

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 環境學科

佳作

052605

廢棄香灰的環境污染與再利用之研究

學校名稱：國立大甲高級中學

作者： 高一 郭姿瑩	指導老師： 黃嘉男
---------------	--------------

關鍵詞：廢棄香灰、水污染、土壤污染

摘要

廢棄香灰最常見的處理方法就是未經處理就直接丟棄或倒入水溝、河川之中，本研究實驗得知，廢棄香灰導致環境水質或土壤受到污染情形嚴重，並造成植物生長遲緩甚至枯萎死亡，對環境影響極大。對於廢棄香灰的再利用，本研究分析香灰成分，經過三角座標試驗及賽格式分析，成功將廢棄香灰使用於陶瓷釉藥中，並研究成功發展出青瓷釉藥，並與宋代釉色做比較，創造經濟及藝術效益，另外，香灰釉藥的生活陶瓷用具不僅有環保意識，心靈層面上更兼具神明保佑的作用。

壹、研究動機

根據內政部統計全台共有一萬兩千零二十六間廟宇(內政部網站，2016)，經調查，以某地區的中型寺廟為例，每日平均產生香灰量為 120 公斤，推估全台每天會產生一百四十四萬三千一百二十公斤的香灰。廢棄香灰最常見的處理方法就是未經處理就直接丟棄或倒入水溝、河川之中，如此會不會導致環境水質或土壤受到污染?本研究試著將香廢棄灰回收再利用，試著將香灰取代陶瓷釉藥原料。本研究以中部某中大型廟宇的香灰為研究樣本，將香灰取代釉藥的部分原料，並試著將其燒成宋代青瓷釉，減少廢棄香灰對環境所造成的污染，並創造經濟及藝術效益，另外，香灰釉藥的生活陶瓷用具不僅有環保意識，心靈層面上更兼具神明保佑的作用。

貳、研究目的

本研究目的，為了使廢棄香灰再利用而達到經濟效益，將香灰製成釉藥，利用三角座標試驗及賽格式分析法，試著將香灰取代部分釉藥原料，了解香灰摻入釉藥中的溶解狀況及其產生的影響，主要研究項目有以下:

- (一)進行水洗香灰，測其酸鹼值變化，模擬分析廢棄香灰倒入水溝或任意丟棄對環境中水污染之影響程度。
- (二)廢棄香灰摻入土壤中，觀察小白菜種子發芽及成長情形，瞭解廢棄香灰對土壤的污染程度及影響。
- (三)從鄰近廟宇採集香灰，分析並了解其成分、特性。
- (四)利用賽格式莫爾數計算法，進行香灰取代的青瓷釉式之比例分析，在還原的氣氛下以攝氏 1230 度燒成。並利用三角座標實驗法，將本地香灰青瓷釉藥燒成生活陶瓷用釉。

參、研究設備及器材

表1 研究設備器材











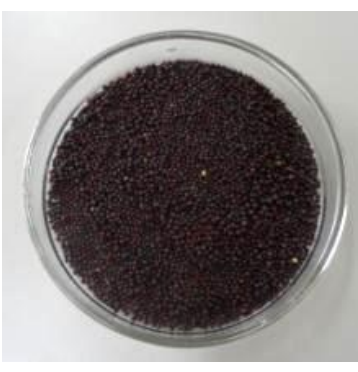




名稱	燒杯	pH 測量器	電子秤	顯微鏡
圖片				
附註	裝置液體用	測量酸鹼溶液之 pH 值	測量香灰、及其他原料重量以及配製釉藥用(6kg~0.1g)	外掛手機的 30 倍顯微鏡
名稱	陶土	真空煉土機	模具	杵、研鉢
圖片				
附註	試片用陶土 (臺灣苗栗土)	製作試片	搭配煉土機使用，固定陶土厚度及寬度	磨製釉藥用
名稱	噴槍	水幕噴釉台	實驗用電窯	球磨桶
圖片				
附註	使釉藥均勻的覆蓋於試片上	噴塗牡蠣殼粉過程，減少粉塵危害	試片素燒及釉燒(可八段控溫)	將原料磨成細粉
名稱	紙杯	噴水器		
圖片				
附註	種菜容器	噴霧式灑水		

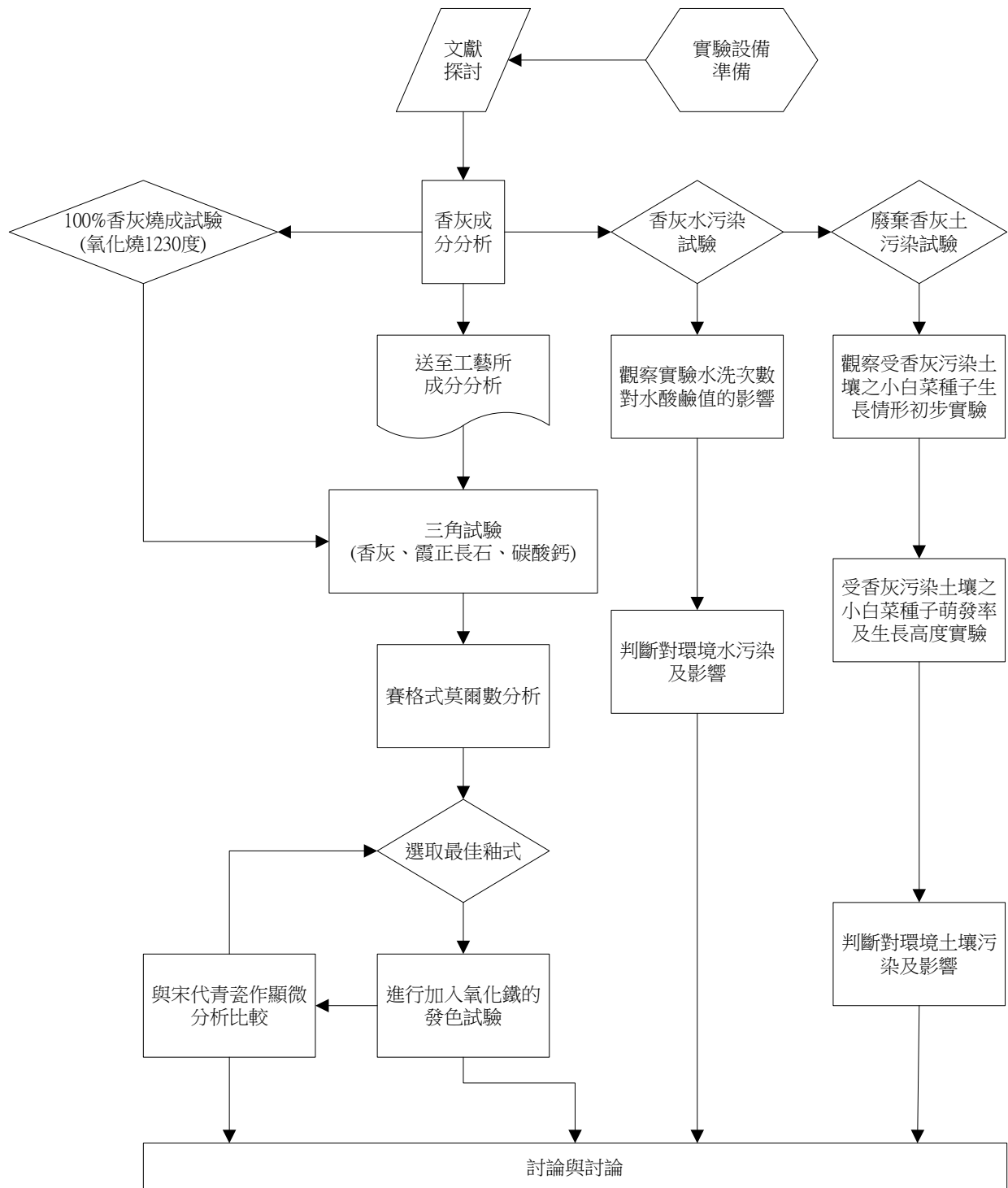
表 2 實驗原料

名稱	香灰	土壤	小白菜種子
圖片			
附註	寺廟取得	稻田地區土壤	種子行購買
名稱	CMC	矽石	霞正長石
圖片			
附註	增加黏的稠劑	SiO_2	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$
名稱	輕質碳酸鈣		
圖片			
附註	$CaCO_3$		

香灰、土壤和小白菜種子是用於廢棄香灰對土壤污染的研究實驗，而我們所取得的香灰是正準備從寺廟裡被丟棄而出的。選擇使用小白菜種子則是因為它幾乎全年可種植且生長快速，能使實驗更方便於觀察。

肆、研究過程或方法

本研究流程圖如圖 1，過程及方法敘述於後。



一、廢棄香灰對環境水污染實驗

為了瞭解廢棄香灰對環境的污染，我們設計了一個實驗，分次測試廢棄香灰對水酸鹼值的影響，實驗過程相當於 20g 的香灰稀釋於 300ml 的水，進而推估會污染多少環境的水。



圖一測量 pH 值實驗圖

首先，將香灰通過 9.5mm 標準篩網後，將 40g 香灰分裝於燒杯一與燒杯二(各 20 克)，之後加入 20ml 的水，靜置 15 分鐘，沉澱後，將上層的水倒入小燒杯後，測量其 pH 值，每次都各測量五次，並算出平均值。測量完後，在重新加入 20ml 的水，重覆上述動作，總共水洗 15 次。



