

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 地球科學科

第二名

080502

塵土飛不飛-土磚對揚塵抑制之效力分析

學校名稱：雲林縣古坑鄉東和國民小學

作者： 小六 潘佳佳 小五 蘇羽柔 小四 李常恩 小四 謝育騰	指導老師： 林慶宗 白秀青
---	-------------------------

關鍵詞：揚塵抑制、土磚製作、土磚性質分析

摘要

抑制揚塵是一項重要環境議題，本實驗嘗試利用含不同比例(0%, 3%, 10% w/w)樹葉粉的紅土磚，探討其抑制揚塵之效果。由抑制揚塵實驗得知，三種土磚塊，均展現良好的抑制揚塵效果。三種磚塊的平均密度(g/cm^3)依序為： 1.78 ± 0.091 、 1.88 ± 0.081 及 1.63 ± 0.065 ，而在流量 4 L/min、20 分鐘的沖刷試驗中，其沖刷前後平均重量變化比例依序為：-25.30%、-2.79%及-0.64%。由各式土磚分析可知，含 10%樹葉粉的紅土磚對雨水沖刷具有相對較好的抗性；此結果在植草試驗中，亦得到進一步驗證，可供後續實務施作參考。

壹、研究動機

在國小六年級自然領域的污染防治課程中，老師曾講述到空氣汙染內容，並提及在台灣西半部沿海縣市，其河川沿岸裸露的河床，易受東北季風吹襲，導致嚴重揚塵的危害，而居住在此間的我們，更能感受揚塵帶來的生活不便，甚或是身體健康的傷害。尤其是近年來大家對於空氣品質的重視，在校園內都會依照中央所訂 $\text{PM}_{2.5}$ （細懸浮微粒）危害健康程度，懸掛四種不同顏色旗幟：綠色代表「低風險」，黃色表示「要小心」，紅色是「有害」，紫色是非常高度影響健康的「危險」，以提醒學童要做好必要的個人防護工作，並且留意進行室外活動的安全性。

揚塵防治的方法很多，常見的如：水覆蓋、綠覆蓋及其他覆蓋(如攔沙網、稻草等)，這些工法都能產生相當程度的抑制揚塵效果；但除了上述方法外，是否有其他方法可以使用，引發進行本研究之強烈動機。

貳、研究目的

老師在講述早期台灣的建築時，曾介紹過「土角厝」的由來：早期先民渡海來台後，因為沒有充裕搭建房子的材料，但又需要儘快有房子住，於是就地取材，使用隨處可得的田土，混入一些生活中可得到的材料，就蓋了土角厝。這讓我們突發奇想，是否可以使用土磚進行覆蓋，而降低甚至抑制揚塵的產生？因此開始本研究之設計與實驗。







在製作土磚塊部分，係參考第52屆國中組科展作品：「土角厝的奧秘」之土磚成分與做法，加以改良。本研究採用客家庄土角厝常用之紅土磚進行實驗，分別加入不同比例之樹葉粉(校園常見之有機廢棄物)，以取代土磚常用之切碎稻稈或穀殼。製作完畢之紅土磚，將進行基本

物理量之量測，以了解各式紅土磚之差異；並進行模擬雨水之沖刷試驗，以了解各土磚對雨水的耐受性。在植草實驗中，進一步間接檢測紅土磚之水分入滲情況；最後將進行紅土磚現地抑制揚塵測試。綜合上述實驗結果，可提供日後在使用紅土磚覆蓋來抑制揚塵之重要參考資料。

參、研究設備及器材

一、實驗設備及器材：

本實驗所使用的儀器設備及器材，如下圖一所示。





相片			
	<p>可拆式塑膠模具 (內尺寸 15cm×15cm×15cm) 用途：製作土磚</p>	<p>電子秤 (3-3000g；聖岡科技) 用途：秤取少量樣品使用</p>	<p>高速多功能粉碎機 (容量 4500g；展晨) 用途：磨製樹葉粉</p>
相片			
	<p>不鏽鋼方形蓮蓬頭 (20 公分見方，100 孔) 用途：沖刷實驗出水端</p>	<p>手持電動水泥攪拌器 用途：均勻攪拌土磚原料</p>	<p>自製壓模板 (15cm×15cm) 用途：土磚入模後壓平用</p>

相片			
	<p>台製流量計 (±1.0%；FFUBA, 力通) 用途：沖刷實驗控制出水量(L/min)</p>	<p>三腳鐵架 用途：懸掛不鏽鋼方形蓮蓬頭並調整沖刷高度使用</p>	<p>恆溫乾燥箱 (50°C-300°C) 用途：沖刷實驗前後烘乾土磚</p>
相片			
	<p>鋁箔盒(手工打洞) 用途：沖刷試驗中盛裝土磚塊，並於沖刷後盛裝土磚於乾燥箱內烘乾</p>	<p>多功能環境檢測儀 用途：檢測環境 PM_{2.5}、PM₁₀、TSP、噪音、溫度、濕度、風速、風向、風力</p>	<p>彈簧秤 (0-100kg) 用途：秤取大量樣品使用</p>
相片			
	<p>精密電動天平 (SHIMADZU) 用途：精秤 1 克假儉草籽</p>	<p>切碎機 用途：將校園落葉做初步的切碎以利後續磨粉</p>	<p>篩網 (網目：1.5 分) 用途：篩除較大紅土塊</p>

圖一、本實驗使用之儀器設備及器材

二、實驗材料：

本實驗製作之土磚，是使用北部山區之紅土(網路購買)，而樹葉粉是由校園清掃之落葉曬乾磨粉使用；假儉草籽是校園綠美化使用之種子，用於植草試驗中；而乾燥之田土，可舖於測試場地充當揚塵來源。

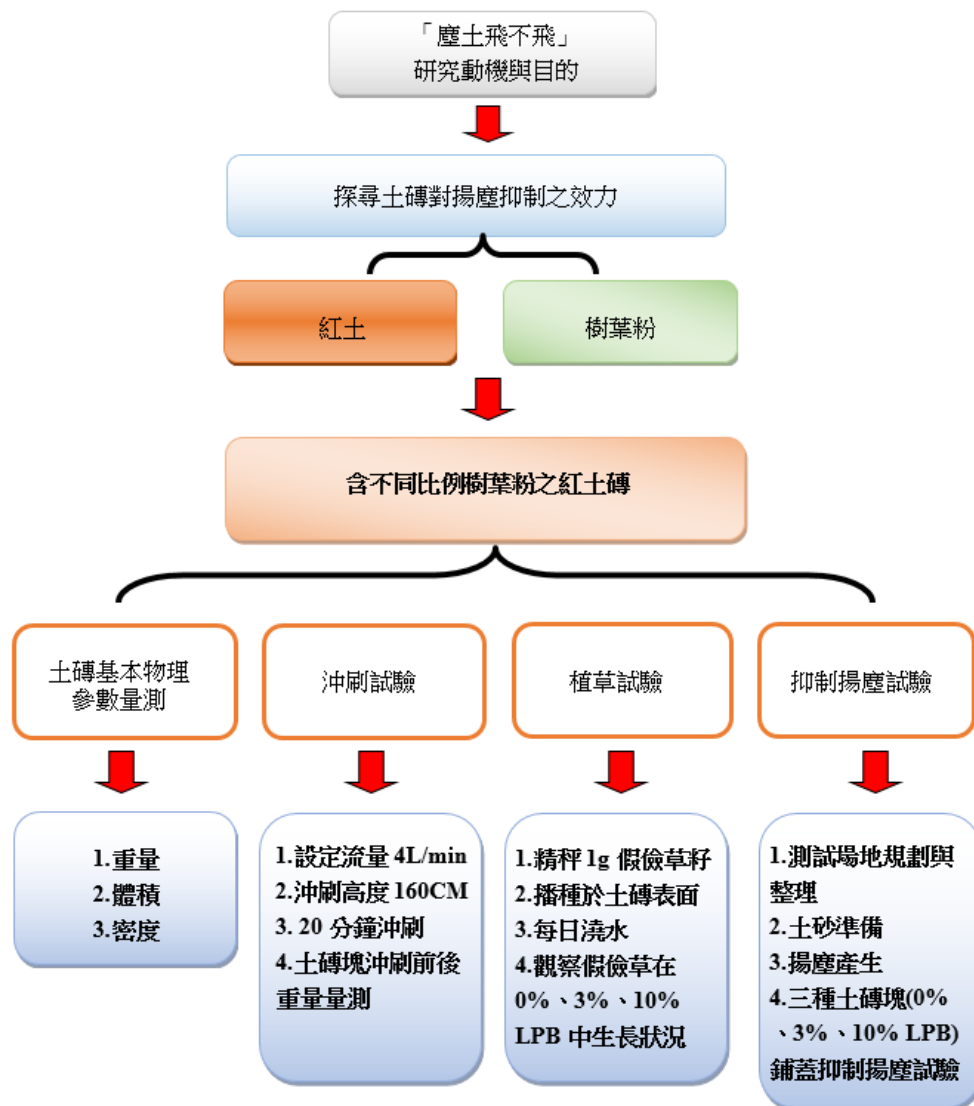
相片				
	紅土	樹葉粉	假儉草籽	田土

圖二、本實驗使用之主要材料

肆、研究過程或方法

一、研究流程

本研究之流程圖，如下圖三所示：



圖三、研究流程圖

二、實驗前之準備工作

因本研究需使用機器切碎樹葉及磨粉，操作切碎機及高速磨粉機均屬較危險實驗，故在正式實驗前先分組個別操作機具，一方面確定實驗操作安全步驟，一方面則熟悉器材的操作及個人防護方法，另外，亦須了解模具的組裝與拆卸方式(圖四)。



圖四、實驗前訓練與研習

三、研究方法

本次研究共包含了五大項實驗操作：土磚製作、土磚基本物理參數量測、沖刷試驗、植草試驗及抑制揚塵試驗。各實驗方法分述如下：

(一)土磚製作

土磚製作係參考第 52 屆國中組科展作品：「土角厝的奧秘」之方法加以改良。雖然大部分的土角厝是用田土當成主要建材，但也有少數山區的土角厝是用盛產的紅土當成土磚原料。因為揚塵地大部分色系以灰黑色為主與田土顏色相仿，若使用田土磚進行測試，一旦揚塵產生，將有可能無法分辨其來源是原本的測試地或是土磚遭強風吹襲所造成，故經討論，決定使用北部山區的紅土進行實驗，以免造成日後實驗的誤判。另外，在傳統的土磚製作過程中，大多會加入 2-3% 的切碎稻稈，因考慮校園每天都會產生大量的落葉，所以本研究將以校園落葉磨粉取代切碎的稻稈，除了方便取得外，也可以去除部分的校園有機廢物。由資料得知加入的細碎稻稈量愈高，也會造成土磚塊物理性質的改變，所以本研究除了製作含 3% 樹葉粉的紅土磚外，特別設計含不同比例樹葉粉的紅土磚，以討論含高比例樹葉粉時，其土磚性質有何改變，故後續各實驗將主要使用含 0% (w/w；對照組)、3% (w/w) 及 10% (w/w) 樹葉粉的紅土

磚進行測試，為便於命名，三種土磚塊將分別簡稱為：0% LPB, 3% LPB 及 10% LPB (LPB: Leaf Powder-blended Brick)。

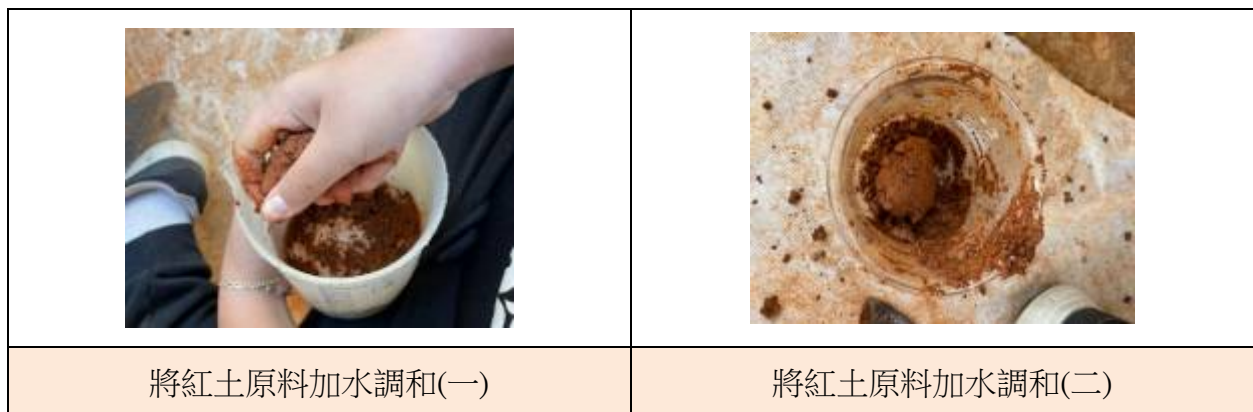
本研究採用可拆式塑膠磚模，方便拆模及模具清洗，磚模內部長、寬、高皆為 15 公分。為減少各批土磚其物理性誤差，所以採用土團固定重量入模的方式進行製作，一開始試做 10 公分高的土磚，但發現單塊土磚成品重達 2 公斤以上，除了消耗過多原料外，對我們小學生而言，大量操作會有體力上的困難，故將高度減半，製作 5 公分高的土磚塊。各脫模後的磚塊使用地理定位命名方式(如下表一說明)，以精確知道所挑選進行測試是哪塊土磚。

