

中華民國第 63 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)

第一名

032905

藻紙如此，何必砍樹～探討利用三種絲狀藻造紙
效果之比較

學校名稱：高雄市立橋頭國民中學

作者： 國一 林姵妤	指導老師： 梁珠華 林茂德
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：絲狀藻、造紙、藻紙

得獎感言

絲狀藻讓我們生活更美好

我家附近有很多的魚塭，這些魚塭裏常會長出大量的絲狀藻，養魚的人常常要花許多時間把這些絲狀藻撈出來，以免影響魚塭裏養的魚；另外也有很多的水稻田和排水溝渠，也常看見長滿了各種絲狀藻；而我養魚的水族箱中，也經常長出很多的絲狀藻，這些絲狀藻不但會纏住魚，而且會讓水族箱變得很髒。

有一次在體驗利用回收紙張製作再生紙的活動中，看到那些細細的紙漿纖維讓我想到絲狀藻，我就想，這些絲狀藻看起來相較於陸上的樹木，應該更容易做成紙漿的纖維，如果我可以拿這些絲狀藻來試著造紙，比起用樹木來造紙，會不會容易些？

為了印證這個想法，從去年暑假開始，我就會到家裡附近的魚塭、稻田、水溝去採集絲狀藻，開始試著用不同的方法來製作藻紙。過程中雖然失敗了很多次，最後終於成功製作出許多藻紙。這些藻紙品質雖然還比不上市面上販賣的紙，但是我把這些藻紙拿來測試，甚至是用來寫字、繪圖、折紙鶴、編紙籃，都有很好的效果。我想如果可以累積更多的經驗，改善更好的造紙工具或程序，一定可以製作出更好的藻紙，達到我想用絲狀藻代替樹木當成原料來造紙的目標。

在高雄市賽和全國賽前，我每天練習講解報告，希望能把自己的實驗過程，完整的陳述給評審老師聽，也希望能把自己的實驗結果清楚呈現出來，讓大家知道其實用絲狀藻來造紙是可行的，不但可以減少砍伐樹木，還可以用任何的鹼性溶液去溶解木質素，可以降低成本又可以達成更好的環境保護效果，是一個很值得推廣的造紙方法。

整個比賽過程中，讓我印象最深刻的，是在講解分享我的研究給別人聽的經驗。一開始是講給評審老師聽，不論是市賽或是全國賽，我都很緊張，但是因為累積的研究經驗，我努力回答評審老師提出的問題，希望評審老師可以認同我的研究。到後來公開展覽時，有許多的同學、老師、甚至是一般民眾對我的研究有興趣，都來詢問和我研究相關的各種問題，我努力的說明，希望能讓大家知道這個主題是一個奠定環保基礎的開始，要拯救地球要從自己做起。很高興大家來參觀的時候，也會說我的主題很好很酷很環保，讓我很有成就感，也更喜歡參加科展這個活動，希望能夠將這個主題傳達給大家，讓我們的環境可以更美好。

很榮幸能夠在今年拿到全國科展國中組生活與應用科學科（二）的第一名，也很高興能夠參加科展，謝謝評審老師給我這個機會，也謝謝協助我做這項研究的老師們，讓我對科學有進一步的了解，希望未來有機會還能夠去探索，如何讓藻紙推行出去，讓這個世界更美好。



林姍妤和兩位指導老師梁珠華老師和林茂德老師合影



在高雄市永安區的魚塢中採集到剛毛藻



用各種絲狀藻製作出許多的藻紙

藻紙如此，何必砍樹～探討利用三種絲狀藻造紙效果之比較

摘要

本研究採集三種絲狀藻，包含鞘藻(*Oedogonium sp.*)、剛毛藻(*Cladophora sp.*)、和黑孢藻(*Pithophora sp.*)，利用這三種絲狀藻來製作藻紙，採用的製作程序是『採集原料→曬乾(或不曬乾)→漂白(或不漂白)→加熱(或不加熱)→打碎(不同時間)→抄紙→取出壓乾』的各種變化，製作了超過 119 張的藻紙，並和市售的影印紙比較外觀、重量、厚度、透光度、吸水性、吸油性、抗張力性、耐折性等性質，認為藻紙的品質不會比一般的手工紙不好，如果可以針對製作原料和製作程序多作試驗探討，一定可以做出品質非常好的手工紙張。利用絲狀藻為原料來製作紙張，除了減少樹木的砍伐，而且因為製作的過程不需要為了溶解木質素而使用鹼液，可以降低對環境的影響，是值得推廣的一種造紙原料。

壹、前言

一、研究動機

現代資訊發達，每天都有各種資訊在我們的生活周遭不斷的傳播，因此需要大量的傳播媒體，來將這些資訊散播出去，這些傳播媒體，除了因為現代科技進步而掘起的網際網路之外，傳統的資訊傳播主要還是依賴由紙張構成的報章、雜誌或是書籍，為了提供這些紙張，常常需要砍伐大量的樹木，造成環境的破壞。因此，如果可以找到替代樹木的紙張原料來源，除了減少資源的浪費之外，也可以改善我們的環境問題。

在一次自然課的實驗中，我學到藻類細胞壁的主要構成成分是纖維素，纖維素也是造紙的主要成分，而且藻類的構造通常不含或只含少量的木質素，如果用藻類來造紙，在造紙的過程中就可以省掉加入大量鹼液來分解木質素的步驟，除了降低成本，又可以減少造紙過程中對於環境的傷害，是個值得嘗試的研究探討方向。

我家附近有很多的魚塢，這些魚塢裏常會長出大量的絲狀藻，養魚的人常常要花許多時間把這些絲狀藻撈出來，以免影響魚塢裏養的魚；另外也有很多的水稻田和排水溝渠，這些水域也常常可以看見長滿了各種絲狀藻；而我養魚的水族箱中，也經常長出很多的絲狀藻，這些絲狀藻不但會纏住魚，而且會讓水族箱變得很髒。我就想，如果我可以拿這些絲狀藻來試著造紙，以我一個國中生簡單的器材，可不可以造出接近市售品質的紙張？所以我找老師討論，開始設計實驗，採集魚塢、稻田和水族箱中常見的絲狀藻類，參考手工造紙的程序來

設計我的造紙流程；用不同的絲狀藻類原料，和不同的處理方法造出手工紙張，並比較這些紙張和市售影印紙品質上的差異。

二、研究目的與架構

(一)、研究目的

本研究的目的，主要是為了找到一種適合的程序，利用在魚塢或水族箱中採集的絲狀藻，造出可以使用的紙。並且比較不同的絲狀藻，或是不同的製造程序，所生產出來的紙張，它的品質和市售的一般紙張有沒有很大的差異？因此我根據研究目的，提出以下研究問題：

1.採集住家附近的各種絲狀藻，分辨其種類，並蒐集藻類相關資訊。

研究 1-1：採集住家附近各種絲狀藻，加以分辨，並蒐集整理相關資訊。

研究 1-2：試著培養這些採集的藻類，以供造紙實驗所需。

2.用所採集的絲狀藻類，建立製作藻紙的標準程序。

研究 2-1：蒐集造紙的各種方法，從中找出適合的藻紙製作的程序。

研究 2-2：利用不同的藻紙製作程序，配合三種絲狀藻類原料，製作不同的藻紙。

3.將自己製作的藻紙和市售紙張相較，品質有哪些差異？

研究 3-1：比較藻紙和市售紙張外表(顏色、厚度、重量、纖維粗細)的差異。

研究 3-2：比較藻紙和市售紙張透光性的差異。

研究 3-3：比較藻紙和市售紙張吸水性的差異。

研究 3-4：比較藻紙和市售紙張吸油性的差異。

研究 3-5：比較藻紙和市售紙張抗張力性的差異。

研究 3-6：比較藻紙和市售紙張耐折性的差異。

(二)、研究架構

我們依前面的研究目的，擬定出研究架構，如下圖所示：

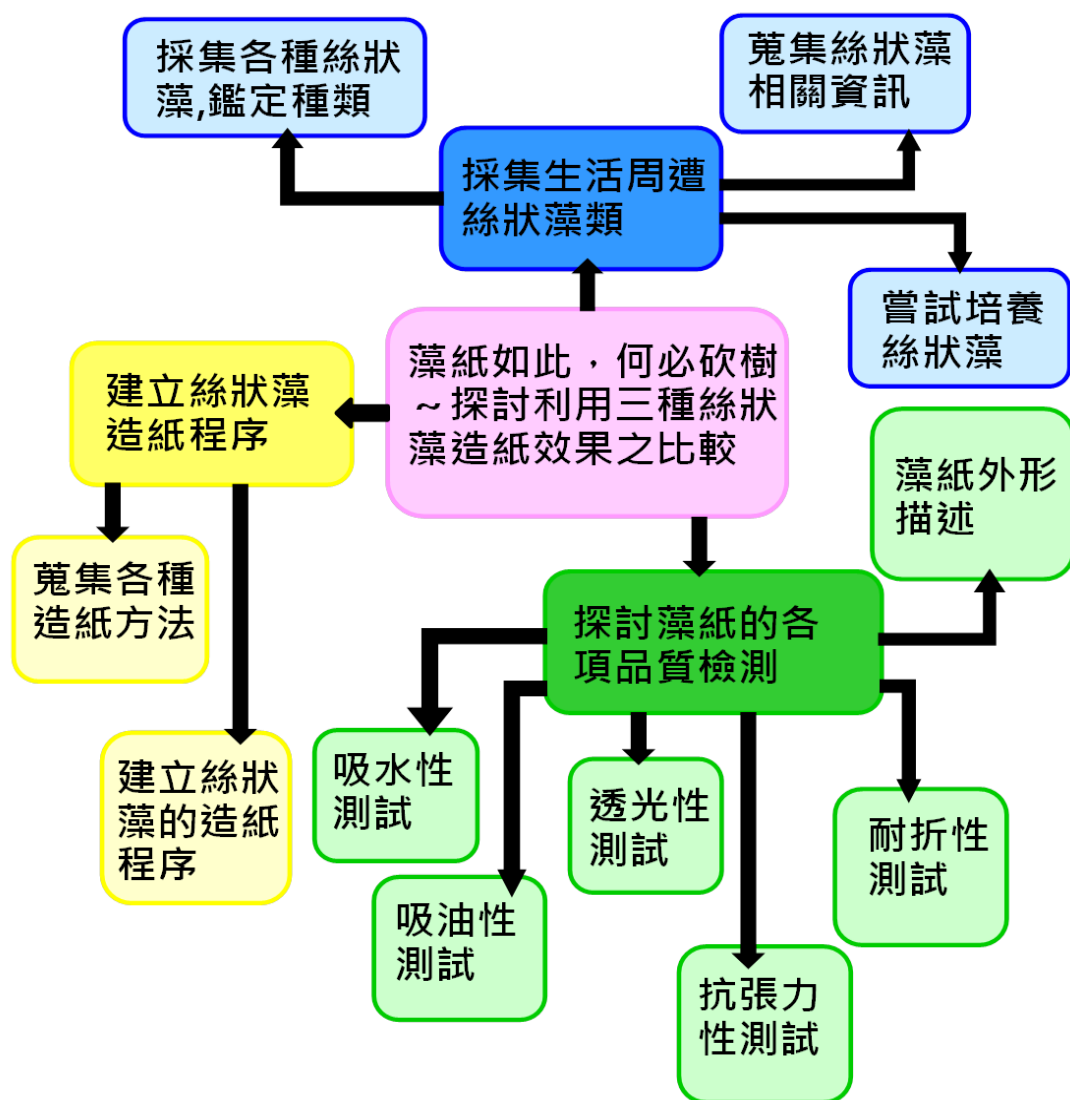
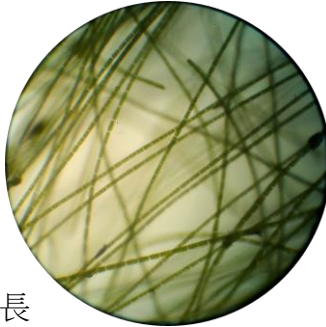


圖 1. 藻紙如此，何必砍樹～探討利用三種絲狀藻造紙效果之比較研究架構圖

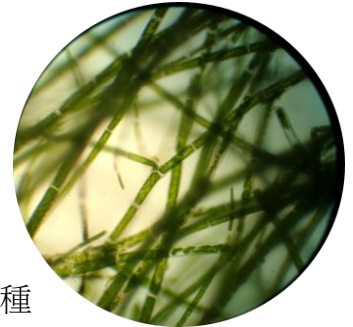
三、文獻探討

探討主題	內容
絲狀藻介紹	<p>本研究所謂絲狀藻，是指綠藻的藻體是由圓筒狀的細胞接續而成，藻體呈現絲狀，分枝或不分枝，本文獻探討針對本研究的三個主要研究對象絲狀藻，做相關資料的整理和說明。</p> <p>1. 鞘藻(<i>Oedogonium sp.</i>): 鞘藻主要生長在池塘、水溝、稻田等淺水、靜水水域中，小的時候會用固著器附生在水底物體上，長大後會脫離附生的物體漂浮在水面上，並繼續生長。鞘藻藻體是不分枝的絲狀體，由一系列數量不等的細胞排列而成，細胞是長圓筒形，每個細胞不相關聯，各自獨立生活，顏色是翠綠色或黃綠色。細</p> 

胞壁的外層是果膠質，內層主要是纖維素，和少量的幾丁質。藻體細胞內有細胞核、細胞質和液泡等胞器，葉綠體周生，呈網狀。鞘藻除了基部細胞演化成固著器外，藻體的其他細胞均可以進行繁殖，除了可以產生孢子進行無性生殖，也可以產生配子進行有性生殖，而斷裂的藻絲也可以再發育成新個體，平時細胞分裂可以增加藻絲的長度。鞘藻可以適應各種環境，軟水或硬水都可以生長良好，在 pH5.0~pH8.0，溫度 15°C~25°C，乾淨而營養的水中可以大量而迅速的繁殖。

2. 剛毛藻(*Cladophora sp.*)：剛毛藻喜歡在富含營養的池

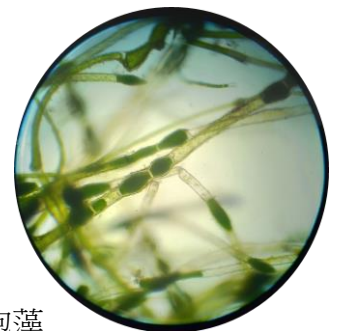
塘、湖泊、溝渠的淺灘邊，或是底床生長，附生在各種物體上面，少數種類會有漂浮生長的方式。多年生，植物體為多細胞分枝的絲狀體，主枝和分枝不容易區別。基部細胞有假根，是一種



分化程度較進步的藻類。可以在輕、中度污染但水質清澈的水中生長，對溫度變化適應良好，比較喜歡較高的溫度，25°C~30°C 生長最佳，喜歡生長在弱酸的環境，對於鹼性的水質較敏感。生長時對於氮和磷的需求高，可以做為污水處理用藻類。除了基底細胞呈假根狀外，其他細胞多呈柱狀。剛毛藻細胞壁較厚，有三層結構，最內層主要成分是纖維素，中層為果膠層，最外層是角質層，所以藻絲較剛硬。細胞中有細胞核、細胞質和液泡、葉綠體等胞器，葉綠體為周生網狀或顆粒狀。剛毛藻的顏色為深綠色。剛毛藻可以進行有性繁殖或是無性繁殖，也可以藉由絲狀體斷裂來繁殖。剛毛藻附生在水底物體上，當剛毛藻植物體斷裂時，也可以由附著物體的假根再重新長出新的藻體。

3. 黑孢藻(*Pithophora sp.*)：黑孢藻是一種明顯分枝狀的綠

藻，和剛毛藻同科，其密生藻體觸摸起來的感覺也和剛毛藻類似。顏色呈黃綠、綠色、暗綠或綠褐色。藻體可以附著在水中任何可以攀附的表面，岩石、土壤、水草都可以，也可以漂浮生長。黑孢藻



廣泛分布在世界各水域，喜歡生長在淺水池塘或是低流量的溪流，尤其喜歡富含營養的靜水中。黑孢藻的生長速度快，而且生命力旺盛，容易產生密集式的生長，逐漸在水域底面形成一塊很大的藻區。而且因為藻絲會不規則的分枝，互相交纏在一起，形成很大的藻團，而且黑孢藻會自動斷離，

<p>絲狀藻介紹</p>	<p>當整個藻團從水域底面斷離時，還能繼續漂浮生長，很容易佔滿整個水域，會干擾養殖或灌溉等水資源利用，所以黑孢藻極不受人歡迎，甚至會被稱為『藻類的大蝗災』。黑孢藻除了具有如剛毛藻般的三層細胞壁結構之外，最明顯的特徵是黑孢藻絲體頂端有時會形成厚壁孢子，而且細胞間也常會有厚壁孢子的出現。厚壁孢子是指營養細胞原來的細胞壁增厚，且貯存豐富物質所形成的休眠期孢子。這些厚壁孢子不僅在環境不良的情況下會出現，在環境適合的情況下也會形成，是鑑定黑孢藻的一大特徵。而且這個厚壁孢子會釋放出大量的游動孢子，萌發後又可以形成新的植物體，而厚壁孢子的破裂也會造成黑孢藻藻絲的斷裂，又可以形成漂動成長的藻體。由上可知，黑孢藻的繁殖方式不但會進行有性繁殖，也會進行無性繁殖，而斷裂的藻絲也會另外成長，難怪會說黑孢藻的成長力旺盛。</p> <p>文字部分(參考文獻[01]、[02]、[03])；圖片為自行拍攝 100 倍放大圖</p>
<p>造紙程序介紹</p>	<p>1.手工造紙：一般是從不同植物取材後，需經過下列許多程序的處理，將散布在紙漿中的纖維經過重組，這些抄紙的過程，最後經過烘乾變成薄薄的手工紙，每個造紙流程概述如下：</p> <p>(1)選材：造紙纖維大部分取自於各種天然植物，經過各種加工而行成紙張。例如麻繩頭、破布、舊漁網、樹皮等為材料。</p> <p>(2)浸泡：將各種造紙纖維原料放進水池浸泡並用工具搗散。</p> <p>(3)蒸煮：加入鹼性溶液，溶解部分木質素，並經由蒸煮的方法，讓植物纖維分離，並除去原料中的雜質。</p> <p>(4)漂洗：用清水做初步的浸泡及清洗，去除植物纖維以外可見雜質。</p> <p>(5)打漿：漂洗後的纖維原料成漿狀，做打漿處理，形成所謂的紙漿。</p> <p>(6)抄紙：將紙漿溶解於水中並加入懸浮劑(糊) 加以攪拌均勻，在網中依搖盪的紙漿濃度及時間來控制所需要的紙張厚度。</p> <p>(7)壓紙：將水份壓榨去除。</p> <p>(8)烘紙：將紙張取下，用蒸氣烘乾、刷平。</p> <p>(9)成紙：紙張經過適溫烘乾，就形成一張張珍貴的手工紙了。</p> <p>(參考文獻[07]、[08])</p> <p>2.工業造紙：工業造紙和手工造紙最大的差別，在於大量生產，所以不論原料的取得，或是生產過程，都是以大量、機械化、產品品質的均一性為原則，主要造紙流程概述如下：</p>

紙 程 序 介 紹	製漿原料準備(育林=>伐木=>剝皮=>切片=>篩選)=>紙漿準備(蒸煮=>洗漿=>篩選=>漂白=>藥液回收)=>抄紙原料準備(散漿=>磨漿=>調成=>濃調=>篩選)=>紙張生產(捲取=>壓光=>烘乾=>塗佈=>烘乾=>壓榨=>網部=>頭箱)=>紙張加工(包裝=>分條裁切=>超級壓光=>塗佈=>複捲) (參考文獻[06]) 以上為工業造紙的流程概述，但本研究是以手工造紙為造紙流程，所以工業造紙的部分，本研究並沒有再針對每一個步驟做詳細的說明。
-----------------------	---

