

2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 200004

參展科別 環境工程

作品名稱 **The development of natural quick-cooking
tapioca balls**

就讀學校 國立民雄高級農工職業學校

國立嘉義高級中學

指導教師 王俊雄、王瓊祥

作者姓名 陳昭穎、許薰延、陳聖文

關鍵詞 tapioca balls、alginate、calcium ions

作者簡介



在課業壓力最重的高三，參加這次科展也許格外辛苦，但對我們三人來說，一切犧牲都是值得的。決定參賽後，午休、假日幾乎都在實驗室中渡過，實驗並非一帆風順，遭遇瓶頸在所難免，但也增強了我們解決問題的能力。全國科展中得到評審肯定固然令人開心，然而這並非終點。未來，在完善實驗的同時，也希望能讓更多人看見我們的研究。

Abstract

This research was conducted to study on tapioca balls whose surface was coated with two layers of calcium alginate films (inner layer with 1.0% and outer layer with 0.5 % of alginate) by using the homemade coating machine. The new type of tapioca balls with natural drying method are able to enhance characteristic of water absorption and reduce the disintegration or rupture during soaking in cold water. This research has shown that after soaking in water for 25 minutes, the moisture content can reach to 51.67%. The water activity of tapioca balls is 0.684, which is **significantly** lower than 0.8 (**the lowest** water activity limit for the microbial growth). Therefore, they can be stored at room temperature for a long time. The analysis of texture profile from the improved tapioca balls was measured, and it reveals that the springiness can meet the commercial levels. Besides, **sensory** evaluation was also performed. The results had shown that the participants involved in the testing had a **strong/clear** preference for the improved tapioca balls over the regular ones. Finally, there are two advantages in the new type of tapioca balls. The first advantage is that the time efficiency is better which means the required preparation time for thoroughly (100%) cooked tapioca balls can be reduced by approximately 40% as compared to the dried and wet versions (37.80% and 42.75% respectively). The second advantage is that energy efficiency is better. The new type of tapioca balls only requires approximately 25% of energy consumption to attain the same results as compared to the dried and wet versions. The new tapioca balls are by far superior to regular versions of both dried and wet tapioca balls, for it takes approximately 40% of the cooked time for the new version to reach the doneness.

壹、摘要

本研究利用自製包覆薄膜裝置，在濕粉圓表面包覆雙層海藻酸鈣薄膜(內層1.0%海藻酸鹽+外層0.5%海藻酸鹽)，經自然乾燥製成新型粉圓，可浸泡冷水不會崩解或破裂，且水分完全滲入粉圓內部僅需25分鐘；新型粉圓在泡水25分鐘後，其內部水分含量高達51.67%。新型粉圓要達到100%煮熟率之時間，僅乾粉圓的37.80%、濕粉圓的42.75%，省時效果十分明顯；而所消耗電能，僅乾粉圓的25.57%、濕粉圓的28.81%，節能效果極為顯著。新型粉圓經全質構分析(TPA)之彈性已達到商品化之水準，並經官能品評驗證，受試者對新型粉圓各項目之喜好程度均優於濕粉圓。最後，測試新型粉圓之水活性僅為0.684，其Aw值明顯低於一般微生物生長界限0.8，可在常溫下長時間貯存。

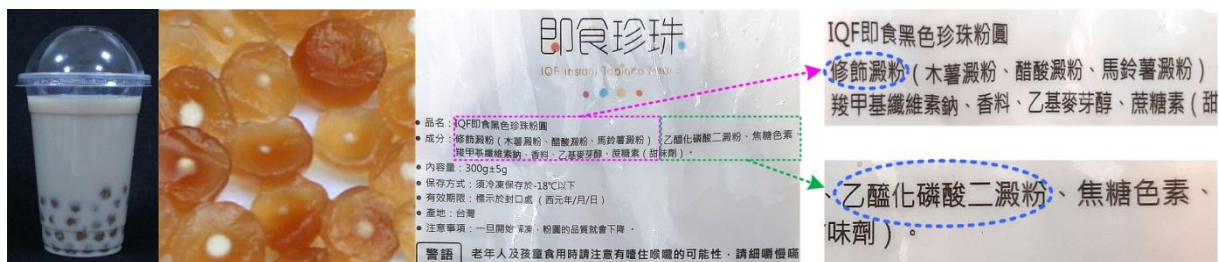
貳、研究動機與目的

一、研究動機

珍珠奶茶不僅在台灣十分暢銷，更逐漸在全世界各國掀起風潮，同時帶動台灣整個珍珠奶茶產業鏈的興盛。珍珠奶茶所使用的珍珠，就是傳統的粉圓，希望本研究能對台灣珍珠奶茶產業鏈有所貢獻。

生鮮的濕粉圓製品，因水分含量較高，故其保存期限很短，必須以冷藏方式保存，因而濕粉圓違法添加「防腐劑」屢見不鮮。而市售乾粉圓，其水分含量較低，不需添加防腐劑仍可常溫保存，但粉圓在烹煮過程中十分費時、耗能，尤其大型的粉圓，其內部中心更不容易煮熟，由過去之相關研究⁽⁵⁾得知，其原因是生粉圓在100°C高溫的沸水中，粉圓表面的澱粉會瞬間糊化，形成較為緊密的保護層，水分子不易滲入粉圓內部，導致粉圓中心不容易煮熟。

近來市面上有一種新產品：冷凍即食珍珠，完全不需烹煮，只需在85°C以上的熱水中沖泡30秒後，便可食用。我們實際去買來試吃看看，發現即時粉圓的成分中，含有許多修飾澱粉，並不是成分天然健康的粉圓。



二、研究目的

- (一) 探討水分對烹煮粉圓的重要性。
- (二) 探討粉圓包覆薄膜之可行性。
- (三) 研發出烹煮程序簡單的「新型粉圓」，讓消費者以更簡易的居家料理方法，享用波霸珍珠奶茶迷人的口感風味。
- (四) 研發出烹煮耗費時間短、耗費電量少，兼具省時節能優點的「新型粉圓」。
- (五) 研發出不需添加防腐劑，即可在常溫下長時間貯存，且成分天然健康，沒有食品安全疑慮的「新型粉圓」。
- (六) 研發出消費者喜好程度高、購買意願高，具有商品化價值的「新型粉圓」。

叁、研究過程與方法

一、文獻回顧

(一)澱粉糊化 (7)(8)(10)

天然的澱粉顆粒不溶於冷水，在常溫下澱粉粒可以吸水膨脹至直徑增加約 20%，此現象稱為膨潤。澱粉在水與加熱存在的條件下，澱粉粒會繼續吸水、膨潤、結晶溶解、黏度增加，逐漸出現糊化(gelatinization)現象，使澱粉成為黏稠糊狀。澱粉糊化後吸水性和黏彈性會增強，澱粉種類不同，糊化溫度也不同。

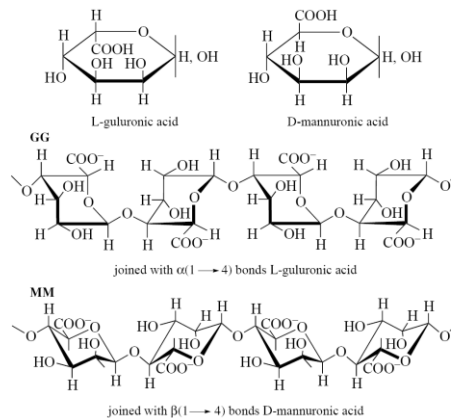
(二)粉圓 (5)(6)(11)

一般市售之粉圓的成分由澱粉、水及焦糖所組成。目前市售粉圓的製造流程為：先將粉體、水、添加物攪拌混合、打碎、造粒，粉圓成形後，以篩選機篩選大小，即為市售新鮮粉圓（即濕粉圓），若要製作乾粉圓，則需將新鮮粉圓置於陰涼處以室溫自然陰乾。

乾粉圓烹煮相當費時耗能，尤其大型的波霸珍珠中心更不容易煮熟。過去有相關研究⁽⁵⁾是在粉圓烹煮前以 78°C 熱水處理 1min，再浸漬冷水 4 小時，接著將熱水煮滾後，放入處理過的粉圓，間歇式加熱循環 10 次(每次加熱循環：加熱 1min、悶 1min)。也有相關研究⁽⁶⁾是採用共研磨食用膠與澱粉來製作快速食用與長久保存的粉圓。

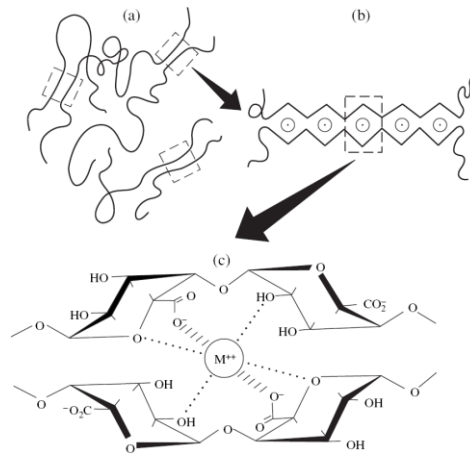
(三)海藻酸鹽 (3)(9)(12)

海藻酸 (alginate) 主要來自褐藻抽出之天然多醣聚合物，其在加工應用上，常被製成海藻酸鈉。海藻酸鈉是由 D-甘露糖醛酸(D-mannuronic acid)(M 單元) 以 β -(1→4) 鍵結及 L-古羅糖醛酸(L-guluronic acid)(G 單元) 以 α -(1→4) 鍵結而成之線性高分子多醣類聚合物，如下圖所示。



海藻酸鹽之結構 (3)

海藻酸多醣體上有很多陰離子基團；可藉由靜電交互作用產生獨特的物理性質。水溶性的海藻酸鹽，因為添加二價的鈣離子 (Ca^{2+}) 後可形成牢固的凝膠，該凝膠機制是因為金屬離子與海藻酸多醣體分子的 L-古羅糖醛酸(G 單元)上兩個羧基和羥基上的氧原子，因為離子的相互作用及分子間鍵結，產生分子間的架橋作用而形成膠體結構，兩條分子鏈的 G 單元間形成一個洞，而二價的鈣離子就鑲在充滿負電荷的空隙中，如同雞蛋放在蛋盒中，即所謂的蛋盒模式(egg-box model)，如下圖所示。

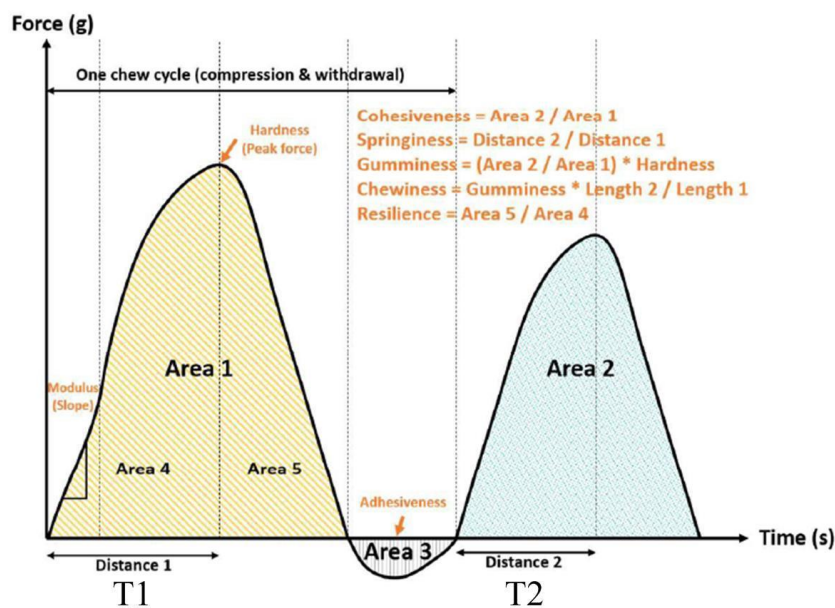


海藻酸鹽凝膠之蛋盒模式(egg-box model) (3)

(四)全質構分析 (1)(2)

全質構分析(Texture Profile Analysis, TPA)：質地剖面分析測試是針對食品質地口感所發展的方法，廣泛應用於量化許多食品物理性質的科學，包括硬度、脆度及咀嚼性。獨特的兩次下壓動作模式，是模擬當我們吃東西時口腔的咬合方式。TPA 測試時探頭的運動軌跡是：探頭從起始位置開始，先以一速率壓向測試樣品，接觸到樣品的表面後，再以測試速率對樣品進行壓縮一定的距離，而後返回到壓縮的觸發點，停留一段時間後繼續向下壓縮同樣的距離，而後以測後速率返回到探頭測前的位置，利用電腦擷取實驗數據得到「時間-力」變化圖形，如下圖所示。測試數據經由圖型分析工具的解析，可提供多種重要的質地參數：

- ◎硬度(Hardness)：第一次下壓區段內最大力量值。是最直接反應口感的一項指標，會直接影響咀嚼性、膠著性及凝聚性。
- ◎黏聚性(Cohesiveness)： $\text{Area 2} / \text{Area 1}$ 。
- ◎彈性(Springiness)： $T2 / T1$ 。食物在第一咬結束與第二口開始之間可以恢復的高度。
- ◎膠著性(Gumminess)：硬度 \times 黏聚性。
- ◎咀嚼性(Chewiness)：膠著性 \times 彈性。
- ◎回復性(Resilience)： $\text{Area 5} / \text{Area 4}$ 。
- ◎黏性(Adhesiveness)： Area 3 。



全質構分析(Texture Profile Analysis, TPA)之「時間-力」變化圖形 (2)

二、研究架構



三、設備與材料

(一) 設備



推拉力計
LUTRON FG-5005
(Taiwan)



CNC雕銑機
門氏國際 Bonta Diffraction
(Taiwan)



均質機
SHIN KWANG HM-0025
(Taiwan)



翻拍架
181-006A
(Japan)



單眼相機
NIKON D700
(Japan)



自製逆光拍攝裝置



3D列印機
UP BOX
(China)



水活性分析儀
AquaLab AL1503
(USA)



色差計
Lovibond LC100
(UK)



電磁爐
PHILIPS HD4410
(Austria)



電鍋
TATUNG
(Taiwan)



瓦時計
PROVA WM-02
(Taiwan)

(二) 材料

1. 海藻酸鈉。(佳里)
2. 氯化鈣。(Choneye, Taiwan)
3. 乾粉圓/濕粉圓。(歐佳)
4. 紅豆。

四、研究方法

A、水分重要性之探討

【實驗A1】乾溼紅豆烹煮之測試

前言：本實驗擬在相同的烹煮條件下，測試乾紅豆/濕紅豆之「煮熟率」，預期紅豆內部若含有較多的水分，可能會提高紅豆之「煮熟率」。

步驟：

1. 實驗變因：乾紅豆/濕紅豆(乾紅豆浸泡冷水12小時)。
2. 稱取1000g的水置入3人份內鍋中，使用電磁爐加熱至沸騰，分別加入25g乾紅豆/濕紅豆，(烹煮前先計算此25g「烹煮紅豆數量」)。
3. 繼續以電磁爐加熱烹煮60分鐘後，撈取紅豆靜置冷卻。
4. 觀察、拍攝紅豆烹煮後的紅豆種皮破裂情形，若紅豆之種皮未破裂者，視為「未熟紅豆」，計算「未熟紅豆數量」。
5. 本實驗定義「煮熟率」作為紅豆煮熟程度之量化指標，「煮熟率」之計算公式如下所示：

$$\text{煮熟率}(\%) = \left(1 - \frac{\text{未熟紅豆數量}}{\text{烹煮紅豆數量}}\right) \times 100\%$$

