

人工濕地各單元水池水質淨化的 差異分析

廖少威

大仁科技大學觀光事業系教授

仲崇毅

大仁科技大學觀光事業系副教授

賴文亮

大仁科技大學環境管理研究所教授

高華聲

大仁科技大學觀光事業系副教授

李崇垓

大仁科技大學觀光事業系副教授

摘 要

麟洛人工濕地長年在管理上因執行經費及其它變動因素，經歷了不同管理單位的操作維護。本文乃透過多變量統計方法因子分析及群集分析等方法論，探討在不同維護管理單位的操作下，水質淨化效益上地表水水質是否因此有所差異？結果經由因子得點的說明：整體上營養源 BOD、COD、TKN、TN、NH₃-N、NO₂-N 及糞便性污染在本濕地有很規則的削減現象。即進水口處營養源含量最高，然後依密植區 I、開放性水域區、密植區 II 及放流口等各池依序逐漸削減，並於出流口處有最低值。至於 TB 及 SS 等懸浮固體物影響因子，則呈現各池變動不一的現象。再者依水質特性作群集分析比較：分析資料從 2008-2012 年，統計出不論豐枯水季，在開放性水域區、密植區 II 有相似的水質特性，進流口與密植區 I 有相似的水質特性。

關鍵字：人工濕地、水質淨化、因子分析、群集分析

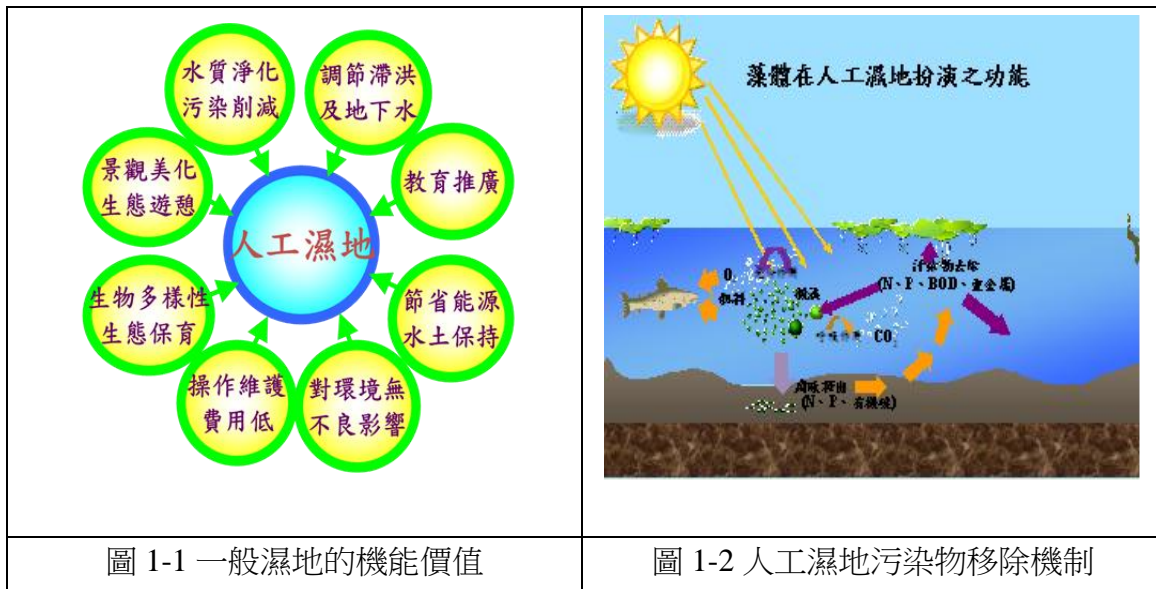
一、前言

屏東縣是農業大縣，縣內河川水體污染主要來源為各流域內之生活污水及禽畜養殖廢污水。麟洛濕地公園場址位於屏東縣麟洛鄉，隘寮溪農場 3 號國道旁，



面積約 3.5 公頃，每日可處理 2,000 立方公尺之污水。地質分佈非常的平均，由於位在沖積平原，因此多屬於土、砂、礫的質地分佈。本場址主要污水來源為國道三號道路高架道下方之排水渠道，而渠道主要收集麟洛鄉新田村及長治鄉榮華村之生活、零星畜牧和養殖污水(屏東縣環境保護局，2010)。

