

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

第三名

030303

生生炭熄～生生不息！—花生殼生物炭與肥料
共同施加對葉菜作物生長之影響

學校名稱：新北市立永和國民中學

作者： 國二 趙庭瑤 國二 鍾亞靖	指導老師： 黃仲玉
-------------------------	--------------

關鍵詞：生物炭、葉菜作物、肥料緩釋增效

摘要

為瞭解生物炭對肥料效用的延長及增強之影響，以進一步確認生物炭應用在減少施肥及增加產量上的價值。本研究聚焦花生殼在 300°C 炭化的生物炭，於不同施肥狀況下對三種葉菜作物（小白菜、莧菜、香菜）生長情形的影響。

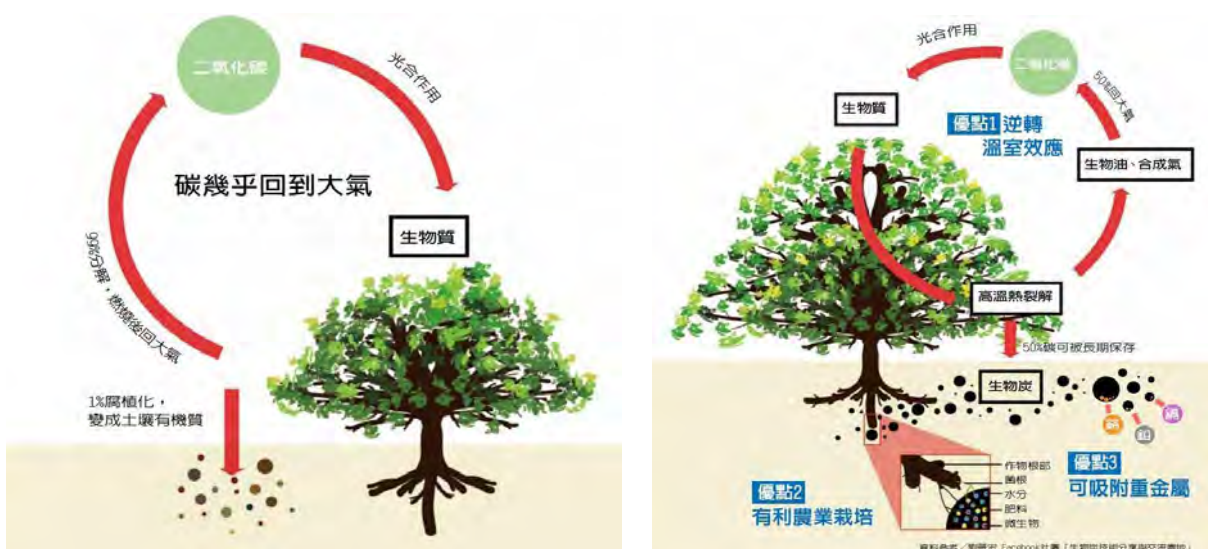
結果顯示：新鮮花生殼製成之生物炭，與培養土混合比例 1：50，在不同施肥頻率下，試驗作物的生長狀況皆顯著優於未添加生物炭者，且其增產效用未顯著受減少施肥影響；比較葉長寬積，其增產效用達一倍甚至十倍以上。而一般大眾較易取得之水煮及鹽水煮花生殼製備的生物炭，亦大多有顯著效用。

本研究後續展望：針對生物炭來源、製法，施用對象、時機、量，環境及栽種成本，提供應用上的完整提案；生物炭效用的機制之深入探究等。

壹、研究動機

一、前言

在逛老街時看到了一個寫著「一炭究竟」的布條，引起了我們的興趣，裡面介紹了很多備長炭的用途，包括淨水，防電磁波等等，更加深了我們的印象。於是，我們開始查找資料，發現備長炭已經有很多人做過深入研究；卻也無意間看到生物炭（Biochar）這個沒聽過的名詞。而在自然課本第二冊第六章人類與環境的章節中我們有學到人類的活動會影響週遭的環境，加上同冊第五章也提到生物的生長、生存與分佈與環境息息相關；於是開始針對這個名詞蒐集資料，慢慢了解引起我們好奇心的「生物炭」。



二、文獻探討

(一) 名詞釋義：

1. 生物炭：廣義的生物炭包含所有生物質能原料在無氧或缺氧環境下低溫熱轉化後的固體副產物，可影響土壤理化因子、減緩人類活動的碳排放（圖 1，引用自《農業知識入口網》）、作為土壤肥料緩釋增效載體等（何等，2011；吳，2011），一般做為燃料的木炭也可以算是生物炭的一類。而我們決定探究的材料，主要是利用農業生產剩餘資材做為來源製備的生物炭。
2. 農業生產剩餘資材：農業生產剩餘資材主要包括農作物殘體和動物便溺。農林業生產剩餘資材是農村燃料的一個主要來源。這類物質大都是鬆散體，如秸稈、稻殼、蔗渣、樹葉等。
3. 肥料緩釋載體：可減緩土壤中肥料的流失，增強植物對肥料的吸收，增長肥料的效用及延長施肥間隔時間。

(二) 前人研究：綜合我們找到的前人研究資料，發現近幾年相關的研究可歸為兩類：

1. 對土壤及大氣環境相關研究：有生物炭對土壤理化因子的改善或影響（張和王，2012；王和周，2013；簡等，2012；成等，2018）；生物炭對泥岩地區非點源污染之改善（簡等，2015）及對大氣成分排放的影響（顏等，2013）。
2. 生物炭運用在作物栽培上的研究：有涉及各種生物炭對各種農作物生長的影響（陳，2016；楊，2018；江，2018；歐等，2014）；如涉及雞屎作為來源以不同溫度製備的生物炭對小白菜產量及銅鋅等元素吸收的影響，然而其結果似乎未顯示雞屎生物炭對小白菜的收成有顯著的助益（陳，2016）及番茄收成後廢枝葉製成生物炭應用在番茄及甘藍防止木黴菌功效的研究，亦無對作物生長有顯著影響的結果（楊，2018）。另有對林地土壤與樹木的影響（林等，2017；成等，2018）、生物炭影響植物生長機制（蔡等，2013）。

★ 總括上述文獻中的研究結果，對植物生長的研究數據大多無顯著差異；而試驗設計上，亦多為單因子的探討，尚未見到與肥料共同施加對作物生長影響的探討。

(三) 台灣目前農業概況：

1. 土壤酸化問題：土壤因過度使用，諸如酸雨、施肥及農藥，造成土壤普遍有酸化現象，而依據文獻生物炭偏鹼，或可作為改善土壤酸化問題的材料。

2. 都市農耕盛行：近幾年，台灣的都市農耕也日漸盛行，而都市農耕可協助廢棄物回收利用、整治及利用汙染土地等；我們認為，若有具說服力的研究作為支撐，都市農耕亦可與生物炭運用做適當結合。

(四) 目前生物炭產業現況：

1. 國際上有七個國際生物炭組織訂定相關標準，但因材料產地不同，適用標準也有所差異。
2. 而台灣則尚未訂立生物炭安全管理指引與炭品標準，根據曾於林試所主持及整合相關研究的邱祈榮博士表示（個人通訊，2019.4.19）：**現階段仍需有更多的相關研究做為背景資料，以增進此標準適用性及合理性。**

三、研究聚焦：

綜上所述，參考目前我們找到的研究成果；我們在進行了前置試驗（詳見附錄）、衡量現有資源後，決定以生物炭與肥料共同施加對葉菜作物生長為研究主軸，並選定收成期較短、且對肥料高度依賴的葉菜類作物作為試驗對象；希望更完備生物炭對作物生長影響的研究資料，作為後續研究及提供生物炭應用在農業活動上有可行性及用處的具體建議時的參考。

貳、研究目的

前置試驗

一、生活中易取得之農業生產剩餘資材燒製後單獨使用對作物生長等的影響。

【哪種生活中易取得資材，較適合燒製為生物炭進行後續試驗？】

二、花生殼燒製的生物炭以不同比例添加對作物生長等的影響。

【花生殼生物炭以哪種比例添加，較適合作為後續試驗的控制變因？】

主要試驗

三、新鮮花生殼燒製的生物炭以一定比例添加，對減少肥料使用的效用。

四、各種前置處理花生殼燒製的生物炭以一定比例添加，對減少肥料使用的效用。

【不同施肥頻率下，新鮮、水煮、鹽水煮花生殼生物炭添加與否，對三種葉菜作物（小白菜、莧菜、香菜）的葉片數及葉片大小的變化會有什麼影響？】

***水煮、鹽水煮花生殼，對應攤販購得水煮花生的處理過程。**

五、提供花生殼生物炭使用上的具體建議及後續研究之參考。

【針對研究結果提供具有應用價值的生物炭來源、添加方式（包含時間點及混合比例等）、配合的施肥策略、適合的對象等提出具體建議。】

【提供進一步探究及應用上的建議。】

參、研究設備及器材

一、材料選定

(一) 生物炭材料（農業剩餘資材）選定：因容易取得水煮菱角殼和花生殼，一開始以之為主要探究材料，初步結果分析後決定以花生殼為主要探究的生物炭農業生產剩餘資材來源。2019年初，因有朋友提供大量自雲林產地取得的新鮮花生殼（圖2），考量當時的初步研究結果及後續實驗所需大量生物炭，故決定以新鮮花生殼為主要實驗材料。



圖 2. 產地直送新鮮花生殼（兩大麻

(二) 實驗植物選定：由於葉菜類生長及採收期相對較短，較易短時間獲得大量實驗數據，且對肥料高度依賴，於是在探訪生活五金行後，選定三種葉菜類作物：小白菜（*Brassica chinensis* L.）、莧菜（*Amaranthus mangostanus*）、香菜（*Coriandrum sativum*）。（表一，圖 a.~c.）。

(三) 培養土：選定適合葉菜類蔬菜生長的培養土（表一，圖 d.）。

(四) 液肥選定：因針對葉子提共養份，且作用效力較短，適合短期實驗（圖 e.）。

表一、

研究對象及主要種植材料

a. 小白菜種子	b. 莧菜種子	c. 香菜種子	d. 培養土	e. 液肥
				
產地： 中國甘肅 發芽率： 60%以上 翠筠有限公司出品	產地： 中國甘肅 發芽率： 60%以上 翠筠有限公司出品	產地： 中國甘肅 發芽率： 60%以上 翠筠有限公司出品	一包 10kg，內含有機質，腐木，慶龍園藝出品	全氮 7%、 水溶性磷酐 3%、 水溶性氧化鉀 3% 翠筠有限公司出品


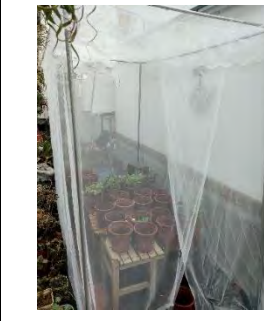
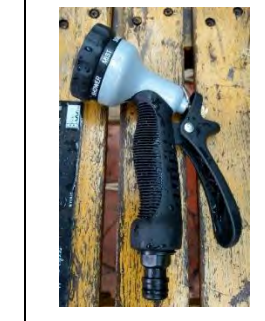

二、生物炭製備：參考文獻中所使用炭化溫度，考量學校現有設備，決定使用烘箱以 300°C 碳化。（表二，圖 a. ~ e.）

表二、
生物炭製備流程之設備器材

a. 電子秤秤重	b. 烘箱烘乾	c. 烘箱炭化	d. 研鉢及杵磨粉	e. 裝袋備用
				






三、作物栽種環境：選擇學校溫室，選用相同大小花盆進行栽培，並以蚊帳預防蟲害

表三、
作物栽種環境設施與澆水施肥器材

a. 花盆	b. 溫室及蚊帳	c. 澆水器	d. 施肥工具
			

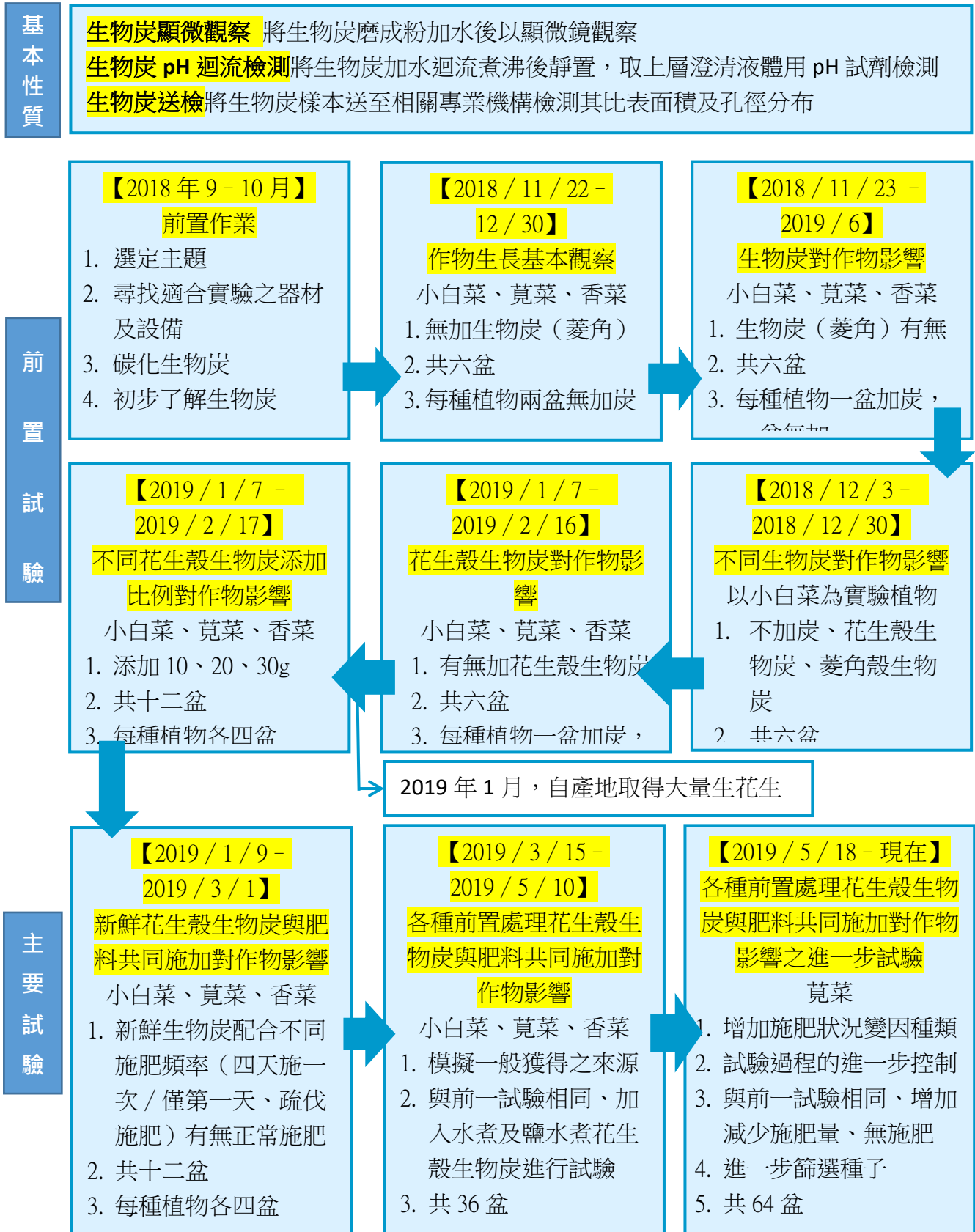
四、實驗數據測量：依據實驗目的，選用各種適合的儀器進行量測

表四、
數據測量

a. 土壤 pH 及含水量	b. 生物炭 pH 檢測	c. 溫濕度計	d. 直尺、游標尺	e. 紀錄工具
				

肆、研究過程及方法

研究流程圖



一、生物炭的形質觀察與炭品檢測

(一) 顯微觀察方法

1. 將生物炭置於培養皿，以解剖顯微鏡觀察、拍照(圖 3.)。
2. 取適量生物炭以研鉢及杵磨粉。
3. 滴入少許水，以滴管吸取懸浮液滴於蓋玻片，蓋上蓋玻片(圖 4.)。
4. 以複式顯微鏡觀察(圖 4.)，並以顯微測微器測量並拍照記錄。



圖 3. 觀察生物炭表面—
解剖顯微鏡(LEICA EZ4)



圖 4. 觀察生物炭粉末—
複式顯微鏡(OLYMPUS CX21)

(二) 炭品酸鹼質檢測

*依據 CNS698 工業用活性碳（粉狀）

檢測法（邱祈榮博士，個人通訊，2019.05.29）進行

1. 取一公克的待測生物炭。
2. 加入蒸餾水 30ml。
3. 置於 250mL 圓底燒瓶中，以加熱包迴流煮沸 5 分鐘。
4. 冷卻後靜置沉澱，取上層澄清液體，以校正後的 pH 檢測器測定，並記錄。

(三) 委託專業機構檢測比表面積（BET），孔徑分布（DFT）。

*於 2019 年 5 月 1 日送請台大檢測。

二、作物生長試驗基本步驟

(一) 試驗方式一

1. 依據實驗設計所需，將各種生物炭以特定比例與培養土混合均勻，裝入花盆並標示。
2. 依作物播種方式播種(撒種後輕微覆土)，並依實驗設計澆水或施肥，每盆各 30 顆試驗作物的種子。

*播種前先行篩選種子，挑選飽滿的進行試驗。

3. 將作物栽培於溫室，增加對環境因子的控制（表六，圖 a. ~ c.）。
4. 記錄溫濕度（表四，圖 c.）；以土壤檢測器檢測並記錄培養土 pH 值（表四，圖 a.）。
5. 定期觀察、定期定量（每次每盆 100 毫升）澆水及依試驗設計施肥。
6. 測量並記錄發芽數、莖長度、葉片數和葉長寬；發芽幼苗並用牙籤搭配標籤紙進行編號標示（表六，圖 d.）。

*測量記錄與作物植株疏伐流程：前 16 天每 2 天測量記錄 → 第 16 天隨機疏伐留 10 棵
並額外測量記錄葉長寬 → 每 5 天進行完整測量記錄 → 42 天收成並完整測量記錄。

(二) 試驗方式二




*依據農試所研究員陳琦玲博士建議（個人通訊，2019.04.18、24）：採用不同種子篩選方式，並增加作物收成濕重及乾重作為應變變因。

1. 依據實驗設計所需，將各種生物炭以特定比例與培養土混合均勻，裝入花盆並標示。
2. 隨機播種 30~40 顆種子，並依實驗設計澆水或施肥。
3. 發芽後每盆篩選三株最健康幼苗繼續生長（樣本數以盆為單位）之後發芽幼苗記錄後拔除。

*其餘步驟同前述基本試驗。

*測量記錄與作物植株疏伐流程：前 16 天每 2 天測量記錄 → 發芽後每盆篩選留下最健康 3 株，其餘摘除 → 第 16 天額外測量記錄葉長寬 → 每 5 天進行完整測量記錄 → 42 天收成並完整測量記錄，包含植株乾、濕種。

表五、混合並裝盆、播種（以不同農業生產剩餘資材製成生物炭的影響試驗為例，餘類推）







標籤	原 黑	菱角 黑	花生 黑
內容物	不加生物炭	加入菱角炭粉 10 公克	加入花生炭粉 10 公克
圖			

表六、作物生長環境、植株標示

a. 溫室	b. 溫室天篷採光	c. 試驗作物擺放	d. 作物植株標示
			

*為避免圖 c.中各盆擺放位置不同造成干擾因素，每次澆水測量後，皆依序輪換各盆位置

表七、播種數天（以生物炭對不同作物生長影響之前置試驗為例，餘類推；圖中已有發芽狀況）

生物炭	小白菜	莧菜	香菜
添加	小白菜 1 白	莧菜 1 白	香菜 1 白
圖			
不加	小白菜 2 白	莧菜 2 白	香菜 2 白
圖			

三、前置試驗：生活中易取得資材燒製後單獨使用的影響

(一) 以小白菜為試驗對象，探究不同材料生物炭對作物生長的影響

◎ 探究問題：

1. 不同生物炭單獨使用對培養土 pH 值的影響如何？
2. 不同生物炭單獨使用對三種葉菜作物—小白菜、莧菜、香菜的葉片數 / 葉片大小的變化會有什麼影響？
3. 哪種生活中易取得的資材，較適合燒製為生物炭進行後續試驗？

◎ 試驗設計：

1. 參考文獻資料，以 1：50 比例將生物炭(10g)與培養土(500g)充分混合，與其他環境因子如溫濕度、澆水等皆為控制變因。
2. 操作變因為生物炭材料種類及生物炭的添加與否。
3. 應變變因為培養土 pH 值、作物發芽、葉片數及葉長寬等。

(二) 花生殼生物炭對作物生長的影響

◎ 試驗設計：

1. 生物炭混合比例(1：50)，與其他環境因子如溫濕度、澆水、未施肥等皆為控制變因。
2. 操作變因為生物炭材料種類及生物炭的添加與否。
3. 應變變因為培養土 pH 值、作物發芽、葉片數及葉長寬等。

