

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

佳作

040208

廢棄木屑催化水解的探討

學校名稱：國立嘉義高級工業職業學校

作者：	指導老師：
高二 曾慈慧	黃勝明
高二 陳曉薇	吳翠芬
高二 李彥瑩	
高二 郭珮婕	

關鍵詞：木屑纖維 不銹鋼 路易士酸

摘要

本實驗以不同類型酸作為木屑纖維素水解的催化劑，以及在不同反應條件(如加熱溫度、時間)下，探討木屑纖維素催化水解的成效。

我們利用催化劑加速木屑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 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 沉澱量變化，另一部利用旋光度計測定醣類的旋光度。進一步，想要利用催化效果佳的催化劑，改變操作時間、溫度時，找出一個最佳的反應條件。同時利用最佳操作條件，改變水解液與木屑原料之比值，使木屑纖維素轉化為再生性能源能有效被利用。

結果顯示，木屑於不銹鋼容器中加入小鋼珠，以質子酸與路易斯酸($0.3 \text{ N HCl} + 4.0 \text{ AlCl}_3$)為酸性催化劑組時，木屑纖維素催化水解產生葡萄糖的效率最佳。

壹、研究動機

人口的增加所影響的是糧食及能源的需求量逐年增加，而能源總量卻是有限的。以四面環海的台灣而言，發展替代能源、控制與節約能源，已是最迫切的問題。而自然界中還有大量的木屑、樹幹、舊報紙、舊衣服、甘蔗渣等農作產生的纖維廢棄物，缺乏有效率的被利用，因此如何將其轉化為再生性能源是重要課題，於是我們想若能將木屑纖維素催化水解產生的葡萄糖發酵為酒精代替石油，將可解決部分能源短缺的問題，必為人類創造財富。但纖維素催化水解成葡萄糖仍存在水解效率低和成本高的問題，故催化劑的催化效果及操作條件是本次研究的主要內容。

貳、研究目的

- 一、探討不同無機酸之濃度對木屑纖維素水解的影響
- 二、探討不同有機酸之濃度對木屑纖維素水解的影響
- 三、探討不同路易斯酸之濃度對木屑纖維素水解的影響
- 四、催化劑組成和濃度對木屑纖維素水解的影響
- 五、金屬元素當催化劑對木屑纖維素水解的影響
- 六、以不銹鋼當催化劑對木屑纖維素水解的影響
- 七、加熱時間對木屑纖維素水解的影響
- 八、反應溫度對木屑纖維素水解的影響
- 九、水解液與木屑原料之比值對木屑纖維素水解的影響

參、研究設備及器材

一、器材：

旋光計、三腳架、量筒、燒杯、離心試管、本生燈、玻棒、木屑、不銹鋼容器、電熱板、磁攪拌子、小鋼珠、旋光度計

二、藥品：

HCl、H₃PO₄、H₂C₂O₄、順丁烯二酸、AlCl₃、BF₃、FeCl₃、NiCl₂、CrCl₃、鉻粉、鐵粉、鎳粉、斐林試液

肆、研究過程或方法

一、探討不同無機酸之濃度對木屑纖維素水解的影響

1. 取約 5 克木屑與 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°C 時，保持 30 分鐘後冷卻並過濾。
4. 取部分濾液，以鈉光燈(稱為 D 線、波長為 5893 埃)為光源，測旋光度。
5. 另取 20 mL 濾液於試管中，滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性，再加入 5 mL 斐林試劑，隔水加熱 10 分鐘。
6. 取出試管，使用離心機將沉澱物沉至試管底部，傾析試管內的溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu₂O 重。
7. 重覆步驟 1~6，改變鹽酸溶液的濃度。
8. 重覆步驟 1~7，將步驟 2 鹽酸溶液換成不同濃度硫酸及磷酸。

二、探討不同有機酸之濃度對木屑纖維素水解的影響

將步驟一、中無機酸改成有機酸(乙二酸及順丁烯二酸)。

三、探討不同路易士酸之濃度對木屑纖維素水解的影響

1. 將步驟一、中無機酸改成路易士酸(BF₃ 及 AlCl₃)。
2. 將步驟 1 中不同濃度路易士酸(BF₃ 及 AlCl₃)加入質子酸(0.3 N HCl)作為催化劑組成。

四、催化劑組成和濃度對木屑纖維素水解的影響

1. 取四個 250 mL 燒杯，分別加入 5 克木屑、0.6 N FeCl₃ 催化劑 10 mL 及 60 mL 蒸餾水。
2. 分別加入 10 mL 的 2N、4N 及 6N 鹽酸水溶液於上述燒杯內，使木屑全部浸沒後，開始加熱。
3. 當溫度達到 100°C 時，保持 30 分鐘後，冷卻並過濾。
4. 取部分濾液，以鈉光燈(稱為 D 線、波長為 5893 埃)為光源，測旋光度。
5. 另取 20 mL 濾液於試管中，滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性，再加入 5 mL 斐林試劑，隔水加熱 10 分鐘。
6. 取出試管，使用離心機將沉澱物沉至試管底部，傾析試管內的溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu₂O 重。
7. 重覆步驟 1~6，將步驟 1 中 0.6 N FeCl₃ 催化劑組成改成 0.6 N CrCl₃ 及 0.6 N NiCl₂。

8. 重覆步驟 1~7，將步驟 2 鹽酸溶液依序改成磷酸、乙二酸、順丁烯二酸。

五、金屬元素當催化劑對木屑纖維素水解的影響

1. 取四個 250 mL 燒杯，分別加入 5 克木屑與 60 mL 蒸餾水。
2. 分別加入 0.5 g、1.0 g、1.5 g 及 2.0 g 鐵粉於上述燒杯內，使木屑全部浸沒後，開始加熱。
3. 當溫度達到 100°C 時，保持 30 分鐘後，冷卻並過濾。
4. 取部分濾液，以鈉光燈(稱為 D 線、波長為 5893 埃)為光源，測旋光度。
5. 另取 20 mL 濾液於試管中，滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性，再加入 5 mL 斐林試劑，隔水加熱 10 分鐘。
6. 取出試管，使用離心機將沉澱物沉至試管底部，傾析試管內的溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu_2O 重。
7. 重覆步驟 1~6，將步驟 2 中鐵粉改成鎳粉、鉻粉。

六、以不銹鋼當催化劑對木屑纖維素水解的影響

1. 將 10 克木屑及 120 mL 蒸餾水置入不銹鋼容器內，用電熱板加熱並攪拌，達沸騰後持繼加熱 30 分鐘，冷卻並過濾。
2. 取部分濾液，以鈉光燈(稱為 D 線、波長為 5893 埃)為光源，測旋光度。
3. 另取 20 mL 濾液於試管中，滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性，再加入 5 mL 斐林試劑，隔水加熱 10 分鐘。
4. 取出試管，使用離心機將沉澱物沉至試管底部，傾析試管內的溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu_2O 重。
5. 重覆步驟 1~4，於步驟 1 不銹鋼容器內加入 10 mL 的 1N 鹽酸溶液。
6. 重覆步驟 1~5，改變鹽酸溶液的濃度。
7. 重覆步驟 1~6，在步驟 1 的不銹鋼容器內放入小鋼珠，加熱同時攪拌溶液。
8. 重覆步驟 7，改變酸性條件：質子酸(0.3 N HCl)與不同濃度路易士酸(AlCl_3)

七、加熱時間對木屑纖維素水解的影響

1. 取約 5 克木屑、0.6 N CrCl_3 催化劑 10 mL、6 N 鹽酸溶液 10 mL 及 60 mL 蒸餾水，置於 250 mL 燒杯。
2. 使木屑全部浸沒後，開始加熱，當溫度達到 100°C 時，持繼加熱 60 分鐘後，冷卻並過濾。
3. 取部分濾液，以鈉光燈(稱為 D 線、波長為 5893 埃)為光源，測旋光度。
4. 另取 20 mL 濾液於試管中，滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性，再加入 5 mL 斐林試劑，隔水加熱 10 分鐘。
5. 取出試管，使用離心機將沉澱物沉至試管底部，傾析試管內的溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu_2O 重。
6. 重覆步驟 1~5，改變加熱時間。
7. 重覆步驟 1~6，將步驟 1 中 0.6 N CrCl_3 催化劑改成 0.6 N FeCl_3 。

八、反應溫度對木屑纖維素水解的影響

1. 取約 5 克木屑、0.6 N CrCl_3 催化劑 10 mL、6 N 鹽酸溶液 10 mL 及 60 mL 蒸餾水，置於 250 mL 燒杯。

2. 使木屑全部浸沒後，開始加熱，當溫度達到 60°C 時，持繼加熱 60 分鐘後，冷卻並過濾。
3. 取部分濾液，以鈉光燈(稱為 D 線、波長為 5893 埃)為光源，測旋光度。
4. 另取 20 mL 濾液於試管中，滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性，再加入 5 mL 斐林試劑，隔水加熱 10 分鐘。
5. 取出試管，使用離心機將沉澱物沉至試管底部，傾析試管內的溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu₂O 重。
6. 重覆步驟 1~5，改變恆溫條件。
7. 重覆步驟 1~6，將步驟 1 中 0.6 N CrCl₃ 催化劑改成 0.6 N FeCl₃。

