

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 農業與食品學科

探究精神獎

052206

生物炭可降解覆膜對土壤與植物生長影響

學校名稱：國立彰化高級中學

作者： 高二 張晏珊 高二 黃柏鈞	指導老師： 吳國禎
-------------------------	--------------

關鍵詞：生物炭、農業廢棄物再利用

摘要

本實驗分別以椰子纖維、木薯莖、茶葉渣、油棕枝與鳳梨葉五種農業廢棄物為原料，將其熱解成生物炭研磨加入可降解塑膠原料中製成五種生物炭聚合薄膜，替代一般塑膠覆材，種植萵苣於紅土與黑土並施用，五周後採收檢測。對於各土壤性質，此五種覆膜對於紅土及黑土之酸鹼值、電導度等有不同程度幫助，但於有機碳含量與生物酶活性等性質的趨勢不一，推測其取決於更進一步的生物炭本身性質；在萵苣生長方面，多數組別的乾、濕重增加。種植五周萵苣採收後薄膜已有一定程度的降解，不會造成殘留汙染，還可提升土壤性質及幫助萵苣生長。

壹、前言

一、研究動機

在生物課上到選修生物第二冊的植物時，老師提到了種植作物時，常會使用各種肥料提供生長需要的元素，這讓我想起——生物炭，一種由生質能原料熱解過後產生的固態物質，除了做為燃料使用，也能作為土壤改良劑使用，幫助作物生長。

在了解生物炭應用的過程，我們認為可以嘗試多種不同原料的生物炭進行比較，而後加入實驗室後，發現實驗室中也有以生物炭為主的研究方向，便參與學習，最後參與將農業廢棄物製成之生物炭混入可降解塑膠來應用的研究。製成可降解覆膜的目的，是為了尋找能替代一般的塑膠布、減少汙染的材料，並加入生物炭為土壤帶來幫助。

二、研究目的

- (一) 分析生物炭可降解覆膜施用後土壤之性質與控制組差異。
- (二) 探討不同種類之覆膜在相同土壤中對植物生長之影響。
- (三) 探究相同種類之覆膜在不同土壤中對植物生長之影響。

三、文獻回顧

- (一) 生物炭(Biochar)：

生物炭，是為一種生物質在缺氧環境下，以 300 至 1000°C 熱解後產出的固體物質，在應用上多作為土壤改良劑施用，有復育土壤、促進作物生長及固碳等功能。其主要成分為碳、揮發物質、灰分及礦物質。四者的比例隨原料改變而有所不同，具有高度的異質性。在製備程序上，熱解的溫度一般會控制在 700°C 以下。能製成生物炭的原料非常多元；絕大多數的有機材料都能熱解成生物炭。與熱解溫度、時長一樣，不同原料對產物的比例（固態生物炭、液態焦油及氣態合成氣）與生物炭之物理、化學性質等皆有影響。

概要而言：生物炭普遍具有較高的酸鹼值（pH 值；約大於 7）、高含碳量及芳香性；具有豐富的 N、P、Ca 等元素；也具有大量的孔隙與較好的陽離子交換能力（Cation Exchange Capacity, CEC）。生物炭之酸鹼值會隨其裂解溫度升高而有較高趨勢，會具有此性質，是因為其灰分中含有的 Na、K、Ca、Mg 等元素，多是以氧化物或碳酸鹽的形式存在，溶於水後會呈現鹼性，所以灰分比例較高的生物炭往往具有較高的酸鹼值。生物炭中富含的 C、P 與各種礦物質含量皆受熱裂解溫度影響，溫度越高往往越豐富，但 O、H 與 S 則減少；N 則受原料本身影響較大，且一般生物可用性較低，可能是因為其多與芳香炭結合導致。生物炭還具有良好的保水能力與陽離子交換能力（CEC），是因其豐富的孔隙與表面官能團，能保留更多可用礦物質。

包含前述性質，生物炭的結構、成分、粒徑分布等皆會影響土壤本身性質，例如：生物炭豐富的孔隙與官能團甚至也能吸附重金屬，或使其轉為較難被生物吸收利用的型態。為農業或復育提供益處。

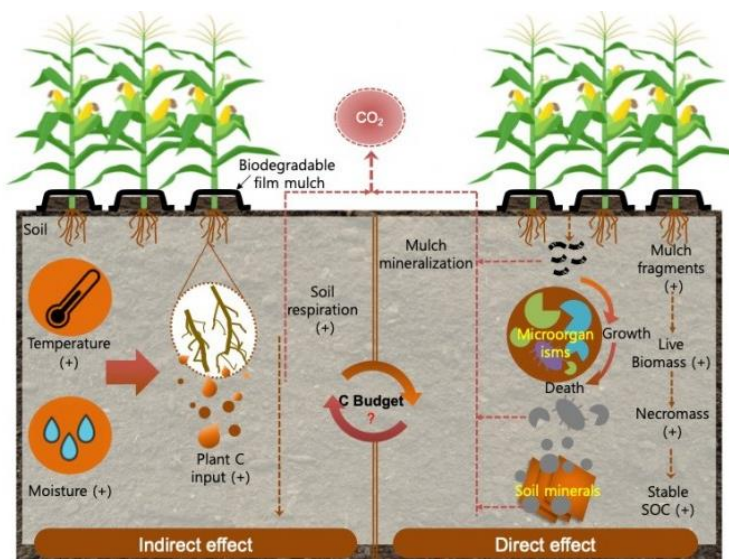
(二) 可降解覆蓋材料

在施作時，於土壤上方覆上各種材料（如農業廢棄物、塑膠布等）以達到保持濕度、調節土壤溫度或抑制雜草生長等目的的方法非常常見，但多數使用的材料並不環保。長期下來，可能分解出諸多殘留物，對土壤及環境帶來負面影響；因此，近來發展出許多較為環保的材料，例如秸稈覆蓋技術（以秸稈、稻草等為材料）與在此回顧的：可降解材料覆蓋技術。

有關可降解地膜此技術的發展，約可溯至 1930 年代，開始發展出了不同的光降解地膜、生物降解地膜至光-生物雙降解地膜等，也從不完全降解發展至完全降解地膜。在西元 1973 年時，更有人提出了可降解塑膠的概念，該材料可被生物代謝，對環境影響極低。

光降解地膜可簡單分為共聚成型和添加光敏劑型兩種類型，其降解的條件為須光照，

所以容易受外在的環境變化影響，是在此提及三者中降解速度最慢的，應用上存在可能無法完全降解的困難；生物降解膜依據原理分為完全和不完全降解兩種類型，前者的材料多為天然且可被生物代謝之聚合物，例如澱粉與纖維素等，後者則是在一般塑膠的基礎上添加具有生物降解特性的材料或是降解促進劑等，雖有殘留之聚乙烯等材料可能無法完全被分解的問題，但其可以實現資源循環利用；而光-生物雙降解地膜也分為澱粉型與非澱粉型兩種，前者較為普遍，對於此種地膜的降解，雖生物與光可共同作用，但環境仍會造成一定影響，與利用光降解的地膜一樣，而其研發難度和成本均較高。



(圖源：網路；附於參考資料)

↑ 可降解覆膜對土壤及植物帶來之影響

上圖即表示出了使用生物可降解會帶來之益處，包含保持土壤溫度與濕度，輸入植物之碳增加及增加了土壤中有機碳等。與其他二種地膜的差異基本僅在其降解之方式。

貳、研究設備與器材

(一)實驗材料與器材：萵苣種子、高溫爐(F6000)、高速粉碎機(RT-02B)、恆溫水域震盪機、pH計(SP-2300)、EC計、分光光度計(PRO-779) 原子吸收光譜儀(Z-2300)、烘箱、滴定管、燒杯、錐形瓶、電磁攪拌器、濾紙、漏斗、試管。

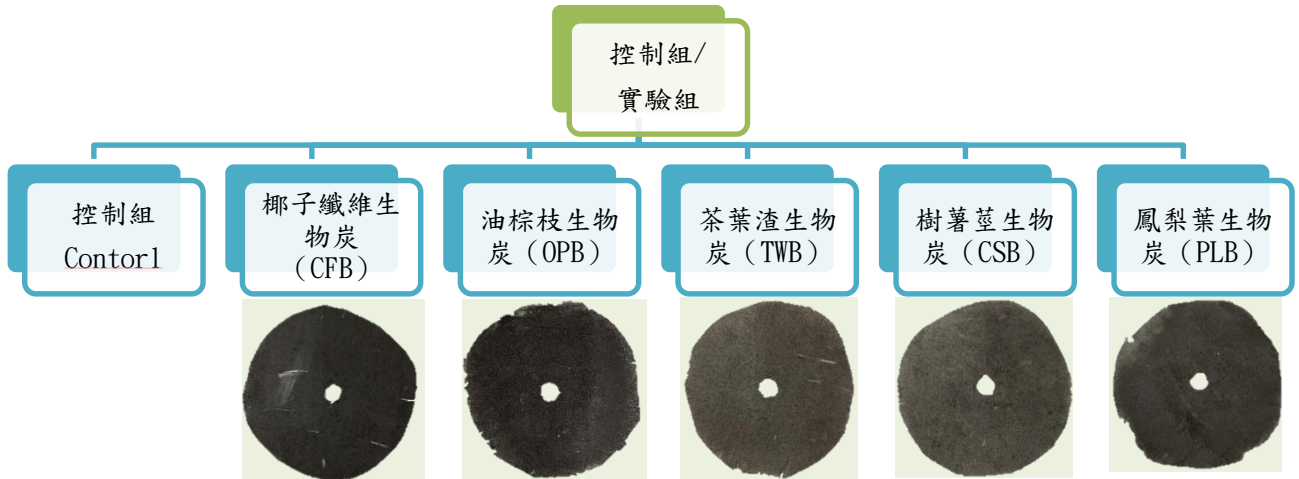
(二)實驗藥品：聚乙醇醇、聚乳酸、二氯甲烷、2%亞磷酸、七鉬酸 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ 、0.5%維生素C、乙酸銨 $(\text{CH}_3\text{COONH}_4)$ 、磷酸緩衝液、重鉻酸鉀、硫酸、硫酸亞鐵、硫酸亞鐵、鄰二氯菲硫酸、氫氧化鈉、硼酸、混合指示劑、磷酸鈉緩衝液、螢光素二乙酸酯(Fluorescein diacetate, FDA)、丙酮。

參、研究過程與方法

(一)實驗架構與流程



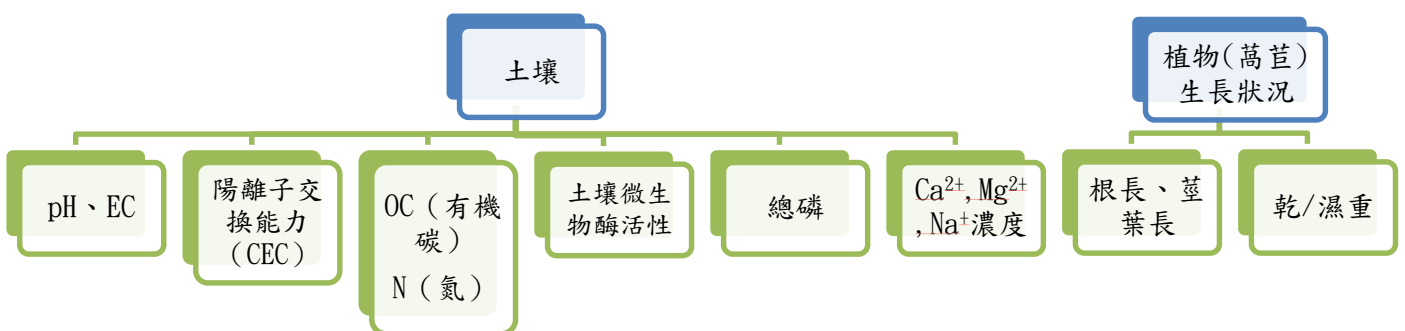
整體實驗流程圖大致如上。我們將所有材料分成控制組與五組實驗組，名稱及照片分別如下。



(CF: coconut fiber; OP: oil palm branch; TW: tea waste; CS: cassava stem; PL: pineapple leaf)

其中，生物炭的製備方法是將材料清洗乾淨並放乾後，將其放入高溫爐中，以 600° C 熱裂解兩小時（升溫為每分鐘 10° C），再以高速粉碎機製成粉。可降解覆膜是以重量百分濃度 5% 之聚乙烯醇水溶液與重量百分濃度 10% 之聚乳酸的二氯甲烷溶液 1：1 混合製成，其中加入生物炭粉；生物炭粉的重量與聚乳酸為 3：7。

以上六組盆栽皆分為酸性土壤（紅土）與鹼性土壤（黑土）兩種環境，其餘條件皆相同。實驗中的植物我們選用常見且生長較快的萵苣，於溫室環境（照片置於下方）種植約五周後採收進行土壤特性與植物生長情形的分析實驗，預計內容如下。





