

# 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高中組 生物（生命科學）科

040713

探根之旅之木炭大翻身

學校名稱：國立臺中文華高級中學

作者： 高二 石軒寧 高二 劉姿吟	指導老師： 彭振雄
-------------------------	--------------

關鍵詞：碳粉、豆科植物、根瘤菌

## 摘要

木炭是常見物質，若將它磨成粉拌入土壤對豆科植物生長會有何影響？氮為生物體內蛋白質、核酸的主成分，空氣中的氮植物無法直接吸收，須依賴共生根瘤菌行固氮作用(*Nitrogen fixation*)，將氮轉換為植物能吸收的有機物。以往拌入碳粉在農業研究上皆針對玉米、稻作…等，甚罕見對豆科植物影響的研究，因此我們以豆科植物（四季豆、毛豆及紅豆）作為實驗對象。以炭粉拌入土壤，觀察所栽種豆科植物外觀及根部（根瘤）的生長，發現拌入碳粉土壤明顯有益於豆科植物生長；另外也比較了施予氮肥和拌入碳粉的植物(株)豆類生長數據，發現施於予氮肥生長的情形卻不如拌入碳粉的植株。綜合實驗結果，拌入碳粉比施予化學肥料對豆科植物生長為佳，這是重要的發現。

## 壹、研究動機

在高中生物(固氮作用 *Nitrogen fixation*)課程裡，我們得知有澳洲的農業科學家模仿印地安人在土壤裡加入碳，使硬質的黏土變成適合種植的黑土，土壤變的細膩許多，實驗土地上年生產的甘蔗量增加了 50%；此外，台灣也有許多農夫在作物成熟收割後會將作物莖稈燃燒成灰。研究顯示，作物莖稈中含有多種可利用的成分，除碳之外，還含有鉀、矽、氮、鈣、鎂、磷等元素及纖維素、半纖維素、木質素、蛋白質、胺基酸等有機質成分。剩餘的莖稈燃燒成灰之後提高了土地肥沃度，為農作物生長創造良好生長環境，促進了生態良性循環。

木炭近幾年被換上了新名字「生物炭」(*Biochar*)，可改良土質農地，更能「捕捉、封存」大氣層的二氧化碳。在科羅拉多大學舉行的「北美生物炭會議」，就曾深入探討生物炭的各種製法、原料與可能效益。其實學界很早就知道，將木炭加入土壤可改土質。美國農業部發現，生物炭有助於減少土壤中硝酸鹽、磷酸鹽、鉀等養分流失。

生物炭這近幾年才出現的名詞吸引我們想要探討如何增進農業上的發展，但之前所見的資訊多為針對玉米、稻作所做的研究，不知木炭對於豆科植物的影響又是如何？因此我們設計實驗，以觀察碳對豆科植物根部(根瘤)的生長影響為題進行探討。

## 貳、研究目的

本研究分為兩組實驗欲探討以下問題：

- 一、觀察比較加入碳粉組及對照組的外觀生長程度差異。
- 二、觀察實驗組和對照組根部所含根瘤多寡，探討加入碳粉是否有幫助豆科植物生長。

利用測量根瘤固氮活性來證實所生長的根瘤具有一定的固氮能力。

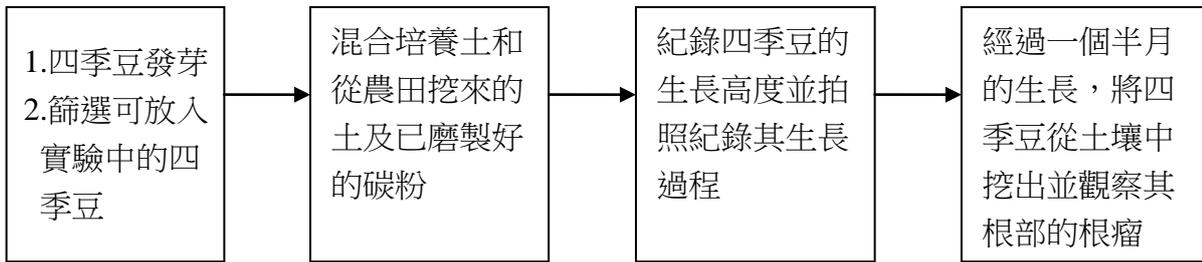
分析拌入碳粉的土壤對於豆科植物的生長是否有助益，現在多半的人希望自己食用的食物是有機無噴灑農藥的，如果碳粉可以替代化學肥料的施用，或許這是農業上的一大發展。

參、研究設備及器材 (表一)

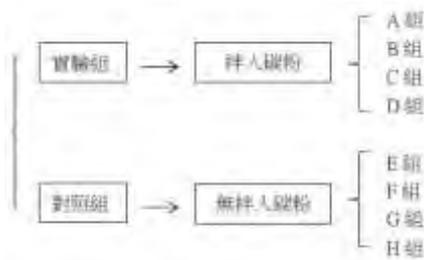
編號	名稱	用途	註明
1	木炭	磨成碳粉拌入土壤	原料：相思木
2	鐵鎚	將木炭敲碎為碳顆粒	
3	鉢	將碳顆粒磨碎成碳粉	
4	培養土	作為土壤的基質	一般市售
5	四季豆	第一實驗用植物	
6	氮肥	第二實驗中實驗組所需的肥料	尿素氮
7	電子秤	秤氮肥、磷肥的重量、秤植株的乾濕重	
8	燒杯	測量土壤體積、每次澆水量	
9	滴管	根瘤菌菌液量測量	
10	捲尺	測量植株高度	
11	毛豆(高雄 9 號)	第二實驗用植物	中興土環系研究室提供
12	紅豆(高雄 10 號)	第三實驗用植物	
13	根瘤菌液	促進植物生長根瘤	
14	EC 儀器	測量電導度(EC 值)	
15	pH 值儀器	測量 pH 值	
16	秤量紙	秤土壤電導度及 pH 值所需土壤的重量	
17	量筒	量電導度、pH 值測量所需水量	
18	錐形瓶	裝測量電導度、pH 值所需的土壤溶液	
19	振盪器	將土壤溶液混合均勻	
20	濾紙	過濾土壤溶液中的土壤等雜質	
21	漏斗	收集過濾土壤溶液雜質後的液體	
22	試管	收集測量電導度所需的液體	
23	烘乾箱	烘乾植物	
24	GC 儀器	測豆科植物根瘤之固氮活性	
25	螺旋試管	裝入植物根部根瘤進行固氮活性測量	
26	血清塞	防止測量固氮活性試管內的氣體外洩	
27	乙炔氣體	用於固氮活性測量	
28	針筒	抽取固氮活性測量反應前後的氣體	

## 肆、研究過程或方法

### 一、實驗一以四季豆作為觀察對象



圖一、實驗一流程簡圖



圖二、實驗一分組圖



圖三、促進四季豆發芽速度的方法

#### (一) 促使發芽：

將衛生紙噴溼至有一些小水珠，種子鋪放在溼衛生紙上蓋上保鮮膜，使其發芽。(如圖三)

#### (二) 篩選種子：

1. 剔除色澤異常、發霉腐爛及外傷的狀況 2. 選出健康的種子

#### (三) 準備種植所需的容器、土壤及碳粉的磨製

##### 1、準備種植容器：

取 6000L 的礦泉水桶 8 個，割除上端部份只留下半部份的桶子作為種植四季豆的容器，並在容器底部挖十字型排水孔，使得土壤可以排水而不至於積水造成根部腐爛。

##### 2、準備土壤：

(1) 碳磨成粉末狀並用電子秤秤出實驗組 A~D 組各組的碳粉重量為  $71 \pm 0.55 \text{ g}$ 。

(2) 將土壤分為上、下層，並將碳粉均勻地拌入實驗組(A~D 組)：(如表二)

