

化學工程與生物科技系 實務專題論文

稻殼製造生質酒精研究



指導老師：黃加正

班級：化四乙 學號：BP96073 姓名：李政融
班級：化四乙 學號：BP96079 姓名：陳彥霖
班級：化四乙 學號：BP96086 姓名：王世昕
班級：生五甲 學號：BS93031 姓名：張谷宇

修 平 技 術 學 院

中 華 民 國 99 年 12 月 15 日

致謝

本專題製作，首先感謝黃加正老師在實驗過程中細心的指導，以及對實驗瑕疵的改進，其次感謝整學期下來在同實驗室中教導我們的林君亮學長，在實驗發生問題時給予我們幫助及指導。

最後感謝系上的老師、助理、學姊跟同學，陳志義老師、林孫基老師、吳松君同學、及汪信宏先生，讓我們在實驗的過程中，可以順利進行。

也感謝暑假中來實習，與我們同作實驗的埔里及東勢高工的學弟妹們，指導他們的過程中也讓我們受益良多，在此期許雙方都能有所收穫，在此對無私給予我們幫助的大家獻上十二萬分的敬意。

摘 要

生質酒精，也叫生物乙醇，是利用微生物發酵把生質 (biomass) 中的醣分轉化所得到的酒精。生質酒精其實就是乙醇，分子式 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ，和由石化原料生產的乙醇相同，差別只在於原料及製造方法不同。生質指來自生物體的非石化有機物，一般所指的生質通常是植物藉由光合作用產生的含碳化合物。

以往為了製造生質燃料使用甘蔗、甜菜、甘薯、樹薯等農作物，大量使用也造成糧食價格上漲，並威脅貧窮人口的生存。在耕地面積有限的臺灣更不經濟；若能利用富纖維素的農產廢棄物將其轉變為生質能源則較為可行。因此本實驗抱持資源再利用的想法，以稻穀纖維作為生產酒精的原料，由稻穀中分離出纖維素，再將纖維素水解成葡萄糖，最後將葡萄糖發酵成酒精。

本研究嘗試利用各種不同的稻穀處理變因、纖維素水解條件及發酵條件來取得最佳的產率及效果。

目錄

致謝.....	I
摘要.....	II
目錄.....	III
第一章 前言	
一、研究動機.....	1
二、生質酒精介紹.....	1
三、生質能源研究及其市場.....	2
四、生質酒精原料.....	4
五、製造程序和技術.....	5
六、木質纖維素介紹.....	7
七、酒精汽油優點.....	11
第二章 實驗設備及器材藥品	
一、實驗器材.....	12
二、實驗設備.....	13
三、實驗藥品.....	14
第三章 實驗藥品及配置	
一、藥品配置.....	15

二、培養基配置.....	16
三、實驗步驟.....	17
第四章 實驗結果與討論	
實驗結果.....	26
實驗討論.....	56
第五章 實驗結論及參考文獻	
實驗結論.....	58
參考文獻.....	59

圖目錄

圖一、歷年原油價格及全球需求圖	3
圖二、纖維素原料之酒精發酵流程圖	6
圖三、實驗流程圖	17
圖四、葡萄糖濃度-吸光度檢量曲線	25
圖五、硝化及鹼化後得纖維素產率圖	28
圖六、硫酸濃度 1%、121°C 葡萄糖產率圖	29
圖七、硫酸濃度 2%、121°C 葡萄糖產率圖	30
圖八、硫酸濃度 3%、121°C 葡萄糖產率圖	31
圖九、硫酸濃度 5%、121°C 葡萄糖產率圖	32
圖十、硫酸濃度 5%、121°C 葡萄糖產率圖	33
圖十一、硫酸濃度 7%、121°C 葡萄糖產率	34
圖十二、硫酸濃度 9%、121°C 葡萄糖產率圖	35
圖十三、硫酸濃度 10%、121°C 葡萄糖產率圖	36
圖十四、硫酸濃度 15%、121°C 葡萄糖產率圖	37
圖十五、硫酸不同濃度、121°C 得到葡萄糖產量圖	38
圖十六、鹽酸濃度 1%、95°C 得到葡萄糖產率圖	39
圖十七、鹽酸濃度 2%、95°C 葡萄糖產率圖	40
圖十八、鹽酸濃度 5%、95°C 葡萄糖產率圖	41
圖十九、鹽酸不同濃度、95°C 得到葡萄糖產率比較圖	42
圖二十、鹽酸濃度 4%、121°C 葡萄糖產率圖	43
圖二十一、鹽酸濃度 4%、121°C 葡萄糖產率圖	44
圖二十二、鹽酸濃度 6%、121°C 葡萄糖產率圖	45
圖二十三、鹽酸濃度 6%、121°C 葡萄糖產率圖	46
圖二十四、鹽酸濃度 8%、121°C 葡萄糖產率	47
圖二十五、鹽酸濃度 8%、121°C 葡萄糖產率	48
圖二十六、鹽酸濃度 10%、121°C 葡萄糖產率圖	49
圖二十七、鹽酸濃度 15%、121°C 葡萄糖產率	50
圖二十八、鹽酸濃度 20%、121°C 葡萄糖產率圖	51
圖二十九、鹽酸不同濃度、121°C 得到葡萄糖產率比較圖	52
圖三十、鹽酸不同濃度、140 °C 得到葡萄糖產率比較圖	54
圖三十一、蒸餾後酒精濃度圖	55

表目錄

表一、常見之農業與一般廢棄物之纖維素、半纖維素與木質素組成比例.....	9
表二、培養基配置.....	16
表三、發酵主培養基.....	16
表四、稻殼組成成分及其含量.....	23
表五、葡萄糖濃度之吸光度.....	25
表六、硝酸濃度 5%+氫氧化鈉濃度 5%得到纖維素產率...26	26
表七、硝酸濃度 10%+氫氧化鈉濃度 10%得到纖維素產率.....	27
表八、硝酸濃度 15%+氫氧化鈉濃度 15%得到纖維素產率.....	27
表九、硫酸濃度 1%、121°C 得到葡萄糖產率.....	29
表十、硫酸濃度 2%、121°C 得到葡萄糖產率.....	30
表十一、硫酸濃度 3%、121°C 得到葡萄糖產率.....	33
表十二、硫酸濃度 3%、121°C 得到葡萄糖產率.....	32
表十三、硫酸濃度 5%、121°C 得到葡萄糖產率.....	33
表十四、硫酸濃度 7%、121°C 得到葡萄糖產率.....	34
表十五、硫酸濃度 9%、121°C 得到葡萄糖產率.....	35
表十六、硫酸濃度 10%、121°C 得到葡萄糖產率.....	36
表十七、硫酸濃度 15%、121°C 得到葡萄糖產率.....	37
表十八、鹽酸濃度 1%、95°C 得到葡萄糖產率.....	39
表十九、鹽酸濃度 2%、95°C 葡萄糖產率.....	40
表二十、鹽酸濃度 5%、95°C 葡萄糖產率.....	41
表二十一、鹽酸濃度 4%、121°C 葡萄糖產率.....	43
表二十二、鹽酸濃度 5%、121°C 葡萄糖產率.....	44
表二十三、鹽酸濃度 6%、121°C 葡萄糖產率.....	45
表二十四、鹽酸濃度 6%、121°C 葡萄糖產率.....	46
表二十五、鹽酸濃度 8%、121°C 葡萄糖產率.....	47
表二十六、鹽酸濃度 8%、121°C 葡萄糖產率.....	48
表二十七、鹽酸濃度 10%、121°C 之葡萄糖產率.....	49
表二十八、鹽酸濃度 15%、121°C 葡萄糖產率.....	50
表二十九、鹽酸濃度 20%、121°C 葡萄糖產率.....	51
表三十、鹽酸濃度 5%、140 °C 葡萄糖產率.....	53
表三十一、鹽酸濃度 10%、140 °C 葡萄糖產率.....	53
表三十二、酒精發酵濃度表.....	55

第一章 前言

一、研究動機

根據美國能源局(U.S. Department of Energy)等能源機構統計，目前全球石油預計再過 43 年消耗殆盡，天然氣儲藏量可供全球使用時間只剩 62 年；煤則可再使用 230 年左右；核能發電的鈾，也只能再使用 64 年。根據美國能源部的估算，未來 20 年對於能源的需求量可能還要再增加 50%，換句話說，在自然資源日益竭盡，需求量有增無減的情況下，尋找替代能源，成為唯一的出路！生質酒精與汽油混合之燃料即為生質酒精汽油。生質酒精是可再生燃料，發展生質酒精汽油使用自產能源可創造就業機會、增加能源來源多元化，同時減少溫室氣體排放。^[1]農委會農試所的研究指出，最適合在國內栽種的生質酒精能源作物是甘蔗、甘藷和甜高粱。假如有糧食短缺的考量，休耕的土地不宜全部用來種植能源作物，國內每年仍有數千萬公噸的農林廢棄物(稻殼、稻草桿、蔗渣、蔬果廢棄物、建築林木廢棄物等)可做為原料來生產生質酒精。本實驗嘗試以稻殼纖維作為生產酒精的原料。利用稻殼纖維進行水解、醱酵成生質酒精，並探討生質酒精製程中，化學水解，酒精醱酵之較佳條件，以此來製造生質酒精。

二、生質酒精介紹

^[1]生質酒精，也可稱為生物乙醇，是利用微生物發酵將生質(biomass)中的糖分轉化生成的酒精。其實就是乙醇，分子式是 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ，和由石化原料生產的乙醇相同，差別在於原料及生產方法的不同。生質指來自生物體的非石化有機物，一般所指的生質通常是植物藉由光合作用或由微生物發酵產生的含碳化合物。

做為汽油的替代燃料，生質酒精通常以 5%~15% 和汽油混合，可在不修改現有汽車引擎的情況下使用，也可以完全替代汽油做為汽車燃料。添加 5% 和 10% 酒精的汽油就分別稱為 E5 和 E10，美國有 E85 汽油，也就是含酒精 85% 和汽油 15% 的混合燃料。使用生質酒精的汽油辛烷值高且較潔淨。另外，汽車引擎燃燒的酒精是由二氧化碳(CO_2)經植物光合作用轉化的生質而來，形成封閉系統，在這個系統中循環利用 CO_2 淨排放量是零。

三、生質能源研究及其市場

[14]世界能源協會預估至 2010 年，全球替代能源市場可達 6250 億美元，2020 年將高達 1.9 兆美元，10 年有 3 倍的成長空間，因此，綠色替代能源的開發，將成為全球新趨勢。全球投資大師吉姆·羅傑斯(Jim Rogers)、華倫·巴菲特(Warren Buffett)及世界首富比爾·蓋茲(BiLL Gates)，紛紛搶進綠色替代能源產業。

酒精汽油可以用於發電，是從玉米、甘蔗等原料製造，另生質柴油，原料是葵花子、大豆、油菜子及廢食用油等。根據我國 2008 年 7 月 1 日將生效的行政命令，強制現行柴油中，添加 1 % 的生質柴油。但生質能的開發，亦有負面效應。由於替代能源開發之後，能創造較高收益，導致被視為最大的酒精生產地的巴西等國家，在缺乏環保意識之下，大量砍伐雨林(改種植玉米、甘蔗等作物)，反而助長溫室效應，形成惡性循環。

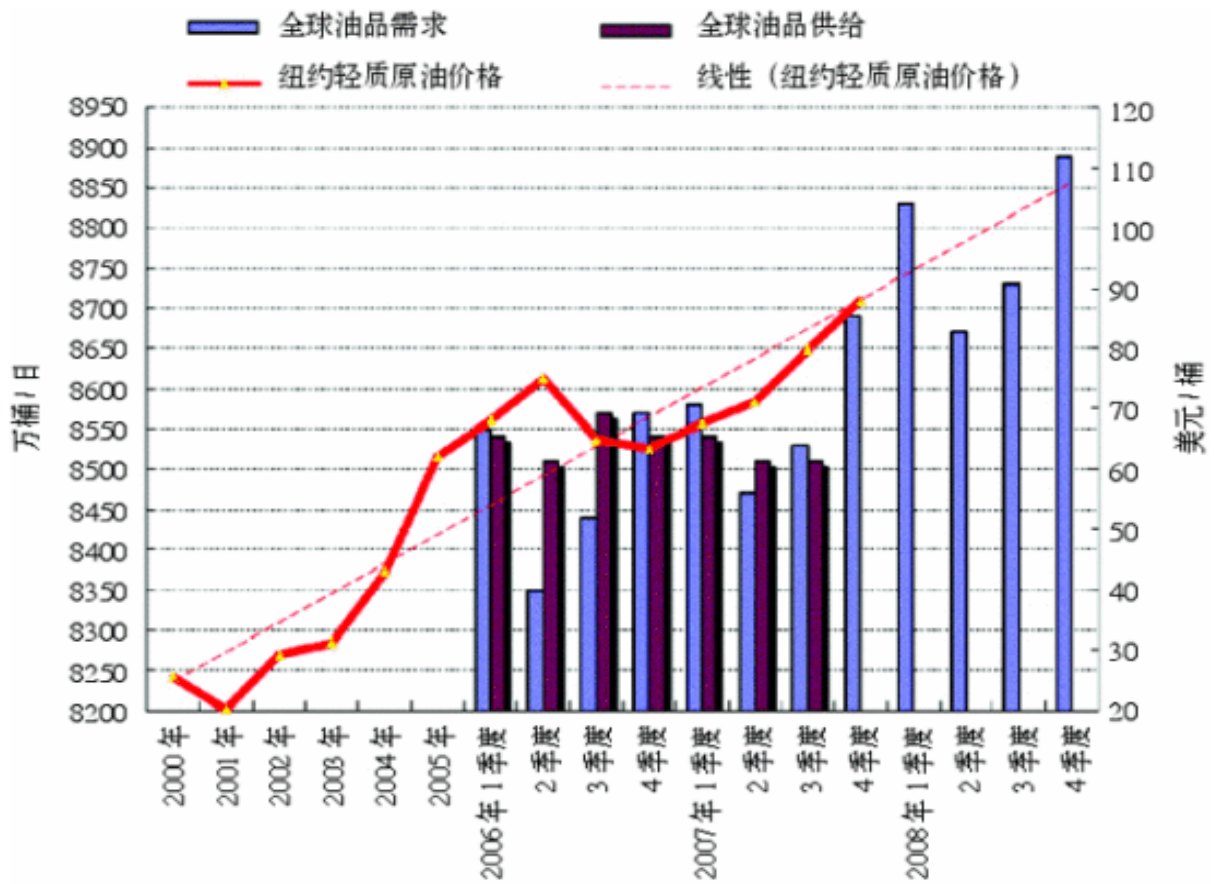


图9 油品（原油与成品油的总和）供需情况与原油价格

数据来源：IEA.