濕地之一般機能價值如圖 1-1，包括 I.水文循環控制機能；II.環境負荷控制機能；III.自然資源形成機能；IV.社會文化形成機能等面向。若以環境負荷控制機能來看：包括水質淨化、削減污染量為主軸，同時結合現地素材及生物多樣性與景觀生態美學考量，選擇人工濕地相較其它工法是較具優勢的(國科會，2011)。然而人工濕地淨化機制十分複雜，包括基質、植物及微生物等。水質的淨化利用其間的協同作用，相輔以過濾、吸附、沈澱、離子交換、植物吸收、微生物降解等作用的相互配合，方能達到水質淨化之目標，污染物移除機制如圖 1-2。鑑於本區域位處熱帶性氣候區，加上禽畜養殖及農業等非點污染嚴重，因此本文將彙整不同單位近年的水質淨化資料，透過多變量分析工具期能瞭解本區域污水特性及本場域的淨化功效，以為非點源污染防治及營造友善環境之參考。



二、研究緣起及目的

本研究為瞭解在非點污染源嚴重區域，透過水質監測期能瞭解人工濕地各單元水池對各污染物之移除效率，及瞭解各水池水質之差異性分析。以因子分析說明空間資料結構特性；群集分析說明四季水質的變異性。並以地理資訊系統對鄰近濕地 3 公里方圓的水系及排放源作一呈現，以對非點污染源特性作一說明。因此本計畫選擇以禽畜及社區污水為進水源的麟洛濕地為主要討論區域，應用多

變量統計方法整合前四年的監測數據作分析評估，以瞭解各池水質在操作維護管理上的差異性及資料結構，以為區域性不同廢污水源在操作管理上提出建議。

三、研究方法

(一)研究環境區域概況

人工濕地場址位於麟洛鄉台糖隘寮溪農場旁，地理位置接近麟洛鄉、長治鄉及內埔鄉之交界處，六堆客家文化園區位於東側如圖 2。場址面積 3.5 公頃，設計處理污水量每日 2,000 m³，主要污水來源為國道三號道路高架道下方之排水渠道，渠道主要係收集麟洛鄉新田村及長治鄉榮華村之生活污水、零星畜牧和養殖污水。

