

纖維素水解的探討

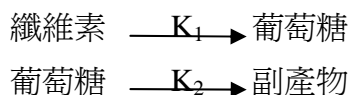
壹、摘要

(一) 水解時間對纖維素水解很重要，因反應器內進行著如下的兩個反應：

纖維素 $\xrightarrow{K_1}$ 葡萄糖，葡萄糖 $\xrightarrow{K_2}$ 副產物（包括甲酸、果糖酸、甲基糠醛）
初反應是纖維素水解，需一定時間完成；此外葡萄糖溶液停留時間的增加，將使更多的葡萄糖轉化為副產物，故隨時間的增加葡萄糖的量有下降的現象。

(二) 催化纖維素 $\xrightarrow{K_1}$ 葡萄糖的效果是：鹽酸催化劑組 > 順丁烯二酸催化劑組，但葡萄糖 $\xrightarrow{K_2}$ 副產物的反應中，鹽酸催化劑組的降解率為 85%，而順丁烯二酸催化劑的降解率為 15%，因此需長時間加熱時，最好採用順丁烯二酸為催化劑催化否則得不償失。

(三) 無機酸催化劑組其催化纖維素水解的效果隨溫度增加而增加，但在 140°C 時 Cu_2O 的量增幅變小，且在 160°C Cu_2O 的量變小很多，這是因反應器內進行著如下的兩個反應：



在較低溫時 K_1 的增加值大於 K_2 ，但隨溫度提高 K_2 的增加值會逐漸大於 K_1 ，因而 Cu_2O 的量增幅變小甚至在 160°C Cu_2O 的量變小。

(四) 有機酸催化劑組，其催化纖維素水解的效果隨溫度增加而增加，但在 140°C 時 Cu_2O 的量增幅較無機酸催化劑組大，且在 160°C 時 Cu_2O 減少的量也較小，這是順丁烯二酸催化劑組在 K_2 葡萄糖降解率較小的原因。

貳、研究動機：

據報載，世界上每天有 6 億多噸木屑、樹幹、甘蔗渣、舊報紙、破布等廢物未被利用，若將其中的纖維素加以利用必為人類創造大量財富，且可利用纖維素產生的葡萄糖發酵為酒精代替石油解決部分能源短缺....越想越興奮，找老師研究去！

參、研究目的：

1. 不同種無機酸和濃度對纖維素水解的影響。
2. 不同種有機酸和濃度對纖維素水解的影響。
3. 催化劑組成和濃度對纖維素水解的影響。
4. 水解時間對纖維素水解的影響。
5. 不同的無機酸與有機酸對葡萄糖降解（degrade）的影響。
6. 用微波加熱、水蒸氣加熱、壓力鍋加熱取代隔水加熱對纖維素水解的影響。
7. 反應溫度對纖維素水解的影響。

肆、研究設備及器材

<器材>：微波爐、離心機、旋光計、離心試管、三腳架、量筒、燒杯、本生燈、玻棒、脫脂棉

<藥品>：HCl、HNO₃、H₂SO₄、H₃PO₄、CH₃COOH、草酸、琥珀酸、順丁烯二酸、FeCl₂、FeCl₃、CoCl₂、NiCl₂、CrCl₃、CuCl₂、ZnCl₂

伍、研究過程及方法：

(一)

取 250mL 的大燒杯一只

↓
加入水 60mL，冷卻之

↓
加入 1g 脫脂棉

↓
攪拌 5~10 分鐘，使棉花溶解

↙
用旋光計測旋光度
光源鈉 D 線，波長 5893Å

↘
取溶液 40mL 於試管中

↓
煮沸 60 分鐘

↓
冷卻之

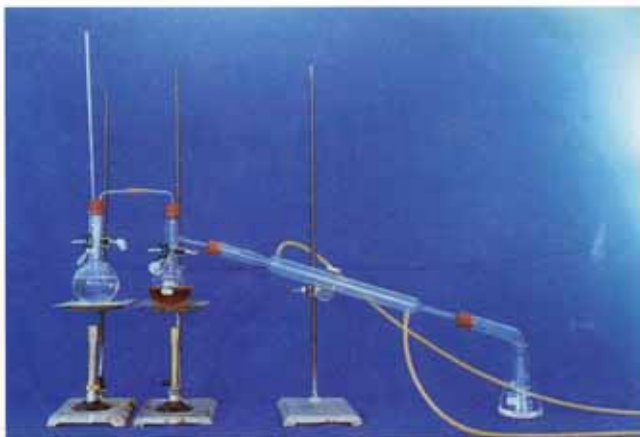
↓
滴入 NaOH 使溶液變中性或鹼性，

↓
加入 5mL 斐林試劑，隔水加熱 10 分鐘

↓
取出試管離心烘乾稱重 Cu_2O

(二) 水蒸氣加熱圖示：

加熱圓底燒瓶產生水蒸氣導入蒸餾瓶內加熱。



(三) 高溫加熱法

利用高溫爐加熱的方式，控溫在 120°C、140°C 和 160°C。



陸、實驗結果與討論

(一) 不同種類無機酸和濃度對纖維素水解的影響

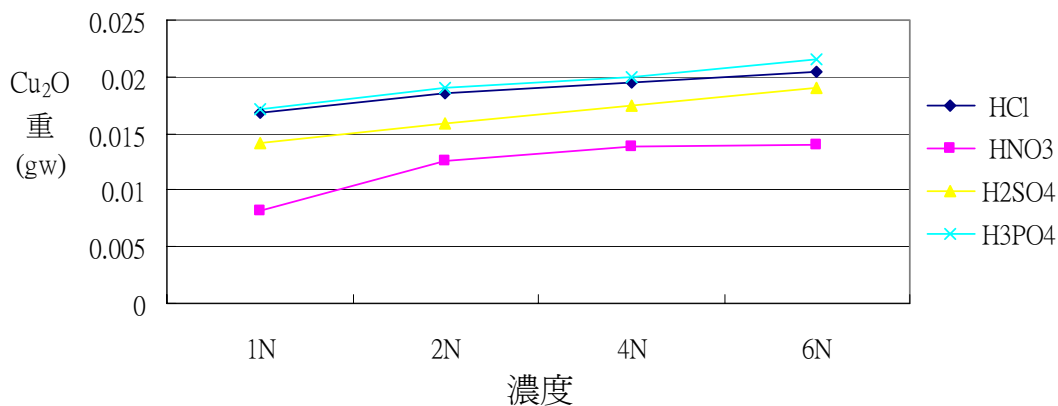
<表一>

酸種類和濃度	Cu ₂ O重 (gw)	旋光度	酸種類和濃度	Cu ₂ O重 (gw)	旋光度
1N HCl	0.0168	0.1255	1N H ₂ SO ₄	0.0142	0.0921
2N HCl	0.0186	0.1472	2N H ₂ SO ₄	0.0159	0.0999
4N HCl	0.0195	0.1646	4N H ₂ SO ₄	0.0175	0.1011
6N HCl	0.0205	0.1853	6N H ₂ SO ₄	0.0191	0.1099
1N HNO ₃	0.0136	0.0250	1N H ₃ PO ₄	0.0172	0.1272
2N HNO ₃	0.0146	0.0448	2N H ₃ PO ₄	0.0190	0.1490
4N HNO ₃	0.0152	0.0649	4N H ₃ PO ₄	0.0200	0.1665
6N HNO ₃	0.0160	0.0883	6N H ₃ PO ₄	0.0215	0.1888

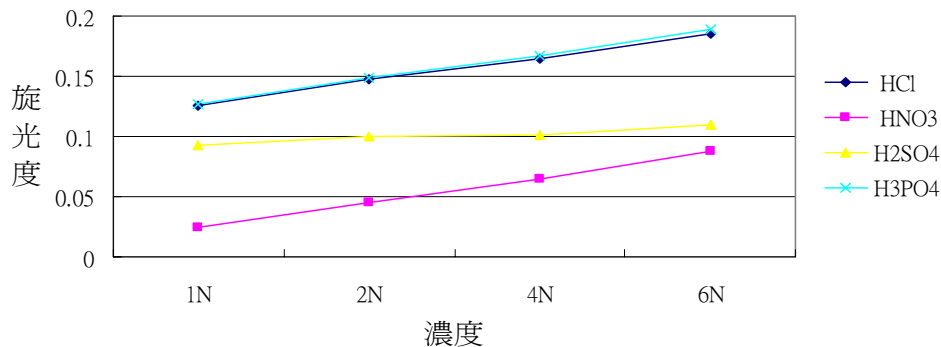
空白實驗：纖維素（棉花）+水+斐林試劑

<圖一>

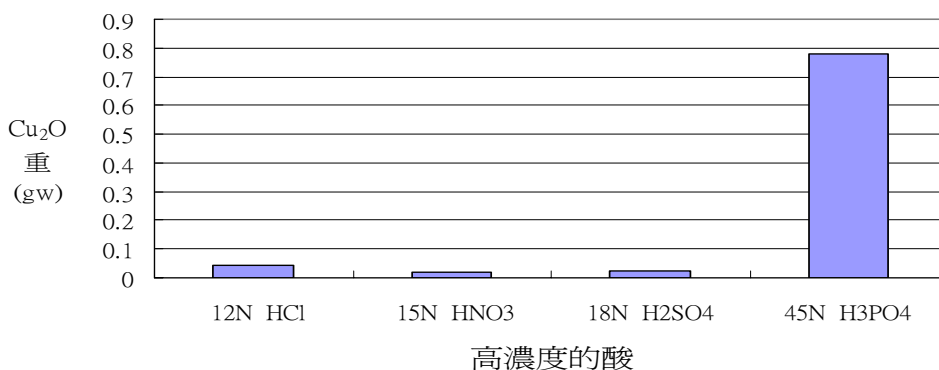
圖一-1 於不同濃度 (1N、2N、4N、6N) 的 HCl、HNO₃、H₂SO₄、H₃PO₄ 下反應與 Cu₂O 重 (gw) 的關係圖



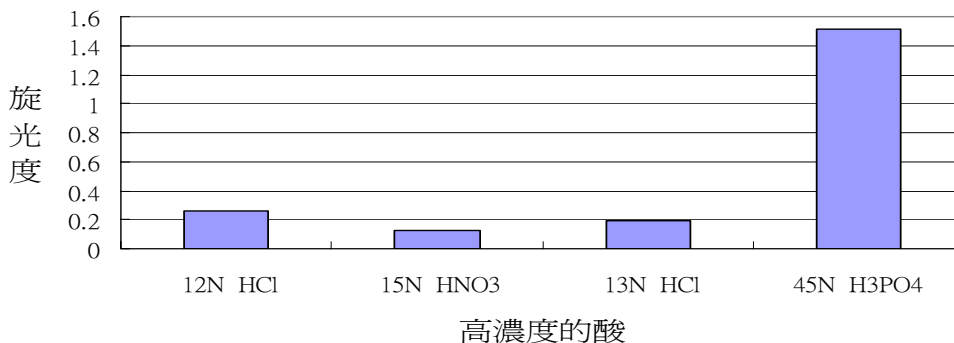
圖一-2 於不同濃度 (1N、2N、4N、6N) 的HCl、HNO₃、H₂SO₄、H₃PO₄下反應與旋光度的關係圖



圖一-3 於高濃度的HCl (12N)、HNO₃ (15N)、H₂SO₄ (18N)、H₃PO₄ (45N) 下反應與Cu₂O重 (gw)的關係圖



圖一-4 於高濃度的HCl (12N)、HNO₃ (15N)、H₂SO₄ (18N)、H₃PO₄ (45N) 下反應與旋光度的關係圖



(二) 不同種類有機酸和濃度對纖維素水解的影響

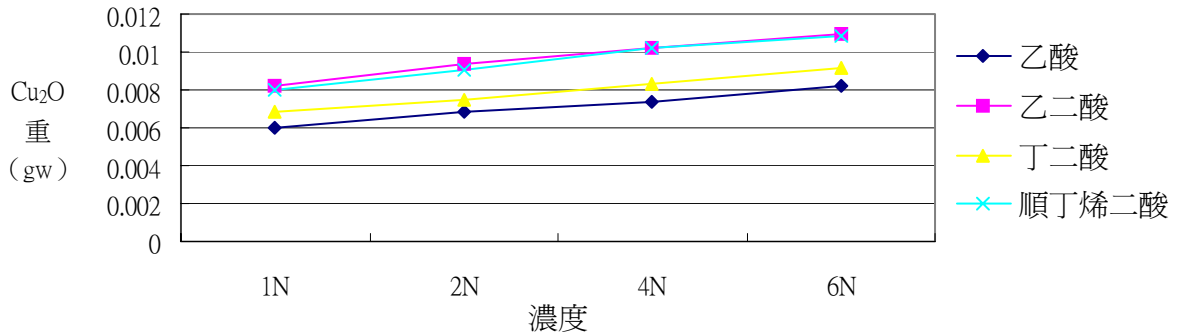
<表二>

酸種類和濃度	Cu ₂ O重 (gw)	旋光度	酸種類和濃度	Cu ₂ O重 (gw)	旋光度
1N 乙酸	0.0060	0.0166	1N 丁二酸	0.0068	0.0172
2N 乙酸	0.0068	0.0209	2N 丁二酸	0.0075	0.0215
4N 乙酸	0.0074	0.0252	4N 丁二酸	0.0083	0.0267
6N 乙酸	0.0082	0.0293	6N 丁二酸	0.0092	0.0299
1N 乙二酸	0.0082	0.0188	1N 順丁烯二酸	0.0080	0.0167
2N 乙二酸	0.0094	0.0246	2N 順丁烯二酸	0.0091	0.0235
4N 乙二酸	0.0102	0.0302	4N 順丁烯二酸	0.0102	0.0294
6N 乙二酸	0.0110	0.0365	6N 順丁烯二酸	0.0108	0.0325

