

## 成果報告書

『灰灰乎』必有餘地

摘要.....	1
壹、 研究動機.....	1
貳、研究目的.....	2
參、研究設備及器材.....	3
肆、研究過程或方法.....	4
伍、研究結果.....	10
陸、討論.....	15
柒、結論.....	15
捌、參考資料及其他.....	16

## 摘要

由於發現校園中大量廢棄的粉筆及粉筆灰，於是我們開始研究粉筆灰的再生利用價值。使用廢棄的粉筆灰，與對環境無害的聚丙烯酸鈉或陶土混合燒製成成品，並對成品進行透水性、保水性、抗壓性、耐久度及相對硬度等性質測試。發現粉筆灰混 ASAP 的保水性是所有成品中最高的；另外，無氧燒製粉筆灰:陶土 2:1 的成品，在五項性質測試結果中，綜合起來，是粉筆灰混陶土中，效用最佳的。於是我們選用粉筆灰混 ASAP 及粉筆灰:陶土 2:1 進一步進行測試，放入水耕植物中，持續觀察植株重量與培養液 pH 值的變化。

期待這些『灰灰乎』所製成的成品可以替代傳統園藝用的土壤栽培介質，提高土壤的透水性、保水性，在園藝上有良好的應用，也能達到環保減廢的效果。

## 壹、研究動機

近年來環保意識抬頭，人們開始更注重環境保護，也更多人開始研究讓地球變得更美好的方法，其中綠色化學十二項原則為許多研究的核心價值，且綠色化學不只達到環保愛地球的目的，更讓原本線性經濟，發展為最佳的循環經濟。我們組員也開始從身邊找起，有甚麼我們原本無法再使用的物品，可以加入綠色化學的世界中。

我們發現每天下課時間在打掃黑板時，總會有許多短粉筆及板溝上面殘留的厚厚粉筆灰，短的粉筆無法繼續提供老師書寫，便將其丟棄，日積月累下來，成為學校中常見的廢棄物。本實驗以減少垃圾量、廢物再利用為出發點，思考如何利用在學校學習到的專業知識，結合我們的巧思，將本應丟棄的粉筆，在符合綠化學十二項原則的條件下，賦予廢棄粉筆更多的價值。

我們發現粉筆主要的成分為碳酸鈣，在土壤中可以分解成為植物的養份，於是我們想到可在園藝上利用的可行性，目標是做成土壤栽培介質。

## 貳、研究目的

利用陰離子凝聚劑（A S A P）或陶土與粉筆灰混合，目的為製造出球形、具高耐久性，於土壤中具有良好透水與保水性，且對植物和土壤都無害的成品。計畫嘗試多種比例，與利用不同的燒製條件，取其中幾種最佳比例，對其透水性、保水性、抗壓性、耐久度以及相對硬度進行功能檢驗測試，以期找到最佳比例跟燒製條件，最後測試成品用於水耕當中，是否對植物的生長可達到正面的影響。

希望能夠替代原先的土壤栽培介質，如珍珠岩、硅藻土……。達到輔助栽培的效果，進而成功達到環保減廢與綠色化學應用的目的。

## 參、研究設備及器材

表 1：實驗藥品表

名稱	數量	名稱	數量
聚丙烯酸鈉 <sup>(s)</sup> (分子量 500-3000)	一瓶	水耕肥料(花寶 1 號)	一盒
回收粉筆(短粉筆、粉筆灰)	500g	土壤	1500g
黃金葛	60 株	矽砂	1000g

表 2：實驗器材表

名稱	數量	名稱	數量
燒杯 50mL	10 個	坩鍋	12 個
燒杯 250mL	5 個	濾紙	1 盒
量筒 50mL	1 個	銅幣(一元硬幣)	1 枚
量筒 250mL	2 個	石墨棒	1 根
錐形瓶 125 mL	12 個	鑷子	2 支
滴定管	1 支	乾燥皿	1 個
槓鈴片	1 組	錶玻璃	4 片
玻棒	5 根	寶特瓶	5 瓶
碼表	1 個		

