

# 2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：大自然的分子料理

## 一、摘要

晶球化反應是「分子料理」的基本技術之一，通常使用海藻酸鈉與乳酸鈣(或氯化鈣)反應，形成外膜包覆液體。海藻酸鈉雖為褐藻類萃取，但查詢資料發現製程中包含強鹼萃取、脫色、脫味、酸化處理等多種化學操作。本作品旨在探究更天然的製作方式，使用豬明膠、洋菜、愛玉等為原料，設法製作各種不同類型的天然晶球。

實作並改良晶球的製作方式後，將其應用於改良目前已知的分子料理食譜，如可樂魚子醬及優格太陽蛋，比較成品的顯微結構及外觀、口感等特性。

## 二、探究題目與動機

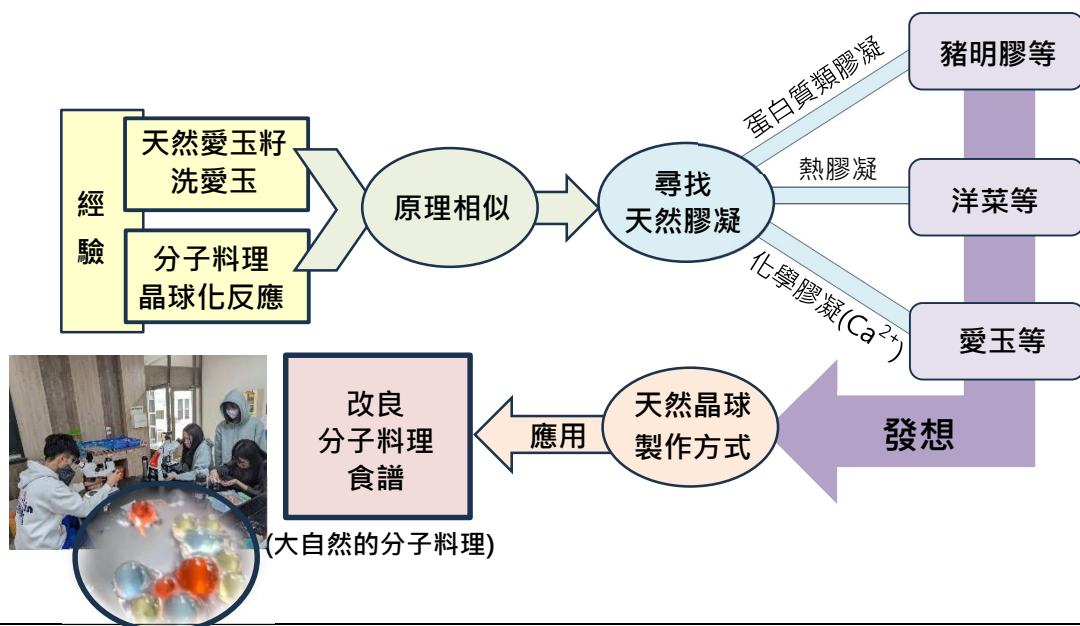
在過去參與的科學活動或課程中，我們曾利用愛玉籽及礦泉水搓出天然愛玉凍，也體驗過使用海藻酸鈉與乳酸鈣，將飲料製作成晶球，也就是最基本的「分子料理」。雖然是兩個不同的活動，但我們發現其中的原理非常類似：愛玉凝固及晶球化反應，都是利用鈣離子，讓愛玉果膠或海藻酸根的長鏈結構彼此連結，形成凍狀或晶球。

在晶球化反應的活動中，老師提到分子料理在風潮過後漸漸沒落，是因為在追求「天然」「健康」飲食的這個時代，「分子料理」被認為是過度加工，利用各種方式改變了食材的外觀及口感，也使用了許多可能影響健康的添加物。

依據經驗我們認為應該可以利用天然的食材，不使用食品添加物，做出更自然的分子料理。除了改良過去晶球化反應的製作方式，也讓天然飲食增添更多樂趣，讓分子料理的驚奇與健康飲食的堅持得以融合，做出大自然的分子料理。

