

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

080211

「愛」的「膜」力轉圈圈～可食性愛玉薄膜素材  
的研究

學校名稱：臺中市南屯區大新國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳佩羽	彭士峯
小六 張語珊	童進昌
小六 陳禹翔	
小五 陳泊瑄	
小四 林育森	
小四 簡語晴	

關鍵詞：愛玉、薄膜、環保素材

## 摘要

減塑是必行的工作，由 2021 年消耗 28 億杯咖啡紙杯資料中，我們計算出每年消耗約 2000 公噸的 PE，我們以愛玉子：水=1g：80ml 的比例，以 20°C 的水用果汁機攪打 90 秒萃取愛玉凍，透過蔬果烘乾機以 50°C 烘乾 8 小時製成愛玉薄膜，以自製的測量薄膜的張力，找出較堅固的薄膜，薄膜厚度經測量為 0.004cm。愛玉薄膜具有防水、在 100°C 熱水煮 1 小時也不溶化，在烤箱 140°C 烘烤 20 分鐘不被破壞、不溶於 99%酒精、丙酮、飽和檸檬酸、99%醋酸、飽和小蘇打溶液中，化學性質穩定等特性。透過將高熔點起司煮成起司糊當黏著劑，成功將愛玉薄膜鍍於塔模餅乾上，在裝熱水的測試中，成功的在 1 小時後都不滲水，並透過咖啡測試，發現對於熱飲味道的影響頗低，可以成為取代 PE 膜的環保替代方案。

## 壹、前言

研究動機：

減塑是目前勢在必行的環保工作，我們發現大家每天人手一杯的咖啡紙杯裡面竟然含了不容易處理的塑膠膜，由 2019 年的 6 億杯到 2021 年的 28 億杯(參考資料 5、6)，以 28 億杯估計每年消耗約 2000 公噸的 PE，這些塑膠所產生的塑膠微粒是非常可觀的，我們在查資料時發現取代塑膠的相關方法陸續被研究出來(參考資料 1)，然而我們參考以往的作品(參考資料 1)發現該作品以洋菜取代塑膠製成吸管的可行性，但洋菜在高溫都會被溶解，因此這樣的環保食具仍有盛裝熱飲或熱湯時容易被溶解的問題，而目前參考的作品中，仍無法找到可以取代 PE 塑膠膜的材料。因此我們突發奇想如果用愛玉凍脫水製成薄膜，能否能取代現有的塑膠材料，成為新的環保素材，且兼具防水、耐高溫、對環境友善的特性，更期許能實際應用在餅乾表面結合愛玉薄膜，進而找到咖啡杯的替代方案做成可供食用的餅乾咖啡杯。

(相關單元：康軒版，自然與生活科技五上第二單元植物世界面面觀。)

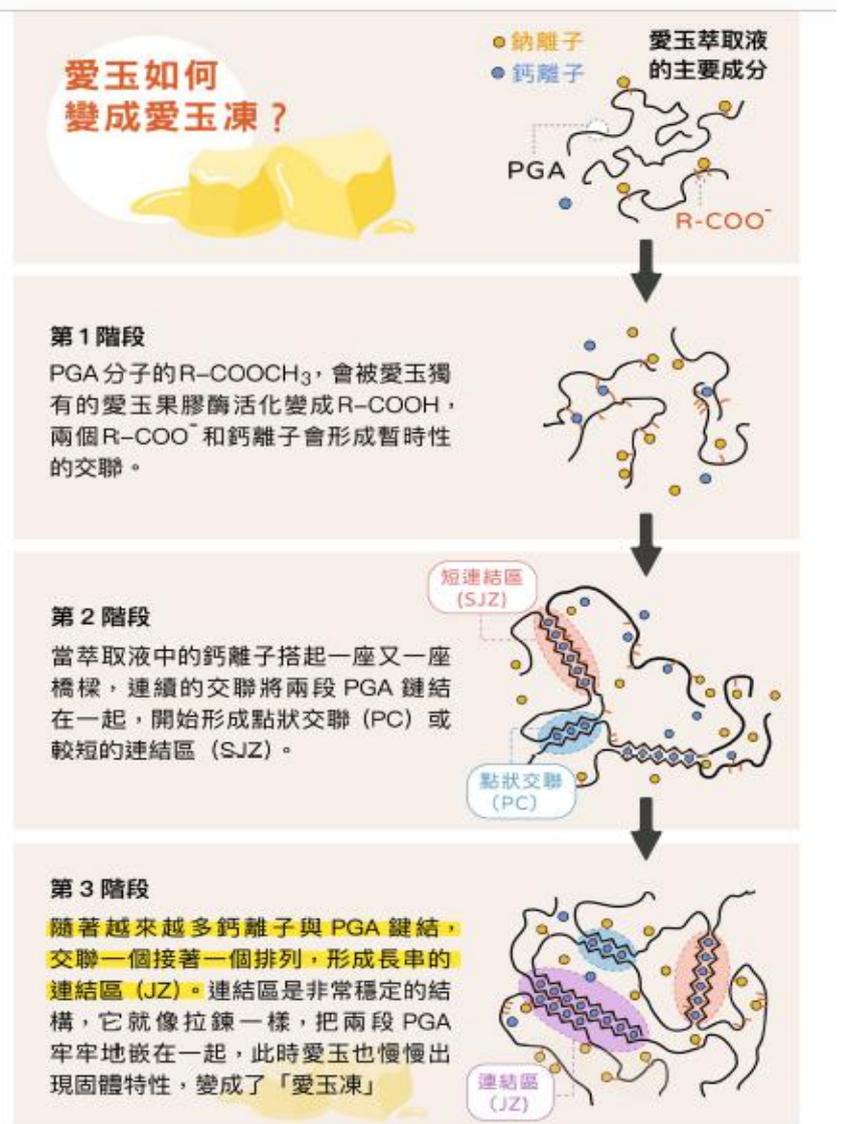
目的：

希望透過愛玉凍的結構，透過脫水嘗試製成愛玉薄膜，能否成為另一種環保素材，並試著探究薄膜的性質，最後希望搭配餅乾製成環保、可食、耐熱，能取代 PE 膜紙杯的可食餅乾杯。

文獻探討：

許多愛玉的資料中(參考資料 2、3、4)，我們發現愛玉在結凍時，水中的鈣離子會與愛玉成分中的聚半乳糖醛酸產生交聯，而使得分子間形成固體的結構，如右圖(擷取參考資料 4)，從資料中可以知道這樣的結構是個很穩固的結構。另透過歷屆科展中有作品使用脫水的方式將洋菜凍製成環保素材，我們認為愛玉凍脫水後所形成的薄膜，由於是愛玉凍中結構穩固的巨大分子，且分子越大對於水的溶解度越小，

因此愛玉薄膜可能有機會展現耐熱水的特性，所以嘗試著用脫水的方式來試著製作成薄膜，希望有潛力做為取代 PE 塑膠的環保材料。



圖/翠之有物 (資料來源：陳志純)

## 貳、研究目的及研究問題

- 一、找出形成的愛玉薄膜的較佳條件
- 二、愛玉薄膜的性質測試
- 三、探究愛玉薄膜附著在餅乾上的可能性

## 參、研究設計

### 一、找出形成的愛玉薄膜的較佳條件

材料探究：

市面上的愛玉子種類繁多，是否每種愛玉子都在脫水後能形成薄膜呢？針對這個問題我們先要解決的是如何拿到成品較為一致的爱玉凍。我們拿取一些愛玉子的樣品，實驗之前我們試過用手搓的方式來製作愛玉凍，但是由於不同的人所搓出來的愛玉凍有時會結凍有時不會結凍，我們查詢歷屆作品知道用果汁機攪打能夠得到結凍較相同的結果，因此我們參考以往的作品以愛玉子：水 = 1g：100ml 的比例來實驗，而在以往的作品中攪打的時間說法不一，大多數的作品以 60 秒為主，所以我們先以這個條件來測試，發現大多數的愛玉子都能形成愛玉凍。而在我們能拿到的愛玉子的取得方式中，以全聯能夠買到的愛玉子較容易取得，為了怕實驗後續需要的樣品使用量過大及品質差異，因此我們以全聯能夠購買到的愛玉子為實驗材料，開始了我們實驗探究。

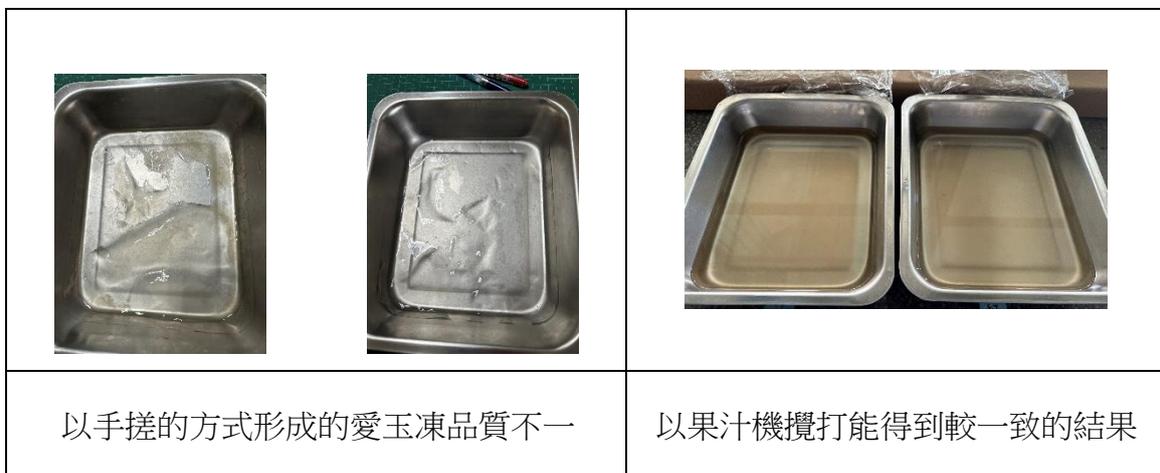


圖 1-1：不同的製作方式所產生的愛玉凍結果

## 探究一：測試愛玉形成薄膜的可能性

步驟：

1. 將愛玉子 5g 與 500ml 的水用果汁機攪打 60 秒
2. 以中藥袋過濾後得到愛玉子的濾液。
3. 放在容器內 24 小時後結凍，取下愛玉凍。
4. 以烤箱 120°C 烘烤測試脫水的情況
5. 重複實驗 1-3，改以烘乾機 50°C 烘烤測試脫水的情況

結果：

如圖 1-2，以烤箱烘乾水分脫水太快，形成的薄膜太脆無法取下；而使用烘乾機以 50°C 能夠形成較完整的薄膜。

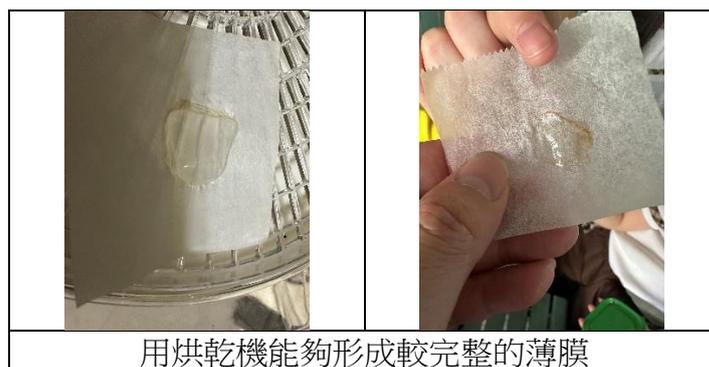
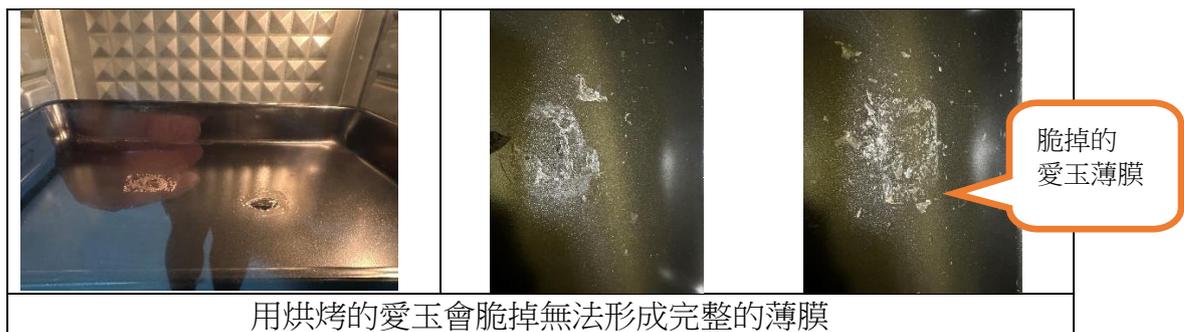


圖 1-2：不同乾燥方式產生的薄膜

討論：

1. 烤箱實驗因為水分劇烈蒸發的溫度是  $100^{\circ}\text{C}$ ，因此我們將實驗溫度設定在  $120^{\circ}\text{C}$ ，而低溫烘乾的部分由於我們的烤箱最低溫度只能設定  $100^{\circ}\text{C}$ ，因此低於  $100^{\circ}\text{C}$  的烘乾我們改以蔬果乾燥機來實驗，發現在  $50^{\circ}\text{C}$  就能夠形成薄膜，而使薄膜烘到全乾的時間約 5 小時，後續實驗為了拿到乾燥的樣品，都以  $50^{\circ}\text{C}$  烘到全乾。