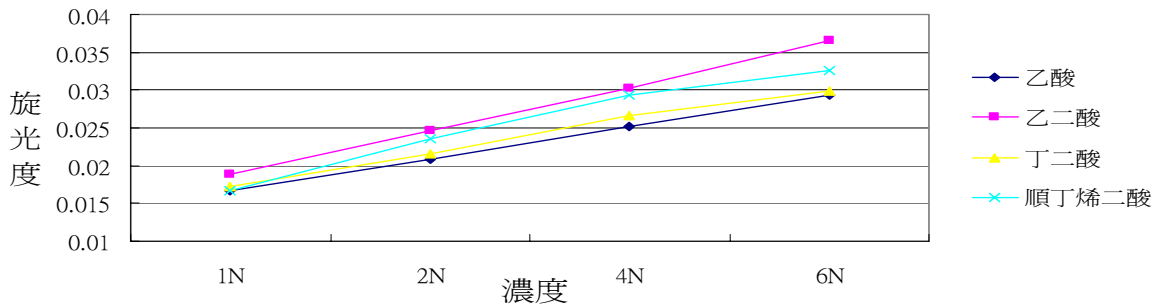
空白實驗：棉花+水+斐林試劑

<圖二>

圖二-1 於不同濃度 (1N、2N、4N、6N) 的乙酸、乙二酸、丁二酸、順丁烯二酸下反應與Cu₂O重 (gw) 的關係圖



圖二-2 於不同濃度 (1N、2N、4N、6N) 的乙酸、乙二酸、丁二酸、順丁烯二酸下反應與旋光度的關係圖



(三) 催化劑組成和濃度對纖維素水解的影響

<表三> A

催化劑組成和濃度	Cu ₂ O重 (gw)	旋光度
0.2N FeCl ₂ + 2N HCl	0.0090	0.0428
0.4N FeCl ₂ + 4N HCl	0.0100	0.0475
0.6N FeCl ₂ + 6N HCl	0.0121	0.0539
0.2N FeCl ₃ + 2N HCl	0.0098	0.0328
0.4N FeCl ₃ + 4N HCl	0.0112	0.0416
0.6N FeCl ₃ + 6N HCl	0.0122	0.0520
0.2N ZnCl ₂ + 2N HCl	0.0092	0.0321
0.4N ZnCl ₂ + 4N HCl	0.0101	0.0399
0.6N ZnCl ₂ + 6N HCl	0.0112	0.0493
0.2N CuCl ₂ + 2N HCl	0.0092	0.0322
0.4N CuCl ₂ + 4N HCl	0.0100	0.0398
0.6N CuCl ₂ + 6N HCl	0.0102	0.0413
0.2N CrCl ₃ + 2N HCl	0.3801	0.8028
0.4N CrCl ₃ + 4N HCl	0.3828	0.8169

0.6N CrCl ₃ + 6N HCl	0.3921	0.8362
0.2N NiCl ₂ + 2N HCl	0.0102	0.0382
0.4N NiCl ₂ + 4N HCl	0.0103	0.0402
0.6N NiCl ₂ + 6N HCl	0.0105	0.0473
0.2N TiCl ₃ + 2N HCl	0.0088	0.0301
0.4N TiCl ₃ + 4N HCl	0.0098	0.0322
0.6N TiCl ₃ + 6N HCl	0.0092	0.0355
0.2N CoCl ₂ + 2N HCl	0.0088	0.0300
0.4N CoCl ₂ + 4N HCl	0.0089	0.0305
0.6N CoCl ₂ + 6N HCl	0.0091	0.0315
0.2N FeCl ₂ + 2N H ₃ PO ₄	0.0105	0.0422
0.4N FeCl ₂ + 4N H ₃ PO ₄	0.0111	0.0498
0.6N FeCl ₂ + 6N H ₃ PO ₄	0.0125	0.0589
0.2N FeCl ₃ + 2N H ₃ PO ₄	0.0112	0.0448
0.4N FeCl ₃ + 4N H ₃ PO ₄	0.0114	0.0506
0.6N FeCl ₃ + 6N H ₃ PO ₄	0.0119	0.0568
0.2N ZnCl ₂ + 2N H ₃ PO ₄	0.0090	0.0388
0.4N ZnCl ₂ + 4N H ₃ PO ₄	0.0108	0.0483
0.6N ZnCl ₂ + 6N H ₃ PO ₄	0.0118	0.0541
0.2N CuCl ₂ + 2N H ₃ PO ₄	0.0098	0.0321
0.4N CuCl ₂ + 4N H ₃ PO ₄	0.0101	0.0398
0.6N CuCl ₂ + 6N H ₃ PO ₄	0.0105	0.0463
0.2N CrCl ₃ + 2N H ₃ PO ₄	0.3800	0.8002
0.4N CrCl ₃ + 4N H ₃ PO ₄	0.3886	0.8211
0.6N CrCl ₃ + 6N H ₃ PO ₄	0.3997	0.8422
0.2N NiCl ₂ + 2N H ₃ PO ₄	0.0099	0.0388
0.4N NiCl ₂ + 4N H ₃ PO ₄	0.0112	0.0457
0.6N NiCl ₂ + 6N H ₃ PO ₄	0.0120	0.0521
0.2N TiCl ₃ + 2N H ₃ PO ₄	0.0100	0.0342
0.4N TiCl ₃ + 4N H ₃ PO ₄	0.0102	0.0389
0.6N TiCl ₃ + 6N H ₃ PO ₄	0.0105	0.0405
0.2N CoCl ₂ + 2N H ₃ PO ₄	0.0082	0.0256
0.4N CoCl ₂ + 4N H ₃ PO ₄	0.0088	0.0302
0.6N CoCl ₂ + 6N H ₃ PO ₄	0.0101	0.0359

<表三>B

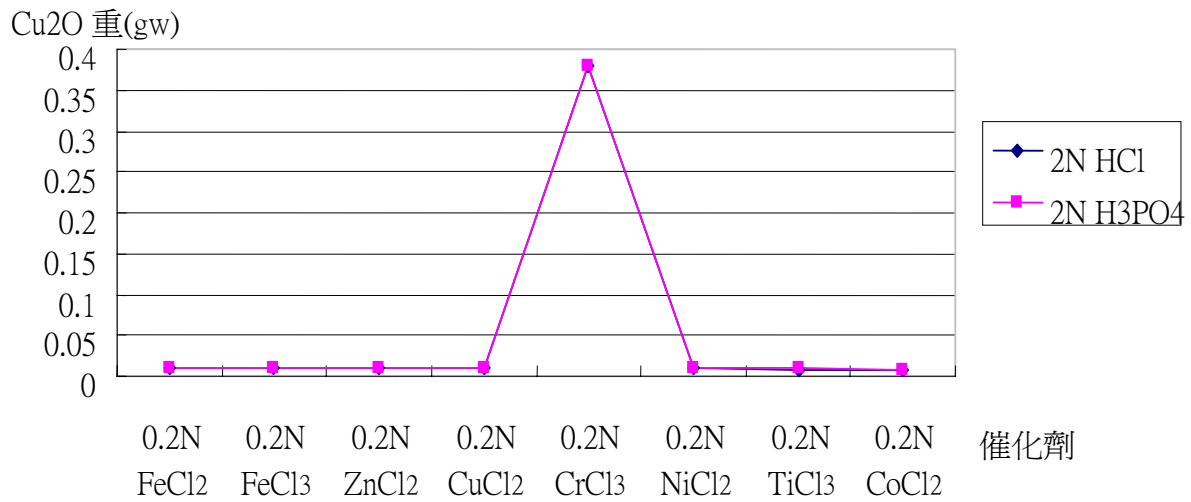
催化劑組成和濃度	Cu ₂ O重 (gw)	旋光度
0.2N FeCl ₂ + 2N 草酸	0.0996	0.0286

0.4N FeCl ₂ + 4N 草酸	0.0102	0.0358
0.6N FeCl ₂ + 6N 草酸	0.0114	0.0488
0.2N FeCl ₃ + 2N 草酸	0.099	0.0299
0.4N FeCl ₃ + 4N 草酸	0.0105	0.0365
0.6N FeCl ₃ + 6N 草酸	0.0106	0.0470
0.2N ZnCl ₂ + 2N 草酸	0.0095	0.0286
0.4N ZnCl ₂ + 4N 草酸	0.0100	0.0390
0.6N ZnCl ₂ + 6N 草酸	0.0102	0.0443
0.2N CuCl ₂ + 2N草酸	0.0080	0.0220
0.4N CuCl ₂ + 4N草酸	0.0086	0.0298
0.6N CuCl ₂ + 6N草酸	0.0091	0.0363
0.2N CrCl ₃ + 2N草酸	0.3722	0.8001
0.4N CrCl ₃ + 4N草酸	0.3828	0.8122
0.6N CrCl ₃ + 6N草酸	0.3902	0.8315
0.2N NiCl ₂ + 2N草酸	0.0092	0.0273
0.4N NiCl ₂ + 4N草酸	0.0100	0.0381
0.6N NiCl ₂ + 6N草酸	0.0106	0.0421
0.2N TiCl ₃ + 2N草酸	0.0072	0.0186
0.4N TiCl ₃ + 4N草酸	0.0083	0.0275
0.2N TiCl ₃ + 6N草酸	0.0090	0.0305
0.2N CoCl ₂ + 2N草酸	0.0075	0.0121
0.4N CoCl ₂ + 4N草酸	0.0080	0.0198
0.6N CoCl ₂ + 6N草酸	0.0086	0.0270
0.2N FeCl ₂ + 2N 順丁烯二酸	0.0108	0.0396
0.4N FeCl ₂ + 4N順丁烯二酸	0.0108	0.0452
0.6N FeCl ₂ + 6N順丁烯二酸	0.0116	0.0538
0.2N FeCl ₃ + 2N順丁烯二酸	0.0102	0.0401
0.4N FeCl ₃ + 4N順丁烯二酸	0.0109	0.0478
0.6N FeCl ₃ + 6N順丁烯二酸	0.0114	0.0518
0.2N ZnCl ₂ + 2N順丁烯二酸	0.0092	0.0312
0.4N ZnCl ₂ + 4N順丁烯二酸	0.0101	0.0396
0.6N ZnCl ₂ + 6N順丁烯二酸	0.0112	0.0499
0.2N CuCl ₂ + 2N順丁烯二酸	0.0090	0.0265
0.4N CuCl ₂ + 4N順丁烯二酸	0.0098	0.0328
0.6N CuCl ₂ + 6N順丁烯二酸	0.0109	0.0413
0.2N CrCl ₃ + 2N順丁烯二酸	0.3620	0.7725
0.4N CrCl ₃ + 4N順丁烯二酸	0.3802	0.8063

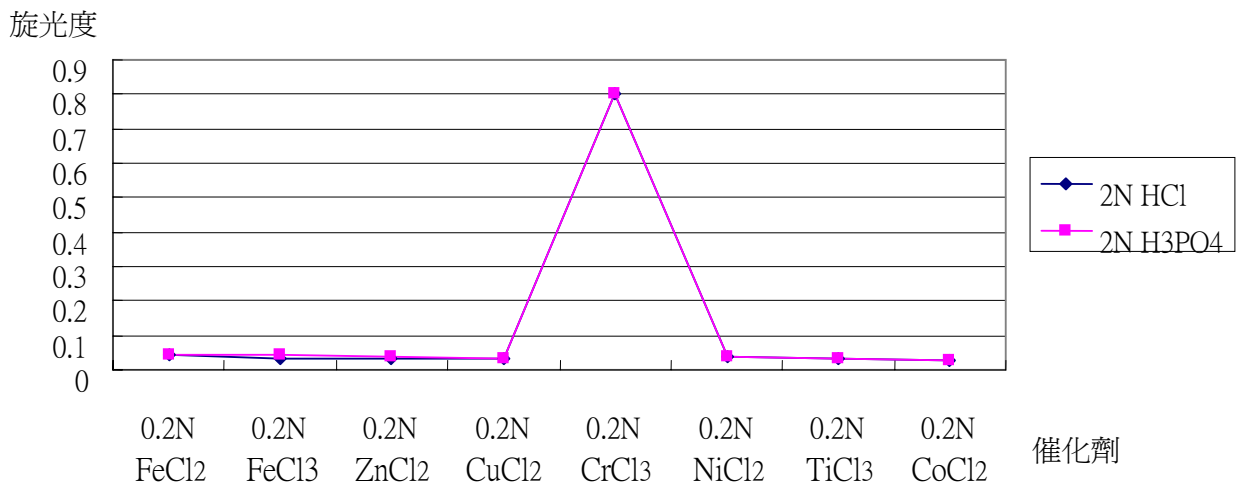
0.6N CrCl ₃ + 6N順丁烯二酸	0.3932	0.8372
0.2N NiCl ₂ + 2N順丁烯二酸	0.0098	0.0326
0.4N NiCl ₂ + 4N順丁烯二酸	0.0109	0.0401
0.6N NiCl ₂ + 6N順丁烯二酸	0.0105	0.0471
0.2N TiCl ₃ + 2N順丁烯二酸	0.0072	0.0125
0.4N TiCl ₃ + 4N順丁烯二酸	0.0070	0.0201
0.6N TiCl ₃ + 6N順丁烯二酸	0.0091	0.0364
0.2N CoCl ₂ + 2N順丁烯二酸	0.0070	0.0111
0.4N CoCl ₂ + 4N順丁烯二酸	0.0078	0.0216
0.6N CoCl ₂ + 6N順丁烯二酸	0.0086	0.0308

