

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

佳作

082901

吸管也能吃？環保又健康的吸管—豆渣可食吸管的製作

學校名稱：新北市新莊區中港國民小學

作者： 小五 高銘笙 小五 唐祥恩 小五 利宗翰 小四 馬順恩	指導老師： 羅玉慧 洪偉翔
---	---------------------

關鍵詞：可食吸管、豆渣

摘要

一幕吸管插入海龜報導，促使政府全面限制塑膠吸管，也引發我們想製作終極環保吸管的動機。用小麥、豆渣、油、膠、糖製作吸管，小麥及豆渣為主成分，發現淺烘焙豆渣能支撐結構，膠和糖為黏著劑使纖維緊密，油使麵團有延展性，而蜂蠟為防水塗料，此最佳比例下可常溫下耐用 5 小時，符合使用基準。與市售吸管比較實用性、環保性及營養性。豆渣吸管和市售吸管相比，有易戳膜、大口徑(可吸珍珠)、耐酸性、耐溫性等優點。環保性測試發現 1 豆渣吸管為所有吸管中分解速度最快 2 且較石頭紙吸管其燃燒殘餘物相比不影響綠豆生長。豆渣吸管富維他命 E，具抗氧化能力。而巧克力口味之豆渣吸管最受同學喜愛。因此我們做出了對環境友善、實用又健康的環保吸管。

壹、研究動機

2019 年國內曾為了減少塑膠使用量，限制飲料吸管的使用量，促使市面上推出環保吸管，如：甘蔗、紙吸管等。但相關文章顯示以聚乳酸(PLA)等成分生產吸管，即使吸管焚化或是掩埋，也未必對環境更有利。吸管插入海龜畫面的報導，促使我們想要製作環保吸管以維護海洋生態。我們學過「廚房裡的科學」、「能源對環境的影響」單元，想到若製作可食吸管，像是冰淇淋餅乾杯筒的概念，喝完飲料還能夠將吸管吃掉，就能夠完全減少環境汙染問題。

貳、研究目的

我們從冰淇淋餅乾杯筒發想，著手豆渣可食吸管的製作，並嘗試使用不同材料製成吸管。為了製作厚薄一致的吸管，我們使用 3D 列印設計模具。接著我們進一步測試各種添加物與塗料，以提升吸管的功能。豆渣吸管製成後進一步與市售吸管比較其實用性、環保性與營養。

- 一、測試吸管**成形材料**及塑形方式
- 二、設計並改造出合適的**吸管模具**
- 三、探討**主材料**製備吸管的防水性
- 四、探討**補強纖維**對吸管的防水性提升(不同種類纖維、豆渣烘焙程度、豆渣纖維和麵團比例)
- 五、探討**添加物**(油、膠、糖)對吸管的防水性提升
- 六、探討**塗料**對豆渣吸管特質的影響(耐溫性、耐水解、防腐效果)
- 七、比較不同濕度對豆渣吸管**保存**的影響
- 八、比較市售環保吸管與豆渣吸管的**耐溫時間**
- 九、比較市售環保吸管與豆渣吸管的**戳膜力道**
- 十、比較市售環保吸管與豆渣吸管的**耐酸性**
- 十一、比較市售環保吸管與豆渣吸管的**環保性** (土壤分解、鹽水分解、燃燒物對綠豆影響)
- 十二、探討大眾對豆渣吸管的喜好**口味**
- 十三、比較市售環保吸管與豆渣吸管的**抗氧化能力**

參、研究設備及器材

研究器材如下圖，溼度計測量土壤濕度，3D 列印機製作吸管模具，吸管滴漏器測試吸管中間防水性，吸管戳膜器測試吸管戳膜力道等

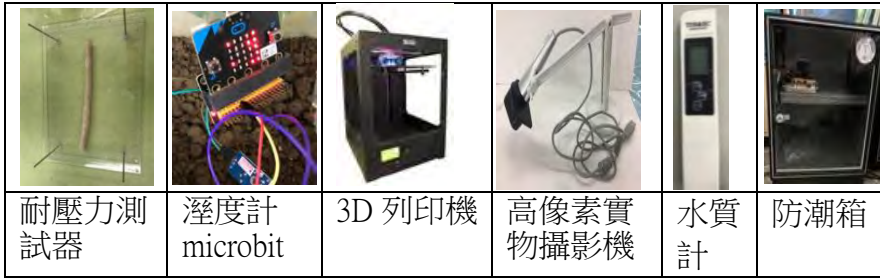


圖 1 吸管戳膜器、滴漏器

肆、流程圖

我們測試不同吸管材料，並自製吸管模具來製作厚薄一致的吸管。透過測試找出最佳主材料、纖維、添加物及防水塗料。製成後與市售吸管比較實用性、環保性、營養性。以下是流程圖：

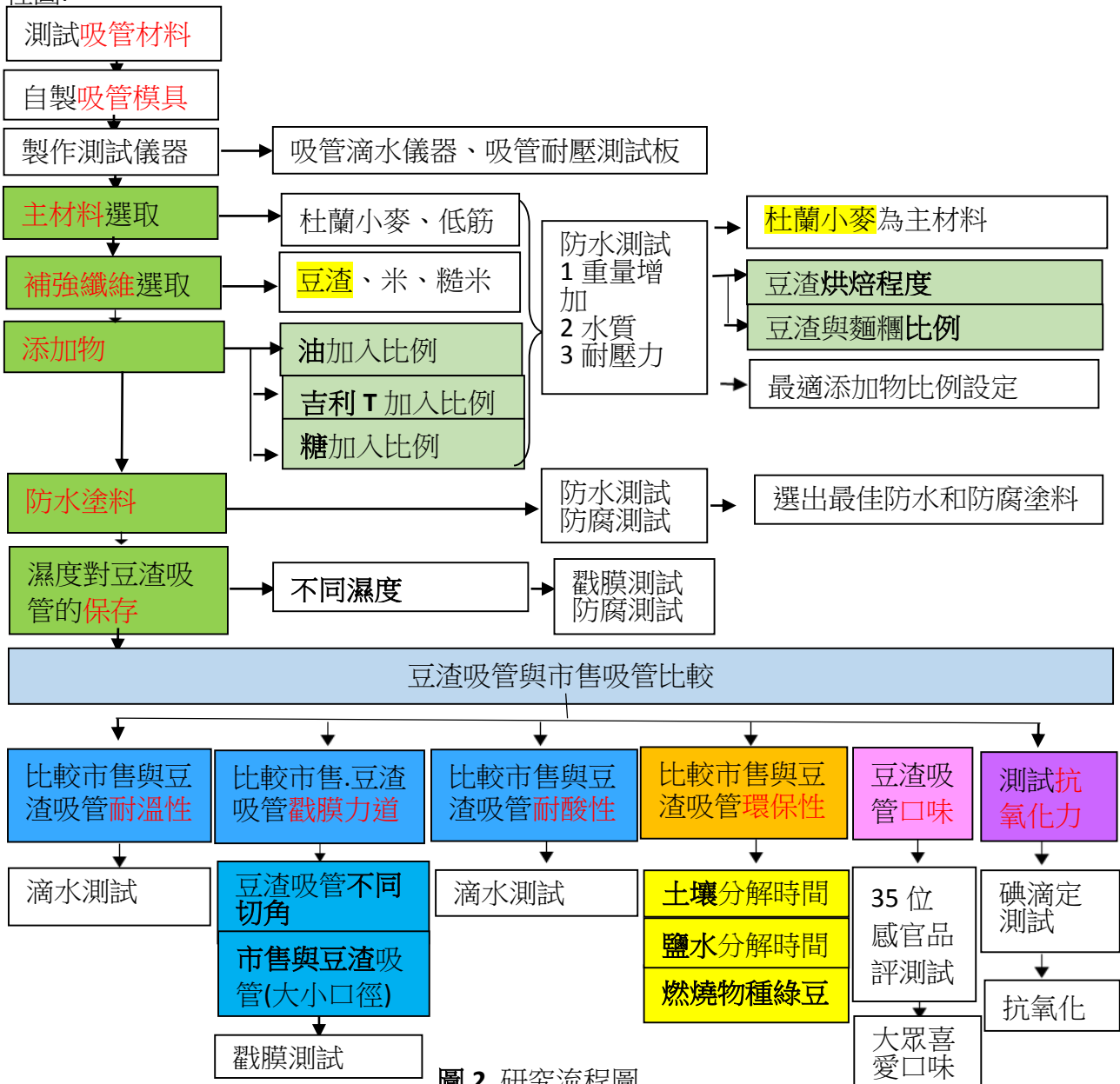


圖 2 研究流程圖

伍、文獻探討與名詞釋義

一、文獻探討

(一)可食餐具:關於可食餐具或吸管的研究,印度研究人員曾以米和麵粉為主材料做成可食餐具,這些米麵類餐具遇熱和碰水的安定性,接觸時間可以維持 10 分鐘不軟化。冰島也有以紅藻製成可分解水瓶,美國方面則研發以海藻製備一次性吸管,並加入維生素補充營養。不同於餐具需求要件,可食吸管需要長期泡水,所以需要具備較佳的防水性;另外,吸管為中空管狀,塑形較為困難,需要有支撐結構的材質。

(二)市售環保吸管:市售環保吸管強調材質天然容易分解,如麥稈吸管、竹吸管、石頭紙吸管、紙吸管與甘蔗吸管。但是經相關報導顯示甘蔗吸管使用 PLA,分解條件不易且分解為塑膠小顆粒;石頭紙吸管外層有 PE 膜、麥稈外層塗漆以保護麥稈不易碎,因此需進一步實驗測試分解效果。圖 3 為各類環保吸管的照片,環保吸管具不同特性如下表:

表 1 市售環保吸管特性分析表

	麥稈吸管	竹吸管	石頭紙吸管	紙吸管	甘蔗吸管
特性	可分解	可分解	防水佳	可分解	防水佳
缺點	易碎、口徑小 無法吸珍珠	口徑小無法吸珍珠、 受潮難清洗	外層有 PE 膜、易軟化	易軟化、有 紙捲味	52°C 易軟化、 需特殊回收



圖 3 紙 石頭紙 甘蔗 塑膠 麥稈 竹吸管

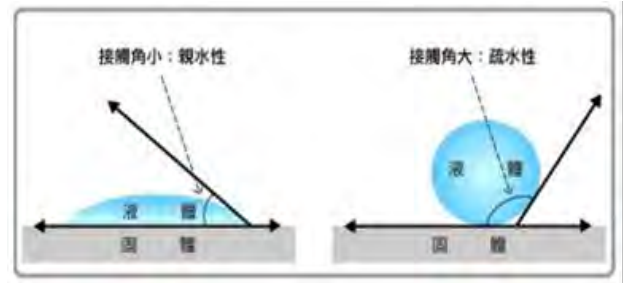


圖 4 親水性與疏水性與物體表面接觸角

二、名詞釋義

(一)親水性與疏水性:水與物體接觸時,因為物體的表面特性,會與水產生不同程度的吸附,而分為親水性及疏水性兩種表現。當水接觸到親水性表面,水分子受到吸引來迅速在物質表面擴散,進而進入物質孔隙,降低材料強度。因此與物質表面的夾角較小,即小於 90 度。而疏水性表面與水之間作用力小,水分子的表面張力便會將水內聚而形成水滴,此時水與固體的接觸角變大(大於 90 度),且疏水性越大接觸角越大,如圖 4 所示。

(二)間接碘滴定法:抗氧化測定方法,將具有抗氧化力物質,滴入碘液和澱粉指示劑的混合溶液中,碘離子與待測抗氧化物質反應形成碘分子,達滴定終點時溶液顏色會由藍色變透明。

陸、主要測試方法

一、吸管防水性測量方式

為了測量吸管泡水後的防水性，設計了三個測量方式，第一，計算吸管泡水後重量增加情形；第二，水質計檢驗吸管泡水後的水質；第三，以耐壓力測試版，測量吸管泡水後的軟硬度

(一)吸管吸水後重量增加計算方式

1.目的:計算吸管泡水後增加重量百分比，以了解吸管吸水的情形。**數據越小，表示防水性佳**，吸管不易膨脹裂開。

2.方式

(1)將吸管泡水前先秤重紀錄原始重量，吸管泡水20分鐘後，(在塗料實驗吸管泡水20分鐘差異不大，將泡水時間提升為40分鐘)，再秤出泡水後重量，相減則為增加重量。

(2)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。

(3)重量增加百分比= $\frac{\text{增加重量}}{\text{原本重量}} \times 100\%$

(二)水質計的測量

1.目的:分析吸管泡水後的水質情況。**數值越低，防水性佳**，水質乾淨表示吸管溶出的物質少

2.水質計原理

水質計透過測量水中TDS值(水中可溶性溶液中總固體溶解量，單位為ppm)，以了解水質澄清晰度。數值越低，表示水中溶質越少，數值越高表示溶質較多，吸管水解越嚴重。

3.方式:吸管泡水後，將水質計放至水位線，測得TDS值(ppm)

(三)吸管耐壓力測試器

1.目的:測試吸管泡水後的軟硬度。**耐壓力數值越高，表示防水性佳**、吸管越硬。將吸管放置在板中，上面放置砝碼，當吸管壓碎時，計算砝碼重量。

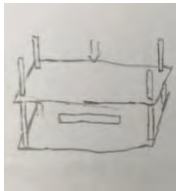




2.方式

(1)用雷切機將壓克力板切四個洞，下層壓克力板固定支柱，上層壓克力板穿過支柱可以活動

(2)將吸管放置版中間，上方放置砝碼秤重

(3)當吸管碎裂時，紀錄壓碎砝碼重量，為吸管耐壓力克數

表2 吸管耐壓力測試器設計流程

				
設計草圖	繪製電腦設計圖	以雷切機切割	吸管放置中間	上方放置砝碼至壓碎吸管，即為耐壓力

二、micro bit 土壤濕度計

(一)測量原理: micro bit 是透過測量土壤的電阻，來推斷土壤濕度，水分越多電阻越弱。測量的數據越大越乾燥，數據越小越潮濕。透過土壤偵測器連接 micro bit 讀取引腳的電壓。這個電壓會返回一個 0(無電流)到 1023(最大電流)之間的值，在螢幕上呈現數值。

(二)方式:將土壤濕度感測棒的一端連接micro bit，另一端插到測量物中讀取濕度數值。

三、自製吸管滴漏器

模仿喝飲料時，水流由吸管中間經過，為了測量吸管中間吸水情形，設計吸管滴漏器。

(一)目的:以止水閥控制水流速度，讓700mL的水流能夠從吸管中間通過，模仿用吸管吸取飲料，了解吸管在喝完700mL飲料後，吸管結構是否仍堅固。

(二)方式

- 1.將止水閥黏接在瓶蓋上，並以量角器測量開關45度，以固定水流流量5分鐘流完
- 2.準備支架放置水瓶，並將吸管固定在鐵網上
- 3.將700mL水流經吸管中間，水流完畢後，計算吸管重量並進行耐壓力測試

表3吸管滴漏器和吸管戳膜器製作過程

吸管滴漏器			吸管戳膜器		
					
設計圖	將瓶蓋裝上止水閥，並以量角器測量開關45°控制速度	用鐵網將吸管架在儀器上	放置砝碼	將吸管固定在鐵網架上	由高處落下，計算戳膜力道

四、吸管戳膜器

為測量吸管戳膜力道，我們將吸管固定在鐵網架上，並在積木架放置砝碼，計算戳膜力道。

柒、研究過程

一、測試吸管成形材料及塑形方式

我們測試吸管成形材料，發現餅乾吸管支撐力夠、防水性差。我們加入果凍，結果防水性仍差。果凍吸管防水性佳、缺乏支撐力。我們加入纖維想提升支撐力，結果影響果凍凝固，使吸管碎裂嚴重。米飯吸管飯粒之間有縫隙難以吸水，我們改成糯米吸管增加飯粒間黏合，但是吸管仍有縫隙且不平整。糖吸管冷熱方式難以成型。因此，我們製作吸管以**餅乾吸管**為支撐主體，外面塗上**果凍**增加防水性。吸管須建立**標準化塑形方式**，使吸管管壁厚薄一致。

表 4 不同吸管成形材料及塑形方式比較表

	果凍吸管			餅乾吸管			其他材料		
吸管塑形	粗吸管内放入細吸管，形成空隙灌入果凍 			鐵棒將麵團捲管狀 			鐵棒裹糖再放烤箱 		米飯壓平用鐵棒捲 
不同材料	吉利 T (植物膠)	蒟蒻	吉利丁 (動物膠)	低筋麵粉	杜蘭小麥	米	糖吸管	米飯	糙米
									
優點	防水佳			支撐力佳			無		吸管較硬
缺點	缺乏支撐力、潮濕不易保存 吉利 T 室溫下會融化			防水差			碎裂		飯粒間有裂縫，不能吸水
修正	加入豆渣纖維			加入吉利 T			裹糖放冰箱		糯米飯增黏性
結果	纖維破壞果凍凝固，裂開 			防水性仍差 			糖無法硬化 		仍有縫隙 
結論	1.以 餅乾吸管 為支撐主體，外面塗上 果凍 增加防水性，放入烤箱烤，增加吸管保存 2.吸管管壁粗細不一，難以測量材料防水性，須建立 標準化吸管塑形方式 ，因此進一步研究吸管模具。								

二、設計並改造出合適的吸管模具

為了使研究數據穩定，製作厚薄相同的吸管，我們設計**第一版模具**，我們模仿通心麵製麵機模具，手繪設計圖再用電腦繪製 3D 列印。但是因為模具有**切斷點**，麵團吸管雖然能夠黏合，但是放入烤箱烤後，接縫處就會裂開。我們將吸管模具管壁加寬(由 1.5mm 加厚至 2mm)，想要增加管壁黏合；並將吸管管壁黏合處加長(由 1.5mm 加厚至 2mm)，都無法解決切斷點問題。於是進行**第二版模具**設計，模具設計將長棒由擠麵機內穿出洞外，使吸管**沒有切斷點**。結果出現長棒晃動無法對準中心問題，使麵團擠在洞口。我們加厚固定長棒的模具(由 1cm 加厚至 3cm)，增加擠麵機轉動時長棒的穩定性，使長棒對準出口。而麵團擠出時，麵團會黏在長棒上，我們將長鐵棒鋸短，使吸管成型後即脫離短棒，經過多次修正終於製作成功吸管模具。

表5 吸管模具第一版和第二版比較表

	吸管模具第一版	吸管模具第二版
設計	模仿空心麵擠麵機模具，印製 3D 列印模具	由擠麵機內放置長棒穿過麵糰，再由模具洞口穿出
設計圖		
照片		
手稿設計圖		
模具		
問題	模具有切斷點，經過模具中間黏合，麵團吸管可以成型，但是烤完會斷裂	擠麵機晃動，鐵棒無法對準洞口中心點，吸管管壁不均勻，使麵糰在出口擠成一糰
修正	1. 吸管管徑加寬，提升管壁黏合 	1. 加厚模具，增加轉動穩定 
	2. 前方黏合處加長，提升吸管管壁黏合。 	2. 將長棒鋸短，使麵糰不易黏住長棒 

依據力學原理改良模具問題

我們利用力學原理改良模具問題 1. 增加握把長度，使施力臂長較省力。擠麵機模具原本有 6 個麵條出口，因為麵團會黏住改為 1 個出口，結果使擠麵機壓力大不好轉動，因此進行修正。2. 轉動擠麵機時，鐵棒固定模具會晃動，而無法對準洞口，因此加厚模具增加摩擦力。

表6 依據力學原理改良模具問題

增長握把長度，增長施力臂，較省力。	加厚模具增加摩擦力，減少晃動對準洞口
	

三、探討主材料製備吸管的防水性

我們測試較佳吸管塑形材料，麵團能夠質地堅硬塑形成中空管狀。

(一)實驗方法 操作變因:不同主材料(低筋麵粉、杜蘭小麥) 控制變因:吸管泡水時間

1 將不同主材料-低筋麵粉、杜蘭小麥粉(各 40 克)，分別加水製成麵團

2 經吸管模具擠出吸管，放入烤箱烘烤 30 分鐘

(3)測量整隻吸管泡水後，以及吸管中間滴水後的防水性

實驗 1 吸管中間防水性:將吸管放置在吸管滴漏器，吸管中間流過 700mL 水後，水流 5 分鐘後，進行耐壓力測試。重複上述步驟，測量三次求平均值。

實驗 2 整隻吸管防水性:吸管泡在水中 20 分鐘後，進行耐壓力測試、水質測試並計算吸管泡水後重量增加平均值。重複上述步驟，測量三次求平均值。

表 7 主材料製備吸管防水性實驗流程

					
製成吸管並放烤箱烤乾	實驗一 吸管中間滴漏	實驗二 吸管泡水	測量吸管泡水後重量增加	測量吸管泡水後水質	測試耐壓力

(二)實驗結果



圖 5 不同主材料**吸管中間耐壓力**

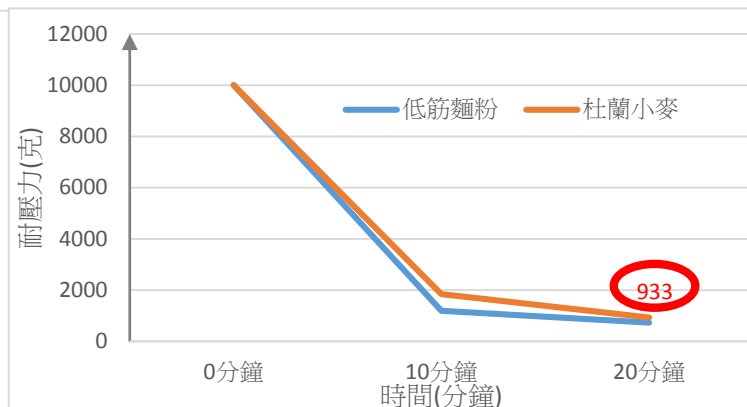


圖 6 不同主材料**整隻吸管耐壓力**

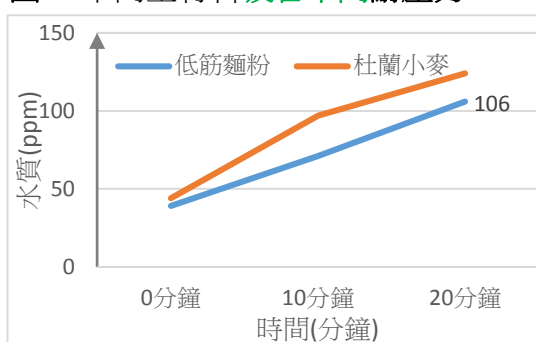


圖 7 不同主材料的水質變化

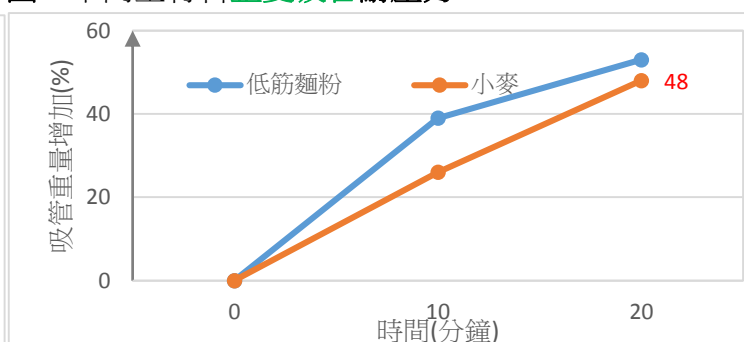


圖 8 不同主材料吸管的重量增加

分析:杜蘭小麥防水佳耐壓力高 7266 克、重量增加少(48%)。兩種吸管中間耐用吸 700mL 水

四、探討補強纖維對吸管的防水性提升

(一)探討不同種類纖維對吸管防水性影響

杜蘭小麥能夠塑形成為吸管，但是防水時間過短，我們試著加入纖維探討能否提升防水性？

1.實驗方法

操作變因:不同種類纖維-糙米、米、豆渣 控制變因:吸管泡水時間

- (1)將不同種類纖維-糙米、米、豆渣(5 克)，加入杜蘭小麥(40 克)揉成麵團
- (2)經吸管模具擠出吸管，放入烤箱烘烤 30 分鐘
- (3)實驗一:測量吸管中間滴水 5 分鐘後防水性。實驗二:測量整隻吸管泡水 20 分鐘後防水性測試。防水性測試包括耐壓力測試、水質測試並計算吸管泡水後重量增加平均值。

