

以海藻產製生質酒精之優勢

范繼中、吳建威、藍惠玲、吳純衡

水產試驗所水產加工組

前言

近年來，由於石油、天然氣等能源的過量開採及使用，造成國際原油價格高漲，石油是有限的資源，以全球每年消耗石油的速率來看，有學者預估再過五十年石油可能會消耗殆盡，目前國際原油價格每桶六至七十美元，國內業者表示「每桶一百美元的油價時代恐怕很快就會到來，未來五十年應投入再生能源研究」。目前再生能源中以生質酒精（燃料酒精）最具有可回收二氧化碳及燃燒潔淨的優勢，生質酒精的推廣和發展對緩解世界性的能源短缺及全球暖化問題具有重要意義，因此世界各國近年來均積極投入生質酒精的研發。由國際能源總署（International Energy Agency）彙整各國生質酒精產量如圖 1 所示，自 2000 年起出現大幅成長，在 2005 年世界總產量逾 4 千萬公秉（1 公秉為 1000 公升），預測未來十年生質酒精的需求將會逐年增加。

生質酒精是由醣類發酵而產生的液態能源，目前工業上最廣泛使用的原料及製程，是由甘蔗中取出蔗糖或玉米中取出澱粉後再分別發酵成酒精。目前國際上主要量產生質酒精的國家，以甘蔗為原料的巴西為首位，玉米為原料的美國次之。就長期發展來看，種植甘蔗及玉米等農業作物發酵製成酒精的

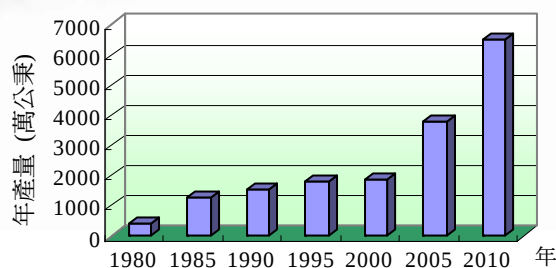


圖 1 全球燃料酒精產量統計及預估

方式，所需栽種面積龐大而限制其他糧食作物的生產，此外，玉米生產過程所耗費的成本更是高於石化燃料，依據美國康乃爾大學於 2001 年研究報告中計算從玉米的生長、收成到轉化成乙醇所需要的能量，是生產出乙醇所含能量的 1.7 倍，顯示生質酒精的製程及原料篩選需要精確評估，才能達成生產能源而不是在消耗能源。

隨著再生能源的迫切需求，使用海藻作為生質原料之研究也日益增多。目前海藻的相關生質能源研究以生產甲烷、甲醇及乙醇為主，如日本東京大學及三菱研究中心合作以馬尾藻 *Sargassum* sp. 之栽植研究，生產甲醇等燃料為研究目標；2000 年挪威研究人員利用秋天收成之海藻，萃取褐藻 *Laminaria Hyperborea* 之褐藻多醣 (laminaran) 及甘露醇 (mannitol) 成分，經發酵轉化為乙醇；國內亦有研究單位以石蓴及九孔養殖之飼料—龍鬚菜，進行轉化酒精之研發製程探討。以



海藻作為生質酒精原料，除了不會和糧食作物競爭陸地資源，而且海藻在海中除了平面的生長外，縱向的深度也是其生長空間，另外海藻（國內養殖之龍鬚菜）的生長週期只需 1 個月，較甘蔗 18 個月及玉米 6 個月短，海藻和陸基作物相較之下，海藻除了產量較高外，不佔用陸地面積，避開糧食生產問題為海藻產製生質酒精的優勢。此外，由於海中浮力抵銷了重力的因素，海藻結構較陸生植物鬆散，使得海藻轉化酒精製程中醱解步驟較容易，相對的可減少製程的成本；進一步比較海藻的酒精轉化率，海藻的酒精轉化率約 300 公升/公噸與甘蔗 80 公升/公噸及木薯 150 公升/公噸相比較，海藻具有較陸基作物高之酒精轉化率，顯示海藻作為生質酒精之生產原料非常具有潛力。

海藻的醱類及藻種篩選

藻類因為含有 50—70%的碳水化合物，對生質酒精的產出具有極高的應用價值，適合用來作為生質原料，但海洋中的海藻種類繁多，其所含醱類會因種類而有極大的差異，若要轉換成生質酒精則必須針對其碳水化合物的含量及種類進行分析，方可篩選出較適合轉化酒精的藻種。一般海藻分為微細藻與大型海藻二大類，微細藻類多為單細胞藻類，常見的有矽藻 (Diatom) 等，由於量小及碳水化合物的含量不高，所以不適合用來作為生質酒精的原料。大型海藻是長在潮間帶或潮下帶岩礁上，可行固著生長的多細胞藻類，包括藍藻、綠藻、褐藻及紅藻四大類群，依據藻種的產量及碳水化合物含量，

可篩選綠藻、褐藻及紅藻之巨型藻作為生質酒精的原料，相關成分之比較及探討如表 1 所示，若以海藻中所含碳水化合物的種類及目前可利用醱類發酵的酒精酵母相互比較，可進一步從綠藻、褐藻及紅藻中篩選適合用來產製生質酒精的藻種。

