

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：生活應用科學(二)環保與民生

組 別：國中組

作品名稱：「環」給地球新「吸」望

---環保吸管的製作與探討



關鍵詞：環保吸管、吸管、海藻酸鈉（最多三個）

編號：

目錄

摘要	1
壹、實驗動機	1
貳、研究目的	1
參、研究設備及器材	1
肆、文獻探討與相關名詞原理釋義	2
一、資料收集與文獻探討.....	2
二、本研究相關名詞與原理釋義.....	2
伍、研究架構.....	4
陸、研究過程或方法.....	5
一、紙吸管製作.....	5
二、海藻酸鈉吸管製作 - 正向晶球化.....	14
三、海藻酸鈉吸管製作 - 反向晶球化與二次凝膠球化.....	25
柒、結論.....	28
捌、參考資料.....	30

摘要：

本研究從古早漿糊開始，想找出不需加熱、製作方便的天然黏著劑；以常用的影印紙製作環保吸管。為增加紙吸管的耐用性，從常見的食品增稠劑中尋找合適的防水材料，發現海藻酸鈉紙吸管效能最好。但實際吸飲不同水溫的開水時，結果不如預期-約使用 5 分鐘即喪失功能。

目前市售環保吸管以咖啡渣或甘蔗渣添加 PLA 壓密膠結成型，我們以海藻酸鈉溶液和氯化鈣溶液交聯後形成的膠體乾燥製成海藻酸鈉吸管，添加咖啡渣或甘蔗渣為骨材增加吸管強度，分別以正向晶球法和反向晶球法找出製作吸管的最佳條件，每支吸管的成本分別大約是 3.4 元和 3.8 元。不僅能自然分解也不會汙染環境；且使用完後以清水稍加沖洗，吸乾多餘水分，自然風乾後還可重複使用。

壹、研究動機

隨著越來越多環境生態受到塑膠污染的報導與研究，使得各國更加重視塑膠污染的問題。而政府於 2002 年開始實施限塑政策，並在 2018 年擴大禁止提供免費塑膠袋和禁用一次性塑膠吸管，試圖解決日益嚴重的塑膠廢棄物問題。

然而隨著 Covid-19 在 2020 年初迅速擴散至全球，帶動外送產業蓬勃發展。在新聞報導中看到---無論台灣或日本，外送業績較去年同期增加近 5 倍之多，導致一次性餐具用量增加。即使不採用塑膠製品而改用紙餐具也並非解決之道。因為市面上一般使用的紙製餐具不是只有紙的成份，為了防水和防油，會用塗佈「食用蠟」或「塑膠淋膜」。其被歸類為「廢紙容器類」，不能和廢紙混在一起回收，於回收後送到專業的廢紙容器處理廠，若沒確實做好垃圾分類反而增加廢棄物處理成本，最後只好送到焚化廠，失去了回收的意義。

目前市面上流通的一次性餐具雖然安全，但其材質還是對環境造成危害。因此我們想做一種在家裡便可以自製的吸管，除了響應垃圾減量、節能減碳、保護環境，還能讓親友們能用得安心。

貳、研究目的

以「紙」出發，用影印紙製作環保吸管。

也參考《中華民國第 59 屆中小學科學展覽會：擋不住的「吸」飲力-新型吸管之研發》作品，利用海藻酸鈉溶液和氯化鈣溶液交聯後形成的膠體乾燥製成海藻酸鈉吸管。除了「基本球化」外，我們嘗試尋找合適的材料與方法進行「反轉球化」和「二次凝膠球化」，希望能使吸管強度增加，真正達到---「在家裡便可以簡單自製環保吸管」的目標。

參、研究設備及器材

一、研究器材：

計時器、電秤、食物調理機、溫度計、滴管、燒杯、PLA 杯、布丁杯、塑膠盤、塑膠盆、秤盤、華司、砝碼、掛勾、迴紋針、夾子、膠帶、剪刀、美工刀、筆、尺、釣魚線、影印紙、廚房紙巾、橡皮筋、切割墊、紙箱、酒精燈、標籤紙、LLDPE 濾水管、鐵氟龍管、PVC 管、水彩筆、玻璃棒、針筒、裁紙機、曬衣架、止水閥、高密度聚乙烯保鮮膜、自製吸管滴漏器、自製戳膜器、自製抗壓器。

二、實驗藥品與材料：

麵粉、糯米粉、洋菜粉、海藻酸鈉、吉利丁粉、吉利 T 粉、氯化鈣、咖啡渣。

肆、文獻探討與相關名詞原理釋義

一、資料收集與文獻探討：

我們查閱了近年科展與吸管、黏著劑相關的主題研究，將各研究的結論整理於下表：

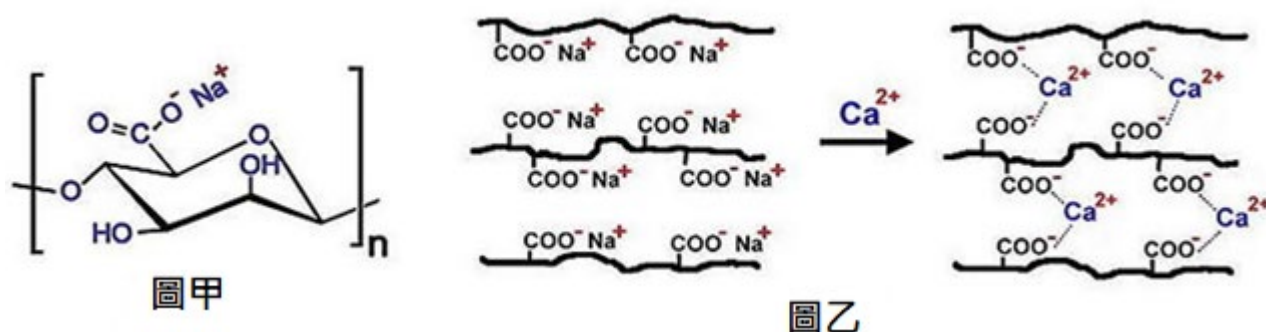
比賽項目	題目名稱	研究結論
屏東縣第 60 屆中小學科學展覽會	Nice~~紙吸管耐濕性之研究	。使用自製的紙吸管不僅環保且容易製作，雖然耐濕性不比市售紙吸管佳，但成本較低，是環保愛地球不錯的選擇。
中華民國第 59 屆中小學科學展覽會	擋不住的「吸」飲力—新型吸管之研發	活用分子料理中「晶球」之製作原理，利用海藻膠當作膠著劑；食材粉末當作骨材，成功製作出具有實用價值的新型吸管。
中華民國第 59 屆中小學科學展覽會	洋洋得益--以洋菜冷凍鍍膜製作防水紙吸管	自製洋菜防水紙吸管泡水只有一些膨脹，不會失去吸管功能，埋入土中大多分解碎裂。自製的吸管都有被魚咬過的痕跡；反而市售吸管沒有被咬過的痕跡，證明其製作的吸管比市售吸管的天然環保。
中華民國第 58 屆中小學科學展覽會	似水留黏~黏黏的留言條	高筋麵粉和水的比例為 1：1 的黏性最佳，高筋麵粉的黏性與白膠的黏性相當。
金門地區第 56 屆中小學科學展覽會	「黏」度最佳代表一天然自製黏著劑	研究結果發現麵粉類、糯米粉、太白粉和木薯粉經過加熱製成黏著劑，而加熱的時間並非愈久愈好，粉水比例 1:10 製成的黏著劑最好塗抹，適合貼在有些粗糙的表面上，較不適合貼在光滑的表面上。
物理組	阿嬤的環保膠	室溫和加溫後的麵粉糰、加溫後的太白粉和糯米糰，都具有很好的黏性，尤其是麵粉調製品黏性最佳。

二、本研究相關名詞與原理釋義：

1. 海藻酸鈉溶液和氯化鈣溶液之交聯反應(參考文獻-國立台中教育大學科學遊戲實驗室網頁)

海藻酸鈉 (Sodium Alginate) 是提煉自褐藻的化學物質，用途相當廣泛，可應用於食品業、醫藥、紡織、造紙…等等，經常做為增稠劑、乳化劑、穩定劑、粘合劑、上漿劑等。

海藻酸鈉為一種高分子，分子式為 $(C_6H_7O_6Na)_n$ ，結構如圖甲所示。當海藻酸鈉滴入氯化鈣中，鈣離子 (Ca^{2+}) 會取代鈉離子 (Na^+) 的角色，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 (如圖乙)，此交聯作用 (cross-linking) 使分子更為固定，流動性降低而固化 (形成一種半透膜)。



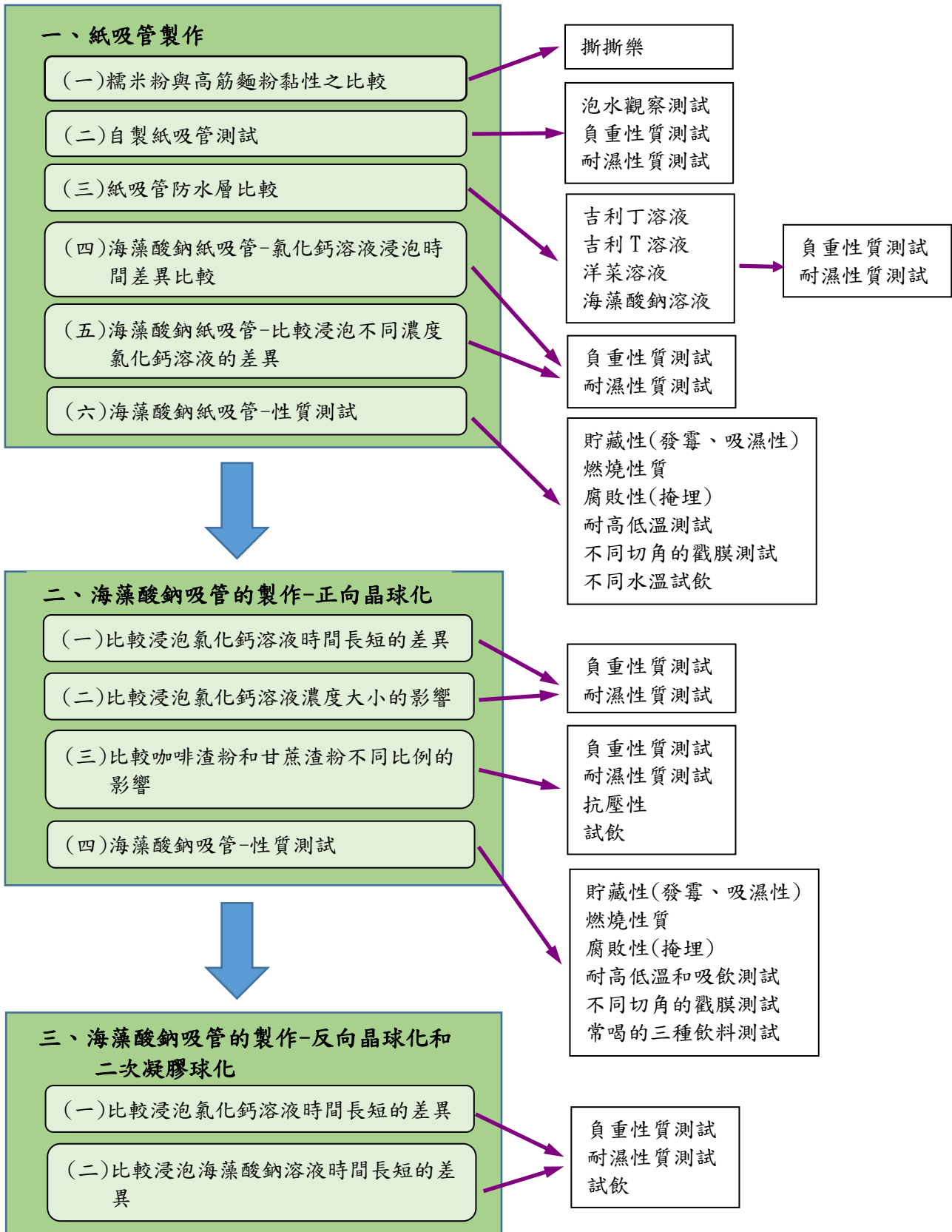
2.形成凝膠的方式，可以分成「基本球化」與「反轉球化」等兩大方向。



(參考文獻 - 從炫技料理到可食用水球：食品科學中的晶球技術(下)，PanSci 泛科學網頁)

- (1)基本球化技術(又稱正向晶球化)採用直接滲透，在食品（溶液，如果汁等）中加入海藻酸鈉，然後滴入含有鈣離子的溶液中。操作簡單，但成膠速度會受鈣離子擴散影響，長時間反應甚至會變成整顆球體凝膠，因此較適用於餐廳廚房快速製備上桌的分子料理。
- (2)反轉球化技術(又稱反向晶球化)則是利用食品本身含鈣的特性，或額外添加鈣的方式，滴入海藻酸鈉溶液，讓周圍膠化形成膠膜，所形成的球殼厚度通常比基本球化的球殼再厚一點，較容易維持球形，但相對不脆且不易爆開。
- (3)「二次凝膠球化技術」，是將反轉球化所形成的晶球，再放入鈣離子溶液中，形成更強的交聯反應，以提升膠膜穩定度，此種方法常用於保護與控制釋放機能性成分之晶球製作。

伍、研究架構



陸、研究過程或方法

一、紙吸管製作

(一)天然黏著劑-糯米粉與高筋麵粉黏性之比較

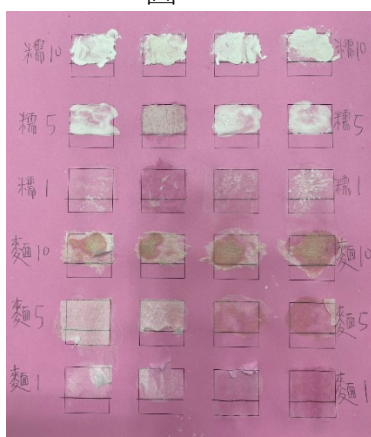
1.實驗步驟：

- (1)將糯米粉與高筋麵粉分別秤量 1 克、5 克和 10 克，加入 10ml 的熱水(約 95°C)，使得粉與水分別為比例 1：10、1：2 及 1：1，攪拌成均勻有黏稠性的液體。
- (2)用裁紙刀裁切 3cm×2cm 大小的廚房紙巾數十張。
- (3)用 A4 紙繪製好黏貼的格子，並在每個格子內畫好 3cm×2cm 的方格。
- (4)分別在每個 3cm×2cm 的格子中均勻塗抹 0.2 克的自製黏性液體，每種液體均塗抹四格。
- (5)將 3cm×3cm 大小的廚房紙巾，輕壓在塗抹各種 0.2 克的自製黏性液體的格子中。
- (6)自然風乾 3 小時後，再輕輕撕下廚房紙巾，進行殘餘廚房紙巾面積大小的比較、觀察和記錄，做為黏性大小的比較依據。

