

行政院原子能委員會 100 年度
政府科技計畫(期末)成果效益報告
(100.1.1 ~ 100.12.31)

計畫名稱：纖維酒精量產技術研發

執行期間：

全 程：自 99 年 01 月 01 日至 102 年 12 月 31 日 止

本年度：自 100 年 01 月 01 日至 100 年 12 月 31 日 止

執行單位：核能研究所

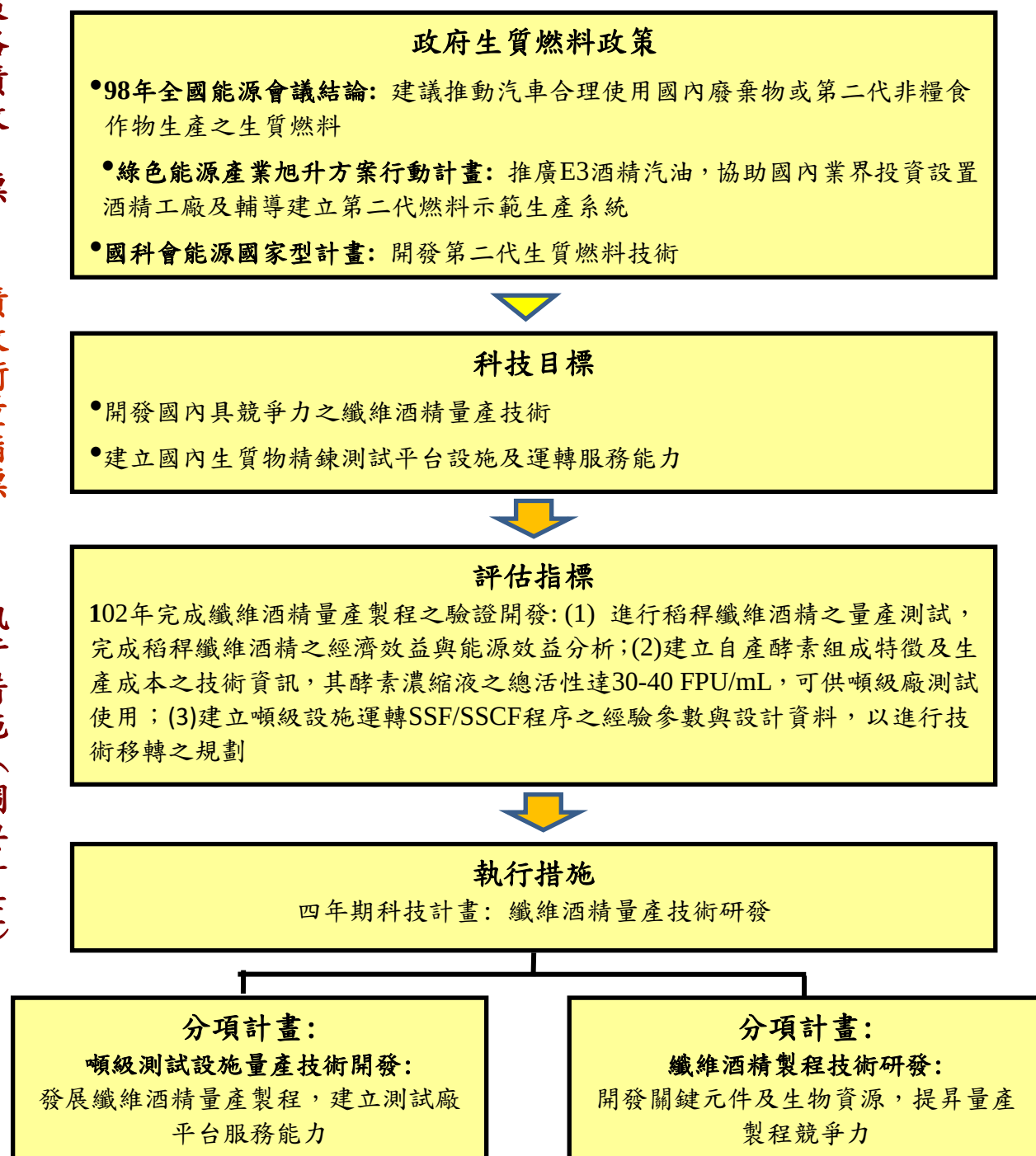
目 錄

壹、科技施政重點架構圖：	1
貳、基本資料	2
參、計畫目的、計畫架構與主要內容	2
一、計畫目的與預期成效	2
二、計畫架構(含樹狀圖)	3
三、計畫主要內容	3
四、計畫執行情形及績效成果	4
(一)工作進度—本年度預期目標及達成情形	4
肆、計畫經費與人力執行情形	8
一、計畫經費執行情形：	8
(一)計畫結構與經費	8
(二)經費門經費表	8
二、計畫人力運用情形：	9
(一)計畫人力(人年)	9
(二)主要人力投入情形(副研究員級以上)	10
伍、計畫已獲得之主要成果與重大突破 (含量化成果 output)	12
一、本計畫主要成果及重大突破	12
二、績效指標項目初級產出、效益及重大突破	26
陸、主要成就及成果之價值與貢獻度(outcome)	28
一、學術成就(科技基礎研究)(權重 20 %)	28
二、技術創新(科技整合創新)(權重 30 %)	34
三、經濟效益(產業經濟發展)(權重 20 %)	38
四、社會影響(民生社會發展、環境安全永續)(權重 20 %)	39
五、其它效益(科技政策管理及其它)(權重 10 %)	40
柒、與相關計畫之配合	41
捌、後續工作構想之重點	41
玖、檢討與展望	42
附錄一、佐證資料表	44
附錄二、佐證圖表	52

第二部分：政府科技計畫成果效益報告

壹、科技施政重點架構圖：

策略績效目標
——
績效衡量指標
——
執行措施（綱要計畫）



貳、基本資料

計畫名稱：纖維酒精量產技術研發

主 持 人：王○寶

審議編號：100-2001-02-癸-10

計畫期間(全程)：99 年 01 月 01 日至 102 年 12 月 31 日

年度經費：47,690 千元 全程經費規劃：204,858 千元

執行單位：核能研究所

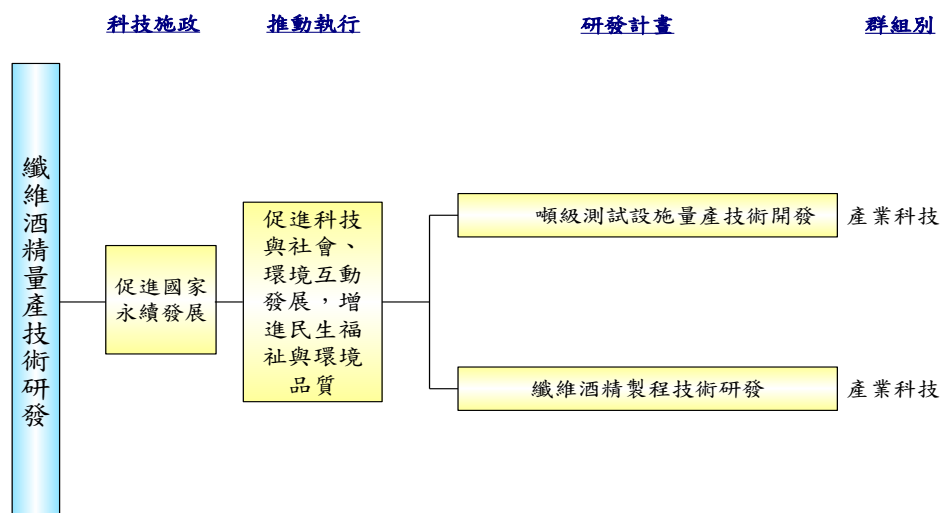
參、計畫目的、計畫架構與主要內容

一、計畫目的與預期成效

2007 年 9 月台北市試辦 E3 酒精汽油，由 8 家加油站率先販售，每公升之 E3 酒精汽油較 95 無鉛汽油優惠 1 元，台北市內中央與地方單位公務車輛率先添加 E3 酒精汽油。2009 年 7 月高雄市併入實施 E3 酒精汽油，北高都會區共 14 家供應 E3 酒精汽油，每公升優惠提升到 2 元。2009 年 4 月我國為因應能源安全、經濟發展、環境保護等重大議題，召開全國能源會議，會議結論建議推動汽車合理使用國內廢棄物或第二代非糧食作物生產之生質燃料，並研究規劃於 2020 年達到 E10 目標之可行性。經濟部繼於 2009 年 10 月發佈推動綠色能源產業旭升方案行動計畫，在產業化方面，能源局將依據全面供應 E3 酒精汽油時程，協助業界投資設置酒精工廠。此外，2009 年國科會推動能源國家型計畫，在技術發展之規劃則以開發第二代生質燃料為目標。國內原訂於 2011 年全面實施 E3 酒精汽油，因條件尚未成熟，現規劃延至 2018 年執行，屆時國內第一代與第二代生產設施相互搭配，應可提供 30 萬公秉酒精供 E3 使用。

本計畫配合政府發展生質燃料政策，致力於纖維酒精技術之研發，2007- 2009 核研所著手建置日進料 1 噸之纖維酒精測試廠，2010 年開始測試運轉，運轉過程中主要觀察單元設備之性能、驗證製程放大之參數差異及研擬後續系統改善方案。此測試廠為國內發展纖維酒精技術之重要平台，扮演(1)驗證國內外開發之纖維酵素、發酵菌株、纖維料源等於量產應用之可行性。(2)測試廠之運轉數據可作為國內未來設計量產廠，評估其生產成本、能源效益、減碳效益等之基礎。此平台整合國內農業與生物技術，開發具競爭力之纖維酒精技術，落實研發技術於量產應用。未來國內建立量產廠後，以農、林業剩餘資材等為纖維酒精原料，亦可達到料源多元化及二氧化碳減量之效益。本計畫總目標為發展多源進料之纖維酒精量產技術，建立能以每天進料 1 噸且連續運轉之測試廠，使每噸乾稻稈生產酒精達設計基準 200 公升，作為技轉量產廠生產纖維酒精之基礎。

二、計畫架構(含樹狀圖)



三、計畫主要內容

核研所已於 2009 年底完成日進料 1 公噸規模之纖維轉化酒精測試設施，據以協助產業界建立生質酒精量產技術，以達生質燃料產業化之目標及國際化佈局之基礎。為配合此發展方向，乃研擬 99-102 纖維酒精量產技術研發計畫，100 年計畫主要有二項研發工作，分別為噸級測試設施量產技術開發與纖維酒精製程技術開發。計畫目標與工作內容分述如下：

1. 噸級測試設施量產技術開發：

本分項計畫之目標為利用噸級廠設施，建立纖維酒精量產技術。為測試全廠系統之順暢性，以每日進料 1 噸稻稈，連續 5 天進料之方式進行測試，同時今年酒精製程亦由水解與發酵分開程序(SHF)提升至同步水解與發酵程序(SSF)，並使每噸乾稻稈產製 180 公升酒精。100 年之工作內容包括：

- (1) 噸級測試廠設施性能精進
- (2) 噸級 SSF 程序測試
- (3) 廠內酵素生產技術之建立
- (4) 能源與水資源整合及效益評估

2. 纖維酒精製程技術開發：

為提升單位纖維原料之酒精產量與降低製程成本，本分項計畫擬發展較前瞻之纖維酒精技術，其研究重點包括以纖維酒精測試平台之設施，評估學研單位開發之生物資源的效能及發展其生化製程，並同時就降低量產製程能耗及製程損失之技術進行開發研究，以應用於纖維酒精量產技術之測試運轉。100 年之工作內容包括：

- (1)新穎生物資源應用於纖維酒精生產之評估與製程技術開發
- (2)纖維原料多樣化之水解及發酵技術研究
- (3)發酵液酒精低損耗純化技術研究

四、計畫執行情形及績效成果

(一)工作進度一本年度預期目標及達成情形

(說明年度預期目標及達成情形、目前計畫之實際執行與預期工作之差異)

年度預期目標(查核點)	達成情形	差異分析
1.噸級測試設施量產技術開發 1.1 噸級測試廠設施性能精進測試：SSF 程序轉化效率 60%、蒸餾脫水產率 85%。 1.2 廠內酵素生產技術之建立：酵素液活性 10 FPU/mL 1.3 能源與水資源整合及效益評估：能耗及用水紀錄表單建立	1.1 今年此分項計畫主要有 3 個重點，其完成度包括：本年度噸級測試廠已達成每天進料 1 噸，可連續 5 天進料操作之目標；同時也將酒精製程由 SHF 程序提升至 SSF 程序之目標；唯目前每噸乾稻稈產製 160 公升酒精，未達年度目標 180 公升(完成度 89%)。整體而言，此分項計畫之目標達成度為 97%。本分項計畫之具體成果包括： (1)建立噸級前處理連續運轉能力及提升其系統功能，改善前處理系統各單元設備之功能，建立最佳控制程序邏輯及輸送參數與反應操作參數，以提升稻稈之處理效率及能源使用效率，建立連續運轉能力。完成架橋破壞器之安裝測試，成功提昇稻稈進料之穩定性，減少破壞架橋之人力配置。精進泥漿產物固液分離設備，提	達成年度預期目標之 97%

	高前處理固渣之回收率，同時使水解液損失率由 20-40%降至約 10%。改良閃化出料裝置，避免閃化時所造成衝擊及刮損而洩漏，可降低磨耗及節省維修成本，並已成功應用於測試廠之前處理設備。 (2)開發同步水解發酵 SSF 程序產製酒精發酵製程，採用批次饋料模式，增加稻草固含量與糖化效率，有效提高單位產生酒精濃度，酒精濃度可達 3.2% 以上，平均酒精轉化效率為 55-60%。SSF 程序較去年開發之水解、發酵分離(SHF)程序節省硬體與人力成本，同時降低酵素使用量至 10-15 FPU/g cellulose，為去年 SHF 使用量之 50%；另建立二階段溫控同步水解發酵轉化技術，應用於噸級測試廠 SSF 程序，相較於文獻使用同步水解發酵轉化技術之全程 38°C 溫控設定，二階段溫控技術擁有酵素最佳反應條件與菌株發酵最佳反應條件之優點，可有效降低 50%總反應時間。 (3)建立分子尺度沸石特性計算化學平台，以 NaA LTA 沸石作為研究目標，分別採用 GCMC 及 MD 等方法研究水分於沸石晶體中之吸附等溫曲線及擴散特性，作為預測微觀輸送性質，以了解微孔材料中相關參數對乙醇/水分離程序中之選擇性及通量等特性；根據 99 年建立之沸石薄膜脫水系統，增設自動排液等控制功能改善，使其能連續運轉操作，經實際連	
--	---	--

	續運轉測試達 11 日不停機，可進一步驗證薄膜脫水製程長期操作穩定性；目前蒸餾系統酒精回收率可達 93%以上，PSA 系統經重新設計操作軟體規劃及元件更新作業，增加系統運轉穩定性，可連續操作 36 小時，同時根據現有測試條件下質量平衡計算酒精回收率至少達 93-95%，並針對相關參數探討其影響，後續將持續研究部分系統改善對系統效能提升程度，整體蒸餾脫水系統產率為 87%。 1.2 以稻稈為酵素誘導渣料，建立 1000L 規模之廠內纖維素水解酵素生產發酵技術，結合酵素液濃縮技術，可使酵素液活性達到 20 FPU/mL 以上，未來將可根據纖維酒精製程需求，彈性製備所需之酵素液活性。 1.3 能耗與用水評估，已就噸級廠內實際盤查與理論分析兩個層次進行。成果包括： (1) 建置水錶以瞭解用水之流向。本案共裝設 12 只水錶，並於 100 年 3 月份完工。3 月起利用所裝設之水錶進行運轉期間之用水盤查，並將結果分為六大類。由統計分析發現，吸收塔為主要用水單元，約達總用水量 42%。 (2) 建立前處理與蒸餾單元質能平衡模擬軟體。依此估計，預處理與蒸餾系統利用熱整合技術實施進料預熱措施，可分別節省能源 10%與 8%左右。	
--	---	--

2.纖維酒精製程技術研發 2.1 共發酵菌應用於同步糖化及共發酵程序操作之總糖轉化酒精效率 70% 2.2 提出蔗渣前處理、水解及發酵之整合操作條件	2.1 利用自行開發之共發酵菌建立同步糖化及共發酵程序(SSCF)，發現於 96 小時後可獲致 40g/L 以上的酒精濃度，整體總糖轉化酒精效率最高可達 0.47 g/g(91%)，達成年度預期目標，後續將開始進行 SSCF 程序之 scale-up 研究。 2.2 前處理條件在反應溫度 190-200℃、硫酸濃度 1%和反應時間 1-3 分鐘的操作下，會獲致較高的總糖轉化酒精效率，推估每噸蔗渣可得到酒精產量為 235-262 公升酒精。酵素水解與發酵之操作參數則與稻稈酒精之生化製程無顯著差異。若進一步以目前噸級廠運轉測試之稻稈酒精製程的轉化效率推估(SSF 效率 55%、木糖發酵 70%)，每噸蔗渣應可生產約 200-220 公升的酒精，此顯示蔗渣應用於纖維酒精之生產原料，確實非常具有潛力，值得進一步以噸級廠設施進行量產製程研究。	達成年度預期目標
---	---	-----------------

肆、計畫經費與人力執行情形

一、計畫經費執行情形：

(一)計畫結構與經費

細部計畫 (分支計畫)		研究計畫 (分項計畫)		主持人	執行機關	備註
名稱	經費(千元)	名稱	經費(千元)			
纖維酒精量產技術研發	47,690				核能研究所	1000 萬元以上計畫
		1.噸級測試設施量產技術開發	30,921		核能研究所	
		2.纖維酒精製程技術研發	16,769		核能研究所	

(二)經資門經費表

預算執行數統計截止日期：100.12.31

會計科目 項目		預算數(執行數)/元			備註
		主管機關預算 (累計分配數)	自籌款	合計	
				流用後預算數 (實際執行數)	
一、經常支出					
1.人事費					
2.業務費		25,625,000 (25,625,000)		25,625,000 (25,582,721)	53.73% (99.84 %)
3.差旅費					
4.管理費					
5.營業稅					
小計		25,625,000 (25,625,000)		25,625,000 (25,582,721)	53.73% (99.84 %)
二、資本支出					
1.設備費		22,065,000 (22,065,000)		22,065,000 (22,065,000)	46.27 % (100%)
小計		22,065,000 (22,065,000)		22,065,000 (22,065,000)	46.27 % (100%)
合計	金額	47,690,000 (47,690,000)		47,690,000 (47,647,721)	100.00 % (99.91 %)
	占總經費%	100%			
	$\frac{\text{分配數}}{\text{預算數}}$ (執行率= $\frac{\text{執行數}}{\text{分配數}}$)			(99.91%)	

請將預算數及執行數並列，以括弧表示執行數。

與原計畫規劃差異說明：

無

二、計畫人力運用情形：

(一)計畫人力(人年)

人力統計截止日期：100.12.31

計畫名稱	執行情形	總人力(人年)	研究員級	副研究員級	助理研究員級	助理
纖維酒精量產技術開發	原訂(全年)	40	1.5	12.5	9.5	16.5
	實際	37	1.5	11	8	16.5
	差異	-3	0	-1.5	-1.5	0
1.噸級測試設施量產技術開發	原訂(全年)	26	0.7	7.5	4.3	13.5
	實際	24.5	0.7	6.5	3.8	13.5
	差異	-1.5	0	-1	-0.5	0
2.纖維酒精量產技術開發	原訂(全年)	14	0.8	5	5.2	3
	實際	12.5	0.8	4.5	4.2	3
	差異	-1.5	0	-0.5	-1	0

說明：

研究員級：研究員、教授、主治醫師、簡任技正、若非以上職稱則相當於博士滿三年、或碩士滿六年、或學士滿九年之研究經驗者。

副研究員級：副研究員、副教授、總醫師、薦任技正、若非以上職稱則相當於博士、碩士滿三年、學士滿六年以上之研究經驗者。

助理研究員級：助理研究員、講師、住院醫師、技士、若非以上職稱則相當於碩士、或學士滿三年以上之研究經驗者。

助理：研究助理、助教、實習醫師、若非以上職稱則相當於學士、或專科滿三年以上之研究經驗者。

(二)主要人力投入情形(副研究員級以上)