↑ 上為溫室環境照片。

(二)實驗步驟與原理

我們進行以下七項性質測量，量測之方法與原理如下所述。每項皆重複三次並取其平均；植物生長狀況分析則由多植株平均。

一、pH 值測量：樣本 2g 加入 5g 去離子水，放入每分鐘轉速 150 圈 (Revolution(s) Per Minute,rpm)、250°C 的恆溫水域震盪機 1.5 小時，利用 pH 計檢測溶液的 pH 值。

原理：溶液的氫離子濃度不同時，電極的電位也會變化。利用電位計測量溶液電位變化，即可利用電位與 pH 值之間的線性關係，得出測量待測溶液的酸鹼度；使用 pH 計前，必須先用 pH 7 的緩衝溶液校正，再用 pH 4 和 pH 10 的緩衝溶液校正。

二、電導度 (Electrical Conductivity, EC) 測量：樣本 2g 加入 10g 去離子水，放入 150rpm、250°C 的恆溫水域震盪機 1.5 小時後，檢測溶液的 EC 值。

原理：將兩塊平行的電極板放到樣本溶液中，在電極板的兩端加上一定的電壓，測量流過的電流，再根據歐姆定律，即可求出電導度。

三、總磷(Phosphorus)測量：5mL 樣本加入 5mL 2% 亞磷酸、2mL 七鉬酸 ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$) 與 1ml 0.5% 維生素 C，靜至數分鐘待溶液顯現藍色後，利用分光光度測量吸光值再進行計算。

原理：水樣以硫酸，過硫酸鹽消化處理，使其中的磷皆以正磷酸鹽之形式存在後，正磷酸鹽與鉬酸鉍、酒石酸銻鉀作用生成一雜多酸一磷鉬酸 (phosphomolybdic acid)，再經維生素 C 還原為藍色複合物鉬藍 (molybdenum blue)。

利用標準溶液繪製檢量線計算即可樣本濃度。

四、土壤中 Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 含量測量：2 g 樣本加入 20 mL、pH 7.2 乙酸銨($\text{CH}_3\text{COONH}_4$)搖晃過濾後以不同倍數稀釋 (Na^+ :稀釋 1 倍, Ca^{2+} : 稀釋 10 倍, Mg^{2+} : 稀釋 100 倍), 利用原子吸收光譜儀測溶液各個離子的濃度。

原理：由中空陰極燈管或無電極放電燈管所產生的特性光，穿過原子化後之特定金屬元素（樣本內待測元素），經由分光器處理後，由偵測器測量強度；分析則需先配製不同濃度的標準溶液，在相同測定條件下繪製檢量線，在測定試樣溶液的吸光度後，用內插法在檢量線上求得試樣中待測定元素的含量。

五、土壤微生物酶活性檢測：2g 樣本加入 0.5 mL FDA 與 100 mL 無菌 60 mM 磷酸鈉緩衝液，將混合物放入恆溫水浴震盪機以 25°C , 100 rpm 反應 2 小時，再以分光光度計測量與 490nm 下的吸光值比較。

原理：土壤中的酯酶、脂肪酶、蛋白酶等酶類會參與螢光素二乙酸酯的水解反應，使螢光劑釋放到水中，若是酶的活性愈高，呈現出來的螢光就會愈強。對於螢光強度的判斷，以分光光度計測量。

六、植物生長狀況分析測量：植株採收後清洗、擦乾後，測量莖葉長與根長、鮮重與乾重。乾重之測量方法是將植株置入烘箱中以 80°C 加熱，至水分乾燥後秤重。

原理：秤量乾重是在植株水分皆被去除後的重量，此時重量來源即是利用周圍資源進行光合作用之產物（如纖維素等），可幫助判斷植物生長幅度。

七、有機物測量與有機碳、氮計算：將 1 g 樣本加入 10 mL 1 M 重鉻酸鉀、10 mL 96% 濃硫酸。等待 30 分鐘後在燒瓶中加入 30 mL 去離子水輕輕搖晃，再加入 3-4 滴鐵蛋白指示劑。用 0.5 M 硫酸亞鐵滴定溶液直至顏色變為紅色（終點）；有機碳含量由有機物含量乘上 1/1.723 即可算得；氮含量則由有機物含量乘上 0.05 即得。

原理：在強酸性溶液中，用一定量的重鉻酸鉀進行濕式燃燒，氧化樣本中還原性物質，過量的重鉻酸鉀以試亞鐵靈作指示劑、用硫酸亞鐵銨溶液回滴，即可依體積用量回推算有機物質含量。

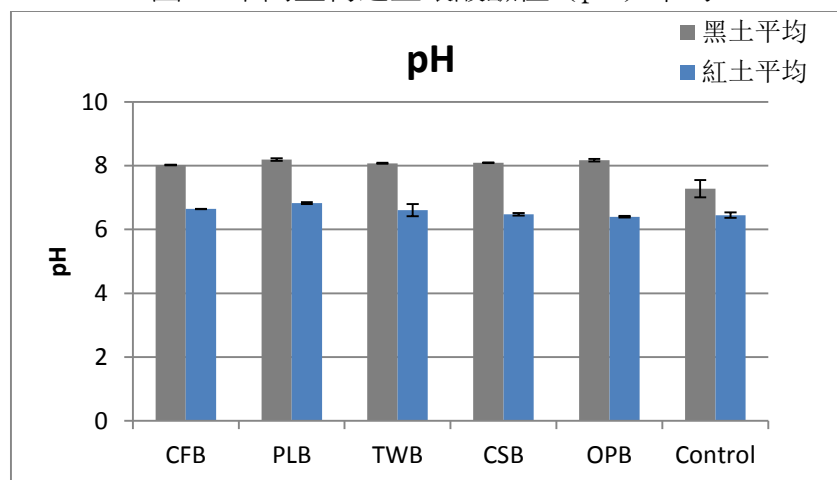
肆、結果

(一) 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤酸鹼值 (pH)

表 1. 不同生物炭覆膜之土壤酸鹼值 (pH)

生物炭種類	編號	紅土 pH 值	平均	黑土 pH 值	平均
椰子纖維 CFB	1	6.649	6.645	8.01	8.022
	2	6.642		8.035	
	3	6.643		8.022	
鳳梨葉 PLB	1	6.812	6.825	8.174	8.194
	2	6.858		8.166	
	3	6.804		8.241	
茶葉渣 TWB	1	6.711	6.604	8.097	8.076
	2	6.717		8.066	
	3	6.384		8.064	
木薯莖 CSB	1	6.524	6.48	8.082	8.093
	2	6.448		8.097	
	3	6.467		8.099	
油棕枝 OPB	1	6.41	6.4	8.192	8.172
	2	6.366		8.199	
	3	6.423		8.125	
控制組 Control	1	6.517	6.448	7.26	7.277
	2	6.471		7.553	
	3	6.355		7.018	

圖 1. 不同生物之土壤酸鹼值 (pH) 平均



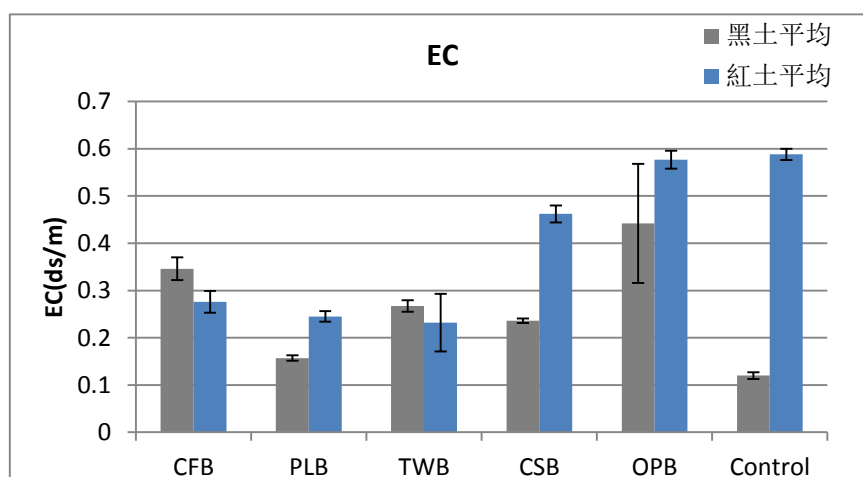
從表 1.及圖 1.中呈現出的數據，有施用生物炭薄膜的組別中，黑土組平均較其控制組高了約 0.9，紅土組呈現出的數據並未呈現出明顯差別。

(二) 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤電導度 (EC)

表 2. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤電導度 (EC)

生物炭種類	編號	紅土 EC (ds/m)	平均	黑土 EC (ds/m)	平均
椰子纖維 CFB	1	0.29	0.276	0.371	0.346
	2	0.249		0.323	
	3	0.288		0.345	
鳳梨葉 PLB	1	0.237	0.245	0.153	0.157
	2	0.257		0.154	
	3	0.241		0.164	
茶葉渣 TWB	1	0.178	0.232	0.28	0.267
	2	0.22		0.256	
	3	0.299		0.265	
木薯莖 CSB	1	0.462	0.462	0.231	0.236
	2	0.48		0.234	
	3	0.445		0.242	
油棕枝 OPB	1	0.585	0.577	0.572	0.442
	2	0.555		0.432	
	3	0.591		0.321	
控制組 Control	1	0.58	0.588	0.126	0.12
	2	0.602		0.112	
	3	0.583		0.123	

圖 2. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤電導度 (EC) 平均



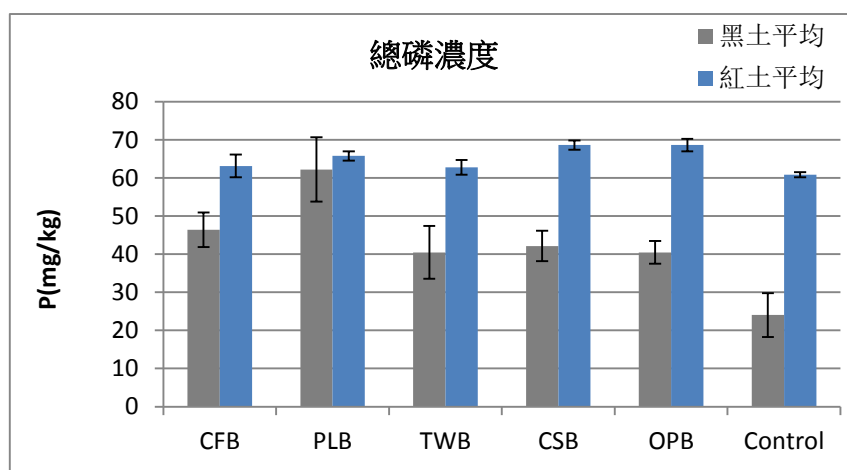
由表 2.及圖 2.呈現出的數據可發現，紅土控制組的電導度是大幅高於黑土控制組的，而施用了生物炭薄膜的組別中，紅土組幾乎皆較控制組低；黑土組則有差異不等的提升之趨勢，兩組中皆是 OPB（油棕枝）呈現出最高的數據。

(三) 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤總磷濃度

表 3. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤總磷濃度

生物炭種類	編號	紅土總磷濃度 (mg/kg)	平均	黑土總磷濃度 (mg/kg)	平均
椰子纖維 CFB	1	61.03	63.131	41.469	46.406
	2	61.803		50.355	
	3	66.559		47.393	
鳳梨葉 PLB	1	66.383	65.771	54.305	62.204
	2	64.372		61.216	
	3	66.559		71.09	
茶葉渣 TWB	1	60.676	62.782	33.57	40.482
	2	63.207		40.482	
	3	64.464		47.393	
木薯莖 CSB	1	69.736	68.624	38.507	42.127
	2	67.379		46.406	
	3	68.758		41.469	
油棕枝 OPB	1	60.676	61.318	37.52	40.482
	2	60.071		43.444	
	3	63.207		40.482	
控制組 Control	1	60.12	60.829	19.747	24.026
	2	60.941		30.608	
	3	61.427		21.722	

(三) 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤總磷濃度



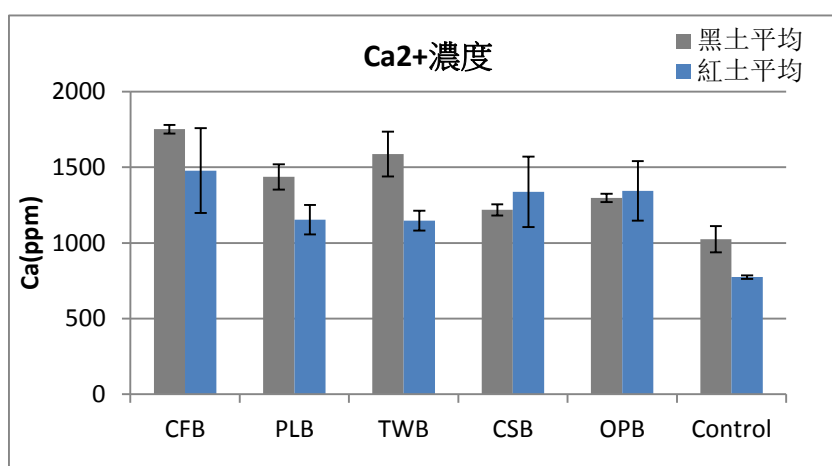
從表 3.及圖 3.中呈現的數據，可發現紅土組的濃度大致高於黑土組；在紅土組，有施用生物炭薄膜的組別並未呈現出明顯差異；黑土組中的則總磷高出控制組 16 至 38mg/(kg)不等，除黑土組中的鳳梨葉葉可看出較高，兩種土壤中實驗組間亦尚無觀察出差異。

