

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

佳作

082910

一「頁」菩提--菩提葉造紙全記錄

學校名稱：宜蘭縣員山鄉七賢國民小學

作者：	指導老師：
小六 李有鳳	黃瓊瑤
小六 江宜蓉	王元璋
小六 江任勛	
小五 徐宇彪	
小五 何姿萱	
小五 黃之妍	

關鍵詞：造紙、鹼煮法、微生物分解法

摘要

雖然數位化時代，用紙需求下降，台灣每人每年的用紙量還是高達 190.5 公斤，使用的紙漿就來自熱帶雨林。

造紙一定得砍樹嗎，熱帶雨林孕育了地球上 50%的生物，雨林是地球之肺，雨林消失，除了大量物種滅絕之外將加劇全球暖化速度。

本次實驗採用菩提葉來造紙。運用四種添加鹼劑的熱煮方法獲得紙漿，且都能順利造紙。但熱煮法耗能，強鹼使用有危險性，廢液的處理很麻煩。

我們以微生物分解法來分解菩提葉纖維，製作添加酵母菌、乳酸菌、土壤益生菌、生態池底泥等常見微生物製作分解液，發現短短 14 日，微生物就能將菩提葉分解出纖維了，也都能順利造紙，樹葉造紙能依地區特有植物來製作獨一無二的紙張，再運用天然染染色方式讓紙張的用途更廣！

壹 研究動機

小蔡：工友叔叔，你修剪下來的這些菩提樹葉子要拿去做什麼呀？

叔叔：拿去堆肥讓它回歸大自然啊又可以滋養土地呀！

小蔡：堆肥固然不錯，但有沒有其他用途呀？

小倫：老師教我們用菩提葉鹼煮做葉脈書籤，很美麗喔！

叔叔：但是做書籤用不了麼多葉子啊。

小蔡：小倫，聽說你精通造紙術，這些葉子能拿來造紙嗎？

小倫：理論上是可行的，造紙利用的是葉子的纖維，只要纖維足夠都能拿來造紙。

小蔡：對喔，上次我們試過用芒草造紙，那是單子葉植物，我們沒試過用雙子葉植物造紙呢！而且每次造紙我們都使用氫氧化鈉煮爛葉肉留下纖維，氫氧化鈉是強鹼，操作上有一定的危險性，難道沒有其他方法了嗎？

小倫：鹼煮法有許多種鹼類可以運用，許多都是日常生活中會運用到的，我們都可以用來試試看。但我看到落在生態池中的葉子，經過一段時間分解也能形成美麗的葉脈標本，這也是值得探究的方向！

小蔡：這個有趣，那我們就來嘗試更全方位的造紙方式吧！

貳 研究目的

一、樹葉造紙原理、流程與適合造紙植物之探討

二、菩提葉解纖過程之探討

〈一〉鹼煮法解纖

〈二〉酵素法解纖

〈三〉微生物分解法解纖

三、不同解纖方式產出之纖維及紙張探討

〈一〉纖維分析

〈二〉紙張分析

四、紙張的功能探討

〈一〉吸水力實驗

- 〈二〉 摩擦力實驗
- 〈三〉 拉力實驗
- 〈四〉 柔軟度實驗
- 〈五〉 透光度實驗
- 〈六〉 耐折度實驗

五、菩提葉紙的運用探討

- 〈一〉 染色運用
- 〈二〉 藝術運用
- 〈三〉 生活創意運用

參 研究工具

- 一、植物調查部分：圖鑑、紀錄表
- 二、解纖部分：氫氧化鈉、碳酸鈉、龍眼木灰、小蘇打、水晶肥皂、酵母粉、土壤益生菌、生態池底泥、乳酸菌、鋼鍋、瓦斯爐、整理箱、洗衣袋、電子秤、手套、口罩
- 二、造紙部分：電子秤、果汁機、抄紙框、水槽、不織布、白板
- 三、染色部分：鋼鍋、瓦斯爐、染料植物、天然染色精粉、媒染劑、濃染劑
- 四、實驗部分：水槽、支架、滑輪組、墨水、光度計、尺、量角器、秤、小石頭

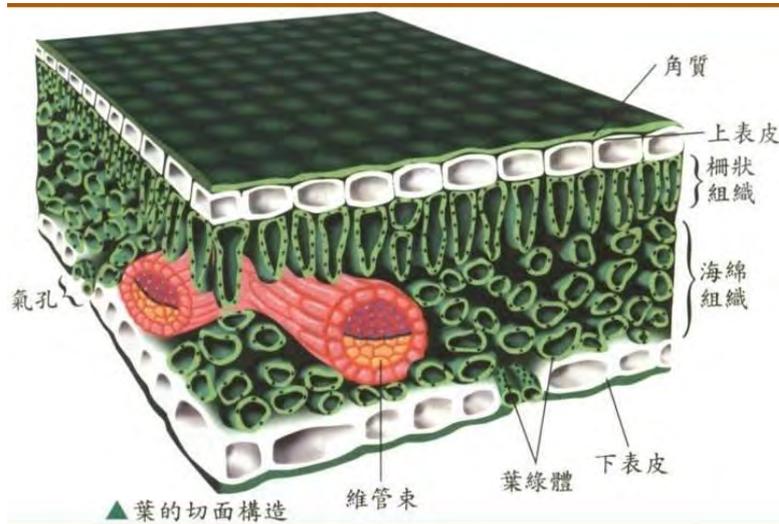
肆 研究流程與步驟



伍 研究結果

一、樹葉造紙原理、流程與適合造紙植物探究

〈一〉樹葉的構造



資料來源：www.fssh.khc.edu.tw/FengShanQP_2/UploadFiles/BBB101512.ppt

植物葉子的構造從外而內分為表皮、葉肉和葉脈三個部分。表皮通常只有一層細胞，可分為上表皮及下表皮，主要由表皮細胞和保衛細胞組成。表皮有角質層覆蓋，可減少水分的蒸散，並保護葉肉。

葉肉組織為柵狀組織及海綿組織，靠近上表皮且與表皮細胞垂直，細胞排列較齊，稱為柵狀組織；而另一型的細胞形狀不一，靠近下表皮且排列不整齊，細胞間有許多空隙，稱為海綿組織。

樹葉上沒有形成層，其中維管束即是葉脈，圖中維管束上半部為木質部；負責輸送水分和無機鹽氮、磷、鉀等營養鹽進入葉部。下半部為韌皮部將光合作用製成的碳水化合物輸送至莖及根。

〈二〉樹葉解纖原理探討

本次實驗要探討如何運用樹葉造紙，而造紙要取得的纖維即為葉子的維管束，植物葉片內的維管束與葉肉細胞的穩定性不同，因此我們可以利用差異侵蝕的方法將其分離而製作出葉脈纖維。

本次研究探討三種解纖方法：

1. 運用鹼煮法

強鹼可侵蝕葉片上的表皮，去除角質及脂質，藉以破壞葉肉細胞表面的細胞膜，加熱則可以加速反應將葉肉分解得到纖維。本實驗計畫以氫氧化鈉、碳酸鈉、龍眼木灰、水晶肥皂作為添加之鹼劑。

2. 酵素法造紙

酵素是一種由胺基酸組成的具有特殊生物活性的物質，它存在於所有活的動植物體內，是維持機體正常功能，消化食物，修復組織等生命活動的一種必需物質。製作植物酵素的過程能否分解葉肉得到纖維呢？我們想嘗試看看。

3. 運用微生物分解法

在大自然裡常見到水溝中、池塘裡及潮濕的地方有天然的葉脈標本，這是微生物分解的功勞，本實驗以酵母菌、乳酸菌、生態池底泥、土壤益生菌、糖等物質製作浸泡液，來嘗試微生物分解葉肉的可能性。

〈三〉校園適合造紙植物探討

我們這次實驗探討的是樹葉造紙，要取得樹葉的纖維，和製作葉脈標本的程序相同，查閱相關文獻，適合做葉脈標本的植物為葉脈質地較挺且明顯的樹葉，調查校園植物，得到成果如下表：

科別	植物名稱	是否適合造紙	備註
桑科榕屬	正榕	否	葉脈不明顯
桑科榕屬	菩提樹	是	葉脈明顯 族群足夠
桑科	小葉桑	否	葉脈不明顯
金縷梅科	楓香	是	冬天會落葉
樟科	樟樹	否	葉脈不明顯
殼斗科	青剛櫟	是	葉脈明顯 族群太少
使君子科	欖仁樹	否	葉脈不明顯
桃金娘科	番石榴	是	葉脈明顯 族群太少
榆科	朴樹	是	葉脈明顯 族群太少
豆科	鳳凰樹	否	葉片太小
楊柳科	水柳	是	葉脈明顯 族群少
夾竹桃科	黑板樹	否	葉脈明顯 有毒植物