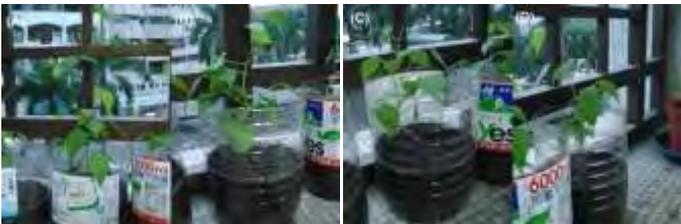
表二、實驗組(拌入碳粉)及對照組(未拌入碳粉)的土壤成分

實驗組 A~D 組(拌入碳粉)			對照組 E~H 組(未拌入碳粉)		
土壤部份	成分	體積	土壤部分	成分	體積
上層土壤	農田的土	435ml	上層土壤	農田的土	435ml
	培養土	435ml		培養土	435ml
	碳粉	$71 \pm 0.55 \text{ g}$		碳粉	無
下層土壤	農田的土	868ml	下層土壤	農田的土	868ml
	培養土	868ml		培養土	868ml

註：將土壤分為上下兩層部分，是為了進一步觀察拌入碳粉的上層土壤所生長的根瘤是否會比未拌入碳粉的下層土壤多。

(四) 持續紀錄四季豆之生長情形：每隔固定時間測量其各株四季豆之生長高度並且拍照紀錄（實驗記錄從 11/23 開始記錄）。

時間	組別	內容	生長高度拍照記錄(單位：cm)
11/23	實驗	培養土+碳粉	 <p>A 組 15.8cm B 組 15.5cm C 組 10.4cm D 組 15.9cm</p>
	對照	培養土	 <p>E 組 11.2cm F 組 13.4cm G 組 13.1cm H 組 12.7cm</p>
11/26	實驗	培養土+碳粉	 <p>A 組 25.3cm B 組 21.8cm C 組 11.8cm D 組 27.0cm</p>
	對照	培養土	 <p>E 組 12.5cm F 組 16.2cm G 組 18.0cm H 組 16.0cm</p>
11/28	實驗	培養土+碳粉	 <p>A 組 34.2cm B 組 22.9cm C 組 14.2cm D 組 29.3cm</p>
	對照	培養土	 <p>E 組 13.3cm F 組 19.6cm G 組 23.9cm H 組 18.8cm</p>
時間	組別	內容	生長高度拍照記錄(單位：cm)

11/30	實驗	培養土+碳粉	 <p>A 組 15.8cm B 組 15.5cm C 組 10.4cm D 組 15.9cm</p>
	對照	培養土	 <p>E 組 11.2cm F 組 13.4cm G 組 13.1cm H 組 12.7cm</p>
12/3	實驗	培養土+碳粉	 <p>A 組 25.3cm B 組 21.8cm C 組 11.8cm D 組 27.0cm</p>
	對照	培養土	 <p>E 組 12.5cm F 組 16.2cm G 組 18.0cm H 組 16.0cm</p>

(五) 觀察四季豆的根生長情形：

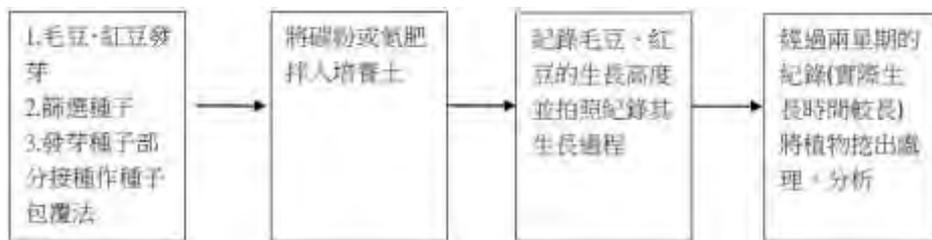
將四季豆從土壤中挖出，清理在根部附近的土，拍照、秤重紀錄，並觀察其根瘤生長情形。

組別	內容	四季豆總長拍照紀錄(單位：cm)
實驗	培養土+碳粉	 <p>A 組 122.5cm B 組 116.5cm C 組 88.5cm D 組 114.5cm</p>
對照	培養土	 <p>E 組 77.5cm F 組 106.5cm G 組 90.5cm H 組 105.0cm</p>

二、實驗二以毛豆及紅豆分別作為兩批研究對象\*每組各作四重覆\*



圖四、實驗二分組圖



圖五、實驗二(研究對象：毛豆、紅豆)流程簡圖

(一) 促使發芽：

將衛生紙噴溼至有一些小水珠，種子鋪放在溼衛生紙上蓋上保鮮膜，使其發芽。(如圖三)

(二) 篩選種子：

1.剔除色澤異常、發霉腐爛及外傷的狀況 2.選出健康的種子

(三) 種子泡根瘤菌液：

為使實驗在土壤基質的變因降低，我們採用市售培養土作為實驗種植用土壤，供給每盆植株的養份較為平均且無其他雜質混入，但由於根瘤細胞和宿主豆科植物有專一感染的現象，於是我們向中興大學土壤環境科學系土壤微生物及生化研究室索取毛豆高雄九號的根瘤菌液，於實驗設計中特定的組別進行種子包覆法(Seed coating)接種根瘤菌，以菌液 1mL 稀釋 500 倍，且在種子剛冒出新芽時便將種子泡入稀釋過的菌液兩小時後取出並種入土壤裡。



圖六、待發芽的毛豆種子(高雄 9 號)



圖七、待發芽的紅豆種子(高雄 10 號)



圖八、毛豆種子包覆法 (Seed coating)



圖九、紅豆種子包覆法 (Seed coating)

(四) 土壤準備

土壤部分固定體積 1300mL，每盆土壤的重量測量平均重量為 256.2g。因為培養土本身不含

根瘤菌，而豆科植物要長出根瘤需要土壤裡有具專一性的根瘤菌才能使根瘤細胞和宿主植物敏感根毛接觸並有效感染，所以在每盆的土壤中我們皆淋下 1ml 稀釋為 500 倍的菌液溶液作為根瘤生長必需的基本菌數，使得每盆毛豆皆有機會長出根瘤再進而由是否進行菌液包覆比較根瘤生長的數目及大小。

(五) 磨製碳粉拌入土壤或施入氮肥

由於一般豆科植物生長所需要的養分大多來自根瘤菌與豆科植物宿主共生形成具固氮能力的根瘤將氮氣轉化為植物可利用的銨態氮 ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )，此稱為固氮作用 (*dinitrogen fixation*)。而施予氮肥造成土壤氮素含量增加，根瘤著生或共生固氮作用會被抑制，進而影響根瘤的形成，導致接種根瘤菌後效果不顯著；因此，我們也將施予氮肥放入實驗裡，比較加入碳粉的效果是否足以和施予氮肥的土壤互相匹敵。

1. **碳粉** 為了和實驗一（以四季豆為實驗對象）互相對照，同樣是以  $71 \pm 0.55\text{g}$  作為基準值 1 倍，再加以探討比例上的改變是否對於植物生長上也有所影響，採取了 0.5 倍 ( $35.5 \pm 0.55\text{g}$ )、1 倍 ( $71 \pm 0.55\text{g}$ )、2 倍 ( $142 \pm 0.55\text{g}$ ) 三種倍數進行比較。(如表三)

2. **氮肥** 部分以施肥手冊上建議的施肥量  $0.2\text{g}$  氮肥/kg 土壤作為計算，如下：

$$0.2\text{g 氮肥/kg 土壤} = 0.05124\text{g 氮肥}/256.2\text{g 每盆土壤平均值(如表三)}$$

表三、碳粉及氮肥施用重量

	碳粉重量 (g)		氮肥重量 (g)
碳粉 0.5 倍	$35.5 \pm 0.55$	氮肥 0.5 倍	0.02562
碳粉 1 倍	$71 \pm 0.55$	氮肥 1 倍	0.05124
碳粉 2 倍	$142 \pm 0.55$	氮肥 2 倍	0.10248

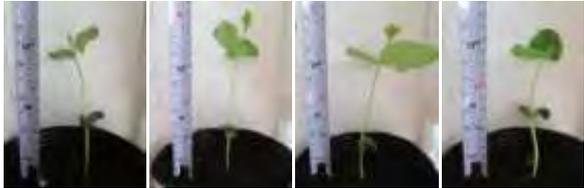
註：礙於電子秤有效數值只到小數點後第二位，於是將氮肥 0.5 克共八盆（培養土+種子包覆菌液+氮肥 0.5g 四重覆及培養土+氮肥 0.5g 四重覆）以  $0.02562\text{g}$  氮肥 \* 8(取有效數值至小數點後第二位) 溶於 800mL 水中，混合均勻再澆以每盆 100mL 的溶液。1 倍、2 倍的作法比照 0.5 倍以濃度計算、測量。

