

屏東縣第 63 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：生活與應用科學科（二）

組 別：國小組

作品名稱：瓊麻特弓

關鍵詞：瓊麻纖維、弓毛

編號：A7015

摘要

在學校，我們學到傳統文化知識；在生活，我們實際走訪體驗，深刻了解恆春半島瓊麻產業的辛苦與價值，可惜這樣的文化已成歷史，雖然我們了解這項技術，但仍無法讓瓊麻更有意義。小提琴的琴聲，是因為琴弦與弓毛磨擦震動，我們研究瓊麻與不同植物纖維的摩擦力和耐磨性，發現瓊麻纖維的韌性，發現瓊麻纖維塗抹松香後，黏附松香效果佳，摩擦力也增加，我們試著從植物取纖，浸泡鹼性溶液，到自製弓毛，瓊麻纖維替代小提琴原來的尼龍材質，讓植物瓊麻也能演奏出優雅的旋律，將傳統文化賦予新的生命，我們希望能用心起念、著手開始。

壹、前言

一、研究動機

中年級校外教學時，老師帶我們去龍水社區生態旅遊，走訪社區，耆老教我們利用瓊麻纖維，編織製作成環保水壺提袋（圖 1），提醒我們減少使用一次性的垃圾，為保護環境盡一點心力。自然課植物單元，老師介紹到恆春半島特有植物—瓊麻，以前瓊麻纖維可以製作成繩索、漁網，卻因尼龍繩的出現而沒落，瓊麻曾為恆春半島帶來經濟富裕的歷史，如今真的沒有價值了嗎？



▲ 圖 1. 用瓊麻纖維編織製作提袋

有一次同學參加小提琴社團，因為弓毛斷裂問題，而提早回教室上課，同學說，他的弓毛斷光了而無法練琴，我們思考著，弓毛竟然是消耗品，那瓊麻纖維如此堅固有韌性，是否能替代小提琴的尼龍弓毛呢？弓毛刮動琴弦來產生聲音，要有摩擦力且耐磨性，我們想測試看看瓊麻纖維能否做到，其他長纖維的植物，也是如此嗎？該如何用自然課本所學知識來檢測？我們想再創造一次瓊麻的價值，試著將瓊麻植物用在不同領域上，進而探究實作。

二、文獻回顧

(一) 長纖維植物—瓊麻、月桃、香蕉、苧麻

1. 瓊麻：瓊麻葉所含硬質纖維，品質優良，恆春半島曾經滿山遍野都栽種瓊麻植物，是最重要的經濟作物。
2. 月桃：莖狀的葉鞘，曬乾後可以編製成草蓆或做繩索，也可用月桃葉包粽子。
3. 香蕉：美味的水果，莖皮纖維曬乾後，韌性極強，可當繩索或來拿編織。
4. 苧麻：現在只有原住民部落零星種植，苧麻莖富含纖維，可採製纖維做傳統式布料及旅袋用。

(二) 小提琴弓毛與松香

弓毛要能黏附或勾住松香，才能增加對琴弦的摩擦，拉弓時牽動琴弦而振動，產生聲音。小提琴弓毛根據材質，可分為兩類：

1. 馬毛：用顯微鏡觀察，會看到每根馬尾的表面都有很多倒刺。這些倒刺可以抓住松香微粒，使弓毛與琴弦摩擦時發出聲音，但是動物纖維容易發黃、變脆，這些倒刺在使用過程中逐漸磨損消耗，弓毛摩擦發音的能力也就逐漸衰退，甚至打滑，且馬尾價位較高又不好保養。
2. 尼龍：較廉價的小提琴弓毛，我們學校小提琴社團是採用尼龍材質，其弓毛是用細尼龍線做的，外觀與馬尾做十分相似。可是尼龍線絲上沒有馬尾特有的細小倒刺，所以即使在這些尼龍絲上面擦很多松香，也無法像真正的馬尾那樣，勾掛住松香。

三、研究目的

- (一) 探討恆春半島瓊麻、月桃、香蕉、苧麻取纖過程，並觀察纖維。
- (二) 檢測不同植物纖維對琴弦，所產生的摩擦力。
- (三) 檢測不同植物纖維對琴弦，所產生的耐磨性。
- (四) 檢測小提琴弓毛材質不同時的聲頻。
- (五) 利用鹼性溶液影響瓊麻纖維，並觀察測試。

貳、研究設備及器材

			
瓊麻	月桃	香蕉	苧麻
			
刮除葉肉用具	馬尾	小提琴	松香
			
琴弦	弓	顯微鏡	氫氧化鈉
			
電子秤	砝碼	實驗教具器材	軟體—phyxos

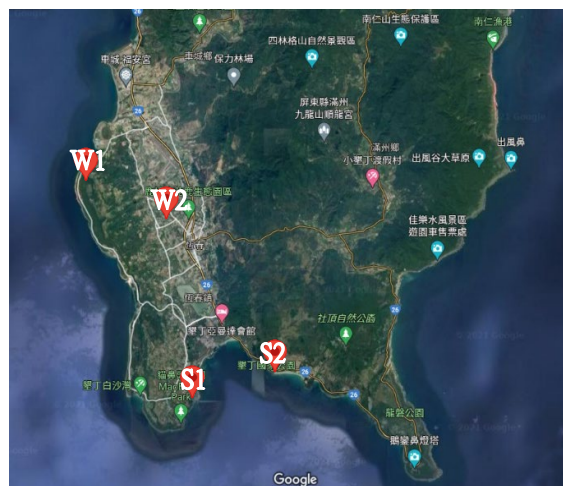
參、研究過程與方法

一、探討恆春半島瓊麻、月桃、香蕉、苧麻取纖過程，並觀察纖維

(一) 尋找植物分布採樣：進行採樣時記錄採樣地點、座標（圖 2、圖 3、表 1）。

植物名稱	採樣點代號	地形特色	座標
瓊麻	S1	台灣最南端貓鼻頭，珊瑚礁地形	21.929222 N 120.741894 E
瓊麻	S2	石牛溪，人潮較少的白沙海域	21.945551 N 120.785260 E
月桃	W1	車城後灣，泥地長滿茂密植物	22.033502 N 120.689718 E
香蕉	W2	恆春四溝里，農民田地、土壤肥沃	22.014171 N 120.727814 E

▲ 表 1. 植物採樣地點代號、地形特色、座標



▲ 圖 2. 採樣地點



▲ 圖 3. 於恆春半島採集植物纖維

(二) 取得植物纖維

1. 瓊麻：手工刮除瓊麻葉肉。將肥厚的葉肉先用槌子敲平、敲軟，再刮除葉肉，不可來回刮。用清水洗淨，曬乾。(圖 4)
2. 月桃：手工刮除月桃葉鞘的肉。用清水洗淨，曬乾。(圖 5)
3. 香蕉：手工刮除香蕉莖的肉。將肥厚的莖先一層一層撥開，從莖的一半長度開始往右刮，不可來回刮。露出纖維後，再繼續刮除另一半的肉。用清水洗淨，曬乾。(圖 6)
4. 苧麻：因恆春半島實在找不到苧麻植物，老師從台東原住民部落，取得一些苧麻纖維給我們實驗觀察。



