

# 臺糖產出生質酒精的發展

劉嘉哲

台糖公司研究所

## 前 言

酒精生產很可能是最古老的應用微生物技術，從考古學上發現的圖像與採集樣品來推測，人類釀酒可以回溯到古埃及早期，也就是大約七千年前。回顧數千年的釀酒歷史，燃料酒精的概念估計在十八世紀末到十九世紀初才出現，與人類活動的歷史比較，還算不上太古老，不過如果用目前人類活動的標準來看，燃料酒精生產的概念已經可以列入「古典」技術。

燃料酒精在十九世紀逐漸盛行的同時，大量開採石油的技術也正開始發展，當雛形內燃機（1860年）出現時，其設計是同時可以使用酒精與石油產品，石油產品受限於當時的油源、開採技術、與煉製技術，僅達到與酒精分佔燃料市場的程度，這兩種燃料的競爭，一直持續到二十世紀初。自十九世紀末化學工業開始利用石油產業產品為原料，化學工業的發展直接刺激石油開採與煉製技術之提升，使得石化產業與技術快速進步，石油衍生之液態燃料在二十世紀初迅速取得優勢，很快使得酒精完全退出液態燃料的市場，石油獨佔液態燃料的情況一直持續到二十世紀七十年代。肇因於中東戰爭的第一次石油危機，使得酒精燃料在歷經半世紀沈寂之後，再度成為液態燃料（主要是引擎燃料）的選項之一，在這一波由於石油危機所誘發的替代能源熱潮中，巴西由於得天獨厚的甘蔗產業特性，成為唯一持續利用燃料酒精的國家，事實上，在二十世紀後期，由於國際市場長達超過二十年的平價石油供應，巴西酒精政策在世紀末曾經瀕臨測底失敗。

時序進入二十一世紀，能源產業出現戲劇化演變，由於石油價格持續上漲，使得巴西酒精產業在生產成本上重拾競爭力，另一方面，汽車工業推出一項應用於引擎的新技術，使得燃料中添加酒精的比例可以有較大彈性，就是所謂彈性燃料汽車（flexible fuel vehicle），可以使用幾乎任何比例混合的酒精汽油，在巴西大受歡迎。同時，在美國非常弱勢的酒精汽油（原僅美國中西部農業州有供應），在苦撐近三十年之後，也有類似的際遇。由於能源策略與措施鼓勵利用美國國內充足的玉米料原生產酒精，在政治、經濟與農業等各項有力條件的配合下，酒精生產成為過去兩年間美國最蓬勃發展的產業之一。在巴西與美國兩大酒精生產國的刺激下，國際間許多其他國家紛紛制訂汽油添加生質酒精的法規，或是設定時程，預期利用酒精取代部分汽油。

體認能源環境之變化，同時順應世界潮流，臺灣於94年6月召開全國

能源會議，會中決定將生質燃料酒精列為臺灣將來替代能源的選項之一，雖然會中並未對於汽油摻配酒精做明確決議，不過已經清楚宣示生質燃料酒精在替代能源規劃中的地位。台糖公司由於具有甘蔗生產經驗與技術、曾經大規模生產酒精，加上國營企業本質，自然責無旁貸，理應率先進行酒精產業評估與規劃。因此，台糖公司於 94 年底組成臨時編制生質能源小組，開始進行酒精產業的評估。

燃料酒精產業可以自上游到下游分成幾個階段，首先是原料生產，其次是醱酵生產技術，包括後段的除水處理，然後是酒精與汽油之混和、配送，除末端的酒精汽油產品之外，尚有消費者端的各項條件需要配合，其中引擎適應性可能是最受到關心的。此外，政策引導、消費者心理、對於燃料市場之影響等政治、社會、與經濟議題，都與整個產業有相當的關係。從台糖公司的角度看酒精產業，農業操作與酒精生產是最主要的工作，因此本文所要探討的主要部分將限於生產技術，至於政策、法規、及其他面向，雖然在某個層面上對於產業是否成形更具影響力，受限於本文涵蓋範圍，非技術相關的部分，將不做任何評論或建議。

