

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 農業與食品學科

第一名

052211

彩虹晶球-鳳梨珍珠之研發

學校名稱：國立民雄高級農工職業學校

作者： 職二 魏珮芯 職一 吳政緯 高二 王滋頤	指導老師： 王俊雄 楊家勝
---	-----------------------------

關鍵詞：晶球、鈣、鳳梨

得獎感言

科展之路

站在比賽會場等待評審到來那一段漫長時間的心情似乎還歷歷在目。因為和同伴們與指導老師對此投入的心力極大—沒完沒了無邊無際的實驗、數據分析、修正、撰寫報告書、做海報，甚至在桃園的飯店裡，都還是一刻也不敢耽擱的練習—所以對得獎的渴望才會越發強烈。緊張是必然的，更多的是面臨決戰時混雜著「終於要來做個了結了！！」與「終於可以解脫了！！」的腎上腺素飆升的詭異興奮感。

但當評審在作品前面站定，講解的第一句話從自己口中吐出來後，腦袋卻奇妙的把所有雜七雜八的思緒用強大的力量通通屏蔽，心中只剩下作品以及自信。自信這些日子的努力不會付諸東流，自信自己的作品一定是最優秀的。不都演練過了嗎，有什麼好怕的。這樣的情緒像有魔力一樣，輕輕緩緩的滲入血液裡循環到全身上下，使大腦開始運轉，使手腳不再僵硬。

回想起做實驗時的種種，不斷的重複，不斷的修正，一改、再改、三改、四改。老師犧牲自己的時間陪著我們、帶著我們、指導我們，使整個研究內容充實、加深、加廣。成就感並不單單只是來自得獎，更多的是和夥伴們完成了一項研究的滿足。在磕磕絆絆中學著使邏輯更加清晰、視野更加寬廣、心思更加遼闊，相信我們投入了時間與心力，結果就不會一無所有。

感謝一路上支持著我們的老師、父母以及朋友，沒有這些幫助，我們的研究不會完成。謝謝你們，真得辛苦了！！



廢棄蛋殼乾燥後，放入粉碎機中打成粉末，將食醋放入粉末中，找出鈣源。



以推拉力計整合 CNC 雕銑機自製物性測定儀，測試晶球之物性。



第四區分區賽獲得特優合影，代表該區參加全國賽。

壹、摘要

首先，本研究利用食醋及蛋殼為原料，萃取出天然的鈣離子溶液，以更天然的鈣源來取代化學合成的鈣源，一樣可製作出晶瑩剔透的晶球。經實驗證明，滴管頭之口徑會影響晶球粒徑之大小；而滴管頭距離液面之高度會影響晶球之形狀。在浸漬時間固定之條件下，調整鈣溶液的濃度，可控制晶球凝膠率及物性；而在鈣溶液濃度固定之條件下，調整浸漬時間，可控制晶球凝膠率及物性。鳳梨果漿鈣之含量很低，經加工製作成鳳梨珍珠，其鈣之含量會明顯升高，進而影響消費者之喜好性，受試者對浸漬鈣溶液 30 分鐘的鳳梨珍珠，則較明顯的喜好性。最後，我們應用自行設計組裝完成的自動化機械，以當季蔬果為原料，皆可順利製作成彩虹晶球般的蔬果珍珠。

貳、研究動機與目的

一、研究動機

1. 因為過去的珍珠毒澱粉事件讓珍珠奶茶讓大家喝的又驚又喜，不但喝不到健康，還喝進了一堆對身體有害的物質，所以我們自己決定研發讓大家能夠喝的開心又能喝的健康的蔬果珍珠。
2. 目前市面上並沒有能夠生產這種蔬果粉圓的機器，所以我們決定設計組裝自動化機械，能快速且大量的生產天然健康的蔬果珍珠。



二、研究目的

- (一) 希望以天然的鈣源來取代化學合成的鈣源，製作出更天然、更健康的晶球。
- (二) 探討液滴形成條件與晶球凝膠因子，做為設計自動化機械之依據。
- (三) 自行設計組裝自動化機械，希望能穩定地、快速地、大量地的製作鳳梨珍珠。
- (四) 希望能以各種當季的蔬果為原料，使用自製的自動化機械，將各種蔬果製作成彩虹晶球般的蔬果珍珠。

參、研究過程與方法

一、文獻回顧

(一) 晶球 ⁽¹⁾⁽⁷⁾

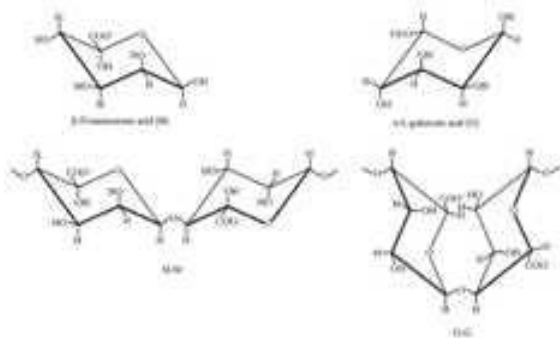
所謂的分⼦食物 (Molecular gastronomy) 是指把可食用的化學物質進行組合或改變食材分⼦結構，再重新組合。起源於歐洲的分⼦食物種類繁多，其中晶球化反應之產品與台灣之珍珠粉圓外觀十分相似如右圖所示。將食材加海藻酸鈉攪拌均勻成海藻酸鈉溶液，裝入注射容器中，以推擠方式將小顆狀的液體滴入鈣離子溶液內，形成具特殊風味的小珍珠。當海藻酸鈉溶液滴入鈣離子溶液中，海藻酸鈉與鈣離子接觸會結合成膠狀物，而形成一顆顆以薄膜包圍液體的球狀物。



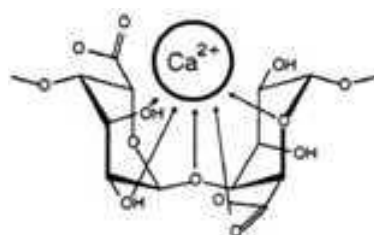
(二) 海藻酸鈉 ⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁸⁾

海藻酸主要來自褐藻抽出之天然多醣聚合物，其在加工應用上，常被經離子交換步驟製得海藻酸鈉。海藻酸鈉是由 D-甘露醣醛酸 (D-mannuronic acid) 及 L-古羅醣醛酸 (L-guluronic acid) 鍵結而成之線性高分子多醣類聚合物。

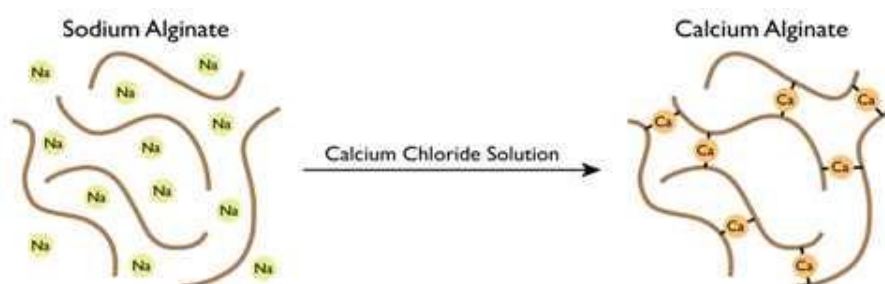
海藻酸鈉凝膠需要二價以上金屬離子的添加，其中以鈣離子的架橋作用最常被使用，鈣與鄰近兩分⼦間的兩個羧基和羥基的氧原子連接而成，形成三度空間網狀膠體結構-蛋盒模式 (egg-box model)，可將欲包圍物存於膠體之空隙空間中。



海藻酸鈉之結構式



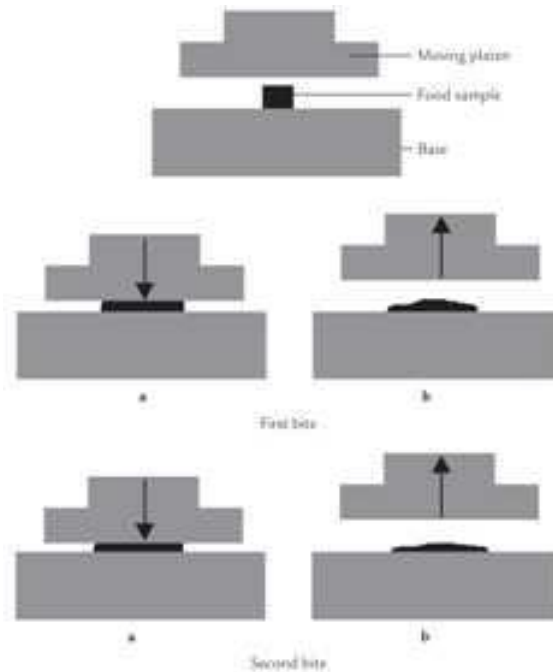
鈣與海藻酸形成蛋盒模式



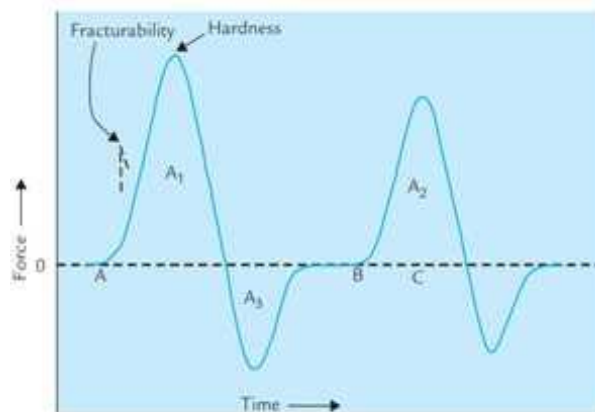
鈣離子取代了鈉離子與海藻酸鈉鍵結形成三度空間網狀膠體結構

(三) 食品質地分析 ⁽²⁾⁽¹¹⁾

對於食品的質地之描述，通常是透過一些抽象的形容詞來描述，通常是主觀的、抽象的、粗略的概念，很難客觀的、具體的、精準的加以描述。1861年，德國人設計出世界上第一台食品品質特性測定儀，用來測定膠狀物的穩定程度。之後，Szczeniak 等人於1963年確定了綜合描述食品質構曲線解析法(Texture Profile Analysis；TPA)。從TPA質構曲線中我們可以得到與人的感官評價相關的質構特性參數。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，如下圖所示。

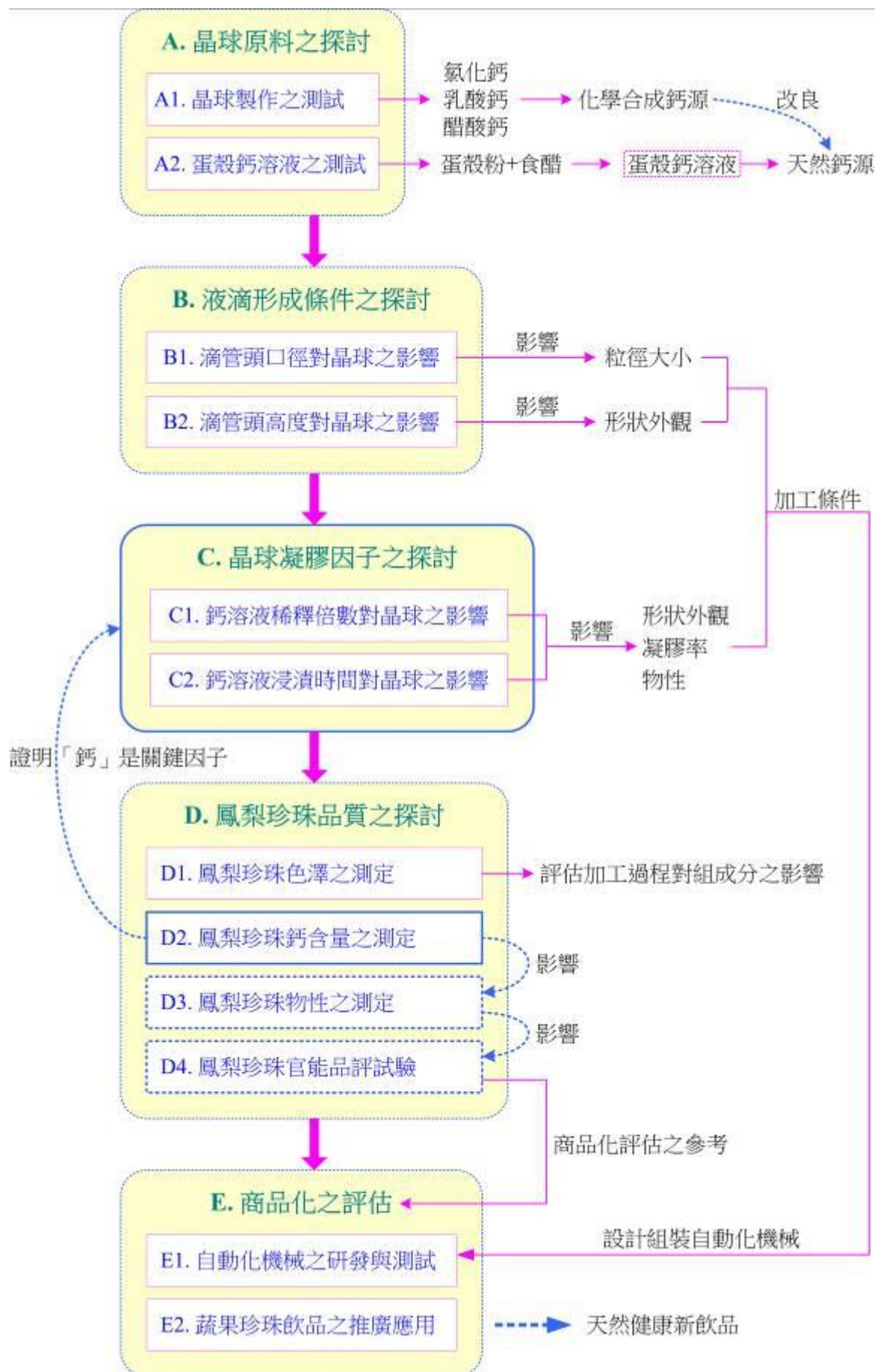


對於食品之物性若想科學化呈現，必須藉由物性測試儀(Texture Analyser)進行測試，經電腦紀錄並呈現量化之數據與圖形。通常物性測試可呈現多種質地參數，如：硬度(Hardness)、酥脆性(Fracturability)、黏聚性(Cohesiveness)、黏著性(Adhensiveness)、彈性(Springiness).....。硬度是最直接反應口感的一項指標，在質地剖面分析中，第一次下壓區段內最大力量值，如下圖所示。



