

嘉南藥理科技大學

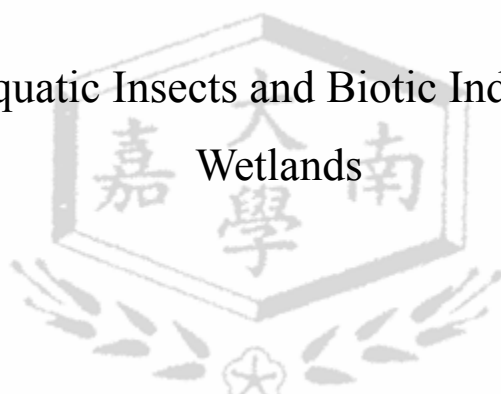
環境工程與科學系

碩士論文

人工溼地水棲昆蟲相調查及生物指標建立

A Survey of Aquatic Insects and Biotic Index in Constructed

Wetlands



指導教授：林瑩峯 博士

共同指導教授：羅怡珮 博士

研 究 生：林怡潔

中華民國九十七年七月三十一日

嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

Department of Environmental Engineering and Science

Chia-Nan University of Pharmacy and Science

碩士論文

Thesis for the Degree of Master

人工溼地水棲昆蟲相調查及生物指標建立

A Survey of Aquatic Insects and Biotic Index in Constructed
Wetlands



指導教授：林瑩峯 (Dr. Ying-Feng Lin)博士

共同指導教授：羅怡珮 (Dr. Yi-Pey Luo)博士

研究生：林怡潔 (Yi-Chieh Lin)

中華民國九十七年七月三十一日

July 31, 2008

嘉南藥理科技大學
碩士學位考試委員會審定書

本校 環境工程與科學系 碩士班 林怡潔 君
所提論文 人工溼地水棲昆蟲相調查及生物指標建立

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

考試委員：高志明 _____
羅怡珮 _____
黃大毅 _____
林榮華 _____

指導教授：林榮華 _____

系主任（所長）：林秀雄 _____

中華民國 97 年 7 月



嘉南藥理科技大學 碩士論文全文電子檔案上網授權書

本授權書所授權之論文全文電子檔案，為本人於嘉南藥理科技大學，撰寫之碩士學位論文。(以下請擇一勾選)

- 同意立即開放
- 同意一年後開放，原因是：_____
- 同意二年後開放，原因是：_____
- 同意三年後開放，原因是：_____

以非專屬、無償授權嘉南藥理科技大學圖書館和國家圖書館。基於推動「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋本校與社會作為學術研究目的之用，得不限地域、時間與次數，以紙本、光碟、學位論文全文系統、網路或其他各種方法收錄、重製、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用，以提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

研究生簽名： 林怡潔

論文名稱： 人工濕地水棲昆蟲相調查及生物指標建立

指導教授： 林榮華

系所： 環境工程與科學系

學號： G9506015

日期：民國 97 年 7 月 31 日

備註：

1. 本授權書請填寫並以黑色筆親筆簽名後，裝訂於各紙本論文封面後之次頁。
2. 讀者基於非個人營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法有關規定辦理。

中 文 摘 要

本研究自 2006 年 3 月至 2008 年 5 月於嘉藥校園人工溼地系統（以下簡稱嘉藥系統）、港尾社區自然淨水系統（以下簡稱港尾系統）、蚵寮國中人工溼地系統（以下簡稱蚵寮系統）、二行社區人工溼地系統（以下簡稱二行系統）、安順排水淨化系統（以下簡稱安順系統）及烏松溼地公園（以下簡稱烏松溼地）進行水質測定分析及水棲昆蟲採樣，探討各個人工溼地系統處理水質情形、水棲昆蟲發生的狀況及建立生物指標評估人工溼地水質的可行性。

水質監測參數包括溫度、pH、導電度、溶氧(Dissolved Oxygen, DO)、生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand, BOD₅)、氨氮(Ammonia Nitrogen, NH₄-N)及懸浮固體(Suspended Solid, SS)等，並計算個溼地系統之河川污染指標(River pollution index, RPI)。每次採集水棲昆蟲的同時記錄當日水溫並進行水質分析監測，所採集之水棲昆蟲進行物種鑑定及計算數量，並利用分析出之水質參數及物種數與生物量計算河川污染指標及生物指標，其中生物指標包含總個體數、科級生物指標(Family-level biotic index)、分類群豐度(Richness index)、夏農-威佛歧異度指標(Shannon-Weaver diversity index)、辛普森歧異度指標(Simpson's diversity index)及均勻度指標(Evenness index)，進而將水質參數及河川污染指標與生物指標進行相關性分析與理想方程式推估。

