

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 化學科

第三名

080203

「囊囊」上口-新型水膠囊之研發

學校名稱：臺北市大安區仁愛國民小學

作者： 小五 洪子森 小六 陳冠霖 小五 王宥筑 小五 施語安 小六 蕭立宇	指導老師： 陳芬芳
---	------------------

關鍵詞：水膠囊、海藻酸鈉、環保減塑

摘要

本研究首創「**新型真雙層膜水膠囊**」製法：「**先製膜再裝水**」改良舊式「**冰式水膠囊**」的限制和缺點，並發現最佳製作濃度為**3.0 %海藻酸鈉與 1.0 %氯化鈣溶液**組合。此組合製成的**水膠囊耐重力為 1830 gw**，是冰式水膠囊的**4 倍之多**，**耐拉力 755.8 gw、耐摔力 188 cm**，都遠優於舊式水膠囊，**TDS 總溶解固體量 19.6 mg/L**，符合飲用水標準，且其抗穿刺力測試明顯優於市售手搖杯的封膜。至於耐冷熱測試，可耐冷至 **-18°C**、耐熱至 **100°C**，非常適合冷熱飲之應用。尤其是國內首創之「**創意形體膠囊**」-**三角體膠囊及方形體膠囊**的開發，成功包裹各種飲料、佐料與防疫用品。我們的新型水膠囊，無論在雙層膜的創意設計、性質、形體及應用各方面，都提供食品「**囊囊上口**」、生活環保減塑新契機。

壹、研究動機

學校積極的推動減塑活動，讓我們意識到塑膠對海洋的嚴重汙染，也促使我們想要了解更多關於海洋汙染的報導。網路上有一則令人印象深刻的新聞⁽¹⁾，全球每分鐘會賣出超過 100 萬個塑膠寶特瓶，到了 2050 年全球的塑膠生產總量將增加到 3 倍、達 11.24 億公噸之多，引起我們相當大的震撼，所以我們想要製造一種環保囊膜來取代更多的塑膠包裝。

我們上網查了 Ooho、「探囊取水」⁽²⁾和「吃我一顆水球」⁽³⁾等文獻發現，他們成功的應用海藻酸鈉和氯化鈣溶液製造了環保膜，他們的製作方法都是「先將水凍成冰，再用單層膜或雙層膜把冰塊包住，冰塊融化後就成了可隨身攜帶的水球」，我們稱它為「冰式水膠囊」。我們也發現國內研究都是利用分子料理中的「球化」技術，利用湯匙或注射筒製成晶球膠囊，目前尚無研究出其他形體膠囊。再加上「冰式水膠囊」需要先製冰的方法會增加製程時間，裹上一層氯化鈣冰也有影響水質的可能，且其耐力測試普遍不高攜帶不易，更何況像醬油和番茄醬這些凝固點較低、不容易結冰的佐料就可能無法包裹而降低應用性。。

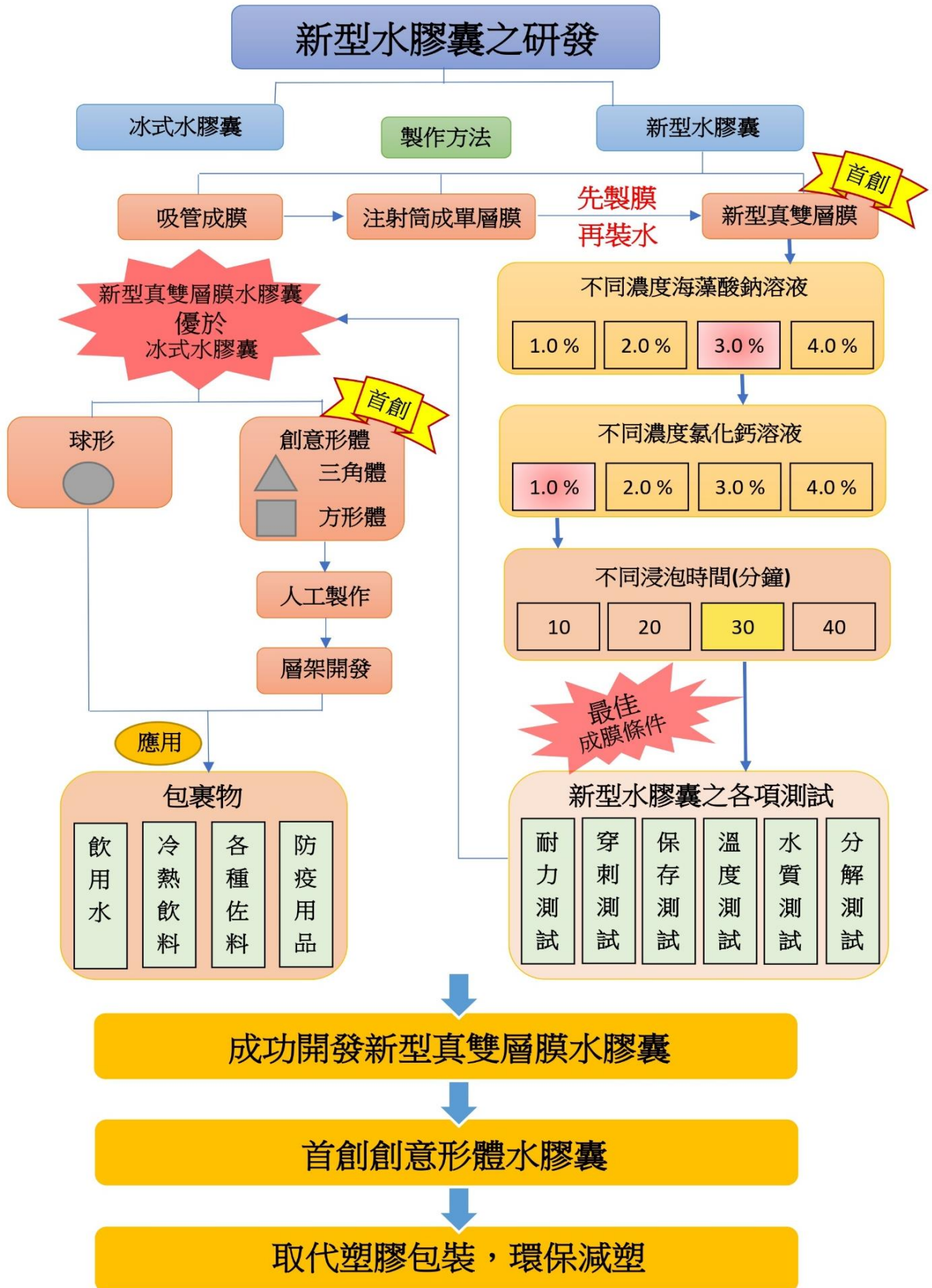
因此我們思考，若能設計出簡單、兩次鈣離子與海藻酸鈉的交聯作用方式，希望可解決冰式水膠囊的耐力不足難以攜帶問題，且能夠將「製膜」與「填充」分段進行，先製成「囊膜」，再裝進飲用水等物質的新型水膠囊，以確保填充物質的安全及品質，且可挑戰冰式水膠囊難填充之低凝固點佐料、防疫酒精等液體。此外想嘗試研發出跳脫球體形狀的囊膜，設計出三角體或方形體囊膜的可能性，增加收納便利性及民眾喜愛度，達到減塑環保的目標。

貳、研究目的

- 一、研發出完全不用塑膠成分，達到可真正易分解的環保水膠囊。
- 二、研發出完全跳脫「冰式水膠囊」框架之創新「成膜模式」製作水膠囊。
- 三、研發出創意形體水膠囊，以提升大眾的喜愛度。
- 四、研發出具實用價值的新型水膠囊，應用於各式飲料、佐料與防疫用品的包裝。

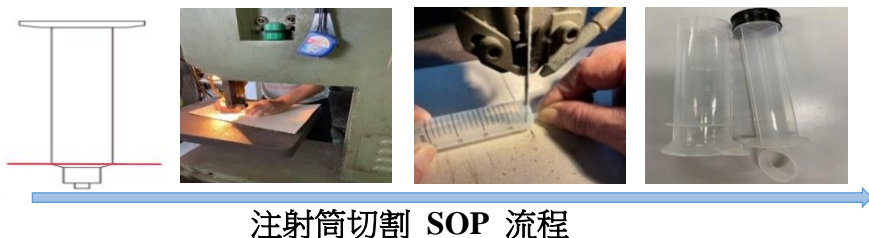
參、研究設備及器材

一、研究架構



二、設備與器材

1. 自製裝置：建立注射筒切割SOP流程、製作三角體膠囊層架、設計抗穿刺力測試固定臺



注射筒切割 SOP 流程



製作三角體膠囊層架



抗穿刺力測試固定臺



2. 實驗器具：

數位推拉力計、數位膜厚度測儀、TBS 總硬度測試劑、TDS 總溶解固體量測試筆、pH 值測試筆、切割機、電子秤、製冰盒、水溶液儲存盒、成型模具、各種尺寸注射筒、均質機、捲尺、燒杯、吸管、量筒、各種尺寸湯匙、木夾、冰箱、溫度計。

3. 實驗材料：

海藻酸鈉 (帝一公司)、無水氯化鈣 (帝一公司)、番茄汁、柳橙汁、葡萄汁、牛奶、可樂、米酒、番茄醬、醬油、烏醋、美乃滋、洗手乳、酒精、洗碗精、三角飯糰封膜、手搖飲封膜、保鮮膜。

肆、研究過程或方法

一、文獻回顧

(一) 環保囊膜

用海藻酸鈉和氯化鈣或乳酸鈣溶液來製作環保囊膜的研究種類繁多，以下是我們整理出的比較表：

題目 (屆別)	研究焦點
有球必淨—探討液態皂球製作 (全國科展第 61 屆)	<p>原料與重點提要：</p> <ol style="list-style-type: none"> 液態皂—氫氧化鉀、椰子油、橄欖油、蓖麻油、棕櫚油 皂球—<u>6.0 % 海藻酸鈉、3.0 % 乳酸鈣</u> 抗菌皂球—柚子皮、檸檬皮、薄荷葉、蘆薈等萃取液 <p>製作方式：</p> <ol style="list-style-type: none"> 以水萃法萃取植物的菌液，再利用椰子油+棕櫚油混合製成液態皂液。 將液態皂液加入 <u>6.0 % 海藻酸鈉溶液中</u>→<u>放入 3.0 % 乳酸鈣溶液中</u>→經搖晃機搖晃 3 分鐘形成皂球。 <p>成品：<u>抗菌皂球</u> 形狀：<u>球形</u> 包覆物：<u>海藻酸鈉+皂液</u></p>
這膜厲害~探討海藻酸鈉水球保存及包覆的種種特性	<p>原料與重點提要：</p> <ol style="list-style-type: none"> <u>1.0 % 海藻酸鈉、2.0 % 乳酸鈣</u> 水球膜可保存水分 (保存水球的<u>最佳溫度是 30°C</u>，<u>酸或中性的環境比鹼性好</u>)。

<p>(全國科展第 59 屆)</p>	<p>3.包覆物質（水球膜可讓分子量約 10000 以下的分子通過）、通過強酸考驗（水球膜包裹下的酵母菌、唾液澱粉酶和香蕉酵素，在通過模擬消化道的酸鹼和蠕動後仍具有活性）。</p> <p>製作方式：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.空心-<u>乳酸鈣冰浸置海藻酸鈉溶液中</u> 2.實心-<u>海藻酸鈉溶液浸置乳酸鈣溶液中</u> <p>成品：海藻酸鈉水球</p> <p>形狀：球形</p> <p>包覆物：海藻酸鈉、乳酸鈣</p>
<p>鈣多晶球 (全國科展第 58 屆)</p>	<p>原料與重點提要：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.<u>海藻酸鈉與鈣液</u>（氯化鈣、乳酸鈣、檸檬酸鈣、醋酸鈣、牛奶、優酪乳）。 2.影響晶球成形及晶球膜厚度的因素是涵蓋物質的種類、濃度及作用時間。（0.015625 % ~ 0.5 % 濃度中以浸泡在 0.5 % 氯化鈣溶液的球最圓最硬） 3.保存在<u>強酸中可以使膜增厚、保存在強鹼中可以耐壓，而溫度對晶球破壞力較強。</u> <p>製作方式：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.將海藻酸鈉溶液加入氯化鈣溶液中 2.將氯化鈣冰，放入海藻酸鈉溶液中 <p>成品：晶球</p> <p>形狀：球形</p> <p>包覆物：乳酸鈣攪拌蔓越莓汁、用果汁攪拌海藻酸鈉</p>
<p>目不轉晶---探討海藻酸鈉薄膜的形成與其相關應用 (全國科展第 56 屆)</p>	<p>原料與重點提要：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.<u>2.0 % 海藻酸鈉、2.0 % 氯化鈣</u> 2.主要探討不同價數陽離子溶液與海藻酸鈉溶液來做結合成形，結果發現<u>正二價離子</u>（氯化鈣、氯化鋇、氯化鎂、氯化亞鈷、硫酸銅、硫酸鋅、硫酸鐵）效果最好，其中更以 Ca²⁺較為穩定。 3.最佳的製作溫度條件為 20~30°C，<u>晶球硬度最佳化 2.0 % 海藻酸鈉水溶液浸泡在離子溶液 2.0 % 氯化鈣溶液中 90 分鐘以上最好。</u> <p>製作方式：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.將海藻酸鈉溶液滴入氯化鈣溶液中 2.將氯化鈣溶液滴入海藻酸鈉溶液中 <p>成品：晶球</p> <p>形狀：球形</p> <p>包覆物：海藻酸鈉、氯化鈣</p>
<p>「Ooho」衣洗 (高中 110 年專題競賽)</p>	<p>原料與重點提要：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.海藻酸鈉、氯化鈉、氯化鈣、硫酸鈣、鹽酸、氫氧化鈉。 2.將洗衣精融入「海藻酸鈉水溶液+固化液（氯化鈣、硫酸鈣）」中製作成洗衣球。 3.主要探究「膜」的厚度和外型。 4.不同海藻酸鈉濃度，對晶球外膜厚度的影響（堅固性）。 5.探討氯化鈣、硫酸鈣對晶球的影響（浸泡時間長短，產生的厚度比較、氯化鈣與硫酸鈣球的厚度比較）。 6.不同 pH 值溶液（pH1~13）對晶球影響（觀測外型及厚度）。 <p>製作方式：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.配製 <u>2.5 % 海藻酸鈉溶液</u>，再加入 <u>40 克</u>的洗衣精攪拌均勻→製作 <u>1.0 % 氯化鈣溶液</u>→將海藻酸鈉溶液倒入小湯匙中，放入氯化鈣溶液搖晃使之成球狀→浸泡在氯化鈣溶液中 <u>10 分鐘</u>即可形成晶球。 <p>成品：洗衣球</p> <p>形狀：球形</p> <p>包覆物：海藻酸鈉+洗衣精</p>

<p>QQ ㄉㄨㄛ ㄉㄨㄛ ㄉㄨㄛ 好洗到爆的 Q ㄉㄨㄛ ㄉㄨㄛ 球 (高中 109 年專題競賽)</p>	<p>原料與重點提要：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.以 3.0 % 海藻酸鈉、1.1 % 氯化鈣溶液成膜製作出可包洗面劑的「洗面球」。 2.探討海藻酸鈉能否與自製洗面乳混合，並開發各種不同香精及色彩的新型「洗面球」。 3.以「胺基酸起泡劑+海藻酸鈉+甘油+苯氧乙醇+萃取液」製成洗面劑 4.測試內容物 pH 值及保濕度、耐重及耐摔度（易破程度）。 <p>製作方式：</p> <p>1.調製氯化鈣及海藻酸鈉溶液→將海藻酸鈉溶液加入氯化鈣溶液中→成膜→製作→以針筒將洗面乳溶液注入膜中→成品。</p> <p>成品：洗面球 形狀：球形 包覆物：海藻酸鈉+洗面劑（含檸檬萃取液、草莓萃取液.....）</p>
---	--

文獻探討如下：

網路上的 Ooho 是一種凝膠狀的雙膜球，它使用生質囊膜來包裝純水，不只可以代替一次性塑料瓶、可生物降解友善環境，還可吞下肚，這引起我們很大的興趣。分析文獻發現，「有球必淨」⁽⁴⁾、「這膜厲害」⁽⁵⁾、「鈣多晶球」⁽⁶⁾、「目不轉晶」⁽⁷⁾、「Ooho 衣洗」⁽⁸⁾、「QQ ㄉㄨㄛ ㄉㄨㄛ ㄉㄨㄛ 好洗到爆的 Q ㄉㄨㄛ ㄉㄨㄛ 球」⁽⁹⁾等文獻的製膜材料多以海藻酸鈉與氯化鈣的組合，且上述文獻中製膜的濃度**海藻酸鈉溶液從 1.0 % ~ 6.0 % 不等，氯化鈣溶液也從 0.5 % ~ 2.0 % 不同**，本研究是以**海藻酸鈉與氯化鈣為製作原料，期許找出製膜的理想濃度並開創新的製作方式，推廣其應用性，達到環保減塑的目標。**