2.實驗結果

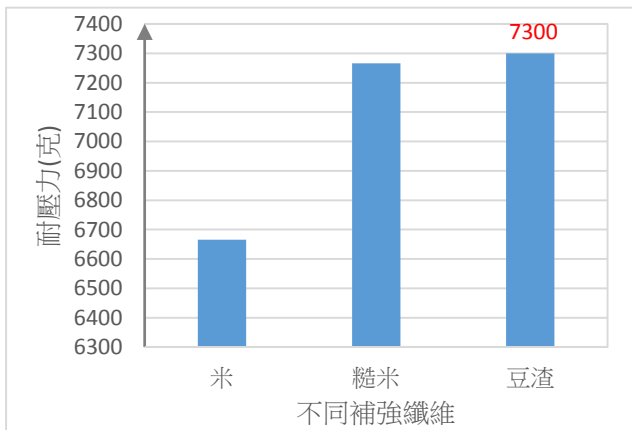


圖 9 不同種類纖維吸管中間耐壓力

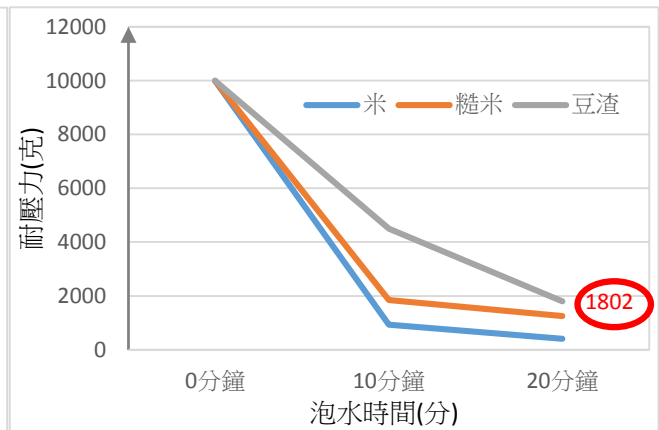


圖 10 不同整類纖維整隻吸管的耐壓力

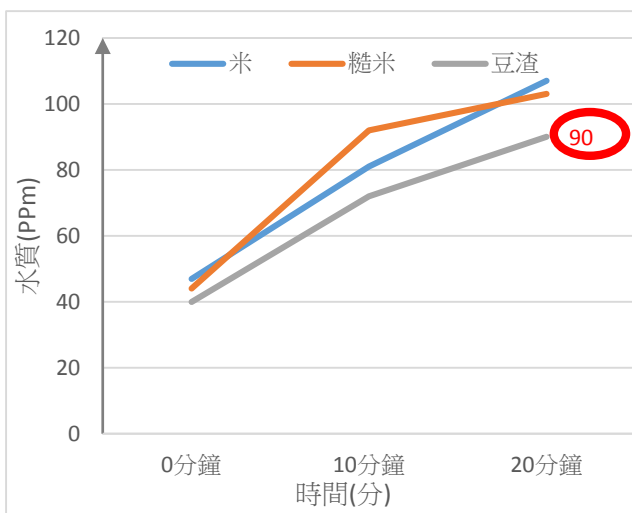


圖 11 不同種類纖維吸管的水質變化

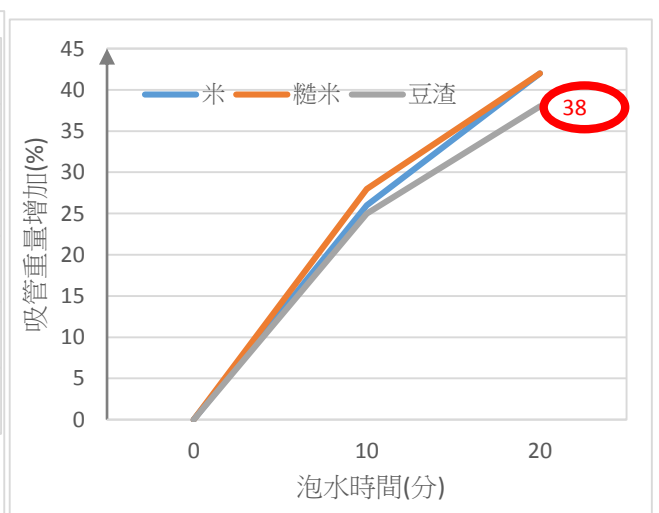


圖 12 不同整類纖維吸管重量增加情形

分析:豆渣吸管的防水性最佳，其泡水後的耐壓力高(7300 克)、重量增加最少(38%)、水質最澄清(90ppm)。其次為糙米吸管。不同吸管中間都能夠耐用吸取 700mL 水。

(二)豆渣烘焙程度對豆渣吸管防水性影響

豆渣使吸管結構佳而提升防水性，而豆渣不同的烘焙程度是否對吸管防水性有影響呢?我們進一步測試豆渣不同烘焙程度，對吸管防水性影響。

1.實驗方法

操作變因:豆渣不同烘焙程度 **控制變因:**吸管泡水 20 分鐘、麵團 40 克、豆渣 5 克

(1)將豆渣過篩後，放烤箱 100°C 烤，分別為深烘焙(15 分鐘)、中烘焙(10 分鐘)、淺烘焙(5 分鐘)和沒有烘焙。

(2)將 5 克豆渣加入麵糰，製成吸管後，再放入烤箱烘烤 30 分鐘

(3) 吸管泡水 20 分鐘後，進行耐壓力測試、水質測試，並計算吸管泡水後重量增加

(4) 重複上述步驟，測量三次求平均值。

表 8 豆渣烘焙程度對豆渣吸管防水性實驗步驟

				
將豆渣過篩	將豆渣焙炒成不同程度	測量吸管泡水後重量增加情形	測量吸管泡水後的水質	測試耐壓力

2.實驗結果

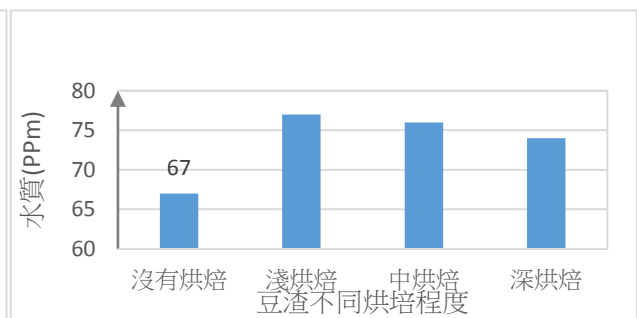
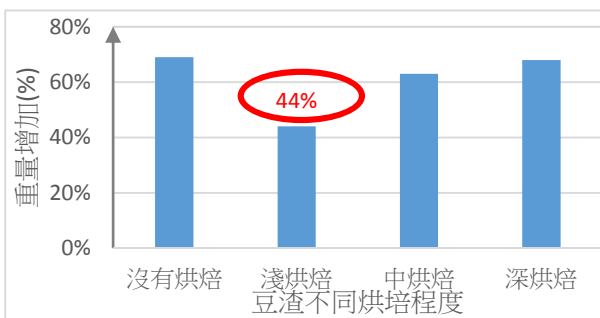


圖 13 豆渣不同烘焙程度吸管的重量增加

圖 14 豆渣不同烘焙程度吸管的水質變化

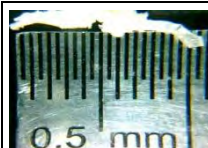
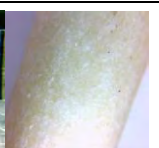




圖 15 豆渣不同烘焙程度吸管的耐壓力

分析:淺烘培豆渣(microbit 濕度值 800)防水效果佳，深烘培豆渣的防水效果差。淺烘培豆渣耐壓力高(2400 克)、重量增加少(44%)。

我們想了解為什麼淺烘焙豆渣的效果佳?我們以高像素攝影機觀察豆渣纖維，並測量長度。

表 9 不同烘焙程度的豆渣纖維長度

			
沒有烘焙纖維 1cm	淺烘焙纖維 0.9cm	中烘焙纖維 0.4cm	深烘焙纖維 0.2cm

結論:淺烘焙和沒有烘焙的豆渣纖維細長(0.9cm~1cm)，成細絲狀，較能和麵糰交織成吸管結構；深烘焙使豆渣焦化(0.2cm)，成粉末狀。

(三)豆渣纖維和麵團比例對豆渣吸管的防水性影響

淺烘焙豆渣使吸管結構佳，又加入多少豆渣纖維是最適當的呢?我們進一步探討豆渣纖維與麵糰的比例。

1.實驗方法

操作變因:豆渣纖維和麵糰比例

控制變因:吸管泡水 20 分鐘、淺烘焙豆渣

- (1)將麵糰(40 克) 加入不同比例淺烘焙豆渣，分別為 5、10、15、20、25 克豆渣。
- (2)經吸管模具擠出吸管，放入烤箱烘烤 30 分鐘。
- (3)吸管泡水 20 分鐘後，進行耐壓力測試、水質測試，並計算吸管泡水後重量增加。
- (4)重複上述步驟，測量三次求平均值。

2.實驗結果

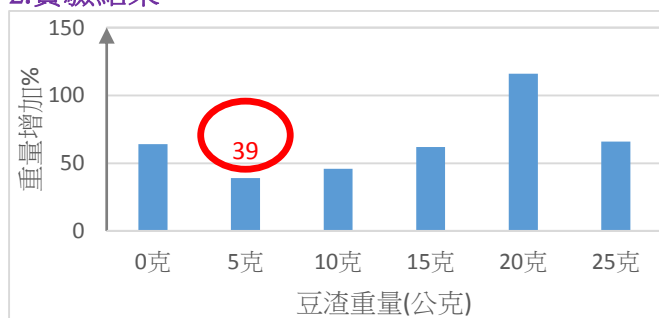


圖 16 不同比例豆渣吸管的重量增加情形

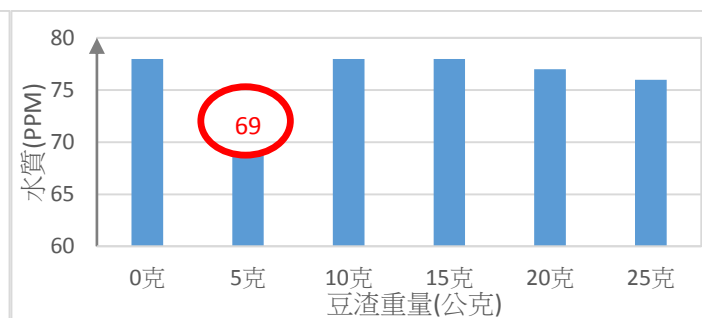


圖 17 不同比例豆渣吸管的水質變化

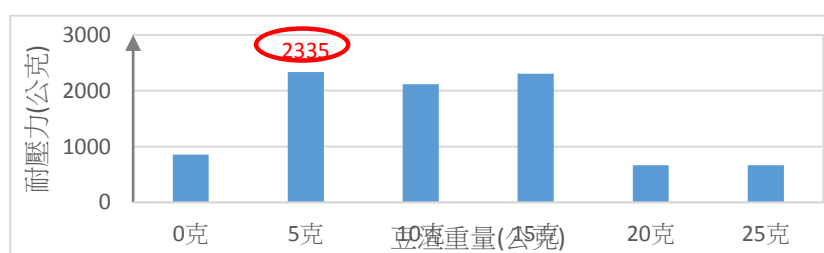


圖 18 不同比例豆渣吸管的耐壓力

分析:麵團和豆渣比例 40:5 (豆渣 5 克)的防水性佳，其重量增加最少、耐壓力高、水質澄清。

五、探討添加物對吸管的防水性提升

(一)探討油脂對豆渣吸管結構的防水性影響

加入豆渣纖維之後，麵團變得較硬、容易裂開，吸管較難塑形，探討加入油適當的比例，使麵團柔軟不易裂開，以提升防水性。

1. 實驗步驟

操作變因: 豆渣麵團加入不同比例的油 0 克、2 克、4 克、6 克

控制變因: 麵團:淺烘焙豆渣 =40: 5、吸管泡水時間 20 分鐘

(1)將豆渣麵糰(40 克)加入不同比例的油 0 克、2 克、4 克、6 克。

(2)經吸管模具擠出吸管，放入烤箱烘烤 30 分鐘。

(3) 吸管泡水 20 分鐘後，進行耐壓力測試、水質測試，並計算吸管泡水後重量增加。

(4) 重複上述步驟，測量三次求平均值。

2.實驗結果

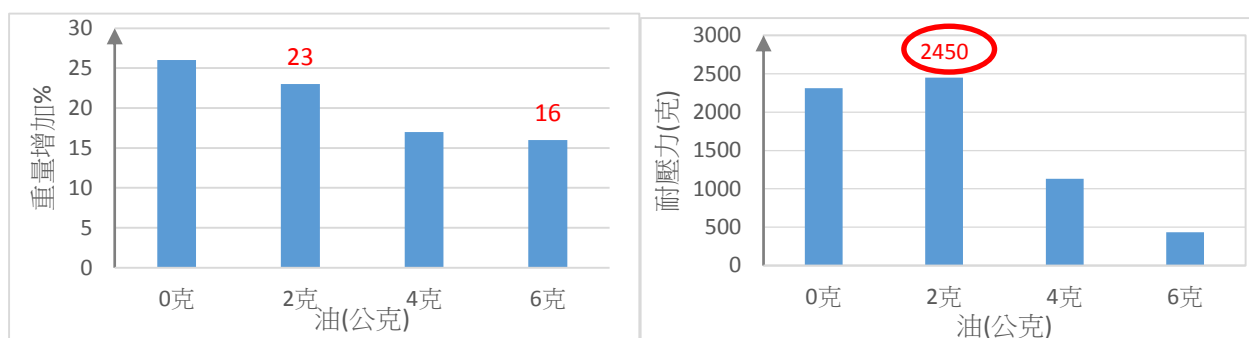


圖 19 不同比例油製成吸管的重量增加情形 圖 20 不同比例油製成吸管的耐壓力

分析: 麵團和油比例 40:2 (油 2 克)的防水性佳，其耐壓力最高。油脂的疏水性限制麵團吸水，吸管重量增加少。但是油的比​​例越高(油>2 克)，吸管也越軟，因此我們選擇油 2 克防水性最佳。

(二) 探討植物膠(吉利 T)對豆渣吸管的防水性影響

較多豆渣纖維可以提升結構，但過多纖維會造成結構鬆散開，因為麵團無法黏合過多纖維。因此，探討加入膠能否提升黏合度。

1.實驗步驟

操作變因:豆渣麵團加入不同比例的吉利 T (1 克、2 克、3 克、4 克、5 克、6 克)

控制變因: 麵團:淺烘焙豆渣:油 =40: 5: 2、吸管泡水時間 20 分鐘

- (1)將豆渣麵糰(40 克)加入不同克數的吉利 T (1 克、2 克、3 克、4 克、5 克、6 克)。
- (2)經吸管模具擠出吸管，放入烤箱烘烤 30 分鐘
- (3)吸管泡水 20 分鐘後，進行耐壓力測試、水質測試，並計算吸管泡水後重量增加
- (4) 重複上述步驟，測量三次求平均值。

2.實驗結果

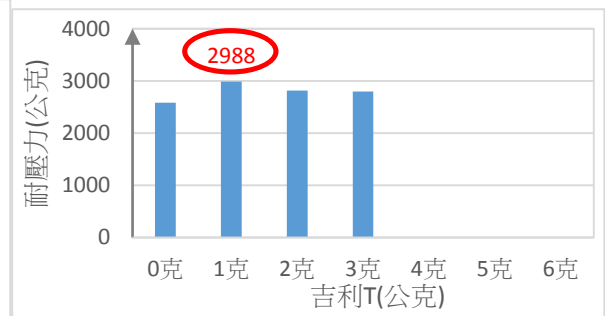
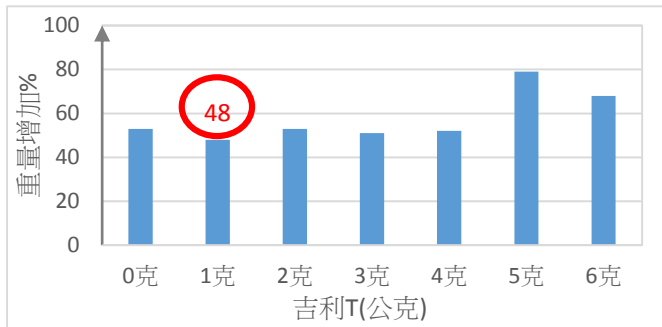


圖 21 不同比例吉利 T 製成吸管重量增加情形 圖 22 不同比例吉利 T 製成吸管的耐壓力

分析:麵團和吉利 T 比例 40:1(吉利 T 1 克)的防水性佳，其重量增加少、耐壓力最高。而吉利 T 太多，容易裂開影響吸管結構。

(三) 探討糖對豆渣吸管的防水性影響

加入糖除了可以增添風味，糖也有黏性是否能夠提升防水性，進一步探討。

1.實驗步驟

操作變因:豆渣麵團加入不同比例的糖(0 克、1 克、2 克、3 克、4 克、5 克)

控制變因: 麵團:淺烘焙豆渣:油:吉利 T =40: 5: 2:1、吸管泡水時間 20 分鐘

- (1)將豆渣麵糰(40 克)加入不同比例的糖(0 克、1 克、2 克、3 克、4 克、5 克)。
- (2)經吸管模具擠出吸管，放入烤箱烘烤 30 分鐘
- (3)吸管泡水 20 分鐘後，進行耐壓力測試、水質測試，並計算吸管泡水後重量增加

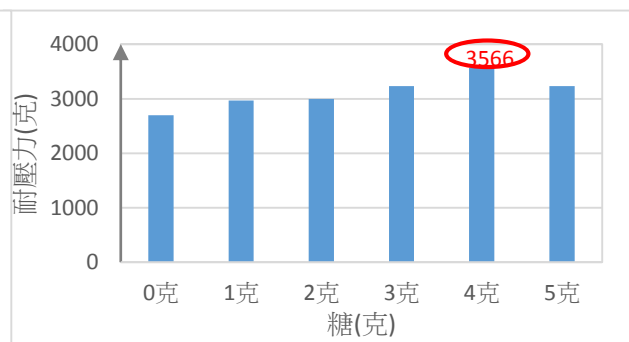
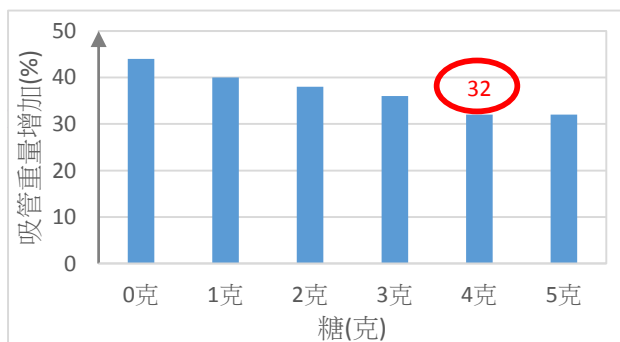


圖 23 不同比例糖製成吸管重量增加情形 圖 24 不同比例糖製成吸管的耐壓力

分析:糖與麵糰比例為 40:4 時(糖 4 克)防水性佳，其耐壓力高、重量增加少。

六、探討塗料對豆渣吸管特質的影響

再加入吉利 T 的過程，發現吉利 T 除了有黏著劑的功能，果凍也較防水，進一步探討將防水塗料塗在吸管外層對提升耐用度成效？

(一) 探討塗料對豆渣吸管耐溫的影響

實驗前測試，吸管塗料使防水性提升，泡水 20 分鐘測試吸管結構，與沒泡水結果差異不大。為了比較不同塗料防水性，因此將吸管泡水時間提高為 40 分鐘，以評估塗料功能。

1 實驗步驟

操作變因: 吸管外部塗上不同塗料「吉利丁(動物膠)、吉利 T(植物膠)、巧克力、蜂蠟」

控制條件: 不同溫度 0°C、20°C、40°C 下，吸管泡水 40 分鐘後比較防水性

(1) 將豆渣吸管外部塗上「吉利丁、吉利 T、巧克力、蜂蠟」不同塗料。

(2) 將吸管放入不同溫度 0°C、20°C、40°C 水中 40 分鐘後，進行耐壓力測試、水質測試，並計算吸管泡水後重量增加

圖(3) 重複上述步驟，測量三次求平均值。

表 10 不同塗料對豆渣吸管耐溫實驗步驟

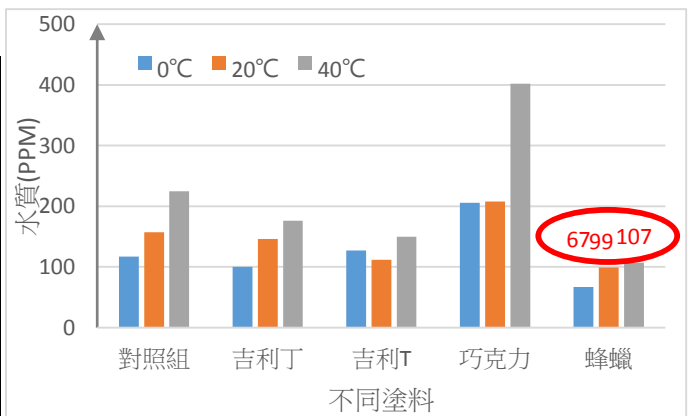
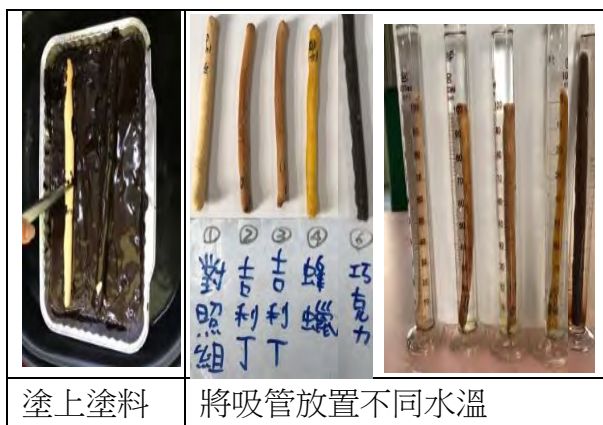


圖 25 不同塗料吸管的耐溫性之水質變化

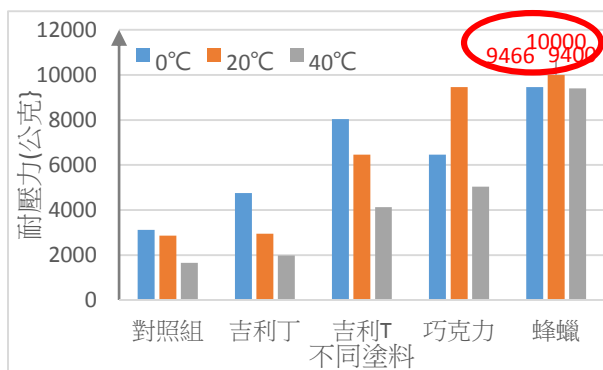


圖 26 不同塗料吸管的耐溫性之耐壓力

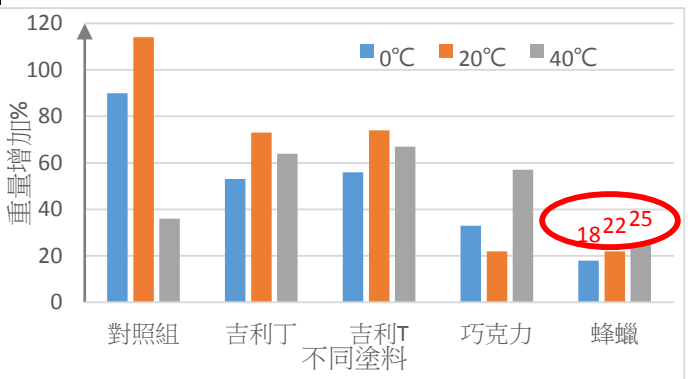


圖 27 不同塗料吸管的耐溫性之重量增加情形

分析: 蜂蠟的耐溫性佳。吸管 40°C 時的防水性變差，高溫降低吸管防水性。巧克力水質差。

(二)探討塗料對豆渣吸管的耐水解的影響

不同塗料在常溫和低溫下效果佳，進一步探討在常溫下，吸管能有多長使用時間？

1 實驗步驟

操作變因: 不同塗料「吉利丁(動物膠)、吉利 T(植物膠)、巧克力、蜂蠟」

控制條件:常溫 20°C 下，吸管泡水 40 分鐘後比較防水性

- (1)將豆渣吸管塗上「吉利丁、吉利 T、巧克力、蜂蠟」等不同的塗料。
- (2) 每半小時記錄吸管有無裂開，紀錄吸管裂開時間。
- (3) 重複上述步驟，測量三次求平均值。

