

新竹市第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：化學科

組 別：國中甲組

作品名稱：仙草的華麗變身：

分析仙草多醣薄膜特性與異質多醣凝膠的交互作用

關 鍵 詞：仙草、多醣、薄膜素材

編 號：115JA-C002

摘要

本研究重在探討仙草多醣的萃取條件、薄膜物理特性和多元應用。製作薄膜時，我們發現甘油是成膜的必要條件，若加入洋菜或澱粉，能分別提升薄膜的延展性與耐水性，因此具備開發為天然保鮮膜或人工皮的潛力。若將薄膜結合紗網，還能有效吸附空氣中的懸浮微粒。在異質多醣實驗中，仙草與澱粉混合會形成具有彈性的結構；若與洋菜混合，仙草多醣反而會阻礙洋菜形成雙螺旋，導致整體硬度下降。此外，將仙草薄膜浸入氯化鈣溶液，仙草多醣的羧酸根離子可形成鈣橋，使薄膜結構更穩固且耐水性更高。仙草凝膠則具有生醫應用潛力，在模擬藥物釋放實驗中，仙草凝膠在酸性環境的釋放速率最快，適合作為胃部吸收的藥物載體。同時，仙草凝膠具備顯著的抗菌能力。

壹、前言

一、研究動機

仙草是新竹地區具代表性的農產品之一，也是我們成長的區域中一項有名的特產，長期以來多以傳統飲食形式被利用。然而，仙草中含有豐富的多醣類膠質，具有良好的製成薄膜、凝膠，具有強大應用潛力，我們認為其價值不應僅局限於食用上的用途。因此，我們希望透過實驗的方式，探討仙草多醣的特性，並嘗試將傳統仙草開發為具新穎用途的薄膜或凝膠素材，以提升仙草的多元應用價值。

二、研究目的

(一) 探討仙草多醣之萃取、純化與薄膜製備

1. 比較加鹼是否會影響多醣產量
2. 比較脫色多醣粉末萃取以及未脫色多醣粉末之產量

(二) 分析不同製備條件對仙草薄膜物理性質的影響

1. 薄膜製成的厚度與油脂剝離狀態比較
2. 添加物對薄膜的影響
3. 薄膜的延展性比較
4. 薄膜導電性比較
5. 薄膜對 PM2.5 的吸附性比較

(三) 仙草多醣與異質多醣交互作用對凝膠硬度之分析

(四) 探討離子交聯對仙草的影響

1. 離子交聯對仙草薄膜和凝膠的影響

2. 離子交聯對仙草液的影響

(五) 測試不同配方的仙草凝膠在進行藥物釋放的差異性

(六) 比較不同配方仙草凝膠的抗菌效果

三、文獻回顧

由文獻可知，不同萃取條件會影響仙草多醣的萃取效果與功能性。例如，使用碳酸鈉或碳酸氫鈉萃取仙草凝膠時，碳酸鈉的效果較佳（文獻一）；而在不同乙醇濃度下萃取仙草，其抗氧化活性以 70% 乙醇最佳（文獻八）。此外，火龍果莖部被證實是含多醣體具有潛力的材料之一（文獻二），而分析七種仙草品系的凝膠特性與多醣組成發現，仙草凍的凝膠強度與 Fraction B (50%酒精萃取)含量呈正相關，與 Fraction A (30%酒精萃取)呈負相關（文獻五）。而仙草多醣主要成分由半乳糖、葡萄糖、木糖、鼠李糖、甘露糖、阿拉伯糖、果糖、澱粉、果糖聚糖、木聚糖、甘露聚糖、果膠所組成（文獻十二）。洋菜的凝膠原理:當洋菜糖處於固態時，長鏈分子會相互纏繞。於水中加熱時長鏈分子會解開。當溫度降低時，每兩條線團會成對捲繞成雙螺旋結構。當進一步降溫，這些螺旋結構會聚集成束，形成一個內部包裹著水分子的網格狀結構（文獻九）。

在應用方面，研究顯示利用常見素食增稠劑與澱粉作為添加物，可成功製作素食可食用紙（文獻三）；同時，利用海藻酸鈉包埋廢棄殼粉（花生殼、蛋殼、牡蠣殼）製成「複合晶球」可吸附廢液中的重金屬，其中以花生殼粉效果最佳（文獻六）。另外，開發愛玉薄膜並以起司糊鍍在餅乾杯上，可成功製作防水模型（文獻四）。

貳、研究設備及器材

一、物種介紹

仙草(*Platostoma palustre*)，為唇形科仙草屬草本植物。本實驗採用的仙草來源是關西鎮農會

主要種植的品種 — 「桃園 1 號」。葉片凝膠強度較高，含有豐富的膠質。

二、研究器材

CY 試藥 95% 變性酒精 500ml 95%ETOH	Digisystem 8 Hole 6000rpm Centrifuge Machine (DSC-200A-2)離心機
電磁加熱攪拌機 JS-H 轉速 1500rpm	Sodium Carbonate, Anhydrous 蘇打
白蠟油	甘油
活性碳粉[200 mesh]	仙草乾(0.18kg)/關西鎮農會
實驗室手動小型不鏽鋼升降台	飛利浦 HD9220 AirFryer 健康氣炸鍋
新光牌洋菜粉 (寒天粉)	永銓食品-吉利 T 果膠粉(HM 果膠)
直徑 9cm 培養皿	直徑 5.5cm 培養皿
CaCl ₂ -Yakuri chemicals	250ml 容量瓶
24 目紗網	100cm 透明壓克力管
阿格瑞斯—甲醛/PM2.5 空氣品質檢測儀	紫外光分光光度計 UV752N
1M 鹽酸	氫氧化鈉 Sodium Hydroxide
豆漿過濾袋	亞甲基藍溶液

酵母粉	葡萄糖
表 1：研究器材一覽表	

參、研究過程與方法

一、仙草多醣之萃取、純化與薄膜製備流程

(一) 仙草萃取液製作

1. 取仙草乾 50g 加入 1000mL、0.14M 的蘇打水溶液(約為 14.8g 蘇打加礦泉水至 1000)(文獻 7)，同上作法，做另一組沒有加入鹼熬煮的仙草。
2. 熬煮四小時，每一小時定時補水至原水位並攪拌。
3. 結束後將仙草渣用豆漿過濾袋過濾掉並將剩餘仙草萃取液封保鮮膜放入冰箱冷藏保存。

(二) 仙草液脫色之方法(參考文獻 11)

1. 將仙草膠萃取液加熱至 95°C，加入 10%之粉末狀活性碳於 95°C 下加熱攪拌 10 分鐘。
2. 用離心機離心(6000rpm,15 分鐘)後取上層液加熱至 95°C 後加入 5%粉末狀活性碳，於 95°C 下攪拌 10 分鐘。
3. 重複步驟 2，用離心機離心(6000rpm,15 分鐘)後即可獲得澄清的仙草液。