葉脈明顯，校園內有足夠族群的植物是我們選擇造紙樹木的條件，經實地調查後我們選擇菩提樹葉作為本次研究的標的。

二、菩提葉解纖過程之探究

〈一〉鹼煮法解纖

本實驗取氫氧化鈉、碳酸鈉、龍眼木灰、水晶肥皂作為添加在水中的鹼劑。

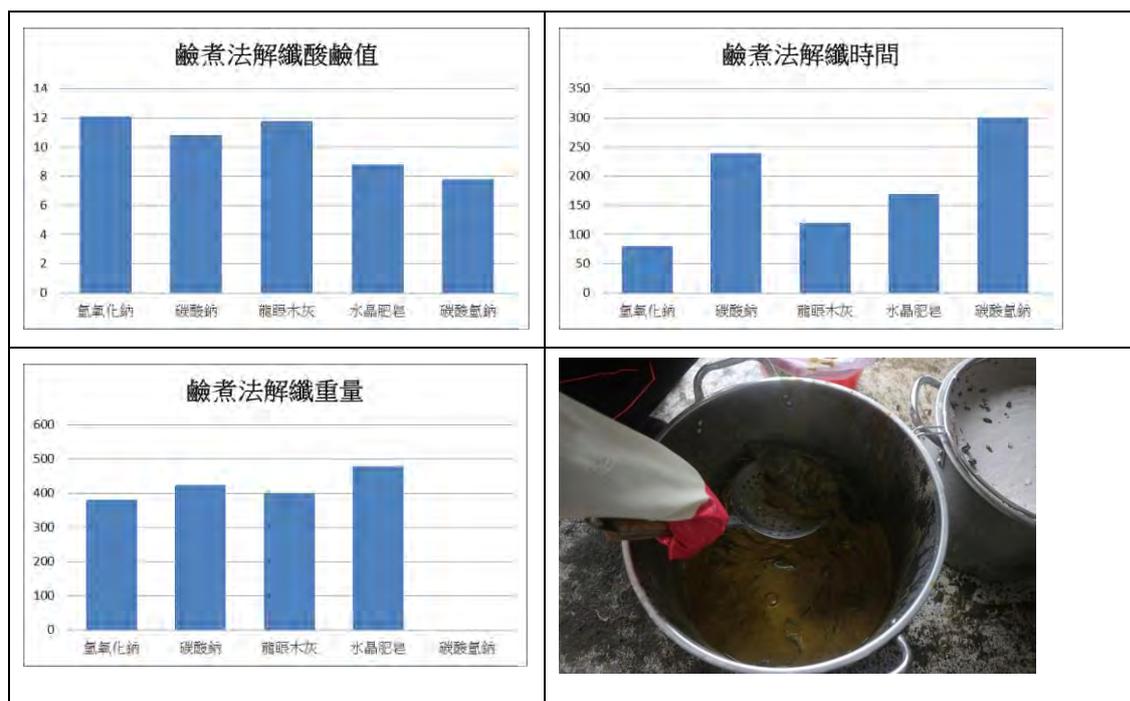
1. 實驗步驟

- 〈1〉採集菩提葉片 1000 克，洗淨後放入不鏽鋼鍋中，加入 5 公升水及 90 克氫氧化鈉，運用瓦斯爐煮到沸騰後，再持溫煮 60 分鐘（過程要戴口罩及手套）。
- 〈2〉60 分鐘後觀察菩提葉肉是否已煮爛，若未煮爛則再煮 10 分鐘，隔 10 分鐘觀察一次，直到植物葉肉軟爛沖水即可搓洗掉為止。
- 〈3〉將煮過之菩提葉片撈到洗衣網中進行沖洗，搓揉到只剩下葉賣纖維水清澈（需戴手套操作）。
- 〈4〉記錄煮纖維用水的酸鹼值、所用時間、纖維重量。
- 〈5〉重複一至四步驟分別加入碳酸鈉 270 克、龍眼木灰 600 克、水晶肥皂 450 克分別煮出葉片纖維。
- 〈6〉記錄水溶液酸鹼值、解纖所需時間、解纖後纖維重量。

2.結果

(1) 菩提葉鹼煮煮漿紀錄表

鹼劑	用量	水量	酸鹼值 (pH)	植物重 量	解纖時 間(分 鐘)	纖維重 量	利用率
氫氧化 鈉	90g	6000ml	12.1	1000g	80	381g	38%
碳酸鈉	270g	6000ml	10.8	1000g	240	425g	42.5%
龍眼木 灰	600g	6000ml	11.8	1000g	120	400g	40%
水晶肥 皂	450g	6000ml	8.8	1000g	170	480g	48%
碳酸氫 鈉	450g	6000ml	7.8	1000g	300	0	0



3 討論：

- 〈1〉添加鹼劑以氫氧化鈉鹼度最高，解纖時間最短進需 80 分鐘，但煮出纖維重量最少只有 381 克。
- 〈2〉水晶肥皂是日常生活容易取得的生活用品，解纖花費的時間最長需要 240 分鐘，但所得纖維量卻最多有 425 克。
- 〈3〉龍眼木灰是很環保的物品，溶於水鹼度不低為 pH11.8，解纖時間需要 120 分鐘排名第二。
- 〈4〉碳酸氫鈉〈小蘇打〉熱煮時間 300 分鐘也不能將葉片解纖，探究其原因，可能是鹼度不足，鹼度只有 7.8 不足以侵蝕葉肉。

〈二〉「酵素製作」法解纖

學校生命教育活動邀來一位樹藝老師，帶來一些葉脈製作的藝品，老師說他的葉脈是用「酵素」分解，葉脈纖維保有彈性，且分解過程快速，但酵素製作是老師的獨家不傳之秘。

我們也想嘗試以「酵素」法解纖，因此請來專家教我們如何製作酵素。

1 實驗流程：

- 〈1〉 採集葉脈較明顯的植物玉蘭及菩提各 500 克。
- 〈2〉 葉子置入整理箱中加入 10 公升水及 200 克黑糖。
- 〈3〉 加入植物根部已腐爛乾之枯葉腐植質，即「枯草桿菌」20 克製作纖維分解液。
- 〈4〉 另取整理箱置入玉蘭及菩提葉各 500 克，只加 10 公升水當作對照組。
- 〈5〉 每日測量箱中溶氧、酸鹼值、及記錄葉片脫落情形。

2.實驗結果：

葉片變化 日數	菩提葉加糖			菩提葉不加糖			玉蘭葉加糖			玉蘭葉不加糖		
	酸鹼	氣味	葉肉脫落	酸鹼	氣味	葉肉脫落	酸鹼	氣味	葉肉脫落	酸鹼	氣味	葉肉脫落
起始值	7.5	無	無	7.7	無	無	7.8	無	無	7.7	無	無
1-3 日	6.8	酒味	無	6.8	酒味	無	6.7	酒味	無	6.9	酒味	無
3-10 日	4.8	酸味	無	5.2	酸味	無	4.6	酸味	無	6.2	酸味	無
10-15 日	3.8	氨味	無	4.7	氨味	無	3.2	氨味	無	5.1	氨味	無
15-20 日	3.2	酸味	無	4.2	腐爛味	少量脫落	3.1	酸味	無	4.7	腐臭味	少量脫落
20-25 日	3.2	酸味	無	3.8	腐臭味	一半脫落	3.0	酸味	無	4.1	腐臭味	一半脫落
25-30 日	3.2	酸味	無	3.5	腐臭味	完全脫落	3.0	酸味	無	4.0	腐臭味	完全脫落

3.討論：

- 〈1〉 加糖 200 克的纖維分解液在前三日產生大量的泡沫，泡沫多數是微生物呼吸作用產生的二氧化碳，證實已有微生物大量增生。7-8 日後出現白色膜狀物，是微生物群聚產生的生物膜，之後不再有反應。
葉片浸泡三十日後完全無脫落跡象。味道在前三日發出酒味，3 日後到 30 日是越來越濃的醋酸味，十天左右有輕微阿摩尼亞臭味但之後越來越淡，酸味卻越來越濃。
- 〈2〉 不加糖的纖維分解液在 5 日後才出現泡沫，10 日後出現生物膜，之後泡沫與生物膜交互出現，15 日後葉肉開始脫落，30 日後葉肉完全脫落。氣味上 5 日後出現酒味，10 日後出現阿摩尼亞的氨味，15 日後發出硫化物的腐爛味，味道越來越重。
- 〈3〉 探討葉肉脫落的過程，樹葉泡於浸泡液中，需要靠微生物來分解葉肉，而我們在實驗組的浸泡液中加入 200 克黑糖，導致微生物吸收黑糖而大量增生，此時浸泡液中會看到大量氣泡，初期增生的大部分是醋酸菌，使得浸泡液急遽酸化，當浸泡液酸鹼值低於 pH4.5，酸化的環境導致分解葉肉的桿菌、乳酸菌等微生物不能適應。因此酵素浸製法完全無法分解葉肉。
- 〈4〉 浸泡於清水（自來水）中的葉片分解時間長達三十天，而且過程中散發難聞的阿摩尼亞臭味及硫化氫腐臭味。在大自然環境中分解的葉片為何沒有臭味呢？我們從文獻中得知，葉肉

組織大部分由胺基酸組成，構成胺基酸的主要成分是氮，因此在分解過程會轉化成氨氮，即是阿摩尼亞臭味來源，另外構成葉片表層的脂質在分解過程會產生硫化氫，硫化氫是腐臭味的來源，大自然的環境土壤或水體中會有硝化菌將氨氮降解成無氣味的氮氣，嗜硫菌分解硫化氫。而我們的裝置並沒有這些微生物，因此會產生臭味。

〈5〉根據以上實驗，我們修改實驗方式，進行下一個研究流程。

〈6〉本次實驗使用菩提葉與玉蘭樹葉，但考量校園內玉蘭樹紙有一棵，後續研究我們均以菩提樹葉來進行實驗。

〈三〉微生物分解法解纖

我們想找出更環保與更快速的樹葉解纖方法，根據上述實驗進行本階段的實驗設計，本次實驗我們以日常生活中容易取得之菌種酵母菌、乳酸菌、土壤益生菌、生態池底泥製作樹葉浸泡液，並探討微生物分解葉片的情形：

1. 實驗流程：

〈1〉取四個整理箱，分別添加酵母菌 20 克、乳酸菌 20 克、土壤益生菌 100 毫公升、生態池底泥水 100 毫公升，20 克黑糖，置入菩提葉 500 克及 10 公升水。

〈2〉另取四個整理箱一樣置入菩提葉 500 克及 10 公升水。分別添加酵母菌 20 克、乳酸菌 20 克、土壤益生菌 100 毫公升、生態池底泥水 100 毫公升。不加糖

〈3〉為維持微生物喜歡的弱酸環境，每日監測酸鹼值，當 pH 值小於 5 時添加 10 克小蘇打粉〈碳酸氫鈉〉，使得浸泡液不會過度酸化。

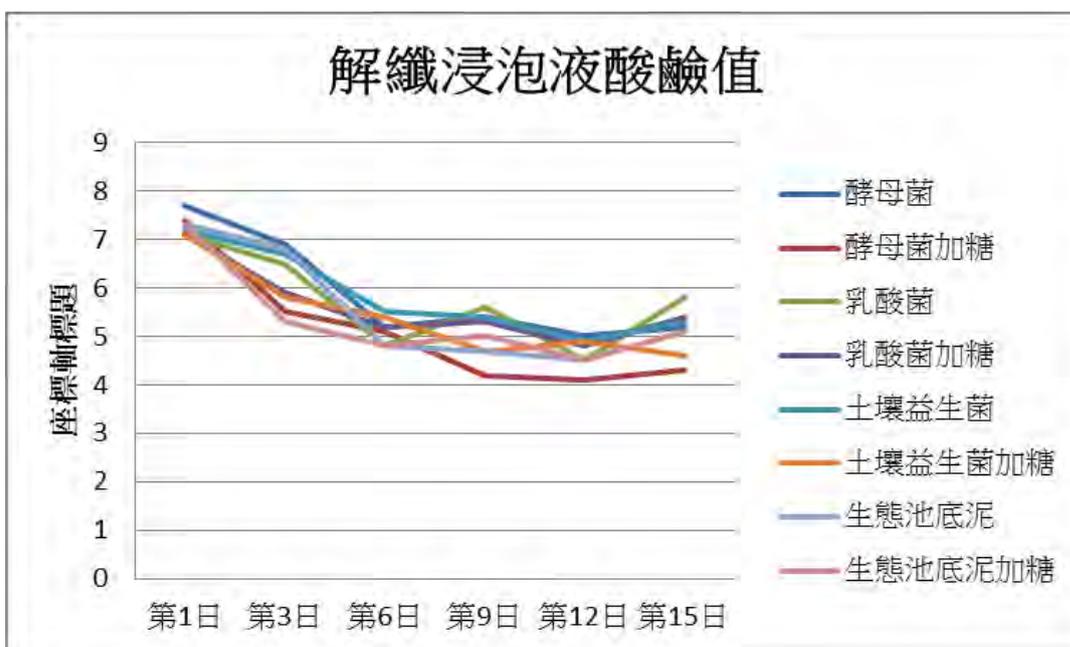
〈4〉每日充分攪動，讓葉片能均勻接觸到浸泡液。

〈5〉每日觀察葉片情形、浸泡液外觀、測量酸鹼值並記錄。

2. 實驗結果：

〈1〉酸鹼值變化情形：〈單位：pH〉

添加物 天數	酵母菌	酵母菌 加糖	乳酸菌	乳酸菌 加糖	土壤益 生菌	土壤益 生菌加 糖	生態池 底泥	生態池 底泥加 糖
起始值	7.7	7.4	7.1	7.1	7.2	7.1	7.3	7.3
1-3	6.9	5.5	6.5	5.9	6.7	5.8	6.8	5.3
3-6	5.2	5.1	4.8	5.2	5.5	5.4	4.8	4.8
6-9	5.4	4.2	5.6	5.3	5.4	4.7	4.7	5.0
10-12	5.0	4.1	4.5	4.8	4.9	4.9	4.5	4.5
12-15	5.2	4.3	5.8	5.4	5.3	4.6	5.1	5.1