(六) 1、持續記錄**毛豆**的生長情形：從 3/18~3/28 每天記錄毛豆的生長高度，並拍照記錄

(1) 3/22 **毛豆**記錄

組別	內容	毛豆生長高度(單位：cm)
對照	培養土	 ①22.2cm ②8.4cm ③17.6cm ④16.2cm
對照	培養土+種子包覆菌液	 ①24.2cm ②20.4cm ③16.7cm ④18.6cm

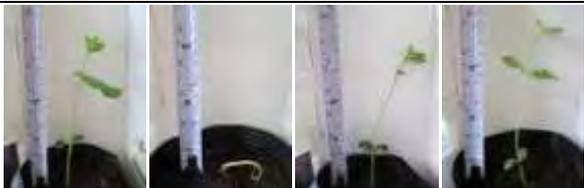
組別	內容	毛豆生長高度(單位：cm)
----	----	---------------

實驗	培養土+氮肥 0.5 倍	
		①4.4cm ②21.2cm ③7.3cm ④2.6cm
實驗	培養土+氮肥 1 倍	
		①15.3cm ②17.4cm ③15.6cm ④14.1cm
實驗	培養土+氮肥 2 倍	
		①16.7cm ②16.1cm ③18.0cm ④4.6cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 0.5 倍	
		①0.5cm ②0.2cm ③1.4cm ④0.9cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 1 倍	
		①12.6cm ②2.4cm ③11.4cm ④10.6cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 2 倍	
		①9.0cm ②1.5cm ③6.3cm ④11.7cm
實驗	培養土+碳粉 0.5 倍	
		①17.5cm ②13.4cm ③14.8cm ④22.3cm

組別	內容	毛豆生長高度(單位：cm)
實驗	培養土+碳粉 1 倍	 ①14.6cm ②21.2cm ③17.9cm ④15.1cm
實驗	培養土+碳粉 2 倍	 ①12.6cm ②1.4cm ③7.1cm ④0.2cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 0.5 倍	 ①5.8cm ②1.1cm ③12.2cm ④16.4cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 1 倍	 ①18.8cm ②17.5cm ③18.4cm ④17.6cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 2 倍	 ①21.5cm ②18.5cm ③19.6cm ④19.1cm

(2)3/25 毛豆拍照記錄

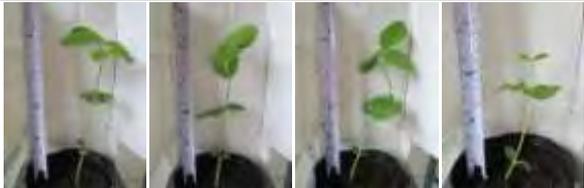
組別	內容	毛豆生長高度(單位：cm)
對照	培養土	 ①25.7cm ②8.9cm ③24.3cm ④22.8cm
對照	培養土+種子包覆菌液	 ①29.6cm ②23.9cm ③20.6cm ④22.5cm

組別	內容	毛豆生長高度(單位：cm)
實驗	培養土+氮肥 0.5 倍	 ①14.1cm ②24.7cm ③17.4cm ④5.8cm
實驗	培養土+氮肥 1 倍	 ①20.8cm ②21.7cm ③20.4cm ④20.2cm
實驗	培養土+氮肥 2 倍	 ①21.6cm ②20.8cm ③22.8cm ④11.0cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 0.5 倍	 ①6.4cm ②6.2cm ③8.0cm ④7.9cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 1 倍	 ①19.3cm ②2.1cm ③19.3cm ④17.5cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 2 倍	 ①16.8cm ②9.1cm ③11.8cm ④18.8cm
實驗	培養土+碳粉 0.5 倍	 ①20.4cm ②21.8cm ③22.0cm ④27.4cm

組別	內容	毛豆生長高度(單位：cm)
實驗	培養土+碳粉 1 倍	 ①20.9cm ②21.9cm ③21.4cm ④20.8cm
實驗	培養土+碳粉 2 倍	 ①19.9cm ②3.6cm ③17.3cm ④7.1cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 0.5 倍	 ①14.0cm ②6.4cm ③20.5cm ④25.6cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 1 倍	 ①22.8cm ②26.6cm ③24.1cm ④20.3cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 2 倍	 ①26.0cm ②22.6cm ③23.3cm ④22.7cm

(3)3/28 毛豆拍照記錄

組別	內容	毛豆生長高度(單位：cm)
對照	培養土	 ①29.4cm ②9.4cm ③27.0cm ④25.2cm
對照	培養土+種子包覆菌液	 ①36.4cm ②27.0cm ③23.7cm ④26.6cm

組別	內容	毛豆生長高度(單位：cm)
實驗	培養土+氮肥 0.5 倍	 ①21.6cm ②28.5cm ③23.3cm ④16.0cm
實驗	培養土+氮肥 1 倍	 ①24.1cm ②25.4cm ③23.3cm ④24.0cm
實驗	培養土+氮肥 2 倍	 ①25.1cm ②24.2cm ③25.2cm ④16.7cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 0.5 倍	 ①8.2cm ②11.9cm ③15.2cm ④14.9cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 1 倍	 ①22.7cm ②2.5cm ③23.3cm ④21.6cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 2 倍	 ①20.8cm ②17.6cm ③15.2cm ④21.6cm
實驗	培養土+碳粉 0.5 倍	 ①27.0cm ②25.2cm ③27.1cm ④30.8cm

組別	內容	毛豆生長高度(單位：cm)
實驗	培養土+碳粉 1 倍	 ①24.2cm ②24.5cm ③23.6cm ④26.3cm
實驗	培養土+碳粉 2 倍	 ①23.5cm ②7.6cm ③21.2cm ④14.1cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 0.5 倍	 ①21.9cm ②12.8cm ③23.7cm ④28.6cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 1 倍	 ①26.3cm ②28.1cm ③27.0cm ④23.3cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 2 倍	 ①27.7cm ②25.8cm ③26.5cm ④25.0cm

2、持續記錄紅豆的生長情形：從 3/18~4/2 每天記錄紅豆的生長高度，並拍照記錄

(1)3/22 紅豆拍照紀錄

組別	內容	紅豆生長高度(單位：cm)
對照	培養土	 ①19.9cm ②22.5cm ③17.1cm ④10.7cm
對照	培養土+種子包覆菌液	 ①9.4cm ②11.3cm ③15.1cm ④8.5cm

組別	內容	紅豆生長高度(單位：cm)
實驗	培養土+氮肥 0.5 倍	 ①17.1cm ②4.2cm ③10.3cm ④6.3cm
實驗	培養土+氮肥 1 倍	 ①19.5cm ②18.3cm ③11.8cm ④12.2cm
實驗	培養土+氮肥 2 倍	 ①15.3cm ②13.8cm ③17.2cm ④16.0cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 0.5 倍	 ①20.4cm ②20.9cm ③21.1cm ④20.5cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 1 倍	 ①爛掉 ②21.4cm ③17.8cm ④19.0cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 2 倍	 ①22.3cm ②14.9cm ③22.6cm ④19.9cm
實驗	培養土+碳粉 0.5 倍	 ①18.8cm ②17.5cm ③17.4cm ④16.8cm

組別	內容	紅豆生長高度(單位：cm)
實驗	培養土+碳粉 1 倍	 ①8.5cm ②16.4cm ③14.1cm ④3.3cm
實驗	培養土+碳粉 2 倍	 ①6.5cm ②10.7cm ③14.4cm ④8.0cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 0.5 倍	 ①3.5cm ②9.1cm ③10.2cm ④14.0cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 1 倍	 ①0.5cm ②13.4cm ③2.6cm ④14.0cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 2 倍	 ①14.2cm ②13.0cm ③2.8cm ④4.8cm

(2)3/26 紅豆拍照紀錄

組別	內容	紅豆生長高度(單位：cm)
對照	培養土	 ①23.5cm ②25.4cm ③20.5cm ④13.3cm
對照	培養土+種子包覆菌液	 ①17.7cm ②19.7cm ③18.4cm ④18.6cm