姓名	計畫 職稱	投入主要工作 及人月數	學、經歷及專長	
王○寶	主持人	12人月 總計畫督導與執行	學 歷	碩士
			經 歷	研究員
			專 長	【23】【化學工程】
黃○松	分項 主持人	12人月 分項計畫督導與 執行	學 歷	碩士
			經 歷	研究員
			專 長	【29】【醫學工程】
郭○倫	分項 主持人	12人月 分項計畫督導與 執行	學 歷	博士
			經 歷	工程師
			專 長	【2H】【環保生物工程】
蔡○諺	副工程師	12人月 酒精純化及 系統工程開發	學 歷	碩士
			經 歷	副工程師
			專 長	【23】【化學工程】
林○翔	副工程師	12人月 菌株發酵研究	學 歷	碩士
			經 歷	副工程師
			專 長	【6L】【生物技術】
陳○泉	副研究員	6人月 計畫管理	學 歷	碩士
			經 歷	副研究員
			專 長	【12】【化學】
魏○洲	副研究員	8人月 酒精蒸餾與脫水	學 歷	碩士
			經 歷	副研究員
			專 長	【23】【化學工程】
蔡○晉	副工程師	12人月 前處理及系統工程	學 歷	碩士
			經 歷	副工程師
			專 長	【21】【機械工程】
王○輝	副工程師	12人月 系統工程開發	學 歷	博士
			經 歷	副工程師
			專 長	【23】【化學工程】
邱○煥	副研究員	12人月 生化技術開發	學 歷	博士
			經 歷	副研究員
			專 長	【23】【化學工程】
陳○華	副工程師	12人月 前處理技術開發	學 歷	博士
			經 歷	副工程師
			專 長	【23】【化學工程】

翁○翔	副工程師	7人月 酒精純化與系統工程	學 歷	博士
			經 歷	副工程師
			專 長	【2H】【環境工程】
張○明	工程師	12人月 程序整合研究	學 歷	博士
			經 歷	工程師
			專 長	【23】【化學工程】
黃○彰	副研發師	6人月 生化工程程序研究	學 歷	博士
			經 歷	副研發師
			專 長	【23】【化學工程】

與原計畫規劃差異說明：

本年度預定投入 40 人年，實際投入 37 人年，與原規劃人力差異 3 人年。其原因與因應方式為：

1. 本年度 5 位研究人員離職，10 月補進 1 位研究人員。
2. 本計畫人力約 65% 配置於分項 1，35% 配置於分項 2；下半年人力逐漸減少，主要影響測試廠運轉時之輪班人力，因應方式為運轉時只輪 2 班並緊縮每班人力，仍有不足則由分項 2 支援或以加班方式處理。

伍、計畫已獲得之主要成果與重大突破 (含量化成果 output)

一、本計畫主要成果及重大突破

本計畫目標係發展纖維酒精量產技術，由兩個分項計畫執行；一為噸級測試設施量產技術開發，主要測試噸級設施之單元性能，進而設法精進整廠之生產程序與運轉效能。另一為纖維酒精製程技術研發，開發同步糖化及共發酵之纖維酒精製造程序，提升測試廠單位原料之酒精產量與生產效益，以及開發不同料源轉化酒精技術，建立具有經濟、能源效益之多元化料源的纖維酒精量產技術。

(一) 噸級測試設施量產技術開發：

今年此分項計畫主要有 3 項重點，目標達成度為：(1).噸級測試廠已達成每天進料 1 噸，可連續 5 天進料操作之目標；(2).達成酒精製程由 SHF 程序提升至 SSF 程序之目標；(3).目前每噸乾稻稈產製 160 公升酒精，未達年度目標 180 公升(完成度 89%)。整體而言，此分項計畫之目標達成度為 97%。其具體成果包括：

1. 噸級測試廠設施性能精進測試：

執行噸級廠之運轉測試與改善措施，完成十一梯次整廠運轉測試，可一次連續 5 天，每日進料 1 噸。今年酒精製程採同步水解及發酵(SSF)程序，並開發分批式饋料操作，使葡萄糖 SSF 程序反應之最終固液比達 20%，產生之酒精濃度可達 3.2%，酒精轉化效率為 55-60%。

1.1 進料系統測試與功能提升：

除了完成稻稈原料蒐集、包裝、運送、倉儲之前置作業，符合日進 1 噸測試廠連續運轉之原料需求外，並進行測試廠預處理之粉碎機及輸送設備連續運轉測試，建立標準操作程序。成功將稻稈原料經測試廠之粉碎機系統打碎後，立即抽送至 15m 高之前處理進料端，進行酸催化蒸汽爆裂反應。此外，本計畫亦針對每批稻稈原料進行成份分析，所得含水率約 14-15%，其組成為

葡聚糖 (glucan): $32.87 \pm 0.13\%$ 、木聚糖 (xylan): $18.69 \pm 0.09\%$ 、阿拉伯聚糖 (arabinan): $3.24 \pm 0.06\%$ 、酸可溶木質素(ASL): $10.99 \pm 0.08\%$ 、酸不可溶木質素 (AIL) : $8.12 \pm 1.18\%$ 、萃取物 (Extractives): $10.09 \pm 0.17\%$ 、灰分 (Extractives): $11.28 \pm 0.01\%$ 。

1.2 前處理系統測試與功能提升：

本年度前處理測試係以日進料 1 噸稻稈，以達到自動化連續操作穩定運轉為目標。由於稻稈具有不易混合、輸送、加熱及分離等特性，所以當稻稈進入測試廠之前處理系統(酸解前處理反應器及固液分離系統)至出料，其特性由輕且蓬鬆易架橋、經混酸預熱後則變成潤溼易被壓密成塊易造成阻塞、再經高溫酸解爆裂閃化後則呈小纖維和泥漿混合，易黏著於槽壁。因此各設備單元之操作參數須互相配合，否則易發生架橋及阻塞，無法達到自動化連續操作穩定運轉之目的。測試重點包括 (1).以二階段酸催化蒸汽爆裂程序為基礎，完成試運轉操作條件測試，訂定最佳控制程序邏輯及輸送參數與反應操作參數。(2).調控進料及輸送速率，使稻稈於較佳操作參數下進行酸催化蒸汽爆裂前處理，並進行 2-5 天之連續運轉測試，完成操作穩定性測試，同時建立連續運轉之標準操作程序。(3).依連續運轉操作時之情形，針對部份硬體設備零組件進行檢討及精進。

依上述重點進行二階段酸催化蒸汽爆裂程序之測試規劃。首先進行功能測試、修改設備使稻稈能穩定進料後，設定輸送參數及標準操作參數。再以此為基礎改變注酸量(濃度)、固液比及第二階段之反應溫度與持壓時間，以進行二階段酸催化蒸汽爆裂程序。因稻稈型態會依前述參數而改變，可能會導致輸送不順暢或不均勻及處理效果不佳之情形，此現象可先以外觀來判斷，若輸送不順暢或外觀不佳、不正常則再修改反應參數至出料正常為止。後續配合產物分析及酵素水解尋求較佳操作參數，再以此參數為基礎進行其他參數如進料尺寸、閃化壓力及混酸時間之探討。最後以此操作參數進行每天一噸進料連續 5 天之運轉，測試工廠運轉之操作穩定性。

本研究於 99 年即進行注酸量(濃度)、固液比及反應溫度與持壓時間之探討。反應參數之測試範圍為 (1).稀酸濃度: 1.0-3.3%(w/w)。(2).稀酸流速: 1.25-5.5 L/min。(3). R-201-2B 設定溫度: 160-190°C。(4). R-201-2B 之持壓時間: 2-10 min。結果顯示前處理後之水解液木單糖濃度介於 14-35g/L、木寡糖濃度則介於 2.2-23g/L，木(單+寡)糖濃度最高可達 40g/L，木聚糖之溶出率達 70-85%。而稻稈渣料中木聚糖含量由 18.6%降低至 3.7-8.8%，葡聚糖含量由 32.8%提升至 45.5-53.6%。出料固液比介於 10-30%，隨處理程度及初始進料量與酸量與蒸汽冷凝水之不同而改變。

當以稀酸水解進行生質物前處理時，通常會將反應溫度、時間及酸量(pH)等操作條件結合成一操作激烈程度因子 (Combined Severity Factor; CSF) 作為操作參數。 $(CSF = \log Ro - pH; Ro = t \times \exp((Tr-Tb)/14.7))$ 其中，pH 為最終水解液之 pH 值；t 為反應時間；Tr 為反應溫度；Tb 為參考溫度 (100°C)。圖 1 為結合前處理及酵素水解效率之木糖、葡萄糖及總糖轉化率與操作參數之關係圖，當 CSF 介於 0.4-0.7 之間為最佳；此外，總糖轉化率與 CSF 之變化趨勢與酵素水解葡萄糖轉化率相近，此表示酵素水解葡萄糖為主要影響因素。故選擇使稻稈於 100-110°C、1.3%(w/w)酸量下進行預熱混酸，繼而於 190°C、2min 下進行酸催化蒸汽爆裂反應作為穩定連續運轉之操作條件，並成功完成連續運轉 5 天之操作穩定性測試。圖 2 為前處理糖轉化率、固渣酵素水解與進料尺寸、閃化壓力及混酸時間等設備運轉參數之關係。以小進料尺寸、低閃化壓力及長混酸時間有利於提高水解液糖之轉化率；而就酵素水解效率而言則小進料尺寸、高閃化壓力及長混酸時間較佳，最高可達 75%。

前處理系統運轉參數及出料結果如表 1-1~表 1-3。

今年在前處理系統功能提升方面，主要包括(a).提升稻稈物料之輸送順暢度-完成不同架橋破壞器之測試，安裝最適之設計，成功提升稻稈進料之穩定性，減少破壞架橋之人力。(b).降低產物損失-精進泥漿產物固液分離設備，提高前處理固渣之回收率，同時使水解液損失率由 20-40% 降至 10%。(c).減

少設備之損耗-改良閃化出料裝置，避免閃化時所造成衝擊及刮損而洩漏，可降低設備磨耗及節省維修成本，並已成功應用於測試廠之前處理設備。

在一階段前處理程序技術開發方面，即混酸、預熱及酸催化爆裂程序於同一反應器內進行，目的為簡化流程、降低設備成本。目前已完成稻稈進料、輸送及出料量等參數之調控，使稻稈能由常壓至高壓連續進料並經高溫高壓反應後爆裂閃化。初步測試結果，稻稈於未加酸條件下，所得之固渣產物組成木聚糖含量由 18%降低至 5%，葡聚糖含量由 32%提升至 52%，其酵素水解效率可達 76%。後續工作以設備精進、操作穩定性為主軸，期能達連續運轉之目標。

1.3 水解及發酵系統測試與功能提升：

為提升纖維酒精水解及發酵製程之競爭力，本年度噸級廠測試由分開與發酵(SHF)程序整合為同步水解發酵(SSF)程序，採用 SSF 程序之優點為酵素水解與酒精發酵反應可使於單一反應器完成。相較於 SHF 步驟需進行兩階段過濾程序才能進入酒精蒸餾階段，SSF 程序整體減化為單一過濾程序即可進行後續蒸餾程序，如此可減少硬體設施與操作人力。

在 SSF 程序上，傳統文獻是以全程 38℃ 溫控進行，其優點為控溫穩定，酵母菌預先進行溫度馴化後即可進行酒精轉化反應。但實際上此操作條件並非酵素水解與酵母菌酒精發酵之最佳條件，在 38℃ 培養條件下，酒精生成速率較為緩慢，整體反應時間增加，若降低溫度將有利於酒精生成。因此為同時提升酵素水解轉化效果與降低酒精發酵時程，本年度開發二階段溫控之同步水解發酵轉化技術(分為預水解階段 50℃、發酵階段 33℃)，此技術擁有酵素反應與菌株發酵於最佳條件進行之優點。在 100L 反應器進行測試後，顯示可降低 50%總反應時間及提升 20%以上之酒精轉化率(圖 3)，另可將酵素劑量自 SHF 程序使用之 20-30FPU/g-glucan 降自 15FPU/g-glucan 以下。

將此技術應用於噸級測試廠之運轉，在使用二階段溫控技術下，進行同步酵素水解及發酵反應，酒精濃度可達 3.2%以上，平均酒精轉化效率為

55-60%。**水解發酵系統運轉參數及結果如表 2。**

本研究後續於 101 度工作將針對噸級測試廠不同反應器特性(熱傳面積、攪拌效果、直立式與臥式反應器)與不同纖維酵素特性，建立二階段溫控最佳反應程序。

1.4 酒精蒸餾及脫水系統測試與功能提升：

為提升蒸餾脫水等製程操作便利性、增進操作產率、減少損失及能耗，本年度主要針對系統硬體及軟體進行改善及修改，透過測試過程評估重要參數影響，並分別說明如下：

(1)純化設施性能提升及技術精進：蒸餾系統規劃採用塔底液熱量預熱進料，減少使用蒸汽量，目前完成設備修改及測試，並可穩定操作，以 650L/h 進料為例由原先需要約 105-110 公斤蒸汽可以下降到 70-80 公斤，後續配合整廠測試累積更多操作結果以評估此方案實際效益。PSA 系統經重新設計操作軟體規劃及部分硬體更新作業(圖 4)，以增加系統運轉穩定性，可連續操作 36 小時，同時根據現有測試條件下質量平衡計算酒精回收率至少達 93-95%。另外自 5 月起處理約 10 公秉中油委託代脫水作業酒精，並改變不同操作變數以釐清相關因素對產率及再生效果之影響，至 9 月共產出 4.7 公秉以上燃料酒精，並經中油煉研所檢驗符合燃料用酒精規格，已於 10 月 19 日運送第一批 4 公秉成品至中油公司完成摻配作業，對於推廣國內自產生質酒精之應用邁出一大步。

(2)本計畫於去年完成 NaA 沸石薄膜蒸氣滲透脫水裝置，並初步探討其操作特性及分離效能等，本年度則擴充薄膜面積及更新自動排液控制裝置，以期測試及了解系統穩定性及效能及增加處理量，便於取得穩定操作下測試結果，以釐清此一製程後續應用可行性與改善方向。修改後裝置初步完成 10 天連續運轉測試且未停機之連續化操作目標，同時處理 PSA 再生溶液，於連續運轉測試期間完成約 500L 85%酒精提濃至 96%-99% 等濃度之處理。

(3)建立分子尺度沸石特性計算化學平台，以 NaA LTA 沸石作為研究目標，分別採用 GCMC 及 MD 等方法研究水分於沸石晶體中之吸附等溫曲線及擴散特性，作為預測微觀輸送性質，以了解微孔材料中相關參數對乙醇/水分離程序中之選擇性及通量等特性，未來預期與蒸汽滲透脫水裝置實驗結果相結合，作為應用於薄膜分離製程設計之參考工具，同時能先期評估及預測材料特性與選用參考，減少實驗室嘗試錯誤時間(圖 5)。

2. 噸級 SSF 程序測試：

本項工作承繼去年 SHF 製程量產技術為根基，確立噸級測試廠運轉操作與設備穩定性。並於本年度起進行噸級測試廠 SSF 程序測試。SSF 程序之優勢在於可同時進行酵素水解與葡萄糖發酵，水解產生的葡萄糖會立即被發酵菌利用轉化為酒精，可減少設備與人力成本。在噸級廠測試時，配合自行開發之二階段控溫技術，可有效發揮酵素與菌株發酵之功能。

在運作上，稻草經噸級廠前處理設備反應後即進入臥式反應槽(F401)，進行預水解反應 8-16 小時，經過初步液化後，已含大量葡萄糖之水解液則輸送至各發酵槽體，並添加菌株進行發酵，由於一批次進料僅使用一槽體即可同時完成酵素水解與酒精發酵，故在程序規劃上可同時進行多批次運轉(圖 6)。在噸級廠運轉測試中，以 190℃、2 分鐘、1~2%硫酸蒸汽爆裂前處理之稻稈渣料，在 9 kL 臥式反應槽進行運轉測試，添加酵素劑量可降至 13 FPU/g-glucan，控制反應溫度在預水解階段為 50℃、發酵階段為 33℃，固液比達 22%之條件下進行同步酵素水解及發酵反應，酒精濃度可達 3.2%，酒精轉化效率為 55-60%(圖 7)，此酒精濃度利於降低酒精蒸餾之能耗。後續將以此技術為根基，進一步建立噸級測試廠 SSCF 轉化技術，並進行程序輸送管線精進與降低程序輸送損耗，以提升整體酒精產量。

3. 廠內酵素生產技術之建立：

此項研究係建立 1000L 規模之廠內酵素生產技術(含酵素液濃縮技

術)，作為後續提供酵素給噸級廠運轉測試研究之試產基礎，並建立未來酵素生產成本推估之依據。技術應用面除了建立國內自產纖維水解酵素之能力，避免國外酵素之壟斷外，國外酵素公司若採用生產菌株技術授權、就地酵素生產的方式提供酵素。本研究所建立之技術亦可應用於此酵素技術授權模式，同時可增加國內對國際酵素公司進口酵素之談判籌碼，藉以斡旋出有利於國內廠商之價格。茲就本年度重要成果分述如下：

(1).建立噸級規模酵素生產能力與酵素液濃縮技術:本項工作承繼先前篩選最適於酵素誘導之稻稈渣料的研究，確立以酸催化方法製備稻稈渣料的操作條件，並於本年度起以自行開發之雙軸擠壓機結合酸催化溶洗系統，建立以稻稈為原料大量製備酵素誘導渣料的方法，用於發酵槽 1000L 規模酵素試產研究，其整體生產流程如圖 8。經由不同初始渣料固含量與操作條件，目前 1000L 規模稻稈固渣誘導之酵素生產技術研究於精進後，其水解酵素的粗萃液活性值最高可達 3.3 FPU/mL，且產程亦可由六天縮短至四天(圖 9)，此結果與 5L 發酵槽規模於相似操作條件下的結果相當，顯示本研究於酵素生產技術的 scale-up 研究已有具體的成果。另本研究先利用板框式過濾設備將殘餘誘導渣料/菌體與水解酵素粗萃液進行固液分離，再結合超過濾薄膜系統開發水解酵素粗萃液之濃縮技術，據此酵素液體積可減少 10 倍，酵素液活性則可提高 8 倍，以酵素粗萃液 2.5 FPU/mL 為例，經此濃縮技術將可使酵素液活性提升至 20 FPU/mL，此成果不僅可使酵素液活性達到本年度之計畫目標值酵素液活性達 10 FPU/mL，並可根據纖維酒精製程需求，彈性製備所需之酵素液活性。另本研究於 5L 實驗室規模中亦已開發可使酵素粗萃液活性達 8 FPU/mL 以上的發酵策略(圖 10)，目前正規劃其工程放大的操作方法，並預計於 101 年建立此發酵策略為基礎之噸級規模酵素生產技術，屆時再結合濃縮操作，將有機會製備活性達 40-50FPU/mL 之酵素液，與國際商業量產之酵素達相近活性水準。

(2).與國內學術單位合作開發高水解效率 cocktail 水解酵素:本研究以自行

生產之纖維水解酵素測試對酸催化前處理稻稈渣料的水解能力，在瓶杯規模下相對於國外酵素的效能，本研究生產之酵素的水解效率約為國外酵素的 0.85 倍，若與國內學術單位開發之 β -glucosidase 混合為 cocktail 水解酵素，其水解效率則可與國外酵素相當(圖 11)。又進一步將此 cocktail 酵素應用於 100L 規模 SSF 程序之測試，同樣顯示此 cocktail 酵素的轉化效果與國外酵素相當，且纖維素轉化酒精的速率可為國外酵素的兩倍(圖 12)。由上述可知，本研究所開發之纖維素水解酵素若能進一步提高其酵素液的 β -glucosidase 活性，其應用於纖維酒精製程應相當具有潛力，因此後續擬透過(a).與學術單位開發之 β -glucosidase 酵素混摻為 cocktail 酵素(學研合作) (b).與 β -glucosidase 生產菌株共培養 (c).利用分生技術提高酵素生產菌株分泌 β -glucosidase 之能力(學研合作)等三種平行研究策略，提高應用時之酵素液的 β -glucosidase 活性，據此提高酵素水解效果，以降低酵素液使用量，進而降低纖維酒精量產之酵素成本。