(三) 花生殼生物炭以不同比例添加的影響

◎ 探究問題：

1. 花生殼生物炭以不同比例添加對培養土的 pH 值的影響如何？
2. 花生殼生物炭以不同比例添加，對三種葉菜作物（小白菜、莧菜、香菜）的葉片數葉片數 / 葉片大小的變化會有什麼影響？
3. 花生殼生物炭以哪種比例添加，較適合作為後續試驗的控制變因？

◎ 試驗設計：

1. 生物炭材料來源(花生殼)、燒製溫度，環境因子如溫濕度、澆水、未施肥等皆為控制變因。
2. 操作變因為花生殼生物炭與培養土混合比例：【10 克生物炭 + 500 克培養土】、【20 克生物炭 + 490 克培養土】、【30 克生物炭 + 480 克培養土】。
3. 應變變因為培養土 pH 值、作物發芽、葉片數及葉長寬等。

四、主要試驗：花生殼生物炭與在不同施肥狀況下對作物生長的影響

(一) 新鮮花生殼燒製的生物炭以一定比例添加，對減少肥料的效用【利用試驗方法一】

◎ 探究問題

1. 不同施肥頻率下，新鮮花生殼生物炭添加與否，對培養土 pH 值的影響？
2. 施肥頻率下，新鮮花生殼生物炭添加與否，對三種葉菜作物—小白菜、莧菜、香菜的葉片數葉片數 / 葉片大小的變化會有什麼影響？

◎ 試驗設計：

1. 生物炭材料來源(新鮮花生殼)、燒製溫度，生物炭混合比例(1：50)，及環境因子如溫濕度、澆水、未施肥等皆為控制變因。
2. 操作變因為新鮮花生殼生物炭是否添加與施肥頻率（正常施肥頻率與減少施肥頻率）；進行雙因子交互作用試驗。

3. 應變變因為培養土 pH 值、作物葉片數及葉長寬等。

(二) 各種前置處理花生殼燒製的生物炭以一定比例添加，對減少肥料使用的效用【利用試驗方法一】

◎ 探究問題

1. 不同施肥頻率下，新鮮、水煮、鹽水煮花生殼生物炭添加與否，對培養土 pH 值的影響？
2. 不同施肥頻率下，新鮮、水煮、鹽水煮花生殼生物炭添加與否，對三種葉菜作物—小白菜、莧菜、香菜的葉片數葉片數 / 葉片大小的變化會有什麼影響？

◎ 試驗設計：

1. 生物炭燒製溫度，生物炭混合比例 (1 : 50)，及環境因子如溫濕度、澆水、未施肥等皆為控制變因。
2. 操作變因為新鮮花生殼生物炭是否添加與施肥頻率（正常施肥頻率與減少施肥頻率）；進行雙因子交互作用試驗。
3. 增加生物炭材料來源前置處理組別（新鮮花生殼、水煮花生殼、鹽水煮花生殼）應變變因為培養土 pH 值、作物葉片數及葉長寬等。

◎ 花生殼前置處理步驟（圖 5）

1. 鹽水煮花生殼：以 3000 毫升水加入 5 克食鹽及 600 克花生殼，以電鍋煮滾後計時 20 分鐘起鍋，烘乾燒製成生物炭。
2. 水煮花生殼：以 3000 毫升水加入 600 克花生殼，以電鍋煮滾後計時 20 分鐘起鍋，烘乾燒製成生物炭。



圖 5. 水煮與鹽水煮花生殼的過程

(三) 各種前置處理花生殼燒製的生物炭，對莧菜減少肥料的效用利用試驗方法二，並增加「無施肥」及「減頻並減量施肥」對照組(表十四)。

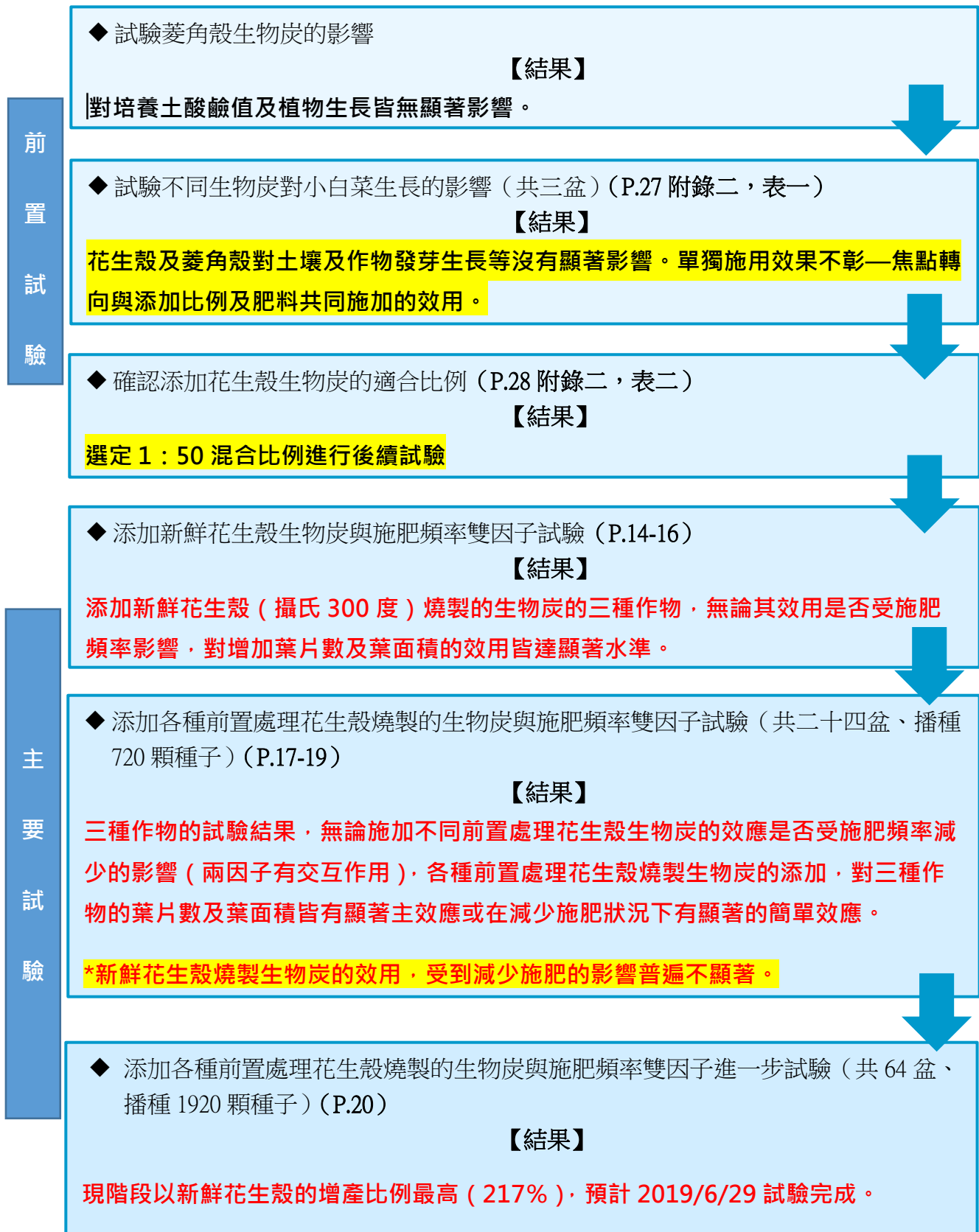
***其餘步驟同第(二)項試驗。**

五、統計方式

1. 不同生物炭添加比例試驗結果：以 t 檢定比較各組的發芽日數平均值。
2. 生物炭添加與施肥試驗結果：以雙因子變異數分析，分析生物炭與施肥頻率對三種作物葉片數及葉長寬積的效用。
3. 選擇顯著水準 $\alpha = 0.05$ 。

伍、研究結果

試驗結果總覽及邏輯脈絡



一、生物炭的形質觀察與炭品檢測

(一) 顯微鏡觀察



圖 6.生物炭粉
生物炭粉呈現黑色粉末狀。



圖 7.花生殼生物炭以解剖顯微鏡(56X)觀察之斷面。

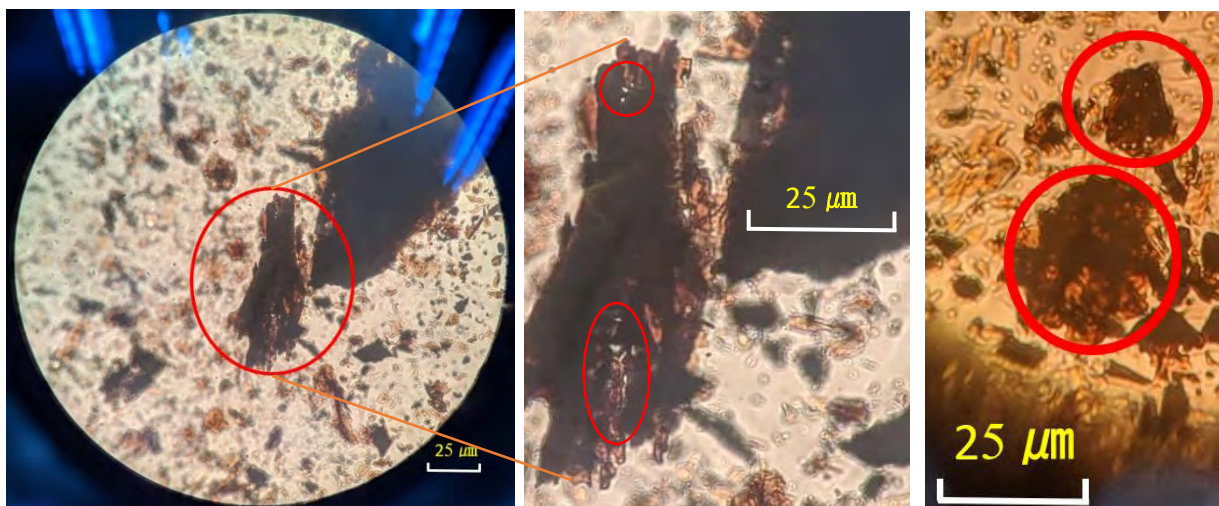


圖 8.複試顯微鏡高倍率 (400 倍)下花生殼生物炭粉末 *可以看到顆粒上有許多小孔隙(紅色圈起的部分)

*在複試顯微鏡下可觀察到許多細小的孔洞(圖 8. 紅色圈圈中)

(二) 炭品檢測【詳見附錄一】

二、前置試驗結果【詳見附錄二】

三、花生殼生物炭與肥料的雙因子試驗結果

(一) 新鮮花生殼有無與是否正常施肥之交互作用

(1 號：加炭-肥，2 號：加炭+肥，3 號：無炭-肥，4 號：無炭+肥)

1. 小白菜生長試驗

表八、小白菜收成照片

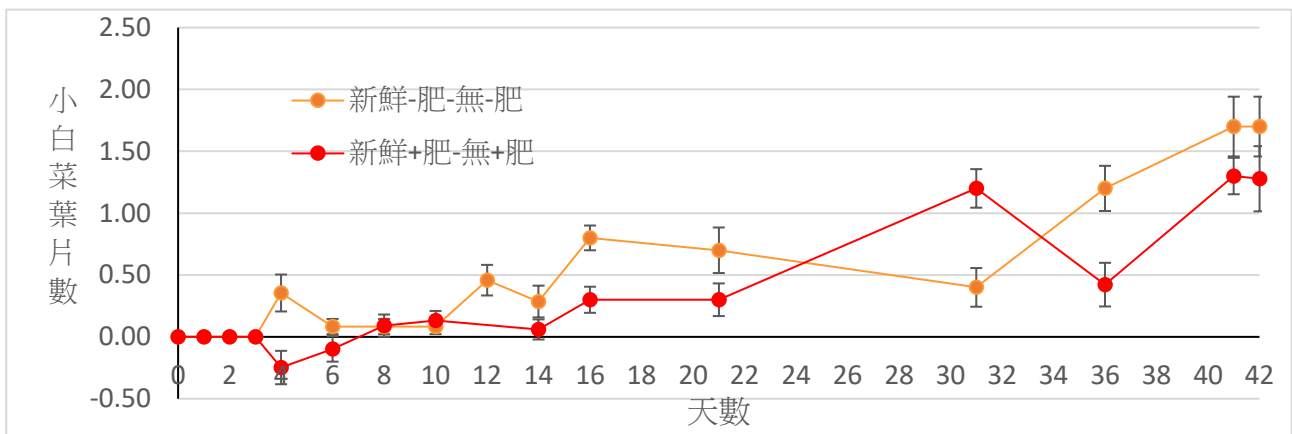
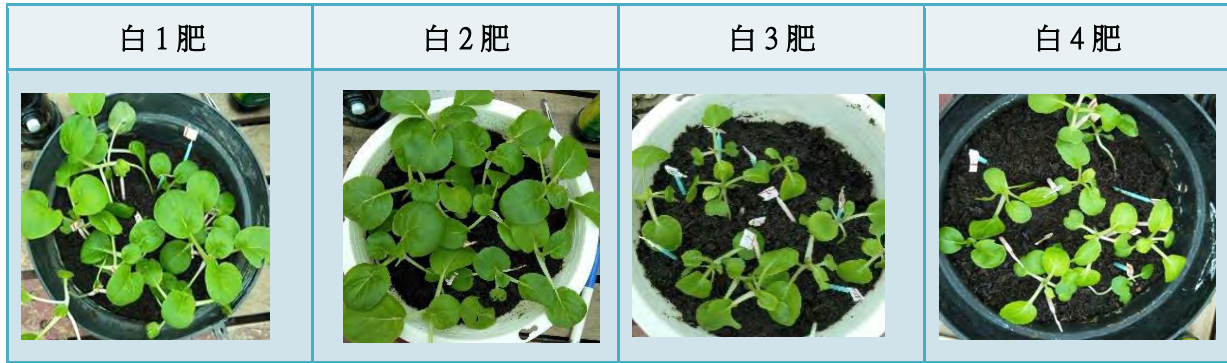


圖 9.在相同施肥狀況下有添加生物炭相對無加生物炭的小白菜葉片數增產量

不論是否正常施肥，在第二週起，有加炭的組別都開始拉開與無加炭對照組的差距，差距的高峰落在第 16 天及第 31 天之後，各組的差異漸漸拉開。

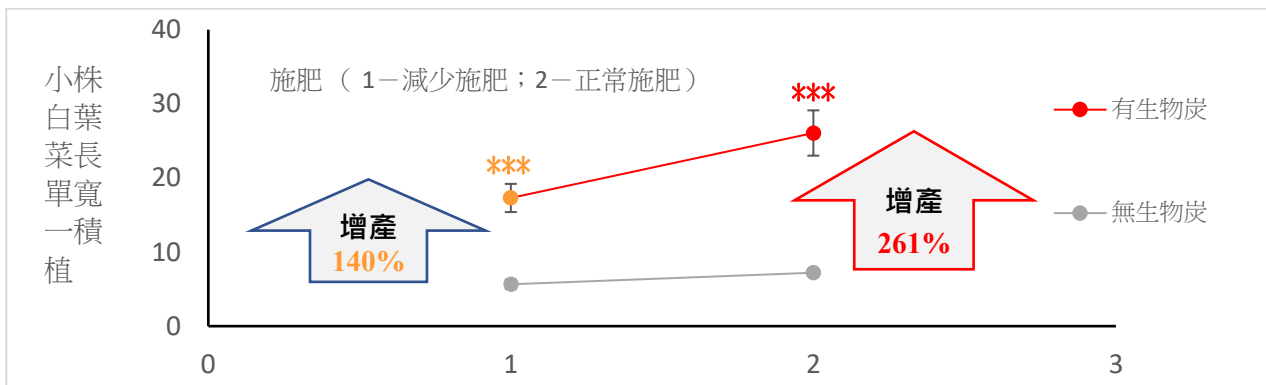


圖 10.不同施肥狀況下，生物炭有無對小白菜葉片數及葉長寬的影響 (★有顯著主效應；*有顯著簡單效應)

依據雙因子變異數分析結果：不同施肥狀況下，生物炭對小白菜葉長寬的影響雖受減少施肥狀況影響，但皆具顯著單純效應。而加了生物炭後增產比例也有明顯提高。

2. 莧菜生長試驗

表九、莧菜收成照片

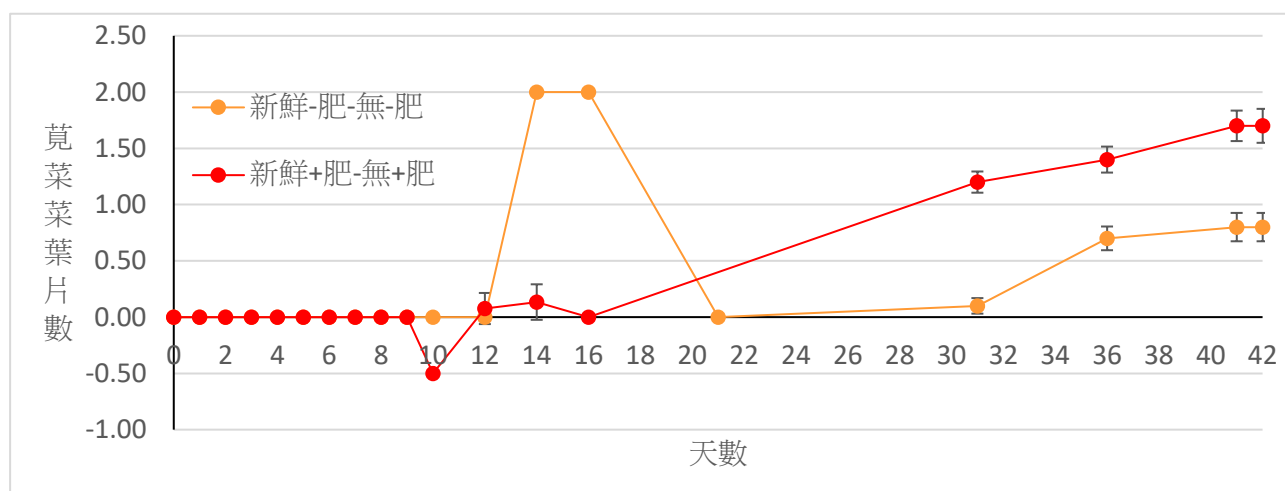
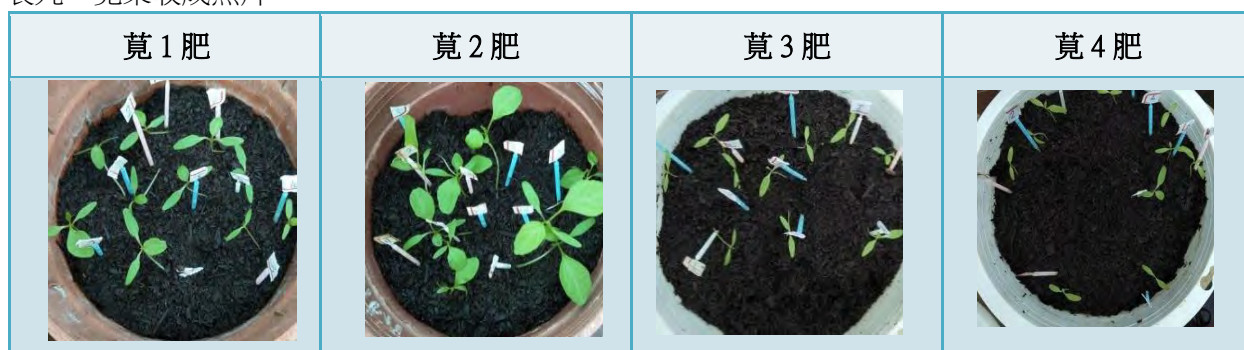


圖 11.在相同施肥狀況下有添加生物炭相對無加生物炭的莧菜葉片數增產量

由圖可知，在第 12 天時無加肥料的組別拉開差距之後被未加炭的組別追平，且 30 天後還是持續地拉開差距；而有加生物炭的組別則是在第 16 天施肥後漸漸拉開差距。

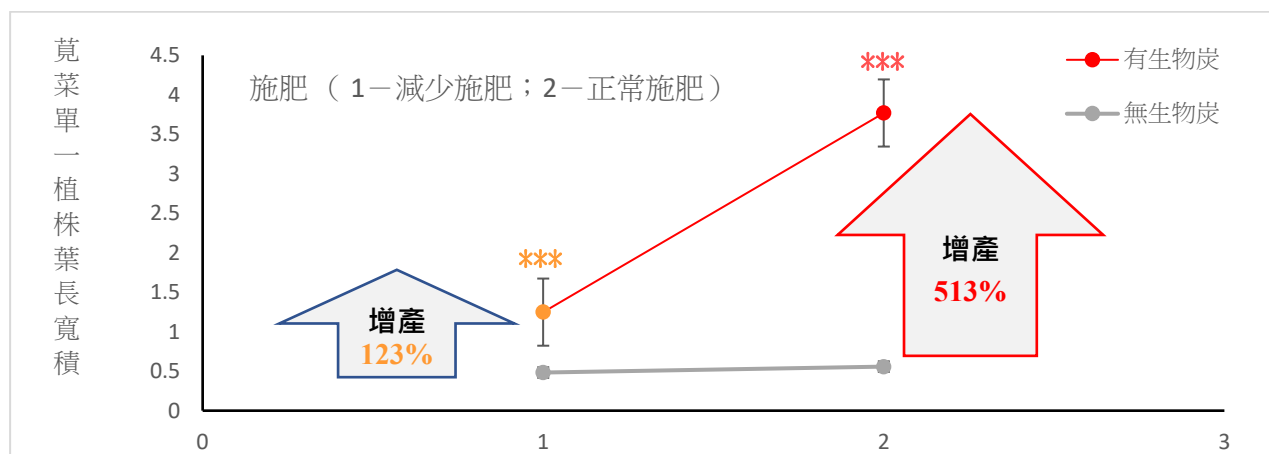


圖 12.不同施肥狀況下，生物炭有無對莧菜葉片數及葉長寬的影響（★有顯著主效應；*有顯著簡單效應）

依據雙因子變異數分析結果：新鮮花生殼生物炭對莧菜葉長寬增加的效應，雖受減少施肥影響，但其在正常施肥與減少施肥狀況下，皆具顯著單純效應。而新鮮的花生殼不論是否正常施肥，皆有一定的增產比例(達 123%及 513%)。

