

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期末報告

以附生性藻床輔助人工濕地植物處理污水並共產生質之研究

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 100-2313-B-343-002-
執行期間：100年08月01日至101年12月31日
執行單位：南華大學自然生物科技學系

計畫主持人：林俊宏

計畫參與人員：大專生-兼任助理人員：林雅英
大專生-兼任助理人員：陳昱璇
大專生-兼任助理人員：王亭懿
大專生-兼任助理人員：黃勝豐
大專生-兼任助理人員：吳昭萱
大專生-兼任助理人員：林佑駿
大專生-兼任助理人員：張耀文
大專生-兼任助理人員：蔡岳霖
大專生-兼任助理人員：涂惠綾

公開資訊：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中華民國 102 年 03 月 31 日

中文摘要： 多樣化之可再生能源材料，為現今能源策略之一環。其中，微藻所含之脂質及纖維素，為可再生生質能開發重要材料之一。目前微藻培養多關注於海水培養，利用淡水培養微藻並去除污染物之系統仍待開發。本研究自嘉義縣灌溉廢水及畜牧廢水中分離微藻，並與 *Nannochloropsis oculata* (擬球藻) 同時進行實驗，探討微藻於污染環境中，異營及自營培養之藻體濃度、比生長速率及總脂量差異性，以評估碳源種類對微藻生長之影響。研究結果顯示，培養液添加有機碳源(葡萄糖 20 g/L)且有光照(3,565 lux)之條件下，NHU-04 藻株生長至第 12 天時，藻體濃度可達 3,030 mg/L，粗脂量為 0.21 g-oil/g-biomass。由結果可知，微藻利用淡水異營培養，可增加微藻濃度、提高含脂量並縮短培養時間，具有發展潛力。利用植物床串聯藻床，處理污水場出流污水，其中植物床植入香蒲、藻床植入剛毛藻及第一階段分離出之微藻，附著於棉繩生長。第 40 天系統 COD、SS、總氮、總磷去除率分別為 39%、29%、57%、54%，顯示植物床串聯藻床可以去除營養鹽。

中文關鍵詞： 異營、附生性藻類、去除營養鹽、濕地植物

英文摘要： Heterotrophic growth of microalgae could be an option to shorten their growing time and allow faster harvesting of their biomass. Suitable strains of freshwater microalgae have potential for offshore cultivation. Algae strains were isolated from rice paddies and farm wastewater in Taiwan for heterotrophic culture. In this study, ten single strains were separated for phylogenetic. The strain of NHU-04 grew faster in a high glucose concentration. The maximum concentration of NHU-04 was 3,030 mg/L and the crude lipid content was 21% (dry base) when the additional glucose was 20 g/L in a basic BG-11 medium. In a dark environment, the microalgae were grown using organic carbon with respiration. Organic carbon increased the specific growth rate of the microalgae efficiently. Therefore, using the algae turfs and wetland plants can remove nutrients of wastewater. The removal efficiency of total nitrogen and total phosphorous is 57% and 54%, repetitively. The attached algae can remove nutrients from wastewater in a wetland system.

英文關鍵詞： heterotroph, attached algae, nutrient removal,

wetland plant

以附生性藻床輔助人工濕地植物處理污水並共產生質之研究
研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 100-2313-B-343-002-

執行期間：2011年08月01日至2012年12月31日

執行機構及系所：南華大學自然生物科技學系

計畫主持人：林俊宏

計畫參與人員：大專生-兼任助理人員

林雅英、王亭懿、陳昱璇、黃勝豐、吳昭萱、林佑駿、

張耀文、蔡岳霖、涂惠綾

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年二年後可公開查詢

中 華 民 國 102 年 3 月 23 日

中文摘要

多樣化之可再生能源材料，為現今能源策略之一環。其中，微藻所含之脂質及纖維素，為可再生質能開發重要材料之一。目前微藻培養多關注於海水培養，利用淡水培養微藻並去除污染物之系統仍待開發。本研究自嘉義縣灌溉廢水及畜牧廢水中分離微藻，並與 *Nannochloropsis oculata* (擬球藻) 同時進行實驗，探討微藻於污染環境中，異營及自營培養之藻體濃度、比生長速率及總脂量差異性，以評估碳源種類對微藻生長之影響。研究結果顯示，培養液添加有機碳源(葡萄糖 20 g/L)且有光照(3,565 lux)之條件下，NHU-04 藻株生長至第 12 天時，藻體濃度可達 3,030 mg/L，粗脂量為 0.21 g-oil/g-biomass。由結果可知，微藻利用淡水異營培養，可增加微藻濃度、提高含脂量並縮短培養時間，具有發展潛力。利用植物床串聯藻床，處理污水場出流污水，其中植物床植入香蒲、藻床植入剛毛藻及第一階段分離出之微藻，附著於棉繩生長。第 40 天系統 COD、SS、總氮、總磷去除率分別為 39%、29%、57%、54%，顯示植物床串聯藻床可以去除營養鹽。

英文摘要

Heterotrophic growth of microalgae could be an option to shorten their growing time and allow faster harvesting of their biomass. Suitable strains of freshwater microalgae have potential for offshore cultivation. Algae strains were isolated from rice paddies and farm wastewater in Taiwan for heterotrophic culture. In this study, ten single strains were separated for phylogenetic. The strain of NHU-04 grew faster in a high glucose concentration. The maximum concentration of NHU-04 was 3,030 mg/L and the crude lipid content was 21% (dry base) when the additional glucose was 20 g/L in a basic BG-11 medium. In a dark environment, the microalgae were grown using organic carbon with respiration. Organic carbon increased the specific growth rate of the microalgae efficiently. Therefore, using the algae turfs and wetland plants can remove nutrients of wastewater. The removal efficiency of total nitrogen and total phosphorous is 57% and 54%, repetitively. The attached algae can remove nutrients from wastewater in a wetland system.

中文關鍵字

異營、附生性藻類、去除營養鹽、濕地植物

英文關鍵字

heterotroph, attached algae, nutrient removal, wetland plant

一、前言

由於世界人口激增，使得地球資源耗費愈來愈大，因此任何能將資源發揮到最大利用效益與減少製造廢棄物的概念隨之而生。植物及藻類在能量循環中，擔任生產者的重要角色。目前世界生質能源材料極欲開發植物及藻類為料源，以提供纖維素及脂質。

然而，環境中存在過量的營養鹽常導致水體優養化，使微藻大量生長而影響水質。依此特性，藻類常被作為水污染的環境指標。目前多為研究懸浮微藻，此研究目前面臨之技術瓶頸為「藻體收集及分離」。此外，懸浮微藻目前多研究以海水培養，其藻種適於高鹽度環境生長，對於廢污水之處理效能較難評估。此外，人工濕地之植物對有機污染物去除率較佳，氮磷等營養鹽去除率不佳。藻類攝取氮磷之效果佳，將藉藻類此特性，協助人工濕地系統去除水中營養鹽。

本研究將淡水耐污性附生性藻類(attached algae or periphyton)「處理污水」、「易收穫」及「生產生質」此三個思考角度合併起來，探討適於淡水污染環境生長之多細胞及單細胞附生性藻類，可否同時去除水中有機物及營養鹽，並同時生產高單位之生質？收穫設施如何開發？其操作條件為何？這些觀點將為本研究之主軸。於藻床系統研究基礎上，本研究將串聯人工濕地植物系統與藻床系統，以去除污水中之污染物。據此，將探討此系統所生產之生質，其纖維素、脂質及元素組成。使此系統從消極處理污水之角色，轉變具有去除污染物、節能減碳、水質再生、飼料提供、提供穩定生質原料之積極功能。