圖一、歷年原油價格及全球需求圖

四、生質酒精原料

[10]生質酒精原料的作物也包括大麥、小麥、燕麥、稻米等穀類，還有甜菜、甜高粱，以及木薯、甘藷等。但因應全球人口數量的大爆炸，在糧食危機開始浮現的今天，一些糧食大國，在轉大豆、玉米等原物料為替代能源後，產生全球糧食分配問題，使全球面臨兩難窘境。因此近幾年的發展是以非糧食作物為原料來生產酒精，也就是以木質纖維素或纖維質做為生質酒精的原料，包括穀類農作物廢棄物如麥稈、稻稈、玉米稈等，以及農業、都市和建築廢棄物，如蔗渣、舊報紙、木屑、廢木材等，或者成長快速的纖維質作物，如芒草、狼尾草、柳枝稷等，甚至包括海藻類。

五、製造程序和技術

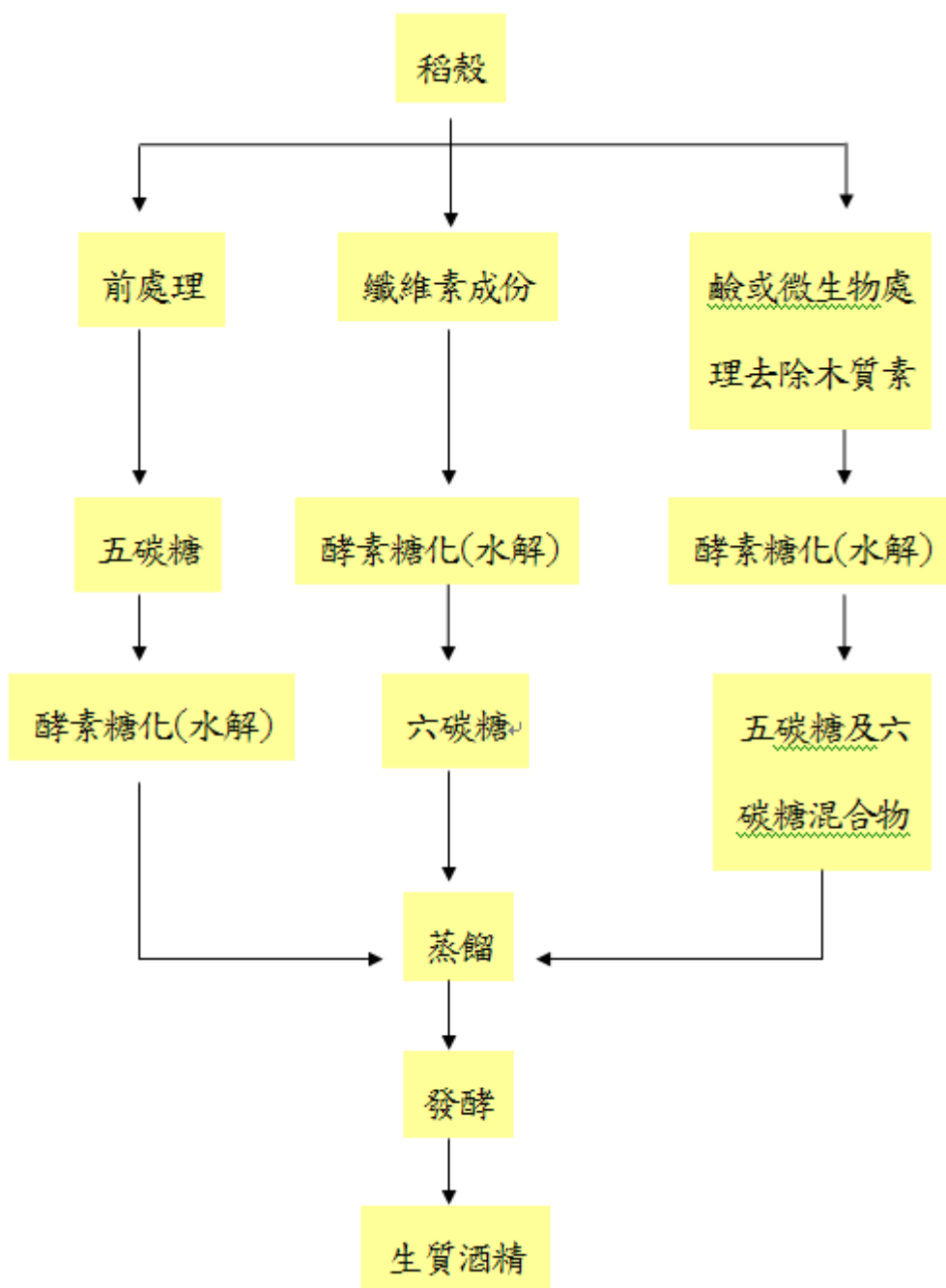
[15]製造生質酒精的原料大致區分為3類，根據不同種類的原料，轉化成酒精的方式也不同。

- 1、糖質原料，如甘蔗，甜高粱等富含簡單的醣類。利用甘蔗和甜高粱的莖壓榨成汁後，可直接經酵母菌發酵製成約13~17%的含水酒精，再經過蒸餾提高濃度到95%，最後經過分子篩脫除水分成無水酒精。榨汁剩餘的廢棄物除可燃燒生產高溫蒸氣提供蒸餾時所需能源，甚至以汽電共生方式發電降低成本外，也可成為纖維酒精的原料。巴西或國內台糖公司未來的工廠，都是以這種方式運作的。
- 2、澱粉質原料，如小麥、玉米、木薯、甘藷等，澱粉含量分別約為70~75%、60~70%、25~30%和15~20%。這些作物須先經前處理步驟使澱粉釋放出來，而澱粉是一種多醣，須經液化、糖化步驟分解成可發酵的單醣(葡萄糖)，隨後的發酵、蒸餾製程則和糖質酒精一樣，這類酒精稱為澱粉質酒精。
- 3、東南亞的國家大多以木薯為原料，美國和墨西哥則以玉米為原料。
- 4、纖維質原料，多半是農業廢棄物，是由纖維素(約占38~50%)、半纖維素(約占23~32%)及木質素(約占15~25%)三者所組成。其中纖維素是長鏈狀的高分子結構，和澱粉一樣，是由葡萄糖所構成，但兩者結構不同。半纖維素則是短分子鏈的結構，是由多種糖類單體組成，以五碳糖居多。

不同農業廢棄物的組成比例也不同，因此製程上須先經化學或物理方法處理，破壞植物的細胞壁並把半纖維素降解為五碳糖，再以適當的酵素水解把纖維素降解成六碳糖，最後經酒精發酵把五碳糖和六碳糖轉化成酒精，這類酒精稱為纖維酒精。酵素水解剩下的木質素則可燃燒以汽化發電方式產生能源，提供後段蒸餾所需的能源。

由糖和澱粉製造酒精的技術屬於第1代的生質酒精，已商業化設廠，所用的生產設備和技術也非常成熟，但農作物來源和人類或動物的食物相互競爭，有造成糧食短缺的問題。

第2代的纖維酒精可解決這個問題，但其主要原料來源—農業廢棄物也是一種重要的有機肥料，若大量使用於製造纖維酒精也有環保上的疑慮。



圖二、纖維素原料之酒精發酵流程圖

六、木質纖維素介紹

[11]木質纖維素(LignoCeLLuLose)是地球最豐沛之材料，存在於草本植物(Herbaceous crops)、木本植物(Woody crop)、農業與森林廢棄物(Agricultural and forestry residues)、部分之一般廢棄物與事業廢棄物(Portion of municipal solid waste and various industry waste)，其組成包括纖維素(CeLLuLose)、半纖維素(SemiceLLuLose)、木質素(Lignin)、可萃取物(Extractive)與灰分(Ash)等。前三者屬於高分子量之物質，是構成木質纖維素重量之主要組成，三者組成比例4:3:3，但不同來源的原料其比例存在差異，而後二者屬於低分子量之物質。【表一 所列是常見之農業與一般廢棄物之纖維素、半纖維素與木質素組成比例】

纖維素是一種由葡萄糖(D-gLucose)單體(Moieties)組成，並以 β -(1,4)-糖苷鍵(β -1,4 gLucosidic Linkages)聚合成之直鏈狀高分子結構，即相鄰之葡萄糖分子係以纖維雙糖(CeLLobiose)為單位，重複形成直鏈狀結構，鏈之長度平均為100~14,000個葡萄糖分子。纖維素並非只是單純之鏈狀結構，而是由長鏈分子先組成微小細長狀之超微纖維體(MiceLLes)，再由10-20個超微纖維體排列組合成堅硬、不溶於水之微纖維(MircofibriLs)。這些微纖維在細胞壁上平行排列，具有結構穩固之結晶區(CrystaLLine region)，間隔則存有較為鬆散之非結晶區(Amorphous region)。半纖維素是常見於木質纖維素中之多醣類，其結構與組成和纖維素不同，係由短而高度分枝之多種醣類(基)聚合而成，有屬於五碳醣(Five-carbon sugars)之木糖(XyLose)、樹膠醛糖(L-arabinose)，屬於六碳醣(Six-carbon sugars)之半乳糖(D-gaLactose)、葡萄糖(Glucose)、甘露糖(D-mannose)，以及尿酸(Uronic acid)等；其中，鏈狀結構之骨幹(Backbone)為均質聚合物(HomopoLymer)或異質聚合物(HeteropoLymer)。由於高度分枝之鏈狀結構，使得半纖維素具有非結晶質(Amorphous)特性，容易被水解(HydroLysis)，並釋出組成醣(Constituent sugars)。木質素是非晶體之高分子化合物，係由苯基丙烷(PhenyL propane)所組成之三維結構物。由於木質素對酸具有抗水解力，在水解過程中，成為不溶解之殘留物，加上苯基丙烷無法被醱酵，因此木質素必須從纖維素與半纖維素中分離開來。被萃取物又稱為抽出成分或抽提物，係指木質纖維素中可被醇類、醚類、丙酮(Acetone)、二氯甲烷

(Dichloromethane)等溶劑分離出之可溶物質，不屬於纖維素、木纖維素、木質素之成分皆可稱為被萃取物。

表一、常見之農業與一般廢棄物之纖維素、半纖維素與木質素組成比例 (Aiello et al., 1996; Sun and Cheng, 2002; Saha, 2003)

Lignocellulosic materials	Cellulose %	Hemicellulose %	Lignin %
Hardwoods stems	40-55	24-40	18-25
Softwood stems	45-50	25-35	25-35
Nut shells	25-30	25-30	30-40
Corn cobs	45	35	15
Grasses	25-40	35-50	10-30
Paper	85-99	0	0-15
Wheat straw	30	50	15
Sorted refuse	60	20	20
Leaves	15-20	80-85	0
Cotton seed hairs	80-95	5-20	0
Newspaper	40-55	25-40	18-30
Waste papers from chemical pulps	60-70	10-20	5-10
Primary wastewater solids	8-15	NA	24-29
Swine waste	6	28	NA

SoLid cattLe manure	1.6-4.7	1.4-3.3	2.7-5.7
CoastaL Bermuda grass	25	35.7	6.4
Switch grass	45	31.4	12
Bagasse	33.28	22.58	6.15
Rice huLL 稻穀	35.62	11.96	15.38
Rice straw	35	25	12

七、酒精汽油優點

產量高，成本較低原料來源廣泛可降低 CO₂ 排放量 20~30%，降低 CO₂ 排放量 25% 左右，減少鉛化合物、碳氫化合物、氮氧化合物等有害物質的排放量。

[18] 日本評估使用 E3(在汽油中混合 3 % 容積的無水酒精)酒精汽油比使用汽油之二氧化碳排放量減少 2.4%。利用生質燃料替代石化燃料時，在 Tank-to-Wheel 部分由於碳源來自於吸收二氧化碳行光合作用衍生的生物物質，碳平衡(carbon neutral)使二氧化碳之淨排放量等於零。日本評估其國內在車用生質酒精的生命週期下，比較自巴西進口生質酒精、自產纖維素酒精，生質酒精與汽油的 CO₂ 排放情形，評估範圍涵蓋使用端 Tank-to-Wheel 及上游 Well-to-Tank 的整個生命週期 Well-to-Wheel 的 CO₂ 減少效果，包括汽油處理精煉過程中排出的廢棄物所投入的能量等也要考慮，評估結果如表 3 所示，日本無論是用進口酒精或自產酒精替代汽油作為車用燃料，均有減少二氧化碳排放量的效果。

第二章 實驗設備及器材藥品

一、實驗器材

名稱	名稱
量筒 10mL	玻璃攪拌棒
量筒 100mL	水銀溫度 200°C
量筒 250mL	酒精度計
量筒 1000mL	布氏漏斗
錐形瓶 50mL	藥杓
抽氣瓶 500mL	濾網
燒杯 150mL	矽油
燒杯 500mL	水浴鍋
燒杯 1000mL	
燒杯 2000mL	

二、實驗設備

電磁加熱板	抽氣幫浦
高壓滅菌釜	減壓蒸餾裝置 型號：ELMA
無菌操作台	RT08 八兩重粉碎機
恆溫培養箱	分光光度計 Thermo 20 Genesys 微電腦型

三、實驗藥品

藥品名稱	廠牌	試藥等級
硝酸 Nitric acid	聯工	EP
氫氧化鈉 Sodium hydroxide	聯工	EP
硫酸 Sulphuric acid	聯工	EP
鹽酸 Hydrochloric acid	聯工	EP
葡萄糖 Glucose	島久	EP
酵母萃取物 Yeast extract	島久	EP
蛋白胨 Peptone	kyokuto	EP
磷酸氫二鉀 Potassium dihydrogen phosphate	聯工	EP
酚 Phenol	島久	EP
亞硫酸鈉 Sodium sulfite	聯工	EP
二硝基水楊酸 Dinitrosalicylic acid	SIGMA	
酒石酸鉀鈉 Potassium sodium tartrate	聯工	EP
磷酸二氫鉀 Potassium biphosphate	聯工	EP
硫酸銨 Ammonium sulfate	聯工	EP
硫酸鎂 Magnesium sulfate	島久	EP
啤酒酵母 Windsor: <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Windsor	

第三章 實驗藥品及配置

一、藥品配置

1、5%、10%、20%(硝酸、鹽酸、硫酸)

秤取 50、100、200g(硝酸、鹽酸、硫酸)倒入 1000mL 量瓶，加水至總重量 1000g，即配成 5%、10%、20%(硝酸、鹽酸、硫酸)溶液。(硫酸配製時，應注意濃硫酸為緩慢加入水中，添加速度不宜太快)

2、5%、10%、20%氫氧化鈉配製秤

取 50、100、200g 氫氧化鈉於燒杯中，加水至總重量 1000g，即配成 5%、10%、20%氫氧化鈉溶液。

3、1%DNS 呈色劑

秤取二硝基水楊酸 10g、酚 2g、亞硫酸鈉 0.5g、氫氧化鈉 10g 加水到一升。

二、培養基配置

1、發酵前培養基(每公升)

表二、培養基配置

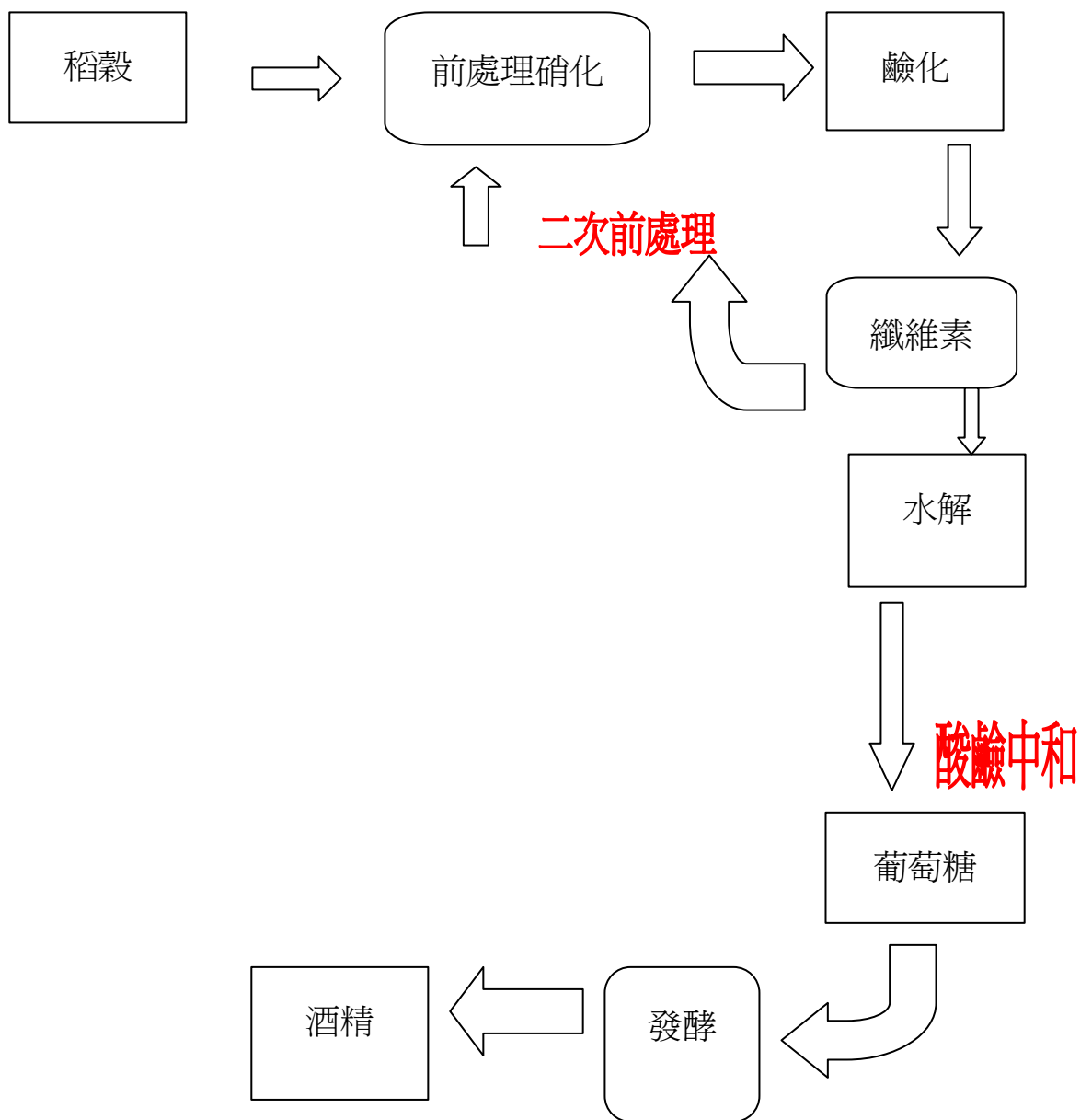
葡萄糖	20g
酵母萃取物	6 g
蛋白質	6 g
磷酸氫二鉀	2 g
磷酸二氫鉀	4 g
硫酸銨	2.5 g

