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　化學科

最佳(鄉土)教材獎

050206

蔗渣纖維素水解葡萄糖之研究

學校名稱：雲林縣私立揚子高級中學

作者：	指導老師：
高二 林正浩	楊志堅
高二 王澍賢	陳尚民
高二 傅裕鈞	

關鍵詞：蔗渣、纖維素水解、旋光儀

摘要

本實驗以不同類型酸作為蔗渣纖維素水解的催化劑，以及在不同反應條件(如：試液濃度、細菌分解)下，探討蔗渣纖維素催化水解的成效。本研究利用催化劑加速蔗渣纖維素水解成葡萄糖後，一部分溶液加入定量的斐林試液，觀察 $Cu_2O(s)$沉澱量變化，另一部分利用自製的旋光儀測定醣類的旋光度。進一步，想要利用催化效果佳的催化劑，改變操作時間及濃度，找出一個最佳的反應條件。同時利用最佳操作條件， 改變水解液與蔗渣原料之比值，使蔗渣纖維素轉化為再生性能源能有效被利用。

壹、 研究動機

每天走路到學校上課，常常經過糖廠，看著推積如山的蔗渣，就想到了這些用過的甘蔗渣究竟要如何是好，燒了？埋了？那豈不是浪費嗎？燒了雖然可以發電，會造成溫室氣體增多，導致全球暖化；埋了可以形成有機肥，不過發酵時間長，一樣會產生溫室氣體，最後還是全球暖化。隨這地球人口的攀升，糧食的需求也隨之增加，所以我們認為這些蔗渣應該要有更好的處理辦法，為了得知更好的處理辦法，我們詢問了化學老師與其討論，並且確認它的可行性。

貳、 研究目的

本研究蔗渣處理方式本研究目的分為下列幾點：

一、調配化學藥劑以及菌種的馴養。

二、參考文獻方法以及尋找不同的實驗流程。

三、自製旋光儀以便研究後的測量。

四、觀察和記錄來找出最佳且又省能的葡萄糖製備方法。

參、研究設備及器材

表 1、 觀察儀器和記錄設備

編號	物品	數量	用途
一	筆記本、筆	1 本 2 支	實驗日記，紀錄觀察結果
二	數位相機	2 台	拍攝實驗過程
三	筆記型電腦	1 部	撰寫與製作電子檔
四	電子秤	1 台	量取準確的重量
五	驗糖棒	1 隻	量取生成物中含糖的比例

表 2、 使用藥品

編號	物品	數量	用途
一	鹽酸	1 瓶	實驗用
二	硫酸	1 瓶	實驗用
三	磷酸	1 瓶	實驗用
四	草酸	1 瓶	實驗用
五	順丁烯二酸	1 瓶	實驗用
六	三氯化鋁	1 瓶	實驗用
七	光合作用菌	1 瓶	實驗用
八	EM 菌	1 瓶	實驗用
九	木黴菌	1 瓶	實驗用
十	氫氧化鈉	1 瓶	實驗用
十一	斐林試液	2 瓶	實驗用

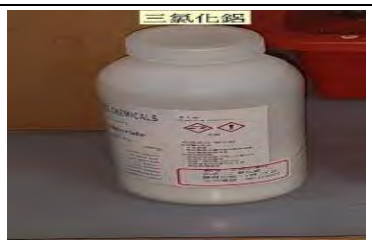
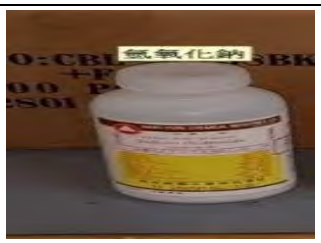
 1-1 鹽酸、硫酸與磷酸	 1-2 乙二酸、順丁稀二酸	 1-3 三氯化鋁
 1-4 各式為生菌種	 1-5 斐琳試液	 1-6 氫氧化鈉

圖 1、實驗用藥品表

表 3、旋光儀材料

編號	物品	數量	用途
一	偏光片	2 片	自製旋光儀的材料
二	迴紋針	1 支	自製旋光儀的材料
三	美工刀	1 把	自製旋光儀的材料
四	魔鬼粘	1 條	自製旋光儀的材料
五	保麗龍盒	1 箱	自製旋光儀的材料
六	洋芋片空罐	2 罐	自製旋光儀的材料
七	圓形量角器	1 片	自製旋光儀的材料
八	太陽能板	1 組	自製旋光儀的材料
九	三用電表	1 台	自製旋光儀的材料
十	絕緣膠帶	1 個	自製旋光儀的材料
十一	熱熔膠槍	1 支	自製旋光儀的材料
十二	平底試管	1 數個	自製旋光儀的材料
十三	鱷魚夾電線	1 組	自製旋光儀的材料
十四	LED 手電筒	2 支	自製旋光儀的材料
十五	PVC 塑膠軟管	1 捲	自製旋光儀的材料

肆、研究過程與方法

一、研究流程

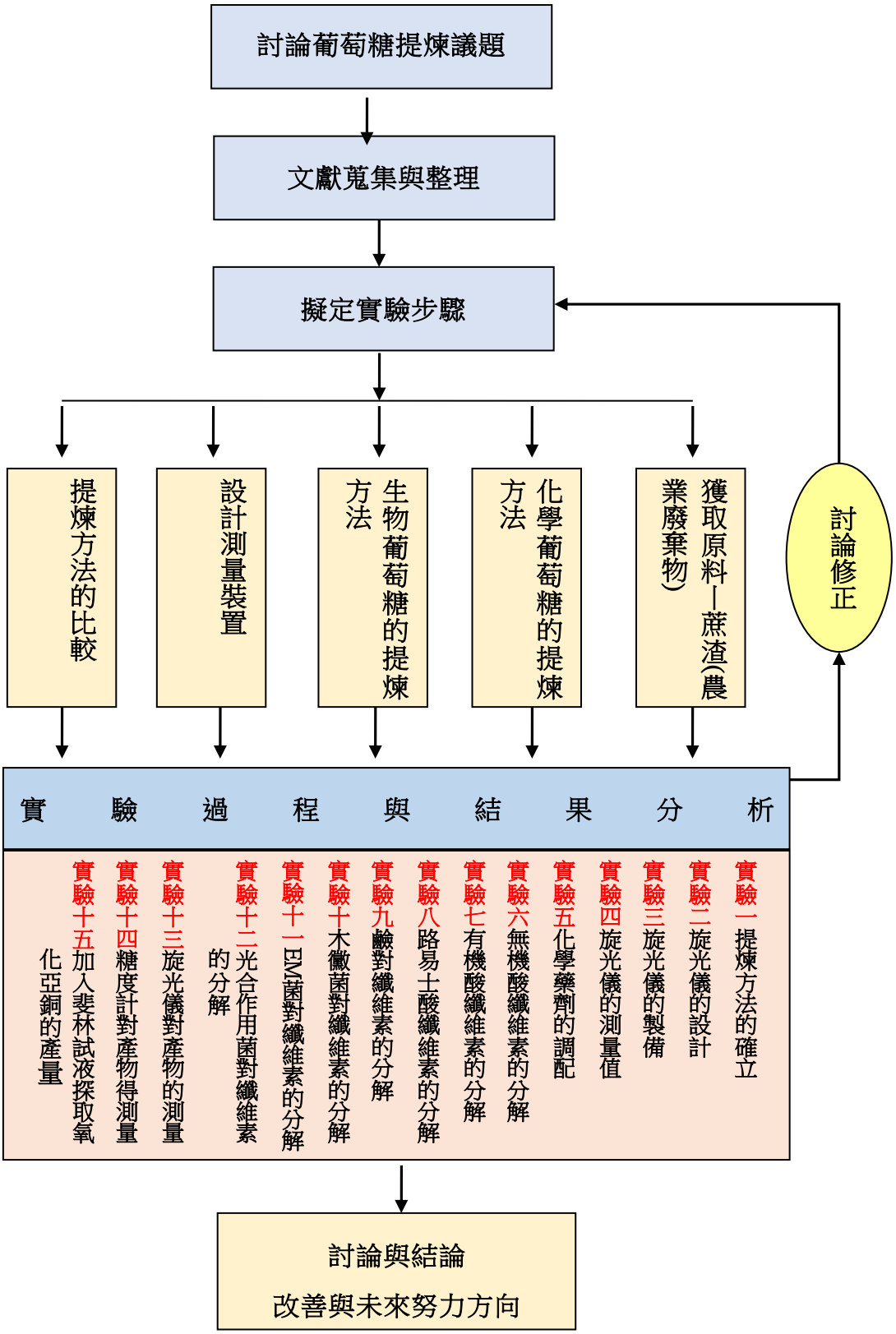


圖2、 研究流程圖

二、文獻蒐集

纖維素的分解主要是透過各式藥品的水解，例如酸水解、鹼水解、水解液等，另外我們加入了「細菌」的水解，進一步探討不同物質間的水解效果，除了找尋最佳的產量生成方法，還額外計算出低耗能的路徑，以達到淨化環境的效果。以下為各種方法與技術的文獻蒐集：

(一)酸化水解處理法

酸化水解處理法是以不同濃度的酸物質來探討纖維素在哪種酸的環境下，可達到最高產率，使用的酸有：Inorganic Acid (無機酸)、Organic Acid (有機酸)、Lewis Acid (路易士酸)，如表 4~表 7

表 4、不同無機酸之濃度催化木屑纖維水解後，測 $Cu_2O(s)$沉澱量及其旋光度

無機酸	濃度(N)	Cu_2O 重(克)	旋光度
Chlorane 鹽酸	1.0 N	0.0120	0.1228
	2.0 N	0.0135	0.1440
	4.0 N	0.0147	0.1613
	6.0 N	0.0159	0.1826
Sulfuric Acid 硫酸	1.0 N	0.0120	0.1240
	2.0 N	0.0143	0.1464
	4.0 N	0.0151	0.1633
	6.0 N	0.0163	0.1860
Phosphoric Acid 磷酸	1.0 N	0.0091	0.0890
	2.0 N	0.0110	0.0970
	4.0 N	0.0123	0.0985
	6.0 N	0.0140	0.1068

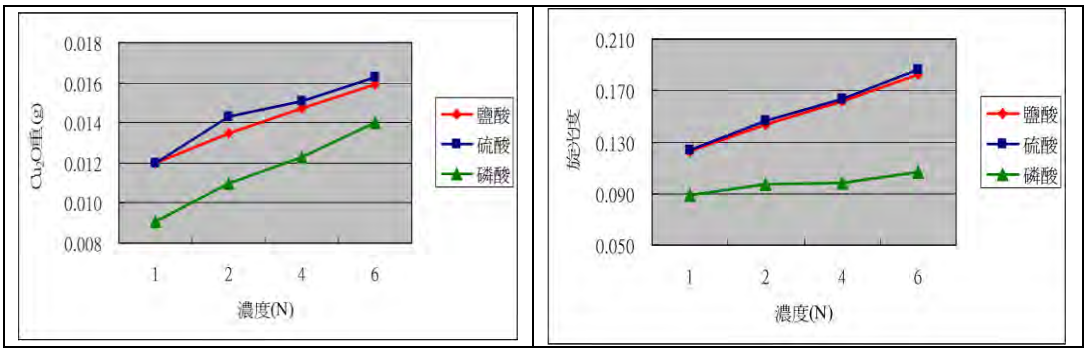


圖 3、為上述實驗數據的折線圖

表 5、 不同有機酸之濃度催化木屑纖維水解後，測 $Cu_2O_{(s)}$沉澱量及其旋光度

有機酸	濃度(N)	$Cu_2O_{(s)}$重(克)	旋光度
Ethanedioic Acid 乙二酸	1.0 N	0.0060	0.0187
	2.0 N	0.0075	0.0247
	4.0 N	0.0080	0.0301
	6.0 N	0.0092	0.0364
Maleic Acid 順丁烯二酸	1.0 N	0.0061	0.0168
	2.0 N	0.0070	0.0235
	4.0 N	0.0085	0.0296
	6.0 N	0.0089	0.0326

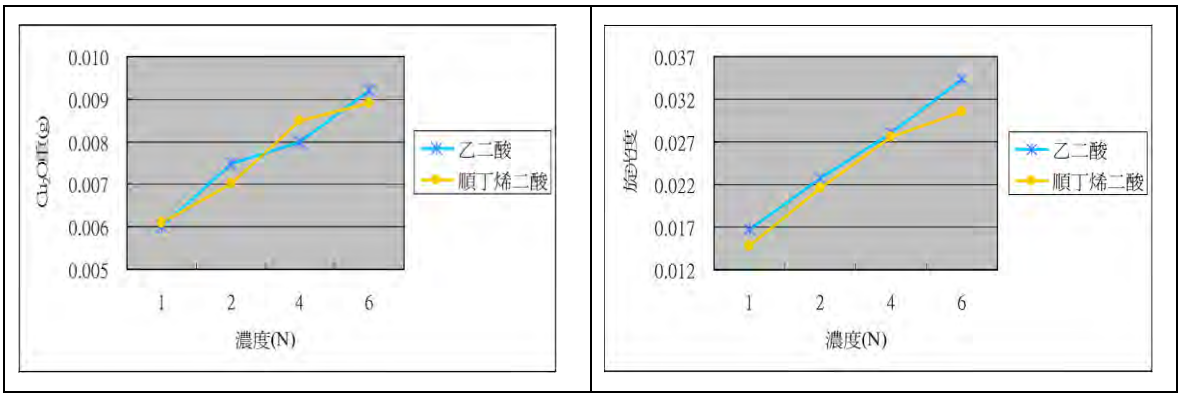


圖 4、為上述實驗數據的折線圖

表 6、不同路易士酸之濃度催化木屑纖維水解後，測 $Cu_2O_{(s)}$沉澱量及其旋光度

路以士酸	濃度(N)	$Cu_2O_{(s)}$重(克)	旋光度
三氟化硼	1.0 N	0.0031	0.002
	2.0 N	0.0033	0.005
	4.0 N	0.0037	0.007
	6.0 N	0.0042	0.009
三氯化鋁	1.0 N	0.0032	0.003
	2.0 N	0.0034	0.006
	4.0 N	0.0040	0.008
	6.0 N	0.0054	0.011

表 7、 不同路易士酸之濃度催化木屑纖維水解後，測 $Cu_2O_{(s)}$沉澱量及其旋光度

催化劑組成		$Cu_2O_{(s)}$重(克)	旋光度
質子酸	路易士酸		
0.3 N HCl	1.0 N BF_3	0.4115	0.96
	2.0 N BF_3	0.5120	1.12
	4.0 N BF_3	0.5893	1.29
	6.0 N BF_3	0.6335	1.34
0.3 N HCl	1.0 N $AlCl_3$	0.5877	1.2
	2.0 N $AlCl_3$	0.6542	1.3
	4.0 N $AlCl_3$	0.7904	1.4
	6.0 N $AlCl_3$	0.8860	1.5

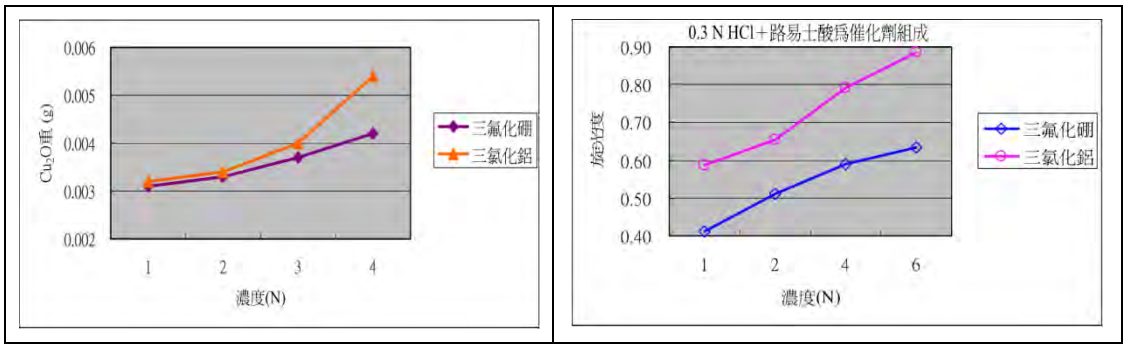
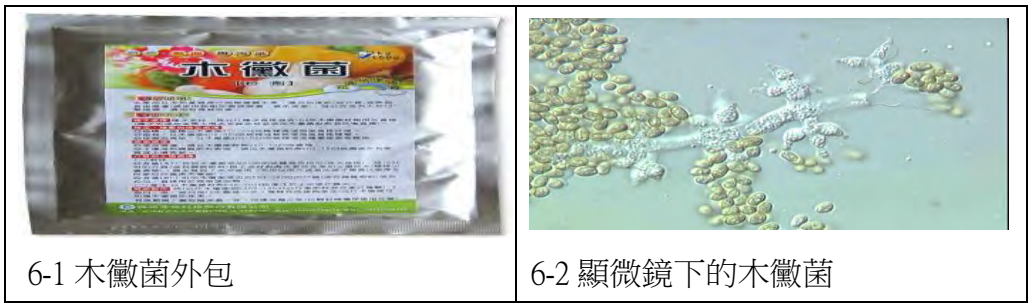


圖 5、為上述實驗數據的折線圖

(二) 細菌水解處理法

(1)木黴菌

目前在草食性動物瘤胃當中所居住的厭氧微生物由於草食性動物食性的關係，推測其可能具有多樣性纖維素分解酵素的活性，因此科學家認為這些微生物在分解纖維素上是相當重要的來源之一。木黴菌 (Trichoderma) 木黴菌是一群環境中常見的黴菌，在土壤，空氣，植物的各部份甚至是真菌的子實體上都可發現它們的存在。



