

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 環境學科

第一名

052602

遠離「塑」命-海需要開發淡菜足絲

學校名稱：國立馬祖高級中學

作者： 高一 吳 桐 高一 馮詩媛 高一 王子恩	指導老師： 曾 婷 劉美紅
---	-----------------------------

關鍵詞：淡菜足絲、取代尼龍、吸附重金屬

得獎感言

高一剛開學的課堂中，老師說要甄選對科學研究有興趣的選手；於是我們想起國小時自己也有參加科展的經驗，但那時年紀小懵懵懂懂的，因此希望現在長大上了高中能透過科展有更多的投入及成長，於是我們自告奮勇地報名並通過篩選成功加入科展團隊。

剛開始可以說是一波三折；像是我們研究使用到的原料和一些方法很少人研究過，因此很難搜尋到相關參考資料，過程中我們甚至搜尋簡體和英文的資料，透過不同語言去理解知識真是個挑戰，因此設計研究架構花費了許多時間，導致進度相當緩慢；足絲的編織也一直掌握不到訣竅而失敗了好幾個月，且編織的可行性也一直被大家質疑；種種的挫折讓我們一度懷疑能否在高中三年完成研究，而這股徬徨的心情甚至讓我們曾經產生放棄的念頭。

不過我們還是不斷地常去實驗室嘗試，突然有一天一切似乎都變順利了：足絲繩突然被搓成功了，研究的各項結果突然能找出個非常有價值的脈絡了；那陣子我們產生了一種莫名的喜悅很想跟大家分享，但似乎又無法描述到讓大家感受到這股感動。於是我們透過無數次的修改紙本和口說報告，透過校內成果發表、縣內及全國比賽，用最淺顯的方式讓大家明白我們的研究，很高興最後能被大家認同並獲得肯定，得獎那一刻的心情可以說是從驚訝到感動。

全國比賽這幾天整個是令我們大開眼界，從佈展時各隊積極地練習、開幕時各縣市求勝的口號、比賽時別隊自信展示的風範，都讓我們不斷地觀摩學習。頒獎後腦內像跑馬燈一樣，開始回憶起這一年的每個時刻：想著我們彼此從陌生單打獨鬥，到後來一起討論一起閉關奮戰；想著我們不論冬天超冷、夏天超熱、假日超想補眠、作業考試晚會表演來不及，都還是一天到晚泡在實驗室；想著我們從什麼都不會且不被看好，到現在能表現的讓評審微笑並點頭肯定；這些將會成為我們此生最深刻最甜美的回憶。

雖然馬祖地處偏遠資源缺乏，但這一年我們靠著不放棄的傻勁成功辦到了，希望我們未來凡事都能繼續努力，將不可能變可能，像我們的題目一樣”遠離宿命！”

感謝蠡貝佳水產和水試所耐心地將足絲一撮一撮地剪下留給我們，感謝馬高及縣府教育處提供許多經費讓我們研究及參展，感謝學長姐和各科老師給我們不同角度的建議，感謝爸媽在我們難過哭泣時安慰並不斷地鼓勵我們；一路上有著大家的陪伴及幫助，我們今天才能走到這裡，因此我們想將得獎這份榮耀與你們共同分享。



馬祖高中各科教師共同協助指導



馬祖高中校內成果發表會



第 57 屆全國科展在雲林師生得獎留念

摘要

近年來馬祖海漂垃圾及廢水污染的問題日益嚴重，對自然海景與生態環境的破壞力不容小覷，於是我們欲找尋替代物減輕對環境的傷害。馬祖餐桌上必有的美食-淡菜，食用前總把不可食用的強韌「足絲」剔除，我們由此天然的廢棄物作為發想，逐一透過實驗結果證實淡菜足絲的強度、耐熱、耐酸鹼、可染色和可分解的特性，符合作為尼龍替代物的需求；特別的是足絲同時具備優異的吸附重金屬能力，將使環境可逐漸恢復最初的潔淨。運用足絲的各項優點，我們開發出各式生活編織品及淨水器。足絲有著環保、低成本、功效佳等優點，因此可透過廢物再利用達到減少海洋污染的期望。

壹、研究動機

四周環海的馬祖充滿了許多沙灘，原本一片片美麗的沙灘卻逐漸被海漂垃圾佔據，失去原本美好的景緻；島民多以海為生，漁業為重要的經濟命脈，但重金屬污染影響了海洋生態，甚至是無聲的威脅著鄉親的健康。看著海島的優勢逐漸被埋沒，家鄉環境慢慢受到人造廢棄物破壞，我們為了保衛家園，便思考著有什麼物質可以替代無法分解的塑膠製品，有什麼材料能減少重金屬含量。

淡菜是馬祖相當著名的特產，會分泌特殊蛋白質形成足絲，足絲非常強韌而能攀附在石頭上不被海浪沖走。在吃淡菜或製作淡菜乾時會去除無法食用的足絲，而累積許多廢棄物。足絲的成分為蛋白質且具堅韌性，或許能與同樣為聚醯胺類的尼龍有著許多相似的功能，而能解決尼龍製品不能分解造成環境破壞的問題；攝取蛋白質能吸附重金屬來解毒，這一個民俗方法讓我們推測足絲或許也能減少水中重金屬而達到淨水效果，我們相信足絲有著許多可開發的特點，將能廢物再生進行環境保護。

相關課程單元：選修化學(下) 第七章 無機化合物、選修化學(下) 第八章 化學的應用與發展。

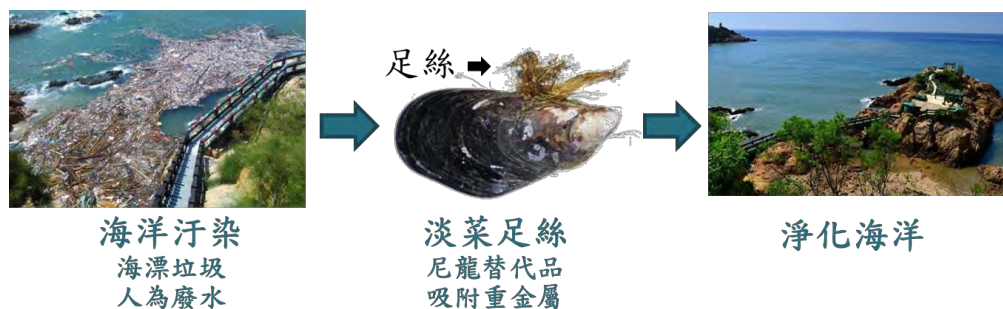


圖 1 利用足絲解決馬祖海洋汙染問題

貳、研究目的

- 一、探討足絲纖維耐熱、耐酸鹼、染色、分解的能力。
- 二、評估足絲替代尼龍纖維的可行性。
- 三、試驗足絲吸附重金屬的能力。
- 四、開發足絲編織及淨水的產品。

參、研究設備及器材

一、藥品：

淡菜足絲、己二醯氯正己烷液、己二胺氫氧化鈉液、HCl、NaOH、CH₃COOH、Na₂CO₃、蒸餾水、酸性染料(紅、綠、藍)、食鹽、培養土、木黴菌、硫酸銅、氨水、EDTA-2Na、二甲酚橙、CH₃COONa、Pb(NO₃)₂、ZnSO₄。

二、器材：

剪刀、量筒、燒杯、鑷子、玻璃棒、毛細管、錶玻璃、自製纖維強度測量裝置、定量瓶、花盆、微量分注器、滴管、試管、滴定裝置、錐形瓶。

三、設備：

熔點測定儀、烘箱、加熱迴流裝置、光學顯微鏡、電子目鏡、電磁攪拌器、恆溫循環水槽、物色分析儀、電子天平、抽氣過濾裝置、分光光度計。

肆、研究過程與方法

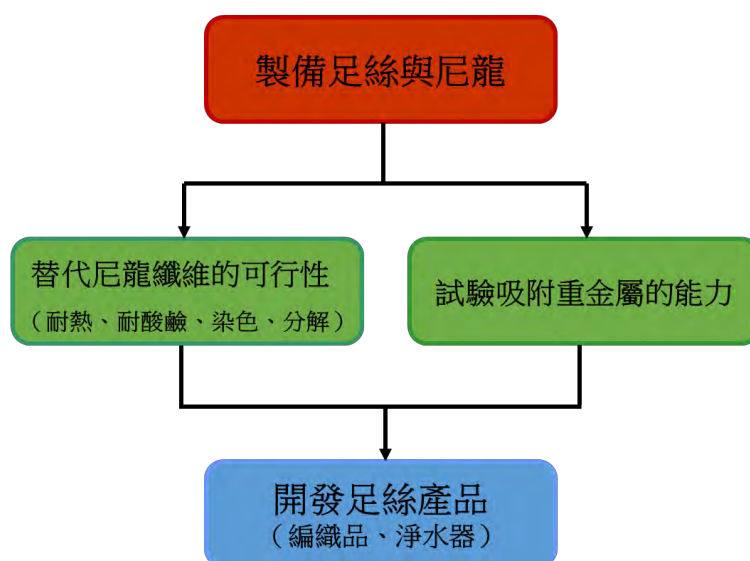


圖2 研究方法流程圖

一、樣品的製備：

(一)研究方法：

1.足絲之介紹：

淡菜為馬祖的特色海鮮，淡菜的足絲腔內有足絲腺，足絲腺噴出多種蛋白質，先在足絲腔混合後再流入淡菜細長的縱溝內塑形，形成一條透明的蛋白質纖維，即為足絲(如圖3)。

足絲的韌性強且彈性佳，能協助淡菜在激流中穩固身體進而濾食；為天然動物性纖維，可被自然分解；成分為蛋白質，與尼龍同樣是聚醯胺纖維而有著許多相似的性質；因此使其做為取代尼龍之原料，將能減少地球的危害[引註一]。