<圖三>

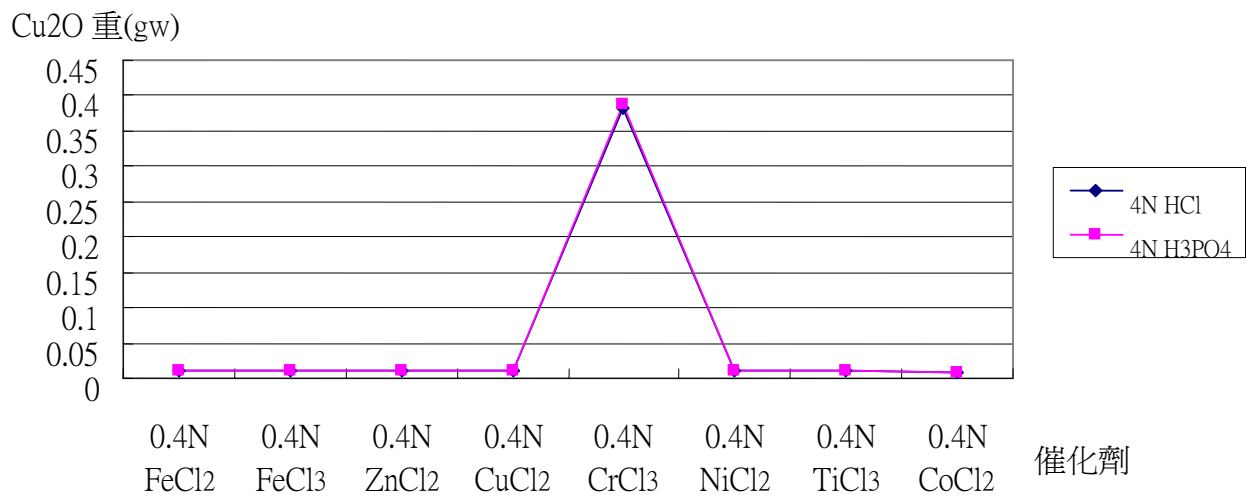
圖三A-1 2N HCl、2N H₃PO₄和 0.2N催化劑個別反應後與Cu₂O重(gw)的關係圖



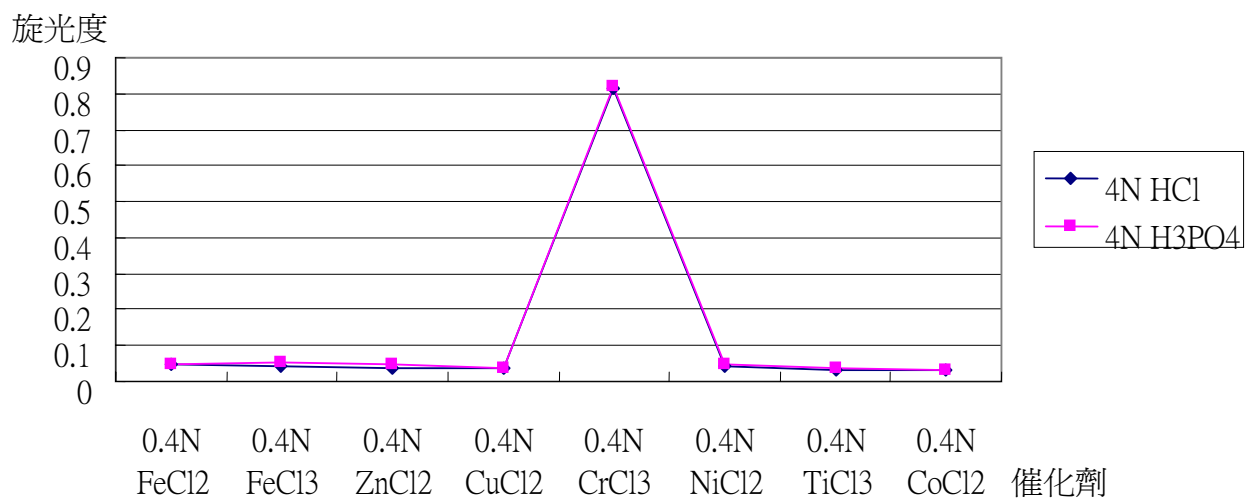
圖三A-2 2N HCl、2N H₃PO₄和 0.2N催化劑個別反應後與旋光度的關係圖



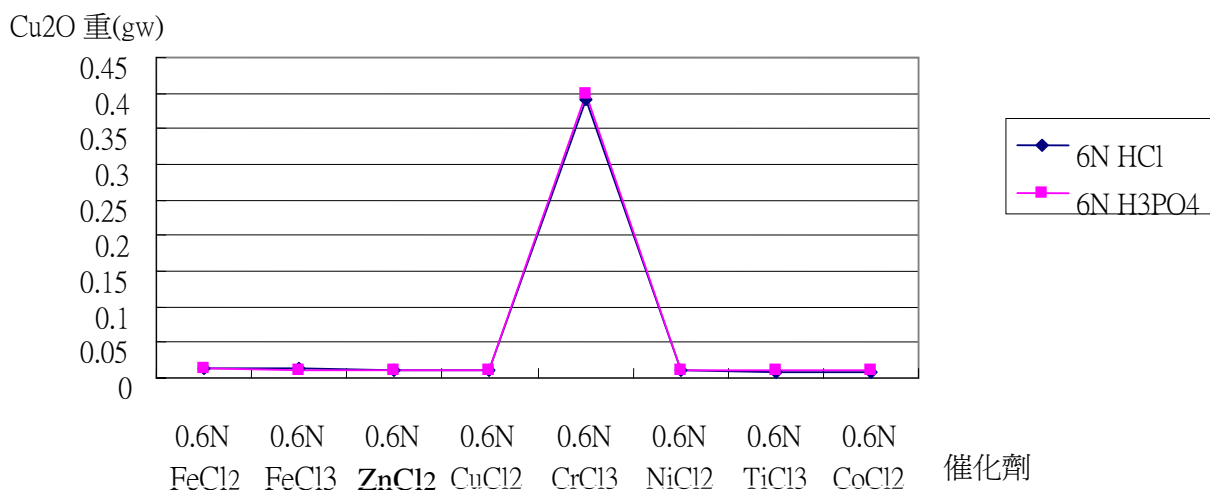
圖三A-3 4N HCl、4N H₃PO₄和 0.4N催化劑個別反應後與Cu₂O重(gw)的關係圖



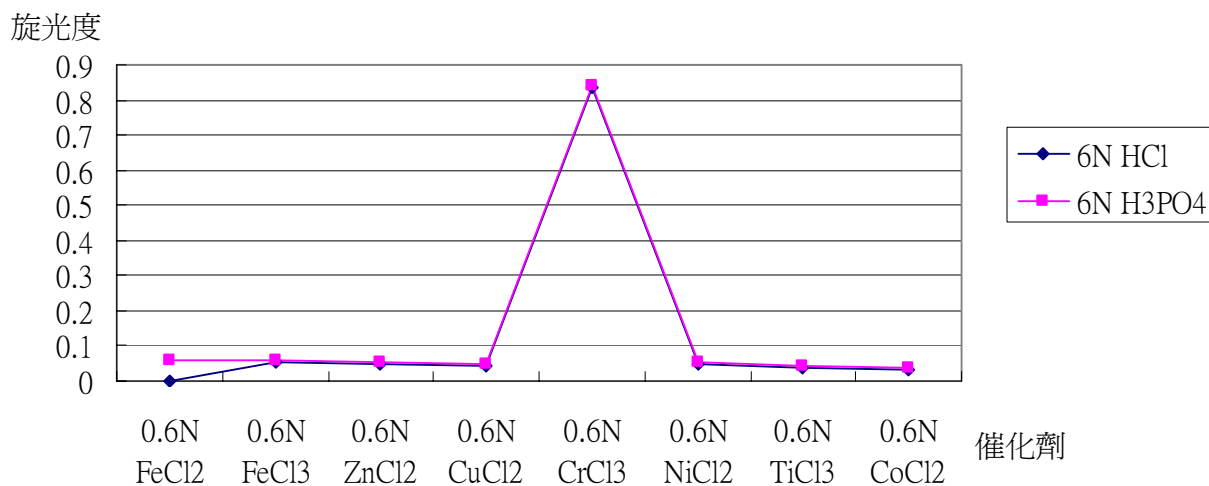
圖三A-4 4N HCl、4N H₃PO₄和 0.4N催化劑個別反應後與旋光度的關係圖



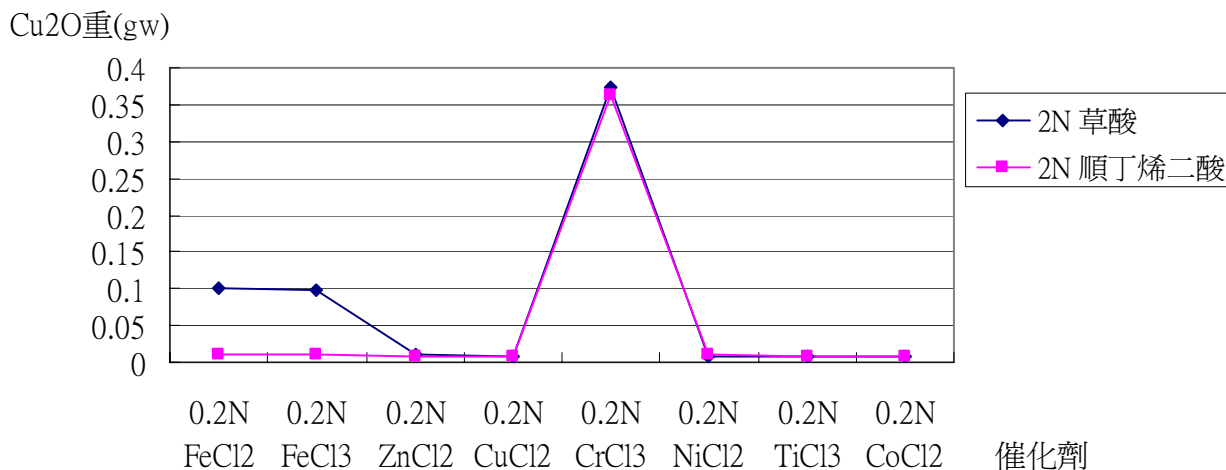
圖三A-5 6N HCl、6N H₃PO₄和 0.6N催化劑個別反應後與Cu₂O重(gw)的關係圖



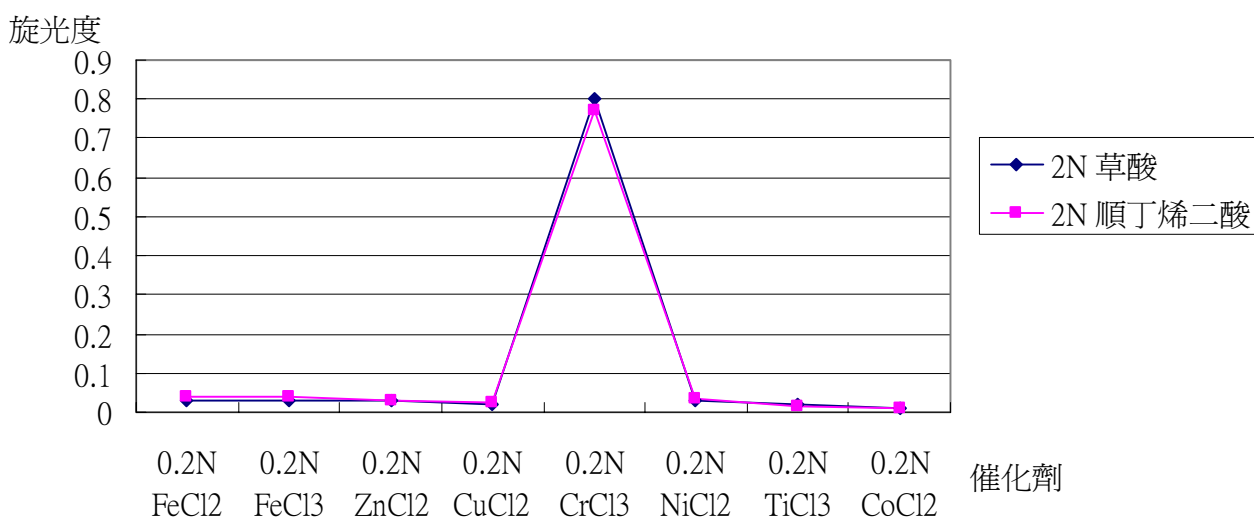
圖三A-6 6N HCl、6N H₃PO₄和 0.6N催化劑個別反應後與旋光度的關係圖