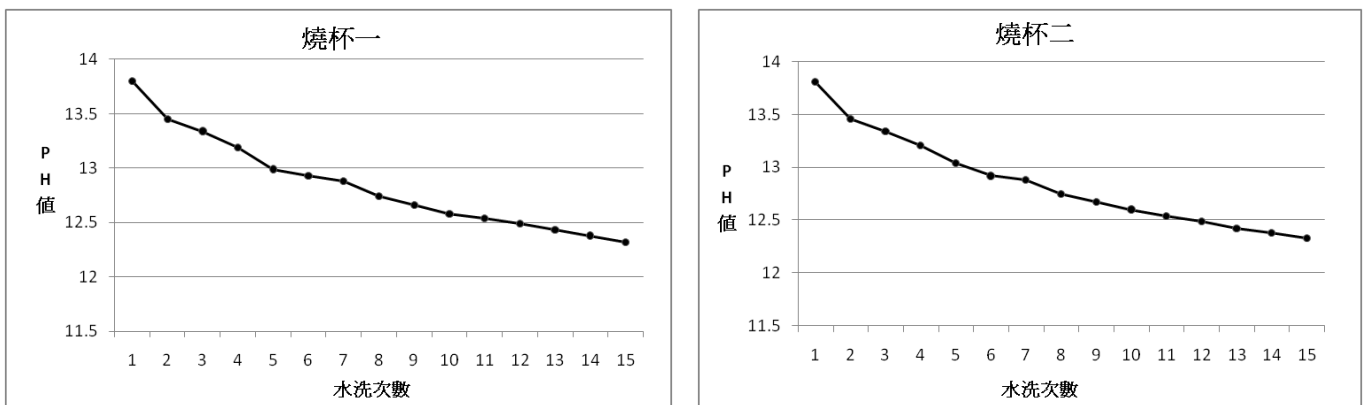
圖二 20g 香灰與 20ml 的水攪拌後靜置圖

表一 燒杯一與燒杯二所測出 PH 值之數據表

測量次數 燒杯 (水洗次數)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	標準差
燒杯一(1)	13.81	13.79	13.79	13.81	13.78	13.80	0.013
燒杯二(1)	13.81	13.8	13.81	13.81	13.82	13.81	0.007
燒杯一(2)	13.44	13.47	13.44	13.44	13.45	13.45	0.013
燒杯二(2)	13.47	13.44	13.45	13.47	13.46	13.46	0.013
燒杯一(3)	13.31	13.33	13.36	13.34	13.36	13.34	0.021
燒杯二(3)	13.32	13.35	13.34	13.35	13.35	13.34	0.013
燒杯一(4)	13.17	13.19	13.18	13.19	13.2	13.19	0.011
燒杯二(4)	13.20	13.21	13.21	13.21	13.23	13.21	0.011
燒杯一(5)	12.97	13.00	13.00	13.00	13.00	12.99	0.013
燒杯二(5)	13.03	13.05	13.05	13.02	13.03	13.04	0.013

燒杯一(6)	12.90	12.93	12.93	12.94	12.93	12.93	0.015
燒杯二(6)	12.91	12.89	12.93	12.93	12.92	12.92	0.017
燒杯一(7)	12.87	12.87	12.87	12.88	12.89	12.88	0.009
燒杯二(7)	12.86	12.87	12.88	12.89	12.89	12.88	0.013
燒杯一(8)	12.73	12.73	12.74	12.75	12.74	12.74	0.008
燒杯二(8)	12.75	12.76	12.74	12.76	12.76	12.75	0.009
燒杯一(9)	12.64	12.66	12.68	12.67	12.65	12.66	0.016
燒杯二(9)	12.64	12.68	12.67	12.69	12.68	12.67	0.019
燒杯一(10)	12.58	12.57	12.59	12.58	12.58	12.58	0.007
燒杯二(10)	12.6	12.59	12.6	12.59	12.61	12.60	0.008
燒杯一(11)	12.56	12.54	12.55	12.53	12.53	12.54	0.013
燒杯二(11)	12.55	12.55	12.56	12.54	12.52	12.54	0.015
燒杯一(12)	12.49	12.49	12.48	12.5	12.49	12.49	0.007
燒杯二(12)	12.48	12.50	12.49	12.51	12.49	12.49	0.011
燒杯一(13)	12.43	12.44	12.43	12.41	12.42	12.43	0.011
燒杯二(13)	12.41	12.42	12.44	12.41	12.43	12.42	0.013
燒杯一(14)	12.38	12.39	12.37	12.37	12.39	12.38	0.010
燒杯二(14)	12.39	12.37	12.39	12.38	12.38	12.38	0.008
燒杯一(15)	12.33	12.32	12.31	12.32	12.32	12.32	0.007
燒杯二(15)	12.34	12.33	12.34	12.33	12.33	12.33	0.005

依平均值我們可以發現，燒杯一中的香灰水洗十五次後，其 PH 值從 13.80 降至 12.32，而燒杯二中的香灰 PH 值則是從 13.81 降至 12.33，兩組實驗數據十分相近。



圖三 燒杯一水洗次數及所測得的 pH 值折線圖圖四燒杯二水洗次數及所測得的 pH 值折線圖

由圖三與圖四我們可以發現到，兩者曲線一開始下降的幅度皆較大，而到後面則愈來愈緩和。然而香灰，經水洗十五次後，依舊是屬於強鹼溶液，而過於鹼性的水，容易造成大部分生物不易生存，這些對環境所造成的水汙染現象，卻常被忽略而難以防治。

二、廢棄香灰對土壤污染對植物生長影響的初步實驗

為了瞭解廢棄香灰摻入土壤中對植物生長的情形，本研究使用小白菜種子摻入不同比例香灰，實驗設備圖如下：



觀察小白菜種子發芽及成長情形，瞭解廢棄香灰對土壤的污染程度及影響。各組摻入香灰比例如下：

第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	第六組
純土 250g	10%香灰	20%香灰	30%香灰	40%香灰	50%香灰
第七組	第八組	第九組	第十組	第十一組	
60%香灰	70%香灰	80%香灰	90%香灰	100%香灰	

每天早上八點和下午五點皆澆一次水，並且於早上八點至下午五點開啟日光燈照射種子。

Day1-Day4 全部十一組皆未有發芽情形

Day5 純土與 10%香灰皆開始發芽，且 10%香灰發芽的速度較純土快，而其餘十組皆未發芽

Day6 純土與 10%香灰皆開始長出葉片，純土高度 0.8cm，10%香灰 1.0cm。10%香灰持續領先純土，推測是因為香灰為鹼性，與土壤產生了酸鹼中和，可能有各種因素使小白菜在添加 10%香灰的土壤中略為領先。

Day7 純土高度竟從 0.8cm 長到 1.7cm，10%香灰高度卻只長 0.2cm，變為 1.2cm，一天之內純土從原本落後轉變成領先 0.5cm。而經過第七天 20%香灰的種子也開始有破裂狀，跑出一點點胚軸，其餘九組皆未有發芽情形。

Day8 純土高度 2.3cm，10%香灰高度 1.4cm，純土高度比前一天上升 0.5cm，而 10%香灰只上升 0.2cm，成長速度明顯落後純土。而 20%香灰只出現些許胚軸，尚未長出葉片。



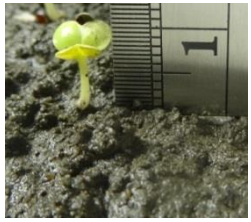









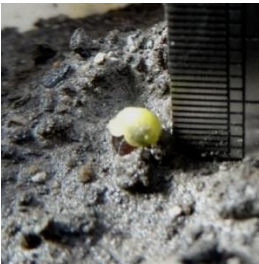


Day9 純土高度 2.7cm，10%香灰高度與前一天相同為 1.4cm，對於這個情形，推測雖然一開始因土壤與香灰酸鹼中和，讓 10%香灰的略微領先，但由於香灰屬於強鹼類，因此就算與土壤酸鹼中和，其 PH 值還是較偏向 9-10，而當 PH 值為 9-10 時，微量的元素鐵、錳、鉍的有效性會變小，且會更容易吸引較多的碳酸根離子，進而妨礙其餘離子的正常吸收，導致小白菜種子在 10%香灰中，長到 1.4cm 後開始停止生長且開始有些許枯萎的現象。而 20%香灰仍然未長出葉片，但胚軸有成長現象。

Day10 純土高度 3.0cm，10%香灰產生嚴重枯萎且泛黃狀態。而 20%香灰依舊未長出葉片，但胚軸還是持續有成長現象，依此可推測小白菜種子在添加 20%香灰的土壤中，還是能夠發芽，但其發芽速度十分緩慢。










Day11 經過第 11 天，幼苗在 10%香灰與 20%香灰中已全數枯萎死亡，且 20%香灰的僅長出子葉，連葉片都尚未長出即死亡。而純土中的植物持續生長。

Day12 純土中已長到 3.3cm，雖有持續生長但其生長速度逐漸緩慢。其餘皆已死亡。

實驗過程及照片如下表所呈現。

	Day1-Day4	Day5	Day6
純土			
10% 香灰			
	Day7	Day8	Day9
純土			
10% 香灰			
20% 香灰			

由於香灰為強鹼，與土壤混合後 PH 偏高，而過高的 PH 值則會導致植物不利於生長。小白菜種子在純土與 10% 香灰的土壤中皆在第五天開始發芽，但到了第九天，幼苗在 10% 香灰的土壤中開始停止生長且泛黃枯萎，第十天時已嚴重枯萎。純土中的幼苗則持續生長。而小白菜種子在 20% 香灰的土壤中到第七天才開始發芽，且其生長速度十分緩慢。

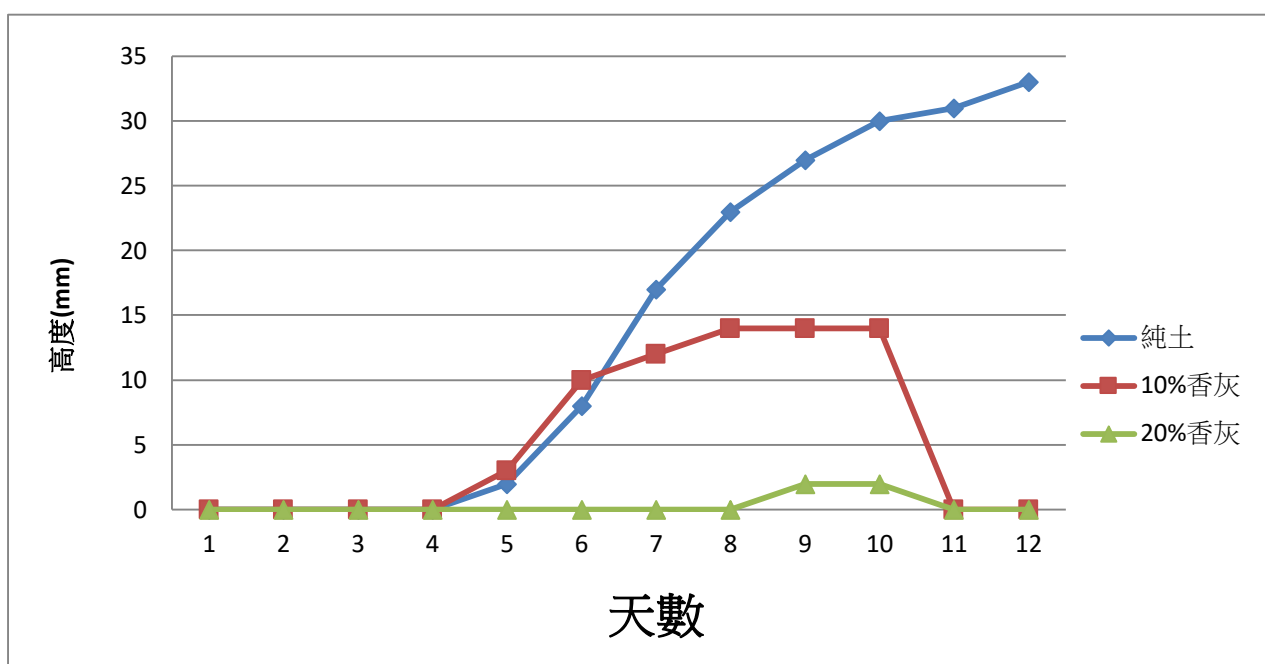
	Day10	Day11	Day12
純土			
10% 香灰	 第 10 天枯萎發黃	 第 11 天枯萎死亡	 第 12 天完全枯萎乾扁
20% 香灰		 第 11 天枯萎	 第 12 天枯萎死亡