研究結果發現，六個人工溼地的採樣點，水質分析結果與水棲昆蟲相具顯著差異。比較四個進行常態採樣系統中計算河川污染指標之四個水質參數，發現港尾系統的DO值較高及NH₄-N值較低，嘉藥系統的BOD₅值及SS值較低，整體水質環境以港尾系統較佳。嘉藥系統水棲昆蟲採樣共記錄 6 目 15 科 15 種，取樣面積之採集量為 5044 隻

/m²，港尾系統水棲昆蟲共紀錄 7 目 18 科 19 種，取樣面積之採集量為 14998 隻/m²，蚵寮系統水棲昆蟲共紀錄 6 目 8 科 8 種，取樣面積之採集量為 477 隻/m²，安順系統水棲昆蟲共紀錄 5 目 9 科 9 種，取樣面積之採集量為 544 隻/m²，烏松溼地水棲昆蟲共紀錄 5 目 5 科 5 種，取樣面積之採集量為 111 隻/m²。將水質參數及生物指標進行相關性分析後，均具顯著差異性，依各個人工溼地的特性，相關的因子也不盡相同。

河川污染指標代表河川水質污染程度。計算各溼地水質參數所得之河川污染指標，由小至大依序為港尾系統、嘉藥系統、蚵寮系統及二行系統。科級生物指標的值越小代表河川水質環境良好。計算各溼地之科級生物指標，判斷溼地水質優劣順序為港尾系統、嘉藥系統及蚵寮系統。夏農-威佛歧異度指標的值越高代表採樣站中物種越多樣及豐富，按高低順序排列為港尾系統、嘉藥系統及蚵寮系統。利用以上三種方式評估水質的結果相似度高，因此應可參考現行利用生物指標評估溪流水質的方法，建立以生物指標評估人工溼地水質的模式，可使用科級生物指標或夏農-威佛歧異度指標評估水質，輔助化學分析方法進行水質整體評估。

水質參數來推估生物指標，經逐步多元迴歸分析推估理想方程式，經計算平均誤差值，選擇平均誤差值小於 30%之 Gleason index、Evenness index 及 Simpson's diversity index 等三個理想方程式應用於水質評估，如此可減少水質參數分析項目，達到整體評估水體環境的目的。

分析河川污染指標（RPI）與水棲昆蟲各目發生數量之趨勢進行水質指標生物的建立，結果以蜻蛉目、半翅目、鞘翅目及蜉蝣目結果較接近實際發生情形。若要更精確預估，宜將水棲昆蟲分類至科級後

再進行相關討論。

調查發現人工溼地系統會孳生家蚊及瘧蚊，蚊蟲除了傳播疾病外也會造成對溼地附近民眾的騷擾，宜加強人工溼地的管理，以避免形成公共衛生上的問題。

關鍵字：人工溼地、河川污染指標、生物指標、指標生物、公共衛生

Abstract

This study analysis the parameters of water quality and collected the aquatic insects in the Chna constructed wetland system, Gang-Wei constructed wetland system, Ke-Liao constructed wetland system, Er-Hang constructed wetland system, An-Shun constructed wetland system and Niao-Song wetland park since March 2006 to May 2008. We related aquatic insects sampling to water quality parameters in various constructed wetland system and investigated to establish the biotic index to assess constructed wetland water quality.

The aquatic insects were collected regularly, and the monitoring parameters of water quality were recorded at the same time. In this research, we analyze the monitoring parameters of water quality including temperature, pH, conductivity, DO, BOD₅, NH₄-N and SS, and to calculate the river pollution index of a constructed wetland system. We counted the number and identified the species of the collected aquatic insects. We utilize the numbers and the species of the collected aquatic insects to calculate the biotic index, including the number of individual, Family-level biotic index, Richness index, Shannon-Weaver diversity index, Simpson's diversity index and Evenness index. We wish to establish an ideal formula for the biotic index to assess the constructed wetland water quality.

