

嘉義縣明華人工濕地對生活污水污染物削減之探討

陳佩儒⁽¹⁾ 鄭旭涵⁽²⁾

摘要

台灣地區由於污水下水道建置未臻完成，家庭生活污水未妥善收集與處理，排放量已逾 55%。環境保護署自 2008 積極辦理推動淨化河川水質、促進社區發展及提升居民生活品質，在適當地點，規劃建置人工溼地處理受污染的河川或社區生活污水。本研究以大林鎮三疊溪橋下之明華人工濕地，探討其對生活污水污染物之削減率。經分析各類水質參數，水質處理後 pH 值略為提昇；惟 pH 值之月變化不大。溶氧量除 100 年 2 月之測值無明顯改善外；其餘放流水之測值均較進流水測值高。BOD 去除率之月變化雖大，但皆達設計目標(去除率 50%)以上。NH₃-N 去除率之月變化亦大，其平均 NH₃-N 去除率約 11%。SS 於 98/7、98/10 及 99/7，放流水之 SS 測值反而比進流水之測值為高，應為颱風季節，水生植物受風雨破壞，SS 因流水捲揚而上升；其餘時段 SS 之平均去除率約為 26%。因氣象及水生植物生長狀況會影響明華人工濕地淨化成效，NH₃-N 及 SS 去除率未達設計目標，僅 BOD 有達到水質淨化效益與處理目標。

(**關鍵詞**：家庭生活污水、人工濕地、去除率)

Reduction of Wastewater Pollution through Min Hua Constructed Wetland in Chiayi County

Pei-Ju Chen⁽¹⁾ *Jero-Hertz Jeng*⁽²⁾

Graduate Student⁽¹⁾, Doctoral Student⁽²⁾ Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

ABSTRACT

Due to the construction of sewerage in Taiwan is not fully completed; the domestic wastewater is not well collected and treated. More than 55% of wastewater belongs to domestic wastewater. Environmental Protection Administration (EPA) has been strenuously done on purifying river water, helping to develop communities, and raising residents' life qualities since 2008. EPA had marked out several constructed wetlands in proper places and set them up to deal with those polluted rivers and domestic wastewater from communities. In this study, domestic wastewater from Sun-Dia brook in Da-lin town has been purified through Min Hua constructed wetland. The water pH is slightly

(1)國立中興大學水土保持學系研究生(通訊作者 e-mail : peijo33@hotmail.com)

(2)國立中興大學水土保持學系博士班研究生

increased after treatment, and the dissolved oxygen of effluents except in Feb. 2011 were higher than those of the intake water. Although monthly changes in removal of BOD was huge, they were higher than 50%, and all of them reached the designed goals. Monthly changes in removal of $\text{NH}_3\text{-N}$ were also huge, and the average removal rate was about 11%. The SS of effluents were higher than those of the intake water in Jul. 2009, Oct. 2009, and Jul. 2010 due to the aquatic plants might be damaged by wind and torrential rain during the typhoon seasons, the average removal rates of SS was about 26% calculated from the data except the months mention above. Because climate and the aquatic plant growth conditions can both influence the water-purification, the removal rates of $\text{NH}_3\text{-N}$ and SS didn't achieve the designed goals. Only the BOD removal rate achieved the goal of purification and treatment.

(**Keywords** : Domestic wastewater 、Constructed wetland 、Removal rate)

前言

台灣四面環海，地小人稠，多年來經濟快速高度成長，環境過度開發使的各種污染量急遽上升，生活污水、工業廢水、畜牧廢水三大污染源，大量污水排入河川，造成許多河川生態環境受到嚴重破壞，甚至禍害殃及整體水資源。近十幾年來，各級政府單位成立專責機構訂定管制策略，致力推動污染整治之下，工業廢水與畜牧廢水污染量已大幅改善，但就生活污水部分，由於污水下水道興建需要龐大經費，至 2010 年 4 月底，全國用戶接管普及率僅 23.73% (以台北市 98% 最高，各縣市差異甚大。) 故大部分的地方生活污水直接排入河川，就環保署出版之環境保護統計手冊資料顯示生活污水排放量已逾 55%，遠高於工業廢水及畜牧廢水，因此若能加強生活污水之處理，對河川污染的削減將是一大助益。

