

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 環境學科

第一名

052602

擋不住的「吸」飲力—新型吸管之研發

學校名稱：國立民雄高級農工職業學校

作者： 職二 林以真 職二 林穎詩 職二 張凱越	指導老師： 陳秋庭 王俊雄
---	-----------------------------

關鍵詞：吸管、海藻膠、紅茶吸管

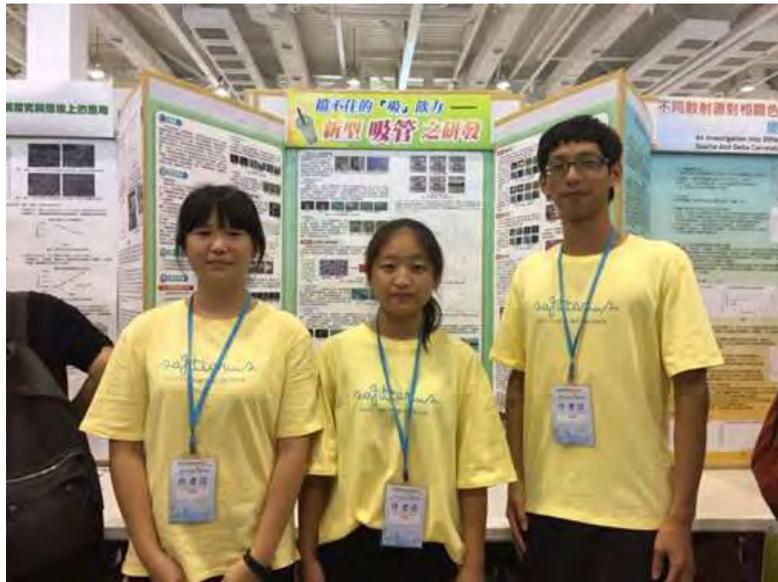
得獎感言

艱辛的科學研究之路

雷諾瓦曾說「痛苦會過去，美會留下來」，到現在我們都還記得，參加科學研究之路，我們由懵懂無知的學習，一路過關斬將，直到參加全國科展競賽。回想當時，站在會場等待評審們到來的心情，內心是既緊張又期待。當下畫面似乎還歷歷在目，評審聽著我們的報告，每個人都充滿自信、臉上掛著燦爛的笑容，將報告精彩完整的呈現。這一路走來，我們與指導老師對這個作品都投入相當大的心力與時間。頒獎最後一刻，我們聽到得獎名單的同時，內心充滿澎湃且非常激動，很高興能在全國科展競賽中，一舉拿下「環境學科第一名」。我們知道這份成就感，不單單只是來自獲獎，更是對我們這一路走來，共同克服問題，努力不懈的完成了一項研究的肯定與認同感。

回想起過去研究的點點滴滴，從一開始思考如何解決塑膠吸管對海洋生態的衝擊與如何因應政府的限塑計畫當作目標，我們朝著共同擬定的目標，一步一步解決問題，經過無數次的實驗、數據分析、討論修正、撰寫報告書、製作海報以及無數次的重複練習報告，才能擁有今日的成績。參與全國科展期間，就連在飯店休息時間，老師們也犧牲自己的休息時間，陪伴我們、指導我們，讓我們可以更聚焦有系統的將作品完整呈現。我們深信整個研究過程，考驗的不只是團隊之間的默契與配合，更考驗我們對事物的思維與創新能力。當遭遇挫折與難關時，如何展現毅力去突破難關。同伴們相互扶持合作，讓我們可以大步向前邁進、從中也讓每一個人學習蛻變，彼此間更加堅強卓越。

科學研究的路上，面對自己的思考、仔細觀察與探究精神，在這之中所學到的知識，以及與同伴之間建立的革命情感，都是獨特不可取代的。就算犧牲寒假、午休以及課餘時間也在所不惜。因為我們知道，為了達成目標，完成一件好的作品，付出的努力都是值得的。最後，感謝我們都堅持下來，沒有放棄彼此。更感謝在幕後每一位用心指導的老師，以及感謝一路上幫助過我們研究的每一個人。因為有你們的支持與協助，才能有如今精彩完美的作品。



在會場上合拍一張與作品一起的照片



利用 CNC 和推拉力計，測試新型吸管的硬度



利用水活性計測量新型吸管的水活性

壹、摘要

本研究首先製作「蔬菜紙吸管」，其耐水性及吸飲功能不佳，改以海藻膠製作吸管，經歷多次改良後的「第三代海藻膠吸管」其質地近似塑膠吸管，但吸飲功能仍然不佳。接著，以海藻膠為膠著劑；紅茶粉為骨材，成功製作出耐水性、吸飲功能較佳且可散發紅茶香氣的「紅茶吸管」。提高添加紅茶粉之比例，能有效提升吸管硬度，可應用在飲料封口膜之戳入，在冰水、熱水中均可長時間維持吸飲功能，製作大口徑「紅茶吸管」，可輕易吸飲波霸珍珠，徹底解決吸飲波霸珍珠之難題。自製擠出成型機械，可控制出料速度維持穩定，在滑軌上以直線移動，可製作出粗細一致且筆直的吸管，最後試製綠茶、咖啡、檸檬等調味吸管，均會飄出天然原料之香氣，頗具商品化之潛力。

貳、研究動機與目的

一、研究動機

(一) 海龜與吸管⁽¹⁾

網路流傳有一部令人印象深刻的影片，德州農工大學（Texas A&M University）的科學家團隊，在哥斯大黎加外海研究欖蠟龜時，耗費一番功夫，從欖蠟龜的鼻孔中取出一根吸管，欖蠟龜的鼻子始滲血，痛苦張嘴的樣子，引起相當大的震撼。

(二) 塑膠吸管⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁷⁾⁽⁹⁾⁽¹²⁾

近年來國際對海洋塑膠污染議題日益重視，環保署參酌美國與英國部分城市對一次用塑膠吸管限制使用之經驗，已於2018.06.08上網公告草案，未來將規範「公部門」、「公私立學校」、「百貨公司及購物中心」、「連鎖速食店」等4大類限制使用對象，不得提供一次用塑膠吸管供內食餐飲之消費者使用。環保署表示，後續規劃於西元2020年擴大至其他提供餐飲業者，呼籲相關業者即早因應，民眾亦可自備可重複清洗之吸管。此外，將在蒐集國外經驗與國內各界意見後，評估是否將市售鋁箔包所附吸管納入管制。有民眾擔心「珍珠奶茶」沒有吸管要怎麼喝？環保署之回應：「也可以用湯匙啊」，若沒有吸管如何喝「珍珠奶茶」呢？這是一個環保大難題！



二、研究目的

- (一) 本研究希望完全不使用塑膠成分，研發出真正易分解的環保吸管。
- (二) 本研究希望完全跳脫既有框架，研發全新的成型模式來製作吸管。
- (三) 本研究希望研發出具有實用價值的新型吸管，能適用在各式飲品之吸飲。

參、研究過程與方法

一、文獻回顧

(一) 吸管⁽⁵⁾⁽⁸⁾

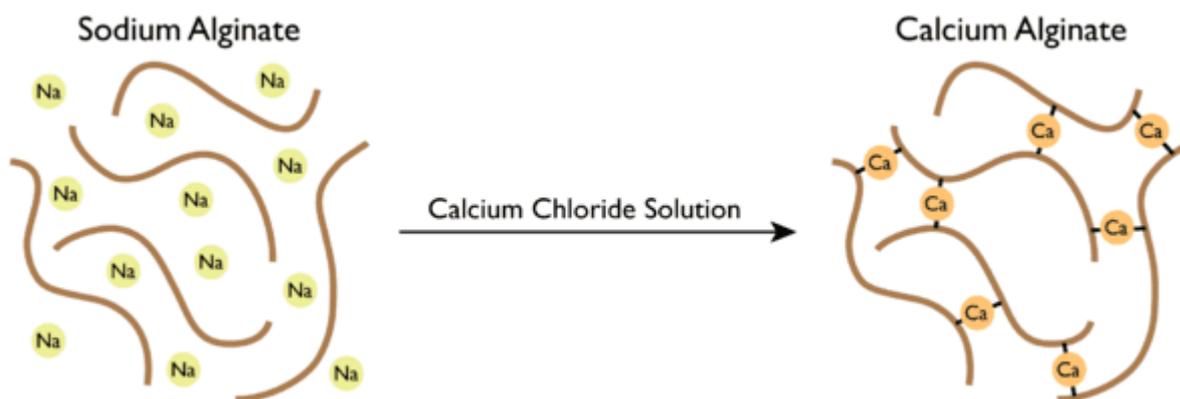
市售吸管：塑膠吸管、紙吸管、不鏽鋼吸管、玻璃吸管、矽膠吸管、甘蔗吸管、竹子吸管、創意調味吸管..... 種類繁多。我們簡單整理出優缺點比較表：

吸管種類	優點	缺點
塑膠吸管	加工容易、價格便宜、實用性高	不耐高溫、嚴重破壞環境生態
紙吸管	較為環保、一次性耗材	不耐高溫、長時間浸泡會軟化
不鏽鋼吸管	耐高溫、可重複使用、堅固耐摔	清潔不易、潛伏兒童危險性
玻璃吸管	耐酸、耐高溫、可檢視清潔度	易破碎、潛伏兒童危險性
矽膠吸管	材質柔軟、兒童安全性高	清潔不易、無法戳入飲料封口膜
甘蔗吸管	聚乳酸具有完全生物可降解性、在堆肥環境之下分解速度較快	不耐高溫、聚乳酸在自然環境下的降解速度是所有綠色塑膠中屬於相當慢的一種
竹子吸管	材料天然、可自然分解	殘留味道、清潔不易、易容發霉
創意調味吸管	調味顆粒可創造飲料新鮮感	吸管主體為塑膠原料

(二) 海藻酸鈉⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹³⁾

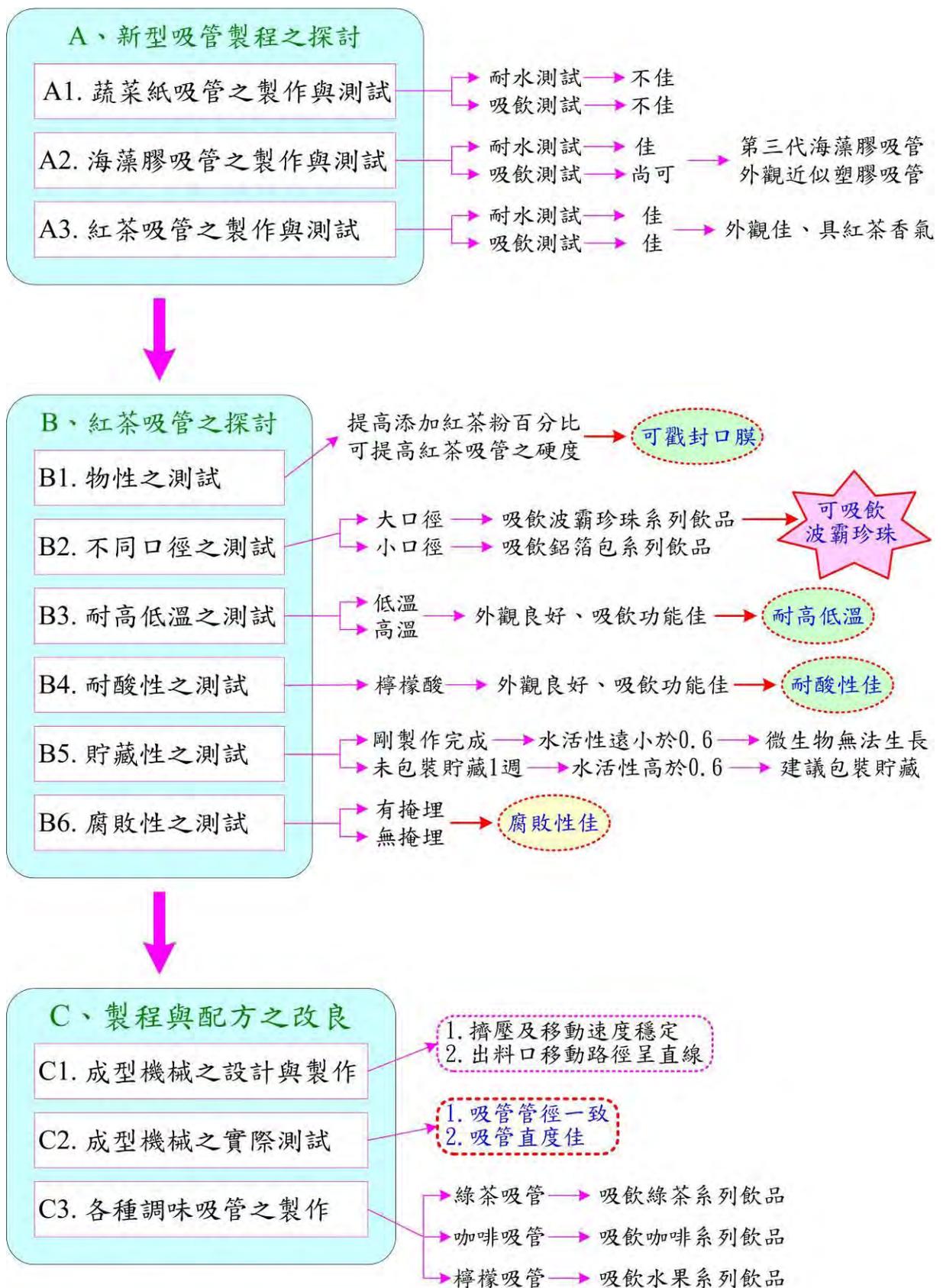
海藻酸鈉是由 D-甘露糖醛酸 (D-mannuronic acid) 以 β - (1 \rightarrow 4) 鍵結及 L-古羅糖醛酸 (L-guluronic acid) 以 α - (1 \rightarrow 4) 鍵結而成之線性高分子多醣類聚合物，其黏質水溶液在長時間貯存時會緩慢分解而降低黏度，在 pH 6~9 時黏度最安定。

海藻酸鈉凝膠需要二價金屬離子的添加，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)。若將海藻酸鈉水溶液滴入氯化鈣水溶液中，鈣離子會取代海藻酸鈉的鈉離子，進行交聯作用 (cross-linking) 而形成半透明的凝膠。海藻酸鈉凝膠原理如下圖所示。



海藻酸鈉凝膠原理⁽¹³⁾

二、研究架構



三、設備與材料

(一) 設備



電子式溫度計
TES 1310-TYPE-K
(Taiwan)



電子秤
Jin Yuan JYK-6000
(Taiwan)



水活性測定儀
AquaLab AL1503
(USA)



粉碎機
PT-02A
(Taiwan)



果汁機
Panasonic MX-V188
(Taiwan)



均質機
SHIN KWANG MACHINER
HM-0025 (Taiwan)



四組輸出直流電源供應器
GWLN STEKGPS-4303
(Taiwan)



拉力力計
Lutron FG-5005
(Taiwan)



CNC三軸車銑機
森禾 SH-850
(Taiwan)



pH計
pH meter 430
(USA)



除濕機
Panasonic F-Y12ES
(Taiwan)



麵包發酵箱
正大食品機械發酵室
(Taiwan)



烘箱
KC-900 Memmert
(Germany)



冷凍乾燥機
FDU-1200
(China)



真空包裝機
FUSERJOY
(Taiwan)

(二) 材料：

1. 海藻酸鈉(鑫隴興業有限公司)(Taiwan)
2. 氯化鈣(CHONEYE) (Taiwan)
3. 新鮮高麗菜
4. 咖啡豆(源友企業股份有限公司)
5. 紅茶葉(福霖食品原料坊)
6. 綠茶葉(福霖食品原料坊)
7. 檸檬