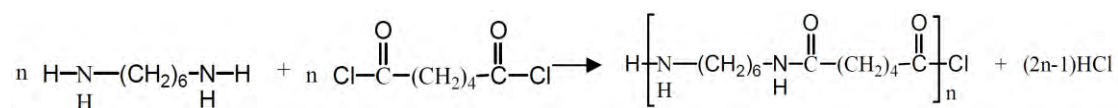


圖3 淡菜的足絲

2.尼龍之介紹：

尼龍是聚醯胺類的人工合成纖維，有著強韌回彈耐磨的特性，是常被用來做為紡織及漁具等原料的主因，卻極不易被自然分解而造成廢棄物汙染。

本研究採用未經加工的自行合成尼龍，以避免其他添加物影響各項性能比較。尼龍66合成的反應式：



(二)研究過程：

1.足絲的處理：

(1)收集淡菜並剪下足絲。

(2)以蒸餾水洗淨晾乾(如圖4)。

2.尼龍的製作：

(1)取己二醯氯正己烷液及己二胺氫氧化鈉液各10 mL。

(2)將己二醯氯正己烷液緩緩倒入己二胺氫氧化鈉液中。

(3)以鑷子夾起表面形成的薄膜，拉長成絲捲在玻璃棒上(如圖5)。

(4)以蒸餾水洗淨並晾乾。

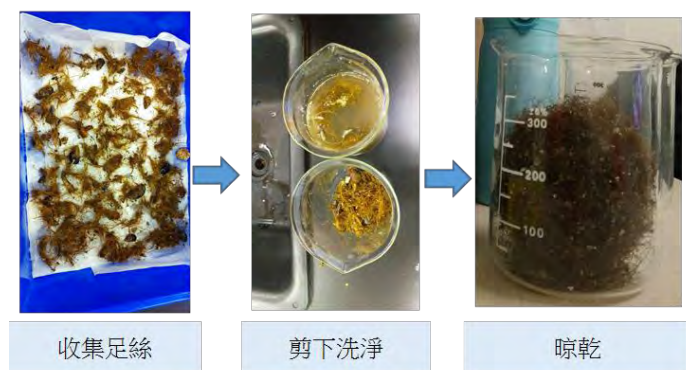


圖4 處理淡菜足絲



圖5 尼龍合成抽絲

二、替代尼龍纖維的探討[引註二]：

(一)耐熱性分析：

1.研究方法：

纖維製品在各項應用過程中，可能會遭遇熱烘、曝曬、蒸煮等處理；因此需要有適度的耐熱性，不易斷裂及不易熔化以維持其正常使用。

在濕熱及乾熱處理後，透過斷裂強度的變化[引註三]及熱收縮率，來觀察纖維變質的程度；並利用熔點測定儀觀察隨著溫度上升纖維的外觀變化。

2.研究過程：

(1)乾熱處理：將樣品放入烘箱中以180 °C加熱24小時。

(2)濕熱處理：將樣品利用加熱迴流法反應24小時後晾乾。

(3)熱收縮率：用游標尺量測熱處理前後纖維的長度。

(4)斷裂強度：利用光學顯微鏡控制纖維的粗細相同，再秤重纖維斷裂時金屬粒的重量(如圖7)。

(5)熔點測定：將足絲、尼龍剪碎成末狀，分別放入毛細管底部，利用熔點測定儀觀察(如圖6)。



圖6 熔點的測量

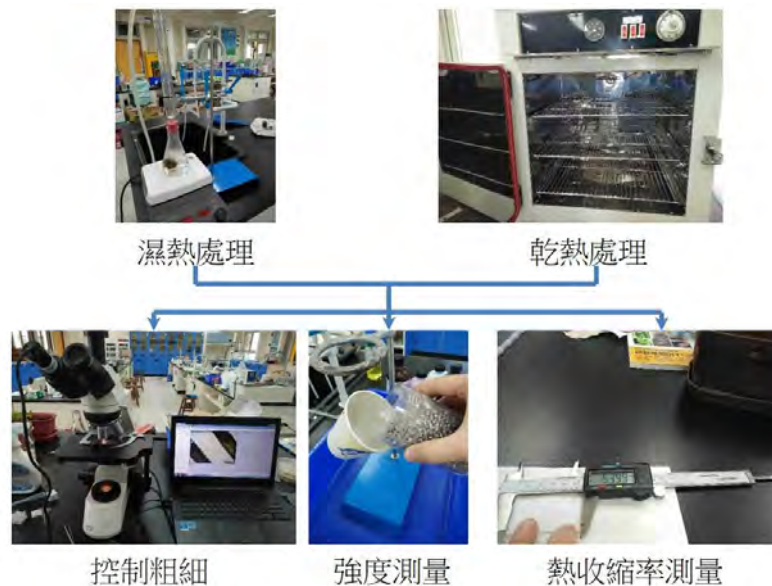


圖7 熱處理及耐熱測定

(二)耐酸鹼性分析：

1.研究方法：

纖維應用在日常生活中，常會接觸到各種酸鹼性的溶液；例如酸性的食物，鹼性的海水及清潔劑；因此在廣泛的用途中，適度的耐酸及耐鹼為纖維的必備特性。

2.研究過程：

- (1)配置不同濃度的強酸(HCl)、強鹼(NaOH)。
- (2)配置飽和的弱酸(CH_3COOH)、弱鹼(Na_2CO_3)。
- (3)取足絲、尼龍分別放入各溶液中，室溫反應24小時(如圖8)。
- (4)取出以蒸餾水清洗，晾乾後測其斷裂強度。

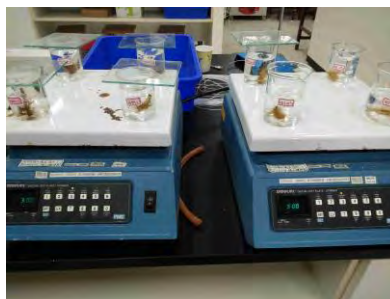


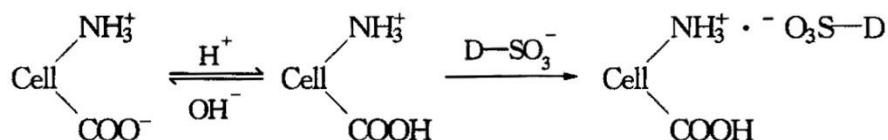
圖8 將纖維於酸鹼溶液中反應

(三)染色性分析：

1.研究方法：

纖維能作為各種紡織材料，將其染色能增加美觀及辨識度；因此纖維具備良好的染色性，將能成為理想的紡織材料。

聚醯胺纖維在酸性溶液中帶有陽離子，而酸性染料在水中解離形成陰離子，兩者透過離子鍵結合而達到染色效果；加入中性鹽(如 NaCl)可阻礙離子附著而作為均染劑。



2.研究過程：

- (1)取酸性染料、醋酸、食鹽各 3 克，加入 60 mL 熱水中至完全溶解。
- (2)將足絲及尼龍分別放入染劑中，90℃加熱 30 分鐘。
- (3)取出以蒸餾水清洗並晾乾(如圖 9)。
- (4)以物色分析儀檢測樣品染色前後顏色變化[引註四]。



圖 9 將纖維染色及測量比較

(四)微生物分解分析：

1.研究方法：

纖維若能被自然分解，將能減少廢棄物，避免破壞生態環境。本研究透過好氧堆肥試驗來觀測纖維是否具有生物降解性，並添加好氧的木黴菌來加速分解；而微生物生存需要適量的水分與氧氣，因此需要定時的翻堆。

2.研究過程：

- (1)取足絲及尼龍各 1 克，埋入添加木黴菌的土中(如圖 10)。
- (2)每日補充水份維持適當濕度，並翻土獲得氧氣。
- (3)三個月後觀察纖維質量及強度的變化率。



圖 10 將纖維進行好氧堆肥

(五)足絲編織產品的開發：

1.研究方法：

參考傳統草繩編織的方法，將淡菜足絲短纖維製作成長繩；編織成長繩後，就可以同樣製作出以尼龍為原料的各項製品。藉此可減少石化原料之耗損，也可避免人造纖維對地球及海洋環境造成的破壞。

2.研究過程：

- (1)取鬆散的足絲分別搓揉成兩撮，再轉緊成兩條單股線。
- (2)將兩條短單股線的一半長度纏繞在一起，足絲即可不再鬆脫。
- (3)再搓揉兩撮足絲接在未纏繞的兩個尾端。
- (4)轉緊成單股線後兩股纏繞在一起，重複步驟以連接延長成繩(如圖 11)。
- (5)設計可應用的編織品。



圖 11 足絲繩的編織法

三、重金屬吸附的試驗：

工廠排放重金屬廢水，最後往往都匯流入海中，造成海洋環境汙染並破壞海洋生態。淡菜足絲由蛋白質所組成，推測能吸附海水中有毒的重金屬，達到淨化水質的功效。馬祖海域檢測出含有的重金屬為 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} (如表 1)，因此選擇這三種重金屬來探討用足絲來吸附的效果。

表 1 馬祖海域重金屬監測調查結果

檢測項目					總有機物	汞	砷	鎘	銅	鉛	鋅
單位					%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
方法偵測極限					—	0.0988	—	0.068	0.619	1.010	2.855
底泥品質指標項目					—	0.87 (0.23)	33 (11)	2.49 (0.65)	157 (50)	161 (48)	384 (140)
縣市	測站		採樣日期	天氣	採樣時間						
連江縣	M-01	南竿島四維外海	1010523	晴	10:40~11:00	4.03	ND	11.4	ND	30.8	29.6
			1010926		07:10~07:30	3.8	ND	8.19	ND	26.9	28.8
	M-02	閩江口外海	1010523	晴	10:00~10:20	4.07	ND	11.8	ND	34.2	31.1
			1010926		08:20~08:40	4.1	ND	9.61	ND	24.9	28
	M-03	東引島北方外海	1010523	晴	05:20~05:40	4.48	ND	7.79	ND	27.9	28.7
			1011023		05:30~05:50	7.54	0.127	6.47	ND	20.2	24.2

資料來源：澎湖縣政府環境保護局(2012) [引註五]

(一) 吸附 Cu^{2+} 的能力：

1. 研究方法：

Cu^{2+} 雖然本身呈藍色，但濃度低時會造成顏色太淡而不易觀察，故利用過量氨水，使其生成較易偵測的深藍色四氨銅錯離子。反應式為： $\text{Cu}^{2+} + 4\text{NH}_3 \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ [引註六]

2. 研究過程：

- (1) 配置不同濃度之 Cu^{2+} 水溶液，各取 5 mL 加入氨水 0.5 mL 靜置五分鐘。
- (2) 利用分光光度計測量波長 600 nm 的吸收度，製作檢量線。
- (3) 取剪碎之足絲與尼龍各 0.5 克，在 50 mL 不同濃度 Cu^{2+} 溶液中，室溫反應 3 小時。
- (4) 抽氣過濾後(如圖 12)，取濾液 5 mL 加入氨水 0.5 mL 靜置五分鐘。
- (5) 利用分光光度計 600 nm 測其吸收度，並計算重金屬吸附率。

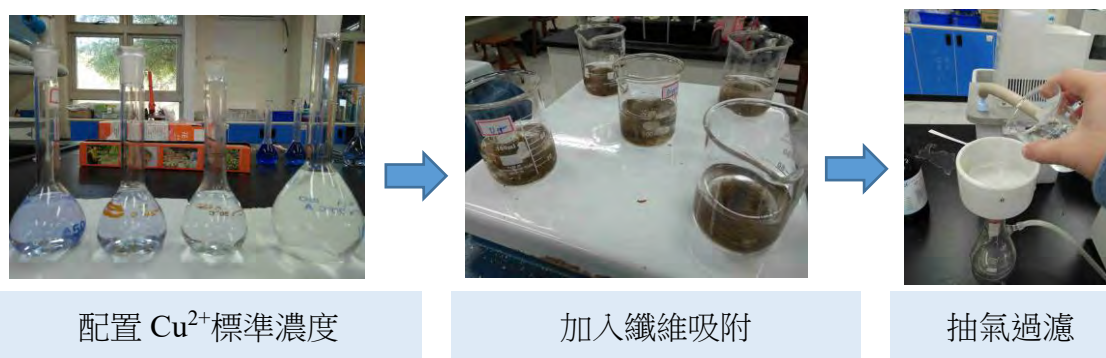


圖 12 將纖維與 Cu^{2+} 反應

(二) 吸附 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 的能力：

1. 研究方法：

Pb^{2+} 與 Zn^{2+} 呈無色，無法像 Cu^{2+} 用分光光度計偵測濃度，因此改用配位滴定法。指示劑二甲酚橙會受酸鹼值影響，因此利用緩衝溶液控制實驗在 pH 為 5~6 之間；滴定前重金屬與二甲酚橙結合形呈紫紅色錯合物，當 EDTA 滴入會搶走重金屬形成無色的 1:1 穩定錯合物；達當量點時，二甲酚橙無結合重金屬而單獨存在呈亮黃色[引註七]。

2. 研究過程：

- (1) 配製 10^{-3}M 的 EDTA-2Na、0.2% 二甲酚橙、pH=5.5 的乙酸-乙酸钠緩衝溶液。
- (2) 配製不同濃度 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 的水溶液。
- (3) 取剪碎之足絲 0.5 克，在 50 mL 不同濃度重金屬溶液中，室溫反應 3 小時。
- (4) 抽氣過濾後取濾液各 25 mL 至錐形瓶，加入 10 mL 緩衝溶液及 2~3 滴指示劑。
- (5) 以 EDTA-2Na 滴定至紫紅色變亮黃色(如圖 13)，計算重金屬吸附率。

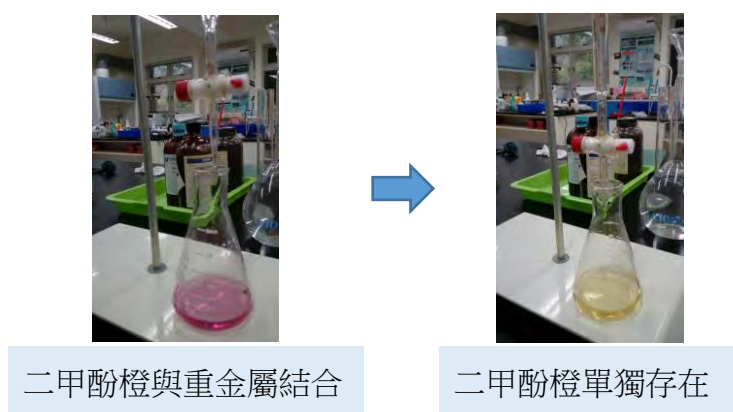


圖 13 配位滴定法之顏色變化

(三) 足絲淨水器的開發：

1. 研究方法：

欲了解重金屬是通過濾水器就能馬上被吸附，還是需要長時間接觸而能減少，如此一來才能設計出有效去除水中重金屬的淨水裝置；因此透過實驗模擬濾水，檢測水中重金屬的吸附率。

