

# 以迴流式光生化反應器探討碳酸氫鈉濃度及藻液循環量對周氏扁藻生長之影響

張國軒、余世宗

E-mail: 9800793@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

光生化反應器之設計目的在於增加二氧化碳之吸收效率，使光能分佈均勻，減少光的遮蔽效應等。本實驗以迴流式光生化反應器來增加周氏扁藻之生質濃度並觀察周氏扁藻在迴流式光生化反應器中之沈降效果，其中迴流式光生化反應器培養設備包含了容積7公升的光照槽及容積12公升的沈降槽二部份，其特色為光照槽與沈降槽能呈現出不同的周氏扁藻之生質濃度。而本研究內容為以不同碳酸氫鈉起始濃度探討周氏扁藻之生長影響及沈降效果，以及以不同藻液循環量探討周氏扁藻之生長影響及沈降性效果。本實驗之結果為在迴流式光生化反應器內周氏扁藻生長最佳之碳酸氫鈉起始濃度為2.0 g/L，而在較高之藻液循環量下其周氏扁藻之酸鹼值低於較低之藻液循環量，但是在較高之藻液循環量下其周氏扁藻之生質濃度卻高於較低之藻液循環量。此外，周氏扁藻之沈降效果最佳是在碳酸氫鈉起始濃度為1.5 g/L以藻液循環量為6.96 L/hr之條件下培養周氏扁藻所得的周氏扁藻之生質濃度為最高。