The results showed that the water quality and aquatic insects of the six constructed wetlands systems were significant difference. We compared the four water quality parameters that to calculate the river pollution index of the four regular sampling system, we found that the Gang-Wei system had high DO and low NH₄-N value, Chna system had better BOD₅ and SS value. The Gang-Wei system had the best environment quality overall. Chna system's aquatic insects recorded six orders, 15 family and 15 species, the number of individual per sampling

area was 5044 / m². Gang-Wei system's aquatic insects recorded seven orders, 18 family and 19 species, the number of individual per sampling area was 14,998 / m². Ke-Liao system's aquatic insects recorded six orders, 8 family and 8 species, the number of individual per sampling area was 477 / m². An-Shun system's aquatic insects recorded five orders, 9 family and 9 species, the number of individual per sampling area was 544 / m². Niao-Song system's aquatic insects recorded five orders, 5 family and 5 species, the number of individual per sampling area was 111 / m². The correlation testing of the water quality parameters and the biotic index are significant difference, depending on the various characteristics of the constructed wetland system.

The river pollution index (RPI) was used to evaluate the river water pollution levels. The river pollution index (RPI) of Gang-Wei system, Chna system, Ke-Liao system and Er-Hang system were progressive increase. The Family-level biotic index was to evaluate the water quality, the Gang-Wei system is better than the Chna system, and the Ke-Liao system is the worse. The higher Shannon-Weaver diversity index value represented the more species diversity and abundance. The Shannon-Weaver diversity index value of Gang-Wei system, Chna system, and Ke-Liao system were reduce progressively. Applied these methods to evaluate water quality had the same results. We were able to refer the current use of the biotic index to assess stream water quality methods, and to establish the biotic index to assess constructed wetland water quality. The potential biotic indexes were Family-level biotic index and Shannon-Weaver diversity index. These methods could assist chemical analysis to assess the whole water quality.

The multiple gradually regression analysis was to establish an ideal formula for water quality parameters to estimate the Gleason index, Evenness index and Simpson's diversity index. The results were the same

as the utility of river pollution index. It could reduce water quality parameters analysis project, and assess the overall water environment.

Analyze the river pollution index (RPI) and the individuals of various orders correlation to establish the biological indicators. The result was that the Odonata, Hemiptera, Coleoptera and Ephemera were the candidate of the biological indicators in the constructed wetland system. It needed more large sample size and more detail aquatic insect classification to establish the more representative biological indicators.

The constructed wetland was the breeding site of *Culex* and *Anopheles*. It has the potential to increase the local adult mosquito populations. These mosquitoes could be the vectors of pathogen or to disturb the neighbor of constructed wetland. It should improve the management of constructed wetland to reduce the public health problem.

Keyword: Constructed wetland 、 River pollution index 、 Biotic index 、 Biological indicators 、 Public Health

誌 謝

在這段研究所就讀的期間，感謝恩師 林瑩峯老師與 羅怡珮老師耐心指導，並給予我對於人工溼地及水棲昆蟲兩種不同領域之間的認知及相關知識，讓我對它們從陌生到足以完成這本論文。謝謝兩位師長在求學期間給予我諸多的幫助，給予我論文寫作的方向並讓我明白自己的能力。感謝 林瑩峯老師對我的放心及信任，這對我來說是莫大的鼓勵，感謝 羅怡珮老師讓我在面對許多考驗時陪著我並不斷的鼓勵我，讓我在面對挑戰時對自己的成果增添許多信心，更像一位母親一樣的照顧我。

感謝高雄中山大學環工所 高志明老師在百忙之中抽空參加學生的論文口試，並在口試過程中提供寶貴意見，補足學生論文中的不足。感謝 荆樹人老師在我就讀大學時便讓我參與專題製作，也因有此因緣際會，才有這個機會學習到這塊領域，更於口試期間，給予我諸多意見。感謝 黃大駿老師在統計及生物指標方面給予我許多幫助，提供我許多相關資料及意見。