(四) 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤 Ca²⁺、Na⁺、Mg²⁺濃度

表 4. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤 Ca²⁺濃度

生物炭種類	編號	紅土 Ca ²⁺ 濃度 (ppm)	平均	黑土 Ca ²⁺ 濃度 (ppm)	平均
椰子纖維 CFB	1	1584.071	1477.876	1727.273	1751.515
	2	1159.292		1745.455	
	3	1690.265		1781.818	
鳳梨葉 PLB	1	1061.947	1153.392	1418.182	1436.364
	2	1141.593		1363.636	
	3	1256.637		1527.273	
茶葉渣 TWB	1	1092.92	1147.493	1418.182	1587.879
	2	1221.239		1654.545	
	3	1128.319		1690.909	
木薯莖 CSB	1	1185.841	1337.758	1218.182	1218.182
	2	1606.195		1181.818	
	3	1221.239		1254.545	
油棕枝 OPB	1	1314.159	1343.658	1272.727	1296.97
	2	1163.717		1327.273	
	3	1553.097		1290.909	
控制組 Control	1	765.487	774.336	1054.545	1024.242
	2	787.611		927.273	
	3	769.912		1090.909	

圖 4. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤 Ca²⁺濃度平均

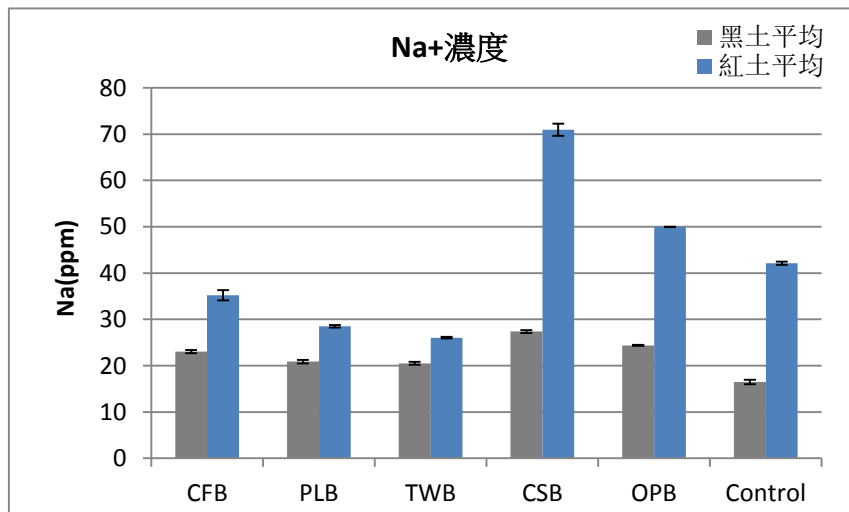


從表 4.及圖 4.的數據呈現可觀察到，在施用了生物炭可降解覆膜後，紅土中的實驗組提升了約 400 至 700ppm 不等；而黑土組中，有施用的組別則提高了約 200 至 70ppm 不等，不同實驗組間稍有差異。

表 5. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤 Na⁺濃度

生物炭種類	編號	紅土 Na ⁺ 濃度 (ppm)	平均	黑土 Na ⁺ 濃度 (ppm)	平均
椰子纖維 CFB	1	36.466	35.201	22.992	23.045
	2	34.829		23.386	
	3	34.309		22.756	
鳳梨葉 PLB	1	28.728	28.504	21.024	20.892
	2	28.579		21.181	
	3	28.207		20.472	
茶葉渣 TWB	1	25.826	26.049	20.157	20.499
	2	26.123		20.787	
	3	26.198		20.551	
木薯莖 CSB	1	69.58	70.944	27.244	27.375
	2	70.994		27.717	
	3	72.259		27.165	
油棕枝 OPB	1	49.935	49.985	24.488	24.383
	2	50.009		24.252	
	3	50.009		24.409	
控制組 Control	1	41.824	42.147	16.85	16.457
	2	42.494		16.614	
	3	42.122		15.906	

圖 5. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤 Na⁺濃度平均

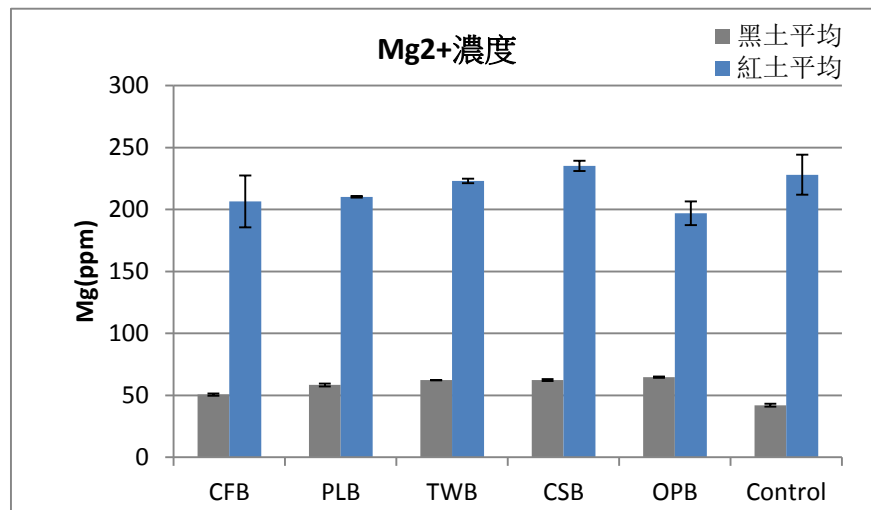


由表 5.及圖 5.的數據中可發現，施用了生物炭可降解覆膜後，在紅土組中，僅有兩組高於控制組，其他略低；黑土組中各實驗組間的趨勢與紅土組相近，與控制組相比，各組帶來的改變並不明顯，但可發現沒有實驗組低於控制組。

表 6. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤 Mg²⁺濃度

生物炭種類	編號	紅土 Mg ²⁺ 濃度 (ppm)	平均	黑土 Mg ²⁺ 濃度 (ppm)	平均
椰子纖維 CFB	1	193.78	206.476	51.0808	50.5639
	2	230.679		50.9868	
	3	194.97		49.6241	
鳳梨葉 PLB	1	209.65	210.179	57.0959	58.3177
	2	210.841		59.5395	
	3	210.047		58.3177	
茶葉渣 TWB	1	221.553	223.008	62.1241	62.1867
	2	225.124		62.406	
	3	222.347		62.0301	
木薯莖 CSB	1	239.804	235.175	61.5132	62.3277
	2	233.059		62.688	
	3	232.662		62.782	
油棕枝 OPB	1	202.509	196.954	64.0977	64.6773
	2	202.509		65.1786	
	3	185.845		64.7556	
控制組 Control	1	231.472	228.034	41.2594	41.9486
	2	210.444		41.3064	
	3	242.185		43.2801	

圖 6. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤 Mg²⁺濃度平均



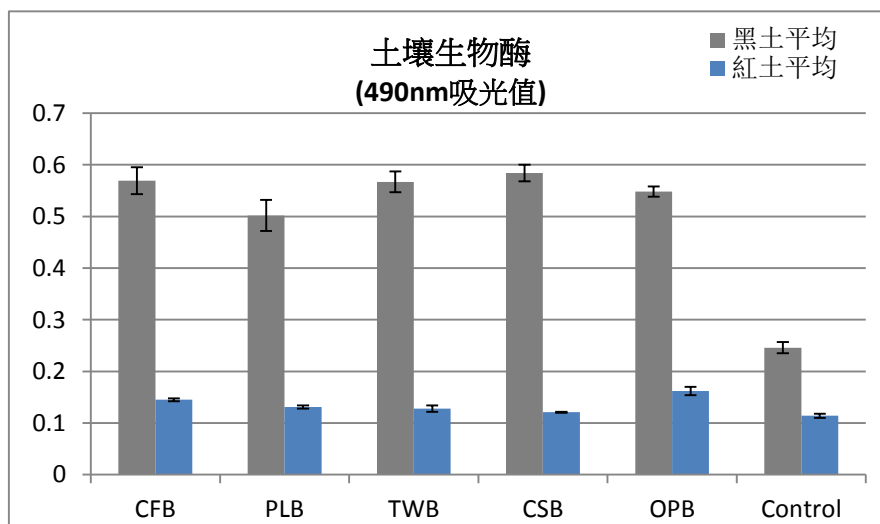
由表 6.及圖 6.中的數據來說，紅土中實驗組的 Mg²⁺濃度與控制組相比，沒有帶來明顯的差異；黑土組亦與控制組相近，整體來看似乎皆有略高於控制組的趨勢，但由於差異過小，亦無法直接判斷其差異。

(五) 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤生物酶活性 (490nm 吸光值)

表 7. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤生物酶活性 (490nm 吸光值)

生物炭種類	編號	紅土吸光值	平均	黑土吸光值	平均
椰子纖維 CFB	1	0.147	0.145	0.594	0.569
	2	0.146		0.569	
	3	0.142		0.543	
鳳梨葉 PLB	1	0.133	0.131	0.482	0.502
	2	0.133		0.537	
	3	0.128		0.488	
茶葉渣 TWB	1	0.133	0.128	0.574	0.567
	2	0.13		0.583	
	3	0.121		0.545	
木薯莖 CSB	1	0.12	0.121	0.567	0.584
	2	0.122		0.599	
	3	0.121		0.587	
油棕枝 OPB	1	0.165	0.162	0.543	0.548
	2	0.168		0.559	
	3	0.153		0.542	
控制組 Control	1	0.115	0.114	0.247	0.246
	2	0.118		0.234	
	3	0.11		0.256	

圖 7. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤生物酶活性 (吸光值) 平均



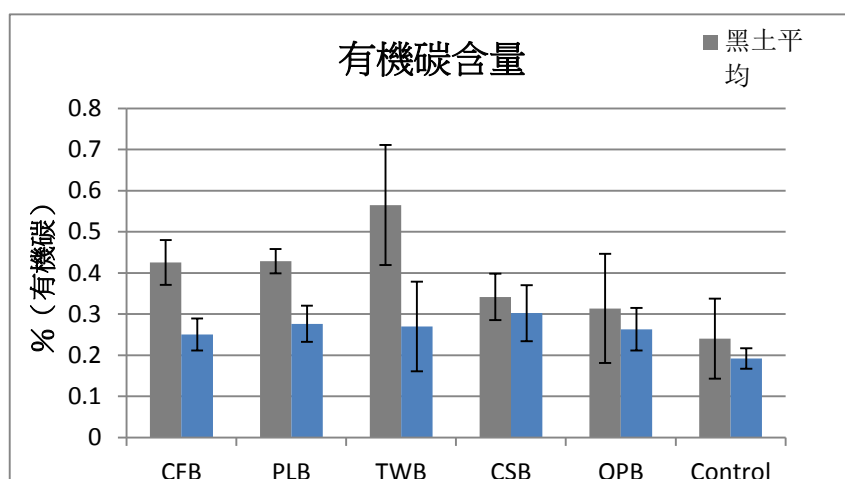
由表 7.及圖 7.呈現出的結果來看，在紅土的實驗組中，只有 OPB（油棕枝）一組有較明顯的差異，但不能肯定各組之間的差異；在黑土組中則可以發現實驗組的數據相較控制組高上許多，各實驗組間則略有差異。

(六) 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤有機碳、氮含量

表 8. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤有機碳含量

生物炭種類	編號	紅土有機碳含量 (%)	平均	黑土有機碳含量 (%)	平均
椰子纖維 CFB	1	0.292	0.25	0.416	0.426
	2	0.244		0.484	
	3	0.214		0.377	
鳳梨葉 PLB	1	0.321	0.276	0.435	0.429
	2	0.273		0.396	
	3	0.234		0.455	
茶葉渣 TWB	1	0.39	0.27	0.416	0.565
	2	0.175		0.708	
	3	0.244		0.571	
木薯莖 CSB	1	0.38	0.302	0.388	0.342
	2	0.253		0.279	
	3	0.273		0.357	
油棕枝 OPB	1	0.244	0.263	0.46	0.314
	2	0.321		0.201	
	3	0.224		0.279	
控制組 Control	1	0.166	0.192	0.143	0.24
	2	0.195		0.338	
	3	0.214		0.24	

