

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

佳作

080204

黏土會唱歌—利用自製導電黏土搭配電子材料
製作音樂黏土可行性之研究

學校名稱：臺中市太平區新平國民小學

作者： 小六 王韻涵 小六 陳忻彤 小五 徐侑立 小五 李喜恩	指導老師： 顏弘志 顏淑真
---	-----------------------------

關鍵詞：濕軟電路、音樂黏土、Arduino

摘要

從導電黏土的製作原理，意外發現利用電阻差異製成的音樂鉛筆玩具，於是激發想像力要製成音樂黏土電子琴。本研究企圖尋找製作導電黏土與絕緣黏土條件，並利用材料組合的電阻差異製作音樂黏土電子琴。研究發現，1. 自製導電黏土是可行的，比較不同的電解質，加鹽是比較好的選擇。2. 導電黏土採用中筋麵粉且不需加糯米粉較佳。3. 絕緣黏土的則適合加入糯米粉，並以橄欖油取代水。4. 以導電黏土與絕緣黏土，搭配簡單電子材料可完成發光電路。5. 以 IC NE555P 製作音樂黏土加微量的純水調音，可有效增加黏土發聲音頻範圍。6. 用 arduino 可程式化將電阻值轉換成音頻的方法，能穩定發出固定音階，能製作音樂黏土電子琴。

壹、研究動機

某天我們查資料時看到「濕軟電路」的相關研究，發現黏土可以阻擋電流或讓電流通過，我們突發奇想可以藉由這種特性來設計成安全又好玩的電路玩具，這種玩具一定很好玩。後來我們上網查詢導電黏土和絕緣黏土的製作配方比例，發現製作的材料竟然都是生活中容易取得的，例如：麵粉、糯米粉、鹽、水等。上網查詢黏土的製作方法，並試著跟著網路上的製作步驟做，我們想到如果改變各項材料，或者用量比例，又會產生什麼結果？在查詢導電黏土時，也意外發現音樂鉛筆也是利用鉛筆的導電性(電阻差異)製成的發聲玩具，於是我們想將導電黏土和音樂鉛筆融合為一體，或許可以製成音樂黏土，甚至是音樂黏土電子琴。

貳、研究目的

目的一：了解不同的黏土材料與用量對自製導電黏土性質的影響

實驗一、導電黏土相關文獻探討

實驗二、導電黏土試作與其各項性質觀察

實驗三、不同電解質對於導電黏土性質的影響

實驗四、比較不同的鹽用量對於導電黏土性質的影響

實驗五、比較不同麵粉(低筋、中筋、高筋)對於導電黏土性質的影響

實驗六、比較不同麵粉與糯米粉比例對於導電黏土性質的影響

目的二：了解不同的黏土材料與用量對自製絕緣黏土性質的影響

實驗七、比較不同麵粉與糯米粉比例對於絕緣黏土性質的影響

實驗八、比較不同的橄欖油與水比例對於絕緣黏土性質的影響

實驗九、比較用酒精取代橄欖油對於絕緣黏土性質的影響

目的三：利用絕緣黏土的電阻差異來製作音樂黏土

實驗十、利用導電黏土與絕緣黏土製作發光電路








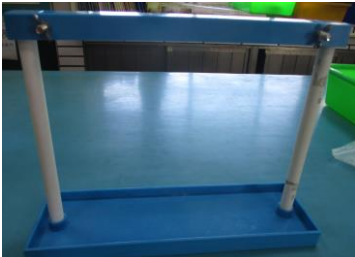

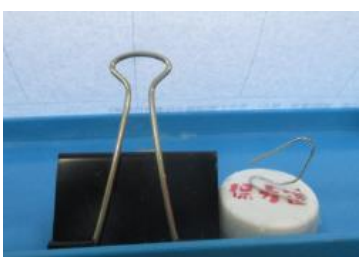
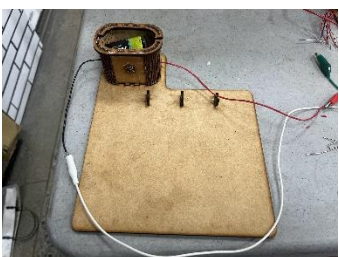
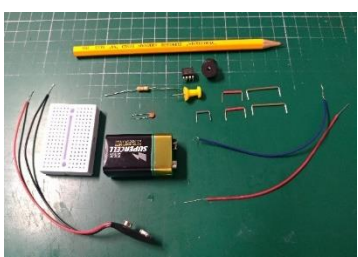

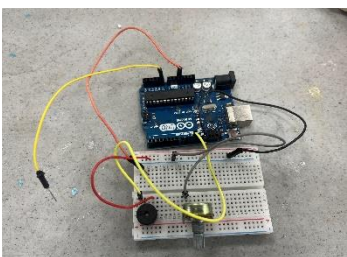
實驗十一、利用 IC NE555P 製作電阻感應發聲器

實驗十二、比較逐步加入不同純水、飽和食鹽水水量對絕緣黏土發聲音頻高低影響

實驗十三、利用絕緣黏土加水配合電腦軟體調音製成黏土電子琴

實驗十四、利用 arduino 可程式化將電阻值轉換成音頻，製作黏土電子琴

參、研究設備與器材

		
<p>高筋、中筋和低筋麵粉</p>	<p>糯米粉、小蘇打粉、鹽</p>	<p>橄欖油、純水、檸檬酸</p>
		
<p>亮度偵測儀、電源供應器</p>	<p>各式螺帽</p>	<p>剪刀、吸管、尺和玻璃棒</p>
		
<p>玻璃片、大小量杯</p>	<p>電子秤和電表</p>	<p>自製黏性測量器</p>
		
<p>自繪百格紙</p>	<p>長尾夾、瓶蓋上黏迴紋針</p>	<p>自製 IC 版電阻發聲器</p>
		
<p>IC NE555P、麵包板、喇叭、電阻、電容、電池…等電子材料</p>	<p>電腦(含 Mblock 程式)、平板(含 Audio/Spectrum Analyzer)</p>	<p>自製 Arduino 可程式電阻發聲器</p>


肆、研究過程與方法

一、實驗設計與流程



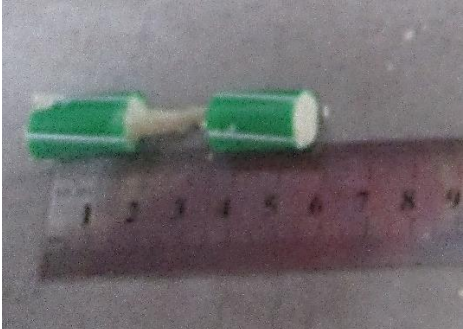

(一) 導電黏土製作

1. 準備好麵粉、鹽和水	2. 將鹽和水混合
	
3. 將鹽水以少量多次加入麵粉裡並混和	4. 將所有鹽水混合且黏土揉到不黏手，即可完成
	

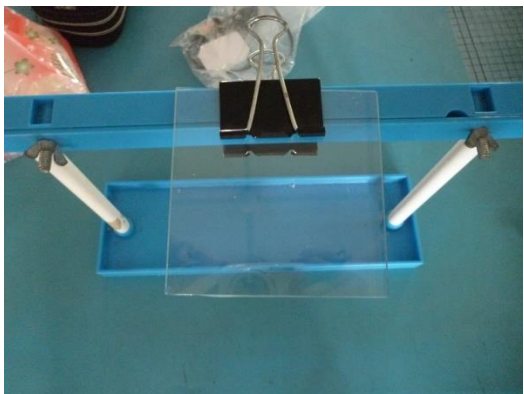
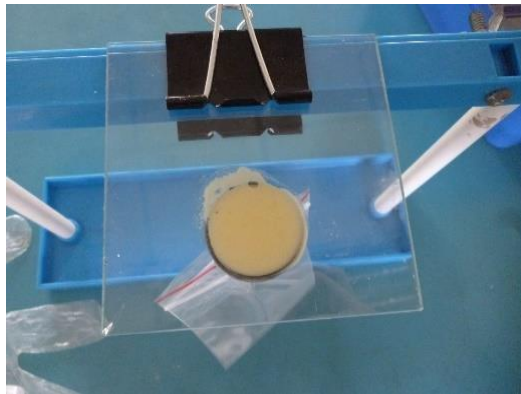
(二) 絕緣黏土製作

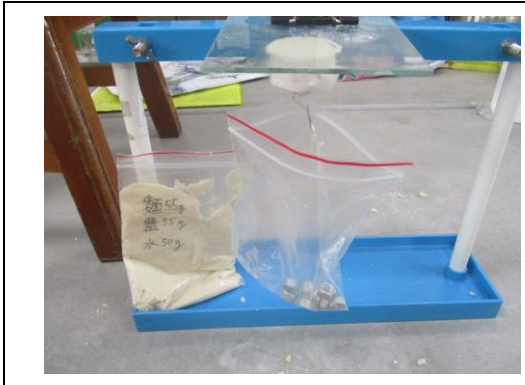
1. 準備好麵粉、糯米粉、橄欖油	2. 將麵粉及糯米粉混合
	
3. 將橄欖油少量多次的加入麵粉中並混和	4. 混合完後，再將極少量純水(或不加水)和黏土揉合即可完成
	

(三) 測量延性

1. 剪取兩個 2 公分的吸管	2. 將兩個吸管並在一起然後塞滿黏土
	
3. 塞滿後，將兩邊的吸管拉開，此時黏土將不斷伸長	4. 當黏土斷裂時，測量黏土拉伸的長度，並記錄
	

(四) 測量黏性

1. 將玻璃片用長尾夾夾在黏性測量器上	2. 將瓶蓋中塞滿黏土，並將瓶蓋黏在玻璃片上，把夾鏈袋掛在迴紋針上
	
3. 慢慢將螺帽放入夾鏈袋中，直到夾鏈袋掉下來，	4. 記錄裝著螺帽的夾鏈袋的重量

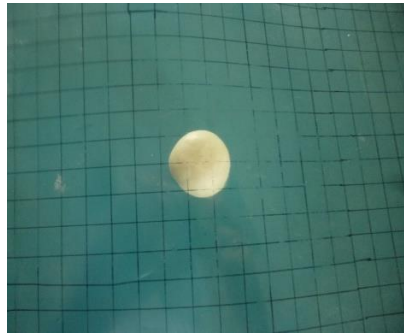


(五) 測量展性

1. 準備 500 克重裝水的量杯和 10g 的黏土



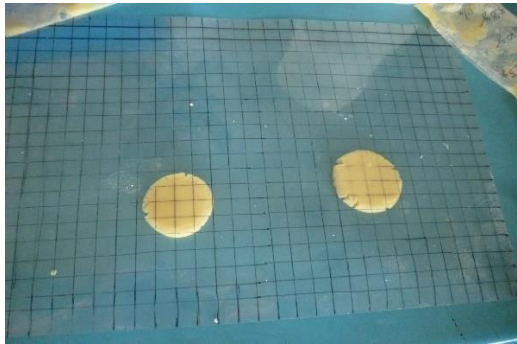
2. 將黏土放在一小格 1 平方公分百格紙下



3. 將量杯放百格紙上並計時五分鐘



4. 五分鐘後計算黏土的面積，並記錄

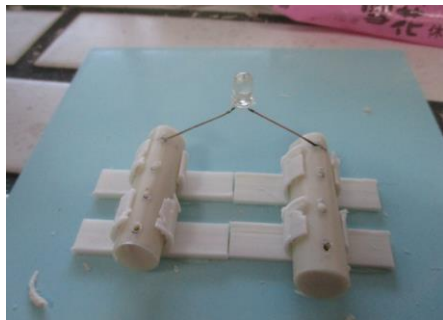


(六) 測量導電性

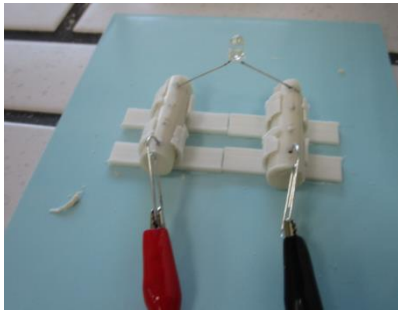
1. 準備大型電表和光線偵測儀



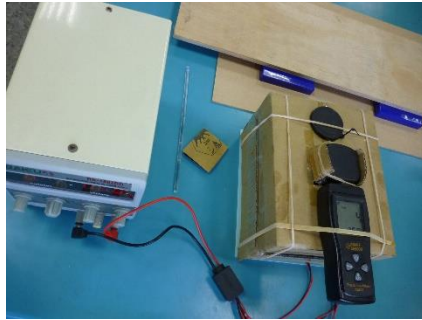
2. 將兩個挖好洞的吸管中間塞滿黏土並固定，然後在第一個洞插上燈泡



3. 再將電表的正負極各接上迴紋針，
再接到吸管上



4. 將光線偵測儀蓋在吸管上方，之後
打開電表並記錄光線數值



(七) 測量電阻

1. 將吸管塞滿黏土



2. 將電表的正負極接在吸管的洞



3. 放置計時器控制時間



4. 打開電表，記錄數值



二、實驗步驟

實驗一、導電黏土相關文獻探討

1. 上網搜尋與導電黏土相關文獻資料
2. 整理資料並與老師、同學討論
3. 依據討論結果撰寫文獻探討

實驗二、導電黏土試作與其各項性質觀察

1. 準備網路上製作導電黏土的相關材料，中筋麵粉 32.5g、純水 25g、鹽 27.5g
2. 將麵粉放置攪拌盆中，依步驟逐步加入水、鹽等材料
3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來

