

# 中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學(三)科

佳作

033004

妙絕「吾」生「筆」～水擦環保粉筆之效能探討

學校名稱： 新北市立鷺江國民中學

作者：  國二 呂美潔  國二 唐禹平  國二 徐宥暄	指導老師：  黃瑞華  陳重光
---	-----------------------------

關鍵詞： 水擦粉筆 、 環保粉筆、粉塵監測

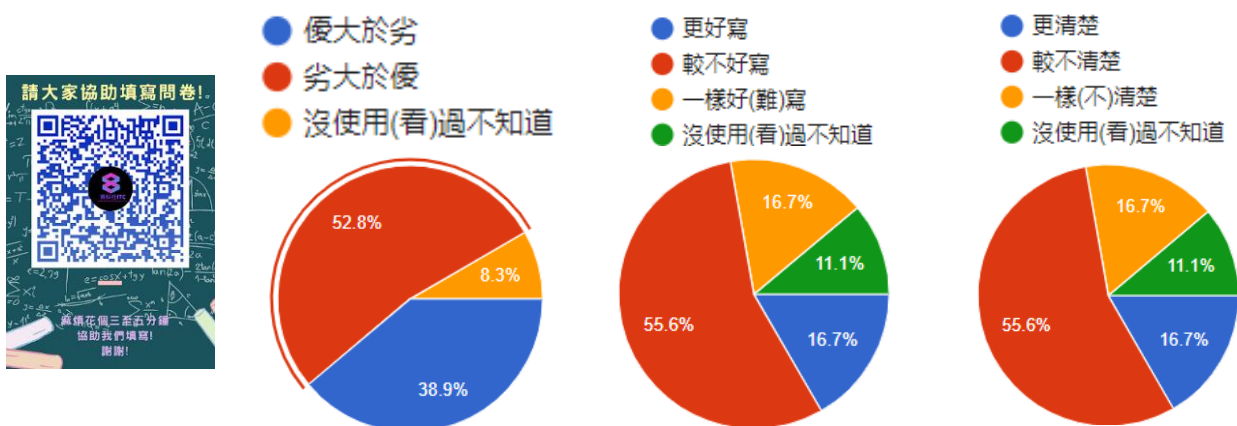
## 摘要

本研究利用碳酸鈣、硫酸鈣、二氧化鈦、樹脂、蠟、色素、蛋殼、粉筆灰等研發環保新粉筆，且透過自繪粉筆檢測裝置，測量其書寫狀況。研究發現，**碳酸鈣**粉筆容易書寫、且清楚，但易掉粉。**硫酸鈣**粉筆：質輕堅硬、抗變性高。**二氧化鈦**粉筆容易書寫，寫灰度極高，但較軟易碎。**碳酸鈣：硫酸鈣：二氧化鈦：水=3：1：11：8** 整體效果佳。添加**樹脂、水溶性蠟**可以提升粉筆的抗變性且使書寫清晰。使用各色顏料色素可調和粉筆顏色，其中**薑黃粉**的調色較果最好。與市售粉筆比較，自製粉筆的書寫的附著率、寫灰度、擦灰度皆為第一名，具有良好的市場價值，而在自製粉筆中添加**蛋殼、粉筆灰回收再製作**，是環保可行的方法。

## 壹、前言

### 一、研究動機

今年度學校的教室因為加裝86吋觸控式螢幕，黑板也改成環保黑板。舊型粉筆掉粉可能會導致觸控式螢幕壞掉，因此現在全面使用較少掉灰的**水擦式粉筆**，但這種粉筆雖然不會掉粉，但卻充滿了許多缺點，透過問卷調查結果如圖一所示，在調查的36名師生中，雖然75%同意水擦式粉筆不掉灰、47.2%同意不易碎、52.8%覺得細緻不髒手，但有52.8%的師生覺得水擦式粉筆劣大於優、44.4%覺得**不好寫**、55.6%覺得**看不清楚**、52.8%覺得**不好擦拭**，因此本研究想要**研發出好用又環保的新粉筆**。



圖一 水擦式粉筆使用情況問卷調查

## 二、目的

- (一) 調查各式粉筆「成分」、「售價」及「特色」。
- (二) 比較各式粉筆密度、書寫附著率、寫粉塵、擦粉塵、看清距離（書寫字體最遠看清距離）、書寫字體灰度、顏色、擦拭後黑板照片灰度、粉筆抗變性等條件。
- (三) 探討自製「不同粉筆成分」的效能。
  1. 單一原料（碳酸鈣、硫酸鈣、二氧化鈦）與不同比例水製造粉筆。
  2. 雙重原料（碳酸鈣+硫酸鈣、碳酸鈣+二氧化鈦、硫酸鈣+二氧化鈦）不同比例製造粉筆。
  3. 三重原料（碳酸鈣+硫酸鈣+二氧化鈦）不同比例製造粉筆。
  4. 最佳配方與各種添加物粉筆的效能比較。
  5. 探討「彩色粉筆」效能。（蝶豆花、薑黃粉與各種色素）。
  6. 利用蛋殼、粉筆灰製造粉筆的效能比較。

三、市售粉筆調查：「內容物」、「售價」及「特色」<sup>(1)</sup>，整理如表一所示。

表一 市售不同粉筆的分析比較

照片	品牌/售價/成分	宣傳與使用情況
	【自強粉筆】傳統粉筆 0.75元/支 成分：硫酸鈣 $\text{CaSO}_4$	1. 字體清晰 2. 擦拭乾淨 3. 價格便宜
	【GIOTTO/歐亞】無毒環保粉筆 1.42元/支 成分：98%碳酸鈣 $\text{CaCO}_3$ 、植物顏料	1. 碳酸鈣含量高，書寫時快速落下不會飄揚 2. 抗敏感、無毒好清洗
	【Sangbo】水擦粉筆 12元/支 成分：鈦白粉 $\text{TiO}_2$ 、天然植物油	1. 不論乾溼皆可直接書寫 2. 書寫或擦拭都不會有粉塵 3. 無臭無味無毒， 4. 書寫長度為傳統的8~10倍
	【液態粉筆】可擦螢光筆 19~89元/支 成分：環保塑料、水性墨水	1. 多種顏色，色彩鮮艷 2. 不斷裂、無粉塵，多種粗細 3. 水溶性、無毒、易擦拭 4. 部分品牌可添加墨水
	【水蠟筆】水洗蠟筆 12~32元/支 成分：大豆蠟、蜜蠟、石蠟、色粉、碳酸鈣、滑石粉、甘油	1. 多種顏色 2. 無毒、無粉塵 3. 可水洗、易擦拭

#### 四、文獻回顧分析：歷屆科展作品中與粉筆有關的文獻分析如表二所示

表二 歷屆科展作品分析及本實驗創想點子

資料來源	重點分析	優缺點與本實驗創想點子
<a href="#">石化豆花一 可以吃的粉 筆!</a> (2008) <sup>(3)</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li>15克硫酸鈣、10克碳酸鈣、20毫升水，於酒精燈上加熱至呈半固態，倒入培養皿。</li> <li>硫酸鈣：碳酸鈣=22：7為粉筆的最佳化狀況。</li> <li>加米飯增加密度，減少飛塵。</li> <li>加酒精可減少成形時間。</li> </ol>	<p><b>缺點：</b>未有科學化系列比較和成果分析。</p> <p><b>實驗設計：</b>依照固定成分<b>不同比例</b>的自製粉筆進行<b>量化</b>成效比較。</p>
<a href="#">我把蛋殼變 粉筆了!</a> (2008) <sup>(4)</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li>利用天然蛋殼粉加水調成濃稠放入塑膠管。</li> <li>添加粉筆灰效果佳，<b>蛋殼粉和粉筆灰</b>的最佳比例為<b>1：1</b>。</li> <li>成型可書寫，但不如市售粉筆清楚耐用。</li> </ol>	<p><b>缺點：</b>單純天然蛋殼粉容易斷裂，不堅固，寫出來的字，粉末分配很不均勻。</p> <p><b>實驗設計：</b><b>添加其他成分</b>改良粉筆，包含平滑的效果及黏附性的提升等。</p>
<a href="#">環保「粉」重 要-非「筆」尋 常</a> (2009) <sup>(5)</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>蛋殼粉：CaSO<sub>4</sub>：H<sub>2</sub>O=12：3：5</b>之粉筆最佳。</li> <li>自製與市售粉筆<b>附著率</b>分別為85.07、87.74%；<b>剝離率</b>為0.77、0.06%；<b>磨損量</b>為0.027、0.023g/cm；<b>粉塵飄散集中區</b>為0~7.8、30.0~82.0cm。</li> <li>自製環保粉筆效果相似於市售，且粉塵有改善。</li> </ol>	<p><b>優點：</b>自製研磨器、自製馬車檢測工具(科學化拖曳粉筆)、自製模具與改善方式找出最佳製法。</p> <p><b>缺點：</b>各項測試未使用黑板書寫測試，恐有誤差。</p> <p><b>實驗設計：</b>增加<b>書寫灰度、粉塵量</b>分析。找出更<b>環保物質</b>取代。</p>
<a href="#">「筆」一 「筆」，誰最 「蠟」!</a> (2019) <sup>(6)</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>蜜蠟：大豆硬蠟=3：1</b>的比例為蠟筆的最佳配方。</li> <li>薑黃和紫草根製作出的蠟筆色彩最鮮豔，爽身粉和玉米澱粉製成的色粉。</li> <li>檢測蠟筆油度、耐重力、耐重度、試畫效果。</li> </ol>	<p><b>優點：</b>使用耐重力、耐重度科學分析。</p> <p><b>缺點：</b>使用天然色素效果有限。</p> <p><b>實驗設計：</b>增加<b>鈦白粉、碳酸鈣、染料</b>製成水擦粉筆的可行性。</p>
<a href="#">窮人的水擦 黑板</a> (2019) <sup>(7)</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li>利用 LASS4U 空氣盒子測試粉塵量。ImageJ 影像分析軟體辨識書寫成果。</li> <li>以濕抹布加刮刀的方式擦拭，效果最佳，字跡清晰提高1.5倍。</li> </ol>	<p><b>優點：</b>使用空氣盒子和 ImageJ 進行分析</p> <p><b>缺點：</b>僅測試擦拭黑板比較。</p> <p><b>實驗設計：</b>增加不同粉筆的分析。</p>
<a href="#">「少一色的 蠟筆」自製植 物色素蠟筆 的改良</a> (2022) <sup>(8)</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>油：蜜蠟：大豆：滑石粉：青黛粉=5：15：5：3：3</b>。</li> <li>用金屬錐子下墜垂入深度測量耐重力；機器人寫粉筆三分鐘後減少重量計算<b>損耗量</b>；使用<b>手機色碼軟體 colormaster</b> 進行測量，記錄(R)、(G)、(B)的數值變化</li> </ol>	<p><b>優點：</b>用智高積木形成測試平台及使用<b>手機 APP</b> 進行測量。</p> <p><b>缺點：</b>僅測試藍色蠟筆。</p> <p><b>實驗設計：</b>增加<b>水擦黑板書寫分析</b>。找出是否有更好的水蠟筆式環保粉筆。如綜合素材、染料等。</p>

經過比較，歷屆作品中沒有**水擦粉筆**的製作，本實驗進行以下三項改善與研究：

- (一) 統整並改良歷屆作品中實驗可精進處。
- (二) 缺少**水擦式粉筆**的研究內容，透過科學化研究好寫、好擦的水擦環保粉筆。
- (三) 研發並改良**粉筆檢測裝置**：自製粉筆套模具、自繪粉筆檢測裝置。

五、粉筆專利配方分析：本研究使用 Google Patents 查詢的粉筆配方如表三所示

表三 各種粉筆專利配方比

名稱	配方	申請人
<a href="#">一種健康耐用的粉筆</a>	改性石膏粉25~45份，粉末白芷2~8份，草木灰5~10份，硅藻土2~10份，酸性染料0.2~1.8份，香味劑0.2~0.5份，水50~100份。	未公告
<a href="#">濕性無塵粉筆的配方及工藝</a>	石膏粉、滑石粉、海藻酸鈉、氯化胺、甘油和水混合后，經澆鑄而成。	謝子育
<a href="#">綠色環保無塵粉筆</a>	熟石膏粉、鈦白粉、水各15-20分+色漿	龍啟知
<a href="#">一種多媒體教學用水溶性粉筆及其制備方法</a>	水溶性機料1~3份，乳化劑4~6份，聚乙二醇3~5份，硬脂酸9~11份，硬脂酸鎂4~6份；鈦白粉14~16份、立德粉4~6份。	李克盛
<a href="#">多功能水溶性粉筆及其製造方法</a>	石蠟20~40份，兩性表現活性劑5~10份，聚醚類非離子表面活性劑5~15份，乳化劑1~10份，聚乙二醇5~15份，芥酸酰胺0.1~0.5份，聚乙烯吡咯烷酮0.1~0.6份，鈦白粉。	李克盛

- (一) 製造粉筆的配方很多，本研究以硫酸鈣、碳酸鈣、二氧化鈦等單一成分添加不同量的水來製作，找出最適合比例。
- (二) 更換複合配方再加入各種添加物及專利中曾出現的材料，試驗更多種粉筆製作的方式以製作出最佳水擦式環保粉筆。

## 貳、研究設備及器材

### 一、材料與器材

粉筆主原料	添加物	用具
碳酸鈣、硫酸鈣、二氧化鈦	批土、蛋殼、粉筆灰、蝶豆花、葡萄糖粉、樹脂、硬脂酸、蜜蠟、大豆蠟、硅藻土、薑黃粉、色素顏料	電子秤、吊秤、燒杯、培養皿、玻璃棒、標籤貼、剪刀、粗吸管、滴管、藥勺、夾鏈袋、各種粉筆、清潔工具。
		

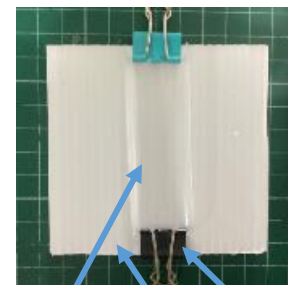
圖二 器材與用具

### 二、自製粉筆套模具

剪裁珍奶吸管，用長尾夾固定在 PP 板上，並以螺絲釘、橡皮筋輔佐自製粉筆套模具，如圖三所示。

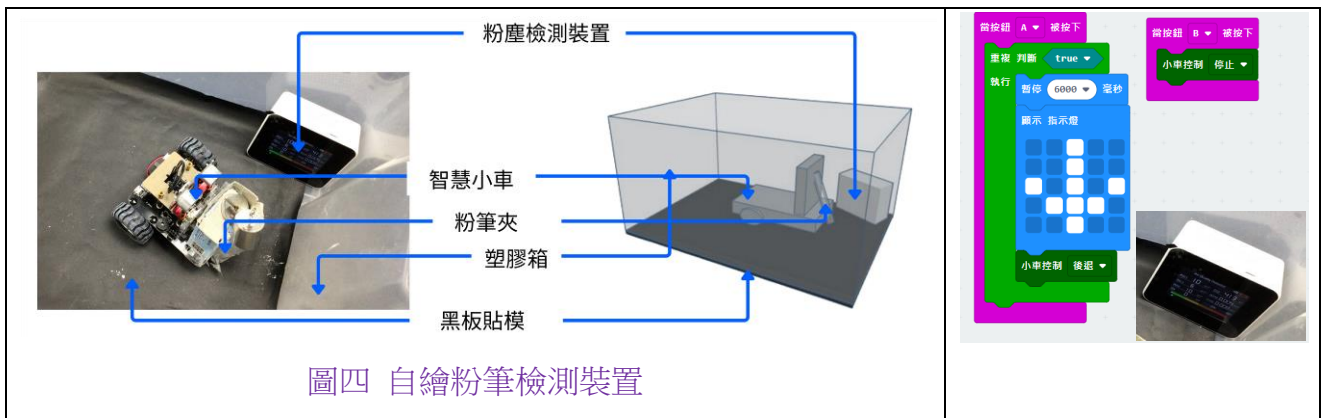
### 三、自繪粉筆檢測裝置

利用空氣微粒測試機 (E23638W)、整理箱、黑板膜、粉筆夾、micro:bit AI 智慧小車製作「自繪粉筆檢測裝置」，如圖四所示，設計特點說明如下：



剪開吸管 PP 板 長尾夾

圖三 自製粉筆套模具



圖四 自繪粉筆檢測裝置

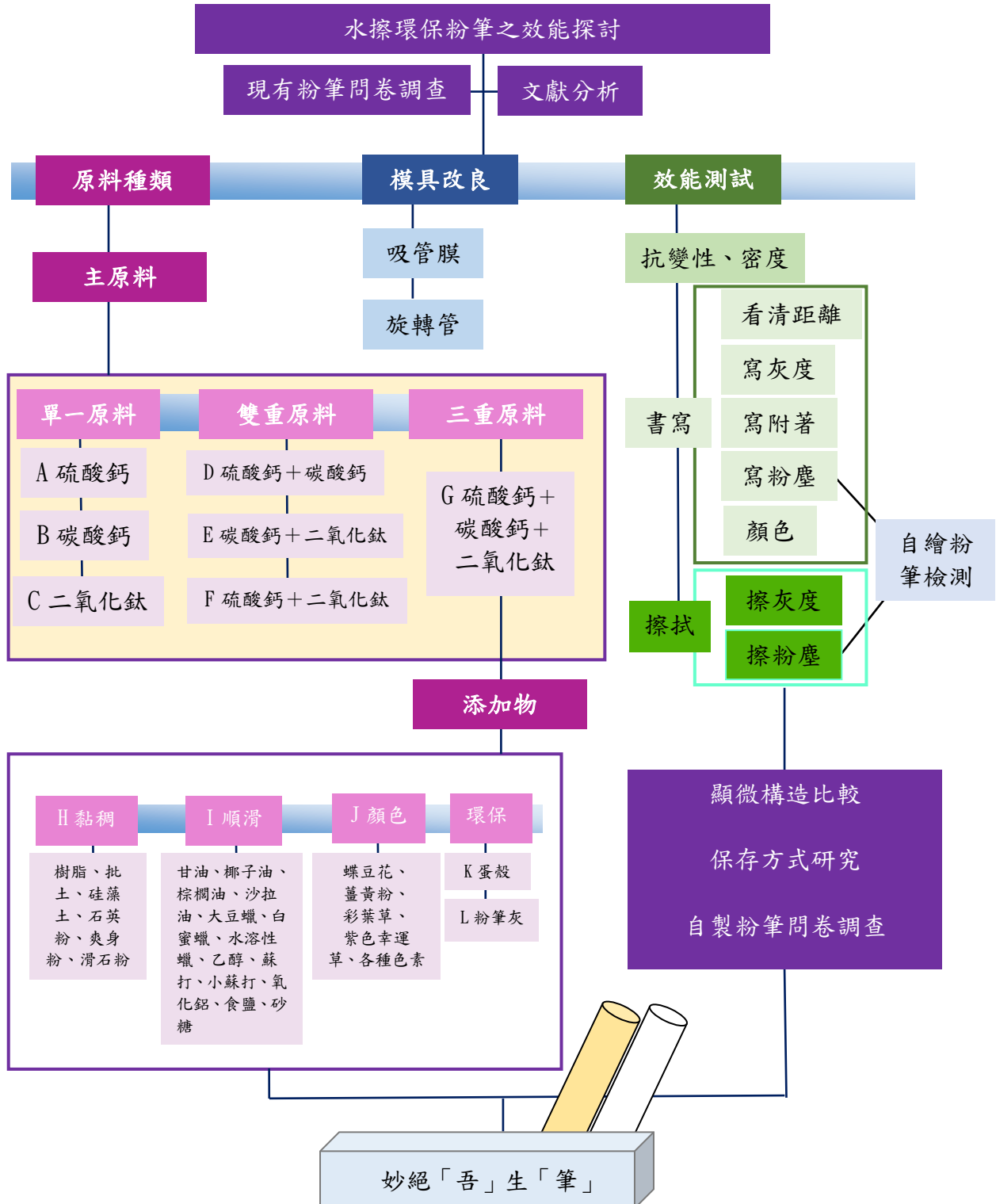
- (一) **力的標準化**：在 micro:bit 網站撰寫小車直線移動程式。車子黏貼粉筆和濕紙巾後以定速運動後，拍照記錄書寫和擦拭成果。自動書寫與清潔，避免人為干擾。
- (二) **粉塵檢測**：以平板錄製智慧小車書寫或擦拭時的空氣微粒測試機數值變化。