圖 8. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤有機碳含量平均

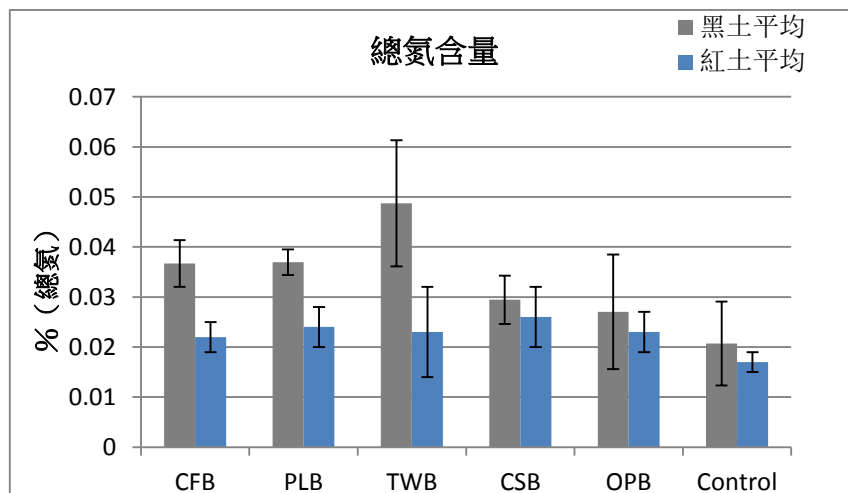


在表 8.及圖 8.的數據中，在施用了生物炭可降解覆膜後，可發現在紅土的實驗組，含量都有些微的提升，但差異並不明顯；在黑土組中則呈現了較明顯的差異，有施用覆膜的組別皆有不等的提升趨勢，以 TWB（茶葉渣）最為突出。

表 9. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤氮含量

生物炭種類	編號	紅土氮含量 (%)	平均	黑土氮含量 (%)	平均
椰子纖維 CFB	1	0.025	0.022	0.0358	0.0367
	2	0.021		0.0417	
	3	0.018		0.0325	
鳳梨葉 PLB	1	0.028	0.024	0.0375	0.0369
	2	0.024		0.0341	
	3	0.02		0.0392	
茶葉渣 TWB	1	0.034	0.023	0.0358	0.0487
	2	0.015		0.061	
	3	0.021		0.0493	
木薯莖 CSB	1	0.033	0.026	0.0334	0.0294
	2	0.022		0.024	
	3	0.024		0.0308	
油棕枝 OPB	1	0.021	0.023	0.0397	0.027
	2	0.028		0.0174	
	3	0.019		0.024	
控制組 Control	1	0.014	0.017	0.0123	0.0207
	2	0.017		0.0291	
	3	0.018		0.0207	

圖 9. 覆蓋不同生物炭覆膜之土壤氮含量平均



由表 9.及圖 9.呈現出的數據可觀察出，氮含量整體趨勢與有機碳含量是相近的。紅土中的實驗組一樣有些微的上升，但無法看出整體材料帶來之確切改變；而在黑土組中，TWB（茶葉渣）一組同樣有最為明顯的差異，其他則約略有不等的提升。

(七) 植物(萵苣)生長狀況分析

表 10.黑土組植物生長狀況分析

生物炭種類	組別	濕重 (g)	平均	乾重 (g)	平均	根長(cm)	平均	莖葉長 (cm)	平均
椰子纖維 CFB	1	11.1	10.26	0.86	0.88	8.6	8	18.7	19.4
	2	9.45		0.93		7.6		19.3	
	3	10.23		0.85		8.2		20.2	
鳳梨葉 PLB	1	10.02	8.54	0.72	0.71	7.5	7.8	21.6	20.5
	2	6.7		0.85		7.8		20.3	
	3	8.9		0.56		8.2		19.7	
茶葉渣 TWB	1	14.17	12.9	1.28	1.2	12.1	11.4	19.1	18.3
	2	13.24		1.12		10.9		18.3	
	3	11.25		1.21		11.2		17.5	
木薯莖 CSB	1	15.34	12.7	1.11	1.1	12.7	12.5	20	20
	2	12.3		1.03		13.1		21.3	
	3	10.5		1.13		11.6		18.7	
油棕枝 OPB	1	12.2	10.9	1.01	1.06	13.7	11.8	17	17.5
	2	11.2		1.12		11.2		18.1	
	3	9.4		1.06		10.4		17.5	
控制組 Control	1	4.29	4.4	0.26	0.29	4.7	4.9	15.5	13.3
	2	5.2		0.31		5.1		11.7	
	3	3.7		0.29		4.8		12.6	

表 11.紅土組植物生長狀況分析

生物炭種類	組別	濕重(g)	平均	乾重(g)	平均	根長(cm)	平均	莖葉長(cm)	平均
椰子纖維 CFB	1	5.22	5.60	0.22	0.24	6.5	6.73	15.8	15.17
	2	6.12		0.18		5.8		13.4	
	3	5.45		0.31		7.9		16.3	
鳳梨葉 PLB	1	26.85	24.77	1.61	1.54	10.3	10.83	24	22.17
	2	24.34		1.55		11.2		22	
	3	23.11		1.45		11		20.5	
茶葉渣 TWB	1	15.07	15.29	0.74	0.61	4	4.70	21	21.47
	2	14.3		0.56		4.5		23.1	
	3	16.5		0.54		5.6		20.3	
木薯莖 CSB	1	21.75	21.78	1.14	1.08	20	17.23	16	16.17
	2	22.3		1.08		15.6		15.4	
	3	21.29		1.02		16.1		17.1	

油棕枝 OPB	1	5.96	7.31	0.25	0.28	9	10.07	18	15.23
	2	8.76		0.27		10.2		12.3	
	3	7.22		0.31		11		15.4	
控制組 Control	1	5.77	4.36	0.25	0.24	7.4	6.30	17.5	16.83
	2	3.21		0.28		6.5		17	
	3	4.1		0.18		5		16	

圖 10.植物濕重平均

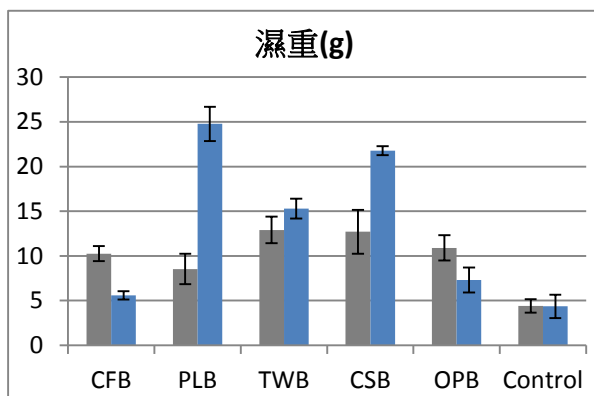


圖 11.植物乾重平均

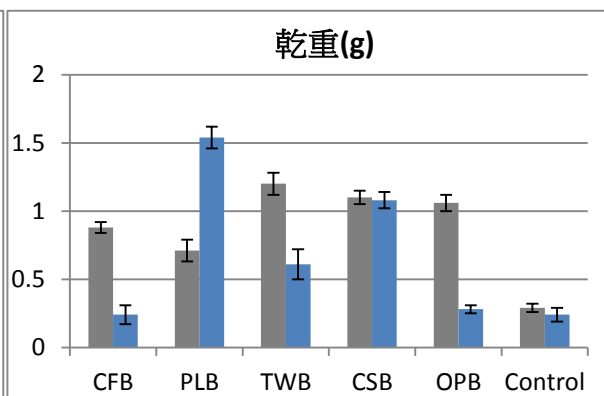


圖 12.植物根長平均

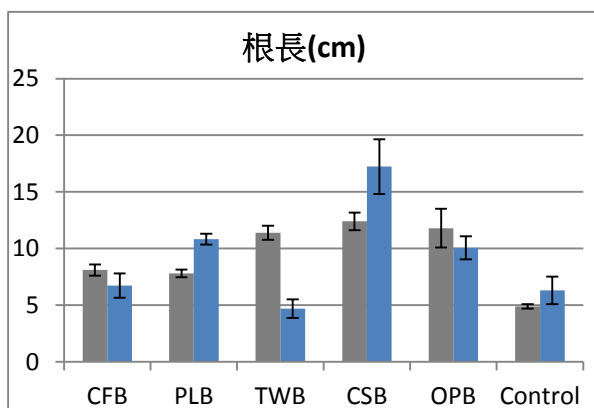
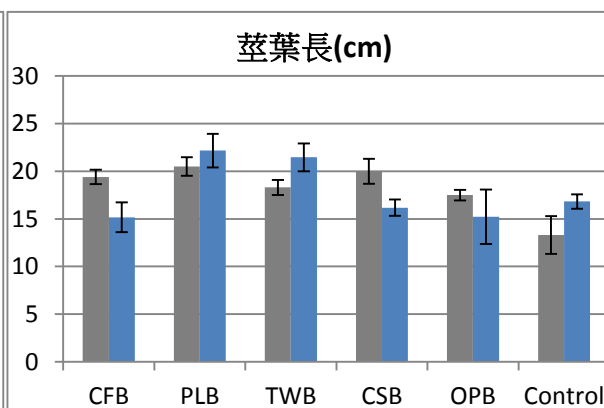


圖 13.植物莖葉長平均

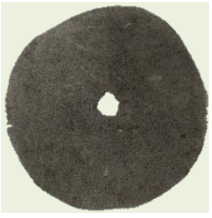

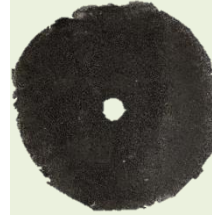

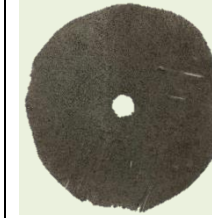




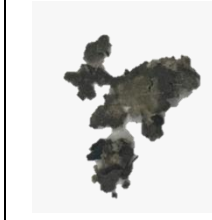


從表 10.與 11.、圖 10.-13.中可觀察出，在施用了生物炭覆膜後，濕重比起控制組，大部分的組別在數據上是較高的，乾重也是一樣的趨勢；莖葉長無法觀察出提升，所有組別的分佈皆相近，根長則和重量較相似，組間差距較明顯。而紅土中 TWB（茶葉渣）根長最低但莖葉生長並不明顯於其他組的情況，推測是採收過程破壞了根造成的數值。

（八）五周前後，覆膜降解情況觀察。

下表 12.中，上方的圖片是各生物炭可降解覆膜施用前的照片；下方則是於五周後從土壤表面挑出的可降解覆膜殘留物。

表 12. 覆膜降解情況觀察

木薯莖 (CSB)	椰子纖維 (CFB)	油棕枝 (OPB)	鳳梨葉 (PLB)	茶葉渣 (TWB)
				
				

可於表 12.中發現，雖以照片無法看出實際大小變化，但在五周後，覆膜明顯變得破碎，僅能從土壤表面挑取部分碎片，大部分已降解並混進土壤，若以重量變化來計算降解程度，因無法挑出較大、較完整的碎片，可視為 1。

伍、討論

一、施用不同生物炭覆膜之土壤酸鹼值與電導度

有施用生物炭覆膜的組別，在黑土中皆呈現出了明顯的提升，在紅土中則甚至有組別是低於控制組。我們推論是，而生物炭釋出的離子，與提升的微生物活性使銨態氮增加使酸鹼值升高，但覆膜本身是聚乳酸製成，水解後釋出的乳酸會造成酸鹼值的下降，而黑土中較豐富的礦物質協助了酸鹼值的穩定。

至於電導度一項，在黑土中，實驗組皆高出控制組的表現；但在紅土中，控制組卻是最高的組別，僅有 OPB（油棕枝）與其相近，推測與在較低的酸鹼值中，生物炭的表面官能團與離子反應，使離子轉為較難融水的型態有關。

二、施用不同生物炭覆膜之土壤總磷濃度

在土壤總磷的方面，於黑土施用的組別與控制組在統計並未顯示出明顯差異；而紅土中的各實驗組皆較控制組有更好的表現，其中以 CSB（木薯莖）最高。對於兩種土壤的

整體差異，我們推測可能是酸鹼值影響表現，因磷會在酸鹼值約 6.5-7.5 時有效性最高，黑土可能由於其過高的酸鹼值，使磷與離子（例如 Ca^{2+} ，我們可在附錄的相關係數表中發現兩者多呈負相關）結合而可溶性降低。

三、施用不同生物炭覆膜之土壤 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 濃度

有關於此三種離子在土壤中的濃度，我們從統計分析中發現，對於不同的離子，表現最高的組是不同的生物炭：在黑土中， Ca^{2+} 表現最高的組別是 PLB（鳳梨葉）一組，但以 Na^+ 而言，則是 CSB（木薯莖）的表現最好。同樣的生物炭覆膜在不同土壤中也展現出了些許的不同，尤其是 OPB（油棕枝）一組，其在 Ca^{2+} 於紅土中最高，卻在黑土中表現較差。以相關係數分析也無法看出一定趨勢，可能須由生物炭與覆膜性質來探討。

