

# 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 化學科

(鄉土)教材獎

080214

探討菱角澱粉糊化性質及晶球化作用

學校名稱：高雄市左營區舊城國民小學

作者： 小五 林沛縈 小五 陳品妘 小五 施又禎 小五 魏可晴	指導老師： 蕭妃茹 徐毓謙
---	---------------------

關鍵詞：菱角澱粉、糊化、晶球化作用

## 摘要

菱角有豐富的營養素，但高含量直鏈澱粉圖礙澱粉被應用的機會，本研究在探討不同烘乾溫度做出的菱角澱粉特性，以及了解添加海藻酸鈉和乳酸鈣產生的菱角晶球特性，希望對菱角晶球了解可以提供菱角粉被加工利用的機會。研究發現烘乾溫度越高，得到菱角澱粉顆粒越小，糊化溫度提高，黏度下降。添加海藻酸鈉除了可延緩生菱角粉的沉澱、增加糊化後黏度值、更能減少老化現象。正向晶球作用可做出實心的菱角晶球，0.25%的海藻酸鈉濃度，得到的晶球成球性最佳。菱角晶球在溶液中保存的效果各有不同，浸泡在純水或鹽水中，晶球會變重變軟；浸泡在糖水或酸性溶液中，晶球會變輕變硬。反向晶球做法雖不利晶球成形，但仍可形成不同口感的菱角凝膠。

## 壹、前言

### 一、研究動機

學長姐們多年來針對菱角澱粉進行探究，發現菱角澱粉很容易老化，大大阻礙菱角的加工機會，去年學姐將菱角澱粉用來做成卡士達醬，雖然做出的風味不錯，但老化問題依舊，加上去年我們也發現用黑木耳多醣體做出的湯圓老化速度似乎沒那麼快，綜合去年的兩件研究，今年我們想試試添加天然的海藻酸鈉是否可以改變菱角澱粉的糊化性質以及菱角糊透過交聯作用產生的菱角晶球性質為何呢，希望透過本研究結果可以提供菱角粉加工時的參考。*(康軒六年級上學期熱對物質的變化、五年年上學期酸與鹼、三年級上學期廚房裡的科學)*

### 二、研究目的

#### (一) 探討菱角澱粉製備條件對澱粉顆粒及糊化特性的影響

- 1、 不同烘乾溫度對菱角澱粉粒子的影響
- 2、 不同烘乾溫度對菱角澱粉糊化溫度的影響
- 3、 不同烘乾溫度對菱角澱粉最大黏度值的影響

#### (二) 探討添加海藻酸鈉對菱角糊化的影響

- 1、 添加海藻酸鈉對菱角澱粉沉澱情形的影響

- 2、 添加海藻酸鈉對菱角澱粉糊化溫度的影響
- 3、 添加海藻酸鈉對菱角澱粉最大黏度值的影響
- 4、 海藻酸鈉對菱角糊回凝現象的影響

### (三) 探討正向晶球化作用~菱角晶球性質

- 1、 菱角晶球成球性及軟硬度探討
- 2、 浸泡水對菱角晶球重量及軟硬度的影響
- 3、 浸泡不同溶液對菱角晶球重量及軟硬度的影響

### (四) 探討反向晶球作用~菱角凝膠性質

## 三、文獻回顧

### (一) 化學原理

1、澱粉糊化：澱粉是一種多醣，由許多葡萄糖分子聚合而成的物質，依照結構可分為直鏈澱粉和支鏈澱粉，不同澱粉內的直鏈澱粉和支鏈澱粉的比例不一樣，使得澱粉呈現不同的性質，直鏈澱粉含量高的澱粉，膨脹度高，例如菱角澱粉，比較容易形成不透明的強膠體；支鏈澱粉含量較高的澱粉，膨脹度低，比較容易形成較透明的膠體。澱粉要完成整個糊化過程，必須要經過三個階段：即可逆吸水階段、不可逆吸水階段和顆粒解體階段。

**(1)可逆吸水階段：**冷水中的澱粉經攪拌後則成為懸浮液，若停止攪拌澱粉顆粒又會慢慢下沉。在冷水浸泡的過程中，澱粉顆粒雖然會吸收少量的水分使得體積略有膨脹，但是沒有影響到顆粒中的結晶，所以澱粉的基本性質並不改變。在這一階段的澱粉顆粒，進入顆粒內的水分子可以隨著澱粉的重新乾燥而將吸入的水分子排出，乾燥後仍完全恢復到原來的狀態，故這一階段稱為澱粉的可逆吸水階段。

**(2)不可逆吸水階段：**澱粉與水處在加熱的條件下，水分子逐漸進入澱粉顆粒內的結晶區域，這時便出現了不可逆吸水的現象。這是因為外界的溫度升高，澱粉分子內的一些化學鍵變得很不穩定，從而有利於這些鍵的斷裂。隨著這些化學鍵的斷裂，澱粉顆粒內結晶區域則由原來排列緊密的狀態變為疏鬆狀態，使得澱粉的吸水量迅速增加。澱粉顆粒的體積也由此急劇膨脹。這一階段的澱粉如果重新進

行乾燥，其水分也不會完全排出而恢復到原來的結構，故稱為不可逆吸水階段。

(3)顆粒解體階段：澱粉顆粒經過第二階段後，很快進入第三階段—顆粒解體階段。這時澱粉所處的環境溫度還在繼續提高，所以澱粉顆粒仍在繼續吸水膨脹。當其體積膨脹到一定程度後，顆粒便出現破裂現象，顆粒內的澱粉分子向各方向伸展擴散，溶出顆粒體外，擴展開來的澱粉分子之間會互相聯結、纏繞，形成一個網狀的含水膠體。這就是澱粉完成糊化後所表現出來的糊狀體。(出自 A+醫學百科「糊化」

條目 <http://cht.a-hospital.com/w/%E7%B3%8A%E5%8C%96>)

## 2、澱粉的回凝現象：

低溫下的澱粉凝膠組織會變硬，原本直鏈澱粉和支鏈澱粉間的氫鍵形成，使得結構中的水析出，此現象稱為回凝現象，也就是澱粉的老化現象。(施明智等，2013)

## 3、晶球化作用

晶球化作用一種交聯反應，本研究是利用海藻酸鈉滴入含有乳酸鈣的溶液中，鈣離子會取代海藻酸鈉的鈉離子，並且抓住海藻酸鈉分子之間的羧酸離子，發生交聯反應，含鈣物質就是一種促凝劑，將原本的鏈狀聚合物變成網狀聚合物，使分子間的聯結性更強，流動性降低而固化，形成一種半透膜的晶球薄膜。

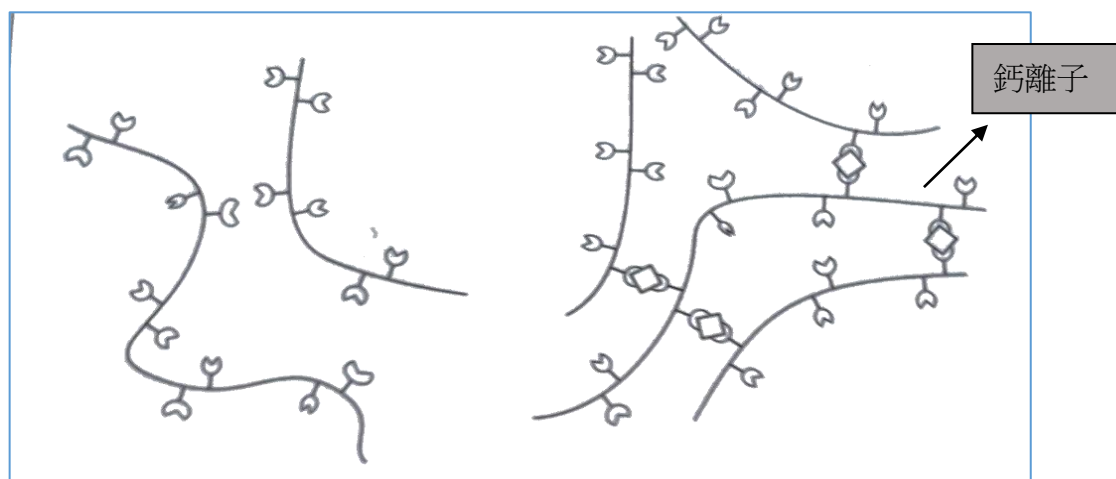


圖 1 海藻酸鈉與鈣離子的交聯作用

說明：褐藻酸分子通常不會互相鍵結（左），而是個別與其他鈣離子鍵結，形成三維網格（右）

資料來源傑夫·波特（2017）·廚藝好好玩 P452。

## (二) 文獻回顧

表 1 歷年有關澱粉及晶球作用科展作品

主題	研究內容	資料來源
泡膜雲起膜登寶澱	探究澱粉加熱糊化後靜置會形成澱粉膜的特性，研究指出不同比例的直鏈澱粉、支鏈澱粉含量會影響成膜特性。	54 屆全國科展 國中化學科
粉完美替身	菱角糊添加奶油、玄米油、醋、小蘇打可減少出水，也可延緩老化使其維持在軟的狀態。添加糖類雖然會使出水增加但卻可延緩老化。添加鹽則是降低出水但老化現象明顯。	61 屆高雄科展 國小組 生活應用科
鈣多晶球	探討海藻酸鈉與鈣液交聯作用形成的晶球所具有的特性與應用。	58 屆全國 國小組化學科
「混」是「膜」 王—探討海藻酸鈉及澱粉混和薄膜的特性	在探討海藻酸鈉、澱粉及兩者混和成膜的特性，並討論添加上述薄膜添加氯化鈣進行交聯後對薄膜特性的影響及應用。	59 屆高雄科展

## 貳、研究設備及器材

一、器材：果乾機、臺灣衡器-微量化學天平(NHB-300)、溫度計、電子游標尺、顯微鏡、照度計、BROOKFIELD DV-E 經濟型數字式黏度計、pH 計、加熱器



二、材料：菱角、海藻酸鈉、乳酸鈣、0.1N 碘液、蒸餾水、食鹽、糖、檸檬原汁

## 參、研究過程或方法

### 一、研究架構

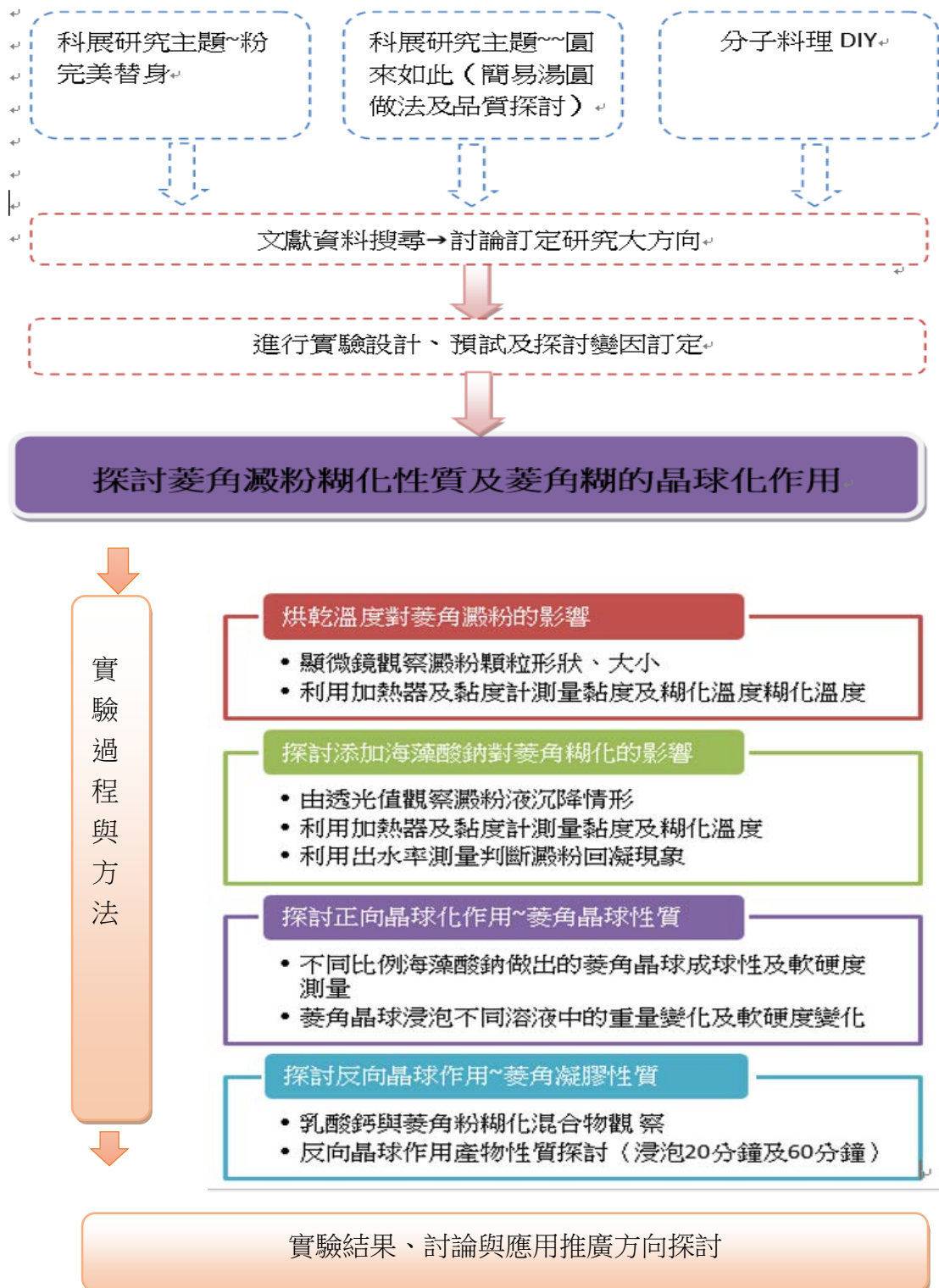
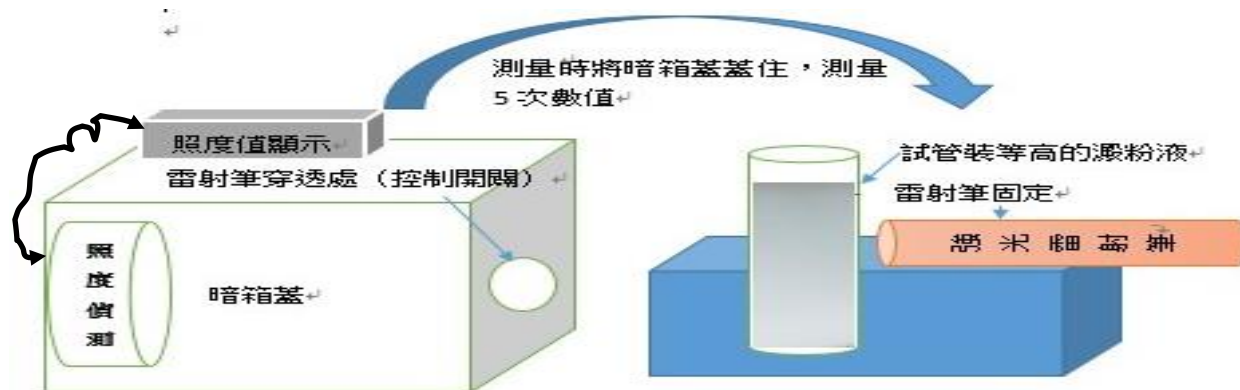