## 參、研究過程與方法

本研究所有實驗相關相片都為作者/指導老師拍攝

### 一、研究架構

本研究利用碳酸鈣、硫酸鈣、二氧化鈦、樹脂、蛋殼、粉筆灰、天然色素等材料研發好用、不掉灰又環保的新粉筆，有關實驗構想的架構圖如圖五所示：



圖五 研究架構圖

## 二、定義與量化觀察變因的方法

為了更能科學量化粉筆的效能，我們決定測量各式粉筆抗變性、密度、書寫附著率、粉塵量、擦拭乾淨度、落粉量、書寫清晰度、顏色。測量定義與方法如下：

### (一) 密度：

先測量一支粉筆重量、粉筆半徑及長度。

$$\text{密度 (g/cm}^3\text{)} = \text{質量} \div (\pi \times \text{半徑}^2 \times \text{長度})$$

### (二) 書寫附著率、寫粉塵、擦粉塵：

1. 以「自繪粉筆檢測裝置」進行測試，連接空氣微粒測試機、AI 智慧小車夾取粉筆，前後行走書寫10秒。完成後再測量粉筆和黑板膜的重量改變及空氣微粒濃度變化。

書寫附著率：黑板膜重量改變/粉筆重量改變\*100%。數值愈高愈理想。

寫粉塵 = 小車書寫時 PM2.5、PM1.0、PM10懸浮微粒濃度之平均( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

2. 以自繪粉筆檢測裝置進行測試，連接空氣微粒測試機、AI 智慧小車夾取濕抹布，前後行走擦拭10秒，記錄空際微粒濃度變化。

擦粉塵 = 小車擦拭時 PM2.5、PM1.0、PM10懸浮微粒濃度之平均( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

### (三) 看清距離(書寫字體最遠看清距離)：

將「自繪粉筆檢測裝置」在黑板膜上書寫痕跡固定在教室前端，測量同學可看清楚的最遠距離(1~9m)。

### (四) 寫灰度(書寫字體灰度)、顏色判斷：

1. 拍下「自繪粉筆檢測裝置」在黑板膜上書寫痕跡，在 imageJ 中分析相片，用 analyze/set measurements 中開啟平均灰度值(mean gray value)，按 analyze/Measure 記錄測量值。灰度範圍由0到255，白色為255，黑色為0，灰度值越大表示越亮，在黑板中的字愈清楚。
2. 利用 imageJ 中 plugins/analyze/RGB Measure，分析 RGB 值。

### (五) 擦灰度(擦拭後黑板照片灰度)：

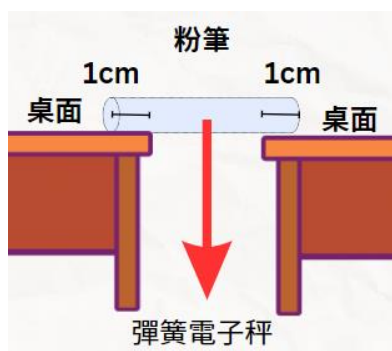
拍下「自繪粉筆檢測裝置」在黑板膜上經濕抹布擦拭後書寫痕跡情況，利用 imageJ 分析灰度值，灰度差最小為最乾淨。



**(六) 粉筆抗變性**：材料抵抗變形和分離的能力。

本實驗使用測量方式如圖六所示：將粉筆放置兩桌面邊端，利用拉秤拉粉筆中心點，測量粉筆斷裂時彈簧秤的數值(gw)與自強牌的斷裂值710gw 的比值。

**粉筆抗變性 = 粉筆斷裂時彈簧秤的數值(gw)/710**



圖六 粉筆抗變性測量：用電子拉秤測量拉斷掛在兩桌中的粉筆所需外力

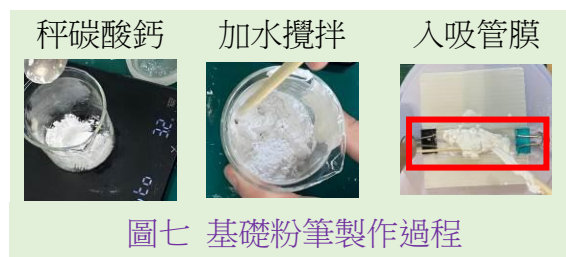
### 三、市售粉筆調查

- (一) 外觀與書寫觀察：以學校現有的各種品牌粉筆(自強、歐亞環保粉筆、SangBo 水擦粉筆)進行外觀、抗變性、密度觀察。並進行書寫比較，包含測量看清距離、寫灰度、書寫附著率、寫粉塵、顏色分析等。
- (二) 清潔觀察：取各種清潔用具夾在「自繪粉筆檢測裝置」中擦拭粉筆字跡，拍照觀察比較擦灰度、擦粉塵。

### 四、自製粉筆

(一) 單一材料粉筆製作：**(A~C)**

1. 基礎粉筆製作過程如圖七所示。
2. 使用電子秤量取**(A)**硫酸鈣、**(B)**碳酸鈣、**(C)**二氧化鈦各15g，放在燒杯中。
3. 分別混入1-10g 的水，二氧化鈦添加用玻璃棒攪拌混合均勻。
4. 將粗吸管剪成5公分，將粉筆材料到入吸管膜中，放置培養皿上乾燥1天。
5. 乾燥後脫模，拍照比較並進行密度、抗變性、書寫及清潔觀察測試。



(二) 兩種主原料粉筆製作：**(D~F)**

1. 使用電子秤量取硫酸鈣、碳酸鈣、二氧化鈦共15g，放在燒杯中。
  - (1) **D** 組：硫酸鈣與碳酸鈣共15g，硫酸鈣分別由14、13…至1g、及7.5g 共15種。

(2) E 組：碳酸鈣與二氧化鈦共15g，碳酸鈣分別由14、13…至1g、及7.5g 共15種。

(3) F 組：硫酸鈣與二氧化鈦共15g，硫酸鈣分別由14、13…至1g、及7.5g 共15種。

2. 每種配方分別混入6-9g 的水，用玻璃棒攪拌混合均勻，進行基礎粉筆製作及測試。

### (三) 三種主原料粉筆製作：(G)

1. 使用電子秤量取碳酸鈣、硫酸鈣、二氧化鈦共15g，放在燒杯中。配方如表四所示。

2. 分別混入8g 的水，用玻璃棒攪拌混合均勻，進行基礎粉筆製作及測試。

表四 硫酸鈣+碳酸鈣+二氧化鈦組合之粉筆製作比例表

	碳酸鈣	硫酸鈣	二氧化鈦		碳酸鈣	硫酸鈣	二氧化鈦		碳酸鈣	硫酸鈣	二氧化鈦
G01	9	1	5	G08	6	2	7	G15	3	3	9
G02	8	2	5	G09	5	3	7	G16	4	1	10
G03	7	3	5	G10	6	1	8	G17	3	2	10
G04	8	1	6	G11	5	2	8	G18	2	3	10
G05	7	2	6	G12	4	3	8	G19	3	1	11
G06	6	3	6	G13	5	1	9	G20	2	2	11
G07	7	1	7	G14	4	2	9	G21	1	3	11

### (四) 添加複合材料粉筆製作：

選用最成功的粉筆配方，添加不同材料2g 製作粉筆，進行基礎粉筆製作及測試。

添加物內容分類說明如下：

1. 增加黏稠(H)：樹脂、批土、矽藻土、爽身粉、滑石粉。
2. 增加順滑(I)：甘油、椰子油、棕櫚油、沙拉油、石英粉、大豆蠟、白蜜蠟、水溶性蠟、乙醇、蘇打、小蘇打、氧化鋁、食鹽、砂糖。
3. 顏色添加(J)：蝶豆花、薑黃、紫色幸運草、彩葉草、各種色素。

### (五) 環保回收材料粉筆製作(K、L)：

1. K 組：收集黑板溝中的粉筆灰，取粉筆灰1~8g 取代碳酸鈣，進行基礎粉筆製作及測試。

2. L 組：將蛋殼磨碎，取0.5、1、1.5、2、2.5、3g 取代碳酸鈣，進行基礎粉筆製作及測試。

## 五、自製粉筆顯微觀察

用平板連接顯微鏡頭，觀察各種自製粉筆的微顆粒構造。

## 六、自製粉筆顯微觀察

用平板連接顯微鏡頭，觀察各種自製粉筆的微顆粒構造。

## 七、自製粉筆保存測試

選用最成功的粉筆配方量產，分別將粉筆放置乾燥箱、塑膠整理箱、室內桌上2天、5天、10天後分別比較粉筆的各項效能是否有改變。

## 八、自製粉筆使用問卷調查

將自製粉筆分享給同學和老師使用，並請同學和老師進行問卷調查。調查題目如下：

針對自製粉筆和市售水擦式粉筆比較，你覺得…：

題號	題目	程度分別為1-5 (不同意到同意，非常同意為5分)
1	較不易碎	○1非常不同意 ○2不同意 ○3普通 ○4同意 ○5非常同意
2	較細緻不髒手	○1非常不同意 ○2不同意 ○3普通 ○4同意 ○5非常同意
3	較不易掉灰	○1非常不同意 ○2不同意 ○3普通 ○4同意 ○5非常同意
4	較看得清楚	○1非常不同意 ○2不同意 ○3普通 ○4同意 ○5非常同意
5	較擦得乾淨	○1非常不同意 ○2不同意 ○3普通 ○4同意 ○5非常同意
6	整體評價較佳	○1非常不同意 ○2不同意 ○3普通 ○4同意 ○5非常同意

## 肆、研究結果

### 一、市售粉筆效能測試

以自強、歐亞環保粉筆、SangBo 水擦粉筆進行外密度、書寫與擦拭測驗比較，包含測量看清距離、書寫附著率、寫粉塵、擦粉塵、寫灰度、擦灰度、抗變性等，如表五所示。

表五 自強傳統粉筆、歐亞環保粉筆、SangBo 水擦粉筆效能比較

編號	01	02	03
粉筆種類	自強傳統粉筆	歐亞環保粉筆	SangBo 水擦粉筆
測試照片			
密度 g/cm <sup>3</sup>	1.77	1.42	1.46
書寫附著率%	68	73	87☺
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	8.6	5.7	2.5☺
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	7.6	3.5	1.7☺
看清距離 m	9☺	8.5	7
寫灰度	192.815☺	180.148	172.996
擦灰度	82.251☺	84.381	91.453
抗變性	1☺	0.97	0.87

市售粉筆書寫與清潔比較分析如下：





- (一) 自強牌(以硫酸鈣為主原料)的粉筆最清楚，看清距離為9公尺。寫起來字體粗，顯色對比強，顏色亮麗，寫灰度高達152.815，但會在留下刮痕。且粉塵最多，寫粉塵高達 $86\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
- (二) 歐亞環保粉筆(以碳酸鈣為主原料)相較自強牌字較帶有顆粒感。書寫時粉筆灰較不髒手。
- (三) SangBo 水擦粉筆(以二氧化鈦為主原料)形狀沒包膜像蠟筆，寫出來的字較淡較細，書寫較看不清楚，寫灰度為132.996；擦拭也不容易擦乾淨。但最不會掉粉。

## 二、自製粉筆套模具的改良

自製粉筆的過程中，材料和模具是最大的變因。本實驗利用長尾夾固定在 PP 板兩端，可快速大量製造粉筆，加螺絲釘推進器的旋轉口紅管，可製作好寫耐用的粉筆，製作的結果和改良的過程如表六所示：

表六 自製粉筆模具過程及改良

	設計說明	照片	圖示	特色與改良
第一代	將吸管剪成三段，再將底部封住，黏在培養皿上 (約5日乾)			優點：用吸管剪裁3段，製作三粉筆，非常方便 缺點：不容易填裝、不易乾且會漏出
第二代	改良：把吸管中間剪開以方便填入 (約2日乾)			優點：容易填入、易乾 缺點：填入時吸管兩端會翹起。不可填入過於液態之粉筆
第三代	改良：吸管中間剪開用長尾夾固定在PP板兩端，填入後再調整為圓柱形 (約2日乾)			優點：容易填入、易乾，且改善兩端翹起，1人也可簡易操作完成 缺點：不可填入過於液態之粉筆
第四代	改良： 添加螺絲釘固定兩側、橡皮筋加壓器 (約5日乾)			優點： 1.增加封口，可填入較液態之之粉筆材料 2.美化成型，空洞少 缺點： 1.乾燥需要較多時間 2.書寫時不易推、且會沾手

第五代	改良：以 <b>旋轉口紅管</b> 為模型 發想→ <b>螺絲釘推進器</b> (約5日乾)			<b>優點：</b> 1.可旋轉書寫，不易斷、不沾手 2.模具可重複使用 <b>缺點：</b> 1.灌模較麻煩，約7日乾 2.費用高
第六代	改良：自製切開吸 管用長尾夾固定在 PP板兩端，加 <b>螺絲釘推進器</b> 的 <b>旋轉口紅管</b>			<b>優點：</b> 1.好灌模又美麗耐用 2.添加螺絲釘推進器，內層吸管可推進，方便書寫和保護 3.最為經濟實用

自製粉筆套模具的改良特點如下：







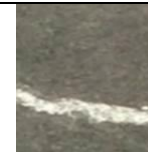

- (一) 自製粉筆灌模不順，故改良粉筆模具，利用吸管、長尾夾、固定板發展至第六代。
- (二) 第三代最由**長尾夾固定在PP板兩端**為快速便利適合大量生產。
- (三) 第四代可減少少空洞製作出的粉筆更美觀；第五代書寫不沾手；第六代由**螺絲釘推進器的旋轉管**為好灌模又美麗耐用，方便書寫的最佳版。





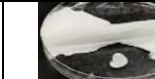





### 三、不同材料粉筆製作的結果比較

#### (一) **碳酸鈣粉筆**：容易書寫、且清楚，但掉粉多【碳酸鈣：水=15：7效果最佳】

以15g 碳酸鈣分別添加1~10g 水調製做的粉筆，比較成形與書寫測試結果如表七所示。

表七 不同碳酸鈣與水比例製作之粉筆效能比較

編號	A01	A02	A03	A04	A05
碳酸鈣重 g	15	15	15	15	15
水重 g	1	2	3	4	5
粉筆照片					
是否成形	✘	✘	✓	✓	✓
測試照片	無法測試	無法測試			
密度 g/cm <sup>3</sup>	3.00	3.00	3.87	3.80	4.07
書寫附著率%	無法測試	無法測試	74.34	76.56	80.64☺
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	無法測試	無法測試	10	9.7	9
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	無法測試	無法測試	8.7	8.3	8
看清距離 m	無法測試	無法測試	9☺	9☺	9☺
寫灰度	無法測試	無法測試	181.76	184.73	198.23☺
擦灰度	無法測試	無法測試	81.65	82.65	86.54
抗變性	無法測試	無法測試	無法測試	0.1533	0.1463









編號	A06	A07	A08	A09	A10
碳酸鈣重 g	15	15	15	15	15
水重 g	6	7	8	9	10
粉筆照片					
是否成形	✓	✓	✓	✓	✓
測試照片					
密度 g/cm <sup>3</sup>	3.93	4.20	2.60	2.40	2.07
書寫附著率%	82.75☺	84.46☺	79.65	74.54	70.24
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	8.3	8.7	8.3	8	7.7☺
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	8.3	8	8	8.3	7☺
看清距離 m	9☺	9☺	9☺	9☺	9☺
寫灰度	190.56☺	194.67☺	187.45	184.23	183.76
擦灰度	84.76	86.54	84.89	74.57	73.56☺
抗變性	0.1348	0.1256	無法測試	無法測試	無法測試











1. 3g 以上的水調製的粉筆，能見度都在9公尺左右。
2. 整體結果以碳酸鈣：水=15：7效果最佳，可書寫清楚，書寫灰度值高達194.67。
3. 書寫時皆有許多粉塵碎屑，且容易斷裂，抗變性只有0.1256~0.1533，甚至只輕輕書寫觸碰就斷了，無法測量抗變性。

