

# 藻類產製 生質柴油

■ 陳振正 邱俊彥 廖少威 賴文亮

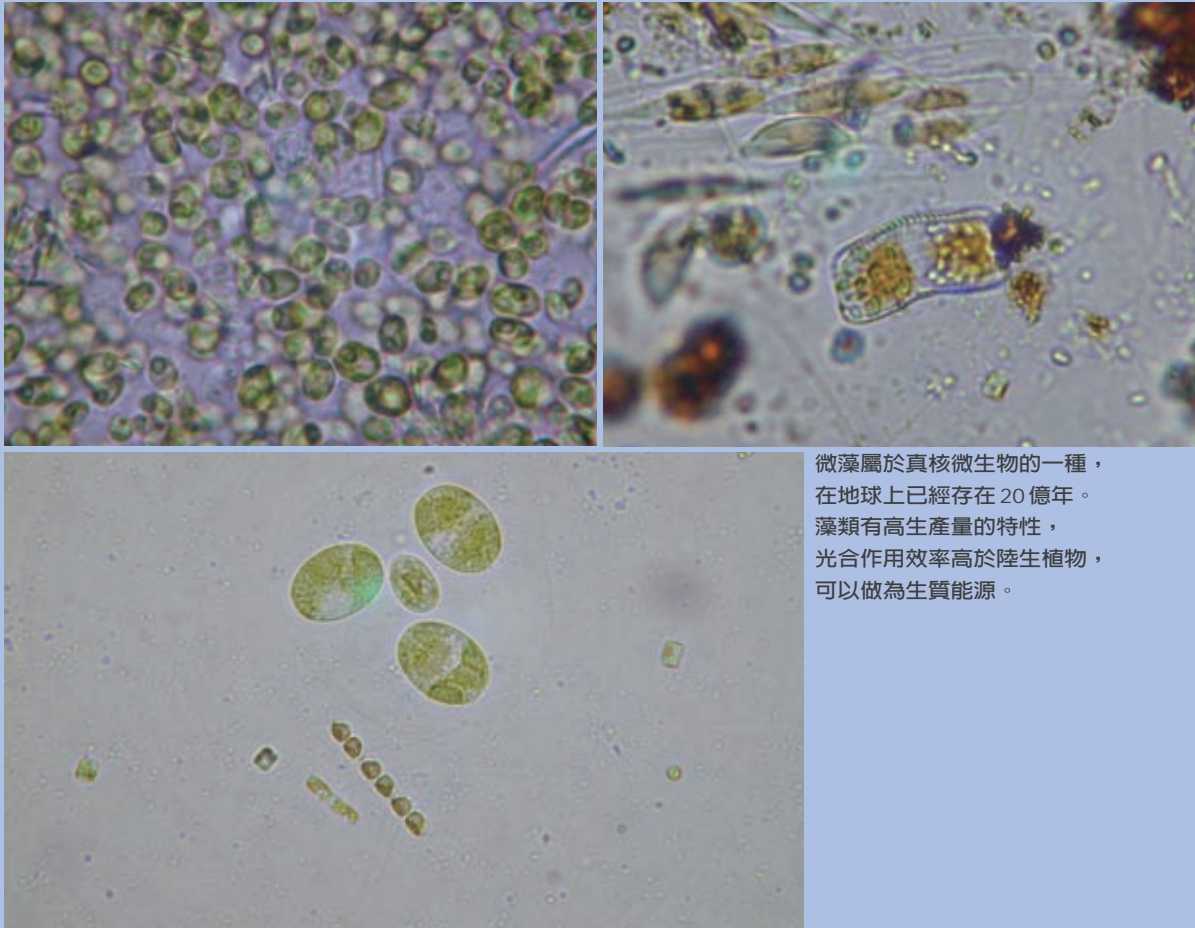
藻類個體的大小不一，  
大型藻可以大到數十公尺，  
微藻則在數微米到 200 微米之間。  
有些微藻的油脂含量高，  
適合轉化成生質柴油。  
有些大型藻的碳水化合物含量高，  
適合發酵成為生質酒精。