二、研究目的

本計畫將利用附生性藻類及植物處理生活污水，並對水資源再利用進行評估，以減少能資源耗用，達到節能減碳之目的。此外，同時研究附生藻類及植物系統定期收穫之生質，以評估生質再利用特性及生產力，達到環保與資源充分利用之雙重目的。此計畫之目的敘述如下：

- (一) 篩選耐污淡水微藻：篩選耐污淡水微藻，以在污染環境可以生存。
- (二) 易收穫：開發藻類附生系統，簡化藻類回收及收集程序。
- (三) 處理污水：利用附生性藻類處理污水中之碳氮磷，並探討與植物系統(人工濕地)串接之處理效能及處理水再利用特性。
- (四) 生產生質：系統所產生之生質，除可減碳之外，收穫後評估其組成及再利用特性，增加生質再利用價值。

三、文獻探討

(一) 藻類系統

藻類，通常呈單細胞、絲狀體或片狀體，具有結構簡單、光合作用效率高、生長週期短且速度快的特點。藻類按大小可分為為多細胞的巨藻(macroalgae)(如海帶、紫菜、龍鬚菜等)及單細胞的微藻(microalgae)(如綠藻、矽藻)等兩種。微藻具有易人工培養、易收穫、單位產量大之優勢。

藻類在能量循環中，擔任生產者的重要角色。然而，環境或污水中若含有高濃度之營養鹽，流佈於靜止的水體中，則易造成優養化，使藻類大量滋長。依此特性，藻類常被作為水污染的環境指標。相對地，依氮磷為藻類生長限制因子之特性，便衍生微藻利用或處理水中營養鹽之應用領域，亦可利用藻類處理受污染之水體。依生長特性，分為懸浮性生長及附著性生長，探討如下。

1. 懸浮性生長

早年，台灣推廣農戶養殖綠藻，則建議以堆肥、家畜家禽糞尿、水肥等培養綠藻，以減少培養成本(田, 1967)。直接使用化學肥料培養綠藻較易控制劑量，而使用糞尿培養綠藻時，宜先腐熟再利用(張, 1976)。早年台灣省環境衛生實驗所曾研究利用綠藻處理水肥。研究顯示，以綠藻(未說明藻種)處理水中有機物，3天後之BOD可從300 mg/L-600 mg/L降低至20-50 mg/L。若處理生水肥的話，則前面可先添加光合菌，將蛋白質、纖維素、澱粉等大分子物質，分解成構造簡單之有機酸、胺基酸等物質，以利綠藻利用(羅等, 1973)。

此外，近年許多學者亦持續研究利用微藻處理廢污水中污染物，例如有機物、氮、磷、重金屬等 (Robinson *et al.*, 1989; Chong *et al.*, 2000)。Travieso 等人利用固定化 *Scenedesmus quadricauda*(四尾柵藻)、*Chlorella vulgaris*(小球藻)及 *Chlorella kessleri*(小球藻)處理污水，水力停留時間 9.6 小時-48 小時，*C. vulgaris* 可將平均濃度 31 g-N/L 之氨氮去除 47%-67%、平均進流濃度 257 mg/L 之 COD 去除 62%-76%，效果比 *C. kessleri*。及 *S. quadricauda* 佳(Travieso *et al.*, 1996)。此外，以廚餘高溫生物醱酵液培養小球藻(*Chlorella sp.*)後，廚餘醱酵液稀釋後投入，藻槽內氨氮 13 mg-N/L、總磷 1.5 mg-P/L，藻體濃度可達 4.24×10^8 /L (郭，2004)。利用 *Chlorella sp.* 去除污水中氨氮及磷，去除率分別可達 82.4%及 85.6% (Wang *et al.*, 2010)。

2. 附生性生長 (attached algae or periphyton)

附生性藻類具有高度適應性及附著性，藻相可隨日照、水溫、pH 值、水流之變化而更新，可吸收及貯存水中營養鹽，亦具抗乾旱等逆境之特性。台灣研究以藻床(Algal Turf Scrubber)培養附生性藻類，可去除蝦苗養殖池中硝酸氮及氨氮 (劉，1998)；植於溪床中，去除溪流中之營養鹽(氮磷)，以降低水庫優養化現象(王，2006)。

以藻床去除污水中營養鹽之研究，於水量 436 CMD - 889 CMD (池面積 1,021 m²)之操作範圍中，水深 0.02 m -0.04 m 之生長效果較佳，單位面積平均可去除總氮 1.11 g-N m⁻² d⁻¹、總磷 0.73 g-P m⁻² d⁻¹，並收穫 35 g-dry biomass m⁻² d⁻¹ 之乾藻重。此研究之結論為：藻床具有捕捉有機碎屑、異營分解有機物、自營去除水中營養鹽、提高 DO 及 pH 值、同化及吸附重金屬、去除致病菌之優點。(Craggs *et al.*, 1996)。此外，藻床具有水質淨化、捕捉太陽能、產生藻類生質之功能。

利用藻床處理畜牧廢水，未消化及曾經消化污水之 COD，可分別由 71,835 mg/L 及 32,650 mg/L 降至 149 mg/L 及 80 mg/L。以氮磷平衡觀之，藻體中的氮及磷分別為進流廢水總氮的 33%-42%、總磷的 58%-100%，顯示藻類可將水體中的營養鹽攝入體內，進而去除污染物 (Mulbry and Wilkie, 2001)。於一吳郭魚-藻類附生之共生系統中，分別含有氮磷為 108 mg-N m⁻² d⁻¹ 及 27 mg-TP m⁻² d⁻¹，氮磷於附生藻類系統之去除率分別可達 23%及 82% (Rectenwald and Drenner, 2000)。

附生性藻類處理厭氧性廢水時，內有絲狀藍綠藻、絲狀綠藻、矽藻等藻類，水力停留時間 2 天，生長速率為 7.6 - 19.7 g-dry biomass m⁻² d⁻¹，可去除總氮 70 mg-N g⁻¹-dry biomass m⁻² d⁻¹、總磷 13 mg-P g⁻¹-dry biomass m⁻² d⁻¹ (Kebede-Westhead *et al.*, 2003)。針對河水中磷去除之研究，發現藍綠藻於有氧及厭氧腐爛時，磷的再釋放程序是依照一階反應動力模式進行，反應動力常數 k 分別為 0.1095 day⁻¹ 及 0.1408 day⁻¹；剛毛藻腐爛時的釋放率相對較低 4 到 20 倍。顯示藻床中的藻種也會影響水中營養鹽的處理效果 (McCormick *et al.*, 2006)。

3. 國內附生性藻類研究情形

台灣附生性藻類相關研究，彙整如表 1 所示。可知目前台灣研究團隊多探討海水或淡水等自然環境之附生藻類為主，針對污水之研究較少。

表 1：國內附生性藻類培養水體、附著材、培養環境相關研究

水體	附著材	附生性藻種	藻類培養環境
海水	PU 泡棉	蠕枝藻	草蝦養殖池 (劉，1998)
	蓋玻片	矽藻	實驗室 (張，1999)
	懸吊繩、木屑/飛灰等七種	安曼司石花菜	實驗室 (林，2004)
	礁岩	野生大型海藻	潮下帶(黃，2004)
	珊瑚礁	野生大型海藻	潮間帶(梁，2008)
淡水	尼龍繩	稀毛蜈蚣藻	箱網養殖場(楊，2010)
	6 cm × 6 cm PE 網	野生淡水藻	溪流 (王，2006)
	石	野生矽藻	溪流 (蘇，2008)
	石	野生淡水藻	溪流 (戴，2008)