結果：

1. 稱取的乾紅豆實際重量是 25.10g，共計 180 顆，乾紅豆之外觀明顯比濕紅豆小，如圖 1A 所示。
2. 濕紅豆浸泡冷水前實際重量是 25.00g，浸泡冷水後是 40.26g，共計 190 顆，泡水後共計吸收 15.26g 的水，紅豆重量增加 61.04%的水分，濕紅豆之外觀明顯比乾紅豆大，如圖 1B 所示。



圖1. 乾紅豆與濕紅豆外觀之比較

3. 乾紅豆之烹煮結果：烹煮紅豆180顆，未熟紅豆49顆，計算得到乾紅豆之「煮熟率」為72.78%，如圖2A、圖3所示。
4. 濕紅豆之烹煮結果：烹煮紅豆190顆，未熟紅豆12顆，計算得到濕紅豆之「煮熟率」為93.68%，如圖2B、圖3所示。

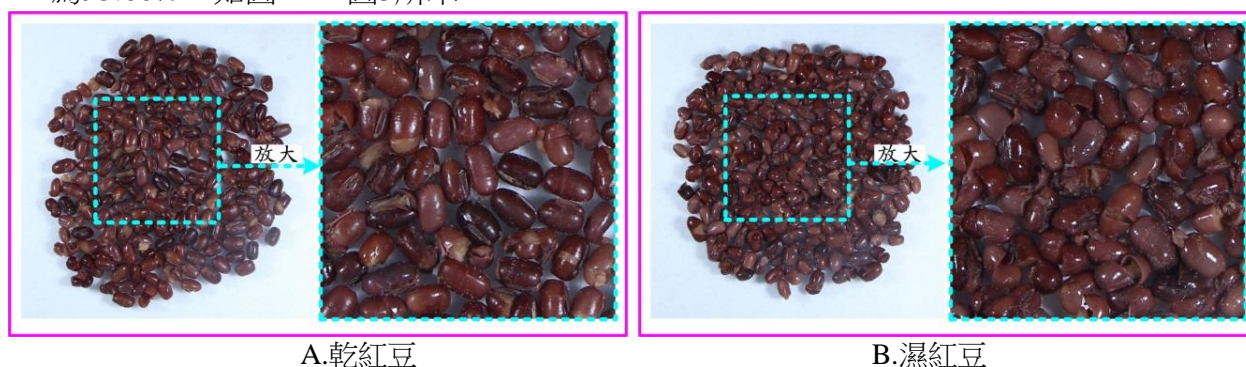


圖 2. 乾紅豆/濕紅豆種皮破裂情形之比較

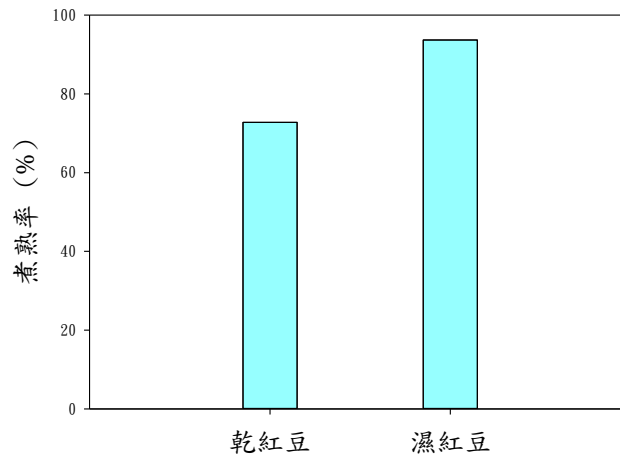


圖 3. 乾紅豆/濕紅豆「煮熟率」之比較

討論：

1. 「乾紅豆」泡水後，水分可逐漸通過紅豆的種皮進入內部，進入紅豆內部的水分導致紅豆吸水膨脹變大，烹煮時有利於紅豆內部澱粉之糊化。
2. 由本實驗證明，在相同的加熱烹煮條件下，濕紅豆之「煮熟率」明顯高於乾紅豆之「煮熟率」，這表示紅豆內部若含有較多的水分，確實會提高紅豆之「煮熟率」，亦即可縮短紅豆煮熟所需的時間。

【實驗A2】乾溼粉圓烹煮之測試

前言：本實驗在相同的烹煮條件下，測試市售同廠牌同類型乾粉圓/濕粉圓之「煮熟率」，希望能驗證：若粉圓內部含有較多的水分，是否可提高粉圓之「煮熟率」。

步驟：

1. 實驗變因：乾粉圓/濕粉圓。
 2. 稱取1000g的沸水置入3人份內鍋中，分別加入25g乾粉圓/濕粉圓，(烹煮前先計算此25g「烹煮粉圓數量」)，使用電磁爐繼續加熱30分鐘。
 3. 將裝有粉圓的內鍋移入電鍋中繼續烹煮，外鍋加一杯水(215g)。
 4. 電鍋跳到保溫狀態後，持續保溫悶煮30分鐘後，撈取粉圓浸泡冷水5分鐘。
 5. 將粉圓分別放置在順光/逆光環境下，進行觀察並拍攝粉圓之煮熟程度
- ※ 本實驗定義：若整顆粉圓在逆光照射時，色澤均勻透光，視為「全熟粉圓」；反之，若整顆粉圓在逆光照射時，具有色澤較深透光性較差的中心圓點，視為「未熟粉圓」。計算「未熟粉圓數量」。
6. 本實驗定義「煮熟率」作為粉圓煮熟程度之量化指標，「煮熟率」之計算公式如下所示：

$$\text{煮熟率}(\%) = \left(1 - \frac{\text{未熟粉圓數量}}{\text{烹煮粉圓數量}}\right) \times 100\%$$

結果：

1. 乾粉圓之烹煮結果：烹煮粉圓86顆，未熟粉圓80顆，計算得到乾粉圓之「煮熟率」為6.98%，如圖4A、圖5所示。
2. 濕粉圓之烹煮結果：烹煮粉圓57顆，未熟粉圓49顆，計算得到濕粉圓之「煮熟率」為14.04%，如圖4B、圖5所示。

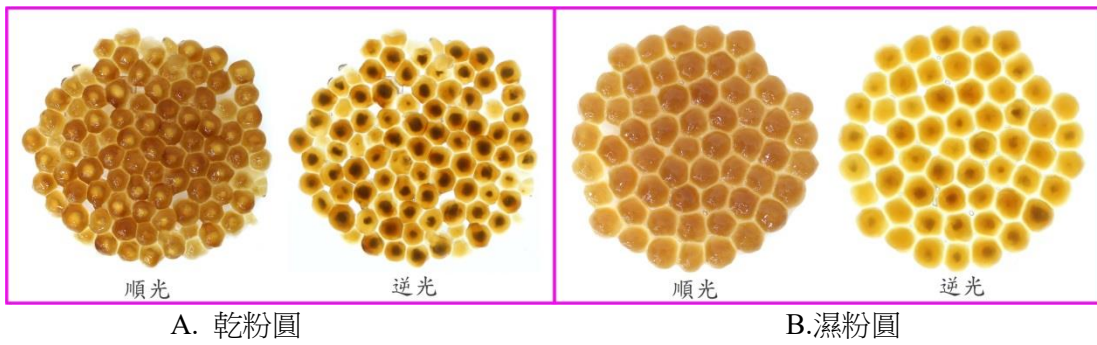


圖4. 乾粉圓/濕粉圓煮熟程度之比較

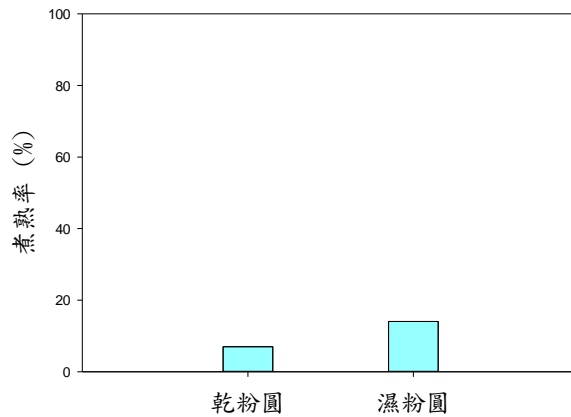


圖5. 乾粉圓/濕粉圓「煮熟率」之比較

討論：

1. 由本實驗證明，在相同的加熱烹煮條件下，「濕粉圓」之煮熟率明顯高於「乾粉圓」，這表示濕粉圓內部含較多的水分，可幫助粉圓的澱粉糊化，縮短粉圓的煮熟時間。
2. 本實驗電鍋悶煮時間(外鍋加一杯水，電鍋跳到保溫狀態後，持續保溫悶煮30分鐘，總計約50分鐘)，比市售乾粉圓標示之烹煮方法(電鍋悶煮約60分鐘)稍短一些，預期乾粉圓/濕粉圓皆無法到100%「煮熟率」，其目的是為了證明在相同的烹煮條件下，能明顯區分乾粉圓/濕粉圓之「煮熟率」。
3. 為了瞭解電鍋內溫度之變化情形，我們將電鍋外鍋加一杯水(215g)，按下電源開關進行烹煮，電鍋跳到保溫狀態後，持續保溫 60 分鐘。利用熱電偶測量電鍋內之溫度，並連接電腦讀取記錄加熱過程溫度之變化情形，如圖 6 所示，電鍋跳到保溫狀態，持續保溫 30 分鐘後溫度大約 77.2°C，此溫度仍足以使澱粉糊化。

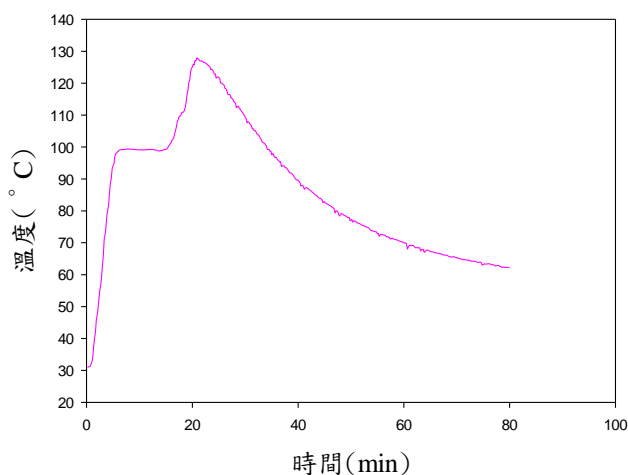


圖6. 電鍋烹煮過程中溫度之變化

【實驗A3】粉圓浸泡冷水之測試

前言：綜合【實驗 A1】與【實驗 A2】之實驗結果，無論烹煮紅豆或粉圓，其內部若含有較多的水分，可提高紅豆或粉圓之「煮熟率」，本實驗擬驗證粉圓先浸泡冷水後，使粉圓內部吸收較多的水分後，再進行烹煮之可行性。

步驟：

1. 實驗變因：乾粉圓/濕粉圓。
2. 稱取200克的冷水，分別將乾粉圓/濕粉圓放入水中，浸泡冷水5分鐘。
3. 觀察並拍攝粉圓浸泡冷水之情形。

結果：

1. 由圖 7A 顯示，乾粉圓放入冷水中，乾粉圓立即出現崩解現象。
2. 由圖 7B 顯示，濕粉圓放入冷水中，濕粉圓立即出現崩解現象。

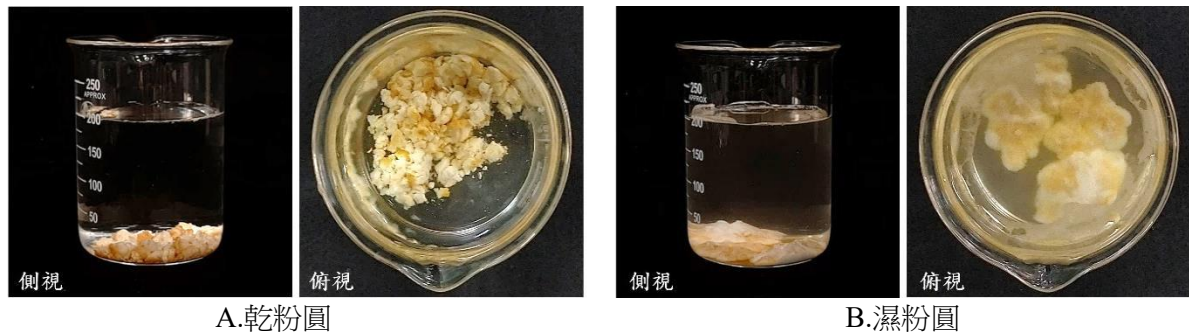


圖7. 乾粉圓/濕粉圓浸泡冷水皆即出現崩解現象

討論：

1. 由相關研究資料⁽⁵⁾佐證得知，市售粉圓是未糊化的生澱粉，由於缺乏糊化後的黏性，因此佐證無論乾粉圓或濕粉圓放入冷水中，皆會立即出現崩解現象。
2. 過去相關研究⁽⁵⁾是將粉圓用78°C的熱水進行表面糊化，使粉圓表面形成較疏鬆的保護層，接著浸泡冷水4小時，讓水分容易滲入粉圓內部，以提高粉圓的煮熟率。
3. 本研究希望能找出粉圓的新製程，使新型粉圓如同紅豆一般，置入冷水中浸泡，使水分能滲入粉圓內部，且粉圓不會因吸水崩解，預期能有效縮短粉圓的煮熟時間。
4. 本研究擬找出一個全新的粉圓新製程，希望粉圓能置入冷水中浸泡，使水分能滲入粉圓內部，且粉圓不會因吸水膨潤而崩解，預期可有效縮短粉圓的煮熟時間並達到環保節能的目標。「新型粉圓」吸水膨潤不會崩解之原理，如圖8所示。

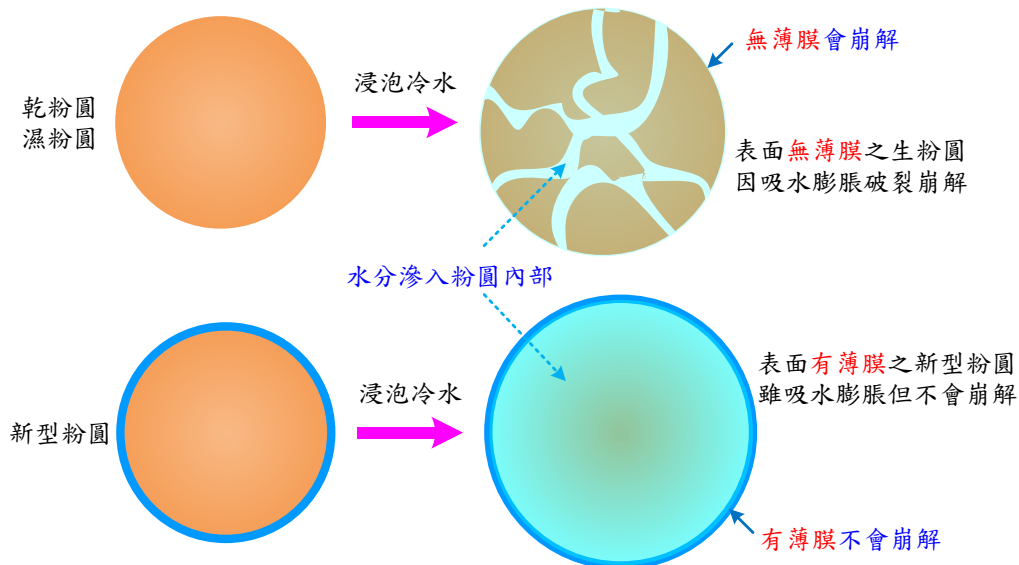


圖8. 「新型粉圓」吸水膨潤不會崩解之原理

B、包覆薄膜可行性之探討

【實驗B1】包覆薄膜裝置之設計與測試

前言：本實驗希望在粉圓表面包覆一層海藻酸鈣薄膜，在預備實驗中，我們是用手動的方式包覆海藻酸鈣，但粉圓表面的薄膜呈現厚薄不均勻現象。因此擬自行設計簡單的機械裝置，預期可使粉圓表面包覆一層海藻酸鈣薄膜厚薄均勻一致，未來可利用自動化機械大量生產。