表一、脫模土磚塊命名方法 (以 1100124-0-01-A6 為例)

1100124-	0-	01-	A6
脫模日期-	樹葉粉含量-	批次-	A 列 6 行

1. 小量土粉原料加水結團預試驗

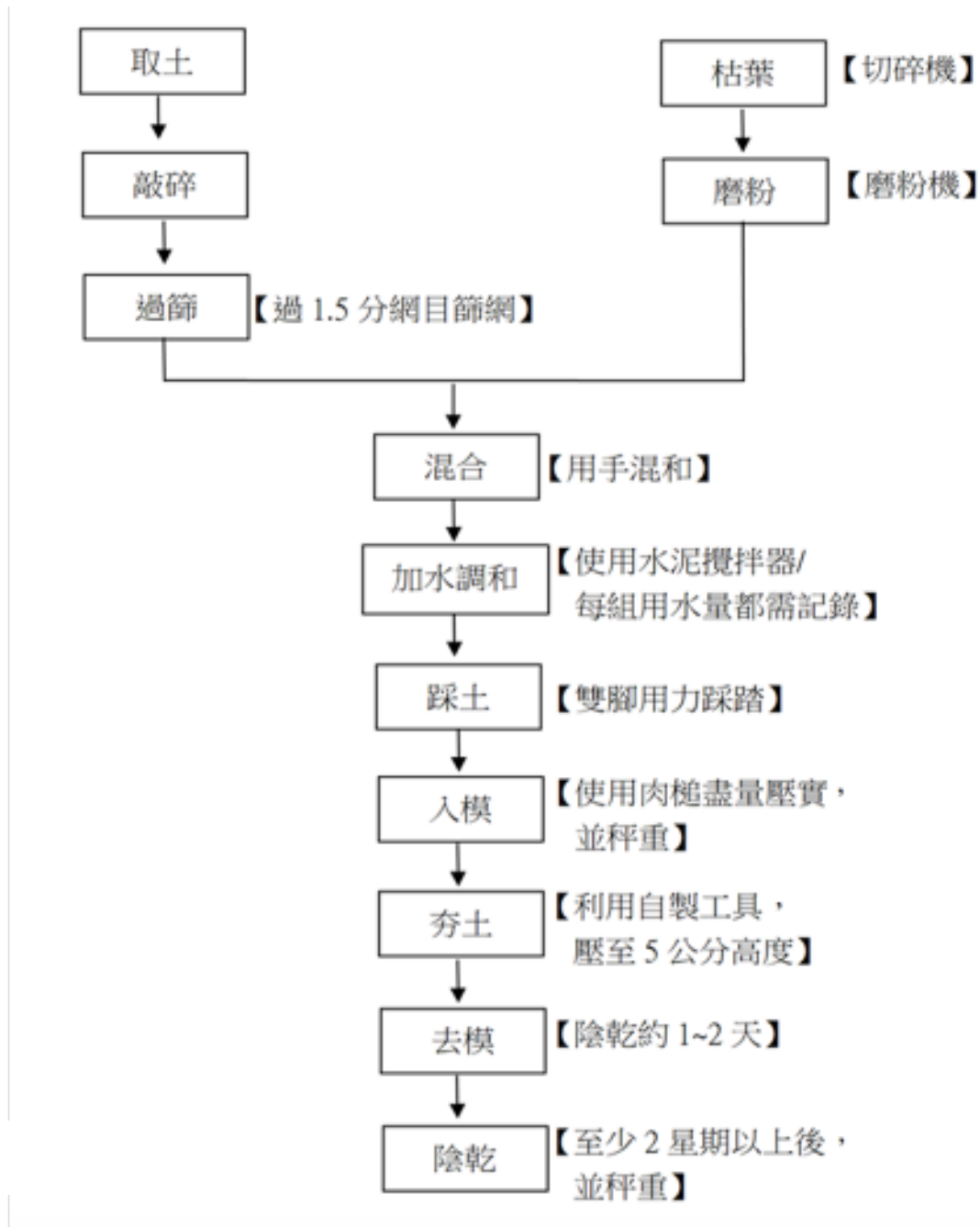
土磚製作是否能成功，所加入的水量是關鍵。不同來源與成分的土體，在進行大量製作之前，必須先進行小量土團凝結時加入水量比例分析。取 100g 原料(分別含 0%、3%及 10%樹葉粉)，加入 20g、30g、40g 之水量，以雙手進行揉團測試，並記錄各土團成型狀況。前試驗過程，如下圖五所示。



圖五、小量土粉原料加水結團預試驗

2. 土磚製作流程

由上預試驗的結果得知，不論是製作 0% LPB, 3% LPB 或 10% LPB，均需額外加入 40% 之水量，才能產生含水量適中的土團，故後續的大批磚塊都以此比例水量加入後，視情況需要進行加減，並記錄加入之水量。紅土磚製作流程如下圖六，而各操作如圖七所示。



圖六、紅土磚製作流程

		
<p>取土敲碎</p>	<p>紅土過篩</p>	<p>將枯葉磨成樹葉粉</p>
		
<p>紅土秤重</p>	<p>樹葉粉秤重</p>	<p>將固定比例的樹葉粉混入紅土內</p>
		
<p>倒入固定比例的水攪拌均勻</p>	<p>以人工腳踏方式將紅土及樹葉粉團混合均勻</p>	<p>將固定重量的土團入模壓實</p>
		
<p>成形(陰乾 1-2 日)</p>	<p>脫模</p>	<p>成品(陰乾 2 週以上)</p>

圖七、土磚製作步驟

(二)土磚基本物理參數量測



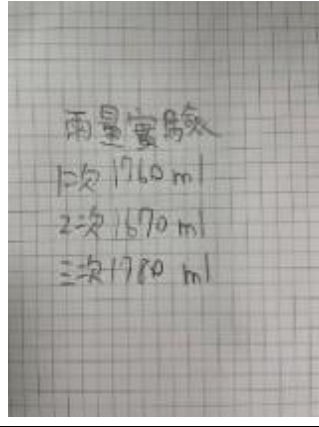
土磚塊因為是使用人工壓模的方式製作，所以土磚四個高度會有所差異，而且脫模時常有表面不平整或稜角缺損的現象，因此在計算體積時，會造成較大的誤差，所以本實驗在計算土磚體積時，係先量出每個土磚 12 個稜邊，再採用四對邊平均及四個高平均的方式，計算土磚體積。並量測土磚的重量，依密度公式計算土磚的密度。

而挑選測試用的土磚(植草試驗及沖刷試驗)會先參考選用最接近平均密度的土磚，再評估土磚表面的狀況做最後的決定。

(三)土磚沖刷試驗

進行土磚沖刷試驗，主要的目的是要了解土磚在下雨的情況下，能否抵擋雨水的沖刷，一旦鋪設完畢的土磚，如果經過一場大雨之後，完全崩解流失，將會造成其它環境問題，且會喪失其實用價值。本沖刷試驗設計係參考第 57 屆科展國小物理科作品：「淋淋從從-探討物體移動速度與受雨量的關係」及同屆科展國小地球科學科作品：「砂飛土跳-雨水沖刷砂土之模擬實驗研究」，以定流量 4.0 L/min、距土磚表面高度 160cm 的模擬降雨方式，進行 20min 土磚沖刷試驗。為了瞭解以上條件的模擬降雨，是屬於哪種雨量分級，所以先利用課本教授量測雨量的方法，使用 2000ml 的量筒進行實驗(如下圖八)；而土磚沖刷實驗方法與步驟，如圖九所示。



		
測量並架好不鏽鋼 20 公分見方蓮蓬頭之高度，距離量筒底面 160 公分	自來水經由流量計確認輸出水量之一致性 (4 L/min)	於蓮蓬頭下放置量筒

		
<p>重覆測量並固定時間（100 秒）收集的水量</p>	<p>觀察量筒內的水量，並量測高度</p>	<p>記錄</p>

圖八、雨量量測實驗

為使沖刷試驗結果更周延可靠，因此我們除了使用 0%、3% 及 10% LPB 外，另外製作少量 5%、15%、20%、25%、30%、35% 及 40% LPB (45% LPB 依一般程序製作時，因樹葉粉過多，無法成團)，以進行多點 LPB 沖刷試驗。LPB 使用薄層 20.5*20.5*4.7cm 鋁箔盒盛接，並以人工打出多個直徑約 0.5cm 孔洞，以利沖刷試驗排水及後續烘乾使用。為提高實驗的嚴謹度與一致性，各 LPB 於沖刷試驗前後，均置入恆溫乾燥箱中，以 105°C 烘乾過夜 (至少 12 小時)，將秤量之水分影響因子降至最低。主要沖刷試驗操作，如下圖九所示。




		
<p>水經由流量計確認水量之穩定性 (4 L/min)</p>	<p>蓮蓬頭之高度，距離紅土磚表面 160 公分</p>	<p>沖刷試驗架設全景</p>

		
<p>實驗場地四周圍起紙板，避免風的干擾</p>	<p>沖刷試驗管線架設全景</p>	<p>沖刷實驗前先秤磚的重量</p>
		
<p>沖刷試驗</p>	<p>沖刷 20 分鐘(4L/min；第 1 次)</p>	<p>沖刷 20 分鐘(4L/min；第 2 次)</p>

圖九、土磚之模擬雨水沖刷試驗

(四)植草試驗

植草試驗之目的主要是為了解那一種土磚塊較易長出草來，若某些揚塵地可以就近取得水源，那鋪設的土磚塊可以思考種植能適應環境的草種或植物，以強化水土保持的功能。本試驗取 0%、3% 及 10% LPB 各 3 塊進行植草實驗，其方法與步驟，如下圖十所示。

		
<p>精秤 1g 假儉草種子泡水 30 分鐘 (水量 50 ml)</p>	<p>紅土磚噴水 50 ml 使表面濕潤</p>	<p>將假儉草種子和水一起倒在紅土磚上</p>

		
<p>將假儉草種子在紅土磚上抹平</p>	<p>蓋上衛生紙，避免種子在澆水時流出土磚</p>	<p>每天上午及下午各澆水 50 ml</p>
		
<p>觀察記錄草籽萌芽情況(一)</p>	<p>觀察記錄草籽萌芽情況(二)</p>	<p>每天澆水記錄</p>

圖十、植草實驗之步驟

(五)抑制揚塵實驗操作

取0%、3%及10% LPB 各72塊，進行抑制揚塵實驗，規劃測試場域大小約為140cm×102cm，場域周圍以厚紙板覆蓋，使場域形成一個裸露地。以乾燥田土(粉末狀)平鋪於測試場域上(約5cm)，充當揚塵來源。實驗開始後，開啟工業用電風扇吹向實驗場地，模擬風吹向乾燥田土產生揚塵，每30秒記錄偵測數據PM_{2.5}、PM₁₀及TSP(Total Suspended Particulate；總懸浮微粒)，作為對照組測量結果。實驗組取三種LPB以10塊×7塊+2塊(置於前端偵測器旁)之擺放方式，平鋪於5cm乾燥田土上，分別進行抑制揚塵實驗，詳細操作步驟如下圖十一所示。

