

微藻培養技術發展現況 = Development of techniques for cultivation of microalgae

楊秀莉、余世宗, 吳淑姿

E-mail: 354806@mail.dyu.edu.tw

摘要

化石燃料的大量使用，大氣中二氧化碳濃度升高，導致全球暖化與化石資源枯竭之嚴重問題。微藻在能源產製、生物資源生產及二氧化碳固定等方面之應用具有相當大的潛力，這些應用的成效受微藻株培養技術的發展影響甚巨。本報告透過蒐集國內外微藻培養系統的相關研究報告，加以分析整理微藻株培養技術的應用與進展。利用微藻油脂製成生質柴油作為再生燃料，兼具降低大氣中二氧化碳的作用，培養系統以開放式平面培養池或跑道式培養池比較具有經濟效益，但生產成本仍然高於化石燃料，微藻生長速率的提升及油脂含量的提高將有助於生產成本的降低。利用微藻固定發電廠排放之二氧化碳，培養系統以密閉式的光生物反應器比較具有吸收效果，此因密閉式的光生物反應器之微藻生質濃度較高所致，但密閉式光生物反應器體積比較小，微藻生質總量少，二氧化碳吸收總量亦相對降低。光能供應及二氧化碳的傳輸是影響微藻培養系統效能最大的因素。在微藻培養槽或光生物反應器中，光能供應必須避免高強度光能的抑制作用及藻體遮蔽作用以得到最高之生長速率。大多數光生物反應器直接通以含二氧化碳之氣體，二氧化碳吸收率很小，吸收塔設備與微藻培養系統整合可增加二氧化碳使用率。

關鍵詞：微藻、固碳、生質柴油

目錄

第一章 緒論	1
1.1 緣起	1
1.2 研究目的與內容	3
第二章 研究方法與流程	4
2.1 研究方法	4
2.2 研究流程	4
第三章 微藻及其應用	7
3.1 微藻種類	7
3.1.1 綠藻	9
3.1.2 杜氏藻	9
3.1.3 螺旋藻	10
3.1.4 擬球藻	10
3.2 微藻的應用	11
3.2.1 生質柴油	13
3.2.2 生質酒精	15
3.2.3 產製氫氣	15
3.2.4 微藻固碳	18
3.2.5 高價值產品	23
3.2.6 其他	26
第四章 微藻培養技術	28
4.1 微藻培養系統之發展現況	28
4.1.1 微藻培養系統介紹	28
4.1.2 微藻培養方式	32
4.1.3 光生物反應器	35
4.2 微藻生產經濟分析	39
4.3 微藻培養系統之應用現況	40
4.3.1 國外之應用現況	40
4.3.2 台灣之應用現況	44
4.4 微藻培養系統之相關研究	45
4.4.1 微藻固碳之培養技術	46
4.4.2 微藻產製生質能源之培養技術	48
4.4.3 微藻運用於廢水處理之培養技術	51
4.4.4 微藻培養技術之光生物反應器應用	54
4.4.5 微藻培養技術之影響因子探討	56
4.4.5.1 光照之影響探討	57
4.4.5.2 二氧化碳濃度	60
4.4.5.3 溫度	60
4.4.5.4 鹽度	61
4.4.5.5 酸鹼值	61
4.4.5.6 營養鹽之影響探討	62
4.4.5.7 攪拌	63
4.4.5.8 溶氧濃度	63
4.4.5.9 氮之影響探討	63
4.4.6 產製高價值產品之微藻培養技術	64
第五章 結論與建議	67
5.1 結論	67
5.2 建議	68
參考文獻	70
圖目錄	圖2-1 研究流程圖 6
圖3-1 真核細胞中無機碳輸送模式	22
圖4-1 光合作用速率與光照強度關係圖	58
表目錄	表3-1 藻類分類表 8
表3-2 藻類產品的商業應用	12
表3-3 生產氫氣之機制	17
表3-4 微藻產量與應用	27
表4-1 現今已商業化的藻類培養系統及藻種	29
表4-2 開放式與密閉式藻類培養系統之比較	31
表4-3 藻類培養系統之分類	32
表4-4 密閉式光生物反應器之特性與限制	36
表4-5 不同型態光生物反應器之效能評估	38
表4-6 利用藻類光生物反應系統於二氧化碳減量與生質能源開發之主要國際公司	42