〈2〉氣味變化情形

天數 \ 添加物	酵母菌	酵母菌加糖	乳酸菌	乳酸菌加糖	土壤益生菌	土壤益生菌加糖	生態池底泥	生態池底泥加糖
1-3	無	酒味	無	酒味	無	無	無	酒味
3-6	酒味	酸味	酒味	酸味	酒味	酒味	無	酸味
6-9	酸味	臭酸味	臭酸味	臭酸味	酸味	酸味	酸	酸味
10-12	臭酸味	氨味	氨味	氨味	酸味	酸味	酸味	酸味
12-15	氨味	腐臭味	腐臭味	腐臭味	酸味	酸味	酸味	酸味

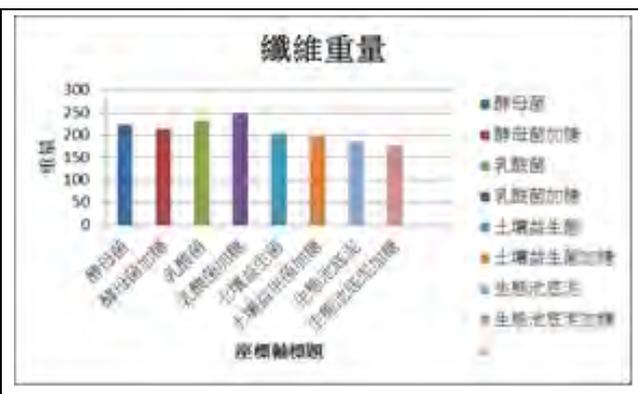
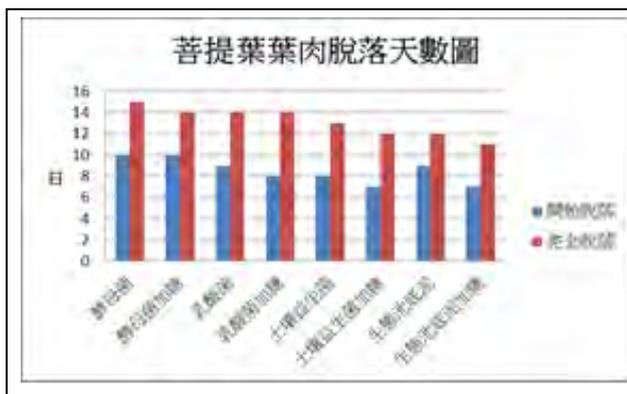
〈3〉浸泡液表面變化情形

天數 \ 添加物	酵母菌	酵母菌加糖	乳酸菌	乳酸菌加糖	土壤益生菌	土壤益生菌加糖	生態池底泥	生態池底泥加糖
1-3	無	泡沫	無	泡沫	無	泡沫	無	泡沫
3-6	泡沫	生物膜	泡沫	泡沫	泡沫	泡沫	泡沫	生物膜
6-9	泡沫	泡沫	泡沫	泡沫	泡沫	生物膜	生物膜	泡沫
10-12	生物膜	泡沫	泡沫	生物膜	生物膜	泡沫	泡沫	泡沫
12-15	泡沫	泡沫	泡沫	生物膜	泡沫	生物膜	泡沫	生物膜

〈4〉葉片脫落情形

添加物	酵母菌	酵母菌加糖	乳酸菌	乳酸菌加糖	土壤益生菌	土壤益生菌加糖	生態池底泥	生態池底泥加糖
天數								

天數						糖		糖
初始脫落	第 10 日	第 10 日	第 9 日	第 8 日	第 8 日	第 7 日	第 9 日	第 7 日
完全脫落	第 15 日	第 14 日	第 14 日	第 14 日	第 13 日	第 12 日	第 12 日	第 11 日
脫落天數	14 日	14 日	14 日	14 日	13 日	12 日	12 日	11 日
纖維重量	224	214	232	250	202	197	186	178



3. 討論：

- 〈1〉我們在葉片浸泡液中添加酵母菌、乳酸菌、土壤益生菌、生態池底泥等四種添加物，一箱加黑糖 20 克，一箱不添加黑糖，發現都能順利分解葉肉，加糖的浸泡液在初期微生物增生較快，但分解葉肉的時間只有略為縮短，差異並不明顯。
- 〈2〉添加乳酸菌的纖維浸泡液分解纖維數量最多，其次是酵母菌、土壤益生菌、最少的是生態池底泥。
- 〈3〉分解最快速的是生態池底泥與土壤益生菌加糖，添加酵母菌的浸泡液分解時間最長。
- 〈4〉在分解過程我們持續監測浸泡液酸鹼值，若酸度過低則添加小蘇打粉，原本目的是為預防浸泡液過酸而使得分解葉肉的微生物無法存活，但添加小蘇打同時可以產生中和醋酸的功能，使浸泡液不致發出難聞的醋酸氣味。
- 〈5〉添加土壤益生菌與生態池底泥的浸泡液，在分解過程中味道較沒有濃重腐臭味，原因可能是這兩種添加物中都含有硝化菌及嗜硫菌，使得氨氮與硫化氫得以降解。

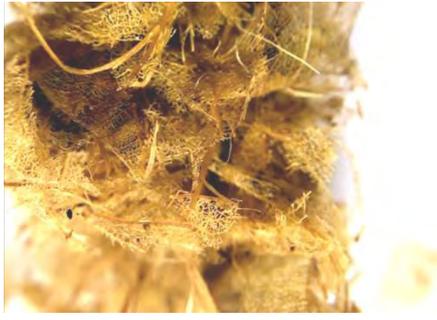
三、不同解纖方式纖維及紙張探討

〈一〉纖維分析

1. 我們將加入氫氧化鈉、龍眼木灰、水晶肥皂、碳酸鈉鹼煮法以及以添加酵母菌、乳酸菌、土壤益生菌、生態池底泥以微生物分解法的菩提葉纖維洗淨去除殘葉後，比較不同解纖方式纖維的差異性：
2. 纖維外觀與性狀分析：

編號	解纖方式	纖維照片	纖維性狀分析

01	氫氧化鈉鹼煮		纖維顏色較灰白，觸感細緻，容易拉斷
02	龍眼木灰鹼煮		纖維淺黃色，觸感柔軟，纖維不易拉斷
03	水晶肥皂鹼煮		顏色褐黃色，觸感粗糙，易拉斷
04	碳酸鈉鹼煮		顏色深褐色，觸感粗糙，易拉斷
05	酵母菌分解		顏色淺黃色，質地柔韌，不以拉斷

06	乳酸菌分解		顏色淺褐，質地柔韌，不易拉斷
07	土壤益生菌分解		顏色淺黃，質地細韌，不易拉斷
08	生態池底泥分解		顏色淺黃，質地柔韌細緻，不易拉斷

3. 討論：

- 〈1〉運用八種不同方式解纖，所得的菩提葉纖維有不同的性質，鹼煮法解纖纖維較柔軟，容易拉斷，微生物分解法所得纖維較柔韌，不易拉斷。
- 〈2〉微生物分解法所得纖維顏色較淺。鹼煮法所得纖維顏色較深，尤其是水晶肥皂鹼煮，纖維顏色最深沉。

〈一〉造紙流程及紙張分析

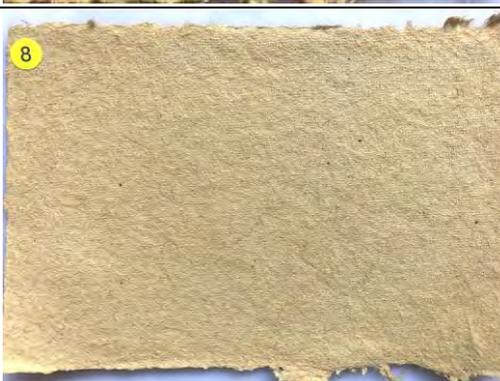
1. 造紙的流程

- 〈1〉取四種鹼煮法製作的纖維及四種微生物分解法製作的纖維。
- 〈2〉製作紙漿：取 150 克植物纖維，置入高功率食物調理機，加入清水水一公升 中攪打一分鐘，製成高濃度紙漿，倒入裝有五公升清水的抄紙槽中。
- 〈3〉抄紙程序：紙漿攪拌均勻，抄網框平放入水中抄紙，抄取紙漿兩次，取出抄網瀝乾水分，將紙漿倒蓋與白板上，紙張即成型，將在白板上的紙張置於通風處晾乾。

2. 紙張外觀及紙張性狀分析

編號	解纖方式	紙張照片	紙張性狀分析
----	------	------	--------

01	氫氧化鈉鹼煮		紙張顏色較白，觸感柔軟，表面平滑，有韌度
02	龍眼木灰鹼煮		紙張淺黃色，質感平滑，紙質柔軟但有韌度
03	水晶肥皂鹼煮		紙張褐綠色，觸感粗糙，柔軟易破裂
04	碳酸鈉鹼煮		紙張黃褐色，觸感非常粗糙，紙質柔軟易破裂
05	酵母菌分解		紙張黃綠色，觸感粗糙，紙質較軟

06	乳酸菌分解		紙張黃褐色，觸感光滑，紙質堅韌
07	土壤益生菌分解		紙張淺黃色，觸感柔軟，紙質堅韌
08	生態池底泥分解		紙張顏色白，觸感滑順，紙質堅挺。

4. 討論

- 〈1〉我們採用鹼煮法，微生物分解法共八種解纖方式的菩提葉進行造紙，均能造紙成功。
- 〈2〉同樣的菩提葉，運用不同的解纖方式獲得的纖維來造紙，紙的顏色表現不同、以氫氧化鈉熱煮解纖最白皙，水晶肥皂解纖所得紙張顏色最黯沉。

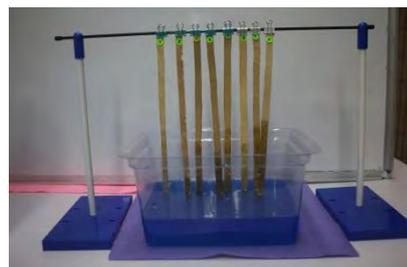
四、紙張的功能探究

我們採用八種解纖方式來製作菩提葉紙，而這八種解纖方式所製造出來的紙是否有不同的差異性呢，能不能有不同的功用，為了瞭解這八種紙之間的差異，我們設計了吸水力、摩擦力、拉力、柔軟度、透光度、以及耐折度六種實驗。

