

## 知識物件上傳表

計畫名稱：微藻資源庫之建置與開發計畫(1/3)

上傳主題：碳的轉運手：微藻轉化 CO<sub>2</sub> 及有機碳源成為可再利用資源

提報機構：財團法人食品工業發展研究所

提報時間：105 年 6 月 4 日

與計畫相關	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 是 <input type="checkbox"/> 2. 否
國別	<input type="checkbox"/> 1. 國內 <input checked="" type="checkbox"/> 2. 國外：全球
能源業務	<input type="checkbox"/> 1. 能源政策(包含政策工具及碳交易、碳稅等) <input type="checkbox"/> 2. 石油及瓦斯 <input type="checkbox"/> 3. 電力及煤碳(包含電力供應、輸配、煤炭、核能等) <input checked="" type="checkbox"/> 4. 新及再生能源 <input type="checkbox"/> 5. 節約能源(包含工業、住商、運輸等部門) <input type="checkbox"/> 6. 其他
能源領域	<input type="checkbox"/> 1. 能源總體政策與法規 <input type="checkbox"/> 2. 能源安全 <input type="checkbox"/> 3. 能源供需 <input type="checkbox"/> 4. 能源環境 <input type="checkbox"/> 5. 能源價格 <input type="checkbox"/> 6. 能源經濟 <input checked="" type="checkbox"/> 7. 能源科技 <input type="checkbox"/> 8. 能源產業 <input type="checkbox"/> 9. 能源措施 <input type="checkbox"/> 10. 能源推廣 <input type="checkbox"/> 11. 能源統計 <input type="checkbox"/> 12. 國際合作
決策知識類別	<input type="checkbox"/> 1. 建言 (策略、政策、措施、法規) <input checked="" type="checkbox"/> 2. 評析(先進技術或方法、策略、政策、措施、法規) <input type="checkbox"/> 3. 標竿及統計數據：技術或方法、產業、市場等趨勢分析 <input type="checkbox"/> 4. 其他：
重點摘述	<p>生長在非耕地的微藻，已然成為第三代生物燃料最具代表性的能源來源。以廢水和廢氣培養藻類，獲得大量生物量，成為具有降低環境負擔與風險的最佳選擇。因此，近年來微藻作為一種可以緩解 CO<sub>2</sub> 排放量的生物工法，進一步為了發展達到更經濟、成本效益更高和更能友善環境的生物處理程序，結合廢水處理會是一個更好的應用方式。</p>
詳細說明	<p>生長在非耕地的微藻，已然成為第三代生物燃料最具代表性的能源來源。以廢水和廢氣培養藻類，獲得大量生物量，成為具有降低環境負擔與風險的最佳選擇[1]。使用微藻生產生物燃料的主要優勢在於微藻能夠容忍較高濃度的 CO<sub>2</sub> 含量[2]，因此可以利用例如含有 CO<sub>2</sub> 約 5-15% 的煙道氣和燃燒氣體的排放源，有效捕捉 CO<sub>2</sub> 作為碳源，相較於植物僅能從大氣中約 0.04% 的 CO<sub>2</sub>[3]。不同微藻對於 CO<sub>2</sub> 的耐受程度如表 1 所示，以碳酸質溫泉環境中常見的藻種 <i>Cyanidium caldarium</i> 為例，其可耐受 100% 的 CO<sub>2</sub> 環境[4]。微藻轉化 CO<sub>2</sub> 以達到減排的優勢是顯而易見的，其提供一個非常有潛力的策略用以緩解目前溫室氣體排放量[5]。除了例如燃料發電廠煙氣排放之 CO<sub>2</sub> 能夠供給微藻生長外，某些微藻物種還能夠從可溶性碳酸鹽，例如碳酸鈉和碳酸氫鈉中吸收 CO<sub>2</sub>[6]。例如 <i>Monoraphidium minutum</i> 藻類可以有效地利用含有高濃度 CO<sub>2</sub> 的煙道氣，以及硫和氮的氧化物，作為原料，產生大量的生物量[7]。另外，綠藻(Chlorophyta)則表現出比陸生植物更大的捕獲太陽能的能力，其捕捉效率是陸生植物 10-50 倍[6]。一種稱為海洋綠球藻(<i>Chlorococcum littorale</i>)的海洋藻類，顯示了對 40% 高濃度 CO<sub>2</sub> 卓越的耐受性[8]，另外從溫泉所分離的某些小球藻(<i>Chlorella</i> sp.)也表現出能夠耐受 42℃ 的生長環</p>