貳、研究器材及裝置

一、本實驗使用的器材、生物和其他材料

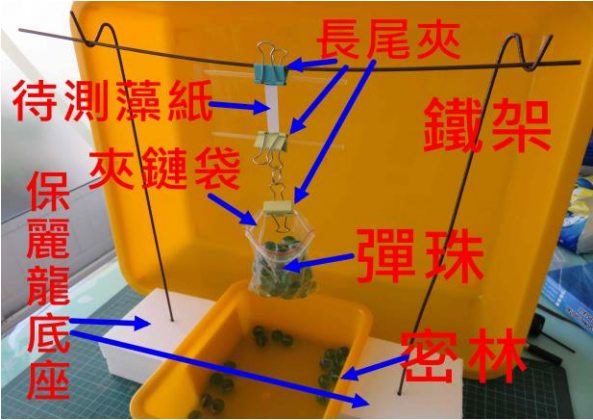
項目	內容
器材	一尺蓮花盆、手撈網、53×42×13 公分塑膠密林、39×31×10 公分塑膠密林、36×28×8 公分塑膠密林、篩麵粉器、絹印框、細木條、細紗網、熱融膠、豆漿過濾袋、150 目絹印網、顯微鏡、蓋玻片、載玻片、數位相機、吸管、長尾夾、照度計、玻璃彈珠、紙箱、記錄紙、筆、Double A 70gsm A4 影印紙、尺、簽字筆、鍋子、瓦斯爐、妙管家漂白水(次氯酸鈉 5.5%)、彎頭鑷子、計時器、7 號夾鏈袋、鐵架、電子秤、保麗龍
生物	鞘藻、剛毛藻、黑孢藻
其他	水、沙拉油、使用過的回收 A4 影印紙(壓乾紙用)

二、研究裝置

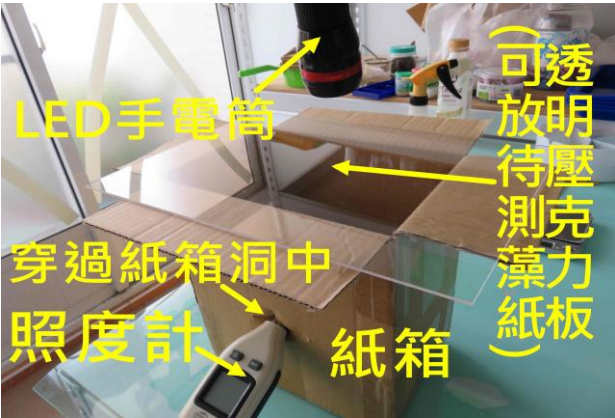
(一).吸水性、吸油性測試裝置

裝置照片	裝置說明
	<p>此裝置將藻紙剪成 1 公分×7 公分的藻紙條，把藻紙條貼在塑膠尺上，一次可以貼 5 條，塑膠盒中倒入水或沙拉油(深 1 公分，到藻紙條黑線)，測試藻紙條 2 分鐘可以讓水或沙拉油上升多少公分，來測試自製藻紙的吸水性或吸油性。</p>

(二).抗張力測試裝置

裝置照片	裝置說明
	此裝置將藻紙剪成 1 公分×7 公分的藻紙條，把藻紙條用長尾夾上下夾住，不斷的在夾鏈袋中放入彈珠，一直到藻紙條斷裂為止，再測量夾鏈袋中所有彈珠的重量(下面的密林可以防止彈珠掉下散落一地)，即為藻紙條抵抗拉力造成斷裂的力，用來測試藻紙的抗張力特性。

(三).透光度測試裝置：

設計圖	裝置說明
	在紙箱上放上透明壓克力板，再打開上面的 LED 手電筒電源，可藉由穿入紙箱孔洞的照度計來測量紙箱裏面的照度(必須在紙箱外面判讀照度)，再在上面放上藻紙蓋住整個壓克力板，測量透過藻紙的照度，即可測出藻紙的透光度。

參、研究方法與結果討論

一、採集住家附近的各種絲狀藻，分辨其種類，並蒐集藻類相關資訊。

(一)研究構想：

因為我想要利用絲狀藻來造紙，所以首先要採集絲狀藻，觀察我的生活環境周遭，像是家裏的水族箱、附近的魚塢、池塘、水稻田中有什麼絲狀藻類，試著採集，並判斷其數量是否足以提供我作實驗，再蒐集這些藻類的相關資訊。

(二)研究方法、結果、討論：







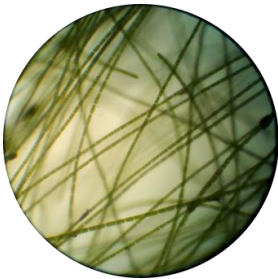
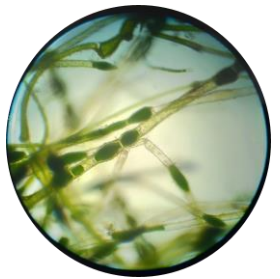



研究 1-1：採集住家附近各種絲狀藻，加以分辨，並蒐集整理相關資訊。

研究方法：

1.利用課餘時間，到家裏附近的池塘、魚塢、稻田，及家裏的水族箱，尋找絲狀藻類，並在安全的前提下加以採集，帶回家用 1 尺蓮花盆或水族箱加以培養並觀察(如圖 3.)。



研究結果：

表 1.採集鞘藻、剛毛藻、黑孢藻三種絲狀藻列表

名稱	鞘藻(<i>Oedogonium sp.</i>)	剛毛藻(<i>Cladophora sp.</i>)	黑孢藻(<i>Pithophora sp.</i>)
三種絲狀藻採集			
			
採集地點	虱目魚魚塭採集	石斑魚魚塭採集	家裏的養魚水箱採集
100倍顯微放大圖			
絲狀藻曬乾保存			

研究討論：

- 1.本研究採集到可供造紙實驗的絲狀藻類總共有鞘藻、剛毛藻和黑孢藻三種，其中採集到的鞘藻數量最多，家裏的水族箱、附近的水稻田和魚塭都可以採到，一開始採集以家裏的水族箱和附近的水稻田為主，本來以蓮花盆培養，但後來在附近的虱目魚魚塭找到大量的鞘藻(如表 1.)，因為量很多，所以後來的基本實驗測試，例如各個造紙流程的控制，都以鞘藻為主要實驗對象。
- 2.剛毛藻通常附生在池底，這次去石斑魚魚塭採集，剛好遇到魚塭放水，水位下降，有些剛毛藻被撈起來丟到岸邊，有些因水位下降底層剛毛藻浮出水面(如表 1.)，剛好可以採到，不過後來魚塭又重新加水，就沒有辦法再採集了。

		
水稻田可以看到很多絲狀藻	稻田乾了後絲狀藻變成白色	路邊水溝也有許多絲狀藻
		
在石斑魚魚塢小心的撈取剛毛藻	在魚塢發現另一種長條狀海藻,可惜不能做藻紙	把採集到的絲狀藻在顯微鏡下觀察

- 3.在虱目魚魚塢採集到的鞘藻，一開始找到採集時魚塢剛好在休息沒有養魚，所以長了一大堆鞘藻(如表 1.)很好採集，但因為我研究一開始練習用絲狀藻造紙技術不佳，浪費了一些鞘藻，後來又去採集時，魚塢開始養魚，水面已經看不到鞘藻，只好到附近的魚塢找找看，結果又在其他休息的魚塢中找到更多的鞘藻，可見鞘藻的生長能力真的很旺盛。根據魚塢的主人說明，因為虱目魚會吃鞘藻，如果魚塢開始養魚以後，可能就不容易再找到這些藻類了。
- 4.黑孢藻是在家裏養魚的塑膠水箱中找到的(如表 1.)，量不是很多，因為摸起來粗粗的，仔細看上面有一些小黑點(厚壁孢子)，很好辨認，但是在池塘或魚塢中都沒有找到其他黑孢藻，所以只好以家裏找到的黑孢藻製作藻紙，不過量不是很多，最後只能做兩張藻紙，來和其他絲狀藻原料比較看看。因為依三、文獻探討(參考文獻[02])中所說，黑孢藻的繁殖力很強，所以或許以後有機會找到更多黑孢藻，再來嘗試多做一些藻紙。
- 5.由三、文獻探討和表 1.，在顯微鏡下這三種絲狀藻的主要辨認特徵，鞘藻的藻體比較細也比較長，而且沒有分枝；剛毛藻的藻體比較粗，雖然藻體也很長但是有分枝；至於黑孢藻，就是那非常明顯的厚壁孢子了，而且黑孢藻的藻體也比較短一些。
- 6.其實我也有在附近的滯洪池找到『水綿』，這種在顯微鏡下，因為葉綠體呈現螺旋狀，所以外型很好分辨的絲狀藻(如圖 2.)，不過量實在太少了，雖然有找到了一些，但是都附生在草莖上，而且長得細細短短的，像絨毛一樣，很難從草莖上取下，拿回家培養又無法大量增殖，所以最後只好放棄。



研究 1-2：試著培養這些採集的藻類，以供造紙實驗所需。

研究方法：

- 1.將採集回來的絲狀藻類，除了部分拿來造紙實驗外，多出來的，可以先用蓮花盆養起來(如圖 3.)。在培養藻類的過程中，可以觀察這些藻類的變化，加以記錄。

研究結果：

養殖結果幾種絲狀藻只有鞘藻長得較好(如圖 3.)，其他的幾種絲狀藻不是死掉，就是一直被愈長愈多的鞘藻覆蓋，而無法順利大量培養。

研究討論：

- 1.一開始家裏的塑膠水箱裏就有鞘藻和黑孢藻生存，這也是引起我想要用絲狀藻來造紙的主要因素，可是刻意把鞘藻和黑孢藻分開種，鞘藻一直都長得很旺盛，但是黑孢藻的部分，因為無法把黑孢藻和鞘藻分離得非常乾淨，所以養殖黑孢藻的蓮花盆，後來都被長得愈來愈多的鞘藻覆蓋，最後仍是長得滿滿的鞘藻，黑孢藻都被蓋在下面漸漸不見了，試了好幾次都是同樣的結果。唯一可以長黑孢藻的地方，就是陽光比較不充足的塑膠養魚箱，因為無法直接曬到陽光，鞘藻生長受限，而黑孢藻還能慢慢成長，所以還可以長出一些黑孢藻，但是長出的量還是不足以提供大量的實驗需求。
- 2.在石斑魚魚塢採集到的大量剛毛藻，因為暫時用不到這麼多，所以把它放在蓮花盆裏繼續養殖，沒想到一段時間下來，這些藻都死亡爛掉了，雖然查到的參考文獻說剛毛藻可以生活在海水或淡水，但是可能我採集到的剛毛藻種類是只能生活在海水的(原本是從養殖石斑魚的魚塢中採集的)，所以養在淡水中就都死掉了。後來把這些剛毛藻拿出來，發現都臭了，即使拿去曬乾，也都會有一種臭味，就不能拿來製作藻紙。
- 3.採集到水綿的部分和黑孢藻一樣，即使種在蓮花盆中，但是最後蓮花盆裏的藻類都被鞘藻取代，生長無法像鞘藻這麼迅速，又不能像黑孢藻一樣可以長在陽光不能直射的地方，水綿的量自然就無法提供實驗需求，所以放棄。
- 4.雖然想說如果可以在家裏養殖這些絲狀藻，這樣下次再需要絲藻原料，就不用每次都去野外採集了，但是後來發現家裏可以養殖的地方有限，即使蓮花盆有 20 個，但是也只能提供部分藻類生存，後來為了貯存這些採集回來的大量絲狀藻，大部分還是以曬乾存放做為基本處理的方法。

二、用所採集的絲狀藻類，建立製作藻紙的標準程序。

(一)研究構想：

因為要用絲狀藻來造紙，所以要先知道造紙的方法，首先在網路上尋找可以參考的資料，從中選出比較適合本研究的藻紙製作程序。

(二)研究方法、結果、討論：

研究 2-1：蒐集造紙的各種方法，從中找出適合的藻紙製作的程序。

研究方法：

1.利用課餘時間從網路上蒐集工業造紙、手工造紙的方法，最好可以找到和本研究相關的科展報告，參考別人是如何造紙，做為本研究參考比較的對象。

研究結果：

- 1.從網路上找到的資料，有工業造紙和手工造紙(如三、文獻探討-造紙程序介紹)，其中手工造紙比較接近古早的造紙方法，適合本研究中我可以獨力操作的部分，工業造紙因為設備需求和需要大量原料，本研究無法進行。
- 2.蒐集資料時，有找到兩篇用藻類造紙的科展研究報告，其中造紙的方法和使用的材料，可供本研究參考(參考文獻[04]、[05])。
- 3.本研究暫定絲狀藻造紙的程序是『採集原料→曬乾(或不曬乾)→漂白(或不漂白)→加熱(或不加熱)→打碎(不同時間)→抄紙→取出壓乾。』以上為本研究絲狀藻造紙的基本步驟，可以藉由控制某些製作步驟的有無，或操作時間的長短，來變化製作程序，探討所造出來藻紙的品質的差異。

研究討論：

- 1.本研究有找到兩篇以絲狀藻造紙為研究主題的科展報告(參考文獻[04]、[05])，不過兩篇報告，都是以再生紙的方式呈現，以回收紙類為主原料，在裏面添加不同量的絲狀藻，也就是絲狀藻是添加物，並不是主原料，這和本研究希望完全以絲狀藻為原料有所不同。另外在這兩篇報告和一些手工造紙的程序中，會添加『膠糊』來增加紙漿纖維的黏著性，讓紙張更有韌性。但本研究在實驗過程中，發現用果汁機打碎絲狀藻時，會出現類似膠質的物質，這些膠狀物質似乎可以成為『膠糊』的替代物質，而不一定要在紙漿中加入『膠糊』；而且這兩篇科展報告也提到，如果在紙漿中加入白膠，會讓紙漿糊成一團，不容易造紙，所以本研究就決定，在造藻紙的過程中，不加入任何『膠糊』類的物質，來探討用絲狀藻造紙的效果。另外，這兩篇報告並沒有針對不同種類的絲狀藻對於製作藻紙的影響，本研究將針對三種不同絲狀藻造紙做不同的探討。
- 2.在手工造紙的程序中，因為纖維的來源多半是來自陸地植物，而陸地植物中除含有造紙原料的纖維素外，也常含有支撐作用的木質素，所以為了除去木質素，在加熱的過程中常常要添加鹼性的溶液，這些鹼性的溶液在造紙的過程除了增加造紙成本，也會造成環境很大的污染。而本研究造紙的原料是絲狀藻，這些藻類生活在水中，所以有支撐功能的木質素含量很低，細胞壁的主要成分就是纖維素，所以在製造藻(紙)漿的過程中，不用添加鹼性溶液，這也是本研究用絲狀藻來造紙的一大優點。

3.本研究在製作藻紙的過程中會有加熱的步驟，這個步驟除了可以把藻絲煮爛一些，讓藻絲比較容易被果汁機打斷之外，也可以除去絲狀藻一部分的膠質，因為一開始在試作的時候，曾經因為絲狀藻沒有加熱，但為了把纖維打散，用果汁機打了很久，最後反而出現大量膠質(如圖 9.)，不但抄紙的時候增加很多困難，而且做出的藻紙變得像塑膠片一樣，硬硬的呈半透明狀(如圖 10.)，因此可藉加熱來去除掉一部分的膠質。



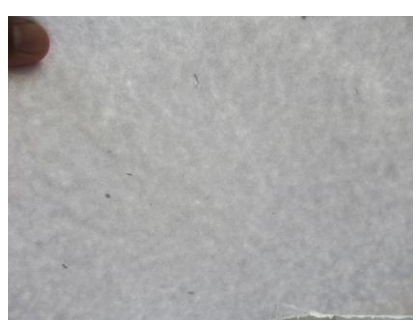






研究 2-2：利用不同的藻紙製作程序，配合三種絲狀藻類原料，製作不同的藻紙。

研究方法 2-0：

1.用找到的手工造紙方法，和採集到的絲狀藻，試著練習製造藻紙，增加經驗。

研究結果 2-0：

1.製作各種抄紙工具，和嘗試造紙。(如圖 5.~圖 13.)

		
圖 5.用木條和洗衣袋紗網嘗試製作抄紙網	圖 6.嘗試製作和使用各種抄紙工具	圖 7.利用回收影印紙做成紙漿，練習做的再生紙
		
圖 8.用自製抄紙網和完全沒處理的絲狀藻試做藻紙	圖 9.用果汁機打碎的藻漿充滿膠質,反射陽光	圖 10.用膠質很多的藻漿做出來的藻紙像塑膠片一樣硬
		
圖 11.靛藻漂白後呈現非常白的顏色	圖 12.用靛藻做出來的紙呈現淡黃色,但有一點薄	圖 13.嘗試用不同處理方式，和抄紙工具製作出來的藻紙


研究討論 2-0：




1.本研究最初使用篩麵粉器、夜市撈魚工具、自製木框架加洗衣袋紗網、豆漿過濾袋來

當抄紙工具，但是因為紗網孔洞太大，豆漿過濾袋容易卡藻漿纖維，而自製木框架熱融膠又一直斷掉，所以最後抄紙工具還是採用絹印木框加 150 目的絹印網。

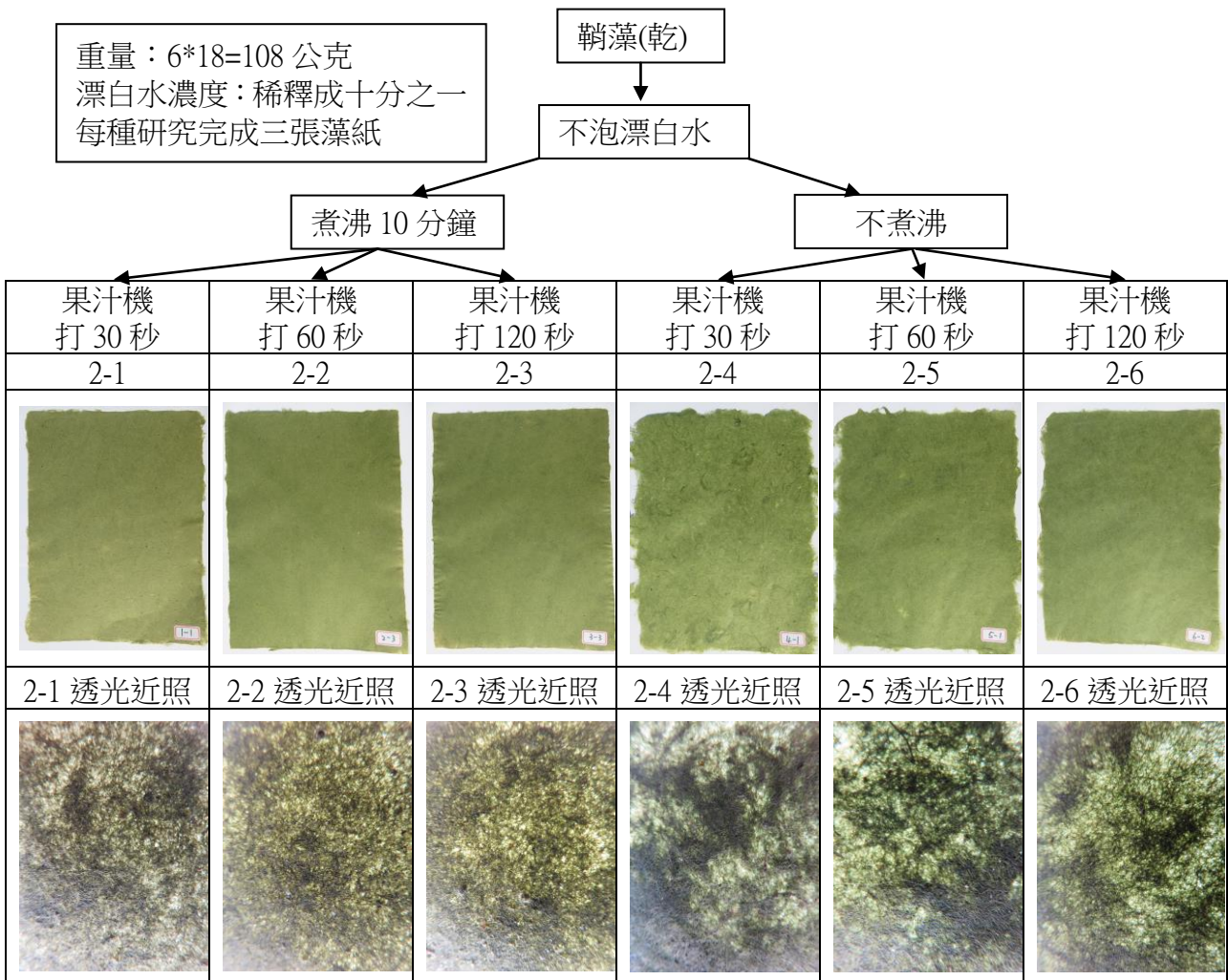
2.造紙一開始用回收影印紙打碎紙漿練習，後來開始用家裏可以採到的鞘藻試作，試著嘗試不同製作程序，最後確定本研究的造紙流程是『採集原料→曬乾(或不曬乾)→漂白(或不漂白)→加熱(或不加熱)→打碎(不同時間)→抄紙→取出壓乾(如表 2.)。其中絲狀藻原料要不要曬乾？要不要漂白？要不要加熱煮沸？果汁機打碎時間長短，是本研究控制的不同藻紙製作操作模式。