2.實驗結果

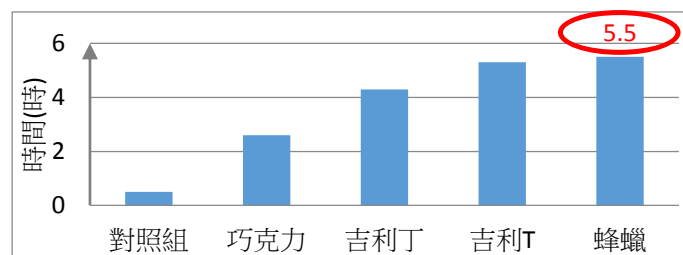


圖 28 不同塗料吸管的耐水解時間

分析:蜂蠟的防水時間最長 5.5 小時，其次吉利 T、吉利丁(4~5 小時)、對照組(0.5 小時)。

(三)探討防水塗料的防腐效果

塗料具有良好的防水效果，導因為隔絕水氣的功能。為瞭解是否也能夠幫助吸管保存，提升食品的儲藏安全性，我們進一步測試不同塗料的防腐效果。



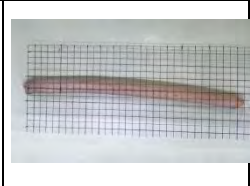

1 實驗步驟

操作變因:不同塗料「吉利丁(動物膠)、吉利 T(植物膠)、巧克力、蜂蠟」

控制條件:每天噴水 5mL

- (1)豆渣吸管塗上不同的塗料「吉利丁、吉利 T、巧克力、蜂蠟」，以及未塗料作為對照組。
- (2)每天噴水5mL，放入密封袋置放。每天以透明百格紙計算長黴面積。
- (3)重複上述步驟，測量三次求平均值。

表 11 不同塗料防腐效果實驗步驟

			
取不同塗料吸管	噴 5c.c 水，放密封袋	以透明百格紙計算長霉面積	對照組 吉利丁 吉利丁 巧克力 蜂蠟

2. 實驗結果

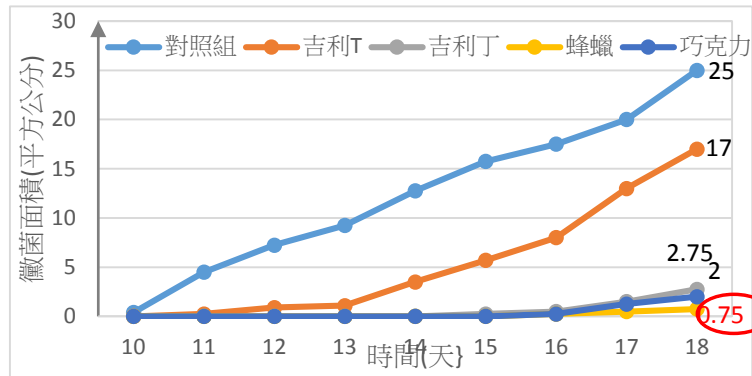






圖29 不同塗料吸管的黴菌生長面積

分析:蜂蠟黴菌面積最小，防腐佳，其次為巧克力、吉利丁、吉利T，對照組發霉嚴重。

我們進一步分析為什麼蜂蠟和巧克力塗料防水佳，進一步分析為什麼蜂蠟和巧克力塗料較佳防水性是否為疏水性較明顯所致，實驗將0.1mL水滴在塗料表面，以光學顯微鏡拍攝水珠，並計算照片中水珠與固體之間的接觸角。

表12 水珠與不同塗料固體接觸角

			
黃蠟 104°	巧克力 75°	吉利T 50°	吉利丁 40°

分析:水珠與蜂蠟固體接觸角最大為疏水性材料，吉利丁和吉利T接觸角小為親水性材料。

七、比較不同濕度對豆渣吸管保存的影響


我們想了解豆渣吸管在不同濕度保存情形，我們測得天氣連續下雨時的濕度(80%RH)、晴天時濕度(60%RH)、在冷氣房濕度(40%RH)，並以防潮箱設定濕度模擬不同氣候。

操作變因:不同濕度(40、60、80%RH) 控制變因:豆渣吸管放置在固定濕度的防潮箱裡

(一)實驗步驟

- (1) 將豆渣吸管放置在固定濕度的三個防潮箱裡，分別為濕度(40、60、80%RH)
- (2) 測試一:每隔 7 天測試豆渣吸管戳膜力道(克數)，測試吸管有無變軟。
- (3) 測試二:每隔 7 天測量豆渣吸管發霉面積，測試吸管保存情形。

表 13 不同濕度對豆渣吸管保存之實驗步驟

		
放不同濕度防潮箱	測試一:測試戳膜力道	測試二:測量發霉面積

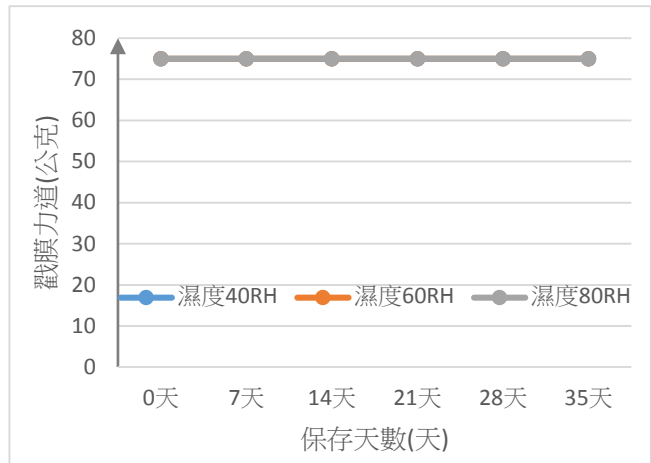
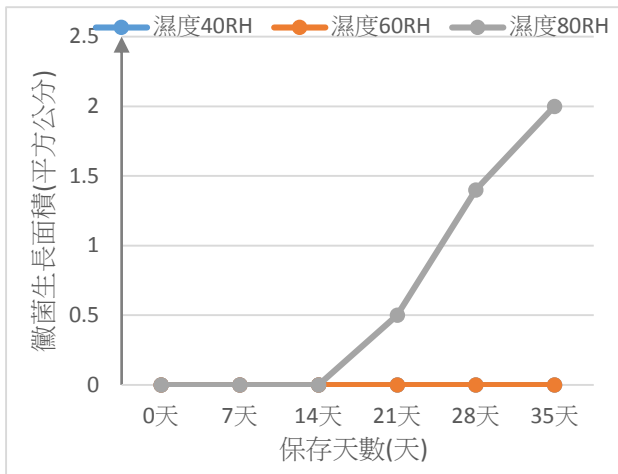


圖 30 不同濕度豆渣吸管發霉情形

圖 31 不同濕度豆渣吸管戳膜力道

分析:豆渣吸管在濕度 80%(RH)的環境下，第 21 天開始發霉。在濕度 40%、60%(RH)環境下 35 天未發霉。在不同濕度下 35 天後，豆渣吸管戳膜力道一樣，表示吸管未軟化。

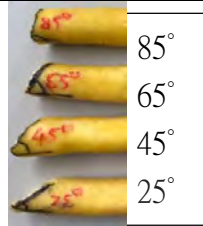


八、比較市售環保吸管與豆渣吸管的戳膜力道

(一)比較豆渣吸管不同切角對戳膜力道影響

1.實驗步驟

- (1)將不同切角(25°、45°、65°、85°)的豆渣吸管放置戳膜器 12cm 處落下戳膜，紀錄砝碼重量。
- (2)重複上述步驟，測量三次吸管戳膜力道求平均值。

表 14 不同切角對戳膜力道實驗步驟

		
不同角度的豆渣吸管	吸管戳膜器	戳膜砝碼重

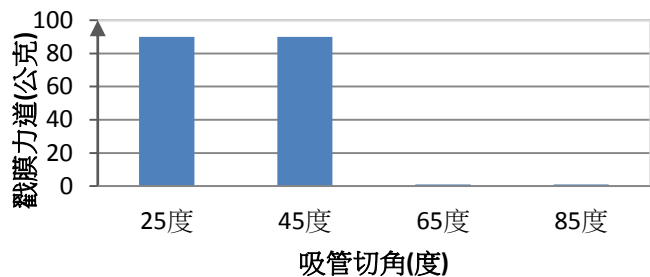


圖 32 豆渣吸管不同切角對戳膜力道影響

分析:豆渣吸管切角 45°戳膜最佳。切角 25°與 45°的戳膜力道一樣，切角大於 45°無法戳膜。但是切角 25°易碎，而 45°切面小，能喝到底部飲料，因此選擇切角 45°。

(二)比較市售吸管與豆渣吸管的戳膜力道

為了使用吸管喝珍珠，因此我們製作大口徑吸管，並且與小口徑與市售吸管比較戳膜力道。

1.實驗步驟

操作變因:不同吸管 **控制變因:** 放置在吸管戳模器、吸管戳膜距離 12cm

- (1)製作大口徑(1.2cm)與小口徑(1cm)豆渣吸管，及甘蔗、石頭紙、紙、麥稈、竹、塑膠吸管
 (2)將不同吸管放置在吸管戳膜器上，將吸管由 12cm 處落下戳膜，紀錄戳膜的砝碼重量。

表 15 不同吸管戳膜力道實驗步驟

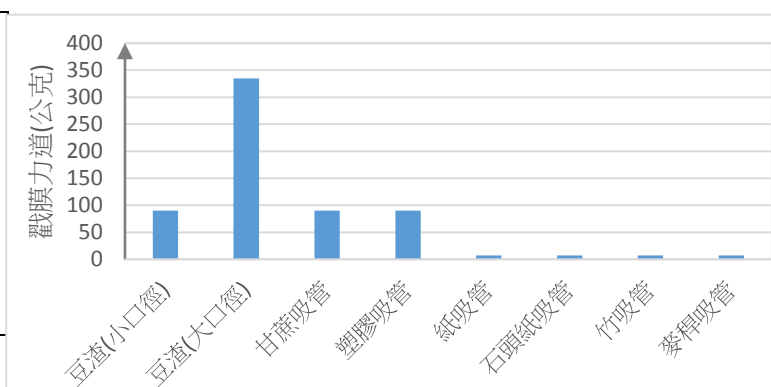


圖 33 市售吸管與豆渣吸管戳膜力道

分析:豆渣吸管小口徑戳膜力道較大口徑小，與甘蔗吸管戳膜力道一樣。其他吸管無法戳膜。

九、比較市售環保吸管與豆渣吸管的耐溫性

(一)實驗步驟

操作變因:不同吸管(豆渣、甘蔗、石頭紙、紙、麥稈、竹、塑膠) **控制變因:**固定水溫

1.將不同吸管泡在固定水溫(0°C、30°C、60°C)，進行滴水實驗，每半小時在吸管中間滴 10 c.c 水，測量流出來的水量一致表示吸管仍耐用，紀錄耐用時間。重複上述步驟測量三次求平均。

表 16 不同吸管耐溫性實驗步驟

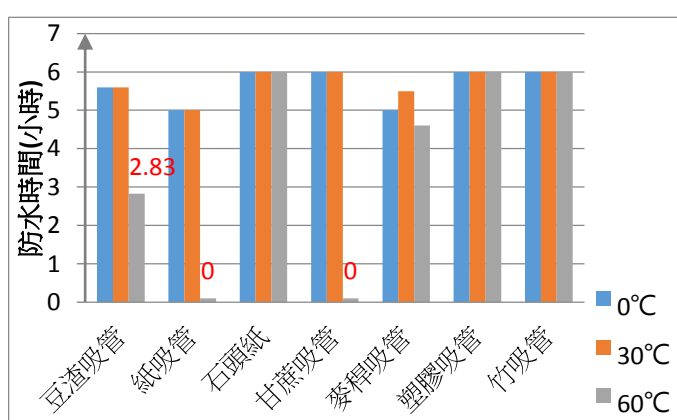
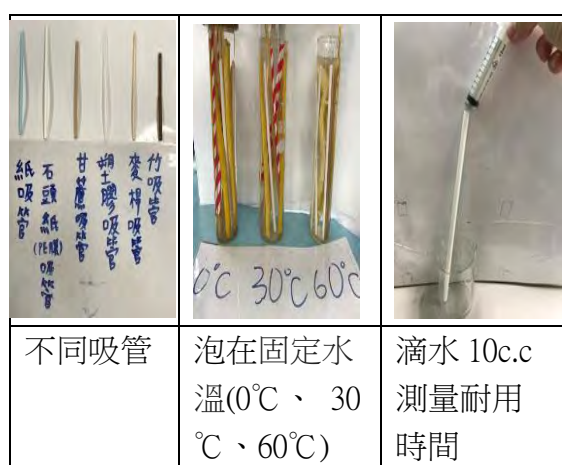


圖 34 市售吸管與豆渣吸管的耐溫性

分析:豆渣吸管在水溫0°C和30°C，耐用5.5小時，在60°C耐用2小時。紙吸管與甘蔗吸管，在60°C會軟化，無法使用。塑膠吸管、竹吸管、麥稈吸管、石頭紙吸管在60°C仍耐用。




十、比較市售環保吸管與豆渣吸管的耐酸性

(一)實驗步驟

操作變因:不同吸管(同實驗九) **控制變因:** 將不同吸管泡在 25°C 飲料中

- 1.用廣用試紙測量飲料的酸鹼值(牛奶 pH 7、茶 pH7、鹼性離子水 pH7、檸檬汁 pH3)
- 2.將不同吸管泡在不同飲料中，並進行滴水實驗(同實驗九)。

表 17 市售環保吸管與豆渣吸管的耐酸性

		
測量飲料酸鹼值	泡在飲料中	滴水 10c.c 測耐用時間！

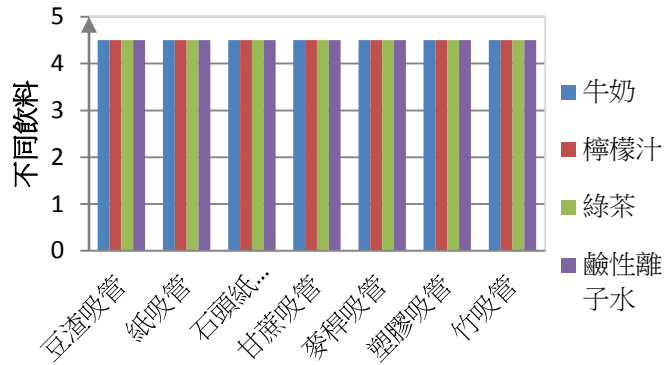


圖 35 市售吸管與豆渣吸管的耐酸性

分析:不同吸管在酸度 pH3(檸檬汁)都能耐用 4.5 小時。

十一、比較市售環保吸管與豆渣吸管的環保性 (environmental friendly)

吸管使用後被當垃圾處理或是隨意丟棄流入海中，目前垃圾處理方式包括:廚餘堆肥、焚燒、土壤掩埋。因此，我們比較吸管經土壤掩埋後的分解時間；模擬海水中需要分解的時間；進行廚餘堆肥時；吸管焚燒後，燃燒物質是否影響植物生長。

(一)比較市售環保吸管與豆渣吸管在土壤中的分解時間

1.實驗步驟

操作變因:不同吸管(豆渣、甘蔗、石頭紙、紙、塑膠、麥稈、竹吸管)

控制變因:土壤濕度(microbit 濕度值 700)、實驗時間室內平均溫度約 21°C

- (1)將不同吸管放置濕度值 700(microbit 估測土壤濕度)的土壤中。
- (2)每 7 天記錄吸管的面積，計算面積改變情形，以了解分解時間

(3)吸管面積百分比= $\frac{\text{增加重量}}{\text{原本重量}} \times 100\%$

(4)重複上述步驟，測量三次求平均值。

表 18 市售環保吸管與豆渣吸管在土壤中的分解時間實驗步驟

			
microbit 測量濕度值 700	將吸管理入土壤	測量吸管面積	觀察吸管分解情形

2. 實驗結果

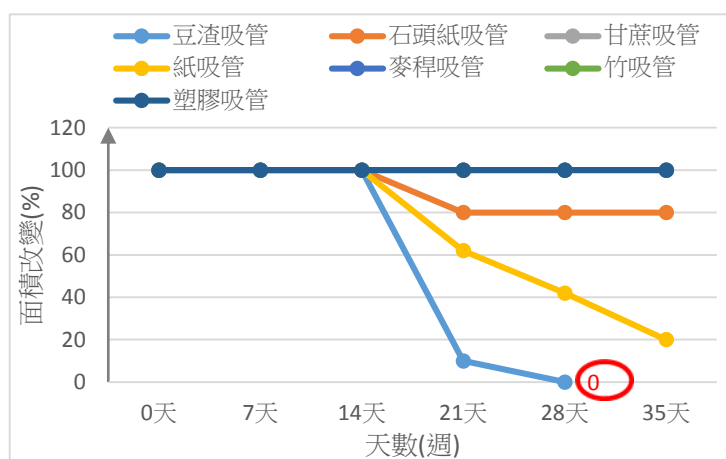


圖 36 不同吸管在土壤分解的面積變化

分析:豆渣吸管土壤掩埋後, 28 天已分解完畢。其次是紙吸管分解約 35 天, 甘蔗吸管、麥稈、石頭紙吸管、竹吸管、塑膠吸管經過 35 天, 面積改變差異不大。

(二)比較市售環保吸管與豆渣吸管在鹽水中的分解時間

曾有報導塑膠吸管卡在海龜鼻子的畫面, 嚴重傷害海洋生態環境, 因此本研究想了解吸管被當廢棄物流入海中, 需要多少時間才能分解完全。因此, 實驗也模擬海水濃度調製 33‰的鹽水, 進行吸管泡水後面積改變情形, 紀錄並分析分解時間。

1 實驗步驟

操作變因:不同吸管(豆渣、甘蔗、石頭紙、紙、塑膠、麥稈、竹吸管)

控制變因: 吸管泡在 33‰的鹽水中(100mL)、實驗時間室內平均溫度約 21℃


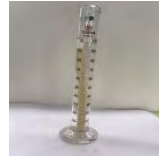


(1) 將不同吸管放置在 33‰的鹽水中(100mL)。

(2)每 7 天記錄吸管的面積改變情形, 以了解分解時間。

(3) 吸管面積百分比= $\frac{\text{後來面積}}{\text{原本面積}} \times 100\%$ 。

(4) 重複上述步驟, 測量三次求平均值。

表 19 市售環保吸管與豆渣吸管在鹽水分解時間實驗步驟

			
調配 33%的鹽水	將吸管放置鹽水中	測量吸管面積	吸管泡水後結果

2. 實驗結果

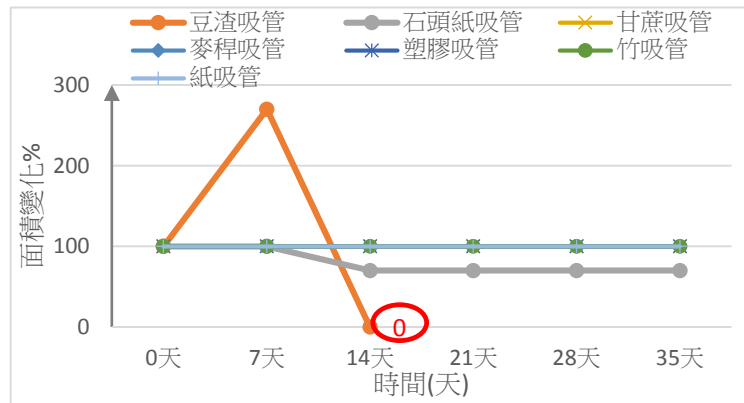


圖 37 不同吸管在鹽水分解的面積變化

分析:豆渣吸管浸泡在鹽水 7 天因吸水膨脹嚴重，14 天時已經破裂成無數碎塊，因此面積極難測量，**分解程度顯著**。而經過 35 天豆渣、甘蔗、石頭紙、紙、塑膠、麥稈、竹吸管，面積無明顯改變；石頭紙吸管，初期因為紙捲鬆脫面積變小，兩周後無進一步明顯變化。

(三) 比較市售環保吸管與豆渣吸管的燃燒殘留物對綠豆發芽的影響

吸管被當垃圾焚化後，其燃燒後灰燼是否對植物影響？我們種植綠豆生長探討對植物影響。




1. 實驗步驟

操作變因:不同吸管灰燼殘留物(豆渣吸管、甘蔗吸管、石頭紙吸管、塑膠吸管)

控制變因: 每天加入 7 mL 水、實驗時間室內平均溫度約 21°C

- (1)取「甘蔗吸管、石頭紙吸管、塑膠吸管、豆渣吸管」3 克燃燒成灰燼，混合 20mL 水。
- (2)放置 50 顆綠豆，每天加入 7 mL 水，並測量綠豆發芽長度(cm)
- (3) 重複上述步驟，測量三次求平均值。

表 20 市售環保吸管與豆渣吸管燃燒殘餘物對綠豆生長實驗步驟

		
將 3 克吸管燃燒成灰燼	將灰燼混合 20c.c 水，種 50 顆綠豆	測量綠豆發芽狀況

2.實驗結果

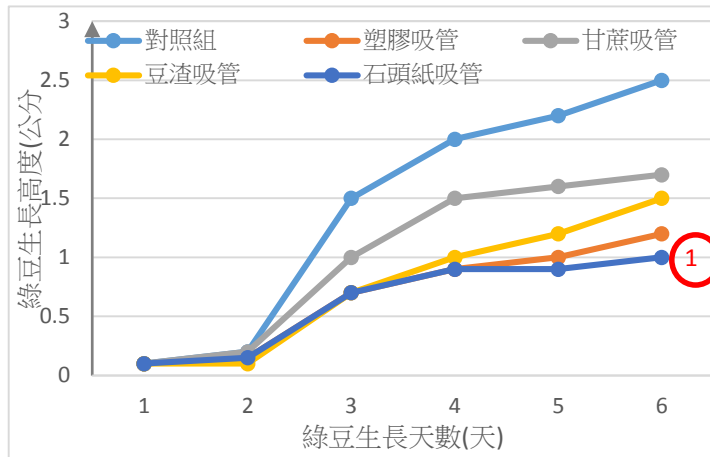


圖 38 不同吸管燃燒殘留物對綠豆生長影響

分析:石頭紙吸管燃燒灰燼殘留物種綠豆生長情形最差，其次是塑膠吸管、豆渣、甘蔗吸管，環保吸管以甘蔗吸管生長些微優於豆渣吸管。

進一步測試綠豆生長是否與水質澄清有關?水質計測量結果，石頭紙水質最差(184ppm)，其次豆渣吸管(137ppm)、甘蔗吸管(84ppm)、塑膠吸管(73ppm)、對照組(40ppm)。

十二、探討大眾對豆渣吸管的喜好口味

(一)實驗步驟

操作變因:不同口味的豆渣吸管(原味、香草、巧克力、抹茶)

控制變因: 麵團:淺烘焙豆渣:油:吉利T:糖=40: 5: 2:1:4

- 1.將豆渣吸管加入5克的調味粉，包括香草、巧克力、抹茶粉。沒有加入調味粉為原味。
- 2.樣品品評間請間隔 15 秒，以溫開水為消味劑。
- 3.請35位小朋友依據外觀、香氣、味道與整體接受度的喜好來評分。
- 4.品評方法採(五分制)，整體接受評分依不喜歡 1→非常喜歡 5 做排列。