四、研究方法

A、新型吸管製程之探討

【實驗A1】蔬菜紙吸管之製作與測試

前言：

較環保的紙吸管，是將成捲的紙帶、膠帶，利用機器纏繞成管狀裁切成紙吸管，如右圖⁽³⁾所示。本研究利用產量過剩滯銷的當季高麗菜，首先製作蔬菜紙，接著裁成長紙條，進而將蔬菜紙螺旋纏繞製成「蔬菜紙吸管」，並進行耐水性測試與吸飲力測試，驗證「蔬菜紙吸管」之實用性。



步驟：

A. 蔬菜紙吸管之製作

1. 將高麗菜洗淨，然後沸水殺菁1分鐘，再以擀麵棍敲打，水煮5分鐘後冷卻，將高麗菜纖維裁切成約2cm長度，放入果汁機再加水攪打成高麗菜汁。
2. 將1%糯米粉水溶液(糯米粉水溶液：高麗菜漿液 = 1：1000)，加入高麗菜漿液中。
3. 使用濾網撈取高麗菜漿液中的纖維，將纖維塗佈在濾布上室溫乾燥24小時，製成「蔬菜紙」。
4. 先將蔬菜紙塗抹海藻膠，再塗抹氯化鈣水溶液，使用吹風機吹乾，再用熨斗將蔬菜紙燙平。將蔬菜紙裁切成細長紙條，將紙條表面塗抹一層海藻膠，依附著圓棒纏繞，形成長管狀，陰乾製成「蔬菜紙吸管」。

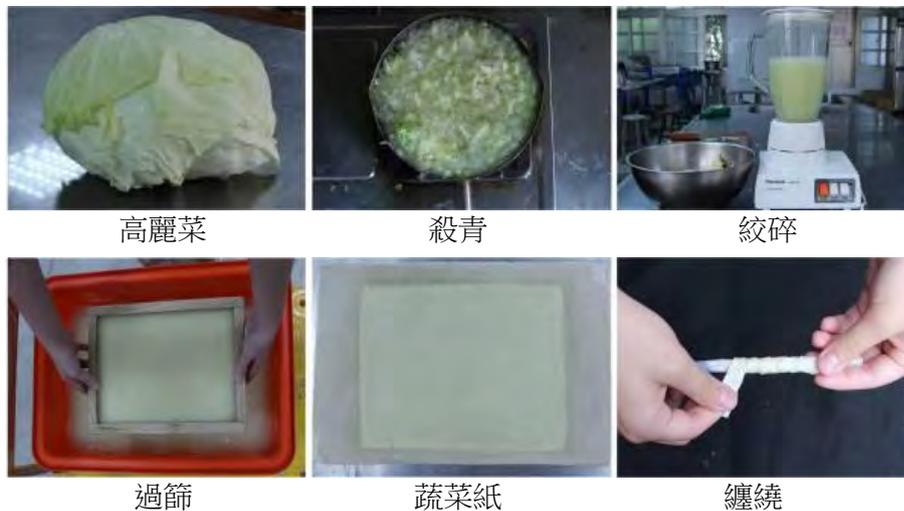


圖1. 「蔬菜紙」、「蔬菜紙吸管」之製作過程

B. 蔬菜紙吸管之測試

(A) 耐水測試

1. 將「蔬菜紙吸管」置入水中，靜置浸泡 24 小時。
2. 泡水 24 小時後，觀察並拍攝其外觀形狀變化情形。

(B) 吸飲測試

1. 將「蔬菜紙吸管」置入一杯八分滿的茶飲料中。
2. 實際以「蔬菜紙吸管」吸取茶飲料，觀察並拍攝其吸飲過程影片。

結果：

A. 蔬菜紙吸管之製作

1. 本實驗以生產過剩的高麗菜為原料，參考一般紙張之製作方法，可成功製作出「蔬菜紙」，如圖2A所示。
2. 蔬菜紙經裁切成細長紙條，可進一步纏繞，經過乾燥處理後，製成「蔬菜紙吸管」，吸管之外觀近似市售紙吸管，但是質感與市售紙吸管有段差距，如圖2B、圖2C所示。



圖2. 「蔬菜紙」、「蔬菜紙吸管」之成品

B. 蔬菜紙吸管之測試

(A) 耐水測試

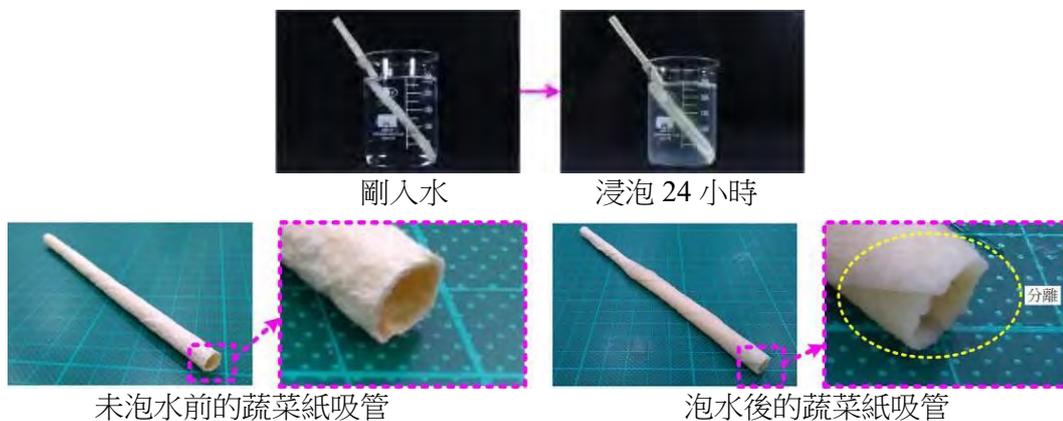


圖3. 「蔬菜紙吸管」之耐水測試

1. 由圖 3 顯示，浸泡 1 秒的「蔬菜紙吸管」，外觀粗細接近一致；浸泡 24 小時的「蔬菜紙吸管」，外觀粗細並不一致，浸泡在水中的部分，管徑明顯變大。
2. 由圖 3 顯示，未泡水前的「蔬菜紙吸管」，外觀呈粗細較一致的長管狀，吸管口結構完整；泡水後的「蔬菜紙吸管」，外觀呈粗細並不一致的長管狀，未泡水部分管徑維持不變；但是泡水部分管徑明顯膨脹，吸管口結構出現分離現象。

(B) 吸飲測試

1. 吸飲過程影片之連續性擷圖，如圖 4 所示，剛開始測試時，「蔬菜紙吸管」之吸飲功能正常。
2. 「蔬菜紙吸管」經多次吸飲後，逐漸喪失吸飲功能。



圖 4. 「蔬菜紙吸管」吸飲測試

討論：

1. 由實驗結果顯示，我們純手工製作的「蔬菜紙吸管」，其外觀雖近似市售紙吸管，但與市售機械化生產的紙吸管相形之下，「蔬菜紙吸管」質感明顯較差。
2. 本實驗所製作的「蔬菜紙」強度不足，在纏繞製作吸管過程中，「蔬菜紙」很容易破損，這可能是因高麗菜屬於食用的蔬菜，其纖維比較柔軟易斷所致。
3. 由耐水測試結果顯示，「蔬菜紙吸管」耐水性不佳，我們推測其原因，可能是蔬菜紙之間僅靠薄薄一層可食性的海藻膠，作為蔬菜紙之間的黏著劑，其黏著強度明顯不足以應付長時間浸泡在水中。
4. 由吸飲測試結果顯示，「蔬菜紙吸管」經多次吸飲後，含在嘴巴的吸管口，因唾液潮濕逐漸變軟，管壁因吸飲之內壓產生皺縮，因而逐漸喪失吸飲功能。
5. 由於本研究希望研發具備可食性易分解的吸管，不採用黏著性較強的化學合成黏著劑，因此，我們必須跳脫吸管既有的成型模式，找尋全新的吸管製程。

【實驗A2】海藻膠吸管之製作與測試

前言：

「塑膠吸管」是將塑膠粒加熱融化，利用模具射出成型，冷卻裁切成塑膠吸管，如右圖⁽²⁾所示。本實驗擬研發全新的成型模式來製作吸管，靈感源自於分子料理中「晶球之製作原理」⁽¹⁰⁾如圖5所示。我們並非將海藻酸鈉擠出形成滴液狀，而是將海藻酸鈉擠出形成長管狀，全新的吸管成型原理，如圖6所示。

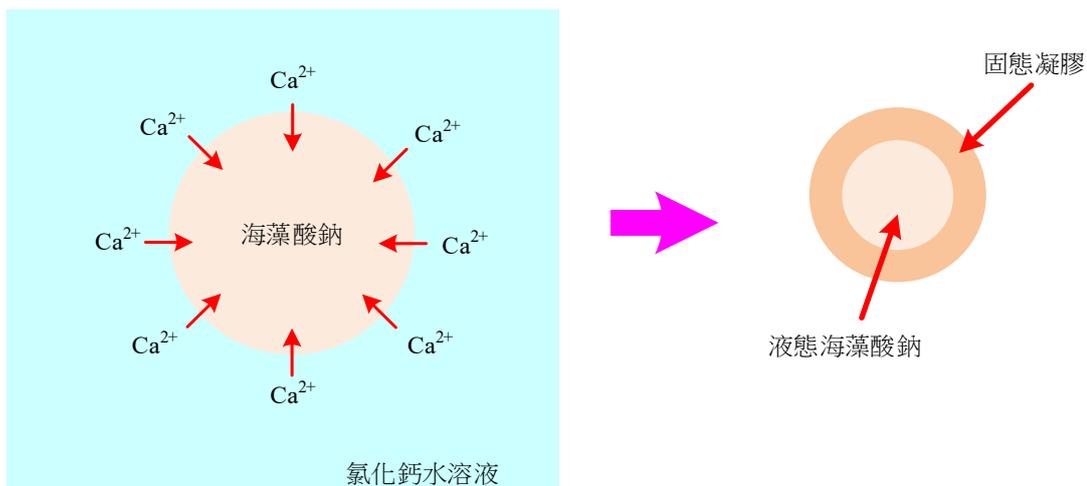
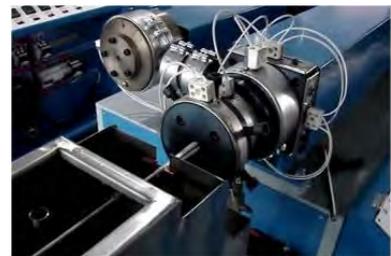


圖5. 海藻膠「晶球」之成型原理

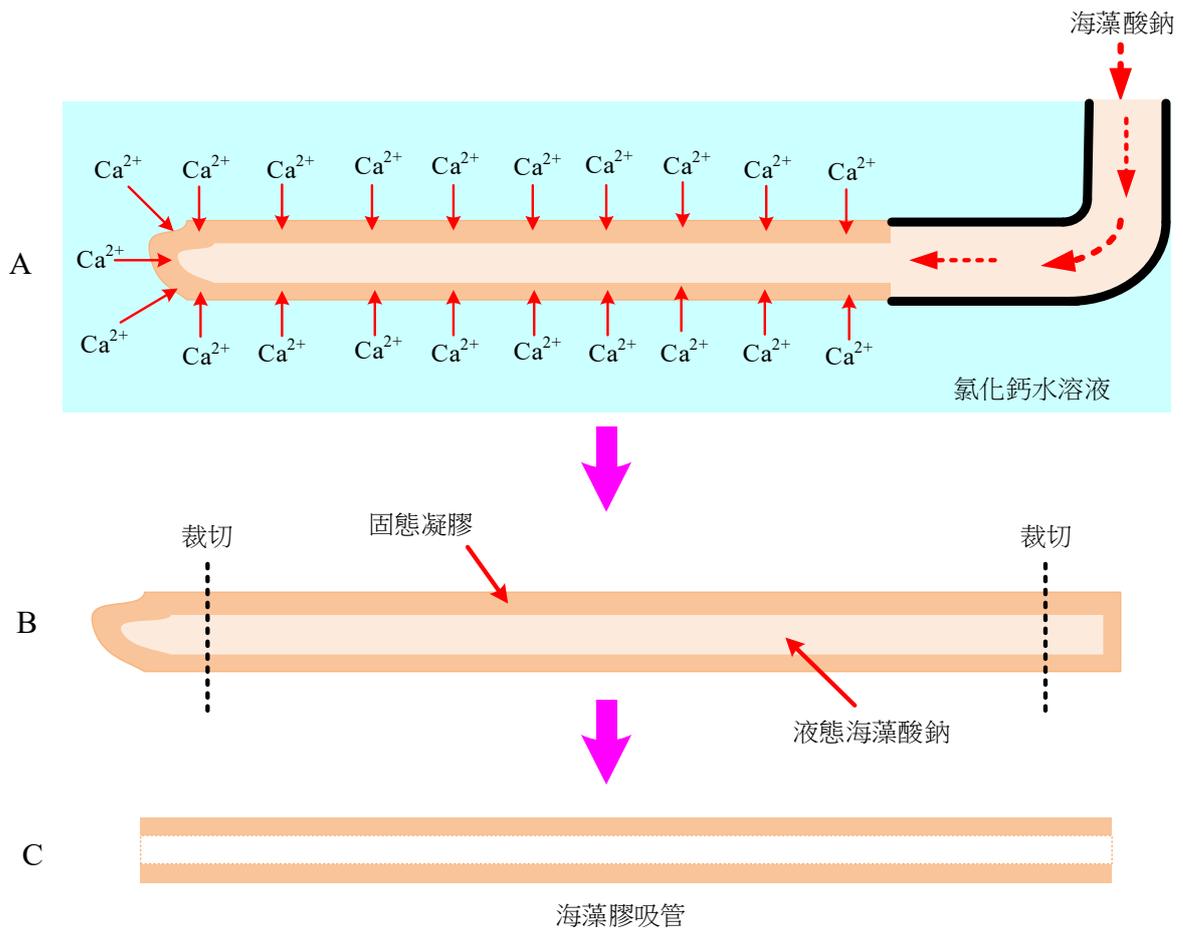


圖6. 海藻膠「吸管」之成型原理

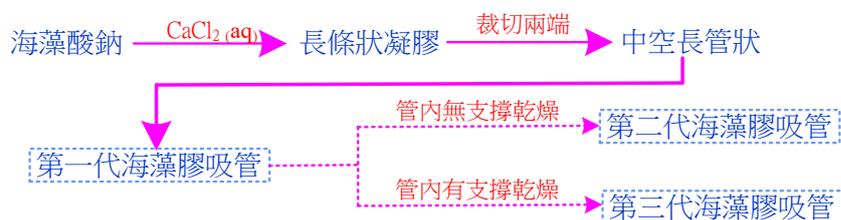
步驟：

A. 凝膠條件之建立

1. 實驗變因：海藻膠浸泡在氯化鈣水溶液時間（5 / 10 / 15 / 20 / 25 / 30 / 35 / 40 分鐘）。
2. 配製2%(w/w)海藻酸鈉水溶液200ml，另分別配製10%(w/w)氯化鈣水溶液1000 ml。
3. 以塑膠針筒吸取海藻酸鈉水溶液，在氯化鈣水溶液中擠出長條形凝膠。
4. 採用不同實驗變因，將長條形凝膠（海藻膠）浸泡在氯化鈣水溶液中。
5. 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。
6. 將海藻膠長管裁切成長度0.5cm，觀察、拍攝、量測、記錄橫切面管壁厚度。
7. 利用Excel軟體處理實驗數據，並利用SigmaPlot軟體繪製圖形並進行線性回歸，建立浸泡在氯化鈣水溶液時間與管壁厚度之趨勢線方程式。