對鄉村型的社區，在污水下水道興建遙遙無期，且亦不符合經濟效益，生活污水對環境的影響，需以其他方案加以替代改善，例如人工濕地。行政院環境保護署「挑戰 2008

國家重點發展計畫」辦理推動淨化河川水質、促進社區發展及提升居民生活品質，積極於河川高灘地及低灘地或是社區內現有閒置國有土地或魚塢、隸屬地方政府或農田水利會所轄管理之埤池，規劃建置人工溼地處理受污染的河川或社區生活污水。因此除傳統污水處理工程手段以外，近年來許多污水處理個案多採用生態系統方式淨化污水水質。例如：高灘地漫地流處理法、排水溝淨化強化法、蓄水塘氧化強化法、人工濕地法等。(2007，吳獻凱)

本研究以嘉義縣三疊溪之明華人工溼地進行人工溼地對水中污染物削減之研究，下列為本研究之各項目標：

1. 在已操作中的人工溼地，進行相關之水文環境及水質分析，並進一步比較其進流和放流的水質參數，評估此人工溼地對水中污染物處理效能。
2. 嘉義縣環保局利用(1)社區荒廢墓地建置成處理社區生活污水之人工溼地。(2)栽植各種當地常見之水生植物及水中微生物作為水質淨化之機制。透過此研究探討上述(1)

與(2)兩者之間對於水質的改善效率，作為人工溼地處理生活污水效益之參考。

文獻回顧

人工濕地種類

人工濕地根據自然濕地生態系統中物理、化學、生物的三重共同作用來實現對污水的淨化。可應用人工溼地處理廢污水的產業種類涵蓋很廣，包括一般社區污水、農業、工業、環境保護事業等等，其中應用最廣的是已經初級或二級過後之生活污水(陳柏州，2004)。

改善水質為目的之人工濕地分類：

1. 自由表面流人工濕地 (Free water surface wetlands, FWS)

此為模擬天然溼地的環境狀態，底部為不透水土壤層，並高密度地種植挺水植物，使其約佔 50% 表面積，進流水則在溼地表面層開放性流動，當水流經植物的莖及根部可行

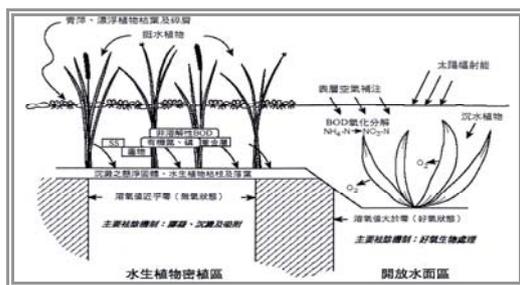


圖 1 表面自由水層流動式人工溼地系統 (嘉義縣環保局，2005)

Figure 1 Subsurface flow systems
(Environmental Protection Bureau, Chiayi)

淨化作用，美國大多採用此種系統 (陳有祺，2005)。由於外觀接近天然沼澤，除了污染防治功能外，FWS 系統可營造出新的野生動物棲息地、增強鄰近溼地在野生動物保育上的功能，並具有美化景觀之功能。(楊玉聖，2007)

2. 表層下流動式 (Subsurface flow system, SFS)

為一窪地槽體，其中填充約 40~60 公分砂土或礫石作為介質，並得以支持挺水性植物(如蘆葦、香蒲、燈心草)的生長，進流水被迫在表層下的砂土、根系及根莖系間流動，以達到淨化效果，此種系統便是由根系區間法(root-zone method, RZM)與蘆葦床處理系統(reed bed treatment system, RBTS)技術演進而來，此系統一般常見於歐洲大陸國家。

人工溼地構成要素

溼地的水質淨化作用四個主要的構成要素：水文(hydrology)、溼地植物(hydrophytes)、介質(substrate)以及微生物族群(microbial populations) (Hammer，1992)。植物的吸收與介質的過濾亦為人工溼地去除污染物質的重要機制之一。(Trevor Price，1997)

1. 水文(hydrology)