〈一〉吸水力實驗

1. 實驗流程：

- (1) 將八種不同解纖方式的菩提葉紙裁成一公分長條。
- (2) 設置支架將紙條夾於支架上。
- (3) 水槽中加入 3 公分高度藍色墨水。
- (4) 將紙條懸空掛在水槽上方下端浸藍色墨水中 1 公分。
- (5) 10 分鐘後取出測量紙條吸水長度。重複進行三次實驗。

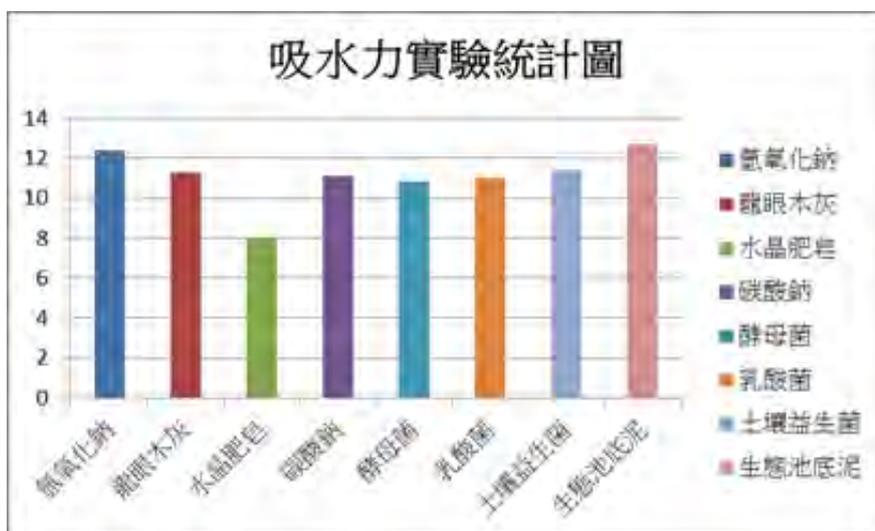


2.實驗結果：

三次實驗平均紀錄〈單位：公分〉

解纖添加物	氫氧化鈉	龍眼木灰	水晶肥皂	碳酸鈉	酵母菌	乳酸菌	土壤益生菌	生態池底泥
吸水高度	12.4	11.3	8	11.1	10.8	11	11.4	12.7

3.統計圖表：



4.討論：

- 〈1〉八種菩提葉紙吸水力表現以微生物分解法添加生態池底泥吸水力最強，鹼煮法添加氫氧化鈉次之。
- 〈2〉水晶肥皂鹼煮所造的紙最不吸水，其餘各種吸水力相差不大。

〈二〉摩擦力實驗：

1.實驗步驟

- 〈1〉取支架掛上定滑輪，固定板夾與量角器，綁棉繩固定於板夾穿過定滑輪形成一個升降裝置。
- 〈2〉紙張夾入板夾，放置墊片，緩緩拉動棉線，當墊片滑動即讀取板夾升起角度，板夾升起角度越大摩擦力越大。

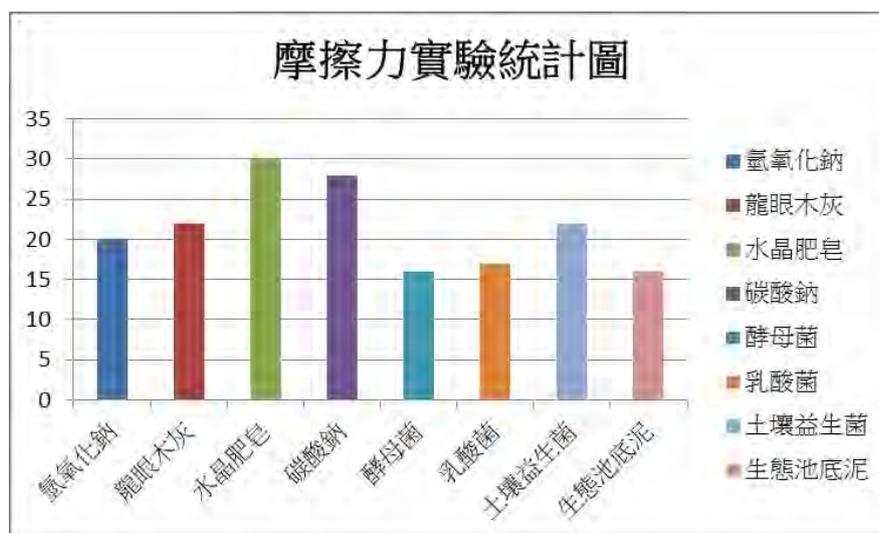


2.實驗結果：

三次實驗平均紀錄〈單位：度〉

解纖添加物	氫氧化鈉	龍眼木灰	水晶肥皂	碳酸鈉	酵母菌	乳酸菌	土壤益生菌	生態池底泥
墊片滑動角度	20	22	30	28	16	17	22	16

3.統計圖表：



4.討論：

〈1〉 摩擦力實驗所得結果發現以水晶肥皂及碳酸鈉熱煮法解纖所得紙張最粗糙，推論可能是鹼度不足，纖維無法徹底分解。

〈2〉 以微生物分解法解纖所得纖維造紙摩擦力都叫鹼煮法造紙摩擦力小，顯現微生物分解法造紙紙張平滑度高於鹼煮法所製成紙張。

〈三〉 拉力實驗：

1. 實驗步驟：

〈1〉 取支架、掛鉤、吊盤、小石子自製實驗工具。

〈2〉 將紙裁成 1×5 公分紙條，在紙條兩端 0.5 公分處以打孔器開 0.2 公分小孔，上下兩端連接支架及吊盤。

〈3〉 在吊盤中慢慢倒入小石子，當紙張裂開吊盤掉落則將吊盤與小石子一起秤重量，代表紙張所能承受的拉力，拉力越強代表紙張強度越強。

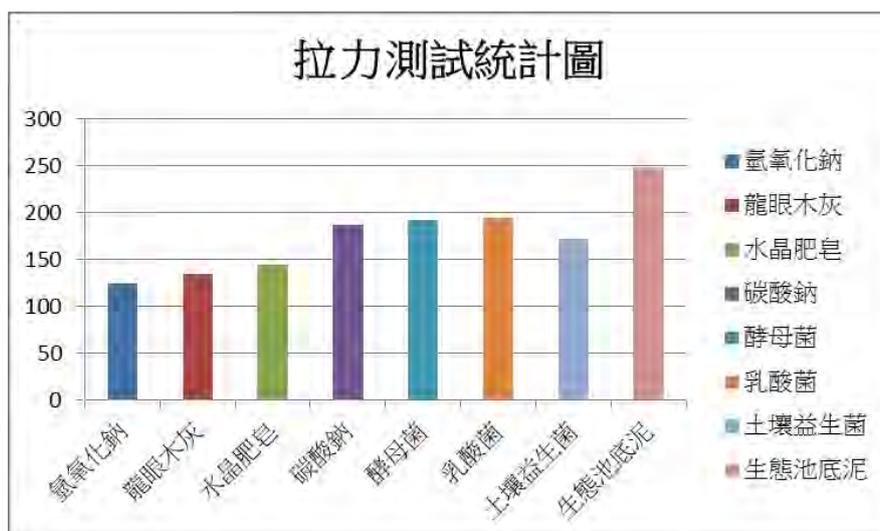


2. 實驗結果：

三次實驗平均紀錄〈單位：克〉

解纖添加物	氫氧化鈉	龍眼木灰	水晶肥皂	碳酸鈉	酵母菌	乳酸菌	土壤益生菌	生態池底泥
承受重量	124	135	145	187	192	195	172	248

3.統計圖表：



4.結論：

〈1〉拉力實驗以添加生態池底泥微生物解纖法所製紙張拉力最強，鹼煮法氫氧化鈉解纖拉力最弱。

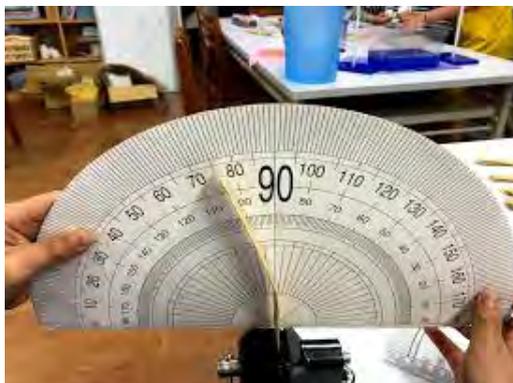
〈2〉經實驗發現微生物解纖所製成的紙張拉力大致強於用鹼煮法解纖的紙張。

〈三〉柔軟度實驗：

1. 實驗步驟：

〈1〉取夾具固定桌上，將量角器於夾具旁自製實驗工具。

〈2〉將紙張裁成 2×10 公分紙條夾於夾具上，觀察紙張下彎情形，測量其下彎角度，紙張越柔軟彎曲角度越大。



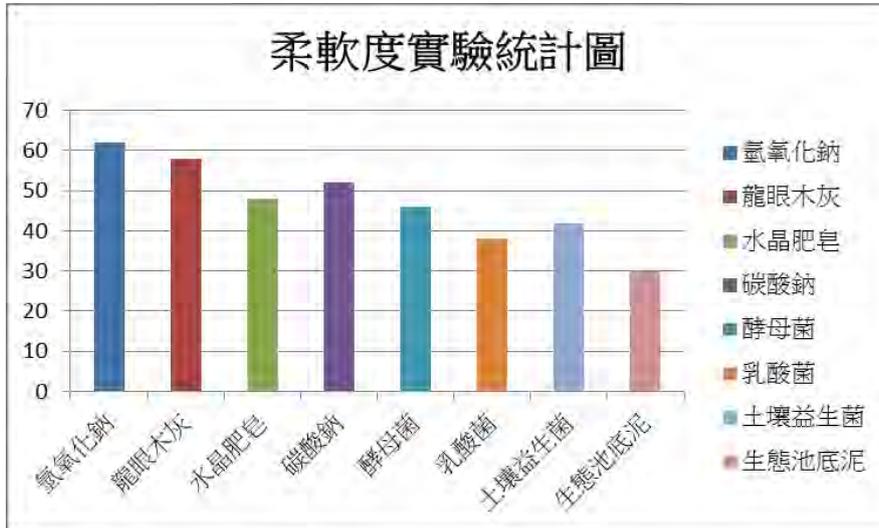
2. 實驗結果：

三次實驗平均紀錄〈單位：度〉

解纖添加物	氫氧化鈉	龍眼木灰	水晶肥皂	碳酸鈉	酵母菌	乳酸菌	土壤益生菌	生態池底泥
-------	------	------	------	-----	-----	-----	-------	-------

物							菌	泥
彎曲 角度	62	58	48	52	46	38	42	30

3.統計圖表：



4.討論：

- 〈1〉以氫氧化鈉解纖製成紙張最柔軟，以生態池底泥解纖製成紙張最不柔軟。
- 〈2〉實驗發現鹼煮法解纖造紙柔軟度都高於微生物解纖所造的紙張，鹼度越高越柔軟。
- 〈五〉透光度實驗

