

科技部補助專題研究計畫成果報告

期末報告

以複式循環曝氣與零價鐵提升水平潛流式人工溼地之汙染降解效能

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：MOST 106-2221-E-041-002-

執行期間：106年08月01日至107年07月31日

執行單位：嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學環境資源管理系(含碩士班)

計畫主持人：錢紀銘

共同主持人：陳意銘、廖志祥

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：余沐錦

碩士班研究生-兼任助理：莊文穴

碩士班研究生-兼任助理：吳國輝

碩士班研究生-兼任助理：陳旭輝

碩士班研究生-兼任助理：曾郁帆

大專生-兼任助理：張雅婷

大專生-兼任助理：吳祐珊

大專生-兼任助理：朱冠樺

大專生-兼任助理：蔡書晴

大專生-兼任助理：賴靜萱

大專生-兼任助理：黃至瑄

大專生-兼任助理：王炳鈞

大專生-兼任助理：林憲忠

大專生-兼任助理：莊友彤

大專生-兼任助理：劉家瑋

大專生-兼任助理：林金輝

大專生-兼任助理：李芷妍

大專生-兼任助理：陳家毅

大專生-兼任助理：林哲立

大專生-兼任助理：王湘筠

大專生-兼任助理：張智信

報告附件：出席國際學術會議心得報告

中 華 民 國 107 年 10 月 31 日

中文摘要：根據聯合國研究指出若無立即提出水資源解決方案，到2025年時，全球每3人即有2人會感覺到缺水的壓力。因此，開拓多元水資源成為一無可避免之解決方向，其中水資源回收則成為拓展水資源主要管道之一，然而全球氣候變遷與極端氣候對此提示其處理程序之低碳意涵，故而人工濕地因其綠色永續特性廣受注重，惟其低溶氧水環境與質傳障礙造就其低汙染降解效能而抑制其應用發展，前者雖可以曝氣方式解決，然所衍生之高溶氧及低有機碳卻抑制脫氮作用，衍生硝酸鹽氮累積，而無法整體提升總氮之去除。此外，人工濕地對含磷汙染物之去除效能亦相對不彰。本專題原申請應用內外複式循環、零價鐵、在槽曝氣等創新策略提升水平潛流式人工濕地之汙染物降解效能，其中曝氣裝置將置於槽體前端，於中段設內迴流循環抽水設施將水送回曝氣區以提升前段有機碳與氮之去除，此內迴流會於後半段衍生反向環流以確保其厭氣環境，此區將置入零價鐵柱牆以其厭氣氧化反應提升自營性脫氮菌活性，提升硝酸鹽氮之去除，而外部迴流則將含鐵離子之排放水回流至曝氣區，藉磷酸鐵沉澱反應提升其去除效能。由於原申請3年計畫僅獲核准1年，本次計畫執行以探討複式循環對水平潛流式人工濕地汙染處理效能之影響。研究中主為藉由不同曝氣迴流操作模式探討其提升水平潛流式人工濕地之對各類水質參數去除效能之影響，其參數包括；生化需氧量(Biochemical oxygen demand, BOD)、總凱式氮(Total Kjeldahl nitrogen, TKN)、氨氮(Ammonia-nitrogen, NH₃-N)、亞硝鹽氮、硝酸鹽氮(Nitrate-nitrogen, NO₃--N)、總氮(Total nitrogen, TN)、總磷(Total phosphorous, TP)等，由相關實驗結果發現曝氣迴流系統對BOD之平均去除率可由對照組之53.8-76.0%提升至82.0-91.7%，此結果屬於顯著提升($p<0.05$)，而迴流比(內迴流流量：進流量) >3 即能顯著提升BOD去除效能。至於對NH₃-N、TKN與TN的去除而言，迴流比 >3 即對其去除效能之提升即無顯著影響，而曝氣迴流系統對NH₃-N、TKN與TN之去除率分別由對照組之15.1-78.1%、18.2-77.2%、19.4-74.5%顯著提升98.3-98.6%、93.4-94.0%、71.6-81.0%，惟對NO₃--N之抑制仍有其侷限性，當入流濃度超過限度時，系統中仍會發生顯著之累積現象，其平均濃度為4.7 mg/L，即便如此，TN之去除仍有顯著提升現象。而根據實驗結果顯示曝氣迴流系統對於TP則未有顯著之正面提升影響，由前述結果可知曝氣迴流系統可明顯提升有機與含氮汙染物，而內迴流比 >3 時，其提升效能即無顯著差異。

中文關鍵詞：水平潛流式人工濕地、內循環、曝氣、生化需氧量、總氮

英文摘要：Two out of three individuals worldwide may be living in a water-stressed condition by 2025, if global water consumption patterns continue without an immediate solution. Based on a strategy of creating more water resources, water recovery is a viable means of offering more qualified water for specific usages. However, low carbon emission during water recovery become a necessary consideration when facing the challenge resulted from the global climate changes and extreme weather. Since regarded as a green technology and sustainability, constructed

wetlands (CWs) receive massive attentions. Their application and development are depressed because of low level of dissolved oxygen (DO) and mass transportation barrier. Although DO can be leveled up by artificial aeration, it depresses denitrification which is also restrained by the low carbon source. Consequently, nitrate-nitrogen accumulates in the effluent and decreases total nitrogen removal. In addition, low removal of phosphorous is always found in CWs. In the earlier proposal submitted to MOST, innovative strategies; complex recirculation, zero valent iron (ZVI), and an in-tank intermittent aeration will be used to improve pollution removal efficiencies of horizontal subsurface flow (HSSF) constructed wetlands. Internal recirculation installed in the mid part of HSSF CW increases removal efficiencies of organic and nitrogen contained pollution by pumping water back to aeration area located in the entrance. A counter-direction circulation flow induced by internal recirculation will maintain the anaerobic environment in latter CW. When installing ZVI wall, their oxidation improves the activities of denitrifying microbial which enhances removal efficiencies of nitrate-nitrogen and total nitrogen. Ferrous ion in the effluent recirculates into the aeration area and promotes phosphorous removal by sedimentation with phosphate. This report focuses on the effects of the internal recirculation on the pollutants removal efficiencies of HSSF CW due the financial support limitation of MOST. The water quality parameters; biochemical oxygen demand (BOD), total Kjeldahl nitrogen (TKN), ammonia-nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$)、nitrite-nitrogen, nitrate-nitrogen ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), total nitrogen (TN), and total phosphorous(TP), were used to evaluate the variation characteristics of pollution removal in HSSF CWs with or without the modifications of artificial aeration and internal recirculation. According to the experimental results, it showed that the average BOD removal ratios could be significantly improved from 53.8–76.0 % in the control system to 82.0–97.1 % in the experimental system ($p<0.05$). A significant improvement occurred when recirculation ratio (recirculation flow rate : influent flow rate) >3 . The removal ratios of $\text{NH}_3\text{-N}$, TKN, and TN were also significantly improved from 15.1–78.1%, 18.2–77.2%, 19.4–74.5% to 98.3–98.6%, 93.4–94.0%, 71.6–81.0%, respectively. However, an accumulation of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ would take place when the influent concentration of TKN was large than the denitrification capacity of HSSF CW. A significant improvement was still observed in the removal of TN. As for the removal of TP, no significant improvement was supported by the experimental results. Based on the above discussion,

it concluded that the modification of artificial aeration and internal recirculation on HSSF CW could significantly improve the removal efficiencies of organic and nitrogen contained pollutants.

英文關鍵詞：Horizontal subsurface flow constructed wetlands; artificial aeration; internal flow rectification; biochemical oxygen demand; ammonium-nitrogen

科技部補助專題研究計畫成果報告

(期中進度報告/期末報告)

以複式循環曝氣與零價鐵提升水平潛流式人工溼地之 汙染降解效能

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：MOST 106-2211-E-041-002

執行期間：106 年 08 月 01 日至 107 年 07 月 31 日

執行機構及系所：

嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學
環境資源管理系(含碩士班)

計畫主持人：錢紀銘

共同主持人：陳意銘、廖志祥

計畫參與人員：

研究生：余沐錦、莊文穴、吳國輝、陳旭輝、曾郁帆

四技生：張雅婷、吳祐珊、朱冠樺、蔡書晴、賴靜萱、黃至瑄、王炳
鈞、林憲忠、莊友彤、劉家瑋、林金輝、李芷妍、陳家毅、
林哲立、王湘筠、張智信

本計畫除繳交成果報告外，另含下列出國報告，共 1 份：

執行國際合作與移地研究心得報告

出席國際學術會議心得報告

出國參訪及考察心得報告

期末報告處理方式：

1. 公開方式：

非列管計畫亦不具下列情形，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

2.「本研究」是否已有嚴重損及公共利益之發現：否

是

3.「本報告」是否建議提供政府單位施政參考 否

是，環保署、農委會（請列舉提供之單位；本部不經審議，依勾選逕予轉送）

中 華 民 國 107 年 07 月 31 日

目 錄

目 錄	I
圖目錄	II
表目錄	II
中文摘要.....	III
英文摘要.....	IV
壹、 前言：	1
貳、 研究目的：	1
參、 文獻探討：	2
肆、 研究方法：	7
4-1 實驗模場的建置規劃與操作	7
4-2 實驗模場水質之採樣與分析	8
伍、 結果與討論（含結論與建議）：	9
5-1 曝氣內迴流對有機汙染去除效能之影響	9
5-2 曝氣內迴流對含氮汙染物去除之影響	10
5-3 曝氣整流對總磷去除之影響	12
5-4 結論與建議	12
陸、 參考文獻：	13
柒、 附件	17
附件一 已發表論文	
附件二 科技部補助專題研究計畫成果報告自評表	
附件三 科技部補助計畫衍生研發成果推廣資料表	
附件四 科技部補助專題研究計畫執行國際合作與移地研究心得報告	
附件五 科技部補助專題研究計畫出席國際學術會議心得報告	
附件六 科技部補助專題研究計畫國外學者來臺訪問成果報告	

圖目錄

圖 4-1 在槽曝氣內迴流潛流式人工濕地系統規劃示意圖；(A)進流槽，(B)曝氣區，(C)內迴流取水， (D)排放水收集槽，(E)內部迴流，	8
圖 5.1 HSSF-A(曝氣迴流系統)與 HSSF-C(對照組)之 BOD 濃度歷時變化	9
圖 5.2 HSSF-A 與 HSSF-C CW；(a) NH ₃ -N、(b) NO ₃ ⁻ -N、(c)TKN、(d)TN 之濃度歷時變化	11
圖 5.6 F HSSF-A 與 HSSF-C CW 之 TP 濃度歷時變化.....	12

表目錄

表 5.1 HSSF-A 與 HSSF-C 系統之實驗數據統計結果	10
---	----

中文摘要

根據聯合國研究指出若無立即提出水資源解決方案，到 2025 年時，全球每 3 人即有 2 人會感覺到缺水的壓力。因此，開拓多元水資源成為一無可避免之解決方向，其中水資源回收則成為拓展水資源主要管道之一，然而全球氣候變遷與極端氣候對此提示其處理程序之低碳意涵，故而人工濕地因其綠色永續特性廣受注重，惟其低溶氧水環境與質傳障礙造就其低汙染降解效能而抑制其應用發展，前者雖可以曝氣方式解決，然所衍生之高溶氧及低有機碳卻抑制脫氮作用，衍生硝酸鹽氮累積，而無法整體提升總氮之去除。此外，人工濕地對含磷汙染物之去除效能亦相對不彰。本專題原申請應用內外複式循環、零價鐵、在槽曝氣等創新策略提升水平潛流式人工濕地之汙染物降解效能，其中曝氣裝置將置於槽體前端，於中段設內迴流循環抽水設施將水送回曝氣區以提升前段有機碳與氮之去除，此內迴流會於後半段衍生反向環流以確保其厭氣環境，此區將置入零價鐵柱牆以其厭氣氧化反應提升自營性脫氮菌活性，提升硝酸鹽氮之去除，而外部迴流則將含鐵離子之排放水回流至曝氣區，藉磷酸鐵沉澱反應提升其去除效能。由於原申請 3 年計畫僅獲核准 1 年，本次計畫執行以探討複式循環對水平潛流式人工濕地汙染處理效能之影響。研究中主為藉由不同曝氣迴流操作模式探討其提升水平潛流式人工濕地之對各類水質參數去除效能之影響，其參數包括；生化需氧量(Biochemical oxygen demand, BOD)、總凱式氮(Total Kjeldahl nitrogen, TKN)、氨氮(Ammonia-nitrogen, NH₃-N)、亞硝鹽氮、硝酸鹽氮(Nitrate-nitrogen, NO₃⁻-N)、總氮(Total nitrogen, TN)、總磷(Total phosphorous, TP)等，由相關實驗結果發現曝氣迴流系統對 BOD 之平均去除率可由對照組之 53.8-76.0% 提升至 82.0-91.7%，此結果屬於顯著提升($p<0.05$)，而迴流比(內迴流流量：進流量)>3 即能顯著提升 BOD 去除效能。至於對 NH₃-N、TKN 與 TN 的去除而言，迴流比>3 即對其去除效能之提升即無顯著影響，而曝氣迴流系統對 NH₃-N、TKN 與 TN 之去除率分別由對照組之 15.1-78.1%、18.2-77.2%、19.4-74.5% 顯著提升 98.3-98.6%、93.4-94.0%、71.6-81.0%，惟對 NO₃⁻-N 之抑制仍有其侷限性，當入流濃度超過限度時，系統中仍會發生顯著之累積現象，其平均濃度為 4.7 mg/L，即便如此，TN 之去除仍有顯著提升現象。而根據實驗結果顯示曝氣迴流系統對於 TP 則未有顯著之正面提升影響，由前述結果可知曝氣迴流系統可明顯提升有機與含氮汙染物，而內迴流比>3 時，其提升效能即無顯著差異。

關鍵詞：水平潛流式人工濕地、內循環、曝氣、生化需氧量、總氮

英文摘要

Two out of three individuals worldwide may be living in a water-stressed condition by 2025, if global water consumption patterns continue without an immediate solution. Based on a strategy of creating more water resources, water recovery is a viable means of offering more qualified water for specific usages. However, low carbon emission during water recovery become a necessary consideration when facing the challenge resulted from the global climate changes and extreme weather. Since regarded as a green technology and sustainability, constructed wetlands (CWs) receive massive attentions. Their application and development are depressed because of low level of dissolved oxygen (DO) and mass transportation barrier. Although DO can be leveled up by artificial aeration, it depresses denitrification which is also restrained by the low carbon source. Consequently, nitrate-nitrogen accumulates in the effluent and decreases total nitrogen removal. In addition, low removal of phosphorous is always found in CWs. In the earlier proposal submitted to MOST, innovative strategies; complex recirculation, zero valent iron (ZVI), and an in-tank intermittent aeration will be used to improve pollution removal efficiencies of horizontal subsurface flow (HSSF) constructed wetlands. Internal recirculation installed in the mid part of HSSF CW increases removal efficiencies of organic and nitrogen contained pollution by pumping water back to aeration area located in the entrance. A counter-direction circulation flow induced by internal recirculation will maintain the anaerobic environment in latter CW. When installing ZVI wall, their oxidation improves the activities of denitrifying microbial which enhances removal efficiencies of nitrate-nitrogen and total nitrogen. Ferrous ion in the effluent recirculates into the aeration area and promotes phosphorous removal by sedimentation with phosphate. This report focuses on the effects of the internal recirculation on the pollutants removal efficiencies of HSSF CW due the financial support limitation of MOST. The water quality parameters; biochemical oxygen demand (BOD), total Kjeldahl nitrogen (TKN), ammonia-nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$)、nitrite-nitrogen, nitrate-nitrogen ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), total nitrogen (TN), and total phosphorous(TP), were used to evaluate the variation characteristics of pollution removal in HSSF CWs with or without the modifications of artificial aeration and internal recirculation. According to the experimental results, it showed that the average BOD removal ratios could be significantly improved from 53.8-76.0 % in the control system to 82.0-97.1 % in the experimental system ($p<0.05$). A significant improvement occurred when recirculation ratio (recirculation flow rate : influent flow rate) >3 . The removal ratios of $\text{NH}_3\text{-N}$, TKN, and TN were also significantly improved from 15.1-78.1%, 18.2-77.2%, 19.4-74.5% to 98.3-98.6%, 93.4-94.0%, 71.6-81.0%, respectively. However, an accumulation of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ would take place when the influent concentration of TKN was large than the denitrification capacity of HSSF CW. A significant improvement was still observed in the removal of TN. As for the removal of TP, no significant improvement was supported by the experimental results. Based on the above discussion, it concluded that the modification of artificial aeration and internal recirculation on HSSF CW could significantly improve the removal efficiencies of organic and nitrogen contained pollutants.