九、水解液與木屑原料之比值對木屑纖維素水解的影響

1. 取約 5 克木屑及 40 mL 蒸餾水，置於含有小鋼珠的不銹鋼容器。
2. 將 0.3 N HCl 及 4.0 N AlCl₃ 催化劑組成加入上述不銹鋼容器中，使木屑全部浸沒後，開始加熱至沸騰，持繼加熱 60 分鐘後，冷卻並過濾。
3. 取部分濾液，以鈉光燈(稱為 D 線、波長為 5893 埃)為光源，測旋光度。
4. 另取 20 mL 濾液於試管中，滴入 NaOH 使溶液變成中性或鹼性，再加入 5 mL 斐林試劑，隔水加熱 10 分鐘。
5. 取出試管，使用離心機將沉澱物沉至試管底部，傾析試管內的溶液，將沉澱物烘乾稱 Cu₂O 重。
6. 重覆步驟 1~5，改變水的體積(mL)及木屑重量比為 9.0、10.0、11.0、12.0。

伍、研究結果

一、探討不同無機酸之濃度對木屑纖維素水解的影響

表 1 不同無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

無機酸	濃度(N)	Cu ₂ O 重(克)	旋光度
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
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
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

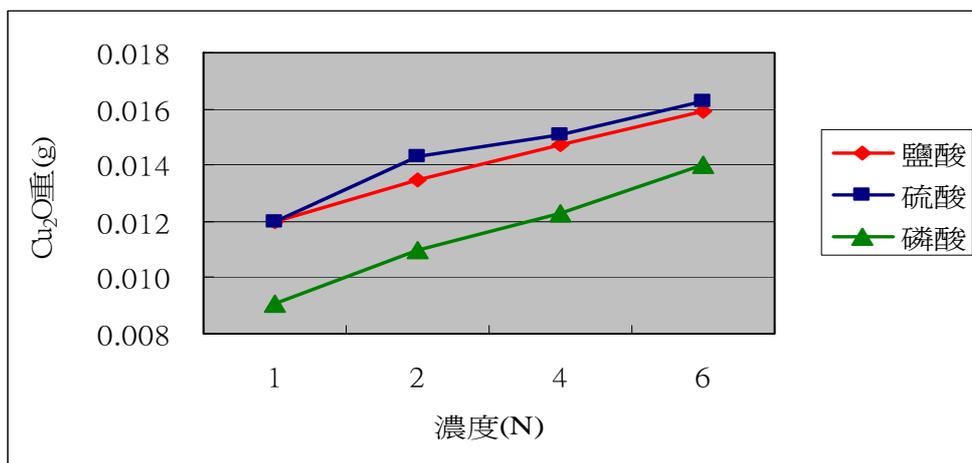


圖 1-1 利用不同濃度之無機酸催化木屑纖維水解後，溶液加入斐林試液，測量 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 沉澱量變化。

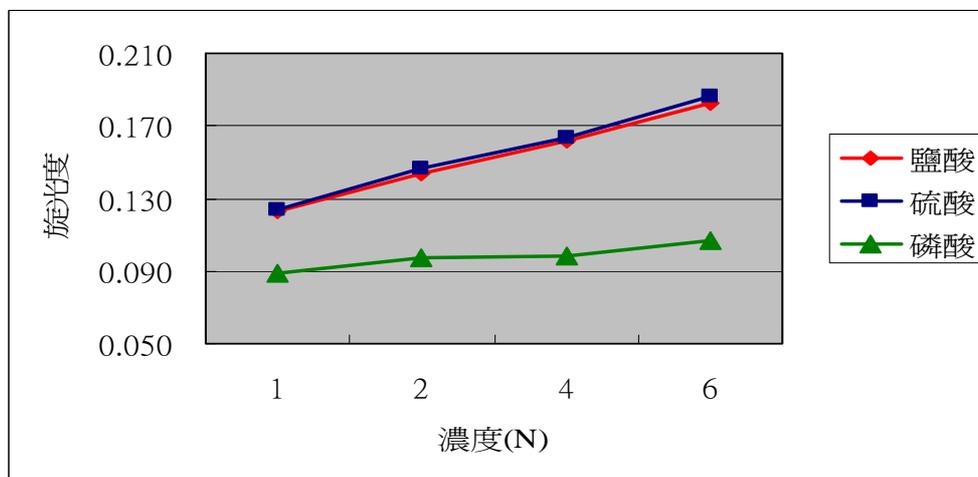


圖 1-2 利用不同濃度之無機酸催化木屑纖維水解後，測溶液的旋光度變化。

二、探討不同有機酸之濃度對木屑纖維素水解的影響

表 2 不同濃度之有機酸催化木屑纖維水解後，測 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 沉澱量及其旋光度

有機酸	濃度(N)	Cu_2O 重(克)	旋光度
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
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

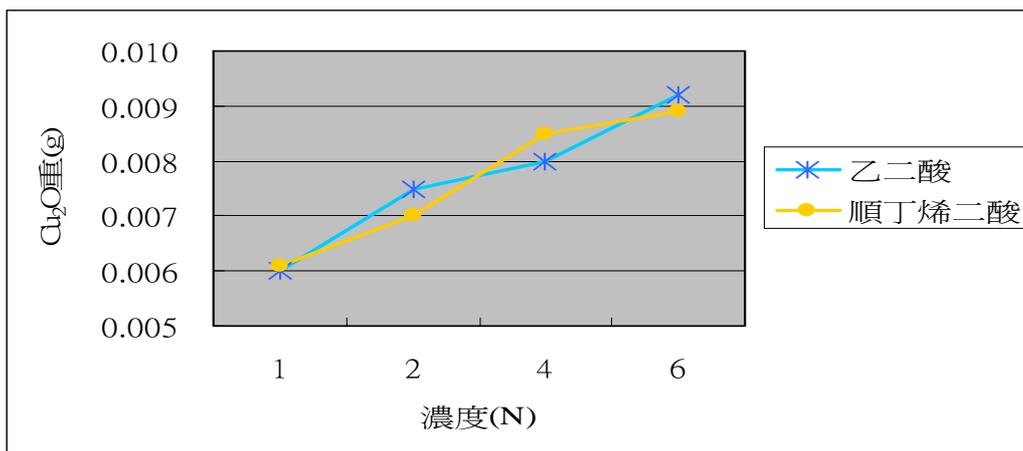


圖 2-1 利用不同濃度有機酸催化木屑纖維水解後，溶液加入斐林試液，測量 Cu₂O_(s)沉澱量變化。

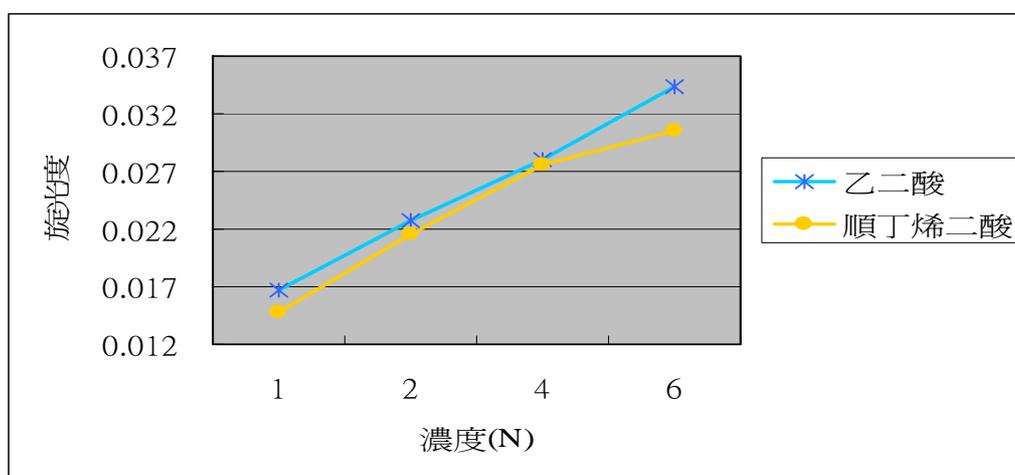


圖 2-2 利用不同濃度有機酸催化木屑纖維水解後，測溶液的旋光度變化。

三、探討不同路易士酸之濃度對對木屑纖維素水解的影響

表 3-1 不同濃度之路以士酸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 ₂ O 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 3-2 不同濃度路易士酸中加入 0.3 N HCl 作為催化劑組成，催化木屑纖維素水解後，旋光度及加入斐林試液之 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 沉澱量

催化劑組成		Cu_2O 重(克)	旋光度
質子酸	路易士酸		
0.3 N HCl	1.0 N BF_3	0.4115	0.9665
	2.0 N BF_3	0.5120	1.1200
	4.0 N BF_3	0.5893	1.2972
	6.0 N BF_3	0.6335	1.3470
0.3 N HCl	1.0 N AlCl_3	0.5877	1.2678
	2.0 N AlCl_3	0.6542	1.3615
	4.0 N AlCl_3	0.7904	1.4822
	6.0 N AlCl_3	0.8860	1.5568