表21大眾對豆渣吸管喜好口味步驟

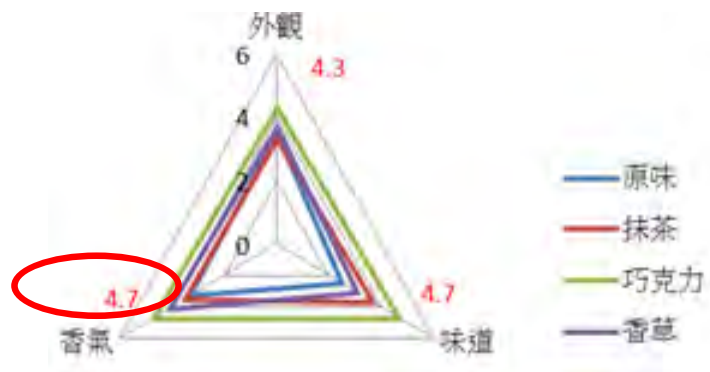


圖39不同口味吸管受歡迎程度

分析:巧克力口味較受大眾喜愛，其次是抹茶、香草，原味口味平淡較不受大眾喜愛。

十三、比較市售環保吸管與豆渣吸管的抗氧化力

豆渣可食吸管除了是器具，還可以食用。評估豆渣吸管和市售吸管是否有抗氧化力，實驗以碘滴定測定不同吸管的抗氧化力。

(一)實驗步驟





操作變因:不同吸管 (豆渣吸管、甘蔗吸管、石頭紙吸管)

控制變因:吸管泡在常溫水中(20°C)、浸泡30分鐘

對照組:將碘液加入水，加到水變透明，即為對照組

- 1.配置澱粉指示劑: 取2克太白粉放入燒杯中，量取100毫升蒸餾水倒入燒杯中。加熱攪拌至沸騰，靜置冷卻到室溫備用。
2. 濾液:取豆渣吸管 10 克泡在 40 mL 的常溫水中(20°C)，浸泡 30 分鐘過濾後取得濾液。
3. 燒杯裝水5毫升，滴入碘液0.1mL及澱粉指示劑0.1mL，均勻混合成藍色液體。
4. 取濾液滴定燒杯內藍色液體，至藍色液體變透明即為滴定終點。
5. 重複上述步驟，測定三次取平均值。

表22市售環保吸管與豆渣吸管的抗氧化力實驗步驟

			
配置澱粉指示劑	取得吸管濾液	水、碘液、澱粉指示劑，混合成藍色液體	至藍色液體變透明即為滴定終點

(二)實驗結果

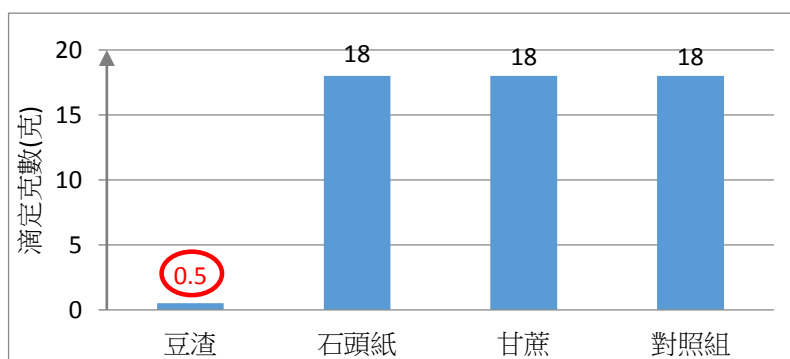


圖 40 市售環保吸管與豆渣吸管的滴定量

分析:豆渣吸管抗氧化效果佳，滴定量最低。石頭紙吸管、甘蔗吸管與對照組的滴定量一樣，表示無抗氧化力。

捌、討論

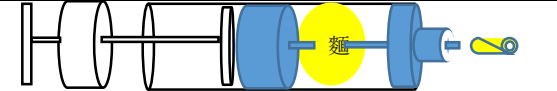
一、測試吸管成形材料及塑形方式

餅乾吸管支撐力夠，但是防水性不佳；果凍吸管防水性佳，但缺乏支撐力。因此，以**餅乾吸管**為支撐主體，外面塗上**果凍**增加防水性，並放入烤箱烤乾，解決果凍潮濕的保存問題。果凍吸管加入纖維，會破壞果凍凝固。

二、設計並改造出合適的吸管模具

模具第一版仿通心麵製麵機，印製 3D 列印模具。因為模具有切斷點，使麵團吸管雖然黏合，但**結構上有切斷點**，放入烤箱烘烤會裂開。雖將吸管管徑加寬、增長模具使麵團黏合，但仍為改善此問題。進行第二版模具，將鐵棒由製麵機穿出洞口，經過多次修正加厚模具使轉動穩定、鋸斷鐵棒使麵團脫模後，已成功製作吸管。

表 23 吸管模具第一版和第二版比較表

問題: 模具 切點 使吸管裂開 修正: 吸管管徑加厚、加長模具使麵團黏合	問題: 鐵棒未對準中心，麵團在出口擠成團 修正: 加厚模具使轉動穩定、鋸斷鐵棒助脫模
	

就材料的觀點，**基材**是杜蘭小麥麵團，**豆渣**是補強纖維，**蜂蠟**為表面改質劑，**油**為成型分散劑，**膠及糖**為黏著劑，以下就這些方向進行討論。

三、探討主材料製備吸管的防水性





杜蘭小麥為硬質麥類，應用於**義大利通心麵**製作，容易塑型成中空管狀且不易裂開。

四、探討補強纖維對吸管的防水性提升

(一) **豆渣吸管**的防水性最佳。糙米吸管防水性較米吸管佳，兩者只在於糙米多了米糠，表示纖維能提升結構。豆渣纖維(dietary fiber)效果更佳，纖維可以支撐吸管結構，使吸管泡水後不易散開。

(二)淺烘焙豆渣與麵糰最佳比例為 5: 40。淺烘焙豆渣纖維細長，成細絲狀，較能和麵糰交織成吸管結構；深烘焙的豆渣焦化，成粉末狀。經高像素鏡頭觀察，淺烘焙的豆渣纖維細長，呈細絲狀，含有少許水分，較能和麵糰交織成吸管結構。深烘焙使豆渣焦化，豆渣呈現成顆粒狀，無法使豆渣纖維支撐吸管結構。

表 24 不同烘焙程度豆渣纖維焦化情形

			
沒有烘焙(纖維含量低)	淺烘焙(纖維細長)	中烘焙(豆渣焦化)	深烘焙(豆渣焦化)

實驗過程發現，麵團無法揉合太多纖維，後續以加入植物膠增加纖維緊密進行探討。

五、探討添加物對吸管的防水性提升

(一)豆渣麵糰、油、膠、糖的最佳比例為 40:2:1:4，在這樣的比例下，吸管的重量增加最少、水質最澄清乾淨、耐壓力最佳。

(二)油的疏水性限制麵團吸水，但油的比例過高，會讓吸管變軟，耐壓力下降。適量油使麵團延展性佳，材料均勻分散不易出現裂痕，使吸管容易成形。

(三)膠與糖為黏著劑，使纖維黏合更緊密增加吸管強度。過量的膠會讓麵團比例過低，而缺乏支撐力；過多糖使麵糰太黏，吸管難以成為中空圓筒狀。

加入植物膠(吉利 T)除了能使纖維緊密，發現果凍也防水，進一步以不同塗料探討防水效果。

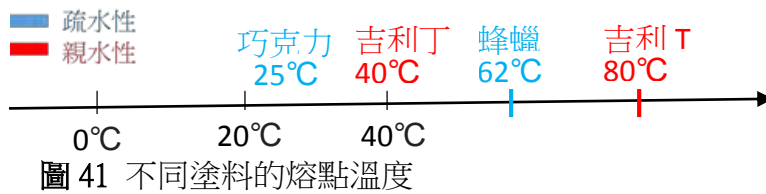
六、探討塗料對豆渣吸管特質的影響

(一) 探討塗料對豆渣吸管耐溫與耐水解影響

1.蜂蠟的耐溫與耐水解最佳，防水時間最長。

2.所有塗料在 40°C 時的防水性變差，表示高溫降低塗料防水效果。40°C 巧克力水質最差。

3.疏水性塗料為蜂蠟(熔點 62°C)、巧克力(熔點 23°C)；親水性塗料為吉利丁(40°C)、吉利 T(80°C)。蜂蠟為疏水性塗料的防水效果佳，且熔點高，耐溫性佳。



蜂蠟塗料防水性佳，能夠隔絕水分，對於是否也能夠隔絕空氣中的水分，提升食品保存功效，我們也進一步測試塗料對防腐性成效。

(二)探討防水塗料的防腐效果

1. **蜂蠟**塗料發霉面積小，**防腐效果最佳**。其次是吉利丁、吉利 T、對照組發霉嚴重。
2. 經高像素鏡頭發現，**蜂蠟水珠與蜂蠟固體接觸角最大**，蜂蠟和巧克力為疏水性材料，吉利丁和吉利T接觸角小為親水性材料。發現**疏水性塗料**，**水分子的表面張力便會將水內聚而形成水滴**，**使水不易進入物質孔隙**，**提高材料強度**，**提升吸管的防水和防腐效果**，有助於增加食品安全。

表 25 親水性與疏水性塗料與水珠夾角比較圖

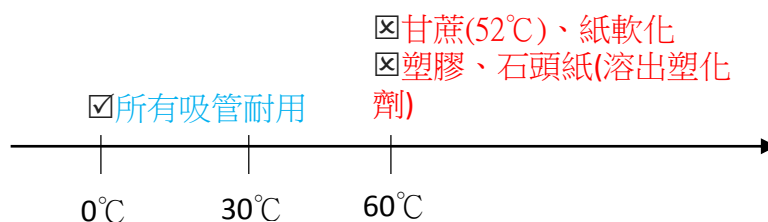
疏水性(蜂蠟和巧克力)		親水性(吉利丁和吉利 T)	
<p>接觸角大：疏水性</p>	蜂蠟 104° 	<p>接觸角小：親水性</p>	吉利 T 50°

七、比較不同濕度對豆渣吸管保存的影響

1. 豆渣吸管保存在連續下雨的環境下(濕度80%RH)，會在第21天開始發霉。而保存在一般天氣或是冷氣房(濕度60%、40%RH)，能夠維持35天未發霉。
2. 在不同濕度下，豆渣吸管保存35天後，其戳模力道一樣，表示吸管未軟化。

八、比較市售環保吸管與豆渣吸管的耐溫時間

豆渣吸管在常溫下耐用5.5小時，在60°C 接近蜂蠟熔點(62°C)防水時間下降為2.5小時。在60°C 甘蔗吸管含PLA達熔點(52°C)軟化；紙吸管會軟化；塑膠吸管、石頭紙吸管(PE膜)可能溶出塑化劑，無法使用。竹吸管、麥稈吸管仍耐用。



九、比較市售環保吸管與豆渣吸管的戳膜力道

- (一)豆渣吸管小口徑，戳膜施力小於大口徑，因為杯膜的受力面積小，壓力較大，故省力。
- (二)其他紙吸管、石頭紙吸管、麥稈吸管結構脆弱，無法戳膜。竹吸管無切角無法戳膜。塑膠與豆渣吸管均可以戳膜。

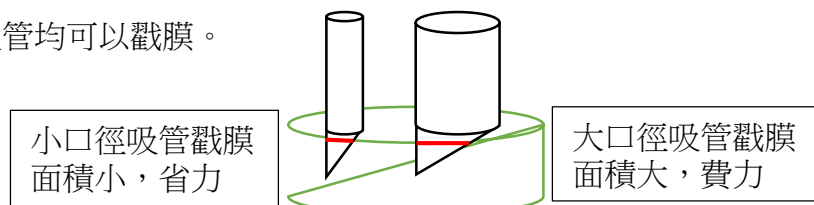


圖43 大口徑與小口徑吸管戳膜受力面積圖

十、比較市售環保吸管與豆渣吸管的耐酸性

不同吸管在酸度pH3(檸檬汁)均耐用4.5小時。

十一、比較市售環保吸管與豆渣吸管的環保性 (environmental friendly)

(一)比較市售環保吸管與豆渣吸管在土壤中和鹽水中的分解時間


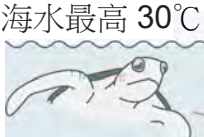


1.豆渣吸管土壤掩埋後，28 天已分解完畢。紙吸管經 35 天面積降到 20%。甘蔗吸管、石頭紙吸管、塑膠吸管、麥稈吸管、竹吸管經過 35 天，面積改變差異不大。

2.豆渣吸管浸泡在鹽水 14 天時已經破裂成無數碎塊，因此面積極難測量，分解程度顯著。甘蔗、石頭紙、紙、塑膠、麥稈、竹吸管經過 35 天，面積改變差異不大。

3.豆渣吸管在土壤掩埋後很快發霉，分解快速。紙、麥稈、竹沒有發霉，分解速度較慢。石頭紙吸管外層有 PE 膜，無分解現象。甘蔗吸管含有聚乳酸(PLA)成分，其分解條件嚴苛，要在濕度達到 90%，溫度要高達 52°C 以上，才易分解。實驗環境為室溫下(21°C)，所以甘蔗吸管不易分解。

在一般家庭廚餘堆肥的環境下、土壤掩埋、海水環境下，豆渣吸管分解速度最快，海水溫度最高可達 30°C，甘蔗吸管較難達到分解條件。進一步瞭解市售吸管和豆渣吸管當垃圾焚燒後，灰燼後對植物是否造成影響，我們觀察綠豆生長情形。

表 26 吸管在不同垃圾處理環境中分解情形

	土壤分解	海水分解	廚餘堆肥	垃圾焚燒
條件		海水最高 30°C 		
實驗分解情形	<input checked="" type="checkbox"/> 豆渣、紙、麥稈、竹 <input checked="" type="checkbox"/> 甘蔗、石頭紙、塑膠	<input checked="" type="checkbox"/> 豆渣、紙、麥稈、竹 <input checked="" type="checkbox"/> 甘蔗、石頭紙、塑膠	<input checked="" type="checkbox"/> 豆渣 <input checked="" type="checkbox"/> 甘蔗、石頭紙、竹、塑膠、紙、麥稈	<input checked="" type="checkbox"/> 所有吸管

(二) 比較市售吸管與豆渣吸管的燃燒殘留物對綠豆發芽的影響

1.石頭紙吸管燃燒灰燼種綠豆生長情形最差，其次是塑膠吸管、豆渣吸管、甘蔗吸管，環保吸管以甘蔗吸管生長些微優於豆渣吸管。水質計顯示石頭紙吸管水質最混濁。

2.依水質數據推論，綠豆在較乾淨的水質下生長較佳。石頭紙和豆渣吸管燃燒後的灰燼讓水質較混濁，使綠豆生長差。甘蔗吸管燃燒後呈現塊狀，水質乾淨，因此不影響綠豆發芽。塑膠吸管綠豆發芽率也較低，我們推測在水中有毒物質影響生長，需進一步化驗才知結果。

十二、探討大眾對豆渣吸管的喜好口味

品評試驗顯示巧克力口味最受大眾喜歡，在香氣、外觀、味道都受到喜愛。其次是抹茶和香草，原味大眾普遍覺得口味太過平淡。

十三、比較市售吸管與豆渣吸管的抗氧化能力

1.在常溫下，豆渣吸管能夠溶出抗氧化的物質。豆渣裡的大豆脂肪，含有豐富的維他命 E，是天然的抗氧化劑。甘蔗吸管和石頭紙吸管的數值和對照組一樣，表示無抗氧化力。

* 市售吸管與豆渣吸管成本

我們計算出豆渣吸管一隻單價 1.6 元，包括豆渣、杜蘭小麥、油、膠、糖、蜂蠟材料，各種材料成本如下：

表 27 豆渣吸管成本

	豆渣	杜蘭小麥	油	膠	糖	蜂蠟
材料每公克價錢(元)	0	0.09	0.04	0.7	0.03	1
每隻吸管材料重量(克)	1.6	13	0.6	0.3	1.3	0.3
每隻吸管材料成本(元)	0	1.1	0.02	0.2	0.04	0.3
每隻豆渣吸管單價	1.6 元					

市售吸管與豆渣吸管成本如下表 28:

表 28 市售吸管與豆渣吸管成本

	豆渣	甘蔗	麥稈	紙	石頭紙	竹	塑膠
價錢	1.6	2.8	0.7	1.2	2.5	45	0.25

豆渣吸管價格(1.6 元)較甘蔗吸管(2.8 元)、石頭紙吸管(2.5 元)、竹吸管(45 元)便宜。

* 市售吸管與豆渣吸管各種特性比較

依據上述實驗，比較市售吸管與豆渣吸管環保性、實用性、口味、價錢..等各種特性。

表 29 市售吸管與豆渣吸管各種特性比較表

		豆渣	甘蔗	麥稈	紙	石頭紙	竹	塑膠	備註
環保性	土壤分解	V 28天	X	V	V	X	V	X	V 有分解 X 無分解現象
	海水分解	V 14天	X	V	V	X	V	X	V 有分解 X 無分解現象
	燃燒物	△	△	△	△	X	△	X	△ 些微影響植物 X 嚴重影響植物
耐溫性		V	X	V	X	X	V	X	V 耐 60°C X 無分解現象
戳膜		V	V	X	X	X	X	V	V 能戳膜 X 不能戳膜
口徑(可吸珍珠)		V	V	X	V	V	X	V	V 可吸珍珠 X 不可吸珍珠
耐酸性		V	V	V	V	V	V	V	V 耐酸
可食與營養		V	X	X	X	X	X	X	V 可食用 X 不可食用
味道		巧克力	甘蔗	無	紙	無	竹	無	
價格(元)		1.6	2.8	0.7	1.2	2.5	45	0.25	

豆渣吸管環保性最佳，分解速度最快。且較市售吸管具實用性，有耐溫性、耐酸性、易戳膜、大口徑(可吸珍珠)優點。而豆渣吸管可食用，具營養價值。

* 豆渣吸管的應用性

我們將豆渣吸管做成攪拌棒以及豆渣餐具組，包括:叉子、湯匙、筷子。攪拌棒外層塗上巧克力和肉桂，放入 40°C 飲料，攪拌後可以溶出味道，可以使用攪拌咖啡，增加肉桂風味，亦或巧克力口味可以攪拌牛奶。攪拌棒的強度可以攪拌 5 克糖約 5 分鐘不會斷裂。筷子和湯匙可以防水耐熱 60°C 耐用 2 小時，所以湯匙可以用來喝 60°C 湯，筷子可以用來夾菜。叉子的硬度可以用來叉水果。

表 30 豆渣餐具組

			
攪拌棒	筷子	湯匙	叉子

玖、研究結論

一、吸管模具第一版有切斷點，麵團放入烤箱後會裂開。第二版模具，由擠麵機內放置鐵棒穿出洞口，使吸管沒有切斷點。經過多次修正，如：加厚模具提升轉動穩定性、鐵棒鋸斷減少麵團黏住，終於成功設計出吸管模具。後續也擬研究探討修改配方以利 3D 列印技術生產，提昇國內產業製備技術。

二、豆渣吸管材料以杜蘭小麥、豆渣、油、膠、糖的最佳比例為 40:5:2:1:4。淺焙豆渣纖維細長，呈細絲狀，含少許水分，較能和麵糰交織成吸管結構，使吸管不易散開而提升防水性。油使麵團延展性佳，使吸管容易成形。膠與糖為黏著劑，使纖維黏合緊密增加吸管強度。

三、蜂蠟塗料的耐溫性、耐水解與防腐效果佳，在常溫下耐用時間為 5.5 小時。豆渣吸管的保存在一般天氣或是冷氣房(濕度 60%、40%RH)，能夠維持 35 天未發霉；在連續下雨的環境下(濕度 80%RH)，會在第 21 天開始發霉。

四、豆渣吸管較市售吸管具實用性，有耐溫性、耐酸性、易戳膜、大口徑(可吸珍珠)優點。

(一)耐溫性:豆渣吸管 60°C 仍耐用 2.5 小時，紙、甘蔗、石頭紙吸管因軟化或塑化劑溶出疑慮，不能使用。(二)豆渣吸管戳膜力道，小口徑較大口徑省力。(三)豆渣吸管 45°為戳膜最佳角度，且其他吸管如:紙吸管、石頭紙吸管、麥稈吸管、竹吸管，無法戳膜。(四)市售吸管與豆渣吸管在酸度 pH3 飲料中均耐用。(五)豆渣吸管口徑大，可以吸珍珠，麥稈、竹吸管無法吸珍珠。(六)豆渣吸管價格(1.6 元)較甘蔗吸管(2.8 元)、石頭紙吸管(2.5 元)便宜。

五、豆渣吸管的環保性佳。(一)在土壤掩埋環境、海洋環境、一般家庭廚餘堆肥環境，豆渣吸管容易分解、甘蔗吸管較難達到分解條件。豆渣吸管分解速度最快，為真正最佳的環保吸管。(二)吸管燃燒殘留物種綠豆的生長情形，豆渣吸管生長情形較石頭紙吸管佳。推測與水質有關，石頭紙和豆渣吸管水質混濁；塑膠吸管可能有毒素；甘蔗吸管燃燒物成硬塊，水質澄清。

六、豆渣吸管為好吃又健康的可食吸管(1)巧克力口味最受大眾歡迎(2)常溫下，豆渣吸管具維他命 E 能夠溶出抗氧化物質，而甘蔗吸管和石頭紙吸管無抗氧化力。

拾、參考文獻

- 康軒出版社 (2018)。自然與生活科技教學指引 (三上) — 廚房裡的科學。台北：康軒。
南一出版社 (2018)。自然與生活科技教學指引 (三上) — 生活中有趣的力。台北：南一。
康軒出版社 (2018)。自然與生活科技教學指引 (六下) — 微生物與食品保存。台北：康軒

【評語】 082901

本作品呼應減塑環保風潮為時下流行且重要的議題，符合生活與應用科學。主要研究目的著手豆渣可食吸管的製作，添加不同材料來改進實用性，並與各種市售環保吸管比較各項預期達到的效能。作品內容檢測方法多元，未來實際應用具備各方條件使用的適切性，唯建議可考慮其他飲料溶液的吸水特性。整體來看，內容豐富兼具趣味與創意，若能在製作方法與實際實用性上再多加考量，將能成為一完整之作品。

壹、摘要

一幕吸管插入海龜報導，引發我們運用小麥、豆渣、油、膠、糖製作環保吸管動機，發現淺烘焙豆渣能支撐結構，膠和糖為黏著劑使纖維緊密，油使麵團有延展性，而蜂蠟為防水塗料，可耐用5小時。和市售吸管相比，豆渣吸管有易戳膜、可吸珍珠、耐酸性、耐溫性優點。環保性測試發現1豆渣吸管為所有吸管中分解速度最快2且較石頭紙吸管其燃燒殘餘物相比不影響綠豆生長。豆渣吸管富維他命E具抗氧化力。而巧克力豆渣吸管最受喜愛。

貳、研究動機

一幕吸管插入海龜畫面的報導，促使我們製作環保吸管。我們學過「廚房裡的科學」單元，想到若製作可食吸管，像是冰淇淋甜筒概念，喝完飲料還能夠將吸管吃掉，就能夠完全減少環境汙染問題。

參、研究目的

- 一、測試吸管成形材料及塑形方式
- 二、設計並改造出合適的吸管模具
- 三、探討主材料、補強纖維、添加物、塗料製備吸管的防水性
- 四、比較不同濕度對豆渣吸管保存的影響
- 五、比較市售環保吸管與豆渣吸管的耐溫時間、戳膜力道、耐酸性、環保性
- 六、探討大眾對豆渣吸管的喜好口味
- 七、比較市售環保與豆渣吸管的抗氧化能力