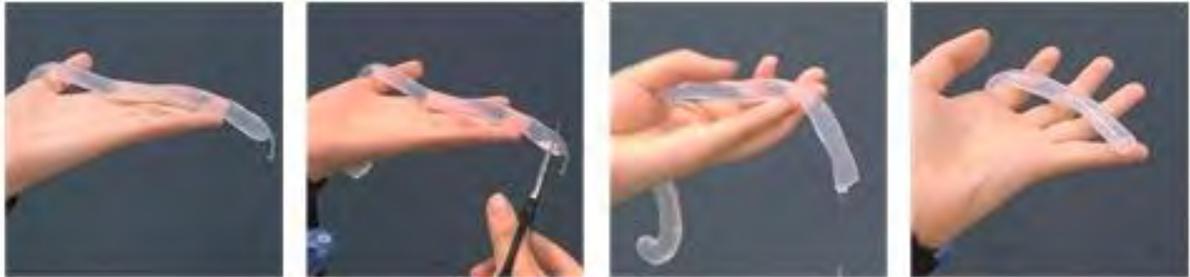
B. 海藻膠吸管之製作

海藻膠吸管之製作並非想像中容易，我們歷經三代製程改良，探討出海藻膠吸管之最佳製程。



(A) 第一代

1. 配製2%(w/w)海藻酸鈉水溶液200ml，另配製10%(w/w)氯化鈣水溶液1000 ml。
2. 以塑膠針筒吸取海藻酸鈉溶液，在氯化鈣水溶液中擠出長條形。
3. 經過25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. 此種中空的海藻膠長管，即為「第一代海藻膠吸管」，觀察拍攝其外觀，並測試其質地特性。



(B) 第二代

1. 先製作「第一代海藻膠吸管」，將中空的海藻膠長管(管內無支撐)，置入除濕箱中吊掛乾燥。
2. 經24小時乾燥後，即為「第二代海藻膠吸管」，觀察拍攝其外觀，並測試其質地特性

(C) 第三代

1. 先製作「第一代海藻膠吸管」，使用鐵氟龍管貫穿中空的海藻膠長管(管內有支撐)，置入除濕機箱中吊掛乾燥。
2. 經24小時乾燥後，即為「第三代海藻膠吸管」，觀察拍攝其外觀，並測試其質地特性。

C. 海藻膠吸管之測試

(A) 耐水測試

1. 將「第三代海藻膠吸管」置入水中，靜置浸泡 24 小時。
2. 泡水 24 小時後，觀察並拍攝其外觀形狀變化情形。

(B) 吸飲測試

1. 將「第三代海藻膠吸管」置入一杯八分滿的茶飲料中。
2. 以「第三代海藻膠吸管」實際吸取茶飲料，觀察並拍攝其吸飲過程影片。

結果：

A. 凝膠條件之建立

1. 如圖7、表1、圖8所示，若海藻膠在氯化鈣水溶液中浸泡時間愈長，則海藻膠長管之管壁愈厚。
2. 厚度與浸泡時間呈現明顯的線性關係，利用SigmaPlot軟體進行線性回歸，得到其趨勢線方程式： $y = 0.0849x + 0.9685$ ， $(R^2 = 0.9940)$ 。

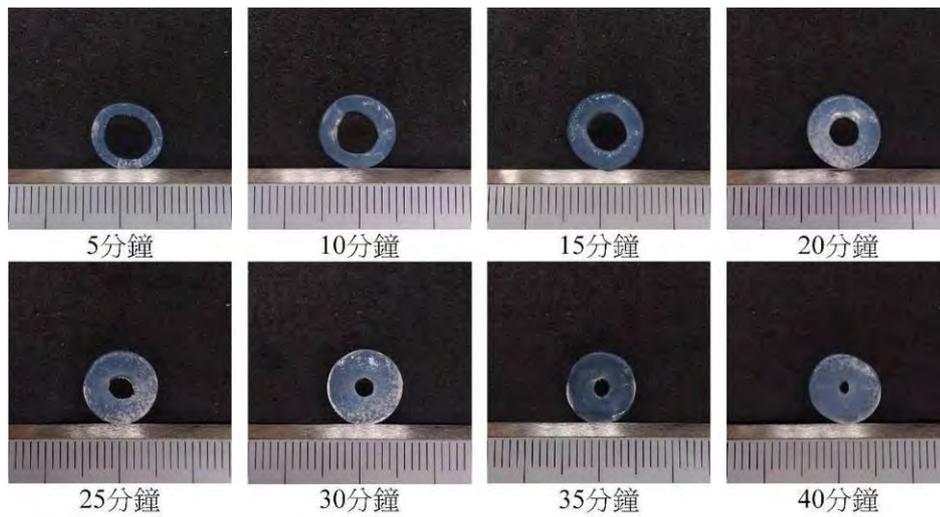


圖7. 海藻膠在氯化鈣水溶液中浸泡時間對管壁厚度之影響

表1. 海藻膠在氯化鈣水溶液中浸泡時間對管壁厚度之影響

浸泡時間(min)	厚度(mm)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
5	1.25	1.30	1.40	1.32	0.08
10	1.60	1.80	1.90	1.77	0.15
15	2.20	2.30	2.40	2.30	0.10
20	2.55	2.70	2.85	2.70	0.15
25	3.25	3.10	3.40	3.25	0.15
30	3.40	3.60	3.50	3.50	0.10
35	3.85	4.00	3.90	3.92	0.08
40	4.40	4.15	4.30	4.28	0.13

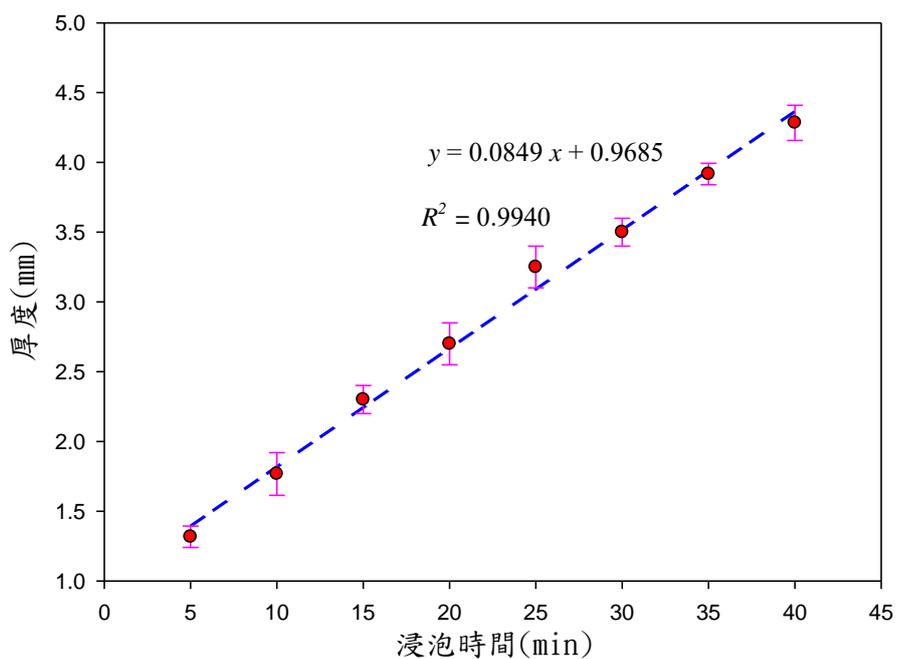


圖8. 海藻膠在氯化鈣水溶液中浸泡時間對管壁厚度之影響

B. 海藻膠吸管之製作



圖9. 第一代、第二代、第三代海藻膠吸管外觀之差異

1. 由圖9A上所示，「第一代海藻膠吸管」粗細大致一致，呈中空長管狀。由圖9A下所示，「第一代海藻膠吸管」含水量極高，吸管質地柔軟，手持吸管會自然垂落。
2. 由圖9B上所示，「第二代海藻膠吸管」(管內無支撐)，經24小時乾燥處理後，外觀萎縮扭曲呈不規則狀。由圖9B下所示，「第二代海藻膠吸管」(管內無支撐)含水量極低，吸管質地堅硬，手持吸管不會自然垂落。
3. 由圖9C上所示，「第三代海藻膠吸管」(管內有支撐)，經24小時乾燥處理後，外觀粗細一致，外觀良好呈筆直中空長管狀。由圖9C下所示，「第三代海藻膠吸管」(管內有支撐)含水量極低，吸管質地堅硬，手持吸管不會自然垂落。

C. 海藻膠吸管之測試

(A) 耐水測試

1. 由圖 10 顯示，浸泡 1 秒的「第三代海藻膠吸管」的外觀粗細接近一致；浸泡 24 小時「第三代海藻膠吸管」的外觀粗細並不一致，浸泡在水中的部分，管徑輕微膨脹變大。
2. 由圖 10 顯示，未泡水前的「第三代海藻膠吸管」，外觀呈粗細一致的長管狀，吸管口結構完整，無光澤透光性較差，質地較堅硬；泡水後的「第三代海藻膠吸管」，未泡水部分管徑維持不變；但泡水部分管徑輕微膨脹，吸管口結構依然完整，有光澤透光性較佳，質地較柔軟。

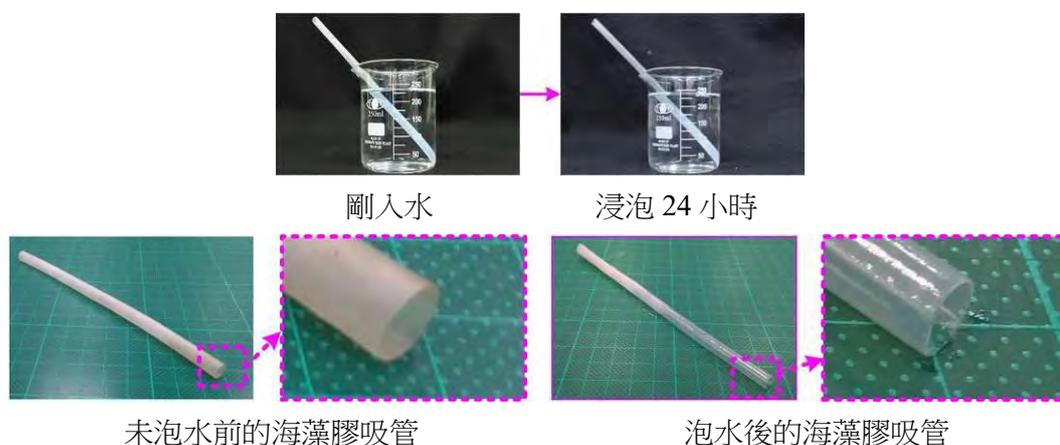


圖 10. 「第三代海藻膠吸管」之耐水測試

(B) 吸飲測試

1. 「第三代海藻膠吸管」吸飲過程影片之連續性擷圖，如圖 11 所示，剛開始測試時，「第三代海藻膠吸管」之吸飲功能正常。
2. 「第三代海藻膠吸管」吸飲效果優於「蔬菜紙吸管」，但經多次吸飲後，也會逐漸喪失吸飲功能。

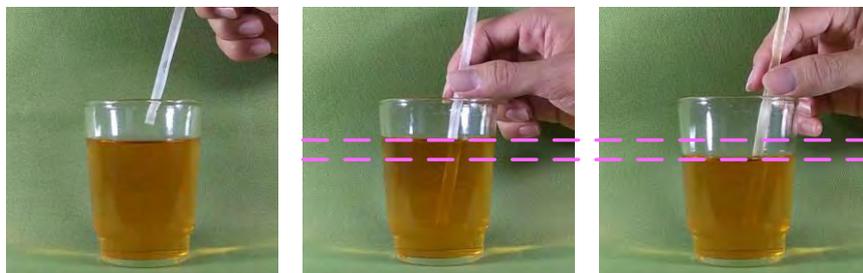


圖 11. 「第三代海藻膠吸管」之吸飲測試

討論：

1. 由統計結果顯示，海藻膠在氯化鈣水溶液中浸泡時間，對管壁厚度之影響程度是非常明顯的。改變海藻膠浸泡氯化鈣水溶液之時間，可以有效控制海藻膠之管壁厚度。
2. 由本實驗得知，若海藻膠浸泡氯化鈣水溶液時間太短，則管壁太薄，支撐力不足；若海藻膠浸泡氯化鈣水溶液時間太長，則管壁太厚，管內通道太窄。考量管壁支撐力及管內通道大小，本研究之後實驗氯化鈣水溶液時間，採用浸泡25分鐘。
3. 「第一代海藻膠吸管」，管壁甚厚，質地柔軟，不適合手握吸取飲料，且因含水量太高，不適合長期保存，因此，我們必須尋找其他方法改善其缺點，使海藻膠吸管具備實用價值。
4. 「第二代海藻膠吸管」(管內無支撐)，雖然改善含水量太高之缺點，但外觀嚴重萎縮扭曲呈不規則狀，因此，我們必須繼續尋找其他方法改善萎縮扭曲之缺點。
5. 「第三代海藻膠吸管」經24小時乾燥處理後，海藻膠吸管之管壁萎縮變薄，但因管內有鐵氟龍管做支撐，呈現粗細一致的規則長管狀，外觀、厚度及質地近似塑膠吸管。

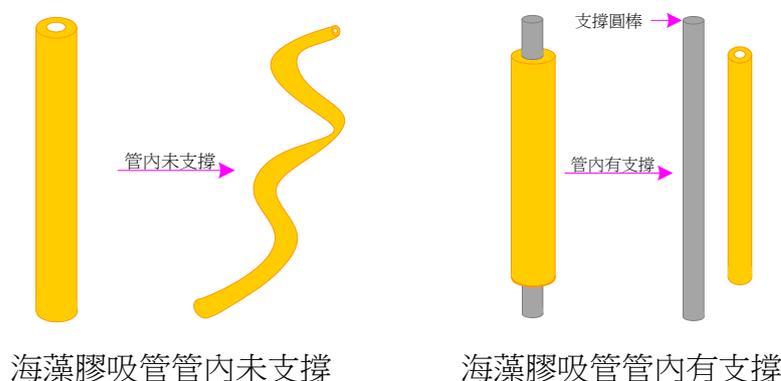


圖12. 「第二代海藻膠吸管」、「第三代海藻膠吸管」製作之比較

6. 配製海藻酸鈉水溶液時因使用均質機處理，因而海藻酸鈉水溶液中出現大量小氣泡，若直接製作海藻膠吸管，管壁會呈現大量微小氣泡。我們找到有效地解決方法，就是將海藻酸鈉水溶液經真空處理後，這些大量微小氣泡即可順利排除，如圖13所示。

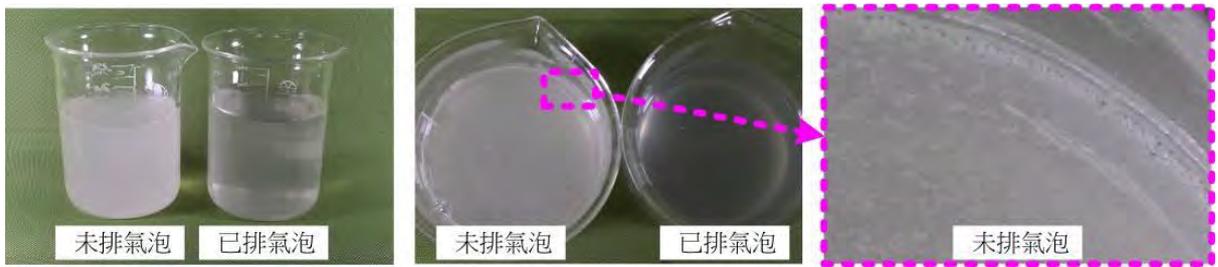


圖13. 海藻酸鈉水溶液中大量微小氣泡經真空處理後可順利排除

7. 「第三代海藻膠吸管」之吸飲效果，雖然優於「蔬菜紙吸管」，但經多次吸飲後，含在嘴巴的吸管口，因唾液潮濕也會逐漸變軟，管壁因吸飲之內壓產生皺縮，因而逐漸喪失吸飲功能。
8. 未泡水前的「第三代海藻膠吸管」，外觀與質地與塑膠吸管十分接近，但吸管遇水後，會逐漸變軟，導致逐漸喪失吸飲功能。因此，我們必須解決此一缺點，找尋更好的解決方案。

