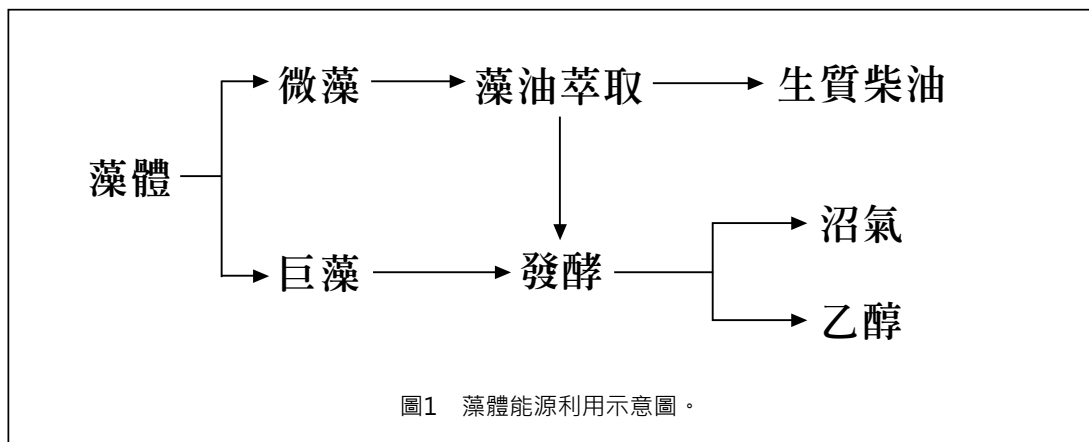


淺談藻類生質燃料



文／林昀輝

前言

在節能減碳的風潮下，世界各國大力推動使用生質燃料做為運輸用替代燃料，其中生質柴油和酒精是較廣為人知的生質燃料，然而其主要使用糧食中的油脂、糖和澱粉為原料轉化而成，其雖然具有減碳之效益，然而隨著生質燃料的大量使用，引來了『與人爭糧』和『與農爭地』的問題，因此，原料的取得成為各國在致力於推廣生質燃料的關鍵因素。

藻類（包括微藻和巨藻）由於生長快速加上可以不利用現有之耕地，成為倍受重視的生質原料之一，其中微藻能夠生產油脂作為生質柴油的原料，而巨藻則是因為含有醣類，可以作為醱酵生產醇類或沼氣之原料（藻體之利用程序示意圖如圖1所示）。本文將介紹微藻與巨藻在生質燃料利用上的發展狀況為主。

微藻生質燃料

微藻是最原始型態的植物，藻細胞主要包括碳水化合物、蛋白質及油脂三種成分。雖然一般藻類細胞中均含有脂肪，不同

藻種其脂肪含量有明顯之差異。圖2為微藻經 Nile 染色後，在螢光顯微鏡下的照片，圖中鮮黃色之部分即為中性油脂，在部分細胞中可以發現油脂充滿整個細胞，這些中性油脂主要為三酸甘油酯，是生產生質柴油的原料。

一般而言商業化渠道池之培養系統的每年每公頃可生產約 10-30 公噸乾重之藻體，最高產量可達每年每公頃可生產約 50-60 公噸，其約略與熱帶作物（如甘蔗、玉米等）相當；而在密閉式的生物反應器中，微藻之產量可增加至每年每公頃可生產約 130-150 公噸乾重，然而其需要在嚴密的環境條件控制之下，生產成本也高不可攀。根據美國能源部從 1978 年到 1996 年間長期資助由藻類衍生可再生性運輸燃料的計畫（水生物種計畫，Aquatic Species Program，簡稱 ASP）的試驗，在長期的操作下，微藻藻體之產率約 10 g/m²/day，而藻體之油含量約 15%，而在一般的報告中，養殖中某段最佳的微藻藻體之產率

