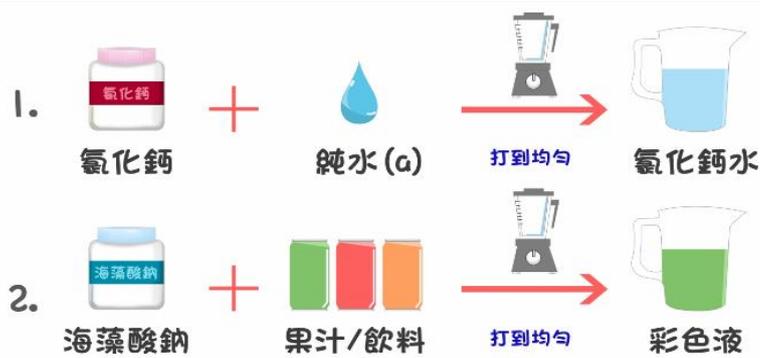


# 2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 國中組 成果報告表單

<b>題目名稱：食物的美好與交聯</b>
<b>一、摘要</b>
分子料理是一種改變食物原有的面貌，利用化學變化改變食物原有的樣貌、口感、操作方式。本實驗將不同鹽類水溶液加入海藻酸鈉水溶液，探討海藻酸鈉水溶液中交聯反應發生的情形，從研究結果顯示，鎂、鈣、鋇、鋇等 IIA 族的元素陽離子可在海藻酸鈉中形成晶球狀，若是 IA 族陽離子則難以形成完整的晶球狀。
<b>二、探究題目與動機</b>
大家都吃過各式各樣的的料理吧!我們非常喜歡嘗試各式各樣的食物，所以經過許多的思考後決定要進行與分子料理相關的實驗，當我們搜尋到與分子料理相關的影片時，不禁開始思考到底要如何利用實驗室裡的藥品做出一個顛覆視覺藝術的料理呢?本實驗探討不同的鈣離子加入同濃度的海藻酸鈉溶液時，是否能形成如同高級分子料理一樣圓的球體，若加入不同陽離子至海藻酸鈉溶液會不會影響到晶球的形狀。實驗結果顯示的確有某些特定的離子加入海藻酸鈉溶液能夠形成晶球狀，但是部分離子則會變成一攤液體。
<b>三、探究目的與假設</b>
為了探討不同的陽離子加到海藻酸鈉溶液所產生的交聯反應，因此進行以下實驗： 1.不同的陽離子加入海藻酸鈉溶液能不能呈現晶球狀 2.海藻酸鈉溶液的濃度會不會影響交聯反應的進行 3.不同濃度的陽離子加進海藻酸鈉溶液會不會影響交聯反應的進行
<b>四、探究方法與驗證步驟</b>
1.為了了解不同的陽離子加入海藻酸鈉溶液能不能發生交聯反應，選擇氯化鎂、氯化鈣、氯化鋇、氯化鋇、氯化鉀與氯化鈉進行實驗，希望能從實驗的過程釐清海藻酸鈉與不同種類的陽離子是如何發生交聯反應，以及為甚麼只有一部分的陽離子能與海藻酸鈉發生反應。實驗流程圖如圖一所示，實驗步驟示意圖如圖二所示。 (1)配製固定濃度的海藻酸鈉溶液，海藻酸鈉與蒸餾水比例為 1：200 (2)配製固定濃度的陽離子水溶液，陽離子與蒸餾水比例為 1：5 (3)使用滴管將陽離子溶液滴入海藻酸鈉溶液中

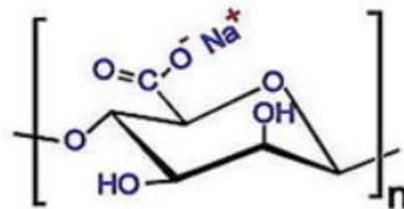
圖一 實驗流程圖



圖二 實驗步驟示意圖

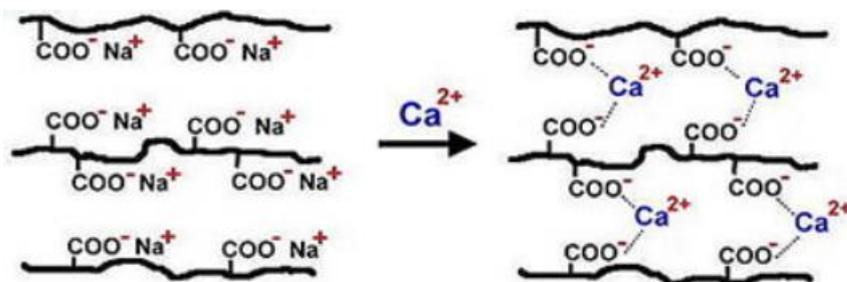
## 2. 探討交聯反應如何發生

海藻酸鈉為一種高分子化合物，化學式為 $(C_6H_7O_6Na)_n$ ，結構式如圖三所示。



圖三 海藻酸鈉結構式

當海藻酸鈉滴入氯化鈣溶液中，鈣離子會取代鈉離子的角色，並抓住海藻酸鈉分子之間的羧酸根離子，使得分子間的聯結性更強，如圖四所示，此交聯反應 (cross-linking) 使分子更為固定，流動性降低而形成半透膜。(國立台中教育大學 科學遊戲實驗室)



