

行政院原子能委員會 98 年度
政府科技計畫(期末)成果效益報告
(98.1.1 ~ 98.12.31)

計畫名稱：纖維轉化酒精前瞻性量產技術發展(3/3)

執行期間：

全 程：自 96 年 09 月 01 日至 98 年 12 月 31 日止

本年度：自 98 年 01 月 01 日至 98 年 12 月 31 日止

主辦單位：核能研究所

目 錄

壹、基本資料	1
貳、計畫目的、計畫架構與主要內容	1
一、計畫目的	1
二、計畫架構(含樹狀圖)	1
三、計畫主要內容	2
四、工作進度	2
(一)全程目標及執行成果	2
(二)本年度目標及執行達成情形	11
五、計畫工作項目實施步驟及方法	18
六、計畫執行成果	21
七、計畫管理情形	55
八、重點技術或措施與國際之比較，並與本計畫目前成果作比較	55
九、目前碰到困難以及因應對策	58
十、已有重大突破及影響	59
十一、98 年度作業計畫績效評核項目達成情形	59
參、計畫經費與人力執行情形	66
一、計畫經費執行情形：	66
(一)計畫結構與經費(金額單位：千元)	66
(二)經資門經費表	67
二、計畫人力運用情形：	69
(一)計畫人力(人年)	69
(二)主要人力投入情形(副研究員級以上)	70
肆、計畫已獲得之主要成就與量化成果(output)	73
伍、評估主要成就及成果之價值與貢獻度(outcome)	78
一、學術成就(期刊論文)(權重 20 %)	78
二、技術創新(科技整合創新)(權重 30 %)	81
三、經濟效益(產業經濟發展)(權重 20 %)	84
四、社會影響(民生社會發展、環境安全永續)(權重 20 %)	85

五、其它效益(科技政策管理及其它)(權重 10 %)	86
陸、與相關計畫之配合	86
柒、後續工作構想之重點	87
捌、檢討與展望	87
附錄一、主要成就與量化成果清單	錯誤! 尚未定義書籤。
附錄二、98 年度期中審查意見回覆辦理情形	錯誤! 尚未定義書籤。
附錄三、98 年度期末審查意見回覆	錯誤! 尚未定義書籤。

計畫成果效益摘要(Abstract)

壹、基本資料

計畫名稱：纖維轉化酒精前瞻性量產技術發展

主 持 人：王○寶

審議編號：98-2001-02-02-07

計畫期間(全程)：96 年 09 月 01 日至 98 年 12 月 31 日

年度經費：189,882 千元 全程經費規劃：416,106 千元

執行單位：核能研究所

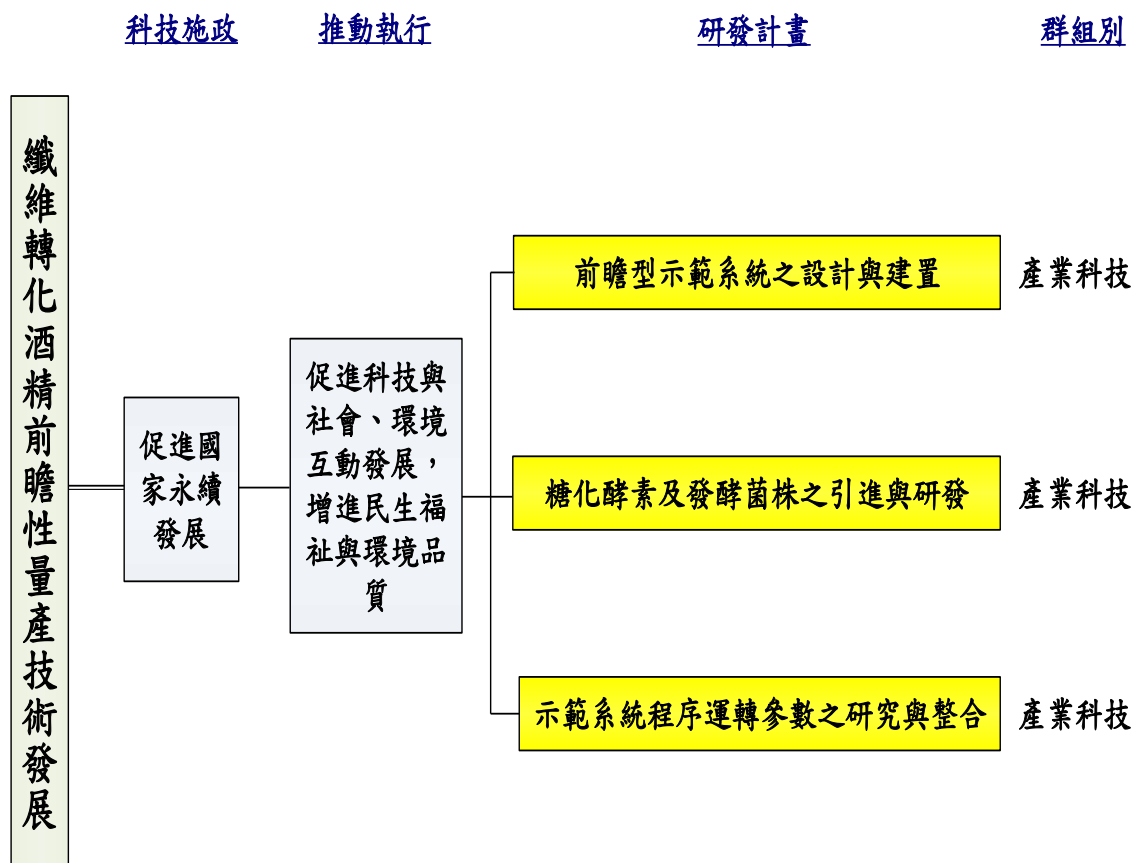
貳、計畫目的、計畫架構與主要內容

一、計畫目的

核能研究所自 2005 年開始投入纖維酒精技術研發，建立纖維酒精相關實驗設施，於 2006 年建立每批次 10 公斤級小型纖維酒精程序單元測試系統，由瓶杯實驗放大至小型單元設備測試之規模。為加速國內纖維酒精產業化之腳步，2007-2009 年以 3 年時間執行本計畫，目標為建置日進料 1 噸之纖維酒精測試廠，進行纖維酒精量產研究。測試廠完成後，國內將擁有一驗證規模之纖維酒精技術測試平台，供國內外學、研單位，研發有關纖維酒精及生質精煉領域之各項新穎技術。目前核研所係以稻稈為原料進行纖維酒精技術之研發，未來也可配合政府政策發展其他農業廢棄物及能源作物之生產程序。

二、計畫架構(含樹狀圖)

為建立日進料 1 噸之纖維酒精測試廠及纖維酒精生產程序，本計畫以 3 個分項計畫執行。第一分項計畫負責建置噸級測試廠硬體設施；第二分項計畫負責研究生產程序所需之生物資源，例如纖維素水解酵素、發酵菌株等；第三分項計畫負責建置纖維酒精生產程序。另外本計畫也邀請國內學校及研究單位，共同合作開發生產程序所需之生物資源及生化工程技術，藉此合作模式加速推動國內纖維酒精技術之發展。



三、計畫主要內容

本計畫為三年期計畫，今年為最後一年，總目標為完成測試廠之建置。今年三個分項計畫之執行內容包括：

- (一).建置日進料 1 噸之纖維酒精測試廠，繼續完成稻稈預處理、前處理、酵素水解、發酵槽、廢水處理、管線、儀控、通風、消防等設施之建置。
- (二).建立測試廠所需之纖維素水解酵素生產技術，使用 100 L 發酵槽，所生產水解酵素活性達 1.6 FPU/mg protein。
- (三).整合測試廠之程序運轉參數，研究前處理、酵素水解、發酵等程序參數，以及質能平衡與生產成本評估模式。

四、工作進度

(一)全程目標及執行成果

1. 全程計畫目標：

- (1). 建置日進料 1 噸規模之纖維轉化酒精測試系統，以每噸稻稈生產 200 公升酒精為設計基準。
- (2). 整合國內具有微生物基因改良專長之學研機構，組成纖維酒精研究團隊，開發酒精轉化程序所需之關鍵發酵菌株，建立我國纖維酒精產製技術之競爭力。
- (3). 完成纖維轉化酒精程序各單元之整合，並建立系統運轉最佳化條件。

2. 分年執行成果

96 年 (960901—971031)

年度預期目標	執行成果	差異分析
一、前瞻型示範測試廠之設計與建置		
1.完成程序概念設計	1.依程序研發成果及未來程序測試多樣化需求，整合程序並將其工程化，擬定流程方塊圖、流程圖(PFD)、質量平衡、設計安全準則及工程設計參考規範。	無差異。
2.完成整廠配置規劃與工程基本設計	2.以本所舊有廠房再利用為原則，評估 019、029、039 等館舍設備配置之可行性，且依其對本所環境之影響評估其優劣性。選定 029 館區後，依其周圍可用環境，完成設備配置；各程序單元以概念設計為藍本，檢討控制邏輯及相關儀表需求，發展為程序及儀控流程圖(PID)；各單元主要設備依程序需求提出相關計算及設計。	無差異
3.完成測試廠工程細部設計	3.依基本設計資料完成廠房補強、裝修及增建設計；依程序	無差異

4.完成酒精蒸餾單元建置 5.完成廠房整建	需求完成機械設備設計、桶槽設計、管線設計及相關儀控設計；另配合整廠需求完成電力、消防、通風空調、通信、照明等共用設施設計。各項設計依發包需求提出工程數量表及預算編列。 4.完成設計規劃並提出製作規範發包施工；審查承製商相關設計資料，監督稽查設備製造及現場各項施工，完成設備基礎、設備鋼構及桶槽、塔槽等製作安裝；最後依設計規範需求完成功能性試車。蒸餾脫水單元包含蒸餾塔、分子篩吸附設備及滲透蒸發薄膜脫水設備；蒸餾塔底廢液則經由四效蒸發器濃縮降低廢水處理量，同時回收水提供程序再利用。蒸餾塔設計進料範圍每小時 400-1000L/h，酒精濃度 1.5~5.0% (wt)，質能均衡計算取設計操作量 426L/h，操作濃度為 1.6% (wt)。精餾段塔頂出口濃度要求酒精含量 90-94%(wt)，塔底排放濃度酒精含量須低於 0.05%以下，預期蒸餾產率超過 98%。 5.依現有建築法規進行舊有廠房相關補強及裝修；完成 029 館裝修、配電，及 022 館廠房斜撐補強。	無差異 無差異
二、糖化酵素及發酵菌株之引進與研發		

1.葡萄糖發酵在 24 小時以下、效率可達 90%，木糖發酵須低於 48 小時、效率可達 80% 2.纖維素水解酵素指標：3 天酵素糖化效率達 80%以上	1. 完成國外葡萄糖及木糖共發酵菌株引進之可行性評估，計有六株基改菌株符合評估之技術指標。其中 <i>S. cerevisiae</i> 424A、<i>E. Coli</i> KO11/LY168 及 <i>Zymomonas mobilis</i> ZM4 等菌株之木糖轉化酒精效率達 90-95%，<i>S. cerevisiae</i> RWB217/RWB218 的木糖轉化酒精效率介於 80-85%。由於目前已開放商業授權之共發酵菌均需支付大額授權金，方能取得菌株。因此核研所規劃將研發本土共發酵菌列為重要研發項目，以因應未來共發酵程序發展之需求。此外，國內對纖維酒精廠具有投資意願之廠商可洽國外取得菌株商業授權，核研所測試廠亦協助進行測試驗證之研究。 2. 稻稈經前處理程序處理後，以 Novozyme 公司 Celluclast 1.5L+Novozyme188、Genencor 公司 Accellerase 1000 及國內廠商引進之酵素等三種水解酵素進行功能測試，發現均能符合三天內糖化效率約介於 81-85%之間，均達 80%之篩選目標。	無差異 無差異
三、示範測試廠系統程序運轉參數之研究與整合 1.完成前處理系統操	1.完成雙軸擠壓前處理程序之	無差異

作研究，提撰初步操作程序書及最適條件報告	測試項目規劃，依照實驗及實際測試操作時的經驗與心得，訂定本套設備應用在以稻稈為原料採稀酸水解之前處理程序時之基本操作流程，撰寫「纖維酒精研發雙軸擠壓前處理系統操作程序書」，完整說明系統之基本單元設備之功能、操作程序、維修方法及操作時之應注意的事項等。完成一系列之操作運轉參數測試，擠壓混酸程序之主要操作參數有進料速率及加酸速率、稀酸濃度、螺桿轉速及平均溫度；接續之熱水溶洗程序之主要操作參數為每批進料量、操作溫度、壓力及時間，建立前處理之最佳操作參數，撰寫「纖維轉化酒精研發系統公斤級前處理最適操作條件研究」。	
2.本土生質原料組成成份分析及標準程序書	2.建立生質原料組成分析及標準程序，完成本土稻稈(桃園、台南)、芒草、蔗渣及狼尾草之纖維素、半纖維素、木質素等主要成份之分析。此外建立生質原料快速分析之近紅外光譜(NIR)系統，完成生質原料快速分析系統標準作業程序。	無差異

97 年

年度預期目標	執行成果	差異分析
一、前瞻型示範測試廠之設計與建置	1.完成 022 館廠房補強及 029 館裝修工程及驗收結報。	無差異

- 完成噸級廠房細部工程、鍋爐公用設施、酒精純化設備安裝測試、酵素水解槽安裝等工作。	2.完成鍋爐配管工程，鍋爐系統於10月24日驗收。 3.發酵區板框過濾設備於10月8日開標完成，已完成機台製作及第一期驗收，98年3月可完成組裝測試。 4.發酵槽製作已完成第一階段設計圖審查及材料鋼板查驗；桶槽施工製作已完成，9個壓力容器已獲得合格認可，5個有凹紋夾套之壓力容器桶槽尚待鍋爐協會查驗，98年元月20日可完成。發酵單元所需操作平台鋼構配合廠房施工，已完成安裝，98年3月可完成整體桶槽組裝驗收。 5.發酵廠房及周邊管架鋼構採購案於10月9日決標，積極施工。於97年12月29日完成工程驗收。 6.測試廠管線桶槽採購已於97年11月18日決標，11月27日完成開工協調會議，積極展開工作。97年12月29日完成第一期材料點驗，98年5月可完成配管及桶槽安裝。 7.完成電氣低壓配電盤購案採購資料整理核對，於11月21日完成申請奉准程序，並於12月18日完成決標簽約手續，98年2月中旬可完成施工。 8.配合022館廠房補強及整修進度，12月中旬完成冷卻水、冰水系統相關配管工程。另純水系統鋼管配置亦於12月底完成安	
---	---	--

	裝及結報。	
二、糖化酵素及發酵菌株之引進與研發- 開發高活性纖維素水解酵素，提供示範測試廠所需之酵素	1.測試自行以腐生真菌生產之水解酵素，發現在未額外添加酵素 β-glucosidase 時，對稻稈渣料之糖化效率為 75%，若另添加酵素 β-glucosidase 酵素，則糖化效率可提升至 85 %，較國外 酵 素 組 合 Celluclast 1.5L+Novozyme188 之 80%的糖化效率為佳，此顯示自行生產之酵素確實具有應用潛力。 2.完成 100L 酵素生產發酵槽之設備建置，將與 10kg 酵素粗萃液超過濾濃縮設備搭配用來生產 10kg 纖維酒精系統運轉所需酵素。 3.酵素生產測試研究發現新購 <i>Trichoderma reesei</i> Rut C30 所生產的酵素活性大約為先前 QM9414 的兩倍，以標準纖維素為誘導碳源，於 1L 瓶杯測試之酵素粗萃液活性值最高可達 1.1FPU/mL，5L 生產之酵素粗萃液的最高活性值可達 2.7FPU/mL。至於 100L 發酵槽測試結果顯示，當發酵時間為 72 小時，酵素粗萃液之活性可達最高值 2.5FPU/mL，與 5L 測試規模所得結果相近，此顯示酵素生產規模已可放大至 100L，符合本年度預期目標。 4.酵素粗萃液超過濾濃縮實驗發現，當超過濾膜孔徑尺寸為 50 kD，酵素粗萃液體積約可濃縮的倍數介於 9~12 倍，蛋白質濃	無差異

	度及酵素總活性可提高的濃縮倍數約介於 5-10 倍之間，其濃縮效果及最適操作參數視所生產之酵素粗萃液的蛋白質濃度及酸鹼值等因素而定，預估超過濾法可提高的酵素液總活性值約介於 15~40FPU/mL 之間。此外，本研究亦測試冷凍乾燥法濃縮酵素粗萃液之效果，酵素液總活性值經濃縮可提高至 109FPU/mL，體積濃縮倍數約 55 倍，酵素活性濃縮倍數約 43 倍，但所需操作時間達 56 小時。目前酵素活性值已可符合年度目標，不過由於未來將以廠內酵素生產策略提供酵素，故以超過濾法濃縮至 20-40 FPU/mL 即可符合需求。 5.高活性酵素表現系統之研究方面，目前已將篩選之瘤胃真菌酵素基因轉殖至大腸桿菌內，且初步測試發現確實具有酵素表現能力，但酵素粗萃液之總活性值約 0.05 FPU/mL，未來將進一步提高其表現活性。	
三、示範測試廠系統程序運轉參數之研究與整合- 以每批次 10 公斤進料之實驗系統進行系統放大研究，建立示範	1.『小型連續式螺旋輸送生質物前處理系統』設備組裝及壓力測試完成，並於 12 月 25 日完成驗收。 2.以壓克力製作之小型稻稈輸送組合設備，已完成驗收，後續將應用於前處理系統，以觀察稻稈在模擬反應器之輸送情形。	無差異

測試廠運轉測試所需之各項操作參數。	3.『10 公斤擠壓溶洗前理程序』完成擠壓溶洗固體殘渣之組成分析及酵素水解瓶杯實驗(30FPU/g cellulose ; 72 小時)。結果顯示: 擠壓酸量 3%、溶洗溫度 130℃、時間 20min 之酵素水解效率為 59%。擠壓酸量 3%、溶洗溫度 160℃、時間 30min 之酵素水解效率為 69%。擠壓酸量 2%、溶洗溫度 160℃、時間 10min 及 30min 之酵素水解效率分別為 61% 及 65%。 4.完成 100L 臥式水解槽在固液比 15%、20%及 25%的測試，以酵素劑量 30 FPU/g cellulose 實驗結果，沒有顯著的差異，不因固液比的增加而降低葡萄糖之轉化率。 5.規劃將酒精製程廢水分兩個方向進行處理，其一為廢水薄膜濃縮，將濃縮液以化學方法進行降解、縮合、脫水等作用，及添加無機肥製成多元性、多功能之複合肥料，同時可回收水再利用；另以生物法處理之污泥，可經由改質或添加鬆散材料製成有機培養土，達到資源化之最佳效益。 6.建立各單元程序運轉之質量平衡計算程式，完成實驗系統之初步質量平衡計算，其次根據噸級測試設施的製程及工程設計基準，進行整體設施質量流程的理論計算，以 1 噸之乾稻稈原料經轉化後，可產出濃度	
--------------------------	---	--

	高於 99.5% 的酒精約 116.2 kg ~ 160.8 kg，視其使用分子篩吸附或滲透蒸發脫水程序而異。	
--	---	--

(二)本年度目標及執行達成情形

年度預期目標	執行成果	差異分析
一、前瞻型示範測試廠之設計與建置 - 完成稻稈預處理、前處理、酵素水解、發酵槽、廢水處理、管線、儀控、消防等系統設施之建置	1. 預處理系統 98 年 4 月 14 日完成簽約，6 月 19 日完成文件及圖件設計審查驗收。11 月 23 日開始陸續進廠施工，98 年 12 月底完成安裝及試車。本系統包含環抱式叉動車、輸送帶、稻稈解捆裝機、稻稈粉碎機、真空傳送裝置、粉碎稻稈暫存桶等，可於壹個工作班時間內，完成壹公噸稻稈之粉碎(長度小於 2 公分)等預處理程序。 2. 前處理系統 98 年 6 月 11 日完成簽約，履約期 300 日曆天。11 月 19 日完成細部設計及部份單元設備驗收，11 月 25 日開始陸續進廠施工，98 年 12 月底完成安裝及空白試車。配合程序測試需求規劃於 99 年 3 月底前完成實料試車。本系統包含預熱反應器、高溫酸解反應器、閃化槽、固液分離等設備，可	前處理系統為噸級測試廠的核心設備之一，由於此系統屬研究開發性質，整體設計、改善與功能測試仍需重覆進行，時程較不易掌控。另外本案功能測試結果將涉及整體功能及設計之調整，故較費時，於是規劃系統完成後有三個月的測試運轉，因此將保留 20% 之設備款 8,778 千元至 99 年度支付。

