

# 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 化學科

080202

尋找玉米黏土的真面目

學校名稱：高雄市左營區永清國民小學

作者：	指導老師：
小六 謝宗恩	尤國智
小六 饒楯玟	徐雅博
小六 黃翊豐	
小六 黃柏睿	
小六 李宛柔	
小六 陳宏盈	

關鍵詞：澱粉糊化、聚乙烯醇交聯作用、碘硼反應

## 摘要

玉米黏土是德國票選 10 年內最安全的玩具之一，因此受到很多家長關注，但是不能重複使用，十分可惜，於是我們想要分析它的成份，進而找出自製玉米黏土的方法，所以開始一連串的化學檢驗-----澱粉、史萊姆都是我們想到的分析對象，到後來學習查詢 FDA 法規網站得到” 硼碘反應” 可以檢驗 PVA，又遇到澱粉干擾的問題，直到在網路上找尋到澱粉水解的方式才獲得解決。

我們發現：要成功檢驗食品中的 PVA 濃度，只需要 2 種試劑，而且這是可以備於家中的檢驗試劑。至於製作玉米黏土的方法，我們從做米餅開始，結果做出來的成品是沒有彈性的，所以後來我們創造了自己的麵粉黏土，優點是可以熟食，也可以揉捏塑形，但是保存期限不長。

## 壹、 研究動機

去年的暑假作業是製作學校社區的地圖，在找尋可以用甚麼黏土來製作時，有夥伴在網路上查到了 PLAYMAIS<sup>®</sup>的玉米黏土。什麼是「玉米黏土」？這是第一次聽到，我立刻被它吸引，可是相較於自己以前玩的黏土，在價格上相差很多，而且玉米能做成黏土？玉米不是拿來吃的嗎？加上只能玩一次，不能重複使用，於是我拿去與同學和老師討論。沒想到，玉米黏土吸引了我們的目光，開始著手搜尋作黏土的網址，有看到塔塔粉、麵粉、膠水加鹽巴製作的彈力球等等，就是沒有看到市售的玉米黏土作法，一般書局也沒有販售這種黏土；就算網購取得商品，成分表上也只寫著玉米澱粉和食用色素，聽起來好天然，但是卻不普及，開啟了我們對它的興趣，決定以這個做為科展主題，想要動手研發出屬於我們的玉米黏土。

經過網路搜尋，雖然很多店家都有販售玉米黏土，但是價差很大，內容物是否是相同的呢？這是我們的第二個疑問，於是我們進行一系列的資料搜尋與實驗。

## 貳、 研究目的

### 一、 分析玉米黏土的特性

#### (一) 比較市售玉米黏土的外觀

1. 比較不同品牌來源的玉米黏土是否相同。
2. 學會使用顯微鏡與比例尺計算。【翰林版五下第四單元科學小百科防鏽與食品保存】

#### (二) 溶解狀況

一般的黏土不具有可溶解的性質，但是玉米黏土加水可以部份溶解，所以加入這個討論項目。【康軒版三上第四單元 廚房裡的科學 1-2 調味品會溶解在水中嗎】

#### (三) 酸鹼性

檢測同廠牌玉米黏土的酸鹼性，幫助後續了解玉米澱粉的成分及製造方式。【翰林版五下 第二單元 水溶液 2-2 水溶液的酸鹼性】

### 二、 分析玉米黏土的成分

#### (一) 認識玉米澱粉的基礎性質

##### 1. 碘液分析：

因為澱粉的種類很多，大致可分為：直鏈澱粉、支鏈澱粉、熟澱粉、生澱粉，所以初步使用碘液分析，希望可以找出玉米黏土的種類。

直鏈澱粉與市售碘酒反應結果為藍黑色。生澱粉與碘液反應為紫褐色；熟澱粉與適當濃度碘液為藍色，但是溫度超過 80°C，澱粉會開始糊化崩解，藍色消失。【參考 4 7 屆科展，解開「澱粉～碘」的藍色密碼】

2. 糊化作用：玉米澱粉經過糊化，就是媽媽煮菜時經過勾芡就會有黏性，我們在猜想，玉米黏土包裝寫成分為可食物質，感覺很天然，是否是使用經過糊化的玉米澱粉製成。

#### (二) 認識聚乙烯醇性質

1. 黏性的來源很多，除了澱粉本身的糊化作用可以擁有黏性外，我們猜測玉米黏土是否含有膠水成分？經過網路上搜尋的資料得知，聚乙烯醇易溶於

水，長期使用對人體也會有些微傷害。

2. 如何檢測是否含聚乙烯醇呢？我們接著對”膠水與黏土”這兩個關鍵字做網路搜尋，出現的答案有史萊姆-----利用硼酸與聚乙烯醇可以產生交聯作用來製作史萊姆。所以我們決定把玉米黏土溶於水再加入硼砂，觀察是否出現交聯現象以了解玉米黏土是否含有膠水。
3. 查詢資料聚乙烯醇還有其他檢測方法嗎？硼酸-碘-碘化鉀，參考於衛生福利部食品藥物管理署，署授食字第 0991903909 號)。【康軒版健康與體育 六下 第三單元食在安心 第二節食安守門員】

三、 聚乙烯醇可以添加在藥品及食物中，我們希望可以檢測玉米黏土中是否含有聚乙烯醇及其含量到底有多少。

四、 尋找生活中替代性材料，製作類似玉米黏土效果的產品

(一) 了解與玉米黏土結構相似之食品的製作與原理，尋找可能的製作流程

(二) 了解膨發作用，嘗試製作與比較。

1. **發粉膨發原理**。【翰林版五上 第四單元空氣與燃燒 4-2 二氧化碳】

(1) 小蘇打產生二氧化碳：提及小蘇打遇到水、遇到熱、遇到酸都會產生二氧化碳。

(2) 泡打粉產生二氧化碳：是小蘇打與酸性粉末的混和物，放到水中產生二氧化碳。所以使用時需要注意加入泡打粉攪拌時不能太大力，一攪拌完就拿去蒸，孔洞會較多。

2. **微波膨發原理**：微波是種波長很長的電磁波，利用微波爐電磁場使水分子轉動摩擦產生熱，熱使水分子氣化，體積膨脹留下孔洞。

五、 使用現有材料製作創意黏土，並與市售品比較，歸納出其一點。

## 參、 研究設備及器材

### 一、 設備

乾燥機、微波爐、電鍋、加熱設備(加熱板、酒精燈、電磁爐...)+溫度計(糊化用)、電子秤、燒杯、玻璃棒、積木、塑膠板、陶瓷比色皿、雙光束紫外光---可見光光譜儀



### 二、 材料

碘酒、硼砂、硼酸、聚乙烯醇、玉米粉、預糊化玉米粉、廣用指示劑、小蘇打、泡打粉、檸檬酸、糖、麵粉

### 三、 市售標準品

PLATMAIS<sup>®</sup>玉米澱粉黏土、廠商 A、廠商 B、市售嬰兒米餅、市售旺仔小饅頭、市售發糕。

## 肆、 研究過程或方法

### 一、 玉米黏土的特性與觀察

#### (一) 觀察玉米黏土

1. **直接觀察**：看起來像乖乖，壓扁後不能回復，有玉米餅乾的香氣。
2. **加水後的變化**：玉米黏土本身為乾燥不黏手的，經過海綿抹一點水產生黏性，因此水的多少對於黏土塑形、黏性都有影響。直接在玉米黏土上滴一滴水，則黏土會部分融解。
3. **包裝上說明**：
  - (1) 玉米黏土是不能重複使用的：玉米黏土沾濕後，蓬鬆的澱粉結構會黏在一起，完成的作品乾燥之後，也無法恢復原本的蓬鬆度，變得比較乾硬，因此不建議將成品拆解重複使用。
  - (2) 如何保存？玉米黏土原料為澱粉類，本黏土產品因為由天然玉米抽取乾燥製成，並無其他化學防蟲防腐加工，在開封後請注意保持未

使用的部份乾燥密封。

(3) 包裝寫成分為可食物質，但非食品，勿讓孩童食用。

(4) 顯微鏡操作與後續製作比例尺。

(二) 溶解狀況：觀察溶液是否有沉澱

(三) 澱粉檢測

### 1. 配置碘液

濃度	內容物	換算與來源
100%碘液	每毫升含有 100 mg 碘化鈉，10 mg 碘。	藥局購買
10%碘液	取 100 %碘液 1 ml 加水至 10 ml。	1000 ppm
2%碘液	取 100 %碘液 1 ml 加水至 50 ml。	200 ppm
1%碘液	取 10 %碘液 5 ml 加水至 50 ml。	100ppm

### 2. 配置預糊化澱粉、玉米澱粉溶液

濃度	預糊化澱粉溶液	玉米澱粉溶液
2%	取 0.5 克預糊化澱粉加水至 25 克	取 0.5 克玉米澱粉加水至 25 克
1%	取 2%預糊化澱粉溶液 10 克加水至 20 克	取 2%玉米澱粉溶液 10 克加水至 20 克
0.2%	取 2%預糊化澱粉溶液 2 克加水至 20 克	取 2%預玉米澱粉溶液 2 克加水至 20 克

(四) 酸鹼性：使用 PH meter 來檢測我們的玉米黏土、玉米粉、聚乙烯醇、預糊化澱粉等之酸鹼性。

(五) 認識聚乙烯醇(PVA)性質

### 1. 配置 PVA 溶液

PVA 水溶液	內容物
10%	2 克 PVA 加水至 20 克
5%	取 10% PVA 溶液 5 克加水至 10 克
1%	取 10% PVA 溶液 2 克加水至 20 克
0.5%	取 5% PVA 溶液 1 克加水至 10 克