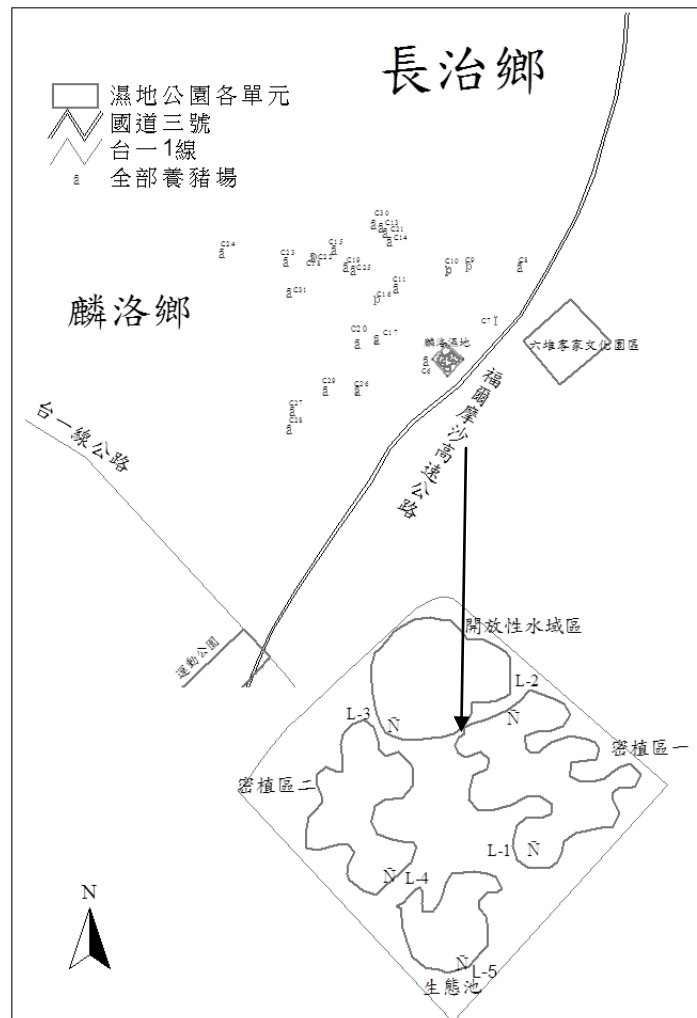


圖 2 麟洛濕地公園暨鄰近禽畜養殖場環境位置圖



(二)試驗採集與分析方法

採樣位置包含濕地進水口截流井、密植區(一)出水口、開放水域區出水口、密植區(二)出水口及生態池出水口，上游至下游各取 5 個測站(L-1 至 L-5)，調查濕地各池出流水水質。檢測項目包括水溫(T)、酸鹼值(pH)、濁度(TB)、導電度(EC)、溶氧(DO)、生化需氧量(BOD₅)、化學需氧量(COD)、總凱氏氮(TKN)、氨氮(NH₃-N)、硝酸鹽氮(NO₃-N)、亞硝酸鹽氮(NO₂-N)、總磷(TP)、正磷酸鹽(OP)、懸浮固體(SS)、葉綠素 a(chl-a)、大腸桿菌(CG)等。檢測的方法均依據環保署所公告之檢測方法執行之。

(三)統計理論方法

因子分析法是以較少量而且互相獨立之新變數來表示原本數值空間之變異性。這些因子互相是獨立的，而且組合起來具有原來變數大部份的變異量。由多個可量測之指示變數中萃取出濕地水質的主要潛在因子，並建立指示變數與潛在因子之間的關係即因子負荷量(Factor loadings)(Johnson and Wichern 1992; Sharma 1996)。每一採樣點在新產生之潛在因子中都具有其因子得點，可藉以表現潛在因子對樣點的影響力(Liu et al. 2003)。群集分析(Cluster analysis)是根據樣本觀測值依其相似性(Similarity)或同質性(Homogeneity)，使得每群內個體間的差異性最小，而群間之個體差異性最大，以進行分群的一種方法。摺疊群集法(Hierarchical clustering)乃將 n 個樣本分為 n 群，再由相似性最高的兩個群集合併成一新的群集，逐漸歸併致所有樣本合為一最大群集。在多種分群方法裏以華爾滋法(The Ward method)於本研究分群效果最好，其係以單一聯結法(Single linkage method)作群間距離之判定。本研究的主成份因子分析法運算以 STATISTICA(2006)統計軟體程式執行。

四、結果與討論

蒐集麟洛濕地公園近年由維護管理單位所建立之水質監測資料：2008 年由柏歲環境公司；2009、2010、2012 年由大仁科技大學；2011 由昇元工程公司等單位所建立。針對濕地公園內五個單元水池，於 2008~2012 期間總計 23 次的採樣頻率，及 17 項有效統計測定項目：T、DO、pH、EC、TB、SS、BOD、COD、NH₃-N、NO₂-N、NO₃-N、TKN、TN、TP、OP、Chl-a 及 CG 等，構成總計水質資料矩陣為(118×17)以進行分析。

(一)人工濕地各單元水池水質特性說明

主成份因子分析法可萃出六個主要潛在因子，此六潛在因子可解釋原資料矩陣變異達 72.04%：第一潛在因子為 BOD、COD、TKN、TN，可命名為「營養源影響因子」；第二潛在因子為 DO、pH 及 Chl-a，命名為「藻類指標影響因子」；

