

科技部補助

大專學生研究計畫研究成果報告

* ***** ***** *
* 計畫 : 以蜂槽式整流器提升在槽曝氣對人工溼地氨氮之降解 *
* 名稱 : 效能 *
* ***** ***** *

執行計畫學生：張育菘
學生計畫編號：MOST 103-2815-C-041-001-E
研究期間：103年07月01日至104年02月28日止，計8個月
指導教授：錢紀銘

處理方式：本計畫可公開查詢

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)

中華民國

104年03月30日

科技部補助大專生參與研究計畫成果報告

以蜂槽式整流器提升在槽曝氣對人工濕地氨氮的降解效能

計畫編號：NSC 103 – 2815 – C – 041 – 001 – E

執行期限：103 年 7 月1 日至 104 年2 月28 日

執行單位：嘉南藥理大學環境資源管理系

指導教授：錢紀銘副教授

執行學生：張育菘

摘 要

本專題研究主要是藉由蜂槽式整流器來提升在槽曝氣表面流動式人工溼地的氨氮的去除效率，藉由氨氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽等水質參數來評估蜂槽式整流器與曝氣對人工溼地系統的對含氮污染物去除特性的影響，由本專題研究的成果可以發現曝氣整流對氨氮的去除率可以達到 78.2%，遠大於對照組的 31.3%，相關結果證明本專題是一個具有實用價值的專題研究。

(一)前言

在現今使用的水或廢水處理方法中，人工濕地系統(constructed wetlands system, CW)是以人為方式操作和控制濕地的各種環境參數，並利用生態自然系統淨化水質的一種生態工程技術，在實際操作時，添加化學藥劑或是界質單體附著的人造物質，亦不需曝氣、攪拌、加壓等動力設備，所以在排除土地成本時，人工濕地具有構造簡單、操作容易、維護費低等優勢，因此，全球各國皆廣泛採用人工濕地作為主要水處理方法的一，尤其在土地成本較低的偏遠地區。

學生在過去因為參與指導老師人工溼地新式填充材的專題研究計畫時就發現系統的氨氮去除效能不是很好，學生在收集資料、閱讀相關文獻時，對提升人工溼地氨氮去除效能產生濃厚興趣，由於一般氨氮的去除主要是經由硝化作用轉換為硝酸氮，而現場監測所得水中溶氧大部分都低於 1.0 mg/L，低溶氧會影響硝化作用，經向指導教授詢問增加水中溶氧是否可以增加人工溼地氨氮的去除效能，指導教授說目前已有相關研究，一般主要集中在潛流式人工濕地(subsurface flow constructed wetland, SSF CW)，至於表面流動式人工溼地(free water surface flow constructed wetland, FWS CW)就比較少，曾經有用三段式離槽曝氣來增加表面流動式人工溼地的污染物去除率，而

實驗室學長曾對在槽式曝氣對表面流動式人工溼地分解污染物的效能進行研究，由研究結果發現在槽曝氣雖然可以增加去除效率，但是也會擾動流場而降低去除效率，如果要改善這個缺點，可以從改善流場下手，而這方面的研究也不多，十分具有探討的價值，所以嘗試性提出「以蜂槽式整流器提升在槽曝氣對人工溼地氮氮的降解效能」的專題研究。

(二)文獻回顧與探討

一般而言，人工濕地系統中氮的主要去除機制為氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)的揮發、硝化作用、脫硝作用、固氮作用、同化作用等等一連串但循環來完成，在廢水中氮的去除機制較複雜，大部分多為植物及微生物吸收，氮的存在分為有機氮和無機氮，有機氮通常會被微生物分解為無機氮，部分被植物所吸收作為生長中的重要元素，而定期修剪植物可避免植物所吸收的氮元素又回到承受水體中而去除部分水中的含氮營養鹽(許文明，2011)。濕地中氮營養鹽的常見的無機氮型態包括；銨、亞硝酸根、硝酸根、氧化亞氮，氣態氮有氮氣、一氧化二氮、氧化氮及氮等(Vymazal，2007)。