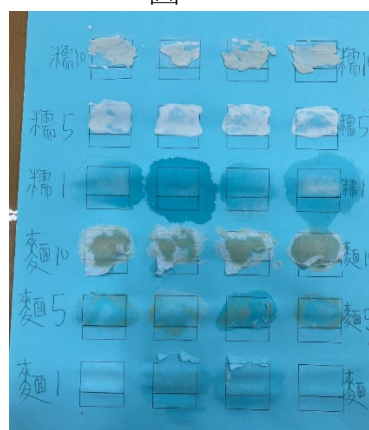
2.實驗結果與討論

由圖一-1 和圖一-2 結果可看出麵粉糊的黏著性比糯米糊佳，而塗上糯米糊的廚房紙巾幾乎都可完整撕下，背景紙上徒留大面積的糯米糊。

圖一-1



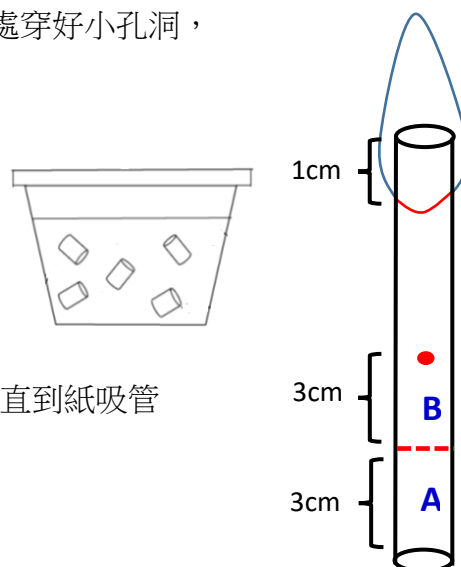
圖一-2



(二)自製紙吸管測試

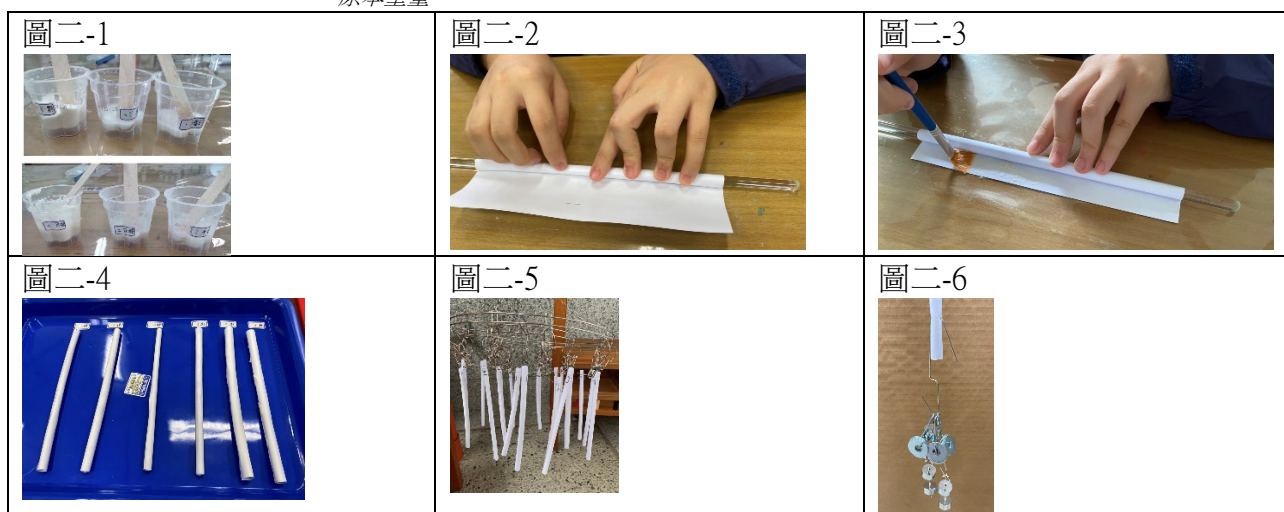
1.實驗步驟：

- (1)將 A4 影印紙裁切成長 22 公分、寬 10 公分，數十張備用
- (2)以玻璃棒捲製固定大小，內側邊緣 2 公分塗抹黏漿糊黏著固定(約 1.5 克)，並把吸管逐一吊掛起來晾乾。
- (3)待紙吸管自然風乾完成後，如右圖，事先在第 6 公分處穿好小孔洞，將紙吸管下方 3 公分剪下來。
- (4)泡水觀察測試
 - a.在 6 個飲料杯中分別倒入 400mL 的水，將 3cm(如右圖，A 部分)的各式吸管放入飲料杯裡。
 - b.觀察吸管泡入水中後的變化。
- (5)負重性質測試
 - a.將 4 支紙吸管(如右圖右，B 部分)放入 400mL 常溫水中浸泡，如圖，每 30 分鐘取出 1 支吸管。
 - b.在事先穿好的小孔洞中每隔 10 秒掛一個砝碼或華司，直到紙吸管斷裂。
 - c.將其所能承受的砝碼及華司放到電子秤上秤重。



(6)耐濕性質測試

- a.將 6 支吸管泡水前先秤重記錄原始重量。
- b.將紙吸管 B 部分放入 400mL 常溫水中浸泡，每 15 分鐘取出 1 支吸管，再秤出泡水後重量，相減則為增加重量。
- c.吸管泡水後的增加的重量，除以原本重量，再乘以 100%，即是重量增加百分比。
- d.重量增加百分比 = $\frac{\text{增加重量}}{\text{原本重量}} \times 100\%$



2.實驗結果與討論

(1)紙吸管的泡水觀察測試

由表一結果比較，糯米糊所製造的紙吸管，無論是哪種比例在 20 分鐘內都爆開；而以麵粉糊為黏著劑製造的紙吸管在 90 分鐘時才有第一個爆開，分別為高筋麵粉：水=10g：10g 和高筋麵粉：水=1g：10g，之後一直到 21 小時後高筋麵粉：水=1g：10g 的才有第二個和第三個爆開。由此實驗結果知黏著劑中，糯米粉的黏著劑明顯容易因泡水而失去黏性，高筋麵粉的黏著劑中以高筋麵粉：水=1g：10g 的比例是泡水後黏性最差的。

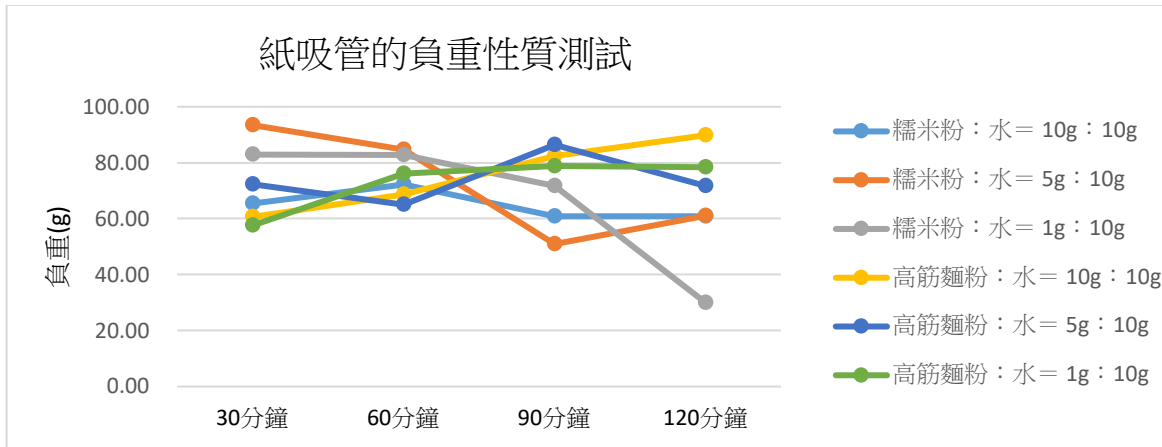
表一、紙吸管的泡水觀察測試

	第 1 爆掉	第 2 爆掉	第 3 爆掉	第 4 爆掉	備註
糯米粉：水=10g：10g	5min	5min	5min	10min	有沉澱物
糯米粉：水=5g：10g	5min	10min	15min	15min	
糯米粉：水=1g：10g	10min	10min	15min	20min	
高筋麵粉：水=10g：10g	90min	無	無	無	
高筋麵粉：水=5g：10g	無	無	無	無	
高筋麵粉：水=1g：10g	90min	1260min	1260min	無	

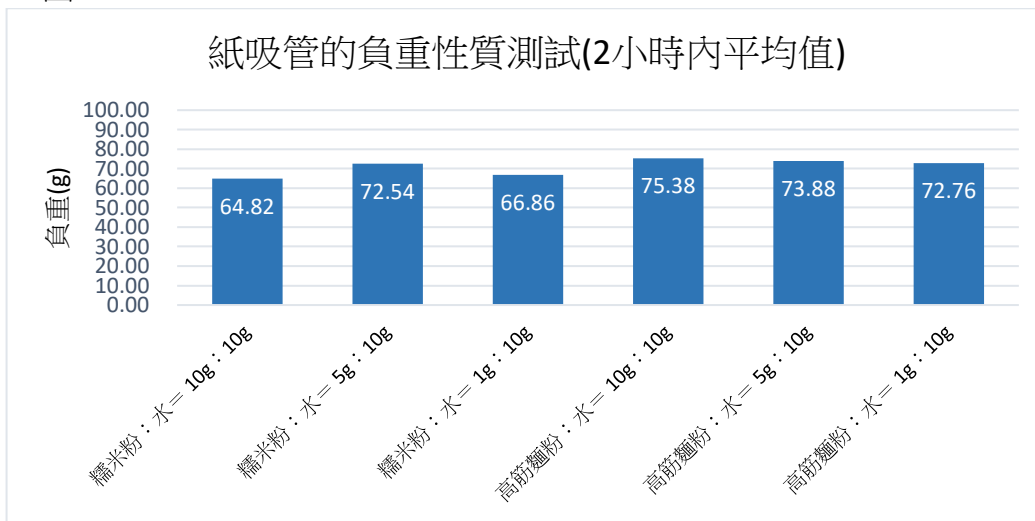
(2)紙吸管的負重性質測試

紙吸管泡水，我們預期泡水越久負重性應該會越差，但由圖三-1 的結果卻不是如此，應該是因製作紙吸管時很難做到「一致性」。整體而言，若以 2 小時內的平均值(圖三-2)來比較，則以高筋麵粉糊為黏著劑所製作的紙吸管負重性優於糯米糊為黏著劑所製作的紙吸管負重性，其中又以高筋麵粉：水=10g：10g 為最佳。

圖三-1



圖三-2

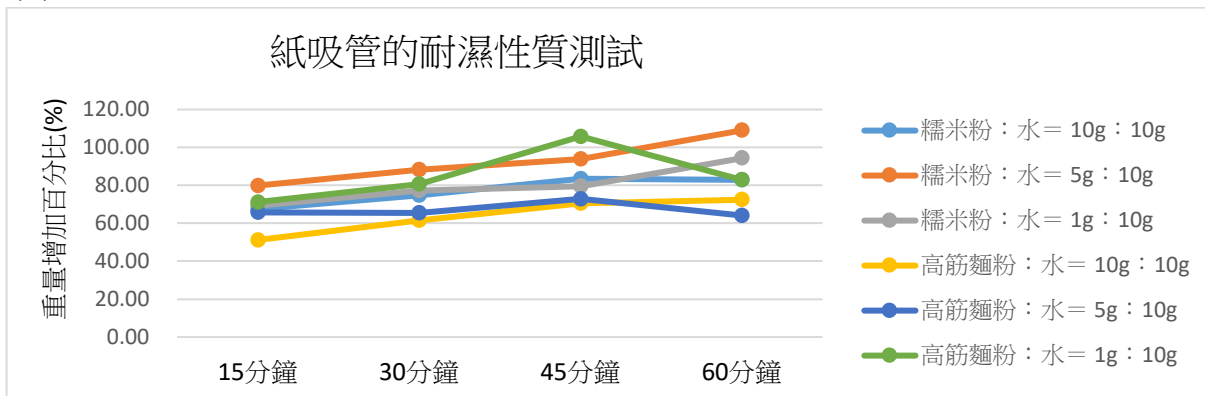


(3)紙吸管的耐濕性質測試

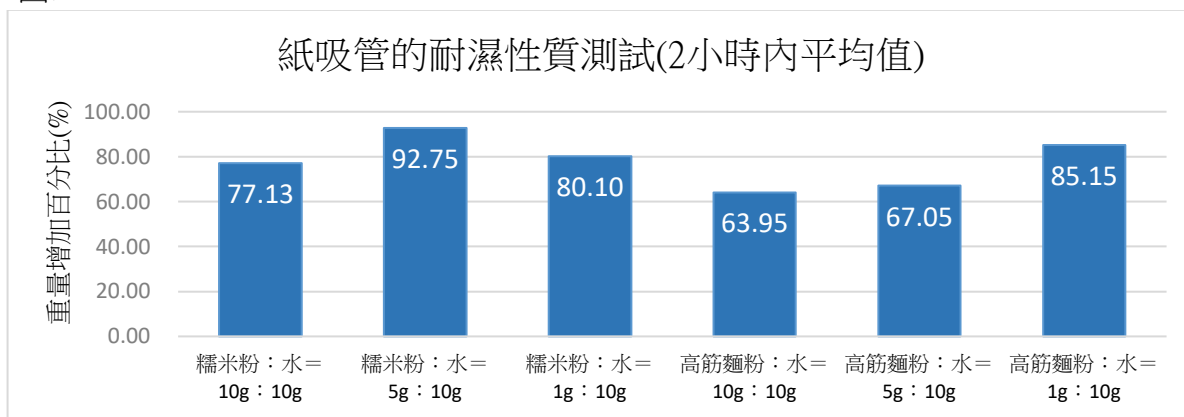
由圖四-1 及圖四-2 的比較得知，使用糯米糊為黏著劑製作的紙吸管在泡水後，吸水較嚴重；而以麵粉糊為黏著劑製作的紙吸管在泡水後，以高筋麵粉：水=10g：10g 的比例麵粉糊耐濕性最佳。

綜合上述，我們選定以高筋麵粉：水=10g：10g 的比例為我們往後製作紙吸管的黏著劑。

圖四-1



圖四-2



(三)紙吸管防水層比較

1.實驗步驟

(1)配製防水塗料共 4 種

- ①吉利丁溶液：25 克吉利丁粉/1000 克水
- ②吉利 T 溶液：25 克吉利 T 粉/1000 克水
- ③洋菜溶液：20 克洋菜粉/1000 克水
- ④海藻酸鈉溶液：1%和 2%，各 1000g

(2)將紙吸管各 10 支分別完整浸泡在①～④杯溶液中 10 分鐘。

(3) ①～③杯浸泡後的紙吸管，取出後逐一吊掛乾燥；第④杯的紙吸管自杯中取出以"不滴水"後為原則，放入裝有 2%氯化鈣溶液杯中浸泡 15 分鐘。

(4)將第④杯的紙吸管自 2%氯化鈣溶液杯中取出，逐一吊掛乾燥。

(5)負重性質測試

- a.將 4 支紙吸管放入 400mL 常溫水中浸泡，每 30 分鐘取出 1 支吸管。
- b.在事先穿好的小孔洞中每隔 10 秒掛一個砝碼或華司，直到紙吸管斷裂。
- c.將其所能承受的砝碼及華司放到電子秤上秤重。