## (二) 硫酸鈣粉筆：質輕堅硬、抗變性高，但書寫只看有淡淡痕跡

以15g 硫酸鈣分別添加1~10g 水調製做的粉筆，比較成形與書寫測試結果如表八所示。

表八 不同硫酸鈣與水比例製作之粉筆效能比較

編號	B01	B02	B03	B04	B05
硫酸鈣重 g	15	15	15	15	15
水重 g	1	2	3	4	5
粉筆照片					
是否成形	✗	✗	✓	✓	✓
測試照片	無法測試	無法測試			
密度 g/cm <sup>3</sup>	2.53	2.43	2.93	2.83	3.00
書寫附著率%	無法測試	無法測試	3.98	4.87	4.76
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	無法測試	無法測試	7	6.7	6
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	無法測試	無法測試	2	2	3
看清距離 m	無法測試	無法測試	3	2	2
寫灰度	無法測試	無法測試	10.67	8.56	7.56
擦灰度	無法測試	無法測試	3.67	2.56	2.75
抗變性	無法測試	無法測試	22.45	24.08	21.39











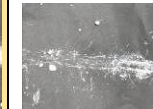
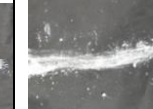
編號	B06	B07	B08	B09	B10
硫酸鈣重 g	15	15	15	15	15
水重 g	6	7	8	9	10
粉筆照片					
是否成形	✓	✓	✓	✓	✓
測試照片					
密度 g/cm <sup>3</sup>	2.20	2.93	2.60	3.07	3.40
書寫附著率%	5.64	4.65	4.54	3.98	4.34f
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	6.3	4	11.7	8	7
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	3	3	2	2	4
看清距離 m	2	3	3	3	3
寫灰度	8.64	8.32	8.32	7.43	5.65
擦灰度	2.56	2.43	2.45	2.32	2.87
抗變性%	26.31☺	31.97☺	10.56	10.72	11.74

1. 硫酸鈣粉筆質輕但堅硬、抗變性高，均在10以上，很牢固，幾乎不會斷。
2. 書寫附著率、寫灰度、粉塵皆低，看清距離在2~3公尺間，書寫看不清楚只有淡淡痕跡。
3. 碳酸鈣與硫酸鈣皆為傳統粉筆的成分，但碳酸鈣雖掉粉很多，卻是較容易書寫的。

**(三) 二氧化鈦粉筆：易書寫，清晰度極高，掉粉量少【二氧化鈦：水=15：8效果最佳】**

15g 二氧化鈦分別添加1~10g 水調製做的粉筆，比較成形與書寫測試結果如表九所示。

表九 不同二氧化鈦與水比例製作之粉筆效能比較

編號	C05	C06	C07	C08	C09	C10
二氧化鈦重 g	15	15	15	15	15	15
水重 g	5	6	7	8	9	10
粉筆照片						
是否成形	✓	✓	✓	✓	✓	✓
測試照片						
密度 g /cm <sup>3</sup>	8.00☺	6.90	7.60	8.13☺	7.47	6.80
書寫附著率%	82.73	84.34☺	83.44	84.23☺	83.76	84.23
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	12	12.7	12	11.3☺	11.7	12.3
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	15.3	16.3	15.7	16	15☺	16
看清距離 m	9☺	9☺	9☺	9☺	8	9☺
寫灰度	165.98	167.35	169.54☺	169.55☺	153.87	160.98
擦灰度	104.65	105.43	107.45	107.65	97.45☺	106.43
抗變性	0.1690	0.1363	0.1126	0.1464	0.1463	0.169

1. 5g 以上的水才能成形成容易書寫，清晰度極高，適合當主原料。
2. 抗變性低，測試完後幾乎就成為碎片。
3. 本研究將二氧化鈦再與其他主原料以不同組合研發更佳的粉筆配方。

#### (四) 雙重原料製作粉筆的效能比較

##### 1. 硫酸鈣與碳酸鈣(D1~D60)：碳酸鈣比例超過一半以上時可以書寫清楚

以硫酸鈣與碳酸鈣15種比例與6-9g 的4種水量來製作粉筆，共60組，結果如表十所示。

表十 碳酸鈣與硫酸鈣粉筆的效能比較

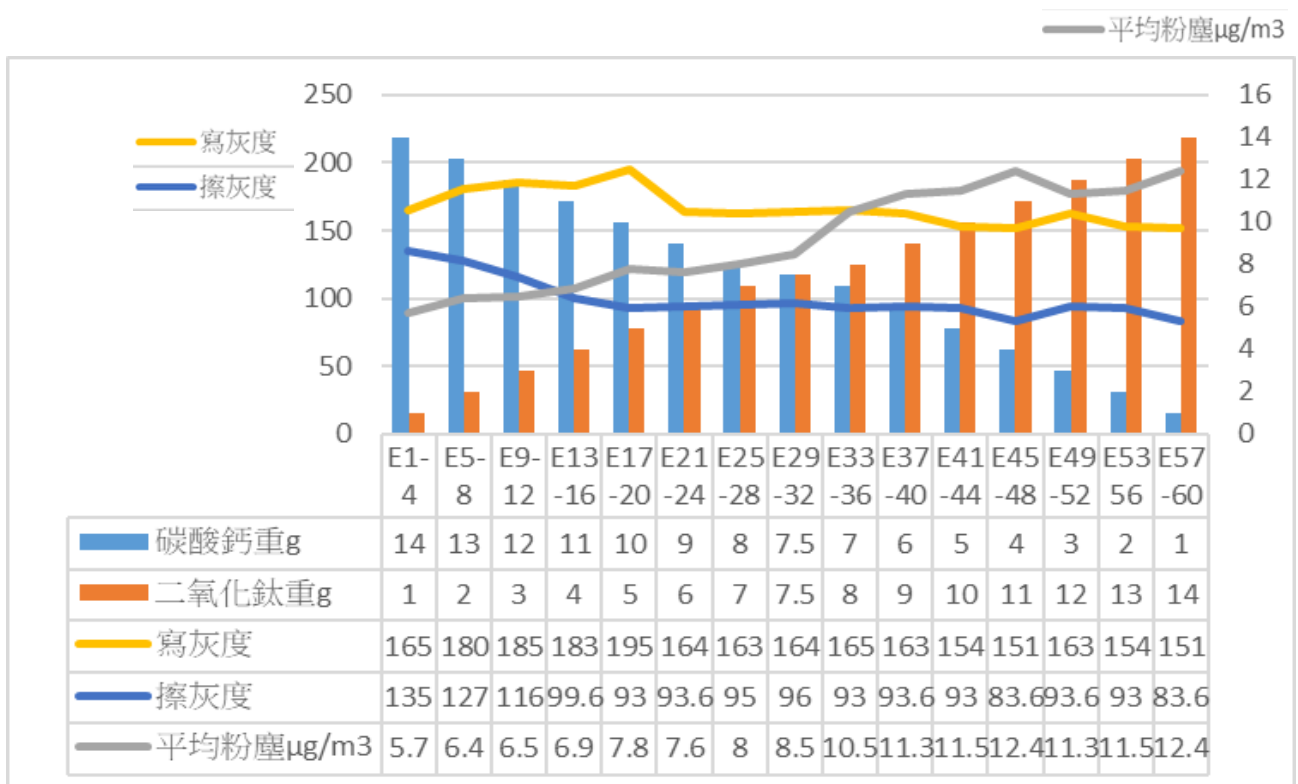
編號	D1-4	D5-8	D9-12	D13-16	D17-20	D21-24
碳酸鈣重 g	14	13	12	11	10	9
硫酸鈣重 g	1	2	3	4	5	6
最佳粉筆照片						
最佳測試照片						
密度 g/cm <sup>3</sup>	3.24	3.13	3.11	3.00	2.87	2.80
書寫附著率%	81.13	80.35	80.26	76.21	74.46	73.44
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	12.4	12.7	12.3	12	11.7	10.3
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	10.4	11.3	10.5	10	9.6	9.3
看清距離 m	9☺	9☺	9☺	9☺	9☺	9☺
寫灰度	184.55☺	180.26☺	175.35	163.45	164.52	163.73
擦灰度	134.89	97.32	86.32	86.43	84.53	73.56
抗變性	0.63	0.64	0.63	0.66	0.65	0.74
編號	D25-28	D29-32	D33-36	D37-40	D41-44	D45-48
碳酸鈣重 g	8	7.5	7	6	5	4
硫酸鈣重 g	7	7.5	8	9	10	11
粉筆照片						
測試照片						
密度 g/cm <sup>3</sup>	2	2.13	2.90	2.60	2.72	2.31
書寫附著率%	64.53	63.24	60.45	62.33	56.50	52.33
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	11.2	12.5	9.3	7.5	6.3	4.6☺
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	10.1	9.6	9	7.3	5.2	4.2☺
看清距離 m	9☺	9☺	7	6	6	6
寫灰度	167.45	174.23	83.76	78.98	68.23	78.98
擦灰度	99.35	82.64	73.43	65.47	48.74☺	53.76
抗變性	0.81	0.8	4.75	9.15	8.35	10.46☺



- (1) D1-4組皆為14g 碳酸鈣，1g 硫酸鈣，但水量分別為6-9g
- (2) D5-8組則為13g 碳酸鈣，2g 硫酸鈣。
- (3) D29-32組為碳酸鈣和硫酸鈣比例相同皆為7.5g。
- (4) 60組實驗中硫酸鈣14-12g 的粉筆不能寫出清楚的痕跡。
- (5) D1-48的組別以同樣比例原料平均比較粉筆效能。
- (6) 碳酸鈣超過50%時，寫灰度可達163以上。

## 2. 碳酸鈣與二氧化鈦(E1~E60)：清楚好擦，但粉多

【碳酸鈣：二氧化鈦：水=10：5：8效果最佳】



圖八 碳酸鈣與二氧化鈦粉筆的效能比較

- (1) 以碳酸鈣與二氧化鈦15種比例與6-9g 的4種水量來製作粉筆，共60組，結果如圖八所示。
- (2) F1-4皆為14g 碳酸鈣，1g 二氧化鈦。
- (3) 書寫清楚，寫灰度在151以上，其中以碳酸鈣：二氧化鈦：水=10：5：8(E19)書寫最為清楚。但粉塵量高，且抗變性低，容易碎裂。

### 3. 硫酸鈣與二氧化鈦(F1~F60)：【硫酸鈣：二氧化鈦：水=12：3：8效果最佳】

編號	F55	F 平均
硫酸鈣重 g	12	7.5
二氧化鈦重 g	3	7.5
水重 g	8	8
書寫附著率%	37.46	42.43
寫粉塵 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	6.7	8.54
擦粉塵 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5.3	7.34
看清距離 m	9	8.43
寫灰度	178.34	168.65
擦灰度	48.47	47.98
抗變性	25.4	23.6





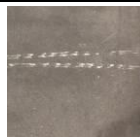
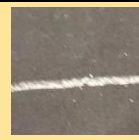
(1) 以硫酸鈣與二氧化鈦15種比例與6-9g 的水製作60組粉筆，成果如表十一所示。

(2) 二氧化鈦高於一半時書寫清楚，寫灰度在149以上。

(3) 以硫酸鈣：二氧化鈦：水=12：3：8 (F55) 效果最佳。但粉塵量高，且抗變性低，容易碎裂。

(五) 碳酸鈣、硫酸鈣與二氧化鈦三重原料製作粉筆的效能比較，如表十二所示

表十二 碳酸鈣、硫酸鈣與二氧化鈦三重原料製作粉筆的效能比較

編號	G02	G06	G09	G15	G16	G19
測試照片						
密度 $\text{g}/\text{cm}^3$	6.63	4.43	4.06	5.66	5.94	6.21
書寫附著率%	67.63	57.67	35.56	25.54	37.59	94.82☺
寫粉塵 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8	11.7	7.3	12	11.7	6.7☺
擦粉塵 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	11.7	11	9.7	10	12	7.3☺
看清距離 m	7	8	8	8	8	9☺
寫灰度	163.54	146.56	136.65	125.67	138.43	199.23☺
擦灰度	89.47	79.47	66.65	55.02☺	64.68	67.45
抗變性	無法測試	15.49	無法測試	無法測試	8.45	8.45

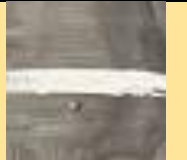




1. 以碳酸鈣：硫酸鈣：二氧化鈦：水=3：1：11：8 (G19)是整體來說最佳的，書寫最清楚，且附著率高。

2. 因此本實驗以此比例當後續實驗中的主原料。

(六) 添加複合材料粉筆製作：添加樹脂、水溶性蠟可提高粉筆效能

預期提高黏稠組其結果如表十三所示。






表十三 添加複合材料粉筆製作效能比較 (預期提高黏稠組)





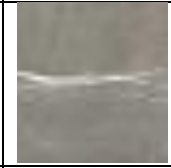
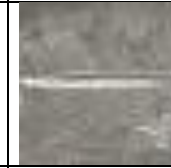
編號	H01	H02	H03	H04	H05
添加物	樹脂	批土	硅藻土	爽身粉	滑石粉
測試照片					
密度 g/cm <sup>3</sup>	5.42	6.20	4.80	5.09	4.47
書寫附著率%	87.54	85.87☺	46.75	65.21	無法測試
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	4.6	4.7☺	8.3	7.3	無法測試
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	3.3☺	5☺	8.3	6.7	無法測試
看清距離 m	9☺	5	5	8☺	無法測試
寫灰度	196.47☺	89.76	102.41	118.54☺	無法測試
擦灰度	68.46	48.76	80.35	79.93	無法測試
抗變性	28.8☺	20.9	0.0753	0.0975	無法測試

1. 滑石粉無法順利和粉筆成形。
2. 樹脂和批土都可以讓抗變性提高，寫粉塵和擦粉塵也較小，但批土書寫時會灰度降低，導致看清距離變短。
3. 添加樹脂在本組中最能可提高粉筆效能。

預期提高順滑組其結果如表十四所示。

表十四 添加複合材料粉筆製作效能比較 (預期提高順滑組)

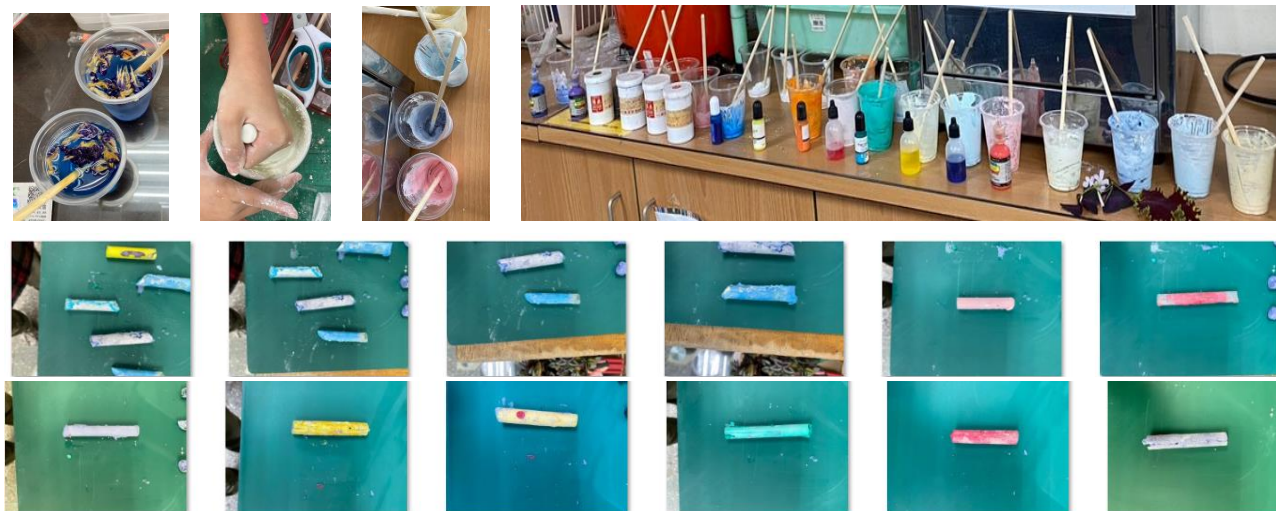
編號	I01	I02	I03	I04	I05	I06
添加物	甘油	椰子油	棕櫚油	沙拉油	石英粉	大豆蠟
是否成形	✘	✓	✓	✓	✓	✘
測試照片	無法測試					
密度 g/cm <sup>3</sup>	無法測試	4.91	4.56	5.05	4.67	4.75
書寫附著率%	無法測試	37.34	73.96	72.53	62.24	46.87
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	無法測試	12.7	11.3	13.7	13	9.7
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	無法測試	10.7	9.7	9.3	11.3	8.3
看清距離 m	無法測試	5	6	5	4	5
寫灰度	無法測試	117.54	127.43	132.54	115.54	104.65
擦灰度	無法測試	83.65	81.65	85.27	84.54	72.65
抗變性	無法測試	7.35	6.54	7.76	8.65	8.75

編號	I07	I08	I09	I10	I11	I12
添加物	白蜜蠟	水溶性蠟	乙醇	小蘇打	氧化鋁	砂糖
是否成形	✓	✓	✓	✓	✓	✓
測試照片						
密度 g/cm <sup>3</sup>	4.12	4.36	5.40	4.92	5.71	5.17
書寫附著率%	68.54	☺97.34☺	57.45	53.76	55.02	38.43
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	☺8.3☺	☺6.7☺	14.7	10.3	9	7
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	8.7	☺5.3☺	13	6.7	6.3	6.3
看清距離 m	7	☺9☺	7	5	5	3
寫灰度	126.54	183.78☺	137.43	94.54	98.23	93.65
擦灰度	85.76	69.84☺	84.76	52.57	47.46	73.82
抗變性	8.45	15.32☺	無法測試	4.89	5.61	8.43

1. 添加甘油後無法成形。
2. 水溶性蠟最能可提高粉筆效能。










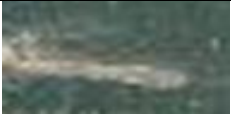






(七) 添加色素製作彩色粉筆：薑黃粉染色效果佳

碳酸鈣：硫酸鈣：二氧化鈦：水：樹脂=3：1：11：8：2 的比例製作粉筆，再添加各種色素測試粉筆顯色情況，如圖九、表十五所示。



圖九 粉筆添加色彩的製作





表十五 蝶豆花、薑黃粉、紫色幸運草、彩葉草、各種色素、市售粉筆顏色比較





編號	J01	J02	J03	J04
添加物	蝶豆花	薑黃粉	紫色幸運草	彩葉草
書寫照片				
色標	 #ACADC1	 #C7BD7D	 #C3BCBD	 #C5BBBA
Red	178.068	199.283	195.994	197.16
Green	173.903	189.51	188.799	187.753
Blue	192.426	156.29	189.234	186.645
(R+G+B)/3	181.455	181.697	191.403	190.623
編號	J05	J06	J07	J08
添加物	染劑 綠	染劑 紅	市售 綠	市售 粉紅
書寫照片				
色標	 # 878F88	 # A09787	 #B6D5A8	 # D4A9BB
Red	135.463	160.401	182.142	212.434
Green	143.94	151.691	213	169.709
Blue	136.657	135.642	168.262	187.788
(R+G+B)/3	138.616	149.278	187.849	189.989