6-1 木黴菌外包　　6-2 顯微鏡下的木黴菌

圖 6、木黴菌的包裝和顯微鏡下的樣子

(2)光合細菌

光合細菌 (photosynthetic bacteria)，是具有原始光能合成體系的原核生物，在自然界的分布相當廣闊，舉凡水田、河川、海岸土等含水環境皆存在此菌，屬光合作用微生物涵蓋原核生物界中的四個門，包括紅色非硫磺細菌(Rhodospirillaceae）、紅色硫磺細菌 (Chromatiaceae）、綠色硫磺細菌(Chlorobiaceae）、藍綠細菌、綠藻、紅藻等 (Madigan et al.， 2006)。光合細菌在不同的自然環境下，具有多種異營功能（固氮、脫氮、固碳、硫化物氧化等），與自然界中的氮、磷、硫循環有著密切的關係，在自然環境的自淨過程中，擔任著重要的角色 。在水產養殖上，光合細菌常被用來除去水中之硫化氫與氨氮，藉以改善養殖池的水質環境，降低魚蝦病害。在農業應用方面，光合菌常被用來做為土壤改良資材，。光合菌幫助作物功能如：**生成植物生長賀爾蒙、固氮作用、溶解土壤中不溶性磷化物、合成營養物質、去除土壤中有毒物質、分解纖維素。**

7-1 光合菌	7-2 光合菌顯微鏡外觀

圖 7、光合作用菌包裝和顯微鏡下的樣子

(3) EM 菌

EM 菌為綜合菌種以 5 種為主要菌種，大約有 80 多種菌種。

1.光合菌群：

如光合細菌和藍藻類。屬於獨立營養微生物，菌體本身含 60%以上的蛋白質，且富含多種維生素；它以土壤接受的光和熱為能源，將土壤中的硫氫和碳氫化合物中的氫分離出來，變有害物質為無害物質，並以植物根部的分泌物、土壤中的有機物、有害氣體（硫化氫等）及二氧化碳、氮等為基質，合成糖類、氨基酸類、維生素類、氮素化合物、抗病毒物質和生理活性物質等。

圖 8、EM 菌

2.乳酸菌群：

以嗜酸乳桿菌為主導。它靠攝取光合細菌、酵母菌產生的醣類形成乳酸。乳酸具有很強的殺菌能力，能有效抑制有害微生物的活動和有機物的急劇腐敗分解。乳酸菌能夠分解在常態下不易分解的木質素和纖維素，並使有機物發酵分解。乳酸菌還能夠抑制連作障礙產生的致病菌增殖。致病菌活躍，有害線蟲會急劇增加，植物就會衰弱，乳酸菌抑制了致病菌，有害線蟲便會逐漸消失。

3.酵母菌群：

它利用植物根部產生的分泌物、光合菌合成的氨基酸、醣類及其它有機物質產生髮酵力，合成促進根系生長及細胞分裂的活性化物質。酵母菌在 EM 中對於促進其它有效微生物（如乳酸菌、放線菌）增殖所需要的基質（食物）提供重要的給養保障。此外，酵母菌產生的單細胞蛋白是動物不可缺少的養分。

4.革蘭氏陽性放線菌群：

它從光合細菌中獲取氨基酸、氮素等作為基質，產生出各種抗生物質、維生素及酶，可以直接抑制病原菌。它提前獲取有害黴菌和細菌增殖所需要的基質，從而抑制它們的增殖，並創造出其它有益微生物增殖的生存環境。

5.發酵系的絲狀菌群：

以發酵酒精時使用的曲霉菌屬為主體，它能和其他微生物共存，尤其對土壤中酯的生成有良好效果。因為酒精生成力強，能防止蛆和其他害蟲的發生，並可以消除惡臭。

三、 擬定實驗步驟

本研究以糖廠生產過後的蔗渣為主題，以下為蔗渣獲取過程。

9-1 糖廠內以塑膠袋裝蔗渣

9-2 獲取數公斤蔗渣作實驗

圖 9、 採取蔗渣的過程

實驗一：探討不同**無機酸**之濃度對蔗渣纖維素水解的影響

1、取約 5 克蔗渣與 60 mL 蒸餾水，置於 250 mL 燒杯中。

2、將上述燒杯加入 10 mL 的 1N 鹽酸水溶液，使木屑全部浸沒後，開始加熱。

3、當溫度達到 100 ℃時，計時 30 分鐘後冷卻並過濾。

4、以手電筒的光為光源，測量濾液的旋光度。

5、取全部濾液，滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性。

6、再加入 2.5 mL 斐林試劑 A 與 2.5 mL 斐林試劑 B，加熱至沸騰，沸騰後，繼續加熱 10 分鐘。

7、使用濾紙過濾溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu_2O 重。

8、重覆步驟 1~7，改變鹽酸溶液的濃度。

9、重覆步驟 1~8，將步驟 2 鹽酸水溶液換成不同濃度硫酸及磷酸。

實驗二：探討不同**有機酸**之濃度對蔗渣纖維素水解的影響

將實驗一中無機酸改成有機酸(乙二酸及順丁烯二酸)，重複上述步驟。

實驗三：探討不同路易士酸之濃度對蔗渣纖維素水解的影響

將實驗一中無機酸改成路易士酸($AlCl_3$)。將實驗一中不同濃度路易士酸($AlCl_3$)加入質子酸(0.3 N HCl)作為催化劑組成。

實驗四：鹼性溶液濃度對蔗渣纖維素水解的影響

1、取約 5 克蔗渣與 60 mL 蒸餾水，置於 250 mL 燒杯中。

2、將上述燒杯加入 10 mL 的 1 N 氫氧化鈉水溶液，使蔗渣全部浸沒後，開始加熱。

3、當溫度達到 100 ℃時，保持 30 分鐘後，冷卻並過濾。

4、以手電筒的光為光源，測量濾液的旋光度。

5、取全部濾液，再加入 2.5 mL 斐林試劑 A 與 2.5 mL 斐林試劑 B，開始加熱 10 分鐘。

6、使用濾紙過濾溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu_2O 重。

實驗五：EM 菌天數不同下對蔗渣纖維素水解的影響

1、取三個 500 mL 燒杯，分別加入 5 克蔗渣與 50 mL EM 菌。

2、分別加入 200 mL 蒸餾水稀釋成 EM 菌水溶液，使蔗渣全部浸沒 。

3、放置 14 天、28 天、42 天後，分別取出全部溶液後，開始加熱。

4、當溫度達到 100℃時，保持 30 分鐘後，冷卻並過濾。

5、以手電筒的光為光源，測旋光度。

6、取全部濾液，滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性，再加入 2.5 mL 斐林試劑 A 與 2.5 ml 斐林試劑 B，加熱至沸騰。

7、使用濾紙過濾溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu_2O 重。

8、重覆步驟 1~7，只是將 EM 菌替換成木黴菌與光合作用菌。

實驗六：EM 菌菌數不同下對蔗渣纖維素水解的影響

1、取三個 500 mL 燒杯，分別加入 5 克蔗渣與 50 mL、100 mL、200 mL 的 EM 菌。

2、分別加入 200 mL 蒸餾水稀釋成 EM 菌水溶液，使蔗渣全部浸沒。

3、放置 60 天後，分別取出全部溶液後，開始加熱。

4、當溫度達到 100℃時，保持 30 分鐘後，冷卻並過濾。

5、以手電筒的光為光源，測旋光度。

6、取全部濾液，滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性，再加入 2.5 mL 斐林試劑 A 與 2.5 ml 斐林試劑 B，加熱至沸騰。

7、使用濾紙過濾溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu_2O 重。

8、重覆步驟 1~8，只是將 EM 菌替換成木黴菌與光合作用菌。

實驗七：不同加熱時間蔗渣纖維素水解的影響

1、取約 5 克蔗渣與 60 mL 蒸餾水，置於裝有回流管的燒瓶中。

2、將 10 mL 的 5N 硫酸水溶液至於裝有回流管的燒瓶中，使蔗渣全部浸沒後，開始加熱。

3、達沸騰時，沸騰 60 分鐘後,冷卻並過濾。

4、以手電筒的光為光源，測量旋光度。

5、滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性。

6、再加入 2.5 mL 斐林試劑 A 與 2.5 mL 斐林試劑 B，加熱至沸騰，沸騰後，繼續加熱 10 分鐘。

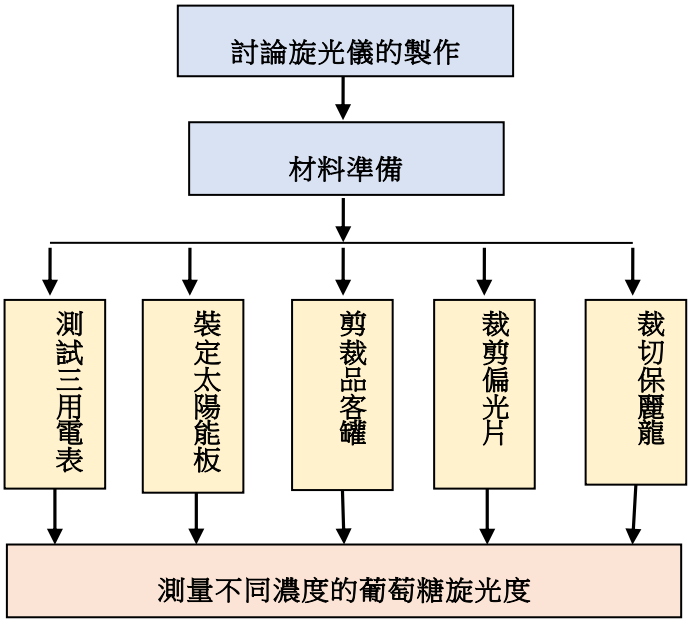
7、使用濾紙過濾溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu_2O 重。

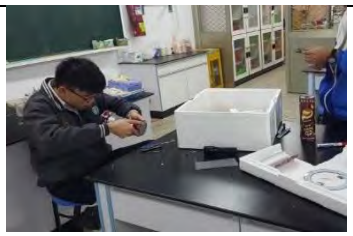
8、重覆步驟 1~7，把加熱時間改為 90 分鐘、120 分鐘、150 分鐘、180 分鐘、210 分鐘、240 分鐘、270 分鐘、300 分鐘。

9、重複步驟 1~8，改變實驗藥劑(5N 氫氧化鈉和 0.3N 鹽酸+5N 三氯化鋁)

(一)實驗一：旋光儀的製作

本研究是為了有效分解纖維素，為了知道纖維素是否被分解，以及為了得到更多的數據，我們覽閱的部分文獻中，時常提及「旋光儀」這項儀器，由於資費不足，所以我們決定打造一台旋光儀。




裁切保麗龍大小

剪裁品客罐的大小

裁剪偏光片大小

裝上三用電表

拼裝

完成旋光儀

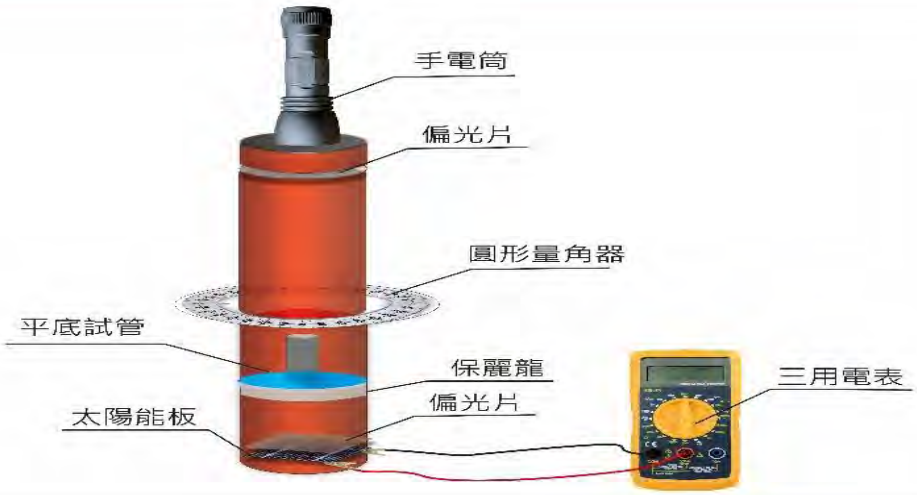
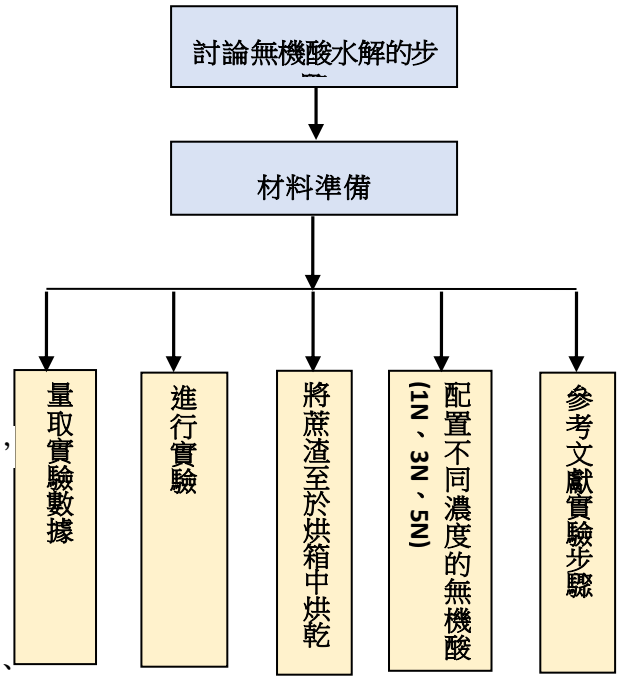


圖 10、旋光儀製作過程

水解：

水與另一化合物反應，該化合物分解為兩部分，水中氫原子加到其中的一部分，而羥基加到另一部分，因而得到兩種或兩種以上新的化合物的反應過程。工業上應用較多的是有機物的水解，主要生產醇和酚。水解反應是中和或酯化反應的逆反應。大多數有機化合物的水解，僅用水是很難順利進行的。根據被水解物的性質，水解劑可以用氫氧化鈉水溶液、稀酸或濃酸，這就是所謂的加鹼水解和加酸水解。接下來的實驗室將蔗渣中的纖維素進行水解的步驟，有酸的水解、鹼的水解以及細菌的水解。大部分的實驗流程如右圖所示：



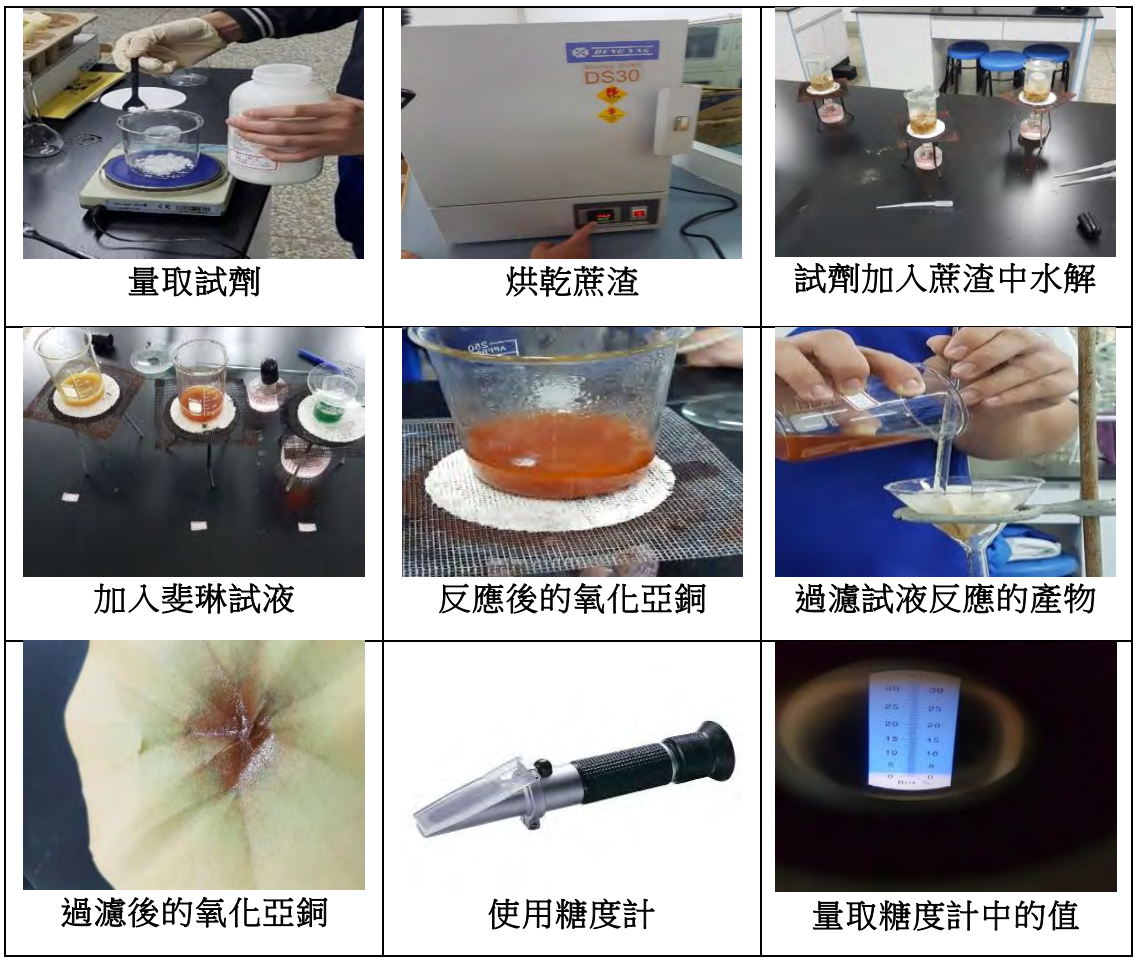


圖 11、水解過程

(二)<u>實驗二：無機酸的水解</u>

這項實驗是利用無機酸進行水解纖維素的實驗，所使用的無機酸有：鹽酸(Chlorane)、硫酸(Sulfuric Acid)、磷酸(Phosphoric Acid)，在所見的文獻中，都表示無機酸水解能力是最強的，但那是相對於木屑纖維，所以本實驗是想證明說是否成立。數據如表 4：

表 4、不同無機酸之濃度催化蔗渣纖維水解後，測 $Cu_2O_{(s)}$沉澱量及其旋光度

無機酸	濃度(N)	Cu_2O 重(克)	旋光度
Chlorane 鹽酸	1.0 N	0.0832	+1.4°
	3.0 N	0.1529	+2.1°
	5.0 N	0.2247	+2.9°
Sulfuric Acid 硫酸	1.0 N	0.0851	+1.4°
	3.0 N	0.1597	+2.1°
	5.0 N	0.2307	+3.2°
Phosphoric Acid 磷酸	1.0 N	0.0802	+1.4°
	3.0 N	0.1489	+2.0°
	5.0 N	0.2197	+2.8°