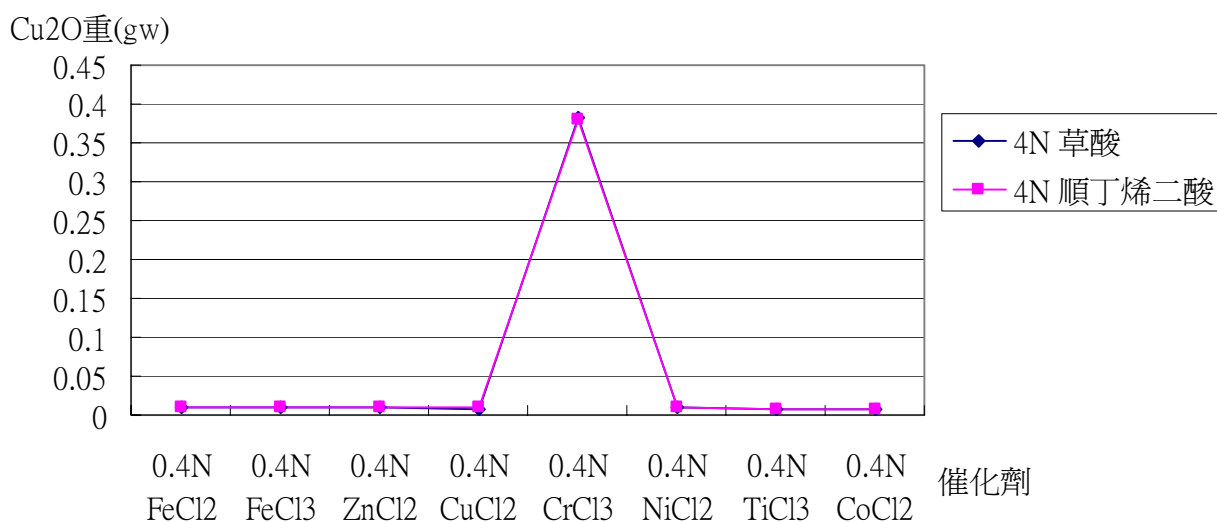
圖三B-1 2N 草酸、2N 順丁烯二酸和 0.2N催化劑個別反應後與Cu₂O重(gw)的關係圖



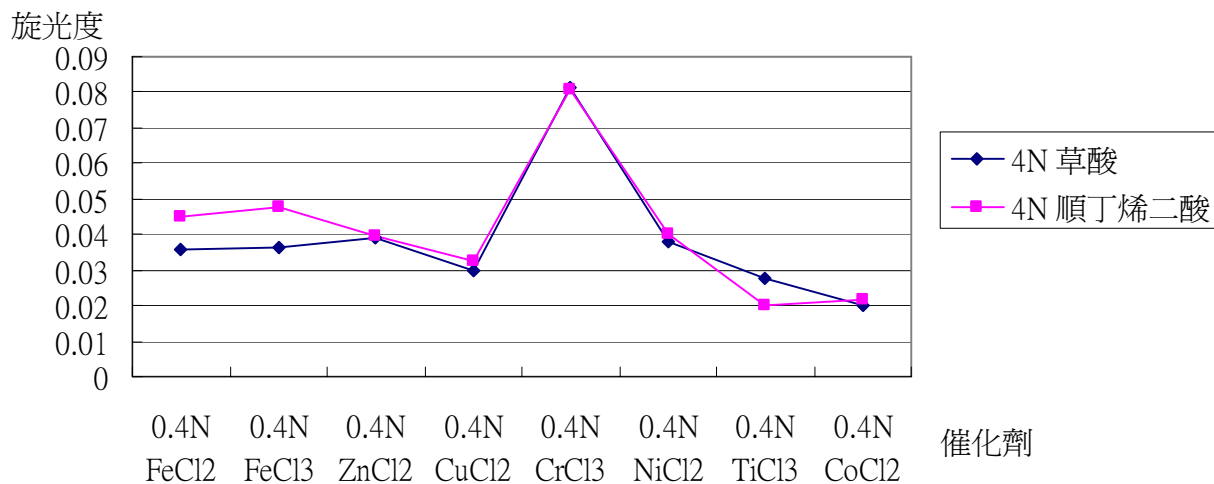
圖三B-2 2N C₂H₂O₄、2N C₄H₄O₄和 0.2N催化劑個別反應後與旋光度的關係圖



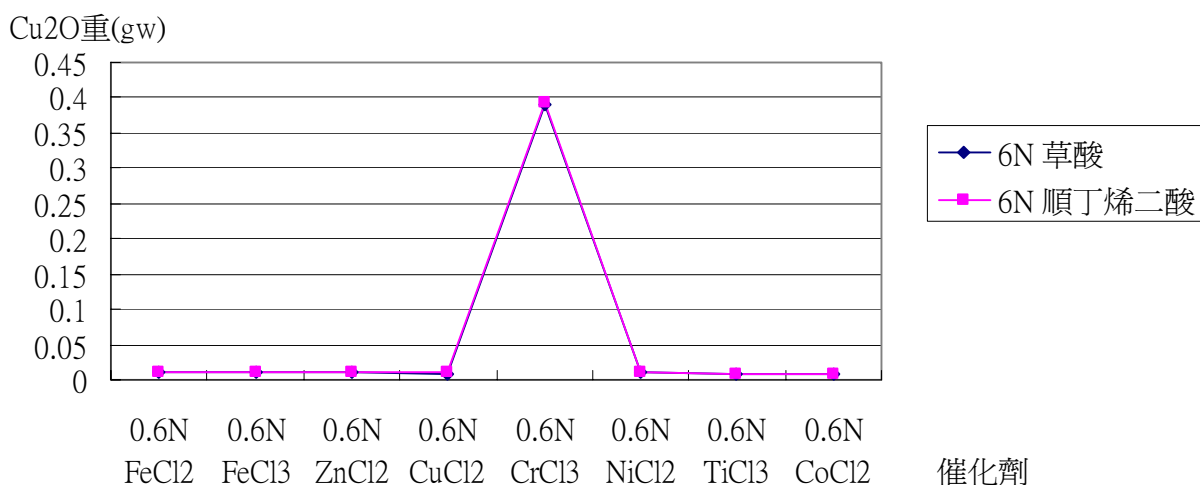
圖三B-3 4N C₂H₂O₄、4N C₄H₄O₄和 0.4N催化劑個別反應後與Cu₂O重(gw)的關係圖



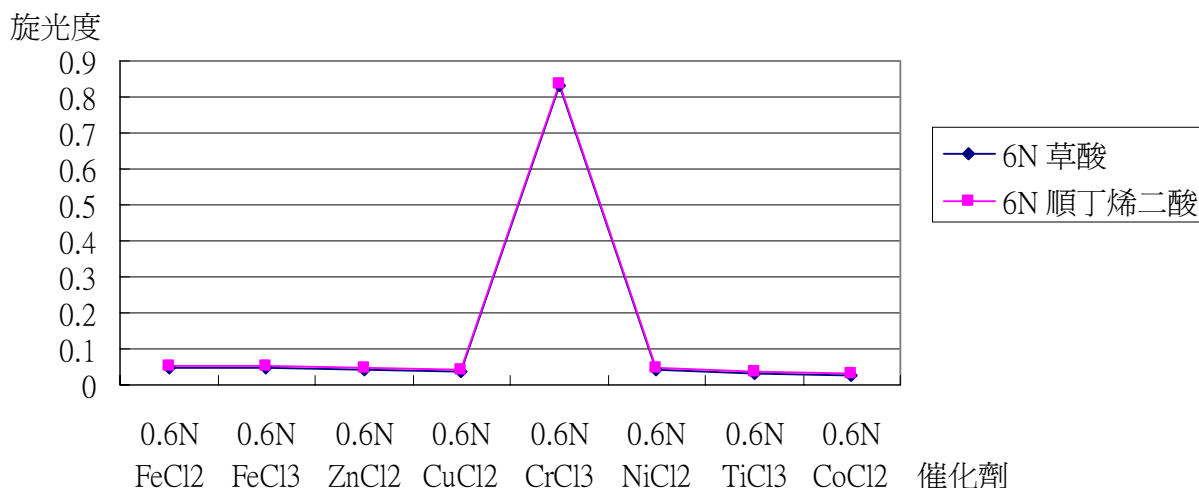
圖三B-4 4N C₂H₂O₄、4N C₄H₄O₄和 0.4N催化劑個別反應後與旋光度的關係圖



圖三B-5 6N C₂H₂O₄、6N C₄H₄O₄和 0.6N 催化劑個別反應後與Cu₂O重(gw)的關係圖



圖三B-6 6N C₂H₂O₄、6N C₄H₄O₄和 0.6N 催化劑個別反應後與旋光度的關係圖



(四) 水解時間對纖維素水解的影響

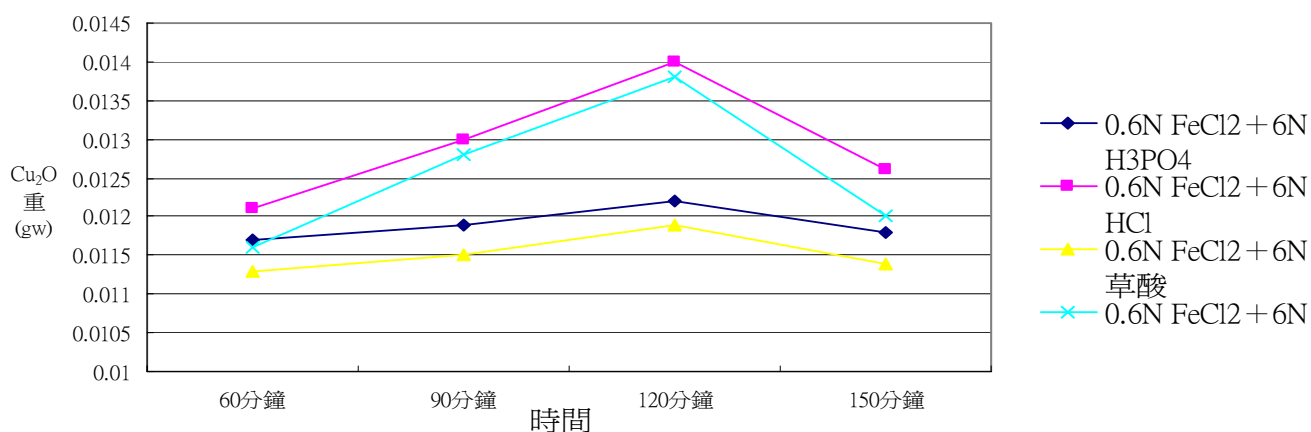
<表四>

催化劑類型	加熱時間 (分)	Cu ₂ O重 (gw)	旋光度
0.6N FeCl ₂ + 6N H ₃ PO ₄	60	0.0117	0.0589
0.6N FeCl ₂ + 6N H ₃ PO ₄	90	0.0119	0.0638
0.6N FeCl ₂ + 6N H ₃ PO ₄	120	0.0122	0.0680
0.6N FeCl ₂ + 6N H ₃ PO ₄	150	0.0118	0.0601
0.6N CrCl ₃ + 6N H ₃ PO ₄	60	0.3950	0.8422
0.6N CrCl ₃ + 6N H ₃ PO ₄	90	0.4010	0.8755
0.6N CrCl ₃ + 6N H ₃ PO ₄	120	0.4088	0.8987
0.6N CrCl ₃ + 6N H ₃ PO ₄	150	0.3986	0.8620
0.6N FeCl ₂ + 6N HCl	60	0.0121	0.0539
0.6N FeCl ₂ + 6N HCl	90	0.0130	0.0572