第一次壓縮時的最大峰值即為硬度

二、研究架構



三、設備與材料

(一) 設備



電子秤
DERHER BBAX-600
(Taiwan)



四位數天秤
AND CR-120
(Japan)



筆記型電腦
acer 4730ZG
(Taiwan)



單眼相機
NIKON D700
(Japan)



粉碎機
RT-02A
(Taiwan)



真空抽出器
ASPIRATOR AS-3
(Taiwan)



色差儀
Lovibond LC-100
(UK)



均質機
SHIN KWANG MACHINERY
HM-0025
(Taiwan)



pH計
OHAUS STARTER-3100
(USA)



離心機
HISANGTAI CENTRIEUGE
(Taiwan)



火焰式原子吸收光譜儀
PE PinAcle 900F
(USA)



微波消化器
CEM MARS Xpress
(USA)



影像量測儀
METRLOGY IMI 300
(Taiwan)



推拉力計
Lutron FG-5005
(Taiwan)



CNC三軸車銑機
森禾 SH-850
(Taiwan)



熱風乾燥機
(Taiwan)

(二) 材料：

1. 海藻酸鈉。(Choneye, Taiwan)
2. 氯化鈣、乳酸鈣、醋酸鈣。(Choneye, Taiwan)
3. 食醋(糯米醋)。(大安工研食品工廠股份有限公司)
4. 蛋殼。
5. 番茄、南瓜、菠菜、紅蘿蔔、紫色高麗菜。
6. 鳳梨、木瓜、火龍果、橘子。

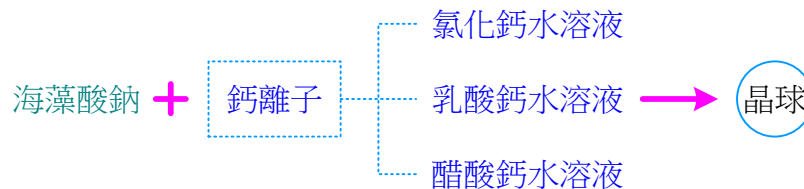
四、研究方法

A. 晶球原料之探討

【實驗A1】晶球製作之測試

前言：

本實驗擬進行自製晶球可行性之評估。



步驟：

1. 參考相關文獻之方法⁽⁸⁾，配製1%海藻酸鈉水溶液100ml。另分別配製1%的氯化鈣、乳酸鈣、醋酸鈣水溶液各100ml。
2. 以塑膠針筒，吸取1%海藻酸鈉水溶液1ml固定於鐵架上，分別滴入氯化鈣、乳酸鈣、醋酸鈣水溶液中，裝置如右圖所示。
3. 經1分鐘後以濾網撈出，並置入蒸餾水中清洗3次瀝乾，觀察並拍攝晶球。



結果：

如圖 1 所示，將海藻酸鈉水溶液，分別滴入氯化鈣、乳酸鈣、醋酸鈣水溶液中，均可成功自製出透明的晶球。

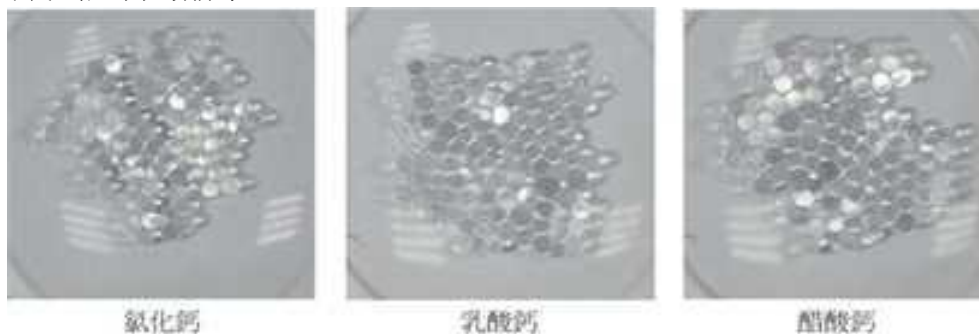


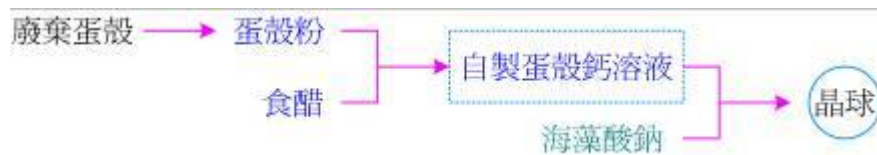
圖 1. 成功自製出透明的晶球

討論：

1. 我們藉由本實驗初步印證，利用海藻酸鈉與含鈣離子的水溶液反應，自製晶球確定是可行的。
2. 但是鈣離子的來源是氯化鈣、乳酸鈣、醋酸鈣等化學合成物質，我們覺得可以尋找更天然、更健康且更便宜的鈣源。

【實驗A2】蛋殼鈣溶液之測試

前言：經討論決定以廢棄蛋殼與食醋自製蛋殼鈣溶液，取代氯化鈣、乳酸鈣、醋酸鈣溶液做為鈣源，並測試自製晶球之可行性。



步驟：

1. 將蛋殼以100°C 乾燥1小時，乾燥後的蛋殼置入粉碎機中打成粉末。
2. 將食醋加入蛋殼粉，浸漬3日製成飽和溶液（溶液底部仍有大量未溶解的蛋殼粉）。
3. 離心處理（6000 rpm，20分鐘），吸取上層澄清液即為蛋殼鈣溶液。



4. 同【實驗A1】之方法，測試自製蛋殼鈣溶液製作品球之可行性。

結果：

1. 如圖 2A 所示，利用廢棄的蛋殼，經乾燥、粉碎、萃取、離心等處理後，即可自製出澄清透明的蛋殼鈣溶液。
2. 如圖 2B 所示，將海藻酸鈉水溶液加入自製的蛋殼鈣溶液中，一樣可以製作出晶球。



圖 2. 利用自製蛋殼鈣溶液製作品球

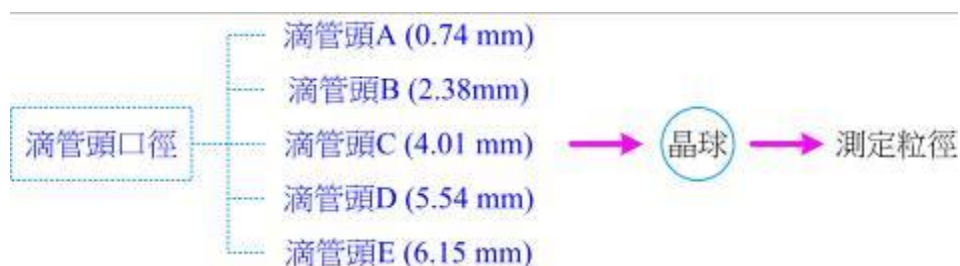
討論：

1. 由本實驗證明，自製的蛋殼鈣溶液，一樣可使海藻酸鈉水溶液迅速凝膠，成功製作出透明的晶球。
2. 本實驗自製的蛋殼鈣溶液，所用之食醋主成分是醋酸，我們採用國家標準CNS 8626 N6167滴定法⁽¹⁰⁾測得醋酸酸度為5.17%；採用pH計測得pH2.80。雖然醋酸是一種弱酸，且食醋中僅含5.17%的醋酸，但溶出的鈣離子已足夠使海藻酸鈉在短時間凝膠。

B. 液滴形成條件之探討

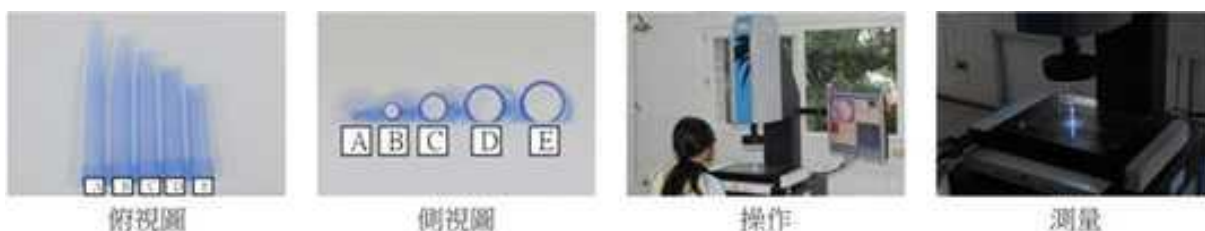
【實驗B1】滴管頭口徑對晶球之影響

前言：本實驗參考相關的文獻之方法⁽⁵⁾⁽⁶⁾，預期利用不同的滴管頭口徑，可產生不同粒徑之液滴，進而形成不同粒徑之晶球。



步驟：

1. 首先將滴管頭(具錐度)，每間隔 8mm 裁切成五種不同口徑的滴管頭，並利用影像量測儀測量口徑大小，如下圖所示。



2. 同【實驗 A1】之方法，滴入自製的蛋殼鈣溶液(稀釋 10 倍)中製作晶球。
3. 隨機夾取 30 顆晶球，整齊排列在邊長 1cm 方格中心，在固定條件下拍攝晶球外觀。
4. 利用 photoshop 與 Excel 軟體測量計算出晶球之直徑。

結果：

如圖 3、圖 4 所示，隨著滴管頭口徑之遞增，晶球粒徑隨之遞增。

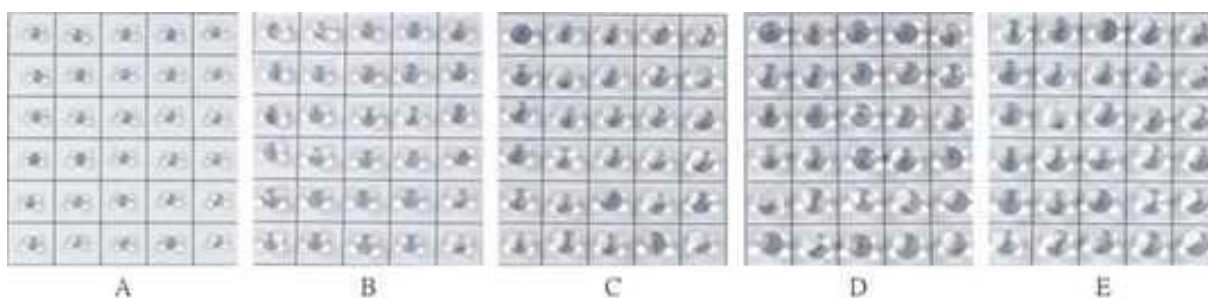


圖 3 不同的滴管頭口徑產生不同大小之液滴

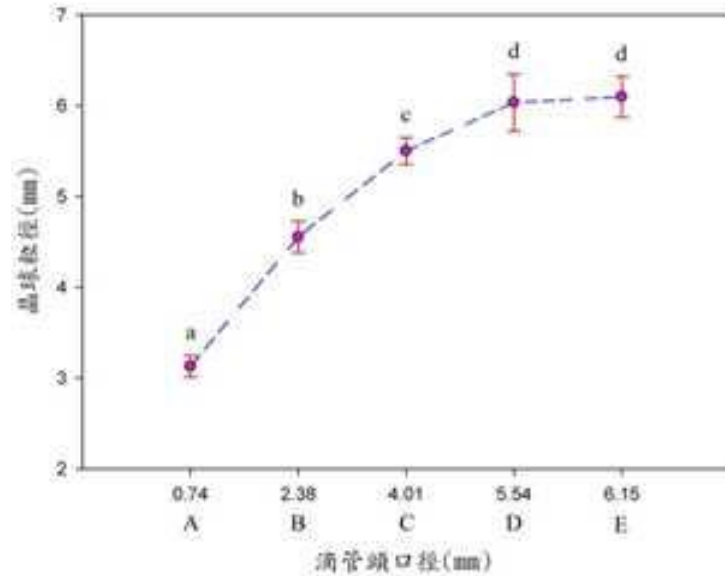


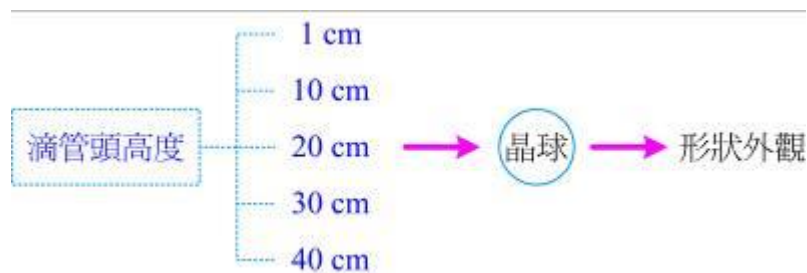
圖 4 不同的滴管頭口徑產生不同粒徑之液滴

討論：

1. 由實驗結果證明，滴管頭口徑會影響晶球粒徑之大小。
2. 由實驗結果顯示，雖然「滴管頭 D」、「滴管頭 E」產生晶球之粒徑較大，但晶球之粒徑大小較不穩定。因此，本研究之後的實驗，皆採「滴管頭 C」。

