

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

第三名

080812

發光吧！捏麵人！

—濕軟電路於捏麵人導電之研究

學校名稱：國立臺中教育大學附設實驗國民小學

作者： 小五 楊芸蓁 小五 陳勇安 小五 蕭沛芸 小五 林禹宏	指導老師： 黃尚偉
---	--------------

關鍵詞：濕軟電路、捏麵人、LED 燈

摘要

我們觀看網路**濕軟電路**影片，知道使用**高導電**和**高電阻黏土**接上電池，能讓**LED 燈發亮**。研究過程中，我們發現**捏麵人也能製作濕軟電路**，經過不斷實驗，得出下列結論：

1. 濕軟電路可用兩種**電阻差異大的市售黏土**取代，不需自己製作黏土。
2. 我們找到**自製高導電和高電阻捏麵人製作比例**，能製作導電捏麵人作品，**安全無毒可食用**。
3. 高導電捏麵人製作比例為「水 125ml、中筋麵粉 100g、糯米粉 25g、鹽 25g」。
4. 可食用高電阻捏麵人製作比例為「水 125ml、中筋麵粉 100g、糯米粉 25g、糖 85g、鹽 10g」。
5. 非食用高電阻捏麵人製作比例為「水 100ml、中筋麵粉 100g、糯米粉 25g、糖 85g、甘油 7.5ml、藥用酒精 25ml」。
6. 經捏麵人師傅認可，**導電捏麵人是能推廣捏麵人的點子**。

壹、研究動機

我們看到網路有關「**濕軟電路**」的影片，演講者利用鹽黏土和糖黏土接上電池，就可以讓**LED 燈發亮**。我們覺得很新奇，黏土居然能導電。四年級自然課玩電池通路時，使用電池盒和電線連接很麻煩，如果能使用黏土連接**LED 燈**，一定方便很多。

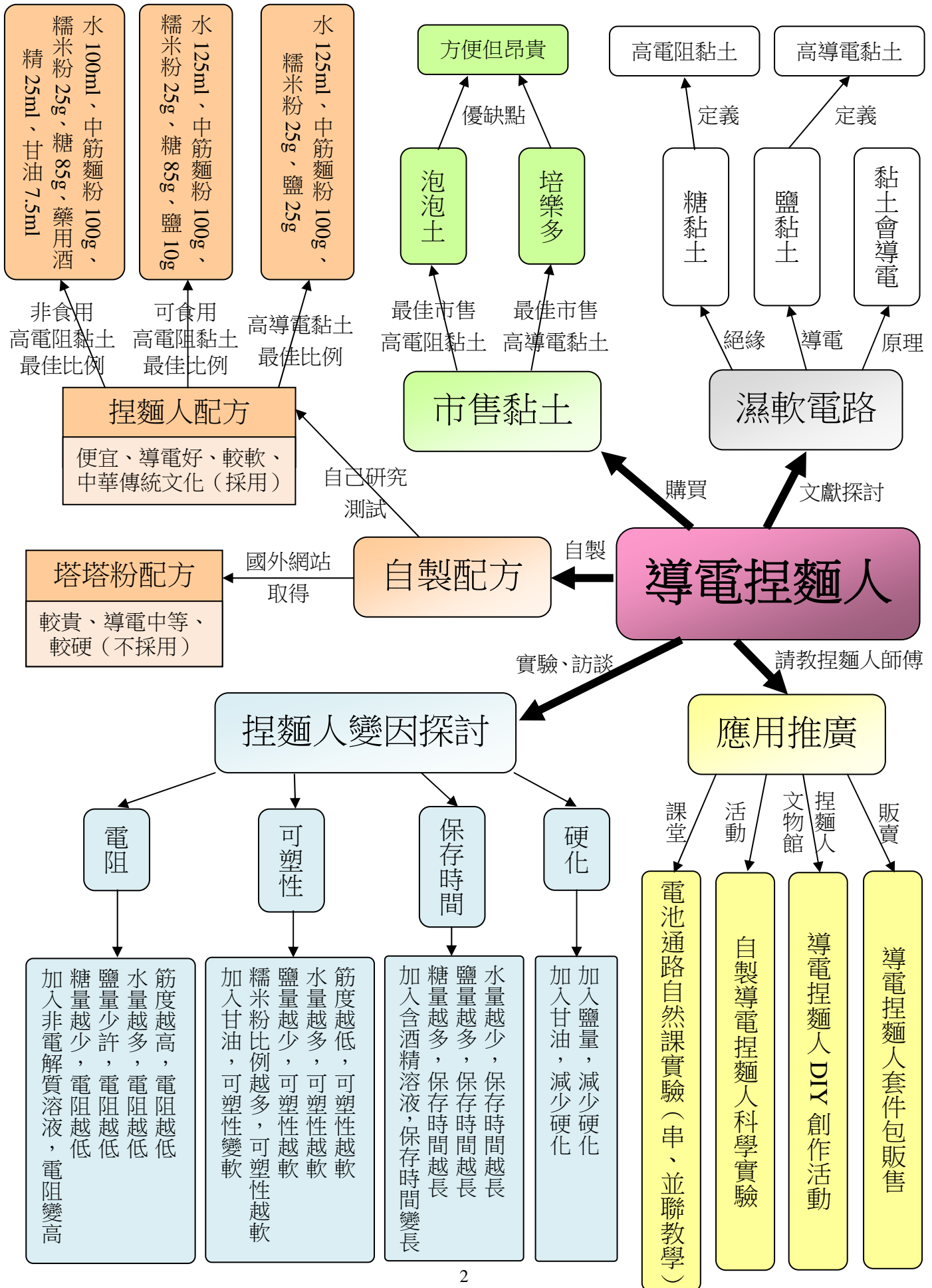
我們嘗試過後發現**自製黏土導電效果不好**（見附件一），興起改良黏土配方的想法。我們將「**鹽黏土定義為高導電黏土，糖黏土定義為高電阻黏土**」，嘗試**找出最佳配方**。

研究一段時間後，我們發現**捏麵人居然會導電！**捏麵人是漸漸落沒的傳統文化，我們決定將研究方向改成**導電捏麵人**，希望能將捏麵人文化發揚光大。

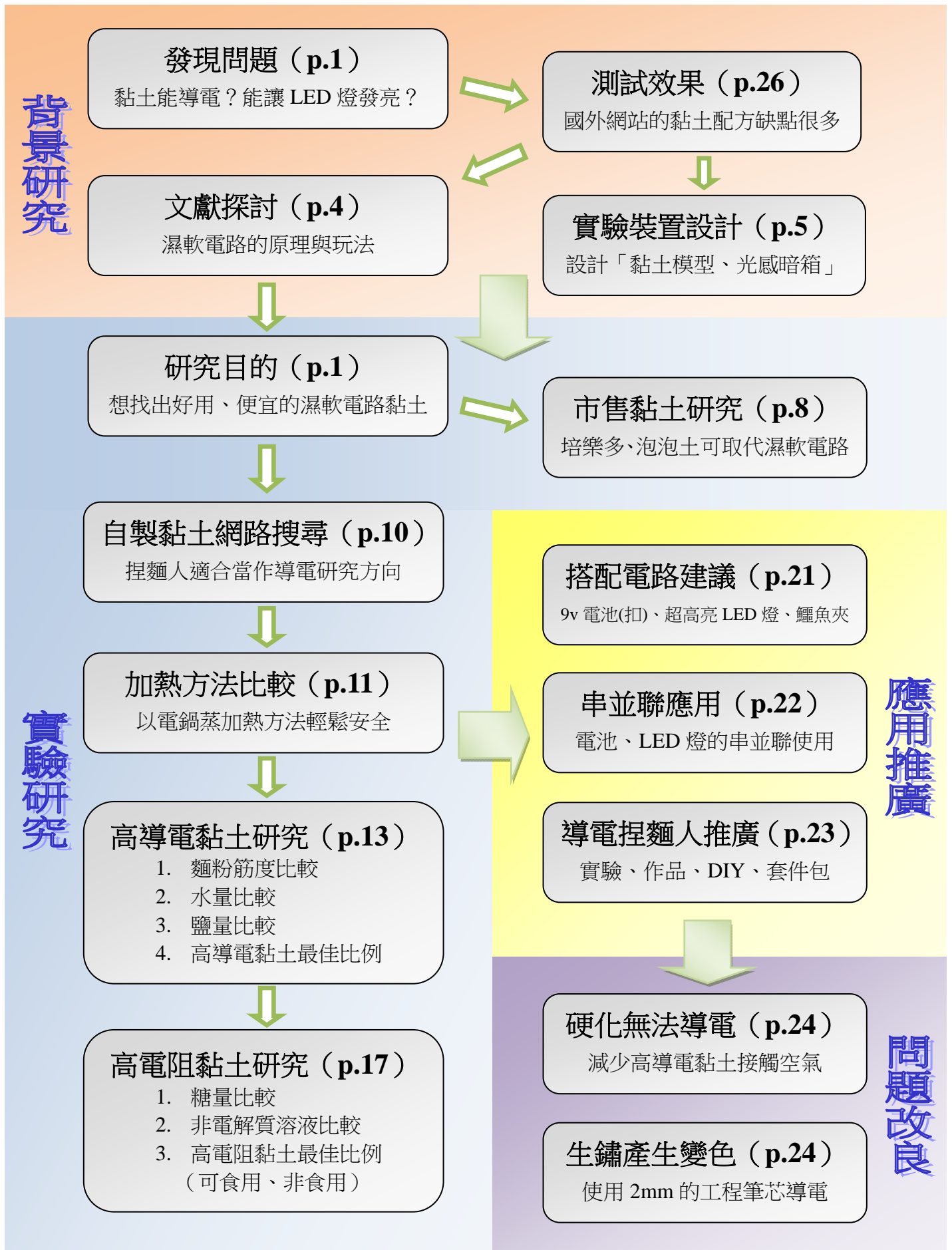
貳、研究目的

- 一、 分析市售黏土導電效果。
- 二、 研究捏麵人變因的影響。
- 三、 測試製作導電捏麵人的最佳比例。
- 四、 分析導電捏麵人的應用推廣

參、概念圖



肆、研究流程圖



伍、文獻探討

一、濕軟電路起源：

「濕軟電路」是由美國教授 AnnMarie Thomas 所研究，她的團隊想讓小孩也能玩電路，所以利用能導電的黏土設計出濕軟電路。

濕軟電路就是將**易導電的鹽黏土**和**不易導電的糖黏土**相接，連接電池產生通路，讓 LED 燈發亮。她們使用廚房容易取得材料自製導電黏土，因此安全無毒（製作方法參考附件一）。

二、濕軟電路玩法：

自製鹽黏土能取代電線，當鹽黏土接上電池，**LED 燈長端接正極黏土**，**短端接負極黏土**，就可以讓 LED 燈發亮（如圖 1、2）。但當**兩團鹽黏土接觸**在一起，電流會選擇走電阻低的路線（鹽黏土連接處），而不走 LED 燈路線，造成**LED 燈不會發亮**（如圖 3）。因此使用鹽黏土一定要分成兩團，無法製作出完整會發亮的作品。

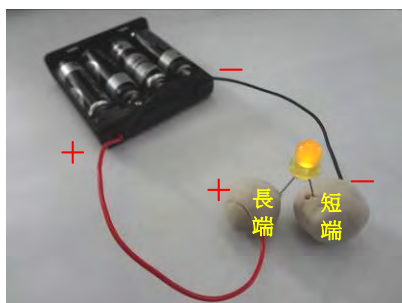


圖 1：濕軟電路電路圖，LED 燈長端接正極黏土，短端接負極黏土

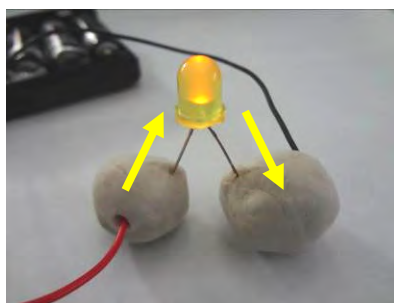


圖 2：電流藉由黏土通過 LED 燈（黃色箭頭為電流方向）

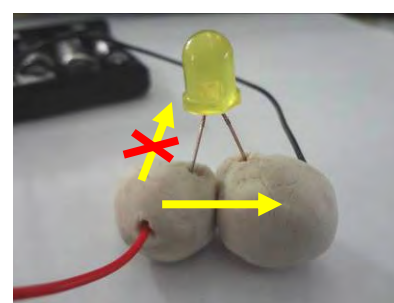


圖 3：當兩團鹽黏土接觸，電流選擇走黏土連接處(下方)，不走 LED 燈路線(上方)，LED 燈因此不亮

濕軟電路就是製作出**不易導電的糖黏土**，**擋在鹽黏土連接處**，因為有糖黏土阻隔，逼電流往 LED 燈路線走（如圖 4），讓 LED 燈發亮。因此黏土不需要分兩團，能做出完整的作品。因為黏土易塑形，搭配 LED 燈，能設計出各種有趣造型（如圖 6）。

