

The development of microalgal biodiesel

黃惠玲、余世宗

E-mail: 324914@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

Exhaustion of fossil energy and global warming are the main issues of the world. Sustainable energy sources are required in the near future as solutions to these two issues. Microalgae, one of sustainable energy sources, can be used to produce biodiesel by utilizing carbon dioxide as the carbon source. Cultivation of microalgae as a potential technology for both sustainable energy and mitigation of carbon dioxide has gained attention from the Governments researchers and enterprisers. In this report, a survey of microalgal technology for the production of biodiesel was conducted to conclude the new developments and bottle necks by analyzing reports and research papers. It has been shown by researchers that the growth rate of microalga and the oil content of its biomass are much higher than those of energy crops. However, more improvements are required to lower cost for the implementation of microalga cultivation system and to overcome some technical bottle necks. Combined with solutions to environmental issues such as mitigation of carbon dioxide and byproducts of microalgal biomass, the usage of microalgae as biodiesel can be a promising way for renewable energy source. Owing to the population and the limited land in Taiwan, cultivation systems for the production of microalgal biodiesel could be designed and implemented in the sea near the seashore. Development of a vertical structure of photobioreactor is required to maximize the microalgal oil in a limited area. It is expected to provide a part of energy source and to protect environment with the improvement in microalgal technology for microalgal biodiesel.

Keywords : microalga、biodiesel、renewable energy

Table of Contents

目錄 封面內頁 簽名頁 中文摘要.....	iii	ABSTRACT.....	iii
..... iv 誌謝.....	iv	v 目錄.....	v
..... vi 圖目錄.....	vi	ix 表目錄.....	ix
..... x 第一章 緒論 1.1 緣起.....	1	1.2 研究目的與內容.....	1
..... 3 第二章 文獻探討 2.1 藻類與微藻.....	4	2.1.1 藻類簡介.....	4
..... 4 2.1.2 藻類的應用.....	6	2.1.2.1 商業化的大量生產與應用.....	6
2.1.2.2 藻類固碳.....	7	2.1.2.3 藻類產製生質能源.....	8
..... 9 2.1.4 脂質的合成.....	12	2.1.5 微藻的生長曲線.....	14
2.1.4.1 微藻的生質柴油的種類.....	15	2.2.1 油脂與微藻.....	16
..... 17 2.2.3 油脂藻類的種類.....	17	2.2.2 油脂藻類的定義.....	16
..... 19 2.3 微藻生質柴油的技術.....	21	2.2.4 台灣本土性油脂藻類的分布.....	17
..... 22 2.3.1 藻種的篩選.....	21	2.3.2 微藻的培養條件.....	22
..... 22 2.3.3 微藻的培養方法.....	29	2.3.4 微藻的採收技術.....	40
..... 40 2.3.5 微藻的濃縮與萃取.....	42	第三章 研究流程與方法 3.1 研究流程.....	43
..... 43 3.2 研究方法.....	45	第四章 結果與討論 4.1 微藻生質柴油的現況.....	46
..... 46 4.1.1 國際研究歷程和發展.....	46	4.1.2 中國大陸研究歷程和發展.....	55
..... 55 4.1.3 台灣研究歷程和發展.....	56	4.2 微藻生質柴油的優勢與潛力.....	58
..... 58 4.2.1 微藻是產製生質柴油的優勢料源.....	58	4.2.2 微藻與生質柴油其他能源作物的比較.....	59
..... 59 4.2.3 微藻產製生質柴油的效益評估.....	62	4.2.4 微藻生質柴油的未來潛力.....	67
..... 62 4.3 微藻生質柴油的瓶頸與努力方向.....	71	4.3.1 微藻生質柴油的瓶頸.....	71
..... 71 4.3.2 微藻生質柴油未來努力的方向.....	77	第五章 結論與建議.....	87
..... 87 參考文獻.....	89	圖目錄 圖2.1 光合作用之光反應與暗反應示意圖.....	10
..... 10 圖2.2 光合作用之光反應電子傳遞途徑示意圖.....	11	圖2.3 擬球藻的生長曲線與油脂累積時間趨勢圖.....	12
..... 12 圖2.4 微生物體內油脂合成之路徑圖.....	13	圖2.5 藻類生長的各時期.....	14
..... 14 圖2.6 光合作用效率與光照強度關係圖.....	24	圖2.7 以光強度500 $\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 照射濃度為1.0 g L ⁻¹ 之裸藻培養系統內光分佈情形.....	25
..... 25 圖2.8 開放式藻類培養系統示意圖.....	31	圖2.9 密閉式藻類培養系統示意圖.....	33
..... 31 圖3.1 研究流程圖.....	44	圖4.1 2030 年生質能源潛力值比率.....	63
..... 44 圖4.2 微藻生質柴油系統化的生產過程.....	81	表目錄 表2.1 藻類脂肪與碳水化合物含量.....	5
..... 81 表2.2 微藻產量與應用			