(6)耐濕性質測試

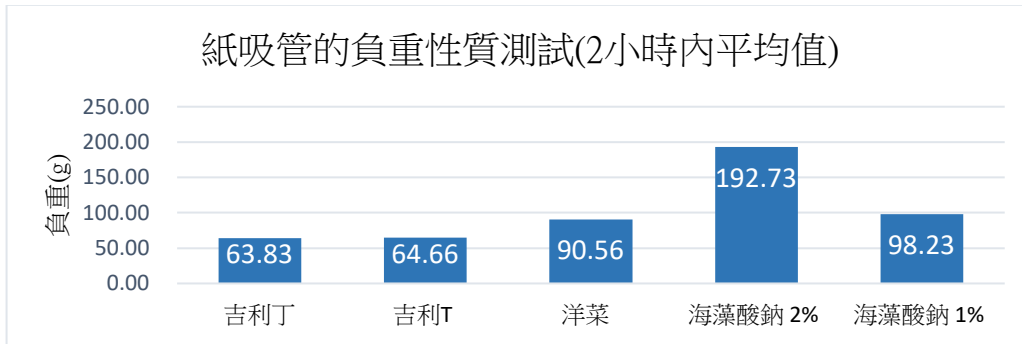
- a.將 6 支吸管泡水前先秤重紀錄原始重量。
- b.將紙吸管放入 400mL 常溫水中浸泡，每 15 分鐘取出 1 支吸管，再秤出泡水後重量，相減則為增加重量。
- c.吸管泡水後的增加的重量，除以原本重量，再乘以 100%，即是重量增加百分比。

d.重量增加百分比 = $\frac{\text{增加重量}}{\text{原本重量}} \times 100\%$

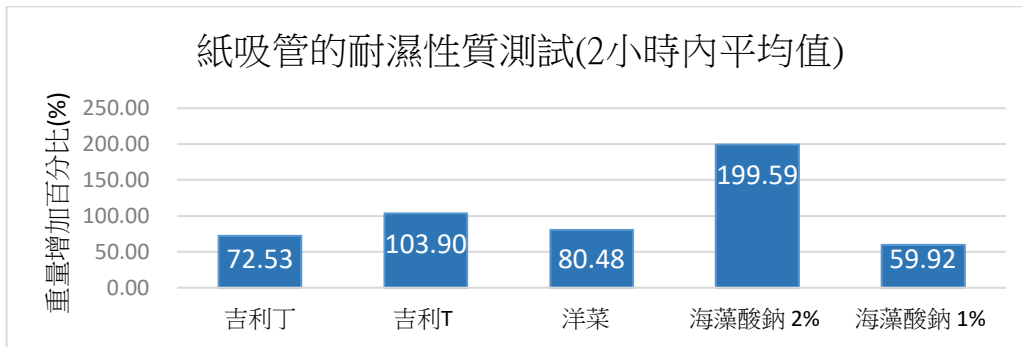
2.實驗結果與討論

分別以吉利丁、吉利 T、洋菜和海藻酸鈉做為防水劑製作紙吸管，待完全乾燥後。以吉利丁、吉利 T 和洋菜為防水劑做成的紙吸管和未上防水劑前的紙吸管比較，外觀上看不出差異；但以海藻酸鈉為防水劑做成的紙吸管，以肉眼可辨別出紙吸管外有一層膜。雖然 2%海藻酸鈉溶液做為防水劑製作的紙吸管負重性質最好，但其耐濕性卻是最差。且更重要的是 2%海藻酸鈉溶液非常濃稠，實驗操作上要讓紙吸管完全吸收敷膜真的很困難。因此我們決定以 1%海藻酸鈉溶液做為防水劑。

圖五



圖六



(四)海藻酸鈉紙吸管-氯化鈣溶液浸泡時間差異比較

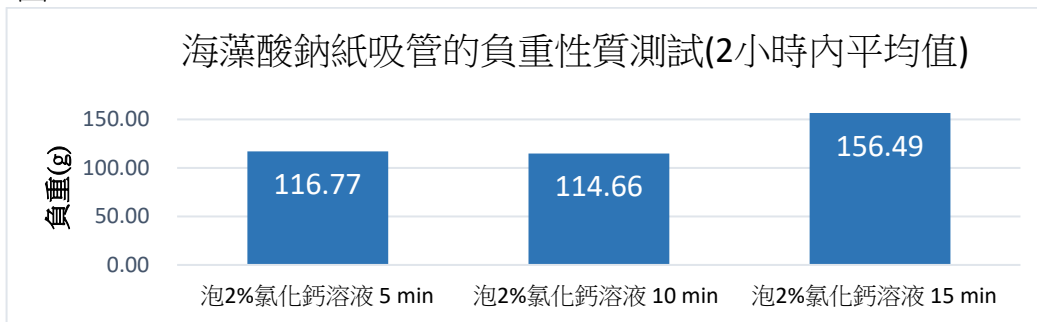
1.實驗步驟

- (1)紙吸管浸泡在 1% 海藻酸鈉溶液中 10 分鐘取出，"不滴水"後放入裝有 2%氯化鈣溶液杯中浸泡，自 2%氯化鈣溶液杯中取出紙吸管，逐一吊掛乾燥。
- (2)比較浸泡氯化鈣溶液 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘所得吸管的負重性質及耐濕性質。

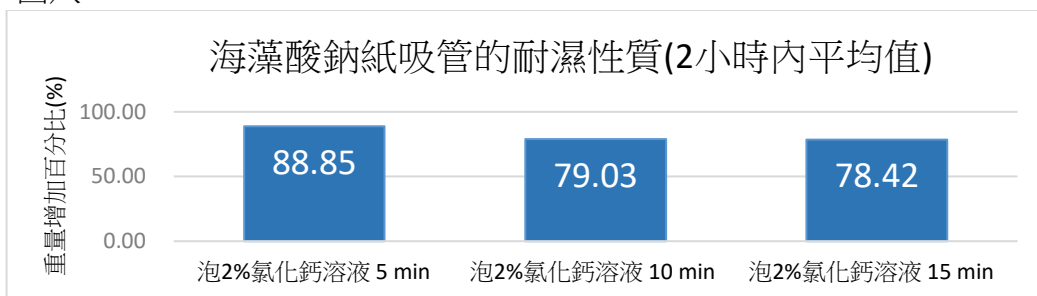
2.實驗結果與討論

由圖七和圖八可看出，紙吸管先以 1%海藻酸鈉溶液浸泡，再浸泡 2%氯化鈣溶液 15 分鐘可以得到最佳的負重和耐濕效果。

圖七



圖八



(五)海藻酸鈉紙吸管-比較浸泡不同濃度氯化鈣溶液的差異

1.實驗步驟

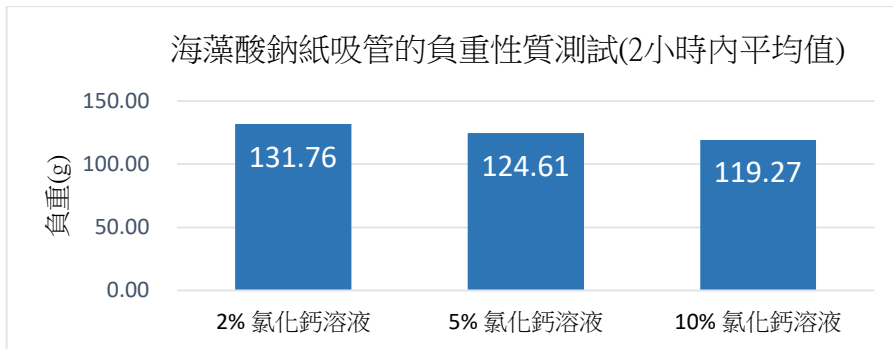
- (1)以 1% 海藻酸鈉溶液中 10 分鐘取出，"不滴水"後放入裝有氯化鈣溶液杯中浸泡 15 分鐘，自氯化鈣溶液杯中取出紙吸管，逐一吊掛乾燥。
- (2)比較浸泡 2%、5%、10%氯化鈣溶液所得吸管的負重性質及耐濕性質。

2.實驗結果與討論

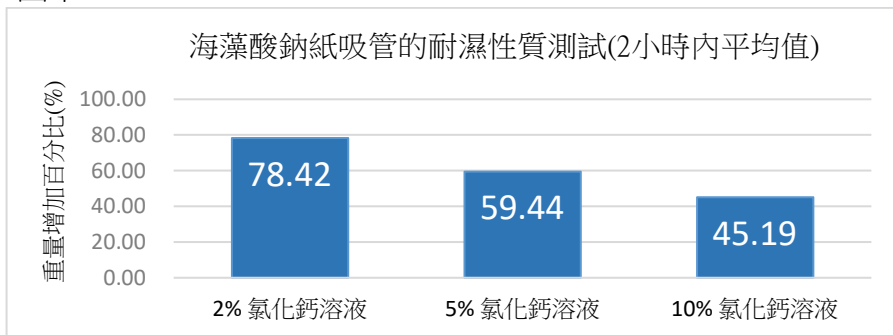
由圖九來看，三種濃度的氯化鈣溶液其負重性質差異並不大。而由圖十的比較得到耐濕效果以 10%氯化鈣溶液為最佳。

即紙吸管先以 1%海藻酸鈉溶液浸泡，再浸泡 10%氯化鈣溶液 15 分鐘所得到的負重和耐濕效果最好。

圖九



圖十



(六)海藻酸鈉紙吸管-性質測試

1.貯藏性測試(發霉、吸濕性)：

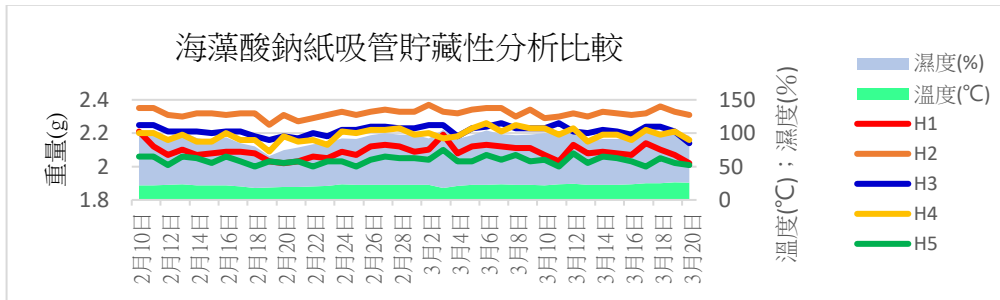
(1)實驗步驟

以釣魚線穿過海藻酸鈉紙吸管懸掛，放置在室內通風處，每日觀察及秤重、記錄當日氣溫及濕度。

(2)實驗結果與討論

在近 40 天的觀察紀錄中，我們發現 5 支海藻酸鈉紙吸管都沒有發霉的現象，且重量也沒有明顯的變化。但由圖十一可看出重量的變化和濕度的關聯性比較大些，濕度大時，重量會稍重些。

圖十一



2. 燃燒性質：

(1) 實驗步驟

- a. 先用打火機點燃酒精燈。
- b. 用鑷子將15 cm 的紙吸管和海藻酸鈉紙吸管分別放到酒精燈上面加熱，用計時器計時。
- c. 觀察各式吸管燃燒後的變化。
- d. 將實驗結果記錄在實驗表格中。

(2) 實驗結果與討論

從燃燒性質的觀察中，我們發現海藻酸鈉紙吸管燒的速度比紙吸管慢，且和紙吸管燃燒時相比有香香甜甜的味道比較好聞，不會嗆鼻。

圖十二



表二

項目 \ 變化	火焰的顏色	煙的顏色	燃燒時的氣味	灰燼的外觀	燃燒時間
海藻酸鈉吸管	紅色	燃燒一段時間後才開始冒白煙	香甜味	黑色	平均 6分37秒
紙吸管	紅色	一開始燃燒即冒白煙	紙味(煙燻)	灰色，和紙張燃燒結果相似	平均 1分28秒

3. 腐敗性(掩埋)：

(1) 實驗步驟

- a. 利用鏟子把一塊地挖到20 cm深，把紙吸管一個一個間隔約10 cm埋進土裡。
- b. 再把土鋪回原來的模樣。
- c. 掩埋6週，每天澆水1桶，每週取出3支紙吸管觀察記錄。

(2) 實驗結果與討論

由圖十三的實驗觀察可知，我們自製的海藻酸鈉紙吸管約 1.5 個月的時間就可達約六成土壤化了。

圖十三





4.耐高低溫測試

(1)實驗步驟

- a.將紙吸管浸泡在不同溫度水中(冰水、常溫水、熱水；0℃、20℃、50℃)，120分鐘後取出，測其耐濕性質。
- b.將紙吸管浸泡在不同溫度水中(冰水、常溫水、熱水；0℃、20℃、50℃)，120分鐘後取出，測其負重性質。

(2)實驗結果與討論

由表三和表四結果可知，海藻酸鈉紙吸管在低溫時具有較好的負重性質；但耐濕性則以常溫水具有較佳的耐濕性質。

表三、不同溫度時海藻酸鈉紙吸管負重性質測試

項目 \ 水溫	0℃ 水	20℃ 水	50℃ 水
負重 (g)	85.58	54.77	49.76

表四、不同溫度時海藻酸鈉紙吸管耐濕性質測試

項目 \ 水溫	0℃ 水	20℃ 水	50℃ 水
增加重量百分比(%)	90.63	61.79	68.32

5.不同切角的戳膜測試

(1)實驗步驟

- a.將不同切角(平口、30°、45°、60°)的紙吸管放入自製戳膜器中(如圖十四)，先以在塑膠盒內放置200公克砝碼為依據，自11cm 高處自由落下戳膜。若能戳破封膜，則減10公克砝碼；反之若沒能戳破封膜，則加10公克砝碼，記錄砝碼重量。
- b.重複上述步驟，測量四次紙吸管戳膜力道做比較。