## 生質能的重要性

全球化石能源日益短缺，能源的價格終究會高漲到令人無法負擔的地步。倡導各項節能措施，積極開發各種替代能源，便成為現今世界各國最重要議題之一。在各種替代能源中，生質能源的開發與利用近年來受到高度的重視。在我國的國家能源政策白皮書中有關「再生能源的生質能應用」政策，明確指出生質能源發展的重要性。

生質能是指農林植物、沼氣、廢棄物等，直接利用或經過處理產生的能源。一般來說，可以利用的生質能包括生質柴油、生質酒精、生質氫能、生質甲烷等。

生質柴油是把動、植物性油脂、廢食用油、廢油炸油等原料，經由轉酯化反應、中和、水洗、蒸餾等過程，生成甲基酯類（生質柴油）的化合物。生質酒精的主要原料則是玉米澱粉、蔗糖等，經過糖



微藻屬於真核微生物的一種，在地球上已經存在 20 億年。藻類有高生產量的特性，光合作用效率高於陸生植物，可以做為生質能源。

化及發酵作用生成。另外，木薯、甘薯、甜高粱、纖維質材料等也常用來生產生質酒精。生質氫能是利用光合微生物及兼性或絕對厭氧性微生物的發酵作用，由有機物所產生。生質甲烷則主要是以厭氧性微生物分解有機物所生成的。

國外相當積極進行有關生質能的開發利用。例如澳大利亞科學暨工業研究組織與紐西蘭皇家研究所合資組成研究機構，共同進行生質能相關技術的開發，以便把植物的纖維或廢棄物再次加工轉換成新產品的原料。

另外，特別值得學習的是加拿大。加拿大的國家森林資源豐富，因而廣泛利用各

種原生質物料與次生質物料，發展再生能源的相關技術。舉凡森林中的樹木及矮灌木，典型的能源作物，如白楊屬植物、柳樹、軟草類植物及蘆葦科植物，穀類作物如草稈，豆科植物、油菜籽、玉米穀物、燈心草等植物材料，或者是水中的物質，如各種的海草或海藻類，甚至是動物的排泄物等原生質物料，無一遺漏。

除此之外，加拿大也發展利用來自於原生質物料，但尚未經過重大的化學或物理變化的物質，做為生質能源的原料。例如，產品加工製造時剩下的殘餘物，像是鋸木廠產生的殘屑、樹皮、木條、木屑等；造紙廠殘留的紙漿等廢料；農牲的排

**倡導各項節能措施，積極開發各種替代能源，是現今世界各國的最重要議題之一。**

生質能是指農林植物、沼氣、廢棄物等，直接利用或經過處理產生的能源。

一般來說，可以利用的生質能包括生質柴油、生質酒精、生質氫能、生質甲烷等。



台灣具有獨特的地理位置與綿延的海岸線，可以提供藻類產業的發展。近年來，尋找合適的微藻及其養殖條件，也成為台灣產學界的重要研究主題。

泄物；穀物的殘渣，如稻稈、米糠等穀物殼屑、乾草、秣草、麥稈等；都市的廢棄物，如紙張、厚紙板、橡膠、皮革、天然紡織品、木材、割草後的草料、廚房廢棄物、下水道廢物等。

在日本，由三菱總合研究所、京都府立海洋中心及東京海洋大學組成的研究團隊，也正計劃在日本海沿岸水深400公尺內的海域建立養殖場。每一個養殖區塊垂吊著大約100根附著種苗的繩子，總養殖面積可以達到1萬平方公里，估計每一年可以收穫重達6,500噸的乾燥海藻，大約可以製造出2,000萬公升的生質酒精。

我國政府對於生質能源的開發利用，目前仍然處在初期的開發階段。第1座生質柴油示範工廠在2004年9月，於嘉義縣民雄工業區開始正式運轉。這座示範廠主要以廢食用油為原料，產品可以提供一般柴油車輛及農機具使用。