實驗三、不同電解質對於導電黏土性質的影響

1. 中筋麵粉 32.5g 三份、純水 25g 三份，還有檸檬酸 27.5g、鹽 27.5g、小蘇打 27.5g，分成三盆製作導電黏土
2. 將麵粉放置攪拌盆中，分成三盆依步驟逐步加入水、鹽等材料
3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來

實驗四、比較不同的鹽用量對於導電黏土性質的影響

1. 準備中筋麵粉 32.5g、純水 25g、12.5g 中筋麵粉三份，還有 20g、27.5g 的鹽各一份，分成三盆製作導電黏土
2. 將麵粉放置攪拌盆中，分成三盆依步驟逐步加入水、檸檬酸、鹽、小蘇打等材料
3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來

實驗五、比較不同麵粉(低筋、中筋、高筋)對於導電黏土性質的影響

1. 準備低筋、中筋、高筋麵粉各 32.5g，分成三盆製作導電黏土
2. 將麵粉放置攪拌盆中，分成三盆依步驟逐步加入水、不同分量的鹽等材料
3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來

實驗六、比較不同麵粉與糯米粉比例對於導電黏土性質的影響

1. 準備純水 25 g、鹽 27.5g、中筋麵粉 32.5g、27.5g、22.5g、糯米粉 0g、5g、10g
2. 將麵粉放置攪拌盆中，分成三盆依步驟逐步加入水、不同分量的糯米粉等材料
3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來

實驗七、比較不同麵粉與糯米粉比例對於絕緣黏土性質的影響

1. 純水 12.5g、油 12.5 g、中筋麵粉 27.5g、22.5g、17.5g、糯米粉 5g、10g、15g
2. 將麵粉放置攪拌盆中，分成三盆依步驟逐步加入水、不同分量的糯米粉等材料
3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來

實驗八、比較不同的橄欖油與水比例對於絕緣黏土性質的影響

1. 準備純水 10g、5g 中筋麵粉 27.5g、糯米粉 5g、橄欖油 12.5 g、18g、20g
2. 將麵粉放置攪拌盆中，分成三盆依步驟逐步加入水、不同分量的糯米粉等材料
3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來

實驗九、比較不同的酒精與水比例對於絕緣黏土性質的影響

1. 準備中筋麵粉 22.5g、糯米粉 10g、酒精 20g、橄欖油 20g
2. 將麵粉放置攪拌盆中，分成兩盆依步驟各自逐步加入酒精或橄欖油，與不同分量的糯米粉等材料
3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來

實驗十、利用導電黏土與絕緣黏土製作發光電路

1. 準備自製導電黏土與絕緣黏土
2. 發會創意，設計並製作發光電路
3. 完成後，拍照並記錄下來

實驗十一、利用 IC NE555P 製作電阻感應發聲器

1. 準備鉛筆 1 枝、麵包板 1 片、IC 晶片 1 個、電阻 1 個、電容 1 個、喇叭 1 個、9V 電池扣 1 個、開關 1 個、鉛筆 1 枝、電線數條
2. 依照網路搜尋到的音樂鉛筆相關電路圖在麵包板上組裝起來
3. 完成後，測試音樂鉛筆依畫線長短是否能發出高低音並記錄下來

實驗十二、比較逐步加入不同純水、飽和食鹽水水量對絕緣黏土發聲音頻高低影響

1. 準備絕緣黏土 5g 三個，還有純水、飽和食鹽水、導電黏土各 10g
2. 將三個絕緣黏土分別加入純水、飽和食鹽水、導電黏土各 0.1g，搓揉混和後兩端連接 IC 電阻感應發聲器，並利用平板軟體 Audio / Spectrum Analyzer 測量音頻改變
3. 每次測量完後，再各增加 0.1g 的份量並量測音頻後記錄下來，重複數次直至無法測量音頻

實驗十三、利用絕緣黏土加水配合電腦軟體調音製成黏土電子琴

1. 準備絕緣黏土 5g 五個，還有純水 10g
2. 將五個絕緣黏土分別加入微量純水(用手指沾水)，搓揉混和後兩端連接 IC 電阻感應發聲器，並利用電腦軟體 MUSICCA 測量音階，並依指示調音
3. 每次調音完後，再各增加微量的純水並量測音頻後記錄下來，重複數次直至無法測量調音

實驗十四、利用 arduino 可程式化將電阻值轉換成音頻，製作黏土電子琴

1. 利用 arduino UNO 板與 Mblock 圖形化撰寫程式，完成簡單電阻感應發聲裝置
2. 準備絕緣黏土 5g 五個，還有純水 10g，將五個絕緣黏土分別加入純水各 0.1g，搓揉混和後兩端連 arduino 電阻感應發聲器，依顯示電阻範圍進行加水調整，改變音調
3. 直至五個黏土電阻值恰在程式設定的五個範圍內，此時便能穩定發音

伍、研究結果

實驗一、導電黏土相關文獻探討

一、導電黏土(濕軟電路)

美國機械工程師 AnnMaire Thomas 她非常認同自己動手做的學習方式，某天，她想到黏土可以跟電學做結合，於是她花了很長一段時間研究不同的黏土配方。濕軟電路就是將導電黏土和絕緣黏土做結合讓 LED 燈發亮產生電路，她使用的材料都是生活中容易取得的，而且安全又無毒。黏土的主要成分為麵粉、糯米粉、水、植物油、鹽。

二、電傳導

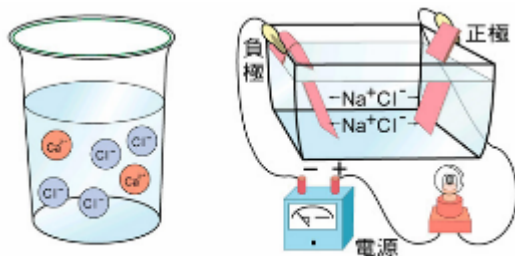
擁有電荷的粒子會在介質內運動，這些粒子稱為電荷載子，它們的運動產生了電流。電流的運動受到電場的影響外，也受到不同的物質電荷傳輸的物理參數不同影響。這些物理參數不同物質也形成電傳導性的不同。

三、電阻

電阻是電流通過一個物體的阻礙能力，其方程式 $V=I/R$ 。其中， R 為電阻， V 為物體兩端的電壓， I 為通過物體的電流。假設這物體具有均勻截面面積，則其電阻與電阻率、長度成正比，與截面面積成反比。

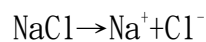
四、電解質(離子液體)

電解質 (electrolyt) 是指在水溶液或熔融狀態可以產生自由離子而導電的化合物。通常指在溶液中導電的物質，而固態可導電的物質不算電解質。這包括大多數可溶性鹽、酸和鹼。在水溶液電解質中，電流是由帶電的離子的流動產生，因此液體的電阻很受鹽的濃度所影響。譬如蒸餾水是絕緣體，但鹽水就是很好的導電體 (引自維基百科)。



氯化鈉水溶液導電的原理

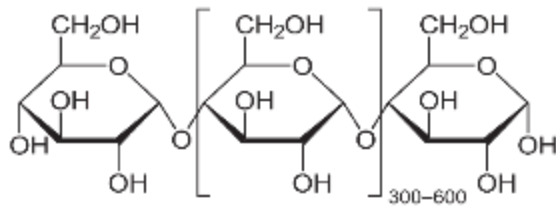
左圖說明氯化鈉如何在水中解離並導電



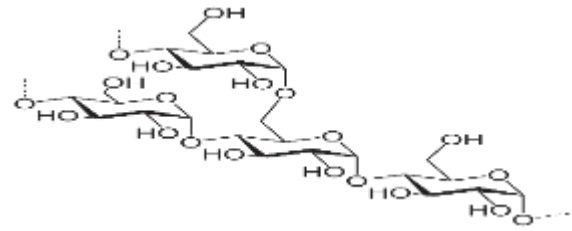
圖片引自：Automing 的部落格－電離學說

五、直鏈與支鏈澱粉

直鏈澱粉 (amylose)，又稱糖澱粉，是一種由葡萄糖組成的線性聚合物，從結構上來講，支鏈澱粉 (Amylopectin) 又稱膠澱粉或澱粉精，是一個具有樹枝形分支結構的多醣；相對於直鏈澱粉，結構較不規則，整體呈球狀。相對分子質量較大，水溶性比直鏈澱粉更差，要更高溫才開始溶解，形成的溶液黏度更大(引自維基百科)。



直鏈澱粉由 NEUROtiker - 自己的作品, 公有領域



支鏈澱粉由 NEUROtiker - 自己的作品, 公有領域

六、音樂鉛筆製作方法

網路上是利用鉛筆的頂端裝置小喇叭，藉由人體或鉛筆中的石墨當成導電的中介物質，進而發出音樂。一般的喇叭得接上電才能發聲。設計的電子音樂鉛筆，則以人體加上石墨當成電路，利用電池也能發出聲響。當操作鉛筆時，電流經由石墨流進鉛筆上方的喇叭，原本普通的鉛筆化身為樂器。至於電子音樂鉛筆可演奏出什麼樣的音樂？會根據鉛筆畫線長短的導電性質不同，及畫出的圖形深淺，造成不同的電阻，發出不同聲響。

綜合討論：

不管是導電黏土，或者音樂，都是利用物質的導電性質不同，也就是電阻不同來實現導電或不導電，或者因電阻大小而造成導電程度不同來完成電路，來使 LED 燈發光或 IC 驅動喇叭發音。

實驗二、導電黏土試作與其各項性質觀察

使用材料：中筋麵粉 32.5g、鹽 27.5g、水 25g

表一、導電黏土延性、展性、黏性的測量預試結果

實驗次數(次)	1	2	3	4	5	平均值	標準差
黏土性質							
延性(公分)	2.0	2.0	2.5	2.6	2.0	2.20	±0.30
黏性(公克)	74.70	63.00	68.50	81.40	76.90	77.90	±7.21
展性(平方公分)	11.0	10.0	11.0	11.0	11.0	11.20	±0.45

表二、導電黏土電阻測量預試結果

實驗次數(次)	1	2	3	4	5	平均值	標準差
距離(公分)							
1	129	135	138	133	137	134.4	±3.6
3	510	516	505	514	526	517.4	±16.3
5	1041	1060	1040	1026	1043	1042	±26.2

單位：歐姆

表三、導電黏土導電性(LED 亮度)測量預試結果

距離(公分)	實驗次數(次)					平均值	標準差
	1	2	3	4	5		
1	98	107	101	102	103	102.2	±3.3
2	88	89	80	87	89	86.6	±3.8
3	40	39	41	40	47	41.4	±3.2

亮度單位：流明(lm)

實驗結果：

可以順利製作導電黏土並測量延性、展性與黏性等各項性質且標準差不大(如表一、二、三)，發現電阻會隨黏土長度增加，導電性則遞減(如表二、表三)，這與無機物電阻的性質相同。