步驟：

1. 首先，我們利用 SolidWorks 電腦 3D 繪圖軟體畫出我們的構想圖。
2. 經過在電腦上動態模擬後覺得可行，依照3D繪圖所設計出來的零件，利用3D印表機列印出包覆薄膜裝置的零件以及利用機械加工，加工部分的零件。
3. 將 3D 印表機列印出零組件後加以組裝，並經過不斷測試修改，最後將包覆薄膜裝置製作完成。
4. 最後實際測試粉圓包覆薄膜之功能。

結果：

1. 組裝完成的包覆薄膜裝置，實際測試結果運作正常，粉圓顆粒先浸泡在海藻酸鈉糊液裡，利用螺旋的推動，將表面包覆海藻酸鈉的粉圓向前推進，粉圓表面成功包覆一層海藻酸鈉糊液，最後滾落到氯化鈣水溶液中，如圖 9 所示。
2. 粉圓掉到氯化鈣水溶液中後，海藻酸鈉會與氯化鈣反應後，在粉圓表面包覆一層厚薄均勻的海藻酸鈣薄膜。

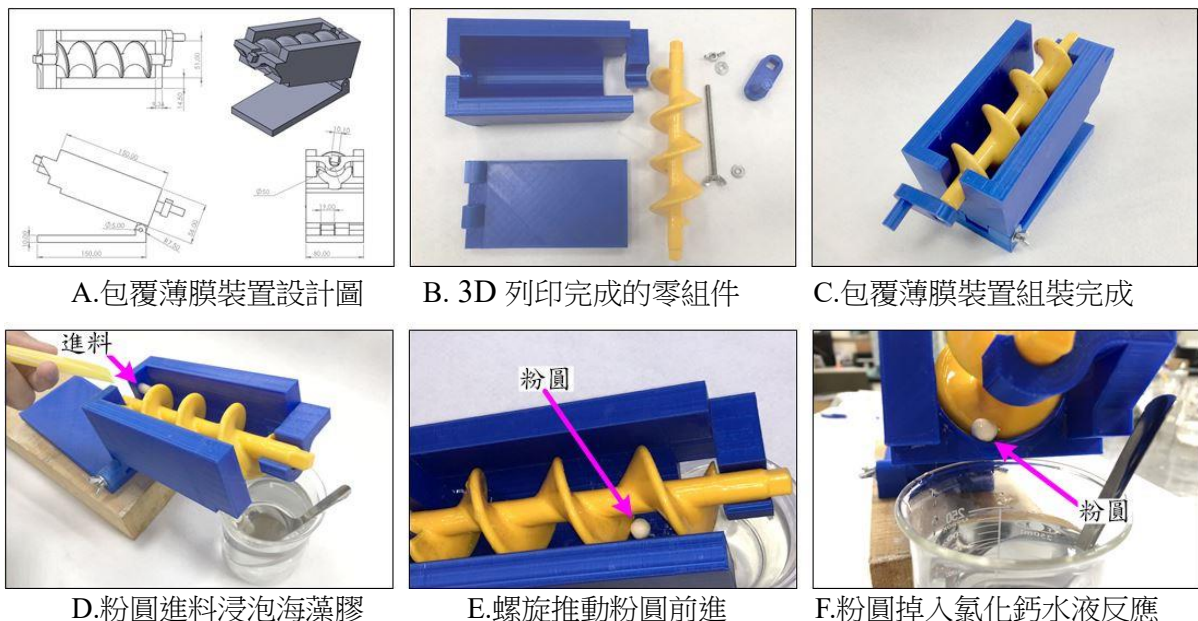


圖 9. 粉圓包覆薄膜裝置實際測試運作正常

討論：

1. 本實驗的設計構想就是利用螺旋推動的原理來設計，並且加上一個調整角度的裝置，用來調整海藻酸鈉水溶液(膠狀糊液)的深度，使粉圓顆粒可以完全浸泡到海藻酸鈉糊液裡。
2. 包覆薄膜裝置是利用螺旋的推動，將表面包覆海藻酸鈉的粉圓向前推進，可以順利在粉圓表面包覆一層海藻酸鈉糊液，並且將粉圓帶離液面，同時經過一段空行程，讓粉圓顆粒不斷旋轉，使其表面包覆的海藻酸鈉糊液塗佈更均勻，最後順利掉到氯化鈣水溶液中進行反應。

3. 未來包覆薄膜裝置是利用間歇裝置及馬達推動螺旋，將粉圓逐粒自動進料、自動推進，逐粒在粉圓表面包覆一層海藻酸鈣薄膜。其構想圖如圖 10 所示。

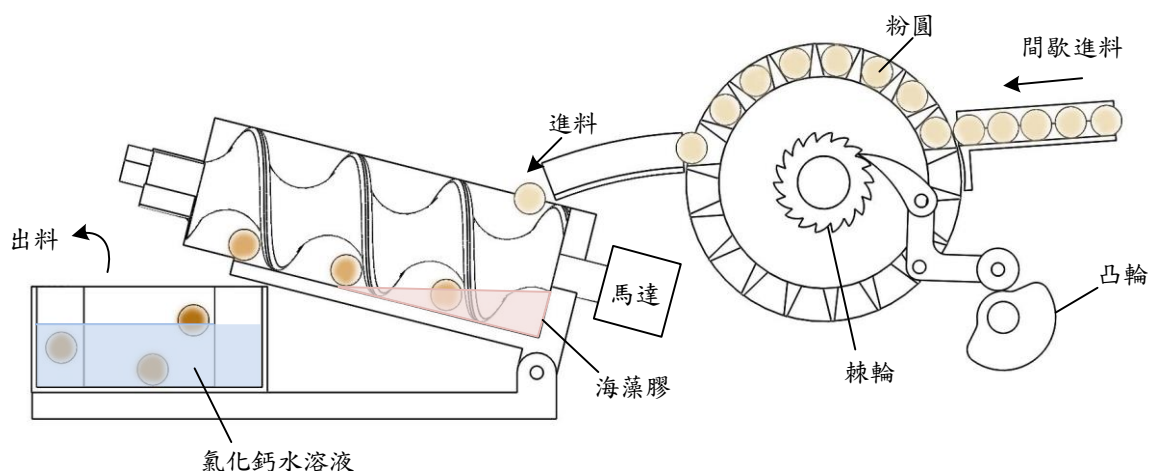


圖10. 粉圓包覆薄膜裝置自動化構想圖

【實驗B2】單層薄膜粉圓浸泡冷水測試

前言：由實驗【實驗 A3】得知，乾粉圓/濕粉圓(生粉圓)浸泡冷水，皆立即出現崩解現象，因此，本實驗擬測試粉圓表面包覆一層海藻酸鈣薄膜，預期表面有包覆薄膜之新型粉圓，浸泡冷水時會緩慢吸水膨脹，但粉圓不會破裂。

步驟：

1. 實驗變因：海藻酸鈉水溶液濃度(0.5 / 1.0 / 1.5 / 2.0 / 2.5 / 3.0 %)。
2. 配製(0.5 / 1.0 / 1.5 / 2.0 / 2.5 / 3.0 %) (w/v)海藻酸鈉水溶液(黏稠糊液) 100 ml，另配製 1% (w/v)氯化鈣水溶液100ml。
3. 利用粉圓包覆薄膜裝置，分別將**濕粉圓**逐粒浸泡在海藻酸鈉糊液中，利用螺旋的推動，將表面包覆海藻酸鈉的粉圓向前推進，粉圓表面包覆一層海藻酸鈉糊液後，滾落到氯化鈣水溶液中，浸漬10秒後撈起。
4. 置於陰涼通風處自然乾燥24小時，製成乾燥的「**新型粉圓**」，觀察並拍攝粉圓之外觀變化。
5. 將乾燥的「**新型粉圓**」進行浸泡冷水測試：
 - (1) **完整性測試**：浸泡冷水5分鐘，觀察並拍攝粉圓之外觀變化。
 - (2) **滲水性測試**：浸泡冷水5分鐘，切開粉圓觀察水分是否完全滲入內部，並拍攝水分滲入粉圓之程度。(※若粉圓水分沒有完全滲入內部，則繼續增加浸泡冷水時間，每次遞增5分鐘，重複本步驟，直到水分完全滲入內部。)

結果：

1. 由圖11顯示，包覆0.5~1.5%海藻酸鹽薄膜的乾燥粉圓出現裂痕。包覆2.0%~3.0%海藻酸鹽薄膜的乾燥粉圓都沒有出現裂痕。新型粉圓會隨著包覆的海藻酸鹽濃度遞增，而薄膜裂痕會隨之遞減。
2. 由圖12顯示，包覆0.5~1.5%海藻酸鹽薄膜的粉圓浸泡冷水5分鐘後，明顯破裂崩解。包覆2.0%~3.0%海藻酸鹽薄膜的粉圓薄膜仍會出現局部破裂。新型粉圓會隨著包覆的海藻酸鹽濃度遞增，而薄膜破裂的現象會隨之遞減。
3. 由完整性測試結果顯示，新型粉圓浸泡冷水5分鐘後，全部都會出現不同程度的崩解或破裂現象，因此未繼續進行滲水性測試。

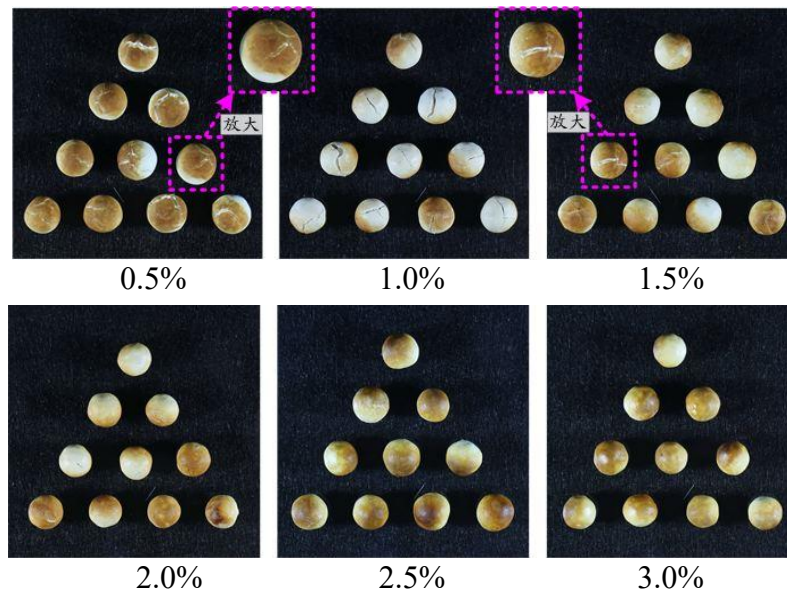


圖11. 乾燥的新型粉圓(包覆單層薄膜)之外觀

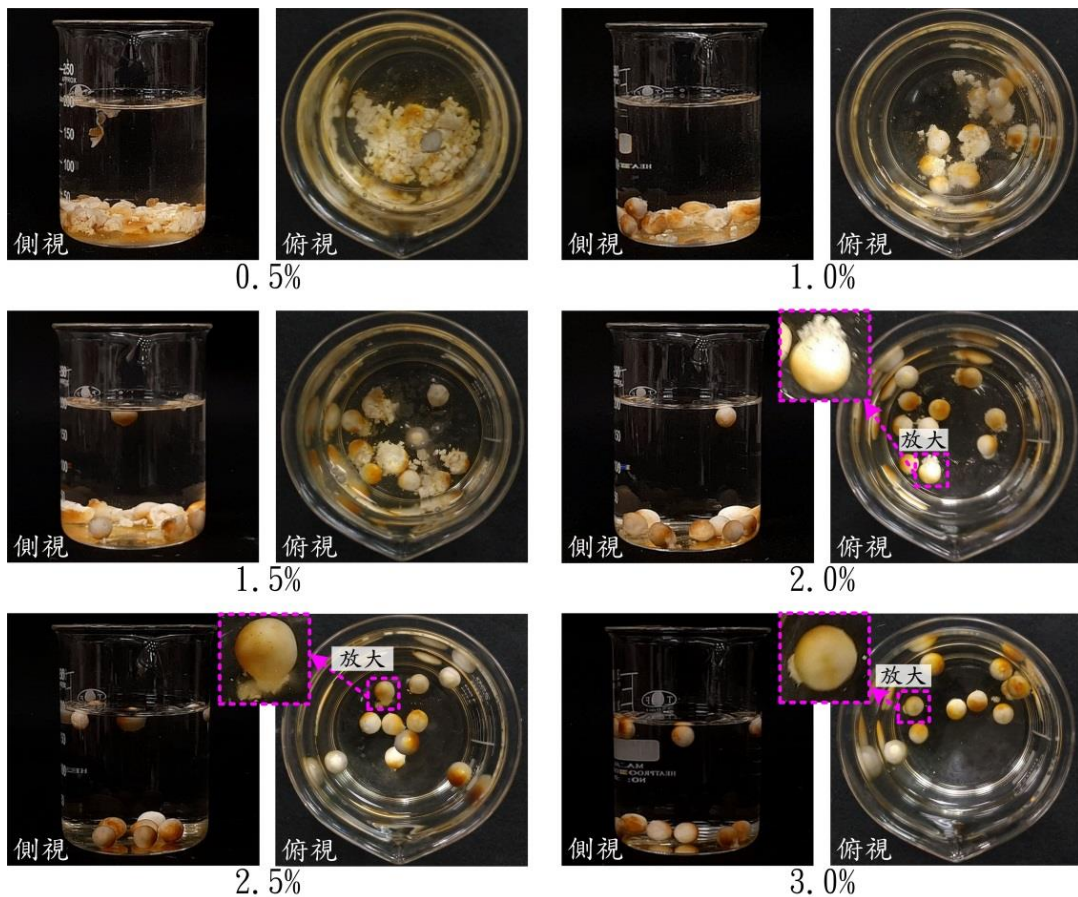


圖12. 新型粉圓(包覆單層薄膜)浸泡冷水完整性測試

討論：

1. 由實驗結果顯示，雖然新型粉圓會隨著包覆的海藻酸鹽濃度遞增，而薄膜強度會隨之遞增，但浸泡冷水5分鐘後，全部都會出現不同程度的崩解或破裂現象。
2. 本研究必須尋找更好的包覆薄膜製程，使粉圓浸泡冷水時，兼具兩大特點：
 - (1) 薄膜強度必須夠大，才能承受因吸水膨脹而不會破裂。
 - (2) 薄膜滲水性必須夠好，才能在短時間內使水分完全滲入粉圓內部。