雖然一開始是 10% 香灰的土壤中的幼苗長的較快，但其只長到 1.4cm 即停止生長，反而在純土中的幼苗，雖一開始生長速度較 10% 香灰緩慢，但其在發芽第二天後，即開始快速生長，遙遙領先 10% 香灰中的幼苗，且到最後能夠繼續存活也只剩下純土中的幼苗。

天數	純土	10% 香灰	20% 香灰	30% 香灰	40% 香灰	50% 香灰	60% 香灰	70% 香灰	80% 香灰	90% 香灰	100% 香灰
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	8	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	17	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	23	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	27	14	2	0	0	0	0	0	0	0	0
10	30	14	2	0	0	0	0	0	0	0	0

11	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

香灰對土壤的影響就如對水源一樣，時常被人忽略，但其實它們都是非常嚴重且值得我們去深入探討的議題。僅僅是在土壤中摻雜 10%的香灰，其對植物生長的影响就十分廣大，發芽第五天後即會造成植物枯萎且趨近死亡，更不用論當土壤中摻雜了 20%、30%的香灰時，會對整個環境造成多大的傷害。本研究將小白菜種子在純土與摻入香灰的污染土生長情形製成下圖(直軸為小白菜生長高度(mm)，橫軸為天數)比較，發現香灰污染土壤情形十分嚴重。



小白菜種子摻入 30%以上的土壤連發芽都無法，摻入 20%香灰的實驗中，雖然第八天發芽，但維持兩天就死亡枯萎。摻入 10%香灰的實驗中，雖然一開始成長，但第六天後成長停滯，到第十天枯萎發黃，第十一天死亡枯萎。

三、廢棄香灰對小白菜種子萌發率及生長高度影響實驗

為了瞭解廢棄香灰摻入土壤中對植物生長的情形，本研究使用小白菜種子摻入不同比例之香灰：







圖五 廢棄香灰對土壤污染的研究實驗圖 (由右至左依序是第一組到第十一組)

共實驗十一組，每組各放 10 顆小白菜種子，並於早上八點與下午五點各澆一次水，觀察其生長情形。

第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	第六組
純土 750g	2.5%香灰	5%香灰	7.5%香灰	10%香灰	12.5%香灰
第七組	第八組	第九組	第十組	第十一組	
15%香灰	17.5%香灰	20%香灰	22.5%香灰	25%香灰	

Day1-Day4 皆尚未發芽

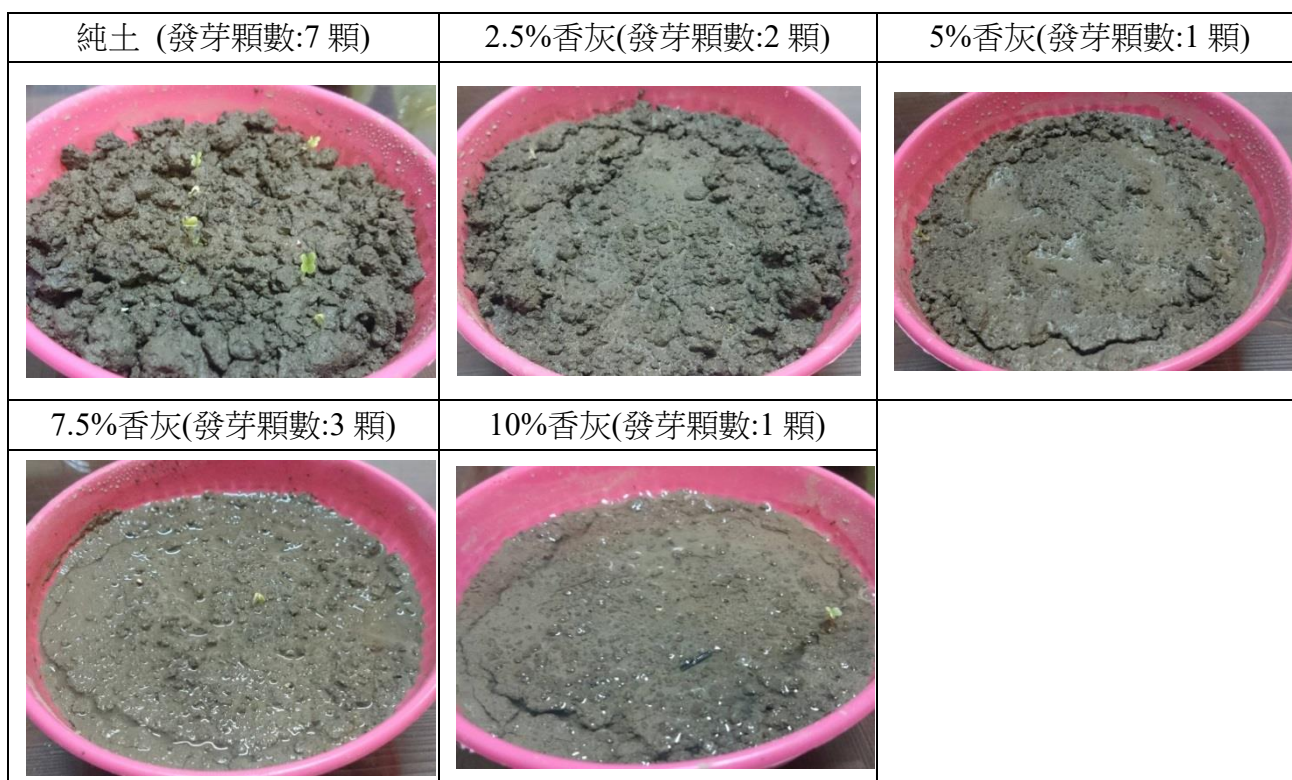
Day5 純土、5%香灰、7.5%香灰、10%香灰土壤中的小白菜種子發芽。

純土 (發芽顆數:5 顆)	5%香灰 (發芽顆數:1 顆)
	
7.5%香灰(發芽顆數:3 顆)	10%香灰(發芽顆數:1 顆)
	

Day5-萌發率						
土壤	純土	2.5%香灰	5%香灰	7.5%香灰	10%香灰	12.5%香灰
萌發率	50%	0%	10%	30%	10%	0%
土壤	15%香灰	17.5%香灰	20%香灰	22.5%香灰	25%香灰	
萌發率	0%	0%	0%	0%	0%	

第五天，小白菜在純土中的萌發率為 50%，而小白菜在添加 2.5%香灰的土壤中，竟然未發芽，且在添加 7.5%香灰的土壤中其發芽顆數比 5%香灰較多，推測可能是種子其本身的是否飽滿與是否原本就已死亡，為了避免這些變因導致整個實驗的準確度降低，因此我們每組皆種 10 顆種子，再推估平均值，可使整個實驗更具準確性。測量其平均高度(只平均發芽的顆數)，純土為 0.2cm，5%香灰 0.2cm，7.5%香灰 0.1cm，10%香灰 0.2cm。

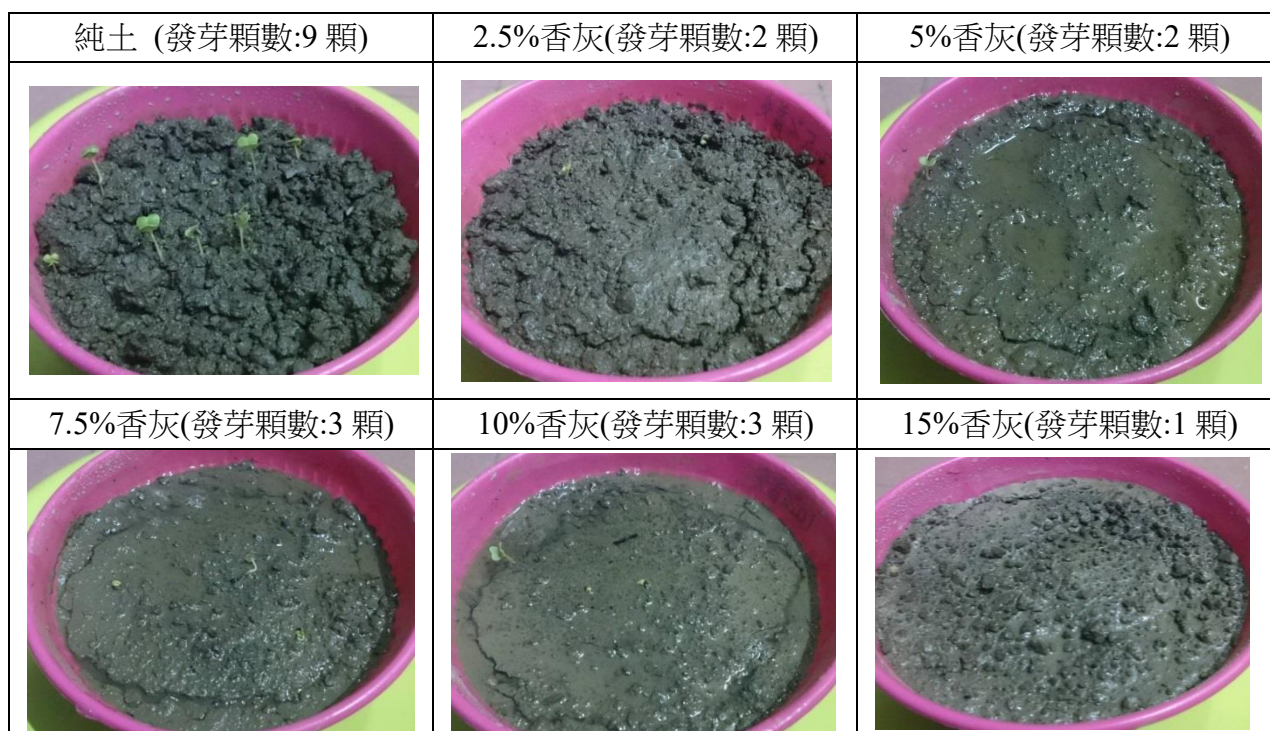
Day6 純土發芽顆數比前一天要多兩顆，2.5%香灰也有兩顆種子開始發芽。其餘 5%香灰、7.5%香灰和 10%香灰，皆未有新發芽的種子，但已經發芽的種子皆有生長現象。