肆、研究設備及器材

自製耐壓力測試器、自製吸管滴水器和戳膜器、microbit土壤溼度計、3D列印機、水質計

伍、研究流程

我們測試不同吸管材料，透過測試找出最佳主材料、纖維、添加物及防水塗料。製成後與市售吸管比較實用性、環保性、營養性。

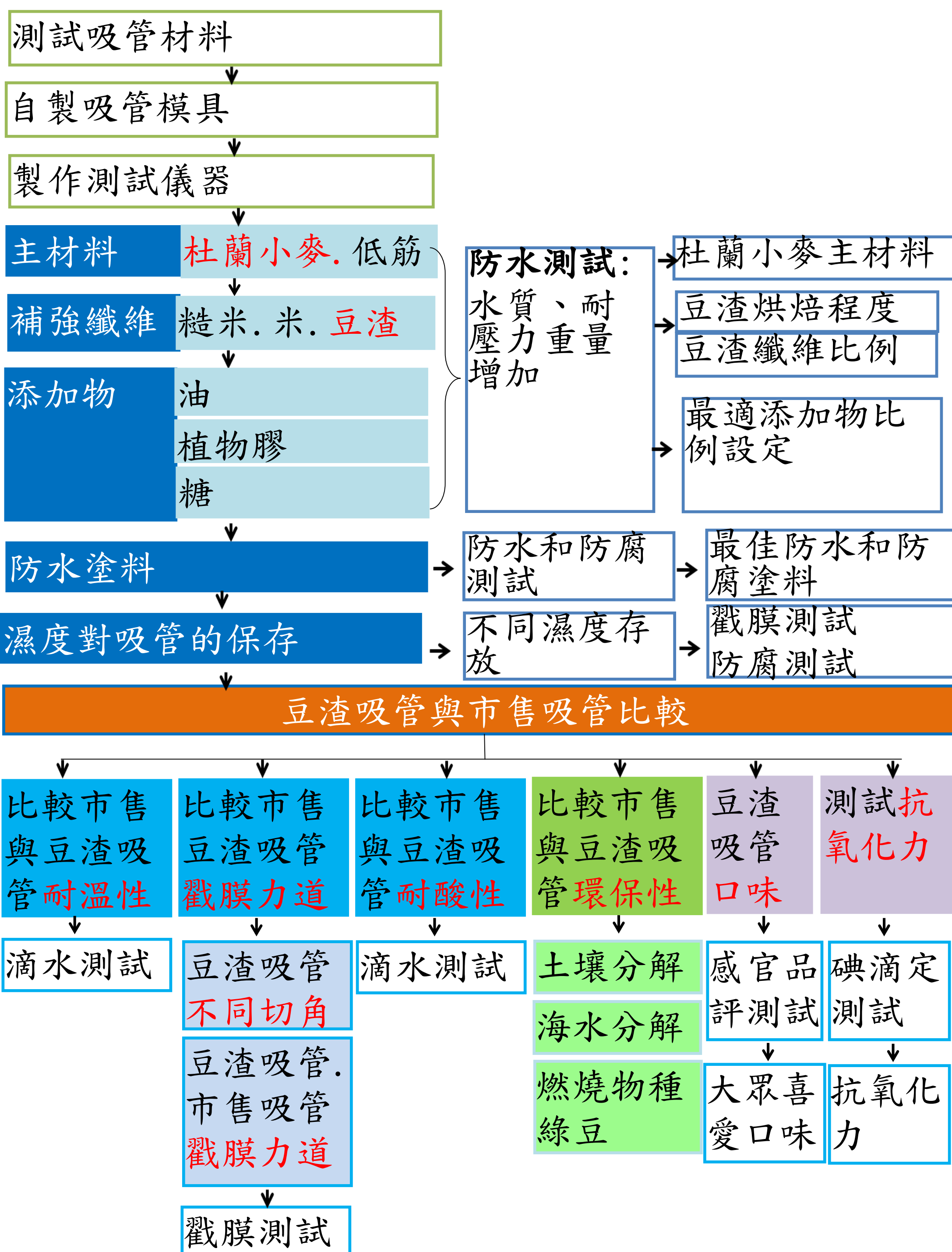


圖2 研究流程圖

陸、主要測試方式

一、吸管防水性測量方式

1. 水質計的測量

吸管泡水後的水質。數值越低防水性佳，水質乾淨表示溶出物質少。估測數值為TDS值(ppm)。

2. 吸管吸水後重量增加計算方式

吸管泡水後增加重量百分比數據小，防水性佳

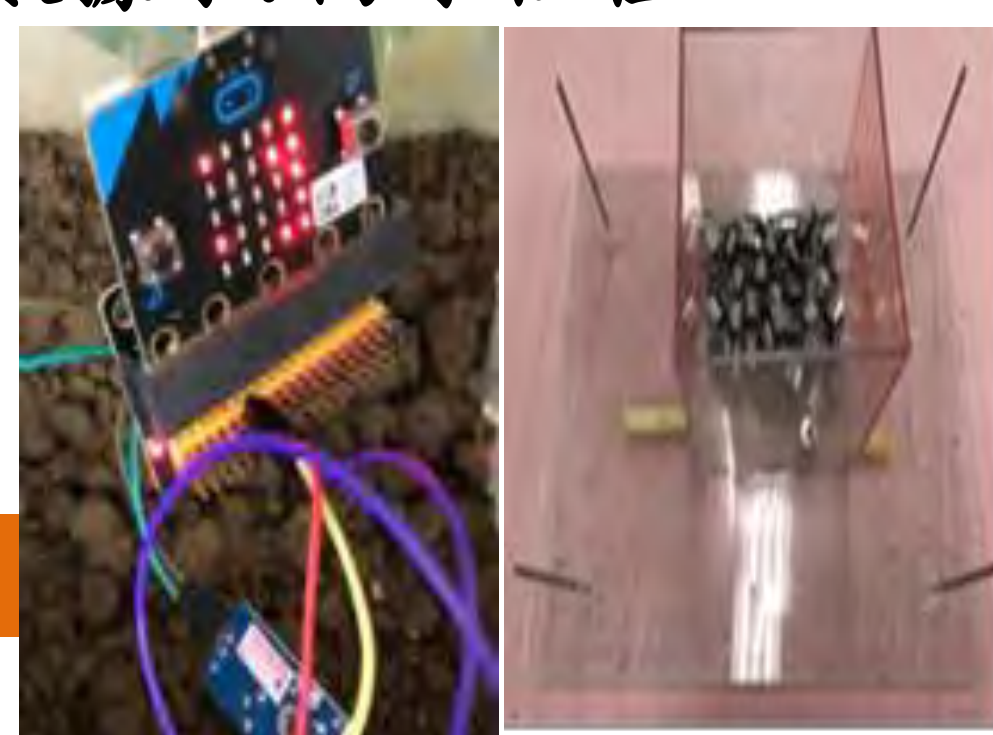
$$\text{重量增加}\% = \frac{\text{增加重量}}{\text{原本重量}} \times 100\%$$

3. 吸管耐壓力測試器

測試吸管泡水後的軟硬度。耐壓砝碼數越高，防水性佳

二、Microbit土壤溼度計

透過測量土壤的電阻，來推斷土壤濕度



microbit溼度計 耐壓力測試器

三、自製吸管滴漏器

模仿喝飲料時，水流由吸管中間經過，測量吸管中間防水性。

四、自製吸管戳膜器

吸管架上砝碼重為施力大小，由上而下戳破塑膠膜，為戳破塑膠膜力道

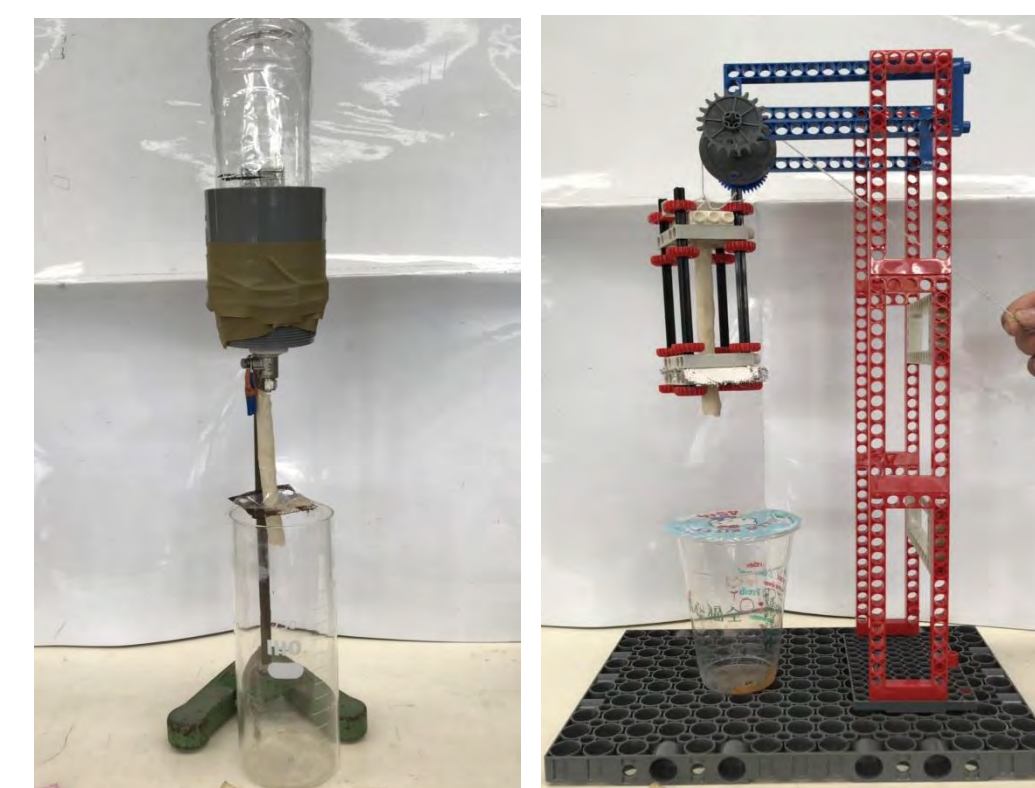


圖1 吸管滴漏器 吸管戳膜器

柒、研究過程

一、測試吸管成形材料及塑形方式

餅乾吸管為主體支撐，果凍為外層防水塗料

	果凍吸管	餅乾吸管	其他材料						
塑形	粗、細 吸管 中間灌 凍	鐵棒將麵團、飯、糖捲管狀	鐵棒將麵團、飯、糖捲管狀						
不同材料	吉利丁 蒟蒻 吉利丁	低筋 小麥 米 糖 米飯 糙米飯							
優缺點	防水佳 支撐力差	支撐力佳 防水差	碎裂	米飯間有縫隙					
修正	加入纖維，提升支撐力	加入果凍，提升防水性	冰凍	糯米增加黏性					
結果	纖維破壞果凍凝固，裂開	防水性仍差	軟化	黏住模具					

二、設計並改造出合適的吸管模具

為使數據穩定，吸管厚薄相同，我們設計模具。

表5 吸管模具第一版和第二版比較表

第一版模具	第二版模具
問題: 模具有切斷點使吸管裂開	問題: 鐵棒未對準中心，麵團在出口擠成團
修正: 管徑加厚、加長模具使麵團黏合	修正: 加厚模具使轉動穩定、短鐵棒助脫模