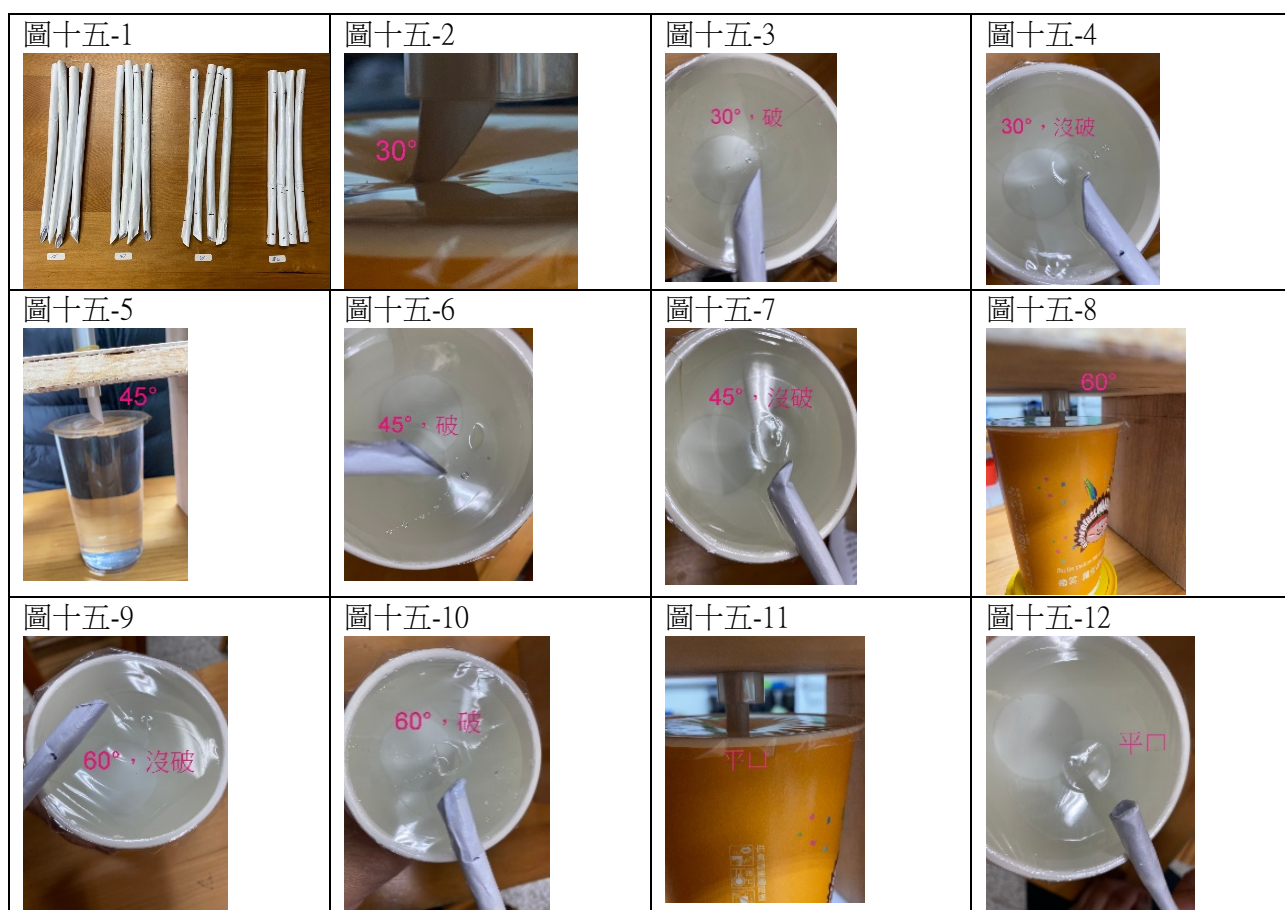
(2)實驗結果與討論

由表五看出，戳膜力道以切口 60°的海藻酸鈉紙吸管效果最佳。



表五

編號	平口	30°	45°	60°
1	砝碼重 200 公克，沒破。封膜凹陷面積大，紙吸管管口變鈍	砝碼重 200 公克，沒破。封膜微凹陷，紙吸管尖端變形	砝碼重 200 公克，破	砝碼重 200 公克，破大洞
2	砝碼重 210 公克，沒破。封膜凹陷面積大，紙吸管管口變鈍	砝碼重 210 公克，沒破。封膜微凹陷，紙吸管尖端變形	砝碼重 190 公克，沒破。封膜有凹陷，紙吸管尖端變形嚴重	砝碼重 190 公克，沒破。封膜凹陷大，紙吸管尖端變形嚴重
3	砝碼重 220 公克，沒破。封膜凹陷面積大，紙吸管管口變鈍	砝碼重 220 公克，破，紙吸管尖端沒變形	砝碼重 200 公克，破	砝碼重 190 公克，破
4	砝碼重 230 公克，沒破。封膜凹陷面積大，紙吸管管口變鈍	砝碼重 210 公克，沒破。封膜些微凹陷，紙吸管尖端變形	砝碼重 190 公克，沒破。封膜凹陷，紙吸管尖端稍微變形	砝碼重 180 公克，沒破。封膜凹陷，紙吸管尖端變形



6. 吸飲不同溫度的水測試

(1) 實驗步驟

分別以海藻酸鈉紙吸管吸飲不同溫度的水 (冰水、常溫水、熱水；0°C、20°C、50°C)，記錄吸飲結果。

(2) 實驗結果與討論

以海藻酸鈉紙吸管吸飲超過約 1.5 分鐘後，會有濃厚麵粉味。

冰水：約 3~4 分鐘左右，因紙吸管凹扁變形而無法吸到水，頭尾兩端出現軟爛現象。

常溫水：剛開始吸飲水正常，但是若吸飲水 5 分鐘以上，也會和冰水一樣。

熱水：剛開始吸飲水正常，但是若吸飲水 5 分鐘以上，也會和冰水一樣。

二、海藻酸鈉吸管製作 – 正向晶球化

於紙吸管製作實驗的過程中發現，以海藻酸鈉溶液和氯化鈣溶液製作防水層，紙吸管外有一層薄膜包覆，這個現象吸引我們的眼光。上網搜尋得知，目前很夯的分子料理 – 爆漿粉圓的製作即是利用此原理製作，我們希望也利用此原理製作環保吸管。

(一)比較浸泡氯化鈣溶液時間長短的差異

1.實驗步驟：

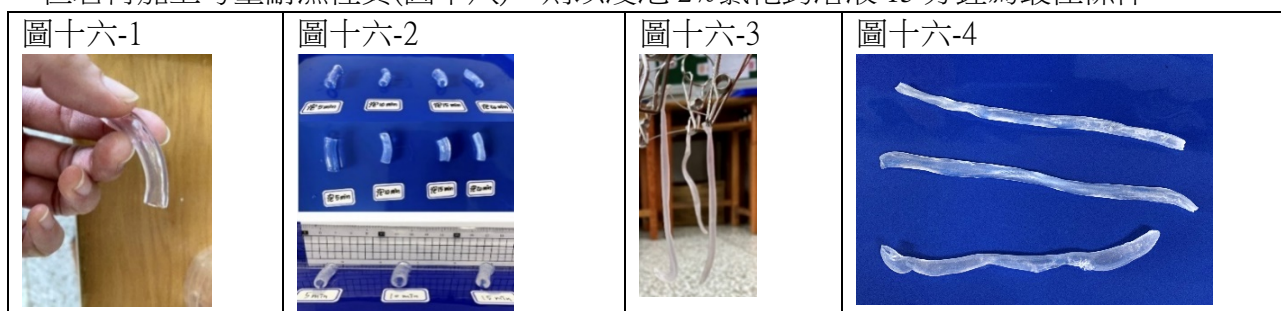
- (1)配製2%海藻酸鈉溶液2000mL，另配製2%氯化鈣溶液3000 mL。
- (2)以60mL塑膠針筒外接鐵氟龍管(6*8mm、8*10mm、10*12mm)作為製造吸管的模具，吸取海藻酸鈉溶液，在氯化鈣溶液中擠出長條形。
- (3)在5分鐘後，撈取長條形凝膠，裁切凝膠頭尾，置入水中清洗瀝乾，製成中空的海藻膠長管。
- (4)重複步驟(1)~(3)，製作浸泡2%氯化鈣溶液分別為10分鐘和15分鐘的海藻膠長管。
- (5)逐一吊掛，置入除濕機箱中乾燥。
- (6)比較浸泡2%氯化鈣溶液5分鐘、10分鐘、15分鐘所得吸管的負重性質及耐濕性質。

2.實驗結果與討論

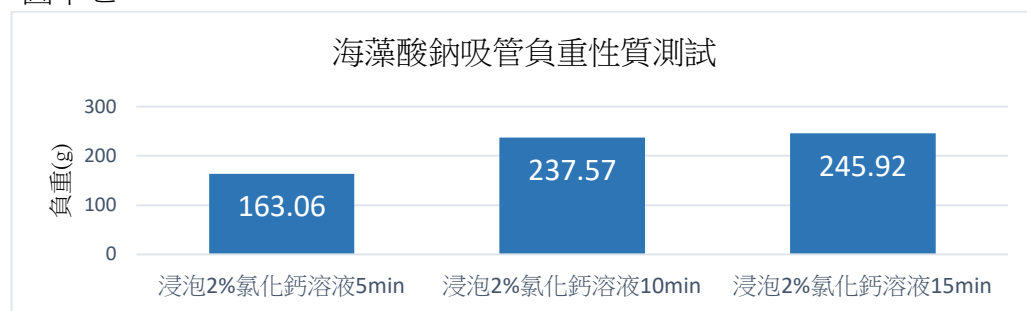
如圖十六-2 所示做出，依上述步驟所做出的海藻膠長管，隨著浸泡氯化鈣溶液時間越長，內徑變得越小，乾燥後則會變得乾扁扭曲(圖十六-3~圖十六-4)。為改善此情形，我們使用淨水設備的 LLDPE 管(4*6mm)貫穿中空的海藻膠長管使管內有支撐，浸泡氯化鈣溶液使之交聯成膜的時間我們有做到 30 分鐘，但因海藻膠長管內徑太小 LLDPE 管無法貫穿，且考量到平時我們常用的吸管口徑大小，所以只比較 5 分鐘~15 分鐘的差異性。

使用 LLDPE 管貫穿中空的海藻膠長管後，雖可塑形海藻膠長管，卻發生乾燥後海藻酸鈉吸管拔不下來，亦或拔下來卻脆裂的窘境。查詢文獻後發現，鐵氟龍有不易沾黏的特性，所以後續實驗我們改用鐵氟龍管來貫穿中空的海藻膠長管。

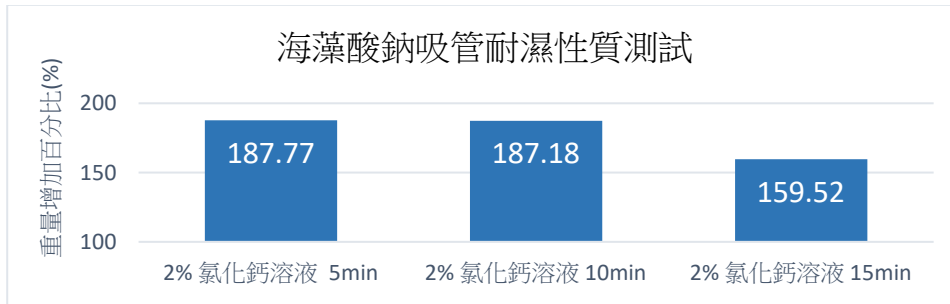
圖十七~圖十八是以 LLDPE 管貫穿中空的海藻膠長管，乾燥所得的海藻酸鈉吸管所測得的負重及耐濕性質。就泡水 2 小時後的負重性而言，浸泡 2%氯化鈣溶液 10 分鐘和 15 分鐘所得的海藻膠酸鈉吸管遠好於浸泡 2%氯化鈣溶液 5 分鐘得的海藻膠酸鈉吸管(圖十七)。但若再加上考量耐濕性質(圖十八)，則以浸泡 2%氯化鈣溶液 15 分鐘為最佳條件。



圖十七



圖十八



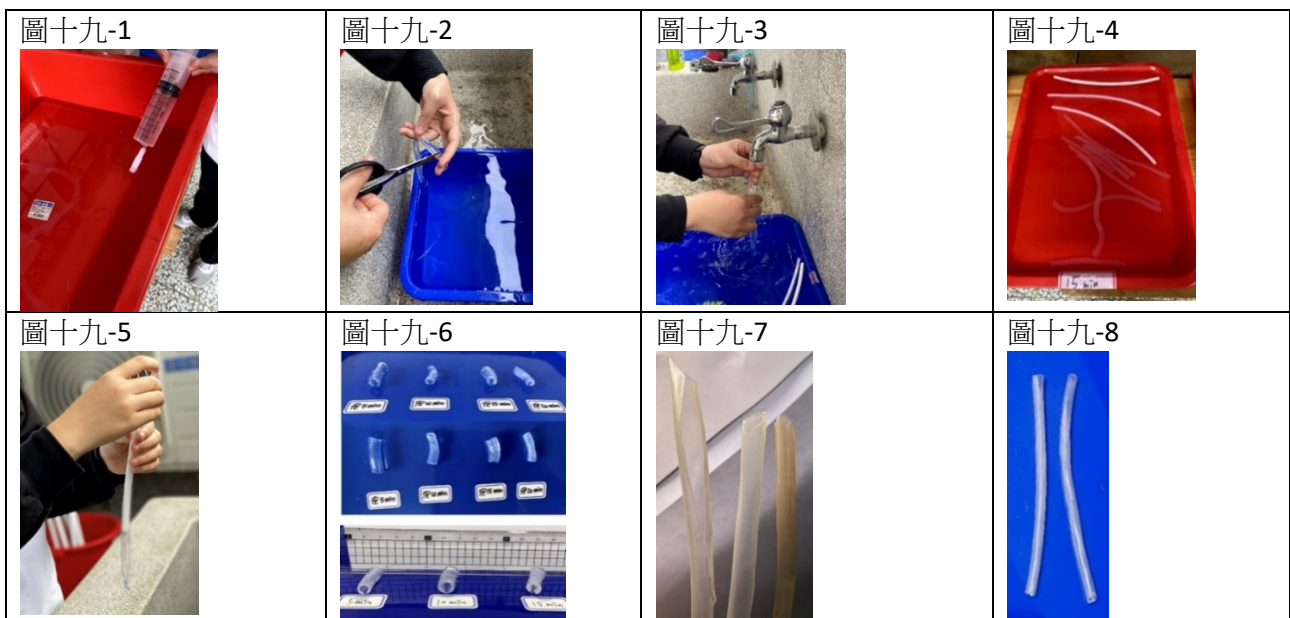
(二)比較浸泡氯化鈣溶液濃度大小的影響

1.實驗步驟：

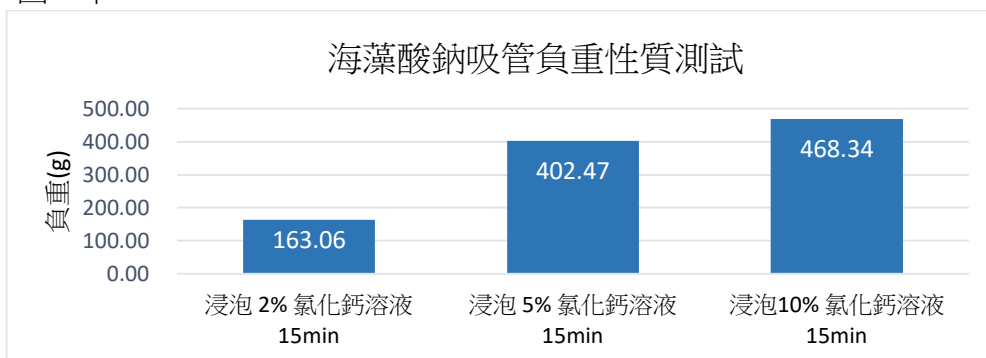
比較在不同濃度的氯化鈣溶液中浸泡15分鐘後，所得吸管的負重性質及耐濕性質。

2.實驗結果與討論

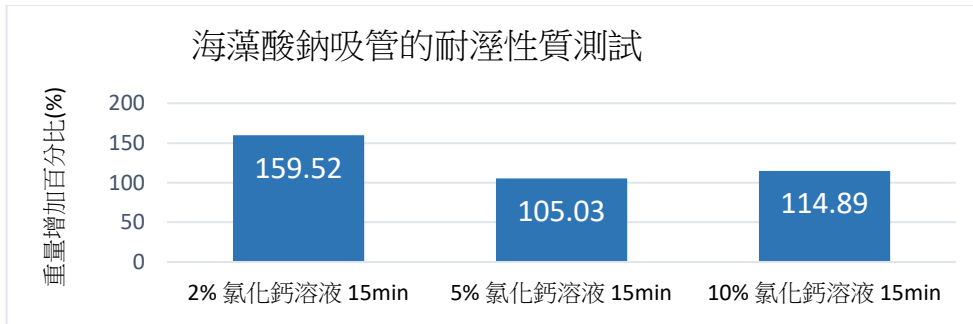
改以鐵氟龍管貫穿中空的海藻膠長管，乾燥後海藻酸鈉吸管拔不下來或易脆裂的情形大幅改善。乾燥脫模後得外觀呈粗細一致的微彎長管狀(圖十九-8)，類似一般塑膠吸管，無光澤透光性不佳，質地較堅硬。脫模時若不小心易裂開；泡水後會稍膨脹，有光澤透光性變較佳，質地也變得柔軟。綜合圖二十～圖二十一的結果，整體而言以浸泡10% 氯化鈣溶液所得的海藻酸鈉吸管的負重性質及耐濕性質較佳。即以塑膠針筒將2%海藻酸鈉溶液注入10%氯化鈣溶液中浸泡15分鐘為最佳條件，後續的實驗研究則以此為基礎做進階探討。