本計畫根據 100 年之酵素生產研發成果所擬定的後續研究目標、研究策略與預期成果彙整如表 1 所示，預期應有機會於 102 年使酵素生產成本降低至具有經濟競爭力的目標(表 1)。

4. 能源與水資源整合及效益評估：

能源與水資源效益評估，已分別就噸級廠內實際盤查與理論分析兩個層次進行。成果包括：

(1)完成噸級測試廠用水流向分析：規劃及建置新設水錶，經檢討確認後，於 100 年 1 月委請工程公司進行水錶裝設工程，以瞭解用水之流向。本案共裝設 12 只水錶，並於 100 年 3 月份完工。3 月起利用裝設完成之水錶進行運轉期間之用水盤查，其結果拆分為鍋爐、製程、冷卻水塔、吸收塔、清洗及其他用水等六大類。將此六類於本年 3~10 月八次運轉紀錄之用水百分率分析列於表 2。由統計分析發現，吸收塔為主要用水單元，約達總用水量 42%，目前正考慮水回收之措施並研擬程序改善。此外，執行所用之電量資料蒐集，已於中央監控系統完成一記錄主要設備使用時間之程

式。該程式於每日上午 6 時自動產生報表，並將資料存為 Excel 檔，內容為前七日各設備使用時間，再輔以設備功率，即可估算額定功率下之總耗電量，目前可由中控室記錄之設備共 108 項。因額定功率計算會高於設備實際耗電，並且設備使用時間可能因測試而高於實際運轉時間，因此需要各單元負責同仁審閱及修正。目前雖接近於電錶的紀錄，但是由於廢水與公用兩系統本身的控制盤紀錄不足，所以仍然會高估實際的使用量(表 3)，此點將在未來進行改善。而蒸汽使用量則由鍋爐之柴油耗用及蒸汽流量計得之。

(2) 建立能耗評估模擬技術:建立前處理與蒸餾單元質能平衡模擬軟體。利用此軟體分析結果與現場運轉資料比對，結果顯示：前處理設備有多於理論使用量的能耗；而氣提塔塔底液所排出的熱量，足以用來提供進料的預熱。據此估計，若預處理與蒸餾系統夠利用熱整合技術實施進料預熱措施，可分別節省能源 10%與 8%左右。

此外，比較前處理模擬軟體與測試操作時所用的蒸汽量結果如圖 13。由圖顯示，固液比越高則越省蒸汽。

(二) 纖維酒精製程技術研發：

本分項計畫之研究重點係藉由開發 SSCF 製程使用之共發酵菌株與規劃酒精純化技術精進策略，作為後續噸級廠測試運轉研究降低生產成本、減少製程損失及降低製程能耗的發展依據，藉以提升國內纖維酒精製程之競爭力。

1. 新穎生物資源應用於纖維酒精生產之評估與製程技術開發：

本年度此項研究係偏重於共發酵菌株之開發及其應用於同步糖化及共發酵(SSCF)程序研究，作為明年度以噸級廠進行 SSCF 製程運轉測試為目標之參考依據，並建立具有技術授權潛力之共發酵菌株，其重要研究成果分述如下：

(1).持續改良及篩選具更佳效能之共發酵菌：持續以分生工具強化共發酵菌的木糖代謝基因表現量，再以含特定組成的培養基篩選共發酵菌，其中

計發現約有十餘株共發酵菌株的菌落生長情形良好，因此進一步將此十餘株共發酵菌株進行木糖轉化酒精效率測試(圖 14)，其測試後發現與原有共發酵菌 YY5A 相較，有 2~3 株具有較佳或相當的木糖轉化酒精效率及較低的中間產物生成量(木糖醇)，其中又以編號 Y15 之共發酵菌，具有較佳的木糖轉化酒精效能，故後續將以共發酵菌 Y15 取代先前建構之菌株 YY5A，探討應用於共發酵程序開發的潛力，同時本計畫所開發之基因重組與篩選方法，因有同時建構具不同酵素活性表現量之共發酵菌株的特色，故已針對其所獲致之研發成果提出中美專利申請，期能藉此保護此共發酵菌建構過程中衍生之智慧財產權。

(2).測試共發酵菌之發酵能力：在篩選出具有較佳木糖代謝能力之共發酵菌株 Y15 後，續測試其木糖轉化酒精能力發現，與國際知名共發酵菌株 Purdue-Ho yeast 424A (LNH-ST)及其他已發表之共發酵菌株於相近的發酵條件下，Y15 無論在高木糖濃度之人工培養基與稻稈水解液中，均能展現較佳的木糖利用速率，木糖利用速率均可維持在 1.0g/L/h 以上，亦於 40 小時內即可完全利用 40g/L 的木糖濃度；至於木糖轉化酒精效率則與國際上其他共發酵菌相當，大致維持在 0.33-0.4g/g 之間 (圖 15A)，圖 15B 則進一步顯示，本計畫開發之菌株具有最高的單位種菌量之木糖利用速率，此顯示共發酵菌 Y15 於較低的接種菌量下，即可獲致與國際相近的木糖轉化酒精效率，顯示本研究開發之共發酵菌已具有國際競爭水準。另外由於原料特性的差異亦會使水解液具有不同的可發酵性，因此本研究亦測試該共發酵菌於稻稈、蔗渣、白楊木、玉米桿、玉米芯、狼尾草等六種纖維原料，經酸催化前處理之木糖水解液的發酵能力，由圖 16 可知，共發酵菌 Y15 於上述草本植物與木本植物之木糖水解液中，均能維持相同程度的木糖轉化酒精能力(木糖轉化酒精效率 0.33-0.4g/g; 木糖利用速率 1.0g/L/h)，其中又以蔗渣與玉米芯之木糖水解液的發酵效果略佳。因此，共發酵菌 Y15 不僅適用於以稻稈為原料的纖維酒精製程，亦可應用於多種纖維原料水解液的木糖發酵，應具有推廣應用的潛力。目前已有國外公司有意願提供前處理水解液給本研究團隊，期能藉此了解共發酵菌 Y15 之發酵能力，

此亦顯示本研究於共發酵菌之開發研究已受到外界肯定。

(3)以共發酵菌 Y15 建立同步糖化與共發酵技術: 本研究應用共發酵菌 Y15 於 5L 實驗室規模之同步水解及共發酵技術(SSCF)之程序開發研究(圖 17), 當水解液中 Furfural+HMF 抑制物濃度總和控制在 1g/L 以下時, 於 96 小時後可獲 40g/L 以上的酒精濃度, 整體總糖轉化酒精效率最高可達 0.47 g/g(91%), 此顯示運用同步糖化及共發酵技術確實有機會產出可降低蒸餾能耗的酒精濃度(一般建議在 40g/L 以上), 故後續將朝此操作方法進行 SSCF 放大研究, 並將藉由發酵參數控制之精進, 提升目前實驗室 SSCF 程序操作中木糖尚無法完全被利用的情形。

2. 纖維原料多樣化之水解及發酵技術研究：

鑒於蔗渣為目前國內第二高產量之農業廢棄物, 且同時為亞洲地區相當具有潛力的能源作物。因此, 為因應未來國內外可能以甘蔗用於燃料酒精生產的發展趨勢, 且基於第一代蔗汁酒精生產技術亦已發展成熟, 故本年度此項研究係以壓榨蔗汁後的剩餘物蔗渣為原料開發目標, 擬建立完整的蔗渣轉化酒精之製程參數與各程序的操作方法, 同時瞭解蔗渣作為纖維酒精生產原料之特性, 作為後續以噸級廠進行蔗渣酒精製程之運轉測試的操作參考。同時, 由於國外已有研究顯示, 第一代酒精與第二代酒精若能以共構的方式生產, 亦即玉米酒精廠與玉米桿酒精廠共構, 抑或是蔗汁酒精廠與蔗渣酒精廠共構, 應有機會降低整體的酒精生產成本。因此本項研究所獲致之蔗渣轉化酒精之操作條件, 據此亦可作為未來第一代蔗汁與第二代蔗渣酒精共構生產之設計依據, 茲就本年度之重要成果分述如下:

(1)完成蔗渣原料之組成分析。其組成含量分別為葡聚糖(glucan): $38.45 \pm 0.61\%$ 、木聚糖(xylan): $28.24 \pm 0.40\%$ 、樹膠醛糖(arabinan): $3.93 \pm 0.07\%$ 、酸可溶木質素(ASL): $7.62 \pm 0.16\%$ 、酸不可溶木質素(AIL): $15.65 \pm 1.41\%$ 。加總之可發酵組成(即葡聚糖+木聚糖)比例達 66.7%。由上述可知, 蔗渣的可發酵糖量大於目前採用之纖維原料-稻稈的葡聚糖與木聚糖總和(依品種

有所不同，約介於 50-60%)，因此在相同轉化效率的前提下，以蔗渣為原料應可較稻稈獲致更多的酒精產量。不過與稻稈相較，蔗渣同時有較高的木質素含量，此亦可能會干擾纖維水解酵素與纖維素的水解反應，故有必要進行蔗渣酸水解渣料的測試加以確認。

(2)完成蔗渣之酸催化蒸汽爆裂前處理操作條件測試，並結合後續酵素水解效率進行評估。測試條件為於 20%固液比下進行不同操作參數(0.8-1.2%酸、190-200℃、1-3min)之測試。圖 18 為前處理操作條件參數(Combined severity factor (CSF) = $\log [t \cdot \exp((T-100)/14.7)] - \text{pH}$ ，數值愈高代表酸催化前處理的操作條件愈劇烈)與前處理及酵素水解轉化率之關係 CSF=1.5 (190℃、1%酸、1min)之前處理操作條件下，結合酵素水解之總糖產率最佳 66%，其水解液木糖濃度達 29 g/L，酵素水解效率為 63%。但若考量酵素水解效率則以 CSF=1.7(200℃、1%酸、1min)為最佳，其酵素水解效率可達 78%，水解液中木糖濃度為 23 g/L、總糖產率為 62%。整體而言，當蔗渣酸水解條件介於 190-200℃、1%酸、1-3min 時，其對應之總糖產率的差異不大，皆可作為後續噸級廠蔗渣酸水解操作的參考依據，且蔗渣酸水解前處理之較適合的操作條件，與稻稈頗為相近，但於 20%固液比的條件下，其產出水解液之木糖濃度則亦較稻稈為高(~20g/L)，此可能是因為蔗渣有較高的木聚糖含量所致；至於蔗渣固渣的酵素水解效率則與稻稈相近，此顯示蔗渣具有較高木質素含量的原料特性，對酵素水解作用的影響應相當有限。

(3)完成蔗渣木糖水解液之發酵測試：本研究係以共發酵菌 Y15 進行木糖發酵測試，其中木糖發酵條件為溫度 30℃、轉速 100rpm、起始 pH=6 及接菌體積為 20% (v/v)，且該水解液亦未以過鹼化法或其他方式進行移除抑制物之程序，僅透過高接種量 20%(v/v)方式克服生長滯留期(lag phase)，以了解蔗渣木糖水解液之可發酵性。實驗時係以 200-1-1 (即 200℃、1%酸、2min)、190-1-1 與 190-1-3 等三種前處理操作條件所獲致之木糖水解液進

行發酵測試，其中，在抑制物濃度方面以條件 190-1-1 具有抑制物濃度最低(Furfural 0.57 g/L)，條件 190-1-3 抑制物濃度最高(HMF 0.36 g/L、Furfural 2.27 g/L)，條件 200-1-1 因與條件 190-1-1 相比操作溫度較高，故抑制物含量(HMF 0.13g/L、Furfural 1g/L)略高於條件 190-1-1。另瓶杯發酵實驗測試結果顯示，條件 200-1-1 與條件 190-1-1 在 48hr 內均可完全消耗水解液中的木糖，然而條件 190-1-3 木糖消耗能力較差，初步判斷可能是水解液中抑制物濃度較高影響，酒精生成情況少於前二者。酒精轉化率方面條件 200-1-1 與條件 190-1-1 兩者差異性小，分別為 70.6% (48hr)與 68.1% (48hr)；條件 190-1-3 雖有較前二者高的酒精轉化率 74%(48hr)，但木糖消耗量明顯較前二者低。由上述可知，furfural 與 HMF 濃度仍為蔗渣水解液木糖發酵的主要抑制物，若能將 furfural 與 HMF 濃度和控制在 1g/L 以下，大致上水解液中的木糖即能於 48 小時內完全被利用，木糖轉化酒精效率約可將近 70%，此皆與稻稈水解液的木糖發酵情形相當。然而，若水解液中的 furfural 與 HMF 濃度和在 1g/L 以上時，則建議水解液仍應先進行過鹼化法等調理(conditioning)操作，以降低水解液對共發酵菌的抑制性。

(4)完成蔗渣同步水解及發酵測試:本項研究將上述三組前處理條件所得之蔗渣，於 1L 發酵槽中進行同步水解發酵(SSF)測試，操作條件在固液比 10%、反應溫度 35°C 和酵素劑量 15FPU/g cellulose，所得結果於圖 19，當發酵反應 72 小時後，前處理操作條件為 190-1-1 可得最大酒精轉化率為 65%，其酒精濃度為 20g/L，則每公斤乾蔗渣纖維素約可轉化成 0.122 公斤酒精；條件為 191-1-3 可達最大酒精轉化率為 71.4%，其酒精濃度為 22.3g/L，則每公斤乾蔗渣纖維素約可轉化成 0.146 公斤酒精；條件為 200-1-1 具最大酒精轉化率為 71.5%，其酒精濃度為 23.6g/L，則每公斤乾蔗渣纖維素可轉化 0.138 公斤酒精。因此，蔗渣稀酸蒸氣爆裂於操作溫度 190°C、硫酸濃度 1%和反應時間 3 分鐘下，可得最高纖維素轉化酒精產量。綜合上述實驗室規模之木糖水解液發酵和固渣同步水解及發酵的測試結

果，前處理條件於 200-1-1、190-1-1 和 190-1-3 操作下，分別可得最大酒精產率為 0.2 kg ethanol/kg raw material、0.186 kg ethanol/kg raw material 與 0.207 kg ethanol/kg raw material，此顯示在未考慮製程損失與 scale-up 放大後原料特性不均勻之特性下，前處理條件在反應溫度 190-200℃、硫酸濃度 1%和反應時間 1-3 分鐘的操作範圍，每噸蔗渣可得到酒精產量為 235-262 公升酒精；若進一步以目前噸級廠運轉測試之稻稈酒精製程的轉化效率推估(SSF 效率 55%、木糖發酵 70%)，每噸蔗渣應可生產約 200-220 公升的酒精，此顯示蔗渣應用於纖維酒精之生產原料，確實非常具有潛力，值得進一步以噸級廠設施進行量產製程研究。

因此，本研究已規劃於 101 年將進行發酵槽規模 100L 之蔗渣轉化酒精製程研究，除將驗證上述實驗室規模測試之操作參數外，期能續建立原料不均勻性、固液比提高、未完全無菌操作等噸級廠發展蔗渣轉化酒精量產技術所需之技術資訊，並將測試結果應用於第一代蔗汁酒精與第二代蔗渣酒精共構生產之探討。

3. 發酵液酒精低損耗純化技術研究：

完成 SSF 水解後渣料粒徑分布與不同型式篩板氣提塔之設置(圖 20)。作為研究固形物含量與可操作性之評估測試平台，以減少因固液分離程序所造成之發酵產品損失，提高產率。另評估及規劃低濃度酒精移除方法，並設置親油性 ZSM-5 薄膜滲透蒸發實驗裝置(圖 21)，以測試其效能及影響因素。

二、績效指標項目初級產出、效益及重大突破

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
學術成就(科技基礎研究)	A 論文	● 國外 SCI、EI 期刊:刊出 5 篇，接受 2 篇，投稿 2 篇，合計 9 篇。 ● 國內期刊:刊出 2 篇。	投稿 Bioresource Technology 等國外知名期刊，可增加國際能見度	除了增加國際能見度外，國外期刊亦請本計畫人員審查國際論文，已審查 23 篇論文
	B 研究團隊養成	與中研院、財團法人台灣經濟研究院、輔英科大(中山大學)等成立研究團隊共 3 件。	建立研發團隊，以分工方式執行研究工作，有助於計畫工作之推展。	
	C 博碩士培育	培育博、碩士研究生 6 人。	以合作計畫方式培育碩士生或提供研究設備與資源供碩、博士來所研究，以培育國內生質燃料之人才	
	D 研究報告	完成研究報告 15 篇。	提供後續參與研發工作之人員的參考，以及未來技轉之用。	
	E 辦理學術活動	協辦學術活動 1 場。	協辦研討會並擔任講員有助於纖維酒精之推廣與增加計畫成果之能見度。	
技術創新(科技整合創新)	G 專利	● 申請國內發明專利 8 件，美國專利 1 件。 ● 獲得國內發明專利 2 件，美國專利 1 件。	藉創新觀念與實物運作的成果，建立纖維酒精程序發展與系統建置之專利，逐漸形成專利地圖，擴展技轉業者之能力。	
	H 技術報告	完成技術報告 15 篇。	提供後續參與研發工作之人員的參考，以及未來技轉之用。	
	I 技術活動	● 參加國際技術研討會 1 場，發表會議論文 1 篇 ● 參加國內研討會 3 場，發表會議論文 4 篇 ● 受邀擔任再生能源教育推廣講員共 6 場次	參與國內外知名學會或公司、機構等所舉辦之研討會或推廣會，討論纖維酒精技術現況，促進技術提昇與教育推廣。	

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
	S 技術服務	提供酒精純化之服務。	協助能源局處理 13 公秉純度 93% 之生質酒精，經本計畫之酒精純化系統處理，濃度達 99.3% 以上，符合 CNS 車用燃料之標準。	今年 1 月 1 日本所公務車開始試用 E3 稻稈纖維酒精汽油
經濟效益 (產業經濟發展)	L 促成廠商或產業團體投資	● 與國外 1 家產業簽署 NDA/MTA ● 與國內 2 家產業簽署 NDA/MTA	簽署 NDA/MTA 為進行相互合作之開端，目前主要合作	本計畫建立噸級廠設施規模、擁有自製前處理設備與技術，以及處理稻稈之經驗，促使國際酵素公司 Novozymes 願與核研所簽署合作協議

陸、主要成就及成果之價值與貢獻度(outcome)

學術成就(科技基礎研究) (權重 20 %)

學術成就以發表國際期刊論文為主，投稿 SCI、EI 期刊 9 篇，已刊出 7 篇，達成今年目標值。論文摘要如下：

1. **【Pretreatment efficiency and structural characterization of rice straw by an integrated process of dilute-acid and steam explosion for bioethanol production, Bioresource Technology 102 (2011) 2916-2924 (INER-7876)】**: The combined pretreatment of rice straw using dilute-acid and steam explosion followed by enzymatic hydrolysis was investigated and compared with acid-catalyzed steam explosion pretreatment. In addition to measuring the chemical composition, including glucan, xylan and lignin content, changes in rice straw features after pretreatment were investigated in terms of the straw's physical properties. The properties included crystallinity, surface area, mean particle size and scanning electron microscopy imagery. The effect of acid concentration on the acid-catalyzed steam explosion was studied in a range between 1% and 15% acid at 180 °C for 2 min. We also investigated the influence of the residence time of the steam explosion in the combined pretreatment and the optimum conditions for the dilute-acid hydrolysis step in order to develop an integrated process for the dilute-acid and steam explosion. The optimum operational conditions for the first dilute-acid hydrolysis step were determined to be 165°C for 2 min with 2% H₂SO₄ and for the second steam explosion step was to be carried out at 180°C for 20 min; this gave the most favorable combination in terms of an integrated process. We found that rice straw pretreated by the dilute-acid/steam explosions had a higher xylose yield, a lower level of inhibitor in the hydrolysate and a greater degree of enzymatic hydrolysis; this resulted in a 1.5-fold increase in the overall sugar yield when compared to the acid-catalyzed steam explosion.
2. **【 Pretreatment of rice straw using an extrusion/extraction process at**

bench-scale for producing cellulosic ethanol, Bioresource Technology 102 (2011) 10451-10458 (INER-8617)】: A combination of a twin-screw extrusion and an acid-catalyzed hot water extraction process performed at a bench-scale was used to prepare high monomeric xylose hydrolysate for cellulosic production. The influences of the screw speed (30–150 rpm), barrel temperature (80–160 °C) and corresponding specific mechanical energy of the extruder on the structural properties of the pretreated rice straw, sugar concentration and conversion were investigated. The optimal condition for the extrusion step was determined to be 40 rpm with 3% H₂SO₄ at 120 °C; the optimal condition for the extraction step was determined to be 130 °C for 20 min. After the pretreatment at the optimal condition, 83.7% of the xylan was converted to monomeric xylose, and the concentration reached levels of 53.7 g/L. Finally, after the subsequent enzymatic hydrolysis, an 80% yield of the total saccharification was obtained.