### 台糖公司生產酒精簡史

臺灣糖業雖然以台糖公司為代表，不過台糖公司創立於民國 35 年，臺灣的糖業實際上開始於 17 世紀，在前清就有具規模的蔗糖生產，日據時代各地糖廠以獨立公司的型態（日本稱株式會社）出現，日本統治者在 1903 年在大目降（現在臺南新化）成立臺灣糖業試驗所，直接隸屬總督府，總理糖業相關研究與產業規劃，可見對於糖業的重視。

日據時期臺灣的酒精生產曾經有用甘藷為原料的例子，不過主要生產原料是糖蜜，而糖蜜是蔗糖生產過程中的副產品，因此與甘蔗產業有直接關係。糖蜜是蔗汁經過濃縮、結晶、離心分離等手續，將蔗糖分離之後所剩下的濃稠黏液，甘蔗從採收到進入糖廠的過程中，會有或多或少的夾雜物，加上製糖過程中所添加化學藥劑，糖蜜在經過適當處理前並不適合人類直接食用，因而一度被視為相當棘手的廢棄物。由於甘蔗汁係甘蔗組織經擠壓破碎後所收集的全汁液，除了蔗糖之外，組織液所有的可溶性成份也都會存在於甘蔗汁中，製糖過程的主要產品是砂糖，而製程無法將蔗糖完全分離（由於蔗糖在水中的高溶解度，加上甘蔗汁是複雜混和物，因此無法百分之百將蔗糖自甘蔗汁中分離），因此製糖剩下的濃稠汁液會有植物組織中常見的蛋白質、礦物質、維生素、以及豐富的碳水化合物，這些成份使得糖蜜成為適合微生物醱酵培養的營養源，利用糖蜜進行酒精生產，其實在「生產」之外，廢棄物處理也是重要的理由之一。

早期各糖廠普遍設有酒精工場，就地處理糖蜜，利用糖蜜生產酒精被視為廢棄物處理的手段，生產效率雖然重要，但並非最優先的考量。糖廠所生產的酒精僅有兩個用途：供給以酒精為燃料的小型機具或是小火車；或是轉售與菸酒公賣局。在農機具與火車之動力來源漸被更換成柴油引擎後，酒精燃料需求大減，而出售的酒精則有成本的壓力，生產效率因而成為重要考量。為了提升生產效率，台糖公司將酒精醱酵廠整併成三個生產基地，分別為花蓮糖廠、屏東糖廠、與位於臺南縣柳營鄉的新營副產廠，各地糖廠生產的糖蜜集中至酒精生產基地進行醱酵生產酒精的作業。隨著臺灣的經濟發展，各項條件使得臺灣糖業在國際市場上競爭力顯著減弱，蔗糖生產不敷成本的情況下，砂糖產量自 1980 年代逐年遞減，許多糖廠因為不符經濟效益而停閉，糖蜜供應量也相對減少，屏東廠與花蓮廠因為原料不足以維持有效益的運轉，而分別在 1997 年與 1998 年終止酒精生產，將糖蜜集中到新營副產廠。新營副產廠生產的酒精幾乎全數售予菸酒公賣局，在自產糖蜜不足狀況下，部分必須以進口糖蜜補充。

臺灣在 2001 年加入世界貿易組織 (WTO)，2002 年開放酒精進口，台糖公司生產的酒精在無法和國際市場酒精競爭的情況下，失去了公賣局這個大客戶，艱苦經營一年之後，新營副產廠的酒精工場在 2003 年初決定停工，至此台糖的酒精生產告一段落。

兩年之後，由於國際石油價格持續上漲，為因應能源環境的改變，經濟部於 2005 年 6 月召開了全國能源會議，燃料酒精成為替代能源討論項目之一，台糖公司由於具有酒精生產的條件與經驗，加上國營企業本質，配合國家政策推展責無旁貸，因此自主性展開重啟酒精生產業務的可行性評估。緊接在全國能源會議之後，台糖公司立即召集相關人員，進行密集內部會商，討論酒精產業相關議題。2005 年 10 月台糖公司生質能源小組成立，成員包括公司企劃單位企劃處、生產單位砂糖事業部、酒精業務單位生物科技事業部、土地經營管理單位資產營運處、與研究單位台糖研究所，針對台糖現況進行全面性評估。