		
<p>清理測試場域</p>	<p>確定實驗場地大小，四周以紙板遮蔽</p>	<p>實驗場域內鋪上 5 公分厚的過篩乾燥田土</p>
		
<p>刮平鋪設之田土表面</p>	<p>開啟工業用電風扇吹向實驗場地，模擬風吹向沙土產生揚塵</p>	<p>重新整理場域</p>
		
<p>鋪上 72 塊 LPB</p>	<p>開啟工業用電風扇吹向實驗場地，模擬強風吹襲</p>	<p>將觀察數據記錄在記錄表上</p>

圖十一、抑制揚塵實驗步驟

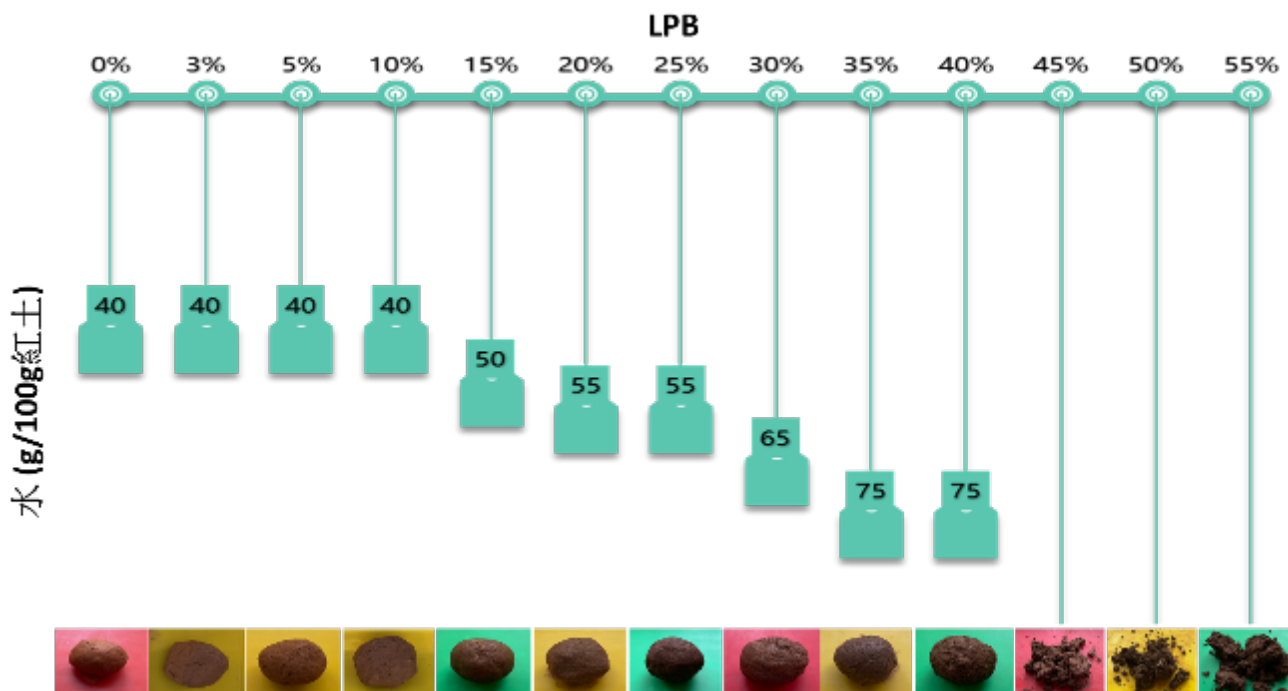
伍、研究結果

一、紅土磚製作

(一)土磚製作預試驗

使用紅土粉或摻入不同比例樹葉粉，在大批製作前之揉團加水量測試，結果如下圖十二所示。由圖可知各式土磚塊，應額外加入樣品的水量，會隨樹葉粉的比例升高而增加，方能順利揉成團塊。但製作 45% LPB 時，100 克紅土中，雖已加水至 105 克，仍無法揉製成團；水

量若再增加，即會產生稀泥現象，故後續實驗僅以 40% LPB 為討論上限。50% LPB 與 55% LPB 之實驗結果與 45% LPB 結團試驗結果相仿。之後大量製作土磚時所加入的水量，將以本實驗數值作為加減的依據，並確實記錄每批土磚製作時使用的水量。



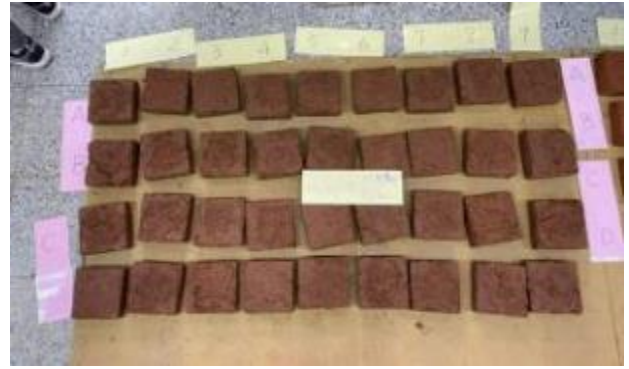
圖十二、含不同比例樹葉粉之紅土結團加水量測試 (LPB: Leaf Powder-blend Brick)

(二)紅土磚成品

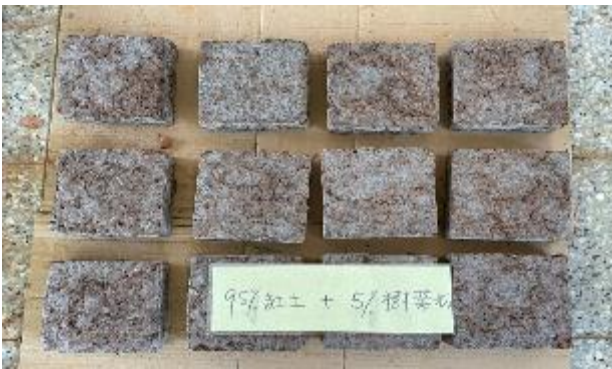
本實驗採用長寬高各15公分之模具製作土磚，在製作過程中放進固定重量紅土製作土磚，結果如下圖十三所示。成品顏色有很大的差異，0% LPB 偏紅，而隨樹葉粉添加比例增加，顏色轉為暗咖啡色，最後為灰黑色。



A. 0% LPB



B. 3% LPB



C. 5% LPB



D. 10% LPB



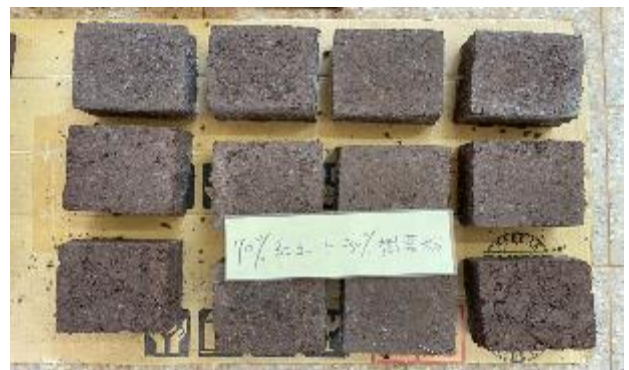
E. 15% LPB



F. 20% LPB



G. 25% LPB



H. 30% LPB



I. 35% LPB



J. 40% LPB

圖十三、A-J 含不同比例樹葉粉之紅土磚成品 (LPB: Leaf Powder-blend Brick)

本實驗製作完成之紅土磚數量及後續使用之研究項目，詳列於下表二：

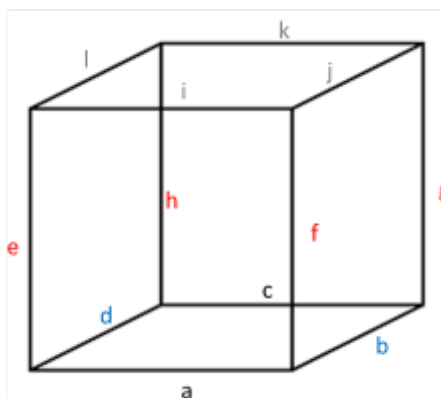
表二、本實驗製作之紅土磚數量及用途 (LPB: Leaf Powder-blend Brick)

LPB	成品數量 (塊)	測試項目			
		基本物理參數 量測	沖刷試驗	植草試驗	抑制揚塵試驗
0%	80	✓	✓	✓	✓
3%	80	✓	✓	✓	✓
5%	12	✓	✓		
10%	80	✓	✓	✓	✓
15%	12	✓	✓		
20%	12	✓	✓		
25%	12	✓	✓		
30%	12	✓	✓		
35%	12	✓	✓		
40%	12	✓	✓		

二、土磚基本物理量量測

陰乾2週以上之土磚，即可進行土磚基本物理量的量測，主要是量測土磚的重量、體積，而密度是由公式 $D = M/V$ 計算而得。因土磚在製作過程中，會有邊長不一的問題，為了克服

這個問題，我們採用四對邊及四高平均的方式計算體積，說明如下：



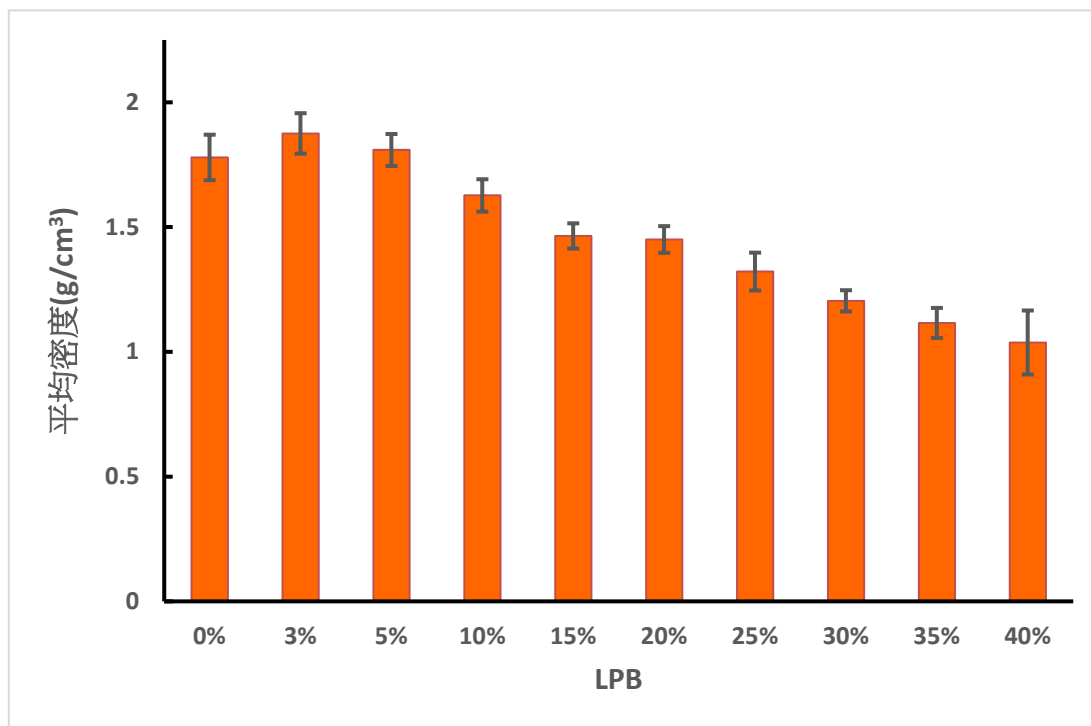
$$V = \left(\frac{a+c+i+k}{4}\right) \times \left(\frac{b+d+j+l}{4}\right) \times \left(\frac{e+f+g+h}{4}\right)$$

利用以上方程式計算各批土磚得其平均重量、體積及密度，如下表三所示。

表三、土磚基本物理量量測結果

類別	數量(塊)	平均重量(g)	平均體積(cm ³)	平均密度(g/cm ³)
0% LPB	36	1451.81±41.40	817.90±43.52	1.78±0.091
3% LPB	36	1465.86±22.37	783.01±34.12	1.88±0.081
5% LPB	12	1500.00±29.55	829.98±28.66	1.81±0.064
10% LPB	36	1452.81±28.96	894.59±42.50	1.63±0.065
15% LPB	12	1339.33±35.88	915.13±28.20	1.46±0.051
20% LPB	12	1339.50±40.81	924.01±20.85	1.45±0.053
25% LPB	12	1349.25±62.83	1023.90±71.33	1.32±0.076
30% LPB	12	1269.75±39.13	1054.71±25.75	1.20±0.043
35% LPB	12	1264.58±75.08	1133.12±26.77	1.12±0.060
40% LPB	12	1284.08±113.3	1244.58±92.49	1.04±0.129

各式土磚塊在脫膜陰乾後會有體積縮小的現象，以0% LPB 最明顯。後續植草試驗及沖刷試驗，將挑選密度最接近平均密度的磚塊進行測試。而各 LPB 之密度變化如下圖十四所示。


















































圖十四、含不同比例樹葉粉之各式紅土磚平均密度分析(LP B: Leaf Powder-blend Brick)






