	於壹個工作班時間內將粉碎後稻稈進行酸解前處理，獲得五碳糖水解液，以提供五碳發酵生產酒精；同時配合蒸汽爆裂程序破壞稻稈結構，以利後續酵素水解程序之進行。 3. 酵素水解系統 98 年 3 月完成水解槽槽體製作；98 年 8 月完成管線配置；98 年 9 月完成儀表安裝；98 年 10 月完成與中控系統連線。系統為臥式高攪拌效率桶槽，使用固液比可達 20%。水解槽之使用容積為 6300 公升(設計容積為 9000 公升)。可將酸解後之纖維素水解液化成六碳糖液。 4. 種菌、發酵槽系統 98 年 3 月完成槽體製作，98 年 5 月種菌槽完成儀控建置，並在公用設施配合下完成 72 小時無菌測試。98 年 8 月完成管線配置，98 年 9 月完成儀表安裝，98 年 10 月完成與中控系統連線。相關固液分離設備於 98 年 8 月完成建置與測試。系統設計容量六碳菌種槽達 1000 公升，五碳菌種槽達 1500 公升；五碳發酵槽設計容量為 9000 公升，六碳發酵槽為 7000 公升。 5. 廢水處理 廢水處理設施於 98 年 10 月 30 日完成第一階段硬體設施及清水試車，並於 98 年 12	
--	---	--

	月 25 日完成兩個月實際廢水運轉測試。程序採用生物處理法，包含調勻池、沉澱池、厭氧處裡槽、曝氣槽及污泥脫水裝置等，採 PLC 自動控制，最大處理量為每日 40 立方米之有機廢水。 6. 管線 97 年 11 月 19 日完成管線及塔槽製作工程簽約，98 年 3 月 18 日完成塔槽及泵浦安裝，並於 3 月 25 日完成第一期驗收。98 年 5 月底完成全廠管線配管及管線試壓、PT 與 RT 檢驗，於 98 年 6 月 18 日完成第二期驗收。98 年 9 月 17 日完成所有管線及塔槽保溫保冷工程施工並檢附設計文件及圖說，並於 9 月 18 日完成第三期所有工程驗收。系統包含公用之桶槽及管線，可供應全廠公用設施流體之貯存及輸送。 7. 儀控 98 年 2 月 25 日完成簽約；98 年 3 月 25 日完成規格及設計圖件審核；98 年 9 月中旬完成儀表安裝配線及中央控制室軟硬體安裝；98 年 10 月完成 95% 進度，因配合單元系統之控制連線，98 年 12 月中旬全部完成。系統包含程序儀表安裝與連線、中央控制軟硬體、監視系統等。採用 DCS 控制軟體架構，儀表均具	
--	--	--

	HART 功能，可追蹤紀錄程序運轉參數。各單元系統均與中控連線，可於中控室操作全廠設備。 8. 通風/消防 通風設備 98 年 5 月 15 日完成簽約，98 年 10 月完成安裝與測試，並於 98 年 10 月 30 日完成驗收。系統包含進排風機及管線、緊急排風裝置等，提供合於勞工法規之工作環境。 消防設備 98 年 6 月 9 日第三次開標成功，98 年 10 月下旬完成設備安裝及測試。系統包含消防水池、消防泵、緊急發電機、消防管線及消防栓、緊急廣播系統等，可提供 7 公斤壓力之消防水。	
二、糖化酵素及發酵菌株之引進與研發- 發酵槽體積達 100 公升，酵素活性達 1.6 FPU/mg protein	1. 完成 5 L 規模酵素試產研究，目前利用 160℃ 酸處理稻稈為誘導物，發現培養溫度 30℃ 及酸鹼控制在 pH5.5 條件下，可得酵素活性達 2.1 FPU/ml (誘導碳源含量 1%)，為瓶杯生產酵素活性的 1.6 倍。 2. 建立酵素生產菌株之突變操作技術，已完成纖維素水解酵素生產菌株之 NTG 突變技術，共獲得五株突變菌種，於平板培養基上 clear zone 及 colony size 所得比率(Halo ratio)皆高於原始菌株 Rut C30 之 3.71。目前利	無差異

	用高劑量 γ 射線 (0.5-3 kGy/h) 照射突變，並開始進行大量突變株之篩選。 3. 利用突變菌株生產纖維酵素，目前可達到酵素活性 1.78 FPU/mg protein，並已開始進行 100L 發酵槽程序測試。目前利用 Avicel 標準纖維素誘導，亦可達 2.5 FPU/ml 左右之酵素活性，後續將替換 Avicel，改利用稀酸處理稻渣為誘導物進行酵素生產。 4. 自瘤胃中篩選一新穎纖維水解酵素基因，並轉型至大腸桿菌測試其水解特性。實驗結果顯示該酵素基因雖屬 Exo 類型之水解酵素，除對於 beta-glucan、xylan 及 CMC 等聚糖具有分解活性，亦具有分解纖維雙糖之能力，其轉型株於 72 小時內可分解 50% 的纖維雙糖；又該酵素之最適反應溫度及酸鹼值分別為 30-35°C 及 pH5.0，與一般酵母菌的最適發酵條件相符，故後續本計畫擬將此酵素基因轉型至酵母菌體內，使酵母菌於發酵過程中能同時具有分解纖維雙糖之能力，此技術發展雖不能取代真菌生產之酵素，確有機會降低真菌酵素添加之使用量。	
--	---	--

三、示範測試廠系統程序運轉參數之研究與整合- 完成前處理、酵素水解、發酵等程序參數，以及質能平衡與成本推估	1.前處理程序：1 kg/batch 酸催化蒸汽爆裂法處理稻稈原料之效能測試實驗分為三個階段：分別為(1)酸添加量測試，反應溫度 180 °C，酸添加量為 0.5 ~ 2.5%；(2)反應溫度(160 ~ 200 °C)及停留時間(1 ~ 20 分鐘)測試；(3)固液比(20% ~ 30%)測試。測試結果顯示，以 1%酸量、200 °C、反應時間 1 分鐘之總糖產率 81%，木糖轉化率可達 72.4%，水解液中之發酵抑制物濃度低於 0.7 g/L。 2 酵素水解程序：進行高固液比酵素水解測試，於 100L 水解槽進行酵素水解實驗，初始固液比為 10%條件下批次饋料，最終固液比為 30%。實驗結果顯示，葡萄糖濃度達 131g/L，水解效率可達 74%左右。測試評估連續式進料之酵素水解效應，在目前建置的設備狀況下，以多批次饋料模式（multi-batch）進行模擬測試，提供噸級廠酵素水解連續運轉之程序參數；多批次饋料實驗每 2 小時進行一次饋料，以 264 g（6-batch）與 317 g（5-batch）各進行一次，直至固液比達 30%，酵素劑量 15 FPU，反應溫度 50°C，實驗進行 72 小時；初步實驗結果顯示，酵素水解之葡萄糖轉化率於 72 小時皆可達相同結果（71%轉換率），然而酵素水解若以 24 小時為反應	無差異
---	---	------------

	終止時間，研究結果發現 6-batch（61%轉化率）之酵素水解效率優於 5-batch（56%轉化率）。 3.發酵程序：進行 100 L 木糖發酵反應研究，將木糖發酵初始之酵母菌的接種菌量維持在 1 g/L ~ 2 g/L，以 0.05vvm 通氣量於 30℃ 下對酵母菌進行木糖發酵培養，實驗結果顯示，其木糖轉化率達 86%。對六碳葡萄糖發酵系統，則分別以不同酵素水解條件反應下之水解液進行酒精發酵轉化測試。在溫度 30℃、攪拌速度 100 rpm、0.2 kg/cm² 槽壓控制及 10%培養接菌量之條件下進行發酵反應 24 小時，測試結果顯示，酒精轉化率皆可達 95%以上；此外，酵素水解液在未經固液分離之情況下，直接進行發酵反應，其酒精轉化率亦可達 95%以上。 4.質能平衡與成本推估：依據噸級測試廠之製程及其工程設計基準，建立稻稈纖維轉化酒精前處理、酵素水解、發酵、蒸餾純化及脫水等各單元程序操作之能量平衡理論計算程式，並探討分析稻稈纖維轉化酒精製程各單元程序操作對蒸汽熱能的需求情形；初步計算結果顯示前處理之酸解反應器需要的蒸汽熱能為最多，在前處理單元之固液比為 15%的操作條	
--	---	--

	件時，每處理 1 公噸乾稻稈原料需要投入約 923 Mcal 的蒸汽，其次為蒸餾純化單元需要約 754 Mcal 的蒸汽。依據噸級測試廠之流程圖及相關設備規模，完成各單元主要設備成本資料之整合，其中前處理部份佔設備投資金額之 21%，醱液調理及發酵相關設施佔 26%，酒精脫水純化設備佔 12%，廢水處理佔 5%，其餘 36% 為公用設施及管線。細部桶槽之成本將用於未來商轉廠建造成本之推估。	
--	---	--

五、計畫工作項目實施步驟及方法

工作項目	實施步驟及方法
1. 前瞻型示範測試廠之設計與建置- 完成預處理、前處理、酵素水解、發酵槽、廢水處理、管線、儀控、消防等系統設施之建置	(一)、依據工程顧問公司之細部設計，進行設備建置 1. 依現實場地狀況檢討設備設計資料及相關規格與規範。 2. 訪商並建立採購資料。 3. 招商執行設備建置。 4. 配合監造及品保作業，稽查管控設備施作品質與進度；並協調相關工作介面，以利工作推行。 5. 配合各項機電、機械、儀控專業進行廠驗。 6. 管制現場施工安全與正確施工方法。 7. 進行非破壞檢測及功能驗收。 8. 進行設備試運轉並改善相關缺失。 (二)、自行設計前處理設備之建置 1. 依小型設備製作及運轉經驗規劃系統流程

	及相關控制元件。 - 訪商並依國內廠商技術能力製定設備規格及製作規範。 - 招商執行設備建置。 - 稽查管控與測試改善方法與委託工程公司設計設備相同。
2.糖化酵素及發酵菌株之引進與研發- 發酵槽體積達 100 公升，酵素活性達 1.6 FPU/mg protein	- 進行酵素生產之誘導碳源測試研究，以稻稈、狼尾草及其前處理固渣為誘導物測試對象。 - 以 5L 發酵槽及標準纖維素 Avicel 誘導建立發酵參數，取得發酵溫度、轉速、通氣量及酸鹼控制參數。 - 根據 5 L 發酵槽酵素試產研究參數，利用 160℃ 酸處理稻草為誘導物，進行酵素生產試驗。發酵參數設定為培養溫度 30℃、轉速 300rpm、通氣量 1vvm 及 pH5.5。 - 利用 Avicel 標準纖維素誘導，進行 100 L 規模酵素試產研究，發酵參數設定同上。 - 以 <i>T. reesei</i> Rut C30 為原始菌種，建立纖維素菌株 NTG 突變技術。並分析突變菌種於平板培養基上之 clear zone 及 colony size 比率(Halo ratio)。 - 以高劑量 γ 射線(0.5-3 kGy/h)照射突變，並進行大量突變株之篩選。 - 利用 NTG 及 γ 射線突變菌株生產纖維素，並比較突變前後之酵素活性。
3.示範測試場系統程序運轉參數之研究與整合- 完成前處理、酵素水解、發酵等程序參數，以及質能平衡與成本推估	探討稻稈經蒸汽爆裂處理後之特性與前處理反應器之設計，延續 97 年度前處理程序示範測試系統設計與功能提升之研究，以取得測試廠運轉所需之最適操作條件。首先利用 20L 蒸汽爆裂反應系統設備，進行稻稈經酸催化蒸汽爆裂前處理之現象與最適操作條件研發，如反應器預熱、原物料型態、混酸及出料現象等，同時以多功能

	小型連續式螺旋輸送生質物前處理設備進行操作條件之測試，獲得進料速率、酸添加量、混酸及酸解反應等條件，再依據研究結果，建立噸級測試廠前處理系統之運轉測試方法。 2. 配合前處理產出之固體渣料特性，測試臥式反應槽批次進料、攪拌器轉速及酸鹼值調控等之最佳操作參數，亦針對纖維素水解反應程序中酵素用量進行測試，希望取得在最佳纖維素水解反應下之最低酵素用量，其次測試分批饋料(Fed-batch)酵素水解之操作方法，期能在質傳因子不大幅影響酵素水解糖化效率的前提下，將酵素水解之初始固液比提高至 25%以上，藉以提高後續進入蒸餾單元之酒精濃度，進而降低蒸餾所需之能耗。 3. 使用前處理系統產生之實際木糖水解液測試木糖種菌槽及發酵槽之攪拌葉片旋轉速率對於木糖發酵轉化酒精效率的影響程度，再測試發酵槽之曝氣量控制，以及發酵起始時種菌加入之濃度改變對於木糖發酵轉化酒精效率的影響程度，依照 10 公斤級單元測試系統所得之參數，建立噸級測試廠之木糖發酵系統運轉參數。此外進行葡萄糖發酵槽之參數研究，包含攪拌器轉速、溫度、酸鹼度、槽壓對發酵之影響，其研究工作以提高葡萄糖發酵生產酒精之穩定性為目標，研究噸級測試廠之葡萄糖種菌培養方法，以達到所需之種菌量，依據所得參數資料及 10 公斤級葡萄糖發酵槽之運轉測試資料，建立噸級測試廠葡萄糖發酵系統之運轉測試方法。 4. 依據小型研發設施各程序運作之質量流量與能耗相關資料，參照噸級測試廠細部工程設計基準，建立噸級測試廠程序之質能
--	--

	平衡試算表，快速的估算不同運轉條件下其製程所需之水、化學物料、熱能需求等資料，藉以評估纖維轉化酒精程序各單元設備之質量能量輸入、輸出流量及其主要成份之組成變化。此外成本推估則參考 NREL 計算酒精最低售價 (minimal selling price) 之模型，作為後續評估國內纖維酒精生產成本之基礎。此模型以建造成本、固定成本、變動成本及相關參數推估酒精之最低售價。
--	--

六、計畫執行成果

(一)學術成就

今年完成期刊論文 5 篇(登出 3 篇、接受 1 篇、申請 1 篇)，以及會議論文 6 篇。摘錄 5 篇論文說明如下：

1、期刊/會議論文

- a. 期刊論文 - Dynamic modeling and analyses of simultaneous saccharification and fermentation process to produce bio-ethanol from rice straw, Bioprocess Biosyst Eng (online publication: DOI 10.1007/s00449-009- 0313-1, 2009

此篇論文針對經前處理之稻稈、在酵素水解反應的反應動力進行探討並建模。此模型在搭配高效能、高酒精耐受性的酵母菌發酵模式後，即可進行多種生質酒精程序操作的分析。結果顯示：當產物酒精濃度越高，則 SSF 製程較 SHF 製程對操作時間的縮短將越多。而利用曝氣以提升酒精操作也被證實具有實效。這些重要發現，可做為日後生質酒精廠運轉與改進之參考。本文已被 Bioprocess and Biosystems Engineering 接受並刊登於該期刊的網頁中。

- b. 期刊論文 - Separation of acetic acid from xylose by nanofiltration, Separation Purification Technology, 67, 95-102, 2009

此篇論文主要利用奈米過濾純化木糖。目前稀酸水解為木質纖維轉化酒精程序中常用的前處理方法，水解後產生醣類(主要為木糖)及一些

副產品，此水解液再經發酵則可將醣類轉化為酒精。在這些副產品當中，醋酸被認為是抑制木糖發酵的重要因子，因此發酵前移除醋酸可增加發酵的效能。本研究以模擬之木糖-醋酸溶液進行奈米過濾研究，結果顯示當 pH 低於奈米薄膜等電點時，醋酸可透過薄膜，醋酸及木糖之分離係數可達 5 以上，研究結果顯示奈米過濾可應用於木糖濃縮及純化之潛力。

c. 會議論文- 稻稈纖維酒精之生化轉換技術研發

本報告為受第十四屆中華生化工程研討會之邀，進行專題報告之會議論文。主要介紹目前核研所纖維酒精技術發展之核心技術，包括：酸催化前處理技術應用於噸級系統之設計；高固液比酵素水解技術，以提升可發酵糖之濃度；同步糖化與發酵程序(SSF)，以縮短水解/發酵時間；木糖發酵技術，轉化率可達 86%；木糖發酵串接 SSF 程序，以提升初始酒精濃度等。此報告除讓國內從事生質燃料之研發與業者，了解核研所纖維酒精技術發展及建廠進度外，也提出核研所在生物資源之需求，例如水解酵素與發酵菌株，期望藉此促進產、學、研之合作，加速國內纖維酒精技術發展。

d. 期刊論文 - Characterization of Enzymatic Saccharification for Acid-Pretreated Lignocellulosic Materials with Different Lignin Composition, Enzyme and Microbial Technology, 45 (2009), 80-87

此篇論文主要探討稻稈、蔗渣及芒草等三種原料經不同稀硫酸濃度之稀酸前處理後，其木質素組成如何影響其酵素水解的轉化效率。其中，經由定量分析發現前處理稻稈固渣組成中的木質素重量比約 18.8–21.8%，分別較蔗渣及芒草之木質素含量 23.1–26.5% 及 21.5–24.1% 為低，當前處理稀硫酸濃度介於 1-4% 時，酵素水解的轉化效率會與固渣的木質素含量呈現負相關性，亦即隨固渣木質素含量的增加而降低，但若前處理之稀硫酸濃度為 4% 時，各固渣之初始水解速率均明顯降低，推測應為水解酵素組成中 β -glucosidase 活性受到抑制所造成的現象。另外，經 2% 稀酸前處理後，稻稈與芒草表面的化學性質會趨向親水性，但蔗渣則趨向疏水性，其中由於芒草的木質素含量較高，其趨向親水性的特性會對水解酵素的反應產生明顯的抑制性，因而降低其酵素水解的效率。

- e. 期刊論文- Microscopic structure features changes of rice straw treated by boiled acid solution, Industrial Crops and Products, 29, 308~315, 2009

此篇論文主要說明利用比表面積分析儀、掃描式電子顯微鏡、能量散射光譜儀、X-ray 粉末繞射儀及熱裂解氣相層析質譜儀等觀察稻稈酸處理前後，其表面、形態、結晶性和加熱分解等結構變化情形。研究結果顯示，透過物性分析方法可明顯觀察到經酸處理後之稻稈，由於矽和有機極性成份之部份溶解導致其表面積和空體積顯著增加、其植物細胞壁表面及維管束上則有剝落、孔洞及表皮破裂之現象以及經破壞之纖維素結晶性與熱分解性質變化情形。

2、技術成就

本年度共獲得 1 件專利，另提出 8 件專利申請。重要技術成就精要說明如下：

- a. 建置日進料 1 噸之纖維酒精測試廠之技術。

主要執行生質物預處理、前處理、酵素水解、發酵、廢水處理、中央監控、管線、消防、通風等系統設備之建置，整體建置工程已近完成。99 年進入測試運轉階段，主要工作重點為測試單元程序設備適用性及運轉特性，並驗證製程放大過程差異，進行改善方案。後續其運轉數據則作為國內設計量產廠，評估生產成本、能源效益、減碳效益等之基礎。此平台亦將應用於驗證國內學研單位開發之相關技術或國外引進新穎技術之適用性。

- b. 建立以稀酸處理纖維原料生產纖維水解酵素之技術。

利用低成本纖維原料為誘導碳源生產製程所需酵素，目前利用稀酸處理稻渣為誘導物質，可達到生產 2.1FPU/mL 濃度之纖維酵素，已較現行文獻發表以稻稈纖維原料生產纖維酵素活性高出約 1 倍以上(文獻中酵素活性 0.18-1.07FPU/mL)。另外在對前處理稻稈之糖化效率，廠內生產之酵素可達 85%糖化效率，比國外商業酵素糖化效率提升 4%，顯示在廠內生產酵素之技術與品質均有不錯之成果，目前此項亦已申請國內專利。發展與建立廠內生產技術，可同時降低酵素生產及運輸成本，有助於纖維酒精之發展與增加國際競爭力。

- c. 建立木糖發酵串接 SSF 程序，可大幅提升初始酒精濃度，降低後續酒

精蒸餾之能耗。

本研究以木糖發酵後之稀酒精溶液取代 SSF 程序之操作用水，並使 SSF 程序在此操作下仍能維持 75% 的酒精生成率，且最終酒精濃度可提高至 40g/L(%) 以上，具有大幅降低後續蒸餾能耗的潛力，並可節省 50% 的程序用水量此木糖發酵串接 SSF 之程序於國際間尚未有相關的研究，可視為纖維酒精技術中創新之新穎生化製程。

- d. 發展高固液比酵素水解技術，可提高纖維酒精製程最終產出之酒精濃度達 5%。

本計畫於 97 年開始發展高固液比酵素水解技術，其固液比可提升至 25% 左右。今年持續應用分批饋料方法(fed-batch)於高固液比酵素水解操作，目前操作固液比已可提升至 30%，纖維酵素添加劑量降低 50%。在此操作方法下酵素水解之葡萄糖濃度與高劑量酵素條件下之葡萄糖濃度無明顯差異，其發酵酒精後酒精濃度亦可達 6% 以上，因此在降低操作成本及提高酒精濃度方面已展現應用潛力。

- e. 建立公斤級木糖發酵技術，木糖轉化率達 86%，就發酵槽體積與轉化率皆領先國際。

進行 100 L 木糖發酵反應使用之種菌量研究，將木糖發酵初始之酵母菌的使用菌量維持在 1 g/L - 2 g/L，測試不同通氣量對 100 L 木糖發酵反應之影響，實驗結果木糖轉化率達 87%~90%。與國際比較，本計畫使用之發酵槽最大，木糖發酵成酒精之轉化率亦最高。