(二) 植物系統

人工濕地系統是一種自然淨化程序，將受污水導入由土壤、礫石、水生植物、微生物及水所組成的生態系統，利用自然界提供的物化及生物程序，以淨化污水。具有低耗能、低操作維護成本、日常維護人員訓練成本低等優點。目前人工濕地已應用於國內公私場所，進行生活污水或河川水質淨化。國內外均已整合成果，發行相關設計準則。以下簡要摘錄與本研究相關之國內外案例及結果。

一般人工濕地用於生活污水淨化時，污水在濕地之水力停留時間多在 5 天以內。在 COD 進流濃度 $< 50 \text{ mg/L}$ 時，其去除率通常 $< 50\%$ ；進流濃度為 $51\text{-}270 \text{ mg/L}$ 時，其去除率可達 90% 。在進流水 BOD $< 10 \text{ mg/L}$ 、營養鹽 $< 1 \text{ mg/L}$ 時，BOD 平均去除率為 50% ；在進流水 BOD 為 $10\text{-}40 \text{ mg/L}$ 、營養鹽 $> 1 \text{ mg/L}$ 時，BOD 平均去除率為 80% 。其他污染物之去除率分別為 SS $30\text{-}90\%$ (平均 60%)、氮 $60\text{-}90\%$ (平均 80%)、磷 $30\text{-}90\%$ (平均 50%)。本國濕地研究中，常用植物為蘆葦、空心菜、水蠟燭、水芙蓉、竹葉菜、培地茅、狼尾草、浮萍與布袋蓮等，以布袋蓮與蘆葦在去除各種水中污染物的表現較佳(周明顯、彭致豪, 2005a；周明顯、彭致豪, 2005b)。台南縣仁德鄉二行社區人工濕地，為台灣較早且著名的人工濕地，除處理社區污水之功能外，尚具有教育推廣及指標意義。

Solano 等人(2004)研究以小型潛流式人工濕地，濕地面積 160 m^2 ，水力停留時間為 1.5 天及 3 天。系統種植香蒲及蘆葦，處理社區污水，進行二年期之研究。結果發現，污染物去除率會隨季節改變—夏季較佳、冬季較差。進流 BOD、COD、TSS 分別為 616 mg/L 、 905 mg/L 、 433 mg/L ，系統最高去除率分別可達 93% 、 88% 、 93% 。House 等人(1999)研究以小型人工濕地處理建築物污水，內有 60 個教職員產生 $4.5 \text{ m}^3/\text{day}$ 之生活污水，可將其處理至符合水質標準。

以蘆葦及香蒲為主的人工濕地(面積 $13,130 \text{ m}^2$)，作為污水廠放流水之三級處理。於水力停留時間 2.4 天之操作條件下，對糞便型大腸桿菌有 92% 之去除率、總氮可去除 $126 \text{ g-N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 、總磷 $5 \text{ g-N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。由結果可知，人工濕地可有效去除營養鹽 (Toet *et al.*, 2005)。

國外之案例，例如位於紐約的歐米茄中心 (Omega Center)，利用戶外之生態系統，淨化建築物產生之污水，並將之回用於建築物內外之灌溉，除減少污水排放，亦可回收水資源(Rago, 2010)。美國印第安那州的 Goshen College 營造一個環境學習中心--Rieth Village，可容納 32 個學生之住宿及學習。建築物接收之雨水，透過收集系統儲存於蓄水槽中；產生之污水，則經過潛流式人工濕地處理後，再於砂濾床物理過濾及生物膜過濾，儲存於蓄水槽中，供建築物內使用，以減少外界供水，達到節能減碳之目的 (Goshen College, 2010)。加拿大安大略 Fleming College 的 Centre for Alternative Wastewater Treatment 研發了一套太陽生態系統(Solar Ecology System)，乃培養於室內之水生態系統，可作為室內污水處理設施。系統以重力流方式引導建築物污水，以水芙蓉等浮水性植物去除水中 BOD、重金屬、營養鹽，達到淨化水質並回收再利用之目的。此設施除具有污水處理功能，亦具有展示教育之功能 (Centre for Alternative Wastewater Treatment, 2010)。

國內以人工濕地直接處理建築物污水及雨水，以成功大學建築系系館為例。系館活動人數 300 人，產生之污水量為 $3 \text{ m}^3/\text{day}$ - $10 \text{ m}^3/\text{day}$ ，系館廣場閒置空間設置人工濕地，濕地總面積 100 m^2 ，可完全處理建築物之生活污水，達到污水零排放之目標。人工濕地出流水及建築物雨水收集後，經過礫石及細砂過濾後，儲存於水槽中(內政部綠廳舍暨學校改善補助計畫網頁, 2010)。系統利用植物與微生物，去除水中污染物，經由淨化步驟，再重新進入建築中的儲水箱(池)循環再利用。其中，BOD 及 COD 去除率分別為 $73\%\text{-}88\%$ 及 $49\%\text{-}66\%$ ；總氮及總磷分別為 $42\%\text{-}49\%$ 。潛流式溼地處理效果較表面流濕地佳。(歐, 2005)。

四、研究方法

(一) 耐污淡水藻類分離

淡水微藻單一藻株之分離，是於無菌操作台內進行，將水樣塗佈於含有選擇性固態培養基之培養皿內，置於 28°C 之植物生長箱內，以 3,565 lux 光照恆溫培養，直至呈現單一菌落，並藉顯微鏡確認為單一藻株。本研究採之選擇性培養基為 BG11，配方如表 2 所示。其中，固態培養基尚添加 15 g/L 之 agar，以形成固體表面。除分離之藻株，本研究亦採用 *Nannochloropsis oculata* (擬球藻，本文簡稱 Nan) 購自農委會水產試驗所東港生技研究中心，保存培養基及保存方式，同分離株。

分離出之單一藻株，以 15 mL 螺蓋玻璃試管內裝液體或固體 BG11 培養基，於 28°C 植物生長箱內，照光 12 小時：不照光 12 小時(12L:12D)靜置培養，並定期轉植及活化。

表 2 BG11 培養基配方

medium (mg/L)		micronutrients (g/L)	
MgSO ₄ ·7H ₂ O	75	H ₃ BO ₃	2.86
CaCl ₂	36	MnCl ₂ ·4H ₂ O	1.81
NaNO ₃	1,500	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.22
K ₂ HPO ₄	30	NaMoO ₄ ·2H ₂ O	0.39
Na ₂ CO ₃	20	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.079
Na ₂ EDTA·2H ₂ O	1.0	Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	0.049
Ferric ammonium citrate	6		
檸檬酸	6		
micronutrients	1 mL		
pH	7.1		

植種瓶則利用無菌操作，於血清瓶內裝 500 mL BG11 培養基，置於植物生長箱內，以搖床 120 rpm 震盪培養，並以 12 小時光照、12 小時黑暗(12L:12D) 28°C 之條件恆溫培養。利用 500 mL 錐形瓶裝填 BG11 基礎培養基，植入定量藻液，並調整初始藻液濃度為 10 mg/L，進行碳源添加及光照實驗。實驗中，採用分離出之藻株，於無菌培養進行後續實驗。

碳源添加實驗，主要目的為模擬污染環境。實驗於每個 BG11 基礎培養基中分別添加 0、2、20 g/L 之 NaHCO₃ 或 C₆H₁₂O₆，置於植物生長箱中，以 28°C 定溫靜置培養。每 48 小時量測微藻量，並計算比生長速率，以探討無機碳源(自營)及有機碳源(異營)添加量對微藻生長之影響。其中，BG11 中所含無機碳量遠小於額外添加之 NaHCO₃ 或 C₆H₁₂O₆。