近幾年許多國內外皆有學者對人工濕地處理氮污染物進行研究探討，以下為各學者依人工濕地對不同類型的廢污水的研究；許原哲(2006)以人工濕地處理慈濟大林醫院污水，其氨氮的進流濃度為 1.75 mg-N/L，出流濃度為 0.71 mg-N/L，其去除率為 59%。黃獻文(2003)以人工濕地系統處理校園定點排放的二級污水，其氨氮再進入系統的前 0.3 天，表面流動式人工濕地(free water surface flow constructed wetland, FWS)系統對氨氮的處理效果最好，在此階段前端氨氮的去除率已達 10%，在後續系統的去除率趨於平穩，進入潛流式人工溼地(subsurface flow constructed wetland, SSF)系統前端總去除率只有 15%，但在離開 SSF 系統時去除率達 47%。

由前述的研究可發現國內的人工濕地氨氮去除效能大部分都不高，至於曝氣作用對人工溼地的污染去除效應的影響則有簡等人(2010)以三段式表面流人工濕地觀察曝氣及未曝氣作用對處理人工合成污水的影響，第一單元植密區未曝氣試程中總氮(total nitrogen, 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中 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，因此，可知於三段式表面流人工濕地的第二單元，適當增加水中溶氧，將可達到氮移除的較佳效果。

李等人(2009)以垂直潛流式人工濕地進行曝氣及未曝氣來探討 TN 的去除率，其去除率分別為 68%和 55%。從曝氣組觀察到，再曝氣點附近氨氮濃度逐漸下降，而相

對應得亞硝酸鹽但濃度則越來越高，表示好氧區域內的硝化反應活躍使得亞硝酸鹽但大量產生，而在未曝氣的氨氮濃度雖然也逐漸下降，但其中亞硝酸鹽濃度則無明顯的變化，由此可說明，曝氣使人工濕地內部硝化反應速率增加，底部的脫硝作用也提供了更多電子受體，因此提高了 TN 的去除率。

錢等人(2013)探討分在槽式曝氣對不同人工溼地系統的汙水處理效能的影響，由其結果發現曝氣或未曝氣系統的 BOD 去除率分別是 95.7 % 與 96.2 %，高去除率造成曝氣作用對有機汙染物去除效能的影響並不明顯。而 FWS 系統氨氮確實會因溶氧的增加而使去除率由未曝氣的 21.7 % 增為曝氣的 37.1%，但是仍有很大的增加空間，根據他的說明是因為曝氣所造成的流場擾動減緩了去除率的增加量。

Jamieson et al., (2003)以潛流式人工濕地處理農場廢汙水，分為三個階段進行處理，第一階段為未曝氣，第二階段為停滯期，第三階段開始曝氣，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。表示在人工濕地中加入曝氣系統可以有效地去除氨氮汙染物，硝酸鹽氮的濃度表示也驗證了曝氣增加了好氧量無法進行厭氧脫硝作用，導致硝酸鹽氮濃度的上升。

Claudiane et al.,(2006)以水平潛流式人工溼地處理魚池廢水，以種植及未種植植物及未曝氣和曝氣組合式程，觀察其在冬季與夏季 TKN 去除汙染物的影響，其結果所有式程的去除率皆達 70% 以上，因廢水為一低濃度負荷的水質所以在未曝氣時已是一高去除率，文獻表示若將廢水改為一高濃度負荷的水質再提供人工曝氣其去除率則會更加明顯。

Nivala et al.,(2007)以潛流式人工濕地曝氣及未曝氣處理垃圾處理場的滲出水，以四季冬、春、夏、秋表示未曝氣及曝氣的汙染物去除率，未曝氣 NH₄-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汙染物的去除，其中又以夏天去除率最佳。

Chazarenc et al.,(2009)在人工濕地種植植物及提供人工曝氣觀察其對固體物累積及生物活性的影響，其結果總氮去除可達 0.65g Nm⁻²d⁻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。