參考文獻

1. 王冠翹, 2011, 以藻類去除半導體業廢氣中二氧化碳之可行性研究, 國立中央大學環境工程研究所碩士論文, 新竹。
2. 王學倫, 2010, 微藻於鹼性培養液固二氧化碳之研究, 大葉大學環境工程研究所碩士論文, 彰化。
3. 王藝蓉, 2003, 以光生化反應器培養微藻生產脂肪酸, 大葉大學食品工程學系碩士論文, 彰化。
4. 王紹明, 1997, 以海洋微藻生產多元不飽和脂肪酸DHA之研究, 國立台灣大學農業化學系碩士論文, 台北。
5. 王明輝、陳?妍、何炎明, 2008, 紫外線照射對綠藻 *Scenedesmus dimorphus* 生長繁殖和葉綠素含量的影響, 安徽農業科學, 36卷23期, p9863-9864。
6. 王順昌、王陶、趙世光、吳躍進、余增亮, 2008, 不同氮源對蛋白核小球藻生長、色素和中性脂肪積累的影響, 激光生物學報, 17卷2期, p197-201。
7. 吳柏宏, 2009, 利用微藻進行光合作用生產氫氣, 食品工業, 41卷8期, p15-27。
8. 吳思賢, 2010, 深層海水培養微藻製備生質柴油, 國立臺灣海洋大學輪機工程系碩士論文, 台北。
9. 吳佳育, 2010, 兩階段培養微藻 *Chlorella* sp. 生產油脂之研究, 清華大學化學工程學系碩士論文, 新竹。
10. 李文哲, 2006, 以高溫高鹼度環境培養微藻固定模擬吸收塔之吸收液中CO₂之研究, 成功大學環境工程學系碩士論文, 台南。
11. 李育儒, 2010, 本土性微藻之生質能源潛勢研究, 屏東科技大學水產養殖系所碩士論文, 屏東。
12. 呂信賢, 2010, 光因子條件對擬球藻脂肪酸合成量之探討, 中興大學生物產業機電工程學研究所碩士論文, 台中。
13. 邱昌恩、劉國祥、況琪軍、胡征宇, 2005, Cu²⁺對一種綠球藻生長及生理特性的影響, 應用與環境生物學報, 11卷6期, p690-693。
14. 邱昌恩、畢永紅、胡征宇, 2007, Zn²⁺脅迫對綠球藻生長、生理特性及細胞結構的影響, 水生生物學報, 31卷4期, p503-508。
15. 邱昌恩、胡征宇, 2007, Pb²⁺脅迫對綠球藻 (*Chlorococcum* sp.) 的影響研究, 武漢植物學研究, 25卷5期, p521-526。
16. 周麗梅、葉信利, 2009, 微藻產氫之研發現況, 水試專訊, 28期, p29-32。
17. 邵功賢, 2008, 都市污水產

