 0.1~0.4 mS/cm，井水、泉水等為 0.4~0.8 mS/cm，營養液為 1.0~3.0 mS/cm，若營養液 EC 超過 4.0 mS/cm 時，植物會發生鹽類過剩之障害。

表 7 混和土壤電導度 EC 值(單位:mS/cm)

	第 0 天	第二週	第三週	第四週	第五週	第六週	六週平均值
對照組	1.322	1.050	1.159	1.595	2.040	1.030	1.37
印度棗	1.003	1.583	4.080	2.850	1.450	2.840	2.30
鼠眼木	1.522	4.910	1.820	5.140	4.200	3.180	3.46
南洋櫻	1.325	2.740	3.180	2.630	2.640	1.600	2.35
桑 葚	1.055	4.670	1.303	5.110	5.690	2.430	3.38
印度棗光合菌	2.440	3.890	3.370	3.230	2.610	2.840	3.06
鼠眼木光合菌	2.810	5.190	5.980	4.880	3.460	3.910	4.37
南洋櫻光合菌	1.523	1.744	1.687	1.812	3.830	1.750	2.06
桑 葚光合菌	2.560	2.110	1.322	2.490	4.090	1.650	2.37

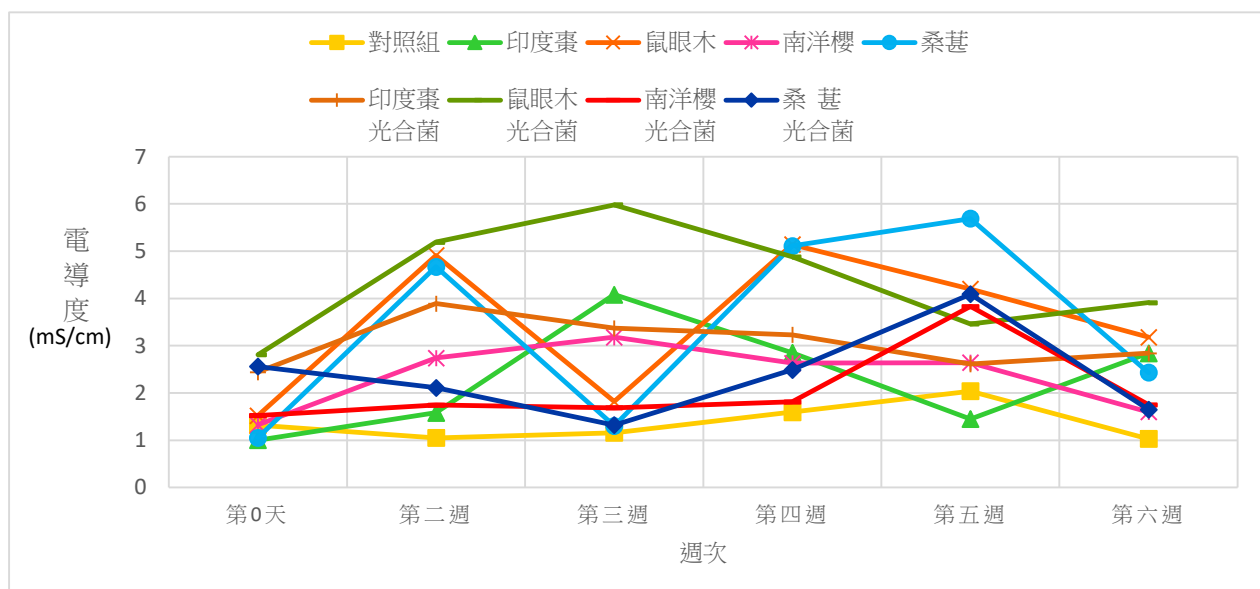


圖 26 混和土壤六週電導度(EC 值)變化圖

3.有機質測定：

(1)坩鍋置於烘箱以 105℃ 烘 4 小時，乾燥 45 分鐘，秤空重。

(2)秤植物土為 0.20 克後，放進烘箱烘 4 小時，冷卻後可測 105℃ 乾重。

(3)秤完 105℃ 乾重後，放進高溫爐中升溫 2 小時至 550℃ 恆溫 4 小時。冷卻後得 550℃ 乾重。

(4)以有機質公式計算： $(105^{\circ}\text{C 重量}-550^{\circ}\text{C 重量})/(105^{\circ}\text{C 重量}-\text{空重量})\times 100\%$ 。(表 8、圖 27)

表 8 混和土壤有機質(%)

	第 0 天	第二週	第三週	第四週	第五週	第六週	六週平均值
對照組	11.20	9.90	10.74	8.80	10.22	9.48	10.06
印度棗	13.19	11.63	13.68	10.76	12.33	11.83	12.24
鼠眼木	14.94	9.83	12.75	9.43	12.97	12.18	12.02
南洋櫻	13.26	13.99	15.80	15.03	12.79	14.00	14.15
桑 葚	13.43	12.16	11.68	12.12	13.11	13.07	12.60
印度棗光合菌	11.72	13.39	15.58	13.45	13.41	13.76	13.55
鼠眼木光合菌	11.71	11.05	13.06	10.99	12.02	11.14	11.66
南洋櫻光合菌	15.84	15.66	14.49	15.05	14.70	11.55	14.55
桑 葚光合菌	14.08	10.52	15.94	13.63	12.95	12.79	13.32