四、施用不同生物炭覆膜之土壤生物酶活性

在土壤生物酶活性一項性質，在有施用生物炭覆膜的組別中 皆有提升。以不同土壤來討論，在紅土中，僅有 OPB（油棕枝）一組帶來最高的表現，其他實驗組表現較低；在黑土中各實驗組的表現皆呈現較高，最高的組別則是 CSB（木薯莖）等三組。在此項性質，我們原先認為其中一項影響因素是有機碳的含量：若是有較高的有機碳含量，可能使微生物的呼吸作用旺盛，而其後分解有機物質帶來磷與氮的釋放；然而在相關係數分析沒有較一致的趨勢。

五、施用不同生物炭覆膜之土壤有機炭與氮含量

在有施用生物炭覆膜的實驗組中，以紅土而言，經過統計分析計算後無得出顯著差異；在黑土中則皆有顯著差異（提升），以 TWB（茶葉渣）一組表現最高。我們原先推測，土壤中的微生物活性若是愈旺盛，消耗的有機碳應愈多，然而在相關係數分析無法得出趨勢，在文獻中發現，生物炭的添加對土壤有機碳的影響可能提升亦可能降低，視有機碳的礦化是被促進或抑制，而其取決於土壤與生物炭本身性質，也許對生物炭性質與有機碳之關聯性可以放入未來展望。

六、施用不同生物炭覆膜之植物（萵苣）生長分析

植物生長分析中，有施用生物炭覆膜的組別濕重皆有高於控制組的傾向，然若以乾重來看，紅土中僅有兩組可明顯觀察出與控制組的差異，而於黑土中，各組的提升較明顯。對於莖葉生長的長度而言，各組之間無法判斷差異是否存在，在根長則有類似濕重的趨

勢：紅土施用 TWB（茶葉渣）一組出現了最低的數據，但可能會受根長生長影響的莖葉長於這個組別並無較低的表現，我們推測這可能是在採收的過程中不慎破壞根部導致的。

其餘的組別中，紅土組的 CFB（椰子纖維）和 OPB（油棕枝）有較差的表現；較意外的是 OPB（油棕枝）在各項性質的分析上有較高的表現，卻無帶來較好的植物生長表現，可能代表其帶來的改變並非萵苣生長所需或適宜的狀況。我們認為若是進行植物生長狀況與各主要性質（如酸鹼值、電導度、總磷濃度等）的相關係數分析，也許能進一步得知萵苣偏好的生長環境，這可在未來若挑選其他生物炭進行實驗時提供參考。

陸、結論

一、分析生物炭覆膜施用後土壤之性質與控制組差異：

施用生物炭可降解覆膜對於土壤的數項性質確實帶來提升，在黑土中普遍能提升酸鹼值，對於有機碳與生物酶活性等性質也帶來了一定的改變，於各項性質的統計分析中，即可以發現黑土的實驗組多高於控制組或至少相近，沒有任何項目低於控制組；在紅土中對於酸鹼值的影響並不明顯，在電導度或三種離子等項目也能發現部分實驗組低於實驗組，但在總磷濃度與生物酶活性兩項性質帶來了提升。

二、探討不同種類之覆膜在相同土壤中對萵苣生長之影響：

在紅土中，以圖表數據來看，帶來最高影響的應為 PLB（鳳梨葉）、CSB（木薯莖）兩組；在黑土中，同樣以圖表數據來看，各組差異相近，若要取出二組表現較為優異的，初步估為 CSB（木薯莖）與 TWB（茶葉渣）二組。

三、探究相同種類之覆膜在不同土壤中對萵苣生長之影響：以圖表數據而言，對於不同的土壤種類，各實驗組間並未呈現固定的高低趨勢；如 PLB（鳳梨葉）一組在紅土中的表現高於黑土組，然而 TWB（茶葉渣）一組則在黑土中表現較好。

總結各項性質與植物生長、降解狀況來看，本實驗使用的生物炭可降解覆膜材料確實是可在部分土壤性質與萵苣生長帶來正面影響的，並且五周後降解狀況明顯，若是將觀察時間拉長，材料是可以完全被分解並混入土中，為土壤帶來生物炭更完整幫助的。

柒、未來展望

對於未來展望，除了將其餘的實驗完成呈現出來、進行相關係數分析來更進一步探討性質間互相的影響外，希望能對於生物炭覆膜本身的特性多做實驗與探討；如其表徵的特性與生物炭成分組成，或許能對其在離子表現的影響上能有更進一步的了解；若是對其機械性質增加如抗拉強度等，與其降解速度相關的實驗，就可更進一步比較不同種類的降解速度機械性質差異；保濕與保溫能力也與其本身的透水等性質有關，希望未來能對各項性質有更完善的分析討論，未來若使用其他種生物炭或種植其他植物時有更方便挑選或是參考的指標。

捌、參考資料

1. F. Verheijen, S. Jeffery, A.C. Bastos, M. van der Velde, I. Diafas (2010). Biochar Application to Soils A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions
2. William J. Jones & Nadezhda D. Ananyeva. (2001). Correlations between pesticide transformation rate and microbial respiration activity in soil of different ecosystems .Biology and Fertility of Soils volume 33, 477 – 483 .
3. 蔡佳儒、吳耿東(2016)。臺灣農業廢棄物製備－生物炭之未來與展望。農業生技產業季刊，46期，201606。
4. 謝祖彬、劉琦、許燕萍、朱春悟(2010)。生物炭研究進展及其研究方向。土壤，第43卷，第6期。
5. 李榮侯、賢清(2016)。農業環保型材料覆蓋技術研究進展。核農學報，30(11)，2282～2287)。
6. 行政院環保署(中華民國101年7月31日環署檢字第1010065302號公告)。火焰式原子吸收光譜法。取自：<https://www.epa.gov.tw/DisplayFile.aspx?FileID=FC651EE7D901CBB1>

7. William J. Jones & Nadezhda D. Ananyeva. (2001). Correlations between pesticide transformation rate and microbial respiration activity in soil of different ecosystems .Biology and Fertility of Soils volume 33, 477 - 483 .
8. 簡士濠、江介倫、王建昇、張庠睿 (2012)。添加生物炭對酸性紅壤肥力之影響。農業工程學報，第 58 卷，第 4 期，15-22。
9. 趙軍霞 (2003)。土壤酸鹼性與植物的生長。北方農業學報，2003，(6): 33-33。
10. 陳穎、劉玉學、陳重軍、呂豪豪、汪玉瑛、何莉莉、楊生茂 (2018)。生物炭對土壤有機碳礦化的激發效應及其機理研究進展。應用生態學報，2018 年 1 月，第 29 卷，第 1 期，314-320。

.圖源：土壤碳循環與地膜覆蓋實驗室；取自：<https://www.labxing.com/lab/629/research/1589>

附錄

一、杜凱確實差異檢定 (Tukey HSD Test)

表 1. 黑土中，施用不同生物炭降解覆膜土壤性質差異檢定

Sample	pH	EC	OC	N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	P	enzyme
Control	7.2770b	120.33d	.2403b	.0207b	1024.2423d	41.9486e	16.4567e	24.0257b	.2457c
CFB	8.0223a	346.33ab	.4254ab	.0367ab	1381.818bc	50.5639d	23.0447c	42.7853b	.5687a
PLB	8.1937a	156.96cd	.4286ab	.0369ab	1751.5153a	58.3177c	20.8923d	62.2037a	.5023b
TWB	8.0757a	267.00bc	.5650a	.0487a	1587.8787ab	62.1867b	20.4983d	40.4817b	.5673a
CSB	8.0927a	235.66abc	.3416ab	.0294ab	1436.3637bc	62.3277b	27.3753a	42.1273b	.5843a
OPB	8.1720a	441.73a	.3136ab	.0270ab	1218.1817cd	64.6773a	24.3830b	40.4820b	.5480ab

表 2. 紅土中，施用不同生物炭降解覆膜土壤性質差異檢定

Sample	pH	EC	OC	N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	P	enzyme
Control	6.4477bc	588.333a	.1917a	.0163a	774.3367b	228.0337ab	42.1467c	60.8293c	.1143d
CFB	6.6447ab	275.667c	.25a	.0213a	1477.876a	206.4763ab	35.2013d	63.1307bc	.145b
PLB	6.8247a	245c	.276a	.024a	1153.3923ab	210.1793ab	28.5047e	65.7713ab	.1313c
TWB	6.604abc	232.333c	.2697a	.0233a	1147.4927ab	223.008ab	26.049f	62.7823bc	.128c
CSB	6.4797bc	462.333b	.302a	.0263a	1337.7583a	235.1750a	70.9443a	68.6243a	.121c
OPB	6.3997c	577a	.2630a	.0277a	1343.6577a	196.9543b	49.9843b	61.318bc	.162a

(OC：有機碳含量；enzyme：土壤生物酶活性)

二、皮爾森積差相關分析 (Pearson Correlation)

(A soil代表鹼性黑土；R soil代表紅土。全部的數據組數皆為3)

CFBM-A soil-Correlations

		降解	pH	EC	OC	Ca	Mg	Na	P	生物酶	N
降解	Correlation	1	-.874	.742	-.997*	.815	.707	-.581	-.096	.359	-.997*
	Sig. (2-tailed)		.323	.468	.046	.393	.500	.606	.939	.766	.046
pH	Correlation	-.874	1	-.323	.907	-.994	-.275	.903	.567	.139	.907
	Sig. (2-tailed)	.323		.790	.276	.070	.823	.283	.616	.911	.276
EC	Correlation	.742	-.323	1	-.691	.217	.999*	.115	.596	.892	-.691
	Sig. (2-tailed)	.468	.790		.514	.861	.033	.927	.593	.299	.514
OC	Correlation	-.997*	.907	-.691	1	-.855	-.654	.638	.168	-.290	1.000**
	Sig. (2-tailed)	.046	.276	.514		.347	.547	.559	.893	.813	.000
Ca	Correlation	.815	-.994	.217	-.855	1	.167	-.945	-.655	-.248	-.855
	Sig. (2-tailed)	.393	.070	.861	.347		.893	.212	.546	.840	.347
Mg	Correlation	.707	-.275	.999*	-.654	.167	1	.165	.636	.914	-.654
	Sig. (2-tailed)	.500	.823	.033	.547	.893		.894	.561	.266	.547
Na	Correlation	-.581	.903	.115	.638	-.945	.165	1	.866	.551	.638
	Sig. (2-tailed)	.606	.283	.927	.559	.212	.894		.333	.628	.559
N	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
P	Correlation	-.096	.567	.596	.168	-.655	.636	.866	1	.895	.168
	Sig. (2-tailed)	.939	.616	.593	.893	.546	.561	.333		.295	.893
生物酶	Correlation	.359	.139	.892	-.290	-.248	.914	.551	.895	1	-.290
	Sig. (2-tailed)	.766	.911	.299	.813	.840	.266	.628	.295		.813
N	Correlation	-.997*	.907	-.691	1.000**	-.855	-.654	.638	.168	-.290	1
	Sig. (2-tailed)	.046	.276	.514	.000	.347	.547	.559	.893	.813	

PLBM-A soil-Correlations

		pH	ec	OC	P	生物酶	Ca	Mg	Na	N	降解
pH	Correlation	1	.998*	.136	.210	-.461	.257	-.392	.946	.136	1.000*
	Sig. (2-tailed)		.039	.913	.865	.695	.835	.743	.210	.913	.019
ec	Correlation	.998*	1	.075	.269	-.515	.197	-.335	.964	.075	.999*
	Sig. (2-tailed)	.039		.952	.826	.656	.874	.782	.171	.952	.020
OC	Correlation	.136	.075	1	-.940	.816	.992	-.965	-.192	1.000**	.107
	Sig. (2-tailed)	.913	.952		.221	.392	.079	.170	.877	.000	.932
P	Correlation	.210	.269	-.940	1	-.964	-.891	.817	.515	-.940	.239
	Sig. (2-tailed)	.865	.826	.221		.171	.300	.391	.655	.221	.847

生物酶	Correlation	-.461	-.515	.816	-.964	1	.739	-.635	-.724	.816	-.487
	Sig. (2-tailed)	.695	.656	.392	.171		.471	.562	.485	.392	.676
Ca	Correlation	.257	.197	.992	-.891	.739	1	-.990	-.070	.992	.228
	Sig. (2-tailed)	.835	.874	.079	.300	.471		.091	.955	.079	.853
Mg	Correlation	-.392	-.335	-.965	.817	-.635	-.990	1	-.073	-.965	-.365
	Sig. (2-tailed)	.743	.782	.170	.391	.562	.091		.953	.170	.762
Na	Correlation	.946	.964	-.192	.515	-.724	-.070	-.073	1	-.192	.955
	Sig. (2-tailed)	.210	.171	.877	.655	.485	.955	.953		.877	.191
N	Correlation	.136	.075	1.000**	-.940	.816	.992	-.965	-.192	1	.107
	Sig. (2-tailed)	.913	.952	.000	.221	.392	.079	.170	.877		.932
降解	Correlation	1.000*	.999*	.107	.239	-.487	.228	-.365	.955	.107	1
	Sig. (2-tailed)	.019	.020	.932	.847	.676	.853	.762	.191	.932	