圖二十



圖二十一



(三)比較咖啡渣粉和甘蔗渣粉不同比例的影響

為改善海藻酸鈉吸管泡水後易軟化的性質，由水泥混合砂石成混凝土能使強度增強的概念，我們嘗試在 2%海藻酸鈉溶液中加入咖啡渣或甘蔗渣，希望達到乾燥後不易脆裂，以及泡水後不易軟化。且為增大吸管的口徑，我們在原有的製造吸管模具上加裝 PVC 軟管，讓擠出的海藻膠長條外徑達 12mm。而於乾燥過程中，在鐵氟龍管內插入盆栽定型蘭花用的鐵絲(如圖二十二-8 和圖二十二-9)，以增加海藻酸鈉吸管筆直度。

1.實驗步驟：

- (1)取2%海藻酸鈉溶液200公克，加入2克咖啡渣粉攪拌均勻。
- (2)改用200mL塑膠針筒外接鐵氟龍管(10*12mm)和PVC軟管(12*16mm)作為製造吸管的模具，吸取海藻酸鈉溶液，在10%氯化鈣溶液中擠出長條形。
- (3)於15分鐘後撈取長條形凝膠，裁切凝膠頭尾，置入水中清洗瀝乾，製成中空的海藻膠長管，使用鐵氟龍管(6*8mm)貫穿中空的海藻膠長管使管內有支撐。
- (4)重複步驟(1)~(3)，改變咖啡粉量為4公克、6公克、8公克、10公克、12公克。
- (5)逐一吊掛，置入除濕機箱中乾燥。
- (6)比較浸乾燥後所得吸管的負重性質(泡水2小時)、耐濕性質(泡水2小時)、抗壓性及吸飲的實驗結果。
- (7)以甘蔗渣取代咖啡渣，重複步驟(1)~(6)，

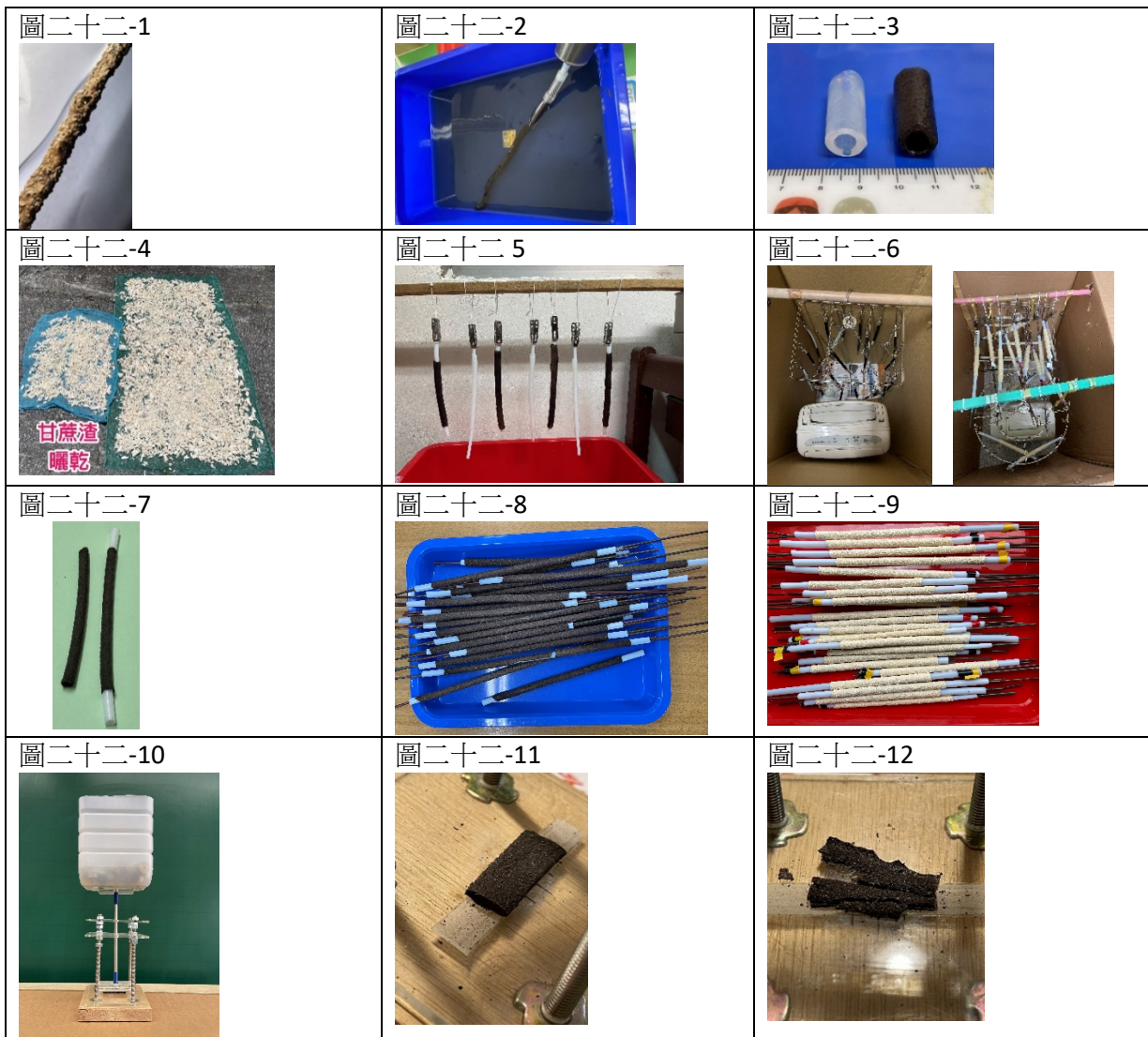
2.實驗結果與討論

由於希望達到物資再利用的目的以及取得的方便性，所以我們選用沖泡過的咖啡渣和榨汁後的甘蔗渣作為海藻酸鈉吸管的骨材。如圖二十二-1 所示，咖啡渣未經處理直接添加，吸管表面非常粗糙，且很容易讓針筒口塞住。因此咖啡渣或甘蔗渣都先用食物調理機打成粉末後再製成吸管，針筒阻塞問題即可解決。

- (1)由表六、表七和圖二十三、圖二十四的測試結果發現，海藻酸鈉中添加咖啡渣或甘蔗渣後負重能力明顯下降很多，剩不到 $\frac{1}{2}$ 倍；而耐濕性則是咖啡渣添加量為 6 克時增加為約 2 倍，而甘蔗渣添加量在為 6 克時增加為約 3 倍。在海藻酸鈉吸管製造的過程中也發現，於除溼機箱中乾燥完成要拔除鐵氟龍管時，①添加物 2 克和 4 克所得的吸管比純海藻酸鈉吸管更有彈性；但之後隨著添加量越多，所得到的吸管變硬且脆易裂，咖啡渣的情形特別明顯，稍一不慎整支吸管碎裂就前功盡棄；②使用同口徑的製造吸管的模具(PVC 軟管 12*16mm)，但隨者添加物克數增加，到 10 克時某些海藻酸鈉膠條便需改以較大的鐵氟龍管(8*10mm)貫穿乾燥塑形。
- (2)我們設計抗壓器具(如圖二十二-10)想更客觀的了解各種配方吸管的抗壓性質，裁切各種配方吸管 3 公分長做抗壓性測試，結果如表八、表九所示。咖啡渣和甘蔗渣含量較低時吸管有彈性，隨著咖啡渣克數增加，吸管抗壓力增加但變脆易碎裂。

綜合上述吸管的負重性質、耐濕性質、抗壓性及吸飲等測試結果，海藻酸鈉咖啡渣吸管以 200 克 2%海藻酸鈉溶液內添加 6 克咖啡渣是製作海藻酸鈉吸管的最佳比例；而海藻酸

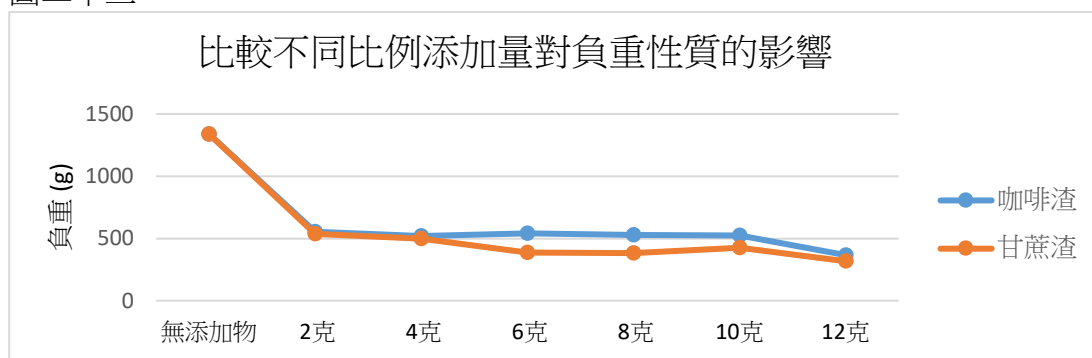
納甘蔗渣吸管則以 200 克 2%海藻酸鈉溶液內添加 10 克甘蔗渣是製作海藻酸鈉吸管的最佳比例。



表六、比較咖啡渣粉和甘蔗渣粉不同比例對負重性質的影響

負重(g)	無添加物	2 克	4 克	6 克	8 克	10 克	12 克
咖啡渣	1337.34	555.57	518.84	539.03	529.82	521.62	366.05
甘蔗渣	1337.34	534.38	499.48	384.77	382.64	426.76	317.05

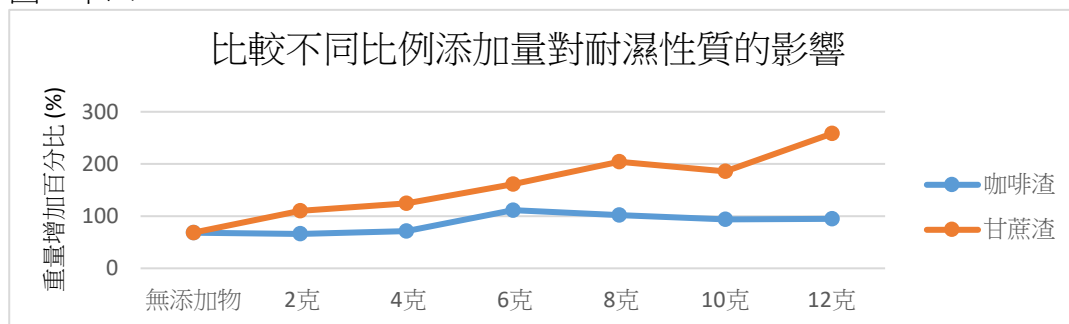
圖二十三



表七、比較咖啡渣粉和甘蔗渣粉不同比例對耐濕性質的影響

重量增加百分比	無添加物	2 克	4 克	6 克	8 克	10 克	12 克
咖啡渣	68.57	65.89	70.97	111.5	102.21	94.2	94.34
甘蔗渣	68.57	110.3	124	161.65	203.94	185.73	258.17

圖二十四



表八、海藻酸鈉吸管-有無添加咖啡渣抗壓力性質測試

項目 次別	純的(無添加物)	咖啡渣 2 克	咖啡渣 4 克	咖啡渣 6 克
一	1872 克，壓扁且裂	有彈性，993 克，壓扁，	稍具彈性，1931 克，壓扁	2388 克，壓扁
二	1788 克，壓扁	有彈性，753 克，壓扁	稍具彈性，1431 克，壓扁	1482 克，壓扁且碎
三	1695 克，壓扁	有彈性，623 克，壓扁	稍具彈性，2110 克，壓扁	2655 克，壓碎

項目 次別	咖啡渣 8 克	咖啡渣 10 克	咖啡渣 12 克
一	1815 克，壓碎	1991 克，壓碎	860 克，發出裂聲 2511 克，壓碎
二	1653 克，壓碎	2428 克，壓碎	2255 克，壓扁且裂
三	2668 克，壓碎	2073 克，壓扁且裂	732 克，發出裂聲 2471 克，壓碎

表九、海藻酸鈉吸管-有無添加甘蔗渣抗壓力性質測試

項目 次別	純的(無添加物)	甘蔗渣 2 克	甘蔗渣 4 克	甘蔗渣 6 克
一	1872 克，壓扁且裂	有彈性，1369 克，壓扁	有彈性，1636 克，壓扁	稍具彈性， 1438 克，壓扁
二	1788 克，壓扁	有彈性，1109 克，壓扁	有彈性，1725 克，壓扁	稍具彈性，2 372 克，壓扁
三	1695 克，壓扁	有彈性，1437 克，壓扁	有彈性，1802 克，壓扁	稍具彈性，1 905 克，脆裂

項目 次別	甘蔗渣 8 克	甘蔗渣 10 克	甘蔗渣 12 克
一	2016 克，壓扁	2422 克，碎裂	1794 克，壓扁
二	2496 克，碎裂	1805 克，碎裂	2251 克，碎裂
三	2013 克，碎裂	2279 克，碎裂	2407 克，碎裂