0.1 % = 1000 ppm	取 1% PVA 溶液 2 克加水至 20 克
0.01% = 100 ppm	取 0.1% PVA 溶液 3 克加水至 30 克
50 ppm	取 100 ppm PVA 溶液 5 克加水至 10 克
20 ppm	取 100 ppm PVA 溶液 2 克加水至 10 克
10 ppm	取 100 ppm PVA 溶液 4 克加水至 40 克
8 ppm	取 10 ppm PVA 溶液 8 克加水至 10 克
6 ppm	取 10 ppm PVA 溶液 6 克加水至 10 克
4 ppm	取 10 ppm PVA 溶液 4 克加水至 10 克
2 ppm	取 10 ppm PVA 溶液 2 克加水至 10 克
1 ppm	取 10 ppm PVA 溶液 1 克加水至 10 克

二、比較檢驗方法是否準確，提供一般民眾可以在家中也可以檢查玉米黏土的方式。

(一) 是否可以檢驗水中的聚乙烯醇？

1. 硼砂交聯法

- (1) 尋找 PVA 交聯需要多少硼砂？
- (2) 尋找使用交聯方法所需要的濃度？
- (3) 嘗試檢驗玉米黏土與玉米澱粉、預糊化玉米澱粉。
- (4) 配置硼砂溶液：5 克硼砂，加水至 100 克。

2. 碘液加熱法：預糊化玉米澱粉與 PVA 使用碘液檢測，並且加熱，再待其冷卻觀察之變化。

3. 硼酸－碘液法

- (1) 嘗試檢驗水中的 PVA
- (2) 找尋好的硼酸－碘液法濃度比例與測量的極限
- (3) 硼酸溶液配置：5 克硼酸，加水至 100 克。

(二) 樣品中的干擾物澱粉，如何解決澱粉干擾？

1. 唾液澱粉酶前處理：咬住吸管把口水收集在燒杯內，備用。實驗比例參照結果與討論。

## 2. 硫酸水解澱粉前處理---硫酸配置濃度

(1) 20%：98%硫酸溶液 20 克，加水至 100 克

(2) 25%：98%硫酸溶液 25 克，加水至 100 克

(三) 總結：我們希望把它變成可以商品化的組合，包含前處理試劑、硼碘試劑，讓大家可以在家中方便檢測，還有檢測色卡。實驗以不同濃度配置標準 PVA 溶液，使用硫酸處理 1 小時，並使用硼碘法檢測，得到標準溶液的照片。

## 三、尋找生活中替代性材料，製作類似玉米黏土效果的產品

### (一) 了解與玉米黏土結構相似之食品的製作與原理，尋找可能的製作流程

常見的點心具有跟玉米黏土類似的孔洞，也有 Q 度黏性，是我們找尋的目標，因為單純分析成分並不足夠，想要製造自己的玉米黏土，還需要膨發與乾燥兩個部分。由於玉米黏土的味道很像餅乾，而很多餅乾也有孔洞，所以我們從點心的製程去了解，可能有哪些方式可以製造出自己的創意黏土。

1. **發糕**：經過糊化的麵糊加入發粉，再經過蒸的過程產生孔洞。再加工烘乾或許可以得到自己的玉米黏土。
2. **米餅**：放入嘴裡馬上化開的米餅，也跟玉米黏土溶解在水中相似。米餅的製造流程為：打米漿，過濾米漿得到米糊，把米糊蒸熟，再烘乾，一定要非常乾，在表面形成堅硬的外膜，利用微波使內部些許水份氣化，產生孔洞。
3. **小饅頭**：放入嘴裡馬上化開的小饅頭，也跟玉米黏土溶解在水中相似。網路查詢到小饅頭的製造流程為：馬鈴薯澱粉混和打發奶油，揉製成麵團，經過微波使奶油融化留下孔洞材料。不含雞蛋的小饅頭配方比較容易遇到水馬上化開。

### (二) 不是只有發粉才有膨發效果，了解不同的膨發作用，嘗試製作與比較。

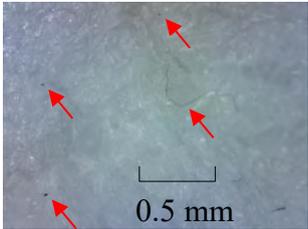
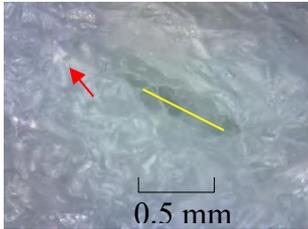
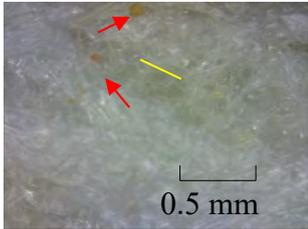
1. 發粉膨發原理。
2. 微波膨發原理。

四、使用推測出的結果製作自己的創意黏土，並與市售品比較，歸納出其缺點。

## 伍、 研究結果與討論

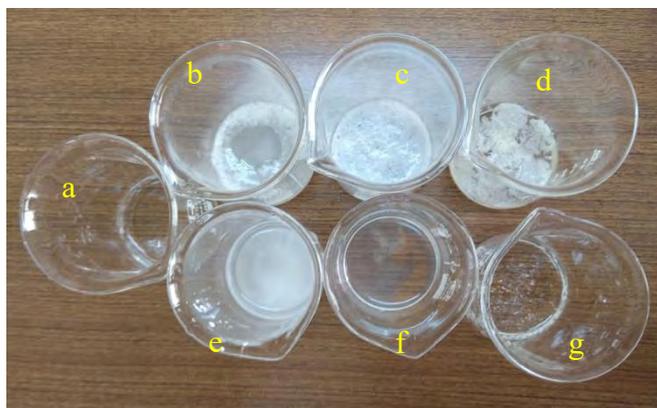
### 一、 玉米黏土的特性與觀察

#### (一) 觀察市售玉米黏土

	玉米黏土甲	玉米黏土乙	玉米黏土丙
外觀照片			
顏色、香味	最白，聞不出味道	米白，有餅乾的味道。	白偏黃、上面有橘色的斑點、有點上米糠，有餅乾的味道。
孔洞粗糙	孔洞很小，最光滑，很少有破裂。	孔洞偏大，有些有破裂面。	孔洞偏大，很少有破裂。
大小	尺寸：2.7 公分。	尺寸：3.2 公分。	尺寸：3 公分。
顯微鏡觀察			
	幾乎每顆都有拍到微小雜質，感覺是線頭與毛髮，品質較不好。但是表面光滑幾乎沒有缺陷	有拍到黃色顆粒，感覺是米糠。有拍到破裂面，口徑沒有固定但是大約在 0.5mm 以下。發泡的孔洞沒有固定形狀與大小，孔洞偏大。	有拍到黃色顆粒，感覺是米糠。有拍到破裂面，口徑沒有固定但是大約在 0.5mm 以下。

## (二) 溶解實驗

1. 各種市售玉米黏土樣品、玉米粉、預糊化玉米粉與聚乙烯醇等製作玉米黏土原料在水中溶解的情形。



**圖 1**：各種市售玉米黏土樣品、玉米粉、預糊化玉米粉與聚乙烯醇等製作玉米黏土原料在水中溶解的情形。a，水，b 玉米黏土甲，c 玉米黏土乙，d 玉米黏土丙，e 玉米粉，f 預糊化玉米粉，g 聚乙烯醇。樣品 0.2 g 溶解於 25 度 C 10 ml 水中。

實驗記錄描述如下：

樣品	描述
a 水	對照組
b 玉米黏土甲	放入水中出現泡沫，等待之後泡沫會消失，溶液中有白色沉澱物，沉澱物相當細緻。過濾後濾液呈現透明。
c 玉米黏土乙	放入水中出現泡沫，等待之後泡沫比較不容易消失，溶液中有白色懸浮物，懸浮物有點像膠水呈現黏稠狀。是三種玉米黏土水溶液中最不容易過濾的，黏稠度大。
d 玉米黏土丙	放入水中沒有出現泡沫，溶液呈現微黃色，有飄浮物，過濾之後濾液呈現透明黃色。
e 玉米粉	放入水中呈現白色混濁，靜置之後會發生沉澱，沉澱物為白色的細緻物質。過濾之後濾液呈現透明無色。
f 預糊化玉米粉	放入水中呈現有點白色的透明黏稠液體，有點像膠水。因為不能過濾，所以

	使用原液進行後續實驗。
g 聚乙烯醇	放入水中呈現顆粒狀，等待很久顆粒逐漸軟化，出現透明無色黏稠液體，有點像膠水。因為不能過濾，所以使用原液進行後續實驗。

**討論：**一開始的實驗並沒有預糊化玉米粉，原本我們是採用加熱的方式製作預糊化玉米粉水。但是後續的實驗中(聚乙烯醇交聯實驗、澱粉的碘液測試)發現每次實驗結果都沒有相同。猜測可能與糊化程度有關，所以後來買了已經預糊化的玉米粉體進行實驗，降低實驗誤差。

### (三)各種廠牌玉米黏土、聚乙烯醇與預糊化玉米澱粉的酸鹼值



受檢測物質(1 克溶於 10 毫升水中)	PH 值
甲牌白色玉米黏土水溶液	7.8
乙牌白色玉米黏土水溶液	7.9
丙牌白色玉米黏土水溶液	7.8
丙牌藍色玉米黏土水溶液	9.4
丙牌黃色玉米黏土水溶液	9.2
丙丙牌牌紅色玉米黏土水溶液	9.3
聚乙烯醇水溶液	7.5
預糊化玉米澱粉水溶液	6.9



