

# 中華民國第 65 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)

佳作

032910

「千菌一髮」---以細菌纖維素製作假髮之可行性  
研究

學校名稱： 臺中市私立弘文高級中學(附設國中)

作者：	指導老師：
國一 陳昊澤	賴玉艷
國二 鄭郁騰	

關鍵詞： 細菌纖維素、有機假髮、有機矽

## 摘要

近年來，癌症患者或因為其他特別的因素所導致的脫髮人群逐漸增加，因此假髮的製作材料需求，隨之提高。本研究即針對此問題，以及假髮所需具備的耐熱性、耐拉扯性、染色難易度等性質，透過生物材料(細菌纖維素)作為製作假髮的替代選擇，以解決現有假髮之透氣性差、製作成本及天然人髮供應的限制等問題。實驗過程探討將細菌纖維素進行改質，經有機矽(聚二甲基矽氧烷)表面處理後之耐熱性、耐拉扯之機械強度等性質；以及植物染料與市售染膏的染色效果，作為自然外觀的評估。研究結果顯示，以細菌纖維素作為假髮製作的新型天然材料具備低成本、易染色、良好的耐熱及耐拉扯特性。

## 壹、研究動機

近年來，假髮的需求逐漸增加，特別是在癌症患者或因為其他特別的因素所導致的脫髮人群。然而，現在有許多的假髮多以化學合成材料製成，存在透氣差、佩戴不適或不環保等缺點。同時，真人頭髮製成的假髮供應有限，等待時間長且價格昂貴。而國外的一篇研究報告指出，可利用天然的香蕉葉鞘纖維當材料，來製作假髮，但原材料的取得受到地域或資源限制。根據文中提及的「市場研究」調查指出，時尚趨勢和持續成長消費力，推動非洲和中東的接髮和假髮商機，預估 2028 年市場價值可達 7.1 億美元（約台幣 231.8 億元）。（陳韻涵，2024）。因此，本研究希望以細菌纖維素作為假髮的新型替代材料，細菌纖維素是由微生物生成的一種天然材料，我們推測，或許也能用於假髮製作，成為一種更為經濟實惠且環境友善的選擇，來解決以上述問題，創造不一樣的商機。



▲圖 1-1 香蕉葉鞘纖維製作的假髮。圖／CNN

## 貳、文獻探討和研究目的

### 一、文獻探討

根據文獻記載，假髮的發展歷史悠久，當時人們使用天然纖維或動物毛髮來製作假髮。近代假髮的材料主要分為人造纖維與天然人髮，其中人造纖維假髮因其價格低廉、易於維護，成為市場主流。(李欣然，2020)。我們的實驗主要想尋找可以替代真人頭髮來製作假髮的材料，針對材料取得的時間及製作成本為考量，以及假髮必備的性質作檢測；我們利用各網站搜尋資料及相關的研究報導，發現細菌纖維素具備作為替代材料的可能，所以將重要參考文獻整理如下。

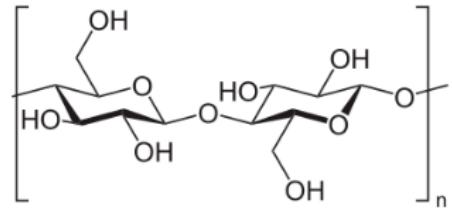
(一) 細菌纖維素(Bacterial Cellulose, BC)，如圖 2-1，具有優異的機械強度、高吸水性、生物相容性及成膜性，研究指出，細菌纖維素的形成受培養基成分、溫度、pH 值及攪拌條件等影響，適當的發酵條件可提高產率與品質。(李明哲等，2020)。我們的實驗所培養的細菌纖維素，參考 109 學年度台中市科展作品中所研發的醋酸菌與紅茶比例為條件，來進行研究。(李家禎等，2020)。

#### (二) 假髮必須具備的特性

一般而言，選擇及配戴感假髮時，會考量許多因素，例如耐用性、是否容易吹整、簡易染燙等，以滿足配戴者在不同場合的造型需求。我們的實驗針對這部分，將對假髮進行測試的性質為：耐熱性、耐拉扯性及染色難易三部分。

#### (三) 合成纖維的製作處理及加工

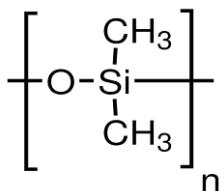
1. 方法包括蒸汽爆破、酶解、漂洗、脫脂、滾壓和捻絲等步驟，旨在提高香蕉纖維的產率和純度。最終製成的面料柔軟不易泛黃，且染色效果良好(賴祿波，2002)。
2. 合成纖維中的添加劑能提升高分子材料的加工性能、耐熱性、阻燃性、表面特性、改善物理及化學特性，其發展趨勢除追求機能化與多樣化，也重視環保與安全性。(科技大觀園。2019)
3. 根據《有機矽應用技術》一文記載，有機矽材料可透過改性方式提升其耐化學性與機械強度，材料因其優異的耐熱性、疏水性與低表面能，在多種領域被廣泛應用。有機矽材料常用於製造塗料、密封劑、電子元件保護層，甚至可用於生物醫學領域。(張三，2020)。



▲圖 2-1 細菌纖維素結構。

註: 本圖片出自維基百科

我們實驗的合成纖維假髮的製造方法，嘗試將相變儲能材料(可可脂)乳化到纖維中，並以有機矽整理劑進行表面處理，使其能夠吸收、儲存和釋放熱量，進而提升假髮的舒適度和衛生性，以及提供更恆定的頭部溫度環境，減少出汗和細菌滋生。(王建平，2012)。我們所使用的有機矽為聚二甲基矽氧烷(polydimethylsiloxane，PDMS)，其分子式為： $(C_2H_6OSi)_n$ 。



▲圖 2-2 有機矽結構。  
註: 本圖片出自維基百科

(四) 影響熱傳導的主要因素包括溫度梯度、傳熱截面積及材料的導熱係數，這些因素決定了熱量傳遞的速率與效率。一般而言，當溫度差越大、傳熱面積越大、材料的導熱係數越高時，熱量的傳遞速度也會相對提升。(警大二技，2016)。本實驗所使用之材料的熱傳導係數整理如表 2-1。

表 2-1 本實驗所使用之材料的熱傳導係數

物質名稱	熱傳導係數(W/mK)	特性與應用
細菌纖維素 (BC)	0.04~0.2	熱傳導率低，優異的力量學性能。常做為環保隔熱材料，例如: 隔熱塗層。(宋攀，2021)。
可可脂	0.17~0.25	熔點範圍：約 30°C~35°C， 穩穩定性高、抗氧化能力強。化妝品與護膚保養常用，例如: 天然保濕劑。(陳似蘭，2011)。
有機矽 (PDMS) (聚二甲基矽氧烷)	0.1~0.4	有機矽熱傳導率低，可調整硬度。電子與電氣領域長用，例如: 導熱矽膠。(RTV，2018)。

(五) 大部分的人在選擇假髮時，首要條件是外觀看起來自然兼具時尚感，所以髮色變化也是考量因素，而染色的藥劑對於人體健康造成的影響也需重視；所以我們從參考資料中，整理出市面上常使用的四種植物染料與市售染膏來進行假髮的染色比較，如表 2-2。

表 2-2 本實驗所使用之植物染料與染膏

染料名稱	特    性
薯榔	天然纖維染色，具較佳的耐水性與穩定性。(張雅婷，2020)。
紫草	強效的天然色素，具有優異的抗炎與抗菌特性。(王建宏，2018)。
指甲花粉	實現持久的染色效果，良好的抗菌與耐候性。(陳麗文，2015)。
茜草	提供柔和的天然色調，具有抗氧化、抗菌與抗炎特性，可作為天然染料。(李明哲，2013)。
化學染膏	應用於頭髮染色的化學過程，使染料分子更容易滲透至髮絲內部，但染色性可能誘導頭髮受力。(染色成分與化學性，2024)。

## 二、研究目的與待答問題

綜合以上的資料蒐集與文獻探討，我們設定的研究目的為：

**探討細菌纖維素作為假髮材料的可行性。**

根據我們的研究目的，實驗將朝以下兩點待答問題著手：

(一) 製作細菌纖維素進行改質，對假髮的耐熱、耐拉扯及染色等性質探究。

(二) 比較各項性質，評估是否可作為替代性材料。

## 參、研究設備及器材

根據我們的研究目的及待答問題，實驗會進行細菌纖維素培養、改質，假髮的耐熱性、耐拉扯性、染色難易度等性質探究，所需用到的設備及器材如下：

### 一、研究設備及應用程式

#### (一) 研究設備：

1. 儀器名稱：伺服控制電腦系統拉力試驗機，如圖 3-1。

廠牌型號：AI-7000S

廠牌：高鐵科技股份有限公司 (GOTECH TESTING MACHINES INC.)

2. 筆記型電腦、ipad、手機。

3. 恒溫培養箱。

- (二) 應用程式：GoodNotes、NotebookLM、word、excel、ChatGPT。



▲圖 3-1 拉力試驗機。  
註:本圖片來自高鐵科技公司

### 二、研究器材及藥品

項目	藥品名稱	規格及圖示	項目	器材名稱	規格及數量
1	燒杯		6	量筒	
2	溫度計		7	pH 計	
3	吹風機		8	水	
4	椅子		9	烘箱	
5	三腳架		10	酒精燈	

註:本圖片由第一作者拍攝

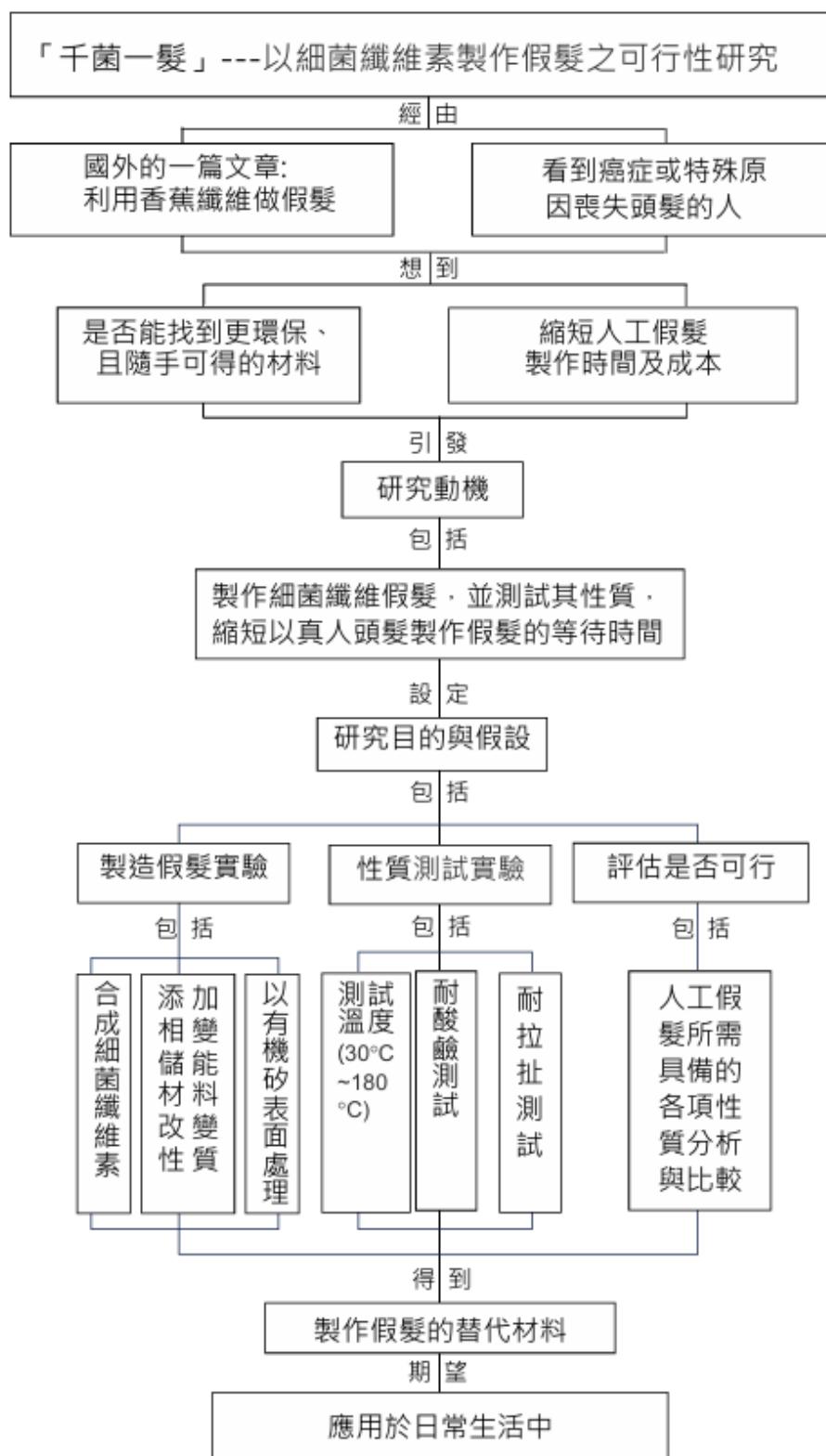
### 三、藥品試劑

項目	藥品名稱	規格及圖示	項目	器材名稱	規格及數量
1	小蘇打		5	茜草	
2	有機矽		6	紫草粉	
3	染膏		7	指甲花粉	
4	薯榔		8	氫氧化鈉	

註:本圖片由第二作者拍攝

## 肆、研究過程及方法

### 一、實驗流程圖



註:本圖片由第一作者繪製

## 二、實驗過程及方法

### (一) 細菌纖維素的製作與純化(基本性質測試)-第一代

1. 用量杯取 6000c.c 的水（飲水機最熱的水）然後煮沸。
2. 以電子磅秤量 440g 的糖，加入步驟 1. 中，繼續加熱至沸騰，另秤取 24g 的紅茶葉加入。
3. 熄火後，悶 15 分鐘，取出紅茶葉，蓋上蓋子靜置 24 小時備用。
4. 取出 330 毫升醋酸菌液(李家禎，2020)，加入步驟 3. 中的甜紅茶中，混合均勻備用。
5. 以 100ml 的量筒，依次分別取出步驟 4. 的液體 100 毫升，分裝到 14cm\*8.6cm\*4cm 的塑膠盒中，蓋上蓋子密封，放在櫥櫃中，培養 14 天。
6. 取出表面生成的細菌纖維素，以 pH 計測量酸鹼度為 pH4.22；再以 5% 的氫氧化鈉(NaOH)水溶液煮 20 分鐘進行酸鹼中和及純化，測得 pH 值為 pH7.14。
7. 將步驟 6. 純化後的細菌纖維素，剪成 1cm\*12cm 的細菌纖維素備用。
8. 取步驟 7. 部分的細菌纖維素浸泡有機矽 20 分鐘，作為實驗組，其餘作為對照組。
9. 將步驟 8. 對照組及實驗組，放入烘箱設定 45°C，每 10 分鐘翻面一次烘至乾燥，以進行各項基本性質測試。

實驗步驟	煮紅茶	加入醋酸菌液	靜置培養 14 天	測量酸鹼度
照 片				
實驗步驟	5% 的 NaOH 水溶液中和	浸泡有機矽 ( 實驗組 )	45°C 烘乾	1cm*12cm 樣品
照 片				

註:本圖片由第一及第二作者拍攝

### (二) 添加變相儲能材料(可可脂)-耐熱性測試用

1. 取出已中和的細菌纖維素，放入果汁機裡再加入已融化適量的可可脂，攪碎乳化。
2. 靜置 3 天。
3. 取出步驟 2. 的材料，將部份材料浸泡於有機矽中 20 分鐘。
4. 將對照組(無表面處理)及實驗組(有機矽表面處理)烘乾備用。



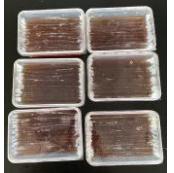
▲圖 4-1 變相儲能材料改質。

註:本圖片由指導老師拍攝

### (三) 改良製作細菌纖維素(拉伸測試)-第二代

1. 改良培養盒，以市售的紅茶與醋酸菌混合，放入恆溫培養箱中靜置 14 天。

2. 重複(一)中的實驗步驟。

實驗步驟	自製培養盒	培養液	靜置培養 14 天	拉伸測試樣品
照 片				

註:本圖片由第一及第二作者拍攝

### (四) 對實驗製作的細菌纖維素假髮進行耐熱、耐拉扯及染色等性質測試

1. 以燃燒法檢驗對照組(無表面處理)和實驗組(經有機矽表面處理)耐熱程度

(1) 各剪取三片大小為 1cm\*2cm 的對照組和實驗組纖維素，進行實驗。

(2) 以鑷子夾取，並置於點燃的酒精燈上直接加熱。

(3) 觀察表面變化，並以錄影方式記錄燃燒時間長短，作為判斷耐熱性探討的依據。

(4) 實驗過程記錄

實驗步驟	以鑷子夾取直接加熱	攝影紀錄燃燒時間	觀察表面變化
照 片			

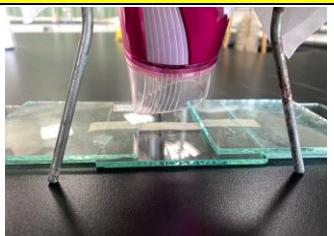
#### 2. 以家用吹風機細菌纖維素假髮的耐熱程度測試

註:本圖片由指導老師拍攝

(1) 用電子溫度計測量對照組及實驗組細菌纖維素假髮的初始溫度。

(2) 用三腳架固定吹風機、以玻璃片固定細菌纖維素，確保測試樣品不會移動。

(3) 分別用冷、溫、熱風吹細菌纖維素表面 2 分鐘後，測量三種風吹前後的表面溫度，以作為耐熱程度判斷。

實驗步驟	風吹前的初始溫度	固定吹風機及實驗材料	風吹後的表面溫度
照 片			

註:本圖片由第二作者拍攝

### 3. 細菌纖維素假髮的耐拉扯程度測試

(1) 以棉線綑綁市售的 600c.c 瓶裝水，利用封口夾夾住對照組及實驗組細菌纖維素假髮的兩

端，進行耐拉扯測試。

(2) 紀錄斷裂時的吊掛瓶數，以作為耐拉扯程度的判斷依據。

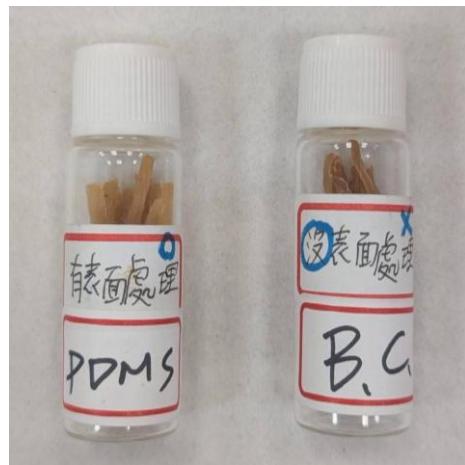
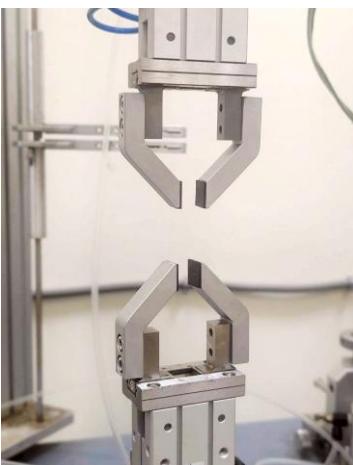
實驗步驟	吊掛前	吊掛瓶數	斷裂後
照 片			

註:本圖片由指導老師拍攝

### 4. 以伺服控制電腦系統拉力試驗機作拉伸測試(ASTM 測試規範)

(1) 分別取 10 段對照組及實驗組假髮，以伺服控制電腦系統拉力試驗機(圖 4-2)夾具夾住樣品

(圖 4-3、圖 4-4、圖 4-5)兩端，作拉伸測試。



▲圖 4-2 伺服控制電腦系統拉力試驗機及夾具。

註:本圖片由聯合大學協助拍攝

▲圖 4-3 測試樣品。

註: 本圖片由聯合大學協助拍攝



▲圖 4-4 對照組測試樣品。

註: 本圖片由聯合大學協助拍攝



▲圖 4-5 實驗組測試樣品。

註: 本圖片由聯合大學協助拍攝

(2) 取每段相同規格化的假髮，其長、寬、厚度分別為 30mm\*3mm\*1.3mm 的測試樣品，如圖 4-6、圖 4-7，以設定儀器的參數，進行拉伸測試。



▲圖 4-6 樣品的寬度測量。  
註: 本圖片由聯合大學協助拍攝



▲圖 4-7 樣品的長度測量。  
註: 本圖片由聯合大學協助拍攝

(3) 進行測量儀器的參數設定，將步驟(2)規格化的樣品作拉伸測試。

試件形狀：四方形

試件寬度：0.3 cm

試件厚度：1.3 mm

標點距離：3 cm

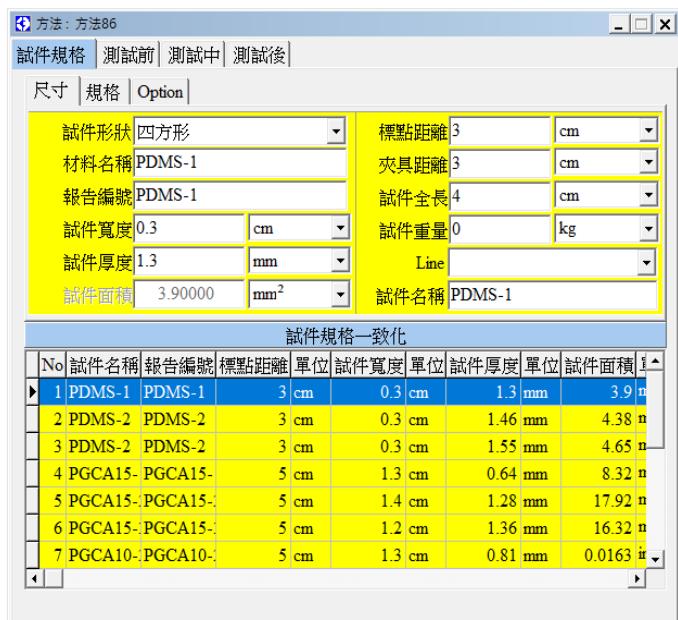
夾具距離：3 cm

試件全長：4 cm

測試模式：拉伸測試

測試速度：100 mm/min，如圖 4-8、

圖 4-9、圖 4-10。

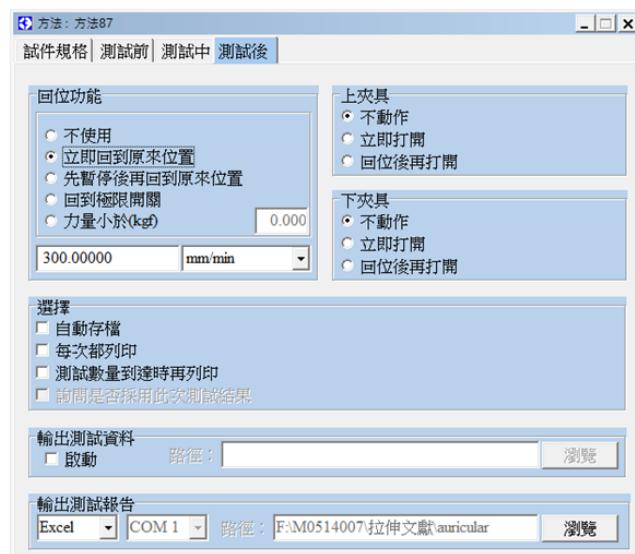


▲圖 4-8 拉伸測量儀器的參數設定-1。  
註: 本圖片由合大學協助拍攝



▲圖 4-9 拉伸測量儀器的參數設定-2。

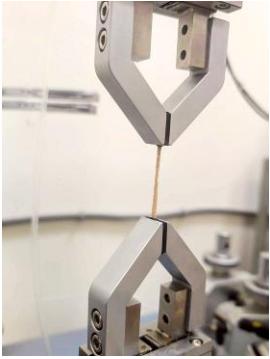
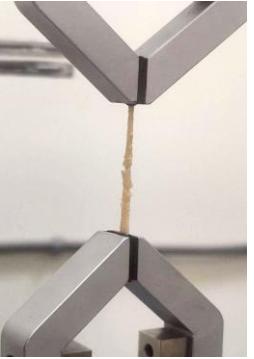
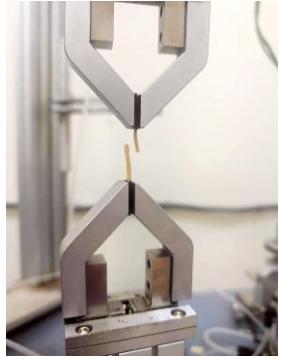
註: 本圖片由自合大學協助拍攝



▲圖 4-10 拉伸測量儀器的參數設定-3。

註: 本圖片由聯合大學協助拍攝

(4) 完成步驟(3)的參數設定後，將步驟(2)中的測試樣品以夾具夾好，開始進行測試並逐漸增加拉力至斷裂，以電腦系統紀錄測量結果，並進行疊圖分析。

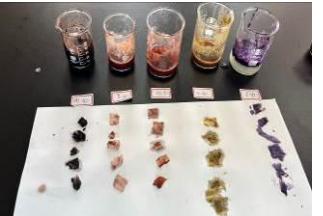
過程	以夾具夾好測試樣品	逐漸增加拉力拉伸	樣品斷裂情形
圖示			

註:本圖片由聯合大學協助拍攝

## 5. 細菌纖維素假髮的染色實驗測試

- (1) 用 8 個 50ml 的小燒杯，分別裝 1 克薯榔粉、紫草粉、指甲花粉、茜草，再分別加入 20ml 的熱水配製植物染料。
- (2) 再用 2 個 50ml 的小燒杯，裝染膏 10.5 克、氨水 10.5 克，攪拌後配製化學染料。
- (3) 將染料攪拌均勻後，分別加入 5 片 1cm\*1cm 的對照組及實驗組細菌纖維素，靜置 20 分鐘著色。
- (4) 以筷子夾取出假髮，以清水沖洗後擦乾，觀察染色程度，進行比較。

### (5) 實驗過程紀錄

實驗步驟	對照組及實驗組測試片	染料配製	染色後取出觀察
圖片	<p><b>對照組</b></p>  <p><b>實驗組</b></p> 	<p><b>對照組</b></p>  <p><b>實驗組</b></p> 	<p><b>對照組</b></p>  <p><b>實驗組</b></p> 

註:本圖片由第二作者拍攝

## 伍、研究結果與討論

### 一、以燃燒法檢驗假髮的耐熱程度

以燃燒法直接檢驗對照組(無表面處理)和實驗組(經有機矽表面處理)，以錄影方式記錄燃燒時間長短，觀察表面變化，**其中實驗組的燃燒時間平均約為 30 秒，對照組的燃燒平均時間約 20 秒，顯見實驗組的於耐熱性較佳**，與文獻記載，以有機矽整理劑進行表面處理，使其能夠吸收、儲存和釋放熱量，進而提升假髮更恆定的頭部溫度環境，減少出汗和細菌滋生。(王建平，2012)，結果吻合。



註:本圖片由指導老師拍攝

### 二、以家用吹風機測試假髮的耐熱程度

將假髮以玻璃片固定，確保測試樣品不會移動；再用三腳架固定吹風機，實驗時用電子溫度計先測量對照組及實驗組假髮的初始溫度( $T_0$ )，再分別用冷、溫、熱風吹樣品表面 2 分鐘後，測量三種風吹整前、後的表面溫度，如表 5-1，計算溫度變化( $\Delta T$ )，以作為耐熱程度判斷，如表 5-2。文獻記載，影響熱傳導的主要因素包括溫度梯度、傳熱截面積及材料的導熱係數，這些因素決定了熱量傳遞的速率與效率。一般而言，當溫度差越大、傳熱面積越大、材料的導熱係數越高時，熱量的傳遞速度也會相對提升。(警大二 技，2016)。也就是耐熱效果相對較差。

#### (一) 實驗數據 (冷風/溫風/熱風前後的溫度記錄)

表 5-1 假髮吹整前、後的表面溫度

表面 /2min	對照組 $T_0:24.4$ (°C)				細菌纖維素+ 可可脂 (表面處理) $T_0 : 24.6$ (°C)				細菌纖維素 (表面處理) $T_0:21.0$ (°C)			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
風量	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
冷 風	25.60	25.70	25.60	25.63	25.10	25.10	25.00	25.07	21.60	21.70	21.60	21.63
溫 風	28.00	27.60	26.60	27.40	28.70	28.90	29.20	28.93	26.60	26.90	27.10	26.87
熱 風	29.40	29.60	30.20	29.73	29.30	29.40	29.50	29.40	28.30	27.30	27.70	27.77

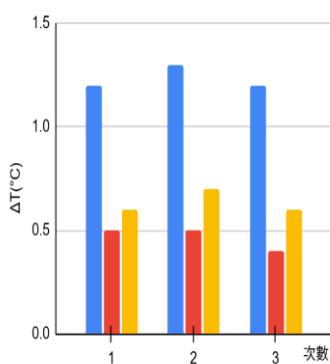
## (二) 實驗數據(冷風/溫風/熱風前後的溫度變化( $\Delta T$ ))

表 5-2 假髮吹整前後的表面溫度差( $\Delta T$ )

對照組 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$				細菌纖維素(可可脂) $\Delta T(^{\circ}\text{C})$				細菌纖維素(表面處理) $\Delta T(^{\circ}\text{C})$			
風速	冷風	溫風	熱風	風速	冷風	溫風	熱風	風速	冷風	溫風	熱風
1	1.2	3.6	5.0	1	0.5	4.1	4.7	1	0.6	5.6	7.3
2	1.3	3.2	5.2	2	0.5	4.3	4.8	2	0.7	5.9	6.3
3	1.2	3.2	5.8	3	0.4	4.8	4.9	3	0.6	6.1	6.7

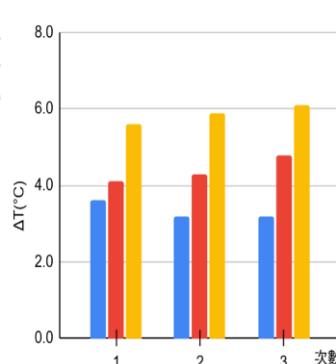
## (三) 實驗討論

將第(二)部分的溫度變化數據( $\Delta T$ )進一步轉換成分析圖 5-1、圖 5-2 及圖 5-3，根據實驗數據分析圖可知，細菌纖維素加入可可脂乳化處理後，在所有風速吹整下的溫度變化小於對照組及實驗組(經有機矽表面處理的細菌纖維素)，推測可可脂可能填補了纖維素結構的孔隙，降低熱對流與熱傳導的影響，從而增強了隔熱效果。實驗結果顯示，其具有一定的耐熱能力。但因乳化後難以成形易斷裂，所以後續實驗只取用對照組及經有機矽表面處理的實驗組進行其他性質的測試實驗。



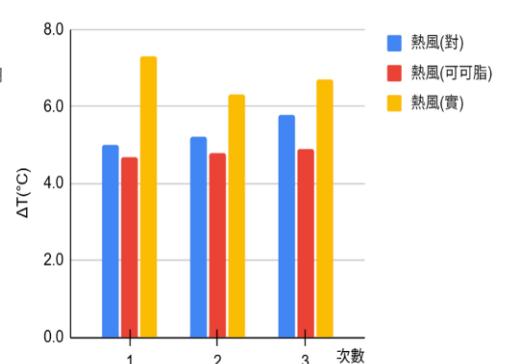
▲圖 5-1 冷風吹整的溫度變化圖。

註:本圖片由第二作者繪製



▲圖 5-2 溫風吹整的溫度變化圖。

註:本圖片由第二作者繪製



▲圖 5-3 热風吹整的溫度變化圖。

註:本圖片由第二作者繪製

### 三、細菌纖維素假髮的耐拉扯程度測試

(一) 在對照組及實驗組的細菌纖維素假髮耐拉扯能力進行測試，透過吊掛水瓶的方式，分析其耐受能力，並評估其作為耐拉扯材料的潛力。實驗數據如表 5-3。

表 5-3 假髮吊掛水瓶數量

材料名稱	對照組				實驗組-細菌纖維素(表面處理)			
實驗次數	1	2	3	平均	1	2	3	平均
吊掛水瓶數量	1	3	2	2	5	6	6	5.7

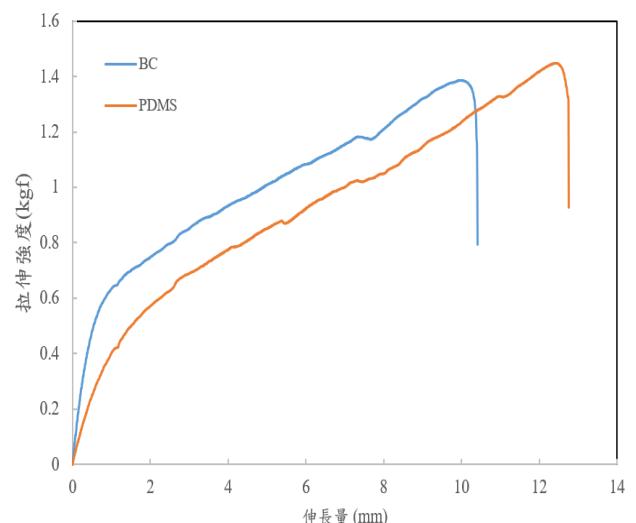
根據實驗結果可知，對照組平均只能承受 2 個水瓶的重量，而經表面處理的實驗組可承受 5.7 個水瓶的重量，耐受能力**提升約 2.85 倍**。這顯示細菌纖維素在經過有機矽處理後，其機械強度明顯提高，推測可能與以下因素有關：**結構緊密化**，表面處理可能改變纖維素的內部排列，使其分子間作用力增強，提高耐拉扯能力。**水分含量降低**，部分表面處理方法可減少纖維素中的水分，使其更加堅韌，減少變形與斷裂的可能性。**材料強韌度提升**，表面處理後的假髮，可能形成更強的網狀結構，提高其承受外力的能力。

(二) 我們再以更精細的伺服控制電腦系統拉力試驗機，做假髮的拉伸測試，所得的數據分析

圖，如圖 5-4，從這張拉伸測試圖中，我們可以比較 BC (對照組-藍線) 與 PDMS (實驗組-橘線) 兩種材料在受力下的拉伸行為。圖中橫軸為伸長量 (mm)，縱軸為拉伸強度 (kgf)。由測試結果可知以下結果：

1. 對照組的最大拉伸強度約為 1.4 kgf，發生在伸長量約 10 mm 左右；而實驗組的最大拉伸強度接近 1.45 kgf，但發生在伸長量約 12.5 mm 左右。在可承受最大拉力及更長的伸長量，實驗組都比對照組佳。

2. 而在相同的拉伸長度時，對照組有較強的抗拉能力，具較高的鋼性；而**實驗組曲線持續上升，直到超過 12 mm 才斷裂**，表示它的延展性較對照組佳，屬於柔軟、可拉伸的材料。



▲圖 5-4 假髮拉伸測量分析圖。

註:本圖片由聯合大學協助繪製

#### 四、細菌纖維素假髮的染色實驗測試

本實驗利用四種植物染料及一種市售的染膏，將對照組及實驗組的細菌纖維素假髮進行染色實驗比較。根據實驗結果，在植物染部分(薯榔、紫草、指甲花粉、茜草)，對照組(未表面處理的細菌纖維素假髮)表現出較佳的染色效果。這可能是因為細菌纖維素的表面為奈米結構且吸水性強，使染料較能均勻附著。相較之下，浸泡**有機矽表面處理後的細菌纖維素假髮，在化學染部分(市售染膏)**，則顯示出較為均勻的染色效果。推測原因可能是經處理過的纖維素表面，結構改變了，使得染料能夠更好地附著、更均勻地分佈在纖維素表面，進而改善了染色的均勻性和深度。

染色結果	取出樣品清洗	擦乾樣品表面
對照組染色結果		
實驗組染色結果		

註:本圖片由第二作者拍攝

### 陸、結論與未來展望

#### 一、實驗結論

##### (一) 改善耐熱性能

增進佩戴舒適度與材料穩定性假髮的耐熱性直接影響佩戴的舒適度和材料的壽命。本研究的耐熱性測試顯示，經過有機矽處理的細菌纖維素在面對高溫（酒精燈燃燒）時，能表現出較長時間的抵抗能力。而在模擬日常使用的吹風機測試中，處理後的樣品在冷、溫風吹拂下，展現了更佳的溫度穩定性，與參考文獻吻合。

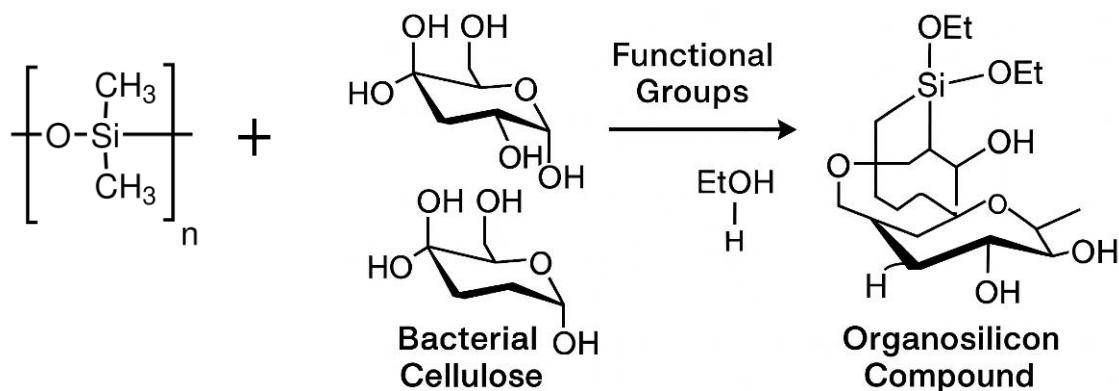
## (二) 機械強度顯著提升(克服天然纖維的脆弱性)

經由伺服控制電腦系統拉力試驗機對假髮的拉伸測試結果，分析比較如下表 6-1。

表 6-1 假髮拉伸測試分析比較

特 性	對照組	實驗組
剛 性	較高	較低
強 度	略高(但較早斷裂)	稍低(但可拉更長)
延展性	較差	較佳
適用範圍	結構強度需求高的應用	需要彈性與變形能力的應用

未經表面處理的細菌纖維素雖具天然優勢，剛性較強，但延展性較差，限制了直接應用的可能。本研究證實，透過有機矽(PDMS)浸泡進行表面處理，細菌纖維素(BC)的耐拉扯能力得到顯著的提升。其平均可承受重量約為對照組(未處理)的 2.85 倍(平均 5.7 個水瓶 vs. 2 個水瓶)。進一步經儀器拉伸測試，由結果得知，其延展性較佳，這項關鍵性的改善，我們根據文獻推測，PDMS 中的乙氧基 (–OEt) 跟 BC 中的羥基 (–OH) 發生互相作用後，可能產生矽氧碳鍵 (Si–O–C) 的連接，如圖 6-1；因而使材料內部的分子鏈結構更加緊密，提高了韌性，可減少斷裂情形，轉變為具彈性及變形能力的假髮纖維材料。



▲圖 6-1 PDMS 與 BC 反應 (AI 生圖)

註:本圖片由 ChatGPT 生圖

### (三) 差異化染色的特性 (提供多樣化的美學可能性)

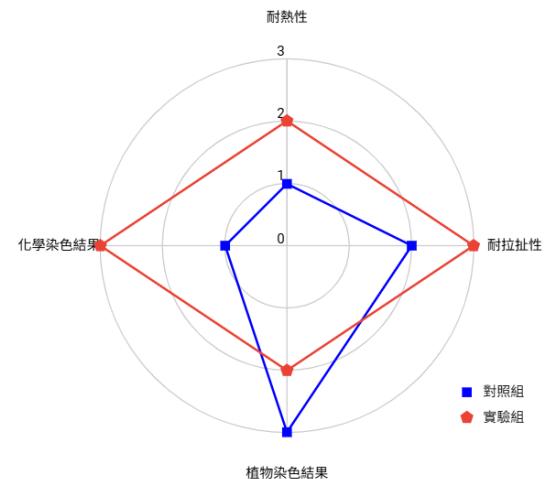
假髮的美觀性是它的重要考量因素之一，染色能力是其中的關鍵。我們發現，**細菌纖維素的奈米纖維網狀結構賦予其高吸水性，使得未經處理的樣品對植物染料（如薯榔、紫草...等）有良好的吸附能力**，在浸染時間相同的情況下，染色效果均勻且顏色較深。而**經過有機矽表面處理後，纖維素的表面結構發生變化，雖然對植物染料的吸附能力有所下降，但對化學染膏卻顯示出更為均勻的染色效果**。這項差異化的染色特性，為未來根據應用需求，選擇不同處理方式或組合處理方法提供了基礎，增加了細菌纖維素假髮在顏色呈現上的靈活性。

綜合上述發現，本研究證實，實驗組的耐熱及耐拉扯性質，相較於對照組有更具優勢，將兩者的耐熱性、耐拉扯性及染色難易度分析如表 6-2。

表 6-2 對照組及實驗組耐熱性、耐拉扯性、及染色難易度分析

向度指標	評分標準	對照組	實驗組 (經有機矽表面處理)
耐熱性	吹風機吹整的溫度穩定性	1	2
耐拉扯性	拉伸測試結果	2	3
植物染色結果	染色均勻度與吸附效果	3	2
化學染色結果	染色均勻度與吸附效果	1	3

而從向度分析圖 6-2 可得知，**經有機矽表面處理的材料，在耐熱、耐拉扯及染色實驗中，顯著提升其機械強度和耐熱性方面的潛力，使其成為一種具前景、經濟實惠且環境友善的天然假髮替代材料。**未來若能進一步深入研究更適合的添加物改質或表面處理方法，將更能提升細菌纖維素應用於假髮製作的可行性及更好更無毒的染色靈活性，使其更具應用價值，創造不一樣的商機。



▲圖 6-2 假髮性質的向度分析圖。

註:本圖片由第一作者繪製

## 二、未來應用建議與展望

雖然本研究得到了重要的初步成果，但在探究細菌纖維素作為假髮替代材料實驗，仍面臨一些挑戰與可深入研究的方向。例如，細菌纖維素培養的時間與環境控制需求，以及在材料改性（特別是可可脂乳化實驗）上遇到的困難。這些挑戰同時也是我們未來研究的重要切入點：

### 1. 材料改質的精進

未來研究需深入探索更多元化的細菌纖維素改質或表面處理方法。除了現有的有機矽處理，可嘗試其他化學改性的方法（如文獻提及的氧化、酯化、醚化、交聯或接枝共聚反應等），以更精確地調控纖維素的微觀結構和表面化學性質。例如提高其疏水性，以增強耐濕性；或引入特定官能基以改善與染料、相變材料等的相容性。克服改性實驗的技術難題，將有助於進一步提升材料的綜合性能，使其更符合高性能假髮的需求。

### 2. 環保染色的優化

考量到消費者對健康與環境的關注，未來研究應聚焦於開發更高效且環境友善的細菌纖維素染色工藝。例如改良現有植物染的固色技術，使其在經處理的纖維素上表現更好；或是開發專門針對細菌纖維素結構的無毒化學染料，以達到持久且均勻的染色效果。結合不同的表面處理和染色方法，創造出既美觀又兼具功能性的細菌纖維素假髮。

### 3. 從理論到實用

將細菌纖維素假髮從實驗室原型推向生活應用，需要解決規模化生產的技術與成本問題。未來可與生物科技或材料科學領域的專家合作，研究優化培養條件、提高纖維素產率，並開發高效且經濟的後處理工藝。同時，應進行更全面的產品性能評估，包括長期耐用性、舒適度、透氣性（相較於合成纖維）以及對頭皮的生物相容性，證明其作為假髮材料的優越性。

總而言之，本研究為細菌纖維素在假髮應用領域奠定了基礎，實驗結果驗證了其作為新型、天然、可持續材料的巨大潛力。未來若克服當前挑戰，研發出性能卓越、成本合理、且環境友善的細菌纖維素假髮，不僅能滿足日益增長的市場需求，更有望創造一個全新的綠色商機，為假髮產業帶來創新與變革，展現生活應用的價值。

## 柒、參考資料及其他

### 一、假髮相關的參考資料來源

- (一)「改變髮色的兩種方法：要選擇染髮，還是戴假髮？」，愛德蘭絲台灣。2024/09/06 取自：  
<https://www.aderanstaiwan.com.tw/news/改變髮色的兩種方法：要選擇染髮，還是戴假髮？/>
- (二)「假髮怎麼選？舒適、透氣很重要」，魏忻忻。2024/09/09 取自：  
<https://health.udn.com/health/story/5971/350442>
- (三)「在非洲假髮是剛需廢棄假髮有妙用」，大愛新聞。2024/09/09 取自：  
<https://tw.news.yahoo.com/%E5%9C%A8%E9%9D%9E%E6%B4%B2%E5%81%87%E9%AB%AE%E6%98%AF%E5%89%9B%E9%9C%80-%E5%BB%A2%E6%A3%84%E5%81%87%E9%AB%AE%E6%9C%89%E5%A6%99%E7%94%A8-112139049.html>
- (四)「假髮會傷害毛囊？」，坤寧專業。2024/09/09 取自：  
<https://www.cheerfulife.com/wig/does-wearing-a-wig-damage-the-hair-follicles/>
- (五)「癌友假髮樣式如何選擇？怎麼配戴？什麼是醫療級假髮？價格、租借補助一次看」，沈毓禮。2024/09/09 取自：  
<https://cancer.commonhealth.com.tw/article/1084>
- (六)「護理繁複嗎？教你 5 個假髮護理方法！」，坤寧專業。2024/09/09 取自：  
<https://www.cheerfulife.com/wig/guide-to-wig-care-and-maintenance/>
- (七)「假髮製作過程：完整指南」，RoleCatcher。2024/09/10 取自：  
<https://rolecatcher.com/zh-hant/skills/hard-skills/management-skills/making-decisions/decide-on-wig-making-process/>
- (八)「魔法部屋，科技假髮」，魔法部屋。2024/09/10 取自：  
[https://wwwmorefunhouse.com/steve\\_time/qna\\_100.php?p=3](https://wwwmorefunhouse.com/steve_time/qna_100.php?p=3)
- (九)「開箱 10 大漂髮劑推薦排行榜」，張伯萱。2024/09/19 取自：  
<https://tw.my-best.com/114738>
- (十)「捐髮了然後呢？製成假髮的愛心傳遞之旅」，自由時報。2024/09/19 取自：  
<https://video.ltn.com.tw/article/OIabGRogXZc/PLI7xntdRxhw2V-2D4cLqlKqJqAKHj5mUX>

### 二、細菌纖維素及應用

- (一)以細菌纖維素製作可食餐具之可行性研究，李家禎等。2024/10/15 取自：  
109 學年台中市科展競賽。
- (二)細菌纖維素及其複合材料在環境領域應用的研究進展，复合材料学报，2021。  
2024/10/20 取自：  
<https://fhclxb.buaa.edu.cn/article/doi/10.13801/j.cnki.fhclxb.20210402.002>
- (三)細菌纖維素-維基百科。2024/10/20 取自：  
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%B4%B0%E8%8F%8C%E7%BA%96%E7%B6%AD%E7%B4%A0>
- (四)醋酸纖維素-維基百科。2024/10/20 取自：  
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%86%8B%E9%85%B8%E7%BA%A4%E7%BB%B4%E7%B4%A0>

### 三、合成纖維加工與處理

(一) 香蕉纖維做假髮能洗還能染，陳韻涵。2024/10/14 取自：

<https://udncollege.udn.com/26414/>

(二) 「以香蕉为原料制备面料的方法」，賴祿波。2024/10/14 取自：

<https://patents.google.com/patent/CN104032450A/zh>

(三) 一種合成纖維假髮的製備方法，中華人民共和國國家知識財權局。2024/10/14 取自：

<chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/>

<https://patentimages.storage.googleapis.com/bd/a2/11/7875ffc22cd62e/CN102605626B.pdf>

(四) 「高分子添加劑」，科技大觀園。2024/10/15 取自：

<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=ecdff31b-2dac-4bbe-b6a1-5a19d600bae1>

(五) 「熱傳導、熱對流和熱輻射的概念和計算方法，什麼是熱阻？」，獅子心 VIII。

2024/11/25 取自：

<https://kknews.cc/zh-tw/science/5pe4on2.html>

(六) 細菌纖維素與有機矽反應式。2025/05/08 取自：

[https://www.mdpi.com/polymers/polymers-13-04258/article\\_deploy/html/images/polymers-13-04258-g002.png](https://www.mdpi.com/polymers/polymers-13-04258/article_deploy/html/images/polymers-13-04258-g002.png)

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/18966775>

<https://www.sigmadralich.com/TW/zh/product/sial/phr1518>

### 四、假髮染色的選擇

(一) 「薯榔 *Dioscorea rhipogonioides* 薯蕷科」，台北植物園館。2024/09/20 取自：

<https://kmweb.moa.gov.tw/subject/subject.php?id=27319>

(二) 「保養東方薰衣草 來自天然的紫色植物恩惠—紫草根/紫根萃取」，JUST HERB 香草集。2024/09/20 取自：

<https://reurl.cc/qnMyeR>

(三) 「茜草 *Rubia cordifolia*」，台北植物園館。2024/09/20 取自：

<https://kmweb.moa.gov.tw/subject/subject.php?id=27386>

(四) 「指甲花」，台灣景觀植物介紹。2024/09/20 取自：<http://tlpg.hsiliu.org.tw/plant/view/154>

(五) 「中野製藥永久染染膏」，KAKANO 中野製藥。2024/09/20 取自：

[https://www.nakano-seiyaku.com/pages/caradeco-colorintro?srsltid=AfmBOoql8ILYDXCiJgp7bKQlbGMjXbKs7VSNhAN\\_Sbg65jiQIKfaI3lz](https://www.nakano-seiyaku.com/pages/caradeco-colorintro?srsltid=AfmBOoql8ILYDXCiJgp7bKQlbGMjXbKs7VSNhAN_Sbg65jiQIKfaI3lz)

### 五、拉伸測試

(一) 伺服控制電腦系統拉力試驗機。

[https://www.gotech.biz/product\\_d.php?lang=tw&tb=1&id=277](https://www.gotech.biz/product_d.php?lang=tw&tb=1&id=277)

(二) 機械材料測試及組件測試中重要 ASTM 標準。

<https://www.zwickroell.com/tw/industries/astm-standards/>

## 【評語】032910

本作品受國外利用天然的香蕉葉鞘纖維當材料製作假髮的啟發，以細菌纖維素作為材料，以可可酯和有機矽改質，分析其耐熱性、耐拉扯性、染色難易度等性質，最後以不同的植物染劑進行染色，是有趣且深具潛力的作品。以下建議供同學參考：

1. 為了科學研究的可溯源性與他人重複實驗時的再現性，實驗所使用的原材料與物質，應經過相當的檢驗與品管程序，並由有信譽的專業店家購買，且能提供對應的聯絡方式。由蝦皮等網拍平台販售，不一定有經過檢驗的活菌液，會有相當顧慮。
2. 以 5% NaOH 中和纖維素時，需呈現纖維素與 NaOH 的使用量，不然他人無法重複此一工作。
3. 浸泡有機矽的部分，亦需要呈現纖維素與有機矽的用量、溶液體積等實驗參數。
4. 於拉伸實驗中，宜在附件中呈現所使用的 ASTM 規範與對應文件編號。

5. 除了以單純的 BC 作為對照組、PDMS+BC 為實驗組外，亦應以單純的 PDMS 作為對照組比較。實驗中加入 PDMS 能增加拉伸強度，亦應比較一系列不同 PDMS:BC 比例的變化。
6. 除了斷裂時的拉伸強度，在實用上，亦應探討其彈性，即受拉伸後回復的狀況，以符合真實毛髮的特性。
7. 以製作假髮的目的而言，所製作的成品是否能拉絲成一般頭髮的粗細？實驗內容均以片狀成品測試，若製成髮絲的形式，是否能有相同的結果？

作品海報

「千菌一髮」——以細菌纖  
維素製作假髮之可行性研究

# 壹、摘要

近年來，癌症患者或因為其他特別的因素所導致的脫髮人群逐漸增加，因此假髮的製作材料需求，隨之提高。本研究即針對此問題，以及假髮所需具備的耐熱性、耐拉扯性、染色難易度等性質，透過生物材料(細菌纖維素)作為製作假髮的替代選擇，以解決現有假髮之透氣性差、製作成本及天然人髮供應的限制等問題。實驗過程探討將細菌纖維素進行改質，經有機矽(聚二甲基矽氧烷)表面處理後之耐熱性、耐拉扯之機械強度等性質；以及植物染料與市售染膏的染色效果，作為自然外觀的評估。研究結果顯示，以細菌纖維素作為假髮製作的新型天然材料具備低成本、易染色、良好的耐熱及耐拉扯特性。

# 貳、研究動機

近幾年，假髮的需求逐漸增加，特別是在癌症患者或因為其他特別的因素所導致的脫髮人群。然而，現在有許多的假髮多以化學合成材料製成，存在透氣差、佩戴不適或不環保等缺點。同時，真人頭髮製成的假髮供應有限，等待時間長且價格昂貴。而國外的一篇研究報告指出，可利用天然的香蕉纖維當材料，來製作假髮，但原材料的取得受到地域或資源限制。根據文中提及的「市場研究」調查指出，時尚趨勢和持續成長消費力，推動非洲和中東的接髮和假髮商機，預估2028年市場價值可達7.1億美元（約台幣231.8億元）。（陳韻涵，2024）。

因此，本研究希望以細菌纖維素作為可能成為假髮製作的新型材料，細菌纖維素是由微生物生成的一種天然材料，我們推測，或許也能用於假髮製作，成為一種更為經濟實惠且環境友善的選擇，來解決以上述問題，創造不一樣的商機。



圖2-1 香蕉葉鞘纖維製作的假髮。圖/CNN

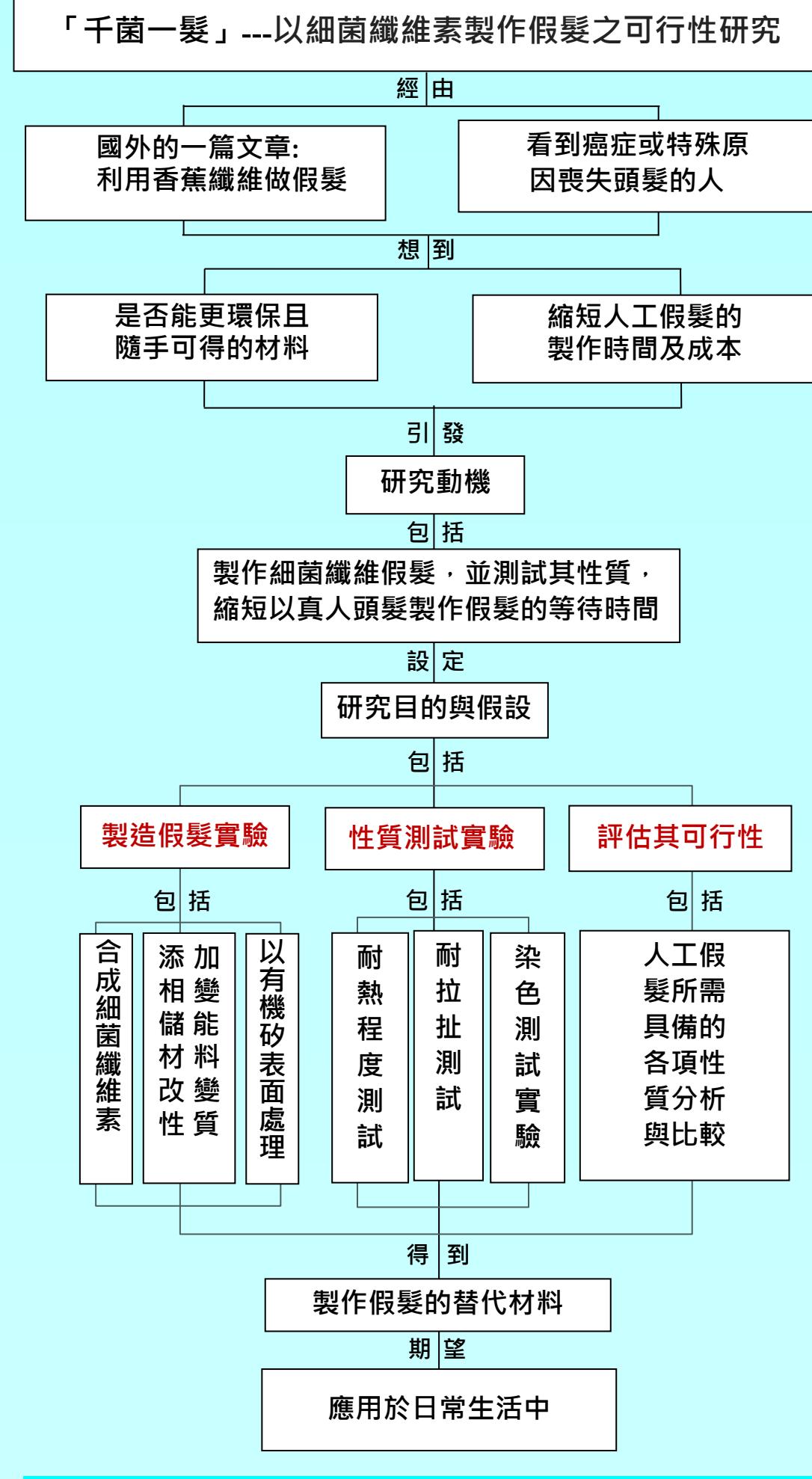
# 參、研究目的與待答問題

## 探討細菌纖維素作為假髮替代材料的可行性。

- (一) 製作的細菌纖維素進行改質，對假髮的耐熱、耐拉扯及染色等性質進行探究。  
(二) 比較各項性質，評估是否可為替代性材料。

# 肆、研究過程與方法

## 一、實驗流程圖



## 二、實驗操作過程

### (一) 製作第一代細菌纖維素(基本性質測試)

- 泡煮6公升的紅茶至沸騰後，靜置24小時後，加入330毫升醋酸菌液，混勻備用。
- 分裝步驟1.的液體到14cm\*8.6cm\*4cm的塑盒中並密封，靜置培養14天。
- 取出表面生成的細菌纖維素，以5%的氫氧化鈉水溶液煮20分鐘，進行酸鹼中和及純化。
- 取一部分步驟4.的細菌纖維素，浸泡有機矽20分鐘，作為實驗組，其餘作為對照組。
- 將樣品放入烘箱中，設定45°C乾燥後備用。
- 將步驟5.的對照組及實驗組，剪成1cm\*12cm的細菌纖維素，以進行各項性質測試。

實驗步驟	煮紅茶	加入醋酸菌液	靜置培養 14 天	測量酸鹼度
照 片				
實驗步驟	5%的 NaOH 水溶液中和	浸泡有機矽 (實驗組)	45°C 烘乾	1cm*12cm 樣品
照 片				
實驗步驟	自製培養盒	培養液	靜置培養 14 天	拉伸測試樣品
照 片				

註:實驗圖片由第一及第二作者拍攝

### (二) 改良製作第二代細菌纖維素(拉伸測試)

- 以市售的紅茶與醋酸菌混合，放入培養盒中。

2. 放入恆溫培養箱中，靜置14天。

3. 重複(一)中的實驗步驟。

註:實驗圖片由第一及第二作者拍攝

### (三) 添加變相儲能材料(可可脂)

- 取出已中和的細菌纖維素，放入果汁機裡再加入適量的、已融化的可可脂攪碎乳化。
- 瀝乾後填裝至口徑5mm的透明吸管中靜置3天。

註:實驗圖片由第一及第二作者拍攝

### (四) 浸泡有機矽(聚二甲基矽氧烷)

- 取出步驟(二)的材料，將部份材料浸泡於有機矽中20分鐘。
- 將對照組(無表面處理)及實驗組(有機矽表面處理)放入烘箱中，設定45°C烘乾後取出，並檢測各項性質。



註:實驗圖片由指導老師拍攝

## (五) 假髮的耐熱、耐拉扯及染色等性質測試實驗

### 1. 以燃燒法檢驗假髮的耐熱程度

- 各剪取三片大小為1cm\*2cm的對照組和實驗組假髮進行實驗。
- 以鑷子夾取，並置於點燃的酒精燈上直接加熱。
- 觀察表面變化，以錄影方式記錄燃燒時間，作為探討耐熱性的依據。

實驗步驟	以鑷子夾取直接加熱	攝影紀錄燃燒時間	觀察表面變化
照 片			

實驗步驟	風吹前的初始溫度	固定吹風機及實驗材料	風吹後的表面溫度
照 片			

實驗步驟	吊掛前	吊掛瓶數	斷裂後
照 片			

註:實驗圖片由第一及第二作者拍攝

過程	以夾具夾好測試樣品	逐漸增加拉力拉伸	樣品斷裂情形
圖 示			

實驗步驟	對照組及實驗組測試片	染料配製	染色後取出觀察
照 片			

註:實驗圖片由第二作者拍攝

### 2. 以家用吹風機測試假髮的耐熱程度

- 用電子溫度計測量對照組及實驗組假髮表面的初始溫度。
- 用三腳架固定吹風機、以玻璃片固定假髮，以確保表不會移動。
- 分別用冷、溫、熱風吹整假髮表面2分鐘，測量三種風吹整前後的表面溫度，以作為耐熱程度判斷。

實驗步驟	風吹前的初始溫度	固定吹風機及實驗材料	風吹後的表面溫度
照 片			

### 3. 假髮的耐拉扯程度測試實驗

- 以棉線綑綁市售的600c.c瓶裝水，利用封口夾夾住對照組及實驗組假髮的兩端，進行耐拉扯測試。
- 紀錄斷裂時的吊掛瓶數，以作為耐拉扯程度的判斷依據。

實驗步驟	吊掛前	吊掛瓶數	斷裂後
照 片			

### 4. 以伺服控制電腦系統拉力試驗機作假髮的拉伸測試(ASTM)

- 取每段相同規格化的假髮，其長、寬、厚度分別30mm\*3mm\*1.3mm的測試樣品，以設定儀器的參數，進行拉伸測試。
- 逐漸增加拉力至樣品斷裂，以電腦系統紀錄測量結果，並進行疊圖分析。

過程	以夾具夾好測試樣品	逐漸增加拉力拉伸	樣品斷裂情形
圖 示			

### 5. 假髮的染色測試實驗

- 用8個50ml的小燒杯，分別裝1克薯榔粉、紫草粉、指甲花粉、茜草，再分別加入20ml的熱水配製成植物染料。
- 再用2個50ml的小燒杯，裝染膏10.5克、氨水10.5克，攪拌後配製化學染料。
- 將染料攪拌均勻後，分別加入5片1cm\*1cm的對照組及實驗組假髮，靜置20分鐘染色。
- 以筷子夾取出並以清水沖洗後擦乾。
- 觀察染色程度，進行比較。

實驗步驟	對照組及實驗組測試片	染料配製	染色後取出觀察
照 片			

註:實驗圖片由第二作者拍攝

## 伍、結果與討論

### 一、假髮的耐熱程度測試實驗結果

#### (一)以燃燒法檢驗假髮的耐熱程度

以燃燒法檢驗假髮的耐熱程度，觀察其表面變化，其中實驗組的燃燒時間平均約為30秒，對照組的燃燒平均時間約20秒，實驗組的耐熱性較佳；與文獻記載，以有機矽整理劑進行合成纖維的表面處理，使其能夠吸收、儲存和釋放熱量，進而提升假髮更恆定的頭部溫度環境的結果互相吻合。(王建平，2012)。

#### (二)以家用吹風機測試假髮的耐熱程度

以吹風機測試假髮的耐熱程度，所測得三種風吹整前後的表面溫度，如表5-1；計算溫度變化( $\Delta T$ )的結果如表5-2。

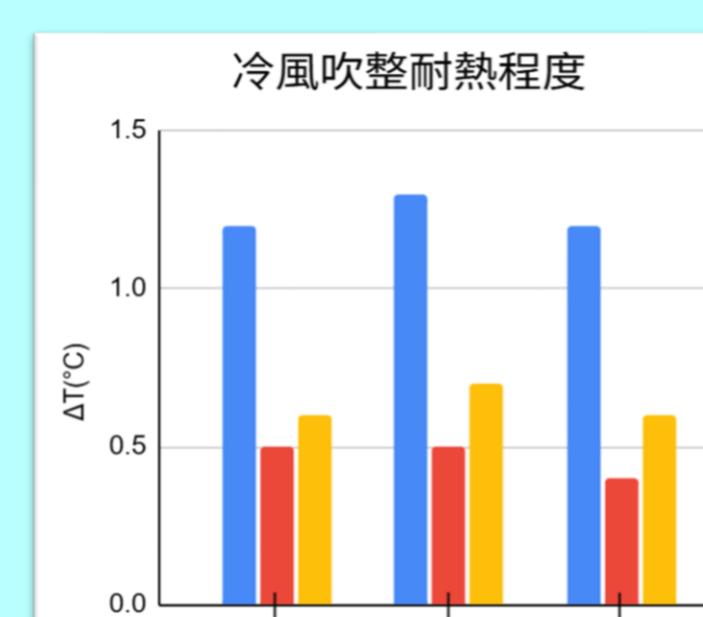
表5-1 假髮吹整前、後的表面溫度

表面 /2min	對照組 $T_0:24.4$ (°C)				細菌纖維素+ 可可脂 (表面處理) $T_0: 24.6$ (°C)				細菌纖維素 (表面處理) $T_0:21.0$ (°C)			
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
冷風	25.60	25.70	25.60	25.63	25.10	25.10	25.00	25.07	21.60	21.70	21.60	21.63
	28.00	27.60	26.60	27.40	28.70	28.90	29.20	28.93	26.60	26.90	27.10	26.87
熱風	29.40	29.60	30.20	29.73	29.30	29.40	29.50	29.40	28.30	27.30	27.70	27.77
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均

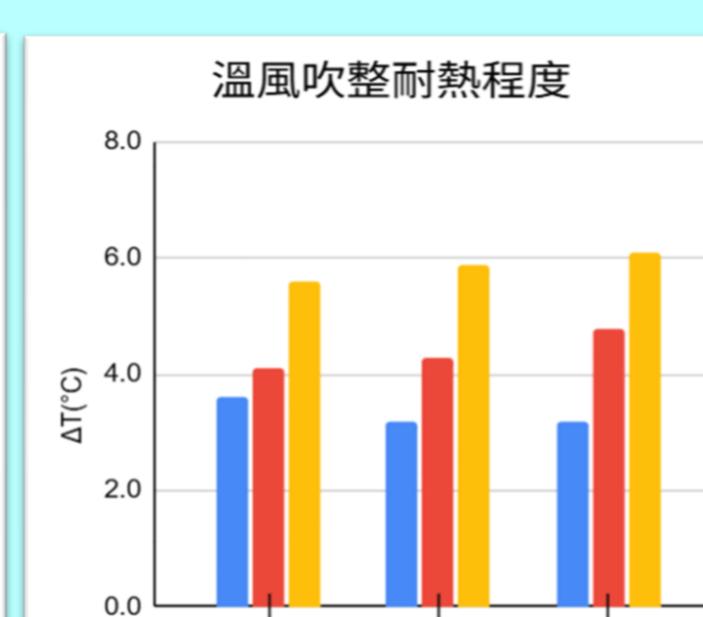
表5-2 假髮吹整前後的表面溫度差( $\Delta T$ )

風速	對照組 $\Delta T$ (°C)				細菌纖維素(可可脂) $\Delta T$ (°C) (表面處理)				細菌纖維素(表面處理) $\Delta T$ (°C)			
	冷風	溫風	熱風	風速	冷風	溫風	熱風	風速	冷風	溫風	熱風	
1	1.2	3.6	5.0	1	0.5	4.1	4.7	1	0.6	5.6	7.3	
2	1.3	3.2	5.2	2	0.5	4.3	4.8	2	0.7	5.9	6.3	
3	1.2	3.2	5.8	3	0.4	4.8	4.9	3	0.6	6.1	6.7	

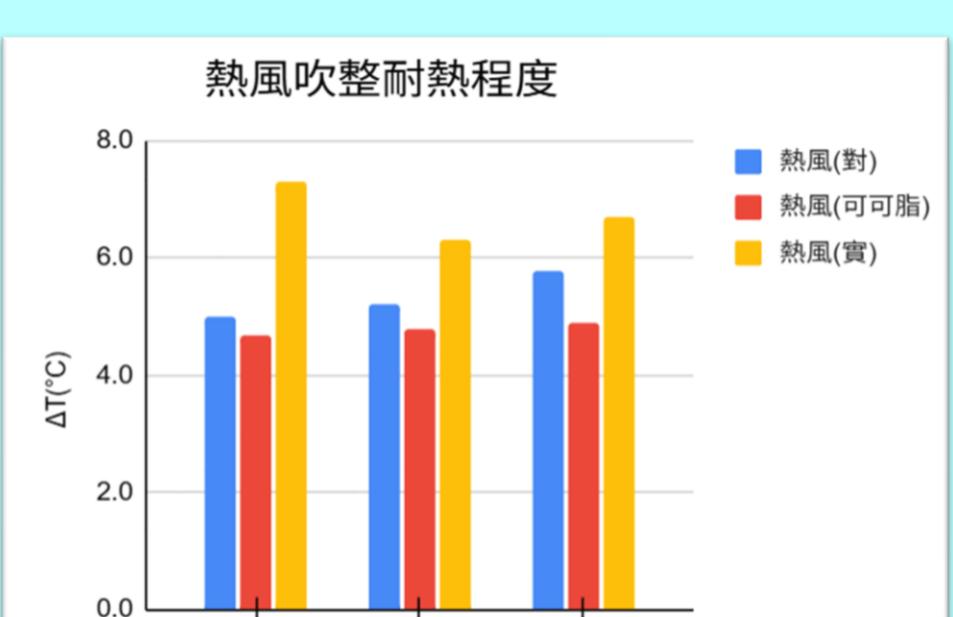
將表5-2的溫度變化數據( $\Delta T$ )進一步轉換成分析圖5-1、5-2、5-3，根據實驗數據分析圖可知，細菌纖維素加入可可脂乳化處理後，在所有風速吹整下的溫度變化小於對照組及實驗組，推測可可脂可能填補了纖維素結構的孔隙，降低熱對流與熱傳導的影響，從而增強了隔熱效果。實驗結果顯示，其具有一定的耐熱能力。但因剪切乳化後難以成形易斷裂，所以後續實驗只取用對照組及經有機矽表面處理的細菌纖維素的實驗組進行其他性質的測試實驗。



▲圖5-1 冷風吹整的溫度變化圖。  
註:本圖片由第二作者繪製



▲圖5-2 溫風吹整的溫度變化圖。



▲圖5-3 热風吹整的溫度變化圖。

### 二、假髮的耐拉扯程度測試實驗結果

#### (一)負重測試

透過吊掛水瓶的負重測試實驗結果如右表5-3。根據實驗結果可知，對照組平均可承受2個水瓶的重量，而實驗組可承受5.7個水瓶的重量，耐受能力提升約為2.85倍。顯見細菌纖維素在經過有機矽處理後，其機械強度明顯提高，根據文獻推測，可能與以下因素有關：

1. 結構緊密化，表面處理改變纖維素的內部排列。
2. 水分含量降低，使其更加堅韌，減少變形與斷裂的可能性。
3. 材料強韌度提升，形成更強的網狀結構，提高負重能力。

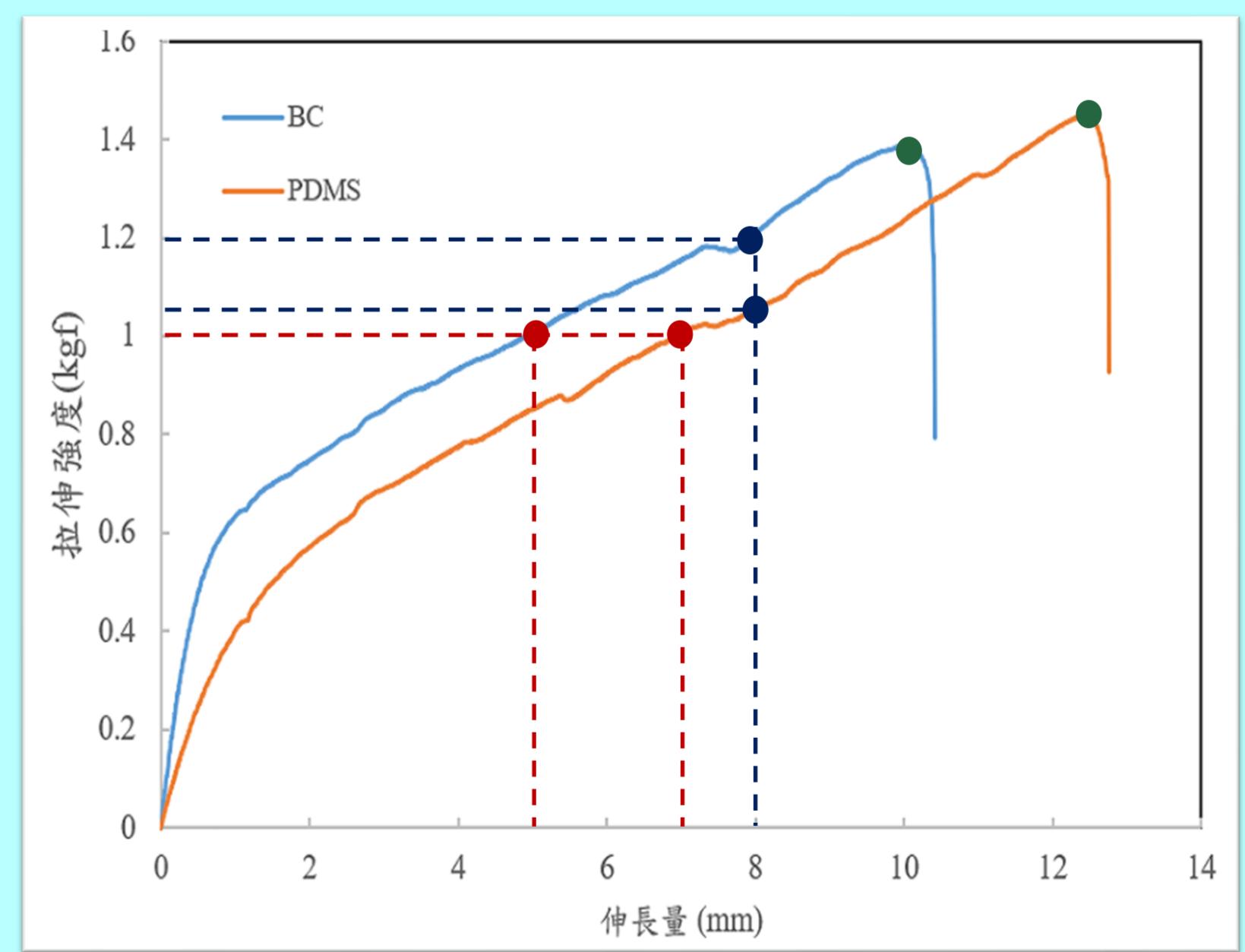
表5-3 假髮吊掛水瓶數量

材料名稱	對照組				實驗組-細菌纖維素(表面處理)				
	實驗次數	1	2	3	平均	1	2	3	平均
吊掛水瓶數量	1	3	2	2	2	5	6	6	5.7

#### (二)拉伸測試

以更精細的伺服控制電腦系統拉力試驗機，做拉伸測試，所得的數據分析圖，如右圖5-4。可以比較BC (對照組-藍線) 與PDMS (實驗組-橘線) 兩種材料在受力下的拉伸行為。圖中橫軸為伸長量 (mm)，縱軸為拉伸強度 (kgf)。由測試結果可知：

1. 在相同的拉伸長度時，對照組有較強的抗拉能力，具較高的鋼性。
2. 在相同的拉伸強度時，實驗組有較長的伸長量，其曲線持續上升，直到超過12 mm 才斷裂，表示它的延展性較對照組佳。
3. 對照組的最大拉伸強度約為1.4 kgf，發生在伸長量約10 mm左右；而實驗組的最大拉伸強度接近1.45 kgf，但發生在伸長量約12.5mm左右。在可承受最大拉力及更長的伸長量，實驗組都比對照組佳，屬於柔軟、可拉伸的材料。



▲圖5-4 假髮拉伸測量分析圖。  
註:本圖片由聯合大學協助繪製

### 三、假髮的染色測試實驗結果

1. 在植物染部分，對照組表現出較佳的染色效果。推測是因為細菌纖維素的表面為奈米結構且吸水性強，使染料較能均勻附著。
2. 實驗組在化學染部分，則顯示出較為均勻的染色效果。推測原因為處理過的纖維素表面，結構改變，使得染料能更好的附著、更均勻地分佈在纖維素表面。

染色結果	取出樣品清洗	擦乾樣品表面
對照組染色結果		
實驗組染色結果		

註:本圖片由第二作者拍攝