TWBM-A soil-Correlations

		pH	ec	OC	P	生物酶	Ca	Mg	Na	N	降解
pH	Correlation	1	.978	-.433	.910	-.008	-.954	-.096	-.670	-.433	-.953
	Sig. (2-tailed)		.134	.715	.272	.995	.194	.939	.532	.715	.197
ec	Correlation	.978	1	-.235	.803	-.217	-.870	.115	-.500	-.235	-.868
	Sig. (2-tailed)	.134		.849	.407	.861	.328	.927	.667	.849	.331
OC	Correlation	-.433	-.235	1	-.768	-.898	.684	.939	.959	1.000**	.687
	Sig. (2-tailed)	.715	.849		.442	.290	.521	.224	.182	.000	.518
P	Correlation	.910	.803	-.768	1	.407	-.992	-.500	-.918	-.768	-.993
	Sig. (2-tailed)	.272	.407	.442		.733	.078	.667	.260	.442	.075
生物酶	Correlation	-.008	-.217	-.898	.407	1	-.292	-.995	-.737	-.898	-.297
	Sig. (2-tailed)	.995	.861	.290	.733		.811	.066	.473	.290	.808
Ca	Correlation	-.954	-.870	.684	-.992	-.292	1	.390	.862	.684	1.000**
	Sig. (2-tailed)	.194	.328	.521	.078	.811		.745	.339	.521	.003
Mg	Correlation	-.096	.115	.939	-.500	-.995	.390	1	.803	.939	.394
	Sig. (2-tailed)	.939	.927	.224	.667	.066	.745		.407	.224	.742
Na	Correlation	-.670	-.500	.959	-.918	-.737	.862	.803	1	.959	.864
	Sig. (2-tailed)	.532	.667	.182	.260	.473	.339	.407		.182	.336
N	Correlation	-.433	-.235	1.000**	-.768	-.898	.684	.939	.959	1	.687
	Sig. (2-tailed)	.715	.849	.000	.442	.290	.521	.224	.182		.518
降解	Correlation	-.953	-.868	.687	-.993	-.297	1.000**	.394	.864	.687	1
	Sig. (2-tailed)	.197	.331	.518	.075	.808	.003	.742	.336	.518	

CSBM-A soil-Correlations

		pH	ec	OC	P	生物酶	Ca	Mg	Na	N	降解
pH	Correlation	1	.778	-.464	.561	.685	-.395	-.962	-.827	-.464	-.964
	Sig. (2-tailed)		.432	.693	.620	.520	.742	.175	.380	.693	.171
ec	Correlation	.778	1	.195	.957	.991	-.884	-.578	-.291	.195	-.583
	Sig. (2-tailed)	.432		.875	.188	.087	.309	.607	.812	.875	.604
OC	Correlation	-.464	.195	1	.473	.328	-.631	.687	.881	1.000**	.683
	Sig. (2-tailed)	.693	.875		.687	.788	.566	.518	.313	.000	.521
P	Correlation	.561	.957	.473	1	.987	-.982	-.316	.000	.473	-.321
	Sig. (2-tailed)	.620	.188	.687		.101	.121	.796	1.000	.687	.792
生物酶	Correlation	.685	.991	.328	.987	1	-.940	-.461	-.158	.328	-.466
	Sig. (2-tailed)	.520	.087	.788	.101		.222	.695	.899	.788	.691
Ca	Correlation	-.395	-.884	-.631	-.982	-.940	1	.130	-.189	-.631	.136
	Sig. (2-tailed)	.742	.309	.566	.121	.222		.917	.879	.566	.913
Mg	Correlation	-.962	-.578	.687	-.316	-.461	.130	1	.949	.687	1.000**
	Sig. (2-tailed)	.175	.607	.518	.796	.695	.917		.204	.518	.004
Na	Correlation	-.827	-.291	.881	.000	-.158	-.189	.949	1	.881	.947
	Sig. (2-tailed)	.380	.812	.313	1.000	.899	.879	.204		.313	.208
N	Correlation	-.464	.195	1.000**	.473	.328	-.631	.687	.881	1	.683
	Sig. (2-tailed)	.693	.875	.000	.687	.788	.566	.518	.313		.521
降解	Correlation	-.964	-.583	.683	-.321	-.466	.136	1.000**	.947	.683	1
	Sig. (2-tailed)	.171	.604	.521	.792	.691	.913	.004	.208	.521	

OPBM-A soil-Correlations

		pH	ec	OC	P	生物酶	Ca	Mg	Na	N	降解
pH	Correlation	1	.845	-.889	.954	.827	-.226	.995	-.922	-.889	-.851
	Sig. (2-tailed)		.359	.302	.193	.380	.855	.065	.253	.302	.352
ec	Correlation	.845	1	-.508	.966	.398	.329	.786	-.573	-.508	-.438
	Sig. (2-tailed)	.359		.661	.166	.739	.786	.424	.612	.661	.711
OC	Correlation	-.889	-.508	1	-.712	-.992	.646	-.932	.997*	1.000**	.997
	Sig. (2-tailed)	.302	.661		.495	.078	.553	.237	.049	.000	.050
P	Correlation	.954	.966	-.712	1	.621	.075	.919	-.765	-.712	-.655
	Sig. (2-tailed)	.193	.166	.495		.573	.952	.259	.446	.495	.546
生物酶	Correlation	.827	.398	-.992	.621	1	-.735	.880	-.980	-.992	-.999*

	Sig. (2-tailed)	.380	.739	.078	.573		.474	.315	.128	.078	.028
Ca	Correlation	-.226	.329	.646	.075	-.735	1	-.325	.585	.646	.705
	Sig. (2-tailed)	.855	.786	.553	.952	.474		.789	.602	.553	.502
Mg	Correlation	.995	.786	-.932	.919	.880	-.325	1	-.957	-.932	-.900
	Sig. (2-tailed)	.065	.424	.237	.259	.315	.789		.187	.237	.287
Na	Correlation	-.922	-.573	.997*	-.765	-.980	.585	-.957	1	.997*	.988
	Sig. (2-tailed)	.253	.612	.049	.446	.128	.602	.187		.049	.100
N	Correlation	-.889	-.508	1.000**	-.712	-.992	.646	-.932	.997*	1	.997
	Sig. (2-tailed)	.302	.661	.000	.495	.078	.553	.237	.049		.050
降解	Correlation	-.851	-.438	.997	-.655	-.999*	.705	-.900	.988	.997	1
	Sig. (2-tailed)	.352	.711	.050	.546	.028	.502	.287	.100	.050	

CFBM-R soil-Correlations

		pH	ec	OC	P	生物酶	Ca	Mg	Na	N	降解
pH	Correlation	1	.644	-.116	-.905	.973	.792	-.632	.934	-.094	-.283
	Sig. (2-tailed)		.555	.926	.280	.149	.418	.564	.233	.940	.818
ec	Correlation	.644	1	.686	-.908	.449	.043	-1.000**	.328	.701	.552
	Sig. (2-tailed)	.555		.519	.275	.704	.972	.009	.787	.505	.628
OC	Correlation	-.116	.686	1	-.318	-.343	-.698	-.696	-.463	1.000*	.985
	Sig. (2-tailed)	.926	.519		.794	.777	.509	.510	.694	.014	.109
P	Correlation	-.905	-.908	-.318	1	-.782	-.458	.902	-.693	-.338	-.152
	Sig. (2-tailed)	.280	.275	.794		.429	.697	.285	.512	.780	.903
生物酶	Correlation	.973	.449	-.343	-.782	1	.912	-.435	.991	-.323	-.497
	Sig. (2-tailed)	.149	.704	.777	.429		.269	.713	.084	.791	.669
Ca	Correlation	.792	.043	-.698	-.458	.912	1	-.028	.958	-.682	-.809
	Sig. (2-tailed)	.418	.972	.509	.697	.269		.982	.185	.522	.400
Mg	Correlation	-.632	-1.000**	-.696	.902	-.435	-.028	1	-.314	-.712	-.565
	Sig. (2-tailed)	.564	.009	.510	.285	.713	.982		.797	.496	.618
Na	Correlation	.934	.328	-.463	-.693	.991	.958	-.314	1	-.444	-.607
	Sig. (2-tailed)	.233	.787	.694	.512	.084	.185	.797		.707	.585
N	Correlation	-.094	.701	1.000*	-.338	-.323	-.682	-.712	-.444	1	.982
	Sig. (2-tailed)	.940	.505	.014	.780	.791	.522	.496	.707		.122
降解	Correlation	-.283	.552	.985	-.152	-.497	-.809	-.565	-.607	.982	1
	Sig. (2-tailed)	.818	.628	.109	.903	.669	.400	.618	.585	.122	

PLBM-R soil-Correlations

		pH	ec	OC	P	生物酶	Ca	Mg	Na	N	降解
pH	Correlation	1	.947	.078	-.897	-.382	-.240	.891	.371	.137	.640
	Sig. (2-tailed)		.209	.950	.292	.751	.846	.300	.758	.912	.558
ec	Correlation	.947	1	-.247	-.707	-.064	-.540	.990	.052	-.189	.853
	Sig. (2-tailed)	.209		.841	.500	.959	.637	.091	.967	.879	.349
OC	Correlation	.078	-.247	1	-.511	-.951	.949	-.383	.955	.998*	-.716
	Sig. (2-tailed)	.950	.841		.659	.200	.204	.750	.192	.038	.492
P	Correlation	-.897	-.707	-.511	1	.751	-.214	-.599	-.743	-.561	-.234
	Sig. (2-tailed)	.292	.500	.659		.459	.863	.592	.467	.621	.850
生物酶	Correlation	-.382	-.064	-.951	.751	1	-.805	.079	-1.000**	-.968	.466
	Sig. (2-tailed)	.751	.959	.200	.459		.404	.950	.008	.162	.691
Ca	Correlation	-.240	-.540	.949	-.214	-.805	1	-.655	.812	.929	-.900
	Sig. (2-tailed)	.846	.637	.204	.863	.404		.546	.396	.242	.287
Mg	Correlation	.891	.990	-.383	-.599	.079	-.655	1	-.091	-.327	.919
	Sig. (2-tailed)	.300	.091	.750	.592	.950	.546		.942	.788	.258
Na	Correlation	.371	.052	.955	-.743	-1.000**	.812	-.091	1	.971	-.477
	Sig. (2-tailed)	.758	.967	.192	.467	.008	.396	.942		.154	.684
N	Correlation	.137	-.189	.998*	-.561	-.968	.929	-.327	.971	1	-.674
	Sig. (2-tailed)	.912	.879	.038	.621	.162	.242	.788	.154		.529
降解	Correlation	.640	.853	-.716	-.234	.466	-.900	.919	-.477	-.674	1
	Sig. (2-tailed)	.558	.349	.492	.850	.691	.287	.258	.684	.529	

TWBM-R soil-Correlations

		pH	ec	OC	P	生物酶	Ca	Mg	Na	N	降解
pH	Correlation	1	-.934	-.938	.952	-.994	.643	.320	-.644	-.940	.898
	Sig. (2-tailed)		.232	.225	.199	.073	.556	.792	.555	.222	.290
ec	Correlation	-.934	1	1.000**	-.999*	.969	-.874	.039	.874	1.000**	-.996
	Sig. (2-tailed)	.232		.007	.033	.160	.324	.975	.322	.010	.058
OC	Correlation	-.938	1.000**	1	-.999*	.972	-.868	.027	.869	1.000**	-.995
	Sig. (2-tailed)	.225	.007		.026	.152	.331	.983	.330	.002	.065
P	Correlation	.952	-.999*	-.999*	1	-.980	.847	.013	-.848	-.999*	.990
	Sig. (2-tailed)	.199	.033	.026		.126	.357	.991	.356	.023	.091
生物酶	Correlation	-.994	.969	.972	-.980	1	-.726	-.210	.727	.972	-.942
	Sig. (2-tailed)	.073	.160	.152	.126		.483	.865	.482	.150	.217

Ca	Correlation	.643	-.874	-.868	.847	-.726	1	-.520	-1.000**	-.866	.914
	Sig. (2-tailed)	.556	.324	.331	.357	.483		.652	.001	.333	.266
Mg	Correlation	.320	.039	.027	.013	-.210	-.520	1	.519	.023	-.129
	Sig. (2-tailed)	.792	.975	.983	.991	.865	.652		.653	.985	.918
Na	Correlation	-.644	.874	.869	-.848	.727	-1.000**	.519	1	.867	-.915
	Sig. (2-tailed)	.555	.322	.330	.356	.482	.001	.653		.332	.265
N	Correlation	-.940	1.000**	1.000**	-.999*	.972	-.866	.023	.867	1	-.994
	Sig. (2-tailed)	.222	.010	.002	.023	.150	.333	.985	.332		.067
降解	Correlation	.898	-.996	-.995	.990	-.942	.914	-.129	-.915	-.994	1
	Sig. (2-tailed)	.290	.058	.065	.091	.217	.266	.918	.265	.067	