### 生質能源小組評估之初步結論

台糖公司生質能源小組成立時，研究議題主要針對燃料酒精產業所引發的問題找尋答案，首先的幾個問題是：最快何時可以生產出燃料酒精？年產量多少？以及大約成本？這幾個問題是為了因應短期內試辦汽油添加燃料酒精的可能性而產生。由於原新營副產廠設備尚稱完整，因此以該廠生產數據為基礎，大致上的結論是三至六個月可以開始運轉，原有產能設計為每天 80 公秉（立方公尺），生產成本受到糖蜜價格影響最大，估計每公升需要新

臺幣 25-30 元。另外，由於新營副產廠並未設置酒精乾燥脫水設備，假如啟動燃料酒精生產，需要在最短時間內解決產製無水酒精最後段乾燥的問題。由於政府政策並未在短時間內啟動試辦汽油添加酒精措施，因此這個評估的結果實際上沒有真正付諸實施。(2007 年 9 月添加 3% 酒精的酒精汽油委由臺灣中油公司在臺北市試辦，酒精係由臺灣中油自國外進口)。

在進行新營副產廠酒精設備檢視的過程中，能源小組發現原有硬體設施已經是過時的設備，除非短期內接獲指示生產燃料酒精，否則不宜以新營副產廠現有設備為架構做進一步投資，此外，由於燃料酒精生產幾乎成為國際上所有蔗糖生產國的規劃方向，糖蜜來源有潛在不穩定性，因此新營副產廠的設備就不在長期規劃所考慮的選項中。

除了前述因應短期內生產燃料酒精的評估，能源小組另一個重要的任務是規劃台糖公司的生質酒精產業，經過幾次會議，小組成員發現僅僅單純的生產製造，其牽涉層面的複雜程度遠遠超過想像，產業啟動前，無可避免需要政策協助，否則執行上將遭遇極大困難。能源小組審視台糖公司現有條件之後，得到幾個初步結論，簡單綜合如下：

- 一、從收集到的各式資料顯示，甘蔗是最具有效益的原料作物。不過臺灣的甘蔗產期太短，供應全年的酒精需求在本質上就有極大困難，解決方案有兩個，第一是延長甘蔗產期，經查過去記錄，產期可以延長至約半年；第二是尋找其他原料，填補甘蔗原料的空缺。
- 二、如果以臺灣的汽油用量估計，添加 3% 的酒精每年需要大約 30 萬公秉。台糖公司目前的甘蔗種植面積約一萬兩千公頃，包括自有土地及少部分契約蔗農的土地，以產糖量折算酒精的產能，年產量大約在 4 至 5 萬公秉之間，遠低於全面提供添加 3% 酒精的酒精汽油的需求量，即使將目前可支配之自有農地全數恢復種蔗，仍然不足。
- 三、台糖公司現有製糖廠有虎尾廠、南靖廠、及善化廠三座，由於近年甘蔗產業環境的變化，現有的生產模式，實際上距離產業應有的效益有相當的差距，特別在農產品採收後的運輸作業，已經在遷就現實狀況下而遠離「最短運輸距離」的理想。
- 四、台糖公司具有大規模農業栽培、採收與運輸的經驗，在臺灣沒有其他單位具有類似的條件，加上臺灣農業條件特殊，類似經驗境外輸入的機會極低，以燃料酒精產業基礎條件來看，台糖公司掌握絕佳優勢。
- 五、政策性問題，包括可能之租稅優惠、下游燃料業之狀況、及提出國營事業投資案所可能遭遇的問題等，需要先行了解，再進一步尋求解決之道。針對結論一，能源小組指示台糖研究所和砂糖事業部，對於可能的原料