(三) 仙草多醣粉末製作

- 1.仙草萃取液加入 95% 乙醇，使得整體成 70%(v/v)酒精溶液(文獻 8)。
- 2.將溶液混合倒入 8 管每管 14ml 的離心管中。
- 3.離心(6000rpm,15 分鐘)並取膠狀沉澱物。
- 4.用微波爐或加熱攪拌器加熱乾燥成粉末。
- 5.利用精密電子秤測量粉末克重。

(四) 仙草多醣薄膜製作

1.將 1g 多醣粉末溶解在 49g 水中並加熱至 70°C 並攪拌 20 分鐘使多醣粉末完全溶解。

2.降溫至約 40°C 後加入 1mL 甘油並攪拌 10 分鐘，若需添加活性碳，在這步加入 1g 的活性碳。

3.從加熱攪拌器將燒杯取下並放涼。

4.倒入直徑 9cm 培養皿，並輕震培養皿讓氣泡上升，放置在電風扇前風乾。

(五) 混合多醣之仙草薄膜製作

1.利用 1%的多醣粉末溶液加入 2%澱粉(w/v)、2%洋菜(w/v)、1%澱粉+1%洋菜(w/v)、

2% 甘油(w/v)、2%活性碳(w/v)並加熱攪拌至沸騰。

2.沸騰後從加熱攪拌器將燒杯取下並放涼但不可以使多醣凝固。

3.倒入直徑 9cm 培養皿，並輕震培養皿讓氣泡上升，放置在電風扇前風乾。

二、分析不同製備條件下的仙草薄膜物理性質

(一) 薄膜厚度、剝離程度

1. 將 1mL 白蠟油、甘油均勻塗抹在培養皿底部。

2. 分成薄(10ml)與厚(20ml)，並倒入仙草多醣液(仙草多醣液作法請見(四)仙草多醣薄膜製作)。

3. 用風乾後從培養皿上撕起。

4. 平鋪於秤量紙上並觀察。

(二) 延展性

1. 利用砝碼測量該彈簧伸長量對應的克數。
2. 將各種薄膜裁成 1cm*4.5cm 的長條狀。
3. 利用抬升器，一邊裝彈簧，一邊使用吸管夾住薄膜(如圖 1)。
4. 測量彈簧在薄膜破裂時的長度並計算出伸長量對應的拉力。

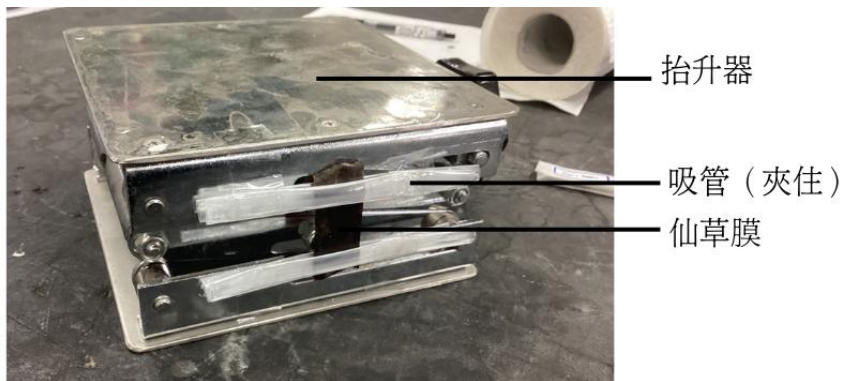


圖 1：延展性實驗裝置圖

(三) 導電性

1. 將各種薄膜裁成 1cm*2cm 的長條狀。
2. 將三用電表兩邊針頭分別放在薄膜長邊兩側，並量測電阻值直到不再變化為止。
3. 記錄下鋁片(對照組)、仙草薄膜、活性碳仙草薄膜各自之電阻值。

(四) 吸附性

1. 將 24 目紗網剪成約 5*5cm 之正方形並浸泡在培養皿裡的仙草多醣液中(仙草液作法請見(四)仙草多醣薄膜製作)。
2. 利用電風扇風乾使仙草薄膜均勻附著在紗網上。
3. 分成無紗網(直接通過)、有紗網、紗網上附著仙草三種。
4. 在有薄膜那一端放置空氣品質檢測儀。
5. 在貼薄膜的另一端放利用鋁箔紙完整包覆，並插入點燃的線香。
6. 放入後計時直到 PM2.5 增加 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，記錄數據。

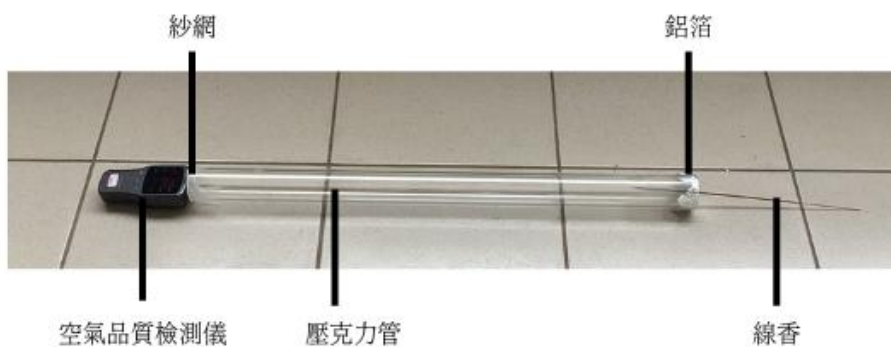


圖 2：PM2.5 吸附性實驗裝置圖

(五) 仙草膜崩解時間之測試

1. 將薄膜裁成 1cm*2cm 的長條狀。
2. 將薄膜放入 50ml 的水中並開啟攪拌器，觀察完全溶解的時間並記錄(上限為 30 分鐘)。

三、仙草多醣與異質多醣交互作用對凝膠硬度之分析

(一) 步驟

1. 將不同 0.3g、0.6g、1.2g 的澱粉、洋菜、果膠加入燒杯中並加入仙草或水至 30 毫升。
2. 兩兩多醣粉末混合加入燒杯中並加入仙草或水至 30 毫升，配方如下: 2%果膠+2%澱粉、2%果膠+2%洋菜、2%澱粉+2%洋菜、2%果膠+4%洋菜、2%澱粉+4%洋菜。
3. 用加熱攪拌器加熱攪拌至沸騰 2 分鐘後取出放涼冷卻。
4. 觀察硬度並記錄。

四、探討離子交聯對仙草的影響

(一) 離子交聯對仙草薄膜和凝膠的影響

1. 配置 0.5M 氯化鈣水溶液作為離子交聯溶液。
2. 將裁切成 1cm*4.5cm 和 1cm*2cm 的仙草薄膜分別浸入氯化鈣溶液中，浸泡時間 30 分鐘。

3. 將不同比例的凝膠以同大小泡入氯化鈣溶液中，浸泡時間 30 分鐘。
4. 將浸泡後的薄膜和凝膠取出，觀察其變化並測量其溶解性及延展性。

(二) 離子交聯對仙草液的影響

1. 配置 0.5M 氯化鈣水溶液作為離子交聯溶液。
2. 將 2%(w/v)的碳酸鈉加入仙草液中。
3. 將有加碳酸鈉的和沒有加的仙草液用滴管擠入氯化鈣水溶液中並觀察。
4. 1 小時後觀察溶液的情形。