組別	內容	紅豆生長高度(單位：cm)
實驗	培養土+氮肥 0.5 倍	 ①22.5cm ②5.0cm ③18.5cm ④11.6cm
實驗	培養土+氮肥 1 倍	 ①24.1cm ②22.4cm ③16.3cm ④16.6cm
實驗	培養土+氮肥 2 倍	 ①18.0cm ②20.7cm ③22.4cm ④19.5cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 0.5 倍	 ①23.7cm ②22.2cm ③24.5cm ④25.1cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 1 倍	 ①爛掉 ②25.4cm ③20.9cm ④21.9cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 2 倍	 ①25.5cm ②18.4cm ③27.4cm ④23.3cm
實驗	培養土+碳粉 0.5 倍	 ①23.1cm ②21.6cm ③22.5cm ④21.3cm

組別	內容	紅豆生長高度(單位：cm)
實驗	培養土+碳粉 1 倍	 ①13.3cm ②20.9cm ③17.5cm ④15.6cm
實驗	培養土+碳粉 2 倍	 ①12.0cm ②14.2cm ③19.0cm ④15.5cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 0.5 倍	 ①14.8cm ②14.7cm ③18.8cm ④17.6cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 1 倍	 ①9.6cm ②18.8cm ③13.6cm ④18.5cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 2 倍	 ①18.0cm ②斷掉 ③15.4cm ④17.3cm

(3)4/2 紅豆拍照紀錄

組別	內容	紅豆生長高度(單位：cm)
對照	培養土	 ①25.4cm ②27.6cm ③23.0cm ④20.6cm
對照	培養土+種子包覆菌液	 ①22.9cm ②24.7cm ③20.9cm ④23.1cm

組別	內容	紅豆生長高度(單位：cm)
實驗	培養土+氮肥 0.5 倍	 ①27.1cm ②6.3cm ③23.8cm ④18.4cm
實驗	培養土+氮肥 1 倍	 ①28.8cm ②27.6cm ③21.8cm ④21.0cm
實驗	培養土+氮肥 2 倍	 ①24.6cm ②26.4cm ③27.7cm ④26.3cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 0.5 倍	 ①25.4cm ②25.9cm ③27.2cm ④27.2cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 1 倍	 ①爛掉 ②28.4cm ③24.0cm ④24.9cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 2 倍	 ①28.7cm ②22.5cm ③30.1cm ④26.0cm
實驗	培養土+碳粉 0.5 倍	 ①26.0cm ②23.5cm ③24.6cm ④23.5cm

組別	內容	紅豆生長高度(單位：cm)
實驗	培養土+碳粉 1 倍	 ①18.1cm ②23.7cm ③19.8cm ④18.6cm
實驗	培養土+碳粉 2 倍	 ①14.9cm ②18.7cm ③21.9cm ④20.1cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 0.5 倍	 ①19.5cm ②19.3cm ③22.3cm ④19.8cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 1 倍	 ①17.0cm ②22.4cm ③16.8cm ④21.3cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 2 倍	 ①20.4cm ②斷掉 ③20.2cm ④21.6cm

- (七) 連續紀錄 11 天(3/18~3/28)後，從土裡挖出**毛豆**測量植株乾濕重、根溼重及土壤 pH 值、電導度探討拌入碳粉或氮肥的生長差異（註：紀錄以多數盆植株冒出新芽才開始記錄）
- 1.測量植株的溼重、乾重及根的溼重
  - 2.觀察植物根部（種植時間不足以讓根瘤生長，預定的根瘤觀察、固氮活性測量無法進行）

組別	內容	毛豆根部根長(單位：cm)
對照	培養土	 ①5.7cm ②5.4cm ③10.7cm ④9.3cm

組別	內容	毛豆根部根長(單位：cm)
對照	培養土+種子包覆菌液	 ①9.6cm ②7.4cm ③10.8cm ④10.0cm
實驗	培養土+氮肥 0.5 倍	 ①11.1cm ②8.3cm ③10.1cm ④6.2cm
實驗	培養土+氮肥 1 倍	 ①7.6cm ②10.6cm ③19.3cm ④9.4cm
實驗	培養土+氮肥 2 倍	 ①5.8cm ②10.1cm ③9.8cm ④9.9cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 0.5 倍	 ①11.6cm ②11.2cm ③5.4cm ④8.3cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 1 倍	 ①11.9cm ②1.6cm ③9.8cm ④8.3cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +氮肥 2 倍	 ①5.6cm ②1.8cm ③8.2cm ④9.4cm

組別	內容	毛豆生長高度(單位：cm)
實驗	培養土+碳粉 0.5 倍	 ①9.4cm ②6.4cm ③6.5cm ④2.2cm
實驗	培養土+碳粉 1 倍	 ①6.6cm ②5.2cm ③6.7cm ④6.4cm
實驗	培養土+碳粉 2 倍	 ①10.3cm ②9.5cm ③7.9cm ④13.2cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 0.5 倍	 ①6.9cm ②3.7cm ③8.6cm ④9.9cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 1 倍	 ①11.1cm ②9.4cm ③13.8cm ④12.8cm
實驗	培養土+種子包覆菌液 +碳粉 2 倍	 ①9.7cm ②12.6cm ③10.9cm ④6.9cm

### 3.測量種植毛豆的土壤電導度、pH 值

(1)土壤 pH 值：每盆植物秤出 10g 土壤裝入三角錐形瓶，並分別加入 100mL 的去離子水，土水比 1：10 (w/v)，將瓶口封住放到振盪器上振盪 30 分鐘再靜置 30 分鐘。

(2)土壤電導度：每盆植物秤出 10g 土壤裝入三角錐形瓶，並分別加入 50mL 的去離子水，土水比 1：5 (w/v)，將瓶口封住，再放到振盪器上振盪 30 分鐘再靜置 30 分鐘，將土壤溶液過濾，用試管收集過濾後的液體，便可用 EC 測定儀器測量電導度值。

(八)連續紀錄 3/18~4/2(共 16 天)，測量紅豆根瘤之固氮活性

**固氮活性**：利用乙炔還原能力測定根瘤菌之固氮能力

將栽培的紅豆倒出，取植物根系上的根瘤，放入 20ml 的試管內，以血清塞密封，抽出試管 2ml 的空氣後，注入 2ml 乙炔 (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 氣體，放置一小時後，取試管中氣體 0.5ml 注入火焰離子探測器之氣相層析儀測定乙炔 (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) 之生成量。

## 伍、研究結果

### 一、實驗一（以四季豆作為觀察對象）

#### (一) 生長高度比較

##### 1、實驗組生長高度數據（平均值數據四捨五入至小數點後第一位）

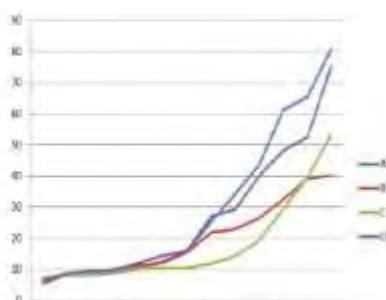
表四、實驗組(A~D 組)四季豆拌入碳粉之生長效應

組別	11/8	11/12	11/14	11/16	11/19	11/21	11/23	11/26	11/28	11/30	12/3	12/5	12/11
A	6.7	8.0	8.2	8.8	10.2	12.6	15.8	25.3	34.2	43.6	61.2	65.5	81.0
B	5.3	8.5	9.0	10.0	11.2	12.1	15.5	21.8	22.9	26.5	32.5	39.1	40.2
C	7.2	8.1	8.5	9.0	10.2	10.3	10.4	11.8	14.2	19.3	29.5	39.5	53.5
D	6.5	8.7	9.5	9.7	12.1	14.4	15.9	27.0	29.3	40.1	48.2	52.5	75.5
平均	6.4	8.3	8.8	9.4	10.9	12.4	14.4	21.5	25.2	32.4	42.9	49.2	62.6