【實驗A3】紅茶吸管之製作與測試

前言：

1. 「第三代海藻膠吸管」單純由海藻膠所構成，具備柔韌特性，雖然遇水不會溶解，但會逐漸變軟，因而逐漸喪失吸飲功能，這是最大致命傷。
2. 混凝土之主要組成材料是水泥漿與砂石，水泥漿是膠著劑；砂石是骨材，二者以適當比例混合成混凝土，其強度會大幅提升，如圖 14A 所示。⁽⁶⁾
3. 我們由混凝土獲得靈感，海藻膠(如同水泥漿)是膠著劑；食材粒子(如同砂石)是骨材，二者以適當比例混合成吸管成分，預期其強度會大幅提升。
4. 珍珠奶茶若不能使用塑膠吸管，這是一個環保難題。我們推論：若以海藻膠(如同水泥漿)當作膠著劑；紅茶粉末(如同砂石)當作骨材，預期可製作出強度較佳的紅茶吸管。

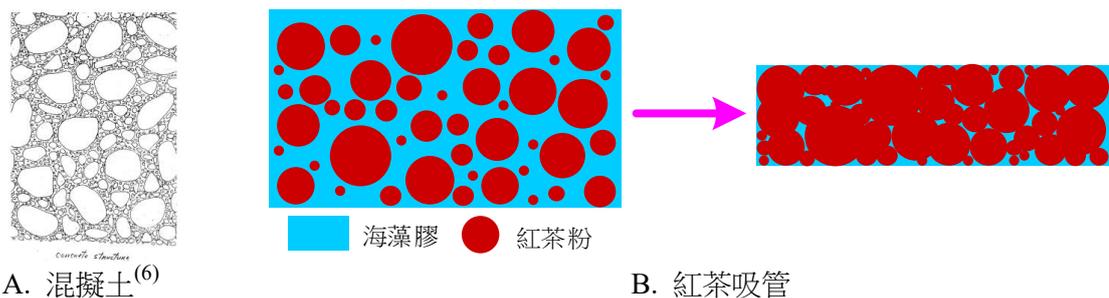


圖 14. 紅茶吸管之成型原理

步驟：

A. 紅茶吸管之製作

1. 配製2%(w/w)海藻酸鈉水溶液200ml，再加入1%的紅茶粉，另分別配製10%(w/w)氯化鈣水溶液1000 ml。
2. 以塑膠針筒，吸取紅茶海藻酸鈉溶液，擠出長管狀外形的紅茶海藻膠，泡在氯化鈣水溶液中。

3. 經過25分鐘後，撈取長條形凝膠，裁切凝膠頭尾，置入水中清洗瀝乾，製成中空的紅茶海藻膠長管。
4. 使用鐵氟龍管貫穿中空的紅茶海藻膠長管(管內有支撐)，置入除濕機箱中吊掛乾燥。
5. 經24小時乾燥後，即為「紅茶吸管」，觀察並拍攝其外觀。



B. 紅茶吸管之測試

本實驗將「紅茶吸管」進行耐水性測試與吸飲力測試，驗證「紅茶吸管」之實用性。

(A) 耐水測試

1. 製作 5% 「紅茶吸管」置入水中，靜置浸泡 24 小時。
2. 泡水 24 小時後，觀察並拍攝其外觀形狀變化情形。

(B) 吸飲測試

1. 將「紅茶吸管」置入一杯八分滿的茶飲料中。
2. 以「紅茶吸管」實際吸取茶飲料，觀察並拍攝其吸飲過程影片。

結果：

A. 紅茶吸管之製作

1. 由圖15A所示，「紅茶吸管」經24小時乾燥處理後，外觀粗細一致，外觀良好呈筆直中空長管狀。
2. 由圖15B所示，「紅茶吸管」含水量極低，吸管質地偏硬，手持吸管不會自然垂落。



A. 紅茶吸管



B. 手持紅茶吸管

圖 15. 「紅茶吸管」成品之外觀

B. 紅茶吸管之測試

(A) 耐水測試



剛入水



浸泡 24 小時



未泡水前的紅茶吸管



泡水後的紅茶吸管

圖 16. 「紅茶吸管」之耐水測試

1. 由圖 16 顯示，浸泡 1 秒的「紅茶吸管」，外觀粗細接近一致；浸泡 24 小時的「紅茶吸管」，外觀粗細接近一致，浸泡在水中的部分，質地變軟一些。

2. 由圖 16 顯示，泡水前的「紅茶吸管」，外觀呈粗細一致的長管狀，吸管口結構完整，散發紅茶香氣，質地偏硬但具有柔韌性；泡水後的「紅茶吸管」，未泡水部分管徑維持不變；泡水部分管徑輕微膨脹變大，吸管口結構依然完整，但質地較柔軟。

(B) 吸飲測試

1. 「紅茶吸管」吸飲過程影片之連續性擷圖，如圖 17 所示，剛開始測試時，「紅茶吸管」之吸飲功能正常。
2. 「紅茶吸管」吸飲效果遠優於「第三代海藻膠吸管」，經長時間多次吸飲後，其吸飲功能依舊正常。

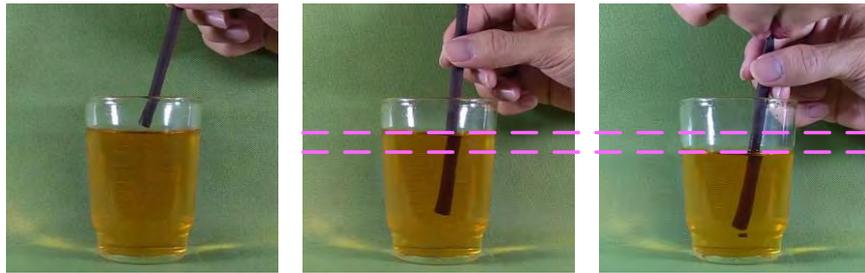


圖 17. 「紅茶吸管」之吸飲測試

討論：

1. 「紅茶吸管」經24小時乾燥處理後，雖然管壁會萎縮變薄，但厚度較「第三代海藻膠吸管」稍微大一些，質地較塑膠吸管硬一些，但具有柔韌性。
2. 「紅茶吸管」是以海藻膠(如同水泥漿)當作膠著劑；紅茶粉末(如同砂石)當作骨材，確實可製作出強度較佳的吸管。
3. 未泡水前的「紅茶吸管」，與塑膠吸管相形之下，厚度較稍微厚一些，質地稍微硬一些，但具有柔韌性。
4. 泡水後的「紅茶吸管」，經長時間多次吸飲後，吸管口不會收縮，管壁不會因吸飲之內壓產生皺縮，吸飲效果相當不錯。
5. 由實驗結果驗證我們的推論正確，若「紅茶吸管」以海藻膠(如同水泥漿)當作膠著劑；紅茶粉末(如同砂石)當作骨材，確實可製作出強度較佳的吸管。

B、紅茶吸管之探討

【實驗B1】物性之測試

前言：

在【實驗A3】中以海藻膠(如同水泥漿)當作膠著劑；加入1%的紅茶粉(如同砂石)當作骨材，確實可製作出硬度提升，但保有柔韌度的「紅茶吸管」。本實驗擬提高紅茶粉添加比例，我們推論「紅茶吸管」硬度會提升；柔韌度會下降。

步驟：

1. 實驗變因：添加紅茶粉之百分比（1%、2%、3%、.....、8%、9%、10%）。
2. 分別製作不同紅茶粉含量之「紅茶吸管」，將各樣品裁切成長度2cm，分別以自製物

性測定儀(CNC+推拉力計)進行物性測定，連結電腦紀錄實驗數據。

結果：

1. 如圖18所示，當紅茶粉含量1~5%時，受外力壓迫吸管會內縮變形，但外力解除後吸管會恢復原狀，其柔韌度不錯。
2. 如圖19所示，當紅茶粉含量6~9%時，受外力壓迫吸管會內縮變形，但外力解除後吸管會出現裂痕，其柔韌度不佳。

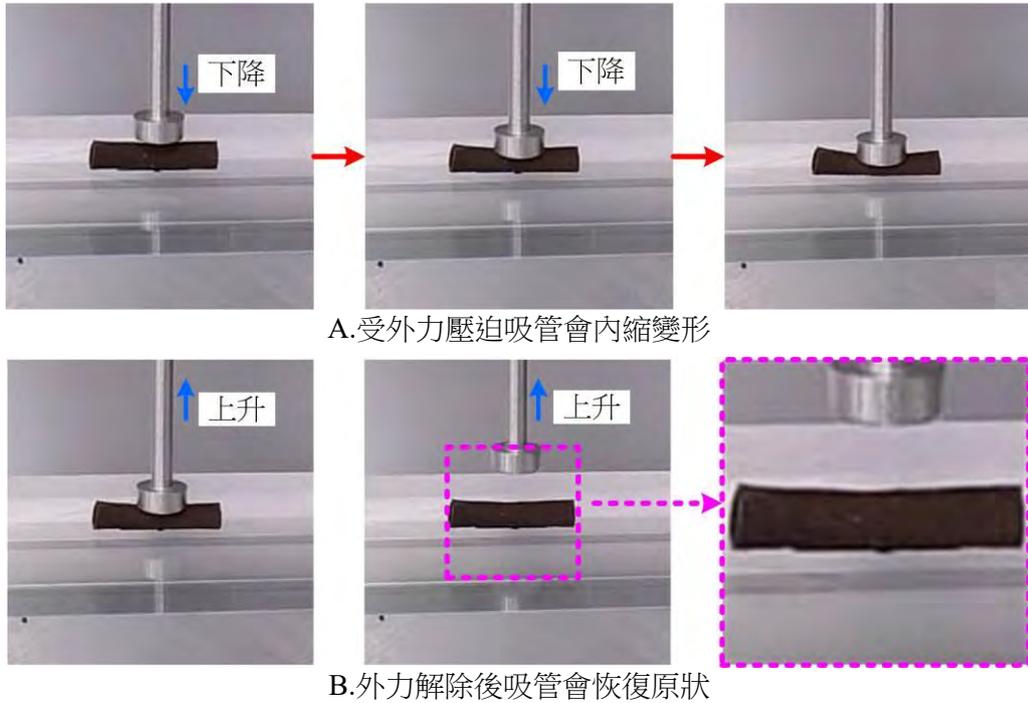


圖 18. 紅茶粉含量 1~5%時柔韌度不錯

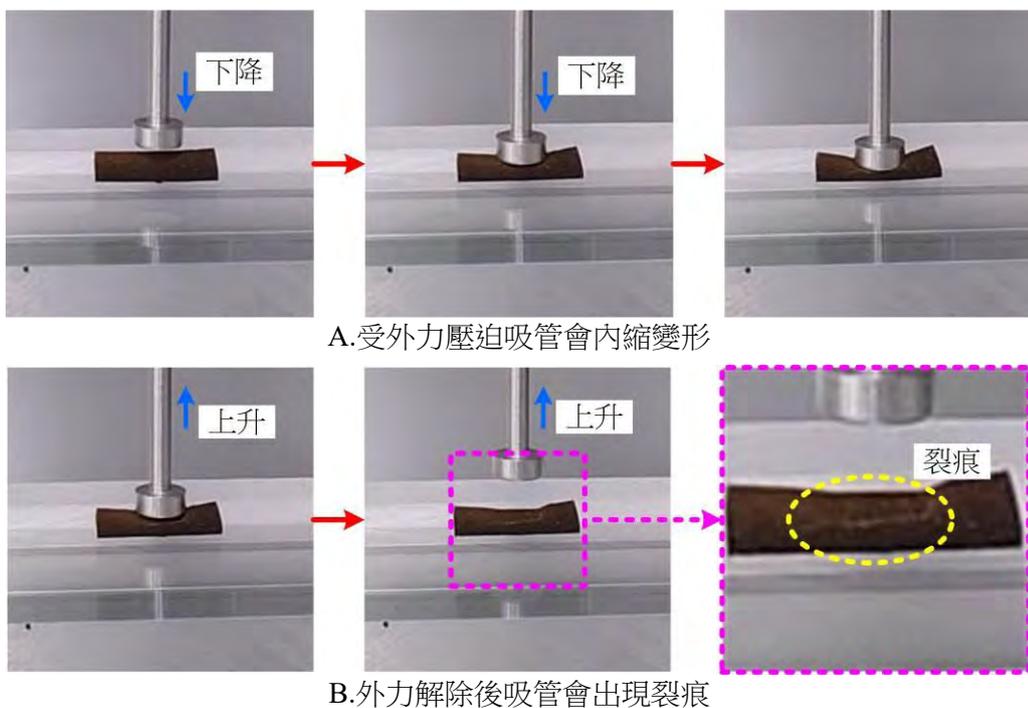


圖 19. 紅茶粉含量 6~9%時柔韌度不佳

3. 如圖20、表2、圖21所示，若添加紅茶粉之百分比愈高，則推拉力計呈現之力(紅茶吸管硬度之量化指標)愈大。亦即添加紅茶粉之百分比(%)與力(gw)呈現明顯的線性關係。利用SigmaPlot軟體進行線性回歸，得到其趨勢線方程式： $y = 396.2500x + 495.2604$ ， $(R^2=0.9867)$ 。

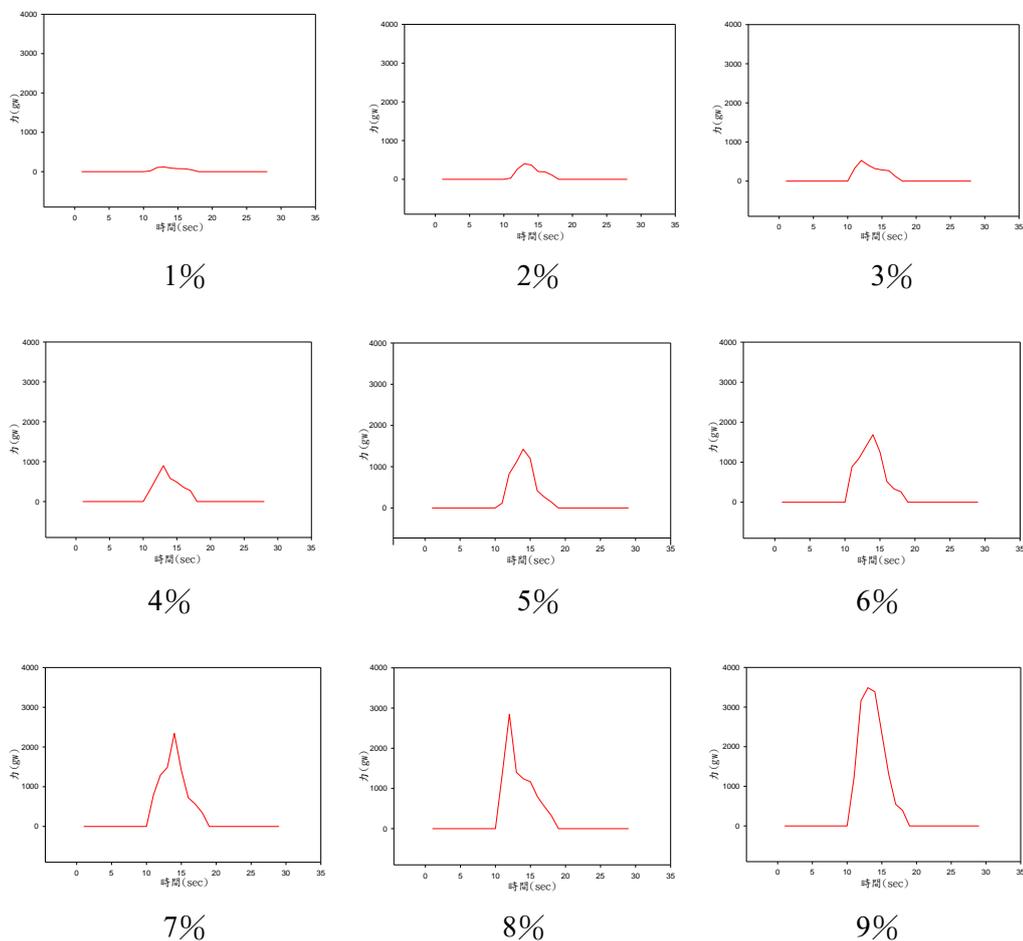


圖 20. 添加不同百分比的紅茶粉對「紅茶吸管」硬度之影響

表 2. 添加不同百分比的紅茶粉對「紅茶吸管」硬度之影響

紅茶粉(%)	力(gw)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
1	118	86	107	103.7	16.3
2	402	310	275	329.0	65.6
3	530	360	695	528.3	167.5
4	1147	900	1013	1020.0	123.6
5	1423	1548	1394	1455.0	81.8
6	1589	1687	1877	1717.7	146.4
7	2341	2185	2482	2336.0	148.6
8	2845	2694	2442	2660.3	203.6
9	3489	2987	3186	3220.7	252.8