## 三、探究目的與假設

探究目的：使用天然原料，改良已知分子料理的製作方式。

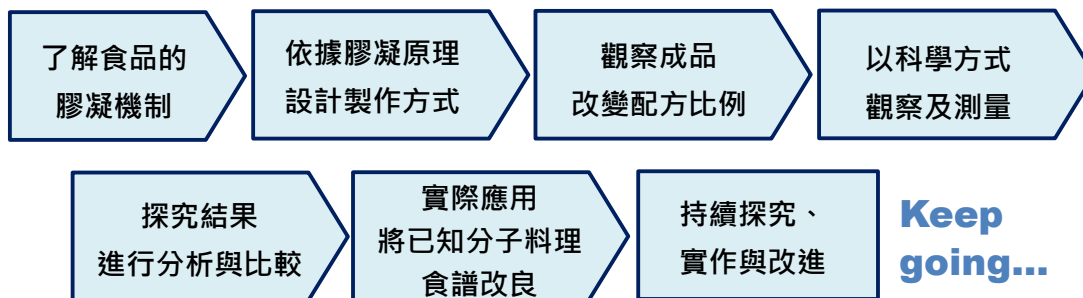


假設：

1. 各種膠凝原理(蛋白質類膠凝、熱膠凝、化學膠凝)均可用於晶球製作。
2. 能製作出晶球的方式，經過調整可應用於其他類似之分子料理。

#### 四、探究方法與驗證步驟

探究過程：



驗證：

#### 1. 晶球的製作方式：

方法 1	方法 2	方法 3	方法 4
原晶球化反應原料 海藻酸鈉+乳酸鈣	蛋白質類膠凝 明膠水溶液	熱膠凝 洋菜水溶液	化學膠凝(Ca <sup>2+</sup> ) 愛玉籽汁+乳酸鈣

#### [方法 1 實作成果]

操作：海藻酸鈉溶液(添加紅色素)滴入乳酸鈣溶液中。

說明：此方法為一般分子料理在製作晶球時使用的方式。

海藻酸鈉雖為褐藻類萃取，但查詢資料發現製程中包含強鹼萃取、脫色、脫味、酸化處理等多種化學操作，讓我們想探究更天然的替代方式。

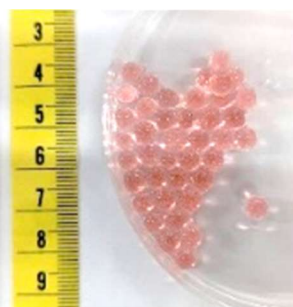
原理：

氯化鈣溶液中的鈣離子會取代海藻酸鈉中鈉離子的角色，並且抓住海藻酸鈉之間的羧酸離子，使得海藻酸鈉之間的連結性更強。透過交聯作用，使鏈狀分子互相連結，形成一個三度空間的網狀組織結構(如下圖)。

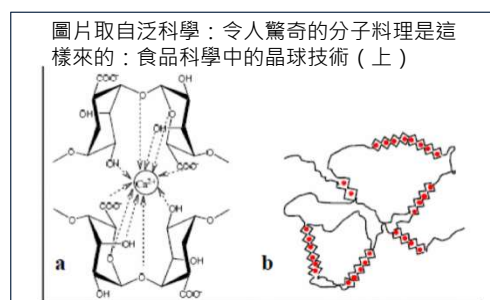
(原理及作法取自國立科學工藝博物館科學學習中心-分子料理)



海藻酸鈉溶液滴入乳酸鈣溶液中



晶球成品



晶球化反應原理

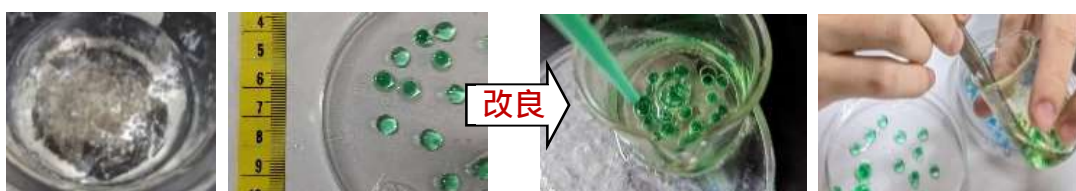
### [方法 2 實作成果]

操作：明膠水溶液(添加綠色素)滴於裝有冰塊的培養皿蓋子上。

說明：利用明膠可溶解於溫水中的特性，將其溶解，滴於事先裝水並冷凍、加蓋的培養皿，靜置約 10 分鐘，成品呈半球形，可用鑷子夾取。

### 探究改良方式：

我們希望能得到「晶球」，因此思考能使其保持球形的操作方式，聯想到小時候玩過的滴漏計時器、彩色珍珠雨等。決定嘗試將明膠水溶液「滴入冷的植物油中」，成功製得「明膠晶球」。