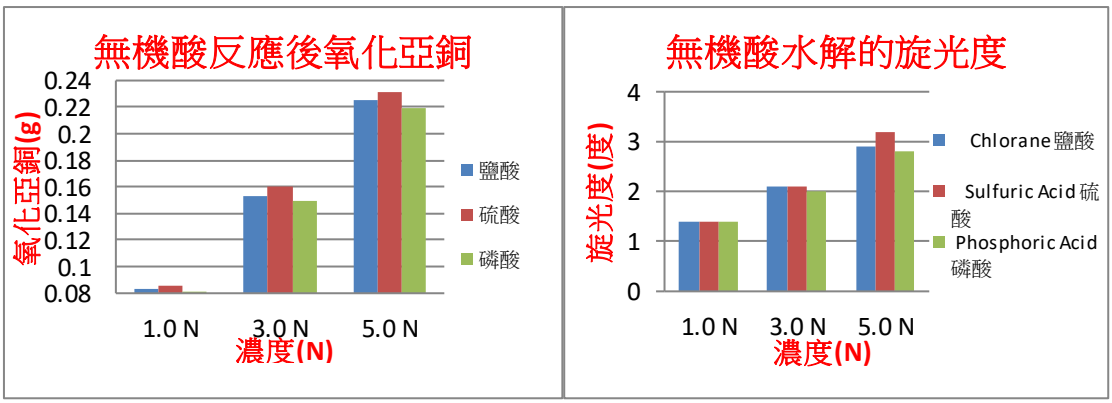


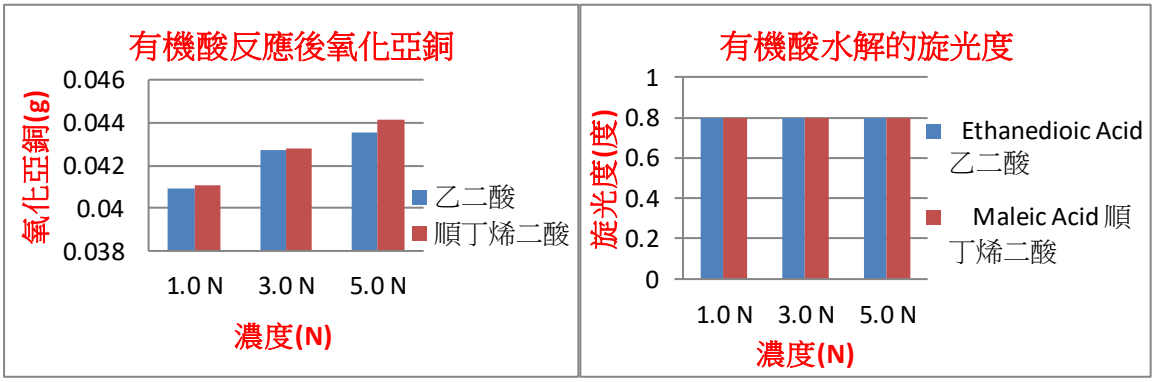
圖 12、無機酸水解

(三)實驗三：有機酸的水解

本實驗是利用有機酸對蔗渣纖維素進行水解，所使用的有機酸有：乙二酸(Ethanedioic Acid)和順丁烯二酸(Maleic Acid)最為反應物來參與反應。數據資料下如表 5：

表 5、不同有機酸之濃度催化蔗渣纖維水解後，測 $Cu_2O_{(s)}$沉澱量及其旋光度

有機酸	濃度(N)	Cu_2O 重(克)	旋光度
Ethanedioic Acid 乙二酸	1.0 N	0.0409	+0.8°
	3.0 N	0.0427	+0.8°
	5.0 N	0.0435	+0.8°
Maleic Acid 順丁烯二酸	1.0 N	0.0411	+0.8°
	3.0 N	0.0428	+0.8°
	5.0 N	0.0441	+0.8°



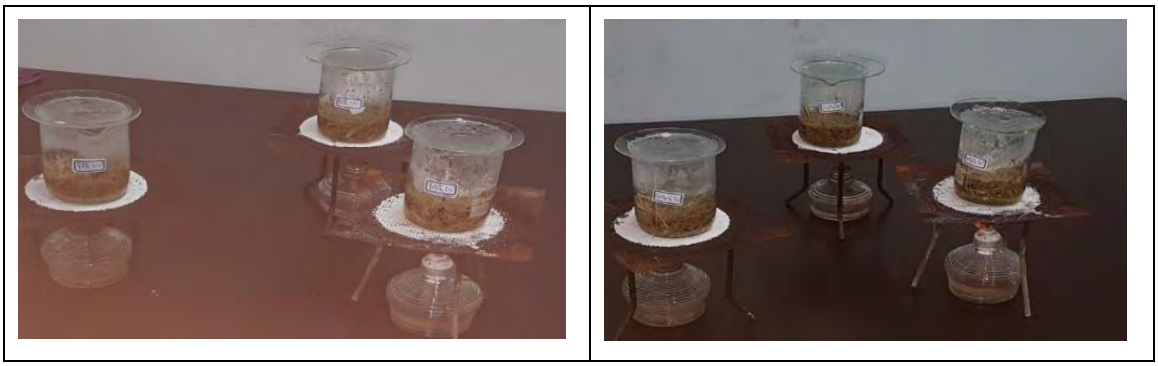


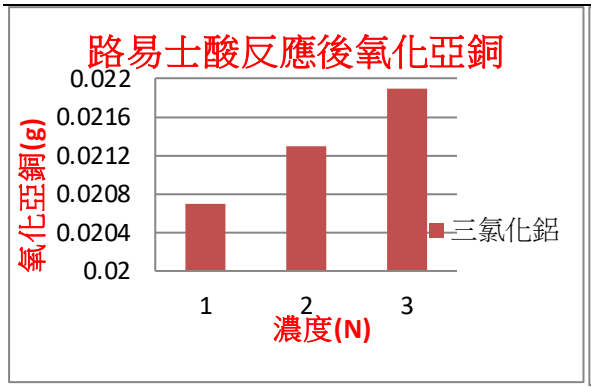
圖 13、有機酸水解

(四)實驗四：路易士酸的水解

路易士酸通常含低能量 LUMO（最低未占軌域），會與路易士鹼的最高占有軌域反應。路易士酸並不一定需要有質子（H^+）的轉移，對路易士酸理論來說，所有親電試劑都可以叫做路易士酸（包括 H^+）。路易士酸的化學反應活性可以用軟硬酸鹼理論來判斷。而本實驗是研究路易士酸度對纖維素的的水解能力，以及探討以 0.3N 得鹽酸作為質子酸時蔗渣水解能力的變化。數據如表 6-1 和 6-2：

表 **6-1**、不同路易士酸之濃度催化蔗渣纖維水解後，測 **Cu_2O(s)**沉澱量及其旋光度

路以士酸	濃度(N)	Cu_2O 重(克)	旋光度
三氯化鋁	1.0 N	0.0207	+0.4°
	3.0 N	0.0213	+0.4°
	5.0 N	0.0219	+0.4°



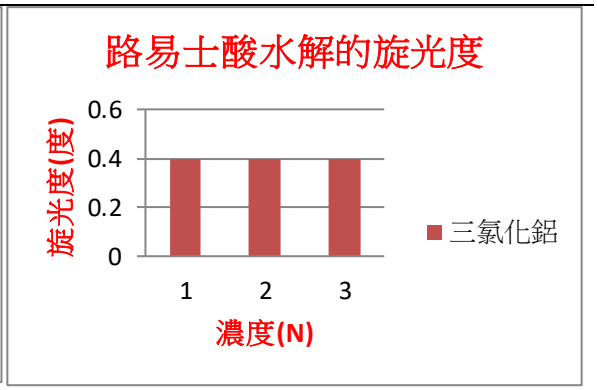
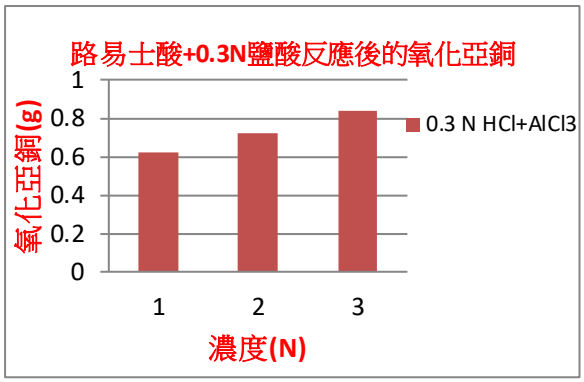
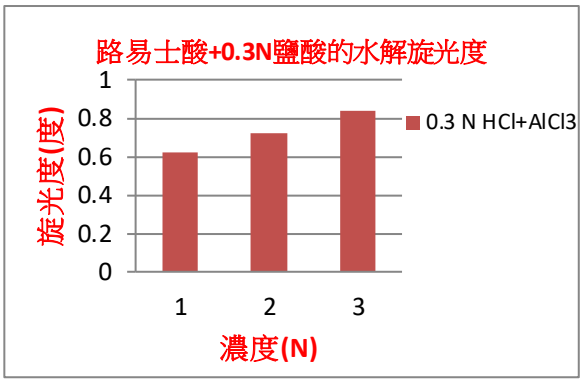


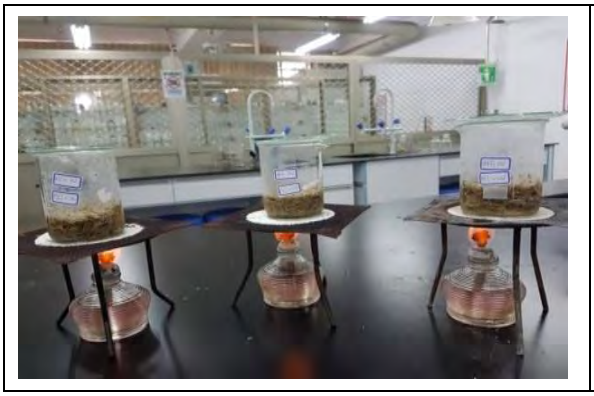
圖 14、路易士酸的水解

表 **6-2**、不同路易士酸之濃度加入鹽酸催化蔗渣纖維水解後，測 **Cu_2O(s)**沉澱量及其旋光度

催化劑組成		Cu_2O 重(克)	旋光度
質子酸	路易士酸		
0.3 N 鹽酸	1.0 N 三氯化鋁	0.6193	+9.5°
	3.0 N 三氯化鋁	0.7211	+10.3°
	5.0 N 三氯化鋁	0.8374	+11.0°







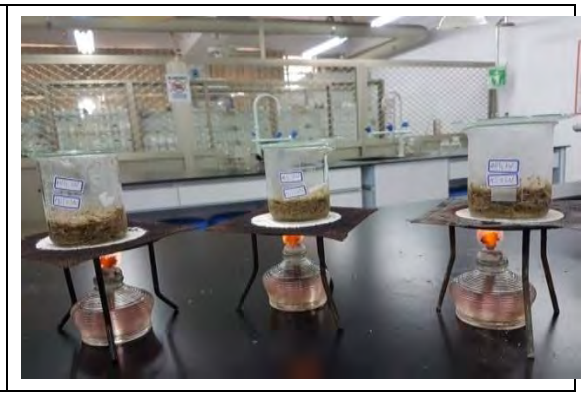


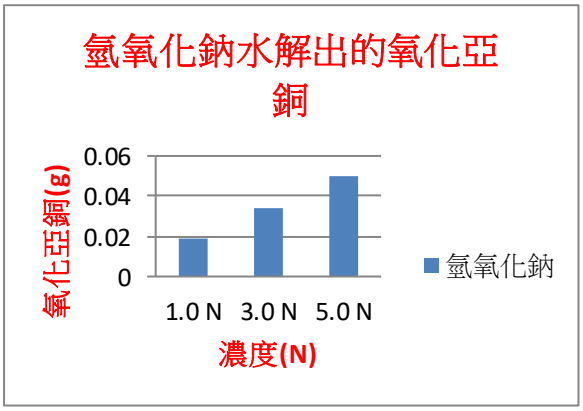
圖 15、路易是酸+0.3N 鹽酸水解

(五)<u>實驗五：鹼的水解</u>

此實驗室一個假設，因為國外有人利用鹼來水解屍體，所以此實驗是假設說利用鹼來水解纖維素，並且討論其產量。數據如表 7：

表 7、鹼水解後的氧化亞銅量和旋光度

無機鹼	濃度(N)	Cu_2O 重(克)	旋光度
氫氧化鈉	1.0 N	0.0192	+0.3°
	3.0 N	0.0341	+0.4°
	5.0 N	0.0496	+0.4°



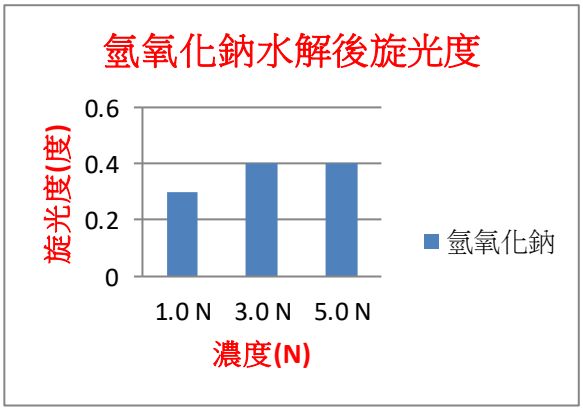


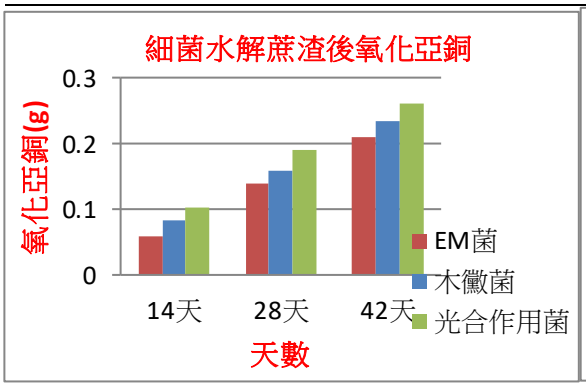
圖 16、無機鹼的水解

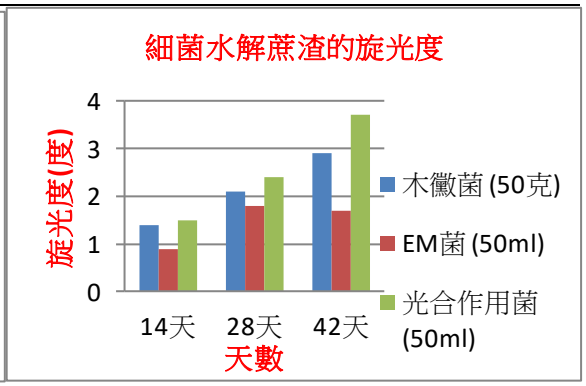
(六)<u>實驗六：菌種的水解</u>

本實驗是探究不同細菌在不同時間下對纖維素的水解影響，取用的細菌有：木黴菌、EM 菌和光和作用菌。另外，也對不同菌數相同時間內的水解進行了實驗。數據如表 8-1 和 8-2：

表 8-1、細菌不同天數水解後氧化亞銅量和旋光度

菌種	天數	Cu_2O 重(克)	旋光度
木黴菌 (50 克)	14 天	0.0832	+1.4°
	28 天	0.1573	+2.1°
	42 天	0.2349	+2.9°
EM 菌 (50ml)	14 天	0.0597	+0.9°
	28 天	0.1379	+1.8°
	42 天	0.2095	+1.7°
光合作用菌 (50ml)	14 天	0.1017	+1.5°
	28 天	0.1899	+2.4°
	42 天	0.2597	+3.7°





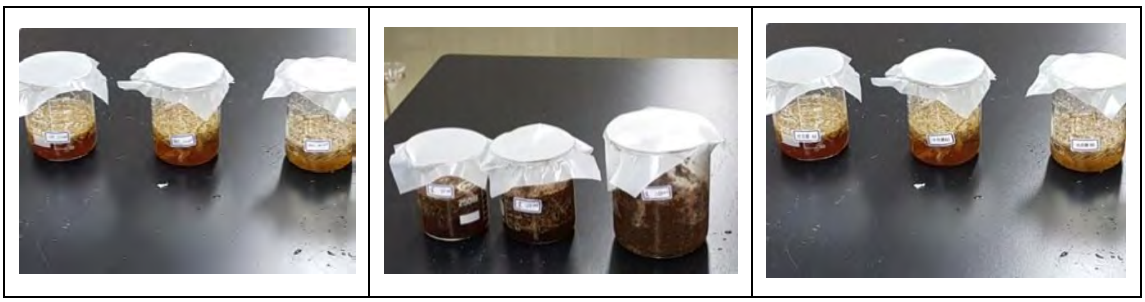
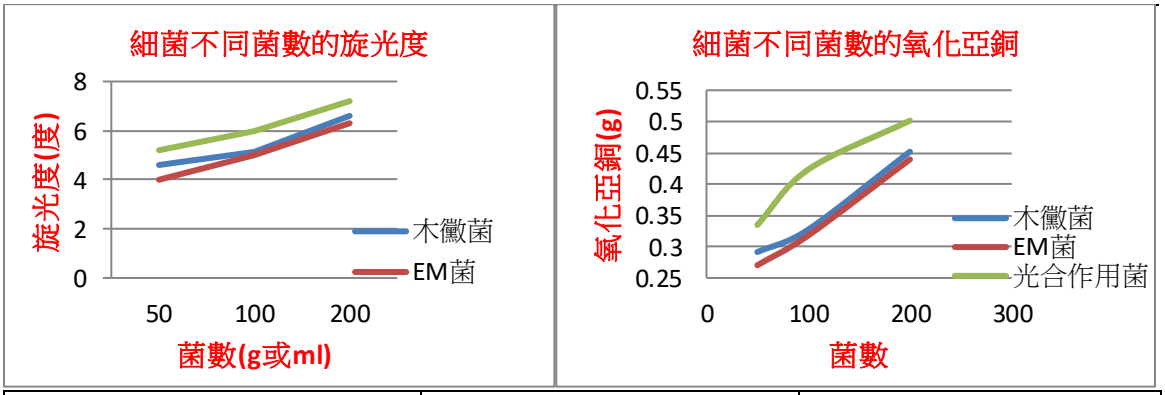