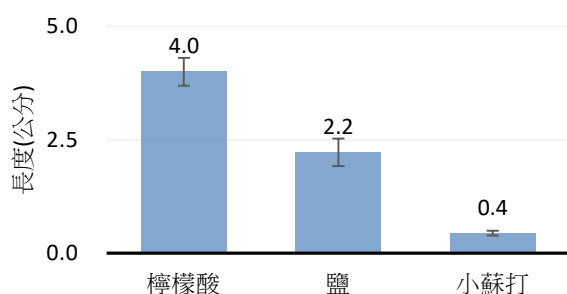
實驗三、不同電解質對於導電黏土性質的影響

使用材料：中筋麵粉 32.5g 三份、純水 25g 三份、檸檬酸 27.5g、鹽 27.5g、小蘇打 27.5g

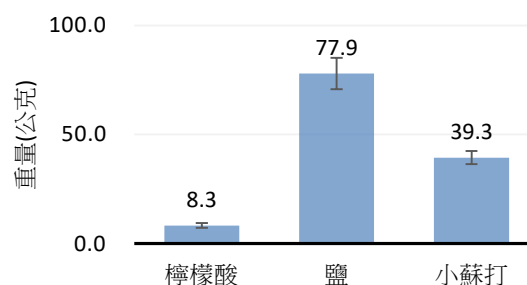
表四、不同電解質對於導電黏土性質的影響

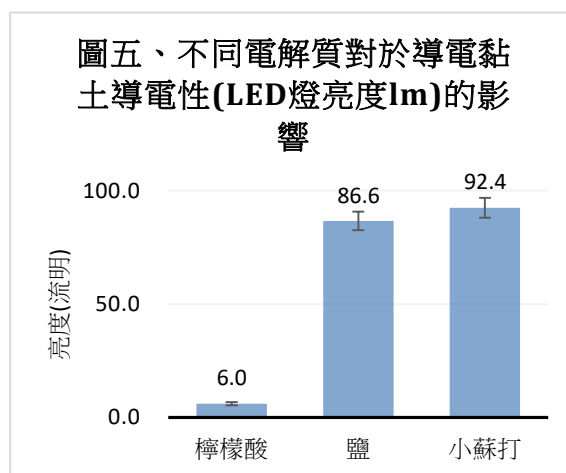
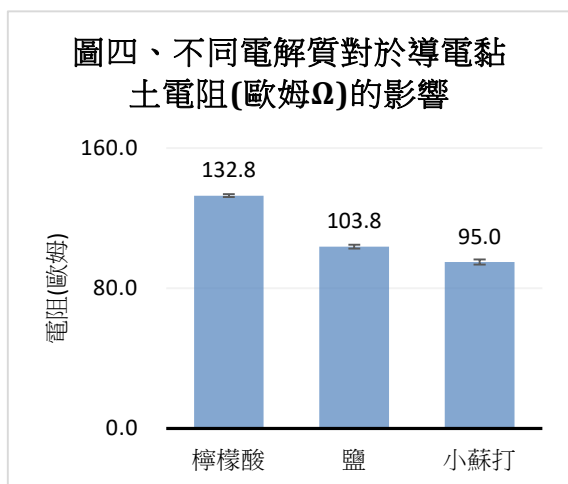
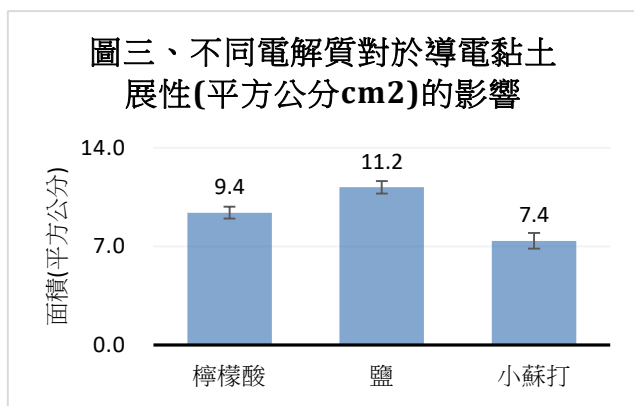
黏土性質	檸檬酸 27.5g		鹽 27.5g		小蘇打 27.5g	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
延性(公分 cm)	4.0	0.3	2.2	0.3	0.4	±0.1
黏性(公克 g)	8.30	1.07	77.90	7.21	39.30	±7.21
展性(平方公分 cm ²)	9.4	0.4	11.2	0.4	7.4	±0.5
電阻(歐姆Ω)	1333.0	0.7	1042.0	4.1	955.2	±4.3
導電性(LED 燈亮度 lm)	6.0	9.0	86.6	10.7	92.4	±15.9

圖一、不同電解質對於導電黏土延性(公分cm)的影響



圖二、不同電解質對於導電黏土黏性(公克g)的影響





實驗結果：

結果顯示，小蘇打與鹽有較好的導電性，檸檬酸會增加電阻(如圖四、五)。參考黏土其他的性質，加鹽的黏土有較好展性與黏性(如圖二、三)，但加小蘇打則有最差的延性與展性(如圖一、三)，所以加入鹽的性質比加入小蘇打與檸檬酸在各項數值上表現在製作導電黏土上較為適中。

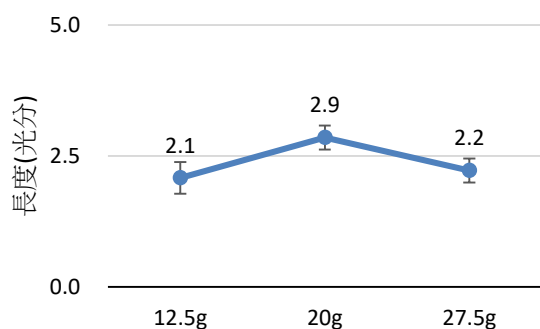
實驗四：比較不同的鹽用量對於導電黏土性質的影響

使用材料：中筋麵粉 32.5g 三份、純水 25g 三份、鹽 12.5g、20g、27.5g

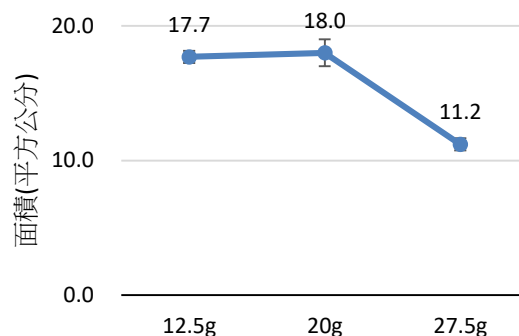
表五、比較不同的鹽用量對於導電黏土性質的影響

黏土性質	鹽的重量(公克)		12.5g		20g		27.5g	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
延性(公分 cm)	2.1	0.3	2.9	0.2	2.2	±0.2		
黏性(公克 g)	131.6	7.21	66.7	5.72	77.9	±6.27		
展性(平方公分 cm ²)	17.7	0.4	18.0	1.0	11.2	±0.4		
電阻(歐姆 Ω)	103.8	3.8	94.8	1.6	77.4	±2.9		
導電性(LED 燈亮度 lm)	41.6	0.4	85.0	0.4	86.6	±0.5		

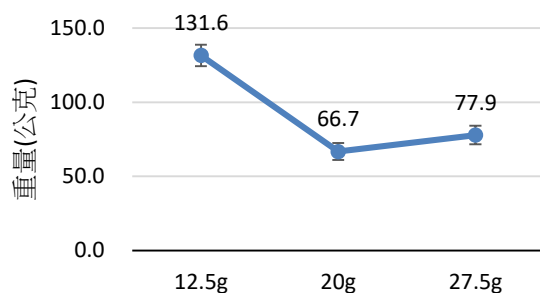
圖六、不同鹽量對於導電黏土延性的影響(公分cm)



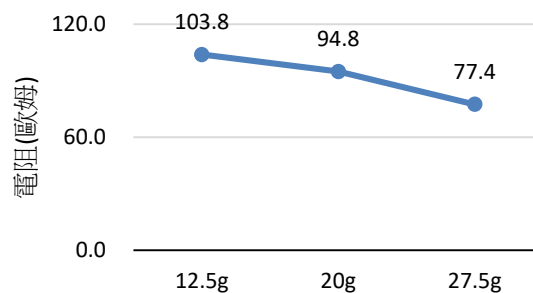
圖七、不同鹽量對於導電黏土展性的影響(平方公分cm²)



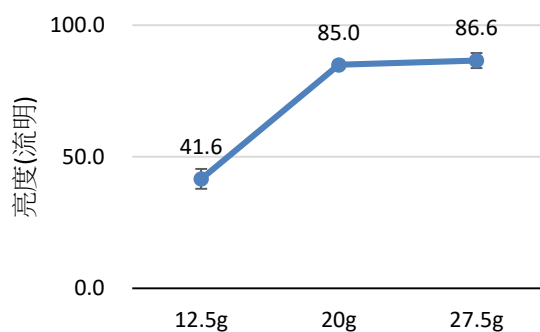
圖八、不同的鹽用量對於導電黏土黏性的影響 (公克g)



圖九、不同的鹽用量對於導電黏土電阻的影響 (歐姆Ω)



圖十、不同的鹽用量對於導電黏土導電性的影響(LED燈亮度Im)



實驗結果：

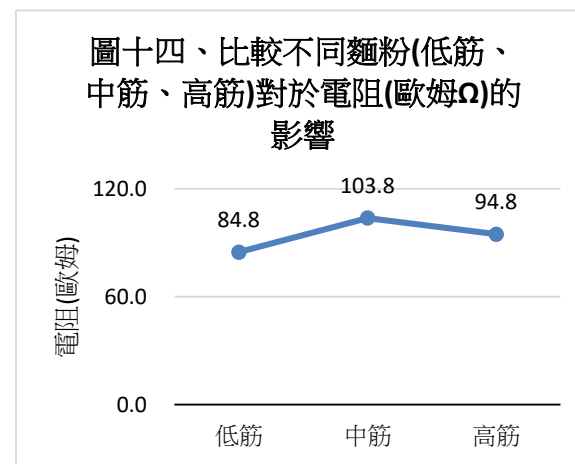
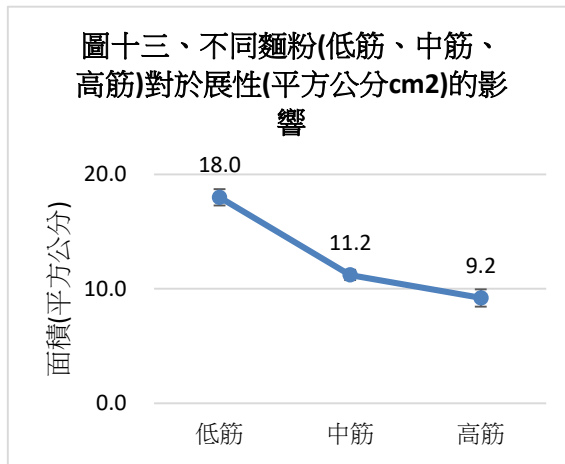
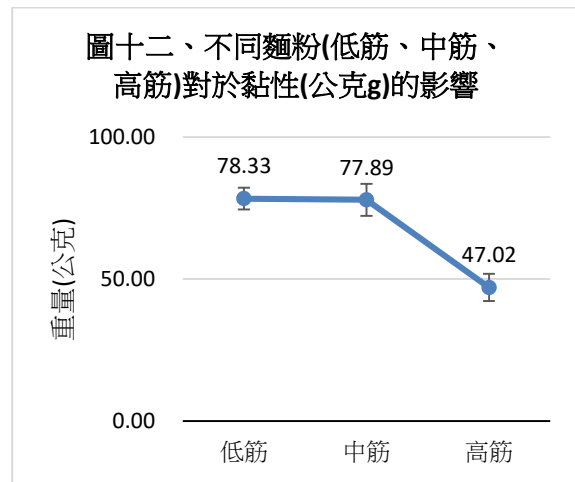
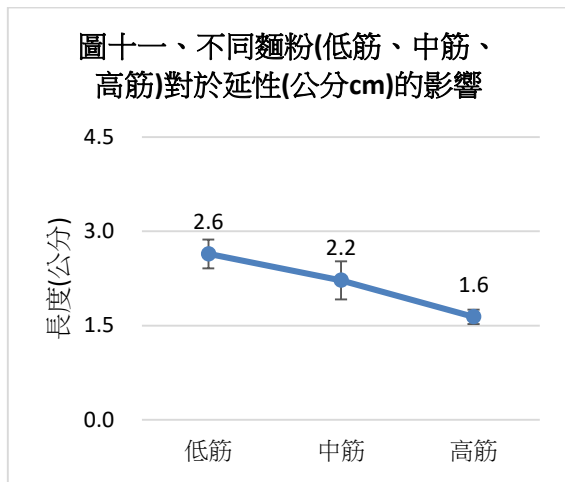
結果發現，由於鹽在水中可以完全解離，是極佳的電解質，增加鹽的量可以明顯降低黏土的電阻，增加黏土的導電性(如圖九、十)，但過多的鹽也會降低黏土的黏性與展性(如圖七、八)。我們在文獻中也發現食鹽影響麵團的性質，主要機理是鹽的滲透作用，即鹽使麵粉中蛋白質的一部分水滲出，產生沉澱，凝固變性，從而使其質地變密增加彈力。

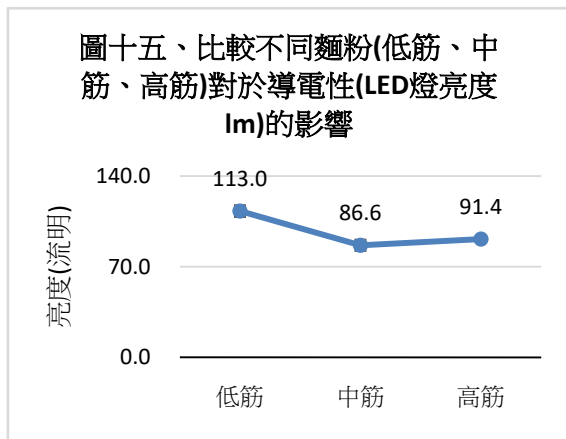
實驗五：比較不同麵粉(低筋、中筋、高筋)對於導電黏土性質的影響

使用材料：低筋、中筋、高筋麵粉各 32.5g、純水 25g 三份、鹽 27.5g 三份

表六、比較不同麵粉(低筋、中筋、高筋)對於導電黏土性質的影響

黏土性質	麵粉種類		低筋		中筋		高筋	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
延性(公分 cm)	2.6	0.2	2.2	0.3	1.6	±0.1		
黏性(公克 g)	78.3	0.06	77.9	7.21	47.0	±1.13		
展性(平方公分 cm ²)	18.0	0.7	11.2	0.4	9.2	±0.8		
電阻(歐姆 Ω)	84.8	0.8	103.8	0.4	94.8	±0.8		
導電性(LED 燈亮度 1m)	20.5	6.8	86.6	4.3	132.2	±6.7		