水文條件可直接影響或改變溼地土壤中的化學及物理性質，例如：養分的有效性、氧的濃度、土壤鹽度、沉積物性質及土壤酸鹼值。一般而言，入流水通常是濕地養分的主要來源，出流水則通常會帶走溼地中許多的物質，這些改變對濕地上的生物會直接造成衝擊 (Gosselink and Turner，1978)。濕地植物族群組成會影響動物族群的棲息。

2. 溼地植物 (hydrophytes)

溼地植物的主要功能在於提供不同微生物族群所需的多樣環境，如挺水植物(emergent macrophytes)，其莖與落葉等提供微生物附著生長與所需的碳源、水流流經介質與植物的根區，藉此讓微生物分解有機物、脫氮等；浮葉植物型(Leaf-floating macrophytes)，可抑制水中藻類的生長，同時降低水面的擾動；根部可以降低水平流速有助於顆粒的沈降，同時也會吸附污染物並提供生物膜生長等。沉水性植物(submersed macrophytes)，只存活在水中具有溶氧的條件下，不適合處理含有高生物分解性之有機物及高濁度的廢水，白天行光合作用消耗水中可溶性無機碳並增加溶氧，將使水中 pH 值上昇，而形成利於氨氮揮發與磷沈澱的條件，水中溶氧的提高亦有助於有機物的氧化分解等。(2008，李翠玉)

3. 溼地介質 (medium)

溼地土壤是許多溼地化學物質進行轉換的場所，是養分的主要儲存場所。溼地土壤可分為兩大類(1)礦物質土壤(Mineral soils)(2)有機質土壤(Organic soils)。溼地介質處於持續或季節性地淹水條件下，加上來自動植物屍體殘枝而累積的有機物，使得溼地土壤處於厭氧狀態。溶氧在飽和含水土壤中的擴散相當緩慢，土壤中的溶氧一旦被微生物耗盡而呈厭氧條件時，分解的過程亦趨緩(李黃允，2001)。美國水土保持局給水成土下的定義是：在生長季足夠長時間內，在不排水的條件下是飽和的、淹水的或成塘的，形成有利於水生植物生長和繁殖的無氧條件的土壤。(李志源，1996)。

4. 微生物族群 (microbial populations) (陳有

祺，2005)

微生物(藻類、菌類、原生動物、細菌)可利用污染物質作為營養及能量的來源。在溼地系統中，微生物會藉的利用營養鹽及碳已進行物質轉換與循環，此一部分是碳及營養鹽物質流的起始點，隨後併同植物生質量的沉積碎屑做循環。因此微生物可視為營養鹽的滯留者(Wetzel 等人，1994)。

研究場址與方法

嘉義縣三疊河流域

本研究樣區位於嘉義縣三疊河流域。三疊溪發源於觸口山脈，標高 1,175 公尺之處，向西蜿蜒經梅山、民雄、大林、溪口，於柴林腳附近與北港溪合流，全長 34.2 公里，流域面積 170.33 公里 km，地形可分為山地、丘陵、平原，成為下流"沖積扇"地質屬於新世及更新世頭科山層礫石、土層較淺。上游為山區屬水土保持及坡地保育區，柑橘、龍眼、檳榔等，中、下游及丘陵、平原則以水稻、甘蔗為主。大林鎮內之三疊河流域，包括中坑里、上林里、平林里、明華里、與梅山鄉七村、民雄鄉 4 村，溪口 1 村，計 16 村里。區域內人口，務農為多，平原水稻、甘蔗為主、丘陵地、山地則柑橘、竹林、龍眼、檳榔、鳳梨、梅為大宗，區內之工廠，大部分為食品加工廠居多。

嘉義縣三疊河流域之氣候

三疊溪流域屬亞熱帶季風型氣候，全年平均氣溫介於 16.5~28.6°C。全年雨量集中在二個時期，一為約三月到五月梅雨季節，

另一則是六月到九月的颱風季，每年五、六月為雨季，旱季則在每年十月至次年四月，颱風季節（六~九月）之暴雨降雨時間短且強度大(表 1)。

表 1 嘉義地區氣候資料統計表(中央氣象局網站)

Table 1 Climatic data statistics, Chiayi (Central Weather Bureau Website)