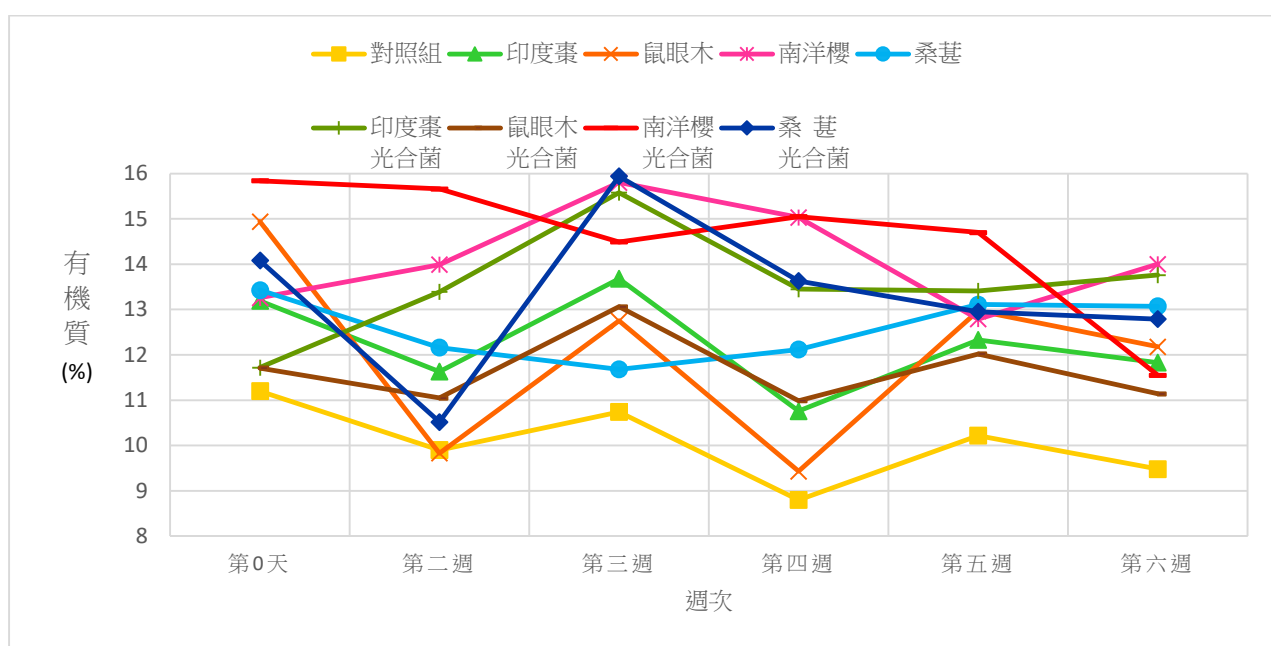


圖 27 混和土壤六週有機質變化圖

(二)植物生長分析：

每盆種植 10 株青江菜，並計算其葉片生長數量，每週紀錄平均葉片數。

1.植物葉片數量(表 9、圖 28)

表 9 改良酸性土壤植物成長葉片數情形

週數	第 2 週		第 3 週		第 4 週		第 5 週		第 6 週	
	葉片數 (片)	標準 偏差	葉片數 (片)	標準 偏差	葉片數 (片)	標準 偏差	葉片數 (片)	標準 偏差	葉片數 (片)	標準 偏差
對照組	1.90	0.7379	2.80	0.9189	2.60	0.8433	2.70	0.4830	3.00	0.4714
印度棗	3.40	0.5164	4.30	0.6749	6.50	0.9718	7.20	0.6325	7.70	0.6749
鼠眼木	2.90	0.5676	3.80	0.7888	6.20	1.1353	6.90	1.3703	7.20	1.3166
南洋櫻	4.10	0.7379	5.00	0.9428	7.50	1.2693	8.10	0.9944	8.50	0.5270
桑 葚	3.60	0.6992	4.40	1.0750	7.10	1.1005	7.70	1.0593	7.90	0.8756
印度棗 光合菌	3.50	0.5270	4.40	0.6992	6.70	0.6749	7.40	0.8433	7.80	1.0328
鼠眼木 光合菌	3.00	0.4714	4.10	0.9944	6.50	1.1785	7.10	1.1005	7.40	0.9661
南洋櫻 光合菌	4.30	0.4830	5.10	0.7379	7.70	0.9487	8.40	0.6992	8.60	0.5164
桑 葚 光合菌	3.80	0.7888	4.70	1.1595	6.80	1.1353	7.50	0.9718	7.90	0.5676

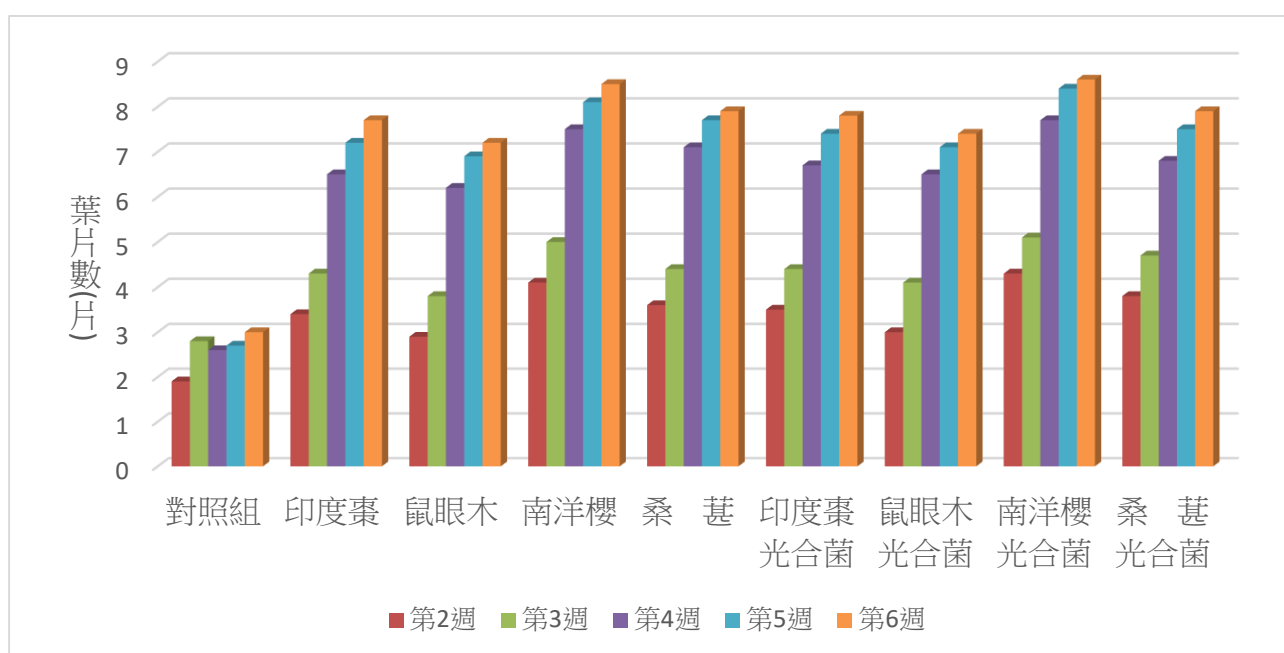


圖 28 改良酸性土壤植物成長葉片數變化圖

2. 植物株高(表 10、圖 29)