實驗結果：

結果顯示，隨著麵粉從低筋、中筋，到高筋所製成的導電黏土其黏性、展性、延性逐漸降低(如圖十一、十二、十三)，電阻微幅升高，導電性降低一點(如圖十四、十五)。這可能因為蛋白質並不導電，麵粉中的蛋白質含量提升會生高一些電阻。

	低筋粉	中筋粉	高筋粉
蛋白質含有量	6.5%~8.5%	8.0%~12.0%	11.5%~13.5%

引自：oceana 網站麵粉大比較

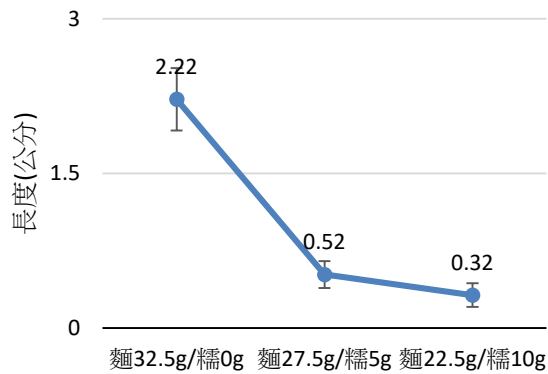
實驗六：比較不同麵粉與糯米粉比例對於導電黏土性質的影響

使用材料：純水 25g、鹽 27.5g、中筋麵粉 32.5g、27.5g、22.5g、糯米粉 0g、5g、10g

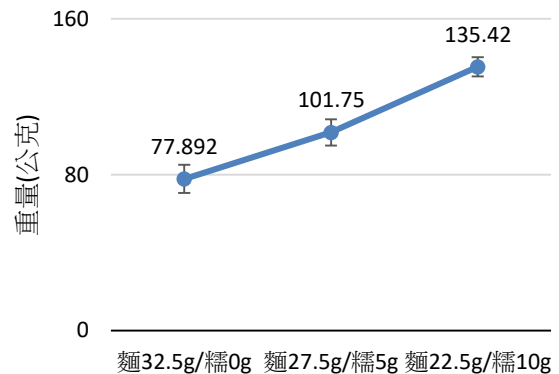
表七、比較不同麵粉與糯米粉比例對於導電黏土性質的影響

麵粉與糯米粉 不同比例	麵粉 32.5g 糯米粉 0g		麵粉 27.5g 糯米粉 5g		麵粉 22.5g 糯米粉 10g	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
黏土性質						
延性(公分 cm)	2.22	0.3	0.52	0.1	0.32	±0.1
黏性(公克 g)	77.892	7.21	101.75	6.71	135.42	±4.99
展性(平方公分 cm ²)	11.2	0.4	7.8	0.6	6.6	±1.5
電阻(歐姆 Ω)	103.8	4.1	119	5.9	127.6	±5.0
導電性(LED 燈亮度 lm)	86.6	0.4	43.22	1.2	36.6	±0.9

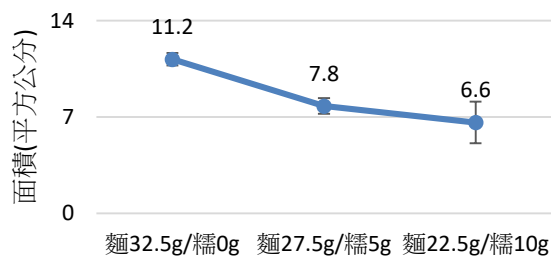
圖十六、比較不同的麵粉與糯米粉比例對於延性(公分cm)的影響



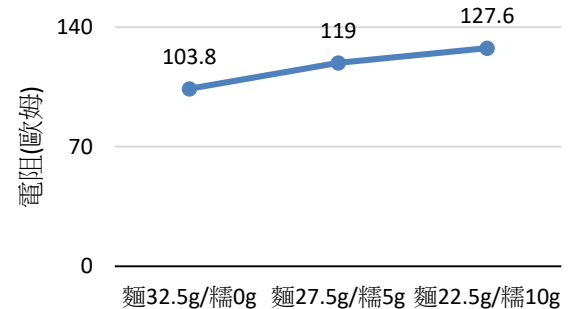
圖十七、比較不同的麵粉與糯米粉比例對於黏性(公克g)的影響



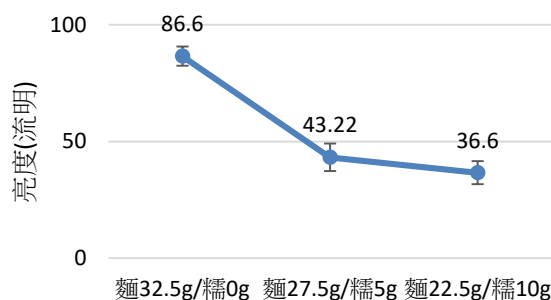
圖十八、比較不同的麵粉與糯米粉比例對於展性(平方公分cm²)的影響



圖十九、比較不同的麵粉與糯米粉比例對於電阻(歐姆Ω)的影響



圖二十、比較不同的麵粉與糯米粉比例對於導電性(LED燈亮度lm)的影響



實驗結果：

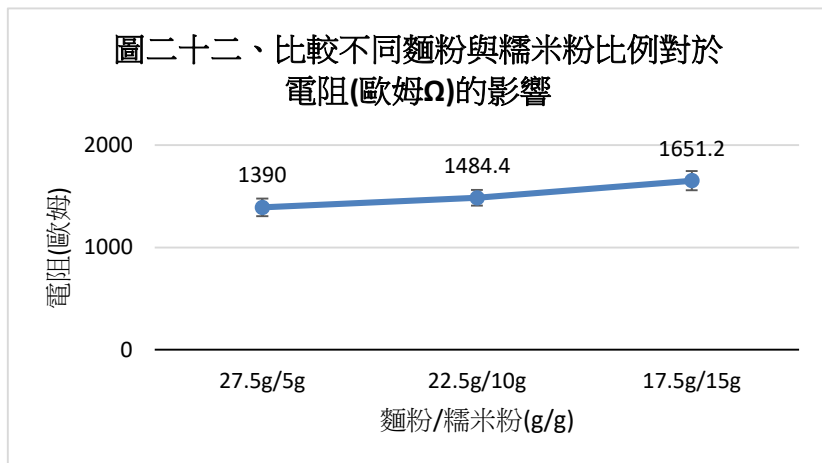
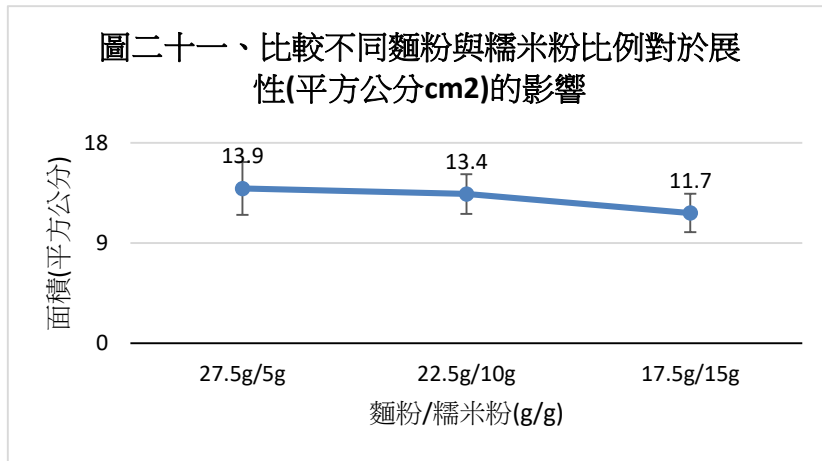
結果顯示，增加糯米粉的比例可以增加黏土的黏性(如圖十七)，但會降低延性與展性(如圖十六、十八)，也會提升電阻，降低導電性(如圖十九、二十)。這可能是因為跟一般麵粉含有較多的直鏈澱粉不同，糯米粉含有較多的支鏈澱粉，水解後會增加黏土的黏性。另外支鏈澱粉較直鏈澱粉多酚支、結構複雜、分子量大，也可能增加電子在黏土中流動的阻力。

實驗七：比較不同麵粉與糯米粉比例對於絕緣黏土性質的影響

使用材料：純水 12.5g、油 12.5 g、中筋麵粉 27.5g、22.5g、17.5g、糯米粉 5g、10g、15g

表八、比較不同麵粉與糯米粉比例對於絕緣黏土性質的影響

黏土性質	麵粉 27.5g 糯米粉 5g		麵粉 22.5g 糯米粉 10g		麵粉 17.5g 糯米粉 15g	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
延性(公分 cm)	0.8	±0.47	0.64	±0.48	0.54	±0.52
黏性(公克 g)	19.6	±6.0	25.8	±4.5	33.2	±5.1
展性(平方公分 cm ²)	13.9	±2.4	13.4	±0.4	11.7	±1.7
電阻(歐姆 Ω)	1390	±85.5	1484.4	±75.9	1651.2	±93.6
導電性(LED 燈亮度 1m)	NA	NA	NA	NA	NA	NA



實驗結果：

結果顯示，絕緣黏土的黏性、延性、導電性都相較導電黏土下降很多(如表八)，若減少麵粉增加糯米粉的比例，會略為增加黏土的電阻、黏性，減少黏土的展性(如圖二十一、二十二)。這是因為糯米粉數與支鏈澱粉，其支鏈分岔連結的特性較直鏈澱粉(麵粉)有更大的黏性，也較容易成團。

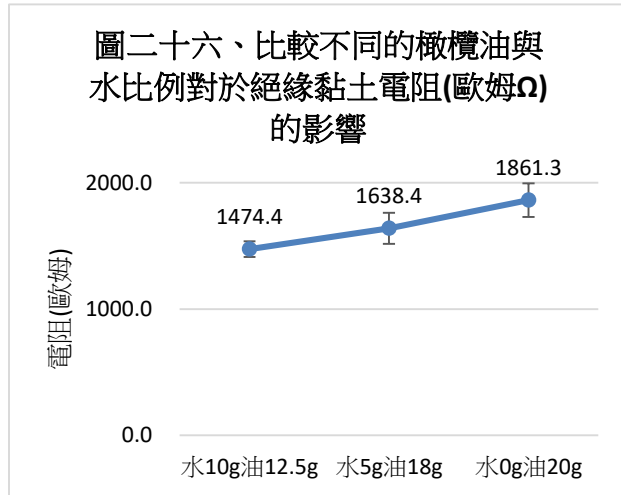
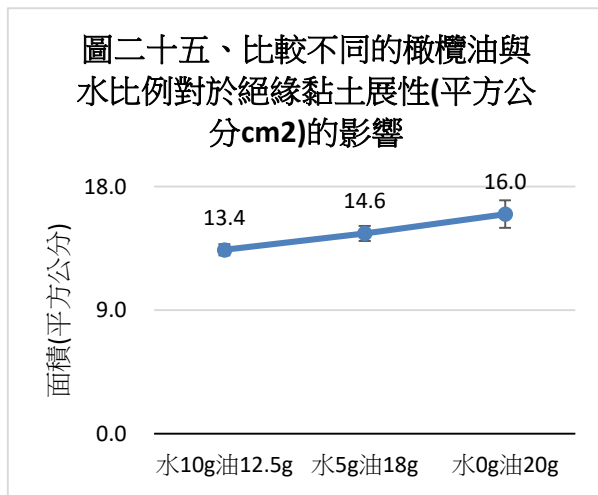
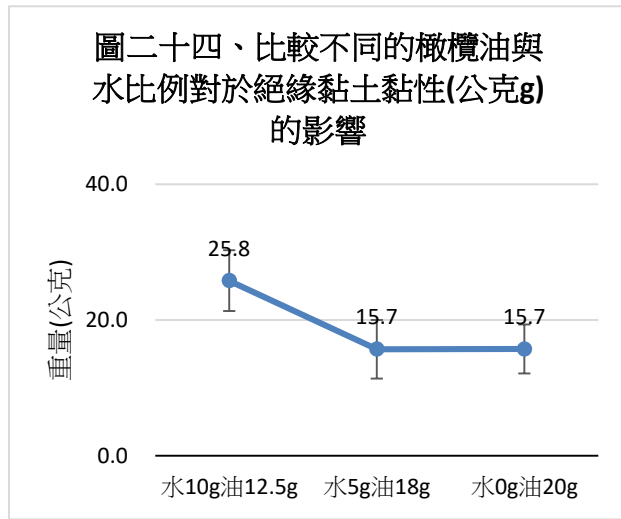
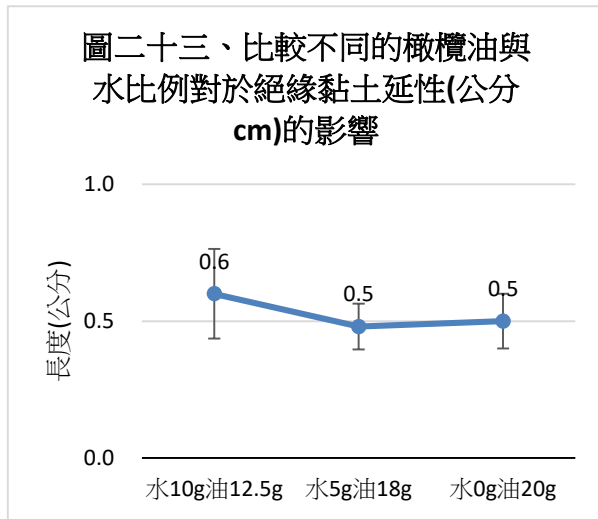
實驗八、比較不同的橄欖油與水比例對於絕緣黏土性質的影響