2. 我們也參考其他作品在低溫下使愛玉凍產生脫水的反應，然而在  $0^{\circ}\text{C}$  擺放 7 天後，雖然有產生薄膜，但是依然是未乾的樣品 (如右圖)，也因為實驗時間較長，因此沒採用這個方法。



3. 實驗中發現未加壓所產生的捲曲薄膜，可以經過泡熱水後回復，再以壓克力板透過中藥袋壓平的方式再次烘乾，也能夠得到平整的薄膜。

4. 為了後續實驗時能夠得到大小一致的薄膜，經過不斷的嘗試後，找出能夠拿到較為平整薄膜的方法，流程如下：

(1) 將前述方法製作出的愛玉凍經 24 小時後以圓形模型取出。

(2) 將愛玉置於烘乾機以  $50^{\circ}\text{C}$  烘到全乾，則可以得到捲曲的薄膜。

(3) 開始烘乾 1 小時後，將愛玉凍上方加一層中藥袋的透氣紙，再以塑膠壓克力板壓住就能得到平整的薄膜。

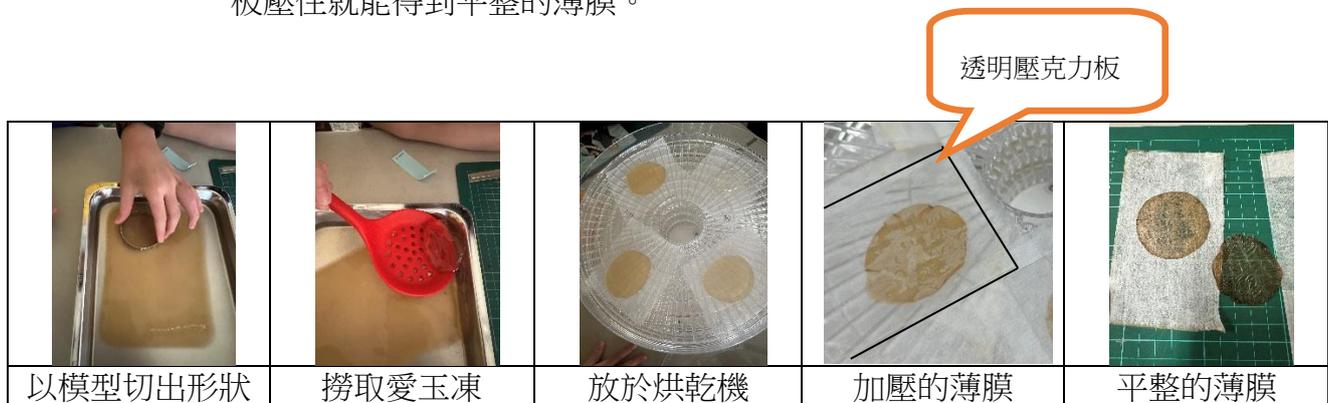


圖 1-3：平整愛玉薄膜的製作流程

## 探究二：自製測量薄膜張力的儀器

想法：

我們希望製作的薄膜能夠較為堅固，希望在後面發展將愛玉薄膜鍍在餅乾上時，能夠堅硬不易破裂才有應用價值，因此找張力較大的薄膜，以張力來表示薄膜的堅固程度，並設計能夠測量薄膜張力的儀器中，我們尋找可能的材料發現廢棄光碟機中的滑軌僅需要極小的力量就能夠滑動，因此我們以光碟機中的滑軌來改裝我們的儀器。



拆除光碟機的外殼，拿取中間的滑軌結構

想法一：

我們將拆除光碟機外殼後會拿到滑軌加上木板經過修飾後，安裝上適當的夾子，並在夾子的內緣貼上塑膠的彈性材料，使夾子在夾住薄膜時能夠牢牢的夾住且不會損傷薄膜。透過繩線將夾子的一端自然的懸在空中並加上 S 鉤，在 S 鉤上掛上迴紋針，當迴紋針掛上時，如果薄膜破裂機器會向下滑動，我們再將掛在 S 鉤上的所有迴紋針拿到電子天平上測量重量，

操作如下圖。



結果與討論：

我們將寬度 2 公分薄膜夾在中間，發現 S 勾掛了一大串迴紋針薄膜都沒有動靜，經測量下方的 S 鈎有 150 多公克薄膜都沒有破掉，此時 S 鈎已經不容易掛上迴紋針了，因此實驗上需要再改良。

想法二：

我們將裝置平放，把繩線接上彈簧秤，並以強扭力的減速馬達拉動彈簧秤，再以手機拍攝彈簧秤刻度，當薄膜要破裂時彈簧秤會達到一個刻度往回彈，此時透過影片記錄下最大刻度，我們的設計如下圖。

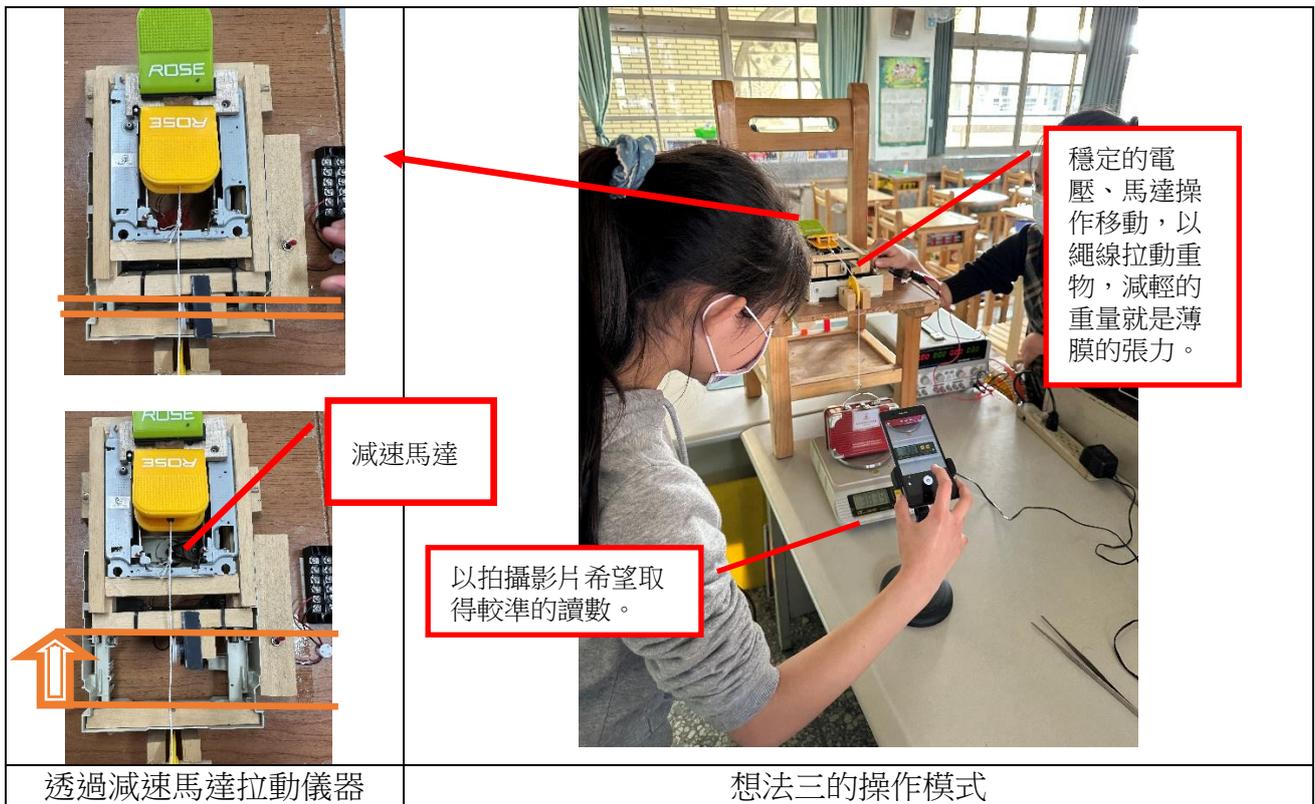


結果與討論：

我們在實驗的過程中發現，刻度可以很容易的讀取到數值，但是當彈簧秤的數值達到 250 公克時有時候薄膜不會破掉，再加上 250 公克以上的彈簧秤最小刻度是 10 公克，為了實驗能夠得到更精準的刻度，我們希望找到市面上最小刻度是 1 公克的彈簧秤，但是詢問了許多廠家得知彈簧秤最小刻度是 10 公克，因此我們希望針對得到精準刻度上再加以改良。

想法三：

我們想透過電子天平來得到較精準的讀數，透過將強扭力減速馬達安裝在光碟的結構上，以開關控制儀器緩慢移動，透過繩線拉動固定重量的重物，由於一開始重物的刻度就顯現在電子天平上，當馬達拉動儀器時，拉力會透過薄膜傳到繩線上並拉動重物，以攝影機拍攝電子天平的刻度，當薄膜破掉時，重物會掉下來使電子天平的讀數變大，此時找到攝影機中的最小讀數，再計算最小讀數與重物之間相差的重量，就是薄膜能夠承受的最大張力。



結果與討論：

我們多次測試發現當儀器拉動繩線時，重量會快速的減輕，而電子秤的讀數並無法靈敏的減低，因此讀數的跳動差距非常大且不穩定，因此相同條件的樣品，每次測量所產生的讀數差距過大，無法當成有效的數值來分析研究，因此無法使用這個方法。

想法四：

我們以方法一為基礎，每次取寬度 2 公分的薄膜，夾於上方的夾子中，並將下方的 S 鉤改成籃子，使用增加一個迴紋針數量的方式，當薄膜破掉時，取下繩線上的籃子與所有迴紋針，以電子秤測量數值並加以記錄，由於每次測量相同樣品時所得的數據較為一致，所以後續的實驗中，我們就以這個測量儀器(如右圖)以來測量愛玉薄膜的張力，而張力越大就表示愛玉薄膜較為堅固。



探究三：形成愛玉薄膜的最佳愛玉子攪打的時間。

想法：

我們參考的作品中，對於攪打愛玉子的時間有不同的說法，因此我們希望透過實驗找出形成愛玉薄膜的最佳愛玉子攪打的時間

實驗步驟：

1. 以愛玉子：水=5g：500ml 投入果汁機中
2. 攪打 30 秒後過濾在方形烤盤中
3. 重複步驟 1、2，並將時間分別改為 60 秒、90 秒、120 秒，分別過濾在不同烤盤中。
4. 以保鮮膜蓋起來放置 24 小時。
5. 以前述方法將不同的樣品各取 3-4 塊樣品放到烘乾箱。
6. 以前述方法用 50°C 烘乾，使愛玉形成薄膜。
7. 將薄膜以前述的測量方式測量薄膜的張力，每個樣品取三個數據平均。

結果：如圖 1-4。

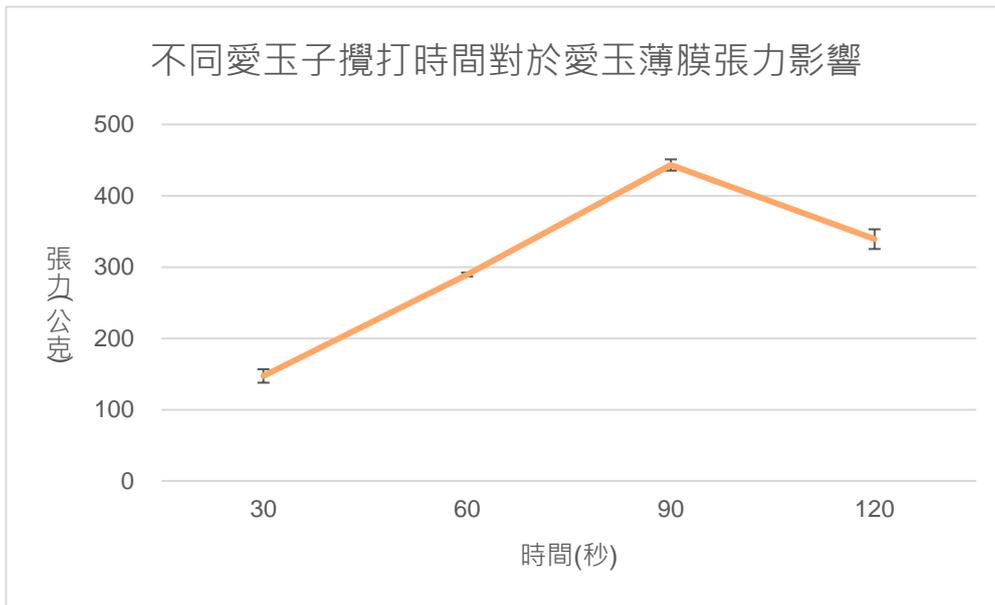


圖 1-4：不同愛玉子攪打時間對於愛玉薄膜張力的影響

討論：

從上圖中我們發現 90 秒平均可以承受的張力約 400g 最大，因此後續的實驗我們都選用 90 秒為攪打的時間，而為什麼 120 秒時承受的張力會變小呢？我們知道愛玉子如果以手搓太久時，會產生愛玉果膠酶而使愛玉較不容易結凍，所以我們猜想當果汁機攪打時間過久時，也會使愛玉子中的愛玉果膠酶被打出來，因而破壞了愛玉凍的所形成的鍵結，使得愛玉凍的結構排列較鬆散，而造成脫水後的愛玉薄膜承受的張力降低。