3. 香菜生長試驗

表十、香菜收成照片

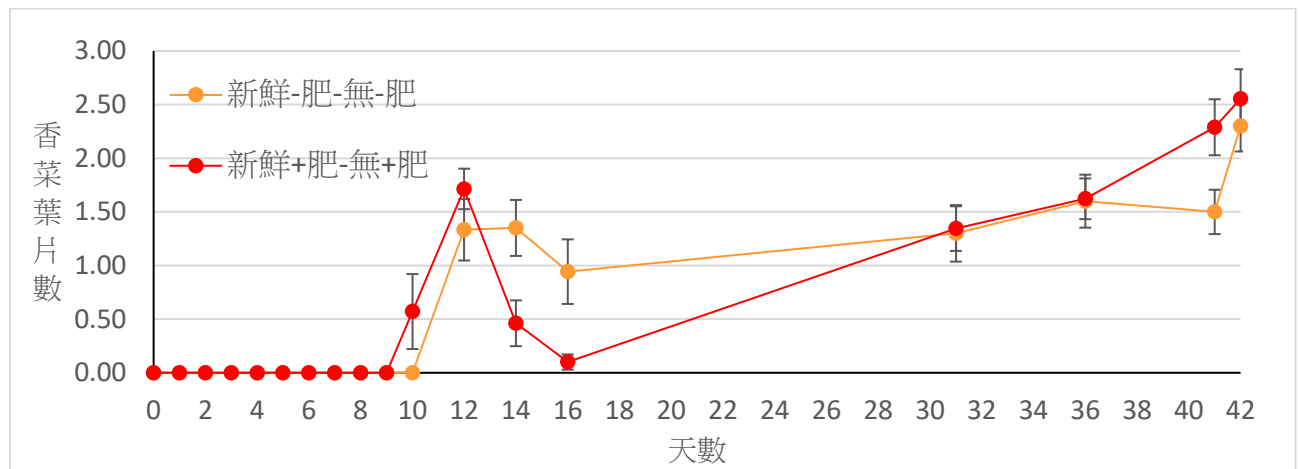


圖 13.在相同施肥狀況下有添加生物炭相對無加生物炭的香菜葉片數增產量

由圖可知不論有無正常施肥的組別，在第 9 天左右皆和無加炭的組別拉開差距，到了第 16 天施肥時差距稍微變小，但 16 天後差距穩定的拉開。

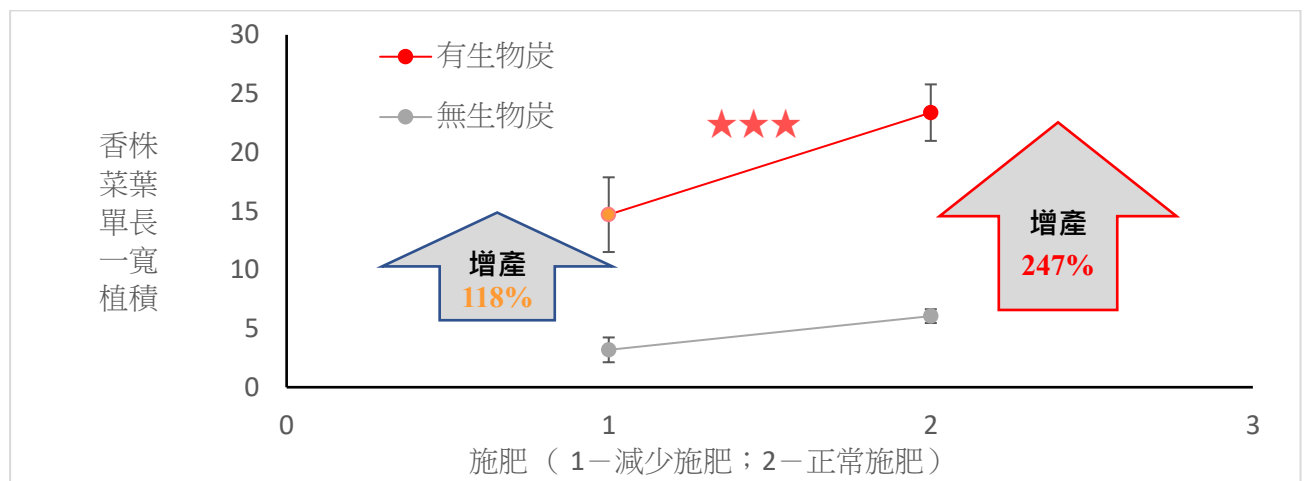


圖 14.不同施肥狀況下，生物炭有無對香菜葉片數及葉長寬的影響 (★有顯著主效應；*有顯著簡單效應)

依據雙因子變異數分析結果：不同施肥狀況下，生物炭有無對香菜的葉長寬效用不受減施肥料的影響，具有顯著主要效應。且加入生物炭後，對植株增產比例也有明顯提高。

(二) 重複試驗新鮮花生殼，並加入水煮、鹽水煮花生殼生物炭的試驗

1. 小白菜生長試驗

表十一、小白菜收成照片

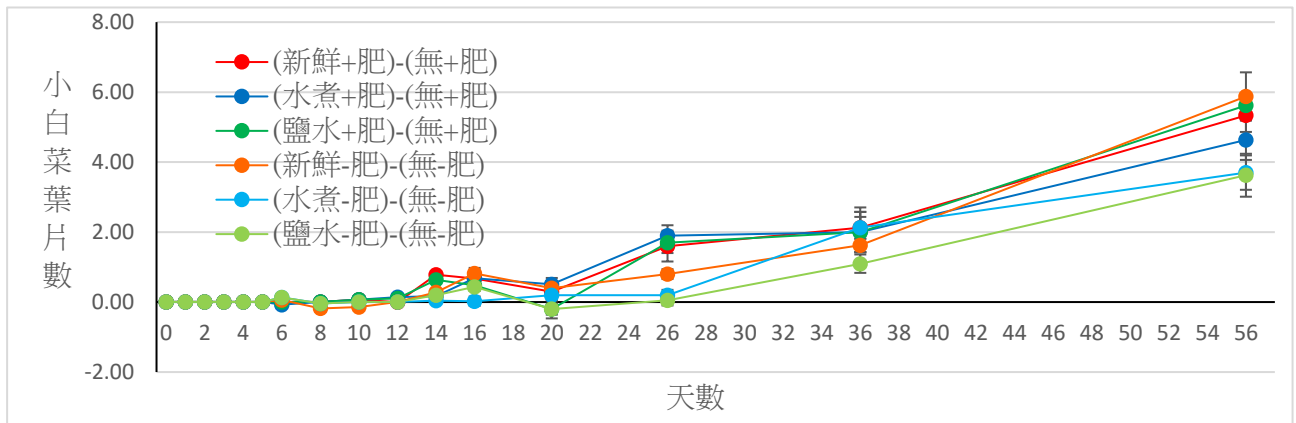


圖 15.在相同施肥狀況下有添加生物炭相對無加生物炭的小白菜葉片數增產量

綜觀各個組別，發現大多數組別在 12 天時拉開差距，但 20 天時差距變小，推測是減少施肥的組別因 16 天施肥作用發揮所導致，20 天之後差距逐漸拉開。

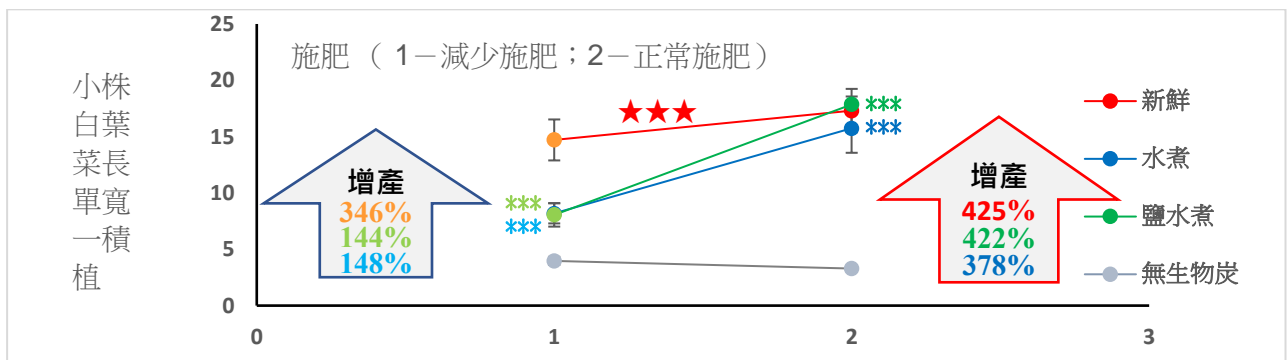


圖 16.不同施肥狀況下，不同前置處理生物炭對小白菜葉片數及葉長寬的影響 (★有顯著主效應；*有顯著簡單效應；顏色代表不同處理生物炭的效應)

依據雙因子變異數分析結果：不同施肥狀況下，新鮮生物炭對小白菜葉長寬增加的效用不受減施肥料的影響，具有顯著主要效應；而水煮及鹽水煮處理者，對葉長寬影響雖受施肥狀況影響，但正常施肥與減少施肥下皆具顯著單純效應。而其中不論是否正常施肥，皆以新鮮花生殼的增產比例最高。

2. 莧菜生長試驗

表十二、莧菜收成照片

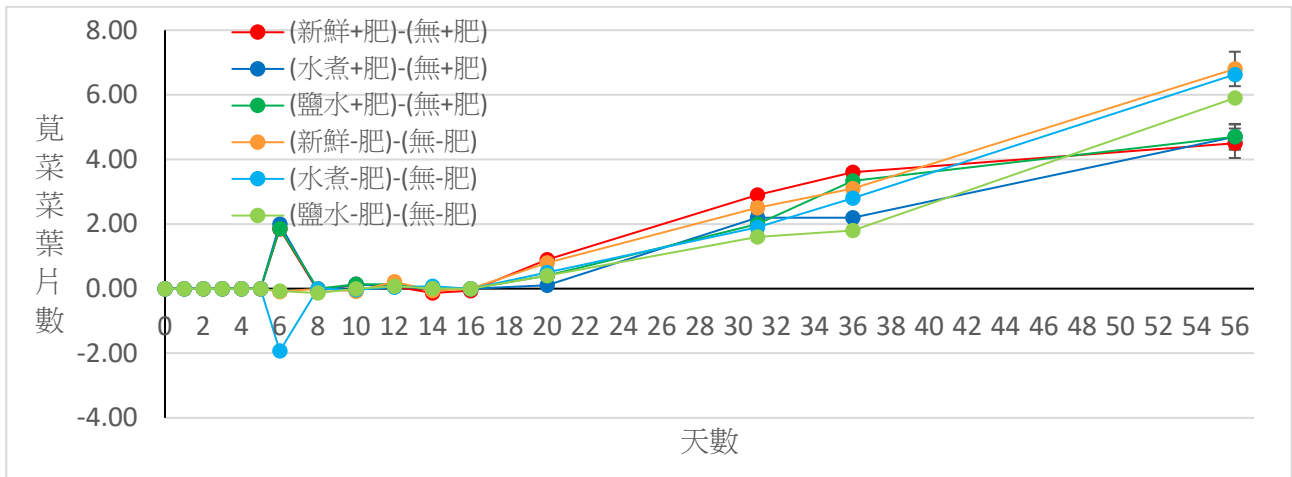


圖 17.在相同施肥狀況下有添加生物炭相對無加生物炭的莧菜葉片數增產量
由圖可知，各組在 16 天後拉開差距。

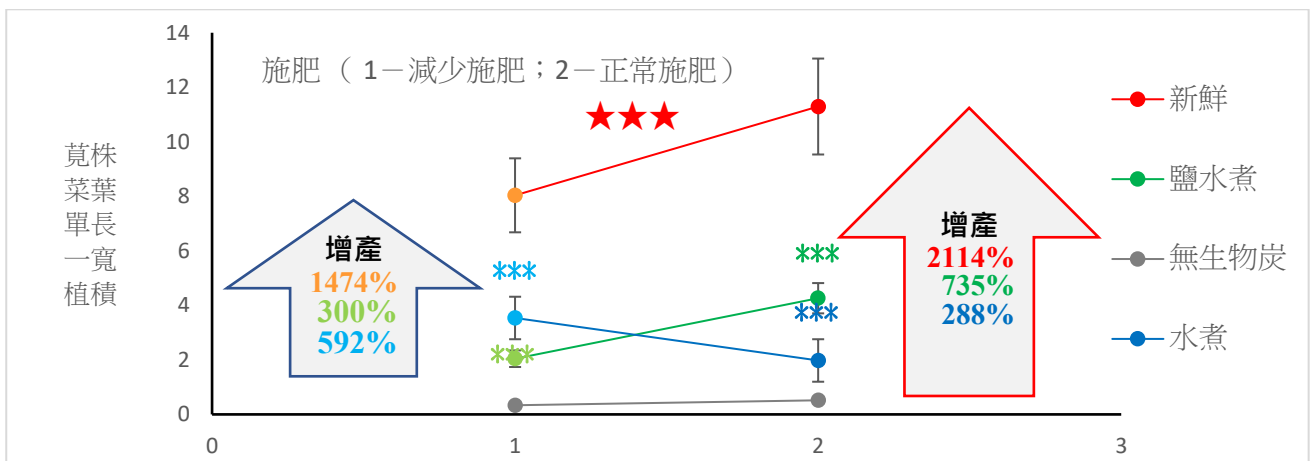


圖 18.不同施肥狀況下，不同前置處理生物炭對莧菜葉片數及葉長寬的影響 (★有顯著主效應；*有顯著簡單效應；顏色代表不同處理生物炭的效應)

雙因子變異數分析結果：不同施肥狀況下，新鮮生物炭對莧菜葉長寬增加的效用不受減施肥料的影响，具有顯著主要效應；其餘的結果雖受施肥狀況影响，但正常施肥與減少施肥下皆具顯著單純效應。其中，不論正常施肥與否，又以新鮮花生殼的增產比例最高。

3. 香菜生長試驗

表十三、香菜收成照片

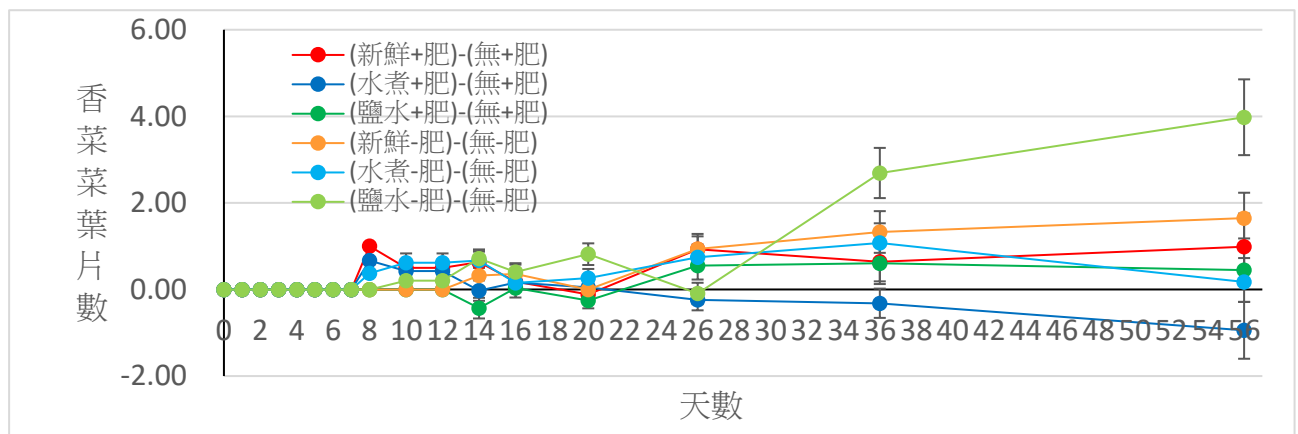
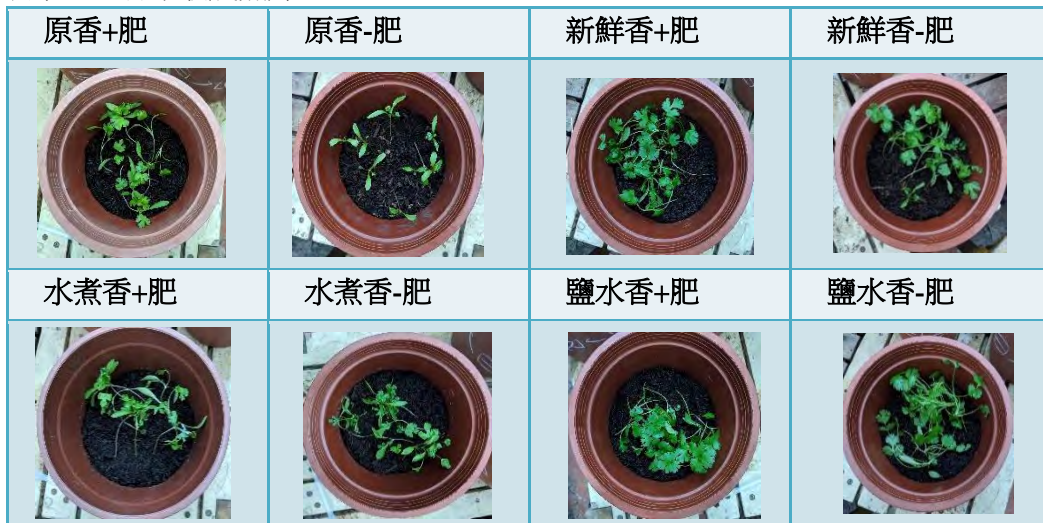


圖 19.在相同施肥狀況下有添加生物炭相對無加生物炭的香菜葉片數增產量

綜觀上圖，發現第 6 天時部分組別以拉開差距，但在 20 天時除了添加鹽水生物炭的組別，其餘皆穩定地拉開差距。

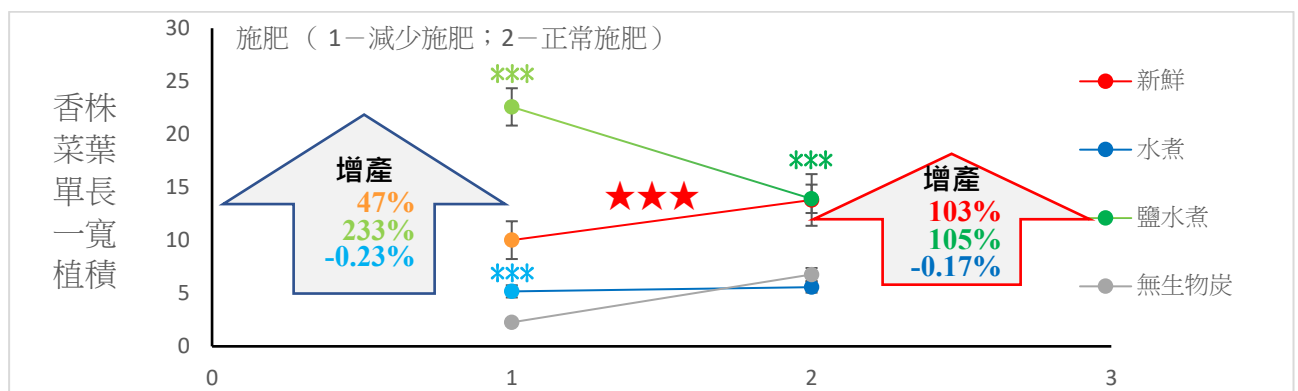








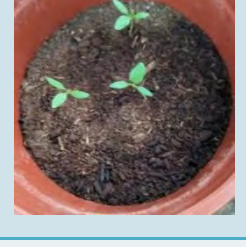
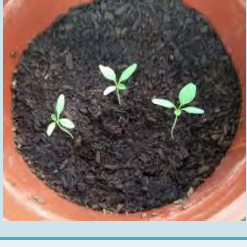
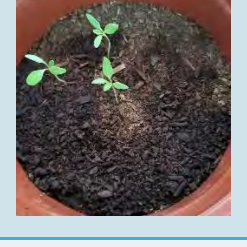
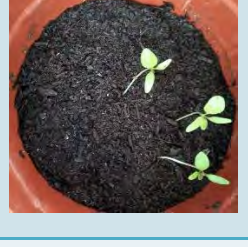
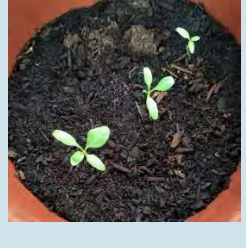
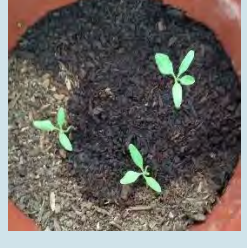
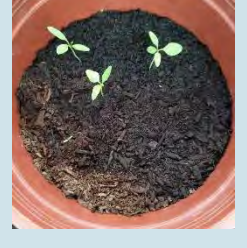
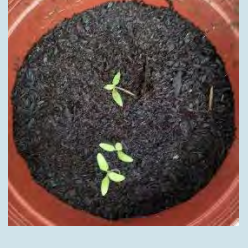