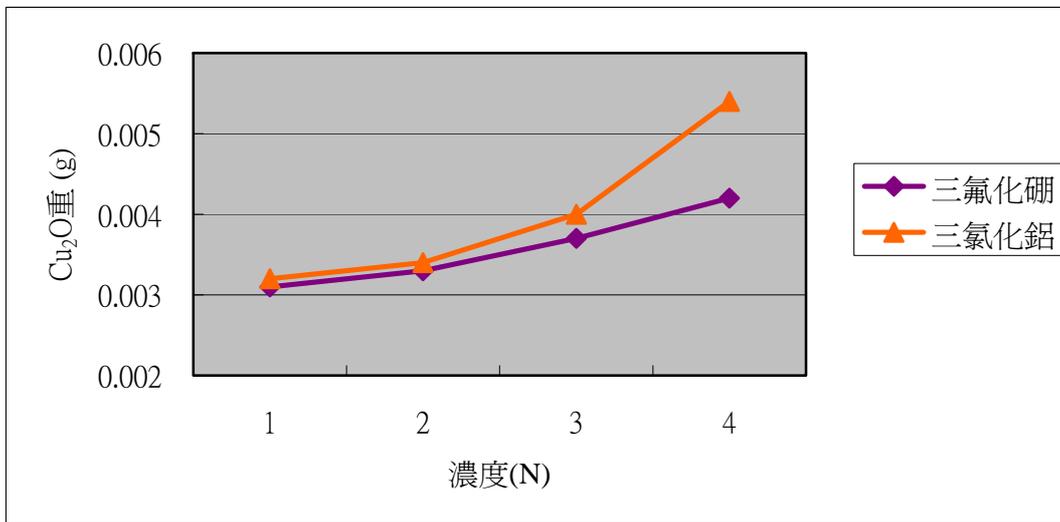


圖 3-1 利用不同濃度路易士酸催化木屑纖維水解後，溶液加入斐林試液，測量 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 沉澱量變化。

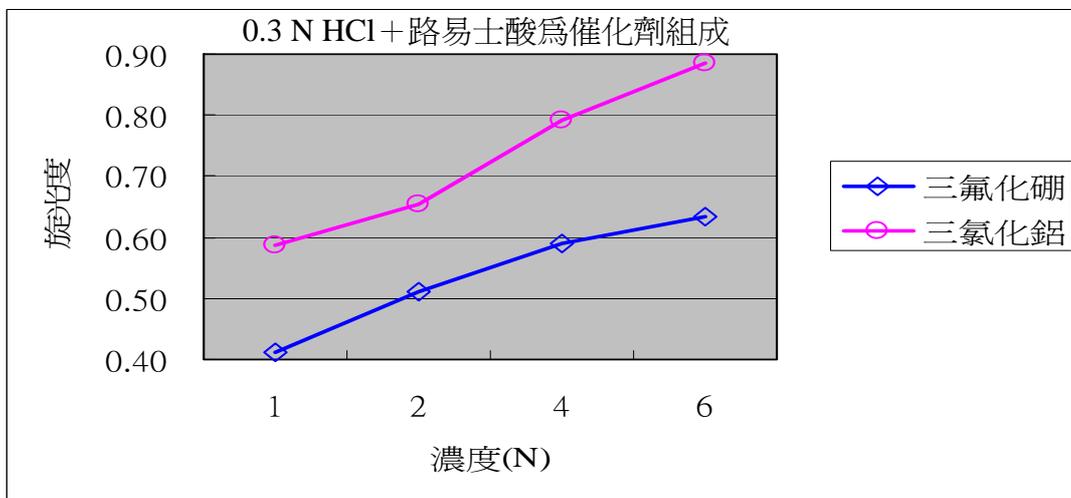


圖 3-2 不同濃度路易士酸中加入 0.3 N HCl 作為催化劑組成，測 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 沉澱量變化。

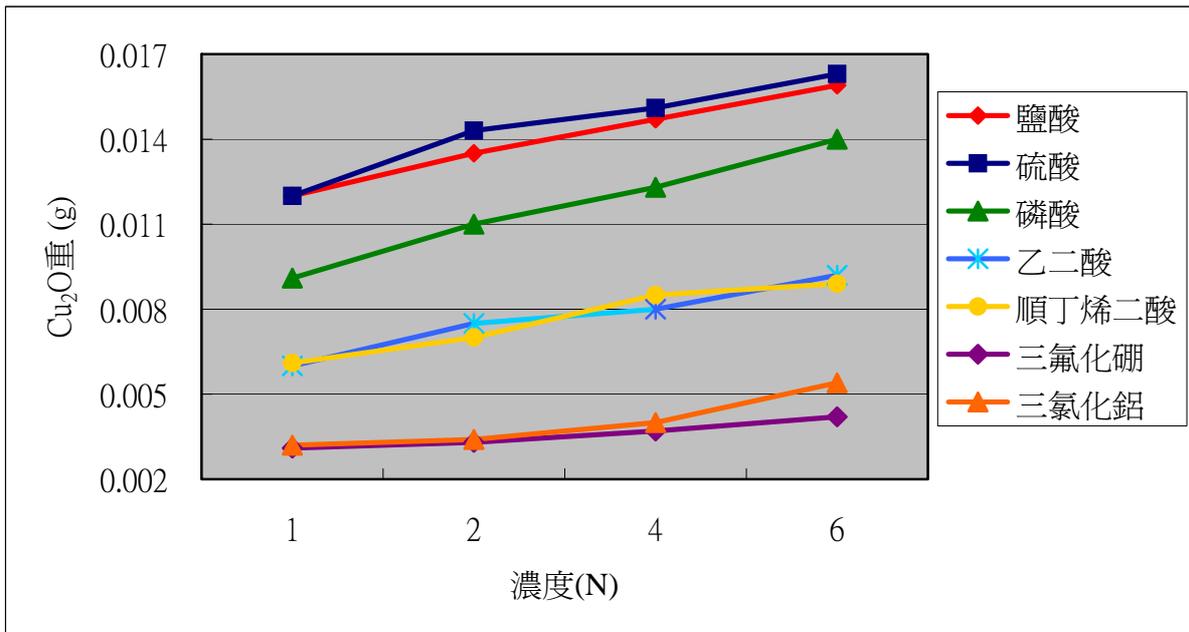


圖 3-3 比較不同濃度之酸催化木屑纖維素水解後，溶液加入斐林試液，測 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 沉澱量的變化。

四、催化劑組成和濃度對木屑纖維素水解的影響

表 4-1 以不同濃度酸中加入 0.6 N 化合物作為催化劑組成，催化木屑纖維素水解後測旋光度及加入斐林試液之 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 沉澱量

催化劑組成		Cu_2O 重(克)	旋光度
化合物	酸		
0.6 N NiCl_2	2.0 N HCl	0.0102	0.0382
	4.0 N HCl	0.0103	0.0402
	6.0 N HCl	0.0105	0.0473
0.6 N CrCl_3	2.0 N HCl	0.3801	0.8028
	4.0 N HCl	0.3828	0.8169
	6.0 N HCl	0.3921	0.8362
0.6 N FeCl_3	2.0 N HCl	0.0098	0.0328
	4.0 N HCl	0.0112	0.0416
	6.0 N HCl	0.0122	0.0520
0.6 N NiCl_2	2.0 N H_3PO_4	0.0099	0.0388
	4.0 N H_3PO_4	0.0112	0.0457
	6.0 N H_3PO_4	0.0120	0.0521
0.6 N CrCl_3	2.0 N H_3PO_4	0.3800	0.8002
	4.0 N H_3PO_4	0.3886	0.8211
	6.0 N H_3PO_4	0.3997	0.8422

催化劑組成		Cu ₂ O 重(克)	旋光度
化合物	酸		
0.6 N FeCl ₃	2.0 N H ₃ PO ₄	0.0112	0.0448
	4.0 N H ₃ PO ₄	0.0114	0.0506
	6.0 N H ₃ PO ₄	0.0119	0.0568
0.6 N NiCl ₂	2.0 N 乙二酸	0.0092	0.0273
	4.0 N 乙二酸	0.0100	0.0381
	6.0 N 乙二酸	0.0106	0.0421
0.6 N CrCl ₃	2.0 N 乙二酸	0.3722	0.8001
	4.0 N 乙二酸	0.3828	0.8122
	6.0 N 乙二酸	0.3902	0.8315
0.6 N FeCl ₃	2.0 N 乙二酸	0.0099	0.0299
	4.0 N 乙二酸	0.0105	0.0365
	6.0 N 乙二酸	0.0106	0.0470
0.6 N NiCl ₂	2.0 N 順丁烯二酸	0.0098	0.0326
	4.0 N 順丁烯二酸	0.0109	0.0401
	6.0 N 順丁烯二酸	0.0110	0.0471
0.6 N CrCl ₃	2.0 N 順丁烯二酸	0.3620	0.7725
	4.0 N 順丁烯二酸	0.3802	0.8063
	6.0 N 順丁烯二酸	0.3932	0.8372
0.6 N FeCl ₃	2.0 N 順丁烯二酸	0.0102	0.0401
	4.0 N 順丁烯二酸	0.0109	0.0478
	6.0 N 順丁烯二酸	0.0114	0.0518