探究四：形成愛玉薄膜的最佳愛玉子與水的比例。

想法：

由於我們前面的實驗以參考資料較常見的比例做實驗，因此我們也好奇形成愛玉薄膜較佳的愛玉子與水的比例真的是 1g:100ml 嗎？或者有更好的比例呢？

實驗步驟：

1. 取愛玉子 5g 並以愛玉子：水=1g:60ml 的比例加入對應的水量投入果汁機中。
2. 以果汁機攪打 90 秒後過濾在方形烤盤中
3. 重複步驟 1、2，並將愛玉子：水=1g:60ml 的比例分別改為 1g：80ml、1g：100ml、1g：120ml、1g:140ml，分別過濾在不同烤盤中。
4. 以保鮮膜蓋起來放置 24 小時。
5. 以前述方法將不同的樣品各取 3-4 塊樣品放到烘乾箱。
6. 以前述方法用 50°C 烘乾，使愛玉形成薄膜。
7. 將薄膜以前述的測量方式測量薄膜的張力，每個樣品取三個數據平均。

結果：如圖 1-5，愛玉子：水=1g：80ml 的愛玉薄膜張力最大。

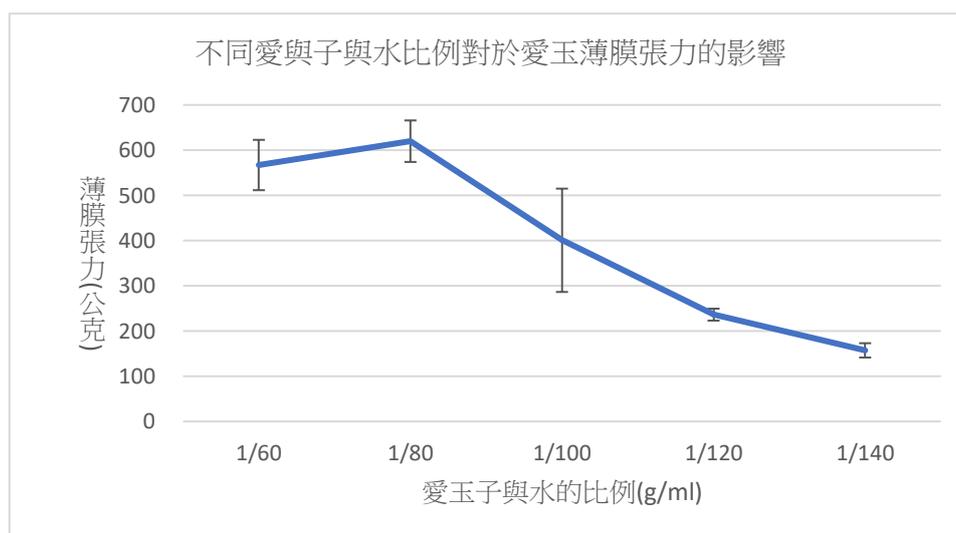


圖 1-5：不同愛玉子與水比例對於愛玉薄膜張力的影響

討論：

實驗的結果並非愛玉子對水的比例較低時得到較好的愛玉薄膜，我們討論可能是因為果汁機攪打時水量太少時會使愛玉子被果汁機的刀片攪打，而直接產生破壁的效果，因此可能造成愛玉子中的愛玉果膠酶產出，而不利於愛玉凍的形成，所以愛玉薄膜的張力也會降低。而當愛玉子對水的比例較高時，會使得愛玉的濃度較低，所以排列形成愛玉凍時結構較為鬆散，因此形成的愛玉薄膜相對的張力也較低。

探究五：形成愛玉薄膜的最佳水溫。

想法：

在我們實驗的過程中，我們發現有時水溫較低，結果產生的薄膜數據似乎有所變動，因此我們對於攪打愛玉子時水溫是否會對產生的愛玉薄膜有所影響？針對這個問題我們以實驗加以探究。

實驗步驟：

1. 將水溫調整到 0°C，以愛玉子：水=5g：400ml 比例投入果汁機中
2. 攪打 90 秒後過濾在方形烤盤中
3. 重複步驟 1、2，水溫分別改為 20°C、40°C、60°C、80°C，分別過濾不同烤盤中。
4. 以保鮮膜蓋起來放置 24 小時。
5. 以前述方法將不同的樣品各取 3-4 塊樣品放到烘乾箱。
6. 以前述方法用 50°C 烘乾，使愛玉形成薄膜。
7. 將薄膜以前述的測量方式測量薄膜的張力，每個樣品取三個數據平均。

結果：如圖 1-6。

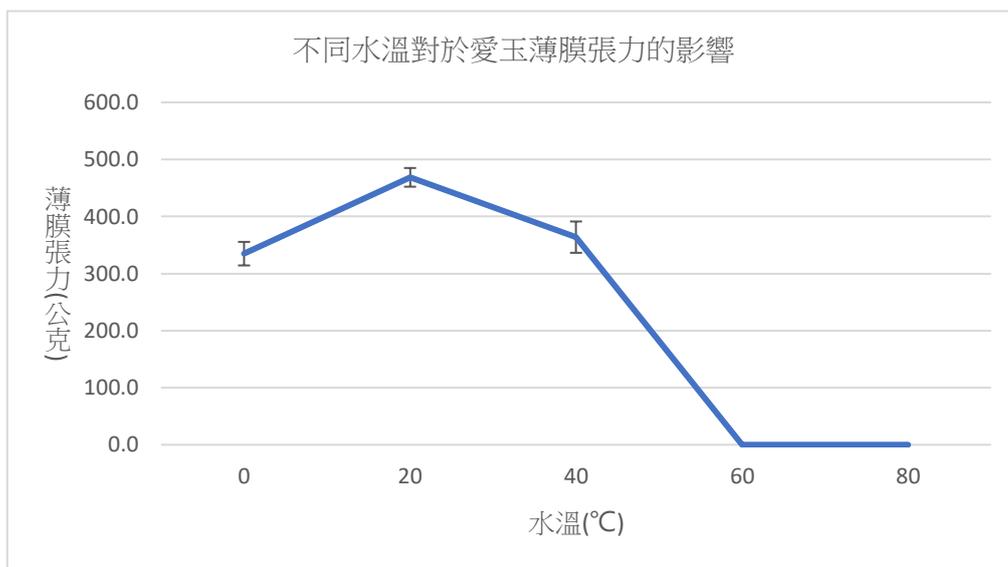


圖 1-6：不同水溫對於愛玉薄膜張力的影響

#### 討論：

在實驗中，60°C 與 80°C 的樣品在經過 24 小時後仍無法形成愛玉凍，因此無法烘乾成為愛玉薄膜，我們猜測可能是熱水破壞了愛玉子中的有效成分，或是由於熱水的溶解度較好，因此溶解出過多的雜質，無論哪的原因都不利於愛玉凍的形成。由實驗結果我們發現 20°C 時愛玉薄膜會有最好的張力大約在 450g 附近，而隨著溫度升高產生的薄膜張力降低，我們之前 1g:80ml、90 秒的薄膜張力大約在 400 附近，查詢當時紀錄的水溫約 28-30°C，這樣的結果也符合我們實驗的結果。

探究六：形成愛玉薄膜的最佳取愛玉凍的時間。

想法：

由於我們準備實驗到中午攪打完後，只能隔天早上來取樣，每次的實驗時間較長，因此我們思考是否將愛玉凍取膜的時間也會影響愛玉薄膜的張力，因此我們開始了這個實驗。

實驗步驟：

1. 以 20°C 的水將愛玉子：水=5g：400ml 比例投入果汁機中
2. 攪打 90 秒後過濾在方形烤盤中
3. 重複步驟 1、2 做 5 份樣品，分別過濾在不同烤盤中。
4. 以保鮮膜蓋起來放置 24 小時。
5. 以前述方法在 1 小時後取 3-4 塊樣品放到烘乾箱。
6. 重複步驟五，分別在 2 小時、4 小時、8 小時、24 小時各取 3-4 塊樣品烘乾。
7. 以前述方法用 50°C 烘乾，使愛玉形成薄膜。
8. 將薄膜以前述的測量方式測量薄膜的張力，每個樣品取三個數據平均。

結果：如圖 1-7。

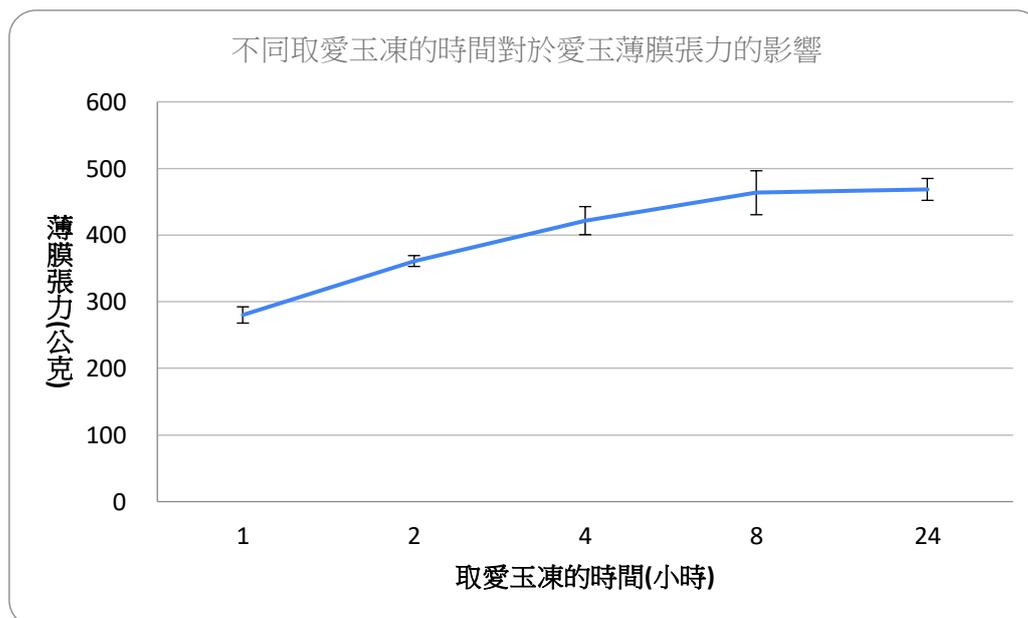


圖 1-7：不同取愛玉凍的時間對於愛玉薄膜張力的影響

發現：

從圖我們發現 8 小時後取的愛玉凍和 24 小時取的愛玉凍所形成的愛玉薄膜張力都差不多，因此只要在 8 小時後取愛玉凍都能有不錯的愛玉薄膜。

討論：

由於愛玉結凍的過程需要靜置自然形成愛玉凍，我們認為愛玉凍是否均勻會影響到脫水後膜的均勻程度，因此我們想測試看看，以我們找出形成愛玉薄膜的最佳條件下愛玉凍是否均勻，因此我們以 24 小時後的愛玉凍樣品在不同的地方取樣，將取樣的樣品來測量光穿透愛玉凍所減少的亮度(如圖 1-8)，結果發現同一個樣品的愛玉凍所減少的亮度差不多，那麼代表同一個愛玉凍整個相對是較均勻的。

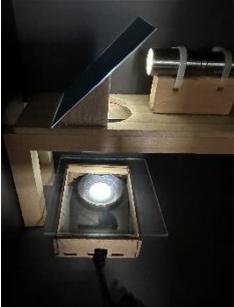
			
透過鏡子反射將光源集中在照度計的感應區。	隨機在愛玉凍不同的位置上取樣品。	將樣品放在照度計上，使光穿過愛玉凍。	將箱子蓋起來記錄數據，並算出穿透樣品所減低的亮度

圖 1-8：以減少的照度測試愛玉凍是否均勻的實驗設計

再來我們測試不同樣品間的爱玉凍的均勻程度是否也有一致性，我們比較了不同樣品的平均值結果如下圖，發現不同樣品間的均勻程度也差不多，可見用同樣方法製作的同一個愛玉凍是均勻，而且在不同時間製作的不同樣品間的差異也不大，也從前面的張力測試中發現張力的數值差不多，因此可以知道製作出的愛玉薄膜相對是較均勻。

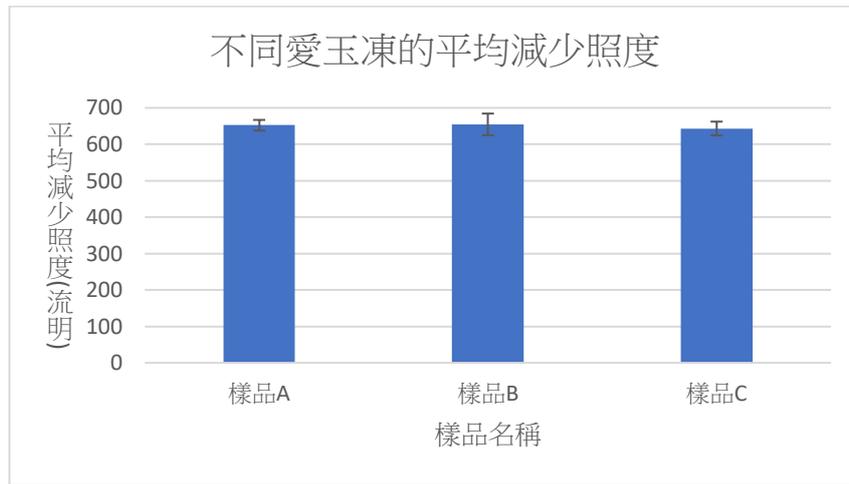


圖 1-9：不同愛玉凍的平均減少照度

小結論：

以 20°C 的水，愛玉子：水比例為 1g：80ml，果汁機攪打 90 秒，在 8 小時後取愛玉凍所形成的薄膜所測量的薄膜張力約在 450g 附近，是樣品中最大的張力，也代表形成的愛玉薄膜最好。