【實驗B2】滴管頭高度對晶球之影響

前言：我們由實驗過程發現，晶球並非全部皆為圓球體，有時會出現有尾巴的晶球，我們預期調整滴管頭距離液面之高度，可能會影響到晶球之形狀外觀。



步驟：

1. 將滴管頭距離液面之高度，分別調整為 1cm、10cm、20cm、30cm、40cm。
2. 使用單眼相機設定高速快門，拍攝液滴離開滴管頭降落過程之形狀外觀。

結果：

1. 如圖 5 所示，液滴剛離開滴管頭開口時，液滴會拖出長長的尾巴，離開一段距離之後，液滴才會形成圓球體。
2. 由圖 6 所示，滴管頭距離液面之高度若是不同，則會形成不同形狀的晶球，當滴管頭距離液面之高度是調整在 10~30cm，會形成圓球形的晶球。

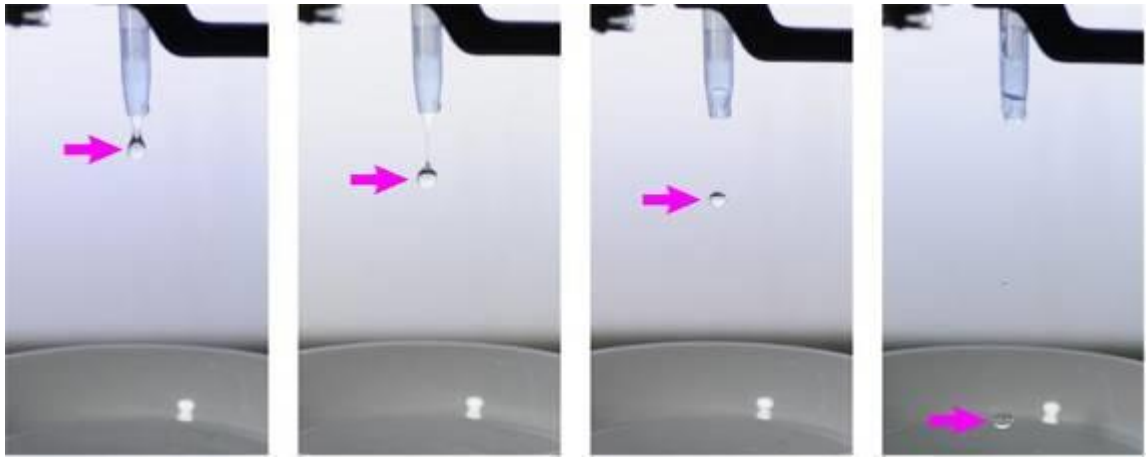


圖 5 液滴降落過程中會呈現不同形狀

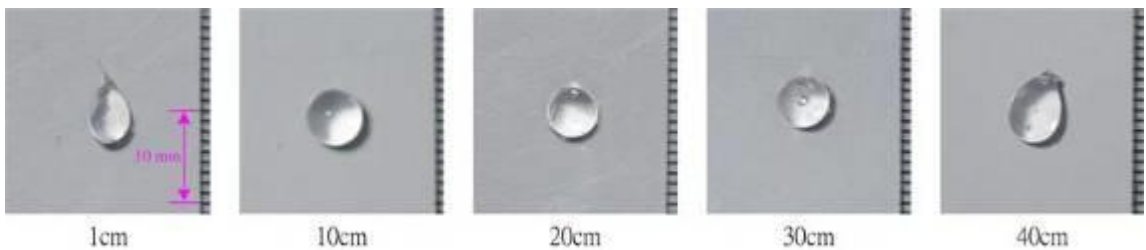
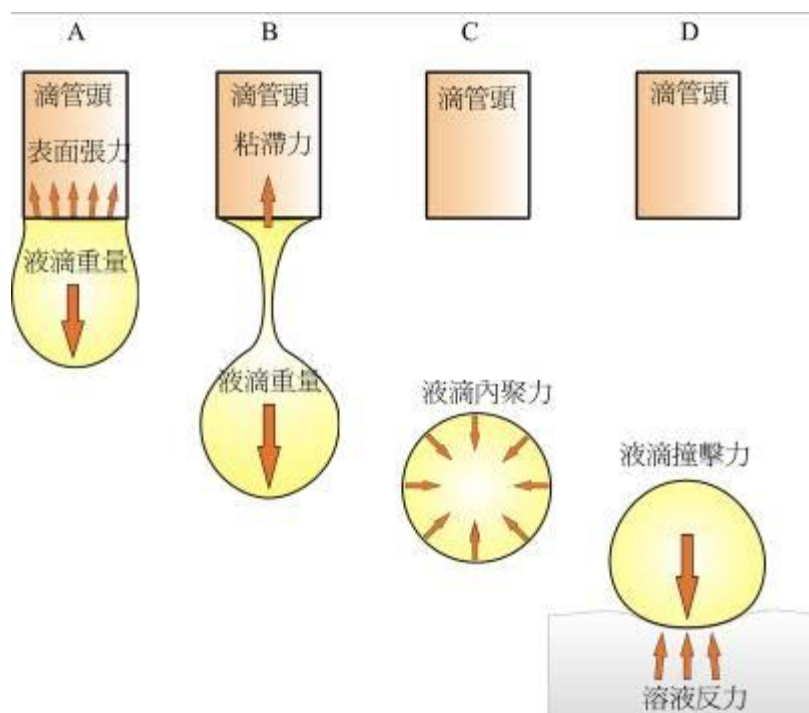


圖 6 滴管頭高度對晶球形狀之影響

討論：

1. 液滴降落過程中會呈現不同形狀，主要是因各種力的交互作用所致，如下圖所示。
 - (1) 當液體從滴管頭內被擠出來時，在管口因表面張力的作用而形成液滴狀。
 - (2) 當液滴的重量比表面張力大時，液滴會往下掉可是因液滴與管壁有黏滯力，造成初期的液滴會有拖尾巴的現象，掉到溶液裡，晶球形狀就不圓，會有尾巴。
 - (3) 當液滴離開管口一段時間後因內聚力的作用，使液滴的尾巴消失，形狀近似球形。
 - (4) 當液滴掉到溶液裡，如果距離較遠撞擊力較大時，晶球就會變形。



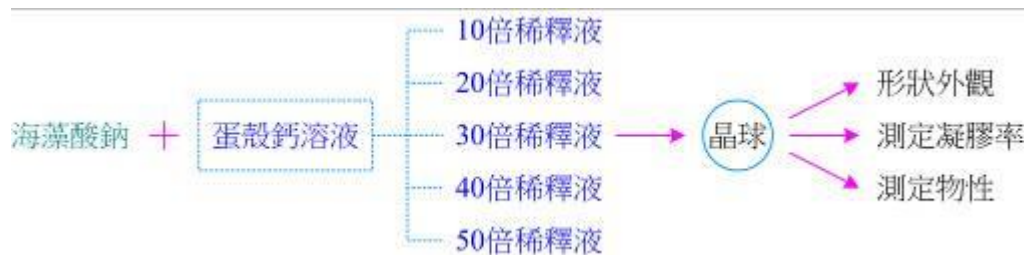
2. 由本實驗結果顯示，當滴管頭距離液面之高度調整在 10~30cm，會形成圓球體的晶球。因此，本研究之後的實驗，滴管頭距離液面之高度都是調整在 10cm。

C. 晶球凝膠因子之探討

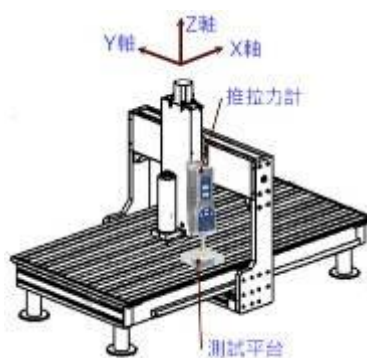
【實驗C1】鈣溶液稀釋倍數對晶球之影響

前言：

1. 本實驗想要探討海藻酸鈉與蛋殼鈣溶液凝膠反應時，蛋殼鈣溶液到底要稀釋幾倍才適當？本實驗探討蛋殼鈣溶液稀釋倍數如下：



2. 本實驗欲測試樣品是粒徑僅約5mm的晶球，學校現有的推拉力計配合電動升降台，無法精準控制探頭貼近載物平台至1~2mm，若勉強進行測試恐造成儀器損壞。
3. 我們利用學校小型CNC雕銑機，這是一台桌上型CNC 數值控制機械，其人機介面與控制器是由PC 電腦代替，一般的數控機械作動，係由數控碼資料轉換成指令而作動，因CNC雕銑機運動單元是使用步進馬達與高精密滾珠導螺桿，所以移動速度與距離可以很精確的控制。
4. 「自製物性測試儀」：將推拉力計安裝在CNC雕銑機Z軸移動的方向上，使得推拉力計可以在Z軸方向上下移動。接著撰寫控制Z軸移動的程式，使推拉力計做上下精準移動。為了可以得到受力波形，我們將推拉力計連接到電腦，把推拉力計受力的資訊經由傳輸線匯入到電腦裡，以利實驗分析比較，如下圖所示。



步驟：

A. 外觀形狀

1. 將自製的蛋殼鈣溶液加水稀釋，分別配成10、20、30、40、50倍的稀釋液。
2. 同【實驗A1】之步驟，分別利用10、20、30、40、50倍的稀釋液製作晶球，皆浸漬蛋殼鈣溶液1分鐘，拍攝觀察其形狀外觀。

B. 凝膠率之測定

1. 隨機夾取5顆晶球，以電子天平精確取樣品重量。置於改良型抽氣裝置上，以小剪刀剪破晶球，抽除其液體，再以電子天平精確取樣品凝膠重量，如下圖所示。



2. 凝膠率之計算：
$$\text{凝膠率}(\%) = \frac{\text{凝膠重量}(\text{g})}{\text{樣品重量}(\text{g})} \times 100\%$$

C. 物性之測定

1. 自製物性測定儀：推拉力計整合 CNC 雕銑機（可精準控制上下動作，精密度 $\pm 0.01\text{mm}$ ）。
2. 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：

```
O0001;          程式號碼
G21;            公制單位
G90G54G00X0Y0; X,Y軸移動到平台中點(原點)
G01Z20.F300;
G01Z8.;
G01Z1.0F60;    Z軸(探頭)移動到距離平台 1 mm
G04P1.5;
G01Z8.;        Z軸(探頭)上移到距離平台 8 mm
G01Z1.0F60;    Z軸(探頭)移動到距離平台 1 mm
G04P1.5;
G01Z8.;
G01Z20.F300;
M30;           程式結束並重置
```

3. 將樣品放置於平台上，推拉力計連接到電腦，執行控制程式。
4. 擷取電腦紀錄之數據繪製圖形。

結果：

A. 外觀形狀

1. 由圖7A俯視圖顯示，稀釋10倍體積最小；50倍體積最大。隨著蛋殼鈣溶液之稀釋倍數遞增，鈣的濃度遞減，則晶球體積隨之遞增。
2. 由圖7B側視圖顯示，稀釋10倍外觀最接近圓球體；50倍外觀最為扁平。隨著蛋殼鈣溶液之稀釋倍數遞增，鈣的濃度逐漸降低，則晶球外觀逐漸趨向扁平。