境，並且能夠生長在高達 40% CO<sub>2</sub> 的工業煙道氣體中，利用 CO<sub>2</sub> 作為碳源而生長[9]。由於生產生物柴油的成本過高，造成其商業化之障礙，然而以微藻減緩 CO<sub>2</sub> 的排放量，或藉由轉化 CO<sub>2</sub> 成為其他高價產物，可以間接提供降低成本和使微藻持續利用作為生物燃料資源的互補功能。

表 1、不同微藻對於 CO<sub>2</sub> 之最大忍受程度[4]

Species	Known maximum CO <sub>2</sub> concentration
<i>Cyanidium caldarium</i>	100%
<i>Scenedesmus</i> sp.	80%
<i>Chlorococcum littorale</i>	60%
<i>Synechococcus elongatus</i>	60%
<i>Euglena gracilis</i>	45%
<i>Chlorella</i> sp.	40%
<i>Eudorina</i> spp.	20%
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	15%
<i>Nannochloris</i> sp.	15%
<i>Chlamydomonas</i> sp.	15%
<i>Tetraselmis</i> sp.	14%

因此，近年來微藻作為一種可以緩解 CO<sub>2</sub> 排放量的生物工法，進一步為了發展達到更經濟、成本效益更高和更能友善環境的生物處理程序，結合廢水處理會是一個更好的應用方式。廢水作為微藻培養所能帶來的優點包括：

1. 微藻已被證明在脫氮除磷上具有成效，並且也能同時去除金屬離子，結合微藻養殖與廢水處理將顯著提高這一策略的環境效益[10]。
2. 以微藻養殖處理廢水可以減少在常規培養微藻程序中化學品的使用，例如減少硝酸鈉、鉀和磷此類外源性養分的添加，達到節省成本之效益。
3. 在固定與利用 CO<sub>2</sub> 效率上，相較於傳統的林業、農業和水生植物等，微藻具有更高的生長效率[5]。
4. 一些微藻物種例如小球藻、螺旋藻和杜氏藻等具有商業價值。據預計，從生物質生產所獲得的高價產物，其所創造之商業利潤，將能抵消 CO<sub>2</sub> 封存時所投入的整體營運成本。
5. 微藻物種例如小球藻可以在 20% 的 CO<sub>2</sub> 環境下生長，因此可以使用來自工業廢氣的 CO<sub>2</sub> 碳源，所收穫之生物質可被用作保健食品或飼料等[11]
6. 某些富含色素之微藻，例如杜氏鹽，可使用 CO<sub>2</sub> 來產生次級代謝產物例如  $\beta$  胡蘿蔔素及蝦紅素等具有經濟重要性的副產物。這些產品用於食品、藥品和化妝品[12]。
7. 對於具有去除氮和磷需求的排放水，例如水產養殖場等，微藻可以提供作為一種環境友好的處理系統[10]。
8. 若以封閉系統培養微藻，對水資源的消耗比陸地作物少。

9. 燃燒由微藻來源之生物燃料，可有效減緩  $N_2O$  及硫化物被釋放到大氣中。
10. 微藻可以養殖在非耕地，亦可結合煙氣  $CO_2$  減排和污水處理。