本計畫在技術研發領域之專利佈局

研發領域	98 年獲得/提出之專利
1. 生質原料開發	1. 以游離輻射照射之海藻量產裝置:提升海藻產量之技術(中華民國專利:發明第 I314437 號)。
2. 前處理機械設計開發	1. 多功能連續式生質物前處理組合裝置及其應用程序:連續式反應器與脫水擠壓之設計(中華民國發明專利申請編號 098136797)。
3. 木糖水解液利用之生化製程	1. 未去毒性纖維原料水解液的木糖醇生產方法:以分離篩選的 <i>Candida</i> sp. 做為木糖

	醇生產菌株，能夠在未去毒性之纖維原料水解液中，有效地將木糖轉化為木糖醇(中華民國發明專利申請編號 098135912)。 2. 提升纖維水解液木糖發酵轉化率之方法：提升木糖發酵轉化率(中華民國發明專利申請編號 098135724)。
4.纖維水解酵素生產	1. 利用稀酸處理纖維原料生產纖維水解酵素：以木黴菌生產纖維酵素之技術(中華民國發明專利申請編號 098136800)。
5.程序元件開發與系統整合	1. 酒精變壓吸附控制方法：分子篩技術(中華民國發明專利申請編號 098134881)。 2. 提高木質纖維原料轉化酒精濃度的方法：串聯木糖發酵與 SSF 技術(中華民國發明專利申請編號 098136802)。 3. 稻稈捆解包裝及粗切裝置：切割稻草之裝置(中華民國發明專利申請編號 098140813)。 4. 提昇纖維素轉化酒精效率的方法：提高纖維素轉化葡萄糖效率(中華民國發明專利申請編號 098136799)。

3、經濟成就

- a. 本計畫致力於纖維酒精製程技術之研發，並藉由舉辦研討會及論文發表，積極推廣纖維酒精為國內未來發展低碳運輸所需之第二代生質燃料，協助國內逐步建立使用生質燃料之共識。目前國內規劃於 2011 年雙軌全面實施 E3 酒精汽油，估計年使用量為 10 萬公秉生質酒精及 30 億新台幣的年產值(以每公升 30 元估算)98 年全國能源會議結論並要求評估國內實施 E10 酒精汽油之可行性，屆時國內若有機會實施，並配合能源稅之課徵，預估國內生質酒精年產值可達 100 億元以上。另外 98 年經濟部推動綠色能源產業旭升方案行動計畫(行政院六大新興產業佈局之一)中，亦已規劃將協助國內產業於 2012 年增設 1 座 10 萬公秉酒精工廠，預估投資額為 30 億元。酒精汽油之推廣已是國內即定政策，纖維酒精乃提供此政策所需自產燃料酒精長期需求必然之選擇。

- b. 發展纖維酒精技術除能解決國內農、林業之廢棄物(剩餘物)問題外，仍著眼於技術輸出。台灣的稻稈年產量達 150 萬公噸，為最大宗的農業廢棄物，以稻稈做為纖維酒精生產原料，將不會與糧食供給發生衝突，同時又能解決農業廢棄物的處理問題。再者，台灣地小人稠，能取得的生質原料有限，若要發展纖維酒精產業，勢必要朝國際化發展，而稻稈也是全球產量最大量的農業廢棄物，亞洲地區每年產 670 百萬噸之稻稈，可視為未來技術輸出之主要地區，因此以稻稈為原料建立纖維酒精生產技術，也能幫助台灣的產業至海外建立生產基地。
- c. 以稻稈為原料建立之纖維酒精量產技術，亦將作為開發其他纖維料源生產燃料酒精之基礎，而能配合國內外其他纖維料源之開發迅速建立量產燃料酒精之可行性評估。

4、社會效益

(1) 就業機會

- a. 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。
- b. 本計畫執行期間，共 15 家承攬商，約 200 人投入噸級測試廠之建置工作，間接提供就業機會，增加就業人口同時累積相關製造業之工程經驗。本計畫今年也招募不同專長之人員投入計畫工作，以加強本計畫之執行力。至本計畫服務之人員，上半年增加 2 位技術員，下半年增加 4 位研究人員，1 位資訊人員，共增加就業人數 7 人。
- c. 本計畫今年舉辦 1 場國際研討會，國內外專家 160 人與會；參訪本所纖維酒精設施之團體，包括國內各大學、研究機構、台灣生質能源科技、台電、及其他產業界團體等多達 19 個，約 300 人；受邀國內演講 5 場；撰文於國內一般雜誌 4 篇；電視台來所拍攝 2 件。以上活動則為協助政府推動再生能源政策，也能達到教育推廣之功能。

(2) 環保節能

- a. 纖維酒精做為替代燃料已證實具有降低二氧化碳排放量及提升能量淨產出之效益，國外生命週期法評估結果顯示每公升纖維酒精可降低 1.68 公斤的二氧化碳，能量產出/能量投入之比值亦至少在 2.5 以上，因此若國內推廣 E10 酒精汽油，預估燃料酒精需求量約 100 萬公秉，約可減少 168 萬噸的二氧化碳排放量，故發展纖維酒精除有助於減輕化石燃料使用所造成之溫室效應，並可提高環境安全度，兼具環保教育意義。
- b. 纖維酒精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，避免因傳統燃燒處理而造成空氣污染，同時因應纖維酒精之原料集運需求，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。
- c. 建立木糖發酵串接 SSF 程序，發展高固液比酵素水解技術，可提高纖維酒精製程最終產出之酒精濃度，大幅減少製程用水，並降低後續酒精蒸餾之能耗，以及廢水處理之成本。
- d. 纖維酒精噸級示範廠酒精純化系統，採用多效蒸發二次蒸汽作為蒸餾系統熱源及採用熱交換器回收可利用熱能，增進能源使用效率並降低能耗；脫水部分則設置滲透蒸發薄膜脫水系統及分子篩變壓吸附系統，可進行串並聯測試，研究降低能耗之最佳操作條件。
- e. 噸級廠採用最新污水生物處理設備，能有效去除廢水中之有機物（COD、BOD）、微量金屬及營養鹽類，達到廢水排放標準及回收水再利用之目的，以減少對環境的危害，並能將污泥有效的資源利用，以降低酒精生產成本。
- f. 纖維酒精噸級試驗場，每日進料 1 噸稻稈，會產生 1080 公斤木質素殘渣與 316 公斤石膏固形物，木質素殘渣可以作為熱源及發電燃料，石膏固形物可以回收做為建材的材料，這兩部份有其節能與環保的潛力。

(二)執行成果

本計畫目標為建立日進料 1 噸之纖維酒精測試廠，全廠依程序特性分為 9 區：A100 為預處理區(原料準備)，A200 為前處理區，A300/A400 為糖化及發酵區，A500 為酒精蒸餾區，A600 為酒精精餾區，B700 為廢水處理區，B800 為酒精貯存及公用設施區，B900 為預留之設施區。96 年已完成 A500

與 A600 區，以及 B800 區之公用設施；A300/A400 則跨 97 與 98 年建置；A100、A200、B700 等則於 98 年建置。以下分別說明各分項計畫之進度：

1. 前瞻型示範測試廠之設計與建置

本年度工作除配合 96 年度之細部工程設計執行成果，及 97 年已發包未完成工程及系統設備，繼續執行各項設備建置與相關水電、消防、通風等工程外，亦積極開發需自行設計之前處理酸解反應器、稻稈解捆及切割系統、發酵槽等重要流程設施。以稻稈為生質原料之纖維轉化程序，累積之工程經驗尚未普及，酸解過程中其親水沾附之特性造成傳輸上困難，相對增加前處理設備設計之難度。年度中除積極累積實驗測試設備之運轉經驗，繼與機械製造廠商共同研擬噸級測試廠前處理設備之設計開發；配合酸解反應前處理設備之規範需求，設計規劃預處理設備應具備功能及其機械裝置，務求降低勞力需求及提升工作安全；酸解後之固液分離設備尋求較適合本土技術可應用之裝置，並降低程序上之物料損失。

1.1 預處理系統

生質物進入前處理反應器之前必須經過適當裁切，以符合前處理系統之進料需求。本系統是針對稻稈原料所設計，系統之設備流程與架構如圖 1.1，其相關要求與特性如下：

- a. 設備功能：將捆裝稻稈經由拆解、粉碎，輸送、暫存，把稻草切至前處理所需長度，並配合前處理設備的處理速度進流程調整，使能完成前處理作業的預備措施。
- b. 設備操作與流程：配有一部叉動車將稻稈捆（直徑約 1.5 m、高約 1.5 m、重量約 250 kg），圖 1.2，送至輸送帶進行兩段切割。第一段為粗切，主要為拆解稻稈捆與裁切，第二段為破碎機是利用濾網將稻稈打碎至前處理設備所需長度(圖 1.3)。系統設計之最大處理量為 300 kg/h，每日可處理 4 捆筒型稻稈，前段輸送因稻稈長度較長採輸送帶輸送，切割後稻稈因粉塵較多採真空輸送，空氣為輸送設備動力源。為降低粉塵及噪音，稻稈切割及儲存系統需為密閉式的操作模式，輸送過程需考慮粉塵溢散、空氣污染問題，將稻稈抽送至儲槽秤重計量，最後配合前處理運作進行連動控制。
- c. 系統控制與監測：設置一間控制室可作為人員操作及監控場所，設備包含可程式邏輯控制系統(PLC)與系統運作監測系統，另外亦有

耗電記錄裝置，提供後續運轉效能評估之參考。

1.2 前處理系統

纖維轉化酒精整體程序中，前處理是影響後續酵素水解、發酵、蒸餾等效能之重要單元。纖維酒精主要來自木糖及葡萄糖之轉化，其中就提高木糖轉化酒精之利用率而言，以酸催化法為最普遍且效果較佳之方法。另外，蒸汽爆裂也被認為是耗能低且最有效的方法，其原理為利用蒸汽或其它氣體將生質原料加熱後並保持一定時間，利用高溫和高壓導致木質素的軟化，然後迅速開閥降壓，造成纖維素晶體的爆裂，達到木質素和纖維素分離之目的。因此本計畫以酸催化蒸汽爆裂法作為前處理程序，另搭配固液分離系統，其設計概念如圖 1.4。

此設計係將稻稈原料利用真空輸送設備輸送至酸解前處理設備之低壓段反應器進料端，經過預熱軟化後，再進入高壓段反應器中進行加酸及酸解反應，後輸送至蓄壓槽再利用蒸汽爆裂閃化方式將酸解物爆裂至閃化槽，閃化槽出料輸送至固液分離設備，將固體及液體分開後，再分別送至酵素水解槽及水解濾液槽內，作為接續酵素水解及木糖發酵程序之進料。

依據上述設計概念，本計畫與國內廠商合作建置測試廠之酸解前處理反應器及固液分離系統(圖 1.5-圖 1.6)，以執行進料、輸送、預熱、酸解、爆裂閃化及固液分離等工作，核心部分包含進料槽組、低壓段反應器、高壓段反應器、蓄壓槽、閃化槽、閃化稻稈輸送機、擠壓脫水固液分離設備、稀硫酸注入系統及相關周邊設備。截至 98 年 12 月底已完成硬體建置與空白測試，預定於 99 年 3 月底前完成實料試車，屆時本案才算全部驗收結案。

1.3 酵素水解系統

酵素水解系統之建置為跨 97、98 年度之工作，酵素水解槽目的為將纖維素水解為葡萄糖。目前測試廠製作兩座臥式 9 噸酵素水解槽(圖 1.7)，採用具備高熱交換性能之凹紋式夾套(dimple jacket)設計，依據第一種壓力容器之檢驗標準製造，可承受 10 kg/cm^2 以上的耐壓，提供發酵槽更高的熱傳效率與承受壓力。為因應水平攪拌軸高承載力，採用自動對位的滾珠軸承，連軸器對準減速機連接傳動軸，可線上自動調

整壓力之活動軸封(live seal)設計，達到運轉中無洩漏之虞，配合蒸汽無菌水製造與冷凝器組可供軸封冷卻與潤滑用。

水解槽槽徑比之最適化設計使槽內固液比達 30%時，槽內的攪拌葉仍能提供良好的均勻混合，確保槽內的水解混合物能在 8 小時內達到液化。攪拌裝置的轉動馬達具有扭力監測指示器，讓不同固液比的水解酵素與纖維素在混合過程中，能隨時監測攪拌葉扭力的變化，作為判斷槽內液化指標。攪拌方式採橫式攪拌軸附帶把柄式混合攪拌葉片，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，且兼具水解液化後攪拌功能，外圈攪拌翼距桶壁間隙 1~3mm 內，攪拌葉為可拆式設計，因應需要拆換不同形式攪拌葉片。

噸級測試廠設有兩座酵素水解槽，98 年 11 月開始展開空白運轉測試並進行缺失改善，針對酵素水解槽各項操作功能進行確認，其中包括溫度、攪拌、酸鹼度等控制功能測試。此外，各槽體間流體輸送亦進行完整測試，透過中央監控系統與現場操作實地進行雙向溝通，了解單元程序操作之特性，以做為 99 年實料測試運轉之準備。

1.4 發酵槽系統

發酵槽系統之建置為跨 97、98 年度之工作，目前在測試廠中設置兩座 9 噸五碳發酵槽 (圖 1.8)，一座 7 噸六碳發酵槽，均為槽體高徑比 (L/D)= 2.3 的直立式本殺滅菌型發酵槽，同時符合第一種壓力容器製造標準，另外槽體採用節能設計之 dimple jacket 夾套方式製作，可耐壓達 10 kg/cm^2 。發酵槽身為 SS316 材質，槽內的高分散氣泡環、葉片高度可自由調整的打泡翼式葉片及立式擾流擋板，可提供厭氧或好氧之發酵。排氣經殼管式(shell-tube)冷凝器作用，可減少發酵過程中酒精之損失。利用蒸汽無菌水製造及冷凝器組合，提供可滅菌型之卡匣雙機械軸封的冷卻與潤滑，可作為研發高單價與多元化發酵產品之用。目前發酵槽、種菌槽及其週邊設備皆已完成，種菌槽亦已完成無菌測試。

對於發酵系統之功能測試，於 98 年 11 月執行發酵系統相關空白測試並進行缺失改善。種菌槽功能上可進行全自動本殺與空殺滅菌，同時可達 72 小時無菌測試，以維持相當高的純淨度，避免其他雜菌入侵。種菌槽與發酵槽之間流體亦進行輸送測試，以確保無洩漏之疑。在五碳發酵系統測試上，由於 *Pichia* 菌種培養屬微耗氧模式且對溫度

變化與酸鹼度極為靈敏，因此本單元針對空氣流量、酸鹼度與溫度控制進行測試與確認，透過中央監控系統與現場操作實地進行雙向溝通，並就缺失問題進行改善。目前測試結果顯示，在準確度上均可於10%誤差範圍內進行控制，此結果有利於後續噸級廠實料運轉測試。

1.5 廢水處理系統

廢水處理系統設施(圖 1.9)於 98 年 10 月 30 日完成第一階段硬體安裝完成及清水測試驗收，12 月 25 日完成第二階段實際廢水運轉測試及運轉操作訓練，第二階段以實際製程廢水連續運轉六十天，最後連續取三天水樣，送環保認證機構檢測，經檢測放流水水質分析結果為 COD：37.2~15 mg/L，BOD：11.1~4.73 mg/L，SS≤7 mg/L，pH：7.1~7.6，溫度：23~23.9℃，由檢測結果顯示廢水處理效果符合環保法規需求。

此廢水處理系統採用目前最新之廢水生物處理技術，上流式厭氧污泥床法(UASB)及好氧曝氣法建置，能有效處理高低濃度有機廢水及減少污泥排放量，此設施主要單元包括廢水處理、廢氣處理及污泥處理三部份，本處理系統日處理量為 25CMD，最大處理容量為 40CMD，廢水處理回收率約 60-70%，處理後之廢水分二方向分流，一為回收水(水質為 COD：35、BOD≤24 mg/L，SS：18 mg/L)回收再利用作為調勻池調勻使用，另一不再利用之處理水，達到法規排放標準後(水質為 COD≤100 mg/L，BOD≤30 mg/L，SS≤30 mg/L，pH：6~9，溫度<35℃)，放流匯入所區渠道排放。

依據目前設施水處理設計為二~三級處理，其處理水質主要作為澆灌、清洗用水，後續為降低酒精製程成本及回水水質之水資源再利用，99 年考量設置薄膜生物反應器(MBR)進行處理，使水資源能循環利用。

1.6 管線工程

管線工程為跨 97、98 年度之工作，此工程將測試廠主體系統設施(包含：預處理設施、前處理設施、纖維素水解及發酵設施、蒸餾純化系統、酒精脫水系統與相關塔槽)及公用設備(包括：儀表及廠用空氣供應、蒸汽供應、冷卻水循環、冰水循環、熱水循環、CIP 循環、廠用水及純水供應、酸及鹼液供應、冷凝水回收設備)，以各類管線、管件連接及儀表建置安裝，整合成一完整的纖維酒精測試廠。

本系統於 98 年 3 月 5 日完成 26 座塔槽及 29 座泵浦基礎製作，於 3 月 18 日完成塔槽及泵浦安裝，並進行塔槽及泵浦水平、軸心校正，3 月 25 日完成第一期驗收。於 5 月底完成(1)泵、塔槽安裝及全廠管線配管工程；(2)所有管線 PT 檢驗及蒸汽管線 RT 檢驗，並建立檢驗紀錄；(3)所有管線清管及試壓，並建立清洗及試壓紀錄，於 6 月 18 日進行第二期驗收。98 年 9 月 17 日完成：(1)管線及塔槽保溫保冷工程施工；(2)管線及塔槽名牌製作及管線流向標示；(3)檢附設計文件及所有圖說，且裝訂成冊一式五份，並於 9 月 18 日完成第三期所有工程驗收(圖 1.10)。

1.7 中央監控、儀錶暨系統建置

中央監控(圖 1.11)、儀錶系統之建置為 98 年之工作，本案於 98 年 2 月 25 日與巨路公司完成簽約，並於 12 月 11 日竣工。本系統針對纖維轉化酒精測試廠之設備監控方式可分成三種，第一種為 DCS 直接監控，主要為 A300、A400 區及 A200、A600、B700、B800 區之部分區域儀錶控制。第二種為以 MODBUS 連接 DCS 與 PLC (子系統)，包括 A100 區、A300 區之 5 碳菌種槽、酸鹼消泡槽及 S-351 壓濾機、A400 區之 6 碳菌種槽、S-451 壓濾機、S-452 離心機、A500/A600 區之酒精純化系統及 B700 區之廢水處理系統。第三種為以複聯式 Ethernet 連線 Delta-V 系統，此為 A200 區前處理系統之連線方式。

本案採購之中央監控系統，其主要功能包括：(1)資料庫架構為 Global Database，即所有系統所屬成員之所有內容如工作站的規劃、控制器下的 I/O 架構以及邏輯程式，皆存在於單一資料庫內；且若有複數之控制器，控制器彼此之間的資料傳遞皆不需要規劃任何的 mapping table，可由直接連結標籤的方式互相傳遞資料。(2)系統可對所有成員做時間同步的機制，而且保留可以外部 NTP sever 為基準的時間同步功能。(3)由 DCS 直接監控之儀錶，可由儀錶資產管理系統(AMS)整合至 DCS 進行儀錶管理及自動偵斷功能，達到節省維護人力及預知保養保修之目的。(4)控制器、電源及網路之複連功能，當其中一組失效時，在 0.5 秒內直接由硬體切換交由另一組進行控制，不需經由軟體判斷。(5)系統可存取所有數值之能力，可依現場使用單位依據製程需求挑選必需的資料紀錄，可依不同需求建立所需之報表數據。

1.8 通風/消防設施

通風空調及消防設施分別於 98 年 10 月 30 日及 98 年 11 月 05 日完成建置，通風空調設施涵蓋全纖維酒精測試廠房，主要依據每一區塊對於環境需求、製程需要及工作場所、人員操作安全設計，使其能符合工業安全衛生法規之要求，通風空調設施主要設備有通風設施（送風、排風）、空調設施、強制送排風設施及中央監控系統，此設施完成後即進行性能測試及人員教育訓練、實際操作實務訓練，目前正常運轉中。

消防設施主要為建立廠區自主消防設施需要。其主要設計乃依據各廠區特性及環境場所需，以符合消防法第六條第三項規定之各類場所消防安全設置標準，消防設施主要設備設有獨立之消防水池（100 噸儲水）、加壓幫浦、緊急發電系統，並依照各區特性不同裝設偵煙式、定溫式及差動式火警感應器與滅火器，另依據各製程單元特性設有緊急灑水設備、高壓水柱等設施。並建立全廠火警監控、警報系統，以監視掌控全廠狀況，使達到最高消防要求，確保廠房及人員安全。此設施完成後即進行性能測試及人員教育訓練、實際操作實務訓練，目前正常運轉中。

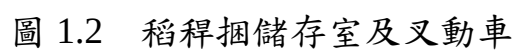
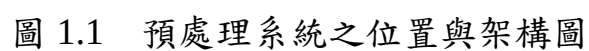




圖 1.3 預處理系統設備(為國內研發設備，此系統可將 1 捆約 250 公斤之稻稈裁切、粉碎至 2cm 左右供後續前處理系統使用)

