

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科(二)

第三名

032913

「織」來變「膜」術

學校名稱：臺南市立復興國民中學

作者： 國二 林耘樂 國二 林沛瑜 國二 王睿宏	指導老師： 黃怡綸 黃吉楠
---	-----------------------------

關鍵詞：明膠、纖維素、防水

摘要

本研究主要是利用農業廢棄物-稻殼，浸泡在檸檬酸或飽和石灰水後，所得酸或鹼液再加入明膠溶液中，可有效提升防水性。實驗結果發現：在 4.0 % 的明膠溶液 20 公克中，加入甘油 0.5 mL、酒精 1.5 mL，再加入浸泡稻殼粉 3 小時後的 20 % 檸檬酸液 2.0 mL，所得最佳配方作為噴劑，噴灑在濾紙上並用培養皿盛裝，放在冷氣房中晾乾，可讓水滴開始滲透的時間延長，接觸角加大，防水效果明顯提升。

最佳配方噴劑噴在水果上，可有效延長水果的保鮮期；噴在日本水彩紙上，其堅韌度、耐熱溫度皆可提升，製成各式防水紙容器，經一天後滲水率、滲油率明顯下降。驗證本作品是具有用量省、方使用、成本低的可食性噴劑塗料，期待能取代市面上的塑膠淋膜，還給地球一個乾淨的環境。

壹、前言

一、研究動機

目前世界上有超過 5 兆噸的塑膠垃圾在海洋流竄，每年人類會產生 4 億噸塑膠垃圾，其中 40% 都只使用一次。我們在喝水或吃便當時，時常會用一次性的紙餐具，台灣每年用 80 億個紙容器只有 24 億個被回收，其餘的皆進了焚化爐，因為這些紙餐具的內膜聚乙烯難以和紙餐具本身分離，因為分離的成本過高，幾乎沒有回收業者會將其分離回收。所以我們便想是否可以在環保的前提下，製造出一個可以在自然環境中的分解的內膜，不但環保，也能使消費者食用時更加安心。

二、研究目的

- (一) 找出最佳的上膠方式
- (二) 找出最好的成膜方式
- (三) 找出最佳的紙膜配方
- (四) 噴劑當水果保鮮劑的可行性
- (五) 製作防水紙容器，並進行各項性質的實測

三、文獻回顧

(一) 研究方向參考

第 61 屆全國科展作品：

見「塑」不見「鱗」-魚鱗環保薄膜的研發及應用

此作品以魚鱗作為明膠的原料，製作出的薄膜有韌性、彈性，可溶於熱水中，故而當作泡麵調味包的材料。但此作品缺乏防水性，因此我們想以防水為主要出發點來進一步研究。



圖 1-3-1 魚鱗環保薄

(二) 歷年相關作品

1. 中華民國第 18 屆旺宏科學獎：

好膜成雙-幾丁聚醣複合保鮮膜製作之探討

優點：如圖 1-3-2，比市售的 PE 保鮮膜較環保。

缺點：製出的薄膜並不能防水、且縮皺狀況嚴重。



圖 1-3-2 幾丁聚醣複合保鮮膜

2. 第 61 屆全國科展作品：

「混」是「膜」王—探討海藻酸鈉及澱粉混和薄膜的特性

優點：如圖 1-3-3，吸水率具有 99% 吸水量很高。

缺點：製出的薄膜容易碎裂，粗糙且乾裂，無法防水。



圖 1-3-3 海藻酸鈉和澱粉混合薄膜

3. 第 59 屆全國科展作品：

洋洋得益--以洋菜冷凍鍍膜製作防水紙吸管

優點：如圖 1-3-4，使用洋菜粉以冰箱冷凍鍍膜製作，環保易分解。

缺點：先將紙張做成紙捲，並使用醬糊當黏著劑，再將紙捲泡入洋菜液中，以懸掛式晾乾製出的薄膜可能塗佈較無法均勻，且塗層較厚用量大。



圖 1-3-4 洋菜粉冷凍鍍膜紙吸管

4. 2016 美國傑出工業設計獎的銅獎：「折疊紙吸管」-

優點：如圖 1-3-5 吸管和外包裝一體成形，縮小回收空間。

缺點：放在水裡大約 10 分鐘就濕掉，無法防水



圖 1-3-5 摺疊紙吸管

(三) 研究方向

上述作品多以薄膜為主要方向，而作品中的紙吸管防水性也不夠好，因此我們嘗試添加可食性材料，改變明膠配方，製作出能取代紙杯上塑膠淋膜的材料，或是可以防水的保鮮噴劑，達到環保、減量的目標。

四、名詞解釋

(一) 紙容器

紙容器，又稱免洗餐具，泛指僅供一次性使用、用後不需清洗直接丟棄的消耗性廉價餐具。紙杯內部還有一層由薄蠟或塑膠提煉的防水淋膜，那層膜因為是塑膠製品，讓紙類食品容器不能進入紙類回收，只能屬於容器類回收，故在回收時仍須額外分離淋膜再個別處理。

紙杯與淋膜分離的程序繁複、成本較高。而未經回收的容器送進垃圾場後，附著在上面的塑膠淋膜焚燒後會產生戴奧辛等空氣污染，埋在土壤也要上百年才能自行分解，進而影響土壤永續利用 (2018 科學月刊 444 期-中正學生團隊研發新材料紙杯淋膜可望被生物降解)。近幾年使用 PLA「聚乳酸塑膠」來代替防水淋膜，不過 PLA 要在特定條件下才能分解，但專門的回收處理廠在台灣卻很少見，以至於大多 PLA 直接當成垃圾，最後還是會進到焚化爐裡。

盛裝食物的紙袋內有一層防油塗層，那些都是 PFAS (全氟/多氟烷基物質，Per/Poly fluoro alkyl substances)，都是環境中普遍存在的持久性有害化學物質，雖然 PFAS 很穩定，運用在許多防水、防油的塗料中，但因不易被自然分解，最終會在水源、土壤、生物體中持續累積。

(二) 明膠

無色至淺黃色固體，有光澤，無臭，無味。一種大分子的親水膠體，是膠原部分水解後的產物，具有熱穩定性、親水性、成膜性、增稠性和凝膠性。不溶於水，但浸泡在水中時，可吸收 5~10 倍的水而膨脹軟化，如果加熱，則溶解成膠體，冷卻至 35~40°C 以下，成為凝膠狀。

(三) 丙三醇

又稱甘油，是一種無色無臭但有甜味的黏性液體，沸點為 290°C，吸水性很強，分子式為 $C_3H_8O_3$ 。在本實驗中為**增加明膠彈性**的物體，且具有醇類的通性。食品工業甘油**可以做為食品添加劑**（例如添加在麵包、蛋糕中作保水劑）。

(四) 乙醇

乙醇又稱酒精，示性式為 C_2H_5OH ，是常用的燃料、溶劑和消毒劑。在本實驗中具有修飾化明膠具有較優良的乳化安定性及乳化活性及**加速乾燥與揮發**的作用。

(五) 檸檬酸

檸檬酸的化學式為 $C_6H_8O_7$ ，自然在柑橘類水果中產生的一種**天然防腐劑**，也是食物和飲料中的**酸味添加劑**。在室溫下，檸檬酸是一種白色晶體粉末。在本實驗中檸檬酸作為分解稻殼粉的作用。

(六) 生石灰

生石灰是氧化鈣化學式 CaO ，微溶於水，其水溶液稱為石灰水 $Ca(OH)_2(aq)$ ，強鹼性。本實驗希望能作為分解稻殼粉的作用，並藉由期會**與空氣中的二氧化碳產生化學反應後，會產生碳酸鈣**，來間接增加紙張的防水性。

(七) 稻殼

是稻米的穗殼，質地為堅硬的保護層，又稱粗糠或稃，可以用作建築材料、肥料、絕緣材料或燃料。稻殼是由硬質材料形成的，包括乳白色二氧化矽以及**木質素纖維**，所佔比例約為 20%與 60%；由於稻殼粗纖維含量高，因此對於人類來說是不好下嚥，也是消化不良的，因此為**水稻生產的主要廢棄物之一**。但就是其擁有高含量的**纖維素**，因此在本作品中列為添加在明膠中的物質之一，**希望能將明膠改性，增加其防水性**。圖 1-4-1 左為本作品所使用的稻殼，利用研磨器磨成粉後如圖右。

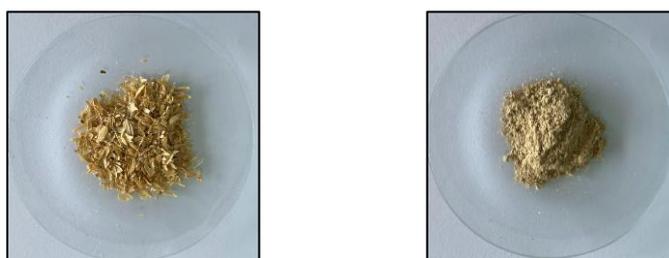


圖 1-4-1 左圖為農業廢棄物-稻殼，右圖為研磨後的後的稻殼粉

貳、研究設備及器材

一、研究材料：明膠、甘油、乙醇、5%轉麩醯胺酸酶(Transglutaminase，以下簡稱為TG)、廢棄稻殼、檸檬酸、生石灰。

二、研究器材：量筒、滴管、燒杯、漏斗、酒精燈、刮勺、鑷子、試管、木塊、玻璃棒、滴定管、濾紙(圓形、長條形)、日本水彩紙、溫度計、培養皿、研磨機、離心機、微量電子天平、噴瓶、噴筆、噴槍、烤盤、電磁加熱攪拌器、紅外線溫度計、光敏電阻、LED 燈、筆電、手機、手機架。

參、研究過程與方法

一、研究流程圖

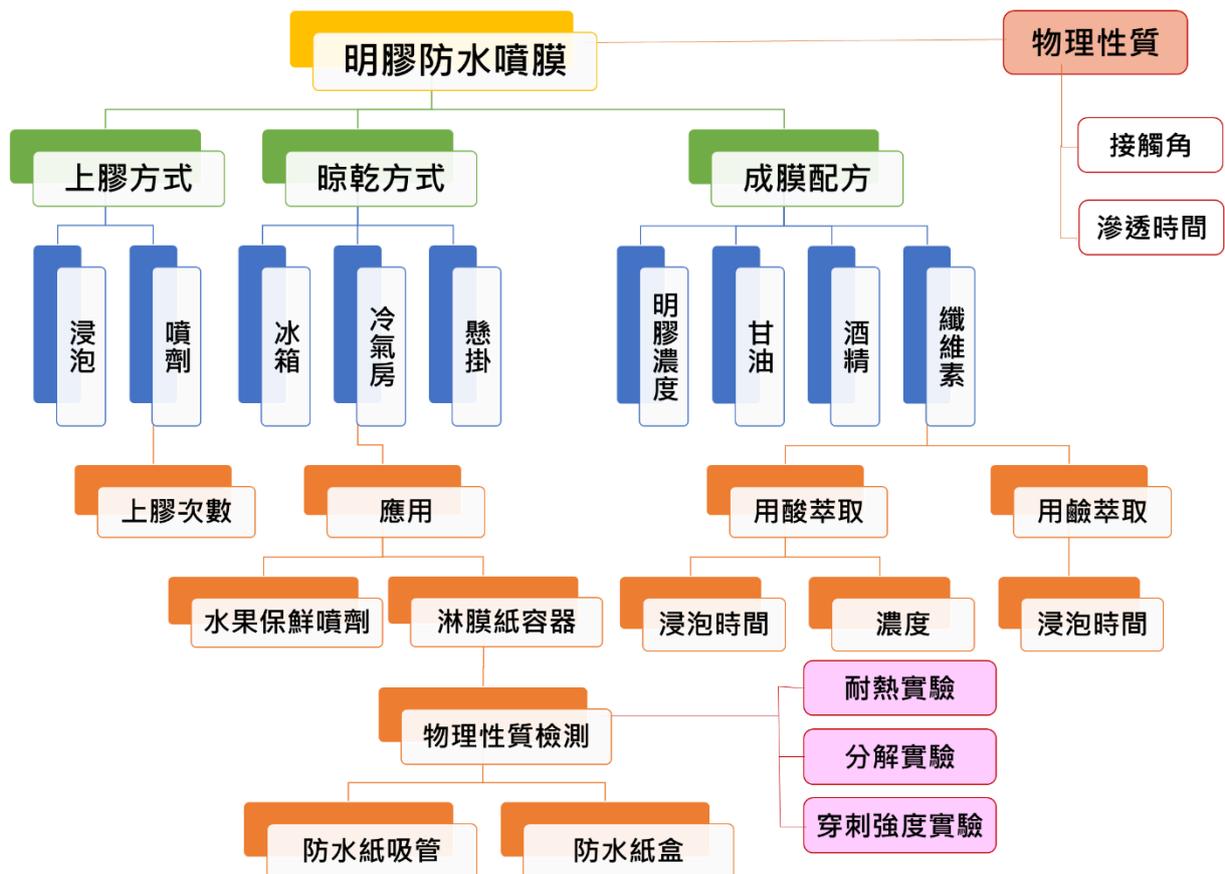


圖 3-1 研究流程圖

二、研究測量方法

(一) 接觸角

1. 定義：

接觸角（**contact angle**）是意指在液體/氣體界面接觸固體表面而形成的夾角。在固體表面上的一液滴，若此液體受到固體表面之作用力甚強（例如水與一種強親水的固體的表面），液滴將會完全地平在固體表面上，而其接觸角約為 0° 。而非強親水性之固體，則接觸角則會較大，到約 90° 。在許多高親水性的表面上，水滴所表現自 0° 到 30° 。

若是固體表面為疏水，則接觸角將大於 90° 。對於高疏水性的表面，其對水的接觸角可高達 150° 或甚至近 180° 。在這種的表面上，水滴僅是停留在其上，而非真正對其表面浸潤，可稱之為超疏水，我們可以在適當氟化處理過（類鐵氟龍塗佈）的表面觀察到，並可稱之為蓮葉效應。