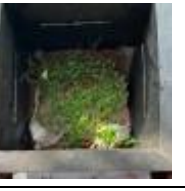















三、紅土磚植草實驗

取密度相近之 0% LPB、3% LPB 及 10% LPB 各三塊進行植草，並觀察草籽萌芽生長情形，實驗結果如下表四所示。由實驗結果得知，0% LPB 最快長出草來，3% LPB 次之，而 10% LPB 一直到實驗結束(歷時 30 日)，草仍然沒有長好，只有稀疏幾株小苗。探究其原因，發現 0% LPB 很容易吸水，讓外層衛生紙保持濕潤狀態，而 10% LPB 卻不容易吸水，除了常發現衛生紙有乾燥情況外，噴灑進去的水(50ml)，也會經由土模的縫隙流出，因此草籽得不到足夠萌芽的水分，因此發芽狀況不佳。

表四、三種土磚植草試驗

組別 時間	0% LPB #1	0% LPB #2	0% LPB #3	3% LPB #1	3% LPB #2	3% LPB #3	10% LPB #1	10% LPB #2	10% LPB #3
110/02/28									
110/03/01									
110/03/03									
110/03/05									
110/03/07									

110/03/09									
110/03/11									
110/03/13									
110/03/15									
110/03/17									
110/03/19									

110/03/21									
110/03/23									
110/03/25									
110/03/27									
110/03/29									

四、雨水沖刷實驗—不同含量樹葉粉土磚沖刷試驗結果

沖刷試驗主要的目的是要了解不同 LPB 在下雨時，會產生甚麼變化。如果土磚塊很容易被沖刷流失，日後在揚塵場域鋪設，很容易造成二次汙染，不可不慎。





(一)模擬雨量量測

在進行沖刷試驗之前，我們想知道實驗設計的4.0 L/min 的流量，相對於哪種雨量等級，故使用2000ml 量筒測試100秒內可以收到水量的高度，結果量測到的水量分別為：1760ml、1670ml 及1780ml，平均為1737ml，高度為：295.29mm，推算時雨量為10630mm，遠遠超過中央氣象局超大豪雨(24小時累積雨量達500毫米以上之降雨現象)的標準。

(二)沖刷試驗

本試驗取10種不同 LPB 進行20分鐘二重複沖刷試驗，沖刷後之 LPB 如下表五所示，沖刷結果如表六及圖十五所示。

表五、各紅土磚沖刷試驗後狀況

LPB	第一次沖刷試驗	第二次沖刷試驗
0%		
3%		

5%



10%



15%

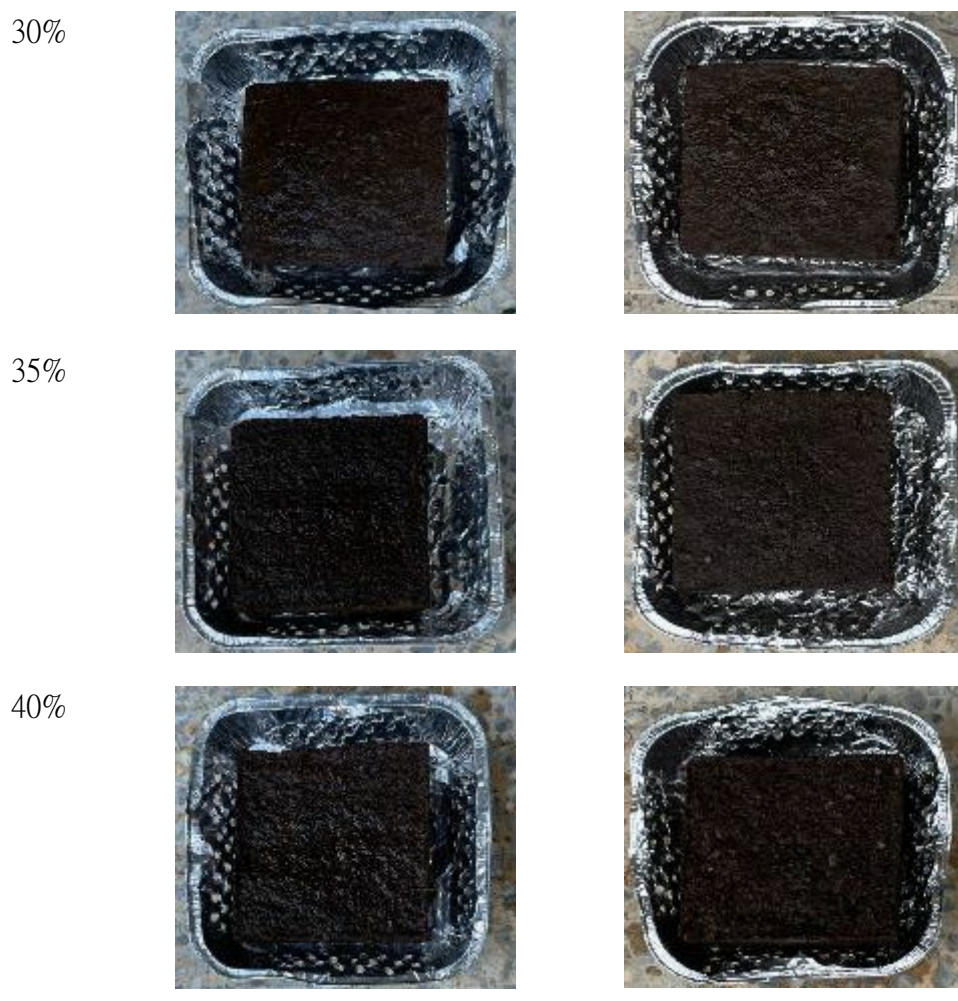


20%



25%

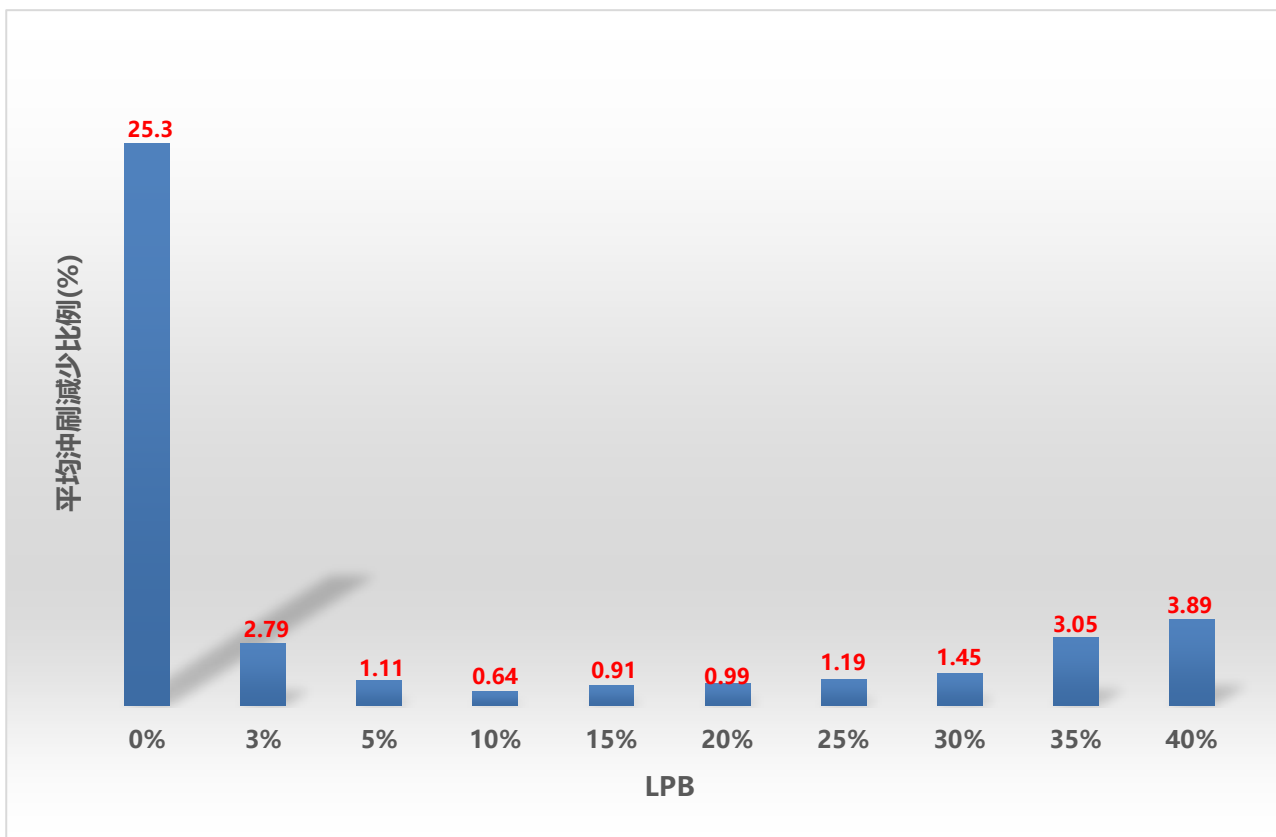




表六、含不同比例樹葉粉紅土磚之沖刷試驗分析

LPB	沖刷試驗(20 分鐘)						平均沖刷增 減比例 (%)
	第一次			第二次			
	沖刷前重 (g)	沖刷後重 (g)	增減比例 (%)	沖刷前重 (g)	沖刷後重 (g)	增減比例 (%)	
0%	1443	1037	-28.14	1402	1087	-22.47	-25.3
3%	1445	1405	-2.77	1425	1385	-2.81	-2.79
5%	1445	1426	-1.31	1431	1418	-0.91	-1.11
10%	1400	1390	-0.71	1406	1398	-0.57	-0.64
15%	1257	1241	-1.27	1280	1273	-0.55	-0.91
20%	1241	1230	-0.89	1270	1256	-1.1	-0.99

25%	1244	1229	-1.21	1193	1179	-1.17	-1.19
30%	1113	1198	-1.35	1169	1150	-1.36	-1.49
35%	1121	1084	-3.3	1107	1076	-2.8	-3.05
40%	1126	1088	-3.37	1114	1065	-4.40	-3.89

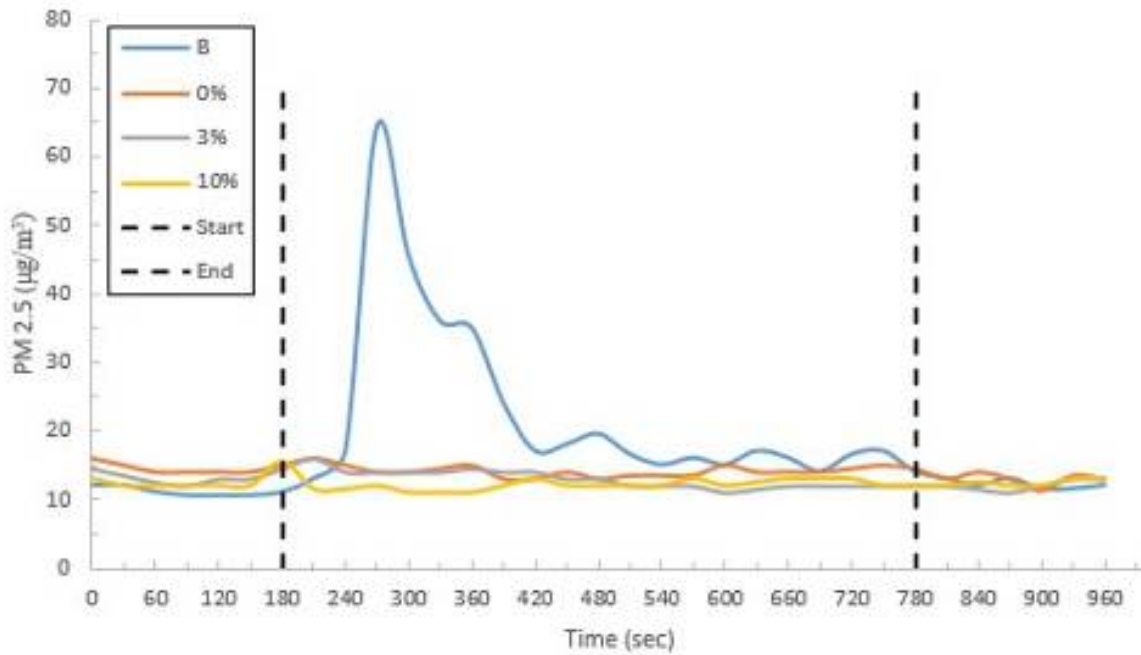


圖十五、各土磚塊沖刷試驗後平均重量流失比例

五、揚塵抑制試驗—不同含量樹葉粉土磚抑制揚塵量測

不同含量樹葉粉土磚分別排放於5cm 厚度之乾燥田土上，以相同強度工業扇吹拂，並記錄開電扇前3分鐘、開電扇中10分鐘、關閉電扇後3分鐘過程之三階段時間揚塵粒子濃度（PM_{2.5}、PM₁₀及 TSP）數據，供後續 LPB 抑制揚塵效能之分析。結果如下圖十六-十八所示（未鋪設 LPB 為 Blank）。