▲ 圖 4. 手工刮除瓊麻



▲ 圖 5. 手工刮除月桃



▲ 圖 6. 手工刮除香蕉

(三) 觀察各種植物纖維結構

利用高倍顯微鏡（目鏡 10 倍×物鏡 4 倍），觀察纖維塗抹松香前後差異。可惜我們沒有數位鏡頭，只能用手机翻拍，所以畫面沒有這麼清楚。（圖 7）



▲ 圖 7. 觀察植物纖維

二、 檢測不同植物纖維對琴弦，所產生的摩擦力

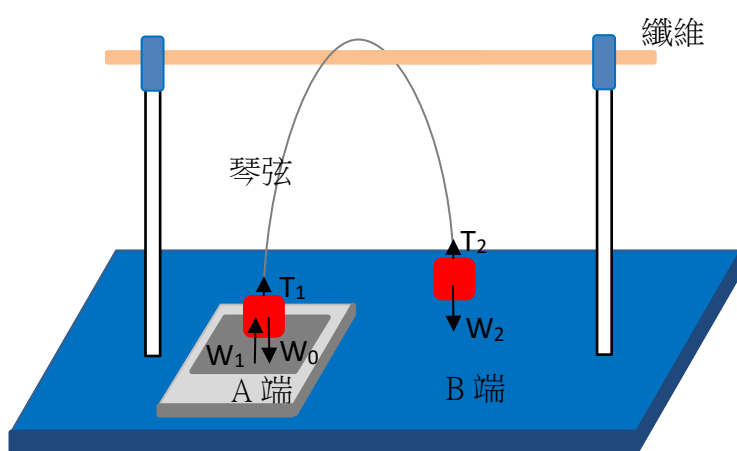
自然課學到力與運動，進行摩擦力單元時，我們進行了推硬幣、木塊的實驗，了解生活中很多摩擦力的現象，我們為了研究植物纖維是否能與琴弦相互作用，分別取不同植物纖維，測出其靜摩擦力。而松香可以讓琴弓和琴弦之間，增加摩擦力，因此，我們檢測植物纖維，塗抹 30 下松香後，對琴弦摩擦力的影響數值。

一開始我們利用自然課本中，摩擦力實驗的教法來觀察，但是發現此方法，眼力要非常好，實在無法準確用肉眼觀測出植物纖維的最大靜摩擦力，我們改良實驗裝置，採用懸掛式，將植物纖維一端掛上 10g 砝碼，並放置於電子秤上，另一端慢慢增加重量，並觀察電子秤顯示重量，即可準確的知道最大靜摩擦力數值。

製作實驗裝置：

- (一) 分別取植物纖維 50 條為一束，綁在支架上。
- (二) 將琴弦 A 端掛上 10g 重的砝碼，並放置於電子秤上，測得重量為 W_0 。
- (三) 繞過植物纖維，在琴弦 B 端掛重 W_2 ，並讀取電子秤上的數值 W_1 。
- (四) A 端電子秤變輕時候的數值 $W_0 - W_1$ ，也就是 A 端琴弦的拉力 T_1 。

- (五) B 端琴弦的拉力大小 T_2 等於 B 端的掛重重量 W_2 。
- (六) 不同植物纖維所造成的摩擦力有所不同，使 A、B 兩端琴弦拉力不同，兩端拉力差 $T_2 - T_1$ ，即為摩擦力大小。
- (七) 當 A 端電子秤數值為零時，代表達到最大靜摩擦力。
- (八) 於植物纖維上塗抹 30 下松香後，繼續測試與琴弦的摩擦力之比較。
- (九) 實驗裝置示意圖（圖 8），實驗裝置實體圖（圖 9）。



▲ 圖 8. 摩擦力實驗裝置示意圖



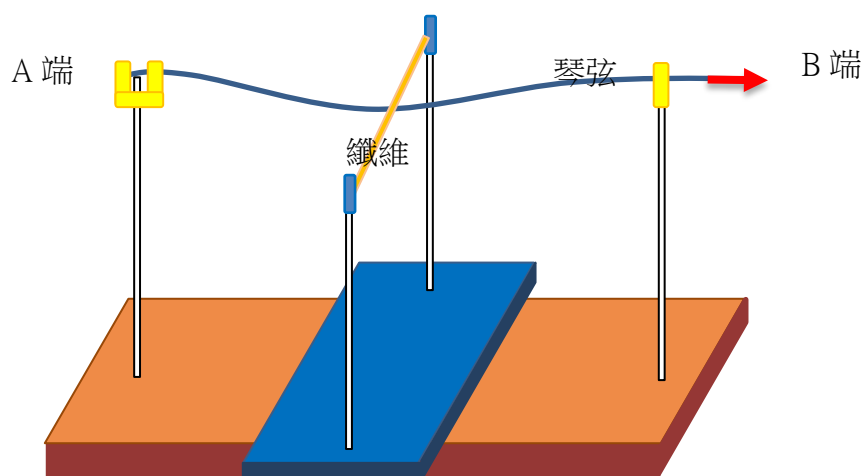
▲ 圖 9. 摩擦力實驗裝置實體圖

三、 檢測不同植物纖維對琴弦，所產生的耐磨性

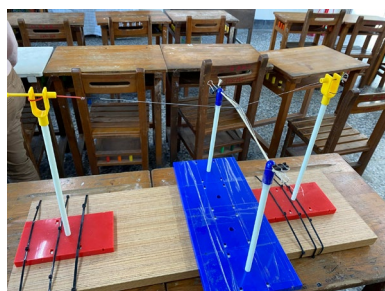
探討完摩擦力後，我們想了解在一定拉力下，弓毛接觸面以一定速度滑過一根金屬琴弦時的耐磨性。

製作實驗裝置：

- (一) 取纖維 50 條為一束，綁在較低的 20 公分的藍色支架上。
- (二) 將琴弦 A 端用橡皮筋固定住在較高的 30 公分的木板支架上。
- (三) 繞過纖維，在琴弦 B 端用手拉住，使琴弦可以拉動。
- (四) 每束纖維塗抹 30 下松香。
- (五) 利用拉力裝置，以每秒來回一下的速度，規律的拉動琴弦。
- (六) 實驗裝置示意圖（圖 10），實驗裝置實體圖（圖 11）。



▲ 圖 10. 耐磨性實驗裝置示意圖



▲ 圖 11. 耐磨性實驗裝置實體圖

四、 檢測小提琴弓毛材質不同時的聲頻

(一) 將植物纖維製作成弓

接著我們分別做了五把不同材質的弓，尼龍、瓊麻、月桃、香蕉、苧麻（圖 12）。因為小提琴的弓，一把價錢實在太貴了，我們買二胡的弓，嘗試綁上自己製作的弓毛，每把弓完成後，塗抹 30 下松香，用同一把小提琴，先調好音，再測試我們自製的弓，測其音準及波形。



▲ 圖 12. 自製弓毛

(二) 利用程式—phyphox

上網搜尋測量聲音頻率的程式，找到一個免費的軟體—phyphox，我們用來比對小提琴尼龍弓毛與自製植物纖維弓毛的聲頻。（圖 13）



▲ 圖 13. 檢測自製弓毛的聲頻

五、利用鹼性溶液影響瓊麻纖維，並觀察測試

因為瓊麻纖維本身耐海水性極佳，所以我們利用鹼性溶液，希望能對瓊麻纖維易分岔的情形有所改善。將氫氧化鈉強鹼溶液稀釋成低濃度弱鹼溶液（氫氧化鈉：水=15 公克：1000 毫升），避免因鹼性濃度過高，使植物纖維浸泡過度而變成溶解狀態（圖 14）。