圖 2 研究架構圖

## 二、實驗設計與說明：

- (一) **照度變化率**：以照度計及雷射筆（如下圖）分別測量澱粉液攪拌後照度值（A）及靜置 10 分鐘後溶液的照度值（B），並計算照度值的變化率  $(B-A) / A \times 100\%$ ，照度變化率為正值表示溶液透光度變佳，照度變化率為負值表示溶液透光度變差。

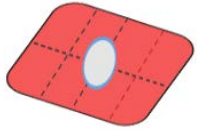

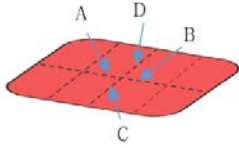



- (二) **糊化溫度**：不同種澱粉具有不同的糊化溫度，同種澱粉顆粒大小也會影響糊化發生的時間，所以一般澱粉的糊化溫度是指一個區段的溫度，本研究取澱粉液黏度值變化最大的區間溫度當成菱角澱粉的糊化溫度。將澱粉液放置於加熱器上，接上溫度計，測量 65°C 以上每間隔 5°C 時的黏度值（右圖）。

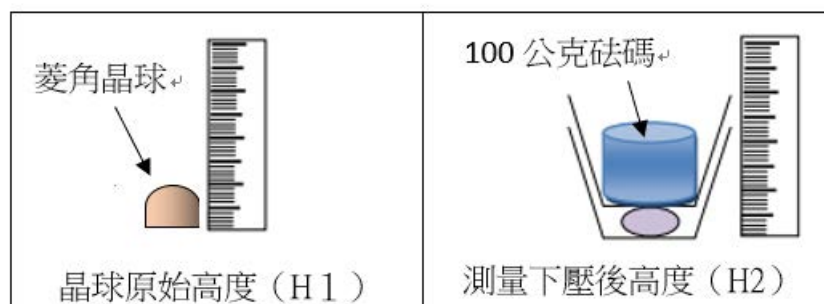


- (三) **出水率**：本研究以出水率來判斷澱粉的回凝現象，研究方式為澱粉溶液加熱至完全糊化後，稱量澱粉糊重（C），進行冷藏 24 小時以上，取出後以餐巾紙吸取外部水份，並稱量剩餘麵糊重（D）。計算出每個麵糊的出水率  $(D - C) / C \times 100\%$ ，出水率越高代表澱粉發生回凝現象，也就是澱粉老化越明顯。

(四) **成球性判斷**：本研究想了解晶球製備時塑形的情形，研究過程中取出 20 顆晶球，將晶球放在珍珠板上，以珠針固定出晶球的垂直長度，再以游標尺測量晶球 AB 長度(L1)、CD 長度(L2)，計算出長度比=  $|L1 - L2| / L1$ ，取長度比低於 1.1 以下視為球形。

			
<p>珍珠板上標出垂直的線，將菱角晶球交叉點上。</p>	<p>用四支珠針將晶球在虛線上大小範圍固定</p>	<p>移走珠針及晶球，珍珠板上的虛線上得到四個洞 A、B、C、D</p>	<p>以電子游標尺測量 AB 長度(L1)及 CD 長度(L2)，計算長度比。</p>

(五) **高度變化率 (晶球的軟硬度)**：取大晶球對切，以電子游標尺測量晶球原始高度 (H1)，再以 100 公克重物下壓，測量下壓後高度 (H2)，計算出高度變化率  $(H1 - H2) / H1$ ，高度變化率越小，代表晶球越硬，不易形變，高度變化率越大，代表晶球越軟，容易形變。





### 三、研究問題

#### 研究一：探討菱角粉澱粉乾燥溫度對菱角糊化的影響

**引言：**較高的烘乾溫度可以縮短菱角澱粉製備時間，但文獻指出澱粉發生糊化的溫度約 65°C 以上，我們想知道烘乾溫度會不會使菱角澱粉發生變化呢？所以我們進行菱角粉澱粉烘乾溫度對澱粉顆粒形狀及大小、糊化溫度、最大黏度值影響的實驗。

#### 實驗一：菱角粉澱粉烘乾溫度對菱角顆粒的影響

##### 實驗步驟：

- 1、將菱角和水放入果汁機攪打，倒入豆漿袋中綁緊，用手搓揉擠出澱粉液。
- 2、澱粉水靜置一段時間後，倒掉上層液，留下底部的濕菱角澱粉。
- 3、將濕的菱角澱粉放在鐵盤上，分別以 40°C、50°C、60°C、70°C 烘乾。
- 4、菱角澱粉放在載玻片上，滴 0.01N 碘液，以顯微鏡觀察澱粉顆粒。

			
將 300g 菱角和水放入果汁機攪打	倒入袋中準備過濾	擠出汁液	澱粉液靜置
			
倒出上層的水	取出底層的菱角澱粉至鐵盤中	放入果乾機並設定溫度	乾燥過後的菱角澱粉

#### 實驗二：菱角粉澱粉烘乾溫度對菱角糊化溫度的影響

##### 實驗步驟：

- 1、取不同烘乾溫度做出的菱角澱粉 4 公克配成 200 公克溶液，將溶液放在加熱器上，置入溫度計（如右圖）攪拌加熱到 50°C、55°C、60°C、65°C、70°C、75°C、80°C、85°C、90°C，以黏度計測量黏度值。

### 實驗三：烘乾溫度對菱角粉糊化最大黏度值的影響

#### 實驗步驟：

- 1、將不同烘乾溫度取得的菱角澱粉，配製 3% 的澱粉液加熱後，測得最大黏度值，進行分析比較。

### 研究二：添加海藻酸鈉對菱角澱粉糊化的影響

**引言：**海藻酸鈉為一種天然的多醣體，在之前的科展研究中發現多醣體可以減緩澱粉的老化，我們想先看看添加海藻酸鈉對菱角澱粉的影響為何？

### 實驗四：添加海藻酸鈉對菱角澱粉溶液沉澱情形的影響

#### 實驗步驟：

1. 配製 5% 澱粉液，分別添加 0.25%、0.5%、0.75%、1% 的海藻酸鈉。
2. 以照度計及雷射筆測量分別測量攪拌後照度值 (A) 及靜置 10 分鐘後溶液的照度值 (B)，並計算照度值的變化率  $(B-A) / A \times 100\%$ 。

### 實驗五：添加海藻酸鈉對菱角粉糊化溫度的影響

#### 實驗步驟：

- 1、配製 2% 的菱角澱粉液，分別添加 0.25%、0.5%、0.75%、1% 的海藻酸鈉。
- 2、將混合液放置加熱器上，以溫度計及轉針放進燒杯中，一邊加熱，一邊記錄黏度值的變化。

### 實驗六：添加海藻酸鈉對菱角糊黏度之影響

#### 實驗步驟：

- 1、配製 5 杯 2% 的菱角澱粉液，分別添加 0.25%、0.5%、0.75%、1% 的海藻酸鈉。
- 2、將混合液放置加熱器上，以溫度計及轉針放進燒杯中，一邊加熱，一邊記錄黏度值，分析 90°C 內最大黏度值的變化。

### 實驗七：添加海藻酸鈉對菱角糊出水現象的影響

#### 實驗步驟：

- 1、配製 5% 的澱粉液，分別添加 0.25%、0.5%、0.75%、1% 的海藻酸鈉。
- 2、溶液加熱至完全糊化後，稱量澱粉糊重 (C)，進行冷藏 24 小時以上，取出後以餐巾紙吸取外部水份，並稱量剩餘麵糊重 (D)。計算出每個麵糊的出水量及出水率  $(D - C) / C \times 100\%$ 。

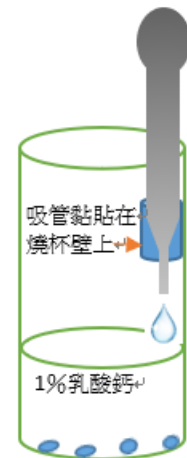
### 研究三：探討正向晶球化作用~菱角晶球特性探究

**引言：**菱角澱粉含有少量的鈣離子，在加入海藻酸鈉一段時間後，會在表面形成一層薄膜，我們猜想會不會是交聯作用產生的薄膜，所以想試試如果將菱角澱粉糊化後做成晶球是否可行，以及菱角晶球特性為何？

#### 實驗八：菱角晶球製備探討

##### 實驗步驟：

- 1、配製 1% 的乳酸鈣溶液。
- 2、將糊化後的菱角粉-海藻酸鈉混合物以滴管吸取，由相同液面高度（如上圖）滴入乳酸鈣溶液中，靜置 60 分鐘，切開觀察晶球的實心或空心。
- 3、取出 20 顆晶球，以珠針在珍珠板上固定出晶球的垂直長度，再以游標尺測量晶球的垂直長度  $L_1$ 、 $L_2$ ，計算出長度變化率  $|L_1 - L_2| / L_1$ ，取長度變化率低於 1.1 視為球形。
- 4、取大晶球對切，測量原始高度 ( $H_1$ )，再以重物下壓，測量下壓後高度 ( $H_2$ )，計算出高度變化率  $(H_1 - H_2) / H_1$ ，以此判斷晶球的軟硬度。



#### 實驗九：浸泡水對菱角晶球重量及軟硬度的影響

**引言：**市面上有些以澱粉為主的球形物（珍珠或粉圓）煮好後放置一段時間會有口感及外觀的的改變，我們想知道將菱角澱粉做成晶球後，在溶液中存放是否也會對晶球的外觀及軟硬度有所變化？

#### 實驗步驟：

- 1、將做好的菱角晶球，取出擦乾稱量每顆的重量(W1)。
- 2、將晶球浸水中保存 24 小時。
- 3、再分別取出擦乾，秤量每顆菱角晶球的重量 (W2)。
- 4、計算菱角晶球重量變化率  $(W2-W1) / W1 * 100\%$ 。
- 5、取大晶球對切，測量原始高度(H1)，再以重物下壓，測量下壓後高度(H2)，  
計算出高度變化率  $(H1-H2) / H1 * 100\%$

#### 實驗十：浸泡液種類對菱角晶球重量及軟硬度的影響

##### 實驗步驟：

- 1、將做好的菱角晶球，取出擦乾稱量每顆的重量(w1)。
- 2、將晶球分別浸泡在 5%、10%食鹽水、10%、20%糖水、pH4、H4.6 檸檬汁。
- 3、24 小時後再分別取出擦乾，秤量每顆菱角晶球的重量 (W2)。
- 4、計算菱角晶球重量變化率  $(W2-W1) / W1 * 100\%$ 。
- 5、取大晶球對切，測量原始高度(H1)，再以重物下壓，測量下壓後高度(H2)，  
計算出高度變化率  $(H1-H2) / H1 * 100\%$

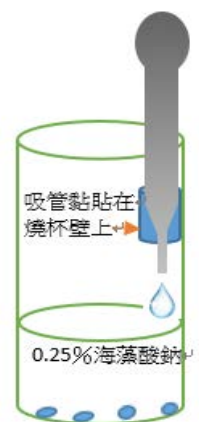
#### 研究四：反向晶球化作用~菱角凝膠特性探究

**引言：**查資料發現如果食品中含有鈣離子時，可以利用反向晶球做法來做出晶球，我們想了解菱角澱粉反向晶球化作用的結果為何？

#### 實驗十一：反向晶球作用~菱角凝膠做法探討

##### 實驗步驟：

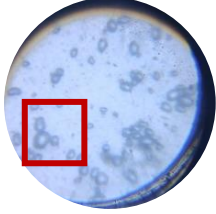

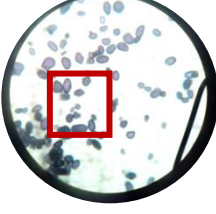

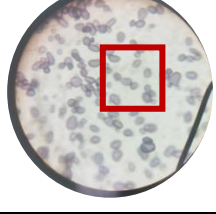
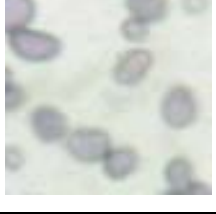
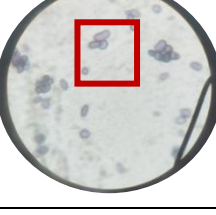



- 1、配製 2%的菱角澱粉液，分別加入乳酸鈣 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%。
- 2、將混合液以加熱器加熱到糊化，觀察糊化物。
- 3、加熱糊化後的糊化物以滴管放入 0.25%海藻酸鈉中，觀察 20 分鐘、60 分鐘後形成物質的特性。