另外這些文獻的「成品」為抗菌皂球、海藻酸鈉水球、晶球、洗衣球、洗面球都是「球形」，國內尚無其他形體的水膠囊出現，因此**我們想嘗試開發「三角體」、「方形體」水膠囊來增加大眾的喜愛度**。尤其「目不轉晶」的膠囊包覆物只是海藻酸鈉和氯化鈣，「有球必淨」、「這膜厲害」、「鈣多晶球」、「目不轉晶」、「Ooho 衣洗」、「QQ ㄉㄨㄛ ㄉㄨㄛ ㄉㄨㄛ 好洗到爆的 Q ㄉㄨㄛ ㄉㄨㄛ 球」等文獻的囊膜包覆物也都是用海藻酸鈉攪拌(或注射入)抗菌皂液、洗面乳、洗衣精、果汁的方式，**如何擺脫混入大量的海藻酸鈉，純粹以「環保囊膜」來裝取水、果汁或其他更多食品或用品，是本研究想嘗試的最大突破。**

(二) Ooho 水膠囊

單純以「環保囊膜」來裝取水，沒有填充大量海藻酸鈉的研究不多，如下比較表：

題目(屆別)	研究焦點
<p>探囊取水—探討雙層膜水膠囊的製作方法、保存方法與各項測試 (全國科展第 61 屆)</p>	<p>原料與重點提要：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.海藻酸鈉、氯化鈣。 2.建立最佳雙層膜水膠囊的製作模式。 3.雙層膜水膠囊最佳的保存方法。 4.不同濃度組合水膠囊的耐力及水質檢測 (耐摔力最佳 22.8 cm)。 5.探討雙層膜水膠囊囊膜的分解比較。 6.開發飲料膠囊的製作方式。 <p>製作方式：</p> <p>1.飲用水加 1.0 % 氯化鈣冰塊→浸置 1.0 % 海藻酸鈉溶液中(2 min)→再浸置 1.0 % 氯化鈣溶液中(5 min)</p> <p>成品：冰式水膠囊(類雙層膜) 形狀：球形 包覆物：純水、茶、果汁、牛奶、養樂多</p>

<p>吃我一顆水球-探討無瓶水製造方式和性質檢測 (全國科展第 56 屆)</p>	<p>原料與重點提要：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.海藻酸鈉、氯化鈣、乳酸鈣。 2.海藻酸鈉溶液應選擇 0.5 % ~2.0 % 濃度；氯化鈣溶液濃度至少 1.0 %、乳酸鈣水溶液濃度至少要 2.0 % 較易製作出水球膜。 3.保存應浸泡於純水並置冰箱冷藏。 4.1.0 % 海藻酸鈉溶液所製造出的無瓶水球在耐力表現均好。 (耐摔力最佳 16.8 cm) <p>製作方式：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.純水冰加氯化鈣或乳酸鈣溶液再次結冰後，再浸置海藻酸鈉溶液中 <p>成品：冰式水膠囊 (單層膜) 形狀：球形 包覆物：純水</p>
<p>『膠囊』牙膏 (高中 110 年專題競賽)</p>	<p>原料與重點提要：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.海藻酸鈉、氯化鈣。 2.用海藻酸鈉膜包覆牙膏，以取代市售塑膠軟管。 3.有測試膠囊牙膏放置在各種環境中重量的流失。 <p>製作方式：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.將自製牙膏裝入市售膠囊殼中，接著在外層裹上海藻酸鈉，泡入氯化鈣中，一小時後取出。 2.二次成膜：跟一次成膜作法一致，重複二次。 3.吸管成膜：把吸管剪短，放入內容物，過一段時間取出並用海藻酸鈉封口。 <p>成品：膠囊牙膏 形狀：膠囊狀 包覆物：牙膏</p>

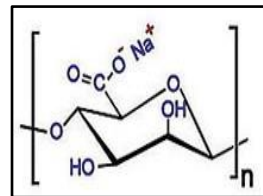
文獻探討如下：

<p>冰式水膠囊</p>	<p>缺點</p>
<p>探囊取水 (冰式類雙層膜水膠囊) 吃我一顆水球 (冰式單層膜水膠囊)</p>	<p>√ 製冰時間長 √ 製作過程會影響水質 √ 一摔就破(耐摔力最佳只 22.8 cm) √ 應用性有限(不易結冰者無法包裹)</p>
<p>吸管成膜</p>	<p>特殊製法</p>
<p>『膠囊』牙膏⁽¹⁰⁾ (先製膜再裝牙膏)</p>	<p>吸管成膜後 再填裝牙膏</p>

- ✓ 本研究突破目標：
1. 先製膜、再裝水
 2. 開發創意形體
 3. 提升耐力
 4. 提升水質
 5. 開發填裝飲料、佐料等各種可能性

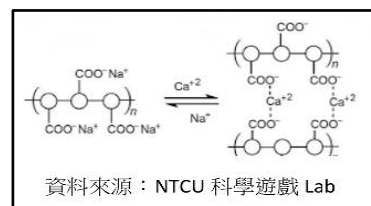
(三) 海藻酸鈉 (Sodium Alginate)

海藻酸鈉是一種可以重複再生的天然物質，無毒且容易取得；它是存在於褐藻的細胞壁或細胞間隙的天然膠質，經抽取純化之後，以鈉鹽形式存在。通常外觀為白色和淡黃色粉末，幾乎無臭、無毒、無味。海藻酸鈉有形成凝膠或成膜的特性，生物降解性為「可降解」。分子式： $[C_6H_7NaO_6]_n$



(四) 交聯作用

交聯作用是指許多分子相互交聯成網狀結構的較穩定分子的反應，當海藻酸鈉溶液浸置在氯化鈣溶液中，二價陽離子鈣離子會取代鈉離子，成為海藻酸鈣，並且抓住海藻酸鈉分子之間的羧酸離子，使得分子間的聯結性更強。反應中的鍵結多是氫鍵，藉由交聯作用可使高分子聚合物變得有彈性或變硬。



資料來源：NTCU 科學遊戲 Lab

(五) 可食用水膠囊與一次性塑料瓶的對比

項目	 Ooho	 PET	 HDPE	 PP	 PS
材質	海藻酸鈉和氯化鈣	聚乙烯對苯二甲酸酯	高密度聚乙烯	聚丙烯	聚苯乙烯
用途	飲用水、運動飲料、番茄醬。	聚酯纖維、熱可塑性樹脂、膠帶與寶特瓶、市售飲料瓶、食用油瓶等。	瓶子、購物袋、回收桶、農業用管、杯座、汽車障礙、鮮奶瓶、運動場設備。	汽車零件、工業纖維與食物容器、食品餐器具、水杯、布丁盒、豆漿瓶。	自助式托盤、食品餐器具、玩具、錄影帶盒、養樂多瓶、冰淇淋盒、泡麵碗和隔板。
分解	4~6 週	450 年	10~30 年	50 年	50 年

二、研究方法

A、新型水膠囊製程之探討

【實驗 A1】冰式水膠囊之製作與測試

前言：

分析 Ooho、「探囊取水」⁽²⁾、「吃我一顆水球」⁽³⁾文獻都是利用先製冰再包裹膜的舊式製法，即將純水冰塊裹上氯化鈣溶液後再次冷凍成冰塊，然後將此冰塊浸置於海藻酸鈉溶液中進行交聯作用，一段時間後用湯匙撈起並置於純水中等待冰塊融化，此為冰式單層膜水膠囊。如果將冰式單層膜水膠囊再浸置氯化鈣溶液中進行第二次交聯作用所製成的稱為冰式類雙層膜水膠囊，由此得知，不管哪種冰式水膠囊都只裹上一次海藻酸鈉溶液。本實驗利用「注射筒」取代「湯匙」定時定量來製作「冰式單層膜水膠囊」，「冰式類雙層膜水膠囊」，並進行水質測試與耐力測試，驗證「冰式水膠囊」的實用性，以找出改良方向。

步驟：

(一) 製作冰式單層膜水膠囊

1. 配置 3.0 % 海藻酸鈉、1.0 % 氯化鈣溶液。(簡稱為 3.0 % × 1.0 %)
2. 將水製成冰塊，再裹上一層 1.0 % 氯化鈣溶液並再次結成冰塊。
3. 製完冰後將針筒拉到 40 mL 的位置，然後把冰塊放進去並裹上一層 3.0 % 的海藻酸鈉溶液，再放入純水中，等待冰塊融化。
4. 取出觀察是否成功，製作過程如圖 1。



圖 1 冰式單層膜水膠囊製作過程圖

(二) 製作冰式類雙層膜水膠囊

1. 配置 3.0 % 海藻酸鈉、1.0 % 氯化鈣溶液。(簡稱為 3.0 % × 1.0 %)
2. 將水製成冰塊，再裹上一層 1.0 % 氯化鈣溶液並再次結成冰塊。

3. 製完冰塊後將針筒拉到 40 mL 的位置，然後把冰塊放進去並裹上一層 3.0 % 海藻酸鈉溶液，再放入 1.0 % 氯化鈣溶液中浸泡 30 分鐘，然後放純水中等待冰塊融化。
4. 取出觀察是否成功，製作過程如圖 2。

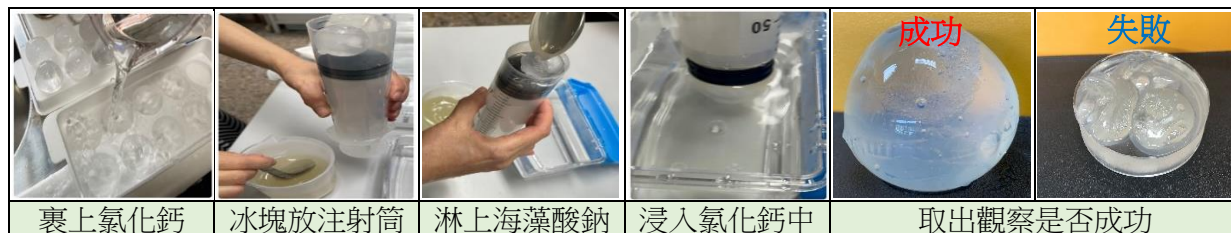


圖 2 冰式類雙層膜水膠囊製作過程圖

(三) 冰式水膠囊性質測試.

1. 水質測試

- (1) 製備 3.0 % 海藻酸鈉與 1.0 % 氯化鈣溶液組合的冰式單層膜水膠囊、冰式類雙層膜水膠囊各 5 顆。
- (2) 將每個水膠囊的水分別取出，用「TDS 測試筆」測試其總溶解固體量各 5 顆，並記錄其數值。

2. 耐力測試

- (1) 製備 3.0 % 海藻酸鈉與 1.0 % 氯化鈣溶液組合的冰式單層膜水膠囊、冰式類雙層膜水膠囊各 5 顆。
- (2) 用數位推拉力計測量每個水膠囊的耐重力各 5 顆，觀察記錄數值並拍攝過程影片。

結果：

(一) 製作冰式單層膜水膠囊

1. 本實驗用注射筒取代湯匙為工具，成功製作出冰式單層膜水膠囊與類雙層膜水膠囊。
2. 製作冰式水膠囊的成功率不高，約 50 % 左右，許多佐料凝固點較低製成冰塊有困難，若氯化鈣溶液包裹冰塊不完全，冰塊就容易跟海藻酸鈉溶液脫離或有縫隙滲水而宣告失敗。

(二) 冰式水膠囊性質測試.

1. 水質測試

- (1) 以 3.0 % 海藻酸鈉配上 1.0 % 氯化鈣溶液組合所製成的冰式水膠囊 TDS 總溶解固體量測試結果如表 1。

表 1 冰式水膠囊 TDS 總溶解固體量測試比較表 (單位：mg/L)

數值 濃度 \ 顆數	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	平均值	標準差
單層膜	161	178	151	176	157	164.6	11.89
類雙層膜	123	112	117	115	121	117.6	4.45

- (2) 由表 1 顯示，由 3.0 % 海藻酸鈉和 1.0 % 氯化鈣溶液製成的冰式單、類雙層膜水膠囊 TDS 總溶解固體量分別為 164.6 mg/L、117.6 mg/L 均符合飲用水水質標準 500 mg/L 範圍，只是離飲水機水 10 mg/L 與純水 3 mg/L 有段距離。
- (3) 由表 1 發現，冰式類雙層膜水膠囊的 TDS 值比冰式單層膜水膠囊的 TDS 值略低，推測跟多一次交聯作用有很大的關係，類雙層膜水膠囊擠水時同時擠出海藻酸鈉的情形比單層膜水膠囊較少。

2. 耐力測試

- (1) 以 3.0 % 海藻酸鈉配上 1.0 % 氯化鈣溶液組合所製成的冰式水膠囊耐重力測試結果如表 2。

表 2 冰式水膠囊耐重力測試比較表 (單位: gw)

數值 濃度 \ 顆數	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	平均值	標準差
單層膜	165	154	176	167	158	164.0	8.51
類雙層膜	442	428	432	425	439	433.2	7.19

- (2) 由表 2 顯示, 3.0 % 海藻酸鈉和 1.0 % 氯化鈣溶液製成的冰式單、類雙層膜水膠囊耐重力測試分別為 164 gw、433.2 gw, 用手輕壓就破掉, 耐重力欠佳。
- (3) 由表 2 發現, 冰式類雙層膜水膠囊的耐重力比冰式單層膜水膠囊的耐力高, 推測也與二次交聯作用有很大的關係。
- (4) 冰式水膠囊測試破裂時, 會流出少許的海藻酸鈉溶液, 冰式單層膜水膠囊流出的比冰式類雙層膜水膠囊多, 推測跟交聯作用時間的長短有關。

討論:

- (一) 由實驗結果顯示, 製作冰式水膠囊會因為交聯作用時間不夠、佐料凝固點太低, 不易製成冰塊及冰塊裏氯化鈣溶液不均勻等限制, 因此成功率只有一半。
- (二) 由水質測試顯示, 雖然 3.0 % 海藻酸鈉和 1.0 % 氯化鈣溶液製成的冰式水膠囊水的總溶解固體量落在 100 ~ 200 mg/L 之間符合飲用水水質標準, 但是仍有突破的空間。
- (三) 由耐力測試顯示, 雖然 3.0 % 海藻酸鈉和 1.0 % 氯化鈣溶液所製成的冰式類雙層膜水膠囊水的耐重力平均 433.2 gw 為冰式單層膜水膠囊的耐重力 164 gw 兩倍以上, 但考量讓大眾方便攜帶, 也仍有突破的空間。
- (四) 由於本研究希望研發具備可食性、易分解及方便攜帶的水膠囊, 因此對水膠囊水的水質要求更嚴格、對水膠囊的分解方式、保存方法與耐力標準更高, 所以我們必須跳脫水膠囊既有的成型模式, 找出全新的水膠囊製法。

【實驗 A2】新型水膠囊之製作與測試

前言:

由前文文獻探討可知「環保膠囊」包覆物都是用海藻酸鈉攪拌(或注射入)抗菌皂液、洗面乳、洗衣精、果汁而製成。本研究參考『膠囊』牙膏⁽¹⁰⁾, 嘗試先製成「中空囊膜」再裝取水或其他內容物, 擬研發全新的成膜模式來製作水膠囊。我們並非將海藻酸鈉從吸管擠出形成長條狀而是將切口的注射筒擠出「球形」, 即為全新的水膠囊成膜原理, 示意圖如圖 3 所示。

步驟:

(一) 探究新型水膠囊最佳化之成膜條件

實驗變因: 不同濃度的海藻酸鈉溶液 (1.0 %、2.0 %、3.0 %、4.0 %), 分別浸泡在不同濃度的氯化鈣溶液 (1.0 %、2.0 %、3.0 %、4.0 %), 固定浸泡時間 30 分鐘。

1. 配置不同濃度的海藻酸鈉溶液、不同濃度的氯化鈣溶液。
2. 將直徑 3.5 cm、250 mL 大型注射筒, 利用切割機切除前端, 製成柱狀注射筒。
3. 以注射筒裝取 40 mL 海藻酸鈉溶液, 在氯化鈣溶液中擠出球形海藻酸鈉成晶球。
4. 採用不同實驗變因, 將晶球浸泡在氯化鈣溶液中 30 分鐘。

- 撈取晶球，裁切一個小口，置入水中清洗瀝乾成為「中空囊膜」，裝入純水後用海藻酸鈉溶液封住缺口，再澆淋氯化鈣溶液 1 分鐘，即成為「**新型單層膜水膠囊**」。
- 將「新型單層膜水膠囊」淋上一層同濃度的海藻酸鈉溶液，再次浸置氯化鈣溶液中 30 分鐘，二次交聯作用後，即成為「**新型真雙層膜水膠囊**」。
- 測量不同濃度組合晶球之厚度、成形、囊膜之立體性、透明度與口感，並做比較分析。