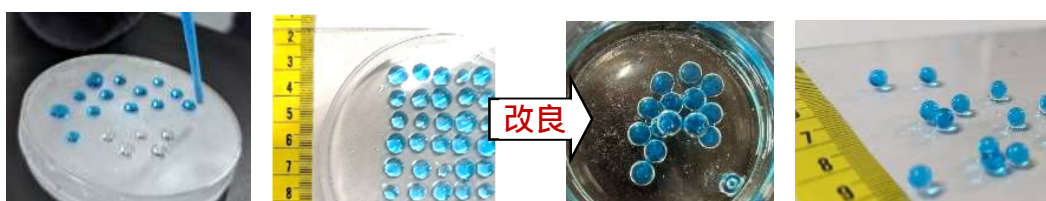
### [方法 3 實作成果]

操作：洋菜水溶液(添加藍色素)滴於裝有冰塊的培養皿蓋子上。

說明：洋菜條泡入水中加熱至沸騰並完全溶解，操作類似明膠晶球，但更容易成形。

### 探究改良方式：

與明膠操作類似，改滴於冷植物油中，可得球形的「洋菜晶球」。且成形效果較明膠好，夾取時也明顯感覺到較明膠晶球堅固。



### [方法 4 實作成果]

操作：愛玉籽溶液(添加黃色素)滴入乳酸鈣溶液。

說明：預期可得到如海藻酸鈉加乳酸鈣的效果，但實測難以成形。提高愛玉籽比例後雖有類似晶球的顆粒但難以分離，四周仍有黏稠的愛玉包圍這些顆粒。



### 探究改良方式：

由於愛玉果膠遇到含鈣離子的水本來就會慢慢凝固成凍狀，我們改變操作方式，用製作天然愛玉的方法，但不使用模型，而是將愛玉溶液直接滴在平面上，靜置等待凝固。實作成品可使用刮勺取出，但無法使用鑷子夾取，與其他三種原料製作出的晶球比較，明顯較軟。



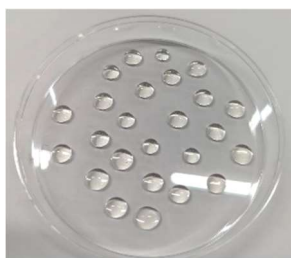
果汁機攪打混合



紗布過濾



滴成液珠



靜置



翻面確定凝固




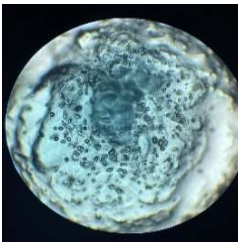
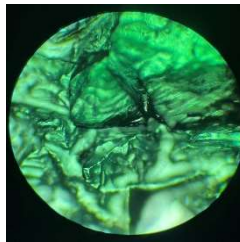

取出觀察

愛玉籽的部分，使用阿里山野生愛玉籽及苗栗農改場「苗栗二號」愛玉技轉戶生產的「高果膠愛玉籽」。實測相同做法，「高果膠愛玉籽」製作的愛玉晶球，成形成狀較佳。



### 2. 使用顯微鏡觀察各種晶球結構：

晶球剖半觀察剖面，以下為 40 倍之顯微結構。








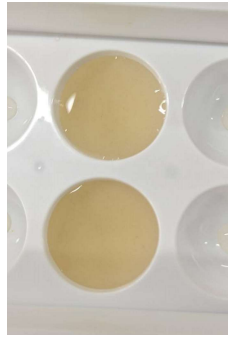
海藻酸鈉晶球	洋菜晶球	明膠晶球	愛玉晶球
			
切開後中心液體可吸出，放大如碗狀，表面平滑。外膜厚度約 500 微米。	肉眼看似光滑，放大觀察有許多細小的孔洞，孔徑約 50-100 微米。	肉眼看似光滑，放大觀察有許多像是皺褶重疊的結構。	肉眼看似乾淨均勻的凝凍，放大觀察有許多細小的雜質，推測為愛玉籽的碎屑。

3. 改良已知分子料理食譜，將已知的分子料理食譜改用上上述原料操作：

① 可樂魚子醬

海藻酸鈉晶球	洋菜晶球	明膠晶球	愛玉晶球
			愛玉籽與可樂無法形成晶球
<p>口感： 類似市售「爆爆珠」，內部仍為液態可樂，但因添加海藻酸鈉而帶有鹹味。</p>	<p>口感： 類似果凍但口感偏脆，仍保有可樂的味道。</p>	<p>口感： 口感較 Q 彈，介於果凍與軟糖之間，仍保有可樂的味道。</p>	