## 二、愛玉薄膜的性質測試

我們對於所形成的愛玉薄膜做一系列的探究，希望了解愛玉薄膜性質以便有所應用。

### 探究七：熱對於愛玉薄膜的影響

#### 7-1：愛玉薄膜的熱水測試

實驗步驟：

1. 取一塊愛玉薄膜，放入加有 100°C、175ml 熱水的燒杯中。
2. 以加熱板加熱燒杯，使水維持在沸騰，觀察一小時。

結果：如圖 2-1，薄膜沒有溶解的狀況。

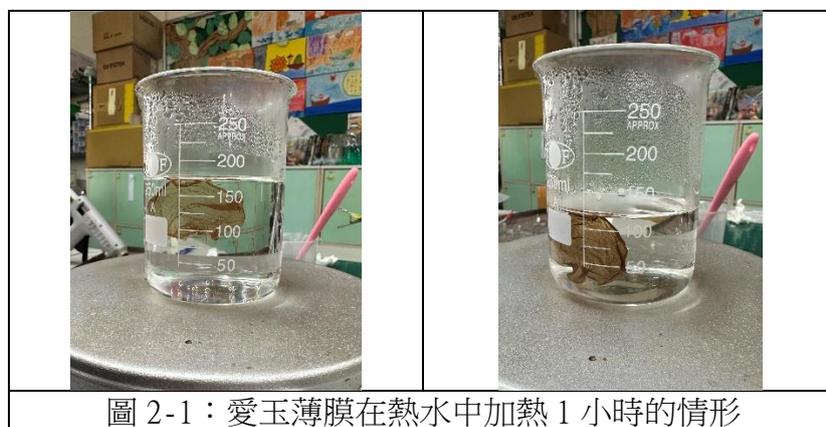


圖 2-1：愛玉薄膜在熱水中加熱 1 小時的情形

討論：

愛玉薄膜在熱水中沒有溶解的現象，可以看得出來雖然將愛玉子洗出來的水溫僅 20°C 左右，但是愛玉凍在形成的過程中，水中的鈣離子會將聚半乳糖醛酸連結成較為穩固的結構，形成較為大的分子，而分子較大時對於水的溶解度也會變差，而我們認為當結構分子夠巨大時，相對地對於熱水的溶解度也會變差，因此脫水成為愛玉薄膜後，變成了熱水也無法溶解的結構，可見愛玉在結凍的過程是化學性變化。

7-2：愛玉薄膜對於烤箱溫度的耐受程度。

想法：

我們以水來加熱時，水最高的溫度是 100℃，但是愛玉薄膜能否承受更高的溫度呢？在一次試驗中，我們將愛玉薄膜以 180℃ 的高溫烘烤 20 分鐘，發現愛玉薄膜在泡水後失去了回復成含水薄膜的特性，取而代之是碎開且失去彈性，因此我們希望透過逐漸加熱的方式測試看看，愛玉薄膜在多少度高溫的烘烤下都還能泡水回復，以此判斷愛玉薄膜的高溫耐受程度。

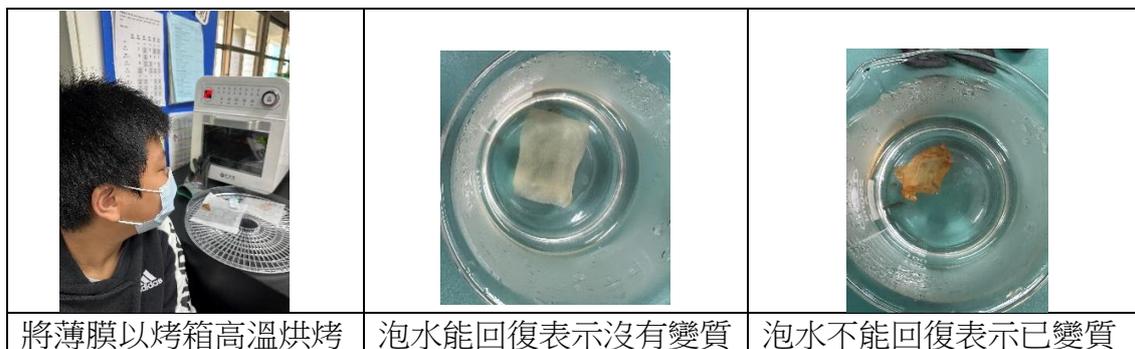
實驗步驟：

1. 取固定大小的愛玉薄膜放到烤箱以 110℃ 烘烤 20 分鐘
2. 將烘烤過的愛玉薄膜放入熱水中浸泡，觀察能否回復成薄膜。
3. 重複步驟 1-2 分別改以 120℃、130℃、140℃、150℃、160℃ 操作。

結果：如下表 2-1。

表 2-1：不同烘烤溫度對乾燥愛玉薄膜的回復情形

烘烤溫度(℃)	110	120	130	140	150	160
回復情形	可回復	可回復	可回復	可回復	不可回復	不可回復



討論：

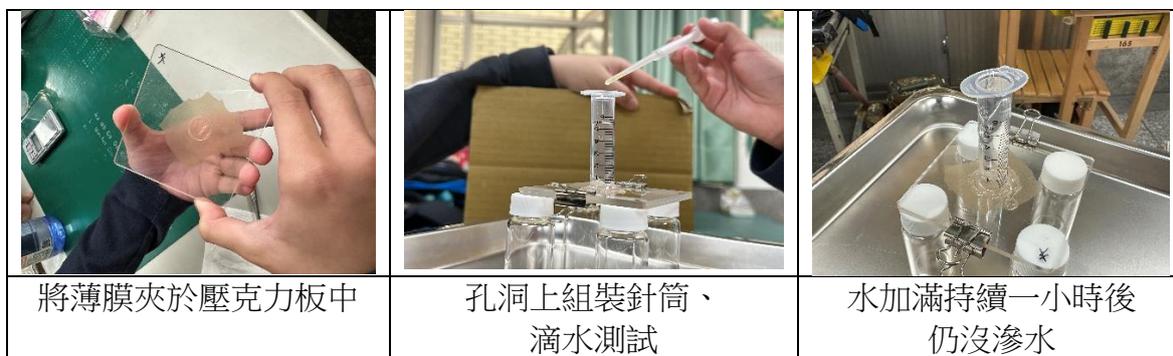
愛玉薄膜在低於 140℃ 的烘烤下都能回復成薄膜，說明了在 140℃ 溫度以下薄膜並沒有發生化學變化，因此說明了愛玉薄膜能夠承受 140℃ 的高溫，思考到後續的應用上，也說明在 140℃ 以下愛玉薄膜比較沒有變質的疑慮，代表薄膜是個耐高溫的材料。

## 探究八：愛玉薄膜的防水性測試

### 實驗步驟：

1. 將兩塊透明壓克力板在中心鑽出與針筒大小相同的圓形孔洞。
2. 將針筒的前端切除，並以熱熔膠黏於圓形孔洞上並測試不漏水。
3. 在圓形孔洞旁塗上薄薄的凡士林，並將愛玉薄膜夾於壓克力板當中。
4. 將水緩緩地滴入針筒中並觀察結果

結果：如下圖



### 討論：

透過實驗裝置，可以看到從上方滴水，即使將水加滿整個針筒，也沒有滲水的現象，而我們將裝置放置 1 小時，也仍能防水，我們以游標尺進一步測量薄膜的厚度，平均薄膜厚度是 0.004cm，說明了愛玉薄膜雖薄但在愛玉凍形成的聚合過程中分子間的排列是很穩固且緻密的，因此脫水後的愛玉薄膜相對有不錯的防水性。

探究九：愛玉薄膜對不同溶液的耐受性。

想法：

我們如果要將愛玉薄膜用作食品鍍膜，我們希望在各種飲料下是安全無虞且不被溶解的，因此我們以不同的酸鹼度和有機溶液測試薄膜的性質。

實驗步驟：

1. 在樣品的瓶子中加入一小塊愛玉薄膜。
2. 調製不同酸鹼度的溶液(除丙酮與酒精外，均為飽和水溶液)，並分別加入對應的樣品瓶中。
3. 以試紙測試溶液酸鹼性並記錄愛玉薄膜的溶解情形。

結果：紀錄如表 2-2

表 2-2：愛玉薄膜浸泡在不同溶液的溶解情形

浸泡溶液	氫氧化鈉	小蘇打	酒精	丙酮	檸檬酸	醋
溶液酸鹼值(pH)	13	8	6	5	1	1
溶解情形	微溶	沒變化	沒變化	沒變化	沒變化	沒變化



可以看出氫氧化鈉瓶內的愛玉薄膜有微溶的現象，導致水溶液由透明轉變成淡褐色。

討論：

在實驗中，愛玉薄膜在氫氧化鈉飽和溶液中會產生微溶的現象，但是在食品中，不會用到這麼強的鹼，因此愛玉薄膜在食品使用上是相對較為安全的。

### 三、探究愛玉薄膜附著在餅乾上的可能性

#### 探究十：嘗試將愛玉薄膜鍍於平面餅乾的可行性與方法

##### 資料討論：

我們思考要將愛玉薄膜附著在餅乾上面，因此我們需要在餅乾和愛玉薄膜之間找到適當的黏著劑，而這個黏著劑我們希望符合環保可食，因此我們找到蛋白霜在製作的過程，就可能有類似的黏著效果，所以我們嘗試以蛋白霜當作黏著劑，另外我們還有討論到起司在加熱時也會形成黏著狀態，而這部分我們也會嘗試著實驗看看。

#### 10-1：以瑞士蛋白霜嘗試將愛玉薄膜附著在餅乾上

##### 作法：

1. 取蛋白(不可碰到蛋黃)：砂糖=1g：1.5g
2. 將材料放在鋼盆中，隔水加熱到 60°C，將砂糖攪拌到融化。
3. 用電動攪拌器打發到乾式發泡，當成黏著劑使用
4. 在餅乾上塗一層蛋白霜。
5. 將愛玉薄膜水以熱水泡軟，以衛生紙吸乾水份
6. 將薄膜黏在蛋白霜上
7. 將成品放入烤箱以 120°C，15 分鐘烤乾。
8. 以熱水滴在愛玉薄膜上測試防水的情形。



圖 3-1：以蛋白霜鍍愛玉薄膜的過程

結果：如下圖 3-2，60 分鐘後的結果說明。

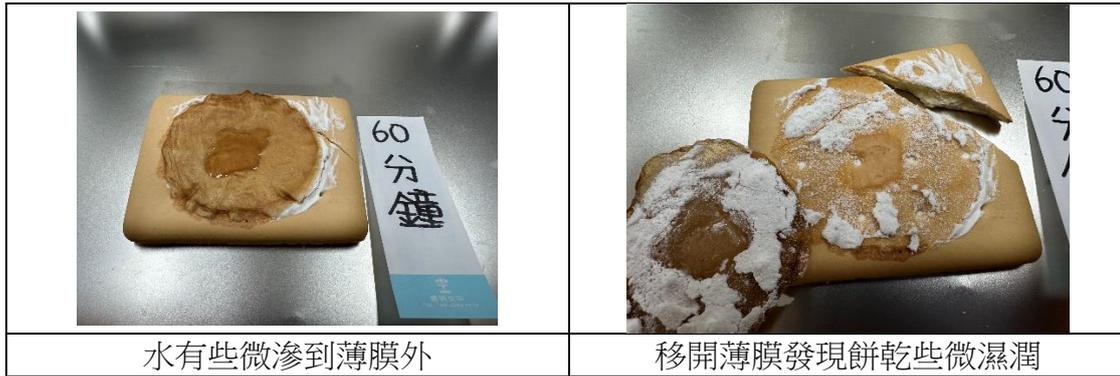


圖 3-2：以蛋白糖霜鍍愛玉薄膜的熱水測試結果

討論：

實驗前我們認為蛋白質本身的防水性不錯，因此糖與蛋白攪打的蛋白霜有機會成為適合的黏著劑，從實驗結果我們發現，水會些微往下滲到薄膜外面，當我們移開薄膜後發現底下的餅乾呈現些微的濕潤，我們查詢資料後發現蛋白與糖產生的蛋白霜在烘焙上是吸濕性的材料，攪打的蛋白霜容易有吸水的作用，所以蛋白霜可能在接觸含水的愛玉薄膜後，蛋白霜中的蛋白和糖產生吸水的毛細現象，使得水分透過愛玉薄膜被吸附到蛋白霜上進而最後浸濕了餅乾，而達不到我們想要的防水效果。因此我們嘗試將黏著劑中的糖改變成起司糊，從生活中的經驗起司是屬於比較油性的，而我們細究起司的成分發現起司的主要成分為蛋白質與脂肪，所以可能有機會產生與水不溶的效果，再加上我們發現比薩中的起司具有黏著性，所以我們想要看看改成起司糊後有沒有比較好的效果。