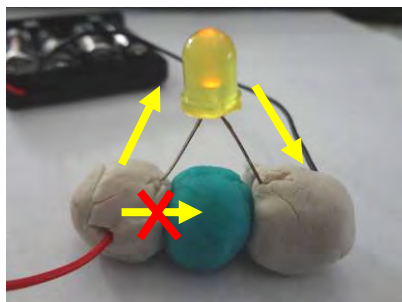


圖 4：糖黏土（藍色）因為電阻高，阻隔電流走下方，逼電流走上方，LED 燈會亮

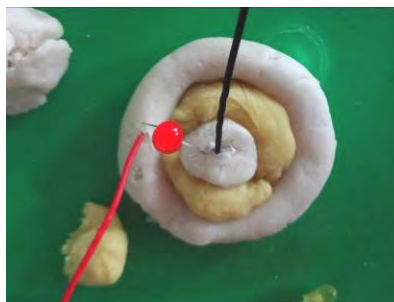


圖 5：美國教授團隊研發的「壽司電路」形狀，可插很多 LED 燈



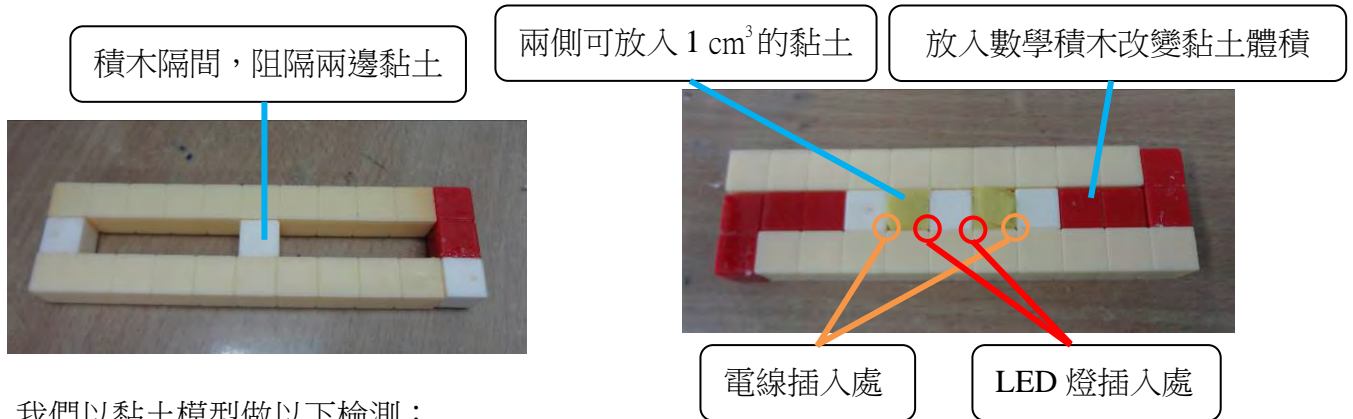
圖 6：國外網站中，豬造型的濕軟電路（眼睛會發光）（網址請見註 12）

陸、實驗裝置設計

為了準確測量黏土導電性差異，我們設計「黏土模型」固定黏土體積、形狀，並設計「光感暗箱」以電子樂高的光感應器測量 LED 燈亮度。

一、實驗裝置 1：黏土模型

進行黏土導電性比較時，會因為黏土份量和形狀不同，影響實驗測試結果。我們以數學積木設計出「黏土模型」，黏土裝置能讓兩側黏土形成正方體。並依實驗需求利用數學積木調整黏土體積（ $1\sim 3\text{ cm}^3$ ）。



我們以黏土模型做以下檢測：

1. **肉眼比較黏土 LED 燈亮度**：在黏土模型兩側各放置 1 cm^3 黏土，黏土模型內側插入 LED 燈，外側插入電線，形成電池通路，以肉眼觀察 LED 燈亮度。因無法準確測量亮度，後來改用光感測量。

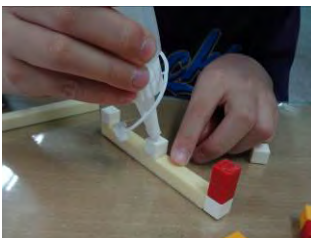


圖 7：利用數學積木自己設計製作黏土模型



圖 8：黏土模型可保持黏土相同體積

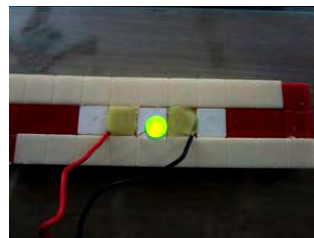


圖 9：內側插入 LED 燈，外側插入電線

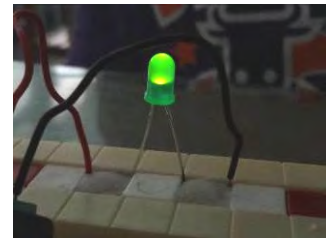


圖 10：肉眼判斷 LED 燈亮度，準確度不夠

2. **三用電表測量黏土電阻大小**：在黏土模型一側放置 1 cm^3 黏土，將三用電表正負極插在黏土兩個頂點，距離 1 公分。三用電表測黏土電阻時，數據會不穩定，因此每十秒記錄一次數據，測三分鐘，將所有數據平均，即為黏土電阻大小。電阻單位為「千歐姆 ($\text{K}\Omega$)」。



圖 11：將 1 cm^3 黏土塞入黏土模型一側

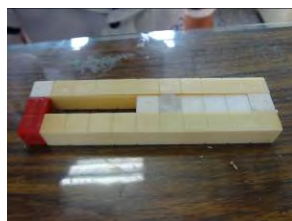


圖 12：塞完待測黏土的黏土模型



圖 13：將三用電表正負極插在黏土兩側頂點

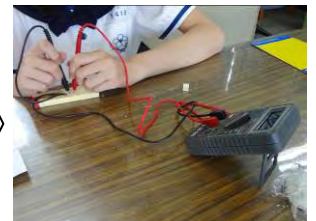
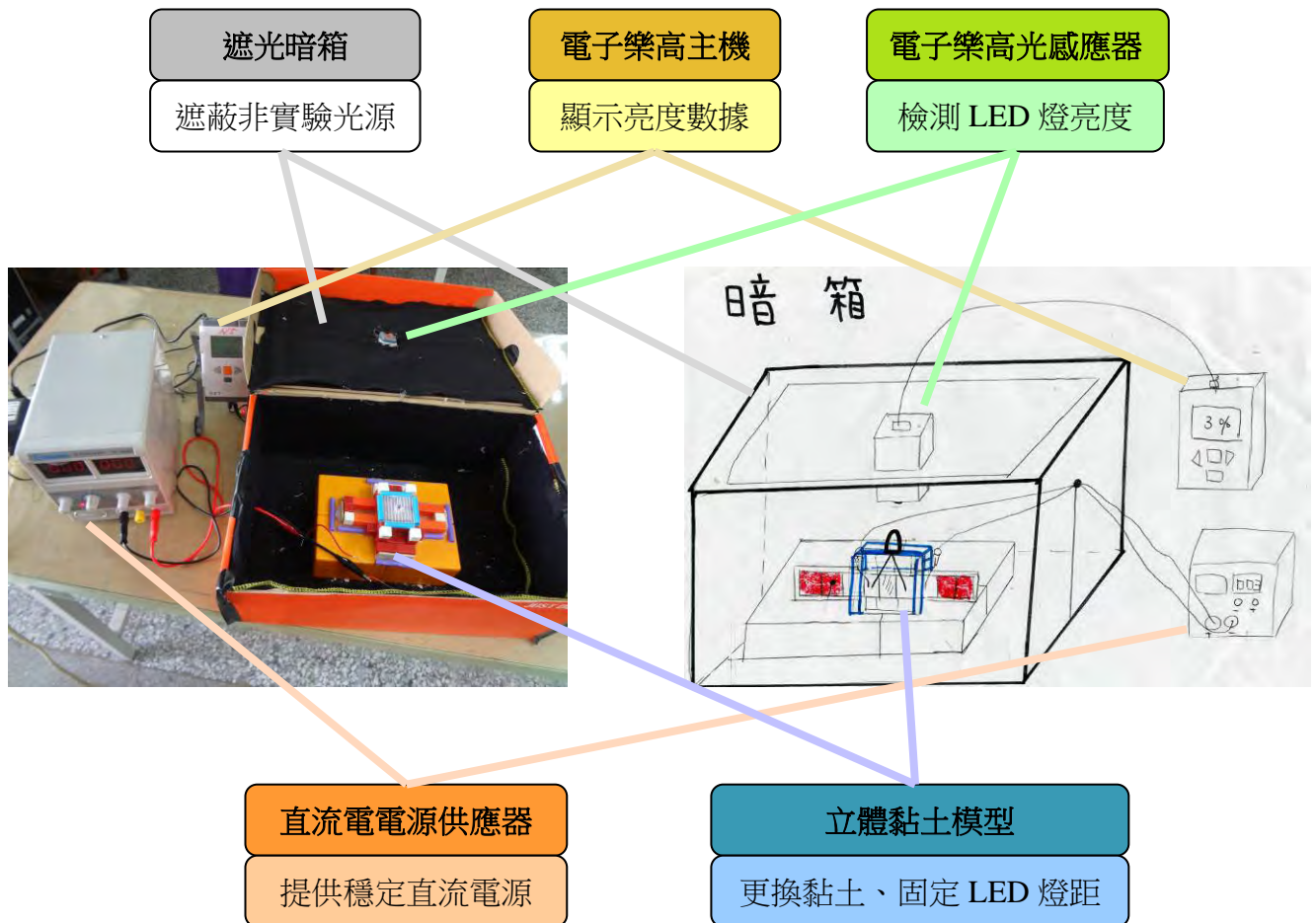


圖 14：紀錄電阻數據，計算平均值

二、實驗裝置 2：光感暗箱

因為肉眼判斷 LED 燈亮度準確度不夠，因此我們使用電子樂高的光感應器來測量 LED 燈亮度。但需要一個保持相同暗度的環境，我們花了二個月設計能測量光感、更換黏土、固定 LED 燈、使用穩定直流電源的「光感暗箱」，如下圖：



(一)、使用步驟：

1. 教室關燈關窗簾，在黏土模型兩側各放置 1 cm^3 待測黏土。
2. 黏土模型內側插入白色超高亮 LED 燈（見附件五），外側插入直流電源供應器正負極電線。放入固定支架，將 LED 燈固定。
3. 關上暗箱，外側蓋上書法用墊布，使用光感測量暗箱內全暗數據（正常為 3%）。
4. 開啟直流電源供應器，調整至 3 伏特 (v)，測量 LED 燈在 3v 的光感數據。
5. 更改電壓大小 (4.5、6、7.5、9v) 記錄光感數據。

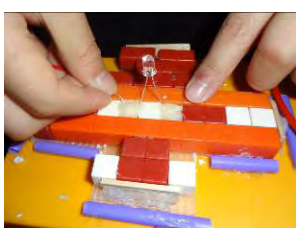


圖 15：將 LED 燈插在待測黏土上

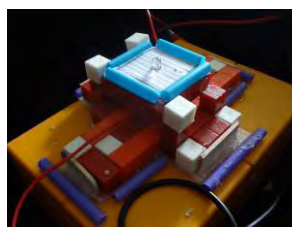


圖 16：放入固定支架，將 LED 燈固定



圖 17：關上暗箱，外側蓋上書法用墊布



圖 18：更改電壓大小，記錄光感數據

(二)、設計說明：

1. **遮光鞋盒**：向附近鞋店老闆要鞋盒設計暗箱。將鞋盒內側貼滿書法用墊布吸收 LED 燈反光。外側蓋上半開大書法用墊布，減少外面光源對暗箱影響。



圖 19：向附近鞋店老闆要鞋盒設計暗箱



圖 20：鞋盒內側貼滿書法用墊布吸收反光



圖 21：完成遮光鞋盒



圖 22：外側蓋上半開大書法用墊布

2. **樂高光感**：我們上過樂高機器人課程，知道電子樂高的光感應器（簡稱「光感」）能測光，因此拿來測量 LED 燈亮度。為了讓光感能固定在暗箱蓋子上，加裝電子樂高零件。但因為暗箱蓋子太軟，將書包板貼在蓋子上增加硬度，避免光感搖晃。