3. **【Functional Screening of Cellulase-secreting Microbes from Herbivores Feces. Proceeding of 2011 First International Conference on Cellular, Molecular Biology, Biophysics and Bioengineering. 5, 455-9, 2011. (EI)】**: The research was aimed to isolate special microbes from digestive system of herbivores for the development of lignocellulosic materials conversion technologies. The microbes expected to be particularly applied to bioenergy industry. In this study, special enzymes-producing microbes from local herbivores feces were screened by functional halo-zone plate assay. Particularly avicelase, CMCase and xylanase-secreting bacteria were successfully isolated from the feces of zebra, camel, giraffe and Taiwan water buffalo. The polymerase chain reaction (PCR) to analyze the 16S rRNA gene sequences to demonstrate the biodiversity in the feces samples with cellulosic enzymes. The 16S rRNA sequences of the isolates from Aoudad sheep feces were compared with the sequences of related bacteria in the NCBI GeneBank to construct a phylogenetic tree. According to physiological and biochemical characteristics, 16S rRNA sequences and

phylogenetic analysis, 11 isolated bacterial strains were classified into three groups. Strain S-10 in Group I had the highest similarity to *Endophytic bacterium* MD3 (100%) or *Streptomyces* sp. VITTKGB (100%). Group II and III which contained 2 and 9 strains of the genus *Bacillus* are the dominant group in Aoudad sheep feces. The research results indicated that there are not only abundant phylogenetic diversity of cellulose-secreting bacteria, but also some unknown bacterial function existed in herbivores feces.

4. **【Preliminary study of rice straw as a biomaterial to enhance ethanol production for pentose sugars. Proceeding of 2011 First International Conference on Cellular, Molecular Biology, Biophysics and Bioengineering. 5, 505-9. (EI)】** : A technology for enhancing ethanol production by C5 sugar fermentation was successfully demonstrated at pilot-scale. Generally, the severe conditions of acid hydrolysis pretreatment are often employed to facilitate the release of monosaccharide in enzyme hydrolysis. This will lead more inhibitors into C5 sugars stream and dramatically influenced the performance of fermentation. We have explored a way to improve ethanol production for C5 sugars by extra adding a biomaterial, which is made from rice straw with the chemical and biological treatment. This technology has been successful used for fermentation of rice straw hydrolysate, which was prepared from 200°C steam explosion pretreatment. The ethanol yield was only 0.40 gp/gs for fermentation of this hemicellulose hydrolysate by an enhanced inhibitor-tolerant strain of *Pichia stipitis*. Interestingly, when a 5%(w/w) biomaterials were added during the fermentation of hydrolysate, the ethanol yield increased to 0.45 gp/gs, which corresponds to a 88% of conversion efficiency. This indicated the technology indeed increased the conversion efficiency up to 10% for C5 sugars fermentation. Moreover, the ethanol productivity somewhat increased 1.1 folds after biomaterials added. These results showed this technology is considered as an attractive way to improve the economics and conversion efficiency of C5 sugars

fermentation for cellulosic ethanol production.

5. **【Effect of aeration rate and conditioning methods on xylose fermentation of rice straw hydrolysate by *Pichia stipitis* to produce ethanol., Bioresource Technology**】: This study was aimed to develop the fermentation of xylose for ethanol production by a lignocellulosic hydrolysate-adapted strain, *Pichia stipitis*. The results have indicated the amount of released lignin derivatives was a major factor in determining the fermentation availability of rice straw hydrolysate. The highest ethanol yield obtained was 0.44 gp/gs and this was when the aeration rate was controlled at 0.05vvm when fermentating overliming-detoxified hydrolysate. Hydrolysate conditioning with ammonia and NaOH neutralization only gave 0.39 ± 0.01 gp/gs and 0.34 ± 0.01 gp/gs of ethanol yield, respectively. In addition, a novel method was used to measure yeast cell numbers and this showed that the cell density may be a major determining factor controlling the conversion of xylose into ethanol in the hydrolysates produced by different conditioning methods. A higher cell density together with a increase in cell numbers was only found when fermentating the overliming-detoxified hydrolysate. Cell aggregation was also found but this shown no obvious influence on ethanol fermentation.
6. **【Improved Operating Policy Utilizing Aerobic Operation for Fermentation Process to Produce Bio-ethanol. Bioprocess and Biosystems Engineering**】: Using starch or cellulose as feedstock for bio-ethanol production is an important operation worthy of research and development. To enhance the productivity of the alcohol fermentation process, combined aerobic and anaerobic fed-batch operation could improve the growth of microbes and also achieve better alcohol production because of well-utilizing the characteristics of the microbial metabolism. Using a recent published realistic model, simulation result shows that the highest productivity can be resulted from using a proposed fed-batch operation with high glucose concentration. Although during aerobic operation part of glucose will be fully oxidized causing some decrease of the overall alcohol

production, however, this part of the glucose can be from the residual glucose in the anaerobic fermentation which will be remained in the fermentor anyway. Thus, by combining initial aerobic operation to increase the biomass formation in the early phase of the fed-batch operation and then followed by the anaerobic operation to accelerate the alcohol production in the later phase could improve the overall alcohol productivity without sacrificing too much of the ethanol yield ratio.

7. **【Effect of hydrophobicity of humic substances on electro-ultrafiltration, Desalination, 2011 in press 】**: One of the critical issues in the application of membrane filtration to drinking water treatment is fouling by natural organic matter (NOM). In order to better understand fouling, Aldrich humic substances (AHSs), a surrogate NOM, were fractionated into hydrophilic fraction (HPIF) and hydrophobic fraction (HPOF) using DAX-8 resin and then fed into an electro-ultrafiltration (EUF) system. The fractionation performance was validated by contact angle measurement. Results showed that the HPIF deposited membrane had a lower contact angle than the HPOF deposited one. The EUF cell was operated in a constant pressure mode for 5 h with and without electric voltage. It was observed that in the absence of an electric field, HPIF caused more severe fouling than HPOF. After applying the electrical voltage, the flux decline decreased due to electrokinetic interactions. In addition, HPOF had a lower flux decline and higher total permeate volume than HPIF, indicating a higher electrophoretic mobility of HPOF. Due to the relatively low apparent electrophoretic mobility (AEM) of HPIF, the flux decline was the highest after applying electricity. Furthermore, the removal efficiency of total organic carbon (TOC) increased by more than 10%, 30% and 13% for the un-fractionated, HPOF, and HPIF, respectively, at 2985 V/m.
8. **【Technology and production of cellulosic ethanol in a pilot plant in Taiwan, Journal of Energy and Power Engineering, 5, 928-933 (2011) 】**: In concert with

governmental policy for promoting the use of biofuels, the Institute of Nuclear Energy Research (INER) is dedicated to the research and development of technologies for cellulosic ethanol production. A pilot plant for cellulosic ethanol production with a capacity of one ton in dry biomass per day was established in 2007 and launched test-run operations for mass production in early 2010. The feedstock is focused on rice straw currently, but is also flexible for sugarcane bagasse and hardwood. The operative experiences and the experimental data will provide valuable information for the evaluation of production cost as well as the foundation for design of a commercial production plant in Taiwan. Additionally, this pilot plant will also serve as an important platform for validation of technologies related to cellulosic ethanol production and biorefinery operations. The biomass-to-ethanol process of this plant is based on the route of biochemical conversions. Developed and developing technologies, such as acid hydrolysis pretreatment, high solid to liquid ratio hydrolysis, in-house cellulase production, xylose fermentation, and the distillation and dehydration processes will be introduced.

9. **【 Molecular dynamic simulations of polymeric structure and alcohol-membrane surface affinity of aromatic polyamide membranes, *Journal of Membrane Science*, 382, 30-40 (2011) 】**: A molecular dynamics (MD) technique was adopted to investigate the free volume, operational temperature effects, feed solution–membrane surface affinity, and water/alcohol diffusion mechanism of aromatic polyamide (PA) membranes for pervaporation (PV) applications. An isothermal–isobaric ensemble (i.e. NPT ensemble) was adopted to analyze the fractional free volume, the fractional accessible volume, and the cavity size distribution of PA membranes at different operational temperatures. The free volume and cavity size analyses indicated that bulkier side groups enhanced the formation of larger free volumes, which increased permeation rates. Increased temperature induced chain mobility and enlarged the cavity size of the

membrane. During feed solution–membrane affinity analysis, the alcohols showed a higher interaction with the membrane surface as compared to the water molecules. The diffusion mechanism of water/methanol in the membrane matrix suggested that methanol had a shorter displacement distance relative to the water due to its larger size and stronger interaction with the membrane. Results from the MD simulation agreed well with those from experimental studies reported in the literatures, which demonstrated that this theoretical method is a promising tool for characterizing membrane structures and analyzing feed solution transport at a molecular scale during PV processes.

二、技術創新(科技整合創新) (權重 30 %)

技術創新主要包括專利申請/獲得及技術發展，分述如下：

(一)、專利申請/獲得及獲得：本年度提出 7 件申請中華民國專利，1 件申請美國及中華民國專利；另獲得中華民國專利 2 件及美國專利 1 件。目前專利佈局主要於前處理之元件與程序開發、高固液比發酵槽設計、共發酵菌改良技術等方面。以下簡要說明各專利內容：

1. 「改良式纖維物料高溫壓差閃化出料機構」：本發明之主要目的係在開發高溫高壓前處理反應器之一種改良式纖維物料高溫壓差閃化出料機構，上端連接高溫高壓反應器及下端連接集料閃化槽。其主要方法為，於高溫高壓前處理反應器閃化出料球閥本體新增一加強環，加強環則置於對應入料端之閥側於內側端沿閥球方向，以避免高壓高溫反應後之物料因壓差而瞬間出料時衝擊局部環形墊片使其受熱變形，而造成刮損及位移，及球體磨損而洩漏，俾以達到降低纖維物料之瞬間衝擊、保護出料閥體、降低磨耗、節省成本之效果(中華民國專利，申請案號 100139183)。
2. 「捆裝纖維切割機」：解決切割過程中刀具間發生卡料、纏料，輸送過程發生架橋、堵塞導致刀具設備無法正常運作(中華民國專利，申請案號 100108066)。
3. 「提升單糖發酵效率之方法」：本發明係一種可以提高纖維原料水解液之單糖

發酵轉化效率的種菌培養方法，係將木質纖維原料予以適當的處理後，再添加於種菌培養反應器中，此方法培養之種菌應用於纖維原料水解液，將可有效地提高單糖發酵之轉化效率(中華民國專利，申請案號 100139171)。

4. 「**攪拌機構及具有該攪拌機構之同步糖化發酵反應裝置**」：本創作係關於一種可同步進行纖維物水解與發酵之反應裝置，屬橫置式攪拌結構，槽體之內部設有一由攪拌控制器所控制之攪拌裝置，轉動馬達可提供扭力監測指示器，讓不同固液比的水解酵素與纖維物在混合過程中，能隨時監測攪拌葉扭力的變化，作為判斷槽內糖化指標。攪拌方式採橫式攪拌軸附帶把柄式混合螺旋攪拌葉片，內攪拌葉將物料由中間帶往兩側，外圈划槳半旋翼將物料再由兩側帶往中間，內攪拌與外攪拌間含切削葉片，攪拌軸兩端附調整攪刀，可提升水解液化後攪拌功能，促進微生物培養發酵之效率(中華民國專利，申請案號 100100982)。
5. 「**可液相及可氣相進料之酒精脫水裝置**」：可液相及可氣相進料之酒精脫水裝置，其主要特徵係在改良及放大實驗室級酒精脫水裝置，利用高選擇性薄膜，分離高濃度酒精與水，使其可連續自動運轉。其中酒精進料方式，可選擇以液相或汽相方式進料，作為薄膜模組測試之平台。經過操作參數調整，產品為>99.5%之無水酒精;透過端蒐集之低濃度酒精(~1%)，可自動排液，達成連續自動運轉之目的(中華民國專利，申請案號 100219340)。
6. 「**無再沸器精餾塔用於蒸餾之設備**」：一種無再沸器精餾塔用於蒸餾之設備，其包含有兩端分別具有塔頂出料口及塔底出料口之精餾塔，且該精餾塔一側距塔高 1/3 處設有進料口，並於精餾塔一側鄰近塔底出料口處設有進汽口；以及一與進料口連通之氣提塔。藉此，可讓蒸汽由進汽口進入精餾塔中，使蒸汽熱源完全傳遞提供酒精氣化使用，且不會產生結垢，可有效降低維護及操作之成本(中華民國專利，申請案號 100133299)。
7. 「**一種木糖代謝菌之製備方法及該木糖代謝菌**」：本發明為建構 *Saccharomyces cerevisiae* 基因重組菌株之方法，使菌株具有快速代謝木糖之能力，且菌株能同時利用葡萄糖及木糖並轉化成酒精。本發明以基因重組技術將 xylose reductase (XR)、xylitol dehydrogenase (XDH)、xylulose kinase (XK)等酵素之

- 基因鑲嵌入 *Saccharomyces cerevisiae* 染色體，同時利用具篩選壓力之培養基進行菌株篩選，得到具快速代謝木糖能力之酒精共發酵菌株(中華民國專利，申請案號 100119583；美國專利，申請案號 13/242,547)。
8. 「一種纖維素水解酵素及其基因」：本發明自瘤胃真菌 *Orpinomyces* sp. Y102 所建構之 cDNA 基因庫中篩選獲得一種纖維分解酵素基因，此基因全長為 1071 個鹼基對，包含一個開放閱讀架構 (ORF)，可轉譯出含有 357 個胺基酸纖維分解酵素。另外，將此基因轉型至大腸桿菌後，可使大腸桿菌產生分解 CMC、beta-glucan 與 xylan 的活性，為一多功能的纖維分解酵素，且同時具有分解纖維二糖的能力，可直接將纖維質分解成葡萄糖(中華民國專利，申請案號 100138660)。
9. 「用於含水纖維物料之固液分離機」：一種用於含水纖維物料之固液分離機，係為適用於高溫高壓環境下進行連續式處理之機構，至少包含一耐壓容器、複數組傳動機具、二組擠壓滾輪、二片進料導引板、二組彈簧壓緊裝置、二組送料滾輪及一碎料輪所構成。本發明並使用同一馬達同時驅動各組滾輪及其碎料輪，藉以該傳動機具傳遞動力，並由該彈簧壓緊裝置調整改變施加於該擠壓滾輪之壓擠力量，藉此可針對含水之纖維物料進行擠壓脫水程序，以取得含有纖維物料有用物質之液體，並將擠壓成型之纖維物料予以碎裂以便進行後續之物料輸送作業(中華民國發明第 I340192 號)。
10. 「纖維物料之壓力隔離進出料裝置」：本發明為一種用於纖維物料之壓力隔離進出料裝置，在纖維物料提煉酒精之過程中，須先將含有纖維質之物料予以蒸煮及酸解，將半纖維素分解為木糖同時軟化及破壞纖維物料，以提昇後續之酵素水解之反應效率，。而此但在蒸煮及酸解程序中，一般在高溫高壓下進行。基於量產考量，為確保高溫高壓容器中之纖維物料之加熱能迅速且均勻受熱，需將纖維物料置於一高溫高壓容器中，並與大氣壓力及溫度相隔離。又為能達到連續蒸煮之目標，因而設計一兩段式壓力隔離進出料裝置，使纖維物料出入蒸煮容器時，能夠保持容器的內部高壓，避免發生壓力洩漏造成能量之損失(中華民國發明第 I346723 號)。
11. 「提升纖維原料水解液木糖濃度的方法」：本發明關於一種提升纖維原料水解

液木糖濃度之方法，係藉由擠壓混酸配合熱水溶洗前處理程序，改變操作參數，提升纖維生質原料經稀酸水解所產生水解液中木糖之濃度及產率，以降低後續發酵反應槽尺寸及蒸餾能耗。其中，該擠壓混酸係以配合纖維生質原料及加酸所設計之雙軸擠壓機前處理設備，後續再以飽和蒸汽在適當之溫度及時間下，將半纖維素中之木糖溶洗出來，藉此可提升水解液中木糖之濃度至 50~60g/L，同時木糖之產率亦可達 80~90%。藉以減輕能源負擔與衍生問題，甚至完全取代既有技術，進而達成整體成本降低，並維持或超越原有技術所達成之生質能轉化效率(中華民國發明專利 100119583)。

(二)、技術發展：

1. 在噸級廠前處理設施精進方面，本計畫所開發之二階段酸催化蒸汽爆裂前處理程序，藉由硬體設備零組件、控制邏輯與標準操作程序之精進，已克服稻稈進料之架橋、結焦、黏著、阻塞等現象，可穩定操作連續運轉達 5 天。後續除了持續進行二階段酸催化蒸汽爆裂程序運轉測試、達成全自動連續運轉功能外，亦規劃開發一階段酸催化蒸汽爆裂程序，即混酸、預熱及酸催化爆裂程序於同一反應器內完成，以簡化流程、降低設備成本。此外，亦將規劃及評估前處理設備及其程序應用於不同料源之研究。
2. 以自行生產之纖維水解酵素與中研院開發之 β -glucosidase 混合為 cocktail 水解酵素，應用於 100L 規模 SSF 程序之測試，此 cocktail 酵素的轉化效果與國外酵素相當，且纖維素轉化酒精的速率可為國外酵素的兩倍，後續將與中研院協商提供量產 β -glucosidase 以應用於 101 年噸級廠製程之測試。
3. 測試通氣量對共發酵菌轉化木糖為酒精之影響，發現當通氣量為 0.01vvm 與 0.03vvm 時，人工配製木糖溶液之酒精生成率分別為 53%與 79%，此顯示共發酵菌轉化木糖過程中仍需要微量的氧氣，但纖維素(葡萄糖)轉化酒精則需要在厭氧下進行，因此該結果可以確認後續 SSCF 程序的操作方式可能需要仿照過去木糖串接 SSF 的兩階段反應之操作模式進行，目前以此兩階段操作可於 96 小時後獲致將近 40g/L 的酒精濃度，整體總糖轉化酒精效率最高可達 0.47 g/g，目前在規劃以 100L 規模之發酵槽驗證上述實驗室規模之 SSCF 程序操作。

4. 鑒於槐糖(sophorose)為誘導酵素生產效果非常高的碳源，但自然界來源非常有限，價格昂貴，因此本研究嘗試以纖維水解酵素將纖維渣料水解，並同時將部分葡萄糖轉化為槐糖的技術，藉此建立低成本的槐糖製備方法，應用於酵素生產研究，據此提升酵素粗萃液活性及降低酵素生產成本。實驗室規模測試結果顯示，將上述方法製備之槐糖液加入現階段稻稈渣料誘導酵素生產的發酵實驗中，發現最終酵素粗萃液活性確實可提升 50% 以上，此顯示該技術之設計概念確實具有可行性，將繼續實驗驗證進一步確認其工程應用之價值。

三、經濟效益(產業經濟發展) (權重 20 %)