1.實驗流程：

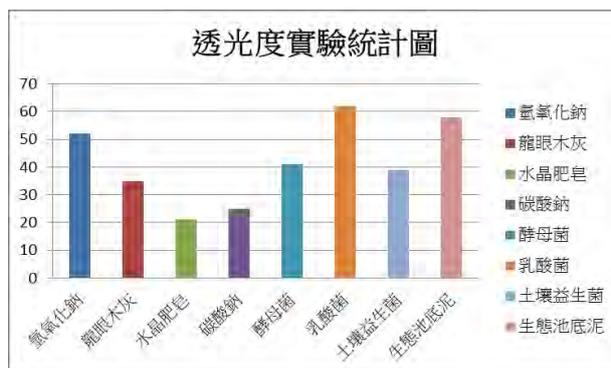
- 〈1〉在自然光源的情況下放置照度計，以紙張遮住感應器。
- 〈2〉以照度計測量燭光數，每張紙測量 3 次。
- 〈3〉燭光數越高者透光率越高。

2.實驗結果：

三次實驗平均紀錄〈單位： 燭光〉

解纖添加物	氫氧化鈉	龍眼木灰	水晶肥皂	碳酸鈉	酵母菌	乳酸菌	土壤益生菌	生態池底泥
透光度	52	35	21	25	41	62	39	58

3.統計圖表：



4.討論：

- 〈1〉以乳酸菌製作的菩提葉紙透光度越高，生態池底泥製作透光度次之。

〈2〉水晶肥皂與碳酸鈉所製紙張顏色暗沉，透光度也最低。

〈六〉耐折度實驗

1.實驗流程：

- 〈1〉將紙條裁剪成 1×10 公分長條狀。
- 〈2〉壓摺後再用塑膠尺壓平。
- 〈3〉反覆壓摺直到紙條斷裂。
- 〈4〉重複進行三次實驗。

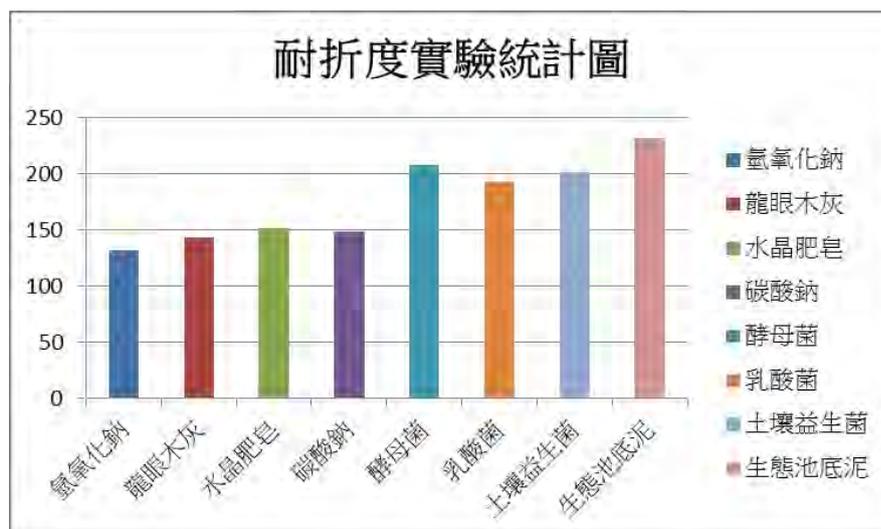


2.實驗結果：

三次實驗平均紀錄〈單位：次〉

解纖添加物	氫氧化鈉	龍眼木灰	水晶肥皂	碳酸鈉	酵母菌	乳酸菌	土壤益生菌	生態池底泥
耐摺次數	132	143	152	148	208	193	202	132

3.統計圖表：



4.討論：

- 〈1〉耐折度最強的是添加生態池底泥所製紙張，最易折斷的是氫氧化鈉鹼煮所製紙張。
- 〈2〉微生物分解法製成的紙張耐折度都大於鹼煮法所製成的紙張。

五、菩提葉紙的運用探究

菩提葉運用八種解纖方式均能成功造紙，但造出來的紙張是否實用，我們進行染色運用，希望讓造出來的紙有更多功能，也將所造的紙張運用在藝術創作上，生活創意發想上，我們的成果如下：

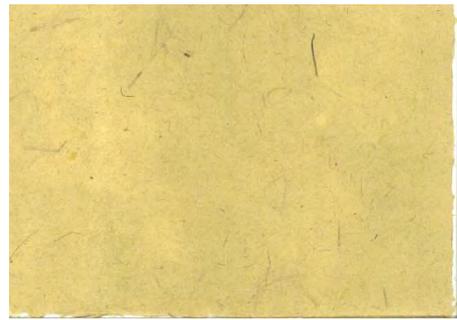
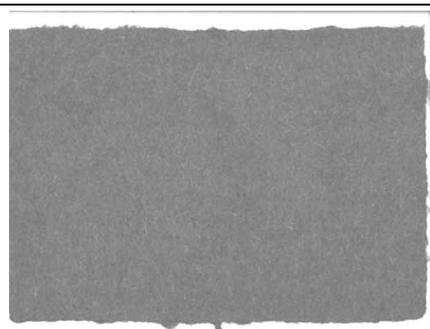
〈一〉染色運用

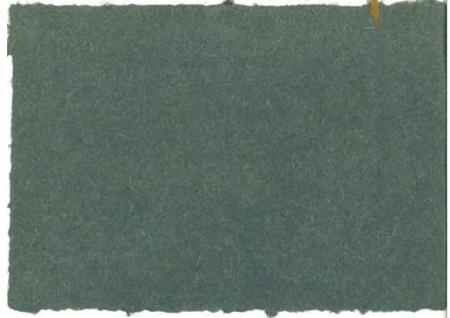
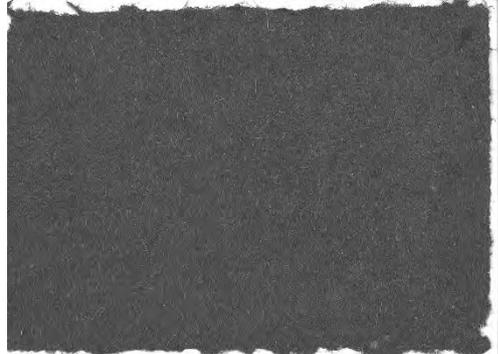
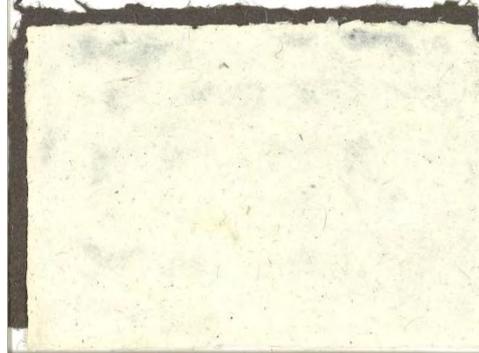
1.染色步驟：

〈1〉熱染：取各式天然染色精粉及染材萃取染液一公升，放入 150 克紙漿持溫煮二十分鐘。

〈2〉冷染：藍染精粉 5 克、氫氧化鈉 5 克、保險粉 5 克加入 500ml 清水中進行還原，加 150 克紙漿，還原 5 分鐘取出氧化 20 分鐘，重複三次得到深藍色紙漿。

2.染色成果

染材	染色紙漿照片	染色紙漿抄紙紙張照片
1.槐花		
2.紫膠精粉		
3.胭脂精粉		
4.墨水樹芯材		

<p>5.藍靛 精粉</p>		
<p>6.槐花 套染藍 靛</p>		
<p>7.檳榔 子</p>		
<p>8.雙氧 水漂白</p>		

〈二〉藝術運用

		
<p>漂白紙水彩畫</p>	<p>槐花染紙纏繞畫</p>	<p>原色紙運用於書法</p>
		
<p>製作押花紙張</p>	<p>撕貼畫作品</p>	<p>製作彩色卡片</p>

〈三〉生活創意運用

		
<p>將染色後纖維種植多肉植物</p>	<p>染色纖維搭配漂流木製作盆栽小品</p>	<p>染色紙張製作燈飾</p>



〈四〉討論：

1. 我們選擇將菩提葉造的紙漿纖維以天然染的方式進行染色，運用槐花、紫膠精粉、胭脂蟲精粉、墨水樹芯材、檳榔籽等材料進行熱染，可將纖維染成黃色、紫紅色、桃紅色、深紫色、咖啡色等不同顏色，以藍靛精粉冷染可製作藍色紙漿、以藍靛染的紙漿再套染黃色槐花則可得到綠色紙漿、若將紙漿以稀釋之雙氧水漂白可得白色紙漿。運用彩色紙漿可製作各色的紙張。
2. 將原色與染色過後的菩提葉紙張用於藝術創作無論是水彩畫、撕貼畫、書法作品、雙色卡片等，都能產獨特美感，手做紙張有一種質樸的美麗。
3. 解纖後的菩提葉纖維具有吸水性，能取代泥炭苔來種植植物，將纖維染色後再種植盆栽小品，有趣又可愛。

陸 結論與建議

- 一、經本次研究發現樹葉造紙是可行的，選擇葉片較大、葉脈明顯的植物樹葉來造紙，各區域性有自己的特色植物，能發展出鄉土特色，也許不能取代木漿纖維，但讓造紙可能性增加。
- 二、本次選擇校園植物菩提樹樹葉來造紙，運用氫氧化鈉、龍眼木灰、碳酸鈉、水晶肥皂、碳酸氫鈉等鹼劑添加在水中持溫加熱來解纖，實驗發現氫氧化鈉解纖時間最短，而碳酸氫鈉無法解纖，解纖時間與水中鹼度息息相關，鹼度越高解纖時間越快。但相反的是鹼度越高解纖後的纖維量越少。
- 三、本研究運用鹼煮法解纖實驗以氫氧化鈉效果最快，只要 80 分鐘就可以充分解纖，龍眼木灰解纖需要 120 分鐘，但若考慮無毒且環保的鹼劑，在窯烤食物盛行的今日，龍眼木灰容易取得，運用過後的鹼液可以灌溉土壤，是環保的好材料。
- 四、運用微生物分解法來分解菩提葉纖維，添加日常生活中常見的菌種酵母菌、乳酸菌、土壤益生菌、生態池底泥來製作分解液，發現都能在 14 日內解纖，證實以微生物分解法造紙，是不耗能、簡便，值得推廣的造紙方式。
- 五、微生物解纖過程最令人受不了的是氣味，初期會產生酒味，接著是醋酸味，葉肉脫落後會產生阿摩尼亞的味道及硫化氫的腐敗味，運用四種微生物製作分解液以添加酵母菌及乳酸菌氣味最濃厚，而添加土壤益生菌及生態池底泥味道最淡，推論原因土壤益生菌及生態池底泥含有脫硝菌及嗜硫菌，能將胺基酸和脂質分解後的氨氫及硫化氫降解。
- 六、我們將菩提葉所造的紙張進行紙的特性實驗，發現雖然都是運用菩提葉，不同的解纖方式紙張的特性不同，我們進行吸水力、摩擦力、拉力、柔軟度、透光度、耐折度等六種紙的特性