圖 **17**、細菌的不同天數水解

表 8-2、不同菌數水解後氧化亞銅量和旋光度

菌種	天數	菌數(g 或 mL)	Cu_2O 重(克)	旋光度
木黴菌	60	50	0.2914	+4.6°
	60	100	0.3273	+5.1°
	60	200	0.4519	+6.6°
EM 菌	60	50	0.2704	+4.0°
	60	100	0.3179	+5.0°
	60	200	0.4395	+6.3°
光合作用菌	60	50	0.3347	+5.2°
	60	100	0.4233	+6.0°
	60	200	0.5014	+7.2°



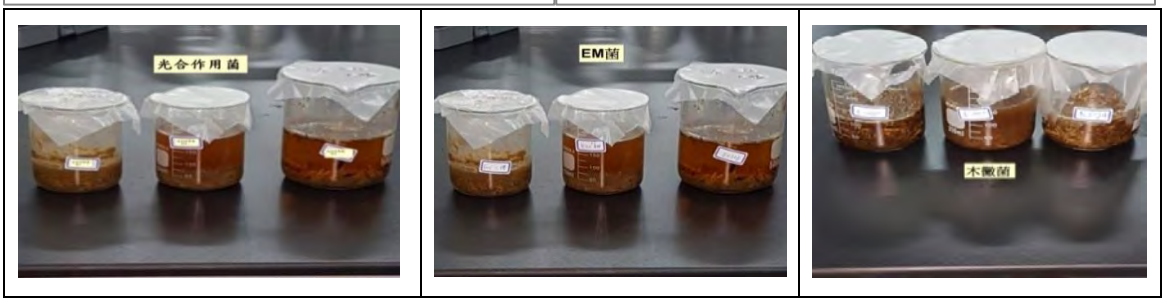
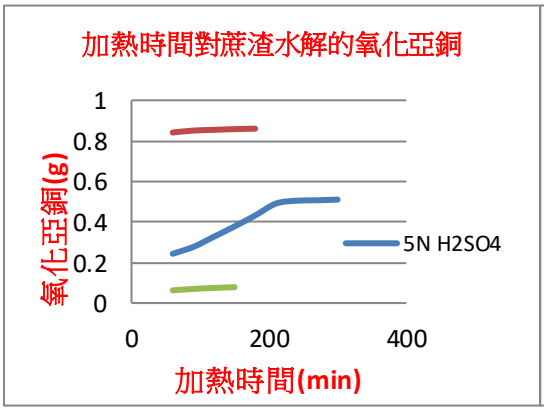


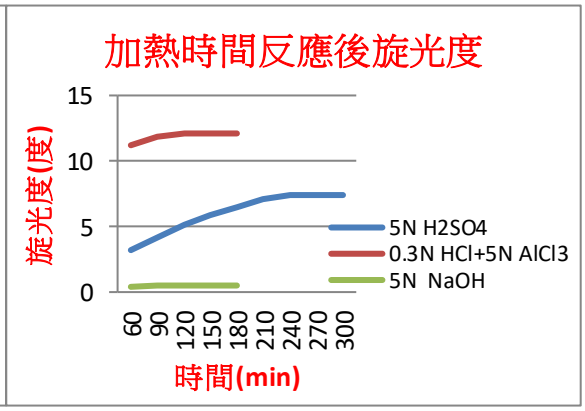
圖 **18**、細菌的不同菌數水解

(七)實驗七：最佳反應物加熱時間探討

表 9、加熱時間對水解葡萄糖後氧化亞銅與旋光度

藥劑	加熱時間(min)	Cu_2O 重(克)	旋光度
5N 硫酸	60	0.2431	+3.2°
	90	0.2767	+4.1°
	120	0.3271	+5.1°
	150	0.3779	+5.9°
	180	0.4319	+6.5°
	210	0.4903	+7.1°
	240	0.5047	+7.4°
	270	0.5069	+7.4°
	300	0.5103	+7.4°
0.3N 鹽酸+5N 三氯化鋁	60	0.8412	+11.2°
	90	0.8507	+11.9°
	120	0.8543	+12.1°
	150	0.8579	+12.1°
	180	0.8601	+12.1°
5N 氫氧化鈉	60	0.0627	+0.4°
	90	0.0697	+0.5°
	120	0.0745	+0.5°
	150	0.0783	+0.5°
	180	0.0789	+0.5°





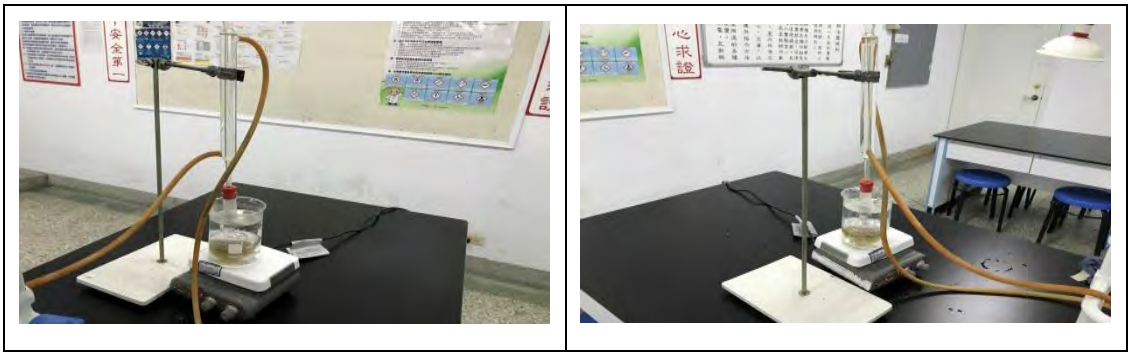


圖 19、加熱時間的水解

(七)<u>斐林試液</u>

斐林試液 A、斐林試液 B 兩試液等體積混合即可得到深藍色的斐林試劑。斐林試劑中由酒石酸鉀鈉解離出來的酒石酸根離子（$C_4H_4O_6^{2-}$）與銅離子（$Cu^{2+}_{(aq)}$）螯合形成雙齒配合物二酒石酸根合銅(II)離子（如下圖所示），從而防止溶液中的硫酸銅和氫氧化鈉反應形成氫氧化銅（$CuSO_4+NaOH \rightarrow Cu(OH)_2$）。

斐林試劑可以用於鑑定含有羰基的化合物是否為醛或酮。試劑中的二價雙酒石酸鹽負離子錯合物為氧化劑和此檢測中的活化劑。將待測試的物質加入斐林試劑中混合並共熱，若化合物中具有醛基則會被氧化呈陽性反應，此外除具有 α-羥基酮官能基的化合物，其他酮類皆不與斐林試劑反應。 該反應原理是二價雙酒石酸鹽負離子會去氧化羧酸陽離子，在這個過程中螯合物的中央二價銅離子被還原成為一價銅離子(即發生了氧化還原反應)，形成磚紅色的氧化亞銅沉澱，此即斐林試劑的陽性反應結果（同為本尼迪克試劑的陽性反應）。反之，沒有發生沉澱則為陰性結果；若待測試物質為芳香醛類則不會與斐林試劑反應，而應使用吐倫試劑進行檢測。

斐林試劑因可與醛糖反應（具有醛基）而常用於檢驗是否存在單醣。另外特別的是酮糖也可以用此法檢測，這是由於酮糖類的單糖（如果糖）會與斐林試劑中的鹼作用，使之轉化為醛糖，進而可以被斐林試劑氧化從而呈陽性反應。因此斐林試劑常用於單醣的檢測。

本實驗加入斐琳試液，也只是為了的到「氧化亞銅」這個沉澱物，目的是為了瞭解葡萄糖的產量。以下為反應式：

$$CH_2OH(CHOH)_4CHO + 2Cu(OH)_2 \rightarrow CH_2OH(CHOH)_4COOH + Cu_2O\downarrow + 2H_2O$$

圖 20、斐林試液和反應後的實驗

(九)<u>測量旋光度</u>

分子結構具有對掌中心的化合物其各立體異構物皆具有特定的旋光性，此現象稱為光學活性(optical activity)，因此可藉由旋光性的測定，作為立體異構物結構鑑定的佐證資料。旋光度之測定:當平面偏振光通過光學活性化合物容液時，會造成偏振平面角度的旋轉，其選轉角度稱為旋光度，但因偏振光所通過的溶液路徑常濃度和溶劑種類，溫度皆會影響旋光度，所以通常會將所測得之旋光度除以濃度、路徑長，而得比旋光度。如下:

$$\text{比旋光度}[\alpha]_{\mathrm{D}}^{20℃} = \frac{\text{旋光值(deg)}}{\text{光徑長(cm)}\times\text{濃度}\left(\frac{g}{ml}\right)}$$

因葡萄糖為光學活性物質($[\alpha]_D^{20℃} = +52.5°$)，所以使用旋光儀對反應後的溶液進行了測量，所測出的值為正值，表示其中可能含有葡萄糖，因為不敢保證溶液中是否出現其餘光學物質，以至於改變旋光度。綜合上述所有原因，可知道旋光儀測出的數據只是個依據，務必更進一步的試驗，才能確保其中是否含有葡萄糖。

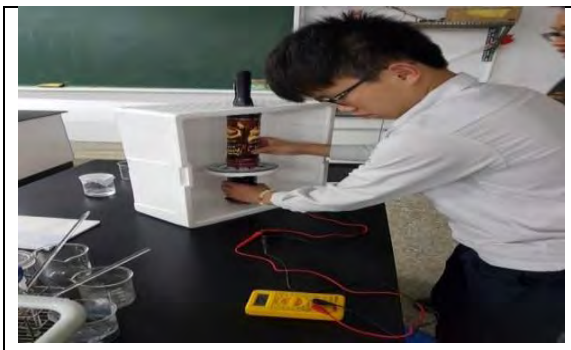
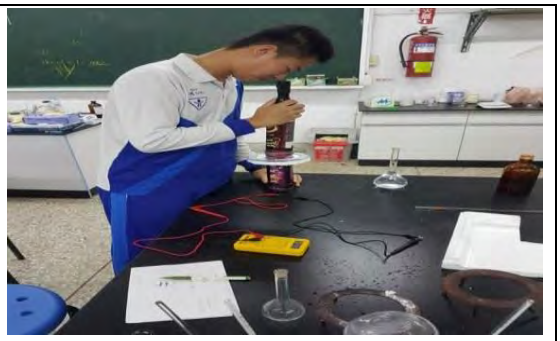



圖 21、使用旋光儀測量實驗產物的旋光度

伍、研究結果

(一)旋光儀的製作結果

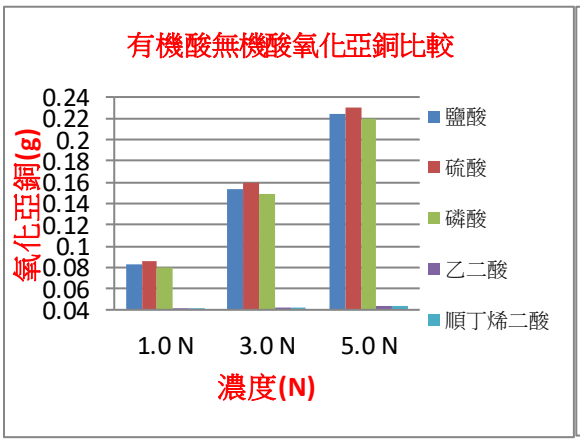
本研究需使用到的特殊器材—旋光儀，由於經費過高，所以決定自己打造，花了將近兩週的時間，旋光儀完成了，後來我們開始測試說：飽和葡萄糖水溶液在幾度時，旋光度達最佳值，研究顯示：葡萄糖的旋光度 46.2°

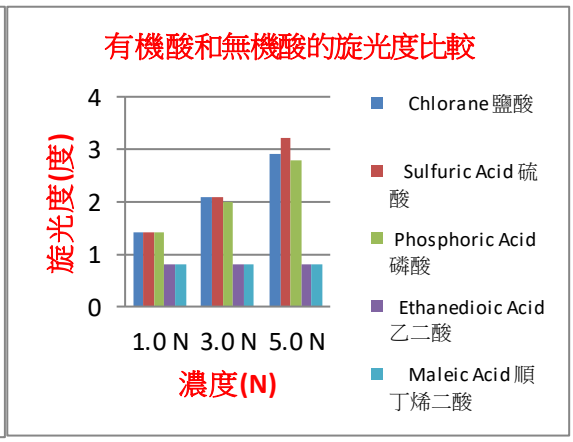
(二)無機酸的水解結果

實驗結果發現蔗渣纖維素被無機酸催化水解後，溶液加入定量斐林試液產生 $Cu_2O_{(s)}$沉澱量隨著無機酸的濃度增加而增加，如圖 1-1。其中強酸(鹽酸及硫酸)催化蔗渣纖維素水解效果較弱酸(磷酸)顯著。測定蔗渣纖維素水解反應後溶液之旋光度也隨著無機酸的濃度增加而增加，如圖 1-2。比較實驗結果，可以發現蔗渣纖維素在無機酸催化水解反應後，加入定量斐林試液產生 $Cu_2O(s)$沉澱量與測得水解反應後溶液之旋光度成正比關係。

(三)有機酸的水解結果

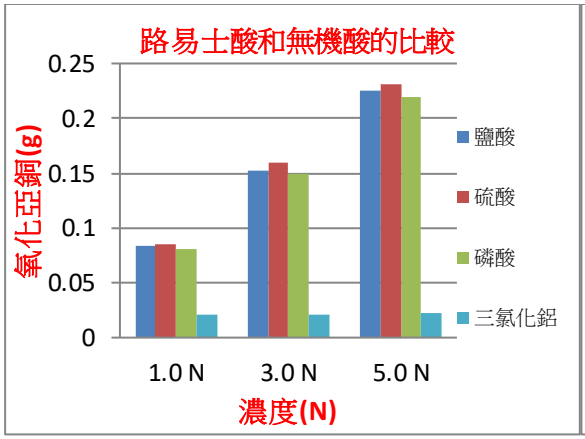
以濃度為 1.0 N、3.0 N、5.0 N 的乙二酸及順丁烯二酸作為蔗渣纖維素的酸性催化劑實驗結果，如表 2。實驗結果與實驗一中以無機酸催化效果相似。但是在相同濃度時，有機酸之催化效果較無機酸之催化效果差。

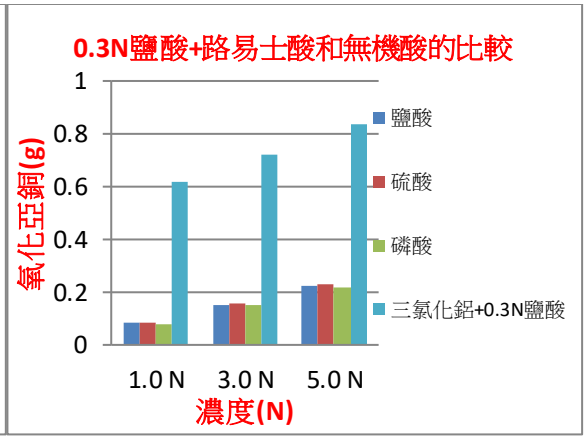




(四)路易士酸的水解結果

由實驗結果得知，路易士酸中可游離之[H^+]很低，因此蔗渣纖維素水解後，加入斐林試液產生 $Cu_2O_{(s)}$沉澱量較以無機酸及有機酸為催化劑時少很多，如圖3-3。若在不同濃度路易士酸中加入 0.3 N HCl 時，其催化木屑纖維素效果與只加入路易士 酸有明顯不同。這是因為路易士酸中加入質子酸時，使可游離之[H^+]增強。





(五)無機鹼的水解結果

利用不同濃度的無機鹼對蔗渣進行水解，在實驗之前，提出假說：「鹼可破壞纖維素分子間的鍵結的效果應會大於酸對纖維素水解效果。」

(六)細菌的水解結果

近年來，工商社會的快速發展與都市化，使人民生活品質跟著提升，人類過度依賴化石燃料的結果，造成石油量逐年下滑，甚至已到逐漸枯竭的地步。因此世界各國開始重視替代能源的開發及相關的因應對策，而替代的永續性再生能源包含太陽能、風能、水力發電、生質能等，其中生質能源為透過生物原料轉換而成的能源。其中的纖維素在地球上屬可再生性且含量極豐富，被應用的層面相當廣。由工業及農業所產生的纖維廢棄物富含大量的纖維素，像是稻米收割後剩下的稻草、稻稈及伐木造紙業產生的廢棄物等。透過纖維素生產能源是目前常被討論的一項技術，纖維素分解後會產生小分子的可溶性醣類，這些小分子醣類再經過發酵反應後產生的發酵產物如氫氣、乙醇及一些揮發性脂肪酸，這些發酵產物都可作為石油的替代能源。本實驗使用的細菌有：木黴菌、EM 菌、光合作用菌，而養菌時間為：14 天、28 天、42 天，發現其產量足以和無機酸相匹敵。

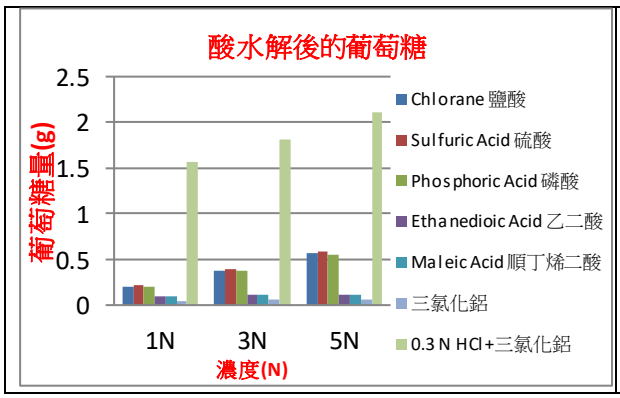
(七) 蔗渣剩餘的量&氧化亞銅的量&葡萄糖的推估量

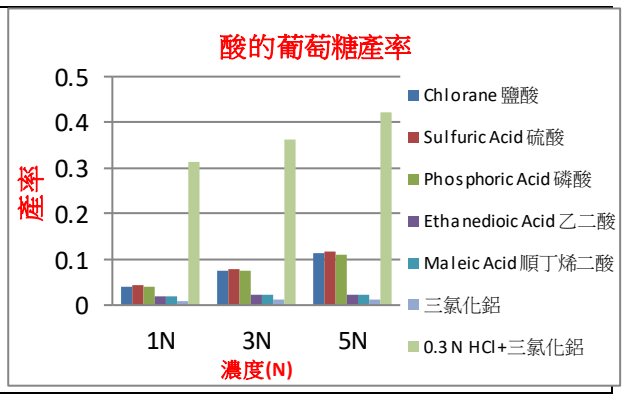
我們知道 2 莫耳的葡萄糖可產生 1 莫耳的氧化亞銅，所以我們利用這個方式來推出葡萄糖的產量大約是多少，進一步換算成實驗的產率。