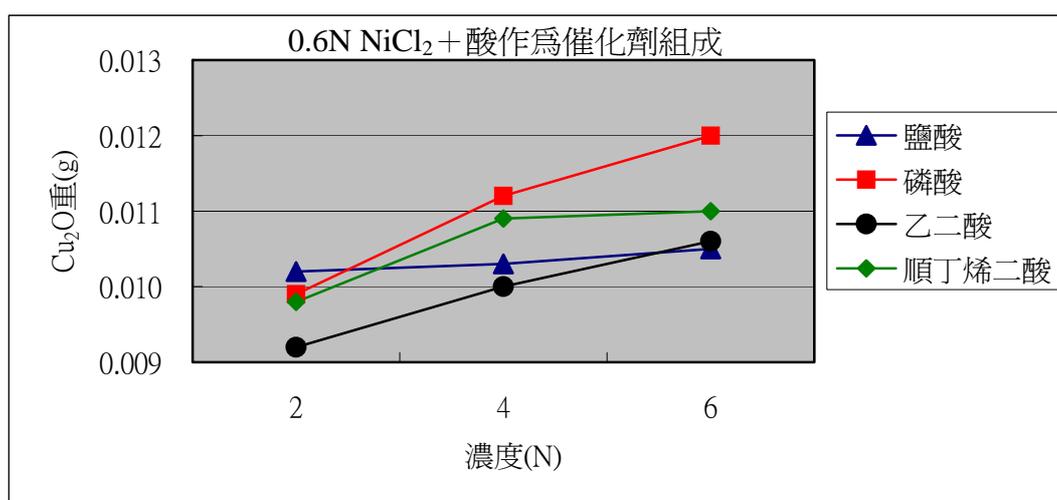


圖 4-1 比較 0.6 N NiCl₂ 溶液中加入不同濃度酸作為催化劑組之 Cu₂O_(s) 沉澱量變化

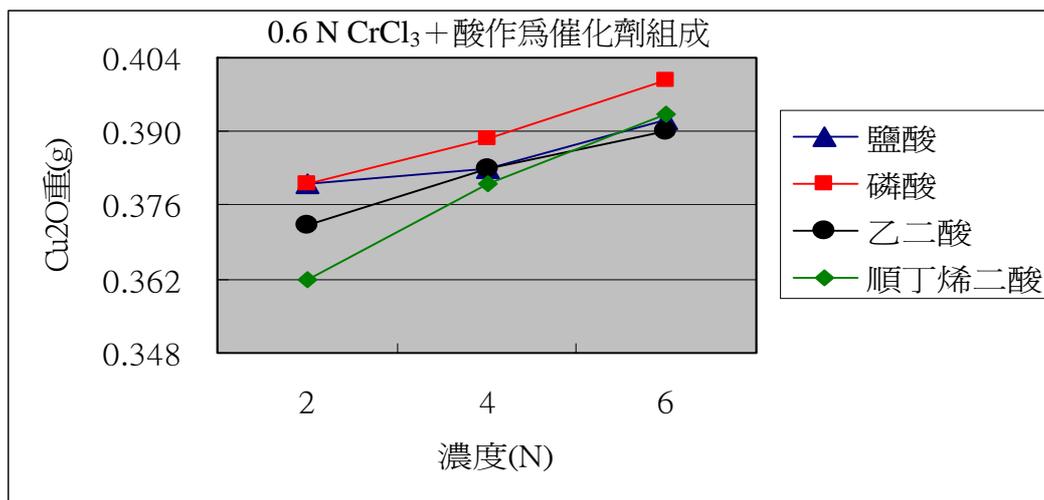


圖 4-2 比較 0.6 N CrCl₃ 溶液中加入不同濃度酸作為催化劑組之 Cu₂O_(s) 沉澱量變化

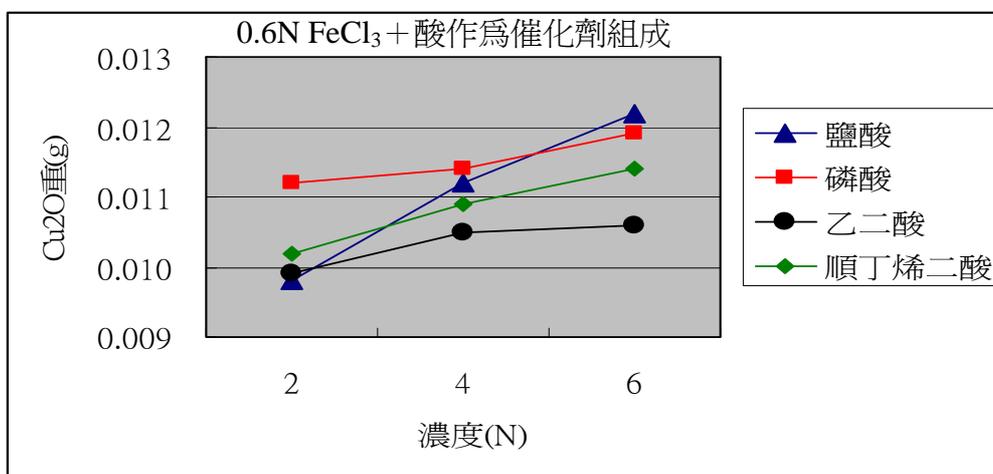


圖 4-3 比較 0.6 N FeCl₃ 溶液中加入不同濃度酸作為催化劑組之 Cu₂O_(s) 沉澱量變化

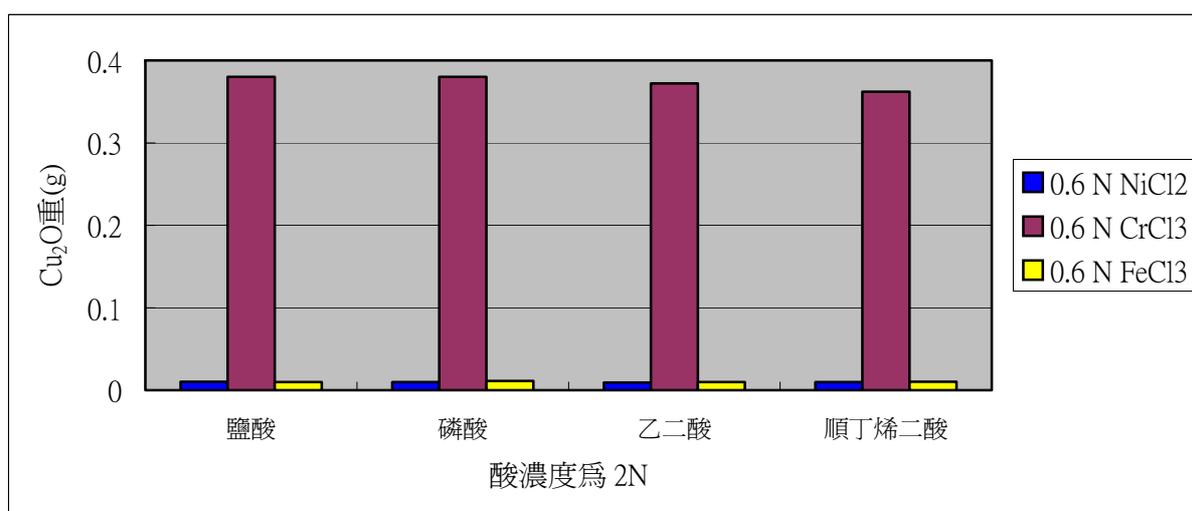


圖 4-8 比較木屑溶液中加入酸之濃度為 2 N 與 0.6 N 不同化合物作為催化劑組成，催化水解反應後，加入斐林試液 Cu₂O_(s) 沉澱量變化

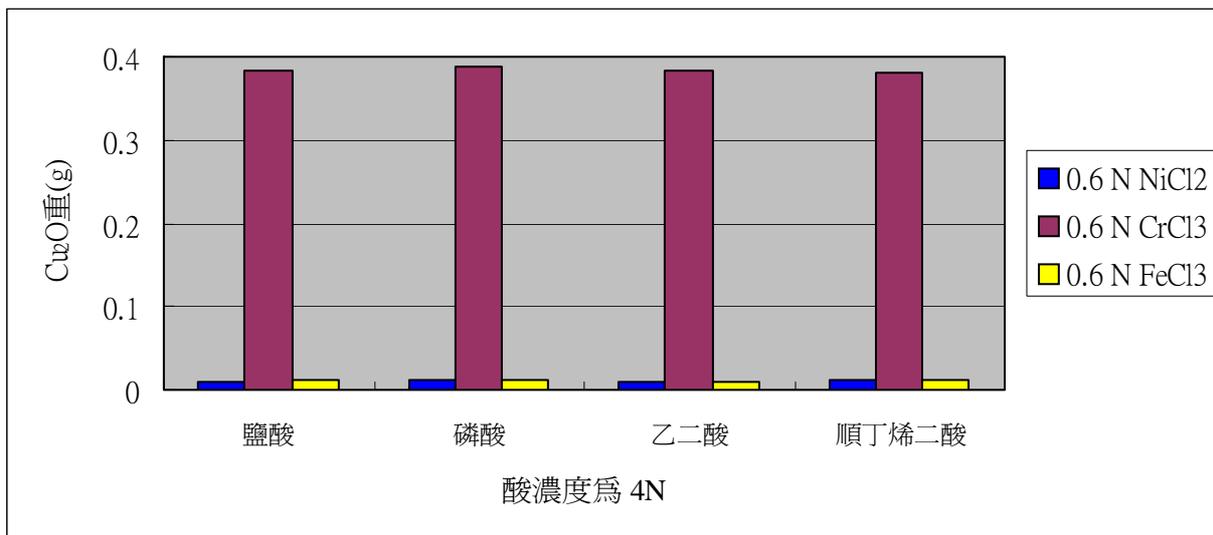


圖 4-9 比較木屑溶液中加入酸之濃度為 4 N 與 0.6 N 不同化合物作為催化劑組成，催化水解反應後，加入斐林試液 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 沉澱量變化