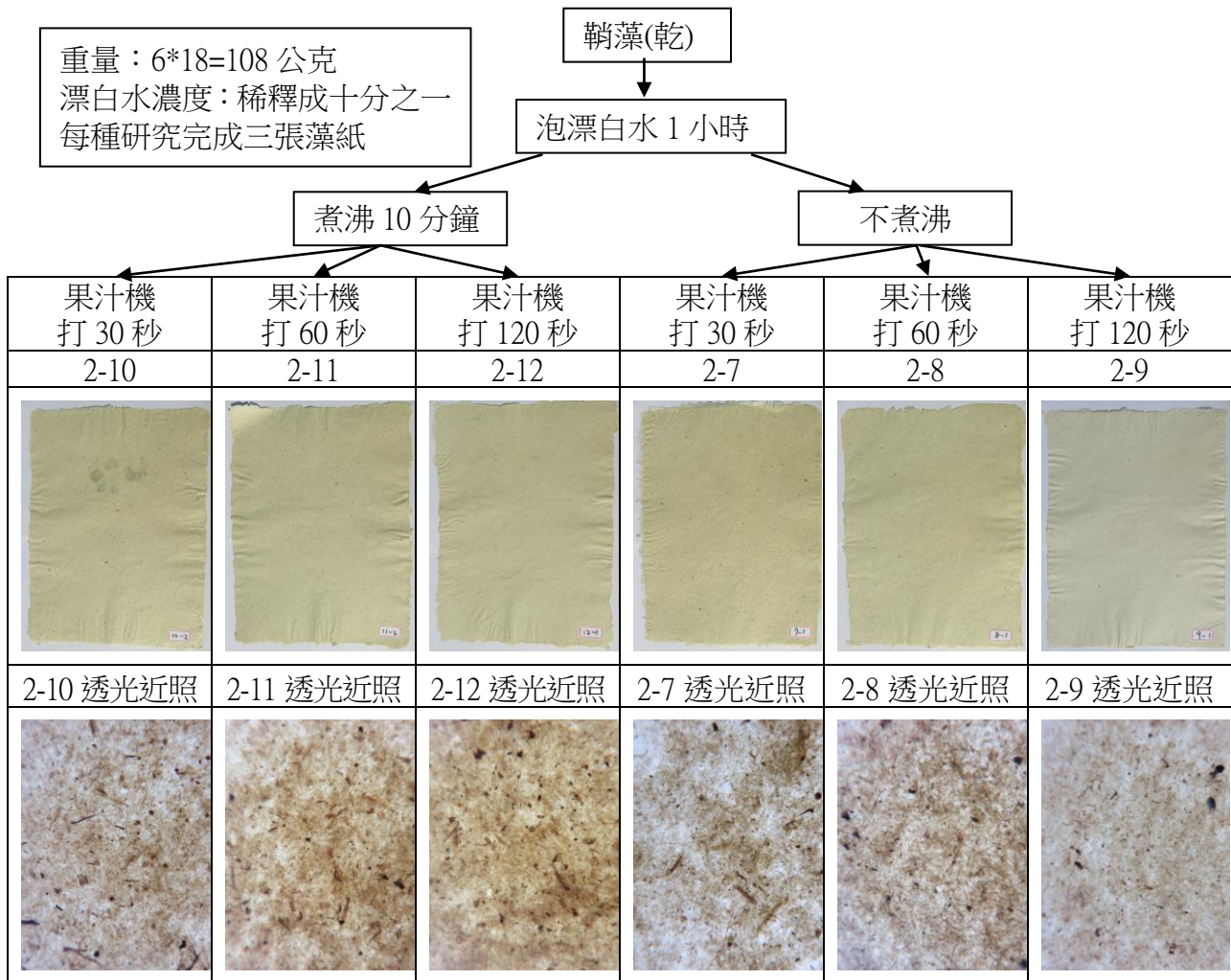
表 2.本研究絲狀藻造紙基本程序

		
1.採集絲狀藻	2.用清水洗淨	3.秤取所需重量
		
4.用漂白水漂白 5 分鐘	5.除去漂白水後,用清水煮沸 10 分鐘	6.瀝除多餘水分
		
7.秤紙漿團總重量	8.平均分成預定份數	9.稍微撕開放入果汁機中
		
10.在果汁機中打散打碎	11.進行抄紙作業	12.將藻紙稍微晾乾

		
13.從抄紙網中小心取下藻紙	14.將完成藻紙置於回收 A4 紙張上,再覆蓋乾淨回收紙張	15.將多張藻紙分別夾在紙張中,再用重物壓著,放乾

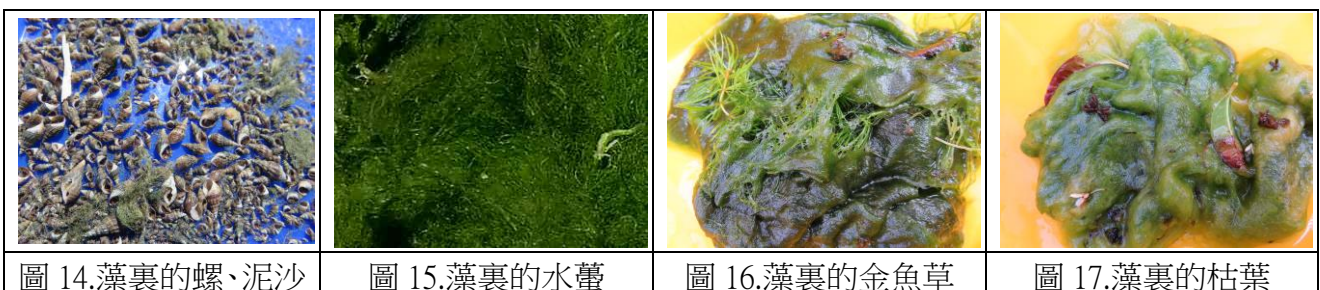
研究方法及結果 2-1~2-12：(開始正式製作藻紙)





研究討論 2-1~2-12：

- 1.正式開始製作藻紙，先用鞘藻當原料，鞘藻泡稀釋漂白水會變成淡黃色，藻絲會變得容易斷，如果再用沸水煮 10 分鐘，則更容易用果汁機把藻絲打碎。每一個研究都會製作 3 張藻紙，如果製作失敗(主要是抄紙會失敗)，但原料沒有損失太多，則會再稍微再放回水裏打散再重新抄紙。以上 12 種製作方式會造出 36 張藻紙。
- 2.因為本研究製作的藻紙的品質要和 Double A 70gsm A4 影印紙比較，所以將 A4 影印紙秤重，平均每張 A4 影印紙的重量大約是 4.6 公克，而在採集絲狀藻曬乾時，常常發現絲狀藻裏面有許多的泥沙、螺貝類(如圖 14.)、水生昆蟲(如圖 15.)、葉片(如圖 17.)、和水草(如圖 16.)等雜物，會影響絲狀藻的秤重，所以每次製作藻紙時，每張藻紙原料重量以『乾燥絲狀藻 6 公克』為基準。



3.在本研究中，會嘗試比較用新鮮的絲狀藻或乾燥的絲狀藻製作藻紙的差別，所以乾燥藻紙暫定每張紙原料 6 公克，而新鮮潮濕的絲狀藻的重量，依表 3.所列，把三種絲狀藻新鮮潮濕時秤重，放在太陽下曬二天完全乾燥再秤重，比較新鮮潮濕時和乾燥時的重量比，鞘藻濕重是乾重的大約 5.66 倍，剛毛藻的濕重是乾重的大約 6.61 倍，而黑孢藻因為量比較少，只秤兩次，濕重是乾重的大約 5.89 倍。也就是如果要用新鮮潮濕的絲狀藻來製作藻紙，則所需重量是每張紙 6 公克×該種藻類的濕乾藻重量比。

表 3.不同絲狀藻新鮮潮濕重量和乾燥重量對照表(單位：公克)

名稱	鞘藻(濕)	鞘藻(乾)	剛毛藻(濕)	剛毛藻(乾)	黑孢藻(濕)	黑孢藻(乾)
1	27.02	4.78	36.15	6.13	35.93	6.1
2	28.06	4.96	40.77	5.75	34.69	5.89
3	29.36	5.18	46.89	6.87		
濕乾比	5.66		6.61		5.89	

4.由上面研究方法 2-1~2-12 的藻紙造紙結果，全部用絲狀藻當原料來造紙，是可以造出外形很接近一般用紙的藻紙，但是因為有一些小泥沙或小碎屑沒有辦法清除乾淨，所以藻紙表面觸摸起來會有一些小顆粒的感覺，藻紙的上面也有一顆顆的小黑點。其中 2-1~2-6 藻紙成品因為製作的過程沒有用稀釋漂白水浸泡，所以顏色呈現天然的綠色，而且聞起來還有一股類似紫菜的味道；有泡漂白水的 2-7~2-12 藻紙紫菜的味道就比較沒有那麼明顯，而且製作出來的藻紙呈現淡淡的黃色。而 2-4 的藻紙，因為製作的原料鞘藻只有用果汁機打 30 秒，沒有用沸水煮也沒有泡漂白水，所以鞘藻纖維還很明顯，完成的藻紙上，甚至還有類似雲彩紙的花紋，很有手造工藝的藝術風格。

5.在本研究中，果汁機的運轉是以 30 秒為單位，因為藻絲容易纏住果汁機的刀片，所以每次一開始會用果汁機的『瞬轉』功能轉 10 次，然後才開始持續用『高速』運轉 30 秒；如果是 30 秒的運轉時間，實際上操作是『瞬轉 10 次+高速運轉 30 秒』；而如果是 60 秒的運轉時間，實際上操作是『瞬轉 10 次+高速運轉 30 秒+瞬轉 10 次+高速運轉 30 秒』；以此類推，如果是 120 秒的運轉時間，則是總共進行 4 次的『瞬轉 10 次+高速運轉 30 秒』。

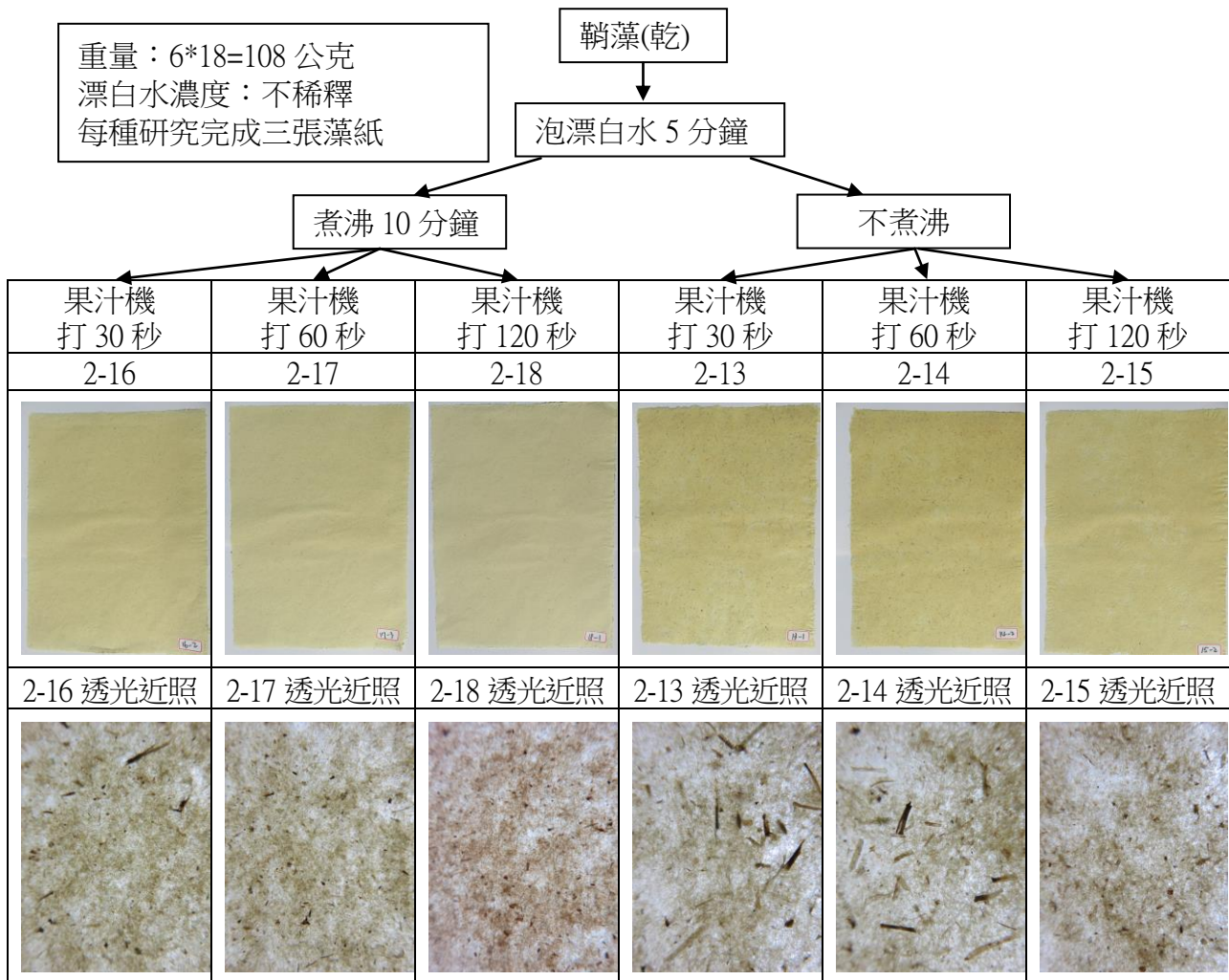
6. 用沸水煮，和用稀釋漂白水浸泡，除了會影響藻紙顏色，也會讓藻絲纖維變脆弱，比較容易被果汁機刀片打斷，影響藻紙的纖維長度，不過藻紙纖維長度最主要還是受到果汁機運轉時間的長短來決定。由研究結果圖片可知，沒有用沸水煮，沒有泡稀釋漂白水，果汁機只打 30 秒的 2-4 藻紙纖維明顯較長；而同樣沒有用沸水煮，沒有泡稀釋漂白水，但果汁機打 120 秒的 2-6，藻紙纖維就有比較細比較短一些；其中纖維看起來最細的，就是有沸水煮，也有泡稀釋漂白水，而且也用果汁機打了 120 秒的 2-12 了。

7.從研究方法 2-7~2-12 的研究結果，經過浸泡稀釋漂白水 1 個小時的鞘藻製作的藻紙，明顯變得比較薄，可能是一部分的鞘藻纖維被漂白水腐蝕溶解變得很細很小，在抄紙的過程中，穿過絹印網而流失了，這部分有待觀察，如果泡漂白水的絲狀藻製造的藻紙總是比較薄，則可能要調整製作每張絲狀藻原料的使用量。

8.本研究因為每次製作藻紙都需要很多的時間，所以沒有辦法一次完成很多成品，只有

一次做一項或兩項造紙程序或造紙原料的改變，看看效果如何，檢討之後，下一次製作藻紙的時候再來修改，所以實驗進行時間需要比較久。

研究方法及結果 2-13~2-18：

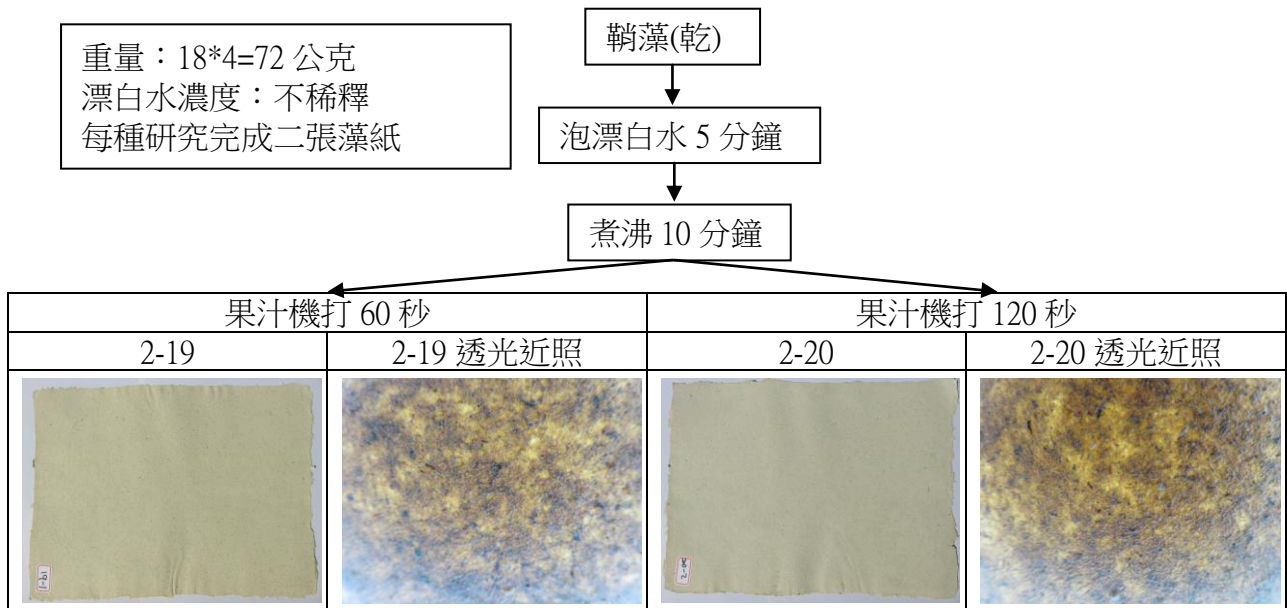


研究討論 2-13~2-18：

- 1.本部分研究總共完成 18 張藻紙。因為上個階段漂白的部分是用市售的漂白水稀釋成 10 分之 1 的濃度浸泡『1 個小時』，之所以會用這個稀釋濃度，是因為以前做葉脈標本的實驗用這個濃度泡 1 個小時，就會讓葉脈標本變得很白，所以繼續採用這個濃度和時間。但是在研究方法 2-7~2-12 的時候，發現泡太久藻絲的纖維會太爛了，果汁機打後容易流失纖維讓藻紙變薄，所以從這次實驗起，改成只浸泡『5 分鐘』，但市售漂白水的濃度不稀釋，用原本買來的漂白水濃度(5.5%次氯酸鈉)直接浸泡。
- 2.從研究結果的 18 張藻紙外表觀察，因為都有浸泡漂白水，所以顏色都是淡黃色，其中沒有用沸水煮 10 分鐘的 2-13~2-15 顏色比較深一點，而有用沸水煮過的 2-16~2-18 顏色則比較淺一點。
- 3.由研究結果藻紙透光近照，雖然上述 6 組藻紙都泡過漂白水，但是有經過沸水煮 10 分鐘處理的，和沒有用沸水煮 10 分鐘的相比，藻紙纖維的長度和粗細都比較小。
- 4.因為這次做出來的藻紙還是很薄，所以下次製作藻紙時，嘗試把乾燥鞘藻的量從每張

