

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

佳作

080219

名偵「炭」「殼」南—炭化稻殼的秘密

學校名稱：彰化縣北斗鎮螺陽國民小學

作者： 小六 魏睿呈 小五 李御丞 小五 張恩雅 小四 蕭柏勻	指導老師： 謝承諺 曾瑞君
---	---------------------

關鍵詞：稻殼、炭化稻殼、煙囪效應

摘要

本研究源於第 57 屆全國科學展覽作品《黃金變黑金—碳化稻殼對農作的效益》，改良燒製方式後發現，自組裝「火箭爐」產生「煙囪效應」的悶燒方式，可成功克服之前耗時、費力、及產量低的問題，並在 3 小時內將 10 公斤的稻殼，以 350°C-450°C、550°C-650°C、700°C-800°C 燒製出不同的炭化稻殼。

研究中將炭化稻殼進行特性試驗分析，結果顯示炭化稻殼的電導度及 pH 值均高於稻殼。將炭化稻殼混合於土壤中改善土壤的性質，確實可改善土壤的氮磷鉀含量、電導度及 pH 值。將炭化稻殼與紅土的混加比例做植栽試驗，發現以 1:3 的效果最佳、炭化稻殼與沖積土以 1:2 比例種植的成果最佳，種植出來的蔬菜是所有混土中成長最好的；分析種植後的土壤，發現炭化稻殼可以改善紅土缺鉀及 pH 值偏酸的問題。

壹、 研究動機

彰化縣的農作土壤大致可分為八卦山上的紅土與濁水溪的沖積土，紅土通氣、排水良好，但強酸性，肥力差，黏性及可塑性高，因此生產力差；沖積土是由中央山脈之粘板岩經河流侵蝕而沖積生成，由於沖積及化育時間不同，土壤性質變異性大，例如土層深淺、排水好壞、質地粗細、酸鹼度等均有不同。加以長久的耕作與使用化學肥料，土壤也大都偏酸性，因此如何利用農業廢棄物炭化稻殼來改善農作土壤的性質是很值得研究的。

根據第 57 屆全國科展生活應用科學組作品，《黃金變黑金—碳化稻殼對農作的效益》所探討的炭化稻殼，在農作上有顯著的影響，但作品內容並未深入探討是什麼因素讓炭殼可以改善土壤，讓農作物生長更好？為了探究這個原因，我們搜尋了許多文獻，其中潘子祁(2016)指出，灰燼雖然含微量的碳能改良土壤，但鹼性較強，對碳的封存度也較低，若將稻殼炭化，固碳效果會提高，也可改善灰燼鹼性較強的問題。因此，怎樣在短時間能有效燒出合適的炭化稻殼？溫度要控制多少？要多少時間？所燒製出來的炭化稻殼加入不同的土壤中如何適量的使用，農作物的種植等是我們要探討的方向，並探討加入炭化稻殼後土壤特性的變化與其和農作物生長的關係，加入炭化稻殼後是否會有不一樣的成長結果？本研究將深入一探究竟，了解炭化稻殼的秘密。

貳、研究目的與研究問題

本研究主旨在探討如何燒出最有效的炭化稻殼的方法、不同溫度燒製出來炭化稻殼的特性與差異，並加入紅土與沖積土，探討不同比例的混土特性後種植作物，再以作物的生長成效，找出炭化稻殼混土最適合種植的比例，並探討不同比例混土在種植後的差異。以下是本研究目的與研究問題：

一、 燒出最有效的炭化稻殼的方法

(一) 悶燒爐(鐵桶、金爐、火箭爐)的選擇與試驗

(二) 火箭爐悶燒的條件控制

二、 分析及探討炭化稻殼的特性。

(一) 如何燒製不同溫度的炭化稻殼？

(二) 探討不同溫度燒製成的炭化稻殼特性（氮磷鉀、電導度、pH 值）？

三、 找出紅土與沖積土和炭化稻殼混合的黃金比例。

(一) 探討不同比例混合土的特性（氮磷鉀、電導度、pH 值）？

(二) 探討種植後不同比例混合土的特性（氮磷鉀、電導度、pH 值）？

(三) 農作物生長狀況為何？

(四) 探討種植前後不同比例混合土特性差異？

參、 研究流程

一、 研究流程

本研究主要是利用自組裝火箭爐，以不同溫度燒製出炭化稻殼，分析不同溫度燒製出來的炭化稻殼有何差異。之後將炭化稻殼與紅土、沖積土進行不同比例的混土，觀察作物的生長，找出最佳的植栽比例，並分析不同比例混土之間有何差異。圖 1 為本研究之研究流程圖。

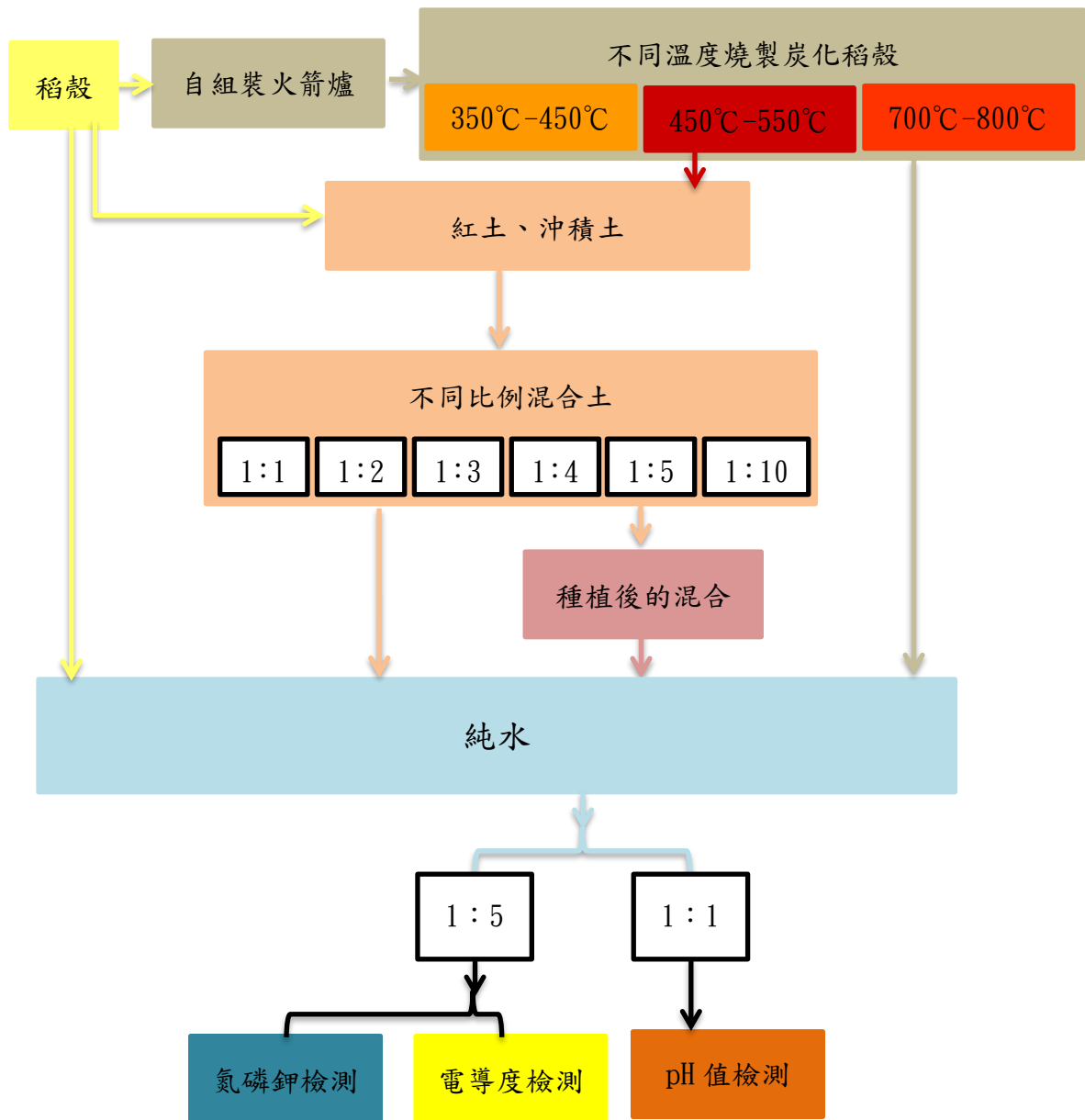


圖 1 研究流程圖

二、研究前置作業

我們延續之前實驗「**黃金變黑金—碳化稻殼對農作的效益**」的內容，針對研究的關鍵字進行相關資料的蒐集，從資料中也瞭解到許多炭化稻殼的相關議題，讓我們在實驗過程中更加順利，也驗證我們的實驗結果，在本段將分為兩小段進行研究前置作業的說明：(一) 資料蒐集；(二) 收集稻殼與土壤，共兩點進行說明。

(一). 資料蒐集

蒐集資料的方式有三種方式，一是利用書籍搜尋相關的資訊，二是利用網路媒體，第三我們有邀請炭殼的專家提供研究的建議，三管齊下搜尋有關「炭化稻殼」的相關資料，**文獻**

資料以全國中小學科學展覽會、農業改良場、科技公司、農業教育協會等提供的資訊為主，與專家在實驗前中後討論流程和細節，並以實驗進行研究結果的佐證。所蒐集可供參考的文獻資料如表 1 所列。

表 1 文獻資料說明表

題目	可供參考的資料
台東農改場：炭化稻殼 省肥抗病 [7]	<p>1. 生物炭—炭化稻殼優點多</p> <p>對土壤酸鹼度影響小，能改善土壤性質，結果顯示，使用炭化稻殼後土壤酸鹼度、有機質、鉀、鈣及矽含量均較對照區略有提升。</p>
生物碳減緩空污與暖化 [10]	<p>1. 「燒炭減碳，環保又簡單」</p> <p>早年農友燒稻草、稻殼產生的炭，在學理上稱作「生物炭」，只要埋入土中，便能將大氣中的碳儲藏，形成鹼性生物炭，可以保持水分、改良酸性土質，讓土壤更健康。</p> <p>2. 「露天焚燒不合適，應以鐵桶低氧焚製」</p> <p>農業廢棄物就地焚燒，造成空汙問題，亦容易炭化程度不均，甚至因太高溫而化作灰燼，而溫度過低的材料則炭化程度不夠，因此設備精準控制時間、溫度來製作生物炭才是最理想的手段。</p> <p>3. 「介質土中摻入約 5 到 40%炭化稻殼有利作物生長」</p> <p>番茄和南瓜在早期苗都會長得較慢，不適合過度添加，而根系茁壯日後南瓜在葉片生長、開花速度上都加快許多。</p>
粗糠變身黑珍寶：附掛式稻殼連續炭化裝置，烘穀兼燒炭 [13]	<p>1. 生物炭孔隙大，具有保水、保肥、活化土壤等優點，對於改善土壤環境與節能減碳有所助益。</p> <p>2. 回收效益大</p> <p>100 公斤的稻殼碾完約可產生 20 公斤稻殼，而三升的燃糠式乾燥機烘乾 100 公斤稻殼只需約 13 公斤稻殼當燃料，剩下約 7 公斤的稻殼就有製成炭化稻殼的空間。</p>
施生物炭肥可改良酸化土壤提高果實品質 [14]	<p>1. 「生物炭」</p> <p>是指作物秸稈在 400°C 至 600°C 高溫、無氧條件下形成的礦化炭和部分有機炭，其中礦化炭占 60%到 70%、有機炭占 30%到 40%。</p> <p>2. 廢棄物大變身</p> <p>試驗證明生物炭能在土壤中形成大的糰粒，空隙大，儲肥儲水，改變微生物環境。它還具有部分有機肥的作用，促進細根生長。</p>
熱解溫度對稻殼生物炭特性的影響 [15]	<p>1. 溫度越高稻殼炭的產率越低，隨著熱解溫度的增加，揮發分逐漸析出，含氫和氧官能團及含碳物質逐漸分解，而灰分增加，固定碳和低位熱值先增加後降低，分別在 550°C 和 450°C 具有最高值。</p> <p>2. 熱解溫度 600°C 的稻殼炭含有較高的可溶性物質含量和發達的孔隙結構，該結果對生物炭的製備及應用具有重要的參考意義。</p>

(二) 收集稻殼與土壤

我們需要大量的稻殼進行碳化的實驗，除了自種的稻殼，我們也跟在地農會與碾米廠購買稻殼，藉此提高炭化稻殼的成功率。

以下是我們蒐集稻殼與土壤的方式：

1. 「**稻殼**」：使用**學校食農教育種出來的稻米**，收割完會用自組裝的打穀機打穀，再將稻殼送至農會碾米廠進行脫殼作業，待稻殼脫殼後集中裝袋，帶回學校進行炭化實驗。
2. 「**土壤**」：彰化縣種植農作物的土壤多為「沖積土」，八卦山脈上的土壤為「紅土」，**沖積土偏中性**，**紅土偏酸性**，所以選用這兩種土質作為實驗材料。

肆、 研究設備及器材

本研究準備了以下器材進行燒製炭化稻殼的實驗，使用磅秤測量木炭與稻殼的重量，紅外線溫度計測量木炭的燃燒溫度，之後使用鐵桶、金爐、火箭爐燒製炭化稻殼，燒製期間使用熱感應溫度計測量炭化稻殼的溫度。燒製炭化稻殼的設備及器材如表 2 所列。

表 2 燒製**炭化稻殼**的設備及器材表

稻殼	汽油鐵桶	金爐	自組裝火箭爐	熱感應溫度計
				





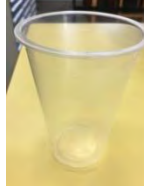





使用培養土在穴盆裡培育青江菜種子，待種子發芽後，以一杯 500ml 的塑膠杯為單位，將炭化稻殼與紅土、沖積土進行不同比例的混土裝進育苗盆中，移植後使用澆水器澆水，最後收成時須使用電子秤測量總重量，以及測量每棵青江菜的高度。種植農作物的設備及器材如表 3 所列。

表 3 **種植農作物**的設備及器材表

紅土	沖積土	培養土	青江菜種子	電子秤
				

先將混土、紅土、沖積土、炭化稻殼、稻殼裝進寶特瓶中，並依照實驗比例調配澄清液。然後使用滴管吸取澄清液，滴在裝在漏斗中的過濾紙，取的澄清液後就可以使用監測儀器進行實驗檢測。所用的設備及器材如表 4 所列。

表 4 測量混合土特性數值變化的設備及器材表

50ml 燒杯	250ml 燒杯	500ml 燒杯	150ml 塑膠杯	500ml 塑膠杯
				
純水	氮磷鉀檢測膠囊	氮磷鉀檢測儀	電導度檢測儀	pH 檢測儀
				

伍、 研究過程與結果

在研究的過程，大致可分成以下九個部分進行：一、悶燒爐的檢測；二、火箭爐悶燒的條件控制；三、使用火箭爐燒製 350°C-450°C、550°C-650°C、700°C-800°C 的炭化稻殼；四、「稻殼與炭化稻殼」的氮磷鉀含量、電導度及 pH 值測試；五、使用 550°C-650°C 的炭化稻殼混合沖積土以及紅土；六、「稻殼混合土和炭化稻殼混合土」的氮磷鉀含量、電導度及 pH 值測試；七、「種植後混合土」的氮磷鉀含量、電導度及 pH 值測試；八、種植蔬菜的成果；九、混合土的氮磷鉀含量、電導度及 pH 值在種植前後的差異比較。

一、 悶燒爐的檢測

在炭化的過程中，我們嘗試許多方式，成功的「炭化稻殼」外觀呈現黑色，如圖 2；失敗毀有過多的灰份，如圖 3，實驗中每一小時記錄一次，並觀察稻殼炭化的程度。

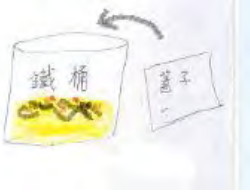







圖 2 碳化成功

圖 3 碳化失敗

稻殼炭化實驗總共進行十一次，前六次的燒製結果有太多灰份，因此在第七次我們設計一座「火箭爐」改善了耗時、量少的問題，又能夠提升炭化稻殼的成功率，以下表 5 說明我們的實驗時間、實驗工具與實驗摘要，其中第七次的實驗發現火箭爐可快速燒製不同溫度的炭化稻殼，每隔一個小時炭化約 30-40%，二小時就有 90% 炭化完成有最佳的炭化效果，三小時就可完成 10 公斤的炭化稻殼。