1. 發展纖維酒精技術以帶動國內產業，除能充份使用國內農、林剩餘物自產生質燃料外，亦著眼於技術輸出。亞洲地區每年產出約 6.7 億噸稻稈，可視為未來技術輸出之主要地區。此外發展纖維酒精及其延伸之生質精煉(biorefinery)已是國際趨勢，我國發展此項目，待技術成熟後，必能彰顯其帶動國內纖維酒精產業與技術輸出之經濟效益。本計畫發展之技術除能適用於稻稈原料外，亦嘗試應用於蔗渣、甜高粱、白楊木等原料，以因應國外原料之市場需求。
2. 噸級測試廠之前處理設備，為纖維酒精程序設備開發之重點關鍵項目，並結合國內廠商建立系統開發能力。生質物前處理設備並無制式之商品化產品，必須依據實際需求研發製作，此設備經過近 2 年之運轉測試，已獲得許多寶貴經驗，期能應用於量產設備之設計，使其有機會輸出至國際市場。目前國內已有廠商擬以纖維酒精生產乙烯產品，並與本計畫簽署 NDA/MTA 洽商合作開發事宜。
3. 為提升國內纖維酒精技術之競爭力，本計畫積極與中研院合作，建立具自主能力之廠內酵素生產技術，目前已能在實驗室規模，開發出可使酵素粗萃液活性值提高至 10FPU/mL 以上的發酵策略，後續將盡速進行該發酵策略之工程放大驗證測試，並以建立可穩定操作之生產技術為目標，預期於兩、三年後有機會達到具有商業應用性的酵素生產成本(\$1.0/gal 以下)，若以國內 E3 酒精汽油之市場規模推估，屆時生產纖維水解酵素將有機會創造每年至少新台幣 24 億元的產值。

4. 本計畫亦與國內學術單位合作，於所內建立工業酵母菌應用之研發平台，並以研發可同步轉化葡萄糖及木糖為酒精的共發酵菌為工作重點。目前已建構具競爭力之共發酵菌，與國際知名共發酵菌株 Purdue-Ho yeast 424A(LNH-ST)發表文獻相近的發酵條件下比較，木糖利用速率達 2.6 g/L/h，木糖轉化酒精效率達 77%，兩者皆與 424A(LNH-ST)相當。現階段所開發 SSCF 程序的操作方法，正進行 100L 規模之發酵槽測試，擬於 100 年能源國家型計畫百年成果展期間，在成果發表會中說明研究成果。基於共發酵菌已視為下一階段纖維酒精製程所需之生物資源，未來若能順利開發成功，將有機會透過授權使用的方式技術輸出至國際市場。根據所收集之國外資訊，目前共發酵菌之使用授權金額可能達百萬美元以上。
5. 噸級測試廠運轉產製之無水酒精已達到 CNS 15109 燃料用酒精規範之要求，並已於去年底摻配成 E3 纖維酒精汽油於核研所公務車使用，以達示範宣導作用。

四、社會影響(民生社會發展、環境安全永續)(權重 20 %)

1. 核研所作為國內纖維酒精研發中心，具有指標性功能。功能一為提供再生能源教育與技術訓練之場所，今年參訪單位共計 33 個，人數超過 529 人，有助於國人對生質酒精之認識，以及目前 E3 酒精汽油之推廣。功能二為協助國內生質能相關技術之研究，今年本計畫提供稻稈、木糖水解液、前處理後渣料、酵素水解後濾餅、蒸餾塔底廢液、廢水處理後污泥、供國內成大等 4 所大學及永豐餘等 4 家產業共 12 料次，進行纖維酒精技術與廢棄物再利用之研究。
2. 纖維酒精技術可利用稻稈、玉米稈、蔗渣等農作廢棄物為原料，因此研發纖維酒精技術，推動國內發展纖維酒精產業，將可鼓勵種植農作物，並收集及販售農業廢棄物，此應可活絡農村經濟及增進休耕土地利用，並具有引進年輕勞動人口留住農村及平衡城鄉差距等諸多社會效益。此外，此技術可將每年產生之 150 萬噸稻稈、25 萬噸蔗渣等農作廢棄物予以資源化，可避免因傳統燃燒處理而造成空氣污染，同時亦使稻稈等農業廢棄物獲得妥善的貯存及處置，避免因任意棄置造成排水系統阻塞所衍生之水患及供水問題。

3. 本計畫受能源局委託將國內產製澱粉酒精，純化至燃料酒精。此任務發揮噸級廠設施平台之功能，已將中油公司管理之生質酒精進行脫水至燃料酒精標準，經中油煉研所檢驗合格後，已交給中油 4000 公升(4 公秉)作為車用燃料之用。
4. 今年 12 月 14 日核研所受邀參加經濟部石化產業高值化推動小組委員會籌備會議，該局亦請本所參與推動小組之運作，此表示本計畫建立之技術已奠定其應用基礎，後續也將充分利用已建立之平台，參與石化產業高值化之相關研究。

五、其它效益(科技政策管理及其它)(權重 10 %)

1. 與輔英大學及中山大學合作進行「微藻纖維酒精之研究」。研究成果包含:(1)建立 *Anabaena* sp. PCC7120 PpsbA::acsAB 轉殖株與 *Synechococcus* sp. PCC7942 轉殖株，其纖維素含量可增加 2-4 倍之間。(2) 建立海水微藻 *Synechococcus* sp. PCC7002 轉殖系統，獲得多株 *Synechococcus* sp. PCC7002 GFP 基因轉殖株。(3) 完成 50 LV 型光生物反應器，並探討培養液對藍綠菌 *Synechococcus* sp. PCC7942 生長濃度之影響。
2. 本計畫委託台灣經濟研究院進行「第一代及第二代酒精工廠共構生產效益評估計畫」之研究，研究成果包括:(1).完成調查國內生質酒精料源產量與產地分佈，盤點國內各縣市可利用之休耕土地面積，推估各項料源轉換為生質酒精之最大潛能；(2).完成第二代纖維酒精工廠單獨建置、第一代及第二代酒精工廠共構二種情境下，國內酒精工廠設廠潛能評估；(3).國內第二代纖維酒精工廠以稻稈為料源單獨建置約有 1 座廠潛力，建議設置於彰化縣；但若採取第一代及第二代酒精工廠共構，國內以甘蔗、蔗渣及稻稈為料源約有 2 座廠潛力，建議設置於彰化縣和台南縣；(4).不同設廠情境下酒精生產成本分析。
3. 本計畫人員受邀協助國外期刊進行論文審查，今年共審查 23 篇論文，包括 *Applied Microbiology*(1 篇)、*Bioresource Technology*(6 篇)、*Bioresources*(2 篇)、*Desalination*(2 篇)、*Journal of Process Control*(3 篇)、*Journal of Membrane Science*(1 篇)、*Journal of Bioscience and Bioengineering*(2 篇)、*Letters in Applied Microbiology*(1 篇)、*Process Biochemistry*(4 篇)、*International Journal of Green Energy*(1 篇)等。

柒、與相關計畫之配合

- 一、目前中研院開發之 β -glucosidase 酵素與核研所自行生產之纖維素水解酵素混合成的 cocktail 酵素，其對於稻稈渣料的水解能力已與國外酵素相當，因此後續擬與中研院就提升酵素液 β -glucosidase 活性組成進行合作研究，初期並規劃應用此 cocktail 酵素於噸級廠運轉測試研究，藉以了解其應用潛力，同時做為改善酵素液 β -glucosidase 活性組成及推廣此 cocktail 酵素應用之參考依據。
- 二、與台大生質能源中心合作開發發酵後廢棄物再利用，主要針對發酵後廢棄物再利用，例如將發酵後之渣料造粒做固態燃料等方式進行評估，以增加副產物之利用與附加價值以提升纖維酒精技術之競爭力。

捌、後續工作構想之重點

- 一、在料源多元化方面，除了噸級廠測試以稻稈為主外，今年度開始選擇蔗渣於公斤級設施進行測試，另外受中華生質能學會之委託，進行甜高粱之糖汁及其稈渣之測試。無論蔗渣或甜高粱渣皆為合適之纖維酒精料源，但配合國內有可能建立以甘蔗為料源之第一代生質酒精廠，本計畫將優先選擇蔗渣在噸級廠進行量產試驗之研究。
- 二、在酵素生產研究方面，本計畫積極研究提升酵素粗萃液活性至 5FPU/mL 以上的發酵策略，目前酵素粗萃液活性可達 7-10FPU/mL，因此預計於 101 年將以 1000L 規模發酵槽驗證 5L 發酵槽開發之各項酵素生產操作策略，同時規劃於噸級廠的運轉測試研究測試自行生產之酵素的水解能力，據此建立穩定供給水解酵素的生產能力，同時著手建立酵素生產成本之推估方法。
- 三、在共發酵菌株研究方面，本計畫將持續測試所篩選之各株共發酵菌的木糖發酵能力，並交互進行發酵能力測試與馴化培養研究，藉此提升其穩健性與耐受力，同時將視研究進展，挑選適當的共發酵菌株進行 SSCF 程序之 100L 發

酵槽規模 scale-up 研究，並以提升至噸級廠運轉測試規模為目標，且稻稈水解液之總糖轉化酒精產率達 70%以上。

- 四、在噸級廠設施精進方面，本計畫所開發之二階段酸催化蒸汽爆裂前處理程序，可穩定操作連續運轉達 5 天。後續規劃開發一階段酸催化蒸汽爆裂程序，即混酸、預熱及酸催化爆裂程序於同一反應器內完成，以簡化流程、降低設備成本。此外，亦將規劃及評估前處理設備及其程序應用於不同料源之研究。
- 五、在產業合作方面，本計畫已與國內遠東新世紀公司簽署 NDA/MTA，雙方將共同合作，利用目前噸級廠之設施，建立製程系統之放大技術。此外與中油公司簽署研發合作意願書，據此做為後續產研合作之基礎。
- 六、在國際合作方面，核研所與 Novozymes 公司簽署 NDA/MTA，雙方已簽署完成，後續本計畫將提供前處理後之稻稈渣料給該公司，Novozymes 公司也會提供酵素給本計畫，雙方藉此合作開發適合稻稈之水解酵素。另外目前有國外公司亦有興趣測試本計畫所開發之共發酵菌 Y15 的發酵能力，近期將提供其前處理水解液給本計畫進行測試研究，據此進一步評估雙方合作開發纖維酒精製程之關鍵生物資源的可行性。

玖、檢討與展望

- 一、噸級測試廠自去年開始進行運轉測試，主要以批次運轉測試單元程序性能及調整改善為主，今年則採連續運轉測試整廠運轉之整合性能，以每梯次連續 5 天每天進料 1 噸之模式進行，為今年一大進展，每梯次運轉整個期程約 10 天。測試廠前處理雖經努力已達其操作穩定性及連續操作之目的，但因稻稈渣料會隨前處理條件而改變其特性，因此於混合效率上仍有提升之空間；此外，蒸汽用量則較理論為高也是現階段需改善之方向。因此，未來將朝提升物料混合效率與降低或回收蒸汽用量等方向進行設計與改善。
- 二、今年在噸級設施建立 SSF 程序為另一大進展，SSF 程序中，由於今年尚屬於驗證測試及程序修改開發階段，目前 SSF 程序尚未獲得最適化條件，運轉測

試成功率約六成，每噸乾稻稈獲得之酒精量亦未達預期目標。後續提高產量之因應策略為(1).繼續精進前處理設施，使酸催化反應對稻稈的處理更有效果；(2).繼續精進 SSF 程序作業方式，減少損失與污染情形。

三、本年度在料源多元化或與國內產業之互動皆有進展，在料源多元化的工作，已以蔗渣為料源進行實驗室規模測試，並規劃逐步推至公斤級設施及噸級廠去運作。與產業之先期合作，將在雙方簽署 NDA/MTA 的基礎下，推動前處理等相關技術之開發。至於共發酵菌之效能因已具備國際競爭水準，除將積極以共發酵菌測試國外公司提供之水解液外，建立後續合作之管道，亦將開始進行授權推廣之規劃。

填表人：王○寶 聯絡電話：_ 傳真電話：_

E-mail：_

主管簽名：_____

附錄一、佐證資料表

計畫名稱：纖維酒精量產技術研發(2/4)

【A 學術成就表】

中文題名	第一作者	發表年 (西元年)	文獻類別	引用 情形	獲獎 情形	論文出處
Pretreatment efficiency and structural characterization of rice straw by an integrated process of dilute-acid and steam explosion for bioethanol production	陳○華	2011	國外學術期刊	N	N	BIORESOURCE TECHNOLOGY
Development of a yeast strain for xylitol production without hydrolysate detoxification as part of the integration of co-product generation within the lignocellulosic ethanol process	黃○芳	2011	國外學術期刊	N	N	BIORESOURCE TECHNOLOGY
Treatment of perfluorinated chemicals by electro-microfiltration	翁○翔	2011	國外學術期刊	N	N	ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY
Electro-microfiltration treatment of water containing natural organic matter and inorganic particles	翁○翔	2011	國外學術期刊	N	N	DESALINATION
Increased cellulose production by heterologous expression of Cellulose synthase genes in a filamentous heterocystous cyanobacterium with a modification in photosynthesis performance and growth ability	周○炘	2011	國外學術期刊	N	N	BOTANICAL STUDIES
分子動力學應用於芳香胺薄膜表面結構及醇類親和性研究	魏○洲	2011	國外學術期刊	N	N	JOURNAL OF MEMBRANE SCIENCE
Pretreatment of rice straw using an extrusion/extraction process at bench-scale for producing cellulosic	陳○華	2011	國外學術期刊	N	N	BIORESOURCE TECHNOLOGY
Effect of hydrophobicity of humic substances on electro-ultrafiltration	黃○芳	2011	國外學術期刊	N	N	DESALINATION
Technology and production of cellulosic ethanol in a pilot	郭○倫	2011	國外學術期刊	N	N	其他(Journal of Energy and Power

plant in Taiwan						Engineering)
草食動物糞便中篩選具木質纖維酵素微生物	周○炘	2011	國外學術期刊	N	N	EI
以稻稈製備為生物材料增加五碳糖轉化酒精產量之初步研究	林○翔	2011	國外學術期刊	N	N	EI
利用改進之曝氣操作進行生質酒精發酵程序	張○明	2011	國外學術期刊	N	N	BIOPROCESS AND BIOSYSTEMS ENGINEERING
核研所纖維酒精技術研發現況與展望	黃○松	2011	國內會議	N	N	
稻稈酒精製程之高壓酸水解暨蒸汽爆裂前處理	林○逢	2011	國內學術期刊	N	N	
稻稈誘導 Trichoderma sp. 生產纖維素水解酶	李○翔	2011	國內學術期刊	N	N	
Bringing cellulosic ethanol production to industrial scale in Taiwan	翁○翔	2011	國際會議	N	N	
Dehydration of ethanol by vapor permeation with inorganic membrane: a pilot scale study	翁○翔	2011	國際會議	N	N	
Evaluation of bamboo as a feedstock for bioethanols in Taiwan	陳○華	2011	國際會議	N	N	
共 18 篇						

註：文獻類別分成 a 國內一般期刊、b 國內重要期刊、c 國外一般期刊、d 國外重要期刊、e 國內研討會、f 國際研討會、g 著作專書；引用情形分成 Y1 被論文引用、Y2 被專利引用、N 否；獲獎情形分成 Y 有獲獎、N 否；論文出處列出期刊名稱，卷期，頁(如科學發展月刊，409 期，頁 6-15)

【B 研究團隊表】

團隊名稱	團隊所屬機構	團隊性質	成立時間 (西元年)
中研院	中研院	跨機構合作	1000101~1001231
財團法人台灣經濟研究院	台經院	跨機構合作	1000101~1001231
輔英科大	輔英科大	跨機構合作	1000101~1001231
合計 3 件			

註：團隊性質分成 a 機構內跨領域合作、b 跨機構合作、c 跨國合作、d 研究中心、e 實驗室

【C 培育人才表】

姓名	學歷	機構名稱	指導教授
----	----	------	------

蘇○筵	a 博士	輔英科技大學(生物技術系)	周○珍
周○蕙	b 碩士	輔英科技大學(生物技術系)	周○珍
王○淵	b 碩士	輔英科技大學(生物技術系)	周○珍
吳○珊	a 博士	中山大學(生技所)	李○擇
鄭○才	b 碩士	輔英科技大學(生物技術系)	邱○賢
陳○	a 博士	中央大學	黃○莉
合計 6 員			

註：學歷分成 a 博士、b 碩士

【D 研究報告表】

報告名稱	作者姓名	出版年 (西元年)	出版單位
以纖維酒精研發為基礎之生質乙烯規劃	翁○翔	2011	核研所
纖維酒精測試廠板框過濾機測試與改善研究報告	胡○良	2011	核研所
纖維酒精試驗廠板框過濾機運轉研究報告	胡○良	2011	核研所
3A 分子篩對水吸附特性曲線之分子模擬	魏○洲	2011	核研所
滲透蒸發程序應用於酒精溶液脫水之研究	翁○翔	2011	核研所
纖維水解酵素醱酵策略之研究	郭○倫	2011	核研所
纖維酒精噸級設施 99 年度運轉能耗及用水統計	張○明	2011	核研所
提升發酵效率之方法	林○翔	2011	核研所
噸級廠預前處理理論蒸氣用量評估	許○志	2011	核研所
基因重組共發酵菌株於木糖水解液轉化酒精放大研究	吳○昀	2011	核研所
稻稈纖維粉體連續氣力輸送設備設計及製作	徐○演	2011	核研所
酒精變壓吸附脫水系統測試報告	魏○洲	2011	核研所
Trichoderma reesei 纖維水解酵素之誘導與基因轉殖研究	張○綸	2011	核研所
噸級廠預處理及前處理設備安裝、維護及改善	蔡○晉	2011	核研所
甘油及木糖利用菌株篩選之初步研究	黃○芳	2011	核研所
合計 15 件			

【E 學術活動表】

研討會名稱	性質	舉辦(起-迄)日期 (YYYY/MM/DD)	主/協辦單位
台灣生質柴油、生質酒精產業發展情況學術研討會	國內研討會,	1001216	中華生質能學會/核研所
研討會小計 1 場次			
中石化龔○隆博士等	參訪核研所 纖維酒精設施	1000118	核研所
國科會科學探索計畫種子教師等	參訪核研所 纖維酒精設施	1000124	核研所
易集網科技公司	參訪核研所 纖維酒精設施	1000210	核研所
經濟部能源局能源技術組曾○材 專門委員、逢甲大學教授等	參訪核研所 纖維酒精設施	1000217	核研所
清華大學吳○俊教授及師生等	參訪核研所 纖維酒精設施	1000218	核研所
善笙生技公司	參訪核研所 纖維酒精設施	1000315	核研所
中興大學化工系劉○銓教授等	參訪核研所 纖維酒精設施	1000401	核研所
中油公司煉研所—蔡○佳博士	參訪核研所 纖維酒精設施	1000415	核研所
中央大學李河清教授暨 EMBA 學員	參訪核研所 纖維酒精設施	1000421	核研所
奈米鑫公司林○亮及董事長參訪	參訪核研所 纖維酒精設施	1000422	核研所
台灣大學萬○儒教授暨學生	參訪核研所 纖維酒精設施	1000428	核研所
雲林縣環境保護局	參訪核研所 纖維酒精設施	1000525	核研所
中華生質能源學會常務理事林○ 秋博士等	參訪核研所 纖維酒精設施	1000602	核研所
中興大學生物產業機電工程系盛 ○德教授等	參訪核研所 纖維酒精設施	1000629	核研所
2011 年生質材料提供能源潛力國 際學術研討會(台大生物資源暨農 學院實驗林管理處與日本學者來 所參訪)	參訪核研所 纖維酒精設施	1000710	核研所
修平科技大學林○基主任及師生	參訪核研所 纖維酒精設施	1000812	核研所