五、以不同仙草凝膠配方模擬藥物釋放濃度分析

(一) 步驟

1. 配置不同 pH 值水溶液 (pH2 鹽酸、pH7 水、pH9 氫氧化鈉)，並用 pH 計校正。
2. 配置 4%(w/v)的多醣溶液，配方如下:對照組(水+洋菜)、仙草液+4%洋菜、仙草液+4%澱粉、仙草液+2%洋菜+2%澱粉，且每一個配方做兩次降低誤差。
3. 用甲基藍作為模擬藥物成分，加入 10%亞甲基藍於多醣溶液中，製作成多醣凝膠。
4. 另外製作沒有加甲基藍的凝膠(配方同上)。
5. 將四組不同的配方和沒有甲基藍的凝膠分別切等大的塊放入燒杯中，每個燒杯裝入 30 毫升的配好的酸鹼中性溶液。
6. 於第 6 小時，每個燒杯取樣 4ml 至試管中 (共 24 支有亞甲藍的以及 18 管無亞甲藍的仙草凝膠)。
7. 使用分光光度計測吸光度、記錄並分析數據。

(二) 分光光度計使用方式

1. 旋轉波長按鈕到波長=664nm(文獻 10)。
2. 將 3ml 的水放入比色皿並放入比色槽中並歸零當作標準值。
3. 調配不同濃度的亞甲藍液，並測量吸光值，利用比爾-朗伯定律： $A=K \cdot \ell \cdot c$ (A =吸光度， K =吸收係數， ℓ =吸收介質的厚度， c =吸光物質濃度)。本實驗直接採用 $A \propto c$ 的結論，利用 excel 自行建立亞甲藍液濃度對吸光值的回歸曲線，如下圖。

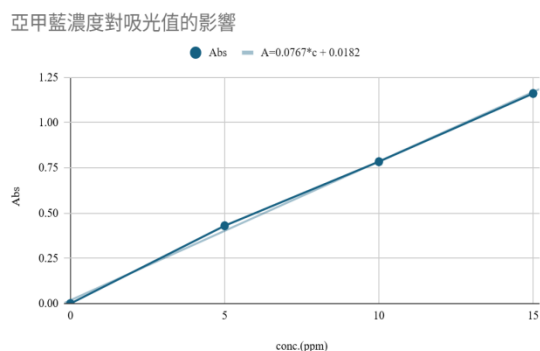


圖 3：亞甲藍濃度對吸光值的影響，得出回歸曲線為 $A=0.0767*c + 0.0182$

4. 將 24+18 管的試管溶液用微量吸管一一吸入 3 毫升裝入比色皿，並放入分光光度計測量吸光值(測完以礦泉水清洗比色皿)。
5. 把有加亞甲藍的仙草凍吸光值減去沒有加亞甲藍的吸光值，得出真正的釋放亞甲藍濃度。(原理為多組分的溶液中，總吸光度等於各個組分吸光度的總和，因為吸光度的加成性而成立。)
6. 紀錄並分析數據。

六、仙草凍之抗菌效果研究

(一) 步驟

1. 將 0.5g 的酵母粉、2.5g 的葡萄糖加至 50ml 的水攪拌均勻，放在加熱攪拌器攪拌到沸騰後取下即可得到營養液。
2. 將 5g 洋菜粉加入裝 250ml 純水的錐形瓶並攪拌。
3. 將錐形瓶放入微波爐加熱直到突沸(完全溶解)，將錐形瓶拿出來攪拌冷卻。
4. 在 10 個培養皿中每個倒入 5ml 的營養液，並每兩個倒入 0ml、1.5ml、3ml、6ml、15ml 的仙草原液，將洋菜溶液倒入培養皿至 35 毫升(例如 1.5ml 仙草液就要加入 28.5ml 的洋菜液)使得每五個培養皿的仙草比例為 0%(作為對照組),5%,10%,20%,50%(w/v)(營養液不納入溶液考量)，並待其直到凝固。
5. 將培養皿放置在陰涼處七天並開蓋觀察細菌、真菌的生長。
6. 途中若洋菜凍過於乾燥要在上面噴灑礦泉水。

肆、研究結果與分析

實驗一、探討仙草多醣之萃取、純化與薄膜製備

一、比較脫色多醣粉末萃取以及未脫色多醣粉末之產量

(一)加鹼熬煮對仙草多醣量的影響

加鹼萃取的仙草液 pH 值平均落在 9.2 左右，而沒有加鹼的仙草液 pH 值則為 7.9。

	加鹼多醣粉末量	不加鹼多醣粉末量
平均乾燥後粉末重(g)	1.067	0.091
產率(%)	63.5	3.6

表 2：是否加鹼對多醣產量之影響比較表

$$\left(\text{產率} = \frac{\text{實際取得量}}{\text{理論投入量}} \times 100\%, \text{理論投入量} = \frac{50\text{g(仙草)}}{1000\text{g(水)}} \times \frac{\text{(仙草)}}{\text{0g(水)}} \times 100\% \times 33.6\text{g(八管離心管的仙草液總重)} = 1.68 \right)$$

加鹼可以有效的將多醣從仙草中萃取出來，雖然會導致 pH 值上升，但可以使多醣的萃取量增加 20 倍，也符合文獻所述。

(二)脫色仙草液結果

經過脫色，可以將仙草原液的棕色變成右圖的澄清

(離心管管壁的活性碳粉不會隨著溶液一起被倒出)，

然而脫色後剩餘溶液大概都只剩原本的二分之一到四分之一。



圖 4：脫色仙草溶液圖

(三)比較脫色多醣粉末萃取以及未脫色多醣粉末之產量

	未脫色多醣粉末量	脫色多醣粉末量
平均乾燥後粉末重(g)	1.067	0.249
產率(%)	63.5	15.4

表 3：脫色多醣粉末萃取以及未脫色多醣粉末之產量比較表

未脫色的多醣產率較脫色後的高，因此後續實驗也將用未脫色的多醣粉末製作仙草薄膜。

實驗二、分析不同製備條件下的仙草薄膜物理性質

一、仙草薄膜製備試驗

(一)厚薄度

體積	10ml	20ml
----	------	------



成膜狀態		
描述	薄膜可以撕下來，但幾乎為破碎狀。	薄膜完整度較高，可以輕易的取下

表 4：10mL 和 20mL 製成薄膜比較

20ml 製成的薄膜可以更好的取下，後續實驗將使用 20ml 的溶液製作薄膜

(二) 油脂輔助



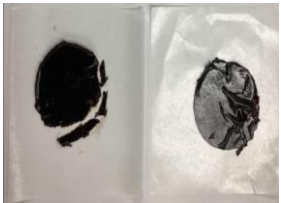
	沒有塗抹油脂	抹甘油	抹白蠟油
圖片			

圖 5：油脂輔助差異圖

在培養皿底部塗抹 1ml 甘油對於撕下後之薄膜完整度無幫助，但在培養皿底部塗抹 1ml 白蠟油效果顯著，後續實驗將使用白蠟油鋪底進行。

(三)添加物對薄膜的影響




	不加甘油	2%甘油	2%活性碳
圖片			
描述	風乾後只有黏稠的感覺，無法成膜	塗抹白臘油後可以輕鬆將膜取下	活性碳粉沉澱到底部，雖然可以取下，但會掉粉

表 5：添加物對薄膜影響比較表




	仙草+2%澱粉	仙草+2%洋菜	仙草+1%洋菜+1%澱粉
圖片			
描述	有一定的延展性，表面平滑	脆脆的，觸感類似紙，表面較粗糙	摸起來較仙草+2%洋菜軟，表面較粗糙