黃色色素水溶液	PH7.3
紅色色素水溶液	PH7.2
藍色色素水溶液	PH6.9

討論： 1.丙牌有顏色的玉米黏土水溶液均呈現鹼性，我們討論後認為也許是色素的關係，因此我們使用某廠牌的食用色素來測試酸鹼值看看

2.根據色素檢測結果，有顏色的玉米黏土之鹼性原因可能不是色素的關係，亦或者是不同廠牌的色素所造成。

#### (四)碘液檢測

##### 1.尋找合適碘液濃度與劑量

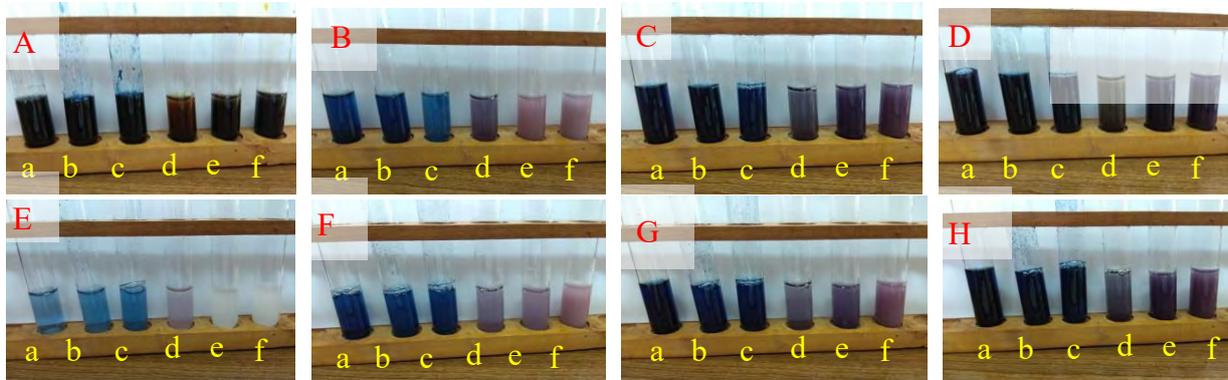


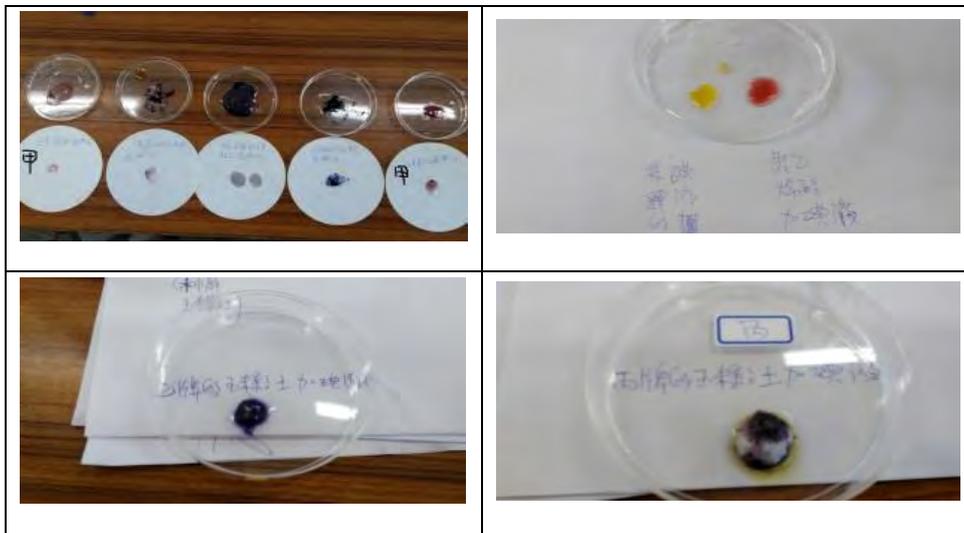
圖 2：待測液體 a = 0.2 % 預糊化澱粉溶液，b = 1 % 預糊化澱粉溶液，c = 2 % 預糊化澱粉溶液，d = 0.2 % 玉米粉溶液各為 3 ml，e = 1 % 玉米粉溶液，f = 2 % 玉米粉溶液。A = 10 ppm 碘液各 0.5 ml，B、C、D = 200 ppm 碘液分別為各 0.5、1.0、1.5 ml，E、F、G、H = 1 ppm 碘液分別為各 0.5、1.0、1.5、2.0 ml。

討論：由圖 2 A 可以知道，10 ppm 碘液對於待測液太濃，顏色過深不容易觀察。而圖 2 E ~ H 可以知道，1ppm 碘液對於待測液太少，肉眼不容易觀察其變色結果，就算加入 2 ml

仍然不會出現過量的情形，但是因為加入的碘液量增加也會稀釋待測液濃度。故 200 ppm 碘液為最合適濃度，圖 2 B ~ D 可以知道 200 ppm 碘液 0.5 ml 可以區分不同濃度待測液，1.5 ml 時過量因為 d 管為綠色，有可能表示碘液過多。

**討論**：圖 2 B 中 a ~ c 管顏色沒有隨著預糊化澱粉量增加而變深，我們推測是因為 2% 預糊化澱粉為黏稠液體，不容易與碘結合。所以在圖 2B、C、D 中 c 管顏色隨碘液量增加而變深，可能是增加碘液量的同時水也跟著增加，使澱粉溶液更容易與碘結合

## 2. 最適當碘液濃度與各廠牌玉米黏土及聚乙烯醇的顏色變化



**討論** 1. 根據試驗結果，甲牌玉米黏土與聚乙烯醇的碘液反映顏色較接近。乙牌與預糊化澱粉對碘液的反應相近，而丙牌則與水煮過的玉米澱粉對碘液的顏色反應相近。

2. 至於不同品牌的玉米黏土是否含有聚乙烯醇的成分則有待進一步的測試。

二、比較檢驗方法是否準確，提供一般民眾可以在家中檢查玉米黏土的方式。

(一) 是否可以檢驗溶液中的聚乙烯醇？

### 1. 硼砂交聯法

(1) 尋找 PVA 交聯需要多少硼砂？



圖 3 5%PVA 水溶液 10 ml，各加入 5%硼砂水溶液 A = 1 ml，B = 5 ml，C = 10 ml，D = 20 ml，E = 30 ml。對應的下排為該杯的交聯物質。

編號	5%PVA 水溶液	5%硼砂水溶液	觀察記錄
A	10 ml	1ml	出現交聯物質，沒有交聯的溶液部分摸起來黏滑的有膠水的感覺。
B	10 ml	5 ml	交聯物質增加，沒有交聯的溶液部分摸起來黏黏滑滑的有膠水的感覺，但是量有減少。
C	10 ml	10 ml	交聯物質增加，幾乎沒有未交聯的溶液。
D	10 ml	20 ml	交聯物質沒有增加，溶液部分就像清水一般
E	10 ml	30 ml	交聯物質沒有增加，溶液部分就像清水一般，水量增加

討論：如要製作史萊姆，C 的配方式最佳的選擇。而 D、E 兩個比例，硼砂水太多，不是我們要的比例。我們最後選擇 B：5%硼砂水溶液 5 ml 做為後續實驗用的比例，因為我們想要檢測較低濃度的 PVA，太多水反而會稀釋待測物 PVA，也不容易觀察交聯的結果。

(2) 尋找使用交聯方法所需要的濃度？

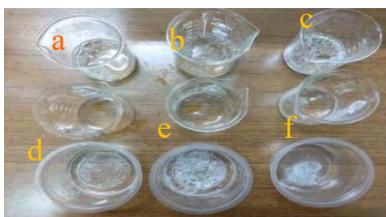


圖 4 採用 0.01%、0.1 %、0.5%、1%、5%、10%PVA 水溶液 10 ml，分別加入 5%硼砂水溶液，依照比例 1：0.5，1：1，1：2，1：3 之比例混和觀察交聯現象。

編號	PVA 水溶液	觀察記錄
----	---------	------

a	0.01%	10 ml	出現很多泡泡，沒有見到交聯物質
b	0.1 %	10 ml	出現很多泡泡，沒有見到交聯物質
c	0.5%	10 ml	出現很多泡泡，沒有見到交聯物質
d	1%	10 ml	有交聯物質出現，類似鬼口水，有流動感可以攤平
e	5%	10 ml	有交聯物質出現，類似史萊姆，稍微有流動感
f	10%	10 ml	有交聯物質出現，可以搓成球狀，偏硬有彈性

**討論**：使用硼砂交聯出現檢測 PVA 的檢測極限大約在 1% PVA 水溶液。我們嘗試其他待測物是否也會出現交聯的現象。

(3) 嘗試檢驗預糊化玉米澱粉與玉米粉遇到硼砂是否會產生交聯現象。



**圖 5** A = 0.1%，B = 1%，C = 10%預糊化玉米澱粉水溶液，E = 0.1%，F = 1%，

G = 10%玉米澱粉水溶液各 10 ml，分別加入 5%硼砂水溶液。D 為 C 之交聯物質。

編號	預糊化玉米澱粉水溶液	玉米澱粉水溶液	觀察記錄
A	0.1% 10 ml	0 ml	白色半透明，很容易產生氣泡
B	1% 10 ml	0 ml	白色半透明，氣泡減少
C	10% 10 ml	0 ml	白色半透明，出現類似鬼口水的交聯物質，和 PVA 的透明交聯物質不同
E	0 ml	0.1% 10 ml	白色混濁沒有出現交聯物質，過一段時間玉米粉沉澱
F	0 ml	1% 10 ml	白色混濁沒有出現交聯物質，過一段時間玉米粉沉澱
G	0 ml	10% 10 ml	白色混濁沒有出現交聯物質，過一段時間玉米粉沉澱