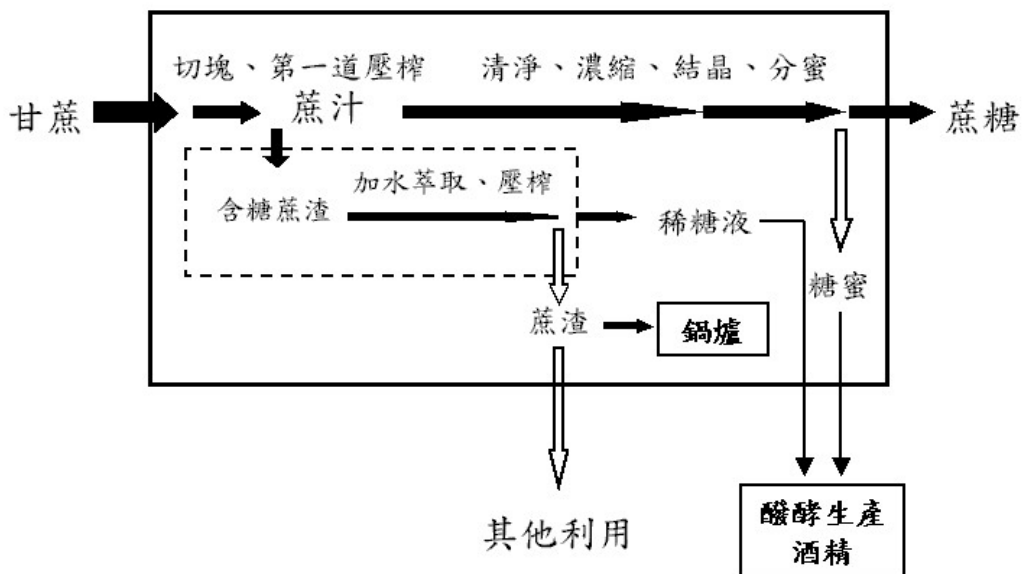
進行生產技術評估，並核定研究計畫實際進行栽培與酒精生產測試。台糖公司並於 2006 年派出一個參訪團至巴西與美國，拜訪當地的酒精生產工廠，實地了解目前居燃料酒精產業領先地位的兩個國家，其酒精工廠的操作方式。針對結論二至五，2006 年底委託具有相關產業經驗之顧問公司進行評估與規劃。

### 生質燃料酒精原料評估

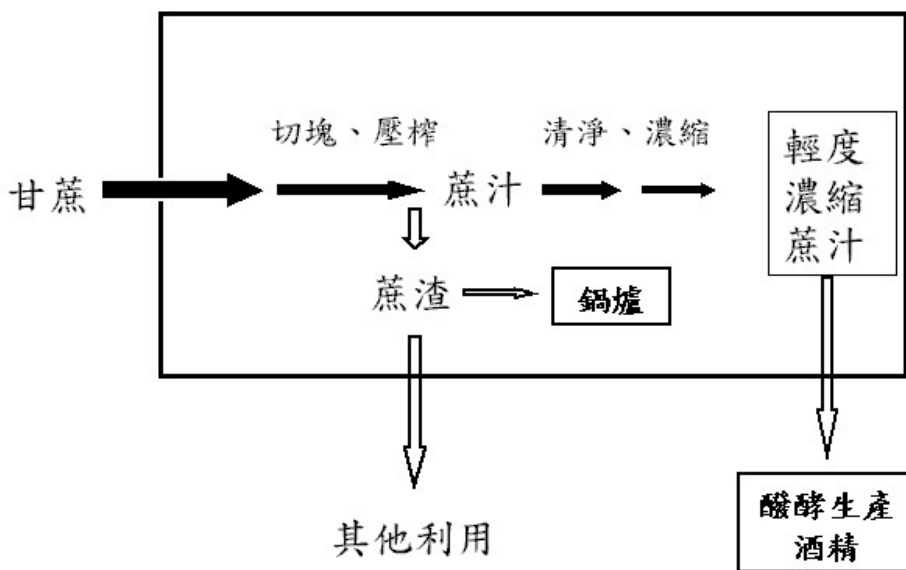
生質酒精生產所使用的原料可以分成三大類，第一類為糖質作物，包括甘蔗、甜菜、及甜高粱等；第二類是富含澱粉之作物，以玉米、樹薯(cassava)、小麥、及甘薯等為代表；第三類則是纖維類產品，這是最複雜的原料，由於其特性是可以盡量避免與糧食作物競爭農地，因此許多人高度期待具有經濟競爭力的技術早日開發成功。除此三類之外，另有利用非纖維質工業廢棄物（主要是食品工業）為原料者，不過臺灣此類原料有限，台糖公司利用此類原料可能性極小。