表 3：實驗設備表

名稱	數量	名稱	數量
球磨機	一台	烘箱	一台
pH 計	一台	高溫爐	一台
粗秤天秤	一台	精秤天秤	一台

## 肆、研究過程或方法

## 一、土壤輔助栽培介質的製作

### (一) 粉筆灰混 ASAP

1. 取 13mL 去離子水粗秤 1 公克 ASAP 加入燒杯攪拌至膠狀
2. 粗秤 8 公克粉筆灰與 40 克矽砂加入燒杯混合均勻(圖 4.圖 5)
3. 將試樣放入塑膠袋，用擠花方式，將試樣擠成球形至錶玻璃上
4. 將成品放置烘箱以 100°C 烘乾



圖 4：由上至下為粉筆灰、ASAP、矽砂



圖 5：粉筆灰、ASAP、矽砂混勻

### (二) 粉筆灰混陶土(1:1、2:1、3:1)

1. 粗秤陶土 15 克三份
2. 分別粗秤粉筆灰 15 克(1:1)、30 克(2:1)、45 克(3:1)，加入陶土中
3. 加入適量的水將陶土與粉筆灰混合均勻後搓至球形(圖 6)
4. 放置陰暗處陰乾 7 天
5. 放入高溫爐分別進行無/有氧燒製(圖 7.8)，條件如下：  
以每 1 小時上升 100°C 的速率加熱，燒至 500°C，接著以每 1 小時上升 200°C 的速率，燒至 800°C，最後恆溫 30 分鐘後再開始自然降溫。



圖 6：陶土加粉筆灰(1：1)



圖 8：有氧燒製

圖 7：無氧燒製



圖 9：高溫爐操作

## 二、成品的性質測試

### (一) 透水性測試

1. 將寶特瓶對半剪開，取上半部，將瓶蓋取下改用濾紙包住開口
2. 倒入 180mL 培養土，以及 20mL 成品，則另外一瓶粉筆灰混 ASAP 放在土的表層外，其餘皆拌勻，再另取一瓶加入 200mL 培養土作為對照組
3. 取一張濾紙置於最上方
4. 將寶特瓶的上半部倒放置於下半部(圖 10)
5. 利用滴定管控制流速以每秒 3 滴速率 (0.15 mL/s)，持續加入 100mL 的水，記錄水開始滴至下半部寶特瓶的時間 (圖 11)
6. 滴完後若水 60 秒內不再流出，紀錄流出的水重
7. 重複步驟 2~6 測試其他成品



圖 10：透水性測試



圖 11：透水性測試

### (二) 保水率測試

1. 取不同成分混合(比例)的成品各三顆，精秤重量，分別放入 50mL 燒杯裡，貼上標籤，做三組
2. 放入烘箱，烘至恆重後放入乾燥皿待冷卻(圖 12)
3. 加入 20mL 去離子水，放置 24 小時後(圖 13)，精秤，記錄總重量差
4. 計算保水率



圖 12：放入乾燥皿待冷卻



圖 13：保水率測試

### (三) 抗壓性測試

1. 取不同成分(比例)的成品各 4 顆，放在木板的四個角下
2. 逐一輕放 5kg，10kg，15kg，20kg，25kg 的槓鈴片及水(圖 14)
3. 紀錄成品碎裂時的槓鈴片重量(圖 15)
4. 重複步驟 1~3 測試其他成品(比例)



圖 14：抗壓性測試



圖 15：抗壓性測試－成品碎裂

#### (四) 水中耐久度測試

1. 取不同成分(比例)的成品放置於 50mL 的燒杯(圖 16.17)
2. 加 45mL 的去離子水
3. 持續觀察記錄外觀三個星期的變化



圖 16：水中耐久度測試第一週



圖 17：水中耐久度測試第二週

#### (五) 相對硬度測試

1. 利用莫氏硬度試驗
2. 用銅幣(莫氏硬度 3)指甲、(莫氏硬度 2.5)、皮膚(莫氏硬度 1.5)、石墨(莫氏硬度 1)來進行測試(圖 18)
3. 確認成品硬度範圍，再用不同成分混合(比例)的成品互相刻劃，比較各自的硬度大小(圖 19)