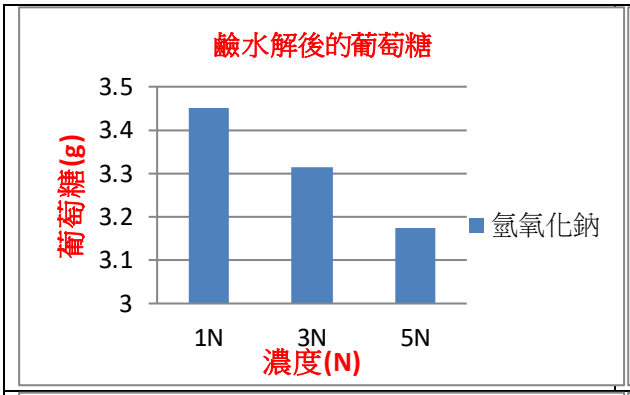
試劑		蔗渣剩餘量(g)	氧化亞銅(g)	葡萄糖推估量(g)	產率(%)
Chlorane	1N	3.7579	0.0832	0.2095	4.19
鹽酸	3N	3.5847	0.1529	0.3827	7.65
	5N	3.4017	0.2247	0.5657	11.31
Sulfuric	1N	3.7532	0.0851	0.2142	4.28
Acid	3N	3.5654	0.1597	0.4020	8.04
硫酸	5N	3.3866	0.2307	0.5808	11.62
Phosphoric	1N	3.7655	0.0802	0.2019	4.04
Acid	3N	3.5925	0.1489	0.3749	7.50
磷酸	5N	3.4143	0.2197	0.5531	11.06
Ethanedioic	1N	3.8644	0.0409	0.1030	2.06
Acid	3N	3.8599	0.0427	0.1075	2.15
乙二酸	5N	3.8579	0.0435	0.1095	2.19
Maleic Acid	1N	3.8639	0.0411	0.1035	2.07
順丁烯二酸	3N	3.8597	0.0428	0.1077	2.15
	5N	3.8564	0.0441	0.1110	2.22
三氯化鋁	1N	3.9153	0.0207	0.0521	1.04
	3N	3.9138	0.0213	0.0536	1.07
	5N	3.9123	0.0219	0.0551	1.10
0.3 N 鹽酸+	1N	2.4083	0.6193	1.5591	31.18
三氯化鋁	3N	2.1520	0.7211	1.8154	36.31

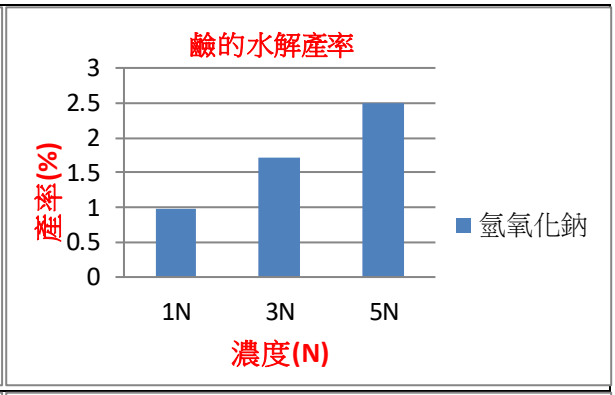
	5N	1.8593	0.8374	2.1081	42.16
氫氧化鈉	1N	2.4191	0.0192	0.0483	0.97
	3N	2.2816	0.0341	0.0858	1.72
	5N	2.1425	0.0496	0.1249	2.50
5N 硫酸	60min	3.3554	0.2431	0.6120	12.24
	90 min	3.2708	0.2767	0.6966	13.93
	120 min	3.1439	0.3271	0.8235	16.47
	150 min	3.0160	0.3779	0.9514	19.03
	180 min	2.8801	0.4319	1.0873	21.75
	210 min	2.7331	0.4903	1.2343	24.69
	240 min	2.6968	0.5047	1.2706	25.41
	270 min	2.6913	0.5069	1.2761	25.52
	300 min	2.6827	0.5103	1.2847	25.69
0.3N 鹽酸	60 min	1.8497	0.8412	2.1177	42.35
+5N 三氯化	90 min	1.8258	0.8507	2.1416	42.83
鋁	120 min	1.8167	0.8543	2.1507	43.01
	150 min	1.8077	0.8579	2.1597	43.19
	180 min	1.8021	0.8601	2.1653	43.31
5N 氫氧化	60 min	3.8096	0.0627	0.1578	3.16
鈉	90 min	3.7919	0.0697	0.1755	3.51
	120 min	3.7798	0.0745	0.1876	3.75
	150 min	3.7703	0.0783	0.1971	3.94
	180 min	3.7688	0.0789	0.1986	3.97
木黴菌	14 天	3.7579	0.0832	0.2095	4.19
(50g)	28 天	3.5714	0.1573	0.3960	7.92

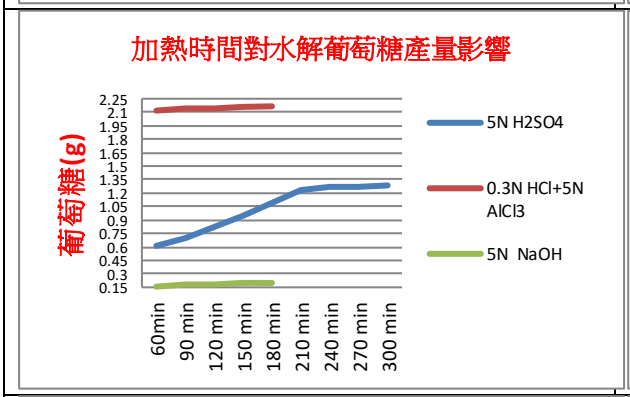
	42 天	3.3760	0.2349	0.5914	11.83
EM 菌	14 天	3.8171	0.0597	0.1503	3.01
(50ml)	28 天	3.6202	0.1379	0.3472	6.94
	42 天	3.4400	0.2095	0.5274	10.55
光合作用菌	14 天	3.7114	0.1017	0.2560	5.12
(50ml)	28 天	3.4893	0.1899	0.4781	9.56
	42 天	3.3136	0.2597	0.6538	13.08
木黴菌(60	50g	3.2338	0.2914	0.7336	14.67
天)	100g	3.1434	0.3273	0.8240	16.48
	200g	2.8297	0.4519	1.1377	22.75
EM 菌(60	50 mL	3.2867	0.2704	0.6807	13.61
天)	100 mL	3.1671	0.3179	0.8003	16.01
	200 mL	2.8610	0.4395	1.1064	22.13
光合作用菌	50 mL	3.1248	0.3347	0.8426	16.85
(60 天)	100 mL	2.9017	0.4233	1.0657	21.31
	200 mL	2.7051	0.5014	1.2623	25.25

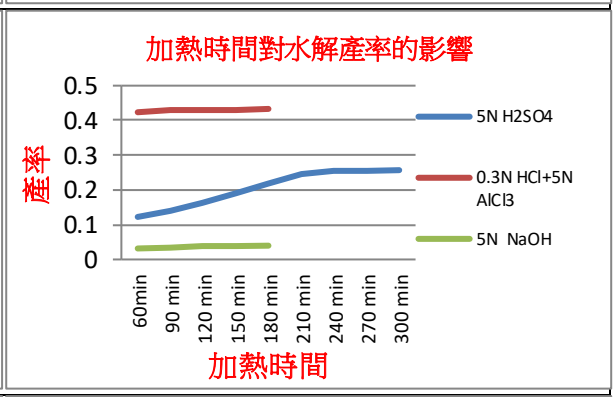


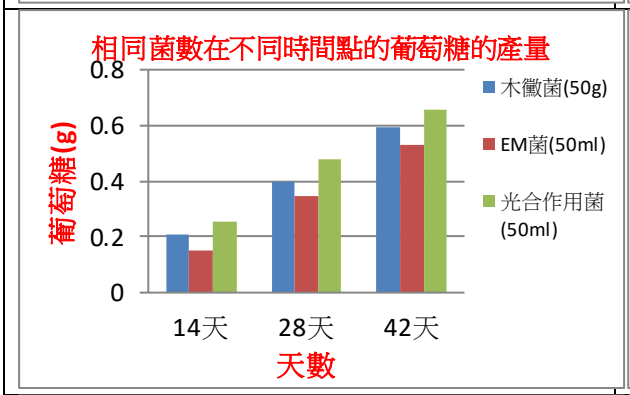


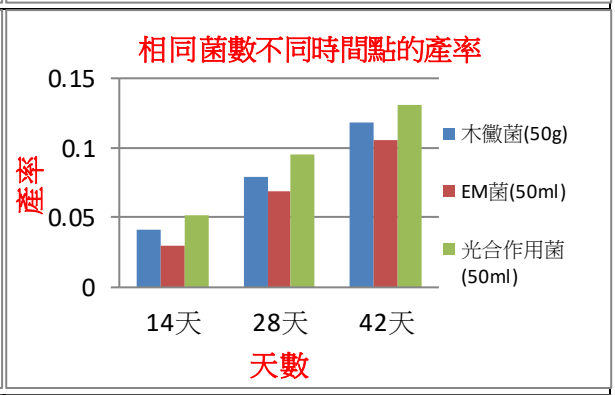

鹼水解後的葡萄糖
葡萄糖(g)
3.5
3.4
3.3
3.2
3.1
3
1N
3N
5N
濃度(N)
氫氧化鈉

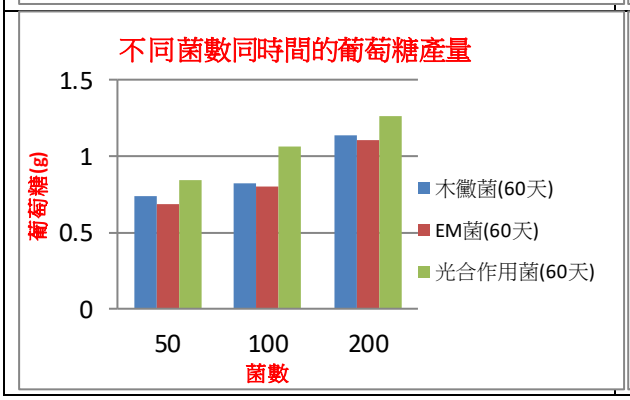

鹼的水解產率
產率(%)
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
1N
3N
5N
濃度(N)
氫氧化鈉

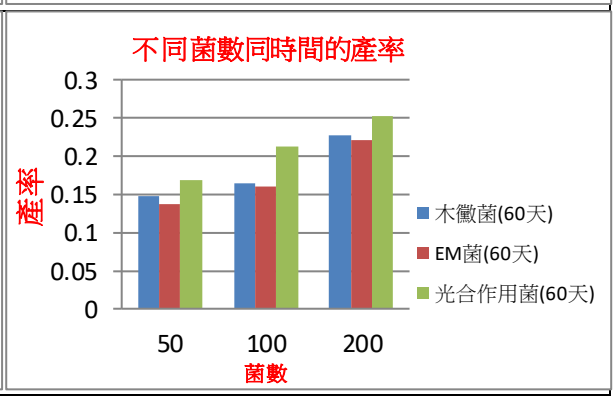

加熱時間對水解葡萄糖產量影響
葡萄糖(g)
2.25
2.1
1.95
1.8
1.65
1.5
1.35
1.2
1.05
0.9
0.75
0.6
0.45
0.3
0.15
60min
90 min
120 min
150 min
180 min
210 min
240 min
270 min
300 min
5N H2SO4
0.3N HCl+5N AlCl3
5N NaOH


加熱時間對水解產率的影響
產率
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
60min
90 min
120 min
150 min
180 min
210 min
240 min
270 min
300 min
加熱時間
5N H2SO4
0.3N HCl+5N AlCl3
5N NaOH


相同菌數在不同時間點的葡萄糖的產量
葡萄糖(g)
0.8
0.6
0.4
0.2
0
14天
28天
42天
天數
木黴菌(50g)
EM菌(50ml)
光合作用菌(50ml)


相同菌數不同時間點的產率
產率
0.15
0.1
0.05
0
14天
28天
42天
天數
木黴菌(50g)
EM菌(50ml)
光合作用菌(50ml)


不同菌數同時間的葡萄糖產量
葡萄糖(g)
1.5
1
0.5
0
50
100
200
菌數
木黴菌(60天)
EM菌(60天)
光合作用菌(60天)


不同菌數同時間的產率
產率
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
50
100
200
菌數
木黴菌(60天)
EM菌(60天)
光合作用菌(60天)

陸、討論

從所有的研究結果中我們發現：單憑路易士酸的水解效果並不佳，但是加入了質子酸(0.3N 鹽酸)後，反應出的氧化亞銅卻遠遠超過無機酸的結果，可是相對地耗的藥品較多。原本認為鹼水解的效果會比酸來的好，但是卻不如預期，抱持著好奇之心的我們，事後查閱了有關的文獻，也訪問了許多的化學老師，得知會不如預期的原因是：他產生的副產物較多，所以氧化亞銅的量並不理想，畢竟斐林試液只和葡萄糖產生氧化還原反應。

另外，細菌的實驗中，我們知道：細菌的產量不輸給酸的產量，但是唯一的缺點只有「時間較久」而已，相對的細菌水解較為環保，但因為細菌的種類許多，所以必須找出能分解纖維素的菌種，所以實驗中我們利用了農業中常用的：「木黴菌、EM 菌」和養殖漁業中常用的「光合作用菌」來進行實驗。實驗中發現：光合作用菌 > 木黴菌 > EM 菌，經文獻查閱後的知，細菌經光合作用後，會產生葡萄糖、五碳糖、ATP 和脂肪酸……等，但 EM 菌中的菌其實是 80 多種菌的組合，有些菌會使葡萄糖生成酒精之類的，如：酵母菌，所以相對其氧化亞銅的量較少。

除此之外，我們從加熱時間的研究中發現當期到一個時間點時，會呈現平衡狀態，到最後它的數據幾乎呈現水平狀態，達成平衡。所以由此可知，反應有其的極限，當達到此極限，它將停止水解反應。經統整後產率大小：路易士酸 + 0.3N 鹽酸 > 無機酸 ≒ 細菌 > 有機酸 > 路易士酸 > 無機鹼。

柒、未來展望

從這些實驗中，的到最多產量的其實是 0.3N 的鹽酸+路易士酸(特別是三氯化鋁)，但相對的它的耗能也較大，一次消耗的藥品是別組的兩倍，另外，酸有實驗中就細菌的水解方法最為環保，雖然產量只有 0.3N 鹽酸加路易士酸的 1/4 左右，但是卻較不耗能，因為細菌可以一直繁殖。希望能夠在國際科展之前找到一個最佳反應條件，即可使蔗渣中的纖維素在催化劑下，進一步水解產生葡萄糖，葡萄糖在酒精酵素催化下生成酒精。或者，利用一些特別的菌種，將葡萄糖發酵生成生質酒精。由於這次實驗只討論蔗渣的水解，所以未來將會探討更多的植物廢棄物(如：大麥、小麥、玉米……等)，了解哪一種類型的植物其經水解後的葡萄糖產率。

捌、參考資料及其他

1. 山羊瘤胃厭氧細菌之纖維水解酵素的特性分析—黃偉晟
   http://etds.lib.ncku.edu.tw/etdservice/view_metadata?etdun=U0026-050820111821300
2. 旋光儀-youtube
3. 廢棄木屑催化水解的探討
4. 臺大農業推廣通訊雙月刊 96 期
5. 47 屆中小學科展化學組--廢棄木屑催化水解的探討
6. 教育部化工群科課程中心專題製作示例評選-第十四組-生活廢棄物水解糖研究
7. 全國高職學生 104 年度專題暨創意競賽-微生物燃料電池-纖維素最佳水解狀況之探討
8. 47 屆中小學科展化學組--醣寶寶的「旋光」世界----自行組裝旋光度計來探討蔗糖水解的動力學及平衡學理論

【評語】050206

本作品強調就地取材，利用廢棄甘蔗渣進行催化水解反應成葡萄糖， 而表現出環保與綠能價值。

能夠自製簡易旋光儀測量葡萄糖產率，不受限於昂貴研究器材的取得不易，而依然能表現出具體成果，誠屬不易，值得鼓勵。

作品海報

摘　　要

本實驗以不同類型酸作為蔗渣纖維素水解的催化劑，以及在不同反應條件(如：試 液濃度、細菌分解)下，探討蔗渣纖維素催化水解的成效。本研究利用催化劑加速蔗渣 纖維素水解成葡萄糖後，一部分溶液加入定量的斐林試液，觀察 Cu2O(s)沉澱量變化， 另一部分利用自製的旋光儀測定醣類的旋光度。進一步，想要利用催化效果佳的催化 劑，改變操作時間及濃度，找出一個最佳的反應條件。同時利用最佳操作條件，改 變水解液與蔗渣原料之比值，使蔗渣纖維素轉化為再生性能源能有效被利用。

壹、　研究動機

每天走路到學校上課，常常經過糖廠，看著推積如山的蔗渣，就想到了這些用過 的甘蔗渣究竟要如何是好，燒了？埋了？那豈不是浪費嗎？燒了雖然可以發電，會造 成溫室氣體增多，導致全球暖化；埋了可以形成有機肥，不過發酵時間長，一樣會產 生溫室氣體，最後還是全球暖化。隨這地球人口的攀升，糧食的需求也隨之增加，所 以我們認為這些蔗渣應該要有更好的處理辦法，為了得知更好的處理辦法，我們詢問了化學老師與其討論，並且確認它的可行性。

貳、　研究目的

本研究蔗渣處理方式本研究目的分為下列幾點：
一、調配化學藥劑以及菌種的馴養。
二、參考文獻方法以及尋找不同的實驗流程。
三、自製旋光儀以便研究後的測量。
四、觀察和記錄來找出最佳且又省能的葡萄糖製備方法。