表 5 炭化稻殼實驗時間表

實驗時間/實驗重點	工具	實驗摘要
第一次 106.10.13 使用先前經驗燒製 	鐵桶、 鐵蓋	炭 ：白化（未測量）； 炭殼 ：305°C 步驟 ：稻殼倒至鐵桶六分滿，將炭放置稻殼上，並蓋上鐵蓋進行低氧燃燒。 實驗結果 ：燒製 36 小時，失敗。 發現 ：稻殼炭化不均勻，灰份太多。 檢討 ：室外水氣過重、氣溫低影響鐵桶內部溫度
第二次 106.10.17 溫度未達標準，增加炭量提升溫度	鐵桶、 鐵蓋	炭 ：549°C； 炭殼 ：最高 189.3°C 步驟 ：稻殼倒至鐵桶六分滿，將炭放置稻殼上，並蓋上鐵蓋進行低氧燃燒。 實驗結果 ：燒製 36 小時，失敗，灰份太多。 發現 ：炭化不均勻、多煙、炭殼溫度未達 500°C 以上。 檢討 ：稻殼潮濕，可嘗試加炭讓溫度提升。稻殼有結塊與粉末狀，造成部分炭化失敗。
第三次 106.10.20 使用金爐燒製，優缺參半 	金爐	炭 ：535-565°C； 炭殼 ：296°C 步驟 ：稻殼倒至全滿，進行露天燃燒。 實驗結果 ：燒製 3 小時，炭化完全，但仍有灰份。 發現 ：露天燃燒導致炭化完全，缺點是煙很多，炭化時火勢受風勢影響，不易控制。 檢討 ：稻殼潮濕、非低氧燃燒
第四次 106.10.27 過篩、曝曬促使稻殼乾燥 	鐵桶、 鐵蓋	炭 ：500°C； 炭殼 ：229°C 步驟 ：先倒入 2kg 稻殼，放上炭後，再放入 4kg 稻殼，並蓋上鐵蓋進行低氧燃燒。 實驗結果 ：燒製 36 小時，90%炭化 發現 ：稻殼先曬過，水氣較少（低氧） 檢討 ：耗時、溫度上升慢
第五次 106.11.29 改變炭與稻殼排列方式	金爐+ 鐵桶	炭 ：550°C-650°C 以上； 炭殼 ：260°C 步驟 ：金爐內放滿炭，外圍套上大鐵桶，外圍鐵桶倒入 4kg 稻殼，並蓋上鐵蓋進行低氧燃燒。 實驗結果 ：燒製 12 小時，95%炭化 發現 ：改變炭與稻殼的排列方式，改成將炭放置在金爐中，稻殼在外圍鐵桶中，如此一來大約有 95% 稻殼炭化成功，但貼近鐵桶邊的稻殼並未燒製完成。

		<p>檢討：舊的方式（層層堆疊）使用的炭太多，且溫度上升過快、溫度擴散不均，不能翻攪。新的方式（炭放中間）也有限制，如：耗時、擴熱效果不佳。</p>
<p>第六次 106.12.04 測試鐵桶燒製的時間</p> 	<p>鐵桶</p>	<p>炭： 550°C-650°C以上；炭殼： 294°C</p> <p>步驟： 依序先放 2kg 稻殼，135g 的炭，共放置三次</p> <p>實驗結果： 燒製 28 小時，完成 95%炭化</p> <p>發現： 費時、少量、耗人力。</p> <p>檢討： 時間耗時太長，雖然炭化效果佳，但部分稻殼已經燒成灰份。</p>
<p>第七次 106.12.13 使用「火箭爐」效果佳、炭化完全</p> 	<p>火箭爐</p>	<p>炭： 665°C；炭殼： 840°C。</p> <p>步驟： 倒入 4kg 的稻殼，在稻殼上方放置炭，蓋上附有煙囪的蓋子，以「煙囪效應」進行燃燒。</p> <p>實驗結果： 燒製 4 小時，全部炭化完成。</p> <p>發現： 炭化時間較快、效果較佳、灰化少、炭化完全，炭化完成之稻殼形狀略微乾扁。</p> <p>檢討： 溫度過高、創新的研發炭化爐和往常的方式不同。</p>
<p>第八次 106.12.19 火箭爐 v.s.鐵桶</p> 	<p>火箭爐、鐵桶</p>	<p>〔火箭爐〕炭： 550°C-650°C；炭殼： 843°C</p> <p>〔鐵桶〕炭： 550°C-650°C；炭殼： 123.6°C</p> <p>實驗結果：</p> <p>〔火箭爐〕(3.5 小時)、炭化完全、炭化稻殼量多。</p> <p>〔鐵桶〕(28 小時)、炭化不完全、炭化稻殼量少。</p> <p>發現： 鐵桶時間不易掌控、火箭爐成效較佳。</p> <p>檢討： 使用火箭爐炭化有顯著的成效。</p>

二、火箭爐悶燒的條件控制

(一)自組式火箭爐設計原理

本研究利用煙囪效應原理，設計出「自組裝火箭爐」。

煙囪效應是火爐運作時，產生的熱空氣隨著煙囪向上昇，造成內部熱空氣散溢而將戶外的空氣抽入填補，令火爐的火更猛烈。煙囪效應的強度與煙囪的高度，內外溫度差，和內外空氣流通的程度有關。

本研究將煙囪式金爐加以改製，依煙囪效應的原理，設計可以增高及縮短的自組裝火箭爐的設計；鐵桶底部三分之一的高度(28公分)加裝鐵網架，進氣

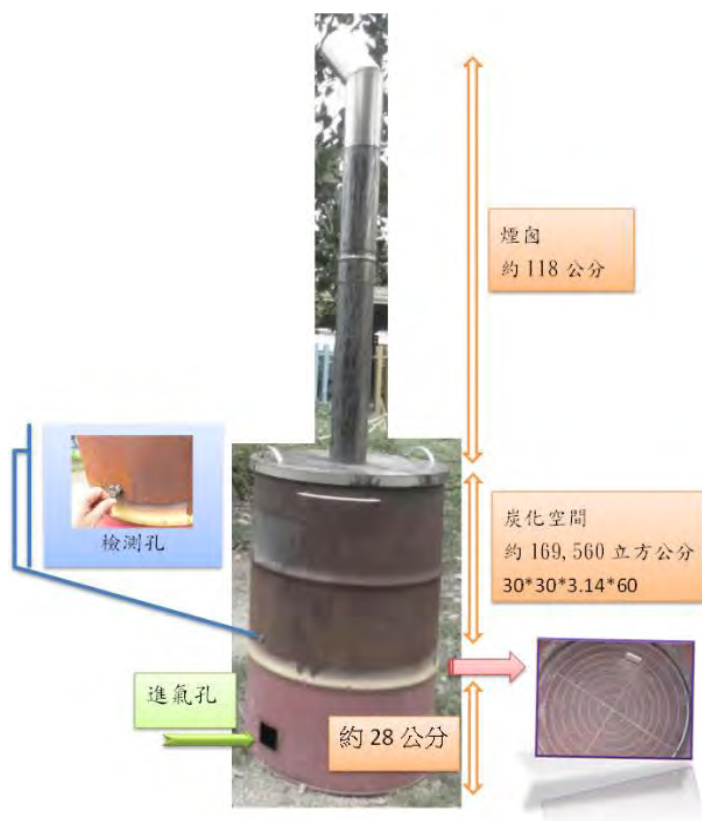


圖 4 炭化火箭爐示意圖

孔可提升空氣的流通；炭化空間約 169560 立方公分，在內置鐵網處打一個可開關的檢測孔，方便測量內部溫度及觀察稻殼炭化程度。自組式火箭圖設計如圖 4 所示。

(二)炭化稻殼熱裂解原理

使用火箭爐燒製炭化稻殼，可達到省時、省力，原因是煙囪效應加強火箭爐內的空氣對流，提高爐內的溫度，減少燒製的時間，加速稻殼內雜質的流失。350°C-450°C的範圍 O、N、油等物質開始從稻殼內部流失；550°C-650°C的範圍，炭化稻殼因溫度升高造成孔隙變大，能有效幫助土壤留住有益物質；700°C-800°C的範圍， H^+ 開始流失，如圖 5 所示。熱裂解的過程中會產生 CO_2 、 CO 、 CH_4 等氣體，最後保存了炭，而稻殼產生的木焦油、水分與木醋酸會附著在火箭爐上，呈現黑色的液體。火箭爐燒製示意圖如圖 6。

綜合以上資料，在使用自組式火箭爐燒製炭化稻殼，需要控制爐內的溫度、稻殼重量、時間控制、以及煙囪的高度，才能有效控制炭化稻殼的燒製溫度，呈現不同的效果。

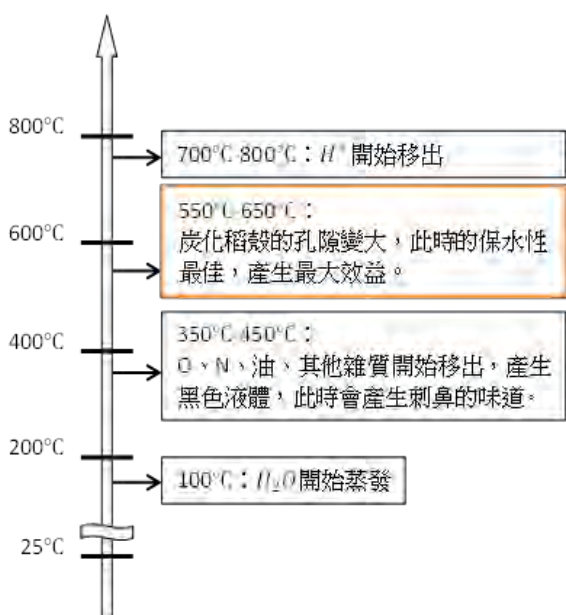


圖 5 炭化稻殼熱裂解示意圖

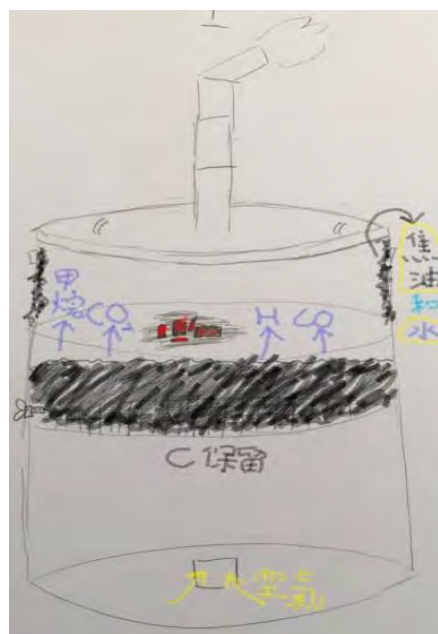


圖 6 火箭爐燒製示意圖

三、使用火箭爐燒製 350°C-450°C、550°C-650°C、700°C-800°C 的炭化稻殼

依據前項控制火箭爐之條件，本研究將燒製出 350°C-450°C、550°C-650°C、700°C-800°C 的炭化稻殼，並計算燒製時所產生的灰份比例，以便後續研究。

根據文獻計算灰份的方式為：1. 取 10 公克的炭化稻殼；2. 取 100 公克的純水；3. 前兩項相加後，取出 5 公克混合液；4. 烘乾 5 公克混合液中的水分；5. 待放入烤箱蒸發水分後，測量剩餘重量平均；6. 帶入公式計算灰份在 1 公克炭化稻殼所佔比例。

$$\text{公式：} \frac{10}{110} = \frac{\text{剩}+C}{5} \frac{\text{剩}}{C} \times 100\%。$$

(一). 燒製 350°C-450°C 的炭化稻殼

使用 300g 木炭(燒至 600°C 以上)，將時間控制在 2.5 個小時。炭化稻殼第 2 小時的溫度 450~465°C，底層的溫度也有達到 386°C。取出樣本後，依據灰份實驗步驟，測得剩餘重量平均為 0.01154 公克，套入公式獲得 1 公克的炭化稻殼約佔 2.6049%。

(二). 燒製 550°C-650°C 的炭化稻殼

使用 300g 木炭(燒至 600°C 以上)，炭化 10kg 稻殼只要 3 小時就可以達到 600°C 以上。炭化經 1 個小時後溫度可達 300~464°C；第 2 個小時溫度可達 458~574°C 不等，第 3 個小時均可達 600°C 以上。取出樣本後，依據灰份實驗步驟，測得剩餘重量平均為 0.01028 公克，套入公式獲得 1 公克的炭化稻殼約佔 2.3139%。

(三). 燒製 700°C-800°C的炭化稻殼

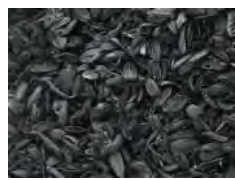


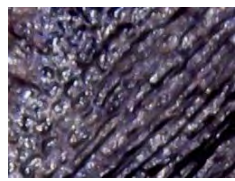
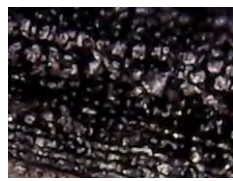

使用 400g 木炭(燒至 600°C 以上)，炭化 10kg 稻殼只要 3 小時就可以達到 800°C。經觀察發現 1 小時平均溫度 377.8°C；2 小時炭化平均溫度來到 518.8°C。3 小時煙囪沒有白色水蒸氣，已無之前刺鼻的味道，此時溫度已達到 700°C-800°C。取出樣本後，依據灰份實驗步驟，測得剩餘重量平均為 0.0142 公克，套入公式獲得 1 公克的炭化稻殼約佔 3.2247%。

表 6 火箭爐燒製不同溫度的炭化稻殼

<p>第九次 107.1.26 燒製不同溫度的炭化稻殼</p>	<p>火箭爐</p>	<p>炭： 716°C；炭殼： 824°C</p> <p>步驟：倒入 10kg 的稻殼，在稻殼上方放置 400g 炭，蓋上附有煙囪的蓋子，以「煙囪效應」進行燃燒，每隔一小時測量炭殼燒製的溫度。</p> <p>實驗結果：3 小時就可完成 10 公斤的炭化稻殼</p> <p>發現：每隔一個小時炭化約 30-40%，二小時就有 90%炭化完成，燒製 700°C-800°C 以上時，煙囪就沒有冒煙了。</p> <p>檢討：超過三小時後灰份就會太多，必須抓準時間降溫。</p>
<p>第十次 107.1.26 燒製不同溫度的炭化稻殼</p> 	<p>火箭爐</p>	<p>炭： 667°C；炭殼： 629°C</p> <p>步驟：倒入 10kg 的稻殼，在稻殼上方放置 300g 炭，蓋上附有煙囪的蓋子，以「煙囪效應」進行燃燒，每隔一小時測量炭殼燒製的溫度。</p> <p>實驗結果：3 小時就可完成 10 公斤的炭化稻殼</p> <p>發現：炭化一小時後稻殼溫度可達 300-450°C，第二小時後 450-550°C，第三小時後達 550°C-650°C 以上，減少 100g 的炭能有效達到降溫的效果。</p> <p>檢討：相同的時間進行炭化、減少炭的量，可以有效降低炭化時的溫度。</p>
<p>第十一次 107.1.28 燒製不同溫度的炭化稻殼</p> 	<p>火箭爐</p>	<p>炭： 550°C-650°C；炭殼： 469°C</p> <p>步驟：倒入 10kg 的稻殼，在稻殼上方放置 300g 炭，蓋上附有煙囪的蓋子，以「煙囪效應」進行燃燒，每隔一小時測量炭殼燒製的溫度。</p> <p>實驗結果：3 小時就可完成 10 公斤的炭化稻殼</p> <p>發現：炭化一小時後稻殼溫度可達 340-350°C-450°C，第二小時後 400-460°C，半小時後達 469°C。</p> <p>檢討：為了控制溫度在 500°C 以下，將未炭化的稻殼與炭化完成的稻殼放在小鐵桶中，進行悶燒。燒製 500°C 以下需要 2.5 小時。</p>

燒製完 350°C-450°C、550°C-650°C、700°C-800°C 的炭化稻殼後，使用 USB 鏡頭顯微鏡拍攝 500 倍鏡頭下的炭化稻殼之間差異，發現 350°C-450°C 的炭化稻殼外觀保持原形狀，殼脈清晰，殼面輪廓較淺，灰份程度少；550°C-650°C 的炭化稻殼從殼脈龜裂，呈現捲曲或扁平狀，殼面輪廓深呈方格狀，孔隙變大；700°C-800°C 的炭化稻殼外觀呈現乾癟狀，厚度偏薄，殼面輪廓更深且多呈小方格狀，孔隙縮小。放大圖如表 7 所示。

表 7 350°C-450°C、550°C-650°C、700°C-800°C 的炭化稻殼

肉眼觀察			
500 倍顯微鏡			
溫度	350°C-450°C	550°C-650°C	700°C-800°C

四、稻殼與炭化稻殼的氮磷鉀含量、電導度及 pH 值測試

1. 炭化稻殼的「氮磷鉀」測試

測試氮磷鉀使用的工具是「rapitest 土壤檢測儀」，刻度有五個等級，分別是 0 缺乏(Depleted)、1 不足(Deficient)、2 尚可(Adequate)、3 充足(Sufficinet)、4 過多(Surplus)，表 7 是測量後得到的數據。在 350°C-450°C、550°C-650°C、700°C-800°C 時氮的指數都是 0、磷 2、鉀 4，由此可見，以不同溫度燒製完成的炭化稻殼所測得的氮磷鉀數據，在未種植之前其含量大致相同。和稻殼比較，發現炭化稻殼在「鉀」的含量比稻殼多。從這結果可看出，稻殼的炭化過程燒出稻殼所含有的有效鉀肥份。

表 8 炭化稻殼的氮磷鉀數據

	氮(N)	磷(P)	鉀(K)
350°C – 450°C	0 (缺乏)	2 (尚可)	4 (過多)
550°C – 650°C	0 (缺乏)	2 (尚可)	4 (過多)
700°C – 800°C	0 (缺乏)	2 (尚可)	4 (過多)
稻殼	0 (缺乏)	2 (尚可)	3 (充足)

2. 炭化稻殼的「電導度」測試

在炭化稻殼電導度的部分，共進行五次實驗，350°C-450°C 平均電導度是 1.017mS/cm，550°C-650°C 平均電導度是 1.058 mS/cm，700°C-800°C 平均電導度是 1.546 mS/cm，稻殼平均

電導度是 0.256 mS/cm。結果如表 8 所列，**700°C-800°C的炭化稻殼的電導度高於** 550°C-650°C 的炭化稻殼、350°C-450°C的炭化稻殼、與未燃燒的稻殼，很明顯地看出，隨著燃燒溫度的提高，燒出產生的離子就越多。