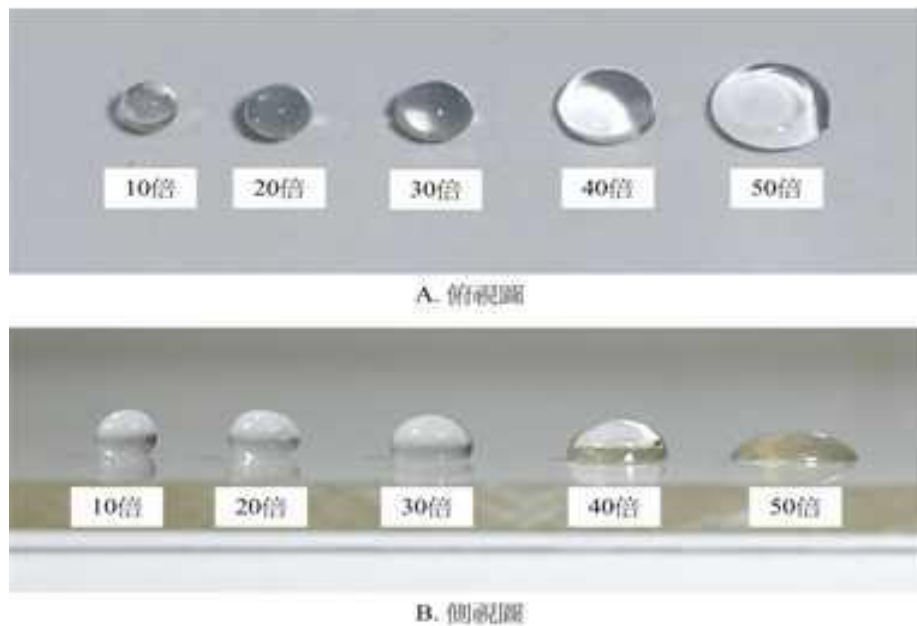


圖7. 鈣溶液稀釋倍數對晶球形狀外觀之影響

B. 凝膠率之測定

1. 由圖8顯示，稀釋10倍之凝膠率最高；稀釋50倍之凝膠率最低。
2. 隨著蛋殼鈣溶液之稀釋倍數遞增，鈣的濃度遞減，則晶球凝膠率則隨之遞減。

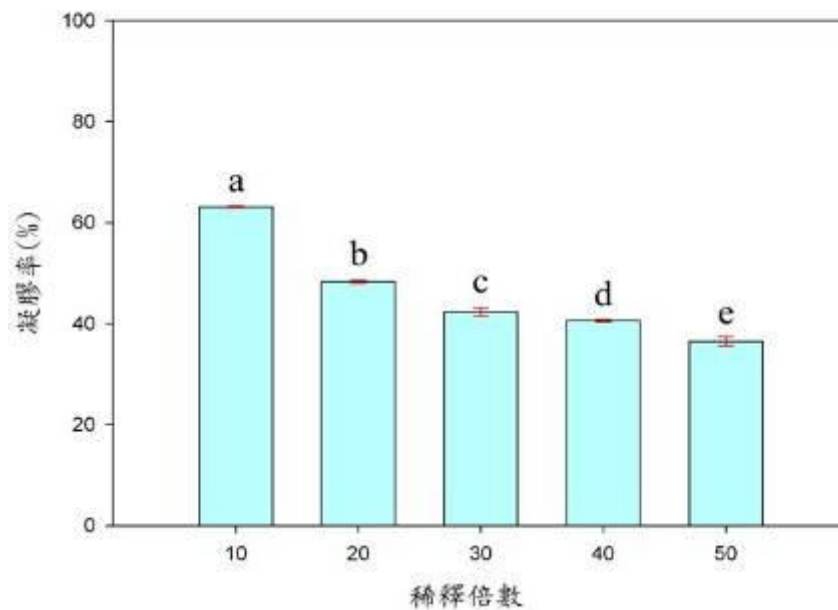


圖8. 鈣溶液稀釋倍數對晶球凝膠率之影響

C. 物性之測定

1. 由圖9顯示，稀釋10倍之硬度最高；稀釋50倍之硬度最低。
2. 隨著蛋殼鈣溶液之稀釋倍數遞增，鈣的濃度遞減，則晶球的硬度隨之遞減。

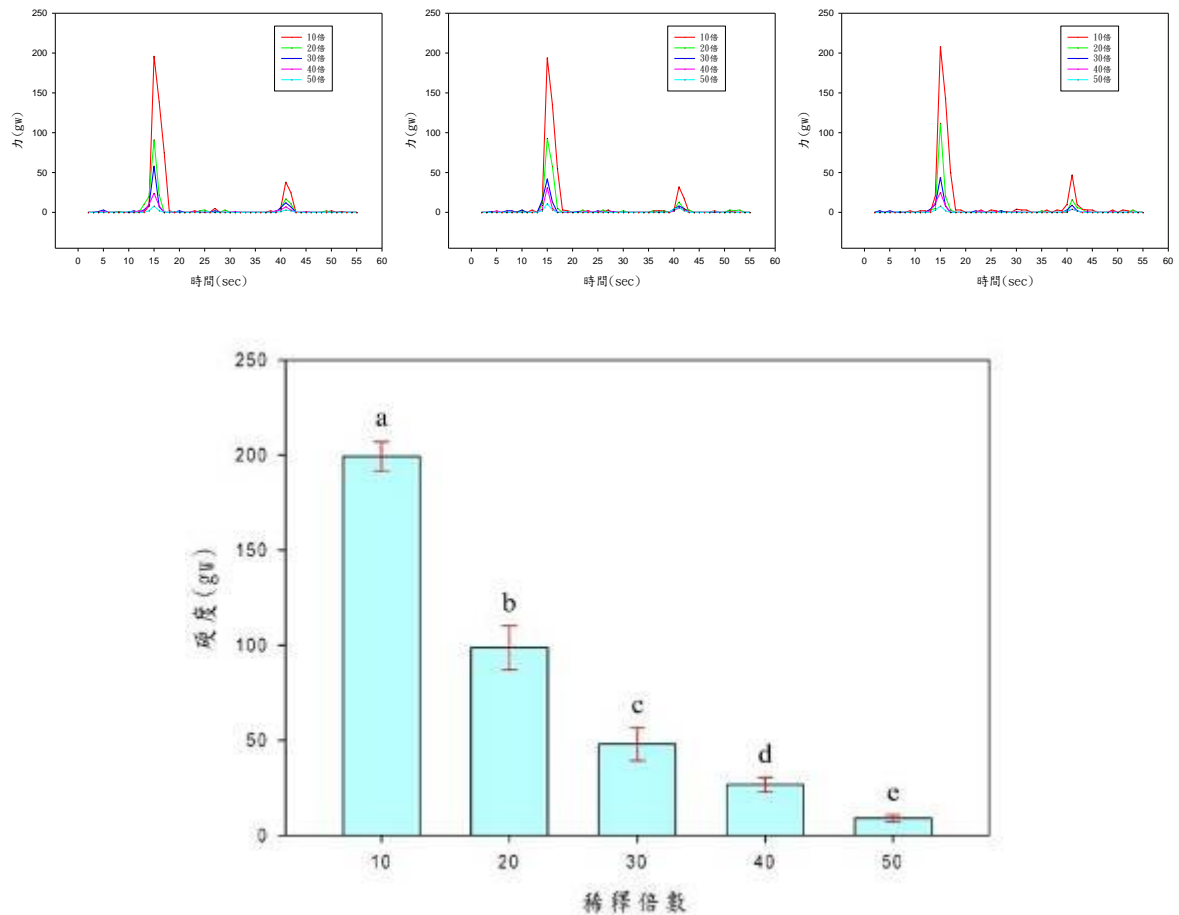


圖 9. 鈣溶液稀釋倍數對晶球硬度之影響

討論：

1. 由本實驗證明，調整鈣溶液的濃度，可控制晶球凝膠率及物性。若希望製作出凝膠率較低、質地較軟、體積較大、有爆漿口感的晶球，則要採用濃度較低的蛋殼鈣稀釋液；若希望製作出凝膠率較高、質地較硬、體積較小、較有咀嚼口感的晶球，則要採用濃度較高的蛋殼鈣稀釋液。
2. 自製的蛋殼鈣溶液，實際應用時可視製程上之需求，配製 10~50 倍的稀釋液。但我們希望晶球外觀接近珍珠的圓球體，因此，本研究之後之實驗，皆採 10 倍的蛋殼鈣稀釋液。

【實驗C2】鈣溶液浸漬時間對晶球之影響

前言：本實驗探討不同反應時間對凝膠率之影響，我們預期反應時間愈長，晶球之凝膠率愈高。



步驟：

A. 外觀形狀

1. 將自製的蛋殼鈣溶液加水稀釋，配成10倍的稀釋液。
2. 同【實驗A1】之步驟，分別浸漬蛋殼鈣溶液1、2、3、4、5分鐘製作品球，拍攝觀察其形狀外觀。

B. 凝膠率之測定

1. 隨機夾取5顆晶球，以電子天平精確取樣品重量。置於改良型抽氣裝置上，以小剪刀剪破晶球，抽除其液體，再以電子天平精確取樣品凝膠重量，如下圖所示。

2. 計算凝膠率：
$$\text{凝膠率}(\%) = \frac{\text{凝膠重量}(\text{g})}{\text{樣品重量}(\text{g})} \times 100\%$$

C. 物性之測定

1. 自製物性測定儀：推拉力計整合 CNC 雕銑機（可精準控制上下動作，精密度 $\pm 0.01\text{mm}$ ）。
2. 小心校驗平台高度，設定程式座標原點位置，載入控制程式。

結果：

A. 外觀形狀

1. 由圖10A俯視圖顯示，浸漬蛋殼鈣溶液1、2、3、4、5分鐘所製作的晶球其形狀外觀皆接近圓球體。
2. 由圖10B側視圖顯示，浸漬1分鐘的晶球稍微扁平一些；浸漬5分鐘的晶球稍微立體一些，但差異並不明顯。