2. 測量接觸角的方法：

硬體設備如圖 3-2-1 所示，使用滴定管準確控制定量水滴，利用固定架放置手機，調整高度使鏡頭與平面貼齊。

軟體使用 PicPick 編輯，它是一款具備強大的圖像編輯和標註功能的軟件，測量後即可求出接觸角，如圖 3-2-2 所示。

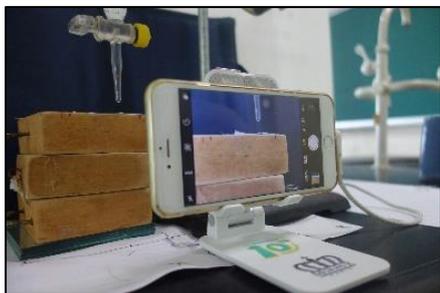


圖 3-2-1 接觸角拍攝裝置

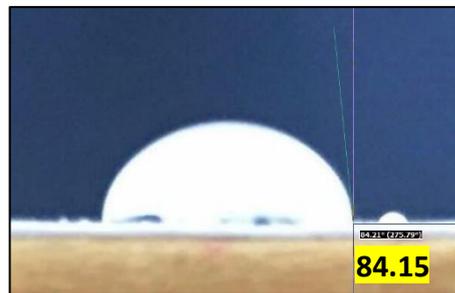
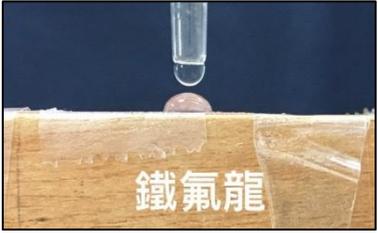
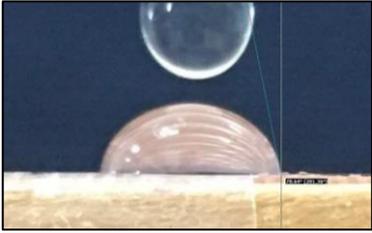
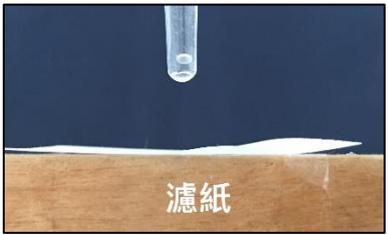


圖 3-2-2 接觸角測量結果

我們將鐵氟龍以及濾紙，分別進行接觸角的拍攝與測量，所得結果如表 3-2-1，發現鐵氟龍這種不沾黏的塗層材料有較大的接觸角，角度為 78.40° 。而濾紙因其表面孔隙過大，水滴滴下時瞬間被潤濕，無法測量接觸角，可見其疏水效果最差。

表 3-2-1 各項物質接觸角的實驗結果

測試物品	拍攝照片	接觸角照片	接觸角
鐵氟龍			78.40 度
濾紙			水滴滴下後，馬上浸潤紙張，完全無防水性

(二) 水滴滲透時間的量測

1. 承接上述接觸角實驗，當水滴滴在待測物上時，紀錄水滲到濾紙後所花的時間。
2. 時間越長，代表防水效果越好

(三) 判定防水效益

1. 將接觸角和水滴滲透時間分別排序得到各別名次，再將兩者名次相加得到總積點。
2. 總積點越小，代表有較佳的防水效果

(四) 紙張堅韌度的量測

1. 利用自製的電子天平，如圖 3-2-3，示意圖如圖 3-2-4，測量紙張被鐵釘戳破時的數值。
2. 所得數值越大，代表紙張越堅韌。

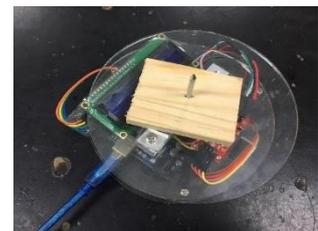


圖 3-2-3 自製電子天平

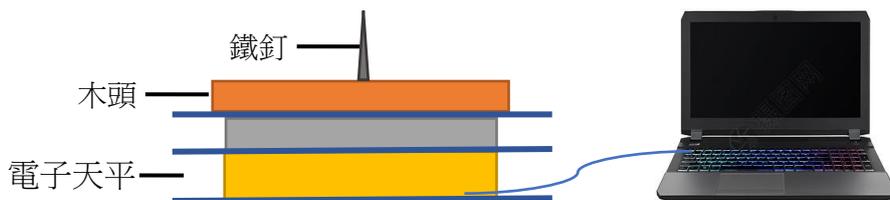


圖 3-2-4 自製紙張堅韌度的實驗裝置

三、研究過程與方法

【實驗一】探討上膠方式對成膜情況的影響

(一) 實驗步驟

1. 進行初步實驗時，發現濃度在 3.5% 以上的明膠水溶液很容易凝固，於是採用濃度為 2.0%、2.5%、3.0% 的明膠水溶液，過程中使用 60°C 的溫水來配製，並於控溫攪拌器上使明膠粉完全溶解。
2. 取上述明膠溶液 20 公克，加入酒精 1.5 mL 和甘油 1.5 mL，充分攪拌後備用。
3. 將半徑 90 mm 的濾紙，裁成八片扇形紙片，將上述配製的明膠液，以下列兩種方式進行上膠，每種濃度各使用 3 片，晾乾後比較水滴滲透時間和接觸角的結果。

噴劑實驗：在每張 1/8 扇形濾紙做噴劑實驗，一片噴 5 下(約 0.25 g)，放常溫等到全乾。

浸泡實驗：將明膠水溶液 10 mL 倒入培養皿中，並把扇形濾紙的兩面都浸滿明膠水溶液，放常溫等到全乾。

(二) 實驗結果

表 3-3-1-1 不同上膠方式的平均水滴滲透時間和平均接觸角的實驗

明膠濃度		2.0%	2.5%	3.0%
平均水滴滲透時間(秒)	噴劑	4.0±2.8	6.5±0.7	6.7±1.5
	浸泡	4.0±1.7	1.0±0.6	2.0±0.8
平均接觸角(度)	噴劑	100.92±5.34	92.56±15.20	88.31±9.96
	浸泡	83.13±4.95	66.22±5.08	83.35±12.88

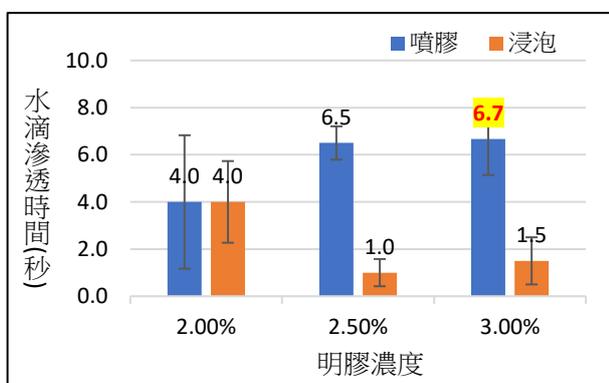


圖 3-3-1-1

不同上膠方式的平均水滴滲透時間實驗結果

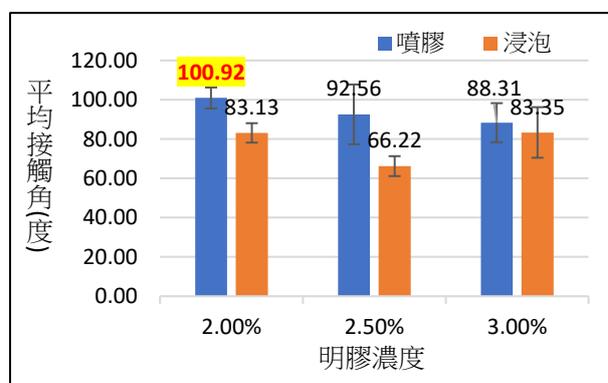


圖 3-3-1-2

不同上膠方式的平均接觸角實驗結果

(三) 分析與討論

1. 由水滴滲透時間的測試發現，噴劑實驗比浸泡實驗的滲水時間長，防水效果比較好，且濃度越高，效果越明顯。
2. 接觸角的測量發現噴劑的接觸角較浸泡方式來得好。
3. 上述兩項結果統整起來，噴劑的上膠方式防水效果較佳，且明膠使用量以噴劑上膠的方式較少，更為環保，因此爾後實驗皆以**噴劑上膠**的方式來進行。

【實驗二】探討明膠晾乾方式對紙膜防水的影響

(一) 實驗步驟

1. 依照上述比例配製 2.5%明膠液，並用 3 片 1/8 的濾紙做明膠液的噴劑實驗共 3 組，其中一組將濾紙懸掛繩子上晾乾，如圖 3-3-2-1；另外將兩組濾紙置於培養皿中，其中一組放置 25°C 冷氣房，另一組放冰箱(1.1°C)冷藏。

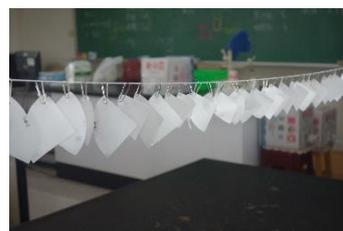


圖 3-3-2-1 懸掛晾乾實作圖

2. 等各組樣品晾乾後，測量其水滴滲透時間以及接觸角。

(二) 實驗結果

表 3-3-2-1 不同晾乾方式的平均水滴滲透時間和平均接觸角的實驗

晾乾方式	懸掛晾乾	培養皿冷氣房乾燥	培養皿冰箱冷藏乾燥
平均水滴滲透時間(秒)	2.0±1.0	5.0±0.0	3.3±0.6
平均接觸角(度)	65.90±20.93	78.62±5.64	74.76±1.54

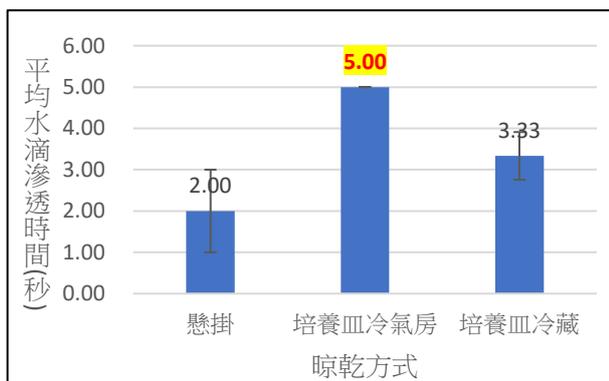


圖 3-3-2-2

不同晾乾方式的平均水滴滲透時間實驗結果

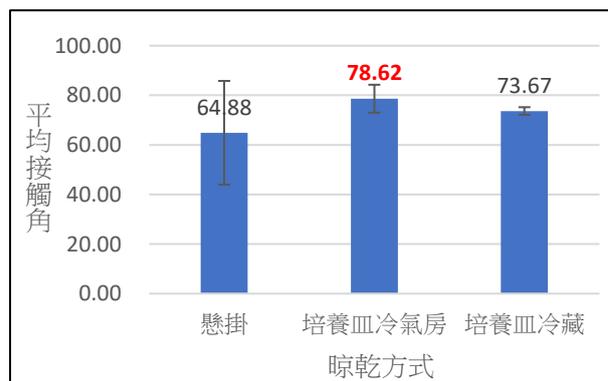


圖 3-3-2-3

不同晾乾方式的平均接觸角實驗結果

(三)分析與討論

1. 不論是水滴滲透時間或是接觸角，懸掛的方式都是三種方法中最差的，推測是懸掛時，溶液仍有流動性會往下流，導致整個濾紙上的膜分布不均。
2. 放入冰箱冷藏晾乾的方式，雖然接觸角的表現比冷氣房晾乾只差了一點，其在乾燥時較為緩慢(如圖 3-3-2-3)，且脫膜時不太容易，造成製作上的不方便，且水滴滲透時間也不好，因此最後決定採用**冷氣房室內晾乾**的方式。

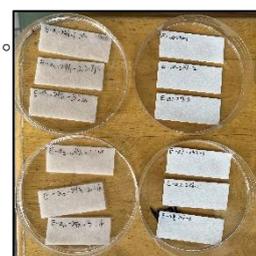


圖 3-3-2-3 相同晾乾時間，左側冰箱冷藏較慢乾燥

【實驗三之 1】成模配方-探討不同明膠濃度的成膜情況

(一) 實驗步驟

- 1.分別配製濃度為 2.0%、2.5%、3.0%、3.5%、4.0%、4.5%、5.0%的明膠水溶液，並依前述明膠液的比例，進行噴劑實驗。
2. 放置於冷氣房中靜置，等到完全乾燥後再進行水滴滲透時間，以及接觸角的測量。

(二) 實驗結果

表 3-3-3-1 不同明膠濃度的平均水滴滲透時間和平均接觸角的實驗結果

明膠濃度	2.0%	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%	4.5%	5.0%
平均水滴滲透時間(秒)	58.7 ±21.2	12.0 ±5.7	64.3 ±7.8	79.3 ±17.8	56.3 ±12.7	66.5± 34.6	90.5 ±3.5
平均接觸角(度)	90.67 ±9.44	71.83 ±5.19	82.04 ±22.14	89.14 ±16.37	90.14 ±22.27	79.66 ±4.16	97.11 ±33.76

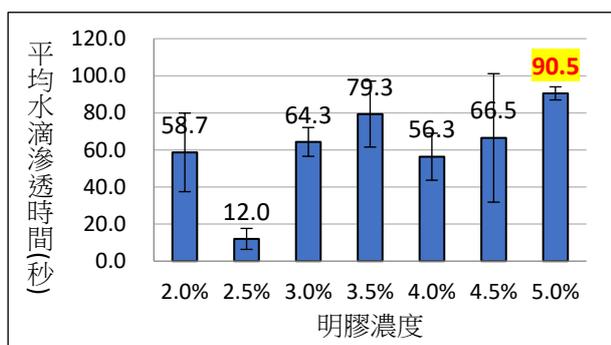


圖 3-3-3-1

不同明膠濃度的平均水滴滲透時間實驗結果

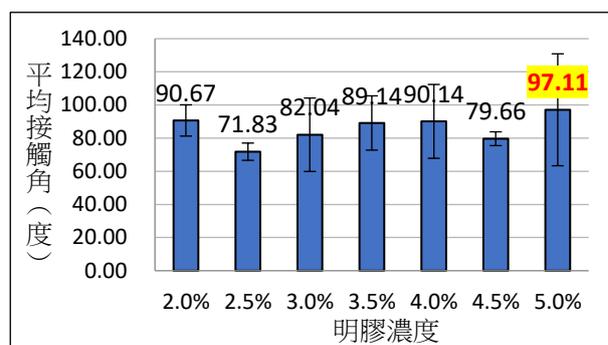


圖 3-3-3-2

不同明膠濃度的平均接觸角實驗結果

(三) 分析與討論

表 3-3-3-2 不同明膠濃度防水效果的總積點

明膠濃度	2.0%	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%	4.5%	5.0%
平均水滴滲透時間名次	5	7	4	2	6	3	1
平均接觸角名次	2	7	5	4	3	6	1
總積點	7	14	9	6	9	9	2