表 9 炭化稻殼與稻殼的電導度數據(單位：mS/cm)

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
350°C – 450°C	1.018	1.012	1.013	1.021	1.019	1.017
550°C – 650°C	1.064	1.05	1.066	1.052	1.059	1.058
700°C – 800°C	1.548	1.547	1.546	1.544	1.547	1.546
稻殼	0.245	0.254	0.258	0.254	0.269	0.256

3. 炭化稻殼的「pH 值」測試

在炭化稻殼 pH 值檢測的部分，進行了五次實驗取平均數，350°C-450°C平均 pH 值是 9.1；550°C-650°C平均 pH 值是 9.9；700°C-800°C平均 pH 值是 10.1；稻殼平均 pH 值是 7.82。

總體而言的 pH 值以高至低（鹼至酸）排序為，**700°C-800°C、550°C-650°C的炭化稻殼為強鹼性，350°C-450°C的炭化稻殼次呈鹼性，稻殼呈弱鹼性。**

表 10 炭化稻殼的 pH 值數據

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
350°C – 450°C	9	9.1	9.1	9	9.1	9.1
550°C – 650°C	9.9	9.9	9.9	9.9	10.0	9.9
700°C – 800°C	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
稻殼	7.1	8	8	8	8	7.82

五、550°C-650°C的炭化稻殼混合沖積土以及紅土

根據文獻資料顯示，熱裂解在 550°C至 650°C具有較高的可溶性物質含量和發達的孔隙結構特性，加上上段的實驗分析，我們選用 **550°C-650°C**的炭化稻殼作為混合土主要土壤成分，混合「紅土、沖積土」種植「作物」後觀察它的電導度、pH 值與氮磷鉀含量。



由表 11 得知，紅土經檢驗後的「氮」含量是 0，「磷」含量是 2，「鉀」含量是 2，電導度平均是 0.096mS/cm，pH 值平均是 4，呈現弱酸性；沖積土的「氮」含量是 0，「磷」含量是 1，「鉀」含量是 3，電導度平均是 0.255mS/cm，pH 值平均是 7.6，呈現微鹼性。

表 11 紅土與沖積土的氮磷鉀含量、電導度、pH 值檢測數據

土壤	氮(N)	磷(P)	鉀(K)	電導度平均	pH 值平均
紅土	0	2	2	0.096	4
沖積土	0	1	3	0.255	7.6

將燒製 550°C-650°C 的炭化稻殼與「紅土、沖積土」依不同比例混合，比例有 1:1、1:2、1:3、1:4、1:5、1:10 共六種，樣本數共 27 項，混土主要以 500ml 的塑膠杯體積進行計算。

表 12 混合炭化稻殼與土壤的步驟

			
收集土壤		混合炭化稻殼與土壤	

六、「稻殼混合土和炭化稻殼混合土」的氮磷鉀含量、電導度及 pH 值測試

1. 稻殼混合土和炭化稻殼混合土「氮磷鉀」檢測

相關資料顯示，當作物處於「碳饑渴」狀態時，微生物繁殖條件差，土壤中大量的氮磷鉀無法被有效利用，進一步加劇土壤板結，形成惡性循環；而當碳元素充足時，土壤的碳氮比（C/N）提高，這使土壤中的微生物獲得良好的繁殖條件。

這次實驗的步驟是：將純水與混土採體積比 5:1，倒入 650ml 的寶特瓶中，搖晃 1 分鐘後靜置一天，取出澄清液，滴入試管後加入檢視膠囊，即可獲得檢驗結果，如表 12 所示。

表 13 混合土的氮磷鉀實驗步驟

					
水：土 5：1	搖晃 1 分鐘	靜置 1 天 等待沉澱	取出澄清液	膠囊加入 澄清液	使用儀器檢 測獲得數據

以下是炭化稻殼混合土和稻殼混合土的氮磷鉀檢測結果，之後會在(七)「混合土的氮磷鉀含量、電導度及 pH 值種植前後差異比較」中加以說明。

表 14 炭化稻殼混合土和稻殼混合土的氮磷鉀

比例	1:1			1:2			1:3			1:4			1:5			1:10		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
炭：沖	0	1	4	0	1	3	0	1	4	0	3	4	0	3	4	0	2	2
稻：沖	0	3	4	0	3	4	0	2	4	0	2	4	0	2	4	0	2	3
炭：紅	1	2	4	0	1	4	0	1	3	0	1	3	0	1	3	0	1	4
稻：紅	0	1	2	0	1	3	0	1	3	0	0	2	0	1	3	0	1	2

2. 稻殼混合土和炭化稻殼混合土「電導度」檢測

電導度對於植物的生長有正向的影響，文獻指出電導度表示「土壤中水溶性鹽類的濃度」。電導度和土壤養分成正比，電導度越高代表土壤中的養分越多，但如果電導度太高(0.75mS/cm)，反而會造成「鹽害」，對植物的生長會有不利的影響(觀樹教育基金會，2012)。

電導度的實驗步驟：將純水與混土採體積比 5：1，倒入 650ml 的寶特瓶中，搖晃 1 分鐘後靜置一天，取出澄清液，使用電導度檢測儀先行校正後進行檢測，每一樣本測量五次。

表 15 混合土的電導度實驗步驟

		
使用校正液進行數據調整	使用紙巾擦拭乾淨	放入澄清液檢測獲得數據

稻殼混合土和炭化稻殼混合土的電導度在實驗後得到的結果顯示如下表 16。

各項混土「土質」電導度前三高(下表底線者)，「炭殼與沖積土」最佳電導度是比例 1:1(0.712mS/cm)。「炭殼與紅土」最佳電導度是比例 1:2(0.729mS/cm)。「稻殼與沖積土」最佳電導度是比例 1:2(0.600mS/cm)。「稻殼與紅土」最佳電導度是比例 1:4(0.216mS/cm)。

各項混土「比例」電導度分析如下(標示紅字者)，電導度比例 1:1 中，炭殼和沖積土的混土電導度是 0.712mS/cm 最佳；比例 1:2 的混土中，炭殼和紅土的電導度是最佳的 0.729mS/cm；比例 1:3 的混土中，稻殼與沖積土的混土電導度最好為 0.581mS/cm；比例 1:4 的混土中，炭殼和沖積土的電導度是最佳的 0.610mS/cm；比例 1:5 的混土中，炭殼與沖積土的混土電導度最好為 0.551mS/cm；最後比例 1:10 的混土中，稻殼與沖積土的混土電導度最好為 0.499mS/cm。

整體而言，電導度前三高的混土分別是「炭殼與紅土比例 1:2(0.729mS/cm)，炭殼與沖積土比例 1:1(0.712mS/cm)，炭殼與沖積土比例 1:4(0.610mS/cm)」。

表 16 炭化稻殼混合土和稻殼混合土的「電導度」結果


mS/cm	1 : 1	1 : 2	1 : 3	1 : 4	1 : 5	1 : 10	對照組
炭：沖	<u>0.712</u>	0.566	0.467	<u>0.610</u>	<u>0.551</u>	0.383	沖積土
稻：沖	<u>0.540</u>	<u>0.600</u>	<u>0.581</u>	0.485	0.450	0.499	0.225
炭：紅	<u>0.575</u>	<u>0.729</u>	0.230	<u>0.284</u>	0.159	<u>0.143</u>	紅土
稻：紅	<u>0.201</u>	<u>0.185</u>	0.166	<u>0.216</u>	0.164	0.176	0.096

3. 炭化稻殼混合土「pH 值」檢測

炭化稻殼經檢測後的 pH 值皆達 7.0 以上，因內含鉀離子，為酸性土壤之良好改良劑，故本次實驗旨在探究將炭化稻殼與紅土、沖積土混合後，檢驗其 pH 值是否有明顯的變化。

pH 值的實驗步驟：將純水與混土採體積比 1：1，倒入 150ml 的塑膠杯中，攪拌 1 分鐘後靜置一天，取出澄清液，使用 pH 值檢測儀先行校正後進行檢測，每一樣本測量三次，如表 17 所示。

表 17 混合土的 pH 值實驗步驟

					
水：土 1：1	攪拌 1 分鐘	靜置 1 天 等待沉澱	取出澄清液	校正數據	使用儀器 檢測 pH 值

在未種植作物前，炭化稻殼混合土與稻殼混合土的 pH 值檢測部分，共混和六種比例，實驗結果如下表 18。

當中以「混土「土質」」分析，pH 值前三高為（下表底線者），炭殼與沖積土最佳的混土比例是 1:1(7.9)；而炭殼與紅土最佳的混土比例是 1:2(7.7)；稻殼與沖積土最佳的混土比例是 1:4(7.9)；稻殼與紅土最佳的混土比例是 1:10(6.2)。

各項「混土「比例」」分析，pH 值分析如下（標示紅字者），在比例 1:1、1:2、1:3、1:4、1:5 與 1:10 中，炭殼與沖積土組成的混土 pH 值都偏弱鹼的，皆高於 7.6，而偏弱酸大多落在稻殼與紅土之混合土，如比例 1:1、1:2、1:3、1:4、1:5、1:10。

總體而言的炭化稻殼的 pH 值最高的是炭殼與沖積土比例 1:1 之混土和稻殼與沖積土的比例 1:5 之混土，數值都是 7.9，最低則是稻殼與紅土比例 1:2 之混土，數值是 5.7。

表 18 炭化稻殼混合土和稻殼混合土的 pH 值

	1：1	1：2	1：3	1：4	1：5	1：10	對照組
炭：沖	<u>7.9</u>	7.7	7.6	<u>7.8</u>	7.7	<u>7.8</u>	沖積土
稻：沖	7.4	7.6	<u>7.7</u>	<u>7.9</u>	<u>7.8</u>	<u>7.7</u>	7.6
炭：紅	<u>7.0</u>	<u>7.7</u>	<u>6.7</u>	<u>6.7</u>	6.6	6.5	紅土
稻：紅	5.9	<u>5.7</u>	5.8	<u>6.1</u>	<u>6.0</u>	<u>6.2</u>	4.0

七、「種植後混合土」的氮磷鉀含量、電導度及 pH 值測試

試圖了解炭化稻殼混合土是否對農作物的生長有影響，我們使用炭化稻殼混合土種植葉菜類農作物，種植三期後，再將種植後的土壤進行「氮磷鉀、電導度及 pH 值測試」。

1. 氮磷鉀

以下是炭化稻殼混合土和稻殼混合土在種植後的氮磷鉀檢測結果，之後會在(七)「混合土在氮磷鉀、電導度及 pH 值種植前後差異比較」中加以說明。

表 19 種植後炭化稻殼混合土和稻殼混合土的氮磷鉀

	1 : 1			1 : 2			1 : 3			1 : 4			1 : 5			1 : 10		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
碳：沖	0	2	4	0	2	4	0	2	4	0	2	4	0	2	4	0	2	4
稻：沖	0	2	3	2	3	4	2	2	4	0	2	3	0	2	3	0	3	4
碳：紅	0	2	4	0	2	4	0	2	4	0	2	4	0	2	4	0	2	4
稻：紅	0	2	2	0	2	3	0	1	3	0	3	3	0	1	3	0	3	2

2. 電導度

當中以「**混土「土質」**」分析，種植後混合土電導度前三高為（下表底線者），「炭殼與沖積土」最佳電導度是比例 1:4(0.637mS/cm)。「炭殼與紅土」最佳電導度是比例 1:10(0.507mS/cm)。「稻殼與沖積土」最佳電導度是比例 1:5(0.700mS/cm)。「稻殼與紅土」最佳電導度是比例 1:5(0.802mS/cm)。

各項「**混土「比例」**」分析，種植後混合土電導度前三高為（標示紅字者），電導度比例 1:1 中，稻殼和沖積土的混土電導度是 0.536mS/cm 最佳；比例 1:2 的混土中，稻殼和紅土的電導度是最佳的 0.579mS/cm；比例 1:3 的混土中，炭殼與沖積土的混土電導度最好為 0.523mS/cm；比例 1:4 的混土中，炭殼和沖積土的電導度是最佳的 0.637mS/cm；比例 1:5 的混土中，稻殼與紅土的混土電導度最好為 0.802mS/cm；最後比例 1:10 的混土中，炭殼與沖積土的混土電導度最好為 0.558mS/cm。

總體而言的種植後混合土的電導度以高至低排序為，「**稻殼與紅土比例 1:5(0.802mS/cm)**」，**稻殼與沖積土比例 1:5(0.700mS/cm)**，**炭殼與沖積土比例 1:4(0.637mS/cm)**」。

表 20 種植後炭化稻殼混合土和稻殼混合土的電導度

	1 : 1	1 : 2	1 : 3	1 : 4	1 : 5	1 : 10
炭：沖	<u>0.530</u>	0.408	0.523	<u>0.637</u>	0.462	<u>0.558</u>
稻：沖	0.536	<u>0.572</u>	0.431	<u>0.636</u>	<u>0.700</u>	0.482
炭：紅	<u>0.496</u>	0.442	<u>0.451</u>	0.436	<u>0.399</u>	<u>0.507</u>
稻：紅	0.407	<u>0.579</u>	0.429	<u>0.483</u>	<u>0.802</u>	0.460

3. pH 值測試

當中以「**混土「土質」**」分析，種植後混合土 pH 值前三高為（下表底線者），炭殼與沖積土最佳的混土比例是 1:5(7.40)，而炭殼與紅土最佳的混土比例是 1:1(7.27)，稻殼與沖積土最佳的混土比例是 1:1(7.73)，稻殼與紅土最佳的混土比例是 1:1(7.00)。

各項「**混土「比例」**」分析，種植後混合土 pH 值前三高為（標示紅字者），在比例 1:1、1:2、1:3、1:4、1:5 與 1:10 中，稻殼與沖積土組成的混土 pH 值都是較高的，皆高於 7.4；炭殼與沖積土組成的混土，數值呈現 7.3 至 7.6，呈現弱鹼性；炭殼與紅土組成的混土，比例 1:1 至 1:3 呈現中性，比例 1:4 至 1:10 呈現弱酸性；而稻殼與紅土組成的混土比例皆偏弱酸，數值在 6.6 至 6.8。

總體而言的**炭化稻殼的 pH 值最高的是稻殼與沖積土比例 1:1**之混土，數值是 7.8，最低則是稻殼與紅土比例 1:4 之混土，數值是 6.6。

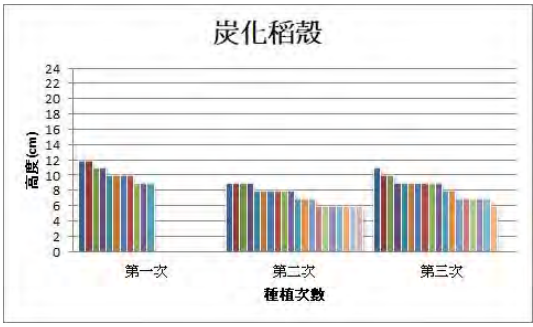
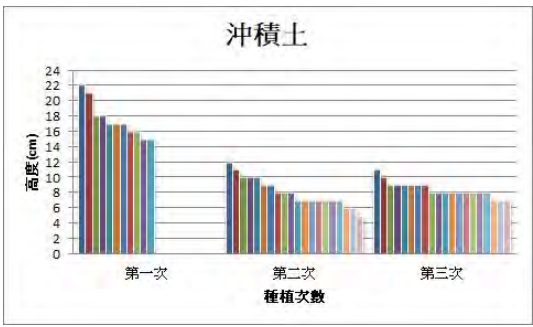
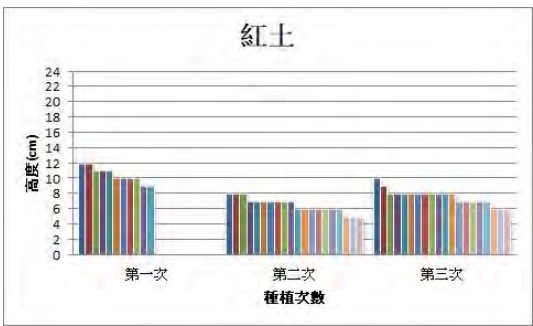
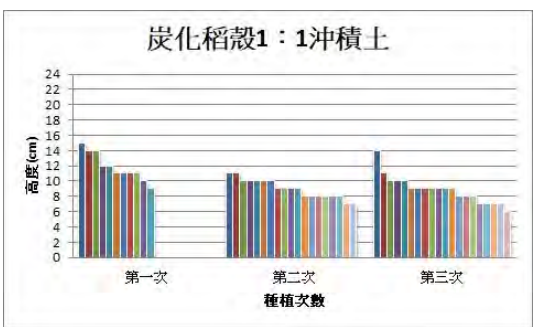
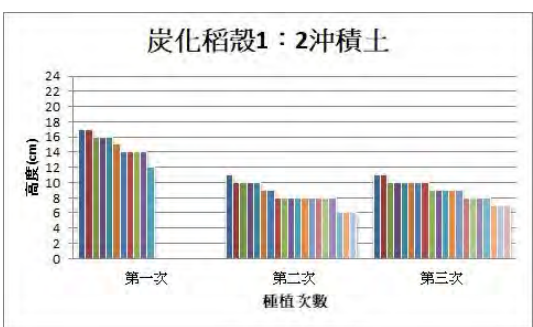
表 21 種植後炭化稻殼混合土和稻殼混合土的 pH 值