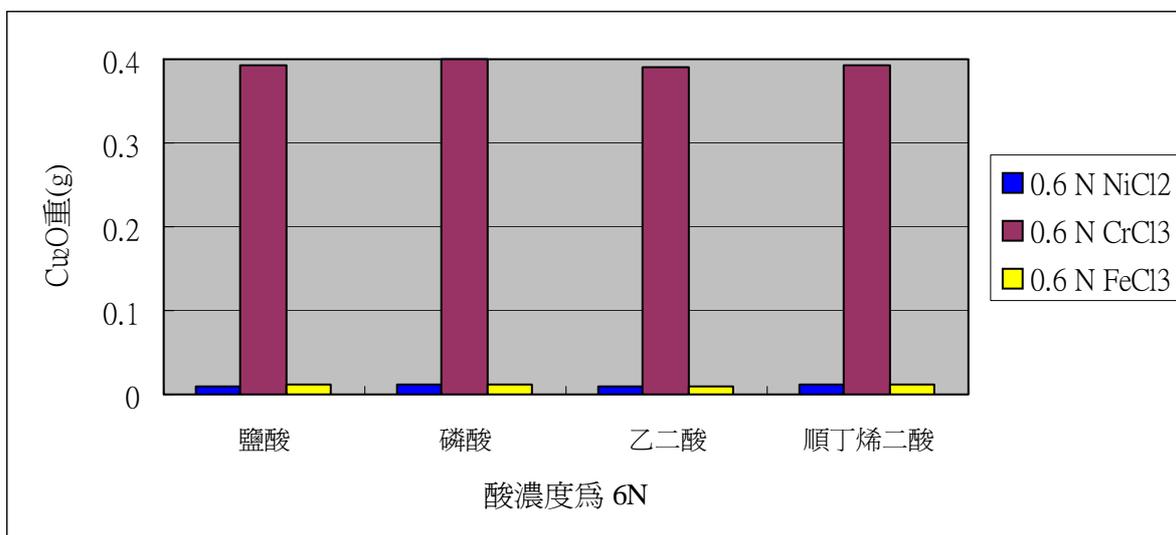


圖 4-10 比較木屑溶液中加入酸之濃度為 6 N 與 0.6 N 不同化合物作為催化劑組成，催化水解反應後，加入斐林試液 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 沉澱量變化

五、金屬元素當催化劑對木屑纖維素水解的影響

表 5 不同質量金屬元素作為木屑纖維素水解之催化劑，其旋光度及加入斐林試液 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 沉澱量變化

金屬元素	金屬元素重(克)	Cu_2O 重(克)	旋光度
Ni 粉	0.5	0.0093	0.0893
	1.0	0.0112	0.0973
	1.5	0.0128	0.0988
	2.0	0.0145	0.1070

金屬元素	金屬元素重(克)	Cu ₂ O 重(克)	旋光度
Cr 粉	0.5	0.0118	0.1226
	1.0	0.0140	0.1463
	1.5	0.0148	0.1630
	2.0	0.0160	0.1858
Fe 粉	0.5	0.0115	0.1225
	1.0	0.0132	0.1458
	1.5	0.0146	0.1628
	2.0	0.0158	0.1858

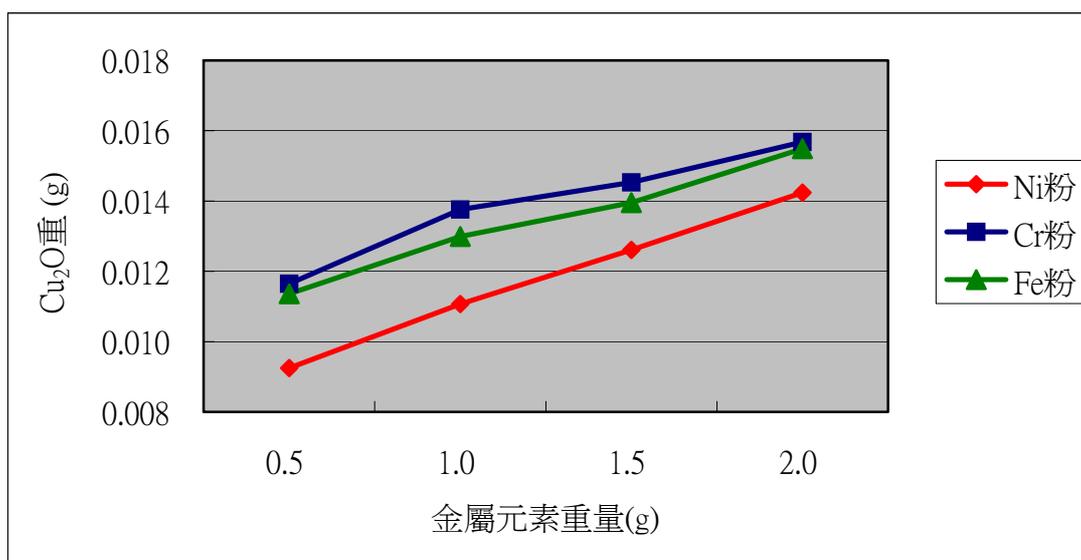


圖 5 以不同重量的金屬元素當催化劑，木屑纖維素水解後，測 Cu₂O_(s)沉澱量變化

六、以不銹鋼當催化劑對木屑纖維素水解的影響

表 6 木屑於不銹鋼容器中加入不同濃度酸催化水解後，其旋光度及加入斐林試液 Cu₂O_(s)沉澱量變化

反應條件	酸性條件	Cu ₂ O 重(克)	旋光度
不銹鋼容器	0.0 N 鹽酸	0.0042	0.0083
	1.0 N 鹽酸	0.0110	0.1225
	2.0 N 鹽酸	0.0125	0.1430
	4.0 N 鹽酸	0.0137	0.1603
不銹鋼容器 + 小鋼珠	0.0 N 鹽酸	0.0058	0.0116
	1.0 N 鹽酸	0.0123	0.1238
	2.0 N 鹽酸	0.0136	0.1440
	4.0 N 鹽酸	0.0148	0.1623
不銹鋼容器 + 小鋼珠	0.3 N 鹽酸 + 1.0 N AlCl ₃	0.5887	1.2688
	0.3 N 鹽酸 + 2.0 N AlCl ₃	0.6562	1.3635
	0.3 N 鹽酸 + 4.0 N AlCl ₃	0.7934	1.4842

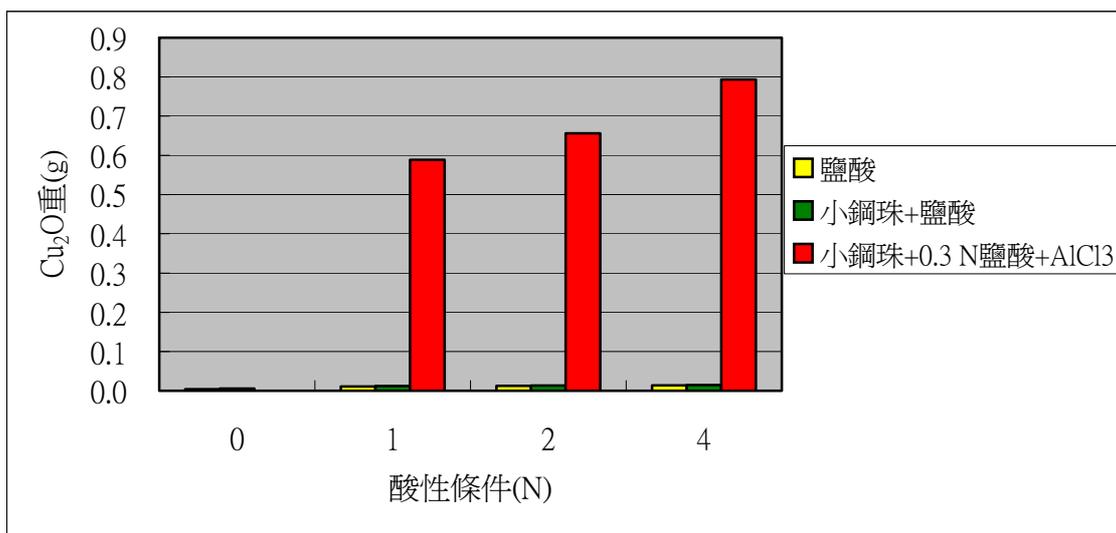


圖 6 比較不同酸性條件下，將木屑置於不銹鋼容器中催化水解，測定 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 沉澱量變化