2、發酵主培養基(每公升)

表三、發酵主培養基

葡萄糖或水解液	50~250 g
酵母萃取物	10 g
蛋白胨	10 g
磷酸二氫鉀	2 g
硫酸鎂	0.5 g

三、實驗步驟



圖三、實驗流程圖

3、1 硝化

(1)、秤取適量的稻殼、放入 2000mL 的燒杯中。



(2)、將配置好濃度的硝酸倒入燒杯中，用電熱板加熱，(稻殼須完全浸泡於硝酸中)，加熱至稻殼皆變為金黃色(如圖)後再加熱十分鐘。



(3)、靜置冷卻後，用抽氣過濾器，用蒸餾水多次沖洗濾餅，過濾得稻殼濾餅。

3.2、 鹼化

- 1、將配製好的 5%(或 10%、15%、20%) NaOH 溶液倒入含已硝化過的稻殼之燒杯中。
- 2、用玻棒將燒杯中的稻殼，均勻浸泡在 NaOH 溶液中。
- 3、於 90°C(或 70°C)下分別進行 10~20 分鐘進行反應。
- 4、靜置冷卻後，用抽氣過濾器分離出濾餅，並用蒸餾水沖洗濾餅。

3.3、烘乾

將濾餅至於烘乾箱中，溫度設置在 90°C 左右，待濾餅烘乾後得纖維素產品。直接酸催化水解或進行二次前處理。

3.3-5、二次前處理

將烘乾後的濾餅使用粉碎機將其完全打碎，再重複一次前面步驟的硝化及鹼化，烘乾後秤重紀錄數據。

3.4、纖維素水解

配製水解液(H_2SO_4 、 HNO_3 、 HCL)與中和液(NaOH 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

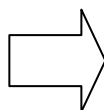
配製 20% H_2SO_4 (20% HNO_3 20% HCL)

與 20% NaOH 20% $\text{Ca}(\text{OH})_2$

- 1、將烘乾秤重過後的纖維素餅，撕碎放入 1000mL 的燒杯當中。
 - 2、倒入實驗條件所需的水解液於燒杯當中（硫酸、鹽酸、硝酸三者其一）。
 - 3、分別於 70°C 、 90°C 、 120°C 、 140°C 及 160°C 中加熱（可用高壓滅菌釜或油浴）水解，每 2、4、6、8 小時各吸取 20cc 的水解液來測葡萄糖濃度。
- 1、加熱完後，待其冷卻以抽氣過濾方式，濾出水解液。
 - 2、水解液冷卻後加入氫氧化鈉水溶液調整為中性。

3.5、葡萄糖濃度測量

- 1、加入 3mL 的 DNS 試劑於 3mL 葡萄糖溶液之有蓋試管中。
- 2、將該試管在 90°C 水浴中加熱 5~15 分，使呈紅棕色。
- 3、加入 1mL 的 40% 酒石酸鉀鈉溶液，使呈色穩定。
- 4、等待試管冷卻後，用分光光度計波長 575nm 測其吸光度，比對檢量曲線。



3.6、酒精發酵

1. 前培養：

- (1).500cc 錐形瓶洗淨，烘乾。
- (2).配置培養基 300cc 後放入高壓滅菌釜中，溼熱滅菌。
- (3).冷卻後，在無菌操作台接種酵母菌。
- (4).5°C 震盪培養，過夜提供第二天接種使用。

2. 酒精發酵：

- (1).取 500cc 錐形瓶洗淨，烘乾。
- (2).配置培養基 300cc 後移入高壓滅菌釜中，溼熱滅菌。
- (3).冷卻後，在無菌操作台上接種已活化之酵母菌前培養液 20cc。
- (4).放置於恆溫培養箱 15°C 或 25°C 進行酒精發酵。

3. 酒精濃度檢測

- (1).量測發酵完後發酵液總體積。
- (2).將發酵液倒入濃縮瓶進行減壓蒸餾。
- (3).將餾出的酒精量測體積，並以酒精度計測量酒精度數。
- (4).將測出的酒精度數乘上濃縮倍數求得原發酵酒精濃度。

4、粗纖維的定量法 [21]

植物性食品中所含不溶於稀酸、稀鹼、酒精、乙醚的纖維素(cellulose)、木質素(Lignin)和聚戊糖(pentosan)等、總稱之為粗纖維素。粗纖維素有刺激消化道和促進通便的作用，但是本身尚已被消化。粗纖維的定量是利用不溶於這些試劑的性質，即將一定量的食品以稀酸、稀鹼、乙醚處理，溶解蛋白質、澱粉、脂肪等，求所殘留的有機物重量，作為粗纖維量。

正確秤取試樣 1~5g(穀類 2~5g，豆類 1~2g，薯類、果實類 5g)置於 500mL 三角瓶(口徑 4cm)內，加石綿約 0.5g、1.25% 硫酸溶液 200mL，安裝回流冷凝器，在石棉網上正確煮沸 30 分鐘(在這段時間隨時振動三角瓶，使試樣和硫酸充分混合，發生泡沫時添加少量戊醇或辛醇)，煮沸後迅速卸下冷凝器，使用過濾器過濾除去酸液，用熱水洗滌至濾液不再呈酸性。然後以 1.25% 氫氧化鈉溶液 200mL 洗過濾器的過濾面，同時將洗液加入三角瓶內，與上述方法同樣安裝回流冷凝器，正確煮沸 30 分鐘。煮沸後將三角瓶的內容物注入玻璃濾器抽氣過濾。用熱水洗滌至濾液呈中性(洗滌 4~5 次)。最後用酒精約 15mL 洗滌。過濾器的周圍以乾淨的布擦拭，放在 110°C 的定溫乾燥器乾燥 1 小時，然後放在玻璃乾燥器內放冷，稱重量。反覆上述的操作，求恆量。

最後移入於 450~500°C 的電烘箱，燃燒灰化約 1 小時，約 200°C 時移入於玻璃乾燥器內，放冷後稱重量。反覆此操作求恆量。

[計算]

$$\text{粗纖維 (\%)} = W_1 - W_2 / S \times 100$$

W_1 ：過濾器 + 粗纖維的重量 (g)

W_2 ：過濾器 + 灰分的重量 (g)

S：試樣重量 (g)

表四、稻殼組成成分及其含量 %

成份	含量	成份	含量
水分	18.23±0.11	粗纖維	35.62±0.28
灰分	12.95±0.39	粗脂肪	0.51±0.12
鹽分	0.08	粗蛋白	192±0.04
木質素	16.36±0.28		

5、纖維素產率計算試

纖維素產率:35.62%(稻殼)

$$W1 \times 35.62\% = A(\text{理論值})$$

$$\text{實際產率} = \frac{W2}{A} \times 100\%$$

W1:原料(g)

W2:實際產量(g)

6、葡萄糖產率

$$X \left(\frac{g}{L} \right) \times \frac{\text{中和後(mL)}}{\text{中和前(mL)}} = A$$

$$C \times \frac{180}{162} = B(\text{理論值})$$

$$\text{實際產率} = \frac{A}{B} \times 100\%$$

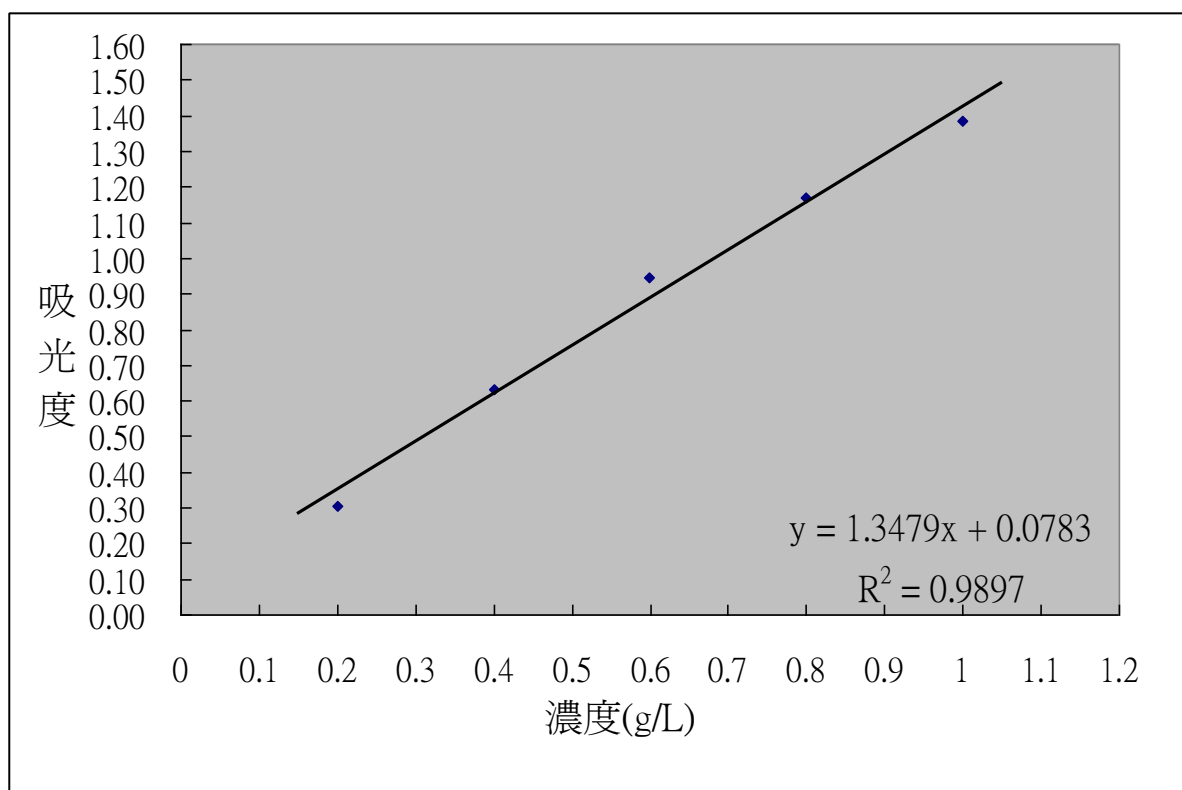
X:從吸光度對照葡萄糖檢量曲線(圖五)所知的每升葡萄糖克數

C:使用的纖維素(g)

6、葡萄糖檢量線

表五、葡萄糖濃度之吸光度

葡萄糖濃度(g/L)	0.2	0.4	0.6	0.8	1
吸光度	0.303	0.647	0.951	1.171	1.380
吸光度	0.316	0.82	0.907	1.151	1.372
吸光度	0.292	0.62	0.979	1.182	1.401
平均吸光度	0.304	0.634	0.946	1.168	1.384



圖四、葡萄糖濃度-吸光度檢量曲線

第四章 實驗結果與討論

4.1 硝化及鹼化處理得纖維素 固定煮沸 10 分鐘

表六、硝酸濃度 5% + 氫氧化鈉濃度 5% 得纖維素產率

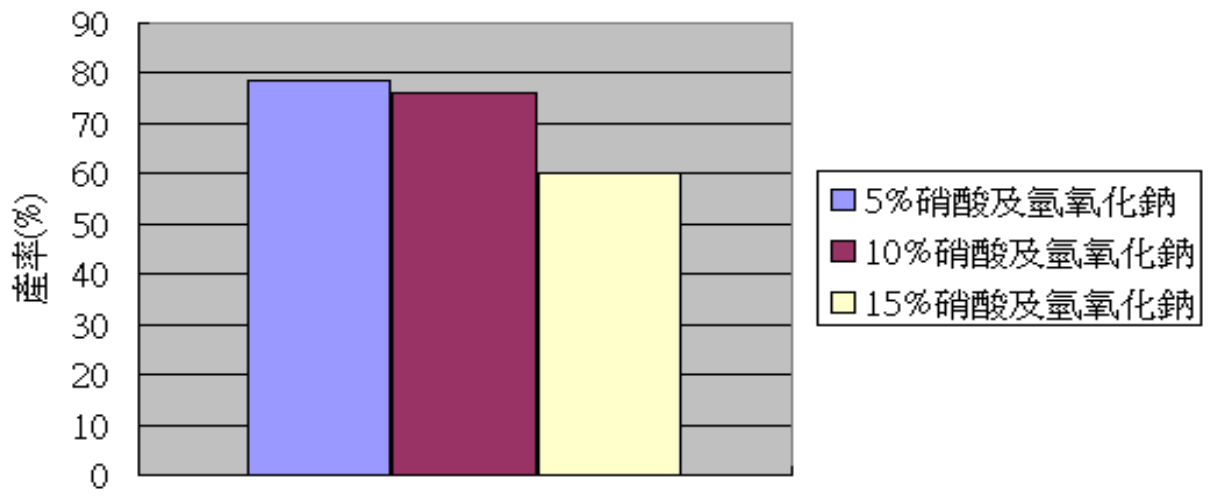
稻穀重 (g)	產量 (g)	產率(%)
250.06	66.97	75.19
200.00	55.07	77.29
250.06	77.32	86.81
300.00	136.04	80.69
102.94	25.16	68.61
222.50	66.09	83.39
	平均產率(%)	78.66