另外，政府也利用休耕農地栽種大豆、向日葵等能源作物，用來生產生質柴油與生質酒精。農委會在嘉義地區利用300公頃的休耕農地，試種玉米做為生產生質酒精所需的澱粉來源。而台糖公司、台肥與中油公司，也分別規劃設廠生產生質酒精，台糖計劃利用甘蔗，台肥與中油則計劃利用玉米為原料。國內還有一家公司，規劃利用「狼尾草」做為生質酒精原

料。

以生質能源做為替代能源，現階段遭遇到的最大瓶頸是成本過高，其次是供應量不穩定、負的能源淨產出值等問題。聯合國糧農組織和經濟合作暨發展組織也提出警告，在未來的10年，世界對生質能源的日益依賴，可能使貧窮國家的糧食價格高漲，這些國家目前已面臨愈來愈大的便宜糧食供給壓力。因此，能源作物應以非糧食原料，或無法做為糧食用途的部分為考量。

### 藻類生質柴油

利用藻類做為生質能源有很大的潛力，主要的原因是藻類高生產量的特性，光合作用效率高於陸生植物。有些藻類甚至含有高量的脂質，而脂質正是轉化成為生質柴油的重要關鍵原料。但不同藻種的脂質含量有明顯的差異，例如紅藻門、藍藻門的藻屬，脂質含量就較其他的藻門高。生長環境的不

利用藻類做為生質能源有很大的潛力，因有高生產量的特性，甚至含有高量的脂質，而脂質正是轉化成為生質柴油的重要關鍵原料。

同，同藻屬間的脂質含量也會有很大的不同。

一般來說，脂質的成分主要有脂肪酸甘油酯的中性脂質，以及微量的其他成分，例如卵磷脂、植磷脂等磷脂類。另外，還含有各種不同的皂化物、游離脂肪酸等。一般藻類的脂質含量大約在20~50%之間，有些藻類的油脂質含量更可以高達80%。

有一些藻類在不同的生長條件下，藻體細胞的脂質含量會有差異。影響藻類脂質含量的因素，包括物理因子與化學因子。在化學因子方面，首先是營養鹽，改變營養鹽的成分可能會影響藻細胞的脂質含量。有研究結果指出某種綠藻（*Chlorella sp.*）細胞處在低氮營養的環境下，其脂質含量比控制組的高。同樣地，有一種矽藻（*Stephanodiscus minutulus*）在矽、磷等營養鹽的供給受到限制時，脂質含量會高於未受限制的。

培養藻細胞時所需的二氧化碳濃度，



矽藻培養

也會改變細胞的脂質含量。例如，把培養柯斯勒綠藻的二氧化碳濃度從2%提升至10%，細胞乾重的脂肪酸含量可以增加30%。也有人把一種屬於綠藻的小球藻以異營性的方式培養，也就是說，在培養時改添加葡萄糖做為碳源。用這種培養方式，比自營性培養（也就是添加二氧化碳者）更能增加細胞的脂質含量達到55%之多。

在物理因子方面，澳大利亞科學家曾探討包括角毛藻、紅色隱藻、隱藻及一種還未確認的藻種（*Prymnesiophyte*）等4種藻屬，在不同培養溫度下的生長變化差異。研究結果顯示不同的藻種，最大脂質含量的最適溫度也不盡相同。其中，角毛藻的最適溫度是攝氏35度，其餘3種藻類的最適溫度範圍則在攝氏27~30度間。

除了溫度以外，光照強度也會影響藻細胞的脂質含量。西班牙的科學家研究光照強度對海洋擬綠球藻生長狀況的影響，發現細胞的增殖率隨著光照強度的增加而增大，細胞脂質的含量則由60.7%降為33.2%。雖然如此，科學家仍然認為以脂質的單位產率而言，光照強度仍對細胞總脂質產量有正面的幫助。換句話說，適量地提高光照強度，單位時間的脂質產量也會比較高。