Keywords: Horizontal subsurface flow constructed wetlands; artificial aeration; internal flow rectification; biochemical oxygen demand; ammonium-nitrogen

壹、前言：

根據估計到 2050 年時，地球人口會超過 90 億人，屆時糧食供給會使人類面臨空前挑戰，遑論氣候變遷、經濟不確定、自然資源競爭等因素使此一問題益形嚴峻。因此水產養殖即成為增加糧食供給途徑之一(Béné et al., 2015; FAO, 2016)。然而，根據聯合國環境署(United Nations Environment Programme)研究指出若無立即提出水資源解決方案，到 2025 年時，全球每 3 人即有 2 人會感覺到缺水的壓力(UNEP, 2000)。因此，開拓多元水資源成為一無可避免之解決方向，其中水資源回收成為增加水資源主要管道之一，據估計至 2015 年時，回收水將較 2005 年增加 181% (Tanik, 2010)。而低環境衝擊並具永續發展概念之水資源回收方法則成為主要發展方向之一，人工濕地系統(Constructed wetland, CW)是屬於自然處理系統(Nature treatment system)的一種，具有省能源、操作簡便、成本低廉及不破壞生態等優點，國內、外皆有諸多成功應用案例(García et al., 2004; Hamilton et al., 1997; Kadlec & Knight, 1996; Reed, 2000; Voeks & Rahmatian, 2004)，此法頗適於偏遠地區或無法負擔需鉅額經費之下水道系統。人工濕地依以其浸水的狀態大致可分為表面流動式(Free water surface; FWS)人工濕地與潛流式(Subsurface flow; SSF)人工濕地，其中後者需填入介質供水生植物與生物膜植生，一般大都使用礫石(Gravel)做為介質。人工濕地污染物的去除機制主要包括沉澱、吸附、過濾、硝化作用(Nitrification)、脫氮作用(Denitrification)、植物吸收及生物轉化過程等，但在不同類型人工濕地中，所營造之環境並不相同，並非所有機制都能在不同種類之人工濕地或區域中正常進行，其中，各種氮轉換機制之反應強弱也不盡相同，因此限制人工濕地之汙染處理效能(Vymazal, 2007)，因此，提升人工溼地之汙染處理效能即為目前相關研究之發展主要趨勢，本研究即規劃改散措施並探討其汙染處理之影響。

貳、研究目的：

一般污染物進入人工濕地後，主要藉由祛氧作用去除，而含氮污染物之主要去除機制為氣氣化(Volatilization)加上硝化作用及脫氮作用，將污水中的氮轉換成氮氣(Poach et al., 2004)。當硝化作用不完全時，脫氮作用則無法順利進行(Maltais-Landry et al., 2009a)。前述作用時，皆須於溶氧高於一定限制濃度時始能有較佳效果。然而，一般人工濕地之溶氧皆相對較低，以致其去除效率相對較低而處理水中含有較高濃度之總氮(Dong et al., 2012)。因此，人工濕地系統中增設曝氣設施可強化供氧條件，增加水中溶氧，即能明顯提高人工濕地對各類污染物之降解效能，然而於此狀況下，卻易發生因脫氮作用遭高溶氧抑制所導致之硝酸鹽氮累積現象，衍生承受水體優養化問題。因此，本研究為整體提升人工溼地汙染物去除效能並克服硝酸鹽累積問題，原規劃藉由 3 年計畫探討在槽人工曝氣(Artificial aeration)、複式迴流(Complex recirculation)、零價鐵(Zero-valent iron ; ZVI)等 3 大策略解決硝酸鹽氮累積問題並提升整體人工溼地之汙染處理效能，藉此將人工濕地發展為一低耗能高效之廢汙水處理技術。惟計畫限於一年補助經費限制，因此，年度計畫以曝氣與複式循環對人工濕地汙染處理效能之影響為主要研究議題，本計畫相關結果業已投稿 International Conference on Challenges in Environmental Science & Engineering-2018 並獲審查同意發表，另相關成果亦申請發明專利，詳請參閱附件，以下章節謹對本計畫相關成果簡要說明之。

參、文獻探討：

曝氣效應對人工溼地系統效能影響之所以受相關學界之注重主要係因原汙水之溶氧一般較低，傳統設計之人工溼地除汙水輸送系統外並無其他任何輔助系統，以致此一特性影響系統中相關氧化反應之進行，尤其對硝化作用產生明顯的抑制現象，以致其去除效能不佳，影響處理水質，因而引發有關學者之關注與探討，以下僅就有機汙染物與營養鹽二議題相關文獻進行簡扼討論。

3-1 曝氣型人工溼地之相關應用與研究

一、曝氣對人工溼地去除有機汙染物效能之影響：

對於曝氣作用對有機汙染物去除效能之影響之相關研究包括；Nivala et al. (2007)對潛流式人工濕地以曝氣及未曝氣二種方式處理垃圾處理場之滲出水，未曝氣 BOD 之四季去除率分別為 81%、79%、76%、75%，曝氣後 BOD 分別為 88%、95%、97%、89%。未曝氣 COD 分別為 53%、0%、2%、13%，曝氣後分別為 44%、48%、60%、35%，其結果顯示增加曝氣的潛流式人工濕地可以更有效的去除有機污染物。Noorvee et al. (2007)比較水平潛流式人工濕地與垂直潛流式人工濕地之溶氧傳輸效能發現後者較高，因而使其 BOD 去除率由 76.5% 增加為 97.5%。Tang et al. (2009)利用間歇性人工曝氣及採多面式中空聚丙烯球探討其對垂直潛流式人工濕地之優養化河水汙染處理效能影響，其結果顯示曝氣加中空型聚丙烯球之人工濕地之汙染處理效能最佳，COD 單位去除率可增加 $10.38 \text{ g/m}^2\text{day}$ 。Ong et al. (2010)利用上流式人工濕地(Up-flow constructed wetland)處理偶氮染料(Azo dye Acid Orange 7)廢水，其結果顯示於相同水利負荷條件下，曝氣對其 COD 之去除率僅由 74% ~82% 增加至 86%。Zhang et al. (2010a)利用水平潛流式人工濕地處理都市汙水研究探討其對污染去除效能之影響，其結果發現 BOD 去除率可由 88.8% 提升為 94.4%。簡伊敏 et al. (2010)以三段式表面流人工濕地以三個單元串聯觀察曝氣及未曝氣處理人工合成污水，在第一單元植密區未曝氣試程中 BOD 去除率為 94.0%，第二單元開放水域區增加曝氣試程其 BOD 去除率為 95.4%，顯示曝氣對於 BOD 去除效率提升效益不大。

二、曝氣對人工溼地去除營養鹽效能之影響：

相對於有機汙染物而言，人工濕地對營養鹽之去除相對效果較為不佳，因此以曝氣作用提升營養鹽類去除效率之相關研究始為廣受各界關注之主要核心議題，其相關研究包括；Cottingham et al. (1999)應用水平潛流式人工濕地探討曝氣作用對氮去除效能之影響，其結果推論可能因碳源之缺乏以致去除率未有明顯之影響。Jamieson et al. (2003)以三串連潛流式人工濕地處理農場廢污水，其人工濕地為三個串連的槽體，曝氣放置於第一個槽體。未曝氣時氨氮進流濃度平均為 107mg/L ，出流平均濃度為 54mg/L ，去除率為 51%，在曝氣後進流平均濃度為 106mg/L ，出流平均濃度為 7.0mg/L ，去除率為 93%。硝酸鹽氮在為曝氣時進流與出流平均濃度皆為 0.6mg/L ，曝氣後進流平均濃度為 16.8mg/L ，出流平均濃度為 68.7mg/L 。其結果顯示人工濕地中加入曝氣系統可有效地去除氨氮污染物，硝酸鹽氮濃度表示也驗證曝氣增加溶氧量無法進行厭氧脫硝作用，導致硝酸鹽氮濃度的上升。Ouellet-Plamondon et al. (2006)以水平潛流式人工濕地處理魚塭養殖廢水，以種植及未種植植物及未曝氣和曝

氣組合試程，觀察其在冬季與夏季總凱氏氮(Total Kjeldahl Nitrogen；TKN)去除效能之變化，其結果所有試程的去除率皆達 70%以上，探討其原因係處理系統業於低濃度負荷狀況下操作，總凱氏氮在未曝氣時已是一高去除率，文獻表示若將廢水改為高濃度負荷時，其效能變化較為明顯。Wallace et al. (2006)以向下垂直潛流式人工濕地分別處理都會汙水與開礦廢水，其結果發現人工曝氣可使於低溫狀況下仍可去除氨氮。而於 Nivala et al. (2007)之研究結果顯示水平潛流式人工濕地未曝氣 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 總去除率分別為 40%、14%、43%、32%，曝氣後分別為 93%、96%、98%、93%，結果表示在人工濕地中加入曝氣試程可以有效地增加含氮污染物的去除，其中又以夏天去除率最佳。Noorvee et al. (2007)發現垂直潛流式人工濕地之溶氧傳輸效能較水平潛流式人工濕地為高，因而使其 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 由 38.0% 增加為 51.6%，惟其硝酸鹽發生累積現象。Chazarenc et al. (2009)在人工濕地種植植物及提供人工曝氣後觀察其對固體物累積及生物活性的影響，其結果顯示總氮去除可達 $0.65 \text{ g-Nm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 顯示在種植床上曝氣可產生更多的生物活性，植物的吸收及提供曝氣增加水中溶氧，可提高總氮的去除。Maltais-Landry et al. (2009b)應用水平潛流式人工濕地處理總氮之結果顯示其具有提升效果。Tang et al. (2009)利用間歇性人工曝氣及採多面式中空聚丙烯球探討其對垂直式人工濕地之汙染處理效能影響，其結果顯示曝氣加中空型聚丙烯球之人工濕地之汙染處理效能最佳，铵氮單位去除率可增加 1.34 $\text{g NH}_4^+ \text{-N/m}^2 \text{ day}$ 、總氮單位去除率可增加 $1.04 \text{ g TN/m}^2 \text{ day}$ 、總磷單位去除率可增加 $0.07 \text{ g TP/m}^2 \text{ day}$ 。Tao and Wang (2009)利用由二串連表面流動式人工濕地後再串聯潛流式人工濕地處理人工合成汙水，藉此探討硝化與厭氣铵氧化作用之總氮去除特性，其結果顯示曝氣作用將減緩氮之去除，其原因係有氧狀況係不利於硝酸還原之故，但水生植栽、中性 pH 值及適當中等溶氧皆有利於脫氮與厭氣铵氧化作用之共存，因而有效提升氨氮去除率。Ong et al. (2010)利用上升潛流式人工濕地(Up-flow constructed wetland)處理偶氮染料(Azo dye Acid Orange 7)廢水，其結果顯示於相同水力負荷條件下，曝氣對其 TN 與 TP 之去除率提升效果不甚明顯，惟氨氮則可由 24%~44% 增加至 96%~99%，而硝酸鹽氮之去除率則由 94%~100% 下降至 21%~86%，此結果一說明何以其 TN 去除率變化不大，其原因應與 DO 之提升僅有利於硝化而不利於脫氮，以致有此變化特性。Zhang et al. (2010a)利用水平潛流式人工濕地處理都市汙水研究探討其對污染去除效能之影響，其結果發現铵氮去除率可由 68.3% 提升為 89.1%、總氮去除率可由 73.9% 提升為 86.0%。

至於其他相關研究則有李與崔(2009)以垂直潛流式人工濕地進行曝氣及未曝氣對總氮(total nitrogen；TN)去除效能特性變化之探討，其去除率分別為 68% 和 55%。由曝氣組之實驗發現再曝氣點附近之氨氮濃度逐漸下降，而相對應之亞硝酸鹽氮濃度則越來越高，顯示好氧區域內的硝化反應活躍使得亞硝酸鹽氮濃度上升，而在未曝氣試驗之氨氮濃度雖逐漸下降，惟其亞硝酸鹽氮濃度則無明顯變化，由此可說明曝氣可提升人工濕地之硝化反應速率增加，因此提高 TN 的去除率。另於簡等人(2010)之研究中，其第一單元植密區未曝氣試程之 TN 去除率為 77.3%， $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率為 94.9%，第二單元開放性水域曝氣試程之 TN 去除率為 85.3%， $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率為 97.7%。於第二單元硝化作用明顯增強，由此可知適當增加水中溶氧，將可提升氮之移除效果。另於第一單元植密區未曝氣試程中 PO_4^{3-} 的去除率為 65.9%，第二單元開放性水域曝氣試程中 PO_4^{3-} 的去除率為 69.4%，二者未有明確

差異。

四、曝氣對人工溼地去除汙染物影響綜合研析：

綜合前述有關曝氣作用對人工溼地之汙染處效能之影響可知對有機汙染物而言，由於相關研究之原有去除率皆已相對較高，故其提升效果較為有限，惟仍可確認曝氣具有提升有機汙染處理之效能。至於營養鹽方面，含磷汙染物之提升效果較不明顯，而對銨氮則有明確的提升效果，惟由於溶氧之提升降低厭氣環境之比例，不利於脫氮作用之進行，以致造成硝酸氮之去除受到抑制，因而其去除率有大幅下降趨勢，此現象連帶影響總氮去除。此外，由相關研究可發現，其所採用之人工溼地類型皆為潛流式人工溼地，其原因應為該型濕地因受填充介質之質傳阻力影響而成厭氣環境，此環境不利於硝化作用將銨氮轉化為硝酸鹽氮，以致其去除率於相關研究效果皆相對較低，雖於前人研究中論及厭氣環境中脫氮與厭氣銨氧化作用可共存發生，惟於特定條件下，其去除率之貢獻仍無法與傳統之硝化作用相比。然就含氮營養鹽之去除而言，其主要機制仍為硝化/脫氮與植物攝取儲存為主(Coveney et al., 2002; Li et al., 2008; Liu et al., 2011) 如欲增加氨氮去除率，其結果卻降低硝酸鹽氮去除與影響總氮去除並非一完整解決策略，其徹底解決之道應順應各主要去除機制所需要之溶氧條件設置人工溼地，因此，SSF CW 原溶氧環境較低，理應維持其厭氣環境，有利於脫氮作用將硝酸氮還原為氮氣或氧化亞氮，達成水環境之完整去除階段。此外，一般曝氣方式可分為前曝氣、離槽曝氣、在槽曝氣等三種方式進行，於 SSF CW 中進行之曝氣常設於填充料層，此方式易因氣體所衍生之高剪力流造成生物膜脫落並堵塞系統，於此類系統中進行曝氣系統之裝置與操作易有較困擾之操作問題。故其溶氧提升方式須做修正，規劃於填充層前段增設曝氣區，高溶氧廢汙水直接進入填充層，然填充層空隙之水流速度十分緩慢，使高溶氧區頗短，為增加填充層內高溶氧區並顧及人工溼地硝化與脫氮反應之環境需求，本研究將於實驗水槽中段將填充層之廢汙水回流至曝氣區，藉以探討回流對硝化/脫氮反應之影響。以下謹對迴流對人工溼地汙染處理效能之影響進行相關文獻探討。

3-2 回流對人工溼地汙染處理之影響相關應用與研究

除了以人工曝氣可作為提升人工溼地汙染處理效能手段外，其排放水迴流(Effluent recirculation)亦為一可行途徑，此法主要係將人工濕地尾端排放之處理水再行迴流至系統前端，經與入流水混合後再進入人工濕地中，此舉除可將排放水中之微生物事先與入流水中混合，提升池中喜氣微生物活性(Aerobic microbial activity)外，尚可稀釋高濃度入流水以降低其對系統效能之抑制作用，達成提升或穩定人工濕地系統之處理效能(Brix & Arias, 2005; Saeed & Sun, 2012; Serrano et al., 2011; Wu et al., 2014; Zhao et al., 2004)。此外，當迴流水與原汙水混合時，原汙水中之碳源亦有助於在低氧人工濕地環境中脫氮作用之發生，提升硝酸鹽氮之去除率(Vymazal, 2013)。事實上，迴流比之提升對 BOD、COD、TN、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 等汙染物之去除效能提升有正面效益，而對 TSS 與 TP 則為負面(Pöldvere et al., 2010)。

一、迴流對人工溼地去除汙染物效能之影響：

由於垂直潛流式人工濕地具有較高硝化能量，因此常用於處理廢汙水之 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ (Platzer, 1999)。

在利用 2 串聯潛流式人工濕地處理海產加工廢水時發現運用排放水迴流操作約可增加銨氮去處率約 25%-30%(White, 1995)。另一單槽雙層 SSFCW 用於處理養豬廢水，由於其水力負荷僅 3.7-5.6cm/d，其 COD 與 TKN 去除率於無迴流條件下業高達 98%，50%之迴流並未有明顯正面效應，然對總氮卻可由 70.8%增為 85%(Kantawanichkul et al., 2001)。

家畜廢水亦屬高濃度汙水之，經 0%、25%、50%、100%、150%等迴流比操作 VSSF，由其結果發現 BOD、NH₄⁺-N、TKN 之去除率分別由 50.4%、35.6%、49.8%持續增加 81.3%、61.7%、66.6%，此一趨勢係因隨迴流比之增加，水中溶氧亦隨之增加，同時，亦增加汙染物與生物膜之接觸機會所致。此舉亦使濕地系統內之水力負荷增加，提升流體剪力而造成 SS 之穿破疑慮，因此，該研究之 SS 去除率於迴流率 55%之後即不在增加(He et al., 2006)。