氫氧化鈉溶液加熱其實很危險，所以我們採用浸泡方式，比對延長浸泡時間，反應是否更加充足。

- (一) 取 15g 氫氧化鈉。
- (二) 加入 1000ml 水中溶解稀釋成 1.5% 的氫氧化鈉水溶液。
- (三) 分別浸泡 6 小時、12 小時及 24 小時。
- (四) 反覆用清水清洗至 PH 值呈中性，自然曬乾。
- (五) 製作成弓毛。
- (六) 用高倍顯微鏡觀察，並測試其演奏聲頻。

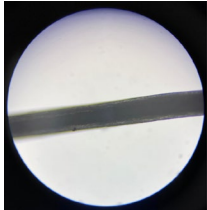
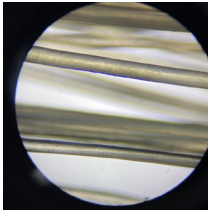
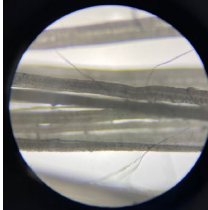
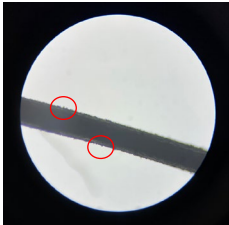
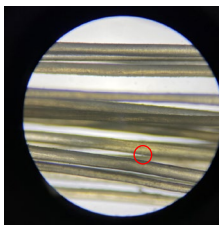
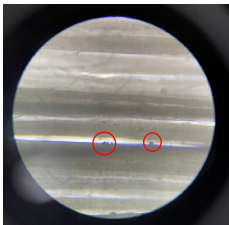


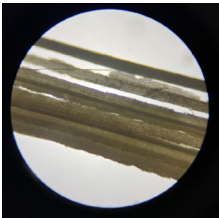
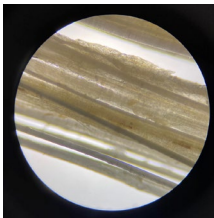
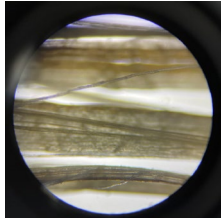
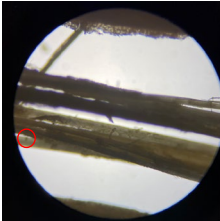

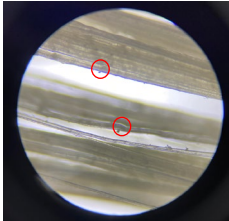
▲ 圖 14. 利用氫氧化鈉讓瓊麻纖維更乾淨

肆、研究結果

一、探討恆春半島瓊麻、月桃、香蕉、苧麻取纖過程，並觀察纖維

松香在顯微鏡下是透明晶體，不太容易觀察，但有些地方仍可以發現塗抹後會勾到、黏附到松香。(圖 15)

纖維材質	馬尾	尼龍	瓊麻
目鏡 10 倍×物鏡 4 倍 未塗抹松香			
目鏡 10 倍×物鏡 4 倍 塗抹松香 30 下			

纖維材質	月桃	香蕉	苧麻
目鏡 10 倍×物鏡 4 倍 未塗抹松香			
目鏡 10 倍×物鏡 4 倍 塗抹松香 30 下			

▲ 圖 15. 顯微鏡下，纖維塗抹松香前後觀察（紅圈表示有明顯的松香勾付著）

二、 檢測不同植物纖維對琴弦，所產生的摩擦力

(一) 未塗抹松香，以 50 條纖維為一束，測試與琴弦的摩擦力關係，共三次重複測驗。

1. 尼龍材質

A 端掛重 W _A (g)	B 端掛重 (B端拉力) W _B = T ₂ (g)	A 端電子秤 重量數值 W ₁ (g)			A 端拉力 T ₁ (g)			摩擦力 f T ₂ -T ₁ (g)			B 端拉力與 A端拉力的比值 T ₂ / T ₁ (g)		
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
10.0	10.0	3.69	5.28	3.3	6.31	4.72	6.7	3.69	5.28	3.3	1.585	2.119	1.493
10.0	12.0	2.99	4.03	3.02	7.01	5.97	6.98	4.99	6.03	5.02	1.712	2.01	1.719
10.0	14.0	2.46	3.59	2.76	7.54	6.41	7.24	6.46	7.59	6.76	1.857	2.184	1.934
10.0	16.0	1.29	3.18	2.1	8.71	6.82	7.9	7.29	9.18	8.1	1.837	2.346	2.025
10.0	18.0	0.73	2.11	0.59	9.27	7.89	9.41	8.73	10.11	8.59	1.942	2.281	1.913
10.0	20.0	0.36	0.57	0	9.64	9.43	10	10.36	10.57	10	2.075	2.121	2
10.0	22.0	0	0.54		10	9.46			12.54		2.2	2.326	
10.0	24.0		0			10			14			2.4	
拉力比值平均 =											1.887	2.223	1.847

2. 瓊麻纖維

A 端掛重 W _A (g)	B 端掛重 (B端拉力) W _B = T ₂ (g)	A 端電子秤 重量數值 W ₁ (g)			A 端拉力 T ₁ (g)			摩擦力 f T ₂ -T ₁ (g)			B 端拉力與 A端拉力的比值 T ₂ / T ₁ (g)		
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
10.0	10.0	3.79	4.59	3.41	6.21	5.41	6.59	3.79	4.59	3.41	1.610	1.848	1.517
10.0	12.0	3.1	4.29	3.03	6.90	5.71	6.97	5.10	6.29	5.03	1.739	2.102	1.722
10.0	14.0	2.68	2.55	2.69	7.32	7.45	7.31	6.68	6.55	6.69	1.913	1.879	1.915
10.0	16.0	1.69	2.35	1.81	8.31	7.65	8.19	7.69	8.35	7.81	1.925	2.092	1.954
10.0	18.0	0.97	1.03	0.68	9.03	8.97	9.32	8.97	9.03	8.68	1.993	2.007	1.931
10.0	20.0	0	0.24	0	10.00	9.76	10.00	10.00	10.24	10.00	2.000	2.049	2.000
10.0	22.0		0			10.00			12.00			2.200	
拉力比值平均 =											1.863	2.025	1.840

3. 月桃纖維

A 端掛重 W _A (g)	B 端掛重 (B端拉力) W _B = T ₂ (g)	A 端電子秤 重量數值 W ₁ (g)			A 端拉力 T ₁ (g)			摩擦力 f T ₂ -T ₁ (g)			B 端拉力與 A端拉力的比值 T ₂ / T ₁ (g)		
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
10.0	10.0	4.24	3.66	3.54	5.76	6.34	6.46	4.24	3.66	3.54	1.736	1.577	1.548
10.0	12.0	3.46	3.39	3.1	6.54	6.61	6.90	5.46	5.39	5.10	1.835	1.815	1.739
10.0	14.0	2.99	2.8	2.36	7.01	7.20	7.64	6.99	6.80	6.36	1.997	1.944	1.832
10.0	16.0	2.58	1.82	1.37	7.42	8.18	8.63	8.58	7.82	7.37	2.156	1.956	1.854
10.0	18.0	1.6	0.99	0	8.40	9.01	10.00	9.60	8.99	8.00	2.143	1.998	1.800
10.0	20.0	0	0		10.00	10.00		10.00	10.00		2.000	2.000	
拉力比值平均 =											1.978	1.882	1.755