.....	7 表2.3 藻類脂肪含量及脂質分佈.....	16 表2.4 含油脂量較高的微藻...
.....	18 表2.5 台灣水域中脂肪含量較高之微藻種類.....	20 表2.6 開放系統與密閉系統的優缺點比較.....
30 表2.7 現今已商業化的藻類培養系統及藻種.....	32 表2.8 不同藻類在自營、異營、混營培養下最大比生長速率比較.....	36 表4.1 微藻與陸生植物單位土地面積之產油量比較.....
60 表4.2 微藻油脂含量與生質柴油產出量之關係.....	61 表4.3 國內能源作物與藻類生質柴油產出量之比較.....	62 表4.4 生質柴油與高級柴油成本之比較.....
64 表4.5 油脂微藻生產生質柴油之成本.....	65 表4.6 各種燃料的單位熱能成本.....	66 表4.7 不同碳價下各種燃料的單位熱能成本的比較.....

REFERENCES

- 一、中文部分
1. 王文科、王智弘, 2006, 教育研究法(十一版), 五南出版社, 台北。
 2. 王文軒、劉波, 淺談兩種綠色生態能源, 生態家園網, 2010年3月, 取自: <http://www.ehome.gov.cn/Article/UploadFiles/201003/2010031514351668.pdf>
 3. 王茹涵, 2006, 以生技產製生物燃料, 科學發展, 407期, p52-57。
 4. 台灣地區水庫浮游藻類, 行政院環境保護署, 取自: <http://www.epa.gov.tw/student/algae/data/about.html>
 5. 古森本, 2008, 生質能源作物之開發與潛力, 農業生技產業季刊植物種苗生技, 第13期, p46-52。
 6. 朱宏源, 2000, 撰寫博碩士論文實戰手冊, 正中書局, 台北。
 7. 任小波、吳園濤、向文洲、秦松, 2009, 海洋生物質能研究進展及其發展戰略思考, 地球科學進展月刊, 第24卷第4期, p403-410。
 8. 呂錫民, 2008, 淺談溫室氣體中的主角—二氧化碳, 能源報導, p14-16。
 9. 宋東輝、侯李君、施定基, 2008, 生物柴油原料資源高油脂微藻的開發利用, 生物工程學報, 第24卷第3期, p341-348。
 10. 吳文騰, 2004, 微生物產油之研究, 國科會化工及環工學門生質能源及柏莫技術聯合成果應用研討會論文集, 生質能源第十篇。
 11. 吳文騰, 2006, 新型光生化反應器應用於藻類生化柴油之研究, 行政院國家科學委員會專題研究計畫。
 12. 吳佩芬, 2006, 利用本土淡水藻類產製生質柴油之可行性評估, 逢甲大學環境工程與科學學系碩士論文, 台中。
 13. 吳俊哲、胡苔莉、喻家駿、童翔新、吳志超、郭鍾秀, 1999, 八十八年度台灣地區主要水庫水質監測計畫, 行政院環保署, 台北。
 14. 吳俊哲、胡苔莉、吳志超、郭鍾秀, 2000, 八十九年度台灣地區主要水庫水質監測計畫, 行政院環保署, 台北。
 15. 吳俊哲、胡苔莉、吳志超、郭鍾秀, 2001, 九十年度台灣地區主要水庫水質監測計畫, 行政院環保署, 台北。
 16. 吳俊哲、胡苔莉、吳志超、郭鍾秀, 2003, 九十一年度日月潭水庫水質監測系統設置及研究計畫, 南投縣環保局, 南投。
 17. 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, 國立成功大學環境工程研究所碩士論文, 台南。
 18. 李雪靜、張璐瑤、喬明、李文琦, 2009, 藻類生物燃料研究開發進展, 中外能源期刊, 第14卷第4期, p23-26。
 19. 周明顯, 以二氧化碳培養微藻產製生質柴油, 台灣超臨界流體協會, 第三十八期電子報, 2009年7月10日, 取自: http://www.tsca.org.tw/upload/ecr/51_5_1.pdf
 20. 林哲毅, 2008, 以微藻生產生質柴油之未來發展, 能源報導, p11-13。
 21. 林昀輝、李宏台、張嘉修, 2009, 微藻產油技術商業化面臨之挑戰從創投觀點看台灣生技新藥產業, 化工, 第56卷第3期 p2-11。
 22. 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, 動物與農業生技產業季刊水產生技, 第22期, p44-51。