## 10-2：以起司糊嘗試將愛玉薄膜附著在餅乾上

作法：

1. 取 120ml 的水，加入 1g 檸檬酸和 1.2g 的小蘇打粉
2. 將前述材料加熱溶解備用，我們稱為起司溶解水
3. 拿起司溶解水 60ml+高熔點起司 40g 放在小鐵鍋
4. 將小鐵鍋隔水加熱，直到起司溶解，變成起司糊
5. 在餅乾上塗上起司糊
6. 將愛玉薄膜水以熱水泡軟，以衛生紙吸乾水份
7. 將薄膜黏在起司糊上
8. 將成品放入烤箱以 120°C，15 分鐘烤乾。
9. 以水滴在愛玉薄膜上滴上熱水測試防水的情形。



圖 3-3：以起司糊鍍愛玉薄膜的過程

結果：如下圖 3-4，熱水滴完放置 60 分鐘後，水不會滲過去，且薄膜也不會脫落。



圖 3-4：以起司糊鍍愛玉薄膜的熱水測試結果

討論：

1. 我們直接將起司用烤箱加熱之後具有黏性，但是表面會有一層薄薄的膜，因此不容易黏著。
2. 為了將起司做成像有黏性的漿糊當成黏著劑，我們嘗試將起司熬煮成起司糊，因此，調配了起司溶解水，透過小蘇打和檸檬酸作用成檸檬酸鈉，所以可以溶解起司。我們嘗試以起司片調製成起司糊，但是因為平常用的起司片的熔點大約在 90 幾度就會溶掉，雖然能有效的當成黏著劑，但是，熱水碰到時，就因為起司融化而容易脫落。
3. 我們嘗試用起司溶解水去溶解高熔點起司，發現 60ml+高熔點起司 40g 是可以溶解成起司糊，但是需要隔水加熱 30 分鐘以上，將這樣的起司糊當成接著劑，當愛玉薄膜碰到熱水時，也不會因為起司融化而產生脫落現象。



高熔點起司以 220°C 高溫烘烤也不會融化，因此我們選來當粘著劑。



以 220°C 烘烤的高熔點起司表面會像餅乾一樣脆脆的，不會融化。

## 探究十一：嘗試製作防水的餅乾杯

想法：

我們嘗試將薄膜配合餅乾杯製作成防水餅乾杯，會遇到兩個問題，第一為愛玉膜不夠大片，其二為餅乾杯製作不易，因此，我們選用市售的餅乾塔模當成我們餅乾杯的基底，所以解決了餅乾杯的問題。愛玉膜的部分，我們則嘗試製作成大片的愛玉膜，經過數次測試之後，找到了可行的方法。

### 11-1：嘗試製作大片愛玉薄膜

方法：

- 1.我們以製作愛玉薄膜的方式先製作愛玉
- 2.再用鹹酥雞的鏟子將愛玉整塊取出
- 3.過蔬果烘乾機以 50 度烘乾 8 小時的方式
- 4.烘乾 1 小時後加壓即可得到完整的大片愛玉薄膜。

結果：如圖。經過測試後，可得到完整的大片愛玉薄膜。

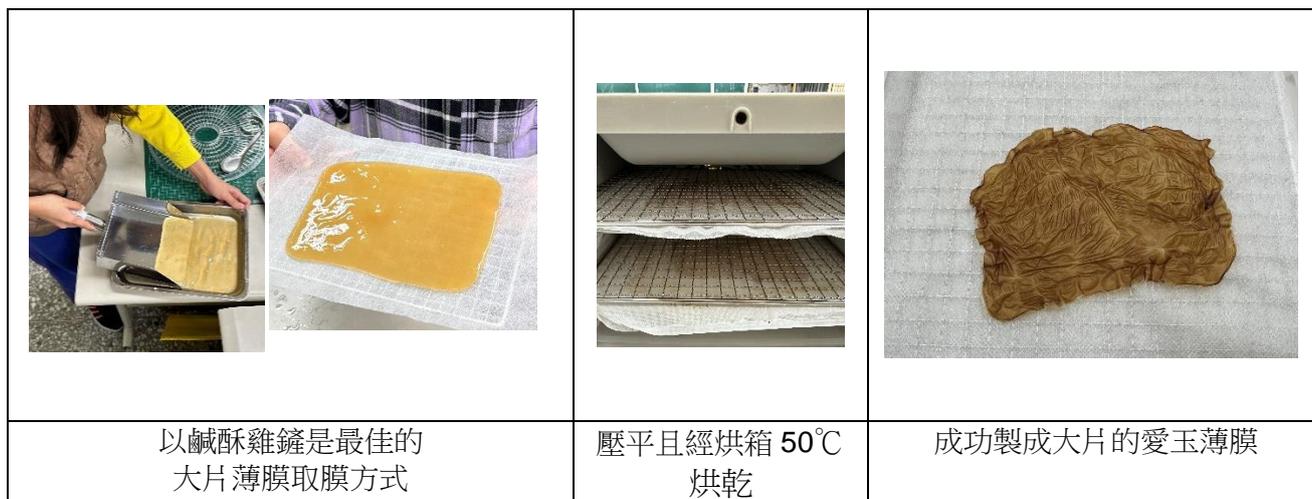


圖 3-5：大片愛玉薄膜的製作流程

討論：

我們嘗試的方法有幾種，第一個直接將愛玉滑出模型放在中藥紙上，讓它自然烘乾成形，第二個想辦法用翻盤的方式，取出愛玉，第三個找到鹹酥雞用的鏟子將愛玉整塊取出。實驗的過程發現，第一種及第二種愛玉破掉的機會都非常的大，因此我們選用第三種使用鹹酥雞鏟子的方式，可以將整塊的愛玉完整取出，最後以蔬果烘乾機 50°C，烘乾 8 小時的方式，只要再經過加壓就能夠得到完整的整片薄膜了。

## 11-2 嘗試將愛玉薄膜鍍在餅乾杯上

作法：

- 1.將塔模以 180 °C、15 分鐘烤成餅乾
- 2.將熬煮好的起司糊塗在塔模內側
- 3.將烘乾的愛玉薄膜泡熱水還原變軟，以衛生紙擦乾水分
- 4.將愛玉薄膜平貼在餅乾內部
- 5.再以 120 °C 烘烤 20 分鐘成形

結果：如圖 3-6，可以得到鍍好薄膜的餅乾杯



圖 3-6：愛玉薄膜鍍在餅乾杯的成品

討論：

雖然以上述方法可以得到鍍好薄膜的餅乾杯，但是當我們倒入熱水開始測試時，發現熱水倒入 17 分鐘後鍍膜的餅乾杯就會開始滲水，對照沒有鍍膜的餅乾在 5 分鐘左右已經開始滲水，17 分鐘時沒鍍膜的餅乾會整個變軟，鍍膜的餅乾杯僅多了 12 分鐘的防水時間，鍍膜的餅乾雖然沒破掉但是水已經滲光，這結果與我們預期的實驗結果不同，但較上次蛋白霜鍍膜的實驗已經增加了防水的時間，我們在討論後發現，可能是愛玉薄膜黏貼烘乾的過程中會在杯子的邊角有所拉扯，因而使愛玉薄膜產生隙縫，造成餅乾底部邊緣漏水，因此我們將進一步改進薄膜的厚度，希望增加防水的時間。



圖 3-7：以起司為黏著劑的鍍膜後的餅乾杯實驗結果依然會滲水

改進作法：

我們在愛玉薄膜的製作過程中，攪打兩份的愛玉凍到相同的容器中，烘乾時變成要烘乾 24 小時才能成型，製作出 2 倍厚(厚度測量為 0.01cm)的愛玉薄膜，將 2 倍厚愛玉薄膜依照前述的方法鍍在餅乾杯上，再做熱水測試。

結果：如圖，2 倍厚愛玉薄膜餅乾杯倒入 100°C 熱水後經過 1 小時都沒有滲水。



圖 3-8：以兩倍厚愛玉薄膜度在餅乾杯上的熱水實驗結果

探究十二：愛玉薄膜是否會影響熱飲的味道

想法：

我們成功的製作出能夠防水的愛玉薄膜餅乾杯，也能夠在注入熱水 1 小時後，都能有防水效果，但這樣的愛玉薄膜會不會影響熱飲的味道呢？我們為此希望透過調查實驗來測試看看愛玉薄膜是否影響咖啡味道，為此以市售標準的膠囊咖啡為主，選取相同的口味來做實驗，看看是否會被分辨出來，也事先調查了願意參與測試的老師。

實驗步驟：

1. 製作咖啡標準品一份、浸泡愛玉薄膜的咖啡一份 A、與標準品相同的咖啡一份 B。
2. 在測試時，先請測試員(學校老師，共 23 人)喝標準品一杯，之後請測試員分別喝下 A 和 B 的咖啡各一杯，喝的時候 A 和 B 的順序會隨機調動，之後再請測試員指出哪一杯不相同，以此作為評判的依據。如果測試員能夠分辨出咖啡哪裡不同則再做第二次的測驗(避免測試者是用猜對的)，兩次都能夠指出不同杯的代表能夠分辨出其中細微的味道變化。

結果：

23 人參與測試的老師如圖 3-9，有 20 位老師(87%)無法答對哪杯味道不同，有 2 位老師(9%)只答對第一次哪一杯味道不同，只有 1 位老師(4%)能夠兩次都正確指出哪一杯咖啡味道不同。由於我們認為兩次都答對才是能夠清楚分辨哪杯咖啡味道不同的測試者，約占測試人數中的 4%，因此有 96%的測試者無法分辨出哪杯咖啡味道不同。

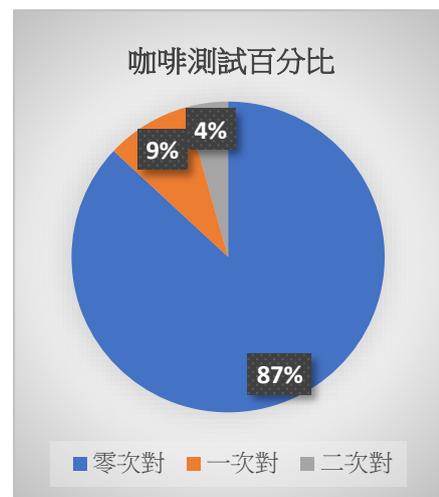


圖 3-9：咖啡測試的百分比圖

討論：

在加入愛玉薄膜的情況下有 96%的測試者無法清楚的分辨，顯示咖啡味道並沒有呈現明顯的改變，代表愛玉薄膜影響熱飲的味道不太明顯。

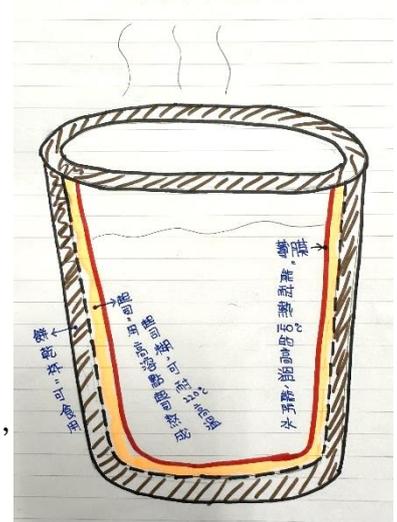
總結論：

綜合上述之研究，能夠成功製造出防水的餅乾杯模型的方法如下：

1. 以愛玉子：水=1g：80ml，20°C 的水，用果汁機攪打 90 秒。
2. 過濾靜置 8 小時後取愛玉凍，以烘乾機 50 °C 烘乾形成愛玉薄膜。
3. 以 120ml 的水，加熱溶解 1g 檸檬酸和 1.2g 的小蘇打粉，製成起司溶解水。
4. 使用起司溶解水 60 毫升加入 40 公克的高熔點起司，隔水加熱半小時後製成起司糊。
5. 使用起司糊將愛玉薄膜鍍在餅乾上，再經過 120 °C，20 分鐘烘乾，就能夠成功製造出防水的餅乾杯模型。

未來研究方向：

我們的研究已經能夠在控制一定的條件下拿到可應用的愛玉薄膜，並透過溶解高熔點起司起得到的起司糊將愛玉薄膜鍍在餅乾杯上。在測試愛玉薄膜知道具有防水且對熱不會溶解的優點，並在盛裝熱飲時穩定且不影響口味，加上愛玉薄膜是由天然愛玉烘乾而得到，因此可食用且兼具環保不影響環境的優點。未來我們期望做出鍍有愛玉薄膜的餅乾杯，且能夠實際用於生活中，我們的概念如右圖。



## 肆、結論

### 一、探究不同條件形成的愛玉凍與形成薄膜張力的關係

1. 製作最佳的愛玉薄膜的愛玉凍的條件為愛玉子：水=1g：80ml 的比例，最佳水溫是 20°C，以果汁機攪拌 90 秒，過濾後放置 8 小時之後取得的愛玉凍，就能做出較佳的愛玉薄膜。
2. 薄膜烘乾以蔬果烘乾機用 50°C，烘乾 8 小時最佳，想得到平整的愛玉薄膜，要在烘乾一小時後以壓克力板加壓就能得到平整的愛玉薄膜。

### 二、愛玉薄膜的性質測試

1. 愛玉薄膜不會溶解於 100°C 熱水中，在烤箱 140°C 烘烤 20 分鐘也能在熱水中回復原狀。
2. 愛玉薄膜具有防水性
3. 愛玉薄膜不會溶於 99%酒精、丙酮、飽和小蘇打溶液、飽和檸檬酸溶液、99%醋酸，微溶於飽和氫氧化鈉溶液中，但食品中沒有這麼強的鹼。