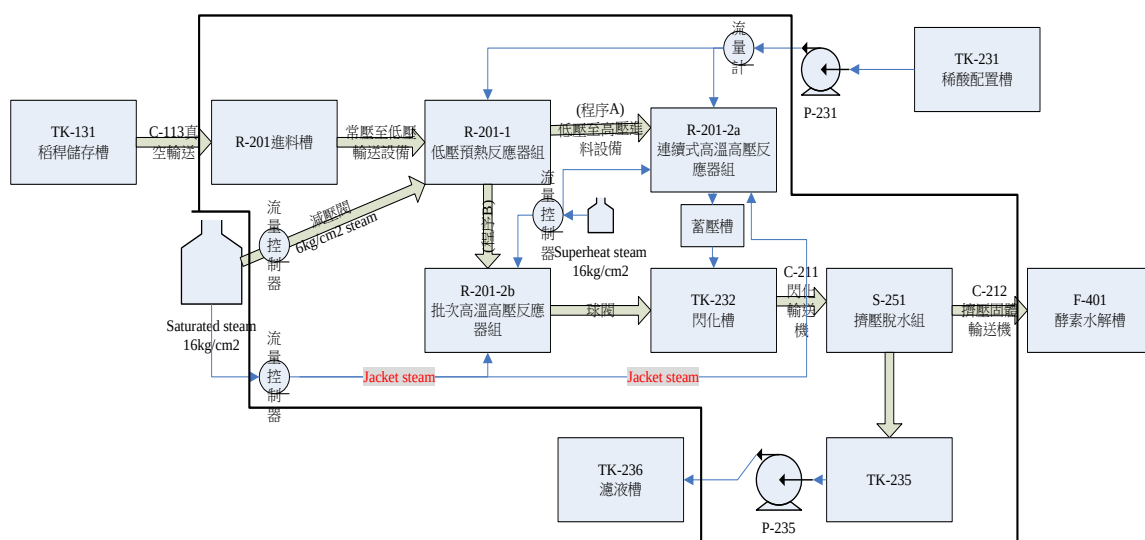


圖 1.4 酸解前處理反應器及固液分離系統處理程序之設計概念圖



圖 1.5 酸解前處理反應器及固液分離系統之單元設備(中間兩支反應器，分別為連續式低溫反應器(左)與高溫反應器(右))



圖 1.6 酸解前處理反應器及固液分離系統整體(為國內研發系統，主體包含連續式低溫與高溫反應器、批次式高溫反應器、閃化槽、固液分離系統等)



圖 1.7 酵素水解槽



圖 1.8 發酵槽



圖 1.9 廢水處理系統



圖 1.10 設備系統及管線設施



圖 1.11 中央監控系統

2. 糖化酵素及發酵菌株之引進與研發

本研究自 97 年度計畫中，即以建立國內自產水解酵素之技術為重點，並先行選用 *T. reesei* QM9414 及 *T. reesei* Rut C30 等兩株腐生真菌作為纖維素水解酵素生產研究用之菌株，以建立酵素生產之操作能力與研究經驗，作為未來對外合作生產酵素之研發基礎。先前實驗結果顯示，在相同的誘導碳源下，菌株 *T. reesei* Rut C30 所生產的酵素粗萃液能夠具有較高的總活性值。該水解酵素試產實驗所取得之酵素對酸催化前處理稻稈渣料的糖化實驗發現，於三天內的糖化效率為 75%，若另添加 Novozyme188，則糖化效率提升至 85 %，較國外 Novozymes 公司水解酵素 Celluclast 1.5L + Novozyme 188 之 80% 的糖化效率為佳。核研所亦利用冷凍乾燥法濃縮酵素粗萃液，提高酵素液總活性值至 109 FPU/mL，體積濃縮倍數約 55 倍，酵素活性濃縮倍數約 43 倍，但所需操作時間達 56 小時，並會大幅增加酵素生產成本。儘管在技術上水解酵素之活性經濃縮處理後，已能符合全程計畫之目標，不過由於評估後認為近期於國內外生產及提供酵素之模式仍以廠內酵素生產策略提供酵素較具有經濟潛力，此時酵素粗萃液活性僅需達 5-10FPU/mL，再利用超過濾法濃縮即達到最高活性 20-40FPU/mL 之需求。

為了降低纖維酵素使用之成本與建立自主生產纖維酵素之能力，核研所於 98 年度規劃以廠內生產(in-house production)為目標，發展酵素生產技術，並以提升 *T. reesei* Rut-C30 生產纖維素水解酵素之活性及建立酵素粗萃液濃縮方法為工作重點。其中，本計畫亦利用核研所於放射化學之專長，建立化學法結合 γ 射線照射之突變技術，未來將可就學術單位研發及提供之酵素生產菌株，進行突變研究，應有機會發展出具有潛力之水解酵素生產菌株，期能取得生產纖維素水解酵素之技術優勢。另外，由於採用廠內生產酵素策略，所生產之酵素液可直接於廠內應用於酵素水解程序，並無長程運輸之需求，致使酵素液已無高倍數濃縮之需求，因此，本研究經評估後採用超過濾薄膜技術做為後續酵素液濃縮方法。

另一方面，為加速國內酵素研發之進展，目前本計畫在酵素生產研發方面，也積極與中研院等國內學術單位建立合作研究(圖 2.1)，其中短期目標為由國內研究單位負責纖維酵素菌株篩選與改良，進一步改良纖維酵素

之活性。核研所則主要負責酵素生產所需發酵技術之研發與工程放大。至於在中長期目標方面，除期望學術單位持續篩選國內本土新穎性酵素生產菌株外，並可利用基因重組技術，開發高效率的酵素表現系統，核研所則可負責該表現系統發酵技術之研發，以進一步降低酵素生產成本。根據以上之研究規劃，目前本計畫於酵素生產之研發均符合預定進度，其實驗結果分別說明如下：

a. 纖維素水解酵素誘導物之篩選

一般而言，纖維水解酵素誘導時，須以具纖維素物質 (Avicel, α -cellulose 等) 進行誘導，才可得高活性纖維酵素。目前以 *T. reesei* Rut-C30 為研究菌株時，於酵素試產實驗中若以標準纖維素進行瓶杯實驗，Avicel 可誘導產生 1.16 FPU/mL 酵素活性，如利用 5 L 發酵槽進行標準纖維素 Avicel 誘導生產，在培養溫度 30°C 及酸鹼控制在 pH5.5 條件下，可得最高酵素活性值為 2.57 FPU/mL (圖 2.2)。但因標準纖維素價格過高，應用於纖維素水解酵素生產，將會造成酵素成本偏高的問題，因此在酵素生產方向必須尋求低成本之適合替代誘導源，以符合未來降低酵素生產成本之需求。

目前本計畫測試之纖維酒精生產原料計有稻稈與狼尾草，因此在誘導物選擇上優先考量與纖維酒精生產原料整合，以稻稈、狼尾草及其前處理固渣為誘導物測試對象，初期並利用 *T. reesei* Rut-C30 進行誘導物之篩選與測試。目前瓶杯實驗結果發現經不同程度前處理之纖維原料，會對其誘導之酵素活性有所影響(圖 2.3)。其中以稻稈原料測試時，產出最高酵素活性之誘導物為經 160°C 酸處理溶洗之稻渣，於實驗前經水洗處理後，可誘導之最高酵素活性為 1.31 FPU/mL。目前 160°C 酸處理溶洗之稻渣為誘導物時，其產出之酵素分解稻稈纖維素為葡萄糖的效率可達 86%，較國外商業生產水解酵素的分解效率 82% 為高，此顯示以低成本稻稈為酵素生產之誘導物，確實有機會獲取具有應用潛力的酵素。

b. 纖維素水解酵素生產技術之研究

目前本計畫以 Avicel 微晶型纖維素為誘導物進行酵素生產之規模已達 100L，酵素活性最大值約 2.5FPU/mL，以低成本稻草固渣用於酵素試產之研究規模亦已從瓶杯實驗進入到 5 L 發酵槽測試實驗(圖 2.4)，目前

利用 160°C 酸處理稻草，經水洗處理後，發現以培養溫度 30°C 及酸鹼控制在 pH5.5 條件下，可得酵素活性達 2.1 FPU/mL (誘導碳源含量 1%)，至於在狼尾草誘導測試部分，發現研磨之狼尾草所誘導之酵素活性只有 0.051 ~ 0.038 FPU/mL，其誘導酵素生產並不理想。目前已可利用 5L 發酵槽誘導生產得酵素活性達 2.1 FPU/mL，如再經過薄膜濃縮技術應有機會提升至 10-20 FPU/mL(100-102 年計畫)，達到酵素水解程序測試時所需之酵素活性。另一方面，本研究亦完成酵素粗萃液濃縮技術之測試與評估，發現使用膜孔徑 10kD 之薄膜即可有效地濃縮酵素粗萃液，其酵素活性濃縮倍率至少可至 5 倍，且設定較低的膜壓差應可延遲膜阻塞現象的發生，此研發經驗所建立之操作參數將可做為後續噸級廠酵素濃縮設施測試時的參考依據。

根據上述酵素生產之研發經驗，本研究於 98 年第四季完成噸級廠酵素生產設施之建置規劃，預定於噸級廠建立 1 噸及 9 噸發酵規模之酵素生產設施，以進行廠內酵素生產之工程放大(scale-up)試產研究，並選擇超過濾薄膜法為酵素濃縮技術，預估未來每批酵素液的最大生產量達 3-4 噸，將會視量產製程之測試進度與需求，進行酵素生產並提供所需酵素液。

c. 纖維素酵素生產菌株改良之突變方法建立

本項工作之目標係建立化學法及放射性照射法等兩種突變技術，藉以尋求提升水解酵素生產菌株產出酵素之活性的機會。本研究化學法之突變劑為 N-methyl-N,-nitro-Nnitrosoguanidine (NTG) 在鹼性時能形成重氮甲烷(CH_2N_2)，進而烷化 DNA 造成基因突變；另於 pH 5~5.5 時，NTG 形成 HNO_2 ，本身也是誘變劑；pH 6.0 時，NTG 本身不變化，可作用於核蛋白而引起誘變效應。由上述可知，NTG 是一種超誘變劑，殺菌力較弱，誘變作用較強，其作用部位往往在 DNA 的複製叉處，易造成雙突變，藉此方式篩選生產高活性纖維素酵素突變株。

目前建立菌株突變技術仍以 *T. reesei* Rut C30 菌株為原始菌種，經由不同濃度(分別為 250、500、750、1000 $\mu\text{g/mL}$)之 NTG 誘發突變，分別處理 0、0.5、1、2、3、4 小時，於各時間點取出孢子液進行稀釋，塗佈至磷酸處理纖維素為基質之平板培養基上(每盤約 100 個菌落)，計算各種條件下致死率。選用致死率達 99%之條件進行突變，並以 clear zone 及 colony size 所得比率(Halo ratio)為篩選參數，藉以篩選所需之纖維素酵素生產菌

株。本計畫已完成纖維素水解酵素生產菌株之突變技術，並開始進行大量突變株之篩選。由實驗結果 (圖 2.5) 得知，NTG 誘變並塗佈至磷酸處理纖維素平板培養基，共獲得五株突變菌種，其 Halo ratio 皆高於 Rut C30 之 3.71，分別為 NR55-1P, 4.80; NR25-1P, 4.80; NR25-2P, 5.00; NR21-1P, 5.45; NR15-1P, 4.40。當中又以 NR21-1P 之 5.45 最高。本研究續以核研所設置之照射場設施，建立 γ 射線照射之突變技術，並將上述編號 NR21-1P 之突變株再次進行 γ 射線照射突變，期以 Co-60 產生之高劑量 γ 射線 (0.5-3 kGy/h) 照射造成基因突變及篩選纖維酵素生產菌株，藉此種方式提高取得生產高活性纖維酵素之突變株的機會。目前 γ 射線照射之突變實驗尚無獲得具有應用潛力的突變菌株，未來將會視國內水解酵素生產菌株之研發需求，再以此放射性照射法進行突變實驗。

d. 突變菌株所生產之纖維酵素效能分析

以上述篩選之 NR21-1P 及 NR25-3P 突變株與 Rut C30 (wild type) 進行酵素生產，比較菌株突變後，酵素活性(FPU/mL)是否提升，實驗結果如圖 2.6。該實驗數據顯示，以水洗之 160°C 雙軸擠壓稻稈 1% 為誘導碳源，培養 168 小時後，Rut C30 與 NR25-3P 酵素活性並無明顯差異，分別為 0.94、0.99 FPU/mL，而 NR21-1P 則發生活性降低情形(0.88 FPU/mL)，且生成速率緩慢。進一步分析 Endo-glucanase 及 β -glucosidase 比例發現，NR25-3P 之 Endo-glucanase 活性 19.79U/mL 比另外兩菌株為高，較 wild type Rut C30 增加約 10% 左右；藉由酵素蛋白質濃度求得之比活性顯示 (表 2.1)，NR21-1 酵素活性(FPU/mL)雖有些微下降，然而比活性卻顯著提升至 1.78 FPU/mg，其次為 NR25-3P 之 1.23 FPU/mg，分別為 Rut C30 比活性 0.91 FPU/mg 的 1.96 倍及 1.35 倍。

對於利用突變株 NR21-1P，經誘導生產之酵素比活性已達 1.78 FPU/mg，與目前商業酵素之比活性值相近，並比原來未突變菌株增加 1.96 倍之比活性，顯示利用突變技術可有效增加酵素之比活性。

表 2.1 NR21-1P、NR25-3P 與 *T. reesei* Rut C30 之比活性

	Strain	FPA (FPU/mL)	Soluble protein content (mg/mL)	Specific activity (FPU/mg)
Wild type	Rut C30	0.94	1.04	0.91
	NR21-1P	0.87	0.49	1.78
	NR25-3P	0.99	0.81	1.23