七、加熱時間對木屑纖維素水解的影響

表 7 木屑溶液中加入不同催化劑組成並且改變加熱時間，測定 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 沉澱量變化及其旋光度變化

催化劑組成		加熱時間(分鐘)	Cu_2O 重(克)	旋光度
酸(6 N)	化合物(0.6 N)			
HCl	CrCl ₃	60	0.3922	0.8362
		90	0.4011	0.9021
		120	0.4096	0.9699
		150	0.3952	0.8592
	FeCl ₃	60	0.0121	0.0539
		90	0.0130	0.0572
		120	0.0140	0.0601
		150	0.0126	0.0556
H ₃ PO ₄	CrCl ₃	60	0.3950	0.8422
		90	0.4010	0.8755
		120	0.4088	0.8987
		150	0.3986	0.8620
	FeCl ₃	60	0.0116	0.0583
		90	0.0128	0.0586
		120	0.0138	0.0612
		150	0.0120	0.0556

催化劑組成		加熱時間(分鐘)	Cu ₂ O 重(克)	旋光度
酸(6 N)	化合物(0.6 N)			
乙二酸	CrCl ₃	60	0.3935	0.8315
		90	0.3962	0.8492
		120	0.3982	0.8610
		150	0.3952	0.8480
	FeCl ₃	60	0.0113	0.0488
		90	0.0115	0.0521
		120	0.0119	0.0580
		150	0.0114	0.0510
順丁烯二酸	CrCl ₃	60	0.3920	0.8360
		90	0.3950	0.8482
		120	0.3968	0.8498
		150	0.3953	0.8488
	FeCl ₃	60	0.0117	0.0589
		90	0.0119	0.0638
		120	0.0122	0.0680
		150	0.0118	0.0601

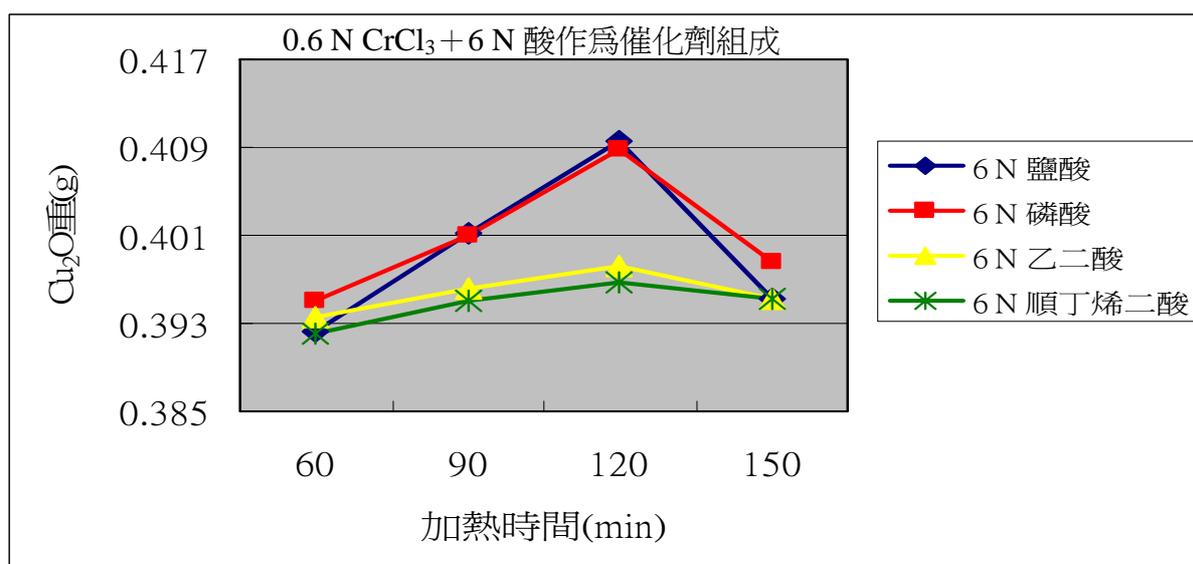


圖 7-1 木屑溶液中加入 6 N 酸與 0.6 N CrCl₃ 作為催化劑組成，比較不同加熱時間使木屑催化水解反應後加入斐林試液 Cu₂O_(s) 沉澱量變化

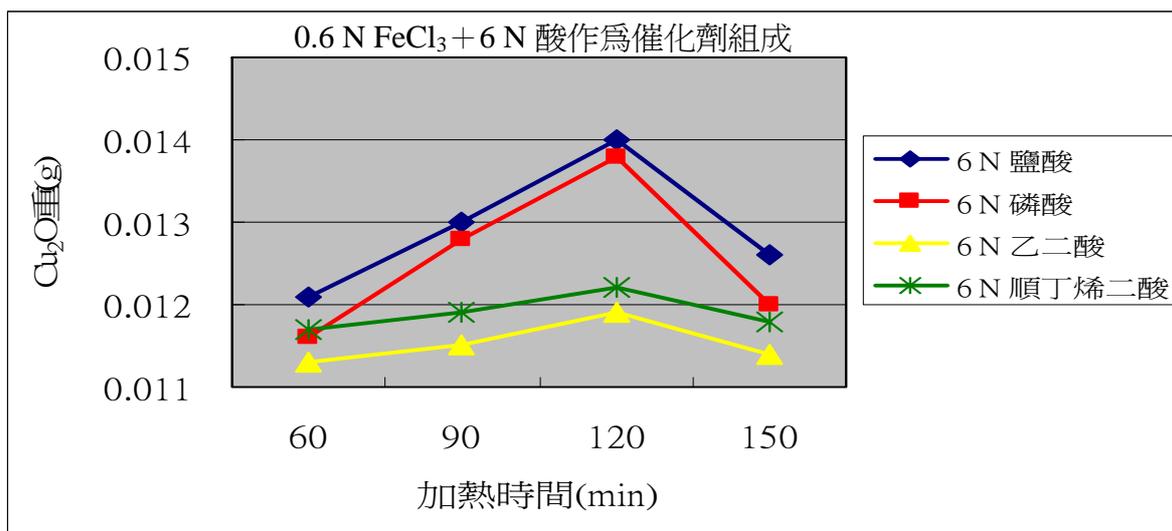


圖 7-2 木屑溶液中加入 6 N 酸與 0.6 N FeCl₃ 作為催化劑組成，比較不同加熱時間使木屑催化水解反應後加入斐林試液 Cu₂O_(s) 沉澱量變化

八、反應溫度對木屑纖維素水解的影響

表 8 利用催化劑組成催化木屑纖維素水解，測定反應溫度不同時，Cu₂O_(s) 沉澱量及旋光度變化

催化劑組成		恆溫(°C)	Cu ₂ O 重(克)	旋光度
酸(6 N)	化合物(0.6 N)			
HCl	CrCl ₃	100	0.3922	0.8362
		120	0.7794	1.6513
		140	0.7614	1.6031
		160	0.5278	1.2351
	FeCl ₃	100	0.0121	0.0539
		120	0.0170	0.0968
		140	0.0239	0.1142
		160	0.0205	0.1039
H ₃ PO ₄	CrCl ₃	100	0.3950	0.8422
		120	0.5841	1.2762
		140	0.7070	1.4910
		160	0.5292	1.2414
	FeCl ₃	100	0.0117	0.0589
		120	0.0167	0.1057
		140	0.0243	0.1311
		160	0.0169	0.1080

催化劑組成		恆溫(°C)	Cu ₂ O 重(克)	旋光度
酸(6 N)	化合物(0.6 N)			
乙二酸	CrCl ₃	100	0.3935	0.8315
		120	0.5989	1.3595
		140	0.7110	1.5264
		160	0.5270	1.3180
	FeCl ₃	100	0.0130	0.0488
		120	0.0162	0.0782
		140	0.0205	0.0974
		160	0.0184	0.0796
順丁烯二酸	CrCl ₃	100	0.3920	0.8372
		120	0.5720	1.2864
		140	0.6646	1.3642
		160	0.5140	1.2742
	FeCl ₃	100	0.0116	0.0583
		120	0.0150	0.0896
		140	0.0230	0.1169
		160	0.0214	0.1098