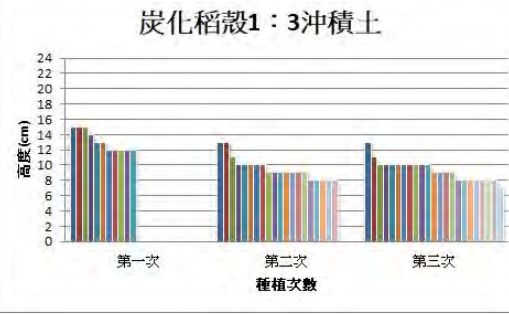
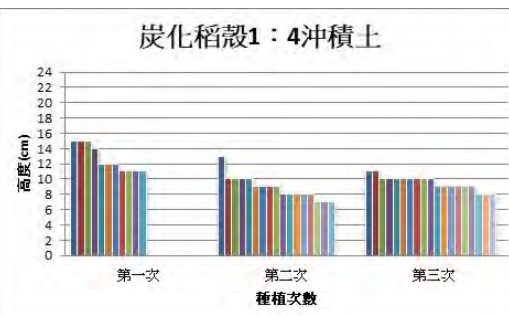
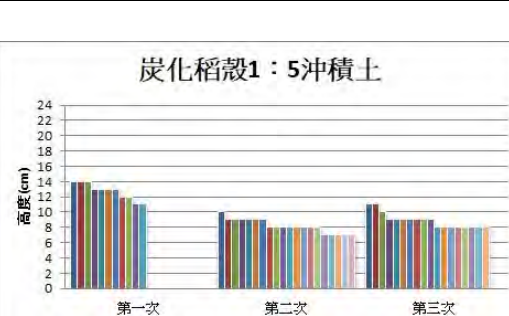

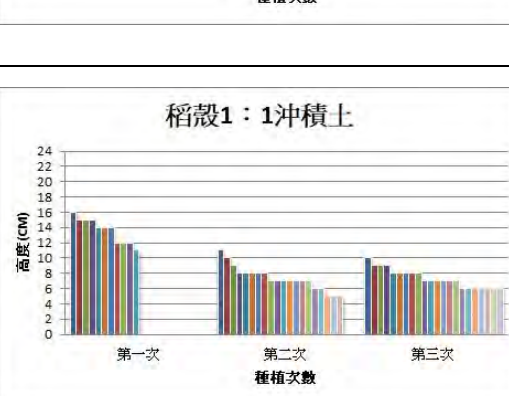
	1 : 1	1 : 2	1 : 3	1 : 4	1 : 5	1 : 10
炭：沖	<u>7.6</u>	<u>7.6</u>	<u>7.6</u>	7.3	<u>7.6</u>	7.5
稻：沖	<u>7.8</u>	7.4	7.5	<u>7.6</u>	<u>7.6</u>	<u>7.6</u>
炭：紅	<u>7.2</u>	<u>7.1</u>	<u>7.0</u>	6.7	6.7	6.7
稻：紅	<u>6.8</u>	<u>6.8</u>	<u>6.8</u>	<u>6.6</u>	6.7	6.7

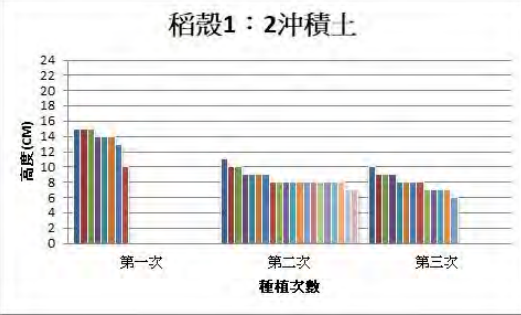
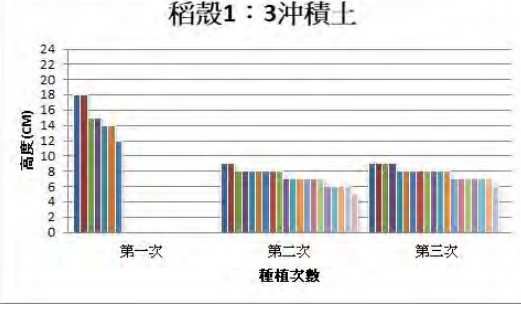
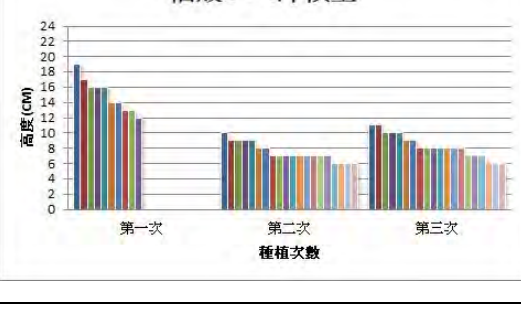
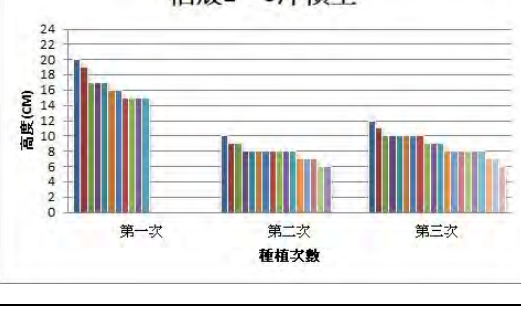
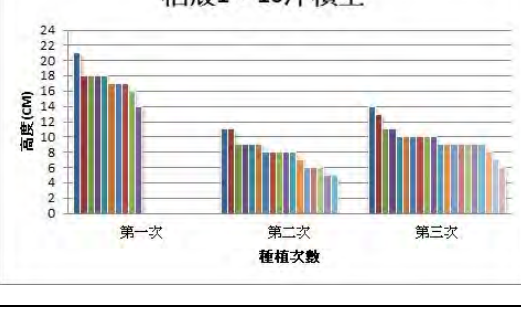
八、種植蔬菜的成果

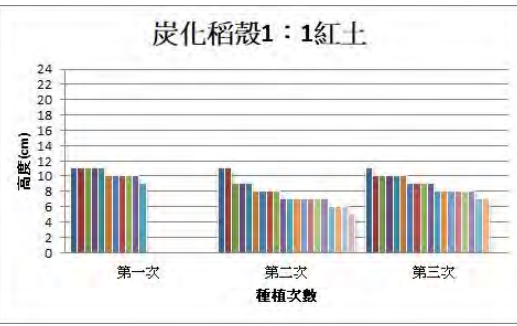
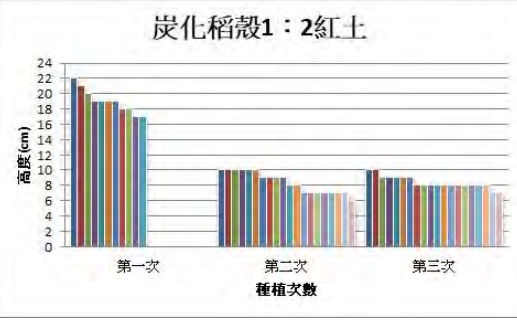
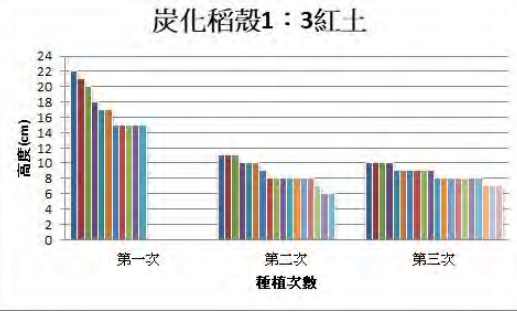
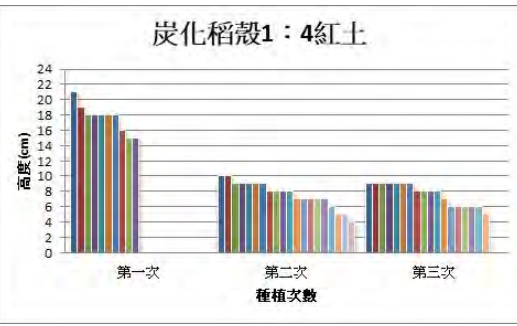
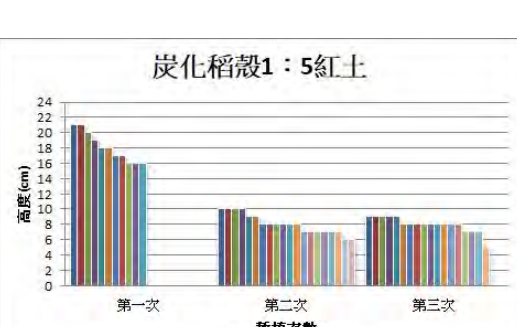
根據實驗我們使用「**炭化稻殼、紅土、沖積土與各比例混土**」進行蔬菜的種植，為測得種植前與種植後的土壤在氮磷鉀、電導度和 pH 值上的差異，共種植三期，得到**收成後的蔬菜生長高度數據**，將數據製成長條圖以利觀察，並加以分析與發現，見下表 22。

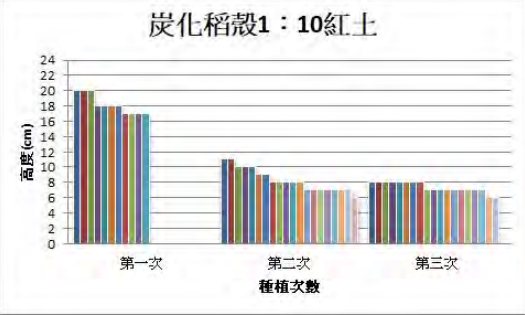
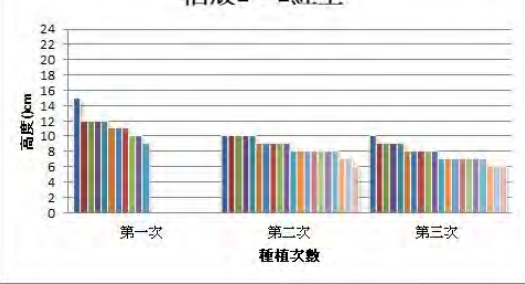
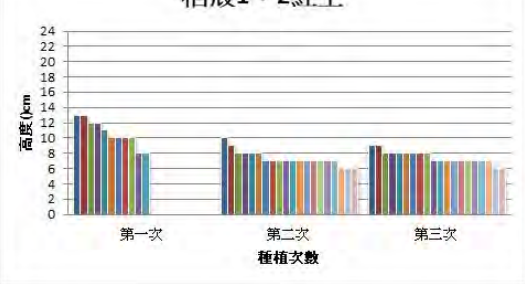
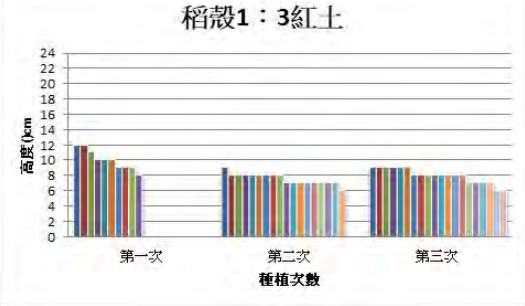
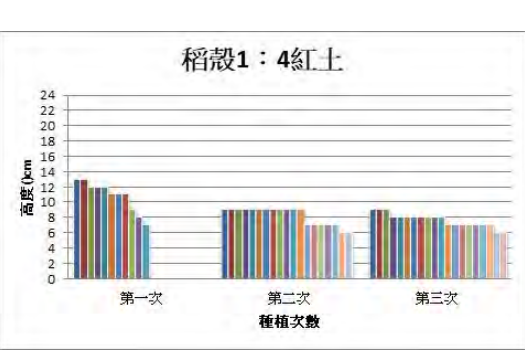
表 22 三期蔬菜的生長高度數據紀錄表

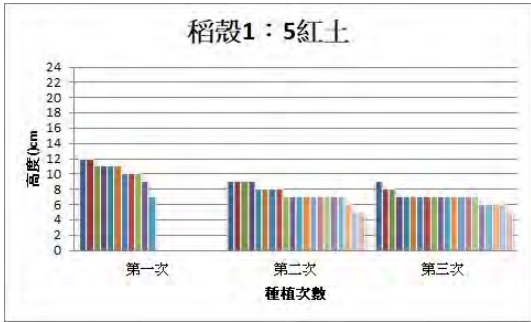
蔬菜生長高度長條圖	實驗分析與發現
<p style="text-align: center;">炭化稻殼</p> 	<p style="text-align: center;">炭化稻殼</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 11 棵作物，作物高度 9 至 12cm，高低相差 3cm，平均高度 10.3cm，高度的眾數是 10cm (4 棵)。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度 6 至 9cm，高低相差 3cm，平均高度 7.4cm，高度的眾數是 6 cm (7 棵)。 第三次共收成 18 棵作物，作物高度 6 至 11cm，高低相差 4cm，平均高度 8.4cm，高度的眾數是 9cm (7 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物最高，這三次的差距僅約 2 至 3cm，差異不大，但作物高度普遍偏低。</p>
<p style="text-align: center;">沖積土</p> 	<p style="text-align: center;">沖積土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共 11 棵作物，作物高度 15 至 22m，高低相差 7cm，平均高度 17.5cm，高度的眾數是 16 與 17cm (3 棵)。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度在 5 至 12cm，高低相差 7cm，平均高度 8cm，高度的眾數是 7cm (7 棵)。 第三次共收成 20 棵作物，作物高度 7 至 11cm，高低相差 4cm，平均高度 8.4cm，高度的眾數是 8cm (9 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次明顯高於其他兩次，第三次的高度差最小，第二次與第三次高度眾數皆是 7、8cm。</p>
<p style="text-align: center;">紅土</p> 	<p style="text-align: center;">紅土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 11 棵作物，作物高度 9 至 12m，高低相差 3cm，平均高度 10.5cm，高度的眾數是 10cm (4 棵)。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度 5 至 8cm，高低相差 3cm，平均高度 6.5cm，高度的眾數是 6 與 7cm (7 棵)。 第三次共收成 20 棵作物，作物高度 6 至 10cm，高低相差 4cm，平均高度 7.6cm，高度的眾數是 8cm (10 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度較高，再者第三次，第二次高度最低。</p>
<p style="text-align: center;">炭化稻殼 1：1 沖積土</p> 	<p style="text-align: center;">炭化稻殼與沖積土比例 1:1 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 11 棵作物，作物高度 9 至 15 公分，高低相差 6 公分，平均高度為 11.8，高度的眾數是 11cm(4 棵)。 第二次共收成 19 棵作物，作物高度 7 至 11 公分，高低相差 4 公分，平均高度為 8.9，高度的眾數是 8cm(6 棵)。 第三次共收成 20 棵作物，作物高度 6 至 14 公分，高低相差 8 公分，平均高度為 8.8，高度的眾數是 9cm(7 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次平均高度最高，第二次與第三次的平均高度相差 0.1cm，第三次差異大。</p>
<p style="text-align: center;">炭化稻殼 1：2 沖積土</p> 	<p style="text-align: center;">炭化稻殼與沖積土比例 1:2 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 11 棵作物，作物高度 12 至 17 cm，高低相差 5 cm，平均高度為 15cm，高度的眾數是 14cm(4 棵)。 第二次共收成 19 棵作物，作物高度 6 至 10 cm，高低相差 4 cm，平均高度為 8.4cm，高度的眾數是 8cm(9 棵)。 第三次共收成 20 棵作物，作物高度在 6 至 11 cm，高低相差 5 cm，平均高度為 9cm，高度的眾數是 10cm(6 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次高度較高(15cm)，第二次分布較為均勻，第二次與第三次分布比第一次集中。</p>

<p style="text-align: center;">炭化稻殼1：3沖積土</p> 	<p style="text-align: center;">炭化稻殼與沖積土比例 1:3 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共 11 棵作物，作物高度 12 至 15 公分，高低相差 3 公分，平均高度為 13.2cm，高度的眾數是 12cm (5 棵)。 第二次共收成 19 棵作物，作物高度 8 至 13 公分，高低相差 5 公分，平均高度為 9.5cm，物高度的眾數是 9cm (7 棵)。 第三次共收成 22 棵作物，作物高度 7 至 13 公分，高低相差 6 公分，平均高度為 9.3cm，高度的眾數是 10cm (9 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度較高，平均高 2 至 3 公分，第三次的生長比第二次好。</p>
<p style="text-align: center;">炭化稻殼1：4沖積土</p> 	<p style="text-align: center;">炭化稻殼與沖積土比例 1:4 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 11 棵作物，作物高度 11 至 15 公分，高低相差 4 公分，平均高度 12.6cm，高度的眾數是 11cm (4 棵)。 第二次共收成 17 棵作物，作物高度在 7 至 13 公分，高低相差 6 公分，平均高度 8.8cm，高度的眾數是 8cm (5 棵)。 第三次共收成 19 棵作物，作物高度 8 至 11 公分，高低相差 3 公分，平均高度 9.5cm，高度的眾數是 10cm (8 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度較高，第二次最低，第三次高度最為平均，第二次相較於其他兩次高度分布較為集中，第三次則差異較大。</p>
<p style="text-align: center;">炭化稻殼1：5沖積土</p> 	<p style="text-align: center;">炭化稻殼與沖積土比例 1:5 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 11 棵作物，作物高度 11 至 15 公分，高低相差 4 公分，平均高度 12.7cm，高度的眾數是 13cm (4 棵)。 第二次共收成 17 棵作物，作物高度 7 至 13 公分，高低相差 6 公分，平均高度 8.2cm，高度的眾數是 8cm (8 棵)。 第三次共收成 19 棵作物，作物高度 8 至 11 公分，高低相差 3 公分，平均高度 8.8cm，高度的眾數是 8cm (8 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度較高，第二次與第三次大多數的植物高度是 8cm，平均也相近，第三次高度分布較為集中。</p>
<p style="text-align: center;">炭化稻殼1：10沖積土</p> 	<p style="text-align: center;">炭化稻殼與沖積土比例 1:10 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 11 棵作物，作物高度 11 至 16 公分，高低相差 5 公分，平均高度 14cm，高度的眾數是 14cm (6 棵)。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度 7 至 10 公分，高低相差 3 公分，平均高度 8.4cm，高度的眾數是 8cm (9 棵)。 第三次共收成 20 棵作物，作物高度 7 至 10 公分，高低相差 3 公分，平均高度 8cm，高度的眾數是 8cm (13 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度高出第二次第三次約 6 公分，第二次與第三次大多數的植物高度是 8cm，第三次高度分布較為集中。</p>
<p style="text-align: center;">稻殼1：1沖積土</p> 	<p style="text-align: center;">稻殼與沖積土比例 1:1 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共 11 棵作物，作物高度 11 至 16cm，高低相差 5cm，平均高度 13.6cm，高度的眾數是 12、14 與 15cm (3 棵)。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度在 5 至 11cm，高低相差 6cm，平均高度 7.3cm，作物高度的眾數是 7cm (7 棵)。 第三次共收成 22 棵作物，作物高度在 6 至 10cm，高低相差 4cm，平均高度 7.3cm，作物高度的眾數是 6cm (7 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度最高，眾數是 12、14、15cm，第二次、第三次與第一次相差約 6 公分。</p>