在嘉藥六年的時間，感謝當初大學同學茜羽鼓勵我參與專題製作，讓我有此機會進入實驗室學習，如果沒有這段過程，也許我不會繼續進修，也沒有機會完成這份論文。

研究期間，感謝凱鐘學長，給予我極多的幫助，有任何不懂的地方，學長總是會很快的幫助我解決問題，也總是不斷的教我新的東西，讓我學會了不少。謝謝生態中心的每一位助理及夥伴們，謝謝一起奮鬥的同學建志、威成、鐘雲，謝謝學弟妹宛妮、建和、存偉、盈慈。尤其是宛妮，謝謝妳在我大三進入實驗室的時候就一直陪伴在身邊。我們大家一起忙碌著每一個實驗，完成每一件事情，因為有你們的幫忙，我才得以如期完成這本論文。我在台南的日子，我們大家一

起攜手渡過了好多時光，你們對我而言就像是另外的家人，你們在身邊給我的鼓勵與陪伴，對我來說是很大的力量。

最後，我要感謝一路上一直支持我的家人，不辭辛勞的栽培我、支持我、鼓勵我。在外讀書六年，一直鮮少有多餘的時間可以在家裡陪伴你們，今日，我終於完成這份學業，我希望這一份成果會是你們最大的驕傲及榮耀。

目 錄

中 文 摘 要	1
Abstract	IV
誌 謝	VII
目 錄	IX
表 目 錄	XIII
圖 目 錄	XVI
第一章 前言	1
1-1 研究動機	1
1-2 研究方向與目的	2
第二章 文獻回顧	4
2-1 人工溼地概述	4
2-1-1 人工溼地的種類	4
2-1-2 人工溼地發展沿革與應用	8
2-2 溼地生態中昆蟲綱的生物階層	9
2-2-1 水棲昆蟲分類方式	9
2-2-2 水棲昆蟲生活史	11
2-3 水棲昆蟲在生物指標的應用	12
2-3-1 科級生物指標	12
2-3-2 生物多樣性指標	14
2-4 人工溼地存在的子嗣及造成的潛在影響	17
第三章 研究設備與方法	18
3-1 人工溼地系統介紹	19
3-1-1 嘉藥校園人工溼地系統	19
3-1-2 港尾社區自然淨水系統	20

3-1-3	蚵寮國中人工溼地系統-----	23
3-1-4	二行社區人工溼地系統-----	25
3-1-5	安順排水淨化系統-----	27
3-1-6	烏松溼地公園-----	28
3-2	水質採樣-----	30
3-2-1	嘉藥校園人工溼地系統-----	31
3-2-2	港尾社區自然淨水系統-----	31
3-2-3	蚵寮國中溼地系統-----	31
3-2-4	二行社區人工溼地系統-----	31
3-2-5	安順排水淨化系統-----	32
3-2-6	烏松自然溼地公園-----	32
3-3	水質分析方法-----	32
3-3-1	儀器設備-----	33
3-3-2	分析方法-----	33
3-3-3	處理效能評估-----	34
3-4	水質污染指標分析-----	35
3-4-1	單一指標-----	36
3-4-2	綜合水質指標-----	36
3-5	水棲昆蟲採樣-----	37
3-5-1	嘉藥校園人工溼地系統-----	38
3-5-2	港尾社區自然淨水系統-----	38
3-5-3	蚵寮國中人工溼地系統-----	38
3-5-4	二行社區人工溼地系統-----	38
3-5-5	安順排水淨化系統-----	39
3-5-6	烏松溼地公園-----	39

3-6	水棲昆蟲分析及科級鑑定	39
3-7	生物指標分析	39
3-7-1	科級生物指標	40
3-7-2	生物多樣性指標	42
3-8	統計分析方法	44
第四章	結果與討論	45
4-1	人工溼地淨化系統處理效能	46
4-1-1	各項水質參數分析	46
4-1-2	人工溼地淨水系統處理效能	56
4-2	人工溼地水棲昆蟲與環境因子之關係	58
4-2-1	水棲昆蟲各採樣點水質比較	58
4-2-2	水棲昆蟲調查結果	97
4-2-2-1	嘉藥校園人工溼地	97
4-2-2-2	港尾社區自然淨水系統	103
4-2-2-3	蚵寮國中人工溼地系統	113
4-2-2-4	二行社區人工溼地	119
4-2-2-5	安順排水淨化系統	122
4-2-2-6	烏松溼地公園	127
4-2-2-7	各採樣站之生物指標參數整理	132
4-2-3	水質與生物指標之關係	135
4-3	人工溼地水棲昆蟲生物指標建立	141
4-3-1	利用水質參數推估生物指標	141
4-3-2	水質指標生物的建立	145
4-4	人工溼地的子子的存在對公共衛生的潛在影響	152
第五章	結論	157