中油公司油品事業部副主任羅○ 童陳○慶經理等	參訪核研所 纖維酒精設施	1000815	核研所
修平科技大學林○基主任及師生	參訪核研所 纖維酒精設施	1000901	核研所
紡織產業綜合研究所林○儒副組 長與台灣科技大學李○綱教授	參訪核研所 纖維酒精設施	1000909	核研所
中興工程顧問社鍾○仁經理	參訪核研所 纖維酒精設施	1000915	核研所
新加坡共和理工學院師生	參訪核研所 纖維酒精設施	1000922	核研所
經濟部標準檢驗局黃副局長暨貴 賓	參訪核研所 纖維酒精設施	1000928	核研所
中油公司綠能科技研究所籌備處 吳召集人	參訪核研所 纖維酒精設施	1000928	核研所
遠東企業研究發展中心綠色材料 組	參訪核研所 纖維酒精設施	1000929	核研所
中油公司江組長	參訪核研所 纖維酒精設施	1001012	核研所
經典雜誌/慈濟傳撥人文志業基金 會	參訪核研所 纖維酒精設施	1001018	核研所
中央大學生命科學系微生物學實 驗課 黃主任暨師生	參訪核研所 纖維酒精設施	1001019	核研所
亞東創新發展公司總經理廖博士 及遠東新世紀公司康博士、 Genencor 酵素公司業務開發主任	參訪核研所 纖維酒精設施	1001019	核研所
清雲科技大學師生等一行	參訪核研所 纖維酒精設施	1001026	核研所
中台科技大學徐主任一量	參訪核研所 纖維酒精設施	1001027	核研所
台灣師範大學師生	參訪核研所 纖維酒精設施	1001104	核研所
大同大學師生	參訪核研所 纖維酒精設施	1001109	核研所
中國醫藥大學醫學檢驗生物技術 學系姜助理教授	參訪核研所 纖維酒精設施	1001121	核研所
小計 33 場次			

註：性質分成 a 國內研討會、b 國際研討會、c 兩岸研討會

【G 智財資料表】

專利名稱	專利類別	授予國家	證書號碼	發明人	專利權人	有效(起-迄)期間 (YYYY/MM)
------	------	------	------	-----	------	------------------------

攪拌機構及具有該攪拌機構之同步糖化發酵反應裝置	發明	中華民國	申請案號 100100982	黃○彰 王○寶 王○輝 郭○倫 周○忻 黃○松	核研所	
捆裝纖維切割機	發明	中華民國	申請案號 100108066	蔡○晉 陳○華 王○寶 黃○松	核研所	
一種木糖代謝菌之製備方法及該木糖代謝菌	發明	中華民國	申請案號 100119583	馬○陽 林○翔 許○傑 黃○芳 郭○倫 黃○松 王○寶	核研所	
無再沸器精餾塔用於蒸餾之設備	發明	中華民國	申請案號 100133299	高○達 魏○洲 張○明 黃○松 王○寶	核研所	
一種木糖代謝菌之製備方法及該木糖代謝菌	發明	美國	申請案號 13/242,547	馬○陽 林○翔 許○傑 黃○芳 郭○倫 黃○松 王○寶	核研所	
可液相及可氣相進料之酒精脫水裝置	新型	中華民國	申請案號 100219340	魏○洲 翁○翔 蔡○諺	核研所	
提升單糖發酵效率之方法	發明	中華民國	申請案號 100139171	林○翔 馬○陽 許○傑 郭○倫 黃○松	核研所	
改良式纖維物料高溫壓差閃化出料機構	發明	中華民國	申請案號 100139183	陳○華 蔡○晉 蔡○元 許○志 王○寶	核研所	
一種纖維素水解酵素及其基因	發明	中華民國	申請案號 100138660	陳○嘉 劉○成 王○宇 許○傑 郭○倫 黃○松 王○寶	核研所	
用於含水纖維物料之固液分離機	發明	中華民國	097141814	蔡○晉 任○熹 陳○華 魏○揚	核研所	100.04.11-117.10.29
纖維物料之壓力隔離進出料裝置	發明	中華民國	097141815	任○熹 蔡○晉 陳○華	核研所	100.08.11-117.10.29

				王○寶		
小計 11 件						

註：專利類別分成 a 發明專利、b 新型新式樣、c 商標、d 著作、智財；授予國家分成 a 中華民國、b 美國、c 歐洲、d 其他

【H 技術報告表】

報告名稱	作者姓名	出版年 (西元年)	出版單位
韓國 The 3rd Korea-Japan International Symposium on Microbial Ecology 公出報告	周○炘	2011	核研所
赴澳大利亞參加第 17 屆台澳能礦諮商會議及第 25 屆台澳經濟聯席會議	黃○松	2011	核研所
公斤級奈米過濾濃縮系統之規格及操作程序書	翁○翔	2011	核研所
高效液相層析儀操作手冊	郭○倫	2011	核研所
陰離子交換層析儀操作手冊	郭○倫	2011	核研所
纖維酒精噸級測試廠五碳發酵槽系統操作程序書	吳○昀	2011	核研所
纖維酒精噸級測試廠前處理系統標準操作程序書	蔡○元	2011	核研所
纖維酒精測試廠中央監控系統 DCIS 操作指引	張○明	2011	核研所
纖維酒精噸級測試廠預處理系統標準操作程序書	蔡○晉	2011	核研所
分子篩吸附脫水(PSA)系統操作程序書	蔡○諺	2011	核研所
超微量分光光度計標準操作手冊	張○綸	2011	核研所
纖維酒精能源、環境及經濟效益研析計畫期中報告	翁○翔	2011	核研所
藍微藻生產糖或纖維素之研究	周○炘	2011	核研所
纖維轉化酒精共發酵菌之研究	林○翔	2011	核研所
纖維酒精能源、環境及經濟效益研析計畫期末報告	翁○翔	2011	核研所
合計 15 件			

【I 技術活動表】

技術論文名稱	研討會名稱	性質	舉辦(起-迄)日期 (YYYY/MM/DD)	主/協辦單位
以曝氣手段增進生物燃料酒精發酵之生產速率	中華生化工程研討會	國內研討會	1000624-0625	大同大學
The R&D of cellulosic ethanol technology in INER	生質材料提供能源潛力之國際學術研討會	國際研討會	1000708-0710	台灣大學
基因重組共發酵菌應用於木糖水解液轉化酒精	化工年會	國內研討會	1001125-1001202	成功大學

之研究				
高固液比同步水解及發酵程序應用於纖維酒精生產之研究	化工年會	國內研討會	1001125-1001202	成功大學
核能研究所纖維酒精生化製程之研發現況	中華生質能學會年會	國內研討會	1001216	中華科技大學

註：性質分成 a、b 國際研討會

【S 技術服務表】

技術服務名稱	服務對象名稱	服務對象類別	服務收入(千元)
提供無水酒精脫水純化之服務	能源局/中油公司	能源相關產業單位/協助處理 13 公秉純度 93% 之生質酒精，經本計畫之酒精純化系統處理，濃度達 99.3% 以上，符合 CNS 車用燃料之標準	0

註：服務對象類別分成 a 國內廠商、b 國外廠商、c 其他

【L 廠商投資表】

廠商名稱	投資類別	投資金額(千元)	產品名稱	產值(千元)
台灣中油公司	簽署 NDA/MTA 進行先期合作	0	纖維酒精製程及相關技術開發	
國內化工業公司(基於該公司商務考量尚屬保密階段)	簽署 NDA/MTA 進行先期合作	0	纖維酒精製程開發	
Novozymes 公司(國際酵素公司)	簽署 NDA/MTA 進行先期合作	0	纖維水解酵素研發與共發酵菌應用評估	