圖 20.不同施肥狀況下，不同前置處理生物炭對香菜葉片數及葉長寬影響 (★有顯著主效應；*有顯著簡單效應；顏色表不同處理生物炭)

依據雙因子變異數分析結果：不同施肥狀況下，新鮮生物炭對莧菜葉長寬增加的效用不受減施肥料的影響，具有顯著主要效應；而水煮與鹽水煮處理者，其對葉長寬增加的影響顯著受到減少施肥的影響，僅在減少施肥狀況下具顯著單純效應。不論是否正常施肥，都是鹽水煮生物炭的增產比例最高，水煮生物炭反而呈現負成長。

(三) 以莧菜為對象，利用第 8 頁所述之【試驗方式二】進行試驗

表十四、莧菜收成照片

無加炭 無加肥料	無加炭 減肥料頻率、量	無加炭 減施肥頻率	無加炭 正常施肥
			
加新鮮炭 無加肥料	加新鮮炭 減肥料頻率、量	加新鮮炭 減施肥頻率	加新鮮炭 正常施肥
			
加水煮炭 無加肥料	加水煮炭 減肥料頻率、量	加水煮炭 減施肥頻率	加水煮炭 正常施肥
			
加鹽水煮炭 無加肥料	加鹽水煮炭 減肥料頻率、量	加鹽水煮炭 減施肥頻率	加鹽水煮炭 正常施肥
			

現階段以新鮮花生殼的增產比例最高 (217%) ，本試驗預計於 2019/6/29 完成，並取得完整數據。

陸、討論

一、研究重要性探討

(一) 在我們收集到的資料中皆以單因子(生物炭的有無)試驗的方式，檢測生物炭對作物生長影響；而本研究聚焦在生物炭與施肥兩因子對作物生長影響的交互作用，以目前查找的資料來說可說是先例。

(二) 年初我們在網路上搜尋並購買到一本新出版的書：《Drawdown 反轉地球暖化 100 招》書中將生物炭列為減碳功效第 72 名，也整合許多研究成果及應用現況的資訊 (Hawken, 2019 年)；書中提到許多前人的研究成果，相對於我們查找到的本土研究豐富許多，而書中也提到生物炭的效用因對象及地區而有多樣變化，更加深累積不同研究數據資料的重要性。

(三) 承上，為確認台灣目前生物炭產業的概況，我們從 2018 年 10 月 30 日舉辦生物炭產業應用研討會相關報導中，找到台灣生物炭相關領域的專家進行訪談：

1. 曾於林試所主持生物炭研究相關計畫及產業推廣的台大森林系副教授邱祈榮博士表示：目前台灣的生物炭研究資料仍屬不足，加上生物炭的來源、燒製過程及應用對象都會有不同的影響，因此任何一個特定試驗目標的有效實驗結果，皆有參考價值；而本研究聚焦在生物炭減少施肥功效的探討，且有獲得顯著支持數據，更有其獨特貢獻及參考價值。(個人通訊，2019.04.19)

*補充 1：台灣由於地狹人稠，施行精緻農業的結果，施用大量肥料及農藥，使土壤大多處於酸化狀態，生物炭恰可作為此狀況的藥方。

2. 從事生物炭相關研究及資料收集的農試所研究員陳琦玲博士表示：本研究結果呈現添加生物炭可減少肥料的施用，有減施肥料之經濟效益及減碳之環境效益。(個人通訊，2019.04.19)

二、實驗變因的控制

(一) 種子間的品質差異：播種前發現種子的大小會有差異，因此我們有刻意挑選大小相似，若可以電子秤做篩選，會更佳。

(二) 花盆大小可能也會影響試驗結果，因此我們從學校園藝社從事黃金葛栽培的家長處，獲得大量相同規格之花盆(圖 21)，使用在主要試驗中，使每一試驗組別間的花盆大小一致。



圖 19. 試驗用的花盆

- (三) 承上，植株間過度擁擠可能也會影響作物生長，因此我們在播種後 16 天進行疏伐，隨機僅留 10 株作物繼續試驗；也進行孔盤試驗。
- (四) 添加生物炭比例部分，我們試驗設計是以原本的 10:500 開始往上加，結果顯示作物發芽及生長反而不佳，基於成本考量及減少對土壤干擾的原則，我們以 10:500 的添加比例進行後續實驗。
- (五) 承上，可延伸進行比 10:500 更少添加比例的試驗，獲得更完整添加比例效用資訊，以期節省使用成本。
- (六) 本試驗以 300 度炭化，可能有只是焙燒，還未達裂解溫度之疑慮，對此，我們將燒製的碳品送交邱祈榮博士協助請人化驗其物化特性如孔隙度等（附錄一），以作為後續探究之背景資料。
- (七) 承上，為求試驗生物炭品之穩定，我們也可以尋求專業機構（如中興大學）協助，以使試驗結果更具說服力。

三、各項結果的討論

- (一) 以水煮菱角、花生殼作為生物炭原料：原先是因為方便取得，後來有朋友提供大量產地直送的新鮮的花生殼，但水煮與新鮮花生殼做出來的結果有明顯差異，後續將進行相關實驗。
- (二) 不同比例花生生物炭前兩次實驗結果對比及推測：不同比例花生生物炭的兩次實驗結果有明顯的差異，推測是二次實驗時使用新鮮花生殼生物炭及孔盤的關係。推測新鮮花生殼生物炭在水煮過程中，一些營養物質溶解於水裡，而孔盤可以避免植物之間的互相干擾。
- (三) 本探究最主要的核心價值為確認新鮮花生殼燒製的生物炭，以 10:500 混合對三種試驗作物皆有顯著減少施肥的功效。而經過水煮及鹽水煮（對應一般市售水煮帶殼花生的烹煮過程）的花生殼生物炭，雖然大致仍有顯著功效，但結果差異較大，甚至有些狀況下反而減少施肥的作物生長表現明顯較佳，這現象值得進一步探討之。
1. 因無加生物炭時，有加肥料組除了發芽率與發芽平均天數無明顯差異外，在第六周時有加肥料組的莖長度，葉片長寬積及葉片數平均皆較無加肥料組高，可見肥料對植物有正面效用。
 2. 有生物炭的狀況下，正常施肥在平均發芽天數，發芽率，平均莖長度，平均葉片長寬積及平均葉片數皆是最好；而有生物炭卻減少施肥的作物的生長情形，也會顯著較無生物炭卻有正常施肥者佳。由此可知，生物炭配合肥料使用會產生的正面效益。

3. 綜觀以上兩點，我們認為新鮮花生殼生物炭以 10g/510g 混入培養土，具有肥料增效且緩釋的效果，可有效降低施肥頻率。

(四) 花生殼生物炭與肥料有加成作用的推論，我們認為與生物炭的物理結構(多孔隙)較有關連，然確切機制需要進一步延伸試驗驗證。

柒、結論

一、菱角殼或花生殼燒製生物炭單獨施用對小白菜、莧菜、香菜的生長無顯著效用。

二、花生殼生物炭以 1:50 比例混入培養土，與肥料共同施加，具延長肥料對三種葉菜作物效力之功用。

三、新鮮花生殼製備的生物炭以 1:50 比例混入培養土，對三種葉菜作物生長具有顯著效用，且不受減施肥料影響；具減少施肥並增加產量之功效。

四、日常生活較易取得的水煮及鹽水煮處理後花生殼燒製之生物炭，其對作物生長的效用雖多受減施肥料影響，但仍有顯著增產效用；亦有應用上的價值。

五、本研究成果可應用於都市農耕，對高度依賴肥料的葉菜類栽植提供減施肥料的方案；並充實生物炭產業參考資料庫。

捌、探究與應用展望

有別於查找到的前人研究，本研究首次以雙因子交互作用的試驗設計，並獲得數據支持：生物炭對葉菜類作物栽培，具有顯著減少肥料施加並增加產量的效用；展望未來，希望能以本研究為基礎，對生物炭後續研究及應用上做出貢獻，以下提出幾點後續努力的方向

一、最符合金濟效益的使用方法

(一) 較小添加比例的生物炭功效的探究。

(二) 生物炭成本與減少肥料間的經濟及環境（減碳及土壤過度施肥）效益計算。

二、生物炭的作用機制：生物炭表面積大且有許多孔洞，而這些小孔洞的確實功效為何？我們可以從炭品檢測的數據配合進一步的試驗設計來釐清。

三、自然生成生物炭：

(一) 日常生活中的生物炭：如，烘焙業、高溫烘焙咖啡、各種食品加工廠等；但可能有來源複雜，需要確認各種炭源生產過程的添加物，以穩定其效果。

(二) 亞馬遜黑土森林大火後的土壤、黑土偵測、垃圾掩埋場。

四、毒物測試：進行毒物測試以確認生物炭使用的安全性，如斑馬魚苗毒物測試

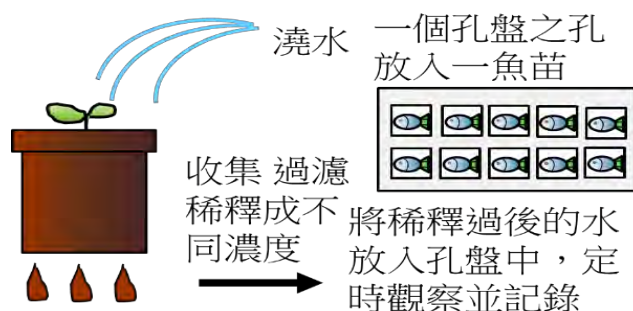


圖 20.毒物測試示意圖

五、都市農耕上的運用：本實驗的三種作物因易照顧且生長期短，適合應用至都市農耕，所以我們也希望生物炭能推廣至都市農耕。

玖、參考文獻

蔣珮伊，趙敏（2017）。【循環經濟】生物炭如何讓農業廢棄物不再令人嘆息？《農傳媒》。取自：<https://www.agriharvest.tw/>

[theme_data.pHp?theme=article&sub_theme=article&id=612](https://www.agriharvest.tw/theme_data.pHp?theme=article&sub_theme=article&id=612)

張樹清，余離，耿增超，高海英（2011）。生物炭對土壤的作用及未來研究。中國農學通報，2011年第27期：16-25頁

吳怡靜（2011）。二十一世紀，木炭鹹魚翻身——它不僅是土壤改良劑，還是對抗暖化的減碳利器。人類能不能靠它拯救世界？天下雜誌第430期，取自：<https://www.cw.com.tw/article/article.action?id=5001100>

倪禮豐，范美玲，黃鵬。農業與節能減碳《農業知識入口網》取自：

<https://kmweb.coa.gov.tw/>

[ct.asp?xItem=1466722&ctNode=1581&mp=1&kpi=0&rowId=&hashid=](https://kmweb.coa.gov.tw/ct.asp?xItem=1466722&ctNode=1581&mp=1&kpi=0&rowId=&hashid=)

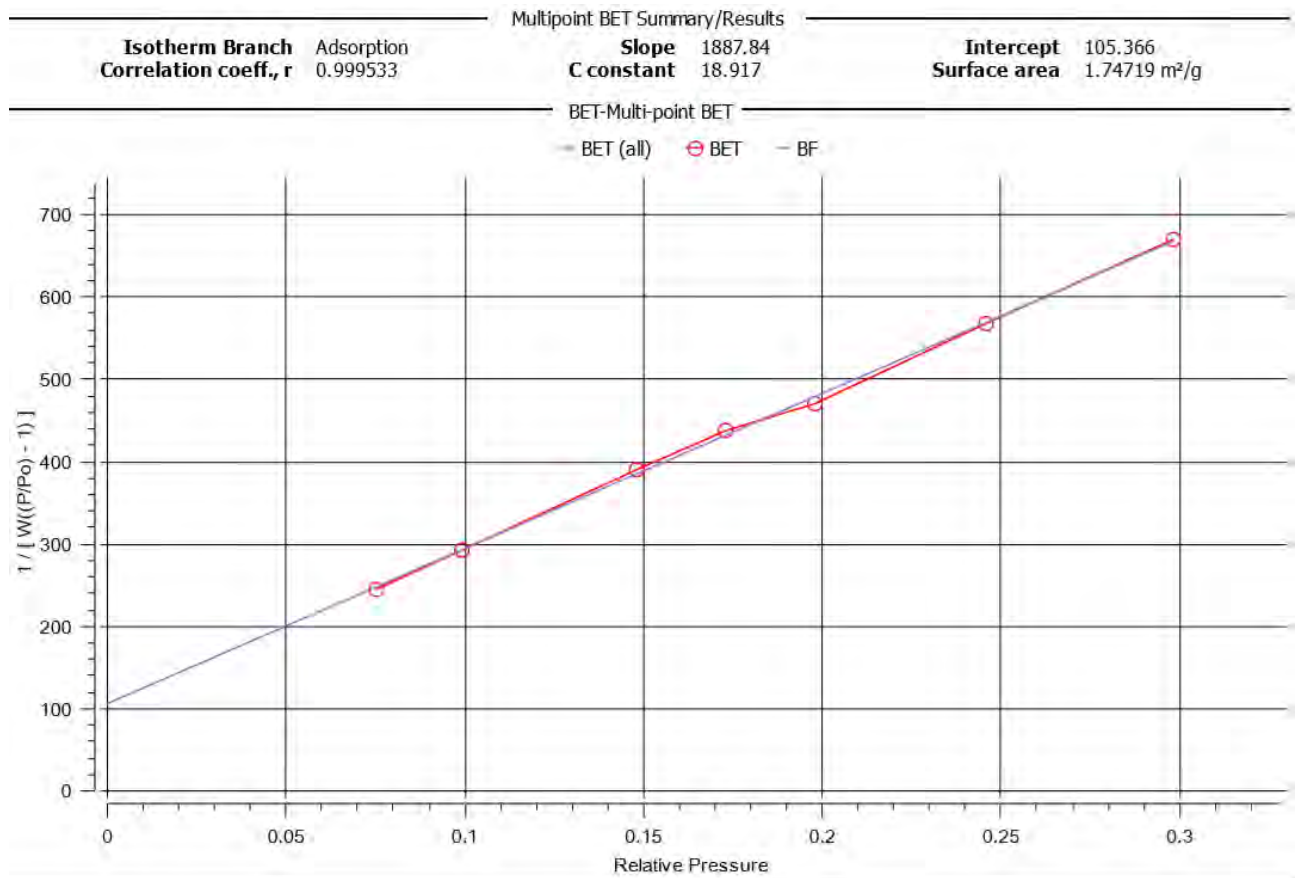
石軒寧，劉姿吟（2012）。探根之旅之木炭大翻身。53屆全國科展作品說明書。

張千丰，王光華（2012）。生物炭理化性質及對土壤改良效果的研究進展。土壤與作物，第

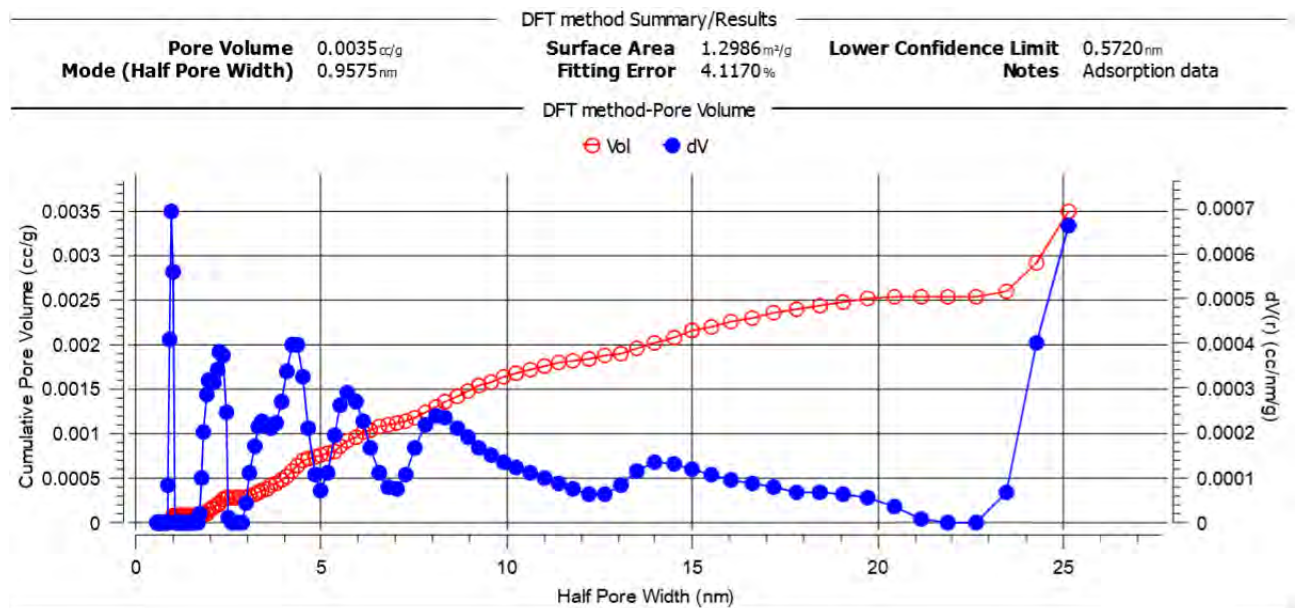
- 1 卷，第 5 期，第 220-226 頁。
- 王萌萌，周啟星（2013）。生物炭的土壤環境效應及其機制研究。環境化學，第 32 卷，第 5 期。
- 陳韻圓（2016）。短期施用雞糞生物炭對小白菜產量與銅鋅吸收之影響（臺灣大學農業化學研究所學位論文）。
- 楊盈（2018）。凡茄生物炭混合介質對甘藍及番茄幼苗生長及對蕃茄凋萎病防治之影響（中興大學園藝學系碩士學位論文）。
- 保羅·霍肯（Paul Hawken）。2019 年 1 月 16 日。Drawdown 反轉地球暖化 100 招。聯經與台糖合作出版。聯經出版事業公司。ISBN 9789570852363
- 蔡佳儒，吳耿東（2016）。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，第 24-29 頁。
- 洪嘉鎡（2018）。生物炭應用產業化，品管標準也須制訂跟上。《農傳媒》。取自：
https://www.agriharvest.tw/theme_data.php?theme=article&sub_theme=article&id=2432
- 江文錦（2018）。土壤添加生物炭對葉菜類生產初探。《臺南區農業專訊》104 期，第 17-19 頁。
- 張耀聰（2018）。高雄區農技報導第 142 期：生物炭於短期作物田間應用技術《高雄區農技報導》第 142 期，第 3-18 頁。
- 簡士濠，陳俊源，簡廷澍（2015）。生物炭添加對泥岩地區非點源污染之改善《土壤與地下水污染整治》第四期，第 317 - 327 頁

附錄一、探品檢測結果(新鮮生物炭)

一、新鮮花生殼生物炭之「比表面積 (BET)」檢測數據



二、新鮮花生殼生物炭之「孔徑分布 (DFT)」檢測數據



附錄二、前置試驗主要結果

一、添加生物炭對培養土 pH 值之影響皆不明顯，於各組試驗過程中皆於 pH=6.8 ~ pH=7.2 間上下波動，也沒有固定的變化趨勢。

二、用不同農業生產剩餘資材製成的生物炭對於植物的影響

(一) 不管哪組實驗，對土壤酸鹼值皆無顯著差異。加入水煮菱角殼生物炭植物的葉片數，高度及發芽率無顯著差異。

表一、

依據 F 檢定結果進行（單尾）t 檢定，水煮的花生殼與菱角殼的添加有無，各種植物發芽所需日數的比較

植物	原料	生物炭	樣本數	平均 ± 標準誤	自由度	t 值	P
小白菜	菱角殼 (經水煮)	有添加	23	5.62 ± .42	22	1.54	.069
		無添加	25	5.00 ± .00			
	花生殼 (經水煮)	有添加	16	8.63 ± .77	15	8.62	.000 ***
		無添加	28	2.00 ± .00			
莧菜	菱角殼 (經水煮)	有添加	25	6.76 ± .48	44	-1.04	.153
		無添加	21	7.57 ± .63			
	花生殼 (經水煮)	有添加	1	16.00 ± NA	23	3.64	.001 ***
		無添加	24	7.33 ± .48			
香菜	菱角殼 (經水煮)	有添加	21	15.67 ± 1.30	43	-0.49	.314
		無添加	24	16.76 ± 1.54			
	花生殼 (經水煮)	有添加	10	29.50 ± 2.91	9	7.18	.000 ***
		無添加	22	8.36 ± .45			