第六章 參考文獻	-----	159
附錄一 人工濕地所採集之水棲昆蟲照片	-----	165

表 目 錄

表3-1	河川污染分類指標污染等級分類表-----	37
表3-2	水棲昆蟲忍受值-----	41
表3-3	科級生物指標水質參照表-----	42
表4-1	嘉藥系統、港尾系統及蚵寮系統進出流之BOD ₅ 、NH ₄ -N 及SS之平均濃度及去除率-----	57
表4-2	嘉藥校園人工溼地水昆蟲採樣點溫度表-----	59
表4-3	港尾社區自然淨水系統水棲昆蟲採樣點溫度表-----	60
表4-4	蚵寮國中人工溼地水棲昆蟲採樣點溫度表-----	60
表4-5	二行社區人工溼地水棲昆蟲採樣點溫度表-----	61
表4-6	各採樣區平均水溫之AVONA 單因子多變數分析-----	62
表4-7	嘉藥校園人工溼地水昆蟲採樣點pH值-----	64
表4-8	港尾社區自然淨水系統水棲昆蟲採樣點pH值-----	65
表4-9	蚵寮國中人工溼地水棲昆蟲採樣點pH值-----	65
表4-10	二行社區人工溼地系統水棲昆蟲採樣點pH值-----	66
表4-11	各採樣區pH值之AVONA 單因子多變數分析-----	67
表4-12	嘉藥校園人工溼地水昆蟲採樣點導電度-----	69
表4-13	港尾社區自然淨水系統水棲昆蟲採樣點導電度-----	70
表4-14	蚵寮國中人工溼地水棲昆蟲採樣點導電度-----	70
表4-15	二行社區人工溼地水棲昆蟲採樣點導電度-----	71
表4-16	各採樣區導電度之AVONA 單因子多變數分析-----	72
表4-17	嘉藥校園人工溼地水昆蟲採樣點之DO濃度-----	74
表4-18	港尾社區自然淨水系統水棲昆蟲採樣點之DO濃度-----	75
表4-19	蚵寮國中人工溼地水棲昆蟲採樣點之DO濃度-----	75
表4-20	二行社區人工溼地水棲昆蟲採樣點之DO濃度-----	76

表4-21	各採樣區DO之AVONA 單因子多變數分析-----	77
表4-22	嘉藥校園人工溼地水昆蟲採樣點之BOD5濃度-----	79
表4-23	港尾社區自然淨水系統水棲昆蟲採樣點之BOD5濃度----	80
表4-24	蚵寮國中人工溼地水棲昆蟲採樣點之BOD5濃度-----	80
表4-25	二行社區人工溼地水棲昆蟲採樣點之BOD5濃度-----	81
表4-26	各採樣區BOD5之AVONA 單因子多變數分析-----	82
表4-27	嘉藥校園人工溼地水昆蟲採樣點之NH4-N濃度-----	84
表4-28	港尾社區自然淨水系統水棲昆蟲採樣點之NH4-N濃度---	85
表4-29	蚵寮國中人工溼地水棲昆蟲採樣點之NH4-N濃度-----	85
表4-30	二行社區人工溼地水棲昆蟲採樣點之NH4-N濃度-----	86
表4-31	各採樣區NH4-N之AVONA 單因子多變數分析-----	87
表4-32	嘉藥校園人工溼地水昆蟲採樣點之SS濃度-----	89
表4-33	港尾社區自然淨水系統水棲昆蟲採樣點之SS濃度-----	90
表4-34	蚵寮國中人工溼地水棲昆蟲採樣點之SS濃度-----	90
表4-35	二行社區人工溼地水棲昆蟲採樣點之SS濃度-----	91
表4-36	各採樣區之SS的AVONA 單因子多變數分析-----	92
表4-37	六個採樣站中各種水質參數測定結果-----	96
表4-38	嘉藥系統水棲昆蟲物種數及比例-----	98
表4-39	嘉藥系統各採樣點單位採樣面積水棲昆蟲採樣之總個體 數-----	99
表4-40	港尾系統水棲昆蟲物種數及比例-----	105
表4-41	港尾系統各採樣點單位採樣面積水棲昆蟲採樣之總個體 數-----	106
表4-41 (續)	港尾系統各採樣點單位採樣面積水棲昆蟲採樣之 總個體數-----	107