表七、硝酸濃度 10% + 氫氧化鈉濃度 10% 得纖維素產率

稻穀重 (g)	產量 (g)	產率(%)
194.28	51.97	75.01
287.55	78.74	76.87
	平均產率(%)	75.94

表八、硝酸濃度 15% + 氫氧化鈉濃度 15% 得纖維素產率

稻穀重 (g)	產量 (g)	產率(%)
100.40	17.55	49.07
200.99	50.70	70.82
	平均產率(%)	59.95

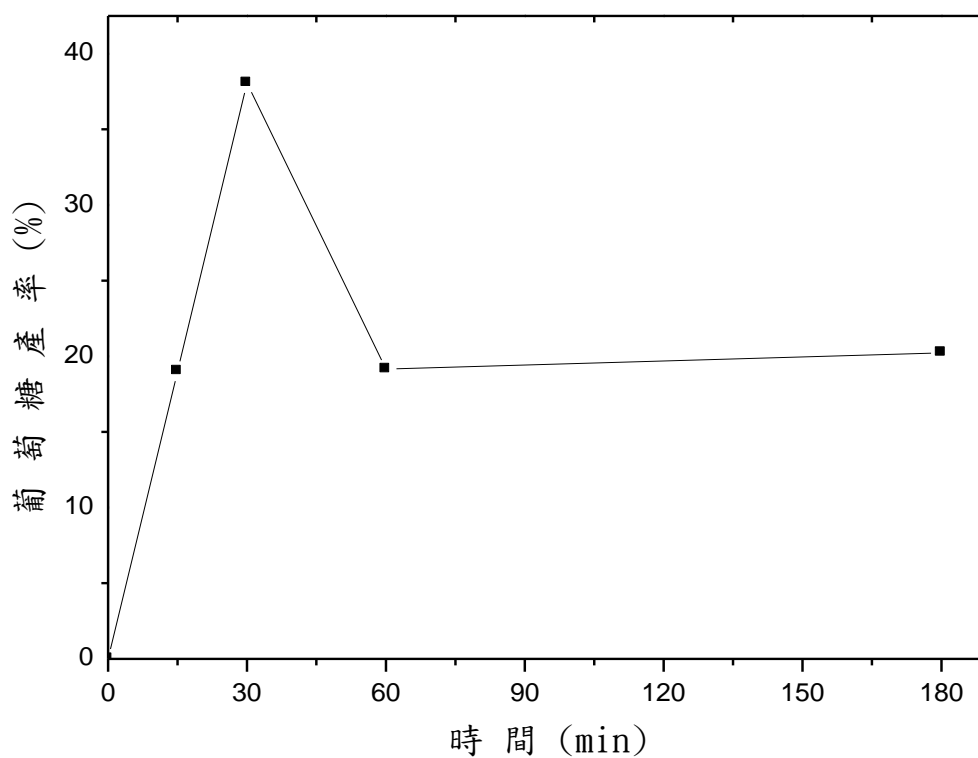


圖五、硝化及鹼化後得纖維素產率

4.2 硫酸濃度對水解生成葡萄糖之影響

表九、硫酸濃度 1%、121°C 葡萄糖產率

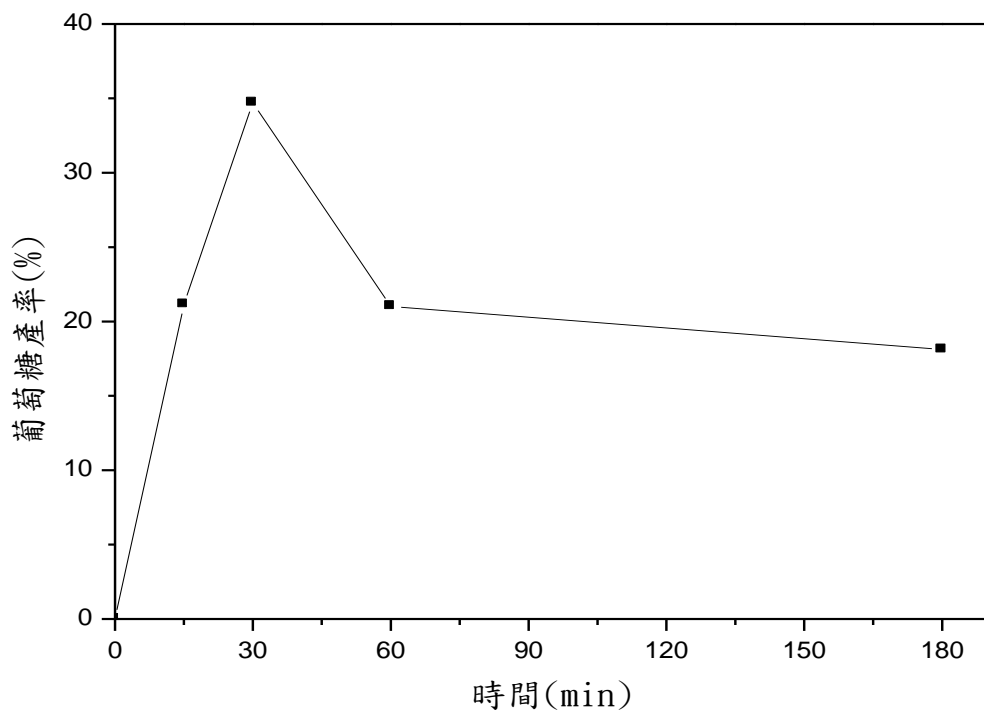
時間 (分)	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄 糖(g)	產率 %
15	3.515	0.772	/	215	225	5.28	19.01
30	3.670	1.439				0.154	10.57
1 hr	3.525	0.811	213	214	5.32	19.15	
3 hr	3.480	0.849			5.62	20.23	



圖六、硫酸濃度 1%、121°C 葡萄糖產率圖

表十、硫酸濃度 2%、121°C 葡萄糖產率

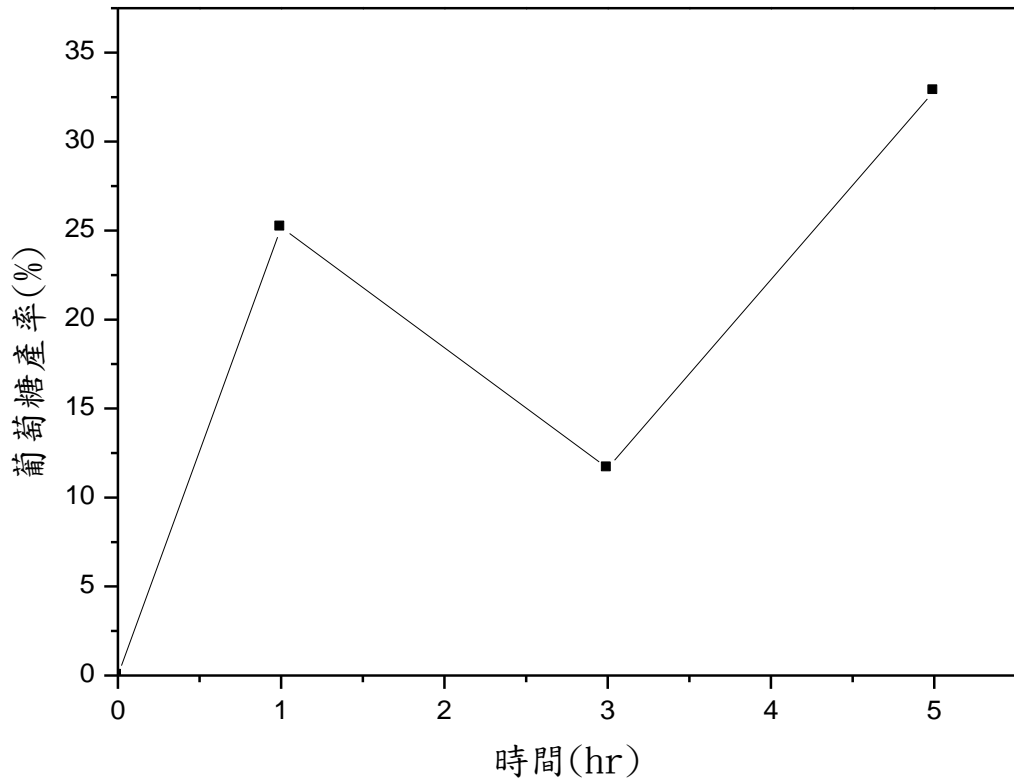
時間 (分)	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄 糖(g)	產率 %
15	3.539	0.854		210	220	5.87	21.14
30	3.682	1.339	0.140			9.64	34.71
1 hr	3.505	0.882	0.175	218	219.5	5.84	21.02
3 hr	3.495	0.745	0.234			5.03	18.11



圖七、硫酸濃度 2%、121°C 葡萄糖產率圖

表十一、硫酸濃度 3%、121°C 葡萄糖產率

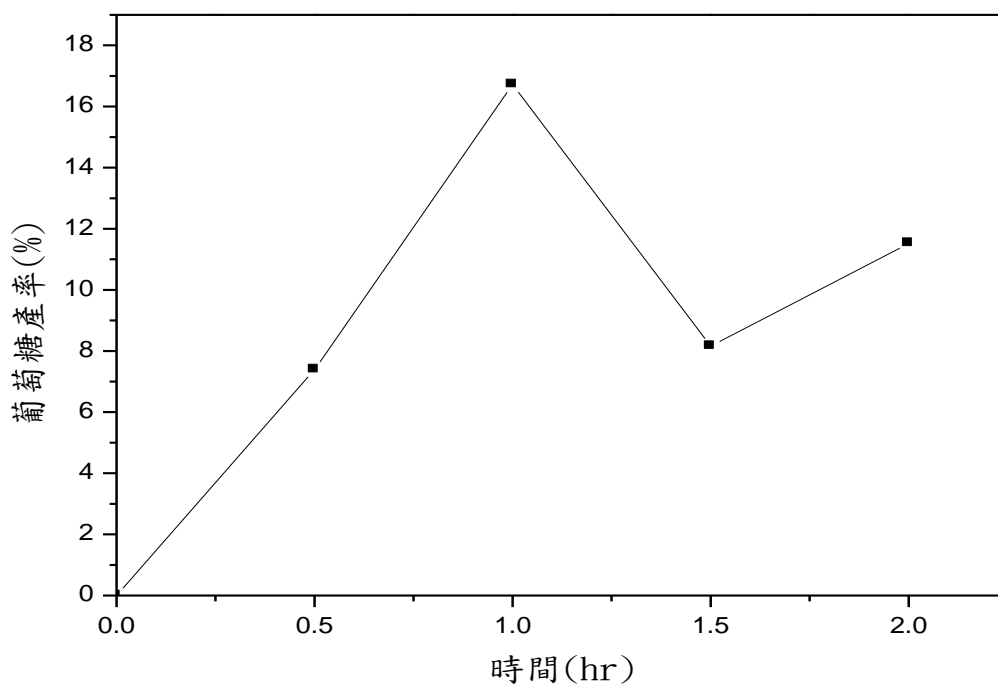
時間 (hr)	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率 %
1 hr	3.555	1.025	0.097	205	208	7.0	25.18
3 hr	3.435	0.505				3.24	11.65
5 hr	3.688	1.660	0.151			9.13	32.84



圖八、硫酸濃度 3 %、121°C 葡萄糖產率圖

表十二、硫酸濃度 5%、121°C 得到葡萄糖產率

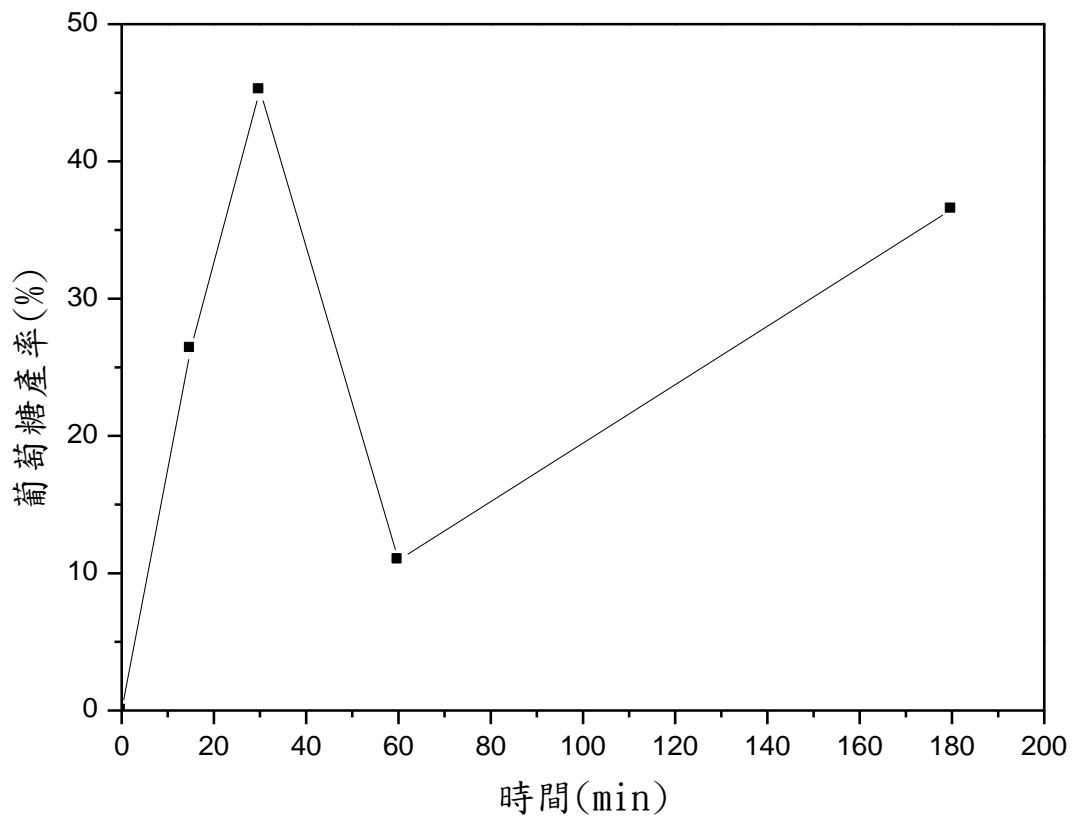
時間	吸光度	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 g	產率%
0.5hr	0.792	135.5	334	1.257	7.39
1 hr	0.761	144	350	1.215	16.72
1.5hr	1.049	175	340	1.36	8.16
2hr	1.129	173.4	438	1.92	11.52



圖九、硫酸濃度 5%、121°C 得到葡萄糖產率圖

表十三、硫酸濃度 5%、121°C 得到葡萄糖產率

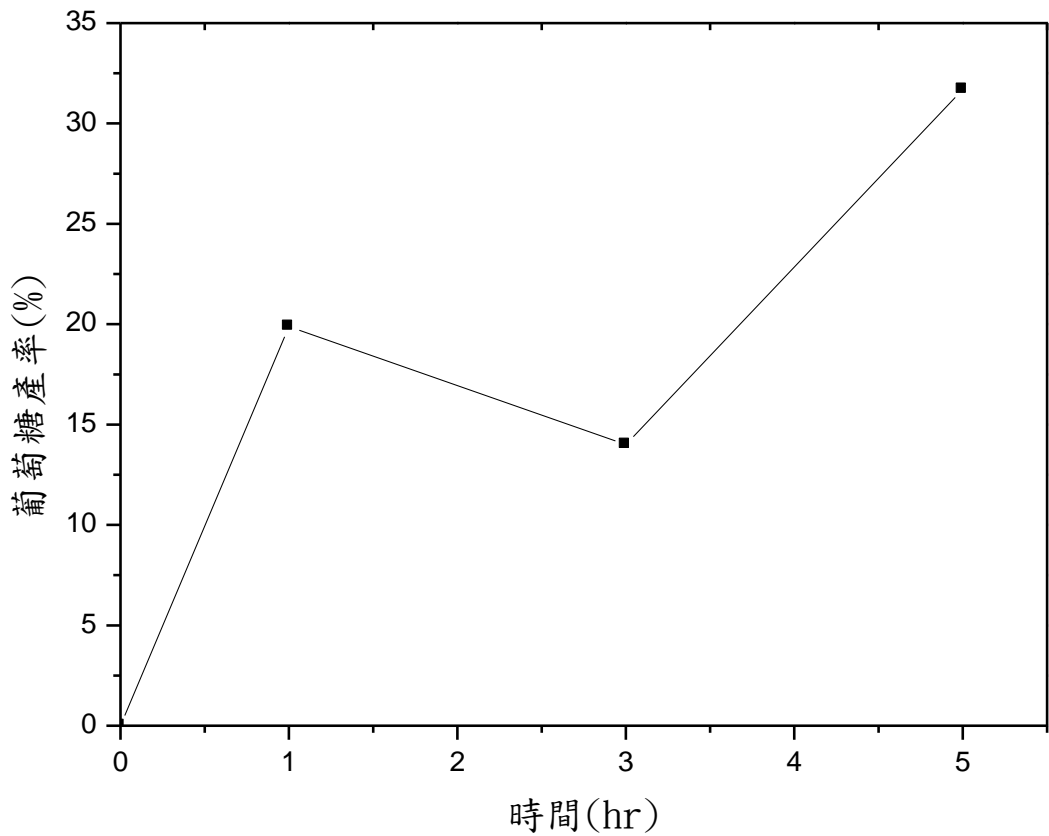
時間 (分)	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和 前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄 糖(g)	產率 %
15	3.596	1.227	0.175	217	227	7.32	26.36
30	3.814	2.242	0.234			12.55	45.19
1hr	3.645	1.503	0.112	207	210	3.04	10.95
3hr	3.812	2.216	0.216			10.14	36.51