表 10 改良酸性土壤植物成長植物株高情形

週數	第 2 週		第 3 週		第 4 週		第 5 週		第 6 週	
	植物平均株高(公分)	標準偏差	植物平均株高(公分)	標準偏差	植物平均株高(公分)	標準偏差	植物平均株高(公分)	標準偏差	植物平均株高(公分)	標準偏差
對照組	0.75	0.2619	0.93	0.2661	1.46	0.3246	1.77	0.3386	1.86	0.3404
印度棗	1.65	0.1614	2.16	0.1623	3.71	0.1598	4.02	0.1608	4.11	0.1606
鼠眼木	1.50	0.1847	2.02	0.1906	3.05	0.2007	3.35	0.1898	3.45	0.1946
南洋櫻	2.63	0.6640	3.14	0.6864	5.63	0.7758	5.93	0.7594	6.03	0.7599
桑 葚	2.11	0.1881	2.63	0.1908	4.97	0.1884	5.27	0.1716	5.37	0.1730
印度棗 光合菌	2.11	0.4501	2.63	0.4522	4.11	0.4763	4.42	0.4859	4.51	0.4842
鼠眼木 光合菌	1.57	0.2812	2.08	0.2867	3.08	0.2716	3.38	0.2930	3.48	0.2919
南洋櫻 光合菌	3.16	0.4666	3.67	0.4684	5.99	0.5200	6.29	0.5240	6.39	0.5218
桑 葚 光合菌	2.13	0.3635	2.64	0.3707	4.51	0.3694	4.64	0.3663	4.73	0.3667

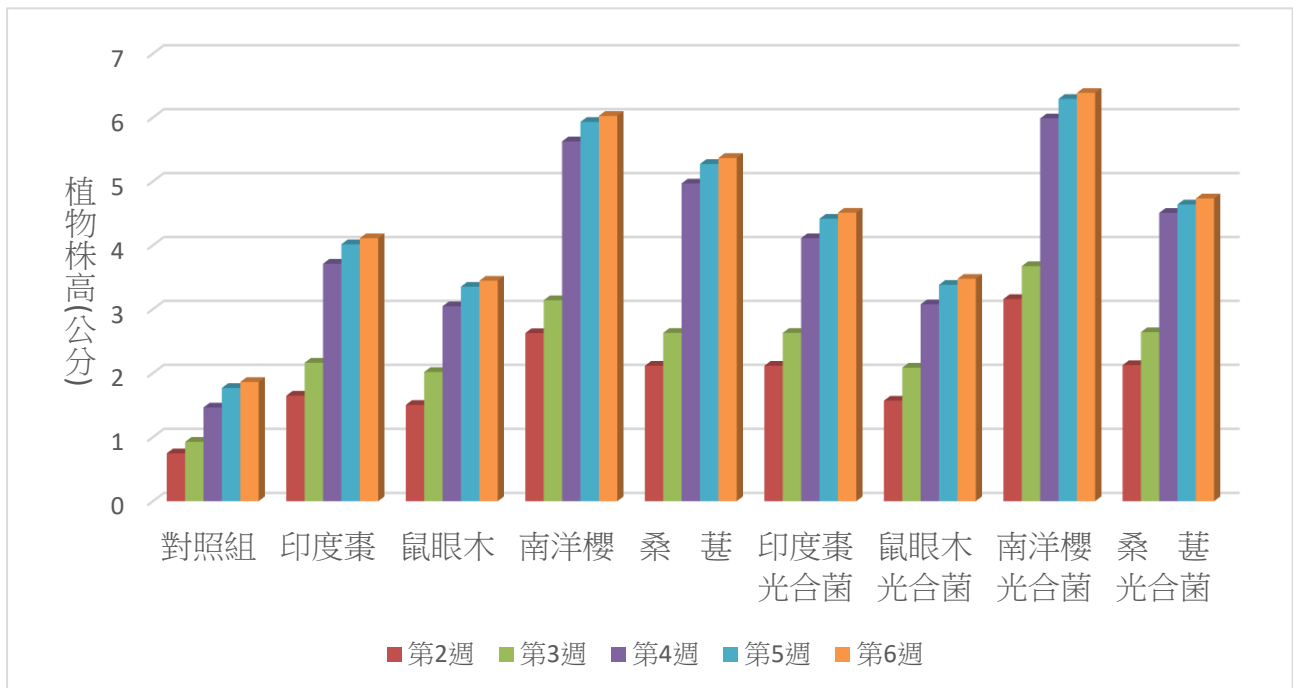


圖 29 改良酸性土壤植物成植物株高變化圖

陸、結論

本研究將校園常見有機廢棄物：印度棗、鼠眼木、南洋櫻和桑葚，熱裂解轉化成生質炭，利用生質炭吸附土壤中的有機質，並將可溶性有機物緩慢釋放到土壤中，與光合菌作為土壤改良劑施用於學校土壤。

- 一、光合菌對種子發芽率具影響，光合菌與水做稀釋比例 1:20，分別於第 3 天成長 0.53 公分，第 6 天成長 1.99 公分，發芽率與存活率高達 100%。
- 二、校園廢棄物生物炭電導度測試值越高，表示抽出液離子愈多。南洋櫻在 500°C 裂解下具有較高 EC 值(6.31mS/cm)，可溶性離子濃度過高，直接使用在土壤中，可能傷害植物根系生長，所以高電導度生物炭需添加其他資材才能施用於土壤。
- 三、本研究製成生物炭添加光合菌均偏鹼性(如圖 30 所示)，可以改善因過度使用化學肥料所造成土壤的 pH 值降低問題，也可以利用本身孔隙提升了土壤水分的留存與聚集。
- 四、土壤添加各種不同生物炭和光合菌，結果發現大部分添加生物炭種植的青江菜，較未添加生物炭者生長效益較佳。因生物炭可提供作物所需營養元素，提高土壤肥力，有利於植物生長，使有機質提高 2%以上(如圖 31 所示)。以添加南洋櫻生物炭有機質提高 4%，添加南洋櫻生物炭並使用光合菌施肥有機質提高 4.5%對青江菜生長最有益。