糖質原料中，巴西已經建立甘蔗酒精的產業模式，產業架構完整。就生產技術而言，除了農場廣闊、糖廠建於農地中心位置（縮短運送距離）之外，配合蔗糖生產所設計的流程，更提升生產效益。巴西糖廠與酒精工廠的簡單流程如圖一所示，高濃度的甘蔗原汁直接進入製糖程序，由於蔗渣中仍存有糖份，製糖程序會利用熱水自蔗渣中萃取三至五次，以期將種植一年的甘蔗中寶貴的糖完全取出，第一道壓榨以後的蔗渣製糖產生的糖蜜再與熱水萃取的稀糖液混和，提供為酒精生產之原料。此種生產製程安排，不僅提高生產效率，蔗糖與酒精兩種產品更可以視市場需求進行生產比例的調節。

臺灣由於農地面積不足，假如以甘蔗為酒精生產原料，則勢必無法同時生產蔗糖與酒精，酒精生產將會採用接近圖二所示之生產流程，所有蔗汁都會用於生產酒精，原有的製糖程序僅需要添置醱酵設備。甘蔗種植、採收、壓榨等程序對於台糖公司而言，僅是例行性工作，生產的困難處不在製程，而在更基本的原料供給。依據臺灣蔗糖生產之歷史紀錄，甘蔗產期最長僅能延續至六個月，自每年十一月至次年四月，為供應全年酒精需求，其餘時間必須妥善規劃。由於總需求量大，生產半年供應全年的模式需要大量儲藏空間，在實際運作上有困難，如果搭配進口酒精，則失去利用本土原料的原始用意，因此，尋找第二種原料似乎是僅存選擇。



圖一、巴西酒精生產流程簡圖。



圖二、臺灣利用甘蔗生產酒精可能之模式。

在糖質原料中，台糖公司另考慮兩種作物：甜菜與甜高粱。甜菜原是溫帶產糖作物，近年歐洲種子公司培育出適於低緯度地區栽培的「熱帶甜菜品種」，經過印度與越南地區試種，成效良好。台糖研究所於 2006 年引進種子試種，結果顯示引入之品種可以適應臺灣氣候，而且具有一年兩穫的潛力。甜菜汁液含糖量 15% 以上，實際進行酒精醱酵試驗，適當調節操作條件後，不需要添加額外營養成分，酒精產率可達 90% 以上。雖然初步試驗顯示熱帶甜菜具有酒精生產之潛力，不過甜菜塊根由於纖維含量較少，不適於壓榨方式分離糖液，一般以連續式滲提法進行，與目前的甘蔗製程無法搭配，除非整個操作程序皆更改為滲提，否則有實行上困難。加上熱帶甜菜大面積田間栽培測試、機械採收、運搬等，並未建立任何模式，因此甜菜試驗結果暫停在小規模測試階段。

甜高粱係高粱之一種，在高粱結穗後會在莖桿中累積大量糖份，可以在比甘蔗所需要的生長條件較嚴苛的區域生長，曾經被視為甘蔗產區以外的潛力產糖作物。然而，由於甜高粱汁液含有高比例的還原糖及可觀的澱粉成分，造成蔗糖結晶困難，所以並未實際用於砂糖生產。利用糖質生產酒精時，還原糖也可以作為酵母菌的營養成分，因此甜高粱汁液可以直接取代甘蔗汁，加上甜高粱桿富含纖維，使用的製程設備與甘蔗的操作所需完全一樣，如果甜高粱可以提供甘蔗季節以外時間的糖液做為酒精生產原料，則可以在不增加設備投資條件下，延長酒精工廠開工期。台糖公司砂糖事業部與台糖研究所自印度、美國與澳洲等地分別引進甜高粱品種，選擇不同性質農地，刻正在台糖農場進行栽培試驗，除了測試農業操作之外，並配合採收過程，進行酒精生產測試。國內除了台糖公司之外，農委會農業試驗所與畜產試驗所亦分別進行甜高粱栽培試驗，台糖研究所一直配合進行酒精生產效率分析。根據試驗結果顯示，甜高粱是目前最具有潛力與甘蔗搭配生產酒精的原料作物。