【實驗B3】雙層薄膜粉圓浸泡冷水測試

前言：由實驗【實驗 B2】得知，單層薄膜粉圓浸泡冷水時皆出現不同程度的崩解或破裂現象，因此，本實驗擬測試粉圓表面包覆雙層海藻酸鈣薄膜後，在浸泡冷水時能夠緩慢吸水膨脹，但粉圓不會破裂。

步驟：

1. 實驗變因：海藻酸鈉水溶液濃度(0.5 / 1.0 / 1.5 / 2.0 / 2.5 / 3.0 %)。
2. 配製(0.5 / 1.0 / 1.5 / 2.0 / 2.5 / 3.0 %) (w/v)海藻酸鈉水溶液(黏稠糊液) 100 ml，另配製1% (w/v)氯化鈣水溶液100ml。
3. 「雙層薄膜粉圓」之作法：利用粉圓包覆薄膜裝置，分別將濕粉圓逐粒浸泡在海藻酸鈉糊液中，利用螺旋的推動，將表面包覆海藻酸鈉的粉圓向前推進，粉圓表面包覆一層海藻酸鈉糊液後，滾落到氯化鈣水溶液中，浸漬10秒後撈起，重複本步驟，使粉圓包覆雙層薄膜(內層、外層之海藻酸鈉濃度相同)。
4. 置於陰涼通風處自然乾燥24小時，製成乾燥雙層薄膜的「新型粉圓」，觀察並拍攝粉圓之外觀變化。
5. 將乾燥的雙層薄膜「新型粉圓」進行浸泡冷水測試：
 - (1) 完整性測試：浸泡冷水5分鐘，觀察並拍攝粉圓之外觀變化。
 - (2) 滲水性測試：浸泡冷水5分鐘，切開粉圓觀察水分是否完全滲入內部，並拍攝水分滲入粉圓之程度。(※若粉圓水分沒有完全滲入內部，則繼續增加浸泡冷水時間，每次遞增5分鐘，重複本步驟，直到水分完全滲入內部。)

結果：

1. 由圖13顯示，包覆雙層薄膜的乾燥粉圓完全沒有出現裂痕現象。
2. 由圖14顯示，新型粉圓(包覆雙層薄膜)之完整性測試，浸泡冷水5分鐘後，只有包覆0.5%海藻酸鹽薄膜的粉圓出現少許破裂現象。
3. 由圖15顯示，新型粉圓(包覆雙層1.0%海藻酸鹽薄膜)之滲水性測試，浸泡冷水30分鐘後，水分可完全滲入粉圓內部。

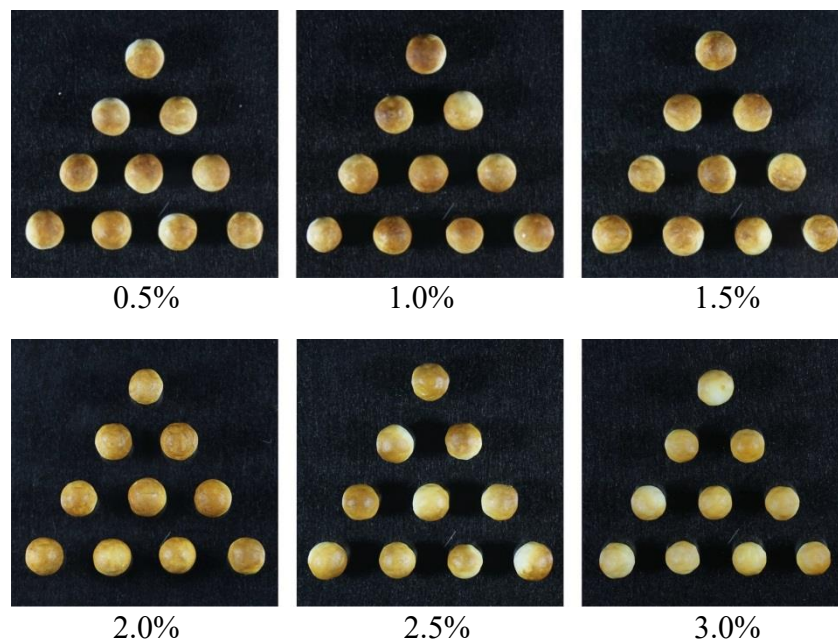


圖13. 乾燥的新型粉圓(包覆雙層薄膜)之外觀

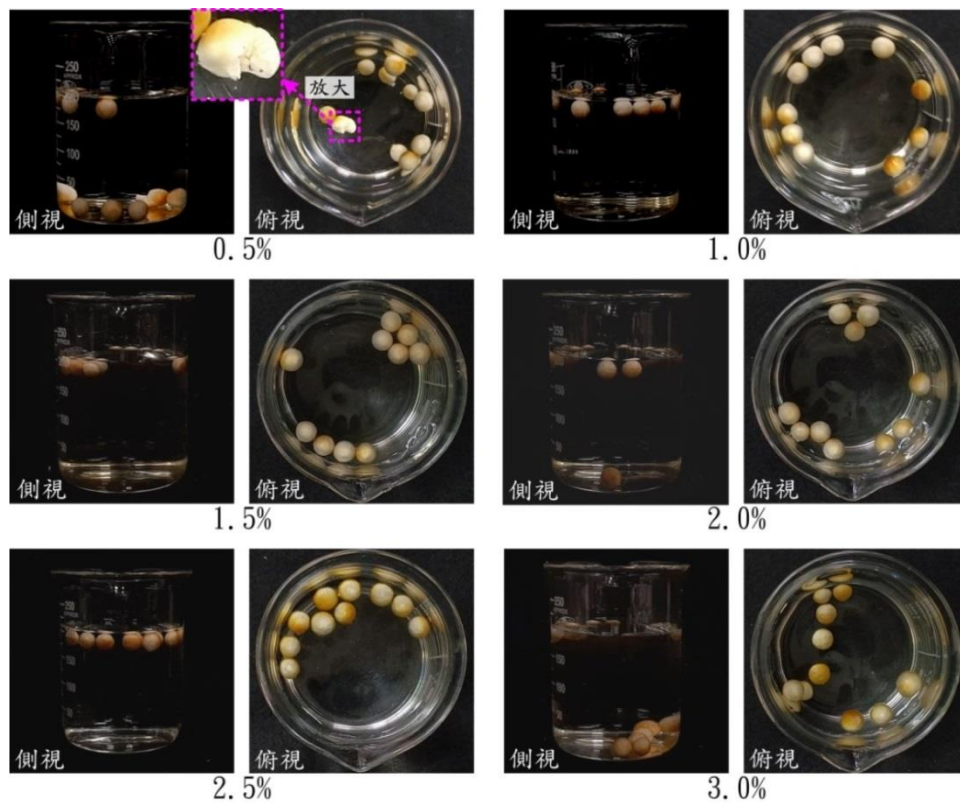


圖14. 新型粉圓(包覆雙層薄膜)浸泡冷水完整性測試

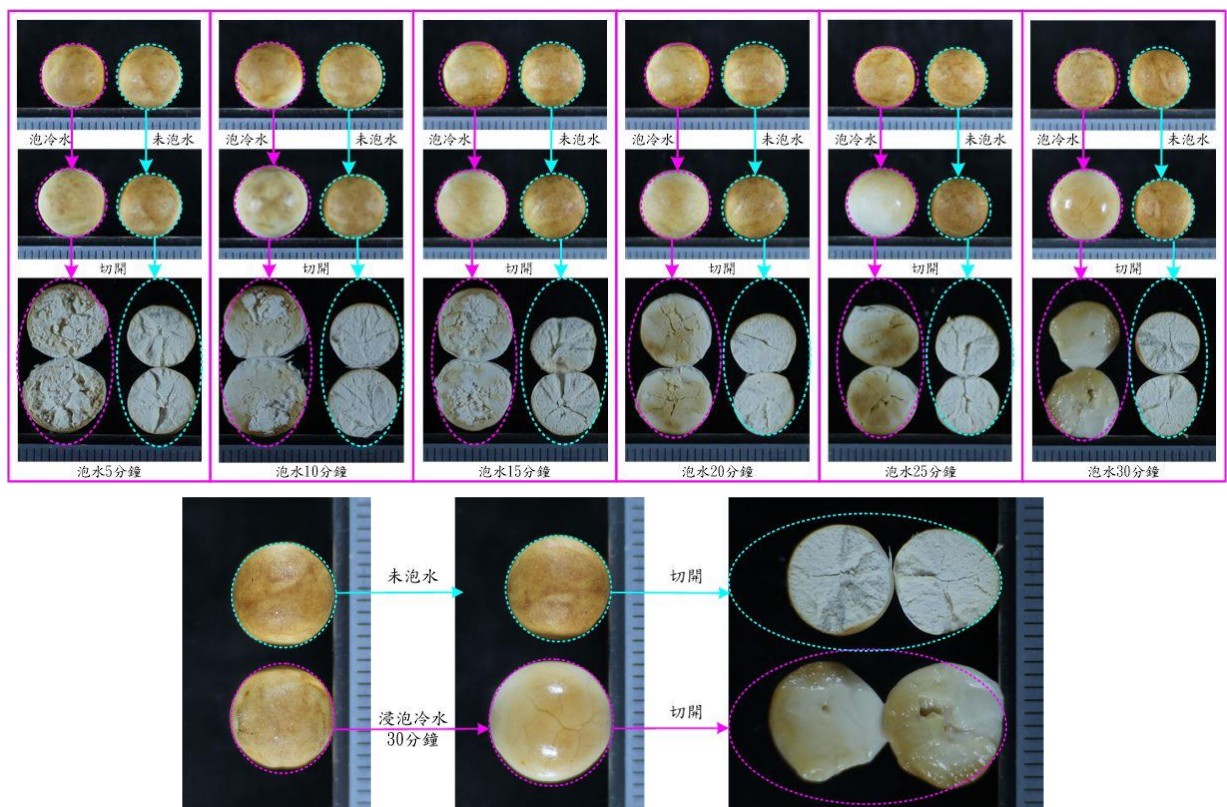


圖15. 新型粉圓(包覆雙層1.0%海藻酸鹽薄膜)浸泡冷水滲水性測試

討論：

1. 由完整性測試結果顯示，包覆雙層1.0%海藻酸鹽薄膜的粉圓，浸泡冷水不會破裂。而且薄膜滲水性佳，能在30分鐘後使水分完全滲入粉圓內部。
2. 雖然包覆雙層1.0%海藻酸鹽薄膜的粉圓，其完整性測試與滲水性測試呈現不錯的結果，我們仍希望將浸泡冷水所需的時間縮得更短。

【實驗B4】包覆薄膜最適化條件之建立

前言：本實驗希望找出包覆薄膜的更佳條件，在粉圓不會破裂的前提下，預期能在更短的時間內，使水分完全滲入粉圓內部。

步驟：

1. 實驗變因：海藻酸鈉水溶液濃度(內層 0.5%+外層 1.0%；內層 1.0%+外層 0.5%)。
2. 分別配製0.5、1.0% (w/v)海藻酸鈉水溶液(黏稠糊液)100 ml，另配製1% (w/v)氯化鈣水溶液100ml。
3. 利用粉圓包覆薄膜裝置，分別將濕粉圓逐粒浸泡在海藻酸鈉糊液中，利用螺旋的推動，將表面包覆海藻酸鈉的粉圓向前推進，粉圓表面包覆第一層(內層)海藻酸鈉糊液後，滾落到氯化鈣水溶液中，浸漬10秒後撈起，重複本步驟，使粉圓包覆第二層(外層)薄膜。
4. 置於陰涼通風處自然乾燥24小時，製成乾燥雙層薄膜的「新型粉圓」，觀察並拍攝粉圓之外觀變化。
5. 將乾燥的雙層薄膜「新型粉圓」進行浸泡冷水測試：
 - (1) 完整性測試：浸泡冷水5分鐘，觀察並拍攝粉圓之外觀變化。
 - (2) 滲水性測試：浸泡冷水5分鐘，切開粉圓觀察水分是否完全滲入內部，並拍攝水分滲入粉圓之程度。(※若粉圓水分沒有完全滲入內部，則繼續增加浸泡冷水時間，每次遞增5分鐘，重複本步驟，直到水分完全滲入內部。)

結果：

1. 由圖16顯示，乾燥後的雙層薄膜「新型粉圓」，無論是「內層0.5%+外層1.0%」或「內層1.0%+外層0.5%」都沒有出現裂痕現象。



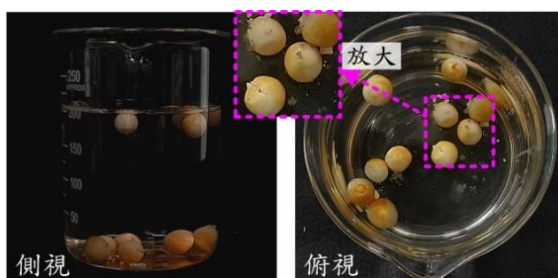
A.內層0.5%+外層1.0%



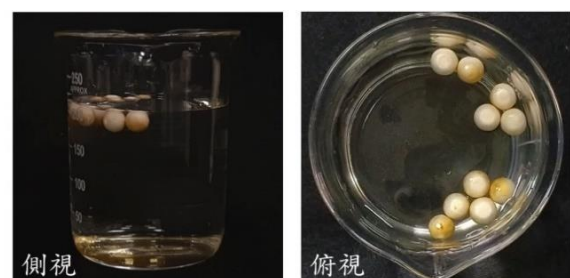
B.內層1.0%+外層0.5%

圖16. 乾燥的新型粉圓(內層0.5%+外層1.0% /內層1.0%+外層0.5%)之外觀

2. 完整性測試結果，由圖17A顯示，浸泡冷水5分鐘後，「內層0.5%+外層1.0%」出現少許破裂現象；由圖17B顯示，浸泡冷水5分鐘後，「內層1.0%+外層0.5%」完全沒有出現破裂現象。