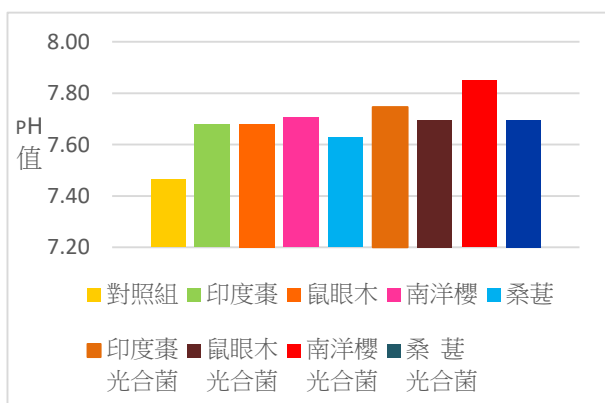


圖 30 混和土壤六週平均 pH 值變化圖

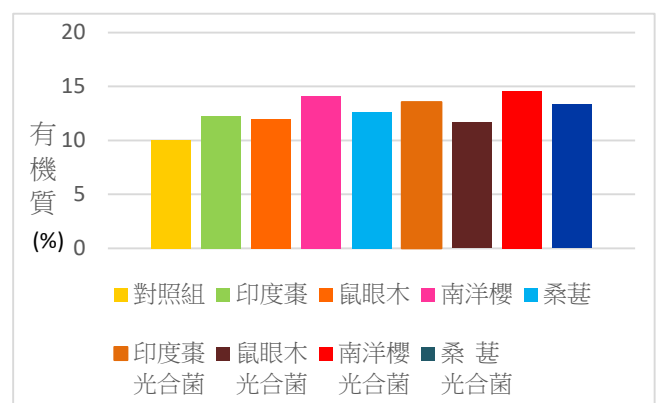


圖 31 混和土壤六週平均有機質變化圖

五、光合菌生物製劑的優點：

- (一)可促進作物根系生長，增加肥料吸收率：生物炭具多孔性結構，有利微生物繁殖和養分吸附，並調節 pH 值、EC 值和有機質避免土壤酸化。
- (二)添加生物炭能吸附堆體內的鹽基離子，有利降低土壤電導度，加速堆肥腐熟形成趨近中性微生物肥料，腐熟完成堆肥對青江菜種子的胚根與胚莖生長有促進效益。
- (三)可改善土壤酸鹼值，提升保水、保肥力：微生物肥料有助土壤肥分利用，提高肥料利用效率。因此即使肥料用量減半，使用這些友善資材，作物肥料利用效率可能還更好。

六、經濟效益：

過去農民習慣施用化肥，導致土壤日益酸化，破壞土地有機質，造成作物產量下降。而生物炭和光合菌不僅可改善土壤酸化、提高有機質含量，還能提供植物完整養分，增加產量並降低對化肥的依賴。

台灣化肥年使用量為每公頃 1,525 公斤，按全國耕地面積計算，每年購買化肥共需 1,400 億新台幣；中央和地方每年為進口化肥就要付出 35 億美元(相當 1015 億新台幣)外匯；為增加化肥產能，全國每年尚需投入 160 億新台幣。且施用化學肥料，容易造成土壤酸化、養分流失及水體污染等種種問題，自不待言。

農業廢棄物具有高有機質含量，可轉換為生物炭農業資材(生物炭 1 公斤可賣 20 元)，比化肥更經濟(每噸處理約 7000 元新台幣)；提高國內農業有機廢棄物的再利用，就兼具永續經營、環保與經濟三重貢獻。

目前本校學生已利用專業課程技術實習，將本校修剪的樹木製成生物炭和配養光合菌，提供本校多元選修的盆栽蔬菜實習栽種蔬菜，成效斐然。未來想增加校園有機廢木的利用率，製成更多的生物炭與調配光合菌在校園土壤施作；甚至提供社區農民種植有機蔬果，並繼續研究更多生物炭和光合菌取代化肥，以減少土壤負擔，為社區永續經營打下良好基礎。

柒、參考文獻資料

- [1]農業廢棄物·行政院農業委員會農業資料查詢，2021年08月06日，取自
<https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/inquiry/InquireAdvance.aspx>
- [2]劉復 環保與生活·台北市:全華圖書股份有限公司，2008年。
- [3]楊紹榮·農業廢棄物再利用·台南區農業改良場·2021年08月18日取自
http://www.360doc.com/content/11/12/05/13/803452_169820418.shtml
- [4]李鎮州·光合菌與生物炭進行農用土壤改良，2021年08月26日，取自
<https://hdl.handle.net/11296/j78q35>
- [5]洪怡芳 (2017) ·光合菌的產業應用價值生物資源保存及研究簡訊 第30卷第3期
- [6]蔡佳儒、吳耿東(2016)·台灣農業廢棄物製成生物炭未來及展望·農業生技 產業季刊，NO46
- [7]劉秉烜、張文瀚，普通化學(下冊) 復文圖書股份有限公司，2019年12月。
- [8]行政院農業委員會臺中區農業改良場，2021年08月26日，取自
<https://www.tdais.gov.tw/ws.php?id=4763>
- [9]行政院環境保護署環署授檢字第1091001740號-碳、氫、硫、氧、氮元素含量檢測方法—元素分析儀法(NIEA M403.02B)，2021年09月20日，取自
<https://www.rootlaw.com.tw/LawContent.aspx?LawID=A040300081091000-1090410>

【評語】 052402

- 一、 本研究探討印度棗、鼠眼木、南洋櫻和桑葢等四種植物廢棄物製成的生物炭，並同時自行配製光合菌，藉由測量導電度、酸鹼值與有機質來比較不同生物炭改良土壤的能力。並種植青江菜，觀察葉片與株高的生長驗證其效果。從校園內蒐集不同植物的廢棄木材，能利用校園內的植物廢棄物，並有效減少有機廢棄物的總量，具有環保價值。
- 二、 本研究將有機質作為土壤改良的判斷依據之一，宜說明有機質的成分與意義。僅針對青江菜單一蔬菜試驗，且植物成長除了土壤還有許多變因，應討論是否有控制其他變因。且並未說明配置生物炭土壤時，校園土壤 7000g 與生物炭 70g 之選取比例依據或原理。
- 三、 分析四種生物炭特性時，南洋櫻生物炭的導電度最高(6.31 mS/cm)，但將四種生物炭依相同方式調配成土壤混和液後，卻是鼠眼木光合菌混合液最高(4.37 mS/cm)，宜解釋混合前後導電度差異的原因。

作品簡報

「生」機蓬勃

組別：高級中等學校組

科別：工程學科(二)