使用材料：純水 10g、5g 中筋麵粉 22.5g、糯米粉 5g、橄欖油 12.5 g、18g、20g

表九、比較不同的橄欖油與水比例對於絕緣黏土性質的影響

黏土性質	油與水的比例		水 10g、油 12.5g		水 5g、油 18g		水 0g、油 20g	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
延性(公分 cm)	0.6	±0.5	0.5	±0.1	0.5	±0.1	0.5	±0.1
黏性(公克 g)	25.8	±4.5	15.7	±4.3	10.9	±3.6	10.9	±3.6
展性(平方公分 cm ²)	13.4	±0.4	14.6	±0.5	16.0	±1.0	16.0	±1.0
電阻(歐姆 Ω)	1474.4	±61.6	1638.4	±122.7	1861.3	±30.4	1861.3	±30.4
導電性(LED 燈亮度 1m)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

附註：電阻受限於儀器只能測至 2000 歐姆(Ω)



實驗結果：

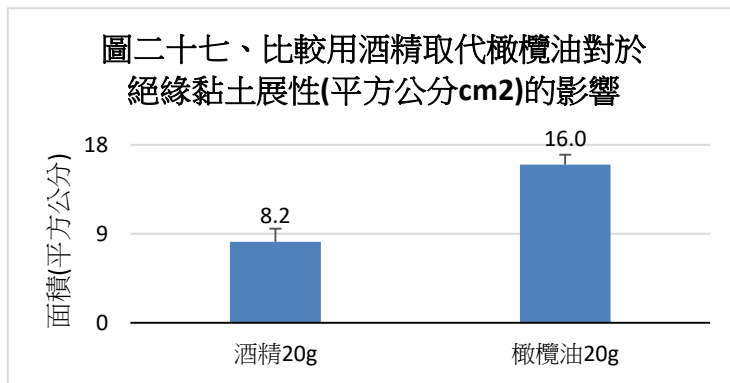
結果顯示，不斷增加橄欖油比例直到取代水，黏土的黏性明顯降低(如圖二十四)，而電阻則明顯上升(如圖二十六)。因為物質無法在油中解離而導電，當油取代水之後，黏土中的水分很少，自然黏土的導電性大大降低。

實驗九、比較用酒精取代橄欖油對於絕緣黏土性質的影響

使用材料：中筋麵粉 22.5g、糯米粉 10g、酒精 20g、橄欖油 20g

表十、比較不同的酒精與水比例對於絕緣黏土性質的影響

油或酒精	酒精 20g		油 20g	
	平均值	標準差	平均值	標準差
黏土性質				
延性(公分 cm)	0.44	±0.1	0.5	±0.1
黏性(公克 g)	NA	NA	10.9	±3.62
展性(平方公分 cm ²)	8.2	±1.3	16.0	±1.0
電阻(歐姆 Ω)	1855.25	±119.1	1861.3	±133.2
導電性(LED 燈亮度 1m)	NA	NA	NA	NA



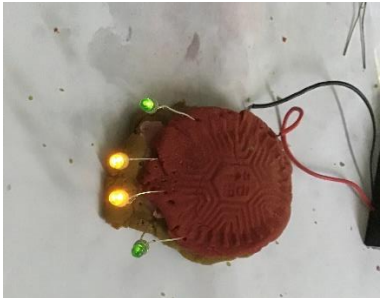
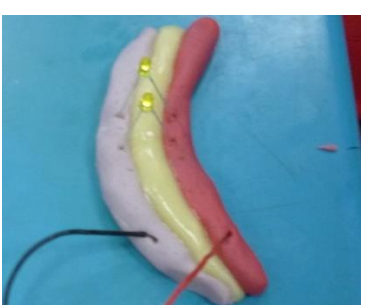
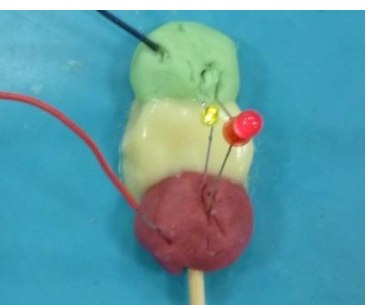



實驗結果：

因為酒精如同油一樣，屬於無法導電的液體。於是我們想以酒精不導電的性質取代橄欖油來製作絕緣黏土，其製作出來的絕緣黏土性質雖然相近(如表十)，只有展性略有差異(如圖二十七)。實際製作過程中酒精製作絕緣黏土不易成型，成功率低。且因酒精較橄欖油容易揮發，製作出來的黏土在常溫下，容易乾裂成粉狀。相反的利用橄欖油製作的絕緣黏土則較容易保存。

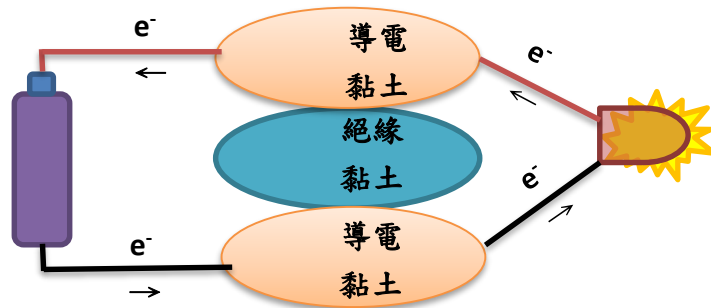
實驗十：利用導電黏土與絕緣黏土製作發光電路

表十一、利用導電黏土與絕緣黏土製作發光電路

1. 大腸包小腸	2. 香甜烤丸子	3. 福氣夾心餅
		
		

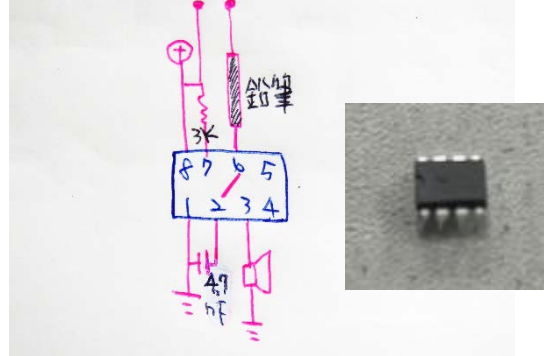
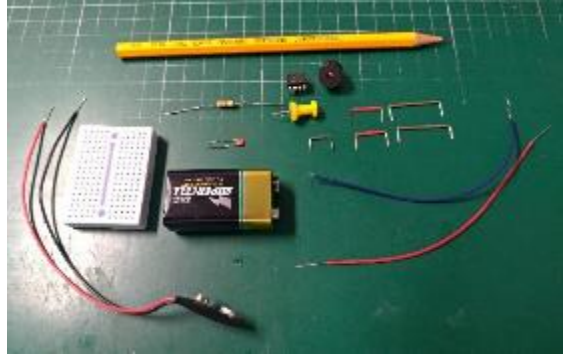
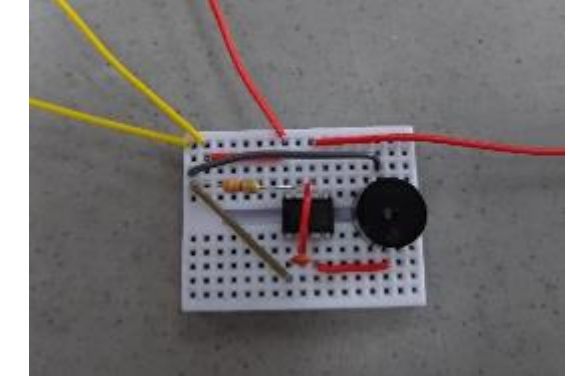
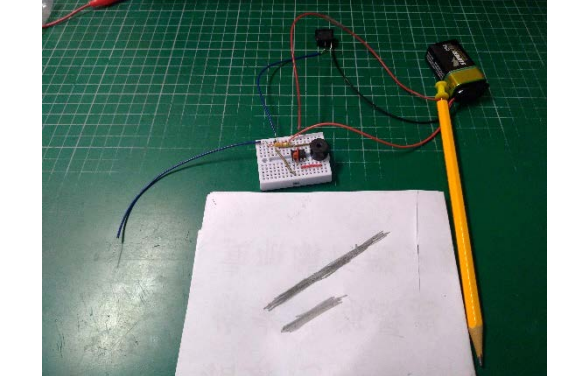
實驗結果：

結果顯示，導電黏土能任意塑形變化，且絕緣黏土能有效隔絕電路。依照導電黏土中間以絕緣黏土隔絕方式避免短路，能有效製作發光電路。



實驗十一：利用 IC NE555P 製作電阻感應發聲器(音樂鉛筆)

表十二、音樂鉛筆製作材料與方法

<p>電路圖：</p>	<p>材料：</p>
<p>引自：林宣安老師_創意教具DIY</p>	<p>鉛筆1枝、麵包板1片、IC晶片1個、電阻1個、 電容1個、喇叭1個、9V電池扣1個、開關1個、 鉛筆1枝、電線數條</p>
	
<p>完成圖：</p>	<p>測試：</p>
	

實驗結果：

結果顯示，利用網路上所搜尋到音樂鉛筆的電路圖，我們順利利用 IC NE555P 完成音樂鉛筆製作，透過鉛筆畫線距離長短的電阻差異，可以發出不同音階(音頻)，畫線較長時聲音較低，畫線較短時聲音較高。顯示此 IC 電子裝置發音高低確實與電阻大小有關。

實驗十二：比較比較逐步加入不同純水、飽和食鹽水與導電黏土對絕緣黏土發聲音頻高低影響



Audio / Spectrum Analyzer

Loop-Sessions.LLC.

專為 iPad 設計

★★★★★ 5.0 • 10 則評分

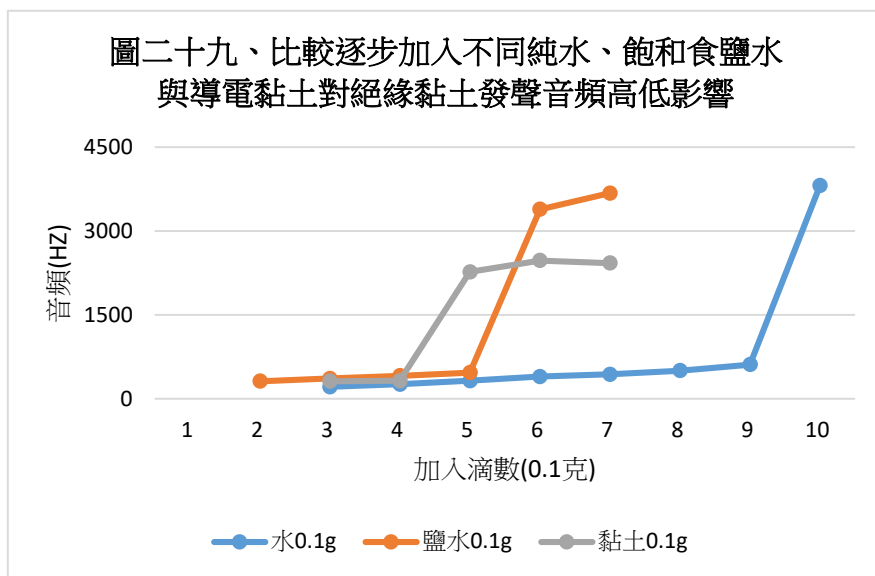
免費 · 提供 App 內購買

圖二十八、免費聲音頻率分析手機 APP 軟體圖像(Audio / Spectrum Analyzer)

表十三、比較逐步加入不同純水、飽和食鹽水與導電黏土對絕緣黏土發聲音頻高低影響

加入重量(g) 材料	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1
水	NA	NA	215	260	323	399	438	504	613	3816	NA
鹽水	NA	314	363	412	469	3391	3678	NA	NA	NA	NA
黏土	NA	NA	316	325	2271	2474	2429	NA	NA	NA	NA

單位：赫茲(Hz)



單位：赫茲(Hz)

實驗結果：

我們試圖加入可以增加導電的物質，例如水、鹽、導電黏土，逐步增加絕緣黏土的導電性，使得 IC 電阻發聲器因電阻降低，音頻逐漸升高，並分析其升高的方式。結果顯示，利用加入鹽和導電黏土每次各 0.1 克的方式，雖能增加音頻(Hz)，但很快變升到極高音頻，並不適合用來調音。而使用 0.1 克的水逐步加在絕緣黏土中，可以緩慢增加音頻 200~600 赫茲(Hz)，此範圍恰好在低音 Do 到中音 Re 之間。