圖 18：莫氏硬度試驗



圖 19：相對硬度測試

### 三、水耕植物的配置與測試鹼度及觀察

#### (一) 水耕植物的配取

1. 粗秤一公克的水耕肥料，溶於 1000mL 的水中，配成水耕用水
2. 錐形瓶內倒入 90ml 的水耕用水，再加入無氧 2:1 的成品 10g，為第一組
3. 錐形瓶內倒入 90ml 的水耕用水，再加入 ASAP 的成品 10g，為第二組(圖 21)
4. 錐形瓶內倒入 100ml 的水耕用水，為第三組.(對照組)
5. 每一組放入 4~5 株(8~9g)的黃金葛(圖 22)
6. 重複(步驟 1.)~(步驟 4.)三次



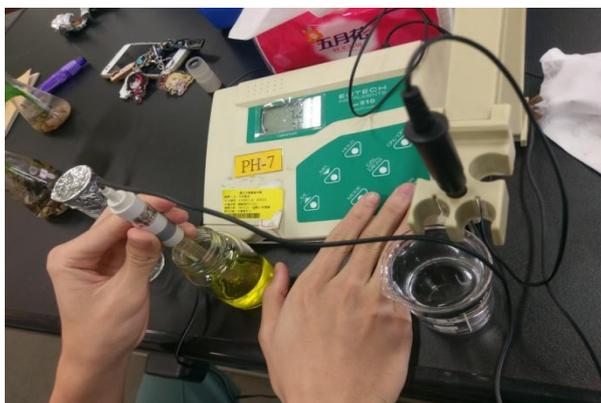
圖 21



圖 22

#### (二) pH 值的測試

1. PH 計開機暖機 15 分鐘
2. 以 PH=7 與 PH=10 的緩衝液校正(圖 23)
3. 將 PH 計放入含有植物的錐形瓶，等待 PH 質穩定後記錄(圖 24)
4. 重複步驟 1~3 測試其他成品(比例)



(圖 23)



(圖 24)

## 伍、研究結果

### 一、透水性測試

表 4：透水性結果表

	水溢出的重量(g)	水開始溢出時間
純土	28.63	7 分 48 秒
無氧(粉筆灰:陶土)1:1	34.02	7 分 00 秒
無氧(粉筆灰:陶土)2:1	45.48	5 分 08 秒
無氧(粉筆灰:陶土)3:1	42.38	5 分 10 秒
(粉筆灰混)ASAP	41.53	6 分 20 秒
有氧(粉筆灰:陶土)1:1	32.73	7 分 12 秒
有氧(粉筆灰:陶土)2:1	44.03	5 分 34 秒
有氧(粉筆灰:陶土)3:1	38.54	5 分 30 秒

由大至小是：無氧 2:1 > 有氧 2:1 > 無氧 3:1 > 有氧 3:1 > ASAP > 無氧 1:1 > 有氧 1:1 > 純培養土。由此可知我們所製作的園藝用輔助栽培介質可提升透水率，且在無氧燒至下粉筆灰:陶土比有氧燒製的粉筆灰:陶土透水率好，其中又以無氧 2:1 的效果為尤佳。

### 二、保水率測試

表 5：保水率結果表

	成品重(g)	吸水後重(g)	保水率	平均保水率
無氧 1:1	1.2044	1.5219	26.36%	27.34%
	0.6720	0.8687	29.42%	
	0.9244	1.1669	26.23%	
無氧 2:1	0.7843	1.0248	30.63%	30.56%
	0.7072	0.9197	30.05%	
	0.6191	0.8110	31.00%	
無氧 3:1	1.0452	1.3353	27.76%	28.66%
	0.9974	1.2826	28.59%	
	1.1234	1.4564	29.64%	
ASAP	0.7472	1.3792	84.58%	98.69%
	1.0916	1.9811	81.49%	
	0.5589	1.2856	130%	
有氧 1:1	0.9745	1.2070	23.86%	23.80%
	0.9874	1.2189	23.45%	
	1.0054	1.2475	24.08%	
有氧 2:1	1.5684	1.9922	27.02%	