研究動機

學校每年有大量的廢棄物從校園樹木修枝中產出，帶來髒亂，在選修環保與化學課程介紹，可藉著堆肥法將農業廢棄物有機物，生化分解轉變成安定腐植酸，作為植物生長養分。校園觀賞**樹木廢棄物**製備而成的**生質炭**添加**光合菌**作為土壤改良的**生物炭**，不僅能解決土壤酸化的問題之外，也能利用生物炭提供光合菌一個有效的生存利用方式，不但可解決龐大校園觀賞樹木枯枝問題，且具有**生態保育**及**高經濟效益**達到雙贏成效。



圖1 校園生態池旁南洋櫻樹木



圖2 校園廢棄樹枝



圖3 廢棄物製成生質炭

研究目的

一、探討光合菌對種子發芽率影響。



圖4 光合菌培養

圖5 種子發芽率試驗

二、利用校園廢棄樹枝，提倡廢物再利用，以落實環保議題。



圖6 校園廢棄樹枝

三、探討校園不同廢棄樹枝對土壤改良能力。

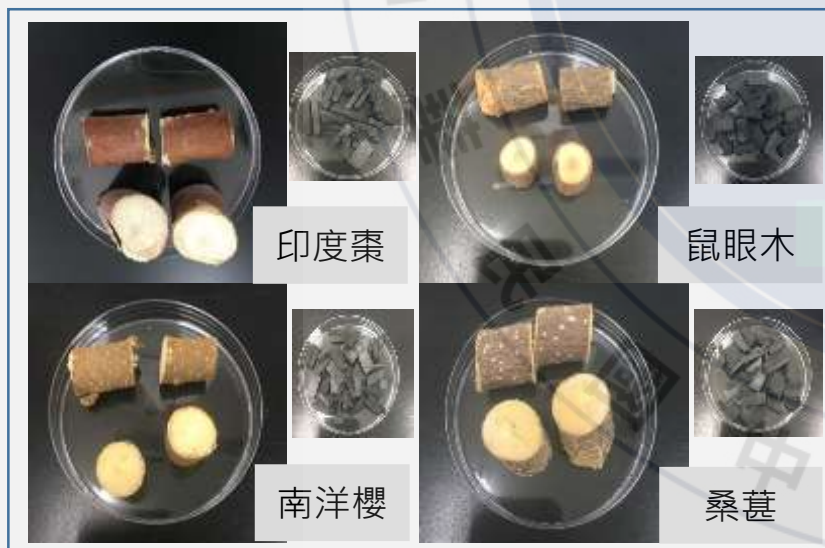


圖7 校園不同廢棄樹枝

四、探討校園不同廢棄樹枝樣品成分對植物成長高度及葉片影響。



圖8 植物高度

圖9 植物葉片數

實驗流程

製備參數



光合菌培養

生物炭製備



培養第一天 培養第七天



種子發芽率試驗

印度棗

鼠眼木

南洋櫻

桑葚



植物栽培

生物炭分析



土壤試驗

植物試驗

pH值

電導度

有機質

葉片數


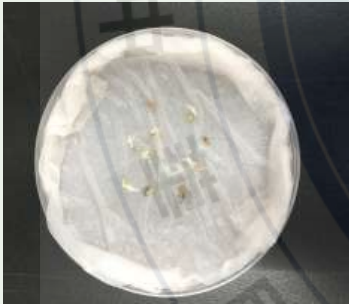
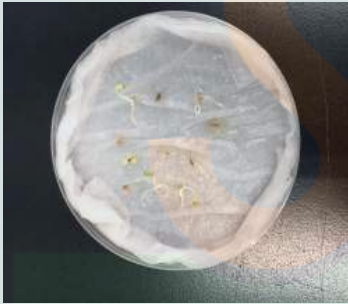


植物高度



研究結果

• 種子發芽試驗

表1 發芽率測定

天數 光合菌:水	3天	6天
	0:10 (對照組)	
1:20		
10:0 (光合菌組)		

光合菌:水	發芽率 (%)	死亡率 (%)	存活率 (%)	植物平均成長長度(cm)	
				3天	6天
0:10 (對照組)	70	30	70	0.57	2.01
1:10	90	10	90	0.49	1.69
1:20	100	0	100	0.53	1.99
1:30	90	10	90	0.42	1.97
1:40	80	20	80	0.54	2.04
1:50	70	30	70	0.64	2.07
1:60	80	20	80	0.63	1.05
1:70	80	20	80	0.48	1.44
10:0 (光合菌組)	0	100	0	0	0

• 生物炭分析

表2 生物炭pH值

表3 生物炭電導度(EC)

生物炭	印度棗	鼠眼木	南洋櫻	桑 葚	生物炭	印度棗	鼠眼木	南洋櫻	桑 葚
pH值 ±標準偏差	9.83 ±0.02	8.25 ±0.02	9.86 ±0.03	9.13 ±0.07	電導度 ±標準偏差 (mS/cm)	1.24 ±0.15	0.044 ±0.01	6.31 ±0.43	0.64 ±0.02