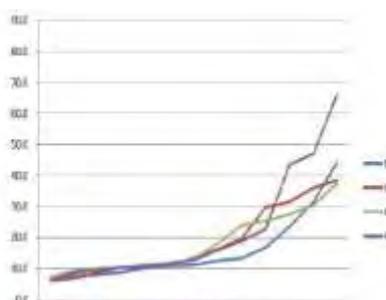
##### 2、對照組生長高度數據（平均值數據四捨五入至小數點後第一位）

表五、對照組(E~H 組)四季豆未拌入碳粉之生長效應

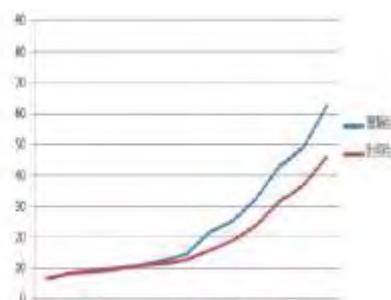
組別	11/8	11/12	11/14	11/16	11/19	11/21	11/23	11/26	11/28	11/30	12/3	12/5	12/11
E	7.0	7.8	8.0	8.8	10.1	10.9	11.2	12.5	13.3	16.8	23.5	31.5	44.5
F	6.0	6.8	8.8	10.5	10.8	11.0	13.4	16.2	19.6	29.8	31.5	36.0	38.5
G	7.2	9.2	10.2	10.2	11.3	11.5	13.1	18.0	23.9	25.4	27.5	30.5	37.5
H	6.0	8.8	9.5	10.3	10.7	11.7	12.7	16.0	18.8	22.8	43.5	47.0	66.5
平均	6.6	8.2	9.1	10.0	10.7	11.3	12.6	15.7	18.9	23.7	31.5	36.3	46.8



圖十、實驗組(拌入碳粉)  
生長高度摺線圖



圖十一、對照組(未拌入碳粉)  
生長高度摺線圖



圖十二、實驗組和對照組  
生長高度摺線圖

#### (二) 四季豆挖出後植株總長（包括根部總長）比較

表六、各組植株總長

編號	實驗組(拌入碳粉)				對照組(未拌入碳粉)			
	A	B	C	D	E	F	G	H
長度(cm)	122.5	116.5	88.5	114.5	77.5	106.5	90.5	105.0
平均(cm)	110.5				94.87			

(三) 表七、各株四季豆從土壤挖出後之總重比較(單位：公克)

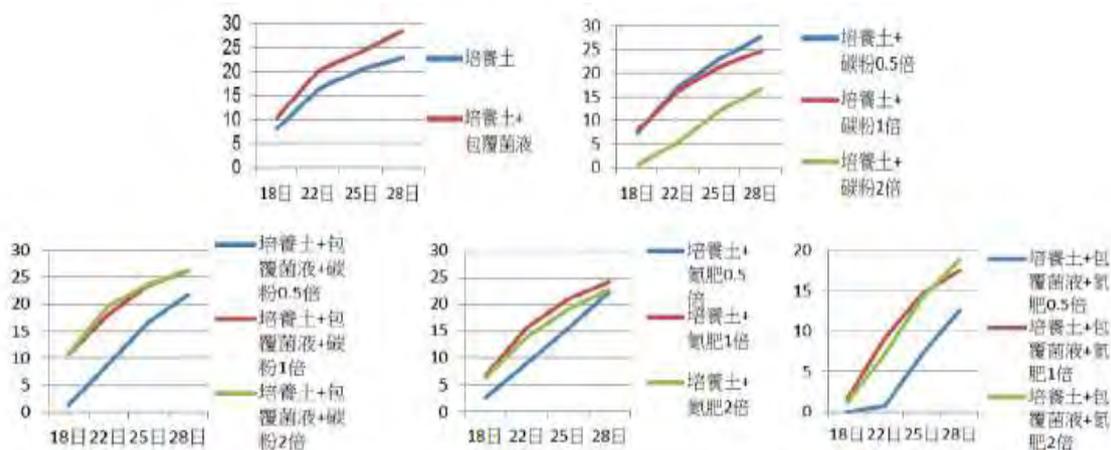
組別	A	B	C	D	E	F	G	H
	實驗組				對照組			
烘乾前	26.81	26.31	14.58	21.56	12.19	23.17	13.33	20.29
平均值	22.32				17.25			
烘乾後	3.45	4.15	2.08	2.94	1.69	3.35	2.08	2.67
平均值	3.16				2.45			

二、實驗二 (以毛豆及紅豆作為觀察對象)

(一) 1. 毛豆生長情形(3/18~3/28)

(1)表八、毛豆生長高度比較 (以 3/18、3/22、3/25、3/28 四天的數據做為取樣數據)

	3/18	3/22	3/25	3/28
培養土	7.9	16.2	20.4	22.8
培養土+包覆菌液	10.2	20.0	24.2	28.4
培養土+碳粉 0.5 倍	7.2	17.0	22.9	27.5
培養土+碳粉 1 倍	7.7	16.2	21.3	24.7
培養土+碳粉 2 倍	0.5	5.3	12.0	16.6
培養土+包覆菌液+碳粉 0.5 倍	1.3	8.9	16.6	21.8
培養土+包覆菌液+碳粉 1 倍	10.6	18.1	23.5	26.2
培養土+包覆菌液+碳粉 2 倍	10.7	19.7	23.7	26.3
培養土+氮肥 0.5 倍	2.5	8.9	15.5	22.4
培養土+氮肥 1 倍	6.6	15.6	21.0	24.2
培養土+氮肥 2 倍	6.3	13.9	19.1	22.8
培養土+包覆菌液+氮肥 0.5 倍	0	0.8	7.1	12.6
培養土+包覆菌液+氮肥 1 倍	1.6	9.1	14.6	17.5
培養土+包覆菌液+氮肥 2 倍	1.2	7.1	14.1	18.8



圖十三、毛豆生長高度曲線圖

(2)表九、毛豆根長平均值比較（單位：cm，四捨五入至小數點後第二位）

培養土	7.78		培養土+包覆菌液	9.45	
培+碳 0.5 倍	6.13	培+碳粉 1 倍	6.23	培+碳粉 2 倍	10.23
培+菌+碳 0.5	7.28	培+菌+碳 1	11.78	培+菌+碳 2	10.03
培+氮 0.5 倍	8.93	培+氮 1 倍	11.73	培+氮 2 倍	8.90
培+菌+氮 0.5	9.13	培+菌+氮 1	7.90	培+菌+氮 2	6.25

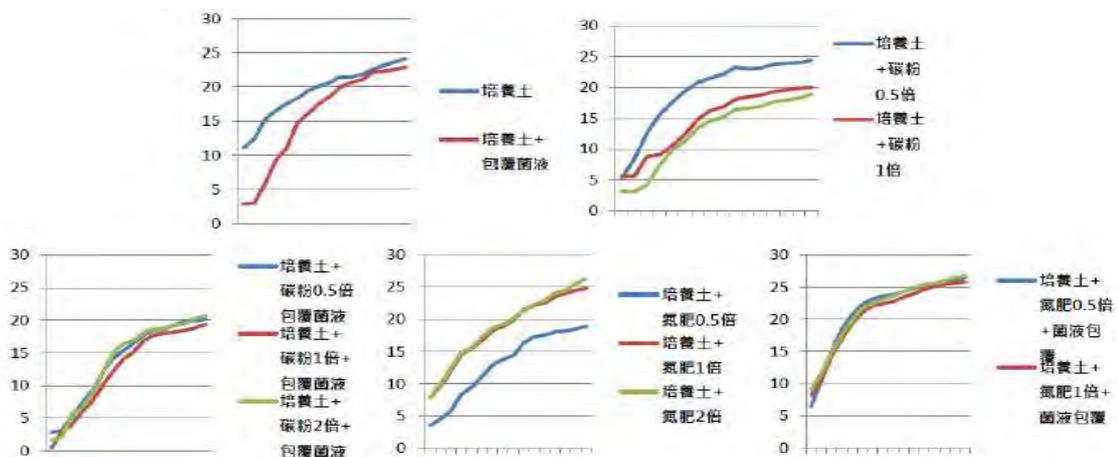
(3)表十、毛豆植株平均溼重 / 平均乾重（單位：g，四捨五入至小數點後第二位）