2.研究過程：

- (1)將足絲剪碎並裝入層析管中(如圖 14)，將 80ppm 的 Cu^{2+} 標準溶液 50mL 多次過濾。
- (2)取每次過濾的濾液 5 mL 加入氨水 0.5 mL
- (3)測量波長 600 nm 的吸收度，計算重金屬吸附率。



圖14 模擬濾水的實驗裝置

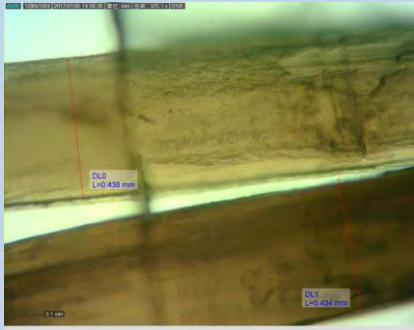

伍、研究結果與討論

一、替代尼龍纖維的探討：

(一)耐熱性分析：

1.研究結果：

表 2 控制纖維的粗細

	足絲	尼龍
照片		
細度(mm)	0.436	0.436

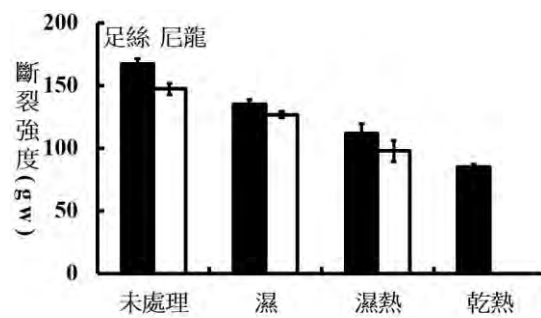


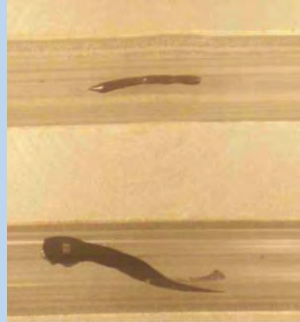


圖 15 熱處理的纖維強度變化

表 3 纖維的熱收縮率

熱收縮率	足絲	尼龍
濕熱	0.9%	1.8%
乾熱	8.3%	22.2%

表4 改變溫度對纖維外觀的影響

	170℃	235~238℃	290℃
照片			
足絲	無變化	微彎曲	僅表面熔化
尼龍	顏色變黃	整個熔化	液體

2.討論：

- (1)利用顯微觀察確認尼龍的粗細已經被控制到與淡菜足絲相近，如此一來可避免粗細不同影響纖維的負重能力(如表 2)。
- (2)濕的纖維會因和水產生氫鍵而些微降低強度；加熱至 100℃ 會使強度更降低一點，但仍有相當的強度，且熱收縮率很低，由此可知足絲製品可取代應用在蒸煮食品的尼龍包裝袋或繩(如圖 15、表 3)。
- (3)由強度及熱收縮率顯示：足絲比尼龍耐 180℃ 的乾熱，推測是尼龍在如此高溫時會整個熔化變極易斷裂，而足絲只有表面熔化而能保有纖維能力。
- (4)淡菜足絲無法像尼龍整個纖維熔化，僅能在表面部分熔化，且開始熔化的溫度比尼龍高許多；由此可知足絲較尼龍能在高溫時不變形，較耐熱而能維持其功能(如表 4)。

(二)耐酸鹼性分析：

1.研究結果：

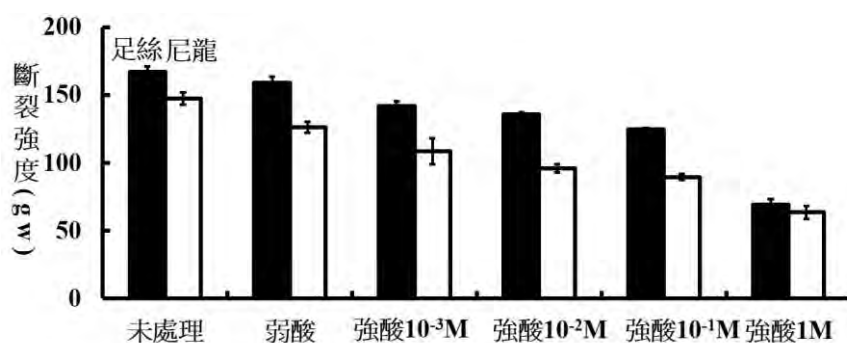


圖16 酸處理的纖維強度變化

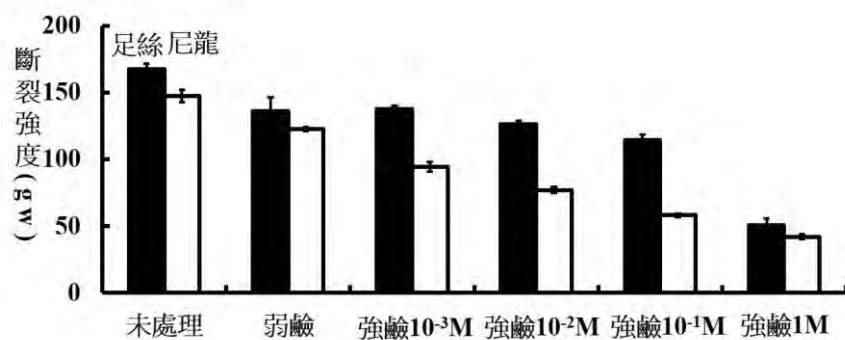


圖17 鹼處理的纖維強度變化




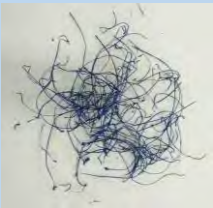

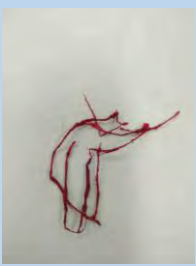


2.討論：

(1)足絲和尼龍在飽和的弱酸鹼及低濃度的強酸鹼下，斷裂強度無太大的變化；這顯示可耐一般生活中的各種酸鹼物質，因此推論足絲在弱鹼性的海水或清潔劑及弱酸性的食物中皆可適用(如圖 16、17)。

(三)染色性分析：

1.研究結果：

表 5 纖維染色的顏色比較

		未染色	染紅色	染綠色	染藍色
足絲	照片				
	(R, G, B)	(75, 66, 60)	(164, 55, 61)	(51, 155, 54)	(53, 57, 157)
尼龍	照片				
	(R, G, B)	(223, 204, 225)	(155, 55, 66)	(51, 162, 60)	(62, 63, 167)


2.討論：

(1)由儀器數據及照片皆可看出足絲跟尼龍的染色程度相當，使足絲可透過染色增加產品的美觀性(如表 5)。

(四)微生物分解分析：

1.研究結果：

表 6 纖維堆肥處理後的變化

	足絲	尼龍
照片		
質量變化率	27%	8%
強度變化率	11%	1%

2.討論：



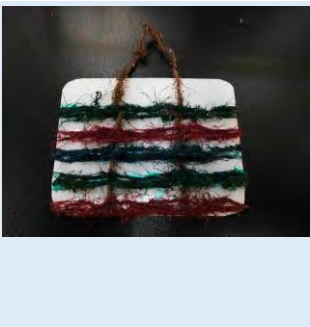
(1)堆肥三個月後足絲有許多部分斷裂而零散的分散在土中，且質量及強度的變化較尼龍明顯，這顯示足絲確實能改善尼龍難以分解汙染環境的缺點(如表 6)。

(2)足絲因纖維表面有特殊蛋白質，能保護自身短時間內不被微生物破壞，因此三個月無法完全被分解；推測等表層蛋白質被分解後，將能完全分解。

(五)足絲編織產品的開發：

1.研究結果：

表 7 足絲繩編織品的模型

足絲繩應用		
漁網	綁螃蟹	買菜袋
		

2.討論：

(1)足絲堅韌、耐弱鹼性的海水和能吸附重金屬，可編織成網子；除了能攔截海漂垃圾，同時也能淨化海水水質(如表 7)。

(2)足絲耐濕熱及弱酸，能不被烹煮螃蟹時的酸性去腥味物質破壞，且不會像尼龍因酸或熱釋放出有毒的化學物質。

(3)足絲遇髒汙易清洗，還能用酸性染料染色，將可製作成色彩繽紛的買菜袋。

三、重金屬吸附的試驗：

(一)吸附 Cu^{2+} 的能力：

1.研究結果：

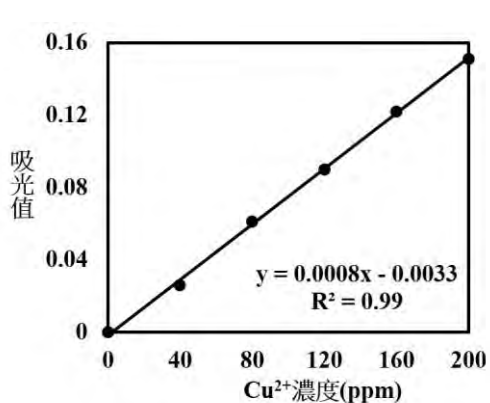


圖 18 Cu^{2+} 濃度的標準曲線

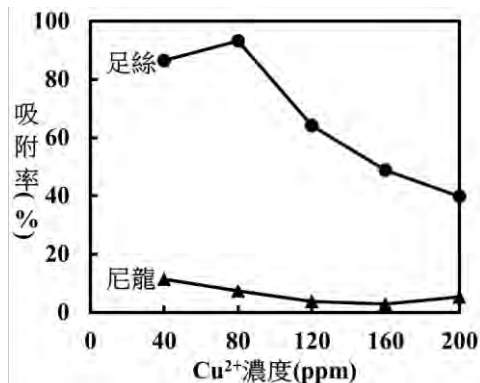


圖 19 纖維對不同濃度 Cu^{2+} 的吸附率

表 8 纖維吸附 Cu^{2+} 的呈色照片

照片			
Cu^{2+} 濃度	40ppm		
照片			
Cu^{2+} 濃度	80ppm		
照片			
Cu^{2+} 濃度	120ppm		
照片			
Cu^{2+} 濃度	160ppm		
照片			
Cu^{2+} 濃度	200ppm		

表 9 各種天然廢棄物吸附 Cu^{2+} 之比較

Cu^{2+} 濃度	40ppm	80ppm	200ppm	特殊處理
足絲	87%	93%	40%	無
甘蔗渣	20%	---	---	無
牛糞	---	99%	---	800°C 高溫碳化
蝦殼(幾丁質)	---	---	38%	用 HCl 去除碳酸鈣 用稀 NaOH 高溫去除蛋白質
蝦殼(幾丁聚醣)	---	---	50%	用濃 NaOH 高溫去乙醯化

資料來源：甘蔗渣、牛糞及蝦殼引用中華民國中小學科學展覽會參展作品專輯(2013、2015) [引註六、八、九]

2. 討論：

(1)以0~200ppm Cu^{2+} 溶液製得檢量線為 $y = 0.0008x - 0.0033$ (如圖18)，用內插法求出與纖維反應後的 Cu^{2+} 濃度，再推算出重金屬吸附率。

$$\text{吸附率} = \left[\left(\text{原濃度} - \text{剩餘濃度} \right) / \text{原濃度} \right] \times 100\%$$

(2)由圖19的數據及表8的照片顯示，足絲在吸附 Cu^{2+} 的能力遠遠超過尼龍；0.5克的足絲約可以吸附80ppm的 Cu^{2+} ，這將能大幅降低受汙染水源中的重金屬含量。

(3)這幾年為了環保而開發利用天然廢棄物來吸附重金屬，大多探討的是農業廢棄物、牛糞、蝦蟹殼等。但農業廢棄物未經過加工處理時吸附效果非常差；牛糞需高溫碳化才能跟足絲一樣有好的效果；蝦蟹殼需先萃取出幾丁質，再去乙醯化形成幾丁聚醣，才能跟足絲有接近的效果(如表9)。