圖2 微藻經染色後在一般顯微鏡(左)與螢光顯微鏡(右)下之照片。

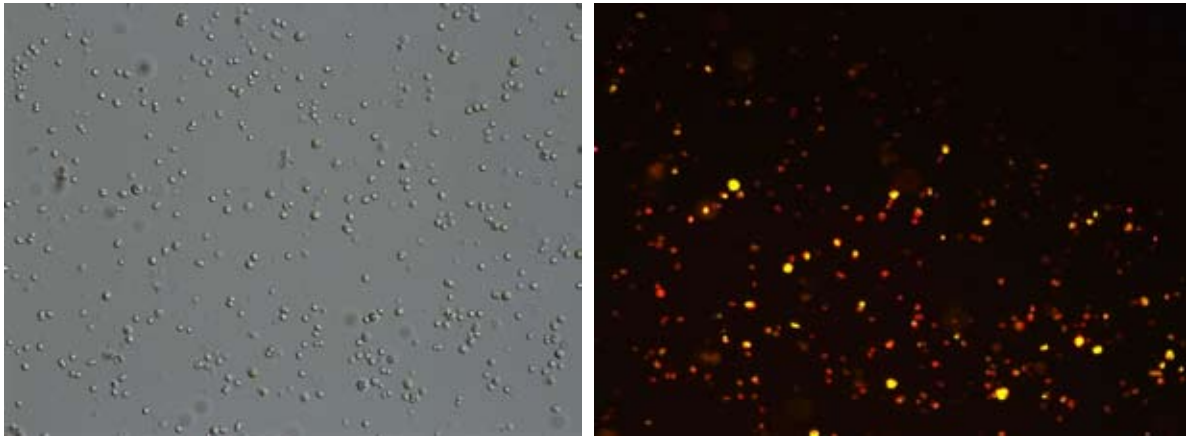


表1 微藻與不同油脂作物油脂生產力。

作物	油脂生產力(公升/公頃/年)
黃豆	450
向日葵	950
油菜	1,200
麻瘋樹	1,900
油棕	5,900
微藻(藻體 10 g/m ² /day 油含量 15%)	11,000
微藻(藻體 50 g/m ² /day 油含量 50%)*	93,500

資料來源：Chisti, 2007; Sheehan et al., 1998。

可達 50 g/m²/day，若假設其藻體之油含量可達 50%，則依此二者計算微藻單位面積的產油量約可達黃豆的 25-200 倍，也比油棕高 2-16 倍，表 1 比較微藻與不同油脂作物的油脂生產力。

圖 3 為微藻生質柴油生產的程序示意圖，其包括選擇適當藻種，經由一連串小規模的培養系統逐次放大，最後的養殖系統可高達數百公頃之培養系統，培養期間每天可能採取連續式採收或批次式整池採收，如果必要的話，還可能需要增加一道在逆境下的培養（如缺乏某些營養源或提高鹽度或照度等）。採收之藻液其藻體僅約 0.1- 0.5 wt. %，亦即超過 99% 都是水，因此必須有能夠快速有效之濃縮，以避免耗費太多能量在輸送水。即使經離心濃縮後，所得的藻含水率仍可高達 80-90%，傳統的油脂萃取技術中無法處理如

此高含水率的原料，但是乾燥程序又會耗去大量能源，必須在能源投入與油脂萃取效率之間取得平衡方能使微藻產油具有正面之能源效率（即所獲得的能源需大於投入之化石能源），經過上述之程序，方能獲得大量之微藻油脂做為生質柴油的原料，因此，整個藻油生產程序是結合生物、化學與物理等多重程序，因此也增加其技術發展之困難度。

一般而言微藻生質柴油的物理與化學性質仍與柴油接近，但藻油中常會含有較多的多元不飽和脂肪酸，其可能會影響微藻生質柴油之氧化穩定性，因此，若要以藻油為原料生產生質柴油，發展一套分離技術，除了可改善生質柴油的品質，更可藉由回收這些高價的不飽和脂肪酸，增加微藻產營之經濟效益。



圖3 微藻生質柴油生產的程序示意圖。

巨藻生質燃料

巨藻或稱海草為低等之植物，亦即其無根、莖、葉等組織，一般可分成紅藻、綠藻與褐藻三類。巨藻由於是漂浮在水中，不需要支撐組織，因此其生產力可比陸生作物高，在大規模培養之條件下，其每公頃每年之產量約可達乾重 11 公噸，最佳的條件下可達 45 公噸。養殖巨藻已經有很長的一段時間，尤其在亞洲地區，目前全世界約有 200 種巨藻被利用，其中約有 10 種被廣泛養殖，例如褐藻中的海帶 (*Laminaria japonica*) 裙帶菜 (*Undaria pinnatifida*)；紅藻中的紫菜 (*Porphyra*)、麒麟菜 (*Eucheuma*) 與綠藻中的石髮 (*Enteromorpha*) 等。

巨藻的主要成分包括多醣體、藻膠、蛋白質和灰分，其會隨著品種、季節與各種環境因素而有所變化，其雖然不含木質素 (lignin) 似乎比陸生植物容易處理，但是其所含的各種單糖卻是目前醱酵技術難以利用。表 2 是褐藻中的海帶典型之化學組成，其顯示海帶之組成與陸生作物全然不同，所以目前發展之纖維素酒精技術需做大幅度之調整，例如需要新的前處理