#### (八) 粉筆灰製作環保粉筆

收集黑板溝中粉筆灰1-15g，混在碳酸鈣：硫酸鈣：二氧化鈦：水：樹脂=3：1：11：8：2的比例製作粉筆，也依照增加粉筆灰增加水量，重新製作粉筆結果如表十六。

表十六 不同比例粉筆灰製作環保粉筆效能之比較

編號	K01	K02	K03	K04
粉筆灰重 g	1	2	3	4
水重 g	8	9	10	11
測試照片				
密度 g/cm <sup>3</sup>	4.80	4.64	4.60	4.12
書寫附著率%	75.35	78.56	84.45	85.46
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	13	13.7	14	14.3
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	10	11	11.7	12.3
看清距離 m	8	9	9	3
寫灰度	125.65	129.54	158.75	73.64

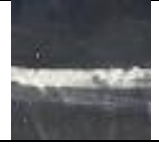



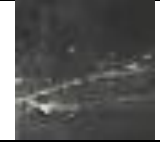
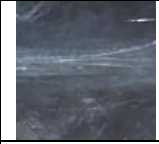
擦灰度	88.43	86.43	89.56	33.56
抗變性	68.43	70.01	73.36	75.34
編號	K05	K06	K07	K08
粉筆灰重 g	5	6	7	8
水重 g	12	13	14	15
測試照片				
密度 g/cm <sup>3</sup>	3.75	3.63	3.60	3.20
書寫附著率%	64.46	67.46	27.36	26.46
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	14.3	14.7	15	15.3
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	12.7	12.3	12.7	13
看清距離 m	3	7	9	9
寫灰度	64.63	108.45	134.65	139.43
擦灰度	36.65	68.36	93.44	95.23
抗變性	77.45	79.01	81.78	83.88

1. 粉筆灰的確可以達到再製的效果，寫粉塵、擦粉塵數值也會提高。
2. 添加7g 以上粉筆灰，寫附著率會下降至27.36%。
3. 利用粉筆灰再製粉筆可達成環保的功效，但不能添加太多。

#### (九) 蛋殼製作環保粉筆

用研鉢磨碎蛋殼，來取代部分碳酸鈣再製作成粉筆，結果如表十七所示。

表十七 不同比例蛋殼製作環保粉筆效能之比較


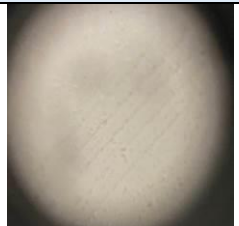

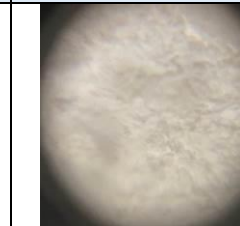
編號	L01	L02	L03	L04	L05	L06
蛋殼	0.5g	1g	1.5g	2g	2.5g	3g
測試照片						
密度 g/cm <sup>3</sup>	5.55	4.92	5.23	5.23	5.09	4.64
看清距離 m	3	6	7	6	5	2
書寫附著率%	44.64	78.34	88.34	83.46	63.56	57.23
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	11.7	11.3	11.7	12.3	13	13.3
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	9.3	9.3	10	10.7	11.3	12
寫灰度	89.43	127.35	137.43	135.64	104.54	74.94
擦灰度	68.32	73.46	75.68	70.43	63.57	46.43
抗變性	56.43	57.47	58.61	59.73	60.42	61.89

1. 蛋殼可以代替碳酸鈣，但不宜太高比例，以免無法書寫。

#### 四、粉筆顯微觀察

橫切自製粉筆與市售粉筆，用平板連接顯微鏡頭拍照觀察，發現自製粉筆的微顆粒構造較為粗糙，且大小不平均，有些中間還有許多空隙，結果如表十八。

表十八 自製粉筆與市售粉筆顯微觀察

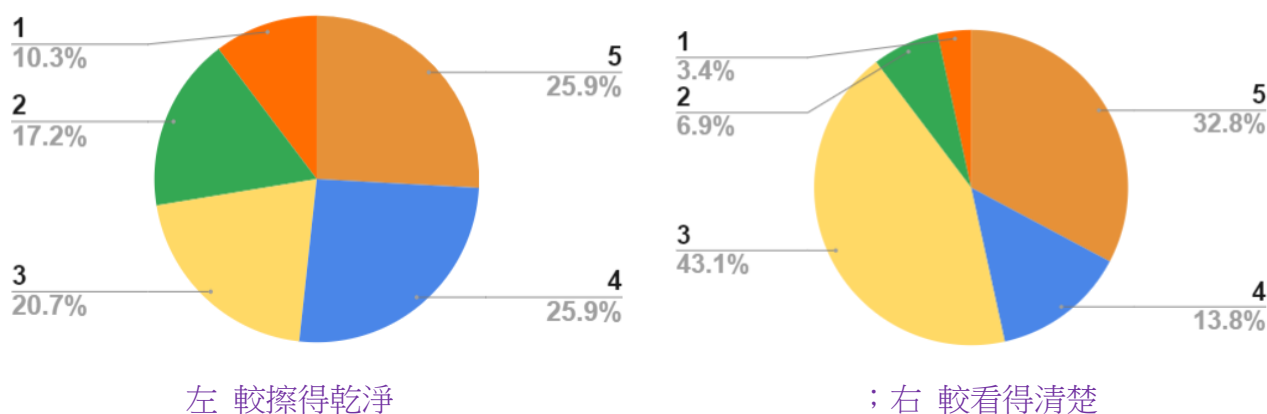
粉筆種類	自製粉筆	自強傳統粉筆	歐亞環保粉筆	SangBo 水擦粉筆
顯微觀察				

### 五、自製粉筆保存測試

碳酸鈣：硫酸鈣：二氧化鈦：水：樹脂=3：1：11：8：2 為綜合效果最佳的自製粉筆得配方。重新製作21支粉筆，分別放置於乾燥箱、整理箱和桌面。放置乾燥箱保存效果最好，其次為塑膠整理箱。放置室內桌上10天會更容易碎裂，抗變性下降，書寫時較看不清楚。

### 六、自製粉筆使用問卷調查

本研究後續使用表單讓57名師生使用後進行自製粉筆和市售水擦式粉筆比較，結果清楚程度增加、較擦得乾淨兩項重要指標達到同意以上超過70%，如圖十所示。



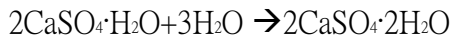
程度分別為1-5 (不同意到同意，非常同意為5分)

圖十 針對自製粉筆和市售水擦式粉筆師生使用回饋比較

## 伍、討論

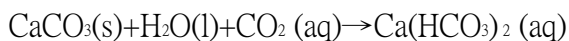
### 一、粉筆主要成分與效能文獻回顧

傳統普通粉筆的成分為無水**硫酸鈣** ( $\text{CaSO}_4$ )。硫酸鈣的二水化合物( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )俗稱為硫酸鈣或生硫酸鈣可加熱脫水而生成熟硫酸鈣或燒硫酸鈣( $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )，熟硫酸鈣與水混合後有可塑性，但不久即硬化重新變成硫酸鈣，此過程放出大量熱並膨脹，因此可用於鑄模和雕塑，常用作水泥和豆腐的凝聚劑。熟硫酸鈣加水硬化的反應式如下：



硫酸鈣粉筆顆粒大、粉塵多，清潔不易。而環保粉筆多採用碳酸鈣（ $\text{CaCO}_3$ ）取代，粉塵較少，且可被人體正常代謝。碳酸鈣是石灰石、大理石等的主要成分，為白色晶體，無味，基本上不溶於水，一個普通大小蛋的蛋殼大約含有5.5克的碳酸鈣<sup>(3)</sup>，以蛋殼回收再用，更是源頭減量的環保製作。

**碳酸鈣**懸濁液遇到過量二氧化碳，會生成碳酸氫鈣，碳酸氫鈣微溶於水，當溶液和空氣接觸，產生逆向的化學反應，碳酸鈣又被沉澱出來。



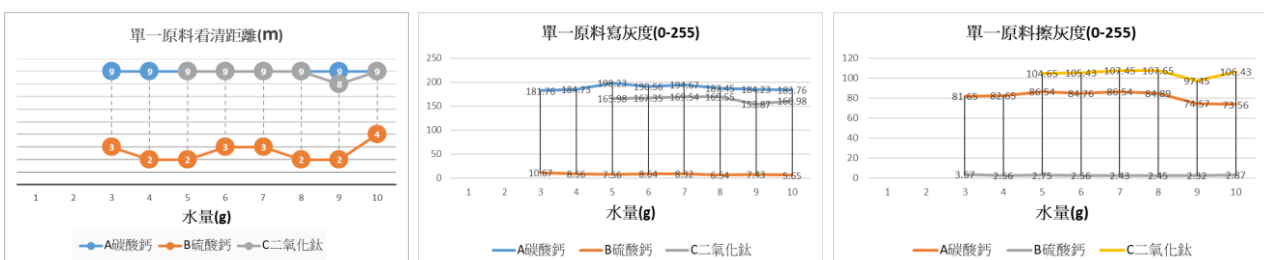
部分粉筆有些添加油脂、聚醇類物質作黏結劑，再加入密度較大的填料，如黏土、泥灰岩、水泥等等物質加強黏性和比重，減少擴散粉塵。

而搭配大屏、水擦黑板後，無粉塵的水溶性粉筆更是大量減少了粉筆使用時的塵粉量。根據文具製造所販售《環保水溶性無粉塵彩色粉筆》的包裝介紹中，水擦粉筆的成分是**二氧化鈦**( $\text{TiO}_2$ )、植物油脂、有機顏料、食用酒精等。二氧化鈦粒子細而均勻，粒徑分布窄、分散好、不溶水，白度高且具有高著色力與遮蓋力，可應用於無機顏料的原材料，如化妝品、粉筆或馬路上的斑馬線原料等。

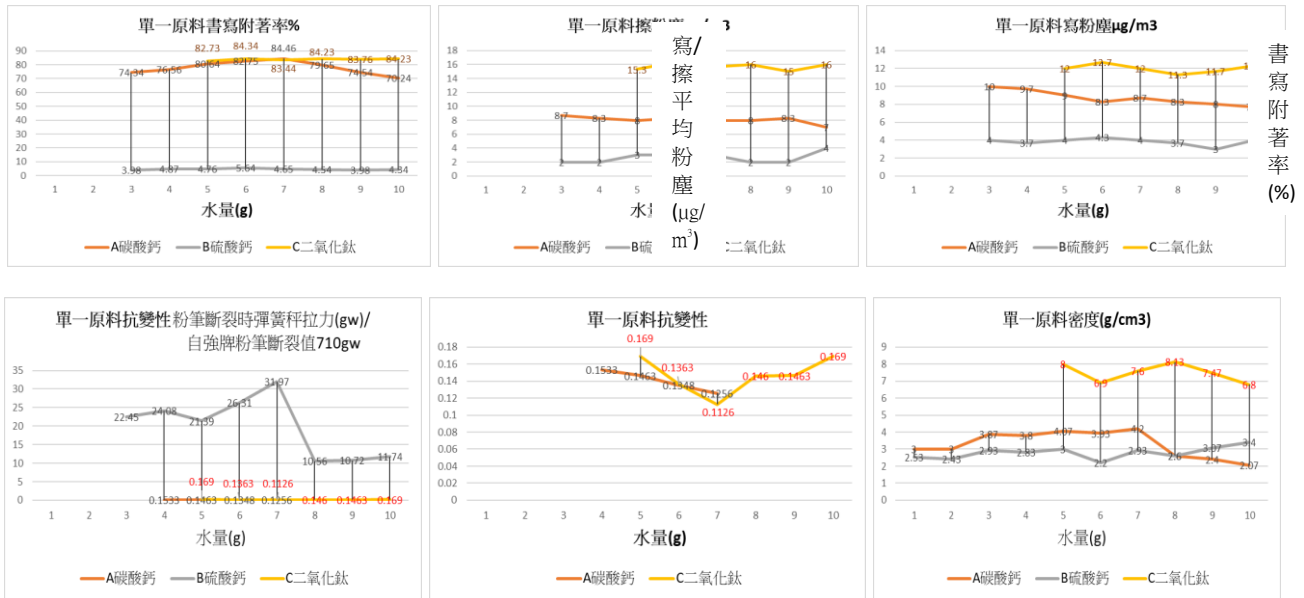
## 二、實驗結果討論

### (一) 單一原料自製粉筆效能比較

以碳酸鈣、硫酸鈣、二氧化碳單一原料15g 與不同比例水自製粉筆成效分析如圖十一所示。看清距離、寫灰度都是碳酸鈣大於二氧化鈦，而硫酸鈣最為不清楚。以寫灰度來看，水量5-8g 間製作出的粉筆寫得最為清楚。擦灰度的結果則以二氧化鈦最高，碳酸鈣第二。結果顯示二氧化鈦好寫但不好擦，硫酸鈣擦拭效果佳，但因為本來就沒甚麼書寫痕跡，所以無法比較。





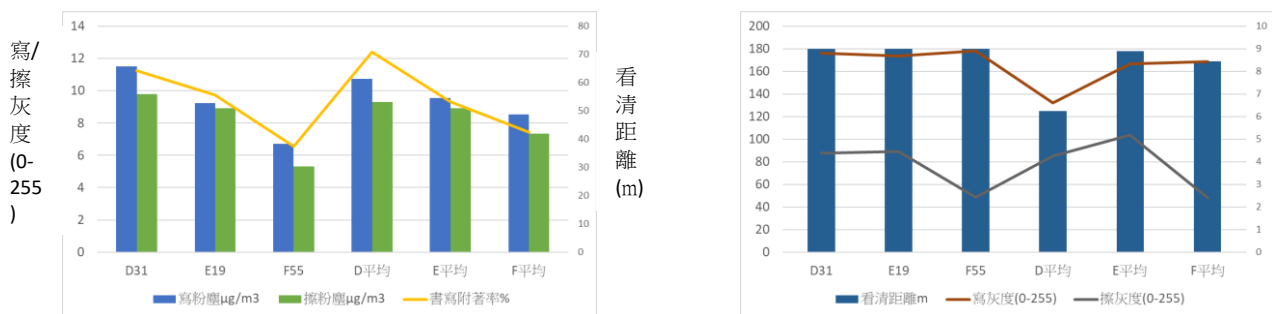


圖十一 15g 單一原料與不同比例水自製粉筆成效分析圖

書寫附著率、寫粉塵和擦粉塵平均以二氧化鈦最佳，碳酸鈣第二，硫酸鈣最小，結果顯示碳酸鈣、二氧化鈦掉粉量多。硫酸鈣抗變性高，平均可達19.9025，以7g 水效果佳。密度則為二氧化鈦最高。依照圖十一可發現，碳酸鈣、二氧化鈦可達到清楚的效果，但掉粉量多，且抗變性低。而硫酸鈣可達到抗變性高的作用。

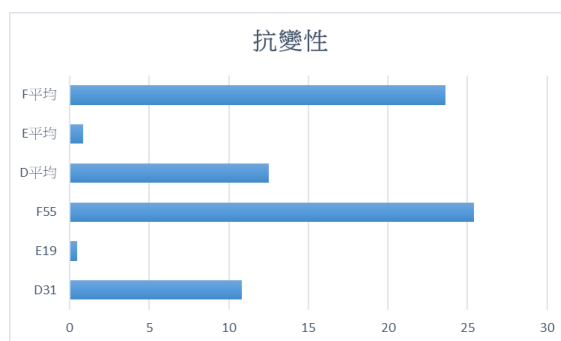
## (二) 雙重原料

硫酸鈣與碳酸鈣為雙重原料製作粉筆 D 組，其中效果最好者為 D31 (硫酸鈣：碳酸鈣：水=7.5：7.5：8)。碳酸鈣與二氧化鈦為雙重原料製作粉筆 E 組，其中效果最好者為 E19 (碳酸鈣：二氧化鈦：水=10：5：8)。硫酸鈣與二氧化鈦為雙重原料製作粉筆 F 組，其中效果最好者為 F55 (硫酸鈣：二氧化鈦：水=12：3：8)。雙重原料製作粉筆效能分析圖如圖十二所示。碳酸鈣與二氧化鈦書寫效果佳，硫酸鈣與二氧化鈦粉塵低，但雙重配方中都有優異表現組合書寫灰度達173以上。



圖十二 雙重原料製作粉筆效能分析圖

添加硫酸鈣的 D、F 組抗變性都達1以上，如圖十三所示。結合單一原料、雙重原料實驗，推測最終需要少量硫酸鈣來支撐其抗變性，部分碳酸鈣及大量二氧化鈦，即可達到目的。