A.內層0.5%+外層1.0%



B.內層1.0%+外層0.5%

圖17. 新型粉圓(內層0.5%+外層1.0% /內層1.0%+外層0.5%)浸泡冷水完整性測試

3. 滲水性測試結果，如圖18所示，「內層1.0%+外層0.5%」浸泡冷水25分鐘後，水分便可完全滲入粉圓內部。

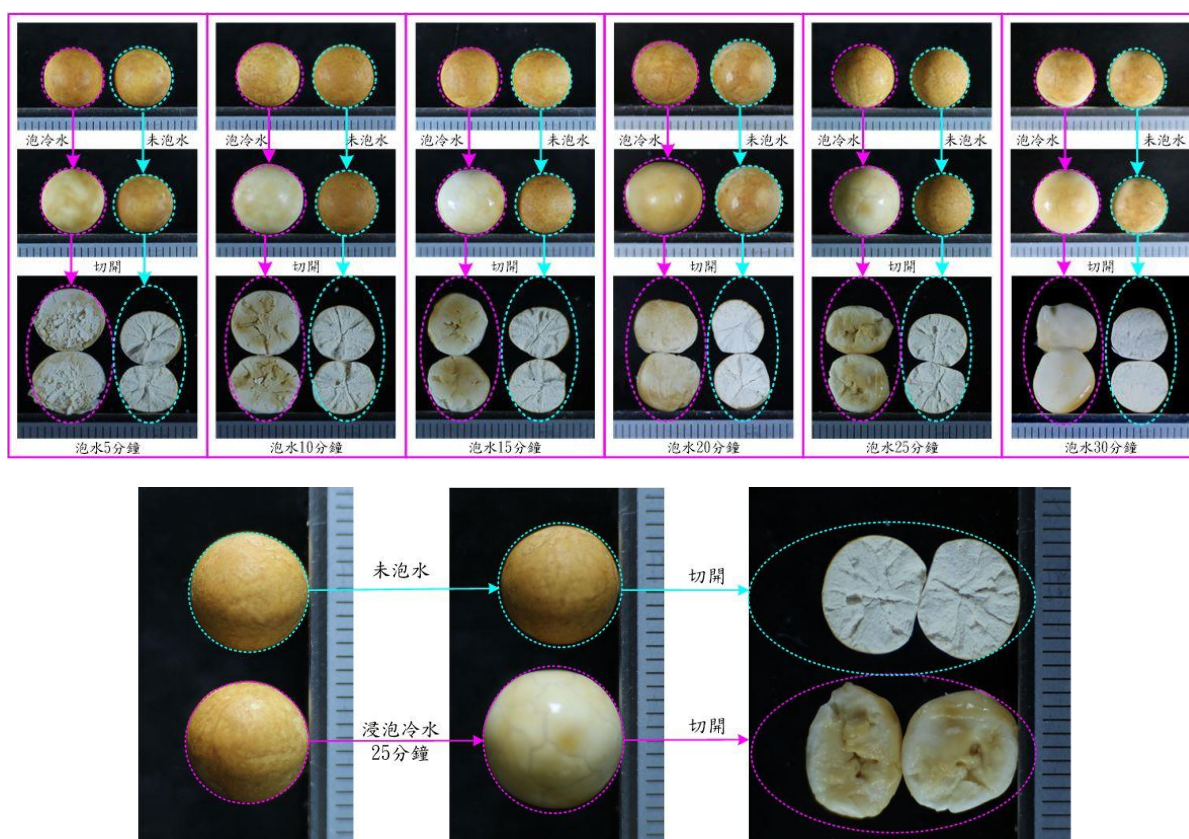


圖18. 新型粉圓(內層1.0%+外層0.5%)浸泡冷水滲水性測試

討論：

1. 由本實驗結果發現，新型粉圓(內層1.0%海藻酸鹽+外層0.5%海藻酸鹽)，浸泡冷水時不會破裂，而且薄膜滲水性佳，我們將水分完全滲入粉圓內部的時間縮短到25分鐘。
2. 本實驗建立新型粉圓包覆薄膜的最適條件，是採用包覆雙層薄膜(內層 1.0%海藻酸鹽+外層 0.5%海藻酸鹽)。

C、實際烹煮之驗證

- ※ 本實驗所採用的乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓等，三種粉圓來源是同一廠商，其原料一樣皆由樹薯粉、番薯粉、焦糖所製成，成分天然單純，未添加任何食品添加物。
- ※ 本實驗研發之「**新型粉圓**」是在「**濕粉圓**」表面包覆雙層海藻酸鈣薄膜，自然乾燥所製成。

【實驗C1】粉圓水分含量之測試

前言：本實驗擬進行測試乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓(乾燥)/新型粉圓(泡水 25 分鐘)的內部水分含量，驗證「新型粉圓」在泡水 25 分鐘時，因新型粉圓已包覆薄膜，可吸收大量水分且不會崩解，預期泡過水的新型粉圓內部水分含量應該最高。

步驟：

1. 實驗變因：乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓(乾燥)/新型粉圓(泡水25分鐘)。
2. 採用經濟部標準檢驗局食品中水分檢驗方法-常壓乾燥法。
(中華民國國家標準 CNS5033 N6114)

3. 乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓(乾燥)：將稱量瓶洗淨乾燥至恆重，稱取2-5克樣品置於稱量瓶中，在110°C烘箱中乾燥2小時後，取出放在乾燥器中放冷、稱量，直至恆量為止。
4. 新型粉圓(泡水25分鐘)：泡水後瀝乾的新型粉圓稱取2-5克，先在40°C乾燥3小時後壓碎，再置於110°C烘箱中乾燥2小時後，取出放在乾燥器中放冷、稱量，直至恆量為止。
(※泡水的新粉圓為了避免因高溫加熱表皮焦化，水分不易蒸散，故採二階段加熱)
5. 計算水分含量：

$$\text{水分(\%)} = \frac{(b - c)}{(b - a)} \times 100\%$$

- a：稱量瓶之重量(g)
b：稱量瓶加樣品之重量(g)
c：稱量瓶加樣品乾燥至恆量之重量(g)

結果：

1. 由表 1、圖 19 顯示，「乾粉圓」之水分含量為 15.39%。
2. 由表 1、圖 19 顯示，「濕粉圓」之水分含量為 40.50%。
3. 由表 1、圖 19 顯示，「新型粉圓(乾燥)」之水分含量為 14.11%。
4. 由表 1、圖 19 顯示，「新型粉圓(泡水 25 分鐘)」之水分含量為 51.67%。

表1. 乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓(乾燥)/新型粉圓(泡水25分鐘)之水分含量測試

| 樣品 | 水分含量(%) | | | | |
|----------------|---------|-------|-------|--------------------|------|
| | 測試一 | 測試二 | 測試三 | 平均值 | 標準差 |
| 乾粉圓 | 15.41 | 15.40 | 15.35 | 15.39 ^c | 0.03 |
| 濕粉圓 | 40.50 | 40.51 | 40.50 | 40.50 ^b | 0.01 |
| 新型粉圓(乾燥) | 14.11 | 14.10 | 14.12 | 14.11 ^d | 0.01 |
| 新型粉圓(泡水 25 分鐘) | 52.51 | 50.82 | 51.67 | 51.67 ^a | 0.85 |

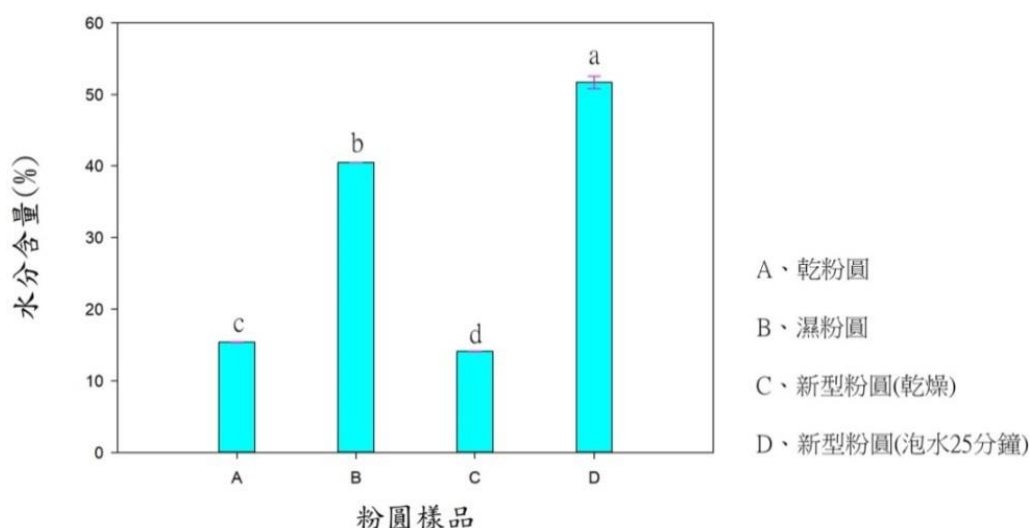


圖19. 乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓(乾燥)/新型粉圓(泡水25分鐘)之水分含量測試

討論：

1. 由本實驗證明，新型粉圓(泡水25分鐘)，正如我們預期的內部水分含量最高。
2. 我們做了一個預備實驗，測定泡水後新型粉圓的吸水量，得知新型粉圓泡水25分鐘後，吸水量會達到最高值，而且不會再因泡水時間增加而提高，經統計分析得知，新型粉圓泡水25分鐘、30分鐘、50分鐘後的吸水量並沒有顯著差異(信賴水準95%)，其結果如表2所示：

表2. 新型粉圓泡水時吸水量之測試

| 新型粉圓 | 吸水量(%) | | | | |
|----------|--------|-------|-------|--------------------|------|
| | 測試一 | 測試二 | 測試三 | 平均值 | 標準差 |
| 泡水 20 分鐘 | 37.92 | 38.13 | 38.42 | 38.16 ^b | 0.25 |
| 泡水 25 分鐘 | 39.97 | 39.19 | 41.34 | 40.17 ^a | 1.09 |
| 泡水 30 分鐘 | 41.17 | 39.78 | 40.21 | 40.39 ^a | 0.71 |
| 泡水 50 分鐘 | 40.88 | 41.02 | 40.44 | 40.78 ^a | 0.30 |

3. 由相關研究資料⁽⁵⁾佐證得知，粉圓在100°C沸水中加熱時，粉圓表面的澱粉會瞬間糊化而形成較為緊密的保護層，水分不易滲入粉圓內部，內部澱粉粒因缺乏水分不易糊化，故不易煮熟，而新型粉圓在泡水25分鐘後，粉圓內部的吸水量已經高達40%，內部之澱粉粒富含水分，加熱時澱粉容易糊化，預期新型粉圓應該是最容易煮熟的。

【實驗C2】粉圓烹煮時間之測試

前言：本實驗擬進行乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓之烹煮，測試「煮熟率」達到100%時之烹煮時間(電鍋外鍋所加之水量會影響加熱時間)，驗證「新型粉圓」確實可大幅縮短粉圓煮熟的時間，達到快速煮熟的目標。

步驟：

1. 實驗變因：乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓。
2. 秤取1000g的水置入3人份內鍋中，使用電磁爐加熱至沸騰，分別加入25g乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓，(烹煮前先計算此25g「烹煮粉圓數量」)。
3. 將裝有粉圓的內鍋移入電鍋中繼續烹煮，外鍋加水200g。
4. 電鍋跳到保溫狀態後，持續保溫悶煮30分鐘，撈取粉圓浸泡冷水5分鐘。
5. 將粉圓分別放置在順光/逆光環境下，計算「未熟粉圓數量」。
6. 計算粉圓「煮熟率」作為煮熟程度之量化指標，「煮熟率」之計算公式如下所示：

$$\text{煮熟率}(\%) = \left(1 - \frac{\text{未熟粉圓數量}}{\text{烹煮粉圓數量}}\right) \times 100\%$$

7. 記錄粉圓「煮熟率」達到100%時外鍋所加之水量，此為粉圓「煮熟率」達到100%時之烹煮條件。(※若粉圓「煮熟率」沒有達到100%時，外鍋則繼續增加水量(每次遞增200g)，重複步驟2~6重新烹煮粉圓，直到粉圓「煮熟率」達到100%。)
8. 依據步驟7三種粉圓「煮熟率」達到100%時外鍋所加之水量，紀錄電鍋加熱時間。進而計算出三種粉圓「煮熟率」要達到100%，其烹煮過程之總耗費時間。

結果：

1. 由表3、圖20顯示，電鍋外鍋需加水1600g，「乾粉圓」之煮熟率才會達到100%。
2. 由表3、圖22顯示，電鍋外鍋需加水1200g，「濕粉圓」之煮熟率才會達到100%。
3. 由表3、圖21顯示，電鍋外鍋需加水400g，「新型粉圓」之煮熟率才會達到100%。
4. 由表3、圖23顯示，電鍋外鍋加水量對粉圓煮熟率影響很大，隨著外鍋加水量遞增，乾粉圓、濕粉圓、新型粉圓之煮熟率均隨之遞增。
5. 三種粉圓「煮熟率」要達到100%，其烹煮過程彙整如下：
 - (1) 乾粉圓+沸水→電磁爐加熱30分鐘→電鍋加熱(外鍋加水1600g)→電鍋保溫30分鐘
 - (2) 濕粉圓+沸水→電磁爐加熱30分鐘→電鍋加熱(外鍋加水1200g)→電鍋保溫30分鐘
 - (3) 新型粉圓+沸水→不需使用電磁爐→電鍋加熱(外鍋加水400g)→電鍋保溫30分鐘