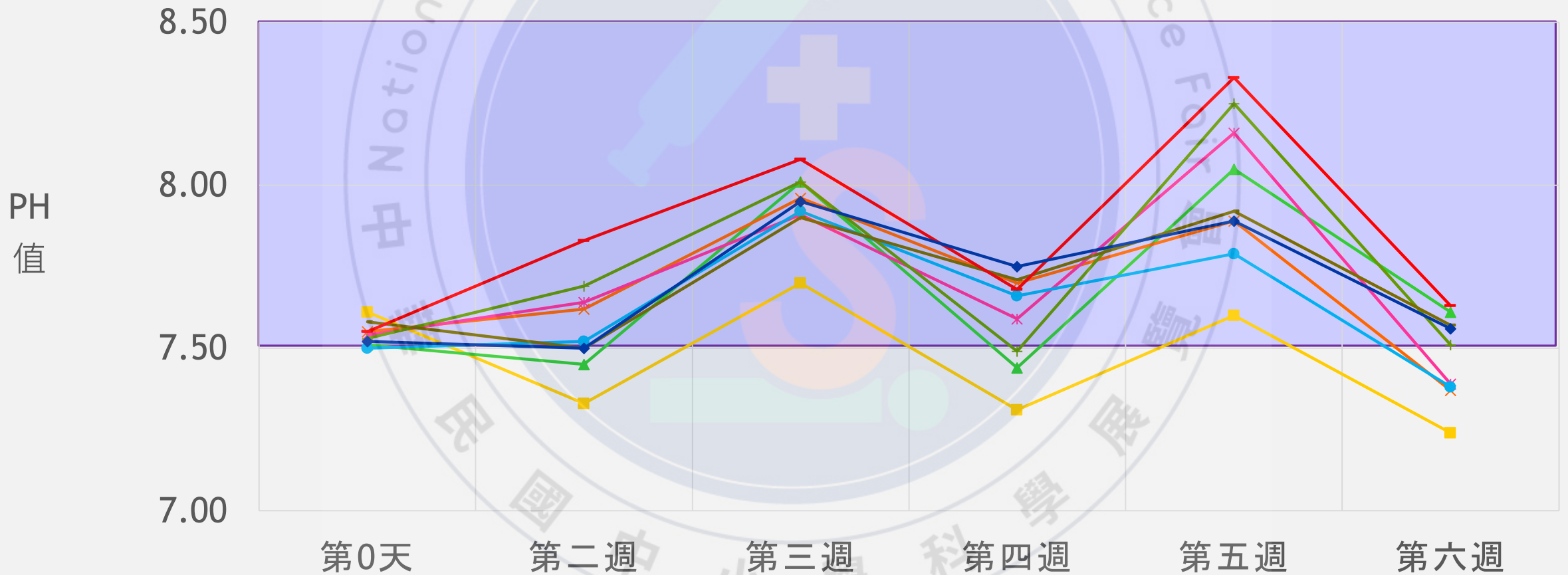
表 4 生物炭元素分析

生物炭	C%	N%	H%	S%	C/N
印度棗	78.18	0.776	1.534	0.016	100.73
鼠眼木	75.05	1.298	1.578	0.039	57.82
南洋櫻	74.02	1.011	1.621	0.283	73.37
桑 葚	78.58	1.127	1.732	0.058	69.74

土壤試驗 pH值

印度棗、鼠眼木、南洋櫻、桑葚製作的生物碳對土壤pH值的試驗得知生物碳可以將酸性土壤提高至微鹼性。

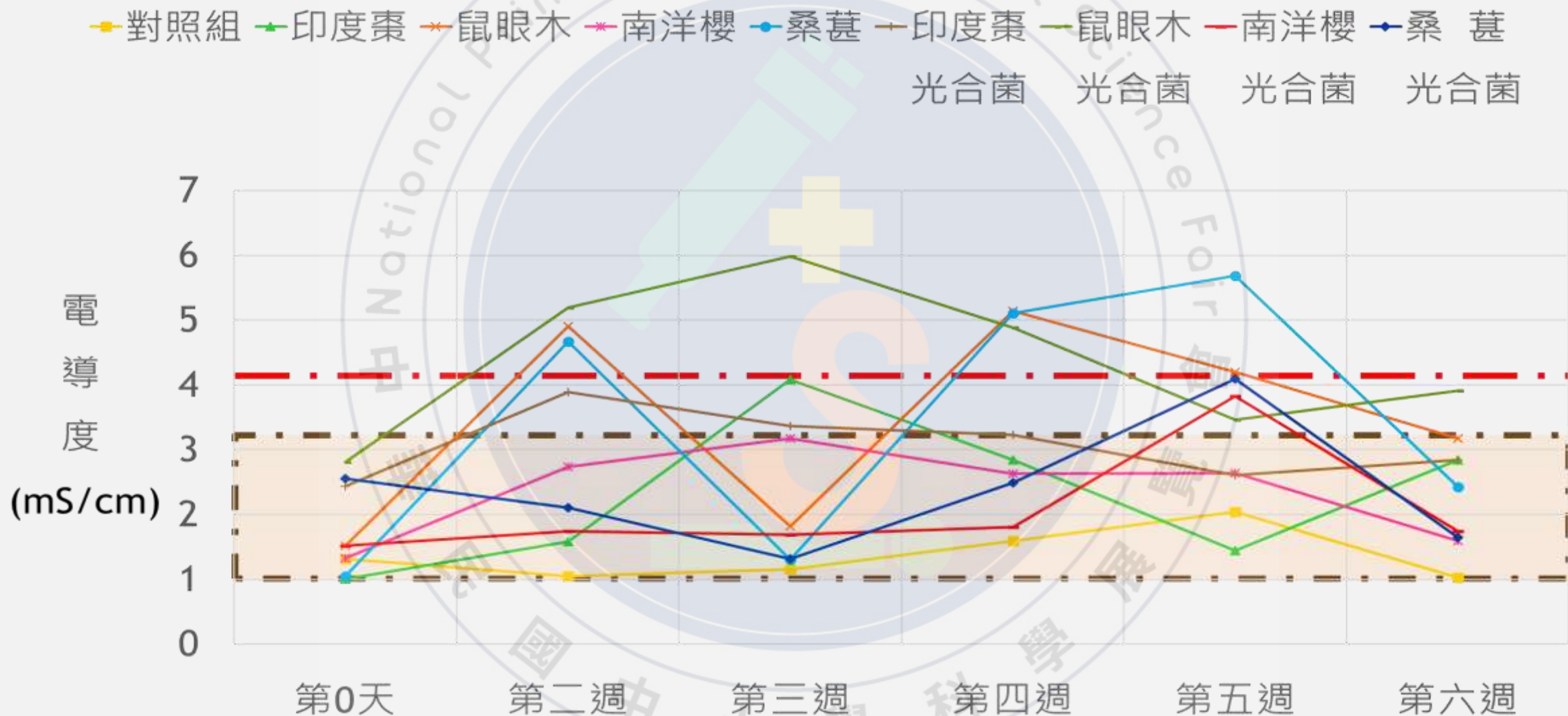
■ 對照組
 ▲ 印度棗
 ✕ 鼠眼木
 ✱ 南洋櫻
 ● 桑葚
 + 印度棗光合菌
 — 鼠眼木光合菌
 — 南洋櫻光合菌
 ◆ 桑葚光合菌



• 圖10 混和土壤六週pH值變化圖

• 土壤 電導度(EC)