由以上國內外的研究可知曝氣作用對於人工溼地對於含氮汙染物處理效能皆有

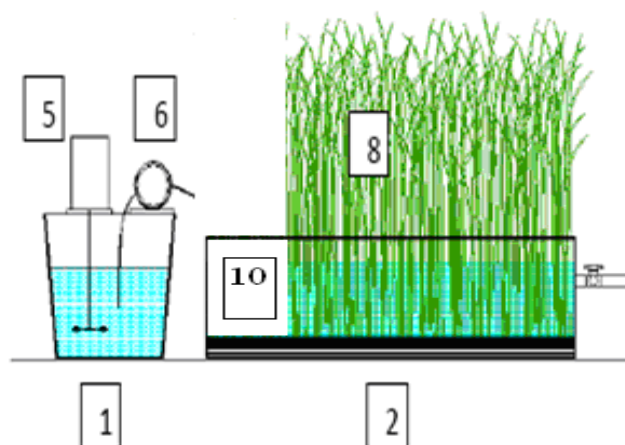
不錯的提升效果，但是大部分的研究都集中在潛流式人工溼地，對於表面流動式的人工溼地則僅有離槽式的曝氣作用，由於人工濕地的停留時間都比較長，水流流量也小，所以造成離槽曝氣並沒有實質提升 FWS 的溶氧，氨氮去除效能的提升主要是在離槽的曝氣槽，而不是在 FWS。而在槽式曝氣雖然可以增加表面流動式人工溼地的汙染物分解效率，但是也會擾動流場而減緩去除效率的增加，為了改善這個缺點，所以提出用蜂槽式整流器來提升在槽曝氣 FWS 的氨氮去除效能。

(三)實驗方法及步驟

本專題研究主是用蜂槽式整流器來提升在槽曝氣表面流動式人工溼地的氨氮去除率，為進行相關研究，相關的驗設施主要設置在嘉南藥理科技大學校本部的廢水廠，共規劃設置兩套人工溼地系統，藉由整流曝氣組(系統 A)與對照組(系統 B)表面流動式人工溼地的氨氮去除率比較，就可以探討蜂槽式整流在槽曝氣對氨氮降解特性變化的影響，以下將對實驗的各項細節進行簡要的說明。

1 在槽式曝氣人工溼地系統的規劃與操作

人工溼地系統的規劃主要是表面流動式人工溼地，反應槽的尺寸分別為長 200cm、寬 60cm、高 50cm，槽體係由強化玻璃製成，其規劃佈置如圖 1 所示。由於在槽式曝氣槽曝氣時會形成比較強的曝氣水流，進而影響 FWS 其他的處理功能，所以在曝氣區與 FWS 水生植物區放置蜂槽式整流器，整流器是用廢棄吸管剪成 10cm 的長管再用膠水黏合堆疊，希望能減少對 FWS 水流的干擾，但是溶氧卻可以經由多孔版擴散傳輸到 FWS 而增加其他部分的溶氧。



- 1：進流基質桶 2：表面流動式人工溼地 5：基質桶攪拌機
6：人工濕地進流幫浦 10：蜂槽式整流曝氣槽
8：挺水性水生植物(香蒲，*Typha orientalis Presl.*)

圖 1 在槽式曝氣人工溼地實驗系統的規劃佈置圖

為便於種植水生植物，本專題研究在 FWS 槽體系統底部鋪了 15cm 的土壤，水深為 0.30m。實驗用水是抽取廢水廠進流槽的校園廢水作為系統的進流水，流量大約是 201.6L/d，水力負荷大約是 $0.18\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ ，空槽理論水力停留時間大約是 2.08 天。

2 水質的採樣與分析

人工溼地系統完成後經過 1~2 個月的穩定及植物培植後，才可以在分別進行各項採樣、監測及分析工作，採樣點主要是在校園廢水的儲留桶、表面流動式深人工濕地水槽進流區與出流區 3 處位置，研究期間的採樣頻率為每週一次，採樣時間約在每次採樣日的上午 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的檢測方法進行。