	1.4585	1.8602	27.54%	27.18%
	1.3487	1.7126	26.98%	
有氧 3:1	1.3413	1.6845	25.59%	25.97%
	1.0572	1.3253	25.36%	
	1.3021	1.6533	26.97%	

保水率的大小依序為：ASAP>無氧 2:1>有氧 2:1>無氧 3:1>無氧 1:1>有氧 3:1>有氧 1:1。其中保水率最好的成品是 ASAP 可以保存自身重量 130%的水分，比土壤自身吸收的水分更多。

### 三、抗壓性測試

表 6：抗壓性結果表

	第一次(kg)	第二次(kg)	第三次(kg)	平均抗重(kg)
無氧 1:1	6.30	5.80	5.70	5.93
無氧 2:1	9.25	8.75	8.65	8.88
無氧 3:1	13.00	12.75	12.50	12.75
ASAP	3.75	3.75	3.75	3.75
有氧 1:1	10.00	8.75	8.75	9.17
有氧 2:1	16.00	12.00	14.25	14.10
有氧 3:1	7.50	8.75	8.75	8.33

抗壓性的順序為有氧 2:1>無氧 3:1>有氧 1:1>無氧 2:1>有氧 3:1>無氧 1:1>ASAP。若將有氧與無氧分開來看，無氧成品的抗壓性的順序為 3:1>2:1>1:1，可看出無氧條件下粉筆灰的比例越多，抗壓性越高，其中無氧 3:1 為抗壓性最高。有氧成品的抗壓性的順序為 2:1>1:1>3:1，此時有氧 2:1 的抗壓性最強，且大於無氧 3:1，為成品中抗壓性最佳的。

### 四、於水中耐久度測試

表 7：水中耐久度測試結果表

	第一週	第二週	第三週
無氧 1:1	水面上有少量白灰	水面上白灰變多依然是硬的	沒有明顯改變
無氧 2:1	水面上有少量白灰	水面上白灰變多依然是硬的	沒有明顯改變
無氧 3:1	水面上有少量白灰	水面上白灰變多依然是硬的	沒有明顯改變
ASAP	已有大量的沙子掉落	已經沒有掉落但已軟化	沒有明顯改變
有氧 1:1	水面上有少量白灰	水面上白灰變多依然是硬的	沒有明顯改變
有氧 2:1	水面上有少量白灰	水面上白灰變多依然是硬的	沒有明顯改變
有氧 3:1	水面上有少量白灰	水面上白灰變多依然是硬的	沒有明顯改變

粉筆灰混 ASAP 最快散掉且軟化，所有粉筆灰:陶土的成品依然有硬度。相較其他的成品，ASAP 容易流失，因此在土壤中的使用期限就不如其他成品來得長久。

## 五、相對硬度測試

表 8：莫氏硬度的測試結果表

	指甲(莫氏硬度 2.5)	皮膚(莫氏硬度 1.5)	石墨(莫氏硬度 1)
無氧 1:1	無氧 1:1 受損	無氧 1:1 受損	互相受損
無氧 2:1	無氧 2:1 受損	無氧 2:1 受損	互相受損
無氧 3:1	無氧 3:1 受損	無氧 3:1 受損	互相受損
ASAP	ASAP 受損	ASAP 受損	ASAP 受損
有氧 1:1	有氧 1:1 受損	有氧 1:1 受損	互相受損
有氧 2:1	有氧 2:1 受損	有氧 2:1 受損	互相受損
有氧 3:1	有氧 3:1 受損	有氧 3:1 受損	互相受損