第三潛在因子為 TB 及 SS，命名為「懸浮性影響因子」；第四潛在因子為 T，命名為「生物活性影響因子」；第五潛在因子為 NH₃-N 及 NO₂-N，命名為「營養源影響因子」；第六潛在因子為 CG，命名為「糞便性污染影響因子」。各潛在因子之因子負荷量見表 1。

以因子得點說明污染質之空間變異情形：第一潛在因子以營養源影響因子 BOD、COD、TKN、TN 來說明：因子負荷量因呈正相關，很明顯可看出呈現規則的削減現象，整體上以進水口處營養源含量最高，然後依密植區 I、開放性水域區、密植區 II 及放流口等各池依序逐漸削減，並於出流口處有最低值。第二潛在因子以藻類指標影響因子 DO、pH 及 Chl-a 來說明：因子負荷量因呈正相關，除 2010 年 10、12 月及 2011 年 6 月外(昇元工程公司)，整體上以、開放性水域區、密植區 II 含量最高，其餘各池濃度並無一定規則可循。第三潛在因子以懸浮性影響因子 TB 及 SS 來說明：因子負荷量因呈正相關，整體上以進流口處含量最高，然後各池逐漸依序削減，但常見各池呈現變動不一的現象，亦即在密植區 I、開放性水域區及密植區 II 有較高懸浮性固體物濃度情形發生。第四潛在因子以水溫來說明：各池並無很明顯的差異，反而是受採樣季節有較明顯的差異。第五潛在因子以營養源 NH₃-N 及 NO₂-N 來說明：因子負荷量因呈負相關，很明顯可看出很規則的削減現象發生在進水口處及密植區 I 處，然後依開放性水域區、密植區 II 及放流口等各池依序逐漸削減，並於出流口處有最低值。第六潛在因子

表 1：2008~2012 年麟洛濕地地表水水質特性因子負荷量表

	Fac1	Fac2	Fac3	Fac4	Fac5	Fac6
T	0.1727	0.1339	0.1153	-0.7751	0.0788	-0.1926
DO	0.0009	0.8336	0.0835	-0.1686	-0.0215	0.0802
pH	0.0952	0.8409	0.0493	-0.1115	0.0388	0.0472
EC	0.2525	-0.2106	0.0111	0.6735	0.0927	0.0812
TB	0.0040	0.0595	0.8162	0.0206	0.0468	0.1636
SS	-0.0228	0.3165	0.7627	-0.1248	-0.1208	-0.0336
BOD	0.9283	0.1522	-0.0061	-0.0396	0.0260	-0.0600
COD	0.7218	0.0391	0.2029	0.0419	0.1091	-0.1264
NH ₃ -N	0.0772	-0.0874	0.0371	0.4045	-0.7425	0.0369
NO ₂ -N	-0.1562	-0.0205	-0.0243	-0.2851	-0.7905	-0.1120
NO ₃ -N	-0.0015	-0.1085	-0.2274	-0.5502	-0.1488	0.3613
TKN	0.9612	0.0097	-0.0429	-0.0115	-0.0165	0.0007
TN	0.9499	0.0032	0.0397	0.0547	0.0461	0.0619
TP	0.2326	-0.4180	0.5335	0.2191	0.3527	0.1068
OP	0.5090	0.4117	-0.3363	0.0116	0.1514	-0.0123
Chl-a	0.2684	0.7023	0.2027	0.1417	0.1252	-0.2091
CG	-0.0285	0.0239	0.1302	0.1112	0.0718	0.8819



特徵值	3.7288	2.4506	1.8248	1.7458	1.4150	1.0812
累積變異率	21.93%	36.35%	47.08%	57.35%	65.68%	72.04%

以糞便性污染來說明：因子負荷量因呈正相關，除 2009 年 9 月、2010 年 8 月、2011 年 4 月及 2012 年 11 月外，很明顯可看出很規則的削減現象，整體上以進水口處營養源含量最高，然後依密植區 I、開放性水域區、密植區 II 及放流口等各池依序逐漸削減，並於出流口處有最低值。