藻紙 6 公克原料增加為 3 倍，即每張藻紙 18 公克乾燥鞘藻，觀察完成藻紙的效果。

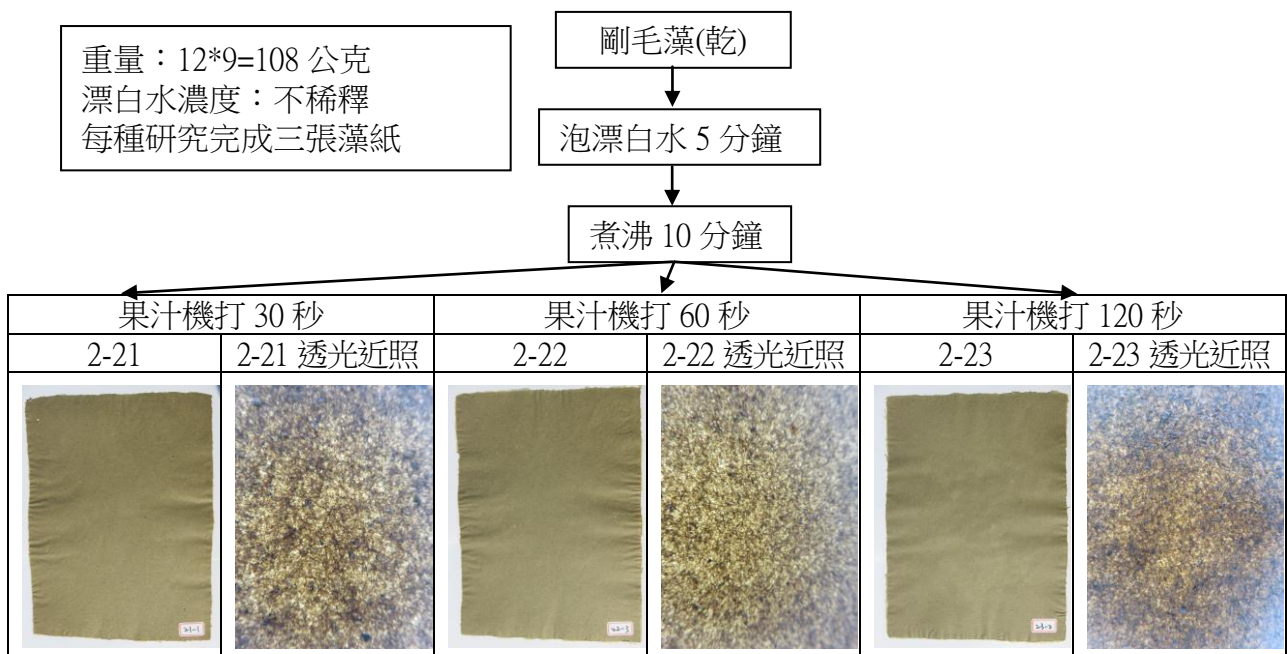
研究方法及結果 2-19~2-20：



研究討論 2-19~2-20：

- 1.由研究結果，研究方法 2-19~2-20 製作的藻紙成品都太厚了，在透光下觀察纖維的情形，透光度不高，所以決定接下來的藻紙製作，每張藻紙使用的原料乾燥絲狀藻確定改為每張使用『12 公克』乾燥絲狀藻原料。

研究方法及結果 2-21~2-23：

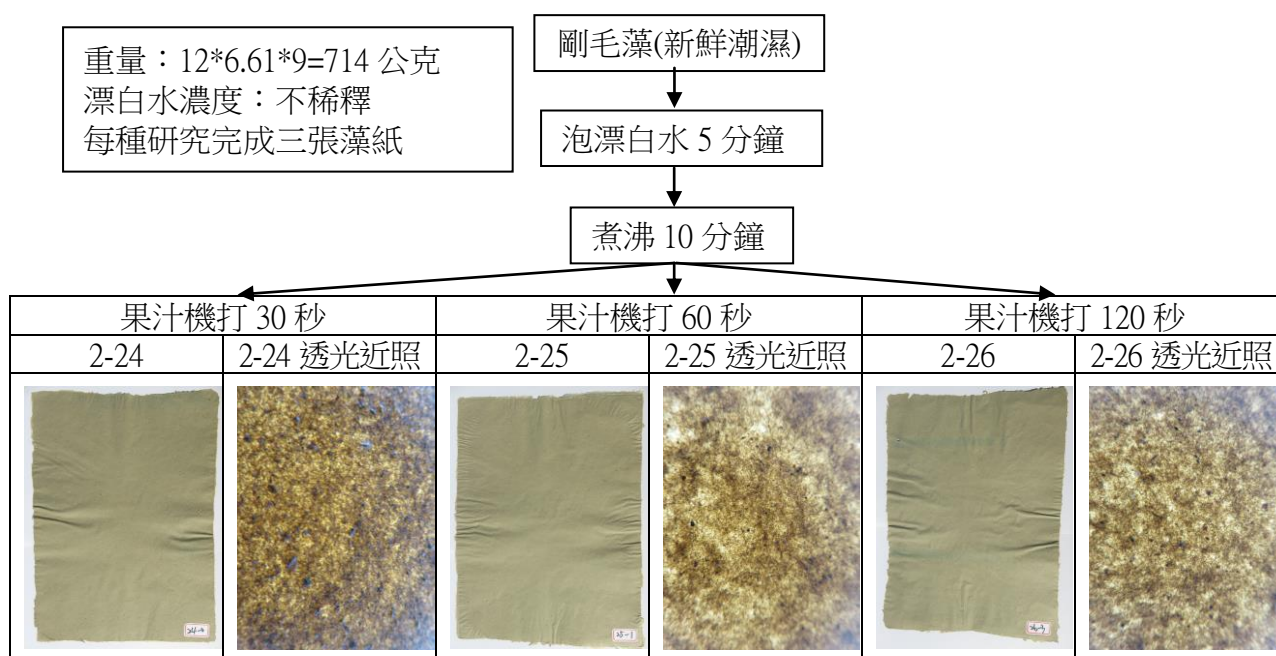


研究討論 2-21~2-23：

- 1.這階段開始製作藻紙的原料換成『剛毛藻』，從研究結果可以看到，製作出來的藻紙顏色比較偏褐色，而且因為剛毛藻在製作藻紙的過程中會產生較多膠質，有助於藻紙纖維間互相沾黏，所以潮濕的藻紙要從抄紙網上取下時會比較好取下來。另外從藻紙放在光源旁的近距離照看來，果汁機只打 30 秒的 2-21 的藻紙纖維，相較於打 60 秒的 2-22 和打 120 秒的 2-23，2-21 藻紙纖維還是要來得粗一點，長一點。
- 2.在漂白『剛毛藻』的時候發現，和鞘藻容易漂白不一樣，剛毛藻漂白時，卻是呈現灰褐色(如圖 18.)，用沸水煮 10 分鐘時，剛毛藻的顏色也變得愈來愈深(如圖 19.)，最後瀝掉水分出現的是一團灰褐色的藻漿團(如圖 20.)，而把這些藻漿團用果汁機打過，抄紙做出來的藻紙也是呈現灰褐的顏色(如圖 21.)，和鞘藻漂白後做出來的藻紙呈現淡黃色有很大的不同，這可能是剛毛藻對漂白水的成分(次氯酸鈉 5.5%)的反應和鞘藻不同，這部分因為查不到資料，只好等將來有機會再來研究探討。



研究方法及結果 2-24~2-26：

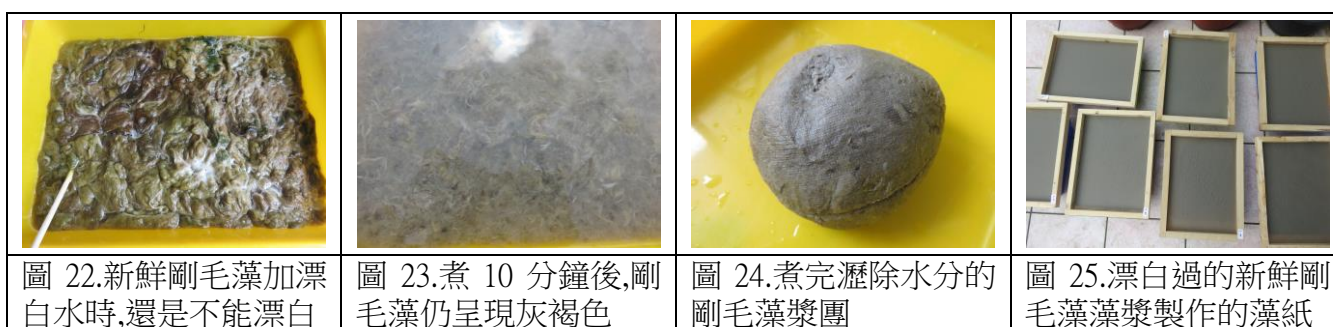


研究討論 2-2-24~2-2-26：

- 1.這次是用『新鮮潮濕的剛毛藻』來製作藻紙，做出來的藻紙乾燥後產生皺紋，這應該是乾燥時乾燥得太快，沒有用重物壓好所造成。藻紙成品的顏色和透光近照所呈現的

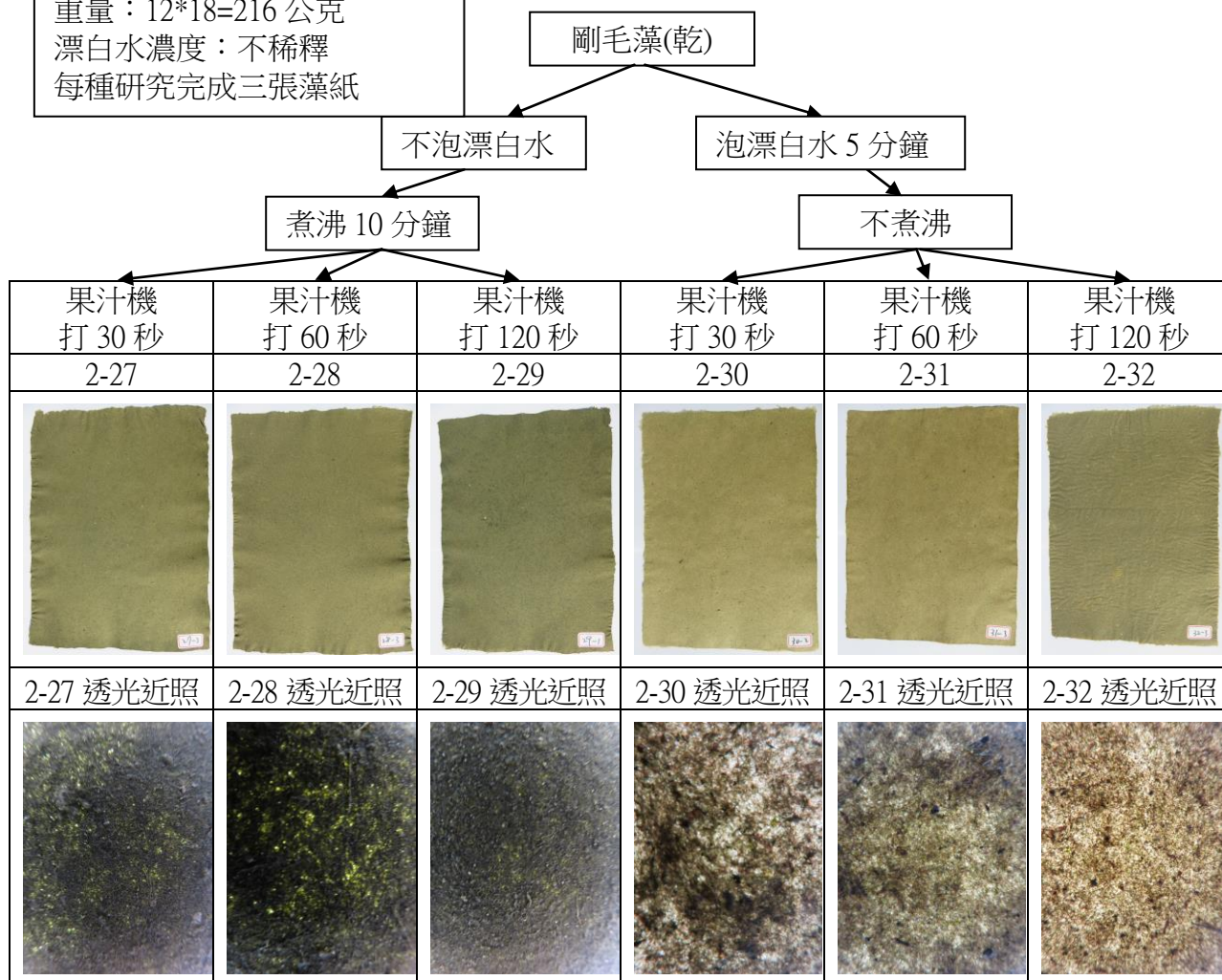
纖維狀態，和上一個階段用剛毛藻的乾藻製作的藻紙沒有太大的差異。因為剛毛藻是從養石斑魚的海水魚塢中採集的，水中的水草類雜物沒有鞘藻那麼多(有很多螺和泥沙會儘量去除)，所以剛毛藻藻紙透光近照呈現的纖維都很細緻，不像鞘藻藻紙裏面總有一些藻類以外其它的雜質(水草莖葉)。

2.這次的實驗是用『新鮮潮濕的剛毛藻』來當作藻紙原料，在製作的過程中有煮沸 10 分鐘和浸泡漂白水，不過在漂白(如圖 22)、煮沸 10 分鐘(如圖 23.、圖 24.)、和製作成藻紙後(如圖 25.)，所呈現出來的顏色還是和乾燥的剛毛藻當藻紙原料的一樣呈現灰褐色，和用漂白的鞘藻呈現出來偏白的淡黃色有所不同。



研究方法及結果 2-27~2-32：

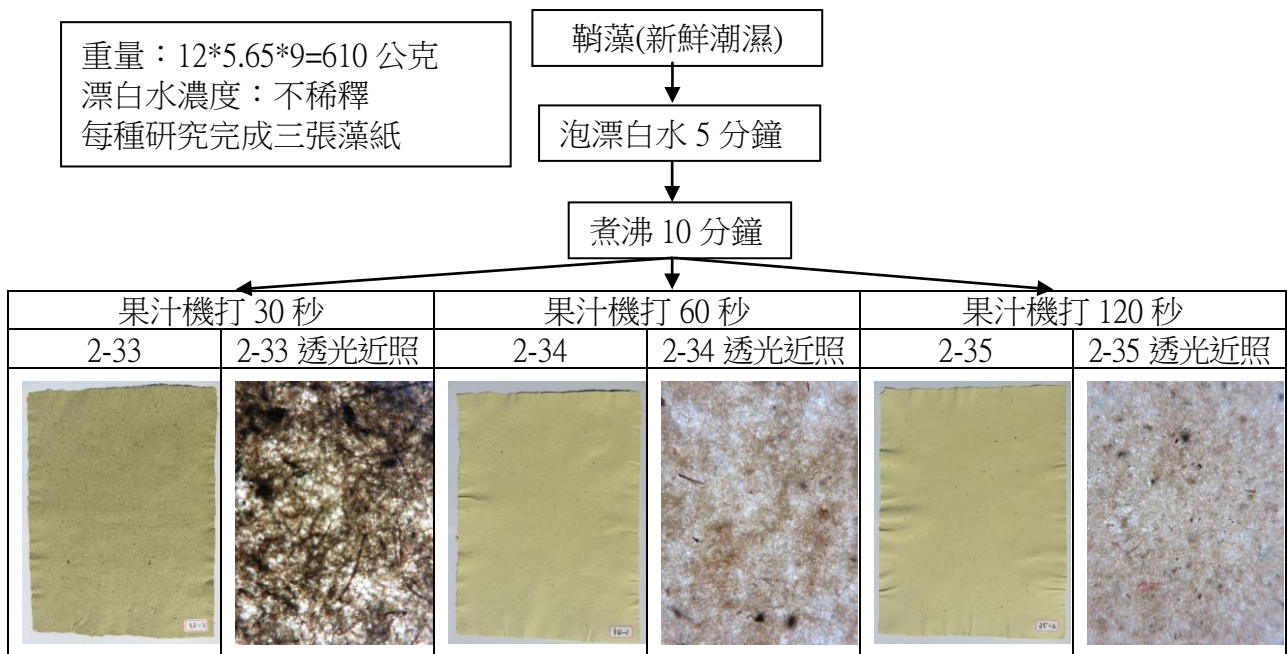
重量：12*18=216 公克
漂白水濃度：不稀釋
每種研究完成三張藻紙



研究討論 2-27~2-32：

- 1.本階段的實驗主要在補足前兩個階段剛毛藻製作藻紙的另二種不同操作方式，一個是只有煮沸沒有漂白(2-27~2-29)，一個是只有漂白沒有煮沸(2-30~2-32)，試著比較和前面兩個階段做出來的剛毛藻藻紙有何不同？
- 2.由研究結果可知，藻紙 2-27~2-29 因為沒有經過漂白，所以藻紙顏色呈現偏綠色，而且透光近照的纖維顯得比較粗硬，較不透光，乾燥後的藻紙，藻紙大小都有縮小的現象；而 2-30~2-32 的藻紙，有經過漂白，但沒有煮沸，和前面兩個階段又有漂白，又有加熱比起來，呈現的褐色比較淡一點，纖維也比較粗一點，不過沒有縮小。