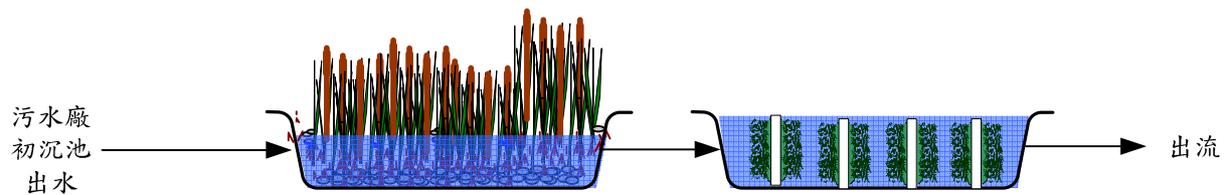
光照實驗則調整植物生長箱之光照週期，以光照(12L:12D)及完全黑暗(0L:24D)，探討微藻於含有機碳源(異營)的環境或於含無機碳源(自營)的環境中，光線對微藻產脂之影響。此外，實驗以 BG11 培養基作為對照組，於相同條件下光照培養，以比較微藻之比生長速率。藻體濃度量測，先取定體積藻液，利用真空冷凍乾燥得到乾藻粉，以四位數電子天秤(AV264C, Ohaus)測得培養液之乾藻體重，並計算得藻體濃度。冷凍乾燥後的乾藻粉，利用 Bligh 及 Dyer 之油脂萃取方法為基礎，以 methanol:chloroform (1:2)重複萃取、離心、取出上層溶劑，最後吹乾下層殘留之 chloroform，即得藻體之總脂肪(Bligh and Dyer, 1959)。培養環境之光照，以照度計(TES-1335, 泰仕, Taiwan)量測培養環境之照度。

(二) 模場植物床與藻床串聯

本研究計畫將利用南華大學污水場初沉池出水及放流水，作為供試用水。植以生長迅速、除污力強及具生質能潛力之挺水性植物及附生性藻類，作為研究之用。

模場植物床與藻床配置如圖 1 所示。其中，表面流人工濕地種植香蒲、蘆葦等挺水性植物，增加溶氧，渠道尺寸 3 m^L×1 m^W× 0.7 m^H，底部覆土 0.3 m，水深 0.4 m。藻床渠道 3 m^L×0.5 m^W× 0.4 m^H，

並培養附生性藻類。污水廠 24 小時進水。



表面流人工濕地

種植香蒲、蘆葦等挺水性植物，增加溶氧，渠道尺寸 $3\text{ m}^L \times 1\text{ m}^W \times 0.7\text{ m}^H$ ，底部覆土 0.3 m ，水深 0.4 m

藻床

渠道 $3\text{ m}^L \times 0.5\text{ m}^W \times 0.4\text{ m}^H$ ，鋪設立體附著生長材，並培養附生性藻類。

圖 1：模場植物床與藻床串聯示意圖

本研究採用水質分析(如表 3)之方法及主要使用儀器，整理如下所示。

表 3：水質實驗項目、分析方法及主要使用儀器

實驗項目	分析方法	主要使用儀器(廠牌及規格)
照度	照度計	照度計 (TES-1335, 泰仕, Taiwan)
pH	水中氫離子濃度指數測定方法—電極法 (NIEA W424.51A)	pH 計(PP-25, Sartorius)
COD _S	水中化學需氧量檢測方法—密閉迴流滴定法 (NIEA W517.51B)	COD 加熱反應器
BOD ₅	水中生化需氧量檢測方法(NIEA W510.54B)	恆溫培養箱
DO	水中溶氧檢測方法—電極法 (NIEA W455.50C)	手提式溶氧/pH/導電度計 (HQ-40d, Hach)
導電度	水中導電度測定方法—導電度計法 (W203.51B)	手提式溶氧/pH/導電度計 (HQ-40d, Hach)
水溫	水溫檢測方法 (NIEA W217.51A)	手提式溶氧/pH/導電度計 (HQ-40d, Hach)
SS/MLSS	水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法— $103^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$ 乾燥 (NIEA W210.57A)	天秤(AV264C, Ohaus) 乾熱烘箱、真空泵、過濾裝置
NH ₃ -N	水中氨氮檢測方法—靛酚比色法 (NIEA W448.51B)	分光光度計(BioMate 5, Thermo Scientific)
TKN	水中凱氏氮檢測方法 (NIEA W451.51A)	凱氏氮蒸餾裝置(Buchi, K-355) 加熱分解裝置(Buchi, K-424) 分光光度計(BioMate 5, Thermo)
NO ₃ ⁻ -N	水中亞硝酸鹽氮檢測方法—分光光度計法 (NIEA W418.51C)	分光光度計(BioMate 5, Thermo Scientific)
NO ₂ ⁻ -N	水中硝酸鹽氮檢測方法—分光光度計法 (NIEA W419.51A)	分光光度計(BioMate 5, Thermo Scientific)
TP PO ₄ ³⁻ -P	水中磷檢測方法—分光光度計／維生素丙法 (NIEA W427.52B)	分光光度計(BioMate 5, Thermo Scientific)

五、結果與討論

(一) 耐污淡水藻類分離

1. 微藻分離結果

本研究於夏季採集嘉義縣灌溉廢水、畜牧廢水水樣，利用 BG11 培養基逐次分離及純種培養後，分離出三種藻株，並確認可於添加葡萄糖之環境中增殖，分別以 NHU-02、NHU-03、NHU-04 編號命名之。此外，自農委會東港生物技術中心購買之 Nam，確認可於淡水及有機碳源中生長。四種藻株之外觀如圖 2 所示。