月份 項目	平均溫度 (°C)	降雨量(mm)	
		98 年	99 年
1	16.5	T	19.5
2	17.3	13.0	53.8
3	19.7	84.9	69.0
4	23.0	97.0	69.0
5	25.8	9.4	103.8
6	27.8	256.3	269.8
7	28.6	201.0	459.3
8	28.2	947.2	208.7
9	27.0	186.1	252.3
10	24.5	7.1	15.8
11	21.3	6.3	40.9
12	17.7	18.2	32.7

明華人工溼地環境背景

1. 基本資料：

- (1) 溼地設置地點：大林鎮省道台一線下埤頭橋旁墓地，所有權人為大林鎮公所，管理人為嘉義縣環保局。溼地所在位置見圖 3.1
- (2) 溼地用地面積：2.7 ha
- (3) 實際操作面積：1.5 ha。
- (4) 設計工法：人工溼地法(FWS)。

- (5) 設計處理水量：3,000CMD。
- (6) 處理水源：中正路污水箱涵。
- (7) 設計水質目標：去除率-BOD：50%、SS：40%、NH₃-N：40%。

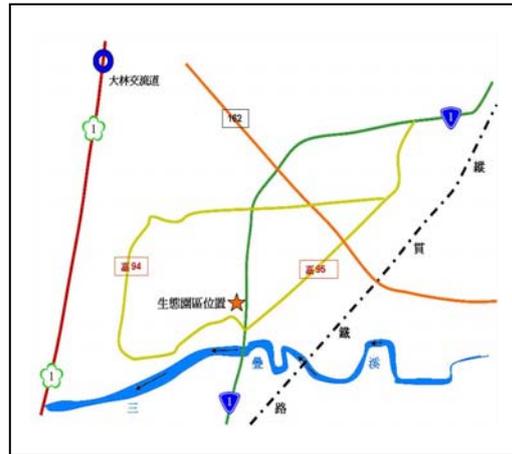


圖 2 嘉義縣三疊溪大林鎮溼地區位
Figure 2 Site of Da-lin constructed wetland, Sun-dia river of Chiayi

2. 濕地操作說明：

本濕地於 96 年 1 月開工，96 年 11 月設置完成。採表面流式人工濕地 (FWS) 設計，操作流程為以管線輸送方式重新截流該股污水，進入場區之進流抽水站後以抽水機方式引入曝氣區，以曝氣機提升溶氧，再由曝氣區底部之聯通管流入沉澱區，於沉澱區內先去除部分固體物後，經溢流堰溢流出並再流經深度約 0.8~1.0m 之 FWS 溼地，並配合人工濕地之挺水性、浮水性及沉水性植物交叉種植，處理後之出水經放流渠道流入放流生態區，放流區之出流水採兩個方式設計，一為埋設出流管線重力排入外埠排水，一為埋設異常排放管重力排回中正路下方之雨水下水道再排入三疊溪。放流生態區亦提供曝氣

區消泡水及全場區之澆灌使用。使其具觀賞及經濟價值，並可達到休閒、教育及生態保育之功能。(嘉義縣環保局 2007)