圖十、硫酸濃度 5%、121°C 得到葡萄糖產率圖

表十四、硫酸濃度 7 %、121°C 得到葡萄糖產率

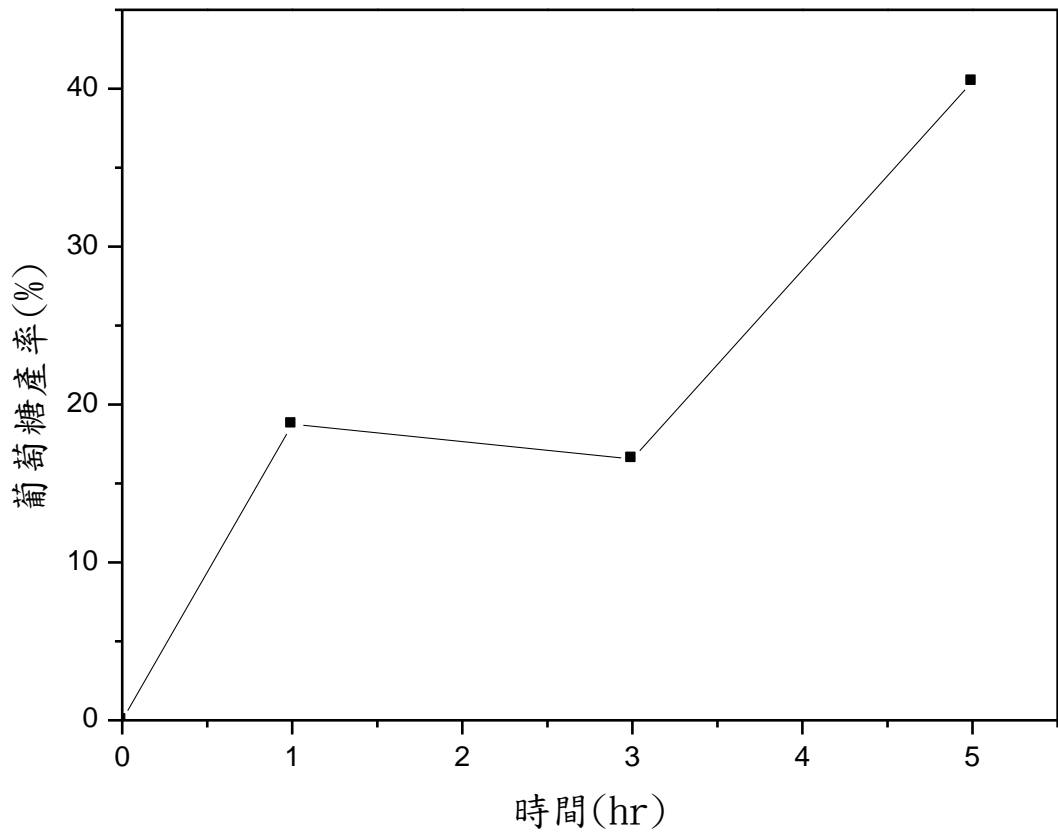
時間(hr)	吸光度	稀釋 10%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖(g)	產率 %
1 hr	3.672	0.827	212	217	5.52	19.88
3 hr	3.540	0.596			3.89	14.00
5 hr	3.690	1.275			8.80	31.69



圖十一、硫酸濃度 7 %、121°C 得到葡萄糖產率

表十五、硫酸濃度 9 %、121°C 得到葡萄糖產率

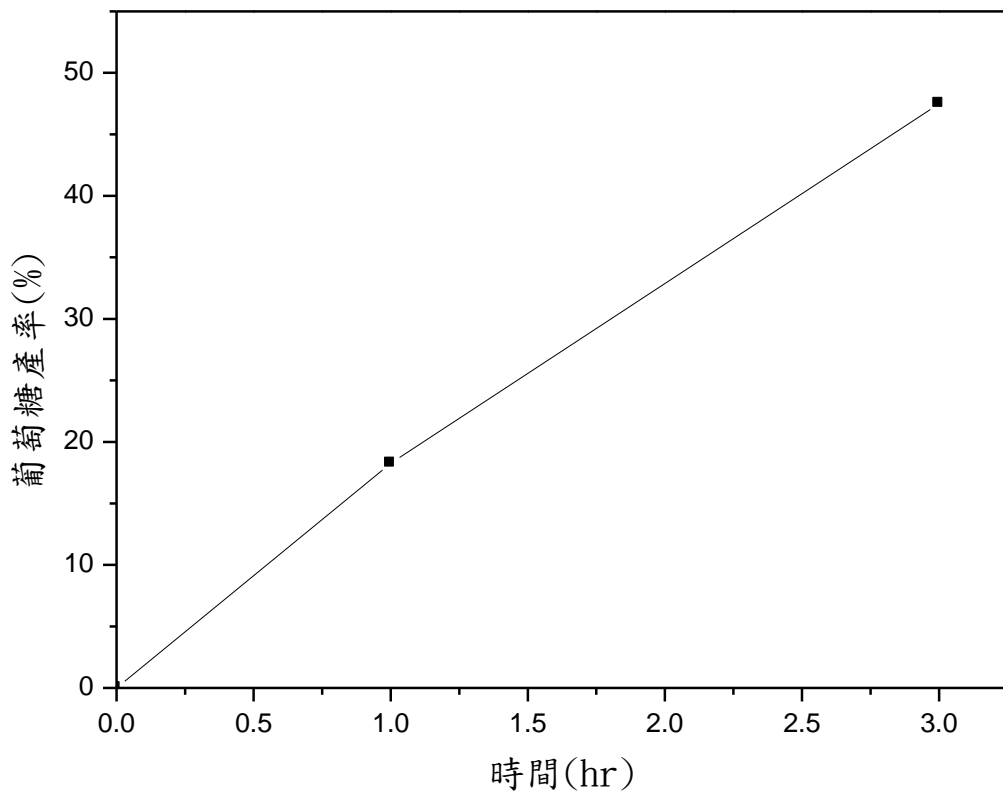
時間 (hr)	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率 %
1 hr	3.573	0.789		223	228	5.21	18.75
3 hr	3.493	0.705				4.6	16.55
5 hr	3.705	2.193	0.177			11.24	40.46



圖十二、硫酸濃度 9 %、121°C 得到葡萄糖產率圖

表十六、硫酸濃度 10 %、121°C 得到葡萄糖產率

時間 (hr)	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率 %
1 hr	3.660	1.653	0.141	209	212	5.07	18.26
3 hr	3.778	2.377	0.248			13.19	47.50

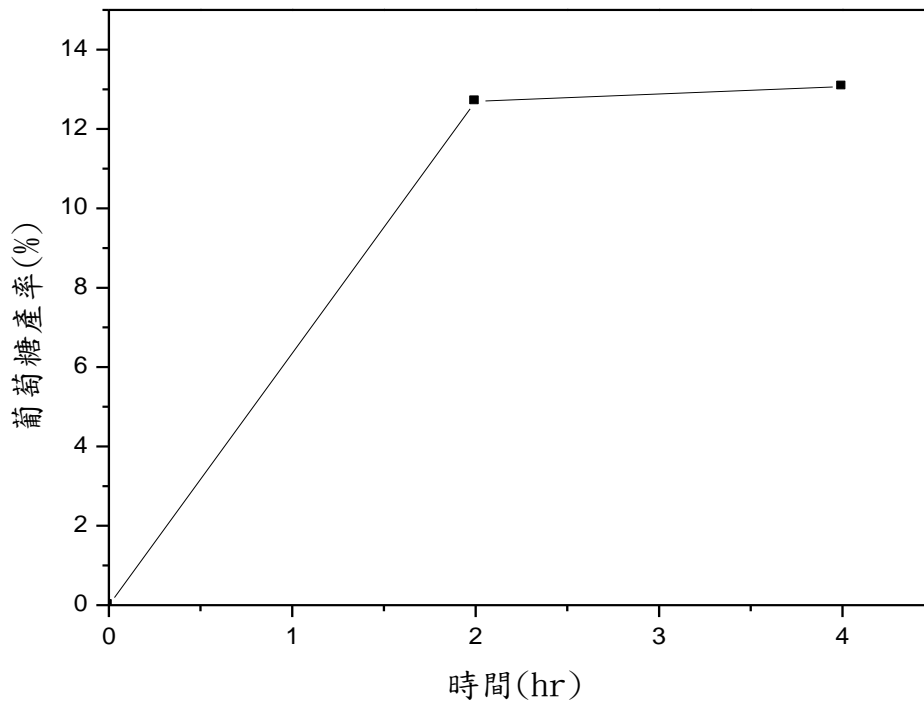


圖十三、硫酸濃度 10 %、121°C 得到葡萄糖產率圖

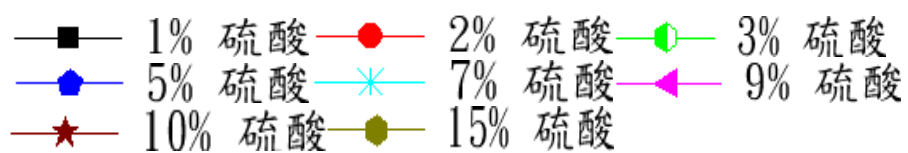
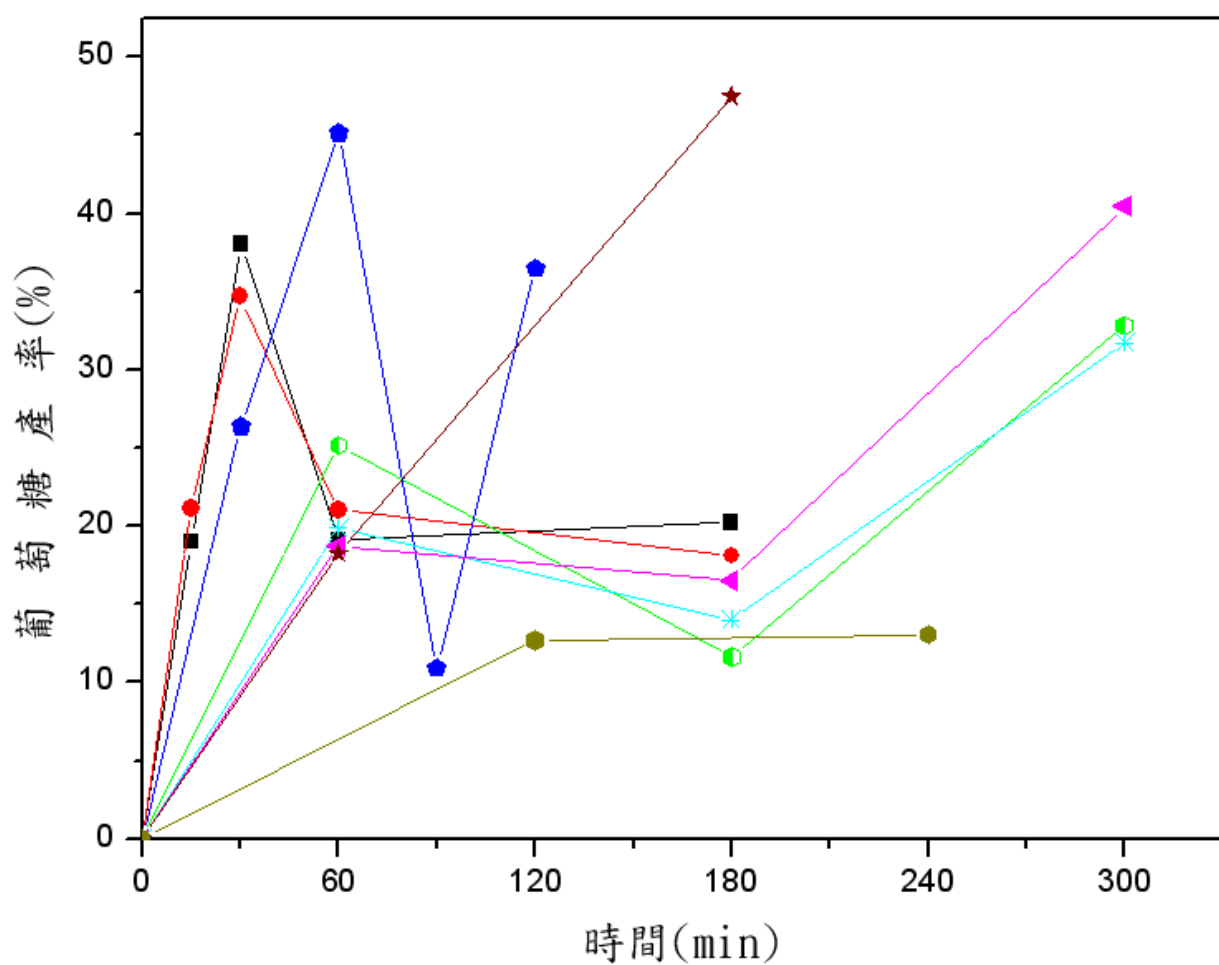
表十七、硫酸濃度 15 %、121°C 得到葡萄糖產率

吸光度	2hr	3.415	3.476
	4hr	3.645	3.334

時間	平均吸光度	稀釋 10%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率%
2hr	3.446	0.541	224	233	3.54	12.7
4hr	3.490	0.577	224	233	3.64	13.07



圖十四、硫酸濃度 15 %、121°C 得到葡萄糖產率圖

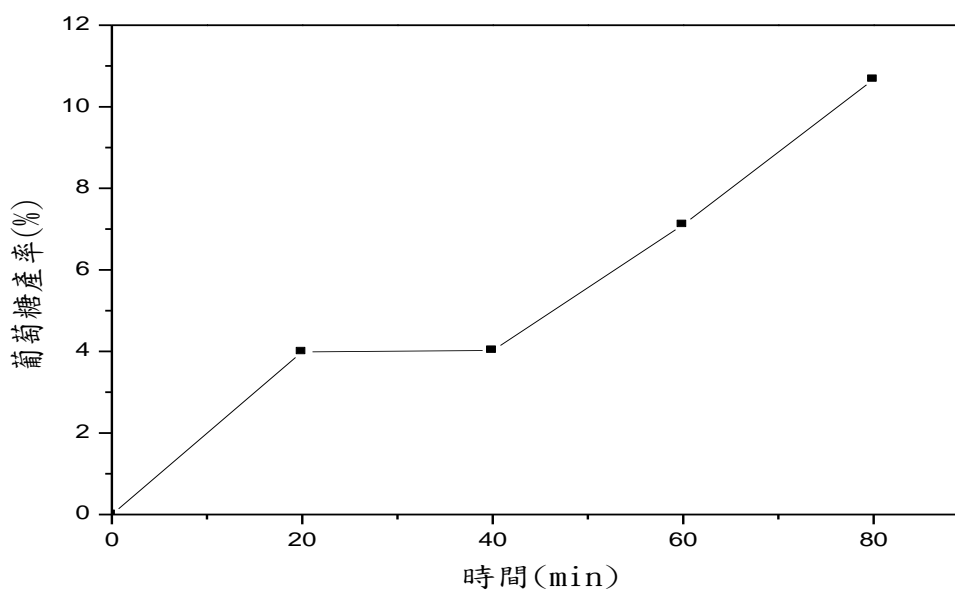


圖十五、硫酸不同濃度、121°C 得到葡萄糖產量圖

4.3 鹽酸濃度對水解生成葡萄糖之影響

表十八、鹽酸濃度 1%、95°C 得到葡萄糖產率

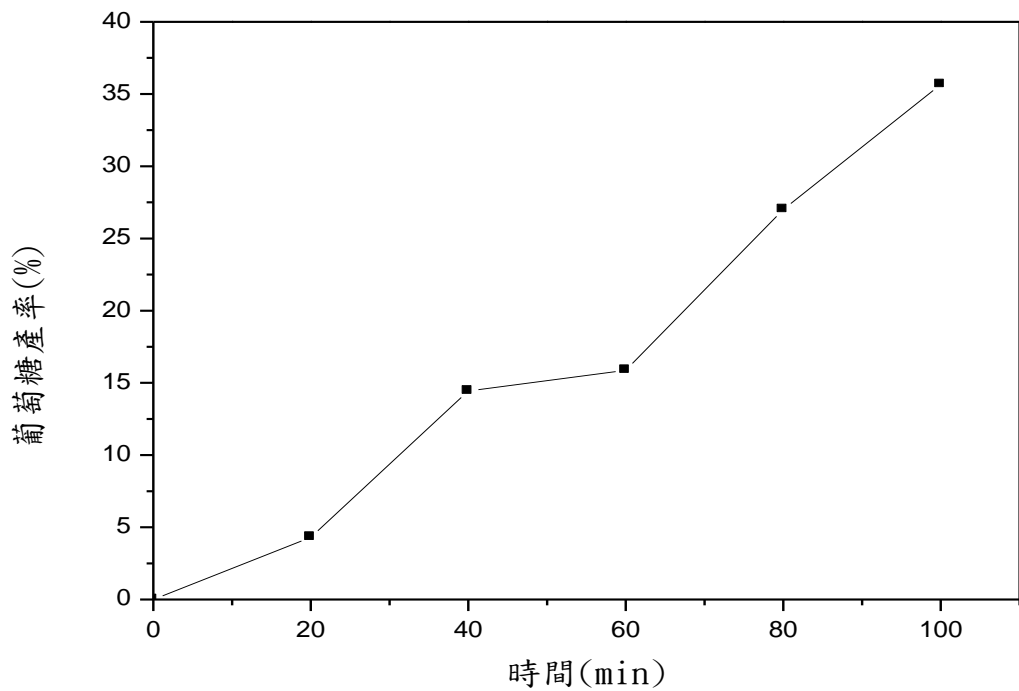
時間	吸光度	稀釋 10%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率%
20 分	0.676	0.075	261	323	1.11	3.99
40 分	2.191	0.205			1.12	4.02
60 分	2.821	0.295			1.98	7.11
80 分	3.332	0.429			2.97	10.67