CSBM-R soil-Correlations

		pH	ec	OC	P	生物酶	Ca	Mg	Na	N	降解
pH	Correlation	1	-.256	.995	-.468	-.577	.971	.958	-.742	.997*	-.693
	Sig. (2-tailed)		.835	.061	.690	.609	.154	.186	.467	.045	.512
ec	Correlation	-.256	1	-.163	-.734	-.642	-.016	.033	-.457	-.187	.874
	Sig. (2-tailed)	.835		.896	.475	.556	.989	.979	.698	.880	.323
OC	Correlation	.995	-.163	1	-.550	-.652	.989	.981	-.803	1.000*	-.621
	Sig. (2-tailed)	.061	.896		.629	.548	.094	.125	.406	.016	.573
P	Correlation	-.468	-.734	-.550	1	.992	-.667	-.703	.939	-.530	-.312
	Sig. (2-tailed)	.690	.475	.629		.081	.536	.504	.223	.645	.798
生物酶	Correlation	-.577	-.642	-.652	.992	1	-.756	-.787	.975	-.633	-.189
	Sig. (2-tailed)	.609	.556	.548	.081		.454	.423	.141	.564	.879
Ca	Correlation	.971	-.016	.989	-.667	-.756	1	.999*	-.882	.985	-.500
	Sig. (2-tailed)	.154	.989	.094	.536	.454		.031	.313	.109	.667
Mg	Correlation	.958	.033	.981	-.703	-.787	.999*	1	-.904	.976	-.457
	Sig. (2-tailed)	.186	.979	.125	.504	.423	.031		.281	.141	.698
Na	Correlation	-.742	-.457	-.803	.939	.975	-.882	-.904	1	-.788	.032
	Sig. (2-tailed)	.467	.698	.406	.223	.141	.313	.281		.422	.980
N	Correlation	.997*	-.187	1.000*	-.530	-.633	.985	.976	-.788	1	-.640
	Sig. (2-tailed)	.045	.880	.016	.645	.564	.109	.141	.422		.557
降解	Correlation	-.693	.874	-.621	-.312	-.189	-.500	-.457	.032	-.640	1
	Sig. (2-tailed)	.512	.323	.573	.798	.879	.667	.698	.980	.557	

OPBM-R soil-Correlations

		pH	ec	OC	P	生物酶	Ca	Mg	Na	N	降解
pH	Correlation	1	.998*	-1.000*	-.718	-.693	.444	-.676	-.300	-1.000**	-.299
	Sig. (2-tailed)		.040	.015	.490	.512	.707	.527	.806	.004	.807
ec	Correlation	.998*	1	-.999*	-.761	-.646	.500	-.629	-.359	-.998*	-.238
	Sig. (2-tailed)	.040		.026	.450	.553	.667	.567	.766	.036	.847
OC	Correlation	-1.000*	-.999*	1	.734	.677	-.465	.659	.321	1.000*	.277
	Sig. (2-tailed)	.015	.026		.475	.527	.692	.542	.792	.011	.821
P	Correlation	-.718	-.761	.734	1	-.003	-.942	-.026	.879	.723	-.449
	Sig. (2-tailed)	.490	.450	.475		.998	.217	.983	.317	.486	.704
生物酶	Correlation	-.693	-.646	.677	-.003	1	.338	1.000*	-.480	.689	.895
	Sig. (2-tailed)	.512	.553	.527	.998		.781	.015	.681	.516	.294
Ca	Correlation	.444	.500	-.465	-.942	.338	1	.359	-.988	-.450	.722
	Sig. (2-tailed)	.707	.667	.692	.217	.781		.766	.099	.703	.486
Mg	Correlation	-.676	-.629	.659	-.026	1.000*	.359	1	-.500	.672	.905
	Sig. (2-tailed)	.527	.567	.542	.983	.015	.766		.667	.531	.280
Na	Correlation	-.300	-.359	.321	.879	-.480	-.988	-.500	1	.305	-.821
	Sig. (2-tailed)	.806	.766	.792	.317	.681	.099	.667		.802	.387
N	Correlation	-1.000**	-.998*	1.000*	.723	.689	-.450	.672	.305	1	.293
	Sig. (2-tailed)	.004	.036	.011	.486	.516	.703	.531	.802		.811
降解	Correlation	-.299	-.238	.277	-.449	.895	.722	.905	-.821	.293	1
	Sig. (2-tailed)	.807	.847	.821	.704	.294	.486	.280	.387	.811	

【評語】 052206

1. 本實驗探討了不同生物碳覆膜對於紅土與黑土的影響，結果也顯示生物碳可降解覆膜材料可以提升土壤性質與萵苣生長。對相關人員具有吸引力與實用性，可吸引農業生技，尤其是土壤肥力工作者之興趣。
2. 本研究為何選用椰子纖維、木薯莖、茶葉渣、油棕枝與鳳梨葉等5種原料，其理論依據宜予說明。
3. 不同原料覆膜之萵苣生長的圖片，應是一項重要的數據呈現，建議提供。
4. 建議可先針對不同原料之生物碳覆膜進行成分分析，或是加入土壤微生物生長狀況的分析，可以使實驗設計更全面。
5. 本作品探討以椰子纖維、木薯莖、茶葉渣、油棕枝與鳳梨葉等5種原料植披於紅土與黑土，具有探究精神。

作品簡報

The background features a large, faint watermark logo for the National Primary & High School Science Fair. The logo is circular and contains the text "National Primary & High School Science Fair" in English and Chinese, along with a stylized "S" and "F" emblem.

生物炭可降解覆膜 對土壤與植物生長影響

組別：高中組

科別：農業食品學科

生物炭添加：

1. 提升酸鹼值、陽離子交換容量、保水能力等性質
2. 使離子轉為較易被植物吸收之型態
3. 結合其他影響（如土壤微生物），提升植物的生長狀況。

可降解膜施用：

1. 保水、保溫效果不差於普通塑膠覆膜
2. 對植物生長（尤其是前期）能帶來提升
3. 可降解避免殘留對環境、植物生長之負面影響

實驗目的

- 一、分析生物炭可降解覆膜施用後土壤之性質差異。
- 二、探討不同覆膜在相同土壤中對植物生長之影響。
- 三、探究相同覆膜在不同土壤中對植物生長之影響。

期望與預期

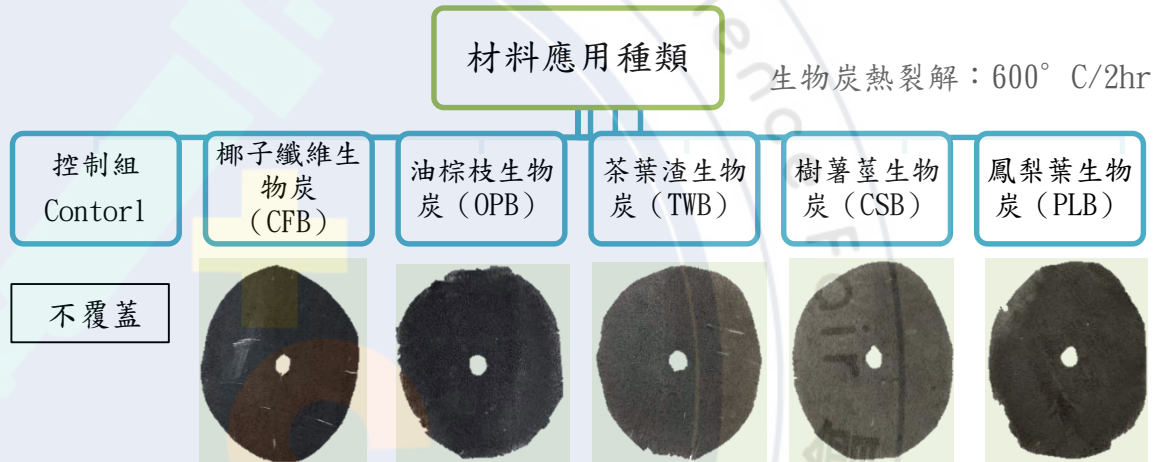
1. 土壤性質提升
2. 植物生長狀況能較控制組提升
3. 覆膜能有良好降解狀況

研究方法

研究流程

1. 製備材料
2. 種植應用
3. 採收與收集土壤樣本
4. 進行檢測
5. 數據分析
6. 討論與結論

實驗組與控制組



檢測項目

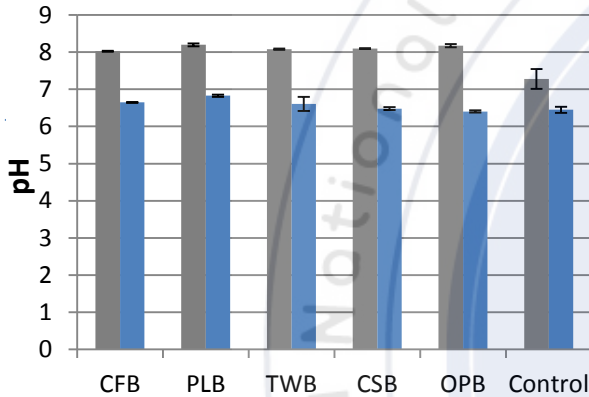


研究結果

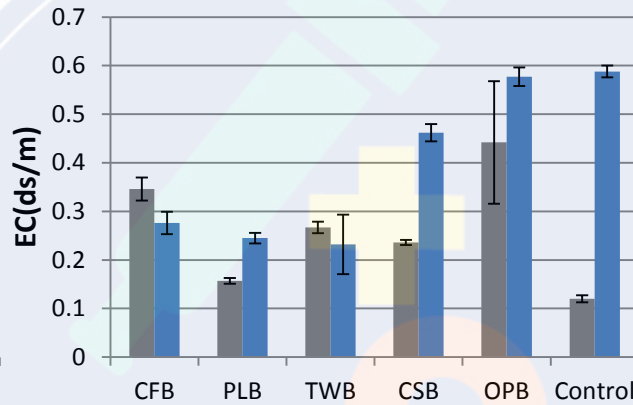
• 檢測結果

■ 黑土平均
■ 紅土平均

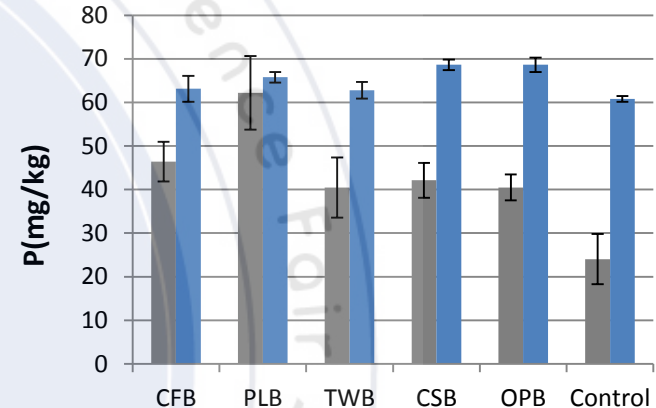
pH



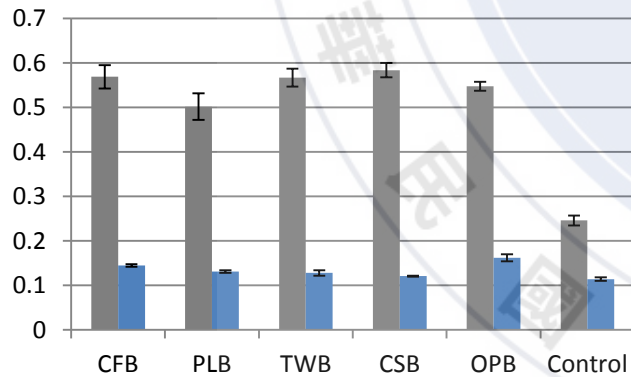
EC



總磷濃度



土壤生物酶(490nm吸光值)



數據討論：

1. 紅土pH值分析無上升，推測是覆膜水解出乳酸使效果抵銷，但黑土中可能釋出礦物質讓pH仍略微上升。
2. 紅土EC下降可能因較易與官能基合成難溶態有關。
3. 對磷的影響僅各有一組分析出差異——應用量？
4. 生物炭對不同酶有不同影響，影響因素存疑？

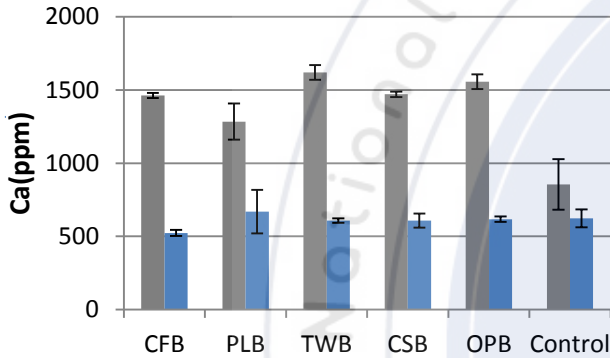
註：椰子纖維 (CF) 油棕枝 (OP) 茶葉渣 (TW) 樹薯莖 (CS) 鳳梨葉 (PL)