表 6：多醣配方對薄膜影響比較表

可以發現甘油確實為仙草成膜的必要條件，且活性碳做成的薄膜易碎、掉粉，而兩種多醣相互聚合可以使薄膜硬度增加。

二、延展性

	仙草	仙草+2%活性碳	仙草+2%澱粉	仙草+2%洋菜	仙草+1%洋菜+1%澱粉

彈簧伸長量	1.0cm	0.6cm	1.9cm	5.3cm	4.9m
拉力(克數)	25g	15g	47.5g	132.5g	122.5g

表 7：薄膜之延展性比較表

結果顯示添加不同物質會影響仙草薄膜的延展性，其中以「仙草+2%洋菜」混合時效果最佳，且有混合洋菜的組別效果皆良好，顯示兩者具有協同增強結構的作用；而活性碳則會降低彈性，使凝膠結構較為鬆散或脆。

三、導電性

薄膜材料	鋁片	仙草薄膜	活性碳薄膜(沉澱面)	活性碳薄膜(非沉澱)
電阻值 Ω	0.8	X(不導電)	1500	300000

表 8：相異薄膜材料之導電性比較表

仙草薄膜本身不導電，加入活性碳的薄膜可以導電，但因為易碎的特性使得其應用性減少。

四、PM2.5 吸附性測試

無紗網	起始 PM2.5($\mu g/m^3$)	增加 300 $\mu g/m^3$ 所需的時間
1	31	0'19"
2	33	0'18"
3	23	0'23"
平均	29	0'20"

表 9：PM2.5 之吸附力表（無紗網）

有紗網	起始 PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	增加 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 所需的時間
1	23	0'50"
2	38	0'34"
3	31	0'36"
平均	30.6	0'40"

表 10：PM2.5 之吸附力表（無紗網）

仙草紗網	起始 PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	增加 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 所需的時間
1	29	1'25"
2	29	1'27"
3	33	1'30"
平均	30.3	1'27"

表 11：相異材質薄膜對 PM2.5 之吸附力比較表

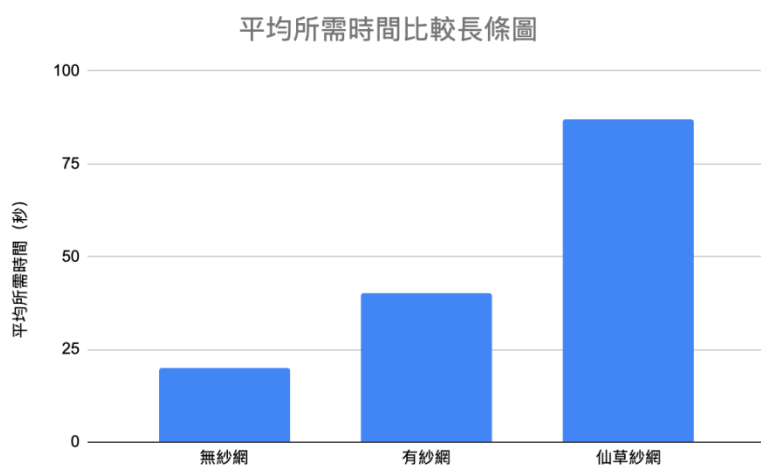


圖 6：平均所需時間長條圖

結果分析:

時間越長，表示材料對空氣中 PM2.5 的吸附量越多，減緩濃度的上升速度，顯示吸附性差異。結果顯示，設置紗網相較於未設置紗網，能稍微提升 PM2.5 的吸附效果。而其中以仙草附著紗網的實驗組，PM2.5 吸附能力最佳。

五、仙草膜崩解時間之測試

	仙草+2%甘油	仙草+2%活性炭	仙草+2%澱粉	仙草+2%洋菜	仙草+1%洋菜 +1%澱粉
完全崩解 時間(秒)	210	73	284	x(30 分鐘都未 完全溶解)	x(30 分鐘都 未完全溶解)

表 12：不同多醣配方仙草膜崩解時間比較表

一般的仙草膜易溶於水，但添加洋菜粉之後可以起到一定的不溶解的效果，然而在攪拌的過程中仍有薄膜被拉扯的碎塊產生。

實驗三、仙草多醣與異質多醣交互作用對凝膠硬度之分析

一、定義凝膠硬度分類如下:





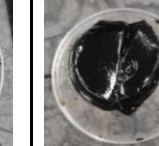

級	0	1	2	3	4	5
狀態	液體狀無黏稠感	僅有黏稠感	嫩仙草，介於液體和固體的邊界上	果醬狀	仙草凍，質硬但不脆	脆脆的凍
名詞	溶膠	微黏性溶膠	亞穩態凝膠	弱凝膠	彈性凝膠	脆性凝膠
照片						

表 13：凝膠硬度定義表

	1%果膠	2%果膠	4%果膠	1%澱粉	2%澱粉	4%澱粉	1%洋菜	2%洋菜	4%洋菜
水	0	0	0	0	0	0	5	5	5
仙草	0	1	1	0	2	4	4	5	5

表 14：相異多醣之交互作用硬度比較表

	2%果膠 +2%澱粉	2%果膠 +2%洋菜	2%澱粉 +2%洋菜	2%果膠 +4%洋菜	2%澱粉 +4%洋菜	4%澱粉 +4%洋菜	2%澱粉+2%洋菜+2%果膠
水	1	3	5	5	5	5	5
仙草	4	3	4	5	5	5	3

表 15：異質多醣交互作用硬度比較表

結果分析：結果顯示洋菜所形成之凝膠在硬度與脆度方面表現最佳；果膠則能使溶液轉變為果醬狀，並有效提升其黏稠度；此外，澱粉加入仙草後，因澱粉糊化作用，可形成具有彈性凍狀特性的結構。

實驗四、探討離子交聯對仙草的影響

一、離子交聯對仙草凝膠以及膜的影響

(一)離子交聯後薄膜的外觀

	純仙草	仙草+2%活性碳	仙草+2%澱粉	仙草+2%洋菜	仙草+1%洋菜+1%澱粉
外觀	較原本硬和脆，但表面仍平滑	x(泡進氯化鈣水溶液開始被溶解)	較原本軟	較原本軟	較原本軟