圖 23：電子樂高主機和光感應器



圖 24：檢測光感應器的效果



圖 25：為了固定光感，加裝電子樂高零件



圖 26：鞋盒蓋子上貼書包板增加硬度

3. **立體黏土模型**：為了讓光感和 LED 燈保持相同距離，我們利用數學積木和塑膠瓦楞板設計 LED 燈的固定支架。

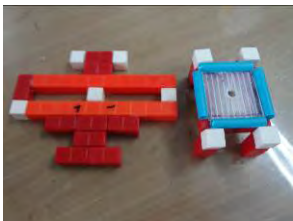


圖 27：利用數學積木製作固定支架



圖 28：經過一個月設計，終於完成了

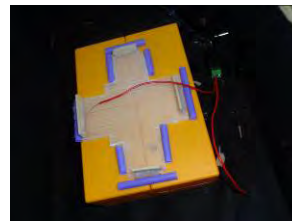


圖 29：製作底座，避免黏土模型位置移動

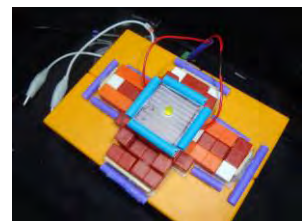


圖 30：完成的立體黏土模型

4. **直流電源供應**：使用電池當作電源不易改變電壓，電量不同時電壓又不穩定。我們最後購買「直流電電源供應器」（850 元）當作穩定電源來源。



圖 31：便宜的「直流電源轉接器」（170 元），但因電壓不穩，淘汰使用



圖 32：直流電源轉接器燒毀很多 LED 燈，才發現是電壓不穩



圖 33：購買「直流電源供應器」（850 元）



圖 34：數字顯示調整的電壓，方便好用

柒、研究過程及結果

一、市售黏土比較

(一)、研究原因：

濕軟電路影片中提到黏土會導電，但沒有提到**哪一種黏土會導電！**我們決定調查市面上各種黏土的性質、價錢和導電性，找出最適合**取代濕軟電路的市售黏土**。

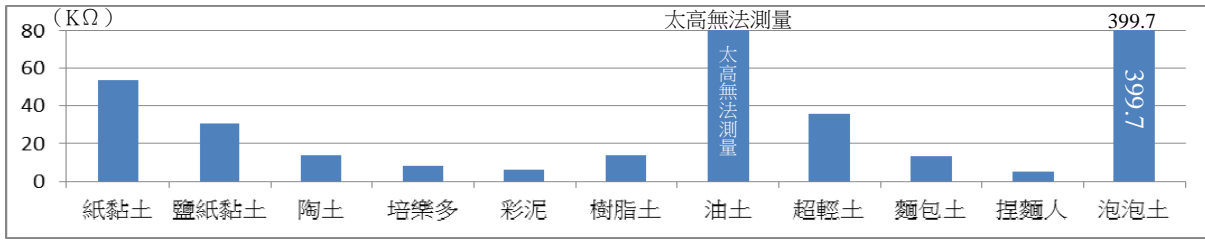
(二)、研究方法：

1. 購賣市面上常見黏土，紀錄各種黏土成分、價錢，並檢測下列性質。
2. LED 燈亮度：以綠色普通 LED 燈和黏土模型，肉眼檢測亮度。
3. 測量電阻：以三用電表檢測電阻大小，每十秒測一次，測三分鐘，計算平均值。
4. 可塑性：以手揉比較各種黏土是否容易塑形。
5. 空氣耐久測量：量出 27 cm³，揉成圓形，放置室內接觸空氣看硬化天數與變化。
6. 密封耐久測量：量出 27 cm³，揉成圓形，以保鮮膜包住，放置真空密封罐，看硬化天數。

(三)、市售黏土比較（詳見附件二）：

	名稱	圖片	成分	每克價錢	LED 燈亮度	亮度照片	可塑性	測量電阻
1	紙黏土 (安全造型土)		紙漿、水、黏劑、滑石粉、抗菌劑	0.10 元	很微弱		稍硬	53.88 KΩ
2	鹽紙黏土		麵粉、鹽、安息香酸、紙漿、天然物	0.07 元	微弱		硬	30.25 KΩ
3	陶土		天然土、油、水	0.05 元	很微弱		軟	13.78 KΩ
4	培樂多		水、麵粉團、食鹽	0.19 元	中上		超軟	7.78KΩ
5	彩泥		小麥粉、食用色素、水	0.33 元	中		軟	6.06 KΩ
6	樹脂土		樹脂、澱粉、增黏劑、防腐劑、水	0.45 元	微弱		超軟	13.77 KΩ
7	油土		碳酸鈣、滑石粉、黏劑	0.09 元	不會亮		超硬	電阻太高 無法測量
8	超輕土		膨脹樹脂、黏劑、水	0.80 元	很微弱		超軟	35.66 KΩ
9	麵包土		麵粉、鹽、食用色素	0.62 元	弱		適中	13.62 KΩ
10	捏麵人		中筋麵粉、糯米粉、鹽、食用色素	0.23 元	中		超軟	5.03 KΩ
11	泡泡土		聚乙烯醇、保麗龍球、無機粉、抗菌劑	0.43 元	不會亮		硬	399.7 KΩ

(四)、市售黏土電阻長條圖：



(五)、討論：

1. 培樂多、捏麵人、彩泥 LED 燈較亮，其次是麵包土、鹽紙黏土和樹脂土，發亮極微弱是超輕土、紙黏土。油土和泡泡土不會發亮。
2. 推薦**培樂多當高導電黏土**，因為 LED 燈亮度高、購買方便、可塑性高、密封保存放置久，價錢中等。**其次為捏麵人**，因為價錢中等、LED 燈較亮、保存時間較久。
3. 我們發現有導電性很差的黏土（油土、泡泡土），在訪談捏麵人師傅過程中，捏麵人師傅建議**導電差黏土可以當作高電阻黏土使用！**因為油土使用後，手會油油的，因此我們推薦**泡泡土當高電阻黏土**。
4. 泡泡土經電阻檢測，顆粒越大，電阻越高，越適合當高電阻黏土（小顆粒 251.3 KΩ、中顆粒 399.7 KΩ、大顆粒 1446.6 KΩ）。
5. 不含水的油土和泡泡土，無法使 LED 燈發亮。我們推測**水會影響導電**。
6. 成分含鹽的黏土 LED 燈較亮、含鹽紙黏土比不含鹽紙黏土亮。我們推測**鹽會影響導電**。

(六)、研究結果：

1. **濕軟電路需由高導電黏土和高電阻黏土構成，皆可由市售黏土取代**，不需自己製作黏土。
2. 「培樂多」最適合當高導電黏土（其次為捏麵人），因為 LED 燈亮度高、購買方便、可塑性高、密封保存久、價錢中等、不黏手。
3. 「泡泡土」最適合當高電阻黏土（其次為油土），因為 LED 燈亮度低、手不會油油的、可塑性中等、價錢中等。
4. 市售黏土很好用，但價錢太高。我們希望能**自製便宜濕軟電路黏土**。



圖 35：購買各種市售黏土



圖 36：記錄各種黏土的成分、價錢



圖 37：檢測各種市售黏土的電阻大小



圖 38：利用塑膠盒量出各種黏土的不同體積



圖 39：放置室內接觸空氣看黏土變化



圖 40：含鹽黏土放久，表面跑出白色鹽結晶



圖 41：將硬化黏土放電鍋蒸，看能否變回原狀



圖 42：將黏土包保鮮膜放進密封罐，看能放置多久



圖 43：培樂多最適合當高導電黏土



圖 44：捏麵人居然也適合當高導電黏土



圖 45：泡泡土最適合當高電阻黏土



圖 46：泡泡土搭配捏麵人，LED 燈發光效果好

二、自製黏土方法網路搜尋

(一)、研究原因：

國外網站提供的**濕軟電路自製黏土有很多缺點**(1.鹽黏土導電性不佳，糖黏土電阻不高；2.加熱攪拌很辛苦，又麻煩；3.黏土太硬，不容易塑形；4.塔塔粉太貴；5.鹽沒有完全溶解在麵團中)(見附件一)。我們希望能找到**製作方便且比例更佳**的**自製黏土方法**，決定**上網搜尋**各種自製黏土的製作方法與比例進行比較，彙整成表格。

(二)、網路搜尋自製黏土方法比較：

來源	名稱	作法	水	麵粉	鹽	其他
註 1	黏土	混合後，煮	1 杯	1.5 杯	0.25 杯	油 1 匙、塔塔粉 3 匙
註 2	捏麵人	混合，以蒸籠加熱	2400ml	中筋 2400g	200g	糯米粉 600g、安息香酸 70g
註 3	黏土	鹽水先混合，再煮	300ml	中筋 240ml	80ml	油 1 大匙、塔塔粉 2 茶匙
註 4	黏土	混合後，煮	2/3 杯	1 杯	1/3 杯	油 1 茶匙、塔塔粉 1 茶匙
註 5	黏土	鹽水先混合，再煮	300ml	中筋 200g	100g	油 1 大匙、塔塔粉 2 茶匙
註 6	黏土	邊揉邊加鹽水，不加熱	半碗	低筋 1 碗	1 大匙	油 1 大匙、水彩
註 7	捏麵人	混合，放入電鍋蒸	3/4 杯	中筋 1 杯	1/4 杯	油 1 大匙、糯米粉 1/4 杯
註 8	黏土	混合用揉的，用完就丟	100ml	中低 200ml	130g	
註 9	彩泥	燒開的水混合材料	1/2 杯	400g	200g	油 3 杓、防腐粉 2 杓
註 10	黏土	1.滾燙熱鹽水；2.加熱攪拌；3.電鍋蒸熟加水揉	240ml	中筋 240g	80g	油 1 大匙、塔塔粉 2 茶匙
註 11	捏麵人	混合，丟入沸水燙至浮起	500ml	中筋 4 份	適量	糯米粉 1 份、適量防腐劑、明礬

(三)、討論：

1. 自製黏土的基本材料是水、麵粉和鹽。麵粉使用中筋或低筋麵粉，容易塑形。
2. 在材料上分兩類：**添加塔塔粉的黏土**(較常見)和**使用糯米粉的捏麵人**(很少見)。
3. 在製作方法分成加熱與不加熱，不加熱是直接混合材料揉成生麵團，但生麵團容易腐爛發霉(見附件一)，故不採用。
4. 加熱方法有四種：**邊煮邊攪拌(煮)**、**用滾水沖泡(泡)**、**電鍋蒸(蒸)**和**放進沸水燙(燙)**。
5. 將**鹽先溶解在水中**，再以鹽水混合其他材料，可讓麵團中的鹽完全溶解。

6. 為了決定接下來**使用哪一種自製黏土進行研究**，我們實驗製作註一**塔塔粉黏土**和註二**捏麵人**進行比較，並製作成下列表格：

	塔塔粉黏土（註一配方）	捏麵人（註二配方）
可塑性	較硬	較柔軟
材料取得	塔塔粉必須在烘焙材料行才買得到	容易取得
價錢(附件六)	每克 0.054 元，因為塔塔粉較貴	每克 0.037 元，材料都很便宜
LED 發亮效果	中等	較亮
配方來源	國外配方	中華傳統文化配方
常用方法	煮、泡	蒸、燙

（四）、研究結果：

1. 綜合比較塔塔粉黏土和捏麵人的優缺點，我們決定採用**捏麵人**當作接下來研究配方。因為**材料容易購買、價格較低廉、導電效果較好、可塑性較高，且為中華傳統文化產物**。
2. 加熱的製作方法分成四種，我們簡稱為「煮、泡、蒸、燙」。我們想測試哪一種方法最適合製作自製黏土。

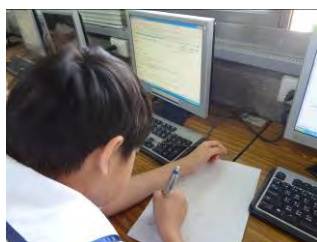


圖 47：上網搜尋各種自製黏土方法並記錄



圖 48：嘗試製作捏麵人配方，攪拌各種材料



圖 49：使用電鍋蒸完的捏麵人

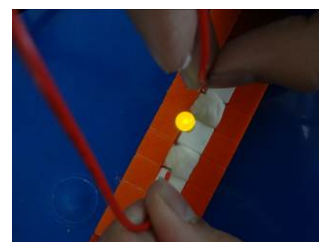


圖 50：捏麵人 LED 燈很亮，比塔塔粉黏土亮

三、加熱方法比較

（一）、研究原因：

根據網路資料，自製黏土加熱方式分成**邊煮邊攪拌（煮）、用滾水沖泡（泡）、電鍋蒸（蒸）和放進沸水燙（燙）**。我們決定測試哪一種方法最適合自製黏土與進行實驗研究。

（二）、研究方法

以國外網站的濕軟電路黏土配方，縮小比例（麵粉 187.5ml、鹽 31.25ml、水 125ml、油 7.5ml、塔塔粉 22.5ml），以下列四種加熱方式製作黏土，比較差異，製作成表格。

煮	泡	蒸	燙
所有材料混合，以小火邊煮邊攪拌。煮到成團狀，倒至灑麵粉的鐵盤揉成黏土。	將鹽放入滾水中，倒入其他材料混合物中攪拌，倒至灑麵粉的鐵盤揉成黏土。	所有材料混合，倒至灑麵粉的鐵盤揉成麵團。放入電鍋中蒸熟。	所有材料混合，倒至灑麵粉的鐵盤揉成麵團。分小塊，放入滾水中煮到浮起來。

(三)、加熱方式優缺點比較 (詳見附件四)