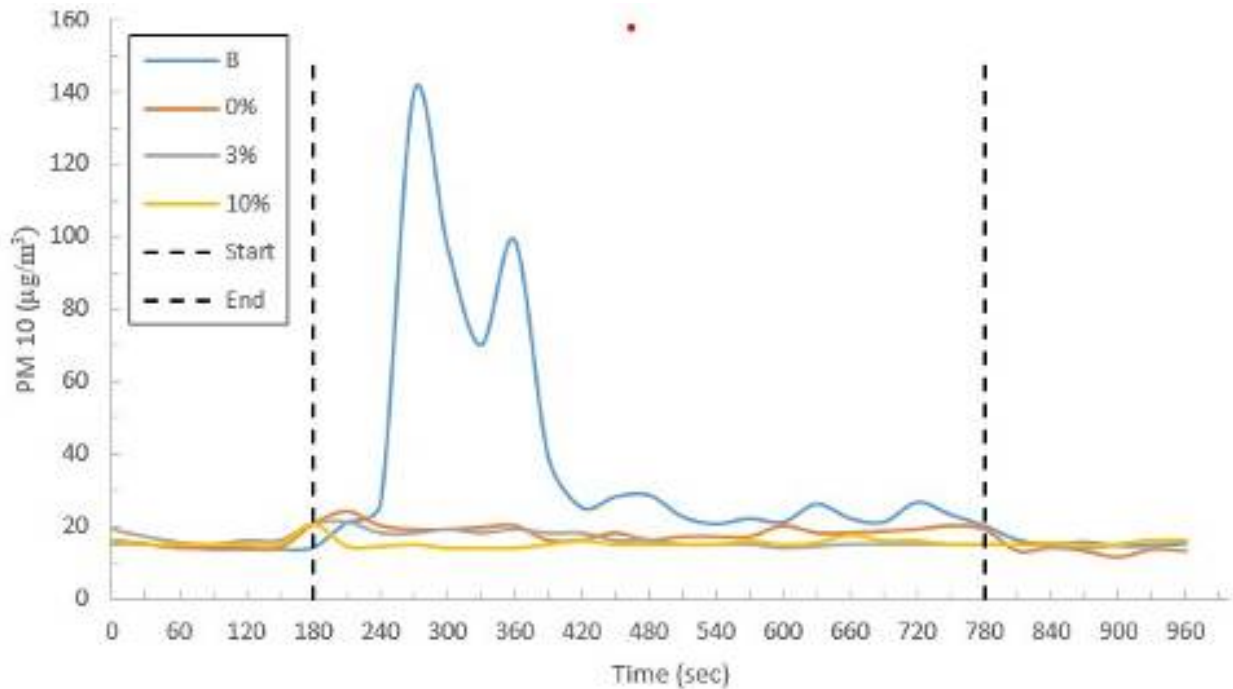
(一) 偵測 PM_{2.5}之結果



圖十六、PM_{2.5}偵測結果

(B: Blank; 0%: 0% LPB; 3%: 3% LPB; 10%: 10% LPB; Start: 風扇啟動; End:風扇關閉)

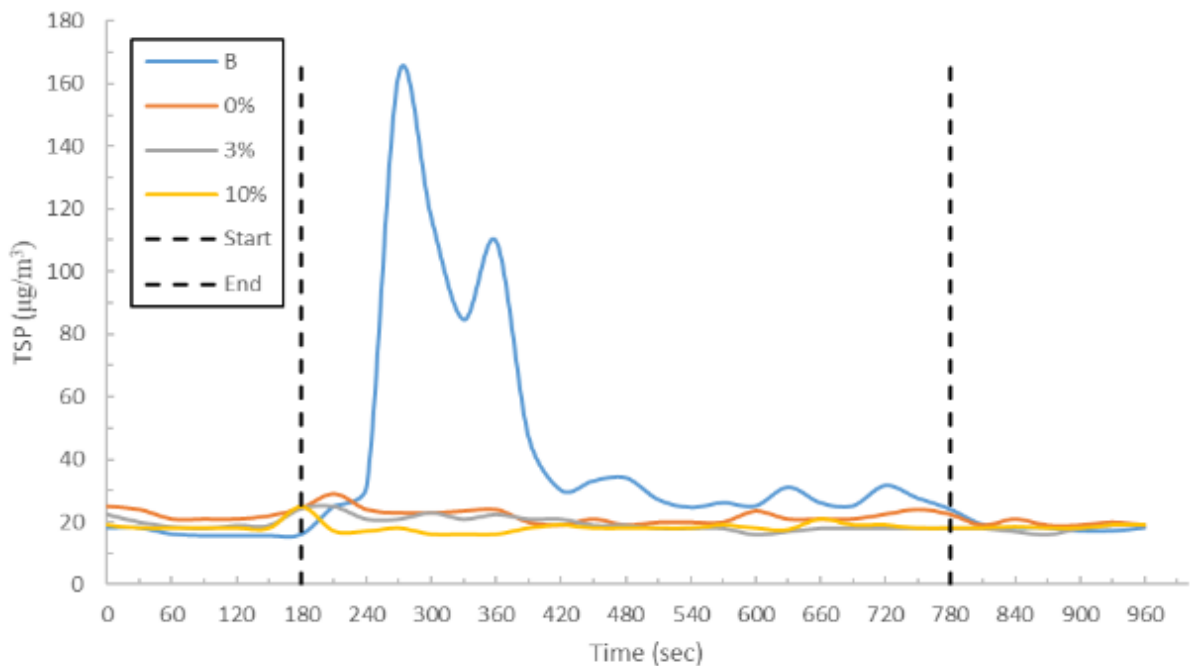
(二) 偵測 PM₁₀之結果



圖十七、PM₁₀偵測結果

(B: Blank; 0%: 0% LPB; 3%: 3% LPB; 10%: 10% LPB; Start: 風扇啟動; End:風扇關閉)

(三) 偵測 TPS 之結果



圖十八、TSP 偵測結果

(B: Blank; 0%: 0% LPB; 3%: 3% LPB; 10%: 10% LPB; Start: 風扇啟動; End:風扇關閉)

陸、討論

在 LPB 結團預試驗中，發現紅土加入適量的水後，可以揉搓成表面光滑的土團，在添加不同比例的樹葉粉時，會需要不同量的水，方能揉製成團，而添加的樹葉粉比例愈高，需要添加的水量愈多。由物質的特性分析得知，紅土可以加水成團，但樹葉粉卻無此能力，故知成團的內聚力主要來自紅土內的成分，而樹葉粉反是成團的干擾因子，因此樹葉粉加入愈多時，需要更多的水提供土團凝聚的力量。由數據可知，在加入10%樹葉粉(含)以下時，所需的水量與不加樹葉粉的紅土團(0% LPB)幾無差異，顯見所加入的樹葉粉，對原有土團的內聚力，影響不大。

LPB 全採用人工製作，雖然使用相同的模具並秤量相同重量之樣品進行入模，然在攪拌過程因砂土沉重無法百分之百攪拌均勻，另外在壓模時亦無法做到每一塊磚均能一模一樣，還有在脫模過程中，會有黏模現象產生而造成些許的損壞，若要求每一塊磚均相同實有困難。但由土磚基本物理量量測(表三)結果得知，LPB 之平均重量標準差除40% LPB(8.82%)外，其餘均落在1.53%-5.94%間；而平均體積標準差除40% LPB(7.43%)外，其餘則落在2.36%-6.97%間。

由此可知，整體 LPB 之製作，仍維持一定的水準。而40% LPB 呈現較大誤差，主要的原因是添加之樹葉粉其成分複雜，雖已磨製成細粉，一旦添加量多，將會呈現其非均勻混合物的特性，導致成品在重量與體積之個別差異變大。由 LPB 平均密度分析中得知(圖十四)，隨著樹葉粉加入比例增高，密度呈現遞減現象，說明加入之樹葉粉其密度小於紅土，而40% LPB 之平均密度為 1.04 ± 0.129 (g/ml)，非常接近水的密度，若在大雨積水的情況下，有浮流於水面的可能，若要實務上使用，需要特別留意。

在生物植草實驗(表四)，發現在澆水過程中，不同含量樹葉粉土磚有不同的吸水效果，因此，在噴霧澆水時水流失的量均不同，有可能會造成草籽發芽的影響。另外，紅土中雜有不溶於水的樹葉粗纖維，也有可能讓植物的根無法伸入土磚中，造成無法生長。本實驗雖只做0%、3%及10% LPB，但結果卻相當明顯，後續如有必要可以進行其他 LPB 之植草試驗，進一步驗證上述推論。在草籽(假儉草)的選擇方面，並無特殊挑選只是利用學校操場草皮維護用的草籽來做實驗，與揚塵地易栽種的草種是否有差異，亦需進一步探討。假儉草籽初期前兩個星期幾乎無發芽現象，因等待發芽期久一度以為不會發芽而有改換其他草籽的念頭，若有必要讓土磚植草速度快，選擇較易萌芽生長的草籽，是需要考慮留意的。

雨水沖刷試驗是本實驗的重點之一，若土磚無法耐雨水沖刷，在下豪大雨以上的雨量後，乾燥 LPB 崩解的土會到處飛揚，將會造成二次揚塵公害，因此選擇耐雨水沖刷的土磚將會是一種重要的選項之一。為了詳細探討 LPB 耐沖刷的情形，特別調製0-40%共10種不同的 LPB(表五、表六)，並使用乾燥箱於實驗前後將 LPB 烘乾，以減少水分殘留所造成的重量誤差。由表六及圖十五得知，在紅土磚中加入樹葉粉，確實能有效的抵擋沖刷。經詢問專家，LPB 能耐沖刷的原因主要有二個：一是，樹葉粉本身就是水不溶性物質，所以樹葉粉加入愈多，所造成的耐水性愈強；二是，鋼筋混凝土原理，將紅土想像成混凝土，而樹葉粉就似鋼筋，由於有樹葉粉(鋼筋)的支撐，使紅土磚更穩固，因此對於雨水的沖刷，仍能保持結構的完整不致崩解，展現對沖刷的抗性。由實驗結果得知，10% LPB 具有相對較佳的耐沖刷性質，在4 L/min、20分鐘的沖刷條件下，僅流失0.64%的土磚重，而0% LPB 卻流失25.3%，足見其耐沖刷能力。

抑制揚塵試驗是本研究的主軸，由實驗結果得知(圖十六 - 圖十八)，不論是0% LPB、3% LPB 或是10% LPB 均能有效抑制揚塵的產生(效果近於100%)。由於使用 LPB 抑制揚塵，屬於一種物理性的覆蓋，與 LPB 中樹葉粉含量並無相關，雖本實驗僅就0%、3%及10% LPB 進行抑

制揚塵試驗，其它 LPB 應可以使用演繹法推測其結果。

柒、結論

由實驗結果得知，0%、3%及 10% LPB 均展現良好的抑制揚塵效果；而不同 LPB 對耐雨水沖刷有不同的效果，耐沖刷最佳為 10% LPB，最差為 0% LPB。在現今講究環保議題之下，本研究也許可以提供另一個綠色抑制揚塵的方法。此外，在生物實驗之土磚植草實驗中，效果最好的是 0% LPB，其次是 3% LPB，最差為 10% LPB。10% LPB 和其他兩種相比，明顯地草籽生長較差。

綜合本研究所得的結果，將來在現地若利用鋪設 LPB 方法來抑制揚塵，建議可以依據揚塵場域的需求，在水量充足處，選擇容易植草的土磚；相反的，在水源不足的區域，可考慮使用耐雨水沖刷的土磚較為適合。本研究設計的核心思想，是利用自然的方法解決大自然的問題；土磚是先人的智慧結晶，取乎大地，用於大地，似乎無環境危害或環保問題之虞，且能發揮抑制揚塵的好處，建議可推廣於實務上使用。製磚業在台灣具有悠久的歷史，所以在自動化大量製作土磚上，技術上並無困難(LP B 只需練土、成形及乾燥，不需要窯燒過程)。由於現今的建築材料有很大的變化，許多建築牆體，多改採鋼筋混凝土的灌漿方式，製磚已面臨空前不景氣，若能藉由 LPB 的大量產製，不僅可以達到抑制揚塵的目的，更可以活化夕陽傳統產業，一舉數得!