*p<.05、**p<.01、***p<.001。

(二) 在使用水煮菱角殼的情況下，各植物有無加生物炭的平均發芽天數之比較

1. 在使用水煮菱角殼的情況下，有加生物炭的小白菜平均發芽天數多於無加生物炭的小白菜 (p>.05)。
2. 在使用水煮菱角殼的情況下，有加生物炭的莧菜及香菜平均發芽天數少於無加生物炭的莧菜及香菜 (p>.05)。

(三) 在使用水煮花生殼的情況下，各植物有無加生物炭的平均發芽天數之比較。

1. 在使用水煮花生殼的情況下，有加生物炭的小白菜/莧菜/香菜平均發芽天數多於無加生物炭的小白菜/莧菜/香菜 (p<.001) 但在添加水煮花生殼生物炭的莧菜僅有一個樣本數。添加水煮花生殼的組別有抑制植物發芽的作用。

三、不同植物對於生物炭的生長影響

不同作物對添加生物炭的生長高度及葉片數的反應皆無明顯差異 ($p>.05$)，而小白菜與香菜加生物炭對發芽率無顯著差異但有加生物炭的莧菜發芽率較高。大致來講不同作物對生物炭添加的反應無顯著差異 ($p>.05$)。

四、不同花生殼生物炭的添加比例對於不同植物的影響

表二、

依據 F 檢定結果進行 (單尾) t 檢定，比較不同比例生物炭下，各種植物發芽所需日數

植物 (播種)	生物炭 (g)	樣本數	平均 ± 標準誤	比較	自由度	t 值	P
小白菜 (同一盆)	10/510	25	4.32 ± .15	10g 對照 20g	27	-3.45	.000 ***
	20/510	24	6.08 ± .49	10g 對照 30g	25	-2.80	.005 **
	30/510	19	5.37 ± .34	20g 對照 30g	39	1.20	.119
小白菜 (個別孔盤)	10/510	37	6.16 ± .31	10g 對照 20g	67	.29	.386
	20/510	32	6.03 ± .33	10g 對照 30g	67	.68	.248
	30/510	32	6.26 ± .35	20g 對照 30g	62	.36	.360
莧菜 (同一盆)	10/510	21	6.95 ± .49	10g 對照 20g	12	-3.57	.002 **
	20/510	12	16.42 ± 2.60	10g 對照 30g	6	-14.19	.000 ***
	30/510	6	37.67 ± 2.11	20g 對照 30g	16	-5.30	.000 ***
莧菜 (個別孔盤)	10/510	19	10.00 ± .37	10g 對照 20g	37	-1.53	.068
	20/510	20	11.20 ± .68	10g 對照 30g	28	-5.88	.000 ***
	30/510	17	12.53 ± .21	20g 對照 30g	23	-1.87	.037 *
香菜 (同一盆)	10/510	11	13.82 ± .57	10g 對照 20g	8	-1.41	.099
	20/510	8	17.63 ± 2.65	10g 對照 30g			
	30/510			20g 對照 30g			
香菜 (個別孔盤)	10/510	14	10.21 ± .54	10g 對照 20g	28	-0.87	.196
	20/510	16	10.75 ± .34	10g 對照 30g	29	-1.10	.141
	30/510	17	11.00 ± .48	20g 對照 30g	31	-0.42	.337

* $p<.05$ 、** $p<.01$ 、*** $p<.001$ 。

(一) 在使用 10g 或 20g 及單一盆栽實驗的情況下，各植物的平均發芽天數之比較。

1. 在使用 10g 或 20g 及單一盆栽實驗的情況下，小白菜/莧菜/香菜添加 10g 生物炭的單一盆平均發芽天數少於小白菜/莧菜/香菜添加 20g 生物炭的單一盆平均發芽天數 ($p >.05$)。

(二) 在使用 10g 或 20g 及孔盤實驗的情況下，各植物的平均發芽天數之比較。

1. 在使用 10g 或 20g 及孔盤實驗的情況下，小白菜添加 10g 生物炭的孔盤平均發芽天數多於小白菜添加 20g 生物炭的孔盤平均發芽天數 ($p > .05$)。
2. 在使用 10g 或 20g 及孔盤實驗的情況下，莧菜/香菜添加 10g 生物炭的孔盤平均發芽天數少於莧菜/香菜添加 20g 生物炭的孔盤平均發芽天數 ($p > .05$)。

(三) 在使用 10g 或 30g 及單一盆栽實驗的情況下，各植物的平均發芽天數之比較。

1. 在使用 10g 或 30g 及單一盆栽實驗的情況下，小白菜/莧菜添加 10g 生物炭的單一盆栽平均發芽天數少於小白菜/莧菜添加 30g 生物炭的單一盆栽平均發芽天數 ($p < .01$)。

(四) 在使用 10g 或 30g 及孔盤實驗的情況下，各植物的平均發芽天數之比較。

1. 在使用 10g 或 30g 及孔盤實驗的情況下，小白菜添加 10g 生物炭的孔盤平均發芽天數多於小白菜添加 30g 生物炭的孔盤平均發芽天數 ($p > .05$)。
2. 在使用 10g 或 30g 及孔盤實驗的情況下，莧菜/香菜添加 10g 生物炭的孔盤平均發芽天數少於莧菜/香菜添加 30g 生物炭的孔盤平均發芽天數 ($p > .05$)。

(五) 在使用 20g 或 30g 及單一盆栽實驗的情況下，各植物的平均發芽天數之比較。

1. 在使用 20g 或 30g 及單一盆栽實驗的情況下，小白菜/莧菜添加 20g 生物炭的單一盆栽平均發芽天數多於小白菜/莧菜添加 30g 生物炭的單一盆栽平均發芽天數 ($p > .05$)。

(六) 在使用 20g 或 30g 及孔盤實驗的情況下，各植物的平均發芽天數之比較。

1. 在使用 20g 或 30g 及孔盤實驗的情況下，小白菜/莧菜/香菜添加 20g 生物炭的孔盤平均發芽天數少於小白菜/莧菜/香菜添加 30g 生物炭的孔盤平均發芽天數 ($p > .05$)。

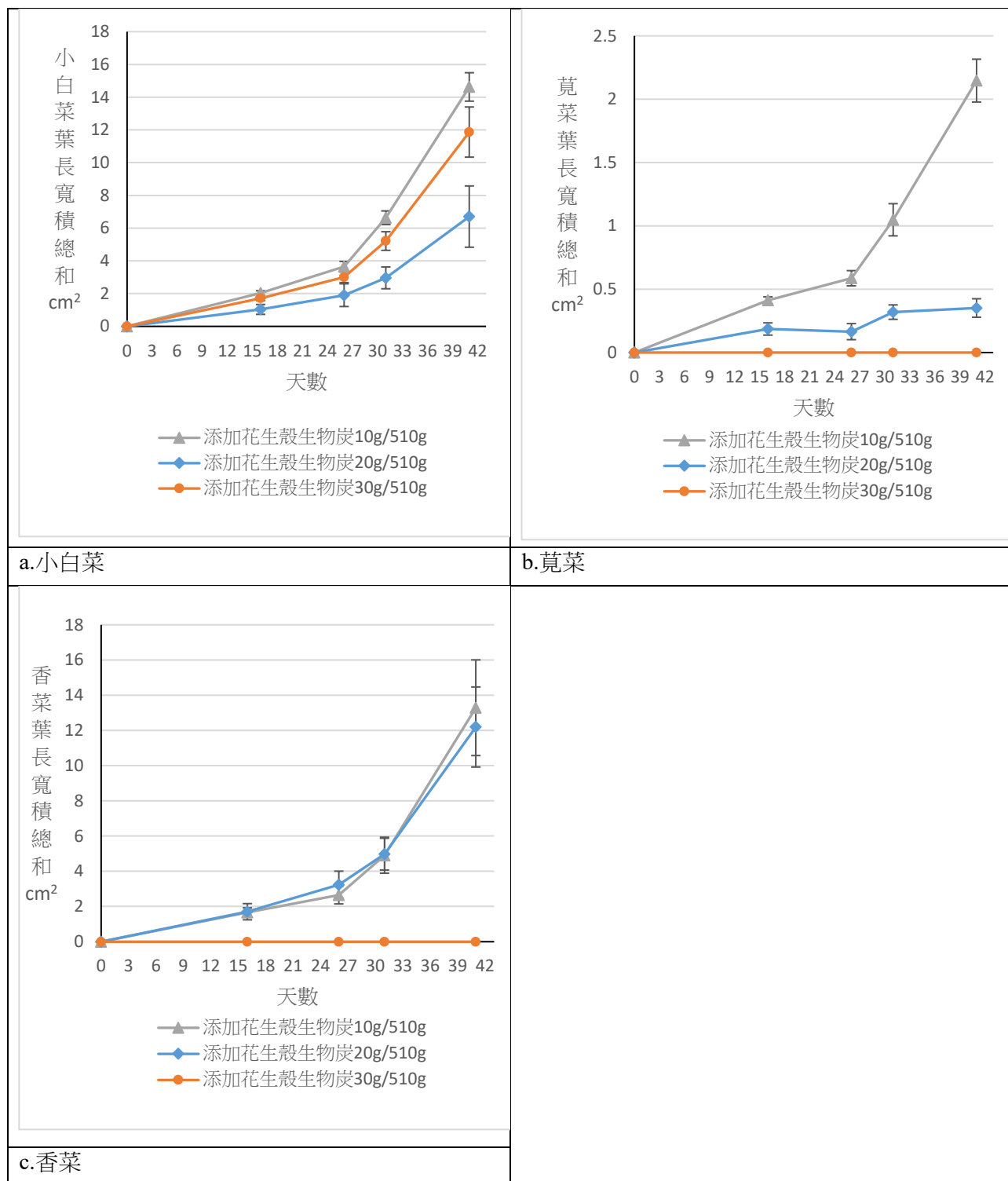


圖 1.孔盤試驗

* 添加 10g、20g、30g 的生物炭在第一次使用同一盆盆栽栽種的試驗中以 10g 添加發芽狀況顯著較好，在孔盤試驗中則多無明顯差異。

表三、

不同比例生物炭下，各種植物葉片的長寬積總和隨時間的變化(第一次試驗)



* 第一次試驗，發現花生殼生物炭添加多(30g)的作物生狀況較差，不過經過以孔盤試驗後，差距卻變得不明顯；總括上述，相對於【20g 生物炭/510g 總土量】及【30g 生物炭/510g 總土量】，【10g 生物炭/510g 總土量】的添加生物炭方式為較經濟及可行的方案，故以此為後續主要試驗的生物炭添加方式。

【評語】 030303

本研究主要探討生物碳是否具有減少施肥及增加植物產量上的價值。一開始測試花生殼及菱角殼所製成生物碳是否可增加植物產量，結果效率無明顯增加。後續則比較用新鮮，水煮，及鹽水煮過的花生殼所製生物碳與肥料共同使用時是否具有加成作用。結果發現在 300°C 炭化新鮮花生殼所製出的生物炭，單獨施作雖然對三種葉菜作物（小白菜、莧菜、香菜）生長沒有明顯作用，但是與肥料共同作用時，可以增加葉片的生長面積及產量。本實驗的結果證明使用新鮮花生殼所製生物碳可以減少肥料的使用量，花生殼是一般農業廢棄物，這個實驗成果幫花生殼找到新的具有產業上的價值，兼顧經濟又環保，是一個值得推廣的概念喔！不過整體實驗結果的歸納與統計可以再加強。亦即針對花生殼生物碳與肥料混合後對三種植物的生長作用可以歸納統整在一兩個圖表呈現，這樣更能呈現整體實驗成果。建議：

1. 在比較水煮及鹽水煮過花生殼的生物碳效應時，可能還需考量鹽水煮過的花生殼可能比一般水煮的樣本還多了鹽分的這一個變因，這個多餘變因應加入考慮衡量。
2. 花生殼生物炭與肥料 1:50 的重量比例，在文中有時出現 10:500，宜在全文統一科學註記的 1:50 陳述。

3. 此研究結果初步已具有支持生物炭應用的基礎，惟宜考慮生物炭在土壤中的後續變化，因生物炭在土壤環境中存在期程長，若是持續添加是否可能造成其他效應。

摘要

為瞭解生物炭對肥料效用延長及增強之影響，以進一步確認生物炭應用在減少施肥及增加產量上的價值。本研究聚焦花生殼在300°C炭化的生物炭，於不同施肥狀況下對三種葉菜作物（小白菜、莧菜、香菜）生長的影響。

結果顯示：新鮮花生殼製成之生物炭，與培養土混合比例1：50，在不同施肥頻率下，試驗作物的生長狀況皆顯著優於未添加生物炭者，且其增產效用未顯著受減少施肥影響；比較葉長寬積，增產效用達一倍甚至十倍以上。而一般大眾較易取得之水煮及鹽水煮花生殼製備的生物炭，亦大多有顯著效用。

本研究後續展望：針對生物炭來源、製法、施用對象、時機、量、環境及栽種成本，提供應用上的完整提案；生物炭效用的機制之深入探究等。

壹、研究動機

一、文獻探討

1. 廣義生物炭 (Biochar) 包含所有生質原料在無氧或缺氧環境下熱轉化後的固體副產物。
2. 前人研究 (以台灣本土研究為主)：(1)對土壤及大氣環境相關研究；(2)生物炭運用在作物栽培上的研究。
➤ 文獻中對植物生長研究數據大多無顯著差異，試驗設計亦欠缺與肥料共同施加效用之探討。
3. 台灣農業概況：(1)土壤酸化問題普遍存在；(2)近幾年，台灣的都市農耕也日漸盛行。
4. 生物炭產業現況：(1)國際生物炭組織訂定相關標準各異；(2)台灣需更多本土研究做為資料訂定標準依據。

二、研究聚焦：整合資訊→前測→研究目的聚焦生物炭與肥料並行之加成效用。

貳、研究目的

- 一、生活中易取得資材燒製後單獨使用的效用。
- 二、不同花生殼生物炭添加比例對三種葉菜類：小白菜、莧菜、香菜的影響。
- 三、新鮮花生殼燒製的生物炭對減少試驗的三種葉菜類肥料的使用的效用。
- 四、各種前置處理花生殼燒製的生物炭對減少試驗的三種葉菜類肥料的使用的效用。
- 五、提供花生殼生物炭使用上的具體建議。

參、研究方法



圖1.作物栽培於溫室

圖2.產地直送新鮮花生殼

圖3.炭化用烘箱

圖4.觀察用顯微鏡

圖5.迴流煮沸裝置及pH計

一、基本實驗流程

挑選實驗種子 → 播種 → 依實驗設計添加生物炭及施肥 → 前16天每2天記錄葉片數等 → 第16天疏伐留10棵 → 每5天記錄；42天收成

二、統計方式：敘述統計、t檢定、雙因子變異數分析；統計分析選擇顯著水準 $\alpha = 0.05$ 。

前測流程及初步結果摘要

試驗菱角殼生物炭的影響 → 【結果】對培養土酸鹼值及植物生長皆無顯著影響

確認添加花生殼生物炭的適合比例 → 【結果】選定 1：50 混合比例進行後續試驗

試驗不同生物炭對小白菜生長影響 → 【結果】花生殼及菱角殼對作物發芽生長等無顯著影響
焦點轉向與添加比例及肥料共同施加的效用

主要試驗邏輯脈絡

添加新鮮花生殼生物炭與施肥頻率雙因子試驗 → 考量市售花生皆經水煮或鹽水煮

添加各種前置處理花生殼燒製的生物炭與施肥頻率雙因子試驗 → 進一步試驗節省肥料程度

添加各種前置處理花生殼燒製的生物炭與施肥量及頻率雙因子試驗 (肥料之操作變因項目增加)