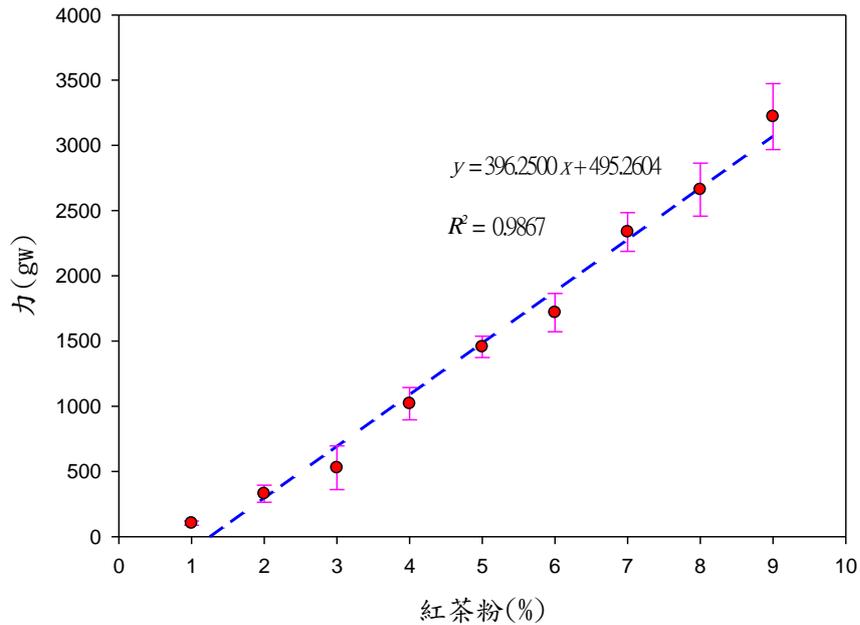


圖 21. 添加不同百分比的紅茶粉對「紅茶吸管」硬度之影響

討論：

1. 雖然本實驗添加紅茶粉之百分比最高達10%，但經乾燥經24小時乾燥後，產生嚴重龜裂現象，無法順利製作成「紅茶吸管」。
2. 目前市售手搖杯飲品及鋁箔包飲料，通常會使用吸管戳入吸飲。因此，若提高添加紅茶粉之百分比，則可以有效提升「紅茶吸管」之硬度，未來可應用在手搖杯飲品及鋁箔包飲料封口膜之戳入。當「紅茶吸管」實際應用時，必須考量硬度與柔韌度之平衡點，本研究之後的實驗決定採用添加紅茶粉之百分比為5%。

【實驗B2】不同口徑之測試

前言：

1. 本實驗擬改變原料出口內徑，搭配不同外徑之鐵氟龍管，希望可順利製作出不同口徑的「紅茶吸管」，使其應用範圍更加廣泛。
2. 本實驗擬進行不同口徑「紅茶吸管」手搖杯飲品封口膜戳入測試，希望未來可應用在手搖杯飲品及鋁箔包飲料封口膜之戳入。
3. 本實驗擬進行大口徑「紅茶吸管」吸飲波霸珍珠之測試，希望未來可解決吸飲波霸珍珠之難題。

步驟：

1. 實驗變因：不同口徑（小口徑、中口徑、大口徑）的「紅茶吸管」。
2. 將塑膠針筒接上不同內徑(8mm小口徑/10mm中口徑/25mm大口徑)之套筒，搭配不同外徑(3mm小口徑/6mm中口徑/13mm大口徑)之鐵氟龍管，製作不同口徑的5%「紅茶吸管」。

3. **封口膜戳入測試**：分別使用小口徑、中口徑、大口徑「紅茶吸管」，進行手搖杯飲品封口膜戳入測試，觀察並拍攝其戳入測試影片。
4. **波霸珍珠吸飲測試**：使用大口徑「紅茶吸管」，進行波霸珍珠吸飲測試，觀察並拍攝其吸飲測試影片。

結果：

1. 由圖22所示，不同口徑「紅茶吸管」外觀粗細一致，含水量極低，吸管質地偏硬，手持吸管不會自然垂落。
2. 以不同口徑「紅茶吸管」，進行手搖杯飲品封口膜戳入測試，其戳入過程影片之連續性擷圖，如圖 23 所示，各種口徑「紅茶吸管」皆順利完成封口膜戳入測試。
3. 以大口徑「紅茶吸管」，進行波霸珍珠吸飲測試，其吸飲過程影片之連續性擷圖，如圖 24 所示，大口徑「紅茶吸管」可輕易吸飲波霸珍珠。



A. 大中小口徑的紅茶吸管 B. 手持大中小口徑的紅茶吸管

圖22. 不同口徑「紅茶吸管」成品之外觀

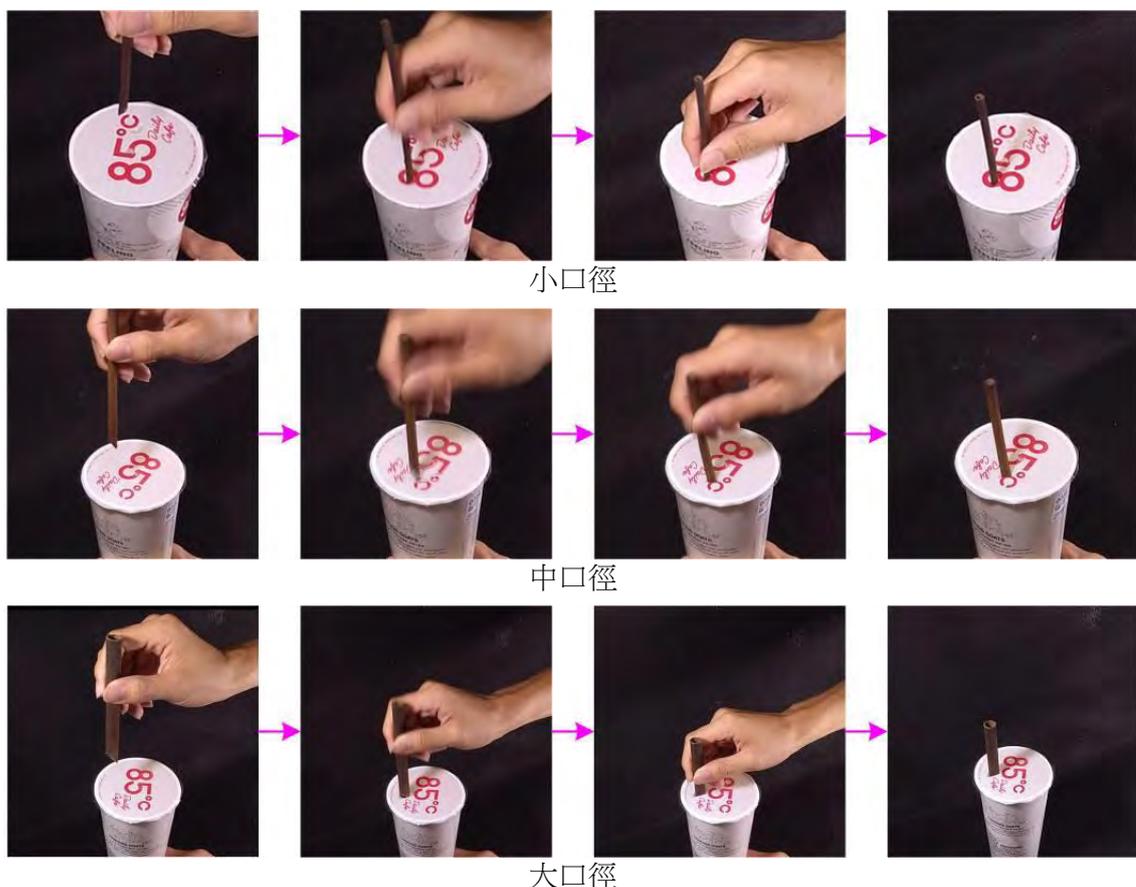


圖23. 不同口徑「紅茶吸管」手搖杯飲品封口膜戳入測試

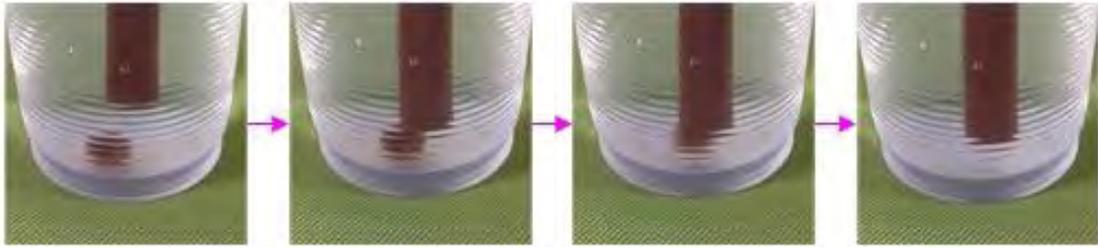


圖24. 大口徑「紅茶吸管」吸飲波霸珍珠之測試

討論：

1. 本實驗證明，只需改變原料出口內徑，搭配不同外徑之鐵氟龍管，皆可順利製作出不同口徑的「紅茶吸管」。
2. 本實驗製作的各種口徑「紅茶吸管」，皆順利完成封口膜戳測試，未來商品化之價值性極高。
3. 本實驗製作的大口徑「紅茶吸管」，可輕易吸飲波霸珍珠，未來商品化之後，確實可解決吸飲波霸珍珠之難題。

【實驗B3】耐高低溫之測試

前言：

本實驗擬將「紅茶吸管」浸泡在不同溫度水中，進行耐低溫測試與耐高溫測試，驗證「紅茶吸管」在不同溫度(低溫/高溫)下之實用性。

步驟：

1. 實驗變因：「紅茶吸管」浸泡在不同水溫（0℃低溫、100℃高溫）。
2. 製作 5%「紅茶吸管」，分別置入 0℃、100℃ 水中浸泡，並量測「紅茶吸管」置入水中時的溫度。
3. 浸泡水 24 小時後，觀察並拍攝其外觀形狀變化情形。

結果：

1. 由圖 25 顯示，「紅茶吸管」浸泡低溫冰水 24 小時後，吸管外觀沒有明顯變化，吸管口結構完整，散發紅茶香氣，質地偏硬但具有柔韌性。



圖 25. 「紅茶吸管」之耐低溫測試

2. 由圖 26 顯示，「紅茶吸管」浸泡高溫熱水 24 小時後，未泡水部分管徑維持不變；泡水部分管徑輕微膨脹變大，吸管口結構依然完整，但質地較柔軟。



圖 26. 「紅茶吸管」之耐高溫測試

討論：

1. 「紅茶吸管」無論置入冰水或熱水中，經長時間多次吸飲後，吸管口皆不會收縮，管壁不會因吸飲之內壓產生皺縮，吸飲效果相當不錯。
2. 由實驗結果驗證，「紅茶吸管」可在冰水或熱水中長時間維持吸飲功能，未來可應用在各種冷飲或熱飲之吸飲，其商品化之價值性大幅提升。

【實驗B4】耐酸性之測試

前言：

在日常生活中酸性飲料是很常見的，本實驗擬將「紅茶吸管」浸泡在酸性水溶液中，進行耐酸性測試，驗證其耐酸性。

步驟：

1. 製作 5%「紅茶吸管」，置入 10%(w/w)的檸檬酸水溶液中浸泡，並分別以 pH 計測量記錄檸檬酸水溶液之 pH 值。
2. 浸泡檸檬酸水溶液 24 小時後，觀察並拍攝其外觀形狀變化情形。

結果：

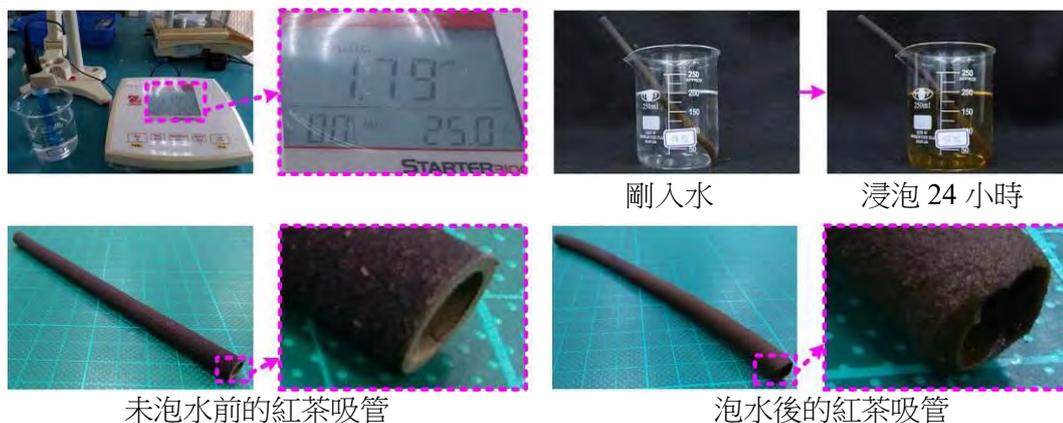


圖 27. 「紅茶吸管」之耐酸性測試

1. 由圖 27 顯示，「紅茶吸管」浸泡檸檬酸水溶液 24 小時後，吸管外觀沒有明顯變化。
2. 由圖 27 顯示，「紅茶吸管」浸泡檸檬酸水溶液 24 小時後，外觀無明顯變化，吸管口結構完整，散發紅茶香氣，質地偏硬但具有柔韌性。

討論：

1. 「紅茶吸管」置入檸檬酸水溶液中，經長時間多次吸飲後，吸管口皆不會收縮，管壁不會因吸飲之內壓產生皺縮，吸飲效果相當不錯。
2. 由實驗結果驗證，「紅茶吸管」可在檸檬酸水溶液中長時間維持吸飲功能，未來可應用在各種酸性飲料之吸飲，其商品化之價值性大幅提升。