由於厭氣消化上層液之高汙染濃度特性使其成為一難處理廢水，故傳統式之人工濕地已難以應付，經間歇曝氣與排放水迴流等特殊修正之單槽 HSSF CW 則用於探討其相關處理效能(Guo et al., 2016)，由其結果發現當間歇曝氣時間比(曝氣與未曝氣時間比)為 1h : 1h 時，可有效提升 BOD 與銨氮之去處率分別達 89%與 97%以上，此時，迴流操作之影響並不明顯。而於無迴流之間歇曝氣條件下，其 COD 與 TN 去除率分別僅 47%與 60%時，則 1 : 1 之迴流比(排放水迴流流量與原進流流量之比值)可分別提升其去除率為 58%與 71%。而混合型人工濕地亦用於處理高濃度廢水，由二垂直流潛流式串聯之人工溼地處理合成功業廢水之實驗結果亦可發現原高 COD 去處率(97.4%)，迴流比由 2 增加至 3 時，其去除率為 97.2%，並無明顯影響。然於迴流比固定於 4 時，水力負荷由 13.3L/m²d 增加 26.3L/m²d，其 TN 去除率則相對由 44.8%增為 89.9%。此一特性相對於高 TN 去除率時(>80%)，其影響則明顯下降，推測原因應為高迴流比可有效稀釋高濃度進流水，降低其生物毒性，提升其去除率。若原去除率即相對較高，即顯示生物毒性並不明顯，此時由迴流水之稀釋效應即不明顯。對於高濃度之進流廢汙水而言，迴流比之增加可提升稀釋作用之效能，提升單槽 VSSF 之 TN 處理效能，惟其排放水中含有較高濃度之硝酸鹽氮(Soroko, 2007)。

應用 HSSF+VSSF 之組合人工濕地處理家戶化糞池出流水之研究中發現當迴流比為 1-2 時可有效將 TN 去除率由 29%提升至 66%(Ayaz et al., 2015)。而以沉澱槽+VSSF1+VSSF2 之系統處理市鎮汙水時，當排放水迴流至沉澱槽時，由其結果可發現迴流水中所含有之 NO₃⁻-N 與原水中可發生明顯脫氮作用，系統 TN 去除率隨迴流比由 1 : 1 增加至 3 : 1 而增加，其最佳迴流比約為 100-200%間(Arias et al., 2005)。而於探討 VSSF CW 應用批次入流、間歇迴流、自由重力放流等特殊操作模式處理市鎮廢水之處理放流水之研究中發現迴流操作可有效提升系統汙染處理效能，降低其土地需求。其 COD 去除率為 82-87%，較控制組之 79%相差不多，而二者之 TSS 之 77-84%與 70%亦顯示類似特性。然於 TN，其去除率則較有明顯的增加趨勢，即由 27.5%增為 38.6-50.3%，此研究之迴流明顯並無稀釋作用，僅藉迴流提升其生物活性(Foladori et al., 2014)。

應用 HSSF+VSSF 混合式人工濕地配合潮流式操作模式探討迴流對處理市鎮廢水中含氮汙染物處理效能之影響，其迴流比分別為 0.33、1、2，其結果發現最佳迴流比為 1 : 1，TN 去除率約由 29%增加 66%，而放流水中之 NO₃⁻-N 濃度亦由無迴流條件下之 50-60 mg/L 降為 15mg/L 以下，此結果

顯示迴流可提升脫氮反應效能，而對迴流比 1 與 2 之操作條件而言，以前者對系統之 TSS 去除有較明顯之提升效果(Ayaz et al., 2012; Ayaz et al., 2011)。而當考量水力負荷之影響，其負荷由 100 降至 30 L/m²d)，迴流比由 0.5 增至 1 時，HSSF 之 TKN、NH₄⁺、NO₃、TN 之去除率均有明顯地增加趨勢，而對 VF 而言，水力負荷>80 L/m²d 時，迴流比增加對 VSSF 之 TKN、NH₄⁺、NO₃、TN 之去除率並無正向效益，水力負荷<60 L/m²d 時方呈現較為一致增加趨勢(Tunçsiper, 2009)。至於致病菌(Pathogen)之處理，亦有研究利用 VF+VF 系統進行探討，其結論建議當迴流比 1:1，對病原菌之去除並無明顯的幫助(Arias et al., 2003)，事實上，其原去除率即達 99.5-99.9%，迴流效應不易呈現，而致病菌之自然死亡、紫外線、溫度、生物掠食、化學作用等去除機制較不受回流所影響。

應用 VSSF+HSSF+VSSF 以迴流比 1:2 及 1:1 之操作條件處理市鎮廢水，其結果顯示當迴流比為 1:1 時之去除結果較佳(Tunçsiper, 2009)。另一 HSSF+HSSF+VSSF 之 3 段式之組合人工濕地亦應用曝氣及 4 倍之高迴流比處理於化糞池出流水，其 TSS、CBOD、NH₄^{+-N} 之去除率皆高於 95%，而 TN 之去除率則有 73%，約有 23% 之 TN 以 NO_x-N 形式存在，顯示脫氮作用有遭受抑制現象，其原因可能是因 CBOD 之高去除率導致脫氮菌碳源不足所致(Tanner et al., 2012)。不同迴流比 1:2、1:1、2:1 之 VSSF+HSSF 實驗結果曾發現 1:1 之 TN 去除率最佳(Karathanasis et al., 2003)。若迴流比過低(<0.5)，則其對營養鹽之去除效能提升則無正面效益(Reese, 2005)，當水中溶氧不足或入流有機負荷過高時，皆會抑制迴流對營養鹽去除效應之提升(Stefanakis & Tsirhantzis, 2009)。應用間歇曝氣垂直潛流人工濕地處理市鎮廢水時發現 COD、BOD、SS 之去除率受迴流之影響不大，而其硝化作用則明顯受迴流與溫度之影響(Prost-Boucle & Molle, 2012)。雖然迴流比達 2:1 時仍不致引起水力負荷過大問題(Platzer, 1999)，仍建議混合式人工濕地之最佳迴流比為 1:1(Vymazal & Kröpfelová, 2015; Vymazal & Kröpfelová, 2011)。

利用 4 串聯 VSSF 以潮汐式操作模式處理高濃度養豬廢水，其結果發現迴流比 1:1 之處理解果可使其 BOD、NH₄^{+-N}、SS 之去除率分別由 57.4% 增為 75.2%、26.9% 增為 47.9%、56.8% 增為 67.7%，其研究亦推論除硝化外，微生物之同化作用(Assimilation)亦為氮去除之重要機制(Sun et al., 2005; Zhao et al., 2004)。此外對於類似高濃度養豬廢水，一特殊高迴流操作模式應曾應於 3 串聯 VSSF 系統，其串聯 VSSF 之迴流比分別為 20.5、31.0 與 32.8，其 BOD 去除率由無迴流之 71.8% 增為 96.7%，而 COD 則由 51.0% 增為 77.6%，NH₄^{+-N} 由 19.4% 增加至 70.4%，由於該研究人工曝氣方式增加溶氧之供給，於大幅提升 BOD 去除率後可抑制其與硝化作用之競爭關係，進而提升 NH₄^{+-N} 之去除率(Sun et al., 2003)，惟由其研究亦發現約有 34.3% 之 NH₄^{+-N} 硝化後以 NO₃⁻-N 型式存在，顯示脫氮作用受到抑制。而以迴流比 2:1 與 1:1 操作 VSSF+VSSF+HSSF 處理民生廢水之研究中亦發現高濃度之 NO₃⁻-N 存在於其迴流水中(Vymazal & Kröpfelová, 2011)。

二、迴流對人工濕地去除汙染物影響之綜合研析：

由前述有關應用迴流提升人工濕地對汙染物去除效能之相關文獻結論可發現大部分研究結論均認為對有機汙染或懸浮固體之去除為有所助益，惟少數並無影響，究其原由應為原人工濕地系統之

去除率即相對較高，迴流並未提升相關去除機制之效能。至於主要之影響則為含氮汙染物之去除，由於 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 之去除機制為硝化/脫氮作用與植物攝取儲存為主(Coveney et al., 2002; Saeed & Sun, 2012; Vymazal, 2007)，前者主要受溶氧影響，由於迴流可增加水中之溶氧，因此，配合傳氧效率較高之 VSSF 系統可有效提升 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 之去效能，惟高溶氧或低碳氮比皆會抑制脫氮作用之進行，進而造成其排放水中有高濃度之 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ，抑制 TN 之去除，形成承受水體優養化之隱憂。至於對磷去除之影響則是因為磷之去除機制；吸附、化學作用、沉澱等反應時間相對較短，因此迴流之影響較不明顯，類似結論亦適用致病菌。而由前述討論可發現對含氮營養鹽之處理則集中於 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 有效去除。

以上各類型人工濕地中應屬 VSSFCW 之傳氧效率較佳，惟其建置成本較高，再綜合前述研析，因此，本專題擬以 HSSFCW 為主要研究主體，其溶氧受限於低溶氧特性而致污染降解效能較低，前人之研究大都於填充材底部埋設曝氣設施以增加其溶氧，惟常造成 SS 增加及濾層阻塞問題，本專題則採進流區在槽曝氣，並藉由內迴流增加溶氧質傳效率提升汙染處理效能。

肆、研究方法：

本專題計畫主要探討應用複式在槽曝氣循環提升潛流動式人工濕地之汙染處理效能之影響，同時亦建置未修正系統作為對照組實驗，藉以比較探討其對水平潛流式人工溼地系統之有機汙染與營養鹽之去除效能之影響，並歸納後續實場設計所需各項參數，以下謹對相關實驗研究細節簡要說明之。

4-1 實驗模場的建置規劃與操作

本計畫由於係以校園生活廢水進行在槽曝氣與複式內循環對潛流式人工溼地汙染去除效能影響之研究探討，圖 1 所示實驗系統(HSSF-A)之完整佈置，實驗系統中另設置對照組(HSSF-C)系統以為汙染物去除效能之比較基準，此系統係傳統式 HSSF CW。各系統主槽體之長、寬、高分別為 2.0m × 0.5m × 0.6m，前後置進流槽與排放水收集槽。HSSF-A 主反應槽前端 20cm 設曝氣區提昇水中溶氧，其上至覆蓋遮蔽陽光，減低水中藻類滋生所致衍生濾層阻塞問題，而礫石層則鋪設 50cm 厚之礫石(直徑約 40~50mm)而成，孔隙率約為 40.3%，礫石上則種植台灣常見水生植物錢幣草(又稱：香菇草、圓幣草，學名：*Hydrocotyle verticillata* Thunb.)。圖 1 中(C)所示為內迴流之單向點抽水設施，僅將由前段流入之間隙水抽出迴流至曝氣區，以提昇此處至單向抽水間之礫石層之溶氧環境，以利有機汙染分解與硝化作用之進行。於 HSSF-A 後段之厭氣區會因前段內迴流衍生微弱反向迴流，有助於此區之質傳量及脫硝作用之進行，提升含氮營養鹽之去除效能。

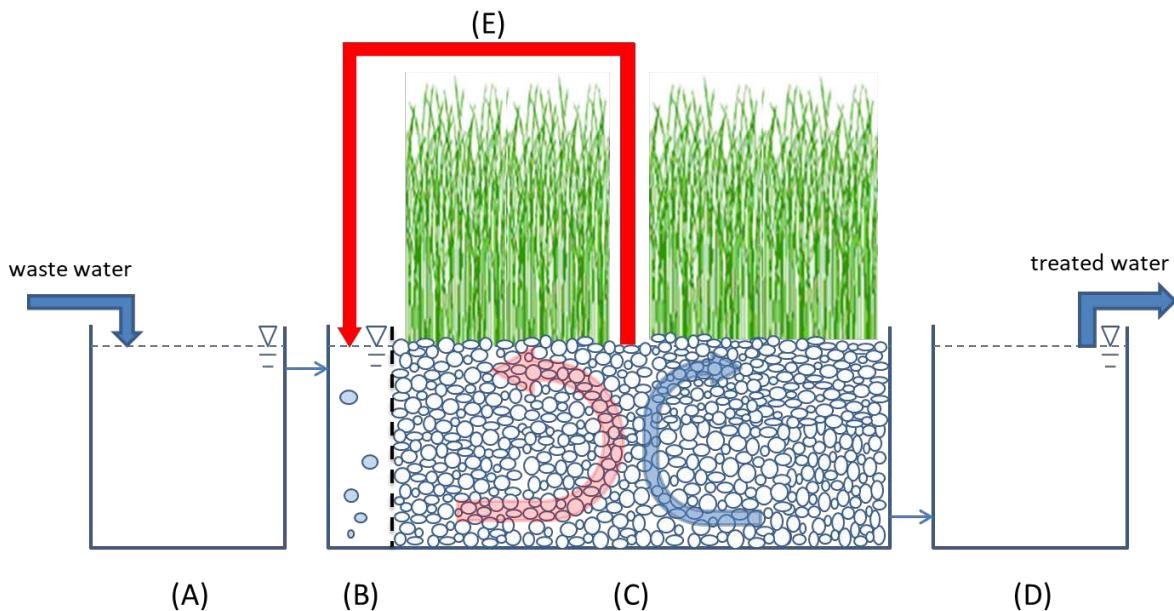


圖 4-1 在槽曝氣內迴流潛流式人工濕地系統規劃示意圖；(A)進流槽，(B)曝氣區，(C)內迴流取水，(D)排放水收集槽，(E)內部迴流，

本專題之處理水主要是來自於校園廢水並混合附近工業區之排放水，研究分 2 試程進行，第一試程之操作期間約長 193 d，其實驗流量為 100.8 L/d (70mL/min)，水力負荷(Hydraulic Load : HL)約為 $149.82(\text{m}^3/\text{m}^2\text{d})$ ，理論水力停留時間約為 1.5 天，曝氣區的曝氣量不予控制而迴流管之水流係於垂直迴流管中置入曝氣管，藉氣泡上升浮力推動迴流，其流量經測量約為 1440 L/d，迴流比約 14.3。而第二試程之操作期間約長 123 d，其實驗流量為 115.2 L/d (80ml/min)，經計算實際流水力負荷為 $160.4(\text{m}^3/\text{m}^2\text{d})$ ，理論水力停留時間約為 1.4 天，在曝氣量設定為曝氣區之 $\text{DO}=4 \text{ mg/L}$ ，至於迴流管流量則是以蠕動幫浦以 3 倍入流量自濾料層中抽迴曝氣區中，亦即迴流比為 3，其流量約為 345.6 L/d，藉由以上之實驗設計即可討論曝氣作用對表面流動式人工濕地汙染去除效能之影響。

4-2 實驗模場水質之採樣與分析

人工濕地系統完成後經過穩定及植物培植後，方可進行各項採樣、監測及分析工作，採樣頻率為每週一次，採樣時間約在當天之上午 8 點~上午 10 點，實驗分析包括現場監測與實驗室分析兩類，專題研究所有分析皆依照行政院環境保護署所公告之檢測方法進行。相關採樣分析之規劃謹分述如下：

1. 現場監測：每次採樣同時進行現場槽內環境因子空間分佈監測，量測係沿系統縱向中軸之進流、曝氣區、出流區等位置進行 pH 值、溶氧(DO)、氧化還原電位(ORP)、水溫、導電度等水質項目量測，同時監測校正進流流量及出流水量。
2. 實驗室分析：每次以 500mL PVC 瓶於採樣位置採集水樣，並且在實驗室中進行各項水質分析，其分析項目包括：生化需氧量、總凱式氮、氨氮、亞硝鹽氮、硝酸鹽氮、總氮、總磷等，所有水質分析及偵測項目均依照我國環境檢驗所公告之檢驗方法。