依據力學原理改良模具問題



三、探討主材料製備吸管的防水性

主材料 高筋比低筋的筋性高，吸管不易裂開。杜蘭小麥的防水性最佳，耐壓力高，重量增加少。

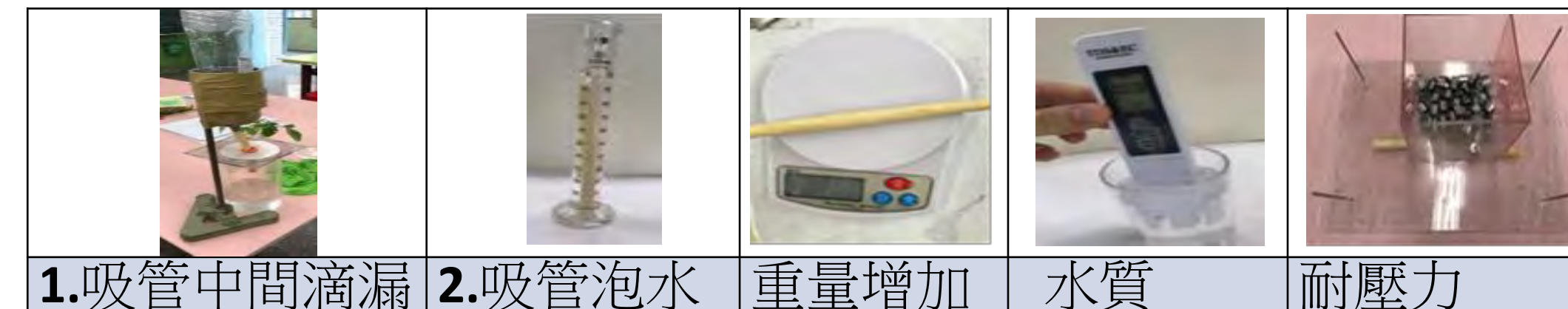


圖5 不同主材料吸管中間耐壓力

圖6 不同主材料整隻吸管耐壓力

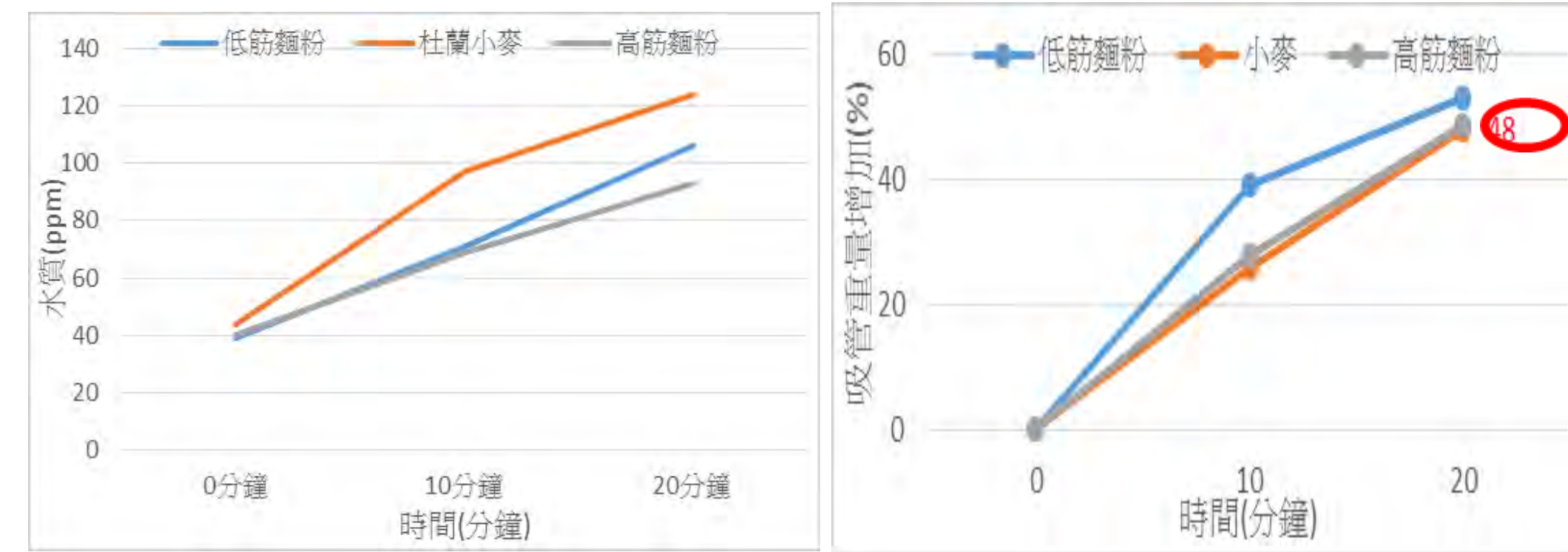


圖7 不同主材料的水質變化

圖8 不同主材料吸管的重量增加

四. 探討補強纖維對吸管的防水性提升
 不同纖維豆渣吸管的防水性最佳。其次為糙米吸管
 不同吸管中間都能夠耐用吸取700mL水。

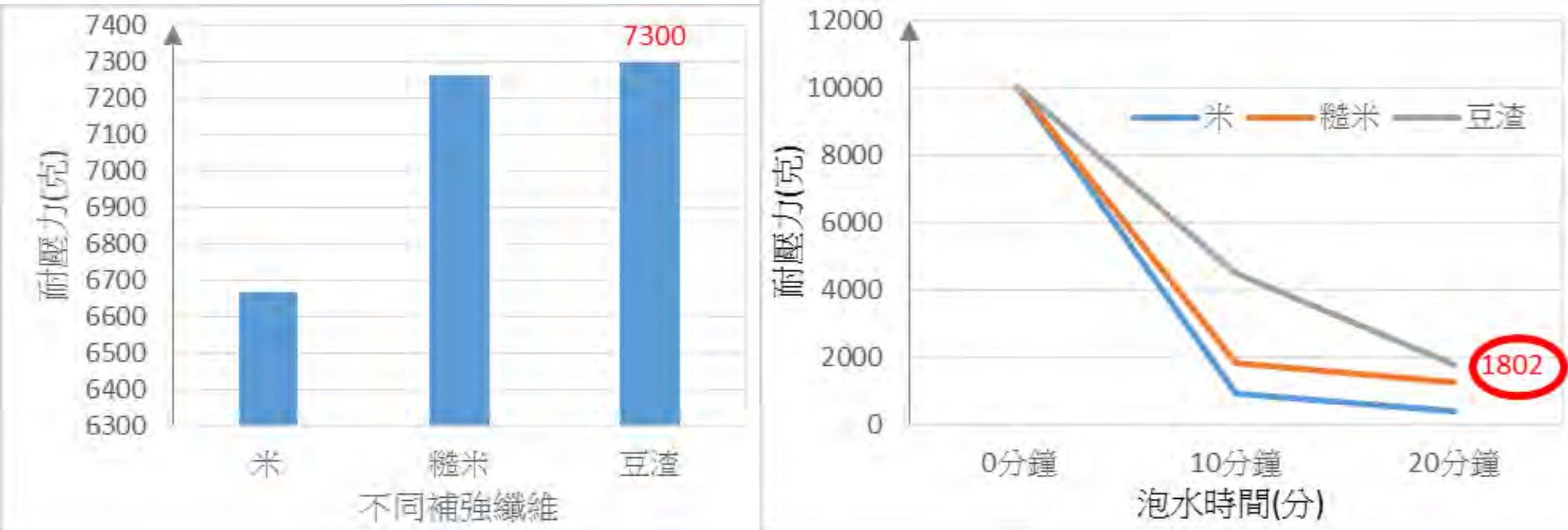


圖9 不同種類纖維吸管中間耐壓力

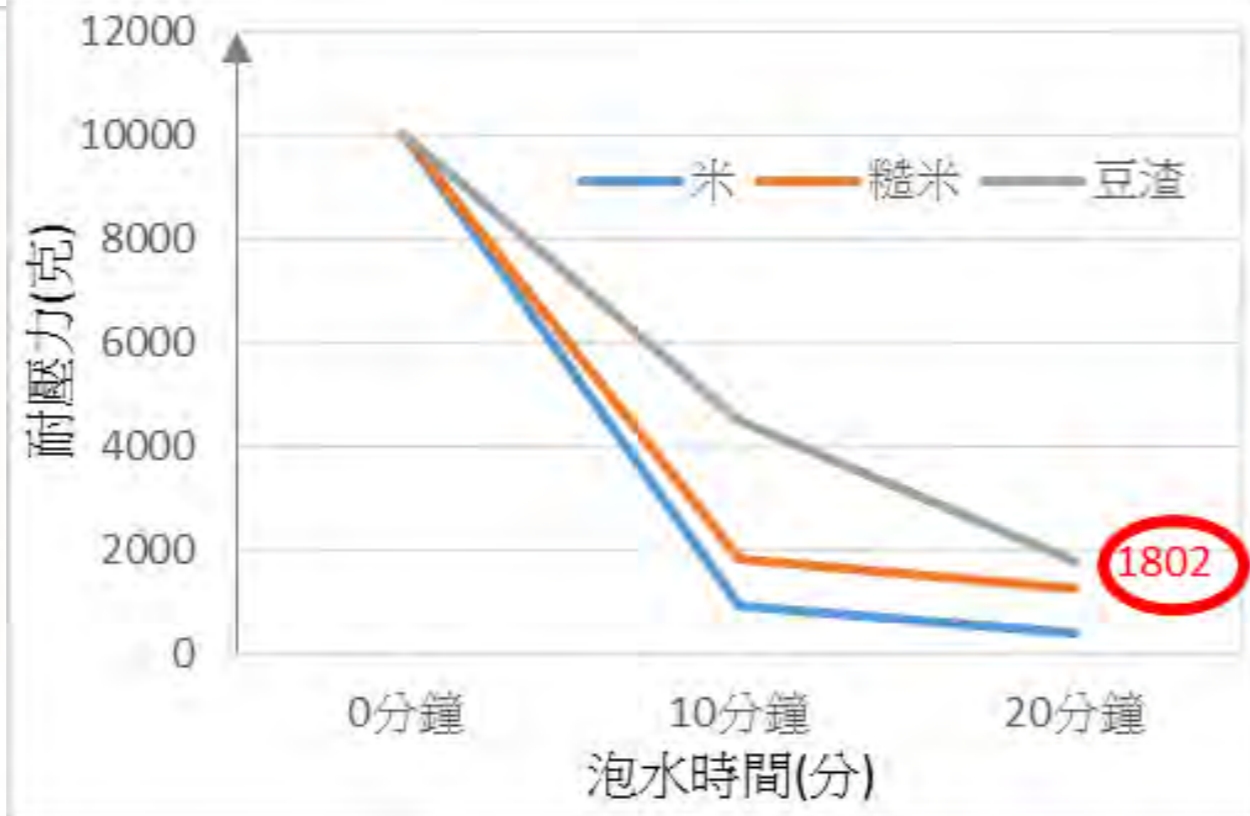


圖10 不同種類纖維整隻吸管耐壓力

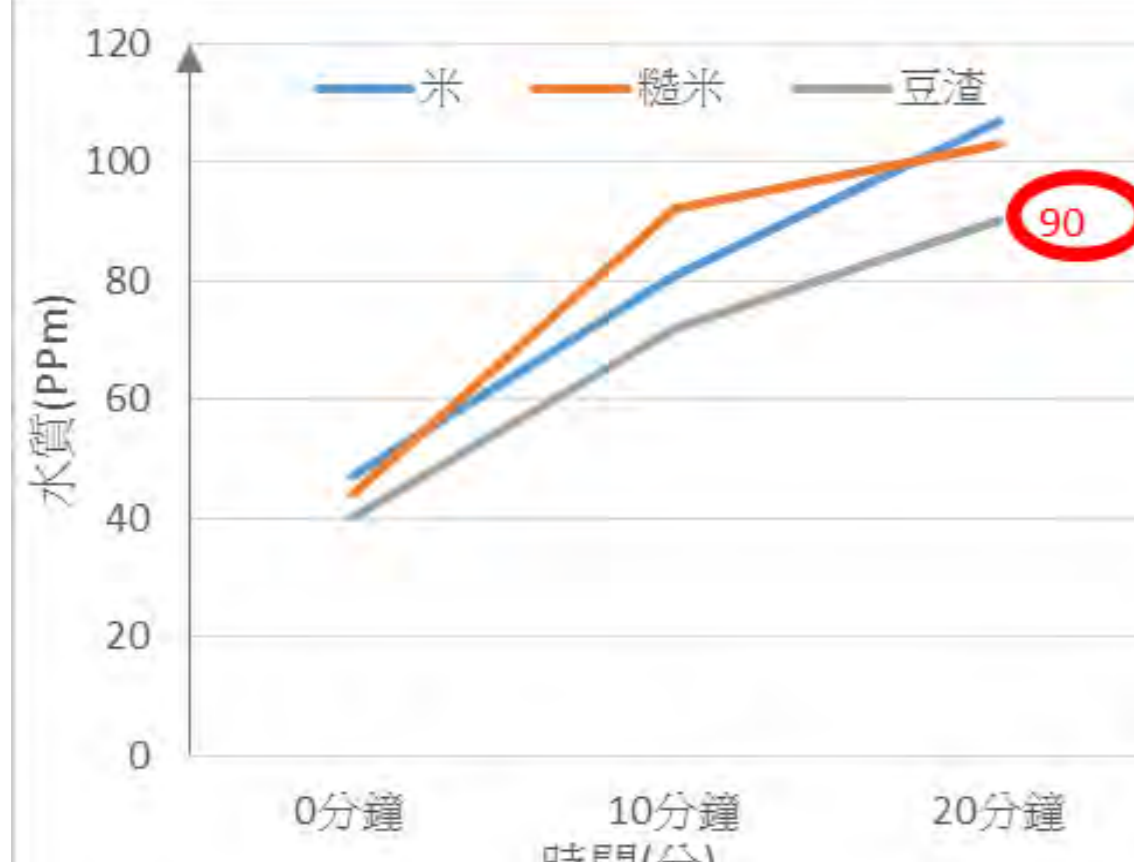


圖11 不同種類纖維吸管的水質變化

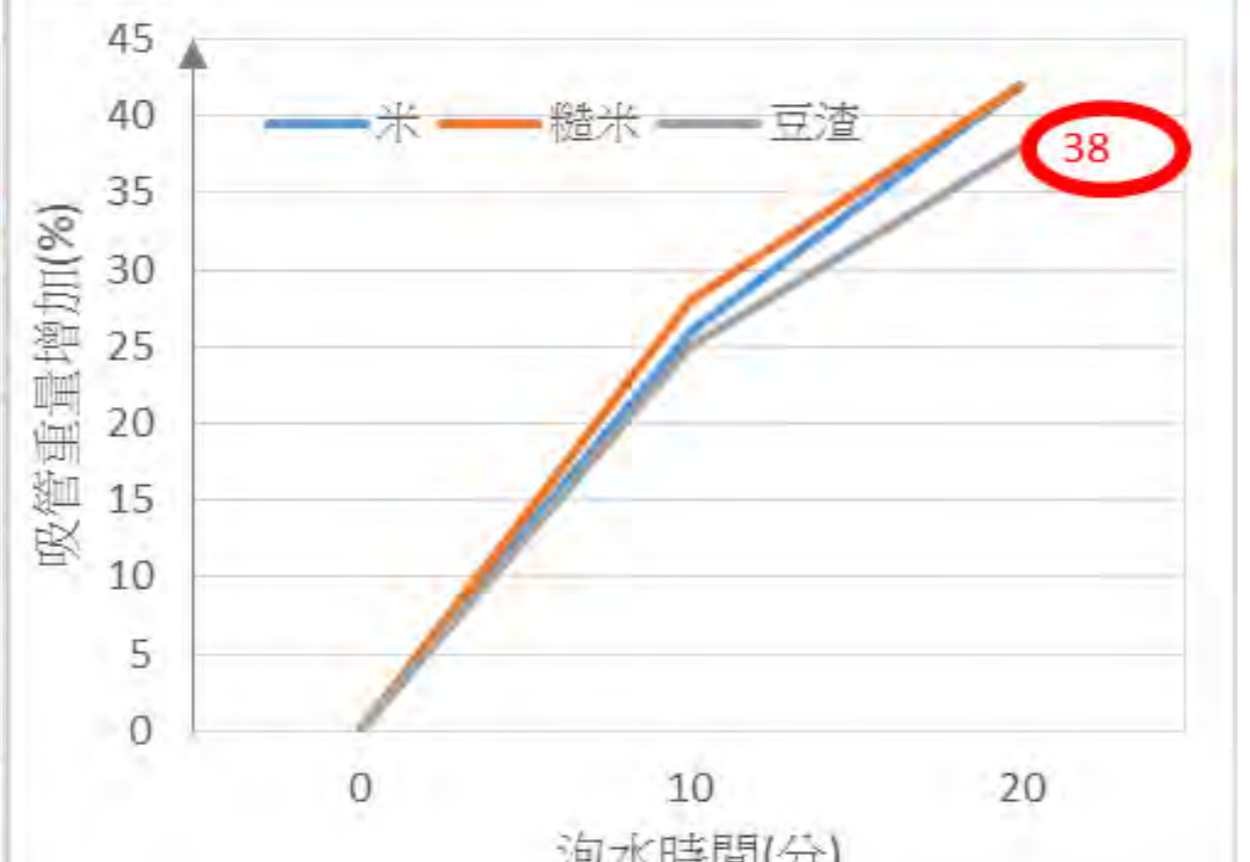


圖12 不同種類纖維吸管重量增加

豆渣烘焙程度
 淺烘焙豆渣防水佳，其纖維細長，能和麵團交織提升吸管結構



將豆渣經烤箱100°C烘烤成深烘焙(15分鐘)、中烘焙(10分鐘)、淺烘焙(5分鐘)和沒有烘焙

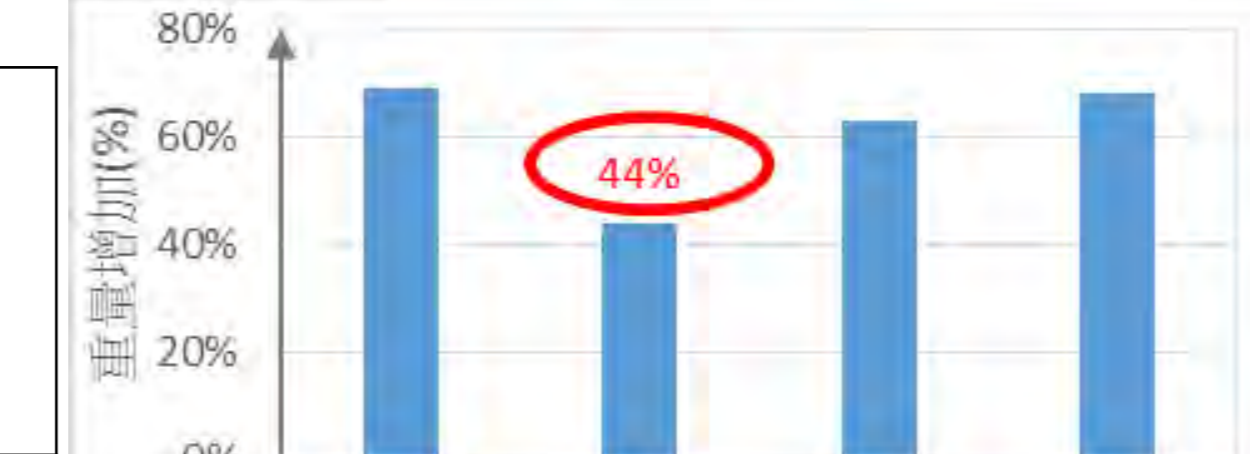


圖13 豆渣不同烘焙程度吸管重量增加

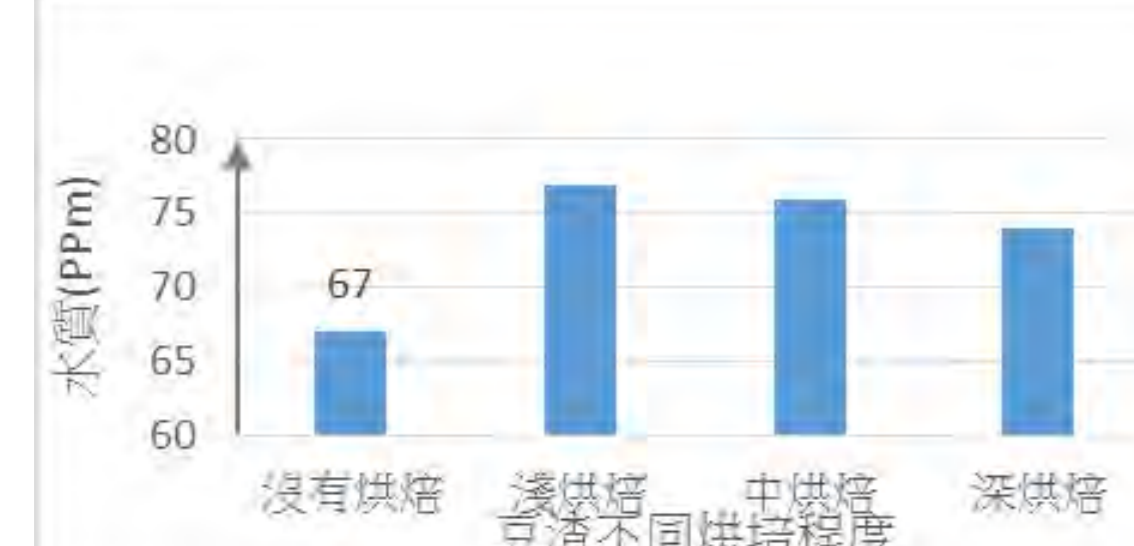


圖14 豆渣不同烘焙程度吸管水質



圖15 豆渣不同烘焙程度吸管的耐壓力

豆渣和麵團比例
 麵團和豆渣比例40:5 (豆渣5克)的防水性佳，其重量增加少、耐壓力高、水質澄清



圖13 豆渣不同烘焙程度吸管重量增加



圖14 豆渣不同烘焙程度吸管水質



圖15 豆渣不同烘焙程度吸管耐壓力測試

五. 探討添加物對吸管的防水性提升
 油脂和麵團的比例
 麵團和油比例40:2防水性佳，耐壓力最高。油越多，重量增加少，但是吸管也越軟。



圖19 不同比例油製成吸管的重量增加



圖20 不同比例油製成吸管的耐壓力

植物膠與麵團比例
 麵團和吉利T比例40:1的防水性佳，膠為黏著劑，使纖維黏合更緊密增加吸管強度。



圖21 不同比例吉利T製成吸管重量增加



圖22 不同比例吉利T製成吸管的耐壓力

糖與麵團比例
 糖與麵團比例為40:4防水性佳，糖為黏著劑，使纖維黏合更緊密增加吸管強度。

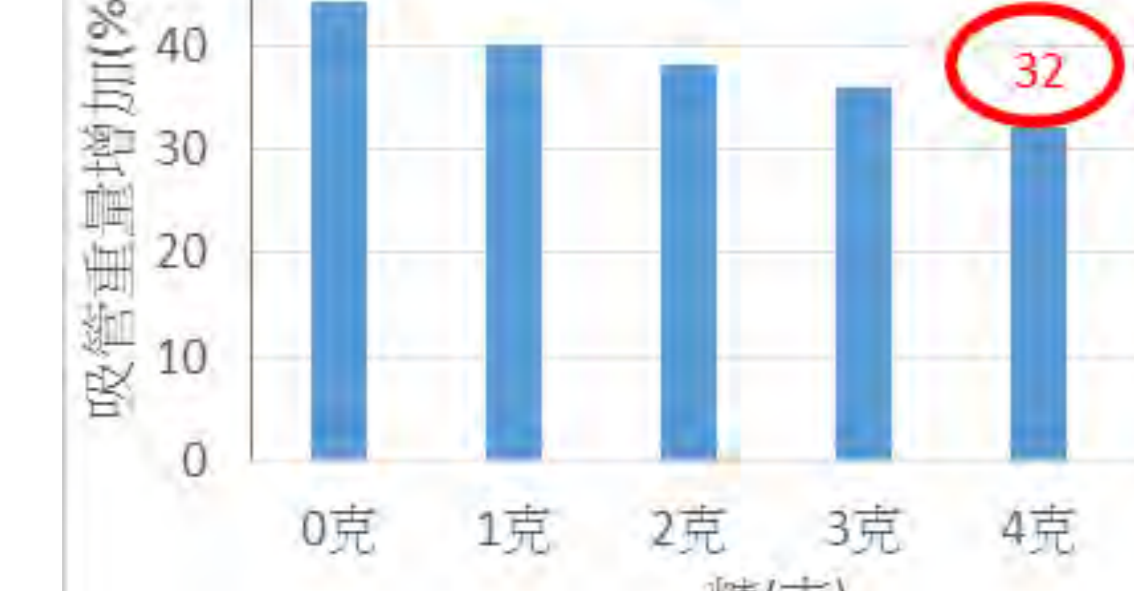


圖23 不同比例糖製成吸管重量增加

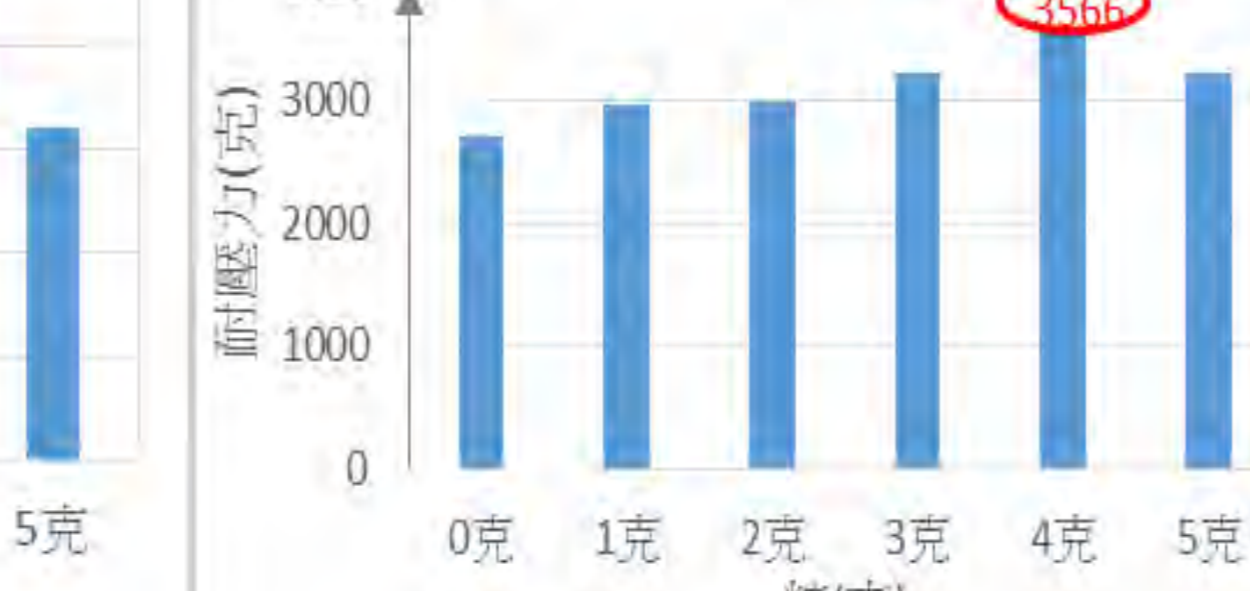


圖24 不同比例糖製成吸管的耐壓力