 23. 邱耀興, 2003, 小球藻固碳培養條件之探討, 長庚大學化工暨材料工程研究所碩士論文, 桃園。
 24. 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。
 25. 胡斯托著, 陳儀蓁譯, 光合細菌的工業革命 - 用藍綠細菌來對付工廠排放的二氧化碳, 科學人雜誌網站, 2005年10月。取自: <http://sa.ylib.com/news/newsshow.asp?FDocNo=740&CL=33>
 26. 范繼中、林呈翰譯, 利用微藻產製生質柴油, 行政院農委會水產試驗所, 第三十三期電子報, 2009年1月22日, 取自: <http://www.tfrin.gov.tw/friweb/frienews/enews0033/t1.html>
 27. 胡洪營、李鑫, 2010, 利用污水資源生產微藻生物柴油的關鍵技術及潛力分析, 生態環境學報, 第24卷第4期, p739-744。
 28. 高宜廷, 2001, 新型光生化反應器之開發與其在單細胞藻類培養上之應用, 國立清華大學化學工程研究所碩士論文, 新竹。
 29. 海藻生物能源在開發, 澳門日報, 2009年3月11日, 取自: <http://space.qoos.com/?action-viewnews-itemid-310927>
 30. 商金杰, 山東探索海洋微藻制取生物柴油, 中國海洋報, 2008年4月18日。
 31. 梁正中、胡苔莉、吳俊哲、郭鍾秀, 2005, 九十三年度台中港區環境調查監測分析報告書, 台中港務局。
 32. 陳芃, 2008, 減緩使用化石燃料的負擔—研發中火力電廠捕捉技術, 能源報導, p23-27。
 33. 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, p23-26。
 34. 陳淑芬, 2009, 臺灣生質能源之潛力評估, 立德大學資源環境研究所碩士論文, 台南。
 35. 陳曉薇、陳茂景, 2008, 「微」小世界的無限潛能—台電公司在微藻減碳技術的發展, 能源報導, p8-10。
 36. 陳振正、邱俊彥、廖少威、賴文亮, 2009, 藻類產製生質柴油, 科學發展, 438期, p12-17。
 37. 陳啟平, 1996, 氣動式生化反應器之設計及其在藻類培養的應用, 國立清華大學化學工程研究所碩士論文, 新竹。
 38. 郭鍾秀、張柏成、林珮君, 1990, 北港溪水質評估及藻類指標之研究, 中華民國環境工程學會第十五屆廢水處理技術研討會論文集。
 39. 郭鍾秀、田志仁, 1999, 以生物指標(附著性矽藻)評估烏溪水質, 第六屆海峽兩岸環境保護研討會論文集, 高雄。
 40. 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研究所碩士論文, 新竹。
 41. 喻家駿、郭鍾秀, 1993, 北港溪水質生物指標及水質維護之研究(第三年), 國科會專題研究計畫成果報告。
 42. 童牧、周志剛, 新一代生物柴油原料—微藻, 生態家園網, 2009年7月, 取自: <http://www.ehome.gov.cn/Article/UploadFiles/200907/2009070716015269.pdf>
 43. 游文娟、陳大明, 2009, 生物能源國際相關專利分析, 生物產業技術期刊, p79-88。
 44. 黃俊翰、陳紫?、蘇惠美, 2008, 藻類生質能源 - 回顧與前瞻, 水試專訊第21期, p29-32。
 45. 黃定國, 1999, 多重網狀導流板之氣舉式反應器的設計及其在幾丁聚醣生產上之應用, 國立清華大學化學工程研究所碩士論文, 新竹。
 46. 雷仕湛, 1989, 光學新世界:非線性光學淺說, 凡異出版社, p22-24、p145-146。
 47. 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, 國立成功大學化學工程研究所碩士論文, 台南。
 48. 微藻減碳系統與再生資源利用, 禮俊植物材料行網站, 2006年5月10日, 取自: <http://www.lijunoilacnepimple.com/lijun01/alga%20CO2%20mitigation.htm>
 49. 微藻變身成航空燃料 10年後