培養土	2.95 / 0.42		培養土+包覆菌液	2.97 / 0.51	
培+碳 0.5 倍	4.05 / 0.52	培+碳粉 1 倍	3.87 / 0.50	培+碳粉 2 倍	3.93 / 0.44
培+菌+碳 0.5	3.38 / 0.44	培+菌+碳 1	6.05 / 0.80	培+菌+碳 2	4.64 / 0.69
培+氮 0.5 倍	3.98 / 0.47	培+氮 1 倍	4.83 / 0.66	培+氮 2 倍	4.37 / 0.56
培+菌+氮 0.5	3.44 / 0.38	培+菌+氮 1	2.90 / 0.40	培+菌+氮 2	3.16 / 0.40

2.紅豆生長情形(3/18~4/2)

(1)表十一、紅豆生長高度比較（以 3/18、3/22、3/26、3/30、4/2 天的數據做為取樣數據）

	3/18	3/21	3/26	3/30	4/2
培養土	11.1	17.6	20.7	22.6	24.2
培養土+包覆菌液	2.9	11.1	18.6	22.1	22.9
培養土+碳粉 0.5 倍	5.4	17.6	22.1	24.5	24.4
培養土+碳粉 1 倍	5.7	10.6	16.8	19.4	20.1
培養土+碳粉 2 倍	3.2	9.9	15.2	17.7	18.9
培養土+包覆菌液+碳粉 0.5 倍	2.8	9.2	16.5	19.3	20.2
培養土+包覆菌液+碳粉 1 倍	0.5	7.6	15.1	18.2	19.4
培養土+包覆菌液+碳粉 2 倍	1.7	8.7	16.9	19.4	20.7
培養土+氮肥 0.5 倍	3.5	9.5	14.4	18.2	18.9
培養土+氮肥 1 倍	7.8	15.5	19.9	23.5	24.8
培養土+氮肥 2 倍	7.8	15.6	20.2	24.0	26.3
培養土+包覆菌液+氮肥 0.5 倍	6.6	20.7	23.9	25.6	26.4
培養土+包覆菌液+氮肥 1 倍	8.2	19.4	22.7	25.1	25.8
培養土+包覆菌液+氮肥 2 倍	9.1	19.9	23.7	25.6	26.8



圖十四、紅豆生長高度曲線圖

(三) 土壤分析

1.表十二、**毛豆**土壤 pH 值測定平均值

培養土		7.71		培養土+包覆菌液		7.53	
培+碳 0.5 倍	7.63	培+碳粉 1 倍	7.68	培+碳粉 2 倍	7.32		
培+菌+碳 0.5	7.45	培+菌+碳 1	7.53	培+菌+碳 2	7.30		
培+氮 0.5 倍	7.25	培+氮 1 倍	7.39	培+氮 2 倍	7.39		
培+菌+氮 0.5	7.55	培+菌+氮 1	7.20	培+菌+氮 2	7.79		

2.表十三、**毛豆**土壤 EC 值測定平均值

培養土		1343		培養土+包覆菌液		1157	
培+碳 0.5 倍	1556	培+碳粉 1 倍	1428	培+碳粉 2 倍	1271		
培+菌+碳 0.5	1790	培+菌+碳 1	1443	培+菌+碳 2	1458		
培+氮 0.5 倍	1292	培+氮 1 倍	1459	培+氮 2 倍	1469		
培+菌+氮 0.5	1572	培+菌+氮 1	1249	培+菌+氮 2	1345		

拌入碳粉且包覆菌液的平均電導度：1563；拌入碳粉且未包覆菌液的平均電導度：1418  
 拌入氮肥且包覆菌液的平均電導度：1388；拌入氮肥且未包覆菌液的平均電導度：1406

(四)根瘤固氮活性

表十五、**紅豆**固氮活性

樣品	樣品 peak high	乙烯生成量 $\mu$ mole C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> plant <sup>-1</sup> hr <sup>-1</sup>	乙烯平均生成量 $\mu$ mole C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> plant <sup>-1</sup> hr <sup>-1</sup>
標準品①	7.9		
標準品②	8.1		
培養土+ <b>碳粉</b> 0.5 倍②	9.5	0.6378	0.9133
培養土+ <b>碳粉</b> 0.5 倍③	9.4	0.3654	
培養土+ <b>碳粉</b> 0.5 倍④	9.6	1.7369	
培養土+ <b>碳粉</b> 1 倍①	8.7	6.4936	
培養土+ <b>碳粉</b> 0.5 倍+包覆菌液①	9.1	1.9796	1.9322
培養土+ <b>碳粉</b> 0.5 倍+包覆菌液②	9.6	4.9476	
培養土+ <b>碳粉</b> 0.5 倍+包覆菌液③	9.1	0.4944	
培養土+ <b>碳粉</b> 0.5 倍+包覆菌液④	8.5	0.3073	
培養土+ <b>碳粉</b> 1 倍+包覆菌液①	9.0	4.8590	2.9595
培養土+ <b>碳粉</b> 1 倍+包覆菌液②	8.8	1.0601	

註：表格內未列出之樣本即為無效根瘤

## 陸、討論

### 一、實驗一（以四季豆作為實驗對象）

#### （一）四季豆生長高度

根據觀察出來的數據比較後可知，加入碳粉的實驗組 A~D 組生長高度在最後一次測量明顯比未加入碳粉的對照組 E~H 組高至少 10 cm 以上，我們可以初步推測碳粉的拌入對植物的生長高度是有助益的，但是在同一組實驗組或對照組中有生長特別較其他同組植物佳或差，主要是因為植物生長程度本身具差異性。實驗採取四重覆的平均值比對就是希望考慮到這些植物先天上差異來比較加入碳粉的四季豆和一般未拌入碳粉的四季豆生長是否有差異。

#### （二）四季豆植株總長（包括根部總長）

根據測量出來的四季豆平均總長可知，有加入碳粉的實驗組平均長度為 110.5 cm，而未加入碳粉的對照組平均長度為 94.875 cm，由數據可知加入碳粉的土壤有助於植株的高度。

#### （三）四季豆總重

由植株溼重方面來看，拌入碳粉的實驗組 A~D 組的溼重較未拌入碳粉的對照組 E~H 組重，乾重仍是以拌入碳粉的實驗組較未拌入碳粉的對照組重，由此歸納出拌入碳粉的土壤對於植物生長的重量也是有所增加。

#### （四）四季豆根部根瘤生長

加入碳粉的實驗組 A~D 組的土壤分為上層土壤及下層土壤，其中上層土壤除培養土和從農田挖出的土壤之外有拌入碳粉，下層土壤則除培養土和農田挖出的土之外並未拌入碳粉。由實驗記錄的照片可看出實驗組的四季豆根部所產生的根瘤多集中在上層土壤，又因實驗設計只將碳粉加在上層土壤，可推論出碳粉的添加可以促進根瘤產生的數量多寡。

未加入碳粉的對照組 E~H 組的土壤也分為上下層土壤，但在上層土壤中除培養土和從農田挖出的土壤之外不加入碳粉，下層土壤亦除培養土和農田挖出的土之外不加入碳粉。照片紀錄中的對照組所產生的根瘤並未明顯看出上層土壤的根瘤有比下層土壤的根瘤多的情況。從加入碳粉的實驗組和未加入碳粉的對照組的根瘤生長位置和數量來看，相同條件下，經實驗發現，因為碳粉的添加，可以促進四季豆根部根瘤的生長。

### 二、實驗二（以毛豆及紅豆作為實驗對象）

#### （一）1.毛豆生長高度

由生長高度比較來看，各組在碳粉或氮肥的比例關係上無明顯的規律變化，但不論是加入碳粉或是加入氮肥，大部分的組別中 0.5 倍的碳粉或氮肥其毛豆生長長度較 1 倍和 2 倍短，而 1 倍和 2 倍的生長長度幾乎相等。

進一步以未包覆菌液且未拌入任何物質和拌入碳粉且未包覆菌液兩組進行比較分析，毛豆部分除了拌入 2 倍碳粉的組別的生長長度較未拌入碳粉的對照組矮（相差了約 5cm），其餘兩組拌入 1 倍和 0.5 倍碳粉的組別皆生長較未拌入碳粉的對照組佳；而包覆菌液且未拌入碳粉和包覆菌液且拌入碳粉以未拌入碳粉者生長高度較高，和預定的實驗結果相反，或許另有其他影響因素，需再進一步探討。