除了糖質作物之外，台糖公司同時也進行澱粉質作物的可行性評估，主要工作有二：首先是評估玉米生產酒精之可行性；其次參與農業試驗所生質能源計畫，進行甘薯生產酒精測試。

台糖公司本身並不生產玉米，玉米原料進入考慮項目純粹是業務操作考量。台糖公司擁有完整的畜殖產業，除肉豬畜殖場多處，並自產飼料。在口蹄疫大爆發之後，台糖失去原來的的主力外銷市場，飼養頭數銳減，在 2006 年之前僅飼養約四十萬頭豬，每年估計需要使用二十萬公噸進口玉米。這麼多的飼料玉米，具有支持一座年產七萬公秉酒精的潛力。利用玉米生產酒精過程中，玉米所含的澱粉經過酵母菌醱酵後幾乎耗盡，所產生的副產品—玉

米酒粕 (DDGS, Dried Distillery Grain Solid)，係酒精生產後的剩餘物，其成分為玉米中非澱粉的部分與生產過程中使用的酵母菌（視製程有多寡之別），富含蛋白質。單位重量玉米所產生的酒粕，幾乎可以提供相當於該單位重量玉米在飼料中的營養，也就是說飼料玉米在經過生產酒精的加工過程之後，其原設定提供於飼料的營養價值（蛋白質）幾乎不減，而酒精則成為副產品。加上玉米進口是全年進行，儲運操作已經有一定架構，設立酒精廠不會影響原有產業的運作。

看似可行的玉米酒精廠構想目前處於暫停狀態，主要原因是美國的能源政策提供與當地酒精生產業者絕大優勢，因此自 2006 年起，玉米需求量遽增。考慮到原料的不穩定性，以及副產品（即玉米酒粕）可能因為酒精產業擴大而大幅提昇供應量，進行玉米酒精廠經濟評估時必須謹慎，同時由於國內畜殖產業於 2006 年發生變化，豬肉價格顯著下降，台糖公司畜殖產業接受指示將縮減產能，最初估計的玉米需求量也隨之調整，降低酒精產能後的酒精廠效益大打折扣，若是維持原來估計之規模，在缺乏外銷空間的情況下，自產玉米酒粕需要轉售予國內其他畜殖場，由於玉米酒精的成本受到玉米酒粕嚴重影響，在玉米酒粕去處面臨問題時，此案的風險已經遠超過玉米酒精可能產生的利潤。

根據一些有關於日據時期臺灣工業發展相關文獻的記載，1930 年代曾經使用過甘薯為原料生產酒精，當時的製程係利用特殊菌株同時生產丙酮、乙醇、與丁醇。另外，根據農業統計資料顯示，臺灣曾經有過二十萬公頃土地栽培甘薯的紀錄，推測可能是與稻米輪作的結果。這些數據顯示臺灣具有大面積栽培甘薯的經驗，2004 年能源會議之後，媒體不斷報導農委會推薦甘薯為能源作物的消息，台糖公司對於甘薯栽培雖然並不熟悉，但是農委會的推薦想必有其源由，如果能夠透過國家農務管理系統運作或鼓勵，則生質酒精的原料問題或許可以得到解決，因此台糖研究所樂觀地協同農業試驗所嘉義分所進行甘薯酒精生產之測試。

甘薯酒精計畫執行一年，使用 5000 升體積之反應槽進行酒精生產，並實際進行蒸餾操作。實驗得到幾點結論：一、甘薯收成之後需要除泥，受限於設備無法估計需水量；二、洗淨後甘薯需要前處理以利後續操作，例如碾碎甘薯塊根；三、利用酵素反應進行液化與糖化過程中發現有膠質與粗纖維殘存；四、生鮮甘薯含水量接近百分之八十（直接取自與農業試驗所合作農民），估計生鮮甘薯含澱粉大約百分之十五，在經過液化與糖化過程需要添加適量水分，因此實際所得的糖液含糖量低，最終醱酵液酒精濃度也因此相當低，雖然糖液轉化成酒精的效率在 90% 以上，整體效率不符預期；五、經