4. 香蕉纖維

A 端掛重 $W_0(g)$	B 端掛重 (B端拉力) $W_2 = T_2(g)$	A 端電子秤 重量數值 $W_1(g)$			A 端拉力 $T_1(g)$			摩擦力 f $T_2 - T_1(g)$			B 端拉力與 A 端拉力的比值 $T_2 / T_1 (g)$		
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
10.0	10.0	4.58	4	4.8	5.42	6.00	5.2	4.58	4.00	4.80	1.845	1.667	1.923
10.0	12.0	3.84	3.37	4.45	6.16	6.63	5.55	5.84	5.37	6.45	1.948	1.810	2.162
10.0	14.0	3.01	2.43	3.97	6.99	7.57	6.03	7.01	6.43	7.97	2.003	1.849	2.322
10.0	16.0	2.36	1.54	3.63	7.64	8.46	6.37	8.36	7.54	9.63	2.094	1.891	2.512
10.0	18.0	2.11	0.84	3.13	7.89	9.16	6.87	10.11	8.84	11.13	2.281	1.965	2.620
10.0	20.0	1.01	0.43	0.98	8.99	9.57	9.02	11.01	10.43	10.98	2.225	2.090	2.217
10.0	22.0	0.41	0	0.18	9.59	10.00	9.82	12.41	12.00	12.18	2.294	2.200	2.240
10.0	24.0	0		0	10.00		10.00	14.00		14.00	2.400		2.400
拉力比值平均 =											2.136	1.925	2.300

5. 苧麻纖維

A 端掛重 $W_0(g)$	B 端掛重 (B端拉力) $W_2 = T_2(g)$	A 端電子秤 重量數值 $W_1(g)$			A 端拉力 $T_1(g)$			摩擦力 f $T_2 - T_1(g)$			B 端拉力與 A 端拉力的比值 $T_2 / T_1 (g)$		
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
10.0	10.0	4.21	3.18	3.22	5.79	6.82	6.78	4.21	3.18	3.22	1.727	1.466	1.475
10.0	12.0	3.84	2.88	2.80	6.16	7.12	7.20	5.84	4.88	4.80	1.948	1.685	1.667
10.0	14.0	3.41	2.48	2.49	6.59	7.52	7.51	7.41	6.48	6.49	2.124	1.862	1.864
10.0	16.0	2.85	2.24	2.02	7.15	7.76	7.98	8.85	8.24	8.02	2.238	2.062	2.005
10.0	18.0	1.98	1.97	1.33	8.02	8.03	8.67	9.98	9.97	9.33	2.244	2.242	2.076
10.0	20.0	1.77	1.66	0.70	8.23	8.34	9.30	11.77	11.66	10.70	2.430	2.398	2.151
10.0	22.0	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	10.00	12.00	12.00	12.00	2.200	2.200	2.200
拉力比值平均 =											2.130	1.988	1.920

(二) 塗抹松香，以 50 條纖維為一束，測試與琴弦的摩擦力關係，共做三次重複測驗。

1. 尼龍材質

A 端掛重 $W_0(g)$	B 端掛重 (B端拉力) $W_2 = T_2(g)$	A 端電子秤 重量數值 $W_1(g)$			A 端拉力 $T_1(g)$			摩擦力 f $T_2 - T_1(g)$			B 端拉力與 A 端拉力的比值 $T_2 / T_1 (g)$		
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
10.0	10.0	4.16	3.73	4.25	5.84	6.27	5.75	4.16	3.73	4.25	1.712	1.595	1.739
10.0	12.0	3.83	3.49	3.97	6.17	6.51	6.03	5.83	5.49	5.97	1.945	1.843	1.99
10.0	14.0	3.11	3.3	3.8	6.89	6.7	6.2	7.11	7.3	7.8	2.032	2.09	2.258
10.0	16.0	2.83	3.13	3.47	7.17	6.87	6.53	8.83	9.13	9.47	2.232	2.329	2.45
10.0	18.0	2.49	2.9	2.71	7.51	7.1	7.29	10.49	10.9	10.71	2.397	2.535	2.469
10.0	20.0	1.86	2.54	2.42	8.14	7.46	7.58	11.86	12.54	12.42	2.457	2.681	2.639
10.0	22.0	1.52	1.84	1.76	8.48	8.16	8.24	13.52	13.84	13.76	2.594	2.696	2.67
10.0	24.0	0.98	1	1.31	9.02	9	8.69	14.98	15	15.31	2.661	2.667	2.762
10.0	26.0	0.68	0.49	0.55	9.32	9.51	9.45	16.68	16.49	16.55	2.790	2.734	2.751
10.0	28.0	0	0	0	10.00	10	10	18.00	18	18	2.800	2.8	2.8
拉力比值平均 =											2.362	2.397	2.453

2. 瓊麻纖維

A 端掛重 $W_0(g)$	B 端掛重 (B端拉力) $W_2= T_2(g)$	A 端電子秤 重量數值 $W_1(g)$			A 端拉力 $T_1(g)$			摩擦力 f $T_2-T_1(g)$			B 端拉力與 A端拉力的比值 $T_2 / T_1 (g)$		
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
10.0	10.0	5.54	5.31	5.15	4.46	4.69	4.85	5.54	5.31	5.15	2.242	2.132	2.062
10.0	12.0	5.49	4.51	4.99	4.51	5.49	5.01	7.49	6.51	6.99	2.661	2.186	2.395
10.0	14.0	5.42	4.11	4.8	4.58	5.89	5.20	9.42	8.11	8.80	3.057	2.377	2.692
10.0	16.0	4.7	3.73	3.87	5.30	6.27	6.13	10.70	9.73	9.87	3.019	2.552	2.610
10.0	18.0	4.65	2.73	2.27	5.35	7.27	7.73	12.65	10.73	10.27	3.364	2.476	2.329
10.0	20.0	2.38	2.16	1.87	7.62	7.84	8.13	12.38	12.16	11.87	2.625	2.551	2.460
10.0	22.0	1.49	1.98	0.42	8.51	8.02	9.58	13.49	13.98	12.42	2.585	2.743	2.296
10.0	24.0	0.72	1.35	0	9.28	8.65	10.00	14.72	15.35	14.00	2.586	2.775	2.400
10.0	26.0	0.57	1.03		9.43	8.97		16.57	17.03		2.757	2.899	
10.0	28.0	0.18	0		9.82	10.00		18.18	18.00		2.851	2.800	
10.0	30.0	0			10.00			20.00			3.000		
拉力比值平均 =											2.795	2.549	2.406

3. 月桃纖維

A 端掛重 $W_0(g)$	B 端掛重 (B端拉力) $W_2= T_2(g)$	A 端電子秤 重量數值 $W_1(g)$			A 端拉力 $T_1(g)$			摩擦力 f $T_2-T_1(g)$			B 端拉力與 A端拉力的比值 $T_2 / T_1 (g)$		
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
10.0	10.0	5.14	4.02	5.05	4.86	5.98	4.95	5.14	4.02	5.05	2.058	1.672	2.020
10.0	12.0	4.77	3.32	4.83	5.23	6.68	5.17	6.77	5.32	6.83	2.294	1.796	2.321
10.0	14.0	4.39	2.99	4.6	5.61	7.01	5.40	8.39	6.99	8.60	2.496	1.997	2.593
10.0	16.0	3.22	2.15	4.41	6.78	7.85	5.59	9.22	8.15	10.41	2.360	2.038	2.862
10.0	18.0	2.83	1.38	3.97	7.17	8.62	6.03	10.83	9.38	11.97	2.510	2.088	2.985
10.0	20.0	1.98	1	3.35	8.02	9.00	6.65	11.98	11.00	13.35	2.494	2.222	3.008
10.0	22.0	1.52	0.66	1.65	8.48	9.34	8.35	13.52	12.66	13.65	2.594	2.355	2.635
10.0	24.0	0	0	1	10.00	10.00	9.00	14.00	14.00	15.00	2.400	2.400	2.667
10.0	26.0			0			10.00			16.00			2.600
拉力比值平均 =											2.401	2.071	2.632