六. 探討塗料對豆渣吸管特質的影響
 塗料耐溫、耐水、耐水解
 蜂蠟耐用5.5小時且耐溫性佳。吸管40°C時防水性差，高溫降低吸管防水性。巧克力水質差

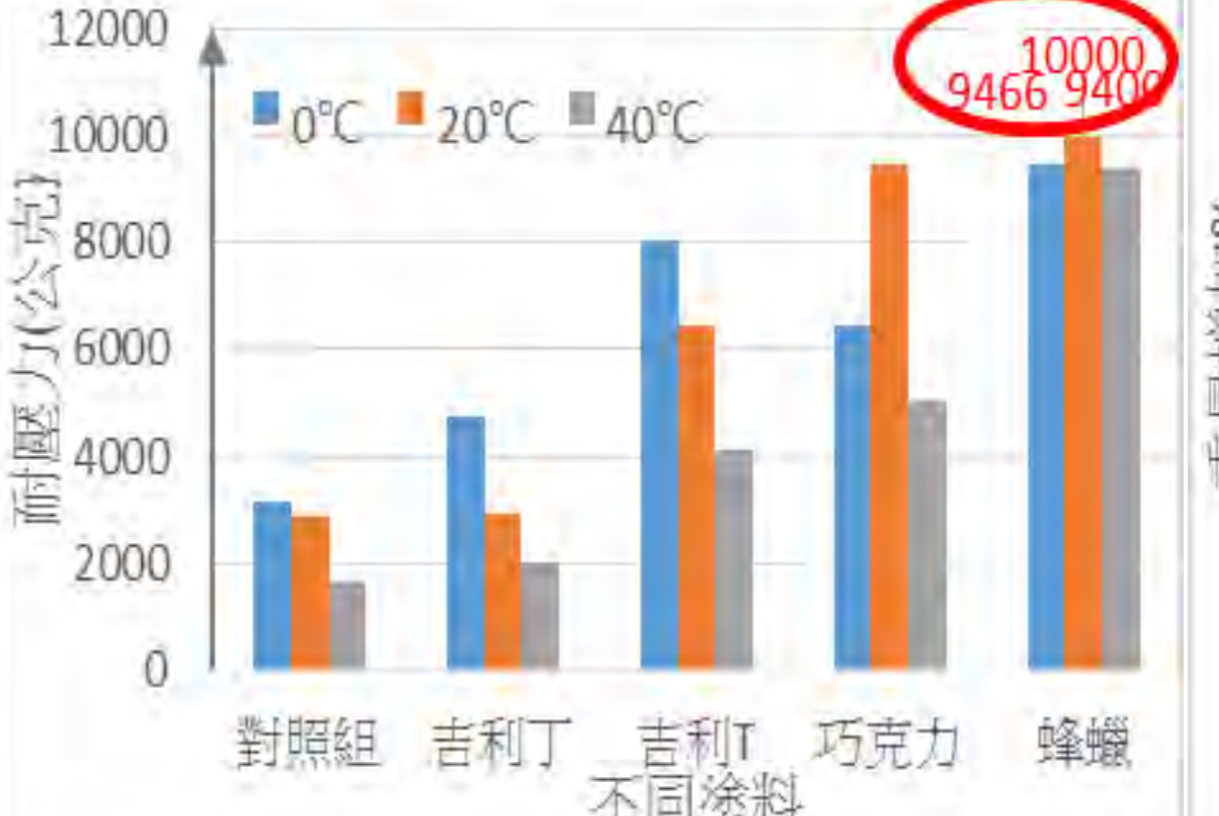


圖25 不同塗料吸管的耐溫性之水質

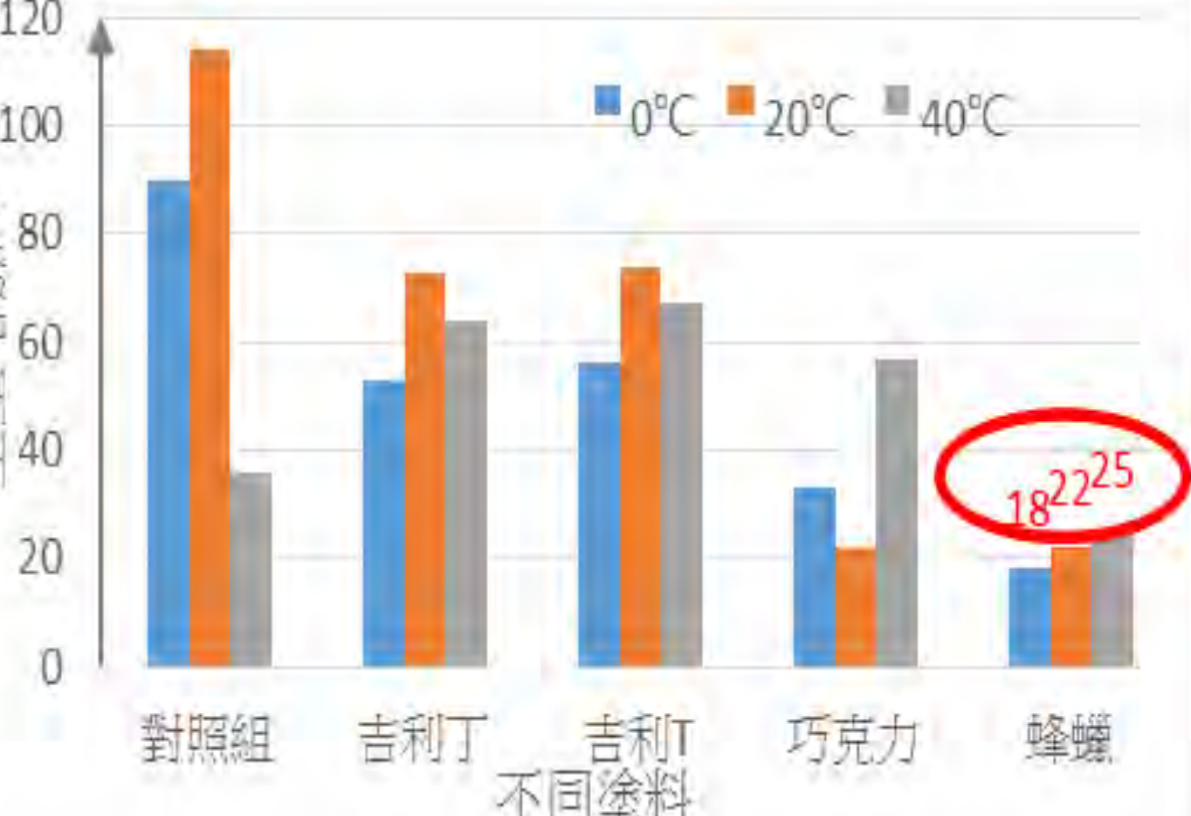


圖28 不同塗料吸管的耐水解時間

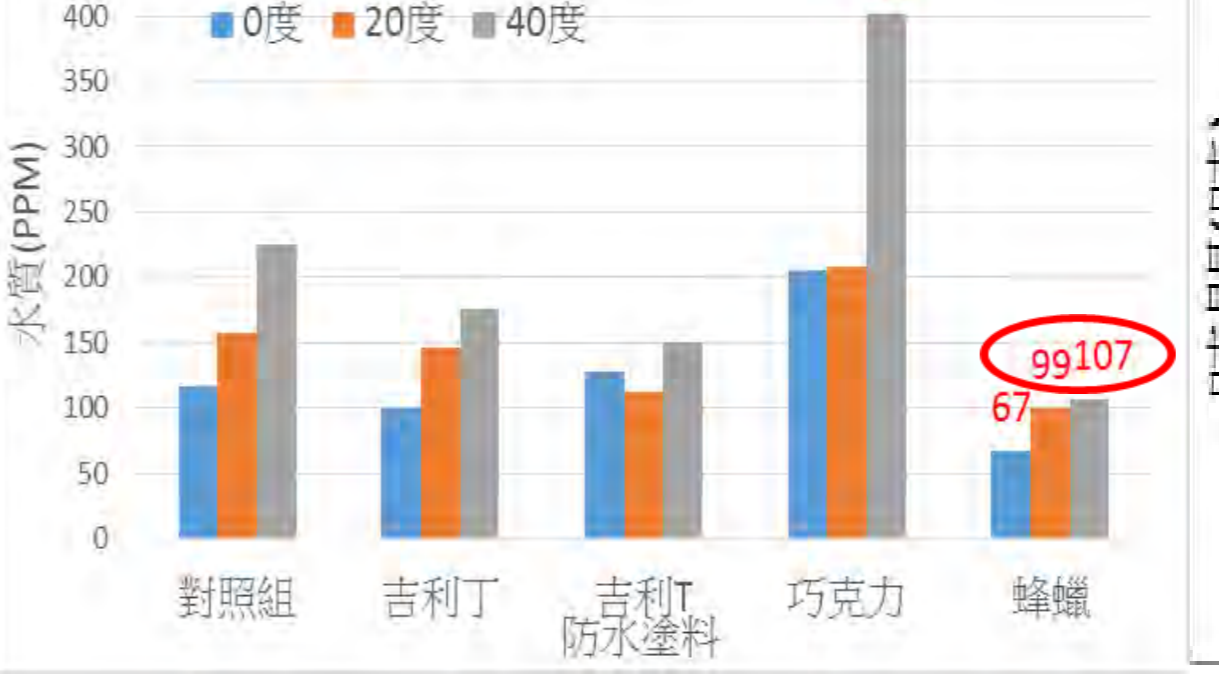


圖25 不同塗料吸管的耐溫性之水質

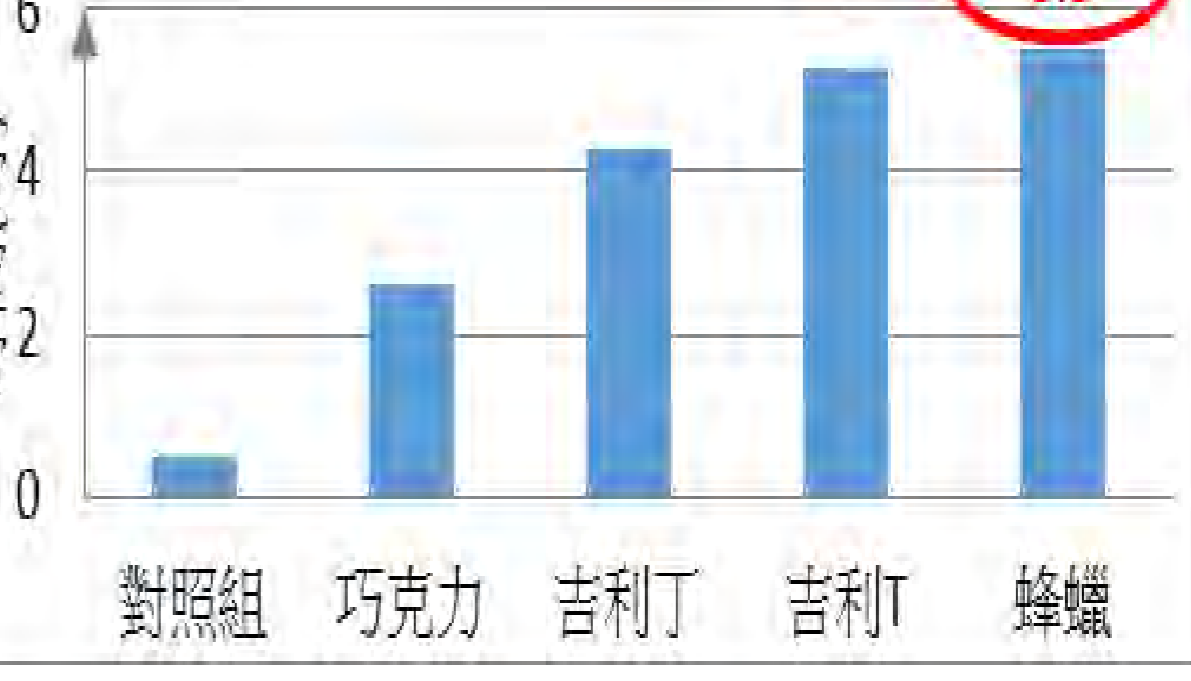


圖28 不同塗料吸管的耐水解時間

塗料防腐性
 蜂蠟黴菌面積最小，防腐佳。



圖29 不同塗料吸管的黴菌生長面積



不同塗料吸管 噴水 5c.c 長霉面積

七. 比較不同濕度對豆渣吸管保存的影響

不同濕度保存
 下雨潮濕的環境(濕度80%RH)賞味期限為14天。
 一般乾燥環境(濕度40%RH)吸管維持56天未發霉

表13 不同濕度對豆渣吸管保存之實驗步驟

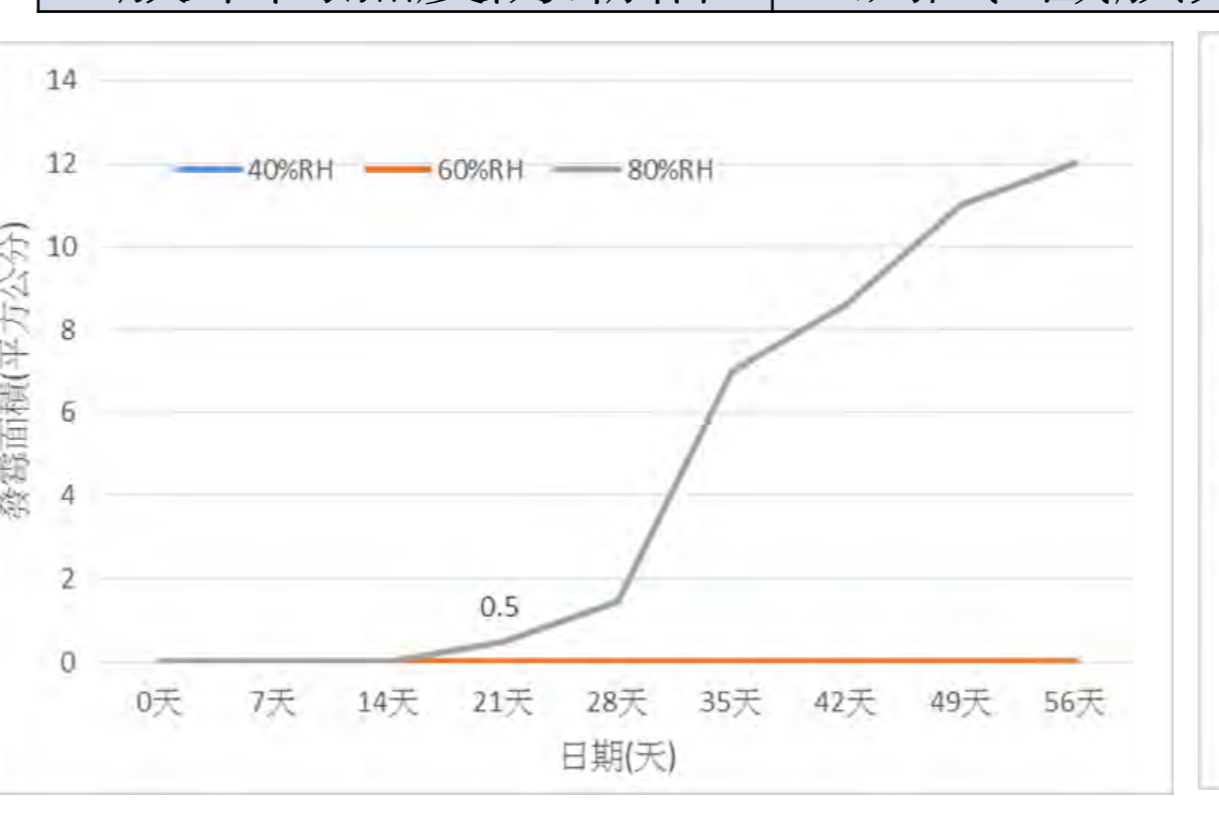


圖30 不同濕度豆渣吸管發霉情形

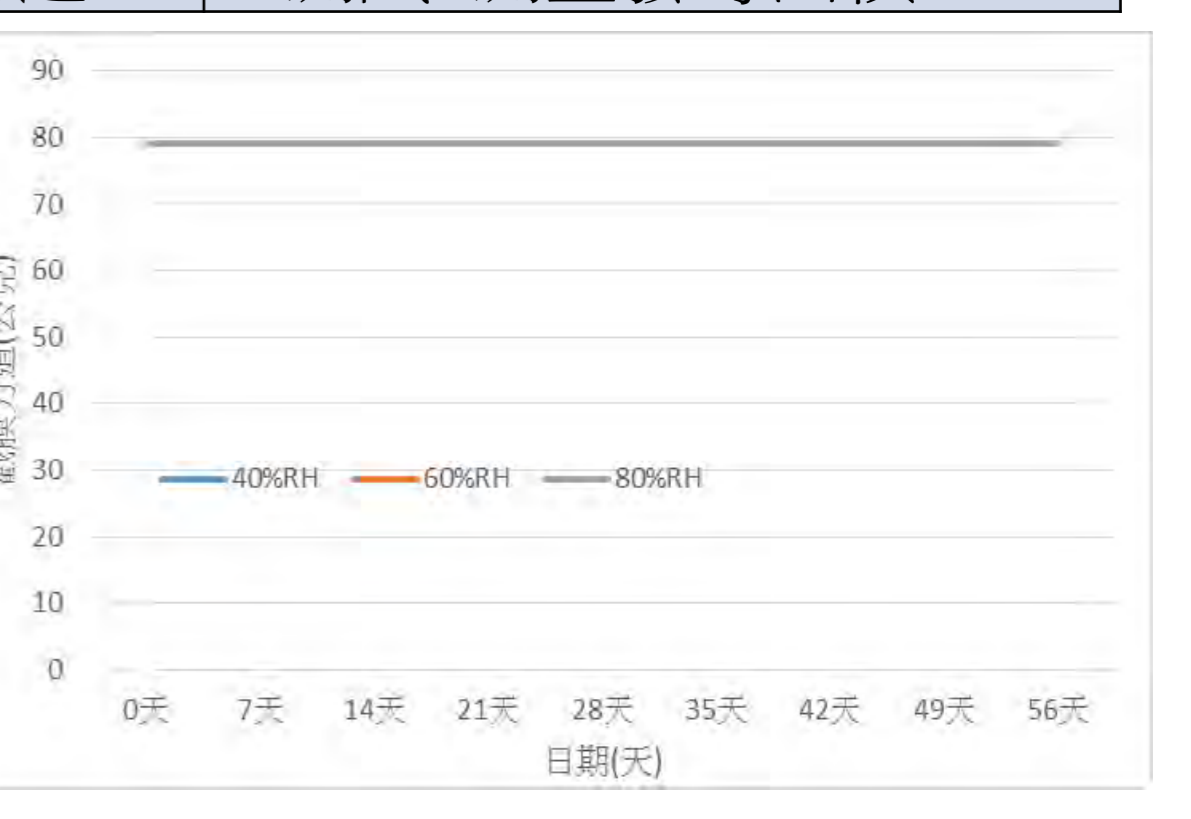


圖31 不同濕度豆渣吸管戳膜力

八. 比較市售環保吸管與豆渣吸管的戳膜力道
 戳膜力道
 豆渣吸管切角45°戳膜最佳。豆渣吸管小口徑戳膜力道較大口徑省力，除甘蔗、塑膠吸管，其他無法戳膜。

表14 不同切角對戳膜力道實驗步驟

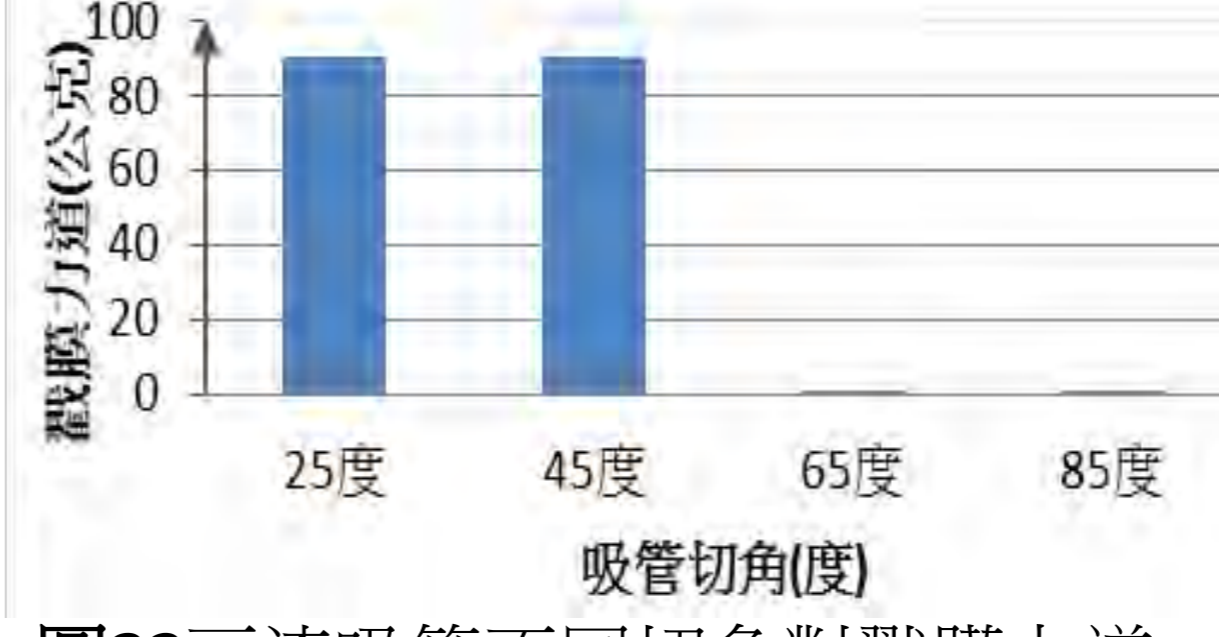
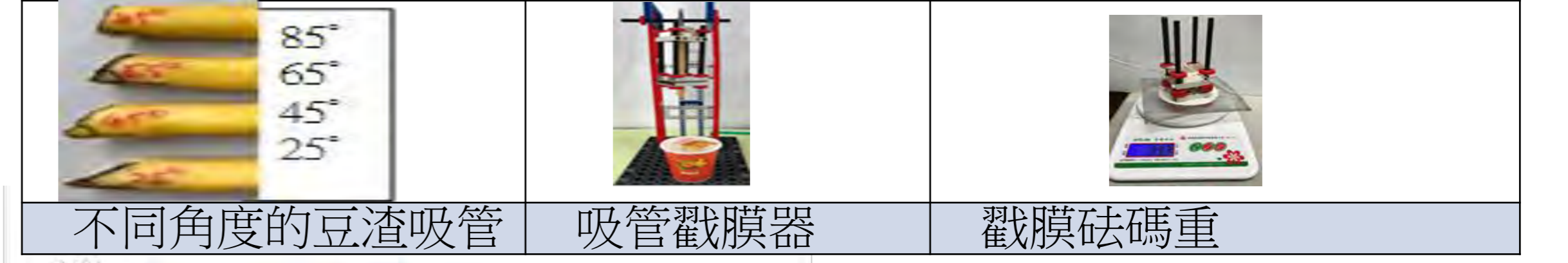


圖32 豆渣吸管不同切角對戳膜力道

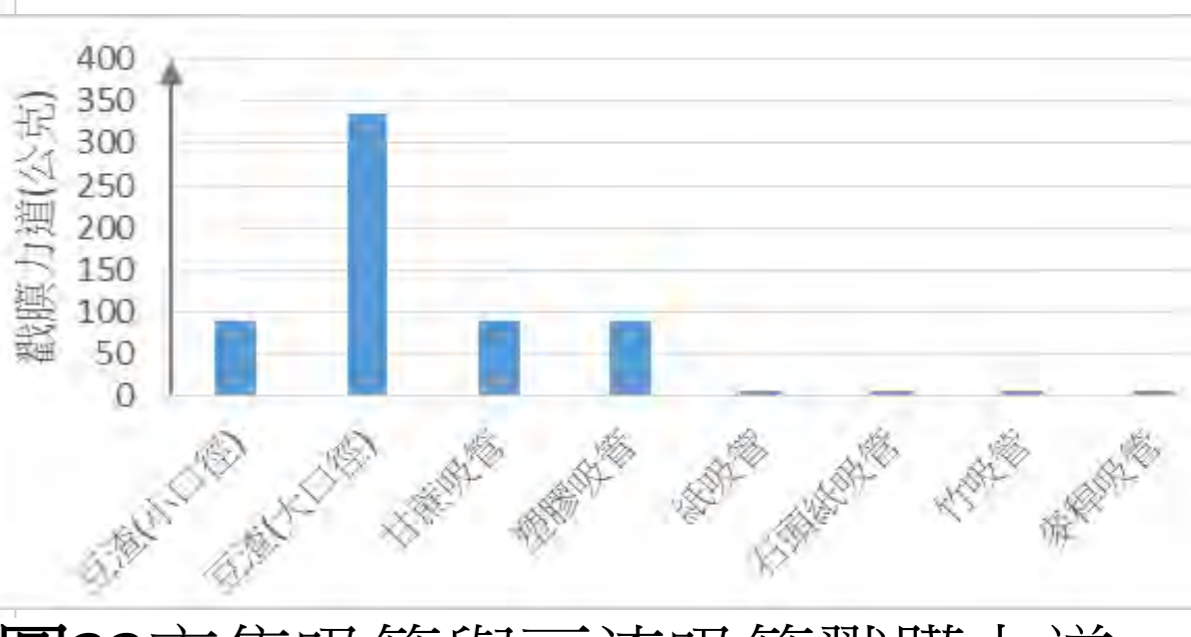


圖33 市售吸管與豆渣吸管戳膜力道

九. 比較市售環保吸管與豆渣吸管的耐溫性
 耐溫性
 豆渣吸管在水溫0°C和30°C，耐用5.5小時，60°C耐用2小時。紙、甘蔗吸管，60°C軟化無法使用

表16 不同吸管耐溫性實驗步驟

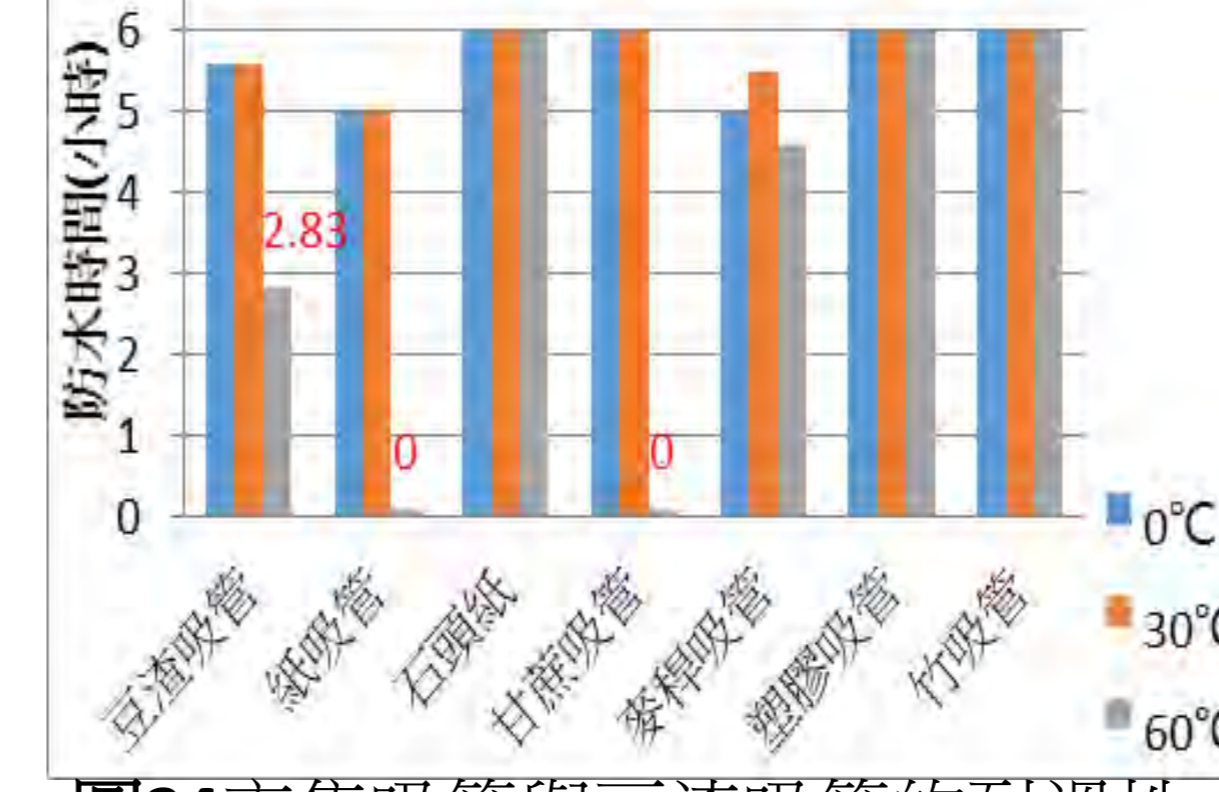
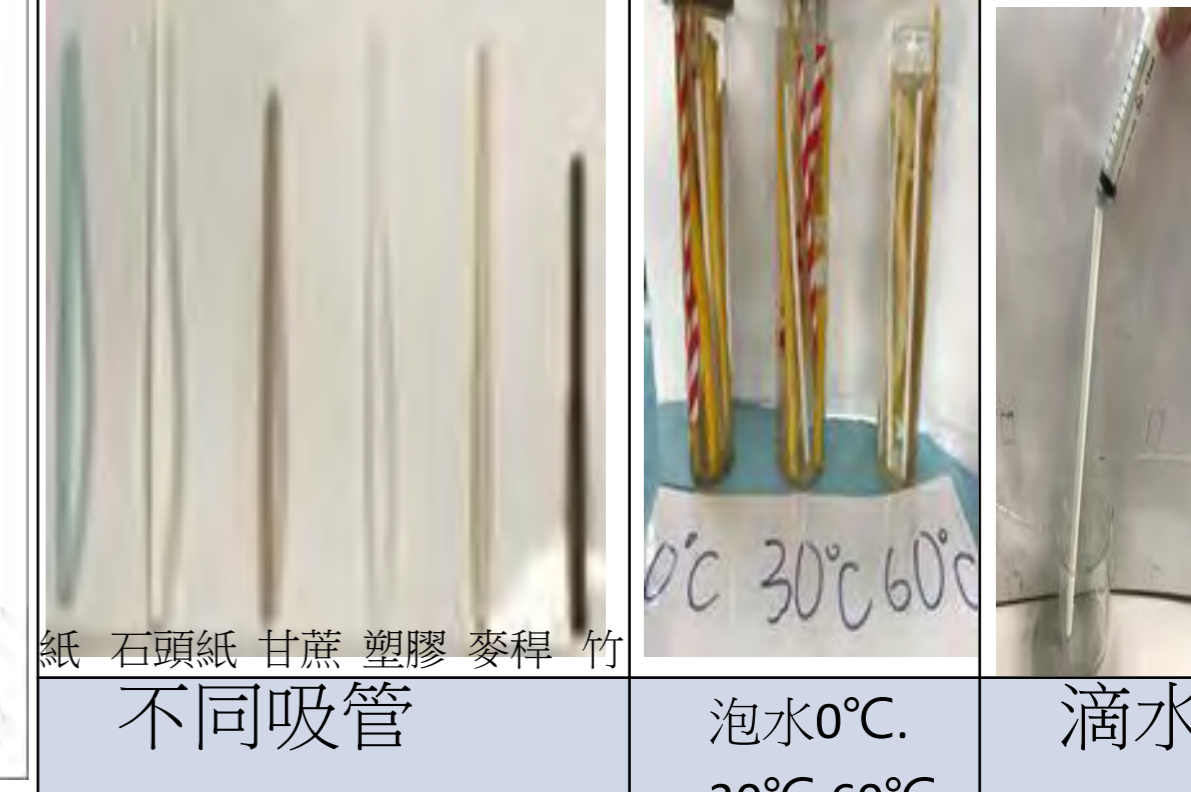


圖34 市售吸管與豆渣吸管的耐溫性



不同吸管 泡水0°C, 30°C, 60°C 滴水

十. 比較市售環保吸管與豆渣吸管的耐酸性
 耐酸性
 不同吸管在酸度pH3(檸檬汁)都能耐用4.5小時。

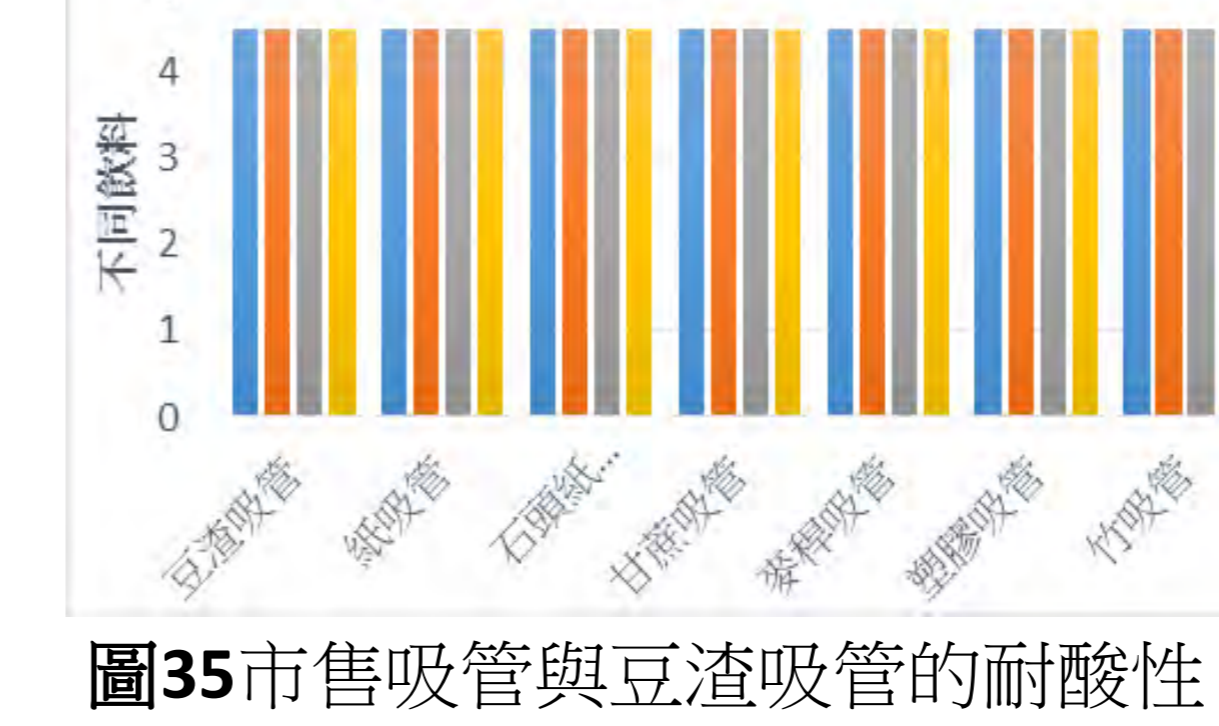
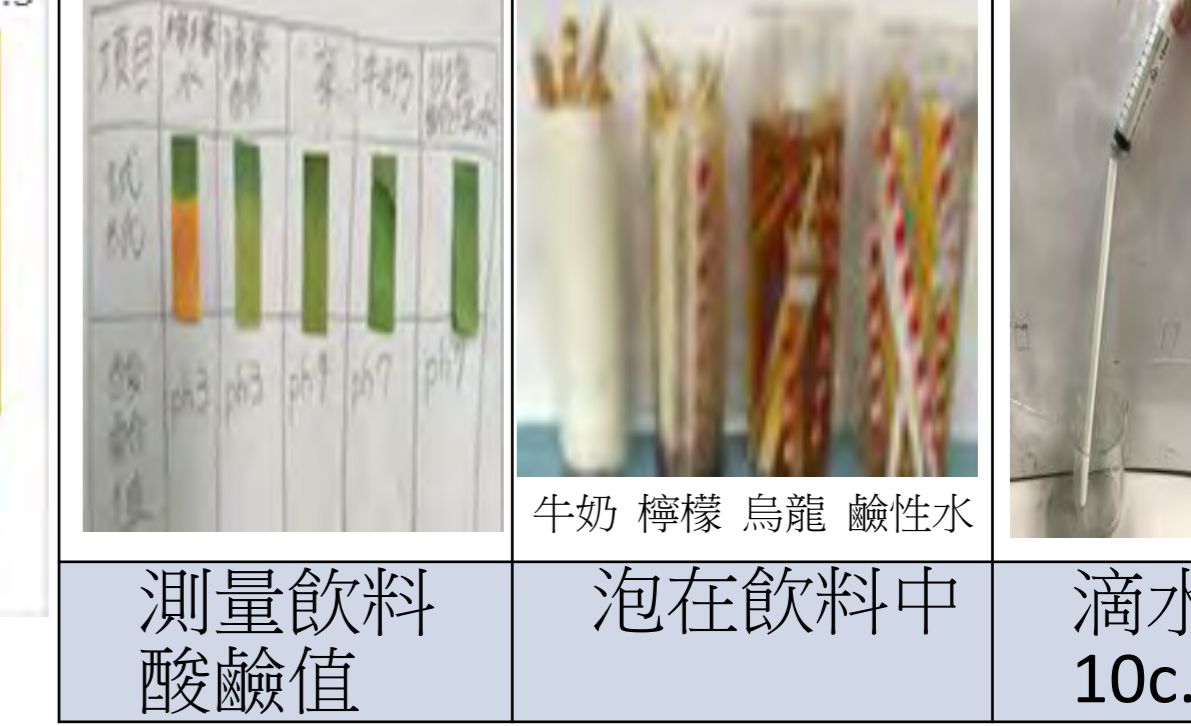


圖35 市售吸管與豆渣吸管的耐酸性



測量飲料酸鹼值 泡在飲料中 滴水 10c.