1. 水滴滲透時間以 2.5 %最短，推測是實驗時其脫膜不易，導致其效果不彰。其餘濃度皆較未噴劑的濾紙，有較長的滲透時間。
2. 接觸角的實驗結果中，所有濃度的明膠在晾乾後皆有 65 度以上的接觸角，效果不錯，其中又以 5.0 %的效果最好，但在配製明膠液時，5.0 %的明膠液很容易就變黏稠，不易噴出，較不利於我們的實驗設計。
3. 將水滴滲透時間名次與接觸角名次加總，得到總積點，如表 3-3-3-2，積點越少，表示防水的效果較佳，但因 5.0 %不宜當噴劑的疑慮，因此爾後實驗以 3.5 %來進行。

【實驗三之 2】成模配方-探討明膠加入 TG 粉後的成膜情況

(一) 實驗步驟

1. 分別配製濃度為 2.0%~5.0%的明膠水溶液，以及 5%的 TG 酵素水溶液。
2. 取明膠溶液 20 公克，加入酒精、甘油各 1.5 mL，再滴入 10 滴 TG 酵素水溶液。
3. 在裁剪好的扇形濾紙片上，進行上述各項溶液的噴劑實驗。
4. 放在冷氣房內晾乾，再進行水滴滲透時間，以及接觸角的測量。

(二) 實驗結果

表 3-3-3-3 上膠次數的平均水滴滲透時間和平均接觸角的實驗結果

明膠濃度	2.0 %	2.5 %	3.0 %	3.5 %	4.0 %	4.5 %	5.0 %
平均水滴滲透時間(秒)	2.0±2.0	4.3±3.8	6.7±1.5	14.3±11.9	X	X	X
平均接觸角(度)	117.58 ±35.56	92.56 ±24.47	80.00 ±0.06	69.21 ±6.06	X	X	X

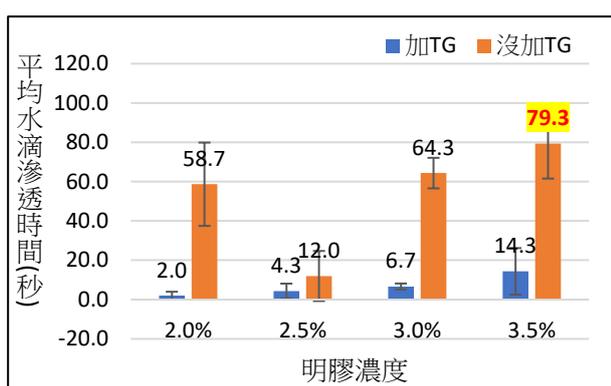


圖 3-3-3-3

加入 TG 酵素的平均水滴滲透時間實驗結果

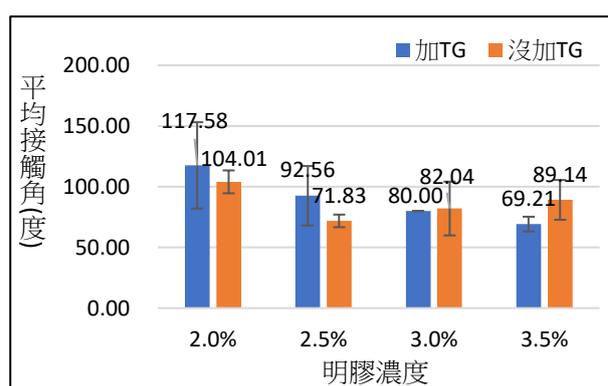


圖 3-3-3-4

加入 TG 酵素的平均接觸角實驗結果

(三) 分析與討論

1. 明膠濃度大於 4.0%在加入 TG 酵素溶液後，變得非常黏稠，而且很快變成凝膠，無法進行噴劑實驗，在結果中並無列出。
2. 水滴滲透時間的實驗結果可看出，明膠在加入 TG 酵素後，水滴滲透時間隨明膠濃度增大而增加，但卻比沒有添加 TG 酵素的純明膠效果還差。
3. 接觸角的實驗結果可看出，低濃度明膠溶液在添加 TG 酵素後接觸角變大，但濃度在 3.0%和 3.5%時，沒加 TG 反而較好。
4. 由上述結果，雖然加入 TG 粉後接觸角有變大，但滲透時間明顯下降許多，推測加入 TG 酵素後，明膠液較無法均勻混和，導致噴膠時較不平均，因此**不添加 TG 酵素溶液似乎有較好的效果**。

【實驗三之 3】成模配方-探討明膠加入浸泡稻殼粉的酸或鹼後，對成膜情況的影響

一開始實驗時我們使用氫氧化鈉和乙酸，危險性較高，因此我們改採在食品中用來調整酸度的檸檬酸，以及吸收空氣中二氧化碳反應，會產生碳酸鈣的石灰水來進行浸泡稻殼粉的實驗，但因石灰溶解度較低，我們只做飽和石灰水的實驗。

(一) 實驗步驟

1. 分別配製 5%、10%、15%、20%、25%的檸檬酸，以及飽和澄清石灰水各 100 公克，並在各濃度的檸檬酸和鹼中，加入 5 公克的稻殼粉，均勻攪拌靜置，1 小時後取 2mL 溶液放入離心機，讓溶液和稻殼粉沉積物分離，並吸取上部澄清溶液備用。
2. 取 3.5 % 的明膠水溶液 20 公克，分別加入 1.5mL 的甘油、1.5mL 的酒精及 0.5mL 上述步驟的各濃度檸檬酸和鹼。
3. 利用步驟 2 的溶液進行噴劑實驗，放在冷氣房晾乾後，測量接觸角。

(二) 實驗結果

表 3-3-3-4 明膠液中加入檸檬酸和石灰水後，其平均水滴滲透時間和平均接觸角的實驗結果

添加酸或鹼	不加酸鹼	檸檬酸濃度					飽和澄清石灰水
		5%	10%	15%	20%	25%	
接觸角(度)	71.83	74.79	79.23	77.05	93.26	88.08	77.60
標準差	3.85	2.94	2.43	3.70	15.06	15.18	11.47

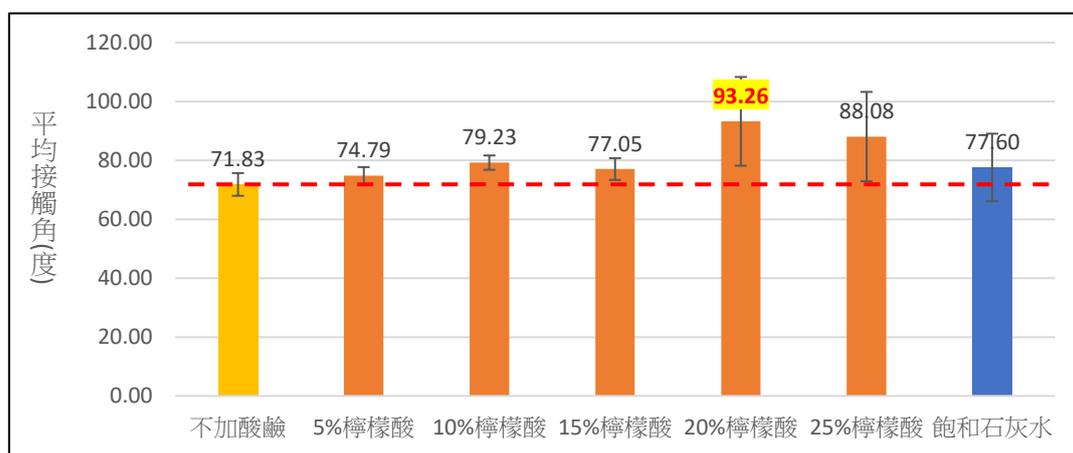


圖 3-3-3-5 加入不同濃度的酸或鹼，其平均接觸角的實驗結果

(三) 分析與討論

1. 明膠水溶液在添加了浸泡稻殼粉後的酸後，接觸角皆有變大的趨勢，其中又以 20%的檸檬酸最好。
2. 石灰水的結果也比不加酸鹼還要好。

【實驗三之 4】成膜配方-探討明膠濃度加入浸泡稻殼粉的檸檬酸，對紙膜防水性的影響

在實驗三之 1、三之 2 結果中發現，高濃度的明膠液放在室溫下容易凝固，但其水滴滲透實驗有較好的表現，因此嘗試再將浸泡稻殼粉的檸檬酸，加入各種濃度的明膠液中，觀察其是否較不易凝固，且有較好的防水性。

(一)實驗步驟

1. 配製 2.0 % ~5.0 % 的明膠水溶液，以及浸泡過稻殼粉的 20% 檸檬酸澄清水溶液。
2. 取各濃度的明膠水溶液 20 公克，分別加入 1.5mL 的甘油和酒精及 0.5mL 的檸檬酸液，所得溶液進行噴劑實驗，放在冷氣房晾乾後，測量水滴滲透時間與接觸角。

(二)實驗結果

表 3-3-3-5 不同濃度明膠液，其平均水滴滲透時間和平均接觸角的實驗結果

明膠濃度	2.0%	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%	4.5%	5.0%
平均水滴滲透時間(秒)	3.7±1.2	3.7±1.5	4.0±2.0	18.0±13.1	34.5±3.3	7.0±2.8	9.0±2.0
名次	5	6	7	2	1	4	3
平均接觸角(度)	75.22	72.04	84.02	81.69	81.28	79.92	90.36
接觸角標準差	4.95	2.33	5.06	16.16	4.57	4.55	10.27
名次	6	7	2	3	4	5	1
總積分	11	13	9	5	5	9	4

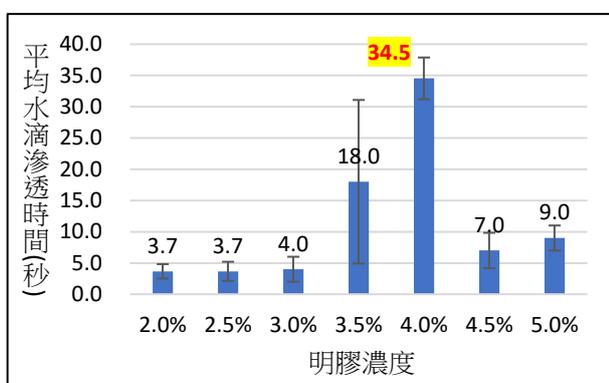


圖 3-3-3-6 加入 20% 的檸檬酸後，不同明膠濃度的平均水滴滲透時間實驗結果

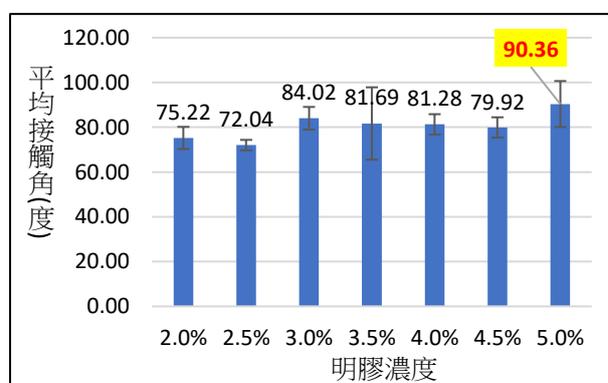


圖 3-3-3-7 加入 20% 的檸檬酸後，不同明膠濃度的平均接觸角實驗結果

(三)分析與討論

1. 結果發現在明膠中加入浸泡稻殼粉的檸檬酸後，以明膠濃度為 4.0% 的水滴滲透時間最長，效果最好。
2. 各濃度的接觸角在 75~90 度間，以明膠濃度為 5.0 % 的表現最佳，但做噴劑實驗時較易凝固，且脫膜時發現紙膜黏性較高，完整度較低不易成功，因此捨棄不用。
3. 依據總積分，再綜合前述兩項分析，雖然 3.5 % 的接觸角和 4.0 % 差異不大，但 4.0 % 的明膠液其接觸時間較佳，因此爾後實驗以明膠濃度 4.0 % 為主。

【實驗三之 5】成模配方-探討明膠加入浸泡稻殼粉的檸檬酸，浸泡時間對防水性的影響

依照前述實驗結果得到，在明膠溶液中加入浸泡稻殼粉的酸後，滲水時間和接觸角皆有明顯提升，故進一步做深入研究。本實驗皆採噴劑方式，放在室溫下晾乾。

(一)實驗步驟

1. 配製 5%、10%、15%、20%、25% 的檸檬酸水溶液各 100 公克，分別加入 5 公克的稻殼粉攪拌後靜置，每隔 1 小時取出上層酸液，於離心機轉 1 分鐘後過濾，得到澄清酸液，共進行 3 次，得到浸泡稻殼粉 1hr、2hr、3hr 的酸液備用，如圖 3-3-3-8。

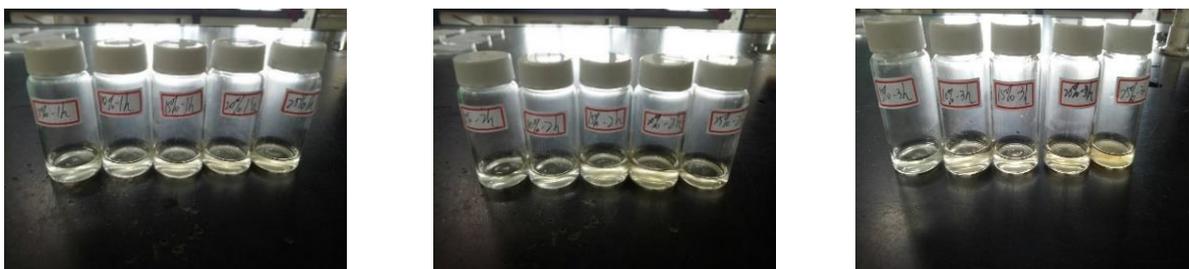


圖 3-3-3-8 稻殼粉浸泡檸檬酸，在不同時間所取得的澄清酸液

2. 配製各濃度的明膠水溶液，按照前述比例與上膠方式、晾乾方式實驗，如圖 3-3-3-9，再進行水滴滲透時間和接觸角的測量。

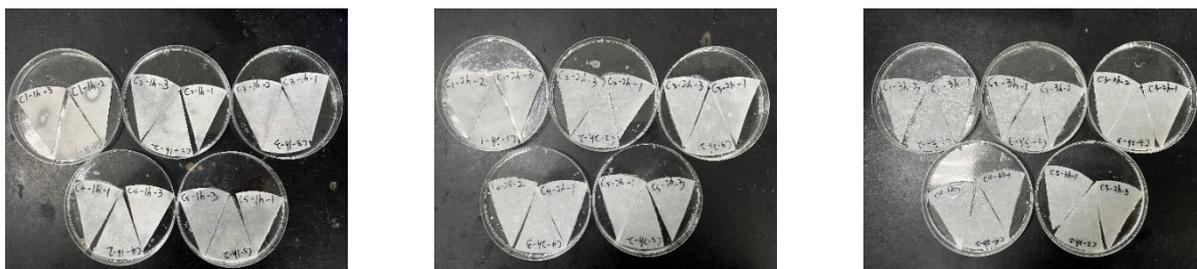


圖 3-3-3-9 噴膠的濾紙放在常溫晾乾情形

(二)實驗結果

表 3-3-3-6 檸檬酸加入稻殼粉的浸泡時間的實驗結果

浸泡時間	1hr	2hr	3hr
平均水滴滲透時間(秒)	34.5±3.3	96.2±13.4	125.0±14.1
平均接觸角(度)	77.95±10.34	79.91±2.62	85.33±5.97