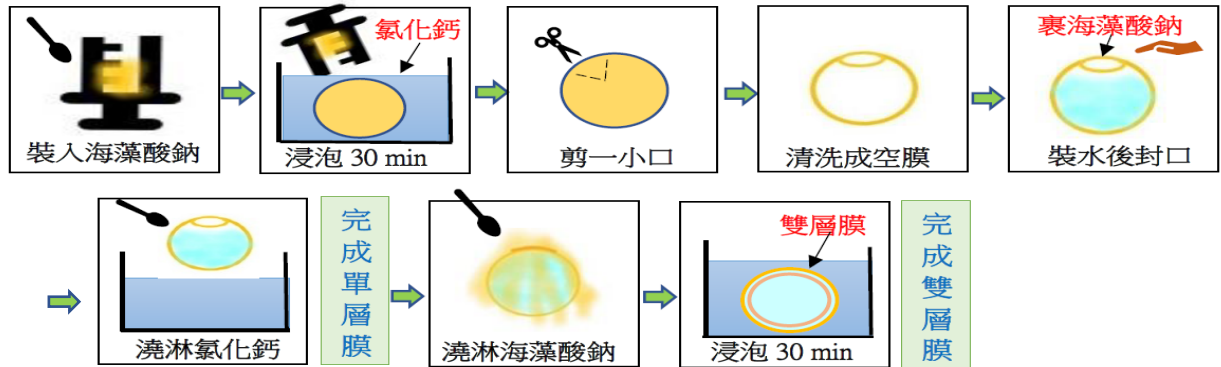


圖 3 新型單、真雙層膜水膠囊的成膜原理示意圖

(二)製作新型水膠囊

第一代 吸管成膜

- 將直徑 1.2 cm 的吸管裁切成 6 cm 長，吸管一端洞口堵住並填充 3.0 % 海藻酸鈉溶液，然後擠進 1.0 % 氯化鈣溶液中浸泡 30 分鐘。
- 取出膠囊在一端剪一小口，於水中清洗多餘的海藻酸鈉溶液，呈長條狀「中空囊膜」。
- 將空囊裝入純水，用同濃度海藻酸鈉溶液封住缺口，再浸泡於氯化鈣溶液中 30 分鐘，製作過程如圖 4。

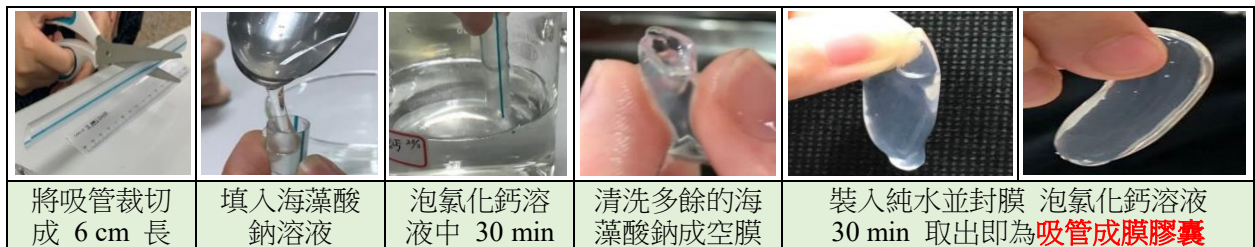


圖 4 製作吸管成膜過程圖

第二代 新型單層膜水膠囊

- 配置 3.0 % 海藻酸鈉溶液和 1.0 % 氯化鈣溶液，把海藻酸鈉溶液 40 mL 裝入注射筒中，並擠入氯化鈣溶液中浸泡 30 分鐘，成球形晶球。
- 取出後，在晶球一端剪一個小洞，清洗囊內多餘的海藻酸鈉溶液，成球形中空囊膜。
- 將空心「囊膜」裝入純水，用同濃度海藻酸鈉溶液將缺口封住，再浸置氯化鈣溶液中 30 分鐘，取出後即成為「**新型單層膜水膠囊**」，製作過程如圖 5。



圖 5 製作新型單層膜水膠囊過程圖

第三代 新型真雙層膜水膠囊

1. 配置 3.0 % 海藻酸鈉溶液和 1.0 % 氯化鈣溶液，把海藻酸鈉溶液 40 mL 裝入注射筒中，並擠入氯化鈣溶液中浸泡 30 分鐘，成球形晶球。
2. 取出後，在晶球一端剪一個小洞，清洗囊內多餘的海藻酸鈉溶液，成球狀中空囊膜（形成第一層膜），然後裝入純水以海藻酸鈉溶液裹黏缺口用氯化鈣溶液澆淋封住。
3. 將封好缺口的水膠囊淋上一層海藻酸鈉溶液，然後放入氯化鈣溶液中浸泡 30 分鐘（形成第二層膜），即成為「**新型真雙層膜水膠囊**」，製作過程如圖 6。

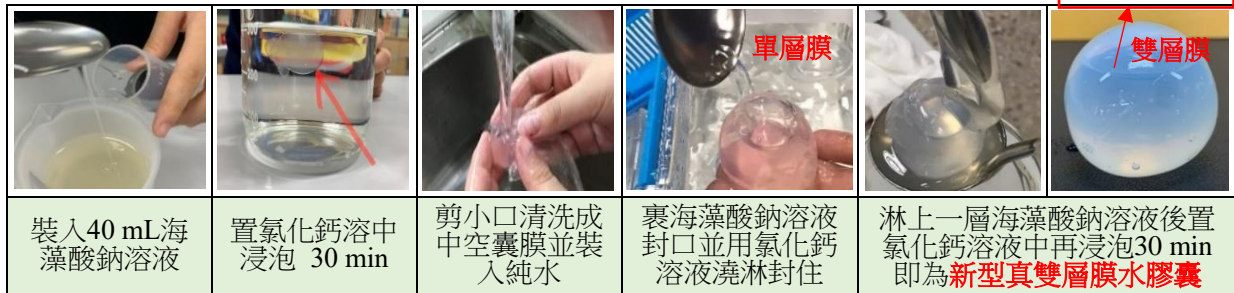


圖 6 製作新型真雙層膜水膠囊過程圖

(三) 新型水膠囊性質測試

1. 水質測試

- (1) 製備 3.0 % 海藻酸鈉與 1.0 % 氯化鈣組合的第二代「新型單層膜水膠囊」、第三代「新型雙層膜水膠囊」各 5 顆。
- (2) 將囊內的水取出，用「TDS 測試筆」測試其總溶解固體量各 5 顆，並記錄其數值。

2. 耐力測試

- (1) 製備 3.0 % 海藻酸鈉與 1.0 % 氯化鈣組合的第二代「新型單層膜水膠囊」、第三代「新型真雙層膜水膠囊」各 5 顆。
- (2) 用數位推拉力計測量水膠囊的耐重力各 5 顆，觀察記錄數值並拍攝過程影片。







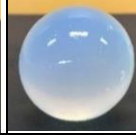









結果與討論：

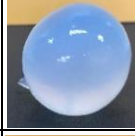


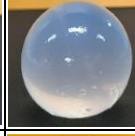
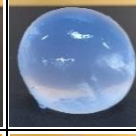

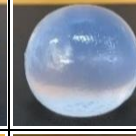




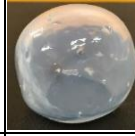

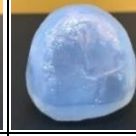


(一) 探究新型水膠囊最佳化之成膜條件(4% x 4%表示：4%海藻酸鈉配上4%氯化鈣溶液.....依此類推)

1. 不同濃度海藻酸鈉、氯化鈣溶液製成之新型水膠囊基本性質如表 3，由實驗結果得知：
 - (1) 晶球的「**塑形**」跟**海藻酸鈉溶液濃度有關**，以 **3.0 %、4.0 % 海藻酸鈉溶液濃度**製成的晶球較圓，不容易擴散變形；1.0 %、2.0 % 越低濃度海藻酸鈉溶液製成的晶球，則容易擴散變形。
 - (2) 囊膜的「**透明度**」跟**海藻酸鈉濃度有關**，**越低濃度海藻酸鈉溶液(1.0 %、2.0 %、3.0 %)製成的水膠囊外觀較為清澈透明**，高濃度海藻酸鈉溶液(4.0 %)則較霧。**透明度跟囊膜厚度也有關**，**膜厚在 0.82 mm 以下透明度較佳**，**超過 0.82 mm 透明度較差**，**膜越厚透明度越差**。
 - (3) 囊膜的「**立體性**」跟**海藻酸鈉溶液濃度有關**，1.0 %、2.0 % 的海藻酸鈉溶液製成的囊膜容易塌陷、**3.0 % 以上濃度製成的囊膜立體性較佳**。
 - (4) 囊膜的「**口感**」受**氯化鈣溶液濃度影響很大**，放入口中咀嚼，氯化鈣溶液濃度越高(3.0 %、4.0 %)囊膜鹹味越重，氯化鈣溶液濃度越低(1.0 %、2.0 %)囊膜接近無味，沒有鹹味又好咬，像咬茼蒿感覺。
 - (5) 囊膜的「**厚度**」跟**海藻酸鈉溶液濃度、氯化鈣溶液濃度相關**，海藻酸鈉溶液濃度越高，囊膜就越厚；氯化鈣溶液濃度越高，囊膜也會越厚，16 種濃度組合製成的囊膜測試結果，**4.0 % x 4.0 % 平均膜厚 0.98 mm 最厚**，**1.0 % x 1.0 % 平均膜厚 0.60 mm 最薄**，全都在 1.0 mm 以下。

2. 由實驗歸納出；以晶球塑形、囊膜透明度、立體性、口感、厚度做綜合評比(如表 3)，本研究找出製作新型水膠囊的理想濃度為「1.0 % ~ 4.0 % 海藻酸鈉配上1.0 %、2.0 % 氯化鈣溶液組合」；最佳製作濃度是「3.0 % 海藻酸鈉配上1.0 % 氯化鈣溶液組合」，之後的實驗即以這些濃度為主。

表 3 新型水膠囊成膜條件建立分析表 (√: 表示良好 △: 尚可 X: 不推薦)

分析項目 \ 濃度	4% x4%	4% x3%	4% x2%	4% x1%	3% x4%	3% x3%	3% x2%	3% x1%
晶球								
囊膜								
塑形	√	√	√	√	√	√	√	√
透明度	△	△	△	√	△	△	△	√
立體性	√	√	√	√	√	√	√	√
口感	X	X	X	X	X	X	X	√
平均膜厚 (mm)	0.98	0.92	0.88	0.82	0.87	0.85	0.83	0.81

分析項目 \ 濃度	2% x4%	2% x3%	2% x2%	2% x1%	1% x4%	1% x3%	1% x2%	1% x1%
晶球								
囊膜								
塑形	△	△	△	X	△	△	X	X
透明度	△	√	√	√	√	√	√	√
立體性	△	△	X	X	X	X	X	X
口感	X	X	X	√	X	√	√	√
平均膜厚 (mm)	0.84	0.81	0.79	0.78	0.79	0.75	0.69	0.60

(二) 製作新型水膠囊

1. 第一代吸管成膜的新型水膠囊製作成功，雖然吸管容易取得製作簡單，但是囊膜太小容積有限，耐力欠佳，實用性不高。
2. 研發成功第二代注射筒成膜的「新型單層膜水膠囊」，我們用裁切好的大型注射筒當塑形器具，成功開發「先製囊膜再裝水」的水膠囊，只是用海藻酸鈉封住缺口時，容易有突出物不美觀，尤其不小心動到那層封口膜時，那層封口膜就容易脫落而漏出水來。
3. 研發成功第三代注射筒成膜的「新型雙層膜水膠囊」，這種製作水膠囊方式，是把第二代的新型單層膜水膠囊封口後，淋上一層海藻酸鈉溶液，再放入氯化鈣溶液中交聯作用一次，形成第二層膜，解決了單層膜的缺點，之後實驗測試的水膠囊均以此種方法製作。

(三) 新型水膠囊性質測試

1. 水質測試

以 3.0 % 海藻酸鈉溶液配上 1.0 % 氯化鈣溶液製成的「新型單、真雙層膜水膠囊」測量其 TDS，實驗結果如表 4：

表 4 新型單、真雙層膜水膠囊的 TDS 總溶解固體量測試表 (單位：mg/L)

數值 / 顆數 / 類別	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	平均值	標準差
新型單層膜	106	103	112	101	107	105.8	4.21
新型真雙層膜	22	17	19	25	15	19.6	3.97

- (1) 由表 4 可知，TDS 總溶解固體量分別為 105.8 mg/L、19.6 mg/L 不僅符合飲用水水質標準 500 mg/L 的規範，且均優於「冰式水膠囊」的 164.6 mg/L、117.6 mg/L，顯示「**新型水膠囊**」這種先製膜再裝水製法的優勢。
- (2) 由表 4 發現，新型真雙層膜水膠囊水的 TDS 值比新型單層膜水膠囊水的 TDS 值低很多，推測是兩層海藻酸鈉交聯作用發揮了功效，形成了真正的雙層膜，使得包覆性提升，**才能有效改善水質**。

2. 耐力測試

以 3.0 % 海藻酸鈉溶液配上 1.0 % 氯化鈣溶液製成的「新型單、真雙層膜水膠囊」測量其耐重力，實驗結果如表 5：

表 5 新型單、真雙層膜水膠囊的耐重力測試表 (單位：gw)

數值 / 顆數 / 類別	第一顆	第二顆	第三顆	第四顆	第五顆	平均值	標準差
新型單層膜	171	181	169	172	177	174	4.89
新型真雙層膜	1718	1758	1809	1780	1825	1778	42.35

- (1) 由表 5 可知，耐重力測試分別為 174 gw、1778 gw，均優於「冰式水膠囊」，尤其「**新型真雙層膜水膠囊**」的耐重力高達 1778 gw，為冰式水膠囊 433.2 gw 的四倍之多。
 - (2) 由表 5 發現，新型真雙層膜水膠囊的耐重力比新型單層膜水膠囊的耐重力高出許多，這跟單層膜缺口的封口膜容易脫落有關，因此新型單層膜的耐重力表現沒有很出色。
- (四) 總結：我們首創的「**新型真雙層膜水膠囊**」是「**真雙層膜水膠囊**」，解決冰式水膠囊無法填充低凝固點食材的問題，同時也大大改良水膠囊水質及耐重力，增加其應用性。我們希望以**3.0 % 海藻酸鈉**配上 **1.0 % 氯化鈣**濃度之最佳組合出發，研發更多實用且具**創意形體之新型真雙層膜水膠囊**。



圖 7 新型真雙層膜水膠囊食用示範

【實驗 A3】創意形體水膠囊之製作

前言：

1. 綜觀國內文獻的成品均是球狀的環保膠囊，只有一種形體的產品，大眾的接受度有限。
2. 分析各研究的製作器具不是注射筒就是湯匙，再加上交聯作用的關係，容易呈球狀。
3. 觀察黏土玩具，裝在什麼形體容器就可以塑造該形體物品，這給我們靈感，不禁思索，新型雙層膜水膠囊是先製囊膜再裝水的製作方式，有沒有製造各種創意形體囊膜的可能。
4. 因此本研究著手蒐集各式形體的器具例如：三角飯糰模具、正方體模具、長方體模具等進行測試。同時也將開發「製作創意形體水膠囊」的機器或器具，建立可快速量產模式。

步驟：

(一) 製作創意三角體水膠囊

1. 配置 3.0 % 海藻酸鈉溶液、1.0 % 氯化鈣溶液。
2. 取容量約 200 mL 三角飯糰模具裝入 60 mL 海藻酸鈉溶液，並垂直放入氯化鈣溶液箱底，靜置 2 分鐘等囊膜脫離器具後，再浸置 30 分鐘，即可以形成「三角體膠囊」。
3. 取出後在三角體膠囊一端剪個小洞，清洗囊內多餘的海藻酸鈉溶液，成中空囊膜（形成第一層膜），然後裝入純水以海藻酸鈉溶液裹黏缺口，用氯化鈣溶液澆淋封住。
4. 將封好缺口的水膠囊淋上一層海藻酸鈉溶液，然後放入氯化鈣溶液中再浸泡 30 分鐘（形成第二層膜），即成為「創意三角體水膠囊」，製作過程如圖 8。



圖 8 製作創意三角體水膠囊過程圖

(二) 製作創意方型體水膠囊

1. 配置 3.0 % 海藻酸鈉、1.0 % 氯化鈣溶液。
2. 取容量約 400 mL 方形體模具裝入 50 mL 海藻酸鈉溶液，並垂直放入氯化鈣溶液箱底，靜置 2 分鐘等囊膜脫離器具後，再浸置 30 分鐘，即可以形成「方形體膠囊」。
3. 取出後在方形體膠囊一端剪個小洞，清洗囊內多餘的海藻酸鈉溶液，成中空囊膜（形成第一層膜），然後裝入純水以海藻酸鈉溶液裹黏缺口，用氯化鈣溶液澆淋封住。
4. 將封好缺口的水膠囊淋上一層海藻酸鈉溶液，然後放入氯化鈣溶液中再浸泡 30 分鐘（形成第二層膜），即成為「創意方形體水膠囊」，製作過程如圖 9。