3. 系統設計及操作參數

相關設計參數如表 2。本場址設計進流處理流量為 3,000 CMD，計算溼地之停留時間約為 4.0 day。

研究流程

參照嘉義縣環保局之水質檢測數據，進行相關人工濕地水中污染物削減之成效分析，研究流程如圖 4。

結果與討論

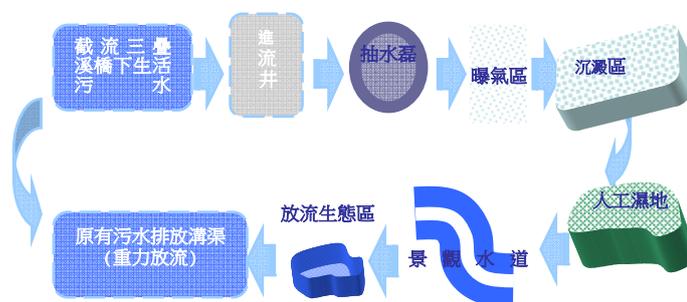


圖 3 研究溼地之操作流程圖

Figure 3 Layout of the constructed wetland

表 2 大林明華溼地之操作參數

Table 2 Operating data of Min-hua constructed

	單位	曝氣區	沈澱區	第一區	第二區	放流區	全系統
處理水量	CMD	3,000					
淨化工法	-	曝氣池	沈澱池	FWS			-
面積	m ²	84	429	1,576	9,945	1,135	13,169
平均水深	m	0.8	0.8	0.8	1	0.8	0.84
操作體積	m ³	67.2	343.2	1,008.6	9,945	817.2	12,181.2
水力負荷	m ³ /m ² /day	35.7	7.0	1.9	0.3	2.6	0.2
水力停留時間	day	0.02	0.11	0.34	3.32	0.27	4.06
BOD負荷	g/m ² /day	-	-	-	-	-	9.87

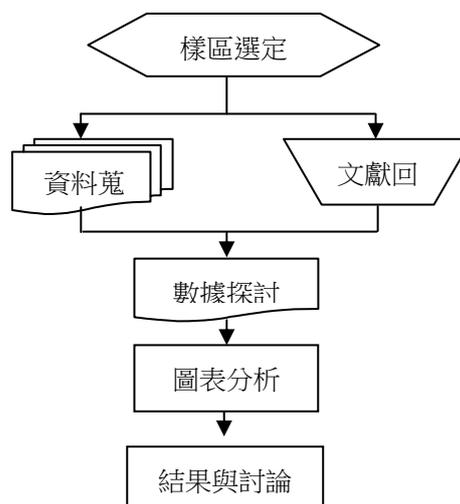


圖 4 研究流程

Figure 4 Flowchart of the study

水質檢測資料探討

自 98 年 1 月至 100 年 2 月底止，每月進行水質採樣分析，結果彙整於圖 4.1 ~ 圖 4.5。由圖 4.1 可以發現經明華人工溼地處理後，其放流水之 pH 平均值為 7.92 較進流水 pH 平均值為 7.49，有略為提昇之趨勢，pH 提昇可能係因白天水生植物光合作用釋出氧氣致水中之游離碳酸大量被耗盡，分解氫碳酸成為碳酸鹽，再進一步將碳酸鹽分解為氫氧化物，因此使得 pH 略為提升，其化學反應式如下： $2\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ； $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{OH}^- + \text{CO}_2$ 。

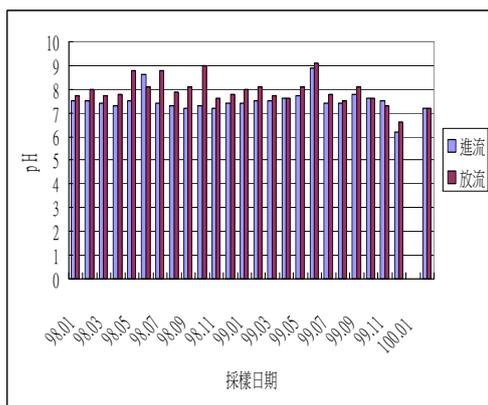


圖 5 明華人工溼地之 pH 變化情形
Figure 5 Variations of pH before and after treatment in Min-hua constructed wetland

由圖 6 可以發現經明華人工溼地處理後，其放流水之溶氧值有較進流水提高之趨勢，其增加是除了曝氣設施運作，尚包括水生植物繁殖數量增加，水生植物行光合作用消耗水中可溶性無機碳，會增加溶氧所致，而溶氧減少是因撈除水生植物，故推測此溼地之水生植物對於水中溶氧提昇有顯著

的幫助。但 100 年 2 月進流水之溶氧值比放流水為高，推測係因原處理後之出水排入雲林水利會所管理之外埤排水，嘉義縣環保局每年需繳納搭排費用約 30 萬餘元，故自 100 年 1 月起明華人工溼地處理後之出水再排回中正路下方之污水下水道，使原生活污水箱涵內之污水已稀釋改善。又 100 年 2 月因割除部份之水生植物，上述 2 種原因造成進流水之溶氧值比放流水之溶氧值還高。