伍、結果與討論（含結論與建議）：

5-1 曝氣內迴流對有機汙染去除效能之影響

圖 5.1 所示分別為試程一與試程二實驗期間之進流(IN)、HSSF-C 出流、HSSF-C 出流之 BOD 之監測歷時變化及其對應之統計結果，其相對應之數據統計則如表 5.1 所示，表中亦顯 T、pH、DO 等環境參數及 NH₃-N、TKN、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、TN、TP 等水質參數之對應結果。由 HSSF-A 與 HSSF-C 所測得二試程之 pH 之平均值分別為 7.2-7.3 及 6.8，其對應之標準偏差皆為 0.2，二系統運作狀態呈現高度相似性，類似之統計特性亦可於水溫監測值中發現，其結果顯示二者之運作環境相似，再加上相同進流與操作條件，其系統效能差異應由曝氣迴流所致，亦即試程一 HSSF-A 之 DO 平均值 1.8 mg/L 與 HSSF-B 之 1.0 mg/L 及試程二 HSSF-A 之 DO 平均值 0.9 mg/L 與 HSSF-B 之 0.6 mg/L 對系統效能之影響。於本研究中，汙染物去除率(RR_i)可做為系統汙染去除效能評估參數；

$$RR_i(\%) = 100 \times \frac{C_{o,i} - C_{e,i}}{C_{o,i}} \quad (5.1.1)$$

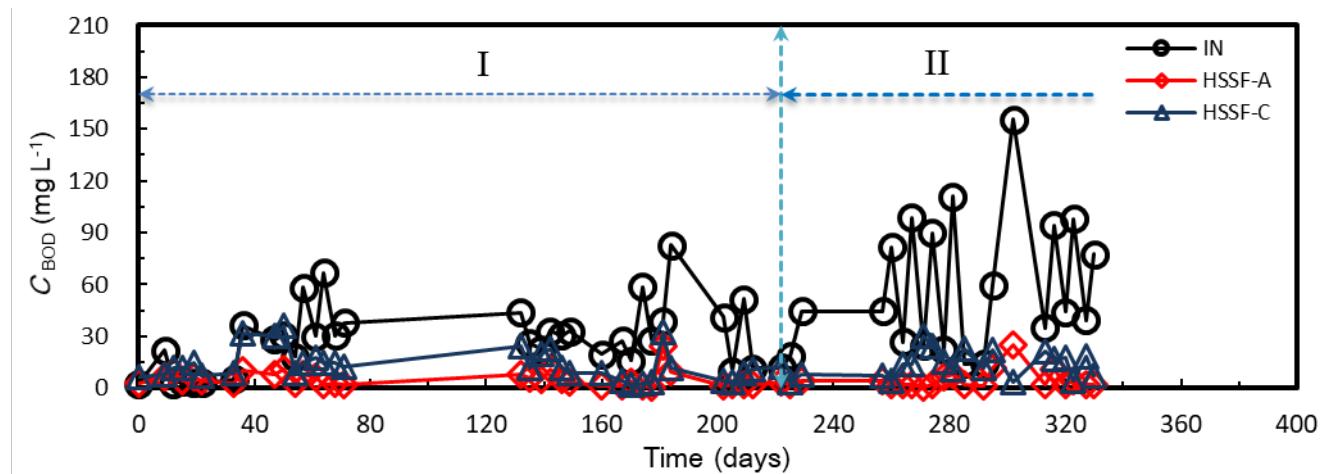


圖 5.1 HSSF-A(曝氣迴流系統)與 HSSF-C(對照組)之 BOD 濃度歷時變化

式中 i 表示用以參考的水質參數；諸如 BOD、NH₃-N、TKN、TN、TP 等，至於下標 o 、 e 分別為進流水與出流水，根據監測結果可發現試程一、二期間之 HSSFF-C 之平均 RR_{BOD} 分別為 53.8% 與 76.0%，其對應之進流 BOD 平均值分別為 28.8 mg/L 與 57.4 mg/L，由前人以 HSSFCW 處理廢水之相關研究可發現其 RR_{BOD} 通常相對較高，諸如於處理市政廢水(Domestic wastewater)之 RR_{BOD} 介於 80-90% (Zhang et al., 2010b)、垃圾滲出水(Landfill leachate)之 RR_{BOD} 介於 75-81% (Kotti et al., 2010)等，其原因大致係較長之 HRT 所致，而本研究之 HRT 僅 1.4-1.5 d，所以平均去除率相對遠小於相關研究。而就曝氣迴流系統而言，試程一之 BOD 平均去除率為 82%，較之對照組之 53.8% 有顯著增加($p<0.05$)，顯示曝氣迴流可對有效提升 HSSFCW 之有機汙染的去除效能。而至第二試程時，其迴流方式改以蠕動幫浦抽取，其 BOD 平均去除率更進一步 91.7%，惟對照組之平均去除率為 76.0%，較之試程一之 53.8% 亦有顯著增加($p<0.05$)，此差異係由入流 BOD 濃度之增加所引起之提升，惟曝氣迴流系統之 BOD 去除效能相對照組仍有顯著增加($p<0.05$)，顯示不同之迴流比皆對有機汙染有顯著提升效果，亦

即迴流比>3 即能顯著提升 BOD 去除效能。

表 5.1 HSSF-A 與 HSSF-C 系統之實驗數據統計結果

Parameters	Stage I			Stage II		
	IN	HSSF-C	HSSF-A	IN	HSSF-C	HSSF-A
T (°C)	26.3(5.1)	27.2 (4.9)	26.4(4.8)	26.2(4.6)	25.4(4.2)	25.1(4.6)
pH	7.2(0.2)	7.2(0.2)	7.3(0.2)	7.0(0.3)	6.8(0.2)	6.8(0.2)
DO (mg/L)	1.6(1.4)	1.0(0.9)	1.8(1.8)	0.6(0.6)	0.6(0.6)	0.9(0.9)
C _{BOD} (mg/L)	28.8(19.6)	13.3(9.1)	5.2(4.6)	57.4(39.5)	13.8(7.5)	4.7(5.5)
RR _{BOD} (%)	—	53.8*	82.0*	—	76.0*	91.7*
C _{NH₃-N} (mg/L)	15.3(9.3)	13.0(7.6)	0.2(0.3)	11.3(3.8)	2.5(2.6)	0.2(0.4)
RR _{NH₃-N} (%)	—	15.1*	98.6*	—	78.1*	98.3*
C _{TKN} (mg/L)	19.8(11.0)	16.2(10.7)	1.3(1.1)	13.6(5.1)	3.1(2.7)	0.8(0.5)
RR _{TKN} (%)	—	18.2*	93.5*	—	77.2*	98.3*
C _{NO₂-N} (mg/L)	0.42(0.69)	0.35(1.29)	0.03(0.03)	0.06(0.09)	0.01(0.01)	0.02(0.02)
C _{NO₃-N} (mg/L)	0.83(0.97)	0.42(0.67)	4.65(4.89)	0.19(0.16)	0.28(0.91)	1.77(1.85)
C _{TN} (mg/L)	21.1(11.1)	17.0(10.3)	6.0(4.9)	13.3(5.1)	3.4(3.2)	2.6(2.0)
RR _{TN} (%)	—	19.4*	71.6*	—	74.5*	81.0*
C _{TP} (mg/L)	6.4(5.0)	5.7(3.3)	5.1(2.8)	6.8(4.4)	4.6(3.4)	4.8(4.7)
RR _{TP} (%)	—	11.5*	20.7*	—	32.3*	29.7*

註：括號內數據為對應之標準偏差，*： $p<0.05$ ，**： $p>0.05$

5-2 曝氣內迴流對含氮汙染物去除之影響

本研究 HSSF-A 與 HSSF-C CW 之 NH₃-N、NO₃⁻-N、TKN、TN 監測結果業分別點繪於圖 5.2，其相對應之統計量亦表列於表 5.1 中，根據其結果顯示試程一與試程二之進流 NH₃-N 平均濃度分為 15.3 mg/L 與 11.3 mg/L，對照組之平均去除率則分別為 15.1 % 與 78.1%，此結果與前人之相關研究大約相近(Cottingham et al., 1999; Ouellet-Plamondon et al., 2006; Nivala wt al., 2007; Zhang et al., 2010)。而於曝氣迴流狀況下，則無論試程一或試程二之 NH₃-N 平均去除率皆可顯著提升 98.3 % 以上($p<0.05$)，顯示本研究之曝氣迴流裝置可顯著且穩定有效提升 HSSF CW 之 NH₃-N 去除效能，而與過往曝氣相關研究相較，諸如處理合成放流廢水之初級處理廢水之 38.0-68.0 % (Cottingham et al., 1999)、漁業養殖廢水之 94.1-98.6 % (Ouellet-Plamondon et al., 2006)、垃圾滲出水之 93.0-98.0 (Nivala wt al., 2007)% 等，本研究之成果亦相近，同時亦顯示藉曝氣浮升或蠕動幫浦等不同迴流比對 NH₃-N 之去除效能並無顯著影響。而就 TKN 而言，試程一與試程二之進流 TKN 平均濃度分為 19.8 mg/L 與 13.6 mg/L，對照組之平均去除率則分別為 18.2 % 與 77.2%，此結果較前人之 94.2-98.5 % (Ouellet-Plamondon et al., 2006)為低，惟經曝氣迴流後，其 TKN 之平均去除率皆可顯著提升 93.5 % 以上，顯示本研究之曝氣迴流裝置可顯著且穩定有效提升 HSSFCW 之 TKN 去除效能，與前人之底部曝氣 HSSFCW 之 97.8-

98.7%並無明顯差異(Ouellet-Plamondon et al., 2006)，顯示以前端曝氣迴流方式亦可達成底部曝氣HSSF CW 之 TKN 去除效能，惟本研究之曝氣迴流方式更有利於後續維修操作。

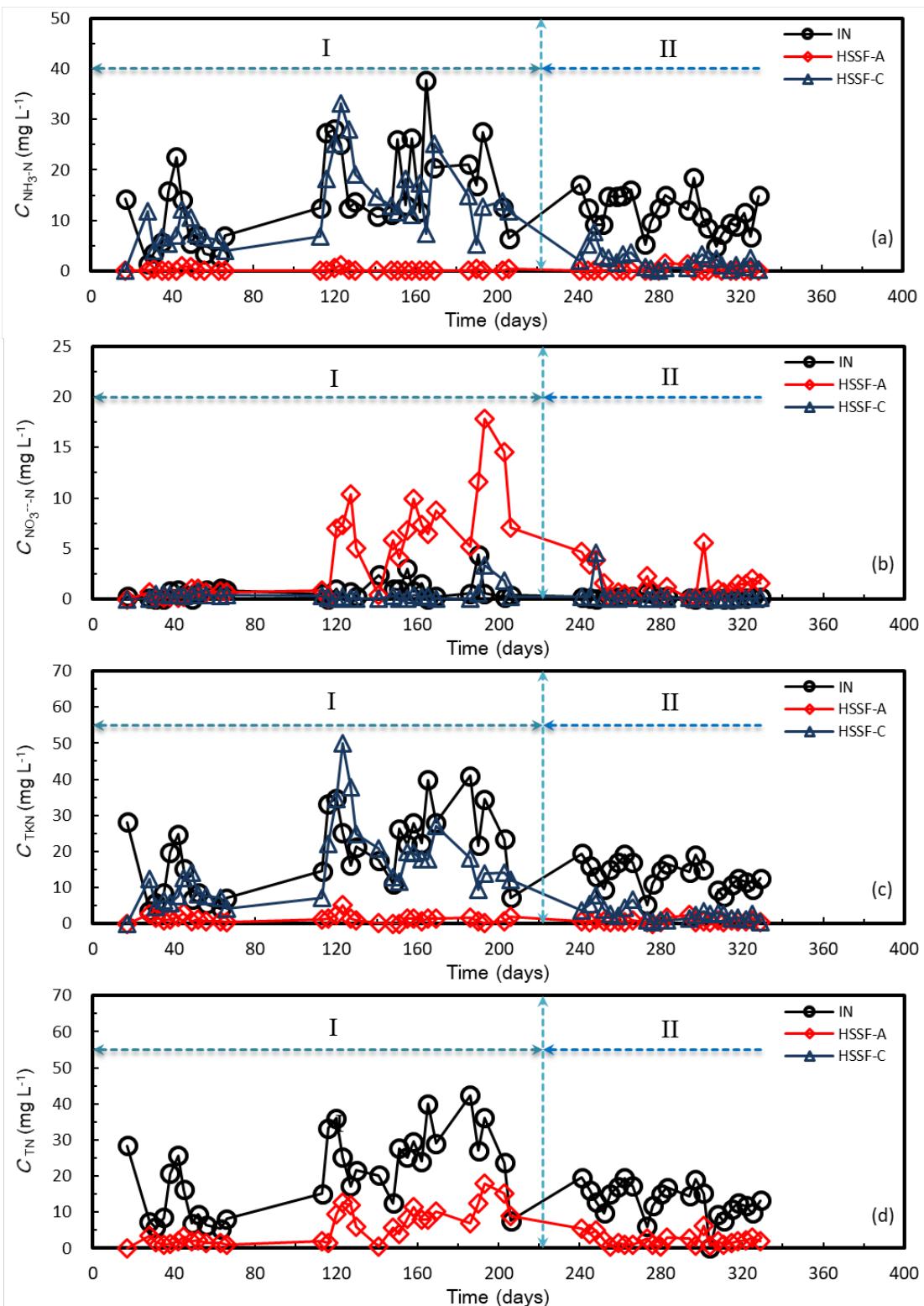


圖 5.2 HSSF-A 與 HSSF-C CW；(a) NH₃-N、(b) NO₃⁻-N、(c)TKN、(d)TN 之濃度歷時變化

而由 NO₃⁻-N 監測結果發現其濃度於 120-200 日(第一試程)有異常增加，其平均濃度為 8.0 mg/L，而對應之平均進流 TKN 濃度為 26.4 mg/L，在此之前二者之平均濃度分別為 0.5 mg/L 與 11.7 mg/L，而至第二試程，平均 TKN 進流濃度降為 12.9 mg/L，此時 NO₃⁻-N 平均濃度則又降為 1.54 mg/L，顯示曝氣迴流對 HSSF CW 之 NO₃⁻-N 抑制具有飽和性，超過其界限時則仍有 NO₃⁻-N 累積的現象，此一特性對於 TN 去除率之顯著提升仍有其負面影響。惟由 TN 之相關監測結果可以發現第一試程之

去除率仍可由對照組之 19.4 % 顯著提升為 71.6 % ($p<0.05$)，而第二試程時，HSSF-A 系統之 TN 平均去除率仍可維持 81.0 %，惟此時對照組之 TN 平均去除率為 74.5 %，二者差異並不明顯($p>0.05$)。

5-3 曝氣整流對總磷去除之影響

圖 5.3 所繪為本研究曝氣迴流與對照組之 TP 濃度歷時變化，而相對應之統計值則表列於表 5.1，由其結果可知第一試程與第二試程之平均 TP 進流濃度分別為 6.4 mg/L 與 6.8 mg/L，其所對應之未曝氣對照組去除率則為 11.5 % 與 32.3 %。由於人工濕地中磷之去除機制包括；物理沉澱、吸附、化學沉澱與錯合、植物與微生物攝取等(Kadlec and Knight, 1996)，相關機制中以吸附、化學沉澱、植物攝取(配合後續收割)與碳泥沉積為主要去除機制(Vymazal, 2007)，於一新人工濕地，若進流之懸浮載較低，則其初期 TP 去除率可高達 66-93 %，惟當吸附容量飽和時，TP 之去除率則會逐漸降至 10 % 以下(Behrendset al., 2007)，由本研究之結果可知人工濕地之吸附容量業於系統穩定性研究時即以耗盡，而曝氣系統之第一試程與第二試程去除率則分別為 20.7 % 與 29.7 %，相較於對照組之結果，HSSF-A 於第一試程之 TP 雖有顯著之提升效果($p<0.05$)，惟僅提升 10.2 %，其幅度相對有限，至於第二試程二者之差異則並不顯著($p>0.05$)。因此，不同曝氣迴流無法對 HSSF CW 之 TP 去除有任何顯著正面效益，由前人之研究亦有類似結論(Zhang et al., 2010)。

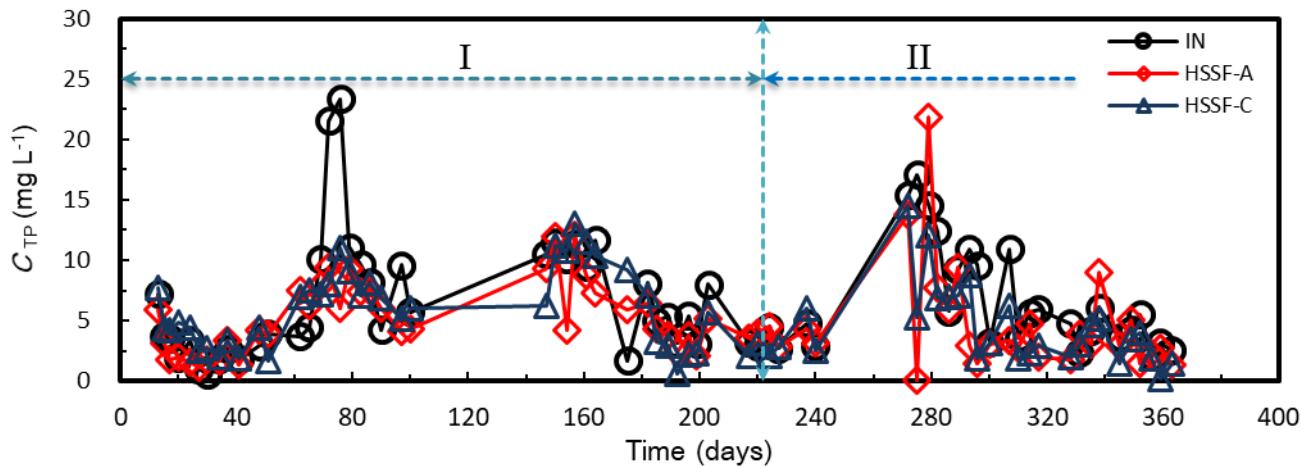


圖 5.2 F HSSF-A 與 HSSF-C CW 之 TP 濃度歷時變化

5-4 結論與建議

本專題研究計畫主為藉由不同曝氣迴流操作模式探討其提升水平潛流式人工濕地之汙染處理效能之影響，由相關研究結果發現曝氣迴流系統對 BOD 之去除效能有顯著的提升效果($p<0.05$)，而迴流比 >3 即能顯著提升 BOD 去除效能，至於對 NH₃-N、TKN 與 TN 的去除而言，迴流比 >3 即對其去除效能之提升即無顯著影響，曝氣迴流系統對 NH₃-N、TKN 與 TN 皆有顯著之提升效果，惟對 NO₃⁻-N 之抑制仍有其侷限性，超過時，仍會發生顯著之累積現象，即便如此，TN 之去除仍有顯著提升現象。對於 TP 則未有顯著之正面提升影響，由前述結果可知曝氣迴流系統可明顯提升有機與含氮汙染物，而內迴流比 >3 時，其提升性能即無顯著差異。