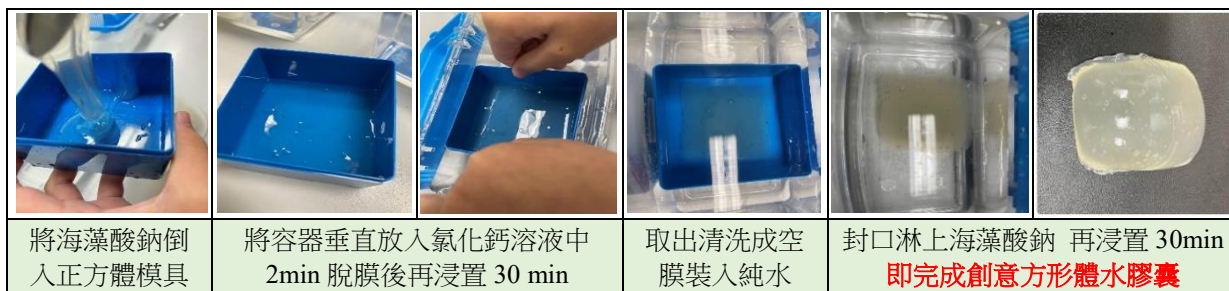


圖 9 製作新型方形體水膠囊過程圖

結果：

- (一) 利用三角體模具或方形體模具來製作，結果成功率可達 100 %！由於使用的是 3.0 % 的海藻酸鈉溶液放入 1.0 % 氯化鈣溶液中不會浮起或流出，方便操作，因此創意三角體、方形體水膠囊都開發成功！
- (二) 製作創意三角體水膠囊及創意方形體水膠囊的過程中，只要特別注意平穩「垂直平均」放進氯化鈣溶液箱底，就可得到漂亮、可愛的創意三角體水膠囊。
- (三) 創意形體、球形水膠囊耐重力測試結果，數據非常接近，同樣表現優異如下：
球形水膠囊 1830.0 gw > 方形體水膠囊 1815.6 gw > 三角體水膠囊 1812.0 gw。

討論：

- (一) 使用新型水膠囊的理想濃度「3.0 % 海藻酸鈉溶液搭配 1.0 % 氯化鈣溶液」來製作的**創意三角體水膠囊及方形體水膠囊**，改良了「球形水膠囊」會滾動及難收納的缺點，且質地偏軟、具適口性，外觀清澈透明，相當美觀。
- (二) 利用我們首創「新型真雙層膜水膠囊」的製作方法，「先製囊膜再裝水」的方式，成功研發創意三角體水膠囊、方形體水膠囊來裝取純水之後，**發現其耐重力跟球形水膠囊不分上下，因此我們會繼續延伸測試三角體或方形體包裹飲料和佐料的可能性，增加民眾喜愛度及應用性，甚至創造出防疫水膠囊，提供疫情時代包裝的替代方案。**
- (三) 製作創意形體水膠囊有幾項困難待克服：
 1. 當塑形模具一傾斜或浮起來，可能就會變形而使得成功率下降，因此需要人工按壓。
 2. 海藻酸鈉溶液耗費量比球形水膠囊多，製作三角體囊膜一次用掉 60 mL、方形體 50 mL、球形只要 40 mL。
 3. 模具佔的體積較大，一次只能做一顆，難同時製造大量的創意形體水膠囊。
因此本研究為了解決以上的困難，將繼續研發「製作創意形體水膠囊器具」。
- (四) **開發三角體模具層架**：利用點心架概念，將三角體模具排列成上下三層，用鋼條串聯起來，鎖上可滑動螺絲，方便調整適當的間隔，底部再黏上大磁鐵增加重力，便大功告成。解決了無法同時製造大量水膠囊及需要人力壓住的問題，如圖 10。



圖 10 成功開發三角體模具層架

B、新型雙層膜水膠囊之探討

【實驗 B1】耐力測試

前言：

- (一) 在【實驗 A2】用二次海藻酸鈉溶液交聯作用製作的新型真雙層膜水膠囊，首創「先製成囊膜再裝水」的模式，確實提升製作水膠囊的成功率。本實驗想以【實驗 A2】所評定「製作水膠囊的理想濃度」共 8 種濃度組合所製成的水膠囊來進行耐重力、耐拉力、耐摔力測試，以找出溶液濃度對耐力的影響規律，驗證此真雙層膜水膠囊的優越性。

(二) **自製穿刺設備**：做囊膜與坊間三種塑膠膜的抗穿刺力比較，測試取代塑膠膜的可能。

業界穿刺設備(廣鈺儀器)

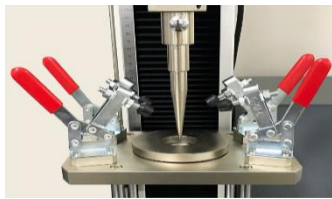


圖 11 專業薄膜穿刺測試機具

自製穿刺設備



圖 12 自製薄膜穿刺力測試設備

步驟：

實驗變因：不同濃度的海藻酸鈉溶液（1.0 %、2.0 %、3.0 %、4.0 %），配上不同濃度的氯化鈣溶液（1.0 %、2.0 %）所製成的 8 種新型真雙層膜水膠囊，固定浸泡時間為 30 分鐘。

1. 取 8 種新型真雙層膜水膠囊各 5 顆，分別以數位推拉力計測量其耐重力，並紀錄實驗數值，操作過程如圖 13。
2. 取 8 種新型真雙層膜水膠囊各 5 顆，分別以數位推拉力計、木夾測量其耐拉力，並紀錄實驗數值，操作過程如圖 14。
3. 取 8 種新型真雙層膜水膠囊各 5 顆，分別捲尺測量其耐摔力，並紀錄實驗數值，操作過程如圖 15。
4. 將囊膜與塑膠膜**使用數位推拉力計及自製的穿刺力測試設備進行抗穿刺力測試**各 5 片，並紀錄實驗數值，操作過程如圖 16。

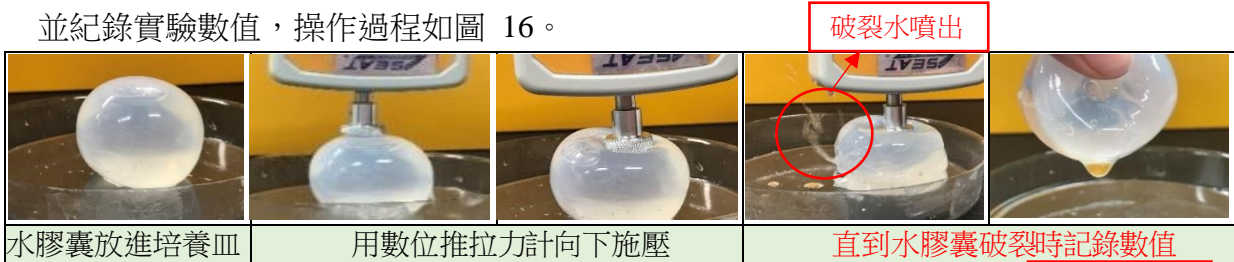


圖 13 耐重力測試過程圖

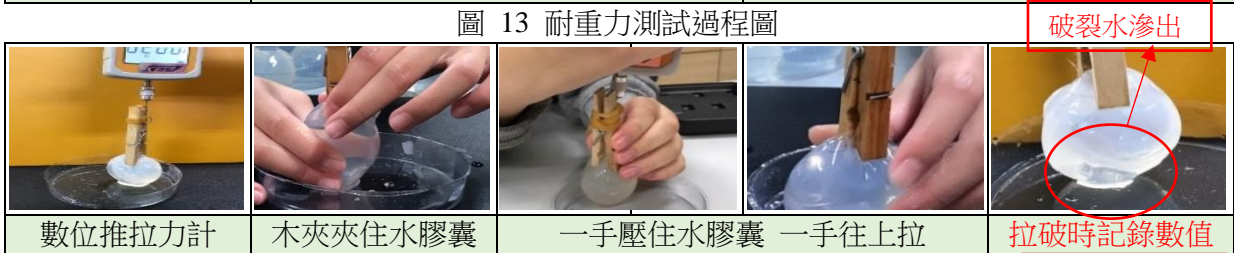


圖 14 耐拉力測試過程圖

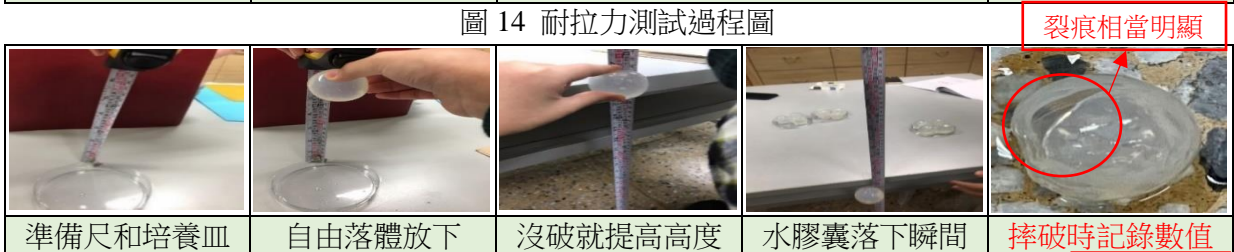


圖 15 耐摔力測試過程圖

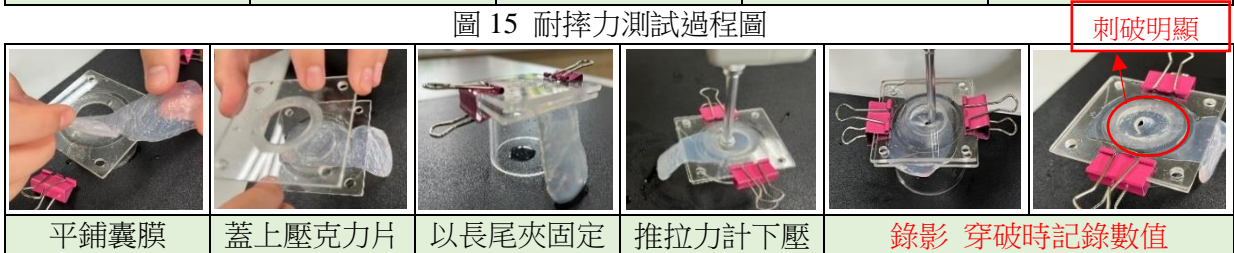


圖 16 囊膜與塑膠片抗穿刺力測試過程圖

結果：

(一) 耐重力測試

1. 8 種不同濃度新型真雙層膜水膠囊耐重力測試結果如表 6：

表 6 耐重力測試比較表 (單位：gw)

數次	水溶液	1.0 % 海藻酸鈉		2.0 % 海藻酸鈉		3.0 % 海藻酸鈉		4.0 % 海藻酸鈉	
		1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣
第一類		685	1587	1125	1965	1718	2624	2299	5129
第二類		697	1492	1239	2199	1658	2788	2293	5400
第三類		712	1543	1092	1809	1909	2714	1987	5345
第四類		687	1500	1323	1992	1980	2401	2138	5541
第五類		708	1475	1228	2094	1885	2688	2095	5017
平均值		697.8	1519.4	1201.4	2011.8	1830.0	2643.0	2162.4	5286.4
標準差		12.11	45.35	93.16	146.21	135.92	147.49	133.81	211.25

2. 由表 6 顯示，(1) 固定海藻酸鈉濃度時，與 2.0 % 氯化鈣溶液製備之水膠囊耐重力大於 1.0 % 氯化鈣溶液。(2) 固定氯化鈣溶液濃度時，海藻酸鈉溶液的濃度越高所製成的水膠囊耐重力就越強。

(二) 耐拉力測試

1. 8 種不同濃度新型真雙層膜水膠囊耐拉力測試結果如表 7：

表 7 耐拉力測試比較表 (單位：gw)

數次	水溶液	1.0 % 海藻酸鈉		2.0 % 海藻酸鈉		3.0 % 海藻酸鈉		4.0 % 海藻酸鈉	
		1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣
第一類		227	1030	687	1039	734	1162	1103	1690
第二類		249	980	533	1200	793	1140	1086	1410
第三類		297	957	536	1132	747	1052	1394	1539
第四類		342	896	666	1024	769	1223	1257	1658
第五類		305	978	550	1047	736	1207	1295	1477
平均值		284.0	968.2	594.4	1088.4	755.8	1156.8	1227.0	1554.8
標準差		45.96	48.46	75.59	75.26	25.01	67.44	131.02	118.53

2. 由表 7 顯示，新型真雙層膜水膠囊耐拉力最高達 1554.8 gw，相較冰式水膠囊只有 212.0 gw，勝出甚多，與表 6 結果比較，高耐重力之水膠囊同時也具高耐拉力。

(三) 耐摔力測試

1. 8 種不同濃度新型真雙層膜水膠囊耐摔力測試結果如表 8：

表 8 耐摔力測試比較表 (單位：cm)

數次	水溶液	1.0 % 海藻酸鈉		2.0 % 海藻酸鈉		3.0 % 海藻酸鈉		4.0 % 海藻酸鈉	
		1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣
第一類		70	125	110	185	185	200	285	300 ⁺
第二類		65	110	135	180	190	190	300 ⁺	300 ⁺
第三類		60	120	130	170	180	185	280	300 ⁺
第四類		60	130	140	175	190	200	300	300 ⁺
第五類		70	125	120	180	195	195	300 ⁺	300 ⁺

平均值	65	122	127	178	188	194	293	300 ⁺
標準差	5.00	7.58	12.04	5.70	5.70	6.52	9.75	0.00

2. 由表 8 顯示，新型真雙層膜水膠囊的耐摔力高達 300 cm 以上，甚至需要將水膠囊往天花板拋個多次才摔得破，這讓我們相當興奮。這數據超越了一般桌子高度 51 ~ 67 cm、人的身高平均 160~170 cm，也不像寶特瓶一摔就破，這應該跟水膠囊的彈性有關。

(四) 抗穿刺力測試

1. 將囊膜與塑膠膜進行抗穿刺力測試結果如表 9：

表 9 抗穿刺力測試比較表 (單位：gw)

數 值 類 別 片 數	本研究	塑膠膜	塑膠膜	塑膠膜
	新型水膠囊囊膜 3.0 %×1.0 %囊膜	三角飯糰封膜	手搖飲封膜	保鮮膜
第一片	684	597	594	769
第二片	703	583	584	827
第三片	728	602	615	788
第四片	698	573	629	779
第五片	729	587	608	831
平均值	708.4	588.4	606.2	798.8
標準差	19.63	11.48	17.63	28.41

2. 由表 9 顯示，3.0 % 海藻酸鈉配上 1.0 % 氯化鈣溶液所製成的囊膜跟塑膠膜的抗穿刺力比較結果為：保鮮膜 798.8 gw > 新型水膠囊囊膜 708.4 gw > 手搖飲封膜 606.2 gw > 三角飯糰封膜 588.4 gw，**新型水膠囊囊膜優於一般的包裝膜**，表現良好。

討論：

(一) 由表 6、7、8、9 歸納，水膠囊的耐重力、耐拉力與耐摔力均以 4.0 % 海藻酸鈉配上 2.0 % 氯化鈣溶液所製成的水膠囊最強，耐重力高達有 5286.4 gw、耐摔力有 1554.8 gw、耐摔力 300 cm 以上，各濃度水膠囊耐力比較如下：

1.0 % 氯化鈣	4.0 % 海藻酸鈉 > 3.0 % 海藻酸鈉 > 2.0 % 海藻酸鈉 > 1.0 % 海藻酸鈉
2.0 % 氯化鈣	4.0 % 海藻酸鈉 > 3.0 % 海藻酸鈉 > 2.0 % 海藻酸鈉 > 1.0 % 海藻酸鈉

(二) 4.0 % 海藻酸鈉溶液所製成的水膠囊耐力測試雖然最佳最硬，但口感不佳，而我們推薦的新型水膠囊「**最佳濃度 3.0 % 海藻酸鈉配上 1.0 % 氯化鈣溶液所製成的水膠囊**」**耐力表現優良如下：**

數值 項目	種類	本研究真雙層水膠囊 3.0 % x3.0 %	傳統冰式水膠囊	本研究優勢
耐重力 (gw)		1830.0	184.4	10 倍
耐拉力 (gw)		755.8	161.0	4 倍
耐摔力 (cm)		188.0	15.6	12 倍

(三) **推論：1. 我們設計的新型水膠囊是經過兩次交聯作用**，使得物質結構中的分子間作用力增加，因此其耐重力、耐拉力明顯大於單層水膠囊，且當反應物濃度增加，也是增加分子間作用力的機會。2. 本研究的「**真雙層膜水膠囊**」，增加兩層膜之間存在空氣層的機會而彈性增加，因有兩層交聯作用，使結構間作用力有互補作用，因此耐摔力也比冰式水膠囊的「**類雙層膜水膠**」(只有一層海藻酸鈉)高上好幾倍，如下示意圖。