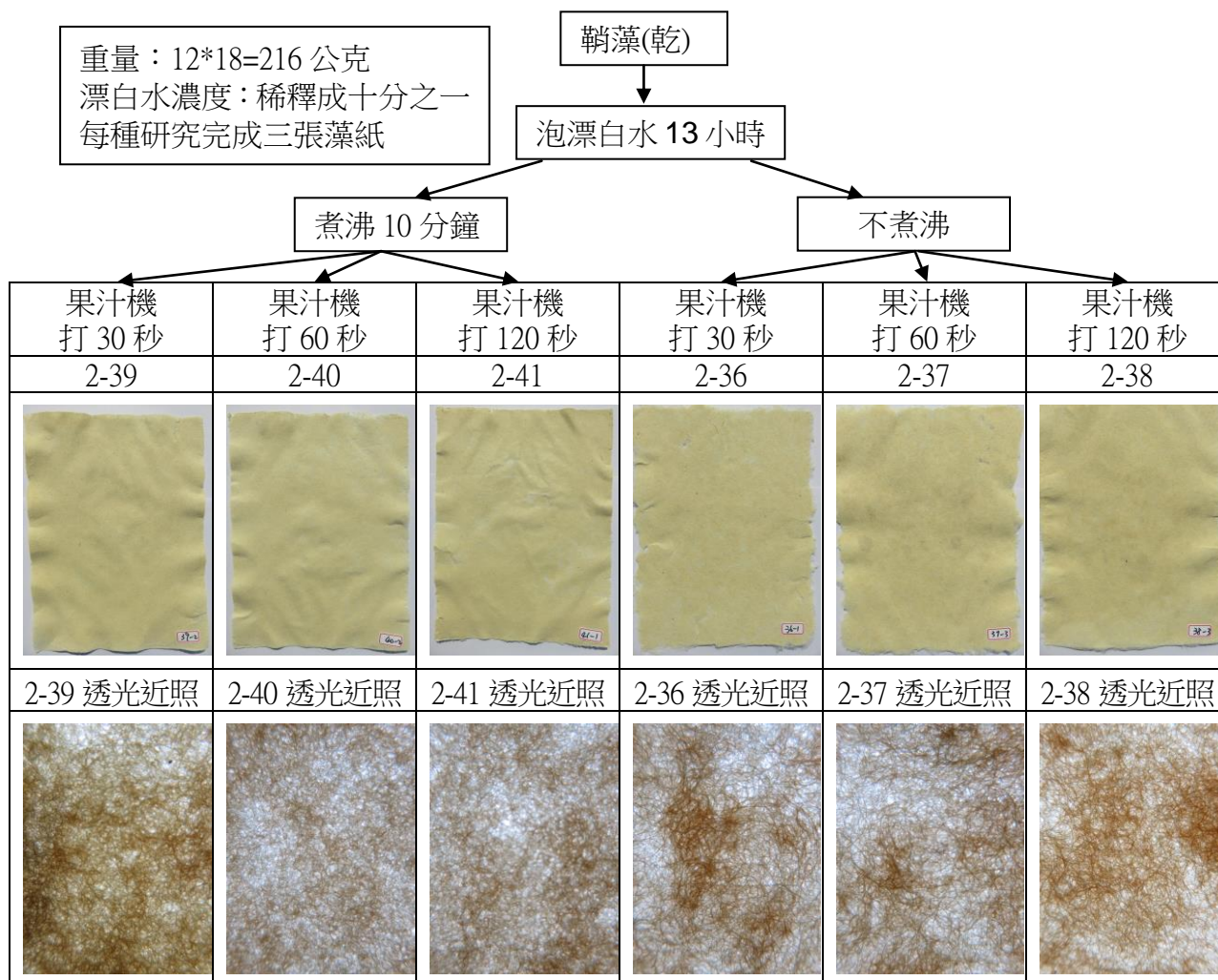
研究方法 2-2-33~2-2-35：



研究討論 2-33~2-35：

- 1 這次的實驗主要是採用自己家裏種在蓮花盆中長出來的新鮮鞘藻，可以看到藻紙的顏色都呈現淡黃色，而且因為是家裏蓮花盆長出來的，雜質很少，所以藻紙比較乾淨。果汁機打的時間愈長，藻紙纖維也會愈細緻。另外可能因為直接從蓮花盆拿起來做，鞘藻十分新鮮韌性較大，這次做出來的藻紙也比較厚比較硬。

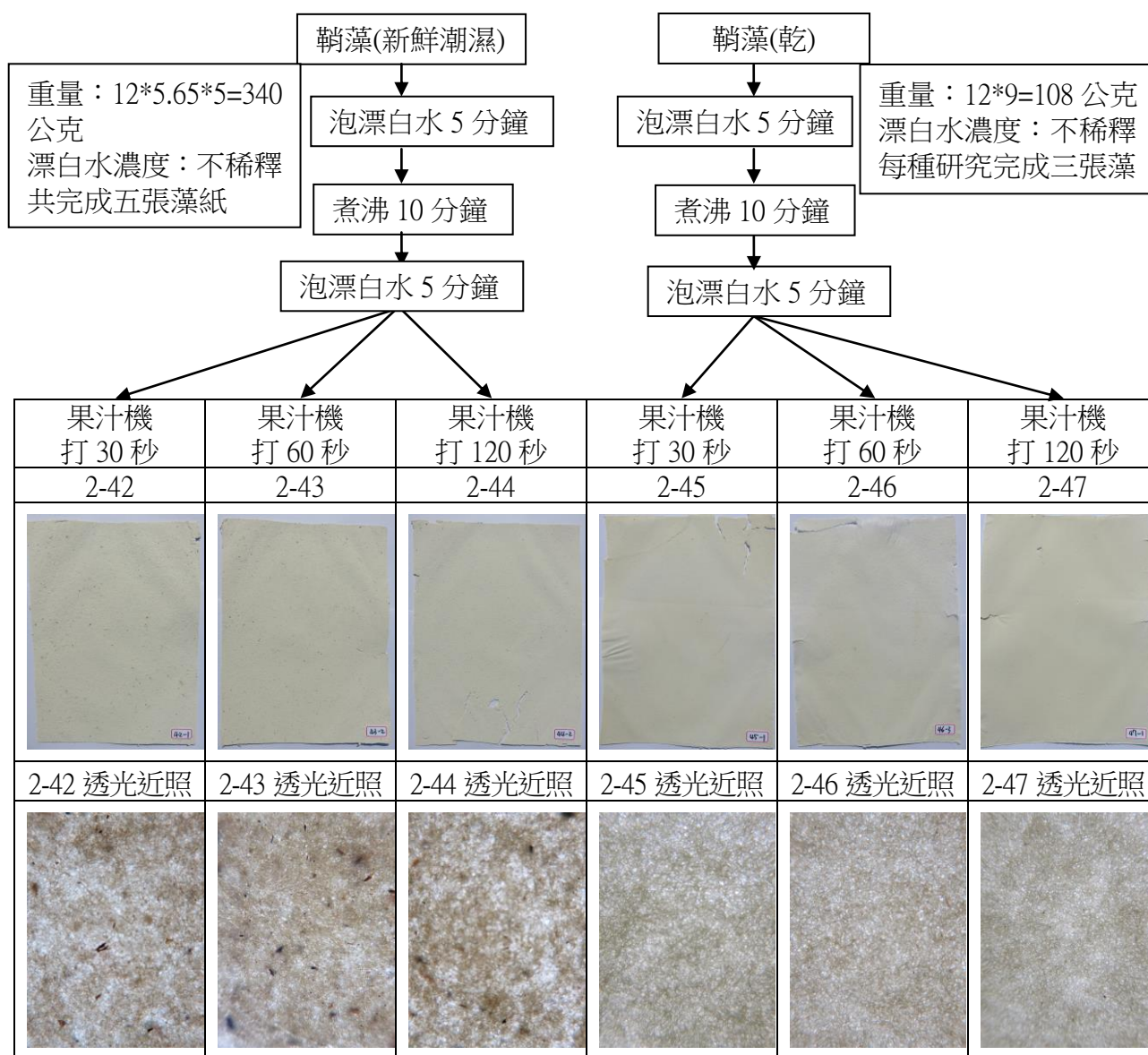
研究方法及結果 2-36~2-41：



研究討論 2-36~2-41：

- 1.這次的原料是採集新鮮鞘藻曬乾馬上製作藻紙，主要是想要嘗試看看浸泡濃度稀釋成十分之一的稀釋漂白水較長的時間(13 個小時)，觀察對造紙的結果有沒有什麼影響？
- 2.從研究結果可以看到，因為這次採到的鞘藻很乾淨，所以做出來的藻紙都沒有什麼雜質，而且漂白的效果很好，藻紙呈現乾淨的淡黃色。不過不論是果汁機打 30 秒或是 120 秒，比起之前的藻紙，這次沒有煮沸 10 分鐘的鞘藻纖維都不容易打斷，透光近照的纖維都很明顯。而不管有沒有煮沸 10 分鐘，鞘藻中原本有的膠質好像都不見了，做出來的藻紙漿抄紙的時候很難分布均勻(下沉太快)，而且做出來的藻紙很硬，很容易就會折斷，缺乏韌性，這些狀況可能是因為泡了 13 個小時稀釋漂白水，膠質都流失了的關係，這部分也只好留待以後有機會再來探討。

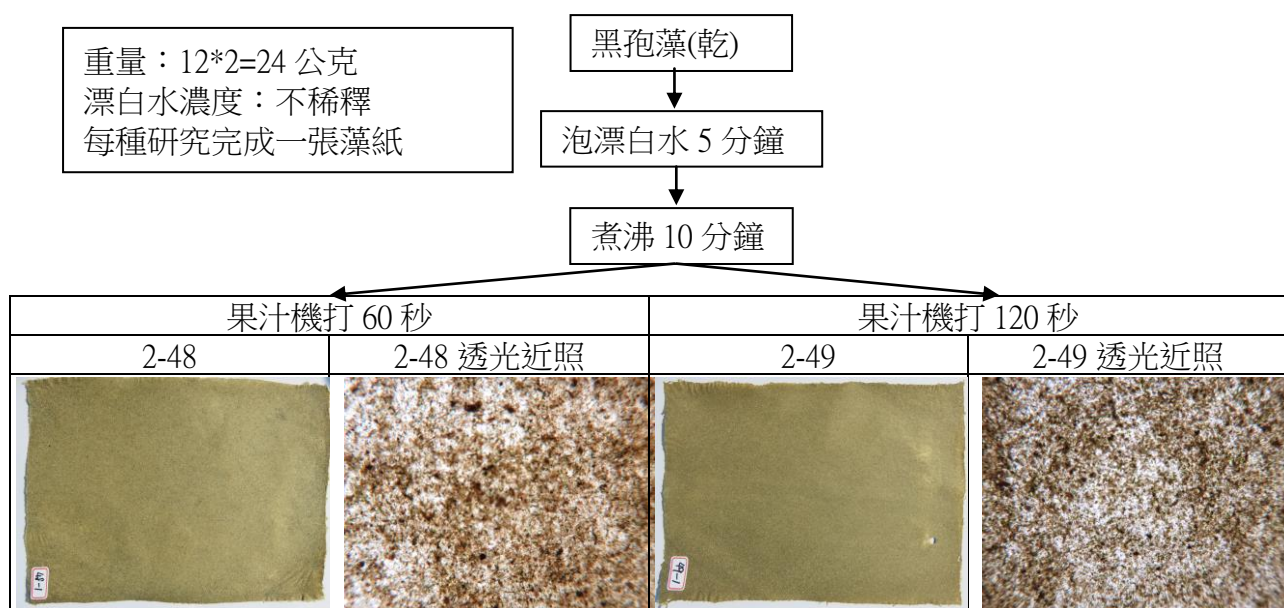
研究方法及結果 2-42~2-47：



研究討論 2-42~2-47：

1.這一次的實驗，用的藻紙原料是家裏養殖的新鮮鞘藻(2-42~2-44)，因為只有約 340 公克，所以只能做 5 張藻紙。由研究方法 2-42~2-47 結果可知，這一次的鞘藻做出來的藻紙都很白，只有一點點的淡黃色，因為這一次不論是新鮮潮濕的鞘藻，或是乾燥鞘藻的處理，會先泡漂白水 5 分鐘，然後煮沸 10 分鐘處理後，又會再浸泡市售漂白水 5 分鐘，也就是總共會浸泡 2 次漂白水，所以做出來的藻紙就外觀來看還不錯，透光近照纖維看起來也都很細緻。但是在把藻紙從抄紙網上取下時，藻紙就像麵餅一樣，稍微一拉扯就斷裂開來，很可能是因為經過 2 次漂白水處理，鞘藻的膠質都已經被洗掉了，所以這些藻紙的抗張力應該也不會很理想，這部分會留到後續研究三的藻紙品質特性的測試再討論。

研究方法及結果 2-48~2-49：



研究討論 2-48~2-49：

- 1.本研究是唯一用『黑孢藻』來製作藻紙，因為野外沒有採集到黑孢藻，只能用家裏蓮花盆長出來的，所以把採集的黑孢藻曬乾，只得到大約 24 公克左右，只能做兩張藻紙。
- 2.用黑孢藻製作藻紙的過程，在漂白的程序中，雖然漂白完是呈現白色(如圖 26.)，可是加熱完卻會變成褐色(如圖 27.、圖 28.)，以致最後做出來的藻紙也會呈現褐色的情況(如圖 29.)，這和剛毛藻有點類似，不過剛毛藻在漂白後就已經是褐色的了。



三、將自己製作的藻紙和市售紙張相較，品質有哪些差異？

(一)研究構想：

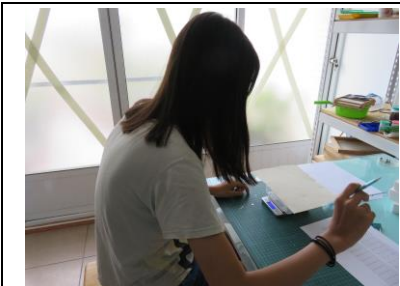
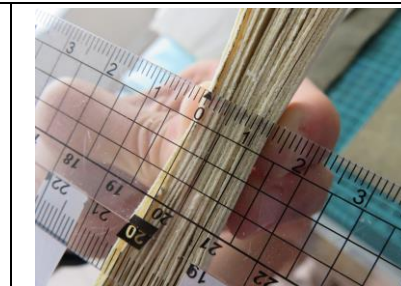
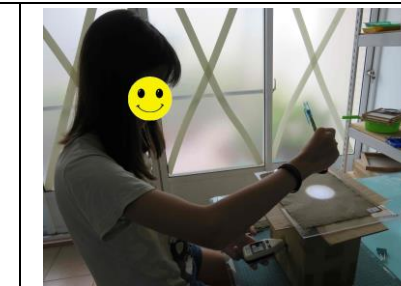

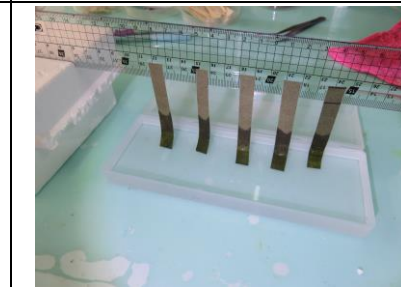

當我做出這些藻紙時，不知道這樣的藻紙好不好用，所以我利用一些測試，把我製作出來的藻紙，拿來和市面上的影印紙(Double A 70gsm A4 影印紙)相比較，看看有什麼優缺點，可以提供將來改善的參考。

(二)研究方法：

我在研究過程中，總共製作了超過 119 張的藻紙，依不同的製作原料和製作方法，抽出 10 張不同的藻紙，來測試比較其性質和市售的影印紙有什麼差異，藉以探討利用絲狀藻

來造紙的可行性。

1. 從本研究製作的藻紙中，依不同製作方法抽取 10 張藻紙成品，觀察藻紙的外觀、顏色、花紋、觸摸表面的粗細、邊緣的纖維、秤藻紙的重量(如圖 30.)，測量 20 張藻紙的厚度來求 1 張的平均厚度(如圖 31.)，藉此對我們製作的藻紙外表加以描述。
2. 先用照度計測量沒有放紙在『透光度測試裝置』(研究裝置三)上面時的照度數值，再把要測試的藻紙放在『透光度測試裝置』上，用光度計測量照度值(如圖 32.)，換算這張藻紙的透光度，再和市售的影印紙做比較。
3. 將要藻紙剪成 1 公分×7 公分紙條(如圖 33.)，共 10 張，用設計的『吸水性、吸油性測試裝置』(研究裝置一)，將 5 張藻紙條貼在測試位置，置於水槽上(如圖 34.)，觀察記錄 2 分鐘水線上升的距離，把 5 張紙的水線上升距離平均，即是這張藻紙的吸水性，再和市售影印紙比較(如圖 35.)。而吸油性測試只要把水槽中的水換成沙拉油即可(如圖 36.)。
4. 將要藻紙剪成 1 公分×7 公分紙條，共 5 張(如圖 33.)，用設計的『抗張力測試裝置』(研究裝置二)，把 1 張藻紙條上下各捲貼塑膠吸管(如圖 37.)，再夾在上下兩邊的長尾夾上，才不會滑掉，並開始在夾鏈袋中放入玻璃彈珠(如圖 38.、圖 39.)，一直到紙條斷裂，用電子秤測量所有彈珠的總重量(如圖 40.)，共測試 5 次藻紙條承受彈珠重量最後斷裂的抗張力值，加以記錄並求 5 次平均值，即為這張藻紙的抗張力，再和市售影印紙比較。
5. 將要測試的藻紙剪成 1 公分×7 公分紙條，共 5 張，把 1 張藻紙條反覆的上下對折 50 次(如圖 41.)，一直到折斷為止，並記錄折斷時的對折次數；如果超過 50 次仍不能折斷，則記錄成『50 ↑』，表示折了 50 次還無法折斷，求 5 張測試藻紙條折斷次數的平均值，即為這張藻紙的耐折性，再和市售的影印紙做比較。

		
圖 30.測量藻紙重量並登記	圖 31.測量藻紙 20 張厚度	圖 32.測量藻紙透光度
		
圖 33.剪成各種藻紙紙條	圖 34.將藻紙條貼在尺上,再放在裝水塑膠盒上 2 分鐘	圖 35.測量藻紙吸水性

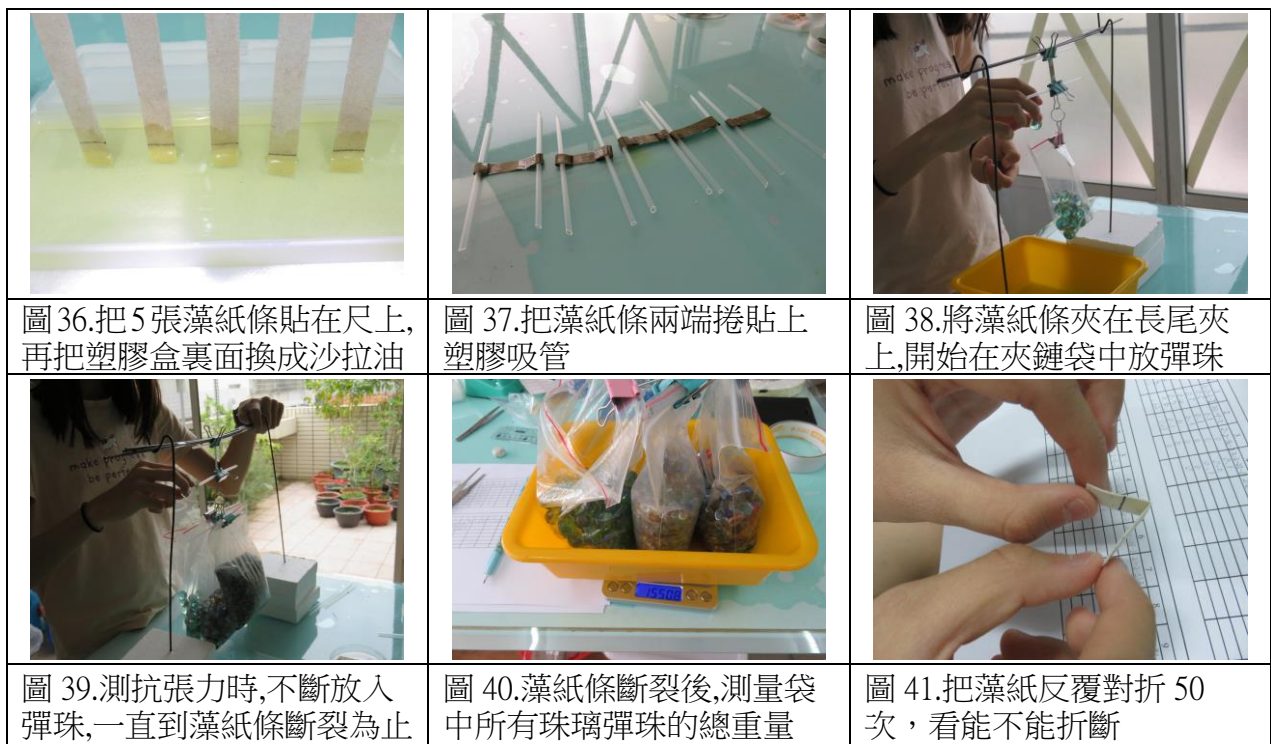


圖 36.把 5 張藻紙條貼在尺上,再把塑膠盒裏面換成沙拉油

圖 37.把藻紙條兩端捲貼上塑膠吸管

圖 38.將藻紙條夾在長尾夾上,開始在夾鏈袋中放彈珠



圖 39.測抗張力時,不斷放入彈珠,一直到藻紙條斷裂為止



圖 40.藻紙條斷裂後,測量袋中所有珠璃彈珠的總重量

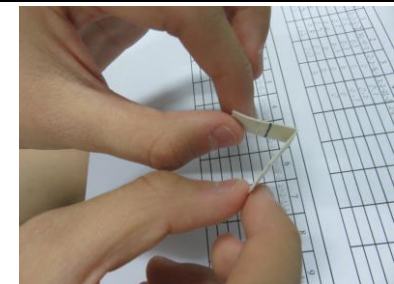


圖 41.把藻紙反覆對折 50 次,看能不能折斷

(三)研究結果：

表 4.十張絲狀藻藻紙和市售影印紙(Double A 70gsm A4 影印紙)做各種性質測試記錄比較表

藻紙外形											
編號	2-3		2-9		2-16		2-22		2-25		
藻紙外形											
編號	2-28		2-31		2-39		2-43		2-48		
編號	影印紙	2-3	2-9	2-16	2-22	2-25	2-28	2-31	2-39	2-43	2-48
外形描述	白色 外表光滑 無味	深綠色 外表平滑 有乾草味	米黃色 外表略粗 有乾草味	淡黃色 外表平滑 有乾草味	灰綠色 外表略粗 有乾草味	淡褐色 外表略粗 有乾草味	深綠色 外表粗 有乾草味	綠褐色 外表略粗 有乾草味	淡黃色 外表平滑 有乾草味	米白色 外表略粗 味道不明顯	深褐色 外表粗 有乾草味
重量(公克)	4.62	4.12	3.91	2.19	4.75	2.63	7.43	5.22	10.22	9.22	4.24
平均厚度(毫米)	0.1	0.15	0.1	0.1	0.1	0.08	0.29	0.15	0.655	0.455	0.2
透光度	9.2%	1.14%	5.81%	10.09%	0.62%	1.39%	0.61%	1.1%	10.05%	4.31%	4.83%
平均吸水性(公分)	0	4.14	0.62	0.46	0.1	0.14	0.26	1.42	2.3	3.18	0.72
平均吸油性(公分)	0.3	0.52	0.08	0	0.08	0.12	0.38	0.32	1.0	0.4	0
平均抗張力(公克)	3282	1340	1435	399	1433	1281	2403	2038	654	459	1237
平均耐折性(次)	50 ↑	50 ↑	50 ↑	50 ↑	50 ↑	50 ↑	8.8	50 ↑	11.8	12.6	50 ↑