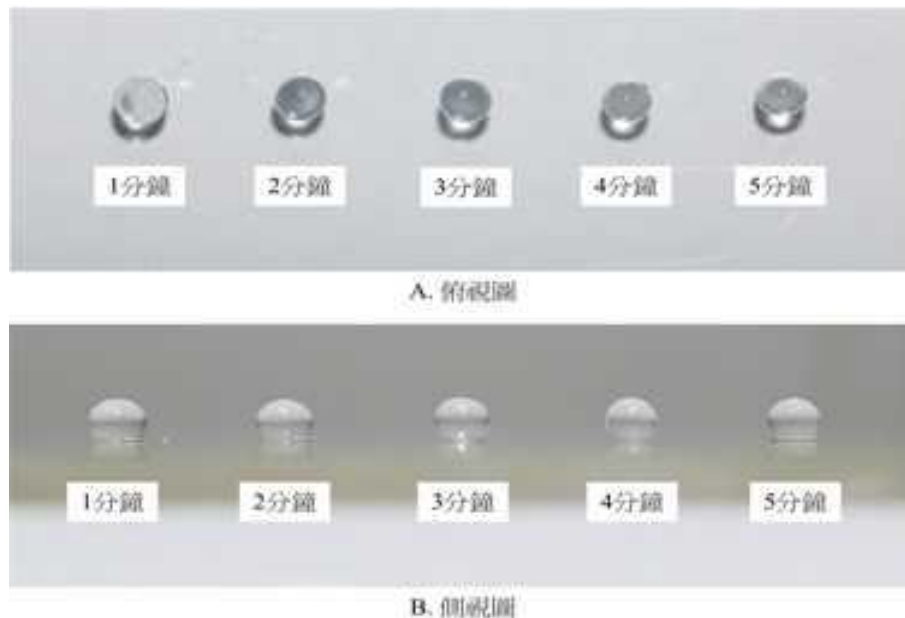


圖 10. 鈣溶液浸漬時間對晶球形狀外觀之影響

B. 凝膠率之測定

1. 由圖11顯示，浸漬1分鐘所製作的晶球其凝膠率最低；浸漬5分鐘的晶球其凝膠率最高。
2. 隨著浸漬蛋殼鈣溶液之時間遞增，則晶球凝膠率亦隨之遞增。

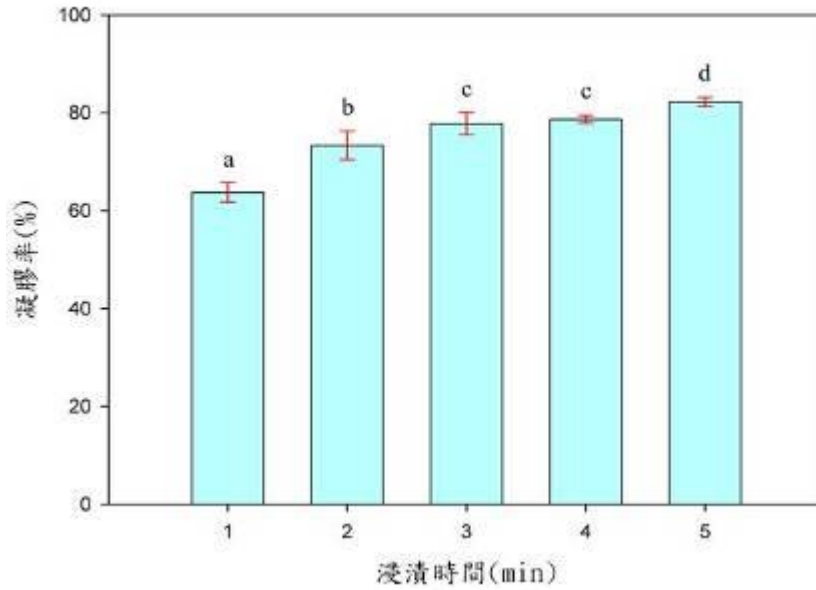


圖 11. 鈣溶液浸漬時間對晶球凝膠率之影響

C. 物性之測定

1. 由圖12顯示，浸漬1分鐘所製作的晶球其硬度最低；浸漬5分鐘的晶球其硬度最高。
2. 隨著浸漬蛋殼鈣溶液之時間遞增，則晶球硬度亦隨之遞增。

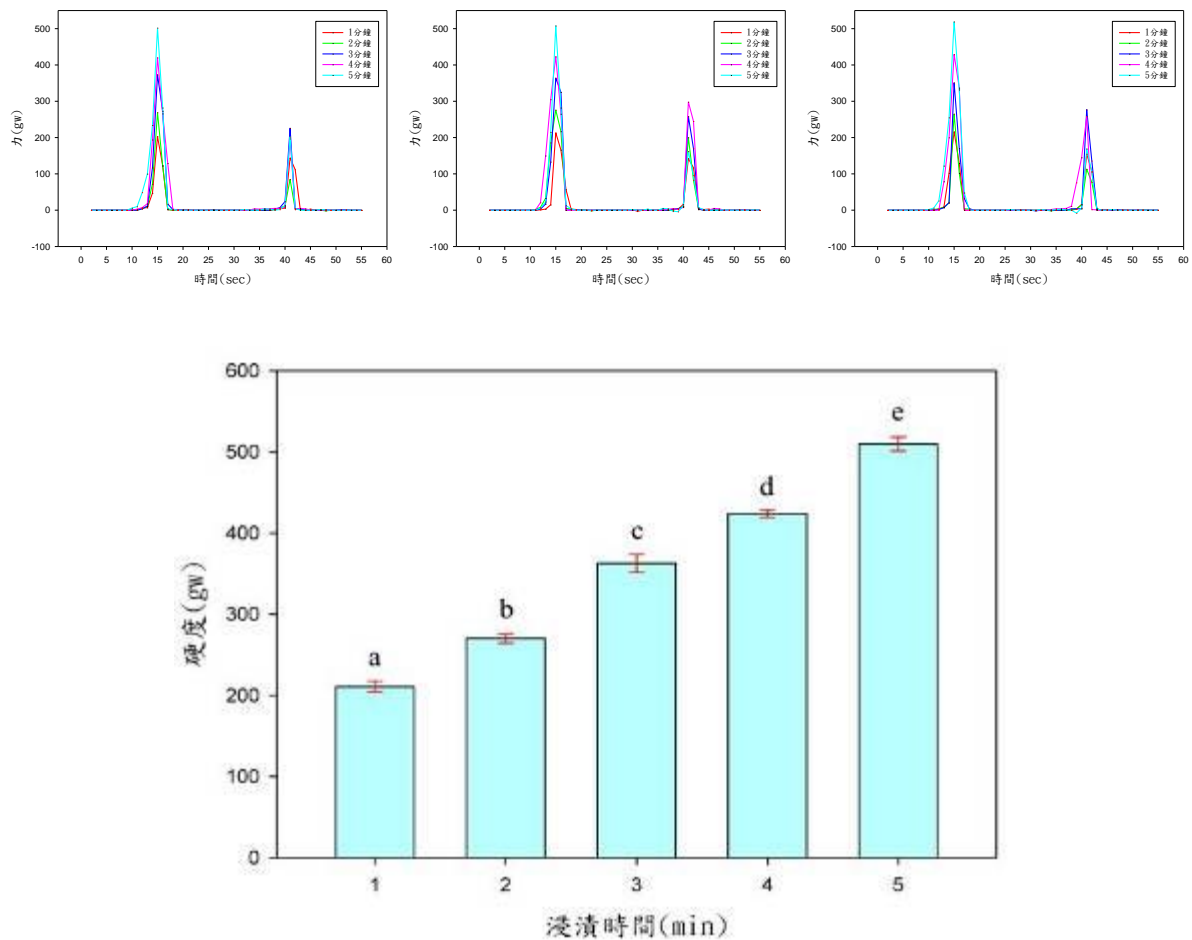


圖 12. 鈣溶液浸漬時間對晶球硬度之影響

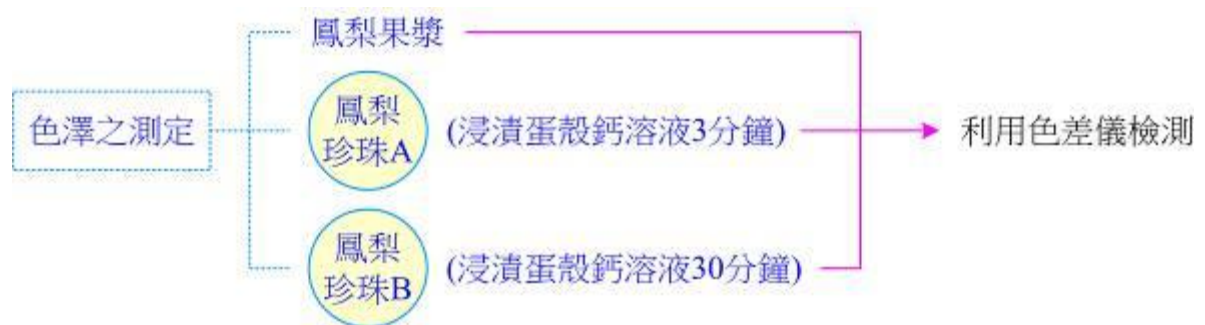
討論：

由本實驗證明，在鈣濃度固定條件下，調整浸漬時間，可控制晶球凝膠率及物性。若希望製作出凝膠率較低、質地較軟、有爆漿口感的晶球，則應縮短浸漬鈣溶液的時間；若希望製作出凝膠率較高、質地較硬、較有咀嚼口感的晶球，則應延長浸漬鈣溶液的時間。

D. 鳳梨珍珠品質之探討

【實驗D1】鳳梨珍珠色澤之測定

前言：希望藉由本實驗測試「鳳梨果漿」、「鳳梨珍珠」之 L、a、b 值，比較其加工處理前後色澤之變化情形。



步驟：

1. 將鳳梨果肉相同重量的冷開水，以果汁機攪打成「鳳梨果漿」。
2. 同【實驗A1】之步驟，將鳳梨果漿製作成「鳳梨珍珠A」、「鳳梨珍珠B」
鳳梨珍珠A：浸漬在蛋殼鈣溶液(10倍稀釋液)3分鐘。
鳳梨珍珠B：浸漬在蛋殼鈣溶液(10倍稀釋液)30分鐘。
3. 使用色差儀分別測定「鳳梨果漿」、「鳳梨珍珠 A」、「鳳梨珍珠 B」之 L、a、b 值。
4. 利用 xlstat 統計分析各組數據之差異顯著性(信賴水準 95%)。

結果：

1. 由圖 13 顯示，鳳梨果漿、鳳梨珍珠 A、鳳梨珍珠 B 三者之色澤，若用肉眼觀察不易分辨其差異。
2. 由圖 14 顯示，鳳梨果漿、鳳梨珍珠 A、鳳梨珍珠 B 三者之 L 值無顯著差異。
3. 由圖 15 顯示，鳳梨珍珠 A、鳳梨珍珠 B 二者之 a 值無顯著差異，但二者與鳳梨果漿之 a 值則有顯著差異。
4. 由圖 16 顯示，鳳梨珍珠 A、鳳梨珍珠 B 二者之 b 值無顯著差異，但二者與鳳梨果漿之 b 值則有顯著差異。

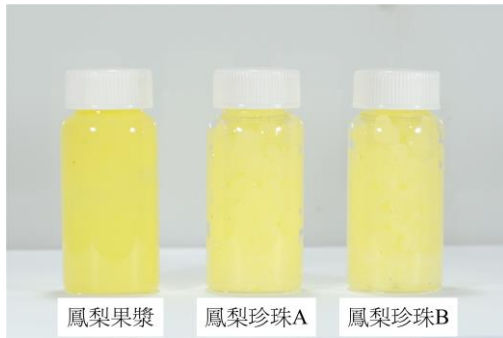


圖 13 鳳梨果漿、珍珠 A、珍珠 B 之色澤

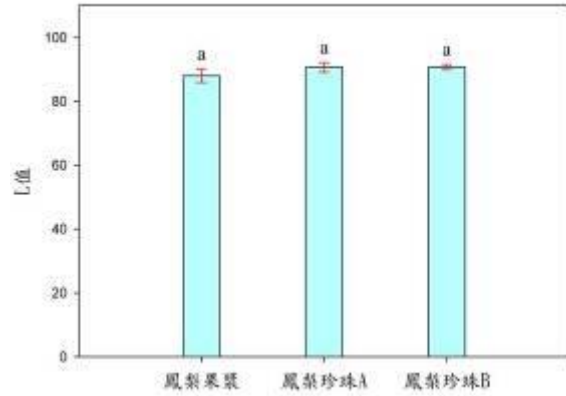


圖 14 鳳梨果漿、珍珠 A、珍珠 B 之 L 值

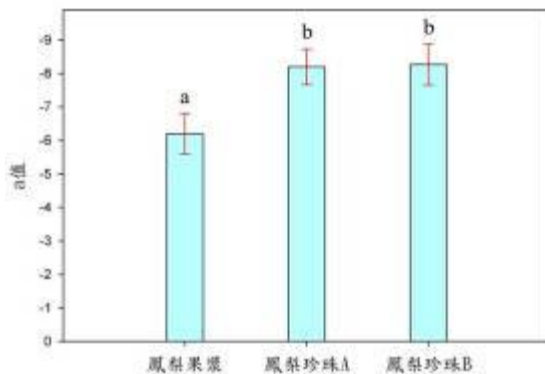


圖 15 鳳梨果漿、珍珠 A、珍珠 B 之 a 值

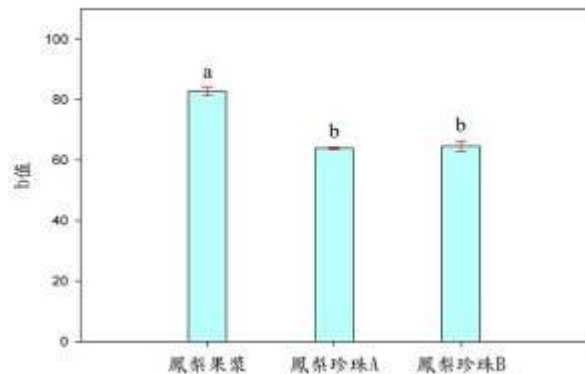


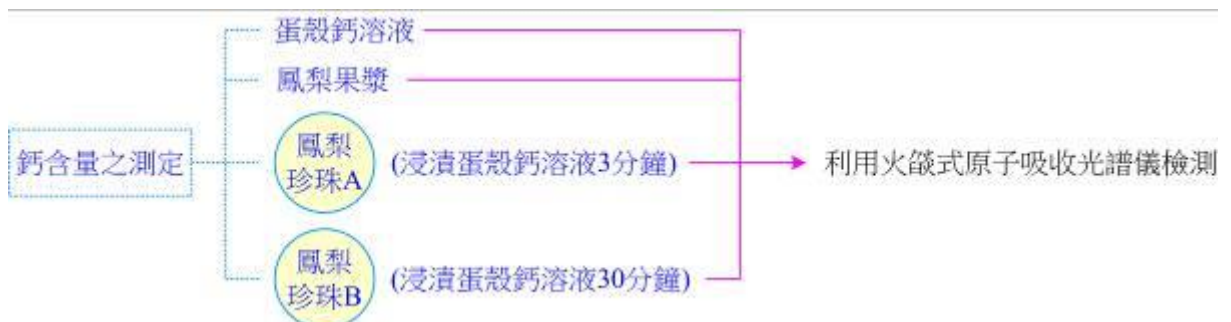
圖 16 鳳梨果漿、珍珠 A、珍珠 B 之 b 值

討論：

1. 將鳳梨果漿經加工處理製作成鳳梨珍珠 A、鳳梨珍珠 B，若僅由肉眼粗略觀察色澤，並不易察覺三者間之差異。
2. 若藉由色差儀之檢測，我們發現將鳳梨果漿經加工處理製作成鳳梨珍珠 A、鳳梨珍珠 B，鳳梨果漿、鳳梨珍珠 A、鳳梨珍珠 B 三者之色澤，還是有些微差異，這表示凝膠處理過程會對原料組成造成些微影響。

【實驗D2】鳳梨珍珠鈣含量之測定

前言：本實驗希望透過測定「蛋殼鈣溶液」、「鳳梨果漿」、「鳳梨珍珠 A」、「鳳梨珍珠 B」之鈣含量，希望藉由本實驗瞭解在鳳梨珍珠製程中鈣含量之變化情形。



步驟：

1. 採中華民國國家標準鈣含量之檢測法(CNS 12638 N6227)⁽⁹⁾，利用火燄式原子吸收光譜儀進行檢測。
2. 樣品前處理：濕式消化前處理(微波消化)。
3. 標準曲線：分別配製 0、0.5、1、3、5 ppm的鈣標準溶液，以火燄式原子吸收光譜儀進行測定，將標準溶液濃度與吸光值進行線性迴歸，用電腦計算出迴歸方程式，建立標準曲線做為檢量線。
4. 樣品測定：以火燄式原子吸收光譜儀測定「蛋殼鈣溶液」、「鳳梨果漿」、「鳳梨珍珠A」、「鳳梨珍珠B」等樣品溶液，將測得之吸光值代入步驟3之迴歸方程式，計算得到各樣品溶液中鈣之濃度。
5. 將鈣之濃度代入下列計算公式，算出樣品之鈣含量。



$$\text{計算公式： 樣品中鈣含量(ppm)} = \frac{B \times 50}{\text{樣品重(g)}} \times \frac{V_2}{V_1}$$

B：由標準溶液濃度與吸光值之迴歸曲線所求得樣品溶液中鈣之濃度($\mu\text{g/ml}$)

V_1 ：樣品測定時由樣品原液所量取之體積(ml)