	邊煮邊攪拌 (煮)	用滾水沖泡 (泡)	電鍋蒸 (蒸)	放進沸水燙 (燙)
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 麵團導電性中等 2. 容易塑形，觸感軟硬適中 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加熱方式輕鬆 2. 容易塑形，觸感最軟 3. 加熱時間短 4. 鍋子清理方便 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加熱方式輕鬆安全 2. 麵團導電性佳 3. 加熱一次能製作多顆不同麵團 4. 電鍋加熱時可休息或清理收拾 5. 適合大量製作 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 麵團導電性佳
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加熱一次只能製作一顆麵團 2. 加熱方式辛苦 3. 鍋子清洗不易 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 麵團導電性差 2. 加熱一次只能製作一顆麵團 3. 加熱方式危險 4. 半生不熟的麵團，不易保存 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不易塑形，觸感太乾 2. 加熱時間長 3. 鍋子清洗不易 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加熱一次只能製作一顆麵團 2. 加熱方式辛苦危險 3. 不易塑形，觸感太濕、太黏 4. 加熱時間長 5. 鍋子清洗不易

(四)、研究結果

1. **電鍋蒸加熱**方法較適合實驗研究，因為**輕鬆安全**、導電性佳、能一次製作多顆不同麵團、適合大量製作。
2. 我們另外測試電鍋加熱時間，發現**16人份電鍋需加熱25分鐘(加三杯水)**才能完全蒸熟捏麵人，因此之後實驗加熱訂為25分鐘。
3. 電鍋蒸加熱方式，麵團容易黏鍋，後來購買蒸籠紙鋪在鍋中，避免黏鍋。



圖 51：煮的方法攪拌很辛苦、時間又長



圖 52：泡的方法製作輕鬆，但麵團沒全熟

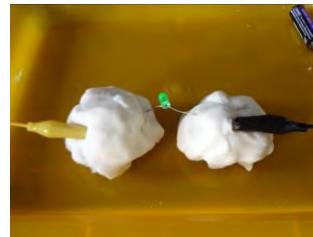


圖 53：泡出來的麵團 LED 燈亮度很低



圖 54：燙的方法像煮麵疙瘩，要不斷顧麵團



圖 55：當麵團浮起來，再把麵團撈起來



圖 56：蒸的方法使用電鍋蒸，過程輕鬆安全



圖 57：蒸熟的麵團效果不錯，但麵團會黏鍋



圖 58：在鍋子中放置蒸籠紙，可避免黏鍋

四、高導電黏土研究

(一)、研究原因：

為了尋找高導電黏土的最佳製作比例，我們調整捏麵人材料的比例。嘗試不同筋度、水量、鹽量，測試捏麵人的可塑性、電阻和 LED 燈發亮程度。嘗試調配出最佳比例！

(二)、研究過程

1. 麵粉筋度比較

- (1) 麵粉分成低筋、中筋和高筋麵粉，我們想測試不同筋度效果。
- (2) 以捏麵人網站（註二）提供的製作比例縮小為「麵粉 100g、糯米粉 25g、水 125ml、鹽 8.5g、安息香酸 3g」，替換低筋、中筋、高筋麵粉，以電鍋蒸加熱。
- (3) 比較三種筋度可塑性、電阻和 LED 燈發亮程度，整理圖表如下。

筋度	可塑性	測量電阻	LED 燈亮度(3v)	LED 燈亮度(4.5v)	LED 燈亮度(6v)
低筋	較軟，較少裂開	70.00 K Ω	3 %	38 %	62 %
中筋	有點硬，有點裂開	14.71 K Ω	4 %	50 %	60 %
高筋	很硬，容易裂開	20.63 K Ω	3 %	67 %	72 %

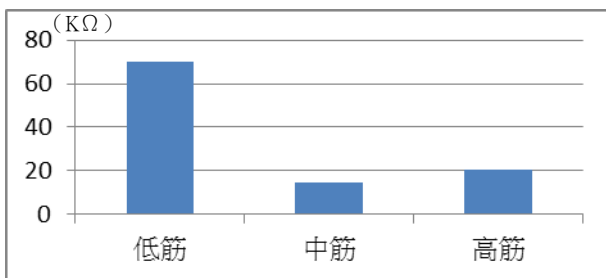


圖 59：麵粉筋度比較電阻長條圖

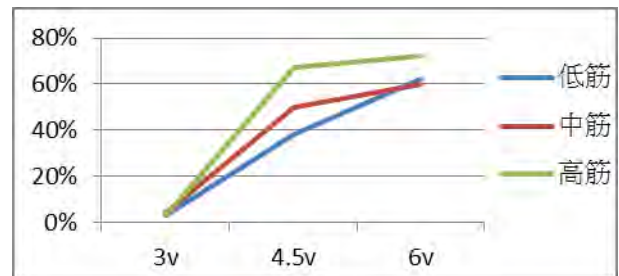


圖 60：麵粉筋度比較 LED 燈亮度折線圖

(4) 結論：

- 低筋與中筋較軟，適合塑形。高筋很硬、有彈性，不適合當塑形黏土。
- 中筋與高筋電阻較低，LED 燈亮度較亮，較適合當高導電黏土。
- 中筋麵粉可塑性高，導電性高，決定以中筋麵粉當捏麵人材料。



圖 61：使用不同筋度麵粉製作捏麵人



圖 62：高筋、中筋、低筋麵團蒸熟的樣子



圖 63：使用三用電表檢測不同筋度電阻高低



圖 64：使用光感暗箱檢測不同筋度 LED 燈亮度

2. 水量比較

- (1) 市售黏土不含水的黏土 LED 燈不會亮，我們懷疑**水量會影響導電**。
- (2) 因為**安息香酸（防腐劑）很臭又無法食用**，我們決定接下來**實驗都不放安息香酸**。
- (3) 更改捏麵人配方的水量，以 0、50、100、150、200ml 製作捏麵人（有些麵糊較稀，我們決定把麵糊放入鐵碗中拿去蒸），比較差異，整理圖表如下。

水量	未加熱前狀況	加熱後狀況	測量電阻	LED 燈亮度					放置四天後
				3 v	4.5 v	6 v	7.5 v	9 v	
0 ml	粉末	粉末結塊	電阻太大無法測量	3%	3%	3%	3%	3%	無發黴
50 ml	無法成團，分散成很多小塊	變成很多小塊疙瘩	337.5 KΩ	3%	27%	40%	46%	54%	無發黴
100 ml	水量適中，可揉成一團	不黏手，比較硬	42.66 KΩ	3%	9%	23%	26%	36%	一點點發黴
150 ml	無法成團，像黏稠的液體	會黏手，比較軟	32.29 KΩ	3%	25%	33%	38%	52%	大部分發黴
200 ml	無法成團，像很稀的濃湯	很黏手，非常軟	7.33 KΩ	3%	29%	43%	50%	56%	大部分發黴

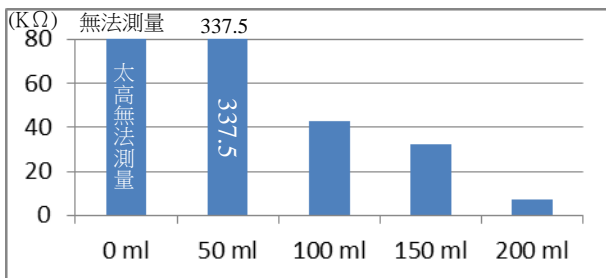


圖 65：水量比較電阻長條圖

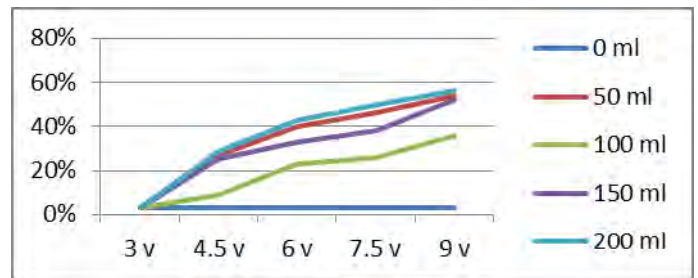


圖 66：水量比較 LED 燈亮度折線圖

(4) 結論：

- a. **100ml 以上水量才能製作捏麵人**，50ml 只能製作零碎疙瘩狀，0ml 仍是粉末。
- b. **水量越多，電阻越低**，LED 燈亮度越高。當沒有水分，捏麵人完全無法導電。
- c. **水量越多，可塑性越軟越黏手**。
- d. 這次實驗沒有添加安息香酸，安全無毒，捏麵人吃起來像很鹹的發糕。但放四天後就開始發黴，水量越多發黴越嚴重。
- e. 50ml 的零碎疙瘩，當將疙瘩壓緊，一樣能讓 LED 燈發亮，且亮度頗高。



圖 67：麵糊有些太稀，改用鐵碗放入電鍋蒸



圖 68：水 50ml 做出零碎疙瘩狀捏麵人



圖 69：水 200ml 做的捏麵人超黏手，很可怕



圖 70：水 200ml 發黴很嚴重，水量越多越易發黴

3. 鹽量比較

- (1) 鹽水在電解質溶液是導電性很強，我們想測試鹽量多寡對導電影響。
- (2) 更改捏麵人配方中的鹽量，以 0、12、24、36、48g 製作捏麵人。因 100ml 水最多只能溶解約 36g 鹽，因此 48g 實驗需額外加 12g 鹽在麵團中，整理圖表如下。

鹽量	未加熱前狀況	加熱後狀況	測量電阻	LED 燈亮度					放置四天後
				3 v	4.5 v	6 v	7.5 v	9 v	
0 g	容易攪拌，成黏稠狀	較軟	53.45 KΩ	3%	9%	21%	29%	35%	嚴重發黴
12 g	容易攪拌，成黏稠狀	較軟	27.23 KΩ	3%	13%	29%	39%	46%	一點點發黴
24 g	攪拌比較困難，成團狀	稍硬	30.54 KΩ	3%	26%	41%	50%	70%	無發黴
36 g	攪拌比較困難，成團狀	較硬	55.69 KΩ	3%	18%	24%	28%	37%	無發黴
48 g	攪拌很困難，成團狀	很硬，麵團有鹽顆粒	66.67 KΩ	3%	19%	34%	37%	45%	無發黴

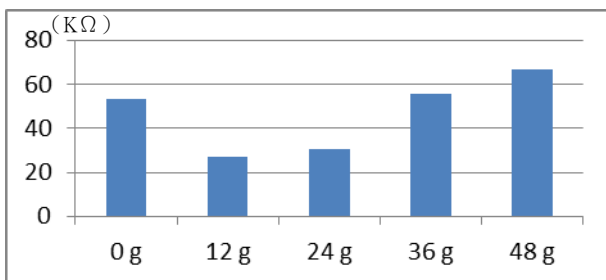


圖 71：鹽量比較電阻長條圖

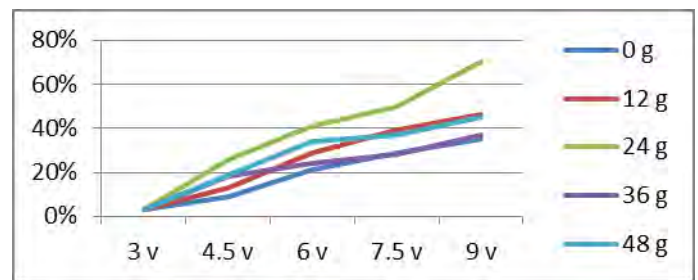


圖 72：鹽量比較 LED 燈亮度折線圖

(3) 結論：

- a. 捏麵人含鹽會減少電阻，增加 LED 燈亮度，但當鹽分過多，電阻會慢慢增加。
- b. 鹽量越多，未加熱的麵團越硬，攪拌起來越困難，蒸後的可塑性也越硬。
- c. 加入超過鹽水飽和濃度的鹽量，捏麵人會摸到未溶解的鹽顆粒。
- d. 鹽有防止發黴效果，當鹽量大於 24g，捏麵人不易發黴。
- e. 建議使用鹽量 24g 比例，因為鹽 24g 能防止發黴、電阻較低、LED 燈亮度較高，但可塑性稍硬。



圖 73：添加不同鹽量製作捏麵人



圖 74：使用果汁機將鹽溶解在水中，快速方便



圖 75：鹽 12g 有點發黴，鹽越多越不易發黴



圖 76：安息香酸很臭，努力尋找其他防止發黴方法

4. 高導電黏土最佳比例

(1) 藉由之前實驗及訪談捏麵人師傅（瞭解糯米粉比例會影響軟硬），整理出下列變因會影響黏土的性質。

低	← 電阻 →	高	軟	← 可塑性 →	硬	短	← 保存時間 →	長
高、中筋	← 筋度 →	低筋	低、中筋	← 筋度 →	高	多	← 水量 →	少
多	← 水量 →	少	多	← 水量 →	少	無	← 鹽分 →	多
有	← 鹽分 →	無	少	← 鹽分 →	多			
少	← 鹽分 →	太多	多	← 糯米粉比例 →	少			

(2) 我們目前做出來的捏麵人比較硬，希望能藉由調整比例做出可塑性軟、電阻低且保存時間久的高導電黏土。經過討論後，決定出以下五種比例。

	水	麵粉	糯米粉	鹽	備註
原始	100 ml	100 g	25g	24g	之前的鹽捏麵人比例
比例 1	125ml	100g	25g	25g	增加水量、鹽量修改成能約分的數字
比例 2	125ml	100g	25g	30g	增加水量、增加鹽量
比例 3	150ml	100g	25g	30g	增加水量、增加鹽量
比例 4	120ml	90g	30g	30g	增加水量、麵粉與糯米粉比例改成 3：1、增加鹽量
比例 5	150ml	90g	30g	35g	增加水量、麵粉與糯米粉比例改成 3：1、增加鹽量