4. 香蕉纖維

A 端掛重 $W_0(g)$	B 端掛重 (B端拉力) $W_2= T_2(g)$	A 端電子秤 重量數值 $W_1(g)$			A 端拉力 $T_1(g)$			摩擦力 f $T_2-T_1(g)$			B 端拉力與 A端拉力的比值 $T_2 / T_1 (g)$		
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
10.0	10.0	3.63	5.38	3.76	6.37	4.62	6.24	3.63	5.38	3.76	1.570	2.165	1.603
10.0	12.0	3.32	4.97	3.55	6.68	5.03	6.45	5.32	6.97	5.55	1.796	2.386	1.860
10.0	14.0	3.03	4.32	3.34	6.97	5.68	6.66	7.03	8.32	7.34	2.009	2.465	2.102
10.0	16.0	2.87	3.88	2.42	7.13	6.12	7.58	8.87	9.88	8.42	2.244	2.614	2.111
10.0	18.0	2.67	3.17	2.12	7.33	6.83	7.88	10.67	11.17	10.12	2.456	2.635	2.284
10.0	20.0	2.45	2.85	1.79	7.55	7.15	8.21	12.45	12.85	11.79	2.649	2.797	2.436
10.0	22.0	1.76	2.29	1.52	8.24	7.71	8.48	13.76	14.29	13.52	2.670	2.853	2.594
10.0	24.0	1.56	0.97	0.5	8.44	9.03	9.5	15.56	14.97	14.50	2.844	2.658	2.526
10.0	26.0	1.03	0.30	0	8.97	9.70	10	17.03	16.30	16.00	2.899	2.680	2.600
10.0	28.0	0.51	0.00		9.49	10.00		18.51	18.00		2.950	2.800	
10.0	30.0	0.00			10.00			20.00			3.000		
拉力比值平均 =											2.462	2.605	2.235

5. 苧麻纖維

A 端掛重 W _A (g)	B 端掛重 (B端拉力) W _B = T ₂ (g)	A 端電子秤 重量數值 W ₁ (g)			A 端拉力 T ₁ (g)			摩擦力 f T ₂ -T ₁ (g)			B 端拉力與 A 端拉力的比值 T ₂ / T ₁ (g)		
		N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
10.0	10.0	4.49	5.15	4.82	5.51	4.85	5.18	4.49	5.15	4.82	1.815	2.062	1.931
10.0	12.0	4.11	4.52	4.51	5.89	5.48	5.49	6.11	6.52	6.51	2.037	2.190	2.186
10.0	14.0	3.75	4.03	4.30	6.25	5.97	5.70	7.75	8.03	8.30	2.240	2.345	2.456
10.0	16.0	3.27	2.71	4.03	6.73	7.29	5.97	9.27	8.71	10.03	2.377	2.195	2.680
10.0	18.0	2.45	2.50	3.84	7.55	7.50	6.16	10.45	10.50	11.84	2.384	2.400	2.922
10.0	20.0	1.47	2.23	2.53	8.53	7.77	7.47	11.47	12.23	12.53	2.345	2.574	2.677
10.0	22.0	1.24	1.58	2.35	8.76	8.42	7.65	13.24	13.58	14.35	2.511	2.613	2.876
10.0	24.0	0.73	0.75		9.27	9.25		14.73	14.75		2.589	2.595	
10.0	26.0	0.00	0.44		10.00	9.56		16.00	16.44		2.600	2.720	
10.0	28.0		0.00			10.00			18.00			2.800	
拉力比值平均 =											2.322	2.449	2.533

三、 檢測不同植物纖維對琴弦，所產生的耐磨性

測試不同纖維以 50 條為一束，與琴弦每秒來回一下的拉力檢測，並每拉 100 下時，計算纖維斷裂數量，拉到 500 下時停止累加統計。共做三次纖維的拉力檢測。（表 2）

斷裂數量	100下			200下			300下			400下			500下		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
尼龍	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
瓊麻	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0
月桃	24	19	21	33	23	28	35	29	32	36	31	37	43	41	39
香蕉	17	13	13	30	41	37	43	48	42	50	50	50	50	50	50
苧麻	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3

▲ 表 2. 不同纖維的斷裂數量

四、 檢測小提琴弓毛材質不同時的聲頻

小提琴 4 條弦的音，從右到左（從細到粗）分別是：Mi(E)，La(A)，Re(D)，Sol(G)，我們檢測小提琴尼龍弓毛，與植物纖維弓毛的聲頻進行比對。(圖 16)





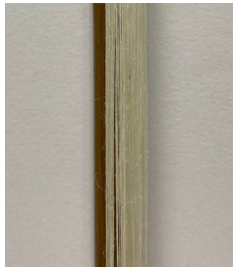



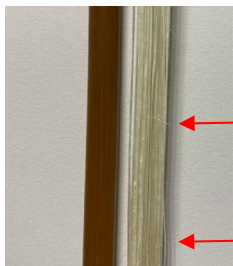
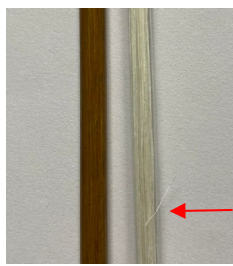




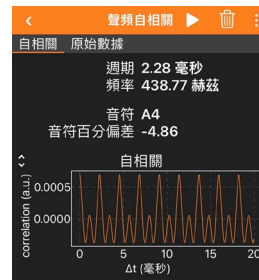
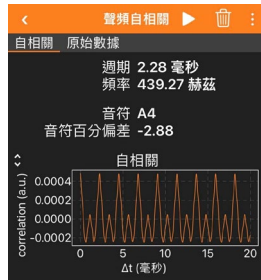


▲ 圖 16. 聲頻比對

五、利用鹼性溶液影響瓊麻纖維，並觀察測試

將瓊麻纖維浸泡在氫氧化鈉鹼性溶液中，時間分別為 6 小時、12 小時、24 小時。

取出並製作成弓，分別觀察演奏前後，弓毛分岔情形，並測其演奏聲頻。（圖 17）

	未浸泡	6 小時	12 小時	24 小時
未製作成弓毛				
演奏前				
演奏後				
聲頻 音準 A				

▲ 圖 17. 浸泡鹼性溶液時間不同，分別進行觀察測試（紅色箭頭表示有明顯分岔處）

伍、討論

一、 探討恆春半島瓊麻、月桃、香蕉、苧麻取纖過程，並觀察纖維

製作成弓毛最少需長 90 公分的植物纖維，我們想以恆春半島生長的植物去測試，瓊麻、鳳梨、月桃、薑黃、構樹、香蕉…，除此之外，還跑去馬場跟老闆要些馬尾，跟台東的老師拿了特別的苧麻纖維，想要試著一同測試。（圖 18）

刮取纖維過程中，鳳梨、薑黃、構樹，很難刮取到這麼長的纖維，而動物纖維馬尾，實在取得不易，所以我們無法拿馬尾繼續實驗。只有長纖維植物—瓊麻、月桃、香蕉、苧麻最後符合我們的實驗需求。