V_2 ：測定時稀釋之最終體積(ml)

結果：

1. 將不同濃度的標準溶液產生的吸光值建立標準曲線，如圖 17 所示。
2. 標準溶液之檢量線方程式為： $y = 0.0307x + 0.001385$ ($R^2 = 0.9996$)

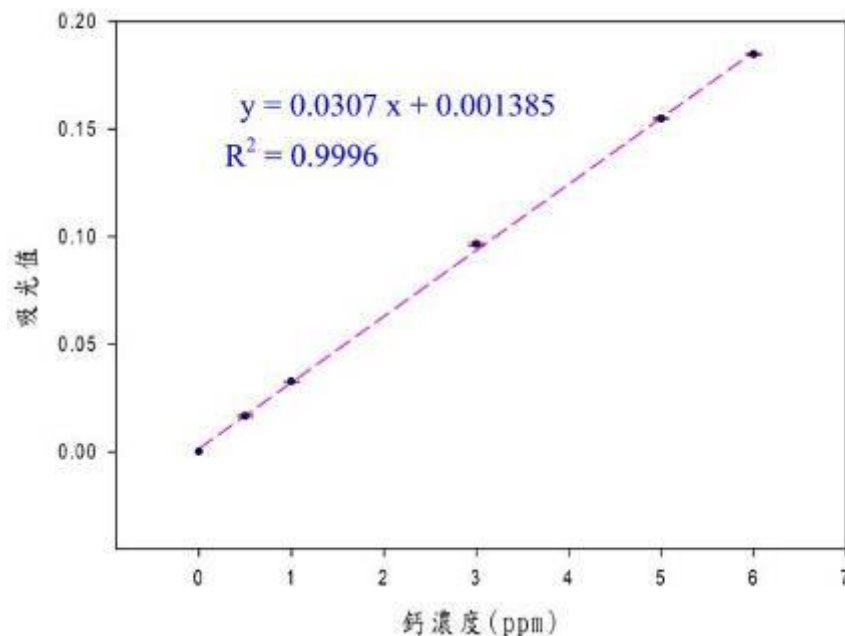


圖 17 由標準溶液濃度與吸光值建立檢量線

3. 由圖 18 顯示，自製的「蛋殼鈣溶液」鈣之含量為 14869.54ppm；「鳳梨果漿」為 17.11ppm；「鳳梨珍珠 A」為 309.29ppm；「鳳梨珍珠 B」為 818.25ppm。

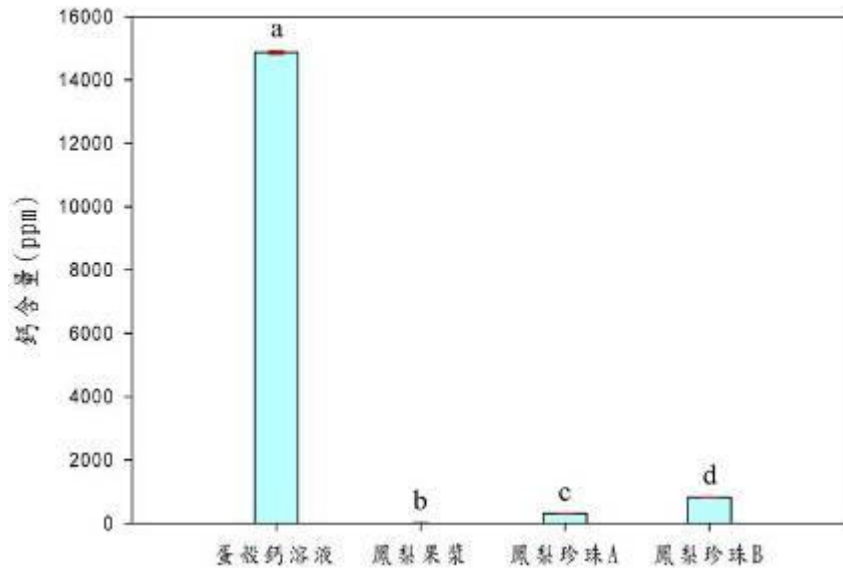


圖 18 蛋殼鈣溶液、鳳梨果漿、鳳梨珍珠 A、鳳梨珍珠 B 鈣之含量

討論：

1. 經本實驗證明，自製的「蛋殼鈣溶液」鈣之含量高達 14869.54ppm 這表示，食醋即可將蛋殼中的鈣離子大量溶出，本實驗所用之 10 倍稀釋液鈣之含量約為 1486.95ppm。
2. 鳳梨果漿本身鈣之含量很低，經加工製作成鳳梨珍珠，其鈣之含量會明顯升高，而且蛋殼鈣溶液浸漬時間越長，鈣之含量會越高。
3. 本實驗亦可合理解釋【實驗 C2】之實驗結果，晶球在蛋殼鈣溶液浸漬時間越長，鈣之含量會越高，所以其硬度也會越高。

【實驗D3】鳳梨珍珠物性之測定

前言：由【實驗 C2】之實驗結果得知，晶球在蛋殼鈣溶液浸漬時間不同，會產生不同的硬度。由於「鳳梨珍珠 A」、「鳳梨珍珠 B」在蛋殼鈣溶液浸漬時間不同，因此，我們預期「鳳梨珍珠 A」、「鳳梨珍珠 B」會呈現不同的物性。



步驟：

1. 同【實驗D1】之步驟，將鳳梨果漿製作成「鳳梨珍珠A」、「鳳梨珍珠B」。
2. 同【實驗C1】測定晶球物性之方法，使用自製物性測試儀分別測定「鳳梨珍珠A」、「鳳梨珍珠B」之硬度。
3. 利用xlstat統計分析各組數據之差異顯著性(信賴水準95%)。

結果：

1. 由圖19顯示，「鳳梨珍珠B」之硬度明顯大於「鳳梨珍珠A」。
2. 經xlstat統計分析顯示，「鳳梨珍珠A」與「鳳梨珍珠B」之硬度確實有差異顯著性(信賴水準95%)。

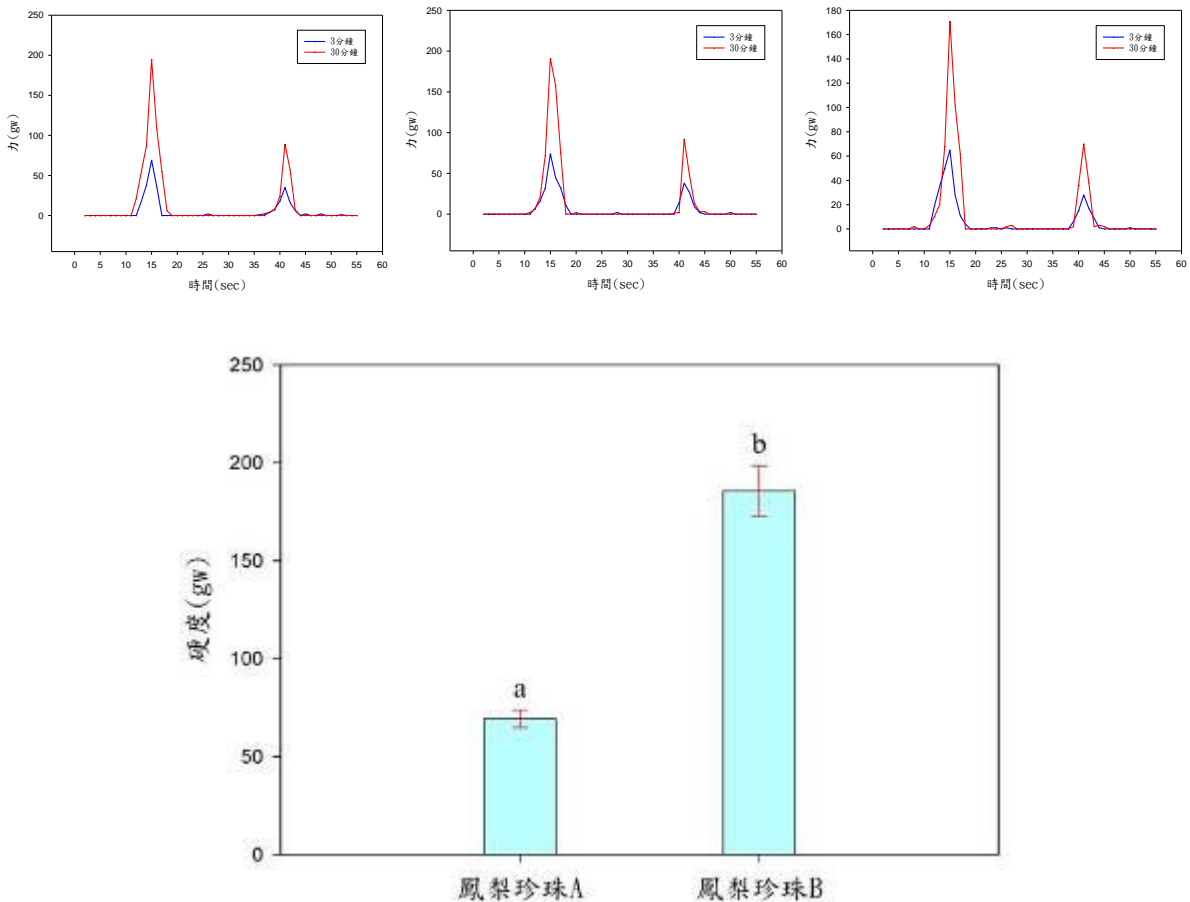


圖 19. 鳳梨珍珠 A、鳳梨珍珠 B 硬度之差異

討論：

1. 由【實驗D2】結果可佐證「鳳梨珍珠B」之硬度明顯大於「鳳梨珍珠A」之原因，因為浸漬蛋殼鈣溶液時間越長，鈣之含量會越高，導致硬度會越大。
2. 由於「鳳梨珍珠A」、「鳳梨珍珠B」二者鈣溶液浸漬時間之不同，影響進入鳳梨珍珠的鈣含量。這表示鈣溶液浸漬時間愈久，與海藻酸鈉產生架橋作用愈多，形成三度空間的網狀膠體之強度愈強，進而使鳳梨珍珠之硬度增加。
3. 「鳳梨珍珠A」與「鳳梨珍珠B」之硬度確實有顯著差異，但消費者到底喜歡何種硬度呢？因此，我們有必要進行官能品評試驗。

【實驗D4】鳳梨珍珠官能品評試驗

前言：本實驗針對不同物性的「鳳梨珍珠 A」、「鳳梨珍珠 B」，進行喜好性官能品評試驗，希望瞭解消費者對鳳梨珍珠各種特性之喜好接受程度。



步驟：

1. 利用學校園遊會時段，隨機邀請校內外人士約50人（屬未經品評訓練的品評員），在品評室內（參考相關資料設計品評室）進行喜好性感官品評試驗，如右圖所示。
2. 採用九分制喜好性品評法，品評項目包括：色澤、風味、彈性、口感、整體性等，品評表上呈現：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。
3. 採用3碼亂數呈現，3碼亂數是由電腦上亂碼產生器隨機產生。
4. 一個樣品使用一張品評表，品評表完全相同，僅手寫之樣品編號不同。
5. 為了避免次序效應，樣品之供應順序隨機排列。
6. 將品評測試完畢之評分表上，極度不喜歡↔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。
7. 將品評數據利用Excel、xlsat統計軟體，進行實驗數據之分析，檢測「鳳梨珍珠A」、「鳳梨珍珠B」二者是否具有顯著差異(信賴水準95%)。

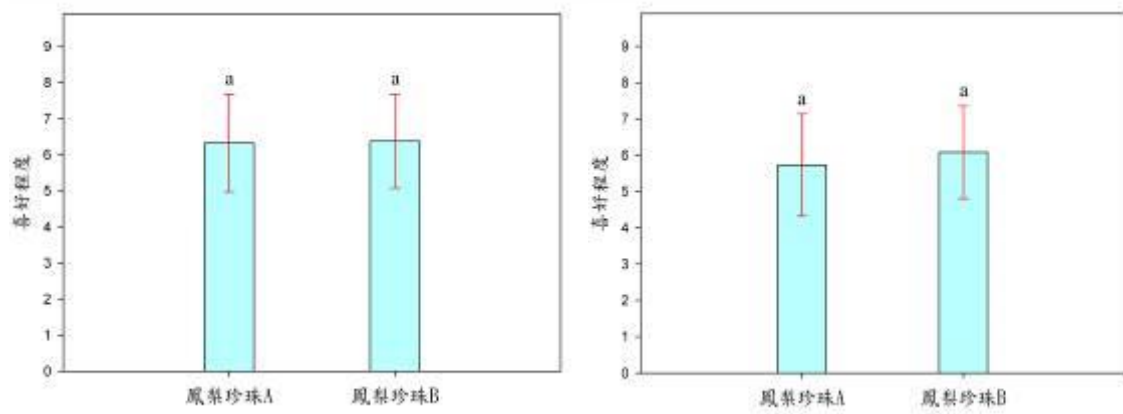


結果：

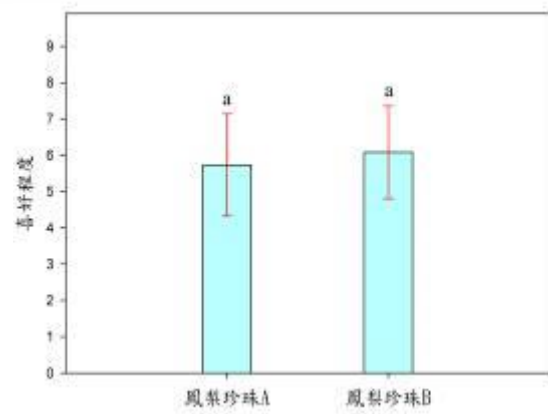
1. 由圖 20A、圖 20B 顯示，在「色澤」、「風味」項目，受試者對「鳳梨珍珠 A」、「鳳梨珍珠 B」，二者並沒有顯著差異(信賴水準 95%)。
2. 由圖 20C、圖 20D、圖 20E 顯示，在「彈性」、「口感」、「整體性」項目，受試者對「鳳梨珍珠 B」之喜好程度大於「鳳梨珍珠 A」，而且二者有顯著差異(信賴水準 95%)。