(四) 新型水膠囊囊膜的抗穿刺力優於手搖飲封膜，三角飯糰封膜，顯示有取代此等塑膠膜的潛力，這也應該跟裹上兩次海藻酸鈉溶液進行交聯作用有關。

【實驗 B2】保存與耐熱測試

前言：

水膠囊主要是利用海藻酸鈉和氯化鈣溶液的交聯作用來形成薄膜包覆水，薄膜上有許多小孔洞會讓水或小分子物質滲透進出，因此如何保存讓民眾接受是一大課題。「這膜厲害」研究認為保存水球的最佳溫度是 30°C，酸或中性的環境比鹼性好，「吃我一顆水球」研究則認為冷藏保存在水中效果最好，「探囊取水」研究認為冷藏保存在 0.2% 氯化鈣溶液中水分流失最少，「解不開的『膜』咒」研究⁽¹⁾認為囊膜可以耐熱到 90°C。因此本研究想找出新型水膠囊的最佳保存方式，**同時也想做水膠囊的耐冷熱測試**，以方便大家攜帶食用與冷熱飲的需求。

步驟：

實驗變因：保存測試-自然環境、冰箱冷藏、空氣中、飲用水中、0.1% 氯化鈣溶液中；
耐冷熱測試-18°C、50°C、60°C、70°C、80°C、90°C、100°C沸水中。

1. 製備 3.0% 海藻酸鈉配上 1.0% 氯化鈣溶液製成的新型雙層膜水膠囊共 65 顆。
2. 保存測試-分自然環境下與冰箱冷藏下兩組，每組分別保存在空氣中、飲用水中、0.1% 氯化鈣溶液中各 5 顆；耐冷熱測試-分別放置於 -18°C、50°C、60°C、70°C、80°C、90°C、100°C沸水中各 5 顆。
3. 保存測試-每天觀察測量各顆水膠囊的重量變化，共觀察 10 天，記錄成表並依表繪圖；耐冷熱測試-放置 -18°C 冷凍一星期、50°C、60°C、70°C、80°C、90°C 熱水中 5 分鐘，放置 100°C 沸水中煮一小時後觀察並記錄其變化，測試過程如圖 17、18。



圖 17 新型水膠囊保存測試過程圖

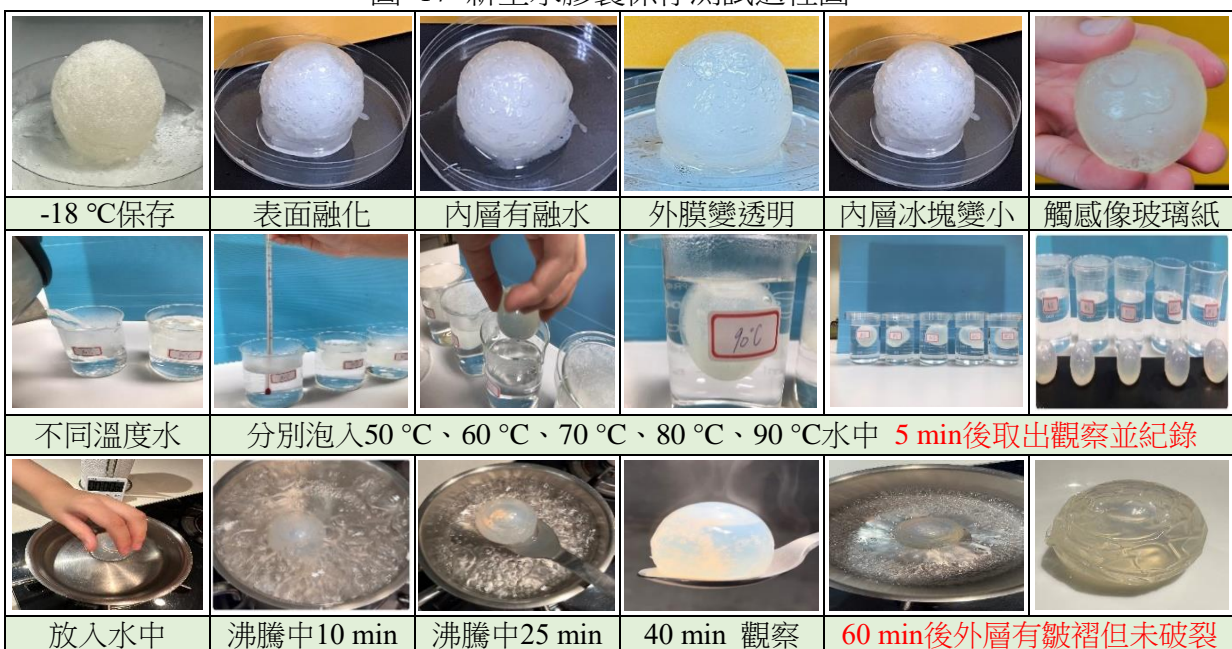


圖 18 新型水膠囊耐冷熱測試過程圖

結果與討論：

(一) 以 3.0 % 海藻酸鈉配上 1.0 % 氯化鈣溶液製成的新型真雙層膜水膠囊 65 顆做保存與耐冷熱測試，實驗結果如表 10、11、12，由表 10、11 作圖如圖 19、20：

表 10 自然環境下不同方法保存新型水膠囊比較表

數值 顆數 天數	水膠囊放在空氣中					水膠囊放在飲用水中					水膠囊放在 0.1%氯化鈣中				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
D 1	43.5	43.3	42.5	44.9	45.4	43.8	43.4	45.1	45.2	44.5	43.2	44.7	44.6	44.0	43.9
D 2	42.1	41.6	40.8	42.9	43.9	42.7	42.4	45.1	44.3	43.7	41.2	42.4	42.3	41.7	41.6
D 3	41.0	40.2	39.6	41.9	42.7	42.3	42.0	變重	43.8	43.2	39.8	40.9	40.9	40.2	40.2
D 4	40.2	39.4	38.5	41.0	41.7	41.9	41.7	45.7	43.4	42.8	38.9	39.6	39.4	39.2	39.3
D 5	39.5	38.8	37.7	40.2	41.1	41.6	41.4	45.8	43.1	42.5	37.9	39.2	38.9	38.5	38.7
D 6	38.8	38.2	37.1	39.5	40.6	41.4	41.1	45.8	42.9	42.3	37.1	38.8	38.4	37.6	38.3
D 7	38.2	37.7	36.6	39.0	40.2	41.1	40.9	46.0	42.8	42.1	36.5	38.5	38.0	37.2	37.9
D 8	37.7	37.2	36.1	38.6	39.8	40.9	40.7	46.1	42.7	41.9	36.3	38.2	37.7	36.9	37.6
D 9	37.2	36.8	35.7	38.3	39.5	40.8	40.6	46.1	42.6	41.8	36.1	37.9	37.4	36.7	37.3
D 10	36.8	36.5	35.4	38.1	39.3	40.7	40.5	46.0	42.5	41.7	35.9	37.6	37.2	36.5	37.0

表 11 冰箱冷藏下不同方法保存新型水膠囊比較表

數值 顆數 天數	水膠囊放在空氣中					水膠囊放在飲用水中					水膠囊放在 0.1%氯化鈣中				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
D 1	45.1	44.6	43.3	44.6	44.3	43.8	45.0	44.6	43.9	44.7	43.9	44.8	44.6	44.5	43.8
D 2	43.8	43.2	42.2	43.3	43.1	43.3	44.5	44.2	43.4	44.3	42.7	43.5	43.3	43.1	42.6
D 3	42.8	42.3	41.1	42.5	42.0	42.9	44.2	43.9	43.1	44.0	41.9	42.5	42.4	42.1	41.6
D 4	41.9	41.5	40.2	41.9	41.2	42.6	43.9	43.6	42.9	43.8	41.4	42.0	41.8	41.7	41.0
D 5	41.2	40.7	39.3	40.6	40.6	42.4	43.6	43.3	42.7	43.5	41.0	41.7	41.4	41.4	40.5
D 6	40.8	40.4	38.9	40.3	40.1	42.1	43.4	43.0	42.6	43.2	40.6	41.3	40.9	41.2	40.1
D 7	40.6	40.2	38.7	40.0	39.8	42.1	43.2	42.8	42.4	42.9	40.3	41.0	40.6	40.9	39.7
D 8	40.4	40.1	38.5	39.8	39.6	42.0	43.1	42.6	42.3	42.7	40.0	40.7	40.3	40.6	39.4
D 9	40.2	40.0	38.3	39.7	39.4	41.9	43.0	42.4	42.2	42.5	39.7	40.4	40.1	40.4	39.1
D 10	40.1	39.9	38.1	39.6	39.2	41.9	42.9	42.3	42.1	42.3	39.5	40.2	39.9	40.3	38.9

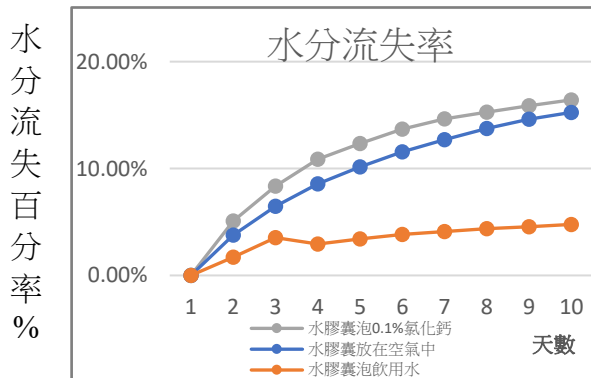


圖 19 自然環境下不同方法保存比較圖

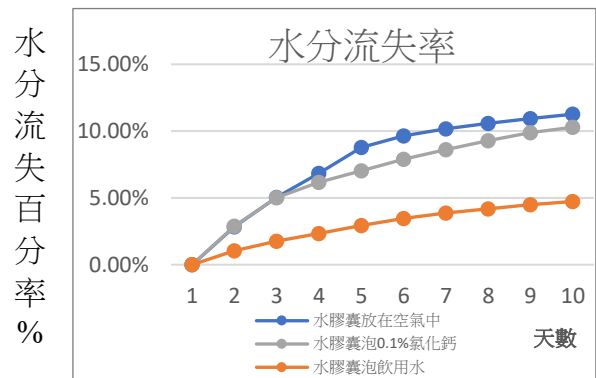


圖 20 冰箱冷藏下不同方法保存比較圖

表 12 新型水膠囊耐冷熱測試比較表

特 徵 項 目	溫度	-18 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C	100 °C
	項目	7 天	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	60 min
沒破裂		√	√	√	√	√	√	√
外觀		明顯的雙層膜、外層皺皺的	明顯的雙層膜	明顯的雙層膜	明顯的雙層膜	明顯的雙層膜、外層皺皺的	明顯的雙層膜、外層皺皺的	明顯的雙層膜、外層皺皺的
觸感		脆化	正常	稍軟	稍軟	稍軟	稍軟	稍軟
用途	新型水膠囊可以冷飲也可溫熱食用 不用擔心塑化劑的問題							

(二) 由表 10、圖 19 顯示，新型水膠囊在自然環境下(常溫下)保存效果為：

1. 泡在飲用水中的水分流失率為 4.8 %，優於空氣中的 15.3 %，優於泡在 0.1 % 氯化鈣溶液的 16.4 %。水分流失率最少的是「泡在飲用水中」的保存方式。
2. 泡在飲用水中的水膠囊有一顆水分不減反增，顯示泡在水中滲透旺盛。雖然新型水膠囊會有因滲透作用而產生重量增加現象，但飲用水是合乎水質標準的水，推論應該沒有衛生上的疑慮問題。

(三) 由表 11、圖 20 顯示，新型水膠囊在冰箱冷藏下保存效果為：

泡在飲用水中的水分流失率為 4.7 %，優於泡在 0.1 % 氯化鈣溶液的 10.2 %，優於空氣中的 11.3 %。

(四)將表 10、11 數據，比較不同環境保存本研究經過 10 天的水分流失率平均值整理如下：

組別 \ 數值	空氣中	飲用水中	0.1 % 氯化鈣溶液中
自然環境	15.3 %	4.8 %	16.4 %
冰箱冷藏	11.3 %	4.7 %	10.3 %

1. 依據實驗結果歸納，水分流失率最少的都是泡在飲用水中的保存效果最佳，且冰箱冷藏保存的水分流失率 4.77 % > 自然環境保存的 4.80 %。
2. 保存在 0.1 % 氯化鈣溶液中和空氣中的水分流失率相當接近，互有輸贏。自然環境下保存在空氣中的優於保存在 0.1 % 氯化鈣溶液中的，冰箱冷藏下則保存在 0.1 % 氯化鈣溶液中的優於保存在空氣中的。因此如果攜帶新型水膠囊去登山旅行，不用特別保存，10 天都沒有問題

(五) 由表 12 顯示，新型水膠囊泡在 50 °C~100 °C 的熱水中完全沒有破裂，耐熱性極佳，在 -18 °C 冷凍庫中一星期也都完好無缺，顯見新型水膠囊耐冷性也表現出色，此耐冷又耐熱特性應該能擴展新型水膠囊的應用性。

【實驗 B3】水質測試

前言：

新型水膠囊強調環保可食，因此衛生安全相對重要。我們水膠囊裝的是純水，純水經過檢驗水質是無可置疑的，只是經過海藻酸鈉跟氯化鈣的影響，水膠囊水的水質確實有再檢驗一次的需要。因此本實驗選擇檢測 pH 值、TDS 總硬度、TDS 總溶解固體量為實驗項目。

步驟：

實驗變因：不同濃度的海藻酸鈉溶液（1.0 %、2.0 %、3.0 %、4.0 %），配上不同濃度的氯化鈣溶液（1.0 %、2.0 %）所製成的新型真雙層膜水膠囊，各 15 顆。

1. 將 8 種濃度水膠囊分別用 pH 值試紙及 pH 值測試筆、TBS 總硬度測試劑、TDS 總溶解固體量測試筆進行水質測試，每個濃度每個實驗項目各測試 5 顆，並記錄實驗數值，過程如圖 21、22、23。

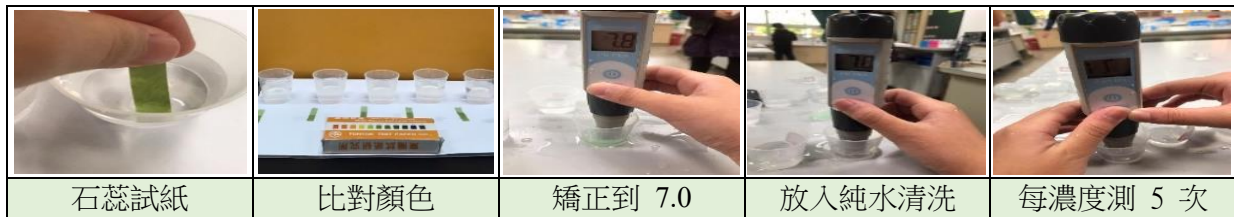


圖 21 pH 值測試過程圖



圖 22 TBS 總硬度測試過程圖

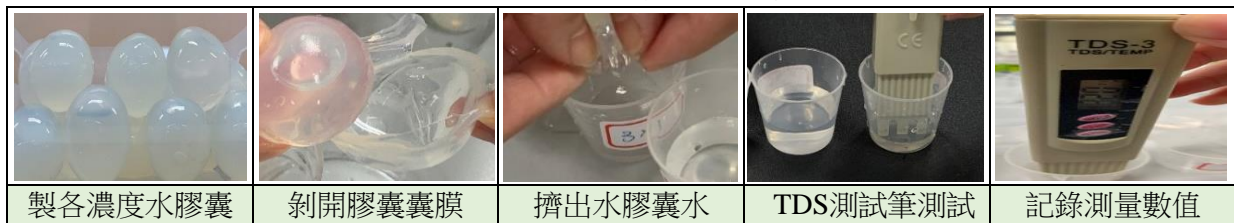


圖 23 TDS 總溶解固體量測試過程圖

結果：

- (一) 由 8 種濃度水膠囊水分別用 pH 值試紙及 pH 值測試筆做測試，實驗結果如表 13：

表 13 不同濃度新型水膠囊 pH 值測試比較表

數值 濃度 顆數	1.0 % 海藻酸鈉		2.0 % 海藻酸鈉		3.0 % 海藻酸鈉		4.0 % 海藻酸鈉	
	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣
試紙								
第一顆	7.0	7.0	7.2	7.0	7.2	7.0	7.2	7.1
第二顆	7.0	7.0	7.2	7.1	7.2	7.0	7.2	7.1
第三顆	7.0	6.9	7.1	7.1	7.1	7.0	7.3	7.1
第四顆	7.0	7.0	7.1	7.2	7.2	7.1	7.2	7.1
第五顆	7.0	6.9	7.1	7.0	7.3	7.1	7.2	7.2
平均值	7.00	6.96	7.14	7.08	7.20	7.04	7.22	7.12
標準差	0.000	0.055	0.055	0.084	0.071	0.055	0.045	0.045

- (二) 由表 13 顯示，新型真雙層膜水膠囊水 pH 值接近中性，各濃度組合相差些微(6.96 ~ 7.22)，均符合飲用水水質標準 pH 6 ~ 8.5。還發現海藻酸鈉濃度越高，酸鹼值稍偏鹼性一點點，而任何濃度的海藻酸鈉配上 2.0 % 氯化鈣溶液製成水膠囊的酸鹼值，都比配上 1.0 % 氯化鈣的水膠囊偏酸性一點點。