註：此實驗結果以 20%的檸檬酸來表示。

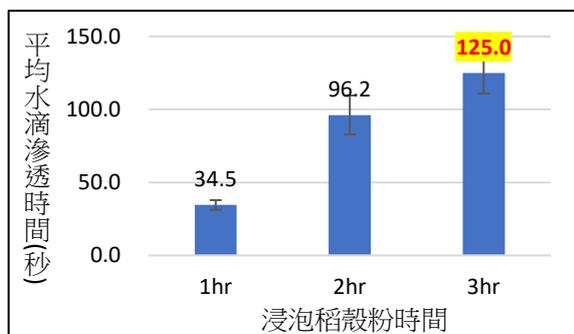


圖 3-3-3-10 檸檬酸加入稻殼粉的浸泡時間，其平均水滴滲透時間的實驗結果

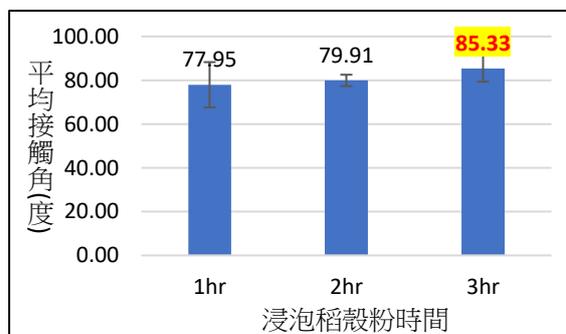


圖 3-3-3-11 檸檬酸加入稻殼粉的浸泡時間，其平均接觸角的實驗結果

(三)分析與討論

1. 各檸檬酸濃度以 20 %的接觸角與滲透時間，有較好表現，因此只呈現該濃度數據。
2. 浸泡稻殼粉的時間越長，其接觸角與滲透時間表現越好，有效提升防水性。

【實驗四】探討上膠次數對明膠薄膜的影響

(一)實驗步驟:

1. 選用浸泡稻殼粉 1 小時的 20%檸檬酸，依照前述比例將甘油、酒精以及酸液，分別加入 3.5%、4.0%、4.5%的明膠水溶液中。
2. 將上述濃度的明膠水溶液，對 3 片 1/8 的濾紙做噴劑實驗，並放在室溫冷氣房中等到全乾。
3. 如上述步驟，進行第二次、第三次上膠，每次上膠前須等前次膠乾了才再噴膠，如圖 3-3-4-1。



圖 3-3-4-1 三次上膠的情形

(二)實驗結果

表 3-3-4-1 上膠次數的平均水滴滲透時間和平均接觸角的實驗結果

明膠濃度	上膠次數	一次	兩次	三次
3.5 %	平均水滴滲透時間(秒)	79.3±17.8	42.0±14.1	無法脫膜
4.0 %	平均水滴滲透時間(秒)	56.3±12.7	64.0±8.2	93.0±11.1
4.5 %	平均水滴滲透時間(秒)	65.0±32.5	40.7±9.1	55.0±32.5
3.5 %	平均接觸角(度)	89.14±16.37	73.78±15.36	無法脫膜
4.0 %	平均接觸角(度)	90.14±5.24	90.28±11.39	85.41±12.88
4.5 %	平均接觸角(度)	79.66±4.16	81.97±9.05	75.25±5.83

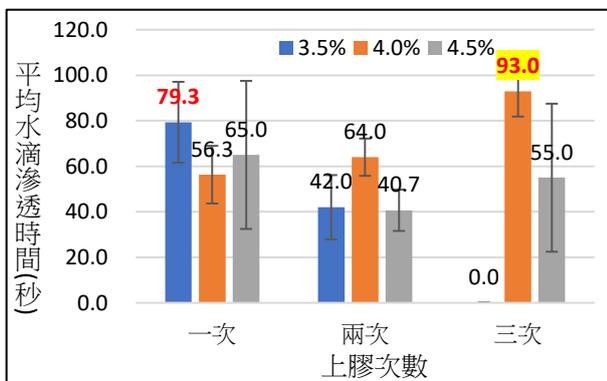


圖 3-3-4-2

不同上膠次數的平均水滴滲透時間實驗結果

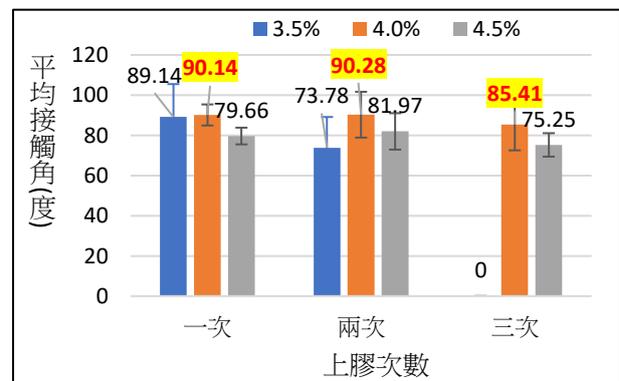


圖 3-3-4-3

不同上膠次數的平均接觸角實驗結果

(三)分析與討論

1. 3.5% 的明膠水溶液，在進行第三次噴膠實驗時，因不好脫膜，所以沒有數據呈現。
2. 4.0% 明膠水溶液的平均水滴滲透時間不差，但平均接觸角都比其他兩個高，且脫膜效果最好。
3. 上膠越多次，雖然整體表現較好，但脫膜情況越困難，因此**使用上膠一次**即可。

【實驗五】裝置再改良

針對水滴滲透時間的評估方法，原本採用肉眼判斷，為了更精進實驗準確度，我們設計了第二代實驗裝置，實驗裝置如圖 3-3-5-1。

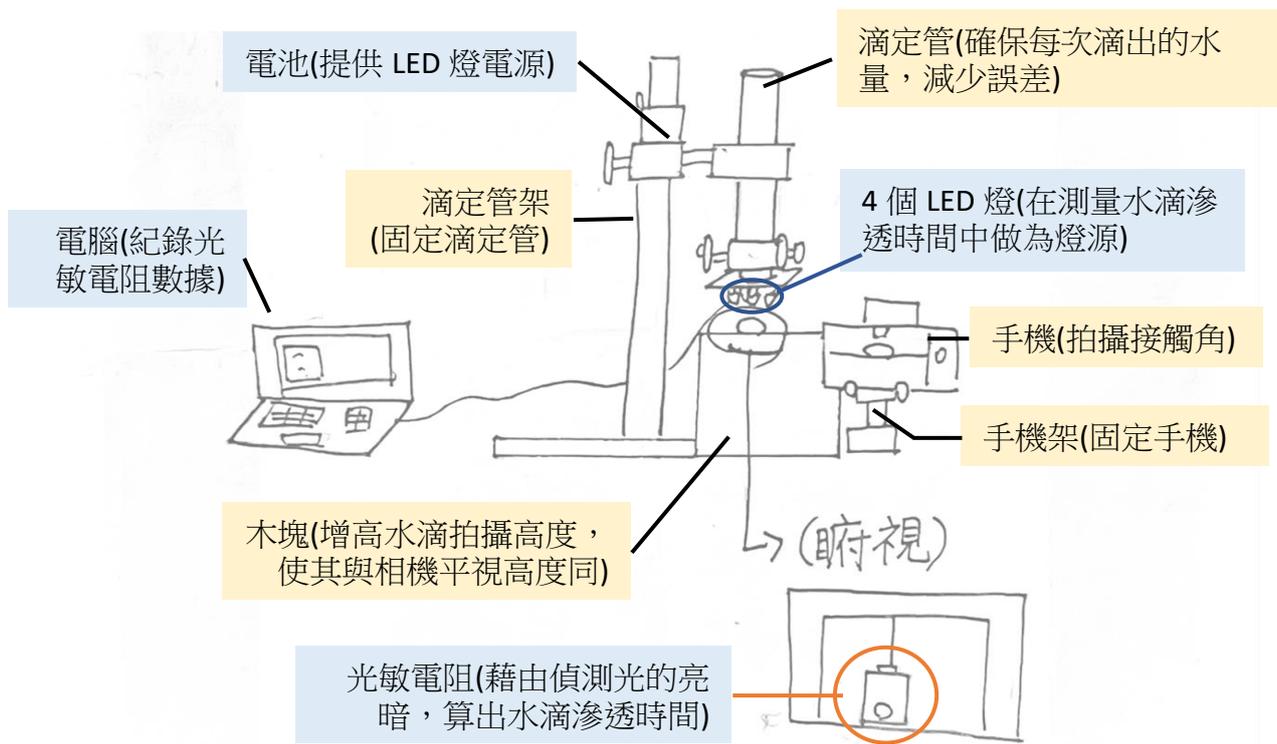


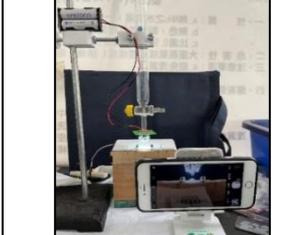
圖 3-3-5-1 第二代實驗裝置設計圖

測量方法說明：

接觸角： 使用第二代裝置在拍攝接觸角時，我們透過遠程桌面軟體-anydesk，可以直接在電腦上量接觸角，不必從手機將照片上傳雲端，再由電腦下載測量，藉以減少傳輸花費的時間與避免失誤。同時為了讓紙膜盡量平貼表面，我們利用強力磁鐵來取代膠帶的使用，更方便操作也更環保。

水滴開始滲透時間： 我們發現當水滴滲透紙膜時透光度將提高，於是利用光敏電阻來偵測紙膜下方的亮度(每 0.1 秒記錄一次)，先將紙膜平貼於壓克力板上，並採用四個 LED 燈(模擬手術無影燈)做為光源打在水滴上，當水滴滲入紙膜時，亮度增加使光敏電阻值下降，因此當光敏電阻值大幅下降時(大約 10)，表示水滴已滲透紙膜，利用電腦紀錄數值，並搭配自己設計的 Python 程式，算出期間所花費時間，即為水滴開始滲透時間。

表 3-3-5-1 第二代實驗裝置實測方法

			
將製作出的紙膜放在裁切好的壓克力板上	利用強力磁鐵將紙膜固定，讓紙模更平貼於壓克力板上	利用手機拍攝接觸角	燈源開啟後，電腦記錄光敏電阻數值，並計算水滴滲透時間

【實驗六】利用第二代測量裝置找出最佳配方

除了酸外，我們進一步嘗試添加鹼在明膠中，挑選能食用的石灰來進行實驗。

6-1 改變檸檬酸和石灰水的添加量

(一)實驗步驟:

1. 選用浸泡稻殼粉 3 小時 20%的檸檬酸以及飽和澄清石灰水，依照前述比例將甘油、酒精以及不同添加量的酸(鹼)液，分別加入 4.0%的明膠水溶液中。
2. 將長條形濾紙，每 8cm 裁切成一段。用步驟 1 之明膠液，對 3 片濾紙做噴劑實驗。

(二)實驗結果: 表 3-3-6-1 不同酸鹼的添加量，其平均水滴滲透時間與接觸角的實驗結果

酸或鹼的添加量(mL)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
酸的平均水滴滲透時間(秒)	19.73 ±6.64	19.14 ±8.27	24.84 ±4.01	24.96 ±2.37	32.60 ±7.62	10.08 ±1.21
鹼的平均水滴滲透時間(秒)	44.04 ±9.60	44.75 ±9.59	39.06 ±7.18	37.27 ±6.24	無法脫膜	無法脫膜
酸的平均接觸角(度)	75.48 ±7.71	65.36 ±7.51	69.38 ±10.71	81.68 ±5.80	70.57 ±5.93	74.71 ±6.26
鹼的平均接觸角(度)	71.79 ±7.72	70.57 ±9.20	75.68 ±8.96	65.92 ±8.95	無法脫膜	無法脫膜

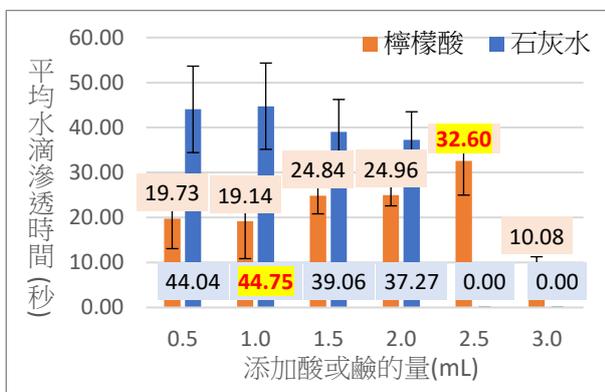


圖 3-3-6-1 不同酸或鹼的添加量，其平均水滴滲透時間實驗結果

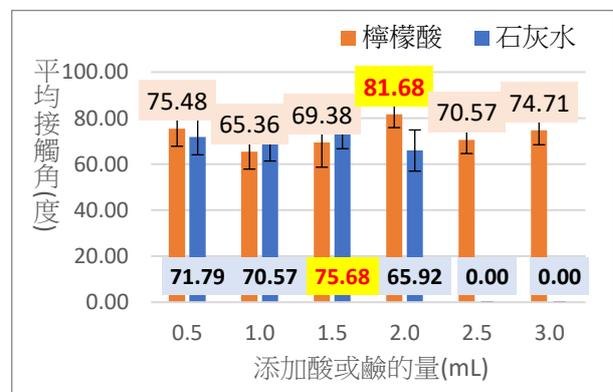


圖 3-3-6-2 不同酸或鹼的添加量，其平均接觸角實驗結果

表 3-3-6-2 不同酸鹼的添加量，其平均水滴滲透時間與接觸角的名次及總積點

酸或鹼的添加量(mL)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
酸的平均水滴滲透時間名次	8	7	6	5	9	10
鹼的平均水滴滲透時間名次	2	1	3	4	無法脫膜	無法脫膜
酸的平均接觸角名次	3	10	8	1	6	4
鹼的平均接觸角名次	5	6	2	9	無法脫膜	無法脫膜
酸的總積點	11	17	14	6	15	14
鹼的總積點	7	7	5	13		

(三)分析與討論:

1. 從水滴滲透時間的實驗結果可看出，添加石灰水後所得的紙膜，其防水效果較檸檬酸好；但若明膠中添加太多石灰水會造成脫膜不易，直接黏在培養皿上，效果不佳。
2. 按照兩者總積點評比後得到，在明膠液中添加浸泡稻殼粉 3hr 的檸檬酸 2.0 mL，有最好的防水效果；添加浸泡稻殼粉 3hr 的石灰水 1.5 mL 整體效果則較佳。

6-2-1 酸的最佳配方-改變甘油添加量

(一)實驗步驟:

1. 依照前述實驗結果，在 4.0% 的明膠水溶液中，加入浸泡稻殼粉 3 小時的 20% 檸檬酸 2.0 mL 以及酒精 1.5 mL，並改變甘油的添加量。
2. 在 8cm 的長條形濾紙上，進行噴劑實驗。

(二)實驗結果:

表 3-3-6-3 不同甘油的添加量，其平均水滴滲透時間與接觸角的實驗結果

甘油的添加量(mL)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
平均水滴滲透時間(秒)	56.62 ±26.99	84.78 ±7.27	45.45 ±10.43	32.21 ±11.90	42.55 ±11.03	15.83 ±11.39	9.31 ±5.52
平均接觸角(度)	77.19 ±3.61	79.89 ±5.87	67.58 ±8.55	71.14 ±13.61	69.64 ±13.20	61.09 ±15.05	76.45 ±3.84

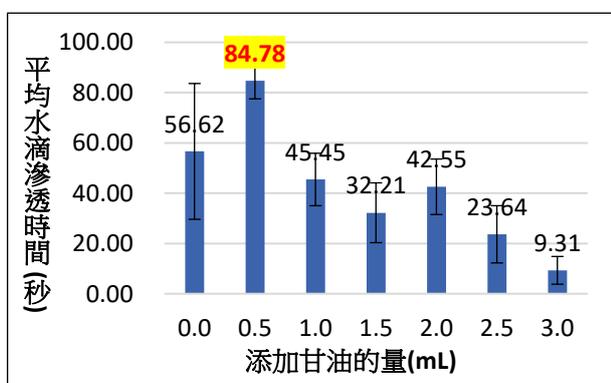


圖 3-3-6-3 不同甘油的添加量，其平均水滴滲透時間實驗結果

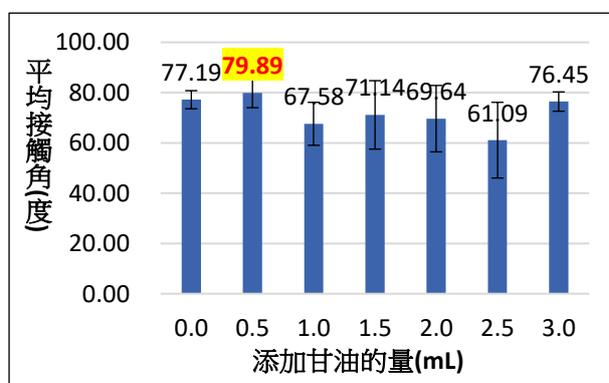


圖 3-3-6-4 不同甘油的添加量，其平均接觸角實驗結果

(三)分析與討論:

1. 甘油添加量超過 2.0mL 的紙膜較不易晾乾，且看起來較濕，推測是甘油本身即有保濕作用，比較不容易乾燥，因此實驗結果不佳。
2. 整體評估結果，在明膠液中添加 0.5 mL 的甘油有最佳的防水效果。

6-2-2 酸的最佳配方-改變酒精添加量

(一)實驗步驟:

1. 依照前述實驗結果，在 4.0%的明膠水溶液中，加入浸泡稻殼粉 3 小時的 20%檸檬酸 2.0 mL 以及甘油 0.5 mL，並改變酒精的添加量。
2. 在 8cm 的條形濾紙上，進行噴劑實驗。

(二)實驗結果:

表 3-3-6-4 不同酒精的添加量，其平均水滴滲透時間與接觸角的實驗結果

酒精的添加量(mL)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
平均水滴滲透時間(秒)	72.03 ±9.48	50.94 ±1.02	64.27 ±13.88	81.45 ±1.49	77.91 ±13.10	72.56 ±0.93	59.63 ±16.08
平均接觸角(度)	74.33 ±6.96	68.43 ±5.85	75.62 ±3.47	81.55 ±3.25	75.17 ±9.16	66.93 ±14.66	85.64 ±11.50

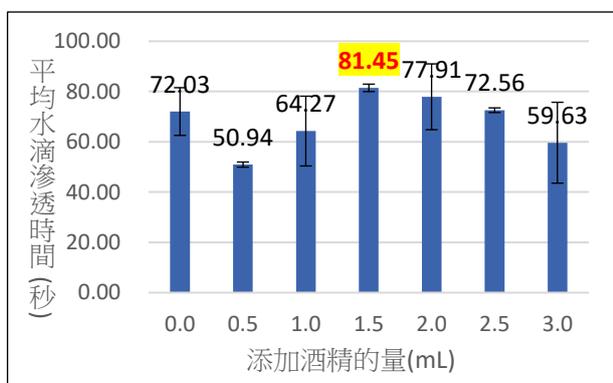


圖 3-3-6-5 不同酒精的添加量，其平均水滴滲透時間實驗結果

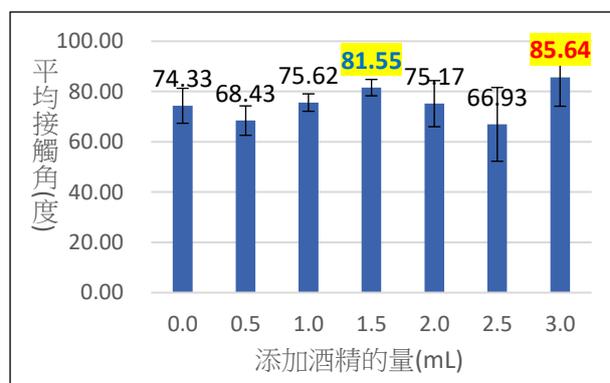


圖 3-3-6-6 不同酒精的添加量，其平均接觸角實驗結果

(三)分析與討論:

1. 酒精添加 3.0 mL 時，雖然接觸角很大，但其水滴滲透時間太短，效果不好。
2. 整體評估結果，在明膠液中添加 1.5 mL 的酒精有最佳的防水效果。

總結：**加酸的最佳配方為 4.0%的明膠水溶液 20 公克，加入浸泡稻殼粉 3 小時的 20%檸檬酸 2.0 mL、甘油 0.5mL 以及酒精 1.5 mL，所得明膠液以噴劑實驗，在冷氣房中晾乾，所得紙膜的防水效果最好。**

6-3-1 驗的最佳配方-改變甘油添加量

(一)實驗步驟:

1. 依照前述實驗結果，在 4.0%的明膠水溶液中，加入浸泡稻殼粉 3 小時的飽和澄清石灰水 1.5 mL 以及酒精 1.5 mL，並改變甘油的添加量。
2. 在 8cm 的長條形濾紙上，進行噴劑實驗。

(二)實驗結果:

表 3-3-6-5 不同甘油的添加量，其平均水滴滲透時間與接觸角的實驗結果

甘油的添加量(mL)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
平均水滴滲透時間(秒)	13.40 ±8.23	13.89 ±4.93	10.59 ±4.17	14.94 ±4.33	11.59 ±1.95	15.29 ±4.82	20.27 ±10.00
平均接觸角(度)	60.67 ±9.97	62.44 ±4.36	62.74 ±5.07	74.62 ±0.77	73.25 ±10.70	67.90 ±5.80	65.55 ±13.32

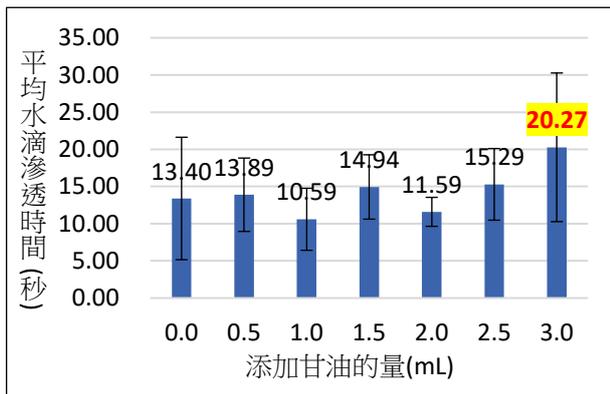


圖 3-3-6-7 不同甘油的添加量，其平均水滴滲透時間實驗結果

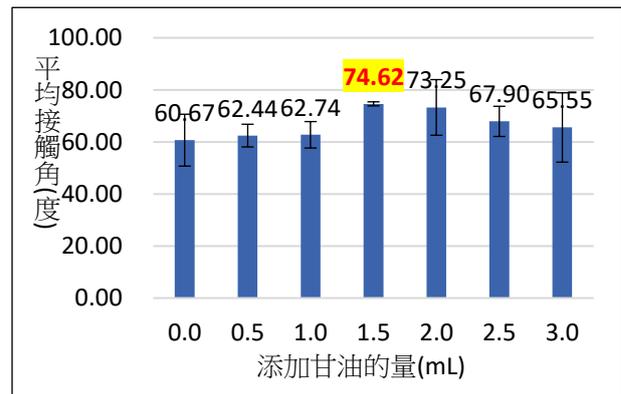


圖 3-3-6-8 不同甘油的添加量，其平均接觸角實驗結果

(三)分析與討論:

1. 甘油添加 2.5 mL 和 3.0mL 的紙膜較不易晾乾，且看起來較濕，在偵測水滴滲透實驗時，因其透光度本來就較高，很難辨別其光敏電阻時大幅下降的時間，雖有較高數值，但效果仍屬不佳。
2. 整體評估結果，在明膠液中**添加 1.5 mL 的甘油**有最佳的防水效果。

6-3-2 鹼的最佳配方-改變酒精添加量

(一)實驗步驟:

1. 依照前述實驗結果，在 4.0% 的明膠水溶液中，加入浸泡稻殼粉 3 小時的飽和澄清石灰水 1.5 mL 以及甘油 1.5 mL，並改變酒精的添加量。
2. 在 8cm 的條形濾紙上，進行噴劑實驗。

(二)實驗結果:

表 3-3-6-6 不同酒精的添加量，其平均水滴滲透時間與接觸角的實驗結果

酒精的添加量(mL)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
平均水滴滲透時間(秒)	4.75 ±4.12	4.31 ±4.13	5.19 ±3.04	4.17 ±2.50	17.73 ±4.72	14.41 ±5.50	12.66 ±3.18
平均接觸角(度)	67.20 ±8.65	69.85 ±1.17	67.30 ±3.29	63.41 ±4.29	81.45 ±10.07	67.01 ±9.73	76.22 ±5.19

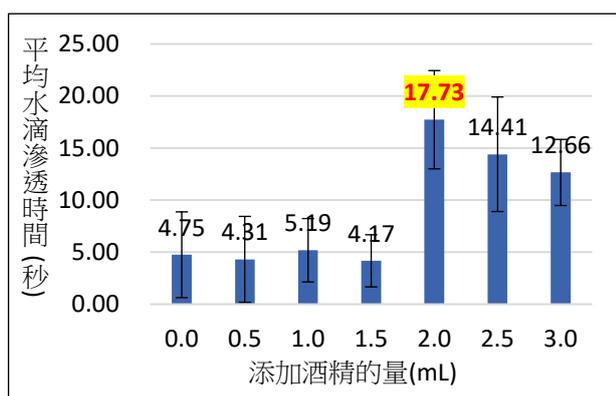


圖 3-3-6-9 不同酒精的添加量，其平均水滴滲透時間實驗結果

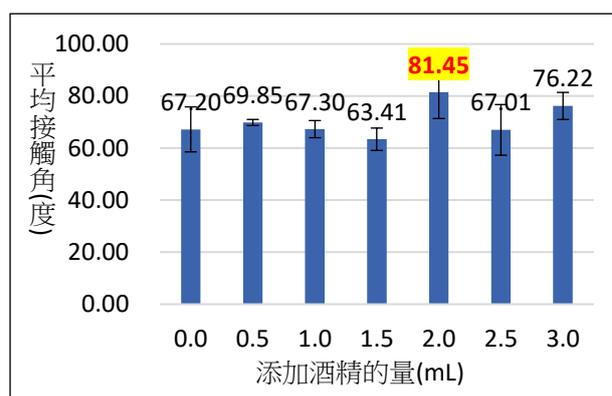


圖 3-3-6-10 不同酒精的添加量，其平均接觸角實驗結果

(三)分析與討論

1. 酒精添加較少時，紙膜較不易晾乾，且其水滴滲透時間表現不好；酒精添加超過 2.0mL 後，水滴滲透時間明顯增加多，其中又以添加 2.0mL 的表現最好。
2. 整體評估結果，在明膠液中**添加 2.0 mL 的酒精有最佳的防水效果。**

總結：**加鹼的最佳配方為 4.0% 的明膠水溶液 20 公克，加入浸泡稻殼粉 3 小時的飽和澄清石灰水 1.5 mL、甘油 1.5mL 以及酒精 2.0 mL，所得明膠液以噴劑實驗，在冷氣房中晾乾，所得紙膜的防水效果最好。**

整體是以加酸的明膠配方，有較好的防水效果。

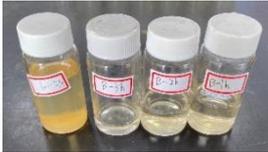
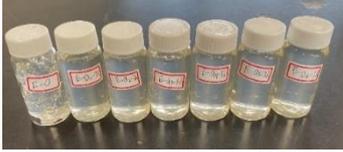
【實驗七】紙膜的各项性質檢測

在前述實驗中，明膠加入浸泡稻殼粉的酸液後，整體防水效果較鹼好，但為求實驗更嚴謹，兩者皆進行各項性質的檢測。

7-1 分解實驗：將各種溶液放置室溫中觀察其變化。

(一)實驗結果

表 3-3-7-1：各種溶液其分解實驗的實測結果-

名稱	pH 值	原始情形	開始發霉天數	開始發霉情形	發霉顏色
浸泡稻殼粉 3hr 的 檸檬酸	1.65		20 天		白
浸泡稻殼粉 3hr 的 石灰水	11.36		16 天		黑
明膠液 (浸泡稻殼 粉 3hr 的 檸檬酸)	2.68		22 天		黑白
明膠液 (浸泡稻殼 粉 3hr 的 石灰水)	6.22		16 天		黑白灰