測試，發現紙張的表現都不相同，可以依照紙的特性來做各種不同的運用。

- 七、不同解纖方式的菩提葉紙都能進以天然染進行染色，運用槐花、紫膠精粉、胭脂蟲精粉、墨水樹芯材、檳榔籽等材料進行熱染，可將纖維染成黃色、紫紅色、桃紅色、深紫色、咖啡色等不同顏色，以藍靛精粉冷染可製作藍色紙漿、以藍靛染的紙漿再套染黃色槐花則可得到綠色紙漿、紙漿以稀釋之雙氧水漂白可得白色紙漿。運用彩色紙漿可製作各色的紙張。手抄菩提葉紙搭配天然染的自然繽紛色彩，具有大自然的質樸之美。
- 八、菩提葉原色紙可用於繪畫、書法等藝術創作，染色後的紙張可以用於紙雕、撕貼畫，卡片，更可創作吊飾、燈飾讓自製紙張用途更廣。此外菩提葉解纖後的纖維有吸水性，可以取代泥炭苔種植小盆栽，染色後的纖維製作小品盆栽小巧可愛，值得推廣。

柒 參考文獻

- 王義隆（民 93）。造紙食譜。台北市：樹火紀念紙文化基金會。
- 洪新富（民 91）。紙的可能。台北市：三采文化出版事業有限公司。
- 馬毓秀（2008）。四季繽紛草木染。台北市：遠流。
- 松本浩子（2013）。快樂的植物染。台北市：積木。
- 曹江紅（2003）。造紙史話。台北市：國家。
- 錢存訊（1999）。造紙及印刷。台北市：台灣商務。

【評語】 082910

本作品利用菩提葉來造紙，並比較鹼煮法和微生物分解法將樹葉解纖造紙，並進行吸水力、摩擦力、拉力、柔軟度、透光度、及耐折度六種實驗，以了解紙張的功能性，做為紙張運用在藝術創作及生活創意上的選擇準則，思慮周詳並富環保概念，值得鼓勵。建議可增加參考文獻的收集與歸納整理，以增加本作品的嚴謹度，及展現其獨特性。

摘要

雖然數位化時代，用紙需求下降，台灣每人每年的用紙量還是高達190.5公斤，使用的紙漿就來自熱帶雨林。

造紙一定得砍樹嗎，熱帶雨林孕育了地球上50%的生物，雨林是地球之肺，雨林消失，除了大量物種滅絕之外將加劇全球暖化速度。

本次實驗採用菩提葉來造紙。運用四種添加鹼劑的熱煮方法獲得紙漿，且都能順利造紙。但熱煮法耗能，強鹼使用有危險性，廢液的處理很麻煩。

我們以微生物分解法來分解菩提葉纖維，製作添加酵母菌、乳酸菌、土壤益生菌、生態池底泥等常見微生物製作分解液，發現短短14日，微生物就能將菩提葉分解出纖維了，也都能順利造紙，樹葉造紙能依地區特有植物來製作獨一無二的紙張，再運用天然染色方式讓紙張的用途更廣！

壹、研究動機

小蔡：工友叔叔，你修剪下來的這些菩提樹葉子要拿去做什麼呀？
叔叔：拿去堆肥讓它回歸大自然啊又可以滋養土地呀！
小蔡：堆肥固然不錯，但有沒有其他用途呀？
小倫：老師教我們用菩提葉鹼煮做葉脈書籤，很美麗喔！
叔叔：但是做書籤用不了麼多葉子啊。
小蔡：小倫，聽說你精通造紙術，這些葉子能拿來造紙嗎？
小倫：理論上是可行的，造紙利用的是葉子的纖維，只要纖維足夠都能拿來造紙。
小蔡：對喔，上次我們試過用芒草造紙，那是單子葉植物，我們沒試過用雙子葉植物造紙呢！而且每次造紙我們都使用氫氧化鈉煮掉葉肉留下纖維，氫氧化鈉是強鹼，操作上有一定的危險性。難道沒有其他方法了嗎？
小倫：鹼煮法有多種鹼類可以運用，但我看到生態池中的葉子經自分解也能美麗的葉脈標本，這也是值得探究的方向！
小蔡：這個有趣，那我們就來嘗試更全方位的造紙方式吧！

貳、研究目的

- 一、樹葉造紙原理、流程與適合造紙植物之探討
 - 〈一〉鹼煮法解纖
 - 〈二〉酵素法解纖
 - 〈三〉微生物分解法解纖
- 二、菩提葉解纖過程之探討
 - 〈一〉纖維分析
 - 〈二〉紙張分析
- 三、不同解纖方式纖維及紙張探討
 - 〈一〉纖維分析
 - 〈二〉紙張分析
- 四、紙張的功能探討
 - 〈一〉吸水力實驗
 - 〈二〉摩擦力實驗
 - 〈三〉拉力實驗
 - 〈四〉柔軟度實驗
 - 〈五〉透光度實驗
 - 〈六〉耐折度實驗
- 五、菩提葉紙的運用探討
 - 〈一〉染色運用
 - 〈二〉藝術運用
 - 〈三〉生活創意運用

參、研究工具

略

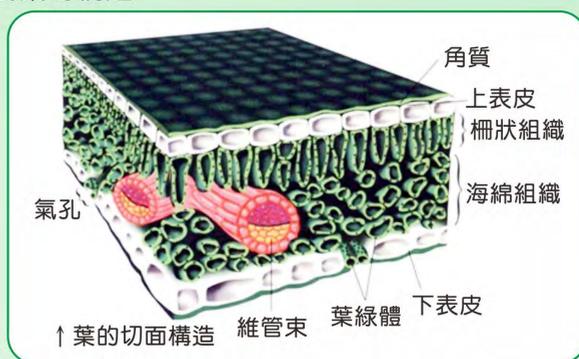
肆、研究流程與步驟



伍、研究結果

一、樹葉造紙原理、流程與適合造紙植物探究

〈一〉樹葉的構造



〈二〉樹葉解纖原理探討

本次實驗要探討如何運用樹葉造紙，而造紙要取得的纖維即為葉子的維管束，植物葉片內的維管束與葉肉細胞的穩定性不同，因此我們可以利用差異侵蝕的方法將其分離而製作出葉脈纖維。

本次研究探討三種解纖方法：

1. 運用鹼煮法
2. 運用坊間製作酵素法
3. 運用微生物分解法

〈三〉校園適合造紙樹葉探討

我們這次實驗要取樹葉的纖維來造紙，和製作葉脈標本的程序相同，查閱相關文獻，適合做葉脈標本的植物為葉脈質地較挺且明顯的樹葉，調查校園植物，得到成果如右表

科別	植物名稱	是否適合造紙	備註
桑科榕屬	正榕	否	葉脈不明顯
桑科榕屬	菩提樹	是	葉脈明顯 族群足夠
桑科	小葉桑	否	葉脈不明顯
金縷梅科	楓香	是	冬天會落葉
樟科	樟樹	否	葉脈不明顯
殼斗科	青剛櫟	是	葉脈明顯 族群太少
使君子科	欖仁樹	否	葉脈不明顯
桃金娘科	番石榴	是	葉脈明顯 族群太少
榆科	朴樹	是	葉脈明顯 族群太少
豆科	鳳凰樹	否	葉片太小
楊柳科	水柳	是	葉脈明顯 族群少
夾竹桃科	黑板樹	否	葉脈明顯 有毒植物

葉脈明顯，校園內有足夠族群的植物是我們選擇造紙樹木的條件，經實地調查我們選擇菩提樹葉作為本次研究的標的。

二、菩提葉解纖過程之探究

〈一〉鹼煮法解纖

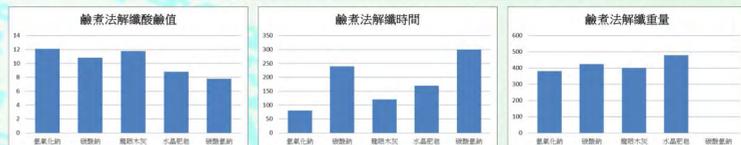
本實驗取氫氧化鈉、碳酸鈉、龍眼木灰、水晶肥皂作為添加在水中的鹼劑。

1. 實驗步驟：略
2. 結果



(1) 菩提葉鹼煮煮漿紀錄表

鹼劑	用量	水量	酸鹼值 (pH)	植物重量	解纖時間 (分鐘)	纖維重量	利用率
氫氧化鈉	90g	6000ml	12.1	1000g	80	381g	38%
碳酸鈉	270g	6000ml	10.8	1000g	240	425g	42.5%
龍眼木灰	600g	6000ml	11.8	1000g	120	400g	40%
水晶肥皂	450g	6000ml	8.8	1000g	170	480g	48%
碳酸氫鈉	450g	6000ml	7.8	1000g	300	0	0



3. 討論：

- (1) 添加鹼劑以氫氧化鈉鹼度最高，解纖時間最短，但煮出纖維重量最少。
- (2) 水晶肥皂是日常生活容易取得的生活用品，解纖花費的時間最長，但所得纖維量卻最多。
- (3) 龍眼木灰是很環保的物品，但其溶於水鹼度為 pH11.8，解纖時間也不需太長。
- (4) 小蘇打熱煮時間300分鐘亦不能將葉片解纖，究其原因，應是鹼度不足，鹼度只有7.8不足以侵蝕葉肉。

〈二〉「酵素製作」法解纖

1. 實驗流程：略
2. 實驗結果：

日數	葉片變化	菩提葉加糖			菩提葉不加糖			玉蘭葉加糖			玉蘭葉不加糖		
		酸鹼	氣味	葉肉脫落	酸鹼	氣味	葉肉脫落	酸鹼	氣味	葉肉脫落	酸鹼	氣味	葉肉脫落
起始值		7.5	無	無	7.7	無	無	7.8	無	無	7.7	無	無
1-3日		6.8	酒味	無	6.8	酒味	無	6.7	酒味	無	6.9	酒味	無
3-10日		4.8	酸味	無	5.2	酸味	無	4.6	酸味	無	6.2	酸味	無
10-15日		3.8	氨味	無	4.7	氨味	無	3.2	氨味	無	5.1	氨味	無
15-20日		3.2	酸味	無	4.2	腐爛味	少量脫落	3.1	酸味	無	4.7	腐臭味	少量脫落
20-25日		3.2	酸味	無	3.8	腐臭味	一半脫落	3.0	酸味	無	4.1	腐臭味	一半脫落
25-30日		3.2	酸味	無	3.5	腐臭味	完全脫落	3.0	酸味	無	4.0	腐臭味	完全脫落