### (三) 三重原料

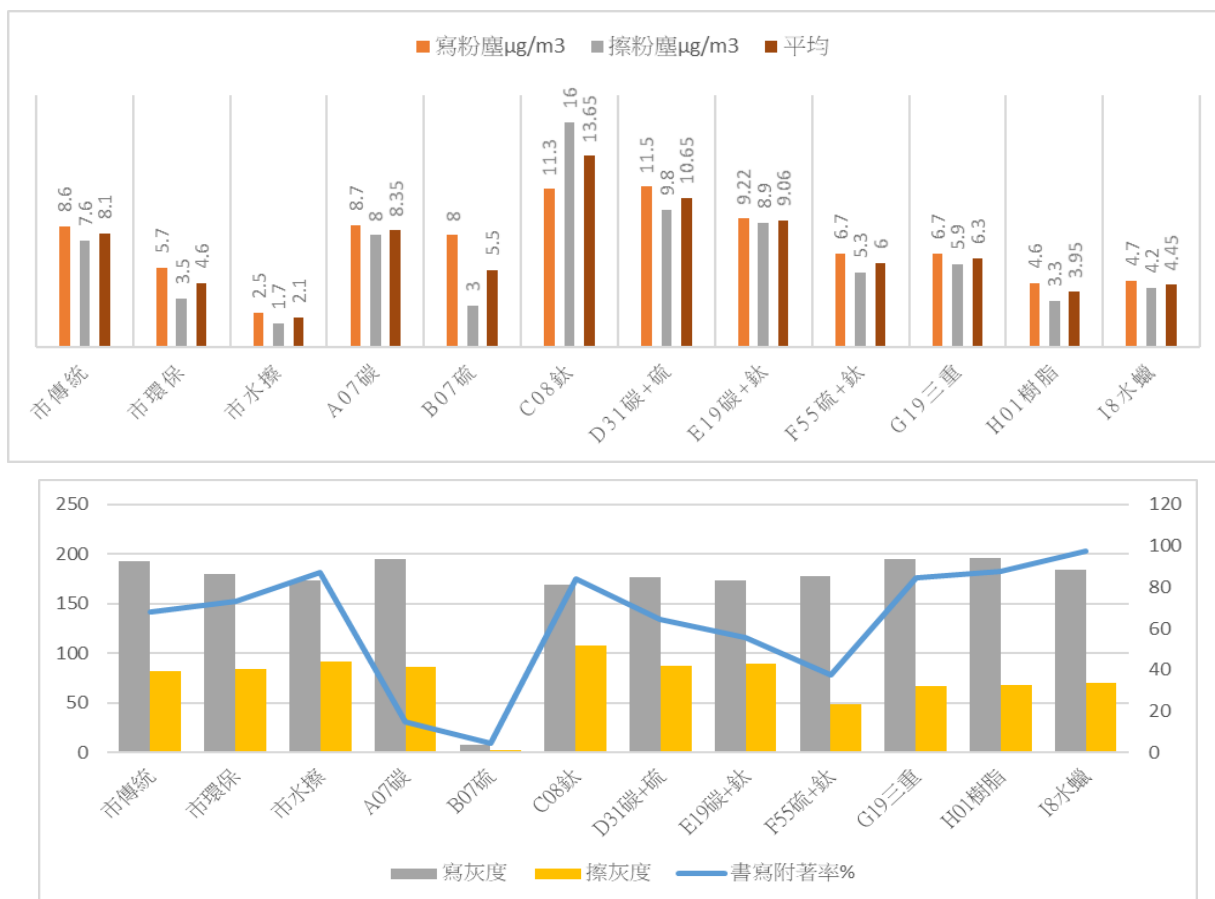
圖十三 雙重原料製作粉筆抗變性分析

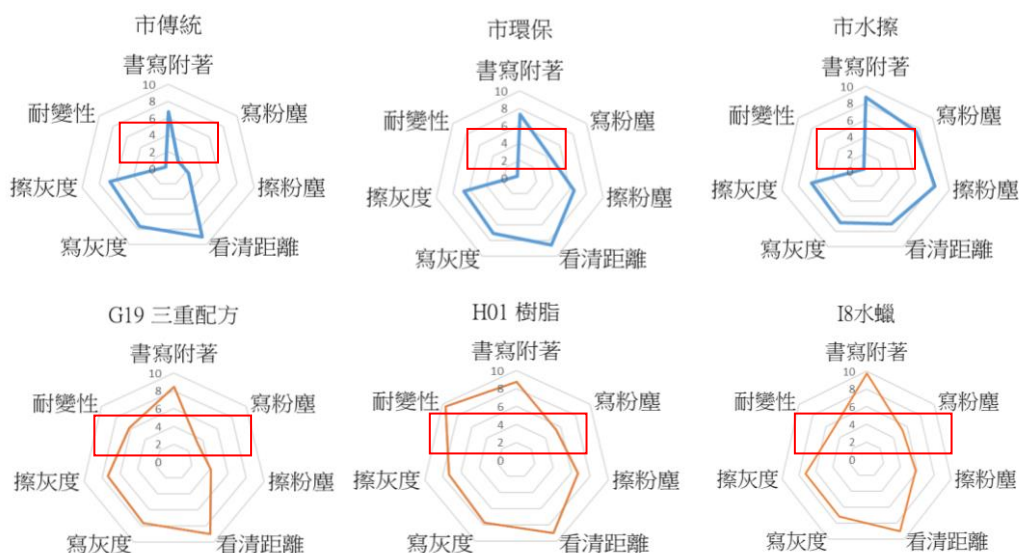
三重原料製作粉筆21組實驗中，碳酸鈣：硫酸鈣：二氧化鈦：水=3：1：11：8(G19)書寫最清楚，且附著率很高，掉粉量少，但成形之後本身容易破碎。因此後續實驗中，期望使用添加物使抗變性提升。

### (四) 自製粉筆與市售比較

自製粉筆與市售比較分析如圖十四所示。以粉塵量來比較，市售水擦粉筆的粉塵是最低的，但本實驗製造的三重配方的平均粉塵量低於市售環保粉筆，添加樹脂的配方(H01)碳酸鈣：硫酸鈣：二氧化鈦：水：樹脂=3：1：11：8：2，自製添加樹脂粉筆粉塵最佳。

三重配方、添加樹脂、水性蠟的書寫灰度都高於市售粉筆。





圖十四 自製粉筆與市售粉筆效能分析圖(各指標換算成0-10分，高分佳)

### 三、自製粉筆改良方法討論

- (一) 測試粉量要足夠，放入吸管膜才成製作出完整長粉筆，如製作時爆漿就順著吸管膜切口把過多材料放入第二根粉筆製作，成功率就大為提高。
- (二) 將黏稠狀的自製粉筆膏倒入管內，邊倒邊敲以除去內部的氣泡。
- (三) 在大塑膠吸管內部塗好凡士林，比較好脫模。
- (四) 可添加酒精、烘乾，可縮短成形時間。
- (五) 粉筆可再用烤箱烘烤更快成形，放置乾燥箱可有較佳保存效果，如圖十五所示。
- (六) 蛋殼要去膜，天然材料要確實用研鉢磨成粉狀，再用過濾網篩選確保其為細粉狀態，才不會書寫時還有小顆粒，以免刮傷黑板。
- (七) 粉筆灰再製可達到回收再利用的效果，且粉筆灰顏色會影響書寫出來的顏色。



圖十五 用烤箱加快成形(左)，防潮箱保存10日仍不改粉筆效果(右)

## 四、實驗過程的優缺點討論

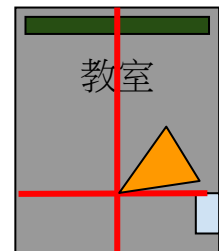
### (一) 文字清晰度的量化

本實驗參考維基百科中能見度的定義為觀察者離物體多遠時仍然可以清楚看見該物體<sup>(8)</sup>，但是可見有時還是主觀判斷，且受到大氣擴散條件等影響準確度。因此想過改用手機的文字數位辨識，希望可以減少人為誤差，找出最容易讓大家看得清楚的粉筆條件。如用 line 中開啟掃描文字或 google 翻譯辨識字體，但發現這樣拍攝不能太遙遠，而且能辨識出來的多是肉眼也清晰可見，輔助斷定的功能性不足，未來想再開發其他辨識清晰度的 app 來進行快速的科學量化。

利用灰度值決定清晰度也存在誤差，本實驗一開始把黑板膜剪成方塊，然後寫上文字拍照，但因為拍攝出來的照片有亮度不一的情況，條件很難統一。後來直接都寫在同一大張黑板膜上，一起拍照再分區辨識，但還是存在許多誤差，肉眼和 imageJ 判斷出來的灰度值不太統一，手寫的力道也會有誤差，因此本實驗統一用。本實驗統一使用自繪粉筆檢測裝置繪製直線後拍照。拍照的光度條件如下：

在教室燈全開的情況下位於後門水平線與黑板中心垂直線的交會點上拍照，如圖十六所示。

灰度方差計算也是可以嘗試的方法，以圖像所有像素灰度平均值為參考，對每個像素點的灰度值求差後求平方和，然後用像素總數標準化，代表灰度變化的平均程度，灰度變化的平均程度越大，圖像越清晰。



圖十六 固定書寫  
拍照標準位置

### (二) 字體寬

字體寬也影響書寫後是否能被清楚看到。但由於本實驗把吸管剪開讓粉筆液容易倒入、容易乾燥，但這樣就有大小不同的粉筆，每個人書寫的角度和力道也不同，所以寫出的字寬度並不一樣。如果本實驗使用統一的模具，用烘乾的方式後應該可以量產相同寬度的粉筆，就可以用 AI 智慧小車取代人工書寫，減少因為人為書寫造成的誤差。

有時書寫時不夠清楚，我們在智慧小車上增加配重砝碼，讓粉筆寫出痕跡清晰可見，如圖十七所示。



圖十七 智慧小車上增加配重砝碼，以智慧小車取代人工書寫

### (三) 染色

在染色過程中，本實驗都是採用身邊可直接取得的顏料，導致染色出來的效果都不顯著。所以在這方面應該要再針對染色劑進行調查，改良配方及原料再製。

### 五、自製粉筆的經濟環保優勢

新式水擦粉筆價格昂貴且看不清楚、不好擦乾淨，如使用改良的自製粉筆，就可以有經濟又好用的粉筆。如蛋殼、粉筆灰添加，更能再降低製作成本。且廢棄物燃燒處理會排放出大量  $\text{CO}_2$ ，回收資源再製可以降低碳排放量，源頭減量並減少對環境的傷害。

## 陸、結論

- 一、 利用空氣微粒測試機 (E23638W)、整理箱、黑板膜、粉筆夾、micro : bit AI 智慧小車製作「自繪粉筆檢測裝置」可科學化測試粉筆粉塵量、書寫與清潔效能。
- 二、 由螺絲釘推進器「自製粉筆套模具」可開發為旋轉管，好灌模又美麗耐用，方便書寫。
- 三、 **碳酸鈣**粉筆容易書寫、且清楚，但掉粉多。**碳酸鈣：水 = 15：7** 時效果最佳。
- 四、 **硫酸鈣**粉筆質輕堅硬、抗變性高，但書寫只看有淡淡痕跡。**硫酸鈣：水 = 15：7** 時效果最佳。
- 五、 **二氧化鈦**粉筆容易書寫，清晰度極高，且掉粉量少，但較軟易碎。**二氧化鈦：水 = 15：8** 時效果最佳。
- 六、 水分愈多愈細膩，混和均勻，顆粒少；但乾燥慢、且過多易碎。
- 七、 粉筆傳統材料為硫酸鈣，容易成形耐用，但書寫可能需要添加其他材料。硫酸鈣粉筆顆粒大、粉塵多，清潔不易。而環保粉筆多採用二氧化鈦 (TiO<sub>2</sub>) 取代，書寫清晰，但純二氧化鈦和水組成的粉筆過軟，必須混和材料製作粉筆。
- 八、 以碳酸鈣及硫酸鈣雙原料製作粉筆時，**碳酸鈣：硫酸鈣：水 = 7.5：7.5：8** 為佳。
- 九、 以碳酸鈣及二氧化鈦雙原料製作粉筆時，**碳酸鈣：二氧化鈦：水 = 10：5：8** 書寫最為清楚。但粉塵量高，且抗變性低，容易碎裂。
- 十、 以硫酸鈣及二氧化鈦雙原料製作粉筆時，**硫酸鈣：二氧化鈦：水 = 12：3：8** 效果最好，寫灰度在149以上。
- 十一、 **三重原料製作粉筆時，碳酸鈣：硫酸鈣：二氧化鈦：水 = 3：1：11：8** 整體效果佳，書寫最**清楚**，且**附著率高**。
- 十二、 添加複合材料粉筆製作：添加**樹脂、水溶性蠟**可提高粉筆效能。
- 十三、 用各色顏料色素可調和粉筆顏色，**薑黃染色效果佳**。
- 十四、 粉筆灰及蛋殼可以代替碳酸鈣，製造環保粉筆，但不宜太高比例，以免無法書寫。
- 十五、 自製粉筆的微顆粒構造較為粗糙，且大小不平均，有些中間還有許多空隙。如能讓粉筆材料更快速均勻化，可產生更細緻的粉筆。粉筆放置乾燥箱保存效果最好。
- 十六、 使用問卷調查顯示自製粉筆有達到**清楚程度增加、較擦得乾淨**兩項重要指標。

## 柒、參考文獻資料

- 一、 智識家環保粉筆。2024年1月20日取自  
[http://ftp.4edu.com.tw/Download/E-Book\\_0629/files/basic-html/page4.html](http://ftp.4edu.com.tw/Download/E-Book_0629/files/basic-html/page4.html)
- 二、 孔祥瑜、張芳瑀(2008)。石化豆花—可以吃的粉筆！中華民國第48屆科展。  
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/48/high/030809.pdf>
- 三、 林宜萱、廖子漩、吳柔蓉、張維心、高維駿、楊文禮(2008)。我把蛋殼變粉筆了！。中華民國第48屆科展。  
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/48/elementary/080806.pdf>
- 四、 魏少亭、何羽柔、王雅婷、王子彬(2009)。環保「粉」重要-非「筆」尋常。中華民國第49屆科展。  
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/040803.pdf>
- 五、 黃錚楷、陳韋齊、張翔硯、王奕欽(2018)。「筆」—「筆」，誰最「蠟」！中華民國第58屆科展。  
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-082906.pdf>
- 六、 陳冷華、黃暉倫、廖承皓、劉劭逸(2019)。窮人的水擦黑板。中華民國第59屆科展。  
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-082912.pdf>
- 七、 洪瓏禎(2022)。「少一色的蠟筆」- 自製植物色素蠟筆的改良。中華民國第61屆科展。  
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/62/pdf/NPHSF2022-032906.pdf?0.7747219451703131>
- 八、 維基百科-能見度。2024年1月20日取自  
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%83%BD%E8%A6%8B%E5%BA%A6>

## 【評語】 033004

本作品是探討水擦環保粉筆之效能，探討單一原料、雙重原料、三重原料以不同比例製造粉筆。發展各式量化觀察變因的方法。自製粉筆重要指標為清楚程度增加、較擦得乾淨。薑黃粉可調和粉筆顏色，添加蛋殼、粉筆灰回收再製作，是環保可行的方法。實驗控制因子多，建議在結果與討論時，可彙整實驗結果更能具體比較研究成果。本研究具有物資循環的效果，建議可嘗試分析對健康、環境與經濟的影響。



## 作品簡報

變妙絕語生筆



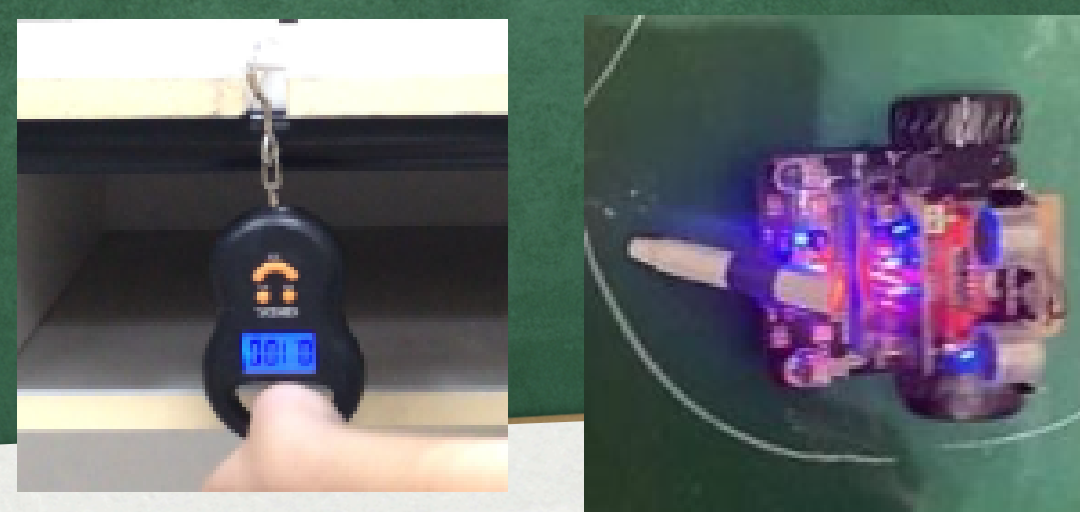
水擦環保粉筆之效能探討

# 摘要

尋找最佳環保粉筆



研發科學分析



## 原料比較

碳酸鈣：書寫清楚，但易掉粉  
 硫酸鈣：質輕堅硬、抗變性高  
 二氧化鈦：易書寫、清楚但易碎  
 高黏稠添加：樹脂  
 高順滑添加：水溶性蠟  
 染色：薑黃  
 環保：蛋殼、粉筆灰