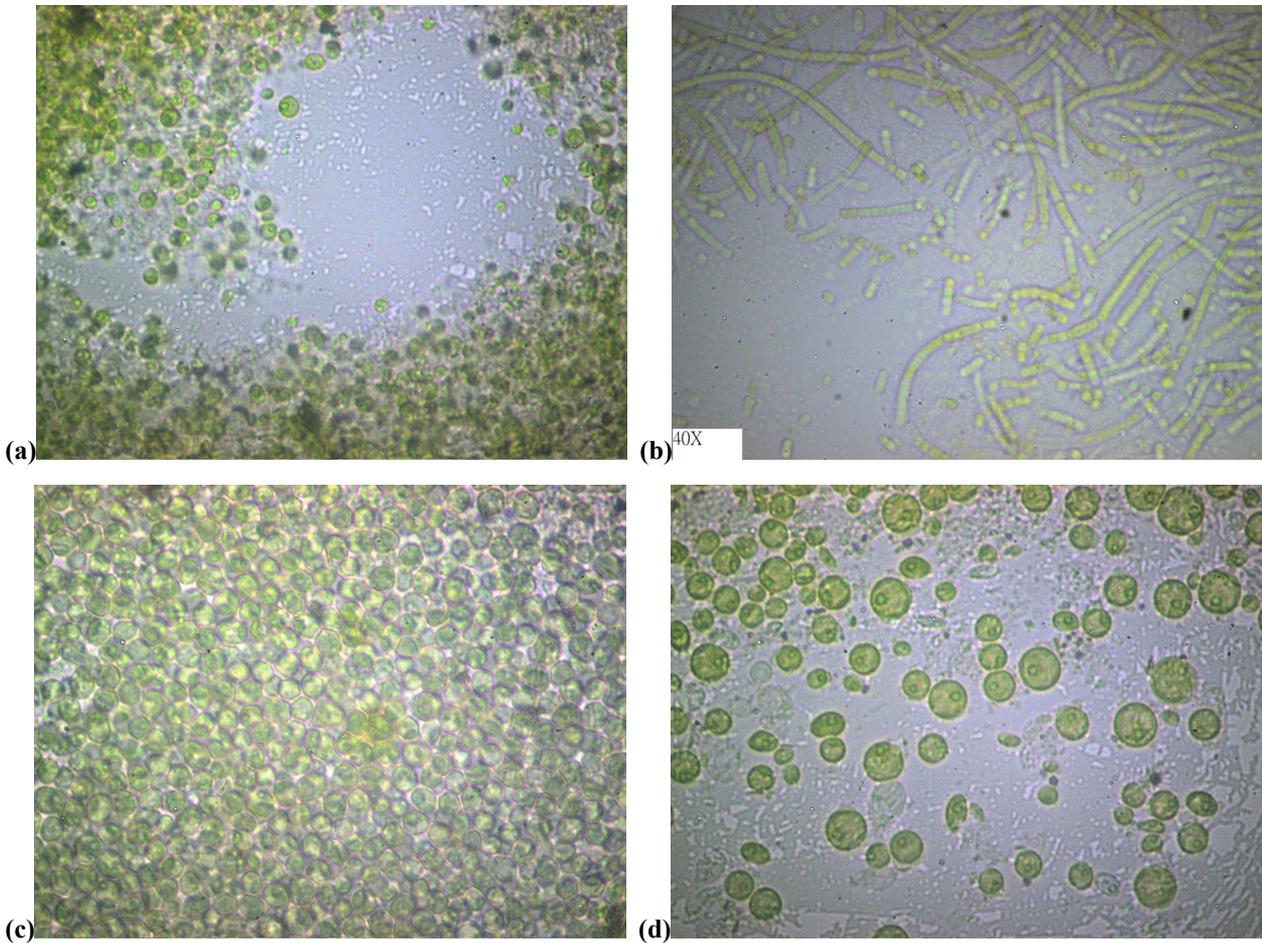


圖 2：採用藻株外觀：(a) *N. oculata*; (b) NHU-02; (c) NHU-03; (d) NHU-04

2. 微藻於自營、混營及異營環境生長情形

(1) 微藻於 BG11 培養基之生長情形

各藻株初始藻液濃度為 10 mg/L，於 BG11(對照組)且有光照之環境下，逐日生長情形如圖 3(a)所示。其中，無機碳源為 BG11 中所添加 20 mg/L 之 Na_2CO_3 。

實驗結果顯示，Nan 之生長較快，第 12 天可達生長曲線頂端，藻體濃度 103 mg/L。而 NHU-03 之藻體濃度，於第 16 天可達 152 mg/L，尚未觀察到達生長曲線頂點。藻株 NHU-02 於第 8 天達到最高濃度 22 mg/L，與其他藻株相較，該藻株生長速度緩慢。

(2) 微藻於光照混營之生長情形

各藻株初始藻液濃度為 10 mg/L，於 BG11 基礎培養基中添加 2 g/L 或 20 g/L 之葡萄糖，於光照環境之逐日生長情形如圖 3(b)及圖 3(c)所示。其中，無機碳源為 BG11 中所添加 20 mg/L 之 Na_2CO_3 ，遠小於葡萄糖添加量。

實驗結果顯示，藻株 NHU-04 之藻體濃度較高，葡萄糖分別添加 2 g/L 及 20 g/L 時，藻體濃度最高可達 1,100 mg/L(第 12 天)及 3,030 mg/L(第 12 天)，分別較 Nan 之藻體濃度 810 mg/L(第 12 天)及 1,225 mg/L(第 10 天)為高。以葡萄糖添加量而言，添加 20 g/L 之有機碳，可得較高之藻體濃度。顯示添加葡萄糖可增加藻體濃度，但不會使藻類生長提早抵達生長曲線頂點。

(3) 微藻於光照自營之生長情形

各藻株初始藻液濃度為 10 mg/L，於 BG11 基礎培養基中添加 2 g/L 或 20 g/L 之 NaHCO_3 ，於光照環境之逐日生長情形如圖 3(d)及圖 3(e)所示。

實驗結果顯示，藻株 NHU-04 之藻體濃度較高， NaHCO_3 添加 2 g/L 及 20 g/L 時，藻體濃度最高分別可達 330 mg/L (第 12 天)及 400 mg/L (第 14 天)；藻體濃度次高者為藻株 Nan，藻體濃度分別為 245 mg/L (第 14 天)及 246 mg/L (第 14 天)高。

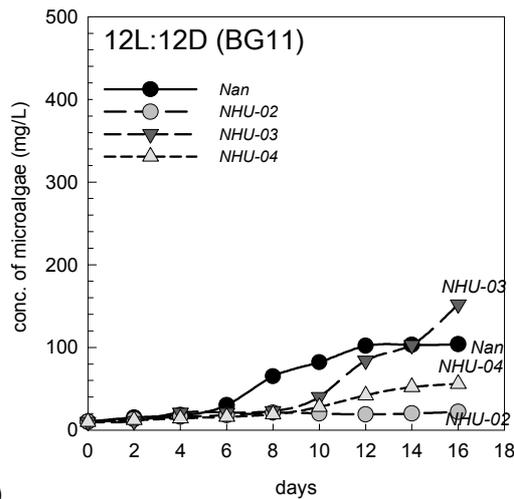
以 NaHCO_3 添加量而言，於 BG11 培養基中添加較多之無機碳，可提高藻體最高濃度，但不會提早抵達生長曲線頂點。此外，添加無機碳所得藻體濃度，較添加有機碳者低，顯示添加有機碳可增加藻體濃度。

(4) 微藻於無光照異營之生長情形

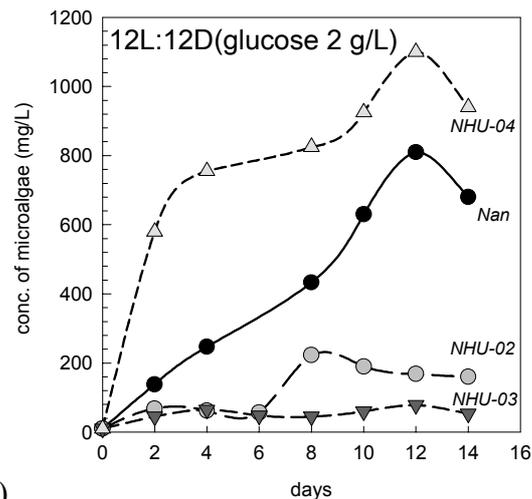
微藻可於無光照時，利用有機碳行呼吸作用並成長。各藻株初始藻液濃度為 10 mg/L，於 BG11 基礎培養基中添加 2 g/L 或 20 g/L 之葡萄糖，於無光照環境之逐日生長情形如圖 3(f)及圖 3(g)所示。

實驗結果顯示，添加 2 g/L 之葡萄糖時，藻株 Nan 之藻體濃度較高，最高可達 270 mg/L (第 12 天)；添加 20 g/L 葡萄糖時，藻株 NHU-02 之藻體濃度較高，最高可達 405 mg/L (第 14 天)。而 NHU-04 藻株，於添加 20 g/L 葡萄糖且無光照之環境，第 6 天達到最高藻體濃度 305 mg/L，為無光照環境中生長期最短之藻株。

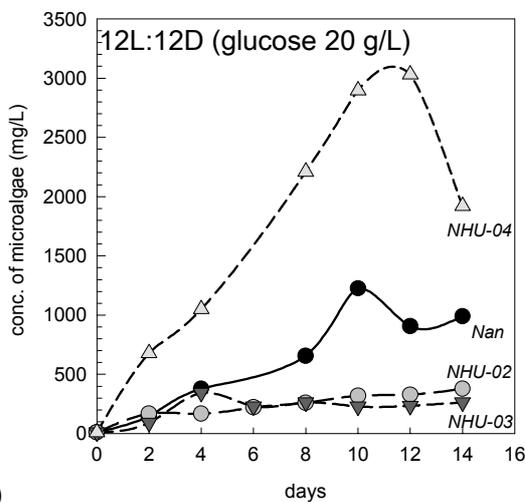
以無光照且添加碳源的培養環境而言，第 6 天之藻體濃度，比光照且使用 NaHCO_3 之環境高。此外，部分藻類會提早抵達生長曲線頂點。