程序、新的水解技術（新的酵素）將藻多醣水解成單糖，另外也需要新的微生物來利用這些單糖。比起褐藻，綠藻因為含稍多的澱粉和纖維素等成分，表 3 是石蓴典型之化學組成，被認為是較接近陸生作物，例如含有部分澱粉，也有較多支纖維素，因此在醱酵利用上吸引較多注意，然而其含硫量較高，醱酵時容易產生硫化氫會對醱酵產生抑制。

表2 典型之海帶組成。

成分	比例 (wt.%)
纖維素	6
半纖維素	0
木質素	0
脂質	2
蛋白質	12
澱粉	0
褐藻膠	23
昆布糖(Laminaran)	14
褐藻醣膠(Fucoidan)	5
甘露醇(mannitol)	12
總醣	60
總有機物	74
灰分	26

資料來源：Reith et al., 2005。

表3 石蓴典型之化學組成。

成分	比例(wt.%)
纖維素	18
脂質	2
蛋白質	19
澱粉	2
石蓴多醣(ulvan)	20
硫酸鹽(Sulphates)	8
色素	<1
灰分	24

資料來源：Bruton et al., 2009

利用巨藻為原料生產沼氣似乎是一個更好的主意，沼氣醱酵廣泛的被利用來處理各種有機廢棄物，其技術成熟且早已商業化，巨藻的有機物質成分比例與一般物質接近，因此在技術上似乎沒有特別之障礙，尤其是以巨藻當作是部分添加原料時。但是由於巨藻容易含有鹽分、多酚 (polyphenols) 與硫化多醣 (sulfated polysaccharides)，因此在操作上需要注意，避免抑制物的生成而影響沼氣生成效率。

東京瓦斯公司的試驗工廠是一個利用海藻生產沼氣最知名的例子，在日本海岸漂流的石蓴常會造成社會問題，此外作為海岸復育用的海帶通常利用價值不高，加上藻體的含水率高，因此其決定利用厭氧醱酵之技術將其轉化成沼氣以供能源利用，其試驗工廠每天約可處理 1 公噸的海藻，在工廠中主要有 4 個部分，包括前處理、醱酵、氣體儲存與發電。醱酵所生成的沼氣主要含有 60% 的甲烷與 40% 的二氧化碳，另外含有數千 ppm 的硫化氫，其必須在發電利用前去除。根據其操作結

果每一公噸海帶可產生 22 立方公尺的甲烷，石蓴則每 1 公噸可產生 17 立方公尺的甲烷。所產之沼氣在除硫後存於儲槽，後續則與天然氣混合作為發電用。

結語

整體而言，微藻與巨藻之能源利用程序上，各具優勢與缺點，其中微藻在培養、收穫與油脂萃取上，技術難度較高，但獲得油脂之後，其轉化程序較為成熟且快速，所生產之生質柴油也與目前所使用之柴油基礎設施相容；反之在巨藻方面，其可以利用粗放之方式養殖，採收也容易機械化進行，然而在獲得藻體之後的轉化利用則需進一步發展，生產沼氣雖然看似可行，但經濟效益似乎較低，若要生產較高價之醇類產品，則需要開發新的酵素與新的微生物等。

藻類生產之成本仍高，因此以往主要做為醫藥、美容、食品與飼料等利用，然而由於藻類具有單位面積生產量大且不競爭使用農地的優點，被視為下一代生質燃料之重要原料，有機會大幅提高生質燃料之供應。然而，藻類生質燃料之開發仍面對許多尚無法克服之障礙，使得其成本居高不下，故短期內仍難看到藻類生質燃料商業化之實現。然而，面對未來替代燃料之需求日增與原油日趨耗竭之趨勢，相關替代能源技術仍值得投入更多資源進行研究，以因應未來能源供應之需求。

誌謝

承蒙經濟部能源局贊助「多元料源液態生質燃料技術開發與推廣四年計畫」，進行相關之研究，謹此致謝。

參考文獻

1. Chisti, Y., 2007. Biodiesel from microalgae, *Biotechnol. Adv.* 25: 294-306.
2. Sheehan J, Dunahay T, Benemann J, Roessler P, 1998, A look back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program—biodiesel from algae. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Co. 1998. Report NREL/TP-p. 580-24190
3. Reith JH, and al. 2005. Bio-Offshore: Grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee. s.l. : ECN Energy Research Centre of the Netherlands, 2005.
4. Bruton T, Lyons H, Lerat Y, Stanley M, Rasmussen MB, 2009, A Review of the Potential of Marine Algae as a Source of Biofuel in Ireland. Report prepared for Sustainable Energy Ireland.