肆、結果

一、花生殼生物炭炭品檢測結果

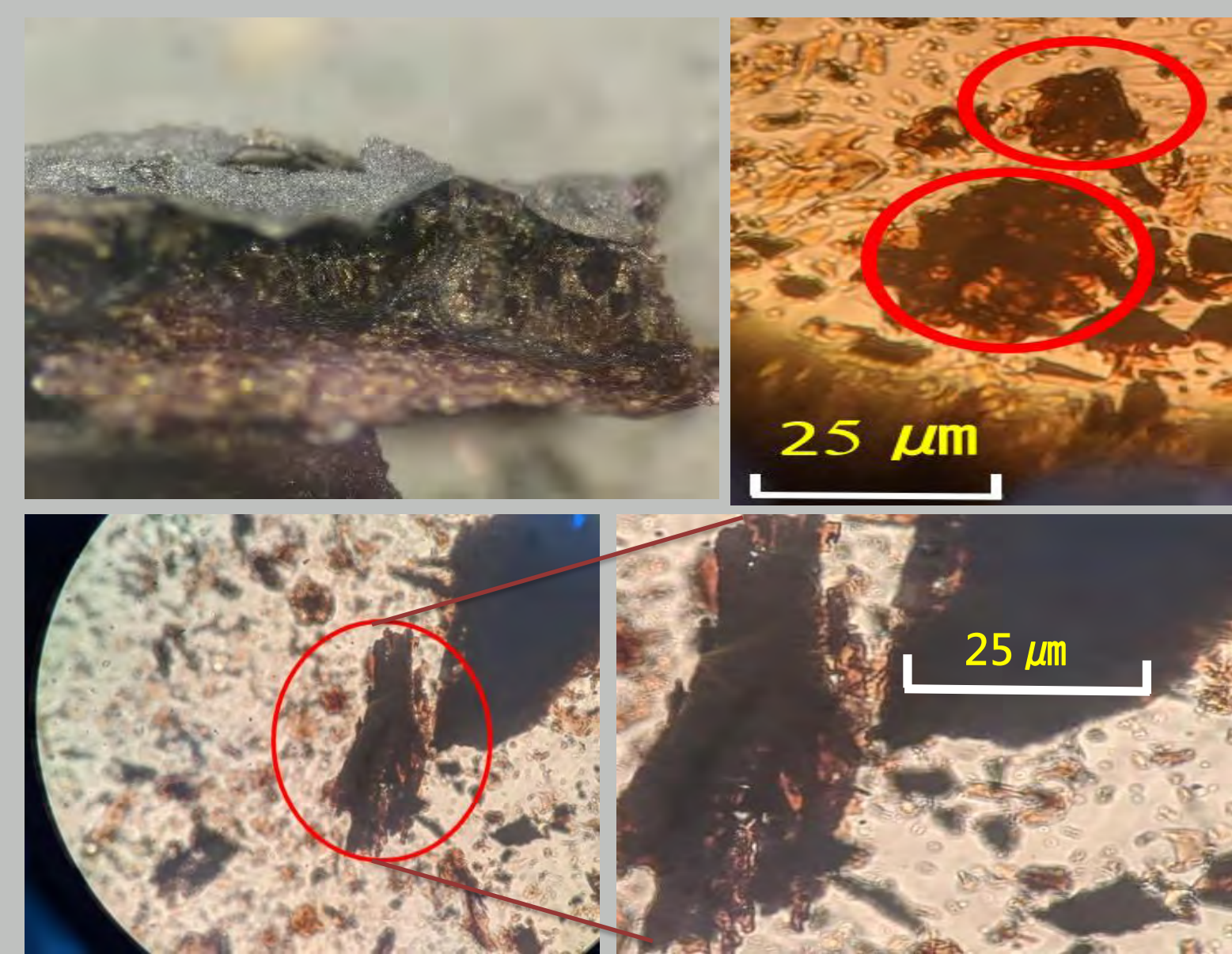


圖6.顯微鏡下生物炭粉末上有許多孔隙

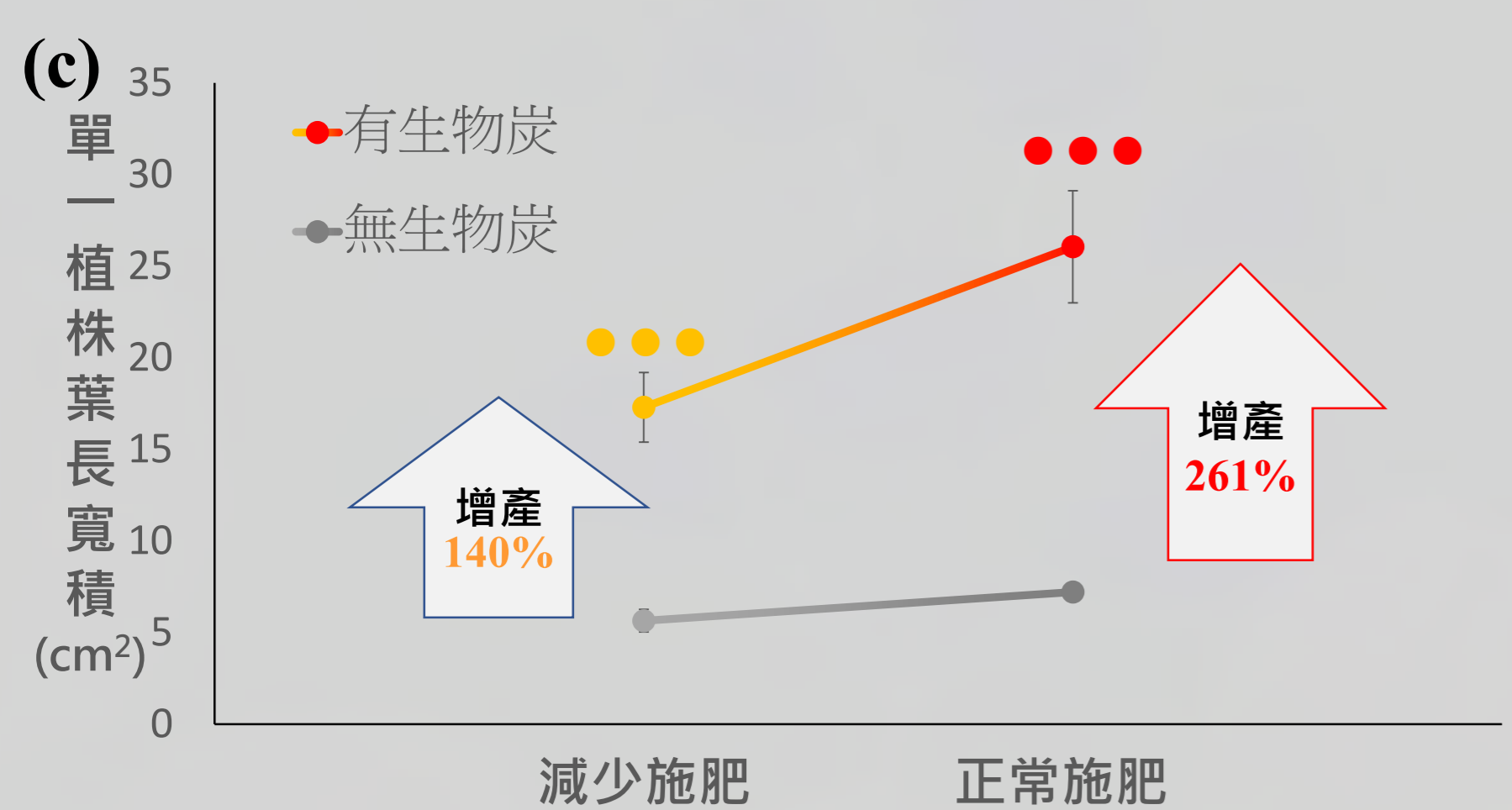
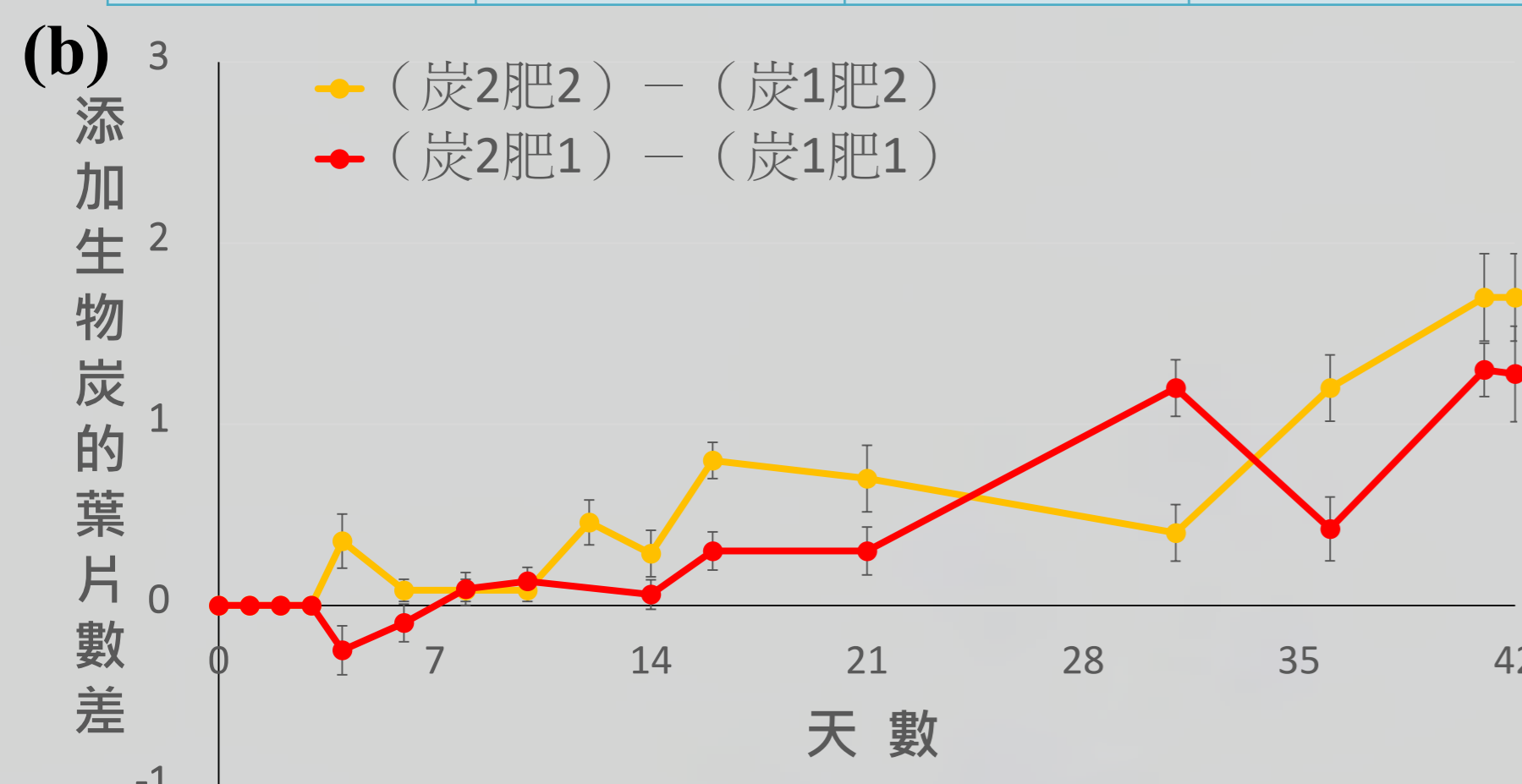
表一、炭品檢測概述表(原料：花生殼；碳化溫度：攝氏300度)

處理	BET 比表面積 (m ² /g)	DFT 孔徑分佈 (nm)	pH 值
新鮮	1.74719	0.7 ~ 24.8	6.8 ~ 7.0
水煮	2.10387	0.7~24.8	6.4 ~ 7.2
鹽水煮	1.63026	0.7~24.8	5.9 ~ 6.9

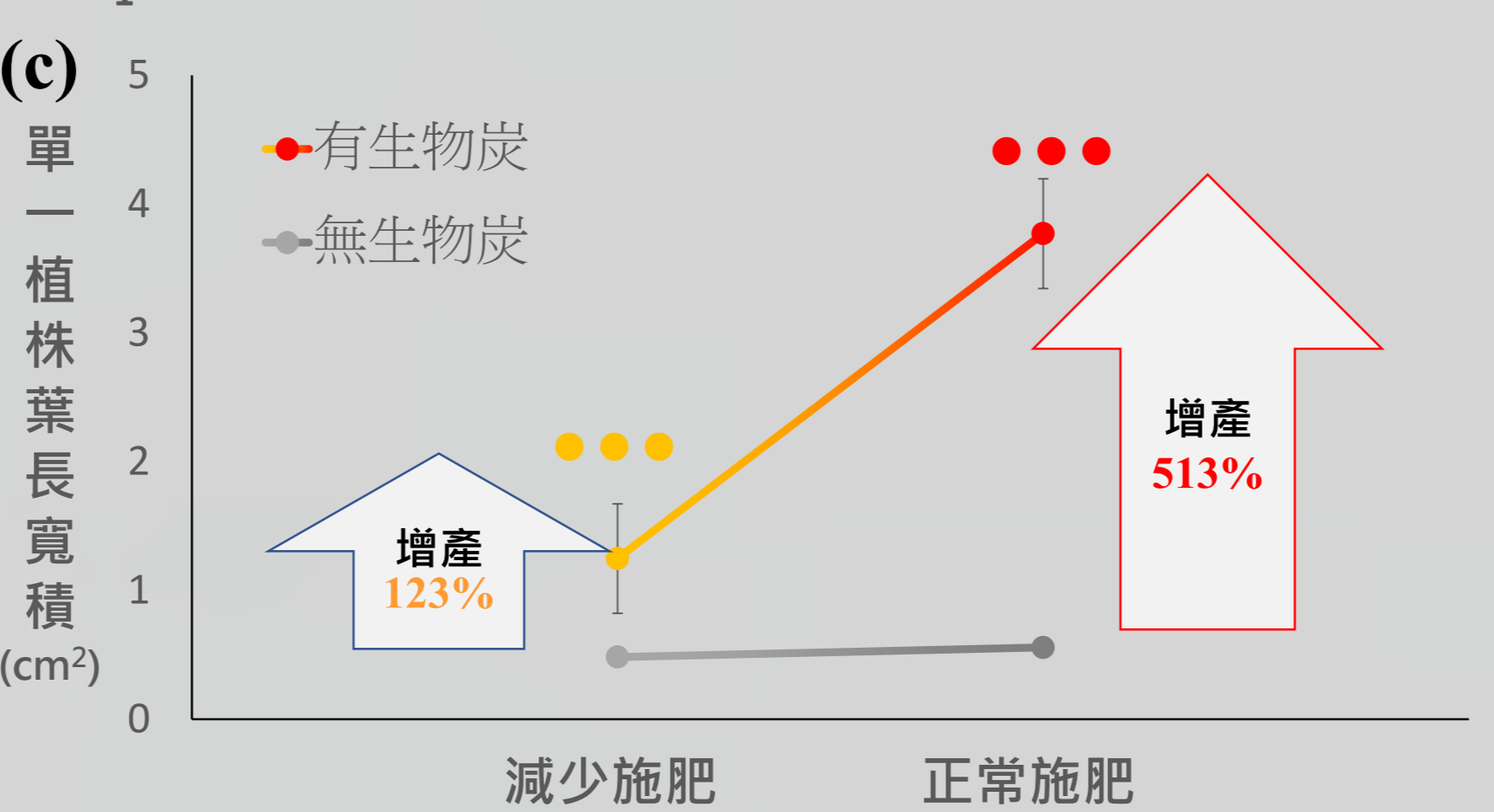
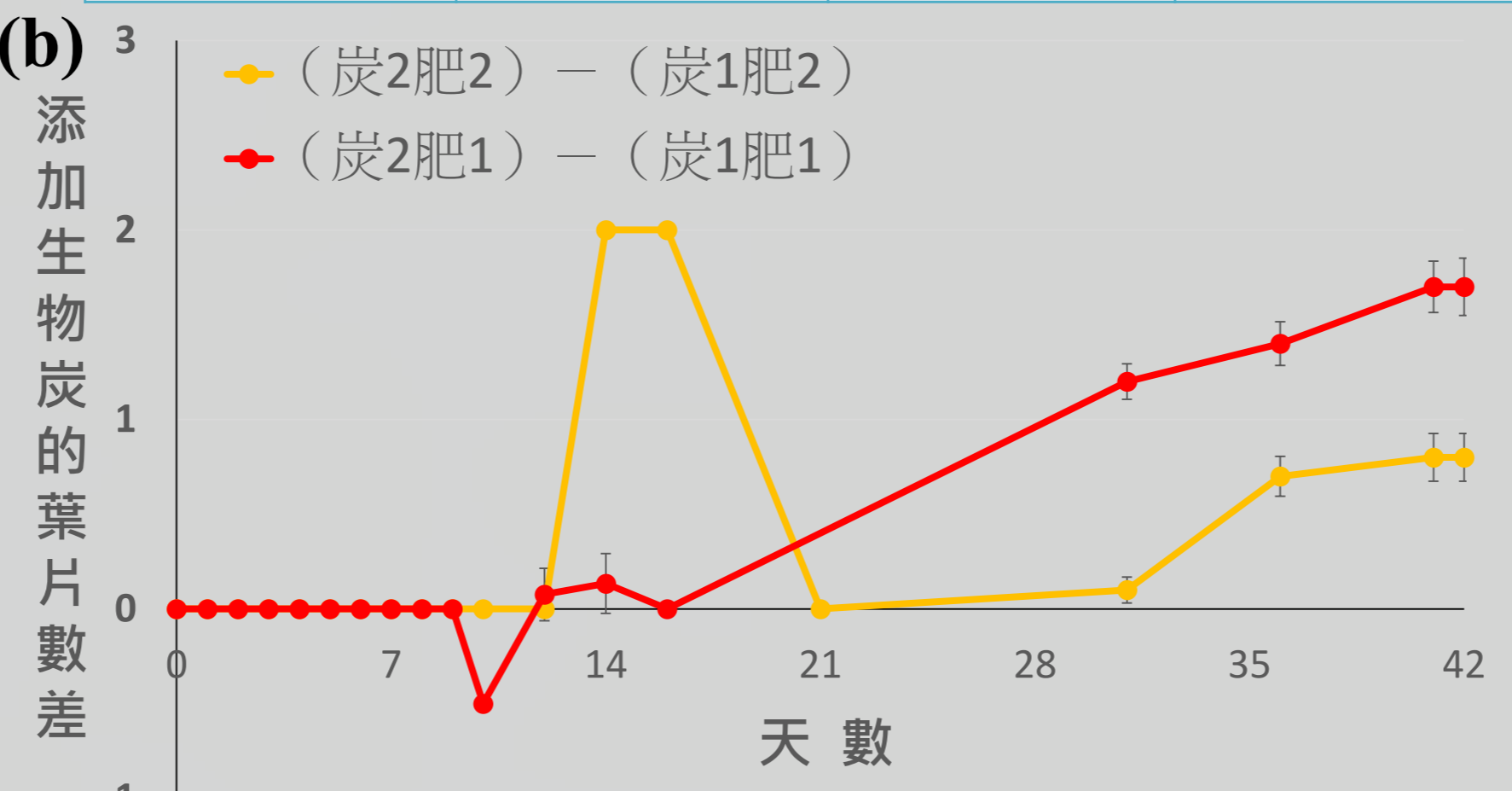
主要試驗結果

二、新鮮花生殼生物炭與施肥共同施加對三種作物生長影響

(一)小白菜



(二)莧菜



(三)香菜

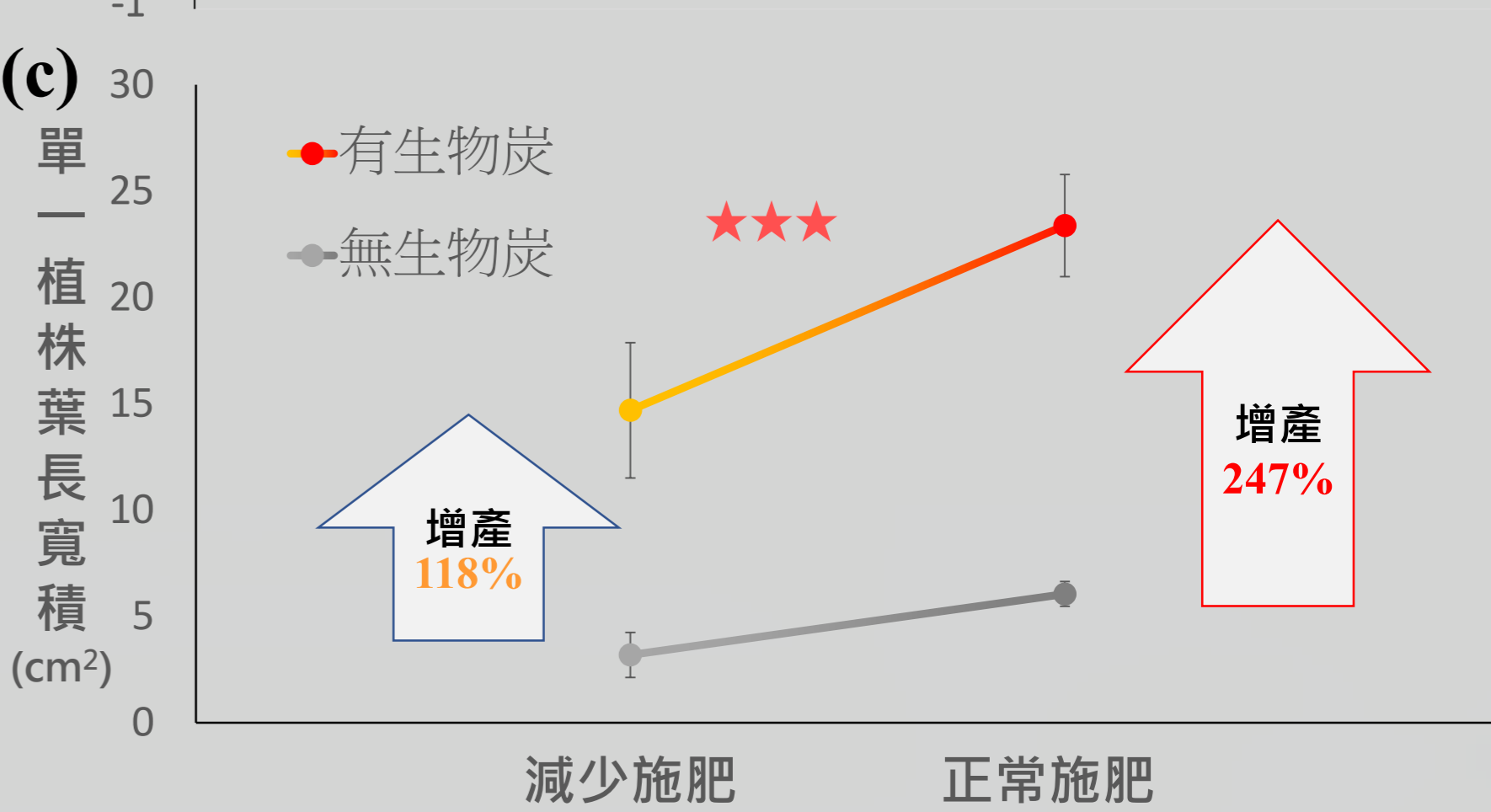
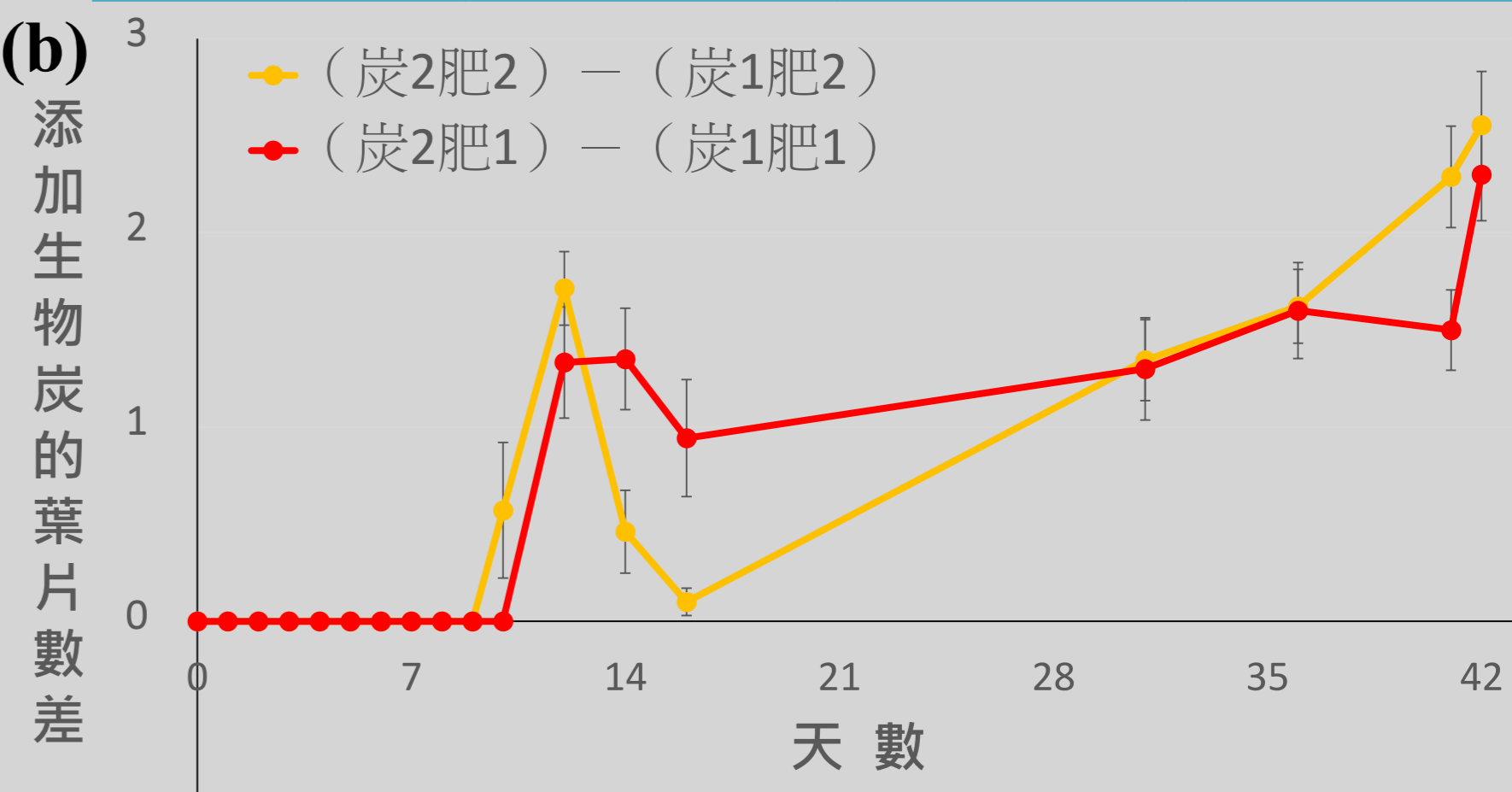