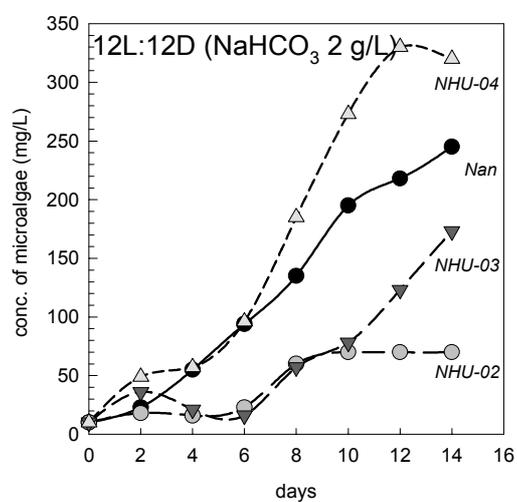
(a)



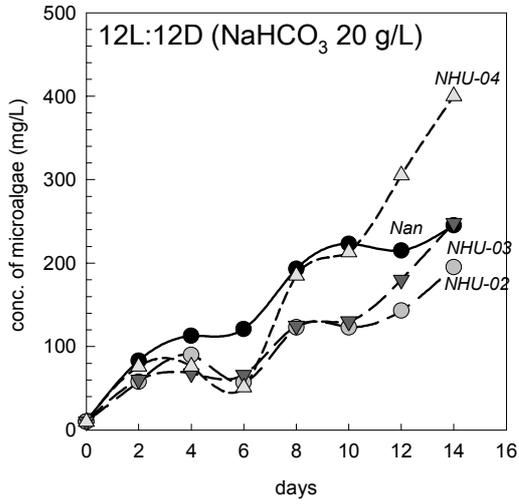
(b)



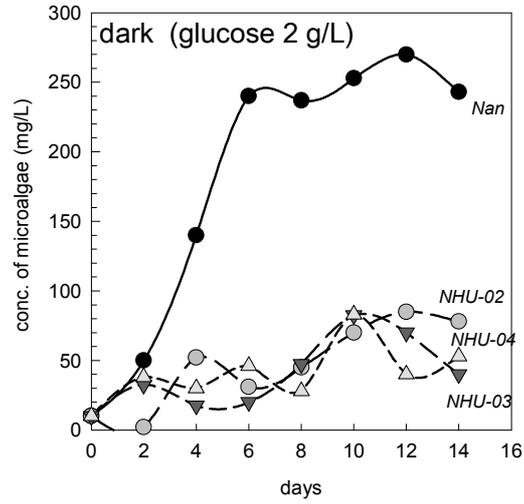
(c)



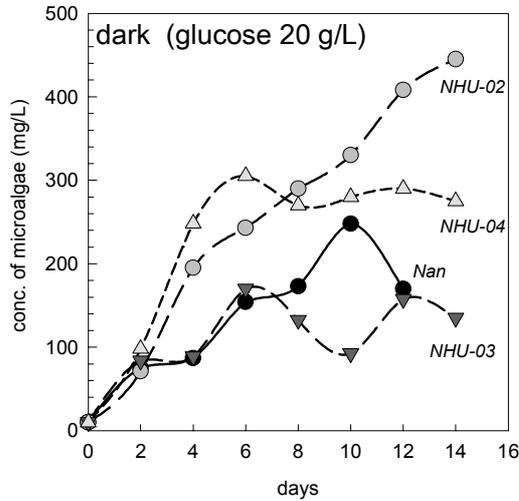
(d)



(e)



(f)



(g)

圖 3：(a) 4 株微藻於 12L:12D 之光照、以 BG11 培養(對照組)之藻體濃度逐日變化情形；
 (b) 4 株微藻於 12L:12D 之光照下、添加 2 g/L 葡萄糖時之藻體濃度逐日變化情形；
 (c) 4 株微藻於 12L:12D 之光照下、添加 20 g/L 葡萄糖時之藻體濃度逐日變化情形；
 (d) 4 株微藻於 12L:12D 之光照、添加 2 g/L NaHCO₃ 時之藻體濃度逐日變化情形
 (e) 4 株微藻於 12L:12D 之光照下、添加 20 g/L NaHCO₃ 時之藻體濃度逐日變化情形
 (f) 4 株微藻於無光照、添加 2 g/L 葡萄糖時之藻體濃度逐日變化情形
 (g) 4 株微藻於無光照、添加 20 g/L 葡萄糖時之藻體濃度逐日變化情形

3. 碳源與光照對比生長速率之影響

大部分條件下，藻體可於第 12 天到達最高濃度，計算此段時間之淨比生長速率 μ_{net} (d^{-1})，由式(1)得知：

$$\mu_{net} = \frac{(\ln X_{t=12day} - \ln X_{t=0day})}{\Delta t} \quad (1)$$

其中， $X_{t=12day}$ 為第 12 天之藻體濃度(mg/L)、 $X_{t=0day}$ 為第 0 天之藻體濃度(mg/L)、 Δt 為經過時間(此處為 12 天)。藻體之比生長速率計算如表 4 所示。

結果顯示，藻株 NHU-04 於有光照時，分別添加 20 g/L 及 2 g/L 葡萄糖時，可得最高及次高的比生長速率，分別為 $0.476 d^{-1}$ 及 $0.391 d^{-1}$ ；藻株 Nan 於同樣條件下之比生長速率，分別為 $0.375 d^{-1}$ 及 $0.366 d^{-1}$ ，顯示添加有機碳源可增加藻體濃度。於無光照之環境，藻株 NHU-02 之培養基中添加 20 g/L 葡萄糖，其比生長速率則可自 $0.053 d^{-1}$ 提高至 $0.309 d^{-1}$ ，比生長速率為四種藻株中最高，顯示藻株 NHU-02

適於無光照環境異營生長。

參照文獻，若以醋酸為碳源培養綠藻 *Chlamydomonas reinhardtii* 時，培養 360 小時後，可產生 22 g/L (乾重)之藻體。以 *Chlorella vulgaris* 進行自營、異營及混營培養時，藻體比生長速率分別為 0.15、0.32 及 0.45 d⁻¹ (Chen, 1996)。

由此可知，以混營、異營環境培養微藻為可行之技術，意味分離之微藻可於高污染之環境下異營、混營生長。

表 4：第 0 天至第 12 天之比生長速率 μ_{net} (d⁻¹)

	Nan	NHU-02	NHU-03	NHU-04
對照組 (BG11)	0.194	0.053	0.177	0.120
光照 2 g/L glucose	0.366	0.235	0.171	0.391
光照 20 g/L glucose	0.375	0.291	0.263	0.476
光照 2 g/L NaHCO ₃	0.257	0.162	0.209	0.291
光照 20 g/L NaHCO ₃	0.256	0.222	0.241	0.285
無光照 2 g/L glucose	0.275	0.178	0.162	0.116
無光照 20 g/L glucose	0.236	0.309	0.229	0.280

4. 微藻含脂量

將藻粉冷凍乾燥後萃取脂質，可得各培養條件之藻體含脂量，如表 5 所示。

比較三種培養環境之產脂量及各藻株產脂表現，可知在異營光照培養環境下，NHU-04 含脂量最高，含脂量可達 20.5% (w/w)；自營光照培養環境下，NHU-02 之含脂量較高，含脂量可達 14.6% (w/w)；異營無光照培養環境下，Nan 之含脂量可達 10.3% (w/w)。以 NHU-04 生長至第 12 天時，藻體濃度可達到 3,030 mg/L、含脂量 20.5% (w/w) 計算，懸浮藻液單位體積之含脂量為 0.62 g-oil/L。

表 5 自營及異營之微藻含脂量(%，w/w d.w.)