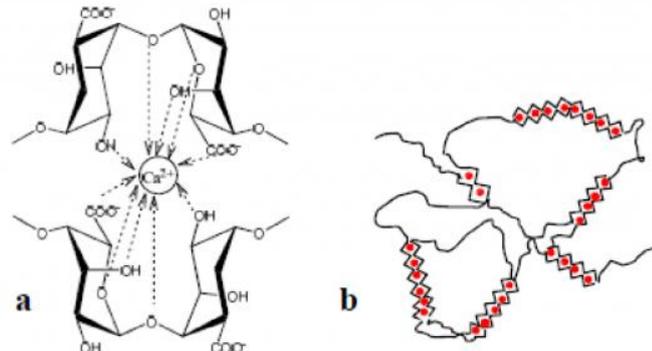
圖四 海藻酸鈉與鈣離子之交聯反應

為了進一步了解海藻酸鈉與鈣離子間的交聯反應如何發生，我們針對搜尋到的文獻進行以下的整理。

(1) 文獻一：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)，2019/08/09。

海藻酸鈉為一種線性無分支的高分子聚合物，單體包含有 D-甘露糖醛酸 (D-mannuronic acid, M) 和 L-古羅糖醛酸 (L-guluronic acid, G)。此兩種單元會以 M-M、G-G 或 M-G 的組合方式通過糖苷鍵相連成為嵌段共聚體。

M 或 G 的比例會隨著原料種類和氣候而有所不同，導致產率和黏度會有些許差異，高 G 型海藻酸鈉質硬而脆、熱穩定性好，而高 M 型海藻酸鈉反之，硬度雖差但較有彈性。海藻酸鈉溶液與鈣離子形成的離子架橋為一個三度空間的網狀結構，如同蛋盒一樣可將內容物包裹於凝膠結構中，形成半透膜，於特定環境下將內容物釋出，如圖五所示。

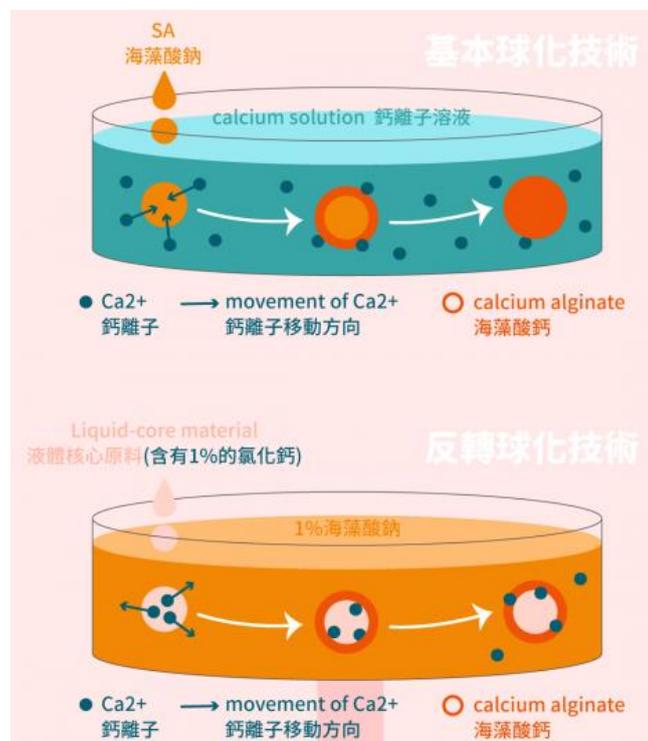


圖五 連續 G-G 組合與鈣離子形成的蛋盒模式與 M-M 組合形成的平滑聚合物鏈示意圖  
(2)文獻二：從炫技料理到可食用水球：食品科學中的晶球技術（下），2019/08/10。

海藻酸鈉溶液與鈣離子形成的交聯反應可分為「晶球化」與「反向晶球化」兩大方向，如圖六所示。

晶球化技術採用直接滲透，在食品中加入海藻酸鈉，然後滴入含有鈣離子的溶液中，操作簡單且快速，較適用於餐廳廚房製做分子料理。

反向晶球化利用食品本身含鈣的特性，或額外添加鈣離子的方式，滴入海藻酸鈉溶液，讓周圍發生交聯反應形成半透膜，形成的膜厚度通常比晶球化的膜厚，較容易維持球形且不易爆開。