**討論**：因為預糊化澱粉也會產生交聯現象，而且這個方法偵測濃度比我們預期的高很多。所以我們繼續研究還有哪些方法可以檢驗 PVA。

## 2. 硼酸－碘液法：嘗試檢驗樣本中的 PVA

### (1) 嘗試檢驗水中的 PVA

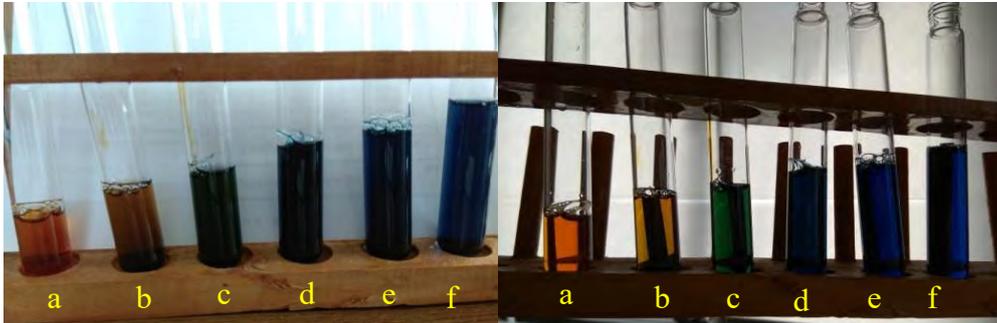


圖 6 0.3% PVA 溶液 3 ml 加入 200 ppm 碘液 2 ml 加入 5% 硼酸水溶液分別為 a = 0 ml, b = 1 ml, c = 2 ml, d = 3 ml, e = 4 ml, f = 5 ml。右邊為左側的打光拍照。

討論：與文獻中看到資料相符合出現綠色及藍色的變化，不過顏色太深不容易區分。我們嘗試其他比例。

### (2) 找尋好的硼酸－碘液法濃度比例



圖 7 0.2% PVA 溶液 3 ml 溶液，A 圖為加入 200 ppm 碘液 1 ml，B 圖為加入 200 ppm 碘液 1.5 ml，加入 5% 硼酸水溶液分別為 a = 0 ml, b = 1 ml, c = 2 ml, d = 3 ml, e = 4 ml, f = 5 ml。

討論：隨著硼酸的量增加，錯合物量增加反應物逐漸變成藍色。由圖 7 A 可以知道 e 為最佳濃度，f 的顏色比 e 淺，是因為碘液在加入 5 ml 硼酸水溶液時已經完全反應，就算再加入更多的硼酸水溶液，藍色錯合物也不會增加，反而增加水量稀釋溶液使藍色不好觀察。圖 7 B 可以知道 f 為最佳濃度，因為 e 為藍綠色，可能還有一些碘液沒有變成錯合物造成。所以我們決定採用 200 ppm 碘液 1.5 ml, 5% 硼酸水溶液 5 ml 檢測後面實驗

(二) 樣品中的干擾物澱粉，如何解決澱粉干擾？

1. 唾液澱粉酶前處理

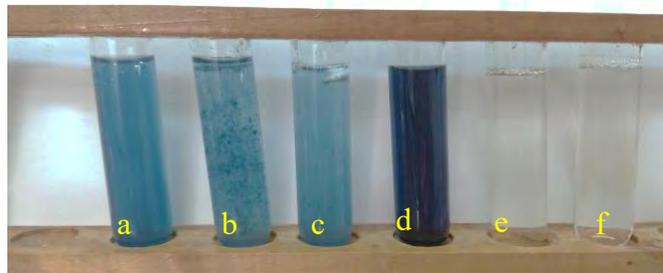


圖 8 分別把 a、b、c = 0.2% PVA 溶液加入 0.5 ml 唾液反應 5、10、15 分鐘，d、e、f = 0.1% 預糊化澱粉溶液加入 0.5 ml 唾液反應 5、10、15 分鐘，再加入 200ppm 碘液 1.5 ml，5% 硼酸水溶液 5 ml 觀察之。

討論：短時間可以去除澱粉溶液，但是 PVA 也會隨著時間分解。所以使用唾液澱粉酶前處理樣品去除干擾澱粉的方式並不適合這個實驗。

2. 硫酸水解澱粉前處理

分別把 a = 0.2% PVA 溶液，b = 0.3% PVA 溶液，c = 0.01% 預糊化澱粉溶液，d = 0.1% 預糊化澱粉溶液，e = 1% 預糊化澱粉溶液，f = 0.2% PVA 溶液 + 1% 預糊化澱粉溶液各 60 ml，加入 20% 硫酸溶液各 20 ml 反應，每 15 分鐘抽取樣品 3 ml，再加 200 ppm 碘液 1.5 ml，5% 硼酸水溶液 5 ml 觀察之。

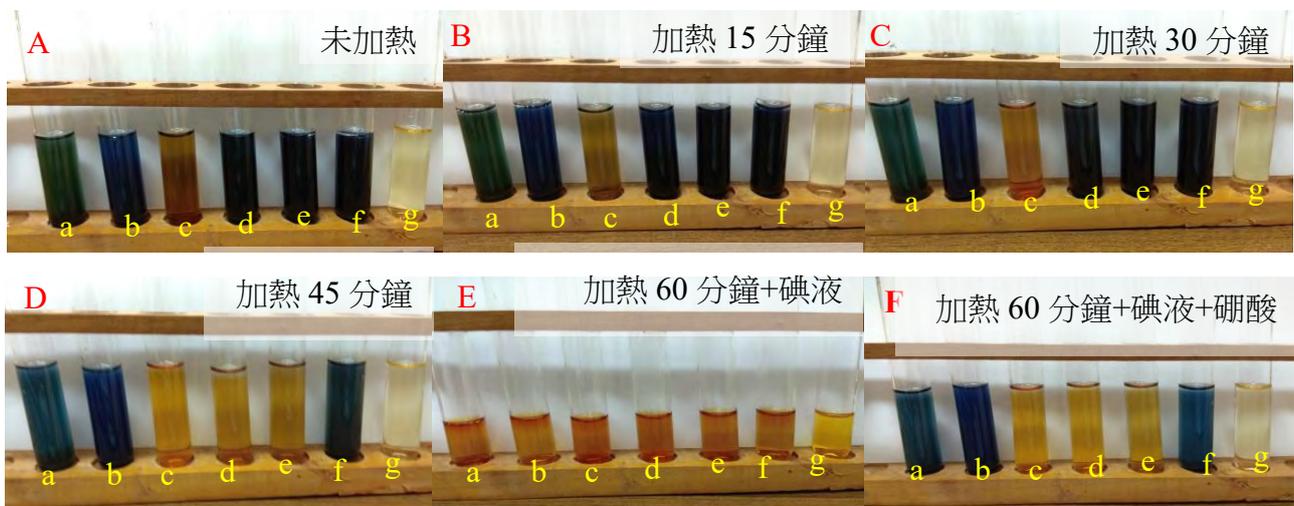


圖 9 A 為未加熱前測試，B 為加熱 15 分鐘取樣，C 為加熱 30 分鐘取樣，D 為加熱 45 分鐘

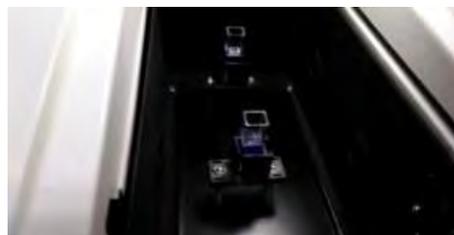
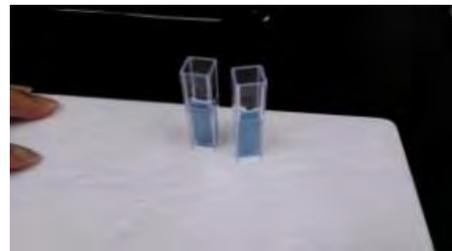
取樣，E、F 為加熱 60 分鐘取樣，皆為放涼測試，其中 E 為只有加入碘液還沒加入硼酸溶液之圖。a = 0.2% PVA 溶液，b = 0.3% PVA 溶液，c = 0.01% 預糊化澱粉溶液，d = 0.1% 預糊化澱粉溶液，e = 1% 預糊化澱粉溶液，f = 0.2% PVA 溶液 + 1% 預糊化澱粉溶液。

**討論**：D 反應 45 分鐘有明顯的變化，大部分預糊化澱粉已經被硫酸分解，所以滴入碘液幾乎不變色。圖 9 中 E，所有的試管加入碘液顏色皆無顯著差異，確定預糊化澱粉已經被分解，F 為 E 再加入硼酸溶液，其中 f 與 a、b 相同皆轉為藍綠色，證明有 PVA 存在。且 a 與 f 顏色非常接近。

3. 使用雙光束紫外光-可見光光譜儀 ( Double-beam UV-visible spectrophotometer ) 測量樣本的吸收光譜

儀器參數設定：波長掃描範圍設定為 ( $\lambda$ ) 220-800 nm，掃描速度(scan speed)為  $1000 \text{ nm min}^{-1}$ 。