(二)分析與討論

1. 本研究使用的溶液皆可自行分解，其中添加了天然防腐劑-檸檬酸後，更不易發霉。
2. 上述實驗是以原明膠液進行實驗(含水)，若為完全乾燥的紙膜，因水分已散失後較不易發霉，放在夾鏈袋中，經過 9 個月後(111.8.30~112.5.30)仍未發霉。

7-2 穿刺強度實驗：

利用上述最佳配方製作出的濾紙膜，搭配自製的電子天平進行穿刺實驗。

(一)實驗結果

表 3-3-7-2：各種紙膜穿刺強度實驗的實測結果-

穿刺強度 (gw)	紙膜種類						
	明膠液+浸泡稻殼粉 3hr 的檸檬酸			明膠液+浸泡稻殼粉 3hr 的石灰水			純濾紙
	#1	#2	#3	#1	#2	#3	
穿刺位置	#1	#2	#3	#1	#2	#3	
中	498.00	686.00	539.00	461.00	549.00	755.00	216.00
左	711.00	813.00	619.00	559.00	534.00	593.00	252.00
右	624.00	753.00	586.00	586.00	573.00	728.00	207.00
平均	611.00	750.67	581.33	535.33	552.00	692.00	225.00
標準差	107.09	63.53	40.20	65.77	19.67	86.79	23.81
總平均	750.67			593.11			225.00
總標準差	90.43			86.04			23.81

⇒ 濾紙在噴上明膠液後，穿刺強度提升許多，其中以明膠中添加浸泡 3hr 稻殼粉的檸檬酸所製作出的紙膜，抗穿刺能力較明膠中添加浸泡 3hr 稻殼粉的飽和石灰水要好。

7-3 耐熱實驗

為了測試做出的紙膜可以耐高溫，來製作裝高溫油炸食物的紙袋，想要了解紙膜的耐熱溫度。因此先利用各種不同紙張進行初步測試，如圖 3-3-7-1(由左至右依序為圖畫紙、餐巾紙、A4 紙、日本水彩紙、烘焙紙、濾紙)，發現日本水彩紙最接近製造紙杯所用的原紙，且其成膜效果也最好，因此對其做各項性質的檢測。



圖 3-3-7-1 噴膜在不同紙張上，進行防水實驗的測試

(一)實驗步驟:

1. 按照前述實驗的最佳比例，在日本水彩紙上進行噴劑實驗，放在冷氣房中晾乾。
2. 將其放在 60 °C 的控溫板上 10 分鐘，觀察其變化。每次將控溫板的溫度調高 10 °C，並用紅外線溫度計進行確認，觀察紙膜受熱後的情形，記錄紙膜發生變化時的溫度。

(二)實驗結果

表 3-3-7-3：耐熱實驗結果

溫度(°C)	明膠	明膠+浸泡稻殼粉的酸	明膠+浸泡稻殼粉的鹼
60	無變化	無變化	無變化
70	無變化	無變化	無變化
80	無變化	無變化	無變化
90	無變化	無變化	無變化
100	無變化	無變化	無變化
110	無變化	無變化	變黏
120	變黏	無變化	變黏
130	變黏	無變化	變黏
140	變黏	無變化	變黏
150	變黏	無變化	變黏
160	表面變色	無變化	冒煙
170	表面變色	無變化	
180	冒煙	表面變色	
190		表面變色	
200		冒煙	



圖 3-3-7-2：添加浸泡纖維素的酸製成的明膠紙膜，在 174°C 變色

(三)分析與討論

1. 添加浸泡稻殼粉 3hr 的飽和石灰水，至 4.0% 的明膠水溶液中，所製得的紙膜在 100°C 以上開始變黏，且到 160°C 就冒煙了，效果較差。
2. 添加浸泡稻殼粉的檸檬酸，至明膠水溶液中，所製得的紙膜沒有變黏的情況，直至 180°C 以上開始變色，200°C 開始冒煙，其耐熱溫度可達 180°C，耐熱效果是最好的。

7-4 滲水實驗：

(一)實驗步驟

1. 裁切 10cm*10 cm 的日本水彩紙，分別噴上前述實驗最佳配方的加酸明膠、加鹼明膠，待其晾乾後製作成的紙盒，置於漏斗上方，在下方放置一個燒杯後秤重。
2. 在紙盒中加入 30g 的水，24 小時後，測量燒杯重量，計算燒杯內的增加重量。
3. 計算增加的重量/原來的水重，得到滲水率。



圖 3-3-7-3
滲水實驗裝置

(二)實驗結果

表 3-3-7-4：防水紙盒滲水實驗的實測結果

紙盒原料 滲水率 觀察時間	原日本水彩紙 (不噴明膠液)	噴上最佳配方的明 膠液(加浸泡稻殼粉 3hr 的檸檬酸)	噴上最佳配方的明 膠液(加浸泡稻殼粉 3hr 的飽和石灰水)
1hr	3.1%	0.0%	0.0%
24hr	48.5%	0.0%	1.0%

(三)分析與討論

1. 不噴明膠液的紙盒，24hr 後滲水率最高，噴上加浸泡稻殼粉 3hr、20%檸檬酸的明膠液，滲水率最低
2. 我們發現滲水處都是在底部四個角落處，懷疑在製作紙盒時過度折壓，明膠膜被破壞，思考往後製作時可在折完後，再上一次膠。
3. 未能考慮水分蒸發的重量，是造成此實驗的誤差之一。

總結：明膠在加入浸泡稻殼粉的檸檬酸後，所得的明膠液較不易腐敗、有較好堅韌度、較高的耐熱溫度及較低的滲透率。

【實驗八】應用一-明膠液噴在水果上的保鮮影響

(一)實驗步驟

1. 配製 3.0%、3.5%、4.0%、4.5%、5.0%的明膠水溶液。
2. 選用浸泡稻殼粉 3 小時的 20%檸檬酸，依照前述比例將甘油、酒精以及酸液，分別加入步驟 1 各濃度的明膠水溶液中，並分裝到噴瓶中。
3. 事先將蘋果輕輕刷洗，以去除表層的蠟質。
4. 將調配好的溶液均勻噴在蘋果上，同一種溶液實作 2 組，並放置在食品專業用紙上，每天拍照觀察，並記錄蘋果的變化。

(二) 實驗結果

表 3-3-8-1：最佳配方噴劑對水果保鮮影響的實驗結果

日期	天數	實驗照片	說明												
7/31	第 0 天	 實驗照片中所列蘋果擺放位置	<table border="1"><tr><td>對照組 1</td><td>對照組 2</td><td>3.0% C1</td><td>3.0% C2</td></tr><tr><td>3.5% D1</td><td>3.5% D2</td><td>4.0% E1</td><td>4.0% E2</td></tr><tr><td>4.5% F1</td><td>4.5% F2</td><td>5.0% G1</td><td>5.0% G2</td></tr></table>	對照組 1	對照組 2	3.0% C1	3.0% C2	3.5% D1	3.5% D2	4.0% E1	4.0% E2	4.5% F1	4.5% F2	5.0% G1	5.0% G2
			對照組 1	對照組 2	3.0% C1	3.0% C2									
3.5% D1	3.5% D2	4.0% E1	4.0% E2												
4.5% F1	4.5% F2	5.0% G1	5.0% G2												
左欄照片對應的噴劑明膠濃度，以及蘋果編號															
8/11	第 11 天		<ol style="list-style-type: none">1. 對照組 2 的蒂頭附近開始腐爛2. 有噴明膠溶液的蘋果，除了色澤較暗，其餘沒有甚麼變化												
8/16	第 16 天		<ol style="list-style-type: none">1. 對照組編號 1 的蒂頭附近開始發霉2. 對照組標號 2 開始大面積腐爛3. 有噴明膠溶液的沒有甚麼變化												
9/3	第 34 天		<ol style="list-style-type: none">1. 對照組 1 發霉面積漸大2. 對照組 2 出現更大面積的腐爛情形3. 有噴明膠溶液的蘋果仍無腐爛跡象												

(三)分析與討論

1. 沒有噴上明膠水溶液的蘋果，於第 11 天開始發霉，而噴上明膠水溶液的蘋果，實驗至 34 天外觀上仍未有明顯變化。
2. 本實驗的最佳配方明膠液噴劑，確實可延長水果的保鮮期。

【實驗九】應用二-噴膜紙容器的製作

9-1 防水紙吸管

(一)實驗步驟

1. 因濾紙本身就是希望透水率高，因此孔隙較大，本就不適合作為紙杯的原料，因此在前述實驗發現日本水彩紙最接近於製作紙杯的原紙，因此我們選用日本水彩紙來進行紙吸管的製作。

2. 將前述噴膜實驗的最佳配方，噴在 6 cm ×7.5 cm 的日本水彩紙上。
3. 室溫晾乾後，將其捲在玻璃棒上，塗上一點 20 %明膠液於接縫處，再利用鑷子加熱後，按壓吸管接縫處，反覆數次直至完全黏合，如圖 3-3-9-1。

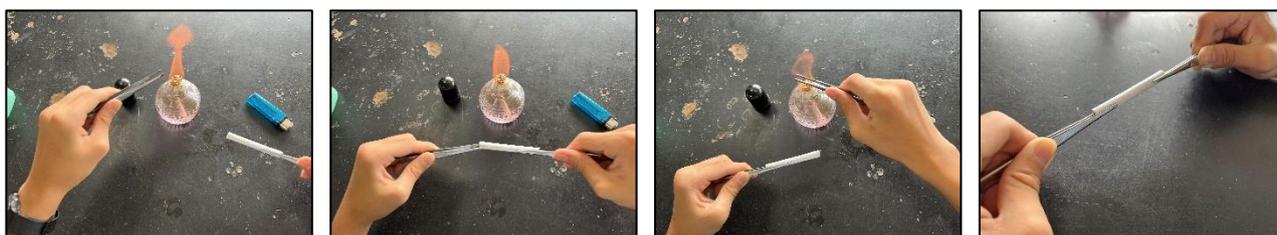


圖 3-3-9-1：利用噴劑加熱進行紙吸管的接縫

(二)實驗結果

1. 將製得的淋膜紙吸管(長度 7.5 cm)進行浸入紅墨水實驗，發現在 35 分鐘後才會吸到頂端，如圖 3-3-9-2 所示。



圖 3-3-9-2：紙吸管的吸水實驗，35 分鐘後吸滿

9-2 防水紙盒

(一)製作流程

1. 我們選用上述噴膜實驗結果的最佳配方，裁切成 10cm*10 cm 的日本水彩紙，進行噴劑實驗，放置於冷氣房中靜置晾乾。
2. 在紙張縱橫各畫兩條線，分割成 9 個方形，其中中間方形邊長為 4cm*4 cm，外邊 8 個方形邊長為 3cm*3cm。外圍四角的方格沿對角線向內對折，會產生四個朝外的 45 度銳角。
3. 使用 20 %明膠水溶液當黏著劑，固定四個銳角，即成紙盒。

表 3-3-9-1：防水紙盒的製作流程

<p>將日本水彩紙，使用噴瓶進行上膠，靜置晾乾。</p>	<p>利用刮勺沾取濃稠明膠於四個摺好的銳角處。即成防水紙盒。</p>	<p>利用鑷子緊壓使其固定，待乾燥</p>	<p>製作出的防水紙盒成品，貼上標籤進行滲水實驗</p>

各種液體的滲透實驗：

(一)實驗步驟

1. 將製作好的紙盒，置於漏斗上方，在下方放置一個燒杯由右邊開始將液體奶油、橄欖油、鹼性離子水、米酒、可口可樂、水，分別放在紙盒中，並用鋁箔紙包住，以防氣體汽化，進行 24hr 滲透實驗的實測，如圖 3-3-9-3。



圖 3-3-9-3 滲透實驗裝置

2. 經過 24 小時後，測量下方燒杯的重量，並計算出滲水率，得到結果如表 3-3-9-2。

表 3-3-9-2：紙膜對各種液體滲透實驗的實測結果

24 小時滲透率	液體奶油	橄欖油	鹼性離子水	米酒	可口可樂	水
沒噴膜	1.72%	4.78%	28.47%	77.02%	19.83%	78.50%
有噴膜	0.00%	1.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

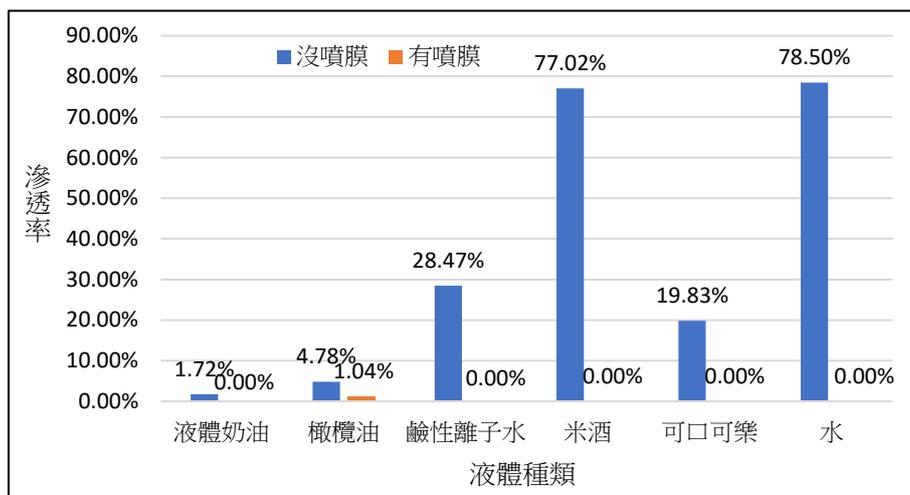


圖 3-3-9-4：紙膜盛裝各種液體後經 24hr 滲透率的分析圖

(三)分析與討論

1. 盛裝橄欖油的噴膜紙盒，在 24 小時後滲透率為 1.04%，推測是該張紙膜的噴劑塗得不均勻，才會導致這樣的結果。
2. 日本水彩紙在噴上最佳配方的噴劑後，滲透率明顯下降許多，24hr 後完全沒有滲透，代表此紙膜防滲透的效果很好。

肆、結果與討論

一、濾紙在噴上了明膠膜後，防水性變好，可從其顯微鏡下看得出來，圖 4-1 左：為未上膠膜的濾紙，其纖維孔隙較明顯；中圖：是只噴上明膠膜，孔隙略為較少；右圖：是在明膠中添加浸泡稻殼粉的檸檬酸，孔隙更為稀少。目前受限於儀器不足，僅用顯微鏡觀察，未來希望能透過質譜儀測分子量等，推測是何種物質使紙膜的防水性提升。



圖 4-1：顯微鏡下噴膠後的濾紙照片(40×10)，左為未噴膠

二、進行噴劑實驗時，我們除了使用了噴瓶外，還使用了噴筆與噴槍(如表 4-1)，雖然噴筆噴塗較為均勻，但耗費時間太長；而噴槍出劑量則過大，常有氣泡產生，也常發現沒有上到膠，較不適當，如圖 4-2。