表十、正向晶球化製作海藻酸鈉吸管試飲白開水比較

項目	吸(飲)水前	吸(飲)水時	吸(飲)水後	備註
無添加物	雖然摸起來硬硬、脆脆的，但是不至於裂掉、摸一摸會凹下去，且無法自行恢復原狀(用手也無法)，用力壓幾次後，會有摺線出現，甚至破裂	沒有異味且皆沒有出現頭尾軟爛現象、前一分鐘順暢，但約 1分鐘後吸管容易變形導致難以吸飲	變得較有彈性、摸一摸會凹下去，有時，無法自行恢復原狀，但用手還是可以稍微變回原本的形狀一些；有時；雖然可自行恢復原狀，但速度緩慢	試飲 400mL 白開水花費時間約 2~3 分鐘
咖啡渣 2g	摸起來有彈性，能快速自行恢復成原本的形狀	有鹹鹹的味道，溶液中不會有咖啡渣，皆沒有出現頭尾軟爛現象、前一分鐘順暢，但約 1分鐘後吸管容易變形導致難以吸飲	彈性和吸(飲)水前相同	試飲 400mL 白開水水花費時間約 1~3 分鐘
咖啡渣 4g	摸起來有彈性，能快速自行恢復成原本的形狀	沒有異味，溶液中會掉入少許咖啡渣的屑屑，相較純的海藻酸鈉吸管，較不易變形、 吸飲過程比 2g 順暢，但有些微凹陷 、皆沒有出現頭尾軟爛現象	變得較有彈性，無法快速恢復原樣；且試飲使用後會扁掉，用手擠壓也無法恢復成原本的形狀	試飲 400mL 白開水水花費時間約 1~2 分鐘
咖啡渣 6g	摸起來有彈性，能快速自行恢復成原本的形狀	沒有異味，溶液中會掉入少許咖啡渣的屑屑(比 4g 少)，相較純的海藻酸鈉吸管，較不易變形、 吸飲過程順暢 、皆沒有出現頭尾軟爛現象	變得較有彈性，試飲使用後近口處稍有變形。重複使用多次後較近口處會扁掉，可用手稍加擠壓即可恢復原樣， 可重複使用多次	試飲 400mL 白開水水花費時間約 1~2 分鐘
咖啡渣 8g	摸起來硬硬、脆脆的，摸一摸會凹下去，能用手變回原本的形狀一些，用力壓幾次後，會有摺線出現，甚至破裂	吸飲過程順暢 ，泡久了水會變成黃色且有些咖啡渣的屑屑(比 6g 多)、皆沒有出現頭尾軟爛現象	變得較有彈性，摸起來有彈性，能自行恢復成原本的形狀(沒有前面這麼快速)	試飲 400mL 白開水水花費時間約 0.5~1.5 分鐘
咖啡渣 10g	硬硬的，一壓即裂，不然就是凹下去，且無法自行恢復原狀(用手也無法)	泡久了水會變成黃色(比 8g 深)且有些咖啡渣的屑屑(比 8g 多)、皆沒有出現頭尾軟爛現象	同上	因在塑形脫模時很容易碎裂，考量到之後做成吸管外出攜帶易損壞，效益不佳，因此就沒做吸飲測試
咖啡渣 12g	硬硬的，一壓即裂(比 10g 裂的還要多)，不然就是凹下去，且無法自行恢復原狀(用手也無法)	泡久了水會變成黃色(比 10g 深)且有些咖啡渣的屑屑(比 10g 多)、皆沒有出現頭尾軟爛現象	同上	
甘蔗渣 2g	跟咖啡渣吸管相比較有彈性、稍軟，用手擠壓後可快速恢復原狀	沒有異味，不會掉甘蔗渣，吸飲非常不順暢，口部、管壁皆扁掉，尾部微微軟爛，嘴唇上會有微微的鹹味	口部、管壁皆扁掉 ，尾部不有些微軟爛，可以稍微塑形後恢復原狀	試飲 400mL 白開水花費時間為 1 分鐘 23 秒
甘蔗渣 4g	跟咖啡渣吸管相比較有彈性、稍軟，用手擠壓後可恢復原狀	同上	口部、管壁皆扁掉 ，尾部不會軟爛，可以稍微塑形後恢復原狀	試飲 400mL 白開水花費時間為 1 分鐘 03 秒
甘蔗渣 6g	同上	沒有異味，不會掉甘蔗渣，吸飲有點不順暢，但管壁不會軟爛，嘴唇上會有微微的鹹味	口部扁掉 ，尾部無出現軟爛情形，可以稍微塑型恢復原狀	試飲 400mL 白開水花費時間為 1 分鐘 25 秒

甘蔗渣 8g	同上	同上	口部扁掉，尾部無出現軟爛情形，可以稍微塑型恢復原狀	試飲 400mL 白開水花費時間為 1 分鐘 3 秒
甘蔗渣 10g	有彈性，摸起來稍微扎實但不會脆，用手擠壓後可恢復原狀	沒有異味，不會掉甘蔗渣，吸飲非常順暢，嘴唇上會有微微的鹹味	口、尾部、管壁皆無出現軟爛情形	試飲 400mL 白開水花費時間為 58 秒
甘蔗渣 12g	同上	同上	同上	試飲 400mL 白開水花費時間為 50 秒

(四)海藻酸鈉吸管-性質測試

由於海藻酸鈉甘蔗渣吸管的製作，在前期甘蔗渣的去糖清洗及乾燥等程序較耗時費工，且其取得不似咖啡渣方便家中即有，因此我們以海藻酸鈉咖啡渣吸管進行性質測試。

在 2% 海藻酸鈉溶液加入咖啡渣配成 3g 咖啡渣/100g 海藻酸鈉溶液的混合液，將其以製造吸管的模具注入 10% 氯化鈣液中，浸泡 15 分鐘後取出，裁切、清洗、乾燥後做成吸管。1. 貯藏性測試(發霉、吸濕性)：

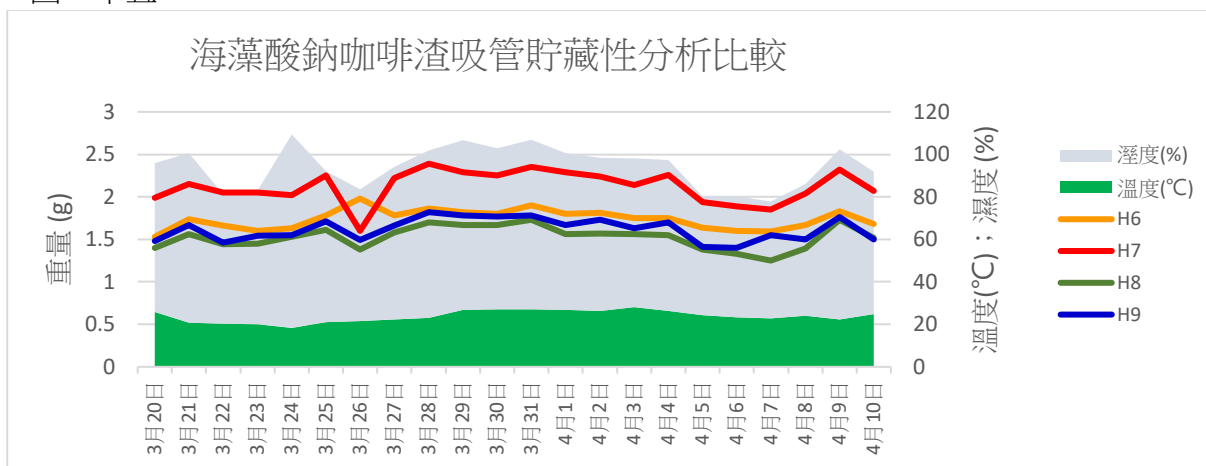
(1)實驗步驟

以釣魚線穿過海藻酸鈉紙吸管懸掛，放置在室內通風處，每日觀察及秤重、記錄當日氣溫及濕度。

(2)實驗結果與討論

在 16 天的觀察紀錄中，我們發現 4 支海藻酸鈉吸管都沒有發霉的現象，且重量也沒有明顯的變化。但在 3 月 26 日，隨著溼度降低，重量也降低。由圖二十五可看出重量的變化和濕度的關聯性比較大些，濕度大時，重量會稍重。

圖二十五



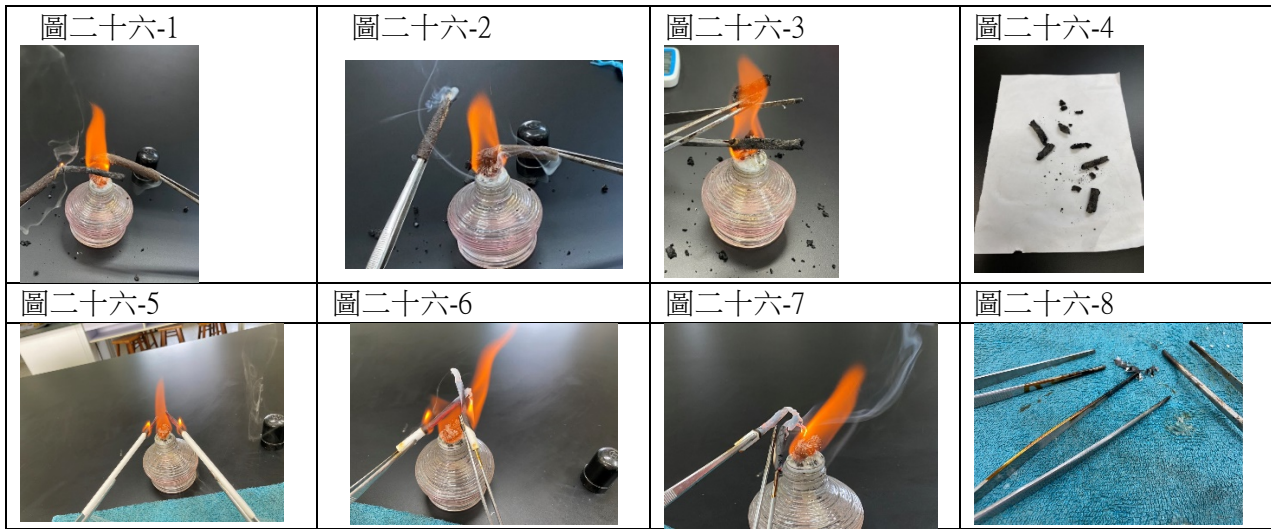
2.燃燒性質：

(1)實驗步驟

- 先用打火機點燃酒精燈。
- 再用鑷子將15 cm 的市售紙吸管和海藻酸鈉吸管分別放到酒精燈上面加熱，同時用計時器開始計時。
- 觀察吸管燃燒後的變化。
- 將實驗結果記錄在實驗表格中。

(2)實驗結果與討論

如圖二十六和表十一所示，雖然海藻酸鈉吸管燃燒所需時間稍長，但不會有微粒(屑)飄散空中或不明焦黃色油狀物產生，也不會有難聞的氣味產生。



表十一

	火焰顏色	煙的顏色	燃燒時的氣味	灰燼外觀	燃燒時間
海藻酸鈉吸管	橘紅色	前端冒出的煙是藍白色的，而從吸管後端冒出的煙是米黃色的	燃燒時味道不刺鼻，香甜，氣味很快消散	灰燼數量不多，呈全黑，一拿便成粉末狀，一段一段的掉落，且掉落在桌子上的灰燼不易飄散	15公分長的吸管燃燒怠盡所需時間約6分40秒
市售紙吸管	黃紅色火焰，比自製的紙吸管及海藻酸鈉吸管的火焰大	燃燒時會在吸管尾端冒出米黃色的煙霧	燃燒時，味道像在燒金紙一樣	吸管燃燒時，先由白轉黃，接著轉黑，再變灰色，最後萎縮捲曲成白色灰燼，且會在吸管流出黃色黏膩的物質（可能是焦油），很難洗掉	15公分長的吸管燃燒怠盡所需時間約4分06秒

3.腐敗性(掩埋)：

(1)實驗步驟

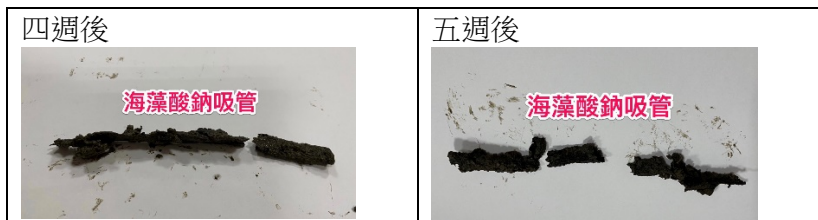
- 利用鏟子把一塊地挖到20 cm深，把紙吸管一個一個間隔約10 cm埋進土裡。
- 再把土鋪回原來的模樣。
- 掩埋3週，每天澆水1桶，每週取出3支紙吸管觀察記錄。

(2)實驗結果與討論

由圖二十七的實驗結果描述可知，市售紙吸管於第三週外觀嚴重凹折斷裂，碎成小塊；在第四週已經和土壤合為一體，完全翻找不到任何蹤跡。而自製的海藻酸鈉吸管在第四週外觀上出現剝落，開始碎裂；在第五週嚴重凹折斷裂，碎成小塊。

圖二十七





4.耐高低溫測試

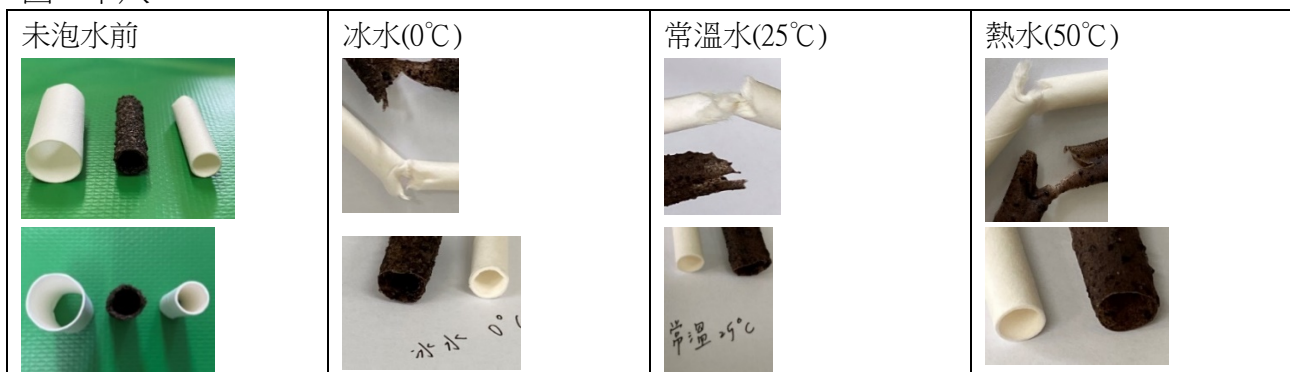
(1)實驗步驟

- 將吸管浸泡在不同溫度水中(冰水、常溫水、熱水；0°C、25°C、50°C)，120分鐘後取出，測其耐濕性質。
- 將吸管浸泡在不同溫度水中(冰水、常溫水、熱水；0°C、25°C、50°C)，120分鐘後取出，測其負重性質。