表 16：不同多醣配方離子交聯後薄膜的外觀比較表

泡入氯化鈣水溶液的對不同薄膜有變硬或軟化的影響。一般的仙草薄膜變更硬了，而其他

三者卻變軟。活性碳薄膜泡進氯化鈣薄膜開始溶解，因此後續的實驗不採用。

(二)離子交聯後薄膜的延展性測試

	純仙草	仙草+2%澱粉	仙草+2%洋菜	仙草+1%洋菜+1%澱粉
彈簧伸長量	0.80cm	0.70cm	1.20cm	1.60cm
拉力(克數)	20g	17.5g	30g	40g

表 17：不同多醣配方離子交聯後薄膜的延展性比較表

由以上結果可知，泡入氯化鈣水溶液的對不同薄膜的延展性皆有影響。純仙草薄膜延展性

變優，而其他三者卻變差。

(三)離子交聯後薄膜的崩解時間之測試

	仙草+2%甘油	仙草+2%澱粉	仙草+2%洋菜	仙草+1%洋菜 +1%澱粉
崩解時間(秒)	x(30 分鐘都未完全溶解)	261	x(30 分鐘都未完全溶解)	x(30 分鐘都未完全溶解)

表 18：不同多醣配方離子交聯後薄膜的崩解時間表

泡入氯化鈣水溶液的薄膜以不溶解的比例偏高，可以使薄膜由親水轉為結構穩固的水不溶

性交聯膜。

(四)離子交聯對凝膠的影響

不管哪一種凝膠泡入氯化鈣水溶液中，都只有在外面有淺棕色的外殼，內部的硬度都和原本凝膠性質一樣。

二、離子交聯對仙草液的影响

將仙草液滴入氯化鈣水溶液即可產生膠體晶球；加入碳酸鈉的仙草液滴入則會在晶球的外部另外形成一層淺棕色的殼層，結果如右圖所示：無論浸泡氯化鈣的時間長短在（1 分鐘、30 分鐘、1 小



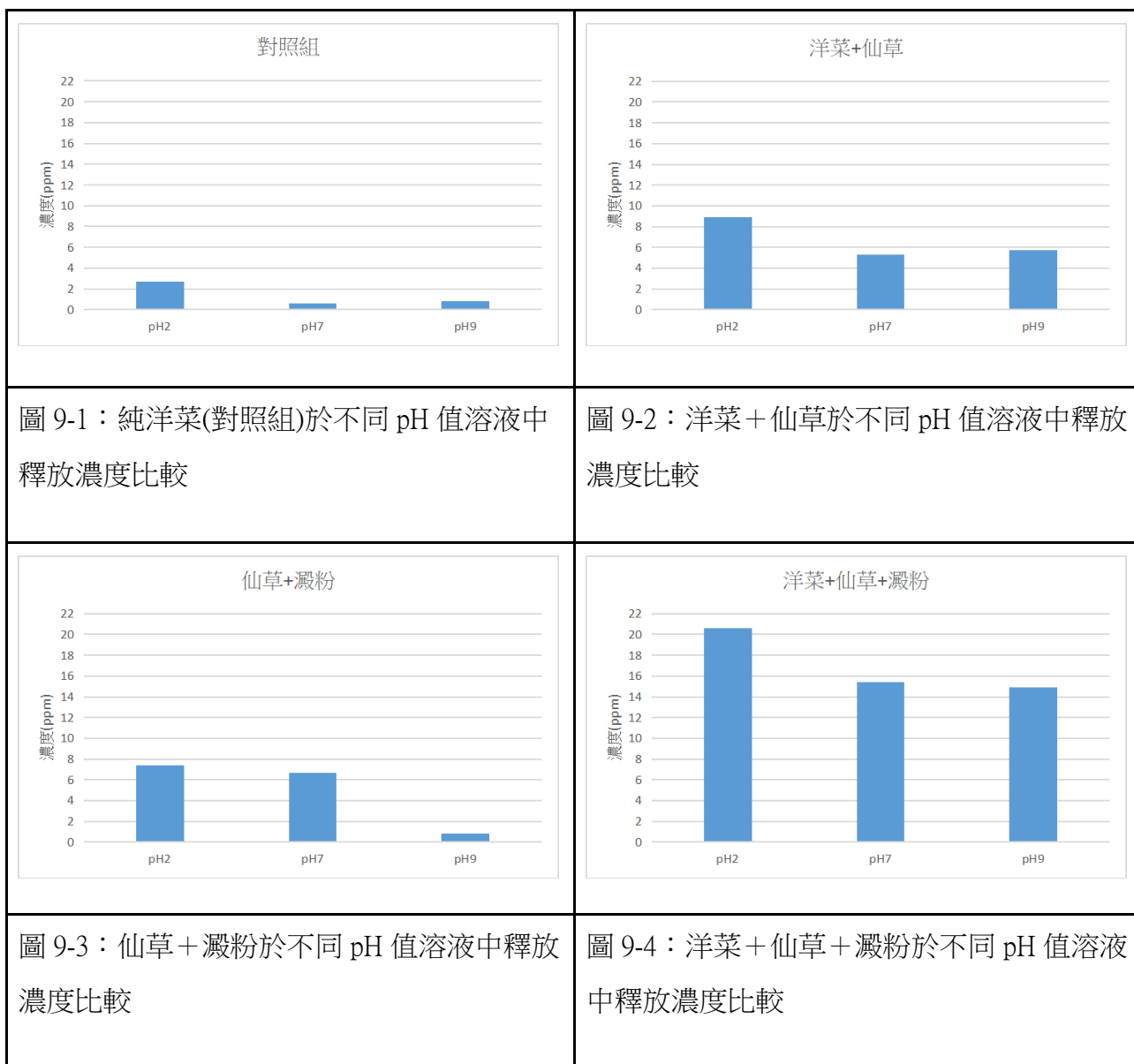
時等)，晶球整體的軟硬度沒有差異，而加入碳酸
鈉的仙草晶球較一般的仙草晶球硬。

圖 7：泡氯化鈣一小時後的仙草液
(左:加入碳酸鈉的仙草液，右:一般的仙草
液)

實驗五、不同仙草凝膠配方在不同環境中藥物釋放濃度分析

<p style="text-align: center;">pH2</p>	<p style="text-align: center;">pH7</p>
<p>圖 8-1：pH2 時不同多醣配方之釋放濃度比較</p>	<p>圖 8-1：pH7 時不同多醣配方之釋放濃度比較</p>
<p style="text-align: center;">pH9</p>	
<p>圖 8-3：pH9 時不同多醣配方之釋放濃度比較</p>	

由以上結果可知，放置 6hr 後，不同 pH 值的亞甲基藍釋放皆以「洋菜+仙草+澱粉」組別濃度最高，pH2 是以「仙草+澱粉」濃度最低，pH7 以「仙草+洋菜」濃度最低，而 pH9 則以「仙草+澱粉」濃度最低。