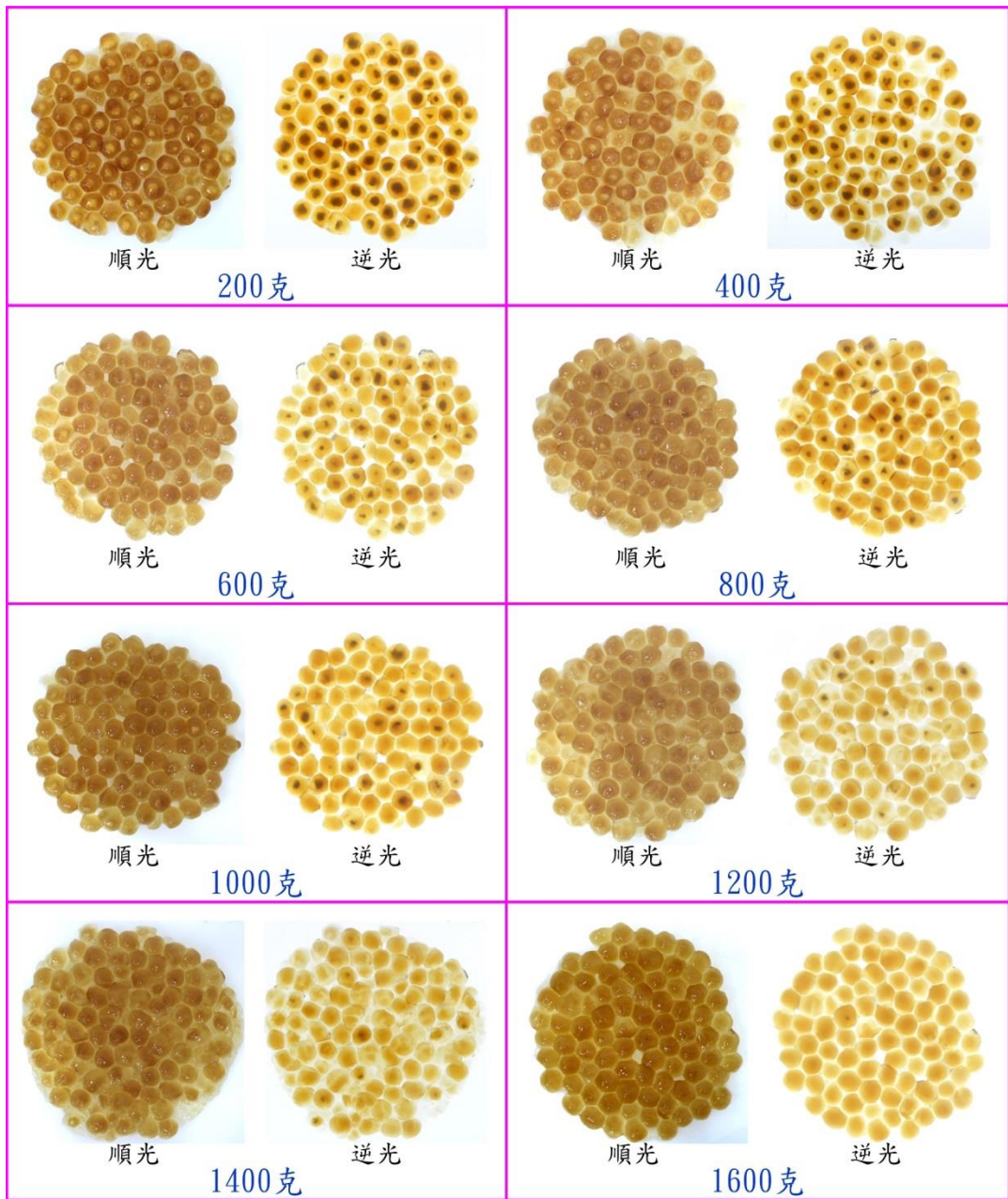


圖20. 外鍋加水量對「乾粉圓」煮熟率之影響

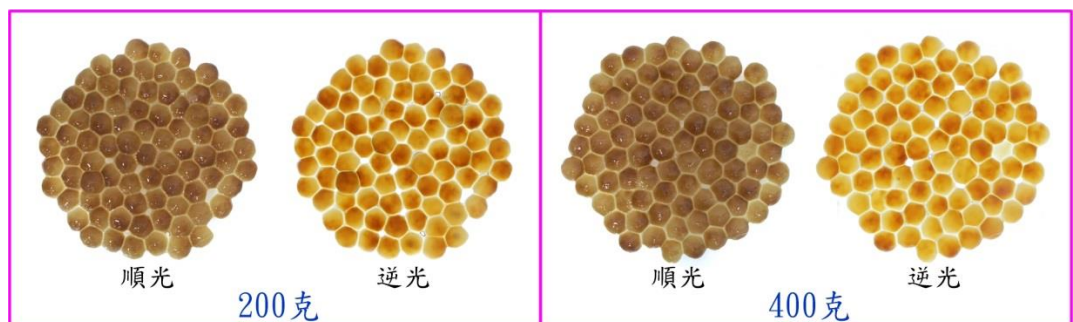


圖21. 外鍋加水量對「新型粉圓」煮熟率之影響

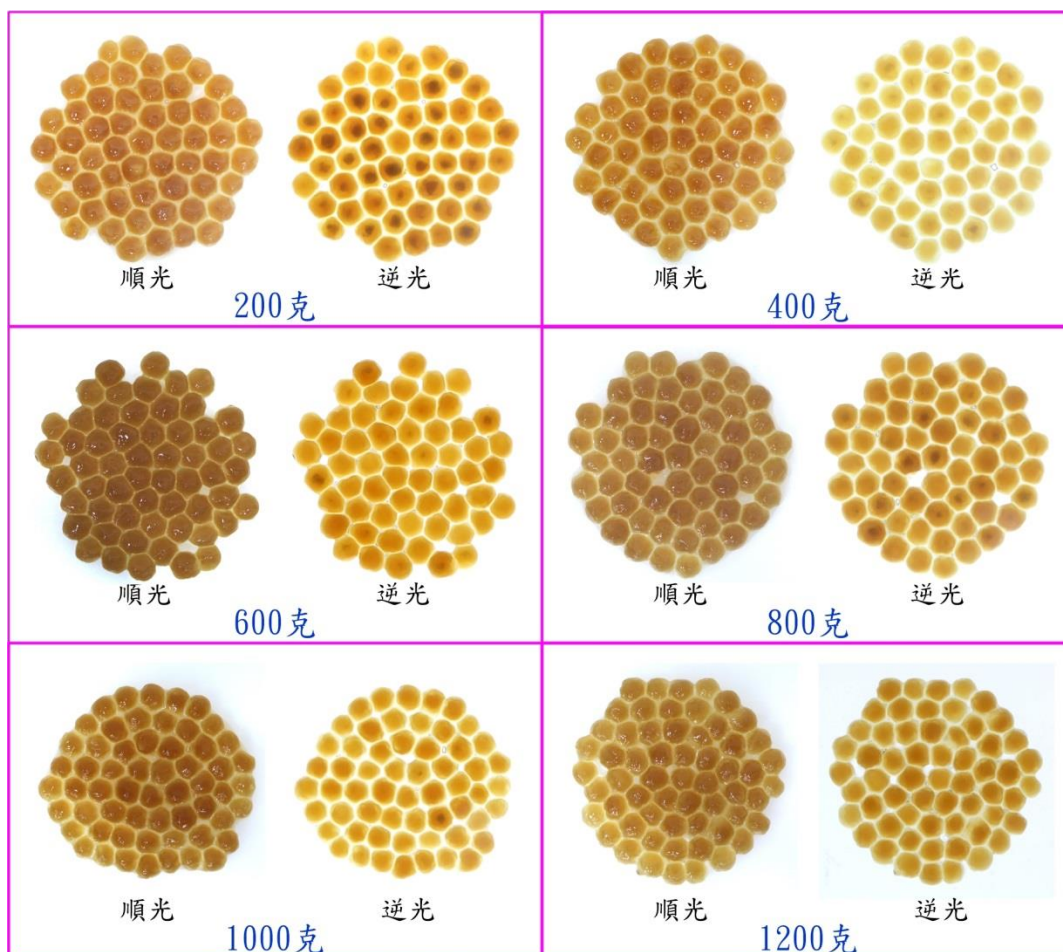


圖22. 外鍋加水量對「濕粉圓」煮熟率之影響

表3. 外鍋加水量對乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓「煮熟率」之影響

| 樣品 | 外鍋加水量 | 烹煮粉圓數量 | 未熟粉圓數量 | 煮熟率 |
|------|--------|--------|--------|---------|
| 乾粉圓 | 200g | 86 | 81 | 5.81% |
| | 400 g | 84 | 73 | 13.10% |
| | 600 g | 85 | 60 | 29.41% |
| | 800 g | 85 | 37 | 56.47% |
| | 1000 g | 85 | 30 | 64.71% |
| | 1200 g | 84 | 16 | 80.95% |
| | 1400 g | 84 | 8 | 90.48% |
| | 1600g | 84 | 1 | 98.81% |
| 濕粉圓 | 200g | 56 | 47 | 16.07% |
| | 400 g | 56 | 35 | 37.50% |
| | 600 g | 57 | 18 | 68.42% |
| | 800 g | 58 | 14 | 75.86% |
| | 1000g | 58 | 3 | 94.83% |
| | 1200g | 59 | 0 | 100.00% |
| 新型粉圓 | 200g | 83 | 16 | 80.72% |
| | 400g | 83 | 0 | 100.00% |

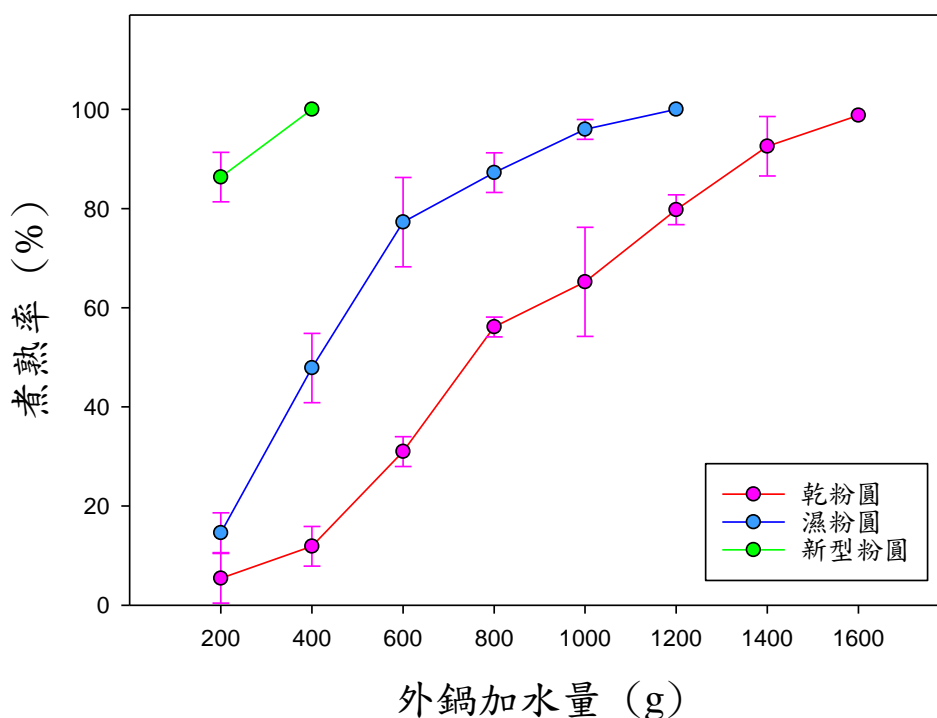


圖23. 外鍋加水量對三種粉圓「煮熟率」之影響

6. 三種粉圓「煮熟率」要達到100%，其烹煮時間，如表4、圖24所示：

- (1) 乾粉圓要達到100%「煮熟率」烹煮過程耗費時間**171.13分鐘**，耗費時間最長。
- (2) 濕粉圓要達到100%「煮熟率」烹煮過程耗費時間為**151.32分鐘**。
- (3) 新型粉圓要達到100%「煮熟率」烹煮過程耗費時間為**64.69分鐘**。

表 4. 三種粉圓烹煮過程所耗費時間

| 樣品 | 時間(min) | | | 總計 |
|------|---------|--------|------|---------------|
| | 電磁爐加熱 | 電鍋加熱 | 電鍋保溫 | |
| 乾粉圓 | 30 | 111.13 | 30 | 171.13 |
| 濕粉圓 | 30 | 91.32 | 30 | 151.32 |
| 新型粉圓 | 不需使用 | 34.69 | 30 | 64.69 |

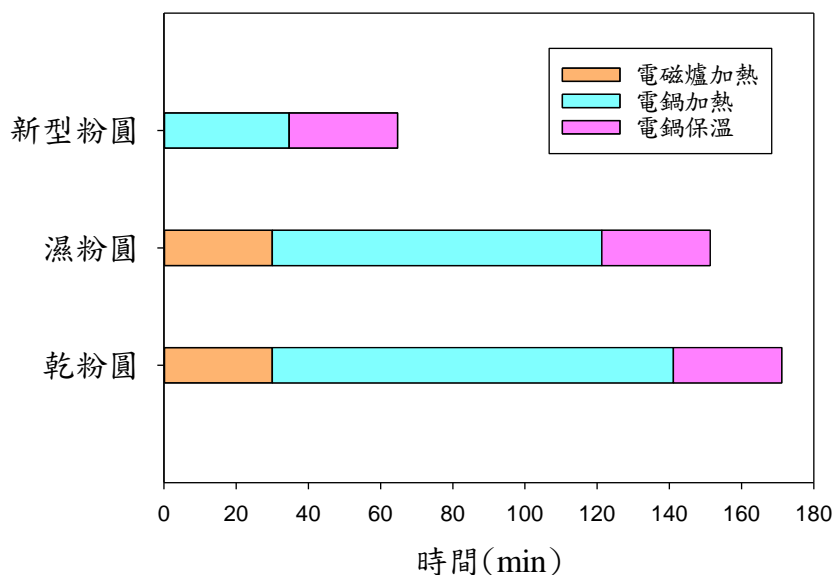


圖 24. 三種粉圓烹煮過程耗費時間之分析比較

討論：

1. 新型粉圓要達到100%「煮熟率」烹煮過程耗費時間為**64.69**分鐘。新型粉圓煮熟時間僅為乾粉圓的**37.80%**，新型粉圓煮熟時間僅為濕粉圓的**42.75%**，省時效果十分明顯。
2. 新型粉圓烹煮時，因吸水後加熱糊化膨脹，體積變大，會把膜撐破，膜便自然脫落，而與粉圓分離，如右圖所示。



【實驗C3】粉圓烹煮耗能之測試

前言：本實驗擬測試乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓等，其「煮熟率」達到 100%時之耗費電能，驗證「新型粉圓」確實可大幅減少耗電量，達到節能的目標。

步驟：

1. 實驗變因：乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓。
2. 粉圓之烹煮過程：
 - (1) 乾粉圓+沸水→**電磁爐加熱30分鐘**→**電鍋加熱(外鍋加水1600g)**→**電鍋保溫30分鐘**
 - (2) 濕粉圓+沸水→**電磁爐加熱30分鐘**→**電鍋加熱(外鍋加水1200g)**→**電鍋保溫30分鐘**
 - (3) 新型粉圓+沸水→**電鍋加熱(外鍋加水400g)**→**電鍋保溫30分鐘**
3. 將粉圓烹煮過程所使用之加熱器(電磁爐/電鍋)連接瓦時計，利用瓦時計連接電腦讀取記錄加熱時間與耗電功率。
4. 計算乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓烹煮過程所耗費電能(千瓦·小時=度)。
耗費電能(千瓦·小時) = 耗電功率(千瓦) × 時間(小時)

結果：

1. 「乾粉圓」要達到 100%煮熟率，烹煮過程耗費電能 **1.9060 kW·h** (千瓦·小時)。「濕粉圓」要達到 100%煮熟率，烹煮過程耗費電能為 **1.6918 kW·h**，如表 5、圖 25 所示。
2. 「新型粉圓」要達到 100%煮熟率，烹煮過程耗費電能僅為 **0.4874 kW·h**，節能效果十分顯著。

表 5. 三種粉圓烹煮過程消耗電能之分析比較

| 樣品 | 電能 (kW·h) | | | |
|------|-----------|--------|--------|---------------|
| | 電磁爐加熱 | 電鍋加熱 | 電鍋保溫 | 總計 |
| 乾粉圓 | 0.4193 | 1.4629 | 0.0238 | 1.9060 |
| 濕粉圓 | 0.4268 | 1.2407 | 0.0243 | 1.6918 |
| 新型粉圓 | 不需使用 | 0.4633 | 0.0241 | 0.4874 |

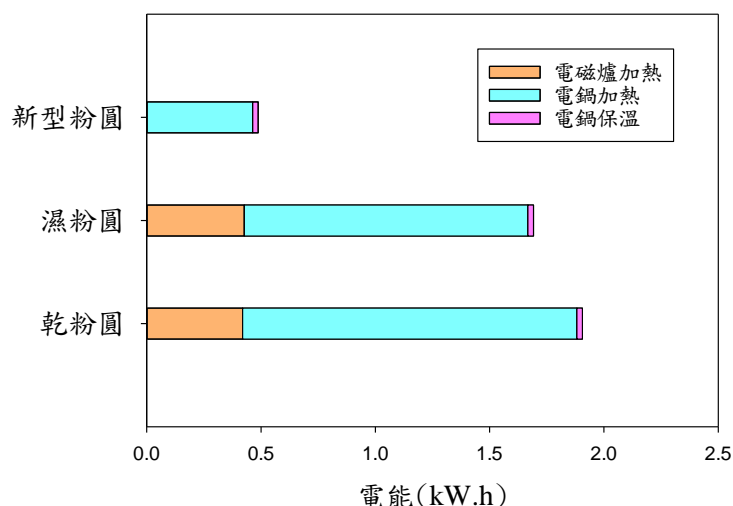


圖 25. 三種粉圓烹煮過程耗費電能之分析比較

討論：

1. 在「新型粉圓」烹煮過程中，不需使用電磁爐加熱，而且電鍋加熱時間最短，因此，在三種粉圓烹煮過程中，「新型粉圓」消耗電能最少，僅 **0.4874 kW·h(度)**。
2. 由本實驗結果顯示，新型粉圓烹煮過程消耗電能僅為乾粉圓的 **25.57%**，新型粉圓煮熟時間僅為濕粉圓的 **28.81%**，節能效果極為顯著。