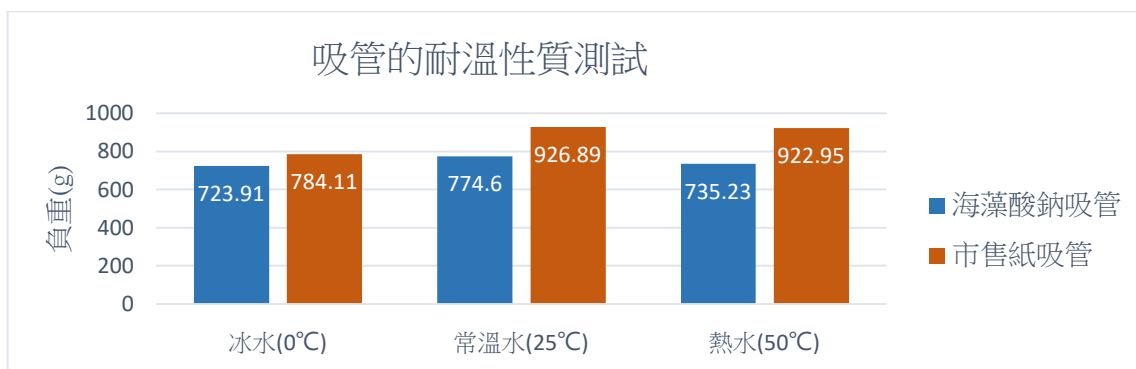
(2)實驗結果與討論

- 由圖二十九看出，不論是0°C水、25°C水還是50°C水，除市售紙吸管在0°C冰水時之外，同類型吸管的負重性其實差異並不大，我們所取得的市售紙吸管的負重性皆優於海藻酸鈉咖啡渣吸管，兩類型吸管的負重性皆為25°C > 50°C > 0°C。
- 而由圖三十的比較，兩類型吸管的耐溼性皆以浸泡25°C水時最佳，且在25°C水時海藻酸鈉咖啡渣吸管的耐溼效果優於市售紙吸管。
- 如表十二所示，冰水(0°C)和常溫水(25°C)都沒問題，但對熱水(50°C)來說，較高溫度易使吸管扁掉且飲水嚐起來鹹鹹的。

圖二十八



圖二十九



圖三十



表十二

海藻酸鈉吸管	外觀形狀、軟硬
冰水 (0°C)	外觀形狀皆沒有任何明顯變化 吸飲前摸起來感覺有點硬且脆，吸飲後比吸飲前軟、富有彈性(壓了之後，能快速恢復原狀) 吸飲 400mL 熱水，時間約為 2 分鐘，吸飲過程順暢
常溫水 (25°C)	外觀形狀皆沒有任何明顯變化 吸飲前摸起來感覺有點硬且脆，吸飲後比吸飲前軟、富有彈性(壓了之後，能快速恢復原狀) 吸飲 400mL 熱水，時間約為 1 分鐘，吸飲過程順暢
熱水 (50°C)	外觀形狀皆沒有任何明顯變化 吸飲前摸起來感覺有點硬且脆，吸飲後比吸飲前軟、富有彈性(壓了之後，能恢復原狀) 吸飲 400mL 熱水，時間約花 4~9 分鐘，時間為最長的，因吸飲 1-2 分鐘後會扁掉，很難吸飲；吸水時會有鹹鹹的味道

5.不同切角的戳膜測試

(1)實驗步驟

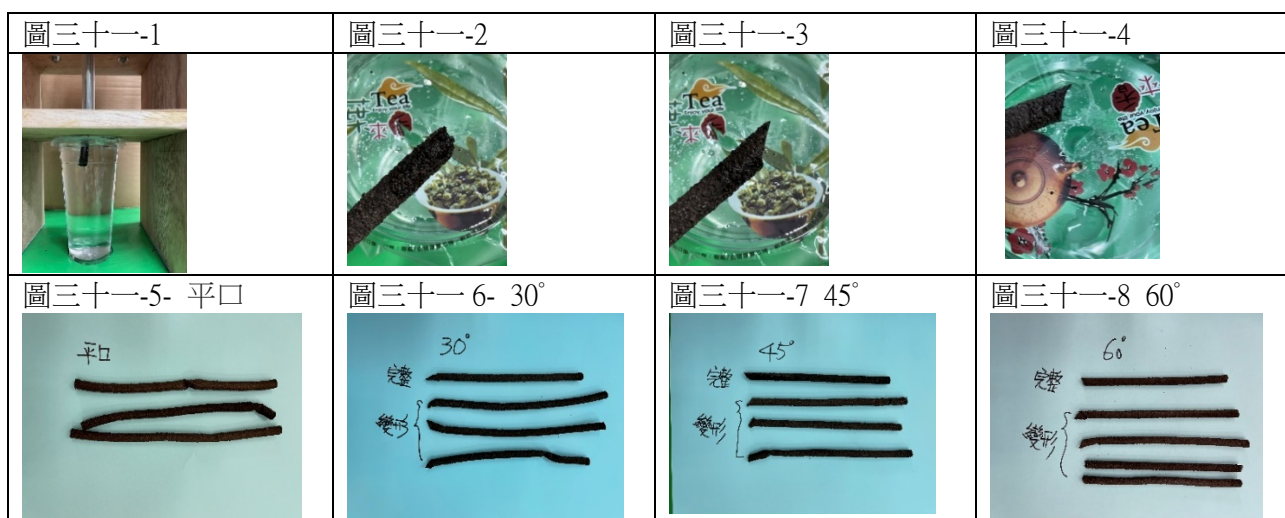
- 將不同切角(平口、30°、45°、60°)的吸管放入自製戳膜器中，先以在塑膠盒內放置240公克砝碼為依據，自19cm 高處自由落下戳膜。若能戳破封膜則減10公克砝碼；反之若沒能戳破封膜則加10公克砝碼，記錄砝碼重量。
- 重複上述步驟，測量四次吸管戳膜力道做比較。

(2)實驗結果與討論

由表十三看出，戳膜力道以切角 60°的海藻酸鈉吸管效果最佳。

表十三

編號	平口	30°	45°	60°
1	砝碼重 240 公克，封膜沒破，海藻酸鈉吸管凹折。	砝碼重 240 公克，封膜破，海藻酸鈉吸管尖端略變形。	砝碼重 240 公克，封膜破，海藻酸鈉吸管完好。	砝碼重 200 公克，封膜破大洞，海藻酸鈉吸管完好。
2	砝碼重 260 公克，封膜沒破。海藻酸鈉吸管凹折。	砝碼重 220 公克，封膜破，海藻酸鈉吸管尖端凹折。	砝碼重 220 公克，封膜破，海藻酸鈉吸管尖端略破損。	砝碼重 180 公克，封膜破洞，海藻酸鈉吸管完好。
3	砝碼重 290 公克，封膜沒破。海藻酸鈉吸管凹折。	砝碼重 210 公克，封膜沒破，海藻酸鈉吸管前後凹折	砝碼重 200 公克，封膜沒破，海藻酸鈉吸管凹折。	砝碼重 170 公克，封膜破，海藻酸鈉吸管尖端略破損。
4	砝碼重 310 公克，封膜沒破。海藻酸鈉吸管中凹折。	砝碼重 210 公克，封膜破，海藻酸鈉吸管尖端凹折。	砝碼重 210 公克，封膜破，海藻酸鈉吸管前端變形。	砝碼重 160 公克，封膜凹陷，海藻酸鈉吸管尖端破損變鈍。



6.常喝的三種飲料測試

(1)實驗步驟

- 將吸管分別放入三種不同飲料：汽水、茶、運動飲料各400mL中，120分鐘後取出，測其負重性質，並觀察記錄吸管在浸泡過程中的變化。
- 將吸管分別放入三種不同飲料：汽水、茶、運動飲料各400mL中，120分鐘後取出，測耐濕性質，並觀察記錄吸管在浸泡過程中的變化。
- 分別以吸管吸飲400mL的汽水、茶、運動飲料，觀察記錄吸管在吸飲過程中的變化及吸飲所花時間。

(2)實驗結果與討論

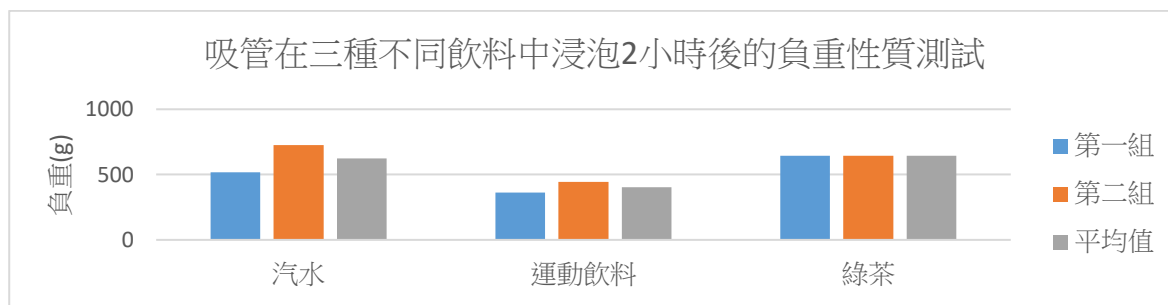
由表十四～表十五及圖三十三～圖三十四可看出，海藻酸鈉咖啡渣吸管以在綠茶中使用時效能較佳，吸飲汽水時管身易扁塌，而在電解質飲料中管身軟軟的(但不影響吸飲飲料效果)。在實際吸飲飲料的測試過程中也發現，吸管使用後以清水清洗，用紙巾吸乾多餘水份後放置自然風乾，乾燥過程中稍用手微微擠壓嘴巴接觸端塑形，隔天是可以再繼續使用的。



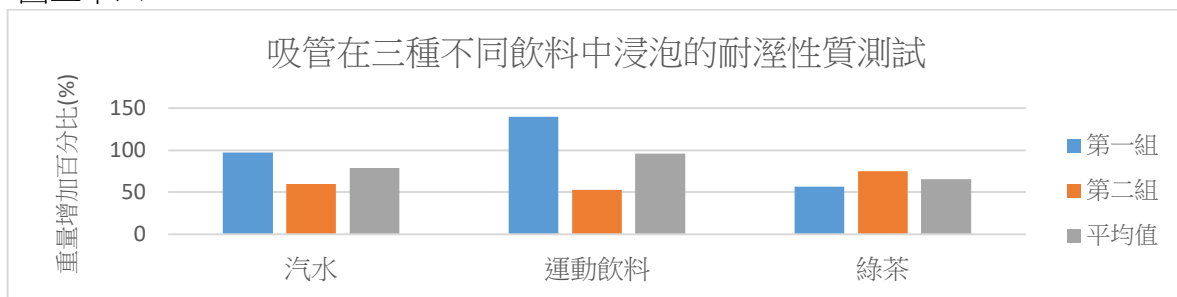
表十四、吸管在三種不同飲料中浸泡比較

項目	浸泡前	浸泡過程中	浸泡 2 小時後
綠茶	摸起來有彈性，能快速自行恢復成原本的形狀。	和一般泡水時一樣，吸管管身有些許氣泡。	和一般泡水時一樣，微微變軟，擠壓時能快速恢復原狀(有彈性)，外觀形狀沒有明顯變化。
運動飲料			比浸泡在汽水中摸起來更軟，擠壓時能快速恢復原狀(有彈性)，有黏黏的感覺，外觀形狀沒有明顯變化。
汽水		吸管管身會不停的冒出大量泡泡。	和浸泡在綠茶中比較，摸起來變得較軟，但擠壓時能快速恢復原狀(有彈性)，有黏黏的感覺，外觀形狀沒有明顯變化。

圖三十三



圖三十四



表十五、吸飲飲料 400 mL 比較

項目	時間	吸飲前	吸飲過程中	吸飲後
綠茶 (pH=5.8)	5 分 13 秒	摸起來有彈性，能快速自行恢復成原本的形狀	綠茶中會掉入些少咖啡渣的屑屑，吸飲順暢。	管身變得有點軟且微微膨脹，嘴巴吸飲端更軟，變得有點扁。
運動飲料 (pH=3.7)	2 分 57 秒		溶液中會掉入些少咖啡渣的屑屑，且吸飲不到 1 分鐘便會變形，導致幾乎無法吸飲。	管身變軟且微微膨脹，嘴巴吸飲端呈扁平狀。
汽水 (pH=3.3)	4 分 58 秒			

三、海藻酸鈉吸管製作 – 反向晶球化與二次凝膠球化

除了「正向晶球化」外，我們嘗試尋找合適的材料與方法進行「反向晶球化」和「二次凝膠球化」，希望能使海藻酸鈉吸管的管身強度增加。

(一) 反向晶球化介質的找尋

嘗試分別在吉利丁、吉利 T 及洋菜溶液添加氯化鈣使成為含 10% 氯化鈣的「凍」，測試結果以 1.2 公克洋菜粉/100 公克水所製得的凍最符合我們的需求。

(二) 比較浸泡氯化鈣溶液時間長短的差異 – 二次凝膠球化

以正向晶球化海藻酸鈉咖啡渣吸管：3g 咖啡渣/ 100g 的 2% 海藻酸鈉溶液在 10% 氯化鈣溶液中浸泡 15 分鐘為依據，進行測試。

1. 實驗步驟

- (1) 以市售不鏽鋼粗吸管取含 10% 氯化鈣洋菜凍條。
- (2) 將洋菜凍條放入海藻酸鈉溶液 (3g 咖啡渣/ 100g 的 1.5% 海藻酸鈉溶液) 中，浸泡 20 分鐘後取出。
- (3) 將膠條放入 10% 氯化鈣溶液中浸泡，比較浸泡 0、5、10、15、20 分鐘的差異。
- (4) 取出後將膠條頭尾剪掉約 1 公分，以玻璃棒將膠條中的洋菜條擠出。
- (5) 放入水中浸泡 5 分鐘。
- (6) 將膠條放入乾燥箱，乾燥成吸管。

(7)乾燥後所得吸管進行負重性質(泡水2小時)和耐濕性質(泡水2小時)的測試。

(8)改以 5g 甘蔗渣 / 100g 的 1.5%海藻酸鈉溶液，重複步驟(1)~(7)。



2.實驗結果與討論

(1)以咖啡渣為骨材測試，未經二次凝膠球化的膠條表面黏滑，如圖三十五-8，但乾燥成吸管後，外觀上看不出有差異性。

(2)以咖啡渣為骨材進行測試，吸管的口徑大小取決於洋菜條的粗細(如圖三十五-10)。

(3)以咖啡渣為骨材進行測試，如圖三十五-12 及表十六所示，浸泡於 10%氯化鈣溶液時間的長短不同，對所產生海藻酸鈉膠條的厚度幾乎沒差異。

(4)由圖三十六、圖三十七的結果比較得知，

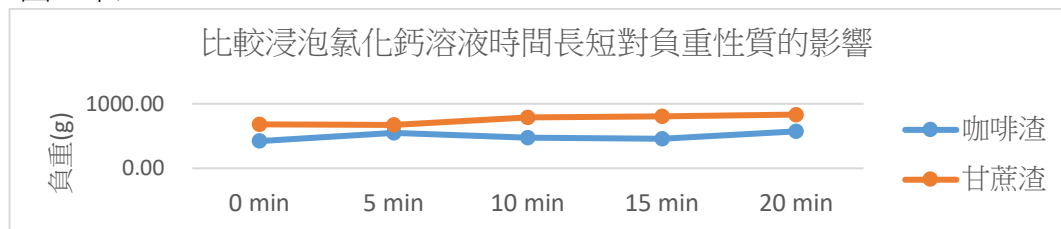
①甘蔗渣吸管的負重能力優於咖啡渣吸管，②咖啡渣吸管的耐濕能力優於甘蔗渣吸管。

為確認二次凝膠球化完全，加上我們認為可接受的時間成本，因此決定二次凝膠球化時間為 10 分鐘。

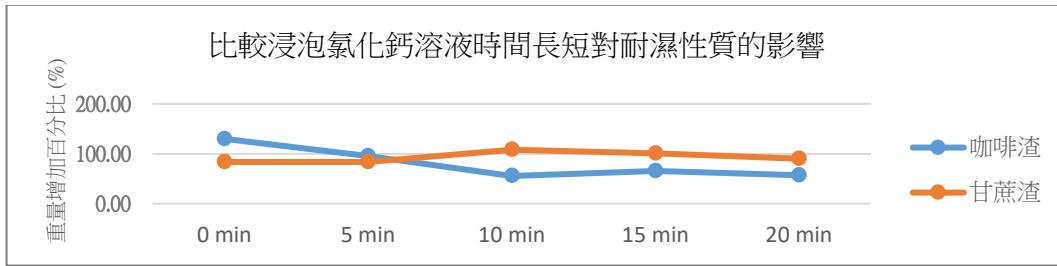
表十六、比較浸泡氯化鈣溶液時間長短對海藻酸鈉膠條厚度的影響 (咖啡渣)