▲ 圖 18. 其他採集到的纖維—構樹、薑黃、馬尾

在顯微鏡觀察下，馬尾有明顯的鱗片，很輕鬆可以勾住松香。而尼龍本身沒有倒刺，松香是黏附上去的。有趣的是，植物纖維也沒有倒刺，但是植物纖維塗抹松香的過程，會稍微破壞表層，而使松香可以黏附上去。

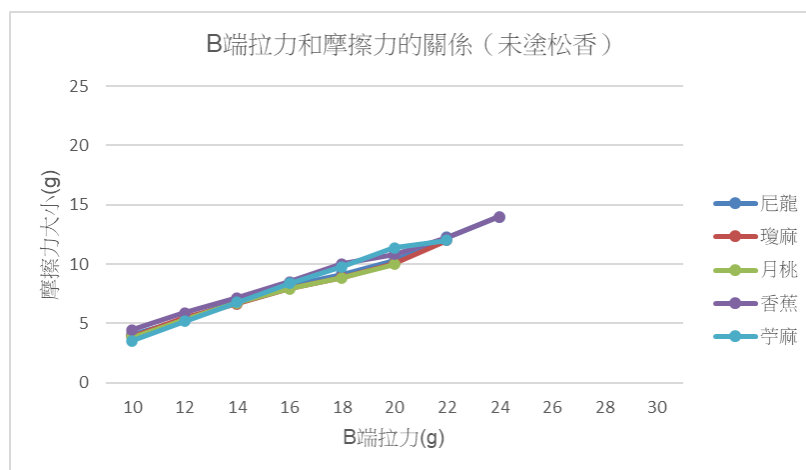
二、 檢測不同植物纖維對琴弦，所產生的摩擦力

(一) 未塗抹松香，尼龍材質與植物纖維 B 端拉力和摩擦力的關係

我們觀察尼龍材質與植物纖維的 B 端拉力和摩擦力的關係，發現當 B 端拉力越大時，繩子的摩擦力也越大，兩者間呈現線性正比的關係。（表 3、圖 19）

B 端掛重 (B端拉力) $W_2 = T_2(g)$	摩擦力 f (3次平均-未塗抹松香)				
	尼龍	瓊麻	月桃	香蕉	苧麻
10.0	4.09	3.93	3.81	4.46	3.54
12.0	5.35	5.47	5.32	5.89	5.17
14.0	6.94	6.64	6.72	7.14	6.79
16.0	8.19	7.95	7.92	8.51	8.37
18.0	9.14	8.89	8.86	10.03	9.76
20.0	10.31	10.08	10.00	10.81	11.38
22.0	12.27	12.00		12.20	12.00
24.0	14.00			14.00	
26.0					
28.0					
30.0					

▲ 表 3. 未塗抹松香



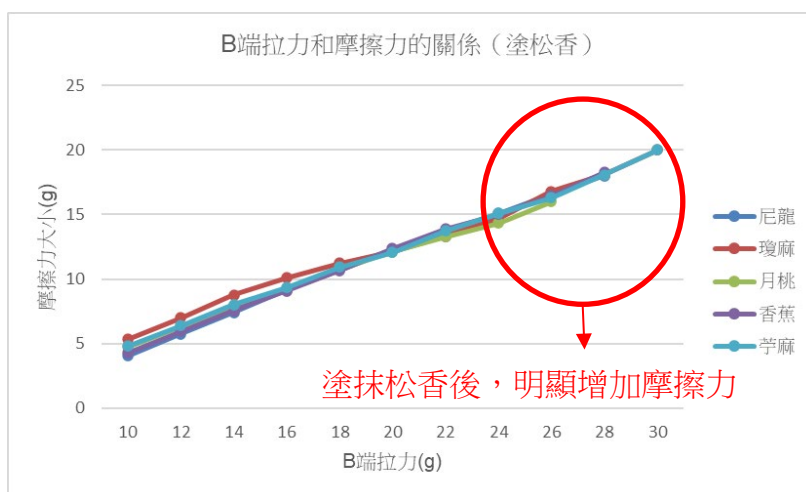
▲ 圖 19. B 端拉力和摩擦力的關係（未塗抹松香）

(二) 塗抹松香，尼龍材質與植物纖維

塗抹 30 下松香後，發現 B 端拉力越大時，繩子的摩擦力也越大，兩者間也是呈現線性正比的關係。且發現與未塗松香相比，植物纖維塗松香後，都能和尼龍一樣，增加摩擦力。（表 4、圖 20）

B 端掛重 (B端拉力) $W_2 = T_2(g)$	摩擦力 f (3次平均-塗抹松香)				
	尼龍	瓊麻	月桃	香蕉	苧麻
10.0	4.05	5.33	4.74	4.26	4.82
12.0	5.76	7.00	6.31	5.95	6.38
14.0	7.40	8.78	7.99	7.56	8.03
16.0	9.14	10.10	9.26	9.06	9.34
18.0	10.70	11.22	10.73	10.65	10.93
20.0	12.27	12.14	12.11	12.36	12.08
22.0	13.71	13.30	13.28	13.86	13.72
24.0	15.10	14.69	14.33	15.01	14.74
26.0	16.57	16.8	16	16.44	16.22
28.0	18.00	18.09		18.26	18.00
30.0				20.00	

▲ 表 4. 塗抹松香



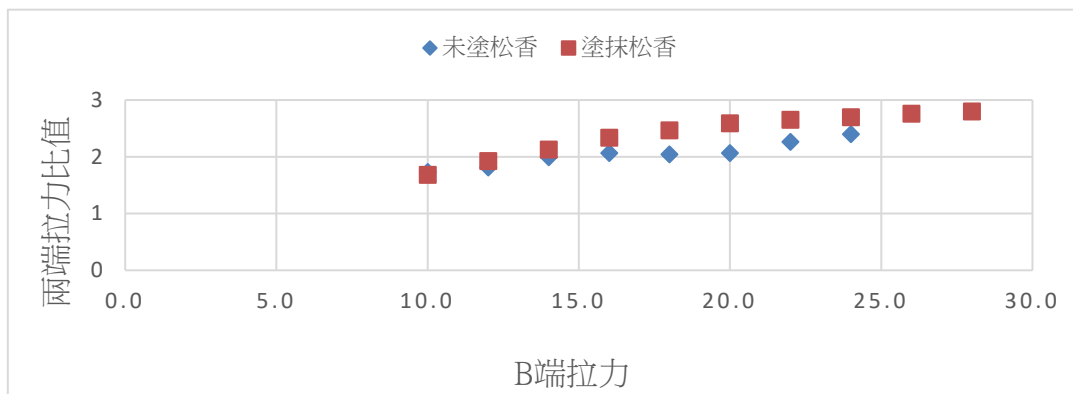
▲ 圖 20. B 端拉力和摩擦力的關係（塗抹松香）

(三) 尼龍材質，B 端拉力和兩端拉力比值 (T_2 / T_1) 的關係

摩擦力作用使 B 端拉力不等於 A 端拉力，由研究結果發現，學校社團小提琴弓毛使用的尼龍材質，B 端和 A 端拉力的比值 (T_2 / T_1) 會趨近於一個平均值常數，未塗抹松香是 1.99，塗抹松香是 2.40，此數值為摩擦力造成的效應，當數值較高時，我們發現弓毛纖維黏附松香能力較好。(表 5、圖 21)