ASAP 混粉筆灰的莫氏硬度 < 1，所有粉筆灰混陶土的的成品的莫氏硬度都為 1。

表 9：相對硬度的測試結果表

	無氧 1:1	無氧 2:1	無氧 3:1	ASAP	有氧 1:1	有氧 2:1	有氧 3:1
無氧 1:1		無氧 1:1 受損	無氧 1:1 受損	ASAP 受損	有氧 1:1 受損	無氧 1:1 受損	無氧 1:1 受損
無氧 2:1	無氧 1:1 受損		無氧 3:1 受損	ASAP 受損	有氧 1:1 受損	有氧 2:1 受損	有氧 3:1 受損
無氧 3:1	無氧 1:1 受損	無氧 3:1 受損		ASAP 受損	有氧 1:1 受損	有氧 3:1 受損	有氧 3:1 受損
ASAP	ASAP 受損	ASAP 受損	ASAP 受損		ASAP 受損	ASAP 受損	ASAP 受損
有氧 1:1	有氧 1:1 受損	有氧 1:1 受損	有氧 1:1 受損	ASAP 受損		有氧 1:1 受損	有氧 1:1 受損
有氧 2:1	無氧 1:1 受損	有氧 2:1 受損	有氧 3:1 受損	ASAP 受損	有氧 1:1 受損		有氧 3:1 受損
有氧 3:1	無氧 1:1 受損	有氧 3:1 受損	有氧 3:1 受損	ASAP 受損	有氧 1:1 受損	有氧 3:1 受損	

相對硬度的硬度順序為無氧 2:1 > 有氧 2:1 > 無氧 3:1 > 有氧 3:1 > 無氧 1:1 > 有氧 1:1 > ASAP。可看出無氧燒製在相同比例下，相對硬度會比有氧燒時至更佳，且比起燒製的條件，粉筆灰與陶土的比例會更加影響相對硬度的結果，其中又以無氧 2:1 的硬度尤佳。

## 六、水耕植物的重量變化

表 10：第一組水耕植物重量變化表

	第一週	第二週	第三週	第四週
(1)對照組	8.52g	8.63g	8.72g	8.84 g
(1) ASAP	8.99g	8.88g	7.18g	7.36 g
(1)無氧 2:1	8.97g	8.41g	4.53g	3.73 g

表 11：第二組水耕植物重量變化表

	第一週	第二週	第三週	第四週
(2)對照組	8.26g	8.30g	8.52 g	8.55 g
(2) ASAP	8.04g	7.33g	4.21g	4.09 g
(2)無氧 2:1	8.54g	7.71g	4.72g	4.39 g

表 12：第三組水耕植物重量變化表

	第一週	第二週	第三週	第四週
(3)對照組	8.73g	8.51g	9.01g	9.02g
(3) ASAP	9.03g	9.04g	8.41g	8.30g
(3)無氧 2:1	8.60g	7.54g	7.19g	6.88g

表 13：第四組水耕植物重量變化表

	第一週	第二週	第三週	第四週
(4)對照組	8.79g	8.94g	9.33g	7.84g
(4) ASAP	8.35g	8.30g	7.34g	6.06g
(4)無氧 2:1	8.49g	8.31g	7.91g	6.68g

## 七、水耕植物培養液的 pH 值變化

表 14：第一組水耕植物 PH 值變化表

	第一週	第二週	第三週	第四週
(1)對照組	7.00	6.98	7.52	7.65
(1) ASAP	7.11	7.11	7.62	7.36
(1)無氧 2:1	9.30	12.54	10.71	7.60

表 15：第二組水耕植物 PH 值變化表

	第一週	第二週	第三週	第四週
(2)對照組	7.02	6.86	7.27	7.66
(2) ASAP	7.05	7.60	7.69	7.71
(2)無氧 2:1	9.62	12.16	10.75	10.78