3. 討論：

- (1) 加糖200克的纖維分解液在前三日產生大量的泡沫，泡沫多數是微生物呼吸作用產生的二氧化碳，證實微生物大量增生。7-8日後出現白色膜狀物，是微生物群聚產生的生物膜，之後不再有反應。葉片浸泡三十日後完全無脫落跡象。味道在前三日發出酒味，3日後到30日是越來越濃的醋酸味，十天左右有輕微阿摩尼亞臭味但之後越來越淡，酸味卻越來越濃。
- (2) 不加糖的纖維分解液在5日後才出現泡沫，10日後出現生物膜，之後泡沫與生物膜交互出現，15日後葉肉開始脫落，30日後葉肉完全脫落。氣味上5日後出現酒味，10日後出現阿摩尼亞的氨味，15日後發出硫化物的腐爛味，味道越來越重。

- (3) 探討葉肉脫落的過程，樹葉泡於浸泡液中，需要靠微生物來分解葉肉，而我們在實驗組的浸泡液中加入200克黑糖，導致微生物吸收黑糖而大量增生，此時浸泡液中會看到大量氣泡，初期增生的大部分是醋酸菌，使得浸泡液急遽酸化，當浸泡液酸鹼值低於pH4.5，酸化的環境導致分解葉肉的桿菌、乳酸菌等微生物不能適應。因此酵素浸製法完全無法分解葉肉。
- (4) 浸泡於清水〈自來水〉中的葉片分解時間長達三十天，而且過程中散發難聞的阿摩尼亞臭味及硫化氫腐臭味。在大自然環境中分解的葉片為何沒有臭味呢？我們從文獻中得知，葉肉組織大部分由胺基酸組成，構成胺基酸的主要成分是氮，因此在分解過程會轉化成氨氣，即是阿摩尼亞臭味來源，另外構成葉片表層的脂質在分解過程會產生硫化氫，硫化氫是腐臭味的來源，大自然的環境土壤或水體中會有硝化菌將氨氮降解成無氣味的氮氣，嗜硫菌分解硫化氫。而我們的裝置並沒有這些微生物，因此會產生臭味。
- (5) 根據以上實驗，我們修改實驗方式，進行下一個研究流程。

〈三〉微生物分解法解纖

我們想找出更環保與更快速的樹葉解纖方法，根據上述實驗進行本階段的實驗設計，本次實驗我們以日常生活中容易取得之菌種製作樹葉浸泡液，並探討微生物分解葉片的情形：

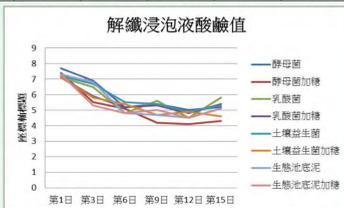
1. 實驗流程：

- 取四個整理箱，分別添加酵母菌20克、乳酸菌20克、土壤益生菌100 毫公升、生態池底泥水100毫公升，20克黑糖，置入菩提葉500克及10公升水。
- 另取四個整理箱一樣置入菩提葉500克及10公升水。分別添加酵母菌20克、乳酸菌20克、土壤益生菌100 毫公升、生態池底泥水100毫公升。不加糖
- 為維持微生物喜歡的弱酸環境，每日監測酸鹼值，當pH值小於5時添加10克小蘇打粉〈碳酸氫鈉〉，使得浸泡液不會過度酸化。
- 每日充分攪動，讓葉片能均勻接觸到浸泡液。
- 每日觀察葉片情形、浸泡液外觀、測量酸鹼值並記錄。

2. 實驗結果：

- (1) 酸鹼值變化情形：〈單位：pH〉

天數	添加物	酵母菌	酵母菌加糖	乳酸菌	乳酸菌加糖	土壤益生菌	土壤益生菌加糖	生態池底泥	生態池底泥加糖
起始值		7.7	7.4	7.1	7.1	7.2	7.1	7.3	7.3
1-3		6.9	5.5	6.5	5.9	6.7	5.8	6.8	5.3
3-6		5.2	5.1	4.8	5.2	5.5	5.4	4.8	4.8
6-9		5.4	4.2	5.6	5.3	5.4	4.7	4.7	5.0
10-12		5.0	4.1	4.5	4.8	4.9	4.9	4.5	4.5
12-15		5.2	4.3	5.8	5.4	5.3	4.6	5.1	5.1



- (2) 氣味變化情形

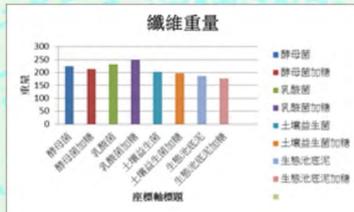
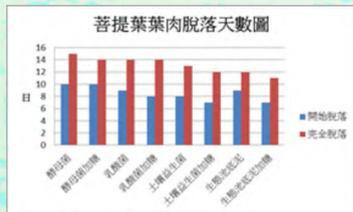
天數	添加物	酵母菌	酵母菌加糖	乳酸菌	乳酸菌加糖	土壤益生菌	土壤益生菌加糖	生態池底泥	生態池底泥加糖
1-3		無	酒味	無	酒味	無	無	無	酒味
3-6		酒味	酸味	酒味	酸味	酒味	酒味	無	酸味
6-9		酸味	臭酸味	臭酸味	臭酸味	酸味	酸味	酸味	酸味
10-12		臭酸味	氨味	氨味	氨味	酸味	酸味	酸味	酸味
12-15		氨味	腐臭味	腐臭味	腐臭味	酸味	酸味	酸味	酸味

- (3) 浸泡液表面變化情形

天數	添加物	酵母菌	酵母菌加糖	乳酸菌	乳酸菌加糖	土壤益生菌	土壤益生菌加糖	生態池底泥	生態池底泥加糖
1-3		無	泡沫	無	泡沫	無	泡沫	無	泡沫
3-6		泡沫	生物膜	泡沫	泡沫	泡沫	泡沫	泡沫	生物膜
6-9		泡沫	泡沫	泡沫	泡沫	泡沫	生物膜	生物膜	泡沫
10-12		生物膜	泡沫	泡沫	生物膜	生物膜	泡沫	泡沫	泡沫
12-15		泡沫	泡沫	泡沫	生物膜	泡沫	生物膜	泡沫	生物膜

- (4) 葉片脫落情形

天數	添加物	酵母菌	酵母菌加糖	乳酸菌	乳酸菌加糖	土壤益生菌	土壤益生菌加糖	生態池底泥	生態池底泥加糖
初始脫落		第10日	第10日	第9日	第8日	第8日	第7日	第9日	第7日
完全脫落		第15日	第14日	第14日	第14日	第13日	第12日	第12日	第11日
脫落天數		14日	14日	14日	14日	13日	12日	12日	11日
纖維重量		224	214	232	250	202	197	186	178



3. 討論：

- 我們在葉片浸泡液中添加酵母菌、乳酸菌、土壤益生菌、生態池底泥等四種添加物，一箱加黑糖20克，一箱不添加黑糖，發現都能順利分解葉肉，加糖的浸泡液在初期微生物增生較快，但分解葉肉的時間只有略為縮短，差異並不明顯。
- 添加乳酸菌的纖維浸泡液分解纖維數量最多，其次是酵母菌、土壤益生菌、最少的是生態池底泥。
- 分解最快的是生態池底泥與土壤益生菌加糖，添加酵母菌的浸泡液分解時間最長。
- 在分解過程我們持續監測浸泡液酸鹼值，若酸度過低則添加小蘇打粉，原本目的是為預防浸泡液過酸而使得分解葉肉的微生物無法存活，但添加小蘇打同時可以產生中和醋酸的功能，使浸泡液不致發出難聞的醋酸氣味。
- 添加土壤益生菌與生態池底泥的浸泡液，在分解過程中味道較沒有濃重腐臭味，原因可能是這兩種添加物中都含有硝化菌及嗜硫菌，使得氨氮與硫化氫得以降解。

三、不同解纖方式纖維及紙張探討

〈一〉纖維分析

- 我們將加入氫氧化鈉、龍眼木灰、水晶肥皂、碳酸鈉鹼煮法以及以添加酵母菌、乳酸菌、土壤益生菌、生態池底泥以微生物分解法的菩提葉纖維洗淨去除殘葉後，比較不同解纖方式纖維的差異性：
- 纖維外觀與性狀分析：

編號	解纖方式	纖維照片	纖維性狀分析	編號	解纖方式	纖維照片	纖維性狀分析
01	氫氧化鈉鹼煮		纖維顏色較灰白，觸感細緻，容易拉斷	05	酵母菌分解		顏色淺黃色，質地柔韌，不以拉斷
02	龍眼木灰鹼煮		纖維淺黃色，觸感柔軟，纖維不易拉斷	06	乳酸菌分解		顏色淺褐，質地柔韌，不易拉斷
03	水晶肥皂鹼煮		顏色褐黃色，觸感粗糙，易拉斷	07	土壤益生菌分解		顏色淺黃，質地細韌，不易拉斷
04	碳酸鈉鹼煮		顏色深褐色，觸感粗糙，易拉斷	08	生態池底泥分解		顏色淺黃，質地柔韌細緻，不易拉斷

3. 討論：

- 運用八種不同方式解纖，所得的菩提葉纖維有不同的性質，鹼煮法解纖纖維較柔軟，容易拉斷，微生物分解法所得纖維較柔韌，不易拉斷。
- 微生物分解法所得纖維顏色較淺。鹼煮法所得纖維顏色較深，尤其是水晶肥皂鹼煮，纖維顏色最深沉。

〈二〉造紙流程及紙張分析

1. 造紙的流程

2. 紙張外觀及紙張性狀分析

編號	解纖方式	紙張照片	紙張性狀分析	編號	解纖方式	紙張照片	紙張性狀分析
01	氫氧化鈉鹼煮		紙張顏色較白，觸感柔軟，表面平滑，有韌度	05	酵母菌分解		紙張黃綠色，觸感粗糙，紙質較軟
02	龍眼木灰鹼煮		紙張淺黃色，質感平滑，紙質柔軟但有韌度	06	乳酸菌分解		紙張黃褐色，觸感光滑，紙質堅韌
03	水晶肥皂鹼煮		紙張褐綠色，觸感粗糙，柔軟易破裂	07	土壤益生菌分解		紙張淺黃色，觸感柔軟，紙質堅韌
04	碳酸鈉鹼煮		紙張黃褐色，觸感非常粗糙，紙質柔軟易破裂	08	生態池底泥分解		紙張顏色白，觸感滑順，紙質堅挺。

3. 討論

- 我們採用鹼煮法，微生物分解法共八種解纖方式的菩提葉進行造紙，均能造紙成功。
- 同樣的菩提葉，運用不同的解纖方式獲得的纖維來造紙，紙的顏色表現不同、以氫氧化鈉熱煮解纖最白皙，水晶肥皂解纖所得紙張顏色最黯沉。

四、紙張的功能探究

我們採用八種解纖方式來製作菩提葉紙，而這八種解纖方式所製造出來的紙是否有不同的差異性呢，能不能有不同的功用，為了瞭解這八種紙之間的差異，我們設計了吸水力、摩擦力、拉力、柔軟度、透光度、以及耐折度六種實驗。