討論：

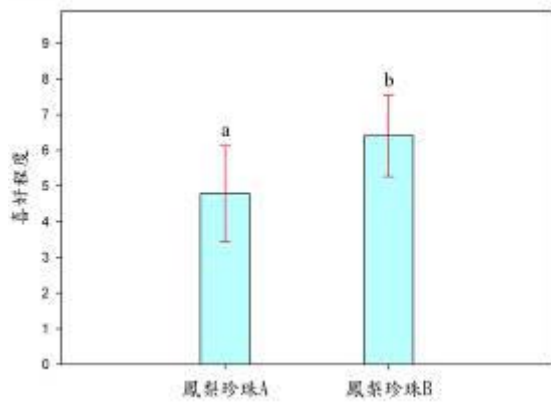
1. 「鳳梨珍珠 A」、「鳳梨珍珠 B」二者之原料成分及加工處理過程是一樣的，只是二者鈣溶液浸漬時間之差異。這表示鈣溶液浸漬時間，在「色澤」、「風味」方面，對於鳳梨珍珠影響不大。
2. 彙整本實驗及【實驗 D4】結果發現，受試者偏好硬度較高、彈性較大、口感較強的鳳梨珍珠。



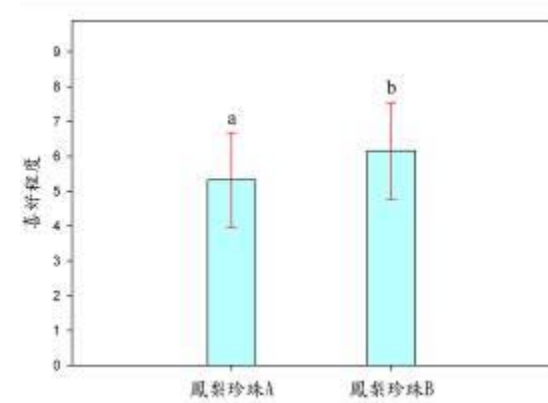
A. 色澤



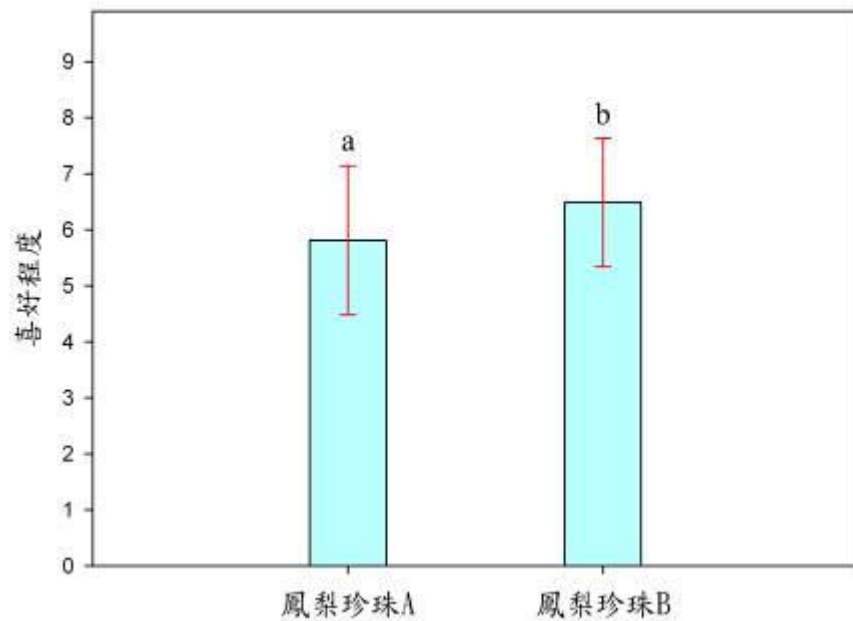
B. 風味



C. 彈性



D. 口感



E. 整體性

圖 20 「鳳梨珍珠 A」、「鳳梨珍珠 B」官能品評之結果

E. 商品化之評估

【實驗E1】自動化機械之研發與測試

前言：市面上有手動製作晶球之工具，但這些設備製作出來的顆粒大小不一，且無法連續生產，而且價錢過於昂貴，因而我們想試著自行設計自動化生產機械。

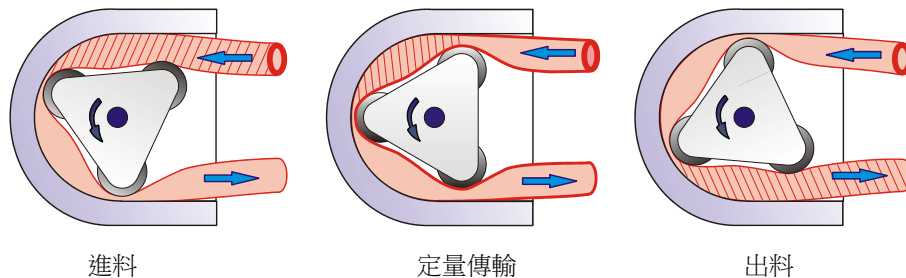


步驟：

A. 自動化機械之設計與組裝

1. 蠕動馬達：

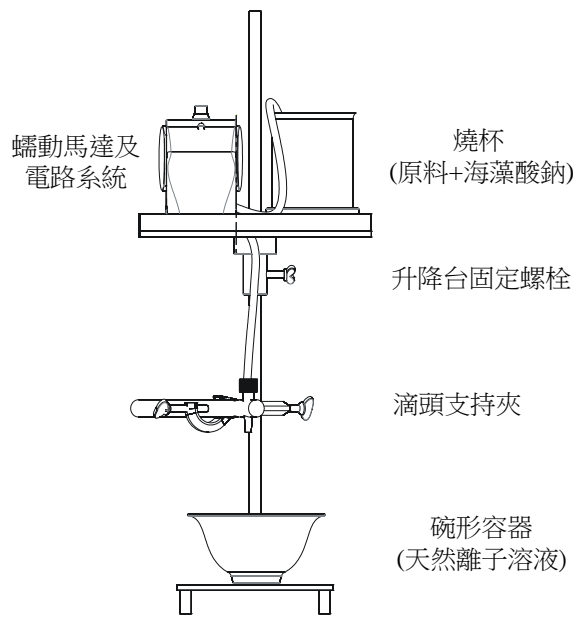
為了讓原料的顆粒能盡量一樣大，所以我們使用可以定量給料的蠕動馬達來擠製，其原理如下圖所示，首先由進料端進料，接著滾子旋轉推動原料移動，最後由出口端出料。因為壓送的滾子在管子的外面，所以幫浦和流體都不會受到污染。而且因為滾子擠壓效果，會造成較明顯的蠕動間歇滴注效果，一次滴注的量，大約是兩個滾輪所間隔，管子內流體的量。但是馬達轉速調快時，間歇效果就比較不明顯。



蠕動馬達之輸送原理

2. 設計構想：

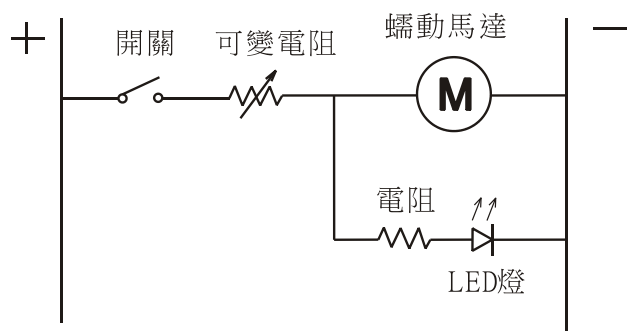
我們使用實驗室裡的滴定管架為承載機架，把蠕動馬達等電路系統和原料容器裝在一個平台上、噴頭由一個支持架支撐。為了實驗需求起見，滴管頭與平台均製作成可升降的方式，再用固定螺栓固定於適當高度，設計圖如下所示。



自動化機械之設計圖

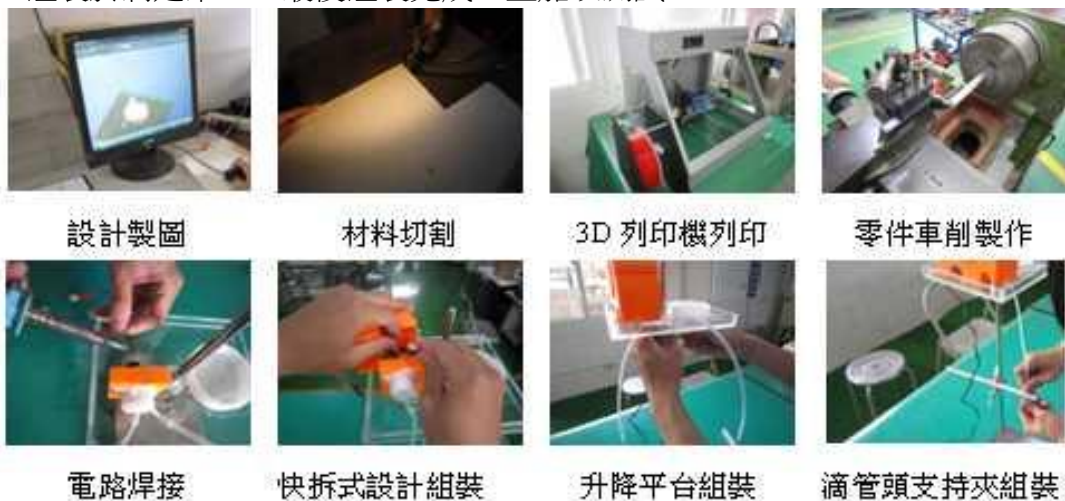
3. 電路圖：

為了節省成本，我們自行購買蠕動馬達，電子零件等來 DIY 組裝，此電路動作說明如下：當按下電源開關，蠕動馬達會運轉、同時 LED 指示燈會亮著。如果調整可變電阻，便可控制蠕動馬達運轉速度的快慢，進一步控制流體滴下的間隔時間。



4. 製作與組裝：

我們依據設計圖，首先開始材料切割與製作。部分複雜且不受力的零件採用 3D 列印機列印。電路部分，我們採用快拆接頭方式設計，以利拆裝維修。接著再把零件一一組裝於滴定架上，最後組裝完成，並加以測試。



B. 自動化機械之實際測試

1. 將自製的自動化機械安裝妥當，以鳳梨果漿+1%海藻酸鈉水溶液為原料。
2. 啟動電路開關，利用自製原料輸送系統中的蠕動馬達，開始輸送原料。
3. 透過自製的自動化機械，原料滴入鈣離子溶液中形成晶球。
4. 經1分鐘後以濾網將晶球撈出，並置入蒸餾水中清洗3次即為成品。