操作過程：



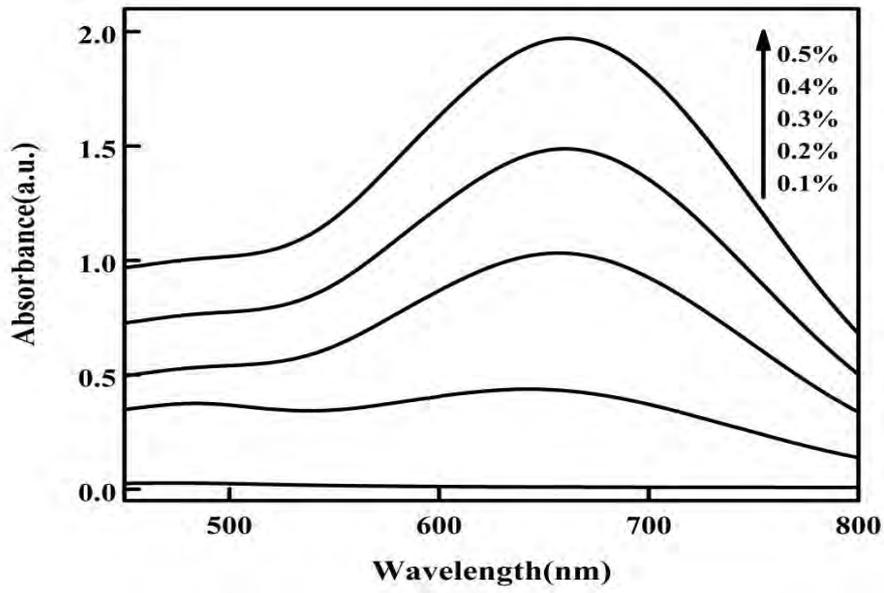
### 不同濃度的 PVA 溶液及對照組



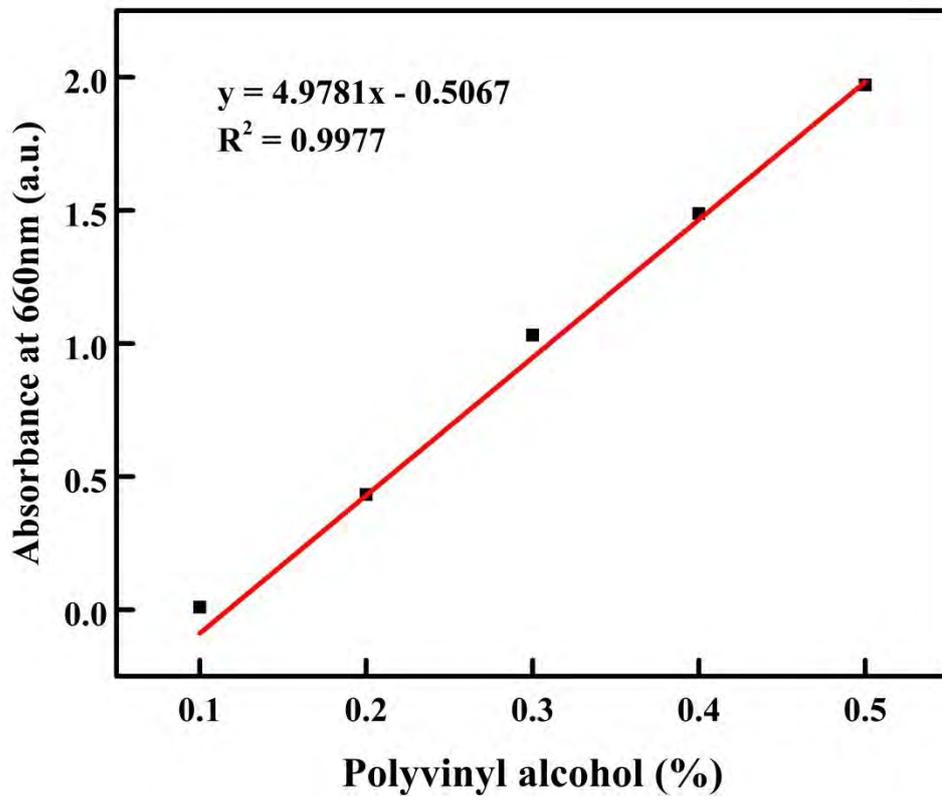
左起依序分別為 0.1%PVA、0.2%PVA、0.3%PVA、0.4%PVA、0.5%PVA 及對照組溶液之碘硼反應。經過吸收光譜檢測歸納出下列表格

濃度	波長 nm	最大吸收數值
0.1%PVA	未檢出	未檢出
0.2%PVA	643	0.43599
0.3%PVA	657	1.03243
0.4%PVA	660	1.48805
0.5%PVA	661	1.97122
對照組(20%硫酸、碘液、硼酸)	未檢出	未檢出