(4)這些皆需要費工處理甚至是要用到很多化學品造成更多毒害廢棄物，而足絲可直接利用即有相當不錯的吸附效果，是相當值得開發的。

(二) 吸附 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 的能力：

1. 研究結果：

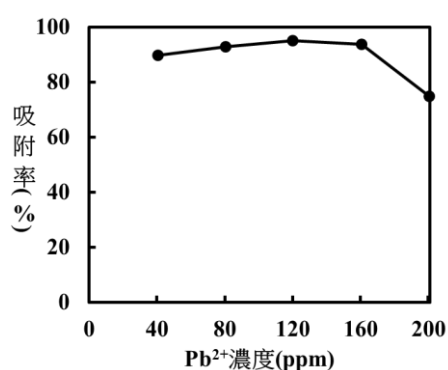


圖 20 足絲對不同濃度 Pb^{2+} 的吸附率

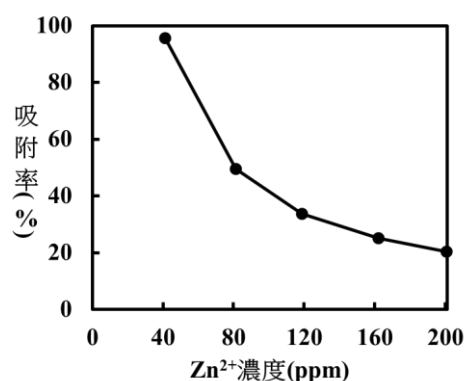


圖 21 足絲對不同濃度 Zn^{2+} 的吸附率

2.討論：

- (1)利用 $[M^{2+}] \times 25\text{mL} = 10^{-3}\text{M} \times V\text{mL}$ 及 $\text{ppm} = [M^{2+}] \times \text{原子量} \times 1000$ 這兩式子可將滴定體計算出重金屬濃度，再推算出重金屬吸附率。
- (2)足絲可吸附160ppm的 Pb^{2+} 及40ppm的 Zn^{2+} (如圖20、21)，說明足絲確實能吸附各種重金屬。
- (3)足絲表面有一層含有DOPA的mefp-1蛋白質(如圖22)，能透過苯上鄰位的OH基形成雙牙基來螯合重金屬，因此足絲將能利用吸附各種重金屬的特性來淨化水質。

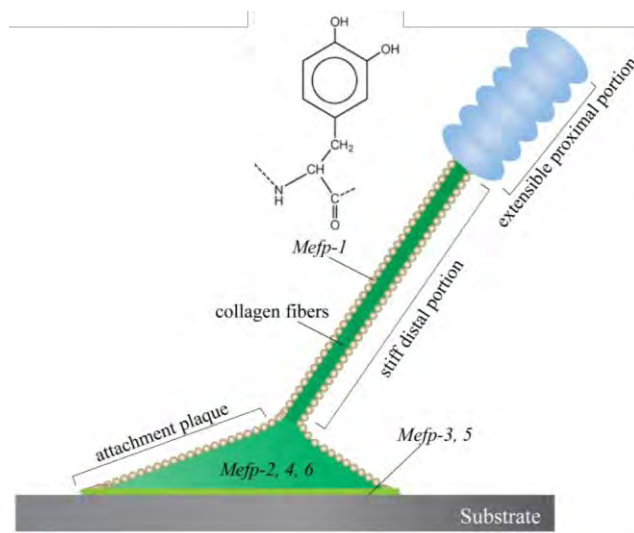


圖22 足絲表面為含有DOPA的mefp-1蛋白質[引註十]

(三)足絲淨水器的開發：

1.研究結果：

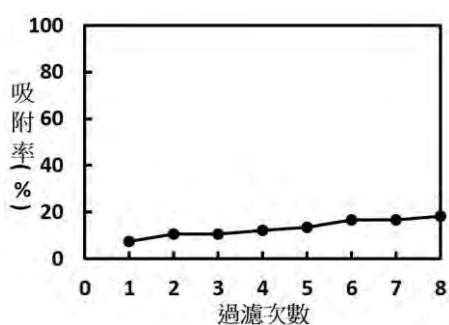


圖23 過濾 Cu^{2+} 次數與吸附率之關係



圖24 足絲淨水器的模型

2.討論：

- (2)水能透過不斷接觸足絲而使重金屬逐漸被吸附(如圖 23)；因此設計將足絲裝在布袋中再結合養殖的濾水器，利用馬達使水與足絲能一直進行反應(如圖 24)。

陸、結論

一、替代尼龍纖維的可行性：

- (一) **斷裂強度**：足絲的負重能力與相同粗細未加工的合成尼龍相近，相當的堅韌。
- (二) **耐熱**：足絲能耐濕熱，也比尼龍能承受乾熱，將能在高溫的環境中維持功用。
- (三) **耐酸鹼**：足絲與尼龍一樣能耐弱酸鹼及低濃度的強酸鹼，將不會被生活中各種酸鹼性的環境所破壞。
- (四) **染色**：足絲與尼龍皆可染成紅綠藍三原色，因此也將能染成各種所需的顏色。
- (五) **微生物分解**：足絲確實能被分解，這將能改善尼龍難以自然分解的汙染問題。

二、吸附重金屬的能力：

足絲不用額外透過加工處理，直接利用就有顯著的吸附重金屬能力。

三、開發足絲的各種產品：

(一) 編織品：

1. **漁網**：利用強韌耐弱鹼的特性，攔截海漂垃圾並淨化海水重金屬。
2. **綁螃蟹**：利用耐濕熱及弱酸性，運用在食物烹煮，避免吃到溶出有毒塑膠的危險。
3. **買菜袋**：利用可染色且耐酸鹼，製作出美觀的買菜環保袋。

(二) 淨水器：將足絲裝袋結合養殖的濾水器，增加淨水裝置的吸附重金屬功能。



圖 25 足絲環保產品的優點

四、未來展望：

- (一) 運用現行編草繩機的原理，縮小部分構造製作出編足絲繩機，以透過機器生產品質優異的足絲繩。
- (二) 利用能測量出較大拉力的儀器，來比較足絲編織繩與市售加工尼龍的纖維強度，探討替代現有尼龍製品的可行性。
- (三) 將足絲淨水器與現有的淨水器比較效果，探討在做為淨水器這部份的開發性。

柒、參考資料及其他

- 一、吳靖穎、劉莉蓮（2007）。最頂級的生物黏膠。科學月刊，38（12），952-953。
- 二、沈新元、顧曉華、楊秀英（2013）。化學纖維鑒別與檢驗。北京市：中國紡織出版社。
- 三、阮子芸、陳玟瑄、黃雅幸、邵啟曜（2008）。絲絲入色。國立科學教育館：中華民國第48屆中小學科學展覽會參展作品專輯（國中組化學科031636）。臺北市：國立科學教育館。
- 四、施函汝、陳宛伶、陳怡琇、蔡幸穎（2004）。告訴你有多「色」--探討植物染色的效果。國立科學教育館：中華民國第44屆中小學科學展覽會參展作品專輯（國中組化學科030210）。臺北市：國立科學教育館。
- 五、澎湖縣政府環境保護局（2012）。101年度台灣外島海域環境品質及污染來源調查監測計畫。澎湖縣：澎湖縣政府環境保護局。
- 六、連冠柏、謝宜庭、張建誠（2013）。蝦米吸金ㄟ—幾丁聚醣顆粒對重金屬離子吸附之探討。國立科學教育館：中華民國第53屆中小學科學展覽會參展作品專輯（國中組化學科030214）。臺北市：國立科學教育館。
- 七、李方文、魏先勛、李彩亭、張德見、翟云波（2002）。絡合滴定法測定廢水中鉛離子濃度。工業水處理，22(10)，38-39。
- 八、范哲綸、曾新凱（2013）。『蔗』麼『C』力—利用甘蔗渣-碳粉吸附重金屬離子。國立科學教育館：中華民國第53屆中小學科學展覽會參展作品專輯（高中組化學科040211）。臺北市：國立科學教育館。
- 九、羅翊誠、李宗儒、周修平（2015）。黃金超級電容。國立科學教育館：中華民國第55屆中小學科學展覽會參展作品專輯（高中組化學科040213）。臺北市：國立科學教育館。
- 十、Fan Zhang（2013）。The Mussel Adhesive Protein (Mefp-1) — A GREEN Corrosion Inhibitor. KTH Royal Institute of Technology School of Chemical Science and Engineering Department of Chemistry：Doctoral Thesis.

【評語】 052602

1. 本作品利用淡菜足絲成分為蛋白質且堅韌之特性，與同樣聚醯胺類尼龍有許多相似功能，解決尼龍製品不能分解造成環境破壞的問題，具有創新性與資源循環概念對離島廢棄物減量再利用與生態保護的目的。而可微生物分解是足絲具環保價值的凸顯。
2. 本作品應用淡菜足絲具有高強度、耐熱、耐酸鹼可染色和分解的特性及具備優異吸附重金屬能力，開發出各式生活編織品作為尼龍替代物，並作為淨水器。作者設計強度、耐熱、耐酸鹼、染色及微生物分解等實驗，證明淡菜足絲具有較尼龍絲優良特性。在吸附金屬離子部分，因淡菜足絲具多苯上鄰位的 OH 基形成雙牙基可螯合重金屬，對銅、鉛等具有良好吸附效果。
3. 利用馬祖淡菜足絲廢棄物，可解決離島廢棄物處理問題，且可替代石化產品尼龍，藉由一系列試驗分析淡菜足絲纖維，耐熱可染色及分解能力確認能替代尼龍纖維製成漁網綁螃蟹與買菜袋等產品，同時量測其銅鉛鋅等重金屬吸附能力應用於製成淨水產品，實驗結果都有照片輔助說明，實驗記錄與討論完整豐富。
4. 後續建議在吸附實驗設計時宜思考量測等溫吸附量及吸附速率，深入探討測試淡菜足絲吸附重金屬能力，開發足絲濾水器，分析吸附完重金屬的淡菜能否重複利用，及最終處理方式。