## 肆、研究結果

### 實驗一：菱角粉澱粉乾燥溫度對菱角顆粒的影響

表 2：不同烘乾溫度菱角粉顯微鏡圖

烘乾溫度	顯微鏡視野	微觀圖
生菱角 (對照組)		
40°C		
50°C		
60°C		
70°C		

### 結果：

- 1、由放大 400 倍的菱角澱粉微觀圖發現菱角澱粉顆粒形狀呈橢圓形，烘乾溫度 70°C 以下對菱角澱粉顆粒形狀並無明顯影響。
- 2、但由顯微鏡視野照中截取相同面積，從截圖中發現烘乾溫度越高，所得到的小顆粒澱粉量越多。

實驗二：菱角粉澱粉乾燥溫度對菱角糊化溫度的影響

表 3：不同烘乾溫度菱角澱粉的黏度值

加熱溫度 烘乾溫度	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C	75°C	80°C	85°C	90°C
40°C 烘乾	8.9	9.7	11	11.3	13.5	13	10.9	11.7	11.4
50°C 烘乾	7.5	8.1	8.5	8.5	9	9.5	10.5	11	12.5
60°C 烘乾	8.1	9.1	9.5	10.5	10.5	10.6	12.9	13.5	16
70°C 烘乾	7.9	8.6	8.6	8.3	8.7	9.3	9.2	10	10.4

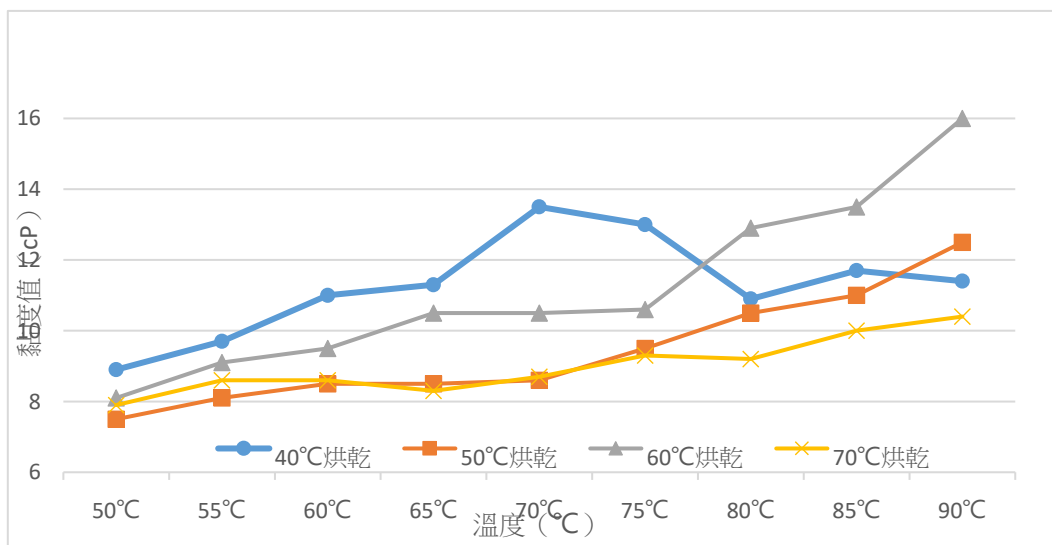


圖 3 不同烘乾溫度菱角粉黏度值的變化圖

結果：

- 1、40°C 烘乾得到的菱角澱粉糊化溫度在 65°C—70°C。50°C 烘乾得到的菱角澱粉糊化溫度在 85°C—90°C，60°C 烘乾得到的菱角澱粉糊化溫度在 85°C—90°C，70°C 烘乾得到的菱角澱粉糊化溫度在 80°C—85°C。
- 2、由實驗結果發現菱角澱粉烘乾溫度提高，會使菱角澱粉糊化溫度提高（對照組為烘乾溫度 40°C）。

**實驗三：烘乾溫度對菱角粉最大黏度值的影響**

表 4 不同烘乾溫度菱角粉的最大黏度值

烘乾溫度 (°C)	40°C	50°C	60°C	70°C
	烘乾	烘乾	烘乾	烘乾
最大黏度值 (cP)	12.8	12.6	12.1	10.3

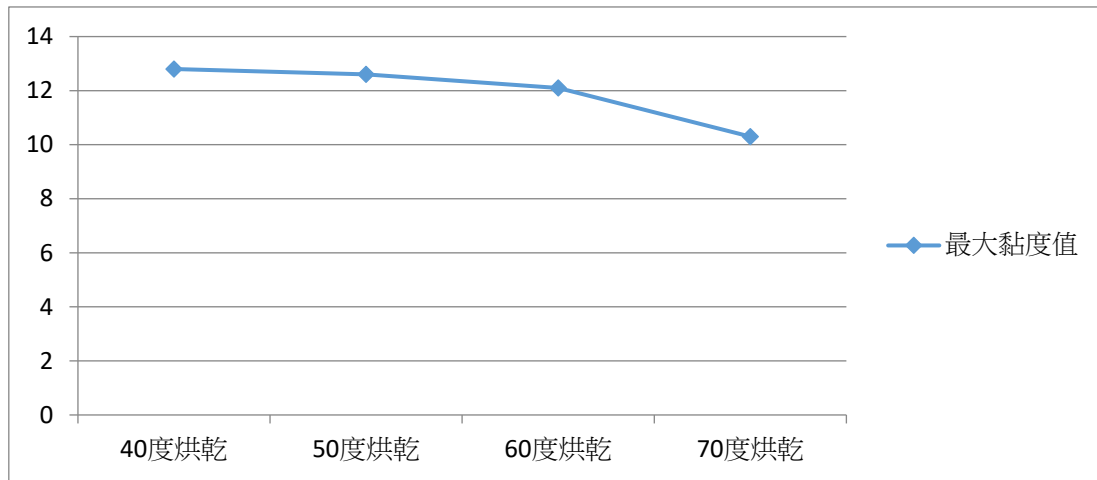


圖 4 不同烘乾溫度菱角澱粉最大黏度值

**結果：**

1. 由實驗發現烘乾溫度越高做出的菱角澱粉，最大黏度值會下降。70°C的烘乾溫度可能會使部份澱粉在乾燥時已發生糊化現象。

**實驗四：添加海藻酸鈉對菱角澱粉溶液沉澱情形的影響**

表 5：添加海藻酸鈉對不同靜置時間照度值的變化

海藻酸鈉比例 靜置時間	海藻酸鈉 0%	海藻酸鈉 0.25%	海藻酸鈉 0.5%	海藻酸鈉 0.75%	海藻酸鈉 1%
靜置 0 分鐘	377	353	397.88	453.4	321.3
靜置 10 分鐘	1231.75	324.4	392.1	410.5	297.6
照度變化率	226.72%	-8.1%	-1.45%	-9.46%	-7.37%

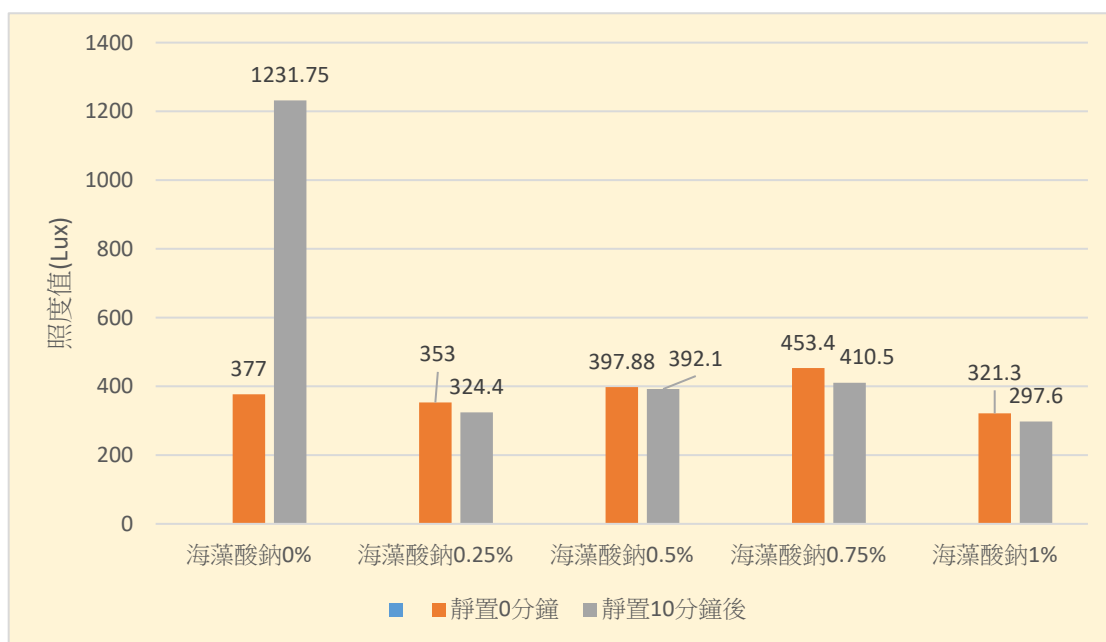


圖 5 菱角澱粉不同靜置時間的照度值變化

**結果：**

- 1、未加海藻酸鈉的照度變化率高達 226%，表示澱粉靜置後即發生沉澱情形。
- 2、添加海藻酸鈉的菱角澱粉液照度變化率都低於 10%，顯示靜置後溶液中粒子的分佈和靜置前差不多，由此可知添加海藻酸鈉可以延緩澱粉沉澱，使未糊化的澱粉液均勻分散，這樣的特性可以減少菱角澱粉液加熱過程攪拌不足造成底部燒焦情形。

**實驗五：添加海藻酸鈉對菱角粉糊化溫度的影響**

表 6 添加海藻酸鈉對不同加熱溫度菱角糊的黏度值

加熱溫度 海藻酸鈉比例	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C	75°C	80°C	85°C
對照組	8.1	9.1	9.5	10.5	10.5	10.6	12.9	13.5
0.25%	51.5	56.6	56.4	57.8	57.9	61.7	64.2	63.9
0.5%	52.1	51.4	50.7	52.7	53.6	55	63.7	67
0.75%	73.8	69.2	67.7	69.6	77	86.1	92	96.8
1%	179.5	153.7	146.8	149.5	189.7	198.4	178.4	163.5



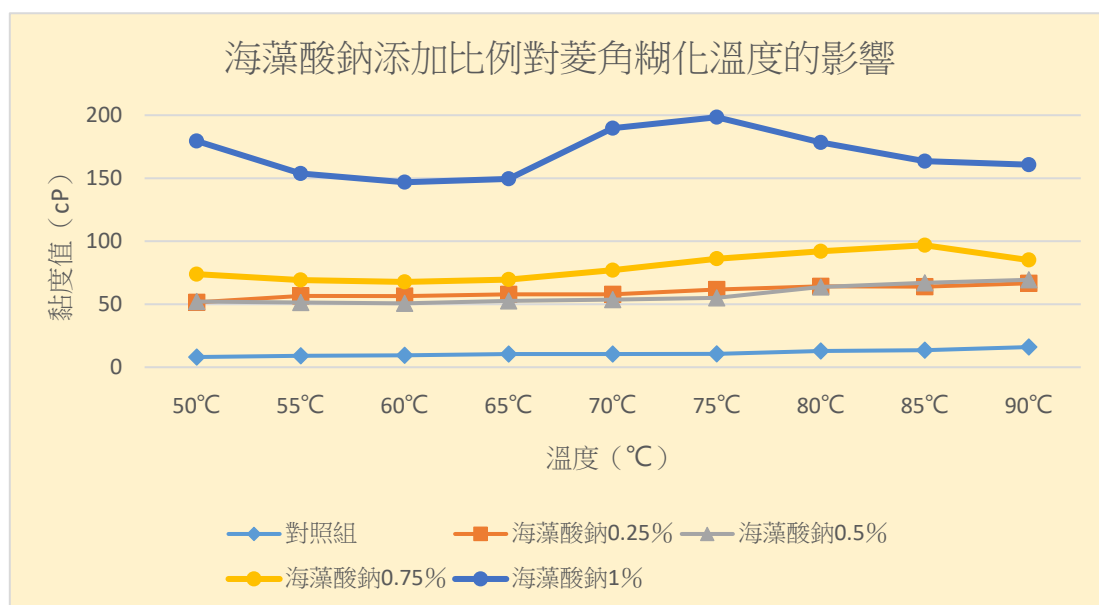


圖 6 添加海藻酸鈉對不同加熱溫度菱角糊的黏度值變化

**結果：**

- 1、添加 0.25%海藻酸鈉，菱角粉的糊化溫度發生在 75-80°C 間，添加 0.5%海藻酸鈉，菱角粉的糊化溫度發生在 75-80°C 間，添加 0.75%海藻酸鈉，菱角粉的糊化溫度發生在 75-80°C 間，添加 1%海藻酸鈉，菱角粉的糊化溫度發生在 70-75°C 間。
- 2、對照組的糊化溫度在 75-80°C 之間，添加海藻酸鈉 0.25~0.75% 對糊化溫度影響不大，但添加 1%海藻酸鈉會降低菱角粉的開始糊化溫度。
- 3、添加海藻酸鈉的菱角糊加熱時黏度會先下降再上升。

**實驗六：添加海藻酸鈉對菱角糊黏度之影響**

表 7 不同比例的海藻酸鈉菱角糊的最大黏度值

海藻酸鈉比例	海藻酸鈉 0%	海藻酸鈉 0.25%	海藻酸鈉 0.5%	海藻酸鈉 0.75%	海藻酸鈉 1%
最大黏度值 (cps)	13.5	64.2	67	96.8	198.4