### 三、探究愛玉薄膜附著在餅乾上的可能性

1. 以瑞士蛋白霜和起司糊都能將愛玉薄膜附著在餅乾上，但起司糊較佳。
2. 用 2 倍厚的愛玉薄膜以高熔點起司製作的起司糊能成功將愛玉薄膜鍍於餅乾杯上製作出鍍膜餅乾杯，並以熱水測試 1 小時都不會滲水。
3. 愛玉薄膜不太會影響熱飲的味道，在實驗中有 96%測試者無法分辨。
4. 綜合上述結論，鍍上愛玉薄膜的餅乾杯，具有防水、耐熱、可食、可分解的特性，且不影響熱飲的味道，我們認為有很大的潛力可以成為取代 PE 膜的替代方案。

## 伍、參考資料及其他

1. 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會國小組化學科，洋洋得益-以洋菜冷凍鍍膜製作防水紙吸管。
2. 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會國中組生活與應用科學科(二)，Q 彈愛玉「膜」法降低面膜紙與包裝的環境汙染。
3. 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會高級中等學校組農業與食品學科，膜去得掉膠出得來—愛玉凍新製程。
4. 為什麼愛玉籽洗一洗就會「結凍」？——從國民美食到生醫材料 - PanSci 泛科學。上網日期：2022 年 2 月 23 日。<https://pansci.asia/archives/344457>
5. 台人一年喝掉 28 億杯咖啡 連假業者備貨量增 5 倍。上網日期：2021 年 12 月 30 日。  
<https://tw.news.yahoo.com/%E5%8F%B0%E4%BA%BA-%E5%B9%B4%E5%96%9D%E6%8E%8928%E5%84%84%E6%9D%AF%E5%92%96%E5%95%A1-%E9%80%A3%E5%81%87%E6%A5%AD%E8%80%85%E5%82%99%E8%B2%A8%E9%87%8F%E5%A2%9E5%E5%80%8D-102620617.html>
6. 黑金商機燒！台灣人一年喝掉 6 億杯外帶咖啡，可繞地球 1.35 圈！上網日期：2019 年 06 月 05 日。  
<https://www.foodnext.net/issue/paper/5975326331>
7. 農業環保篇(2021)，免洗餐具中塑膠淋膜含量檢測方法。行政院公報，27 卷 208 期。

## 【評語】 080211

1. 探討製備具防水、耐溫特性的愛玉膜之適當條件，並評估製成之愛玉膜用於盛裝食品及咖啡飲料的可行性。
2. 能利用自製儀器與方法，測量愛玉薄膜的特性，讓結果更具有科學性。
3. 作品的化學內容較不足，多為操作面的實驗設計。
4. 將薄膜製成防水杯的成品化製成，可在後續加深加廣研究。

## 作品海報



# 「愛」的「膜」力轉圈圈

~可食性愛玉薄膜素材的研究

## 摘要

減塑是必行的工作，由 2021 年消耗 28 億杯咖啡紙杯資料中，我們計算出每年消耗約 2000 公噸的 PE，我們以愛玉子：水=1g：80ml 的比例，以 20°C 的水用果汁機攪打 90 秒萃取愛玉凍，透過蔬果烘乾機以 50°C 烘乾 8 小時製成愛玉薄膜，以自製的測量薄膜的張力，找出較堅固的薄膜，薄膜厚度經測量為 0.004cm。愛玉薄膜具有防水、在 100°C 熱水煮 1 小時也不溶化，在烤箱 140°C 烘乾 20 分鐘不被破壞、不溶於 99% 酒精、丙酮、飽和檸檬酸、99% 醋酸、飽和蘇打溶液中，化學性質穩定等特性。透過將高熔點起司煮成起司糊黏著劑，成功將愛玉薄膜鑲於塔模餅乾上，在裝熱水的測試中，成功的在 1 小時後都不滲水，並透過咖啡測試，發現對於熱飲味道的影響頗低，可以成為取代 PE 膜的環保替代方案。

## 壹、前言

### 研究動機：

減塑是目前勢在必行的環保工作，我們發現大家每天人手一杯的咖啡紙杯裡面竟然含了不容易處理的塑膠膜，由 2019 年的 6 億杯到 2021 年的 28 億杯（參考資料 5、6），我們在查資料時發現取代塑膠的相關方法陸續被研究出來（參考資料 1），然而我們參考以往的作品（參考資料 1）發現該作品以洋菜取代塑膠製成吸管的可行性，但洋菜在高溫都會被溶解，因此這樣的環保食具仍有盛裝熱飲或熱湯時容易被溶解的問題，而目前參考的作品中，仍無法找到可以取代 PE 塑膠膜的材料。因此我們突發奇想如果用愛玉凍脫水製成薄膜，是否能取代現有的塑膠材料，成為新的環保素材，且兼具防水、耐高溫、對環境友善的特性，更期待能實際應用在餅乾表面結合愛玉薄膜，進而找到咖啡杯的替代方案做成可供食用的餅乾咖啡杯。（相關單元：康軒版，自然與生活科技五上第二單元植物世界面觀。）

### 目的：

希望透過愛玉凍的結構，透過脫水嘗試製成愛玉薄膜，能否成為另一種環保素材，並試著探究薄膜的性質，最後希望搭配餅乾製成環保、可食、耐熱，能取代 PE 膜紙杯的可食餅乾杯。

### 文獻探討：

許多愛玉的資料中（參考資料 2、3、4），我們發現愛玉在結凍時，有結構上的變化，如右圖（擷取參考資料 4），從資料中可以知道這樣的結構是個很穩固的結構。另透過歷屆科展中有作品使用脫水的方式將洋菜凍製成環保素材，我們從結構上認為愛玉薄膜有機會展現耐熱水的特性，所以嘗試用脫水的方式來試著製作成薄膜，希望有潛力做為取代 PE 塑膠的環保材料。



## 貳、研究目的及研究問題

- 一、找出形成的愛玉薄膜的較佳條件
- 二、愛玉薄膜的性質測試
- 三、探究愛玉薄膜附著在餅乾上的可能



## 參、研究設計

### 一、找出形成的愛玉薄膜的較佳條件

#### 材料探究：

我們參考以往的作品以愛玉子：水=1g：100ml 的比例來實驗，我們先以 60 秒來測試，發現大多數的愛玉子都能形成愛玉凍。全聯能夠買到的愛玉子較容易取得，因此我們以全聯能夠購買到的愛玉子為實驗材料，開始實驗探究。

#### 探究一：測試愛玉形成薄膜的可能性

##### 結果：

如圖 1-2，以烤箱烘乾水分脫水太快，形成的薄膜太脆無法取下；而使用烘乾機以 50°C 能夠形成較完整的薄膜。

##### 討論：

找出能夠拿到較為平整薄膜的方法，流程如下：

- (1) 將前述方法製作出的愛玉凍經 24 小時後以圓形模型取出。
- (2) 將愛玉置於烘乾機以 50°C 烘到全乾，則可以得到捲曲的薄膜。
- (3) 開始烘乾 1 小時後，將愛玉凍上方加一層中藥袋的透氣紙，再以塑膠壓克力板壓住就能得到平整的薄膜。

### 探究二：自製測量薄膜張力的儀器

#### 想法一：

我們將寬度 2 公分薄膜夾在中間，經測量下方的 S 鈎有 150 多公克薄膜都沒有破掉，此時 S 鈎已掛不上迴紋針了，因此需要再改良。

#### 想法二：

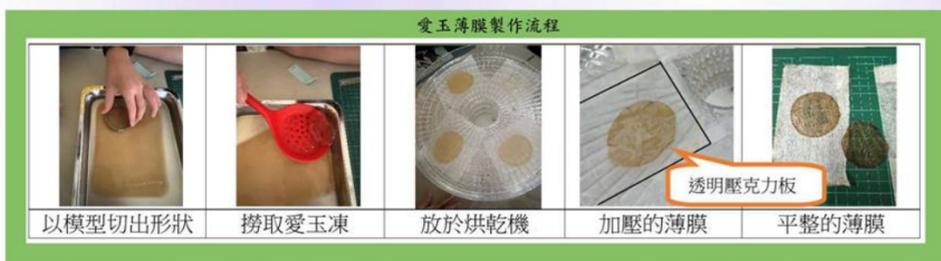
為了實驗能夠得到更精準的刻度，我們希望找到市面上最小刻度的 1 公克的彈簧秤，但是詢問了許多廠家得知彈簧秤最小刻度是 10 公克，因此我們希望針對得到精準刻度上再加以改良。

#### 想法三：

我們多次測試發現當儀器拉動總線時，重量會快速的減輕，而電子秤的讀數並無法靈敏的減低，因此讀數的跳動差距非常大且不穩定，因此相同條件的樣品，每次測量所產生的讀數差距過大，無法當成有效的數值來分析研究，因此無法使用這個方法。

#### 想法四：

以方法一為基礎，並將下方的 S 鈎 改成籃子，使用增加迴紋針數量的方式，當薄膜破掉時，以電子秤測量數值並加以記錄，因為所得的數據較為一致，後續的實驗，我們以這測量儀器來測量愛玉薄膜的張力，而張力越大就表示愛玉薄膜較為堅固。



### 探究三：形成愛玉薄膜的最佳愛玉子攪打的時間。

#### 想法：

我們參考的作品中，對於攪打愛玉子的時間有不同的說法，因此我們希望透過實驗找出形成愛玉薄膜的最佳愛玉子攪打的時間

#### 實驗步驟：

1. 以愛玉子：水=5g：500ml 投入果汁機中
2. 攪打 30 秒後過濾在方形烤盤中
3. 重複步驟 1、2，並將時間分別改為 60 秒、90 秒、120 秒，分別過濾在不同烤盤中。
4. 以保鮮膜蓋起來放置 24 小時。
5. 以前述方法將不同的樣品各取 3-4 塊樣品放到烘乾箱。
6. 以前述方法用 50°C 烘乾，使愛玉形成薄膜。
7. 將薄膜以前述的測量方式測量薄膜的張力，每個樣品取三個數據平均。

結果：如圖 1-4。

#### 討論：

從上圖中我們發現 90 秒平均可以承受的張力約 400g 最大，因此後續的實驗我們都選用 90 秒為攪打的時間，而為什麼 120 秒時承受的張力會變小呢？我們知道愛玉子如果以手搓太久時，會產生酶而使愛玉較不容易結凍，所以我們猜想當果汁機攪打時間過久時，也會使愛玉子中的酶被打出來，因而破壞了愛玉凍的結構，使得愛玉薄膜承受的張力降低。

### 探究四：形成愛玉薄膜的最佳愛玉子與水的比例。

#### 想法：

由於我們前面的實驗以參考資料較常見的比例做實驗，因此我們也好奇形成愛玉薄膜較佳的愛玉子與水的比例真的是 1g：100ml 嗎？或者有更好的比例呢？

#### 實驗步驟：

1. 取愛玉子 5g 並以愛玉子：水=1g：60ml 的比例加入對應的水量投入果汁機中。
2. 以果汁機攪打 90 秒後過濾在方形烤盤中
3. 重複步驟 1、2，並將愛玉子：水=1g：60ml 的比例分別改為 1g：80ml、1g：100ml、1g：120ml、1g：140ml，分別過濾在不同烤盤中。
4. 以保鮮膜蓋起來放置 24 小時。
5. 以前述方法將不同的樣品各取 3-4 塊樣品放到烘乾箱。
6. 以前述方法用 50°C 烘乾，使愛玉形成薄膜。
7. 將薄膜以前述的測量方式測量薄膜的張力，每個樣品取三個數據平均。

結果：如圖 1-5，愛玉子：水=1g：80ml 的愛玉薄膜張力最大。

#### 討論：

實驗的結果並非愛玉子對水的比例較低時得到較好的愛玉薄膜，我們討論可能是因為果汁機攪打時水量太少時會使愛玉子直接產生破壁的效果，因此可能造成愛玉子中的酶產出，因此不利於愛玉薄膜的形成。而當愛玉子對水的比例較高時，會使得愛玉的濃度較低，因此形成的薄膜相對的張力也較低。

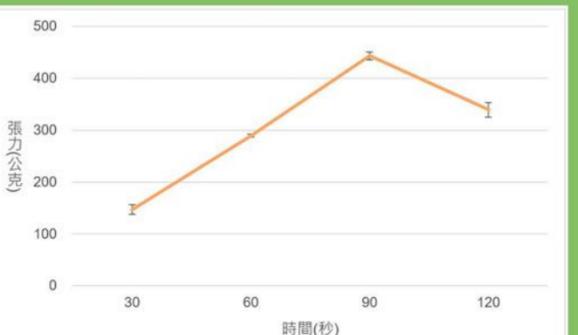


圖 1-4：不同愛玉子攪打時間對於愛玉薄膜張力的影響

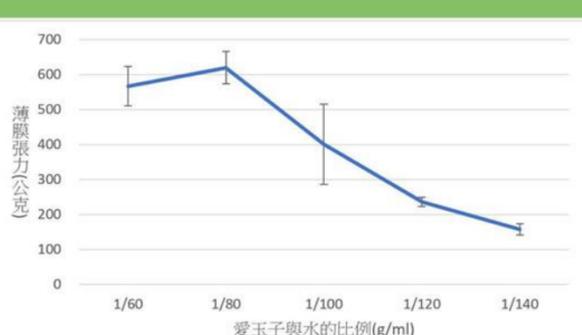


圖 1-5：不同愛玉子與水比例對於愛玉薄膜張力的影響

### 探究五：形成愛玉薄膜的最佳水溫。

#### 想法：

在我們實驗的過程中，我們發現有時水溫較低，結果產生的薄膜數據似乎有所變動，因此我們對於攪打愛玉子時水溫是否會對產生的愛玉薄膜有所影響？針對這個問題我們以實驗加以探究。