再來，以未包覆菌液且拌入碳粉和未包覆菌液且拌入氮肥兩者比對碳粉和氮肥的效果，以生長高度來看，拌入碳粉明顯生長比加入氮肥的高，但若以生長速度來看，施予氮肥較為快速。另外，包覆菌液且拌入碳粉和包覆菌液且拌入氮肥經比較之後發現仍是以拌入碳粉在生長高度上較為優勢，卻是施予氮肥者生長速度較快。

## 2. 紅豆生長高度

由於在實驗結束前因為氣候時常下雨及大風的因素所以導致其莖部有些外傷，礙於生長高度明顯受外力影響所以不加以討論其生長高度。但在我們發現莖部有外傷時便已經盡速送去做根瘤固氮活性那部分的實驗，所以已經將固氮活性可能會受其外傷的影響降到最低。

(二) 毛豆根長平均值：根長部分，比例上也沒有呈現任何正相關或負相關的數據；而未包覆菌液且未拌入任何物質和拌入碳粉且未包覆菌液兩者之間，實驗組(拌入碳粉且未包覆菌液)的平均長度為 7.525cm 和對照組(未包覆菌液且未拌入任何物質)差異不大；至於包覆菌液且未拌入碳粉和包覆菌液且拌入碳粉，實驗組(包覆菌液且拌入碳粉)的平均長度 9.692cm 也和對照組方面沒有明顯差異。

再以未包覆菌液且拌入碳粉和未包覆菌液且拌入氮肥兩者比較，拌入碳粉者平均長度 7.525cm，拌入氮肥者平均長度 9.85cm，以未包覆菌液且拌入氮肥者生長較好；

而包覆菌液且拌入碳粉和包覆菌液且拌入氮肥兩組，拌入碳粉者平均長度為 9.692cm，拌入氮肥者平均長度為 7.758cm，拌入碳粉者生長較佳，且又因有進行種子包覆菌液的動作，推論碳粉可以幫助根瘤菌更有效的增加根部生長情形。

(三) 毛豆重量：毛豆重量測量部分，比例上也無明顯差異。但在未包覆菌液且拌入碳粉和未包覆菌液且拌入氮肥兩者之間，不論是植株乾重、溼重、根部溼重，皆以施予氮肥者重量較重；在包覆菌液且拌入碳粉和包覆菌液且拌入氮肥兩組實驗裡，卻以拌入碳粉者重量較拌入氮肥者重，且有些數據相差甚大，亦可推論碳粉有助益於根瘤菌幫助植株在重量方面的生長。

## (四) 毛豆土壤分析

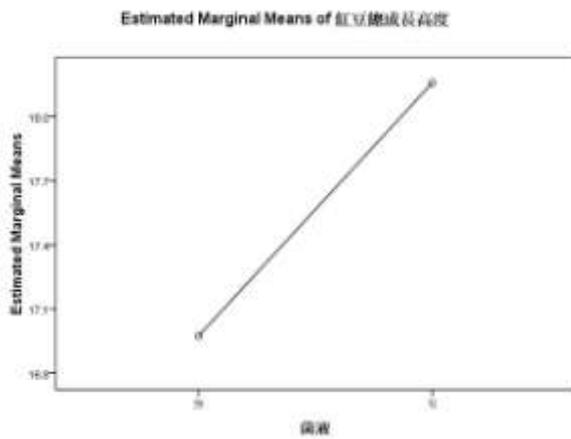
1. pH 值測定結果比較：每組實驗的土壤 pH 值皆介於 7.1~7.8 之間，皆屬於弱鹼性土，並不因摻入了碳粉或氮肥而有極大的酸鹼變化。

2. EC 值測定結果比較：溶於水中的離子，皆可以導電，因此可藉由電導度儀來測定各種離子的導電總和。土壤 EC 值介於 1157~1790.5  $\mu\text{scm}^{-1}$  之間，差異性高，以拌入碳粉且包覆菌液的實驗組平均 1563.833 大於其他所有組別；又以拌入碳粉的實驗組之電導度皆大於拌入氮肥之組別(拌入碳粉且未包覆菌液的平均電導度 1418.583；拌入氮肥且未包覆菌液的平均電導度 1406.833；拌入氮肥且包覆菌液的平均電導度 1388.833)。

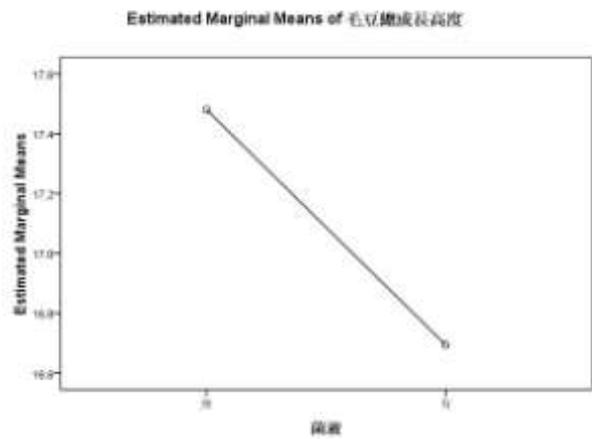
## (五) 紅豆根瘤固氮活性

測量出來的數據可知，土壤拌入碳粉的植物所長出來的紅豆其根瘤為有效根瘤，土壤施入氮肥的植物雖長出根瘤但為無效根瘤，對整株植物的固氮活性為無效。而在拌入碳粉且包覆菌液的情況下會比拌入碳粉且未包覆菌液生長較佳。

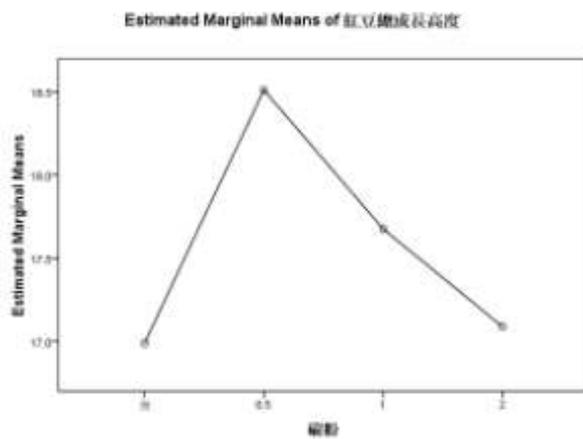
(六) 紅豆、毛豆生長曲線(依不同變異做比較)



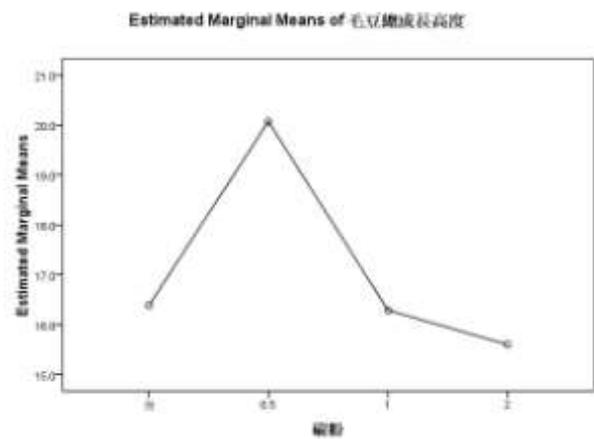
圖十五、紅豆總生長高度(菌液)



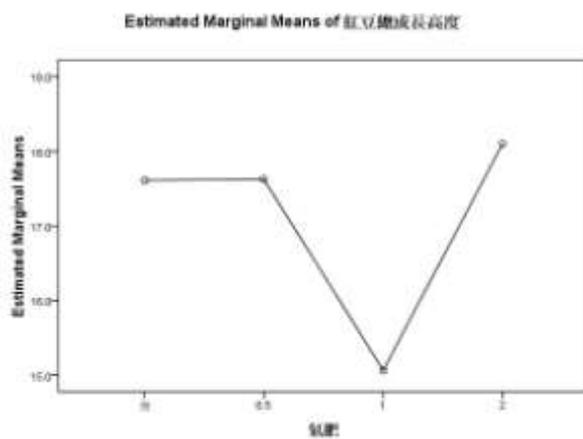
圖十六、毛豆總生長高度(菌液)