註：投資類別分成：a 研發投資、b 生產投資

附錄二、佐證圖表

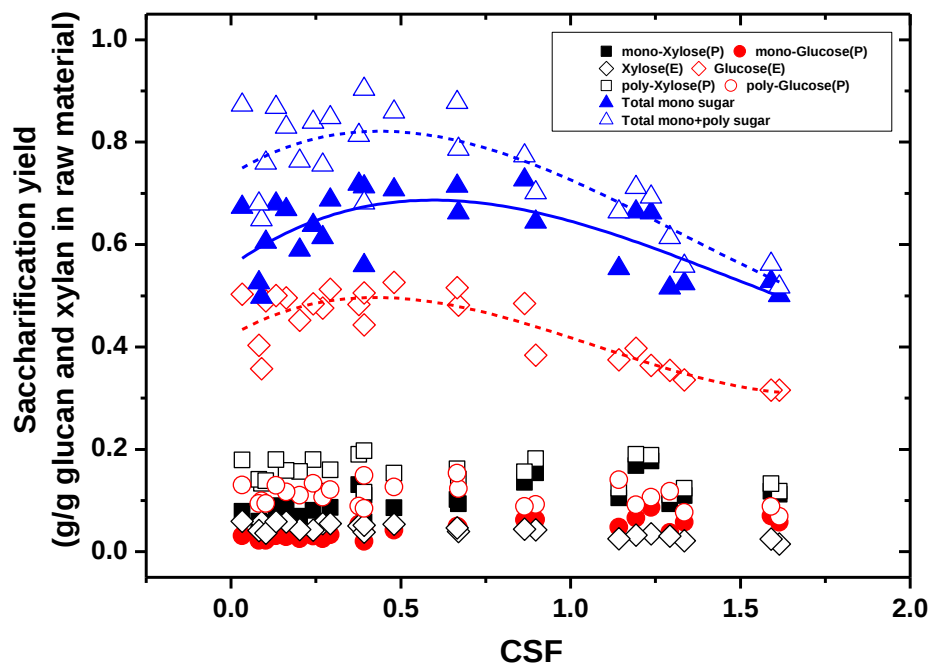


圖 1、木糖、葡萄糖及總糖轉化率與操作參數之關係

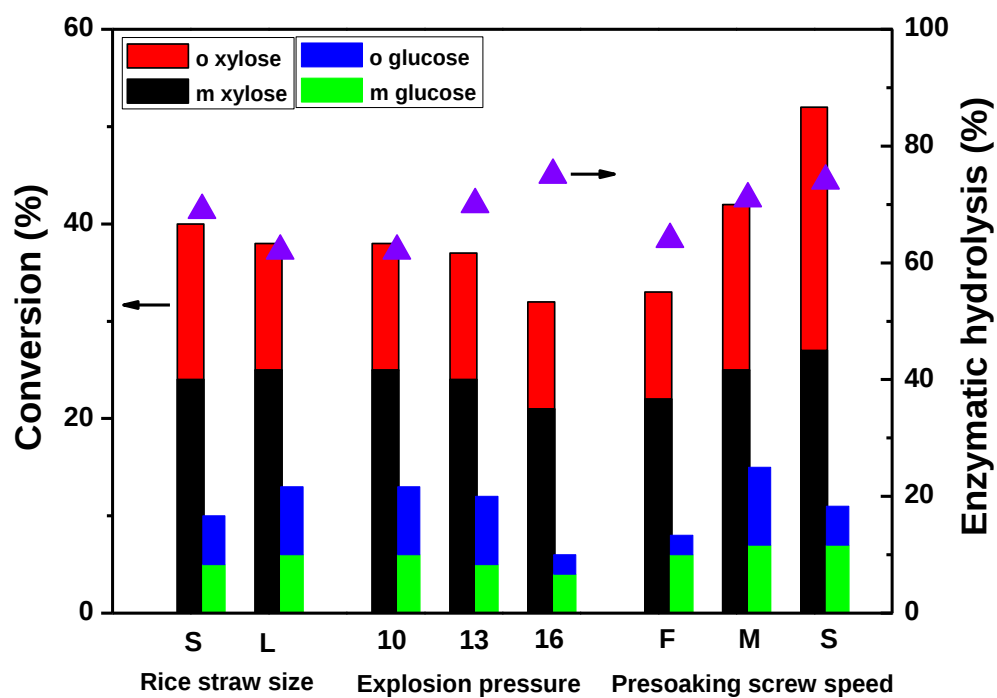


圖 2、前處理糖轉化率、固渣酵素水解與進料尺寸、閃化壓力

及混酸時間等設備運轉參數之關係

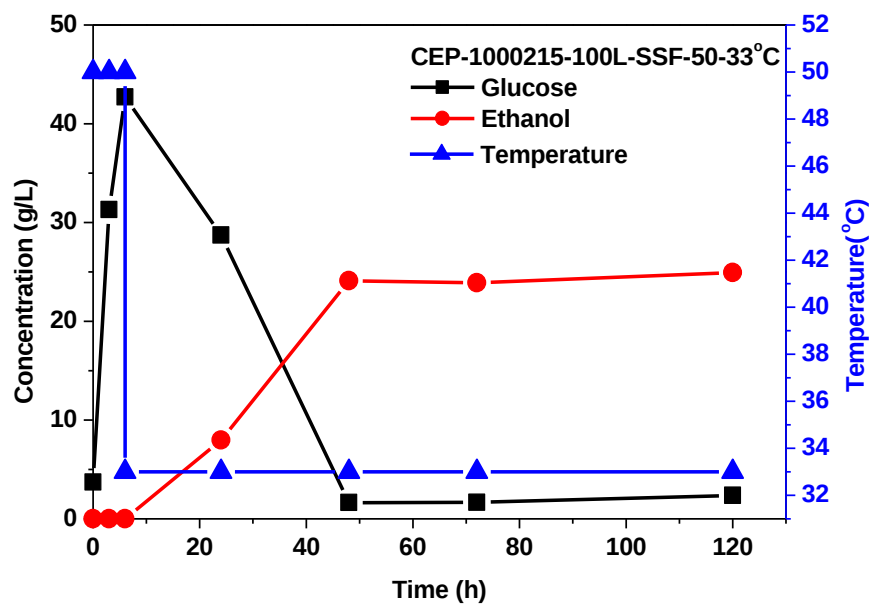


圖 3、全程 38°C(上)反應與二階段溫控反應(下)之比較

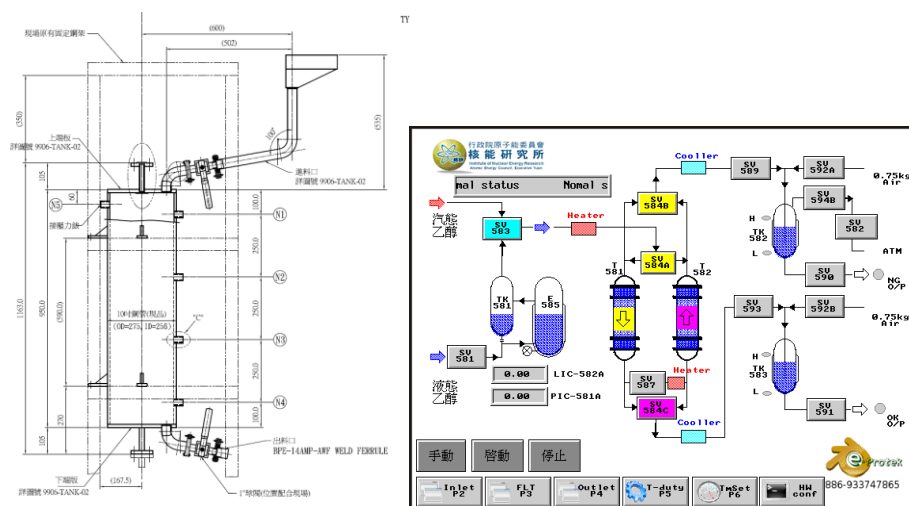


圖 4、PSA 系統硬體修改及軟體功能提升

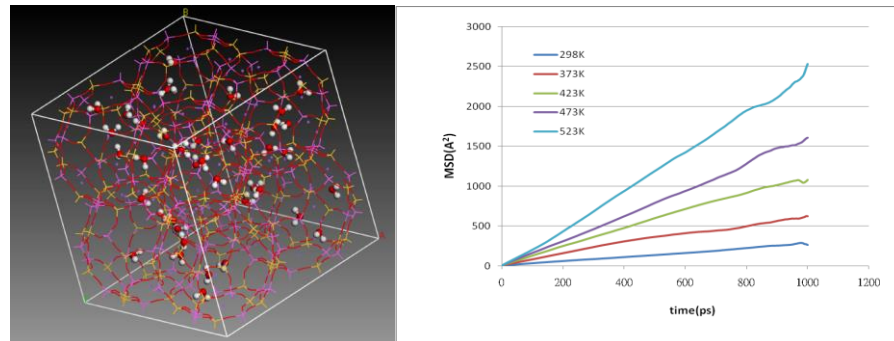


圖 5、計算化學平台評估水分子於沸石晶體中傳輸特性

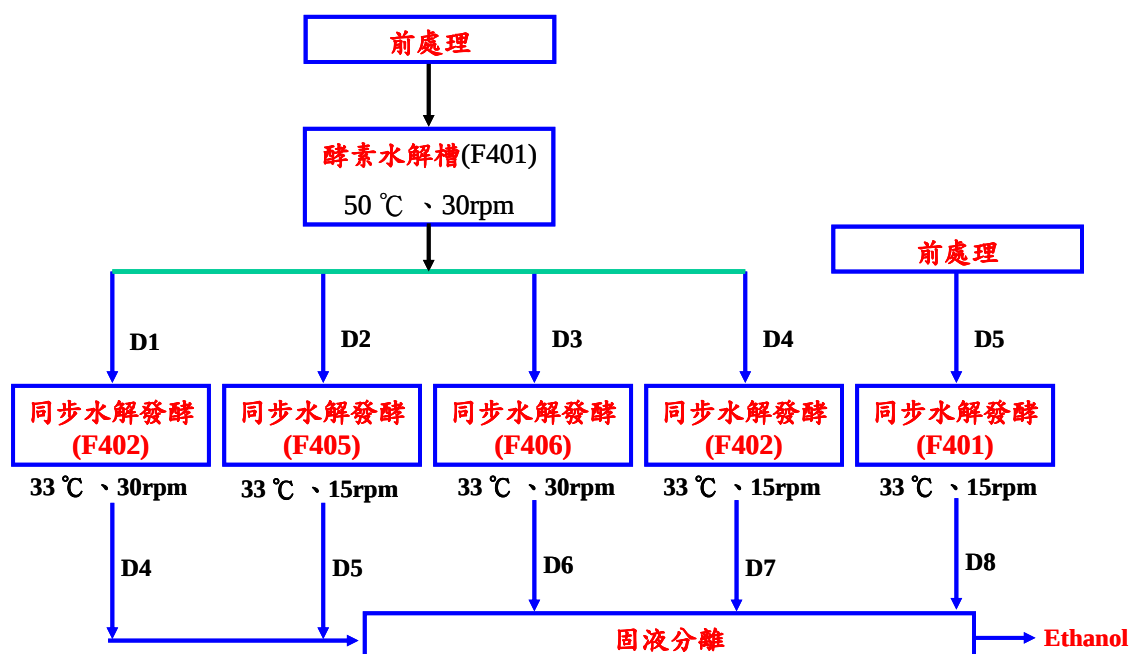


圖 6、噸級測試廠多批次 SSF 程序之運轉

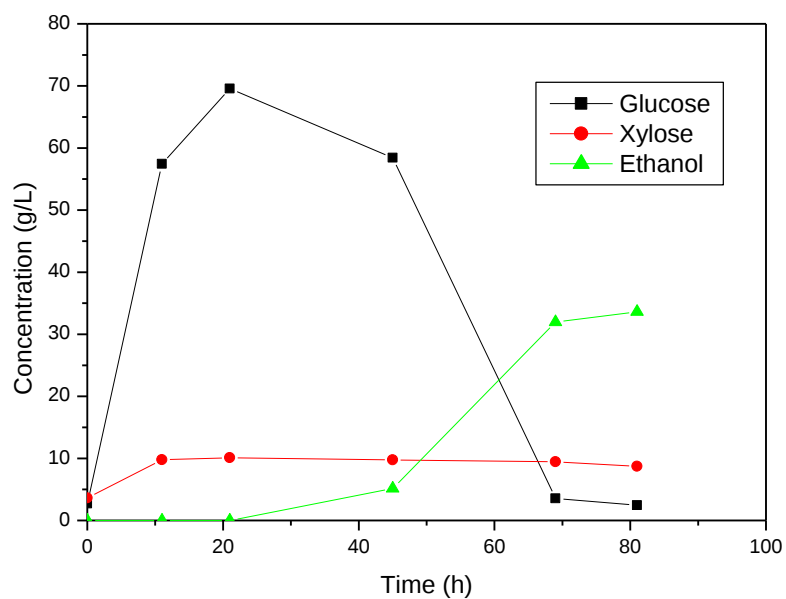


圖 7、噸級測試廠二階段控溫模式運轉 SSF 程序

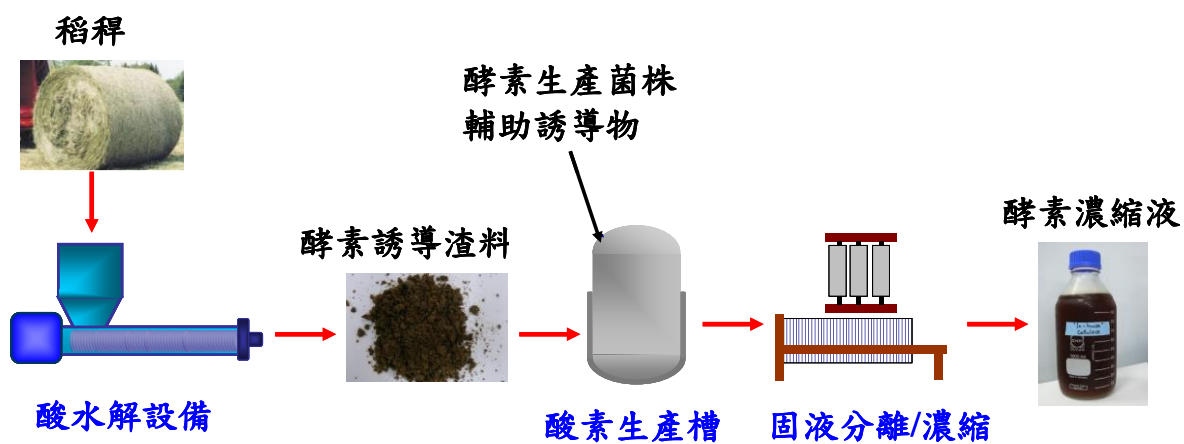


圖 8、廠內酵素生產技術之操作流程

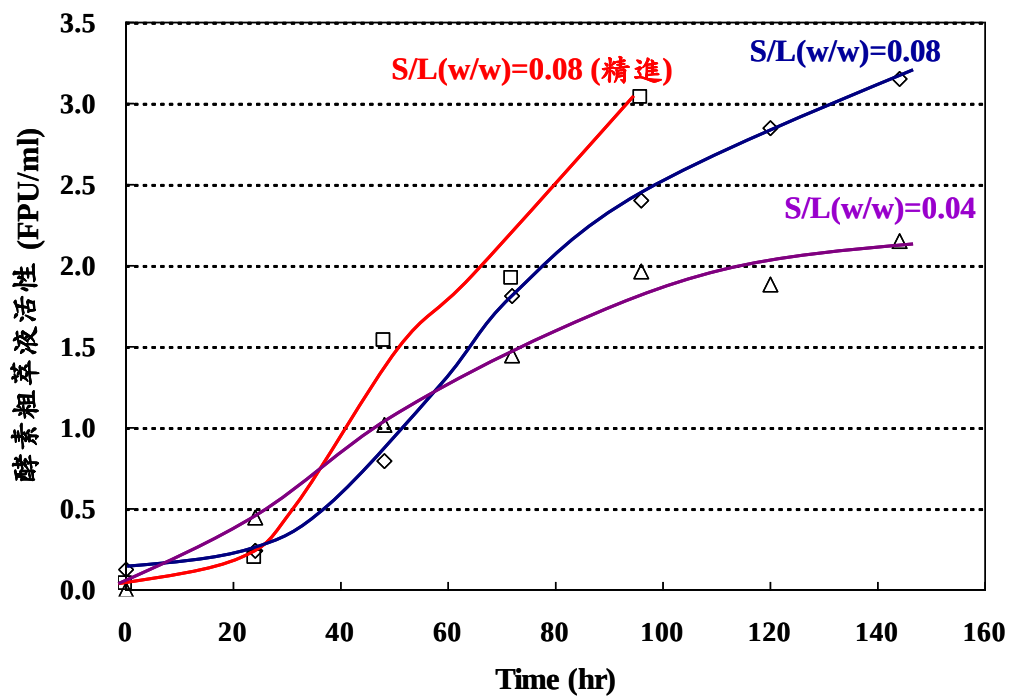


圖 9、1000L 酵素生產之酵素粗萃液活性值變化

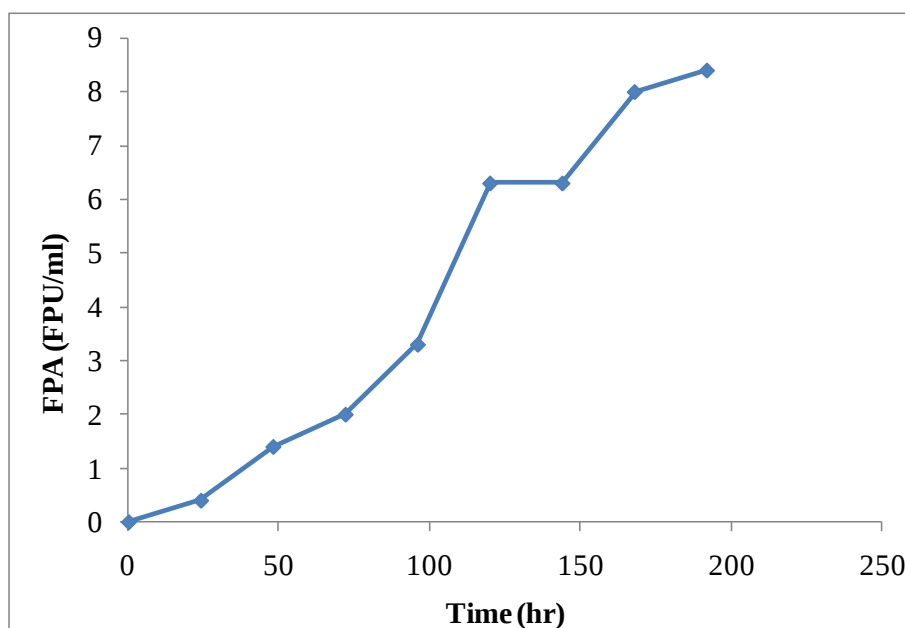


圖 10、可提高酵素活性之發酵策略生產時的酵素粗萃液活性變化(5L)

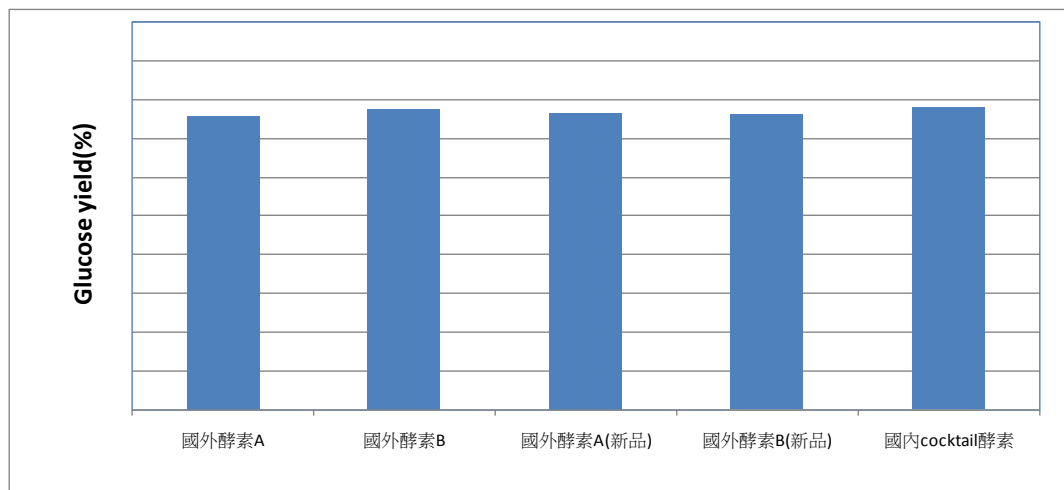
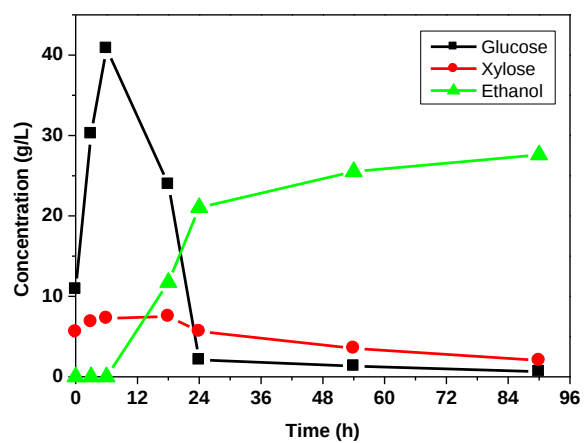


圖 11、國內開發之 cocktail 酵素與國外酵素之水解效率比較

(A)



(B)

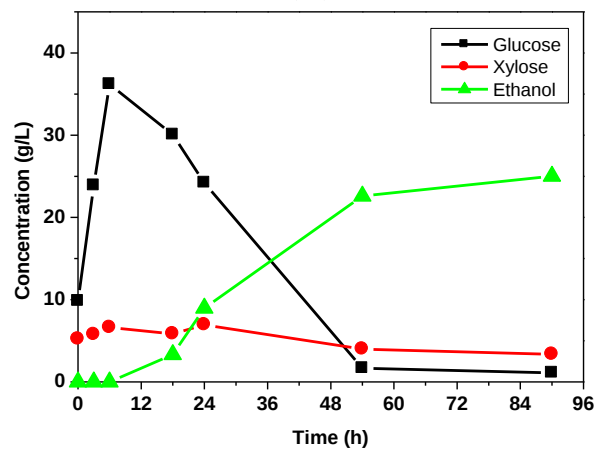
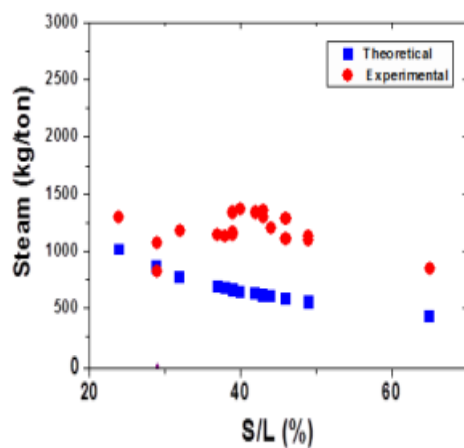
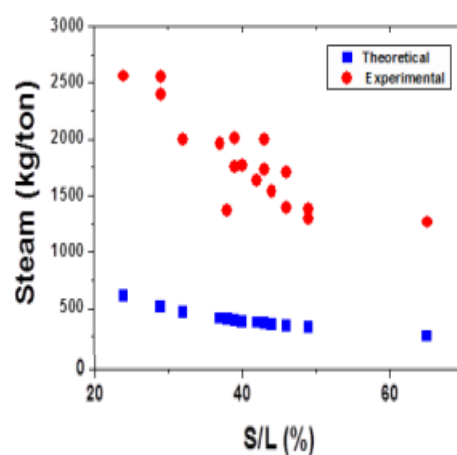


圖 12、不同水解酵素應用於 100L SSF 程序操作之比較:

(A)國內開發之 cocktail 酵素; (B)國外酵素

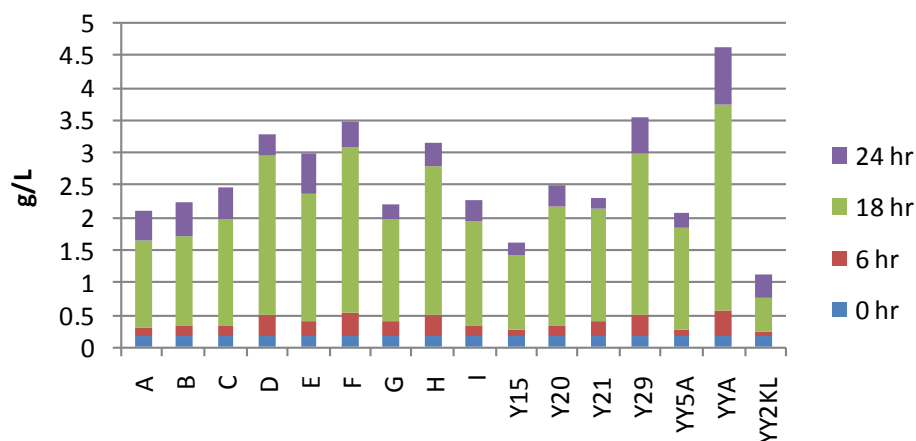


(a) 低壓蒸汽(R-201-1)

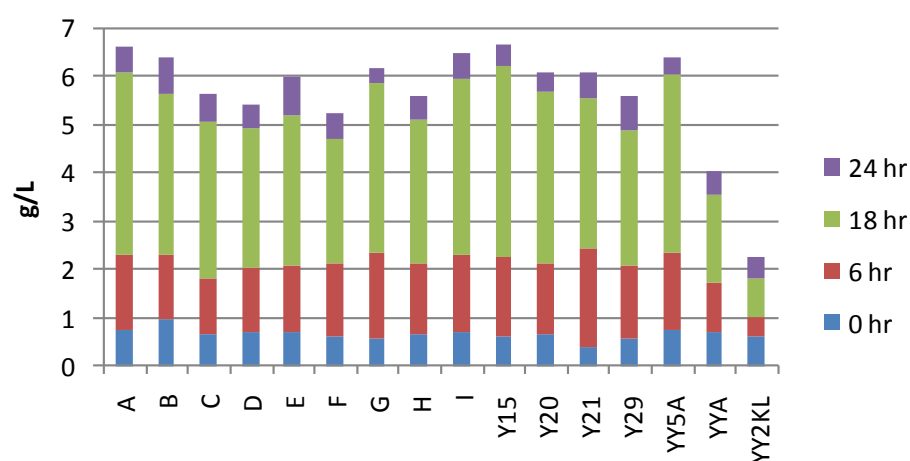


(b) 高壓蒸汽(R-201-2B)

圖 13、固液比與蒸汽用量之關係



(A)木糖醇累積生成濃度



(B)酒精累積生成濃度

圖 14、共發酵菌篩選之木糖轉化酒精測試結果

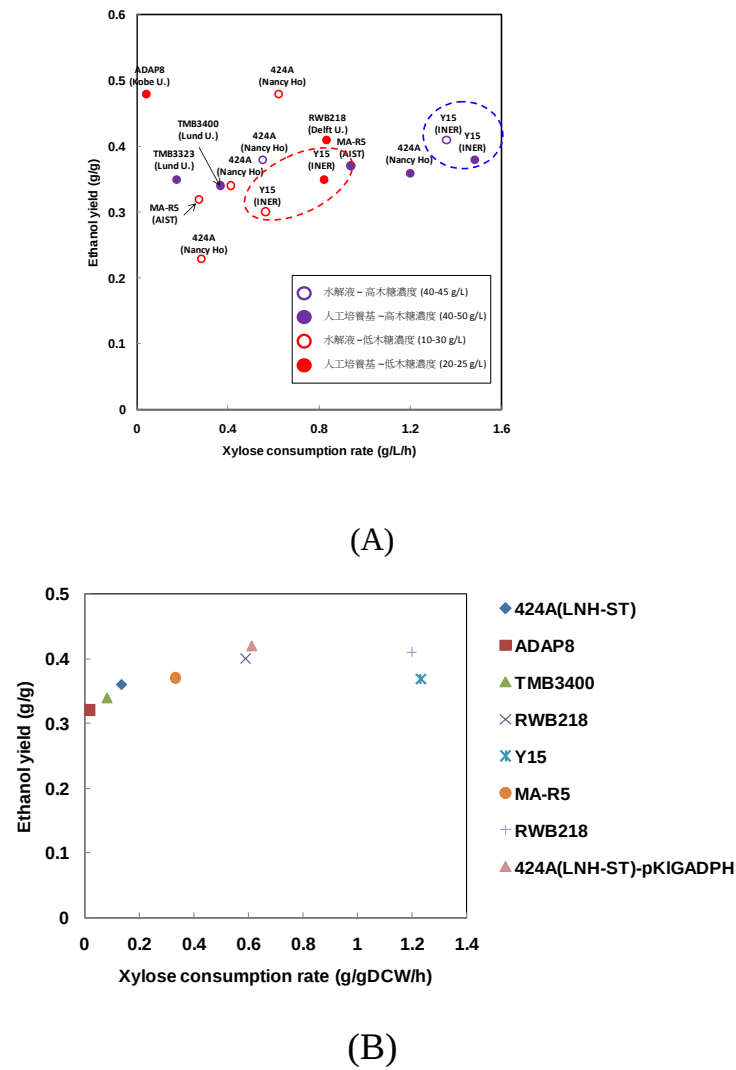


圖 15、共發酵菌 Y15 與國外共發酵菌株之木糖發酵比較: (A)木糖利用速率與酒精生成率之比較(B)單位種菌量木糖利用速率與酒精生成率之比較

註:上述彙整之相關資訊與參考來源

Research units	Strains	Xylose consumption rates(g/g(DCW)/h)	Ethanol yield(g/g)	Conditions	References
AIST	MA-R5	0.3348	0.37	YPX(45 g/L xylose)	Appl Environ Microbiol. 2009 Jun;75(11):3818-22.
LORRE(Nancy Ho)	424A(LNH-ST)	0.133	0.36	YPD(73.5 g/L glucose, 40.4g/L xylose)	Appl Biochem Biotechnol. 2004 Spring;113-116:403-16.
Kobe University	ADAP8	0.02	0.32	YPX(20 g/L xylose)	Appl Microbiol Biotechnol. 2009 Apr;82(6):1037-47.
Lund University	TMB3400	0.08	0.34	mineral medium (salts, trace elements and vitamins + 20 g/L glucose, 50 g/L xylose)	Biotechnol Biofuels. 2009 May 5;2:9.
Delft University of Technology	RWB218	1.2	0.41	YPX(20 g/L xylose)	Antonie Van Leeuwenhoek. 2006 Nov;90(4):391-418.
INNER	Y15	1.23	0.37	YPX (40 g/L xylose)	
LORRE(Nancy Ho)	424A(LNH-ST)-pKIGADPH	0.612	0.42	YPX (70 g/L xylose)	J Ind Microbiol Biotechnol. 2011 May;38(5):617-26.