圖7. 不同施肥狀況下，生物炭有無對小白菜葉片數及葉長寬的影響 (●●●: p<.001)

圖8. 不同施肥狀況下，生物炭有無對莧菜葉片數及葉長寬的影響 (●●●: p<.001)

圖9. 不同施肥狀況下，生物炭有無對香菜葉片數及葉長寬的影響 (★★★: p<.001)

【(a) 照片；(b) 葉片數差異時間變化；(c) 葉長寬積雙因子變異數分析 (★有顯著主效應；●有顯著簡單效應；顏色代表不同處理生物炭的效應)】

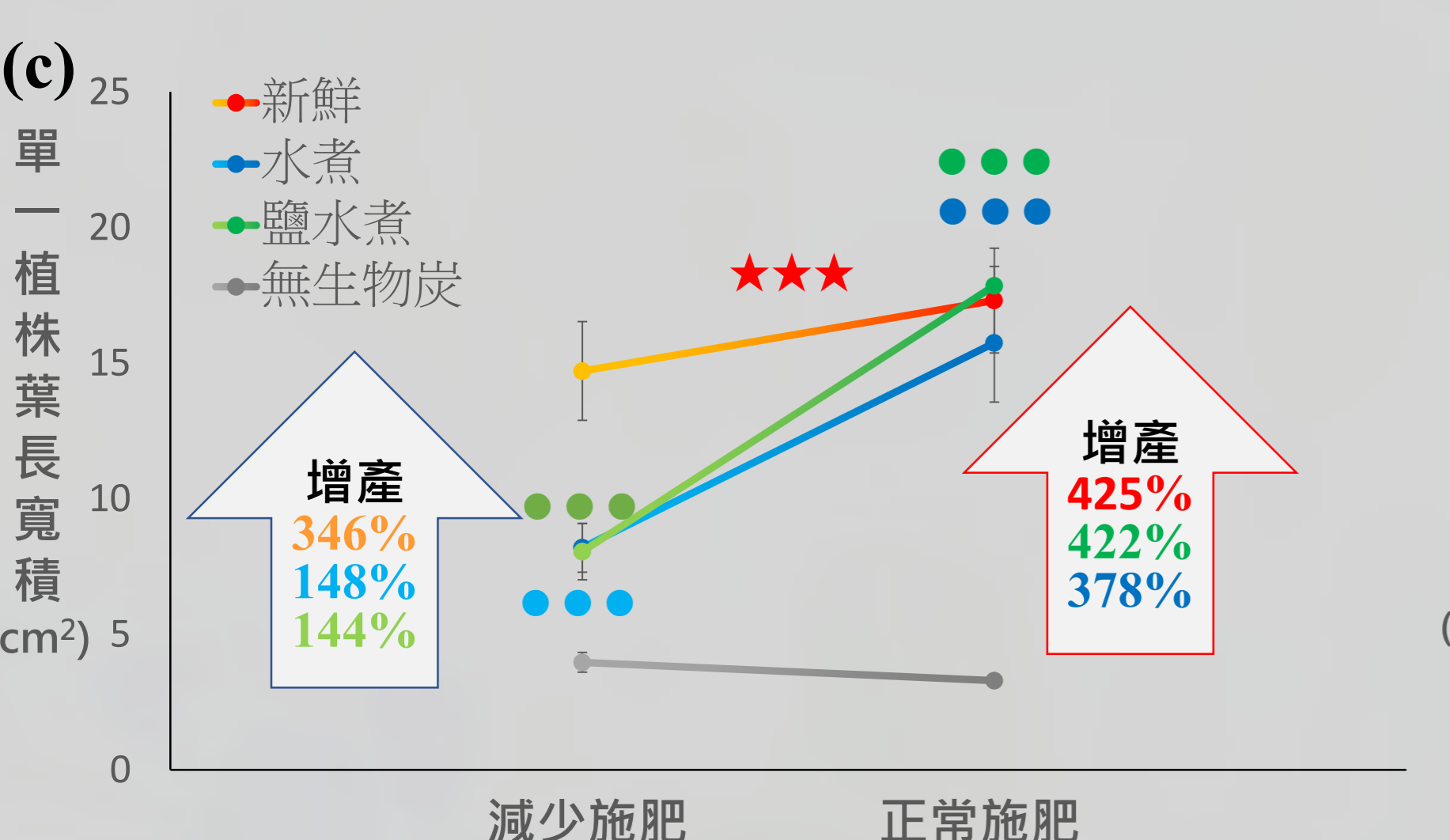
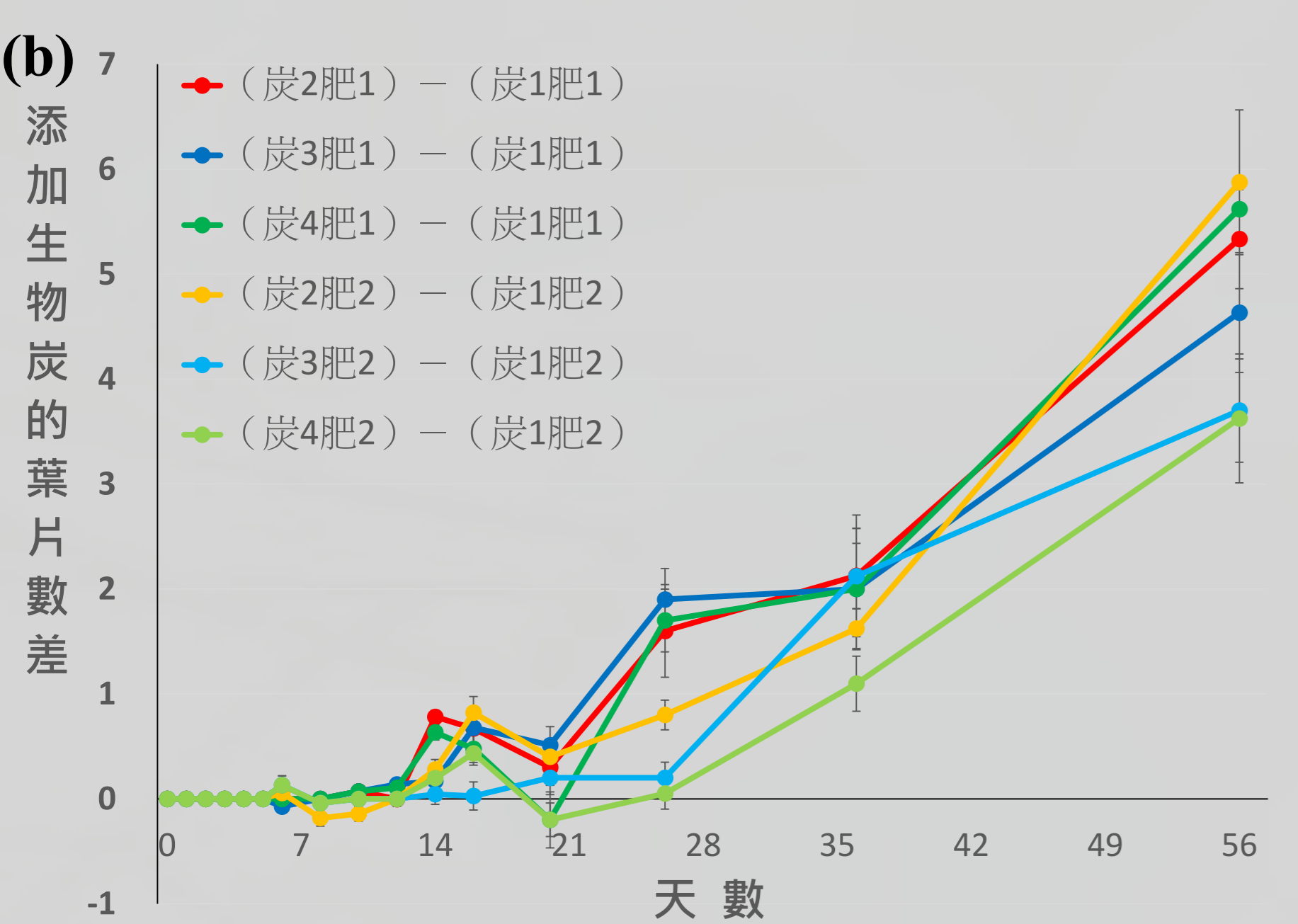
(b) 不論是否正常施肥，在第4天時，有加炭和無加炭的組開始拉開差距。
 (c) 不同施肥狀況下，生物炭對小白菜葉長寬雖受減少施肥狀況影響，但皆具顯著單純效應。而加了生物炭後增產比例也有明顯提高。

(b) 無加肥組別30天後持續地拉開差距；而有加肥料的組別則是在第16天施肥後拉開差距。
 (c) 新鮮生物炭對莧菜仍然有正面效用，雖受減施肥影響。而新鮮的花生殼不論是否正常施肥，皆有一定的增產比例。

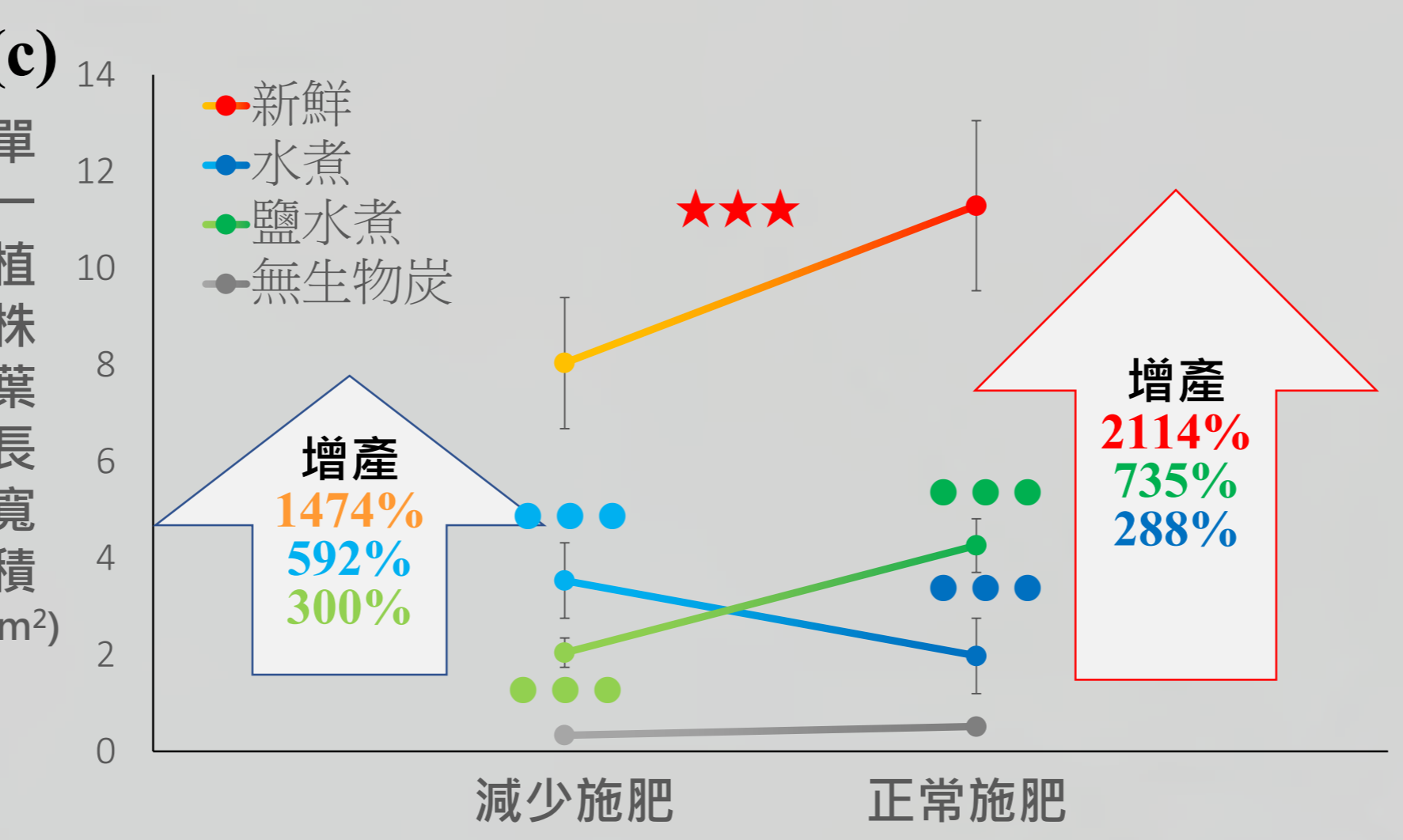
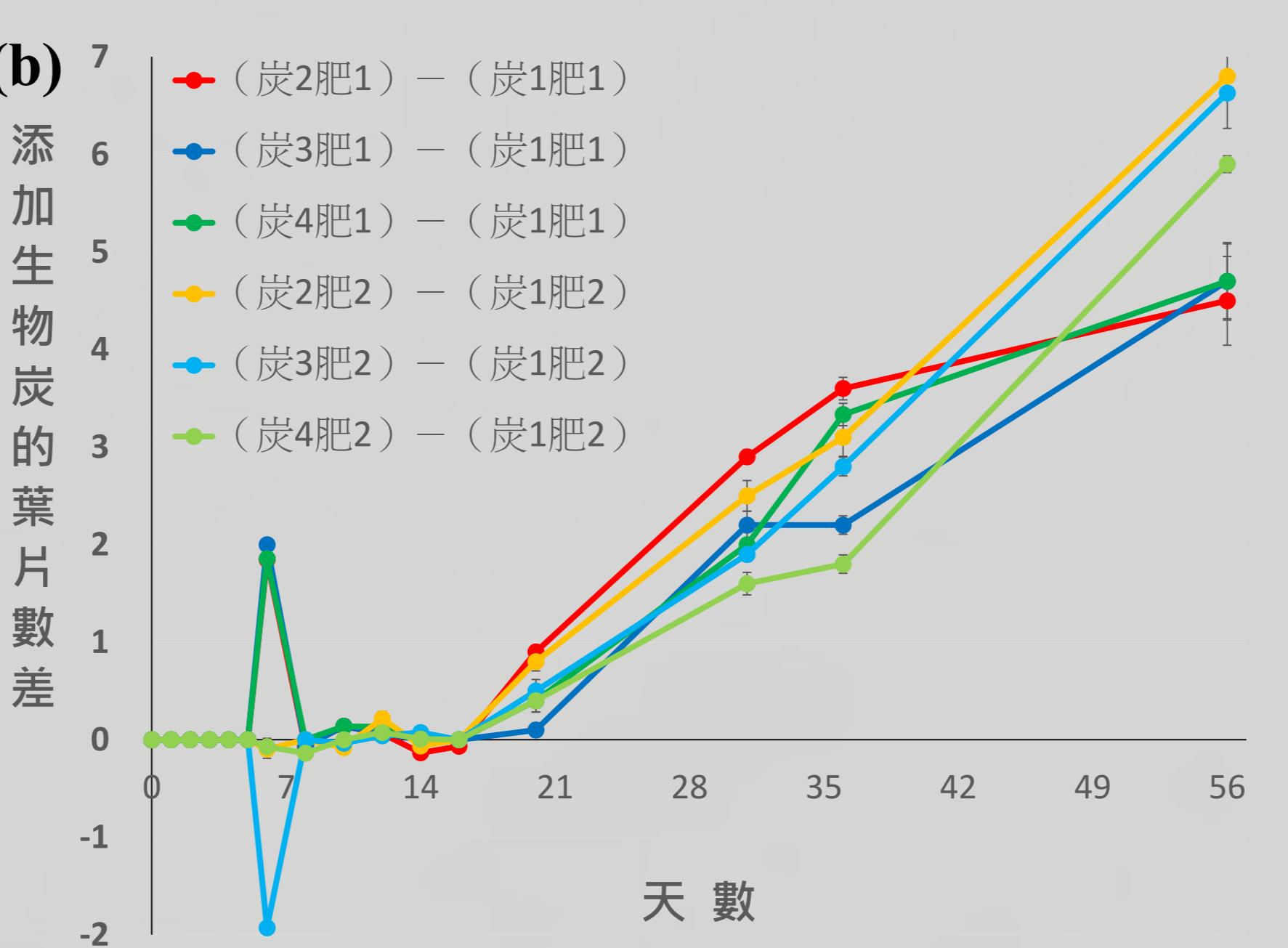
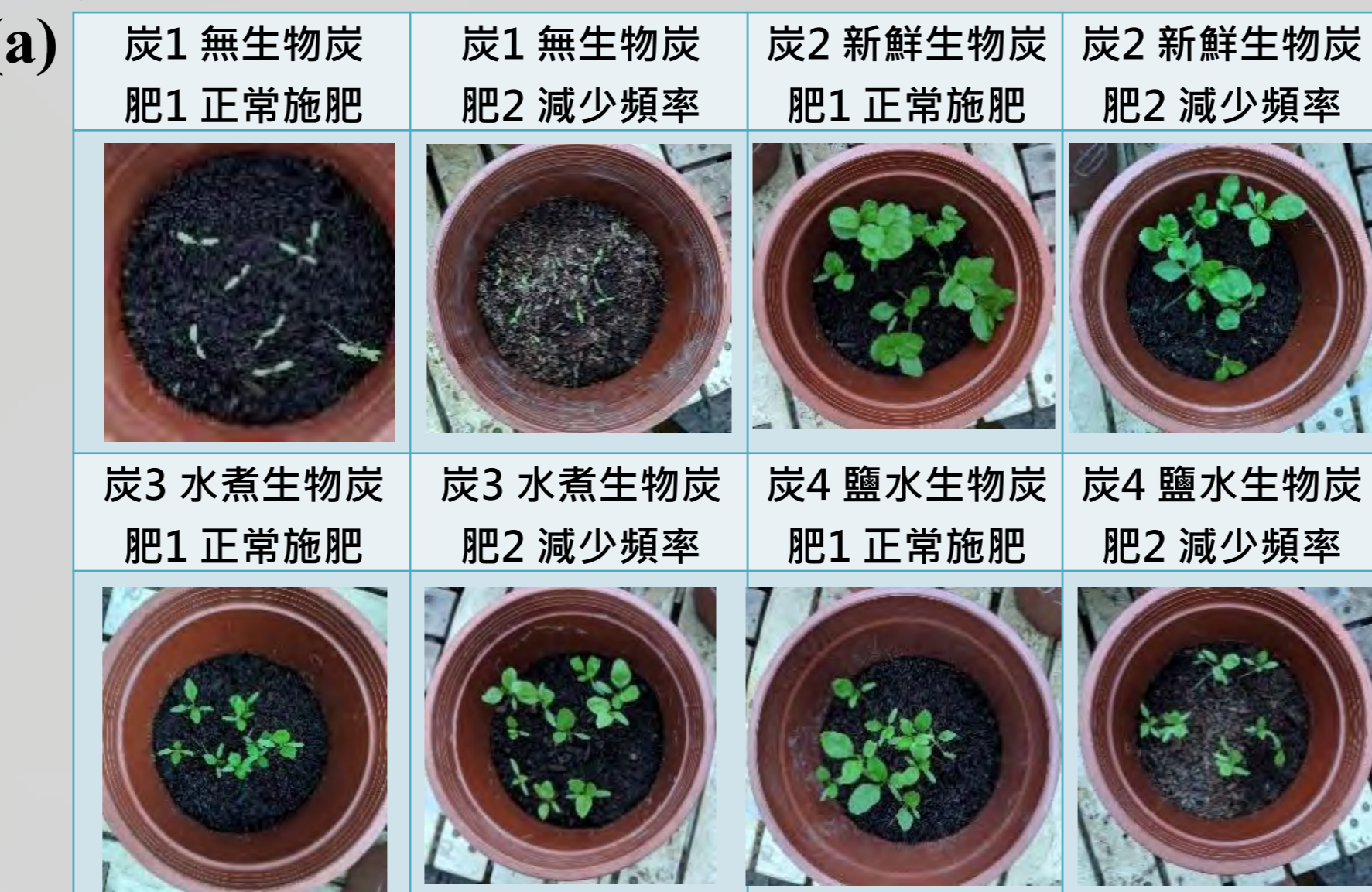
(b) 不論有無正常施肥的組別，在第9天左右皆和無加炭的組別拉開差距，到了第16天施肥時差距稍微變小，但16天後差距穩定的拉開。
 (c) 不同施肥狀況下，生物炭有無對香菜的葉長寬效用不受減施肥料的影響。