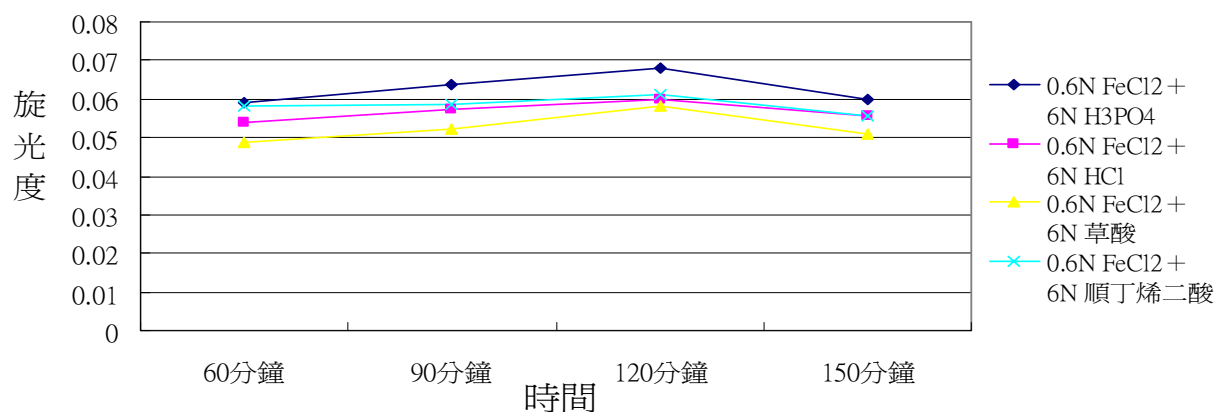
0.6N FeCl ₂ + 6N HCl	120	0.0140	0.0601
0.6N FeCl ₂ + 6N HCl	150	0.0126	0.0556
0.6N CrCl ₃ + 6N HCl	60	0.3922	0.8362
0.6N CrCl ₃ + 6N HCl	90	0.4011	0.9021
0.6N CrCl ₃ + 6N HCl	120	0.4096	0.9699
0.6N CrCl ₃ + 6N HCl	150	0.3952	0.8592
0.6N FeCl ₂ + 6N 草酸	60	0.0113	0.0488
0.6N FeCl ₂ + 6N草酸	90	0.0115	0.0521
0.6N FeCl ₂ + 6N草酸	120	0.0119	0.0580
0.6N FeCl ₂ + 6N草酸	150	0.0114	0.0510
0.6N CrCl ₃ + 6N 草酸	60	0.3902	0.8315
0.6N CrCl ₃ + 6N 草酸	90	0.4022	0.8992
0.6N CrCl ₃ + 6N 草酸	120	0.4142	0.9210
0.6N CrCl ₃ + 6N 草酸	150	0.3952	0.8580
0.6N FeCl ₂ + 6N 順丁烯二酸	60	0.116	0.0583
0.6N FeCl ₂ + 6N順丁烯二酸	90	0.0128	0.0586
0.6N FeCl ₂ + 6N順丁烯二酸	120	0.0138	0.0612
0.6N FeCl ₂ + 6N順丁烯二酸	150	0.0120	0.0556
0.6N CrCl ₃ + 6N 順丁烯二酸	60	0.3932	0.8372
0.6N CrCl ₃ + 6N順丁烯二酸	90	0.4086	0.8692
0.6N CrCl ₃ + 6N順丁烯二酸	120	0.4121	0.9112
0.6N CrCl ₃ + 6N順丁烯二酸	150	0.4025	0.8562

<圖四>

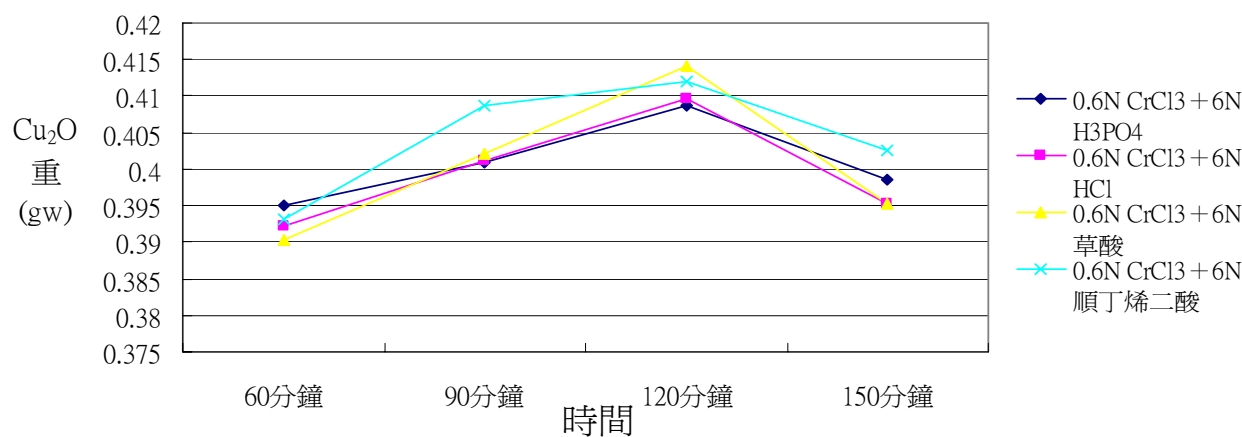
圖四-1 0.6N FeCl₂ + 6N H₃PO₄、0.6N FeCl₂ + 6N HCl、0.6N FeCl₂ + 6N C₂H₂O₄、0.6N FeCl₂ + 6N C₄H₄O₄個別反應後Cu₂O重(gw)的關係圖



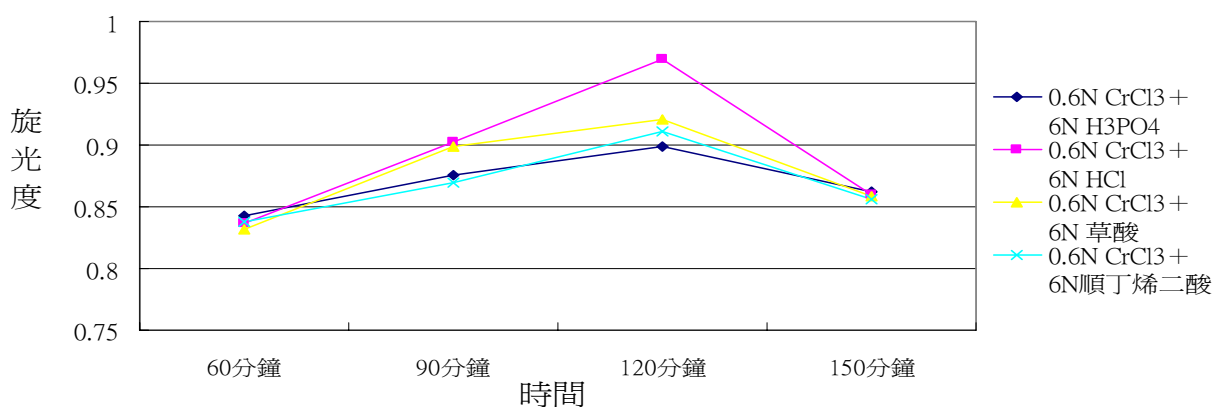
圖四-2 0.6N FeCl₂+6N H₃PO₄、0.6N FeCl₂+6N HCl、0.6N FeCl₂+6N C₂H₂O₄、0.6N FeCl₂+6N C₄H₄O₄個別反應後旋光度的關係圖



圖四-3 0.6N CrCl₃+6N H₃PO₄、0.6N CrCl₃+6N HCl、0.6N CrCl₃+6N C₂H₂O₄、0.6N FeCl₂+6N C₄H₄O₄個別反應後Cu₂O重(gw)的關係圖



圖四-4 0.6N CrCl₃+6N H₃PO₄、0.6N CrCl₃+6N HCl、0.6N CrCl₃+6N C₂H₂O₄、0.6N FeCl₂+6N C₄H₄O₄個別反應後旋光度的關係圖



(五) 不同的無機酸和有機酸對葡萄糖降解 (dgrade) 的影響

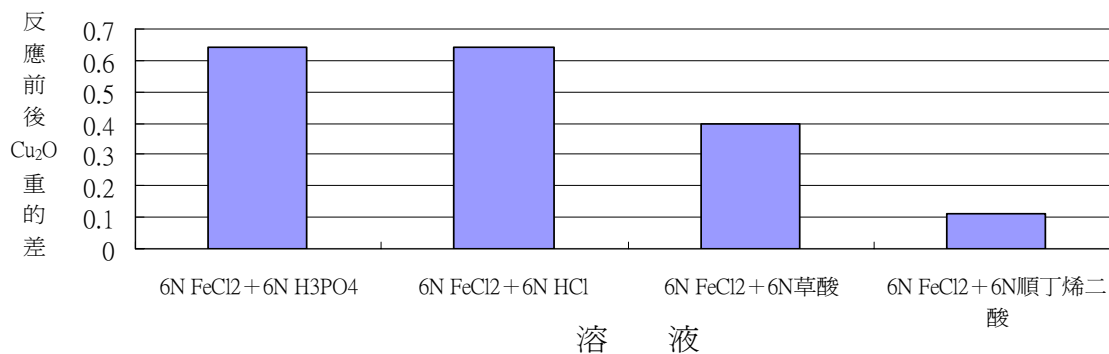
<表五>

催化劑類型	加熱時間	反應前 Cu ₂ O重 (gw)	反應後 Cu ₂ O重 (gw)	反應前 旋光度	反應後 旋光度
6N FeCl ₂ +6N H ₃ PO ₄	60	0.7520	0.1086	2,4948	0.5748

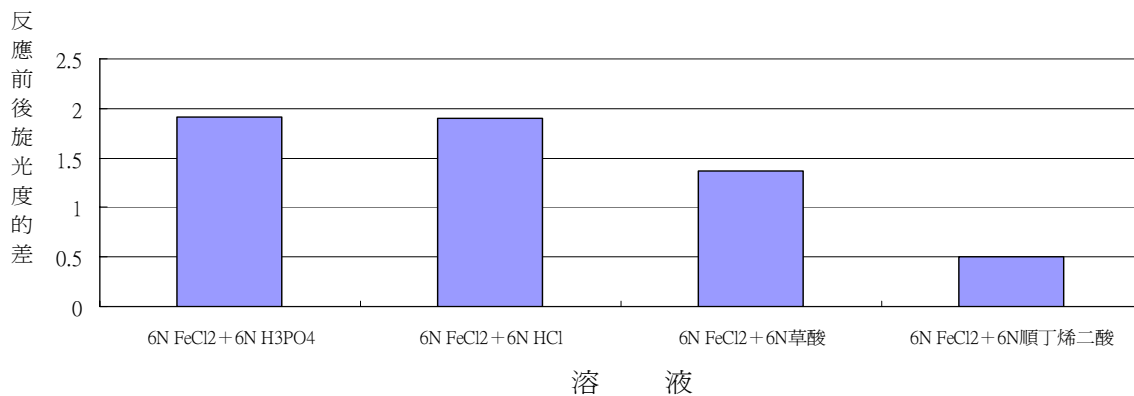
6N CrCl ₃ +6N H ₃ PO ₄	60	0.7520	0.1095	2,4948	0.5796
6N FeCl ₂ +6N HCl	60	0.7520	0.1102	2,4948	0.5896
6N CrCl ₃ +6N HCl	60	0.7520	0.1653	2,4948	0.6625
6N FeCl ₂ +6N 草酸	60	0.7520	0.3562	2,4948	1.1210
6N CrCl ₃ +6N 草酸	60	0.7520	0.3866	2,4948	1.1522
6N FeCl ₂ +6N 順丁烯二酸	60	0.7520	0.6410	2,4948	1.9962
6N CrCl ₃ +6N順丁烯二酸	60	0.7520	0.6388	2,4948	1.9855

<圖五>

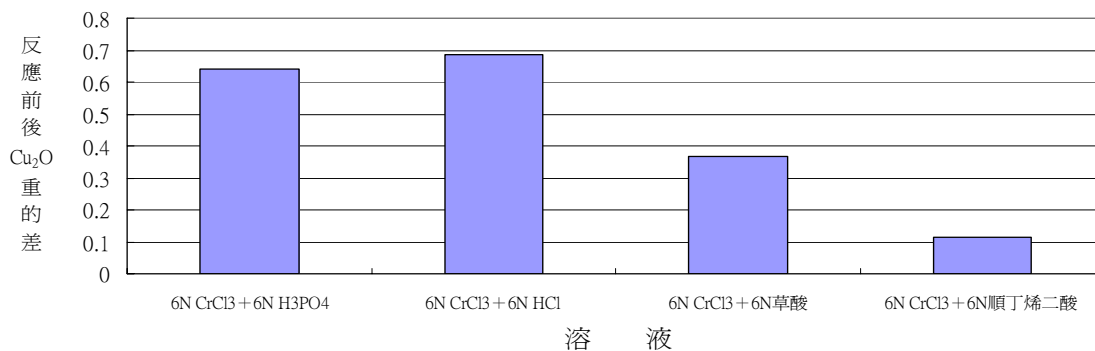
圖五-1 比較 6N FeCl₂+6N H₃PO₄、6N FeCl₂+6N HCl、6N FeCl₂+6N C₂H₂O₄、6N FeCl₂+6N C₄H₄O₄反應前後Cu₂O重(gw)的差