表 1 海藻一般成分分析 (乾基)

	蛋白質	粗脂肪	粗灰分	粗纖維	碳水化合物
綠藻 (石蓴)	12.6	1.6	19.8	2.7	63.0
褐藻 (馬尾藻)	11.2	0.5	25.8	6.0	57.4
紅藻 (龍鬚菜)	17.1	0.1	5.2	14.3	63.1

海藻轉化生質酒精的製程可分為海藻多醱及海藻纖維兩個方向進行探討，其基本轉化的原理是使用化學、物理及酵素等方法，將海藻多醱或纖維素（葡萄糖聚合物）鍵結切斷，形成雙醱或單醱的醱解步驟，及利用酒精酵母在無氧狀態下產出酒精的發酵步驟，而發酵過程需針對單醱種類選擇適當的酵母或菌種，才能達到酒精轉化的目的。綠藻、褐藻及紅藻之海藻多醱所聚合的單醱種類有三種以上，主要是分布在細胞間質，目前發現馬尾藻的多醱是分子量較小的寡醱結構外，其他藻種均是多個單醱鍵結成的多醱結構，以海藻轉化酒精的製程上則需依據所含醱的種類，篩選醱解酵素及酒精酵母；海藻纖維以細胞壁為主，是葡萄糖聚合而成的纖維素。

海藻轉化生質酒精製程

海藻為橫跨原核生物界及原生生物界兩

界之物種，因海水浮力抵消地心引力的特性，使得海藻並無維管束組織，其纖維結構較陸生植物鬆散，除了海藻細胞間質醣類的抽出外，細胞壁纖維經水解轉換為醣之過程也較陸基植物容易。一般針對纖維素轉換成可發酵酒精的醣，其製程可採用濃酸水解製程 (Concentrated acid hydrolysis process)、稀酸水解製程 (Dilute acid hydrolysis process) 與酵素水解製程 (Enzymatic hydrolysis process) 等三種。濃酸水解製程通常是針對木質纖維素含量較高的生質原料，將其中之纖維素去結晶化，水解出可醱酵成乙醇的五碳醣與六碳醣，使用濃酸水解方法優點為水解效率較高，缺點是需大量的石灰進行中和，同時高濃度的酸也容易產生酒精發酵的抑制物。

當生質原料中木質纖維含量較低時，可採用稀酸水解製程改善濃酸水解的缺點，一般稀酸水解製程會搭配酵素水解方法，分成兩個階段進行：第一階段係以低濃度的酸在高溫條件下，將纖維素及半纖維素解聚合或水解成寡醣；第二階段是以纖維酵素將解聚合的纖維素繼續水解成葡萄糖，使用稀酸水解方法最大的優點是水解過程不會將產出的葡萄糖進一步降解，缺點是水解效率較低，配合酵素方法的應用除了可以改善水解效率，也可降低酵素的使用量。

海藻的成分中沒有木質纖維，在轉化生質酒精的製程中採用稀酸作為前處理，破壞其纖維結構抽取纖維組織中的海藻多醣，海藻多醣可利用多醣水解酵素降解成單醣，剩餘的藻渣再以纖維酵素水解成葡萄糖，水解後的單糖利用微生物或酒精酵母進行發酵，

此時酒精濃度會受限於酵母對酒精的承受度，因此發酵後的酒精濃度約為 15% 以下，需再進一步以蒸餾及分子篩等方式將酒精濃縮，才能得到可做為汽車燃料使用的酒精如圖 2 所示。

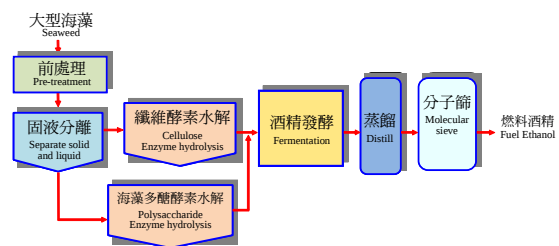


圖 2 海藻轉化生質酒精製程

結論

基於台灣土地資源有限，陸基生質原料可能無法滿足未來發展生質能源之需求，加上我國四面環海，開發海洋作物亦為另一適當的生質能源原料選項。我國現有養殖海藻以龍鬚菜較具規模，除了供應九孔養殖外，所含之海藻多醣亦具有高經濟價值，若將龍鬚菜的海藻多醣萃取分離後，剩餘富含纖維素的藻渣可經由酵素水解及酵母發酵製造生質酒精，則可大規模的養殖海藻作為一種經濟作物。目前以海藻產製生質酒精的製程仍有轉化效率相關技術需克服，如水解酵素及發酵酒精菌種的篩選，水解條件及發酵條件的探討等，另外在發酵酒精製程中如何有效的排除發酵抑制物，也是影響酒精產率的關鍵因素，雖然需解決的問題很多，但相信未來經由相關機構的研究及努力將可實現海藻在生質酒精的利用，對提昇我國經濟發展及改善世界性的溫室效應問題有極大的貢獻。