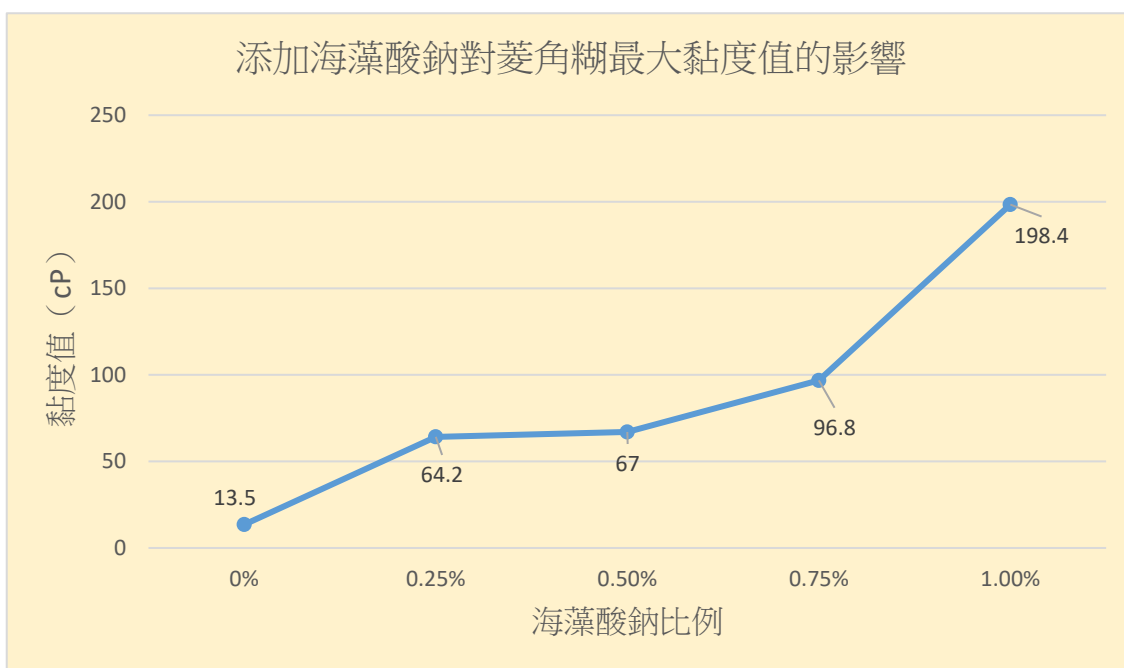


圖 7 不同比例的海藻酸鈉菱角糊的最大黏度值

**結果：**

1. 由實驗結果可以知道添加海藻酸鈉可以提高菱角糊的黏度，但海藻酸鈉添加比例 1% 會使黏度值快速提高。

**實驗七：添加海藻酸鈉對菱角糊出水現象的影響**

表 8 添加不同海藻酸鈉之菱角糊出水率

出水率	海藻酸鈉 0%	海藻酸鈉 0.25%	海藻酸鈉 0.5%	海藻酸鈉 0.75%	海藻酸鈉 1%
第一杯	34.98%	19.47%	13.76%	8.34%	7.15%
第二杯	34.10%	19.59%	15.11%	7.28%	9.37%
第三杯	24.49%	18.16%	17.19%	7.99%	8.80%
第四杯	35.24%	21.42%	14.89%	8.77%	9.18%
第五杯	32.04%	16.70%	13.44%	8.39%	9.84%
平均 出水率	32.2%	19.01%	14.89%	8.15%	8.37%

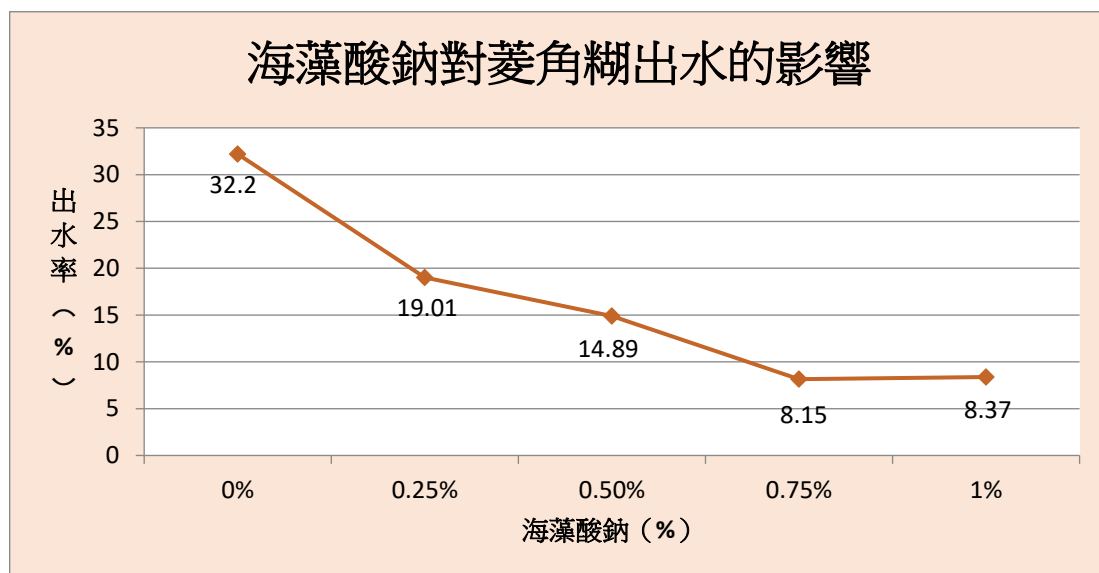


圖 8 添加不同海藻酸鈉之菱角糊出水率

**結果：**

- 1、由實驗結果發現添加海藻酸鈉可以減少菱角糊的出水現象，添加比例越高，出水率越小，但添加比例超過 0.75%，延緩出水效果達極限，因為澱粉糊已不容易形成塊狀。

**實驗八：菱角晶球製備探討**

表 9 正向菱角晶球性質一覽表

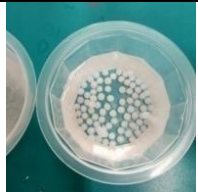



海藻酸鈉比例 觀察項目	海藻酸鈉 0.25%	海藻酸鈉 0.5%	海藻酸鈉 0.75%	海藻酸鈉 1%
成品				
實心或 空心	實心	實心	實心	實心
成球率 (總數 20 顆)	50% (10 顆)	45% (9 顆)	35% (7 顆)	10% (2 顆)
高度變化率	32.14%	32.64%	40.29%	40.51%

表 10 不同比例做出的菱角晶球成球數判斷數據

海藻酸鈉 0.25%			海藻酸鈉 0.25%			海藻酸鈉 0.75%			海藻酸鈉 1%		
L1	L2	長度比	L1	L2	長度比	L1	L2	長度比	L1	L2	長度比
3.08	3.08	1.00	3.35	3.39	1.01	4.86	4.90	1.01	5.30	5.42	1.02
3.24	3.24	1.00	3.49	3.54	1.01	4.44	4.49	1.01	9.00	9.65	1.07
3.72	3.72	1.00	3.30	3.38	1.02	4.23	4.33	1.02	5.40	6.01	1.11
4.02	4.04	1.00	3.13	3.22	1.03	4.24	4.36	1.03	5.64	6.34	1.12
3.44	3.47	1.01	3.20	3.36	1.05	4.53	4.66	1.03	5.87	6.75	1.15
3.55	3.61	1.02	3.17	3.40	1.07	3.97	4.32	1.09	4.85	5.85	1.21
3.43	3.53	1.03	3.21	3.45	1.07	3.55	3.91	1.10	6.99	8.76	1.25
3.78	3.92	1.04	3.22	3.51	1.09	4.15	4.64	1.12	5.35	7.11	1.33
3.31	3.44	1.04	3.34	3.68	1.10	3.89	4.55	1.17	7.74	10.41	1.34
4.59	5.05	1.10	3.32	3.80	1.14	3.93	4.63	1.18	6.87	9.28	1.35
3.79	4.24	1.12	3.07	3.50	1.14	3.83	4.56	1.19	5.21	7.38	1.42
3.12	3.52	1.13	3.21	3.65	1.14	3.85	4.59	1.19	4.72	6.69	1.42
3.27	3.76	1.15	3.07	3.50	1.14	3.97	4.90	1.23	4.28	6.09	1.42
4.13	4.75	1.15	2.91	3.39	1.16	3.86	4.80	1.24	4.55	6.87	1.51
3.25	3.76	1.16	2.94	3.58	1.22	3.19	4.00	1.25	4.56	7.00	1.54
3.49	4.05	1.16	2.63	3.25	1.24	3.99	5.14	1.29	4.28	6.93	1.62
3.21	3.85	1.20	2.65	3.61	1.36	3.63	5.05	1.39	5.35	9.57	1.79
2.28	2.75	1.21	2.65	3.81	1.44	2.84	4.01	1.41	4.38	8.21	1.87
2.91	3.92	1.35	3.21	4.69	1.46	2.70	3.90	1.44	3.63	8.60	2.37
1.64	2.76	1.68	2.29	3.41	1.49	3.57	5.23	1.46	3.89	9.79	2.52
成球數		10	成球數		9	成球數		7	成球數		2
成球率		50%	成球率		45%	成球率		35%	成球率		10%

結果：

- 1、菱角糊做出的海藻酸鈉-乳酸鈣的交聯反應形成的晶球均為實心球體。
- 2、實驗發現海藻酸鈉濃度越高，因糊化後溶液黏度增加，不利於球形晶球的塑形。
- 3、添加海藻酸鈉比例會影響到晶球的軟硬度，添加 0.75%、1%海藻酸鈉做出的晶球比 0.25%、0.5%海藻酸鈉做出的晶球軟。

實驗九：浸泡水對菱角晶球重量及軟硬度的影響

表 11 浸泡水對菱角晶球重量變化率及高度變化率

海藻酸鈉比例		海藻酸鈉	海藻酸鈉	海藻酸鈉	海藻酸鈉
		0.25%	0.5%	0.75%	1%
重量、高度變化率					
重量變化率 (%)		3.26%	3.98%	24.01%	28.11%
高度 變化 率 (%)	泡水前	32.14%	32.64%	40.29%	40.51%
	泡水後	32.71%	32.95%	43.53%	49.97%
	軟硬度 變化	差不多	差不多	變軟	變軟

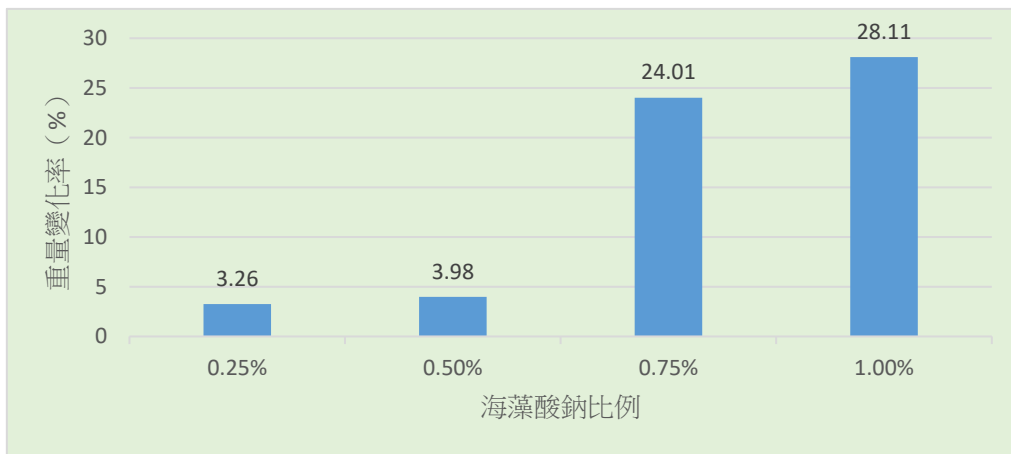


圖 9 菱角晶球浸泡水後重量變化率

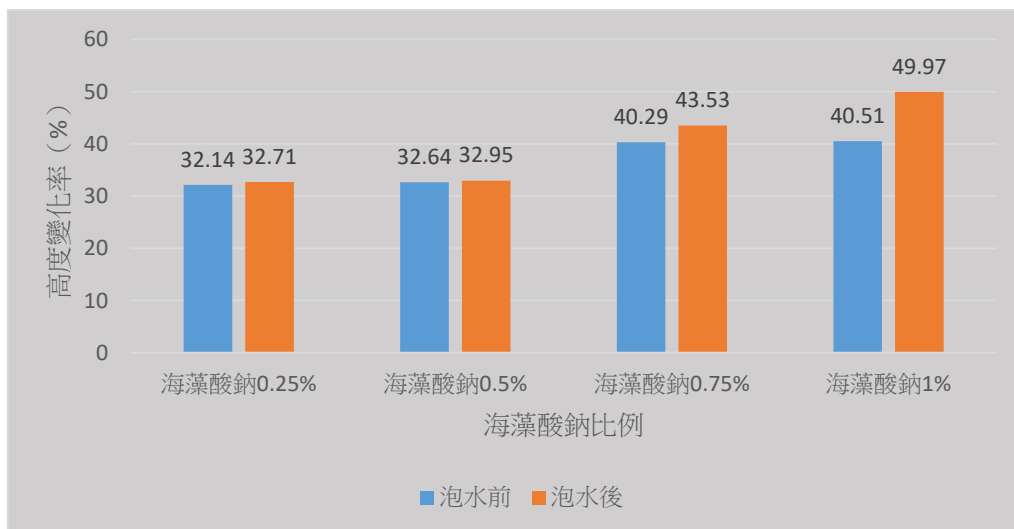


圖 10 泡水對菱角晶球高度變化率比較圖

**結果：**

- 1、 菱角晶球泡水，晶球重量均增加，其中添加海藻酸鈉比例越高，晶球重量變化越大，表示晶球有吸水現象。
- 2、 由晶球高度變化率來看，泡水對 0.25%、0.5%比例的晶球軟硬度影響不明顯，但對 0.75%及 1%比例的晶球，泡水後會變軟。

**實驗十：浸泡液種類對菱角晶球重量及軟硬度的影響**

表 12 不同浸泡液種類及濃度菱角晶球量變化率及高度變化率

浸泡液種類	對照組	5%鹽水	2.5%鹽水	20%糖水	10%糖水	pH4檸檬汁	pH4.6檸檬汁
重量變化率(%)	---	0.17%	0.1%	-5.8%	-2.1%	-14.5%	-7.7%
高度變化率(%)	43.30%	53.20%	55.30%	42.68%	33.29%	34.53%	14.75%
軟硬度變化	---	變軟	變軟	變硬	變硬	變硬	變硬