【實驗B5】貯藏性之測試

前言：「紅茶吸管」是由海藻膠、紅茶粉等食材製作而成，未來若可實際應用時，必須考量吸管之貯藏性，本實驗擬藉由測定「紅茶吸管」之水活性，以量化數據驗證其貯藏性。

步驟：

1. 實驗變因：剛製作完成的吸管、未包裝貯藏1週的吸管。
2. 製作 5%「紅茶吸管」，分為二組樣品(剛製作完成、未包裝貯藏 1 週)進行水活性測試。
3. 使用水活性計分別測量記錄二組樣品水活性(A_w)之變化情形，並測量記錄當時空氣之相對濕度。



結果：

1. 由表3、圖28A、圖29顯示，剛製作完成的吸管 A_w 0.344±0.020，當時乾燥箱內之相對濕度為36%。
2. 由表3、圖28B、圖29顯示，未包裝貯藏1週的吸管 A_w 約0.733±0.003，當時空氣之相對濕度為74%。



A. 24 小時後測量乾燥箱內之相對濕度 B.貯藏 1 週後測量空氣中之相對濕度

圖 28. 添加不同百分比的紅茶粉對「紅茶吸管」柔韌度之影響

表 3. 「紅茶吸管」之水活性測試

樣品	水活性(A_w)				
	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
剛製作完成	0.324	0.346	0.363	0.344	0.020
未包裝貯藏 1 週	0.735	0.734	0.729	0.733	0.003

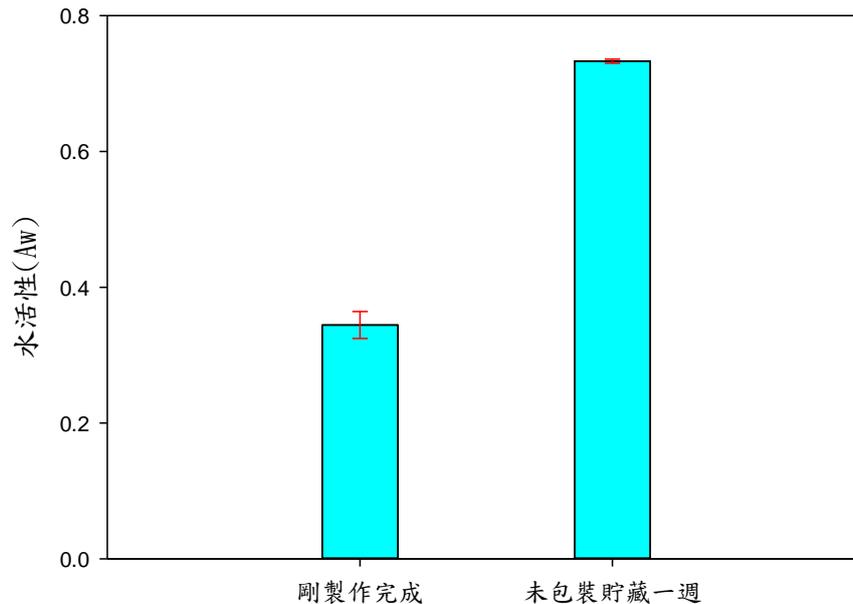


圖 29. 紅茶吸管水活性之變化情形

討論：

1. 要完全阻絕微生物生長則須使食品水活性小於0.6，由實驗發現，製作完成的吸管其水活性約0.344，此水活性值遠小於0.6，證明「紅茶吸管」具有相當好的貯藏性。
2. 未包裝貯藏1週的吸管，會隨著貯藏環境之相對濕度產生變化，若貯藏環境之相對濕度提高，則吸管之水活性值會隨之提高，恐怕會有微生物繁殖生長之潛在危險性，所以「紅茶吸管」還是包裝貯藏才能確保吸管之安全性。

【實驗B6】腐敗性之測試

前言：「紅茶吸管」是由海藻膠、紅茶粉等食材製作而成，未來若可實際應用時，必須考量吸管之腐敗性，本實驗擬將「紅茶吸管」與其他商品化吸管一起進行腐敗性測試，希望能驗證「紅茶吸管」是一種優良的環保吸管。

步驟：

1. 實驗變因：紅茶吸管、塑膠吸管、紙吸管、甘蔗吸管。
2. 將紅茶吸管、塑膠吸管、紙吸管、甘蔗吸管，分為三組樣品(有掩埋、無掩埋)進行腐敗性測試。
3. 經 4 週腐敗性測試後，觀察並拍攝其四種吸管外觀之變化情形。

結果：

1. 由圖30顯示，塑膠吸管、甘蔗吸管經歷4週腐敗性測試後，無論是有掩埋、無掩埋處理，其外觀仍然相當完整，沒有明顯腐敗現象。
2. 由圖 30 顯示，紅茶吸管、紙吸管經歷 4 週腐敗性測試後，無論是有掩埋、無掩埋處理，其外觀破損，而紅茶吸管更是嚴重變形，出現明顯腐敗現象。



圖 30. 紅茶吸管腐敗性之變化情形
(a 甘蔗吸管、b 塑膠吸管、c 紅茶吸管、d 紙吸管)

討論：

1. 由本實驗證明，在市售的塑膠吸管、紙吸管、甘蔗吸管中，紙吸管之腐敗性較佳，屬於較為環保的材質。
2. 本研究所開發的「紅茶吸管」原料來自海藻膠、紅茶粉等易腐性的食材，經歷腐敗性測試後，驗證「紅茶吸管」確實是一種優良的環保吸管。

C、製程與配方之改良

【實驗C1】成型機械之設計與製作

前言：在本研究中前述的所有實驗，均採用手工擠壓的長條形海藻膠，乾燥前管徑粗細不夠一致，筆直程度稍微不足，因此，本實驗擬自行組裝擠出成型機械，希望製作出管徑粗細一致、而且筆直的海藻膠吸管。

步驟：

1. 利用直切式圓鋸機裁切角鐵。
2. 進行角鐵支架之組裝。
3. 將滑軌固定在支架上，作為進料裝置之移動軌道。
4. 將回收的汽車升降機零件固定於支架上。

5. 將回收的汽車車窗控制器接上電線。
6. 將進料裝置固定在裁切好的木塊上。
7. 將回收的汽車直流減速馬達裝在進料裝置上，分別驅動進料螺旋及移動進料裝置。
8. 以海綿菜瓜布當作避震器，固定於馬達下方，減少馬達運作時之震動。
9. 完成擠出成型機械。



圖 31. 擠出成型機械製作組裝之過程

結果：

1. 由圖 32 所示，調整進料馬達轉速，可控制螺旋出料速度之快慢；調整移動馬達轉速，可控制移動裝置之快慢。
2. 由圖 32 示，移動裝置能控制出料口在滑軌上以直線左右移動。

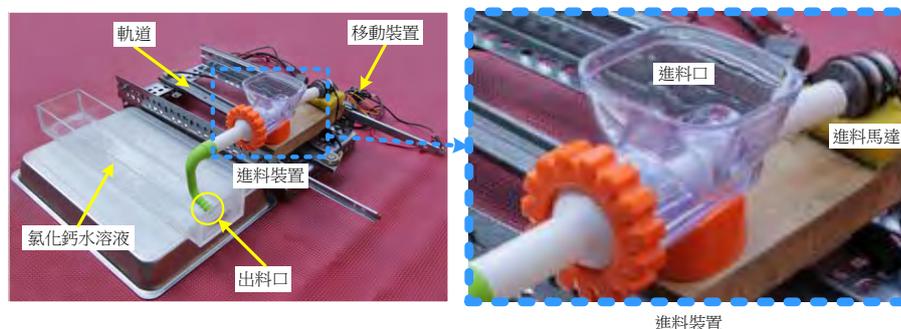


圖 32. 本實驗自行組裝之擠出成型機械

討論：

1. 本實驗組裝之擠出成型機械，其原理透過直流電源供應器提供指定電壓，控制馬達轉速，有效控制原料擠出與出料口移動的速度。

2. 調整進料馬達轉速可控制進料速度；調整移動馬達轉速可控制出料口移動速度，控制二者使出料速度維持穩定，擠壓出來的長條形海藻膠會粗細一致。
3. 因為進料裝置固定在滑軌上直線移動，因此，由出料口擠壓出來的長條形海藻膠會非常筆直。

【實驗C2】成型機械之實際測試

前言：本實驗將實際測試【實驗 C1】所組裝擠出成型機械，驗證是否可以製作出管徑粗細一致、而且筆直的海藻膠吸管。

步驟：

1. 配製2%(w/w)海藻酸鈉水溶液200ml，另配製10%(w/w)氯化鈣水溶液1000 ml。(製作紅茶吸管：加入5%的紅茶粉)，
2. 將紅茶海藻酸鈉溶液，裝入擠出成型機械之進料裝置。
3. 利用擠出成型機械擠出長管狀外形的海藻膠，浸泡在氯化鈣水溶液中。
3. 經過25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. 使用鐵氟龍管貫穿中空的海藻膠長管(管內有支撐)，置入除濕機箱中吊掛乾燥。
5. 經24小時乾燥後，製作成「第三代海藻膠吸管」、「紅茶吸管」，觀察並拍攝其外觀。

結果：

1. 由圖 33 顯示，藉由自製擠出成型機械，能製作出管徑粗細一致、而且筆直的「第三代海藻膠吸管」。
2. 由圖 33 顯示，藉由自製擠出成型機械，能製作出管徑粗細一致、而且筆直的「紅茶吸管」。



圖 33. 使用自製擠出成型機械實際製作「第三代海藻膠吸管」與「紅茶吸管」

討論：

1. 調整進料馬達轉速可控制進料速度；調整移動馬達轉速可控制出料口移動速度，控制二者使出料速度維持穩定，擠壓出來的長條形海藻膠會粗細一致。
2. 因為進料裝置固定在滑軌上直線移動，因此，由出料口擠壓出來的長條形海藻膠會非常筆直。

【實驗C3】各種調味吸管之製作

前言：【實驗 A3】「紅茶吸管」是以海藻膠(如同水泥漿)當作膠著劑；紅茶粉末(如同砂石)當作骨材，本實驗擬以其他食材取代紅茶粉，希望可順利製作出不同調味的吸管。

步驟：

1. 配製2%(w/w)海藻酸鈉水溶液200ml，分別加入5%的調味粉末(綠茶粉/咖啡粉/檸檬粉)，另分別配製10%(w/w)氯化鈣水溶液1000 ml。
2. 以塑膠針筒分別吸取不同調味海藻酸鈉溶液，擠出長管狀外形的海藻膠，泡在氯化鈣水溶液中。
3. 經過25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. 使用鐵氟龍管貫穿中空的海藻膠長管(管內有支撐)，置入除濕機箱中吊掛乾燥。
5. 經24小時乾燥後，分別得到不同調味吸管(綠茶吸管/咖啡吸管/檸檬吸管)，觀察並拍攝其外觀。

結果：

1. 由圖34示，「綠茶吸管」、「咖啡吸管」、「檸檬吸管」經24小時乾燥處理後，其含水量極低，質地偏硬，外觀粗細一致，手持吸管不會自然垂落。
2. 三種吸管各有特殊香氣，「綠茶吸管」會飄散出綠茶香氣；「咖啡吸管」會飄散出咖啡香氣；「檸檬吸管」會飄散出檸檬香氣。



圖 34. 綠茶/咖啡/檸檬調味吸管之成品

討論：

1. 由實驗結果發現，添加綠茶粉製作的「綠茶吸管」會飄散淡淡的綠茶香氣；添加咖啡粉製作的「咖啡吸管」，會飄散濃郁的咖啡香氣；添加果漿製作的「檸檬吸管」，會飄散淡淡的水果香氣。
2. 由於不同調味的吸管，散發出不同的香氣，本實驗所製作的製作「綠茶吸管」，可用來吸飲綠茶系列飲品；咖啡吸管」可用來吸飲咖啡系列飲品；「檸檬吸管」，可用來吸飲水果系列飲品。若研發各種調味吸管，未來之應用範圍會更加廣泛。

肆、研究結論

一、實驗結論

A、新型吸管製程之探討

【實驗A1】蔬菜紙吸管之製作與測試

由實驗結果顯示，我們純手工製作的「蔬菜紙吸管」，其外觀雖近似市售紙吸管，但與市售機械化生產的紙吸管相形之下，「蔬菜紙吸管」質感明顯較差。

【實驗A2】海藻膠吸管之製作與測試

「第一代海藻膠吸管」，管壁甚厚，質地柔軟，不適合手握吸取飲料，且因含水量太高，不適合長期保存。

「第二代海藻膠吸管」(管內無支撐)，經24小時乾燥處理後，雖然改善含水量太高之缺點，但外觀嚴重萎縮扭曲呈不規則狀。

「第三代海藻膠吸管」(管內有支撐)，經24小時乾燥處理後，海藻膠吸管之管壁萎縮變薄，但因管內有鐵氟龍管做支撐，呈現粗細一致的規則長管狀，外觀、厚度及質地近似塑膠吸管。

【實驗A3】紅茶吸管之製作與測試

由實驗結果驗證我們的推論正確，若以海藻膠(如同水泥漿)當作膠著劑；紅茶粉末(如同砂石)當作骨材，確實可製作出外觀呈粗細一致的長管狀，吸管口結構完整，散發紅茶香氣，質地偏硬但具有柔韌性，吸管強度佳、耐水性佳、吸引功能正常的「紅茶吸管」。

B、紅茶吸管之探討

【實驗B1】物性之測試

當紅茶粉含量1~5%時，受外力壓迫吸管會內縮變形，但外力解除後吸管會恢復原狀，其柔韌度不錯；當紅茶粉含量6~9%時，受外力壓迫吸管會內縮變形，但外力解除後吸管會出現裂痕，其柔韌度不佳。目前市售手搖杯飲品及鋁箔包飲料，通常會使用吸管戳入吸飲，考量硬度與柔韌度之平衡點，本研究之後的實驗決定採用添加紅茶粉之百分比為5%。

【實驗B2】不同口徑之測試

本實驗證明，只需改變原料出口內徑，搭配不同外徑之鐵氟龍管，皆可順利製作出不同口徑的「紅茶吸管」。各種口徑「紅茶吸管」皆順利完成封口膜戳測試，本實驗製作的大口徑「紅茶吸管」，可輕易吸飲波霸珍珠，確實可解決吸飲波霸珍珠之難題，未來商品化之價值性極高。

【實驗B3】耐高低溫之測試

「紅茶吸管」無論置入冰水或熱水中，經長時間多次吸飲後，吸管口皆不會收縮，管壁不會因吸飲之內壓產生皺縮，吸飲效果相當不錯，未來可應用在各種冷飲或熱飲之吸飲，其商品化之價值性大幅提升。

【實驗B4】耐酸性之測試

「紅茶吸管」置入檸檬酸水溶液中，經長時間多次吸飲後，吸管口皆不會收縮，管壁不會因吸飲之內壓產生皺縮，吸飲效果相當不錯，頗具商品化之潛力，未來可應用在各種酸性飲料之吸飲。

【實驗B5】貯藏性之測試

要完全阻絕微生物生長則須使食品水活性小於0.6，由實驗發現，製作完成的吸管其水活性約0.344，此水活性值遠小於0.6，證明「紅茶吸管」具有相當好的貯藏性，未包裝貯藏1週的吸管，會隨著貯藏環境之相對濕度產生變化，若貯藏環境之相對濕度提高，則吸管之水活性值會隨之提高，恐怕會有微生物繁殖生長之潛在危險性，所以「紅茶吸管」還是包裝貯藏才能確保吸管之安全性。

【實驗B6】腐敗性之測試

由本實驗結果發現，塑膠吸管、甘蔗吸管經歷4週腐敗性測試後，無論是掩埋、未掩埋處理，其外觀仍然相當完整，沒有明顯腐敗現象；紅茶吸管、紙吸管經歷4週腐敗性測試後，無論是掩埋、未掩埋處理，其外觀破損，而紅茶吸管更是嚴重變形，出現明顯腐敗現象，驗證「紅茶吸管」確實是一種優良的環保吸管。