Day6-萌發率						
土壤	純土	2.5%香灰	5%香灰	7.5%香灰	10%香灰	12.5%香灰
萌發率	70%	20%	10%	30%	10%	0%
土壤	15%香灰	17.5%香灰	20%香灰	22.5%香灰	25%香灰	
萌發率	0%	0%	0%	0%	0%	

純土的萌發率增加到 70%，而小白菜種子在摻雜 2.5%、5%、7.5%和 10%香灰的土壤，四者的萌發率皆與純土相差甚遠。僅僅是在土壤中添加 2.5%的香灰，其影響植物的生長就極為廣大。發芽種子的平均高度，純土為 0.5cm，2.5%香灰為 0.3cm，5%香灰為 0.4cm，7.5%香灰為 0.2cm，10%香灰為 0.3cm。

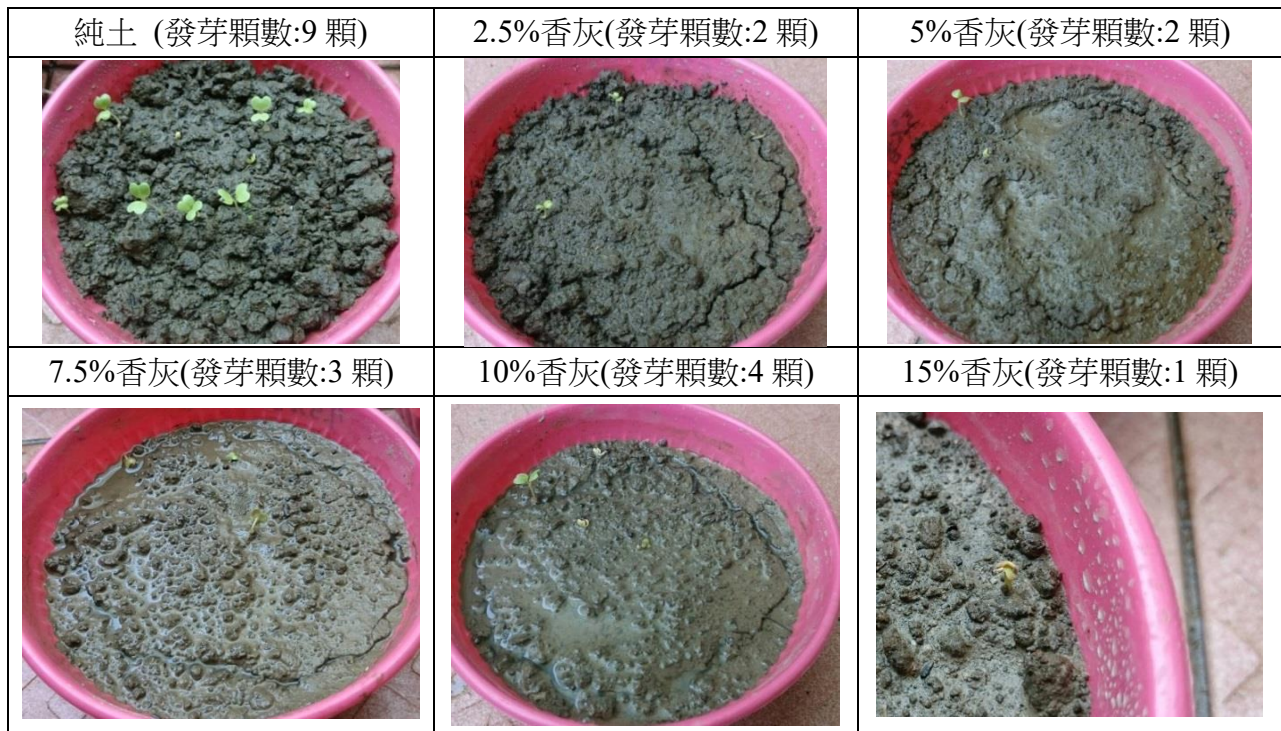
Day7 純土發芽顆數比前一天要多兩顆，5%香灰土壤中的發芽顆數比前多一顆，10%香灰土壤中的發芽顆數則比前一天多兩顆，而 15%香灰土壤中有一顆種子也開始發芽。到第七天我們就可以推測，過於鹼性的土壤並不利於小白菜生長。



Day7-萌發率						
土壤	純土	2.5%香灰	5%香灰	7.5%香灰	10%香灰	12.5%香灰
萌發率	90%	20%	20%	30%	30%	0%
土壤	15%香灰	17.5%香灰	20%香灰	22.5%香灰	25%香灰	
萌發率	10%	0%	0%	0%	0%	

到第七天，小白菜在純土的萌發率已高達 90%，發芽種子的平均高度，純土為 1.0cm，2.5%為 0.4cm，5%香灰 0.5cm，7.5%香灰 0.3cm，10%香灰 0.5cm，15%香灰 0.2cm。可以發現小白菜種子在有添加香灰的土壤中，不僅萌發率大為降低，連其生長速度也慢於純土很多。

Day8 10%香灰中土壤中的發芽顆數比前一天多一顆，其餘純土、2.5%、5%香灰、7.5%香灰和 15%香灰，皆未有新發芽的種子，但已經發芽的種子皆有生長現象。到第八天，15%香灰土壤中唯一一顆發芽的種子，我們可以發現其生長速度十分緩慢，且長出的小葉片顏色偏黃色。

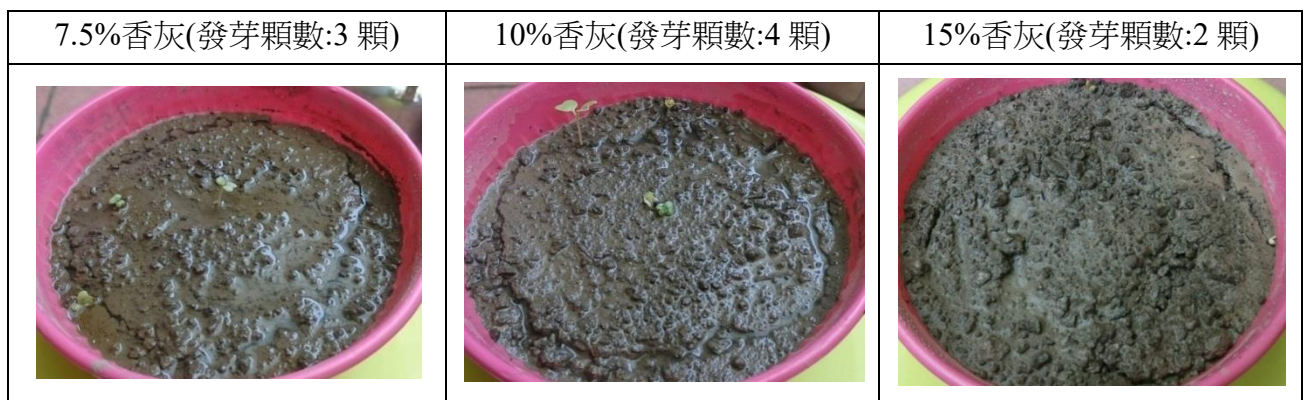


Day8-萌發率						
土壤	純土	2.5%香灰	5%香灰	7.5%香灰	10%香灰	12.5%香灰
萌發率	90%	20%	20%	30%	40%	0%
土壤	15%香灰	17.5%香灰	20%香灰	22.5%香灰	25%香灰	
萌發率	10%	0%	0%	0%	0%	

第八天，純土的萌發率依舊為 90%，推測那唯一沒發芽的一顆種子，可能就是一開始即死亡的。而發芽種子的平均高度，純土為 1.5cm，2.5%為 0.5cm，5%香灰為 0.8cm，7.5%香灰為 0.5cm，10%香灰為 0.7cm，15%香灰為 0.3cm。