(3) 高導電黏土最佳比例比較圖表：

	可塑性	黏性	測量電阻	LED 燈亮度					放置四天後
				3 v	4.5 v	6 v	7.5 v	9 v	
原始	硬	不黏	143.01 KΩ	3%	40%	65%	67%	82%	無發黴
比例 1	適中	稍黏	107.57 KΩ	3%	32%	69%	73%	84%	無發黴
比例 2	適中	較黏	89.18 KΩ	3%	50%	79%	79%	96%	無發黴
比例 3	太軟	黏	90.68 KΩ	3%	52%	75%	75%	91%	無發黴
比例 4	適中	黏	87.43 KΩ	3%	44%	78%	71%	86%	無發黴
比例 5	稍軟	超黏	111.25 KΩ	3%	31%	59%	59%	74%	無發黴

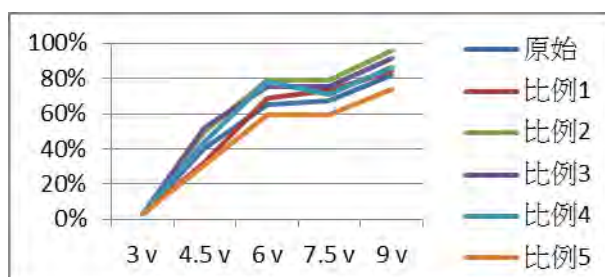
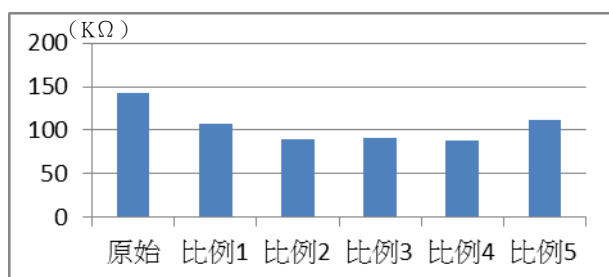


圖 77：高導電黏土最佳比例電阻長條圖

圖 78：高導電黏土最佳比例 LED 燈亮度折線圖

(4) 結論：

比例 1 捏麵人(水 125ml、中筋麵粉 100g、糯米粉 25g、鹽 25g)的可塑性、黏性最適當，電阻和光感亮度適中，我們決定**比例 1 為高導電黏土最佳比例**。



圖 79：利用比例 1 捏出來的雪人捏麵人

五、高電阻黏土研究

(一)、研究原因：

因為「**非電解質溶液**」不易導電，我們嘗試利用「非電解質溶液」製作高電阻黏土。我們測試**不同糖量**和**加入各種非電解質溶液**，測試可塑性、電阻和 LED 燈亮度。希望找出最佳比例的高電阻黏土。

(二)、研究過程

1. 糖量比較

(1) 糖水的導電性較差，我們測試**不同糖量**（0、24、48、72、84、96g 糖分別溶入 100ml 水中）製作成捏麵人，整理圖表如下。

糖量	未加熱狀況	加熱後狀況	測量電阻	LED 燈亮度					放置四天後
				3 v	4.5 v	6 v	7.5 v	9 v	
0 g	麵團狀	可塑性都差不多。糖量多的比較黏一點。	157.11 K Ω	4%	26%	45%	55%	62%	發黴嚴重、硬化
24 g	麵團狀		373 K Ω	3%	10%	24%	33%	37%	大部分發黴、硬化
48 g	黏稠狀		538.72 K Ω	3%	14%	29%	37%	44%	部分發黴、硬化
72 g	黏稠狀		495.05 K Ω	3%	3%	5%	8%	11%	有些發黴、硬化
84 g	高湯狀		524.5 K Ω	3%	3%	6%	12%	17%	有點發黴、硬化
96 g	高湯狀		588.38 K Ω	3%	3%	5%	8%	12%	沒有發黴、硬化

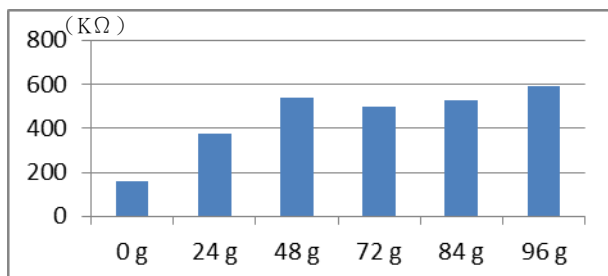


圖 80：糖量比較電阻長條圖

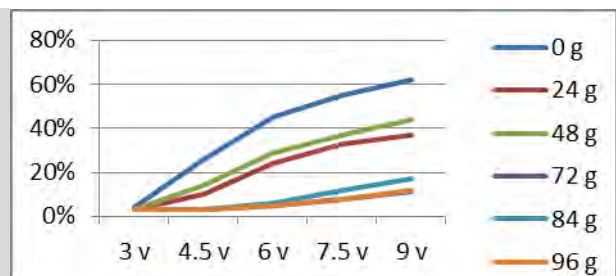


圖 81：糖量比較 LED 燈亮度折線圖

(2) 結論：

- 糖量越多，電阻越高，LED 燈亮度越暗。
- 糖量越多，越不易發黴。各種糖量放置四天後(即使包保鮮膜)，都會硬化無法使用。
- 糖量對可塑性沒有影響，但糖量越多會稍黏。
- 未加糖和加糖的捏麵人吃起來像發糕，很好吃。
- 建議使用糖量 84g 比例，因為電阻高、LED 燈亮度低，又不太黏。



圖 82：糖量越多，未加熱的麵糊會越稀



圖 83：起鍋的捏麵人稍冷卻後，要用手揉均勻



圖 84：糖 24g 發黴很嚴重，而且會硬化



圖 85：糖 72g 一點發黴，但會硬化無法使用

2. 非電解質溶液比較

(1) 前一個實驗做的糖捏麵人太硬，因此我們將水量改為 125ml。

(2) 我們加入各種非電解質溶液，能夠取代水的溶液加入 125ml（料理米酒、工業蒸餾水、食用蒸餾水），無法取代水的加入 25ml，再加 100ml 自來水（藥用酒精、甘油）。

非電解質溶液	使用容量	使用費用	可塑性	黏性	測量電阻	LED 燈亮度					放置五天後
						3 v	4.5 v	6 v	7.5 v	9 v	
自來水	125ml	無	稍硬	稍黏	57.80 K Ω	3%	19%	40%	51%	57%	發黴、硬化
藥用酒精	25ml	3.5 元	適中	稍黏	83.89 K Ω	3%	17%	33%	43%	48%	沒發黴、硬化
料理米酒	125ml	4.7 元	稍硬	稍黏	95.23 K Ω	3%	23%	39%	49%	53%	沒發黴、硬化
工業蒸餾水	125ml	7.5 元	軟	黏	103.45 K Ω	3%	12%	33%	45%	52%	發黴、硬化
食用蒸餾水	125ml	3.1 元	稍軟	稍黏	97.45 K Ω	3%	15%	30%	38%	43%	發黴、硬化
甘油	25ml	6.2 元	超軟	超黏	105.27 K Ω	3%	21%	40%	50%	55%	發黴、無硬化

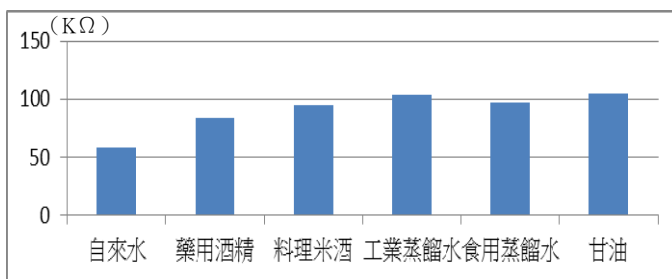


圖 86：加入非電解質溶液電阻長條圖

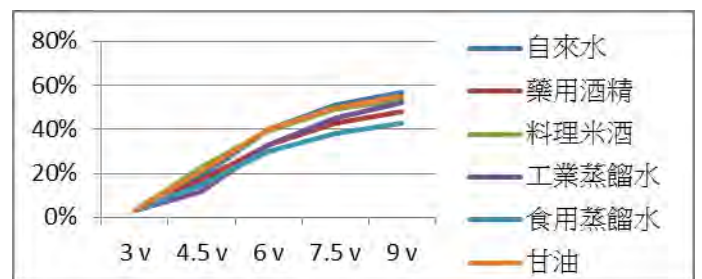


圖 87：加入非電解質溶液 LED 燈亮度折線圖

(3) 結論：

- 加入各種非電解質溶液都能增加電阻，使 LED 燈亮度越暗。
- 加入含酒精溶液能防止發黴，加入甘油能防止硬化。
- 加入各種非電解質溶液會增加製作費用，藥用酒精和食用蒸餾水費用較省。



圖 88：加入各種非電解質溶液



圖 89：加入甘油的麵糊很黏，幾乎倒不出來



圖 90：使用食用蒸餾水放四天後會發黴



圖 91：使用料理米酒不會發黴，含酒精有殺菌效果

3. 高電阻黏土最佳比例

(1) 目前做出的高電阻黏土較硬、稍黏，放置數天後會硬化無法使用！因為加入鹽、甘油（濃度 85%）和藥用酒精（濃度 95%）能防硬化和發黴，我們決定調整加入比例，做出可塑性軟、電阻高且保存時間久的高電阻黏土。以下為調整比例：

(2) 高電阻黏土調整比例表格：

	麵粉	糯米粉	糖	水	酒精	添加	備註
原始	100g	25g	85g	125ml		無	糖量修改成能約分的數字
比例 1	100g	25g	85g	125ml		鹽 10g	添加鹽防止硬化、發黴
比例 2	100g	25g	85g	100ml	25ml	甘油 2.5ml	添加藥用酒精防止發黴 添加甘油防止硬化
比例 3	100g	25g	85g	100ml	25ml	甘油 5ml	
比例 4	100g	25g	85g	100ml	25ml	甘油 7.5ml	

(3) 高電阻黏土最佳比例比較圖表：

	可塑性	黏性	測量 電阻	LED 燈亮度					放置五天後
				3 v	4.5 v	6 v	7.5 v	9 v	
原始	稍硬	稍黏	741.4K Ω	3%	4%	6%	11%	15%	發黴、硬化
比例 1	適中	適中	258.2K Ω	3%	7%	15%	19%	26%	沒發黴、沒硬化
比例 2	稍硬	適中	493.4K Ω	3%	3%	4%	6%	15%	沒發黴、沒硬化
比例 3	適中	適中	583.1K Ω	3%	6%	10%	16%	21%	沒發黴、沒硬化
比例 4	適軟	稍黏	827.4K Ω	3%	4%	6%	10%	14%	沒發黴、沒硬化

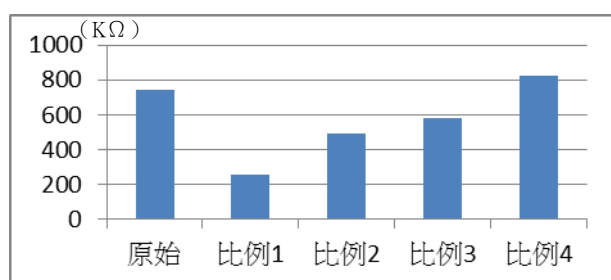


圖 92：高電阻黏土最佳比例電阻長條圖

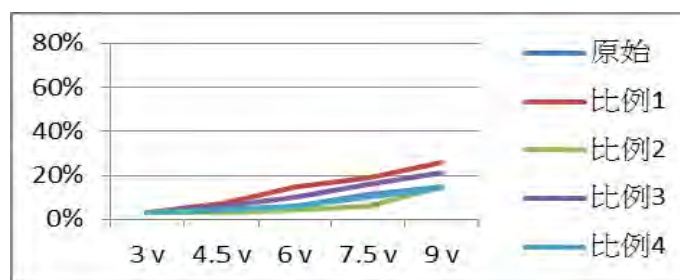


圖 93：高電阻黏土最佳比例 LED 燈亮度折線圖

(4) 結論：

- 比例 1 (水 125ml、中筋麵粉 100g、糯米粉 25g、糖 85g、鹽 10g) 可塑性和黏性最適合。**加入鹽不會硬化，但電阻會變低。**我們決定**比例 1**為「可食用高電阻黏土」最佳比例，因為材料皆為可食用，適合給可能誤食黏土的幼童使用。
- 比例 4 (水 125ml、中筋麵粉 100g、糯米粉 25g、糖 85g、藥用酒精 25ml、甘油 7.5ml) 可塑性和黏性適中、**電阻極高。**我們決定**比例 4**為「非食用高電阻黏土」最佳比例，適合給國小以上學生使用。