製藻類生質之研究-以內湖污水廠為例, 臺灣大學環境工程學研究所碩士論文, 台北。 18.林志生、邱聖壹, 2010, 光生物反應器於微藻培養之研究與產業化的進展, 農業生技產業季刊, 22期, p44-51。 19.林觀志, 2011, 新型微藻培養系統應用, 逢甲大學化學工程學研究所碩士論文, 台中。 20.洪志瑞, 2007, 油質性微藻培養於新型光生化反應器之研究, 國立成功大學化學工程學系碩士論文, 台南。 21.高千雅, 2009, 建立一光生物反應系統用於微藻的高密度養殖與二氧化碳的減量, 交通大學分子醫學與生物工程研究所碩士論文, 新竹。 22.孫鶴娟, 2011, 高脂質累積潛力微藻之分離及利用廢水產生生質柴油之可行性研究, 中興大學環境工程學系研究所碩士論文, 台中。 23.陳俊延、葉桂伶、賀詩欣、張嘉修, 2009, 微藻之培養策略與應用潛力, 化工技術, 17卷5期, p104-125。 24.陳芃, 2010, 從微小變為顯著 - 微藻引領第三代生質燃料發展, 能源報導, 1月刊, p23-26。 25.陳暉翰, 2010, 微藻生質能源潛勢之研究, 大仁科技大學環境管理研究所碩士論文, 屏東。 26.陳志璋, 2010, 擬球藻最適化脂肪酸生長營養源條件之研究, 中興大學生物產業機電工程學系研究所碩士論文, 台中。 27.陳春雲、莊源益、方聖瓊, 2009, 小球藻對養殖廢水中N、P的去除研究, 海洋環境科學, 28卷1期, p9-11。 28.張瑞玉, 2009, 微藻產製生質柴油之經濟潛力, 化工資訊與商情, 77期, p38-45。 29.張惟閔, 2005, 微藻培養於新型光生化反應器之系統開發, 國立清華大學化學工程學系碩士論文, 新竹。 30.張為棟, 2011, 利用微藻Spirulina maxima同時淨化乳品加工廠廢水及固定二氧化碳之研究, 東海大學環境科學與工程學系碩士論文, 台中。 31.許培鈞, 2008, 從微藻產製生質柴油之初探, 國立臺灣海洋大學海洋環境化學與生態研究所碩士論文, 台北。 32.許憲銘, 2005, 自動化微藻類培養反應器設計與探討, 國立中興大學生物產業機電工程學系碩士論文, 台中。 33.郭雪玉, 2005, 利用光生化反應器培養海洋微藻操作參數的探討, 國立清華大學化學工程學系碩士論文, 新竹。 34.黃愛蘋, 2010, 利用微藻去除工業廢水中氮、磷並產生生質柴油之可行性研究, 中興大學環境工程學系研究所碩士論文, 台中。 35.黃毓涵, 2009, 小球藻最適化連續式培養之研究, 成功大學化學工程學系碩士論文, 台南。 36.經濟部能源局, 2009, 經濟部能源科技研究發展計畫九十八年度執行報告, 經濟部能源局, 台北。 37.葉修鋒, 2009, 探討微藻Chlorella sp.油脂生產最適培養條件, 國立清華大學化學工程研究所碩士論文, 新竹。 38.葉俊良, 2006, 在光生化反應器中以二階段策略培養微藻生產油脂之研究, 成功大學化學工程學系碩士論文, 台南。 39.楊佩芬, 2009, 微藻生質能源基因工程技術發展, 化工資訊與商情, 77期, p31-37。 40.廖一久, 1999, 餌料生物之培養與利用, 台灣省水產試驗所, p 22-64。 41.潘忠政, 2001, 整合鹼液吸收及光合作用以固定二氧化碳, 大葉大學環境工程研究所碩士論文, 彰化。 42.蔡明達, 2009, 微藻養殖生產油脂並利用微藻油脂產製生質柴油之研究, 交通大學生物科技系研究所碩士論文, 新竹。 43.劉青、張曉芳、李太武、蘇秀榕, 2006, 光照對4種單胞藻生長速率、葉綠素含量及細胞週期的影響, 大連水產學院學報, 21卷1期, p24-30。 44.鄭俊明、劉清雲, 2007, 微藻產業, 科學發展, 415期, p34-40。 45.鄭玫芬, 2008, 海洋微藻在氮源限制下固定CO₂與生質潛能組成之研究, 成功大學環境工程學系碩士論文, 台南。 46.鄭任軒, 2011, 戶外大規模微藻養殖之可行性研究, 國立中山大學海洋環境及工程學系研究所碩士論文, 高雄。 47.賴芃劭, 2008, 高脂質累積潛力微藻之分離及生質柴油生成限制因子之探討, 中興大學環境工程學系研究所碩士論文, 台中。 48.賴鏡安, 2010, 以微藻Schizochytrium limacinum SR21生產 -3多元不飽和脂肪酸之醱酵策略研究, 元智大學化學工程與材料科學學系碩士論文, 桃園。 49.謝誌鴻、吳文騰, 2009, 微藻 - 綠色生質能源, 科學發展, 433期, p36-40。 50.謝誌鴻, 2009, 微藻培養與微藻油脂生產之研究, 成功大學化學工程學系碩士論文, 台南。 51.藍大鈞, 2002, 藻類固定二氧化碳與藻體的利用研究, 長庚大學化學工程研究所碩士論文, 桃園。 52.蘇純平, 2010, 微藻類之生質能源開發, 中原大學土木工程研究所碩士論文, 桃園。 53.蘇惠美, 2000, 餌料生物之培養與利用-7, 養魚世界, 11月份, p83-88。