## 最佳配方

碳酸鈣：硫酸鈣：二氧化鈦：水：樹脂/水溶性蠟 = 3：1：11：8：2

粉筆成本價 3元/支

妙絕「吾」生「筆」

模具改良  
清楚、少粉



**動機** 52.8% 的師生覺得水洗式粉筆劣大於優，因此我們想要自己研發好用又環保的新粉筆。

## 市售粉筆調查

**【自強】傳統粉筆**  
0.75元/隻；硫酸鈣，字體清晰、擦拭乾淨，價格便宜。粉塵多。

**【Sangbo】水擦粉筆**  
12元/隻；TiO<sub>2</sub>、天然植物油。不會有粉塵、無臭無味無毒、不清楚、難擦乾淨。

**【GIOTTO/歐亞】無毒環保粉筆**  
1.42元/隻；98%碳酸鈣、植物顏料。抗敏感、無毒好清洗。略有粉塵。

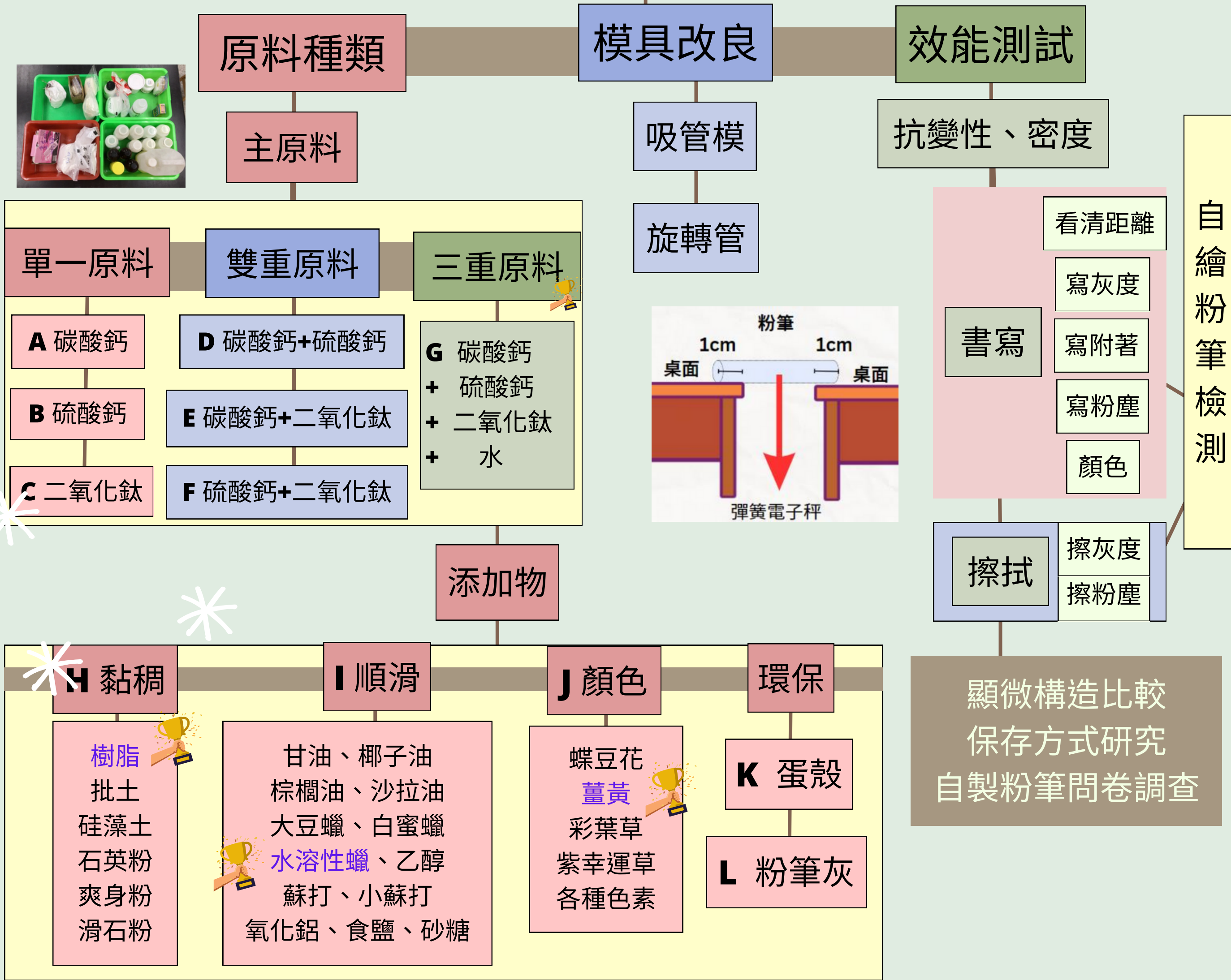
**【液態粉筆】**  
19~89元/隻；環保、塑料、水性墨水。色彩鮮艷、不斷裂、無粉塵，多種粗細、無毒。貴。

**【水蠟筆】**  
12~32元/隻；大豆蠟、碳酸鈣、滑石粉無毒、無粉塵不清楚。

圖一 水洗式粉筆使用情況問卷調查

## 架構

水擦環保粉筆之效能探討  
 現有粉筆問卷調查 | 文獻分析



## 器材

### 自製粉筆套模具

1. 吸管剪裁3段，容易製作，但不容易填裝、不易乾且會漏
2. 中間剪開以方便填入，但填入時吸管兩端會翹起
3. 用長尾夾固定在PP板兩端，填入後調整為圓柱，簡易操作
4. 加螺絲釘推進、橡皮筋加壓美化成型，但乾燥時間長
5. 以旋轉口紅管為模型，灌模較麻煩，但可旋轉書寫
6. 吸管、PP板+長尾夾+螺絲釘推進器+吸管旋轉管

### 自繪粉筆檢測裝置

- 粉塵檢測裝置
- 智慧小車
- 粉筆夾
- 塑膠箱
- 黑板貼膜

## 製作過程

秤量 攪拌 灌模

## 量化變因定義

- (一) 密度：密度 (g/cm) = 質量 ÷ (π × 半徑<sup>2</sup> × 長度)
- (二) 書寫附著率：黑板膜重量改變/粉筆重量改變\*100%。數值愈高愈理想。
- (三) 寫/擦粉塵：小車書寫/擦拭時PM2.5、PM1.0、PM10懸浮微粒濃度之平均(μg/m<sup>3</sup>)
- (四) 看清距離：黑板膜上書寫痕跡固定在教室前端，測量同學可看清的最遠距離(1~9 m)。
- (五) 寫灰度：拍下黑板膜上書寫痕跡，在IMAGEJ中分析灰度(0-255)，愈大效果好。
- (六) 顏色判斷：利用 IMAGEJ 中 PLUGINS/ANALYZE/RBG MEASURE，分析 RGB 值。
- (七) 擦灰度：拍濕抹布擦拭後照片，在IMAGEJ中分析分析灰度(0-255)，愈小效果好。
- (九) 粉筆抗變性：粉筆斷裂時彈簧秤的數值(gw)/710 gw (自強牌粉筆斷裂值710)

## 實驗結果與討論

表一 碳酸鈣粉筆效能比較

編號	A05	A06	A07	A08
碳酸鈣重 g	15	15	15	15
水重 g	5	6	7	8
粉筆照片				
是否成形	✓	✓	✓	✓
測試照片				
密度 g/cm <sup>3</sup>	4.07	3.93	4.20	2.60
書寫附著率%	80.64	82.75	84.46	79.65
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	9	8.3	8.7	8.3
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	8	8.3	8	8
看清距離 m	9	9	9	9
寫灰度	198.23	190.56	194.67	187.45
擦灰度	86.54	84.76	86.54	84.89
抗變性	0.1463	0.1348	0.1256	無法測試

表二 硫酸鈣粉筆效能比較

編號	B06	B07	B08	B09
硫酸鈣重 g	15	15	15	15
水重 g	6	7	8	9
粉筆照片				
是否成形	✓	✓	✓	✓
測試照片				
密度 g/cm <sup>3</sup>	2.20	2.93	2.60	3.07
書寫附著率%	5.64	4.65	4.54	3.98
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	4.3	4	3.7	3
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	3	3	2	2
看清距離 m	2	3	3	3
寫灰度	8.64	8.32	6.54	7.43
擦灰度	2.56	2.43	2.45	2.32
抗變性%	26.31	31.97	10.56	10.72

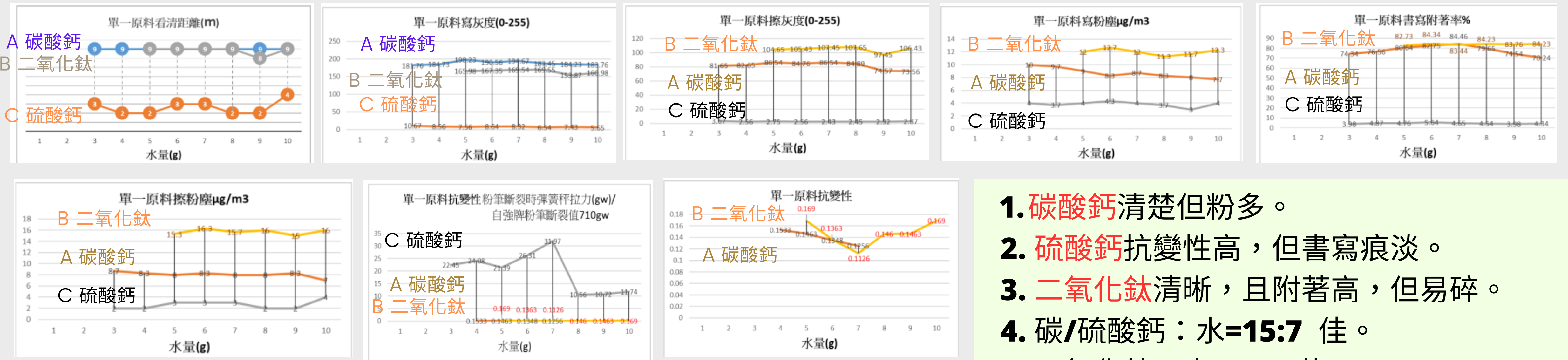
表三 二氧化鈦粉筆效能比較

編號	C05	C06	C07	C08
二氧化鈦重 g	15	15	15	15
水重 g	5	6	7	8
粉筆照片				
是否成形	✓	✓	✓	✓
測試照片				
密度 g/cm <sup>3</sup>	8.00	6.90	7.60	8.13
書寫附著率%	82.73	84.34	83.44	84.23
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	12	12.7	12	11.3
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	15.3	16.3	15.7	16
看清距離 m	9	9	9	9
寫灰度	165.98	167.35	169.54	169.55
擦灰度	104.65	105.43	107.45	107.65
抗變性	0.1690	0.1363	0.1126	0.1464

1-1 單一原料

1-2

單一原料分析



圖二 15g 單一原料 與不同比例水自製粉筆成效分析圖

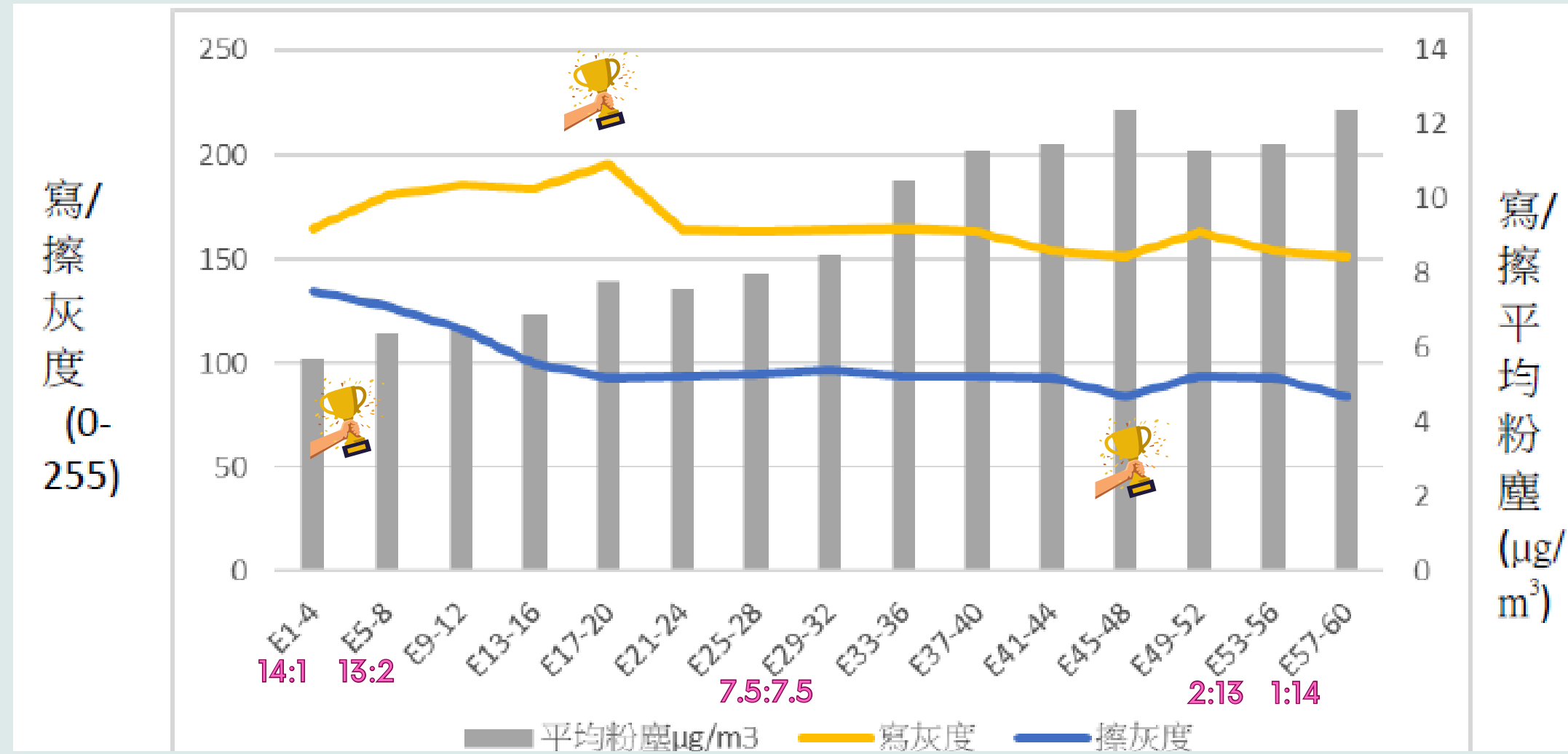
1. 碳酸鈣清楚但粉多。
2. 硫酸鈣抗變性高，但書寫痕淡。
3. 二氧化鈦清晰，且附著高，但易碎。
4. 碳/硫酸鈣：水=15:7 佳。
5. 二氧化鈦：水=15:8 佳。
6. 各有優點，因此再以雙原料進行分析。

2

雙重原料

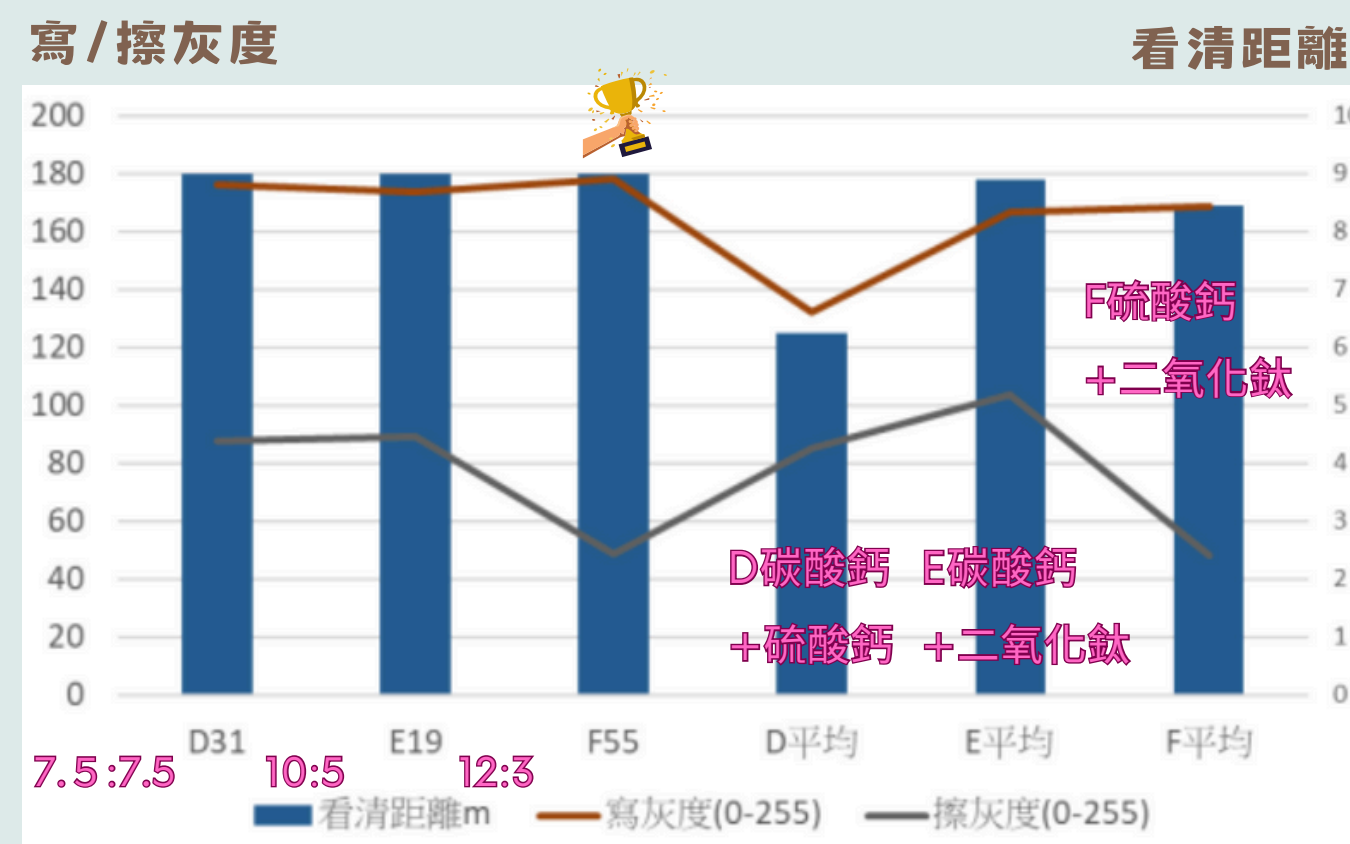
表四 碳酸鈣+硫酸鈣雙料粉筆效能比較

編號	D25-28	D29-32	D33-36	D37-40	D41-44	D45-48
碳酸鈣重 g	8	7.5	7	6	5	4
硫酸鈣重 g	7	7.5	8	9	10	11
粉筆照片						
測試照片						
密度 g/cm <sup>3</sup>	2	2.13	2.90	2.60	2.72	2.31
書寫附著率%	64.53	63.24	60.45	62.33	56.50	52.33
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	11.2	12.5	9.3	7.5	6.3	4.6
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	10.1	9.6	9	7.3	5.2	4.2
看清距離 m	9	9	7	6	6	6
寫灰度	167.45	174.23	83.76	78.98	68.23	78.98
擦灰度	99.35	82.64	73.43	65.47	48.74	53.76
抗變性	0.81	1.8	8.75	18.15	23.64	25.46