圖 4-2：左為噴瓶上膠，右為噴槍上膠

表 4-1：各項噴劑方式的比較說明

噴劑方式	噴瓶	噴筆	噴槍
照片圖示			
使用說明	噴灑面積適當，均勻度尚可，且用量最省，是本研究主要使用的方法	噴灑面積小且均勻，但出劑量太小，時間花費較長，噴散的範圍也太小，必須不斷重複，花費較長時間，且容易有堵塞的情形發生	壓力過大，雖所花時間較少，但噴出來的明膠量較難控制，一下太多一下不夠，且會產生太多氣泡

三、成本分析：計算淋膜紙容器的成本如表 4-2，若能使用費用較低的原紙來取代目前用紙-日本水彩紙，以及透過量產，可使成本降低。未來希望能將這個環保可食性的產品推廣出去，讓地球能永續發展。

表 4-2：本研究產品和市售產品的成本比較分析

名稱	淋膜紙吸管(7cm*15 cm)	淋膜紙盒(10cm*10cm)	塑膠吸管	紙吸管	紙杯
成本或售價(元)	紙 0.6+膜 0.087	紙 0.57+膜 0.083	0.28	0.4	0.36

伍、結論

- 一、本研究的最佳配方為：4.0%明膠水溶液 20 公克 + 甘油 0.5 mL + 酒精 1.5 mL + 浸泡 3hr 稻殼粉的 20%檸檬酸 2.0mL。
- 二、以噴劑實驗在冷氣房中晾乾的方式，且上膠次數 1 次為最佳。
- 三、最佳配方紙膜耐熱溫度可高達 180 °C。
- 四、最佳配方噴在水果上可明顯延長水果的保鮮期。
- 五、做成防水紙吸管，成本為 0.69 元，吸水實驗經過 35 分鐘後達到頂端(不變形膨脹)。
- 六、做成防水紙盒，成本為 0.66 元，一天後滲水率為 0.0%。
- 七、最佳配方紙膜製成各種紙容器，如圖 5-1，左起為紙杯、紙袋、紙便當盒、闔上的便當盒。

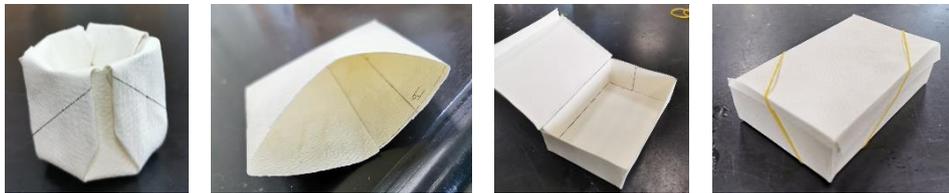


圖 5-1：各式紙容器

陸、參考文獻

- 一、林柏穎、許庭華、劉震平等(2020)。神奇海藻,那「膜」厲害。中華民國第 18 屆旺宏科學獎化學類。
- 二、李羿昌、鄭佳昀等(2019)。「混」是「膜」王—探討海藻酸鈉及澱粉混和薄膜的特性。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會生活與應用科學組。
- 三、吳承哲、呂翊瑒、嚴子杭、張博軒、魏辰翰、駱鼎鈞等(2019)。洋洋得益--以洋菜冷凍鍍膜製作防水紙吸管。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會化學科。
- 四、盧禹安、王定康等(2020)。好膜成雙-幾丁聚醣複合保鮮膜製作之探討。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會化學科。
- 五、尤柔扉、楊侑霖、紀承廷、許呈澤、曾佩璇等(2020)。「蕉」織「鞣」合~探討綠蕉鞣酸的作用及自製蕉鞣豆皮膠膜。中華民國第 60 屆中小學科學展覽會化學科。
- 六、黃宇詳、黃俐穎、楊甸翌等(2021)。見「塑」不見「鱗」-魚鱗環保薄膜的研發及應用。中華民國第 61 屆國民中小學科學展覽會
- 七、編輯部(2018 年 12 月 1 日)。紙杯淋膜可望被生物降解。科學月刊，444，2
- 八、吳伯軒(2016 年 8 月 17 日)。台科大「摺疊紙吸管」拿下 IDEA 銅獎。自由時報。

<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1797763>

【評語】 032913

研究主題針對減少現今塑膠膜依賴，發展可生物分解且防水的塗層，呼應現今環境主題，報告內容架構清楚，文獻回顧詳列各屆科展相關研究主題與未及之處，並以”防水”作為該研究突破重心，目標明確。實驗系統具有邏輯性，對變因進行有層次的分析，能善用科學步驟，完整探討研究面向，並能夠利用手邊可得工具量測接觸角與紙張堅韌度，且數據整理清楚，最終取得成品，並在紙盒與水果上取得防水與防腐的驗證。建議需根據原理在防水問題與解決策略上建立對應的基礎假設，才能明確研究方向的合理性與可行性。

作品海報

摘要

本研究主要是利用農業廢棄物-稻殼，浸泡在檸檬酸或飽和石灰水後，所得酸或鹼液再加入明膠溶液中，可有效提升防水性。實驗結果發現：在 4.0 % 的明膠溶液 20 公克中，加入甘油 0.5 mL、酒精 1.5 mL，再加入浸泡稻殼粉 3 小時後的 20 % 檸檬酸液 2.0 mL，所得最佳配方作為噴劑，噴灑在濾紙上並用培養皿盛裝，放在冷氣房中晾乾，可讓水滴開始滲透的時間延長，接觸角加大，防水效果明顯提升。

最佳配方噴劑噴在水果上，可有效延長水果的保鮮期；噴在日本水彩紙上，其堅韌度、耐熱溫度皆可提升，製成各式防水紙容器，經一天後滲水率、滲油率明顯下降。驗證本作品是具有用量省、方使用、成本低的可食性噴劑塗料，期待能取代市面上的塑膠淋膜，還給地球一個乾淨的環境。

壹、研究動機及目的

目前大多的紙容器內膜主要為聚乙烯，難以和紙餐具分離，因此分離的成本過高，且對環境造成影響。所以我們便想是否可以在環保的前提下，製作出可以在自然環境中分解的內膜，不但環保，也讓消費者食用時更安心。

貳、研究目的

- (一) 找出最佳的上膠方式
- (二) 找出最好的成膜方式
- (三) 找出最佳的紙膜配方
- (四) 噴劑當水果保鮮劑的可行性
- (五) 製作紙膜容器，並進行各項性質的實測

參、研究過程和方法

一、研究流程圖

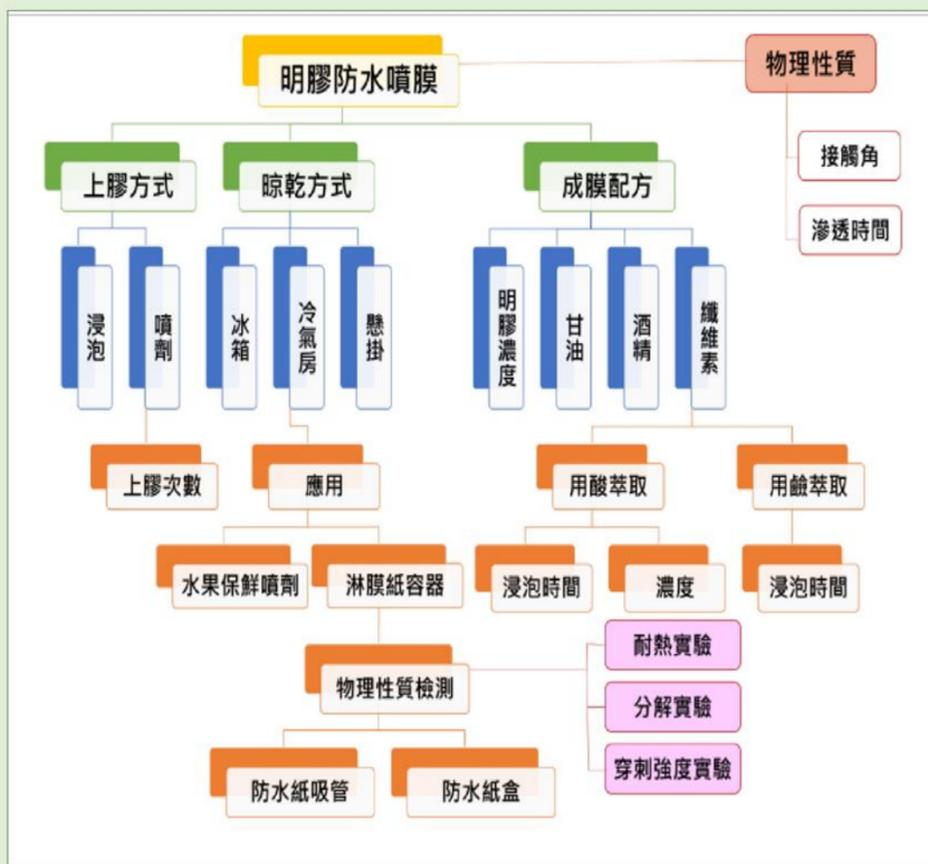


圖1:實驗流程圖

二、物理性質測量

(一)接觸角

1. 在液體/氣體界面接觸固體表面形成的夾角。
2. 物體接觸角度較大，代表表面較疏水



圖2: 接觸角拍攝裝置



圖3: 接觸角測量結果

(二)水滴滲透時間

1. 從水滴滴到濾紙上到滲透的時間，單位為秒
2. 水滴滲透時間越長，表示防水效果越好

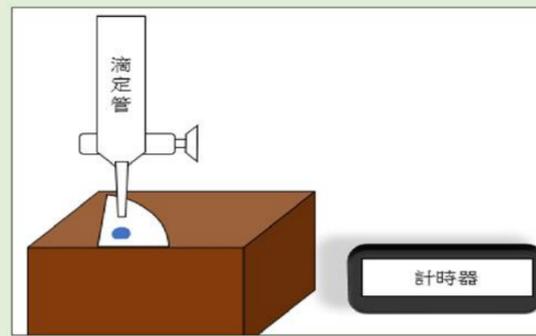
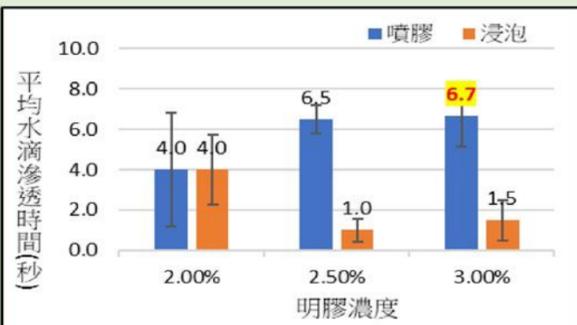