關鍵詞：二氧化碳、周氏扁藻、光生化反應器、碳酸氫鈉、藻液循環量、光生化反應器、二氧化碳、周氏扁藻、碳酸氫鈉、酸鹼值

## 目錄

封面內頁	簽名頁	授權書	iii	中文摘要	iv	英文摘要	v	誌謝	vi	目錄	vii	圖目錄	x	表目錄	xvii	第一章 緒論	1	1.1 研究緣起	1	1.2 研究目的與內容	1	第二章 文獻回顧	2	2.1 全球暖化與溫室效應	2	2.2 二氧化碳減量技術	3	2.3 微藻	7	2.4 周氏扁藻 (Tetraselmis chui)	9	2.5 影響微藻生長之因子	10	2.5.1 光源	10	2.5.2 溫度	10	2.5.3 二氧化碳	11	2.5.4 鹽度	11	2.5.5 酸鹼值	12	2.5.6 營養鹽	12	2.5.7 攪拌	13	2.6 微藻的培養方式	13	2.6.1 自營	13	2.6.2 異營	14	2.6.3 混營	14	2.7 以迴流式光生化反應器培養周氏扁藻	15	第三章 實驗材料與研究方法	16	3.1 實驗材料與設備	16	3.1.1 實驗藻種	16	3.1.2 實驗材料	16	3.1.3 培養基配製	18	3.1.4 分析方法	20	3.2 研究基本架構	23	3.3 迴流式光生化反應器培養設備	25	3.4 實驗設計	27	3.4.1 以不同碳酸氫鈉起始濃度探討周氏扁藻之生長影響及沈降效果	27	3.4.2 以不同藻液循環量探討周氏扁藻之生長影響及沈降效果	28	3.5 比生長速率	28	3.6 轉化率	29	第四章 結果與討論	30	4.1 以不同碳酸氫鈉起始濃度探討周氏扁藻之生長影響及沈降效果	30	4.1.1 對周氏扁藻生長之影響	30	4.1.2 培養液pH之變化	41	4.1.3 培養液溶氧之變化	47	4.1.4 培養液CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 濃度及HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度之變化	52	4.2 以不同藻液循環量探討周氏扁藻之生長影響及沈降效果	56	4.2.1 對周氏扁藻生長之影響	57	4.2.2 培養液pH之變化	72	4.2.3 培養液溶氧之變化	81	4.2.4 培養液CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 濃度及HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度之變化	90	第五章 結論與建議	97	5.1 結論	97	5.2 建議	98	參考文獻	99	圖目錄	圖2.1 周氏扁藻外觀	9	圖3.1 研究架構圖	24	圖3.2 迴流式光生化反應器培養設備配置圖	26	圖3.3 光照槽之照明設備配置圖	27	圖4.1 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽上層生質濃度的影響 (藻液循環量3.06 L/hr)	32	圖4.2 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對光照槽生質濃度的影響 (藻液循環量3.06 L/hr)	33	圖4.3 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽底層生質濃度的影響 (藻液循環量3.06L/hr)	33	圖4.4 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽上層生質濃度的影響 (藻液循環量6.96L/hr)	34	圖4.5 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對光照槽生質濃度的影響 (藻液循環量6.96 L/hr)	34	圖4.6 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽底層生質濃度的影響 (藻液循環量6.96L/hr)	35	圖4.7 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽上層比生長速率的影響 (藻液循環量3.06 L/hr)	36	圖4.8 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對光照槽比生長速率的影響 (藻液循環量3.06 L/hr)	36	圖4.9 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽底層比生長速率的影響 (藻液循環量3.06 L/hr)	37	圖4.10 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽上層比生長速率的影響 (藻液循環量6.96 L/hr)	38	圖4.11 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對光照槽比生長速率的影響 (藻液循環量6.96 L/hr)	38	圖4.12 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽底層比生長速率的影響 (藻液循環量6.96 L/hr)	39	圖4.13 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽上層pH的影響 (藻液循環量3.06 L/hr)	42	圖4.14 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對光照槽pH的影響 (藻液循環量3.06 L/hr)	43	圖4.15 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽底層pH的影響 (藻液循環量3.06 L/hr)	43	圖4.16 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽上層pH的影響 (藻液循環量6.96 L/hr)	44	圖4.17 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對光照槽pH的影響 (藻液循環量6.96 L/hr)	44	圖4.18 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽底層pH的影響 (藻液循環量6.96 L/hr)	45	圖4.19 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽上層溶氧的影響 (藻液循環量3.06 L/hr)	48	圖4.20 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對光照槽溶氧的影響 (藻液循環量3.06 L/hr)	49	圖4.21 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽底層溶氧的影響 (藻液循環量3.06 L/hr)	49	圖4.22 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽上層溶氧的影響 (藻液循環量6.96 L/hr)	50	圖4.23 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對光照槽溶氧的影響 (藻液循環量6.96 L/hr)	50	圖4.24 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對沈降槽底層溶氧的影響 (藻液循環量6.96 L/hr)	51	圖4.25 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 濃度的影響 (藻液循環量3.06 L/hr)	53	圖4.26 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度的影響 (藻液循環量3.06 L/hr)	53	圖4.27 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對轉化率的影響 (藻液循環量3.06 L/hr)	54	圖4.28 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 濃度的影響 (藻液循環量6.96 L/hr)	55	圖4.29 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度的影響 (藻液循環量6.96 L/hr)	55	圖4.30 NaHCO <sub>3</sub> 濃度對轉化率的影響 (藻液循環量6.96 L/hr)	56	圖4.31 藻液循環量對沈降槽上層生質濃度的影響 (NaHCO <sub>3</sub> 濃度1.5 g/L)	
------	-----	-----	-----	------	----	------	---	----	----	----	-----	-----	---	-----	------	--------	---	----------	---	-------------	---	----------	---	---------------	---	--------------	---	--------	---	-----------------------------	---	---------------	----	----------	----	----------	----	------------	----	----------	----	-----------	----	-----------	----	----------	----	-------------	----	----------	----	----------	----	----------	----	----------------------	----	---------------	----	-------------	----	------------	----	------------	----	-------------	----	------------	----	------------	----	-------------------	----	----------	----	-----------------------------------	----	--------------------------------	----	-----------	----	---------	----	-----------	----	---------------------------------	----	------------------	----	----------------	----	----------------	----	---	----	------------------------------	----	------------------	----	----------------	----	----------------	----	---	----	-----------	----	--------	----	--------	----	------	----	-----	-------------	---	------------	----	-----------------------	----	------------------	----	--	----	--	----	---	----	---	----	--	----	---	----	---	----	---	----	---	----	--	----	--	----	--	----	---	----	---	----	---	----	---	----	---	----	---	----	---	----	---	----	---	----	---	----	---	----	---	----	--	----	--	----	---	----	--	----	--	----	---	----	---	--