Day9 5%香灰和 15%香灰土壤中的發芽種子皆比前一天多一顆。

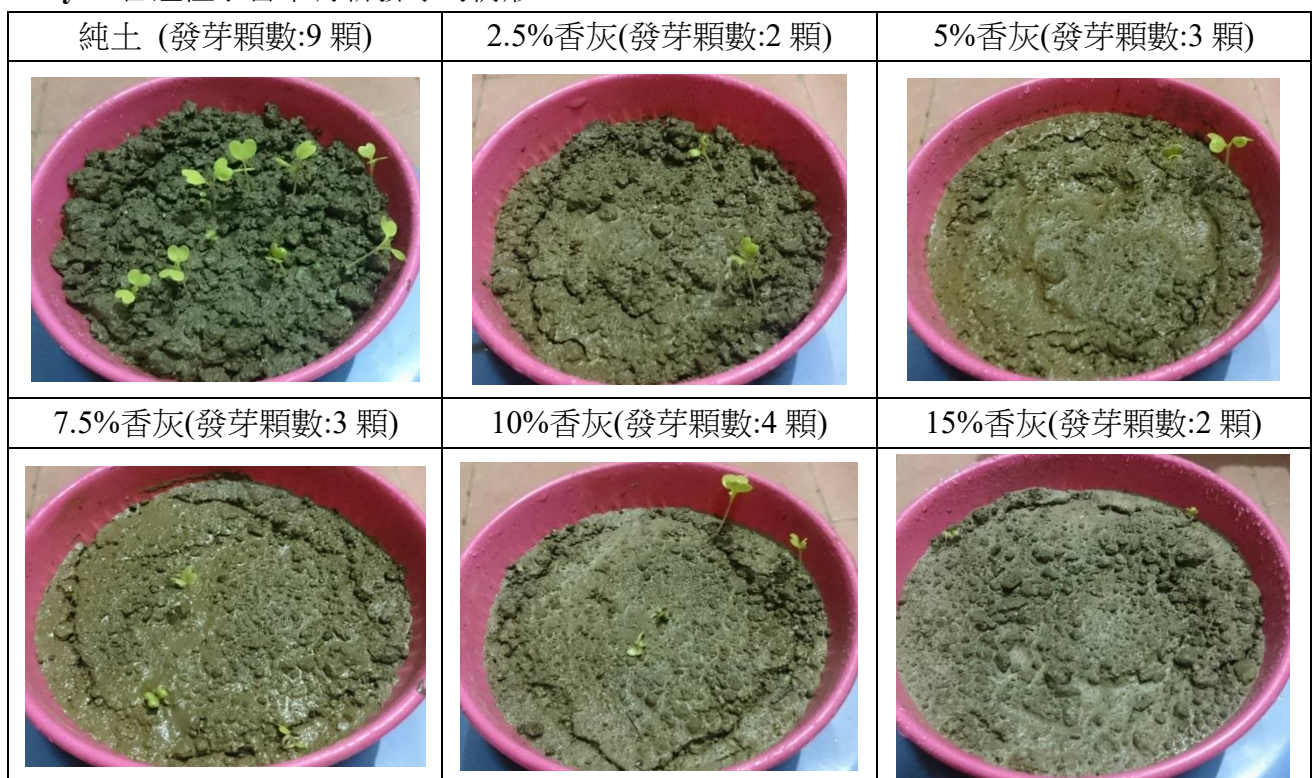




Day9-萌發率						
土壤	純土	2.5%香灰	5%香灰	7.5%香灰	10%香灰	12.5%香灰
萌發率	90%	20%	30%	30%	40%	0%
土壤	15%香灰	17.5%香灰	20%香灰	22.5%香灰	25%香灰	
萌發率	20%	0%	0%	0%	0%	

第九天，發現萌發率已經無太大變化，且從圖片中即可已明顯觀察到，小白菜在純土中，成長速度較快且顏色上也比在添加香灰的土壤中較為翠綠。而到了第九天，小白菜種子在添加 12.5%、17.5%、20%、22.5%和 25%香灰的土壤中，皆未有發芽情形，推測是因為土壤中摻雜過多的香灰，因此使 PH 值更於鹼性，不利植物生長。但唯一不合理的是，種子在 15%香灰的土壤中萌發率已到 20%，但添加比 12.5%的香灰卻依舊是 0%，對於這個問題更是需要後續再繼續觀察與探討。而其發芽種子的平均高度，純土為 1.9cm，2.5%香灰為 0.7cm，5%香灰為 0.9cm，7.5%香灰為 0.5cm，10%香灰為 1.0cm，15%香灰為 0.4cm。

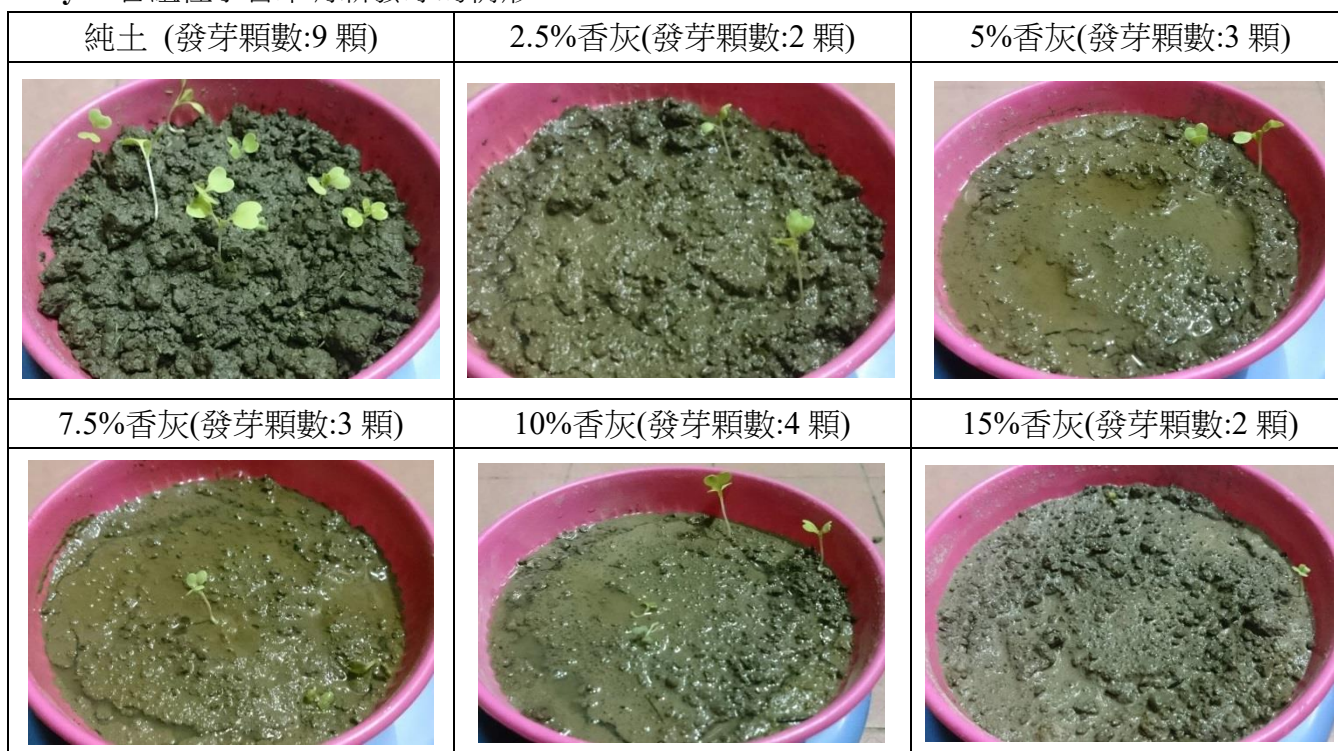
Day10 各組種子皆未有新發芽的情形。



Day10-萌發率						
土壤	純土	2.5%香灰	5%香灰	7.5%香灰	10%香灰	12.5%香灰
萌發率	90%	20%	30%	30%	40%	0%
土壤	15%香灰	17.5%香灰	20%香灰	22.5%香灰	25%香灰	
萌發率	20%	0%	0%	0%	0%	

第十天已不在有新發芽的種子，而從圖中我們可以發現，雖然 2.5%香灰只發芽 2 顆種子，而 0.5%發芽 3 顆，但 2.5%兩個幼苗的生長得相當成功，反而 0.5%三個幼苗中只有一個生長較快速。7.5%香灰中發芽的三顆種子其生長速度並不快速，反而 10%香灰發芽的四顆種子中，其中一顆生長十分快速。但所有組別裡，還是純土中的種子大部分都生長的較快速。而發芽種子的平均高度，純土為 2.3cm，2.5%香灰為 0.9cm，5%香灰為 0.9cm，7.5%香灰為 0.7cm，10%香灰為 1.2cm，15%香灰為 0.5cm。

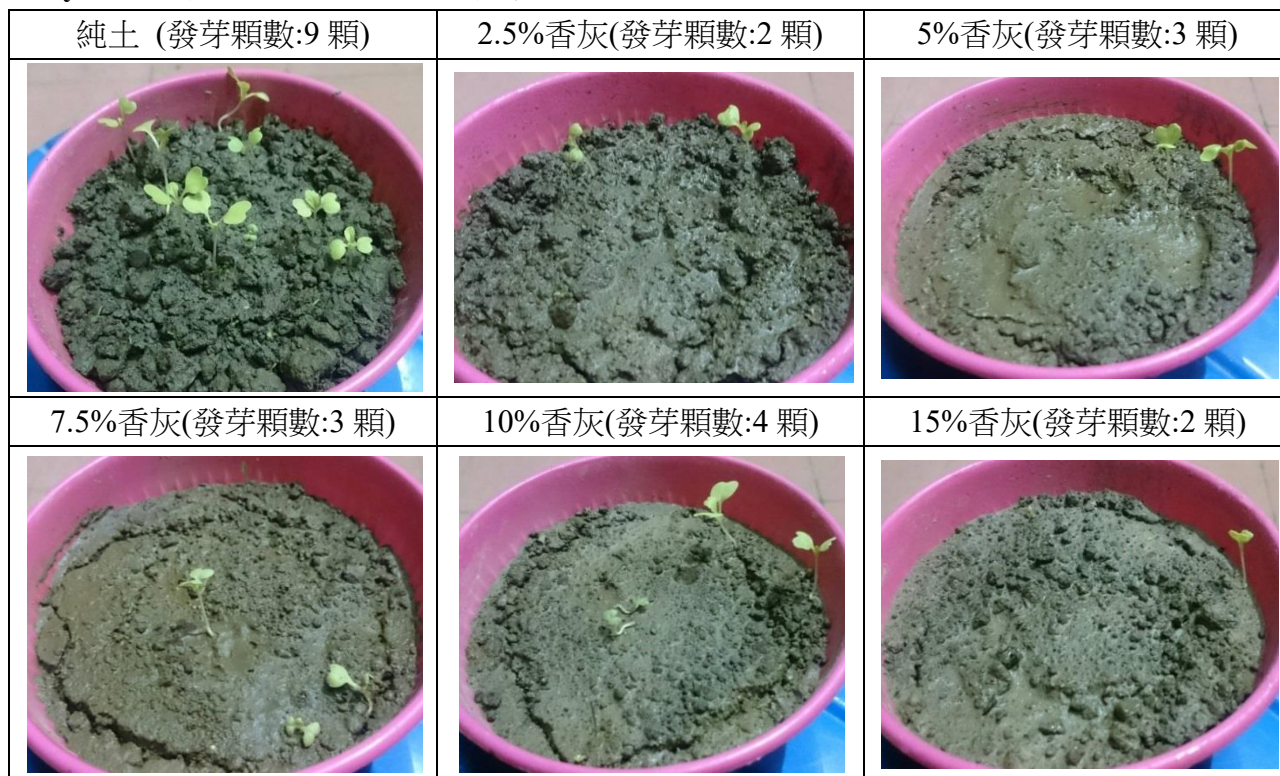
Day11 各組種子皆未有新發芽的情形。



Day11-萌發率						
土壤	純土	2.5%香灰	5%香灰	7.5%香灰	10%香灰	12.5%香灰
萌發率	90%	20%	30%	30%	40%	0%
土壤	15%香灰	17.5%香灰	20%香灰	22.5%香灰	25%香灰	
萌發率	20%	0%	0%	0%	0%	