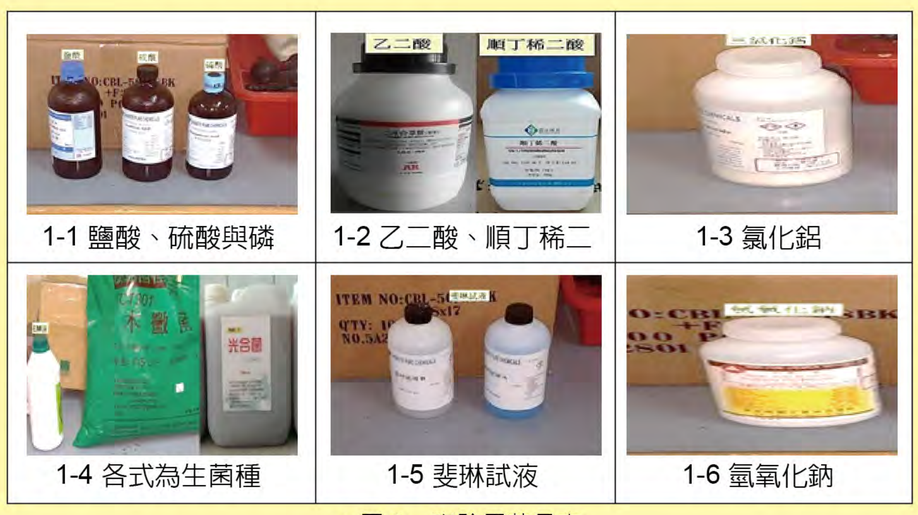
參、研究設備及器材

▼表1、觀察儀器和記錄設備

編號	物品	數量	用途
一	筆記本、筆	1 本 2 支	實驗日記，紀錄觀察結果
二	數位相機	2　台	拍攝實驗過程
三	筆記型電腦	1 部	撰寫與製作電子檔
四	電子秤	1 台	量取準確的重量
五	驗糖棒	1 隻	量取生成物中含糖的比例

▼表2、使用藥品

編號	物品	數量	用途
一	鹽酸	1 瓶	實驗用
二	硫酸	1 瓶	實驗用
三	磷酸	1 瓶	實驗用
四	草酸	1 瓶	實驗用
五	順丁烯二酸	1 瓶	實驗用
六	三氯化鋁	1 瓶	實驗用
七	光合作用菌	1 瓶	實驗用
八	EM菌	1 瓶	實驗用
九	木黴菌	1 瓶	實驗用
十	氫氧化鈉	1 瓶	實驗用
十一	斐林試液	2 瓶	實驗用



1-1 鹽酸、硫酸與磷　1-2 乙二酸、順丁稀二　1-3 氯化鋁
1-4 各式為生菌種　1-5 斐琳試液　1-6 氫氧化鈉

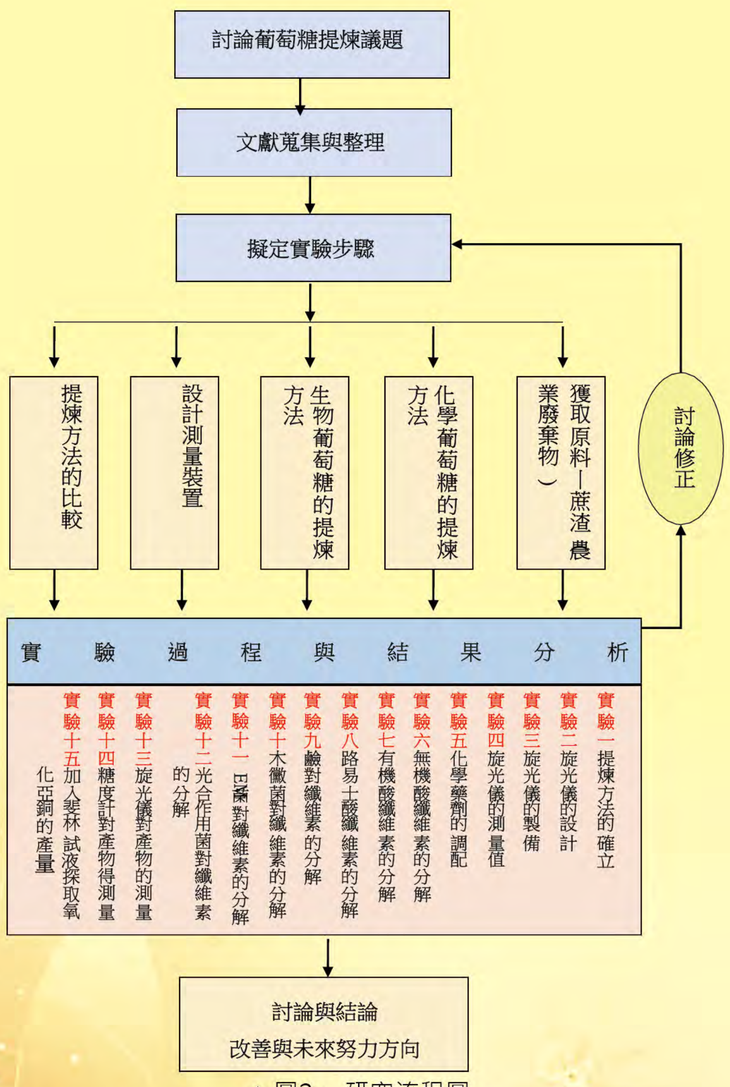
▲圖 1、實驗用藥品表

▼表 3、旋光儀材料

編號	物品	數量	用途
一	偏光片	2 片	自製旋光儀的材料
二	迴紋針	1 支	自製旋光儀的材料
三	美工刀	1 把	自製旋光儀的材料
四	魔鬼粘	1 條	自製旋光儀的材料
五	保麗龍盒	1 箱	自製旋光儀的材料
六	洋芋片空罐	2 罐	自製旋光儀的材料
七	圓形量角器	1 片	自製旋光儀的材料
八	太陽能板	1 組	自製旋光儀的材料
九	三用電表	1 台	自製旋光儀的材料
十	絕緣膠帶	1 個	自製旋光儀的材料
十一	熱熔膠槍	1 支	自製旋光儀的材料
十二	平底試管	1 數個	自製旋光儀的材料
十三	鱷魚夾電線	1 組	自製旋光儀的材料
十四	LED 手電筒	2 支	自製旋光儀的材料
十五	PVC塑膠軟管	1 捲	自製旋光儀的材料

肆、研究過程和方法

一、研究流程



▲ 圖2、 研究流程圖

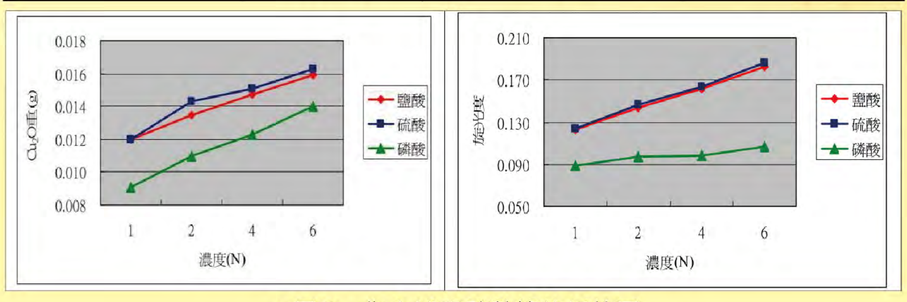
二、文獻蒐集

纖維素的分解主要是透過各式藥品的水解，例如酸水解、鹼水解、水解液等， 另外我們加入了「細菌」的水解，進一步探討不同物質間的水解效果，除了找尋最 佳的產量生成方法，還額外計算出低耗能的路徑，以達到淨化環境的效果。以下為 各種方法與技術的文獻蒐集：

(一)酸化水解處理法

酸化水解處理法是以不同濃度的酸物質來探討纖維素在哪種酸的環境下， 可達到最高產率，使用的酸有：Inorganic Acid (無機酸)、Organic Acid (有機酸)、 Lewis Acid (路易士酸)，如表 4~表 7

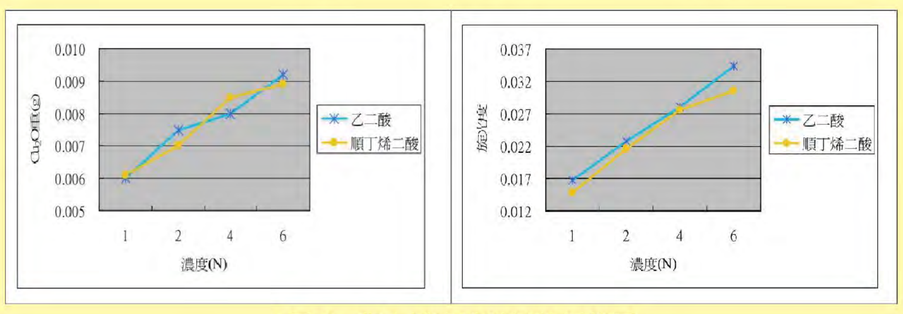
無機酸	濃度(N)	Cu_2O 重(克)	旋光度
Chlorane 鹽酸	1.0 N	0.0120	0.1228
	2.0 N	0.0135	0.1440
	4.0 N	0.0147	0.1613
	6.0 N	0.0159	0.1826
Sulfuric Acid 硫酸	1.0 N	0.0120	0.1240
	2.0 N	0.0143	0.1464
	4.0 N	0.0151	0.1633
	6.0 N	0.0163	0.1860
Phosphoric Acid 磷酸	1.0 N	0.0091	0.0890
	2.0 N	0.0110	0.0970
	4.0 N	0.0123	0.0985
	6.0 N	0.0140	0.1068



▲ 圖 3、為上述實驗數據的折線圖

▼表 5、 不同有機酸之濃度催化木屑纖維水解後，測 Cu2O(s)沉澱量及其旋光度

有機酸	濃度	$Cu_2O_{(s)}$重(克)	旋光度
Ethanedioic Acid 乙二酸	1.0 N	0.0060	0.0187
	2.0 N	0.0075	0.0247
	4.0 N	0.0080	0.0301
	6.0 N	0.0092	0.0364
Maleic Acid 順丁烯二酸	1.0 N	0.0061	0.0168
	2.0 N	0.0070	0.0235
	4.0 N	0.0085	0.0296
	6.0 N	0.0089	0.0326



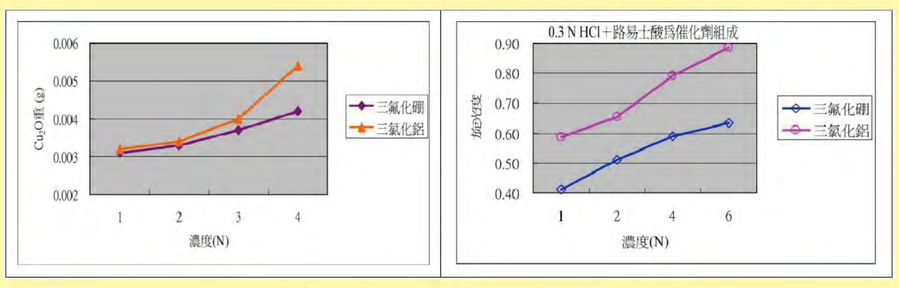
▲圖 4、為上述實驗數據的折線圖

▼表 6、不同路易士酸之濃度催化木屑纖維水解後，測 Cu2O(s)沉澱量及其旋光度

路以士酸	濃度(N)	$Cu_2O_{(s)}$重(克)	旋光度
三氟化硼	1.0 N	0.0031	0.002
	2.0 N	0.0033	0.005
	4.0 N	0.0037	0.007
	6.0 N	0.0042	0.009
三氯化鋁	1.0 N	0.0032	0.003
	2.0 N	0.0034	0.006
	4.0 N	0.0040	0.008
	6.0 N	0.0054	0.011

▼表 7、不同路易士酸之濃度催化木屑纖維水解後，測 Cu2O(s)沉澱量及其旋光度

催化劑組成		$Cu_2O_{(s)}$重(克)	旋光度
質子酸	路易士酸		
0.3 N HCl	1.0 N BF_3	0.4115	0.96
	2.0 N BF_3	0.5120	1.12
	4.0 N BF_3	0.5893	1.29
	6.0 N BF_3	0.6335	1.34
0.3 N HCl	1.0 N $AlCl_3$	0.5877	1.2
	2.0 N $AlCl_3$	0.6542	1.3
	4.0 N $AlCl_3$	0.7904	1.4
	6.0 N $AlCl_3$	0.8860	1.5

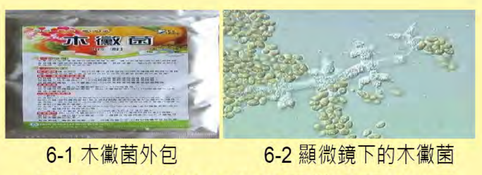


▲圖 5、為上述實驗數據的折線圖

(二)細菌水解處理法

(1)木黴菌

目前在草食性動物瘤胃當中所居住的厭氧微生物由於草食性動物食性的 關係，推測其可能具有多樣性纖維素分解酵素的活性，因此科學家認為這些 微生物在分解纖維素上是相當重要的來源之一。木黴(Trichoderma) 木黴 菌是一群環境中常見的黴菌，在土壤，空氣，植物的各部份甚至是真菌的子 實體上都可發現它們的存在。



6-1 木黴菌外包　6-2 顯微鏡下的木黴菌

▲圖 6、木黴菌的包裝和顯微鏡下的樣子

(2)光合細菌

光合細菌 (photosynthetic bacteria)，是具有原始光能合成體系的原核生物，在自然界的分布相當廣闊，舉凡水田、河川、海岸土等含水環境皆存在此菌，屬光合作用微生物涵蓋原核生物界中的四個門，包括紅色非硫磺細菌 (Rhodospirillaceae) 、紅色硫磺細菌 (Chromatiaceae) 、綠色硫磺細菌 (Chlorobiaceae) 、藍綠細菌、綠藻、紅藻等 (Madigan et al.， 2006)。光合細 菌在不同的自然環境下，具有多種異營功能（固氮、脫氮、固碳、硫化物氧 化等），與自然界中的氮、磷、硫循環有著密切的關係，在自然環境的自淨 過程中，擔任著重要的角色 。在水產養殖上，光合細菌常被用來除去水中之 硫化氫與氨氮，藉以改善養殖池的水質環境，降低魚蝦病害。在農業應用方面，光合菌常被用來做為土壤改良資材，。光合菌幫助作物功能如：生成植 物生長賀爾蒙、固氮作用、溶解土壤中不溶性磷化物、合成營養物質、去除 土壤中有毒物質、分解纖維素。

7-1 光合菌

▲ 7-2 光合菌顯微鏡外觀

圖 7、光合作用菌包裝和顯微鏡下的樣子

(3)EM菌

EM菌為綜合菌種以 5 種為主要菌種，大約有 80 多種菌種。

1.光合菌群：

如光合細菌和藍藻類。屬於獨立營養微生物，菌體本 身含 60%以上的蛋白質，且富含多種維生素；它以土壤接 受的光和熱為能源，將土壤中的硫氫和碳氫化合物中的氫 分離出來，變有害物質為無害物質，並以植物根部的分泌 物、土壤中的有機物、有害氣體（硫化氫等）及二氧化碳、氮等為基質，合成糖類、氨基酸類、維生素類、氮素化合物、抗病毒物質和生理活性物質等。

▲圖 8、EM 菌

2.乳酸菌群：

以嗜酸乳桿菌為主導。它靠攝取光合細菌、酵母菌產生的醣類形成乳酸。 乳酸具有很強的殺菌能力，能有效抑制有害微生物的活動和有機物的急劇腐敗 分解。乳酸菌能夠分解在常態下不易分解的木質素和纖維素，並使有機物發酵 分解。乳酸菌還能夠抑制連作障礙產生的致病菌增殖。致病菌活躍，有害線蟲 會急劇增加，植物就會衰弱，乳酸菌抑制了致病菌，有害線蟲便會逐漸消失。

3.酵母菌群：

它利用植物根部產生的分泌物、光合菌合成的氨基酸、醣類及其它有機物 質產生髮酵力，合成促進根系生長及細胞分裂的活性化物質。酵母菌在 EM 中 對於促進其它有效微生物（如乳酸菌、放線菌）增殖所需要的基質（食物）提 供重要的給養保障。此外，酵母菌產生的單細胞蛋白是動物不可缺少的養分。

4.革蘭氏陽性放線菌群：

它從光合細菌中獲取氨基酸、氮素等作為基質，產生出各種抗生物質、維 生素及酶，可以直接抑制病原菌。它提前獲取有害黴菌和細菌增殖所需要的基 質，從而抑制它們的增殖，並創造出其它有益微生物增殖的生存環境。

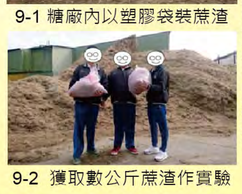
5.發酵系的絲狀菌群：

以發酵酒精時使用的曲霉菌屬為主體，它能和其他微生物共存，尤其對土 壤中酯的生成有良好效果。因為酒精生成力強，能防止蛆和其他害蟲的發生， 並可以消除惡臭。

三、擬定實驗步驟

本研究以糖廠生產過後的蔗渣為主題，以下為蔗渣獲取過程。

9-1 糖廠內以塑膠袋裝蔗渣



9-2 獲取數公斤蔗渣作實驗

◀圖 9、採取蔗渣的過程

實驗一：探討不同無機酸之濃度對蔗渣纖維素水解的影響

1、取約 5 克蔗渣與 60 mL 蒸餾水，置於 250 mL 燒杯中。
2、將上述燒杯加入 10 mL 的 1N 鹽酸水溶液，使木屑全部浸沒後，開始加熱。
3、當溫度達到 100 ℃時，計時 30 分鐘後冷卻並過濾。
4、以手電筒的光為光源，測量濾液的旋光度。
5、取全部濾液，滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性。
6、再加入 2.5 mL 斐林試劑 A 與 2.5 mL 斐林試劑 B，加熱至沸騰，沸騰後， 繼續加熱 10 分鐘。
7、使用濾紙過濾溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu2O重。
8、重覆步驟 1~7，改變鹽酸溶液的濃度。
9、重覆步驟 1~8，將步驟 2 鹽酸水溶液換成不同濃度硫酸及磷酸。