將實現產業化，中國民用航空航采網，2010年6月1日，取自：http://www.casid.org.tw/news/u_news_v2.asp?id=136&newsid=1064&PageNo=1&skkeyword=&fid=9 50. 趙凱華、鐘錫華，2004，光學，北京大學出版社，pp.228-229、p249-251。51. 廖淑菁、范月娥，流道型微藻培養槽之設計，國立臺灣海洋大學網路發展協會，取自：<http://ind.ntou.edu.tw/~vm0699/doc/1.doc> 52. 翡翠水庫藻類資料庫，中央研究院植物研究所，取自：<http://www.sinica.edu.tw/~dabalage> 53. 鄭俊明、劉清雲，2007，微藻產業，科學發展，415期，p34-40。54. 劉洪宇，微藻 - 下一個能源巨人，LRN資源網，2010年5月1日，取自：http://big5.lrn.cn/science/energyCollection/201005/t20100512_489857.htm 55. 鄭玟苓，2008，海洋微藻在氮源限制下固定CO₂與生質潛能組成之研究，國立成功大學環境工程學系碩士論文，台南。56. 德基水庫藻類生態監測，經濟部水利署，取自：http://hysearch.wra.gov.tw/wra_ext/tech/DD/DD-04.htm 57. 潘崇良，2010，利用藻類生產生質能源，科學發展，448期，p26-32。58. 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。59. 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，國立中興大學環境工程學研究所碩士論文，台中。60. 謝誌鴻，2009，微藻培養與微藻油脂生產之研究，國立成功大學化學工程學系博士論文，台南。61. 謝誌鴻、吳文騰，2009，微藻—綠色生質能源，科學發展，433期，p36-40。62. 謝志強，生質柴油市場與技術發展概觀，COMPOTECH Asia資訊網，2007年9月12日，取自：<http://www.compotech.com.tw/articleinfo.php?id=10201> 63. 關壯群，2009，微藻類固碳工程，科學發展，433期，p6-11。64. 藍大鈞，2001，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。65. 蘇惠美，2008，微藻燃油風潮再起美夢如何成真，水試專訊第24期，p14-18。