	Nan	NHU-02	NHU-03	NHU-04
對照組	7.2	10.1	9.6	6.3
光照 20 g/L glucose	8.3	9.6	10.1	20.5
光照 20 g/L NaHCO ₃	8.5	14.6	12.9	6.4
無光照 20 g/L glucose	10.3	10.0	9.9	13.7

(二) 植物床與藻床串聯

研究串聯植物床與藻床，配置如圖 4 所示。其中，植物床種植香蒲；藻床則以附著材培植鄰近河川採集之剛毛藻，附生於棉繩上，並植入前階段分離之 NHU-02、NHU-03、NHU-04 藻種。初期以南華大學污水場出流水(消毒前)進入系統，調整流量使植物床與藻床之水力停留時間分別為 0.5 天及 1.2 天。

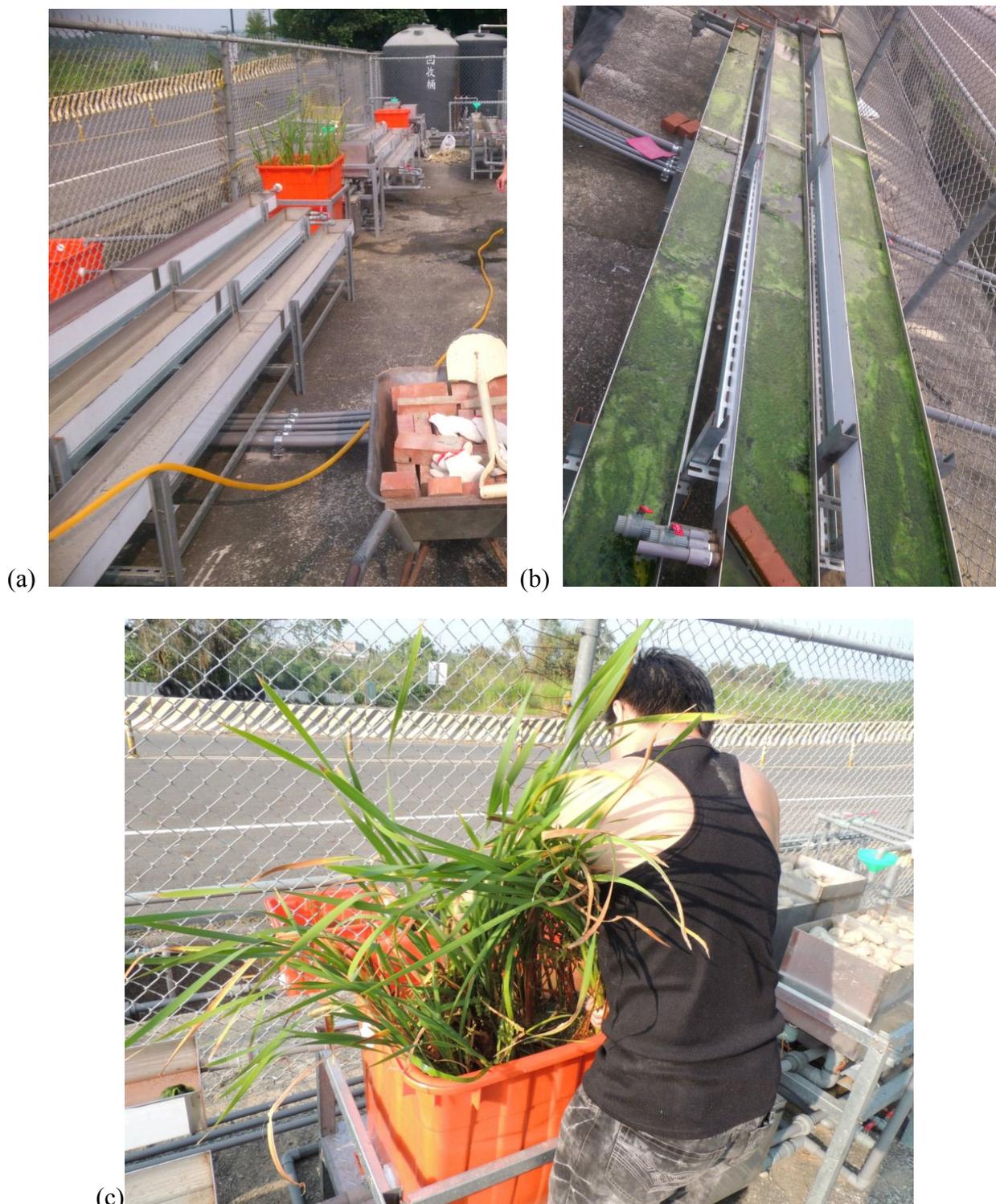


圖 4：(a) 植物床與藻床配置情形；(b)藻床運作情形；(c)植物床種植香蒲

研究分析第 0 天、第 20 天、第 40 天水質狀況，如表 6 所示。其中，植物床進流 pH 維持於 7.2~7.4、藻床出流 pH 維持於 7.6~7.8。第 0 天系統 COD、SS、總氮、總磷去除率分別為 10%、-175%、30%、23%；第 40 天系統 COD、SS、總氮、總磷去除率分別為 39%、29%、57%、54%，可能因為第 0 天藻類剛植入，尚未附着即流出，造成處理效能不佳。但經過 40 天培養後，藻類附着狀況良好，氮磷等營養鹽去除效果較第 0 天佳，顯示植物床串聯藻床可以去除營養鹽。

表 6：自營及異營之微藻含脂量(%，w/w d.w.)

	第 0 天			
	COD (mg/L)	SS (mg/L)	總氮 (mg/L)	總磷 (mg/L)
植物床進流	41	12	10.1	3.5
植物床出流/藻床進流	30	10	8.2	2.2
藻床出流	37	33	7.1	2.7
	第 20 天			
	COD (mg/L)	SS (mg/L)	總氮 (mg/L)	總磷 (mg/L)
植物床進流	48	18	12.5	3.8
植物床出流/藻床進流	29	10	10.5	2.1
藻床出流	28	28	5.1	1.3
	第 40 天			
	COD (mg/L)	SS (mg/L)	總氮 (mg/L)	總磷 (mg/L)
植物床進流	38	17	9.8	2.4
植物床出流/藻床進流	25	9	7.3	2.0
藻床出流	23	12	4.2	1.1

六、結論與建議

本研究第一階段篩選之耐污性藻類，藻株 NHU-04 及 Nan 於添加有機碳源且有光照之環境下培養，可增加微藻濃度。對藻株 NHU-04 之藻體增加量而言，添加有機碳較添加無機碳有效。由文獻可知，各藻株於不同環境之產脂量差異頗大。該藻株欲進行產脂時，宜先探討光照及碳源種類對產脂表現之影響。

本研究第二階段採用植物床串聯藻床，其中植物床種植香蒲、藻床植入第一階段分離之藻種，用以處理污水場出流水，可以降低氮磷的排放量。

七、備註

本計畫部分成果發表如下：

Jun-Hong Lin*, Sheng-Fong Haung, and Kuan-Der Lin (2012, Jun). Isolation and Heterotrophic Growth Characterization of Freshwater Microalgae. *Advanced Science Letters*, 13, 551-555.