表 16：第三組水耕植物 PH 值變化表

	第一週	第二週	第三週	第四週
(3)對照組	7.10	7.15	7.40	6.62
(3) ASAP	7.04	6.68	7.72	7.72
(3)無氧 2:1	12.20	12.02	12.00	11.92

表 17：第四組水耕植物 PH 值變化表

	第一週	第二週	第三週	第四週
(4)對照組	7.18	7.13	7.25	7.02
(4) ASAP	7.01	7.79	7.69	7.35
(4)無氧 2:1	12.27	12.59	11.68	77.63

根據四週的水耕植物觀察，對照組的 pH 值在第二週減少後，逐漸增加，水中鹼度越來越高，且植株重量隨著時間增加而逐漸增加。ASAP 組的 pH 值也逐漸上升，但重量因為葉子的枯黃掉落，而隨著時間增加而減少。無氧 2:1 組的 PH 值一開始就很高，但之後有觀察到逐漸下降的趨勢，而重量也因為葉子的枯黃掉落和根部發黑脫落，而隨著時間增加而減少。

## 陸、討論

- 一、粉筆灰中最佳比例的無氧粉筆灰 1:2 與粉筆灰混 A S A P，在水耕植物的鹼度檢測與重量觀察的實驗中表現較差，可推測出在水中浸泡會使成品中的碳酸鈣溶於水中使其培養液成鹼性，未來我們會調整其在水中的比例，讓水中的鹼度不會太高。
- 二、粉筆灰混 A S A P 的抗壓性及相對硬度的結果都為成品中最低，若將其放入土壤中容易磨損，所以我們打算將 A S A P 的成品在園藝中使用時，放在土壤表層使用，較不易因磨損而失去效力。
- 三、本實驗的產品，可在土壤中自然分解，且所使用的成分全對人體、環近無毒無害，比起原始的土壤栽培介質（珍珠岩、硅藻土），使用的是原料是原本是廢棄物的粉筆灰，若是在小規模測試良好後，有機會可以大量生產。

## 柒、結論

由上述我們可發現，在成品的性能測試實驗中，無氧燒製 1:2 的粉筆灰混陶土的結果在所有成品，有著最良好的平均結果。

以此採用的粉筆灰混陶土中的無氧 1:2，以及粉筆灰混 A S A P 測試水耕中鹼度測試及觀察重量，發現無氧 1:2，的成品在水中容易使培養液的鹼度上升，且粉筆灰混 A S A P 也有略微上升。導致植物的生長環境不佳，使其重量減輕。

本次實驗符合以下綠色化學原則：

- 一、防止廢棄物
- 二、避免衍生物
- 三、用後可降解
- 四、安全且無毒
- 五、降低輔助材料
- 六、避免意外事故

## 捌、參考資料及其他

- 一、楊昆憲（1996）。不同粒徑與保水性顆粒介質之物理性質。國立成功大學 土木工程學系碩博士班：博士論文。
- 二、黃春翔（2007）。具保水性顆粒介質之燒製與物理性質。國立成功大學 土木工程學系碩博士班：碩士論文。
- 三、蔡尚光（2013）。水耕栽培的魅力：從基礎知識到全盤性的瞭解。淑馨出版社。
- 四、謝榮忠（2015）。化工裝置 2 第 156 頁。全華圖書股份有限公司。
- 五、張仲民（2008）。普通土壤學。茂昌出版社。
- 六、CAS 數據庫列表－聚丙烯酸钠。2013 年 3 月 12 日。取自  
[https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty\\_CN\\_CB9741267.htm#%E8%81%9A%E4%B8%99%E7%83%AF%E9%85%B8%E9%92%A0%E8%AF%95%E5%89%82%E7%BA%A7%E4%BB%B7%E6%A0%BCchemicalbook](https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_CN_CB9741267.htm#%E8%81%9A%E4%B8%99%E7%83%AF%E9%85%B8%E9%92%A0%E8%AF%95%E5%89%82%E7%BA%A7%E4%BB%B7%E6%A0%BCchemicalbook)