B 端掛重 (B端拉力) $W_2 = T_2(g)$	未塗松香 $T_2 / T_1 (g)$				塗松香 $T_2 / T_1 (g)$			
	N1	N2	N3	平均	N1	N2	N3	平均
10.0								
12.0	1.585	2.119	1.493	1.732	1.712	1.595	1.739	1.682
14.0	1.712	2.01	1.719	1.814	1.945	1.843	1.99	1.926
16.0	1.857	2.184	1.934	1.992	2.032	2.09	2.258	2.127
18.0	1.837	2.346	2.025	2.069	2.232	2.329	2.45	2.337
20.0	1.942	2.281	1.913	2.045	2.397	2.535	2.469	2.467
22.0	2.075	2.121	2	2.065	2.457	2.681	2.639	2.592
24.0	2.2	2.326		2.263	2.594	2.696	2.67	2.653
26.0		2.4		2.4	2.661	2.667	2.762	2.697
28.0					2.79	2.734	2.751	2.758
30.0					2.8	2.8	2.8	2.8

▲ 表 5. 尼龍 B 端拉力和兩端拉力比值 (T_2 / T_1)



▲ 圖 21. 趨近於一個平均值常數

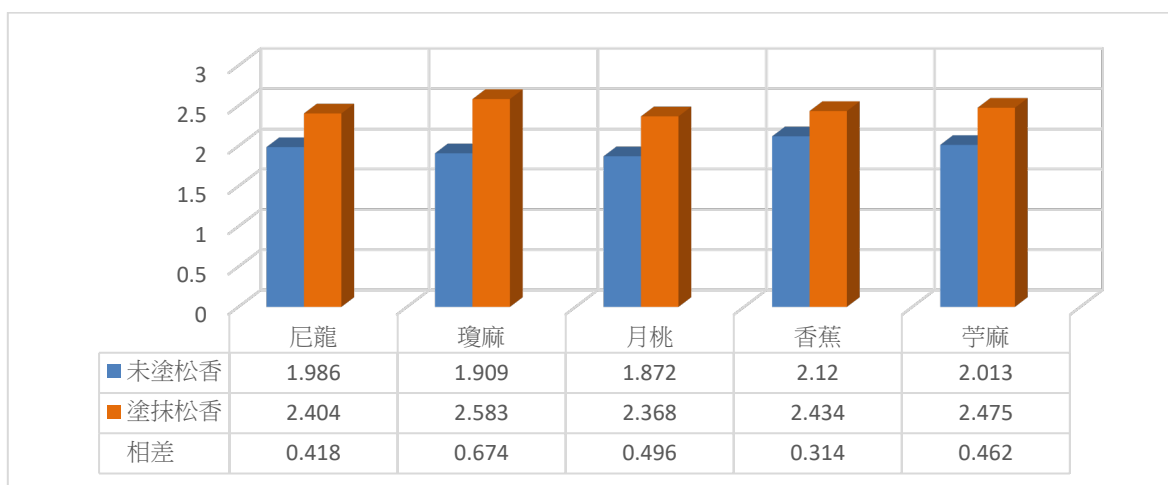
(四) 尼龍與植物纖維兩端拉力比值 (T_2 / T_1) 的平均

材質纖維	未塗松香 T_2 / T_1 (g)				塗松香 T_2 / T_1 (g)			
	N1	N2	N3	平均	N1	N2	N3	平均
尼龍	1.887	2.223	1.847	1.986	2.362	2.397	2.453	2.404
瓊麻	1.863	2.025	1.84	1.909	2.795	2.549	2.406	2.583
月桃	1.978	1.882	1.755	1.872	2.401	2.071	2.632	2.368
香蕉	2.136	1.925	2.3	2.12	2.462	2.605	2.235	2.434
苧麻	2.13	1.988	1.92	2.013	2.322	2.449	2.655	2.475

▲表 6. 不同纖維兩端拉力比值 (T_2 / T_1) 的平均

因不同纖維能附著到的松香會影響到其摩擦力，我們發現塗抹松香後能增加兩端拉力比值 (T_2 / T_1)，而且其比值越高 (表 6)，代表弓毛黏附松香能力越佳，摩擦力效應越好，這可以當很重要的檢測指標，如果出現弓毛不容易黏附，塗完松香後演奏，弓也很快就不能使用了。

我們發現瓊麻和苧麻纖維的兩端拉力比值 (T_2 / T_1) 較高，其能黏附松香性質的能力也較佳。



▲圖 22. 不同纖維與摩擦力效應 (T_2 / T_1) 的比較

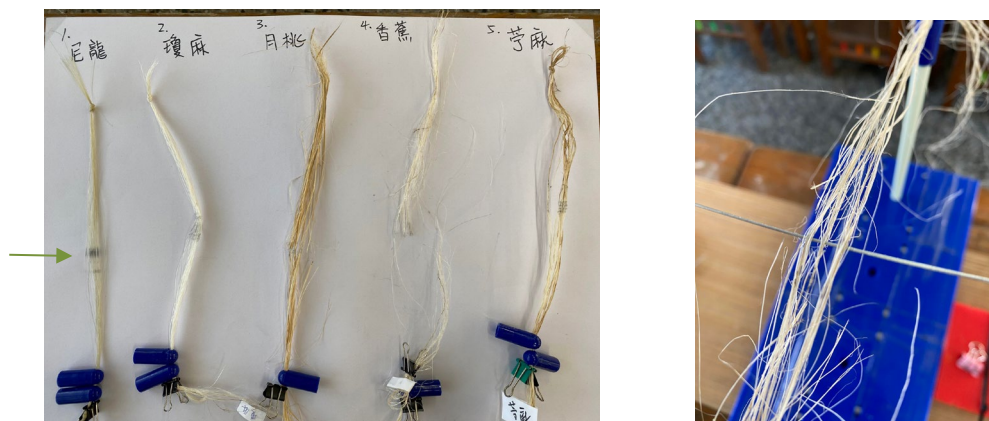
在相同塗抹 30 下松香的情況下，纖維產生的摩擦力大小是：

瓊麻 > 苧麻 > 香蕉 > 尼龍 > 月桃，纖維結構也是影響摩擦力大小的重要因素。

而尼龍和香蕉纖維塗完松香前後差異最小，我們想是因為尼龍本身摩擦力就很好，雖然不具倒刺，但是松香依然能沾附上去。而香蕉纖維本身就黏黏的，塗抹前就具有很好的摩擦力，所以前後差異最小。(圖 22)

三、 檢測不同植物纖維對琴弦，所產生的耐磨性

小提琴演奏時，弓毛與琴弦間，摩擦速度很快，所以我們模擬演奏時的速度，一秒來回一次。實驗操作後，我們發現植物纖維—瓊麻、苧麻與尼龍一樣都具有很好的韌性，耐磨性很高，而月桃和香蕉纖維耐磨性不佳，容易斷裂。（圖 23）



▲ 圖 23. 500 下拉力實驗後的纖維，香蕉纖維最容易斷裂
(中間黑色是磨擦後留下的痕跡)