捌、參考資料及其他

一、中文部分

【教科書】

王美芬 (2019)·*國小自然與生活科技 三下 第三單元 認識天氣* (五版)·新北市：康軒文教事業

王美芬 (2019)·*國小自然與生活科技 六下 第三單元 生物與環境* (三版三刷)·新北市：康軒文教事業

二、網路資源

【單篇文章】

Gardenwei (2020 年 12 月 13 日)·*樸門課筆記：土磚製作* 取自

<https://gardenwei.com/making-adobe/>

行政院環境保護署 (2021)·*河川揚塵防制推動資訊平台* 取自

<https://river.epa.gov.tw/GoWeb2/include/index.php>

中央通訊社 (2021)·*河川揚塵防治，水利署研擬對策* 取自

<https://www.cna.com.tw/postwrite/Detail/28843.aspx#.YHRL2R8zbIV>

【科展作品】

盧偉承等三人·*土角厝的奧秘*·中華民國第 52 屆科學展覽會 國中組地球科學科 取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/52/pdf/030503.pdf>

鄒芸甄等六人·*砂飛土跳--雨水沖刷砂土之模擬實驗研究*·中華民國第 57 屆科學展覽會 國小組地球科學科 取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/080502.pdf>

許偉哲等三人·*淋淋從從-探討物體移動速度與受雨量的關係*·中華民國第 57 屆科學展覽會 國小組物理科 取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/080120.pdf>

【評語】 080502

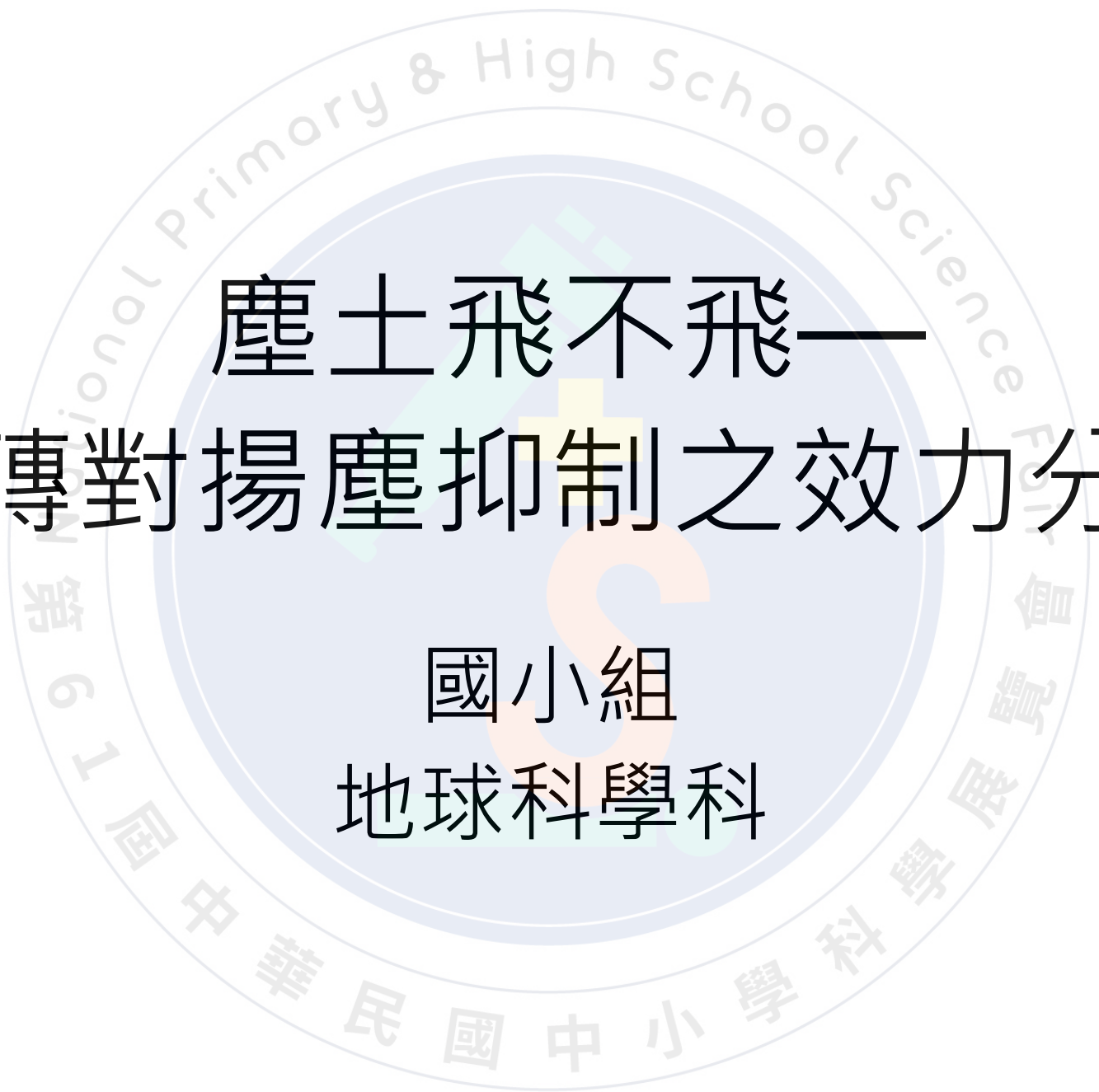
【優點】

1. 研究主題具鄉土性及與環境相關。
2. 研究有創新性並將構想具體化，完整作出實驗。
3. 研究結論具實用性(土磚具揚塵抑制效果)。

【建議】

1. 實驗得到的結論可以有更多的著墨，例如研究結果可說明何種土磚成分較佳(5%LPB 的土磚具耐沖刷與易植草的特性)，或相關物理機制的探討。
2. 變因的探討需要更加仔細，例如水流或下雨沖刷的差異，壓密的程度(腳踩不是一個科學的描述，需有定量的壓密程度描述)，時間尺度的考量(植物的生長也可能造成土磚的破壞)，或土磚浸滯在水裡可能的變化。

作品簡報



塵土飛不飛—— 土磚對揚塵抑制之效力分析

國小組
地球科學科

動機與目的

動機

- ◆ 揚塵的危害問題
- ◆ 目前慣用揚塵防治的方法



目的

- ◆ 土角厝的啟發
- ◆ 研發能抑制揚塵的新式土磚



研究方法

揚塵抑制試驗

土磚製作及
基本物理量量測

塵土飛不飛—
土磚對揚塵抑制之效力分析

植草試驗

沖刷試驗



「塵土飛不飛」
研究動機與目的

探尋土磚對
揚塵抑制之效力

紅土

含不同比例
樹葉粉
之紅土磚

樹葉粉

土磚製作及
基本物理量量測

1. 結團預試驗
2. 紅土磚製作
3. 基本物理量: 重量、
體積、密度量測與計算

沖刷試驗

1. 設定流量 4 L/min
2. 沖刷高度 160 cm
3. 沖刷時間 20 min
4. 土磚沖刷前後秤重

植草試驗

1. 精秤 1g 假儉草籽
2. 播種於土磚表面
3. 每日澆水
4. 觀察在 0%、3%、10%
LPB 中生長狀況

揚塵抑制試驗

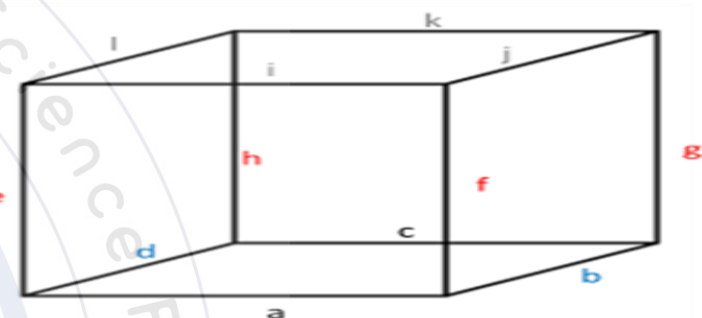
1. 測試場地規劃與整理
2. 土砂準備
3. 揚塵產生
4. 0%、3%、10% LPB
鋪蓋抑制揚塵試驗

圖一、研究流程圖 (LPB: Leaf powder- blended brick)

土磚製作



基本物理量量測



$$V = \left(\frac{a+c+i+k}{4} \right) \times \left(\frac{b+d+j+l}{4} \right) \times \left(\frac{e+f+g+h}{4} \right)$$

植草試驗

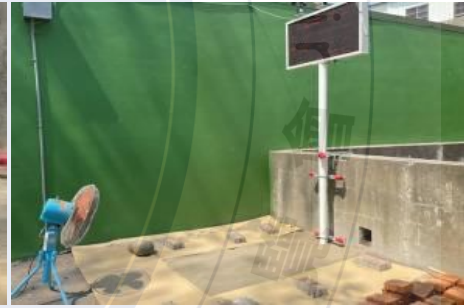
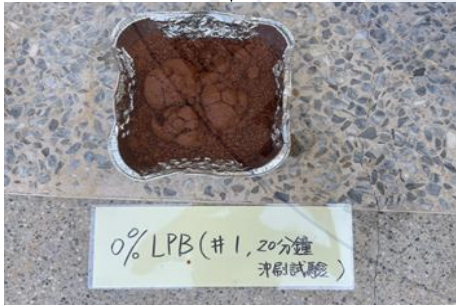