(四)研究討論：

- 1.由表 4.比較發現，因為 2-3、2-9、2-16 三張藻紙都只有用 6 公克的鞘藻原料，所以做出來的藻紙比較輕也比較薄。2-22、2-25、2-28、2-31 是用 12 公克的剛毛藻，其中 2-22、2-25、2-31 三組有加漂白水，重量變輕且藻紙變薄；2-28 只有加熱沒有用漂白水，藻紙成品較重且厚，可見剛毛藻可能容易受漂白水影響流失了一部分纖維。另外有用漂白水的，2-9、2-16、2-39、2-43 原料是鞘藻，藻紙多呈淡黃色；而 2-22、2-25、2-31 原料是剛毛藻，2-48 原料是黑孢藻，經過漂白水浸泡之後多呈褐色；沒有經過漂白水的 2-3(鞘藻)和 2-28(剛毛藻)製作出來的藻紙，則仍保持原本絲狀藻的綠色。而影印紙當然因為製作過程有完全的漂白、壓實和上膠，所以不管各方都有很好的表現。
- 2.藻紙透光度則大多受本身的厚度和顏色影響。
- 3.吸水和吸油性則 10 張藻紙表現各有不同，造成這些差異的原因還有待再深入的探討，不過也證實經過不同的處理過程，藻紙性質可以有完全不一樣的表現。
- 4.抗張力和耐折性的部分，將會影響到藻紙被使用時的實用性和耐用性，從表 4.我們可以看到，雖然只是手工製作，可是有一部分藻紙的表現雖然還比不上商品化的影印紙，可是也有很高的水準，不但反覆折曲 50 次也不會斷，而且有部分 1 公分寬的藻紙條就可以承受 2000 公克以上的拉力，雖然比不上影印紙的 3000 公克，但也是很好的表現了，充分證明藻紙發展的潛力，值得認真研發推廣和應用。
- 5.雖然這次測試只抽了 10 張藻紙，其實本研究製作的藻紙裏面，還有許多有意思的藻紙，例如如果不加熱，也不泡漂白水，用果汁機只打 30 秒的鞘藻所製作的 2-4 成品，做出來的藻紙就會像雲彩紙一樣有雲朵般的絲狀藻花紋；而如果改成鞘藻只泡漂白水，不加熱煮沸，用果汁機只打 30 秒製作出來的藻紙就會變成是淡黃色的雲彩紙花紋。類似像這樣，經由不同的程序處理，就可以做出不同特色的藻紙。甚至加熱不要太久，果汁機打久一點，就會做出充滿膠質像塑膠片的藻紙(如圖 10.)，用絲狀藻當原料製作藻紙可以說是非常有趣的。

肆、討論

- 一、由研究三可以發現，本研究製作的藻紙雖然品質比不上商業用的影印紙(Double A 70gsm A4 影印紙)，但是也可能是因為我的技術和工具不夠好所致。例如因為抄紙的工具是絹印板，抄完紙無法馬上拿出來，要等到稍微乾了之後才能取出(如表 2.)，但是那時就已經

失去了把藻紙壓實讓纖維更密實連結的第一時間，所以做出來的藻紙也會顯得比較鬆散，甚至要從抄紙網上取下來時(如表 2.)，還常常會破掉。另外因為本研究為了控制每張藻紙所用的藻漿重量是固定的，所以會把做好的藻漿直接倒入抄紙網中(如表 2.)，但因為抄紙網內的空間有限，所以無法讓藻漿纖維均勻的分散，造成製作出來的藻紙厚度不一定很均勻，如果可以像一般手工紙工廠一樣，有一個大水槽，再用抄紙網在裏面均勻的淘取藻漿纖維，相信做出來的藻紙品質一定會更好。還有就是大部分手工紙製作時會添加膠糊來增加手工紙的韌性和光滑度，因為本研究採用的絲狀藻含有膠質，所以嘗試不添加膠糊，但是在加熱和漂白的過程中，有時會造成大量膠質的流失，以致做出來的藻紙容易破裂，甚至像乾掉的麵粉皮一樣完全沒有韌性。以上這些缺點，其實都可以透過不斷的嘗試改善，讓做出來的藻紙品質更好，希望有興趣的人可以繼續研究，讓這些絲狀藻除了造成養殖魚業和灌溉溝渠的困擾之外，也能對我們的生活有更好的貢獻。

二、本研究主要採集到製作藻紙的絲狀藻有鞘藻、剛毛藻和黑孢藻，水綿因為採集量太少，無法製作。而採用絲狀藻來造紙，就像用陸生植物造紙一樣，每一種植物都有其特性，不是每一種樹都可以拿來製作好的紙張，同樣的不同種類的絲狀藻製作出來的藻紙性質也不同；而且若是使用不同的製作程序，做出來的藻紙更是千變萬化，甚至不輸手工紙商品。所以如果可以多採集不同種類的絲狀藻，在原料量和製作程序多加變化嘗試，相信絲狀藻會是一種很好的造紙工藝的發展方向。

三、剛毛藻和黑孢藻使用以『次氯酸鈉』為主成分的漂白水漂白之後顏色反而會變褐色，不知道如果採用以『雙氧水』為主成分的漂白水來漂白效果會如何？因為時間的關係，本研究無法再做更多的延伸，將來有機會可以嘗試看看。甚至也可以嘗試加入膠糊，或嘗試以不同藻類配合(不一定要絲狀藻)來製作藻紙，這些都很值得探討看看。

四、為了測試這些製作出來的藻紙的實用性，特別把這些藻紙拿來書寫、繪圖、折紙、編織……等各種應用(如表 5.)，如果可以發揮創意，這些藻紙一定可以有更多的應用發展。

表 5.藻紙的各種應用創意發想

			
書寫	繪圖	折紙鶴	編紙籃

伍、結論

- 一、本研究總共採集了鞘藻(*Oedogonium sp.*)、剛毛藻(*Cladophora sp.*)、黑孢藻(*Pithophora sp.*)三種可以用來製作藻紙的絲狀藻。
- 二、本研究採集的鞘藻和黑孢藻是生活在淡水的，可以在家裏養殖；剛毛藻是生活在海水的，在家裏不容易養殖。
- 三、本研究製做藻紙，主要程序為『採集原料→曬乾(或不曬乾)→漂白(或不漂白)→加熱(或不加熱)→打碎(不同時間)→抄紙→取出壓乾』。本研究以上述方式變化不同組合，製作出超過 119 張藻紙。由此結果，證明採用絲狀藻做為原料來造紙是可行的；而且本研究採用的造紙程序，也可以製作出品質不錯的藻紙，如果能在絲狀藻種類和製作程序上加以變化，也可以因應不同需求，製作出不同性質的藻紙。
- 四、本研究 and 別的藻紙製作報告最大的差別，在於本研究製作藻紙的原料全部採用絲狀藻，而且比較不同種類的絲狀藻製作出的藻紙，性質是否有不同的差異；例如鞘藻漂白以後呈現淡黃色，而剛毛藻和黑孢藻漂白以後呈現褐色。
- 五、本研究製作的各種藻紙，顏色多半呈天然的綠色、淡黃色或褐色，會有天然乾草的味道，根據不同的原料和製作過程，會有很大的差別，多嘗試變化，可以造出不輸給市面上手工紙的品質，甚至還可以有特殊的絲狀藻花紋和味道，可成為手做文創商品。
- 六、用絲狀藻來造紙可以減少砍樹，也能將一直以來造成許多困擾的絲狀藻發揮更好的效用，值得我們更深入的研究和推廣。

陸、研究建議

或許有人會說絲狀藻當材料來製作紙張，比不上直接從陸地植物取材來得容易，其實臺灣養殖漁業發達，有時在養殖水產的過程，有些魚塭會休息，也有一些廢棄的魚塭，甚至有些稻田、溝渠、水庫或湖泊，這些水域都會長出絲狀藻類，如果可以好好利用這些水域，還是很容易可以找到很多的造紙用的絲狀藻的。更何況就算絲狀藻的量，沒有大到可以提供大型工業造紙，但還是可以提供做為手工紙製作的材料，製作出來的紙不但會有藻類的香氣，而且還會有自然的絲狀藻紋路，是很有文創特色的紙；製造過程不需使用鹼液，也是一種環保的表現，所以用絲狀藻類來造紙，是有很大的發展空間，值得我們來好好的發揮創意加以利用的！

柒、未來研究方向

這次的研究，我只有用三種絲狀藻類，其實在豐富的藻類世界，還有很多絲狀藻，如果有機會我願意再多嘗試更多種類的絲狀藻。而且，以這次的研究，鞘藻似乎膠質的含量比較少，可是具有容易漂白的特性；剛毛藻膠質比較多，但是卻不容易漂白，像這樣如果可以把不同的藻類混合，發揮不同藻類的優點，說不定可以在造紙的過程中發揮更大的用處。

捌、參考文獻

- [01]TBS The Emerald Lake。水族缸常見藻類簡介(剛毛藻篇)。2008年12月26日。取自：
<https://www.tbs-aqua.com/encyclopaedia/paper?paperID=416>。
- [02]TBS The Emerald Lake。水族缸常見藻類簡介(馬鬃藻篇(黑孢藻))。2009年01月09日。取自：
<https://www.tbs-aqua.com/encyclopaedia/paper?paperID=420>。
- [03]TBS The Emerald Lake。水族缸常見藻類簡介(絨毛藻篇(鞘藻))。2009年01月02日。取自：
<https://www.tbs-aqua.com/encyclopaedia/paper?paperID=418>。
- [04]陸致云、郭子歆、黃琦涵(2018)。千金難買藻紙道-絲藻再生紙的製作與性質分析探討。58屆全國中小學科展說明書。
- [05]王柏霖、吳祐禎、李采霖(2015)。藻生貴紙—利用絲藻再生紙張達到環保目的。2015。
- [06]CHP 華紙。談紙之間。2022年7月15日。取自：http://www.chp.com.tw/product/product_learn。
- [07]教育部綠色學校夥伴網路。嘆為觀止--了解造紙文化與愛惜資源。2017年04月11日，取自：
<https://www.greenschool.moe.edu.tw/g2/partner/item.aspx?k=F08A15F4FBD313EDED3C101370F0150D>
- [08]廣興紙寮。歎為觀紙—手工紙的工藝。民國2022年07月12日。取自：
<https://www.taiwanpaper.net/blank-7>。

【評語】 032905

此作品在研究之前先進行了類似研究的搜索，把藻從造紙的添加物提昇為主原料，並選擇性質適合製紙的絲狀藻做為主要纖維素來源，並比較3種不同絲狀藻和不同造紙製程的紙張的物理特性。研究主題利用藻類作為纖維素來源製作紙張，主題清晰、有趣、且具創意。本作品妥善分析不同變因(原料曬乾與否，漂白與否、煮沸與否、打碎程度)對品質的影響，本作品的實驗量相當大，送審學生在研究的討論中可看出其對於研究的投入與熱情，並且對於未來的發展也用心描述。是優秀的作品。建議測試絲藻的回收再生是否與一般市售紙張一樣可行，在實用性方面可以再深入與其他方式造紙的應用方面特性比較。

作品海報



藥紙如此，何必砍樹～

探討利用三種線狀藥造紙效果之比較

本研究採集三種絲狀藻，包含鞘藻(*Oedogonium sp.*)、剛毛藻(*Cladophora sp.*)、和黑孢藻(*Pithophora sp.*)，利用這三種絲狀藻來製作藻紙，採用的製作程序是『採集原料→曬乾(或不曬乾)→漂白(或不漂白)→加熱(或不加熱)→打碎(不同時間)→抄紙→取出壓乾』的各種變化，製作了超過119張的藻紙，並和市售的影印紙比較外觀、重量、厚度、透光度、吸水性、吸油性、抗張力性、耐折性等性質，認為藻紙的品質不會比一般的手工紙不好，如果可以針對製作原料和製作程序多作試驗探討，一定可以做出品質非常好的手工紙張。利用絲狀藻為原料來製作紙張，除了減少樹木的砍伐，而且因為製作的過程不需要為了溶解木質素而使用鹼液，可以降低對環境的影響，是值得推廣的一種造紙原料。

壹、前言

一、研究動機

我家附近有很多的魚塢，這些魚塢裏常會長出大量的絲狀藻，養魚的人常常要花許多時間把這些絲狀藻撈出來，以免影響魚塢裏養的魚；另外也有很多的水稻田和排水溝渠，這些水域也常常可以看見長滿了各種絲狀藻；而我養魚的水族箱中，也經常長出很多的絲狀藻，這些絲狀藻不但會纏住魚，而且會讓水族箱變得很髒。我就想，如果我可以拿這些絲狀藻來試著造紙，以我一個國中生簡單的器材，可不可以造出接近市售品質的紙張？所以我找老師討論，開始設計實驗，採集魚塢、稻田和水族箱中常見的絲狀藻類，參考手工造紙的程序來設計我的造紙流程；用不同的絲狀藻類原料，和不同的處理方法造出手工紙張，並比較這些紙張和市售影印紙品質上的差異。

二、研究目的與架構

(一)、研究目的

- 採集住家附近的各種絲狀藻，分辨其種類，並蒐集藻類相關資訊。
研究1-1：採集住家附近各種絲狀藻，加以分辨，並蒐集整理相關資訊。
研究1-2：試著培養這些採集的藻類，以供造紙實驗所需。
- 用所採集的絲狀藻類，建立製作藻紙的標準程序。
研究2-1：蒐集造紙的各種方法，從中找出適合的藻紙製作的程序。
研究2-2：利用不同的藻紙製作程序，配合三種絲狀藻類原料，製作不同的藻紙。
- 將自己製作的藻紙和市售紙張相較，品質有哪些差異？
研究3-1：比較藻紙和市售紙張外表(顏色、厚度、重量、纖維粗細)的差異。
研究3-2：比較藻紙和市售紙張透光性的差異。
研究3-3：比較藻紙和市售紙張吸水性的差異。
研究3-4：比較藻紙和市售紙張吸油性的差異。
研究3-5：比較藻紙和市售紙張抗張力性的差異。
研究3-6：比較藻紙和市售紙張耐折性的差異。

(二)、研究架構

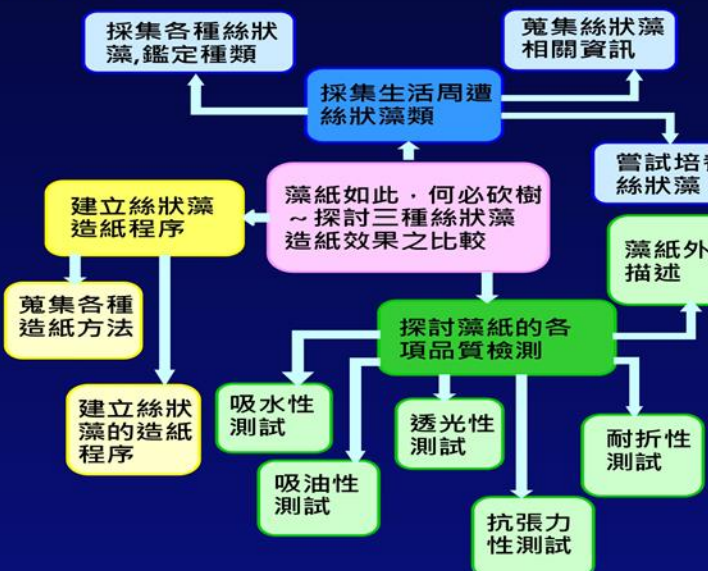


圖1. 藻紙如此，何必砍樹～探討利用三種絲狀藻造紙效果之比較研究架構圖

三、文獻探討

探討主題	內容
絲狀藻介紹	<p>本研究所謂絲狀藻，是指綠藻的藻體是由圓筒狀的細胞接續而成，藻體呈現絲狀，分枝或不分枝，本文獻探討針對本研究的三個主要對象絲狀藻，做相關資料的整理和說明。</p> <p>1. 鞘藻(<i>Oedogonium sp.</i>)：鞘藻主要生長在池塘、水溝、稻田等淺水、靜水水域中，小的時候會用固著器附生在水底物體上，長大後會脫離附生的物體漂浮在水面上，並繼續生長。細胞壁的外層是果膠質，內層主要是纖維素，和少量的幾丁質。鞘藻可以適應各種環境，軟水或硬水都可以生長良好，在pH5.0~pH8.0，溫度15°C~25°C，乾淨而營養的水中可以大量而迅速的繁殖。</p> <p>2. 剛毛藻(<i>Cladophora sp.</i>)：剛毛藻喜歡在富含營養的池塘、湖泊、溝渠的淺灘邊，或是底床生長，附生在各種物體上面，少數種類會有漂生生長的方式。多年生，植物體為多細胞分枝的絲狀體，主枝和分枝不容易區別。可以在輕、中度污染但水質清澈的水中生長，對溫度變化適應良好，比較喜歡較高的溫度，25°C~30°C生長最佳，喜歡生長在弱酸性的環境，對於鹼性的水質較敏感。生長時對於氮和磷的需求高，可以做為污水處理用藻類。剛毛藻細胞壁較厚，有三層結構，最內層主要成分是纖維素，中層為果膠層，最外層是角質層，所以藻絲較剛硬。</p> <p>3. 黑孢藻(<i>Pithophora sp.</i>)：黑孢藻是一種明顯分枝狀的綠藻，和剛毛藻同科，其密生藻體觸摸起來的感覺也和剛毛藻類似。藻體可以附著在水中任何可以攀附的表面，岩石、土壤、水草都可以，也可以漂生生長。黑孢藻的生長速度快，而且生命力旺盛，容易產生密集式的生長，逐漸在水域底面形成一塊很大的藻區。而且因為藻絲會不規則的分枝，互相交纏在一起，形成很大的藻團，而且黑孢藻會自動斷離，當整個藻團從水域底面斷離時，還能繼續漂生生長，很容易佔滿整個水域，會干擾養殖或灌溉等水資源利用，所以黑孢藻極不受人歡迎，甚至會被稱為『藻類的大蝗災』。黑孢藻除了具有如剛毛藻般的三層細胞壁結構之外，最明顯的特徵是黑孢藻絲體頂端有時會形成厚壁孢子，而且細胞間也常會有厚壁孢子的出現。 文字部分(參考文獻[01]、[02]、[03])；圖片為自行拍攝100倍放大圖</p>
造紙程序介紹	<p>手工造紙：一般是從不同植物取材後，需經過下列許多程序的處理，散布在紙漿中的纖維經過重組，這些抄紙的過程，最後經過烘乾變成薄薄的手工紙，每個造紙流程概述如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 選材：造紙纖維大部分取自於各種天然植物，經過各種加工而行成紙張。例如麻繩頭、破布、舊漁網、樹皮等為材料。 浸泡：將各種造紙纖維原料放進水池浸泡並用工具搗散。 蒸煮：經由蒸煮的方法，讓植物纖維分離，並分離原料中的雜質。 漂洗：用清水做初步的浸泡及清洗，去除植物纖維以外可見雜質。 打漿：漂洗後的纖維原料成漿狀，做打漿處理，形成所謂的紙漿。 抄紙：將紙漿溶解於水中並加入懸浮劑(糊)加以攪拌均勻，在網中依搖盪的紙漿濃度及時間來控制所需要的紙張厚度。 壓紙：將水份壓榨去除。 烘紙：將紙張取下，用蒸氣烘乾、刷平。 成紙：紙張經過適溫烘乾，就形成一張張珍貴的手工紙了。(參考文獻[07]、[08])