(二)人工濕地各單元水池水質時變性說明

將 2008-2012 年濕地各池的採樣點依水質特性分別作一群集分析比較，圖 3 群集分析法依各池水質特性區分為五個群集：第 I 群集可分為子群集 A 主要是 2012 年 8 月的水質特性，子群集 B 主要為密植區 II 樣點處之水質特性；第 II 群集除 0901L1(2009 年 1 月密植區 I 入口處樣點)、0912L4、1205L4 樣點外，可說是開放性水域區的水質特性；第 III 群集除 1102L1、0901L3、1010L3、1104L3 及 0901L4、1110L4、1211L4 樣點外，可說是進流口及放流口的水質特性；第 IV 群集除 0906L1、0907L1、1008L1、0811L2、0905L2、0907L2、1005L2、1203L2、0801L3、0811L3、0905L3、0907L3、1002L3、0810L3、0811L3 樣點外，可說是密植區 II 及放流口處的水質特性；第 V 群集除 1201L3、1201L4、1106L3 樣點外，可說是進流口及密植區 I 的水質特性。

綜上所述，在 2008-2012 年分析結果累積變異達 72.04%，已具一定資料矩陣的代表性。在因子得點的說明上，整體上營養源 BOD、COD、TKN、TN 在本濕地有很規則的削減現象，以進水口處營養源含量最高，然後依密植區 I、開放性水域區、密植區 II 及放流口等各池依序逐漸削減，並於出流口處有最低值。NH₃-N 及 NO₂-N 削減現象發生在進水口處進入密植區 I 處最佳，然後依開放性水域區、密植區 II 及放流口等各池依序逐漸削減，並於出流口處有最低值。糞便性污染整體上以進水口處營養源含量最高，然後依密植區 I、開放性水域區、密植區 II 及放流口等各池依序逐漸削減，並於出流口處有最低值。資料亦顯示 TB 及 SS 懸浮固體物影響因子，整體上以進流口處含量最高，然後各池依序逐漸削減，但亦常見各池呈現變動不一的現象，亦即有在密植區 I、開放性水域區及密植區 II 有較高懸浮性固體物濃度情形發生。再者依水質特性作群集分析比較：2008-2012 年不論豐枯水季，在開放性水域區、密植區 II 有較一致的水質特性，進流口與密植區 I 則有較一致的水質特性。屏東縣畜牧業居全台之冠，其中又以養豬場及飼養數量皆位居全國第一，至 97 年 11 月底止，全縣飼養豬隻戶數為 2,640 戶，占全國之 23.7%，飼養數量更高達 1,536,877 頭。本濕地場域鄰近除農藝耕作外亦聚集豬隻的圈養，見圖 2。綜上所述，本濕地對鄰近主要營養源的移除果效是不錯的。