二、英文部分 1.Becker, E.W., Microalgae: biotechnology and microbiology, Cambridge University Press, UK., p1, 1994. 2.Benemann, J.R., Oswald, W.J., Systems and Economic Analysis of Microalgae Ponds for Conversion of CO₂ to Biomass, Final Report, Pittsburgh Energy Technology Center, Grant No. DE-FG22-93PC93204. 3.Bold, H. C., and Wynne, M. J., Introduction to algae, Prentice Hall Inc, 1985. 4.Borowitzka, M.A., Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters, Journal of Biotechnology, 70: p313-321, 1999. 5.Carvalho, A. P., and Malcata, F. X., Transfer of Carbon Dioxide within Cultures of Microalgae: Plain Bubbling versus Hollow-Fiber Modules, Biotechnol. Prog, 17: p265-272, 2001. 6.Chisti, Y., Biodiesel from microalgae, Biotechnol Adv, 25: p294-306, 2007. 7.Chiu, S. Y., Kao, C. Y., Chen, C. H., Kuan, T. C., Ong, S. C., and Lin, C. S., Reduction of CO₂ by a high-density culture of Chlorella sp. in a semicontinuous photobioreactor, Bioresource Technology, 99: p3389/3396, 2008. 8.Giordano, M., Beardall, J., Raven, J.A., CO₂ concentrating mechanisms in algae: Mechanisms, environmental modulation, and evolution. Annual Review of Plant Biology, 56: p99-131, 2005. 9.Huntley, M., and Redalje, D., CO₂ Mitigation and Renewable Oil from Photosynthetic Microbes: A New Appraisal, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2006. 10.Leon, R., Martin, M., Vigar, J., Vilchez, C., and Josia, V., Microalgae mediated photoproduction of s-carotene in aqueous - organic two phase systems, Biomolecular Engineering, 20: p177-182, 2003. 11.Maeda, K., Owada, M., Kimura, N., Omata, K., and Karube, I., CO₂ Fixation from the Flue Gas on Coal-fired Thermal Power Plant by Microalgae, Journal of Energy Conversion and Management, 36: p717-720, 1995. 12.Martins, I., Oliveira, J. M., Flindt, M. R., and Marques, J. C., The Effect of Salinity on the Growth Rate of the Macroalgae Enteromorpha intestinalis (Chlorophyta) in the Mondego Estuary (west Portugal), Journal of Acta Oecologica, 20: p259-265, 1999. 13. Masojidek, J., Koblizek, M., and Torzillo, G., Handbook of microalgae culture: biotechnology and applied phycology, photosynthesis in microalgae, Edited by Amos Richmond, Blackwell Science, p20-39, 2004. 14.Michiki, H., Biological CO₂ fixation and utilization project, Fuel and Energy Abstracts, 37: p216-216, 1996. 15. Miron, A. S., Garcia, M-C. C., Camacho, F. G., Grima, E. M., and Chisti, Y., Growth and Biochemical Characterization of Microalgae Biomass Produced in Bubble Column and Airlift Photobioreactors: Studies in Fed-batch Culture, Journal of Enzyme and Microbial Technology, 31: p1015-1023, 2002. 16. Pauline, S., Claire, J.C., Elie, D., and Arsene, I., Commercial application of microalgae, Journal of bioscience and bioengineering, 101: p87-96, 2006. 17.Pulz O., Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms, Applied Microbiology and Biotechnology, 57: p287-293, 2001. 18. Renaud, S. M., Thinh, L.-V. et al., Effect of temperature on growth, hemical composition and fatty acid composition of tropical Australian microalgae grown in batch cultures, Aquaculture, 211: p195-214,

2002. 19.Rubio, F. C., Fernandez, F. G. A., Perez, J. A. S., Camacho, F. G., and Grima, E. M., Prediction of Dissolved Oxygen and Carbon Dioxide Concentration Profiles in Tubular Photobioreactors for Microalgal Culture, *Journal of Biotechnology and Bioengineering*, 62: p71-86, 1999. 20.Sakai, N., Sakamoto, Y., Kishimoto, N., Chihara, M., and Karbube, I., *Chlorella* Strains from Hot Springs Tolerant to High Temperature and High CO₂, *Journal of Energy Conversion and Management*, 36: p693-696, 1995. 21.Takagi, M., Karseno, and Yoshida, T., Effect of Salt Concentration on Intracellular Accumulation of Lipids and Triacylglyceride in Marine Microalgae *Dunaliella* Cells, *Journal of Bioscience And Bioengineering*, 101: p223-226, 2006. 22.Vunjak-Novakovic, G., Kim, Y., Wu, X. X., Berzin, I. and Merchuk, J. C., Air-lift bioreactors for algae growth on flue gas: Mathematical modeling and pilot-plant studies, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 44: p6154-6163, 2005. 23.Watanabe, Y., and Hall, D. O., Photosynthetic CO₂ Conversion Technologies Using a Photobioreactor Incorporating Microalgae - Energy and Material Balances, *Journal of Energy Conversion and Management*, 37: p1321-1326, 1996.