二、英文部分

1. Apt, K. E. and Behrens, P. W., 1999, Commercial developments in microalgal biotechnology, *Journal of Phycology*, 35, 215-226.
2. Baynes, S. M., Emerson, L. and Scott, A. P., 1979, Production of algae for use in the rearing of larval fish, *Fisheries Research Technical Report*, 53, 13-18.
3. Becker, E. W., 1994, *Microalgae: Biotechnology and Microbiology*, the Press Syndicate of the University of Cambridge.
4. Borowitzka, M. A. and Borowitzka, L. J., 1988, *Microalgal biotechnology*, Cambridge University Press, New York.
5. Borowitzka, M. A., 1999, Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters, *Journal of Biotechnology*, 70, 313-321.
6. Carvalho, A. P. and Malcata, F. X., 2005, Optimization of γ -3 fatty acid production by microalgae: crossover effects of CO₂ and light intensity under batch and continuous cultivation modes, *Marine Biotechnology*, 7(4): 381-388.
7. Chisti, Y., 2008, Biodiesel from microalgae beats bioethanol, *Trends in Biotechnology*, 26(3): 126-131.
8. Endo, H., Nakajima K., Chino R. and Shiota M., 1974, Growth characteristics and cellular components of *Chlorella regularis*, heterotrophic fast growing strain, *Agricultural and Biological Chemistry*, 38, 9-18.
9. Hu, Q., Sommerfeld, M., Jarvis, E., Ghirardi, M., Posewitz, M., Seibert, M. and Darzins, A., 2008, Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances, *The Plant Journal*, 54, 621-639.
10. Illman, A. M., Scragg, A. H. and Shales, S. W., 2000, Increase in *Chlorella* strains calorific values when grown in low nitrogen medium, *Enzyme and Microbial Technology*, 27, 631-635.
11. Kamiya, A. and Kowalik, W., 1987, Photoinhibition of glucose uptake in *Chlorella*, *Plant Cell Physiology*, 28, 611-619.
12. Kobayashi, M., Kakizono, T., Yamaguchi, K., Nishio, N. and Nagai, S., 1992, Growth and astaxanthin formation of *Haematococcus pluvialis* in heterotrophic and mixotrophic conditions, *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 74, 17-20.
13. Kosaric, N. and Velikonja, J., 1995, Liquid and gaseous fuels from biotechnology: challenge and opportunities, *FEMS Microbiol Reviews*, 16, 111-142.
14. Kurano, N., Ikemoto, H., Miyashita, H., Hasegawa, T., Hata, H. and Miyachi, S., 1995, Fixation and utilization of carbon dioxide by microalgal photosynthesis, *Energy Conversion and Management*, 36, 689-692.
15. Lee, Y.K., 1997, Commercial production of microalgae in the Asia-Pacific rim, *Journal of Applied Phycology*, 9, 403-411.
16. Maeda, K., Owada, M., Kimura, N., Omata, K. and Karube, I., 1995, CO₂ Fixation from the Flue Gas on Coal-fired Thermal Power Plant by Microalgae, *Journal of Energy Conversion and Management*, 36, 717-720.
17. Masojidek, J., Koblizek, M. and Torzillo, G., 2004, *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology, photosynthesis in microalgae*. Edited by Amos Richmond, Blackwell Science, 20-39.
18. Morita, M., Watanabe, Y. and Saiki, H., 2000, High Photosynthetic Productivity of Green Microalga *Chlorella sorokiniana*, *Journal of Applied Biochemistry and Biotechnology*, 87, 203-218.
19. Ogawa, T., Kozawa, H. and Terui, G., 1971, Studies on the growth of *Spirulina platensis*(II) growth kinetics of an autotrophic culture, *Journal of Fermentation Technology*, 50, 143-149.
20. Ogonna, J. C. and Tanaka, H., 2000, Light requirement and photosynthetic cell cultivation – Development of processes for efficient light utilization in photobioreactors, *Journal of Applied Phycology*, 12, 207-218.
21. Paul, J. and Pradier, C. M., 1994, *Carbon Dioxide Chemistry: Environmental Issues*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
22. Pauline, S., Claire, J.C., Elie, D. and Arsene, I., 2006, Commercial application of microalgae, *Journal of bioscience and bioengineering*, 101, 87-96.
23. Piorreck, M., Baasch, K. H. and Pohl, P., 1984, Biomass production, total protein, chlorophylls, lipids and fatty acids of freshwater green and blue-green algae under different nitrogen regimes, *Phytochemistry*, 23, 207-216.
24. Pulz, O., 2001, Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 57, 287-293.
25. Radmer, R. J. and Parker, B. C., 1994, Commercial Applications of Algae – Opportunities and Constraints, *Journal of Applied Phycology*, 6, 93-98.
26. Ratledge, C., 1989, Biotechnology of oil and fats, In *Microbial Lipids*, Vol. 2, Edited by Ratledge, C. and Wilkinson, S. G., Academic Press, London.
27. Ratledge, C., 1993, Single cell oils--have they a biotechnological future?, *Trends in Biotechnol*, 11(7): 278-284.
28. Ratledge, C., 2004, Fatty acid biosynthesis in microorganisms being used for Single Cell Oil production, *Biochimie*, 86(11): 807-815.
29. Reitan, K. I., Rainuzzo, J. R. and Olsen, Y., 1994, Effect of nutrient limitation on fatty-acid and lipid-content of marine microalgae, *Journal of Phycology*, 30, 972-979.
30. Renaud, S. M. and Thinh, L.V., 2002, Effect of temperature on growth, chemical composition and fatty acid composition of tropical Australian microalgae grown in batch cultures, *Aquaculture*, 211(1-4), 195-214.
31. Richmond, A., 2004, Principles for attaining maximal microalgal productivity in photobioreactors: an overview, *Hydrobiologia*, 512, 33-37.
32. Sakai, N., Sakamoto, Y., Kishimoto, N., Chihara, M. and Karube, I., 1995, *Chlorella* Strains from Hot Springs Tolerant to High Temperature and High CO₂, *Journal of Energy Conversion and Management*,