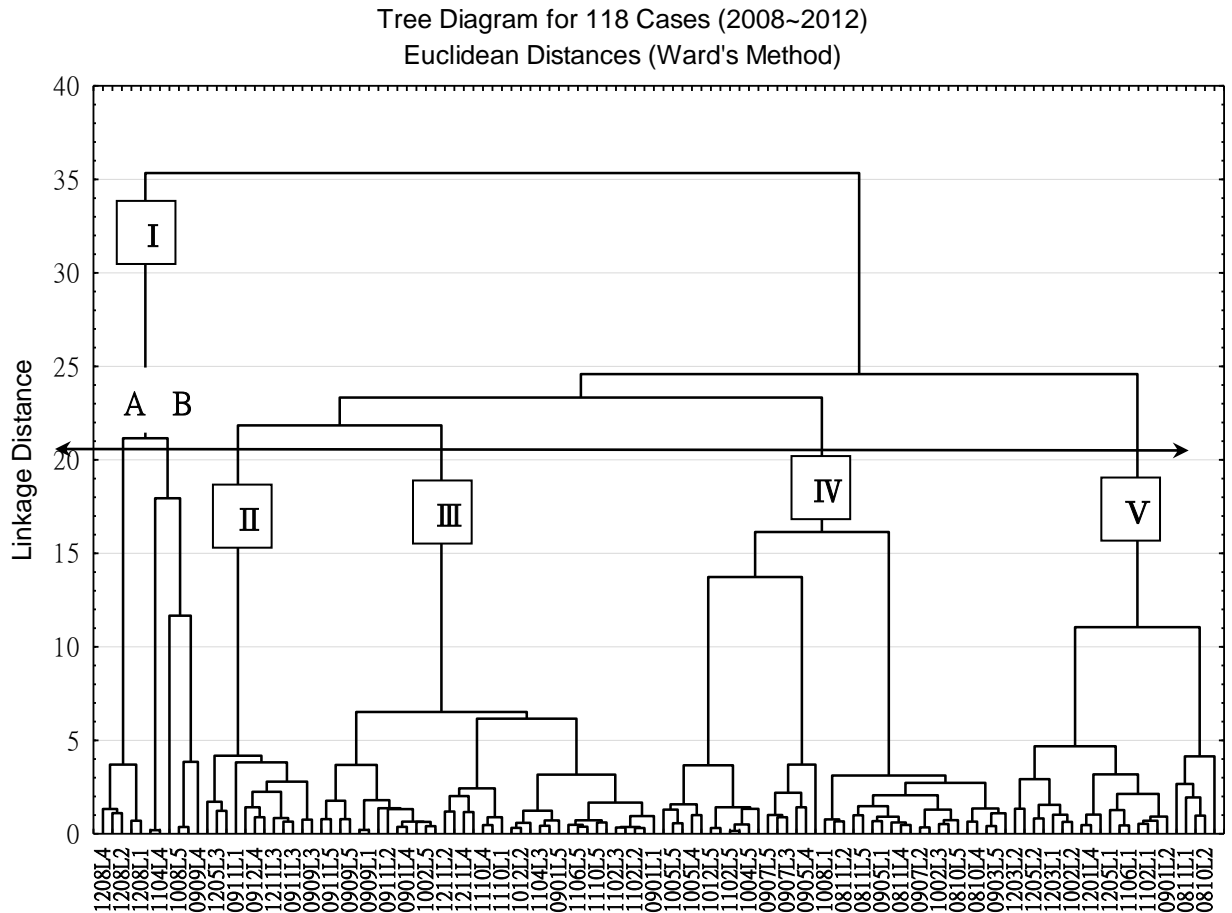


圖 3：麟洛濕地公園 2008~2012 年地表水水質特性樹狀圖

五、結論與建議

本濕地對鄰近主要營養源的移除效果是不錯的：

1. 整體上營養源 BOD、COD、TKN、TN 及糞便性污染在本濕地有很規則的削減現象，以進水口處營養源含量最高，然後依密植區 I、開放性水域區、密植區 II 及放流口等各池依序逐漸削減，並於出流口處有最低值。
2. 懸浮固體物影響因子可能受藻類滋生影響呈現各池變動不一的現象。
3. 再者依水質特性作群集分析比較：2008-2012 年不論豐枯水季，在開放性水域區、密植區 II 有較一致的水質特性，進流口與密植區 I 則有較一致的水質特性。
4. 對本區禽畜水質污染可有效消滅。



誌謝

本計劃得以順利進行，承蒙國科會計劃 (NSC 100-2632-E-127-001-MY3)提供經費方得以順利執行。

參考文獻

1. 屏東縣環境保護局(2010)，98 年度麟洛人工濕地排水水質改善工程後續監測暨處理成效評估計畫，期末報告書。
2. 國科會期末報告(2011)，100 年度國科會提升私校研發能量專案計畫，人工濕地整合型功能之研究，(NSC 100-2632-E-127-001-MY3)。
3. Johnson, R. A. and D. W. Wichern. 1992. Applied Multivariate Statistical Analysis. 3rd ed. Printice-Hall, New Jersey Englewood Cliffs.
4. Liu, C. W., Lin, K. H., &Kuo, Y. M. (2003). Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. Science of the Total Environment, 313, 77–89.
5. Sharma, S., 1996. Applied Multivariate Techniques, John Wiley Sons, New York. StatSoft. 2006. STATISTICA for Windows. StatSoft, Inc, Tulsa