〈一〉吸水力實驗

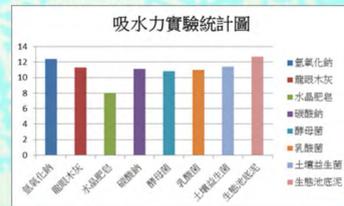
1. 實驗流程：

2. 實驗結果：

三次實驗平均紀錄〈單位：公分〉

解纖添加物	氫氧化鈉	龍眼木灰	水晶肥皂	碳酸鈉	酵母菌	乳酸菌	土壤益生菌	生態池底泥
吸水高度	12.4	11.3	8	11.1	10.8	11	11.4	12.7

3. 統計圖表：



4. 討論：

- 八種菩提葉紙吸水力表現以微生物分解法添加生態池底泥吸水力最強，鹼煮法添加氫氧化鈉次之。
- 水晶肥皂鹼煮所造的紙最不吸水，其餘各種吸水力相差不大。

〈二〉摩擦力實驗：

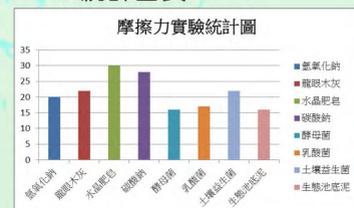
1. 實驗步驟：

2. 實驗結果：

三次實驗平均紀錄〈單位：度〉

解纖添加物	氫氧化鈉	龍眼木灰	水晶肥皂	碳酸鈉	酵母菌	乳酸菌	土壤益生菌	生態池底泥
墊片滑動角度	20	22	30	28	16	17	22	16

3. 統計圖表：



4. 討論：

- 摩擦力實驗所得結果發現以水晶肥皂及碳酸鈉熱煮法解纖所得紙張最粗糙，推論可能是鹼度不足，纖維無法徹底分解。
- 以微生物分解法解纖所得纖維造紙摩擦力都叫鹼煮法造紙摩擦力小，顯現微生物分解法造紙紙張平滑度高於鹼煮法所製成紙張。

〈三〉拉力實驗：

1. 實驗步驟：

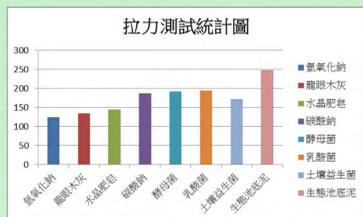
2. 實驗結果：

三次實驗平均紀錄〈單位：克〉

解纖添加物	氫氧化鈉	龍眼木灰	水晶肥皂	碳酸鈉	酵母菌	乳酸菌	土壤益生菌	生態池底泥
承受重量	124	135	145	187	192	195	172	248

3. 統計圖表：





4.討論：

- (1) 拉力實驗以添加生態池底泥微生物解纖法所製紙張拉力最強，鹼煮法氫氧化鈉解纖拉力最弱。
- (2) 經實驗發現微生物解纖所製成的紙張拉力大致強於用鹼煮法解纖的紙張。

〈四〉柔軟度實驗：

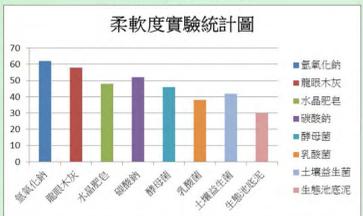
- 1.實驗步驟：
- 2.實驗結果：

三次實驗平均紀錄〈單位：度〉



解纖添加物	氫氧化鈉	龍眼木灰	水晶肥皂	碳酸鈉	酵母菌	乳酸菌	土壤益生菌	生態池底泥
彎曲角度	62	58	48	52	46	38	42	30

- 3.統計圖表：



4.討論：

- (1) 以氫氧化鈉解纖製成紙張最柔軟，以生態池底泥解纖製成紙張最不柔軟。
- (2) 實驗發現鹼煮法解纖造紙柔軟度都高於微生物解纖所造的紙張，鹼度越高越柔軟。

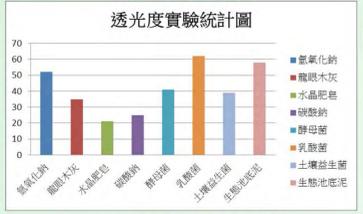
〈五〉透光度實驗：

- 1.實驗流程：
- 2.實驗結果：

三次實驗平均紀錄〈單位：燭光〉

解纖添加物	氫氧化鈉	龍眼木灰	水晶肥皂	碳酸鈉	酵母菌	乳酸菌	土壤益生菌	生態池底泥
透光度	52	35	21	25	41	62	39	58

- 3.統計圖表：



4.討論：

- (1) 以乳酸菌製作的菩提葉紙透光度越高，生態池底泥製作透光度次之。
- (2) 水晶肥皂與碳酸鈉所製紙張顏色暗沉，透光度也最低。

〈六〉耐折度實驗：

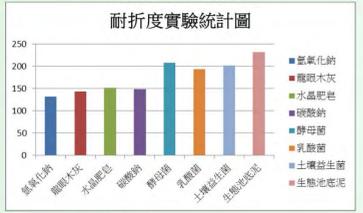
- 1.實驗流程：
- 2.實驗結果：

三次實驗平均紀錄〈單位：次〉



解纖添加物	氫氧化鈉	龍眼木灰	水晶肥皂	碳酸鈉	酵母菌	乳酸菌	土壤益生菌	生態池底泥
耐摺次數	132	143	152	148	208	193	202	132

- 3.統計圖表：



4.討論：

- (1) 耐折度最強的是添加生態池底泥所製紙張，最易折斷的是氫氧化鈉鹼煮所製紙張。
- (2) 微生物分解法製成的紙張耐折度都大於鹼煮法所製成的紙張。

五、菩提葉紙的運用探究

菩提葉運用八種解纖方式均能成功造紙，但造出來的紙張是否實用，我們進行染色運用，希望讓造出來的紙有更多功能，也將所造的紙張運用在藝術創作上，生活創意發想上，我們的成果如下：

〈一〉染色運用

- 1.染色步驟：
- 2.染色成果：

染材	染色紙漿照片	染色紙漿抄紙紙張照片
1. 槐花		
2. 紫膠精粉		
3. 胭脂精粉		
4. 墨水樹芯材		
5. 藍靛精粉		
6. 槐花套染藍靛		
7. 檳榔子		
8. 雙氧水漂白		

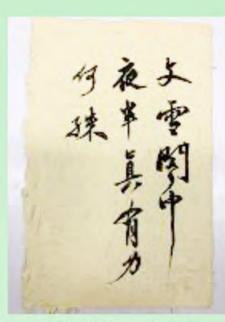
〈二〉藝術運用



漂白紙水彩畫



槐花染紙纏繞畫



原色紙運用於書法



製作押花紙張



撕貼畫作品



製作彩色卡片

〈三〉生活創意運用



將染色後纖維種植多肉植物



染色纖維搭配漂流木製作盆栽小品



染色紙張製作燈飾



製作創意吊飾



雙色紙漿製作杯墊



雙色紙漿製作杯墊

〈四〉討論：

1. 我們選擇將菩提葉造的紙漿纖維以天然染的方式進行染色，運用槐花、紫膠精粉、胭脂蟲精粉、墨水樹芯材、檳榔籽等材料進行熱染，可將纖維染成黃色、紫紅色、桃紅色、深紫色、咖啡色等不同顏色，以藍靛精粉冷染可製作藍色紙漿、以藍靛染的紙漿再套染黃色槐花則可得綠色紙漿、若將紙漿以稀釋之雙氧水漂白可得白色紙漿。運用彩色紙漿可製作各色的紙張。
2. 將原色與染色過後的菩提葉紙張用於藝術創作無論是水彩畫、撕貼畫、書法作品、雙色卡片等，都能產獨特美感，手做紙張有一種質樸的美麗。
3. 解纖後的菩提葉纖維具有吸水性，能取代泥炭苔來種植植物，將纖維染色後再種植盆栽小品，有趣又可愛。

陸、結論與建議

- 一、經本次研究發現樹葉造紙是可行的，選擇葉片較大、葉脈明顯的植物樹葉來造紙，各區域性有自己的特色植物，能發展出鄉土特色，也許不能取代木漿纖維，但讓造紙可能性增加。
- 二、本次選擇校園植物菩提樹樹葉來造紙，運用氫氧化鈉、龍眼木灰、碳酸鈉、水晶肥皂、碳酸氫鈉等鹼劑添加在水中持溫加熱來解纖，實驗發現氫氧化鈉解纖時間最短，而碳酸氫鈉無法解纖，解纖時間與水中鹼度息息相關，鹼度越高解纖時間越快。但相反的是鹼度越高解纖後的纖維量越少。
- 三、本研究運用鹼煮法解纖實驗以氫氧化鈉效果最快，只要80分鐘就可以充分解纖，龍眼木灰解纖需要120分鐘，但若考慮無毒且環保的鹼劑，在烹烤食物盛行的今日，龍眼木灰容易取得，運用過後的鹼液可以灌溉土壤，是環保的好材料。
- 四、運用微生物分解法來分解菩提葉纖維，添加日常生活中常見的菌種酵母菌、乳酸菌、土壤益生菌、生態池底泥來製作分解液，發現都能在14日內解纖，證實以微生物分解法造紙，是不耗能、簡便，值得推廣的造紙方式。
- 五、微生物解纖過程最令人受不了的是氣味，初期會產生酒味，接著是醋酸味，葉肉脫落後會產生阿摩尼亞的味道及硫化氫的腐敗味，運用四種微生物製作分解液以添加酵母菌及乳酸菌氣味最濃厚，而添加土壤益生菌及生態池底泥味道最淡，推論原因土壤益生菌及生態池底泥含有脫硝菌及嗜硫菌，能將胺基酸和脂質分解後的氨氮及硫化氫降解。
- 六、我們將菩提葉所造的紙張進行紙的特性實驗，發現雖然都是運用菩提葉，不同的解纖方式紙張的特性不同，我們進行吸水力、摩擦力、拉力、柔軟度、透光度、耐折度等六種紙的特性測試，發現紙張的表現都不相同，可以依照紙的特性來做各種不同的運用。
- 七、不同解纖方式的菩提葉紙都能進以天然染進行染色，運用槐花、紫膠精粉、胭脂蟲精粉、墨水樹芯材、檳榔籽等材料進行熱染，可將纖維染成黃色、紫紅色、桃紅色、深紫色、咖啡色等不同顏色，以藍靛精粉冷染可製作藍色紙漿、以藍靛染的紙漿再套染黃色槐花則可得綠色紙漿、紙漿以稀釋之雙氧水漂白可得白色紙漿。運用彩色紙漿可製作各色的紙張。手抄菩提葉紙搭配天然染的自然繽紛色彩，具有大自然的質樸之美。
- 八、菩提葉原色紙可用於繪畫、書法等藝術創作，染色後的紙張可以用於紙雕、撕貼畫，卡片，更可創作吊飾、燈飾讓自製紙張用途更廣。此外菩提葉解纖後的纖維有吸水性，可以取代泥炭苔種植小盆栽，染色後的纖維製作小品盆栽小巧可愛，值得推廣。

柒、參考文獻