音階	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Do	Do [#]	Re	Re [#]	Mi	Fa	Fa [#]	So	So [#]	La	La [#]	Si
低音	頻率	262	277	294	311	330	349	370	392	415	440	464	494
	簡譜	1̇		2̇		3̇	4̇		5̇		6̇		7̇
中音	頻率	523	554	587	622	659	698	740	784	831	880	932	988
	簡譜	1		2		3	4		5		6		7
高音	頻率	1046	1109	1175	1245	1318	1397	1480	1568	1661	1760	1865	1976
	簡譜	1̇		2̇		3̇	4̇		5̇		6̇		7̇

圖三十、C 調音階—頻率對照圖

圖片引自：wordpress

實驗十三、利用絕緣黏土加水配合電腦軟體調音製成黏土電子琴

實驗方法：




我們使用在線調音器 MUSICCA，當黏土發聲時測量最接近的音階



圖三十一、電腦在線調音器 MUSICCA 軟體圖像

引自：musicca 網站

表十四、利用絕緣黏土加水製作音樂黏土電子琴

		實驗一	實驗二	實驗三
實驗照片				
黏土音頻				
低 ↑ ↓ 高	黏土一	升 C	C	升 C
	黏土二	降 B	A	降 B
	黏土三	升 F	A	E
	黏土四	E	D	F
	黏土五	升 G	G	降 E

單位：音階

實驗結果：

結果發現，我們不受限每次 0.1 克的純水，使用微量純水(每次約 0.02 克)，可調出的黏土電子琴音階可以最低音度 Do 頻率約 65Hz 到最高度音 So 頻率約 1568Hz。但仍有缺點就是，此 IC 裝置對電阻太敏感，而導電發音時音調會上下起伏，只要黏土的電阻有些許的變化，無法穩定於某個音階發聲。這可能是因為有機物的電阻並非像無機物的電阻是固定的，電流經過有機物質時可能改變有機物質的性質，造成電阻的不穩定。

八度音域	半音	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	唱名	Do	Do#	Re	Re#	Mi	Fa	Fa#	So	So#	La	La#	Si
	代號	C	CS	D	DS	E	F	FS	G	GS	A	AS	B
2	頻率	65	69	73	78	82	87	93	98	104	110	117	123
3	頻率	131	139	147	156	165	175	185	196	208	220	233	247
	簡譜	1̇		2̇		3̇	4̇		5̇		6̇		7̇
4	頻率	262	277	294	311	330	349	370	392	415	440	466	494
	簡譜	1		2		3	4		5		6		7
5	頻率	523	554	587	622	659	698	740	784	831	880	932	988
	簡譜	1̇		2̇		3̇	4̇		5̇		6̇		7̇
6	頻率	1047	1109	1175	1245	1319	1397	1480	1568	1661	1760	1865	1976

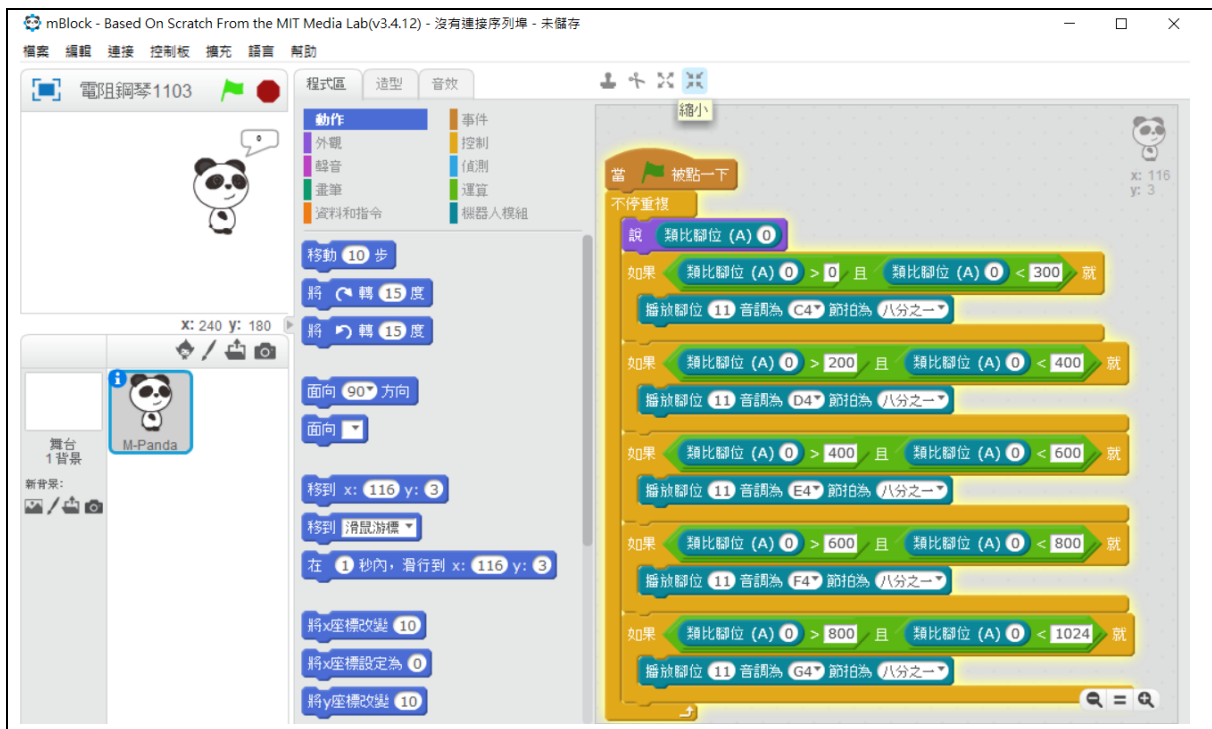
引自：Make Maker

圖三十二、不同音域個音階頻率對照圖

實驗十四、利用 arduino 可程式化將電阻值轉換成音頻，製作黏土電子琴

表十五、利用 arduino 可程式化將電阻值轉換成音頻，製作黏土電子琴實驗方法：

1. 首先利用 ARDUINO 建立電阻發音器	2. 安裝搭配 ARDUINO 可程式免費圖像式軟體編輯器 mBLOCK
	
3. 利用 ARDUINO 讀取可變電阻數值，確認不同電阻可發不同音調	4. 取下連接可變電阻電線改連接至調配好的音樂黏土
	
5. 利用 MBlock 程式控制一定電阻值範圍發出穩定的音階	



實驗結果：

利用 arduino 配合 MBlock 程式控制解決絕緣黏土電阻變動的問題，先建立一個音階，了解該個黏土電阻值變動範圍，將一定範圍的電阻值控制在發出某個音階，這樣即使電阻值跳動仍能發出穩定的音階。再逐步嘗試三個音階、五個音階，乃至於可以演奏樂曲。

陸、討論

1. 實驗一、二結果顯示，自製導電黏土是可行的。電阻會隨黏土長度增加而增加，導電性會隨之下降。實驗三將鹽改成其他電解質，小蘇打與鹽有較好的導電性，檸檬酸會增加電阻。不過參考黏土其他的性質，加鹽的黏土有較好展性與黏性，但加小蘇打則有最差的延性與展性，所以整體來說在兼顧一個黏土的導電性、黏性、延性與展性下，加鹽製作的導電黏土仍是比較好的選擇。然而仍要考慮鹽的用量，由實驗四發現，由於鹽在水中可以完全解離，是極佳的電解質，增加鹽的量可以明顯降低黏土的電阻，增加黏土的導電性，但過多的鹽也會降低黏土的黏性、展性與延性。
2. 從實驗五與實驗六我們發現，不同的麵粉(低筋、中筋、高筋)是指麵粉中的蛋白質含量，麵粉中的蛋白質含量提升，所製成的導電黏土其黏性、展性、延性逐漸降低，由於蛋白質不導電的特性，使得電阻升高，導電性降低。若增加糯米粉因為其支鏈澱粉的特性，增加比例可提高黏土黏性，但會降低延性與展性，也會提升電阻，降低導電性。所以若只考慮導電性下，採用低筋麵粉且不需加糯米粉是製作導電黏土較好的選擇。但若希望黏土不要太黏手，且仍保持定的導電性，則可考慮採用中筋麵粉且不需加糯米粉。
3. 從實驗七、八、九來看，在製作絕緣黏土時適合加入一些糯米粉，利用支鏈澱粉的特性可增加黏土的黏性與電阻，但會減少黏土的展性。改變橄欖油與水的比例增加電阻也有類似的結果，不斷增加橄欖油比例直到取代水，黏土的電阻值來到最高，這是因為物質在油中無法解離形成導電媒介，導電性則降至最低，延性與黏性也隨之降低，而展性與電阻則不斷上升。若用酒精取代橄欖油，此種絕緣黏土展性略為下降但其他性質相似無大幅度改變，但因不容易成型且因酒精容易揮發，黏土常溫下易鬆裂成粉狀，並不是好的選擇。所以在實驗十，我們以加入橄欖油的配方與比例製作絕緣黏土，也以此種黏土搭配先前的導電黏土成功完成發光電路。
4. 從實驗十一、十二、十三我們發現，利用 IC NE555P 可以成功完成音樂鉛筆，透過鉛筆畫線距離長短的電阻差異，可以發出不同音階(音頻)。在製作音樂黏土時，我們發現用純水(每次增加 0.1 克)調整音調是比較好的方式，可以逐步增加音頻，音頻越落在 200~600 赫茲(Hz)，此範圍恰好在低音 Do 到中音 Re 之間。這使得我們遇到一個問題，那就是音階範圍較小，特別是 600Hz 以後聲音的頻率會快速升高。於是我嘗試給予更少量的水(每次小於 0.1 克)的方式調音，這使得音頻的範圍大為改善，可以增加到 65Hz 到 1568Hz 之間，這幾乎包括了一般電子琴的大部分音階。不過接下來我們又面臨另一個問題，音樂黏土透過 IC 電阻發聲器對電阻太敏感，而音樂黏土是有機電阻，通電時的電阻並非是穩定的，所以難以發出穩定音階。於是我們改用 arduino 可程式化將電阻值轉換成音頻的方法，只要黏土直在一定電阻範圍內，就發出某個發出固定音階，如此便能以調製後的絕緣黏土來製作有音準的音樂黏土電子琴了。

柒、結論

1. 自製導電黏土是可行的，比較加入不同的電解質，加鹽製作的導電黏土仍是比較好的選擇。因為鹽溶解於水可以完全解離，是極佳的電解質。增加鹽的量會降低黏土的電阻，增加黏土的導電性，但同時也會降低黏土的黏性、展性與延性，所以加入適量的鹽是很重要的。
2. 導電黏土若只考慮導電性下，採用低筋麵粉且不需加糯米粉是製作導電黏土較好的選擇。但若希望黏土不要太黏手，且仍保持定的導電性，則可考慮採用中筋麵粉且不需加糯米粉。
3. 絕緣黏土的製作適合加入一些糯米粉，利用支鏈澱粉的特性，可增加增加黏土的電阻，以橄欖油取代水，則能做電阻最大的絕緣年黏土。若用酒精取代水，因不容易成型且常溫下易鬆裂成粉狀，並不是好的選擇。
4. 以中筋麵粉不加糯米粉，加適當的鹽與水製成的導電黏土，可與用橄欖油、麵粉、糯米粉製成的絕緣黏土，搭配 LED 燈、幾條導線、6V 的電源供應可完成發光電路。
5. 利用 IC NE555P 在製作音樂黏土上，由於 IC 電阻發聲器對電阻太敏感，而有機電阻的電阻值不穩定，難以發出穩定音階，需以微量的純水(0.02 克)調音，可有效增加黏土發聲音頻範圍。
6. 可用 arduino 可程式化將某個電阻值範圍轉換成固定音頻的方式，就能穩定發出固定音階，如此便能以絕緣黏土來製作音樂黏土電子琴了。

捌、參考書目

1. 會導電也可以吃的捏麵人黏土——濕軟電路
<https://medium.com/%E5%B1%85%E5%AE%B6%E5%AF%A6%E9%A9%97%E5%AE%A4/%E6%9C%83%E5%B0%8E%E9%9B%BB%E4%B9%9F%E5%8F%AF%E4%BB%A5%E5%90%83%E7%9A%84%E6%8D%8F%E9%BA%B5%E4%BA%BA%E9%BB%8F%E5%9C%9F-%E6%BF%95%E8%BB%9F%E9%9B%BB%E8%B7%AF-29f879f71157>
2. AnnMaire Thomas 談用溼軟電路學習科學
https://www.myoops.org/ted_detail.php?id=47
3. 電子音樂鉛筆的神奇魔力 - 科學部落格
<https://blog.ntsec.edu.tw/index.php?tid=531&id=255>
4. 林宣安老師_創意教具 DIY: 555_音樂鉛筆
<http://l0930984547.blogspot.com/2018/04/555.html>