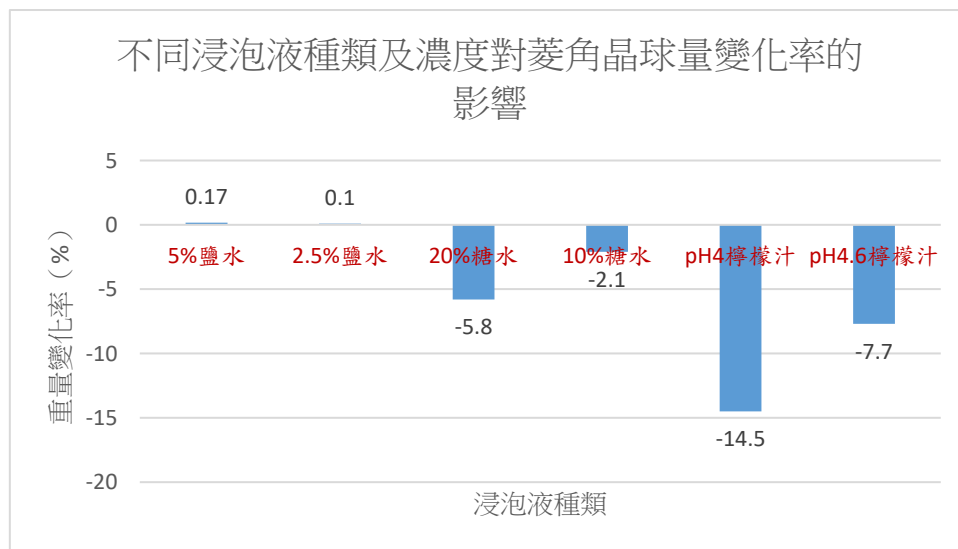


圖 11 不同浸泡液種類及濃度菱角晶球重量變化率比較圖



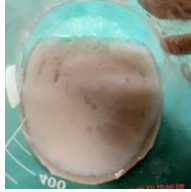




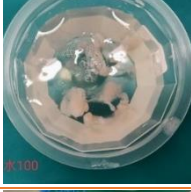
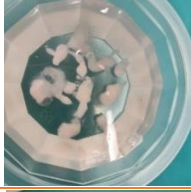





圖 12 不同浸泡液種類及濃度菱角晶球高度變化率比較圖

**結果：**

- 1、菱角晶球浸泡在不同濃度的鹽水中，晶球重量稍微變重，重量變化率 5%鹽水 > 2.5%鹽水。浸泡在不同濃度的糖水中，晶球重量變輕，重量變化率 20%糖水 > 10%糖水。浸泡在不同濃度的檸檬汁中，晶球重量變輕，重量變化率 pH4 檸檬汁 > pH4.6 檸檬汁。
- 2、浸泡在鹽水中，晶球高度變化率高於未浸泡前，表示晶球變軟。浸泡在糖水中，晶球高度變化率低於未浸泡前，表示晶球變硬。浸泡在檸檬汁中，部分晶球變脆破裂，晶球高度變化率低於於未浸泡前，表示晶球變硬。

### 實驗十一：反向晶球作用~菱角凝膠做法探討

表 13 反向晶球化作用~菱角凝膠特性一覽表

比例	乳酸鈣 0.2%	乳酸鈣 0.4%	乳酸鈣 0.6%	乳酸鈣 0.8%
混合物的糊化情形				
浸泡 20 分鐘				
浸泡 60 分鐘				

#### 結果：

- 1、將乳酸鈣加入菱角澱粉中加熱糊化後，會發現乳酸鈣溶液會游離在菱角糊間，造成菱角糊有分層的不均勻狀。
- 2、添加乳酸鈣超過 0.6%，會有白色乳酸鈣析出。
- 3、由反向晶球法做出的成品照片發現將菱角澱粉-乳酸鈣混合液滴入海藻酸鈉中，可形成塊狀物，無法形成球狀的晶球。
- 4、反向晶球化作用 60 分鐘後，乳白色的糊角糊被一層透明物包圍著。

#### 應用性：研究結果可應用在食品加工方向探討

- 1、使用果乾機可以快速方便的取得菱角澱粉，低溫烘乾的菱角粉，糊化溫度較低，但久煮澱粉糊容易到達糊化第三階段，黏度下降。高溫烘乾的菱角粉糊化溫度提高，久煮澱粉不易解體而降低黏度，建議可發展需持續加熱的菱角糊性品，例如濃湯。
- 2、添加海藻酸鈉可以減少菱角澱粉沉澱，建議可加在菱角粉中，降低不均勻糊塊生成，例如類似玉米濃湯粉的調配。
- 3、之前研究的菱角卡士達醬若添加適量的海藻酸鈉，也許可以降低菱角老化出水的問題。
- 4、菱角晶球可以取代珍珠，糊化後的菱角糊加上海藻酸鈉及乳酸鈣可做即食品球，不僅多了菱角的營養，製程也比傳統珍珠的做法及煮法更省時。



## 伍、討論

- 一、菱角澱粉乾燥溫度會影響澱粉顆粒大小，進而影響澱粉加熱的糊化溫度及黏度。乾燥溫度越高，原本被直鏈澱粉或支鏈澱粉包圍的水份散失，造成顆粒變小。澱粉束更緊密，造成加熱時要吸水膨潤的速度變慢，導致要將澱粉束打開造成糊化的溫度上升，相對黏度也降低。
- 二、由微觀圖可發現同一溫度烘出的菱角澱粉顆粒有大、有小，在糊化過程中，顆粒小的澱粉會先糊化，造成黏度慢慢增加，直到大部份粒子都糊化了，糊化溫度是一個區間的溫度，本研究取黏度值變化最大的區間溫度做為菱角澱粉的糊化溫度。由實驗二可以發現烘乾 40°C 大部份澱粉在 65-70°C 間都糊化，再加熱會讓澱粉粒子解體，造成黏度下降。但 50°C、60°C 烘乾，會使澱粉糊化溫度提高，到 90°C 澱粉粒子尚未解體，可能要持續加熱一段時間，才會達到大部份糊化的程度；70°C 烘乾，因大部份澱粉顆粒變小，使得糊化發生溫度稍微降低，但煮到 90°C 仍未達解體階段，可將此特性運用在耐高溫及耐煮的食品中。
- 三、一般澱粉加熱糊化後，當達溶液最大黏度值後，再持續加熱黏度值會下降，此一現象通常和直鏈澱粉的含量有關，由本研究二的黏度值變化趨勢可以發現澱粉的烘乾溫度對此黏度值下降的效果也有影響。
- 四、海藻酸鈉吸水後可膨脹 10 倍，形成黏稠的凝膠溶液，可以使澱粉分散開來，有效阻止菱角澱粉粒子因重力作用的沉降現象，減少澱粉液加熱不攪拌時有不均勻糊塊產生。
- 五、實驗中發現添加海藻酸鈉的菱角澱粉加熱時，一開始的黏度值會下降，因為加熱會使黏稠的海藻酸鈉黏度下降，等菱角澱粉糊化開始時，黏度值才開始上升。
- 六、添加海藻酸鈉 0.75% 以下，對菱角澱粉黏度值快速產生變化的溫度影響不大，但添加 1% 海藻酸鈉會使降低黏度值快速變化的溫度，實驗過程中發現添加 1% 海藻酸鈉溶液升溫較緩慢，所以菱角粉可以有足夠的時間吸水膨脹而使糊

化發生溫度降低到 70-75°C 之間，就發生黏度值快速變化的趨勢，但再加熱澱粉就達到解體階段，黏度值即開始下降。

七、添加海藻酸鈉可以讓菱角糊出水率變小，菱角糊不會形成塊狀凝膠，因為添加海藻酸鈉可以阻止菱角澱粉糊化後直鏈澱粉和支鏈澱粉間的氫鍵形成，使菱角澱粉回凝出水現象減少，表示可以抑制菱角澱粉老化，但是添加比 0.75 以上，出水現象似乎就降到極限低值。

八、實驗時用自來水煮完海藻酸鈉與菱角糊後，容易在液面形成薄膜，表示水中的鈣離子會先和海藻酸鈉產生交聯反應產生薄膜，為了要避免此情形，所以我們使用逆滲透水來做實驗。

九、正向晶球做法是將海藻酸鈉-菱角糊的混合物滴入乳酸鈣中，可形成實心菱角晶球，由此可推測海藻酸鈉與菱角糊屬均勻散布，外層の乳酸鈣慢慢滲入與內部的海藻酸鈉產生交聯作用而形成晶球狀凝膠。

十、菱角晶球泡水保存時，晶球重量均增加，其中添加海藻酸鈉比例越高晶球重量變化越大，猜測可能是晶球內部的海藻酸鈉持續吸水導致重量增加。

十一、菱角晶球泡鹽水保存時，晶球變軟，重量少量增加，猜鹽水濃度越高，晶球重量變化越大，推測晶球內外產生的離子濃度差異不大，所以晶球內部的水不易滲出。

十二、菱角晶球泡糖水保存時，晶球重量會減少，外層膜有破裂情形，糖水濃度越高晶球重量減少越多，表示晶球內部可能有出水現象出現，造成水份往晶球膜外滲透，造成定形的膜內部縮小而破裂。

十三、菱角晶球泡在酸性溶液中保存時，晶球重量會減少很多，外層膜有破裂情形，表示酸性溶液會使晶球形成的膜不堅固，酸的濃度越高晶球重量減少越多，晶球變得越脆。

十四、反向晶球作用是將乳酸鈣與菱角糊混合液滴入海藻酸鈉中，先配出的混合液黏度較低，傾斜杯子可見菱角糊塊，使用滴管比較容易操作，但濃稠的海藻酸鈉會讓混合液體漂浮在上面，無法成球狀；若直接在海藻酸鈉內擠出，

成球性不佳。

十五、 反向晶球化做出的塊狀菱角糊在海藻酸鈉中靜置 60 分鐘後，在菱角糊外形成透明的膠體，表示菱角-乳酸鈣混合物的乳酸鈣慢慢析出，再與外面的海藻酸鈉發生交聯反應慢慢形成一層厚膜，最後將菱角糊包在內部。

## 陸、結論

本研究在探討菱角澱粉糊化特性及菱角澱粉透過海藻酸鈉及乳酸鈣交聯反應後產生的菱角晶球特性，透過本研究我們發現：

- 一、 烘乾溫度越高，菱角的顆粒越較少，糊化溫度會升高，黏度也會下降。
- 二、 海藻酸鈉在菱角粉中具有抗沉澱效果。添加 0.75% 以下海藻酸鈉菱角糊的糊化溫度及黏度變化不大，但 1% 海藻酸鈉菱角糊的糊化溫度會降低及黏度增加。添加海藻酸鈉可以使菱角糊的出水現象減少，延緩老化。
- 三、 正向晶球化做出的菱角晶球是實心的，海藻酸鈉比例太高，溶液太黏稠，不利成球性，但做出的晶球較軟。
- 四、 菱角晶球泡在水中，晶球重量變重，變軟；泡在鹽水中，晶球重量稍微增加，但變得柔軟；泡在糖水中，重量變輕，晶球變硬；泡在酸性溶液中，重量變輕，晶球變硬變脆。
- 五、 反向晶球做法不利晶球成形，但可形成保護菱角糊的透明層除可延緩老化，更可以讓菱角糊具有咀嚼的口感。

## 柒、參考資料

### 一、書籍

- 1、 傑夫·波特(2017)·廚藝好好玩·新北市：奇光。
- 2、 施韋慈、江伯源（2014）·以玉米澱粉與海藻酸鈉混合模式評估糊化及品質特性·農林學報，63（3），163-173。
- 3、 曾道一、賈宜琛（2011）·食品科學概論·新台市：新文京，135-150。
- 4、 徐明達(2013)·廚房裡的秘密-飲食的科學及文化·台北市：二魚，47-53。

5、施明智、蕭思玉、蔡敏郎(2013)·食品加工學,台北市:五南,423-432。

## 二、網路資料

1. 令人驚奇的分子料理是這樣來的:食品科學中的晶球技術(上)

<https://pansci.asia/archives/164992> 泛科學

2. 從炫技料理到可食用水球:食品科學中的晶球技術(下)

<https://pansci.asia/archives/165006>

3. 烘焙的科學(二)澱粉糊化

<https://www.masters.tw/167121/%E7%83%98%E7%84%99%E7%9A%84%E7%A7%91%E5%AD%B82>

4. 澱粉的糊化與老化 <http://blog.udn.com/how1012/6972775>

5. 家中自製巨型爆漿分子料理【LIS 實驗室】。Youtub 頻道--LIS 情境科學教材。2017/04/25。網址: <https://www.youtube.com/watch?v=dQ9QIHdQg>

## 三、科展資料

1、60屆全國科展·高級中等學校農業與食品科學·珍珠膜來膜去-天然快煮粉圓之研發。

2、59屆:「混」是「膜」王—探討海藻酸鈉及澱粉混和薄膜的特性。

3、54屆全國科展國中化學科·「泡膜」雲起「膜」登寶「澱」—澱粉起泡、成膜性質的探討及應用

4、58屆全國科展·國小化學組·鈣多晶球。

5、61屆高雄科展·國小生活應用組·粉完美替身。

6、61屆高雄科展·國小生活應用組·圓來如此~簡易湯圓製備及品質探討。

## 【評語】 080214

近年科展有不少海藻酸鈉的作品，但將菱角澱粉與海藻酸鈉混合研究，主題有趣實用，另有一翻新意。實驗中討論菱角澱粉如何製作以及添加海藻酸鈉和乳酸鈣產生的菱角晶球，可以提供了解菱角粉被加工後，改變不同口感，讓大眾更喜歡菱角，值得鼓勵。

一些建議：本工作改變變因，觀察菱角澱粉糊化性質及晶球化現象，變因很多，如能清楚說明為何做這些變因，及說明糊化性質及晶球化現象如何量測，並盡量解釋觀察結果和變因的關係，尤其是發生了什麼化學反應，又為何不用一般澱粉，一般澱粉和菱角澱粉有何差別等，更能讓讀者明瞭其研究動機，其他一些在撰寫上的小錯漏如圖 3 的 Y 軸數據被蓋掉等如能導正則更佳，又放置時間與保存時間需要討論。