以富含胺基酸、有機酸的食品工業廢水而言，結合微藻養殖的廢水處理系統似乎是一個不錯的選擇[13]。利用藻類廢水處理具有很多優點，包括廢水中豐富的營養物質，例如氮和磷等，以及適量的重金屬離子，提供藻類生長所需，達到去除化學、有機污染物及部分重金屬的效益。另外可回收藻體之生物質作為肥料，可以抵消部分運轉費用[14]。微藻可以減輕生活污水和含氮工業廢水對環境的影響，因藉由微藻的生長可以去除氮和碳在排放水中的濃度，幫助減少在水生環境的過度營養化[13]。可應用在廢水養殖之微藻如表 2 所列，例如 *Chlorococcum* sp. RAP13 以異營的方式處理乳製品廠污水，其所生成之油脂含量可達到 42%[15]。*Scenedesmus* sp.處理富含果糖、葡萄糖和乙酸之廢水，其所生成之油脂含量更可達到 52.6%[16]。*Chlorella pyrenoidosa* FACHB-9 處理大豆加工廢水，其所生成之油脂含量達到 37% 乾重(dry cell weight, DCW)[17]。

無論是經濟發展或民生所需，對於乾淨的空氣與水源的需求日益重要。為減緩溫室效益與對環境的破壞，對於  $CO_2$  及工業所產生的廢水，兩者的排放標準越來越嚴格，儼然成為各國政府與企業巨大的挑戰。因此，新的概念或工程系統日趨重要，例如混合廢水與廢棄的微藻處理系統可以是一個有效的污染物去除的方法，廢水中含有可生物降解的有機物，在處理廢水的同時又可生產能源，此混合系統之發展已成為一種趨勢。期待未來台灣能夠發展出適合的技術來因應環保與能源問題。

表 2、可應用在廢水養殖之微藻[18]

培養模式	藻種	廢水種類	油脂含量
自營	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	人工廢水	25.2% 乾重 (DCW)
自營、異營及混營	Mixed culture	實驗室設計之合成廢水	30.4%, 28.24% 及 22.05%
異營	<i>Chlorococcum</i> sp. RAP13	乳製品廠污水	42%
	<i>Auxenochlorella protothecoides</i> UMN 280	城市污水	28%
	<i>Botryococcus braunii</i>	二級處理後的污水	17%
	<i>Chlorella vulgaris</i>	農工業的副產品，乙醇酒糟水和大豆乳清廢水	43%/9.8 g/L
	<i>Chlorella vulgaris</i>	合成廢水	22.40%
	Mixed culture	濃縮城市污水	77 mg/L/d
	Mixed culture	地毯廠出水	未檢測
	Mixed culture	生活污水	28.20%

		Mixed culture	從製氫反應器所產生之酸性廢水	26.40%
		Mixed culture	揮發性脂肪酸	未檢測
		<i>Scenedesmus</i> sp.	含果糖、葡萄糖和乙酸之廢水	52.60%
		<i>Scenedesmus</i> sp. LX1	從生活污水處理廠二級出水	31–33%
	混營	<i>Auxenochlorella protothecoides</i> UMN280	廢水和 BG11	20.82% (1% CO <sub>2</sub> ) 20.58% (5% CO <sub>2</sub> )
		<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	豬場廢水	6.3 mg/L/d
		<i>Chlorella pyrenoidosa</i> FACHB-9	大豆加工廢水	37% 乾重(DCW)
		<i>Chlorella</i> sp.	牛糞污水	2.31 g/m <sup>2</sup> DCW
		<i>Chlorella</i> sp.	城市污水	0.12 g Biodiesel/L
		<i>Chlorella vulgaris</i>	人工廢水	42%
		Mixed culture	不同水體的生活污水	4–26%
		Mixed culture	生活污水	23.40%
		Mixed culture	實驗室設計之合成廢水	26%
		Mixed culture	民生和城市污水	14–29%
		<i>Scenedesmus obliquus</i>	乳清廢水	37.8 mg/L/d
		<i>Scenedesmus</i> sp.	人工廢水	12%
		<i>Scenedesmus</i> sp.	發酵養豬廢水	9 mg/g 乾重 (DCW)
	參考文獻：			
	[1] Singh A, Nigam PS, Murphy JD. Renewable fuels from algae: an answer to debatable land based fuels. <i>Bioresource Technology</i> 2011;102:10.			
	[2] Chang E-H, Yang S-S. Some characteristics of microalgae isolated in Taiwan for biofixation of carbon dioxide. <i>Botanical Bulletin of Academia Sinica</i> 2003;44.			
	[3] Hsueh H, Chu H, Yu S-T. A batch study on the bio-fixation of carbon dioxide in the absorbed solution from a chemical wet scrubber by hot spring and marine algae. <i>Chemosphere</i> 2007;66:878.			
	[4] Hanagata N, Takeuchi T, Fukuju Y, Barnes DJ, Karube I. Tolerance of microalgae to high CO <sub>2</sub> and high temperature. <i>Phytochemistry</i> 1992;31:3345.			
	[5] Li Y, Horsman M, Wu N, Lan CQ, Dubois-Calero N. Biofuels from microalgae. <i>Biotechnology Progress</i> 2008;24:815.			
	[6] Wang B, Li Y, Wu N, Lan CQ. CO <sub>2</sub> bio-mitigation using microalgae. <i>Applied Microbiology and Biotechnology</i> 2008;79:707.			
	[7] Zeiler KG, Heacox DA, Toon ST, Kadam KL, Brown LM. The use of microalgae for assimilation and utilization of carbon dioxide from fossil fuel-fired power plant flue gas. <i>Energy Conversion and Management</i> 1995;36:707.			