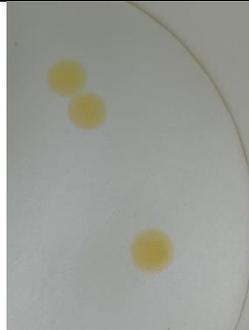
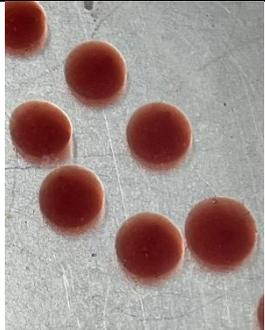


圖六 晶球化與反向晶球化

### 3.IIA 族陽離子與海藻酸鈉的反應

由上述文獻可知，鈣離子可與海藻酸鈉溶液產生交聯反應而生成半透膜得到完整的晶球，此部分的實驗我們想探討是否所有的 IIA 族陽離子皆有相同的反應，選擇氯化鎂、氯化鈣、氯化鋇和氯化鋇進行實驗，反應時間固定 30 秒，實驗結果如表一所示。

表一 IIA 族陽離子與海藻酸鈉反應

陽離子	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Ba <sup>2+</sup>
是否形成晶球狀	是	是	是	是
晶球外觀	呈球狀，膜較薄	呈球狀，且半透膜厚實	呈球狀，且半透膜厚實	呈球狀，且半透膜厚實
照片				

實驗結果顯示 IIA 族陽離子水溶液普遍皆能與海藻酸鈉溶液形成交聯反應，但在浸泡相同時間的條件下，半透膜的厚度略有差異，Mg<sup>2+</sup>形成的半透膜略薄，推論可能原因與 IIA 族陽離子的半徑和電荷密度大小有關，其電荷密度大小由高至低順序為：Ba<sup>2+</sup> > Sr<sup>2+</sup> > Ca<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup>，可知不同離子的化學性質與反應活性不同，海藻酸鈉的結構是帶有負電荷的高分子化合物，可與鋇離子有較強的交聯反應，而與鎂離子的交聯反應較弱，造成膜的厚度不如其他 IIA 族陽離子。

### 4.IA 族陽離子與海藻酸鈉的反應

為了探討是否 IA 族陽離子也能如同 IIA 族陽離子與海藻酸鈉溶液產生交聯反應，而生成晶球狀的半透膜，我們選擇氯化鈉和氯化鉀進行實驗，反應時間固定 30 秒，實驗結果如表二所示。

實驗結果顯示 IA 族陽離子無法與海藻酸鈉溶液發生交聯反應，滴入 IA 族陽離子水溶液時，無法形成晶球狀，而是直接分散溶解於海藻酸鈉溶液中，我們推測 IA 族陽離子因離子半徑小且電荷密度高，在水中會與水分子形成水合層，因帶 1 個正電荷，所以與難以和海藻酸鈉鍵結形成網狀結構，不易進行交聯反應。

表二 IA 族陽離子與海藻酸鈉溶液反應

陽離子	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
是否形成晶球狀	否	否
晶球外觀	液態狀擴散	液態狀擴散
照片		

### 五、結論與生活應用

經由此次的實驗，我們可以知道不同的陽離子會影響到海藻酸鈉的交聯反應，也能理解交聯反應的反應過程，若能適當運用海藻酸鈉與二價陽離子的比例，可在食品科學的領域創造出顛覆視覺效果的食品，做出視覺與味覺雙贏的料理。

本實驗得到的結論，簡述如下：

1. 當海藻酸鈉滴入氯化鈣溶液中，鈣離子會取代鈉離子的角色，並抓住海藻酸鈉分子之間的羧酸根離子，使得分子間的聯結性更強，稱為交聯反應，可使分子更為固定，流動性降低而形成半透膜。
2. IIA 族陽離子水溶液普遍皆能與海藻酸鈉溶液形成交聯反應，但在浸泡相同時間的條件下，半透膜的厚度略有差異，Mg<sup>2+</sup>形成的半透膜略薄，推論可能原因與 IIA 族陽離子的半徑和電荷密度大小有關。
3. IA 族陽離子無法與海藻酸鈉溶液發生交聯反應，滴入 IA 族陽離子水溶液時，無法形成晶球狀，而是直接分散溶解於海藻酸鈉溶液中。

### 參考資料

1. 國立台中教育大學 NTCU，科學教育與應用學系科學遊戲實驗室  
<http://scigame.ntcu.edu.tw/chemistry/chemistry-019.html>
2. 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>
3. 從炫技料理到可食用水球：食品科學中的晶球技術（下）  
<https://anwen.cc/share/30782>
4. 余怡青。分子料理的探究與「食」作-以晶球化反應為例。龍騰文化。