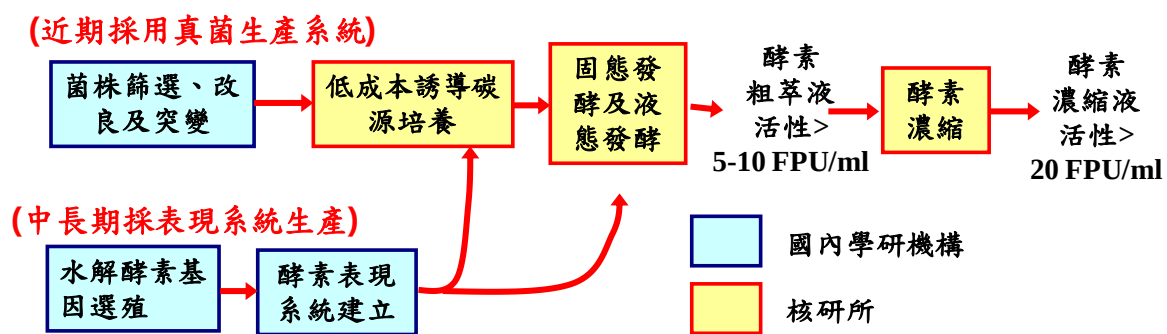


圖 2.1 纖維素水解酵素研發之分工規劃

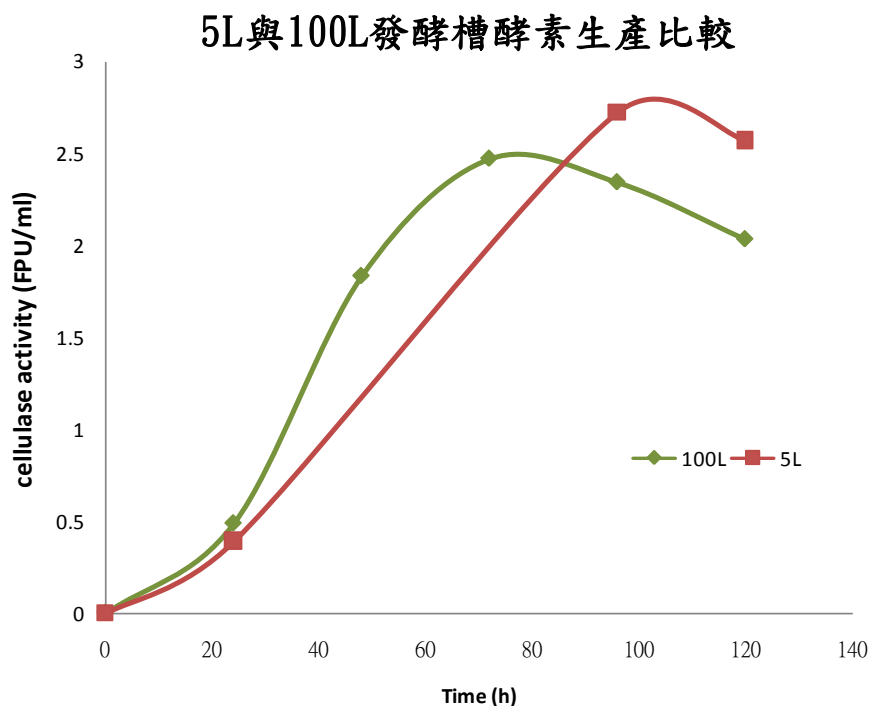


圖 2.2 5 L 與 100 L 發酵槽以 Avicel 為誘導碳源生產纖維素水解酵素之酵素液活性比較

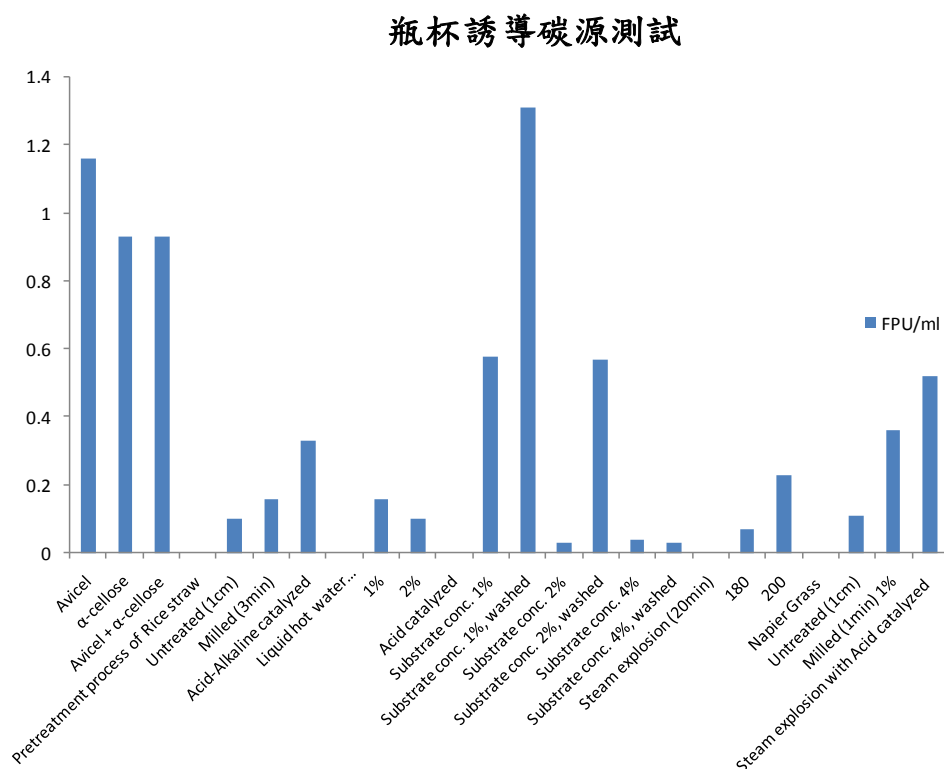


圖 2.3 瓶杯誘導碳源生產酵素之測試結果

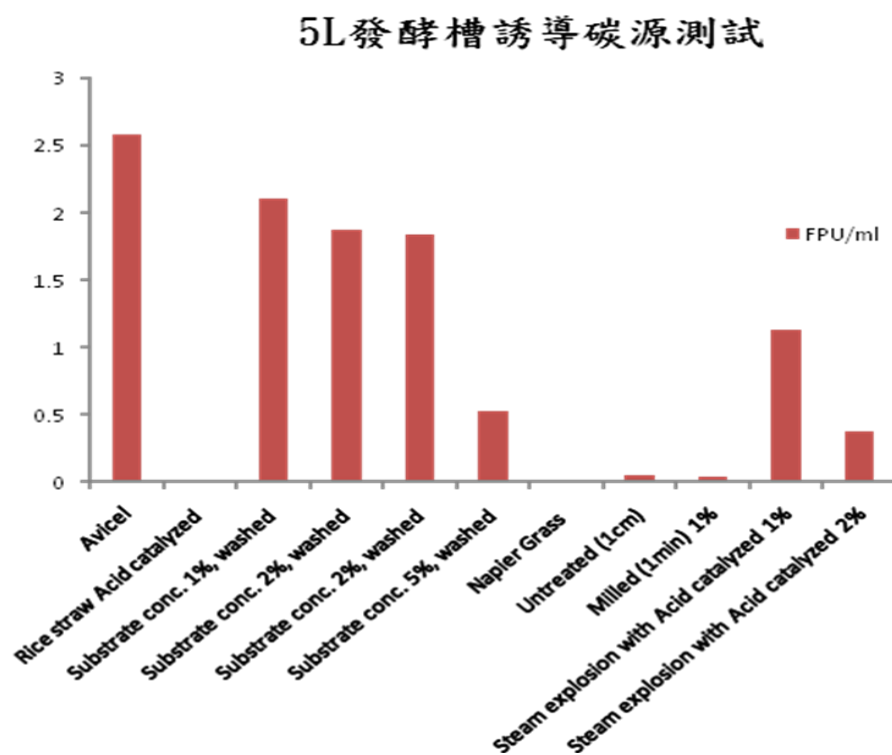


圖 2.4 5 L 發酵槽誘導碳源生產酵素之測試結果

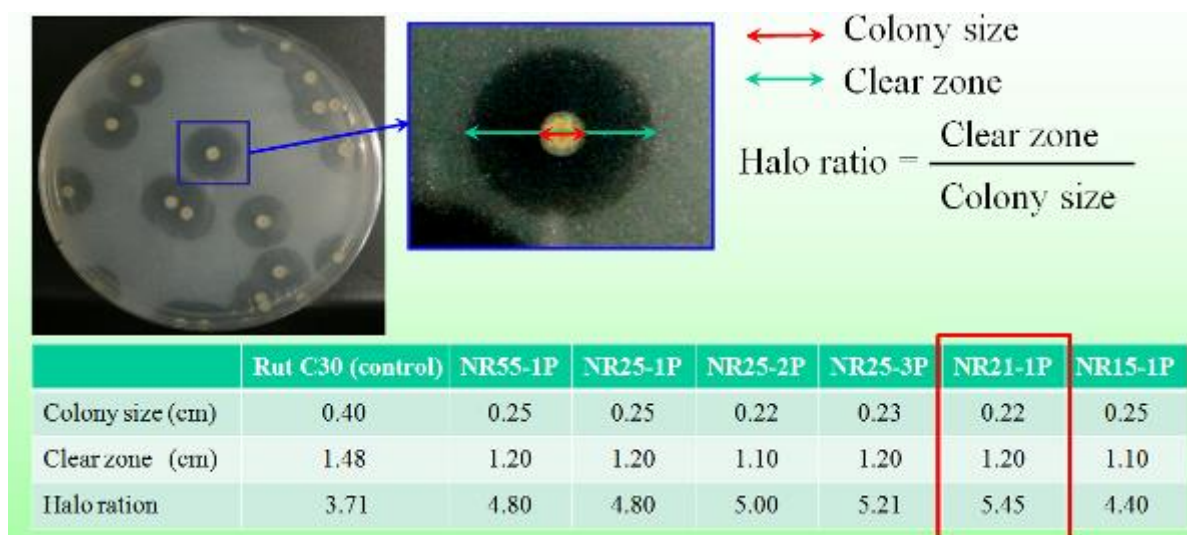


圖 2.5 NTG 突變之酵素纖維生產菌株之篩選

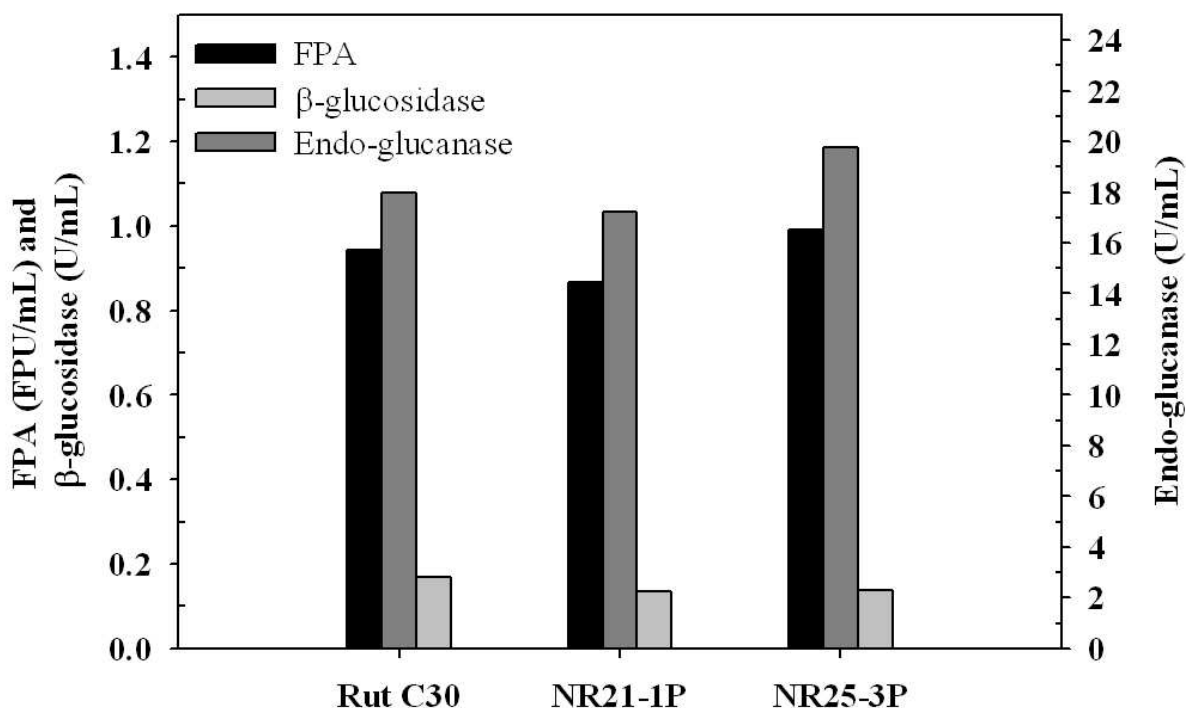


圖2.6 NR21-1P、NR25-3P 與 *T. reesei* Rut C30 之FPA、Endo-glucanase 和β-glucosidase 生產情形。

3. 示範測試場系統程序運轉參數之研究與整合

本分項計畫主要進行各程序之操作條件放大研究，以提供噸級測試廠運轉測試時所需之操作參數。本計畫自 96 年起依據實驗室研究結果，進行每批次 10 公斤進料之實驗系統各程序之最適操作研究，包括稻稈原料前處理、纖維素酵素水解、五碳糖及六碳糖發酵、酒精蒸餾及脫水等單元程序。97 年度已完成前處理系統、水解糖化系統及發酵示範系統之最適操作條件訂定，以及擬定或進行其功能提升方案。98 年度工作重點為前處理程序運轉測試方法之研究，以及糖化、發酵程序運轉測試方法之建立。此外本分項計畫同時也進行纖維轉化酒精製程相關程序界面整合之研究工作，主要包括原料組成分析、固液分離操作、污泥資源化、用水合理化、質能平衡估算與成本推估模式等等之研究，96 年度完成本土生質原料組成分析及生

質原料快速分析系統之建置，97 年度完成固液分離最適操作條件及操作方法訂定、示範系統污泥資源化研究、提出用水合理化之精進方案及建立程序運作之質量平衡計算模式，本年度的工作重點則為建立纖維轉化酒精程序之質量能量輸入與輸出試算表及建廠成本推估參考模式。各項研究工作之執行成果說明如下：

3.1 前處理程序

如前所述，纖維原料前處理程序於纖維轉化酒精整體程序中扮演舉足輕重的角色，而前處理主要重點在於設備工程之設計、放大與操作參數之研發。本研究團隊自 95 年度起即針對稻稈之前處理程序及設備進行研發，以稀酸水解程序配合蒸汽爆裂為基礎，進行最佳操作參數探討，分別建立 2 升及 6 升蒸汽爆裂反應系統。於 96 年度亦同時開發擠壓混酸配合批次熱水溶洗前處理程序及設備，並應用於每批次 10 公斤進料之實驗系統。

97 年度係以提供示範測試廠運轉測試時所需之操作參數與前處理設備反應器型式設計為前提，而以程序放大及連續式操作為研發標的。另自行設計與建置兩套生質原料前處理設備，分別是『小型連續式螺旋輸送生質物前處理設備』及『20 升蒸汽爆裂反應系統』。前者係著重於連續式前處理設備中相關高溫高壓及稻稈進料與輸送設備之設計，期以設計過程及操作經驗做為噸級前處理設備設計參考。後者則除探討最佳酸催化蒸汽爆裂操作參數外，也有了解爆裂後渣料特性及探討閃化槽最佳型式等功能。

本年度研究係以建立示範測試廠酸催化蒸汽爆裂前處理程序之運轉參數為工作重點。本研究係以稻稈為原料，利用『20 升蒸汽爆裂反應系統』，以水解液中木糖、醋酸、呋喃甲醛等濃度、木糖轉化率及後續產出固體物之酵素水解效率與總糖化率為指標，分別針對酸添加量(0.5-2.5%)、操作溫度(160-200℃)、停留時間(1~20 分鐘)及原料固液比(20~30%)等操作參數進行測試。圖 3.1 為固液比 20%、酸濃度 1% 條件下，總糖產率大於 70%之溫度及停留時間參數組合、以及各參數之木糖轉化率、葡萄糖轉化率、醋酸濃度、呋喃甲醛濃度等。其中以反應溫度 200℃、停留時間 1 分鐘操作條件之總糖轉化率達 81%，木糖轉化率可達 72.4%，且 5-羥甲基糠醛 (HMF)及呋喃甲醛(furfural)

等發酵抑制物濃度皆低於 0.7 g/L。後續再將酸添加量提高至 1.5% 或 2%，針對 160 °C、10 分鐘，180 °C、5 分鐘、10 分鐘，以及 200 °C、1 分鐘等操作參數進行測試，結果如圖 3.2，1.5% 酸添加量、160 °C、10 分鐘之操作條件，木糖轉化率可達到 94.4%。若將酸添加量提高至 2%，則木糖轉化率可達到 86.7%，且總糖轉化率可達到 88.4%。此外，1.5% 酸添加量之硫酸相對乾稻稈重量比為 0.075，維持此硫酸/乾稻稈混合比例，於 160 °C、10 分鐘操作條件下，將固液比提高至 30%，則水解液之木糖濃度可達 30 g/L。

3.2 酵素水解程序

為精進酵素水解之操作，本研究嘗試建立相關監測參數。根據 97 年度實驗結果，初始固液比維持在 15-25% 的範圍內，無論改變纖維素水解酵素添加量(15 FPU/g cellulose 或 30 FPU/g cellulose)或改變添加之纖維素水解酵素種類(Celluclast 1.5L + Novozyme 188 或 Accellerase 1500)，其流體黏滯度於 12 小時內均可降低至 300~400 cP 以下，此結果將有助於評估未來以分批饋料方法操作時，各批次饋料時間之間隔，當固液比降低至 15% 以下時，流體即能具有相當良好的流動性。今年度研究實驗為進行高固液比酵素水解測試，利用蒸汽爆裂前處理所提供之渣料，於 100 L 水解槽進行酵素水解實驗，初始固液比為 10% 條件下批次饋料，最終固液比達 25%，水解槽溫度 50°C，pH5，酵素劑量 30 FPU/g cellulose，水解時間為 72 小時，實驗結果如圖 3.3，葡萄糖濃度可達 104 g/L，水解效率可達為 75% 左右，如將雙糖併入計算，則糖濃度為 115 g/L，水解效率為 83%。此研究也發現葡萄糖濃度高時，會對纖維雙糖分解酵素(β -glucosidase)產生抑制，降低水解效率。為消除雙糖累積現象，可藉增加雙糖分解酵素濃度或發展同步糖化與發酵程序(SSF)解決此問題。

3.3 發酵程序

本項工作於 97 年度開始進行 100 L 發酵槽之木糖發酵實驗測試，經測試曝氣量(0.005 ~ 0.5 vvm)、攪拌轉速(50 rpm ~ 150 rpm)及酸鹼值(pH = 4 ~ 7)等重要操作參數後，木糖轉化酒精之效率可提升至 85%。

今年針對 100 L 木糖發酵反應使用之種菌量進行研究，將木糖發酵初始之酵母菌的使用菌量維持在 1 g/L-2 g/L，並且測試不同通氣量對 100 L 木糖發酵反應之影響，實驗結果發現木糖較佳轉化率為 86%(表 3.1)，比較本項木糖發酵研究與其他使用相同菌株之木糖發酵研究成果，發現本研究所使用之種菌量低於已發表之研究報告(約 1-4 g/L)，並且本研究於 100 L 木糖發酵程序中沒有再另外添加任何營養源或是無機鹽類幫助酵母菌生長，同時木糖發酵之總糖使用率達 100%，證明在此操作條件下酵母菌可以有效地利用半纖維水解液中所含有的醣類。此外，目前對木糖發酵之去毒性中和程序(如：overliming)還是普遍被國際上多數實驗室所採用，未來將針對免除去毒性中和程序進行探討，希望藉由將此程序刪除達到降低木糖發酵轉化酒精程序的複雜度。目前已發表之木糖發酵相關研究報告顯示，木糖發酵操作於 100 L 發酵反應槽是目前較大規模的發酵實驗，所得到的實驗數據和操作參數應可提供噸級測試廠木糖發酵系統運轉測試之參考依據。

3.4 質能平衡與成本推估

為瞭解生質纖維原料之主要成份在處理轉化為酒精的過程中，於各單元程序或設備的質量變動及能量消耗情形，以作為運轉評估及效能提升之基礎，因此有必要建立纖維素轉化酒精製程之質能平衡估算模式。本研究先以 10 公斤級實驗系統的測試數據進行計算分析，再依據噸級測試廠之設計基準計算其理論質量及能量流程，以推估穩定運轉時的酒精生產效能。依據噸級示範測試廠之製程及其工程設計基準，配合 97 年度完成之質量平衡計算程式，本年度逐步建立完成稻稈纖維轉化酒精前處理、酵素水解、發酵、蒸餾純化及脫水等各單元程序操作之能量輸入輸出理論計算程式。並利用初步建立之纖維酒精噸級測試廠質能平衡理論計算程式，探討分析稻稈纖維轉化酒精製程前處理、酵素水解、發酵、蒸餾純化脫水各單元程序操作對蒸汽熱能的需求情形，初步計算結果顯示前處理之酸解反應器需要的蒸汽熱能為最多，在前處理單元之固液比為 15%的操作條件時，每處理 1 噸乾稻稈原料需要投入約 923 Mcal 的蒸汽，其次為蒸餾純化單元需要約 754 Mcal 的蒸汽。其次就 SHF、

SSF、SHCF、SSCF 及木糖發酵串接 SSF 等不同製造程序，分別估算其可能之操作損失與酒精產率，結果顯示在相同的轉化效率條件下，SHCF 及 SSCF 程序的產率較高，而 SSCF 程序產出之發酵液酒精濃度為最高。另外亦依據纖維酒精噸級測試廠質能平衡程式估算批次與連續運轉時需要之各種原物料(如：稻稈、纖維素水解酵素、種菌營養源、化學藥品、水及柴油等)數量，再參照其目前之市場價格，可初步推估噸級測試廠批次與連續運轉時所需之原物料費用。

依據噸級示範測試廠之流程圖及相關設備規模，完成各單元主要設備成本資料之整合，其中前處理部份佔設備投資金額之 21%，醱液調理及發酵相關設施佔 26%，酒精脫水純化設備佔 12%，廢水處理佔 5%，其餘 36%為公用設施及管線。此外成本推估則參考 NREL 計算酒精最低售價 (minimal selling price) 之模型，作為後續評估國內纖維酒精生產成本之基礎，此模型以建造成本、固定成本、變動成本及相關參數推估酒精之最低售價。

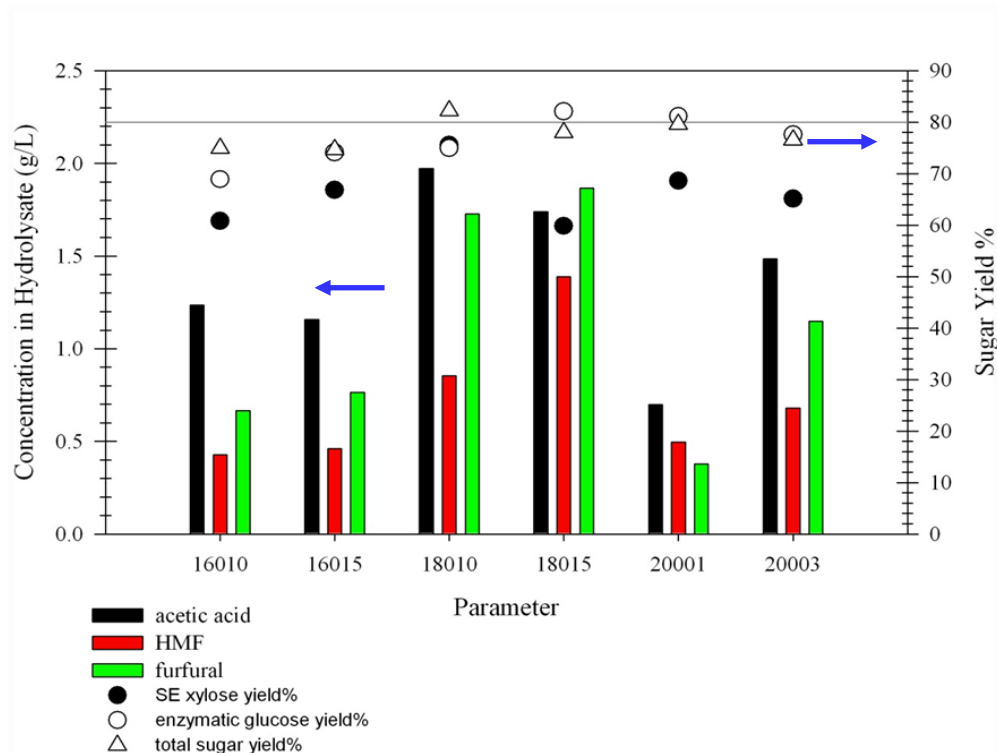


圖 3.1 前處理操作溫度及時間與水解液中發酵抑制物濃度、前處理木糖轉化率、酵素水解效率及總糖轉化率之相關性

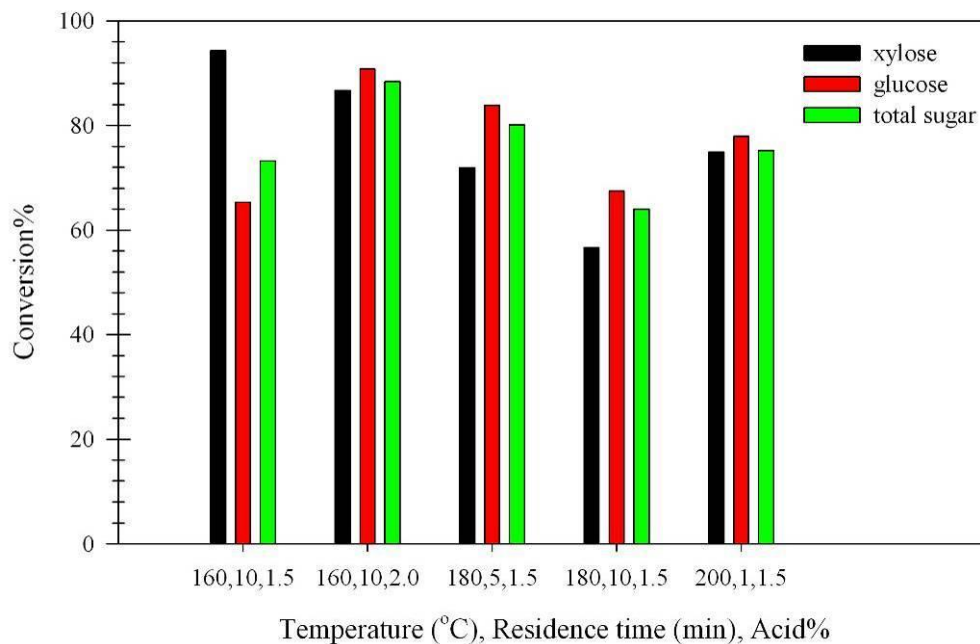


圖 3.2 前處理操作溫度、時間及酸添加量與水解液中發酵抑制物濃度、木糖轉化率、葡萄糖及總糖轉化率之相關性

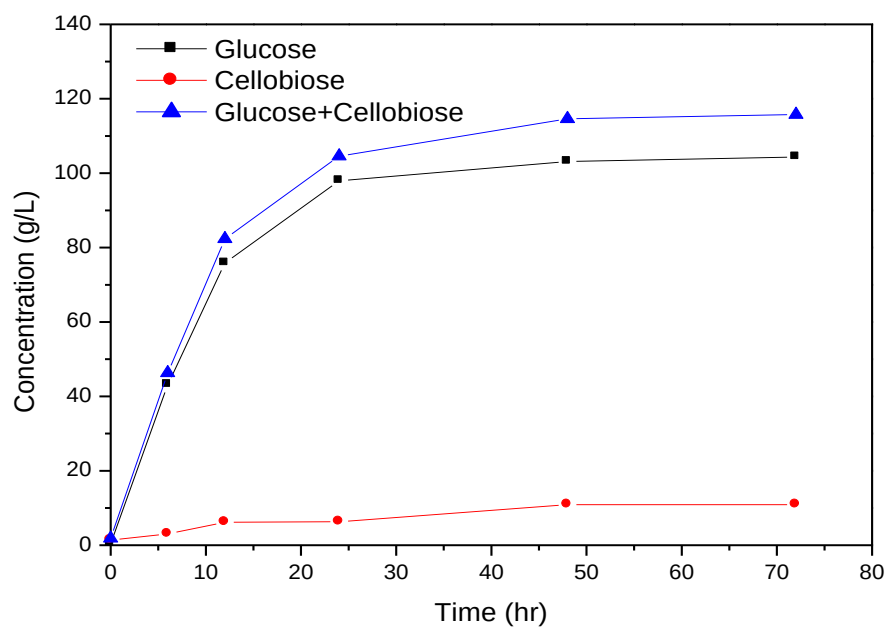


圖 3.3 100L 臥式反應器進行高固液比酵素水解之結果

表 3.1. 100L 發酵槽木糖發酵結果及與國際期刊論文之比較

substrate	pretreatment	Reactor type and size	detoxification	pH	Sugar utilized(%)	yield	reference
Sunflower seed hull	Dilute H ₂ SO ₄	250 ml flask	overliming	6	78	0.38	Telli-Okur and Eken-Saraçoğlu (2008)
Corn stover	Dilute H ₂ SO ₄	125 ml flask	NH ₄ OH neutralized	6	92	0.42	Agbogbo et al.(2007)
Corn stover	Dilute H ₂ SO ₄	125 ml flask	NH ₄ OH neutralized	6	97	0.37	Agbogbo and wenger(2007)
Paja Brava	preSteam and 0.5-2% H ₂ SO ₄	40 ml flask	no	5.5	100	0.2	Sanchez et al. (2004)
Red oak wood chip	Pulp and paper mill liquor	300 ml stirred tank bioreactor	overliming	6.5	89	0.41	Nigam(2001b)
Red oak wood chip	Dilute H ₂ SO ₄ (0.5 v/v)	250 ml flask	overliming	6.0	93.5	0.4	Nigam(2001)
Wheat straw	Dilute H ₂ SO ₄ (1.85% w/v)	5 l microferm fermentor	overliming	6.5	85.8	0.43	Nigam(2001c)
Rice straw	Dilute H ₂ SO ₄	100L fermentor	overliming	6	100	0.44	This study