- (1) 現場監測：每次採樣同時進行現場監測水溫、pH 值及溶氧。
- (2) 實驗室分析：每次以 500mL PVC 瓶在相同監測位置採集水樣，並且在實驗室中進行各項水質分析，其分析項目包含有氨氮、硝酸鹽、亞硝酸鹽等，檢測方法如表 2 所示。

表 2 綠藻培養管的水質檢測方法彙整

檢測項目	檢測方法
氨氮	NIEA W448.51B
硝酸鹽	NIEA W419.51A
亞硝酸鹽	NIEA W418.51C
溶氧	NIEA W455.52C
水溫	NIEA W217.51A

(四) 結果與討論

本研究主要是探討利用蜂槽式整流器提升在槽式曝氣對人工溼地氨氮降解效能，但是實驗系統是設置在無遮蔽物的廢水處理場樓頂，水溫會隨日夜溫差及季節所影響，而水溫、pH 值、溶氧等環境因子的變化是會影響到濕地系統的生化反應的重要因子，加上人工濕地的汙染降解頗為複雜，所以對於表面流動式人工濕地降解氨氮效能的影響也比較難探討。

表 1 為實驗期間所監測的水溫、pH 值、溶氧等環境因子的統計觀測結果，由監測結果所示，在溫度方面實驗期間是從夏天至冬天，進流水(FwsIN)的平均溫度是 24.8 °C，而蜂槽曝氣的 A 系統進流區(FwsAIN)與出流區(FwsA 出)、對照組的 B 系統進流

區(FwsBIN)與出流區(FwsB 出)等各採樣點的平均溫度分別是 23.9°C、23.7°C、23.4°C、23.3°C，但實驗結果的差異不會因水溫有太大的差異，實驗組與對照組的平均實驗溫度相近，然實驗的最高溫曾達 33.60 度，而最低溫則是 13.4 度，此高低水溫的變化對濕地系統汙染處理效能應有明顯影響。而由實驗期間所監測的 pH 平均值也可發現類似的特性，進流水的平均 pH 是 7.8，其他部分的 pH 值介於 7.1~7.3 的間，Metcalf et al.(2004)指出水中微生物在 pH 大於 9.5 及小於 4 時無法生存的，硝化菌最佳超做酸鹼值的範圍是 6.5~7.5 的間，而脫硝菌是當酸鹼值為 7.2 時會處於最佳狀態效能，由本實驗酸鹼值監測結果顯示微生物生存的 pH 環境大多數時段符合最佳效能的範圍。至於系統的進流平均溶氧約 2.09mg/L，這個結果高於一般校園廢水的溶氧值，這個主要是因為廢水是由廢水處理廠的進流井用沉水式抽水機抽送，這個過程發現會有比較大曝氣作用，造成進流水的溶氧值比較高。但是廢水進入沒有曝氣的對照組 B 系統後，他的平均溶氧量就會降低成比較常見的 0.42~0.65 mg/L。另外，A 系統在進流口曝氣整流後，他的溶氧平均濃度可以提高到 3.41 mg/L，然後在慢慢降低 1.89 mg/L。

表 1.實驗系統的水溫、PH 值及溶氧觀測統計結果

環境因子	進流水	A 系統(進)	A 系統(出)	B 系統(進)	B 系統(出)
水溫	24.8	23.9	23.7	23.4	23.3
pH	7.8	7.3	7.2	7.3	7.1
溶氧(mg/L)	2.09	3.41	1.89	0.65	0.42