圖十六、鹽酸濃度 1%、95°C 得到葡萄糖產率圖

表十九、鹽酸濃度 2%、95°C 得到葡萄糖產率

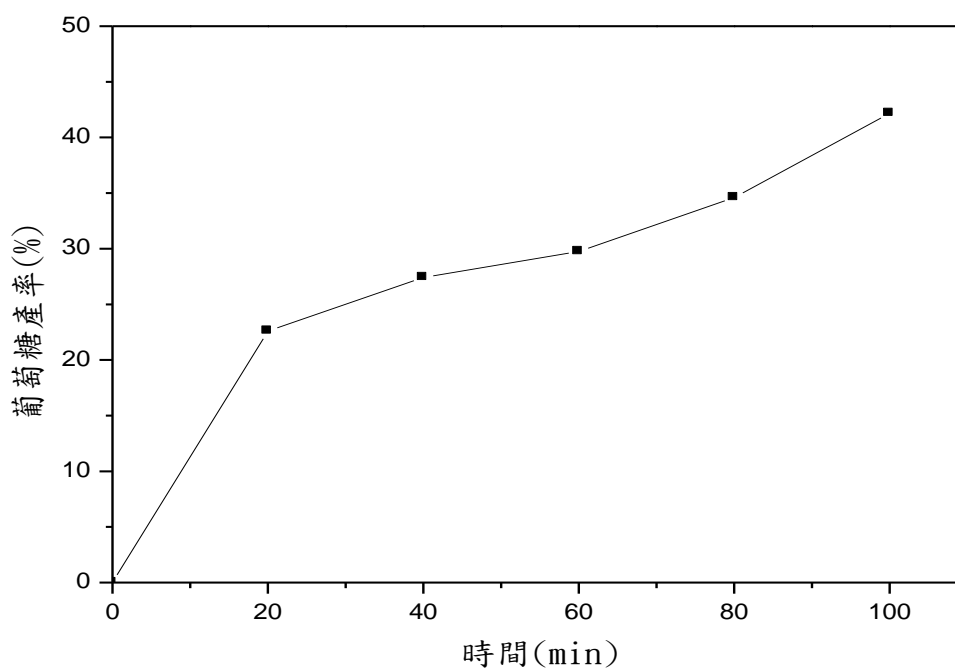
時間	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖(g)	產率 %
20 分	2.562	0.223				1.20	4.30
40 分	3.486	0.503		190	255	4.02	14.43
60 分	3.506	0.566	4.42			15.87	
80 分	3.516	0.863	7.52			27.00	
100 分	3.580	1.089	0.093	190	255	9.93	35.66



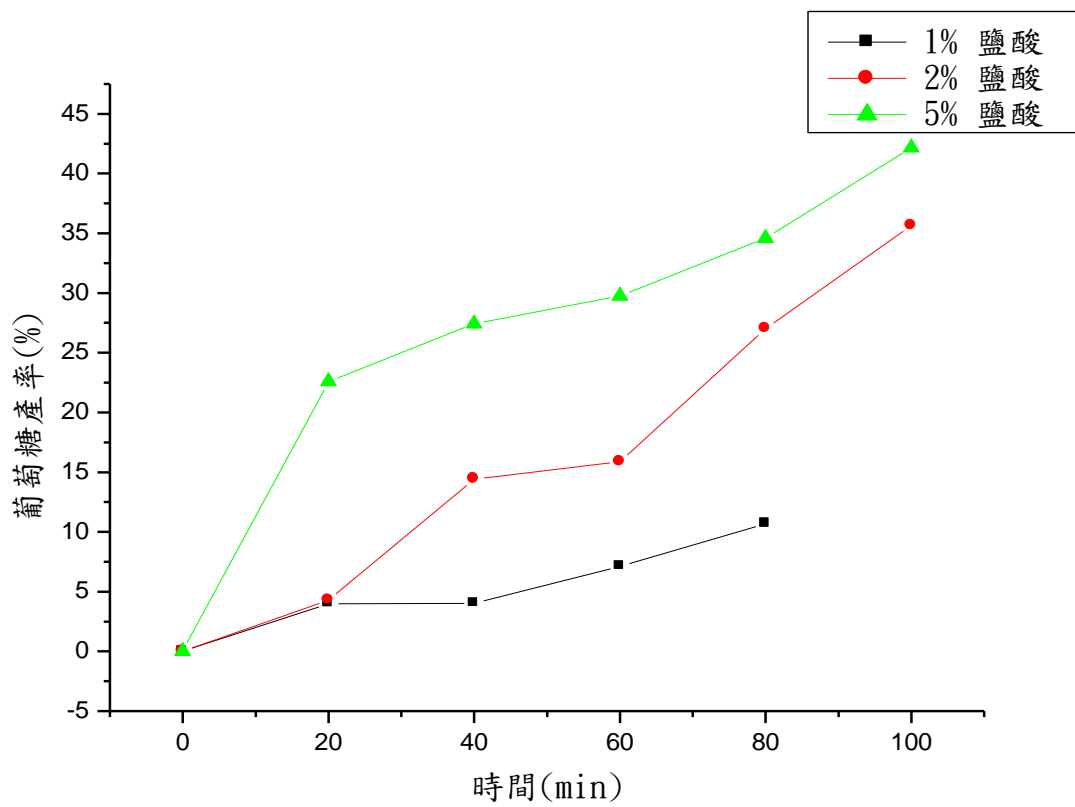
圖十七、鹽酸濃度 2%、95°C 得到葡萄糖產率圖

表二十、鹽酸濃度 5%、95°C 得到葡萄糖產率

時間	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率%
20 分	3.559	0.822		245	288	6.3	22.6
40 分	3.595	0.922				7.64	27.42
60 分	3.640	1.071	0.102			8.29	29.75
80 分	3.685	1.200	0.110			9.64	34.6
100 分	3.760	1.800	0.172			11.75	42.17



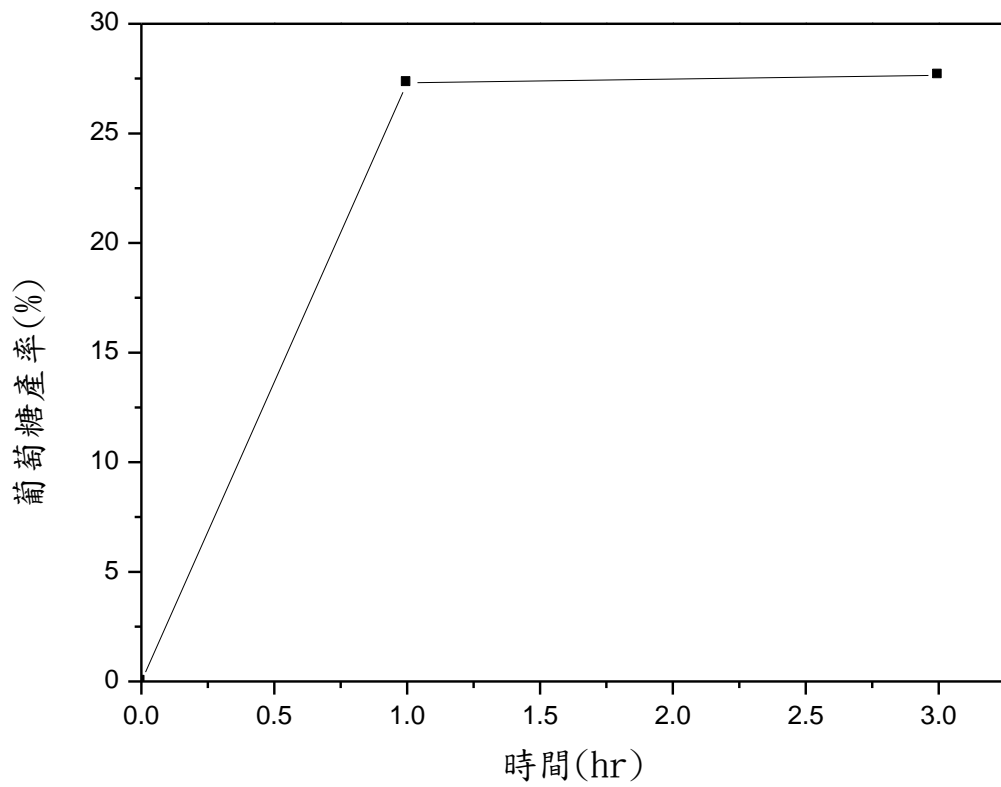
圖十八、鹽酸濃度 5%、95°C 得到葡萄糖產率圖



圖十九、鹽酸不同濃度、95°C得到葡萄糖產率圖

表二十一、鹽酸濃度 4%、121°C 得到葡萄糖產率

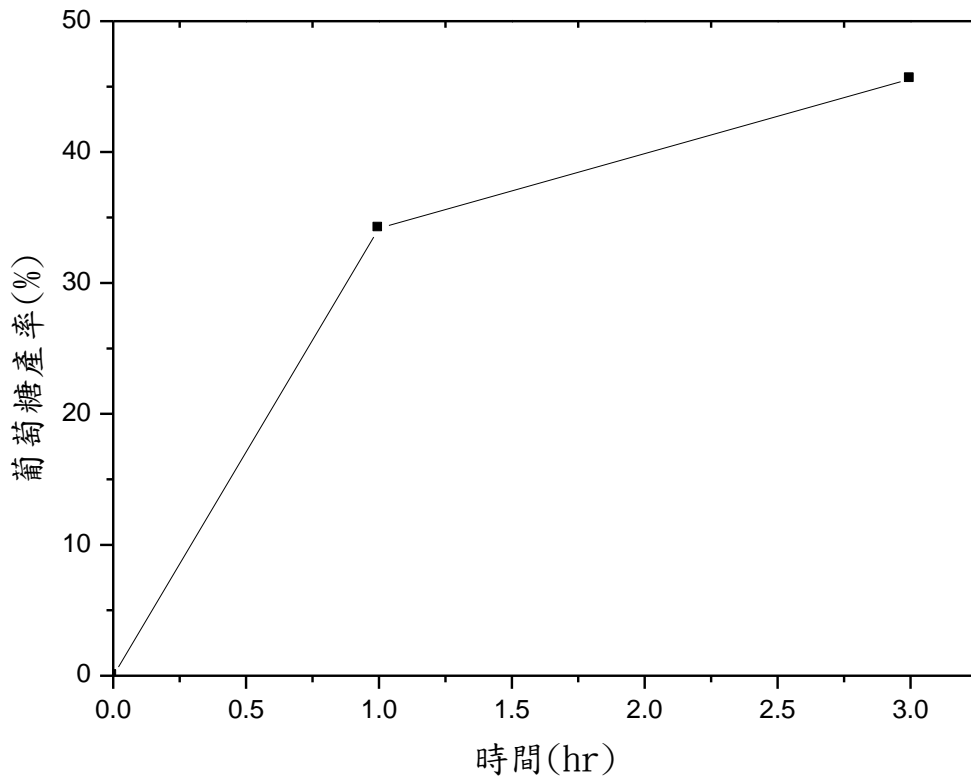
時間 (hr)	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率 %
1 hr	3.576	1.112	0.101	186	188	7.58	27.30
3 hr	3.604	1.254	0.110			7.68	27.65



圖二十、鹽酸濃度 4%、121°C 得到葡萄糖產率圖

表二十二、鹽酸濃度 4%、121°C 得到葡萄糖產率

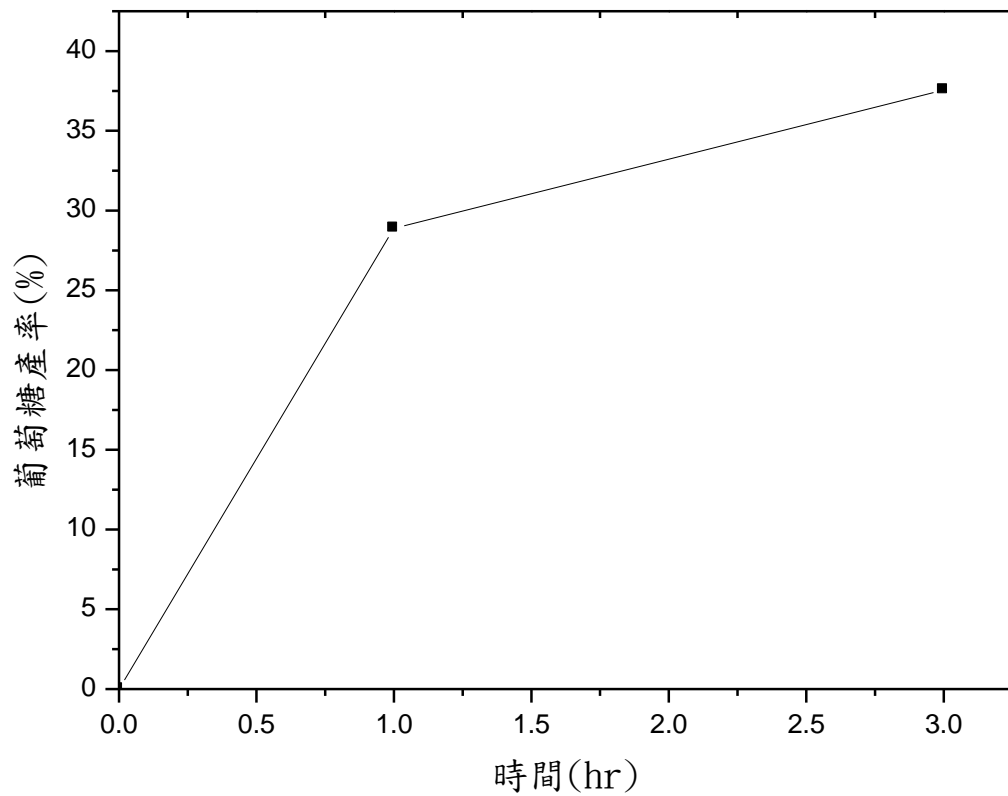
時間 (hr)	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率%
1 hr	3.922	1.833	0.196	219	231	9.49	34.17
3 hr	3.861	2.350	0.251			12.66	45.59