陸、參考文獻：

- APHA(American Public Health Association), WEF(Water Environmental Federation). 2005. *Standard methods for the analysis of water and wastewater. 21st ed.* American Public Health Association, Washington, DC.
- Ayaz, S.Ç. 2008. Post-treatment and reuse of tertiary treated wastewater by constructed wetlands. *Desalination*, **226**(1–3), 249-255.
- Arias, C.A., Brix, H., Marti, E. 2005. Recycling of Treated Effluents Enhances Removal of Total Nitrogen in Vertical Flow Constructed Wetlands. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, **40**(6-7), 1431-1443.
- Arias, C.A., Cabello, A., Brix, H., Johansen, N.H. 2003. Removal of indicator bacteria from municipal wastewater in an experimental two-stage vertical flow constructed wetland system. *Water Sci. Technol.*, **48**(5), 35–41.
- Ayaz, S.Ç., Aktaş, Ö., Akça, L., Fındık, N. 2015. Effluent quality and reuse potential of domestic wastewater treated in a pilot-scale hybrid constructed wetland system. *Journal of Environmental Management*, **156**, 115-120.
- Ayaz, S.Ç., Aktaş, Ö., Fındık, N., Akça, L., Kınacı, C. 2012. Effect of recirculation on nitrogen removal in a hybrid constructed wetland system. *Ecological Engineering*, **40**, 1-5.
- Ayaz, S.Ç., Fındık, N., Akça, L., Erdogan, N., Kınacı, C. 2011. Effect of recirculation on organic matter removal in a hybrid constructed wetland system. *Water Science and Technology*, **63**(10), 2360-2366.
- Behrends, L.L., Bailey, E., Jansen, P., Houke, L., Smith, S. 2007. Integrated constructed wetland systems; design, operation, and performance of low-cost decentralized wastewater treatment systems. *Water Science and Technology* **55**, 155–161.
- Béné, C., Barange, M., Subasinghe, R., Pinstrup-Andersen, P., Merino, G., Hemre, G.-I., Williams, M. 2015. Feeding 9 billion by 2050 – Putting fish back on the menu. *Food Security*, **7**(2), 261-274.
- Brix, H., Arias, C.A. 2005. The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. *Ecological Engineering*, **25**(5), 491-500.
- Chazarenc, F., Gagnon, V., Comeau, Y., Brisson, J. 2009. Effect of plant and artificial aeration on solids accumulation and biological activities in constructed wetlands. *Ecological Engineering*, **35**(6), 1005-1010.
- Cottingham, P.D., Davies, T.H., Hart, B.T. 1999. Aeration to Promote Nitrification in Constructed Wetlands. *Environmental Technology*, **20**(1), 69-75.
- Coveney, M.F., Stites, D.L., Lowe, E.F., Battoe, L.E., Conrow, R. 2002. Nutrient removal from eutrophic lake water by wetland filtration. *Ecological Engineering*, **19**(2), 141-159.
- Dong, H., Qiang, Z., Li, T., Jin, H., Chen, W. 2012. Effect of artificial aeration on the performance of vertical-flow constructed wetland treating heavily polluted river water. *Journal of Environmental Sciences*, **24**(4), 596-601.
- FAO. 2016. (Food and Aquaculture Organization of the United Nations) The State of World Fisheries and Aquaculture-2016.
- Foladori, P., Ruaben, J., Ortigara, A.R.C., Andreottola, G. 2014. Batch feed and intermittent recirculation to increase removed loads in a vertical subsurface flow filter. *Ecological Engineering*, **70**, 124-132.
- García, J., Aguirre, P., Mujeriego, R., Huang, Y., Ortiz, L., Bayona, J.M. 2004. Initial contaminant removal

- performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater. *Water Research*, **38**(7), 1669-1678.
- Guo, L., He, K., Wu, S., Sun, H., Wang, Y., Huang, X., Dong, R. 2016. Optimization of high-rate TN removal in a novel constructed wetland integrated with microelectrolysis system treating high-strength digestate supernatant. *Journal of Environmental Management*, **178**, 42-51.
- Hamilton, S.K., Sippel, S.J., Calheiros, D.F., Melack, J.M. 1997. An anoxic event and other biogeochemical effects of Pantanal wetland on the Paraguay river. *Limnology and Oceanography*, **42**, 257-272.
- He, L.S., Liu, H.L., Xi, B.D., Zhu, Y.B. 2006. Effect of effluent recirculation in vertical flow constructed wetland on treatment efficiency of livestock wastewater. *Water Sci. Technol.*, **54**(11-12), 137-146.
- Jamieson, T.S., Stratton, G.W., Gordon, R., Madani, A. 2003. The use of aeration to enhance ammonia nitrogen removal in constructed wetlands. *Canadian Biosystems Engineering*, **45**, 1.9-1.14.
- Kadlec, R.H., Knight, R.L. 1996. *Treatment Wetlands*. CRC Press Inc, Boca Raton, FL, USA.
- Kantawanichkul, S., Neamkam, P., Shutes, R.B.E. 2001. Nitrogen removal in a combined system: vertical vegetated bed over horizontal flow sand bed. *Water Sci. Technol.*, **44**(11-12), 137-142.
- Karathanasis, A.D., Potter, C.L., Coyne, M.S. 2003. Vegetation effects on fecal bacteria, BOD, and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater. *Ecological Engineering*, **20**(2), 157-169.
- Li, L., Li, Y., Biswas, D.K., Nian, Y., Jiang, G. 2008. Potential of constructed wetlands in treating the eutrophic water: Evidence from Taihu Lake of China. *Bioresource Technology*, **99**(6), 1656-1663.
- Liu, W., Liu, G., Zhang, Q. 2011. Influence of Vegetation Characteristics on Soil Denitrification in Shoreline Wetlands of the Danjiangkou Reservoir in China. *CLEAN – Soil, Air, Water*, **39**(2), 109-115.
- Maltais-Landry, G., Maranger, R., Brisson, J. 2009a. Effect of artificial aeration and macrophyte species on nitrogen cycling and gas flux in constructed wetlands. *Ecological Engineering*, **35**(2), 221-229.
- Maltais-Landry, G., Maranger, R., Brisson, J., Chazarenc, F. 2009b. Nitrogen transformations and retention in planted and artificially aerated constructed wetlands. *Water Research*, **43**(2), 535-545.
- Nivala, J., Hoos, M.B., Cross, C., Wallace, S., Parkin, G. 2007. Treatment of landfill leachate using an aerated, horizontal subsurface-flow constructed wetland. *Science of The Total Environment*, **380**(1–3), 19-27.
- Noorvee, A., Pöldvere, E., Mander, Ü. 2007. The effect of pre-aeration on the purification processes in the long-term performance of a horizontal subsurface flow constructed wetland. *Science of The Total Environment*, **380**(1–3), 229-236.
- Ong, S.-A., Uchiyama, K., Inadama, D., Ishida, Y., Yamagiwa, K. 2010. Treatment of azo dye Acid Orange 7 containing wastewater using up-flow constructed wetland with and without supplementary aeration. *Bioresource Technology*, **101**(23), 9049-9057.
- Ouellet-Plamondon, C., Chazarenc, F., Comeau, Y., Brisson, J. 2006. Artificial aeration to increase pollutant removal efficiency of constructed wetlands in cold climate. *Ecological Engineering*, **27**(3), 258-264.
- Pöldvere, E., Noorvee, A., Karabelnik, K., Maddison, M., Nurk, K., Zaytsev, I., Mander, Ü. 2010. A case study of the performance of pilot scale light weight aggregates (LWA) based hybrid soil filters in Estonia. *Desalination*, **250**(1), 361-367.
- Platzer, C. 1999. Design recommendations for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. *Water Sci. Technol.*, **40**(3), 257-263.
- Poach, M.E., Hunt, P.G., Reddy, G.B., Stone, K.C., Matheny, T.A., Johnson, M.H., Sadler, E.J. 2004. Ammonia volatilization from Marsh–Pond–Marsh constructed wetlands treating swine wastewater. *J. Environ.*

Qual., **33**(3), 844-851.

- Reed, S.C. 2000. *Land treatment systems for municipal and industrial wastes*. McGraw-Hill, USA.
- Saeed, T., Sun, G. 2012. A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media. *Journal of Environmental Management*, **112**, 429-448.
- Serrano, L., de la Varga, D., Ruiz, I., Soto, M. 2011. Winery wastewater treatment in a hybrid constructed wetland. *Ecological Engineering*, **37**(5), 744-753.
- Soroko, M. 2007. Treatment of wastewater from small slaughterhouse in hybrid constructed wetlands systems. *Ecohydrology & Hydrobiology*, **7**(3-4), 339-343.
- Stefanakis, A.I., Tsirhrintzis, V.A. 2009. Effect of outlet water level raising and effluent recirculation on removal efficiency of pilot-scale, horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Desalination*, **248**(1-3), 961-976.
- Sun, G., Gray, K.R., Biddlestone, A.J., Allen, S.J., Cooper, D.J. 2003. Effect of effluent recirculation on the performance of a reed bed system treating agricultural wastewater. *Process Biochemistry*, **39**(3), 351-357.
- Sun, G., Zhao, Y., Allen, S. 2005. Enhanced removal of organic matter and ammoniacal-nitrogen in a column experiment of tidal flow constructed wetland system. *Journal of Biotechnology*, **115**(2), 189-197.
- Tang, X., Huang, S., Scholz, M., Li, J. 2009. Nutrient removal in pilot-scale constructed wetlands treating eutrophic river water: assessment of plants, intermittent artificial aeration and polyhedron hollow polypropylene balls. *Water, Air, and Soil Pollution*, **197**(1-4), 61-73.
- Tanik, A. 2010. *Wastewater as resource*. Scientific research publishing, CA. USA.
- Tanner, C.C., Sukias, J.P.S., Headley, T.R., Yates, C.R., Stott, R. 2012. Constructed wetlands and denitrifying bioreactors for on-site and decentralised wastewater treatment: Comparison of five alternative configurations. *Ecological Engineering*, **42**, 112-123.
- Tao, W., Wang, J. 2009. Effects of vegetation, limestone and aeration on nitritation, anammox and denitrification in wetland treatment systems. *Ecological Engineering*, **35**(5), 836-842.
- Tunçsiper, B. 2009. Nitrogen removal in a combined vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetland system. *Desalination*, **247**(1-3), 466-475.
- UNEP. 2000. Overview GEO 2000: global environment outlook, United Nations Environment Programme (Kenya).
- Voeks, R.A., Rahmatian, M. 2004. The providence of nature: Valuing ecosystem services. *International Journal of Environmental and Science and Technology*, **1**, 151 – 163.
- Vymazal, J. 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of The Total Environment*, **380**(1–3), 48-65.
- Vymazal, J. 2013. The use of hybrid constructed wetlands for wastewater treatment with special attention to nitrogen removal: A review of a recent development. *Water Research*, **47**(14), 4795-4811.
- Vymazal, J., Kröpfelová, L. 2015. Multistage hybrid constructed wetland for enhanced removal of nitrogen. *Ecological Engineering*, **84**, 202-208.
- Vymazal, J., Kröpfelová, L. 2011. A three-stage experimental constructed wetland for treatment of domestic sewage: First 2 years of operation. *Ecological Engineering*, **37**(1), 90-98.
- Wallace, S., Higgins, J., Crolla, A., Kinsley, C., Bachand, A., Verkuijl, S. 2006. High-rate ammonia removal in aerated engineered wetlands. in: *the 10th International Conference on Wetland Systems for Water*

Pollution Control. Lisbon, Portugal.

- White, K.D. 1995. Enhancement of nitrogen removal in subsurface flow constructed wetlands employing a 2-stage configuration, an unsaturated zone, and recirculation. *Water Science and Technology*, **32**(3), 59-67.
- Wu, S., Kuschk, P., Brix, H., Vymazal, J., Dong, R. 2014. Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: A nitrogen and organic matter targeted review. *Water Research*, **57**, 40-55.
- Zhang, L.Y., Zhang, L., Liu, Y.D., Shen, Y.W., Liu, H., Xiong, Y. 2010. Effect of limited artificial aeration on constructed wetland treatment of domestic wastewater. *Desalination*, **250**(3), 915-920.
- Zhao, Y.Q., Sun, G., Allen, S.J. 2004. Purification capacity of a highly loaded laboratory scale tidal flow reed bed system with effluent recirculation. *Science of The Total Environment*, **330**(1-3), 1-8.
- 李想、崔莉鳳， 2009， 曝氣增強垂直潛流型人工濕地脫氮效果研究，北京工商大學學報(自然科學版)，**27**(1)，6-10。
- 簡伊敏、郭念祖、陳佑禎、鄭慈儀、沈玉潔、江漢全，2010，人工曝氣對三段式表面流人工濕地除氮效益之影響， 2010 廢水處理技術研討會，中華民國環境工程學會。

柒、附件

Theme Number: II Sub-topic: Advances in Water & Wastewater Treatment

Pollution degradation in constructed wetlands with artificial aeration and internal recirculation

Jih Ming Chyan ^{a*}, Chien Jung Lin ^a, Wen Xue Zhuang ^a, Floradelle Aboga Vega ^b, Rose Marie O. Mendoza ^b

^a Department of Environmental Resources Management, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Tainan 71710, Taiwan (E-mail: mjmchyan@mail.cnu.edu.tw; cjlin@mail.cnu.edu.tw; love83720@gmail.com)

^b Department of Environmental Science and Engineering, Adamson University, Ermita 1000 Manila, Philippines (E-mail: efav_2012@yahoo.com.ph; rosey1926@gmail.com)

*Corresponding author

Jih Ming Chyan, Department of Environmental Resources Management, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Tainan 71710, Taiwan (E-mail: mjmchyan@mail.cnu.edu.tw)

Abstract

The pollutant removal efficiencies of a constructed wetlands (CW) has been constrained because of low oxygen transportation for a long time. Artificial aeration inevitably became an effective modification for improving the pollutant removal efficiencies. However, higher dissolved oxygen depressed the denitrification process which mainly recognized as the main removal mechanism responsible for the nitrogen contained pollutant. In this study, a modified system including artificial aeration and internal recirculation was embedded in a horizontal subsurface flow (HSSF) CW (CW-A). An aerobic environment isolated from the other anaerobic area was simultaneously formed in the same reaction tank, which implies a more integrated solution of pollutant removal. A control system (CW-C) with the same dimension was also established. The aquatic plant, *Hydrocotyle verticillata* Thunb., was planted in both HSSF CWs. The inflow came from the sewage system of university campus mixed with the wastewater from an industrial area nearby. The parameters of water quality; biochemical oxygen demand (BOD), ammonia-nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$), total Kjeldahl nitrogen (TKN), nitrite-nitrogen ($\text{NO}_2^-\text{-N}$), nitrate-nitrogen ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) were used to evaluate the pollutant removal efficiencies of both system. Based on the experimental results, it showed that the average removal ratios of BOD increased from 59.1 % (CW-C) to 79.0 % (CW-A). The average removal ratios of $\text{NH}_3\text{-N}$, TKN, and TN for CW-A were 98.7%, 91.3%, and 70.2 %, while those results for CW-C were 15.3 %, 19.5%, and 20.7%, respectively. It implies that artificial aeration and internal recirculation could effectively improve the removal efficiencies of BOD and nitrogen included pollutants. However, no significant influence on the removal of TP was observed. The effect of the recirculation ratio (Q_{rec}) between flow rates of the influent and recirculation on the pollutant removal were investigated and no significant difference was found in the results of $Q_{rec} = 3$ and $Q_{rec} = 29.1$. These confirm that this innovative revision in this work could totally improve the removal efficiencies of BOD and nitrogen in HSSF CW.

Keywords: Horizontal subsurface constructed wetland, Artificial aeration, Internal recirculation, Biochemical oxygen demand, Ammonia-nitrogen, Total phosphorus

Fig. 1. Laboratory setup of HSSF CW with artificial aeration and internal recirculation.

Fig. 2. Concentration variations of BOD_5 in; (A) CW-A, (B) CW-C.