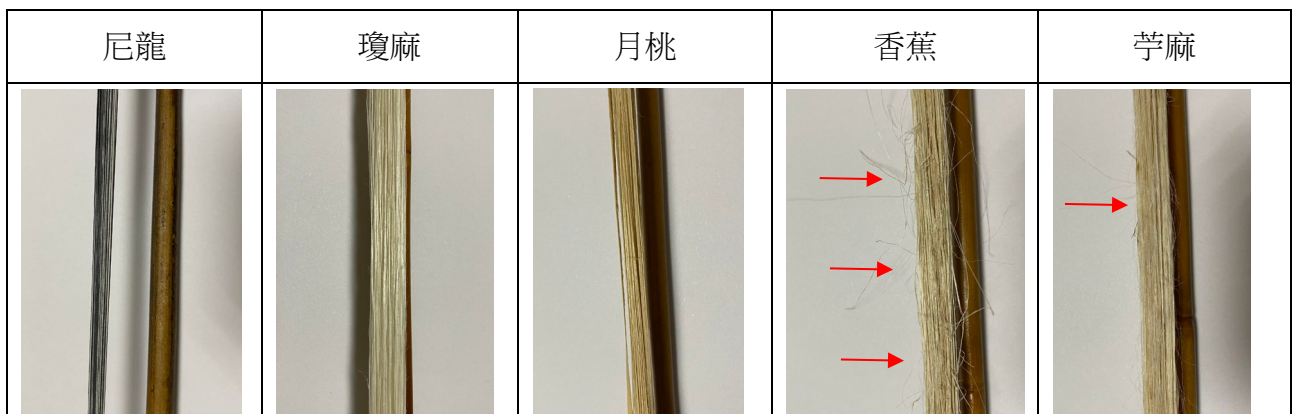
四、 檢測小提琴弓毛材質不同時的聲頻

將植物纖維製作成弓毛，測試其音質，發現瓊麻、月桃纖維的弓毛聽起來音色較悅耳響亮，而香蕉、苧麻纖維的弓毛音色較混濁不清。我們藉由軟體—phyphox 檢測，瓊麻和月桃的音符百分差與尼龍不分上下，且瓊麻弓毛的波形與小提琴尼龍材質最為接近，而香蕉、苧麻纖維測出的波形都無法維持在一定的振動頻率內。（圖 24）

弓毛	尼龍	瓊麻	月桃	香蕉	苧麻
音符	E : -3.06	E : -3.06	E : -6.71	E : -16.70	E : -13.98
百分偏差	A : -2.88	A : -5.45	A : -8.82	A : -14.73	A : -8.82
	D : -4.05	D : -4.05	D : -1.93	D : -8.27	D : -8.27
	G : -5.77	G : -1.06	G : -4.09	G : -1.06	G : 6.02
音準 E 波形					
音準 A 波形					
音準 D 波形					
音準 G 波形					

▲ 圖 24. 黃框表示無法維持在一定的波形

演奏測試完，瓊麻、月桃纖維有些微的分岔情形，而苧麻、香蕉纖維斷裂分岔明顯，其中香蕉纖維斷裂最為嚴重。（圖 25）



▲ 圖 25. 演奏後，弓毛的狀態（紅色箭頭表示有明顯分岔處）

五、利用鹼性溶液影響瓊麻纖維，並觀察測試

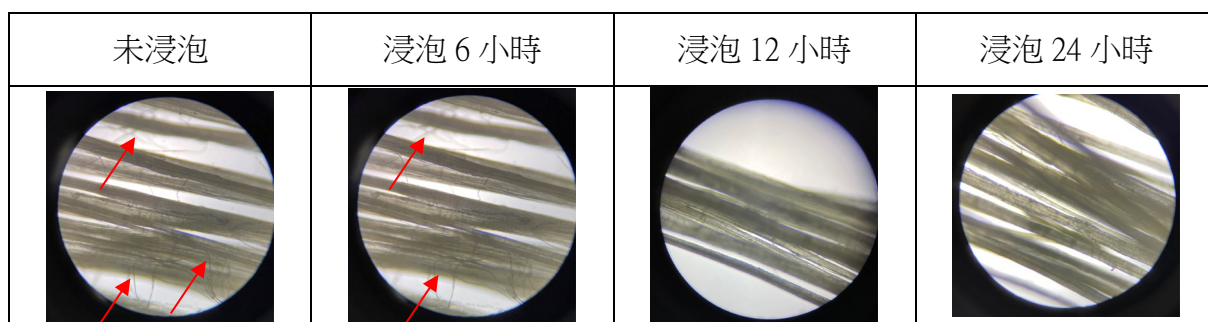
測試完植物纖維弓毛我們發現，瓊麻弓毛是可行的，但是瓊麻弓毛演奏時，雖然沒有斷裂，卻會產生許多細小的纖維分岔，使得琴聲會逐漸變混雜。

實驗過程中，我們一直在想如何使植物纖維不容易分岔，嘗試用環氧樹脂、潤髮乳、小蘇打粉、高溫加熱…等方法。想起參加戶外教學活動時，老師用染劑讓植物纖維染色，並教我們編織成水壺袋，當時的瓊麻纖維摸起來較柔軟，很好編織，不知是不是因為浸泡過植物染劑的關係（圖 26）。所以我們試著將取好的瓊麻纖維浸泡鹼性溶液，測試看看能不能讓瓊麻纖維因此更乾淨，使弓毛有更好的柔軟度。



▲ 圖 26. 戶外教學活動，植物纖維染色

發現用浸泡稀釋過的氫氧化鈉鹼性溶液，可以減少瓊麻纖維分岔，使得纖維更加乾淨，演奏時摩擦力和耐磨性也不會降低，測試出的音準和波形也沒有不穩，浸泡 12 和 24 小時的瓊麻纖維，分岔情形都改善很多。我們用高倍顯微鏡觀察，發現隨著浸泡時間增加，瓊麻纖維分岔情形的確有改善。（圖 27）



▲ 圖 27. 顯微鏡下，浸泡時間長短，纖維分岔情形（紅色箭頭表示有明顯分岔處）

陸、結論

瓊麻產業是沒落的傳統文化，了解歷史背景、感嘆祖先們的辛勞，我們不想讓這樣的產業畫下句點。學習課本裡的科學知識、參加學校社團，當藝文音樂結合自然科學，老師說我們很厲害，勇敢嘗試去完成這個發想。從採摘植物到刮取纖維，從課本知識到桌上道具，從圖稿設計到裝置測試，從無聲的植物到悅耳的琴音，我們從刮取植物纖維一直到產出自製弓毛，是如此讓我們開心雀躍。

我們利用數據的比值，發現植物纖維摩擦力是足夠的，塗抹松香後也能黏附松香，增加摩擦力，且瓊麻、苧麻的耐磨性非常好，可惜恆春半島找不到苧麻植物讓我們繼續測試。

手工自製小提琴弓毛時，我們在綁弓毛常常拉得不夠緊，或是拉太緊弓整個斷掉，但經由不斷嘗試，並檢測完成的自製植物纖維弓毛的聲頻，發現瓊麻的可行度。為了讓瓊麻弓毛演奏時能減少纖維分岔，利用鹼性溶液的浸泡，使其演奏出的音色能更接近小提琴弓毛尼龍材質。我們希望能保留傳統文化特色和價值，並讓環保意識抬頭，植物纖維還是能跟尼龍材質相抗衡，這次實驗探究對我們而言，拿著自製的瓊麻弓演奏，才知道原來嘗試過，未來會出現具有意義的事。

柒、參考資料及其他

陳世行（2009）·恆春特產—瓊麻 洋蔥 港口茶·墾丁國家公園解說叢書。

陳文生（2000）·恆春半島深度旅遊·臺北市：遠流。

石燕鳳（2020年8月572期）·天然可再生補強材—植物纖維素·科學發展·取自
<https://ejournal.stpi.narl.org.tw/sd/download?source=10908-02.pdf&vId=9b9d02875e7249aaa2c3765258bcf8b5&nd=1&ds=1>

原田峰夫（2020年7月8日）·バイオリンのミニ科学·樂器科學·取自
<http://www.minehara.com/mechnics/violinmech1.htm>

黃福坤（1999年12月18日）·摩擦力與運動·物理教學園地·取自
<https://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/index.html>