- (三) 由 8 種濃度水膠囊水分別用 TBS 總硬度測試劑測試，實驗結果如表 14：

表 14 不同濃度新型水膠囊 TBS 總硬度測試比較表

數 值 濃 度 顆 數	1.0 % 海藻酸鈉		2.0 % 海藻酸鈉		3.0 % 海藻酸鈉		4.0 % 海藻酸鈉	
	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣
第一顆	5	8	3	5	2	7	1	5
第二顆	5	5	2	6	3	6	2	5
第三顆	6	6	4	7	3	5	2	6
第四顆	6	7	3	6	2	5	2	4
第五顆	5	7	4	7	2	6	1	6
平均值	5.4	6.6	3.2	6.2	2.4	5.8	1.6	5.2
標準差	0.55	1.14	0.84	0.84	0.55	0.84	0.55	0.84
平均總硬 度(ppm)	96.12	117.48	56.96	110.36	42.72	103.24	28.48	92.56
1 滴數表示 GH (總硬度)為 17.8 ppm								

(四) 由表 14 顯示，新型水膠囊的水質極佳，總硬度在 28.48 ~ 117.48 ppm 之間，均符合飲用水水質標準 300 ppm 以下的限制。海藻酸鈉濃度越高，總硬度就越低。而**任何濃度的海藻酸鈉配上 1.0 % 氯化鈣所製成的水膠囊水，都比配上 2.0 % 氯化鈣所製成的水膠囊水總硬度低。**

(五) 由 8 種濃度水膠囊水分別用 TDS 總溶解固體量測試筆進行測試，實驗結果如表 15：
表 15 不同濃度新型水膠囊 TDS 總溶解固體量測試比較表

數 值 濃 度 顆 數	1.0 % 海藻酸鈉		2.0 % 海藻酸鈉		3.0 % 海藻酸鈉		4.0 % 海藻酸鈉	
	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣	1.0 % 氯化鈣	2.0 % 氯化鈣
第一顆	68	83	37	41	22	29	20	18
第二顆	72	79	45	48	17	20	14	23
第三顆	82	67	42	38	19	18	16	17
第四顆	63	71	35	40	25	23	19	21
第五顆	69	72	49	47	15	21	13	15
平均值	70.8	74.4	41.6	42.8	19.6	22.2	16.4	18.8
標準差	7.05	6.47	5.73	4.44	3.97	4.21	3.05	3.19

(六) 表 15 顯示，新型水膠囊的水質極佳，總溶解固體量在 16.4 ~ 74.4 mg/L 之間，均符合飲用水水質標準 500 mg/L 的規定。海藻酸鈉濃度越高，總溶解固體量數值就越低。而**任何濃度的海藻酸鈉配上 1.0 % 也都比配上 2.0 % 氯化鈣溶液所製成的水膠囊水總溶解固體量數值低。**

討論：

- (一) 我們首創的新型水膠囊水酸鹼值測試結果在 6.96~7.22 之間，符合行政院環境保護署的「飲用水水質標準」酸鹼值 6~8.5 的規定；而我們新型水膠囊水的總硬度在 28.48~ 117.48 ppm 之間也符合「飲用水水質標準」300 ppm 以下的規定；至於新型水膠囊水的總溶解固體量測試結果為 16.4~74.4 mg/L，也符合飲用水水質標準 500 mg/L 以下的規範。顯見新型水膠囊有極佳的水質，可以放心食用。
- (二) 新型水膠囊的最佳濃度，**3.0 % 海藻酸鈉配上 1.0 % 氯化鈣溶液所製成的水膠囊**，在水質測試表現十分出色，**總硬度在 42.72 ppm 優於探囊取水 46.2 ppm；總溶解固體量測試 19.6 mg/L 優於探囊取水的 20.4 mg/L。**

(三) 水質的變化跟海藻酸鈉與氯化鈣溶液濃度有極大的關係。**海藻酸鈉溶液濃度越高其所成的水膠囊水總硬度、總溶解固體量就越低，代表水中的雜質越少，水質就越好。**而氯化鈣溶液濃度越高則其所製成的水膠囊水的總硬度、總溶解固體量就越高，代表水中的雜質越多，水質就較差。

【實驗 B4】分解測試

前言：

製造友善環境的環保囊膜來取代更多塑膠包裝，是我們的研究目的之一。因此本實驗想探討新型水膠囊的囊膜是否能快速分解。本實驗擬將實驗分成「囊膜組」、「與塑膠比較組」，「囊膜組」再分成「囊膜靜置空氣中」、「囊膜掩埋土壤裡」兩種，每天測量一次；「與塑膠比較組」也分成「囊膜與塑膠膜靜置空氣中」、「囊膜與塑膠膜掩埋土壤裡」兩種、一週測量一次，共四種來做分解比較。

步驟：

實驗變因：空氣中、土壤裡、材質（海藻酸鈉和氯化鈣製成的囊膜、塑膠 1、2、5、6 號）。

1. 製備 3.0 % 海藻酸鈉配上 1.0 % 氯化鈣溶液新型雙層膜水膠囊囊膜共 12 個，將 1、2、5、6 號塑膠分別裁成 6 cm × 6 cm 大小各兩片。
2. 「囊膜組」將 5 個囊膜分別編號靜置暴露於空氣中(花臺土壤上)，另 5 個囊膜分別編號埋在土壤裡，連續 28 天固定時間，每天觀察囊膜的外觀變化及記錄其長、寬變化。
3. 「與塑膠比較組」將1個囊膜與 1、2、5、6 號塑膠膜靜置暴露於空氣中(花臺土壤上)，另 1 個囊膜與 1、2、5、6 號塑膠膜埋進土壤裡，每週觀察囊膜與塑膠膜的外觀變化及記錄其長、寬變化，過程如圖 24、25、26、27。



圖 24 囊膜靜置空氣中分解過程圖



圖 25 囊膜掩埋土壤裡分解過程圖



圖 26 囊膜與塑膠膜靜置空氣中分解過程圖



圖 27 囊膜與塑膠膜掩埋土壤裡分解過程圖

結果與討論：

(一) 囊膜組放於空氣中與掩埋在土壤裡四週分解觀察，實驗結果如表 16，17，依表16、17 作圖如圖 28。

表 16 囊膜靜置空氣中分解觀察比較表 (原始數據記錄於實驗紀錄本，此擇每 4 天的記錄)

數值 天數	第一顆		第二顆		第三顆		第四顆		第五顆	
	長	寬	長	寬	長	寬	長	寬	長	寬
D1	8.2	4.0	8.5	3.7	8.5	3.6	8.1	3.5	8.3	3.5
D4	6.3	3.1	6.7	2.9	6.9	2.7	6.8	2.5	6.9	2.5
D8	5.0	2.5	5.3	2.4	5.5	2.0	5.4	1.7	5.4	1.8
D12	4.4	2.3	4.6	2.0	4.7	1.4	4.6	1.4	4.6	1.4
D16	3.8	2.2	4.1	1.9	4.1	1.2	4.1	1.1	4.1	1.2
D20	3.4	1.7	3.7	1.6	3.6	1.1	3.6	0.9	3.6	1.0
D24	3.2	1.4	3.3	1.4	3.1	0.9	3.2	0.9	3.1	0.9
D28	2.7	1.0	2.9	1.2	2.8	0.8	2.7	0.9	2.8	0.7

表 17 囊膜掩埋土壤裡分解觀察比較表 (原始數據記錄於實驗紀錄本，此擇每 4 天的記錄)

數值 天數	第一顆		第二顆		第三顆		第四顆		第五顆	
	長	寬	長	寬	長	寬	長	寬	長	寬
D1	8.2	3.3	8.5	3.5	8.2	3.4	8.4	3.5	8.3	3.3
D4	7.2	2.8	7.6	3.0	7.3	2.9	7.6	2.9	7.4	2.8
D8	6.2	2.4	6.7	2.4	6.6	2.6	6.6	2.4	6.6	2.6
D12	5.2	2.0	5.8	2.1	5.7	2.3	5.6	2.1	5.7	2.2
D16	4.4	1.8	4.9	2.0	4.8	2.2	4.6	1.9	4.8	1.9
D20	3.9	1.7	4.3	1.8	4.2	2.0	4.1	1.8	4.2	1.8
D24	3.5	1.6	3.8	1.7	3.7	1.6	3.7	1.7	3.6	1.6
D28	3.4	1.5	3.5	1.7	3.3	1.4	3.5	1.6	3.2	1.5

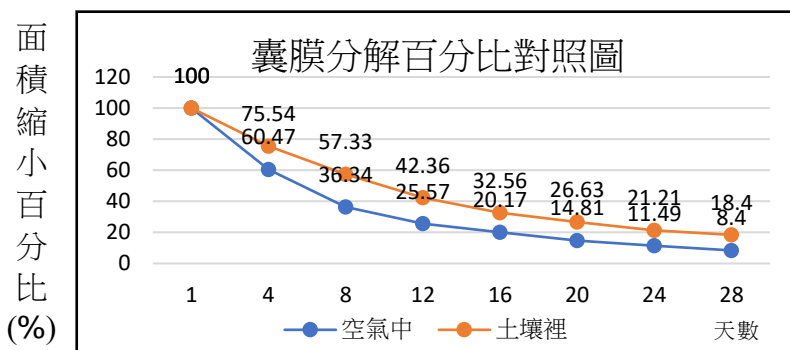


圖 28 囊膜分解觀察比較圖

(二) 由表 16、17，圖 28 顯示，不管是靜置空氣中還是掩埋土壤裡，新型水膠囊囊膜面積在前 4 天都快速的縮小，分別縮小 40%、35%，囊膜分解四週後面積縮小為原來的 8.4%、18.4%，既環保又不佔空間。

(三) 一般都會認為，物質在土壤中受微生物分解的機率高，分解率快，但本研究是「囊膜面積縮小率靜置空氣中的優於掩埋土壤裡的」，推測原因為：在囊膜未受生物分解前，先受水分流失速度快慢影響，因此囊膜面積縮小速度較快的反而是放置在空氣中的。

(四) 與塑膠比較組放於空氣中與掩埋在土壤裡四週分解觀察，實驗結果如表 18，19。

表 18 囊膜與塑膠膜靜置空氣中分解觀察比較表









數 值	類 別	新型 水膠囊		寶特瓶  PET		牛奶瓶  HDPE		愛玉盒  PP		麵包盒  PS	
		長	寬	長	寬	長	長	寬	長	寬	長
	週次										
	D1	8.5	3.4	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	第一週	6.1	2.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	第二週	4.3	1.8	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.9	6.0	6.0
	第三週	3.2	1.4	6.0	6.0	6.0	6.0	5.9	5.9	6.0	6.0
	第四週	2.7	1.2	6.0	6.0	6.0	5.9	5.8	5.8	5.9	5.9

表 19 囊膜與塑膠膜掩埋土壤裡分解觀察比較表

數 值	類 別	新型 水膠囊		寶特瓶  PET		牛奶瓶  HDPE		愛玉盒  PP		麵包盒  PS	
		長	寬	長	寬	長	長	寬	長	寬	長
	週次										
	D1	8.3	3.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	第一週	6.5	2.9	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	第二週	5.3	2.3	6.0	6.0	6.0	6.0	5.9	5.9	6.0	6.0
	第三週	4.5	1.9	6.0	6.0	6.0	5.9	5.8	5.8	5.9	5.9
	第四週	3.8	1.6	6.0	6.0	5.9	5.9	5.8	5.8	5.8	5.9

(五) 由表 18、19 顯示，面積縮小速度是埋在土壤裡的水膠囊囊膜比放置在空氣中的慢。而四片塑膠經過四週，不管是靜置空氣中還是埋在土裡，面積都沒有明顯縮小，只有質地較軟、較薄的 5 號、6 號塑片有一點點捲縮現象。

(六) 總論：兩組靜置於空氣中的水膠囊囊膜經過四週的時間後，面積縮小的速度都比埋在土壤裡的要快許多，可能因為土壤裡飽含濕氣緣故，而塑膠片則分解有限，顯示新型水膠囊囊膜比一般塑膠材質環保。

埋在土壤裡的囊膜有發現小小孔洞，推測應該是生物分解的現象，證實新型水膠囊囊膜的可生物降解性，這是從面積縮小數據看不到的。

C、推廣新型水膠囊的應用性

【實驗 C1】飲料膠囊、佐料膠囊、防疫膠囊

前言：

【實驗 B2】我們開發了球形新型水膠囊製法，接著【實驗 B3】我們又創新了三角體膠囊及方形體膠囊的製程，這種先製膜再裝內容物的方式，可以應用在裝取生活物品層面，取代更多塑膠包裝，達到環保減塑目標。因此本實驗嘗試把三種形體的囊膜來製作飲料膠囊、佐料膠囊以及防疫膠囊。

步驟：

1. 配置 3.0 % 海藻酸鈉溶液， 1.0 % 氯化鈣溶液。
2. 裁切好的注射筒數支、大湯匙數支、三角體層架、三角體模具，方形盒模具數個。
3. 應用新型水膠囊製法，定量 (球形 40 mL、三角體 60 mL、方形體 50 mL 海藻酸鈉)，定時 (浸泡氯化鈣溶液 30 分鐘)，剪一小洞洗膜、裝取內容物後封膜，淋上海藻酸鈉溶液再定時(浸泡氯化鈣溶液 30 分鐘)即完成，過程如圖 29。

				
準備飲料	製作囊膜	飲料倒入燒杯	使用針筒打入	球形飲料膠囊
				
準備佐料	製作囊膜	佐料倒入燒杯	使用針筒打入	三角體佐料膠囊
				
準備清潔劑	製作囊膜	方形囊膜完成	使用針筒打入	方形體防疫膠囊

圖 29 創意形體飲料、佐料、防疫膠囊製作過程圖

結果：

- (一) 由圖 30、31 顯示，新型水膠囊製成的飲料、佐料、防疫膠囊成品非常飽滿、晶亮，且還可延伸製成「三角體」、「方形體」等創意膠囊。
- (二) 由圖 30、31 發現，剝開飲料膠囊，內含物能完整被包裹，可以立即飲用；三角體佐料膠囊製作完成後，也可成功取得膠囊內的醬料進行使用；方形體防疫膠囊製作完成後，同樣成功取得膠囊內的清潔劑進行清洗。

種類	創意飲料膠囊				
	柳橙汁	葡萄汁	番茄汁	牛奶	可樂
成品					
形體					
球形飲料膠囊					
三角體飲料膠囊					
方形體飲料膠囊					

種類 成品 形體	創意佐料膠囊				
	醬油	番茄醬	米酒	美乃滋	烏醋
					
球形 佐料膠囊					
三角體 佐料膠囊					
方形體 佐料膠囊					













種類 成品 形體	創意防疫膠囊		
	洗手乳	洗碗精	酒精
			
球形 防疫膠囊			
三角體 防疫膠囊			
方形體 防疫膠囊			

圖 30 創意形體飲料、佐料、防疫膠囊成品圖



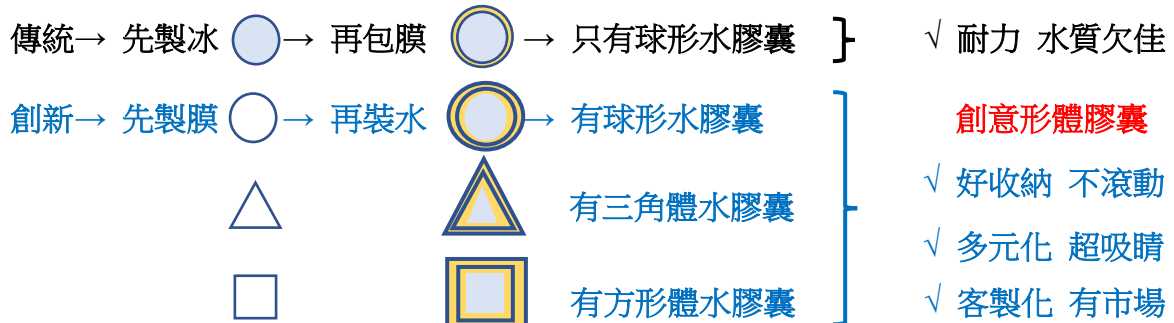
圖 31 創意形體佐料膠囊成功使用圖

討論：



- (一) 我們成功創新出「先製膜、再填充」設計，去除繁瑣的製冰過程，**成功的將飲料打入雙層膜膠囊中並封口**，不論是果汁、牛奶 或具氣泡的可樂均能成功包裹，每顆約能包裹約 20 至 40 mL 的液體，突破了「冰式飲料膠囊」的多種限制。
- (二) 「探囊取水」飲料膠囊裡包裹的品項為茶、柳橙汁、養樂多、牛奶，**我們則選擇了柳橙汁、葡萄汁、番茄汁、牛奶以及可樂作為測試**。除了考量各種不同的飲料特性外，也希望突顯雙層膜水膠囊的「吸睛度」！結果發現，利用「3.0% 海藻酸鈉水溶液搭配 1.0% 氯化鈣水溶液」**製成的真雙層膜新型飲料膠囊**，透明度極佳、各個晶亮繽紛，未來在應用上相信可提升食用或消費興趣。
- (三) **除了飲料之外，我們也首度嘗試製作「佐料膠囊」**，因為除了液體之外，也想知道對於不同樣態的佐料類是否也能成功包裹，因此選取了**醬油、番茄醬、米酒、美乃滋、烏醋等各式佐料進行試驗**。結果發現，替換了內含物，仍可**成功採用「新型真雙層膜水膠囊」的製作方式進行包裹**，使未來的應用性大幅提升！
- (四) **我們還開發了創意防疫膠囊**，成功的將酒精、洗手乳、洗碗精等防疫用品裝入膠囊裡，酒精使用起來跟一般酒精沒有兩樣，洗手乳和洗碗精也是清洗得乾乾淨淨，效果良好。