第十一天，其各組發芽種子的平均高度分別為，純土 2.8cm，2.5%香灰 1.5cm，5%香灰 1.2cm，7.5%香灰 1.0cm，10%香灰 1.4cm，15%香灰 0.5cm。經過第十一天我們可以發現 15%香灰中的種子能夠發芽 2 顆，但是其發芽速度十分緩慢。而當土壤中摻雜 2.5%~10%的香灰時，其生長速度皆十分接近，且慢於純土快於 15%香灰。

Day12 各組種子皆未有新發芽的情形。



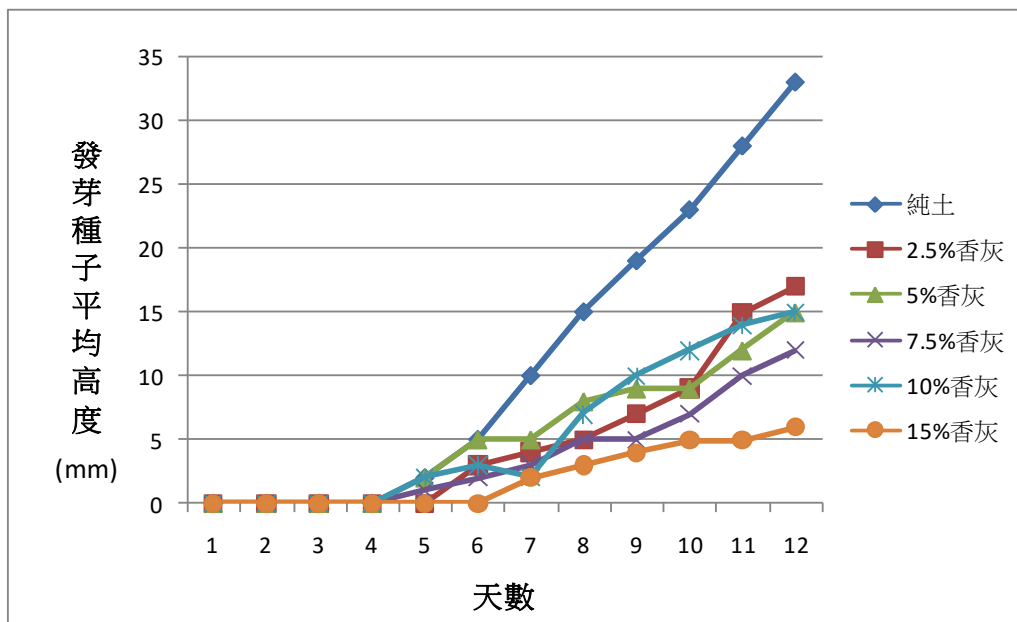
Day12-萌發率						
土壤	純土	2.5%香灰	5%香灰	7.5%香灰	10%香灰	12.5%香灰
萌發率	90%	20%	30%	30%	40%	0%
土壤	15%香灰	17.5%香灰	20%香灰	22.5%香灰	25%香灰	
萌發率	20%	0%	0%	0%	0%	

第十二天，其各組發芽種子的平均高度分別為，純土 3.3cm，2.5%香灰 1.7cm，5%香灰 1.5cm，7.5%香灰 1.2cm，10%香灰 1.5cm，15%香灰 0.6cm。從圖中可以觀察到，10%香灰土壤中發芽的四株幼苗，與 7.5%香灰土壤中發芽的三株幼苗，皆有兩株倒下，但並未死亡。而 15%香灰土壤中唯一發芽的兩顆種子，僅有一株幼苗生長較為正常，另外一株其生長速度十分緩慢。我們可以發現，當土壤中摻雜了超過 2.5%的香灰，其發芽率就與純土相差甚遠，且當種子在摻雜香灰的土壤，其生長速度也極為不穩定。

從我們上述所研究的實驗中，可以發現小白菜種子在純土中其萌發率比在添加香灰土壤中要高許多，且在純土中也生長較快速。

當土壤中摻雜香灰後，因香灰為強鹼，所以其土壤的 PH 值會變為較高，而過高的 PH 值就不利於植物的生長。然而我們平時主要食用的作物，適宜的 PH 值範圍，通常都是偏中性或微酸微鹼性，例如：水稻適合的 PH 範圍為 5.0-7.0，大麥為 6.5-8.0，玉米為 5.0-7.0，番薯為 5.5-7.0，蘋果為 5.5-6.6，香蕉則是 6.0-6.7(註 7，祥荃、2011)。且從我們所做的實驗，也可發現小白菜是不利於在鹼性土壤種植。

每種植物都有專屬自己適合的土壤，有些植物式適合在中性土壤，有些則是適合在微酸或微鹼的土壤，但可以肯定的是，大部分的植物皆並不適合過於鹼性或酸性的土壤，而當一般中性的土壤裡摻雜香灰，則會導致土壤 PH 值過鹼，過於鹼性的土壤會導致鐵、錳、鉍的有效性會變小，且更容易吸收碳酸根離子，阻礙其餘離子的吸收，最後導致植物不易生長。

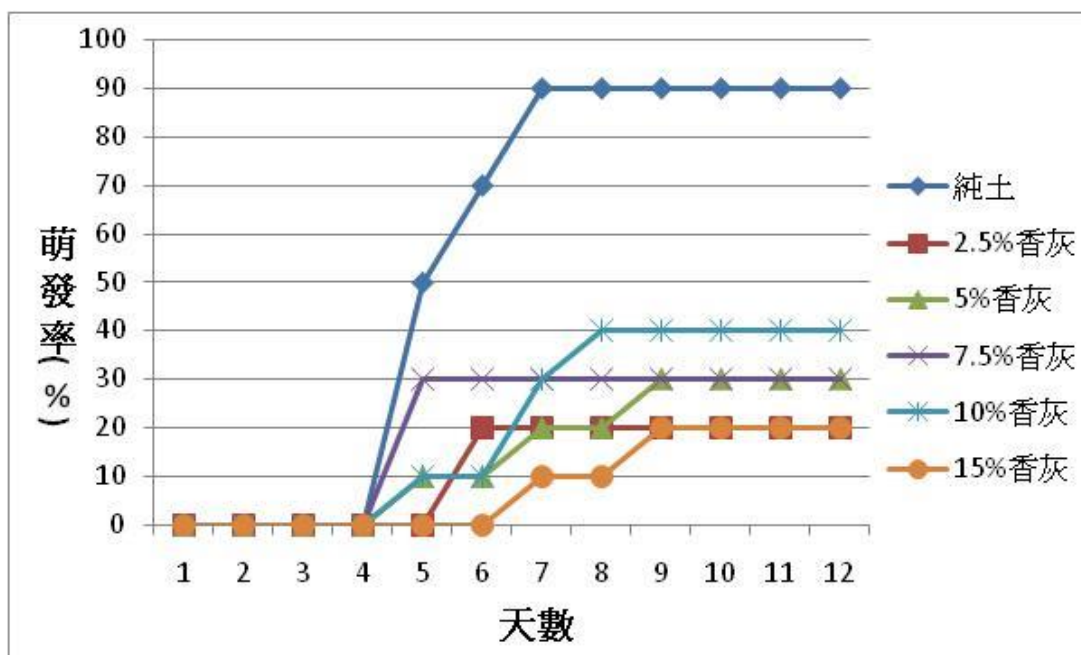


天數	純土	2.5% 香灰	5% 香灰	7.5% 香灰	10% 香灰	12.5% 香灰	15% 香灰	17.5% 香灰	20% 香灰	22.5% 香灰	25% 香灰
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0
6	5	3	5	2	3	0	0	0	0	0	0
7	10	4	5	3	2	0	2	0	0	0	0
8	15	5	8	5	7	0	3	0	0	0	0
9	19	7	9	5	10	0	4	0	0	0	0
10	23	9	9	7	12	0	5	0	0	0	0
11	28	15	12	10	14	0	5	0	0	0	0
12	33	17	15	12	15	0	6	0	0	0	0

*紅色字體為一到十二天各組其發芽種子的平均高度(單位為 mm)

由上面表格我們可以清楚發現，當小白菜種子在純土裡生長時，生長速度較為快速，而當土壤中摻雜了 2.5%~10%的香灰時，其生長速度明顯慢於純土，且我們發現 7.5%香灰的平均高度低於摻雜 10%香灰的，因此可以推測當土壤中摻雜 2.5%~10%香灰時，其生長就開始不穩定。而當土壤中添加 15%香灰時，其萌發率低，生長速度十分慢，且首顆發芽的時間也較純土晚。且本實驗也發現當小白菜種子種植在摻雜超過 15%香灰的土壤後，十顆種子竟連一顆都未發芽。

下圖為統計第一天到第十二天，小白菜種子在不同土壤中其萌發率的差異。



天數	純土	2.5% 香灰	5% 香灰	7.5% 香灰	10% 香灰	12.5% 香灰	15% 香灰	17.5% 香灰	20% 香灰	22.5% 香灰	25% 香灰
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	50	0	10	30	10	0	0	0	0	0	0
6	70	20	10	30	10	0	0	0	0	0	0
7	90	20	20	30	30	0	10	0	0	0	0
8	90	20	20	30	40	0	10	0	0	0	0
9	90	20	30	30	40	0	20	0	0	0	0
10	90	20	30	30	40	0	20	0	0	0	0
11	90	20	30	30	40	0	20	0	0	0	0
12	90	20	30	30	40	0	20	0	0	0	0

*紅色字體為一到十二天各組萌發率(單位為%)

觀察的第五天，有四組皆開始有發芽的跡象，且純土明顯領先。而其餘有發芽的組別，萌發率十分接近，但萌發率皆未超過 50%。

觀察數據後，可以發現小白菜種子在純土中較容易發芽。且從數據上我們可以明顯看到，僅僅是在土壤中摻雜 2.5%的香灰，萌發率就會降至 40%以下，可見其對種子的發芽產生極大的影響。而當土壤中摻雜了 15%的香灰，其發芽的速度就會比其他有發芽的組別還要慢一兩天。