作品海報

動機



足絲



海洋汙染
海漂垃圾
人為廢水

淡菜足絲
尼龍替代品
吸附重金屬

淨化海洋

圖1 利用足絲解決馬祖海洋汙染問題

研究目的

- 探討足絲纖維耐熱、耐酸鹼、染色、分解的能力。
- 評估足絲替代尼龍纖維的可行性。
- 試驗足絲吸附重金屬的能力。
- 開發足絲編織及淨水的產品。

研究過程與方法

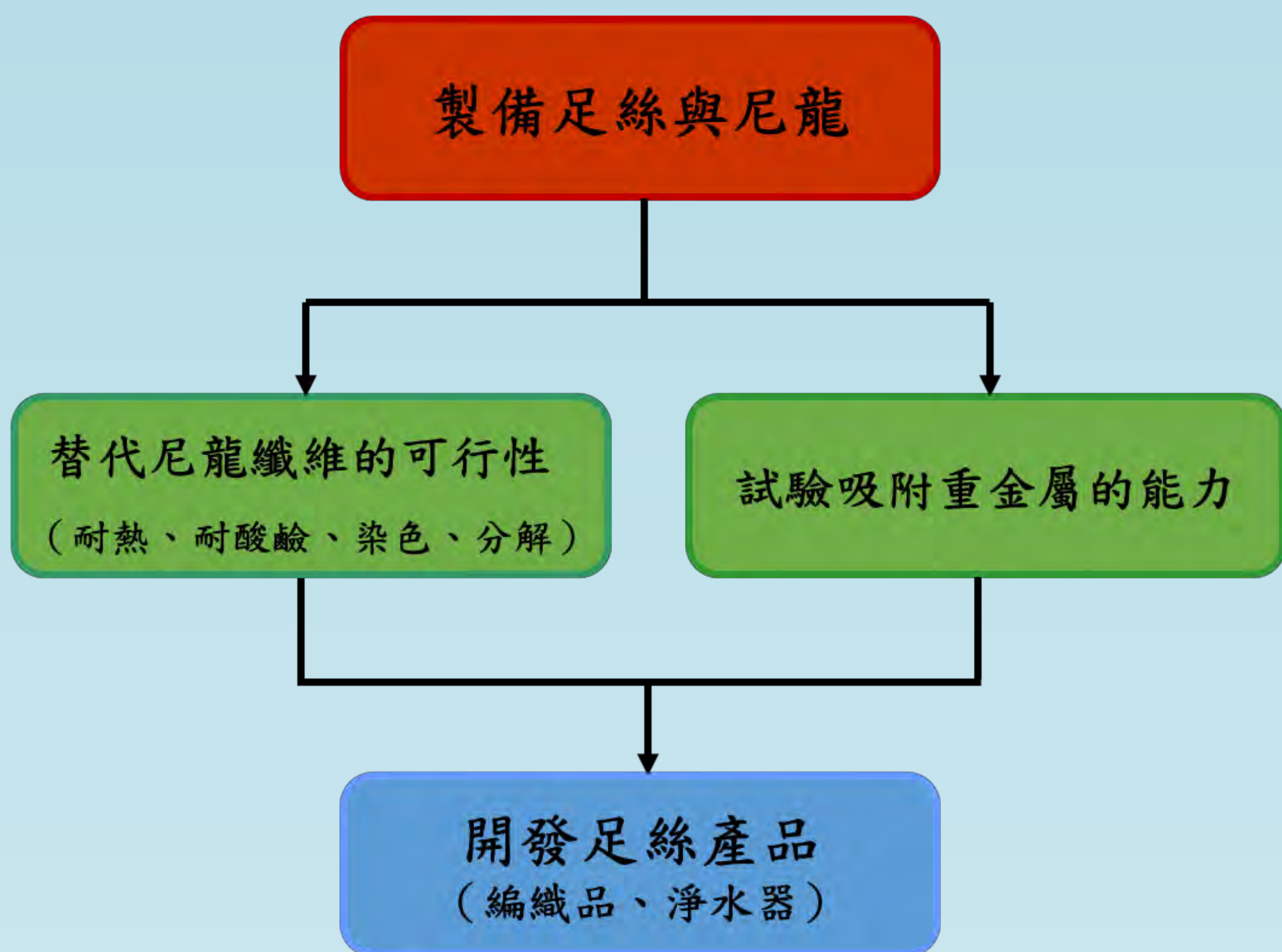


圖2 研究方法流程圖

樣品的製備



收集足絲



剪下洗淨



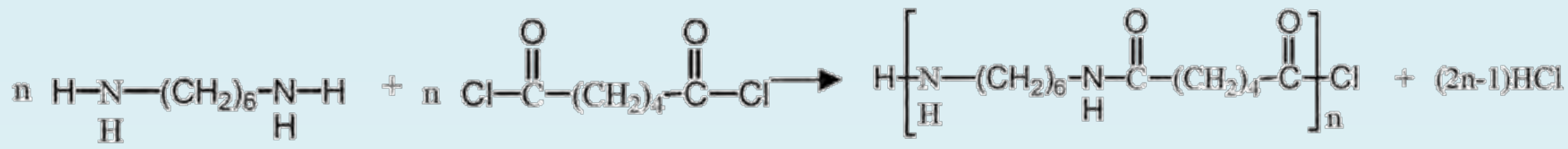
晾乾

圖4 處理淡菜足絲



圖5 尼龍合成抽絲

- 剪下足絲洗淨晾乾
- 自行合成尼龍66



替代尼龍的可行性

• 耐熱性分析



濕熱處理



乾熱處理



控制粗細



強度測量



熱收縮率測量

圖7 熱處理及耐熱測定



圖6 熔點的測量

• 耐酸鹼性分析



圖8 將纖維於酸鹼溶液中反應

• 染色性分析



90°C 加熱染色



測量纖維的顏色

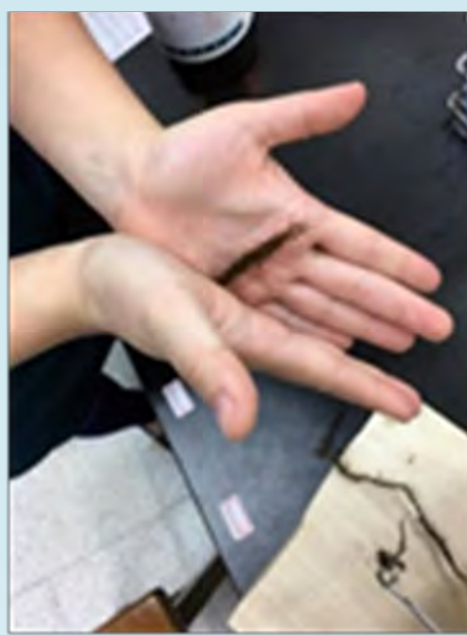
圖9 將纖維染色及測量比較

• 微生物分解分析



圖10 將纖維進行好氧堆肥

• 足絲編織的開發



足絲搓揉成一撮



兩條單股纏繞



連接延長成線

圖11 足絲繩的編織法

重金屬吸附的試驗

表1 馬祖海域重金屬監測調查結果

檢測項目				總有機物	汞	砷	銅	鋁	鎂
單位				%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
方法偵測極限				—	0.0988	—	0.068	0.619	1.010
底泥品質指標項目				—	0.87	33	2.49	157	161
縣市				—	(0.23)	(11)	(0.65)	(50)	(48)
測站				天氣	接樣時間	接樣日期	接樣日期	接樣日期	接樣日期
連江縣	M-01	南竿島四維外海	1010523	晴	10:40~11:00	4.03	ND	11.4	ND
			1010926	晴	07:10~07:30	3.8	ND	8.19	ND
			1010523	晴	10:00~10:20	4.07	ND	11.8	ND
	M-02	閩江口外海	1010926	晴	08:20~08:40	4.1	ND	9.61	ND
			1010523	晴	05:20~05:40	4.48	ND	7.79	ND
			1011023	晴	05:30~05:50	7.54	0.127	6.47	ND

資料來源：澎湖縣政府環境保護局(2012)