實驗二：探討不同有機酸之濃度對蔗渣纖維素水解的影響將實驗一中無機酸改成有機酸(乙二酸及順丁烯二酸)，重複上述步驟。

實驗三：探討不同路易士酸之濃度對蔗渣纖維素水解的影響
將實驗一中無機酸改成路易士酸(AlCl3)。將實驗一中不同濃度 路易士酸(AlCl3)加入質子酸(0.3 N HCl)作為催化劑組成。

實驗四：鹼性溶液濃度對蔗渣纖維素水解的影響
1、取約 5 克蔗渣與 60 mL 蒸餾水，置於 250 mL 燒杯中。
2、將上述燒杯加入 10 mL 的 1 N 氫氧化鈉水溶液，使蔗渣全部 浸沒後，開始加熱。
3、當溫度達到 100 ℃時，保持 30 分鐘後，冷卻並過濾。
4、以手電筒的光為光源，測量濾液的旋光度。
5、取全部濾液，再加入 2.5 mL 斐林試劑 A 與 2.5 mL 斐林試劑 B，開始加熱10 分鐘。
6、使用濾紙過濾溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu2O 重。

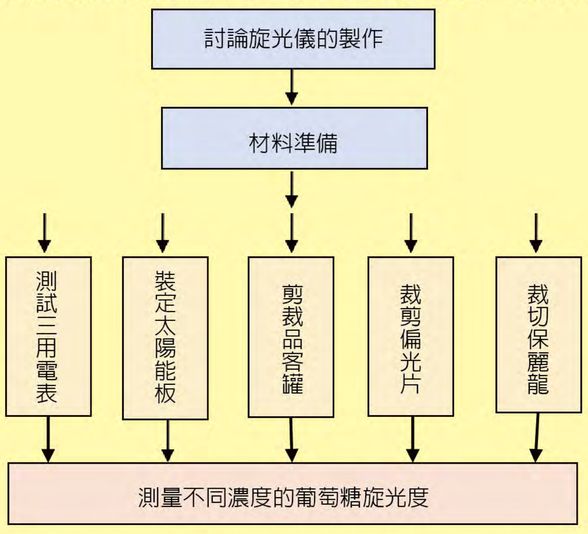
實驗五：EM 菌大數不同下對蔗渣纖維素水解的影響
1、取三個 500 mL 燒杯，分別加入 5 克蔗渣與 50 mL EM 菌。
2、分別加入 200 mL 蒸餾水稀釋成 EM 菌水溶液，使蔗渣全部浸沒 。
3、放置 14 天、28 天、42 天後，分別取出全部溶液後，開始加熱。
4、當溫度達到 100℃時，保持 30 分鐘後，冷卻並過濾。
5、以手電筒的光為光源，測旋光度。
6、取全部濾液，滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性，再加入 2.5 mL 斐林試 劑 A 與 2.5 ml 斐林試劑 B，加熱至沸騰。
7、使用濾紙過濾溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu2O 重。
8、重覆步驟 1~7，只是將 EM 菌替換成木黴菌與光合作用菌。

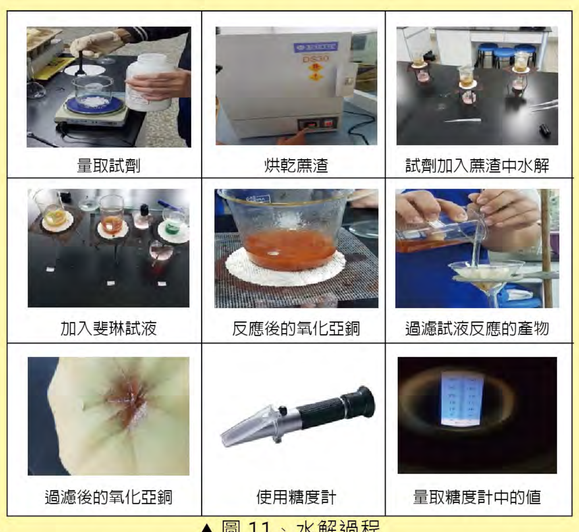
實驗六：EM 菌菌數不同下對蔗渣纖維素水解的影響
1、取三個 500 mL 燒杯，分別加入 5 克蔗渣與 50 mL、100 mL、200 mL 的 EM 菌。
2、分別加入 200 mL 蒸餾水稀釋成 EM 菌水溶液，使蔗渣全部浸沒。
3、放置 60 天後，分別取出全部溶液後，開始加熱。
4、當溫度達到 100℃時，保持 30 分鐘後，冷卻並過濾。
5、以手電筒的光為光源，測旋光度。
6、取全部濾液，滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性，再加入 2.5 mL 斐林 試劑 A 與 2.5 ml 斐林試劑 B，加熱至沸騰。
7、使用濾紙過濾溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu2O 重。
8、重覆步驟 1~8，只是將 EM 菌替換成木黴菌與光合作用菌。

實驗七：不同加熱時間蔗渣纖維素水解的影響
1、取約 5 克蔗渣與 60 mL 蒸餾水，置於裝有回流管的燒瓶中。
2、將 10 mL 的 5N 硫酸水溶液至於裝有回流管的燒瓶中，使蔗渣全部浸沒 後，開始加熱。
3、達沸騰時，沸騰 60 分鐘後 冷卻並過濾。
4、以手電筒的光為光源，測量旋光度。
5、滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性。
6、再加入 2.5 mL 斐林試劑 A 與 2.5 mL 斐林試劑 B，加熱至沸騰，沸騰後， 繼續加熱 10 分鐘。
7、使用濾紙過濾溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu2O 重。
8、重覆步驟 1~7，把加熱時間改為 90 分鐘、120 分鐘、150 分鐘、180 分鐘、210 分鐘、240 分鐘、270 分鐘、300分鐘。
9、重複步驟 1~8，改變實驗藥劑(5N 氫氧化鈉和 0.3N 鹽酸+5N 三氯化鋁)

(一) 實驗一：旋光儀的製作

本研究是為了有效分解纖維素，為了知道纖維素是否被分解，以及為了得到更多的數據，我們覽閱的部分文獻中，時常提及「旋光儀」這項儀器由於資費不足，所以我們決定打造一台旋光儀。





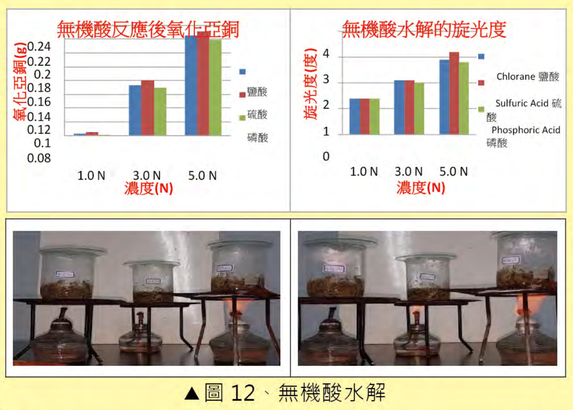
▲ 圖 11、水解過程

(二) 實驗二：無機酸的水解

這項實驗是利用無機酸進行水解纖維素的實驗，所使用的無機酸有：鹽酸 (Chlorane)、硫酸(Sulfuric Acid)、磷酸(Phosphoric Acid)，在所見的文獻中，都表示 無機酸水解能力是最強的，但那是相對於木屑纖維，所以本實驗是想證明說是否成立。數據如表 4：

▼表 4、不同無機酸之濃度催化蔗渣纖維水解後，測 Cu2O(s)沉澱量及其旋光度

無機酸	濃度(N)	Cu_2O 重(克)	旋光度
Chlorane 鹽酸	1.0 N	0.0832	+1.4°
	3.0 N	0.1529	+2.1°
	5.0 N	0.2247	+2.9°
Sulfuric Acid 硫酸	1.0 N	0.0851	+1.4°
	3.0 N	0.1597	+2.1°
	5.0 N	0.2307	+3.2°
Phosphoric Acid 磷酸	1.0 N	0.0802	+1.4°
	3.0 N	0.1489	+2.0°
	5.0 N	0.2197	+2.8°



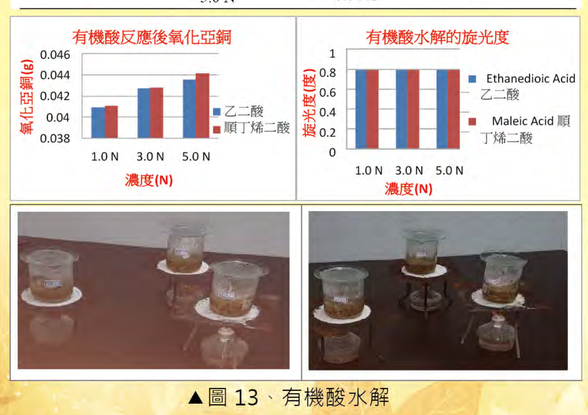
▲圖 12、無機酸水解

(三) 實驗三：有機酸的水解

本實驗是利用有機酸對蔗渣纖維素進行水解，所使用的有機酸有：乙二酸 (Ethanedioic Acid)和順丁烯二酸(Maleic Acid)最為反應物來參與反應。數據資料下 如表 5：

▼表 5、不同有機酸之濃度催化蔗渣纖維水解後，測 Cu2O(s)沉澱量及其旋光度

有機酸	濃度(N)	Cu_2O 重(克)	旋光度
Ethanedioic Acid 乙二酸	1.0 N	0.0409	+0.8°
	3.0 N	0.0427	+0.8°
	5.0 N	0.0435	+0.8°
Maleic Acid 順丁烯二酸	1.0 N	0.0411	+0.8°
	3.0 N	0.0428	+0.8°
	5.0 N	0.0441	+0.8°

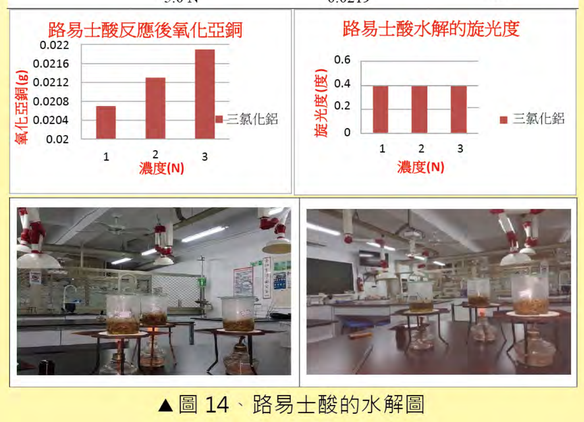


▲圖 13、有機酸水解

(四) 實驗四：路易士酸的水解

路易士酸通常含低能量 LUMO（最低未占軌域），會與路易士鹼的最高占有 軌域反應。路易士酸並不一定需要有質子（H+）的轉移，對路易士酸理論來說， 所有親電試劑都可以叫做路易士酸（包括 H+）。路易士酸的化學反應活性可以用 軟硬酸鹼理論來判斷。而本實驗是研究路易士酸度對纖維素的的水解能力，以及探討以 0.3N 得鹽酸作為質子酸時蔗渣水解能力的變化。數據如表 6-1 和 6-2：

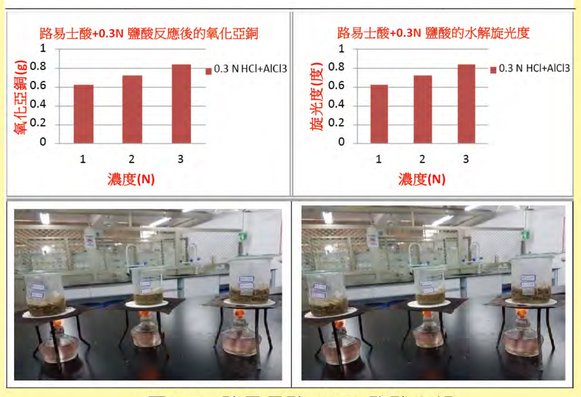
路以士酸	濃度(N)	Cu_2O 重(克)	旋光度
三氯化鋁	1.0 N	0.0207	+0.4°
	3.0 N	0.0213	+0.4°
	5.0 N	0.0219	+0.4°



▲圖 14、路易士酸的水解圖

▼表 6-2、不同路易士酸之濃度加入鹽酸催化蔗渣纖維水解後，測 Cu2O(s)沉澱量及其旋光度

催化劑組成		Cu_2O 重(克)	旋光度
質子酸	路易士酸		
0.3 N 鹽酸	1.0 N 三氯化鋁	0.6193	+9.5°
	3.0 N 三氯化鋁	0.7211	+10.3°
	5.0 N 三氯化鋁	0.8374	+11.0°

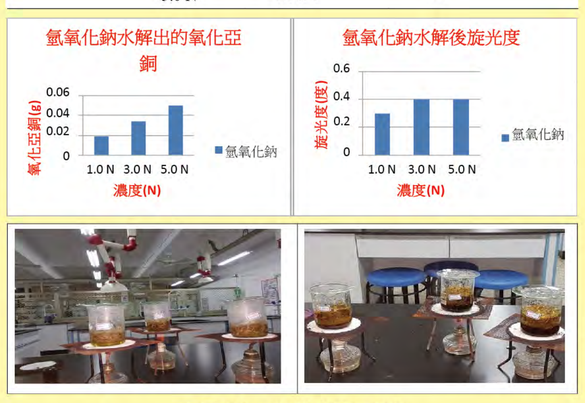


▲圖 15、路易是酸+0.3n鹽酸水解

(五) 實驗五：鹼的水解

此實驗室一個假設，因為國外有人利用鹼來水解屍體，所以此實驗是假設說利 用鹼來水解纖維素，並且討論其產量。數據如表7：

無機鹼	濃度(N)	Cu_2O 重(克)	旋光度
氫氧化鈉	1.0 N	0.0192	+0.3°
	3.0 N	0.0341	+0.4°
	5.0 N	0.0496	+0.4°



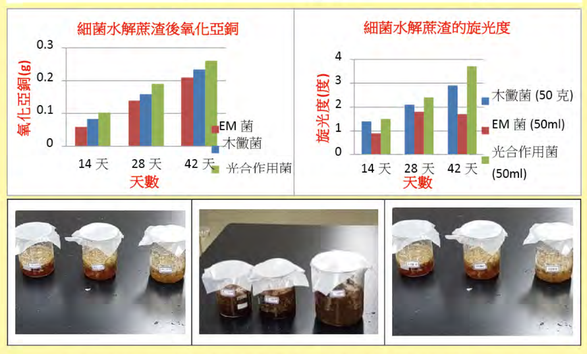
▲圖 16、無機鹼的水解

(六) 實驗六：菌種的水解

本實驗是探究不同細菌在不同時間下對纖維素的水解影響，取用的細菌有：木 黴菌、EM 菌和光和作用菌。另外，也對不同菌數相同時間內的水解進行了實驗。 數據如表 8-1 和 8-2：

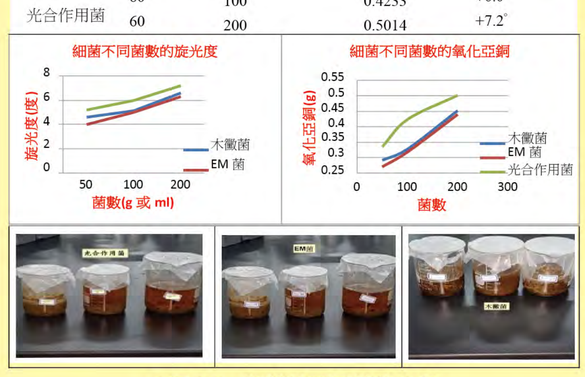
▼表 8-1、細菌不同天數水解後氧化亞銅量和旋光度

菌種	天數	Cu_2O 重(克)	旋光度
木黴菌 (50 克)	14 天	0.0832	+1.4°
	28 天	0.1573	+2.1°
	42 天	0.2349	+2.9°
EM 菌 (50ml)	14 天	0.0597	+0.9°
	28 天	0.1379	+1.8°
	42 天	0.2095	+1.7°
光合作用菌 (50ml)	14 天	0.1017	+1.5°
	28 天	0.1899	+2.4°
	42 天	0.2597	+3.7°



▼表 8-2、不同菌數水解後氧化亞銅量和旋光度

菌種	天數	菌數(g 或 mL)	Cu_2O 重(克)	旋光度
木黴菌	60	50	0.2914	+4.6°
	60	100	0.3273	+5.1°
	60	200	0.4519	+6.6°
EM 菌	60	50	0.2704	+4.0°
	60	100	0.3179	+5.0°
	60	200	0.4395	+6.3°
光合作用菌	60	50	0.3347	+5.2°
	60	100	0.4233	+6.0°
	60	200	0.5014	+7.2°

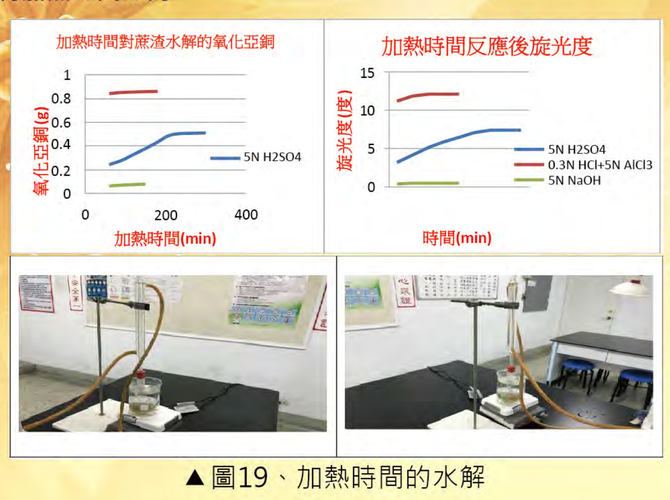


▲圖 18、細菌的不同菌數水解

▼表 9、加熱時間對水解葡萄糖後氧化亞銅與旋光度

藥劑	加熱時間 (min)	Cu_2O 重	旋光度
5N 硫酸	60	0.2431	+3.2°
	90	0.2767	+4.1°
	120	0.3271	+5.1°
	150	0.3779	+5.9°
	180	0.4319	+6.5°
	210	0.4903	+7.1°
	240	0.5047	+7.4°
	270	0.5069	+7.4°
	300	0.5103	+7.4°
0.3N 鹽酸 +5N	60	0.8412	+11.2°
	90	0.8507	+11.9°
	120	0.8543	+12.1°
	150	0.8579	+12.1°
	180	0.8601	+12.1°
5N 氫氧化鈉	60	0.0627	+0.4°
	90	0.0697	+0.5°
	120	0.0745	+0.5°
	150	0.0783	+0.5°
	180	0.0789	+0.5°