## 作品簡報

# 中華民國第62屆中小學科學展覽

## 國小組 化學組

探討菱角澱粉糊化性質及  
晶球化作用

## 研究緣起與流程

優

菱角含豐富的醣類、蛋白質、脂肪、維生素B1、B2、C、E、F及礦物質鈣、磷、鐵等有益人體健康的成分。

劣

菱角直鏈澱粉含量高，很容易老化

科展研究主題  
~粉完美替身

科展研究主題~圓  
來如此（簡易湯圓  
做法及品質探討

分子料理DIY

文獻資料搜尋→討論訂定研究大方向

進行實驗設計、預試及探討變因訂定

## 探討菱角澱粉糊化性質及晶球化作用

烘乾溫度對菱角澱粉糊化性質的影響

- 使用顯微鏡觀察澱粉的顆粒形狀及大小
- 利用加熱器及黏度計測量黏度及糊化溫度

探討添加海藻酸鈉對菱角糊化性質的影響

- 由透光值的變化觀察澱粉液沉澱情形
- 利用加熱器及黏度計測量黏度及糊化溫度
- 利用出水率來判斷對澱粉老化的影響

正向晶球化作用~探討菱角晶球性質

- 不同比例海藻酸鈉做出的菱角晶球成球性及軟硬度測量
- 菱角晶球浸泡在不同溶液中的重量及軟硬度變化

反向晶球作用~探討菱角凝膠的特性

- 乳酸鈣與菱角糊混合物觀察
- 反向晶球作用產物性質探討（浸泡20分鐘及60分鐘）

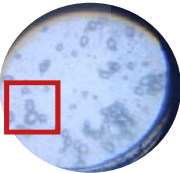

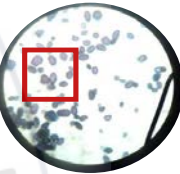
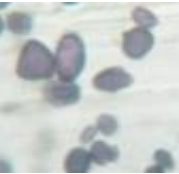
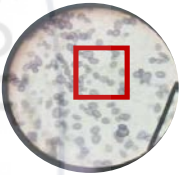
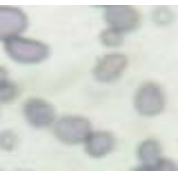
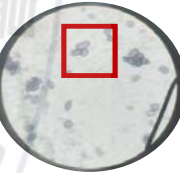
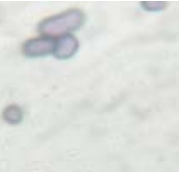
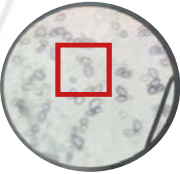
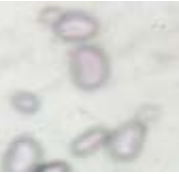


## 探討烘乾溫度對菱角澱粉的影響

- 利用複式顯微鏡觀察不同烘乾溫度取得的菱角澱粉顆粒形狀及大小

### 菱角澱粉製備流程

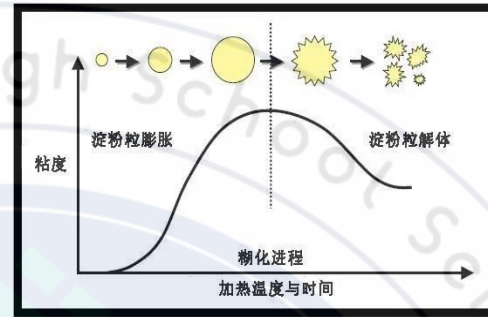
			
將 300g 菱角和水放入果汁機攪打	倒入袋中準備過濾	擠出汁液	澱粉液靜置
			
倒出上層的水	取出底層的菱角澱粉至鐵盤中	放入果乾機並設定溫度	乾燥過後的菱角澱粉

烘乾溫度	顯微鏡視野	微觀圖
生菱角 (對照組)		
40°C		
50°C		
60°C		
70°C		

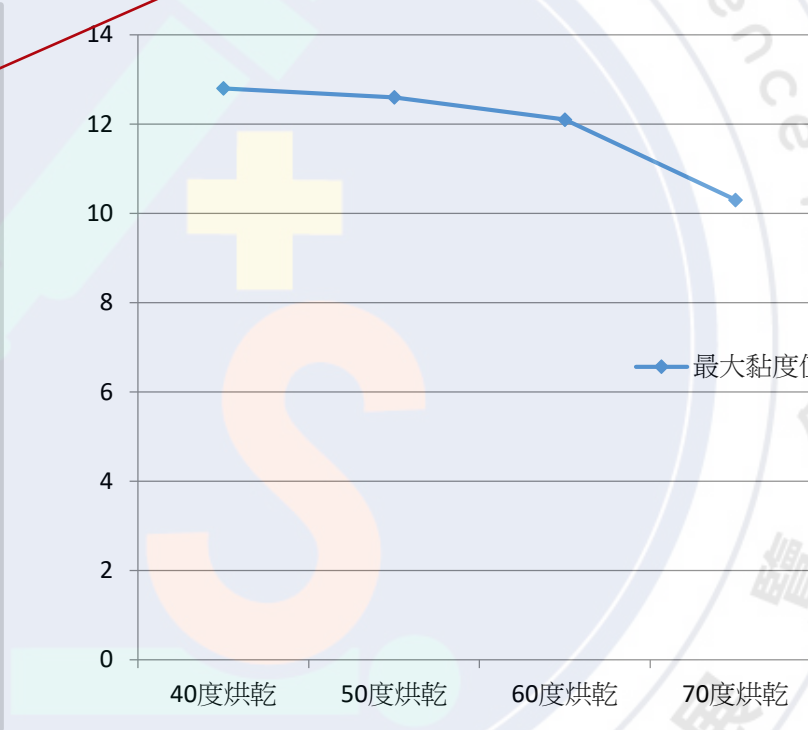
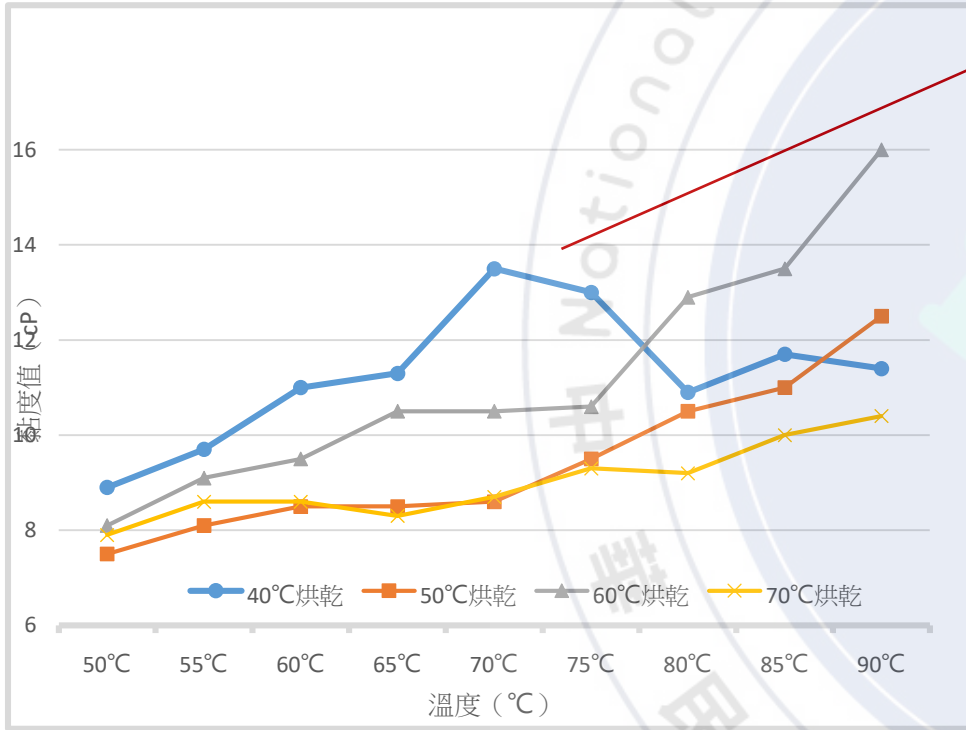
- ◆ 菱角澱粉顆粒形狀呈橢圓形。
- ◆ 烘乾溫度越高，所得的小顆粒澱粉越多。