<p style="text-align: center;">稻殼1：2沖積土</p> 	<p style="text-align: center;">稻殼與沖積土比例 1:2 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 8 棵作物，作物高度 10 至 15cm，高低相差 5cm，平均高度 13.8cm，高度的眾數是 14 與 15cm (3 棵)。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度在 7 至 11cm，高低相差 4cm，平均高度 8.5cm，高度的眾數是 8cm (11 棵)。 第三次共收成 13 棵作物，作物高度 6 至 10cm，高低相差 4cm，平均高度 7.9cm，高度的眾數是 5 與 8cm (4 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物平均高度最高，但高度差異也最大，第二次與第三次眾數皆是 8cm，與第一次相差約 8 公分。</p>
<p style="text-align: center;">稻殼1：3沖積土</p> 	<p style="text-align: center;">稻殼與沖積土比例 1:3 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共 7 棵作物，作物高度 12 至 18cm，高低相差 6cm，平均高度 15.1cm，高度的眾數是 14、15 與 18cm (2 棵)。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度 5 至 9cm，高低相差 4cm，平均高度 7.3cm，高度的眾數是 8cm (7 棵)。 第三次共收成 19 棵作物，作物高度 7 至 9cm，高低相差 2cm，平均高度 7.8cm，高度的眾數是 8cm (8 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度最高，但高度差距較大，第二次與第三次平均高度相近，眾數也相同，高度大約集中在 6 至 10cm 之間。</p>
<p style="text-align: center;">稻殼1：4沖積土</p> 	<p style="text-align: center;">稻殼與沖積土比例 1:4 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 10 棵作物，作物高度 12 至 19cm，高低相差 7cm，平均高度 15cm，高度的眾數是 16 cm (3 棵)。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度 6 至 10cm，高低相差 4cm，平均高度 7.5cm，高度的眾數是 7cm (9 棵)。 第三次共收成 20 棵作物，作物高度 6 至 11cm，高低相差 5cm，平均高度 8.3cm，高度的眾數是 8cm (7 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度最高，但高度落差較大，第二次與第三次較為均勻。</p>
<p style="text-align: center;">稻殼1：5沖積土</p> 	<p style="text-align: center;">稻殼與沖積土比例 1:5 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 11 棵作物，作物高度 15 至 20cm，高低相差 5cm，平均高度 16.5cm，高度的眾數是 15 cm (4 棵)。 第二次共收成 16 棵作物，作物高度 6 至 10cm，高低相差 4cm，平均高度 7.8cm，高度的眾數是 8cm (8 棵)。 第三次共收成 20 棵作物，作物高度 6 至 12cm，高低相差 6cm，平均高度 8.9cm，高度的眾數是 8cm (8 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度最高，第二次的高度較為集中，與第三次的高度眾數相同。</p>
<p style="text-align: center;">稻殼1：10沖積土</p> 	<p style="text-align: center;">稻殼與沖積土比例 1:10 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 10 棵作物，作物高度 14 至 21cm，高低相差 7cm，平均高度 17.4cm，高度的眾數是 18 cm (4 棵)。 第二次共收成 17 棵作物，作物高度 5 至 11cm，高低相差 6cm，平均高度 7.8cm，高度的眾數是 8cm (5 棵)。 第三次共收成 20 棵作物，作物高度 6 至 14cm，高低相差 8cm，平均高度 9.7cm，高度的眾數是 9cm (7 棵)。 <p>➤ 實驗發現，以高度而言，第一次收成之作物高度最高，平均高過第二次約 10cm，第三次最高高度差異最大</p>

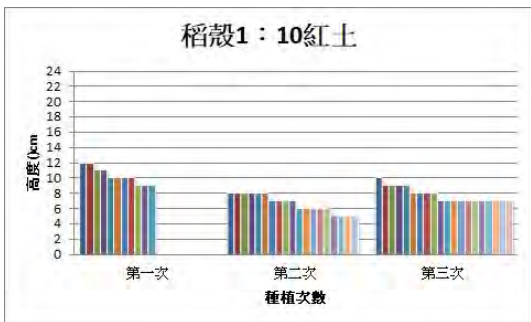
<p style="text-align: center;">炭化稻殼1:1紅土</p> 	<p style="text-align: center;">炭化稻殼與紅土比例 1:1 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共 11 棵作物，作物高度 9 至 11cm，高低相差 2cm，平均高度 10.4cm，高度的眾數是 10 和 11cm（各 5 棵）。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度 5 至 11cm，高低相差 6cm，平均高度 7.7cm，高度的眾數是 7cm（7 棵）。 第三次共收成 18 棵作物，作物高度 7 至 11cm，高低相差 4cm，平均高度 8.8cm，高度的眾數是 8cm（6 棵）。 <p>➤ 實驗發現，三次收成最高達 11cm，第一次收成平均高度較高，第二次高度差異較大，第一次高度分布較為集中。</p>
<p style="text-align: center;">炭化稻殼1:2紅土</p> 	<p style="text-align: center;">炭化稻殼與紅土比例 1:2 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 11 棵作物，作物高度 17 至 22cm，高低相差 5cm，平均高度 19cm，高度的眾數是 19cm（4 棵）。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度 6 至 10cm，高低相差 4cm，平均高度 8.35cm，高度的眾數是 7cm（7 棵）。 第三次共收成 20 棵作物，作物高度 7 至 10cm，高低相差 3cm，平均高度 8.35cm，高度的眾數是 8cm（11 棵）。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度最高(19 公分)，第二次與第三次大多數的植物高度是 6 至 10cm 分布集中。</p>
<p style="text-align: center;">炭化稻殼1:3紅土</p> 	<p style="text-align: center;">炭化稻殼與紅土比例 1:3 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 11 棵作物，作物高度 15 至 22cm，高低相差 7cm，平均高度 17.3cm，高度的眾數是 15cm（5 棵）。 第二次共收成 17 棵作物，作物 6 至 10cm，高低相差 4cm，平均高度 8.6，作物高度的眾數是 8cm（7 棵）。 第三次共收成 20 棵作物，作物高度 7 至 10cm，高低相差 3cm，平均高度 8.6cm，高度的眾數是 8cm（7 棵）。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度最高平均 17.3 公分，但高度差距大，第二次與第三次與第一次有明顯的落差。</p>
<p style="text-align: center;">炭化稻殼1:4紅土</p> 	<p style="text-align: center;">炭化稻殼與紅土比例 1:4 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 10 棵作物，作物高度 15 至 21cm，高低相差 6cm，平均高度 17.6cm，高度的眾數是 18cm（4 棵）。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度 4 至 10cm，高低相差 6cm，平均高度 7.6cm，高度的眾數是 7 與 9cm（5 棵）。 第三次共收成 18 棵作物，作物高度在 5 至 9cm，高低相差 4cm，平均高度 7.6cm，高度的眾數是 9cm（6 棵）。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度最高，平均高度 17.6cm，第二次與第三次平均高度相同，但第二次高度差較大。</p>
<p style="text-align: center;">炭化稻殼1:5紅土</p> 	<p style="text-align: center;">炭化稻殼與紅土比例 1:5 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 11 棵作物，作物高度 16 至 21cm，高低相差 5cm，平均高度 18cm，高度的眾數是 16cm（3 棵）。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度 6 至 10cm，高低相差 4cm，平均高度 8cm，高度的眾數是 7 與 8cm（6 棵）。 第三次共收成 18 棵作物，作物高度 5 至 9cm，高低相差 4cm，平均高度 7.9cm，高度的眾數是 9cm（9 棵）。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度最高，但高度差距較大，第二次與第三次平均高度相近，高度大約集中在 6 至 10cm。</p>

<p style="text-align: center;">炭化稻殼1：10紅土</p> 	<p style="text-align: center;">炭化稻殼與紅土比例 1:10 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共 11 棵作物，作物高度 17 至 20cm，高低相差 3cm，平均高度 18.2cm，高度的眾數是 17 與 18cm (4 棵)。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度 6 至 11cm，高低相差 5cm，平均高度 8.25cm，高度的眾數是 7 cm (7 棵)。 第三次共收成 19 棵作物，作物高度在 6 至 8cm，高低相差 2cm，平均高度 7.3cm，作物高度的眾數是 7cm (9 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度最高，眾數是 17、18cm，第二次與第三次高度眾數相同，與第一次相差約 10 公分。</p>
<p style="text-align: center;">稻殼1：1紅土</p> 	<p style="text-align: center;">稻殼與紅土比例 1:1 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 11 棵作物，作物高度 10 至 15cm，高低相差 5cm，平均高度 11.4cm，高度的眾數是 12 cm (4 棵)。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度 6 至 10cm，高低相差 4cm，平均高度 8.4cm，作物高度的眾數是 8cm (7 棵)。 第三次共收成 20 棵作物，作物高度 6 至 10cm，高低相差 4cm，平均高度 7.7cm，高度的眾數是 7cm (7 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度最高，第二次與第三次的眾數的差距 1cm，高低差相同。</p>
<p style="text-align: center;">稻殼1：2紅土</p> 	<p style="text-align: center;">稻殼與紅土比例 1:2 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 11 棵作物，作物高度 8 至 13cm，高低相差 5cm，平均高度 11.4cm，高度的眾數是 12 cm (4 棵)。 第二次共收成 20 棵作物，作物高度 6 至 10cm，高低相差 4cm，平均高度 8.4cm，高度的眾數是 8cm (7 棵)。 第三次共收成 20 棵作物，作物高度在 6 至 9cm，高低相差 3cm，平均高度 7.7cm，作物高度的眾數是 7cm (7 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度最高，但較高度差異大，第二次與第三次高度較集中，約在 6 至 10 公分間。</p>
<p style="text-align: center;">稻殼1：3紅土</p> 	<p style="text-align: center;">稻殼與紅土比例 1:3 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 10 棵作物，作物高度 8 至 12cm，高低相差 4cm，平均高度 10cm，高度的眾數是 9 與 10 cm (3 棵)。 第二次共收成 18 棵作物，作物高度 6 至 9cm，高低相差 3m，平均高度 7.5cm，高度的眾數是 7 與 8cm (8 棵)。 第三次共收成 20 棵作物，作物高度在 6 至 9cm，高低相差 3cm，平均高度 7.9cm，高度的眾數是 8cm (8 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度最高，高於其他二次約 2cm，但較高度差異大，第二次與第三次高度較集中，眾數皆是 8cm。</p>
<p style="text-align: center;">稻殼1：4紅土</p> 	<p style="text-align: center;">稻殼與紅土比例 1:4 之混土</p> <ol style="list-style-type: none"> 第一次共收成 11 棵作物，作物高度分布在 7 至 13cm，高低相差 6cm，平均高度 10.8cm，作物高度的眾數是 11 與 12 cm (3 棵)。 第二次共收成 19 棵作物，作物高度在 6 至 9cm，高低相差 3m，平均高度 7.7cm，作物高度的眾數是 8cm (8 棵)。 第三次共收成 20 棵作物，作物高度在 6 至 9cm，高低相差 3cm，平均高度 7.6cm，作物高度的眾數是 8cm (8 棵)。 <p>➤ 實驗發現，第一次收成之作物高度最高，但高度差異較大，第二次與第三次高度較集中，眾數皆是 8cm。</p>



稻殼與紅土比例 1:5 之混土

1. 第一次共收成 11 棵作物，作物高度分布在 9 至 12cm，**高低相差 3cm**，**平均高度 10.4cm**，作物高度的**眾數是 11cm** (4 棵)。
 2. 第二次共收成 20 棵作物，作物高度在 5 至 9cm，**高低相差 4cm**，**平均高度 7.4cm**，作物高度的**眾數是 7cm** (9 棵)。
 3. 第三次共收成 20 棵作物，作物高度在 5 至 9cm，**高低相差 4cm**，**平均高度 6.9cm**，作物高度的**眾數是 7cm** (12 棵)。
- 實驗發現，第一次收成之作物高度最高，但高度差異較大，高於其他二次約 2cm，第二次與第三次成長數據大致相同。



稻殼與紅土比例 1:10 之混土

1. 第一次共收成 11 棵作物，作物高度分布在 9 至 12cm，**高低相差 3cm**，**平均高度 10.3cm**，作物高度的**眾數是 10cm** (4 棵)。
 2. 第二次共收成 19 棵作物，作物高度在 5 至 8cm，**高低相差 3cm**，**平均高度 6.6cm**，作物高度的**眾數是 8cm** (6 棵)。
 3. 第三次共收成 20 棵作物，作物高度分布在 7 至 10cm，**高低相差 3cm**，**平均高度 7.8cm**，作物高度的**眾數是 7cm** (11 棵)。
- 實驗發現，第一次收成之作物高度最高，再者是第三次，第二次最低，且高度差異較大。

九、混和土在氮磷鉀、電導度及 pH 值種植前後差異比較

為更全面了解種植前後各混合土是否有差異，我們進行氮磷鉀、電導度及 pH 值的比較，並和上段蔬菜生長長條圖進行交叉比對，以下是實驗結果的比較與發現。

炭化稻殼與沖積土混土種植前後各項數據的變化。在氮的部分，種植前後數值都是 0；在磷的部分，1:1 從 1 上升至 2，1:2、1:3、1:10 皆維持原樣，而 1:4、1:5 從 3 下降至 2；在鉀的部分，1:1、1:3、1:4、1:5 維持在 4，1:2 從 3 上升至 4，1:10 從 2 上升至 4；在電導度的部分，1:1、1:2、1:5 電導度是下降的，1:3、1:4、1:10 是上升的；在 pH 值的部分，全數皆下降，維持在 7.0 至 8.0 之間，呈弱鹼性。

而表 23 呈現炭化稻殼與沖積土混土的種植前後分析比較，與前項「種植蔬菜的成果」進行比對，比例 1:2 與 1:3 的種植效果最佳，此結果與前作「黃金變黑金—炭化稻殼對農作的成效」呈現相同的結果，在特定比例中，炭化稻殼可以使農作物的生長達到較佳的成效。

表 23 炭化稻殼與沖積土混土的種植前後氮磷鉀、電導度、pH 值比較表

比例	種植前					種植後				
	N	P	K	電導度	pH 值	N	P	K	電導度	pH 值
炭 1:1 沖	0	1	4	0.712	7.9	0	2	4	0.530	7.6
炭 1:2 沖	0	2	3	0.566	7.7	0	2	4	0.408	7.6
炭 1:3 沖	0	2	4	0.467	7.6	0	2	4	0.523	7.6
炭 1:4 沖	0	3	4	0.610	7.8	0	2	4	0.637	7.3
炭 1:5 沖	0	3	4	0.551	7.7	0	2	4	0.462	7.6
炭 1:10 沖	0	2	2	0.383	7.8	0	2	4	0.558	7.5
沖積土	0	1	3	0.255	7.6	0	3	4	0.398	7.6

註：著色處為數值上升之數據。

稻殼與沖積土混土在種植前後各數據的變化：在氮的部分，原本在種植前的數值都是 0，種植後發現 1:1、1:2、1:3 上升至 2；在磷的部分，1:1 從 3 下降至 2，1:2、1:3、1:4、1:5 維持原樣，而 1:10 從 2 上升至 3；在鉀的部分，1:1、1:2、1:3 維持在 4，1:4、1:5 從 4 下降至 3，1:10 從 2 上升至 4；在電導度的部分，1:1、1:2、1:3 與 1:10 電導度是下降的，1:4、1:5 是上升的；在 pH 值的部分，維持在 7.0 至 8.0 之間，呈微鹼性。

再與前項「種植蔬菜的成果」進行比對，稻殼與沖積土混土中以比例 1:10 的種植最佳，電導度與 pH 值在種植前後的變化也比較小，相較於其他比例來說，相對穩定。

表 24 稻殼與沖積土混土的種植前後氮磷鉀、電導度、pH 值比較表

比例	種植前					種植後				
	N	P	K	電導度	pH 值	N	P	K	電導度	pH 值
稻 1 : 1 沖	0	3	4	0.540	7.4	2	2	4	0.536	7.8
稻 1 : 2 沖	0	3	4	0.600	7.6	2	3	4	0.572	7.4
稻 1 : 3 沖	0	2	4	0.581	7.7	2	2	4	0.431	7.5
稻 1 : 4 沖	0	2	4	0.485	7.9	0	2	3	0.636	7.6
稻 1 : 5 沖	0	2	4	0.450	7.8	0	2	3	0.700	7.6
稻 1 : 10 沖	0	2	3	0.499	7.7	0	3	4	0.482	7.6
沖積土	0	1	3	0.255	7.6	0	3	4	0.398	7.6