四、廢棄香灰再利用--「香」的製作流程與「香灰」成分分析

既然廢棄香灰對水及土壤的污染極大，我們試著瞭解香及香灰的製程及成分，以利我們再利用它。

經實地到製香廠調查，「香」的製作主要是以竹子為主體，楠木樹皮磨粉為香料沾水產生黏性所製成的。為了解香灰的組成以利日後香灰取代時賽格式的計算。我們將寺廟取得的「香灰」送至國立台灣工藝發展中心檢驗香灰成分分析，如表 1、表 2。

表 1 有水洗有煨燒香灰之成份分析

檢驗項目	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	燒失量	total
檢驗結果%	3.76	0.4	0.07	0.49	3.85	50.44	0.03	0.26	40.65	100

表 2 無水洗無煨燒香灰之成份分析

檢驗項目	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	SrO	燒失量	total
檢驗結果%	9.43	1.23	0.42	4.36	2.33	47.74	0.11	0.82	0.22	37.18	100

五、純香灰之燒成試驗

探討有無水洗處理之香灰在 1230°C 氧化環境下的熔解狀況。步驟如下：

(一) 本研究固定變因將不同比例的試片於同一時間以電窯 1230°C 氧化燒成。電窯燒成升溫曲線如圖 2，本研究 1230°C 燒成曲線皆為下圖 2 所示。

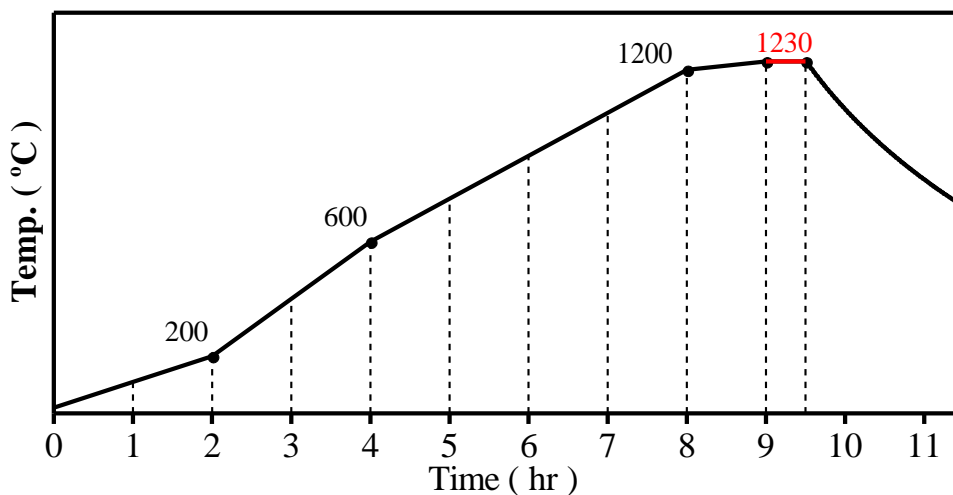
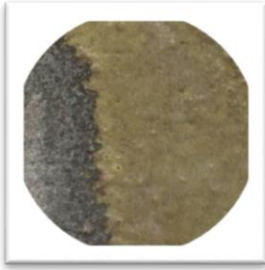
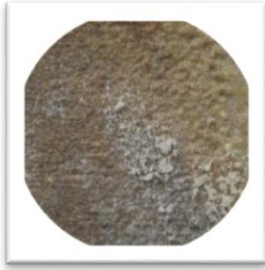




圖 2 目標溫度 1230°C 陶瓷用釉升溫曲線

(二) 進行實驗一到實驗四以不同處理方式的四種香灰製成釉藥，加 80% 水研磨後，用噴槍均勻噴塗在試片上，再以圖 2 的升溫方式以電窯 1230°C 氧化燒成。

表 3 實驗香灰在無煅燒的狀況下，比較有無水洗的差別

香灰	有水洗(陶土)	無水洗(陶土)
圖片		
描述	1/3不熟，有小顆粒	1/2不熟，有小顆粒

香灰	有水洗(瓷土)	無水洗(瓷土)
圖片		
描述	兩者表面皆粗糙且有不熟的部分，具有小顆粒	

以「無水洗香灰」與「水洗次數 10 次香灰」當作釉料，將其分別塗抹在陶土與瓷土試片上進行燒製，實驗結果發現無論是哪一種釉面，均有不熟部分，表面看起來粗糙不平滑，用手去觸摸有明顯的顆粒狀。由此實驗可得知不論有無水洗香灰，在燒製到 1230 度後，性狀方面上都無明顯差異，兩者也都**無法單獨成為釉料**，必須加入其他助熔的原料才能成為釉藥。

因此經由此實驗結果，我們決定選擇以青瓷釉色做為目標，嘗試將「無水洗香灰」取代部分原料，希望能進一步將這些不需經過任何處理、殘餘下來的香灰添加至釉料中，回收再利用，製作出擁有玉一般碧綠又不失環保概念的釉藥。

六、賽格式莫爾數計算法，進行香灰取代的青瓷釉式之比例計算

本研究使用霞正長石、香灰、輕質碳酸鈣進行三角試驗法，外加石英 7.8%及羧甲基纖維素 2.2% (**Carboxymethyl Cellulose**，簡稱 **CMC**，是一種常用的食品添加劑，作為黏稠劑) (註 2，薛瑞芳、2003)，球磨 3 小時後還原燒成，得到香灰製青瓷冰裂釉的各原料重量百分比為：

表 4 試片編號與各原料重量百分比

試片	原料	霞石正長石	香灰	輕質碳酸鈣	石英	CMC
A		66.7	28.8	4.5	7.8	2.2
B		66.7	22.3	11.0	7.8	2.2
C		69.9	25.5	4.5	7.8	2.2
D		63.5	25.5	11.0	7.8	2.2
E		69.9	22.3	7.8	7.8	2.2
F		63.5	28.8	7.8	7.8	2.2
G		66.7	25.5	7.8	7.8	2.2

表 5 三角座標及試片燒成結果

三角試驗座標	試片編號	燒成結果
	A	
	B	
	C	
	D	
	E	
	F	
	G	

經過三角試驗後，我們去了一趟故宮博物院，實際觀察比較使用香灰取代的青瓷釉與宋代青瓷釉色做比較。明代鑑賞家曹昭在《格古要論》中以為：汝窯青瓷「有蟹爪紋者為真」(曹昭，明代)，所以我們選取具有蟹爪紋較為均勻的 D 釉式及 G 釉式。

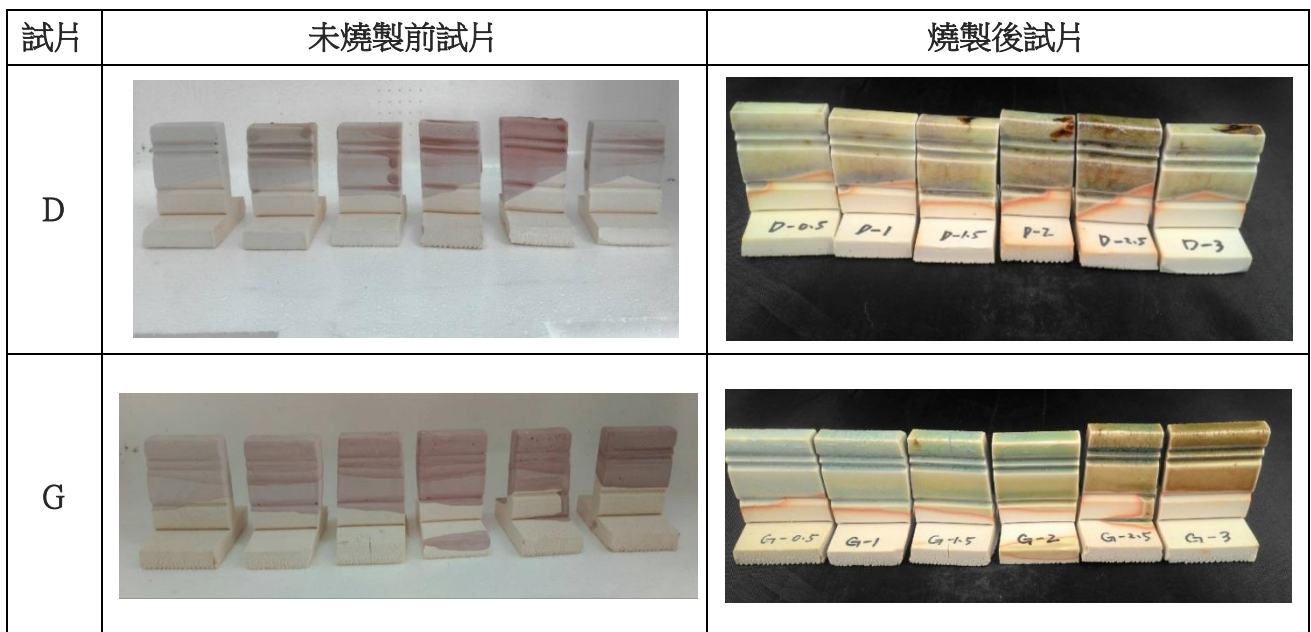
七、加入氧化鐵做青瓷發色試驗

「越窯青瓷屬高溫燒成石灰釉類，含有氧化鈣約 18%，氧化鐵為 1.64%」(孫超，2009)，本研究為模擬青瓷釉色澤，採用試片 D 及試片 G，加入 0.5%至 3%做發色試驗，過程結果性狀分析如下表。

表 6 釉式 D 和釉式 G 加入氧化鐵之一維分析情況表

編號	熔融性			光澤度			釉面變化			透明度		氣泡		釉面		性狀補充	氧化鐵重量百分比
	流動	良好	不熟	光澤	平光	無光	結晶	斑紋	開片	透明	混濁	有	無	平滑	粗糙		
D0.5		◆				◆			◆		◆	◆		◆			0.5
D1.0		◆				◆			◆		◆	◆		◆			1.0
D1.5		◆			◆				◆		◆	◆		◆			1.5
D2.0	◆			◆					◆		◆	◆		◆			2.0
D2.5	◆			◆					◆		◆	◆		◆			2.5
D3.0	◆			◆					◆		◆	◆		◆			3.0
G0.5		◆			◆				◆	◆		◆		◆			0.5
G1.0		◆		◆					◆	◆		◆		◆			1.0
G1.5		◆		◆					◆	◆		◆		◆			1.5
G2.0	◆			◆					◆	◆		◆		◆		流動性較低	2.0
G2.5	◆			◆					◆		◆	◆		◆		流動性明顯	2.5
G3.0	◆			◆					◆		◆	◆		◆		流動性稍減	3.0