- 馬祖海域含有Cu²⁺、Pb²⁺、Zn²⁺
- 選擇這三種重金屬探討足絲吸附重金屬能力

• 吸附Cu²⁺的能力



配置Cu²⁺標準濃度

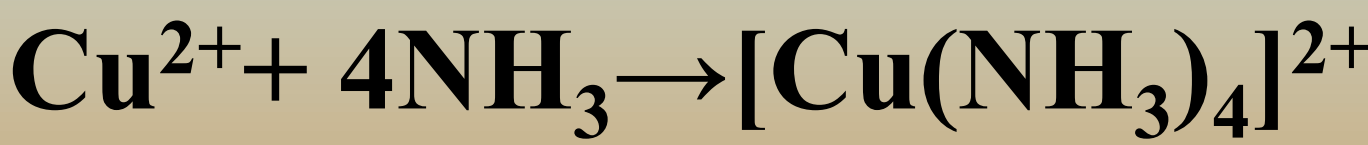


加入纖維吸附



抽氣過濾

圖12 將纖維與Cu²⁺反應



• 吸附Pb²⁺、Zn²⁺的能力

EDTA配位滴定法

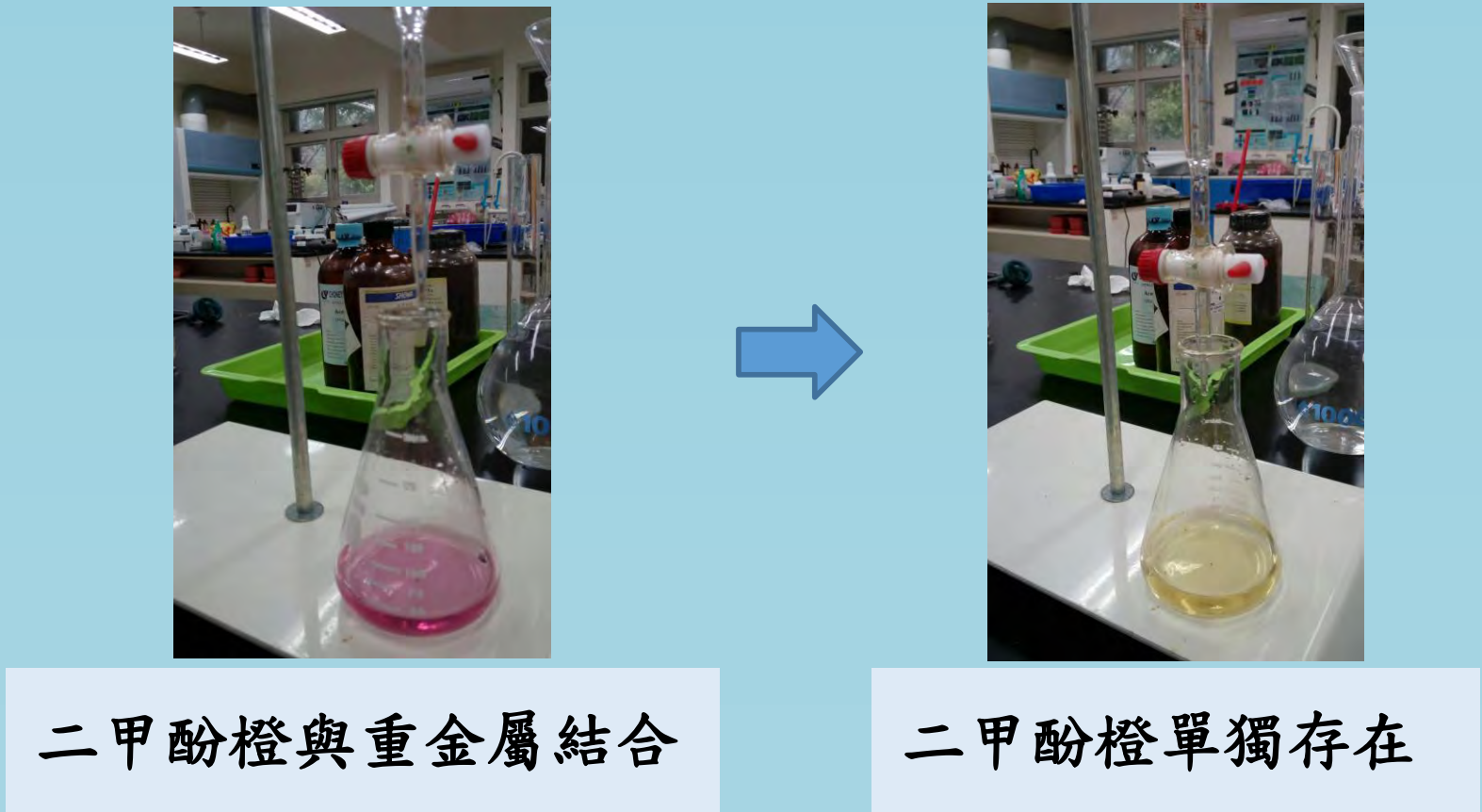


圖13 配位滴定法之顏色變化

• 足絲淨水器的開發



圖14 模擬濾水的實驗裝置

研究結果與討論

替代尼龍的可行性

• 耐熱性分析

表2 控制纖維的粗細

	足絲	尼龍
照片		
細度(mm)	0.436	0.436

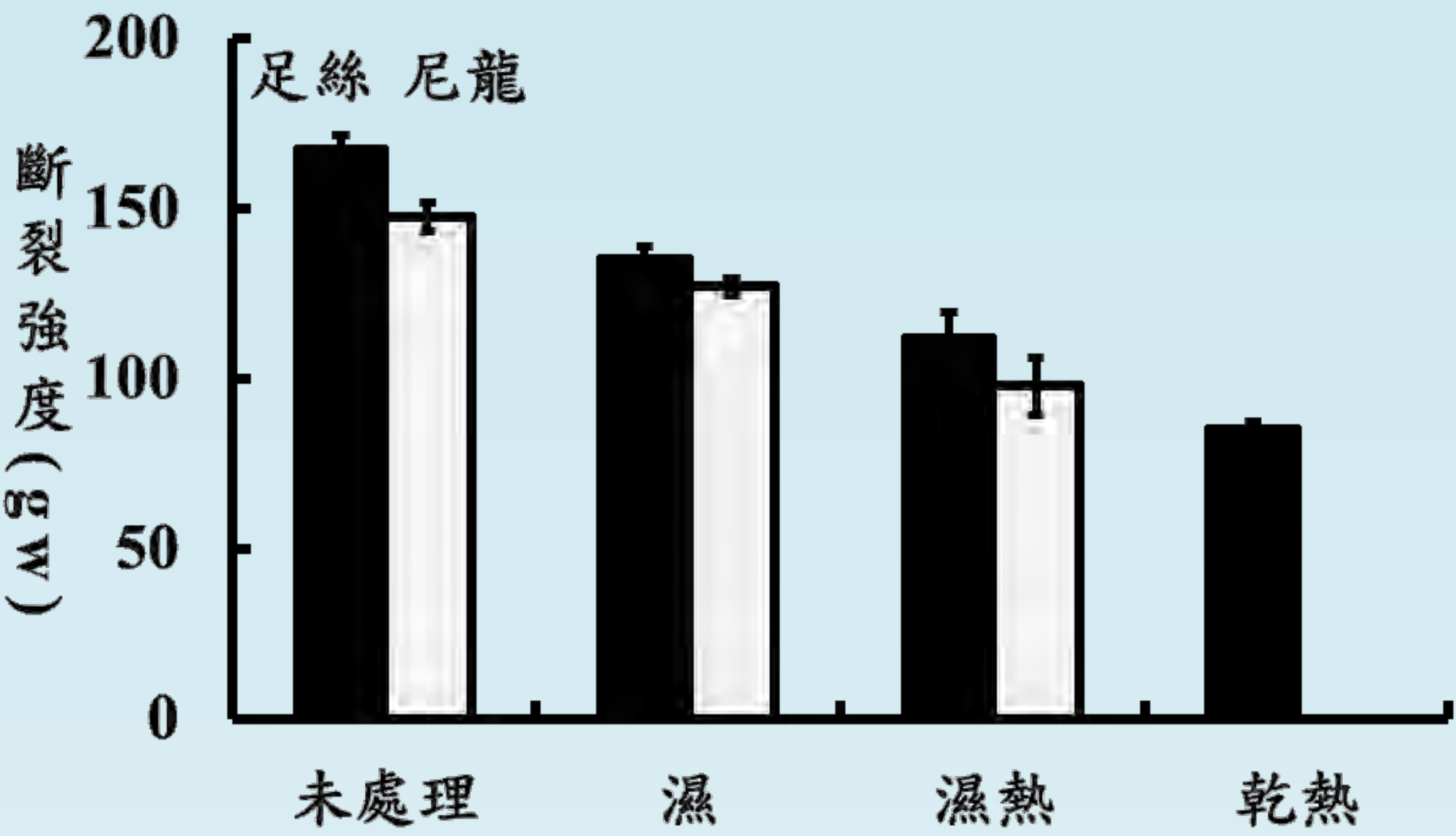


圖15 熱處理的纖維強度變化

表3 纖維的熱收縮率

熱收縮率	足絲	尼龍
濕熱	0.9%	1.8%
乾熱	8.3%	22.2%

- 粗細：兩纖維已被控制一致
- 耐100℃濕熱：兩纖維皆可，可用於烹煮
- 耐180℃乾熱：足絲明顯較尼龍耐高溫

表4 改變溫度對纖維外觀的影響

	170℃	235~238℃	290℃
照片			
足絲	無變化	微彎曲	僅表面熔化
尼龍	顏色變黃	整個熔化	液體

- 高溫時足絲僅表面熔化
- 尼龍則整個熔化為液體
- 足絲可用於高溫作業

• 耐酸鹼性分析

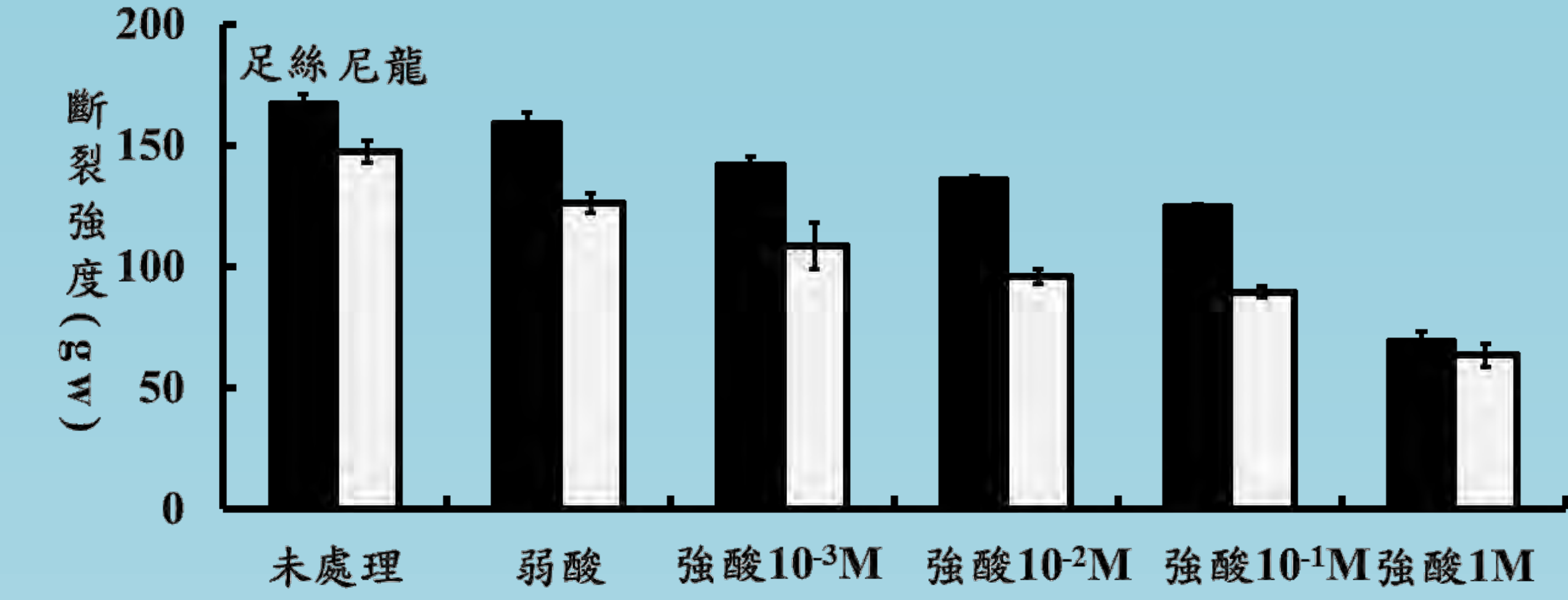


圖16 酸處理的纖維強度變化

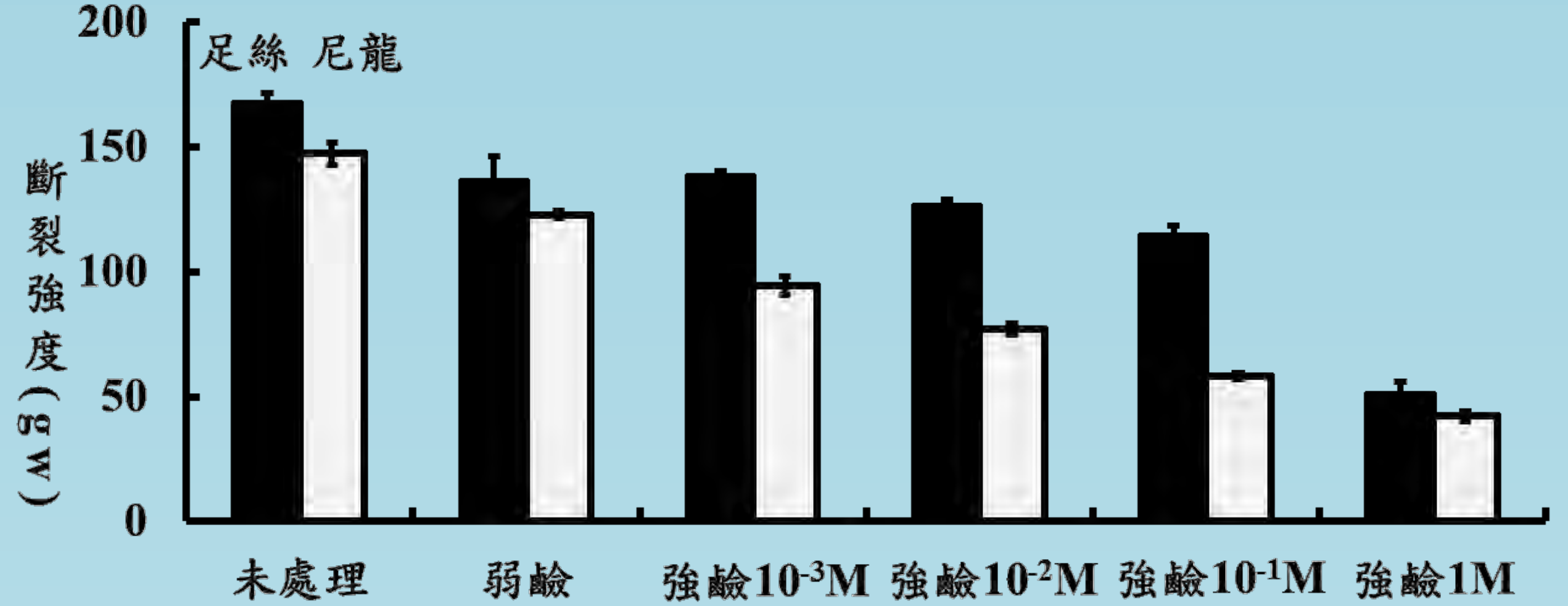


圖17 鹼處理的纖維強度變化

- 耐弱酸、低濃度強酸：可用於食品
- 耐弱鹼、低濃度強鹼：抗海水和清潔劑

• 染色性分析

表5 纖維染色的顏色比較

		未染色	染紅色	染綠色	染藍色
足絲	照片				
	(R, G, B)	(75, 66, 60)	(164, 55, 61)	(51, 155, 54)	(53, 57, 157)
尼龍	照片				
	(R, G, B)	(223, 204, 225)	(155, 55, 66)	(51, 162, 60)	(62, 63, 167)