【實驗C4】粉圓烹煮後之變化

前言：本實驗擬測試乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓等，烹煮後「粉圓」、「湯汁」色澤之變化。

步驟：

1. 實驗變因：乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓。
2. 將25克的乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓進行烹煮，烹煮過程同【實驗C2】步驟2。
3. 將乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓分別進行「粉圓」、「湯汁」色澤之測定。利用色差計測量烹煮後粉圓、湯汁之L、a、b值，進而以標準白板(L=100、a=0、b=0)為比較基準，計算出色差值(ΔE_{ab})。

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

(L_1, a_1, b_1)：樣品1 之L、a、b值

(L_2, a_2, b_2)：樣品2 之L、a、b值

4. 利用Excel、xlstat軟體統計分析數據⁽⁴⁾，判別烹煮後「粉圓」、「湯汁」之色澤是否有顯著差異(信賴水準95%)，並利用SigmaPlot軟體進行繪圖。

結果：

1. 三種粉圓烹煮後，乾粉圓之色澤最淺；新型粉圓之色澤最深，如圖26所示。
2. 三種粉圓烹煮後，乾粉圓湯汁之色澤最深；新型粉圓湯汁之色澤最淺，如圖27所示。



圖 26. 三種粉圓烹煮後「粉圓」之外觀

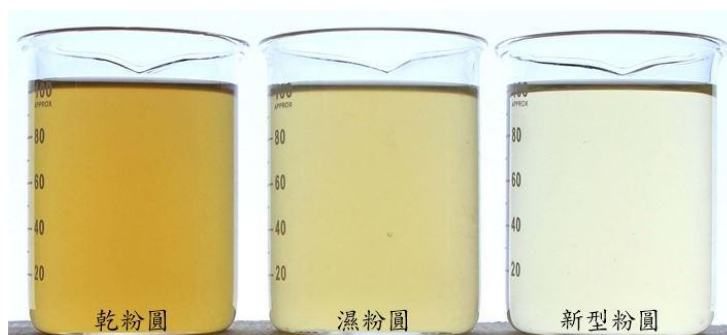


圖 27. 三種粉圓烹煮後「湯汁」之色澤

3. 由表6、圖28顯示，三種粉圓烹煮後「粉圓」之色差值差異不大；乾粉圓之色差值稍微小一些；而濕粉圓、新型粉圓之色差值稍微大一些。經統計分析得知濕粉圓、新型粉圓二者之色差值並無顯著差異(信賴水準95%)。

4. 由表6、圖29顯示，三種粉圓烹煮後「湯汁」之色差值差異較大；乾粉圓「湯汁」之色差值明顯較大，而新型粉圓「湯汁」之色差值明顯較小。經統計分析得知乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓三者「湯汁」之色差值有顯著差異(信賴水準95%)。

表 6. 三種粉圓烹煮後「粉圓」、「湯汁」之色差值

| 樣品 | 色差值(ΔE_{ab}) | | | | | | | | | | 平均值 | 標準差 | |
|-------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|------|
| | 測試一 | 測試二 | 測試三 | 測試四 | 測試五 | 測試六 | 測試七 | 測試八 | 測試九 | 測試十 | | | |
| 烹煮後粉圓 | 乾粉圓 | 74.2 | 75.5 | 77.4 | 81.8 | 76.9 | 75.6 | 70.8 | 72.8 | 75.3 | 75.9 | 75.60 ^b | 2.92 |
| | 濕粉圓 | 79.0 | 79.3 | 79.1 | 78.7 | 80.6 | 80.6 | 79.9 | 79.2 | 79.3 | 79.8 | 79.55 ^a | 0.67 |
| | 新型粉圓 | 80.6 | 80.2 | 79.9 | 81.8 | 80.0 | 79.7 | 79.4 | 79.7 | 81.8 | 81.8 | 80.49 ^a | 0.95 |
| 烹煮後湯汁 | 乾粉圓 | 57.6 | 56.3 | 55.9 | 56.2 | 56.7 | 56.0 | 56.9 | 56.3 | 56.4 | 55.7 | 56.41 ^a | 0.53 |
| | 濕粉圓 | 48.7 | 48.5 | 48.4 | 48.1 | 48.0 | 48.1 | 47.9 | 47.9 | 47.3 | 48.0 | 48.09 ^b | 0.36 |
| | 新型粉圓 | 42.4 | 42.5 | 42.3 | 42.2 | 42.7 | 42.4 | 42.4 | 42.4 | 42.5 | 42.2 | 42.40 ^c | 0.14 |

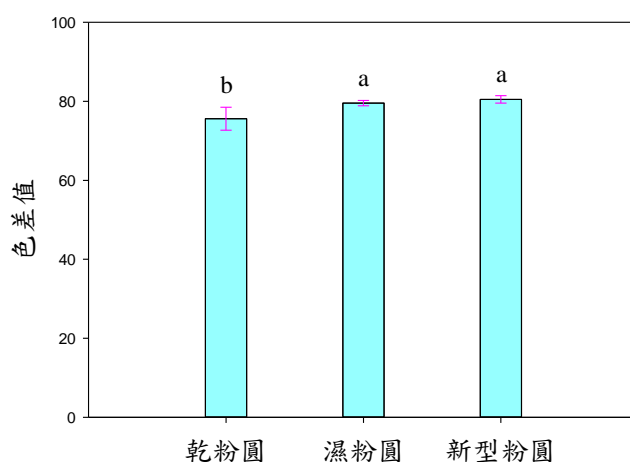


圖 28. 三種粉圓烹煮後「粉圓」之色差值

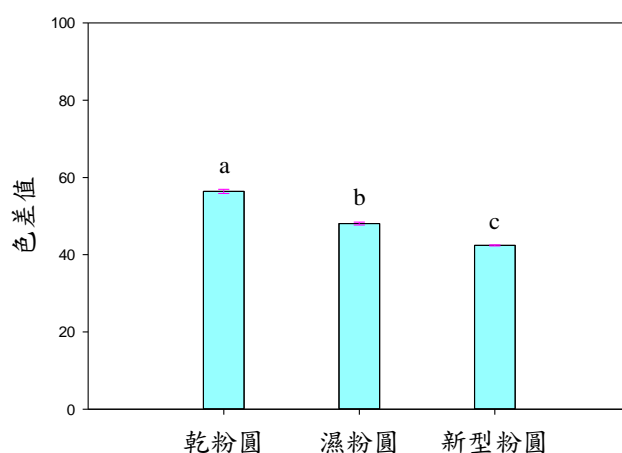


圖 29. 三種粉圓烹煮後「湯汁」之色差值

討論：

1. 三種粉圓烹煮後，乾粉圓之「粉圓」色差值最小(色澤最淺)、「湯汁」色差值最大(色澤最深)，推測是因乾粉圓烹煮時間最長所造成。
2. 三種粉圓烹煮後，新型粉圓之「粉圓」色差值最大(色澤最深)、「湯汁」色差值最小(色澤最淺)，推測是因新型粉圓之烹煮時間最短所造成。

D、商品價值之探討

【實驗D1】粉圓物性之測試

前言：本實驗藉由全質構分析(TPA)，希望能初步瞭解「新型粉圓」之物性，評估未來商品化之潛力。

步驟：

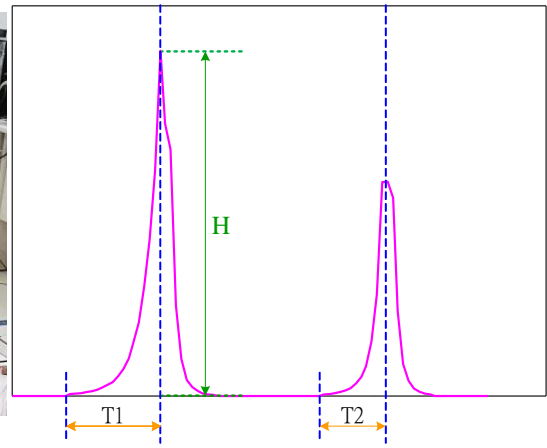
1. 實驗變因：「煮熟率」100%的乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓。
2. 自製物性測定儀：將推拉力計安裝在 CNC 雕銑機 Z 軸移動的方向上（可精準控制上下動作，精密度 $\pm 0.01\text{mm}$ ）。撰寫控制 Z 軸移動的程式，使推拉力計能在 Z 軸方向上下精準移動。推拉力計連接到電腦，將受力的資料數據經由傳輸線紀錄到電腦中，如圖 30 所示。
3. 小心校驗平台高度，設定程式座標原點位置，載入控制程式，程式碼及註解如下所示：

| 乾粉圓 | 濕粉圓 | 新型粉圓 | |
|----------------|------------------------|----------------|--------------------------|
| O1111; | 程式號碼 O1111 | O2222; | 程式號碼 O2222 |
| G21; | 單位:公制 mm | G21; | 單位:公制 mm |
| G90G54G00X0Y0; | X,Y 軸移動到測試平台的中間點 | G90G54G00X0Y0; | X,Y 軸移動到測試平台的中間點 |
| G01Z25.F300; | | G01Z25.F300; | |
| G01Z12.; | | G01Z12.; | |
| G01Z3.0F60.; | Z 軸測試頭下壓到距離平台 3 mm 的位置 | G01Z2.5F60.; | Z 軸測試頭下壓到距離平台 2.5 mm 的位置 |
| G04P1.; | | G04P1.; | |
| G01Z12. | Z 軸測試頭回到 12 mm 的位置 | G01Z12. | Z 軸測試頭回到 12 mm 的位置 |
| G01Z3.0F60.; | Z 軸測試頭第二次下壓到 3 mm 的位置 | G01Z2.5F60.; | Z 軸測試頭第二次下壓到 2.5 mm 的位置 |
| G04P1.; | | G04P1.; | |
| G01Z12. | | G01Z12. | |
| G01Z25.F300; | | G01Z25.F300; | |
| M30; | 程式結束 | M30; | 程式結束 |

4. 將樣品放置於平台上，推拉力計連接到電腦，安裝直徑 D24mm 探頭，執行控制程式，測試期間隨著時間變化，推拉力計同時產生力的變化，透過電腦擷取「時間-力」變化之數據。
5. 參考全質構分析(TPA)相關資料⁽¹⁾⁽²⁾，將待測樣品藉由自製物性測定儀，如圖 30A 所示，測試得到「時間-力」變化圖形，如圖 30B 所示。解析數據後，將 T1、T2，代入計算 $T2 / T1$ 數值，即可得到「彈性」之數據。



A. 自製物性測定儀

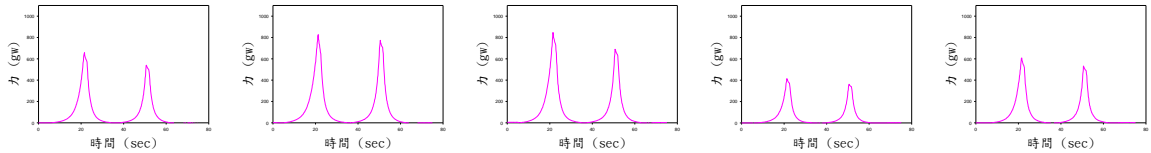


B. 「時間-力」之關係圖

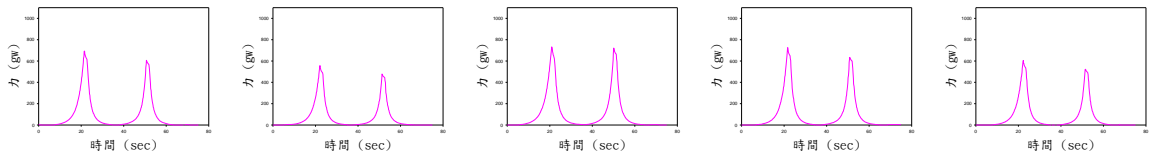
圖 30. 自製物性測定儀及「時間-力」之關係圖

結果：

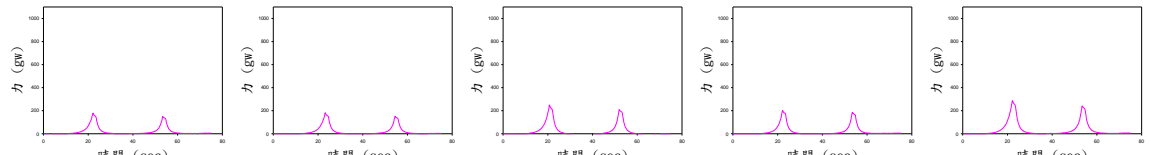
1. 藉由自製物性測定儀進行全質構分析(TPA)，所測得之時間與力的關係圖，如圖 31 所示。



A. 乾粉圓



B. 濕粉圓



C. 新型粉圓

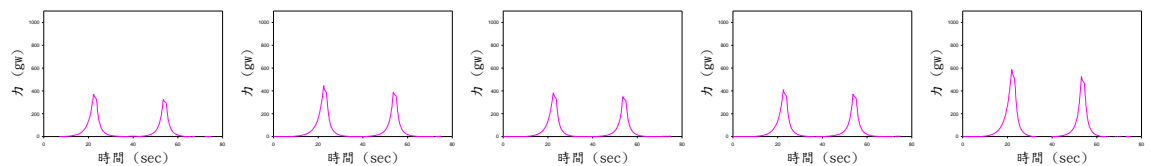
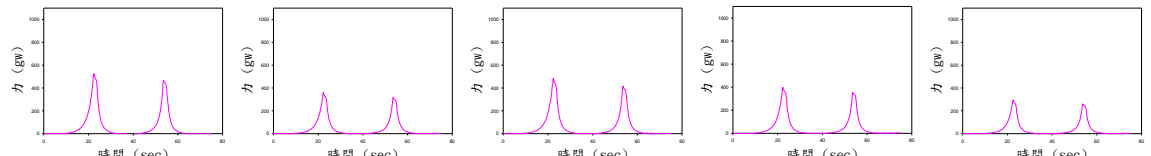
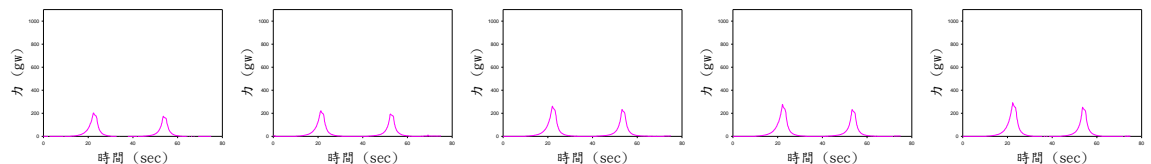


圖31. 三種粉圓全質構分析(TPA)之圖形

2. 擷取測試數據中的T1、T2，計算得到三種粉圓之彈性差異不大，如表7、圖32所示，濕粉圓之彈性稍微大一些，經統計分析得知濕粉圓、新型粉圓二者之彈性並沒有顯著差異(信賴水準95%)；乾粉圓之彈性稍微小一些，經統計分析得知乾粉圓、新型粉圓二者之彈性並沒有顯著差異(信賴水準95%)。