過試算，假設甘薯每公斤成本可以降到臺幣二元，則每公升酒精成本估計約 26 元。

台糖研究所針對甘薯實驗之結論引伸幾點建議，一、根據文獻報導有一些品系的澱粉含量可以達到 40%，除了澱粉高產品系（單位面積單位時間生產量）之外，估計塊根澱粉含量需要超過 25%，才能在製程上達到最佳效率；二、甘薯產期為乾季，如何在雨季供應足夠量甘薯需要事先規劃。

生產生質酒精的第三類原料是纖維素（含纖維素與半纖維素）。纖維素酒精生產有兩個難題需要解決：首先是從技術觀點分析，目前仍然無法生產在成本上具有競爭力的酒精；其次是大量且穩定的原料來源有待開發。號稱是地球上最豐富的生物物質，纖維素並非如想像中容易取得，最主要的困難點在於收集。目前已知的纖維素材中，僅有蔗渣是經過大規模採集、集中、並初步加工的纖維來源。其他具潛力的纖維來源則有待實際測試。農產廢棄物中，作物的莖桿是最吸引人的素材，因為莖桿是生產食物後的副產品，如果可以加以利用，則不需擔心能源作物與糧食作物競爭土地的問題，然而即使是美國的玉米秸桿，目前也近乎全數留在收成後的玉米田中，尚未加以利用。

台糖公司目前的蔗渣主要用於鍋爐燃料，鍋爐產生的蒸汽則用於汽電共生，提供製程所需要的電力與蒸汽。剩餘蔗渣主要用於生產有機肥料，未來如果蔗渣纖維生產酒精技術成熟，將進一步評估蔗渣使用於生產生質酒精比較有效益，或是直接燃燒進行汽電共生。

### 臺灣公司建立生質酒精產業的基礎條件

前文中所討論的原料作物，除了玉米是畜殖產業衍生料原之外，其他作物都以本土生產之作物為基礎，因此我們可以說：生質酒精生產的最基本條件是原料作物的生產，而作物生產的必要條件是農地，其次是農業操作技術，包括栽培、採收、與搬運。台糖公司建立於蔗糖產業之基礎上，最近二十年的糖業萎縮誠然造成人才嚴重流失，可喜的是目前仍然有大約 1 萬公頃甘蔗農場，仍保有三座糖廠，與全盛時期的甘蔗產業比較，除了鐵路運輸系統幾乎消失之外，其餘產業基礎架構仍然存在，自有之可利用農地面積估計可以達到四萬公頃。從基礎條件來評估進入生質酒精產業的可行性，台糖公司依然具有絕佳優勢。

雖然台糖公司具有在臺灣生產酒精的基本條件，不過台糖生質能源小組從各面向分析整個產業，這些基礎條件僅是進入的門檻，整體規劃是否可以持續到建立產業，則需要進行詳細的生產成本分析與估計。在生產技術上，利用甘蔗汁生產酒精是相當成熟的工藝，而且台糖公司具有酒精生產經驗，

酒精工廠之設立與操作不至於造成太大困難。最後存在的技術問題，又回歸農業操作，農業操作的成本是否具有競爭力。台糖公司針對如何提升農業操作效率刻正進行檢討，除了前述的產季太短問題，同時有農地分散，運輸距離過長等問題，這些操作困難也正逐步思考解決或改善對策中。

## 展 望

投入生質燃料酒精產業的目的是多面向的，其中較為重要的不外乎能源產出、減緩二氧化碳排放、改善作物栽培地區空氣品質，促進農業地區發展與增加工作機會等，此外，酒精已經被預測將成為未來化學工業的重要原料之一，酒精產業基礎可以轉換成將來化學工業的上游產業，其重要性已經遠遠超過燃料的單一用途。

多年來，受限於生產條件惡化，以致於台糖公司的蔗糖產業持續萎縮，甘蔗產業在臺灣看似已走到窮途，不料過去幾年的石油國際市場產生劇烈變化，使得酒精在短時間內再度成為社會焦點，雖然社會大眾的目光似乎聚集在燃料這個用途上，但是酒精產業的遠景實際上絕不止於燃料用途，酒精產業可以看成是未來化學工業的上游，而化學工業又帶領著民生工業。建立生質酒精產業，實際上相當於建立化學工業原料產業，其重要程度不容忽視。期待台糖公司可以藉著酒精產業再造甘蔗產業的輝煌。