結果：

A. 自動化機械之設計與組裝

1. 首先將自製手動蠕動馬達進行測試，可正常且穩定地輸送原料，如圖 21 所示。

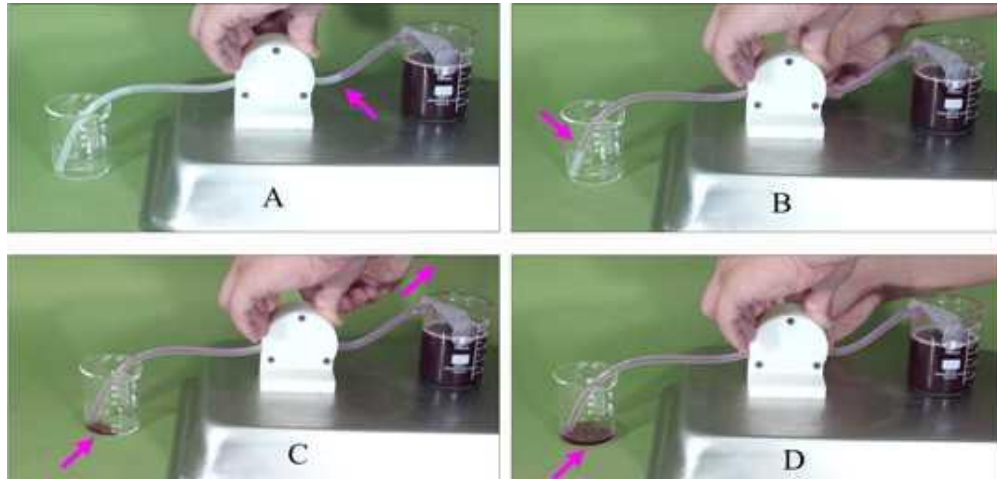


圖 21 自製手動蠕動馬達可正常且穩定地輸送原料

2. 我們自行設計組裝完成的自動化機械，如圖 22 所示。

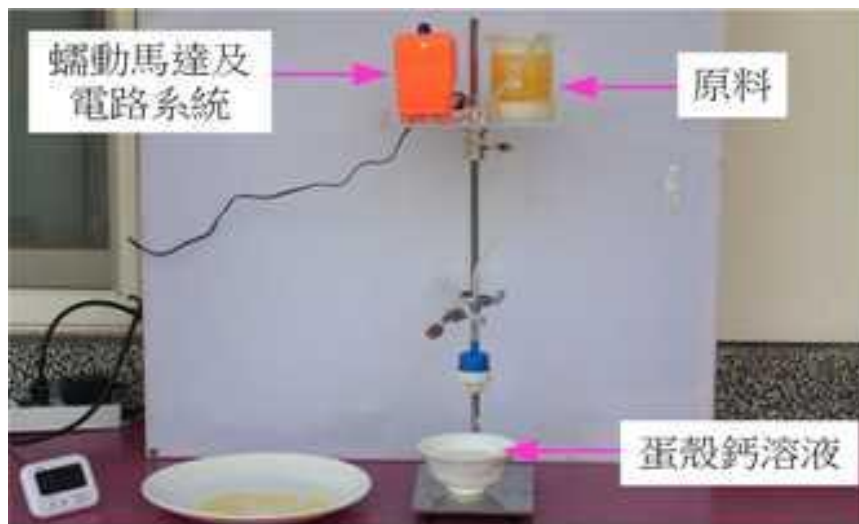


圖 22 自行設計組裝完成的自動化機械

3. 以鳳梨果漿為原料，進行自動化機械生產測試，由實驗結果顯示，自動化機械可正常、穩定、快速地製作大量的鳳梨珍珠，如圖 23 所示。



圖 23 利用自製的自動化機械可快速且大量地生產鳳梨珍珠

討論：

1. 我們自行設計組裝的自動化機械，由於原料輸送系統是利用蠕動馬達來輸送，其優點是原料輸送流量與速度穩定，因此，可快速且大量地生產出品質穩定的晶球。本設備與市面上的產品比較有價錢便宜，更換維修方便，可以連續生產等優點。
2. 單孔噴頭比較好控制凝膠的大小與形狀，如果多孔數的噴頭就需要考慮裝置的水平與進料管子的大。
3. 我們使用自動化機械製造晶球一分鐘平均約151顆，五分鐘平均約755顆。運轉時平順等量進料，系統穩定。如果需要更大量時，可以更換更大的蠕動馬達，便可以把生產量提升。

【實驗E2】蔬果珍珠飲品之推廣應用

前言：目前台灣許多人喜歡喝珍珠奶茶，我們想以天然的蔬果為原料，應用自行設計組裝的自動化機械，製造出各種色彩的蔬果珍珠，或許在色香味各方面，對青少年族群會更有吸引力。

步驟：

1. 將自製的自動化機械安裝妥當，分別以各種蔬果（鳳梨、番茄、南瓜、菠菜、紅蘿蔔、紫色高麗菜、木瓜、紅肉火龍果、橘子）+1%海藻酸鈉水溶液為原料。
2. 啟動電路開關，利用自製原料輸送系統中的蠕動馬達，開始輸送原料。
3. 透過自製的自動化機械，原料滴入鈣離子溶液中形成各種色彩的蔬果珍珠。
4. 經1分鐘後以濾網將晶球化的蔬果珍珠撈出，並置入蒸餾水中清洗3次即為成品。

結果：

1. 各種色彩的蔬果珍珠，其原料來源是各種天然的蔬果（鳳梨、番茄、南瓜、菠菜、紅蘿蔔、紫色高麗菜、木瓜、紅肉火龍果、橘子）+1%海藻酸鈉水溶液為原料，滴入天然得鈣離子溶液中所形成的，如圖24所示。
2. 使用自製的自動化機械，可將各種蔬果（鳳梨、番茄、南瓜、菠菜、紅蘿蔔、紫色高麗菜、木瓜、紅肉火龍果、橘子）+1%海藻酸鈉水溶液為原料，滴入鈣離子溶液中製作各種色彩的蔬果珍珠，如圖25所示。

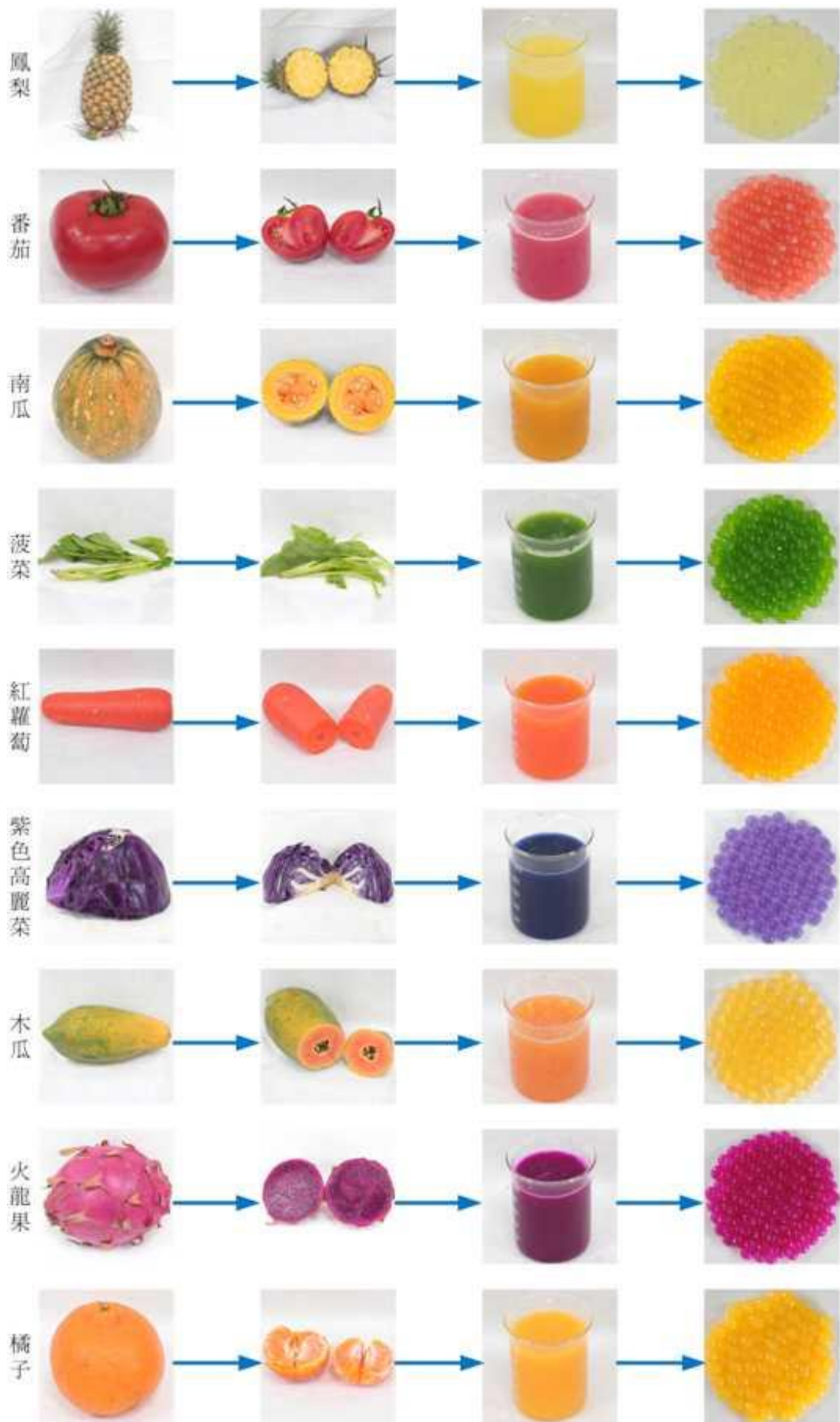


圖24 以各種蔬果製作各種色彩的蔬果珍珠



圖25. 以各種蔬果製作各種色彩的蔬果珍珠

討論：

台灣是一個寶島，一年四季盛產各式各樣的水果，未來我們利用自動化機械，將各季節所盛產的各種蔬果製作各種口味的蔬果珍珠，以追求天然與健康為訴求。

肆、研究結論

一、實驗結論

A.晶球原料之探討

1. 利用海藻酸鈉與鈣離子反應自製晶球是可行的，但我們希望以更天然、更健康的鈣源來取代化學合成的鈣源。
2. 利用廢棄蛋殼自製的蛋殼鈣溶液，一樣可使海藻酸鈉水溶液迅速凝膠製作出晶瑩剔透的晶球。

B.液滴形成條件之探討

1. 滴管頭口徑會影響晶球粒徑大小，但滴管頭的口徑也不宜過大，因滴出的晶球粒徑大小較不穩定。
2. 滴管頭距離液面之高度會影響晶球的形狀。當滴管頭距離液面之高度是在 10~30cm，會形成近似圓球體的晶球。

C.晶球凝膠因子之探討

1. 在浸漬鈣溶液的時間固定之條件下，調整鈣溶液的濃度，可控制晶球凝膠率及物性。
2. 在鈣濃度固定之條件下，調整浸漬時間，可控制晶球凝膠率及物性。

D.鳳梨珍珠品質之探討

1. 將鳳梨果漿經加工處理製作成鳳梨珍珠，若僅由肉眼觀察色澤，並不易察覺其差異。若藉由色差儀之檢測，可發現鳳梨果漿經加工處理製作成鳳梨珍珠，其色澤有些微差異。
2. 自製的「蛋殼鈣溶液」鈣之含量高達 14869.54ppm，這表示食醋即可將蛋殼中的鈣離子大量溶出，本實驗所用之 10 倍稀釋液鈣之含量約為 1486.95ppm。
3. 鳳梨果漿本身鈣之含量很低，經加工製作成鳳梨珍珠，其鈣之含量會明顯升高，而且蛋殼鈣溶液浸漬時間越長，鈣之含量會越高。

4. 鳳梨珍珠在蛋殼鈣溶液浸漬時間越長，鈣之含量會越高，導致其硬度會越大。
5. 由官能品評結果顯示，鳳梨珍珠在蛋殼鈣溶液中不同浸漬時間(3 分鐘、30 分鐘)，對「色澤」、「風味」影響不明顯；但對「彈性」、「口感」、「整體性」之影響項目則有明顯之影響。受試者對浸漬鈣溶液 30 分鐘的鳳梨珍珠，則較明顯的喜好性。

E.商品化之評估

1. 我們自行設計組裝完成的自動化機械，由實際測試結果顯示，自動化機械可正常、穩定、快速地製作大量的鳳梨珍珠。
2. 我們利用台灣當季的蔬果為原料，使用自製的自動化機械，皆可順利將各種蔬果製作成彩虹晶球般的蔬果珍珠。

二、具體貢獻

1. 利用食醋及蛋殼為原料，萃取出天然的鈣離子溶液，提供天然、安全、健康的鈣源。
2. 探討出控制晶球大小及形狀的加工條件。
3. 根據較佳的加工條件，自行設計組裝自動化機械來大量製作晶球。
4. 應用自製的自動化機械，以各種蔬果為原料，製作更天然更健康的蔬果珍珠。

伍、參考資料

1. Elma Schenkelaars, Ids Klompmaker and Ties van de Laar. (2010). *Molecular Gastronomy - Science in the Kitchen, Version 1.0* (p. 95). Wageningen University.
2. Malcolm C. Bourne. (2002). Texture Profile Analysis (TPA). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. 2nd Edition* (pp. 182-186). Elsevier Science & Technology Books.
3. Molecular Gastronomy on emaze.
Retrieved from <https://www.emaze.com/@AFFTTCQ/Molecular-Gastronomy>
4. Seckin GULAY. (2009). *Immobilization of Thermophilic Recombinant Esterase Enzym by entrapment in coated Ca-Alginate* (pp. 8-9).
5. 王亮鈞、吳建緯、呂韋霆 (2012)。兩過水留痕－防止外牆汙染之設計。中華民國第五十二屆中小學科學展覽會優勝作品。
6. 林俐玲、林文弘 (1998)。紅壤可蝕性因子之量測。水土保持學報，第30卷，第1期，41-58。
7. 林琳 (2014)。百變的廚房世界。科學發展，494期，26-31。
8. 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。農林學報，第61卷，第02期，185-202。
9. 經濟部標準檢驗局 (2004)。水果及蔬菜汁飲料檢驗法－鈉、鉀、鈣、鎂之測定 (原子吸收光譜法)。中華民國國家標準CNS 12638 N6227。
10. 經濟部標準檢驗局 (2004)。水果及蔬菜製品檢驗法－可滴定酸度之測定。中華民國國家標準CNS 8626 N6167。
11. 質構儀 (物性分析儀、物性測試儀) 的應用－淺談TPA。超技儀器有限公司。取自<http://www.texture-science.com/big5/detail.aspx?TypeID=1&InfoID=54>

【評語】 052211

1. 本研究以蛋殼做為天然鈣源，與海藻膠及果汁製備晶球，並以自製之物性分析儀量測晶球物性。
2. 研究結果具實際應用性，實驗設計與執行符合科學試驗精神。
3. 資料收集整理及實驗記錄詳實完整。
4. 團隊表達能力佳。