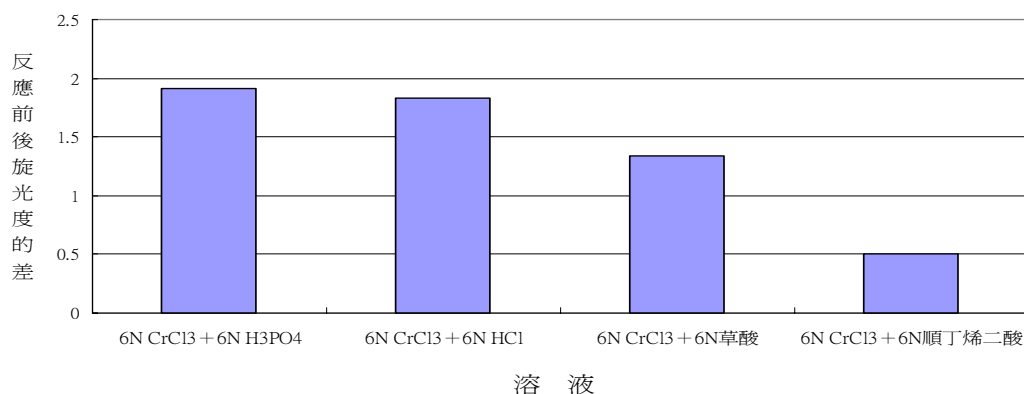
圖五-2 比較 6N FeCl₂+6N H₃PO₄、6N FeCl₂+6N HCl、6N FeCl₂+6N C₂H₂O₄、6N FeCl₂+6N C₄H₄O₄反應前後旋光度的差



圖五-3 比較 6N CrCl₃+6N H₃PO₄、6N CrCl₃+6NHCl、6N CrCl₃+6N C₂H₂O₄、6N FeCl₂+6N C₄H₄O₄反應前後Cu₂O重(gw)的差



圖五-4 比較 6N CrCl₃+6N H₃PO₄、6N CrCl₃+6N HCl、6N CrCl₃+6N C₂H₂O₄、6N FeCl₂+6N C₄H₄O₄反應前後旋光度的差



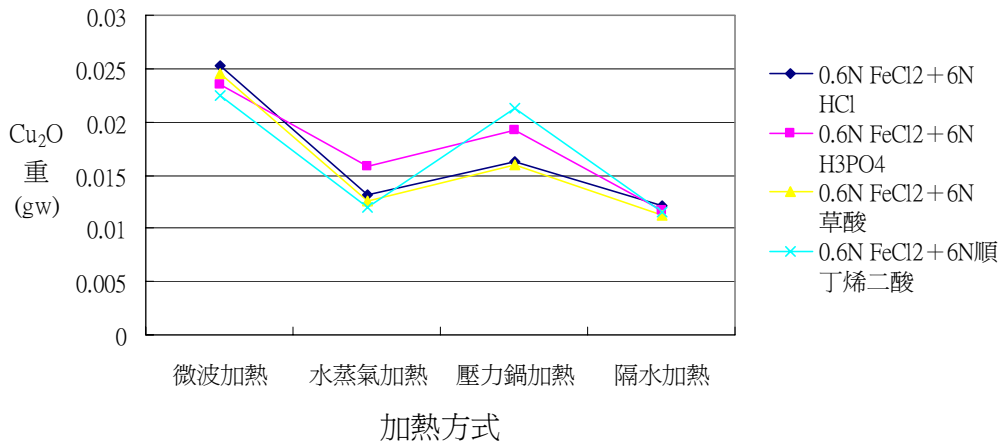
(六) 用微波加熱、水蒸氣加熱，壓力鍋加熱取代隔水加熱對纖維素水解的影響

加熱方式	催化劑組成和濃度	加熱時間	Cu ₂ O重 (gw)	旋光度
微波加熱	0.6N FeCl ₂ +6N HCl	5	0.0252	0.1121
水蒸氣加熱	0.6N FeCl ₂ +6N HCl	60	0.0131	0.0591
壓力鍋加熱	0.6N FeCl ₂ +6N HCl	60	0.0162	0.0688
隔水加熱	0.6N FeCl ₂ +6N HCl	60	0.0121	0.0539
微波加熱	0.6N CrCl ₃ +6N HCl	5	0.7802	1.5656
水蒸氣加熱	0.6N CrCl ₃ +6N HCl	60	0.4025	0.8920
壓力鍋加熱	0.6N CrCl ₃ +6N HCl	60	0.4122	0.9621
隔水加熱	0.6N CrCl ₃ +6N HCl	60	0.3950	0.8362
微波加熱	0.6N FeCl ₂ +6N H ₃ PO ₄	5	0.0235	0.1125
水蒸氣加熱	0.6N FeCl ₂ +6N H ₃ PO ₄	60	0.0158	0.0609
壓力鍋加熱	0.6N FeCl ₂ +6N H ₃ PO ₄	60	0.0192	0.0790
隔水加熱	0.6N FeCl ₂ +6N H ₃ PO ₄	60	0.0117	0.0589
微波加熱	0.6N CrCl ₃ +6N H ₃ PO ₄	5	0.8012	1.7721
水蒸氣加熱	0.6N CrCl ₃ +6N H ₃ PO ₄	60	0.4095	0.9060
壓力鍋加熱	0.6N CrCl ₃ +6N H ₃ PO ₄	60	0.4100	0.9920
隔水加熱	0.6N CrCl ₃ +6N H ₃ PO ₄	60	0.3959	0.3422
微波加熱	0.6N FeCl ₂ +6N 草酸	5	0.0246	0.1002
水蒸氣加熱	0.6N FeCl ₂ +6N草酸	60	0.0125	0.0501
壓力鍋加熱	0.6N FeCl ₂ +6N草酸	60	0.0159	0.0608
隔水加熱	0.6N FeCl ₂ +6N草酸	60	0.0113	0.0488
微波加熱	0.6N CrCl ₃ +6N草酸	5	0.7992	1.7565
水蒸氣加熱	0.6N CrCl ₃ +6N草酸	60	0.4089	0.9002
壓力鍋加熱	0.6N CrCl ₃ +6N草酸	60	0.4125	0.9625
隔水加熱	0.6N CrCl ₃ +6N草酸	60	0.3916	0.8315
微波加熱	0.6N FeCl ₂ +6N順丁烯二酸	5	0.2250	0.1120

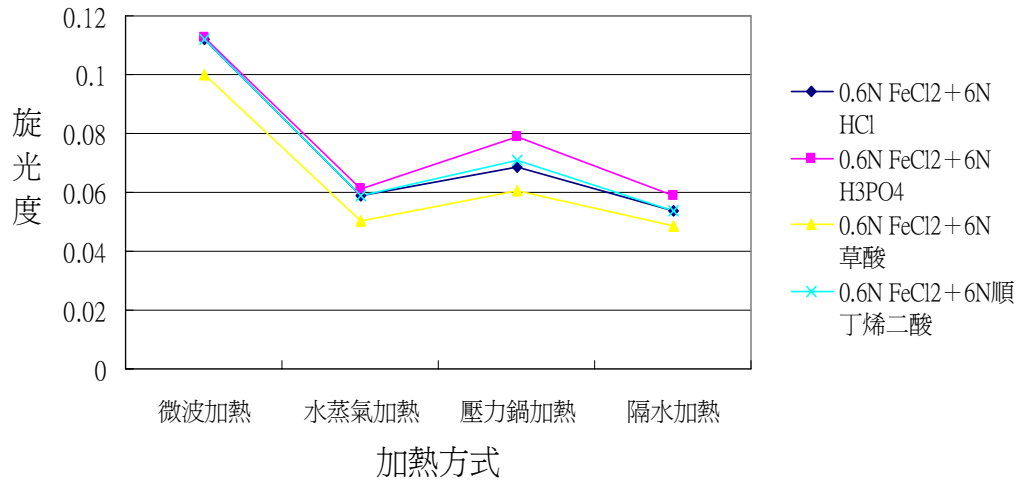
水蒸氣加熱	0.6N FeCl ₂ +6N順丁烯二酸	60	0.1190	0.0588
壓力鍋加熱	0.6N FeCl ₂ +6N順丁烯二酸	60	0.2130	0.0708
隔水加熱	0.6N FeCl ₂ +6N順丁烯二酸	60	0.1160	0.0538
微波加熱	0.6N CrCl ₃ +6N 順丁烯二酸	5	0.8027	1.7862
水蒸氣加熱	0.6N CrCl ₃ +6N順丁烯二酸	60	0.4100	0.9250
壓力鍋加熱	0.6N CrCl ₃ +6N順丁烯二酸	60	0.5024	1.1210
隔水加熱	0.6N CrCl ₃ +6N順丁烯二酸	60	0.3932	0.8372

<圖六>

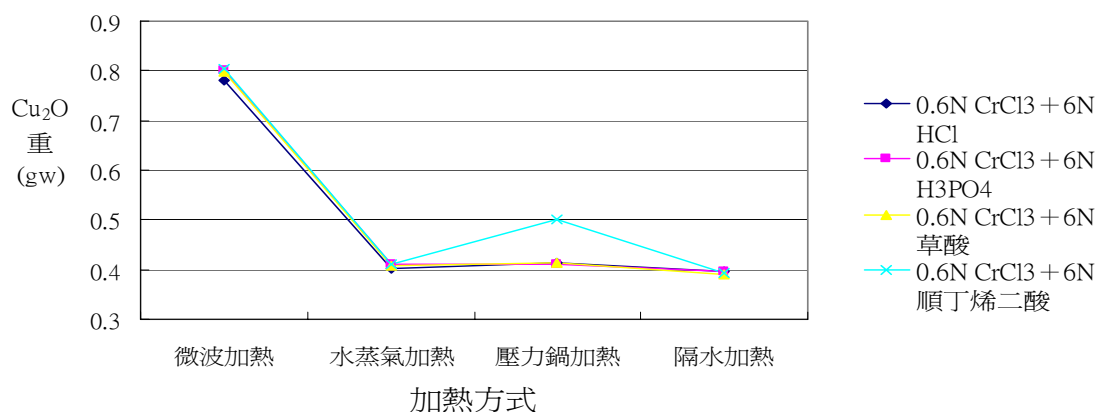
圖六-1 0.6N FeCl₂+6N HCl、0.6N FeCl₂+6N H₃PO₄、0.6N FeCl₂+6N H₂C₂O₄、0.6N FeCl₂+6N C₄H₄O₄在不同加熱方式下反應後Cu₂O重(gw)之關係圖



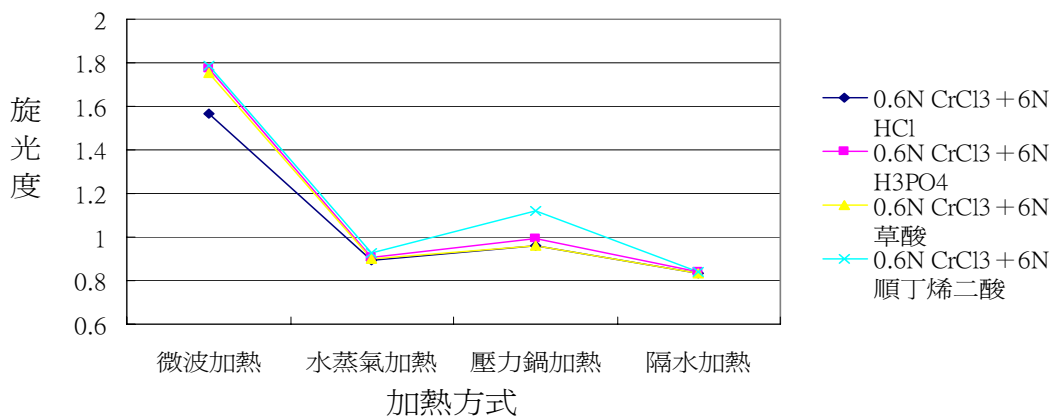
圖六-2 0.6N FeCl₂+6N HCl、0.6N FeCl₂+6N H₃PO₄、0.6N FeCl₂+6N H₂C₂O₄、0.6N FeCl₂+6N C₄H₄O₄在不同加熱方式下反應後旋光度之關係圖



圖六-3 0.6N CrCl₃+6N HCl、0.6N CrCl₃+6N H₃PO₄、0.6N CrCl₃+6N H₂C₂O₄、0.6N FeCl₂+6N C₄H₄O₄在不同加熱方式下反應後Cu₂O重(gw)之關係圖



圖六-4 0.6N CrCl₃+6N HCl、0.6N CrCl₃+6N H₃PO₄、0.6N CrCl₃+6N H₂C₂O₄、0.6N FeCl₂+6N C₄H₄O₄在不同加熱方式下反應後旋光度之關係圖