Fig. 3. Concentration variations of $\text{NH}_3\text{-N}$, TKN, and TN in; (A) CW-A, (B) CW-C.

Fig. 4. Concentration variations of TP in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Fig. 5. Comparisons of BOD concentration with different recirculation ratios: (A) $Q_{rec} = 3$, $Q_{rec} = 29.1$

科技部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（簡要敘述成果是否有嚴重損及公共利益之發現）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： | <input type="checkbox"/> 已發表×1 | <input type="checkbox"/> 未發表之文稿 | <input checked="" type="checkbox"/> 撰寫中×1 | <input type="checkbox"/> 無 |
| 專利： | <input type="checkbox"/> 已獲得 | <input checked="" type="checkbox"/> 申請中×1 | <input type="checkbox"/> 無 | |
| 技轉： | <input type="checkbox"/> 已技轉 | <input type="checkbox"/> 洽談中 | <input checked="" type="checkbox"/> 無 | |

其他：(以 100 字為限)

本計畫成果擬於 2018 年於泰國曼谷舉行之 International Conference on Challenges in Environmental Science & Engineering 研討會中口頭宣讀。

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），如已有嚴重損及公共利益之發現，請簡述可能損及之相關程度（以 500 字為限）

本研究利用曝氣與內迴流提升潛流動式人工濕地於處理校園廢水之汙染處理效能。由相關實驗結果發現曝氣迴流系統對 BOD 之平均去除率可由對照組之 53.8-76.0% 提升至 82.0-91.7%，此結果屬於顯著提升($p<0.05$)，而迴流比(內迴流流量：進流量) >3 即能顯著提升 BOD 去除效能。至於對 NH₃-N、TKN 與 TN 的去除而言，迴流比 >3 即對其去除效能之提升即無顯著影響，而曝氣迴流系統對 NH₃-N、TKN 與 TN 之去除率分別由對照組之 15.1-78.1%、18.2-77.2%、19.4-74.5% 顯著提升 98.3-98.6%、93.4-94.0%、71.6-81.0%，惟對 NO₃⁻-N 之抑制仍有侷限性，當入流濃度超過限度時，仍會發生顯著之累積現象，即便如此，TN 之去除仍有顯著提升現象。而根據實驗結果顯示曝氣迴流系統對於 TP 則未有顯著之正面提升影響，由前述結果可知曝氣迴流系統可明顯提升有機與含氮汙染物，而內迴流比 >3 時，其提升效能即無顯著差異。本研究之相關技術尤其適於處理低有機高氮之廢汙水，諸如養殖廢水、景觀循環用水處理、社區汙水等，可大幅降低廢汙水之處理成本，頗值推廣。

科技部補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期：107 年 7 月 20 日

科技部補助計畫	計畫名稱：以複式循環曝氣與零價鐵提升水平潛流式人工溼地之汙染降解效能 計畫主持人：錢紀銘 計畫編號：MOST 106-2211-E-041-002 領域：環境工程		
研發成果名稱	(中文)廢水處理系統及方法 (英文)SYSTEM AND METHOD FOR TREATING WASTEWATER		
成果歸屬機構	嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學	發明人 (創作人)	錢紀銘、莊文穴、林健榮、余沐錦
技術說明	<p>本發明係利用複合式水生植物生態水質淨化系統，適用於淨化不同程度之處理水。此水質淨化系統包含沉澱槽、曝氣內迴流水生植物淨化槽、後曝氣調整槽等 3 淨化處理單元。其中核心創新單元係整合接觸曝氣、內迴流以及潛流式水生植物淨化槽，搭配其他附屬設施藉由系統之生物性、物理性、化學性等處理機制，即可達成降低水中有機污染、營養鹽、懸浮固體物等污染物質之目標，本系統可適用於有機水產養殖、生活汙水等領域，降低水質控制用藥，提升水產養殖之附加價值。由於整體系統具有建置成本較低、後續操作維修費用節省、操作技術簡易等特色，十分具有商用市場吸引力，值得投資推廣。本系統同時亦可用於一般廢汙水之處理，去除水中的有機汙染與含氮營養鹽，解決承受水體優養化之問題。</p> <p>To purify wastewater from different pollution sources, an ecosystem including 3 tanks of sedimentation, aeration, internal recirculation and aquatic plant, and post aeration and adjustment were designed in this work. An innovative and integrated function was composed of contact aeration, internal recirculation, and purification by subsurface flow and aquatic plant which removed pollutants by biological, physical, and chemical mechanisms. Organic pollutant, nutrient, suspended solid could be effectively removed. This system was especially recommended for the treatment of aquaculture and domestic wastewater. Due to their low cost in construction and maintenance, easy operation, this system possessed high potential in commercial market.</p>		
產業別	水處理業		
技術/產品應用範圍	由於本發明具有建置成本低、維修成本低、操作簡單等特點，可應用於水產養殖廢水之處理，可有效降低水質處理用藥與費用，增加水產品之附加價值，增加漁民收益。另亦可應於偏遠社區汙水之處理，提升我國汙水處理率。		
技術移轉可行性及預期效益	由於設置成本低廉，操作簡易，技術轉移可行高，以養殖廢水處理為例；一般水質或藻類控制用藥約佔總營收之 10%，而以有機養殖方式出售可提升營收約 20%~30%，其收益增加約達 30%~40%，對於養殖業者實質幫助頗大。		

註：本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

科技部補助專題研究計畫執行國際合作與移地研究心得報告

日期：__年__月__日

計畫編號	MOST	—	—	—	—	—
無						

一、執行國際合作與移地研究過程

二、研究成果

三、建議

四、本次出國若屬國際合作研究，雙方合作性質係屬：(可複選)

- 分工收集研究資料
- 交換分析實驗或調查結果
- 共同執行理論建立模式並驗証
- 共同執行歸納與比較分析
- 元件或產品分工研發
- 其他（請填寫）_____

五、其他

科技部補助專題研究計畫出席國際學術會議心得報告

日期：107 年 5 月 20 日

計畫編號	MOST 106-2211-E-041-002		
計畫名稱	以複式循環曝氣與零價鐵提升水平潛流式人工溼地之汙染降解效能		
出國人員姓名	錢紀銘 Jih Ming Chyan	服務機構及職稱	嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學 環境資源管理系(含碩士班)教授
會議時間	106 年 11 月 11 日至 106 年 11 月 15 日	會議地點	中華人民共和國，昆明 Kunming, People's Republic of China
會議名稱	2017 環境科學和工程之挑戰國際會議 International Conference on Challenges in Environmental Science & Engineering-2017; CESE-2017		
發表題目	<p>1. Jih Ming Chyan*, Chien Jung Lin, Yueh Jun Li, I Ming Chen, (2017) “Pollution degradation in constructed wetland with intermittent aeration and rectification”, Nov. 06-10, Kunming, People's Republic of China.</p> <p>2. Jih Ming Chyan*, I Ming Chen, Ming Hsiu Yu, Chien Jung Lin, (2017) “Pollution degradation in constructed wetland with artificial aeration and bio-gravel”, Nov. 06-10, Kunming, People's Republic of China.</p> <p>前述論文於會議結束後，經彙整與會專家建議，其中論文 1 業已改寫研討會論文為期刊論文並投稿於 <i>J of Cleaner Production</i> (SCI 2017 Impact factor: 5.651)知名學術期刊，相關投稿細節如下；</p> <p>1. Jih Ming Chyan*, Chien Jung Lin, Shi Che Huang, Yueh Jun Li, I Ming Chen, Delia B. Senoro, (2018), “Enhancing pollutants removal in free water surface constructed wetland by intermittent aeration and flow rectification”, <i>J of Cleaner Production</i>, (SCI 2017 Impact factor: 5.651)</p> <p>至於前述論文 2 則於撰寫中，預計投稿期刊為 <i>International Biodeterioration & Biodegradation</i> (SCI 2016 Impact factor: 3.562)，論文資訊如下；</p> <p>2. Jih Ming Chyan*, Chien Jung Lin, Ming Hsiu Yu, I Ming Chen, (2017), “Pollution degradation in constructed wetland with artificial aeration and bio-gravel”, (SCI 2017 Impact factor: 3.562).</p>		

一、參加會議經過：

本次 2017 年「環境科學和工程之挑戰國際會議」(International Conference on Challenges in Environmental Science & Engineering-2017; CESE-2017)係由雲南

民族大學承辦，會場在昆明世紀金源大飯店(Empark Grand Hotel Kunming)。於 11 月 11 日抵達會場隨即註冊報到，確認大會議程、報告場次與會廳等細節，佈置海報論文，是日約 18:00 參加大會歡迎晚宴，與相關產界專家學者交流，並向籌備單位相關教授致意，感謝為本次會議所作之努力。次日，11 月 12 日早上參與開幕式(Opening Ceremony)，由 Prof. Jin-hua Na (President of Yunnan Minzu University, Kunming, China)開幕致詞，另大會特別安排 6 場專題演講，相關資訊如下：

- (1) Prof. **Xiaochang Wang** (Xi'an University of Architecture and Technology, China)

Lecture title: Elimination of Viruses from Domestic Wastewater: Requirements and Technologies for Risk Control

- (2) Prof. **Donald Huisingsh** (University of Tennessee, USA)

Lecture title: Why and How Must We, Accelerate the Transition to Equitable, Sustainable, Liveable, Post-Fossil Carbon Societies?"

- (3) Prof. **Ashok Pandey** (CSIR-National Institute for Interdisciplinary Science and Technology, India)

Lecture title: Moving towards a carbohydrate economy: Lignocellulosic biorefineries for fuels and chemicals

- (4) Prof. **Ping Ning** (Kunming University of Science and Technology, China)

Lecture title: Purification Technologies for Yellow Phosphorous Off-gas and Their Resource Utilization

- (5) Prof. **How Yong Ng** (National University of Singapore, Singapore)

Lecture title: Elimination of Viruses from Domestic Wastewater: Requirements and Technologies for Risk Control

- (6) Prof. **Dionysios Dionysiou** (University of Cincinnati, USA)

Lecture title: Treatment of Cyanotoxins and Contaminants of Emerging Concern in Water Using Advanced Oxidation Processes

本次會議為 CESE 系列第 10 次舉辦國際會議，會議中集合研究人員、相關產業高階經理人、學者、學生等共發表 348 篇學術論文，與會者分享其知識及對未來環境發展的前景。相關學術領域涵蓋薄膜及奈米技術的應用

(Applications of Membrane Technology & Nano-Technology)、水與廢水：汙染預防與處理(Water & Wastewater: Pollution Prevention & Treatment)、資源與廢棄物：物質與能源之管理與回收(Resources & Wastes: Management and Recovery of Materials and Energy)、空氣汙染：預防與處理(Air Pollution: Prevention and Treatment)、永續集水與再生能源(Sustainable Catchments & Renewable Energy)、清潔生產與新興永續實務(Cleaner Production & Emerging Sustainable Practices)、永續發展技術與氣候變遷適應與減緩(Appropriate Technology for Sustainability & Climate Change Adaptation / Mitigation)、土地永續與土地及沉澱物汙染(Soil Sustainability and Contaminated Soils & Sediments)等八大領域之不同環境專業子題；

1. 薄膜及奈米技術的應用 (Applications of Membrane Technology & Nano-Technology)：

- (1) 水處理(Water treatment)
- (2) 廢水處理(Wastewater treatment)
- (3) 混合處理系統(Hybrid treatment systems)
- (4) 新興汙染物處理(Treatment of emerging pollutants)
- (5) 水資源再利用(Water reuse)
- (6) 集中管理(Concentrate management)
- (7) 資源回收(Resource recovery)
- (8) 環境保護(Environmental protection)
- (9) 污染防治(Pollution prevention)

2. 水與廢水：汙染預防與處理(Water & Wastewater: Pollution Prevention & Treatment)：

- (1) 先進水暨廢水處理(Advances in water & wastewater treatment)
- (2) 飲用水處理(Potable water treatment)
- (3) 工業用水、純水與超純水之製造(Industrial, pure and ultrapure water production)

- (4) 都會與工業汙水處理(Municipal and industrial effluent treatment)
- (5) 污泥處理與處置(Sludge processing and disposal)
- (6) 水汙染之健康衝擊(Health impacts from water pollution)
- (7) 水汙染事件之復育(Mitigation of water pollution incidents)
- (8) 水汙染之擴散模擬(Water pollution dispersion modelling)

3. 資源與廢棄物：物質與能源之管理與回收(Resources & Wastes: Management and Recovery of Materials and Energy)：

- (1) 物質與產品之回收與再利用(Recovery and recycling of materials and products)
- (2) 廢棄物與替代資源之能源(Energy from waste and alternative resources)
- (3) 廢棄物減量(Waste minimization)
- (4) 廢棄物管理：(Waste management: systems and processes for energy and material recovery and waste treatment; disposal)
- (5) 固體廢棄物與有害廢棄物管理(Solid and Hazardous Waste Management)
- (6) 廢棄物掩埋場之設計、操作與管理(Landfill and waste repository design, operation and management)
- (7) 土地復育與再利用(Land remediation and recovery)

4. 預防與處理(Air Pollution: Prevention and Treatment)：

- (1) 方法與技術(Methods and technologies)
- (2) 氣狀汙染之生質燃料轉換(Conversion of gaseous pollutants to biofuels)
- (3) 空氣品質與擴散模擬(Cross boundary air quality and dispersion modelling)
- (4) 空氣汙染事件之預測與消滅(Prediction and mitigation of incidents)
- (5) 空氣汙染之健康衝擊(Health impacts of air pollutants)

5. 永續集水與再生能源(Sustainable Catchments & Renewable Energy)：

- (1) 集水管理(Catchment Management)
- (2) 水資源敏感都會設計(Water Sensitive Urban Design)
- (3) 暴雨回收處理(Storm Water Harvesting)
- (4) 水汙染之擴散模擬(Water pollution dispersion modelling)

- (5) 城市營運(City Operations)
- (6) 生物技術與生質能源(Biotechnology and bioenergy)
- (7) 濕地生態系統(Wetland eco-Systems)
- (8) 永續能源(Sustainable Energy)
- (9) 再生能源之先進技術 (Technical Advancements in Renewable Energy)

6. 清潔生產與新興永續實務(Cleaner Production & Emerging Sustainable Practices) :

- (1) 能源自主技術(Technologies promoting energy autonomy)
- (2) 再生物質利用(Utilization of renewable materials)
- (3) 永續消費與綠色實務(Sustainable consumption and green practices)
- (4) 生態工業公園(Eco-industrial parks)
- (5) 工業個案研究(Case studies from industries)

7. 永續發展技術與氣候變遷調適與減緩(Appropriate Technology for Sustainability & Climate Change Adaptation / Mitigation) :

- (1) 成本技術(Low cost technologies)
- (2) 創新技術(Innovative technologies)
- (3) 社區參與及社會影響(Community engagement and social impacts)

8. 土地永續與土地及沉澱物汙染(Soil Sustainability and Contaminated Soils & Sediments) :

- (1) 污染場址之觀測、監測與分析(Surveying, monitoring and analysing contaminated sites)
- (2) 污染場址之生物復育(Bioremediation of contaminated lands)
- (3) 土壤化學(Soil chemistry)
- (4) 土壤調整(Soil amendments)
- (5) 土生植物之營養與肥料(Soil-plant nutrition and fertilizers)
- (6) 沉澱物之生態衝擊(Ecological impacts of sedimentation)
- (7) 排水作業管理(Management of dredging operations)

本次於會議中報告論文分別聚焦於；「間歇曝氣與整流對人工濕地汙染處

理效能之影響」、「曝氣與整流強對人工濕地汙染處理效能之影響」等二議題，會中恰與 Prof. Hui Zhu 探討「以人工濕地植物復育處理含鹽廢水之影響」與 Prof. Yan Kang 之「以傳統底棲動物群強化人工濕地之營養鹽」之內容相關。而前者所發表之論文發現種植蘆葦之人工溼地較之其他水生植物之人工溼地對氮與磺胺甲噁唑(Sulfamethoxazole)之去除有較佳效能表現，水生植物對磷與重金屬之去除並無明顯差異。而當鹽度超過 30 mS/cm 時，對氮與磺胺甲噁唑之去除即有明顯的抑制作用，至於鹽度之改變對於磷與大多數重金屬(Cd 除外)之去除則無明顯的影響。至於後者則是在人工溼地中加入正顫蚓(*T. tubifex*)與淡水貽貝(Freshwater mussels)等底棲動物以探討其對人工濕地營養鹽去除效能之影響，由其結果可發現此二類底棲動物確可明顯提升總氮與總磷之去除率，即使在冬天二者之去除率分別為 36.71% 與 39.45%，較之對照組之 22.80% 與 23.97% 亦明顯為高，其研究亦發現此二類底棲動物可提升脫氮菌之豐富度，同時亦發現特定脫氮菌可同時進行硝化與脫氮作用，由此提升人工溼地之總氮去除率。該研究應用底棲動物於人工溼地提升營養鹽之去除效能，不失為一可行方案，此行有此收穫，頗感滿意，期待參與下一次相關國際研討會議，吸收更多新知，以期後續研究有較為新創之發展。