吸收光譜高峰圖



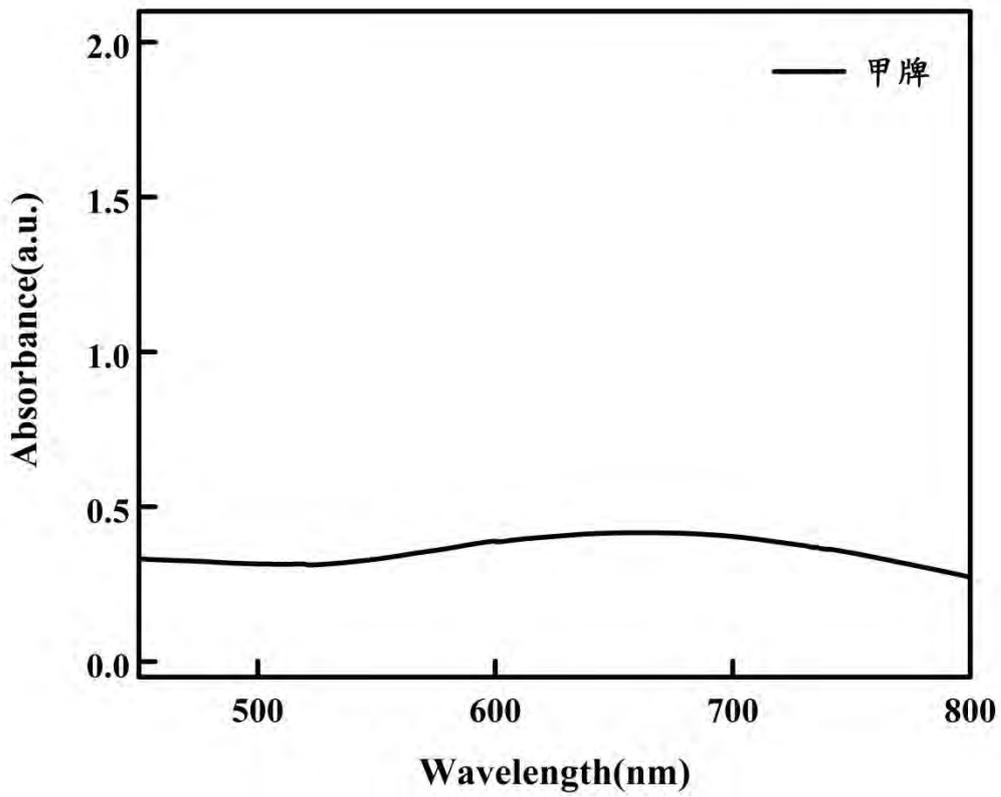
吸收光譜轉為檢量線

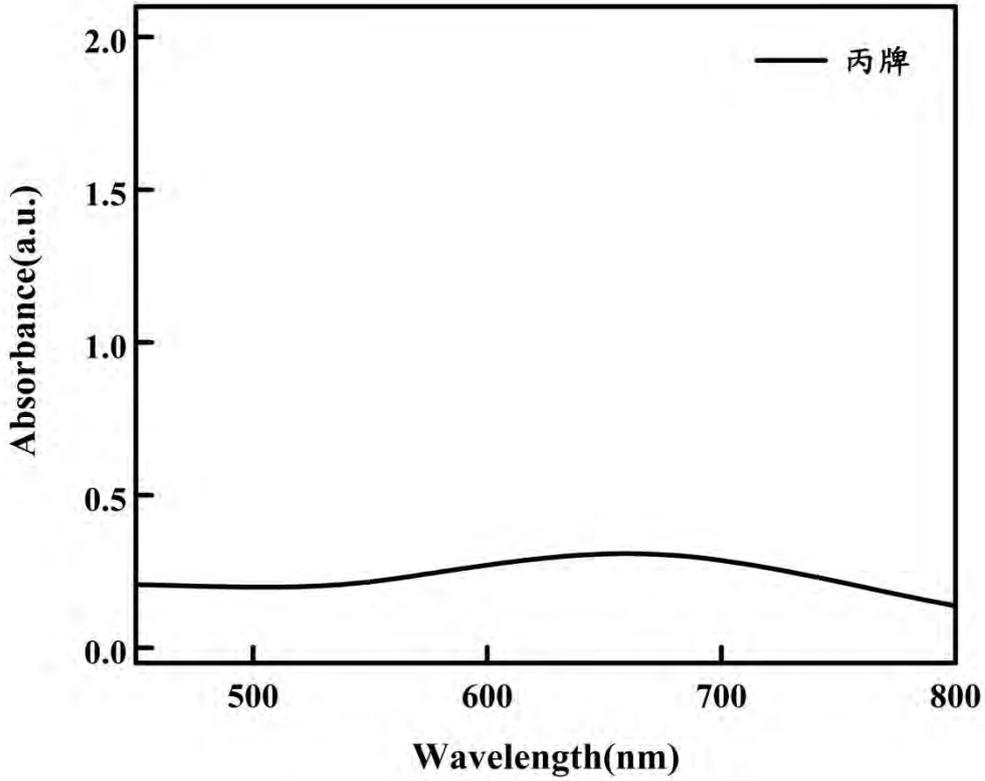
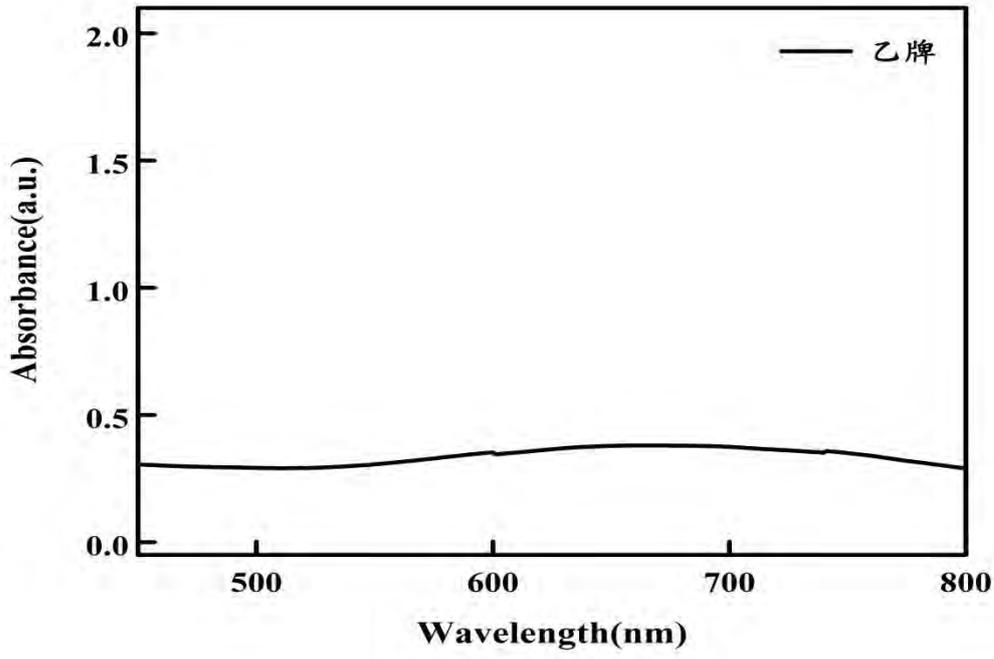


4. 檢測市售不同品牌玉米黏土的碘硼反應



檢測結果





玉米黏土品牌	吸收值(四捨五入取到小數第二位)	帶入檢量線轉為濃度	依照比例轉為重量(克/每公克樣本)
甲	約 0.41	0.181%	0.00362
乙	約 0.38	0.178%	0.00356
丙	約 0.30	0.162%	0.00324

### 三、尋找生活中替代性材料，製作類似玉米黏土效果的產品

#### (一) 嘗試製作米餅、發糕與自製食用黏土

##### 1. 做出米餅。



圖 10 第一次作米餅

**討論**：我們從打米漿開始製作米餅，但是成功的機率很低，而且如石頭一般堅硬，不像市售品一樣入口即化。因為米餅的製作對於水分的要求和溫度控制相當嚴格，需要高溫短時間的膨發，但是家裡的微波爐很難達成，所以我們放棄從微波爐製作玉米黏土的想法。

##### 2. 做出發糕



圖 11 市售發粉：水之重量比。

$a = 5 : 4$ ， $b = 5 : 3$ ， $c = 5 : 2$ ， $d = 10 : 3$ 。e 為 c 切開，f 為切開再組裝。

**討論**：b = 5 : 3(包裝說明之比例)，c = 5 : 2(較佳比例與 10 : 3 相似，但此洞較大)成功的發糕有黏性，中間有空隙，可切開再推疊組合；沾水並不增加黏性，反而會減低黏性無法組合。

3. 做出自製創意黏土(使用 150 克麵粉、10 克酵母、100 毫升的水、10 克黑糖、食用色素及預糊化澱粉)

過程如下圖：



## (二) 並與市售品比較，歸納出其缺點

1. **市售玉米黏土**：在乾燥下，保存期限長、但是塑造為成品後，放置過久作品無法持久，會萎縮，除了玉米澱粉、色素還有其他未知的成分。
2. **自製玉米黏土**：保存期限短，可以做成自己想要的形狀；完全自己製作、可自己染色、並觀察到酵母膨發的過程，放置一星期，成品沒有縮小或分開情形。

## 陸、 結論

### 一、 硼砂交聯

- (一) 5%PVA 水溶液 10ml 加 5%硼砂水溶液 10ml 為製作史萊姆的最佳選擇
- (二) 使用硼砂交聯檢測 PVA 的極限大約在 1%PVA 水溶液。
- (三) 我們利用此配方加玉米黏土，發現會產生交聯，但是最後又發現預糊化澱粉加上硼砂水，也會產生交聯，所以不知道是 PVA 還是預糊化澱粉。

### 二、使用碘液檢驗 PVA 的條件

- (一) 遇到鹼性物質，碘液容易褪色，如果待測物含有鹼性物質如小蘇打粉，就不適

合用碘液檢驗，需要先酸化處理。

(二) 碘液會因為滴管的大小滴影響實驗，因此採用加水稀釋，計算濃度的方法進行實驗。實驗中，我們發現碘液檢測濃度不是越濃越好，10 ppm 碘液對於待測液太濃，導致顏色過深不容易觀察。1ppm 碘液對於待測液太少，肉眼不容易觀察其變色結果，就算加入 2 ml 仍然不會出現過量的情形，但是加入的碘液量增加，同時也會稀釋待測液濃度。200 ppm 碘液 0.5 ml 可以區分不同濃度待測液，1.5 ml 時過量因為 d 管為綠色，有可能表示碘液過多。故 200 ppm 碘液為最合適濃度。

(三) 2%預糊化澱粉為黏稠液體，不容易與碘結合。

三、下述的方法可以檢驗食物中的 PVA：

(一) 碘液加熱法：單純測量 PVA 水溶液時或單純澱粉溶液可以使用，但是 PVA 和澱粉溶液混合物沒有相關聯。

(二) 硼酸-碘液法：使用 200ppm 碘液 1.5ml，5%硼酸水溶液 5ml 做為檢測液較佳，因為碘液在 5ml 硼酸水溶液時已經完全反應，再加入更多的硼酸水溶液，藍色撮合物也不會增加，反而會增加水量稀釋，使我們不好觀察。我們發現 200ppm 碘液 1.5ml 加入 5%硼酸水溶液 5ml 為最佳檢驗濃度。

(三) 預糊化澱粉在加入碘液時就已經呈現藍色，如果是預糊化澱粉混合 PVA 就無法得知是否含 PVA，要檢驗食物中的 PVA 必須事前處理，排除澱粉干擾。

(四) 前處理後，使用兩個方法都可以檢驗 PVA，但是硼碘法的檢測極限低比較合適。

四、利用水解澱粉、硼酸碘液，我們發現，我們買入的中國甲、乙玉米黏土、丙德國產黏土都含有 PVA，以丙牌的玉米黏土 PVA 含量較低。

五、要檢驗食物中的 PVA 必須

(一) 使用唾液的澱粉酶消化澱粉，不適合使用於含預糊化澱粉的 PVA 溶液，因為 PVA 也會隨著時間分解。利用 20%硫酸，水解澱粉，需要花約 45 分鐘，大部分的預糊化澱粉就能被硫酸分解，滴入碘液幾乎不會變成藍色。

(二) 前處理後使用碘液加熱法或硼碘法都可以，但硼碘法的檢測極限低比較合適。

## 六、自製創意黏土

(一) 製作的米餅法並不適用玉米澱粉作成玉米黏土，太過硬且沒有黏性。

(二) 模仿發糕作法，以玉米粉替，無法直接使用包裝上的發糕粉比例，粉：水=5：3。

糊化玉米粉需要較多的水，因為預糊化玉米粉會吸水，因此會影響到成品的孔洞呈現和是否黏性適當，未糊化玉米粉 19~18.5、預糊化玉米粉 0.5~1.5 克、泡打粉 2 克、水 28 克都能產生孔洞，揉勻就可以形成有黏性的黏土。從玉米黏土實驗五討論中：我們覺得 19.5 克玉米粉+0.5 克預糊化玉米粉+2 克泡打粉，效果最好；可是泡打粉的多少是否會影響到黏度，我們還想知道泡打粉替換成檸檬酸加上小蘇打粉，目前以 1 克：1 克比例替換泡打粉，效果不錯，膨發成果和泡打粉相似，不過進電鍋時須把握時間，因為會釋放二氧化碳。

(三) 自製創意黏土雖然保存時限較短，但是天然無毒性且可以發揮創意塑造出自己想要的造型，非常好玩。

## 柒、參考資料及其他

- 一、王暉崙、郭主歆、邱耀慶（2007）。解開澱粉-碘的藍色密碼。中華民國第 47 屆中小學科學展覽優勝作品。
- 二、衛生福利部食品藥物管理(2013)。102 年 9 月 4 日部授食字第 1021950290 號公告修正。取自：  
<https://www.fda.gov.tw/TC/searchin.aspx?q=%E8%81%9A%E4%B9%99%E7%83%AF%E9%86%87>
- 三、衛生福利部食品藥物管理(2011)。食品添加物使用範圍及限量暨規格標準第二條附表。取自 <https://www.google.com/url?q=https://www.fda.gov.tw/tc/includes/GetFile.ashx%3FmID%3D19%26id%3D10015&sa=U&ved=0ahUKEwjXqq3t6vXZAhUMwbwKHT4iAK8QFggGMAE&client=internal-uds-cse&cx=008913382465328057190:rqac96pknjw&usg=AOvVaw35s8VGo-9sMzb1txRcOIXQ>
- 四、許銘宏、賴亭慈、周沛穎(2014)。發糕膨發條件之探討。全國高職學生 103 年度專題暨創意製作競賽說明書