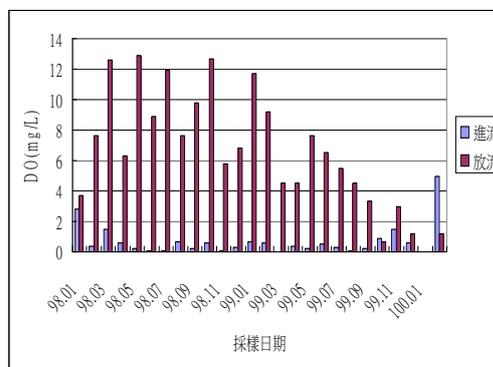


圖 6 明華人工溼地之 DO 變化情形
Figure 6 Variations of DO in Min-hua constructed wetland

由圖 7 可見經明華人工溼地處理，可降低水中 BOD 之污染，除沉澱池有設置曝氣設施，池中挺水性水生植物將空氣傳送到植物根部，進而藉著擴散作用，氧化周遭的底泥與水域，提高水中溶氧量，促進水域的好氧性。惟此溼地 BOD 去除率幅度之月變化差異頗大，經水質檢測數字分析，發現處理效率受進流 BOD 濃度影響甚大，其進流濃度高於 30 mg/L，則可明顯看見 BOD 之去除效果，但整體言之，有達到此溼地設計 BOD 去除目標達 50% 以上。

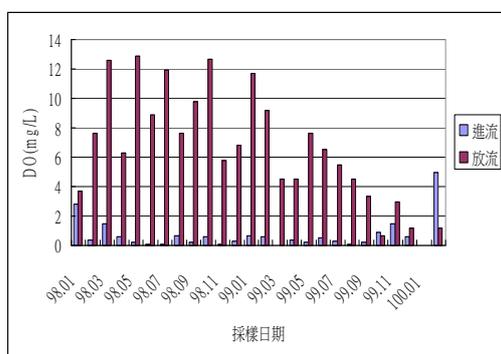


圖 7 明華人工溼地之 BOD 去除率變化

Figure 7 BOD removal rates in Min-hua constructed wetland

流水經由抽水設備送入沉澱池，於池中有曝氣設施將氧氣打入水中，大量提高水中之溶氧，也進而使得微生物進行硝化反應，使得水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 轉變成 $\text{NO}_3\text{-N}$ 。99/5 $\text{NH}_3\text{-N}$ 消滅率較高，推測此時池中有足夠的水生植物，及較長之水力停留時間。溼地 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率幅度之月變化差異頗大，平均 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率約 11%，離去除目標相距甚遠。但因此溼地的處理避免了含氮過高之廢污水，排入水體造成優養化。

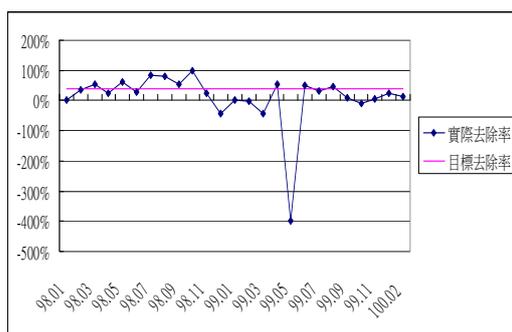


圖 8 明華人工溼地之 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率變化

Figure 8 $\text{NH}_3\text{-N}$ removal rates in Min-hua constructed wetland

由圖 9 可以發現經明華人工溼地處理後其水中 SS 之變化趨勢，SS 的主要去除機制是沉澱及過濾。於 98/7、98/10 及 99/7，放流水之 SS 反而比進流水高，此段期間為颱風季節，雨量豐沛，推測進流水之操作水量已超過其該濕地之設計水量，其水力負荷增加以及流速變快，又濕地中所種植之水生植物亦因風雨破壞，使得 SS 沉澱過濾的時間甚短，SS 有再捲揚而上升之現象。SS 平均去除率約 26%，未達到 SS 去除目標。