圖 94：加入甘油，用來防止糖黏土硬化



圖 95：蒸好的捏麵人準備起鍋，以夾子夾出來

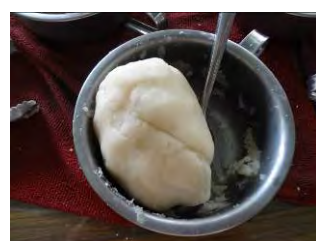


圖 96：比例 1 捏麵人最適合當可食用高電阻黏土

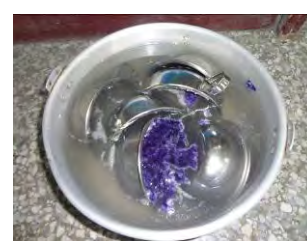


圖 97：碗泡太久沒洗，結果長出紫色黴菌，讓我們洗碗時都很害怕

六、導電捏麵人應用推廣

我們歸納導電捏麵人**製作方法**、**黏土比較**與**各種應用推廣方式**，甚至請教捏麵人師傅的想法，希望能讓大家更熟悉導電捏麵人的應用。

(一)、製作方法：

1. 1人份高導電黏土製作方法：

- (1) 準備「水 125ml、中筋麵粉 100g、糯米粉 25g、鹽 25g」材料，先將鹽溶解於水中，加入其他材料攪拌均勻倒至鐵碗。放置於 16 人電鍋中加熱 25 分鐘（加三杯水）。
- (2) 待捏麵人稍冷卻後，將捏麵人揉均勻，並加入水性食用色素（一盒四色 90 元）。
- (3) 以保鮮膜包住捏麵人，放置常溫能保存一星期。

2. 1人份高電阻黏土製作方法：

- (1) 材料改成「水 125ml、中筋麵粉 100g、糯米粉 25g、糖 85g、鹽 10g（或使用藥用酒精 25ml、甘油 7.5ml）」，作法與高導電黏土相同。



圖 98：我們測試水性和粉狀食用色素差異



圖 99：將捏麵人揉成碗形，中間滴食用色素



圖 100：水性食用色素揉出的顏色很漂亮



圖 101：粉狀食用色素揉不均勻又容易弄髒手

(二)、黏土比較

我們將自製的高導電黏土、高電阻黏土和市售黏土培樂多進行比較，列出圖表：

	價錢	電阻	3 v	4.5 v	6 v	7.5 v	9 v
培樂多	0.19 元(1g)	7.78K Ω	3%	43%	75%	82%	100%
自製高導電	0.036 元(1g)	17.72K Ω	3%	32%	69%	73%	84%
可食用高電阻	0.045 元(1g)	258.2K Ω	3%	7%	15%	19%	26%
非食用高電阻	0.063 元(1g)	827.4K Ω	3%	4%	6%	10%	14%

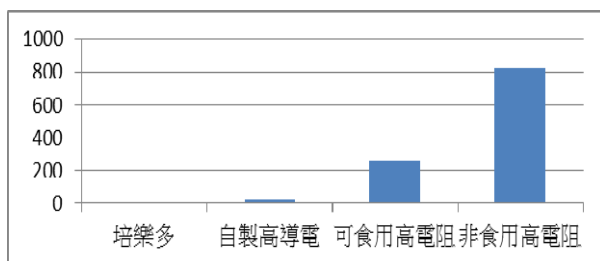


圖 102：最佳比例比較電阻長條圖

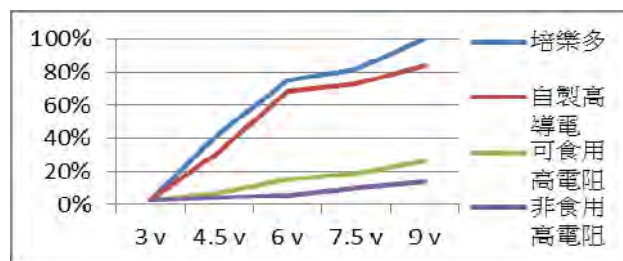
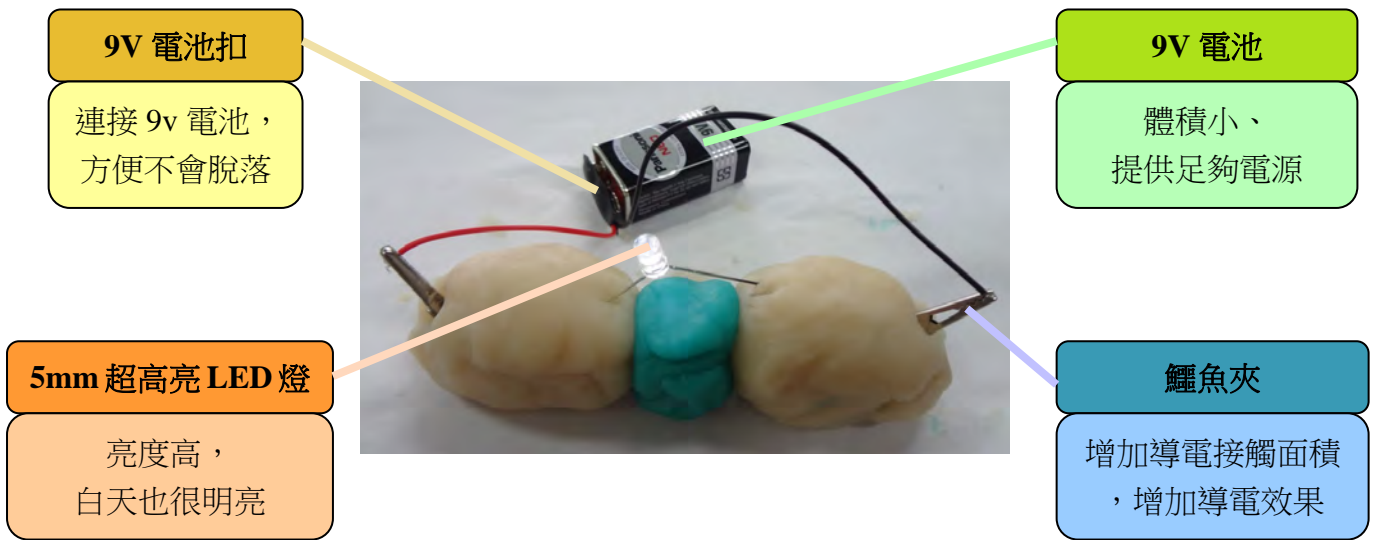


圖 103：最佳比例比較 LED 燈亮度折線圖

自製高導電黏土在電阻和 LED 燈亮度都輸培樂多，但**價錢便宜很多**，能當濕軟電路使用。一人份自製高導電黏土約 250g（約手掌大），材料費是 9 元，相同重量培樂多需 47.5 元！

(三)、搭配電路建議 (我們嘗試尋找台灣能購買到的濕軟電路配備):



1. 電源：濕軟電路讓 LED 燈發亮至少要 6v (4 顆 3 號電池) 才會明顯。但使用這麼多電池很麻煩，後來在網路圖片 (圖 104) 看到使用 9v 電池和電池扣 (一只 3 元) 當作電源，連接方便，發光效果好。但 9v 電池不可直接連接 LED 燈，會導致 LED 燈燒掉！
2. LED 燈：使用「5mm 超高亮 LED 燈」發亮效果最好，紅、黃色一顆 3 元，白、綠、藍色一顆 7 元 (見附件五)。
3. 鱷魚夾：電線太細讓黏土不易傳電，透過鱷魚夾大面積接觸黏土，可增加導電效果。
4. 馬達：經過測試，實驗用小馬達無法藉由濕軟電路轉動，需使用低電流馬達才能轉動。目前測試「12v 40mA 或 3v 30mA 低電流馬達」(1 顆皆 60 元) 搭配鱷魚夾，能成功轉動。
5. 蜂鳴器：「3v 蜂鳴器」(1 顆 25~30 元) 搭配鱷魚夾，能產生鳴叫聲。



圖 104：網路圖片使用 9v 電池和電池扣 (網址請見註 13)



圖 105：電子材料行買到的 9v 電池扣 (一只 3 元)

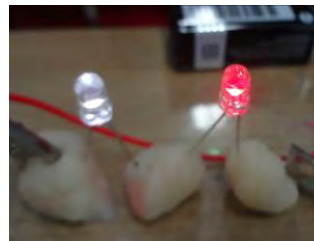


圖 106：使用「5mm 超高亮 LED 燈」發亮效果最好，一顆 3 或 7 元



圖 107：使用鱷魚夾能大面積接觸黏土，增加導電效果，埋越深效果越好



圖 108：12v 40mA 低電流馬達效果佳，馬達大顆操作方便

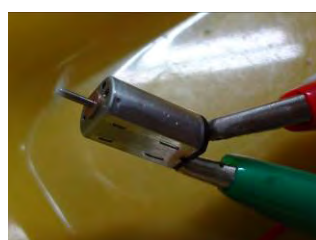


圖 109：3v 30mA 低電流馬達太小顆，不好用，且轉速太快



圖 110：插板式蜂鳴器需搭配鱷魚夾使用 (1 顆 25 元)



圖 111：接線式蜂鳴器需搭配鱷魚夾使用 (1 顆 30 元)

(四)、串、並聯應用：

四年級自然課的電池通路實驗，使用電池盒和電線連接小燈泡，進行串、並聯實驗，但串、並聯要連接很多電池盒，不容易連接電線，連接又複雜。當**使用導電捏麵人進行串並聯實驗，簡單又有趣。**



圖 112：只連接一顆 LED 燈，亮度很高

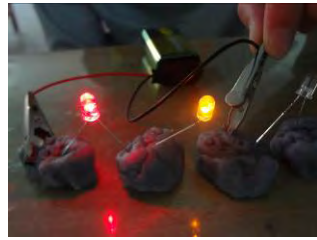


圖 113：串聯二顆 LED 燈，亮度變低

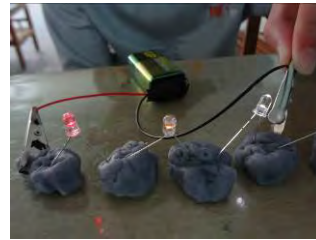


圖 114：串聯三顆發光微弱（串聯四顆都不會亮）



圖 115：並聯五顆 LED 燈。亮度都很高



圖 116：串聯四顆 1.5v 電池，讓 LED 燈發亮



圖 117：並聯四顆 1.5v 電池，LED 不會亮



圖 118：串聯兩顆 9v 電池，LED 燈發出超亮光



圖 119：並聯兩顆 9v 電池，插滿很亮 LED 燈

(五)、作品製作：

我們嘗試利用自製捏麵人製作作品，感覺很好玩、有挑戰性，因為得同時**思考造型設計和電路安排**，完成後很有成就感，作品二個月後仍會發亮。

過程中有時作品亮度不佳，後來發現 9v 電池扣的電線太細，插入黏土中容易鬆脫或斷掉，不易傳電。我們想到利用**鱷魚夾的夾子（一只 2 元）埋入黏土中，增加金屬接觸黏土的面積**，能加強 LED 燈亮度。夾子容易方便，小朋友都能使用，不需電焊。另一個方法是將**LED 燈一端直接夾上電源**，另一端插入黏土，LED 燈亮度會極佳。



圖 120：我們用自製捏麵人捏的作品「小花」



圖 121：項圈為高電阻黏土的「小熊」



圖 122：交錯高導電和高電阻黏土的「龍」

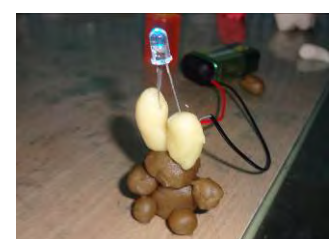


圖 123：耳朵為高導電黏土的「兔子」

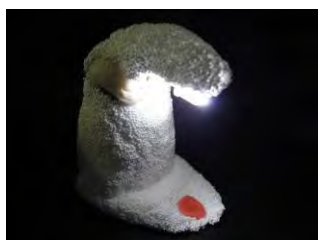


圖 124：將 LED 燈與電池塞進作品的「檯燈」



圖 125：購買鱷魚夾的夾子（一只 2 元，左側），將外層剝掉（右側）



圖 126：夾子夾住 9v 電池扣電線，使用容易方便，小朋友都會使用

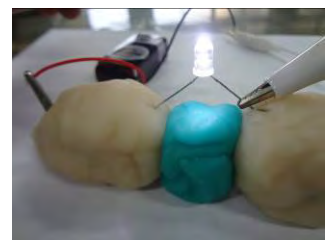


圖 127：LED 燈一端直接夾上電源，另一端插黏土，LED 燈亮度極佳

(六)、導電捏麵人推廣：

我們決定**訪談捏麵人師傅**，將「導電捏麵人」點子分享給他們，請教是否能幫有助於推廣捏麵人傳統藝術。我們找到一家三代都投入捏麵人產業的捏麵人師傅，他們還成立台灣**唯一一座以「捏麵」為主題的地方文化館**。我們參觀他們的工作室和**地方文化館**進行訪談。