七、計畫管理情形

- (一).每週召開計畫會議追蹤工作與預算執行進度，遇有進度落後情形發生，則研擬解決方案及作法，並列為重點追蹤項目。
- (二).本計畫為院列管計畫，每月按時繳交月報表，亦同時檢討計畫工作與預算執行進度。
- (三).年度計畫績效指標(KPI)於年初時則分配給計畫同仁，執行人員須全力以赴，達成目標。

八、重點技術或措施與國際之比較，並與本計畫目前成果作比較

計畫之重點技術 或措施	與國際之比較	與計畫目前成果之比較
建立酸催化蒸汽爆裂前處理技術，前處理木糖轉化率及酵素水解效率可達80%與95%以上，而最佳總糖產率達81%	文獻發表之酸催化蒸氣爆裂前處理木糖轉化率及酵素水解效率多介於45-75%與65-96%，總糖產率為70-77%	稻稈經酸催化蒸汽爆裂前處理後其所得木糖轉化率及後續酵素水解效率已與國際發表之論文相當。
利用突變 NR21-1P，經誘導所生產之酵素比活性已達1.78 FPU/mg，已達計畫酵素活性1.6 FPU/mg之目標。	利用突變菌株生產之酵素，原來未突變菌株增加1.96倍之比活性，已可達接近商業酵素1.5-1.7 FPU/mg水準，顯示利用突變技術可有效增加酵素之比活性。	經酸催化前處理後稻渣用於纖維素酵素生產方向，其所得酵素比活性及後續酵素水解效率已與國際發表之文獻相當。
在水解實驗數據顯示，酵素水解能力則為85.7%，優於Celluclast 1.5L 混合Novozyme 188之81.7%。	在對前處理稻渣水解效率部分，也表現比商業酵素優異，並提升約4%水解效率，顯示非常具有潛力之研究成果。	

建立於木糖發酵過程中添加木質纖維材料藉此提高木糖轉化酒精之效率

目前已有使用蔗渣和甜根子菜之纖維作為固定化之基質分別針對提升菌種木糖醇和酒精的產率作研究。但以稻稈作為固定化基質的研究目前還沒有發現。

將木質纖維原料予以適當的處理後，再添加於木糖發酵反應器中，可有效地提高木糖發酵之轉化效率，尤其當酵母菌 *Pichia stipitis* 應用於木糖轉化酒精發酵程序時，添加上述處理後之木質纖維素物料，可提高 10% 的木糖轉化酒精效率。

經過實驗證實此提高轉化率之效果在使用前處理 130℃ 所得之木糖水解液皆可得到類似之結果，未來將針對證明其原理和放大至實際應用之尺寸作更進一步的研究。

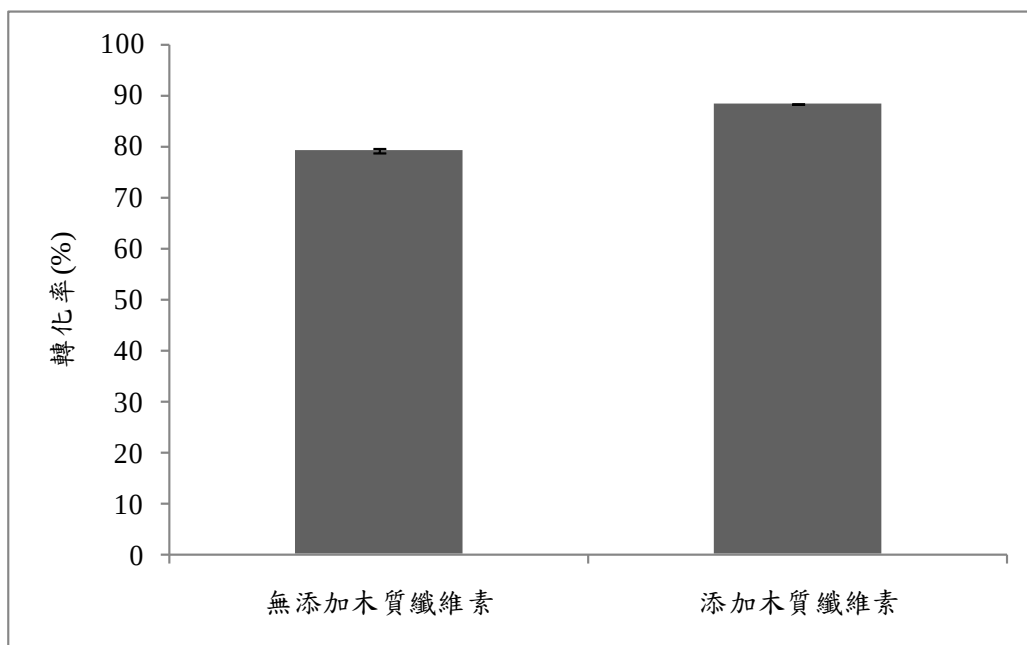


圖 1、使用經過過鹼化法去毒性反應之 130℃ 前處理水解液，添加和未添加之轉化率比較圖。

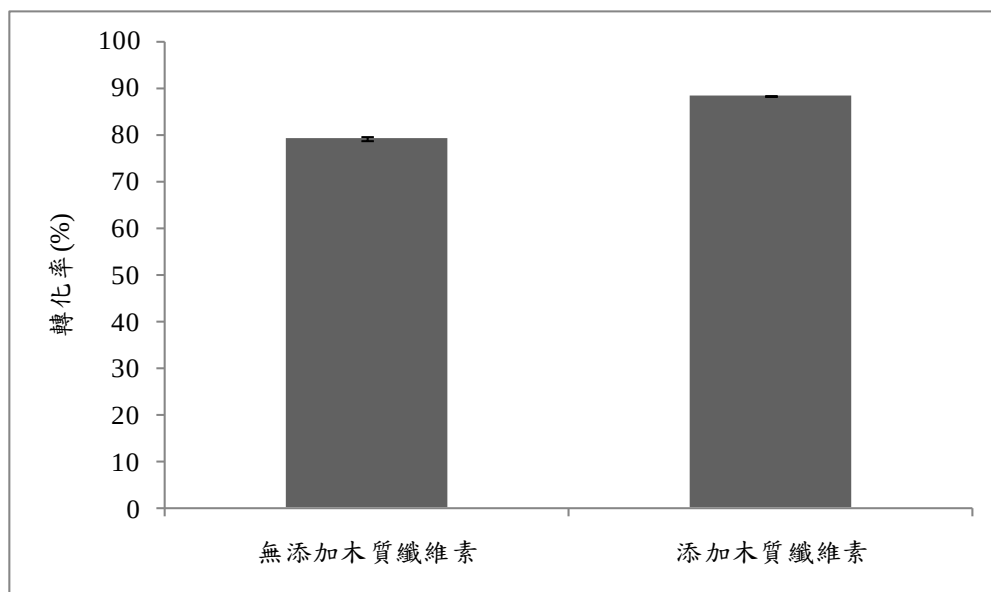


圖 2、pH=6.0，130°C 水解液未經過過鹼化法去毒性反應之木糖發酵，添加和未添加木質纖維素之發酵實驗。

建立高固液比酵素水解技術

本研究所發展之高固液比酵素水解反應克服糖化效率受反應槽質傳與熱傳之限制，固液比 5-25% 之糖化效率差異在 5% 之內，與國外相關研究結果比較，當酵素水解固液比為 25% 時，其糖化效率約為未受質傳限制之低固液比操作所得糖化效率值的 95% 左右，顯示本計畫研發之臥式水解槽的混合功能確實領先國際相關研究。

本研究精進高固液比酵素水解程序之操作，將酵素水解固液比提升至 30%，其單糖濃度亦可達 13% 左右。

酸催化蒸汽爆裂前處理研究成果與國際文獻比較

Feedstock /Size	Scale	Acid	Temp/ Pressure	Time (min)	Process	Result	Reference
Wood		H ₂ SO ₄	13-28 bar	3, 6	SHF	Pretreatment: 5C: 14-22 g/L; 6C: 1-10 g/L Enzymatic hydrolysis: Overall: 23-56 g/L	Nunes A. P., INA-G, France (1996)
Agriculture residue Chop/mill	40 t/day	0.5-1% H ₂ SO ₄	200-250 °C (15-40 kg/cm ²)	< 1	SSCF	Enzymatic hydrolysis: Yield: 80-95 %	Tolan J. S., Iogen, Canada (2002)
Corn stover 2-5 mm	180 g/batch	0.5-2% H ₂ SO ₄	190-210 °C (13-20 kg/cm ²) (S/L=20%)	2-5	SHF	Pretreatment 5C: 66% Enzymatic hydrolysis 6C: 81.1%	Varga E., Budapest University, Hungary(2004)
Bagasse	300 g/Batch	SO ₂ 、H ₂ SO ₄	180-205 °C (10-17 kg/cm ²)	5, 10	SSF	RS Yield: 76-96 % Ethanol Yield: 80 %	Sendelius, Lund University, Sweden (2005)
Wheat straw		0.9% H ₂ SO ₄	160-200 °C (6-15 kg/cm ²) (S/L=20%)	5-20	SHF	Pretreatment: Hemicellulose: 85% Enzymatic hydrolysis: Yield: 69%	Ballesteros I., CIEMAT-Renewable Energies Division, Spain(2006)
Corn stover, 2-3 cm	500 g/batch	1.5-3% H ₂ SO ₄	180-200 °C (10-17 kg/cm ²)	5	SHF	Enzymatic hydrolysis: Yield: 65-93 % (24h) Total recovery: Glucose: 65-84% ; xylose:40-66%	Zimbardi F., ENEA, Italy (2007)
Pine、wood,	300 g/batch	4-4.5% SO ₂	195, 200, 215 °C	5, 7.5	SHF SSF	Enzymatic hydrolysis: Glucose: 69, 75, 72 % (72h) Ethanol Yield: 72, 72, 73 % (30h)(SHF) Ethanol Yield: 62, 80, 75 % (30h)(SSF)	Saddler, University of BC, Canada (2007)
Olive tree , <10 mm	200 g/Batch	1-2% H ₂ SO ₄	190-240 °C (13-33 kg/cm ²)	< 1 (40-50 s)	SSF	Pretreatment: Hemicellulose: 45-74% Enzymatic hydrolysis: Yield: 24-70 % (72h) Ethanol Yield: 27-68 % (72h)	Castros, University of Jaén, Spain (2008)
Wheat straw 2-10 mm	300 g/batch	0.2% H ₂ SO ₄	190-210 °C (13-20 kg/cm ²) (S/L=30%)	2-10	SHF	Pretreatment 5C: 45.2% Enzymatic hydrolysis 6C: 96%	Linde M., Lund University, Sweden (2008)
Salix chip 2-10 mm	750 g/batch	0.25-0.5% H ₂ SO ₄	180-210 °C (10-20 kg/cm ²) (S/L=38-41%)	4-12	SHF	Pretreatment 5C: 60% Enzymatic hydrolysis 6C: 80%	Sassner P., Lund University, Sweden(2008)
Rice straw, 20 mm	100 g/Batch	1-4% H ₂ SO ₄	180 °C (10 kg/cm ²) (S/L=10-15%)	2-20	SHF	Pretreatment: 5C: 10-22 g/L; Yield:40-75% Enzymatic hydrolysis: 73-93 % (72h) Total sugar yield: 58-75%	INER, Taiwan (2008)
Rice straw, ≤ 10 mm	1 kg/Batch	0.5-2% H ₂ SO ₄	160-200 °C (6-15kg/cm ²) (S/L=15-30%)	1-20	SHF	Pretreatment: 5C: 11-24 g/L; Yield:27-83% Enzymatic hydrolysis: 73-99 % (72h; 20FPU/g cellulose) Total sugar yield: 80%	INER , Taiwan (2009)

九、目前碰到困難以及因應對策

- (一).噸級測試廠預處理設備中之粗切設備係為自行設計研發，但由於稻稈係為亂數排列，每捆之重量與緊鬆程度不盡相同，故本粗切設備雖已經過多次測試，未來正常運轉與連續自動操作的情況下，應有架橋卡料之可能，將持續對此粗切設備進行開發以提升其功能。
- (二).雖然噸級測試廠前處理系統之各單元設備製作前皆經多次測試及討論，但由於稻稈纖維之特性（如假比重小、比熱低、表面疏水性等）導致其不易混合、輸送、加熱及分離，因此未來連續運轉時將增加許多困難及不確定性，且本設備為後續酵素水解、發酵、蒸餾等程序之基本料源，本團隊已於設計時考量此困難，於前處理系統增加半

連續式批次操作程序，以作為未來連續運轉測試時之替代程序。

(三).本計畫初期係以稻稈為生質纖維原料，研究將稻稈轉化為酒精的處理程序及測試建立最佳程序參數，以達到最高的纖維酒精產率；但是不同品種、不同產地及不同產季的稻稈成份都可能會有所差異，而影響到計算程序轉化效率時之基準，以及反應測試時的物料添加數量，造成不正確的測試計算結果；因此本計畫規劃後續擬蒐集各種不同的稻稈或其他可能之生質纖維料源，進行組成分析，以建立完整的生質原料成份資料庫。

(四).酒精售價的估算需商轉廠建造成本、固定成本、變動成本及相關參數，較有說服力的建造成本需由顧問公司配合估價設計才可得之，以目前規劃之方法計算之售價成本並不具代表性，僅能供製程改善評估之依據。

十、已有重大突破及影響

1. 建立酸催化蒸汽爆裂前處理技術及設備，於最適操作條件下，木糖轉化率及酵素水解效率可達 80%與 95%以上，最佳總糖產率可達 80%。且進一步作為纖維轉化酒精噸級測試廠前處理系統之設計基礎，完成酸解前處理反應器及固液分離系統之整體設計及建置。
2. 建立木糖發酵串接 SSF 程序，發展批次饋料之高固液比酵素水解技術，可大幅減少製程用水，並提高纖維酒精製程最終產出之酒精濃度，以降低後續酒精蒸餾純化之能量消耗，以及廢水處理之成本。

十一、98 年度作業計畫績效評核項目達成情形

績效評核項目	達成情形
一、年度目標	1.1 預處理系統
1.完成預處理、前處理、酵素水解、發酵槽、廢水處理、	98 年 4 月 14 日完成簽約；於 98 年 6 月 19 日完成文件及圖件設計審查驗收。於 11 月 23 日開始陸續進廠施工，98 年 12 月底完成安裝

績效評核項目	達成情形
管線、儀控、消防等系統設施之建置	及試車。系統包含環抱式叉動車、輸送帶、稻稈解捆裝機、稻稈粉碎機、真空傳送裝置、粉碎稻稈暫存桶等，可於壹個工作班時間內，完成壹公噸稻稈之粉碎(長度小於 2 公分)等預處理程序。 1.2 前處理系統 98 年 6 月 11 日完成簽約，履約期 300 日曆天。於 98 年 11 月 19 日完成細部設計及部份單元設備驗收；於 11 月 25 日開始陸續進廠施工，98 年 12 月底完成安裝及空白試車。配合程序需求擬於 99 年 3 月底前完成實料試車。本系統包含預熱反應器、高溫酸解反應器、閃化槽、固液分離等設備，可於壹個工作班時間內將粉碎後稻稈進行酸解前處理，獲得五碳糖水解液，以提供五碳發酵生產酒精；同時配合蒸汽爆裂程序破壞稻稈結構，以利後續酵素水解程序之進行。 1.3 酵素水解系統 98 年 3 月完成水解槽槽體製作；98 年 8 月完成管線配置；98 年 9 月完成儀表安裝；98 年 10 月完成與中控系統連線。系統為臥式高攪拌效率桶槽，使用固液比可達 20%以上。水解桶槽之使用容積為 6300 公升(設計容積為 9000 公升)。可將酸解後之纖維素水解液化成六碳糖液。 1.4 種菌、發酵槽系統 98 年 3 月完成槽體製作；98 年 5 月種菌槽完成儀控建置並在公用設施配合下完成 72 小時無菌測試；98 年 8 月完成管線配置；98 年 9 月完成儀表安裝；98 年 10 月完成與中控系統連線。相關固液分離設備於 98 年 8 月完成建

績效評核項目	達成情形
	置與測試。系統設計容量六碳菌種槽為 1000 公升，五碳菌種槽為 1500 公升；五碳發酵槽設計容量為 9000 公升，六碳發酵槽為 7000 公升。 1.5. 廢水處理 廢水處理設施已於 98 年 10 月 30 日完成第一階段硬體設施及清水試車，並於 98 年 12 月 25 日完成兩個月實際廢水運轉測試。程序採用生物處理法，包含調勻池、沉澱池、厭氧處理槽、曝氣槽及污泥脫水裝置等，採 PLC 自動控制，最大處理量為每日 40 立方米之有機廢水。 1.6. 管線 97 年 11 月 19 日完成管線及塔槽製作工程簽約，98 年 3 月 18 日完成塔槽及泵浦安裝，並於 3 月 25 日完成第一期驗收。98 年 5 月底完成全廠管線配管及管線試壓、PT 與 RT 檢驗，於 98 年 6 月 18 日完成第二期驗收。98 年 9 月 17 日完成所有管線及塔槽保溫保冷工程施工並檢附設計文件及圖說，並於 9 月 18 日完成第三期所有工程驗收。系統包含公用之桶槽及管線，可供應全廠公用設施流體之貯存及輸送。 1.7. 儀控 98 年 2 月 25 日完成簽約；98 年 3 月 25 日完成規格及設計圖件審核；98 年 9 月中旬完成儀表安裝配線及中央控制室軟硬體安裝；98 年 10 月完成 95% 進度，因配合單元系統之控制連線，98 年 12 月中旬全部完成。系統包含程序儀表安裝與連線、中央控制軟硬體、監視系統等。採用 DCS 控制軟體架構，儀表均

績效評核項目	達成情形
	具 HART 功能，可追蹤紀錄程序運轉參數。各單元系統均與中控連線，可於中控室操作全廠設備。 1.8. 通風/消防 通風設備 98 年 5 月 15 日 完成與得標廠商簽約，98 年 10 月完成安裝與測試，並於 98 年 10 月 30 日完成驗收。系統包含進排風機及管線、緊急排風裝置等，可提供合於勞工法規之工作環境。消防設備 98 年 6 月 9 日第三次開標成功，98 年 10 月下旬完成設備安裝及測試。系統包含消防水池、消防泵、緊急發電機、消防管線及消防栓、緊急廣播系統等，可提供 7 公斤壓力之消防水。
2.發酵槽體積達 100 公升，酵素活性達 1.6 FPU/mg protein	2.1. 完成 5 L 規模酵素試產研究，目前利用 160℃ 酸處理稻稈為誘導物，發現培養溫度 30℃ 及酸鹼控制在 pH5.5 條件下，可得酵素活性達 2.1 FPU/ml (誘導碳源含量 1%)，為瓶杯生產酵素活性的 1.6 倍。 2.2. 建立酵素生產菌株之突變操作技術，已完成纖維素水解酵素生產菌株之 NTG 突變技術，共獲得五株突變菌種，於平板培養基上 clear zone 及 colony size 所得比率(Halo ratio)皆高於原始菌株 Rut C30 之 3.71。目前利用高劑量 γ 射線(0.5-3 kGy/h)照射突變，並開始進行大量突變株之篩選。 2.3. 利用突變菌株生產纖維酵素，目前可達到酵素活性 1.78 FPU/mg protein，並已開始進行 100L 發酵槽程序測試。目前利用 Avicel 標準纖維素誘導，亦可達 2.5 FPU/ml 左右之酵素活性，後續將替換 Avicel，改利用稀酸處理稻渣為誘導物進行酵素生產。