本專題主要探討人工濕地氮氮降解效能，含氮汙染物的主樣來源是人或動物活動所產生，對水環境生態而言，他是重要營養物質，也是嚴重影響水環境品質的汙染物質，所以專題研究是以氮氮為主，而亞硝酸氮與硝酸氮的存在也會影響水質，他們的主要去除機制為硝化作用與脫硝作用，而本次專題是利用硝化作用，使氮氮在好氧環境中，經亞硝酸菌第一階段氧化成亞硝酸氮，在經硝酸菌第二階段氧化成硝酸氮，藉有此項達到去除氮氮的效果，

本研究相關實驗結果業點繪於圖 2 至圖 3，其相對應的實驗數據則彙整於表 2 至表 4，而 A 系統在進流口部分裝設曝氣機及整流設備，B 系統則是為曝氣的對照組，本研究的進流水的主要含氮汙染物為氮氮，其濃度為 27.3mg/L，當校園汙水流入 A、B 二系統槽時，其平均濃度分別降為 8.39 mg/L 與 21.2 mg/L，其未曝氣的對照組 B 系統 FWS 的去除率為 31.3%。至於，曝氣整流 A 系統 FWS 去除率則是 78.2%，明顯高於為曝氣 B 系統 FWS 的去除率，實驗結果顯示增加曝氣機提高溶氧量有助於氮氮的去除。另外亞硝酸鹽的進流為 0.32mg/L，而 A、B 二系統的 FWS 出流平均濃度為 0.15 mg/L 與 0.16 mg/L，結果顯示並亞硝酸鹽氮並未有累積現象。最後硝酸鹽氮進流平均濃度為 0.32 mg/L，而未曝氣 B 系統的出流平均濃度為 0.37 mg/L，無明顯累積現象。但有曝氣的 A 系統的出流平均來到 2.37 mg/L，實驗結果顯示高溶氧對脫硝作用產生抑制作用故導致硝酸鹽氮累積現象。

表 2. 人工濕地系統氨氮觀測統計結果

統計參數	進流水	A 系統(進)	A 系統(出)	B 系統(進)	B 系統(出)
平均濃度(mg/L)	27.3	8.4	6.0	21.2	18.8
平均去除率		69.3	78.2	22.6	31.3