② 優格太陽蛋

海藻酸鈉	洋菜	明膠	愛玉
			
<p>作法： 以湯匙挖取適量海藻酸鈉與柳橙汁形成的黏稠物質，緩慢浸入乳酸鈣溶液中，形成大晶球。</p> 	<p>作法： 洋菜加入柳橙汁中，加熱使洋菜溶解，稍微放涼後，倒入半球形的冰塊模型中冷卻。</p> 	<p>作法： 明膠加入柳橙汁中，加熱使洋菜溶解，稍微放涼後，倒入半球形的冰塊模型中冷卻。</p> 	<p>作法： 愛玉籽與礦泉水充分攪打混合後以紗布過濾，將愛玉果膠的溶液倒入半球形的冰塊模型中靜置。</p> 
<p>口感： 視覺與口感如「半熟蛋」，但味道為帶鹹味的柳橙汁。</p>	<p>口感： 蛋黃部分為<b>略硬且脆</b>的柳橙果凍。</p>	<p>口感： 蛋黃部分為<b>較軟且 Q 彈</b>的柳橙果凍。</p>	<p>口感： 蛋黃部分幾乎沒有味道，是<b>水嫩</b>的口感。</p>

## 五、結論與生活應用

1. 本次探究與實作內容，都是使用容易取得的材料，一般在製作點心時經常會使用到如洋菜、明膠等，而海藻酸鈉、乳酸鈣、愛玉籽在烘焙材料行、食品原料行都可以買到。實作結果成功開發除了「加水加熱後倒入模型」之外，其他的操作方式，但對於「讓天然飲食增添更多樂趣，讓分子料理的驚奇與健康飲食的堅持得以融合」這個目標，有了符合預期的進展。
2. 現行許多關於「分子料理」的補充教材，或探究與實作相關的出版品，都只有使用海藻酸鈉與乳酸鈣來製作晶球。依據我們查詢的文獻「食品膠的膠凝特性及其機制」，膠凝機制主要可分為三類：

類型	原理
<b>蛋白質類膠凝</b> (明膠)	明膠成膠時，蛋白質中的多肽鏈相互交聯使得每分子能形成約五或六個結晶性區域，這些交聯可能是由於氨基酸與側鏈羧基之間發生的鹽鍵作用力而產生的。
<b>熱膠凝</b> (洋菜)	此類型膠凝通常經歷三個明顯的階段：自由纏繞，雙重螺旋，聚集，其中所形成的雙重螺旋結構是形成這類凝膠網路的基礎。
<b>化學膠凝</b> (海藻酸鈉、愛玉)	離子性的食品膠在有高價金屬離子存在下可以形成凝膠，海藻酸鈉和愛玉果膠都是透過與鈣離子發生化學反應交聯，而獲得一種特殊的凝膠。

本探究結果利用三種不同的膠凝方式製作晶球及改良已知分子料理，並觀察顯微結構的差異，可提供以此類活動做為教材的探究與實作課程，作為施行的參考。

3. 查詢資料發現「凝膠特性」在食品或醫藥方面還有許多應用，例如「微膠囊」可以使液狀的食品轉變為固體、降低揮發性、保護機能活性、防止營養流失，以及增加吸收效率等。使用不同方式製作的天然晶球，在這些方面的應用功效如何，是可以延伸的部分。
4. 這些技術除了用於「分子料理」，也有環境永續的相關應用。例如為了減少寶特瓶與塑膠的使用量所研發的「Ooho 可食用水球」，也運用了晶球技術的原理。不過報導中也提到目前仍有許多像是保存期限、裝載量、在沒有額外包裝的情況下，是否堅固與方便攜帶，以及是否能夠大量運輸等問題尚待解決。因此如何讓晶球更堅固耐用、便於運輸及攜帶，也是生活應用中可以持續探究的問題。

### 參考資料

1. 泛科學--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>
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. 可樂魚子醬製作 <https://www.youtube.com/watch?v=Aewl-DI02Xg>
4. 優格太陽蛋製作 <https://www.youtube.com/watch?v=HlzObTG-sC0&t=3s>
5. 分子料理的創新技巧 [https://moodplus-food.com/molecular\\_cuisine/](https://moodplus-food.com/molecular_cuisine/)
6. 食品膠的膠凝特性及其機制 <https://reurl.cc/qrM7nN>
7. 國立科學工藝博物館科學學習中心-分子料理 [https://www.youtube.com/watch?v=\\_vIT4VLJ2iE](https://www.youtube.com/watch?v=_vIT4VLJ2iE)