## 【評語】 080202

本研究目的在探討市售玉米黏土的組成，並試著以一般家庭中  
可以找到的含澱粉物質來製作安全、可實用之黏土。這是一個有趣  
的研究主題，在檢測市售玉米黏土的研究上有定量分析及檢量線  
的概念，並利用硼酸-碘液法搭配澱粉水解前處理來檢測聚乙烯醇的  
含量，值得讚賞。惟，在作品呈現上架構略為鬆散，不容易聚焦，  
此外若能在序言中分析、參考前人經驗，並提出本研究的獨特性會  
更佳。

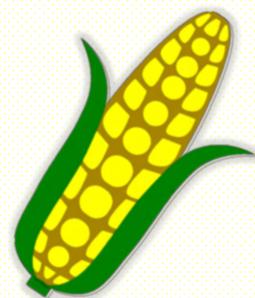
黏土製作相關科展作品可參考：(1)中華民國第 57 屆中小學科  
學展覽會作品說明書第一名最佳創意獎 080206-封面「滑」出超級  
「矽」魔力，以防黴矽酮加玉米澱粉，性質最接近超級黏土；(2)  
中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書國小組生活與應用  
科學科佳作回收紙大改造-自製環保紙黏土的研究

## 壹、研究動機

玉米黏土是由玉米及食用色素製成的創意黏土，相較於自己以前玩的黏土價格差很多，玉米能做成黏土？玉米不是拿來吃的嗎？一般書局也沒有看過這種黏土，成分寫著只有玉米澱粉和食用色素，聽起來好天然，卻不普及，開啟了我們對他的興趣。

## 貳、研究目的

- 一、剖析玉米黏土的特性【觀察、溶解、酸鹼性】
- 二、分析玉米黏土的成分
  - 1.澱粉性質【碘液分析、糊化作用】
  - 2.聚乙烯醇性質【溶於水、檢測方法】
- 三、聚乙烯醇可以添加在藥品及食物中，希望可以檢測玉米黏土中是否含有聚乙烯醇；如果有，到底有多少？
- 四、尋找生活中替代性材料，製作類似玉米黏土效果的產品



## 參、研究器材



## 肆、研究方法

### 一、玉米黏土的特性與觀察

- (一) 觀察玉米黏土【直接觀察、加水後變化、包裝上說明】
- (二) 溶解狀況【是否有沉澱】
- (三) 澱粉檢測【配置碘液、預糊化澱粉、玉米澱粉溶液】
- (四) 酸鹼性：用廣用指示液和水檢測玉米黏土、玉米粉等
- (五) 認識聚乙烯醇(PVA)性質

### 二、比較檢驗方法是否準確，提供一般民眾可以在家中也可以檢查玉米黏土的方式。

- (一) 是否可以檢驗溶液中的聚乙烯醇？
  1. 硼砂交聯法
  2. 碘液加熱法
  3. 硼酸—碘液法
- (二) 樣品中的干擾物澱粉，如何解決澱粉干擾？
  1. 唾液澱粉酶
  2. 硫酸水解澱粉前處理---硫酸配置濃度

### 三、尋找生活中替代性材料，製作類似玉米黏土效果的產品了解常見零食的製作與原理，尋找可能的製作流程

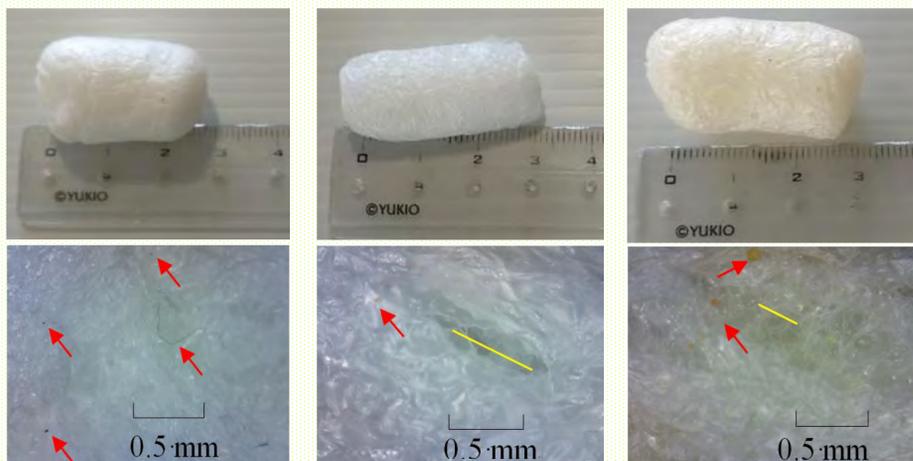
- (一) 嘗試製作米餅與發糕
- (二) 嘗試用玉米粉、發糕、麵粉等材料來做創意黏土

# 五、研究過程與討論

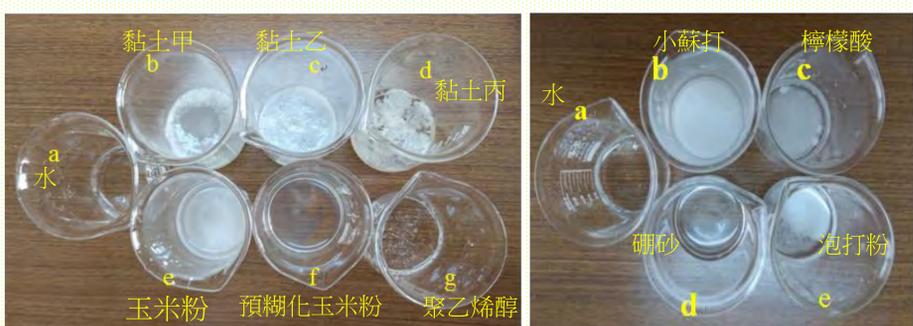
## 一、玉米黏土的特性與觀察

### (一) 觀察玉米黏土

外觀.顏色香味.孔洞粗糙.大小.顯微鏡

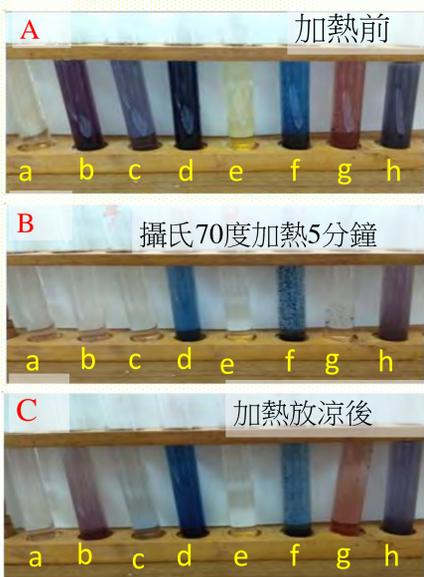


### (二) 溶解實驗



### (三) 澱粉檢測

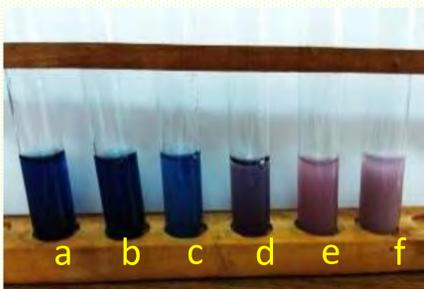
#### 1. 測試各種樣品



**討論：**  
 (1) 從圖中e與h知道玉米澱粉不溶於水可以藉由過濾的過程去除。  
 (2) b與g相同加熱使顏色消失冷卻後有出現顏色，推測玉米黏土甲可能含有PVA。  
 (3) 玉米黏土丙c管就算不加熱，隨等待時間增加也會退色。  
 (4) 玉米黏土乙出現與預糊化澱粉相同的藍色。

圖a = 水, b = 玉米黏土甲, c = 玉米黏土丙, d = 玉米黏土乙, e (過濾), f = 預糊化玉米粉, g = 聚乙烯醇, h = 玉米粉水。

#### 2. 尋找合適碘液濃度.劑量



**討論：**  
 200 ppm 碘液為最合適濃度，0.5 ml可以區分不同濃度待測液。

圖：待測液體a = 0.2% 預糊化澱粉溶液, b = 1% 預糊化澱粉溶液, c = 2% 預糊化澱粉溶液, d = 0.2% 玉米粉溶液, e = 1% 玉米粉溶液, f = 2% 玉米粉溶液。

### (四) 酸鹼性

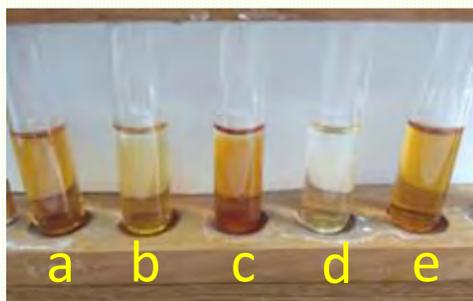
#### 1. 使用PH meter測量不同品牌玉米黏土的PH值



受檢物質(1克溶於10毫升水中)	PH值
甲牌白色玉米黏土水溶液	7.8
乙牌白色玉米黏土水溶液	7.9
丙牌白色玉米黏土水溶液	7.8
丙牌藍色玉米黏土水溶液	9.4
丙牌黃色玉米黏土水溶液	9.2
丙牌紅色玉米黏土水溶液	9.3
聚乙烯醇水溶液	7.5
預糊化玉米澱粉水溶液	6.9
硼砂水溶液	9.4