捏麵人師傅對於「導電捏麵人」感到新奇和興奮，認為**捏麵人插上 LED 燈發光，會更引人注目**。經過討論後，師傅以**麵土當高導電黏土，泡泡土當高電阻黏土**，製作出會發光的可愛捏麵人作品，還相約下一次以我們的點子製作導電捏麵人作品。

第二次訪談捏麵人師傅時，我們帶自製捏麵人麵團請師傅給建議。師傅認為我們自製的和傳統捏麵人很像，有黏性又易塑形，**還以我們自製麵團做出作品**。

我們覺得導電捏麵人點子可以給國小學生**自製導電捏麵人的科學實驗**。因為材料安全無毒，連幼稚園小朋友也能在大人陪同下玩導電捏麵人。捏麵人文物館則可以設計**導電捏麵人創作活動**，吸引國小自然課戶外教學 DIY，或製作**導電捏麵人套件包販售**。導電捏麵人值得全面推廣，讓小朋友開心玩黏土和電路！



圖 128：參觀工作室和文物館，訪談捏麵人師傅



圖 129：第一個導電捏麵人作品「哆啦 A 夢」

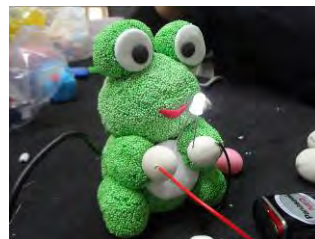


圖 130：師傅以泡泡土和麵土捏的小青蛙



圖 131：師傅嘗試將 LED 燈塞進作品「蛇」中



圖 132：師傅利用我們點子捏出「貓頭鷹」



圖 133：師傅利用我們點子捏出「警車」



圖 134：師傅捏出兩隻鴨子，分開 LED 會發亮



圖 135：鴨子靠近後，LED 燈會減弱，甚至消失



圖 136：師傅用我們自製捏麵人捏的「龍貓」



圖 137：師傅做的龍貓作品，放在教室被老鼠啃食！證明自製捏麵人無毒，連老鼠都愛吃！



圖 138：師傅用我們自製捏麵人捏的「老皮」



圖 139：LED 燈塞入作品的內部構造，白色為高電阻黏土，紅色為高導電黏土

(七)、作品持久性研究：

導電捏麵人會有下列問題導致作品無法持久保存，我們針對問題進行改良研究，列表如下：

問題	改良研究方向
捏麵人硬化無法導電	<p>當捏麵人放置於空氣中會慢慢硬化，硬化（捏麵人內部的水分消失）就無法再導電。捏麵人作品硬化是因為接觸空氣，我們思考如何減少高導電黏土接觸空氣的方法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 體積較大的捏麵人作品硬化速度較慢，因為黏土體積大，接觸空氣的表面積較小。體積較大（拳頭大）的自製雪人作品能發光二個月。 以高電阻黏土將高導電黏土包在裡面，避免高導電黏土接觸空氣，捏麵人師傅以泡泡土包覆麵土，避免麵土接觸空氣，師傅製作出的作品發光能撐三個月以上。
捏麵人接觸金屬容易生鏽，作品會變色	<p>捏麵人成分中包含水和鹽，接觸 LED 燈、鱷魚夾、電池等金屬部分容易生鏽，並導致捏麵人作品變色！作品不易保存！我們思考不易生鏽又能導電的物品來替代鱷魚夾放入捏麵人作品中：</p> <p>我們想到非金屬能導電的石墨，但因石墨棒很貴（1 支 50 元），我們想使用筆芯當做鱷魚夾的替代品，但常用的 0.5mm 筆芯容易斷掉，最後在書局找到 2mm 2B 工程筆筆芯（1 支 15 公分 2 元）。</p> <p>經實驗測試後，使用 2mm 工程筆芯 連接市售黏土（培樂多與泡泡土）或自製捏麵人（高導電黏土與非食用高電阻黏土），能成功讓作品發亮，且發光效果佳！2mm 工程筆芯便宜、不易斷裂、不生鏽！捏麵人作品不會因為金屬生鏽而變色，能保存持久！</p> <p>但 2mm 工程筆芯並無法使用在「可食用高電阻黏土」，因為可食用高電阻黏土電阻較低，無法有效阻隔電流，捏麵人作品並無法發亮！因此使用 2mm 工程筆芯，只能搭配非食用高電阻黏土和高導電黏土。</p>

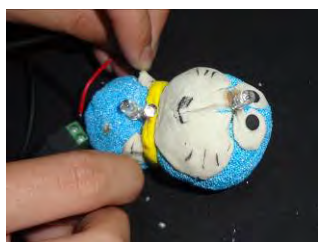


圖 140：捏麵人硬化後，LED 燈無法發亮

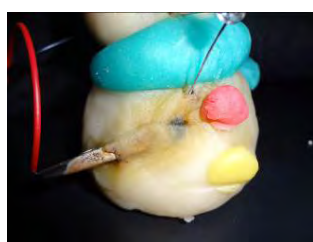


圖 141：埋進作品的鱷魚夾會生鏽，作品跟著變色

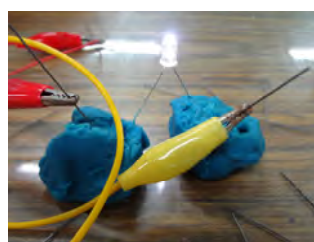


圖 142：0.5mm 筆芯濃度越濃越亮，但易斷



圖 143：使用 2mm 2B 工程筆筆芯導電效果最佳

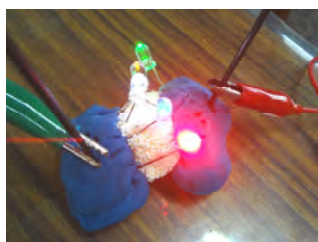


圖 144：市售黏土（培樂多和泡泡土）搭配工程筆芯，發光效果好

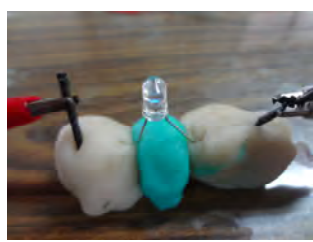


圖 145：可食用高電阻黏土(綠色)搭配工程筆芯，因為電阻不高，發光很微弱



圖 146：非食用高電阻黏土(紅色)搭配工程筆芯，因電阻高，發光效果好



圖 147：使用工程筆芯、高導電黏土與非食用高電阻黏土製作發光作品！作品不會生鏽變色！

捌、結論

一、市售黏土分析

1. 濕軟電路需由**高導電黏土**和**高電阻黏土**構成，**皆可由市售黏土取代**，不需自己製作黏土，但價錢較高。
2. 「培樂多」最適合當高導電黏土（其次為捏麵人），因為 LED 燈亮度高、購買方便、可塑性高、密封保存久、價錢中等、不黏手。
3. 「泡泡土」最適合當高電阻黏土（其次為油土），因為 LED 燈亮度低、手不會油油的、可塑性中等、價錢中等。

二、捏麵人變因分析

低	←	電阻	→	高	軟	←	可塑性	→	硬
高、中筋	←	筋度	→	低筋	低、中筋	←	筋度	→	高筋
多	←	水量	→	少	多	←	水量	→	少
有	←	鹽量	→	無	少	←	鹽量	→	多
少	←	鹽量	→	太多	多	←	糯米粉比例	→	少
少	←	糖量	→	多	有	←	甘油	→	無
無	←	非電解質溶液	→	有					
短	←	保存時間	→	長	無	←	硬化	→	有
多	←	水量	→	少	有	←	鹽量	→	無
無	←	鹽量	→	多	有	←	甘油	→	無
少	←	糖量	→	多					
無	←	含酒精溶液	→	有					

三、捏麵人配方研究

1. 能使用「捏麵人配方」製作濕軟電路黏土，且具有**材料容易購買、價格低廉、導電性佳、可塑性佳、安全無毒可食用、推廣中華傳統技藝**等優點。
2. 加熱方式採用「電鍋蒸」，輕鬆又安全。
3. **高導電捏麵人**製作比例為「水 125ml、中筋麵粉 100g、糯米粉 25g、鹽 25g」（一人份材料），常溫能保存一星期。
4. **可食用高電阻捏麵人**製作比例為「水 125ml、中筋麵粉 100g、糯米粉 25g、糖 85g、鹽 10g」（一人份材料）。為了**防止硬化而添加鹽，導致電阻降低**。
5. **非食用高電阻捏麵人**製作比例為「水 100ml、中筋麵粉 100g、糯米粉 25g、糖 85g、甘油 7.5ml、藥用酒精 25ml」，電阻很高，但無法食用，不適合給可能誤食的幼童使用。

四、導電捏麵人推廣

1. 捏麵人搭配電池與 LED 燈，能製作發亮的捏麵人作品，**導電捏麵人**是可行的點子。
2. 捏麵人搭配 **9v 電池、9v 電池扣、超高亮 LED 燈、鱷魚夾**效果最好。
3. 利用濕軟電路進行**電池通路串、並聯實驗**，效果佳而操作方便。
4. 導電捏麵人點子能讓**捏麵人老師**發展出相關課程、商機，也適合**科學實驗、親子活動**。
5. **減少高導電黏土接觸空氣**，能減緩導電捏麵人作品硬化速度，**增加導電發亮的使用時間**。
6. 以 **2mm 2B 工程筆筆芯**搭配**非食用高電阻捏麵人**能取代鱷魚夾，**避免生鏽導致作品變色**。

玖、心得

經過漫長日子，我們終於完成「科展」任務！科展是恐怖的耐力考驗，從一開始接觸的新奇、期待，到後來的辛苦、疲累，但因為有趣、成就感支持我們一直持續研究。

科展真的很辛苦！放學要留校做科展，回家要寫科展作業，過程中還得不斷嘗試錯誤！記得第一次做自製黏土，慌得慌，亂得亂，做出來的黏土又黏又爛，導電性又差，真失望！第一次接觸網購「捏麵人」，不，應該說，它只是一陀濕濕、黏黏的東西。後來研究變因才知道網購捏麵人製作過程被加太多水，才變得那麼噁心。更不用說配方加入安息香酸（防腐劑）時，整個教室臭得像垃圾堆一樣，讓我們堅決以後不要加防腐劑！我們陸陸續續嘗試各種變因和配方，每次都瘋狂測量材料重量，不斷做麵團、測光感、測電阻、清掉麵團，反覆實驗直到找到最佳比例。實驗完後，還得面對像戰爭過後的實驗桌和用具，清理積堆如山的鐵碗和燒杯，就像「洗碗惡夢」。雖然科展帶來種種辛苦，但卻也留給我們很多回憶。

最後研究出最佳比例時，我們開心死了，因為不用再調配奇怪變因的捏麵人。拜訪捏麵人師傅時，我們把自製捏麵人麵團給師傅看，師傅說：「捏麵人做得還不錯！」我們非常開心，因為我們的努力終於被認可！捏麵人師傅為我們做出發光捏麵人作品時，心中有說不出的喜悅，證明我們想法是可行的！之前辛苦都有代價！能讓捏麵人重新發揚光大，我們有很大的成就感，因為挑戰同年齡同學沒嘗試過的經歷，實踐了我們的想法。

最後要感謝互相幫忙的同學、一路上鼓勵和支持的老師和親人及親切的捏麵人師傅。因為大家的合作，才能完成這項艱辛的工作。相信我們的努力一定能有好成果！

拾、參考資料及其他

（附件一）自製黏土測試

一、研究原因：

濕軟電路的[國外網站提供自製鹽黏土和糖黏土的方法](#)。我們翻譯製作方法，嘗試製作，測試自製黏土能否讓 LED 燈發亮。

二、研究過程：

（一）網站鹽黏土自製方法：

1. 準備「1 杯水、1.5 杯麵粉、0.25 杯鹽、3 匙塔塔粉、1 匙植物油」。網站沒有註明一杯、一匙容量與麵粉筋度，我們訂一杯為 250 cc，一匙為一大匙(15 cc)與中筋麵粉。
2. 所有材料放入鍋中混合，以中火加熱攪拌直到黏稠形成一團。
3. 麵團倒至灑麵粉的鐵盤上，當麵團稍冷卻時，用手將麵粉揉入麵團中，直到達到想要韌度。
4. 將麵團放入密封袋（我們以保鮮膜包覆麵團，放入真空密封罐中）。



圖 148：將所有材料混合攪拌均勻。



圖 149：以中火加熱攪拌直到黏稠形成一團



圖 150：倒至灑麵粉鐵盤上，將麵粉揉入麵團



圖 151：完成的鹽黏土能讓 LED 燈發光

(二) 網站糖黏土自製方法：

1. 準備「1.5 杯麵粉、0.5 杯糖、3 匙植物油、0.5 杯的去離子水或蒸餾水（使用自來水也可以，但電阻較低）」。我們沒有蒸餾水，因此使用自來水。為了區別鹽黏土和糖黏土，在糖黏土中添加黃色食用色素。
2. 留下 1/2 杯麵粉，將剩下麵粉、糖、植物油放在鍋中混合，加入一匙水攪拌，攪拌至大部分水被麵團吸收。
3. 將疙瘩狀麵團倒至灑麵粉的鐵盤中，慢慢加水和麵粉搓揉，直到變成塊狀麵團。