普遍營養液電導度為1.0~3.0mS/cm 若電導度(EC)超過4.0 mS/cm 會對植物發生鹽類過剩之障害會對植物的生長造成不利。



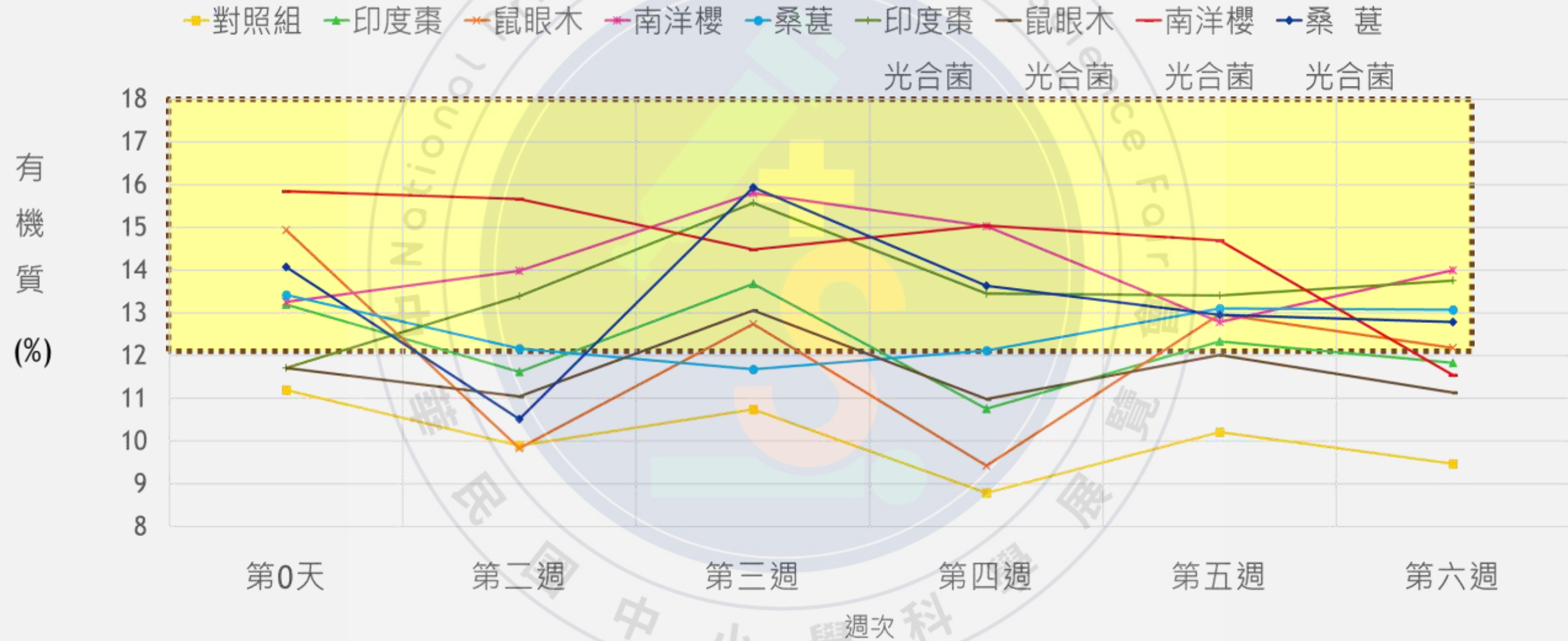
• 圖11 混和土壤六週電導度(EC)變化圖

• 有機質

有機土壤:有機質含量12-18%

對照組:低於12%

生物炭土壤有機質平均皆高於12%



• 圖12 混和土壤六週有機質變化圖

• 植物試驗

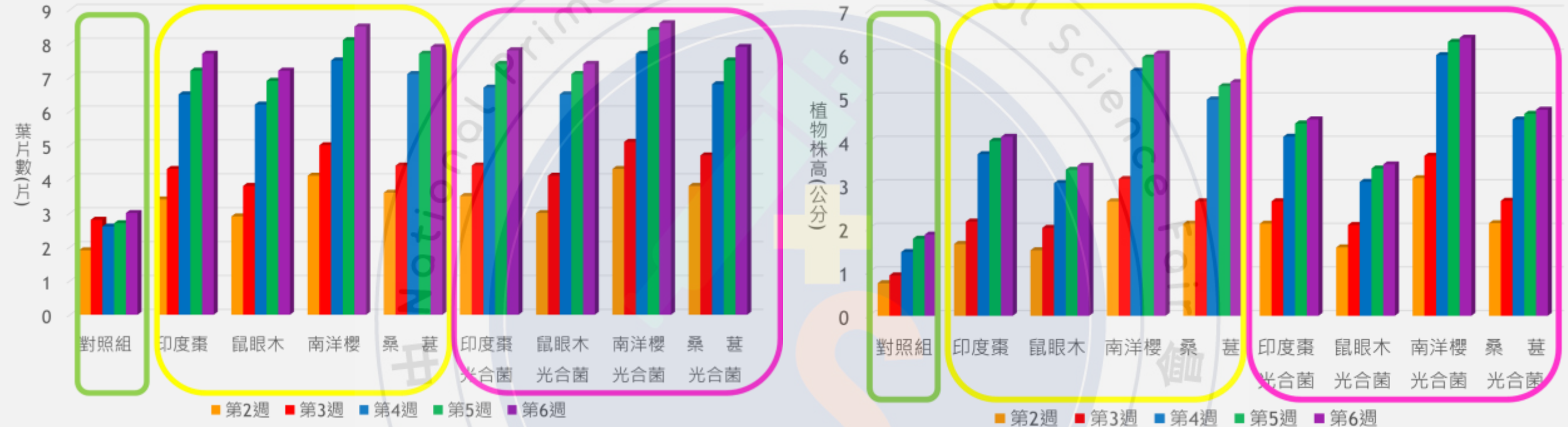


圖13 改良酸性土壤植物成長葉片數變化圖

圖14 改良酸性土壤植物成植物株高變化圖

每盆種植10株青江菜，並計算其葉片生長數量，每週紀錄平均葉片數。

添加生物炭種植青江菜較未添加生物炭生長效益較佳。

生物炭可提供作物所需營養元素，提高土壤肥力，有利於植物生長。

結論

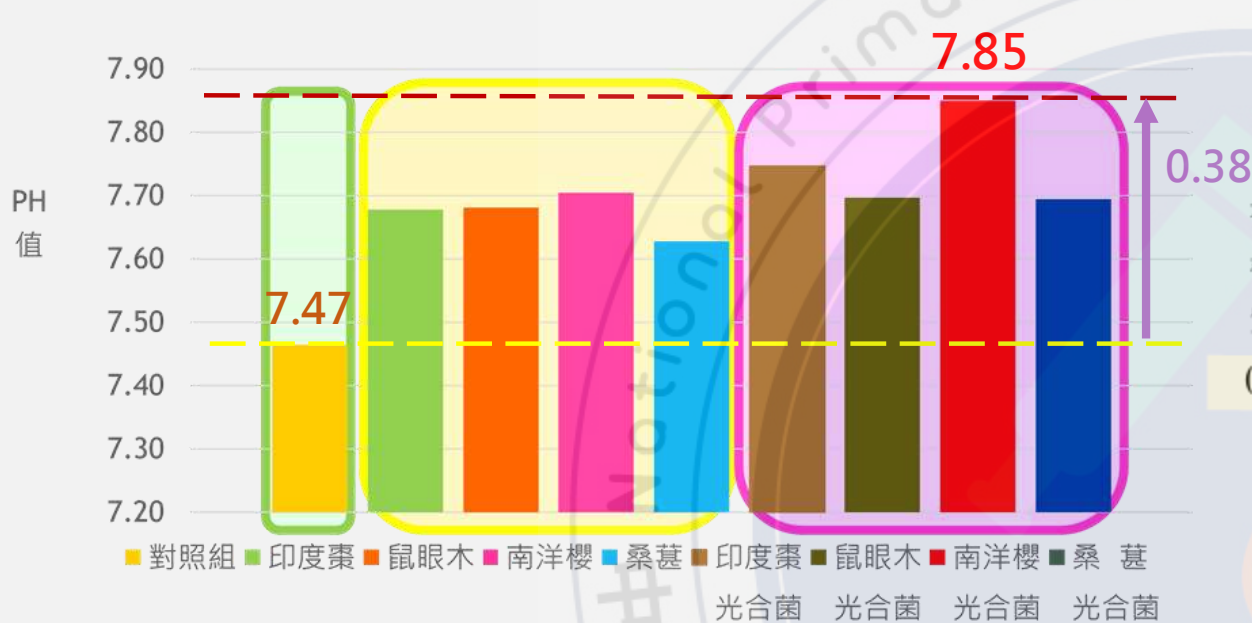


圖15 混和土壤六週平均pH值變化圖

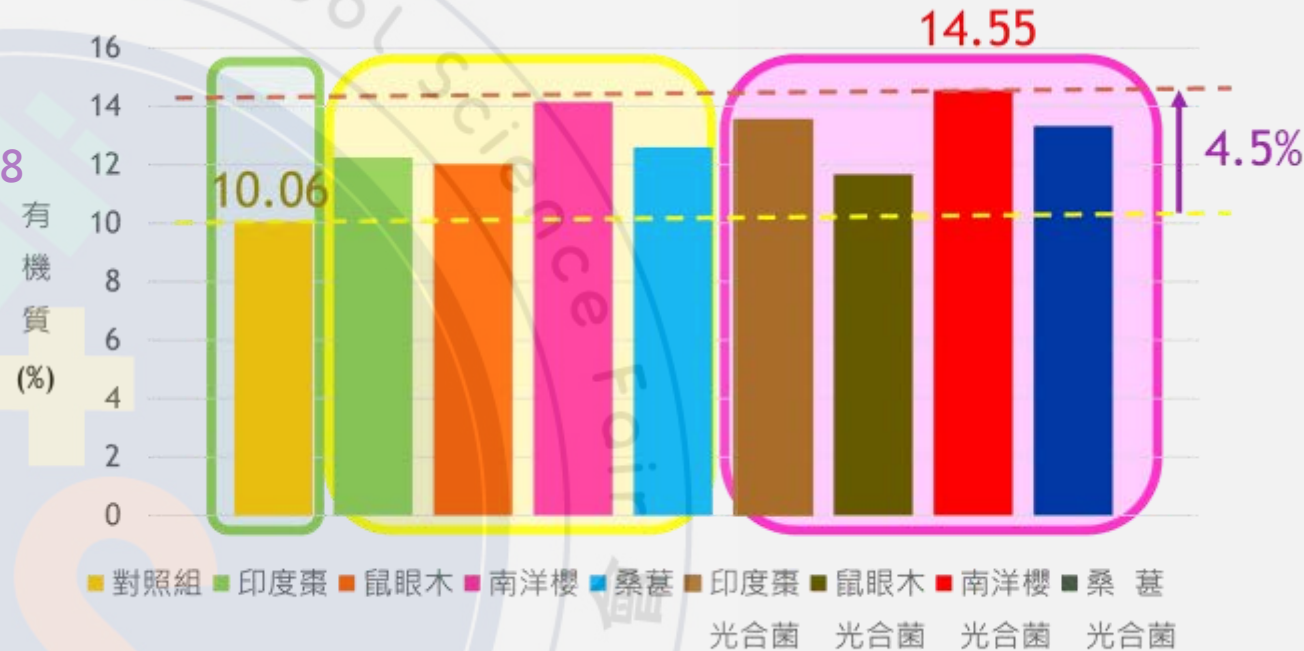


圖16 混和土壤六週平均有機質變化圖

- 本研究將校園常見農林廢棄物：