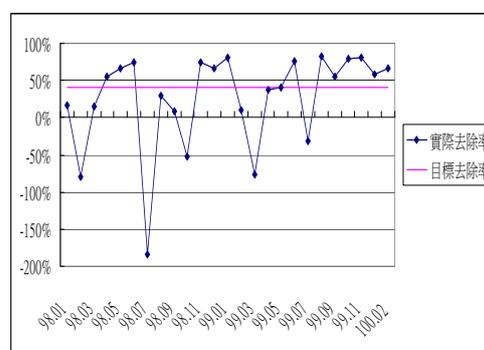


圖 9 明華人工溼地之 SS 去除率變化

Figure 9 SS removal rates in Min-hua constructed wetland

結論與建議

結論

1. 本研究所得相關數據，可提供嘉義縣三疊溪流域水體環境之資料，掌握環境與生態污染處理時機。
2. 經明華人工溼地處理後，其放流水之 pH 及溶氧有較進流水提高，水生植物之多寡明顯的影響水中之溶氧。
3. 氨氮為水生植物之重要營養鹽，水生植物

對於去除氨氮有顯著之效益。

建議

1. 人工溼地處理包含著複雜之生態系，其造成水中污染物之削減因子也變得複雜，建議以模場之方式探討各操作參數對於各污染物削減之情形，以確定造成污染物削減之最重要參數，作為日後人工溼地設計之基礎，以提高人工溼地之處理效能。
2. 明華人工溼地水質狀況不穩定成效未達預期，推就原因為水生植物生長率不穩定並過於密集，且陷入用「高密度植生，以增強溼地過濾、穩定化、除氮及抑制藻類生長的功能」此迷失。高密度的植生，初期能快速產生水質淨化果效，但後來反而成為維護上的困難。另植株老化、枯死後造成水生植物根部呈厭氧，植物體所產生之營養鹽再度回到水體之中，將造成水質再次惡化，建議定期清理水生植物。
3. 從 100/1 月起明華人工溼地處理後之放流水因為搭排費用問題，明華人工濕地原本放流水以重力方式排入外埠排水，現則回排入生活污水箱涵中，現雖僅有 100/2 月的水質檢驗數字，但已可得知未來明華人工濕地的污染物之削減效益可能有所減損。且當初是為了改善三疊溪水質而設置明華人工濕地，現在出流水僅止於生活污水箱涵及人工濕地間循環，其水資源再次利用之效益已不存在。建議兩機關單位應協調合作，使人工濕地淨化之水資源運用達到最大效益。

1. 李翠玉(2008)，「人工濕地對水中污染物削減之研究-以嘉義縣荷苞嶼濕地為例」，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程研究所碩士論文。
2. 林秋裕(2001)，環境工程微生物學，國彰出版社。
3. 吳獻凱(2007)，「台灣水生植物對水質淨化效果比較之研究」，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程研究所碩士論文。
4. 涂邑靜(2007)，「人工濕地生態淨化系統處理效能之探討-以彰化縣洋子厝溪為例」，國立中興大學環境工程學系在職專班碩士學位論文
5. 張文亮(2006)，「水生植物在人工溼地水質淨化工效之評估及管理」，河川水質淨化工法規劃設計與建造講習會。
6. 陳有祺(2001)，「溼地生態工程」，滄海書局。
7. 陳柏州(2004)，「以人工溼地淨化水質之研究」，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程研究所碩士論文。
8. 陳鴻烈、許振峯、蔡大偉(2011)，「應用水質指標於農村受污染河川淨化成效之評估」，中華水土保持學報 42 卷 1 期。
9. 楊玉聖(2007)，「以層級分析法探討濕地保育管理決策因子比重之研究」，立德管理學院資源環境研究所論文。
10. 嘉義縣環境保護局網站(2008)，
<http://www.cyepb.gov.tw>。
11. 嘉義縣環境保護局(2009)，嘉義縣水質

參考文獻

水土保持學報 43(2) : 137 – 146 (2011)

Journal of Soil and Water Conservation , 43 (2) : 137 - 146 (2011)

淨化園區寫真記事本。

12. Wetzel, R. G., A. van der Valk, R. E. Turner, W. J. Mitsch and B. Gopal, eds. (1994), “Recent Studies on Ecology and Management of Wetlands. Special Issue of International,” Journal of Ecology and Environmental Sciences, 20: 1-246.

100 年 05 月 13 日收稿

100 年 06 月 07 日修改

100 年 06 月 09 日接受