二、研究裝置

(一)吸水性、吸油性測試裝置

裝置照片	裝置說明
	此裝置將藻紙剪成1公分×7公分的藻紙條，把藻紙條貼在塑膠尺上，一次可以貼5條，塑膠盒中倒入水或沙拉油(深1公分，到藻紙條黑線)，測試藻紙條2分鐘可以讓水或沙拉油上升多少公分，來測試自製藻紙的吸水性或吸油性。

(二)抗張力測試裝置

裝置照片	裝置說明
	此裝置將藻紙剪成1公分×7公分的藻紙條，把藻紙條用長尾夾上下夾住，不斷的在夾鏈袋中放入彈珠，一直到藻紙條斷裂為止，再測量夾鏈袋中所有彈珠的重量(下面的密林可以防止彈珠掉下散落一地)，即為藻紙條抵抗拉力造成斷裂的力，用來測試藻紙的抗張力特性。

(三)透光度測試裝置

裝置照片	裝置說明
	在紙箱上放上透明壓克力板再打開上面的LED手電筒電源，可藉由穿入紙箱孔洞的照度計來測量紙箱裏面的照度(必須在紙箱外面判斷照度)，再在上面放上藻紙蓋住整個壓克力板，測量透過藻紙的照度，即可測出藻紙的透光度。

參、研究方法與結果討論

一、採集住家附近的各種絲狀藻，分辨其種類，並蒐集藻類相關資訊。

研究1-1：採集住家附近各種絲狀藻，加以分辨，並蒐集整理相關資訊。

研究方法：
1.利用課餘時間，到家裏附近的池塘、魚塢、水稻田，及家裏的水族箱，尋找絲狀藻類，並在安全的前提下加以採集，帶回家用1尺蓮花盆或水族箱加以培養並觀察(如圖3.)。

研究結果：

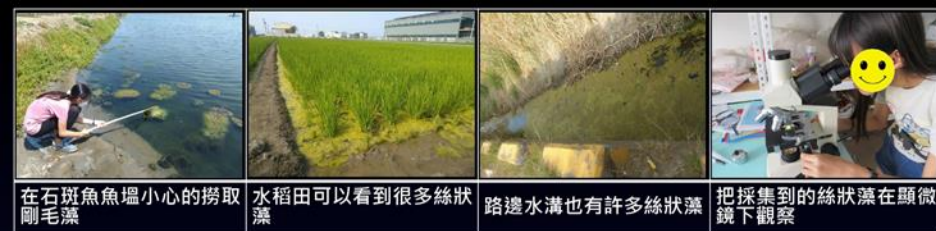
表1.採集鞘藻、剛毛藻、黑孢藻三種絲狀藻列表

名稱	鞘藻(<i>Oedogonium sp.</i>)	剛毛藻(<i>Cladophora sp.</i>)	黑孢藻(<i>Pithophora sp.</i>)
三種絲狀藻採集			
採集地點	虱目魚魚塢採集	石斑魚魚塢採集	家裏的養魚水箱採集
100倍顯微放大圖			
絲狀藻曬乾保存			

貳、研究器材及設備

一、本實驗使用的器材、生物和其他材料

項目	內容
器材	一尺蓮花盆、手撈網、53×42×13公分塑膠密林、39×31×10公分塑膠密林、36×28×8公分塑膠密林、篩麵粉器、絹印框、細木條、細紗網、熱融膠、豆漿過濾袋、150目絹印網、顯微鏡、蓋玻片、載玻片、數位相機、吸管、長尾夾、照度計、玻璃彈珠、紙箱、記錄紙、筆、Double A 70gsm A4影印紙、尺、簽字筆、鍋子、瓦斯爐、妙管家漂白水(次氯酸鈉5.5%)、彎頭鑷子、計時器、7號夾鏈袋、鐵架、電子秤、保麗龍
生物	鞘藻、剛毛藻、黑孢藻
其他	水、沙拉油、使用過的回收A4影印紙(壓乾紙用)



在石斑魚魚塭小心的撈取剛毛藻
水稻田可以看到很多絲狀藻
路邊水溝也有許多絲狀藻
把採集到的絲狀藻在顯微鏡下觀察

研究1-2：試著培養這些採集的藻類，以供造紙實驗所需。
1.將採集回來的絲狀藻類，除了部分拿來造紙實驗外，多出來的，可以先用蓮花盆栽起來(如圖3)。在培養藻類的過程中，可以觀察這些藻類的變化，加以記錄。
研究結果：



圖2.潭池採集的水絲(400倍放大),可惜量太少
圖3.在家裏用蓮花盆栽養殖絲狀藻,大部分都是鞘藻
圖4.剛毛藻在淡水養不活,後來在水中都變黑爛掉了

二、用所採集的藻類，建立可以造出紙張的標準程序？

(一)、研究方法、結果、討論：
研究2-1：蒐集造紙的各種方法，從中找出幾種適合自己的操作的程序。

研究方法：
1.利用課餘時間從網路上蒐集工業造紙、手工造紙的方法，最好可以找到和本研究相關的科展報告，參考別人是如何造紙，當作本研究可以比較的對象。

研究結果：
1.蒐集資料時，有找到幾篇用藻類造紙的科展研究報告，其中造紙的方法和使用的材料，可供本研究參考(參考文獻[04]、[05])。

2.本研究暫定絲狀藻造紙的程序是『採集原料→曬乾(或不曬乾)→漂白(或不漂白)→加熱(或不加熱)→打碎(不同時間)→抄紙→取出壓乾。』以上為本研究絲狀藻造紙的基本步驟，其中有些步驟可以藉由有或沒有、時間的長短來控制，探討所造出來藻紙的品質。

研究討論：
1.本研究有找到兩篇以絲狀藻為主題的科展報告(參考文獻[04]、[05])，不過在兩篇報告中，都是以再生紙的方式呈現，也就是以回收紙類為主原料，在裏面添加絲狀藻，也就是絲狀藻是添加物，並不是主原料，這和本研究以絲狀藻為完全的原料不同。另外在這兩篇報告和一些手工造紙的程序中，會添加『膠糊』來增加紙漿纖維的黏著性，讓紙張更有韌性。但本研究在實驗過程中，發現用果汁機打碎絲狀藻時，會出現類似藻膠的物質，這些膠狀物質似乎可以成為『膠糊』的替代物質，本研究在造藻紙的過程中，不加入任何『膠糊』類的物質，來探討用絲狀藻造紙的效果。另外，這兩篇報告並沒有針對使用不同種類的絲狀藻原料對於製作藻紙的影響，本研究有針對三種不同絲狀藻做不同的探討。

研究2-2：利用不同的藻紙製作程序，配合三種絲狀藻類原料，製作不同的藻紙。

研究方法2-0：
1.用找到的手工造紙方法，和採集到的絲狀藻，試著練習製造藻紙，增加經驗。

研究結果2-0：
1.製造各種抄紙工具，和嘗試造紙。(如圖5.~圖12.)



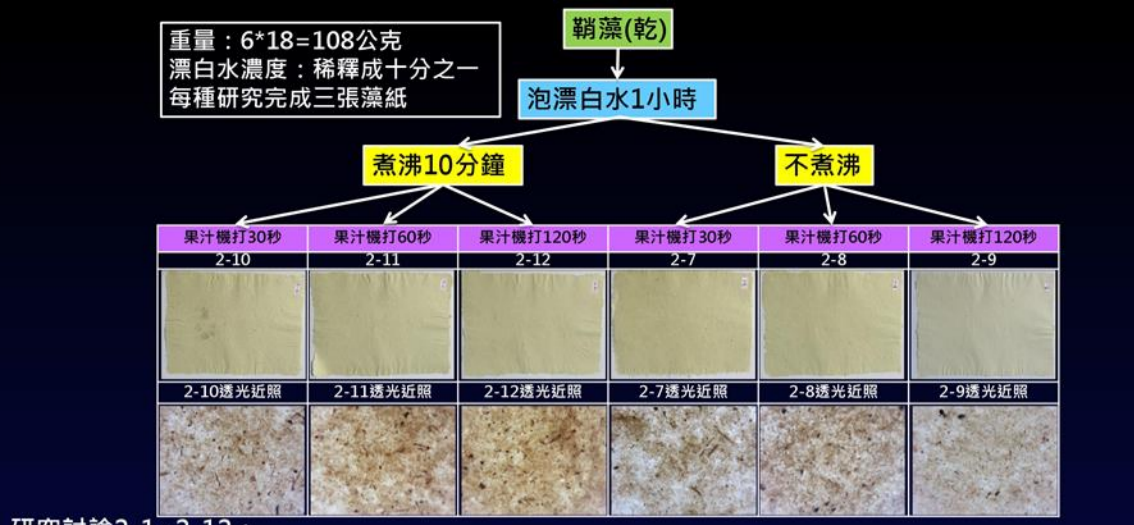
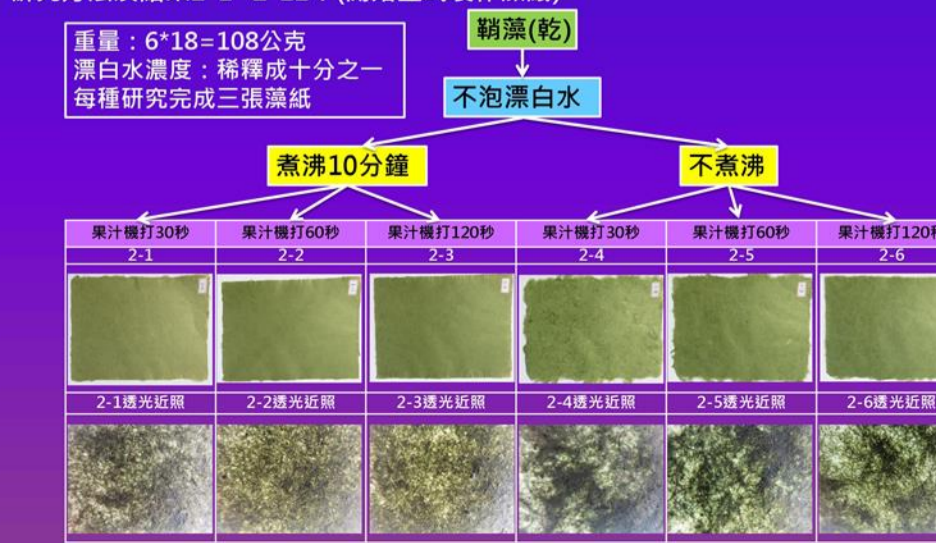
圖5.用木條和洗衣袋紗網嘗試製作抄紙網
圖6.嘗試製作和使用各種抄紙工具
圖7.用自製抄紙網和完全沒處理的絲狀藻做藻紙
圖8.用果汁機打碎的藻類充滿膠質,反射陽光
圖9.膠質很多的藻漿做的藻紙像塑膠片一樣
圖10.鞘藻漂白後呈現非常白的顏色
圖11.鞘藻做出來的紙呈現淡黃色,但有一點薄
圖12.嘗試不同處理方式及抄紙工具製作藻紙

研究討論2-0：
1.造紙一開始用回收影印紙打碎紙漿練習，後來開始用家裏可以採到的鞘藻試作，試著嘗試不同製作程序，最後確定本研究的造紙流程是『採集原料→曬乾(或不曬乾)→漂白(或不漂白)→加熱(或不加熱)→打碎(不同時間)→抄紙→取出壓乾(如表2.』。其中絲狀藻原料要不要曬乾？要不要漂白？要不要加熱煮沸？果汁機打碎時間長短，是本研究控制的不同藻紙製作操作模式。

表2.本研究絲狀藻造紙基本程序表



研究方法及結果2-1~2-12：(開始正式製作藻紙)



研究討論2-1~2-12：
1.因為本研究製作的藻紙的品質要和Double A 70gsm A4影印紙比較，所以將A4影印紙秤重，平均每張A4影印紙的重量大約是4.6公克，而在採集絲狀藻曬乾時，常常發現絲狀藻裏面有許多的泥沙、螺貝類(如圖13.)、水生昆蟲(如圖14.)、葉片(如圖16.)、和水草(如圖15.)等雜物，會影響絲狀藻的秤重，所以每次製作藻紙時，每張藻紙原料重量以『乾燥絲狀藻6公克』為基準。
2.在本研究中，會嘗試比較用新鮮的絲狀藻或乾燥的絲狀藻製作藻紙的差別，所以乾燥藻紙暫定每張紙原料6公克，而新鮮潮濕的絲狀藻的重量，依表3.所列，把三種絲狀藻新鮮潮濕時秤重，放在太陽下曬二天完全乾燥再秤重，比較新鮮潮濕時和乾燥時的重量比，鞘藻濕重是乾重的大約5.66倍，剛毛藻的濕重是乾重的大約6.61倍，而黑孢藻濕重是乾重的大約5.89倍。
3.在本研究中，果汁機的運轉是以30秒為單位，因為藻絲容易纏住果汁機的刀片，所以每次一開始會用果汁機的『瞬轉』功能轉10次，然後才開始持續用『高速』運轉30秒；如果是30秒的運轉時間，實際上操作是『瞬轉10次+高速運轉30秒』；而如果是60秒的運轉時間，實際上操作是『瞬轉10次+高速運轉30秒+瞬轉10次+高速運轉30秒』；以此類推，如果是120秒的運轉時間，則是總共進行4次的『瞬轉10次+高速運轉30秒』。

表3.不同絲狀藻新鮮潮濕重量和乾燥重量對照表(單位:公克)

名稱	鞘藻(濕)	鞘藻(乾)	剛毛藻(濕)	剛毛藻(乾)	黑孢藻(濕)	黑孢藻(乾)
1	27.02	4.78	36.15	6.13	35.93	6.1
2	28.06	4.96	40.77	5.75	34.69	5.89
3	29.36	5.18	46.89	6.87		
濕乾比	5.66		6.61		5.89	

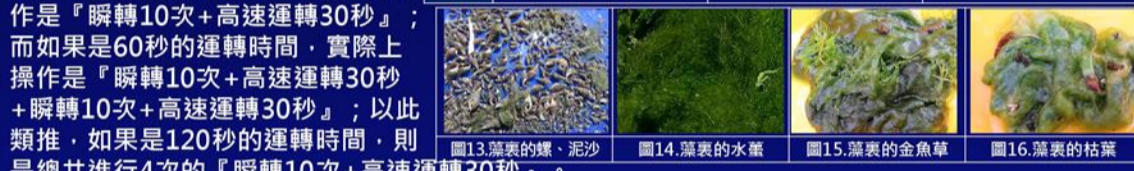
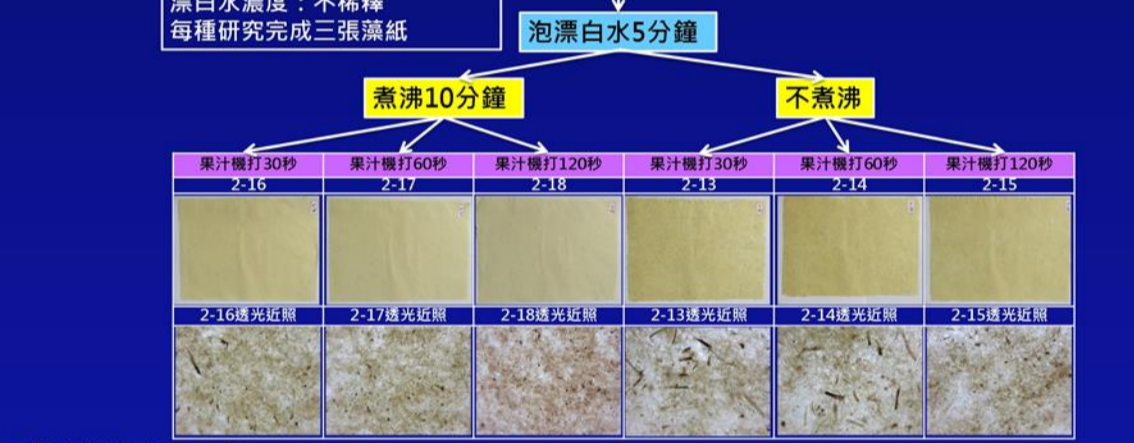


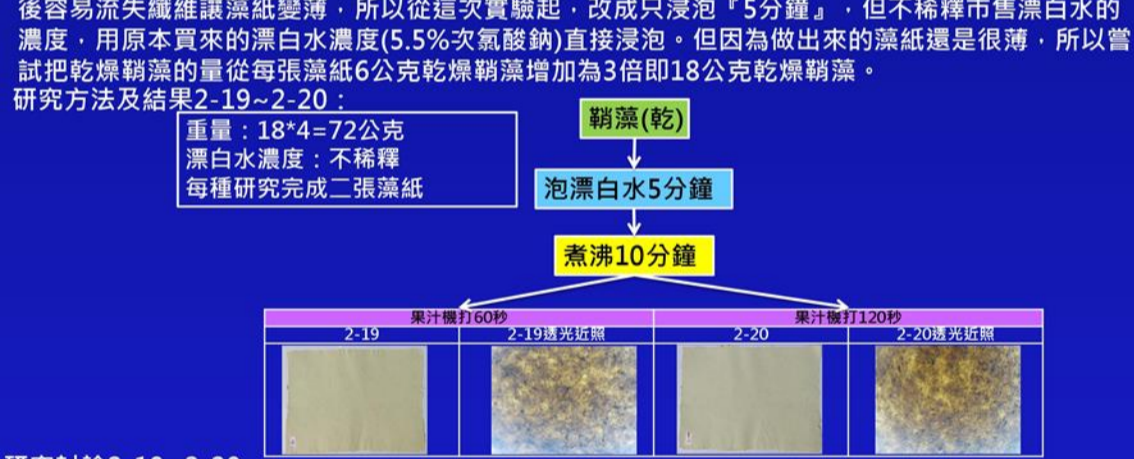
圖13.藻裏的螺、泥沙
圖14.藻裏的水蘊
圖15.藻裏的金魚草
圖16.藻裏的枯葉