59 圖4.32藻液循環量對光照槽生質濃度的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度1.5 g/L) 59 圖4.33藻液循環量對沈降槽底層生質濃度的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度1.5 g/L) 60 圖4.34藻液循環量對沈降槽上層生質濃度的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 61 圖4.35藻液循環量對光照槽生質濃度的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 61 圖4.36藻液循環量對沈降槽底層生質濃度的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 62 圖4.37藻液循環量對沈降槽上層生質濃度的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 63 圖4.38藻液循環量對光照槽生質濃度的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 63 圖4.39藻液循環量對沈降槽底層生質濃度的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 64 圖4.40藻液循環量對沈降槽上層比生長速率的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度1.5 g/L) 65 圖4.41藻液循環量對光照槽比生長速率的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度1.5 g/L) 65 圖4.42藻液循環量對沈降槽底層比生長速率的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度1.5 g/L) 66 圖4.43藻液循環量對沈降槽上層比生長速率的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 67 圖4.44藻液循環量對光照槽比生長速率的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 67 圖4.45藻液循環量對沈降槽底層比生長速率的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 68 圖4.46藻液循環量對沈降槽上層比生長速率的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 69 圖4.47藻液循環量對光照槽比生長速率的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 69 圖4.48藻液循環量對沈降槽底層比生長速率的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 70 圖4.49藻液循環量對沈降槽上層pH的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度1.5 g/L) 74 圖4.50藻液循環量對光照槽pH的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度1.5 g/L) 74 圖4.51藻液循環量對沈降槽底層pH的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度1.5 g/L) 75 圖4.52藻液循環量對沈降槽上層pH的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 76 圖4.53藻液循環量對光照槽pH的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 76 圖4.54藻液循環量對沈降槽底層pH的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 77 圖4.55藻液循環量對沈降槽上層pH的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 78 圖4.56藻液循環量對光照槽pH的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 78 圖4.57藻液循環量對沈降槽底層pH的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 79 圖4.58藻液循環量對沈降槽上層溶氧的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度1.5 g/L) 83 圖4.59藻液循環量對光照槽溶氧的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度1.5 g/L) 84 圖4.60藻液循環量對沈降槽底層溶氧的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度1.5 g/L) 84 圖4.61藻液循環量對沈降槽上層溶氧的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 85 圖4.62藻液循環量對光照槽溶氧的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 85 圖4.63藻液循環量對沈降槽底層溶氧的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 86 圖4.64藻液循環量對沈降槽上層溶氧的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 87 圖4.65藻液循環量對光照槽溶氧的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 87 圖4.66藻液循環量對沈降槽底層溶氧的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 88 圖4.67藻液循環量對CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>濃度的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度1.5 g/L) 91 圖4.68藻液循環量對HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度1.5 g/L) 92 圖4.69藻液循環量對轉化率的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度1.5 g/L) 92 圖4.70藻液循環量對CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>濃度的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 93 圖4.71藻液循環量對HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 93 圖4.72藻液循環量對轉化率的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.0 g/L) 94 圖4.73藻液循環量對CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>濃度的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 95 圖4.74藻液循環量對HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 95 圖4.75藻液循環量對轉化率的影響 (NaHCO<sub>3</sub>濃度2.5 g/L) 96 表目錄 表2.1藻類分門 7 表3.1儲備液 19 表3.2Walne修改培養基 19 表4.1光照槽、沈降槽上層及底層在不同碳酸氫鈉濃度及藻液循環量下所得之最高生質濃度 40 表4.2光照槽、沈降槽上層及底層在不同碳酸氫鈉濃度及藻液循環量下所得之最高比生長速率 40 表4.3光照槽、沈降槽上層及底層在藻液循環量3.06 L/hr不同碳酸氫鈉濃度下所得之pH範圍 46 表4.4光照槽、沈降槽上層及底層在藻液循環量6.96 L/hr不同碳酸氫鈉濃度下所得之pH範圍 46 表4.5光照槽、沈降槽上層及底層在不同碳酸氫鈉濃度及藻液循環量下所得之溶氧範圍 51 表4.6光照槽、沈降槽上層及底層在碳酸氫鈉濃度1.5~2.5 g/L不同藻液循環量下所得之生質濃度範圍 71 表4.7光照槽、沈降槽上層及底層在碳酸氫鈉濃度1.5~2.5 g/L不同藻液循環量下所得之最高比生長速率 71 表4.8光照槽、沈降槽上層及底層在碳酸氫鈉濃度1.5~2.5 g/L不同藻液循環量下所得之pH範圍 80 表4.9光照槽、沈降槽上層及底層在碳酸氫鈉濃度1.5~2.5 g/L不同藻液循環量下所得之溶氧範圍 89