三、不同前置處理花生殼生物炭與施肥共同施加對三種作物生長影響

(一)小白菜



(二)莧菜



(三)香菜

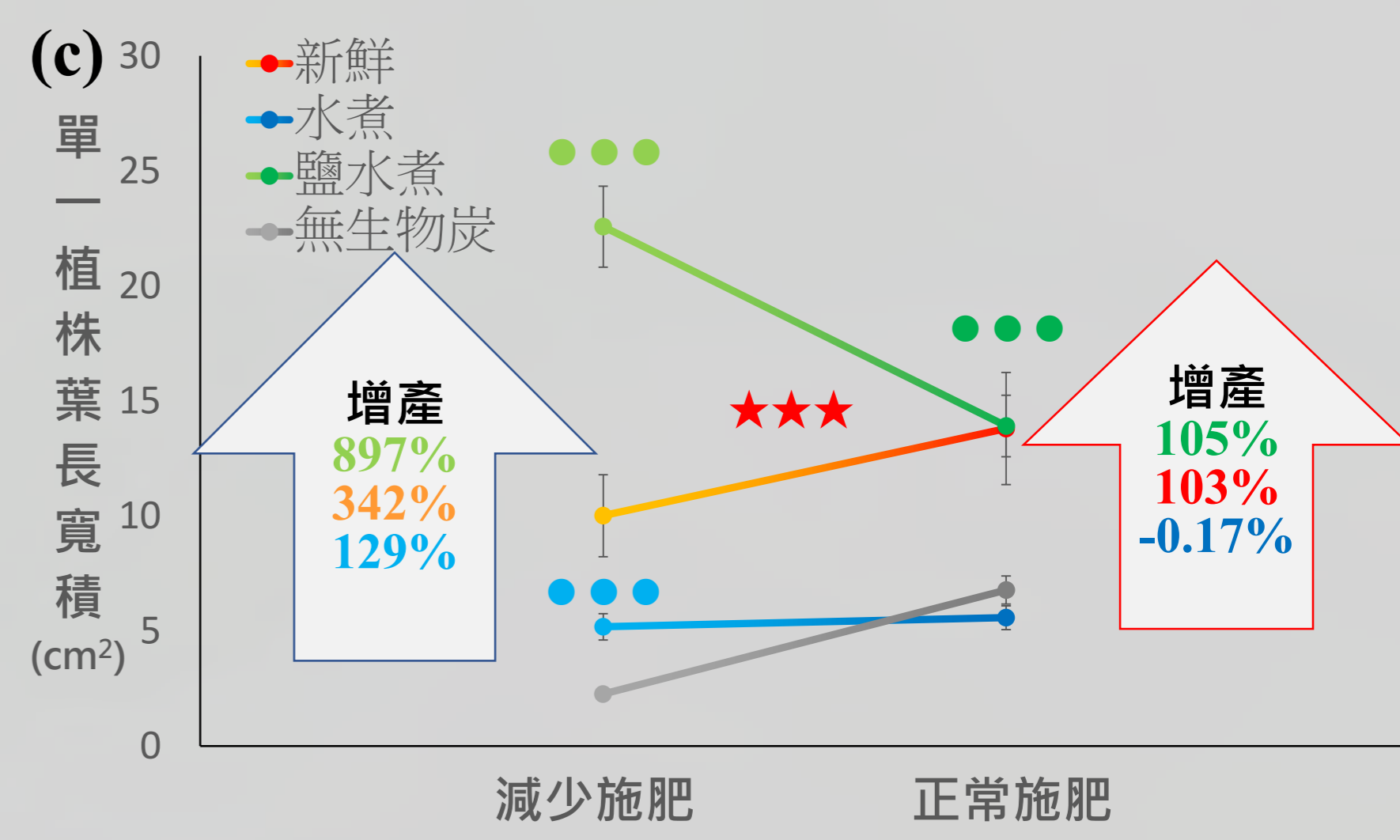
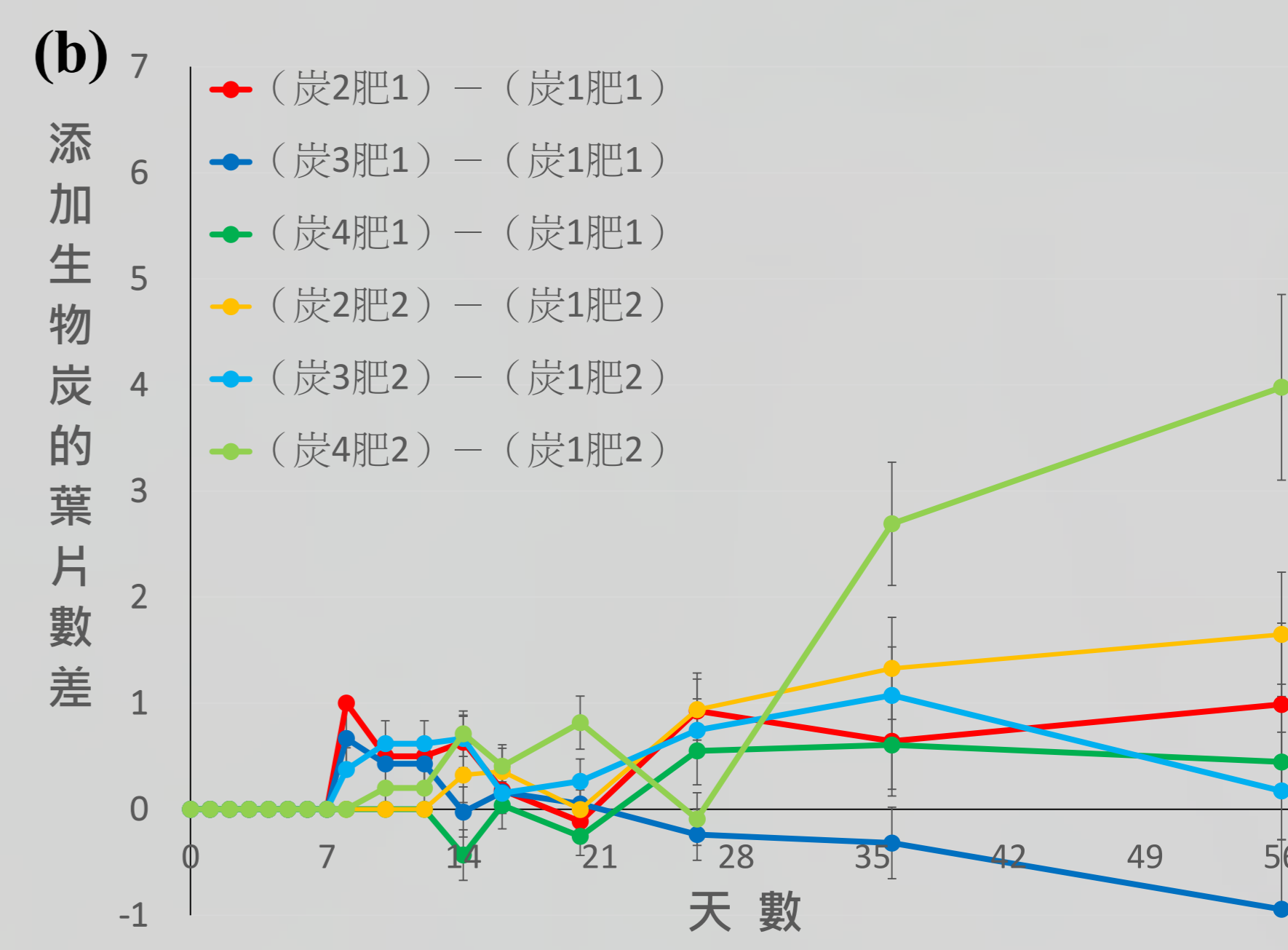
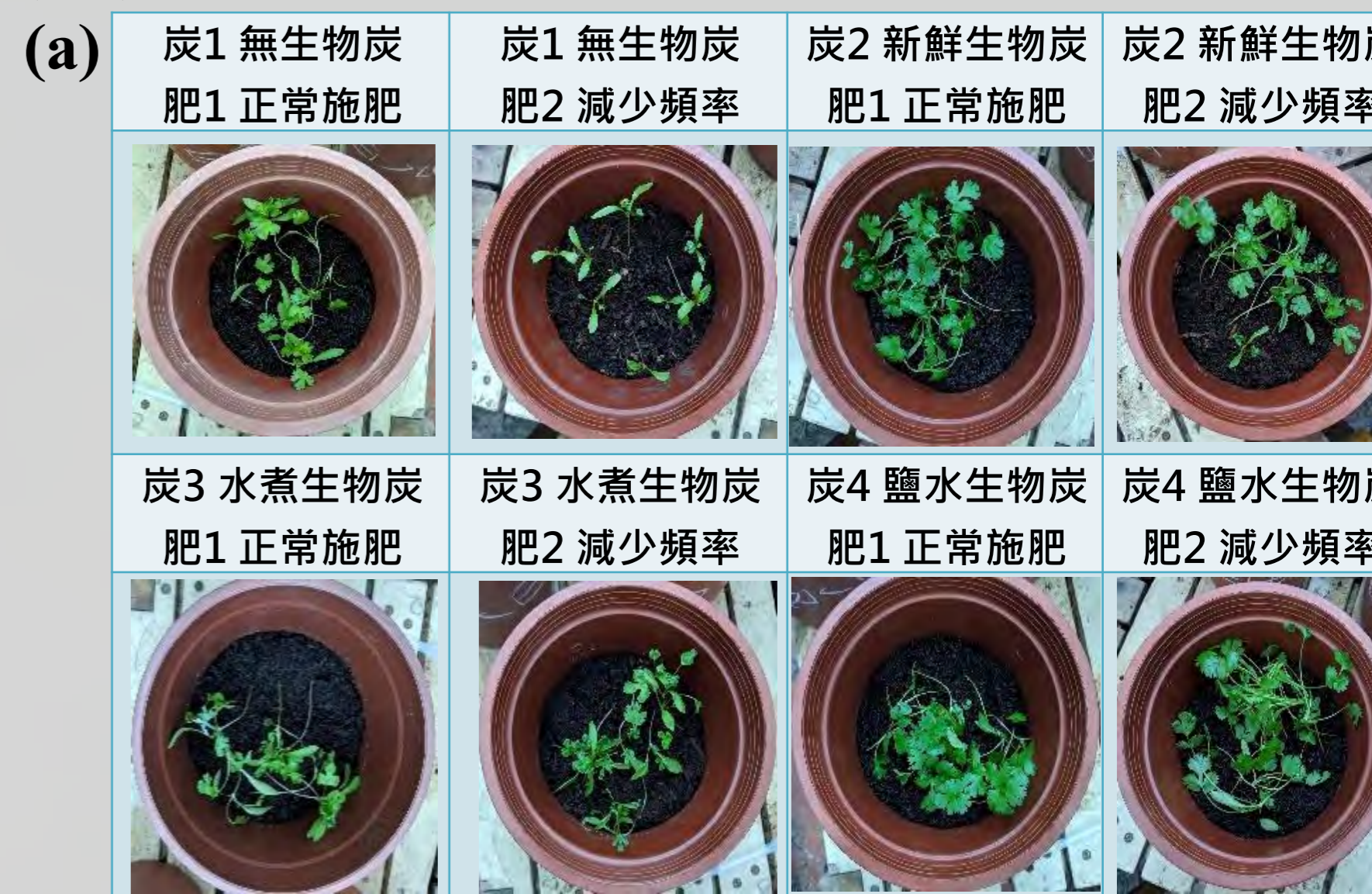


圖10. 不同施肥狀況與不同前置處理生物炭對小白菜葉片數及葉長寬的影響 (★★★, ●●●: p<.001)

圖11. 不同施肥狀況與不同前置處理生物炭對莧菜葉片數及葉長寬的影響 (★★★, ●●●: p<.001)

圖12. 不同施肥狀況與不同前置處理生物炭對香菜葉片數及葉長寬影響 (★★★, ●●●: p<.001)

【(a) 照片；(b) 葉片數差異時間變化；(c) 葉長寬積雙因子變異數分析 (★有顯著主效應；●有顯著簡單效應；顏色代表不同處理生物炭的效應)】

(b) 各組多在12天出現差距，20天後差距拉開。
 (c) 新鮮生物炭對小白菜葉長寬增加的效用不受減施肥料的影響；而經水煮及鹽水煮者，對葉長寬影響雖受減施肥影響，但還是對植物有正面影響。而其中不論是否正常施肥，皆以新鮮花生殼的增產比例最高。

(b) 各組在16天後穩定地拉開差距。
 (c) 不同施肥狀況下，新鮮生物炭對莧菜葉長寬增加的效用不受減施肥料的影響，不論正常施肥與否，以新鮮花生殼的增產比例最高。

(b) 第6天時部分組別已拉開差距，第20天時除了添加鹽水生物炭的組別，其餘皆穩定地拉開差距，水煮生物炭反而呈負面影響。
 (c) 新鮮生物炭對莧菜葉長寬增加的效用不受減施肥料的影響，而鹽水煮生物炭沒有正常施肥的增產比例最高。

四、不同施肥狀況不同處理生物炭對莧菜生長影響

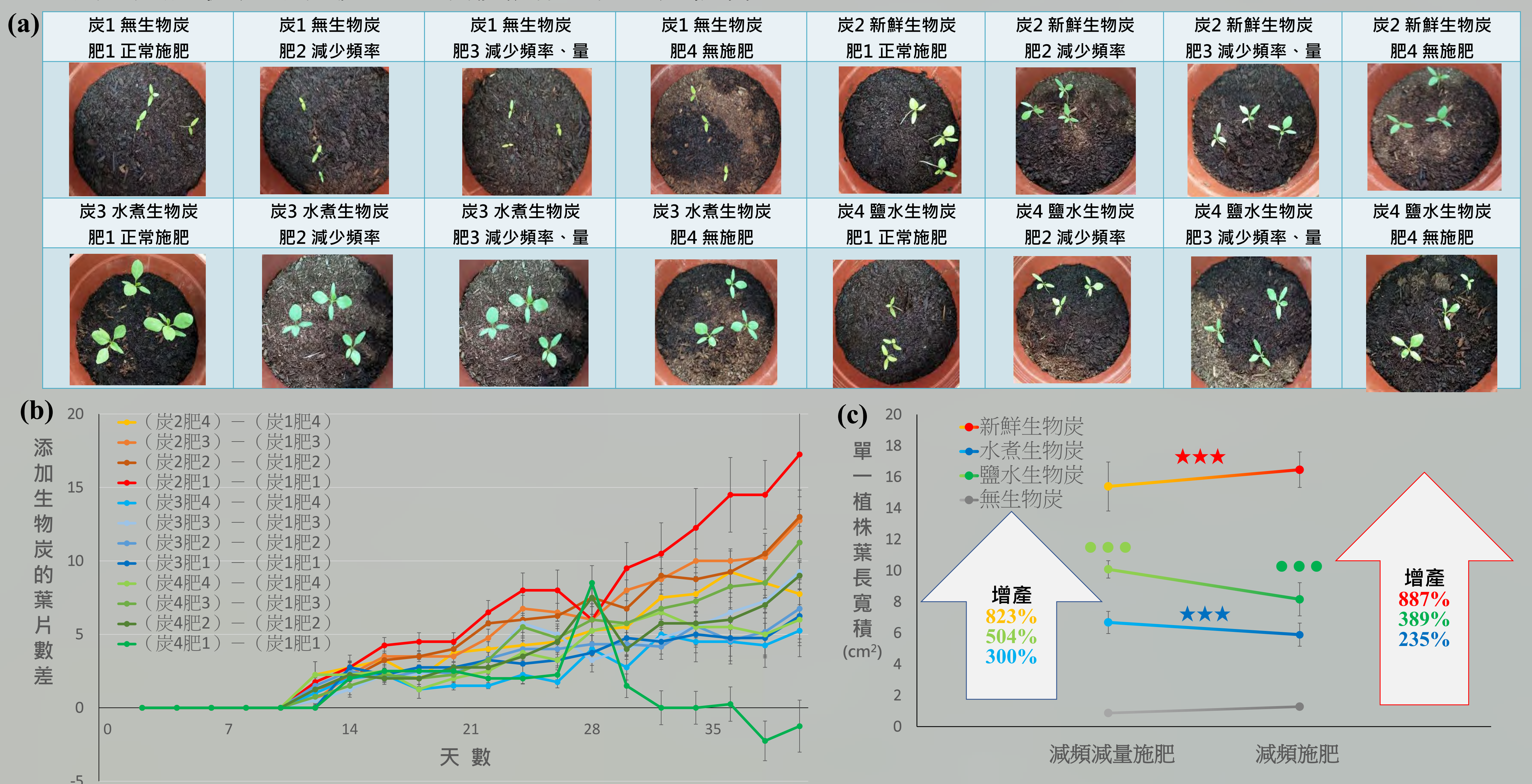


圖12. 不同施肥狀況與不同前置處理生物炭對莧菜葉片數及葉長寬影響之進一步試驗結果【(a) 照片；(b) 葉片數差時間變化；(c) 葉長寬積雙因子分析(★有顯著主效應；●有顯著簡單效應；顏色代表不同處理生物炭的效應)】

(b) 除正常施肥狀況下的鹽水煮花生殼生物炭，各組在10天後穩定地拉開差距，仍以新鮮花生殼生物炭的差距最大。
 (c) 在減少施肥頻率的情況下，新鮮及水煮花生殼生物炭對莧菜葉長寬增加的效用不受進一步減量施肥的顯著影響，皆有顯著主效應，鹽水煮花生殼生物炭效用顯著受減量施肥但仍有簡單效應；而不論減量與否，以新鮮花生殼的增產比例最高。

伍、討論

一、研究重要性探討

- (一) 我們收集到的資料皆以單因子（生物炭的有無）試驗的方式；而本研究聚焦在生物炭與施肥兩因子對作物生長影響的交互作用，以目前查找的資料來說可說是先例。
- (二) 《Drawdown 反轉地球暖化100招》相關資料佐證。
- (三) 充足台灣生物炭產業的背景資料。

二、實驗變因的控制

- (一) 栽種空間擁擠問題：疏伐、孔盤、分配多個盆栽、發芽位子拿捏。
- (二) 炭化溫度的探討：可從炭品檢測資料分析，可能會影響生物炭酸鹼值。
- (三) 植物光照程度的平均分配。

三、各項結果的討論

- (一) 以水煮處理過的菱角、花生殼作為生物炭原料。
- (二) 而經過水煮及鹽水煮的花生殼生物炭功效探討。
- (三) 花生殼生物炭與肥料有加成作用的推論。



圖13. 炭化爐



圖14. 反轉地球暖化100招

陸、結論

- 一、市售經處理菱角殼或花生殼燒製生物炭單獨施用對小白菜、莧菜、香菜生長無一致性顯著效用。
- 二、花生殼生物炭與肥料共同施加，在各種施肥狀況下皆可延長肥料對三種作物增產的效用。
- 三、新鮮花生殼製備的生物炭對三種作物生長具有顯著效用，且受減少施肥的影響大多不顯著。
- 四、水煮及鹽水煮的花生殼生物炭，其對作物增產的效用大多比新鮮花生殼生物炭低且不一致；但在減少施肥的狀況下，仍大多有顯著的增產效用。

柒、延伸研究與應用展望

- 一、最符合經濟與環境效益的使用方法
 - (一) 較小添加比例的生物炭功效的探究。
 - (二) 生物炭成本與減少肥料間的經濟及環境效益計算。
- 二、生物炭的作用機制：物理、化學機制。
- 三、應用的安全性：環境的可能污染、生物毒性測試。
- 四、都市農耕、水族飼養、魚菜共生、植物工廠。



圖15. 植物工廠

捌、參考文獻

- 蔣珮伊、趙敏 (2017)。【循環經濟】生物炭如何讓農業廢棄物不再令人嘆息?《農傳媒》。取自：https://www.agriharvest.tw/theme_data.php?theme=article&sub_theme=article&id=612
- 張樹清、余離、耿增超、高海英 (2011)。生物炭對土壤的作用及未來研究。中國農學通報，2011年第27期：第16-25頁
- 石軒寧、劉姿吟 (2012)。探根之旅之木炭大翻身。53屆全國科展說明書。
- 張千丰、王光華 (2012)。生物炭理化性質及對土壤改良效果的研究進展。土壤與作物，第1卷，第5期，第220-226頁。
- 陳韻圓 (2016)。短期施用雞糞生物炭對小白菜產量與銅鋅吸收之影響(台灣大學農業化學碩士學位論文)。
- 楊盈 (2018)。番茄生物炭混合介質對甘藍及番茄幼苗生長及對蕃茄凋萎病防治之影響 (中興大學園藝學系碩士學位論文)。
- 保羅·霍肯 (Paul Hawken) (2019)。Drawdown 反轉地球暖化100招。聯經與台糖合作出版。聯經出版事業公司。ISBN 9789570852363