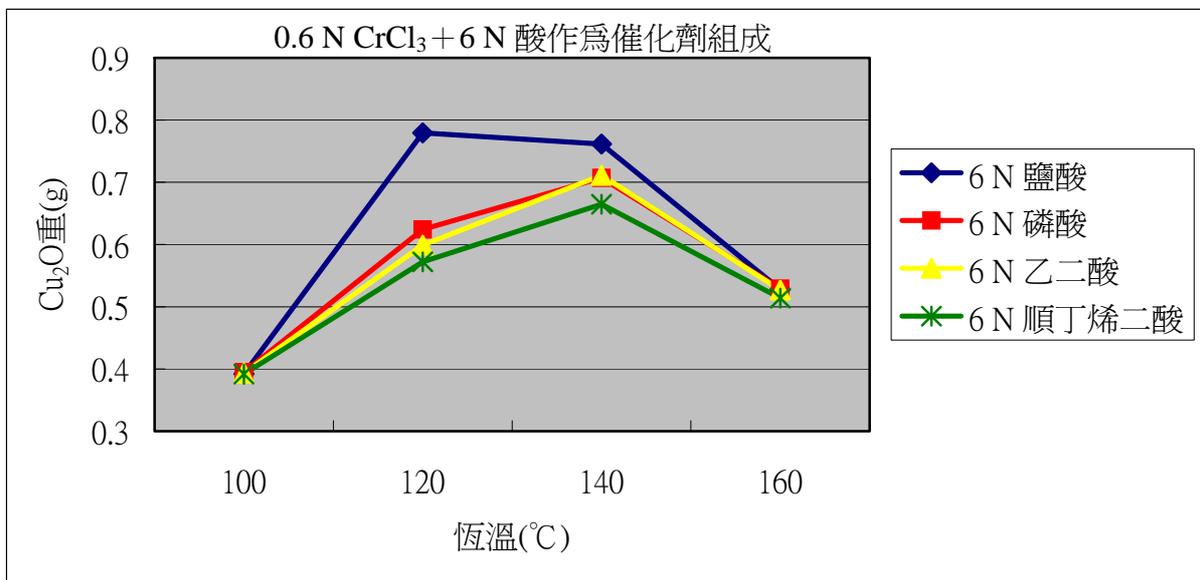


圖 8-1 以 0.6 N CrCl₃ 與 6 N 不同酸作為催化劑組成，比較不同溫度下對木屑催化水解反應後加入斐林試液 Cu₂O_(s) 沉澱量變化

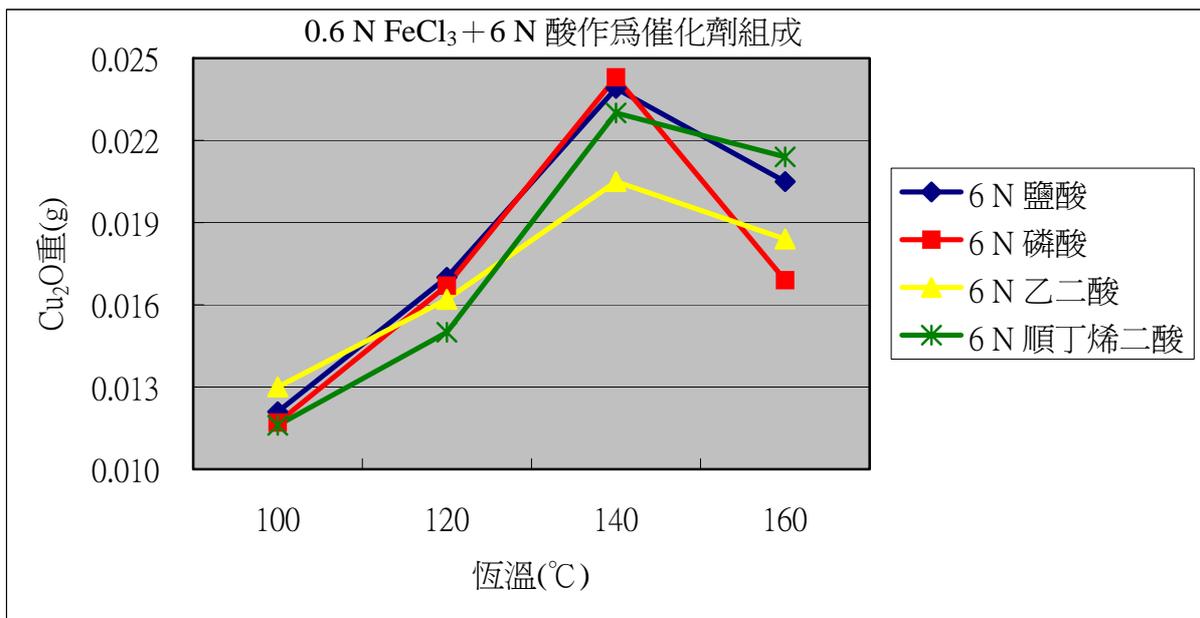


圖 8-2 以 0.6 N FeCl₃ 與 6 N 不同酸作為催化劑組成，比較不同溫度下對木屑催化水解反應後加入斐林試液 Cu₂O_(s)沉澱量變化

九、水解液與木屑原料之比值對木屑纖維素水解的影響

表 9 最佳反應條件下，於不銹鋼容器中加入小鋼珠，測定不同水解液與木屑原料之比值催化水解後，加入斐林試液 Cu₂O_(s)沉澱量與溶液旋光度變化

反應條件	水解液(L)/木屑(Kg)比值	Cu ₂ O 重(克)	旋光度
0.3 N HCl + 4.0 N AlCl ₃	8.0	0.7934	1.4842
	9.0	0.9052	1.6034
	10.0	1.1066	1.8112
	11.0	1.1887	1.8632
	12.0	1.1134	1.8356

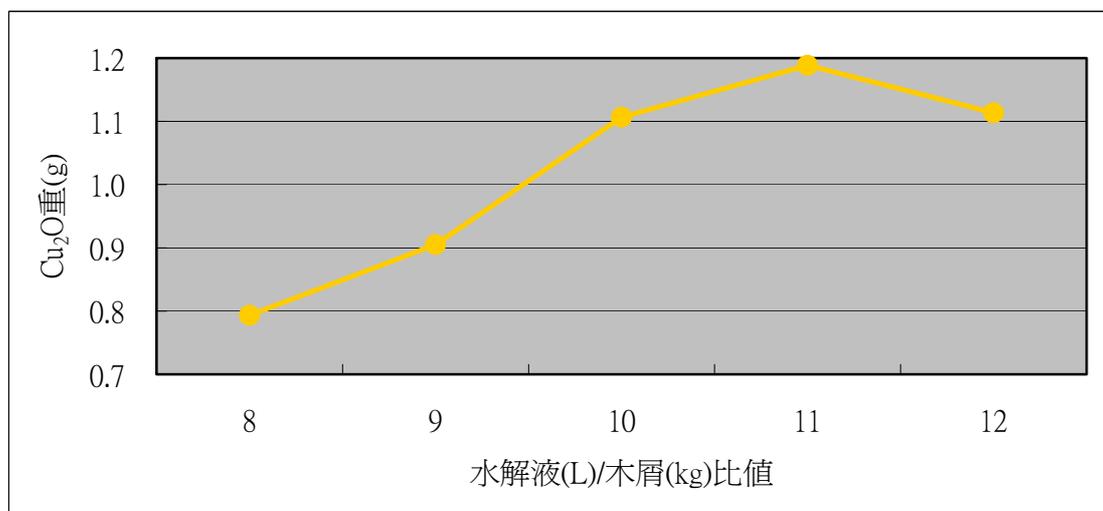


圖 9 最佳反應條件下，不同水解液(L)/木屑(kg)比值對木屑纖維素催化水解後，加入斐林試液 Cu₂O_(s)沉澱量變化

陸、討論

一、探討不同無機酸之濃度對木屑纖維素的水解反應

實驗結果發現木屑纖維素被無機酸催化水解後，溶液加入定量斐林試液產生 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 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)催化木屑纖維素水解效果較弱酸(磷酸)顯著。測定木屑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。比較圖 1-1 及圖 1-2 實驗結果，可以發現木屑纖維素在無機酸催化水解反應後，加入定量斐林試液產生 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 沉澱量與測得水解反應後溶液之旋光度成正比關係。

二、探討不同有機酸之濃度對木屑纖維素的水解反應

以濃度為 1.0 N、2.0 N、4.0 N 及 6.0 N 的乙二酸及順丁烯二酸作為木屑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，如圖 2-1~2-2。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，可能是無機酸之 K_a 大於有機酸。

三、探討不同路易士酸之濃度對木屑纖維素的水解反應

由實驗結果得知，路易士酸中可游離之 $[\text{H}^+]$ 很低，因此木屑纖維素水解後，加入斐林試液產生 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 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，如圖 3-2。這是因為路易士酸中加入質子酸時，使可游離之 $[\text{H}^+]$ 增強。

四、催化劑組成和濃度對木屑纖維素水解的影響

由上述三個實驗，可明顯看出酸性強弱會影響木屑纖維素的催化劑果效，於是我們想要進一步探討除了酸性強弱以外，其他影響木屑纖維素水解因素。

在不同濃度酸中加入 0.6 N 金屬離子如 Ni^{2+} 、 Cr^{3+} 、 Fe^{3+} ，結果顯示，隨著酸的濃度增加，木屑纖維素被催化水解成葡萄糖的量也愈多，如圖 4-1~4-3。但比較同濃度酸中加入不同的 0.6 N 金屬離子時，我們發現 0.6 N Cr^{3+} 與不同種類酸之催化效果最為顯著的佳，如圖 4-8~4-10。