C、製程與配方之改良

【實驗C1】成型機械之設計與製作

本實驗組裝之擠出成型機械，其原理透過直流電源供應器提供指定電壓，控制馬達轉速，有效控制原料擠出與出料口移動的速度。調整進料馬達轉速可控制進料速度；調整移動馬達轉速可控制出料口移動速度，控制二者使出料速度維持穩定，擠壓出來的長條形海藻膠會粗細一致。

【實驗C2】成型機械之實際測試

成型機械之實際測試結果，控制進料馬達與移動馬達轉速可使出料速度維持穩定，擠壓出來的長條形海藻膠會粗細一致。加上進料裝置固定在滑軌上直線移動，所以由出料口擠壓出來的長條形海藻膠會非常筆直。

【實驗C3】各種調味吸管之製作

由實驗結果發現，「綠茶吸管」、「咖啡吸管」、「檸檬吸管」經24小時乾燥處理後，三種吸管外觀粗細一致，質地硬度適中，且散發原料之香氣，具有商品化之潛力，未來「綠茶吸管」可用於吸飲綠茶系列飲品；「咖啡吸管」可用於吸飲咖啡系列飲品；「檸檬吸管」可用於吸飲水果系列飲品。

二、具體貢獻

- (一) 本研究研發出完全不需使用塑膠成分，真正易分解的環保吸管。
- (二) 本研究活用分子料理中「晶球」之製作原理，研發出全新的成型模式來製作吸管。
- (三) 本研究以海藻膠當作膠著劑；食材粉末當作骨材，成功製作出具有實用價值的新型吸管，未來可應用在各種冷飲、熱飲及珍珠奶茶之吸飲，其商品化價值性甚高。

伍、參考資料

1. Jane J. Lee (2015), 編譯：陳潔。吸管怎麼會跑進海龜鼻子裡？。國家地理雜誌中文網。
<https://www.natgeomedia.com/environment/article/content-5899.html#photo1>
2. KeewaIndustriesCorp(2012)。Drinking Straw Extrusion Line (Straw Making Machine) 。
youtube 網站。
<https://www.youtube.com/watch?v=-MFD4RQ1aek>
3. Linnea LV(2018) 。 paper straw making machine 。 youtube 網站。
<https://www.youtube.com/watch?v=k5Ig3hKXTZ0>
4. 中天新聞(2018)。喝珍奶沒吸管怎辦？環保署官員：用湯匙啊。youtube 網站。
<https://www.youtube.com/watch?v=PNds8-lrIh0>
5. 呂國禎 (2018)。甘蔗渣吸管很環保？救海龜前，恐先變循環經濟災難。天下雜誌。
<https://www.cw.com.tw/article/article.action?id=5092141>
6. 高健章。混凝土簡介。經濟部網站。
<https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/home/TextSearch.aspx?q=混凝土簡介>
7. 張宣武、楊毓齡、張韶雯 (2018)。全國 19 個臨海縣市 世界海洋日一同無塑。環保
政策月刊。第 21 卷第 7 期 P5-P6。
8. 陳立偉 (2009)。保壓過程之模溫控制對於聚乳酸、聚乳酸/洋麻纖維和聚乳酸/蒙脫土
射出成形品的高次構造形成之影響。國立交通大學 機械工程學系碩士論文。
9. 黃世麒 (2018)。喝珍奶沒吸管怎辦？環保署官員：用湯匙。中時電子報。
<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20180613003331-260407?chdtv>
10. 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。國立中興大學農學院 農林學報 第 61 卷 第 02 期,
P185-P202。
11. 黃堯琮 (2007)。化學粉圓和化學毛毛蟲。國立彰化師範大學化學系 中學化學示範
實驗。
12. 環保署廢管處 (2018)。環保署預告「一次用塑膠吸管限制使用對象、實施方式及實
施日期」草案。環保署網站。
https://enews.epa.gov.tw/enews/fact_Newsdetail.asp?InputTime=1070608113044
13. 魏珮芯、吳建緯、王滋頌 (2016)。彩虹晶球 -鳳梨珍珠之研發。中華民國第五十六
屆中小學科學展覽會優勝作品。

【評語】 052602

本研究以海藻膠為膠著劑、紅茶粉為骨材，製作出耐水性、吸飲功能較佳且可散發紅茶香氣的「紅茶吸管」。實驗發現透過提高添加紅茶粉之比例，能提升吸管硬度，可應用在飲料封口膜之戳入，在冰水或熱水中均可長時間維持吸飲功能。自製擠出成型機械，可控制出料速度維持穩定，並可製作出粗細一致且筆直的吸管。本作品的亮點包括：(1)具有創新性與資源循環概念，有助於提升資源效益與生態保護的目的；(2)研究架構清晰，研究流程設計明確；(3)以綠茶、咖啡、檸檬等不同天然原料調味吸管，呈現產品多樣性之香氣。建議未來可考慮測試耐溫(如冷熱飲品)、耐濕性(如受潮之保存期限)及針對紅茶粉、綠茶、咖啡、檸檬等不同骨材之成本，精算吸管價格。若能進一步設計由進料到吸管產出一貫作業之成型機器，未來將更具商品化之競爭力。

摘要

本研究首先製作「蔬菜紙吸管」，其耐水性及吸飲功能不佳，改以海藻膠製作吸管，經歷多次改良後的「第三代海藻膠吸管」其質地近似塑膠吸管，但吸飲功能仍然不佳。接著，以海藻膠為膠著劑；紅茶粉為骨材，成功製作出耐水性、吸飲功能較佳且可散發紅茶香氣的「紅茶吸管」。提高添加紅茶粉之比例，能有效提升吸管硬度，可應用在飲料封口膜之戳入，在冰水、熱水中均可長時間維持吸飲功能，製作大口徑「紅茶吸管」，可輕易吸飲波霸珍珠、徹底解決吸飲波霸珍珠之難題。自製擠出成型機械，可控制出料速度維持穩定，在滑軌上以直線移動，可製作出粗細一致且筆直的吸管，最後試製綠茶、咖啡、檸檬等調味吸管，均會飄出天然原料之香氣，頗具商品化之潛力。

壹：研究動機

(一) 海龜與吸管

網路流傳有一部令人印象深刻的影片，德州農工大學 (Texas A&M University) 的科學家團隊，在哥斯大黎加海外海研究海龜時，耗費一番功夫，從海龜的鼻孔中取出一根吸管，海龜的鼻子始滲血，痛苦張嘴的樣子，引起相當大的震撼。

(二) 塑膠吸管

近年來國際對海洋塑膠污染問題日益重視，環保署參酌美國與英國部分城市對一次用塑膠吸管限制使用之經驗，已於2019.7.1正式上路規範「政府部門」、「公私私立學校」、「百貨公司及購物中心」、「連鎖速食店」等4大類限制使用對象，不得提供一次用塑膠吸管供內食餐飲之消費者使用。環保署表示，後續規劃於西元2020年擴大至其他提供餐飲業者，呼籲相關業者即早因應，民眾亦可自備可重複清洗之吸管。此外，將在蒐集國外經驗與國內各界意見後，評估是否將市售鋁箔包所附吸管納入管制。有民眾擔心「珍珠奶茶」沒有吸管要怎麼喝？環保署回應：「也可以用湯匙啊」，若沒有吸管如何喝「珍珠奶茶」呢？這是一個環保大難題！

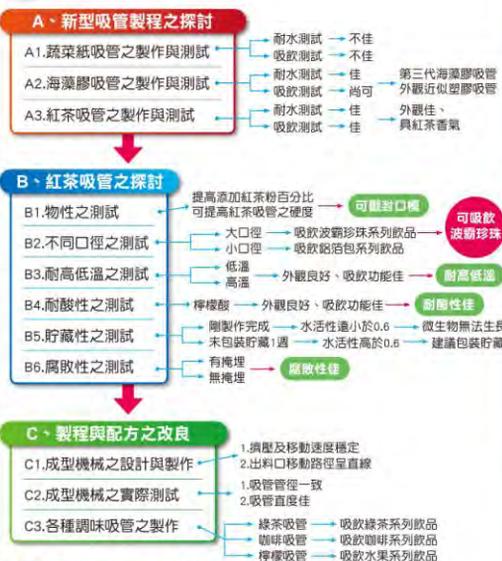


他也可以用湯匙啊

貳：研究目的

- (一) 本研究希望完全不使用塑膠成分，研發出真正易分解的環保吸管。
- (二) 本研究希望完全跳脫既有框架，研發全新的成型模式來製作吸管。
- (三) 本研究希望研發出具有實用價值的新型吸管，能適用在各式飲品之吸飲。

參：研究架構



肆：研究過程

A、新型吸管製程之探討

實驗A1 蔬菜紙吸管之製作與測試

由實驗結果顯示，我們純手工製作的「蔬菜紙吸管」，其外觀雖近似市售紙吸管，但與市售機械化生產的紙吸管相形之下，「蔬菜紙吸管」質感明顯較差。

A. 蔬菜紙吸管的製作

1. 如圖1所示，本實驗以生產過剩的高麗菜為原料，參考一般紙張之製作方法，蔬菜紙經裁切成細長紙條，可進一步纏繞，經過乾燥處理後，製成「蔬菜紙吸管」。



圖1. 「蔬菜紙」、「蔬菜紙吸管」之製作過程

2. 如圖2所示，我們純手工製作的「蔬菜紙吸管」，其外觀雖近似市售紙吸管，但與市售機械化生產的紙吸管相形之下，「蔬菜紙吸管」質感明顯較差，所製作的「蔬菜紙」強度不足，在纏繞製作吸管過程中，「蔬菜紙」很容易破損，這可能是因高麗菜屬於食用的蔬菜，其纖維比較柔軟易斷所致。



圖2. 「蔬菜紙」、「蔬菜紙吸管」之成品

B. 蔬菜紙吸管的測試

(A) 耐水測試

如圖3所示，由耐水測試結果顯示，「蔬菜紙吸管」耐水性不佳，我們推測其原因，可能是蔬菜紙之間僅靠薄薄一層可食用的海藻膠，作為蔬菜紙之間的黏著劑，其黏著強度明顯不足以應付長時間浸泡在水中。



圖3. 「蔬菜紙吸管」之耐水測試

(B) 吸飲測試

如圖4所示，由吸飲測試結果顯示，「蔬菜紙吸管」經多次吸飲後，含在嘴口的吸管口，因唾液潮濕逐漸變軟，管壁因吸飲之內壓產生皺縮，因而逐漸喪失吸飲功能。



圖4. 「蔬菜紙吸管」吸飲測試

實驗A2 海藻膠吸管的製作與測試

本實驗擬研發全新的成型模式來製作吸管，靈感源自於分子料理中「晶球」之製作原理，如圖5所示。我們並非將海藻膠擠出形成液滴狀，而是將海藻膠擠出形成長管狀，全新的吸管成型原理，如圖6所示。

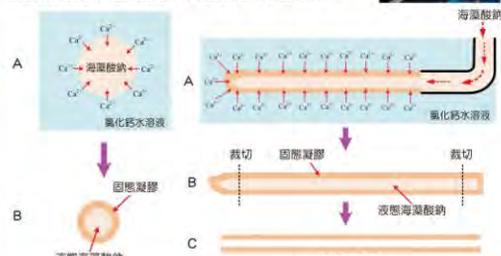


圖5. 海藻膠「晶球」之成型原理

圖6. 海藻膠「吸管」之成型原理



A. 凝膠條件之建立

1. 如圖7所示，若海藻膠浸泡氯化鈣水溶液時間太短，則管壁太薄，支撐力不足；若海藻膠浸泡氯化鈣水溶液時間太長，則管壁厚，管內通道太窄。考量管壁支撐力及管內通道大小，本研究之後實驗氯化鈣水溶液時間，採用浸泡25分鐘。



圖7. 海藻膠在氯化鈣水溶液中浸泡時間對管壁厚度之影響

2. 如表1、圖8所示，若海藻膠在氯化鈣水溶液中浸泡時間愈長，則海藻膠長管之管壁愈厚，厚度與浸泡時間呈現明顯的線性關係，利用SigmaPlot軟體進行線性回歸，得到其趨勢線方程式： $y = 0.0849x + 0.9685$ ($R^2 = 0.9940$)。



表1. 海藻膠在氯化鈣水溶液中浸泡時間對管壁厚度之影響

圖8. 海藻膠在氯化鈣水溶液中浸泡時間對管壁厚度之影響

B. 海藻膠吸管的製作

海藻膠吸管的製作並非想像中容易，我們歷經三代製程改良，探討出海藻膠吸管的最佳製程。



1. 如圖9A所示，「第一代海藻膠吸管」，管壁厚，質地柔軟，不適合手握吸飲飲料，且因含水量太高，不適合長期保存，因此，我們必須尋找其他方法改善其缺點，使海藻膠吸管具備實用價值。
2. 如圖9B所示，「第二代海藻膠吸管」(管內無支撐)，雖然改善含水量太高的缺點，但外觀嚴重萎縮扭曲呈不規則狀，因此，我們必須繼續尋找其他方法改善萎縮扭曲之缺點。



圖10. 「第二代海藻膠吸管」、「第三代海藻膠吸管」製作之比較

3. 如圖9C所示，「第三代海藻膠吸管」(管內有支撐)經24小時乾燥處理後，海藻膠吸管的管壁萎縮變薄，但因管內有纖維龍管做支撐，呈現粗細一致的規則長管狀，外觀、厚度及質地近似塑膠吸管。



圖9. 第一代、第二代、第三代海藻膠吸管外觀之差異

如圖11所示，配製海藻酸鈉水溶液時因使用均質機處理，因而海藻酸鈉水溶液中出現大量小氣泡，若直接製作海藻膠吸管，管壁會呈現大量微小氣泡。我們找到有效地解決方法，就是將海藻酸鈉水溶液經真空處理後，這些大量微小氣泡即可順利排除。

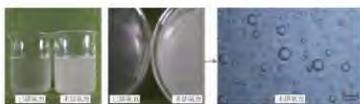


圖11. 海藻酸鈉水溶液中大量微小氣泡經真空處理後可順利排除

C. 海藻膠吸管之測試

(A) 耐水測試

如圖12所示，「第三代海藻膠吸管」剛入水的外觀粗細接近一致；浸泡24小時的外觀粗細並不一致，浸泡在水中的部分，管徑輕微膨脹變大。未泡水前的「第三代海藻膠吸管」，外觀呈粗細一致的長管狀，吸管口結構完整，無光澤透光性較差，質地較堅硬；泡水後的「第三代海藻膠吸管」，未泡水部分管徑維持不變；但泡水部分管徑輕微膨脹，吸管口結構依然完整，有光澤透光性較佳，質地較柔軟。

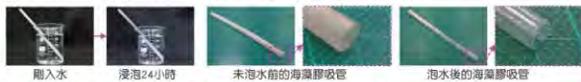


圖12. 「第三代海藻膠吸管」之耐水測試

(B) 吸飲測試

如圖13所示，「第三代海藻膠吸管」之吸飲效果，雖然優於「蔬菜紙吸管」，但經多次吸飲後，含在嘴巴的吸管口，因唾液潮濕也會逐漸變軟，管壁因吸飲之內壓產生皺縮，因而逐漸喪失吸飲功能，因此，我們必須解決此一缺點，找尋更好的解決方案。



圖13. 「第三代海藻膠吸管」之吸飲測試

實驗A3 紅茶吸管之製作與測試

由實驗結果驗證我們的推論正確，若以海藻膠(如同水泥漿)當作膠著劑；紅茶粉末(如同砂石)當作骨材，確實可製作出外觀呈粗細一致的長管狀，吸管口結構完整，散發紅茶香氣，質地偏硬但具有柔韌性，吸管強度佳、耐水性佳、吸飲功能正常的「紅茶吸管」。