伍、結論

一、首創新型水膠囊製法：先製膜再裝水



二、新型水膠囊的耐力表現相當優異：成功提高了水膠囊的可攜帶性。

傳統→ 類雙層膜水膠囊→		耐重力	耐拉力	耐摔力	
(只有一層海藻酸鈉)		184.4 gw	161 gw	15.6 cm	
創新→ 真雙層膜水膠囊→		耐重力	耐拉力	耐摔力	抗穿刺力
(有兩層海藻酸鈉)		1830 gw	755.8 gw	188 cm	708.4 gw

三、新型水膠囊的水質也相當突出：優於「冰式類雙層膜水膠囊」非常多，增進食用安全。

類別 \ 項目	pH 值	TBS 總硬度 (ppm)	TDS 總溶解固體量 (mg/L)
類雙層膜水膠囊	6.1~7.6	46.2~281.2	20.4~170.2
真雙層膜水膠囊	6.96~7.22	28.48~117.48	16.4~74.4

四、新型水膠囊的保存方法，無論是自然環境或是冷藏保存在飲用水中，經過 10 天水分流失率都在 5 % 以內，且耐高溫低溫，100 °C 沸水中煮 1 小時或是冷凍庫冰凍 7 天，都沒有破裂情形。

五、新型水囊膜分解，不管放置空氣中或掩埋土壤裡，四週後面積縮小分別為原來的8.4 %、18.4%，勝過 1、2、5、6 號塑膠材料，既環保又不佔空間。

六、新型水膠囊的應用性：

(一) 成功開發創意飲料膠囊及創意佐料膠囊：

創意點：以「新型水膠囊」作法為基礎，除包裹純水及飲用水，擴展到可包裹冷溫、熱飲及佐料；除球形水膠囊，也開發可愛、易堆疊收納的三角體及方形體水膠囊，提升其外膜之透明度、增加民眾喜愛度。

(二) 成功開發創意形體防疫膠囊：

利用「新型水膠囊」與「創意形體」的製作模式，成功包裹洗手乳、洗碗精、酒精等防疫用品，可以成為防疫期間的生力軍！

(三) 本研究創新的「新型水膠囊」、「創意膠囊」，從無論是在空氣或是土壤裡，都明顯比石化塑膠容易自然分解，可預期若能應用推廣至生活中，替代生活中化妝品、藥物等塑膠包裝材料，對於地球環境、環保減塑定有良多貢獻。

陸、參考文獻資料

1. 王若。人人吃塑膠1／減塑20載愈減愈多 台灣年耗200億個塑膠袋，2023年2月15日取自 https://www.ctwant.com/article/150919?utm_source=yahoo&utm_medium=rss&utm_campaign=150919
2. 中華民國第 61 屆全國中小學科展作品：探囊取水 (2023 年 2 月 15 日取自：ntsec.gov.tw)
3. 中華民國第 56 屆全國中小學科展作品：吃我一顆水球 (2023 年 2 月 15 日取自：ntsec.gov.tw)
4. 中華民國第 61 屆全國中小學科展作品：有球必淨 (2023 年 2 月 15 日取自：ntsec.gov.tw)
5. 中華民國第59屆全國中小學科展作品：這膜厲害 (2023年2月15日取自：ntsec.gov.tw)
6. 中華民國第58屆全國中小學科展作品：鈣多晶球 (2023年2月15日取自：ntsec.gov.tw)
7. 中華民國第56屆全國中小學科展作品：目不轉晶 (2023年2月15日取自：ntsec.gov.tw)
8. 全國高級中等學校專業群科110年專題及創意製作競賽：「Ooho」衣洗 (2023年2月15日取自：<https://vtedu.mt.ntnu.edu.tw/uploads/1620616053454qiowQv6J.pdf>)
9. 全國高級中等學校專業群科109年專題及創意製作競賽：QQ ㄉㄨㄨㄨㄨㄨㄨ好洗到爆的 Q ㄉㄨㄨㄨㄨㄨㄨ球 (2023年2月15日取自：<https://vtedu.mt.ntnu.edu.tw/uploads/1620616012876d8FMKFFM.pdf>)
10. 全國高級中等學校專業群科 110 年專題及創意製作競賽：『膠囊』牙膏 (2023年2月15日取自：<https://vtedu.mt.ntnu.edu.tw/uploads/1620615648890rxceMKVw.pdf>)
11. 新竹市第三十九屆中小學科學展覽會：「解不開的『膜』咒」 (2023年2月15日取自：<https://science.hc.edu.tw/fileUpload/winningEntries/110%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E5%9C%8B%E4%B8%AD%E7%B5%84%E5%8C%96%E5%AD%B8%E7%AC%AC%E4%BA%8C%E5%90%8D0811-01180951.pdf>)

【評語】 080203

1. 本作品研究開發可分解的環保水膠囊膜，應用先前多種海藻酸鈉和氯化鈣溶液製造環保膜的實驗再創新製成雙層模的實驗，且打破填充物需製成冰球再成膜的想法，除了可製成各種創意形體之外也可應用於飲料主料與防疫用品的外包裝，研究主題有趣，創意十足，值得讚揚。
2. 若要應用此技術大量生產，製成的技術仍有大幅改善空間。
3. 使用海藻酸鈉和氯化鈣製作膠囊水球的概念與過去科展類似作品差異不大，化學部分的原創性較顯不足。
4. 本研究工作中所探討的項目如透明度、口感、可塑性多為質性觀察，對於是否在研究過程當中發現新的化學現象可多做說明。
5. 本研究在已成型的膠囊外殼再淋上一層新的海藻酸鈉溶液，並以氯化鈣進行交聯作用產生第二外殼層。但說明書中並沒有交代如何控制膜生成的厚度以及厚度如何影響實驗量測的各項性質。
6. 圖型說明製作過程清晰易懂，文字撰寫流暢，論文結構有邏輯性。

7. 實驗日誌的數據紀錄部分應加上單位，並建議加上實驗觀察的文字紀錄。

作品海報



囊囊上口 新型水膠囊之研發

摘要

本研究首創「新型真雙層膜水膠囊」製法：「先製膜再裝水」改良舊式「冰式水膠囊」的限制和缺點，並發現最佳製作濃度為3.0%海藻酸鈉與1.0%氯化鈣溶液組合。此組合製成的水膠囊耐重力為1830.0gw，是冰式水膠囊的10倍之多，耐拉力755.8gw、耐摔力188.0cm，都遠優於舊式水膠囊，TDS總溶解固體量19.6mg/L，符合飲用水標準，且其抗穿刺力測試明顯優於市售手搖杯的封膜。至於耐冷熱測試，可耐冷至-18°C、耐熱至100°C，非常適合冷熱飲之應用。尤其是國內首創之「創意形體膠囊」-三角體膠囊及方形體膠囊的開發，成功包裹各種飲料、佐料與防疫用品。我們的新型水膠囊，無論在雙層膜的創意設計、性質、形體及應用各方面，都提供食品「囊囊上口」、生活環保減塑新契機。

研究動機

- ✓ 學校積極的推動減塑活動，得知全球每分鐘會賣出超過100萬個塑膠寶特瓶，到了2050年全球的塑膠生產總量將達11.24億公噸之多，便燃起製造環保囊膜來取代更多塑膠包裝的決心。
- ✓ 探究Ooho的製作方法是「先將水凍成冰，再用單層膜或雙層膜把冰塊包住，冰塊融化後就成了可隨身攜帶的水球」，我們稱它為「冰式水膠囊」。我們發現國內「冰式水膠囊」只有球形，而且有先製冰會增加製程，裹氯化鈣冰會汙染水質，凝固點低的物質會無法包裹等問題。
- ✓ 因此我們想要研發先製成「囊膜」，再裝取水的新型水膠囊製法，也想嘗試研發出三角體囊膜、方形體囊膜的可能性，更想增進新型水膠囊的應用性，達到減塑環保的目標。

研究目的

- ✓ 研發出完全不用塑膠成分，達到可真正易分解的環保水膠囊。
- ✓ 研發出完全跳脫「冰式水膠囊」框架之創新「成膜模式」製作水膠囊。
- ✓ 研發出創意形體水膠囊，以提升大眾的喜愛度。
- ✓ 研發出具有實用價值的新型水膠囊，應用於各式飲料、佐料與防疫用品的包裝。

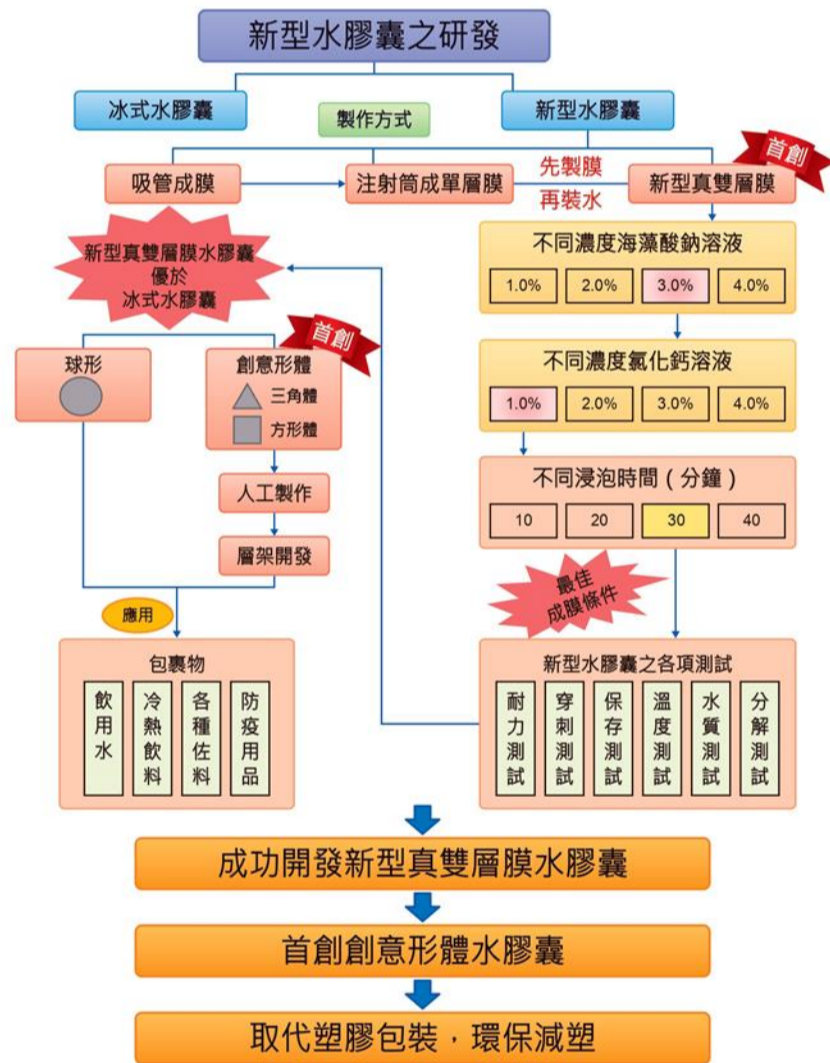
文獻探討

冰式水膠囊	缺點
探囊取水 (冰式類雙層膜水膠囊)	✓ 製冰時間長
吃我一顆水球 (冰式單層膜水膠囊)	✓ 製作過程會影響水質
	✓ 一摔就破 (耐摔力最佳只22.8cm)
	✓ 應用性有限 (不易結冰者無法包裹)
吸管成膜	特殊製法
『膠囊』牙膏 ⁽¹⁰⁾ (先製膜再裝牙膏)	吸管成膜後再填裝牙膏

✓ 本研究突破目標：

1. 先製膜，再裝水
2. 開發創意形體
3. 提升耐力
4. 提升水質
5. 開發填裝飲料、佐料等各種可能性

研究架構

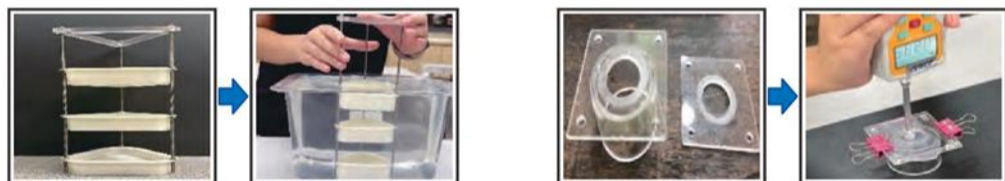


自製實驗器材

1. 自製裝置：建立注射筒切割SOP流程、製作三角體膠囊層架、設計抗穿刺力測試固定臺



注射筒切割SOP流程

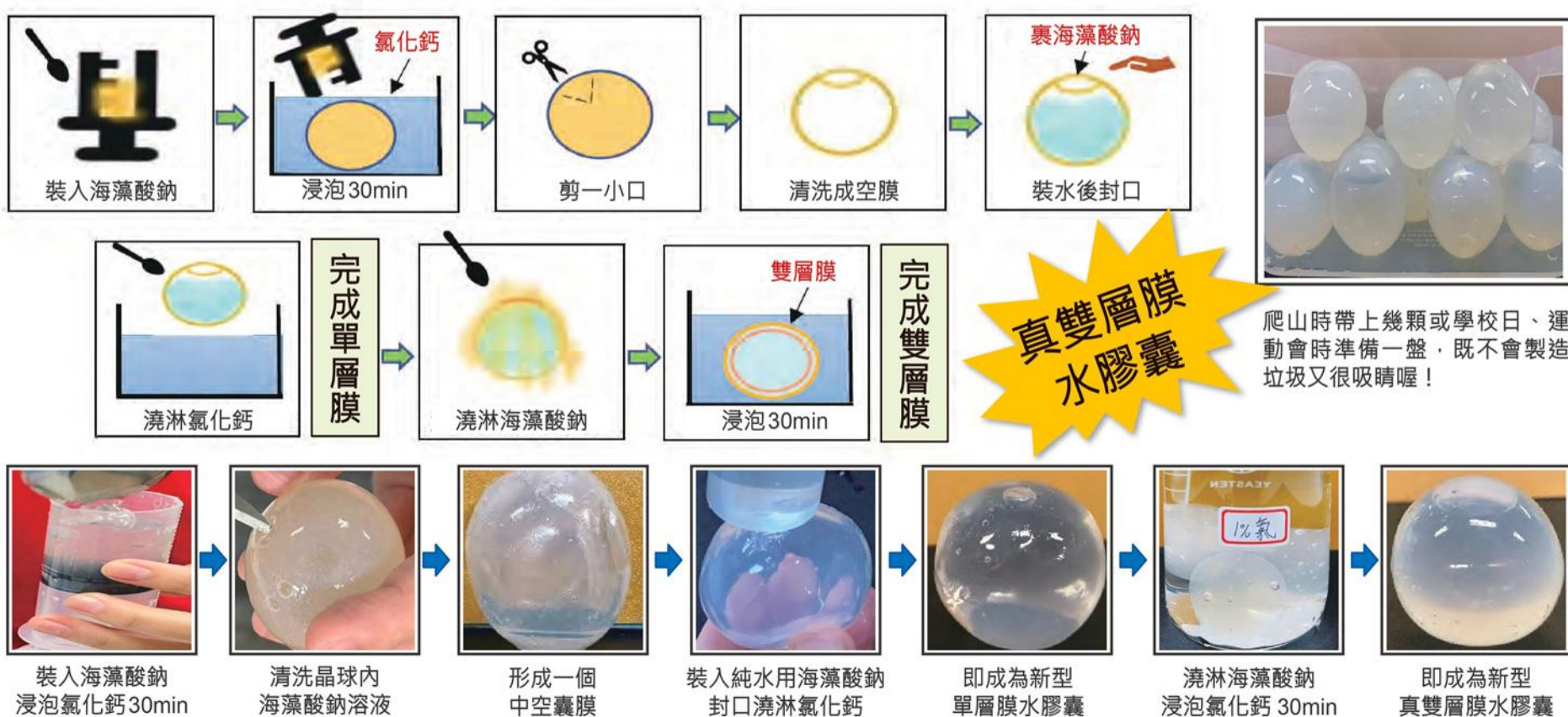


製作三角體膠囊層架

抗穿刺力測試固定臺

研究方法、結果與討論

1. 首創新型水膠囊 – 先製囊膜再裝水



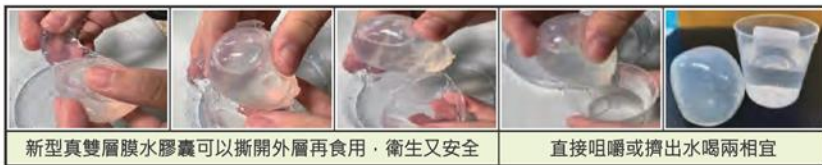
濃度	4% x 4%	4% x 3%	4% x 2%	4% x 1%	3% x 4%	3% x 3%	3% x 2%	3% x 1%	2% x 4%	2% x 3%	2% x 2%	2% x 1%	1% x 4%	1% x 3%	1% x 2%	1% x 1%
晶球																
囊膜																
塑形	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	△	△	△	△	△	△	△	△
透明度	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
立體性	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	△	△	△	△	△	△	△	△
口感	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
平均膜厚(mm)	0.98	0.92	0.88	0.82	0.87	0.85	0.83	0.81	0.84	0.81	0.79	0.78	0.79	0.75	0.69	0.60