36,693-696. 33. Schpeper, T., Al-Rubeai, M., Corne, J. F., Dussap, C. G., Elias, C. B., Gomes, J., Gros, J. B., Hill, D. C., Joshi, J. B., Menawat, A. S., Nisbet, L. J., Pulz, O., Scheibenbogen, K. and Wrigley, S. R., 1998, Bioprocess and Algae Reactor Technology, *Journal of Apoptosis*. 34. Scragg, A. H., Illman, A. M., Carden, A. and Shales, S. W., 2002, Growth of microalgae with increased calorific values in a tubular bioreactor, *Biomass Bioenergy*, 23, 67-73. 35. Shipton, C. A. and Barber, J., 1994, In vivo and in vitro photoinhibition reactions generate similar degradation fragments of D1 and D2 photosystem-II reaction center proteins, *European Journal of Biochemistry*, 220, 801-808. 36. Suh, I. S. and Lee, S. B., 2001, Cultivation of a cyanobacterium in an internally radiating air-lift photobioreactor, *Journal of Applied Phycology*, 13, 381-388. 37. Sukenik, A., Carmeli, Y. and Berner, T., 1989, Regulation of Fatty Acid Composition by Irradiance Level in the Eustigmatophyte *Nannochloropsis* sp., *Journal of Phycology*, 25, 686-692. 38. Terry, K. L. and Raymond, L. P., 1985, System Design for the Autotrophic Production of Microalgae, *Journal of Enzyme and Microbial Technology*, 7, 474-487. 39. Watanabe, Y. and Hall, D. O., 1996, Photosynthetic CO₂ Conversion Technologies Using a Photobioreactor Incorporating Microalgae - Energy and Material Balances, *Journal of Energy Conversion and Management*, 37, 1321-1326. 40. Yuan-Kun, L., 2001, Microalgal mass culture systems and methods: Their limitation and potential, *Journal of Applied Phycology*, 13, 307 – 315. 41. Yue, L. and Weigong, C., 2005, Isolation and determination of cultural characteristics of a new highly CO₂ tolerant fresh water microalgae. *Energy Conversion and Management*, 46, 1868-1876. 42. Zeiler, K. G., Iieacox, D. A., Toon, S. T., Kadam, K. L. and Brown, L. M., 1995, The use of microalgae for assimilation and utilization of carbon dioxide from fossil fuel-fired power plant flue gas, *Energy Conversion and Management*, 36, 707-712.