### 光生物反應器培養

另一個影響商業化的因素是如何提高藻類的放養密度，以便降低成本。以微藻為例，微藻的放大培養方式，需要在高效率的光生物反應器中才可以進行。

目前開發的培養方式，主要包含溝渠式及立體結構光生物反應器兩種。溝渠式生物反應器常設有槳板機來推動水流，避



光照強度會影響藻細胞的生長

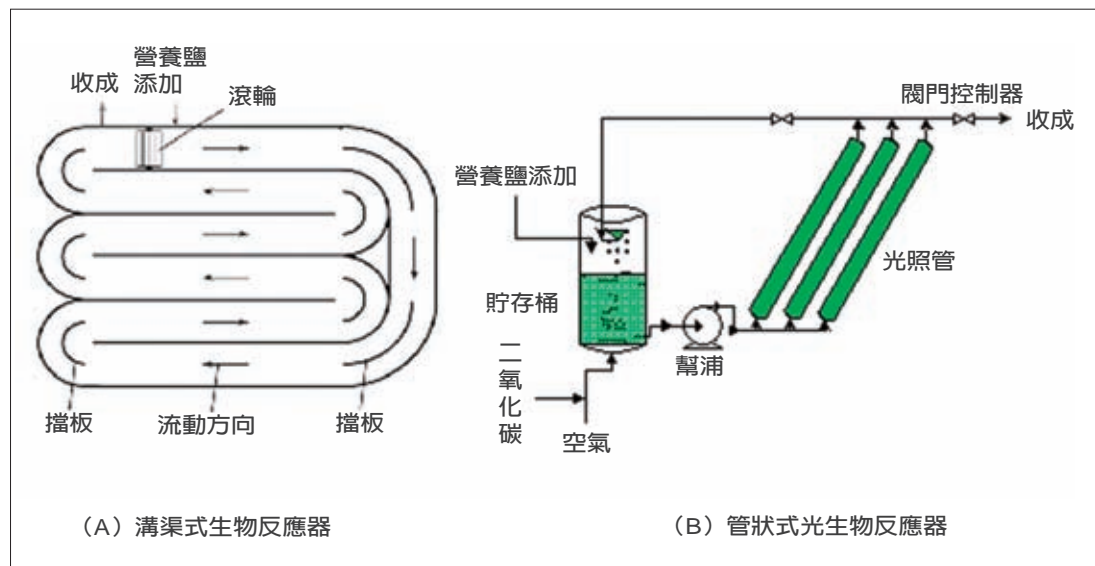
免藻細胞的沉降。另外，也需要考慮藻細胞的光合作用。這種形式的培養器的一般水深在0.3公尺以內，所需土地面積較大。此外，由於是開放式飼養，雨天時會影響生物質量的收成，落塵中的雜菌也可能影響藻細胞的培養。

另一種放大培養的方式是光生物反應器，這種反應器是利用內徑10公分以內的

塑膠管柱，以南北走向的排列方式，進行生物質量的放大培養。也可以利用具彈性的塑膠圓管，環繞成圓柱形進行培養。

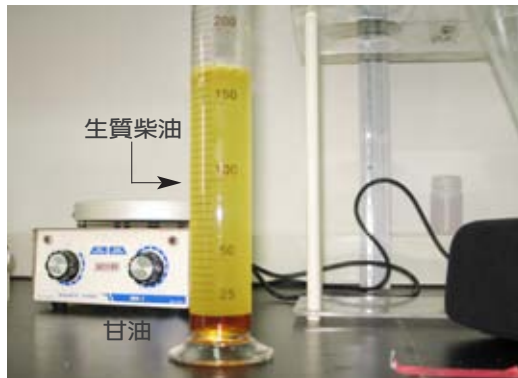
以管狀光生物反應器為例。營養鹽由貯存桶的一側加入，與循環回流的培養液經過溫度調節，利用幫浦送入管狀光生物反應器中。之後，部分藻液會導入細胞收集系統，部分再循環回到貯存桶。在系統中，因為細胞會利用碳源，可能造成培養液的酸鹼度升高的問題。因此，貯存桶內需要進行內含二氧化碳氣體的曝氣。這個曝氣作用除了可以提供營養鹽的碳源外，也可以降低營養鹽的酸鹼值，還能藉由氣提驅趕部分來自藻細胞光合作用產生的溶解氧，避免溶解氧過度飽和而影響藻細胞的生長。