績效評核項目	達成情形
3.完成前處理、酵素水解、發酵等程序參數，以及質能平衡與成本推估	3.1 前處理程序：1 kg/batch 酸催化蒸汽爆裂法處理稻稈原料之效能測試實驗分為三個階段：分別為(1)酸添加量測試，反應溫度 180 °C，酸添加量為 0.5 ~ 2.5%；(2)反應溫度(160 ~ 200°C)及停留時間(1 ~ 20 分鐘)測試；(3)固液比(20% ~ 30%)測試。測試結果顯示，以 1%酸量、200 °C、反應時間 1 分鐘之總糖產率為 81%，木糖轉化率可達 72.4%，水解液中之發酵抑制物濃度低於 0.7 g/L。 3.2 酵素水解程序：進行高固液比酵素水解測試研究，於 100L 水解槽進行酵素水解實驗，以初始固液比為 10%，最終固液比達 30%條件下批次饋料。實驗結果顯示，葡萄糖濃度達 131g/L，水解效率可達 70~75%左右。為測試評估在目前建置的設備系統狀況下，連續式進料之酵素水解效應，亦以多批次饋料模式（multi-batch）在 5L 之水解設備進行模擬測試，以提供噸級廠酵素水解連續運轉之程序參數；多批次饋料以每 2 小時進行一次饋料，分別為 264 g (6-batch) 與 317 g (5-batch)，直至固液比達 30%，酵素劑量為 15 FPU/g cellulose，反應溫度 50°C，實驗進行 72 小時；初步實驗結果顯示，酵素水解之葡萄糖轉化率於 72 小時皆可達相同結果（71%轉化率），然而酵素水解若以 24 小時為反應終止時間，研究結果發現 6-batch（61%轉化率）之酵素水解效率優於 5-batch（56%轉化率）。 3.3 發酵程序：進行 100 L 木糖發酵反應研究，將木糖發酵初始之酵母菌的接種菌量維持在 1 g/L ~ 2 g/L，並以 0.05vvm 通氣量於 30°C 下對酵母菌進行木糖發酵培養，實驗結果顯示，其木糖轉

績效評核項目	達成情形
	化率達 86%。對六碳葡萄糖發酵系統，則分別以不同酵素水解條件反應下之水解液進行酒精發酵轉化測試。在溫度 30℃、攪拌速度 100 rpm、0.2 kg/cm² 槽壓控制及 10%培養之接菌量的條件下進行發酵反應 24 小時，測試結果顯示，酒精轉化率皆可達 95%以上；此外，酵素水解液在未經固液分離之情況下，直接進行醱酵反應，其酒精轉化率亦可達 95%以上。 3.4 質能平衡與成本推估：依據噸級示範測試廠之製程及其工程設計基準，建立稻稈纖維轉化酒精前處理、酵素水解、發酵、蒸餾純化及脫水等各單元程序操作之能量平衡理論計算程式，並探討分析稻稈纖維轉化酒精製程各單元程序操作對蒸汽熱能的需求情形；目前計算結果顯示前處理之酸解反應器需要的蒸汽熱能為最多，在前處理單元之固液比為 15%的操作條件時，每處理 1 噸乾稻稈原料需要投入約 923 Mcal 的蒸汽，其次為蒸餾純化單元需要約 754 Mcal 的蒸汽。依據噸級示範測試廠之流程圖及相關設備規模，完成各單元主要設備成本資料之整合，可用於未來商轉廠建造成本之推估，已建立 NREL 計算酒精最低售價 (minimal selling price) 之模型，此模型以建造成本、固定成本、變動成本及相關參數推估酒精之最低售價，待實際質能平衡資料收集後，即可估算酒精售價，用以評量內部製程改善之依據。
二指定指標 (一)學術成就	今年完成期刊論文 5 篇(刊出 3 篇、接受 1 篇、申請 1 篇)，另完成會議論文 6 篇，研究報告 33 篇。已

績效評核項目	達成情形
(二)技術創新	達成計畫 4 篇期刊論文之目標。 今年完成 9 件專利，含獲得本國專利 1 件，申請本國專利 8 件。已達成計畫 4 件專利之目標。
(三)經濟效益	1. 國內已規劃將於 2011 年雙軌全面實施 E3 酒精汽油，估計年使用量為 10 萬公秉生質酒精及 30 億新台幣的年產值(以每公升 30 元估算);98 年全國能源會議結論並要求評估國內實施 E10 酒精汽油之可行性，屆時國內若有機會實施，並配合能源稅之課徵，預估國內生質酒精年產值可達 100 億元以上。 2. 發展纖維酒精技術除能解決國內農、林業之廢棄物(剩餘物)問題外，仍著眼於技術輸出。台灣的稻稈年產量達 150 萬公噸，為最大宗的農業廢棄物，以稻稈做為纖維酒精生產原料，將不會與糧食供給發生衝突，同時又能解決農業廢棄物的處理問題。再者亞洲地區每年產 670 百萬噸之稻稈，可視為未來技術輸出之主要地區，因此以稻稈為原料建立纖維酒精生產技術，也能幫助台灣的產業至海外建立生產基地。
(四)社會影響	1. 依據 98 年全國能源會議結論: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。未來國內如推動酒精汽油 E10 使用纖維酒精，E10 使用量為 100 萬公秉，CO₂ 減量以每噸酒精減 1.8 噸計算則為 1.8 百萬噸。 2. 本計畫執行期間，共 15 家承攬商，約 200 人投入噸級測試廠之建置工作，間接提供就業機會，增加就業人口。本計畫今年也招募不同專長

績效評核項目	達成情形
	之人員投入計畫工作，以加強本計畫之執行力。至本計畫服務之人員，上半年增加 2 位技術員，下半年增加 4 位研究人員，1 位資訊人員，共增加就業人數 7 人。

參、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(金額單位：千元)

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	名稱	經費			
纖維轉化酒精 前瞻性量產 技術發展	189,882				核能研究所	
		前瞻型示範 測試廠之設 計與建置	168,160		核能研究所	完成預處理、前處理、酵素水解、發酵槽、廢水處理、管線、儀控、消防等系統設施之建置。
		糖化酵素及 發酵菌株之 引進與研發	9,722		核能研究所	利用 100 公升發酵槽，開發酵素生產技術，酵素活性達 1.6 FPU/mg protein。
		示範測試場 系統程序運 轉參數之研 究與整合	12,000		核能研究所	完成前處理、酵素水解、發酵等程序參數，以及質能平衡與成本推估。

(二)經資門經費表

預算執行數統計截止日期 98.12.31

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	預算執行		
					流用後預算數 (實際執行數)		占總經費% (執行率%)
一、經常支出							
1.人事費							
2.業務費		17,992,000 (17,992,000)		17,992,000 (17,746,440)	9.48 % (98.64%)	1. 97 年度保留數 1,730,416 元已 執行完畢 2. 98 年度結餘數 245,560 元	
3.差旅費							
4.管理費							
5.營業稅							
小計		17,992,000 (17,992,000)		17,992,000 (17,746,440)	9.48 % (98.64%)		
二、資本支出							
1.設備費		171,890,000 (171,890,000)		171,890,000 (154,797,047)	90.52 % (90.06 %)	1. 97 年度保留數 57,945,883 元 已執行完畢 2. 98 年保留數 14,624,293 元 3. 98 年度結餘 數 2,468,660 元	
小計		171,890,000 (171,890,000)		171,890,000 (154,797,047)	90.52 % (90.06%)		
合計	金額	189,882,000 (189,882,000)		189,882,000 (172,543,487)	100 % (90.87%)	1.97 年度保留數 共 59.676,299 元已執行完畢 2.98 年保留數 14,624,293 元 3.98 年度結餘數 2,714,220 元	
	占總經費%： (執行數÷流用後預算 數)	100%		(90.87 %)			

與原計畫規劃差異說明：

1. 97 年度業務費保留數 1,730,416 元，設備費保留數 57,945,883 元，已於 98 年 8 月全部完成執行完畢。業務費保留款「纖維轉化酒精測試廠監造費(970767L)」原係配合技術服務監造項目實際結報金額依建造費用百分比計算，實際結報 1,552,903 元，註銷 177,513 元。
2. 計畫經費運用：(1)本年度計畫經常支出分配數為 17,992,000 元，經常支出 17,746,440 元，執行率達 98.64%，結餘數 245,560 元全數繳庫；業務費主要用途為支應實驗室耗材、委託計畫、水電、廠房整修等費用。(2)資本支出分配數為 171,890,000 元，實際結報數為 154,797,047 元，保留數 14,624,293 元，執行率 90.06%，支用率 98.56%，年度結餘數 2,468,660 元全數繳庫；資本門主要用途為支應纖維酒精建廠設施之建置。(3)經資門合計結報數 172,543,487 元，保留數 14,624,293 元，執行率 90.87%，實支數 187,167,780 元，支用率 98.57%。
3. 差異(年度保留數)說明：
 - (1)前處理『酸解前處理反應器及固液分離系統』已全部完成組裝與單元系統批式實體功能測試與連續式空白試車；惟尚需進行實體連續式功能測試，壓力容器並需取得主管機關核發工檢合格證。前項實體連續式功能測試及取得主管機關核發第 1 種壓力容器工檢合格證約佔契約 5%價款，故截至本年底整體實際執行進度達合約金額 95%，核計應付 NTD41,695,500 元，98 年度已結算合約金額 80%，即 NTD35,112,000 元。核計保留 8,778,000 元中尚有 NTD6,583,500 元應付未付。
 - (2)稻稈切割及儲存系統設計及製作，亦已全部完成組裝與單元系統批式實體功能測試；惟尚需進行整體連續式功能測試。其單元系統批式實體功能測試時，採購明細中因有破碎機及真空抽送等 3 項設備計 NTD990,000 元(佔資本門 0.6%)與規範標準差異太大，經與承商溝通後決議予以退貨不予履約；另攪拌粗切設備雖未達規範標準，惟此設備目前市場尚無符合規範功能之產品，屬計畫新開發研發設備；本案承商雖反覆修改、重作亦僅達契約規範約 66%；但依計畫需求，現有設備仍有攪拌粗切之基本功能使用價值，故目前在不妨礙使用需求及安全，並配合計畫使用下，暫時予以保留，請承商繼續改善，待完成後再辦理結算。扣除前段不予履約項次(不含整體設計費 10%)後，履約金額為 NTD9,086,000 元；揆諸前揭說明，截至本年底整體實際執行進度達合約金額 90%，核計應付 NTD8,177,400 元，98 年度已結算 NTD4,741,200 元。核計保留 4,344,800 元尚應撥付 NTD3,436,200 元。
 - (3)纖維轉化酒精測試廠 98 年度處理設施及廠房整建監造案，為配合前 2 項所列年度尚未驗收之購案其實際累計至本年底執行監造進度達其合約金額 94.14%計，再併同其他已完成各購案之實際監造執行進度，合計達 98.35%，故實際應付監造費 NTD4,172,912 元；但 98 年度已核付 NTD2,741,421 元，故保留款 1,501,493 元中，實際尚有 NTD1,431,485 元應付未付。
4. 綜前 3 點說明，本年度保留款 14,624,293 元中，依實際執行進度核計尚有 NTD11,451,185 元應付未付。依此推估，實際執行數為 183,994,672 元，執行率可達 96.9%。

二、計畫人力運用情形：

(一)計畫人力(人年) 人力統計截止日期 98.12.31(全年)

計畫名稱	執行情形	總人力	研究員級	副研究員級	助理研究員級	助理
分支計畫 纖維轉化 酒精前 性量產技 術發展	原訂	40	1.8	7.2	18.4	12.6
	實際	37.4	1.8	6.6	18.2	10.8
	差異	-2.6	0	-0.6	-0.2	-1.8
分項計畫 前瞻型示 範系統之 設計與建 置	原訂	24	1.8	6	10	6.2
	實際	22.4	1.8	6	10	4.6
	差異	-1.6	0	0	0	-1.6
分項計畫 糖化酵素 及發酵菌 株之引進 與研發	原訂	6	0	0.6	2	3.4
	實際	5	0	0	1.8	3.2
	差異	-1	0	-0.6	-0.2	-0.2
分項計畫 示範系統 程序運轉 參數之研 究與整合	原訂	10	0	0.6	6.4	3
	實際	10	0	0.6	6.4	3
	差異	0	0	0	0	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	投入人月數 及工作重點	學、經歷及專長	
王○寶	主持人	7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】
門○中	分項 主持人	1人月 分項計畫督導與 執行	學 歷	博士
			經 歷	研究員
			專 長	【12】【分析化學】
魏○揚	分項 主持人	8人月 分項計畫督導與 執行	學 歷	博士
			經 歷	副研究員
			專 長	【23】【化學工程】
黃○松	分項 主持人	6人月 分項計畫督導與 執行	學 歷	碩士
			經 歷	副研究員
			專 長	【29】【醫學工程】
蔡○晉	副工程師	7 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】
蔡○諺	副工程師	7 人月 酒精純化及 系統工程	學 歷	碩士
			經 歷	副工程師
			專 長	【23】【化學工程】
林○翔	副工程師	3人月 菌株發酵	學 歷	碩士
			經 歷	國防役
			專 長	【23】【分子生物科技】
陳○泉	副研究員	12人月 計畫管理	學 歷	碩士
			經 歷	副研究員
			專 長	【12】【化學】

郭○倫	工程師	6人月 酵素水解與發酵	學 歷	博士
			經 歷	副工程師
			專 長	【2H】【環保生物工程】
潘○立	副研究員	3人月 公用系統與廢水處理	學 歷	博士
			經 歷	副研究員
			專 長	【2H】【水資源及環境工程】
王○輝	副工程師	6人月 系統工程	學 歷	博士
			經 歷	副工程師
			專 長	【23】【化學工程】
任○熹	副研究員	6人月 機械工程	學 歷	碩士
			經 歷	副研究員
			專 長	【21】【機械工程】
陳○華	副工程師	5人月 前處理	學 歷	博士
			經 歷	副工程師
			專 長	【23】【化學工程】
許○傑	國防役副工程師	6 人月 樣品分析	學 歷	碩士
			經 歷	副工程師
			專 長	【12】【分析化學】
黃○彰	副研發師	4 人月 程序研究	學 歷	博士
			經 歷	副研發師
			專 長	【23】【化學工程】
陳○希	副工程師	2 人月 樣品分析	學 歷	博士
			經 歷	副工程師
			專 長	【12】【分析化學】
翁○翔	副工程師	4人月 系統工程	學 歷	博士
			經 歷	副工程師
			專 長	【2H】【環境工程】

逢○芳	副研究員	6人月 酵素水解與發酵	學 歷	碩士
			經 歷	副研究員
			專 長	【32】【原子科學】
張○明	工程師	2人月 系統工程	學 歷	博士
			經 歷	工程師
			專 長	【23】【化學工程】

與原計畫規劃差異說明：

本計畫規劃投入研究人力共 40 人年；實際投入研究人力共 37.4 人年，與實際人力相差 2.6 人年，實際人力執行率 93.5%。主要差異原因為執行期間因應本所組織異動，原規劃人員配合全所整體需求，調整參與其他計畫工作，以及部分同仁離職與退休等因素，另為工時輸入時間與工時審核過程亦造成統計數值之落差。為補人力缺口，相關工作人員必要時加班，以完成任務。對計畫整體進度並未造成影響。

肆、計畫已獲得之主要成就與量化成果(output)

表一 科技計畫之績效指標(請依計畫性質勾選項目，色塊區為必填)

計畫類別 績效指標	1	2	3	4	5	6	7	8	9	99
	學術研究	創新前瞻	技術發展 (開發)	系統發展 (開發)	政策、法規、制度、規範、系統之規劃 (制訂)	研發環境建構 (改善)	人才培育 (訓練)	研究計畫管理	研究調查	其他
A 論文			✓							
B 研究團隊養成			✓							
C 博碩士培育			✓							
D 研究報告			✓							
E 辦理學術活動			✓							
F 形成教材			✓							
G 專利			✓							
H 技術報告			✓							
I 技術活動			✓							
J 技術移轉										
S 技術服務										
K 規範/標準制訂										
L 促成廠商或產業團體投資										
M 創新產業或模式建立										
N 協助提昇我國產業全球地位或產業競爭力										
O 共通/檢測技術服務										
T 促成與學界或產業團體合作研究			✓							
U 促成智財權資金融通										
V 提高能源利用率			✓							
W 提昇公共服務										

計畫類別 績效指標	1	2	3	4	5	6	7	8	9	99
	學術研究	創新前瞻	技術發展 (開發)	系統發展 (開發)	政策、法規、制度、規範、系統之規劃 (制訂)	研發環境建構 (改善)	人才培育 (訓練)	研究計畫管理	研究調查	其他
X 提高人民或業者收入										
P 創業育成										
Q 資訊服務										
R 增加就業			√							
Y 資料庫										
Z 調查成果										
AA 決策依據										

表二 請依上表勾選合適計畫評估之項目填寫初級產出、效益及重大突破(填寫說明如表格內容)

	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	國際論文刊登 3 篇，1 篇被接受，另 1 篇於審查中。	論文發表在國際上重要期刊包括 Industrial Crops and Products, Separation and Purification Technology, Bioprocess Biosyst Eng, Enzyme and Microbial Technology, Bioresource Technology 等，提高國際能見度。	
	B 研究團隊養成	3 件	與國內學術界合作，建立纖維酒精程序測試與系統建置研發團隊。	建立基因轉殖、酵素生產、廢水薄膜處理等技術，可應用於後續噸級設施之生產程序。
	C 博碩士培育	碩士研究生數量 6 人。	經由與學校之合作研究計畫，由基礎研究突破技術障礙，且培育人才，作為研發後盾。研究生畢業後從事相關行業人數。	
	D 研究報告	22 篇	研究成果可提供後續參與人員參考，以及精進研發策略或方法之基礎。	發展前處理技術提供國內纖維酒精設施使用，也期能技術輸出。

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
技術創新(科技整合創新)	E 辦理學術活動	與中正大學共同主辦 1 場 2009 年台灣纖維技術發展研討會，地點在核研所，報名參加人數達 160 人。	邀請國內 5 位與國外 2 位纖維酒精專家，討論生質能發展趨勢與纖維酒精技術研發方向，達到技術交流之目的。	與國外學者交流，其中纖維酒精 4A-SSF 程序亦為發展趨勢。
	F 形成教材	編製 5/25 研討會論文集一冊及說明會舉辦 19 場次。	提供對纖維酒精技術有興趣之產、學界人士，作為學習教材。	對國內纖維酒精技術之推廣及應用有正面作用。
	G 專利	獲得 1 件，申請 8 件(每件皆有智財局之申請編號)。	建立專利佈局技術，項目包括生質原料開發、前處理機械設計開發、木糖水解液利用之生化製程、纖維素酵素生產、程序元件開發與系統整合等。	
	H 技術報告	7 篇	作為技術傳承以及未來進行系統改善之基礎。	發展高固液比之 SHF 與 SSF 程序，對提升葡萄糖濃度與避免雙糖累積有重要影響。
	I 技術活動	參加技術研討會 6 場。	參與工業局(4 月)、核研所(5 月)、中華化工學會(6 月)、台灣化工(7 月)、中原大學(10 月)、能源局(10 月)等主辦之研討會，討論生質酒精發展與纖維酒精技術，使國內單位瞭解核研所之研發方向及測試平台，希望促成更多之合作，以加速國內纖維酒精之發展	

		績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
經濟效益 (產業經濟發展)		T 促成與學界或產業團體合作研究	委託大葉大學、屏東科技大學、元智大學等 3 所學校研發纖維酒精技術。	委託學術研究單位執行「酵素水解與碳糖共醱酵單元的模式建立與模擬」、「纖維水解酵素生產技術改良之研究」及「纖維酒精製程廢液薄膜生物處理技術之開發」三項計畫。學校之研發成果則回饋至本計畫應用於纖維酒精程序。	
社會影響	社會	R 增加就業	至本計畫服務之人員，上半年增加 2 位技術員。下半年則增加 4 位研究人員，1 位資訊人員，共增加就業人數 7 人。	提供就業機會，使不同專長之人員投入計畫工作，以落實計畫目標。	
	環境安全永續	V 提高能源利用率	依據 98 年全國能源會議結論：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。未來國內如推動酒精汽油 E10 使用纖維酒精，估計其效益如右。	未來本計畫之技術應用於國內量產纖維酒精，E10 使用量為 100 萬公秉，CO ₂ 減量以每噸酒精減 1.8 噸計算則為 1.8 百萬噸。產業效益以每公升酒精新台幣 30 元計算則為 300 億。	本計畫後續建立之噸級測試廠運轉參數將為國內建立量產廠之基礎。

伍、評估主要成就及成果之價值與貢獻度(outcome)

今年完成期刊論文 5 篇(登出 3 篇、接受 1 篇、申請 1 篇)，另完成會議論文 6 篇，研究報告 33 篇。主要學術成就分述如下：

一、學術成就(期刊論文)(權重 20 %)

- (一). **【Characterization of enzymatic saccharification for acid-pretreated lignocellulosic materials with different lignin composition, Enzyme and Microbial Technology, 45, 80-87, 2009】** : The enzymatic saccharification of three different feedstocks, rice straw, bagasse and silvergrass, which had been pretreated with different dilute acid concentrations, was studied to verify how enzymatic saccharification was affected by the lignin composition of the raw materials. There was a quantitatively inverse correlation between lignin content and enzymatic digestibility after pretreatment with 1%, 2% and 4% sulfuric acid. The lignin accounted for about 18.8-21.8% of pretreated rice straw, which was less than the 23.1-26.5% of pretreated bagasse and the 21.5-24.1% of pretreated silvergrass. The maximum glucose yield achieved, under an enzyme loading $6.5 \text{ FPUg}^{-1} \text{ DM}$ for 72h, was close to $0.8\text{g-glucose/g glucan}$ from the enzymatic hydrolysis of the pretreated rice straw; this was twice that from bagasse and silvergrass. A decrease in initial rate of glucose production was observed in all cases when the raw materials underwent enzymatic saccharification with 4% sulfuric acid pretreatment. It is suggested that the higher acid concentration led to an inhibition of β -glucosidase activity. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy further indicated the chemical properties of the rice straw and silvergrass become more hydrophilic after pretreatment using 2% of sulfuric acid, but the pretreated bagasse tended to become more hydrophobic. The hydrophilic nature of the pretreated solid residues may increase the inhibitive effects of lignin on the cellulase and this could become very important for raw materials such as silvergrass that contain more lignin.