(七) 實驗七：最佳反應物加熱時間探討



▲圖19、加熱時間的水解

(七)斐林試液

斐林試液A、斐林試液B兩試液等體積混合即可得到深藍色的斐林試劑。斐林試劑中由酒石酸鉀鈉解離出來的酒石酸根離子（C4H4O62-）與銅離子（Cu2+(aq)）螯合形成雙齒配合物二酒石酸根合銅(II)離子（如下圖所示），從而防止溶液中的硫酸銅和氫氧化鈉反應形成氫氧化銅（CuSO4+NaOH→Cu(OH)2）。

斐林試劑可以用於鑑定含有羰基的化合物是否為醛或酮。試劑中的二價雙酒石酸鹽負離子錯合物為氧化劑和此檢測中的活化劑。將待測試的物質加入斐林試劑中混合並共熱，若化合物中具有醛基則會被氧化呈陽性反應，此外除具有α-羥基酮官能基的化合物，其他酮類皆不與斐林試劑反應。 該反應原理是二價雙酒石酸鹽負離子會去氧化羧酸陽離子，在這個過程中螯合物的中央二價銅離子被還原成為一價銅離子（即發生了氧化還原反應），形成磚紅色的氧化亞銅沉澱，此即斐林試劑的陽性反應結果（同為本尼迪克試劑的陽性反應）。反之，沒有發生沉澱則為陰性結果；若待測試物質為芳香醛類則不會與斐林試劑反應，而應使用吐倫試劑進行檢測。

斐林試劑因可與醛糖反應（具有醛基）而常用於檢驗是否存在單醣。另外特別的是酮糖也可以用此法檢測，這是由於酮糖類的單糖（如果糖）會與斐林試劑中的鹼作用，使之轉化為醛糖，進而可以被斐林試劑氧化從而呈陽性反應。因此斐林試劑常用於單醣的檢測。

本實驗加入斐琳試液，也只是為了的到「氧化亞銅」這個沉澱物，目的是為了瞭解葡萄糖的產量。以下為反應式：

▲圖 20、斐林試液和反應後的實驗

(九)測量旋光度

分子結構具有對掌中心的化合物其各立體異構物皆具有特定的旋光性，此現象 稱為光學活性(optical activity)，因此可藉由旋光性的測定，作為立體異構物結構鑑定的佐證資料。旋光度之測定:當平面偏振光通過光學活性化合物容液時，會造成偏振平面角度的旋轉，其選轉角度稱為旋光度，但因偏振光所通過的溶液路徑常濃 度和溶劑種類，溫度皆會影響旋光度，所以通常會將所測得之旋光度除以濃度、路徑長，而得比旋光度。如下:

$$\text{比旋光度}\ [\alpha]_D^{20℃} = \frac{\text{旋光值 (deg)}}{\text{光徑長 (cm)} \times \text{濃度} \left(\frac{g}{ml}\right)}$$

因葡萄糖為光學活性物質($[\alpha]_D^{20℃} = +52.5°$)，所以使用旋光儀對反應後的溶液進行了測量，所測出的值為正值，表示其中可能含有葡萄糖，因為不敢保證溶液 中是否出現其餘光學物質，以至於改變旋光度。綜合上述所有原因，可知道旋光儀 測出的數據只是個依據，務必更進一步的試驗，才能確保其中是否含有葡萄糖。

▲圖 21、使用旋光儀測量實驗產物的旋光度

伍、研究結果

(一) 旋光儀的製作結果

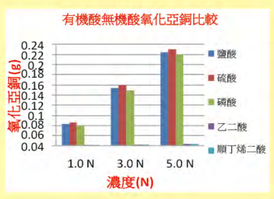
本研究需使用到的特殊器材—旋光儀，由於經費過高，所以決定自己打造，花 了將近兩週的時間，旋光儀完成了，後來我們開始測試說：飽和葡萄糖水溶液在幾 度時，旋光度達最佳值，研究顯示：葡萄糖的旋光度 46.2˚

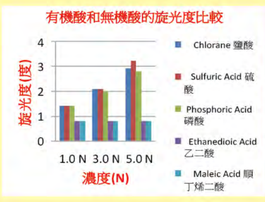
(二) 無機酸的水解結果

實驗結果發現蔗渣纖維素被無機酸催化水解後，溶液加入定量斐林試液產生 Cu2O(s)沉澱量隨著無機酸的濃度增加而增加，如圖 1-1。其中強酸(鹽酸及硫酸)催 化蔗渣纖維素水解效果較弱酸(磷酸)顯著。測定蔗渣纖維素水解反應後溶液之旋 光度也隨著無機酸的濃度增加而增加，如圖 1-2。比較實驗結果，可以發現蔗渣纖 維素在無機酸催化水解反應後，加入定量斐林試液產生 Cu2O(s)沉澱量與測得水解 反應後溶液之旋光度成正比關係。

(三) 有機酸的水解結果

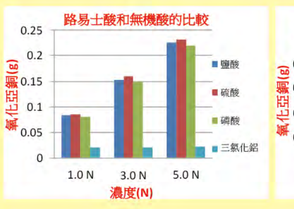
以濃度為 1.0 N、3.0 N、5.0 N 的乙二酸及順丁烯二酸作為蔗渣纖維素的酸性 催化劑實驗結果，如表 2。實驗結果與實驗一中以無機酸催化效果相似。但是在相同濃度時，有機酸之催化效果較無機酸之催化效果差。

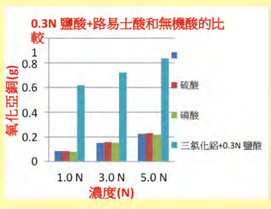




(四) 路易士酸的水解結果

由實驗結果得知，路易士酸中可游離之[H+]很低，因此蔗渣纖維素水解後， 加入斐林試液產生 Cu2O(s)沉澱量較以無機酸及有機酸為催化劑時少很多，如圖 3-3。若在不同濃度路易士酸中加入 0.3 N HCl 時，其催化木屑纖維素效果與只加入 路易士 酸有明顯不同。這是因為路易士酸中加入質子酸時，使可游離之[H+]增強。





(五) 無機鹼的水解結果

利用不同濃度的無機鹼對蔗渣進行水解，在實驗之前，提出假說：「鹼可破壞纖維素分子間的鍵結的效果應會大於酸對纖維素水解效果。

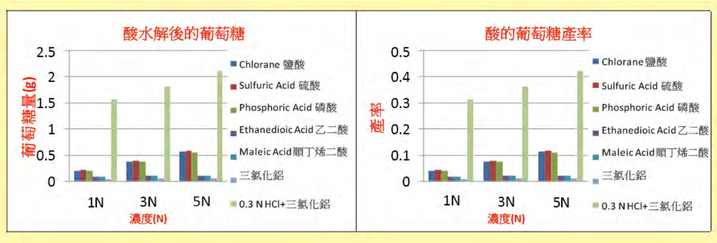
(六) 細菌的水解結果

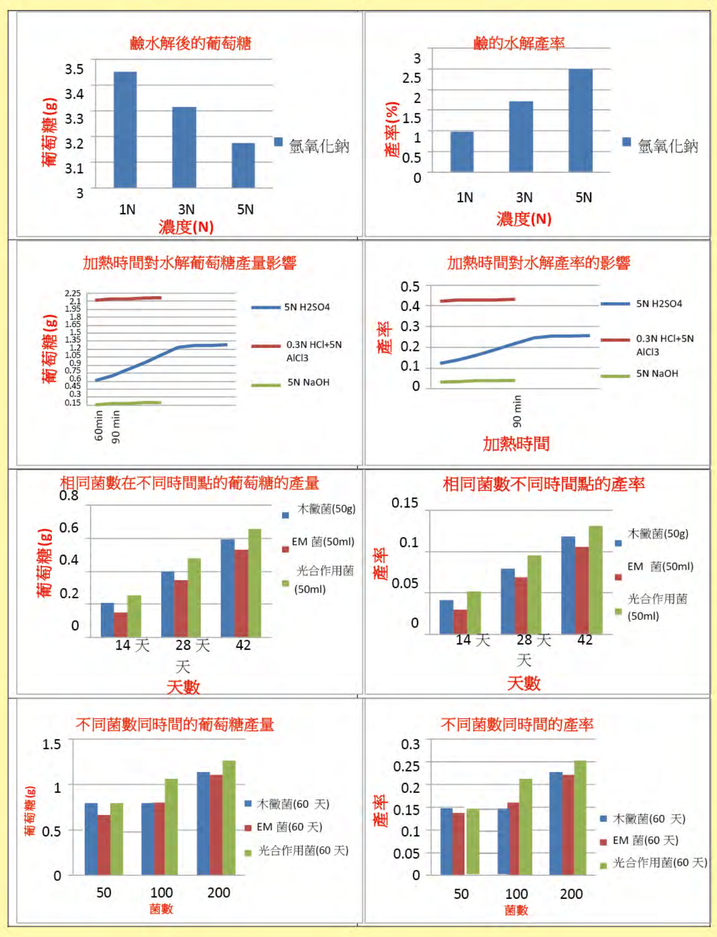
近年來，工商社會的快速發展與都市化，使人民生活品質跟著提升，人類過 度依賴化石燃料的結果，造成石油量逐年下滑，甚至已到逐漸枯竭的地步。因此 世界各國開始重視替代能源的開發及相關的因應對策，而替代的永續性再生能源 包含太陽能、風能、水力發電、生質能等，其中生質能源為透過生物原料轉換而 成的能源。其中的纖維素在地球上屬可再生性且含量極豐富，被應用的層面相當廣。由工業及農業所產生的纖維廢棄物富含大量的纖維素，像是稻米收割後剩下 的稻草、稻稈及伐木造紙業產生的廢棄物等。透過纖維素生產能源是目前常被討 論的一項技術，纖維素分解後會產生小分子的可溶性醣類，這些小分子醣類再經過發酵反應後產生的發酵產物如氫氣、乙醇及一些揮發性脂肪酸，這些發酵產物 都可作為石油的替代能源。本實驗使用的細菌有：木黴菌、EM 菌、光合作用菌， 而養菌時間為：14 天、28 天、42 天，發現其產量足以和無機酸相匹敵。

(七) 蔗渣剩餘的量&氧化亞銅的量&葡萄糖的推估量

我們知道 2 莫耳的葡萄糖可產生 1 莫耳的氧化亞銅，所以我們利用這個方式 來推出葡萄糖的產量大約是多少，進一步換算成實驗的產率。

試劑		蔗渣剩餘量(g)	氧化亞銅(g)	葡萄糖推估量(g)	產率(%)
Chlorane	1N	3.7579	0.0832	0.2095	4.19
鹽酸	3N	3.5847	0.1529	0.3827	7.65
	5N	3.4017	0.2247	0.5657	11.31
Sulfuric	1N	3.7532	0.0851	0.2142	4.28
Acid	3N	3.5654	0.1597	0.4020	8.04
硫酸	5N	3.3866	0.2307	0.5808	11.62
Phosphoric	1N	3.7655	0.0802	0.2019	4.04
Acid	3N	3.5925	0.1489	0.3749	7.50
磷酸	5N	3.4143	0.2197	0.5531	11.06
Ethanedioic	1N	3.8644	0.0409	0.1030	2.06
Acid	3N	3.8599	0.0427	0.1075	2.15
乙二酸	5N	3.8579	0.0435	0.1095	2.19
Maleic Acid	1N	3.8639	0.0411	0.1035	2.07
順丁烯二酸	3N	3.8597	0.0428	0.1077	2.15
	5N	3.8564	0.0441	0.1110	2.22
三氯化鋁	1N	3.9153	0.0207	0.0521	1.04
	3N	3.9138	0.0213	0.0536	1.07
	5N	3.9123	0.0219	0.0551	1.10
0.3 N 鹽酸+	1N	2.4083	0.6193	1.5591	31.18
三氯化鋁	3N	2.1520	0.7211	1.8154	36.31
	5N	1.8593	0.8374	2.1081	42.16
氫氧化鈉	1N	2.4191	0.0192	0.0483	0.97
	3N	2.2816	0.0341	0.0858	1.72
	5N	2.1425	0.0496	0.1249	2.50
5N 硫酸	60min	3.3554	0.2431	0.6120	12.24
	90 min	3.2708	0.2767	0.6966	13.93
	120 min	3.1439	0.3271	0.8235	16.47
	150 min	3.0160	0.3779	0.9514	19.03
	180 min	2.8801	0.4319	1.0873	21.75
	210 min	2.7331	0.4903	1.2343	24.69
	240 min	2.6968	0.5047	1.2706	25.41
	270 min	2.6913	0.5069	1.2761	25.52
	300 min	2.6827	0.5103	1.2847	25.69
0.3N 鹽酸	60 min	1.8497	0.8412	2.1177	42.35
+5N 三氯化	90 min	1.8258	0.8507	2.1416	42.83
鋁	120 min	1.8167	0.8543	2.1507	43.01
	150 min	1.8077	0.8579	2.1597	43.19
	180 min	1.8021	0.8601	2.1653	43.31
5N 氫氧化	60 min	3.8096	0.0627	0.1578	3.16
鈉	90 min	3.7919	0.0697	0.1755	3.51
	120 min	3.7798	0.0745	0.1876	3.75
	150 min	3.7703	0.0783	0.1971	3.94
	180 min	3.7688	0.0789	0.1986	3.97
木黴菌	14 天	3.7579	0.0832	0.2095	4.19
(50g)	28 天	3.5714	0.1573	0.3960	7.92
	42 天	3.3760	0.2349	0.5914	11.83
EM 菌	14 天	3.8171	0.0597	0.1503	3.01
(50ml)	28 天	3.6202	0.1379	0.3472	6.94
	42 天	3.4400	0.2095	0.5274	10.55
光合作用菌	14 天	3.7114	0.1017	0.2560	5.12
(50ml)	28 天	3.4893	0.1899	0.4781	9.56
	42 天	3.3136	0.2597	0.6538	13.08
木黴菌(60	50g	3.2338	0.2914	0.7336	14.67
天)	100g	3.1434	0.3273	0.8240	16.48
	200g	2.8297	0.4519	1.1377	22.75
EM 菌(60	50 mL	3.2867	0.2704	0.6807	13.61
天)	100 mL	3.1671	0.3179	0.8003	16.01
	200 mL	2.8610	0.4395	1.1064	22.13
光合作用菌	50 mL	3.1248	0.3347	0.8426	16.85
(60 天)	100 mL	2.9017	0.4233	1.0657	21.31
	200 mL	2.7051	0.5014	1.2623	25.25





陸、討 論

從所有的研究結果中我們發現：單憑路易士酸的水解效果並不佳，但是加入 了質子酸(0.3N 鹽酸)後，反應出的氧化亞銅卻遠遠超過無機酸的結果，可是相對地耗 的藥品較多。原本認為鹼水解的效果會比酸來的好，但是卻不如預期，抱持著好奇之 心的我們，事後查閱了有關的文獻，也訪問了許多的化學老師，得知會不如預期的原 因是：他產生的副產物較多，所以氧化亞銅的量並不理想，畢竟斐林試液只和葡萄糖 產生氧化還原反應。

另外，細菌的實驗中，我們知道：細菌的產量不輸給酸的產量，但是唯一的 缺點只有「時間較久」而已，相對的細菌水解較為環保，但因為細菌的種類許多，所 以必須找出能分解纖維素的菌種，所以實驗中我們利用了農業中常用的：「木黴菌、 EM 菌」和養殖漁業中常用的「光合作用菌」來進行實驗。實驗中發現：光合作用菌 > 木黴菌 > EM 菌，經文獻查閱後的知，細菌經光合作用後，會產生葡萄糖、五碳糖、 ATP 和脂肪酸.....等，但 EM 菌中的菌其實是 80 多種菌的組合，有些菌會使葡萄糖生 成酒精之類的，如：酵母菌，所以相對其氧化亞銅的量較少。

除此之外，我們從加熱時間的研究中發現當期到一個時間點時，會呈現平衡 狀態，到最後它的數據幾乎呈現水平狀態，達成平衡。所以由此可知，反應有其的極限，當達到此極限，它將停止水解反應。經統整後產率大小：路易士酸 + 0.3N 鹽酸 >無機酸 ≒ 細菌 > 有機酸 > 路易士酸 > 無機鹼。

柒、未來展望

從這些實驗中，的到最多產量的其實是 0.3N 的鹽酸+路易士酸(特別是三氯化 鋁)，但相對的它的耗能也較大，一次消耗的藥品是別組的兩倍，另外，酸有實驗中就 細菌的水解方法最為環保，雖然產量只有 0.3N 鹽酸加路易士酸的 1/4 左右，但是卻較 不耗能，因為細菌可以一直繁殖。希望能夠在國際科展之前找到一個最佳反應條件， 即可使蔗渣中的纖維素在催化劑下，進一步水解產生葡萄糖，葡萄糖在酒精酵素催化 下生成酒精。或者，利用一些特別的菌種，將葡萄糖發酵生成生質酒精。由於這次實 驗只討論蔗渣的水解，所以未來將會探討更多的植物廢棄物(如：大麥、小麥、玉米..... 等)，了解哪一種類型的植物其經水解後的葡萄糖產率。

捌、參考資料及其他

1.山羊瘤胃厭氧細菌之纖維水解酵素的特性分析—黃偉晟
http://etds.lib.ncku.edu.tw/etdservice/view_metadata?dun=U0026-050820111821300
2.旋光儀-youtube
3.廢棄木屑催化水解的探討
4.臺大農業推廣通訊雙月刊 96 期
5.47 屆中小學科展化學組--廢棄木屑催化水解的探討
6.教育部化工群科課程中心專題製作示例評選-第十四組-生活廢棄物水解糖研究
7.全國高職學生104年度專題暨創意競賽-微生物燃料電池-纖維素最佳水解狀況之探討
8.47 屆中小學科展化學組--醣寶寶的「旋光」世界-自行組裝旋光度計來探討蔗糖水解的動力學及平衡學理論