研究結果

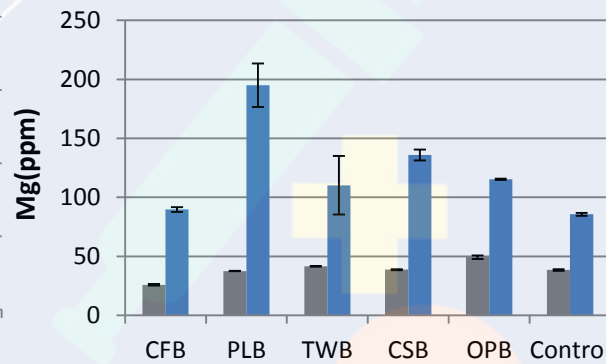
• 檢測結果

■ 黑土平均
■ 紅土平均

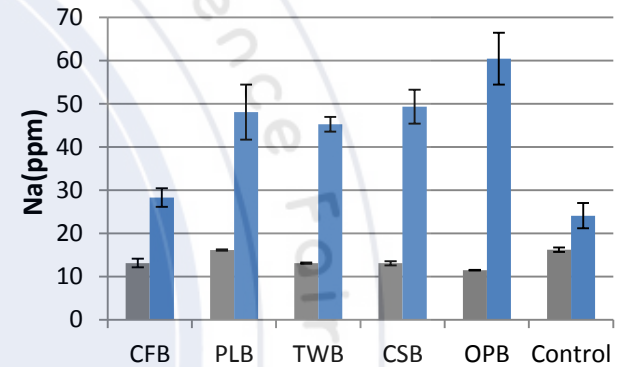
Ca 離子濃度



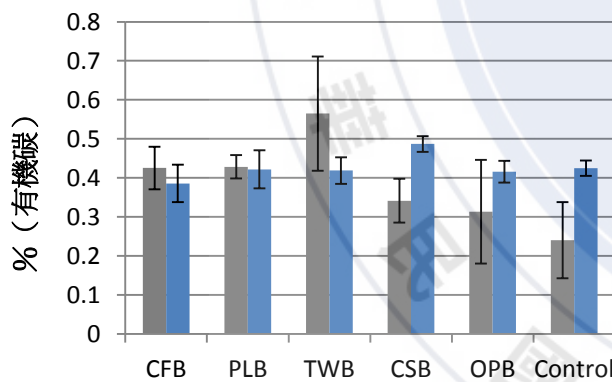
Mg 離子濃度



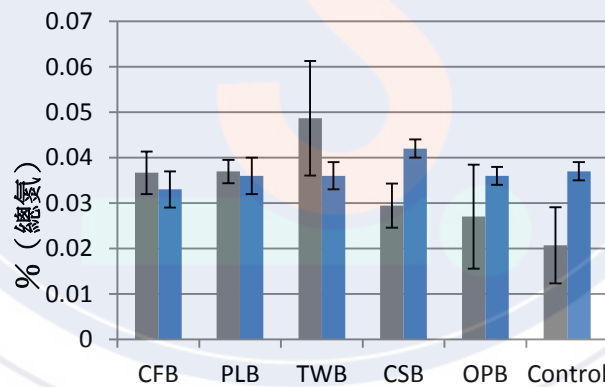
Na 離子濃度



有機碳含量



總氮含量



數據討論：

1. 三種離子的改變不一，與pH值相關？
→可能須探究覆膜與生物炭性質。
2. 有機碳有提升但不顯著，推測與施用量有關。

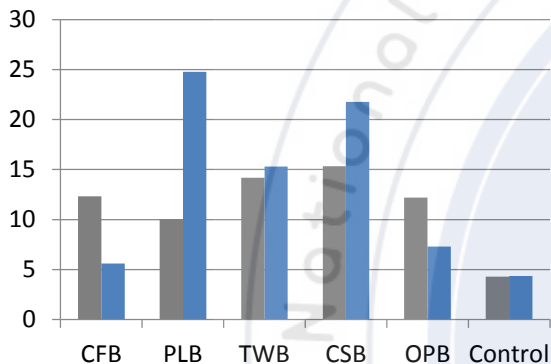
註：椰子纖維 (CF) 油棕枝 (OP) 茶葉渣 (TW) 樹薯莖 (CS) 鳳梨葉 (PL)

研究結果

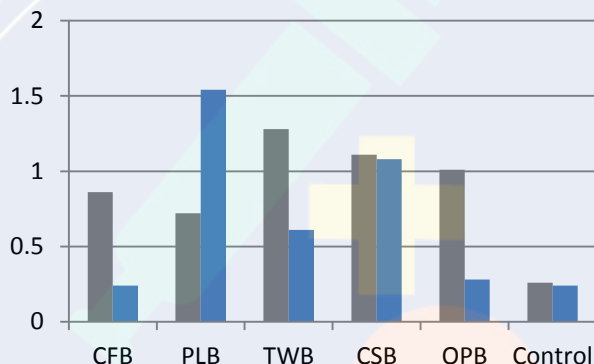
• 檢測結果

■ 黑土平均
■ 紅土平均

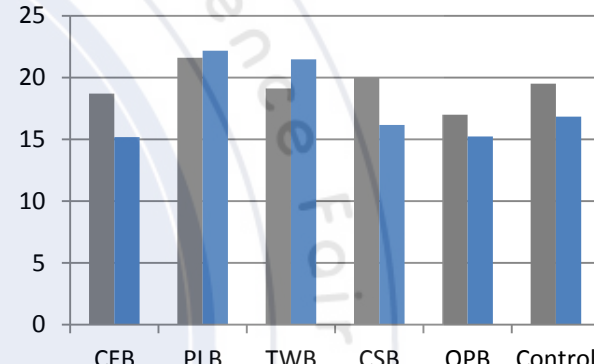
濕重(g)



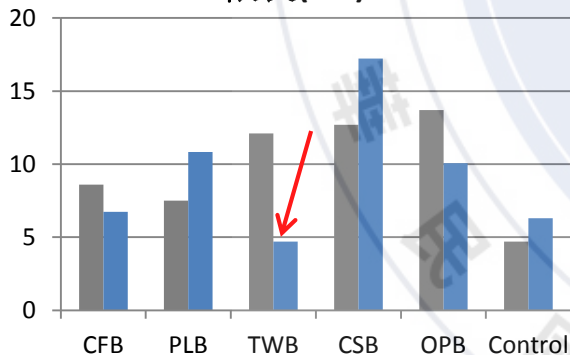
乾重(g)



莖葉長(cm)



根長(cm)



數據討論：

1. 缺乏土壤性質與生長狀況相關係數，無法更直觀以數據判斷原因。
2. 酸生長假說？ → 推翻，不明顯且紅土非皆有。
3. TWB過低的根長 → 推測是採收的人為失誤。
4. 粗略觀察，PLB、CSB較突出。

註：椰子纖維 (CF) 油棕枝 (OP) 茶葉渣 (TW) 樹薯莖 (CS) 鳳梨葉 (PL)

研究結果

覆膜於五週前後外觀比較 (降解情況觀察)

上下照片非相同比例

種植前



種植後



下方僅是部分較能挑起的碎片，破碎分解狀況良好，估計未來不會殘留。

結論

一、生物炭覆膜施用後土壤之性質差異：

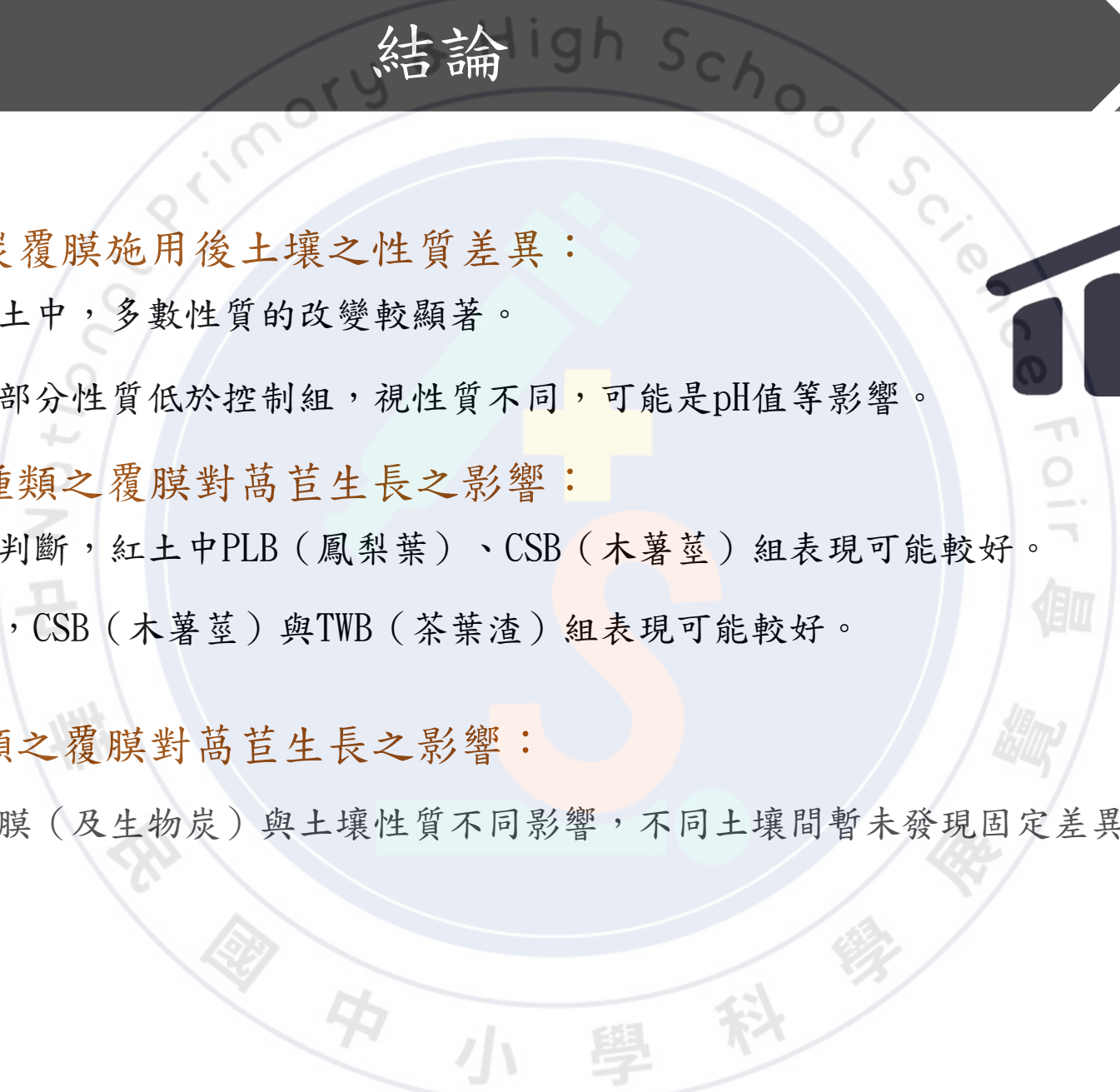
1. 在黑土中，多數性質的改變較顯著。
2. 紅土部分性質低於控制組，視性質不同，可能是pH值等影響。

二、不同種類之覆膜對萵苣生長之影響：

1. 初步判斷，紅土中PLB（鳳梨葉）、CSB（木薯莖）組表現可能較好。
2. 同1.，CSB（木薯莖）與TWB（茶葉渣）組表現可能較好。

三、同種類之覆膜對萵苣生長之影響：

1. 受覆膜（及生物炭）與土壤性質不同影響，不同土壤間暫未發現固定差異。



展望與參考資料



未來展望：

1. 更完善的數據分析或檢測
2. 生物炭（及覆膜）性質分析
3. 土壤保溫、保濕（保水）能力監測
4. 更貼近台灣在地的原料選擇
5. 也許不同材料適合不同植物？

部分參考資料：

1. 蔡佳儒、吳耿東（2016）。臺灣農業廢棄物製備—生物炭之未來與展望。農業生技產業季刊，46期，201606。
2. 陳穎、劉玉學、陳重軍、呂豪豪、汪玉瑛、何莉莉、楊生茂（2018）。生物炭對土壤有機碳礦化的激發效應及其機理研究進展。應用生態學報，2018年1月，第29卷，第1期，314-320。
3. 何文清、趙彩霞、劉爽、嚴昌榮、常蕊芹、曹肆林（2011）。全生物降解膜田間降解特徵及其對棉花產量影響。中國農業大學學報，2011年，第16(3)期，21-27。
4. F. Verheijen, S. Jeffery, A.C. Bastos, M. van der Velde, I. Diafas (2010). Biochar Application to Soils A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions