

新竹市第 44 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生活與應用科學（二）

組 別：國中組

作品名稱：野草的前世與今生 - 以大花咸豐草製作紡織材料的初步研究

關 鍵 詞：大花咸豐草、纖維提取、綠色廢棄物利用

編 號：

野草的前世與今生 – 以大花咸豐草製作紡織材料的初步研究

摘要

本研究起源於校園中常見的「大花咸豐草」，我們觀察到它的枯莖即使枯萎後仍具有很好的韌性，因此想探討是否能將其轉化為天然纖維，作為塑膠線的替代材料。實驗首先比較大花咸豐草與野苧的纖維特性，並測試水浸法與煮鹼法在纖維提取上的效率。接著，我們將提取出的大花咸豐草纖維與棉線以不同比例混紡，分析混紡比例對線吸水性、抗拉強度與耐用性（模擬洗滌測試）的影響。研究希望找出最佳的纖維提取方法與混紡比例，證明這種「綠色廢棄物」具有開發為低碳、可自然分解環保材料的潛力，並為校園雜草創造新的科學與實用價值。

壹、研究動機

在學校打掃時間或走在路邊，隨處可見長滿白色小花的「大花咸豐草」（俗稱鬼針草）。它生長迅速且生命力極強，通常被當作討厭的雜草清除。然而，我們在拔除枯掉的大花咸豐草時，發現它的莖竟然出乎意料地難以折斷，那種「韌性」引起了我們的好奇：這看似廢棄物的莖部，是否藏著好用的天然纖維？

生物課曾提到，植物的莖含有維管束與纖維組織，負責支撐植株並抵抗外力；而麻、棉等植物纖維更是製作線的優良原料。這讓我們聯想到：如果大花咸豐草也這麼強韌，那它能不能變身成實用的線呢？

如果我們能將校園中隨處可得的「綠色廢棄物」轉化為天然纖維，便能賦予雜草新價值。因此，我們設計了一系列實驗，嘗試提取大花咸豐草纖維，並測試不同比例混紡後的抗拉強度與韌性，希望透過科學實證，找出這款「校園野草」轉型為環保材料的可能性。

貳、研究目的

一、探討不同提取方法對纖維品質之影響：

比較「水浸法」與「鹼煮法」兩種提取方式，分析哪種方法能以較短的時間提取出較適合實驗且不損傷結構的纖維。

二、測試不同混紡比例對線的吸水性關係：

將大花咸豐草纖維與棉線以不同比例編織成線，透過定時泡水測試，觀察混紡比例的改變是否會顯著影響線在潮濕環境下的吸水率。

三、定量分析混紡比例對線抗拉強度的影響：

利用自製的拉力測試裝置，測量各組線斷裂前的最大承重。藉此探討加入棉線後，是否能有效彌補草本纖維脆性較大、易斷裂的缺點，並找出最佳的強韌比例。

四、評估線的耐用度與重複使用性：

透過模擬洗滌實驗（重複搓洗與烘乾），測試線在經過多次結構摩擦與乾濕交替後，其抗拉強度衰減的情況，以評估這種天然混紡線在日常生活中的耐用程度。

參、文獻探討與相關知識

一、大花咸豐草的生物學特徵與分布

大花咸豐草 (*Bidens pilosa* var. *radiata*) 屬菊科鬼針草屬，在臺灣為具高度適應力與擴散優勢的歸化植物，廣泛分布於荒地與開闊環境 (鐘明哲, 2021)。其莖部呈四稜形，具備明顯的維管束與支持組織，且莖基部會隨生長逐漸木質化 (卜德玥等, 2020)。此結構穩定性，正是本實驗將其視為潛在纖維來源的關鍵——莖部仍具備高度結構完整度，暗示其纖維具備足以支撐紡織加工的物理強度，提供了廢棄生物質再利用的生物學基礎。

二、植物纖維的結構組成與力學功能

植物纖維主要由纖維素、半纖維素及木質素構成。其中木質素填充於細胞壁中，能賦予植物剛性與抗生物降解能力 (Boerjan et al., 2003)。傳統紡織利用的韌皮纖維 (如黃麻、苧麻) 之所以具備優異力學性質，主因在於纖維素分子鏈具有高抗張強度 (Faruk et al., 2012)。本實驗是在探討大花咸豐草莖部纖維是否具備類似傳統韌皮纖維的結構，是否具備發展為環保功能性織物或複合材料的潛力。

三、纖維提取技術之理論基礎與本研究策略

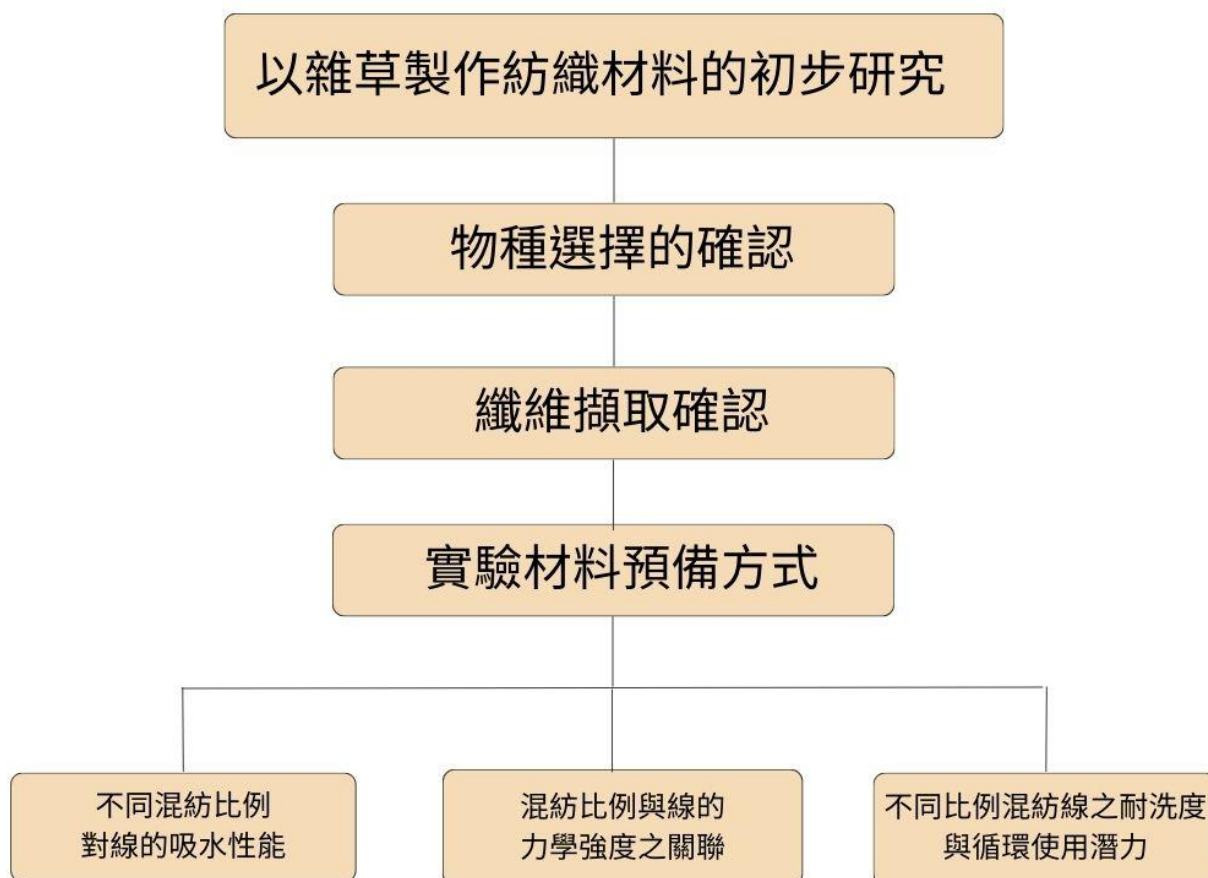
纖維提取技術會影響材料的品質。微生物水浸法利用果膠酶分解纖維間的膠質，能獲得結構完整且環境友善的纖維 (Faruk et al., 2012)；而化學提取法 (如 NaOH 處理) 則能快速移除半纖維素與木質素，縮短處理時間，但需精確控制濃度以避免纖維素降解 (Kabir et al., 2012)。在本實驗中，我們嘗試使用不同技術來提取大花咸豐草纖維，尋求以最有效率的方式來進行實驗。

肆、研究設備及器材

實驗用之線材料製作			
<p>大花咸豐草</p> 	<p>卡式爐</p> 	<p>氫氧化鈉</p> 	<p>白醋</p> 
<p>玻璃瓶</p> 	<p>不鏽鋼刷</p> 	<p>電子秤</p> 	<p>醫用棉花</p> 

抗拉強度測試	
<p>啞鈴</p> 	<p>烘乾:吹風機</p> 
<p>自製承重裝置</p> 	<p>自製承重裝置 示意圖</p> 

伍、研究過程及方法



一、物種選擇確認

在實驗設計初期，曾同時選取野萵與大花咸豐草作為候選材料，嘗試進行莖部纖維擷取與線的製作，期望比較兩种植物纖維之成線可行性及力學應用潛力。實驗結果顯示，野萵經處理後所得纖維多呈短碎狀，纖維長度與連續性不足，在手工搓製過程中不易產生有效纏繞與延展，導致線難以穩定成型，且其結構強度不足以支撐後續承重拉力測試。經多次重複試驗後，上述現象仍未獲得明顯改善，因此本研究判定野萵纖維於本實驗條件下不具備良好應用可行性，遂不再作為主要研究材料。

相較之下，大花咸豐草於相同處理條件下，其莖部纖維能維持較佳之長度與結構完整性，並展現良好的延展性與纏繞性，較易形成連續且穩定之線，且可順利進行單股搓線與多股編合。此結果顯示，大花咸豐草纖維在加工與力學測試需求上具有較高適用性。

基於上述比較結果，本實驗最終選定大花咸豐草莖部纖維作為核心材料，並透過控制大花咸豐草纖維與棉線之不同比例，進行承重拉力測試，以定量分析纖維比例變化對線力學性質之影響，進一步評估其作為替代天然纖維材料之潛在應用性。

二、纖維擷取方式確認

研究初期嘗試使用水浸法及鹼煮法，擷取植物纖維。

	進行方式	花費時間	優勢	劣勢
水浸法	1. 植物莖部洗淨後泡水。 2. 隔天清洗換水。 3. 直到無法搓洗出非纖維素膠質為止。 4. 纖維在通風處陰乾兩天。	20 天	無須依賴化學藥劑。	1. 花費時間過長 2. 非纖維素膠質去除不完整
鹼煮法	1. 植物莖部洗淨後，以氫氧化鈉溶液水煮。 2. 水滾後以小火煮 120 分鐘。 3. 以醋酸溶液中中和清洗，一直無法搓洗出木質素為止。 4. 纖維在通風處陰乾兩天。	3 天	高效處理雜質。	過度處理容易造成纖維損傷。

實驗證實，水浸法雖具有不須依賴化學藥劑的優點，但過程過於緩慢；相較之下，鹼煮法展現極高效率。在參數受控的前提下，鹼煮法僅需水浸法 1/10 的時間即可完成提取，大幅縮短製備週期，是兼顧效率與產量的理想選擇。

因此我們選擇採用鹼煮法進行實驗，並依據國中實驗室安全規範與可操作條件，設計標準化之纖維提取流程及承重拉力測試系統，以確保實驗過程具備安全性與可重現性。

三、材料採集與預備處理

1. 樣本採集：於校園周邊採集生長狀況相近、成熟之大花咸豐草，並挑選莖部直徑約 0.5 - 0.8 cm 之植株作為實驗材料。
2. 標準化處理：去除葉片與側枝，僅保留主莖，統一裁切為 30 cm 長度後，以清水洗淨並晾乾備用，以確保實驗起始材料之一致性，降低樣本差異對結果之影響。



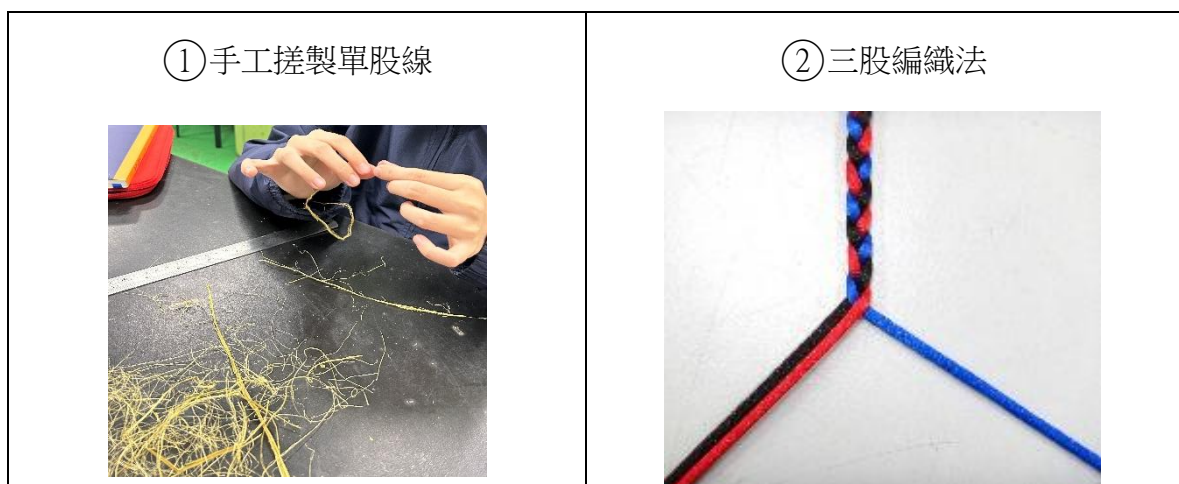
3. 以鹼煮方式取得大花咸豐草纖維：

(1) 鹼液配製：調製 5%(重量百分比濃度 5%)氫氧化鈉 (NaOH) 溶液 作為纖維提取用鹼液。

- (2) 加熱處理：將處理後之莖部樣本置於鹼液中，水滾加熱 120 分鐘，使植物組織軟化並促進纖維分離。
- (3) 清洗與乾燥：處理完成後，先以大量清水反覆沖洗纖維。最後將纖維置於室內陰涼處自然風乾 48 小時，作為後續線製作的材料。



4. 線製作：將乾燥後之纖維以手工方式搓製為單股線，每股以 $0.2g \pm 0.02g$ 的材料，揉撚成 15 公分的單股線，再以「三股編織法」製成長度與撚度一致之測試線，以排除線結構差異對拉力測試之影響。因手工搓揉能力有限，成品外觀較接近繩子，但本實驗仍視之為線狀材料測試。



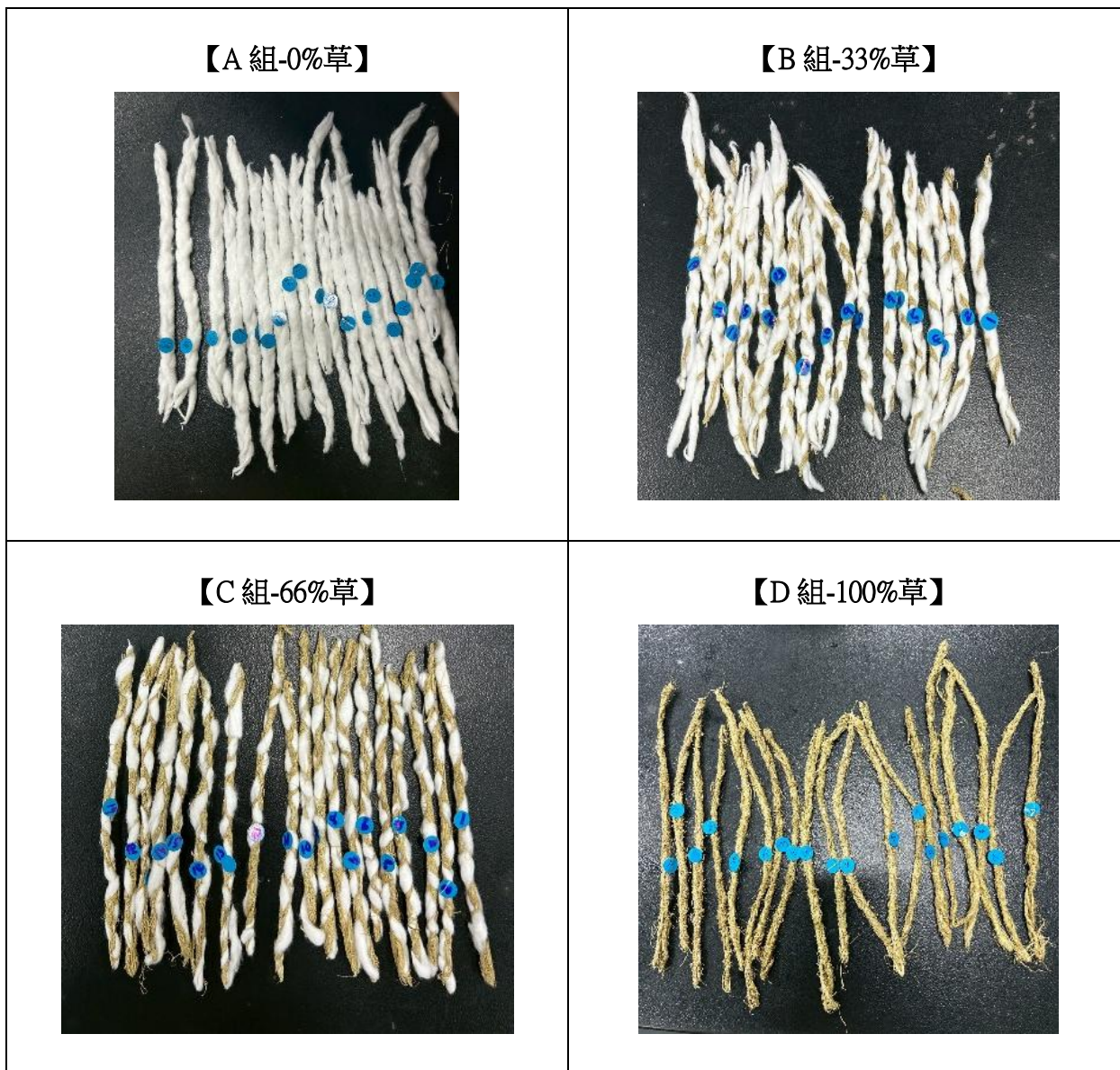
5. 本研究依纖維比例分為四組（每組總股數皆為 3 股）：

【A 組-0%草】：純棉線（3 股皆為棉線）。

【B 組-33%草】：棉線 2 股+大花咸豐草纖維 1 股。

【C 組-66%草】：棉線 1 股+大花咸豐草纖維 2 股。

【D 組-100%草】：純大花咸豐草線（3 股皆為大花咸豐草纖維）。



6. 承重拉力測試流程

- (1) 測試架設：將線一端固定於實驗支架，另一端經由滑輪連接載重盤，使受力方向維持垂直一致。
- (2) 變因控制：為考量手工線可能造成的誤差，每組線原則上進行 3 次重複測試，若測得數值落差過大，則增加至 5 次以提升數據可靠性，並觀察是否有明顯離群的數值。
- (3) 定量加壓：初始承重使用啞鈴 3kg，再逐步以啞鈴 1kg 單位增加。接近斷裂臨界

時，改以砝碼 100g 為單位緩慢加壓，並記錄線斷裂瞬間的最大承重值。

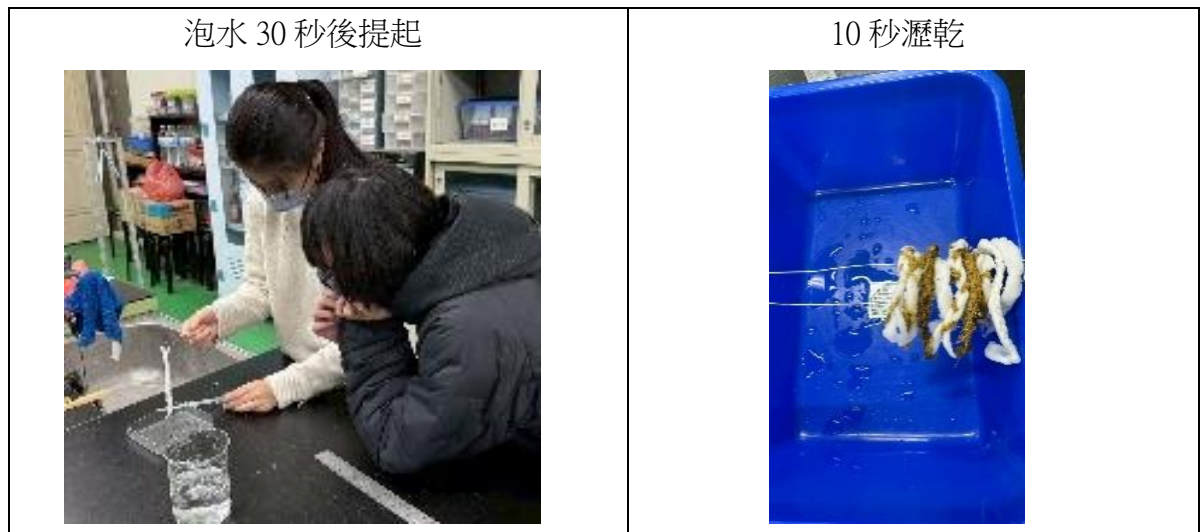
7. 數據處理與統計分析

將各組測得之承重數據進行整理，計算其平均值與標準差，並繪製長條圖進行比較，分析大花咸豐草纖維比例與線承重強度之關聯趨勢。

四、實驗步驟

1. 不同混紡比例對吸水性能之比較

本實驗針對大花咸豐草植物纖維與棉纖維混紡不同比例之線進行吸水量測試，並以「每公克單位吸水量」作為比較基準，以排除材料重量差異造成之影響。



(1) 初始乾燥質量測定：

將各組待測混紡線置於恆溫環境中平衡，隨後使用高精度電子天平進行初始稱重，記錄其原始淨重。

(2) 泡與吸水處理：

將線完全浸入純水中。為確保水分充分滲透纖維孔隙並達到初步飽和，統一設定浸泡時間為 30 秒。

(3) 標準化瀝乾程序：

將線從水中取出後，垂直懸掛於無風環境下瀝乾 10 秒，以去除纖維表面多餘的游離水分，確保測得之數據反映纖維內部的實質吸水量。

(4) 濕重測定與計算：

立即對瀝乾後的線進行第二次稱重，記錄其含水後重量。隨後計算每公克單位質量吸水量。

2. 不同混紡比例與線力學強度之關聯

本實驗對大花咸豐草植物纖維與棉纖維混紡不同比例之線，進行承重拉力測試。各款線原則上測試三次，當結果落差明顯時增加數次，以提升數據可靠性。本實驗旨在測定不同線之極限承重強度，採用逐步增加負重觀察其斷裂的臨界點。



架設裝置測試



逐步增加負重



(1) 測試裝置架設

實驗採用自製承重測試裝置，確保試樣固定端穩固且受力方向垂直向下，以模擬拉伸之受力狀態。

(2) 增量加載程序

將待測線安裝於裝置後，採取循序加載方式，以 1kg 為增量單位逐級施加荷重，後

期採用 100g 砝碼逐級施加荷重。每級載重需維持穩定，直至試樣發生物理性斷裂，並記錄斷裂前之最終臨界荷重。

(3) 樣本取樣與數據篩選策略

針對每一組特定的混紡線，我們設定了 3 次重複實驗作為初始基準。這項設定是在建立初步的數據模型，觀察材料在相同條件下的基本表現。

實驗過程中，若發現測試數值波動過大，顯示環境干擾或材料不均質影響了穩定性，我們將依序增加測試組數。

持續進行測試直到獲得 3 組差異相近的數值，以排除實驗操作誤差或材料缺陷引起的數據落差。

(4) 數據彙整與統計

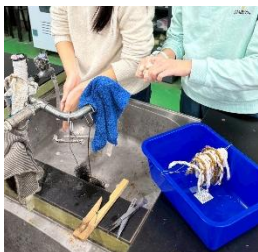
取符合上述收斂準則之 3 組有效數據，計算其算術平均值，定義為該線之「平均抗拉承重能力」，作為後續分析之基準。

3. 不同混紡比例及洗滌次數之承重拉力結果

本實驗要探討大花咸豐草**植物纖維與棉纖維混紡比例**對線耐洗性之影響。我們透過標準化洗滌流程與梯度承重測試，定量分析線在經歷多次洗滌循環後的強度保持率。



手工搓洗



每條線使用中性洗劑水溶液
反覆搓洗 20 次

吹風機烘乾



使用吹風機低溫烘乾（約 40°C）
至線的初始重量

(1) 樣本製備與初始校準

我們將每款比例的線抽取 3 條作為重複樣本，測試前統一將線置於恆溫室內 24 小時，避免環境濕度影響纖維韌度。

(2) 標準化洗滌循環程序

使用 1:500 比例的中性洗劑水溶液，模擬日常洗滌環境。將線浸泡 30 秒後，進行 20 次人工搓洗。接著使用低溫風（約 40°C）烘乾，並以電子秤秤重，確認「乾燥重量與洗滌前一致」（ $\pm 0.02\text{g}$ ），確保無水分殘留。

(3) 承重強度測試（拉伸試驗）

第一階段測試：反覆三次進行線搓洗風乾後以 3kg 做重量測試，未斷裂者進入第二階段測試。

第二階段測試：反覆三次進行線搓洗風乾後以 6kg 做重量測試，未斷裂者進入第三階段測試。

第三階段測試：反覆三次進行線搓洗風乾後以 7kg 做重量測試，未斷裂者進入第四階段測試。

第四階段測試：最後將線搓洗風乾後，從 7kg 開始逐一增加 1kg，直至線斷裂，記錄最大極限承重。

無效數據排除：若線斷裂於掛勾處而非線中段，視為誤差，需重新補測。

(4) 終點評估與數據分析

計算強度損耗：將洗滌後的平均承重值進行對比，計算其強度與存活百分比（%）。

陸、研究結果

一、不同混紡比例對吸水性能之比較

(一) 數據呈現與總體趨勢

表 1：不同比列混紡線的吸水量紀錄

A	淨重 ml	吸水後重 ml	吸水量 ml	每公克單位吸水量 ml/g	C	淨重 ml	吸水後重 ml	吸水量 ml	每公克單位吸水量 ml/g
0% 草	0.64	5.54	4.90	7.66	66% 草	0.64	5.02	4.38	6.84
	0.64	6.30	5.66	8.84		0.64	4.66	4.02	6.28
	0.64	6.00	5.36	8.38		0.62	4.62	4.00	6.45
	每公克單位平均吸水量			8.29		每公克單位平均吸水量			6.53
B	淨重 ml	吸水後重 ml	吸水量 ml	每公克單位吸水量 ml/g	D	淨重 ml	吸水後重 ml	吸水量 ml	每公克單位吸水量 ml/g
33% 草	0.64	3.64	3.00	4.69	100% 草	0.64	2.46	1.82	2.84
	0.58	4.14	3.56	6.14		0.62	1.98	1.36	2.19
	0.58	3.52	2.94	5.07		0.56	2.64	2.08	3.71
	每公克單位平均吸水量			5.30		每公克單位平均吸水量			2.92

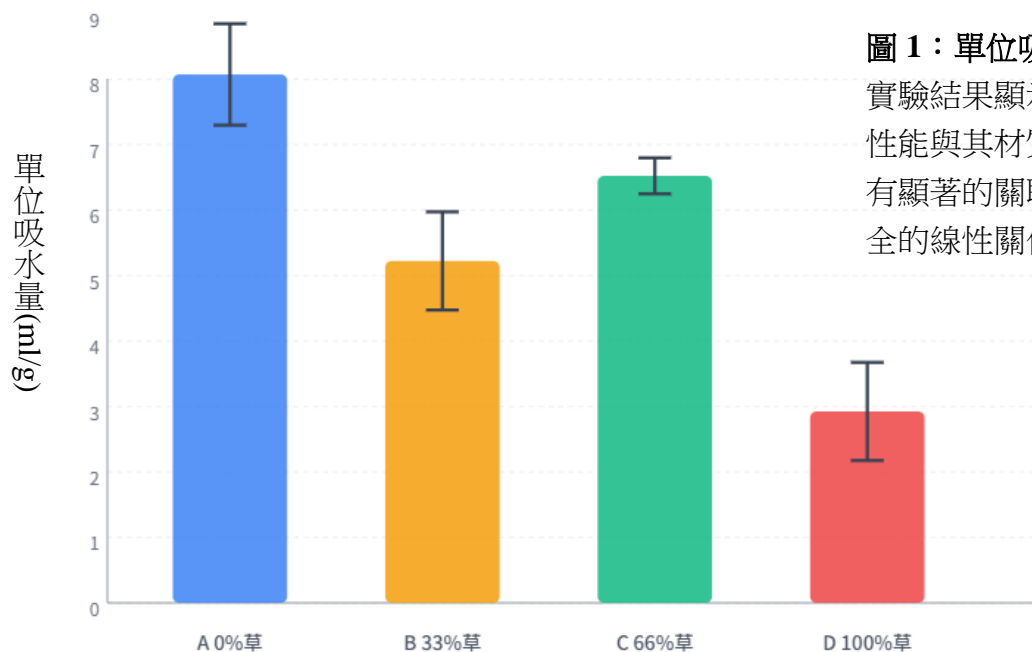


圖 1：單位吸水量比較圖
實驗結果顯示，線的吸水性能與其材質組成比例具有顯著的關聯，但並非完全的線性關係。

■ A 0%草 (8.29 g/g) ■ B 33%草 (5.30 g/g) ■ C 66%草 (6.53 g/g) ■ D 100%草 (2.92 g/g)

根據實驗所得數據（如表 1 及圖 1 所示），本實驗量化了四種不同草含量比例線之單位吸水量。實驗結果顯示，線的吸水性能與其材質組成比例具有顯著的關聯，但並非完全的線性關係。

2. 【A 組-0%草】展現了最強的吸水效能，平均單位吸水量達 $8.29\pm 0.59\text{ml/g}$ ，此結果符合棉纖維具備高度親水性之理論預期。
3. 【D 組-100%草】之吸水效能最低，僅為 $2.92\pm 0.76\text{ml/g}$ ，顯示單一草纖維在無混紡的情況下，其保水能力與親水性顯著弱於天然棉纖維。

(二) 混紡比例對吸水性之影響

在本實驗最關鍵的混紡對照中，觀察到一項顯著的非線性趨勢。

根據數據顯示，草含量較高之【C 組-66%草】（平均 6.53g/g ）其吸水表現竟優於草含量較低之【B 組-33%草】（平均 5.30g/g ）。

1. 毛細管道效應：初步推論，當草纖維比例達 66% 時，較為剛硬的草纖維可能在線內部撐開了更理想的微小孔隙，形成了更有效的毛細管結構，從而增加了水分的容納空間。
2. 編織緊密度影響：相較之下，【B 組-33%草】因棉纖維比例較高，編織後結構可能較為緊實，雖然親水性較高，但因內部孔隙過小，反而限制了水分進入線核心的速度與總量。
- 3.

(三) 實驗穩定性與可靠度分析

數據一致性：【C 組-66%草】之標準差最小（ $SD=0.28$ ），顯示該比例之線結構在多次實驗中表現最為穩定。

變異來源探討：B 組與 D 組之標準差較大（均為 $SD=0.76$ ），推測可能是在手動編織過程中，草纖維的粗細不一或編織力道微差，對這兩組樣本的結構均勻度產生了較大影響。

(四) 小結

實驗結果發現，雖然棉纖維是提供吸水動力的主體，但「混紡比例」會藉由改變線的物理空隙結構，進而干預最終的吸水表現。特別是【C 組 66%草】的組合，在材料成本與吸水效能之間展現了優於【B 組-33%草】的協同效應，具備進一步優化與應用之潛力。

二、不同混紡比例與線力學強度之關聯

(一) 數據呈現與總體趨勢

表 2：不同比例混紡線最大承重量紀錄

A 組-0%草			B 組-33%草			C 組-66%草			D 組-100%草		
編號	重量	最大承重量	編號	重量	最大承重量	編號	重量	最大承重量	編號	重量	最大承重量
8	0.66	17.5	15	0.54	5	3	0.52	7	19	0.52	6
7	0.66	14	14	0.54	11	2	0.52	6.9	15	0.52	5
3	0.66	17	9	0.54	13	1	0.52	4	13	0.52	6
4	0.62	9	19	0.58	9	11	0.56	7			
1	0.68	5	8	0.56	9						
			5	0.58	9						
平均承重		16.2	平均承重		9	平均承重		6.98	平均承重		5.67
每單位公克平均承重量		24.49	每單位公克平均承重量		15.7	每單位公克平均承重量		13.08	每單位公克平均承重量		10.91

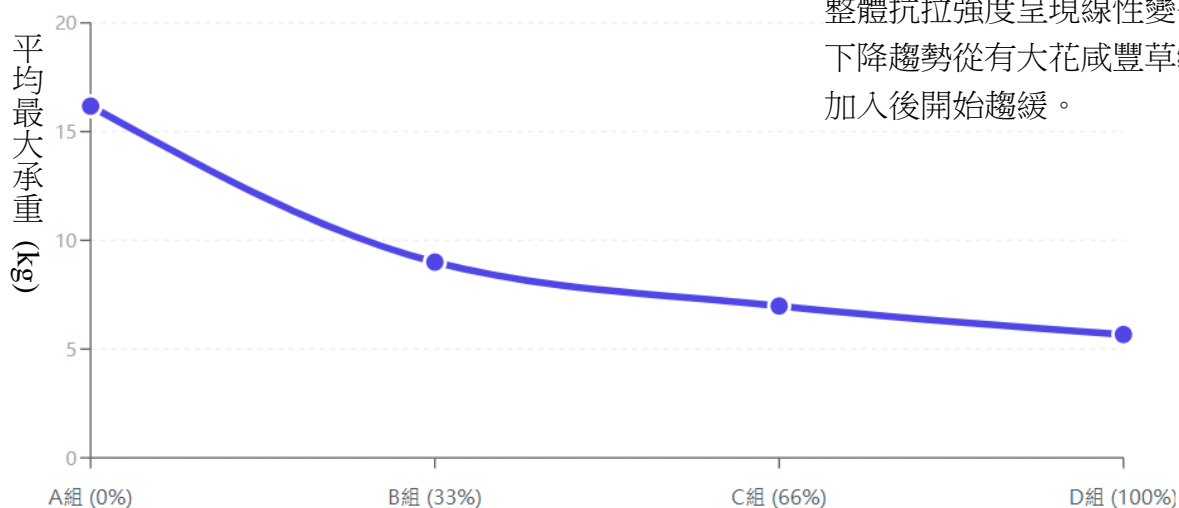
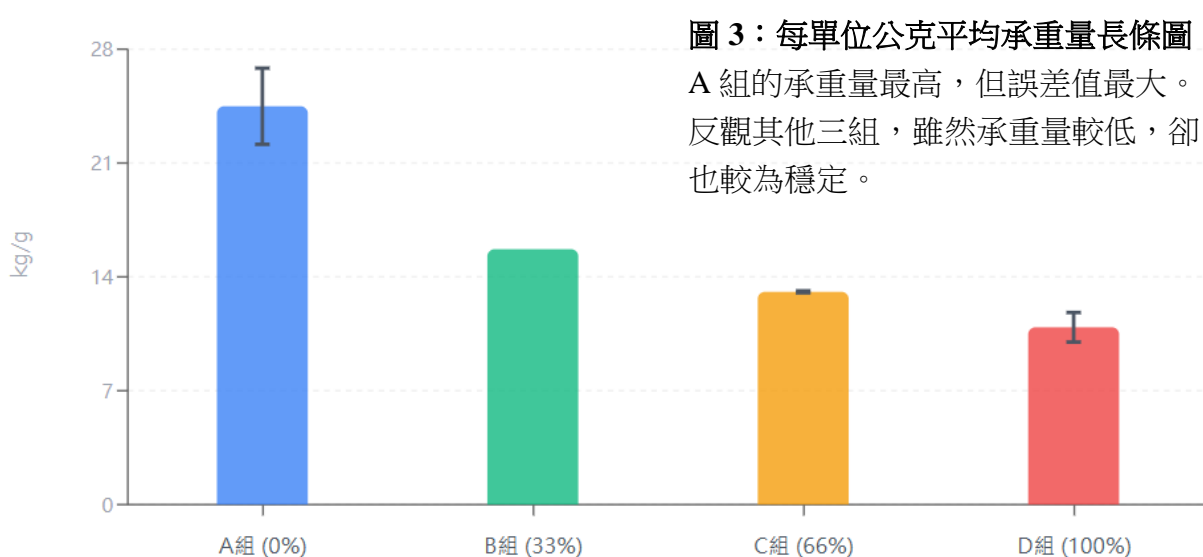


圖 2：平均最大承重量折線圖

整體抗拉強度呈現線性變化，下降趨勢從有大花咸豐草纖維加入後開始趨緩。

本實驗將樣本分為【A 組-0%草】、【B 組-33%草】、【C 組-66%草】及【D100%草組】四個組別。由表 2 及圖 2 可知，隨大花咸豐草纖維比例提升，整體抗拉強度呈現線性變化，下降趨勢從有大花咸豐草纖維加入後開始趨緩。且 D 組作為 100%純草對照組，其平均承載量為5.67kg，為全實驗之基準底線。

(二)實驗穩定性及可靠度分析



1. 高性能材料的敏感性 (A0%草組)：
實驗觀測到【A 組-0%草】雖然具備最高抗拉強度 (平均 16.17kg)，但其標準偏差亦為全實驗最高 (SD=1.44)。推論在高強度的合成纖維結構中，微小的實驗誤差 (如試樣安裝的角度偏差或編織節點的受力不均) 會被顯著放大。
2. 混紡結構的機械平衡 (B 組與 C 組)：
我們發現在於【B 組-33%草】與【C 組-66%草】的數據顯示【B 組-33%草】在連續三次測試中皆精準落於 9.00kg (SD=0)，而【C 組-66%草】的數據亦極其收斂 (SD = 0.03)。這種「低誤差」或「較不離散」現象，可能是數據量不足所致。是否在特定的混紡比例下，線內部的天然纖維與合成纖維可達成了力學上的平衡，還有待評估。
3. 天然纖維的本徵變異 (D 組)：
【D 組-100%草】的穩定度 (SD=0.47) 介於 A 組與 B、C 組兩者之間，這反映了大花咸豐草的植物纖維本身雖具備生物異質性 (如纖維粗細、含水率差異)，但其波動程度仍遠低於【A 組-0%草】，顯示大花咸豐草纖維在達到斷裂臨界點時的力學表現相對單一。

(三)小結

實驗結果顯示，【A 組-0%草】在極限荷重測試中展現出最優異的抗拉強度。相較之下，其餘三組混紡試樣雖在多次測試中表現出較高的數據重現性，但其最大荷重均未超越【A 組-0%草】對照組。【D 組-100%草】試樣，且在結構穩定性與抗失效表現上，遠超純棉與其他比例混紡組。

三、不同混紡比例及洗滌次數之承重拉力結果

(一)實驗數據總覽與統計趨勢

表 3：不同混紡比例的耐洗度紀錄

	編號	原重	連繩重	3kg			6kg			7kg			最後承重量
				第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	
A 組-0%草	14	0.68	0.92	0.94	0.96	0.96	0.92	0.84	0.84	0.88	0.88	0.86	11kg
	5	0.68	0.96	0.96	0.94	0.96	0.86	0.74	0.84	0.84	0.86	0.84	9kg
	3	0.68	0.94	0.98	0.98	0.96	0.96	0.96	0.92	0.92	0.94	0.92	14kg
B 組-33%草	6	0.64	0.86	0.84									
	3	0.64	0.86	0.86	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.82	0.78	11kg
	2	0.64	0.86	0.84	0.78	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.84	0.74	12kg
	7	0.64	0.86	0.88	0.88	0.88	0.86	0.86	0.86	0.82	0.86	0.84	10kg
C 組-66%草	18	0.66	0.94	0.9	0.96	0.92	0.92	0.9					
	8	0.66	0.9	0.96	0.96	0.92	0.86	0.84	0.84	0.72	0.78		
	2	0.66	0.92	0.96	0.96	0.84	0.88						
D 組-100%草	16	0.5	0.74	0.76	0.76	0.72	0.7						
	9	0.48	0.7	0.74	0.72	0.7	0.68	0.62	0.64	0.64			
	5	0.48	0.74	0.78	0.76	0.76	0.72	0.66	0.66				

圖 4：不同混紡比例線在數次洗滌後，最大承重量長條圖
 AB 組雖承重較高，但離散程度較大且不穩定；CD 組數據集中、穩定性強，唯整體抗拉強度顯著低落。

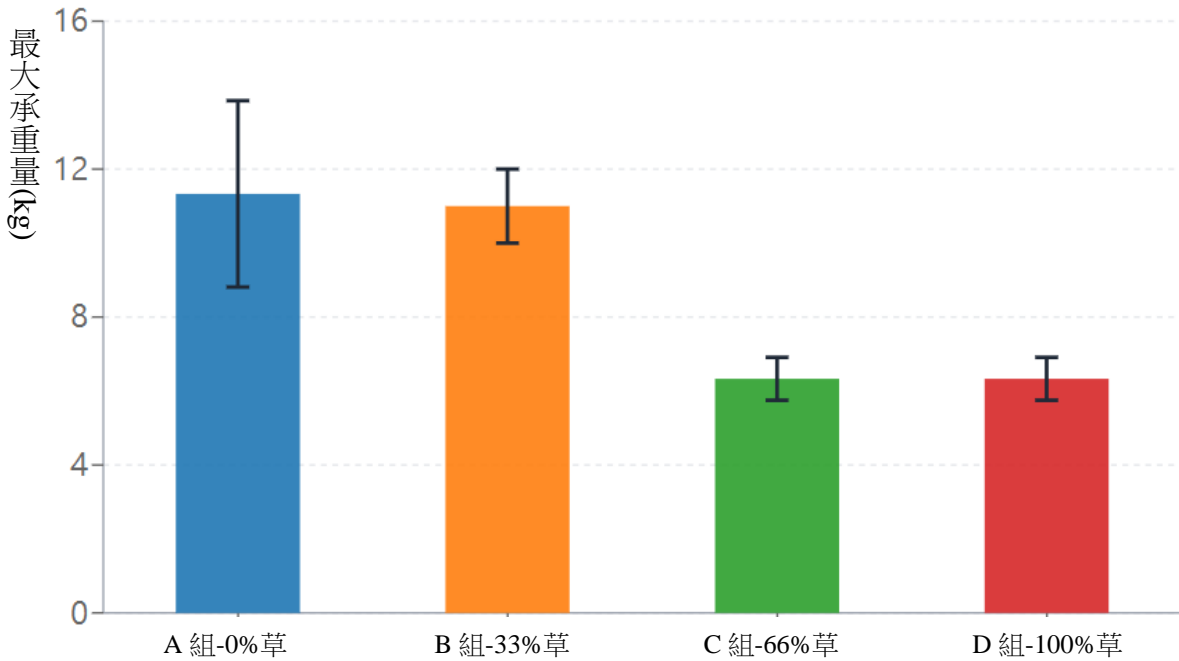
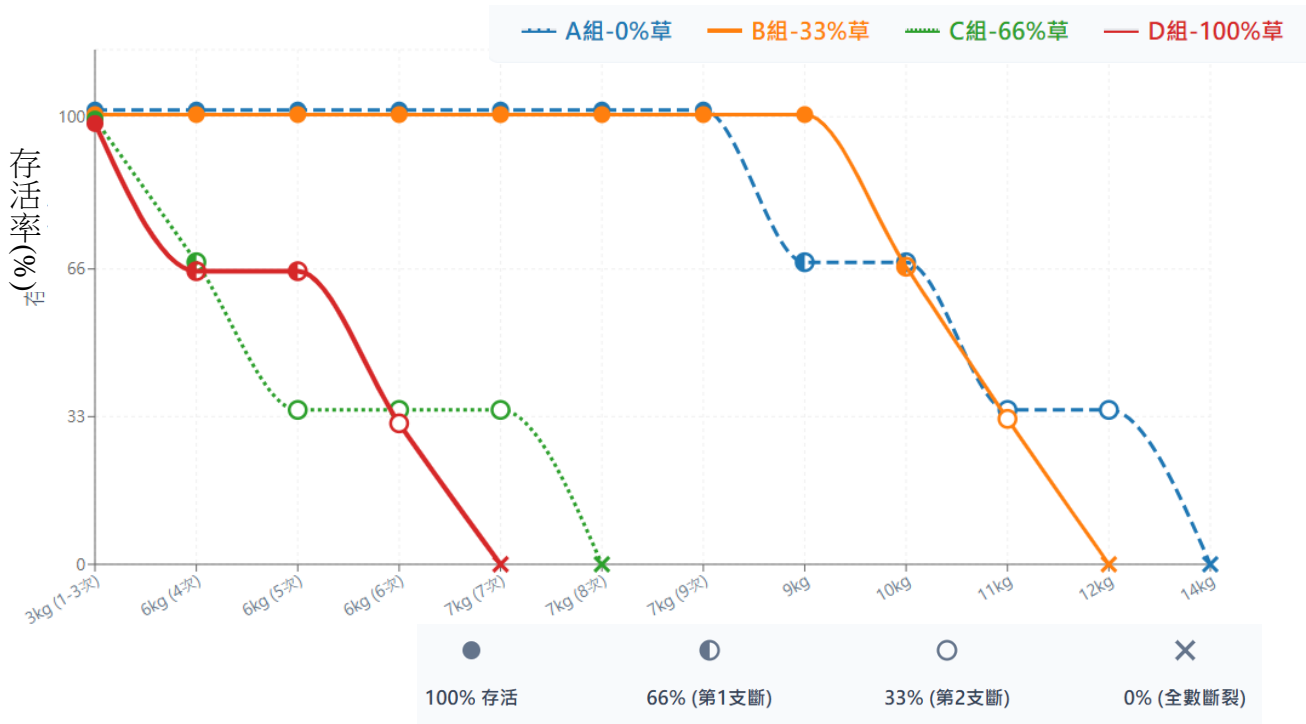


圖 5：負荷-存活率變化曲線

AB 組耐洗性優於 CD 組。其中 A 組具最大承重量，但 B 組數據離散度較低，展現更佳的結構穩定性。



根據實驗紀錄（表 3、圖 4、圖 5），我們將不同比例的草含量組別（A 組-0%草、B 組 33%草、C 組-66%草、D 組-100%草）在漸進式負荷測試下的表現整理如下：

1. 高強度區間 (A 組-0%草、B 組-33%草)：

【A 組-0%草】與【B 組-33%草】在 9kg 負荷之前，存活率皆保持 100%。兩者的平均最大承重分別為 11.33kg 與 11.00kg，差距極小，顯示添加 33%的草纖維並未顯著降低線的基础抗拉強度，但【B 組-33%草】卻能提高線的穩定性。

2. 結構轉折點與性能斷崖 (B 組-33%草、C 組-66%草)：

當草含量從【B 組-33%草】提升至【C 組-66%草】時，平均承重從 11.00kg 劇降至 6.33kg。這顯示草纖維的比例存在一個「臨界值」，一旦超過 (>66%)，草纖維將由「增強/填充」角色轉變為「破壞結構穩定性」的角色，導致強度出現斷崖式下降。

(二) 材料物理穩定性討論 (標準差分析)

從圖 4 的誤差條中可以觀察到有趣的現象：

【A 組-0%草】的標準差最大 (SD=2.52)。這可能代表純綿線在極限負荷下，受單一様本的微小瑕疵影響較大，導致數據較為離散。【B 組-33%草】：標準差最小 (SD=1.00)。這顯示在添加適量 (33%) 草纖維後，樣本間的性能表現最為一致。這可能意味著草纖維在適當比例下，能起到填充線孔隙或重新分布受力的作用，進而提升了線整體的物理穩定性。

(三) 重複測試與疲勞失效機制

圖 5 的存活曲線結合「測試次數」顯示了線的疲勞特性：

1. 時間相關失效：

以【C 組-66%草】與【D 組-100%草】為例，樣本多數並非在剛掛上 6kg 或 7kg 時立即斷裂，而是在該重量的「第二次」或「第三次」測試（已累積 5、6 次測試）時失效。這說明了實驗設計中的「重複測試」確實對線造成了累積損傷。

2. 搓洗與纖維弱化：

草纖維屬於非連續性纖維，且本身的結合力較弱。在重複搓洗與負載過程中，纖維表面處容易產生微裂紋。草含量越高（如 C、D 組），這些微裂紋相互破壞的速度越快，導致線在較低負荷下因疲勞而失效。

(四) 小結

1. 本實驗發現【B 組-33%草】為最佳比例。它維持了接近【A 組-0%草】強度的同時，具備了最高的物理穩定性（標準差最低），且在 9kg 以內的抗疲勞表現與【A 組-0%草】一致。
2. 當大花咸豐草含量達到 66%以上時，草纖維成為材料的主體時，由於其缺乏韌性且結合力差，無法有效傳導受力，導致材料強度大幅衰減。
3. 觀察發現，線在製作過程中的粗細、搓製緊密度與含水量略有差異，可能影響承重表現。洗滌會使纖維略微膨脹或鬆散，進一步影響承重。

柒、討論

一、纖維提取方法與材料適用性

大花咸豐草的莖部纖維在提取方式上，**鹼煮法（5%氫氧化鈉溶液）**為較佳選擇，不僅能高效處理雜質，所需時間更僅為水浸法的約十分之一，大幅縮短製備週期。此外，純草線即使不含棉纖維，仍具備一定的承重能力與韌性，證實其本身具有承受拉力的基本結構條件與天然線潛力。

二、力學強度與結構穩定性

根據實驗發現，**【A 組-0%草】**承重上表現最為優異，顯現出極佳的抗拉強度與結構支撐力。然而，觀測其數據分佈規律，**【A 組-0%草】**、**【B 組-33%草】**、**【C 組-66%草】**的測量次數較多且較離散，反映出該材料在受力極限上具備較高的不確定性。相對而言，**【D 組-100%草】**的平均承重雖較低，但其數據分佈極為集中，展現出高度**一致性**。這種低變異的特性，說明了純草材料在物理性質上具備更優異的**數據穩定度**與可預測性。

三、吸水性與結構緊密度的「非線性」關聯

線的吸水量與其內部結構特性密切相關：吸水量高反映纖維間隙大、結構鬆散；吸水量低則顯示纖維排列緊密。交叉分析證實，**高吸水能力不必然具有最高承重能力**，承重關鍵在於纖維排列的緊密度與摩擦力。有趣的是，混紡比例對吸水性呈現非線性影響：純棉線吸水最高、純草線最低，但在混紡組中，**草含量較高的【C 組-66%草】**吸水表現竟優於**草含量較低的【B 組-33%草】**。這是因為剛硬的草纖維在線內部撐開了微小孔隙，產生「毛細管道效應」增加水分容納空間，而**【B 組-33%草】**因棉的比例高、結構較緊實，反而限制了吸水量。

四、洗滌疲勞機制與耐用度評估

不同混紡比例的線在承重表現上呈現明顯的區段化特徵。**【A 組-0%草】**與**【B 組-33%草】**的平均最大承重量均維持在 11kg 以上的高標準，兩者表現相近，顯示在低草含量下，棉線纖維仍能維持主導性的結構強度。相對地，當草含量提升至**【C 組-66%草】**與**【D 組-100%草】**時，承重均值顯著下降至約 6kg 左右，且此兩組間的表現亦無顯著差異。這項趨勢顯示，線的力學性能並非隨著草含量增加而呈線性遞減，而是在 33%至 66%的混合區間內可能存在一個關鍵的性能轉折點。

捌、結論

一、大花咸豐草具備天然線開發潛力與綠色環保價值

實驗結果發現，大花咸豐草具備作為天然紡織材料的潛力，純草線能承受一定拉力，且「鹼煮法」為最高效的提取方式。將校園中常被視為廢棄物的大花咸豐草轉化為天然纖維，不僅能賦予植物新價值，還能減少對石化塑膠的依賴，為開發低碳、可自然分解的環保材料提供可行方向。

二、【33%草纖維+66%棉纖維】為兼顧強度與低標準差的最佳混紡比例

此混紡比例在力學與洗滌疲勞測試中表現最為優異，不僅展現了接近純棉線的高承重力，更擁有全組最低的標準差。適當比例的天然植物纖維與棉纖維能產生結構互補效果，大幅降低純棉線易因微小瑕疵斷裂的變異性，是物理性質最穩定的組合。

三、【66%草纖維】具備特殊的吸水應用潛力

雖然純草纖維本身親水性不佳，但特定比例的混紡（66%大花咸豐草纖維）能利用剛硬的草纖維撐開內部結構，形成極佳的孔隙，使吸水量反超【B組-33%草】。此特性在未來極適合應用於需要特定吸水、保水功能的園藝或農業用線開發。

四、材料特性多面向互補與未來研究方向

高吸水的純棉線與低吸水的純草線各有其韌性與支撐力優勢，凸顯出材料組合能決定不同力學表現與多用途潛力。未來研究建議可利用顯微鏡觀察線斷裂面，以確認破壞機制是發生在草纖維本身或交界面；同時可加入「濕度」或「浸水時間」作為環境變因，進一步探討草纖維吸水膨脹後對線承重能力的微觀影響。

玖、參考文獻

1. 鐘明哲 (2021) 大花咸豐草之生態特性與分布研究。
2. 卜德玥、卜德璇、黃芷謙 (2020)。大花咸豐草莖部組織結構與支持細胞特性分析。
3. 許玉瑩、鄭昭德、張德宜.(2017)植物纖維素改質技術及其應用. 材料世界網.
<https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=25252>
4. 林志英.(無)泰雅族整理傳統苧麻線的方法。台灣文化記憶庫。
https://tcmb.culture.tw/zh-tw/detail?indexCode=Culture_Invisible&id=321489
5. Boerjan, W., Ralph, J., & Baucher, M. (2003).
Lignin biosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, 54, 519 – 546.
6. Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2012).
Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000 – 2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552 – 1596.
7. Kabir, M. M., Wang, H., Lau, K. T., & Cardona, F. (2012).
Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 43(7), 2883 – 2892.
8. Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2012).
Mechanics of Materials (8th ed.). Cengage Learning.
9. Ashby, M. F., & Jones, D. R. H. (2013).
Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications and Design (4th ed.). Butterworth-Heinemann.