圖 152：倒入黃色食用色素區分糖黏土



圖 153：將各種材料混合攪拌（不加熱）



圖 154：倒至灑麵粉鐵盤上，將麵粉揉入麵團



圖 155：完成的糖黏土，是生麵團軟度佳

(三)、討論：

1. 鹽黏土使 LED 燈稍亮，表示導電性不夠高。糖黏土使 LED 微亮，表示電阻不夠高。
2. 鹽和糖黏土組合後，能讓 LED 燈發亮，因此鹽黏土能傳電，糖黏土能有效阻隔電流，**網站自製黏土方法是有效的**。
3. 鹽黏土製作花費 40 分鐘，其中邊加熱邊攪拌 20 分鐘才完成，**攪拌時很辛苦，手也很酸**。黏土煮越黏稠，攪拌時越累。
4. 鹽黏土**太硬**，容易乾掉，不容易塑形。
5. 糖黏土不需加熱，是**生麵團**，很黏不易塑形，室溫中放 5 天後就腐爛了。我們以加熱方式重做糖黏土，效果相同，但較不易腐爛。
6. 鹽和糖黏土會摸到鹽塊或糖顆粒，麵團中的鹽和糖沒有完全溶解。
7. 鹽黏土使用的**塔塔粉**，40 克要 30 元，是昂貴的材料。

(四)、結論

使用國外網站方法能製作可導電的黏土，但有以下缺點：**1.鹽黏土導電性不高，糖黏土電阻不高；2.加熱攪拌方法很辛苦又麻煩；3.鹽黏土太硬，不易塑形；4.材料中的塔塔粉太貴；5.麵團中的鹽沒有完全溶解**。我們覺得製作黏土的方法和比例都能再改良。



圖 156：糖黏土沒加熱，很快就腐爛了



圖 157：使用加熱方法再做一次糖黏土



圖 158：糖黏土電阻不夠高，LED 燈仍會微亮



圖 159：使用鹽黏土和糖黏土能讓 LED 燈發亮

(附件二) 市售黏土比較

	名稱	品牌	成分	價錢	重量	每克價錢	味道	購買地點
1	紙黏土 (安全造型土)	小玩子	紙漿、水、黏劑、滑石粉、抗菌劑	30 元	280 克	0.103 元	紙味	書局
2	鹽紙黏土	肯莉斯	麵粉、鹽、安息香酸、紙漿、天然物	30 元	420 克	0.071 元	綠豆味、黴味	書局
3	陶土	立鑫企業	天然土、油、水	25 元	500 克	0.05 元	沒味道	書局
4	培樂多	PLAYDOH	水、麵粉團、食鹽	28 元	141 克	0.198 元	麵粉味	玩具店
5	彩泥	智育彩泥	小麥粉、水、食用色素	30 元	99 克	0.333 元	檸檬香	書局
6	樹脂土	奇弟	樹脂、澱粉、增黏劑、防腐劑、水	45 元	100 克	0.45 元	白膠味	書局
7	油土	美有	碳酸鈣、黏劑、滑石粉	40 元	435 克	0.091 元	油味	書局
8	超輕土	禹華	膨脹樹脂、黏劑、水	40 元	50 克	0.8 元	塑膠味	書局
9	麵包土	巨倫	麵粉、鹽、食用色素	75 元	120 克	0.625 元	酸臭味	書局
10	捏麵人	無	中筋麵粉、糯米粉、鹽、食用色素	140 元	600 克	0.233 元	麵粉味	網購
11	泡泡土	黏土的家	聚乙烯醇、保麗龍球、無機粉、抗菌劑	130 元	300 克	0.433 元	膠水味	網購

	名稱	LED 燈亮度	可塑性	黏性	測量電阻	空氣耐久測量	蒸過後現象	密封耐久測量(3 個月)
1	紙黏土 (安全造型土)	很微弱	稍硬	黏	53.88 KΩ	5 天後變硬	仍硬化	硬化
2	鹽紙黏土	微弱	硬	不黏	30.25 KΩ	5 天後變硬，表面有鹽分跑出來	仍硬化	有點硬化
3	陶土	很微弱	軟	超黏	13.78 KΩ	2 天後變硬	仍硬化	硬化
4	培樂多	中	超軟	稍黏	7.78KΩ	19 天後表面龜裂，仍有彈性，表面有鹽分	可塑形	可塑形
5	彩泥	中	軟	稍黏	6.06 KΩ	5 天後變硬表面龜裂	有彈性	可塑形
6	樹脂土	微弱	超軟	稍黏	13.77 KΩ	14 天後變硬	有彈性	有點硬化
7	油土	不會亮	超硬	不黏	無法測量	19 天後保持原狀	融化，冷卻後變回原狀	可塑形
8	超輕土	很微弱	超軟	不黏	35.66 KΩ	5 天後變硬像保麗龍	分裂	可塑形
9	麵包土	弱	適中	不黏	13.62 KΩ	12 天後變硬表面龜裂	有彈性	可塑形
10	捏麵人	中	超軟	最黏	5.03 KΩ	14 天後表面變硬，仍有彈性	可塑形	可塑形
11	泡泡土	不會亮	硬	稍黏	399.7 KΩ	2 天後變硬		

(附件三) 參考資料

引用資料	引用來源
濕軟電路 影片	AnnMaire Thomas 談用溼軟電路動手學科學 (2011 年 4 月)。MyOOPS 開放式課程。2012 年 9 月 13 日，取自： http://www.myoops.org/main.php?act=course&id=2351
註 1 鹽黏土	AnnMaire Thomas 談用溼軟電路動手學科學 (2011 年 4 月)。MyOOPS 開放式課程。2012 年 9 月 13 日，取自： http://www.myoops.org/main.php?act=course&id=2351
註 2 捏麵人	捏麵人-材料製作 (無日期)。童玩時光機-經心民俗工藝社。2012 年 10 月 16 日，取自： http://www.fromheart.com.tw/mbantreef.asp?BBanNo=I&MBanNo=I07
註 3 自製黏土	wish6898(2008 年 09 月 08 日)。 DIY 黏土自己做~這樣玩好好玩 。2012 年 10 月 16 日，取自： http://www.wretch.cc/blog/wish6898/10819928
註 4 自製黏土	julieliu928(2010 年 08 月 23 日)。 970908 自製黏土-安全.無毒.創意.親子同樂 。2012 年 10 月 16 日，取自： http://julieliu928.pixnet.net/blog/post/27049422-diy%E9%BB%8F%E5%9C%9F%E8%87%AA%E5%B7%B1%E5%81%9A%EF%BD%9E%E9%80%99%E6%A8%A3%E7%8E%A9%E5%A5%BD%E5%A5%BD%E7%8E%A9%EF%BC%9A%EF%BC%89
註 5 自製黏土	a01897(2010 年 01 月 16 日)。 990116 自製黏土完全不黏手喔!! (有磅秤做法) 。2012 年 10 月 16 日，取自： http://www.wretch.cc/blog/a01897/31789117
註 6 自製黏土	小菜媽(2008 年 11 月 18 日)。 自製黏土麵團 。2012 年 10 月 16 日，取自： http://jst0118.pixnet.net/blog/post/27234297-%E8%87%AA%E8%A3%BD%E9%BB%8F%E5%9C%9F%E9%BA%B5%E7%B3%B0
註 7 捏麵人	ines0322(2010 年 08 月 24 日)。 捏麵人黏土(含糯米粉配方)-無毒.安全(修改後配方) 。2012 年 10 月 16 日，取自： http://www.wretch.cc/blog/ines0322/13408280
註 8 自製黏土	小樺(2009 年 05 月 14 日)。 9804DIY 自製安全黏土 。2012 年 10 月 16 日，取自： http://blog.xuite.net/judy0727/home/23991568
註 9 彩泥	彩泥 (無日期)。百度百科。2012 年 10 月 16 日，取自： http://baike.baidu.com/view/514310.htm
註 10 自製黏土	Denisa(2012 年 05 月 30 日)。 便宜安全黏土 DIY 。2012 年 10 月 16 日，取自： http://mypaper.pchome.com.tw/denisa/post/1322986721
註 11 捏麵人	捏麵人 (無日期)。中華傳統民俗技藝團。2012 年 10 月 16 日，取自： http://www.mfa.org.tw/10_lam.htm

引用圖片	圖片來源
封面 無尾熊捏麵人	http://www.wu-art.com.tw/creation.htm?topic=c&
封面 紅色 LED 燈	http://www.caelusgreenroom.com/2012/04/16/cree-sets-new-rd-performance-record-with-254-lumen-per-watt-power-led/red_led_x5-21/
註 12 (圖 6) 小豬造型濕軟電路	http://courseweb.stthomas.edu/apthomas/SquishyCircuits/PDFs/Squishy%20Animal.pdf
註 13 (圖 104) 9v 電池和 9v 電池扣	http://tinkering.exploratorium.edu/squishy-circuits/

(附件四) 加熱方式比較

	邊煮邊攪拌 (煮)	用滾水沖泡 (泡)	電鍋蒸 (蒸)	放進沸水川燙 (燙)
製作程序	所有材料混合，以小火邊煮邊攪拌。煮到成團狀，倒至灑麵粉的鐵盤揉成黏土。	將鹽放入滾水中，倒入其他材料混合物中攪拌，倒至灑麵粉的鐵盤揉成黏土。	所有材料混合，倒至灑麵粉的鐵盤揉成麵團。放入電鍋中蒸熟。	所有材料混合，倒至灑麵粉的鐵盤揉成麵團。分小塊，放入滾水中煮到浮起來。
製作時間	準備材料：8分00秒 煮麵團：10分00秒 揉麵團：7分00秒 清理收拾：4分00秒 合計時間：29分00秒	準備材料：12分18秒 沖泡麵團：3分30秒 揉麵團：9分44秒 清理收拾：3分02秒 合計時間：28分34秒	準備材料：8分00秒 揉麵團：10分48秒 蒸麵團：23分00秒 (邊蒸邊收拾：7分46秒) 合計時間：41分48秒	準備材料：11分37秒 揉麵團：8分16秒 燙麵團：17分10秒 清理收拾：3分00秒 合計時間：40分03秒
製作時間分析	加熱時間中等，但要不斷攪拌，避免黏鍋。 邊煮邊攪拌很累 ，且鍋子容易移動，需幫忙固定鍋子	加熱時間短， 滾水倒入很省時 。但將水煮到沸騰，需要花額外時間。	加熱時間長，因為要等電鍋蒸熟。但可在 等待電鍋加熱時休息或清理收拾	加熱時間長，因為麵團要分小塊放入沸水，不斷攪拌避免麵團沈下去黏鍋，直到煮到麵團浮起來
加熱方式	辛苦	輕鬆	輕鬆	辛苦
清理收拾	鍋子清洗不易，麵團容易黏鍋	鍋子清理方便，因為麵團不黏。	鍋子清洗不易，麵團容易黏鍋	裝沸水的鍋子很燙，清理時危險
可塑性	容易塑形，觸感軟硬適中	最容易塑形，觸感最軟	不易塑形，觸感太乾。放久會無法黏在一起	不易塑形，觸感太濕、太黏。
LED 亮度	中等 (導電性中等)	最暗，只能亮一顆 LED 燈(導電性差)	很亮 (導電性佳)	很亮 (導電性佳)
製作次數	加熱一次只能製作一顆麵團	加熱一次只能製作一顆麵團	加熱一次能製作多顆不同麵團，方便實驗	加熱一次只能製作一顆麵團
製作份量	適合小量製作	適合小量製作	適合大量製作	適合小量製作
保存效果	熟麵團，存放較久	半生不熟，不易保存	熟麵團，存放較久	熟麵團，存放較久

(附件五) 尋找適合 LED 燈

(一)、研究過程：

原本使用普通 LED 燈進行濕軟電路實驗，但實驗後發現**普通 LED 燈發亮效果不好**。激起我們想尋找更好用的 LED 燈，我們去**電子材料行購買各種 LED 燈**，記錄價錢、型號並繪製長相。以培樂多當高導電黏土，以光感暗箱測量各種 LED 燈在 3、4.5、6、7.5、9v 的亮度數據，整理成表格 (請見「原始記錄資料」)

(三)、研究結果

1. **超高亮 LED 燈 (5mm)** 發亮效果最好，紅、黃色一顆 3 元，白、綠、藍色一顆 7 元，價錢還算合理，我們決定使用其中的**白燈**當作實驗用燈。
2. 各型各色 LED 燈都能透過黏土導電發亮。相同電壓時，燈直徑越大，亮度越低。
3. 透過濕軟電路導電，至少要**電壓 6v** 才能讓 LED 燈發亮效果好。



圖 160：至電子材料行購買各種 LED 燈

【評語】 080812

1. 濕軟電路具有電路佈局與可以和成品外觀結合的好處。
2. 利用自製捏麵人取代市售黏土具有環保及便宜的好處。
3. 利用光感暗箱測定 LED 亮度推論導電度宜可進一步作探討。
4. 自製捏麵人與市售黏土在導電度與電阻性宜可進一步探討。
5. 對於製作成導線部份宜可進一步探討。