註：著色處為數值上升之數據。

炭化稻殼與紅土混土種植前與種植後各項數據的變化；在氮的部分，1:1 從 1 下降至 0，其餘比例種植前後數值都是 0；在磷的部分，1:2、1:3、1:5、1:10 從 1 上升至 2，1:1 維持原樣 2；在鉀的部分，1:3、1:4、1:5 從 3 上升至 4，1:1、1:2、1:10 其餘皆維持 4；在電導度的部分，1:1、1:2 下降，其餘比例混土電導度上升；在 pH 值的部分，1:4 維持原樣，其餘皆上升，數值在 6.5 至 7.2 之間，偏弱酸性。

從表 25 比較炭化稻殼與紅土混土在種植前後的分析結果，並與前項「種植蔬菜的成果」進行比對，種植效果以比例 1 : 3 最佳，種植前後的電導度與 pH 值和稻殼與紅土混土一樣差異很大，但以全部的樣本來比較，使用炭化稻殼的確比使用稻殼的效果還要好。

表 25 炭化稻殼與紅土混土的種植前後氮磷鉀、電導度、pH 值比較表

比例	種植前					種植後				
	N	P	K	電導度	pH 值	N	P	K	電導度	pH 值
炭 1 : 1 紅	1	2	4	0.575	7.0	0	2	4	0.496	7.2
炭 1 : 2 紅	0	1	4	0.729	7.0	0	2	4	0.442	7.1
炭 1 : 3 紅	0	1	3	0.230	6.7	0	2	4	0.451	7.0
炭 1 : 4 紅	0	1	3	0.284	6.7	0	2	4	0.436	6.7
炭 1 : 5 紅	0	1	3	0.159	6.6	0	2	4	0.399	6.7
炭 1 : 10 紅	0	1	4	0.143	6.5	0	2	4	0.507	6.7
紅土	0	2	2	0.096	4.0	0	2	4	0.348	6.4

註：著色處為數值上升之數據。

稻殼與紅土混土種植前與種植後各項數據的變化。在氮的部分，種植前後數值都是 0；在磷的部分，1:1、1:2 從 1 上升至 2，1:4 從 0 上升至 3，1:10 從 1 上升至 3，其餘皆維持原樣；在鉀的部分，1:4 從 2 上升至 3，其餘皆維持原樣；在電導度的部分，全數上升；在 pH 值的部分，全數皆上升，數值在 5.8 至 6.8 之間，偏弱酸性。

再來比較稻殼與紅土混土在種植前後的分析結果，並與前項「種植蔬菜的成果」進行比對，從表 26 可以看到比例 1：1 的收成效果最佳。但整體來看，稻殼與紅土混土在種植前後的電導度與 pH 值的差距較多，所以跟其他混土的收成結果比較，稻殼與紅土混土的種植效果是四個樣本數中最差的。

表 26 稻殼與紅土混土的種植前後氮磷鉀、電導度、pH 值比較表

比例	種植前					種植後				
	N	P	K	電導度	pH 值	N	P	K	電導度	pH 值
稻 1：1 紅	0	1	2	0.201	5.9	0	2	2	0.407	6.8
稻 1：2 紅	0	1	3	0.185	5.7	0	2	3	0.579	6.8
稻 1：3 紅	0	1	3	0.166	5.8	0	1	3	0.429	6.7
稻 1：4 紅	0	0	2	0.216	6.1	0	3	3	0.483	6.6
稻 1：5 紅	0	1	3	0.164	6.0	0	1	3	0.802	6.7
稻 1：10 紅	0	1	2	0.176	6.2	0	3	2	0.460	6.7
紅土	0	2	2	0.096	4.0	0	2	4	0.348	6.4

註：著色處為數值上升之數據。

陸、 討論

一、 自組式火箭爐燒製不同溫度的炭化稻殼

使用傳統燒製稻殼的方式，失敗率較高且耗時費力，經過多次改良，設計出自組式「火箭爐」，利用煙囪效應造成爐內氣流流動，提升爐內溫度，並控制木炭的重量及燒製的時間後，可以有效將燒製的溫度控制在 350°C-450°C、550°C-650°C、700°C-800°C 之間，達到省時、量多、炭化完成度高的最大效益。

二、 不同溫度燒製的炭化稻殼特性

研究發現 350°C-450°C 的炭化稻殼可保持原本的稻殼形狀，且灰份約佔 2.6%；550°C-650°C 的炭化稻殼，外觀會呈現龜裂狀，放大檢視後可清晰地看出深刻的裂痕，灰份量最少，約佔 2.3%；700°C-800°C 的炭化稻殼，外觀呈現乾癟，且灰份程度較高，佔 3.1%。

350°C-450°C、550°C-650°C、700°C-800°C 的氮是 0，磷是 2，鉀是 4，炭化稻殼富有豐富的鉀，與文獻相呼應（黃明堂，2016），因為在熱裂解過程，氮會先消失，留下磷和鉀；電導度的部分則是發現炭化的「溫度越高，電導度越高」呈正相關；pH 值的部分 350°C-450°C 為 9.1，呈現弱鹼性；550°C-650°C 為 9.9，700°C-800°C 為 10.1，皆呈現強鹼性。

綜合以上結果，在燒製不同溫度時，氮磷鉀的數據差異不大，但灰份、電導度與 pH 值的部分，溫度越高所呈現的各項數據也會變高。而且使用自組式火箭爐最適合燒製出的溫度式 550°C-650°C，灰份程度最少，電導度適合種植。

三、 不同比例混土的特性

氮磷鉀的部分在混土時進行檢測，發現氮在混合土檢測出的數值大多是 0，顯示即使摻入炭化稻殼也無法改變土質中氮的成分的濃度；磷本身就是土壤中的成分，檢測出的變化較多，也發現磷並不會依據炭化稻殼的多寡而有所變化；炭化稻殼主要影響的是元素是「鉀」多寡，加入炭化稻殼的混土中，鉀的數據大多顯示充足或過多的狀況，反之加入稻殼的混合土多顯示尚可或充足，且從整體數據看來，土質是「紅土」比較缺乏鉀元素，更需要加入炭化稻殼；以炭化稻殼與稻殼混土比較下，發現前者的電導度較高，以土壤成分而言，沖積土的電導度高於紅土，整體而言炭殼加沖積土的電導度是最高的，稻殼加紅土的電導度是最低的；pH 值檢測發現紅土偏酸性，沖積土偏中性，所以在加入炭化稻殼後紅土有顯著的酸鹼中和效果。

四、 種植後混土的特性

種植後氮的部分多為 0，磷的成分多為 2，鉀的部分多為 4，只有**稻紅混土與種植前差異不大**；電導度的部分，沖積土混土大多下降，紅土混土大多上升；pH 值的部分**沖積土混土多呈現中性 7.4 至 7.8 之間，紅土混土落在 6.7 至 7.2 之間**，pH 值較種植前高。

五、 植栽後的成果

統合 27 個樣本，共種植三期之結果得知，**第一期的成果皆比後兩期佳**，後與專家討論後得知，**550°C-650°C的炭化稻殼因孔隙大，可以吸附土壤中的養分及其他物質**，所以第一期作物會長得比後兩期高大，而後兩期因土壤養分被炭化稻殼吸附，造成生長短小。

柒、 結論

綜合以上實驗結果，使用**自組式火箭爐燒製炭化稻殼的效率最好**，且當炭化稻殼以 **550°C-650°C 燒製時得到的效果最佳**，可以達到**省時、省力**的最大效益。火箭爐的設計在炭化稻殼的推廣上是一大助力，協助農民減少農業廢棄物的堆積，達到永續農業的目標。

此外，從實驗的 27 個土壤樣本所呈現之成果也可以發現，如果土壤缺鉀，可以**使用炭化稻殼增加土壤中的鉀含量**，其中以**炭化稻殼與紅土的 6 種比例混合土**，在鉀含量的部分，皆有明顯的上升，實驗證實**炭化稻殼確實改善紅土缺鉀的問題**。

文獻顯示土壤電導度適合種植的範圍在 0.26~0.6mS/cm，作物成長最佳的**炭殼沖積土比例 1：2**的電導度數據，種植前是 0.566 mS/cm，種植後是 0.408 mS/cm，皆在此範圍內，實驗結果與實驗相符。

炭化稻殼可以改善紅土的 pH 值，將**弱酸性的紅土進行酸鹼中和**，以實驗結果來看，**炭化稻殼與紅土的混土比例中，以比例 1：3 的效果最佳**，混土之 pH 值呈現中性，作物成長最佳的。

炭化稻殼混土的蔬菜成長效果均比稻殼混土佳，而炭化稻殼混土中以**炭殼沖積土比例 1：2 種植出來的成果最佳**，且**炭化稻殼也能改善紅土的 pH 值、增加紅土中的鉀含量**，讓在紅土種植的蔬菜可以成長的更好。

這次將「炭化稻殼」進行更深入的探討，利用儀器檢測得到元素相關數據，並實際種植進行實驗分析，期待本次的研究可以促進炭化稻殼的推廣，並達到更有效的生態循環。

捌、參考資料

- 一、中興大學農業暨自然資源學院土壤調查試驗中心。土壤鹽害診斷方法。取自
<https://goo.gl/kjXuCX>
- 二、李學一等(2008)。化腐朽為黑金－廚餘堆肥。中華民國第48屆中小學科學展覽會國小生活與應用科學科，國立台灣科學教育館，台北。
- 三、楊宛昀等(2016)。黃金變黑金－碳化稻殼對農作的效益。中華民國第57屆中小學科學展覽會國小生活與應用科學科，國立台灣科學教育館，台北。
- 四、材料世界網(2015)。生物炭開發與土壤改良應用：廢棄稻殼再利用。取自：
<https://goo.gl/fkwP4J>。
- 五、青山貿易農業事業部。青山碳化稻殼。取自：<https://goo.gl/3g4sJ4>。
- 六、陳香如、張繼中、巫中安、陳政鴻(2018)。批次式炭化爐生產之炭化稻殼及其應用於稻米生長之影響。取自：<https://goo.gl/2iwBvz>。
- 七、黃明堂(2016)。台東農改場：炭化稻殼 省肥抗病。自由時報。取自：<https://goo.gl/aZ8UfL>。
- 八、葉綠舒(2015)。生物炭(Biochar)：改良土壤新方法？。取自：<https://goo.gl/ReGXa4>。
- 九、廖勁穎、張繼中、黃文益。炭化稻殼在水稻有機栽培上的應用。台東區農業專訊。87，8-10。
- 十、潘子祁(2016)。稻草這樣燒就對了 生物炭減大氣碳。農學堂。取自：<https://goo.gl/sWd1CK>。
- 十一、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。農業生技產物季刊。第46期，24-28。
- 十二、蔣珮伊、趙敏、黃世澤、柯皓翔(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://goo.gl/i7fDG5>。
- 十三、趙敏、黃世澤(2016)。粗糠變身黑珍寶：附掛式稻殼連續炭化裝置，烘穀兼燒炭。農傳媒。取自：<https://goo.gl/QuYp3n>。
- 十四、陳建志(2013)。施生物炭肥可改良酸化土壤提高果實品質。取自：
<https://goo.gl/AayzY7>。
- 十五、林桂英等(2017)。熱解溫度對稻麥生物炭特性的影響。取自：<https://goo.gl/N1vo2n>。

【評語】 080219

此件極具鄉土性，並能透過系統性收集數據及分析。實驗結果具有再現性，足供有興趣者參考，相關實驗數據分析，如果可以以圖的方式呈現會更容易看出趨勢、實驗描述與小結論並行容易讀。另，炭化稻殼對土壤改善上，除本研究所列之項目外，是否有其他隱含之其他效能，可為未來進一步研究構思與方向建議。

壹、研究動機

碳化稻殼在農作上有顯著的影響，但是什麼因素讓炭殼可以改善土壤，讓農作物生長更好？我們搜尋資料後，「**使用碳化稻殼加入不同的土壤中**」進行農作物種植，並探討土壤成分的變化，與農作物生長的關係為何？本研究將深入一探究竟，了解碳化稻殼的秘密。

貳、研究目的與研究問題

一、燒出**最有效**的碳化稻殼方法

- (一) 悶燒爐(鐵桶、金爐、火箭爐)的選擇與試驗
- (二) 火箭爐悶燒的條件控制

二、分析及探討**碳化稻殼**的特性。

- (一) 如何燒製**不同溫度**的碳化稻殼？
- (二) 探討不同溫度燒製成的碳化稻殼特性(氮磷鉀、電導度、pH值)？

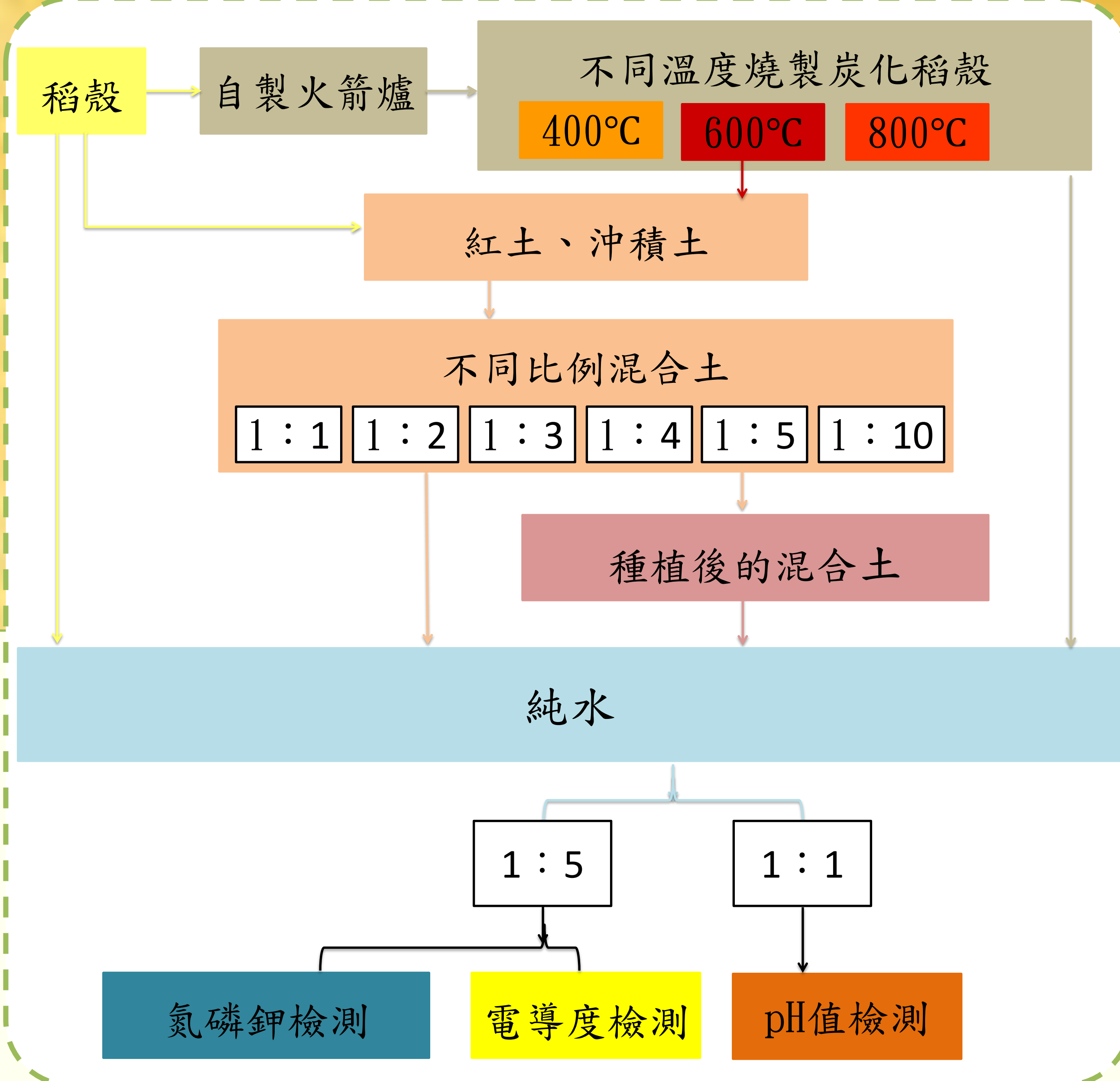
三、找出**紅土與沖積土**和**碳化稻殼**混合的**黃金比例**

- (一) 探討不同比例混合土的特性(氮磷鉀、電導度、pH值)？
- (二) 探討**種植後**不同比例混合土的特性(氮磷鉀、電導度、pH值)？
- (三) **農作物生長**狀況為何？
- (四) 探討**種植前後**不同比例混合土特性**差異**？

參、研究流程

本研究利用**自製火箭爐**以不同溫度燒製出**碳化稻殼**，分析不同溫度燒製出來的**碳化稻殼**有何差異。

將**碳化稻殼**與**紅土、沖積土**進行不同比例的**混土**，觀察作物的生長，找出最佳的種植比例，並分析不同比例混土之間有何差異。



肆、研究設備及器材

利用**鐵桶、金爐、火箭爐**燒製**碳化稻殼**，燒製期間用「**熱感應溫度計**」測量**碳化稻殼**的溫度，使用「**紅土、沖積土**」，穴盆種植農作，種植完成後並利用各式器材**測量土質氮磷鉀、電導度、pH值**之變化。