- |  |  |
|--|--|
|  | <p>[8] Iwasaki I, Hu Q, Kurano N, Miyachi S. Effect of extremely high-CO<sub>2</sub> stress on energy distribution between photosystem I and photosystem II in a 'high-CO<sub>2</sub>' tolerant green alga, <i>Chlorococcum littorale</i> and the intolerant green alga <i>Stichococcus bacillaris</i>. <i>Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology</i> 1998;44:184.</p> <p>[9] Sakai N, Sakamoto Y, Kishimoto N, Chihara M, Karube I. <i>Chlorella</i> strains from hot springs tolerant to high temperature and high CO<sub>2</sub>. <i>Energy Conversion and Management</i> 1995;36:693.</p> <p>[10] Mallick N. Biotechnological potential of immobilized algae for wastewater N, P and metal removal: a review. <i>Biometals</i> 2002;15:377.</p> <p>[11] Becker EW. Microalgae: biotechnology and microbiology: <i>Cambridge University Press</i>; 1994.</p> <p>[12] Graham L, Wilcox L. Algae <i>Prentice Hall, Inc New Jersey</i> 2000.</p> <p>[13] Mata TM, Martins AA, Caetano NS. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> 2010;14:217.</p> <p>[14] Munoz R, Guieysse B. Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review. <i>Water Research</i> 2006;40:2799.</p> <p>[15] Ummalyma SB, Sukumaran RK. Cultivation of microalgae in dairy effluent for oil production and removal of organic pollution load. <i>Bioresource technology</i> 2014;165:295.</p> <p>[16] Ren H-Y, Liu B-F, Ma C, Zhao L, Ren N-Q. A new lipid-rich microalga <i>Scenedesmus</i> sp. strain R-16 isolated using Nile red staining: effects of carbon and nitrogen sources and initial pH on the biomass and lipid production. <i>Biotechnology for Biofuels</i> 2013;6.</p> <p>[17] Hongyang S, Yalei Z, Chunmin Z, Xuefei Z, Jinpeng L. Cultivation of <i>Chlorella pyrenoidosa</i> in soybean processing wastewater. <i>Bioresource Technology</i> 2011;102:9884.</p> <p>[18] Mohan SV, Rohit M, Chiranjeevi P, Chandra R, Navaneeth B. Heterotrophic microalgae cultivation to synergize biodiesel production with waste remediation: progress and perspectives. <i>Bioresource Technology</i> 2015;184:169.</p> |
|--|--|

註：1.請計畫執行單位上傳提供較具策略性的知識物件，不限計畫執行有關內容。  
 2.請計畫執行單位每季更新與上傳一次，另有新增政策建議可隨時上傳。  
 3.文字精要具體，量化數據盡量輔以圖表說明。