- 印度棗、鼠眼木、南洋櫻和桑葚與光合菌作為土壤改良劑施用學校土壤。
 1. 光合菌:水的比例1:20發芽率與存活率高達100%。
 2. 生物炭加光合菌：均偏鹼性(pH值7.5以上)，改善了施用過多化肥的酸化問題。
 3. 土壤添加各種不同生物炭和光合菌：以南洋櫻生物炭的有機質提升4.5%的成效最好。

經濟效益

收入

- 青江菜一台斤 **15元**

成本

- 耗電 20 元
- 20元 ÷ 70g 生物炭 = **0.3元**

利潤

- 收入 - 成本 = 利潤
- 15元 - 0.3元 = **14.7元**

名稱 \ 項目	價格	優點	缺點
化學肥料	25元/1Kg		1. 土壤酸化、鹽化、板結 2. 養分流失 3. 水體污染 4. 1,400億元/年 、35 億美元外匯
生物炭	20元/1Kg	改善土壤酸化 高有機質含量	需要額外施肥
生物炭 光合菌	20元/1Kg 12元/100mL	改善土壤酸化 高有機質含量 取代化學肥料	

勝

- 提高國內**農業廢棄物**之利用效率，兼具資源**保護**、**環保**與**經濟**三重貢獻。
- 未來想繼續研究更多**生物炭**和**光合菌**取代化學肥之施用，以減少土壤負擔，建立永續發展的良好基礎。