五、金屬元素當催化劑對木屑纖維素水解的影響

上述實驗是以金屬離子加入酸中作為木屑纖維素的催化劑組成，若改以金屬粉末作為催化劑，從實驗結果得知，木屑纖維素催化效果隨著金屬元素重量增加而增加，其中以鉻金屬元素催化效果大於鐵金屬元素及鎳金屬元素。

六、以不銹鋼當催化劑對木屑纖維素水解的影響

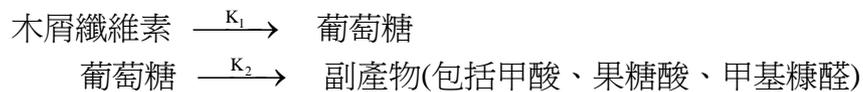
鎳、鉻及鐵金屬元素具有催化效果，若以鎳、鉻及鐵金屬元素之合金材料為反應器，由實數據中，我們可以看出木屑溶液於不銹鋼容器中反應，其催化效果不佳，可能是木屑溶液未能充分與容器壁接觸，導致木屑溶液催化效果差，若不銹鋼容器中加入小鋼珠，增加木屑溶液與不銹鋼的接觸機會，其增加木屑溶液催化效果不顯著，如表 6 所示。

若木屑溶液置於不銹鋼容器中加入鹽酸催化木屑纖維素水解，結果顯示，隨著加入鹽酸的濃度增加，其催化效果也增加。但是若加入的酸性條件為 0.3 N HCl 與三氯化鋁，

水溶液中 $[H^+]$ 有增強效果，其催化木屑纖維素效果最佳，如圖 6。因此，木屑溶液於含有小鋼珠的不銹鋼容器中，加入 0.3 N HCl 與 4.0 N $AlCl_3$ 之催化劑組成時，使木屑纖維素催化水解產生葡萄糖的效果最佳。

七、加熱時間對木屑纖維素水解的影響

由實驗結果，發現隨著加熱時間的增加而 $Cu_2O_{(s)}$ 的量也增加，如表 7。但是在加熱達沸騰後持續 120 分鐘發現 $Cu_2O_{(s)}$ 沉澱量達到一最大值，超過 120 分鐘後 $Cu_2O_{(s)}$ 沉澱量卻隨著加熱時間而下降，如圖 7-1、7-2。以濃度 6 N 順丁烯二酸及 0.6 N $CrCl_3$ 為催化劑組時，木屑溶液沸騰後持續加熱 120 分鐘 $Cu_2O_{(s)}$ 沉澱重量達最大值為 0.3968 克，但持續加熱 150 分鐘 $Cu_2O_{(s)}$ 沉澱重量為 0.3953 克，比較兩者之 $Cu_2O_{(s)}$ 沉澱量差 0.0015 克；但以濃度 6 N 鹽酸及 0.6 N $CrCl_3$ 為催化劑時，其 $Cu_2O_{(s)}$ 沉澱量差 0.0085 克，兩種催化劑組在加熱達 120~150 分鐘之間的催化效果差異很大，這是因為在水解反應過程中進行如下的反應：



纖維素的水解是以有限速率進行的，需用一定時間完成，生成的單醣也需一定時間才能從木屑內部擴散至溶液中，這決定了水解液在反應中需有一定停留時間，另一方面，醣液停留時間的增加將使更多的單醣轉化為副產物，故隨著加熱時間的增加，有 $Cu_2O_{(s)}$ 的重量減少的現象。

八、反應溫度對木屑纖維素水解的影響

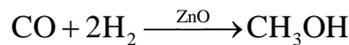
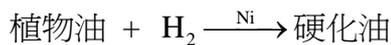
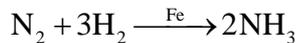
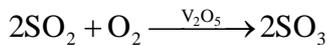
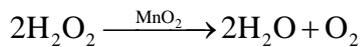
實驗結果(如表 8)發現隨著反應溫度的增加而 $Cu_2O_{(s)}$ 的量也增加，但達到一最大值之後， $Cu_2O_{(s)}$ 的量卻隨著反應溫度增加而下降，如圖 8-1、8-2。這是因纖維素水解常數 K_1 和單醣水解常數 K_2 ，在較低溫度下， K_1 的增加值大於 K_2 ，但隨著溫度提高， K_2 值的增加值會逐漸大於 K_1 ，因而使反應溫度存在一最佳值。以 $CrCl_3+HCl$ 作催化劑組時所需的最佳水解溫度較低，有利於降低操作成本。

九、水解液與木屑原料之比值對木屑纖維素水解的影響

利用實驗六找出的最佳反應條件，改變水解液(L)與木屑原料(kg)之比值，觀察木屑纖維素水解效果，實驗結果發現，隨著水解液(L)與木屑原料(kg)之比值增加，催化水解效果也增加，但水解液(L)與木屑原料(kg)之比值為 11.0 時，其催化效果較佳，水解液(L)與木屑原料(kg)之比值高於 11.0 時，催化效果較有下降的趨勢，表示水解液的增加，會降低醣的濃度，同時成本也相對提高，因此，水解液(L)與木屑原料(kg)之比值，在此實驗範圍內選用 11.0(L/kg)比值最佳，如圖 9 所示。

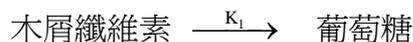
柒、結論

- 一、以無機酸催化木屑纖維素的水解反應時，若無機酸的濃度愈大，則木屑纖維素的水解反應效果愈好，其中以強酸(鹽酸、硫酸)催化木屑纖維素水解效果較弱酸(磷酸)顯著。
- 二、以有機酸催化木屑纖維素的水解反應，實驗結果發現以草酸與順丁烯二酸催化木屑纖維素水解效果相近，但以無機酸催化木屑纖維素的水解反應較有機酸效果顯著。
- 三、以路易斯酸催化木屑纖維素的水解反應，其效果不及無機酸；但和有機酸相差不多。其中效果 $\text{AlCl}_3 > \text{BF}_3$ 。
- 四、若酸性條件使木屑纖維素水解的過程中加入不同種類過渡金屬離子時，木屑纖維素水解效果隨著酸的濃度增加而增加，其結果顯示 Cr^{3+} 溶液中使木屑纖維素的水解反應效果最佳。
- 五、常見反應中大部分以過渡元素為催化劑，如下：



因此選擇過渡金屬元素作為催化劑。實驗結果發現：木屑中的纖維素在過渡金屬元素催化水解效果，依序為 $\text{Cr} > \text{Fe} > \text{Ni}$ ，在我們實驗範圍內可以發現，催化劑質量愈多，木屑中的纖維素催化水解效果愈好。

- 六、加熱時間對木屑纖維素水解很重要，因反應器內進行著如下的兩個反應：



以有機酸為催化劑組時，木屑纖維素水解反應產生的葡萄糖較不會變為副產物。結果顯示，順丁烯二酸較不易使葡萄糖 degradation。

- 七、不銹鋼容器是鎳、鉻、鐵的合金，故不銹鋼容器可直接作為催化劑來使用。
- 八、在不銹鋼容器中的木屑溶液接觸面積不夠均勻只有局部催化，所以催化效果較差；若在不銹鋼容器放入小鋼珠攪拌溶液，則催化效果大幅提高。
- 九、酸性條件下加入不同種類金屬離子如 Ni^{2+} 、 Cr^{3+} 、 Fe^{3+} 時，其催化木屑纖維素的水解效果隨著溫度增加而增加，但含有 Cr^{3+} 溶液且恆溫於 120°C 時 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 的量達最大量且較有機酸條件下多，而 Ni^{2+} 、 Fe^{3+} 溶液需在 140°C 時 $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ 的量才達最大量。但無論有機、無機催化劑組在反應溫度都存在一最佳值。
- 十、在實驗範圍內，隨著水解液與木屑比值的增加，催化水解效果也增加，但高比值，意味著水解液的消耗也增加，同時也降低水解液中醣的濃度，因此，精算成本下，水解液與木屑比值應該有一個最佳值。

捌、未來展望

- 一、於不銹鋼容器加入小鋼珠，催化劑組為質子酸與路易士酸時，改變加熱時間及溫度，找出最佳反應條件，減少能源消耗，加增再生性能源的有效利用。
- 二、以不銹鋼容器及過渡金屬離子加入酸為催化劑，並於不銹鋼容器內置入磁攪拌子，控制加熱時間及反應溫度，希望能夠找到一個最佳反應條件，即可使木屑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。

玖、參考資料

- 一、林福助編著，有機化學實驗六水蒸氣蒸餾，復文書局
- 二、莊智傑編著，有機化學 P200~P207，復文書局
- 三、曾國輝編著，有機化學概論第十章碳化合物，一流出版社
- 四、丁一倪、何芳陔合著，生物化學實驗實驗十三纖維素的性質，環球書社

【評語】 040208 廢棄木屑催化水解的探討

將廢棄木屑催化水解產生葡萄糖是很好的構想，且能找出一較佳的催化反應條件。作品若能考慮產率及**催**化劑效果的探討，將會更完整。