#### 實驗步驟：

1. 將水溫調整到 0°C，以愛玉子：水=5g：400ml 比例投入果汁機中
2. 攪打 90 秒後過濾在方形烤盤中
3. 重複步驟 1、2，水溫分別改為 20°C、40°C、60°C、80°C，分別過濾在不同烤盤中。
4. 以保鮮膜蓋起來放置 24 小時。
5. 以前述方法將不同的樣品各取 3-4 塊樣品放到烘乾箱。
6. 以前述方法用 50°C 烘乾，使愛玉形成薄膜。
7. 將薄膜以前述的測量方式測量薄膜的張力，每個樣品取三個數據平均。

結果：如圖 1-6。

#### 討論：

在實驗中，60°C 與 80°C 的樣品在經過 24 小時後仍無法形成愛玉凍，因此無法烘乾成愛玉薄膜，我們發現 20°C 時愛玉薄膜會有最好的張力大約在 450g 附近，而隨著溫度升高產生的薄膜張力降低，我們之前 1g：80ml、90 秒的薄膜張力大約在 400 附近，查詢當時紀錄的水溫約 28-30°C，這樣的結果也符合我們實驗的結果。

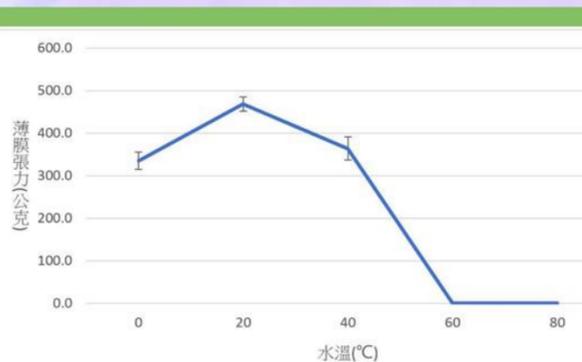


圖 1-6：不同水溫對於愛玉薄膜張力的影響

探究六：形成愛玉薄膜的最佳取愛玉凍的時間。

想法：

由於我們準備實驗到中午攪打完後，只能隔天早上來取樣，每次的實驗時間較長，因此思考愛玉凍取膜的時間是否會影響愛玉薄膜的張力，因此開始實驗。

實驗步驟：

1. 以 20°C 的水將愛玉子：水=5g:400ml 比例投入果汁機中
2. 攪打 90 秒後過濾在方形烤盤中
3. 重複步驟 1、2 做 5 份樣品，分別過濾在不同烤盤中。
4. 以保鮮膜蓋起來放置 24 小時。
5. 以前述方法在 1 小時後取 3-4 塊樣品放到烘乾箱。
6. 重複步驟五，分別在 2 小時、4 小時、8 小時、24 小時各取 3-4 塊樣品烘乾。
7. 以前述方法用 50°C 烘乾，使愛玉形成薄膜。
8. 將薄膜以前述的測量方式測量薄膜的張力，每個樣品取三個數據平均。

結果：如圖 1-7。

發現：

從圖我們發現 8 小時後和 24 小時取的愛玉凍所形成的愛玉薄膜張力差不多，因此只要在 8 小時後取愛玉凍都能有不錯的愛玉薄膜。

討論：

由於愛玉結凍的過程需要靜置自然形成愛玉凍，我們認為愛玉凍是否均勻會影響到脫水後膜的均勻程度，因此我們想測試看看，以我們找出形成愛玉薄膜的最佳條件下愛玉凍是否均勻，因此我們以 24 小時後的愛玉凍樣品在不同的地方取樣，將取樣的樣品來測量光穿透愛玉凍所減少的亮度（如圖 1-8），結果發現同一個樣品的愛玉凍所減少的亮度差不多，那麼代表同一個愛玉凍整個相對是較均勻的。

再來我們測試不同樣品間的愛玉凍的均勻程度是否也有一致性，我們比較了不同樣品的平均值結果如下圖，發現不同樣品間的均勻程度也差不多，可見用同樣方法製作的同一個愛玉凍是均勻，而且在不同時間製作的不同樣品間的差異也不大，也從前面的張力測試中發現張力的數值差不多，可以知道製作出的愛玉薄膜相對是較均勻。

小結論：

以 20°C 的水，愛玉子：水比例為 1g:80ml，果汁機攪打 90 秒，在 8 小時後取凍所形成的薄膜所測量的薄膜是樣品中最好的愛玉薄膜。

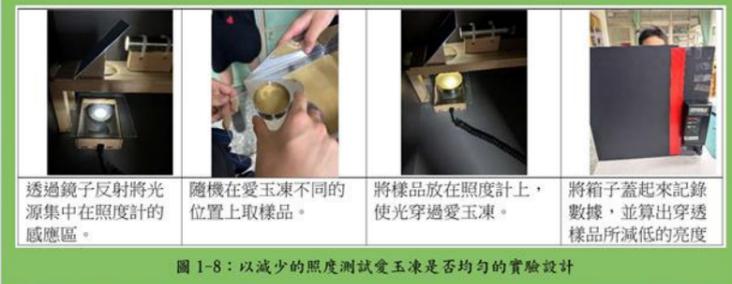
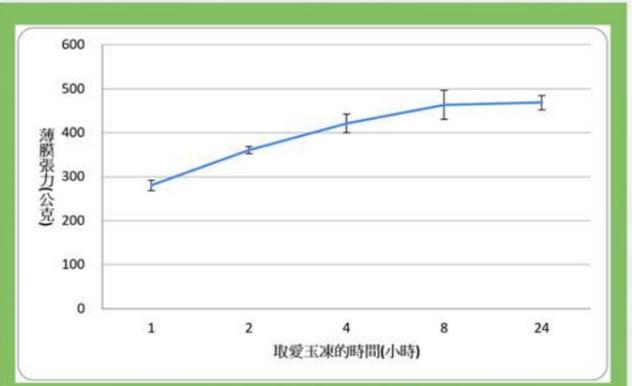


圖 1-8：以減少的照度測試愛玉凍是否均勻的實驗設計

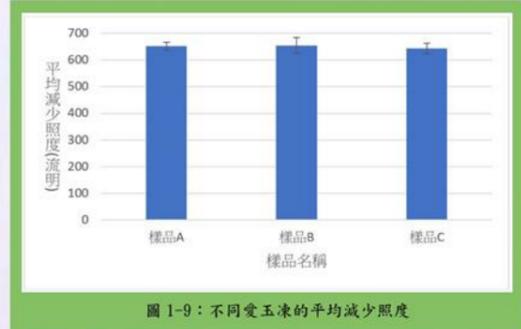


圖 1-9：不同愛玉凍的平均減少照度

二、愛玉薄膜的性質測試

探究七：熱對於愛玉薄膜的影響

7-1：愛玉薄膜的熱水測試

實驗步驟：

1. 取一塊愛玉薄膜，放入加有 100°C、175ml 熱水的燒杯中。
2. 以加熱板加熱燒杯，使水維持在沸騰，觀察一小時。

結果：如圖 2-1，薄膜沒有溶解的狀況。

討論：

愛玉薄膜在熱水中沒有溶解的現象，可以看得出來雖然將愛玉子洗出來的水溫僅 20°C 左右，但是愛玉在形成薄膜後，變成了熱水也無法溶解的結構，可見愛玉在結凍的過程是化學性的變化。

7-2：愛玉薄膜對於烤箱溫度的耐受程度。

想法：

我們以水來加熱時，水最高的溫度是 100°C，但是愛玉薄膜能否承受更高的溫度呢？

在一次試驗中，我們將愛玉薄膜以 180°C 的高溫烘乾 20 分鐘，發現愛玉薄膜在泡水後失去了回復成含水薄膜的特性，取而代之是碎開且失去彈性，因此我們希望透過逐漸加熱的方式測試看看，愛玉薄膜在多少度高溫的烘烤下都還能泡水回復，以此判斷愛玉薄膜的高溫耐受程度。

實驗步驟：

1. 取固定大小的愛玉薄膜放到烤箱以 110°C 烘乾 20 分鐘
2. 將烘乾過的愛玉薄膜放入熱水中浸泡，觀察能否回復成薄膜。
3. 重複步驟 1-2 分別改以 120°C、130°C、140°C、150°C、160°C 操作。

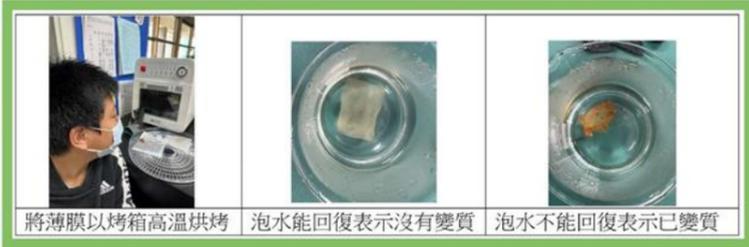
結果：如下表 2-1。

討論：

愛玉薄膜在低於 140°C 的烘烤下都能回復成薄膜，說明了在 140°C 溫度以下薄膜並沒有發生化學變化，因此說明了愛玉薄膜能夠承受 140°C 的高溫，思考到後續的應用上，也說明了在 140°C 以下愛玉薄膜比較沒有變質的疑慮，代表薄膜是個耐高溫的材料。



圖 2-1：愛玉薄膜在熱水中加熱 1 小時的情形



將薄膜以烤箱高溫烘乾 泡水能回復表示沒有變質 泡水不能回復表示已變質

表 2-1：不同烘烤溫度對乾燥愛玉薄膜的回復情形

烘烤溫度	110°C	120°C	130°C	140°C	150°C	160°C
回復情形	可回復	可回復	可回復	可回復	不可回復	不可回復

探究八：愛玉薄膜的防水性測試

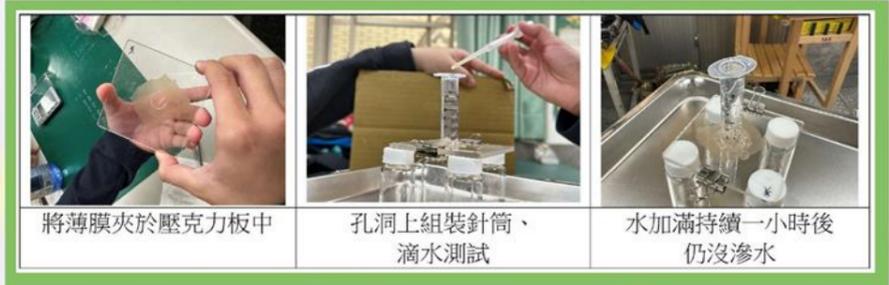
實驗步驟：

1. 將兩塊透明壓克力板在中心鑽出與針筒大小相同的圓形孔洞。
2. 將針筒的前端切除，並以热熔膠黏於圓形孔洞上並測試不漏水。
3. 在圓形孔洞旁塗上薄薄的凡士林，並將愛玉薄膜夾於壓克力板當中。
4. 將水緩緩地滴入針筒中並觀察結果

結果：如下圖

討論：

透過實驗裝置，可以看到從上方滴水，即使將水加滿整個針筒，也沒有滲水的現象，而我們將裝置放置 1 小時，也仍能防水，我們以游標尺進一步測量薄膜的厚度，平均薄膜厚度是 0.004cm，說明了愛玉薄膜雖薄但有不錯的防水性。



將薄膜夾於壓克力板中 孔洞上組裝針筒、滴水測試 水加滿持續一小時後仍沒滲水

探究九：愛玉薄膜對不同溶液的耐受性。

想法：

我們如果將愛玉薄膜用作食品鍍膜，我們希望在各種飲料下是安全無虞且不被溶解的，因此我們以不同的酸鹼度和有機溶液測試薄膜的性質。

實驗步驟：

1. 在樣品的瓶子中加入一小塊愛玉薄膜。
2. 調製不同酸鹼度的溶液（除丙酮與酒精外，均為飽和水溶液），並分別加入對應的樣品瓶中。
3. 以試紙測試溶液酸鹼性並記錄愛玉薄膜的溶解情形。

討論：

在實驗中，愛玉薄膜在氫氧化鈉飽和溶液中會產生微溶的現象，但是在食品中，不會用到這麼強的鹼，因此愛玉薄膜在食品使用上是相對較為安全的。

浸泡溶液	氫氧化鈉	小蘇打	酒精	丙酮	檸檬酸	醋
溶液酸鹼值(PH)	13	8	6	5	1	1
溶解情形	微溶	沒變化	沒變化	沒變化	沒變化	沒變化



可以看出氫氧化鈉瓶內的愛玉薄膜有微溶的現象，導致水溶液由透明轉變成淡褐色

三、探究愛玉薄膜附著在餅乾上的可能性

探究十：嘗試將愛玉薄膜鍍於平面餅乾的可行性與方法

資料討論：

我們思考要將愛玉薄膜附著在餅乾上面，因此我們需要在餅乾和愛玉薄膜之間找到適當的黏著劑，而這個黏著劑我們希望符合環保可食，因此我們找到蛋白霜在製作的過程，就可能有類似的黏著效果，所以我們嘗試以蛋白霜當作黏著劑，另外我們還有討論到起司在加熱時也會形成黏著狀態，而這部分我們也會嘗試實驗看看。