表7. 三種粉圓之彈性

| 樣品 | 彈性(T2/T1) | | | | | | | | | | 平均值 | 標準差 |
|------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|------|
| | 測試一 | 測試二 | 測試三 | 測試四 | 測試五 | 測試六 | 測試七 | 測試八 | 測試九 | 測試十 | | |
| 乾粉圓 | 0.81 | 0.83 | 0.83 | 0.81 | 0.8 | 0.89 | 0.85 | 0.89 | 0.86 | 0.82 | 0.84 ^b | 0.03 |
| 濕粉圓 | 0.91 | 0.93 | 0.77 | 0.94 | 0.95 | 0.88 | 0.91 | 0.91 | 0.86 | 0.82 | 0.89 ^a | 0.06 |
| 新型粉圓 | 0.83 | 0.84 | 0.85 | 0.92 | 0.88 | 0.86 | 0.83 | 0.89 | 0.95 | 0.84 | 0.87 ^{ab} | 0.04 |

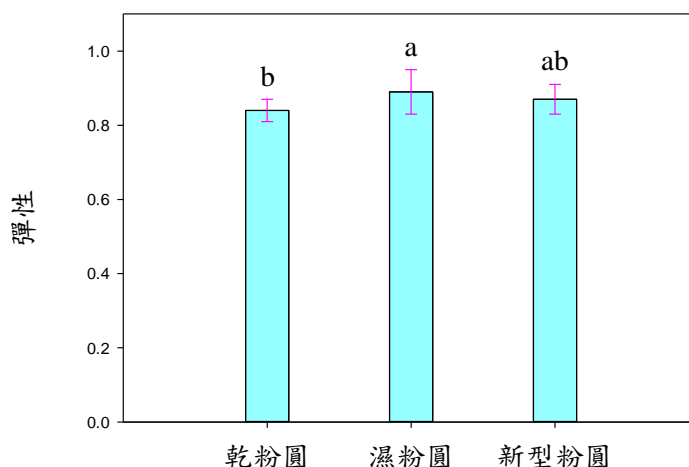


圖 32. 三種粉圓之彈性

討論：

1. 由實驗結果得知，「煮熟率」100%的乾粉圓、濕粉圓、新型粉圓三者之彈性差異並不明顯。
2. 市面手搖杯飲料店通常採用濕粉圓，經統計分析得知新型粉圓、濕粉圓二者之彈性並沒有顯著差異(信賴水準 95%)，而這表示新型粉圓之彈性已達到商品化之水準。

【實驗D2】粉圓官能品評之測試

前言：本實驗針對不同物性的乾粉圓、濕粉圓、新型粉圓，進行官能品評喜好性測試，希望瞭解消費者對粉圓各種特性之喜好接受程度。

步驟：

1. 實驗變因：乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓。
2. 利用學校社團活動時段隨機邀請校內師生，在品評室內進行喜好性感官品評試驗。
3. 採用九分制喜好性品評法，品評項目包括：焦糖味、咀嚼感、彈性感、購買意願等四個項目進行評分。由電腦上亂碼產生器隨機產生三碼亂數，一個樣品使用一張品評表，品評表完全相同，僅樣品亂碼編號不同。為避免次序效應，樣品之供應順序隨機排列。
4. 將品評測試完畢之評分表上呈現：極度不喜歡、非常不喜歡、有點不喜歡、稍微不喜歡、沒有喜歡或不討厭、稍微喜歡、有點喜歡、非常喜歡及極度喜歡等九個等級選項，轉換成 1~9 分，進行數據記錄分析。
5. 將品評數據利用Excel、xlstat軟體進行統計分析，檢測乾粉圓、濕粉圓、新型粉圓三者之間是否具有顯著差異(信賴水準95%)。

結果：

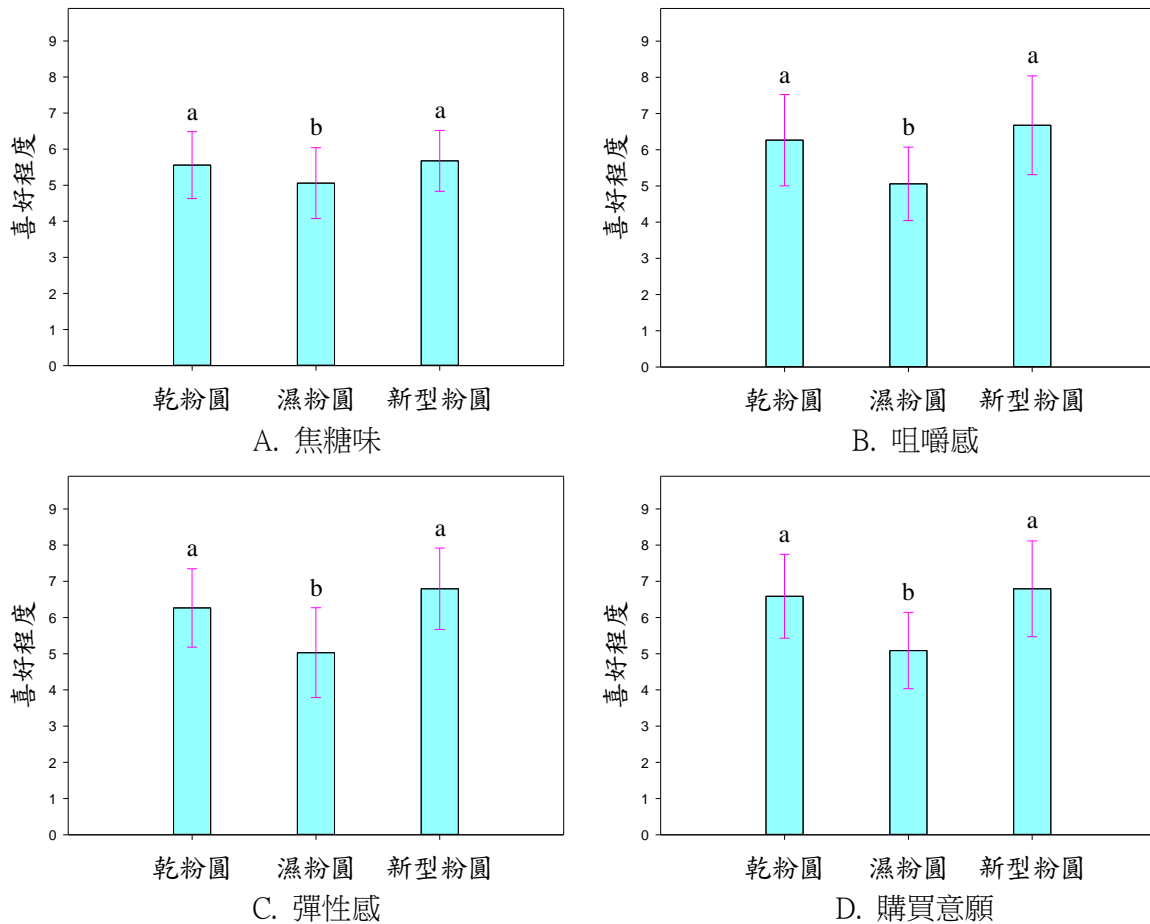


圖 33. 三種粉圓官能品評之結果

1. 由圖33顯示，在焦糖味、咀嚼感、彈性感、購買意願等四個項目，受試者對濕粉圓之喜好程度均為最低。
2. 受試者對乾粉圓、新型粉圓之喜好程度高於濕粉圓，但乾粉圓、新型粉圓二者並沒有顯著差異(信賴水準 95%)。

討論：

1. 市面手搖杯飲料店通常採用的「濕粉圓」，但品評結果受試者對「濕粉圓」之喜好程度最低。本實驗採用的三種粉圓是由樹薯粉、番薯粉、焦糖所製成，原料成分相同，天然單純，沒有加任何食品添加物
2. 由本實驗得知，受試者對「新型粉圓」之購買意願最高，證明「新型粉圓」確實具有很高的商品化價值。

【實驗D3】粉圓水活性之測試

前言：本實驗擬測試乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓等之水活性數值，以量化數據驗證其常溫之貯藏性。

步驟：

1. 實驗變因：乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓。
2. 使用水活性分析儀分別測量記錄三組樣品水活性(A_w)之數值。
3. 利用Excel、xlstat軟體進行統計分析樣品水活性(A_w)之數據，判別三者之間是否有顯著差異(信賴水準95%)，並利用SigmaPlot軟體進行繪圖。

結果：

1. 乾粉圓之水活性：0.665±0.023；濕粉圓之水活性：0.991±0.004；新型粉圓之水活性：0.684±0.022。

2. 由圖 34 顯示，乾粉圓、新型粉圓之水活性很明顯低於濕粉圓之水活性。經統計分析得知，乾粉圓、新型粉圓二者之水活性並沒有顯著差異(信賴水準 95%)。

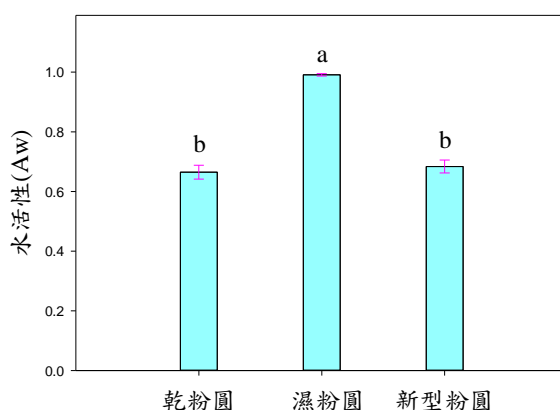


圖 34. 乾粉圓/濕粉圓/新型粉圓之水活性

討論：

1. 水活性高的食品，易因各種微生物的繁殖而造成腐敗，一般微生物生長所需的水活性界限是在 0.8 以上，本實驗測得濕粉圓之水活性高達 0.991，因此，無法在常溫下長時間貯存。
2. 乾粉圓、新型粉圓之水活性很明顯低於 0.8，所以新型粉圓能在常溫下長時間貯存。

肆、研究結論

一、實驗結論

A、水分重要性之探討

1. 在相同的加熱烹煮條件下，濕紅豆之「煮熟率」明顯高於乾紅豆之「煮熟率」。
2. 在相同的加熱烹煮條件下，濕粉圓之「煮熟率」明顯高於乾粉圓之「煮熟率」。
3. 市售粉圓是未糊化的生澱粉，由於缺乏糊化後的黏性，因此乾粉圓/濕粉圓放入冷水中，皆立即出現崩解現象。

B、包覆薄膜可行性之探討

1. 我們自行設計製作的包覆薄膜裝置，實際測試運作正常，可成功在粉圓表面包覆一層均勻的海藻酸鈣薄膜。
2. 包覆單層薄膜的粉圓，會隨著包覆的海藻酸鹽濃度遞增，而薄膜強度會隨之遞增，但浸泡冷水5分鐘後，全部都會出現不同程度的崩解或破裂現象。
3. 包覆雙層薄膜(內層1.0%海藻酸鹽+外層1.0%海藻酸鹽)的粉圓，浸泡冷水不會崩解或破裂，且薄膜滲水性佳，能在30分鐘後使水分完全滲入粉圓內部。
4. 包覆雙層薄膜(內層1.0%海藻酸鹽+外層0.5%海藻酸鹽)的粉圓，浸泡冷水不會崩解或破裂，且薄膜滲水性更佳，更將水分完全滲入粉圓內部的時間縮短到25分鐘，此為新型粉圓包覆薄膜的最適條件。

C、實際烹煮之驗證

1. 「新型粉圓」因已包覆薄膜在泡水 25 分鐘時，可吸收大量水分而不崩解，其內部水分含量最高。
2. 「新型粉圓」要達到 100%煮熟率之時間，為乾粉圓的 37.80%；為濕粉圓的 42.75%，省時效果十分明顯。
3. 「新型粉圓」要達到 100%煮熟率之消耗電能，為乾粉圓的 25.57%；為濕粉圓的 28.81%，節能效果極為顯著。
4. 新型粉圓之「粉圓」色差值最大；新型粉圓之「湯汁」色差值最小，推測是因新型粉

圓之烹煮時間最短，「粉圓」的成分流失到「湯汁」中最少所致。

D、商品價值之探討

1. 經全質構分析(TPA)得知，「新型粉圓」與市面手搖杯飲料店採用的「濕粉圓」，二者之彈性並沒有顯著差異(信賴水準 95%)，這表示「新型粉圓」之彈性已達到商品化之水準。
2. 由官能品評結果驗證，受試者對「新型粉圓」各項目之喜好程度均優於「濕粉圓」，更加證明「新型粉圓」確實具有很高的商品化價值。
3. 我們研發的「新型粉圓」之水活性很明顯低於 0.8，所以可在常溫下長時間貯存。

二、具體貢獻

1. 「新型粉圓」之烹煮時間短，耗費電量少，省時、節能效益十分顯著。
2. 因「新型粉圓」烹煮程序簡單，可讓消費者以更方便更快速的居家料理型態，享用波霸奶茶迷人的風味。
3. 「新型粉圓」之水活性低，不需添加任何防腐劑，即可在常溫下長時間貯存，且成分天然健康，沒有食品安全疑慮。
4. 消費者對「新型粉圓」之喜好程度高、購買意願高，且具有商品化之價值。

伍、參考資料

1. Lilly Chin. (2016). Effect of Ingredient Ratio on the Texture Profile of Cookies. 2.671 Go Forth and Measure.
2. M. S. M. Wee, A. T., Goh, M. Stieger and C. Forde. (2018). Correlation of Instrumental Texture Properties from Textural Profile Analysis (TPA) with Eating Behaviours and Macronutrient Composition for a Wide Range of Solid Foods. Food Funct. DOI: 10.1039/C8FO00791H.
3. Nikhil K Sachan, Seema Pushkar, Antesh Jha, A. Bhattacharya. (2009). Sodium alginate: the wonder polymer for controlled drug delivery. Journal of Pharmacy Research , 2(8),1191-1199.
4. 呂秀英(2011)。正確使用統計圖表呈現處理間比較台灣農業研究 60 (1) : p61-71 台中市。行政院農業委員會農業試驗所。
5. 沈明鎮、何志鴻、陳品妙(2012)。波霸珍珠神秘的外衣。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會優勝作品。
6. 張家豪 (2015)。利用研磨與食用膠對乾燥粉圓的膨潤速度和咀嚼度維持性的影響。國立中正大學化學工程研究所碩士論文
7. 許俊祥、江伯源(2014)。小麥澱粉添加麥芽糊精對其糊化物化特性及貯存品質變化之探討。國立中興大學農學院 農林學報 第63卷 第03期, p175-186。
8. 郭文玉、劉發勇、邱宗甫(2014)。食品加工 I。台南市：復文圖書有限公司。
9. 黃玉鈴、蔡豐富、張修銘、王文良、江伯源 (2012)。海藻酸-“鈣鹽”-微膠囊成型性及粒子品質比較。國立中興大學農學院 農林學報 第 61 卷 第 02 期, p185-202。
10. 賴金全、王昭君 (2011)。食品化學與分析I，初版，p193-194。新北市：台科大圖書股份有限公司。
11. 戴俐 (2002)。澱粉珠的研究 I：恆溫恆濕合併微波末段乾燥澱粉珠。國立中興大學食品科學研究所碩士論文。
12. 魏珮芯、吳建緯、王滋頌(2016)。彩虹晶球-鳳梨珍珠之研發。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會優勝作品。

【評語】 200004

本作品利用海藻酸鈣薄膜，包覆單層或雙層於濕粉圓表面，經自然乾燥製成新型粉圓，探討崩解、破裂、煮熟率，耗電能量等，得到最佳之粉圓製作條件，為優秀的食品科技作品，但整體作品與環境工程間的關係較為薄弱。