二、與會心得：

本次成功參與相關研討會議，本人非常感謝科技部給予經費上之補助，本次參與國際性學術研討會，不僅是針對不同環境領域進行相關之交流與討論參訪外，亦引發後續研究方向，凡此種種皆增加個人國際視野與學術研究深度，期望政府等相關單位持續推動國內研究人才參加國際研討會之相關政策，以增進國內學者之國際觀與移動力。

三、發表論文全文或摘要：

Theme Number: II Sub-topic: Advances in Water & Wastewater Treatment

Pollution degradation in constructed wetland with intermittent aeration and rectification

Jih-Ming Chyan ^{a*}, Chien-Jung Lin ^a, Yueh-Jun Li ^a, I-Ming Chen ^a

^a Department of Environmental Resources Management, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Tainan 71710, Taiwan (E-mail: mjmchyan@mail.cnu.edu.tw; cjlin@mail.cnu.edu.tw; liyc8283@gmail.com; imchen@mail.cnu.edu.tw)

*Corresponding author

Jih-Ming Chyan, Department of Environmental Resources Management, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Tainan 71710, Taiwan (E-mail: mjmchyan@mail.cnu.edu.tw)

Abstract

In this study, an intermittent aeration with rectification system and a bio-gravel wall installed at the end of CW were used to in a free water surface (FWS) CW to improve the removal of pollutants. The flow rectification system was designed to depress a negative effect of the turbulence induced by aeration. A FWS CW (CW-A) only planted with cattail was established as a control system whose experimental results could be compared with those results of CW-B with aeration, rectification and bio-gravel wall. The emergent plants, cattail, are planted in both FWS CWs with the same dimension and influent conditions. The inflow comes from the sewage system of university campus. From the experimental results of first stage whose hydraulic loading and average influent concentration of biochemical oxygen demand (BOD) were 0.15 m/d and 7.02 mg/L, respectively, it showed that, for a continuous aeration, the average removal rates of BOD, ammonia-nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$), total Kjeldahl nitrogen (TKN), and total phosphorus (TP) of CW-B were 52%, 92.1%, 90.2%, and 16.6%, respectively, while the corresponding results of CW-A were 10.8%, 48.7%, 57.9%, and 14.8%. The continuous aeration did effectively increase the removal efficiency of FWS CW except that the average $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration in the effluent of CW-B was 8.53 mg/L. In CW-A, it was only 0.69 mg/L. As for the second stage, the aeration of CW-B was operated from 09:00 to 17:00 and no addition aeration was supplied at the rest period. During this experimental period, the average removal rates of CW-A were -8.8% for BOD, 12.5% for $\text{NH}_3\text{-N}$, 26.2% for TKN, -3.9% for TP, respectively, while the corresponding results of CW-B were 20.5%, 22.6%, 37.0%, and -22.1%. The intermittent aeration obviously depressed the positive effect of aeration on the removal of BOD, $\text{NH}_3\text{-N}$, TKN, and TP, however, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in the effluent of CW-A and CW-B were only 0.11 mg/L and 0.12 mg/L, respectively. In the third stage, the results of hourly monitoring program showed that $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in CW-B decreased to a stable level 8 hrs later after the aeration ceased. It implies that the optimum period without aeration was 8 hrs.

Keywords: Free water surface constructed wetland, intermittent aeration, Rectification, Biochemical oxygen demand, Ammonia-nitrogen, Total phosphorus

Fig. 2. Laboratory setup of FWS CW with intermittent aeration and bio-gravel wall.

Fig. 2. Concentration variations of BOD_5 in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Fig. 3. Concentration variations of $\text{NH}_3\text{-N}$ and TKN in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Fig. 4. Concentration variations of TN in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Fig. 5. Hourly variations of DO, $\text{NH}_3\text{-N}$, and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration in CW-B.

Fig. 6. Concentration variations of TP in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Table 1. Statistic results of BOD_5 in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Table 2. Statistic results of TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, and TN, in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Table 3. Statistic results of TP in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Pollution degradation in constructed wetland with artificial aeration and bio-gravel

Jih-Ming Chyan ^{a*}, I-Ming Chen ^a, Ming-Hsiu Yu ^a, Chien-Jung Lin ^a

^a Department of Environmental Resources Management, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Tainan 71710, Taiwan (E-mail: mjmchyan@mail.cnu.edu.tw; cjlin@mail.cnu.edu.tw; liyc8283@gmail.com; imchen@mail.cnu.edu.tw)

*Corresponding author

Jih-Ming Chyan, Department of Environmental Resources Management, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Tainan 71710, Taiwan (E-mail: mjmchyan@mail.cnu.edu.tw)

Abstract

An artificial aeration and a bio-gravel wall are installed in a free water surface (FWS) constructed wetland (CW) to improve the removal of pollutants in this study. The bio-gravel wall not only plays a rectification system to depress the negative effect of the turbulence induced by aeration but offers a microbial system with fixed film to increase pollution degradation performance. A FWS CW (CW-A) only planted with a cattail was established as a control system. When compared with the results of CW-A, the performance of the experimental system (CW-B) with aeration and bio-gravel wall can be investigated. The cattail are planted in both FWS CWs with the same dimension and influent conditions. The experiments based on an inflow of campus wastewater includes 2 stages with hydraulic loadings (HL) of 0.148 m/d and 0.066 m/d. From the experimental results of first stage whose average influent concentration of biochemical oxygen demand (BOD) was 7.23 mg/L, it showed that, for a continuous aeration, the average removal rates of BOD, ammonia-nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$), total Kjeldahl nitrogen (TKN), and total phosphorus (TP) of CW-B were 66.8%, 97.3%, 94.1%, and 22.4%, respectively, while the corresponding results of CW-A were 5.3%, 35.2%, 42.0%, and 11.6%. The continuous aeration did effectively increase the removal efficiency of FWS CW except that the average $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration in the effluent of CW-B was 9.46 mg/L. In CW-A, it was only 0.54 mg/L. As for the second stage, the HL of CW-B decreased from 0.148 m/d to 0.066 m/d. During this experimental period, the average removal rates of CW-A were -0.8% for BOD, 80.5% for $\text{NH}_3\text{-N}$, 76.2% for TKN, 26.1% for TP, respectively, while the corresponding results of CW-B were 62.3%, 99.6%, 98.3%, and 23.2%. A lower HL obviously increased a higher increase of the performance of CW-A than those of CW-B. However, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in the effluent of CW-B was decreased from 9.46 mg/L to 3.75 mg/L. No obvious positive effect of aeration and bio-gravel wall was found in removal of total phosphorous (TP) of FWS CW.

Keywords: Free water surface constructed wetland, Aeration, Bio-gravel, Biochemical oxygen demand, Ammonia-nitrogen, Total phosphorus

Fig. 3. Laboratory setup of FWS CW with artificial aeration and bio-gravel wall.

Fig. 2. Concentration variations of BOD in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Fig. 3. Concentration variations of $\text{NH}_3\text{-N}$ and TKN in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Fig. 4. Concentration variations of TN in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Fig. 5. Effects of aeration on relationships between influent loading rates and removal loading rates of BOD and $\text{NH}_3\text{-N}$ in FWS CWs.

Fig. 6. Concentration variations of TP in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Table 1. Statistic results of BOD in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Table 2. Statistic results of TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, and TN, in; (A) CW-A, (B) CW-B.

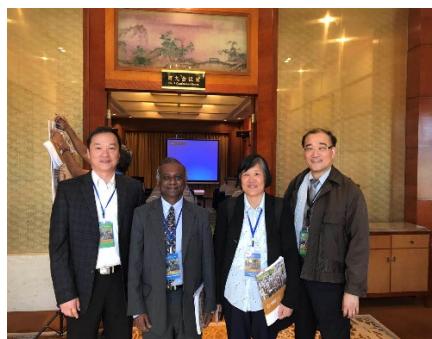
Table 3. Statistic results of TP in; (A) CW-A, (B) CW-B.

建議：

本次會議之特別安排參訪滇池漁撈河溼地公園，近年，滇池亦受到周邊汙染源之影響，水質不斷惡化，當地政府遂利用漁撈河與滇池交會處之濕地整治為溼地公園，除具汙染處理功能外，另尚有環境教育與旅遊休閒功能，相較於國內，我國之相關濕地於硬體設施之設置尚有明顯成長空間，值得國內產官學界借鏡。會議今年特別增加聘請知名國際學術期刊總編輯進行期刊論文撰寫論壇，以提昇青年學者之國際期刊撰寫水準，相關作法亦值得借鏡。

四、攜回資料名稱及內容：本次攜回資料計有：出席證、大會手冊、摘要論文集、與會者大合照等。

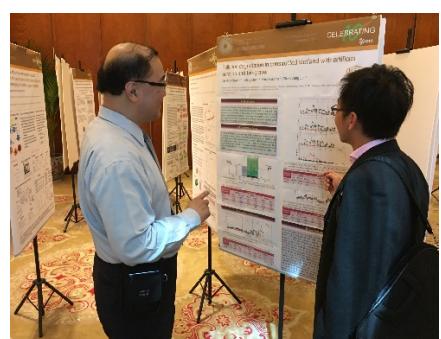
五、其他：會議活動照片



(a)



(b)



(c)

照片 1 會議相關活動照片；(a) 與大會主席與副主席合影，(b) 口論文發表，(c) 海報論文發表

科技部補助專題研究計畫國外學者來臺訪問成果報告

日期：__年__月__日

計畫編號	MOST	—	—	—	—	—
無						

一、訪問過程

二、對本項專題計畫產生之影響、貢獻或主要成果

三、建議

四、其他

科技部補助專題研究計畫出席國際學術會議心得報告

日期：107 年 5 月 20 日

計畫編號	MOST 106-2211-E-041-002		
計畫名稱	以複式循環曝氣與零價鐵提升水平潛流式人工溼地之汙染降解效能		
出國人員姓名	錢紀銘 Jih Ming Chyan	服務機構及職稱	嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學 環境資源管理系(含碩士班)教授
會議時間	106 年 11 月 11 日至 106 年 11 月 15 日	會議地點	中華人民共和國，昆明 Kunming, People's Republic of China
會議名稱	2017 環境科學和工程之挑戰國際會議 International Conference on Challenges in Environmental Science & Engineering-2017; CESE-2017		
發表題目	<p>1. Jih Ming Chyan*, Chien Jung Lin, Yueh Jun Li, I Ming Chen, (2017) “Pollution degradation in constructed wetland with intermittent aeration and rectification”, Nov. 06-10, Kunming, People's Republic of China.</p> <p>2. Jih Ming Chyan*, I Ming Chen, Ming Hsiu Yu, Chien Jung Lin, (2017) “Pollution degradation in constructed wetland with artificial aeration and bio-gravel”, Nov. 06-10, Kunming, People's Republic of China.</p> <p>前述論文於會議結束後，經彙整與會專家建議，其中論文 1 業已改寫研討會論文為期刊論文並投稿於 <i>J of Cleaner Production</i> (SCI 2017 Impact factor: 5.651)知名學術期刊，相關投稿細節如下：</p> <p>1. Jih Ming Chyan*, Chien Jung Lin, Shi Che Huang, Yueh Jun Li, I Ming Chen, Delia B. Senoro, (2018), “Enhancing pollutants removal in free water surface constructed wetland by intermittent aeration and flow rectification”, <i>J of Cleaner Production</i>, (SCI 2017 Impact factor: 5.651)</p> <p>至於前述論文 2 則於撰寫中，預計投稿期刊為 <i>International Biodeterioration & Biodegradation</i> (SCI 2016 Impact factor: 3.562)，論文資訊如下；</p> <p>2. Jih Ming Chyan*, Chien Jung Lin, Ming Hsiu Yu, I Ming Chen, (2017), “Pollution degradation in constructed wetland with artificial aeration and bio-gravel”, (SCI 2017 Impact factor: 3.562).</p>		

一、參加會議經過：

本次 2017 年「環境科學和工程之挑戰國際會議」(International Conference on Challenges in Environmental Science & Engineering-2017; CESE-2017)係由雲南民族大學承辦，會場在昆明世紀金源大飯店(Empark Grand Hotel Kunming)。於 11

月 11 日抵達會場隨即註冊報到，確認大會議程、報告場次與會廳等細節，佈置海報論文，是日約 18:00 參加大會歡迎晚宴，與相關產界專家學者交流，並向籌備單位相關教授致意，感謝為本次會議所作之努力。次日，11 月 12 日早上參與開幕式(Opening Ceremony)，由 Prof. Jin-hua Na (President of Yunnan Minzu University, Kunming, China)開幕致詞，另大會特別安排 6 場專題演講，相關資訊如下：

- (1) Prof. **Xiaochang Wang** (Xi'an University of Architecture and Technology, China)
Lecture title: Elimination of Viruses from Domestic Wastewater: Requirements and Technologies for Risk Control
- (2) Prof. **Donald Huisingsh** (University of Tennessee, USA)
Lecture title: Why and How Must We, Accelerate the Transition to Equitable, Sustainable, Liveable, Post-Fossil Carbon Societies?"
- (3) Prof. **Ashok Pandey** (CSIR-National Institute for Interdisciplinary Science and Technology, India)
Lecture title: Moving towards a carbohydrate economy: Lignocellulosic biorefineries for fuels and chemicals
- (4) Prof. **Ping Ning** (Kunming University of Science and Technology, China)
Lecture title: Purification Technologies for Yellow Phosphorous Off-gas and Their Resource Utilization
- (5) Prof. **How Yong Ng** (National University of Singapore, Singapore)
Lecture title: Elimination of Viruses from Domestic Wastewater: Requirements and Technologies for Risk Control
- (6) Prof. **Dionysios Dionysiou** (University of Cincinnati, USA)
Lecture title: Treatment of Cyanotoxins and Contaminants of Emerging Concern in Water Using Advanced Oxidation Processes

本次會議為 CESE 系列第 10 次舉辦國際會議，會議中集合研究人員、相關產業高階經理人、學者、學生等共發表 348 篇學術論文，與會者分享其知識及對未來環境發展的前景。相關學術領域涵蓋薄膜及奈米技術的應用 (Applications of Membrane Technology & Nano-Technology)、水與廢水：汙染預防與處理(Water & Wastewater: Pollution Prevention & Treatment)、資源與廢棄物：

物質與能源之管理與回收(Resources & Wastes: Management and Recovery of Materials and Energy)、空氣汙染：預防與處理(Air Pollution: Prevention and Treatment)、永續集水與再生能源(Sustainable Catchments & Renewable Energy)、清潔生產與新興永續實務(Cleaner Production & Emerging Sustainable Practices)、永續發展技術與氣候變遷適應與減緩(Appropriate Technology for Sustainability & Climate Change Adaptation / Mitigation)、土地永續與土地及沉澱物汙染(Soil Sustainability and Contaminated Soils & Sediments)等八大領域之不同環境專業子題；

1. 薄膜及奈米技術的應用 (Applications of Membrane Technology & Nano-Technology)：

- (1) 水處理(Water treatment)
- (2) 廢水處理(Wastewater treatment)
- (3) 混合處理系統(Hybrid treatment systems)
- (4) 新興汙染物處理(Treatment of emerging pollutants)
- (5) 水資源再利用(Water reuse)
- (6) 集中管理(Concentrate management)
- (7) 資源回收(Resource recovery)
- (8) 環境保護(Environmental protection)
- (9) 汚染防治(Pollution prevention)

2. 水與廢水：汙染預防與處理(Water & Wastewater: Pollution Prevention & Treatment)：

- (1) 先進水暨廢水處理(Advances in water & wastewater treatment)
- (2) 飲用水處理(Potable water treatment)
- (3) 工業用水、純水與超純水之製造(Industrial, pure and ultrapure water production)
- (4) 都會與工業汙水處理(Municipal and industrial effluent treatment)
- (5) 污泥處理與處置(Sludge processing and disposal)
- (6) 水汙染之健康衝擊(Health impacts from water pollution)

(7) 水汙染事件之復育(Mitigation of water pollution incidents)

(8) 水汙染之擴散模擬(Water pollution dispersion modelling)

3. 資源與廢棄物：物質與能源之管理與回收(Resources & Wastes: Management and Recovery of Materials and Energy)：

- (1) 物質與產品之回收與再利用(Recovery and recycling of materials and products)
- (2) 廢棄物與替代資源之能源(Energy from waste and alternative resources)
- (3) 廢棄物減量(Waste minimization)
- (4) 廢棄物管理：(Waste management: systems and processes for energy and material recovery and waste treatment; disposal)
- (5) 固體廢棄物與有害廢棄物管理(Solid and Hazardous Waste Management)
- (6) 廢棄物掩埋場之設計、操作與管理(Landfill and waste repository design, operation and management)
- (7) 土地復育與再利用(Land remediation and recovery)