燒製碳化稻殼的設備及器材表

稻殼	汽油鐵桶	金爐	自製火箭爐	熱感應溫度計
----	------	----	-------	--------

種植農作物的設備及器材表

紅土	沖積土	培養土	青江菜種子	電子秤
----	-----	-----	-------	-----

測量混合土值變化的設備及器材表

50ml燒杯	250ml燒杯	500ml燒杯	150ml塑膠杯	500ml塑膠杯
純水	氮磷鉀檢測膠囊	氮磷鉀檢測儀	電導度檢測儀	pH檢測儀

伍、研究過程與結果

【本實驗的過程分成以下「九個部分」進行】

一、使用火箭爐燒製**400°C、600°C、800°C**的**碳化稻殼**

燒製成功的「**碳化稻殼**」外觀呈現**黑色**，失敗會呈現**灰份**，如右圖。

稻殼**碳化**實驗總共進行**十一次**(見紙本附錄)，其中**第七次的實驗發現火箭爐**可快速燒製不同溫度的**碳化稻殼**，每隔**一個小時**炭化約**30-40%**，**二小時**就有**90%**炭化完成有最佳的炭化效果，**三小時**就可完成**10公斤**的**碳化稻殼**。



二、火箭爐悶燒的條件控制

使用火箭爐燒製**碳化稻殼**，是「**煙囪效應**」加強火箭爐內的空氣對流，提高爐內的溫度，**加速稻殼內的氫與氧流失**，產生**CO₂、CO、CH₄**等氣體，保存了炭，而**稻殼產生的木焦油、水分與木醋酸**會附著在火箭爐上。

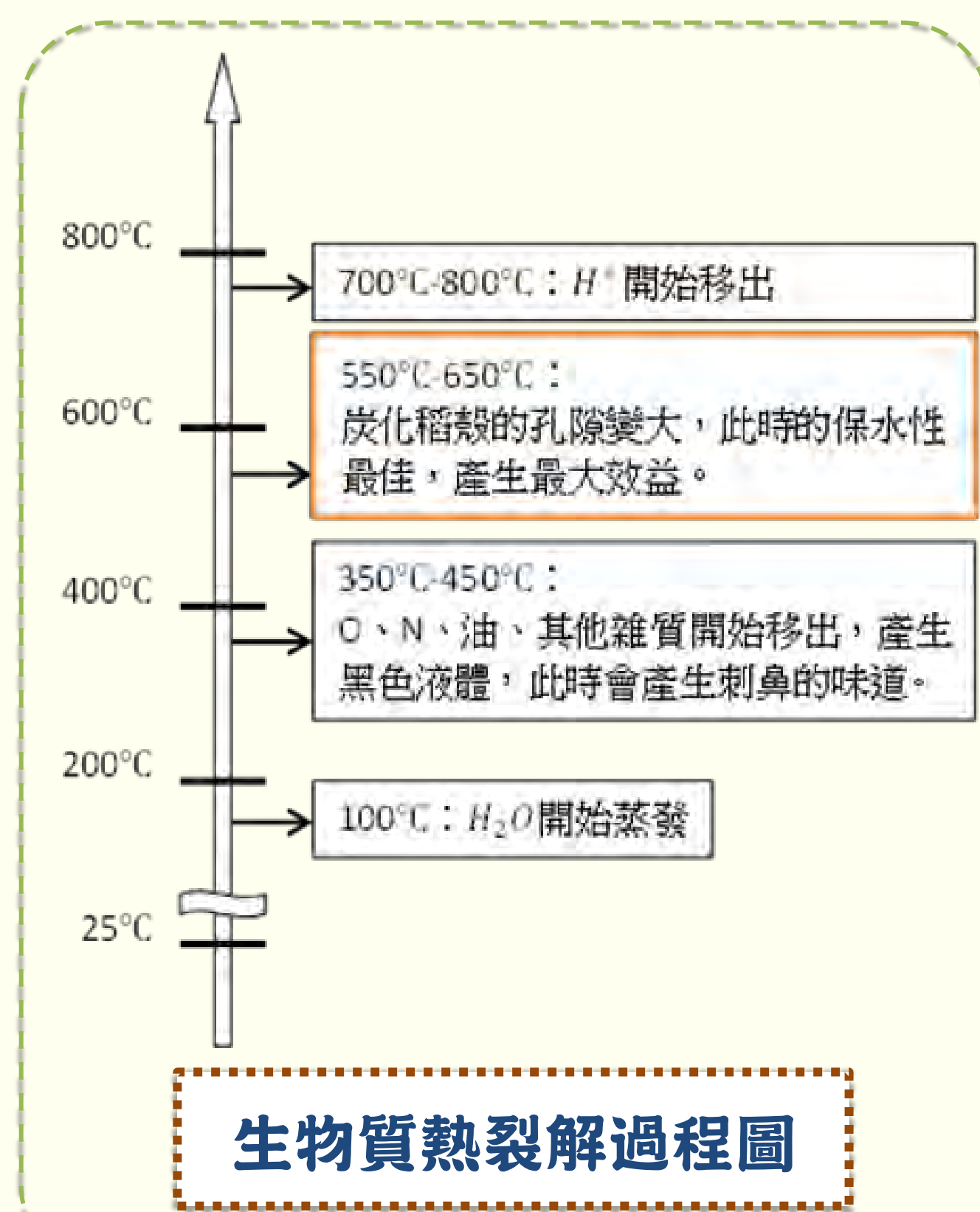
掌握**木炭重量、稻殼重量、時間控制、以及煙囪的高度**，才能有效控制**碳化稻殼**的燒製溫度。

三、燒製**350°C-450°C、550°C-650°C、700°C-800°C**的**碳化稻殼**

燒製**碳化稻殼**時，會產生**灰份**，故本研究也進行**灰份比例**的探究。

$$\text{公式: } \frac{10}{110} = \frac{\text{剩}+c}{5} \frac{\text{剩}}{c} \times 100\%$$

燒製溫度	灰份比例
350°C - 450°C	2.6049%
550°C - 650°C	2.3139%
700°C - 800°C	3.2247%



四、稻殼與炭化稻殼的氮磷鉀含量、電導度及pH值測試

1. 炭化稻殼的「氮磷鉀」測試

以「rapitest土壤檢測儀」測量後得到數據。在350°C-450°C、550°C-650°C、700°C-800°C時氮的指數都是0、磷2、鉀4，在未種植之前其含量大致相同，和稻殼比較，發現炭化稻殼在「鉀」的含量比稻殼多。

	氮(N)	磷(P)	鉀(K)
350°C-450°C	0 (缺乏)	2 (尚可)	4 (過多)
550°C-650°C	0 (缺乏)	2 (尚可)	4 (過多)
700°C-800°C	0 (缺乏)	2 (尚可)	4 (過多)
稻殼	0 (缺乏)	2 (尚可)	3 (充足)

2. 炭化稻殼的「電導度」測試

共進行五次實驗測得平均電導度，350°C-450°C是1.017mS/cm，550°C-650°C是1.058 mS/cm，700°C-800°C是1.546 mS/cm，稻殼是0.256 mS/cm，總體而言700°C-800°C的炭化稻殼的電導度最高。

次數	一	二	三	四	五	平均
350°C-450°C	1.018	1.012	1.013	1.021	1.019	1.017
550°C-650°C	1.064	1.05	1.066	1.052	1.059	1.058
700°C-800°C	1.548	1.547	1.546	1.544	1.547	1.546
稻殼	0.245	0.254	0.258	0.254	0.269	0.256

3. 炭化稻殼的「pH值」測試

進行五次實驗取平均數值，350°C-450°C是9.1；550°C-650°C是9.9；700°C-800°C是10.1；稻殼是7.82。發現「炭化稻殼皆呈鹼性，而稻殼微鹼性」。

次數	一	二	三	四	五	平均
350°C-450°C	9	9.1	9.1	9	9.1	9.1
550°C-650°C	9.9	9.9	9.9	9.9	10.0	9.9
700°C-800°C	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
稻殼	7.1	8	8	8	8	7.82

五、550°C-650°C的炭化稻殼混合沖積土以及紅土

以「紅土」和「沖積土」兩種土質作為實驗材料。氮磷鉀、電導度平均、pH值測試結果如下表所示。並將「燒製550°C-650°C的炭化稻殼分別與紅土、沖積土」依不同比例混合，1:1、1:2、1:3、1:4、1:5、1:10共六種，樣本數共27項，混土以500cm³體積進行計算。

土壤	氮(N)	磷(P)	鉀(K)	電導度平均	pH值平均
紅土	0	2	2	0.096	4
沖積土	0	1	3	0.255	7.6

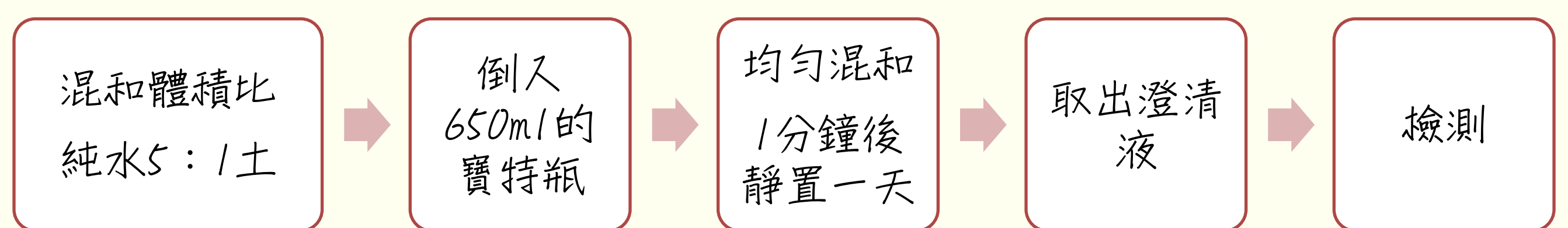
六、稻殼混合土和炭化稻殼混合土」的氮磷鉀含量、電導度及pH值測試

1. 稻殼混合土和炭化稻殼混合土「氮磷鉀」檢測

當碳元素充足時，土壤的碳氮比(C/N)提高，會使土壤中的微生物獲得良好的繁殖條件。以下是炭化稻殼混合土和稻殼混合土的氮磷鉀檢測結果。

比例	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:10
氮磷鉀	N P K	N P K	N P K	N P K	N P K	N P K
炭:沖	0 1 4	0 1 3	0 1 4	0 3 4	0 3 4	0 2 2
稻:沖	0 3 4	0 3 4	0 2 4	0 2 4	0 2 4	0 2 3
炭:紅	1 2 4	0 1 4	0 1 3	0 1 3	0 1 3	0 1 4
稻:紅	0 1 2	0 1 3	0 1 3	0 0 2	0 1 3	0 1 2

2. 稻殼混合土和炭化稻殼混合土「電導度」檢測



稻殼混合土和炭化稻殼混合土的電導度在實驗後得到的結果顯示電導度前三高的混土分別是「炭殼與紅土比例1:2(0.729mS/cm)，炭殼與沖積土比例1:1(0.712mS/cm)，炭殼與沖積土比例1:4(0.610mS/cm)」。

mS/cm	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:10
炭:沖	0.712	0.566	0.467	0.610	0.551	0.383
稻:沖	0.540	0.600	0.581	0.485	0.450	0.499
炭:紅	0.575	0.729	0.230	0.284	0.159	0.143
稻:紅	0.201	0.185	0.166	0.216	0.164	0.176

3. 炭化稻殼混合土「pH值」檢測

炭化稻殼的pH值最高的是炭殼與沖積土比例1:1之混土和稻殼與沖積土的比例1:5之混土，數值都是7.9，最低則是稻殼與紅土比例1:2，數值是5.7。

	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:10
炭:沖	7.9	7.7	7.6	7.8	7.7	7.8
稻:沖	7.4	7.6	7.7	7.9	7.8	7.7
炭:紅	7.0	7.7	6.7	6.7	6.6	6.5
稻:紅	5.9	5.7	5.8	6.1	6.0	6.2

七、「種植後混合土」氮磷鉀含量、電導度及pH值測試

使用炭化稻殼混合土種植葉菜類農作，共種植三期，將種植後的土壤進行「氮磷鉀、電導度及pH值測試」。

1. 氮磷鉀

以下是炭化稻殼混合土和稻殼混合土在種植後的氮磷鉀檢測結果。

比例	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:10
氮磷鉀	N P K	N P K	N P K	N P K	N P K	N P K
炭:沖	0 2 4	0 2 4	0 2 4	0 2 4	0 2 4	0 2 4
稻:沖	0 2 3	2 3 4	2 2 4	0 2 3	0 2 3	0 3 4
炭:紅	0 2 4	0 2 4	0 2 4	0 2 4	0 2 4	0 2 4
稻:紅	0 2 2	0 2 3	0 1 3	0 3 3	0 1 3	0 3 2

2. 電導度

實驗發現種植後混土的電導度以高至低排序為：「稻殼與紅土比例1:5(0.802mS/cm)，稻殼與沖積土比例1:5(0.700mS/cm)，炭殼與沖積土比例1:4(0.637mS/cm)」。

	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:10
炭:沖	0.530	0.408	0.523	0.637	0.462	0.558
稻:沖	0.536	0.572	0.431	0.636	0.700	0.482
炭:紅	0.496	0.442	0.451	0.436	0.399	0.507
稻:紅	0.407	0.579	0.429	0.483	0.802	0.460

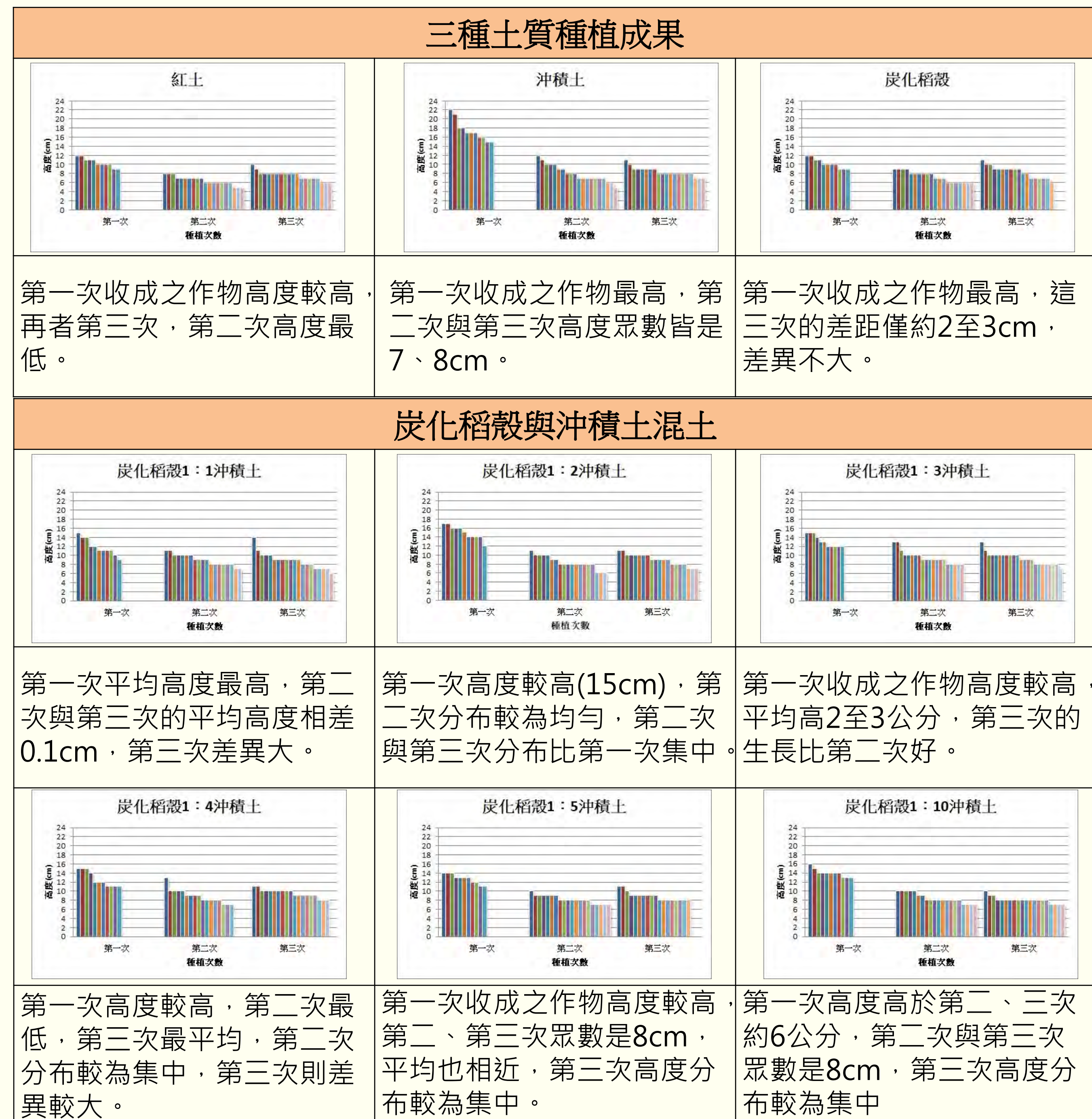
3. pH值測試

總體而言的炭化稻殼的pH值最高的是稻殼與沖積土比例1:1之混土，數值是7.8，最低則是稻殼與紅土比例1:4之混土，數值是6.6。

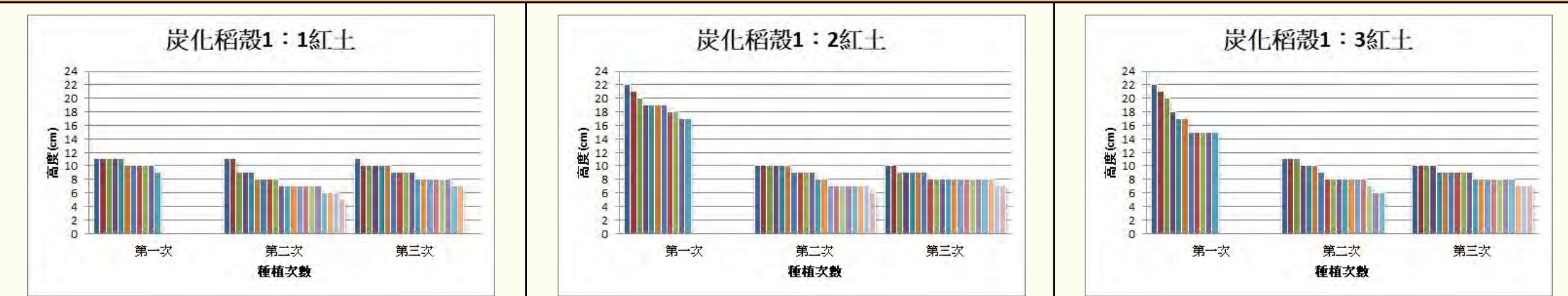
	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:10
炭:沖	7.6	7.6	7.6	7.3	7.6	7.5
稻:沖	7.8	7.4	7.5	7.6	7.6	7.6
炭:紅	7.2	7.1	7.0	6.7	6.7	6.7
稻:紅	6.8	6.8	6.8	6.6	6.7	6.7