表 7 燒製前後比較圖



我們發現，D 釉式加入氧化鐵後，燒成狀況偏為乳濁狀，呈色狀況不自然。G 釉式再加入 0 至 3%的氧化鐵後，釉面性質良好且具有開片(蟹爪紋)，具青瓷釉的特徵。G 釉式在加入氧化鐵上的六個試片釉面光澤度也十分良好，呈色自然。

八、賽格式分析(李永萍，2006)


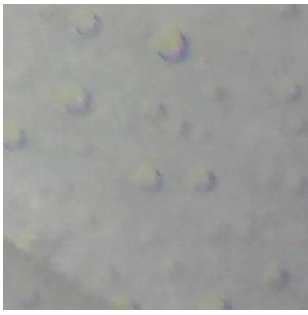

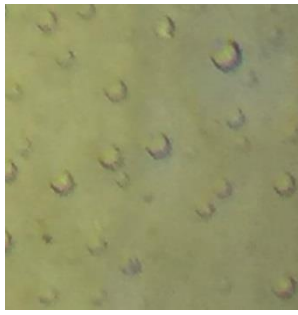
以試片 G 之釉式選定為香灰青瓷釉式，以賽格式莫爾數分析計算如下：

原料	重量百分比	計算簡式	備註
霞正長石	61.9	$Na_2O : 61.9 \div 284.2 = 0.22$ $Al_2O_3 : 61.9 \div 284.2 = 0.22$ $2SiO_2 : (2 \times 61.9) \div 284.2 = 0.44$	霞正長石分子量 = 284.2 ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)
石英	7.2	$SiO_2 : 7.2 \div 60.1 = 0.12$	石英分子量 = 60.1
輕質碳酸鈣	7.2	$CaCO_3 : 7.2 \div 100.1 = 0.07$	碳酸鈣分子量 = 100.1
香灰	23.7	$SiO_2 : 23.7 \times 3.76\% \div 60.1 = 0.02$ $Al_2O_3 : 23.7 \times 0.45\% \div 102 = 0.001$ $Na_2O : 23.7 \times 0.07\% \div 62 = 0$ $K_2O : 23.7 \times 0.49\% \div 94.2 = 0$ $MgO : 23.7 \times 3.85\% \div 40.3 = 0.02$ $CaO : 23.7 \times 50.44\% \div 56.1 = 0.21$ $TiO_2 : 23.7 \times 0.03\% \div 79.9 = 0$ $Fe_2O_3 : 23.7 \times 0.26\% \div 159.7 = 0$	
初始賽格式		賽格式	
RO / R_2O R_2O_3 RO_2		RO / R_2O R_2O_3 RO_2	
$\left[\begin{array}{l} CaO \ 0.28 \\ MgO \ 0.02 \\ Na_2O \ 0.22 \end{array} \right]$		$\cdot \left[Al_2O_3 \ 0.22 \right]$	$\cdot \left[\begin{array}{l} SiO_2 \ 0.44 \\ SiO_2 \ 0.12 \\ SiO_2 \ 0.02 \end{array} \right]$
		$\left. \begin{array}{l} \{ 0.54 \ CaO \\ 0.04 \ MgO \\ 0.42 \ Na_2O \} \right\} \cdot 0.42 \ Al_2O_3 \cdot 1.12 \ SiO_2$	

九、故宮館藏青瓷與本研究結果釉面氣泡顯微分析比較

「由顯微鏡頭觀察院藏青瓷釉面的氣泡分佈自然，分散於釉層中，有層次感 (王柏亭，2014)，使用外掛手機的 30 倍顯微鏡頭做顯微氣泡觀察，與故宮文獻觀察結果比較如表 8：

表 8 顯微觀察照片比較

故宮青瓷顯微觀察 (註 6，王柏亭，2014)	本研究 G 釉式	本研究 G1.5 釉式	本研究 G2.5 釉式
			
氣泡分佈自然	氣泡分佈自然	氣泡分佈自然	氣泡分佈自然

利用與國立故宮博物院青瓷顯微觀察比較本研究釉式，有助於製作技術的研發與改良。本研究的釉式顯微觀察與故宮青瓷顯微觀察，皆有氣泡分佈且自然，但氣泡量比故宮青瓷較少，應為古代官窯均為人工使用柴火燒製，燒製到高溫的時間較長，我們使用電窯燒製，燒製時間短，氣泡產生量較少。

伍、研究成果

- 一、我們以內政部統計全台共有一萬兩千零二十六間廟宇，經調查，以某地區的中型寺廟為例，每日平均產生香灰量為 120 公斤，推估全台每天會產生一百四十四萬三千一百二十公斤的香灰，由實驗一可得知，200 克的香灰會污染超過 2000ml 的水(pH 值=12.35)，換算全台灣一天產生的香灰，會污染超過 2886 萬公升，任意丟棄香灰對環境影響極大。
- 二、由於香灰為強鹼，與土壤混合後 PH 偏高，而過高的 PH 容易導致大部分的植物不利於生長。
- 三、小白菜種子在純土與 10%香灰的土壤中皆在第五天開始發芽，但到了**第九天**，**幼苗在 10%香灰的土壤中開始停止生長且泛黃，第十天時已嚴重枯萎**。純土中的幼苗則持續生長。而小白菜種子在 20%香灰的土壤中到第七天才開始發芽，且其生長速度十分緩慢。我們推測，**當土壤中摻雜超過 20%的香灰，即會造成植物無法發芽與生長**。
- 四、使用 100%廢棄香灰噴塗作品試片燒成結果釉面粗糙，但部分溶解，加入霞正長石、石英、碳酸鈣等助熔劑後可取代部分釉用原料。
- 五、經三角試驗及賽格式莫爾數計算，加上眼睛觀察開片(蟹爪紋)，香灰製青瓷釉的最佳釉

$$\text{式比例為 } \left\{ \begin{array}{l} 0.54 \text{ CaO} \\ 0.04 \text{ MgO} \\ 0.42 \text{ Na}_2\text{O} \end{array} \right\} \cdot 0.42 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.12 \text{ SiO}_2$$

- 六、加入氧化鐵做青瓷發色試驗中，以添加**0.5%至 1.5%**為最佳，釉面色澤自然。0.5%至 1.5%燒成色澤為天青色，2%至 3%燒成色澤轉為碧綠色。

陸、討論

- 一、本研究之成果以顯微鏡觀察，釉層中含有氣泡，且有層次感，為具青瓷釉的特性。為使顯微觀察的氣泡量與故宮青瓷相仿，應拉長燒製溫度曲線。
- 二、過於鹼性的土容易使植物發芽幾天後即逐漸枯萎趨近死亡，則被任意丟棄的香灰假如混雜於一般中性土壤中，會造成其土壤上的作物無法生長。但倘若摻雜於酸性土壤，則有機會產生酸鹼中和，使其土壤更利於作物生長，值得後續研究及探討。
- 三、丟棄香灰對環境的影響十分廣大，對於水源，20g 的香灰即使水洗 15 次 PH 值依舊為強鹼。對於土壤，當土壤中摻雜 10% 的香灰，即會影響整個植物無法生長最後逐漸死亡。且任意丟棄香灰所以影響的範圍不僅僅是水源和土壤，因此更是應該去思考，如何使被丟棄的香灰得到最有效且環保的利用。
- 四、本研究實驗將廢棄香灰取代釉藥原料，成功燒製青瓷釉藥。亦可嘗試使用於建築材料的添加再利用，例如摻入水泥內，取代部分水泥原料，值得後續探討研究。

柒、結論

- 一、全台灣一天產生的香灰，會污染超過 2886 萬公升的水。任意丟棄香灰對環境中的水污染影響極大。
- 二、土壤污染試驗中，加入 10% 及香灰的土壤，使得小白菜種子無法成長，枯萎而死。加入 20% 及以上香灰的土壤，更使得小白菜種子無法發芽。任意丟棄香灰對環境中土壤污染影響極大。
- 三、香灰廢棄，加入霞正長石、石英、碳酸鈣等助熔劑後可取代部分釉用原料，本研究之釉式可再利用的廢棄香灰佔釉料重量的 25.5%。
- 四、經三角試驗及賽格式莫爾數計算，加上眼睛觀察開片(蟹爪紋)，香灰製青瓷釉的最佳比

$$\text{例為 } \left\{ \begin{array}{l} 0.54 \text{ CaO} \\ 0.04 \text{ MgO} \\ 0.42 \text{ Na}_2\text{O} \end{array} \right\} \cdot 0.42 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.12 \text{ SiO}_2$$

- 五、加入氧化鐵做青瓷發色試驗中，以添加 0.5% 至 1.5% 為最佳，釉面色澤自然。0.5% 至 1.5% 燒成色澤為天青色，2% 至 3% 燒成色澤轉為碧綠色。
- 六、本研究之成果以顯微鏡觀察，釉層中含有氣泡，且有層次感，為具青瓷釉的特性。

捌、參考資料及其他

- 1.內政部統計處(2016)。103 年底宗教寺廟教會概況。中華民國內政部網站。2016 年 03 月 02 日，取自 http://www.moi.gov.tw/stat/news_content.aspx?sn=9667
- 2.薛瑞芳(2003)。釉藥學。新北市：藝術家出版社
- 3.曹昭(明代)。格古要論。收錄於<<續修四庫全書>>(臺南：莊嚴文化，1995)，第 101 冊
- 4.孫超(2009)。窯火中的創造。新北市：新北市立鶯歌陶瓷博物館
- 5.李堅萍(2006)。陶藝塞格式釉方數值與比率之最適區間研究。臺北教育大學學報，19， 2。
- 6.王柏亭(2014)。大觀北宋汝窯。台北市：國立故宮博物院
- 7.祥荃(2011)。有機農業。2016 年 04 月 02 日，取自 http://cc2687.blogspot.tw/2011/06/v-behaviorurldefaultvmlo_15.html?m=1

【評語】 052605

1. 香灰再利用研究，具有資源循環概念，且為解決地方問題之創意研究
2. 在方法設計上，應由文獻資料收集香灰的它有機物化學之成分，以了解再利用之可行性，避免再利用過程的二次污染。
3. 釉面氣泡顯微鏡照相分析建議以氣泡密度量化實驗結果，更能呈現研究的客觀事實。
4. 研究具有實用性價值。
5. 報告內容清晰與表達能力佳。