時間	0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
膠條厚度平均(mm)	1.81	1.89	1.76	1.79	1.85	1.86	1.74

圖三十六



圖三十七



(三)比較浸泡海藻酸鈉溶液時間長短的差異 - 反向晶球化

1.實驗步驟

- (1)以市售不鏽鋼粗吸管取含 10%氯化鈣洋菜凍條。
- (2)將洋菜凍條放入海藻酸鈉溶液 (3g 咖啡渣/ 100g 的 1.5%海藻酸鈉溶液) 中，浸泡 15 分鐘後取出。
- (3)將膠條入 10%氯化鈣溶液中浸泡 10 分鐘，取出。
- (4)將膠條頭尾剪掉約 1 公分，以玻璃棒將膠條中的洋菜條擠出。
- (5)放入水中浸泡 5 分鐘。
- (6)將膠條放入乾燥箱，乾燥成吸管。
- (7)重複步驟(1)~(6)，將浸泡海藻酸鈉溶液時間改成 20、25、30 分鐘。
- (8)乾燥後所得吸管進行負重性質(泡水2小時)、耐濕性質(泡水2小時)及吸飲的測試。
- (9)改以 5g 甘蔗渣 / 100g 的 1.5%海藻酸鈉溶液，重複步驟(1)~(8)。

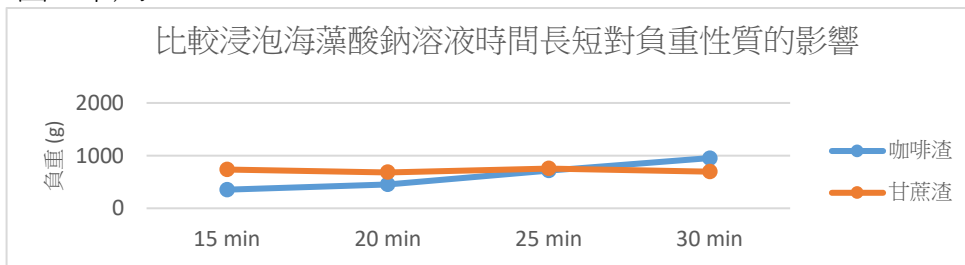
2.實驗結果與討論

- (1)由圖三十五-15 和由表十七的結果比較得知，隨著浸泡海藻酸鈉溶液時間越長，海藻酸鈉膠條厚度越厚。25 分鐘時的厚度和正向晶球化的最佳條件製作的海藻酸鈉膠條厚度最接近。
- (2)由圖三十八、圖三十九的結果比較得知，甘蔗渣吸管的負重能力優於咖啡渣吸管，而咖啡渣吸管的耐濕能力則優於甘蔗渣吸管。但若要做出實用的咖啡渣吸管由表十八試飲白開水的結果可知，咖啡渣吸管製作的反向晶球化所需時間至少需 25 分鐘。而製作甘蔗渣吸管其反向晶球化所需時間只要 15 分鐘，即可達到不錯的使用效果。

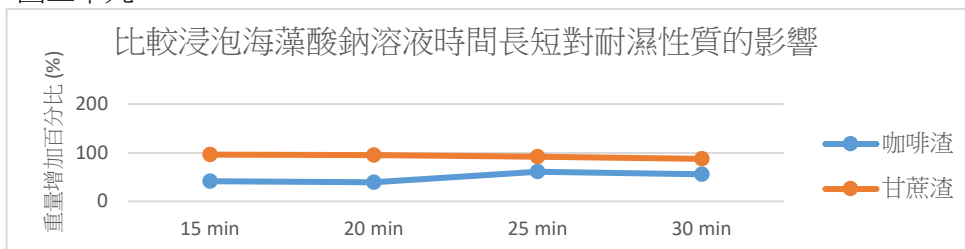
表十七、比較浸泡海藻酸鈉溶液時間長短對海藻酸鈉膠條厚度的影響 (咖啡渣)

時間	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘	35 分鐘	40 分鐘
膠條厚度平均(mm)	2.02	2.34	2.48	2.84	3.25	3.45

圖三十八



圖三十九



表十八、反向晶球化製作海藻酸鈉吸管試飲白開水比較

項目	吸(飲)水前	吸(飲)水時	吸(飲)水後	時間
咖啡渣 15min	與正向晶球法所製的咖啡渣吸管相比，管壁非常軟，擠壓後只要用手稍微塑形即可恢復原狀。	非常難吸飲， 吸飲極度不順暢 ，會有咖啡渣掉在水中(掉的最多)，會有鹹味。	口部管壁及尾部皆軟爛且難以塑形。	試飲 400mL 白開水花費時間約 7 分鐘
咖啡渣 20min	同上	非常難吸飲， 吸飲極度不順暢 ，會有咖啡渣掉在水中，會有鹹味。	口部管壁及尾部皆軟爛且難以塑形。	試飲 400mL 白開水花費時間約 3 分 30 秒
咖啡渣 25min	若和前兩項浸泡海藻酸鈉溶液 15 分鐘、20 分鐘的咖啡渣吸管比起來管壁略硬一些。	吸飲順暢 ，會有咖啡渣掉在水中，會有鹹味。	口部些微軟爛，管壁無異狀，可以稍微塑形。	試飲 400mL 白開水花費時間約 1 分 40 秒
咖啡渣 30min	若和前兩項浸泡海藻酸鈉溶液 15 分鐘、20 分鐘的咖啡渣吸管比起來管壁略硬一些，是全部的咖啡渣吸管中管壁最硬的。	吸飲非常順暢 ，會有咖啡渣掉在水中(掉的最少)，會有鹹味。	口部沒有軟爛，管壁無異狀，可以稍微塑形。	試飲 400mL 白開水花費時間約 1 分鐘
甘蔗渣 15min	與正向所製的甘蔗渣吸管相比，管壁彈性差不多，擠壓後用手稍微塑形即可恢復原狀。	吸飲非常順暢 ，不會有異味，不會掉甘蔗渣。	口部些微軟爛，管壁無異狀，稍加塑形即可恢復原狀。	試飲 400mL 白開水花費時間約 50 秒
甘蔗渣 20min	同上	吸飲非常順暢 ，不會有異味，不會掉甘蔗渣。	同上	試飲 400mL 白開水花費時間約 1 分鐘
甘蔗渣 25min	同上	吸飲非常順暢 ，不會有異味，不會掉甘蔗渣。	同上	試飲 400mL 白開水花費時間約 1 分鐘
甘蔗渣 30min	同上	吸飲非常順暢 ，不會有異味，不會掉甘蔗渣。	同上	試飲 400mL 白開水花費時間約 47 秒

柒、結論

一、紙吸管製作

- 1.天然的尚好-以高筋麵粉和熱水 1：1 攪拌混合所得的粘著劑，不需加熱製作過程簡單。
- 2.實驗一(三)～一(五)中，找出製作環保紙吸管最佳條件：以 1%海藻酸鈉溶液和 10%氯化鈣溶液進行交聯反應 15 分鐘。
- 3.實驗一(六)我們對自己做出來的紙吸管進行了一些基本的性質測試，發現在實際吸飲不同水溫的開水時，結果不如預期-效果不好，紙吸管約使用 5 分鐘即喪失功能。
- 4.紙吸管的製作還可以改進，包括：黏著劑以加熱方式煮熟增加黏性、整張紙邊捲邊上膠，使紙吸管本身結構強化。

二、海藻酸鈉吸管製作 - 正向晶球化

- 1.海藻酸鈉和氯化鈣交聯時間越長，形成的長條膠體管壁越厚；相同條件下，氯化鈣溶液濃度越大，形成的長條膠體管壁也越厚。考量到實際用到吸管的粗細、經濟成本與時間的花費等因素，我們選擇以浸泡 10%氯化鈣溶液 15 分鐘為最後製作吸管的最佳條件。
- 2.為改善海藻酸鈉吸管泡水易軟化的現象，則以每 100 公克 2%海藻酸鈉溶液添加 3 公克咖啡渣或添加 5 公克甘蔗渣能達到良好效果。
- 3.我們發現「它可以重複使用」！以海藻酸鈉咖啡渣吸管吸飲 400mL 水和茶類飲品，連續 3 天都能正常使用。只要在使用後以清水稍加沖洗、衛生紙吸乾多餘水分，然後自然風乾，快乾時以手稍將吸管與口接觸端擠壓塑形即可。
- 4.對海藻酸鈉咖啡渣吸管進行了一些基本的性質測試，發現：

- (1)海藻酸鈉咖啡渣吸管在室溫下貯藏，至少半個月內不會發霉。燃燒沒有怪味，灰燼似紙張燃燒，適用於目前的垃圾焚化處理。
- (2)掩埋土中在第 4 週開始碎裂，適用於目前的垃圾掩埋處理。
- (3)不耐高溫水，易軟化喪失吸飲功能。和市售紙吸管相比，負重性和耐濕性稍差。
- (4)不同切角的戳膜測試：以 60°切角戳膜效果最好。
- (5)實際吸飲三種常喝飲料：喝汽水時效果差，不到 1 分鐘即變形喪失功能；而綠茶和運動飲料則吸飲正常。

三、海藻酸鈉吸管製作 – 反向晶球化與二次凝膠球化

- 1.雖然以甘蔗渣做為海藻酸鈉吸管的骨材，前置作業比較繁瑣耗時，但所製得的吸管使用效果較佳。
- 2.以海藻酸鈉咖啡渣吸管為例，若要產生約略相同厚度的膠條，則以洋菜條浸泡在 1.5%海藻酸鈉溶液中 25 分鐘(反向晶球化)，而後浸泡在 10%氯化鈣溶液中 10 分鐘(二次凝膠晶球化)製得的吸管最為相近。吸管的強度則是後者優於前者。正向晶球法吸管負重 539.03 公克，耐濕性質 111.5%；而反向晶球法吸管負重 714.22 公克，耐濕性質 60.8%。
- 3.我們發現，做過反向晶球化吸管後的洋菜條可再次用於製作吸管。
- 4.相較於以正向晶球法製作吸管，反向晶球法可以明確清楚的掌控吸管的口徑大小，即洋菜條的外徑粗細就是吸管的內徑大小。另一個優點則是不會浪費海藻酸鈉溶液，特別是製作大口徑吸管時，若以正向晶球法製作，膠條內尚有許多未交聯反應的海藻酸鈉溶液，擠掉很浪費，可惜！

四、總結

- 1.家中若有大的塑膠針筒，只要更換或加接上不同口徑的水管，就能以簡單的正向晶球法製作粗細不同的吸管。抑或冰箱內備有含氯化鈣的洋菜凍，也能以反向晶球法輕鬆的為家人備妥近期所需的吸管，用得安心。
- 2.由於在海藻酸鈉溶液中有添加骨材(甘蔗渣、咖啡渣、咖啡粉、紅茶粉、綠茶粉)，縱使家中沒有鐵氟龍管使用淨水器軟管也能輕鬆脫模。
- 3.只要不是急著用，製作好的海藻酸鈉膠條，可以掛起來自然晾乾或日曬乾燥。
- 4.近期政府為推動校園減糖，鼓勵學生多喝水，陸續增添、汰換各級學校飲水機。但同學們不喜歡喝無味的白開水。海藻酸鈉吸管的製作解決此小困擾，因為添加骨材(咖啡粉、紅茶粉、綠茶粉)，吸管浸泡在水中會有淡淡香氣，不再喝而無味。



捌、參考資料

- 一、金門地區小學科學展覽會作品說明書：阿嬤的環保膠。
science.km.edu.tw/api/pageview/team/305?redirect=/storage/...
- 二、呂丞翰、謝葳妊、謝易松、謝侑芯(2016)。金門地區第 56 屆中小學科學展覽會作品說明書：「黏」度最佳代表---天然自製黏著劑。
- 三、朱妍曦、何品翰、陳昕緯、蔡東廷、楊新偉、鄭翔(2018)中。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會作品說明書：似水留黏~黏黏的留言條。
- 四、蘇宥任、顏梓勛(2020)。屏東縣第 60 屆科展作品說明書：Nice~~紙吸管耐濕性之研究。
- 五、林以真、林穎詩、張凱越(2019)。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書：擋不住的「吸」飲力-新型吸管之研發。
- 六、吳承哲、呂翊瑒、嚴子杭、張博軒、魏辰翰、駱鼎鈞(2019)。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書：洋洋得益--以洋菜冷凍鍍膜製作防水紙吸管。
- 七、高銘笙、唐祥恩、利宗翰、馬順恩(2019)。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書：吸管也能吃？環保又健康的吸管豆渣可食吸管的製作。
- 八、Sophia(2019)。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)。PanSci 泛科學。
<https://pansci.asia/archives/164992>
- 九、Sophia(2019)。從炫技料理到可食用水球：食品科學中的晶球技術(下)。PanSci 泛科學。
<https://pansci.asia/archives/165006>
- 十、自由財經編輯部(2019)。麥當勞坦承紙吸管無法回收，塑膠卻可以。自由財經。
<https://ec.ltn.com.tw/article/breakingnews/2875528>
- 十一、豐食公益飲食文化教育基金會。洋菜粉、吉利 T 粉和吉利丁粉(片)有什麼不同？
<https://www.fullfoods.org/news/%E6%B4%8B%E8%8F%9C%E7%B2%89%E3%80%81%E5%90%89%E5%88%A9%E7%B2%89%E5%92%8C%E5%90%89%E5%88%A9%E4%B8%81%E7%B2%89%E7%89%87%E6%9C%89%E4%BB%80%E9%BA%BC%E4%B8%8D%E5%90%8C%EF%BC%9F/>
- 十二、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。化學粉圓與麵條。
<http://scigame.ntcu.edu.tw/chemistry/chemistry-019.html?fbclid=IwAR3VC7sbzj3f2vdjtsOGKMO5KP4Gg5JMic62M5VIKjq7oV2QON-KMgaOFQY>
- 十三、TVBS 新聞網(2017)，水也能用「吃」的！海藻薄膜包水帶著走
<https://news.tvbs.com.tw/fun/722094>
- 十四、海藻酸鈉性質。
<http://www.fao.org/docrep/W6355E/w6355e0x.htm>
- 十五、元氣網(2018)，明年將限制塑膠吸管》網友問為何不用「可分解」塑膠？台大化工博士：沒你想的這麼簡單
<https://health.udn.com/health/story/6006/3167811>