植草試驗紀錄表									
日期	時間	地點	參與者	材料	過程	結果	備註	其他	評語



沖刷試驗

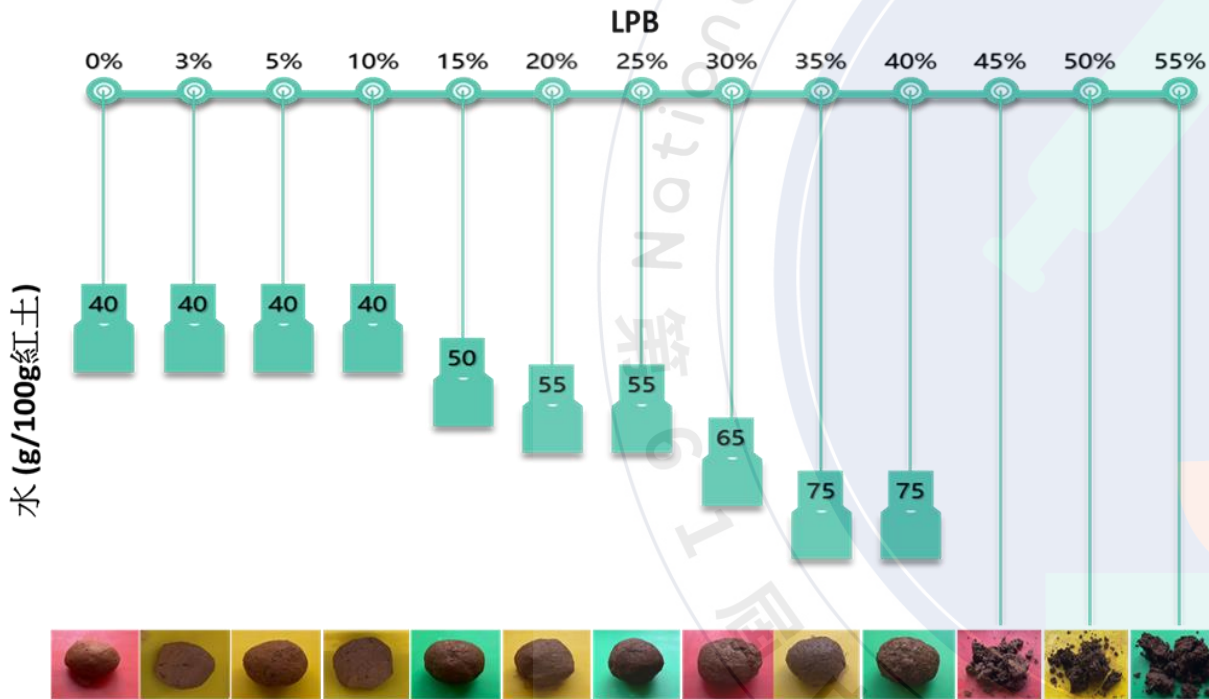
揚塵抑制試驗



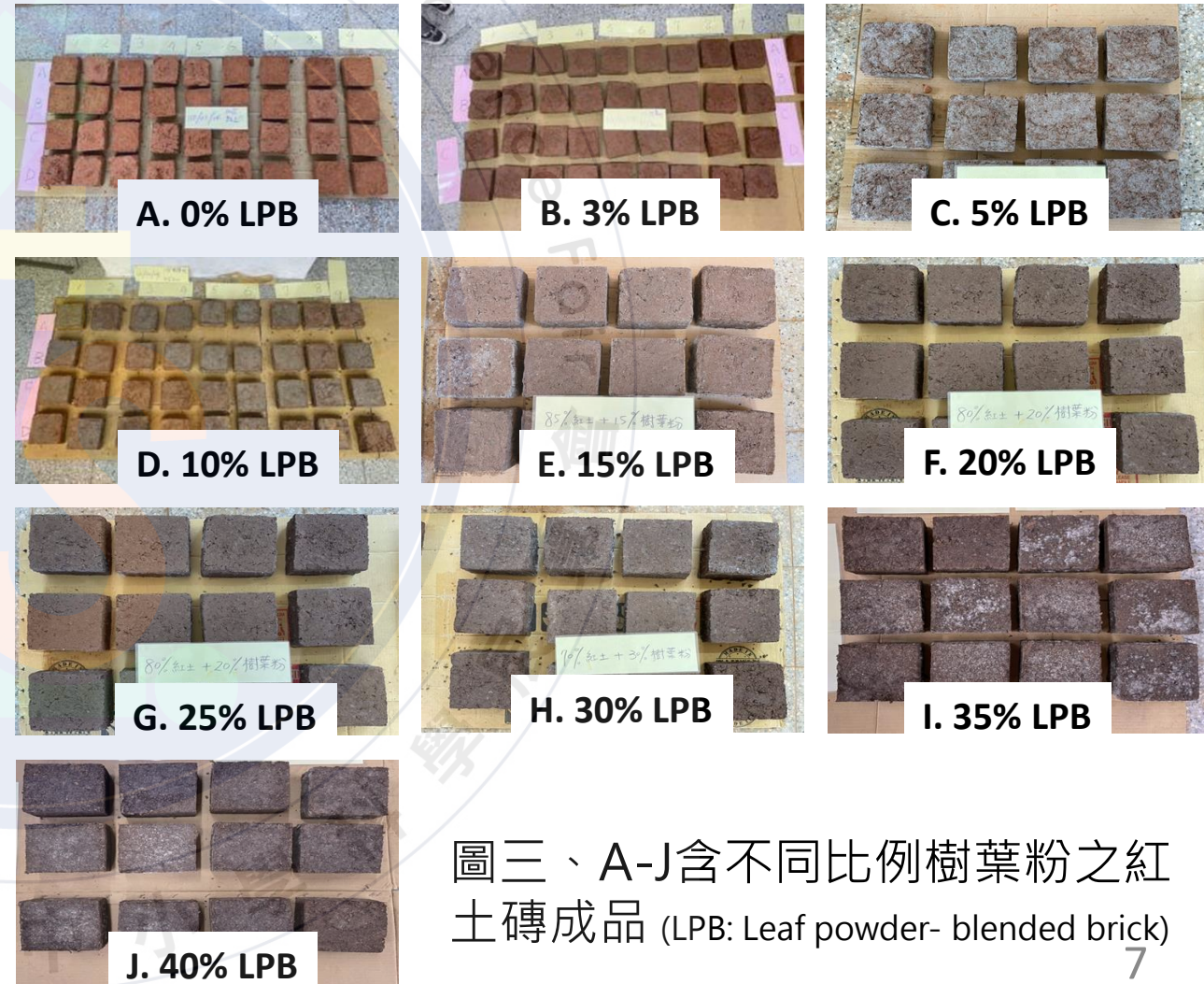
NO.	TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
PM10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60										
PM2.5	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60										
PM10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60										
PM2.5	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60										
PM10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60										
PM2.5	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60										

結果與討論

土磚製作



圖二、含不同比例樹葉粉之紅土結團加水量測試 (LPB: Leaf powder- blended brick)

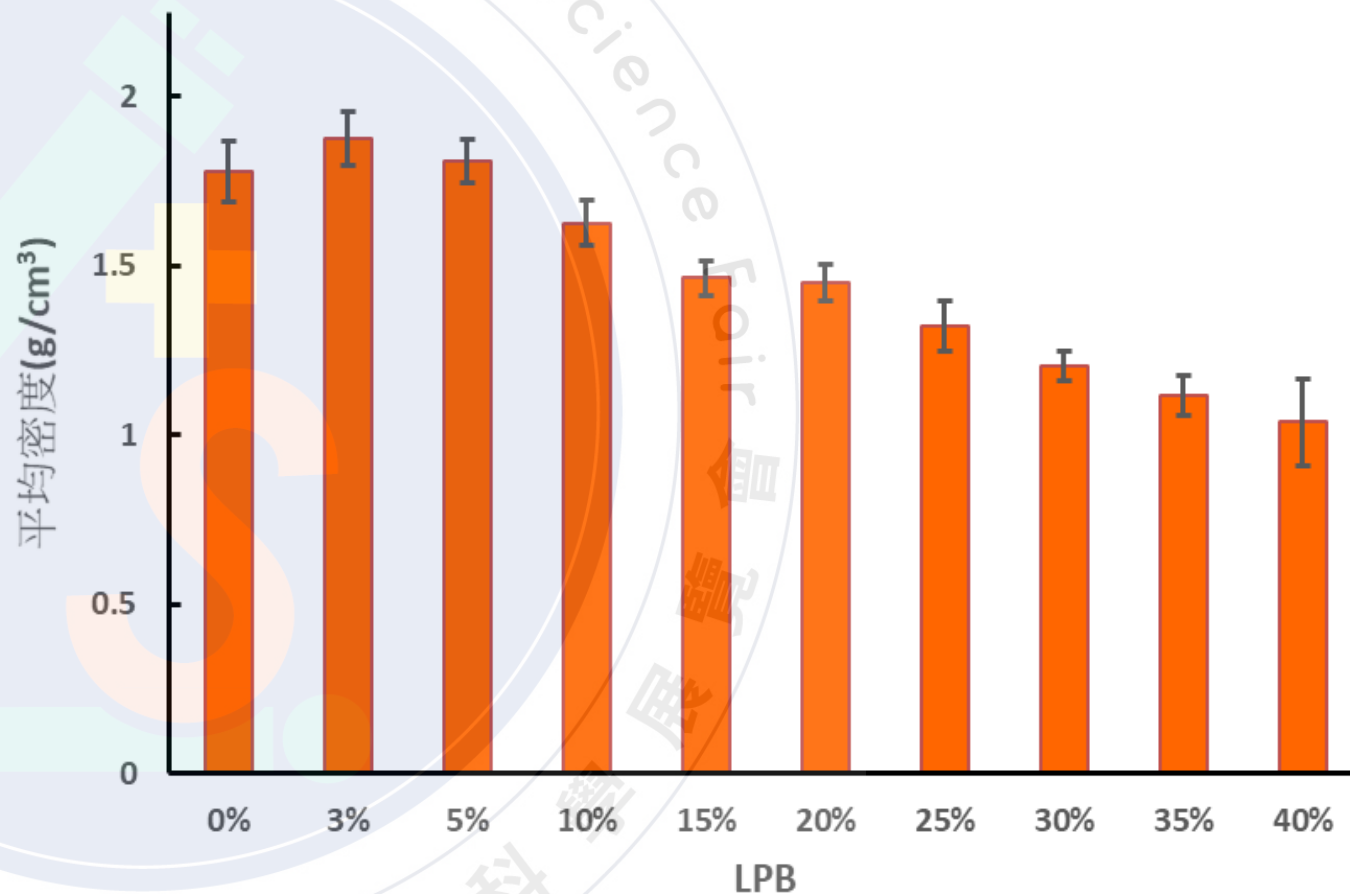


圖三、A-J含不同比例樹葉粉之紅土磚成品 (LPB: Leaf powder- blended brick)

基本物理量量測

表一、土磚基本物理量量測結果

類別	數量(塊)	平均重量(g)	平均體積(cm ³)	平均密度(g/cm ³)
0% LPB	36	1451.81±41.40	817.90±43.52	1.78±0.091
3% LPB	36	1465.86±22.37	783.01±34.12	1.88±0.081
5% LPB	12	1500.00±29.55	829.98±28.66	1.81±0.064
10% LPB	36	1452.81±28.96	894.59±42.50	1.63±0.065
15% LPB	12	1339.33±35.88	915.13±28.20	1.46±0.051
20% LPB	12	1339.50±40.81	924.01±20.85	1.45±0.053
25% LPB	12	1349.25±62.83	1023.90±71.33	1.32±0.076
30% LPB	12	1269.75±39.13	1054.71±25.75	1.20±0.043
35% LPB	12	1264.58±75.08	1133.12±26.77	1.12±0.060
40% LPB	12	1284.08±113.3	1244.58±92.49	1.04±0.129



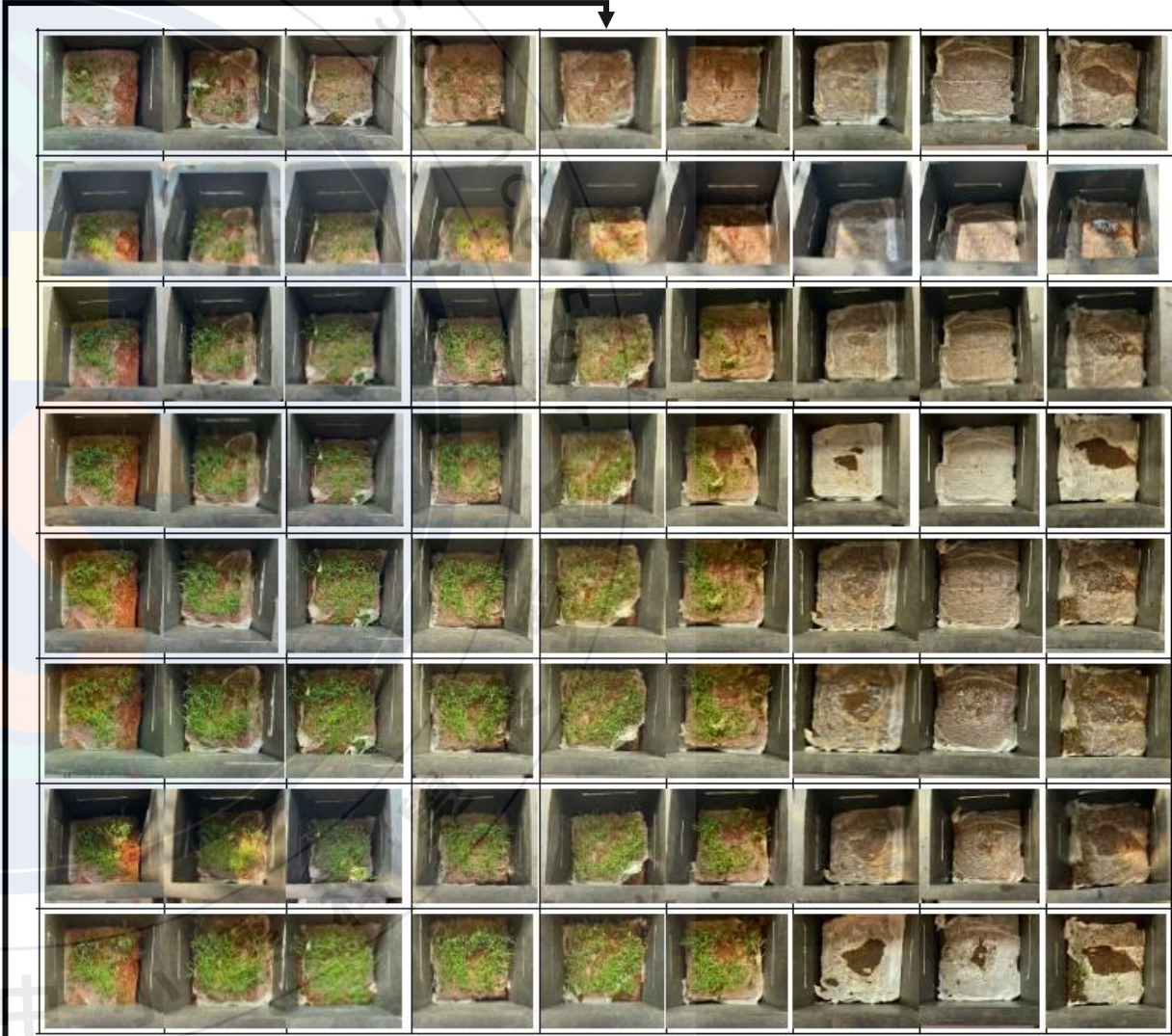
圖四、含不同比例樹葉粉之各式紅土磚平均密度分析 (LPB: Leaf Powder-blend Brick)