另一方面，管狀光生物反應器下的支撐斜板，通常會漆成白色，或者以鏡面鋼板為材質，增加生物反應器的光照效果。在管狀光生物反應器中，為了避免藻細胞沉澱，管內營養鹽的流速控制非常重要。管狀光生物反應器也必須周期性地清潔消毒，以避免其他微生物的生長。

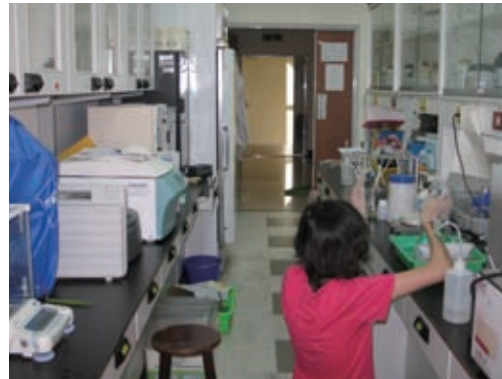


進行生物質量放大的兩種光生物反應器形式

雖然台灣的土地面積小，卻有四面環海的優勢。  
因此利用海洋資源開發生質能源，有其必要性及前景。



由藻類產生生質柴油的程序有很大的發展潛力



在實驗室中產生生質柴油

## 轉酯化程序

轉酯化反應是指油脂在酸或鹼性催化劑的存在下，與烷基醇類（通常是甲醇或乙醇）作用產生直鏈酯類（生質柴油）與副產物甘油的反應。

爲了提高轉酯化效率，一般使用酸、鹼或脂肪酶來催化。不過，鹼催化比酸催化的製程快上4,000倍，而脂肪酶的成本較昂貴，因此商業上比較常利用鹼催化轉酯化反應。一般的鹼催化製程控制在攝氏60度及1大氣壓下，大約90分鐘就可完成。但是，鹼催化製程還是有缺點，例如原料中的游離脂肪酸不可過高，以避免與強鹼產生皂化作用而降低轉酯化效率。此外，需要無水環境及甘油回收困難等也是它的缺點。

酸催化製程的轉酯化效率雖然低於鹼催化製程，但優點是對游離脂肪酸的甲基酯化速度快，而且轉化率高。因此，如果能使原料先進行酸催化，把游離脂肪酸酯化，再進行鹼催化，應該可以增加原料的使用範圍。

產生生質柴油，除了酸、鹼催化的轉酯化程序外，還有研究利用液化製程來進

行轉酯化。結果指出當系統在高溫高壓（攝氏300～340度，20大氣壓）時，30分鐘的反應時間便可以把原料（藻泥）轉化成爲油脂。液化程序的最大優勢是不需要如鹼催化製程的無水環境，也就是原料不需要乾燥。

生物製程（酵素轉化製程）是另一個值得考慮的轉酯化程序，這個製程可以直接把游離脂肪酸轉化成甲基酯，且比較沒有產生廢酸、廢鹼液的問題。它的缺點是反應時間長，油產率偏低，因此目前並沒有商業化的生物製程。

過去人類大量使用地殼下的資源，使得這些資源日益減少，終究會有枯竭的一天。雖然台灣的土地面積小，卻有四面環海的優勢。因此利用海洋資源開發生質能源，有其必要性及前景。像是藉由海洋牧場直接利用太陽光，並且利用海水培養海藻或微藻，再進一步轉化爲生質能源，以因應未來的能源需求，應該是我們共同努力的方向。 □

陳振正 邱俊彥 廖少威 賴文亮

大仁科技大學綠色能源科技中心