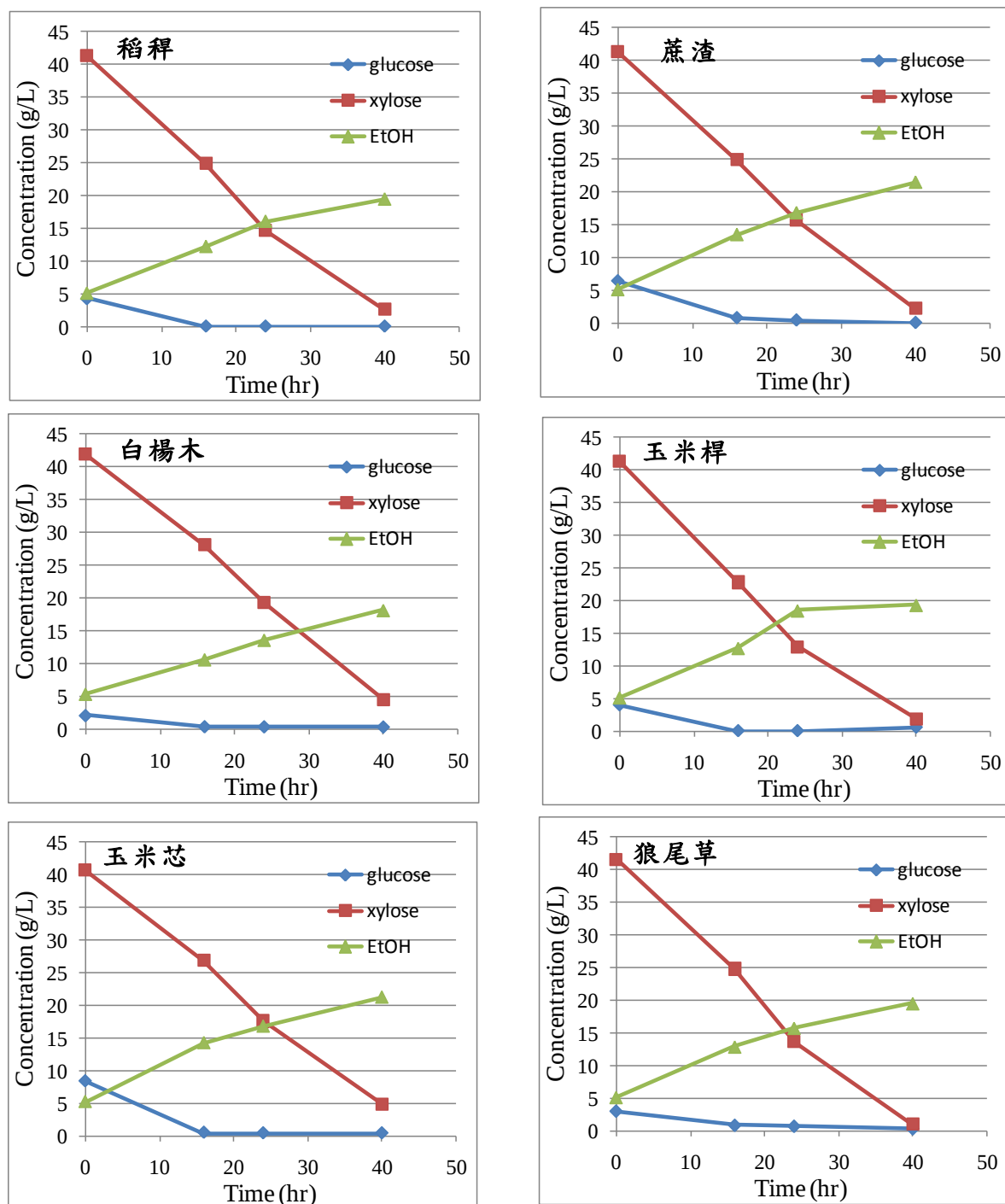


圖 16、共發酵菌 Y15 於不同纖維原料水解液之發酵比較

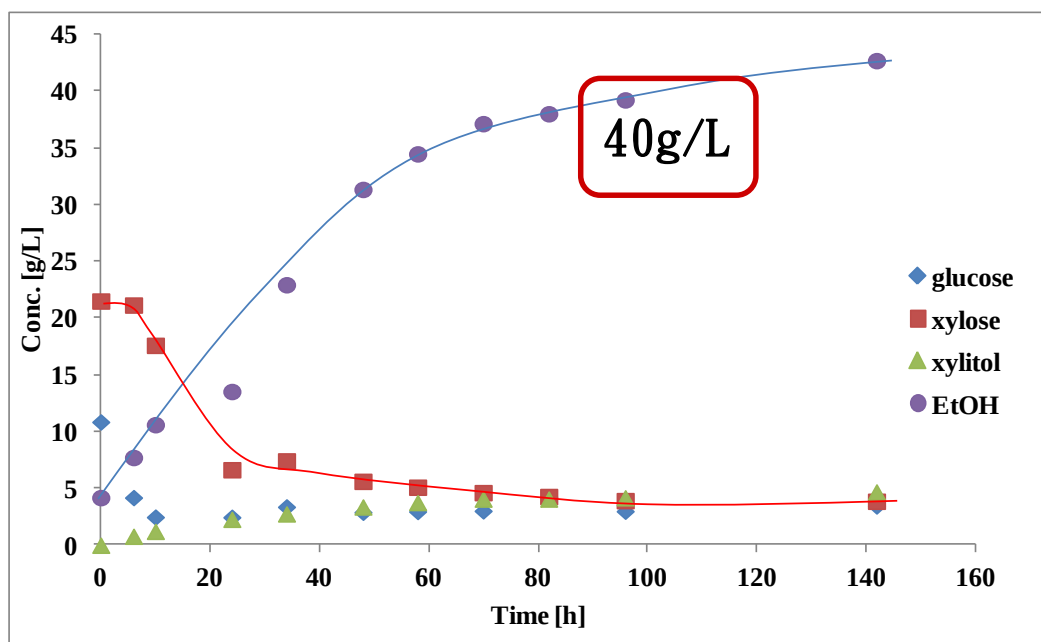


圖 17、5L 規模發酵槽測試同步水解及共發酵程序之酒精生成情形 (20%接菌量(Y15); Enzyme loading:15FPU/g cellulose(Novozymes CTec); S/L:20%)

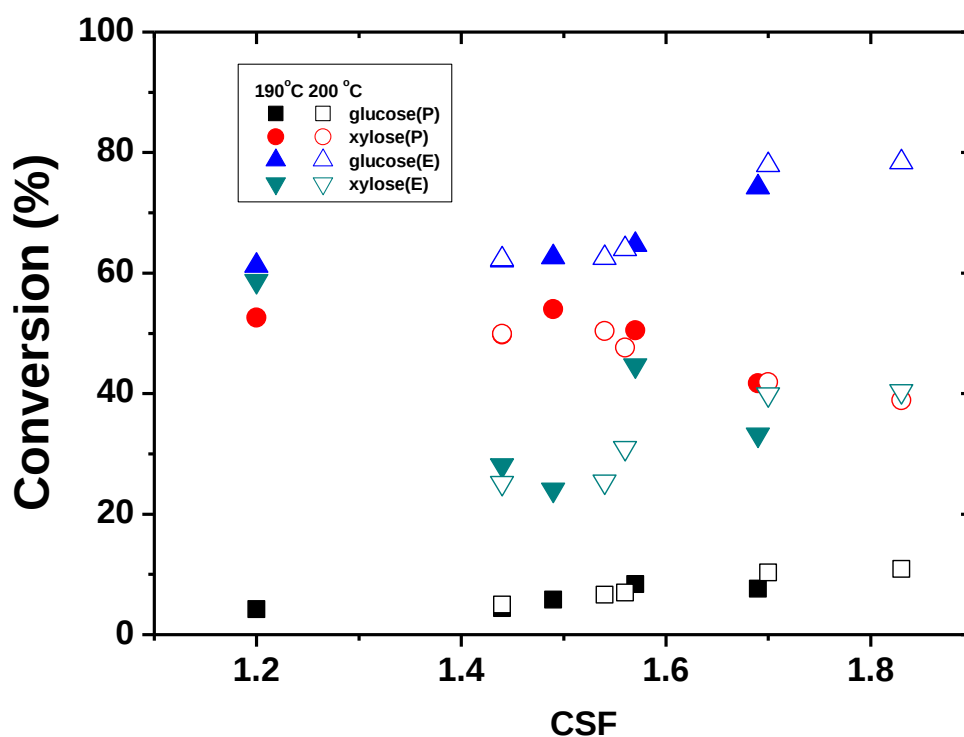


圖 18、蔗渣酸催化蒸汽爆裂操作條件參數對應之前處理及酵素水解轉化率(P: 前處理操作造成的糖轉化率; E: 酵素水解操作造成的糖轉化率)

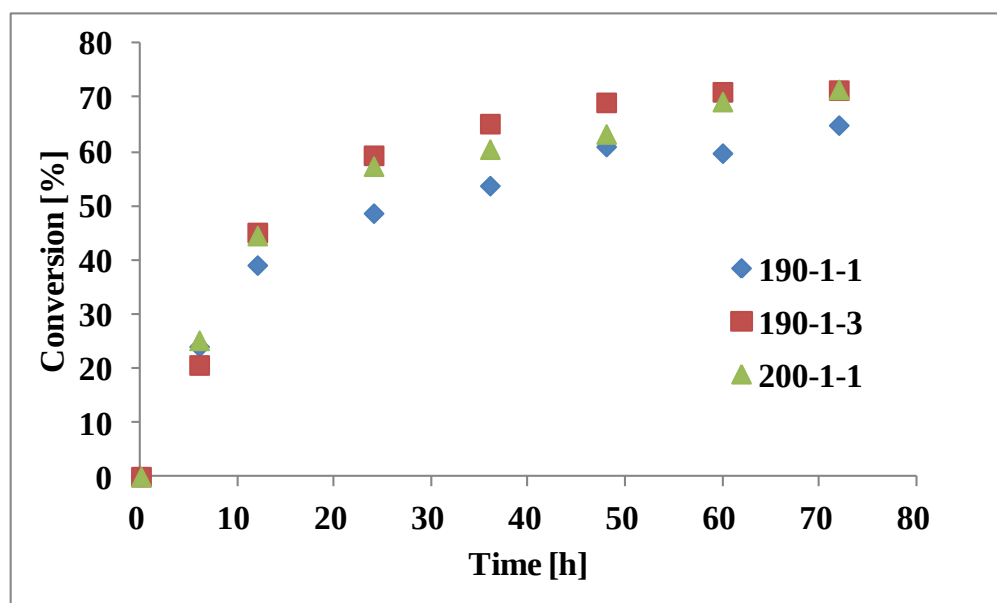


圖 19、不同前處理操作條件下蔗渣固渣之同步水解發酵酒精產率變化



圖 20、測試用實驗篩板塔外觀

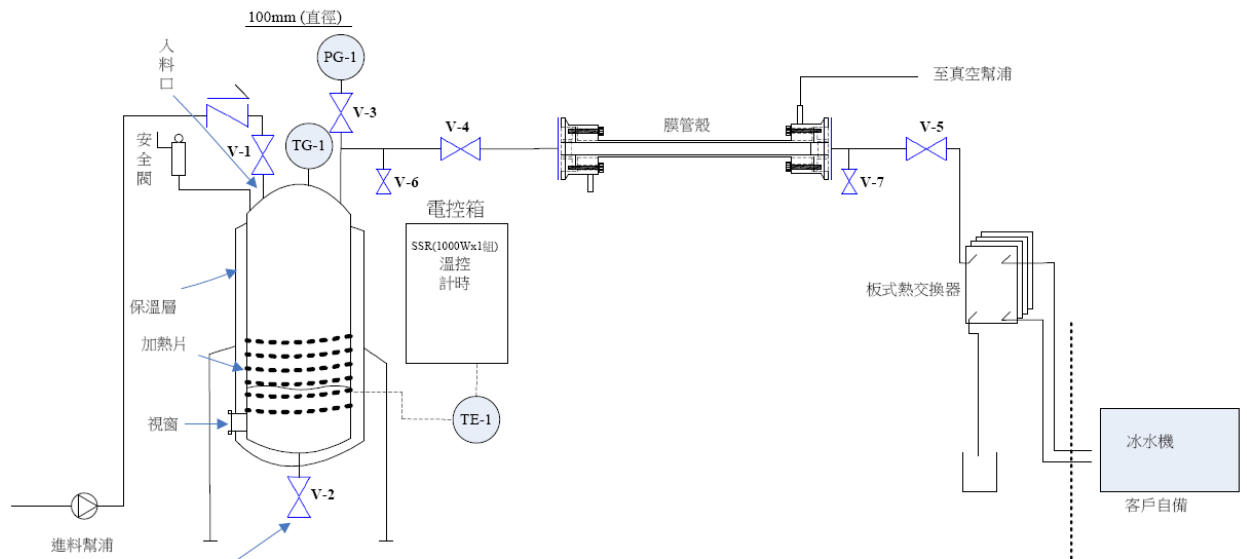


圖 21、ZSM-5 沸石薄膜脫酒精測試裝置流程圖

表 1-1、前處理系統運轉參數及出料結果

批 次	運轉 日期	進料				條件		產物						木 聚 糖 溶 出 率 (%)	酵 素 水 解 效 率 (%)
		進料量 (kg)		固 液 比 (%)	硫 酸 (kg)	設 定 溫 度 (℃)	持 壓 時 間 (min)	水解液			固渣				
		稻 稈	乾 重					總 量 (kg)	(單糖)濃度 (g/L)		乾 重 (kg)	組成 (%)			
									木 糖	葡 萄 糖		木 聚 糖	葡 聚 糖		
1	2月15日	1000	860	18	30	190	2	2589	22.8	8.2	615	6.2	50.5	77	58
2	2月16日	760	447	19	20	190	2	1564	22.4	9.2	476	8.0	49.1	55	54
3	3月16日	780	879	18	34	190	2	740	27.1	10.6	-	5.7	48.5	-	60
4	3月17日	640	889	20	27	190	2	1955	24.9	11.3	495	4.1	48.9	88	66
5	4月11日	1000	860	18	24	190	2	2408	18.3	7.4	564	6.6	49.4	77	67
6	4月12日	1080	929	21	23	190	2	1073	22.1	8.5	593	5.3	48.8	82	64
7	4月13日	1030	886	23	20	190	2	953	23.4	7.6	628	5.1	47.7	81	69
8	4月14日	1060	912	19	23	190	2	1814	21.1	7.1	599	5.5	45.5	81	62
9	5月10日	1040	884	21	22	190	2	2512	21.9	8.6	610	5.3	45.6	80	69
10	5月11日	1107	941	22	22	190	2	1729	20.9	9.7	662	7.6	47.7	72	64
11	5月12日	1120	952	21	24	190	2	2325	19.8	9.4	666	6.0	49.3	78	71
12	5月13日	1000	850	19	23	190	2	2438	18.9	9.0	595	5.6	48.7	79	74

表 1-2、前處理系統運轉參數及出料結果

批 次	運轉 日期	進料				條件		產物						木 聚 糖 溶 出 率 (%)	酵 素 水 解 效 率 (%)
		進料量 (kg)		固 液 比 (%)	硫 酸 (kg)	設 定 溫 度 (℃)	持 壓 時 間 (min)	水解液			固 渣				
		稻 稈	乾 重					總 量 (kg)	(單糖)濃度 (g/L)		乾 重 (kg)	組 成 (%)			
									木 糖	葡 萄 糖		木 聚 糖	葡 聚 糖		
13	6 月 13 日	1010	859	22	18	190	2	2378	17.9	8.7	656	5.5	47.1	78	76
14	6 月 14 日	1003	853	23	19	190	2	2305	18.9	8.8	512	5.0	47.2	84	73
15	6 月 15 日	1035	880	22	21	190	2	2593	18.3	9.2	665	5.3	47.3	78	70
16	6 月 16 日	860	731	21	17	180	4	2305	18.7	9.1	563	5.4	47.7	78	73
17	6 月 17 日	480	408	11	0	200	5	763	5.7	3.4	225	9.8	47.2	71	63
18	7 月 5 日	1007	856	20	19	190	2	1753	13.1	6.0	533	9.4	46.6	69	64
19	7 月 6 日	1047	890	24	18	190	2	1909	19.1	7.8	539	4.5	46.6	85	69
20	7 月 7 日	1025	871	21	21	190	2	2325	17.3	7.2	477	5.0	46.6	85	71
21	7 月 8 日	802	682	24	13	190	2	1541	14.7	6.5	554	5.1	46.8	78	65
22	8 月 17 日	896	762	19	20	190	2	1963	20.3	7.5	496	4.9	45.2	83	70
23	8 月 18 日	911	774	19	19	180	2	1658	18.6	5.6	-	5.1	45.1	100	65

表 1-3、前處理系統運轉參數及出料結果

批 次	運轉 日期	進料				條件		產物						木 聚 糖 溶 出 率 (%)	酵 素 水 解 效 率 (%)
		進料量 (kg)		固 液 比 (%)	硫 酸 (kg)	設 定 溫 度 (℃)	持 壓 時 間 (min)	水解液			固渣				
		稻稈	乾重					總量 (kg)	(單糖)濃度 (g/L)		乾重 (kg)	組成 (%)			
									木糖	葡萄糖		木聚糖	葡聚糖		
24	9月14日	969	824	24	14	185	2	1120	16.9	6.4	658	4.4	45.1	81	70
25	9月15日	1080	918	22	19	185	1	1774	15.7	5.9	643	3.0	45.6	89	66
26	9月16日	1064	904	24	18	185	2	1673	15.9	6.2	690	3.3	44.6	86	75
27	9月17日	1018	865	19	22	185	2	1782	17.7	6.4	605	3.8	45.1	86	75
28	9月18日	1000	850	20	22	185	2	1845	15.2	5.2	595	4.0	44.0	85	75
29	10月18日	1003	853	21	19	185	2	1252	18.6	6.4	630	4.0	46.8	84	74
30	10月19日	1006	855	23	18	185	2	1126	19.6	6.8	632	4.0	47.3	84	74
31	10月20日	1003	853	25	17	185	2	2198	17.7	7.0	637	4.0	47.1	84	74
32	10月21日	1004	853	24	17	185	2	2095	20.3	7.8	635	3.7	47.5	85	75
33	10月22日	1050	893	21	22	185	2	1012	23.4	9.5	656	3.6	48.0	86	74
34	11月16日	750	630	14	24	185	2	438	21.5	9.7	366	4.8	45.3	85	74
35	11月17日	770	647	14	28	185	2	458	19.3	7.7	367	5.4	44.5	84	73

表 3、酵素生產研究之後續工作研究目標、研究策略與預期成果

101 年	
工作目標	- 噸級酵素生產技術之酵素粗萃液(濃縮前)活性由 3-4FPU/mL 提升至 7-10 FPU/mL - 建立例行性酵素生產之運轉能力，並應用自產酵素液於噸級廠運轉測試之研究
研究方法	- 於稻稈固渣誘導碳源外，另行添加可提高酵素活性之輔助誘導碳源，並據此建立最適添加方法 - 建立即時調控之酵素生產發酵策略，可根據發酵狀況之變化，即時調整相關之發酵參數 - 測試酵素液連續生產之發酵操作經驗與能力，以提供給噸級廠進行運轉測試
預期成果	- 建立酵素粗萃液(濃縮前)活性 7-10 FPU/mL 之噸級酵素生產技術，再結合濃縮操作，有機會製備活性達 40-50FPU/mL 之酵素液，與國際商業量產之酵素達相近活性水準 - 以提供噸級廠運轉五天所需之酵素液為目標，並建立自產酵素液應用於大型水解槽操作之技術資訊
備註	101 年計畫中自產之纖維素水解酵素液將會與學術單位開發之 β -glucosidase 酵素混摻為 cocktail 酵素，再應用於噸級廠運轉，故實際應用之酵素量將視學術單位配合狀況調整
102 年	
工作目標	- 提高酵素液之 β-glucosidase 活性，並使酵素噸級酵素生產技術之酵素粗萃液(濃縮前)活性提升至 10 FPU/mL 以上 - 建立廠內酵素生產技術之成本推估方法及技術移轉能力
研究方法	- 透過(1).與學術單位開發之 β-glucosidase 酵素混摻為 cocktail 酵素(學研合作) (2).與 β-glucosidase 生產菌株共培養(3).利用分生技術提高酵素生產菌株分泌 β-glucosidase 之能力(學研合作)等三種平行研究策略提高酵素液之 β-glucosidase 活性 - 根據 100-101 年建立之各項酵素生產技術資訊，擬定廠內酵素生產之操作情境，分別推估設備投資成本、原料成本

	與操作成本，再結合量產技術之酒精生成量，歸納出纖維酒精廠規模放大後之酵素生產成本
預期成果	藉由提高酵素液之 β -glucosidase 活性，提高酵素水解效果，以降低酵素液使用量，進而降低纖維酒精量產之酵素成本，並使自產酵素生產成本降低至 10 元/公升(酒精)以下
備註	▪ 99 年起已進行初步的酵素生產成本分析研究，預估酵素粗萃液活性需達 10 FPU/mL 以上，方具有國際競爭力 ▪ 提高酵素液之 β-glucosidase 活性已於 99 年起開始規劃與執行先期研究

表 4、各類別用水量分配統計表

月份	鍋爐水	製程用水	吸收塔用水	清洗用水	冷卻水塔用水	其他
3 月	0.2044	0.0373	0.3378	0.0578	0.1467	0.2160
4 月	0.1094	0.0455	0.3457	0.0547	0.0832	0.3615
5 月	0.1221	0.0514	0.4316	0.0968	0.1032	0.1949
6 月	0.0791	0.0703	0.4835	0.0549	0.1187	0.1934
7 月	0.0898	0.0510	0.4469	0.0878	0.1490	0.1755
8 月	0.0965	0.0614	0.4605	0.0658	0.1009	0.2149
9 月	0.0893	0.0412	0.4983	0.0619	0.0653	0.2440
10 月	0.1468	0.0703	0.3242	0.1407	0.1254	0.1927
平均	0.1172	0.0536	0.4161	0.0775	0.1115	0.2241

表 5、用電與用油之統計表

月份	中控室總耗 電估算值 (kWh)	修正後總耗電 (kWh)	耗電電錶 (kWh)	油 (L)
3 月	22985	17332	17269	2242
4 月	26263	18312	13573	2297
5 月	8673	4690	13494	2604
6 月	8032	4682	15717	1903
7 月	37069	30432	23691	2252
8 月	10139	7716	7053	943
9 月	25310	17765	13882	2228
10 月	25018	19521	12736	1927

黑體字：資料不全