✓ 新型水膠囊首創「先製膜再裝水」方式，改善了冰式水膠囊「先製冰再製膜」的限制。

✓ 最佳化成膜條件：3.0% 海藻酸鈉配上 1.0% 氯化鈣溶液組合，在塑形、立體性、透明度、口感、膜厚等向度表現最優。

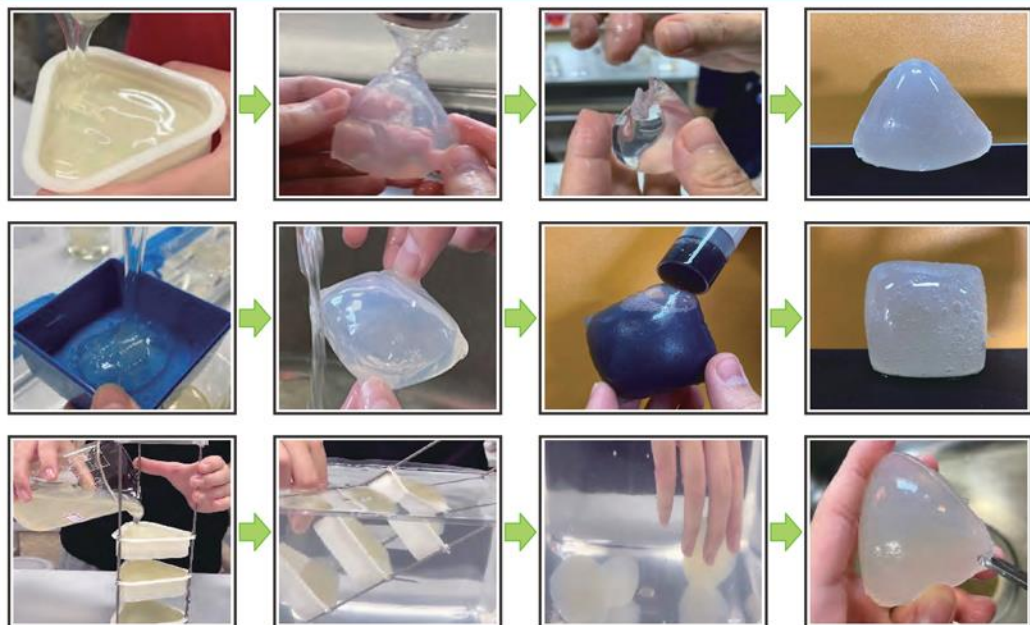
✓ 海藻酸鈉與氯化鈣溶液濃度越高時，塑形較易、立體性較佳、透明度較差、口感較硬、膜較厚。

✓ 新型水膠囊是真正交聯作用兩次的「真雙層膜」，不但改善了水質，還提高了耐力跟應用性。



新型真雙層膜水膠囊可以撕開外層再食用，衛生又安全 直接咀嚼或擠出水喝兩相宜

2. 首創創意形體膠囊 – 三角體膠囊 方形體膠囊



✓ 以新型水膠囊製法，成功開發了三角體膠囊、方形體膠囊。

✓ 創意形體膠囊製法：將裝海藻酸鈉器具平放浸泡氯化鈣溶液中 30min → 剪一小口洗膜 → 裝取內容物後封膜 → 淋上海藻酸鈉 → 再浸泡氯化鈣溶液中 30min。

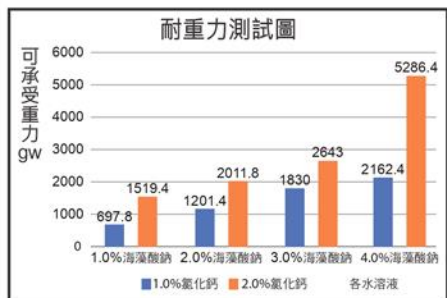
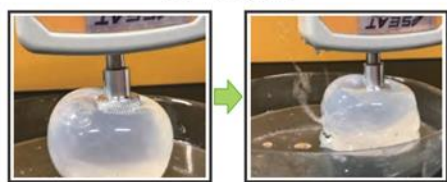
✓ 開發「製作三角體層架」：解決耗時、耗人力的問題。

✓ 創意形體膠囊的成功開發，將開啟「多元形體膠囊」的新篇章，未來梯形、五邊形、星形或其他形體膠囊指日可待。

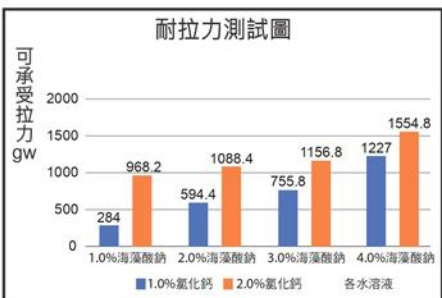


3. 新型水膠囊耐力測試

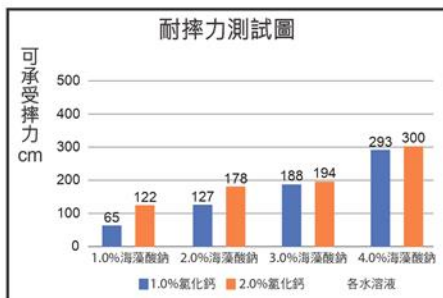
耐重力測試



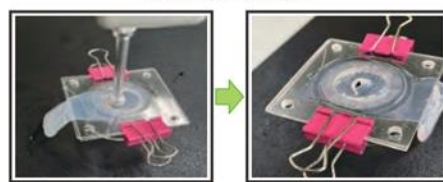
耐拉力測試



耐摔力測試



抗穿刺力測試



數值	本研究新型水膠囊	塑膠膜	塑膠膜	塑膠膜
片數	3.0% x 1.0% 囊膜	三角飯糰封膜	手搖飲封膜	保鮮膜
第一片	684	597	594	769
第二片	703	583	584	827
第三片	728	602	615	788
第四片	698	573	629	779
第五片	729	587	608	831
平均值	708.4	588.4	606.2	798.8
標準差	19.63	11.48	17.63	28.41

✓ 最佳濃度 3.0% 海藻酸鈉配上 1.0% 氯化鈣溶液製成的水膠囊，其耐重力有 1830.0gw 是冰式水膠囊 184.4gw 的 10 倍以上，耐拉力 755.8gw 也是冰式水膠囊 161.0gw 的 4 倍多，耐摔力 188.0cm 也都超越冰式水膠囊的 15.6cm 甚多，顯示新型水膠囊在耐力的重大突破。（如左下表）

✓ 抗穿刺力測試：保鮮膜 798.8gw > 新型水膠囊囊膜 708.4gw > 手搖飲封膜 606.2gw > 三角飯糰封膜 588.4gw，新型水膠囊囊膜優於一般的包裝膜。

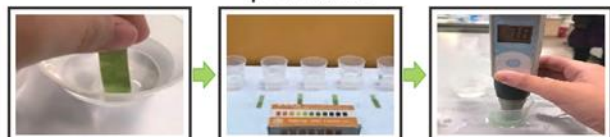
✓ 推論：1. 我們設計的新型水膠囊是經過兩次交聯作用，使物質結構中的分子間作用力增加，因此其耐重力、耐拉力明顯大於單層水膠囊，且當反應物濃度增加，也是增加分子間作用力的機會。2. 本研究的「真雙層膜水膠囊」，增加兩層膜之間存在空氣層的機會而彈性增加，因有兩層交聯作用，使結構間作用力有互補作用，因此耐摔力也比冰式水膠囊「類雙層膜水膠囊」（只有一層海藻酸鈉）高上好幾倍。（如右圖）

數值	種類	本研究真雙層膜水膠囊 3.0% x 1.0%	冰式類雙層膜水膠囊	本研究優勢
耐重力 (gw)		1830.0	184.4	10 倍
耐拉力 (gw)		755.8	161.0	4 倍
耐摔力 (cm)		188.0	15.6	12 倍



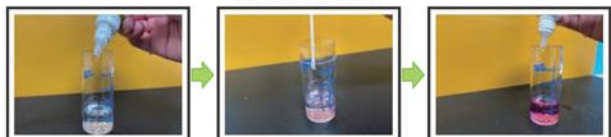
4. 新型水膠囊水質測試

pH值測試



數值	1.0% 海藻酸鈉		2.0% 海藻酸鈉		3.0% 海藻酸鈉		4.0% 海藻酸鈉	
	1.0% 氯化鈣	2.0% 氯化鈣	1.0% 氯化鈣	2.0% 氯化鈣	1.0% 氯化鈣	2.0% 氯化鈣	1.0% 氯化鈣	2.0% 氯化鈣
試紙								
第一次	7.0	7.0	7.2	7.0	7.2	7.0	7.2	7.1
第二次	7.0	7.0	7.2	7.1	7.2	7.0	7.2	7.1
第三次	7.0	6.9	7.1	7.1	7.1	7.0	7.3	7.1
第四次	7.0	7.0	7.1	7.2	7.2	7.1	7.2	7.1
第五次	7.0	6.9	7.1	7.0	7.3	7.1	7.2	7.2
平均值	7.0	6.96	7.14	7.08	7.20	7.04	7.22	7.12
標準差	0.000	0.055	0.055	0.084	0.071	0.055	0.045	0.045

總硬度測試



數值	1.0% 海藻酸鈉		2.0% 海藻酸鈉		3.0% 海藻酸鈉		4.0% 海藻酸鈉	
	1.0% 氯化鈣	2.0% 氯化鈣	1.0% 氯化鈣	2.0% 氯化鈣	1.0% 氯化鈣	2.0% 氯化鈣	1.0% 氯化鈣	2.0% 氯化鈣
第一次	5	8	3	5	2	7	1	5
第二次	5	5	2	6	3	6	2	5
第三次	6	6	4	7	3	5	2	6
第四次	6	7	3	6	2	5	2	4
第五次	5	7	4	7	2	6	1	6
平均值	5.4	6.6	3.2	6.2	2.4	5.8	1.6	5.2
標準差	0.55	1.14	0.84	0.84	0.55	0.84	0.55	0.84
平均總硬度 (ppm)	96.12	117.48	56.96	110.36	42.72	103.24	28.48	92.56

總溶解固體量測試



數值	1.0% 海藻酸鈉		2.0% 海藻酸鈉		3.0% 海藻酸鈉		4.0% 海藻酸鈉	
	1.0% 氯化鈣	2.0% 氯化鈣	1.0% 氯化鈣	2.0% 氯化鈣	1.0% 氯化鈣	2.0% 氯化鈣	1.0% 氯化鈣	2.0% 氯化鈣
第一次	68	83	37	41	22	29	20	18
第二次	72	79	45	48	17	20	14	23
第三次	82	67	42	38	19	18	16	17
第四次	63	71	35	40	25	23	19	21
第五次	69	72	49	47	15	21	13	15
平均值	70.8	74.4	41.6	42.8	19.6	22.2	16.4	18.8
標準差	7.05	6.74	5.73	4.44	3.97	4.21	3.05	3.19

✓ 新型水膠囊的 pH 值接近中性 (6.96~7.22)、水質總硬度在 28.48~117.48ppm 之間、總溶解固體量在 16.4~74.4mg/L 之間，均符合國家飲用水水質標準，可以放心食用。

✓ 我們首創的新型水膠囊可確保水質，最佳濃度 (3.0% 海藻酸鈉溶液配上 1.0% 氯化鈣溶液) 在水質測試中的表現相當出色，總硬度 42.72ppm 優於「探囊取水」的 46.2ppm、總溶解固體量 19.6mg/L 也優於「探囊取水」的 20.4mg/L。

✓ 水質變化跟海藻酸鈉與氯化鈣濃度有極大的關係，海藻酸鈉濃度越高其所製成的水膠囊水總硬度、總溶解固體量就越低。

5. 新型水膠囊保存測試



組別	數值	空氣中	飲用水中	0.1%氯化鈣溶液中
自然環境		15.3%	4.8%	16.4%
冰箱冷藏		11.3%	4.7%	10.3%

✓由上表顯示新型水膠囊泡在50°C~100°C的熱水中完全沒有破裂，耐熱性極佳，在-18°C冷凍庫中一星期也都完好無缺，顯見新型水膠囊耐冷性也表現出色，此耐冷又耐熱特性應該能擴展新型水膠囊的應用性。

✓由上面圖表發現，不論是在自然環境或冰箱冷藏，新型水膠囊水分流失率最少的均為「泡在飲用水中」的保存方式，而冰箱冷藏的保存效果又比自然環境要好，若攜帶新型水膠囊外出旅行，數據也顯示無須特別保存，放10天都沒有問題。

6. 新型水膠囊分解測試



✓新型水膠囊不管是靜置空氣中還是掩埋土壤裡，前4天都快速縮小；28天後面積分別縮小為原來的8.4%及18.4%，顯示置於空氣中的分解效果優於掩埋土壤裡。

✓囊膜分解 - 塑膠對照組，空氣中的囊膜四週後面積縮小率88.8%，而塑膠片不論靜置空氣中或掩埋在土裡，面積幾乎沒有變化。

✓埋在土壤裡的囊膜有發現小小孔洞，應該是生物分解的現象，證明新型水膠囊囊膜屬於環保囊膜。

7. 新型水膠囊的應用-創意形體飲料膠囊、佐料膠囊、防疫膠囊



✓我們成功創新出「先製膜再裝液體」設計，去除繁瑣的製冰過程，成功的將飲料打入真雙層膜膠囊中並封口，不論是果汁、牛奶或具氣泡的可樂均能成功包裹，每顆約能包裹約20至40mL的液體，突破了「冰式飲料膠囊」的多種限制。

✓我們「先製膜再裝液體」設計也突破「有球必淨」皂球中包裹大量海藻酸鈉溶液的限制，成功創新出創意形體飲料、佐料、防疫膠囊，成品非常飽滿、晶亮，非常吸睛！

結論

- 首創新型水膠囊製法：先製膜再裝水
 - 傳統→先製冰→再包膜→只有球形水膠囊
 - 創新→先製膜→再裝水→有球形水膠囊
 - △ 有三角體水膠囊
 - 有方形體水膠囊
- 首創三角形體及方形體創意膠囊：印證「新型真雙層膜水膠囊」新製程的優勢，開啟多元形體膠囊的扉頁。
- 新型水膠囊的耐力表現相當優異：成功提高了水膠囊的可攜帶性。
 - 傳統→類雙層膜水膠囊→耐重力 耐拉力 耐摔力 (只有一層海藻酸鈉) 184.4gw 161.0gw 15.6cm
 - 創新→真雙層膜水膠囊→耐重力 耐拉力 耐摔力 抗穿刺力 (有兩層海藻酸鈉) 1830.0gw 755.8gw 188.0cm 708.4gw
- 新型水膠囊的保存方法，以冷藏保存在飲用水中的效果最佳，耐冷熱性極佳，即使在-18°C~100°C都完全沒有問題。
- 新型水膠囊的水質也相當突出，TDS總溶解固體量優於冰式類雙層膜水膠囊非常多 (19.6mg/L : 117.6mg/L)，顯示新型水膠囊確實強化了水質。
- 新型水膠囊囊膜分解，不管放置空氣中或是掩埋土壤裡面積都能快速縮小，既環保又不佔空間。
- 成功開發包裹常溫飲料、佐料及防疫的新型膠囊，增加實用性，也是全國首創！

未來展望

(比番茄醬塑膠包裝還環保)



不環保、有汙染性



環保、無汙染

參考文獻

- 中華民國第61屆全國中小學科展作品：探囊取水(2023年2月15日取自：ntsec.gov.tw)
- 中華民國第56屆全國中小學科展作品：吃我一顆水球(2023年2月15日取自：ntsec.gov.tw)
- 中華民國第61屆全國中小學科展作品：有球必淨(2023年2月15日取自：ntsec.gov.tw)
- 中華民國第58屆全國中小學科展作品：鈣多晶球(2023年2月15日取自：ntsec.gov.tw)
- 全國高級中等學校專業群科110年專題及創意製作競賽：『膠囊』牙膏(2023年2月15日取自：https://vtedu.mt.ntnu.edu.tw/uploads/1620615648890rxceMKVw.pdf)