圖二十一、鹽酸濃度 4%、121°C 得到葡萄糖產率圖

表二十三、鹽酸濃度 6%、121°C 得到葡萄糖產率

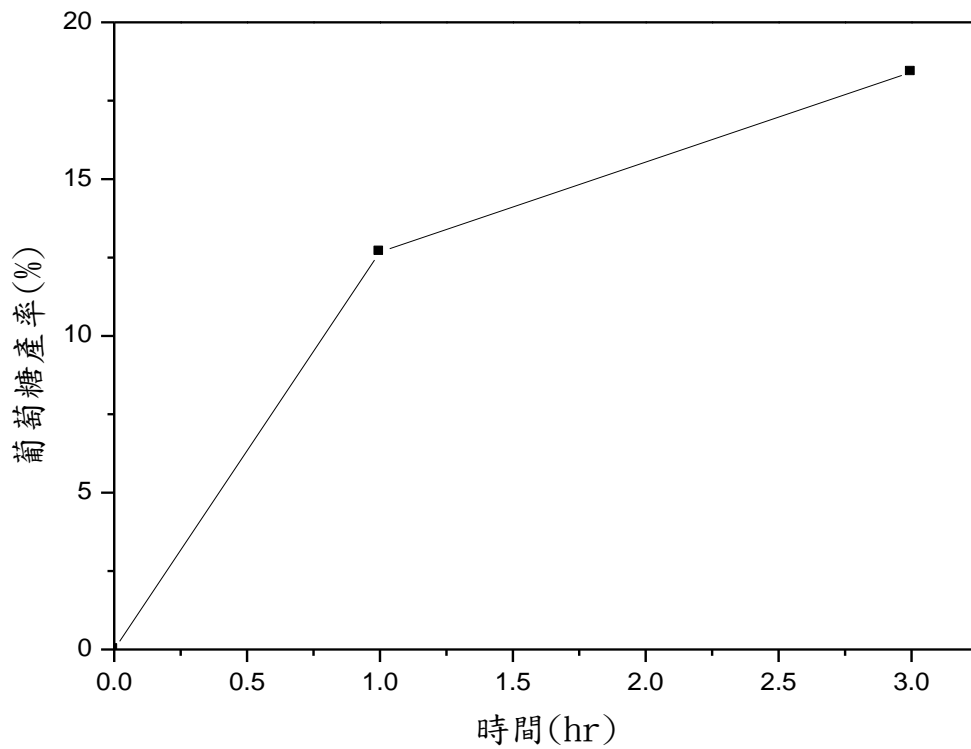
時間 (hr)	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率%
1 hr	3.561	1.065	0.084	197.5	200	7.19	28.89
3 hr	3.596	1.495	0.124			10.43	37.55



圖二十二、鹽酸濃度 6%、121°C 得到葡萄糖產率圖

表二十四、鹽酸濃度 6%、121°C 得到葡萄糖產率

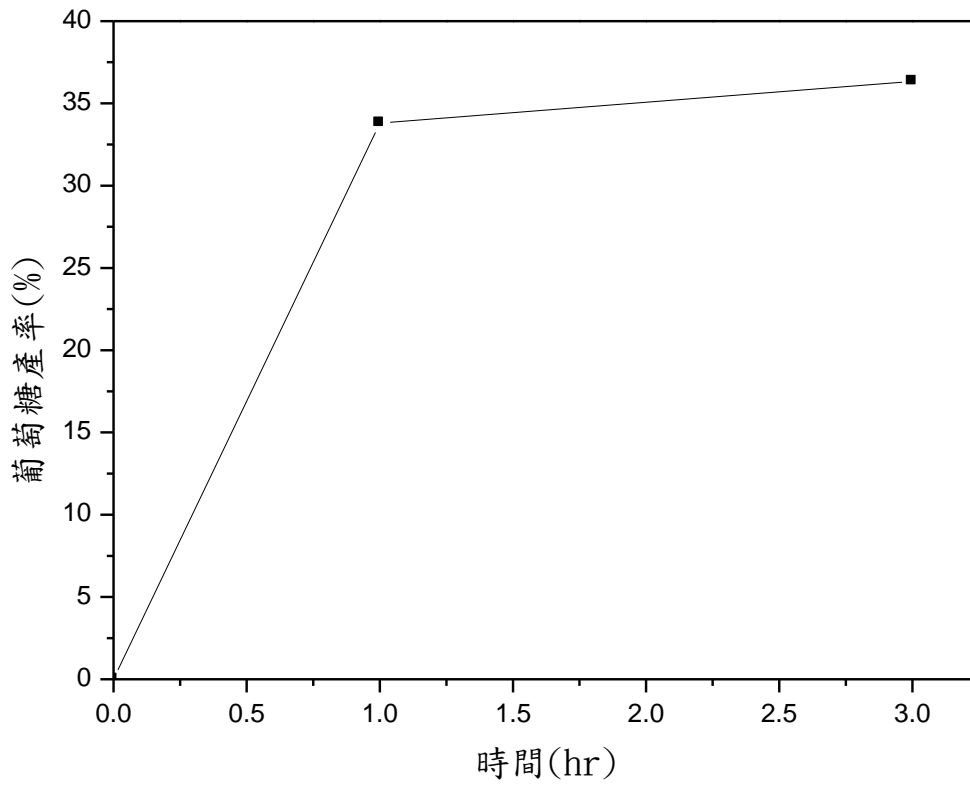
時間 (hr)	吸光度	稀釋 10%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率%
1 hr	3.588	0.522	230	245	3.52	12.68
3 hr	3.864	0.732			5.11	18.41



圖二十三、鹽酸濃度 6%、121°C 得到葡萄糖產率圖

表二十五、鹽酸濃度 8%、121°C 得到葡萄糖產率

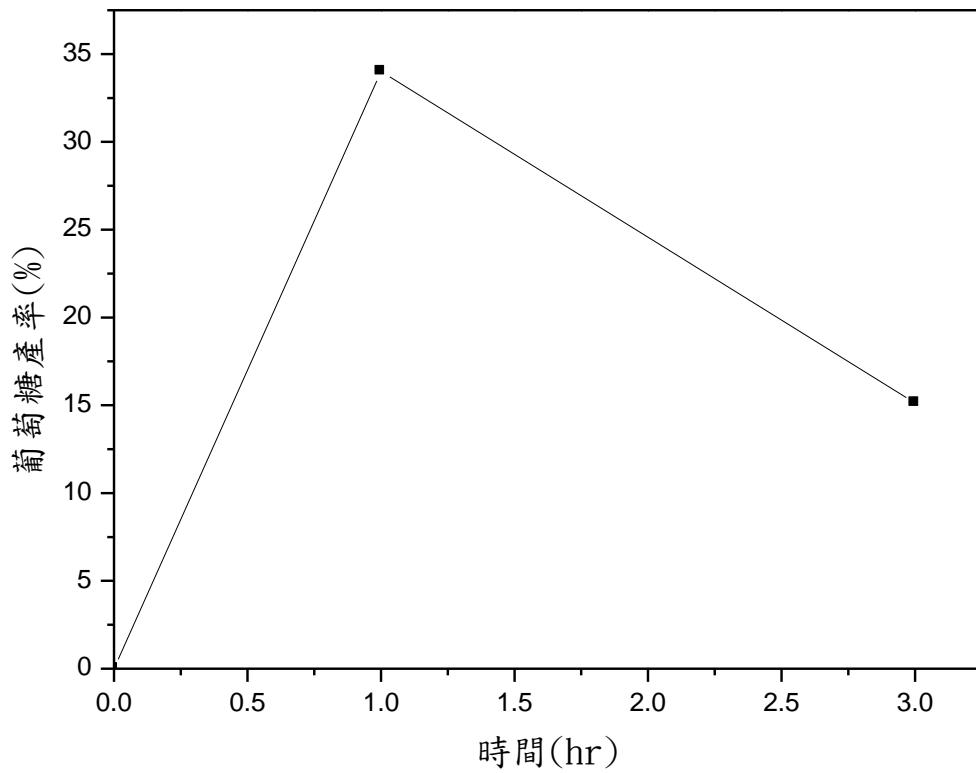
時間 (hr)	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率%
1 hr	3.583	1.374	0.122	214	216	9.39	33.8
3 hr	3.636	1.633	0.149			10.09	36.33



圖二十四、鹽酸濃度 8%、121°C 得到葡萄糖產率

表二十六、鹽酸濃度 8%、121°C 得到葡萄糖產率

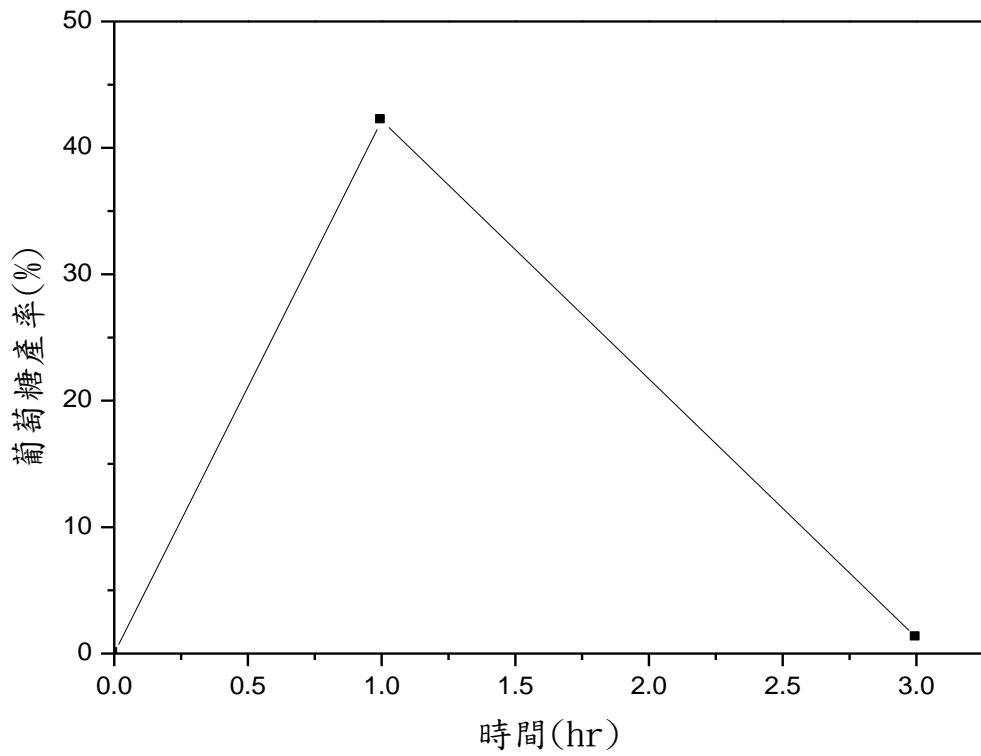
時間 (hr)	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率 %
1 hr	3.940	1.895	0.175	233	245	9.46	34.01
3 hr	3.610	0.644				4.21	15.13



圖二十五、鹽酸濃度 8%、121°C 得到葡萄糖產率

表二十七、鹽酸濃度 10%、121°C 得到葡萄糖產率

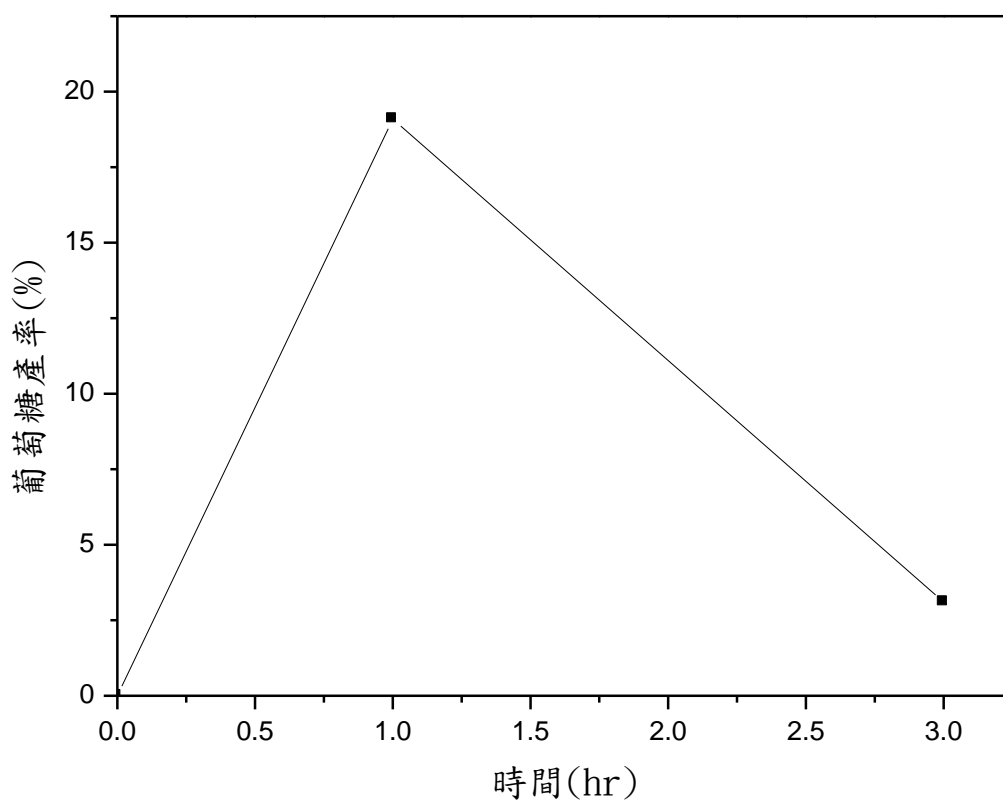
時間 (hr)	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率%
1 hr	3.854	1.556	0.148	228	245	11.71	42.16
3 hr	0.549					0.35	1.26



圖二十六、鹽酸濃度 10%、121°C 得到葡萄糖產率圖

表二十八、鹽酸濃度 15%、121°C 得到葡萄糖產率

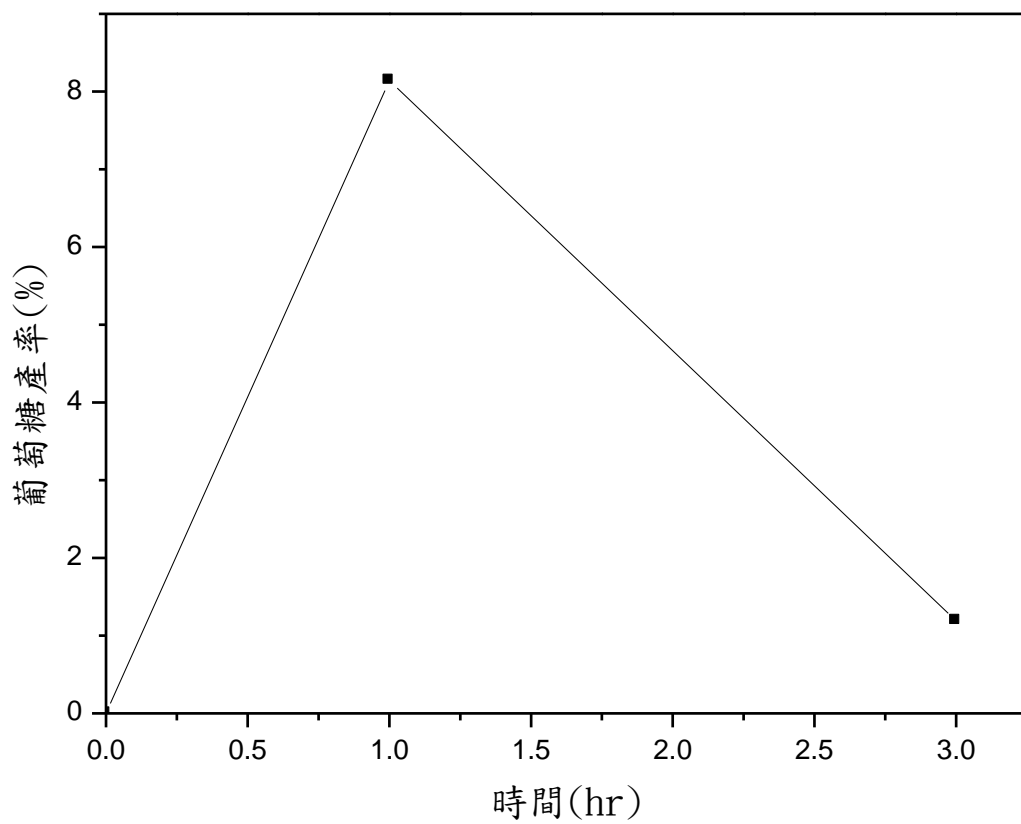
時間 (hr)	吸光度	稀釋 10%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率%
1 hr	3.762	0.731	240	260	5.3	19.09
3 hr	1.956	0.160			0.86	3.10