4. 預防與處理(Air Pollution: Prevention and Treatment)：

- (1) 方法與技術(Methods and technologies)
- (2) 氣狀汙染之生質燃料轉換(Conversion of gaseous pollutants to biofuels)
- (3) 空氣品質與擴散模擬(Cross boundary air quality and dispersion modelling)
- (4) 空氣汙染事件之預測與消滅(Prediction and mitigation of incidents)
- (5) 空氣汙染之健康衝擊(Health impacts of air pollutants)

5. 永續集水與再生能源(Sustainable Catchments & Renewable Energy)：

- (1) 集水管理(Catchment Management)
- (2) 水資源敏感都會設計(Water Sensitive Urban Design)
- (3) 暴雨回收處理(Storm Water Harvesting)
- (4) 水汙染之擴散模擬(Water pollution dispersion modelling)
- (5) 城市營運(City Operations)
- (6) 生物技術與生質能源(Biotechnology and bioenergy)
- (7) 濕地生態系統(Wetland eco-Systems)
- (8) 永續能源(Sustainable Energy)

(9) 再生能源之先進技術 (Technical Advancements in Renewable Energy)

6. 清潔生產與新興永續實務(Cleaner Production & Emerging Sustainable Practices)：

(1) 能源自主技術(Technologies promoting energy autonomy)

(2) 再生物質利用(Utilization of renewable materials)

(3) 永續消費與綠色實務(Sustainable consumption and green practices)

(4) 生態工業公園(Eco-industrial parks)

(5) 工業個案研究(Case studies from industries)

7. 永續發展技術與氣候變遷調適與減緩(Appropriate Technology for Sustainability & Climate Change Adaptation / Mitigation)：

(1) 成本技術(Low cost technologies)

(2) 創新技術(Innovative technologies)

(3) 社區參與及社會影響(Community engagement and social impacts)

8. 土地永續與土地及沉澱物汙染(Soil Sustainability and Contaminated Soils & Sediments)：

(1) 污染場址之觀測、監測與分析(Surveying, monitoring and analysing contaminated sites)

(2) 污染場址之生物復育(Bioremediation of contaminated lands)

(3) 土壤化學(Soil chemistry)

(4) 土壤調整(Soil amendments)

(5) 土生植物之營養與肥料(Soil-plant nutrition and fertilizers)

(6) 沉澱物之生態衝擊(Ecological impacts of sedimentation)

(7) 排水作業管理(Management of dredging operations)

本次於會議中報告論文分別聚焦於；「間歇曝氣與整流對人工濕地汙染處理效能之影響」、「曝氣與整流強對人工濕地汙染處理效能之影響」等二議題，會中恰與 Prof. Hui Zhu 探討「以人工濕地植物復育處理含鹽廢水之影響」與 Prof. Yan Kang 之「以傳統底棲動物群強化人工濕地之營養鹽」之內容相關。而前者所發表之論文發現種植蘆葦之人工溼地較之其他水生植物之人工溼地對

氮與磺胺甲噁唑(Sulfamethoxazole)之去除有較佳效能表現，水生植物對磷與重金屬之去除並無明顯差異。而當鹽度超過 30 mS/cm 時，對氮與磺胺甲噁唑之去除即有明顯的抑制作用，至於鹽度之改變對於磷與大多數重金屬(Cd 除外)之去除則無明顯的影響。至於後者則是在人工溼地中加入正顫蚓(*T. tubifex*)與淡水貽貝(Freshwater mussels)等底棲動物以探討其對人工濕地營養鹽去除效能之影響，由其結果可發現此二類底棲動物確可明顯提升總氮與總磷之去除率，即使在冬天二者之去除率分別為 36.71% 與 39.45%，較之對照組之 22.80% 與 23.97% 亦明顯為高，其研究亦發現此二類底棲動物可提升脫氮菌之豐富度，同時亦發現特定脫氮菌可同時進行硝化與脫氮作用，由此提升人工溼地之總氮去除率。該研究應用底棲動物於人工溼地提升營養鹽之去除效能，不失為一可行方案，此行有此收穫，頗感滿意，期待參與下一次相關國際研討會議，吸收更多新知，以期後續研究有較為新創之發展。

二、與會心得：

本次成功參與相關研討會議，本人非常感謝科技部給予經費上之補助，本次參與國際性學術研討會，不僅是針對不同環境領域進行相關之交流與討論參訪外，亦引發後續研究方向，凡此種種皆增加個人國際視野與學術研究深度，期望政府等相關單位持續推動國內研究人才參加國際研討會之相關政策，以增進國內學者之國際觀與移動力。

三、發表論文全文或摘要：

Theme Number: II Sub-topic: Advances in Water & Wastewater Treatment

Pollution degradation in constructed wetland with intermittent aeration and rectification

Jih-Ming Chyan ^{a*}, Chien-Jung Lin ^a, Yueh-Jun Li ^a, I-Ming Chen ^a

^a Department of Environmental Resources Management, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Tainan 71710, Taiwan (E-mail: mjmchyan@mail.cnu.edu.tw; cjlin@mail.cnu.edu.tw; liyc8283@gmail.com; imchen@mail.cnu.edu.tw)

*Corresponding author

Jih-Ming Chyan, Department of Environmental Resources Management, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Tainan 71710, Taiwan (E-mail: mjmchyan@mail.cnu.edu.tw)

Abstract

In this study, an intermittent aeration with rectification system and a bio-gravel wall installed at the end of CW were used to in a free water surface (FWS) CW to improve the removal of pollutants. The flow rectification system was designed to depress a negative effect of the turbulence induced by aeration. A FWS CW (CW-A) only planted with cattail was established as a control system whose experimental results could be compared with those results of CW-B with aeration, rectification and bio-gravel wall. The emergent plants, cattail, are planted in both FWS CWs with the same dimension and influent conditions. The inflow comes from the sewage system of university campus. From the experimental results of first stage whose hydraulic loading and average influent concentration of biochemical oxygen demand (BOD) were 0.15 m/d and 7.02 mg/L, respectively, it showed that, for a continuous aeration, the average removal rates of BOD, ammonia-nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$), total Kjeldahl nitrogen (TKN), and total phosphorus (TP) of CW-B were 52%, 92.1%, 90.2%, and 16.6%, respectively, while the corresponding results of CW-A were 10.8%, 48.7%, 57.9%, and 14.8%. The continuous aeration did effectively increase the removal efficiency of FWS CW except that the average $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration in the effluent of CW-B was 8.53 mg/L. In CW-A, it was only 0.69 mg/L. As for the second stage, the aeration of CW-B was operated from 09:00 to 17:00 and no addition aeration was supplied at the rest period. During this experimental period, the average removal rates of CW-A were -8.8% for BOD, 12.5% for $\text{NH}_3\text{-N}$, 26.2% for TKN, -3.9% for TP, respectively, while the corresponding results of CW-B were 20.5%, 22.6%, 37.0%, and -22.1%. The intermittent aeration obviously depressed the positive effect of aeration on the removal of BOD, $\text{NH}_3\text{-N}$, TKN, and TP, however, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in the effluent of CW-A and CW-B were only 0.11 mg/L and 0.12 mg/L, respectively. In the third stage, the results of hourly monitoring program showed that $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in CW-B decreased to a stable level 8 hrs later after the aeration ceased. It implies that the optimum period without aeration was 8 hrs.

Keywords: Free water surface constructed wetland, intermittent aeration, Rectification, Biochemical oxygen demand, Ammonia-nitrogen, Total phosphorus

Fig. 1. Laboratory setup of FWS CW with intermittent aeration and bio-gravel wall.

Fig. 2. Concentration variations of BOD_5 in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Fig. 3. Concentration variations of $\text{NH}_3\text{-N}$ and TKN in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Fig. 4. Concentration variations of TN in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Fig. 5. Hourly variations of DO, $\text{NH}_3\text{-N}$, and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration in CW-B.

Fig. 6. Concentration variations of TP in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Table 1. Statistic results of BOD_5 in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Table 2. Statistic results of TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, and TN, in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Table 3. Statistic results of TP in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Pollution degradation in constructed wetland with artificial aeration and bio-gravel

Jih-Ming Chyan ^{a*}, I-Ming Chen ^a, Ming-Hsiu Yu ^a, Chien-Jung Lin ^a

^a Department of Environmental Resources Management, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Tainan 71710, Taiwan (E-mail: mjmchyan@mail.cnu.edu.tw; cjlin@mail.cnu.edu.tw; liyc8283@gmail.com; imchen@mail.cnu.edu.tw)

*Corresponding author

Jih-Ming Chyan, Department of Environmental Resources Management, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Tainan 71710, Taiwan (E-mail: mjmchyan@mail.cnu.edu.tw)

Abstract

An artificial aeration and a bio-gravel wall are installed in a free water surface (FWS) constructed wetland (CW) to improve the removal of pollutants in this study. The bio-gravel wall not only plays a rectification system to depress the negative effect of the turbulence induced by aeration but offers a microbial system with fixed film to increase pollution degradation performance. A FWS CW (CW-A) only planted with a cattail was established as a control system. When compared with the results of CW-A, the performance of the experimental system (CW-B) with aeration and bio-gravel wall can be investigated. The cattail are planted in both FWS CWs with the same dimension and influent conditions. The experiments based on an inflow of campus wastewater includes 2 stages with hydraulic loadings (HL) of 0.148 m/d and 0.066 m/d. From the experimental results of first stage whose average influent concentration of biochemical oxygen demand (BOD) was 7.23 mg/L, it showed that, for a continuous aeration, the average removal rates of BOD, ammonia-nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$), total Kjeldahl nitrogen (TKN), and total phosphorus (TP) of CW-B were 66.8%, 97.3%, 94.1%, and 22.4%, respectively, while the corresponding results of CW-A were 5.3%, 35.2%, 42.0%, and 11.6%. The continuous aeration did effectively increase the removal efficiency of FWS CW except that the average $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration in the effluent of CW-B was 9.46 mg/L. In CW-A, it was only 0.54 mg/L. As for the second stage, the HL of CW-B decreased from 0.148 m/d to 0.066 m/d. During this experimental period, the average removal rates of CW-A were -0.8% for BOD, 80.5% for $\text{NH}_3\text{-N}$, 76.2% for TKN, 26.1% for TP, respectively, while the corresponding results of CW-B were 62.3%, 99.6%, 98.3%, and 23.2%. A lower HL obviously increased a higher increase of the performance of CW-A than those of CW-B. However, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in the effluent of CW-B was decreased from 9.46 mg/L to 3.75 mg/L. No obvious positive effect of aeration and bio-gravel wall was found in removal of total phosphorous (TP) of FWS CW.

Keywords: Free water surface constructed wetland, Aeration, Bio-gravel, Biochemical oxygen demand, Ammonia-nitrogen, Total phosphorus

Fig. 2. Laboratory setup of FWS CW with artificial aeration and bio-gravel wall.

Fig. 2. Concentration variations of BOD in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Fig. 3. Concentration variations of $\text{NH}_3\text{-N}$ and TKN in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Fig. 4. Concentration variations of TN in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Fig. 5. Effects of aeration on relationships between influent loading rates and removal loading rates of BOD and $\text{NH}_3\text{-N}$ in FWS CWs.

Fig. 6. Concentration variations of TP in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Table 1. Statistic results of BOD in; (A) CW-A, (B) CW-B.

Table 2. Statistic results of TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, and TN, in; (A) CW-A, (B) CW-B.

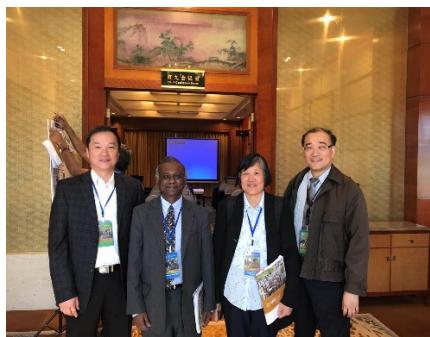
Table 3. Statistic results of TP in; (A) CW-A, (B) CW-B.

建議：

本次會議之特別安排參訪滇池漁撈河溼地公園，近年，滇池亦受到周邊汙染源之影響，水質不斷惡化，當地政府遂利用漁撈河與滇池交會處之濕地整治為濕地公園，除具汙染處理功能外，另尚有環境教育與旅遊休閒功能，相較於國內，我國之相關濕地於硬體設施之設置尚有明顯成長空間，值得國內產官學界借鏡。會議今年特別增加聘請知名國際學術期刊總編輯進行期刊論文撰寫論壇，以提升青年學者之國際期刊撰寫水準，相關作法亦值得借鏡。

四、攜回資料名稱及內容：本次攜回資料計有：出席證、大會手冊、摘要論文集、與會者大合照料等。

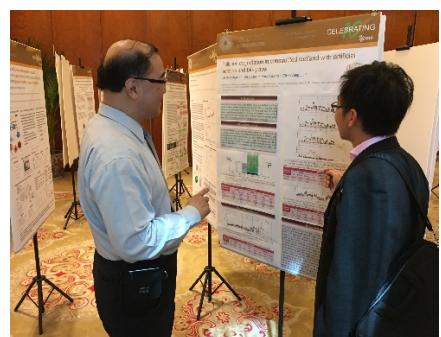
五、其他：會議活動照片



(a)



(b)



(c)

照片 1 會議相關活動照片；(a) 與大會主席與副主席合影，(b) 口論文發表，(c) 海報論文發表

106年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：錢紀銘			計畫編號：106-2221-E-041-002-				
計畫名稱：以複式循環曝氣與零價鐵提升水平潛流式人工溼地之汙染降解效能							
成果項目			量化	單位	質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)		
學術性論文	期刊論文		0	篇			
	研討會論文		1		本計畫成果擬於2018年於泰國曼谷舉行之International Conference on Challenges in Environmental Science & Engineering研討會中口頭宣讀。		
	專書		0				
	專書論文		0				
	技術報告		0				
	其他		0				
國內	智慧財產權及成果	專利權	發明專利	申請中	1	本計畫相關成果業於2018.06.05日向智財局申請發明專利，專利名稱：廢水處理系統及方法，申請案號：107119368。	
				已獲得	0		
		新型/設計專利			0		
		商標權			0		
	智慧財產權及成果	營業秘密			0		
		積體電路電路布局權			0		
		著作權			0		
		品種權			0		
		其他			0		
		件數		件	0		
國外	智慧財產權及成果	收入		千元	0		
		期刊論文			0		
		研討會論文			0		
		專書			0		
		專書論文			0		
		技術報告			0		
		其他			0	篇	
		專利權	發明專利	申請中	0		
				已獲得	0		
		新型/設計專利			0		
		商標權			0		
		營業秘密			0		

		積體電路電路布局權	0		
		著作權	0		
		品種權	0		
		其他	0		
參與 計畫 人力	技術移轉	件數	0	件	
		收入	0	千元	
參與 計畫 人力	本國籍	大專生	16	人次	計有4年級8人，3年級8人，其中5位4年級生經輔導業考上研究所碩士班。
		碩士生	5		計有碩二生4人、碩一生1人，藉由本研究之進行，4位碩二生業於2018.07月順利畢業
		博士生	0		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
	非本國籍	大專生	0		
		碩士生	0		
		博士生	0		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
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。)					

科技部補助專題研究計畫成果自評表

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（簡要敘述成果是否具有政策應用參考價值及具影響公共利益之重大發現）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（請於其他欄註明專利及技轉之證號、合約、申請及洽談等詳細資訊）

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200字為限）

本計畫成果業擬於2018年於泰國曼谷舉行之International Conference on Challenges in Environmental Science & Engineering研討會中口頭宣讀。

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）

本研究利用曝氣與內迴流提升潛流動式人工濕地於處理校園廢水之汙染處理效能。由相關實驗結果發現曝氣迴流系統對BOD之平均去除率可由對照組之53.8-76.0%提升至82.0-91.7%，此結果屬於顯著提升($p<0.05$)，而迴流比(內迴流流量：進流量) >3 即能顯著提升BOD去除效能。至於對NH₃-N、TKN與TN的去除而言，迴流比 >3 即對其去除效能之提升即無顯著影響，而曝氣迴流系統對NH₃-N、TKN與TN之去除率分別由對照組之15.1-78.1%、18.2-77.2%、19.4-74.5%顯著提升98.3-98.6%、93.4-94.0%、71.6-81.0%，惟對NO₃-N之抑制仍有侷限性，當入流濃度超過限度時，仍會發生顯著之累積現象，即便如此，TN之去除仍有顯著提升現象。而根據實驗結果顯示曝氣迴流系統對於TP則未有顯著之正面提升影響，由前述結果可知曝氣迴流系統可明顯提升有機與含氮汙染物，而內迴流比 >3 時，其提升效能即無顯著差異。本研究之相關技術尤其適於處理低有機高氮之廢汙水，諸如養殖廢水、景觀循環用水處理、社區汙水等，可大幅降低廢汙水之處理成本，頗值推廣。

4. 主要發現

本研究具有政策應用參考價值：否 是，建議提供機關行政院農業委員會
, 行政院環境保護署,

(勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關)

本研究具影響公共利益之重大發現：否 是

說明：(以150字為限)