# 不同烘乾溫度取得的菱角澱粉糊化溫度及黏度值

➤ 利用加熱器及黏度計測量不同烘乾溫度取得的菱角澱粉糊化溫度及黏度值



烘乾溫度40°C 得到的澱粉（澱粉黏度-溫度曲線）接近理論圖



- ◆ 烘乾溫度40°C得到的菱角澱粉糊化溫度在65°C—70°C。
- ◆ 烘乾溫度50°C-70°C得到的菱角澱粉糊化溫度在85°C—90°C

◆ 烘乾溫度越高，做出的菱角澱粉最大黏度值會下降。

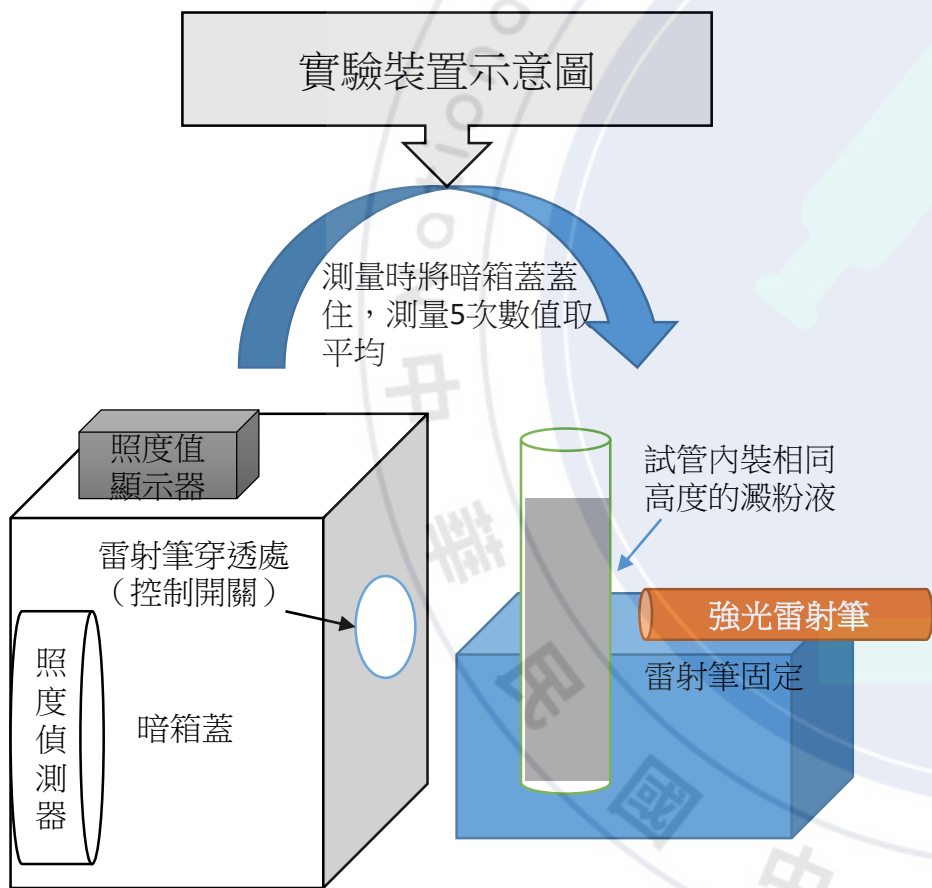
實驗裝置圖



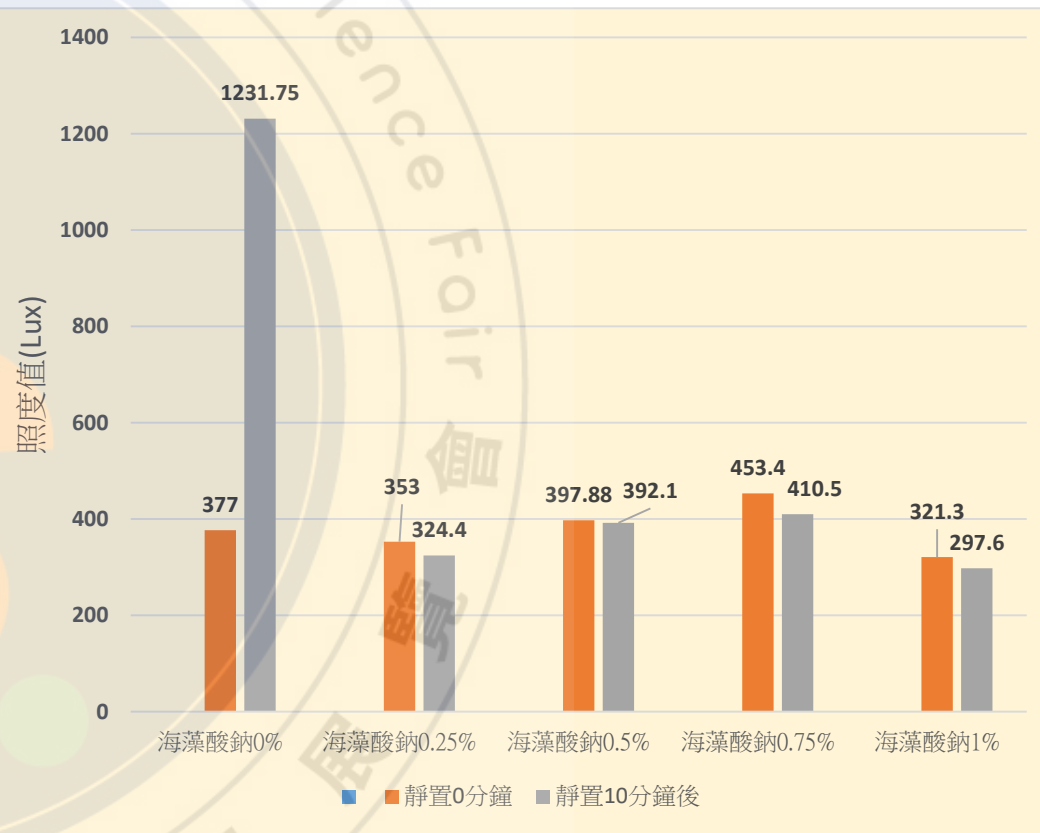
## 添加海藻酸鈉對菱角澱粉沉澱的影響

- 利用照度計及雷射筆測量溶液的透光值，了解溶液的沉澱情形

實驗裝置示意圖



## 加熱澱粉液比較不會燒焦



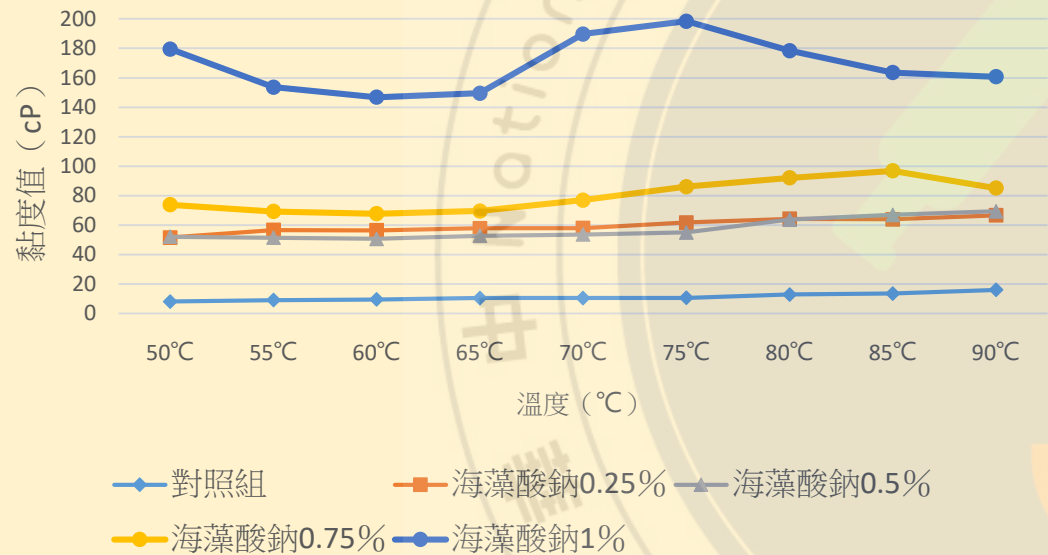
◆ 添加海藻酸鈉可以延緩澱粉沉澱，使未糊化的澱粉液均勻分散。

## 添加海藻酸鈉對菱角澱粉糊化溫度的影響

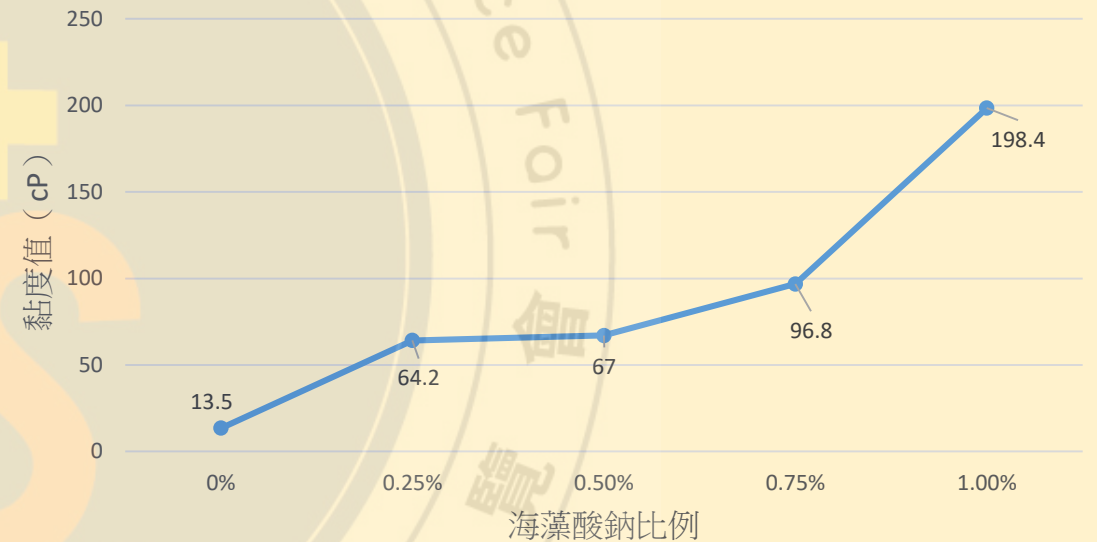
- 利用加熱器及黏度計測量不同烘乾溫度取得的菱角澱粉糊化溫度及黏度值

高濃度的海藻酸鈉會提高黏度值，降低糊化溫度。

海藻酸鈉添加比例對菱角糊化溫度的影響



添加海藻酸鈉對菱角糊最大黏度值的影響



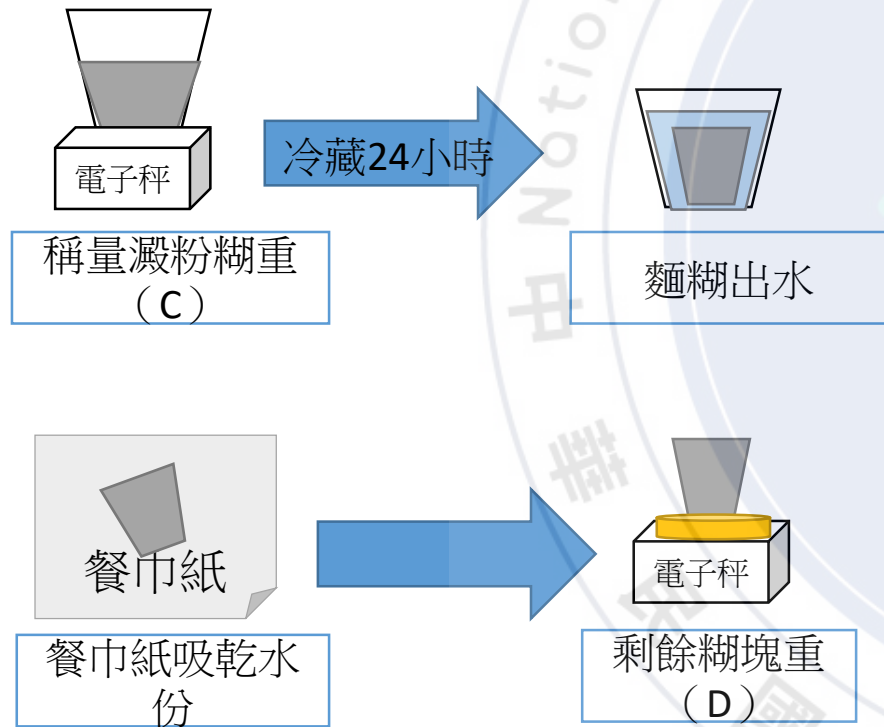
- ◆ 添加0.25%-0.75%海藻酸鈉，菱角粉的糊化溫度發生在75-80°C之間。
- ◆ 添加 1%海藻酸鈉，菱角粉的糊化溫度發生在70-75°C之間。

- ◆ 添加海藻酸鈉可以提高菱角糊的黏度。
- ◆ 海藻酸鈉添加比例1%會使黏度值快速提高。

## 添加海藻酸鈉對菱角澱粉出水的影響

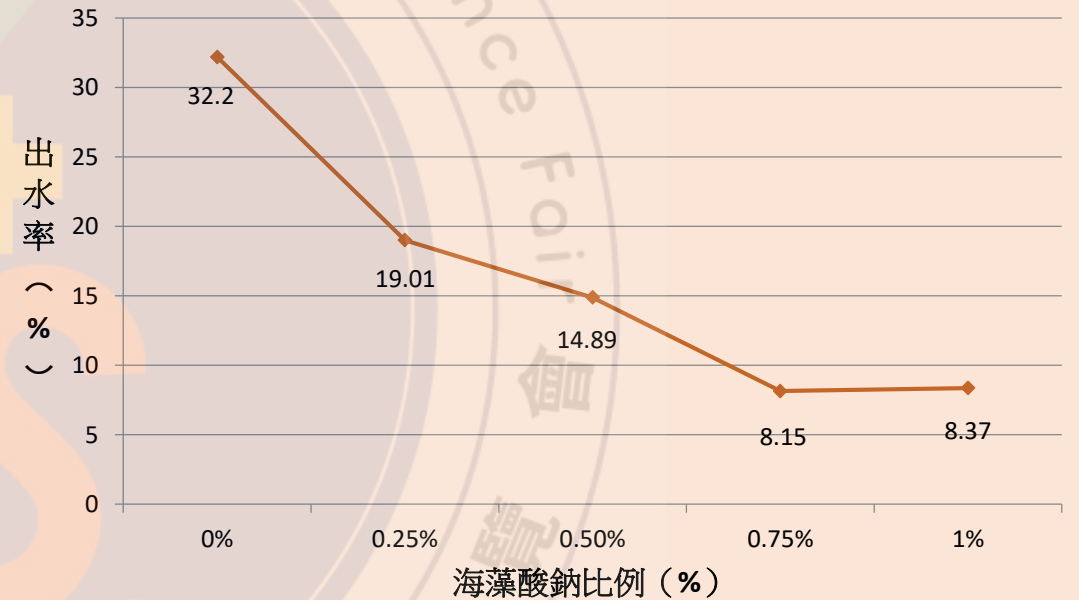
海藻酸鈉可有效阻止氫鍵形成，延緩老化。

測量出水量實驗步驟



$$\text{出水率} = (C - D) / C \times 100\%$$

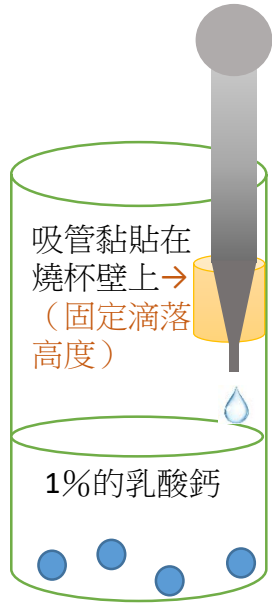
## 海藻酸鈉對菱角糊出水的影響



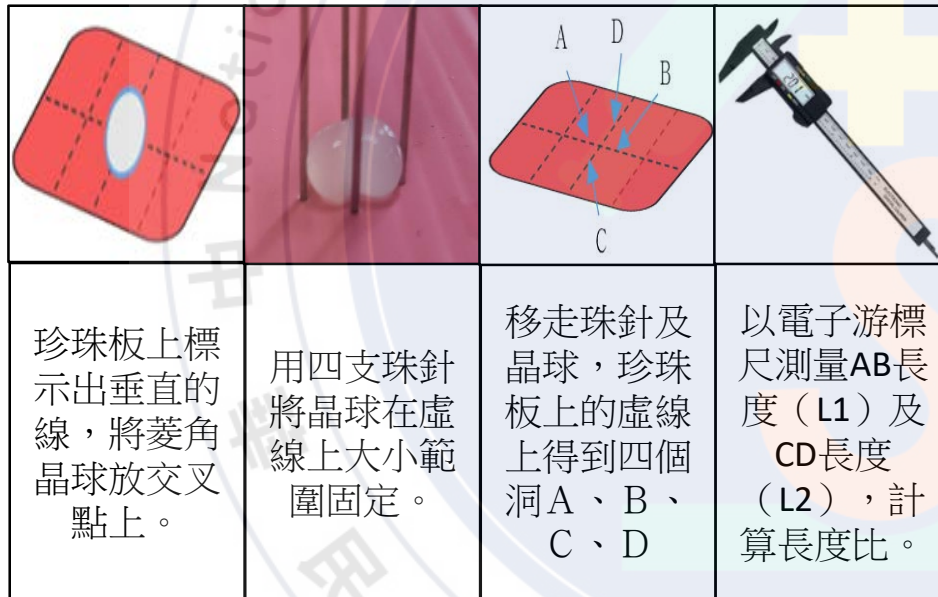
- ◆ 添加海藻酸鈉可以減少菱角糊的出水現象。
- ◆ 添加比例越高，出水率越小。
- ◆ 但添加比例超過0.75%時，澱粉糊已不容易形成塊狀。

# 探討正向晶球化作用

晶球製備圖



晶球成球性判斷



$$\text{長度比} = (L1/L2) * 100\%$$

判斷標準：長度比低於1.1以下視為球形。

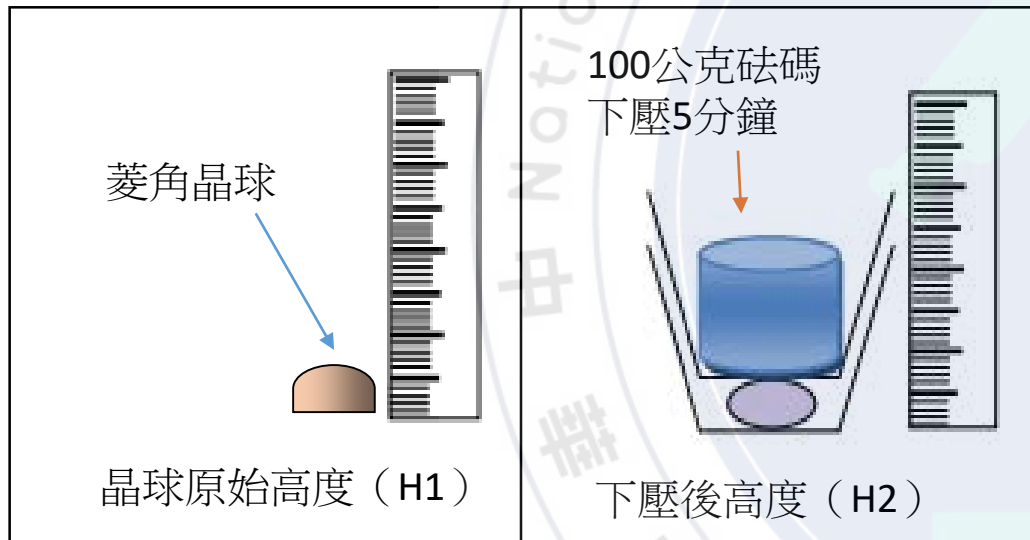
海藻酸鈉比例 觀察項目	成品	實心或空心	成球率 (總數 20 顆)
海藻酸鈉 0.25%		實心	50% (10 顆)
海藻酸鈉 0.5%		實心	45% (9 顆)
海藻酸鈉 0.75%		實心	35% (7 顆)
海藻酸鈉 1%		實心	10% (2 顆)