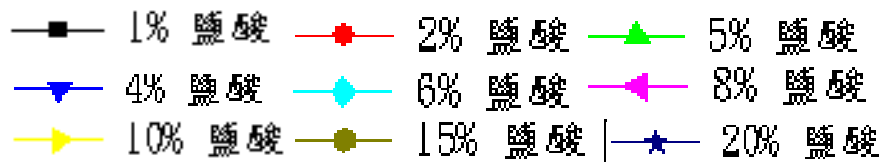
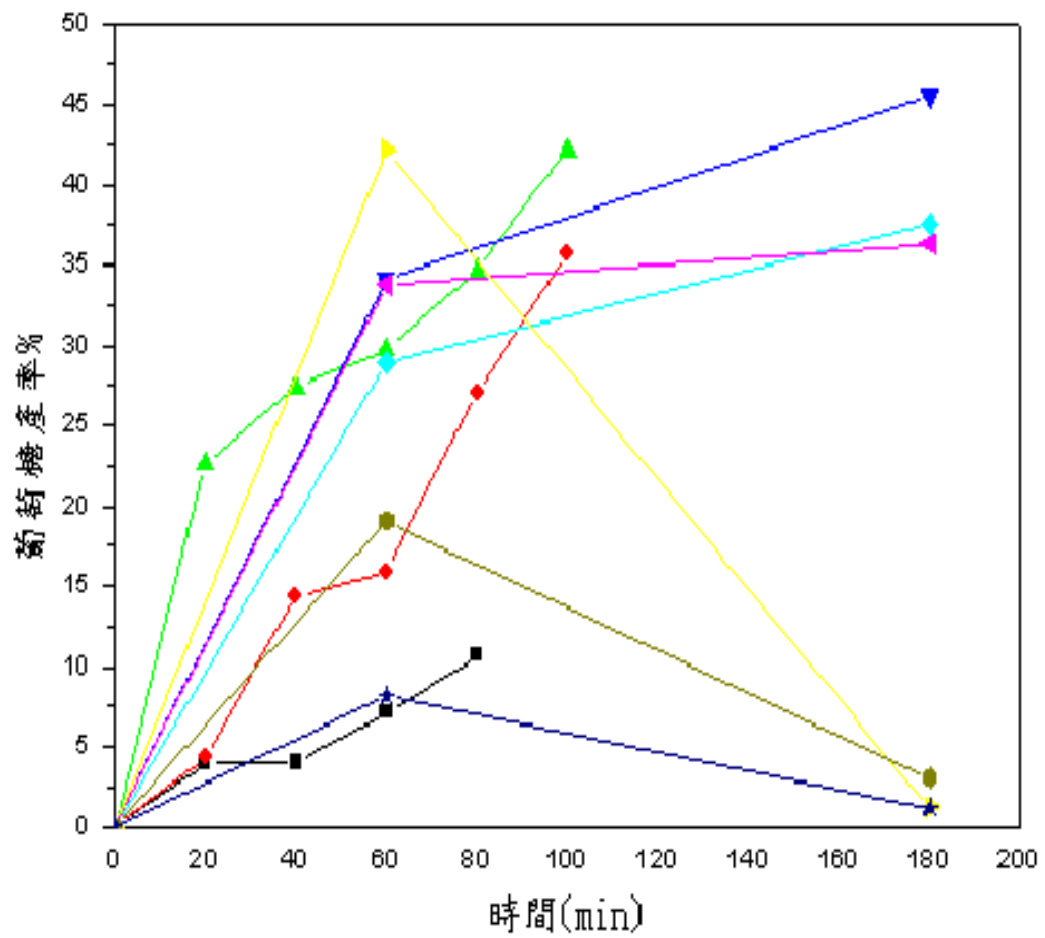
圖二十七、鹽酸濃度 15%、121°C 得到葡萄糖產率圖

表二十九、鹽酸濃度 20%、121°C 得到葡萄糖產率

時間 (hr)	吸光度	稀釋 10%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率%
1 hr	3.350	0.381	245	252	2.26	8.14
3 hr	0.525				0.33	1.19



圖二十八、鹽酸濃度 20%、121°C 得到葡萄糖產率圖



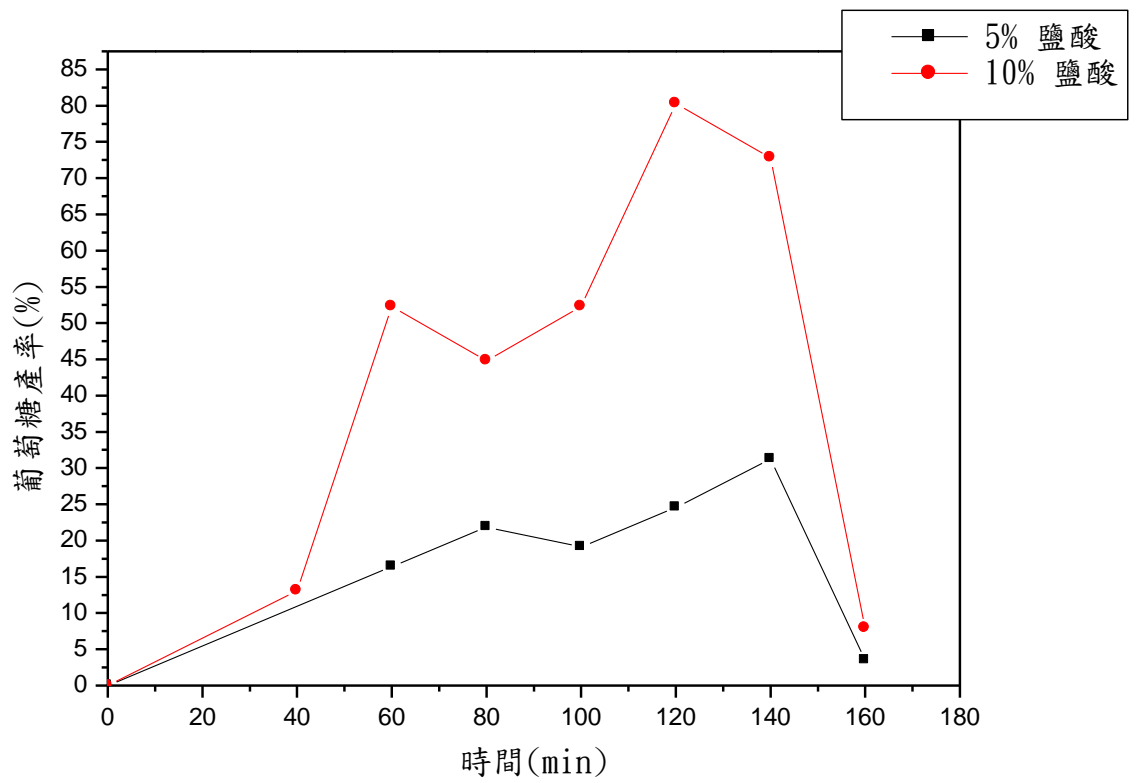
圖二十九、鹽酸不同濃度、121°C 得到葡萄糖產率比較圖

表三十、鹽酸濃度 5%、140 °C 得到葡萄糖產率

時間 (min)	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率%
60	3.500	0.640		32.3	35.8	4.66	16.4
80	3.527	0.835				6.21	21.86
100	3.508	0.752				5.43	19.12
120	3.595	0.955				6.98	24.58
140	3.722	1.787	0.181			8.87	31.23
160	1.940	0.196				0.99	3.49

表三十一、鹽酸濃度 10%、140 °C 得到葡萄糖產率

時間 (min)	吸光度	稀釋 10%	稀釋 100%	中和前 (mL)	中和後 (mL)	葡萄糖 (g)	產率%
40	2.934	0.288		20	54	3.78	13.07
60	3.562	0.843				15.12	52.26
80	3.505	0.725				12.96	44.80
100	3.560	0.833				15.12	52.26
120	3.613	1.211	0.117			23.22	80.26
140	3.576	1.135	0.092			21.06	72.80
160	1.946	0.196				2.295	7.92

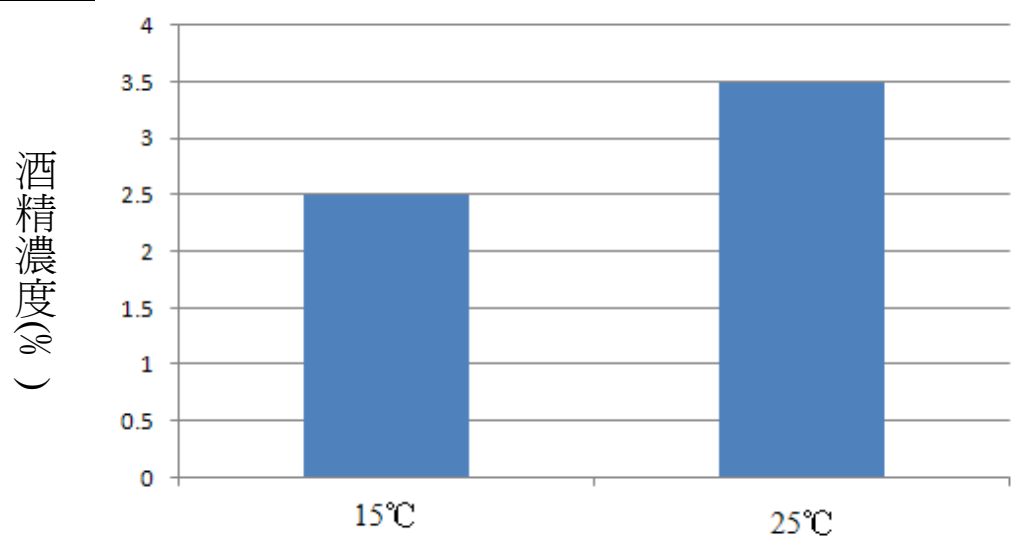


圖三十、鹽酸不同濃度、140 °C 得到葡萄糖產率比較圖

5.1 酒精發酵

表三十二、酒精發酵濃度表

發酵溫度	15°C 發酵	25°C 發酵
發酵前體積(mL)	400	400
發酵後體積(mL)	395	403
蒸餾出酒精體積(mL)	113	176
初濃度	0	0
蒸餾後濃度	2.5	3.5



圖三十一、蒸餾後酒精濃度圖

實驗討論

本研究將稻殼經前處理後溶解出木質素而獲得纖維素,再利用無機酸催化於高溫水解纖維素成葡萄糖溶液,最後再調配成培養基使用酵母菌發酵成生質酒精。為了能使最後餾出的酒精濃度及產量提高,重點在於葡萄糖水解發酵液的葡萄糖含量多寡,所以本實驗中利用鹽酸、硫酸作出不同濃度,以及不同溫度的條件下分解木質纖維,然後比較葡萄糖量的產率,以此方法測出最佳的產率條件,最後也比對不同溫度下的發酵效果。

實驗結果最佳的理想製造條件：

1、稻殼前處理最佳產率條件：

本次實驗中使用三種條件,10項數據互相比較。

煮沸時間相同皆為10分鐘的情況下,5%硝酸+5%氫氧化鈉平均產率可達到78.66%為本次實驗中最高,10%硝酸+10%氫氧化鈉也有75.94%,15%硝酸+15%氫氧化鈉最少只有59.95%。結果討論:硝酸及氫氧化鈉濃度太高的情況下,導致纖維素水解溶出因而降低產率,考慮產率及投入處理費用以5%較佳。

2、纖維素水解葡萄糖產率比較：

本次實驗的變因有不同濃度的硫酸、鹽酸在95℃、121℃、140℃及時間30分、1小時、2小時、3小時、5小時等不同水解時間來比對獲得葡萄糖產率。使用10%硫酸於121℃加熱3hr效過最佳產率可達47.5%,若是使用鹽酸的情況下,10%鹽酸140℃加熱2小時產率可高達80.26%,但若超過2小時繼續加熱,產率就開始下跌,加熱到160分鐘後產率就已跌到7.92%。

結果討論:不論是鹽酸或硫酸在濃度越高的情況下及加熱時間持續拉長,會使產率不增反減,原因可能是濃度太高的酸使葡萄糖醛基氧化成葡萄糖酸或者產生縮合反應形成縮醛,且若溫度及濃度太高會使纖維素餅碳化,且讓產率降低或破壞其結構。且濃度提升越高,也使得後面中和時所需要的鹼需求量提高,無形中使得成本提高,本實驗本著使廢物變成再生能源的原則,求最低成本及條件為10%鹽酸140℃加熱2小時產率可高達80.26%,得到最佳產率。

3、酒精發酵條件：

利用啤酒酵母菌(*Saccharomyces cerevisiae*)在不同溫度下(15°C、25°C)進行發酵。

在不同溫度下皆不額外加葡萄糖直接讓其發酵，生成酒精的濃度分別為 2.5 %及 3.5%，25°C較15°C多出 1.0%的濃度,25°C較佳。

第五章 實驗結論及參考文獻

實驗結論

- 1、前處理：利用 5% HNO_3 +5% NaOH 獲得纖維素產率最高 78.66%。
- 2、水解：以 10% HCL 、 140°C 、2 小時加熱水解獲得葡萄糖產率最高 80.26%。
- 3、酒精發酵：利用酵母菌於 25°C 進行酒精發酵可得較佳之濃度 3.5%。

參考文獻

- 1、 林君亮、張寶鍵、廖正幃、楊國興、胡志鴻；稻草製造酒精生質酒精研究。
- 2、 江河鐘、林志柏、張志維、李勝名、廖志強、梁子強；米酒製作的探討。
- 3、 馬現剛、徐桓泳、李文創，木質纖維素生產燃料乙醇的研究進展，天然氣化工，2008 年第 33 卷
- 4、 王玉高、貢士瑞、許文娟、盛晨，纖維素水解的研究進展，化工時刊，2009 年 5 月 23 卷第 5 期
- 5、 劉德禮、謝林生，馬王录，木質纖維素預處理技術研究進展，釀酒科技，2009 年 1 期
- 6、 景春娥、常思靜、薛林貴，纖維素酶在燃料乙醇工業中的應用研究進展，釀酒科技 2009 年第三期
- 7、 李文、潘家禎、許洪朋，木質纖維素類生物質轉化生物乙醇預外處理 B2B 工藝的發展研究，安徽農業科學
- 8、 曾凡洲、蔣劍春、陳育如，生物質水解發酵生產燃料乙醇的研究進展，生物質化化學工程，2009 年 3 月第 43 卷第 2 期
- 9、 李科、甘明哲、劉曉風、趙海，木質纖維素生產燃料乙醇的關鍵技術研究現狀，應用與環境生物學報 2008 年 12 月 25 日
- 10、 纖維乙醇之料源，纖維乙醇之技術與文獻探討，2007 年 8 月 27 日
- 11、 維基百科-稻草介紹
- 12、 王曉娟、王斌、馮浩、李志義，木質纖維素類生物質製備生物乙醇研究進展，石油與天然氣化工，第 36 卷第 6 期
- 13、 張名佳、蘇榮欣、齊威、何志敏，木質纖維素酶解糖化，化學進展，2009 年 5 月 21 卷第 5 期
- 14、 吳連禎、林鹿，降低木質纖維燃料乙醇生產成本分析，釀酒科技，2009 年第 5 期
- 15、 李陽、孫岩峰、張文明、張玉蒼，稻稈廢棄物製備燃料乙醇製備，釀酒科技，2008 年第 11 期
- 16、 徐龍君、劉鍾駿、徐宏亮、符志磊，稻草稻稈同時糖化法糖化法制燃料工藝條件，重慶大學學報，2008 年 6 月 31 卷第 6 期
- 17、 蘇小軍、熊興耀、譚興和、劉明月，燃料乙醇發酵技術，湖南農業大學學報，2007 年 8 月 33 卷第 4 期
- 18、 周愛萍，國內外燃料乙醇的生產與研究進展，安徽農業科學
- 19、 林佑生、李文乾，生質酒精，科學發展，2009 年 1 月 433 期
- 20、 化工資訊與商情第 41 期 2006 年 11 月 10 日

21、 賴滋漢、柯文慶、李秀，食品分析與檢驗