## 參考文獻

- 1.王藝蓉, 2003, 以光生化反應器培養微藻生產脂肪酸, 大葉大學食品工程研究所碩士論文, 彰化。
- 2.洪德生, 2008, 全球暖化是不爭的事實, 能源報導, 2008年2月。
- 3.吳俊宗, 1998, 海洋初級生產力, 國際海洋年系列報導。
- 4.林佳璋、劉文宗, 2002, 二氧化碳回收技術, 工業技術研究院化學工業研究所。
- 5.林鎮國, 2007, 二氧化碳的儲存, 工業技術研究院能源與環境研究所, 科學發展, 第413期, pp. 28-33。
- 6.林哲毅, 2008, 以微藻生產生質柴油之未來發展, 能源報導, 2008年4月, pp. 11-13。
- 7.林干加、陳昉佐、連子揚, 2007, 以光電池測量周氏扁藻 *Tetraselmis chui* 的成長, 國立高雄海洋科技大學水產養殖系學士論文, 高雄。
- 8.范振暉、宣大衡, 2005, 以地下封存方式進行二氧化碳減量之可行性探討, 第二屆資源工程研討會論文集, pp. 278-283。
- 9.程信雄, 2006, 以碳酸鈉與碳酸氫鈉為碳源於連續式光生化反應器培養周氏扁藻, 大葉大學環境工程研究所碩士論文, 彰化。
- 10.黃啟峰, 2007, 二氧化碳與地球暖化, 工業技術研究院能源與環境研究所, 科學發展, 第413期, pp. 6-12。
- 11.張睿昇, 2003, 海洋中的微細藻類, 生物多樣性研習營。
- 12.張義宏, 2001, 利用本土性小球藻固定二氧化碳之技術開發, 台灣大學農業化學研究所博士論文, 台北。
- 13.劉雅章, 2007, 全球暖化問題的科學認識, 二十一世紀雙月刊, pp. 15-24。
- 14.鄭俊明、劉清雲, 2007, 微藻產業, 科學發展, 第415期, pp. 34-40。
- 15.鍾崇榮、向曼菁, 2005, 都是溫室效應惹的禍, 清華大學化學系, 科學發展, 第388期, pp. 66-71。
- 16.蘇惠美, 1999, 餌料生物之培養與利用, 台灣省水產試驗所東港分所, pp. 105。
- 17.顧洋, 2005, 危機就是轉機, 二氧化碳的處理技術簡介, 能源報導, 2005年10月, pp. 5-7。
- 18.Apt, K. E. and Behrens, P. W. (1999) Commercial developments in microalgal biotechnology. *J. Phycol.*, 35(2): 215-226.
- 19.Becker, E. W. (1994) *Microalgae biotechnology and microbiology*. Cambridge University Press.UK., p. 1.
- 20.Carbollo-Cardenas, E. C., Pham, M. T., Janssen, M. G. J. and Wijffels, R. H. (2003) Vitamin E (α-tocopherol) production by the marine microalgae *Dunaliella tertiolecta* and *Tetraselmis suecica*

in batch cultivation, *Biomolecular Engineering* Volume: 20, Issue: 4-6, July, pp. 139-147.

21. Chen, F. (1996) High cell density culture of microalgae in heterotrophic growth. *Trends Biotechnol.*, 14(11): 421-426.

22. Chohji, T., Tabata, M. and Hirai, E. (1997) CO<sub>2</sub> recovery from flue gas by an ecotechnological (environmentally friendly) system., *Energy* 22(2-3): 151-159.

23. de-Bashan, L. E., Hernandez, J. P., Morey, T. and Bashan, Y. (2004) Microalgae growth-promoting bacteria as "helpers" for microalgae a novel approach for removing ammonium and phosphorus from municipal wastewater. *Water Res.*, 38(2): 466-474.

24. Delaunay, F., Marty, Y., Moal, J. and Samain, J. F. (1993) The effect of monospecific algal diets on growth and fatty-acid composition of pecten maximus(L) larvae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 173(2): 163-179.

25. Endo, T., Schreiber, U. and Asada, K. (1995) Suppression of quantum yield of photosystem-II by hyperosmotic stress in *Chlamydomonas-reinhardtii*. *Plant Cell Physiol.*, 36(7): 1253-1258.

26. Fernandez, F. G. A., Sevilla, J. M. F., Perez, J. A. S., Grima, E. M. and Chisti, Y. (2001) Airlift-driven external-loop tubular photobioreactors for outdoor production of microalgae assessment of design and performance. *Chem. Eng. Sci.*, 56(8): 2721-2732.

27. Garbisu, C., Gil, J. M., Bazin, M. J., Hall, D. O. and Serra, J. L. (1991) Removal of nitrate from water by foam-immobilized phormidium laminosum in batch and continuous-flow bioreactors. *J. Appl. Phycol.*, 3(3): 221-234.

28. Grima, E. M., Perez, J. A. S., Camacho, F. G., Sevilla, J. M. F. and Fernandez, F. G. A. (1994) Effect of growth rate on the eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid content of *Isochrysis galbana* in chemostat culture. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 41(1): 23-27.