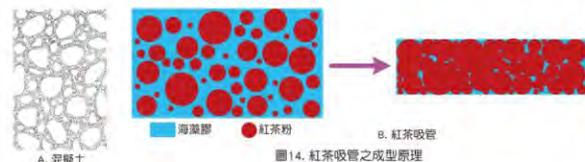


圖14. 紅茶吸管之成型原理

A. 紅茶吸管之製作

如圖15所示，「紅茶吸管」經24小時乾燥處理後，雖然管壁會萎縮變薄，但厚度較「第三代海藻膠吸管」稍微大一些，質地較塑膠管硬一些，但具有柔韌性；「紅茶吸管」是以海藻膠(如同水泥漿)當作膠著劑；紅茶粉末(如同砂石)當作骨材，確實可製作出強度較佳的吸管。



圖15. 「紅茶吸管」成品之外觀

B. 紅茶吸管之測試

(A) 耐水測試

如圖16所示，浸泡1秒的「紅茶吸管」，外觀粗細接近一致；浸泡24小時的「紅茶吸管」，外觀呈粗細一致的長管狀，吸管口結構完整，散發紅茶香氣，質地偏硬但具有柔韌性；泡水後的「紅茶吸管」，未泡水部分管徑維持不變；泡水部分管徑輕微膨脹變大，吸管口結構依然完整，但質地較柔軟。

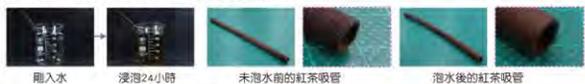


圖16. 「紅茶吸管」之耐水測試

(B) 吸飲測試

如圖17所示，泡水後的「紅茶吸管」，經長時間多次吸飲後，吸管口不會收縮，管壁不會因吸飲之內壓產生皺縮，吸飲效果相當不錯。由實驗結果驗證我們的推論正確，若「紅茶吸管」以海藻膠(如同水泥漿)當作膠著劑；紅茶粉末(如同砂石)當作骨材，確實可製作出強度較佳的吸管。



圖17. 「紅茶吸管」之吸飲測試

B. 紅茶吸管之探討

實驗B1 物性之測試

- 當紅茶粉含量1~5%時，受外力壓迫吸管會內縮變形，但外力解除後吸管會恢復原狀，其柔韌度不錯；當紅茶粉含量6~9%時，受外力壓迫吸管會內縮變形，但外力解除後吸管會出現裂痕，其柔韌度不佳。目前市售手搖杯飲品及鋁箔包飲料，通常會使用吸管戳入吸飲，考量硬度與柔韌度之平衡點，本研究之後的實驗決定採用添加紅茶粉之百分比為5%。
- 如圖18所示，當紅茶粉含量1~5%時，受外力壓迫吸管會內縮變形，但外力解除後吸管會恢復原狀，其柔韌度不錯。
- 如圖19所示，當紅茶粉含量6~9%時，受外力壓迫吸管會內縮變形，但外力解除後吸管會出現裂痕，其柔韌度不佳。

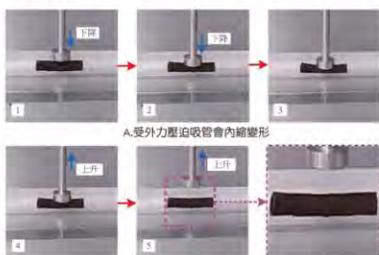


圖18. 紅茶粉含量1-5%時柔韌度不錯

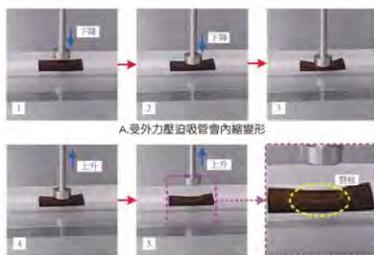


圖19. 紅茶粉含量6-9%時柔韌度不佳

- 如圖20、表2、圖21所示，若添加紅茶粉之百分比愈高，則推拉力計呈現之力(紅茶吸管硬度之量化指標)愈大。亦即添加紅茶粉之百分比(%)與力(gw)呈現明顯的線性關係。利用SigmaPlot軟體進行線性回歸，得到其趨勢線方程式： $y=396.2500x+495.2604$ ，($R^2=0.9867$)。

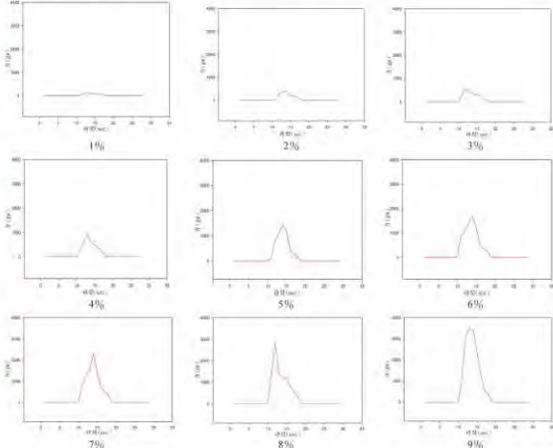


圖20. 添加不同百分比的紅茶粉對「紅茶吸管」硬度之影響

表2. 添加不同百分比的紅茶粉對「紅茶吸管」硬度之影響

紅茶粉(%)	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
1	118	86	107	103.7	16.3
2	402	310	275	329.0	65.6
3	530	360	695	528.3	167.5
4	1147	900	1013	1020.0	123.6
5	1423	1548	1394	1455.0	81.8
6	1589	1687	1877	1717.7	146.4
7	2341	2185	2482	2336.0	148.6
8	2845	2694	2442	2660.3	203.6
9	3489	2987	3186	3220.7	257.8

圖21. 添加不同百分比的紅茶粉對「紅茶吸管」硬度之影響

實驗B2 不同口徑之測試

- 本實驗證明，只需改變原料出口口徑，搭配不同口徑之鐵氟龍管，皆可順利製作出不同口徑的「紅茶吸管」。各種口徑「紅茶吸管」皆順利完成封口膜戳入測試，本實驗製作的大口徑「紅茶吸管」，可輕易吸飲波霸珍珠，確實可解決吸飲波霸珍珠之難題，未來商品化之價值性極高。
- 如圖22所示，將塑膠針筒接上不同內徑(8mm口徑/10mm口徑/25mm大口徑)之套筒，搭配不同外徑(3mm小口徑/6mm中口徑/13mm大口徑)之鐵氟龍管，製作不同口徑的5%「紅茶吸管」，不同口徑「紅茶吸管」外觀粗細一致，含水量極低，吸管質地偏硬，手持吸管不會自然垂落。
- 如圖23所示，以不同口徑「紅茶吸管」，進行手搖杯飲品封口膜戳入測試，其戳入過程影片之連續性攝圖，各種口徑「紅茶吸管」皆順利完成封口膜戳入測試，未來商品化之價值性極高。

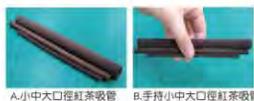


圖22. 不同口徑「紅茶吸管」成品之外觀

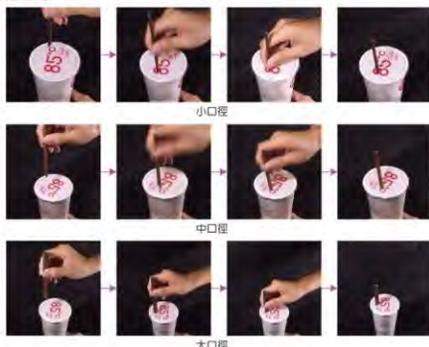


圖23. 不同口徑「紅茶吸管」手搖杯飲品封口膜戳入測試

- 如圖24所示，以大口徑「紅茶吸管」，進行波霸珍珠吸飲測試，其吸飲過程影片之連續性攝圖，大口徑「紅茶吸管」可輕易吸飲波霸珍珠，未來商品化之後，確實可解決吸飲波霸珍珠之難題。

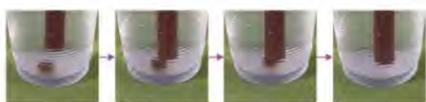


圖24. 大口徑「紅茶吸管」吸飲波霸珍珠之測試

實驗B3 耐高低溫之測試

- 「紅茶吸管」無論置入冰水或熱水中，經長時間多次吸飲後，吸管口皆不會收縮，管壁不會因吸飲之內壓產生皺縮，吸飲效果相當不錯，未來可應用在各種冷飲或熱飲之吸飲，其商品化之價值性大幅提升。
- 如圖25所示，「紅茶吸管」浸泡低溫冰水24小時後，未泡水部分管徑維持不變；泡水部分管徑微膨脹變大，吸管口結構依然完整，但質地較柔軟。
- 如圖26所示，「紅茶吸管」浸泡高溫熱水24小時後，未泡水部分管徑維持不變；泡水部分管徑微膨脹變大，吸管口結構依然完整，但質地較柔軟。



圖25. 「紅茶吸管」之耐低溫測試



圖26. 「紅茶吸管」之耐高溫測試

實驗B4 耐酸性之測試

- 「紅茶吸管」置入檸檬酸水溶液中，經長時間多次吸飲後，吸管口皆不會收縮，管壁不會因吸飲之內壓產生皺縮，吸飲效果相當不錯，頗具商品化之潛力，未來可應用在各種酸性飲料之吸飲。
- 如圖27所示，「紅茶吸管」浸泡檸檬酸水溶液24小時後，吸管外觀沒有明顯變化，吸管口結構完整，散發紅茶香氣，質地偏硬但具有柔軟性。

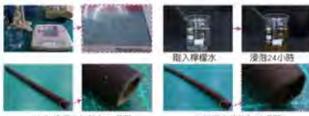


圖27. 「紅茶吸管」之耐酸性測試

實驗B5 貯藏性之測試

- 要完全阻絕微生物生長則須使食品水活性小於0.6，由實驗發現，製作完成的吸管其水活性約0.344，此水活性值遠小於0.6，證明「紅茶吸管」具有相當好的貯藏性，未包裝貯藏1週的吸管會隨著貯藏環境之相對濕度產生變化，若貯藏環境之相對濕度提高，則吸管之水活性值會隨之提高，恐怕會有微生物繁殖生長之潛在危險性，所以「紅茶吸管」還是包裝貯藏才能確保吸管之安全性。
- 如表3、圖28所示，剛製作完成的吸管 A_w 0.344 ± 0.020，當時乾燥箱內之相對濕度為36%，未包裝貯藏1週的吸管 A_w 約0.733 ± 0.003，當時空氣之相對濕度為74%。

製程	水活性	食品之水活性
內蓋組裝	0.344	0.344
一般組裝	0.344	0.344
一般組裝	0.344	0.344
封蓋組裝	0.344	0.344
貯藏1週	0.733	0.733
貯藏2週	0.733	0.733
貯藏3週	0.733	0.733
貯藏4週	0.733	0.733
貯藏5週	0.733	0.733
貯藏6週	0.733	0.733
貯藏7週	0.733	0.733
貯藏8週	0.733	0.733
貯藏9週	0.733	0.733
貯藏10週	0.733	0.733



水活性計



濕度計

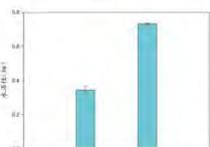


圖28. 紅茶吸管水活性之變化情形

表3. 「紅茶吸管」之水活性測試

種類	水活性(A _w)				標準差
	測試一	測試二	測試三	平均值	
剛製作完成	0.328	0.346	0.363	0.344	0.020
未包裝貯藏1週	0.718	0.734	0.729	0.733	0.003

實驗B6 腐敗性之測試

- 由本實驗結果發現，塑膠吸管、蔗渣吸管經歷4週腐敗性測試後，無論是有掩埋、無掩埋處理，其外觀仍然相當完整，沒有明顯腐敗現象；紅茶吸管、紙吸管經歷4週腐敗性測試後，無論是有掩埋、無掩埋處理，其外觀破損，而紅茶吸管更是嚴重變形，出現明顯腐敗現象，驗證「紅茶吸管」確實是一種優良的環保吸管。
- 如圖29所示，塑膠吸管、蔗渣吸管經歷4週腐敗性測試後，無論是有掩埋、無掩埋處理，其外觀仍然相當完整，沒有明顯腐敗現象，紅茶吸管、紙吸管經歷4週腐敗性測試後，無論是有掩埋、無掩埋處理，其外觀破損，而紅茶吸管更是嚴重變形，出現明顯腐敗現象。



圖29. 紅茶吸管腐敗性之變化情形 (a)蔗渣吸管、b)塑膠吸管、c)紅茶吸管、d)紙吸管

C、製程與配方之改良

實驗C1 成型機械之設計與製作

如圖30所示，本實驗組裝之擠出成型機械，其原理透過直流電源供應器提供指定電壓，控制馬達轉速，有效控制原料擠出與出料口移動的速度。調整進料馬達轉速可控制進料速度；調整移動馬達轉速可控制出料口移動速度，控制二者使出料速度維持穩定，擠壓出來的長條形海藻膠會粗細一致，非常筆直。



圖30. 擠出成型機械製作組裝的過程

如圖31所示，調整進料馬達轉速，可控制螺旋出料速度之快慢；調整移動馬達轉速，可控制移動裝置之快慢，移動裝置能控制出料口在滑軌上以直線左右移動。

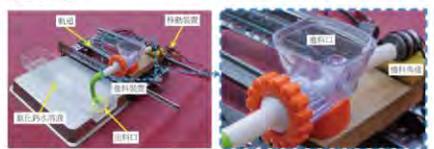


圖31. 本實驗自行組裝之擠出成型機械

實驗C2 成型機械之實際測試

- 成型機械之實際測試結果，控制進料馬達與移動馬達轉速可使出料速度維持穩定，擠壓出來的長條形海藻膠會粗細一致。加上進料裝置固定在滑軌上直線移動，所以由出料口擠壓出來的長條形海藻膠會非常筆直。
- 如圖32所示，藉由自製擠出成型機械，能製作出管徑粗細一致、而且筆直的「第三代海藻膠吸管」。
- 如圖32所示，藉由自製擠出成型機械，能製作出管徑粗細一致、而且筆直的「紅茶吸管」。



圖32. 使用自製擠出成型機械實際製作「第三代海藻膠吸管」與「紅茶吸管」

實驗C3 各種調味吸管的製作

- 由實驗結果發現，「綠茶吸管」、「咖啡吸管」、「檸檬吸管」經24小時乾燥處理後，三種吸管外觀粗細一致，質地硬度適中，且散發原料之香氣，具有商品化之潛力，未來「綠茶吸管」可用於吸飲綠茶系列飲品；「咖啡吸管」可用於吸飲咖啡系列飲品；「檸檬吸管」可用於吸飲水果系列飲品。
- 如圖33所示，「綠茶吸管」、「咖啡吸管」、「檸檬吸管」經24小時乾燥處理後，其含水量極低，質地偏硬，外觀粗細一致，手持吸管不會自然垂落。
- 三種吸管各有特殊香氣，「綠茶吸管」會飄散出綠茶香氣；「咖啡吸管」會飄散出咖啡香氣；「檸檬吸管」會飄散出檸檬香氣。



圖33. 綠茶/咖啡/檸檬調味吸管的成品

伍、具體貢獻

- 本研究研發出完全不需使用塑膠成分，真正易分解的環保吸管。
- 本研究活用分子料理中「晶球」之製作原理，研發出全新的成型模式來製作吸管。
- 本研究以海藻膠當作膠劑；食材粉末當作骨材，成功製作出具有實用價值的新型吸管，未來可應用在各種冷飲、熱飲及珍珠奶茶之吸飲，其商品化價值性甚高。