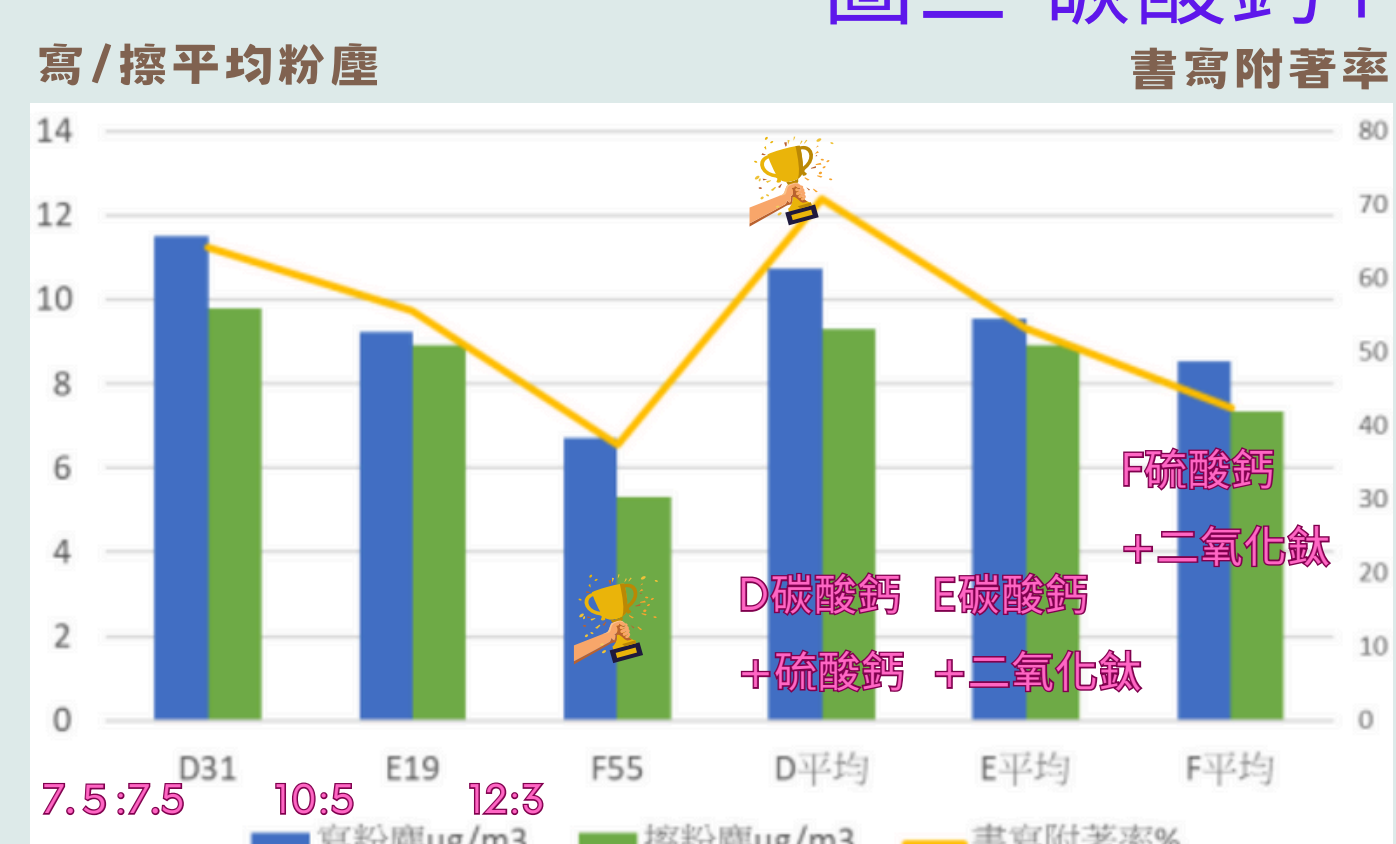


圖三 碳酸鈣+二氧化鈦雙材料粉筆效能比較

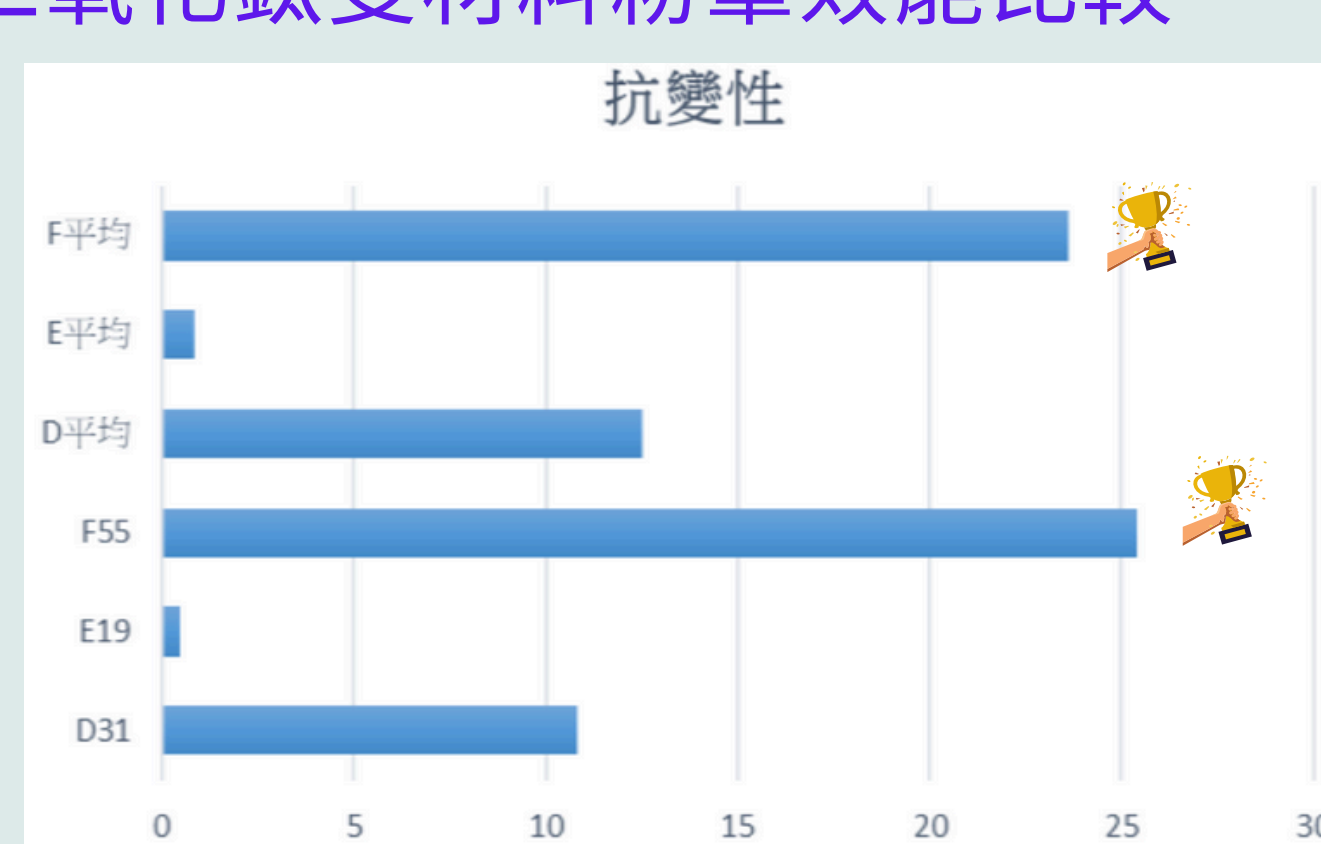
1. 碳酸鈣：硫酸鈣：水 = 7.5 : 7.5 : 8 佳。
2. 碳酸鈣：二氧化鈦：水 = 10 : 5 : 8 佳
3. 硫酸鈣：二氧化鈦：水 = 12 : 3 : 8 佳
4. 碳酸鈣混二氧化鈦 寫灰度高，二氧化鈦比例愈高粉塵愈多。
5. 添加硫酸鈣才能提高抗變性。
6. 若用三重原料混和 預期能平衡優缺點



圖四 雙材料寫/擦灰度、看清距離



圖五 雙材料寫/擦粉塵、附著率



圖六 雙重材料抗變性比較

3

三重添加市售比較

表五 碳酸鈣、硫酸鈣、二氧化鈦粉筆效能比較

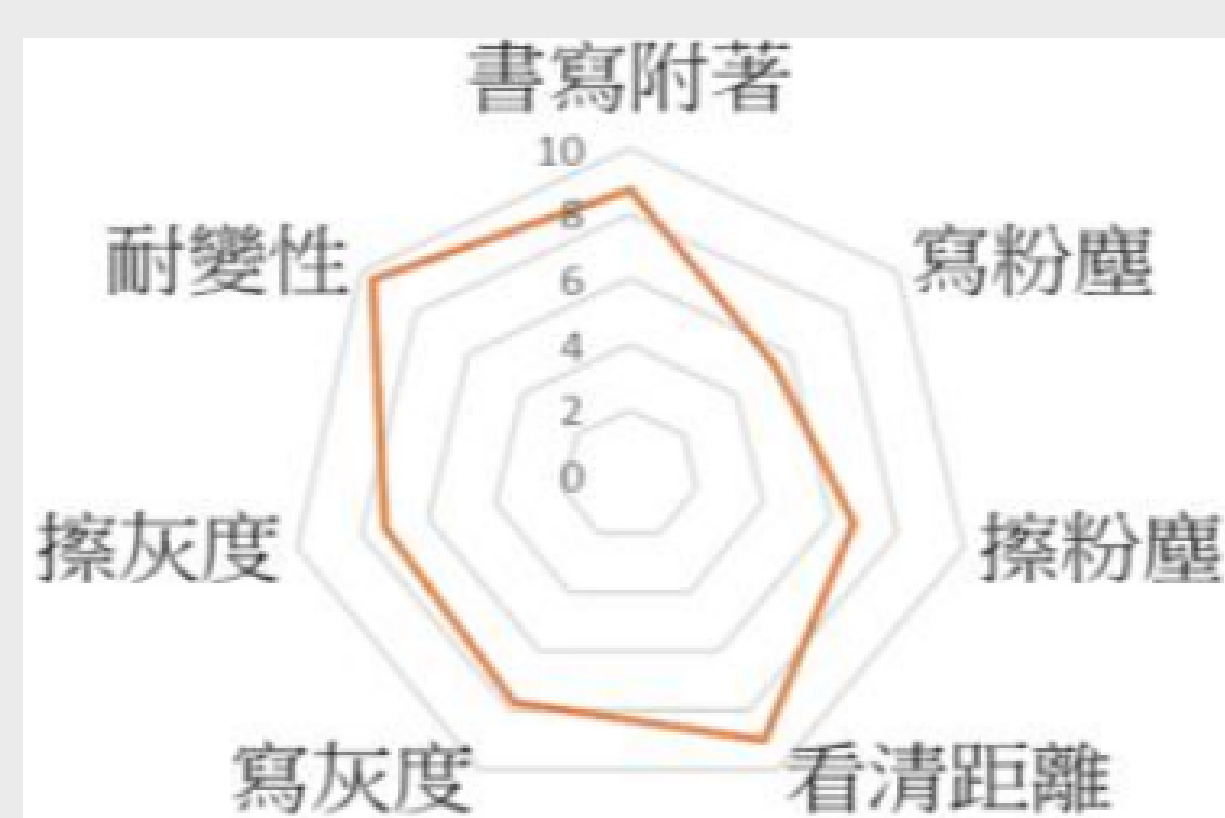
編號	G02	G06	G09	G15	G16	G19
測試照片						
密度 g/cm <sup>3</sup>	6.63	4.43	4.06	5.66	5.94	6.21
書寫附著率%	67.63	57.67	35.56	25.54	37.59	84.82
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	8	11.7	7.3	12	11.7	6.7
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	11.7	11	9.7	10	12	5.9
看清距離 m	7	8	8	8	8	9
寫灰度	163.54	146.56	136.65	125.67	138.43	195.23
擦灰度	89.47	79.47	66.65	55.02	64.68	67.45
抗變性	無法測試	15.49	無法測試	無法測試	8.45	18.45

表六 G19+各添加物2g粉筆效能比較

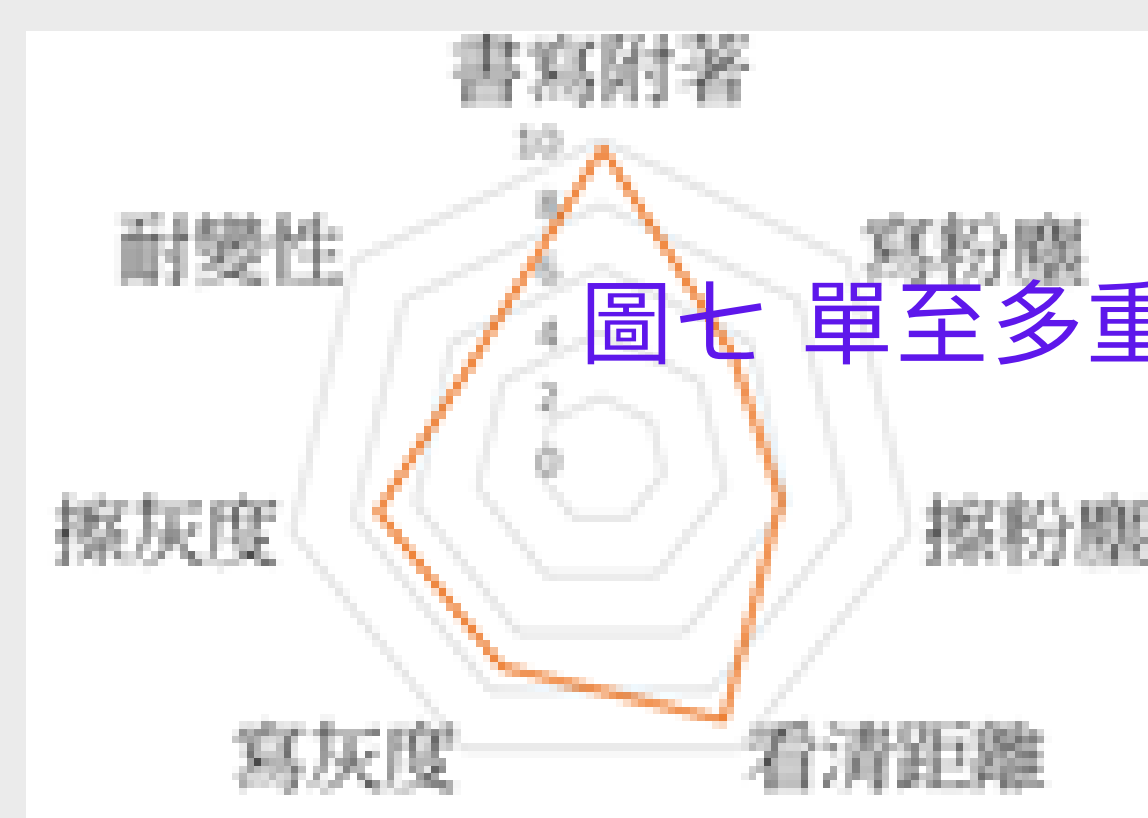
編號	H01	H02	H03	H04	編號	I07	I08
添加物	樹脂	批土	硅藻土	爽身粉	添加物	白蠟	水溶性蠟
測試照片					測試照片		
密度 g/cm <sup>3</sup>	5.42	6.20	4.80	5.09	密度 g/cm <sup>3</sup>	4.12	4.36
書寫附著率%	87.54	85.87	46.75	65.21	書寫附著率%	68.54	97.34
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	4.6	4.7	8.3	7.3	寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	8.3	4.7
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	3.3	5	8.3	6.7	擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	8.7	4.2
看清距離 m	9	5	5	8	看清距離 m	7	9
寫灰度	196.47	89.76	102.41	118.54	寫灰度	126.54	183.78
擦灰度	68.46	48.76	80.35	79.93	擦灰度	85.76	69.84
抗變性	28.8	20.9	0.0753	0.0975	抗變性	8.45	15.32



G19 三重



H01 樹脂



圖七 單至多重材料、添加物、市售粉筆各種效能比較



市環保



市水擦



市傳統

18 水蠟

寫/擦灰度

書寫附著率

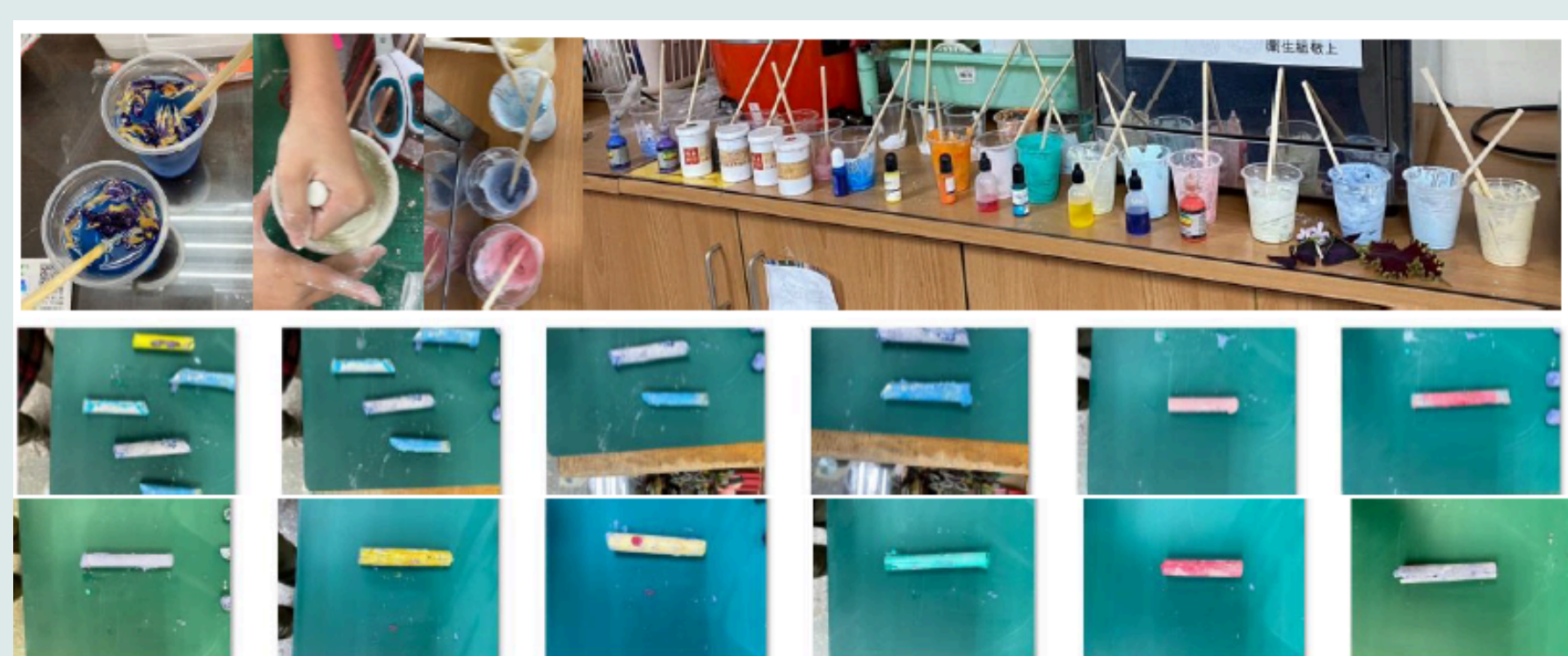
1. 碳酸鈣：硫酸鈣：二氧化鈦：水 = 3 : 1 : 11 : 8 (G19) 佳。可達書寫清楚，附著率、抗變性高，可當大量推廣配方。
2. 在預期能提高黏稠添加物中，樹脂效果佳。在預期能提高順滑的添加物中，添加水溶性蠟佳。少擦粉塵、高寫灰度。
3. 經過約300組比例反覆驗證，以雷達圖顯示七項指標，自製粉筆優於市售，三重原料添加樹脂 (H01) 達效能第1名。