十一. 比較市售環保吸管與豆渣吸管的環保性

土壤分解時間 豆渣吸管土壤分解速度最快，其次是紙吸管，其他吸管經過35天差異不大

表18市售環保吸管與豆渣吸管在土壤中的分解時間實驗步驟



海水分解時間 豆渣吸管7天因吸水膨脹嚴重，14天時破裂成碎塊，分解程度顯著。而經過35天其他吸管無明顯改變

表19市售環保吸管與豆渣吸管在鹽水分解時間實驗步驟

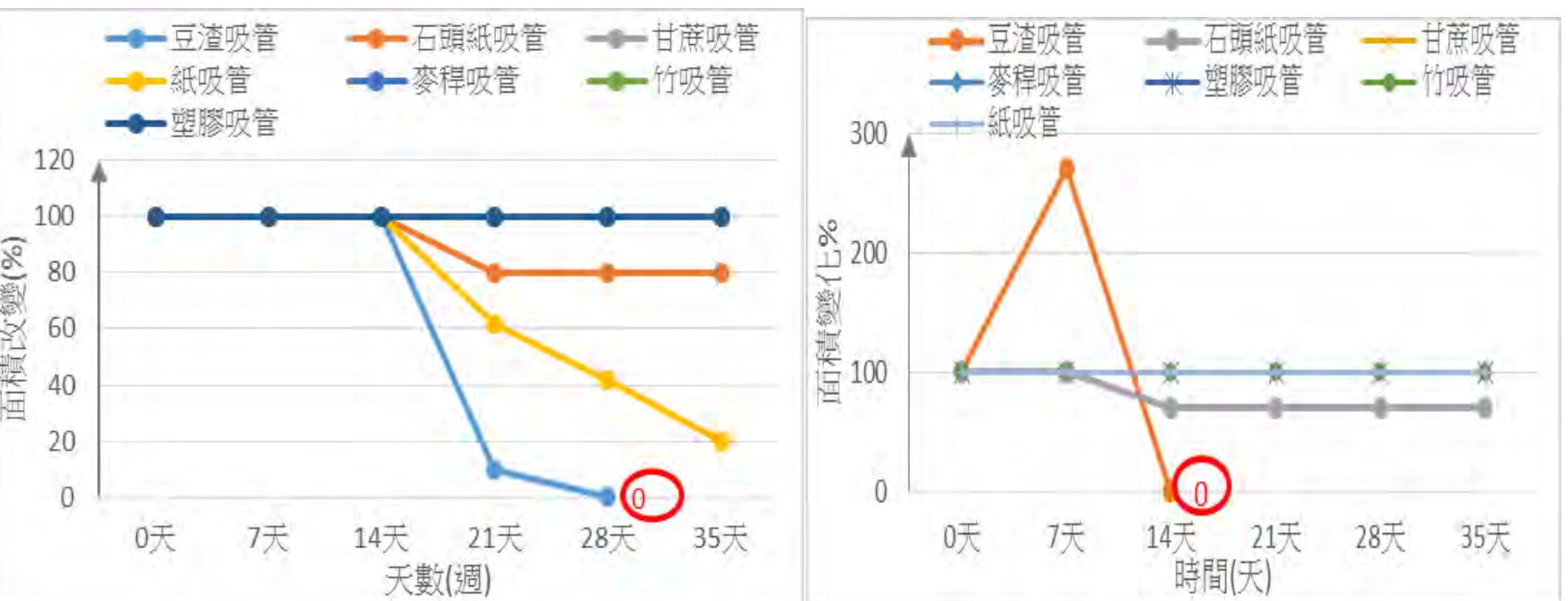


圖36 不同吸管土壤分解面積變化 圖37 不同吸管鹽水分解面積變化

燃燒殘留物種 豆渣吸管相較於石頭紙吸管較不影響植物生長，甘蔗吸管生長些微優於豆渣吸管。水質計檢驗，石頭紙水質差



圖38 不同吸管燃燒物對綠豆影響

十二. 探討大眾對豆渣吸管喜好口味

豆渣吸管口味 巧克力口味較受大眾喜愛



圖39 不同口味吸管受歡迎程度

十三. 比較市售環保吸管與豆渣吸管抗氧化力

吸管營養抗氧化力 豆渣吸管抗氧化效果佳。石頭紙吸管、甘蔗吸管無抗氧化力

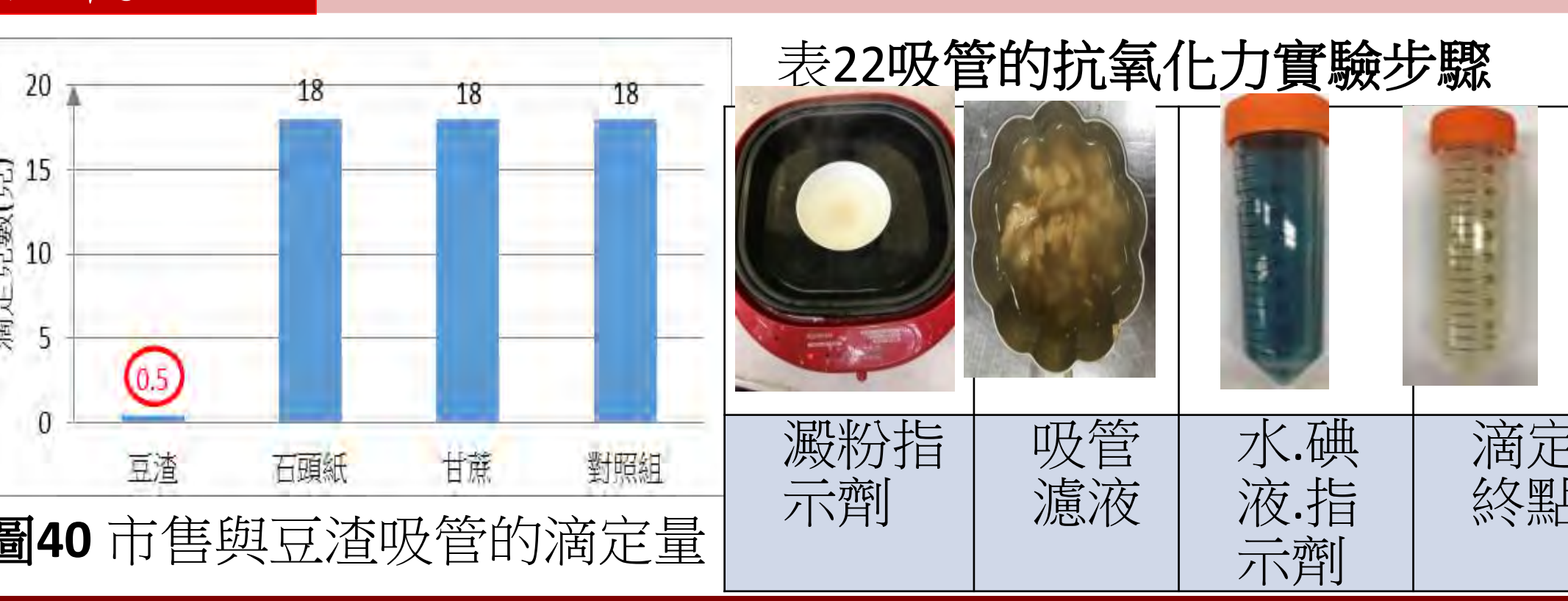


圖40 市售與豆渣吸管的滴定量

捌、研究討論

吸管模具 模具設計改良吸管切斷點問題

主材料 杜蘭小麥為硬質麥類，易塑形為中空狀

補強纖維 淺烘焙纖維成細絲狀，能和麵團交織成吸管結構

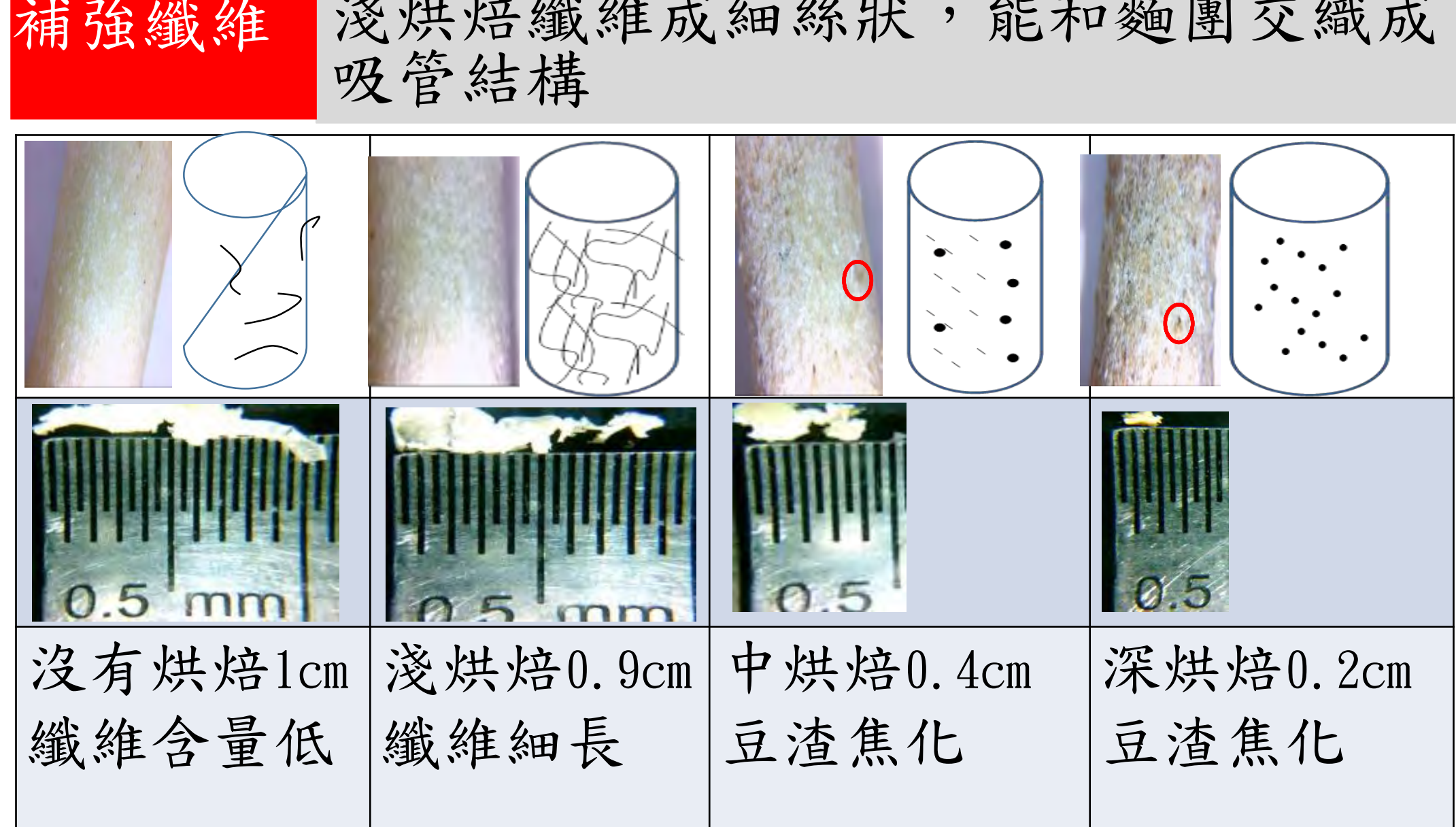


表24 不同烘焙程度豆渣纖維焦化情形

添加物 適量油使麵團延展性佳，使吸管成形。膠與糖為黏著劑，使纖維黏合緊密增加吸管強度。

塗料 蜂蠟塗料為疏水性塗料且熔點高防水佳

疏水性塗料蜂蠟和巧克力的夾角較大，水分子的表面張力便會將水內聚而形成水滴，使水不易進入物質孔隙，提高材料強度。

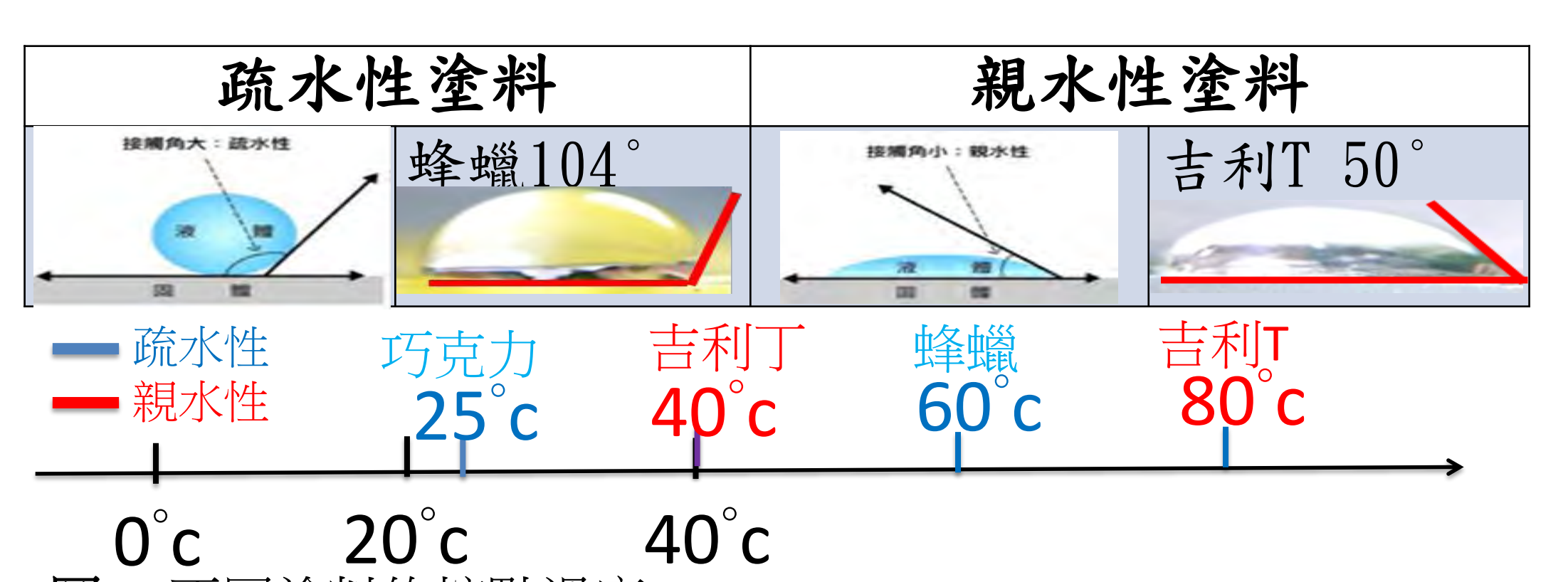


圖41 不同塗料的熔點溫度

不同濕度的保存 下雨潮濕環境(濕度80%RH)，第21天發霉。而在一般天氣或是冷氣房(濕度60%、40%RH)，能維持56天未發霉

市售吸管與豆渣吸管耐溫性 豆渣吸管常溫5小時，60°C耐用2小時。甘蔗和紙吸管60°C軟化。塑膠、石頭紙吸管(PE膜)溶出塑化劑疑慮。

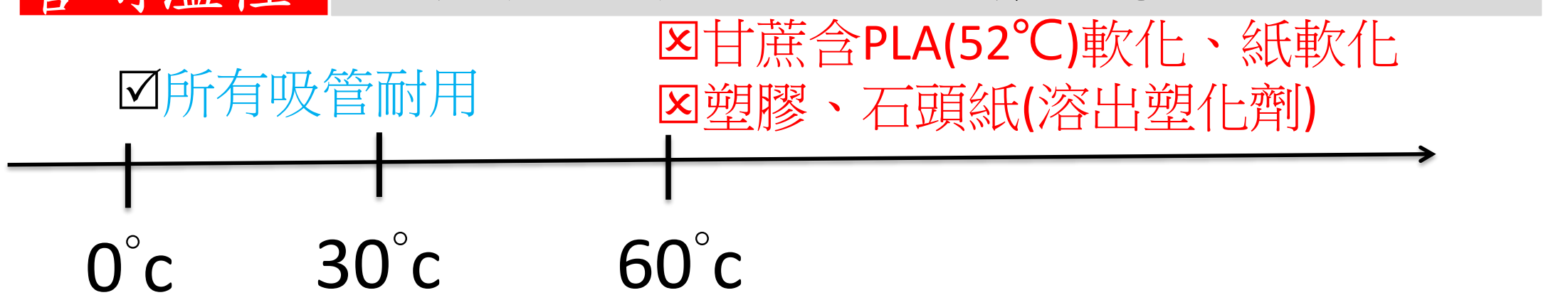
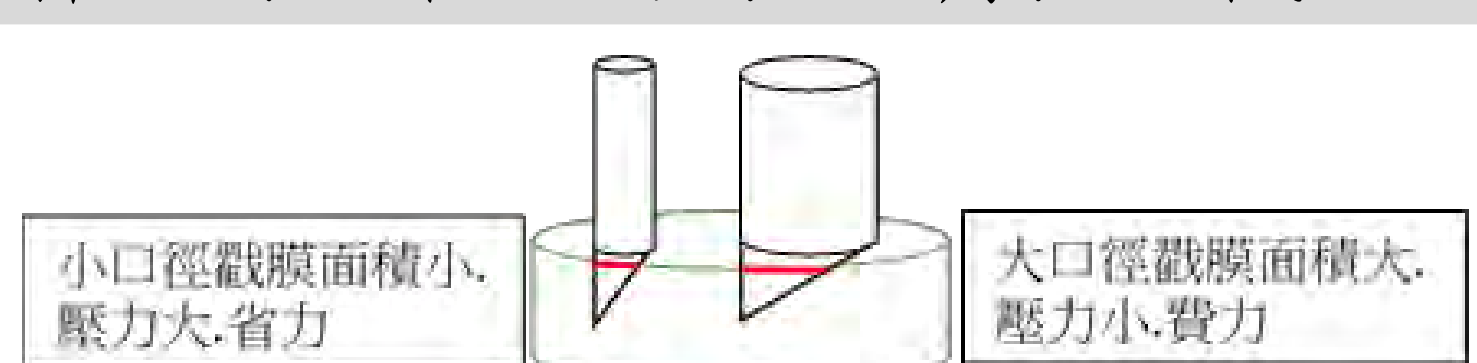


圖42 市售環保吸管與豆渣吸管的耐溫溫度

戳膜力道 小口徑戳膜面積小，省力。紙、石頭紙、麥稈、竹吸管脆弱，無切角無法戳膜



耐酸性 不同吸管在酸度pH3均耐用4.5小時

環保性 豆渣吸管分解最快，綠豆生長與水質有關

土壤分解	海水分解	廚餘堆肥	垃圾焚燒
✓豆渣、紙、麥稈、竹 ✗甘蔗、石頭紙、塑膠	海水最高30°C ✓豆渣、紙、麥稈、竹 ✗甘蔗、石頭紙、塑膠	✓豆渣 ✗甘蔗、石頭紙、竹、塑膠、紙、麥稈	✓所有吸管

抗氧化 豆渣含有維他命E，是天然的抗氧化劑

特性比較 豆渣吸管分解快，耐溫，易戳膜，大口徑

	豆渣	甘蔗	麥稈	紙	石頭紙	竹	塑膠	備註
土壤分解	✓	X	✓	✓	X	✓	X	V有分解 X無分解
海水分解	✓	X	✓	✓	X	✓	X	V有分解 X無分解
燃燒物	△	△	△	△	X	△	X	△些微影響 X嚴重影響
耐溫性	✓	X	✓	X	X	✓	X	V耐60°C X無分解
戳膜	✓	✓	X	X	X	X	✓	V能戳膜 X不能戳膜
吸珍珠口徑	✓	✓	X	✓	✓	X	✓	V可吸珍珠 X不可吸
耐酸性	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	V耐酸
可食與營養	✓	X	X	X	X	X	X	V可食 X不可食
價格(元)	1.6	2.8	0.7	1.2	2.5	45	0.2	

豆渣吸管應用 可做攪拌棒，叉子，湯匙，筷子



玖、研究結論

1. 模具改善吸管切斷點問題，提昇製備技術。
2. 杜蘭小麥、豆渣纖維、油、膠、糖的最佳比例為40:5:2:1:4。淺焙豆渣纖維細長，能和麵團交織成吸管結構。油使麵團延展性佳，使吸管容易成形；膠與糖為黏著劑，使纖維黏合更緊密增加吸管強度。
3. 蜂蠟塗料防水與防腐效果佳，耐用時間5.5小時。吸管保存在一般天氣或冷氣房能夠維持56天未發霉；連續下雨環境第14天發霉。
4. 豆渣吸管較市售吸管具實用性(1)耐溫性:豆渣吸管60°C耐用2.5小時，紙、甘蔗、石頭紙吸管，因軟化或塑化劑溶出疑慮不能使用(2)耐酸性(3)易戳膜:紙、石頭紙、麥稈、竹吸管無法戳膜(4)大口徑可吸珍珠:麥稈、竹吸管無法吸珍珠。且價格較甘蔗、石頭紙吸管便宜。
5. 豆渣吸管分解最快，可以克服環保吸管在目前垃圾處理方式難以解決之現狀，為最佳環保吸管。較石頭紙燃燒物不影響植物生長。
6. 豆渣吸管巧克力口味最受大眾歡迎，且具維他命E能夠溶出抗氧化物質。