由以上結果可知，各多醣配方在 pH2 環境下的溶解速率皆最快，洋菜+仙草在 pH7 中釋放濃度最低，仙草+澱粉在 pH9 中釋放濃度最低，而洋菜+仙草+澱粉也是在 pH9 中釋放濃度最低。

實驗六、仙草凍之抗菌效果研究

50%仙草 20%仙草 10%仙草 5%仙草 對照組

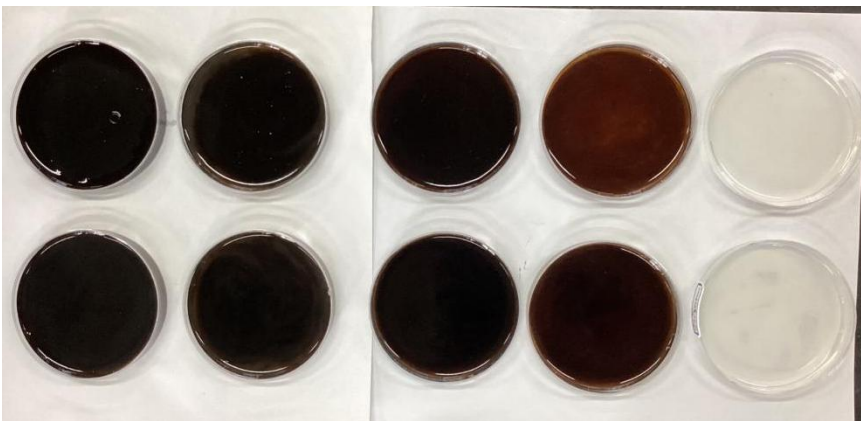


圖 10：不同仙草比例的洋菜凝膠

50%仙草 20%仙草 10%仙草 5%仙草 對照組



圖 11：放置七天後的凝膠

	50%仙草	20%仙草	10%仙草	5%仙草	對照組
平均菌落數	0	0	0	8	8

表 19：不同仙草比例薄膜放置 7 天後之平均菌落數

由結果可知，10%濃度以上的仙草凝膠確實具有抗菌的效果，可以延緩細菌的生長。

伍、討論

一、探討仙草多醣之萃取、純化與薄膜製備

(一) 由實驗結果可知，加入鹼熬煮會明顯影響多醣萃取量。仙草的多醣被鎖在仙草乾的細胞壁中，而細胞壁是由木質素、纖維素構成的堅硬結構，鹼液能水解木質素與多醣之間的化學鍵結，並使纖維素膨潤。此外仙草多醣的主成分含有大量的羧基(文獻 12)，我們推測在鹼性環境下鈉會與羧基反應，將其轉化為羧酸鈉鹽，其具有極強的親水性，能更輕易的溶解在水中。

(二) 關於醇沉法與脫色的使用：

醇沉法是利用乙醇降低溶劑極性並奪走多醣表面的水分子，導致多醣長鏈因溶解度下降而相互聚集，最終從溶液中呈膠狀沉澱析出，有效分離出高純度多醣。而離心可以加速沉降，使得原本多醣與酒精混合後形成的細小顆粒沉澱。然而本次實驗的多醣萃取屬於粗多醣，酒精沉澱不只會抓出仙草多醣，也會把液體中原本就有的部分礦物質、小分子醣類，或是沒被過濾乾淨的微小膠質一起帶下來。

文獻上的脫色方法確實能將仙草脫色，原理為活性碳經過加熱後可以將內部的孔隙展開和黑色素類物質結合並把其帶走。然而在脫色的過程中，活性碳也會吸附走仙草原本的多醣以及其他成分，導致最後用醇沉法做出的多醣粉末產量降低。因此最後我們沒有採用此法，以保留較多的多醣進行實驗。

二、不同製備條件對仙草薄膜物理性質的影響

(一) 20mL 薄膜之完整度明顯優於 10mL，表示薄膜厚度會影響成膜品質。培養皿底部塗抹甘油對剝離效果無明顯改善，但改塗白蠟油後效果顯著，推測其疏水性可減少薄膜與培養皿間的附著力。

(二) 我們使用 $k=25\text{g/cm}$ 的彈簧，並利用虎克定律 $F=k\Delta x$ (F 為彈力， k 為彈性係數， Δx 為形變量)，計算出各組相對應的拉力。

在延展性實驗結果中顯示，不同添加物會影響仙草薄膜的延展性，其中以添加洋菜的組別表現最佳，推測其可形成較穩定的凝膠結構；而洋菜與澱粉混合時亦產生協同作用，進一步提升延展性質。相較之下，活性碳無法參與結構形成，反而削弱整體強度，使材料較為脆弱。

(三) 由導電性實驗結果顯示，純仙草薄膜與臘膜皆幾乎不導電，而加入活性碳後電阻值明顯下降，顯示活性碳可提供導電通道，但其分散程度可能影響導電效果。

(四) 結果顯示，加入仙草紗網後，PM2.5 濃度上升所需時間明顯延長，證明仙草紗網具有一定的過濾與吸附效果。推測是因仙草薄膜具有多孔結構，可增加懸浮微粒附著面積。再者，仙草中含有多醣膠質，具有一定的黏性，當 PM2.5 顆粒接觸到仙草紗網表面時，比較容易被吸附並停留，不會隨氣流飄散，有效減少空氣中的懸浮微粒濃度。

(五) 仙草+2%活性碳可能因活性碳微粒與多醣鏈缺乏化學鍵結且破壞了薄膜，形成大量水分滲透的結構缺陷，導致其最快瓦解。仙草+2%甘油則因甘油極強的吸水性潤滑了多醣鏈，使其在水分子入侵下迅速軟化溶解。仙草+2% 澱粉雖透過糊化後的物理纏結提供了初步的屏障，但仍難抵擋水分子的長時間攪拌。相比之下，含有洋菜的兩組配方展現了極佳的耐水性，這是因為洋菜在降溫時能形成獨立且強大的三維網格，這種熱不可逆的剛性骨架能有效地將仙草多醣與澱粉鎖定在網格間隙中，整體的結構完整性能抵抗水分子的沖刷而不致於完全崩解。

有洋菜的配方因為其耐水的特性以及強大的韌性，我們認為未來有機會將其發展為人工皮或天然保鮮膜的材料之一。

三、仙草多醣與異質多醣交互作用對凝膠硬度之分析

一、異種多糖凝膠原理推測：

澱粉和仙草的凝膠原理：文獻指出仙草與澱粉的膠結機制，可能是由酸性多醣與糊化澱粉的物理纏結與協同效應。澱粉必須經歷糊化，破壞原有的結晶構造並釋放出直鏈澱粉長鏈，使結構轉變為黏稠膠體(文獻 14)。我們推測隨著溫度降低，澱粉分子形成骨架，而仙草多醣則穿插其中，透過氫鍵形成立體架構。這解釋了為什麼同澱粉濃度的仙草可以成凍但水不行，因為水僅靠低濃度澱粉形成的骨架強度不足，而仙草多醣提供了額外的增韌效與交聯密度，補強了網格孔隙並產生了固體結構。如右圖所示：



圖 12:仙草和澱粉交結推測結構示意圖
(棕色為仙草多醣，橘色為澱粉長鏈)

二、凝膠硬度差異比較以及分析

(一)洋菜與仙草混和：文獻指出，洋菜

長鏈在冷卻時會兩兩捲曲，形成強大的雙螺旋束(文獻 9)，然而當仙草加入後，我們推測仙草多醣上的羧基和羥基(文獻 12)會和洋菜形成氫鍵，使得洋菜長鏈較難跟另一個洋菜的長鏈兩兩結合成更穩定的堅硬骨架，使膠體硬度降低。如右圖所示：

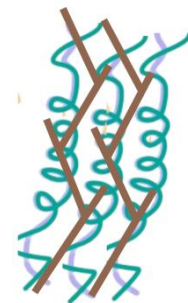


圖 13 :洋菜與仙草混合的結構推測圖
(棕色為仙草多醣，雙螺旋為洋菜分子)

子)

(二)2%澱粉+2%洋菜+仙草：我們推測，洋菜多醣分子需要靠螺旋結構束交聯，澱粉分子則需要靠糊化、氫鍵與洋菜纏結。洋菜



多醣分子形成骨架，澱粉分子填充空隙，可形成緊實的網格。

仙草多醣奪去了原本該用於強化結構的氫鍵，導致整體的硬度下降。而且仙草多醣是一種陰離子多醣，散布在網格中的仙草多醣鏈會互相排斥，阻止洋菜骨架收縮得更緊密。仙草分子佔據了空間，提供硬度的洋菜分子的比例反而被拉低了，最後使得硬度下降。如右圖所示。

圖 14: 2%澱粉+2%洋菜+仙草結構示意圖

(棕色為仙草多醣，帶負電，橘色為澱粉長鏈，雙螺旋為洋菜分子)

(三)2%果膠+2%澱粉+2%洋菜+仙草：與上述(二)組合情況相近，因硬度下降更顯著(成為果醬狀)，推測果膠對組合結構沒有增強的影響，因為果膠需要高酸高糖的環境才會發揮作用，然而我們猜測我們的 HM 果膠在鹼性環境下所含有的羧基可以讓仙草、果膠兩分子更達到互斥的效果，使得結構更鬆散，也使得凝膠不像清水組的硬和脆。

四、探討離子交聯對仙草的影響

一、仙草薄膜變硬之原理分析：泡入氯化鈣水溶液後，仙草薄膜變得較硬，原因是因為氯化鈣在水中會解離成鈣離子和氯離子。而因為鹼性的仙草液裡面多糖的羧基(COOH)會變成羧酸根離子(COO⁻)，這些負電荷互相排斥，使得多醣鏈在水中呈現較為鬆散的狀態。而相鄰的羧酸根離子受到二價的鈣離子(Ca²⁺)同時吸引兩個鄰近多醣鏈上的羧基(鈣橋)，如下圖，而使得整體網絡更加緊密(文獻 6)。薄膜浸入氯化鈣水溶液時，原本存在於多醣網格間的甘油分子也會迅速擴散並溶解到水中，失去甘油後的薄膜就失去了延展性並增加了其脆性及耐水性。

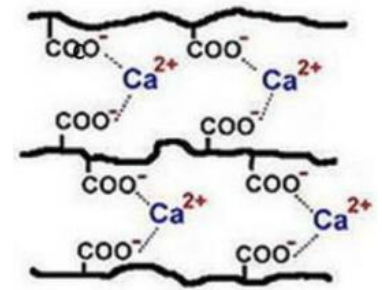
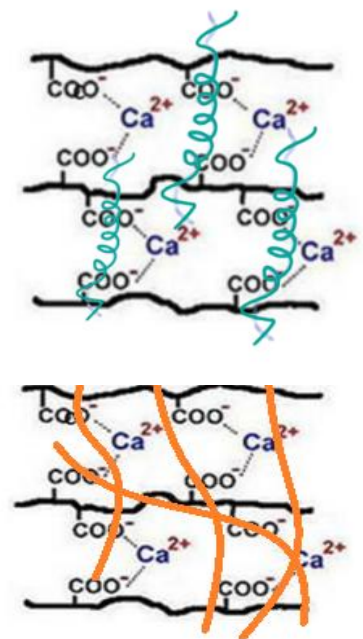


圖 15:仙草多醣形成鈣橋示意圖

(圖片來自文獻 6，我們取黑色長鏈為仙草多醣分子)

二、其他薄膜變軟的原理分析：仙草+2%澱粉薄膜在加熱過程中，澱粉顆粒糊化並與仙草多醣產生纏結，它在空間中佔據了體積，減少了仙草多醣的交聯點密度。這使得鈣橋無法在薄膜內形成緊密的連結，因此薄膜變的更柔軟。對於仙草+2%洋菜薄膜，洋菜雖形成堅固的雙螺旋網格，但仙草多醣帶負電的羧基會吸引鈣離子進入網格內部，由於鈣離子具有極強的水合能力，當離子滲入並中和電荷時，會帶入大量水分子填充在洋菜的孔隙中，導致含水量過高而由脆轉軟。而對於仙草+1%洋菜+1%澱粉薄膜，變軟的現象則更為顯著，這是因為鈣離子干擾了原本澱粉與仙草多醣之間的氫鍵連結。當鈣離子插入原本緊密的澱粉糊化網格時，會破壞部分物理結構，使原本剛性的澱粉骨架變鬆散並吸水擴張，最終導致薄膜因失去內



部應力支撐而呈現軟化的質感。

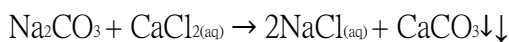
圖 16:洋菜或澱粉搶走了鈣離子結合位

點，

使得結構變鬆散之示意

圖。

三、晶球形成的原理：仙草在液滴表面瞬間形成一層緻密且不溶於水的三維網格薄膜，這層膜包裹住內部的仙草液，從而定型為球狀。而加入碳酸鈉的晶球硬度較高的原因為



所以晶球外面的殼層為碳酸鈣沉澱，也讓其硬度較原本的高。我們認為此晶球可應用於液體釋放減緩 pH 值，包入肥料可以使得植物有更好的生長能力，是未來可以前進的方向之一。

五、測試不同配方的仙草凝膠在進行藥物釋放的差異性

一、同 pH 值比較

(一)實驗顯示，不同多醣配方會明顯影響亞甲基藍的釋放行為，其中以洋菜+仙草+澱粉在各 pH 條件下釋放濃度最高，顯示其結構鬆散、易促進釋放，而且符合實驗三的結果。而在 pH2 下，仙草+澱粉或洋菜釋放則呈現較低濃度，代表配方組成可有效調控釋放程度。整體而言，多醣組合與環境 pH 共同決定藥物釋放效率。

(二)不同多醣配方可作為控制藥物釋放速率的載體設計依據，例如洋菜+仙草+澱粉配方在各環境都會被快速溶解，適合用於需快速作用的藥物。相對地，仙草+澱粉配方，則適合應用於延緩釋放或腸道釋放的藥物。透過調整配方比例，可以控制藥物釋放之時間及地點。

二、同配方比較

(一)結果指出，各多醣配方在酸性環境下溶解速率皆為最快，仙草與澱粉靠氫鍵維繫。我們猜測當強酸（大量的 H^+ ）進入網格，它們會搶奪多醣鏈上的羥基和羧基所形成的氫鍵，在低 pH 下，酸會攻擊澱粉單體之間的糖苷鍵(文獻 15)。當環境改變導致多醣鏈與水分子的親和力遠大於鏈與鏈的吸引力時，水分子會大量湧入網格。網格因吸水過度而撐大，原本交織在一起的多醣長鏈開始產生滑動。一旦滑動超過臨界點，分子鏈就會脫離網格進入水溶液中。如下圖

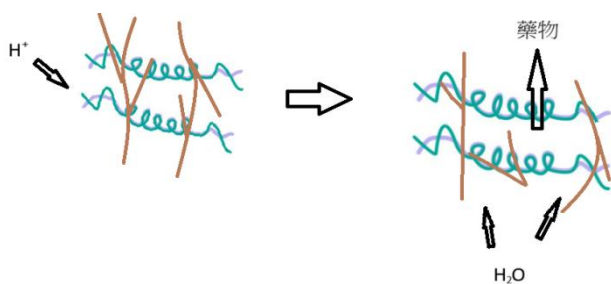


圖 17:氫離子對多糖結構之影響示意圖

(氫離子使得多醣變得鬆散，在水灌入後結構滑動，就會釋放出裡面的藥物)

(二)由於各多醣配方在 pH2（模擬胃部環境）下具有最快的釋放速率，因此我們認為仙草凝膠類適合應用於需要在胃中快速發揮作用的藥物載體設計，可促進藥物在胃部迅速釋放與吸收，提高藥效的表現。此外，於中性(模擬口腔)與鹼性(模擬小腸)環境釋放較低的特性，也有助於避免藥物在腸道過度釋放。

六、比較不同配方仙草凝膠的抗菌效果

仙草在萃取過程中會釋放代謝產物，其中最具代表性的抗菌成分為多酚類和萜類化合物(文獻 12)，這些酚酸類物質具有強大的氧化還原能力，從而抑制真菌與細菌的生長。根據實驗結果，當仙草濃度提升至 10% 以上時，這些物質的濃度應達到了顯著的抑菌臨界點，加上高濃度多醣產生的低水環境，使得微生物無法生存。

陸、結論

一、仙草多醣成膜條件

脫色的仙草多醣量會降低非常多，且不脫色萃取出粗多醣可以製成薄膜。

二、不同製備條件對仙草薄膜物理性質的影響

白蠟油鋪底可有效改善薄膜剝離問題。甘油為薄膜之必需材料，加入澱粉可提升薄膜強度與延展性，加入洋菜可提升薄膜硬度和耐水性，且仙草薄膜不具導電性。紗網附著仙草薄膜可有效延緩 PM2.5 上升速度，具吸附效果。

三、仙草多醣與異質多醣交互作用對凝膠硬度之分析

2%洋菜+2%澱粉可以使其有固性和彈性的凍，因為澱粉填充在洋菜的三維網格裡，使得其彈性較 2%洋菜佳。多糖相互干擾形成不同硬度的差異是因為長鏈的仙草多醣防止了洋菜的結合，而仙草加上澱粉糊化後穿插在洋菜分子間，把氫鍵搶走也占據了物理空間，使得整體的彈性更好。

四、探討離子交聯對仙草的影響

仙草加甘油的薄膜浸入氯化鈣後會變硬，延展性降低但變得耐水。我們推論原因為鈣離子和仙草多糖的羧酸根離子可以兩兩結合形成鈣橋，最終形成了堅硬的固體網絡。

五、不同配方的仙草凝膠在進行藥物釋放的差異性

在放置 6 小時後，各 pH 條件下皆以洋菜+仙草+澱粉組別的亞甲基藍釋放濃度最高，推測的原因為其結構較為鬆散。而酸性可以破壞多醣鏈，故各凝膠在酸性的釋放效果最佳。最低釋放依 pH 不同而異，pH2 與 pH9 皆為仙草+澱粉，pH7 則為仙草+洋菜。

六、仙草凝膠的抗菌效果：當仙草濃度提升至 10% 以上時，這些天然防禦物質的濃度達到了顯著的抑菌臨界點，能有效抑制菌種的生長。

柒、參考文獻資料

- 一、史宏財、許明仁(1994)。仙草凝膠物質之萃取及其凝膠性質之研究。桃源區農業改良場研究報告地 16 號。
- 二、張馭荃、蔡玥漩(1999)。Pitaya 的異想世界----火龍果莖多醣體之應用。中華民國第 49 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 三、陳宥安、游棠淇(2022)。紙素為你~素食可食用紙製作研究。新北市鷺江國小一般智能資優班畢業獨立研究。
- 四、陳佩羽、張語珊、陳禹翔、陳泊瑄、林育森、簡語晴(2023)。「愛」的「膜」力轉圈圈~可食性愛玉薄膜素材。中華民國第 63 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 五、胡敏夫、羅淑卿、劉新裕(2002)。仙草品系間多醣體成分之組成及含量分析。中華農業研究第 51 卷第 2 期。
- 六、孫逸璇、陳韋綦、邱珮德(2022)。殼中生機-----廢棄殼粉晶球戰勝重金屬廢液。中華民國第 62 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 七、劉瑩鈴(1999)。仙草葉膠與澱粉間凝膠作用之研究。靜宜大學食品營養學系碩士論文。
- 八、王博(2015)。不同乙醇濃度萃取仙草之抗氧化活性研究。中國文化大學農學院生物科技研究所碩士論文。
- 九、LabXchange(2023). Infographic: Agarose Structure.
<https://www.labxchange.org/library/items/lb:LabXchange:bce82310:html:1>
- 十、國民及學前教育署(2019)。萬色俱滅。全國高級中等學校專業群科 108 年專題及創意製作競賽。
- 十一、Lai, L. S., & Liao, C. D. (2002). Steady and dynamic rheological properties of Hsian-tiao leaf gum. Journal of Agricultural and Food Chemistry.
- 十二、羅淑卿(2016)。仙草機能性與其多元化利用。農業知識入口網。

十三、Jia Kong, Mingyue Shen, Gang Wang, Weidong Zhang, Huiliang Wen, Jianhua Xie(2024).Effects of hydrogen bonding and electrostatic interactions on the formation of rice starch-Mesona chinensis polysaccharide gels. Science Direct.

十四、陳盈方(2014)、米食加工產品之開發－稻米預糊化技術。農業知識入口網。

十五、Hui Zhang, Qixuan Lin, Ruonan Zhu, Xingjie Wang, Junli Ren, Baozhong Lyu, Feng Peng, Aimin Wu, Libo Li(2025).Unraveling the preferential cleavage of glycosidic bonds in xylan chains during acidic hydrolysis by MD and DFT analysis. Science Direct.