10-1：以瑞士蛋白霜嘗試將愛玉薄膜附著在餅乾上

作法：

1. 取蛋白（不可碰到蛋黃）：砂糖=1g:1.5g
2. 將材料放在鋼盆中，隔水加熱到 60°C，將砂糖攪拌到融化。
3. 用電動攪拌器打發到乾式發泡，當成黏著劑使用
4. 在餅乾上塗一層蛋白霜。
5. 將愛玉薄膜以熱水泡軟，以衛生紙吸乾水份
6. 將薄膜黏在蛋白霜上
7. 將成品放入烤箱以 120°C，15 分鐘烤乾。
8. 以熱水滴在愛玉薄膜上測試防水的情形。

討論：

從實驗結果我們發現，水會些微往下滲到薄膜外面，當我們移開薄膜後發現底下的餅乾呈現些微的濕潤，有違背我們想要的防水餅乾目標。我們猜測可能是因為愛玉薄膜和蛋白霜中的糖產生毛細現象，使得這個水被吸附到餅乾上，因此我們嘗試將黏著劑中的糖改變成起司糊，從生活中的經驗起司是屬於比較油性的，而油水不相容，再加上我們發現比薩中的起司具有黏著性，所以我們想要看看改成起司糊後有沒有比較好的效果。



圖 3-1：以蛋白霜鍍愛玉薄膜的過程

圖 3-1：以蛋白霜鍍愛玉薄膜的過程



水有些微滲到薄膜外 移開薄膜發現餅乾些微濕潤

10-2：以起司糊嘗試將愛玉薄膜附著在餅乾上

作法：

1. 取 120ml 的水，加入 1g 檸檬酸和 1.2g 的小蘇打粉
2. 將前述材料加熱溶解備用，我們稱為起司溶解水
3. 拿起司溶解水 60ml+ 高熔點起司 40g 放在小鐵鍋
4. 將小鐵鍋隔水加熱，直到起司溶解，變成起司糊
5. 在餅乾上塗上起司糊
6. 將愛玉薄膜以熱水泡軟，以衛生紙吸乾水份
7. 將薄膜黏在起司糊上
8. 將成品放入烤箱以 120°C，15 分鐘烤乾。
9. 以水滴在愛玉薄膜上滴上熱水測試防水的情形。

結果：

如圖，熱水滴完放置 60 分鐘後，水不會滲過去，且薄膜也不會脫落。



以起司溶解水隔水加熱溶高熔點起司 將起司糊均勻塗在餅乾上 將愛玉薄膜平整黏合 以 120°C 烘乾 15 分鐘可得到成品

圖 3-2：以起司糊鍍愛玉薄膜的過程

## 討論：

1. 我們直接將起司用烤箱加熱之後具有黏性，但是表面會有一層薄薄的膜，因此不容易黏著。
2. 為了將起司做成像有黏性的漿糊當成黏著劑，我們嘗試將起司熬煮成起司糊，因此，調配了起司溶解水，透過小蘇打和檸檬酸作用成檸檬酸鈉，所以可以溶解起司。我們嘗試以起司調製成起司糊，但是因為平常用的起司片的熔點大約在 90 幾度就會溶掉，雖然能有效的當成黏著劑，但是，熱水碰到時，就因為起司融化而容易脫落。
3. 我們嘗試用起司溶解水去溶解高熔點起司，發現 60ml+ 高熔點起司 40g 是可以溶解成起司糊，但是需要隔水加熱 30 分鐘以上，將這樣的起司糊當成黏著劑，當愛玉薄膜碰到熱水時，也不會因為起司融化而產生脫落現象。



## 探究十一：嘗試製作防水的餅乾杯

### 想法：

我們嘗試將薄膜配合餅乾製成防水餅乾杯，會遇到兩個問題，第一為愛玉膜不夠大片，其二為餅乾製作不易，因此，我們選用市售的餅乾塔模當成我們餅乾杯的基底，所以解決了餅乾杯的問題。愛玉膜的部分，我們則嘗試製作成大片的爱玉膜，經過數次測試之後，找到了可行的方法。

### 11-1：嘗試製作大片愛玉薄膜

#### 作法：

1. 我們以製作愛玉薄膜的方式先製作愛玉
2. 再用鹹酥雞的鏟子將愛玉整塊取出
3. 過蔬果烘乾機以 50 度烘乾 8 小時的方式
4. 烘乾 1 小時後加壓即可得到完整的大片愛玉薄膜。

結果：如圖。經過測試後，可得到完整的大片愛玉薄膜。

#### 討論：

我們嘗試的方法有幾種，第一個直接將愛玉滑出模型放在中藥紙上，讓其自然烘乾成形，第二個想辦法用翻盤的方式，取出愛玉，第三個找到鹹酥雞用的鏟子將愛玉整塊取出。實驗的過程發現，第一種及第二種愛玉破掉的機會都非常的大，因此我們選用第三種使用鹹酥雞鏟子的方式，可以將整塊的爱玉完整取出，最後以蔬果烘乾機 50°C，烘乾 8 小時的方式，只要再經過加壓就能夠得到完整的整片薄膜了。

### 11-2 嘗試將愛玉薄膜鑲在餅乾杯上

#### 作法：

1. 將塔模以 180 °C、15 分鐘烤成餅乾
2. 將熬煮好的起司糊塗在塔模內側
3. 將烘乾的爱玉薄膜泡熱水還原變軟，以衛生紙擦乾水分
4. 將愛玉薄膜平貼在餅乾內部
5. 再以 120 °C 烘烤 20 分鐘成形

結果：如圖，可以得到鑲好薄膜的餅乾杯

#### 討論：

雖然以上述方法可以得到鑲好薄膜的餅乾杯，但是當我們倒入熱水開始測試時，發現熱水倒入 17 分鐘後鑲膜的餅乾杯就會開始滲水，對照沒有鑲膜的餅乾在 5 分鐘左右已經開始滲水，17 分鐘時沒鑲膜的餅乾會整個變軟，鑲膜的餅乾杯僅多了 12 分鐘的防水時間，鑲膜的餅乾雖然沒破掉但是水已經滲光，這結果與我們預期的實驗結果不同，但較上次蛋白霜鑲膜的實驗已經增加了防水的時間，我們在討論後發現，可能是愛玉薄膜黏貼烘乾的過程中會在杯子的邊角有所拉扯，因而使愛玉薄膜產生隙縫，造成餅乾底部邊緣漏水，因此我們將進一步改進薄膜的厚度，希望增加防水的時間。

#### 改進作法：

我們在愛玉薄膜的製作過程中，攪打兩份的爱玉凍到相同的容器中，烘乾時變成要烘乾 24 小時才能成型，製作出 2 倍厚（厚度測量為 0.01cm）的爱玉薄膜，將 2 倍厚愛玉薄膜依照前述的方法鑲在餅乾杯上，再做熱水測試。

結果：如圖，2 倍厚愛玉薄膜餅乾杯倒入 100°C 熱水後經過 1 小時都沒有滲水。

## 探究十二：愛玉薄膜是否會影響熱飲的味道

### 想法：

我們成功的製作出能夠防水的爱玉薄膜餅乾杯，也能夠在注入熱水 1 小時後，都能有防水效果，但這樣的爱玉薄膜會不會影響熱飲的味道呢？我們為此希望透過調查實驗來測試看看愛玉薄膜是否影響咖啡味道，為此以市售標準的膠囊咖啡為主，選取相同的口味來做實驗，看看是否會被分辨出來，也事先調查了願意參與測試的老師。

#### 實驗步驟：

1. 製作咖啡標準品一份、浸泡愛玉薄膜的咖啡一份 A、與標準品相同的咖啡一份 B。
2. 在測試時，先請測試員（學校老師，共 23 人）喝標準品一杯，之後請測試員分別喝下 A 和 B 的咖啡各一杯，喝的時候 A 和 B 的順序會隨機調動，之後再請測試員指出哪一杯不相同，以此作為評判的依據。如果測試員能夠分辨出咖啡哪裡不同則再做第二次的測驗，兩次都能夠指出不同杯的代表能夠分辨出其中細微的味道變化。

#### 結果：

23 人參與測試的老師如圖 3-9，有 20 位老師（87%）無法答對哪杯味道不同，有 2 位老師（9%）只答對第一次哪一杯味道不同，只有 1 位老師（4%）能夠兩次都正確指出哪一杯咖啡味道不同。由於我們認為兩次都答對才是能夠清楚分辨哪杯咖啡味道不同的測試者，約占測試人數中的 4%，因此有 96% 的測試者無法分辨出哪杯咖啡味道不同。

#### 討論：

在加入愛玉薄膜的情況下有 96% 的測試者無法清楚的分辨，顯示咖啡味道並沒有呈現明顯的改變，代表愛玉薄膜影響熱飲的味道不太明顯。

#### 總結論：

綜合上述之研究，能夠成功製造出防水的餅乾杯模型的方法如下：

1. 以愛玉子：水=10 g：800 毫升，用果汁機攪打 90 秒。
2. 過濾靜置 24 小時會結成愛玉凍，以烘乾機 50 °C 烘乾 24 小時會形成的愛玉薄膜。
3. 以 120ml 的水，加熱溶解 1g 檸檬酸和 1.2g 的小蘇打粉，製成起司溶解水。
4. 使用起司溶解水 60 毫升加入 40 公克的高熔點起司，隔水加熱半小時後製成起司糊。
5. 使用起司糊將愛玉薄膜鑲在餅乾上，再經過 120 °C，20 分鐘烘乾，就能夠成功製造出防水的餅乾杯模型。

#### 未來研究方向：

我們的研究已經能夠在控制一定的條件下拿到可應用的愛玉薄膜，並透過溶解高熔點起司起得到的起司糊將愛玉薄膜鑲在餅乾杯上。在測試愛玉薄膜知道具有防水且對熱不會溶解的優點，並在盛裝熱飲時穩定且不影响口味，加上愛玉薄膜是由天然愛玉烘乾而得到，因此可食用且兼具環保不影響環境的優點。未來我們期望做出鑲有愛玉薄膜的餅乾杯，且能夠實際用於生活中，我們的概念如下圖。

## 肆、結論

### 一、探究不同條件形成的愛玉凍與形成薄膜張力的關係

1. 製作最佳的爱玉薄膜的爱玉凍的條件為愛玉子：水=1g：80ml 的比例，最佳水溫是 20°C，以果汁機攪拌 90 秒，過濾後放置 8 小時之後取得的爱玉凍，就能做出較佳的爱玉薄膜。
2. 薄膜烘乾以蔬果烘乾機用 50°C，烘乾 8 小時最佳，想得到平整的爱玉薄膜，要在烘乾一小時後以壓克力板加壓就能得到平整的爱玉薄膜。

### 二、愛玉薄膜的性質測試

1. 愛玉薄膜不會溶解於 100°C 熱水中，在烤箱 140°C 烘烤 20 分鐘也能在熱水中回復原狀。
2. 愛玉薄膜具有防水性
3. 愛玉薄膜不會溶於 99% 酒精、丙酮、飽和小蘇打溶液、飽和檸檬酸溶液、99% 醋酸，微溶於飽和氫氧化鈉溶液中，但食品中沒有這麼強的鹼。

### 三、探究愛玉薄膜附著在餅乾上的可能性

1. 以瑞士蛋白霜和起司糊都能將愛玉薄膜附著在餅乾上，但起司糊較佳。
2. 用 2 倍厚的愛玉薄膜以高熔點起司製作的起司糊能成功將愛玉薄膜鑲於餅乾杯上製作出鑲膜餅乾杯，並以熱水測試 1 小時都不會滲水。
3. 愛玉薄膜不太會影響熱飲的味道，在實驗中有 96% 測試者無法分辨。
4. 綜合上述結論，鑲上愛玉薄膜的餅乾杯，具有防水、耐熱、可食、可分解的特性，且不影响熱飲的味道，我們認為有很大的潛力可以成為取代 PE 膜的替代方案。

## 伍、參考資料及其他

1. 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會國小組化學科，洋洋得益——以洋菜凍製成防水紙吸管。
2. 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會國中組生活與應用科學科（二），Q 彈愛玉「膜」降低面膜紙與包裝的環境汙染。
3. 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會高級中等學校組農業與食品學科，膜去得掉膠出來——愛玉凍新製程。
4. 為什麼愛玉仔洗一洗就會「結凍」？——從國民美食到生醫材料 - PanSci 泛科學。上網日期：2022 年 2 月 23 日。https://pansci.asia/archives/344457
5. 台人一年喝掉 28 億杯咖啡 連假業者備貨量增 5 倍。上網日期：2021 年 12 月 30 日。https://tw.news.yahoo.com/%E5%8F%B0%E4%B%A-%E5%B9%B4%E5%96%9D%E6%8E%89%28%E5%84%B8%E6%9D%A%E5%92%96%E5%95%A1-%E9%80%A3%E5%81%87%E6%A5%AD%E8%80%85%E5%82%99%E8%B2%A8%E9%87%8F%E5%A2%9E5%E5%80%8D-102620617.html
6. 黑金商機！台灣人一年喝掉 6 億杯外帶咖啡，可繞地球 1.35 圈！上網日期：2019 年 06 月 05 日。https://www.foodnext.net/issue/paper/5975326331
7. 農業環保篇 (2021)，免洗餐具中塑膠淋膜含量檢測方法。行政院公報，27 卷 208 期。