植草試驗

0% LPB

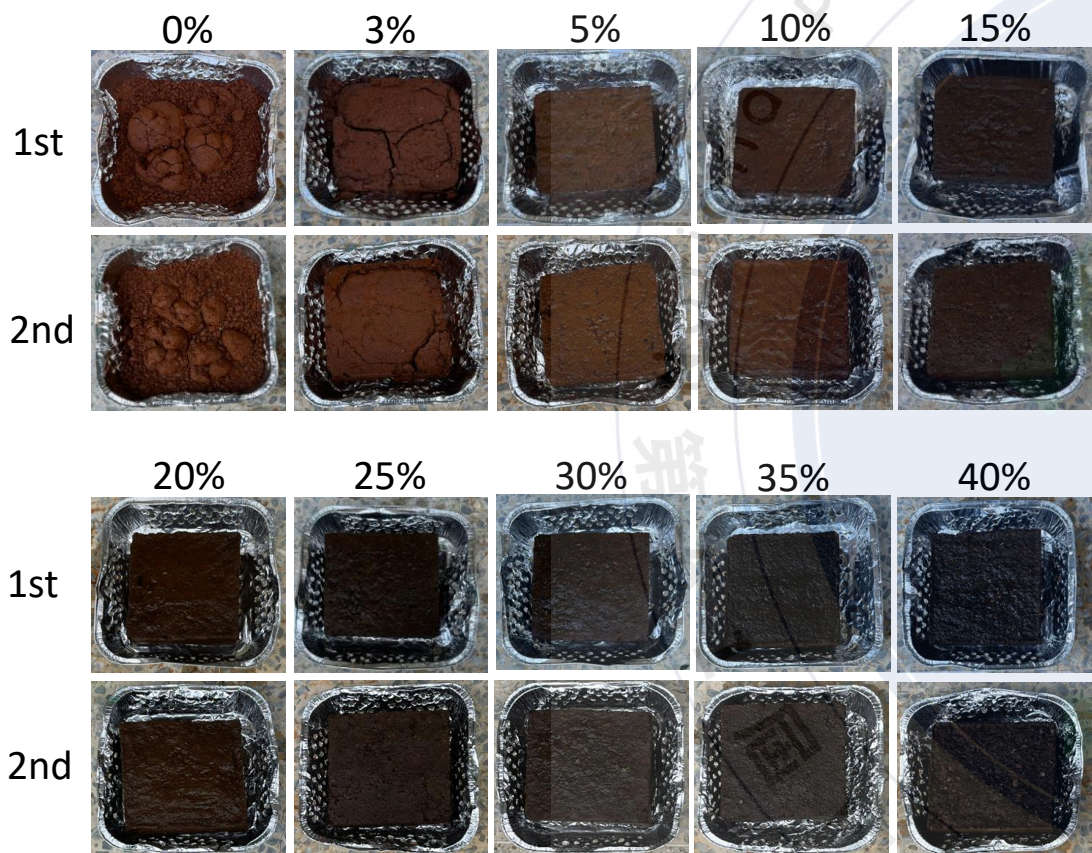
3% LPB

10% LPB

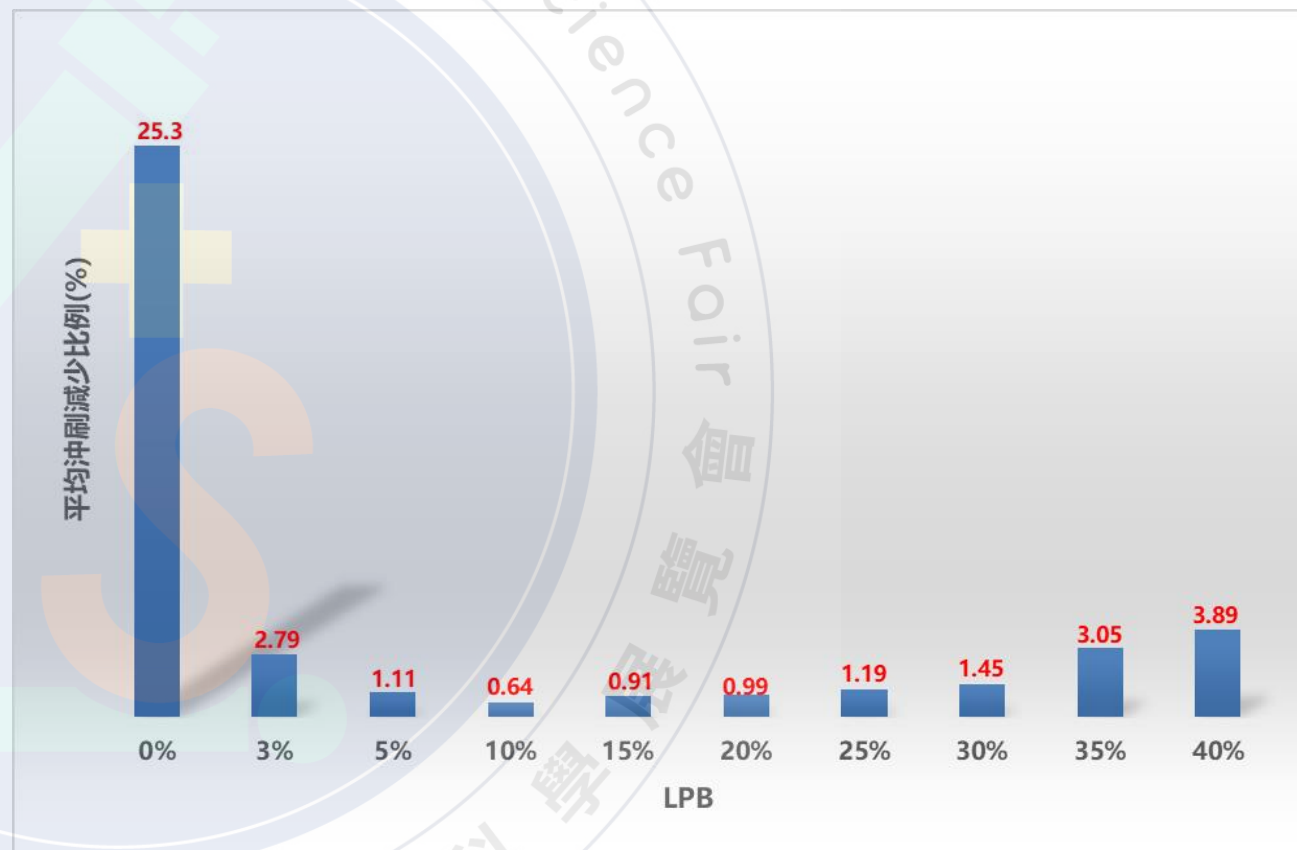


(LPB: Leaf powder- blended brick)

沖刷試驗

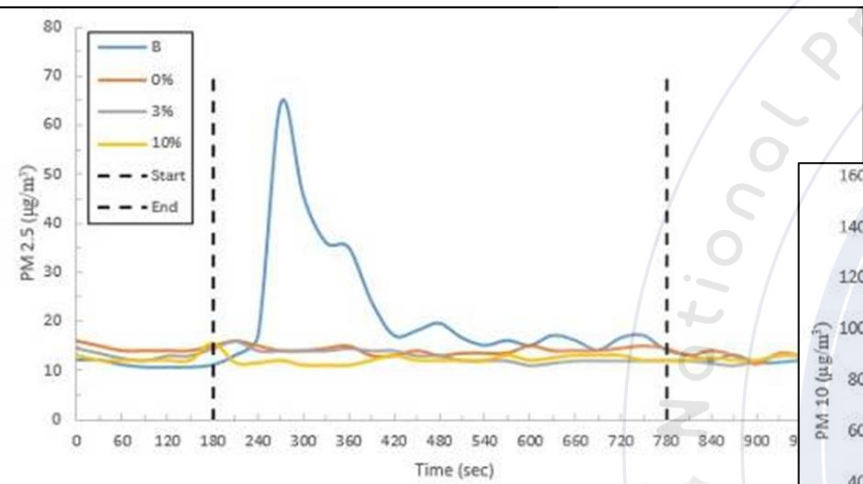


圖五、各紅土磚沖刷試驗後狀況

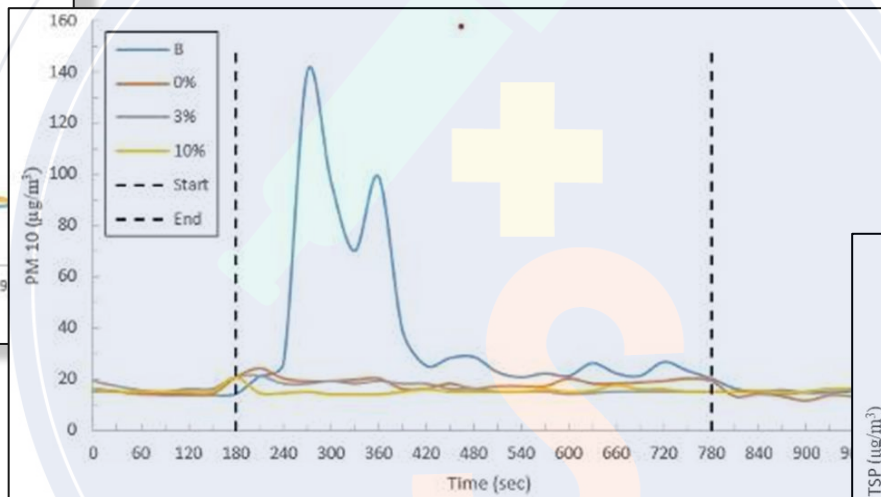


圖六、各土磚塊沖刷試驗後平均重量流失比例

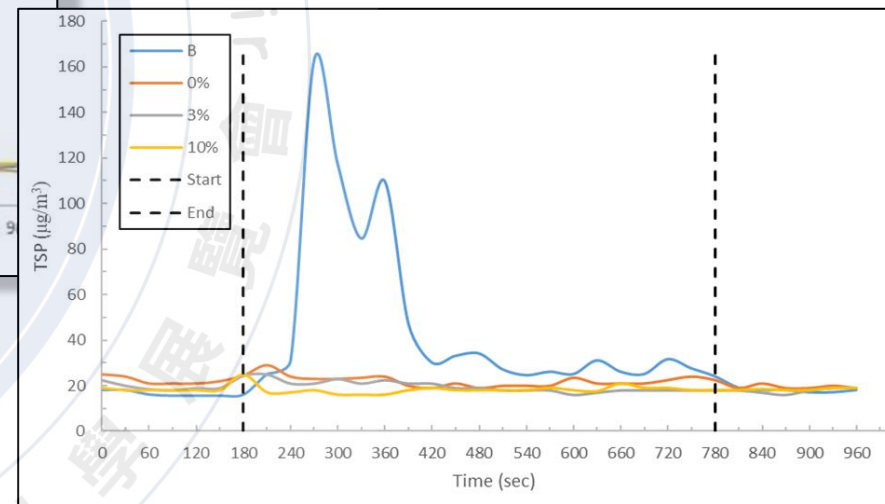
揚塵抑制試驗



圖七、PM_{2.5}偵測結果



圖八、PM₁₀偵測結果



圖九、TSP偵測結果



結論與建議

- ◆ 紅土磚具有良好的揚塵抑制效果
- ◆ 可依揚塵場域水源取得難易，選擇耐沖刷或易植草土磚
- ◆ 未來若需大量鋪設土磚時，可結合傳統製磚廠之技術與設備，進行自動化大量製作

參考資料

王美芬 (2019)·國小自然與生活科技 三下 第三單元 認識天氣 (五版)·新北市：康軒文教事業

王美芬 (2019)·國小自然與生活科技 六下 第三單元 生物與環境 (三版三刷)·新北市：康軒文教事業

盧偉承等三人·土角厝的奧秘·中華民國第52屆科學展覽會 國中組地球科學科 取自<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/52/pdf/030503.pdf>

鄒芸甄等六人·砂飛土跳--雨水沖刷砂土之模擬實驗研究·中華民國第57屆科學展覽會 國小組地球科學科 取自

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/080502.pdf>

許偉哲等三人·淋淋從從-探討物體移動速度與受雨量的關係·中華民國第57屆科學展覽會 國小組物理科 取自

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/080120.pdf>