- ◆ 菱角晶球為實心球體。
- ◆ 海藻酸鈉濃度越高，因糊化後溶液黏度增加，不利於球形晶球的塑形。

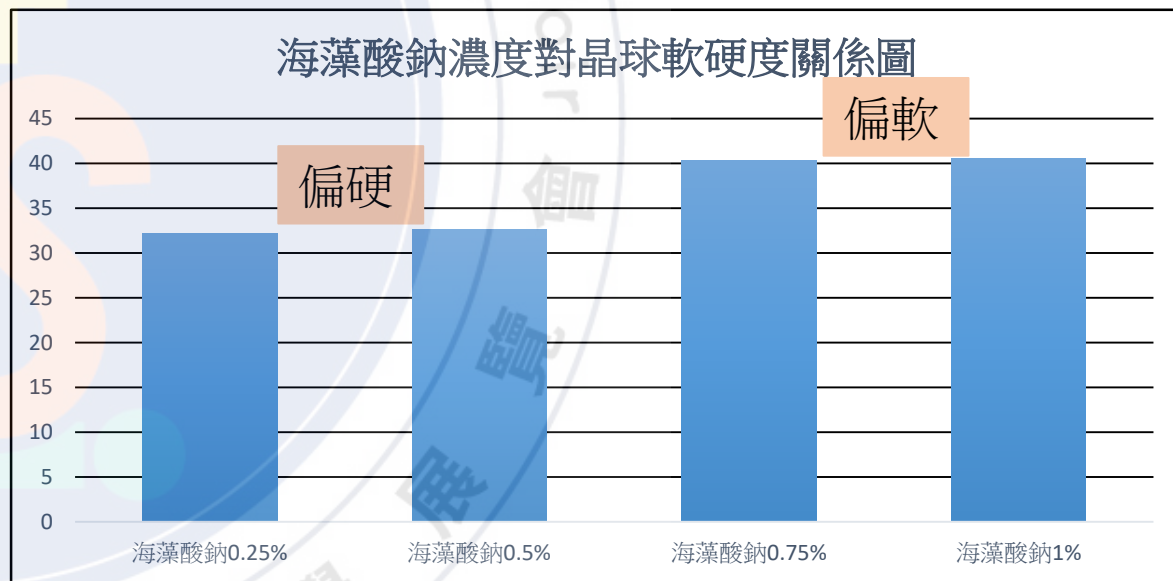
# 探討菱角晶球的軟硬度

海藻酸鈉濃度越高，晶球偏軟。

## 晶球軟硬度判斷



海藻酸鈉 比例 觀察項目	海藻酸鈉 0.25%	海藻酸鈉 0.5%	海藻酸鈉 0.75%	海藻酸鈉 1%
高度變化率	32.14%	32.64%	40.29%	40.51%



$$\text{高度變化率} = (H1 - H2) / H1 * 100\%$$

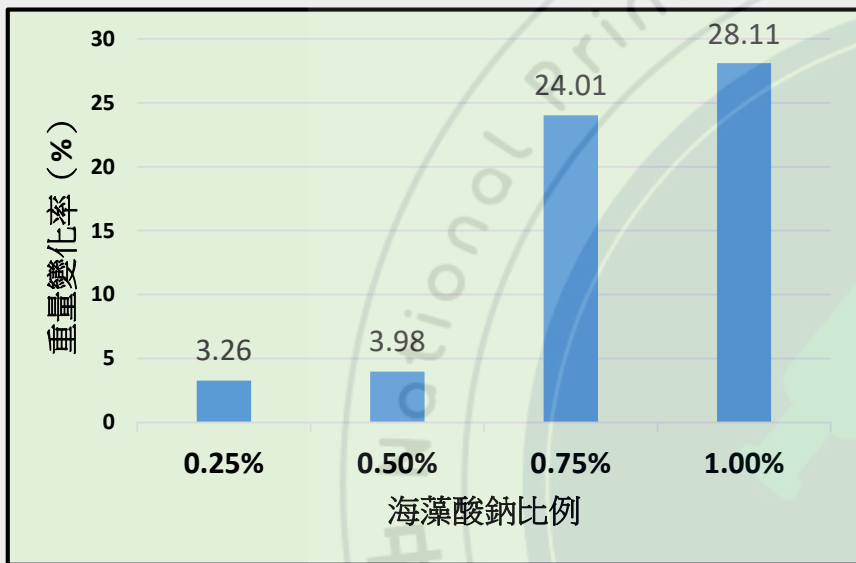
高度變化率越小，代表晶球越硬，不易形變。

高度變化率越大，代表晶球越軟，容易形變。

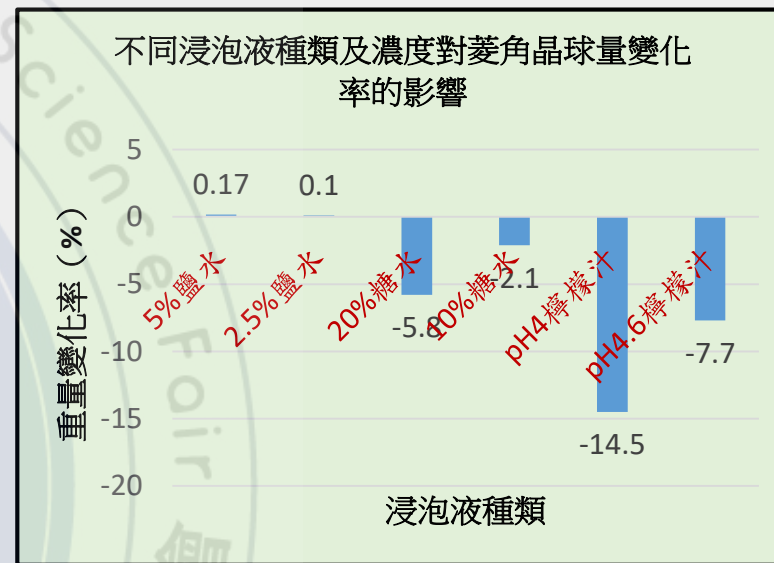
◆ 添加海藻酸鈉比例會影響到晶球的軟硬度，添加 0.75%、1% 海藻酸鈉做出的晶球偏軟。

# 菱角晶球在溶液中冷藏保存24小時後的情形

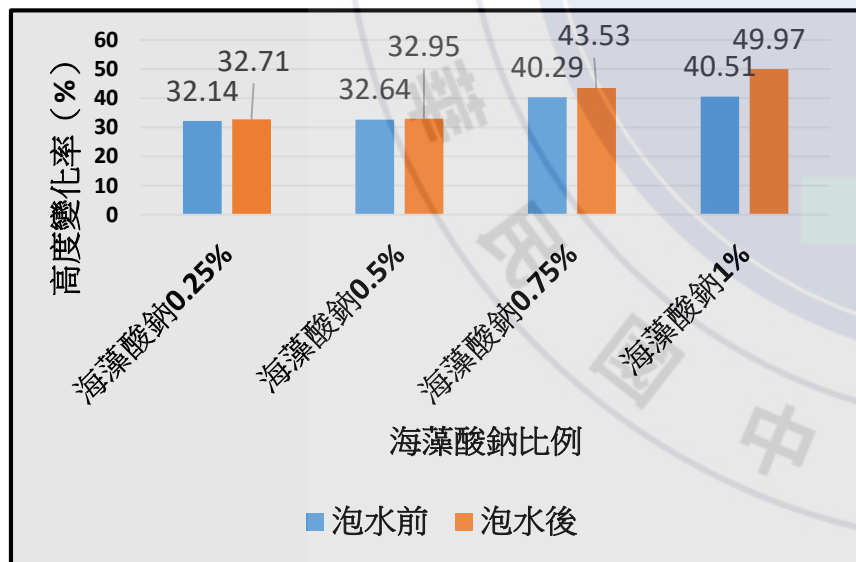
## 晶球重量變化



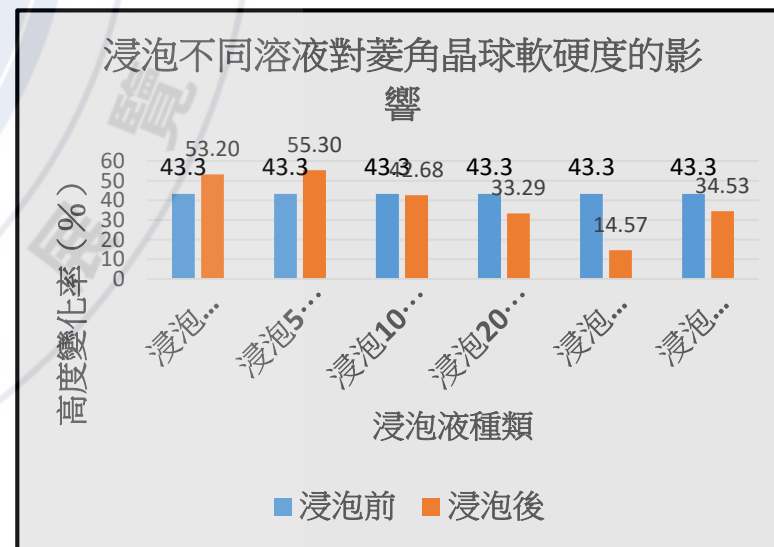
- ◆ 晶球變重：  
純水 海藻酸鈉濃度越高越重  
鹽水 (5% > 2.5%)
- ◆ 晶球變輕：  
糖水 (20% > 10%)  
檸檬汁 (pH4 > pH4.6)



## 晶球軟硬度






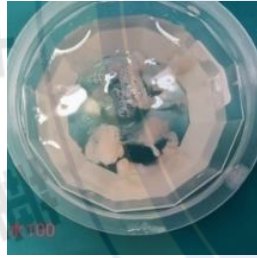

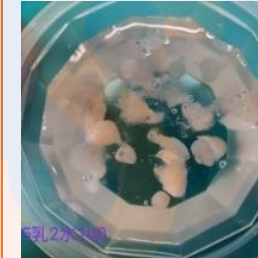



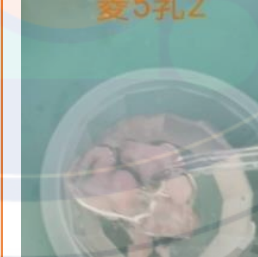


- ◆ 晶球變硬：  
糖水 (20% > 10%)  
檸檬汁 (pH4 > pH4.6)  
晶球變脆破裂
- ◆ 晶球變軟：  
泡水稍微變軟  
鹽水 (2.5% > 5%)

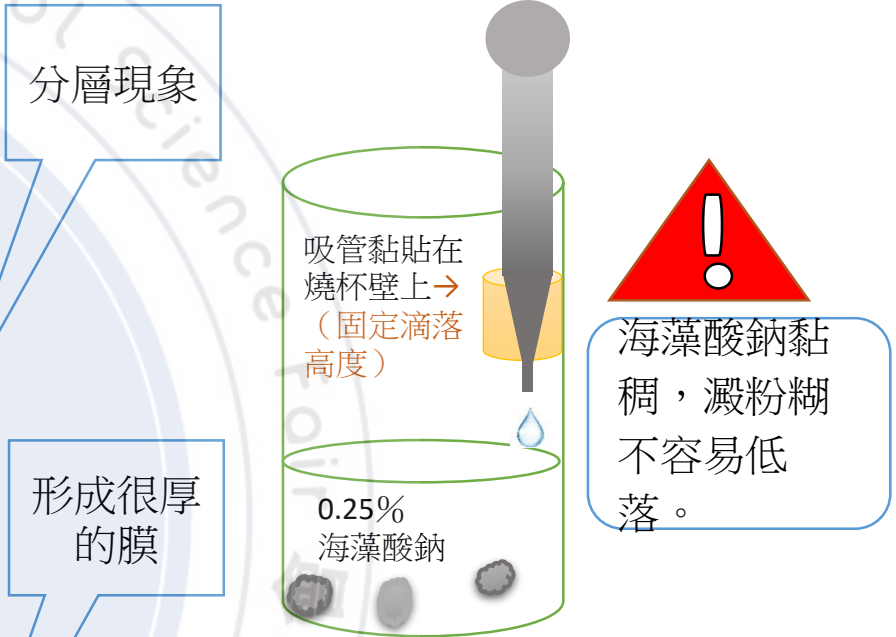




# 探討反向晶球化作用～菱角凝膠性質

比例	乳酸鈣 0.2%	乳酸鈣 0.4%	乳酸鈣 0.6%	乳酸鈣 0.8%
混合物的糊 化情形				
浸泡 20 分鐘				
浸泡 60 分鐘				

實驗裝置圖



- ◆ 乳酸鈣溶液會游離在菱角糊間，造成菱角糊有分層的不均勻狀。
- ◆ 添加乳酸鈣超過0.6%，會有白色乳酸鈣析出。
- ◆ 由反向晶球法無法形成球狀的晶球，可形成塊狀凝膠

## 研究結果可應用在食品加工方向探討

### 菱角澱粉製備

- 使用果乾機快速加工
- 烘乾溫度可改變糊化性質

### 海藻酸鈉延緩菱角澱粉沉澱

- 即食菱角糊濃湯  
(仿玉米濃湯包)

### 海藻酸鈉延緩菱角糊老化

- 減少菱角卡士達醬出水

### 菱角晶球製備

- 即時晶球取代傳統珍珠
- 可浸泡保存

### 菱角凝膠製備

- 補充能量的凝膠

低IG值食物

解決產量過剩問題



增加農產品的經濟價值

在不同加工品中攝取菱角的營養

# 敬請評審老師指導！