- 足絲與尼龍染色效果相當
- 可提升產品的美觀

• 微生物分解分析

表6 纖維堆肥處理後的變化

	足絲	尼龍
照片		
質量變化率	27%	8%
強度變化率	11%	1%

- 足絲外觀、質量及強度皆明顯減少
- 尼龍變化不明顯
- 足絲可分解較環保

• 足絲編織的開發

表7 足絲繩編織品的模型

足絲繩應用		
漁網	綁螃蟹	買菜袋

- 耐鹼
- 耐熱耐酸
- 可染色
- 攔截海漂垃圾
- 不釋放塑毒
- 減少使用塑膠袋

重金屬吸附的試驗

• 吸附Cu²⁺的能力

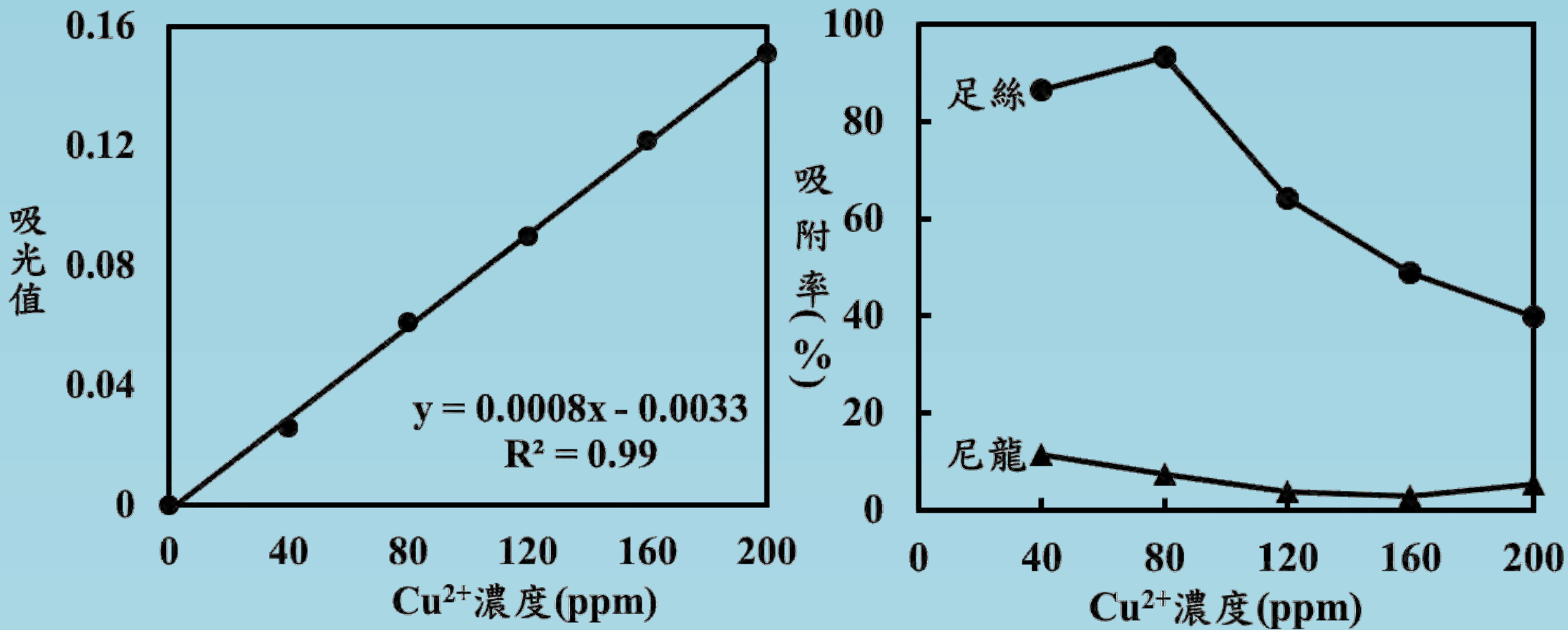


圖18 Cu²⁺濃度的標準曲線

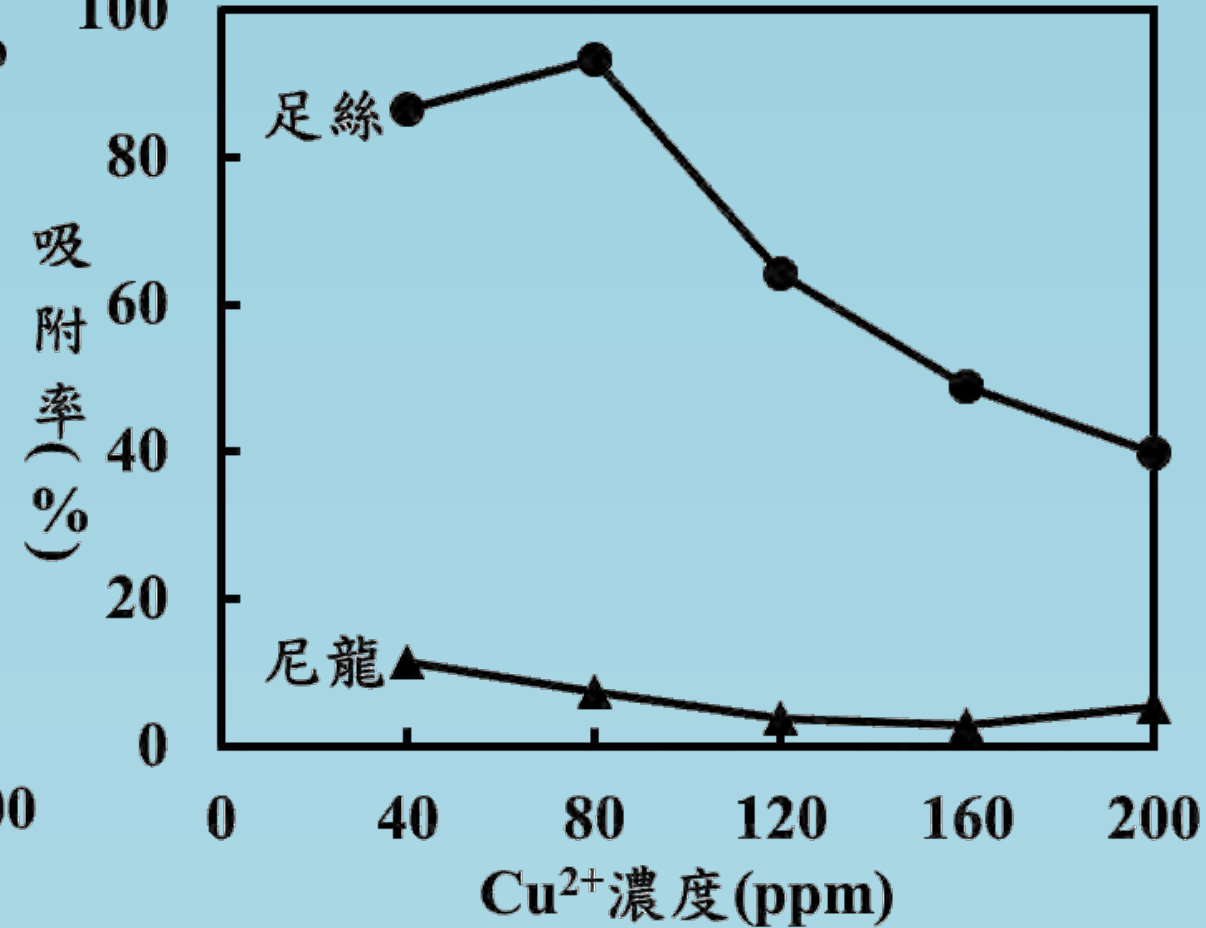


圖19 纖維對不同濃度Cu²⁺的吸附率

表8 纖維吸附Cu²⁺的呈色照片

照片	標準	足絲	尼龍
Cu ²⁺ 濃度	40ppm	80ppm	120ppm
照片	標準	足絲	尼龍
Cu ²⁺ 濃度	160ppm	200ppm	

• 0.5克足絲可吸附80ppm的Cu²⁺

• 尼龍幾乎無吸附的功能

表9 各種天然廢棄物吸附Cu²⁺之比較

Cu ²⁺ 濃度	40ppm	80ppm	200ppm	特殊處理
足絲	87%	93%	40%	無
甘蔗渣	20%	---	---	無
牛糞	---	99%	---	800℃ 高溫碳化
蝦殼(幾丁質)	---	---	38%	用 HCl 去除碳酸鈣 用稀 NaOH 高溫去除蛋白質
蝦殼(幾丁聚醣)	---	---	50%	用濃 NaOH 高溫去乙酰化

資料來源：甘蔗渣、牛糞及蝦殼引用中華民國中小學科學展覽會參展作品專輯(2013、2015)

- 農業廢棄物未加工處理的吸附能力非常差
- 牛糞需高溫碳化才能跟足絲一樣有好的效果
- 蝦蟹殼需化學處理才能跟足絲有接近的效果
- 足絲直接利用即有很好的吸附效果值得開發