八、種植蔬菜的成果

「炭化稻殼、紅土、沖積土與各比例混土」進行蔬菜種植，為測得種植前與種植後的土壤在氮磷鉀、電導度和pH值上的差異，共種植三期，得到收成後的蔬菜生長高度數據，將數據製成長條圖以利觀察，並加以分析與發現如下。



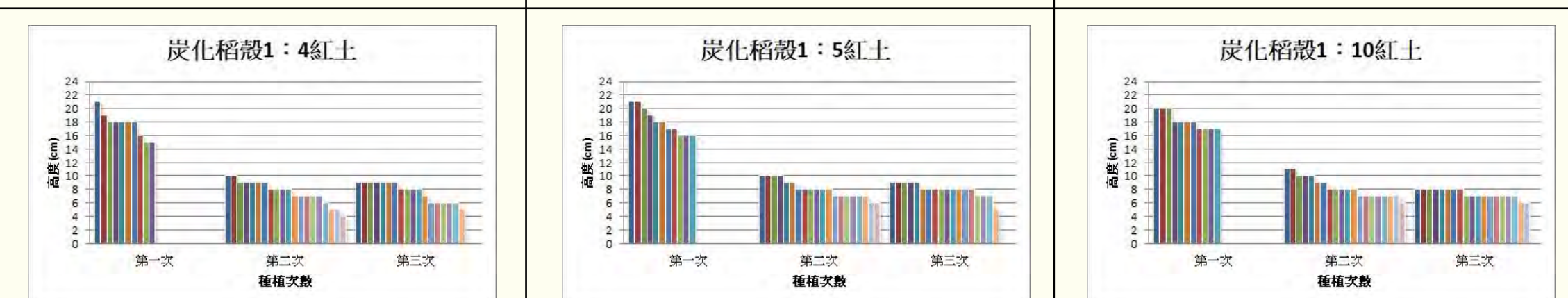
炭化稻殼與紅土混土



三次收成都達到11cm最高，第一次收成平均高度較高，第二次與第三次高度差異較大，第一次高度分布較為集中。

第一次收成之作物高度最高(19公分)，第二次與第三次大多數的植物高度是6至10cm分布集中。

第一次收成之作物高度最高，但高度差距大，第二次與第三次平均高度相近，高度大約集中在6至10cm。



第一次收成之作物高度最高，平均高度17.6cm，第二次與第三次平均高度相同，但第二次高度差異較大。

第一次高度最高，但差距較大，第二次與第三次平均高度相近，高度大約集中在6至10cm。

第一次收成之作物高度最高，眾數是17、18cm，第二與第三次高度眾數相同，與第一次相差約10公分。

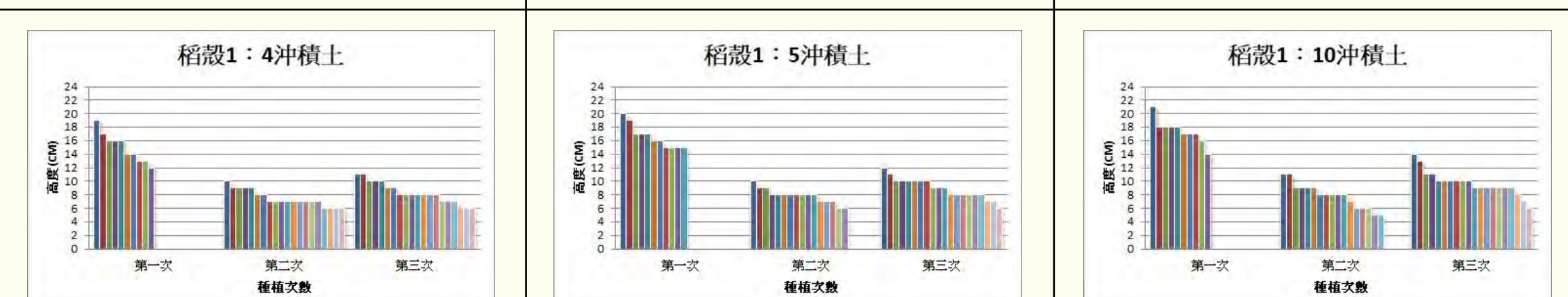
稻殼與沖積土混土



第一次高度最高，眾數是12、14與15cm，第二與第三次平均高度相同，與第一次相差約6公分。

第一次高度最高，但差異也最大，第二次與第三次眾數皆是8cm，與第一次相差約8公分。

第一次高度最高，但差距較大，第二與第三次高度相近，眾數也相同，高度大約集中在6至10cm之間。

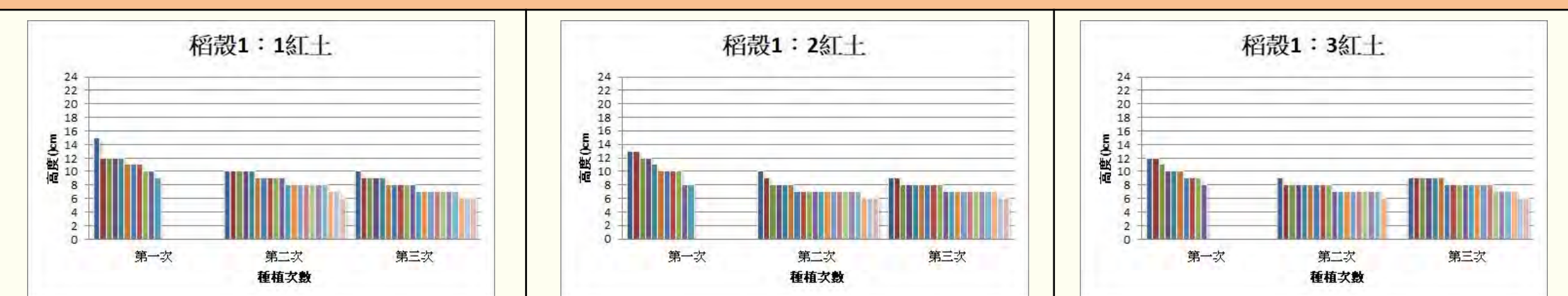


第一次收成之作物高度最高，但高度落差較大，第二次與第三次較為均勻。

第一次收成之作物高度最高，第二次的高度較為集中，與第三次的高度眾數相同。

第一次收成之作物高度最高，平均高過第二次約10cm，第二次最高高度差異最大。

稻殼與紅土混土



第一次收成之作物高度最高，但較高度差異大，第二次與第三次高度較集中，約在6至10公分間。

第一次高度最高，高約2cm，但差異大，第二次與第三次高度較集中，眾數皆是8cm。



第一次收成之作物高度最高，但高度差異較大，第二次與第三次高度較集中，眾數皆是8cm。

第一次高度最高，但高度差異較大，高於其他二次約2cm，第二次與第三次成長數據大致相同。

第一次收成之作物高度最高，再者是第三次，第二次最低，且高度差異較大。

九、混和土在氮磷鉀、電導度及pH值種植前後差異比較

【稻殼與沖積土混土】

比例1：10效果最佳，電導度與pH值在種植前後的變化也比較小，較其他比例穩定。

比例	種植前					種植後				
	N	P	K	電導度	pH值	N	P	K	電導度	pH值
稻1：1沖	0	3	4	0.540	7.4	2	2	4	0.536	7.8
稻1：2沖	0	3	4	0.600	7.6	2	3	4	0.572	7.4
稻1：3沖	0	2	4	0.581	7.7	2	2	4	0.431	7.5
稻1：4沖	0	2	4	0.485	7.9	0	2	3	0.636	7.6
稻1：5沖	0	2	4	0.450	7.8	0	2	3	0.700	7.6
稻1：10沖	0	2	3	0.499	7.7	0	3	4	0.482	7.6
沖積土	0	1	3	0.255	7.6	0	3	4	0.398	7.6

【炭化稻殼與沖積土混土】

比例1：2與1：3效果最佳，此發現與前作「黃金變黑金—炭化稻殼對農作的成效」有相同結果。

比例	種植前					種植後				
	N	P	K	電導度	pH值	N	P	K	電導度	pH值
炭1：1沖	0	1	4	0.712	7.9	0	2	4	0.530	7.6
炭1：2沖	0	2	3	0.566	7.7	0	2	4	0.408	7.6
炭1：3沖	0	2	4	0.467	7.6	0	2	4	0.523	7.6
炭1：4沖	0	3	4	0.610	7.8	0	2	4	0.637	7.3
炭1：5沖	0	3	4	0.551	7.7	0	2	4	0.462	7.6
炭1：10沖	0	2	2	0.383	7.8	0	2	4	0.558	7.5
沖積土	0	1	3	0.255	7.6	0	3	4	0.398	7.6

【稻殼與紅土混土】

比例1：1效果最佳，但整體而言在種植前後的電導度與pH值的差距較大，與其他混土的收成結果比較，此**混土種植效果是四個樣本數中最差的**。

比例	種植前					種植後				
	N	P	K	電導度	pH值	N	P	K	電導度	pH值
稻1：1紅	0	1	2	0.201	5.9	0	2	2	0.407	6.8
稻1：2紅	0	1	3	0.185	5.7	0	2	3	0.579	6.8
稻1：3紅	0	1	3	0.166	5.8	0	1	3	0.429	6.7
稻1：4紅	0	0	2	0.216	6.1	0	3	3	0.483	6.6
稻1：5紅	0	1	3	0.164	6.0	0	1	3	0.802	6.7
稻1：10紅	0	1	2	0.176	6.2	0	3	2	0.460	6.7
紅土	0	2	2	0.096	4.0	0	2	4	0.348	6.4

【炭化稻殼與紅土混土】

比例1：3效果最佳，種植前後電導度與pH值和稻殼與紅土混土一樣差異大，但以所有樣本比較較佳，**使用「炭化稻殼」比使用「稻殼」的效果佳**。

比例	種植前					種植後				
	N	P	K	電導度	pH值	N	P	K	電導度	pH值
炭1：1紅	1	2	4	0.575	7.0	0	2	4	0.496	7.2
炭1：2紅	0	1	4	0.729	7.0	0	2	4	0.442	7.1
炭1：3紅	0	1	3	0.230	6.7	0	2	4	0.451	7.0
炭1：4紅	0	1	3	0.284	6.7	0	2	4	0.436	6.7
炭1：5紅	0	1	3	0.159	6.6	0	2	4	0.399	6.7
炭1：10紅	0	1	4	0.143	6.5	0	2	4	0.507	6.7
紅土	0	2	2	0.096	4.0	0	2	4	0.348	6.4

陸、討論

一、自組式火箭爐燒製不同溫度的炭化稻殼

自組式「火箭爐」利用煙囪效應造成爐內氣流流動，提升爐內溫度，並控制木炭的重量及燒製的時間後，可以有效將燒製的溫度控制在350°C-450°C、550°C-650°C、700°C-800°C之間，達到省時、量多、炭化完成度高的最大效益。

二、不同溫度燒製的炭化稻殼特性

在燒製不同溫度時，氮磷鉀的數據差異不大，但灰份、電導度與pH值的部分，溫度越高所呈現的各項數據也會變高。而且使用自組式火箭爐最適合燒製出的溫度是550°C-650°C，灰份程度最少，電導度適合種植。

三、不同比例混土的特性

實驗發現炭化稻殼主要影響是元素是「鉀」的多寡，炭殼混土中鉀的數據大多顯示充足或過多，反之加入稻殼的混合土多顯示尚可或充足，且從整體數據看來，土質是「紅土」比較缺乏鉀元素，更需要加入炭化稻殼；以炭化稻殼與稻殼混土比較下，發現前者的電導度較高，以土壤成分而言，沖積土的電導度高於紅土，整體而言炭殼加沖積土的電導度是最高的，稻殼加紅土的電導度是最低的；pH值檢測發現紅土偏酸性，沖積土偏中性，在加入炭化稻殼後紅土有顯著的酸鹼中和效果。

四、種植後混土的特性

種植後氮的部分多為0，磷的成分多為2，鉀的部分多為4，僅有稻紅混土與種植前差異不大；電導度的部分，沖積土混土大多下降，紅土混土大多上升；pH值的部分沖積土混土多呈現中性7.4至7.8之間，紅土混土落在6.7至7.2之間，種植後pH值較種植前高。

五、植栽後的成果

550°C-650°C的炭化稻殼因孔隙大，可以吸附土壤中的養分及其他物質，所以第一期作物會長得比後兩期高大，而後兩期因土壤養分被炭化稻殼吸附，造成生長短小。

柒、結論

一、使用火箭爐燒製炭化稻殼的效率最好，且以550°C-600°C燒製時得到的效果最佳，可以達到省時、省力的最大效益。

火箭爐的設計在炭化稻殼的推廣上是一大助力，協助農民減少農業廢棄物的堆積，達到永續農業的目標。

二、實驗的樣本呈現之成果可發現，如果土壤缺鉀，可以使用炭化稻殼增加土壤中的鉀含量，其中以炭化稻殼與紅土的6種比例混合土，在鉀含量的部分，皆有明顯的上升，實驗證實炭化稻殼確實改善紅土缺鉀的問題。

三、文獻顯示土壤電導度適合種植的範圍在0.26~0.6mS/cm，作物成長最佳的炭殼沖積土比例1：2的電導度數據，種植前是0.566 mS/cm，種植後是0.408 mS/cm，皆在此範圍內，實驗結果與實驗相符。

四、炭化稻殼可以改善紅土的pH值，將弱酸性的紅土進行「酸鹼中和」，以實驗結果來看，炭化稻殼與紅土的混土比例中，以比例1：3的效果最佳，混土之pH值呈現中性，作物成長最佳。

五、炭化稻殼混土的蔬菜成長效果均比稻殼混土佳，而炭化稻殼混土中以炭殼沖積土比例1：2種植出來的成果最佳，且炭化稻殼也能改善紅土的pH值、增加紅土中的鉀含量，讓在紅土種植的蔬菜可以成長的更好。

本次實驗將「炭化稻殼」進行深入探討，利用儀器檢測得到元素相關數據，實際種植進行實驗分析，期待本次的研究可以促進炭化稻殼的推廣，並達到更有效的生態循環。

捌、參考資料

中興大學農業暨自然資源學院土壤調查試驗中心。土壤毒診斷方法。取自<https://goo.gl/XUCX>
李學一等(2008)。化腐朽為農金。廚餘堆肥。中華民國第48屆中小學科學展覽會國小生活與應用科學科。國立台灣科學教育館。台北。楊宛鈞等(2016)。黃金變黑金-炭化稻殼對農作的效益。中華民國第57屆中小學科學展覽會國小生活與應用科學科。國立台灣科學教育館。台北。

材料世界網(2015)。生物炭開發與土壤改良應用：廢棄稻殼再利用。取自：<https://goo.gl/RkP4J>。

高山貿易農業事業部。高山炭化稻殼。取自：<https://goo.gl/3g45J4>。

陳書如、張輝中、巫中安、陳政淵(2018)。批次炭化稻殼生產之炭化稻殼及其應用於稻米生長之影響。取自：<https://goo.gl/2WbVz>。

黃明堂(2016)。台東農場，炭化稻殼 省肥抗病。自由時報。取自：<https://goo.gl/aZ8Uif>。

葉綠舒(2015)。生物炭(Biochar)：改良土壤新方法。取自：<https://goo.gl/ReGx44>。

廖勤穎、張德中、黃金益。炭化稻殼在水稻有機栽培上的應用。台東區農業專訊。87。8-10。

潘子祁(2016)。稻草這樣燒就對了！生物炭減大氣碳。農學堂。取自：<https://goo.gl/Sw1CK>。

蔡佳儀、與耿東(2016)。臺灣農業廢棄物製成-生物炭之未來與展望。農業生態季刊。第46期。24-28。

蕭瑞伊、穆敏、黃世澤、柯翰翔(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://goo.gl/7IDG5>。

趙敏、黃世澤(2016)。稻糠變身黑珍寶：附掛式稻殼連續炭化裝置烘乾兼燒炭。農傳媒。取自：<https://goo.gl/QuYp3n>。

陳建志(2013)。施生物炭肥可改良酸化土壤提高果實品質。取自：<https://goo.gl/Aay2Y7>。

林佳英等(2017)。熱解溫度對稻麥生物炭特性的影響。取自：<https://goo.gl/N1vo2n>。