【評語】 080204

1. 本作品研製作音樂黏土的最佳配方，研究主題有趣，生活化，適合國小階段的學生進行探究實作。
2. 以簡單隨手取得之食料製作可變之導電度與電阻，概念雖非原創，但能利用 Arduino 程控設計，結合簡單電路製成發出音響製作成不同音階的玩具，創意十足。
3. 然而濕軟電路會因外在環境造成電阻差異的問題並沒有提出解決方案，使得發聲玩具在每次使用時都必須重新校正，方便性不佳。
4. 本作品說明書最後提供文獻出處，但文中並沒有針對音樂黏土的現況發展作說明，也沒有將自製成品與文獻作比較，讓讀者較難看出作品的特殊及創新發現。
5. 實驗日誌應以手寫實驗步驟、實驗劑量與條件、數據紀錄，以及現象觀察等，建議避免黏貼印製之填充型數字表格。

作品海報

黏土會唱歌

利用自製導電黏土搭配電子材料
製作音樂黏土可行性之研究



摘要

從導電黏土的製作原理，意外發現利用電阻差異製成的音樂鉛筆玩具，於是激發想像力要製成音樂黏土電子琴。本研究企圖尋找製作導電黏土與絕緣黏土條件，並利用材料組合的電阻差異製作音樂黏土電子琴。

研究發現：

1. 自製導電黏土是可行的，比較不同的電解質，加鹽是比較好的選擇。
2. 導電黏土採用中筋麵粉且不需加糯米粉較佳。
3. 絕緣黏土的則適合加入糯米粉，並以橄欖油取代水。
4. 以導電黏土與絕緣黏土，搭配簡單電子材料可完成發光電路。
5. 以IC NE555P製作音樂黏土加微量的純水調音，可有效增加黏土發聲音頻範圍。
6. 用arduino可程式化將電阻值轉換成音頻的方法，能穩定發出固定音階，能製作音樂黏土電子琴。

壹、研究動機

某天我們查資料時看到「濕軟電路」的相關研究，發現黏土可以阻擋電流或讓電流通過，我們突然奇想可以藉由這種特性來設計成安全又好玩的電路玩具，這種玩具一定很好玩。後來我們上網查詢導電黏土和絕緣黏土的製作配方比例，發現製作的材料竟然都是生活中容易取得的，例如：麵粉、糯米粉、鹽、水等。上網查詢黏土的製作方法，並試著跟著網路上的製作步驟做，我們想到如果改變各項材料，或者用量比例，又會產生什麼結果？在查詢導電黏土時，也意外發現音樂鉛筆也是利用鉛筆的導電性(電阻差異)製成的發聲玩具，於是我們想將導電黏土和音樂鉛筆融合為一體，或許可以製成音樂黏土，甚至是音樂黏土電子琴。

貳、研究目的

目的一 了解不同的黏土材料與用量對自製導電黏土性質的影響

- 實驗一：導電黏土相關文獻探討
 實驗二：導電黏土試作與其各項性質觀察
 實驗三：不同電解質對於導電黏土性質的影響
 實驗四：比較不同的鹽用量對於導電黏土性質的影響
 實驗五：比較不同麵粉(低筋、中筋、高筋)對於導電黏土性質的影響
 實驗六：比較不同麵粉與糯米粉比例對於導電黏土性質的影響

目的二 了解不同的黏土材料與用量對自製絕緣黏土性質的影響

- 實驗七：比較不同麵粉與糯米粉比例對於絕緣黏土性質的影響
 實驗八：比較不同的橄欖油與水比例對於絕緣黏土性質的影響
 實驗九：比較用酒精取代橄欖油對於絕緣黏土性質的影響

目的三 利用絕緣黏土的電阻差異來製作音樂黏土

- 實驗十：利用導電黏土與絕緣黏土製作發光電路
 實驗十一：利用IC NE555P製作電阻感應發聲器
 實驗十二：比較逐步加入不同純水、飽和食鹽水水量對絕緣黏土發聲音頻高低影響
 實驗十三：利用絕緣黏土加水配合電腦軟體調音製成黏土電子琴
 實驗十四：利用arduino可程式化將電阻值轉換成音頻，製作黏土電子琴

參、研究設備與器材

高筋、中筋和低筋麵粉	糯米粉、小蘇打粉、鹽	橄欖油、純水、檸檬酸
亮度偵測儀、電源供應器	各式螺絲	剪刀、吸管、尺和玻璃棒
玻璃片、大小量杯	電子秤和電表	自製黏土測量器
自備白格紙	長尾夾、瓶蓋上黏週針	自製IC版電阻發聲器
IC NE555P、麵包板、喇叭、電阻、電容、電池...等電子材料	電腦(含Molook程式)平板(含Audio Spectrum Analyzer)	自製Arduino可程式電阻發聲器

肆、研究過程與方法

一、實驗設計與流程

(一) 導電黏土製作

1. 準備好麵粉、鹽和水
2. 將鹽和水混合
3. 將鹽水以少量多次加入麵粉裡並混和
4. 將所有鹽水混合且黏土揉到不黏手，即可完成

(二) 絕緣黏土製作

1. 準備好麵粉、糯米粉、橄欖油
2. 將麵粉及糯米粉混合
3. 將橄欖油少量多次的加入麵粉中並混合
4. 混合完後，再將極少量純水(或不加水)和黏土揉合即可完成

(三) 測量延性

1. 剪取兩個2公分的吸管
2. 將兩個吸管並在一起然後塞滿黏土
3. 塞滿後，將兩邊的吸管拉開，此時黏土將不斷伸長
4. 當黏土斷裂時，測量黏土拉伸的長度，並記錄

(四) 測量黏性

1. 將玻璃片用長尾夾夾在黏性測量器上
2. 將瓶蓋中塞滿黏土，並將瓶蓋黏在玻璃片上，把夾鏈袋掛在邊紋計上
3. 慢慢將瓶蓋放入夾鏈袋中，直到夾鏈袋掉下來
4. 記錄裝著螺絲的夾鏈袋的重量

(五) 測量展性

1. 準備400克重裝水的量杯和10g的黏土
2. 將黏土放在一小格1平方公分白格紙下
3. 將量杯放百格紙上並計時五分鐘
4. 五分鐘後計算黏土的面積，並記錄

(六) 測量導電性

1. 準備大型電表及光線偵測儀
2. 將兩個挖好洞的吸管中間塞滿黏土並固定，然後在第一個洞滴上燈泡
3. 再將電表的正負極各接上週紋計，再接到吸管上
4. 將光線偵測儀備在吸管上方，之後打開電表並記錄光線數值

(七) 測量電阻

1. 將吸管塞滿黏土
2. 將電表的正負極接在吸管的洞
3. 放置計時器控制時間
4. 打開電表，記錄數值

二、實驗步驟

- ◆實驗一：導電黏土相關文獻探討
 1. 上網搜尋導電黏土相關文獻資料
 2. 整理資料並與老師、同學討論
 3. 依據討論結果撰寫文獻探討
- ◆實驗二：導電黏土試作與其各項性質觀察
 1. 準備網路製作導電黏土的相關材料，中筋麵粉32.5g、純水25g、鹽27.5g
 2. 將麵粉放置攪拌盆中，依步驟逐步加入水、鹽等材料
 3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來
- ◆實驗三：不同電解質對於導電黏土性質的影響
 1. 中筋麵粉32.5g三份、純水25g三份、還有檸檬酸27.5g、鹽27.5g、小蘇打27.5g，分成三份製作導電黏土
 2. 將麵粉放置攪拌盆中，分成三份依步驟逐步加入水、鹽等材料
 3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來
- ◆實驗四：比較不同的鹽用量對於導電黏土性質的影響
 1. 準備中筋麵粉32.5g、純水25g、中筋麵粉27.5g，還有20g、27.5g的鹽各一份，分成三份製作導電黏土
 2. 將麵粉放置攪拌盆中，分成三份依步驟逐步加入水、鹽等材料
 3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來
- ◆實驗五：比較不同麵粉(低筋、中筋、高筋)對於導電黏土性質的影響
 1. 準備低筋、中筋、高筋麵粉各32.5g，分成三份製作導電黏土
 2. 將麵粉放置攪拌盆中，分成三份依步驟逐步加入水、不同分量的鹽等材料
 3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來
- ◆實驗六：比較不同麵粉與糯米粉比例對於導電黏土性質的影響
 1. 準備純水25g、鹽27.5g、中筋麵粉32.5g、22.5g、糯米粉0g、5g、10g
 2. 將麵粉放置攪拌盆中，分成三份依步驟逐步加入水、不同分量的糯米粉等材料
 3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來
- ◆實驗七：比較不同麵粉與糯米粉比例對於絕緣黏土性質的影響
 1. 純水12.5g、鹽12.5g、中筋麵粉27.5g、22.5g、17.5g、糯米粉5g、10g、15g
 2. 將麵粉放置攪拌盆中，分成三份依步驟逐步加入水、不同分量的糯米粉等材料
 3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來
- ◆實驗八：比較不同的橄欖油與水比例對於絕緣黏土性質的影響
 1. 準備純水10g、5g高筋麵粉27.5g、糯米粉5g、橄欖油12.5g、10g、20g
 2. 將麵粉放置攪拌盆中，分成三份依步驟逐步加入水、不同分量的糯米粉等材料
 3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來
- ◆實驗九：比較不同的酒精與水比例對於絕緣黏土性質的影響
 1. 準備中筋麵粉22.5g、糯米粉10g、酒精20g、橄欖油20g
 2. 將麵粉放置攪拌盆中，分成三份依步驟逐步加入酒精或橄欖油，與不同分量的糯米粉等材料
 3. 完成後，分別測量延性、黏性、展性和導電性並記錄下來
- ◆實驗十：利用導電黏土與絕緣黏土製作發光電路
 1. 準備自製導電黏土與絕緣黏土
 2. 發會創意，設計並製作發光電路
 3. 完成後，拍照記錄下來
- ◆實驗十一：利用IC NE555P製作電阻感應發聲器
 1. 準備鈴筆1枝、麵包板1個、IC晶片1個、電阻1個、電容1個、9V電池1個、開關1個、鈴筆1枝、電線數條
 2. 依照網路搜尋到的音樂鉛筆相關電路圖在麵包板上組裝起來
 3. 完成後，測試音樂鉛筆依長度短長是否能發出高低音並記錄下來
- ◆實驗十二：比較逐步加入不同純水、飽和食鹽水水量對絕緣黏土發聲音頻高低影響
 1. 準備絕緣黏土5g三個，還有純水、飽和食鹽水、導電黏土各10g
 2. 將三個絕緣黏土分別加入純水、飽和食鹽水、導電黏土各0.1g，採樣後用後兩端接IC電阻感應發聲器，並利用電腦軟體Audio Spectrum Analyzer測量音頻
 3. 每次測量完後，再各增加0.1g份量並測量音頻後記錄下來，重複數次直至無法測量音頻
- ◆實驗十三：利用絕緣黏土加水配合電腦軟體調音製成黏土電子琴
 1. 準備絕緣黏土5g五個，還有純水10g
 2. 將五個絕緣黏土分別加入微量純水(用子彈筒裝)，搖拌混和後再連接IC電阻感應發聲器，並利用電腦軟體MUSICCA測量音階，並依照示調音
 3. 每次測量完後，再各增加微量的純水並測量音頻後記錄下來，重複數次直至無法測量音頻
- ◆實驗十四：利用arduino可程式化將電阻值轉換成音頻，製作黏土電子琴
 1. 利用arduino Uno板與MUSICCA電阻感應發聲器，完成兩個黏土感應發聲器
 2. 準備絕緣黏土5g五個，還有純水10g，將五個絕緣黏土分別加入純水各0.1g，採樣後用後兩端接arduino電阻感應發聲器，依照電阻範圍進行加水調整，改變音調
 3. 直至五個黏土電阻值於表取決範圍內，此時便能穩定發音

五、研究結果

實驗一：導電黏土相關文獻探討

一、導電黏土(濕軟電路)

美國機械工程師AnnMaire Thomas她非常認同自己動手做的學習方式，某天，她想到黏土可以跟電學做結合，於是她花了很長一段時間研究不同的黏土配方。濕軟電路就是將導電黏土和絕緣黏土做結合讓LED燈發亮電路，她使用的材料都是生活中容易取得的，而且安全又無毒。黏土的主要成分為黏粉、糯米粉、水、植物油、鹽。

二、電傳導

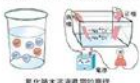
擁有電荷的粒子在介質內運動，這些粒子稱為電荷載子，它們的運動產生了電流。電流的運動受到電場的影響外，也受到不同的物質電荷傳輸的物理參數不同影響。這些物理參數不同物質也形成電傳導性的不同。

三、電阻

電阻是電流通過一個物體的阻礙能力，其方程式為 $V=IR$ 。其中，R為電阻，V為物體兩端的電壓，I為通過物體的電流。假設物體具有均勻截面面積，則其電阻與電阻率、長度成正比，與截面面積成反比。

四、電解質(離子液體)

電解質(electrolyte)是指在水溶液或熔融狀態可以產生自由離子而導電的化合物。通常指在溶液中導電的物質，而固態可導電的物質不靠電解質。這包括大多數可溶性鹽、酸和鹼。在水溶液電解質中，電流是由帶電的離子的流動產生，因此液體的電阻很易變的濃度所影響。譬如蒸餾水是絕緣體，但鹽水就是很好的導電體(引自維基百科)。