4

環保研發

表七 各種色素製作彩色粉筆效能比較

薑黃 染色效果佳



圖八 粉筆添加色彩的製作

編號	J01	J02	J03	J04	J05	J06	J07	J08
添加物	蠟豆花	薑黃	紫色幸運草	彩葉草	染劑 綠	染劑 紅	市售 綠	市售 粉紅
書寫照片								
色標	#ACADC1	#C7BD7D	#C3BCBD	#C5BBBA	# 878F88	# A09787	#B6D5A8	# D4A9BB

5 環保研發

表七 粉筆灰再製粉筆效能比較

編號	K05	K06	K07
粉筆灰重 g	5	6	7
水重 g	12	13	14
測試照片			
密度 g/cm <sup>3</sup>	3.75	3.63	3.60
書寫附著率%	64.46	67.46	27.36
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	14.3	14.7	15
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	12.7	12.3	12.7
看清距離 m	3	7	9
寫灰度	64.63	108.45	134.65
擦灰度	36.65	68.36	93.44
抗變性	77.45	79.01	81.78

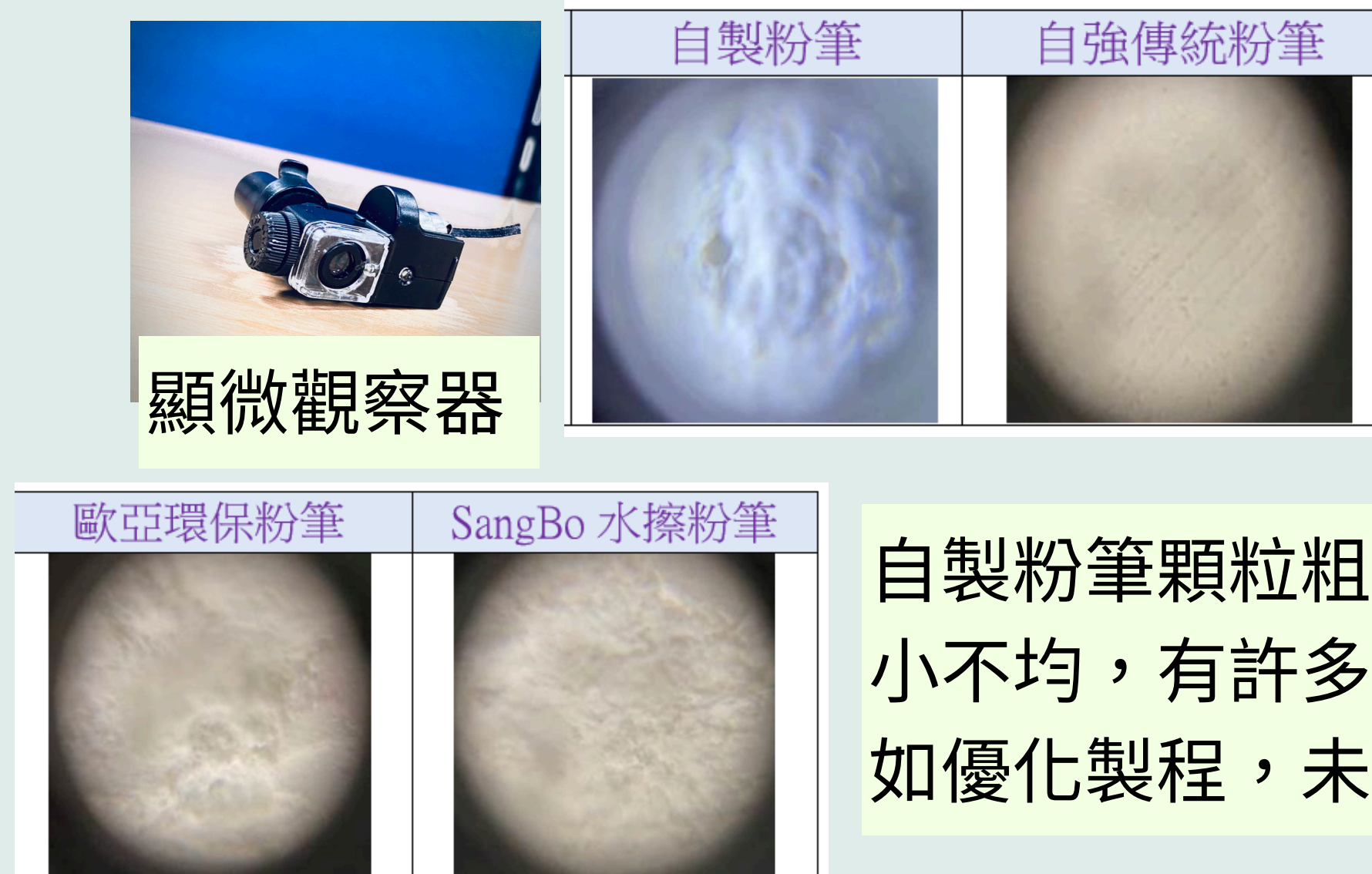
表八 蛋殼再製粉筆效能比較

編號	L01	L02	L03	L04
蛋殼	0.5g	1g	1.5g	2g
測試照片				
密度 g/cm <sup>3</sup>	5.55	4.92	5.23	5.23
看清距離 m	3	6	7	6
書寫附著率%	44.64	78.34	88.34	83.46
寫粉塵 μg/m <sup>3</sup>	11.7	11.3	11.7	12.3
擦粉塵 μg/m <sup>3</sup>	9.3	9.3	10	10.7
寫灰度	89.43	127.35	137.43	135.64
擦灰度	68.32	73.46	75.68	70.43
抗變性	56.43	57.47	58.61	59.73

1. 粉筆灰可再製粉筆 (6克佳)
2. 蛋殼可再製粉筆 (1.5克佳)

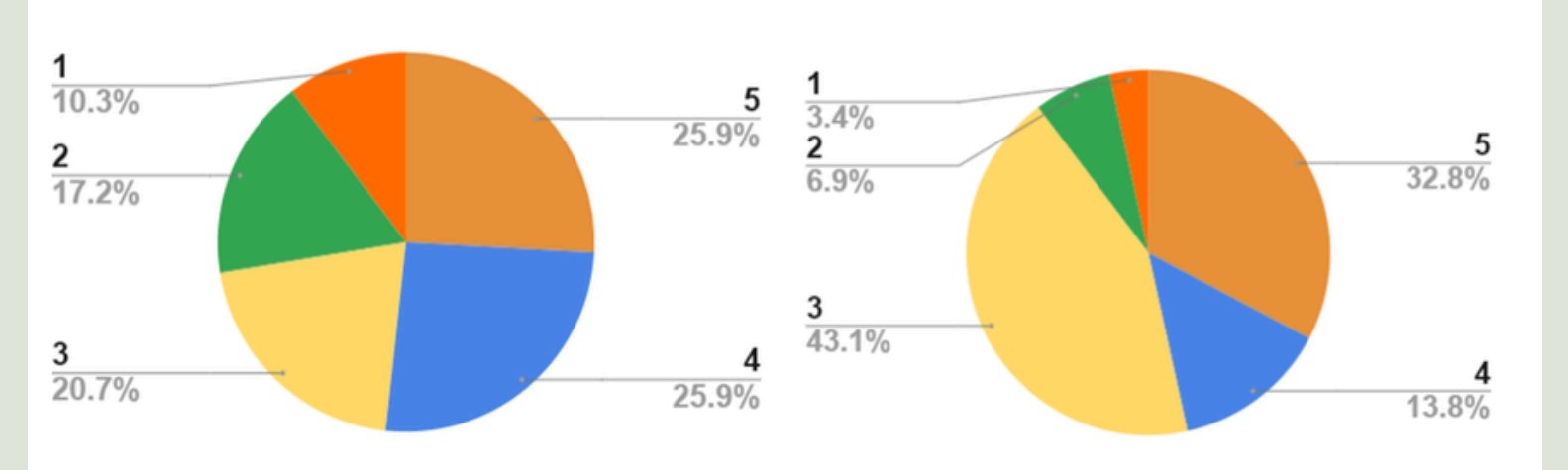
6 顯微觀察

表九 粉筆顯微觀察比較



自製粉筆顆粒粗糙，大小不均，有許多空隙，如優化製程，未來可期

7 使用調查



較擦得乾淨 較看得清楚

圖十一 自製粉筆師生使用回饋比較

程度分別為1-5 (不同意到同意，非常同意為5分)

自製粉筆可改善粉筆粉塵、清晰問題

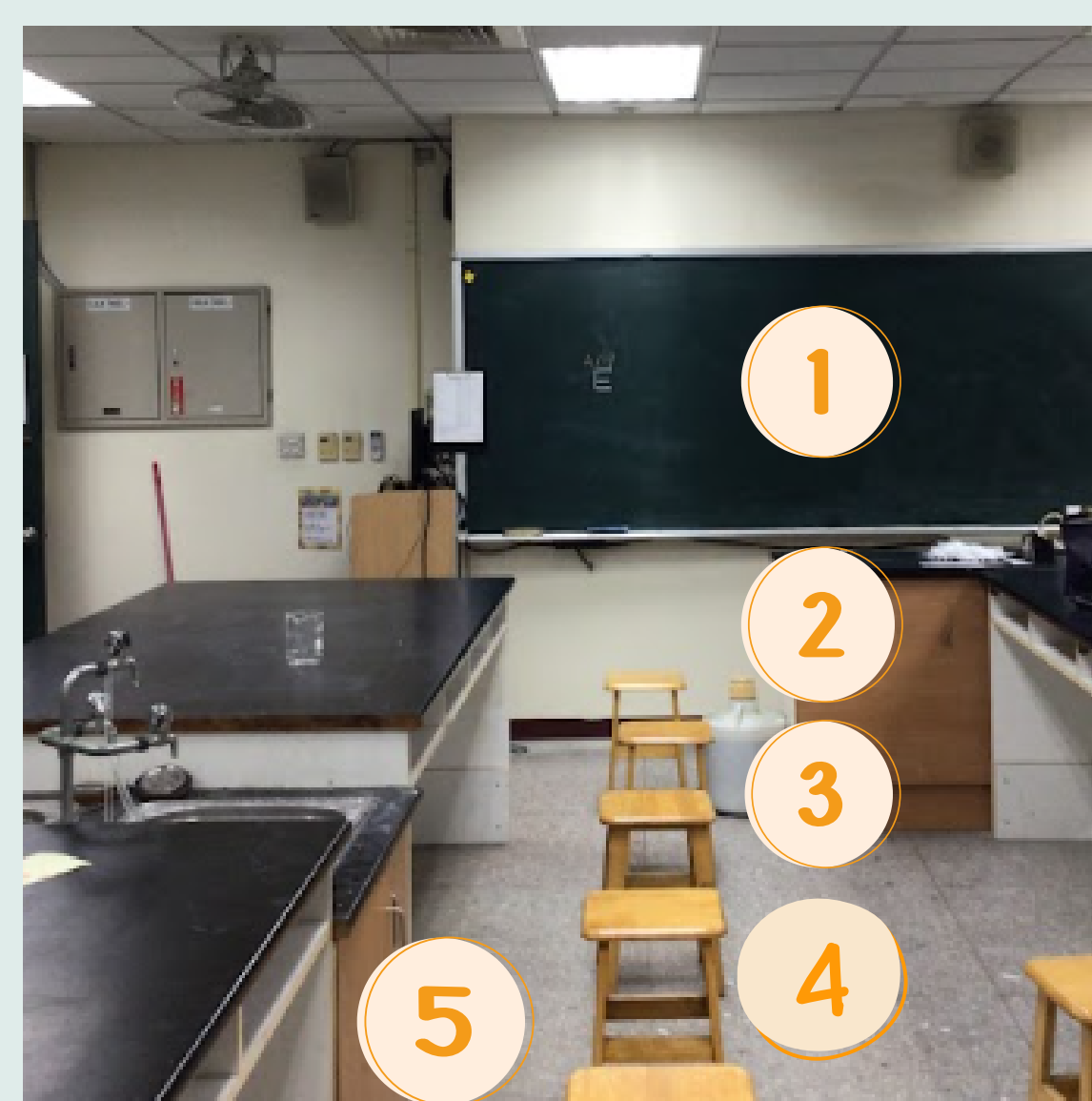
8 使用問卷分析



圖十二 擦拭布清潔水植物測試

1. 拭布清潔水澆花可活
2. 澆灌綠豆發芽率與清水無異

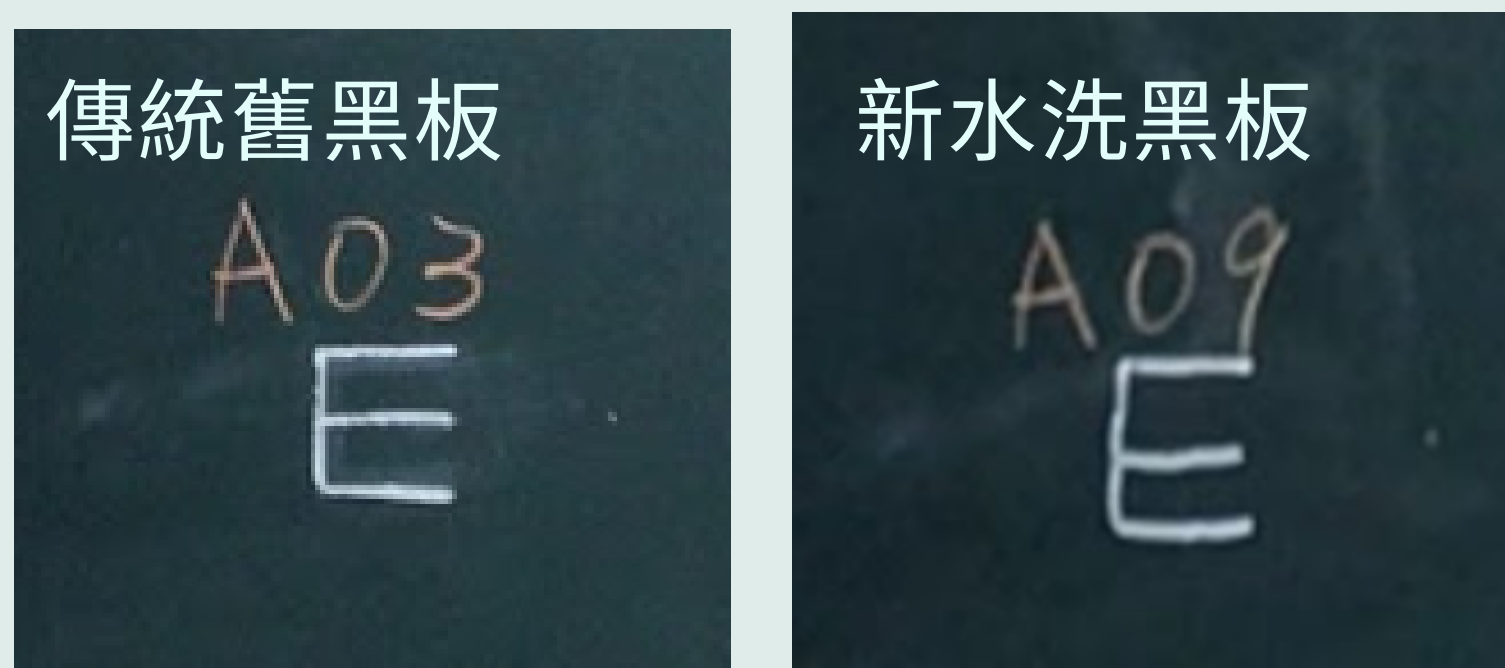
9 教室黑板測試



圖十三 自製粉筆教室實測

1. 自製粉筆在教室實測時可清楚書寫。
2. 塵機測試粉垂直書寫在正前方10公分，平均粉塵8 μg/m<sup>3</sup>
3. 每80公分粉塵少約0.5 μg/m<sup>3</sup>

10 新舊黑板雙用



圖十四 自製粉筆新舊黑板書寫

新舊黑板皆可書寫，寫灰度180以上

11 未來改良方式

1. 蛋殼要去膜，天然材料磨粉狀過篩。
2. 量化方式可再精進，如垂直粉塵測試。
3. 可再用烤箱烘烤更好拿好寫。
4. 用乾燥箱保存效果佳。



圖十五 粉塵測試、乾燥、保存精進法

結論

研發工具可量產自製粉筆

- 一、自繪粉筆檢測裝置  
微粒測試機 (E23638W)、整理箱、膜、夾、智慧小車製作可科學化測試粉筆粉塵量、書寫清潔效能。
- 二、自製粉筆套模具  
由螺絲釘推進器開發為旋轉管，好灌模又美麗耐用，方便書寫。

絕妙配方生好粉筆

1. 碳酸鈣：容易書寫清楚。
2. 硫酸鈣：堅硬、抗變高。
3. 二氧化鈦：容易書寫清晰。
4. 混和使用可提高效能。
5. 碳酸鈣：硫酸鈣：二氧化鈦：水 = 3 : 1 : 11 : 8 整體效果佳
6. 添加樹脂、水溶性蠟佳。
7. 薑黃染色效果佳。
8. 粉筆灰及蛋殼可以代替碳酸鈣，製造環保粉筆，但不宜太高比例。

提升效能絕妙好筆

1. 快速均勻化，微顆粒細緻，有更佳效能。
2. 放置乾燥箱保存效果最好。
3. 問卷調查顯示成功自製好粉筆。

細緻化

比例好

環保讚

擦拭易

書寫佳