(七) 反應溫度對纖維素水解的影響

<表七>

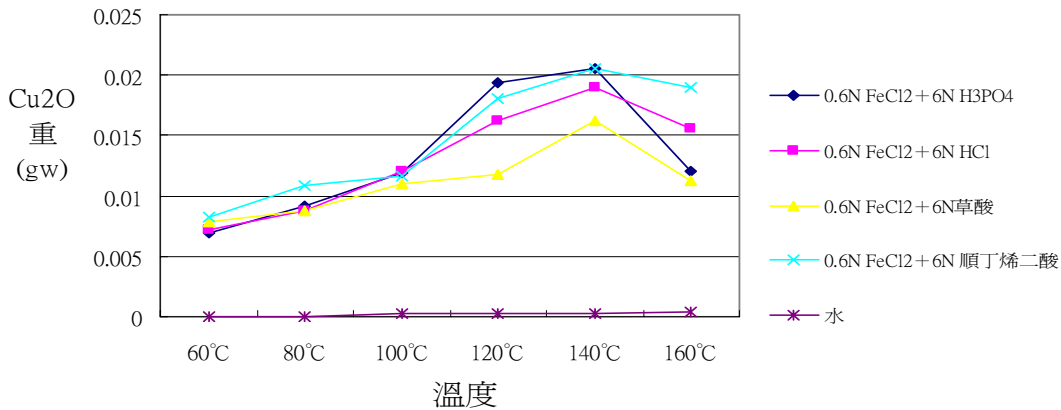
加熱溫度 (°C)	催化劑組成和濃度	加熱時間	Cu ₂ O重 (gw)	旋光度
60	0.6N FeCl ₂ +6N H ₃ PO ₄	60	0.0069	0.0121
80	0.6N FeCl ₂ +6N H ₃ PO ₄	60	0.0092	0.0389
100	0.6N FeCl ₂ +6N H ₃ PO ₄	60	0.0119	0.0589
120	0.6N FeCl ₂ +6N H ₃ PO ₄	60	0.0194	0.0792
140	0.6N FeCl ₂ +6N H ₃ PO ₄	60	0.0205	0.0843
160	0.6N FeCl ₂ +6N H ₃ PO ₄	60	0.0121	0.0612
60	0.6N CrCl ₃ +6N H ₃ PO ₄	60	0.2859	0.6118
80	0.6N CrCl ₃ +6N H ₃ PO ₄	60	0.3188	0.7561
100	0.6N CrCl ₃ +6N H ₃ PO ₄	60	0.3950	0.8458
120	0.6N CrCl ₃ +6N H ₃ PO ₄	60	0.5962	1.2560
140	0.6N CrCl ₃ +6N H ₃ PO ₄	60	0.6979	1.3960
160	0.6N CrCl ₃ +6N H ₃ PO ₄	60	0.4201	1.0110
60	0.6N FeCl ₂ +6N HCl	60	0.0072	0.0110

80	0.6N FeCl ₂ + 6N HCl	60	0.0088	0.0288
100	0.6N FeCl ₂ + 6N HCl	60	0.0121	0.0539
120	0.6N FeCl ₂ + 6N HCl	60	0.0162	0.0682
140	0.6N FeCl ₂ + 6N HCl	60	0.0190	0.0713
160	0.6N FeCl ₂ + 6N HCl	60	0.0156	0.0610
60	0.6N CrCl ₃ + 6N HCl	60	0.2900	0.6211
80	0.6N CrCl ₃ + 6N HCl	60	0.3218	0.7702
100	0.6N CrCl ₃ + 6N HCl	60	0.3922	0.8362
120	0.6N CrCl ₃ + 6N HCl	60	0.6011	1.2480
140	0.6N CrCl ₃ + 6N HCl	60	0.6892	1.3880
160	0.6N CrCl ₃ + 6N HCl	60	0.4256	1.0200
60	0.6N FeCl ₂ + 6N 草酸	60	0.0078	0.0194
80	0.6N FeCl ₂ + 6N 草酸	60	0.0088	0.0283
100	0.6N FeCl ₂ + 6N 草酸	60	0.0110	0.0488
120	0.6N FeCl ₂ + 6N 草酸	60	0.0118	0.0612
140	0.6N FeCl ₂ + 6N 草酸	60	0.0162	0.0680
160	0.6N FeCl ₂ + 6N 草酸	60	0.0112	0.0502
60	0.6N CrCl ₃ + 6N 草酸	60	0.2848	0.6035
80	0.6N CrCl ₃ + 6N 草酸	60	0.3158	0.7321
100	0.6N CrCl ₃ + 6N 草酸	60	0.3902	0.8315
120	0.6N CrCl ₃ + 60.N 草酸	60	0.5350	1.1890
140	0.6N CrCl ₃ + 6N 草酸	60	0.6023	1.2630
160	0.6N CrCl ₃ + 6N 草酸	60	0.4183	1.0900
60	0.6N FeCl ₂ + 6N 順丁烯二酸	60	0.0082	0.0225
80	0.6N FeCl ₂ + 6N 順丁烯二酸	60	0.0109	0.0410
100	0.6N FeCl ₂ + 6N 順丁烯二酸	60	0.0116	0.0538
120	0.6N FeCl ₂ + 6N 順丁烯二酸	60	0.0180	0.0712
140	0.6N FeCl ₂ + 6N 順丁烯二酸	60	0.0205	0.0811
160	0.6N FeCl ₂ + 6N 順丁烯二酸	60	0.0190	0.0740
60	0.6N CrCl ₃ + 6N 順丁烯二酸	60	0.2982	0.6880
80	0.6N CrCl ₃ + 6N 順丁烯二酸	60	0.3262	0.7760
100	0.6N CrCl ₃ + 6N 順丁烯二酸	60	0.3932	0.8372
120	0.6N CrCl ₃ + 6N 順丁烯二酸	60	0.5992	1.2620
140	0.6N CrCl ₃ + 6N 順丁烯二酸	60	0.6768	1.3150
160	0.6N CrCl ₃ + 6N 順丁烯二酸	60	0.5202	1.1250
60	水	60	0	0.0002
80	水	60	0	0.0008
100	水	60	0.0002	0.0020

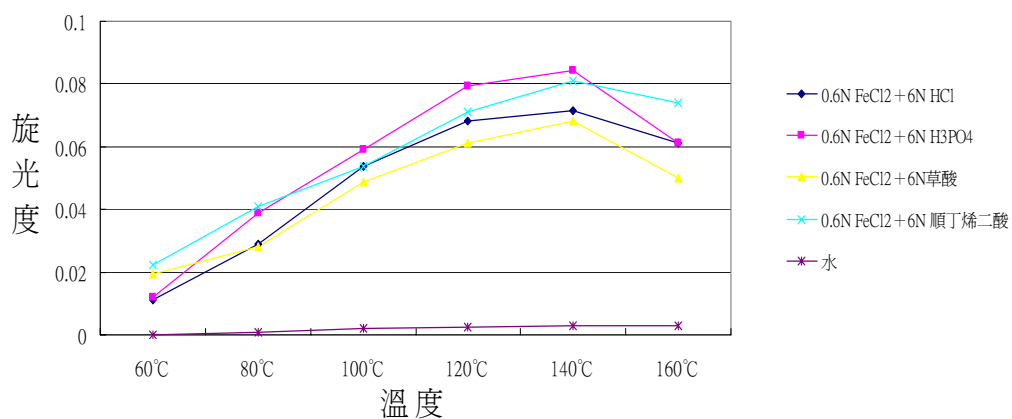
120	水	60	0.0003	0.0025
140	水	60	0.0003	0.0028
160	水	60	0.0004	0.0030

<圖七>

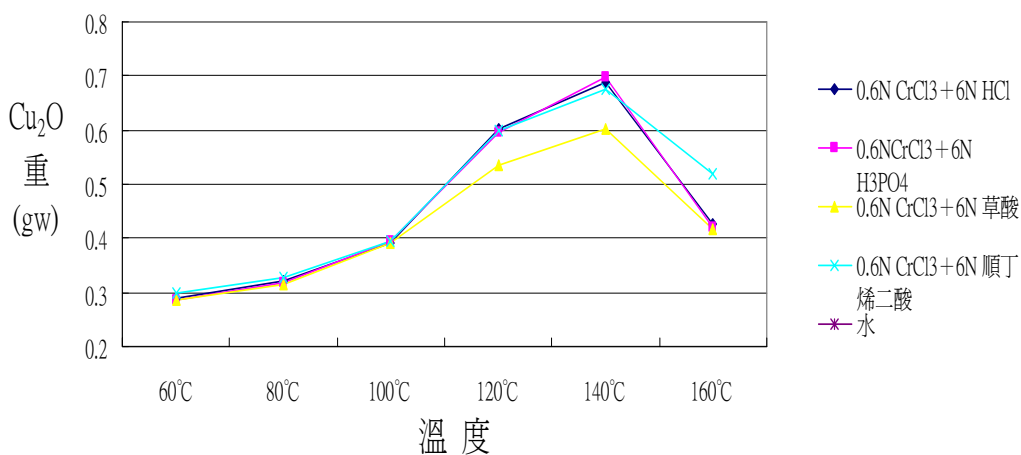
圖七-1 0.6N FeCl₂+6N HCl、0.6N FeCl₂+6N H₃PO₄、0.6N FeCl₂+6N H₂C₂O₄、0.6N FeCl₂+6N C₄H₄O₄、水在不同溫度下反應後Cu₂O重(gw)的關係圖



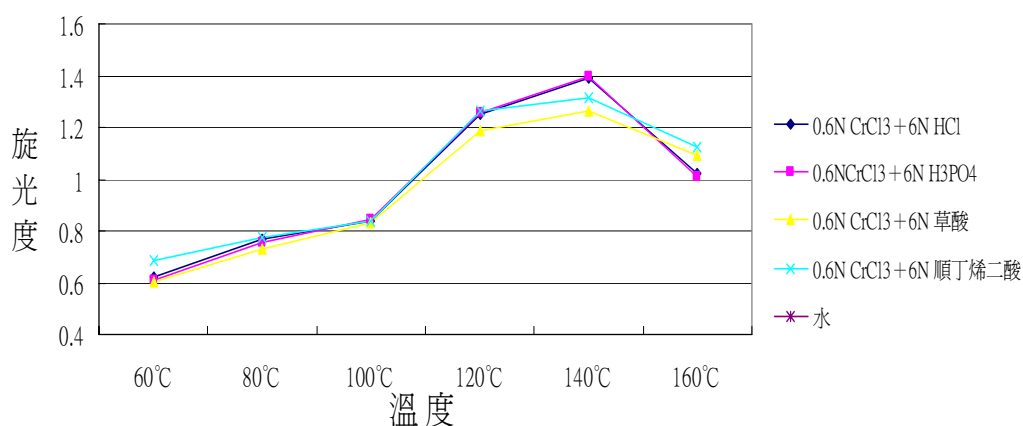
圖七-2 0.6N FeCl₂+6N HCl、0.6N FeCl₂+6N H₃PO₄、0.6N FeCl₂+6N H₂C₂O₄、0.6N FeCl₂+6N C₄H₄O₄、水在不同溫度下反應後旋光度的關係圖



圖七-3 0.6N CrCl₃+6N HCl、0.6N CrCl₃+6N H₃PO₄、0.6N CrCl₃+6N H₂C₂O₄、0.6N CrCl₃+6N C₄H₄O₄、水在不同溫度下反應後Cu₂O重(gw)的關係圖



圖七-4 0.6N CrCl₃+6N HCl、0.6N CrCl₃+6N H₃PO₄、0.6N CrCl₃+6N H₂C₂O₄、0.6N CrCl₃+6N C₄H₄O₄、水在不同溫度下反應後旋光度的關係圖



柒、結論：

- (一) 同濃度無機酸催化纖維素水解效果以磷酸最好其次為鹽酸，硫酸，硝酸。
- (二) 四種有機酸中其 Pk_a 值大小順序為：醋酸>丁二酸>順丁烯二酸>草酸，其酸性強弱為：草酸>順丁烯二酸>丁二酸>醋酸
催化水解的效果為：草酸>順丁烯二酸>丁二酸>醋酸
由此可知有機酸的催化效果與其酸的強弱有關。
- (三) 無論何種酸催化纖維素水解時， $[H^+]$ 越高水解效果越好。
- (四) 和無機酸組成的催化劑組，其水解纖維素的效果為：
 $CrCl_3 > FeCl_2 > FeCl_3 > ZnCl_2 > NiCl_2 > CuCl_2 > TiCl_3 > CoCl_2$ 。
- (五) 和有機酸組成的催化劑組，其水解纖維素的效果為：
 $CrCl_3 > FeCl_2 > FeCl_3 > ZnCl_2 > NiCl_2 > CuCl_2 > TiCl_3 > CoCl_2$ 。
- (六) 用壓力鍋加熱比隔水加熱所產生的 Cu_2O 量多很多，是因較高溫。
- (七) 用水蒸氣加熱，因水蒸氣的熱含量較大，因此加熱於纖維素其水解效果比隔水加熱好。
- (八) 用微波加熱纖維素水解速率較快。
- (九) 用微波加熱，則催化劑組的種類產生 Cu_2O 的量幾乎一樣。
- (十) 食物在壓力鍋內持續加熱，鍋內的壓力升高水的沸點也會提高，故可較高的溫度加速煮熟食物。
- (十一) 微波能穿透絕緣物體，但遇到含有水分的食物便會使水分子和它一起以相同頻率振動，在振動中分子與分子互相摩擦而產生熱量，水分子在微波中每秒振盪 24.5 億次，這種振盪幾乎是在食物的內外各部分同時發生。我們是期盼微波能幫助催化劑組斷裂纖維素的 β -糖苷鍵。
- (十二) 不同加熱方式中，其效果大小依序：微波加熱、壓力鍋加熱、水蒸氣加熱、隔水加熱。
- (十三) 旋光度越大，表示纖維素水解為葡萄糖的程度越佳
- (十四) 纖維素水解實驗，須先將濃硫酸溶於水後，冷卻再加脫脂棉以免濃硫酸直接加在脫脂棉上易引起炭化現象。