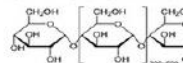


左圖說明氯化鈉如何在水中解離成離子
 $NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$

圖片引自: Automing的部落格-電解學說
<https://blog.udn.com/Automing/132359628>

五、直鏈與支鏈澱粉

直鏈澱粉(amylose)，又稱澱粉，是一種由葡萄糖組成的線性聚合物，從結構上來講，支鏈澱粉(Amylopectin)又稱澱粉或澱粉糖，是一個具有樹枝形分支結構的多糖；相對於直鏈澱粉，結構較不規則，整體呈球狀，相對分子質量較大，水溶性比直鏈澱粉更差，要更高溫才開始溶解，形成的溶液黏度更大(引自維基百科)。



直鏈澱粉由 NEURONiter-自己的作品, 公有領域
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2052232>



支鏈澱粉由 NEURONiter-自己的作品, 公有領域
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2052232>

六、音樂樂器製作方法

網路上是利用鉛筆的頂端裝置小喇叭，藉由人體或鉛筆中的石墨當成電的中介物質，進而發出音樂。一般的喇叭得接上電才能發聲。設計的音樂樂器，則以人體加上石墨當成電路，利用電池也能發出聲音。音樂樂器製作時，電池經由石墨連到筆尖上的喇叭，當筆尖連到鉛筆筆身時，至於電子音樂樂器可演奏出什麼樣的音樂？會根據鉛筆畫線長短的導電性質不同，及畫出的圈形深淺，造成不同的電阻，發出不同聲音。

綜合討論

不管是導電黏土，或者音樂，都是利用物質的導電性質不同，也就是電阻不同來實現導電或不導電，或者因電阻大小而造成電程度不同來完成電路，來使LED燈發亮或IC驅動喇叭發音。

實驗二：導電黏土試作與其各項性質觀察

※使用材料：中筋麵粉32.5g、鹽27.5g、水25g

實驗次數(O)	1	2	3	4	5	平均值	標準差
黏土性質							
黏性(公分)	2.0	2.0	2.6	2.6	2.0	2.20	±0.30
黏性(公分)	74.70	83.00	88.50	81.40	70.50	77.90	±7.51
風乾(平方公分)	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.20	±0.45
距離(公分)							
1	129	156	158	139	155	154.4	±8.6
2	81.0	81.6	85.6	81.4	82.6	81.74	±15.3
3	104.1	106.0	104.0	102.5	104.5	104.2	±9.2
實驗次數(O)	1	2	3	4	5	平均值	標準差
距離(公分)							
1	98	107	101	102	103	102.0	±3.9
2	88	89	80	87	89	86.6	±3.8
3	40	39	41	40	47	41.4	±3.2

表一：導電黏土黏性、展性、黏性的測量預試結果

表二：導電黏土電阻測量預試結果
單位：歐姆

表三：導電黏土導電性(LED亮度)測量預試結果
亮度單位：黃噴(m)

實驗結果

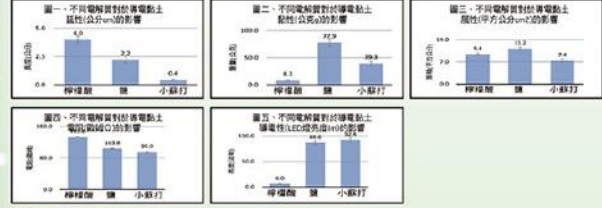
可以順利製作導電黏土並測量黏性、展性與黏性等各項性質且標準差不大(如表一、二、三)，發現電阻會隨黏土長度增加，導電性則遞減(如表二、三)，這與無機物電阻的性質相同。

實驗三：不同電解質對於導電黏土性質的影響

※使用材料：中筋麵粉32.5g三份、純水25g三份、檸檬酸27.5g、鹽27.5g、小蘇打27.5g

黏土性質	不同電解質		檸檬酸 27.5g		鹽 27.5g		小蘇打 27.5g	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
黏性(公分)	4.0	0.5	3.5	0.4	3.5	0.4	3.5	0.4
黏性(公分)	8.50	1.07	77.90	7.21	84.20	7.21	84.20	7.21
風乾(平方公分)	9.4	0.4	11.2	0.4	7.4	0.5	7.4	0.5
電阻(歐姆)	1939.0	0.7	1042.0	4.1	905.5	±4.3	905.5	±4.3
導電性(LED燈亮度)	6.0	9.0	86.5	10.4	92.4	±16.9	92.4	±16.9

表四：不同電解質對於導電黏土性質的影響



實驗結果

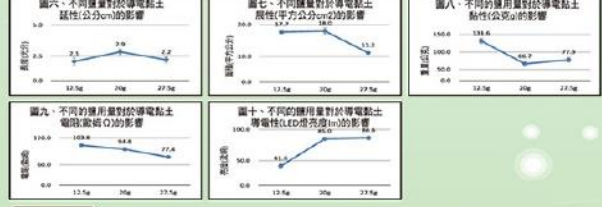
結果顯示，小蘇打與鹽有較好的導電性，檸檬酸會增加電阻(如圖四、五)，參考黏土其他的性質，加鹽的黏土有較好展性與黏性(如圖二、三)，但小蘇打則有最差的展性與黏性(如圖一、三)，所以加入鹽的性質比加入小蘇打與檸檬酸在各項數值上表現在製作導電黏土上較為適中。

實驗四：比較不同的鹽用量對於導電黏土性質的影響

※使用材料：中筋麵粉32.5g三份、純水25g三份、鹽12.5g、20g、27.5g

黏土性質	鹽的用量(公分)		
	12.5g	20g	27.5g
黏性(公分)	2.1	0.3	0.2
黏性(公分)	191.6	7.21	68.7
風乾(平方公分)	17.7	0.4	15.0
電阻(歐姆)	103.8	3.8	77.6
導電性(LED燈亮度)	41.6	0.4	86.6

表五：比較不同的鹽用量對於導電黏土性質的影響



實驗結果

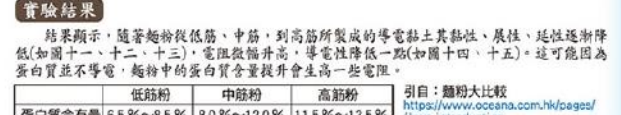
結果發現，由於鹽在水中可以完全解離，是極性的電解質，增加鹽的量可以明顯降低黏土的電阻，增加黏土的導電性(如圖九、十)，但過多的鹽也會降低黏土的黏性與展性(如圖七、八)。我們在文獻中也發現食鹽影響麵團的性質，主要機理是鹽的滲透作用，即使使麵粉中蛋白質的一部分水滲出，產生沉澱，凝固變性，從而使其質地變增加彈力。

實驗五：比較不同麵粉(低筋、中筋、高筋)對於導電黏土性質的影響

※使用材料：低筋、中筋、高筋麵粉各32.5g、純水25g三份、鹽27.5g三份

黏土性質	低筋		中筋		高筋	
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
黏性(公分)	2.6	0.2	2.2	0.3	1.0	±0.1
黏性(公分)	78.3	0.06	77.9	7.21	47.0	±1.19
風乾(平方公分)	15.0	0.7	11.2	0.4	9.2	±0.8
電阻(歐姆)	84.8	0.8	100.9	0.4	94.8	±0.8
導電性(LED燈亮度)	23.5	0.8	86.5	4.3	132.2	±6.7

表六：比較不同麵粉(低筋、中筋、高筋)對於導電黏土性質的影響



實驗結果

結果顯示，隨著麵粉從低筋、中筋，到高筋所製成的導電黏土其黏性、展性、延性逐漸降低(如圖十一、十二、十三)，電阻隨麵粉升高，導電性降低一點(如圖十四、十五)。這可能因為蛋白質並不導電，麵粉中的蛋白質含量提升會生高一些電阻。

黏土性質	麵粉大比較		
	低筋粉	中筋粉	高筋粉
蛋白質含量	6.5%~8.5%	8.0%~12.0%	11.5%~13.5%

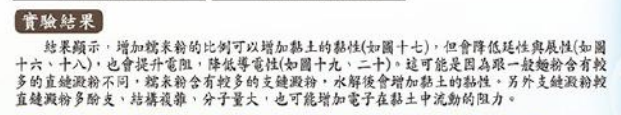
引自: 麵粉大比較
<https://www.ocn.com.tw/page/four-introduction>

實驗六：比較不同麵粉與糯米粉比例對於導電黏土性質的影響

※使用材料：純水25g、鹽27.5g、中筋麵粉32.5g、27.5g、22.5g、糯米粉0g、5g、10g

黏土性質	麵粉與糯米粉不同比例	
	平均值	標準差
黏性(公分)	2.22	0.5
黏性(公分)	7.21	101.75
風乾(平方公分)	11.2	0.6
電阻(歐姆)	105.8	4.1
導電性(LED燈亮度)	86.6	0.4

表七：比較不同麵粉與糯米粉比例對於導電黏土性質的影響



實驗結果

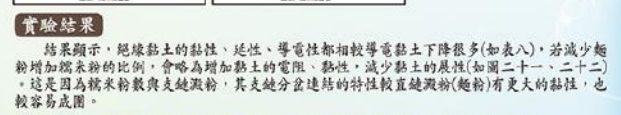
結果顯示，增加糯米粉的比例可以增加黏土的黏性(如圖十七)，但會降低延性與展性(如圖十六、十八)，也會提升電阻，降低導電性(如圖十九、二十)。這可能是因為跟一般麵粉含有較多的直鏈澱粉不同，糯米粉含有較多的支鏈澱粉，水解後會增加黏土的黏性。另外支鏈澱粉較直鏈澱粉多分支，結構複雜，分子量大，也可能增加電子在黏土中流動的阻力。

實驗七：比較不同麵粉與糯米粉比例對於絕緣黏土性質的影響

※使用材料：純水12.5g、油12.5g、中筋麵粉27.5g、22.5g、17.5g、糯米粉5g、10g、15g

黏土性質	麵粉與糯米粉不同比例	
	平均值	標準差
黏性(公分)	2.047	0.9
黏性(公分)	19.2	25.8
風乾(平方公分)	13.9	±2.4
電阻(歐姆)	1890	±85.5
導電性(LED燈亮度)	N.A	N.A

表八：比較不同麵粉與糯米粉比例對於絕緣黏土性質的影響



實驗結果

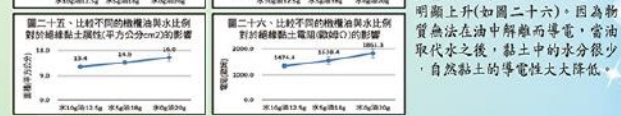
結果顯示，絕緣黏土的黏性、延性、導電性都較導電黏土下降很多(如表八)，若減少麵粉增加糯米粉的比例，會略為增加黏土的電阻、黏性，減少黏土的展性(如圖二十一、二十二)。這是因為糯米粉與支鏈澱粉，其支鏈分支結構的特性較直鏈澱粉(麵粉)有更大的黏性，也較容易成團。

實驗八：比較不同的橄欖油與水比例對於絕緣黏土性質的影響

※使用材料：純水10g、5g中筋麵粉22.5g、糯米粉5g、橄欖油12.5g、18g、20g

黏土性質	油與水的比例		
	10g油、12.5g水	5g油、18g水	5g油、20g水
黏性(公分)	0.0	0.5	0.5
黏性(公分)	56.8	±4.6	15.7
風乾(平方公分)	13.4	±0.4	14.6
電阻(歐姆)	1474.4	±0.6	1638.4
導電性(LED燈亮度)	N.A	N.A	N.A

表九：比較不同的橄欖油與水比例對於絕緣黏土性質的影響



實驗結果

結果顯示，不斷增加橄欖油比例直到取代水，黏土的黏性明顯降低(如圖二十四)，而電阻則明顯上升(如圖二十六)，因為物質無法在油中溶解而導電，當油取代水之後，黏土中的水分很少，自然黏土的導電性大大降低。

實驗九：比較用酒精取代橄欖油對於絕緣黏土性質的影響

※使用材料：中筋麵粉22.5g、糯米粉10g、酒精20g、橄欖油20g

黏土性質	酒精與水比例		
	酒精20g	酒精20g	酒精20g
黏性(公分)	0.44	±0.1	0.5
黏性(公分)	8.9	±1.3	16.0
電阻(歐姆)	1802.95	±116.1	1861.2
導電性(LED燈亮度)	N.A	N.A	N.A

表十：比較酒精與水比例對於絕緣黏土性質的影響

實驗結果

因為酒精如同水一樣，屬於無法導電的液體。於是我們想以酒精不導電的性質取代橄欖油來製作絕緣黏土，其製作出來的絕緣黏土性質與橄欖油相近(如表十)，只有展性略有差異(如圖二十七)。實際製作過程中酒精製作絕緣黏土不易成團，成功率低。且酒精較橄欖油容易揮發，製作出來的黏土在過程，容易蒸氣成粉狀，相反利用橄欖油製作的絕緣黏土則較容易保存。