- (二). **【Dynamic modeling and analyses of simultaneous saccharification and**

fermentation process to produce bio-ethanol from rice straw, Bioprocess Biosyst Eng (online publication: DOI 10.1007/s00449-009-0313-1, 2009)】 : The rice straw, an agricultural waste from Asians' main provision, was collected as feedstock to convert cellulose into ethanol through the enzymatic hydrolysis and followed by the fermentation process. When the two process steps are performed sequentially, it is referred to as separate hydrolysis and fermentation (SHF). The steps can also be performed simultaneously, i.e., simultaneous saccharification and fermentation (SSF). In this research, the kinetic model parameters of the cellulose saccharification process step using the rice straw as feedstock is obtained from real experimental data of cellulose hydrolysis. Furthermore, this model can be combined with a fermentation model at high glucose and ethanol concentrations to form a SSF model. The fermentation model is based on cybernetic approach from a paper in the literature with an extension of including both the glucose and ethanol inhibition terms to approach more to the actual plants. Dynamic effects of the operating variables in the enzymatic hydrolysis and the fermentation models will be analyzed. The operation of the SSF process will be compared to the SHF process. It is shown that the SSF process is better in reducing the processing time when the product (ethanol) concentration is high. The means to improve the productivity of the overall SSF process, by properly using aeration during the batch operation will also be discussed.

- (三). **【Separation of acetic acid from xylose by nanofiltration, Separation Purification Technology, 67, 95-102, 2009 (INER-6074)】** : Lignocellulose has drawn great attention in the bioethanol industry as an alternative feedstock for ethanol production due to its renewability, abundance and non-food crop characteristics. Acid hydrolyzation of lignocellulose releases sugars (mainly d-xylose) and several derivatives. The sugars in the hydrolyzate are then converted into ethanol by fermentation. Since acetic acid is believed to be one of the inhibitors which limit the yield of ethanol, it is beneficial to remove acetic acid from the hydrolyzates before

fermentation. In this study, a Desal-5 DK nanofiltration (NF) membrane was used to separate acetic acid from xylose, using a synthetic acetic acid–xylose solution as the model. The Desal-5 DK membrane had an isoelectric point of 3.7 and a pore size of 0.83nm based on streaming potential measurement and model calculation. It was found that both the solution pH and the applied pressure affected the separation performance. The observed retention of xylose and acetic acid varied from 28% to 81% and –6.8% to 90%, respectively, depending on the solution pH and the applied pressure. The maximum separation factor was 5.4 when the system was operated at pH 2.9 and 24.5 bar. In addition, negative retention of acetic acid was observed only in the presence of xylose. The results suggested that intermolecular interactions play an important role in the separation of xylose and acetic acid.

- (四). **【Microscopic structure features changes of rice straw treated by boiled acid solution, Industrial Crops and Products, 29, 308~315, 2009 (INER-5970)】**: This study focuses on the determination of structure change of surface area, morphology, crystallinity and pyrolysis characteristics of cellulosic feedstock treated by hot acid solution. The microscopic structure change of acid-treated samples was examined by using BET, SEM/EDX, XRD and pyrolysis–GC–MS under reasonable condition. Results showed that both surface area and pore volume of treated sample were conspicuous increased partial due to dissolution of silica and organic polar-components. Morphological change of plant cell wall surface was viewed as damage such as exfoliation, cave and fracture appeared on epidermis, vascular bundles. The crystallinity index of residual cellulose microcrystalline was widely enhanced because amorphous hemicellulose was removed off while crystalline was changeless. Under hot acid solution reaction, amorphous hemicellulose was hydrolyzed and leaving larger perfect cellulose thus increasing of crystalline size. Those available cellulose was obvious exposed after acid treatment and gave intensive characteristic peak on pyrogram analyzed by pyrolysis–GC–MS.

- (五). **【Comprehensive study of the scale-up of pentose fermentation using rice straw hydrolysate, Bioresource Technology , 審查中】**: This study is a comprehensive study of the scale-up of xylose fermentation by *Pichia stipitis* using rice straw hydrolysate since using xylose-rich hydrolysate for ethanol production has often been neglected during the development of lignocellulosic ethanol processes. The results indicate that the sterilization of the hydrolysate before fermentation does not help ethanol production. The ethanol yield from xylose fermentation is obviously enhanced by detoxification and by adjusting the pH of the rice straw hydrolysate to 6.0. There is a nearly 10% enhancement in ethanol yield when the fermentation was preformed from detoxified hydrolysate that had been pretreated at a reaction temperature of 160°C and 200°C, respectively. Moreover, the highest ethanol yield (0.44g_p/g_s in a pilot-scale fermentor) was achieved using hydrolysate pretreated with dilute acid at 160°C. This shows that hemicellulosic hydrolysate has potential for the industrial production of ethanol.

二、技術創新(科技整合創新) (權重 30 %)

今年完成完成專利 9 件，含獲得本國專利 1 篇，另申請本國專利 8 件。各專利簡要說明如下：

- (一). **【以游離輻射照射之海藻量產裝置】**：一種以游離輻射照射之海藻量產裝置，其裝置包含有一具有置放區與過濾器之容置單元；一設於置放區中之立體框架；一繞設於立體框架上之附著單元以及一設置於容置單元一側之輻射照射單元；當製造使用時係於容置單元之置放區中灌注有培養液，且於附著單元上植入多數藻類孢子，並以過濾器使培養液於置放區中進行流水式培養，並以輻射照射單元進行所需劑量之照射，待各藻類孢子初步成長為藻類幼苗後，將附著單元取下並置放於戶外流水池中進行流水式再次培養，當各藻類成長至適當長度後，即可將由附著單元上進行摘取。藉此，可利用輻射激效(hormesis)方法，刺激其成長，增加厚度或縮短成長期，達到大量生產繁殖所需海藻之功效(中華民國專利：發明第 I314437 號)。

- (二). **【酒精變壓吸附控制方法】**：一種酒精變壓吸附控制方法，係採用填充有脫水分子篩並於上、中及下部設有複數溫度感測器之分子篩管柱，以及一與該些溫度感測器連接之分析裝置，而監控該脫水分子篩氣相吸附與再生脫附程序之方法，其特徵在於透過該些溫度感測器所測得之溫度曲線預估該脫水分子篩是否已達吸附飽和，藉以判斷再生脫附之最適時間點，俾利在吸附、再生操作皆於同一管柱中施行由分子篩氣相吸附步驟、及該分子篩脫附再生步驟所構成之一循環變壓吸附程序，供大幅簡化且更準確地控制脫水分子篩之操作特性，以達脫水分子篩最高操作效率。(中華民國發明專利申請編號 098134881)。
- (三). **【多功能連續式生質物前處理組合裝置及其應用程序】**：一種多功能連續式生質物前處理組合裝置及其應用程序。其特徵係在於結合進料、輸送、混酸或鹼、高溫高壓反應、固液分離及高壓閃化等設計與連續操作概念應用於纖維生質原料，所開發出之多功能連續式生質物前處理組合裝置。此裝置可應用於多種生產纖維酒精前處理程序，包含 (1)酸或鹼催化蒸汽爆裂前處理程序；(2)二階段前處理程序，係先於溫和條件下先提取半纖維素中之木糖水解液後，固渣再經激烈條件下處理後再進行蒸汽爆裂，以達到破壞纖維生質原料結構之目的，以提升後續酵素水解效率。故本發明是一項不但能連續操作且能廣泛應用於多種不同纖維酒精前處理程序之多功能連續式生質物前處理組合裝置。(中華民國發明專利申請編號 098136797)。
- (四). **【利用稀酸處理纖維原料生產纖維水解酵素】**：一種稻稈纖維素水解酵素之生產方法，係以木黴菌 (*Trichoderma Species*) 為生產菌株，並以稀酸前處理原料誘導該木黴菌生產纖維素水解酵素，藉所生產之酵素能夠將該稀酸前處理原料中之纖維素分解為葡萄糖，俾使水解效率達 85%以上，並較商業酵素提高約 4%。(中華民國發明專利申請編號 098136800)。
- (五). **【提昇纖維素轉化酒精效率的方法】**：一種提升(纖維素轉化酒精效率)(木質纖維素原料轉化為葡萄糖之總糖濃度與水解效率)的方法，可同時提高木質纖維素水解為葡萄糖的效率及葡萄糖生成濃度，且此葡萄糖水解液進行酵母菌發酵生成酒精時，其菌體生長與酒精轉化速率皆能有顯著促進效

果。(中華民國發明專利申請編號 098136799)。

(六). **【提升纖維水解液木糖發酵轉化率之方法】**：一種可以提高纖維水解液木糖發酵之轉化效率的方法，將木質纖維原料予以適當的處理後，再添加於木糖發酵反應器中，可有效地提高木糖發酵之轉化效率，尤其當酵母菌 *Pichia stipitis* 應用於木糖轉化酒精發酵程序時，添加上述處理後之木質纖維素物料，可提高 10% 的木糖轉化酒精效率。本發明所述之木質纖維素必須先以特定的方法製備，方可使用於上述之木糖發酵程序。在木質纖維素物料的製備過程所使用的原料為稻稈，這些原料需先以 1~3% 的稀硫酸溶液混合，再置於 130℃ 至 200℃ 的高溫環境下蒸煮 1~15 分鐘，隨後將水溶液移除，再添加纖維素水解酵素(cellulase)將蒸煮後所得之固體渣料中的纖維素移除，即完成本發明中木質纖維素之製備。本發明的優點係可以提升木糖發酵的轉化效率，特別是酵母菌 *Pichia stipitis* 應用於木糖轉化酒精發酵程序時，若添加上述所製備之木質纖維素物料，其酒精生成的效率可提升 10%。(中華民國發明專利申請編號 098135724)。

(七). **【稻稈捆解包裝及粗切裝置】**：稻稈原料中之纖維可經過發酵處理以提煉酒精，在發酵前將稻稈原料需先經過物理、化學和生物等前處理程序處理，破壞稻稈內之纖維以提取木糖及葡萄糖，以供後續發酵程序生產纖維酒精。在蒐購稻稈原料時為了儲存及運送之考量，多使用包裝機具將稻稈捆綁成圓筒形。而一般在量產的過程中，切碎之稻稈原料採用連續方式進料及出料，以進行蒸煮及酸鹼或爆裂等前處理。因此在前處理程序之前，需將稻稈捆拆解並切碎，以便稻稈原料經過輸送機具送往各式不同的反應槽。本裝置之主要目的是將稻稈捆進行自動化的拆解，並進行切斷作業，使稻稈原料的長度低於 30 公分，以符合後續處理設備之需求。(中華民國發明專利申請編號 098140813)。

(八). **【提高木質纖維原料轉化酒精濃度的方法】**：目前酒精示範廠中少以木糖作為生產酒精之來源，其因經酵母菌株發酵後所得之酒精濃度偏低，且從傳統生化製程中，前處理使用稀酸法破壞木質纖維素，並經固液分離後，其水解產出之木糖溶液直接可進行發酵，所剩餘之固體渣料則會進行纖維素水解和葡萄糖發酵，因此纖維素轉化為酒精的製程此時與木糖發酵為並

行程序；然而，因酵素水解製程需要添加一定容積的水量與固體渣料混合，儘管一般葡萄糖產生之酒精會高於木糖發酵產生之酒精濃度，但當兩發酵液混合蒸餾時，其酒精濃度會因混合後溶液變多而降低，因而造成蒸餾能耗提高。本發明係一種可提高木質纖維素轉化酒精濃度的方法，將木糖水解液經 *Pichia stipitis* 發酵後所得之發酵液，與前處理後之木質纖維素混合，接續添加 *Saccharomyces cerevisiae* 和纖維素水解酵素添加進行同步水解發酵生化工程程序，結果顯示木糖發酵所得之酒精濃度與葡萄糖轉化之酒精濃度加成，藉此有效地同時提升發酵液的酒精濃度與最終的酒精產量至少 1.8 倍。(中華民國發明專利申請編號 098136802)。

- (九).【未去毒性纖維原料水解液的木糖醇生產方法】：一種未去毒性纖維原料水解液生產木糖醇的方法，以分離篩選的 *Candida* sp. 做為木糖醇生產菌株，能夠在未去毒性之纖維原料水解液中，有效地將木糖轉化為木糖醇(中華民國發明專利申請編號 098135912)。

三、經濟效益(產業經濟發展)(權重 20 %)

- (一).本計畫致力於纖維酒精製程技術之研發，並藉由舉辦研討會及論文發表，積極推廣纖維酒精為國內未來發展低碳運輸所需之第二代生質燃料，協助國內逐步建立使用生質燃料之共識。目前國內規劃於 2011 年雙軌全面實施 E3 酒精汽油，估計年使用量為 10 萬公秉生質酒精及 30 億新台幣的年產值(以每公升 30 元估算)；98 年全國能源會議結論並要求評估國內實施 E10 酒精汽油之可行性。在不考量碳交易產值及農業產值的前提下，預估國內推動 E10 亦會有 300 億的生質酒精市場。本研究團隊預計於 2010 年起開始利用本計畫建置之噸級測試廠，發展纖維酒精量產製程，預估 2013 年起可開始提供技術移轉服務，若能進一步搭配 98 年行政院公布之綠色能源產業旭升方案，扶植廠商建置纖維酒精商轉示範廠 (demonstration plant) 或量產廠，應有機會將國內自行研發之纖維酒精技術朝國際化發展，尤其國際上預估 2020 年全球纖維酒精年需求量將高達 1400 億公升，故本計畫投入所衍生的經濟效益應相當可觀。
- (二).發展纖維酒精技術除能解決國內農、林業之廢棄物(剩餘物)問題外，仍著眼於技術輸出。台灣的稻稈年產量達 150 萬公噸，為最大宗的農業廢棄

物，以稻稈做為纖維酒精生產原料，將不會與糧食供給發生衝突，同時又能解決農業廢棄物的處理問題。再者，台灣地小人稠，能取得的生質原料有限，若要發展纖維酒精產業，勢必要朝國際化發展，而稻稈也是全球產量最大的農業廢棄物，亞洲地區每年產 670 百萬噸之稻稈，可視為未來技術輸出之主要地區，因此以稻稈為原料建立纖維酒精生產技術，也能幫助台灣的產業至海外建立生產基地。

- (三) 噸級測試廠建置過程中，其中前處理設備為本計畫投入最多心力之研發項目，國內廠商也藉此機會建立研發與承製技術。未來本系統如能測試成功，則可放大至量產廠使用之規模。由於一般前處理設備無商品化產品，必須依據實際需求承製，因此國內廠商有機會將技術輸出至國際間之纖維酒精量產廠。
- (四). 以稻稈為原料建立之纖維酒精量產技術，亦將作為開發其他纖維料源生產燃料酒精之基礎，而能配合國內外其他纖維料源之開發迅速建立量產燃料酒精之可行性評估。

四、社會影響(民生社會發展、環境安全永續)(權重 20 %)

- (一).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。
- (二).稻草、蔗渣、芒草、狼尾草等生質纖維原料含有大量木質纖維，可用於產製酒精，供應為汽車行駛之燃料及未來原油供應不足時之替代燃料，尤其在台灣能源進口比例高達 98%以上的情況下，可分散能源供給之風險及增進能源安全。
- (三).98 年全國能源會議結論建議整合地方政府推動減碳城鎮，未來 2 年每個縣市完成 2 個低碳能源示範社區，未來 5 年推動 6 個低碳城市，於 2020 年完成北、中、南、東 4 個低碳生活圈，並規劃建造再生能源示範生活圈(能源供應 50%以上來自再生能源)，引領低碳生活模式。由於纖維酒精係目前用於運輸燃料的重要替代能源技術，屆時將可配合低碳城鎮之規劃，發展纖維酒精以符合低碳運輸之需求，協助國內朝低碳社會發展。
- (四).本計畫執行期間，共 15 家承攬商，約 200 人投入噸級測試廠之建置工作，

間接提供就業機會，增加就業人口。本計畫今年也招募不同專長之人員投入計畫工作，以加強本計畫之執行力。至本計畫服務之人員，上半年增加 2 位技術員，下半年增加 4 位研究人員，1 位資訊人員，共增加就業人數 7 人。

五、其它效益(科技政策管理及其它)(權重 10 %)

研發工作所衍生之環保或節能事項環保節能：

- (一).纖維酒精做為替代燃料已證實具有降低二氧化碳排放量及提升能量淨產出之效益，國外生命週期法評估結果顯示每公升纖維酒精可降低 1.8 公斤的二氧化碳，能量產出/能量投入之比值亦至少在 1.5 以上，故發展纖維酒精除有助於減輕化石燃料使用所造成之溫室效應，並可提高環境安全度，並兼具環保教育意義。
- (二).纖維酒精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。
- (三).建立木糖發酵串接 SSF 程序，發展高固液比酵素水解技術，可提高纖維酒精製程最終產出之酒精濃度，大幅減少製程用水，並降低後續酒精蒸餾之能耗，以及廢水處理之成本。
- (四).對纖維酒精噸級示範廠酒精純化系統，採用多效蒸發二次蒸汽作為蒸餾系統熱源及採用熱交換器回收可利用熱能，增進能源使用效率並降低能耗；脫水部分則設置滲透蒸發薄膜脫水系統及分子篩變壓吸附系統，可進行串並聯測試，開發研究降低能耗之最佳操作條件。
- (五).纖維酒精噸級試驗場，每日進料 1 噸稻稈，會產生 1080 公斤木質素殘渣與 316 公斤石膏固形物，木質素殘渣可以作為熱源燃料，石膏固形物則回收做為建材材料。

陸、與相關計畫之配合

纖維酒精製程所需之生物資源，除與國內學校合作外，亦與中研

院合作開發纖維素水解酵素。中研院已著手篩選纖維素生產菌株及提升其酵素活性，所培養之纖維素酵素也送核研所測試對纖維原料之糖化效率，藉此合作模式，期能加速建立國內纖維素酵素生產技術。

柒、後續工作構想之重點

- 一. 進行噸級測試平台之系統單元測試與改善，計包括進料系統、前處理系統、水解及發酵系統、酒精蒸餾及脫水系統、廢水處理系統等五大系統之測試及改善及廠內酵素生產技術之建置，並據此建立 SSF 量產技術，其全程規劃於民國 102 年纖維酒精量產製程之總酒精產率及酒精產量分別達 63%及 220 公升。
- 二. 為避免酵素液運輸及調理之需求，據此降低酵素生產成本，目前國際上酵素生產策略已逐漸朝向廠內酵素生產發展，後續工作擬以 *Trichoderma reesei* Rut-C30 為酵素生產研究之測試菌株，於纖維酒精測試廠內，就地建立纖維素水解酵素生產設施及其發酵技術，並藉由篩選低成本之誘導基質、測試不同的發酵控制參數及改良酵素生產發酵槽之設計等策略，發展符合酵素水解製程之需求的低成本酵素生產方法。
- 三. 進行提高單位生質物之酒精產量與降低生產成本之研究；研發策略包括：提升各程序單元之效率、減少程序中糖及酒精量之損失、提高水資源回收、加強程序節能、木質素再利用、副產物之開發等。
- 四. 進行纖維酒精產業發展之環境建構，與相關單位建立策略聯盟或夥伴關係，促成國內纖維酒精產業鏈之形成，推動纖維酒精產業化之發展。

捌、檢討與展望

2007- 2009核研所著手建置日進料1噸之纖維酒精測試廠，此廠已於2009年完成，2010年則進入測試運轉階段。測試運轉主要為測試單元程序設備適用性及運轉特性，並驗證製程放大過程差異，進行改善方案。後續其運轉數據則作為國內設計量產廠，評估生產成本、能源效益、減碳效益等之基礎。此外噸級測試廠亦將作為國內纖維酒精發展之技術平台，配合能源國家型計畫之研發，提供國內學研單位開發之酵素、菌株、新穎技術等之驗證。

台灣在 2009 年的全國能源會議中已做出結論，要積極推動汽車使用非糧食作物生產的生質燃料，並且開始研究在 2020 年使用 E10 酒精汽油的可行性。同年能源國家型計畫亦將生質能源之發展以開發第二代生質燃料為目標，以符合環保及經濟效益。因此本計畫仍持續配合政府政策，開發競爭力之纖維酒精技術，以落實研發技術於量產應用。

本計畫初期以累積稻稈纖維酒精量產研究之經驗為主，後續藉此也可在短時間內建立其他原料生產酒精的技術（例如甘蔗渣或是狼尾草），提供不同原料來源的纖維酒精，以滿足未來的市場需求。

填表人：王○寶 聯絡電話：03-4711400 轉 5100 傳真電話：03-4713490

E-mail：jbwang@iner.gov.tw