29. Hoshida, H., Ohira, T., Minematsu, A., Akada, R. and Nishizawa, Y. (2005) Accumulation of eicosapentaenoic acid in *Nannochloropsis* sp. in response to elevated CO<sub>2</sub> concentrations. *J. Appl. Phycol.*, 17(1): 29-34.

30. Hu, Q. (2004) Environmental effects on cell composition. In: Richmond A, editor. *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Blackwell Science. UK., p85-88.

31. Hu, Q., Guterman, H. and Richmond, A. (1996) A flat inclined modular photobioreactor for outdoor mass cultivation of photoautotrophs. *Biotechnol. Bioeng.*, 51(1): 51-60.

32. Jeong, M. L., Gillis, J. M. and Hwang, J. Y. (2003) Carbon dioxide mitigation by microalgal photosynthesis. *Bull. Korean Chem. Soc.*, 24(12): 1763-1766.

33. Laliberte, G. and Delanoue, J. (1993) Autotrophic, heterotrophic, and mixotrophic growth of *chlamydomonas humicola*(chlorophyceae) on acetate. *J. Phycol.*, 29(5): 612-620.

34. Masojidek, J., Koblizek, M. and Torzillo, G. (2004) Photosynthesis in microalgae. In: Richmond A, editor. *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Blackwell Science. UK., p20-33.

35. Meseck S. L., Alex J. H. and Wikfors G. H. (2005) Photoperiod and light intensity effects on growth and utilization of nutrients by the aquaculture feed microalga, *Tetraselmis chui*(PLY429), *Aquaculture* Volume: 246, Issue: 1-4, May 18, pp. 393-404.

36. Miao, X. L., Wu, Q. Y. and Yang, C. Y. (2004) Fast pyrolysis of microalgae to produce renewable fuels. *J. Anal. Appl. Pyrolysis.*, 71(2): 855-863.

37. Pulz, O. (2001) Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 57(3): 287-293.

38. Renaud, S. M., Thinh, L. V., Lambrinidis, G. and Parry, D. L. (2002) Effect of temperature on growth, chemical composition and fatty acid composition of tropical Australian microalgae growth in batch cultures. *Aquaculture*, 211(1-4): 195-214.

39. Richmond, A. (2004) Principles for attaining maximal microalgal productivity in photobioreactors an overview. *Hydrobiologia*, 512(1-3): 33-37.

40. Rubio, F. C., Fernandez, F. G. A., Perez, J. A. S., Camacho, F. G. and Grima, E. M. (1999) Prediction of dissolved oxygen and carbon dioxide concentration profiles in tubular photobioreactors for microalgal culture. *Biotechnol. Bioeng.*, 62(1): 71-86.

41. Sato, T., Usui, S., Tsuchiya, Y. and Kondo, Y. (2006) Invention of outdoor closed type photobioreactor for microalgae. *Energy Conv. Manag.*, 47(6): 791-799.

42. Sukenik, A., Zmora, O. and Carmeli, Y. (1993) Biochemical quality of marine unicellular algal with special emphasis on lipid composition. II. *Nannochloropsis* sp. *Aquaculture*, 117(3-4): 313-326.

43. Tam, N. F. Y. and Wong, Y. S. (2000) Effect of immobilized microalgal bead concentrations on wastewater nutrient removal. *Environ. Pollut.*, 107(1): 145-151.

44. Tanaka, K., Konishi, F., Himeno, K., Taniguchi, K. and Nomoto, K. (1984) Augmentation of antitumor resistance by a strain of unicellular green algal, *Chlorella- vulgaris*. *Cancer Immunol. Immunother.*, 17(2): 90-94.

45. Terry, K. L. and Raymond, L. P. (1985) System design for the autotrophic production of microalgae. *Enzyme Microb. Technol.*, 7(10): 474-487.

46. Turpin, D. H. (1991) Effect of inorganic N availability on algal photosynthesis and carbon metabolism. *J. Phycol.*, 27(1): 14-20.

47. Wen, Z. Y. and Chen, F. (2003) Heterotrophic production of eicosapentaenoic acid by microalgae. *Biotechnol. Adv.*, 21(4): 273-294.

48. Zittelli, G. C., Pastorelli, R. and Tredici, M. R. (2000) A Modular Flat Panel Photobioreactor(MFPP) for indoor mass cultivation of *Nannochloropsis* sp. under artificial illumination. *J. Appl. Phycol.*, 12(3-5): 521-526.