圖4:一代水滴滲透時間測量設備

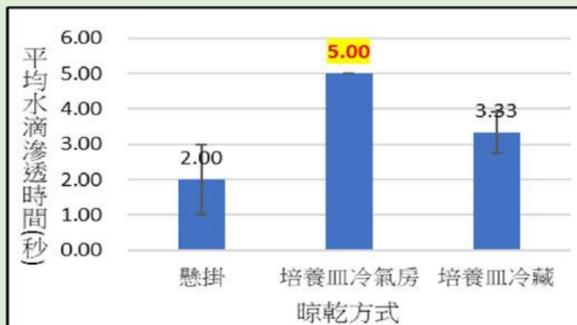
肆、研究過程與結果

一、第一代裝置-上膠方式、晾乾方式、上膠次數及配方

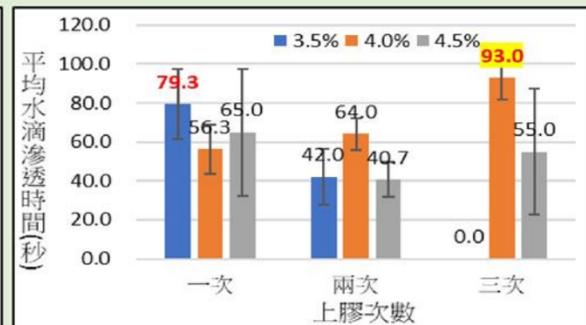
【實驗1】探討上膠方式對紙膜防水的影響



【實驗2】探討晾乾方式對紙膜防水的影響



【實驗3】探討上膠次數對紙膜防水的影響

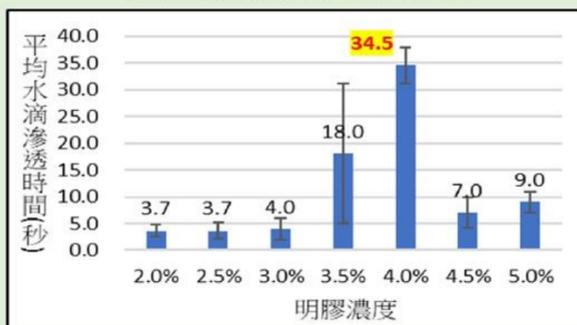


結論：噴劑上膠一次並在冷氣房中晾乾效果最佳

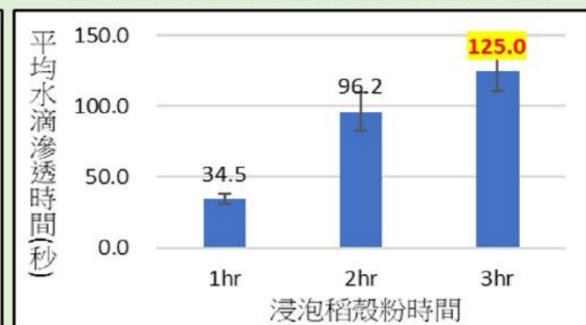
【實驗4-1】探討加入不同濃度的檸檬酸浸泡稻殼粉後，對紙膜防水的影響



【實驗4-2】探討明膠濃度對紙膜防水的影響



【實驗4-3】探討浸泡稻殼粉的時間對紙膜防水的影響



最佳配方：4 %明膠20公克+ 1.5mL酒精+ 1.5mL甘油+ 浸泡稻殼粉3小時的20%檸檬酸0.5mL

二、利用第二代裝置找出最佳成膜配方

【實驗5】第二代實驗裝置

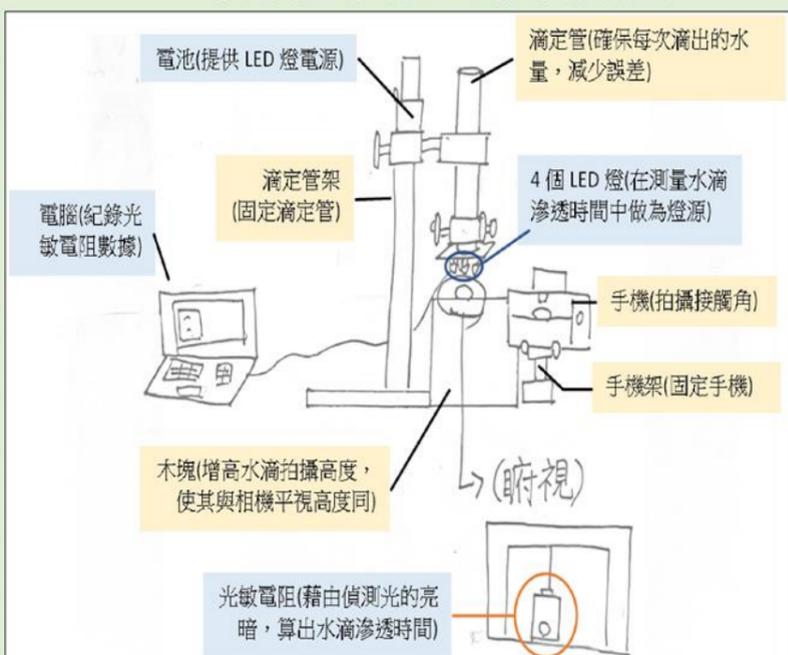


圖5:第二代實驗裝置示意圖

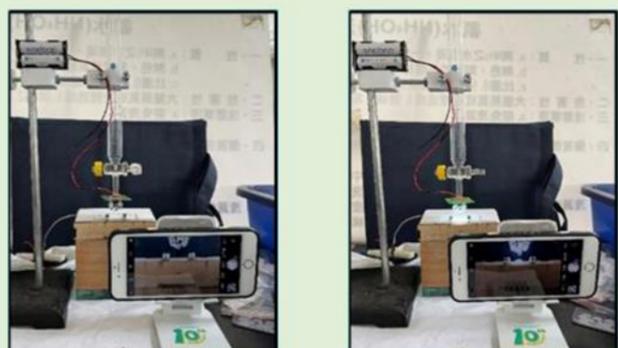


圖6:第二代實驗裝置實際圖

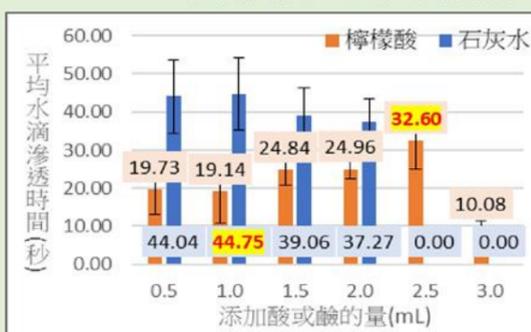
水滴開始滲透時間：

利用光敏電阻測量紙膜下方亮度，數值大幅下降所需的時間，即為水滴開始滲透時間。

接觸角：

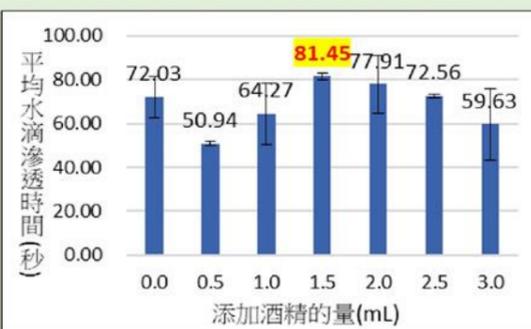
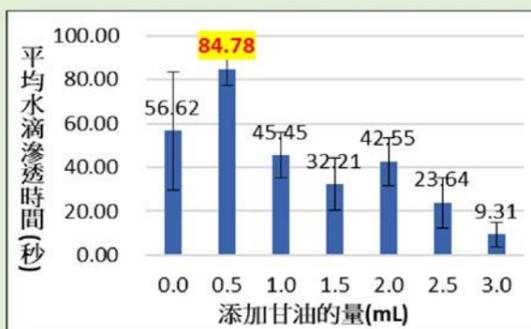
使用Anydesk軟體協助測量角度。

【實驗6-1】改變檸檬酸和石灰水的添加量



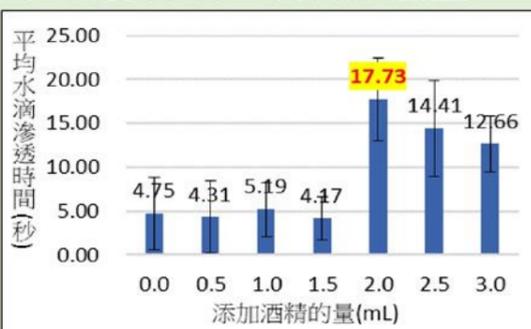
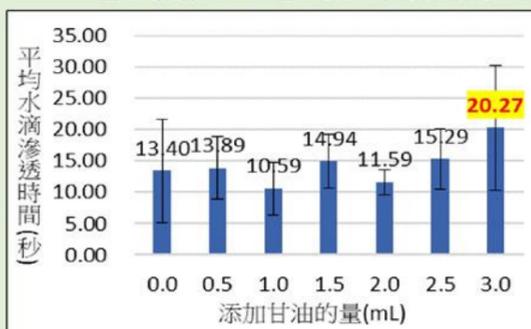
結果：防水效果較好的是在明膠液中
添加浸泡稻殼粉 3hr 的20%檸檬酸 2.0 mL；
添加浸泡稻殼粉 3hr 的飽和石灰水 1.5 mL。

【實驗6-2】加酸的最佳配方-改變甘油、酒精添加量



結果:添加1.5mL的酒精及0.5mL的甘油有較佳的防水較果。

【實驗6-3】加鹼的最佳配方-改變甘油、酒精添加量



結果:添加2.0mL的酒精及1.5mL的甘油有較佳的防水較果。

**總結1：加酸的最佳配方為4.0%的明膠水溶液20 公克，
加入浸泡稻殼粉3小時的20%檸檬酸2.0 mL、甘油0.5mL以及酒精1.5 mL**

**總結2：加鹼的最佳配方為4.0%的明膠水溶液20 公克，
加入浸泡稻殼粉3小時的飽和澄清石灰水1.5 mL、甘油1.5mL以及酒精2.0 mL**

三、物理性質的測量

【實驗7-1】分解實驗

表1：以浸泡稻殼粉3hr的15%的檸檬酸為例

名稱	原始情形	開始發霉天數	開始發霉情形
浸泡稻殼粉 3hr 的檸檬酸		20 天	
浸泡稻殼粉 3hr 的石灰水		16 天	
明膠液 (浸泡稻殼粉 3hr 的檸檬酸)		22 天	
明膠液 (浸泡稻殼粉 3hr 的石灰水)		16 天	

【實驗7-3】耐熱實驗

表3：以加酸的最佳配方為例

溫度	80 °C	100 °C	180 °C	200 °C
實際操作情形				
結果	沒有變化	沒有變化	開始變色	開始冒煙

表4：添加各濃度浸泡稻殼粉後的檸檬酸製成紙膜的耐熱溫度

各溶液耐熱溫度	明膠	加酸最佳配方	加鹼最佳配方
耐熱溫度	120 °C	180 °C	110 °C

【實驗7-2】穿刺強度實驗

紙膜穿刺強度 是指鐵釘刺穿濾紙膜時所需的力，單位為 gw，所得數值越大，代表紙張抵抗穿刺能力較強。

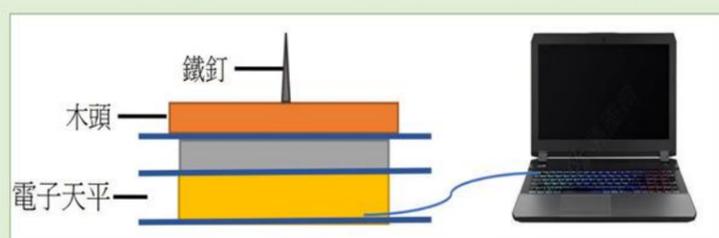


圖7:穿刺強度測量設備

表2：各紙膜與純濾紙的穿刺強度比較表

穿刺強度 (gw)	明膠液加酸	明膠液加鹼	純濾紙
總平均	750.67	593.11	225.00
總標準差	90.43	86.04	23.81

【實驗7-4】滲水實驗

表5 滲水實驗實測結果

紙盒原料 滲水率	原日本水彩紙 (不噴明膠液)	噴最佳配方的明膠液 (加酸)	噴最佳配方的明膠液 (加鹼)
1hr	3.1%	0.0%	0.0%
24hr	48.5%	0.0%	1.0%



圖7 滲水實測

總結：明膠加浸泡3小時稻殼粉的20%檸檬酸後，所製成的紙膜較不易腐敗、有較好堅韌度、較高耐熱溫度及較低滲透率。

四、綜合應用

【實驗8】水果保鮮噴劑

表6 噴劑對水果保鮮的實測結果

天數	噴劑對照說明				第0天	第16天	第34天
實驗照片	對照組 1	對照組 2	3.0% C1	3.0% C2			
	3.5% D1	3.5% D2	4.0% E1	4.0% E2			
	4.5% F1	4.5% F2	5.0% G1	5.0% G2			

結果：本實驗最佳配方的明膠液噴劑，確實可延長水果的保鮮期。

【實驗9-1】防水紙吸管



圖8 防水紙吸管製作流程

【實驗9-2】防水紙盒對各種液體的滲透實驗

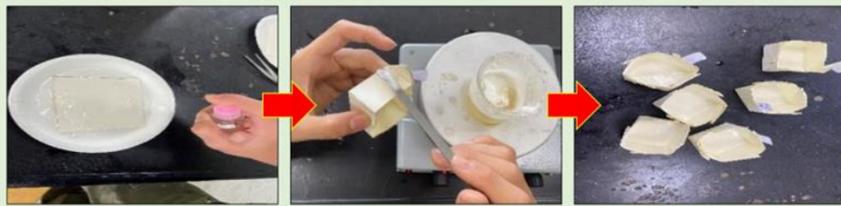


圖10 防水紙盒製作流程

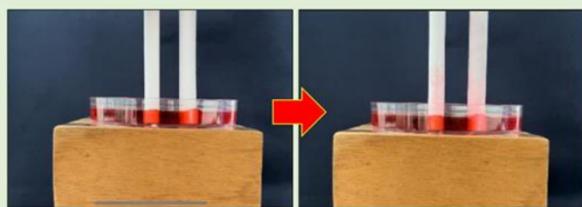


圖9 紙吸管吸水實驗
-經35分鐘後吸到頂端

24小時滲透率	液體 奶油	橄欖油	鹼性 離子水	米酒	可口 可樂	水
沒噴膜	1.72%	4.78%	28.47%	77.02%	19.83%	78.50%
有噴膜	0.00%	1.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

圖12 紙膜對各種液體滲透實驗的實測結果



圖11
滲透實驗裝置

伍、討論

- 一、濾紙在噴上了明膠膜後，防水性變好，可從其顯微鏡下看得出來，如圖13。
- 二、進行噴劑實驗時，我們除了使用噴瓶外，還使用了噴筆與噴槍，雖然噴筆噴塗較均勻，但耗費時間太長；而噴槍出劑量過大且難控制，常有氣泡產生，偶爾也會發現沒有上到膠，較不適當，如表7。

表7 噴劑實驗使用的材料優缺比較表

噴劑方式	噴瓶	噴筆	噴槍
照片圖示			
使用說明	噴灑面積適當 均勻度尚可 用量最省	噴灑面積太小 均勻度佳 時間花費長 易發生堵塞情形	壓力過大 花費時間較少 出劑量難控制 產生太多氣泡



圖13 左：為未上膠膜的濾紙，其纖維孔隙較明顯；中：是只噴上明膠膜，孔隙略為較少；右：是在明膠中添加浸泡稻殼粉的檸檬酸，孔隙更為稀少

- 三、成本分析：使用圖14的淋膜防水紙製作的紙容器，計算其成本如表8，若能使用費用較低的原紙或再生紙來取代目前用紙日本水彩紙，以及透過量產，可使成本降低。未來希望能將這個環保可食性的產品推廣出去，讓地球能永續發展。

表8 本研究產品和市售產品的成本比較分析

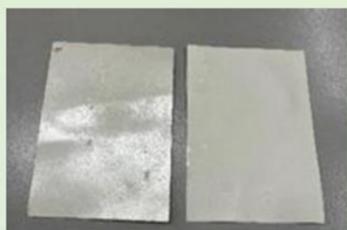


圖14 本研究製作的防水紙膜

名稱	紙吸管 (徑6mm*高21cm)	紙杯 (6.5oz)	點心盒 (11.5*7.5*3cm ³)	紙袋 (8兩袋)
自製紙容器成本(元)	0.59	0.46	2.60	1.44
市售紙容器售價(元)	0.3	0.3	1.35	0.55

陸、結論

- 一、本研究的最佳配方為：4.0%明膠水溶液20公克 + 甘油0.5 mL + 酒精1.5 mL + 浸泡3hr稻殼粉的20%檸檬酸2.0mL。
- 二、以噴劑實驗在冷氣房中晾乾的方式，且上膠次數1次為最佳。
- 三、紙膜耐熱溫度最高可達180℃，並可自行分解，且抵抗穿刺的能力提升2.6~3.3倍。
- 四、噴在水果上可明顯延長水果的保鮮期。
- 五、做成防水紙吸管(徑6mm*高7cm)，成本為0.2元，吸水實驗經過35分鐘後不變形膨脹。
- 六、做成防水紙盒，成本為0.71元，一天後滲水率為0.0%。
- 七、最佳配方紙膜製成各種紙容器，如圖15，左起為紙杯、紙袋、紙點心盒、闔上的紙點心盒。

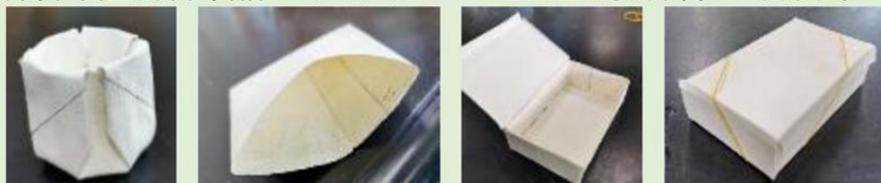


圖15 各式紙容器

柒、參考文獻

- 一、黃宇詳、黃俐穎、楊甸翌等(2021)。見「塑」不見「鱗」-魚鱗環保薄膜的研發及應用。中華民國第61屆中小學科學展覽會生活與應用科學科(二)。
- 二、吳承哲等(2019)洋洋得益--以洋菜冷凍鍍膜製作防水紙吸管。中華民國第59屆中小學科學展覽會化學科。