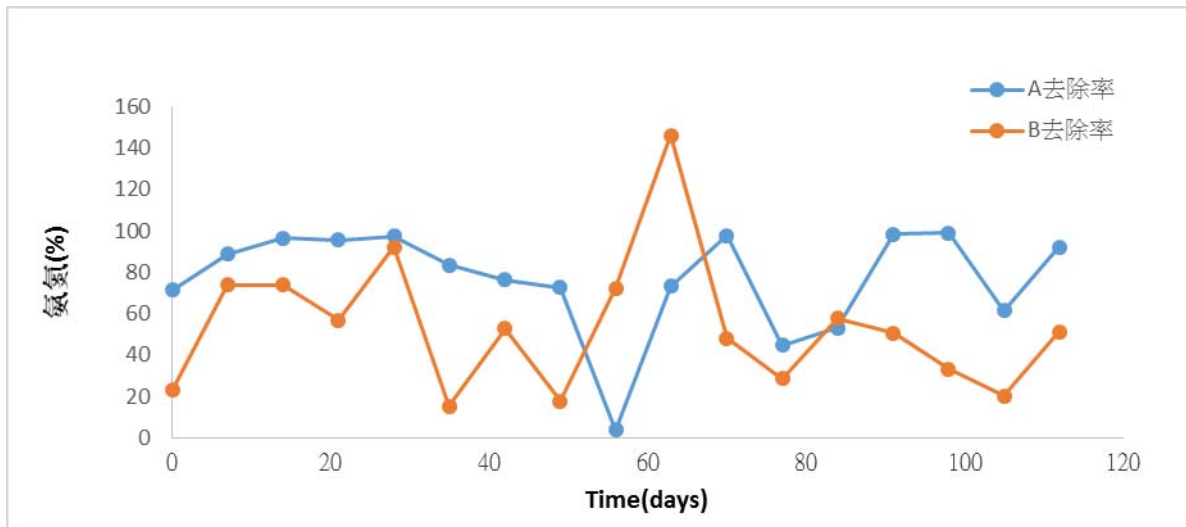
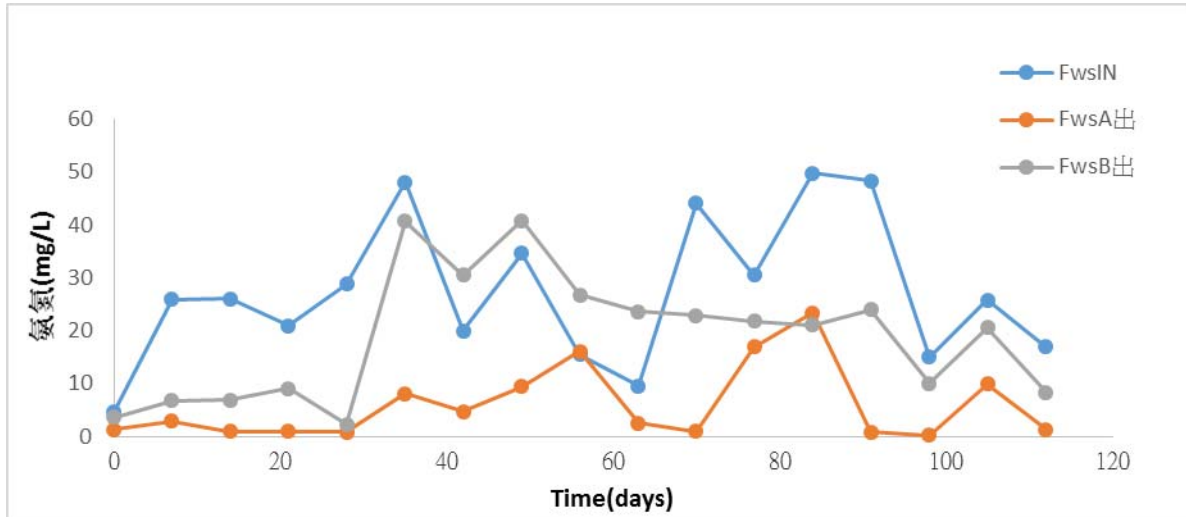