捌、展望

地球上最豐富的多糖化合物為纖維素，且廣泛存在於植物如樹幹、竹竿、草竿、甘蔗渣、布料。世界上每天有 6 億多噸木屑、舊報紙、甘蔗渣等廢物未被利用，若將其中的纖維素加以利用，必為人類創造大量財富。我們可利用水解纖維素產生的葡萄糖發酵為酒精以代替石油，或可使纖維素部份水解用作牲畜飼料；纖維素被利用對人類生活帶來的影響，可能超過了多數人的想像，我們一定再接再厲在繼續完成我們的研究。

玖、參考資料

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



附件：廢液處理

一、動機：

本作品實驗，有用到一些有害重金屬鹽類，基於維護環境人人有責下，我們試著用平時學習的化學知識應用於防治環境污染的工作。

二、目的：

用經濟、價廉材料處理本作品實驗的有害重金屬鹽類

三、研究方法：

尋求各種重金屬溶液，利用化學沉澱法之最佳條件

1. 鉻的分析

- 精稱 $K_2Cr_2O_7$ 29.4733 克以蒸餾水配成 1 升溶液
- 準備 5 個 500mL 的燒杯，分別取 50mL 的 $K_2Cr_2O_7(aq)$ 放入燒杯中，然後各個放置在試驗機上。
- 打開電源開關，調其轉速為 100rpm。
- 以硫酸控制五杯溶液均在pH=3，然後分別加入亞硫酸氫鈉($NaHSO_3$)將 Cr^{6+} 還原成 Cr^{3+} ，反應 30 分鐘。
- 然後分別以氫氧化鈉加入各燒杯中，並控制其pH分別為 9、9.5、10、10.5、11 等。使 Cr^{3+} 生成 $Cr(OH)_3$ 沉澱。
- 加入凝集劑以 20rpm 之慢速攪拌 20 分鐘，使氫氧化鉻膠凝成大膠羽。
- 分別過濾，固體送去乾燥然後稱重。
- 利用所得之 $Cr(OH)_3$ 重計算溶液中鉻之去除率。

2. 鎳的分析

- 精稱 $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 29.3706 克以蒸餾水配成 1 升溶液
- 準備 5 個 500mL 的燒杯，分別取 50mL 的 $Ni(NO_3)_2(aq)$ 放入燒杯中，然後各個放置在試驗機上。
- 打開電源開關，調其轉速為 100rpm。
- 以氫氧化鈉控制其 pH 分別為 9、9.5、10、10.5、11 等，反應 20 分鐘。
- 加入凝集劑以 20rpm 之慢速攪拌使生成大顆粒的 $Ni(OH)_2$ 沉澱。
- 靜置、過濾、乾燥然後稱重。
- 利用所得之 $Ni(OH)_2$ 重來計算溶液中 Ni^{2+} 之去除率。

3. 銅的分析

- 精稱 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 29.7530 克以蒸餾水配成 1 升溶液
- 準備 5 個 500mL 的燒杯，分別取 50mL 的 $CuSO_4(aq)$ 放入燒杯中，然後各個放置在試驗機上。
- 打開電源開關，調其轉速為 100rpm。
- 以氫氧化鈉控制其 pH 分別為 8.5、9、9.5、10、11 等，反應 20 分鐘使生成 CuO 的沉澱。
- 加入凝集劑以 20rpm 之慢速攪拌。

- f. 靜置、過濾、乾燥然後稱重。
g. 利用所得之CuO重來計算溶液中Cu²⁺之去除率。

四、數據處理：

1. 鉻的分析

- a. 由於精稱K₂Cr₂O₇ 29.4733 克以蒸餾水配成 1 升溶液，取 50mL的K₂Cr₂O_{7(aq)}則理論上應有 0.5257 克重

$$\text{Cr}^{3+}\text{重} = 29.7205 * \frac{104}{294} * \frac{50}{1000} = 0.5257 \text{ 克}$$

- b. 在不同條件下之析出率分別為

- (1) 在pH=9 時 得到Cr(OH)₃重為 0.9763 克

$$\text{析出率} = \frac{0.9763 * \frac{52}{103}}{0.5257} * 100\% = 93.70\%$$

- (2) 在pH=9.5 時 得到Cr(OH)₃重為 0.9997 克

$$\text{析出率} = \frac{0.9997 * \frac{52}{103}}{0.5257} * 100\% = 96.00\%$$

- (3) 在pH=10 時 得到Cr(OH)₃重為 1.0020 克

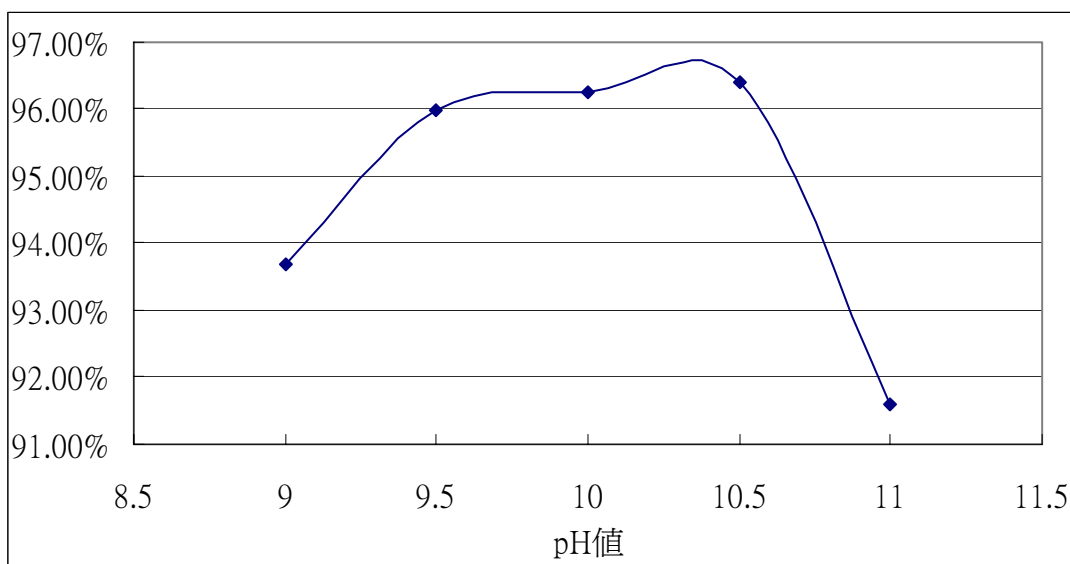
$$\text{析出率} = \frac{1.0020 * \frac{52}{103}}{0.5257} * 100\% = 96.26\%$$

- (4) 在pH=10.5 時 得到Cr(OH)₃重為 1.0038 克

$$\text{析出率} = \frac{1.0038 * \frac{52}{103}}{0.5257} * 100\% = 96.39\%$$

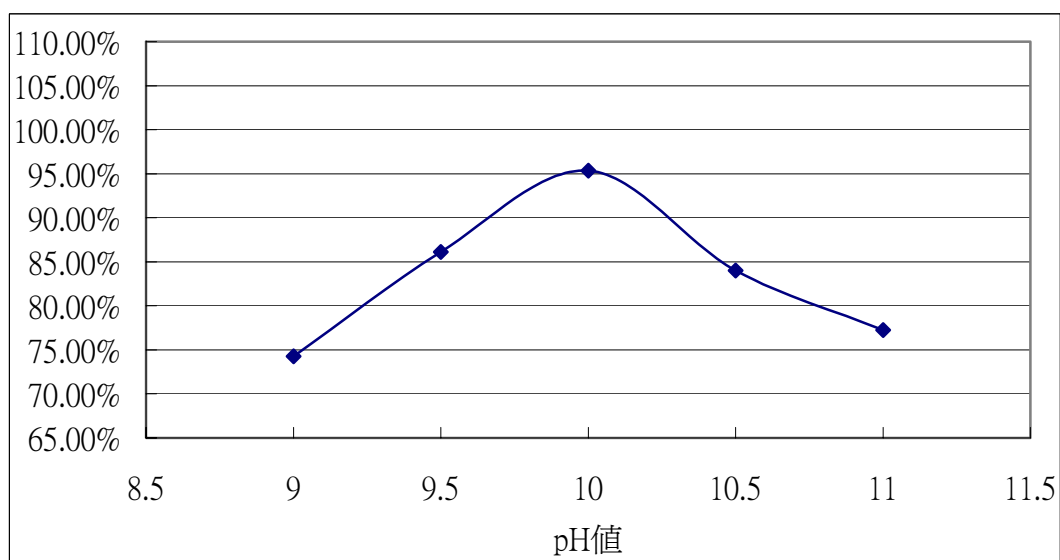
- (5) 在pH=11 時 得到Cr(OH)₃重為 0.9543 克

$$\text{析出率} = \frac{0.9543 * \frac{52}{103}}{0.5257} * 100\% = 91.60\%$$



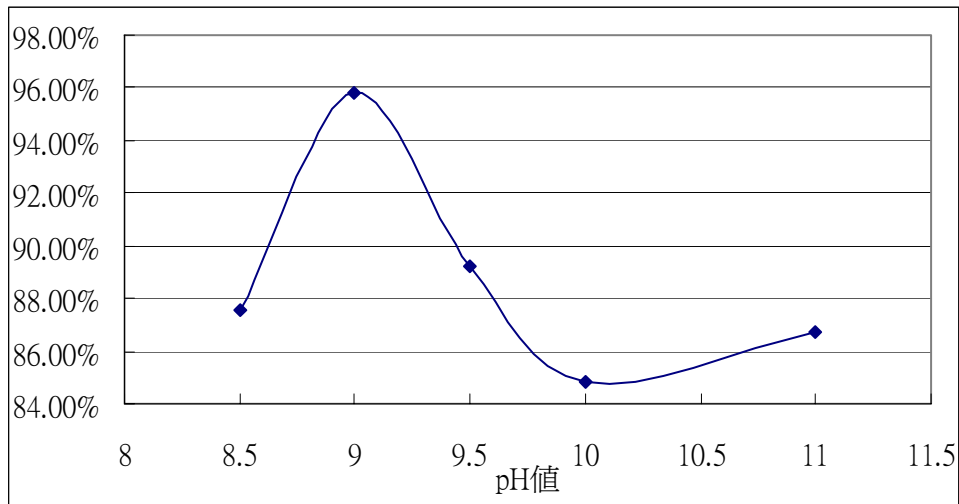
2. 鎳的分析

pH 值	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0
沉澱重量	0.345g	0.3998g	0.4427g	0.3001g	0.3587g
析出率	74.28%	86.11%	95.35%	84.02%	77.26%



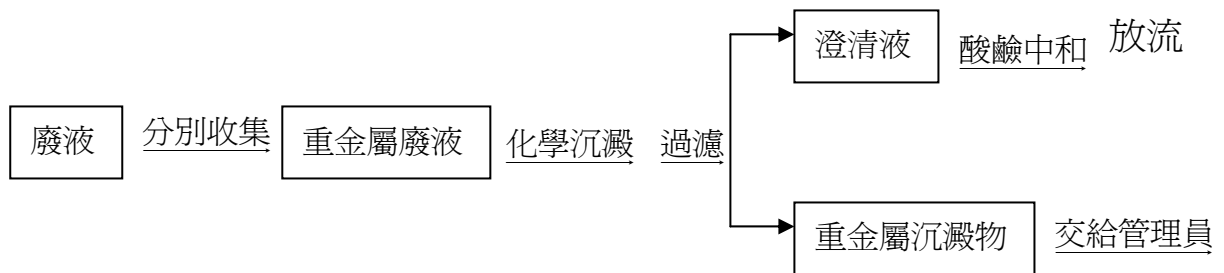
3. 銅的分析

pH 值	8.5	9.0	9.5	10.0	11.0
沉澱重量	0.3812g	0.3812g	0.3549g	0.3449g	0.3376g
析出率	87.59%	95.80%	89.20%	86.69%	84.85%



五、 結論：

1. 我們依據下圖流程之方式操作：



2. 廢棄液以化學沉澱法處理，其處理之最佳條件如下表：

離子種類	Cr^{3+}	Ni^{2+}	Cu^{2+}
沉澱劑	NaOH	NaOH	NaOH
沉澱物	$\text{Cr}(\text{OH})_3$	$\text{Ni}(\text{OH})_2$	CuO
pH 值	10.5	10.0	9.0
去除率(析出率)	96.4	95.3	95.8

評語

091101 高職組化工、衛工及環工科 第三名、最佳團隊合作獎

纖維素水解的探討

- 1.本研究對纖維素水解進行系統化的探討，以不同的酸、催化劑、時間、溫度等，五層次的分析。
- 2.過程中有許多的實驗分析及相互比對，相當紮實。
- 3.對圖表之表達方式的再強化可增加此研究之成效。
- 4.催化劑濃度 尤其是鉻 與酸濃度間之交叉實驗及比對，可進一步強化本成果之應用性。