研究方法及結果2-13~2-18：



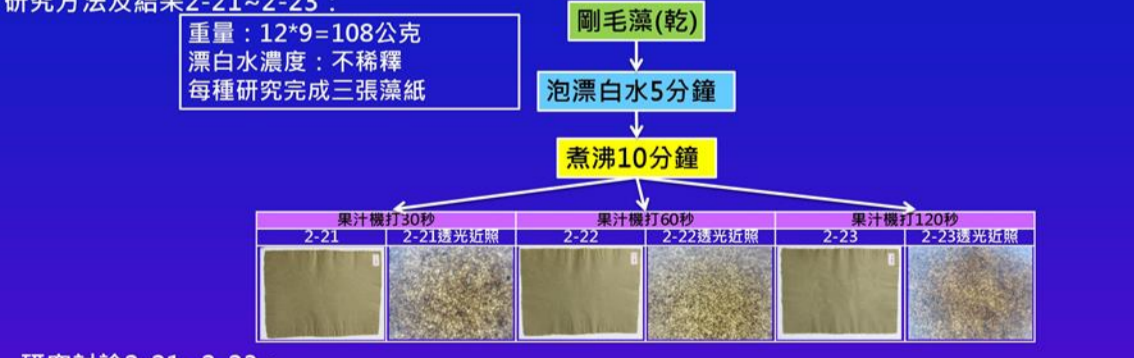
研究討論2-13~2-18：
1.本部分研究總共完成18張藻紙，因為上個階段漂白的部分是用市售的漂白水稀釋成10分之1的濃度浸泡『1個小時』，但是在研究2-7~2-12的時候，發現泡太久藻絲的纖維會太爛了，果汁機打後容易流失纖維讓藻紙變薄，所以從這次實驗起，改成只浸泡『5分鐘』，但不稀釋市售漂白水的濃度，用原本買來的漂白水濃度(5.5%次氯酸鈉)直接浸泡。但因為做出來的藻紙還是很薄，所以嘗試把乾燥鞘藻的量從每張藻紙6公克乾燥鞘藻增加為3倍即18公克乾燥鞘藻。

研究方法及結果2-19~2-20：



研究討論2-19~2-20：
1.研究2-19~2-20的結果藻紙成品都太厚了，所以以後每張藻紙使用的原料乾藻確定改為每張使用『12公克』乾藻。

研究方法及結果2-21~2-23：



研究討論2-21~2-23：
1.在漂白『剛毛藻』的時候發現，和鞘藻容易漂白不一樣，剛毛藻漂白時，卻是呈現灰褐色(如圖17.)，用沸水煮沸10分鐘時，剛毛藻的顏色也變得愈來愈深(如圖18.)，最後摺掉水分出現的是一團灰褐色的藻漿團(如圖19.)，而把這些藻漿團用果汁機打過，抄紙做出來的藻紙也是呈現灰褐的顏色(如圖20.)，和鞘藻漂白後做出來的藻紙呈現淡黃色有很大的不同。

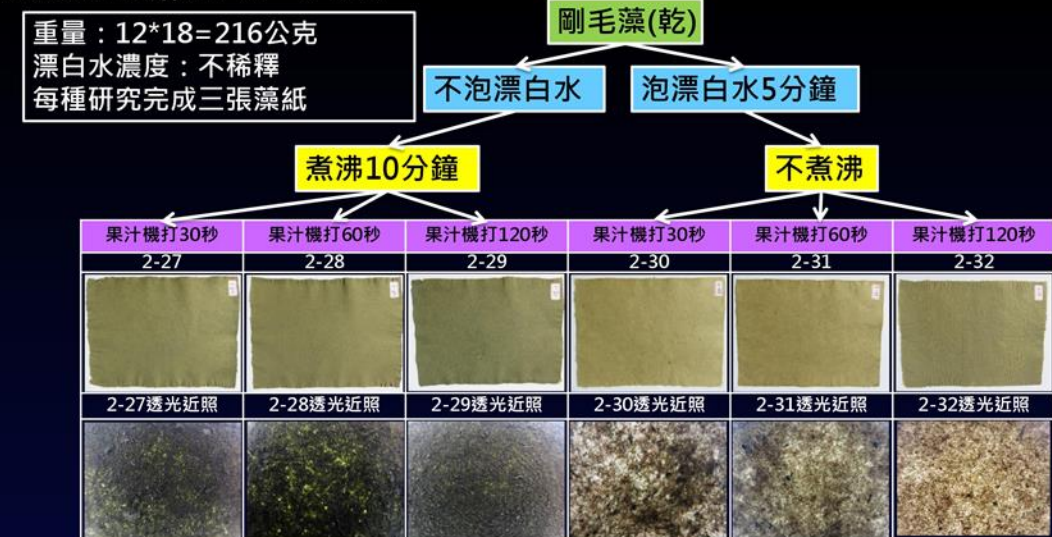
圖17.剛毛藻加漂白
圖18.剛毛藻放入鍋子煮時,顏色變深了
圖19.剛毛藻煮完變成灰褐色的藻漿團
圖20.用漂白過的剛毛藻藻漿做出的藻紙

研究方法及結果2-24~2-26：

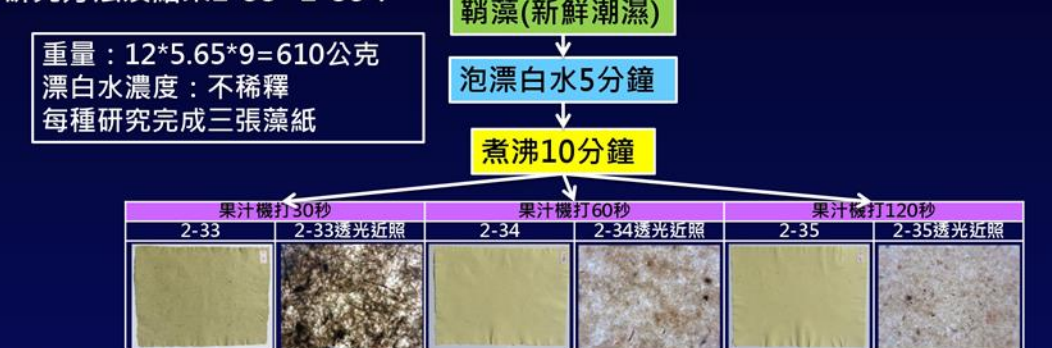


研究討論2-24~2-26：
1.這次是用『新鮮潮濕的剛毛藻』來製作藻紙，製作過程所呈現出來的顏色變化，還是和乾燥的剛毛藻當藻紙原料的一樣呈現灰褐色，和鞘藻偏白的淡黃色不同。

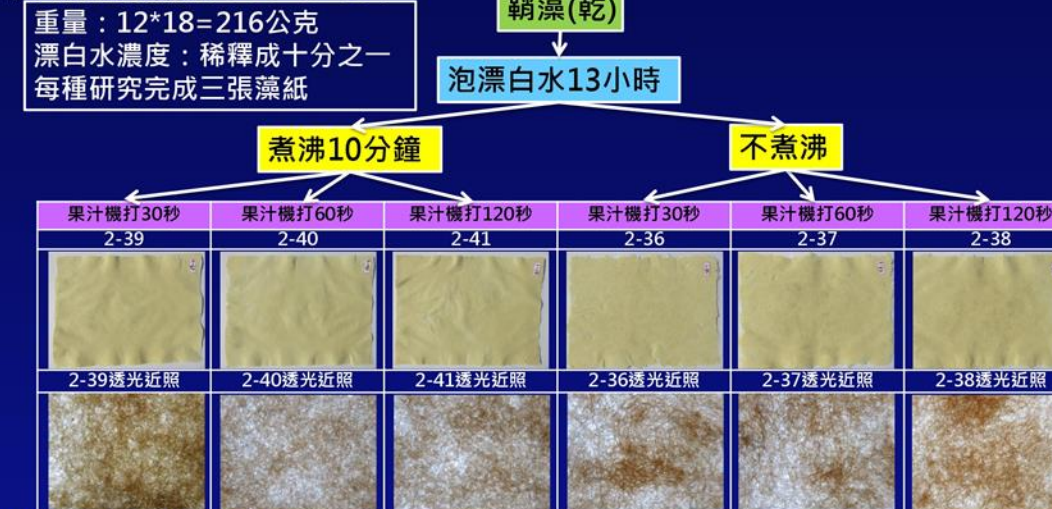
研究方法及結果2-27~2-32：



研究方法及結果2-33~2-35：



研究方法及結果2-36~2-41：



研究討論2-36~2-41：

1. 本次研究主要是想要嘗試看看浸泡濃度稀釋成十分之一的稀釋漂白水較長的時間(13個小時)，觀察對造紙的結果有沒有什麼影響？從研究結果可以看到，沒有煮沸處理的2-36、2-37、2-38鞘藻纖維都不容易打斷，而且因為浸泡漂白水太久，鞘藻膠質流失太多，做出來的藻紙很硬，很容易就會折斷，缺乏韌性。

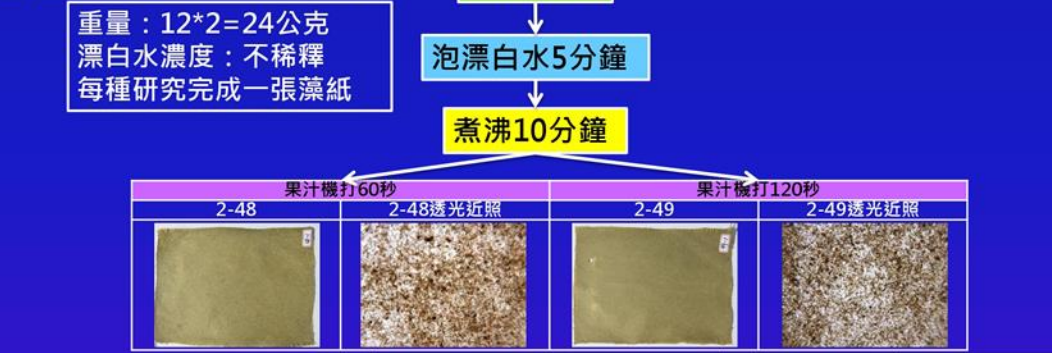
研究方法及結果2-42~2-47：



研究討論2-42~2-47：

1. 由研究方法2-42~2-47結果可知，這一次研究會先泡漂白水5分鐘，然後煮沸10分鐘處理後，又會再浸泡市售漂白水5分鐘，所以做出來的藻紙就外觀顏色較白，透光近照纖維看起來也都都很細緻。但是因為浸泡漂白水二次，膠質流失太多，藻紙太硬，沒有韌性，且容易折斷。

研究方法及結果2-48~2-49：



研究討論2-48~2-49：

1. 用黑孢藻製作藻紙，雖然漂白完是呈現白色(如圖21.)，可是加熱後卻會變成褐色(如圖22.、圖23.)，最後做出來的藻紙也會呈現褐色(如圖24.)，這和剛毛藻有點類似。

三、將自己製作的藻紙和市售紙張相較，品質有哪些差異？



1. 從本研究製作的藻紙中，依不同製作方法抽取10張藻紙成品，觀察藻紙的外觀、顏色、花紋、觸摸表面的粗細、邊緣的纖維、秤藻紙的重量(如圖25.)，測量20張藻紙的厚度來求1張的平均厚度(如圖26.)，藉此對我們製作的藻紙外表加以描述。

2. 先用照度計測量沒有放紙在『透光度測試裝置』(研究裝置三)上面時的照度數值，再把要測試的藻紙放在『透光度測試裝置』上，用光度計測量照度值(如圖27.)，換算這張藻紙的透光度，再和市售的影印紙做比較。

3. 將要藻紙剪成1公分*7公分紙條(如圖28.)，共10張，用設計的『吸水性、吸油性測試裝置』(研究裝置一)，將5張藻紙條貼在測試位置，置於水槽上(如圖29.)，觀

察記錄2分鐘水線上升的距離，把5張紙的水線上升距離平均，即是這張藻紙的吸水性，再和市售影印紙比較(如圖30.)。而吸油性測試只要把水槽中的水換成沙拉油即可(如圖31.)。

4. 將要藻紙剪成1公分*7公分紙條，共5張(如圖28.)，用設計的『抗張力測試裝置』(研究裝置二)，把1張藻紙條上下各捲貼塑膠吸管(如圖32.)，再夾在上下兩邊的長尾夾上，才不會滑掉，並開始在夾鏈袋中放入玻璃彈珠(如圖33.、圖34.)，一直到紙條斷裂，用電子秤測量所有彈珠的總重量(如圖35.)，共測試5次藻紙條承受彈珠重量最後斷裂的抗張力值，加以記錄並求5次平均值，即為這張藻紙的抗張力值，再和市售影印紙比較。

5. 將要測試的藻紙剪成1公分*7公分紙條，共5張，把1張藻紙條反覆的上下對折50次(如圖36.)，一直到折斷為止，並記錄折斷時的對折次數；如果超過50次仍不能折斷，則記錄成『50↑』，表示折了50次還無法折斷，求5張測試藻紙條折斷次數的平均值，即為這張藻紙的耐折性，再和市售的影印紙做比較。

研究結果：

表4. 十張絲狀藻藻紙和市售影印紙(Double A 70gsm A4影印紙)做各種性質測試記錄比較表

藻紙外形											
編號	2-3	2-9	2-16	2-22	2-25						
藻紙外形											
編號	2-28	2-31	2-39	2-43	2-48						
編號	影印紙	2-2-3-2	2-2-9-2	2-2-16-2	2-2-22-2	2-2-25-2	2-2-28-2	2-2-31-3	2-2-39-2	2-2-43-2	2-2-48-1
外形描述	無味 外表面光滑 白色	有乾草味 深綠色 外表面光滑	有乾草味 水黃色 外表面略粗	有乾草味 淡黃色 外表面略粗	有乾草味 灰綠色 外表面略粗	有乾草味 淡褐色 外表面略粗	有乾草味 深綠色 外表面略粗	有乾草味 綠褐色 外表面略粗	有乾草味 淡黃色 外表面略粗	味道不明顯 外表面略粗 米白色	有乾草味 深褐色 外表面略粗
重量(公克)	4.62	4.12	3.91	2.19	4.75	2.63	7.43	5.22	10.22	9.22	4.24
平均厚度(毫米)	0.1	0.15	0.1	0.1	0.1	0.08	0.29	0.15	0.655	0.455	0.2
透光度	9.2%	1.14%	5.81%	100.9%	0.62%	1.39%	0.61%	1.1%	10.05%	4.31%	4.83%
平均吸水性(公分)	0	4.14	0.62	0.46	0.1	0.14	0.26	1.42	2.3	3.18	0.72
平均吸油性(公分)	0.3	0.52	0.08	0	0.08	0.12	0.38	0.32	1.0	0.4	0
平均抗張力(公克)	3282	1340	1435	399	1433	1281	2403	2038	654	459	1237
平均耐折性(次)	50↑	50↑	50↑	50↑	50↑	50↑	8.8	50↑	11.8	12.6	50↑

肆、討論

一、由研究三可以發現，本研究製作的藻紙雖然品質比不上商業用的影印紙(Double A 70gsm A4影印紙)，但是也可能是因為我的技術和工具不夠好所致。例如因為抄紙的工具是絹印板，抄完紙無法馬上把藻紙拿出來，所以不能在第一時間將藻紙壓實，因此做出來的藻紙也會顯得比較鬆散，還常常會破掉；另外因為本研究為了控制每張藻紙所用的藻漿重量是固定的，所以會把做好的藻漿直接倒入抄紙網中(如表2.)，但因為抄紙網內的空間有限，所以無法讓藻漿纖維均勻的分散；還有就是大部分手工紙製作時會添加膠糊來增加手工紙的韌性和光滑度，因為本研究採用的絲狀藻含有膠質，所以嘗試不添加膠糊，但是在加熱和漂白的過程中，有時會造成大量膠質的流失，以致做出來的藻紙沒有韌性。以上這些缺點，其實都可以透過不斷的嘗試改善，來做出品質更好的藻紙，讓這些絲狀藻能對我們的生活有更好的用途。

二、本研究主要採集到製作藻紙的絲狀藻有鞘藻、剛毛藻和黑孢藻，水線因為採集量太少，無法製作。而採用絲狀藻來造紙，就像用陸生植物造紙一樣，每一種植物都有其特性，不是每一種樹都可以拿來製作好的紙張，同樣的不同種類的絲狀藻製作出來的藻紙性質也不同；而且若是使用不同的製作程序，做出來的藻紙更是千變萬化，甚至不輸手工紙商品。所以如果可以多採集不同種類的絲狀藻，在原料量和製作程序多加變化嘗試，相信絲狀藻會是一種很好的造紙工藝的發展方向。

三、為了測試這些製作出來的藻紙的實用性，特別把這些藻紙拿來書寫、繪圖、折紙、編織.....等各種應用(如表5.)，如果可以發揮創意，這些藻紙一定可以有更多的應用發展。

表5. 藻紙的各種應用創意發想



伍、結論

一、本研究總共採集了鞘藻(Oedogonium sp.)、剛毛藻(Cladophora sp.)、黑孢藻(Pithophora sp.)三種可以用來製作藻紙的絲狀藻。

二、本研究採集的鞘藻和黑孢藻是生活在淡水的，可以在家裏養殖；剛毛藻是生活在海水的，在家裏不容易養殖。

三、本研究製成藻紙，主要程序為『採集原料→曬乾(或不曬乾)→漂白(或不漂白)→加熱(或不加熱)→打碎(不同時間)→抄紙→取出壓乾』。本研究以上述方式變化不同組合，製作出超過119張藻紙。由此結果，證明採用絲狀藻做為原料來造紙是可行的；而且本研究採用的造紙程序，也可以製作出品質不錯的藻紙。

四、本研究和別的藻紙製作報告最大的差別，在於本研究製作藻紙的原料全部採用絲狀藻，而且比較不同種類的絲狀藻製作出的藻紙，性質是否有不同的差異；例如鞘藻漂白以後呈現淡黃色，而剛毛藻和黑孢藻漂白以後呈現褐色。

五、本研究製作的各種藻紙，顏色多半呈天然的綠色、淡黃色或褐色，會有天然乾草的味道，根據不同的原料和製作過程，藻紙會有很大的差別，多嘗試變化，可以造出不輸給市面上手工紙的品質，可成為手做文創商品。

六、用絲狀藻來造紙可以減少砍樹，也能將一直以來造成許多困擾的絲狀藻發揮更好的效用，值得我們更深入的研究和推廣。

陸、研究建議

臺灣養殖漁業發達，有時在養殖水產的過程，有些魚塢會休息，也有一些廢棄的魚塢，甚至有些稻田、溝渠、水庫或湖泊，這些水域都會長出絲狀藻類，如果可以好好利用這些水域，還是很容易可以找到很多的造紙用的絲狀藻的，可以提供做為手工紙製作的材料，製作出來的紙不但會有藻類的香氣，而且還會有自然的絲狀藻紋路，是很有文創特色的紙；製造過程不需使用鹼液，也是一種環保的表現，所以用絲狀藻類來造紙，是有很大的發展空間，值得我們來好好的發揮創意加以利用的！

柒、參考文獻

[01] TBS The Emerald Lake. 水族缸常見藻類簡介(剛毛藻篇)。2008年12月26日。取自：<https://www.tbs-aqua.com/encyclopaedia/paper?paperID=416>。

[02] TBS The Emerald Lake. 水族缸常見藻類簡介(黑孢藻篇)。2009年01月09日。取自：<https://www.tbs-aqua.com/encyclopaedia/paper?paperID=420>。

[03] TBS The Emerald Lake. 水族缸常見藻類簡介(絨毛藻篇(鞘藻))。2009年01月02日。取自：<https://www.tbs-aqua.com/encyclopaedia/paper?paperID=418>。

[04] 陸致云、郭子歆、黃琦涵(2018)。千金難買藻紙道-絲藻再生紙的製作與性質分析探討。58屆全國中小學科展說明書。

[05] 王柏霖、吳祐菁、李采霖(2015)。藻生貴紙-利用絲藻再生紙達到環保目的。2015。

[06] CHP華紙。談紙之間。2022年7月15日。取自：http://www.chp.com.tw/product/product_learn。

[07] 教育部綠色學校夥伴網路。嘆為觀止--了解造紙文化與愛惜資源。2017年04月11日。取自：<https://www.greenschool.moe.edu.tw/gs2/partner/item.aspx?k=F08A15F4FBD313ED3C101370F0150D>

[08] 廣興紙寮。歎為觀止-手工紙的工藝。民國2022年07月12日。取自：<https://www.taiwanpaper.net/blank-7>。