圖 2 人工濕地的(A)曝氣與(B)未曝氣系統的氨氮濃度歷時變化

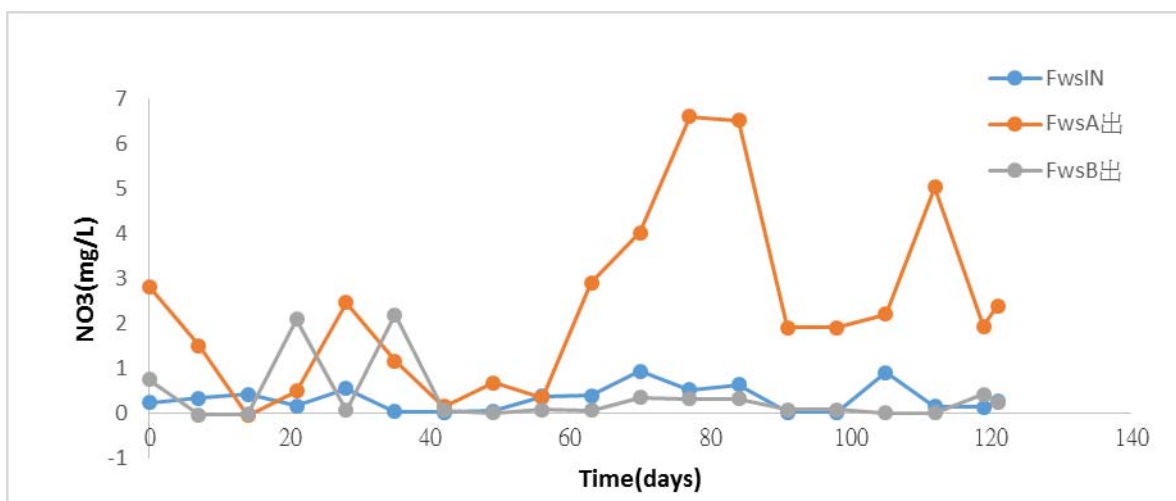


圖 3 人工濕地的(A)曝氣與(B)未曝氣系統硝酸鹽氮濃度歷時變化

表 3.人工濕地系統亞硝酸鹽氮觀測統計結果

統計參數	進流水	A 系統(進)	A 系統(出)	B 系統(進)	B 系統(出)
平均濃度(mg/L)	0.2	0.22	0.15	0.19	0.16

表 4. 人工濕地系統硝酸鹽氮觀測統計結果

統計參數	進流水	A 系統(進)	A 系統(出)	B 系統(進)	B 系統(出)
平均濃度(mg/L)	0.32	2.64	2.37	0.34	0.37

(五)結論

本專題主要研究以蜂槽式整流器隊在槽曝氣對人工溼地氨氮降解效能，在研究期間經過夏冬兩季的氣候變化，使濃度及去除率會有明顯的起伏。從研究結果得知，A系統在進流口裝設曝氣池溶氧約 3.41 mg/L，因為溶氧量的增加，使氨氮的去除效能明顯的提升，但是，因溶氧量的提高使硝酸鹽氮有累積的現象時，而亞硝酸鹽氮則未有累積的現象。從前面的數據可發現蜂槽式整流器對人工溼地的有機物與氨氮有顯著的去除效能，頗值得深入探討，特別是對於如何於去除氨氮的狀況下，也能去除硝酸鹽氮，使其不再累積。

(六)參考文獻

1. 黃獻文，「人工濕地處理校園廢污水的效能機制探討」，嘉南藥理科技大學環境工程衛生系，碩士論文，(2003)。
2. 許原哲，「以人工濕地處理醫院污水處理廠放流水的研究」，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系，碩士論文，(2006)。
3. 李想，「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，北京，北京工商大學，(2009)。

4. 簡伊敏、郭念祖、陳佑禎，鄭慈儀、沈玉潔、江漢全，“人工曝氣對三段式表面流人工濕地除氮效益的影響”，中華民國環境工程學會第二十二屆廢水處理技術研討會，屏東科技大學，計畫編號：99-2815-c-197-008-E，(2010)。
5. 許文明，「以現地及小型人工濕地探討數種水生植物淨化養豬廢水的效能比較」，國立屏東科技大學環境工程與科學研究所，碩士論文，(2011)。
6. 錢紀銘、周怡安、范宥榆、林佳慧、陳威凱、許齡藝，“在槽式曝氣對人工濕地汙染降解效能的影響”，中華民國環境工程學會2013廢水處理技術研討會，國立高雄大學，(2013)。
7. Claudiane, O.P., Florent, C., Yves, C., Jacques, B., 2006. Artificial aeration to increase pollutant removal efficiency of constructed wetlands in cold climate. *Ecol. Eng.* 27 (3), 258–264.
8. Chazarenc, F., Gagnona, V., Comeaub, Y., Brissona ,J. Effect of plant and artificial aeration on solids accumulation and biological activities in constructed wetlands. *ecological engineering* 35,1005–1010(2009).
9. Jamieson, T.S., Stratton, G.W., Gordon ,R. and Madani ,A. The use of aeration to enhance ammonia nitrogen removal in constructed wetlands. 1Department of Environmental Sciences and 2Department of Engineering, Nova Scotia Agricultural College, P.O. Box 550, Truro, Nova Scotia, Canada B2N 5E3,(2003).
10. Nivala , J., Hoos , M.B., Cross , C.,Wallace ,S., Parkin G. Treatment of landfill leachate using an aerated, horizontal subsurface-flow constructed wetland. *Total Environment* 380 19–27, (2007).
11. Vymazal, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands, *Science of the Total Environment* 380(1-3): 48-65, (2007).