• 吸附Pb²⁺、Zn²⁺的能力

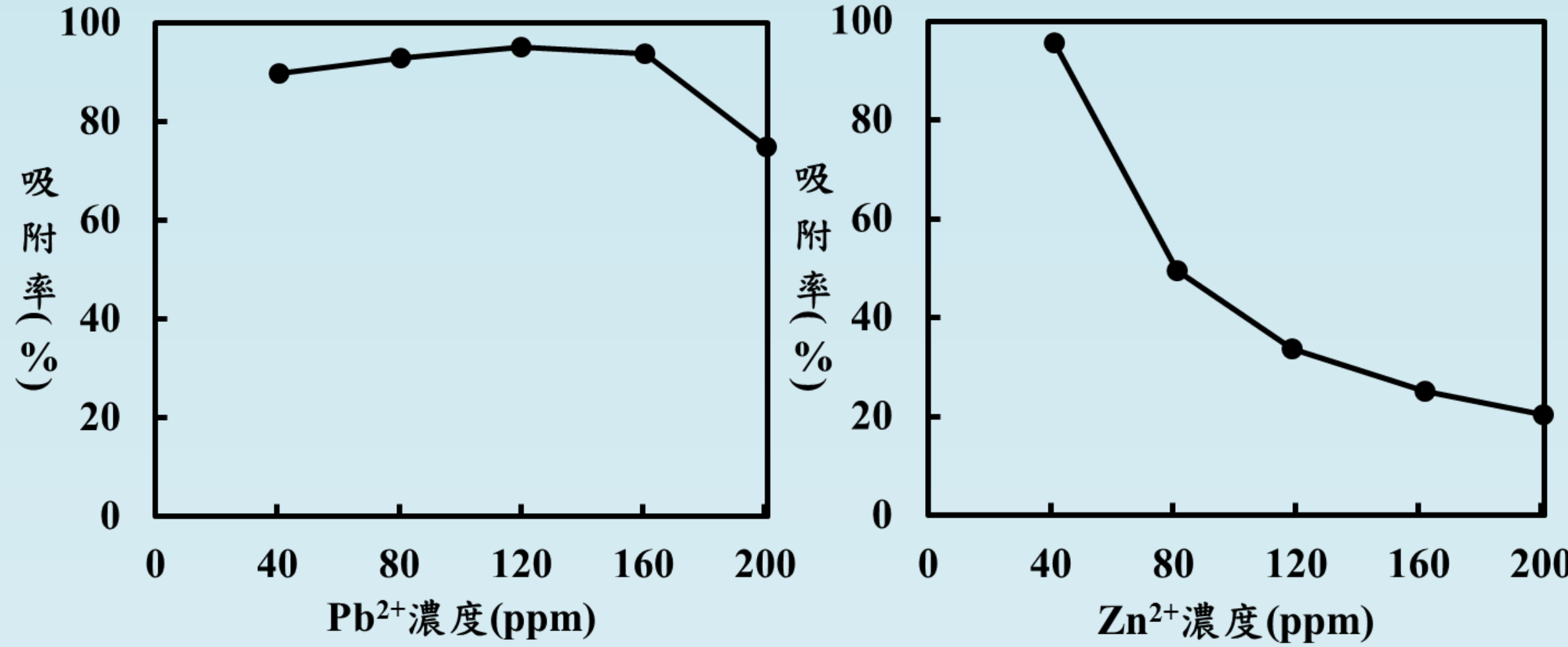


圖20 足絲對不同濃度Pb²⁺的吸附率

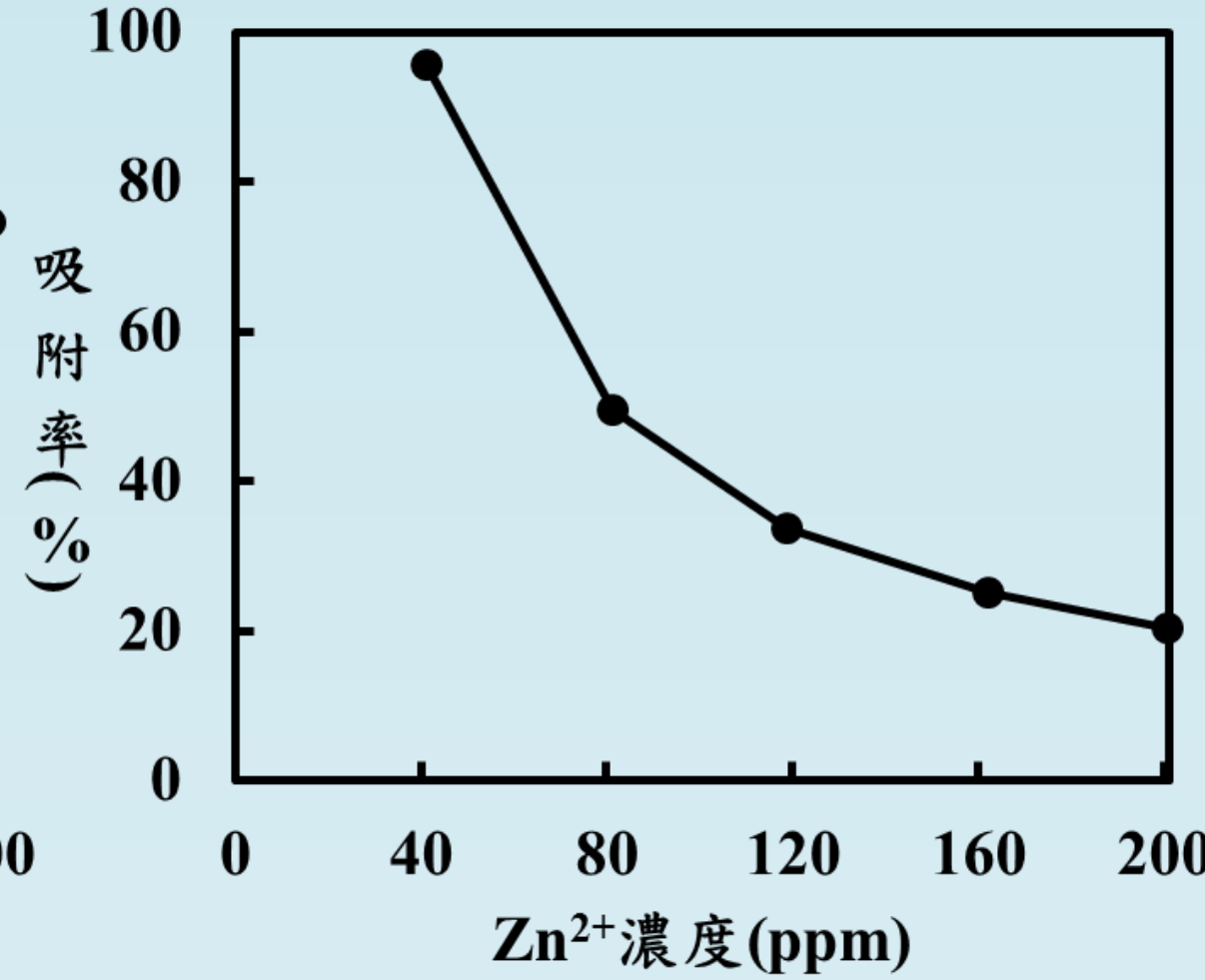


圖21 足絲對不同濃度Zn²⁺的吸附率

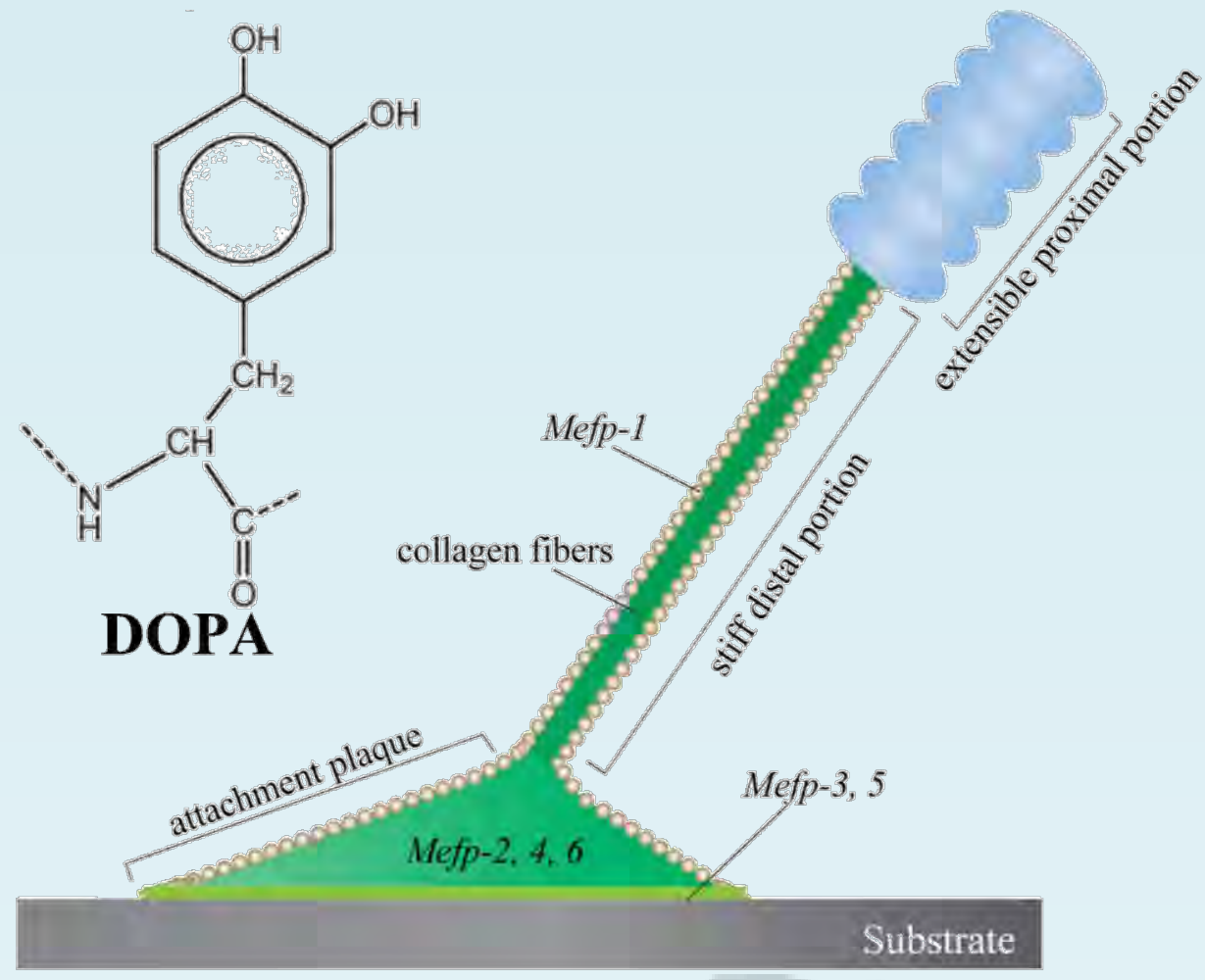


圖22 足絲表面為含有DOPA的mefp-1蛋白質

- 吸附160ppm Pb²⁺及40ppm Zn²⁺
- 足絲確實能吸附各種重金屬
- 用含DOPA的mefp-1蛋白質整合
- 足絲可開發於淨水產品

• 足絲淨水器的開發

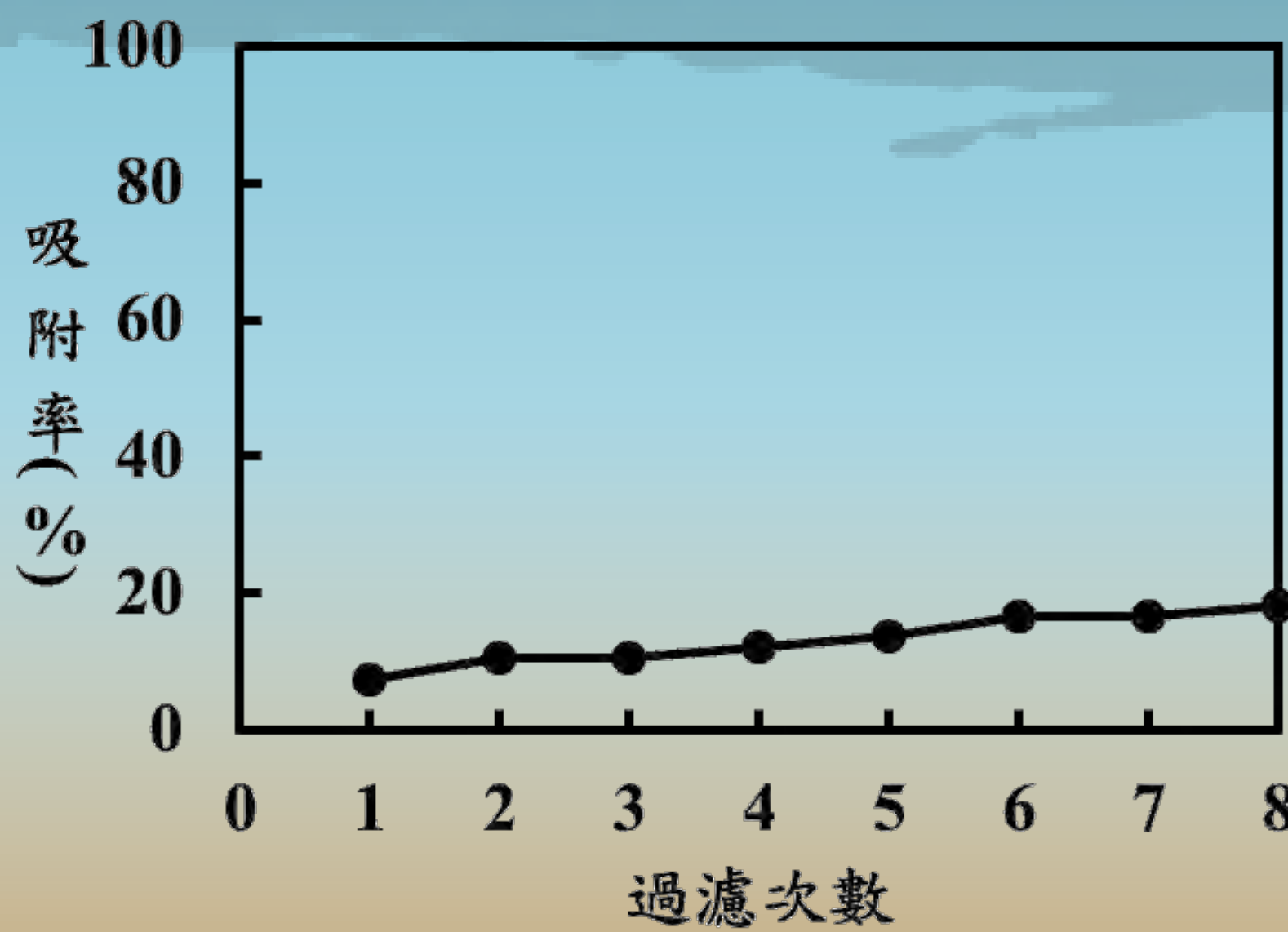


圖23 過濾重金屬次數與吸附率之關係



圖24 足絲淨水器的模型

- 需多次過濾才能完全吸附重金屬
- 設計利用馬達使汙水能與足絲不斷反應

結論

一、替代尼龍纖維的可行性:

- (一) 斷裂強度：足絲與尼龍相近，相當的堅韌。
- (二) 耐熱：足絲能耐濕熱，也比尼龍能承受乾熱。
- (三) 耐酸鹼：足絲能耐弱酸鹼及低濃度的強酸鹼。
- (四) 染色：足絲與尼龍皆可染成紅綠藍三原色。
- (五) 微生物分解：足絲確實能被分解。

二、吸附重金屬的能力：

足絲不用加工處理直接利用就有吸附重金屬能力。

三、開發足絲的各種產品：

(一) 編織品:

1. 漁網：強韌耐鹼的特性來攔截海漂垃圾並淨化海水重金屬。
2. 綁螃蟹：耐濕熱及酸性來避免吃到溶出有毒塑膠的危險。
3. 買菜袋：可染色且耐酸鹼能製作出美觀的買菜環保袋。

(二) 淨水器：足絲裝袋結合養殖的濾水器來吸附重金屬。



圖25 足絲環保產品的優點

• 未來展望

- 製作出編足絲繩機以生產品質優異的足絲繩
- 比較足絲編織繩與市售尼龍的纖維強度
- 將足絲淨水器與現有的淨水器比較效果

參考資料

- 吳靖穎、劉莉蓮 (2007)。最頂級的生物黏膠。科學月刊，38 (12)，952-953。
- 沈新元、顧曉華、楊秀英 (2013)。化學纖維鑒別與檢驗。北京市：中國紡織出版社。
- 阮子芸、陳玟瑄、黃雅幸、邵啟曜 (2008)。絲絲入色。國立科學教育館：中華民國第48屆中小學科學展覽會參展作品專輯 (國中組化學科031636)。臺北市：國立科學教育館。
- 施函汝、陳宛伶、陳怡琇、蔡幸穎 (2004)。告訴你有多「色」--探討植物染色的效果。國立科學教育館：中華民國第44屆中小學科學展覽會參展作品專輯 (國中組化學科030210)。臺北市：國立科學教育館。
- 澎湖縣政府環境保護局 (2012)。101年度台灣外島海域環境品質及污染來源調查監測計畫。澎湖縣：澎湖縣政府環境保護局。
- 連冠柏、謝宜庭、張建誠 (2013)。蝦米吸金--幾丁聚醣顆粒對重金屬離子吸附之探討。國立科學教育館：中華民國第53屆中小學科學展覽會參展作品專輯 (國中組化學科030214)。臺北市：國立科學教育館。
- 李方文、魏先勛、李彩亭、張德見、翟云波 (2002)。絡合滴定法測定廢水中鉛離子濃度。工業水處理，22(10)，38-39。
- 范哲綸、曾新凱 (2013)。『蔗』麼『C』力--利用甘蔗渣-碳粉吸附重金屬離子。國立科學教育館：中華民國第53屆中小學科學展覽會參展作品專輯 (高中組化學科040211)。臺北市：國立科學教育館。
- 羅翊誠、李宗儒、周修平 (2015)。黃金超級電容。國立科學教育館：中華民國第55屆中小學科學展覽會參展作品專輯 (高中組化學科040213)。臺北市：國立科學教育館。
- Fan Zhang (2013)。The Mussel Adhesive Protein (Mefp-1) — A GREEN Corrosion Inhibitor. KTH Royal Institute of Technology School of Chemical Science and Engineering Department of Chemistry：Doctoral Thesis。