八、參考文獻

- 王之佑(2006)：藻床淨水技術應用於水中磷之去除研究，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。
- 內政部綠廳舍暨學校改善補助計畫網頁，<http://gresen.crnet.com.tw/> (2012.12.10 查詢)
- 田渙玉(1967)：單細胞綠藻之培養與利用，著者獨自發行，頁 121。
- 周明顯、彭致豪(2005a)：人工濕地污水處理技術（上）。經濟部水利署永續發展簡訊，12 期，頁 2-8。
- 周明顯、彭致豪(2005b)：人工濕地污水處理技術（下）。經濟部水利署永續發展簡訊，13 期，頁 2-3。
- 林銘曜 (2004)，安曼司石花菜藻苗之培育及其在人工基質上的生長發育，國立海洋大學水產養殖學系碩士論文。
- 張伊作 (1976)：綠藻，中央書局，頁 69-73。
- 黃瑞蓮 (2004)，溫度、營養鹽與颱風對台灣東北角大型海藻群聚變動與細翼枝菜(*Pterocladia capillacea*) 生物量之影響，國立中山大學海洋生物研究所碩士論文。
- 郭文健 (2004)，廚餘高溫生物醱酵及養殖藻魚之綠色產業技術開發計畫期末報告 (EPA-93-U1U4-04-004)，行政院環境保護署，第 57-82 頁。
- 梁峙峰 (2008)，台灣沿岸潮間帶藻床棲居之矛鈎蝦科、藻鈎蝦科和螺羸蜚科的分類學研究，國立新竹教育大學應用科學系碩士班碩士論文。
- 張繼修 (1999)，三種海洋性矽藻之生長與附著，國立海洋大學水產養殖學系碩士論文。
- 陳俐璇 (2008)，水庫上游溪流大型絲狀藻類生長與攝氮磷潛能之研究，國立成功大學環境工程學系碩士論文。
- 楊嘉穎 (2010)，稀毛蜈蚣藻生活史及養殖育苗技術研究，國立台灣大學漁業科學研究所碩士論文。
- 劉冠甫(1998)，蠕枝藻絲狀體藻床的銨與硝酸鹽吸收及其在草蝦苗繁殖池水淨化之初探，國立台灣大學漁業科學研究所碩士論文。
- 歐文生 (2005)，生活污水應用人工濕地處理及再利用之研究，國立成功大學建築研究所博士論文。
- 羅美棧、孫全杰、羅玉輝、巫健次 (1973)：以光合細菌及綠藻處理水肥之研究，*臺灣環境衛生*，5(1)，頁 21-39。
- 蘇美如 (2008)，武陵地區溪流潭、流及瀨之石附生矽藻生物量及群集結構分析，中興大學生命科學系所碩士論文。
- 戴士恩 (2008)，植食者、營養鹽與光照效應對自然及工程溪段附著藻群聚影響之比較，國立嘉義大學生物資源學系研究所碩士論文。
- Allen, M.M. (1968), Simple conditions for the growth of unicellular blue-green algae on plates, *Journal of Phycology*, 4, 1-4.
- Bligh ,E.G, Dyer,W.J. (1959), A rapid method of total lipid extraction and purification, *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911-917.
- Centre for Alternative Wastewater Treatment, <http://www.flemingc.on.ca/CAWT/> (2012.12.10 查詢)
- F. Chen (1996), High cell density culture of microalgae in heterotrophic growth, *Trends in Biotechnology*, 14, 421-426.
- Chong, A.M.Y, Wong Y.S., Tam, N.F.Y. (2000), Performance of different microalgal species in removing nickel and zinc from industrial wastewater, *Chemosphere*, 41(1/2), 251-257.
- Craggs, R.J., Adey, W.H., Jessup, B.K., Oswald, W.J. (1996), A controlled stream mesocosm for tertiary treatment of sewage, *Ecological Engineering*, 6, 149-169.

- Goshen College, <http://www.goshen.edu/> (2012.12.10 查詢)
- House, C.H., Bergmann, B.A., Stomp, A.M., Frederick, D.J. (1999), Combining constructed wetlands and aquatic and soil filters for reclamation and reuse of water, *Ecological Engineering*, 12, 27-38.
- Kebede-Westhead, E., Pizarro, C., Mulbry, W.W. (2003), Production and nutrient removal by periphyton grown under different loading rates of anaerobically digested flushed dairy manure, *Journal of Phycology*, 39, 1275-1282.
- McCormick, P.V., Shuford, B.E.III, Chimney, M.J. (2006), Periphyton as a potential phosphorus sink in the Everglades Nutrient Removal Project, *Ecological Engineering*, 27, 279-289.
- Mulbry, W.W., Wilkie, A.C. (2001), Growth of benthic freshwater algae on dairy manures, *Journal of Applied Phycology*, 13, 301-306.
- Mulbry, W., Westhead, E.K., Pizarro, C., Sikora, L. (2005), Recycling of manure nutrients: use of algal biomass from dairy manure treatment as a slow release fertilizer, *Bioresource Technology*, 96, 451-458.
- Rago, R. (2010), Omega center for sustainable living opens in upstate New York, <http://ilbi.org/about/news/pdfs/09-0707%20Inhabitat%20Omega%20Center%20for%20Sustainable%20Living%20Opens.pdf>, (2012.12.10 查詢)
- Rectenwald, L.L., Drenner, R.W. (2000), Nutrient removal from wastewater effluent using an ecological water treatment system, *Environmental Science & Technology*, 34(3), 522-526.
- Robinson, P.K., Reeve, J.O., Goulding, K.H. (1989), Phosphorus uptake kinetics of immobilized *Chlorella* in batch and continuous-flow culture, *Enzyme and Microbial Technology*, 11(9), 590-596.
- Solano, M.L., Soriano, P., Ciria, M.P. (2004), Constructed wetlands as a sustainable solution for wastewater treatment in small villages, *Biosystems Engineering*, 87, 109–118.
- Toet, S., Van Logtestijn, R.S.P., Schreijer, M., Kampf, R., Verhoeven, J.T.A. (2005), The functioning of a wetland system used for polishing effluent from a sewage treatment plant, *Ecological Engineering*, 25, 101–124.
- Travieso, L., Benitez, F., Weiland, P., Sanchez, E., Dupeyron, R., Dominguez, A.R. (1996), Experiments on immobilization of microalgae for nutrient removal in wastewater treatments, *Bioresource Technology*, 55(3), 181-186.
- Wang, L., Min, M., Li, Y., Chen, P., Chen, Y., Liu, Y., Wang, Y., Ruan, R. (2010), Cultivation of green algae *Chlorella* sp. in different wastewaters from municipal wastewater treatment plant, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 162(4), 1174-1186.
- Wilkie, A.C., Mulbry, W.W. (2002), Recovery of dairy manure nutrients by benthic freshwater algae, *Bioresource Technology*, 84, 81-91.

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2013/03/30

國科會補助計畫	計畫名稱: 以附生性藻床輔助人工濕地植物處理污水並共產生質之研究
	計畫主持人: 林俊宏
	計畫編號: 100-2313-B-343-002- 學門領域: 土壤及環保
無研發成果推廣資料	

100 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：林俊宏		計畫編號：100-2313-B-343-002-					
計畫名稱：以附生性藻床輔助人工濕地植物處理污水並共產生質之研究							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 （本國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	1	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 （外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>無</p>
--	----------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

學術成就：本研究探討淡水藻類於異營、自營的生長特性；附生性藻類與小型人工濕地結合後，去除氮磷等營養鹽的成效。本研究發表 1 篇期刊論文。

技術創新：篩選淡水耐污藻類，並探討產生質及產脂特性；研發一附生式藻床，與人工濕地結合後可有效去除氮磷等營養鹽。

社會影響：培養學生進行藻類篩選、反應器架設、水質檢測等能力；期待以附生式藻床，處理污水並共產生生質，以作為生質能之利用。