**討論：** 白色玉米黏土不論品牌其酸鹼值皆約7.8左右，但是丙牌有顏色的玉米黏土酸鹼值皆約9.3與硼砂水溶液接近，也有可能是色素品牌或添加其他物質。

## 2. 碘液遇到鹼是否退色？



圖：a = 水, b = 小蘇打, c = 檸檬酸, d = 硼砂, e = 泡打粉

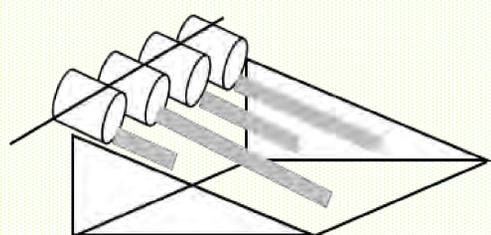
## 二、比較檢驗方法是否準確，提供民眾可以在家中檢查玉米黏土的方式。

### (一) 是否可以檢驗水中的聚乙烯醇？

#### 1. 硼砂交聯法



**PVA交聯需要多少硼砂**  
**結果：** 5%PVA水溶液10毫升 + 5% 硼砂水溶液 1~20ml, 10ml最容易觀察交聯的結果(C)。



**結果：**  
 利用自製設計斜板、2g 待測物 + 0.5克膠水(1/4膠水含量)等，藉由黏度推測膠水含量，不如預想。



**交聯方法所需濃度**  
**結果：**  
 使用硼砂交聯出現檢測PVA的檢測極限大約在1% PVA水溶液。

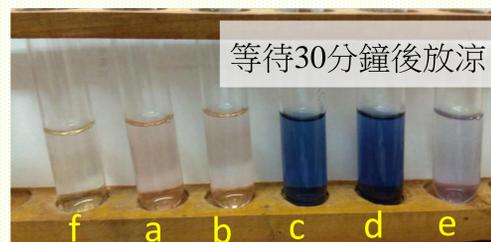
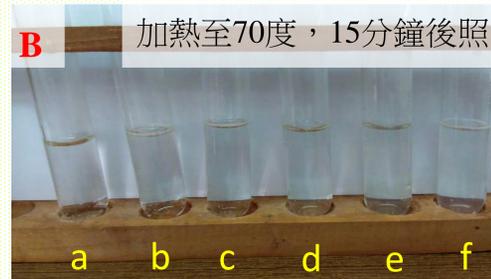


**預糊化玉米粉、玉米粉加入硼砂會產生交聯嗎？**  
**結果：** 10%的預糊化玉米澱粉水溶液10ml加5% 硼砂水，會交聯，像鬼口水；玉米澱粉水溶液則不會。

#### 2. 碘液加熱法



**結果：**  
 (1) PVA加200ppm碘液呈現紅色  
 (2) 加熱後顏色消失放涼後，顏色又出現  
 (3) 冷卻顏色出現但變淡。  
 (4) 從e我們發現混和物沒有相關聯，加熱後顏色反而為淡紫色。

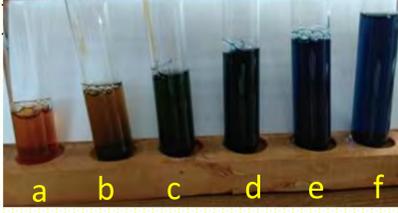


**討論：**  
 測量單純PVA水溶液，或是單純澱粉溶液可以用此種方式。

圖 a = 0.05% PVA, b = 0.1% PVA溶液, c = 0.05% 預糊化澱粉溶液, d = 0.1% 預糊化澱粉溶液, e = 0.05% PVA + 0.05% 預糊化澱粉溶液, f = 水, 各3 ml, 分別加入200 ppm碘液各1 ml。

### 3. 硼酸-碘液法

加入200 ppm碘液2ml



加入200 ppm碘液1ml



圖：200ppm碘液不同毫升加入5% 硼酸水溶液分別為a = 0 ml，b = 1ml，c = 2 ml，d = 3 ml，e = 4 ml，f = 5 ml

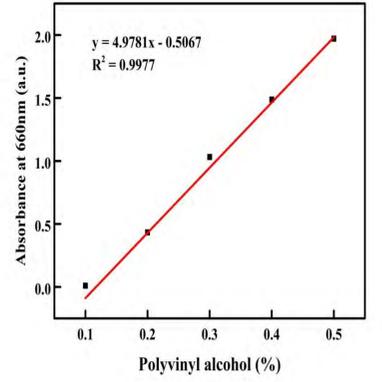
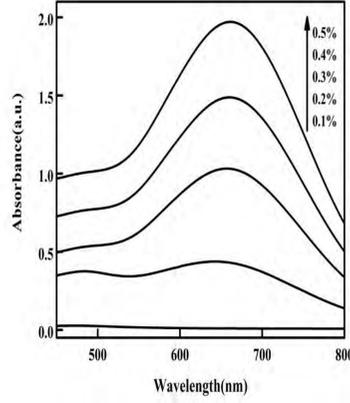
加入200 ppm碘液1.5 ml



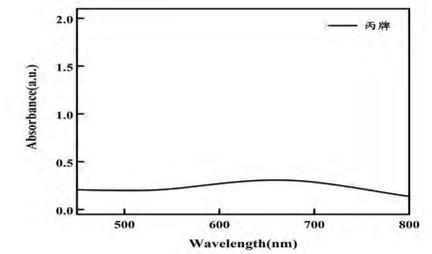
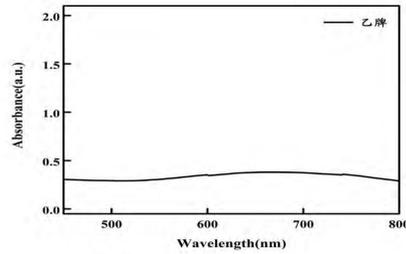
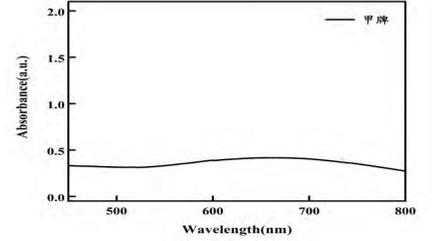
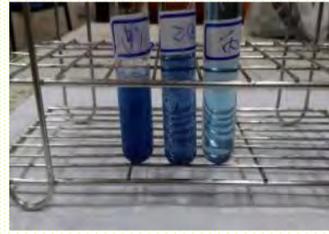
**結果：**  
出現綠色及藍色的變化。隨著硼酸的量增加，錯合物量增加反應物逐漸變成藍色。

**討論：**  
決定採用200ppm 碘液 1.5 ml，5% 硼酸水溶液 5 ml 檢測後面實驗。

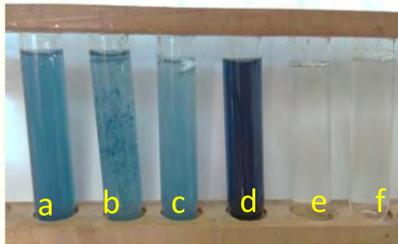
### 2. 使用雙光束紫外光-可見光光譜儀 (Double-beam UV-visible spectrophotometer) 測量標準液吸收光譜



### 3. 檢測不同品牌玉米黏土的碘硼反應與吸收光譜圖



### (二) 樣品有干擾物澱粉，怎麼辦？



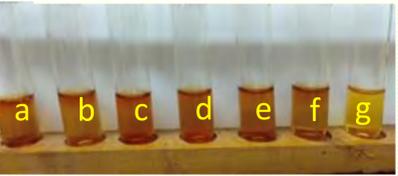
**方法一 - 唾液澱粉酶**  
**結果：**短時間可以去除澱粉溶液，但是PVA也會隨著時間分解

圖：a、b、c = 0.1% PVA溶液3ml加入0.5 ml 唾液反應5、10、15分鐘，d、e、f = 0.1% 預糊化澱粉溶液加入0.5 ml 唾液反應5、10、15分鐘，再加入200 ppm碘液1.5 ml，5% 硼酸水溶液5 ml觀察之。

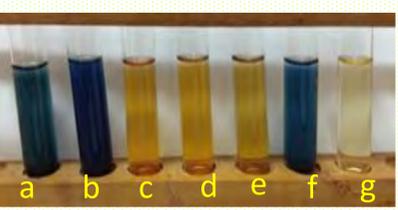
未加熱



加熱60分鐘，放涼測試



再加入硼酸



圖a = 0.2% PVA溶液，b = 0.4% PVA溶液，c = 0.01%預糊化澱粉溶液，d = 0.1%預糊化澱粉溶液，e = 1%預糊化澱粉溶液，f = 0.3% PVA溶液+ 1%預糊化澱粉溶液。

**(三) FDA規定每0.2 g PVA每公斤為食品中錠劑的添加上限。是否可以用這個方法檢驗如此低的濃度。**

### 1. 配置0.1~0.5% PVA標準溶液與對照組



### 三、尋找生活中替代性材料，製作類似玉米黏土效果的产品

#### (一) 自己嘗試製作



**米餅結果：**  
設備不夠，不像市售品入口即化。



**發糕結果：**  
需要掌握水、發糕粉比例，包裝粉水比例未必最佳。

#### (二) 自製創意黏土：

使用麵粉、酵母、黑糖、食用色素及預糊化澱粉