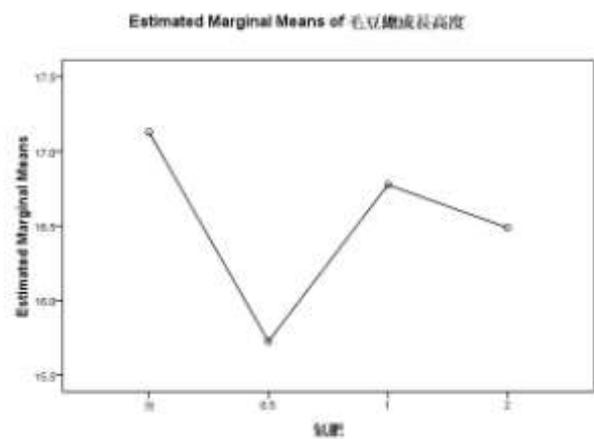
圖十七、紅豆總生長高度(碳粉)



圖十八、毛豆總生長高度(碳粉)



圖十九、紅豆總生長高度(氮肥)



圖二十、毛豆總生長高度(氮肥)

由以上六圖可看出：

不同變異對於植物有不同的影響，但碳粉 0.5 倍對於不同植物皆有較佳的影響。

(七)毛豆統計分析

表十六、植物濕重

Dependent Variable: 植物濕重

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-Value
碳粉	13.653	3	4.551	5.095	.004
菌液	1.078	1	1.078	1.207	.277
碳粉 * 菌液	17.336	3	5.779	6.469	.001
Error	42.877	48	.893		
Total	924.922	56			

\*當碳粉濃度為 1 時，有菌液的植物濕重較重

表十七、植物乾重

Dependent Variable: 植物乾重

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-Value
碳粉	.221	3	.074	4.976	.004
菌液	.083	1	.083	5.606	.022
碳粉 * 菌液	.416	3	.139	9.393	<0.0001
Error	.709	48	.015		
Total	15.984	56			

\*當碳粉濃度為 1 時，有菌液的植物乾重較重

表十八、根濕重

Dependent Variable: 根濕重

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-Value
碳粉	.684	3	.228	8.637	<0.0001
菌液	.347	1	.347	13.150	.001
碳粉 * 菌液	1.103	3	.368	13.923	<0.0001
Error	1.268	48	.026		
Total	12.906	56			

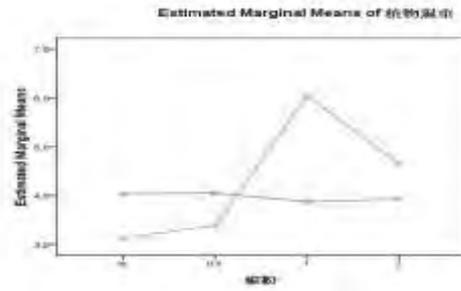
\*當碳粉濃度為 1 時，有菌液的根濕重較重

表十九、根長

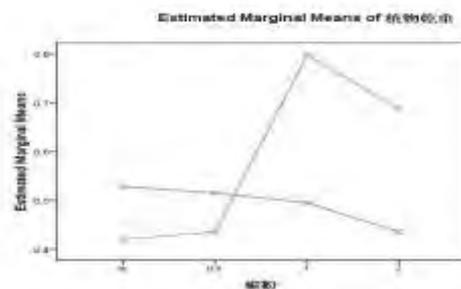
Dependent Variable: 根長

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-Value
碳粉	48.895	3	16.298	1.824	.155
菌液	16.962	1	16.962	1.899	.175
碳粉 * 菌液	76.187	3	25.396	2.843	.047
Error	428.804	48	8.933		
Total	4758.440	56			

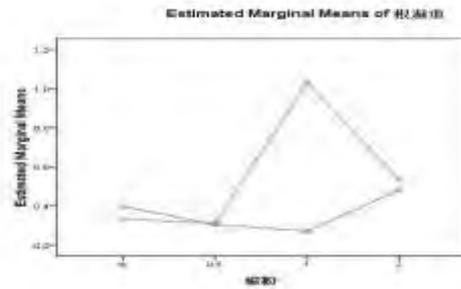
\*當碳粉濃度為 1 時，有菌液的植物根長較長



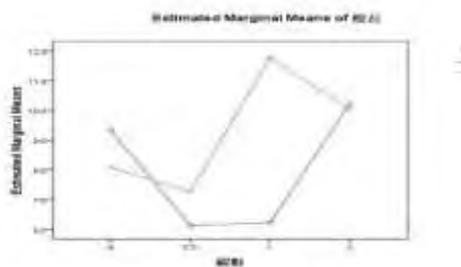
圖二十一、植物濕重摺線圖



圖二十二、植物乾重摺線圖



圖二十三、根濕重摺線圖



圖二十四、根長摺線圖

## 柒、結論

綜合實驗一（以四季豆作為實驗對象）及實驗二（以毛豆及紅豆作為實驗對象）兩個實驗的結果，加入碳粉且含有有效根瘤菌的土壤對於四季豆、毛豆及紅豆的生長不論是在植株生長長度、植株重量或是根部成長抑或是根瘤會有明顯的助益，但如果只是拌入碳粉卻無根瘤菌存在的土壤，生長情形則不會有所增進；再加上實驗一設計上將土壤的上下層成分的區隔，可以明顯看出根瘤生長位置的確會因為碳粉的添加而有變化，碳粉的拌入更使根瘤生長數目增加，一旦根瘤生長的情形更佳，豆科植物能夠獲得的養分便會增加，畢竟豆科植物生長所需的養分大部分是由根瘤行固氮作用而獲得的。依照觀察的結果，碳粉的拌入對於根瘤菌的共生會更助於四季豆、毛豆及紅豆生長，進而推論到在有根瘤菌的土壤中加入碳粉會對於豆科植物的生長情形更佳。

至於拌入的物質為碳粉或是化學肥料的氮肥，在實驗中的結果也顯現出，拌入碳粉的結果不比施予氮肥的結果差，甚至數據上明顯顯示出拌入碳粉的植株高度、重量、根長皆生長較施予氮肥者佳。想要減少化學肥料方面的施肥比例，拌入碳粉不僅僅可以使生長明顯比施予氮肥者佳，成本也是極低。或許在農業上，可以將拌入碳粉在土壤裡這項技術持續研究、推廣，對於生長的成果必定可以增加許多，也可以降低許多化學肥料的施予。

但在實驗二中拌入的碳粉或是氮肥的比例上則沒有明顯的比例關係，生長情形也差異不大，或許是實驗設計上的比例沒有明顯差距以至於實驗數據的結果沒有明顯的生長落差。

## 捌、參考資料及其他

- 洪美華(2002)台灣本土豆科植物根瘤菌分離及特性研究。中興大學土壤環境科學系碩士論文。
- 高德錚(1984)接種有效根瘤菌對大豆及後作玉米產量與土壤肥力之影響。台中農業改良場研究彙報，9，57-67。
- 高德錚、林安秋(1983)豆科植物固氮作用之回顧。科學農業，31，97-105。
- 盛澄淵(1964)豆科作物-肥料學，186-194。
- 張愛華(1981a)本省現行土壤測定方法。台灣省農業試驗所特刊，13，9-26。
- 張耀聰(2007)根瘤菌微生物肥料的原理與應用。環保資訊月刊第 105 期專題。財團法人豐泰文教基金會出版。
- 張耀聰(2010)施用微生物肥料～根瘤菌紅豆好處多。高雄區農情月刊第 158 期第二版。行政院農業委員會高雄區農業改良場出版。
- 張耀聰(2011)微生物肥料接種紅豆合理化施肥之應用。豐年半月刊。61 (19)：38-41。豐年社出版。
- 張耀聰、張焜標(2007)不同氮肥施用量對毛豆接種根瘤菌及菌根菌生長與產量之影響。大型真菌研討會論文集，3-9。
- 賴文龍、蔡宜峰(2004)根瘤菌及氮肥施用對秋作菜豆生長效應之研究。台中農業改良場研究彙報，85，47-55。

## 【評語】 040713

使用材料具生活化與實用性，有關效能宜與一般常用方法做對比，以彰顯其效能或進行推廣。