表4-42	蚵寮國中人工溼地系統水棲昆蟲物種數及比例-----	114
表4-43	蚵寮國中人工溼地系統各採樣點單位採樣面積的水棲昆 蟲採樣之總個體數-----	115
表4-44	二行社區人工溼地系統個採樣點各目昆蟲種類數及所 佔比例-----	121
表4-45	安順排水淨化系統水棲昆蟲物種數及比例-----	123
表4-46	安順排水系統各採樣點單位採樣面積的水棲昆蟲採樣之 總個體數-----	124
表4-47	烏松溼地公園水棲昆蟲物種數量及比例-----	128
表4-48	烏松溼地公園各採樣點水棲昆蟲採樣之總個體數-----	129
表4-49	各採樣站之生物指標參數-----	134
表4-50	嘉藥系統水質參數與水棲昆蟲之相關性分析-----	137
表4-51	港尾系統水質參數與水棲昆蟲之相關性分析-----	138
表4-52	蚵寮系統水質參數與水棲昆蟲之相關性分析-----	139
表4-53	嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統、安順系統及烏松溼地 之河川污染指標、科級生物指標及Shannon-Weaver diversity index比較表-----	140
表4-54	生物指標之推估值、實際值和差異百分比-----	144

圖 目 錄

圖1-1	研究流程圖-----	3
圖2-1	自由表面流動式系統-----	6
圖2-2	表面下流動系統-----	7
圖3-1	嘉藥校園人工溼地系統-----	20
圖3-2	港尾社區自然淨水系統-----	23
圖3-3	蚵寮國中人工溼地系統-----	25
圖3-4	二行社區人工溼地系統-----	27
圖3-5	安順排水淨化系統-----	28
圖3-6	鳥松溼地公園-----	30
圖4-1	各採樣站中進出流之水溫變化-----	47
圖4-2	各採樣站中進出流之pH值變化-----	48
圖4-3	各採樣站中進出流之導電度變化-----	49
圖4-4	各採樣站中進流水之DO變化-----	50
圖4-5	各採樣站中進出流之BOD ₅ 變化-----	51
圖4-6	各採樣站中進出流之NH ₄ -N變化範圍-----	53
圖4-7	各採樣站中進出流之SS變化範圍-----	55
圖4-8	採樣點嘉藥1各目水棲昆蟲個體數百分比-----	100
圖4-9	採樣點嘉藥2各目水棲昆蟲個體數百分比-----	101
圖4-10	採樣點嘉藥3各目水棲昆蟲個體數百分比-----	102
圖4-11	採樣港尾1各目水棲昆蟲個體數百分比-----	108
圖4-12	採樣點港尾2各目水棲昆蟲個體數百分比-----	109
圖4-13	採樣點港尾3各目水棲昆蟲個體數百分比-----	110
圖4-14	採樣點港尾4各目水棲昆蟲個體數百分比-----	111
圖4-15	採樣點港尾5各目水棲昆蟲個體數百分比-----	112

圖4-16	採樣點蚵寮1各目水棲昆蟲個體數百分比-----	116
圖4-17	採樣點蚵寮2各目水棲昆蟲個體數百分比-----	117
圖4-18	採樣點蚵寮3各目水棲昆蟲個體數百分比-----	118
圖4-19	採樣點安順1各目水棲昆蟲個體數百分比-----	125
圖4-20	採樣點安順2各目水棲昆蟲個體數百分比-----	126
圖4-21	採樣點烏松2各目水棲昆蟲個體數百分比-----	130
圖4-22	採樣點烏松3各目水棲昆蟲個體數百分比-----	131
圖4-23	雙翅目昆蟲總數與RPI之趨勢圖-----	147
圖4-24	蜻蛉目昆蟲總數與RPI之趨勢圖-----	148
圖4-25	半翅目昆蟲總數與RPI之趨勢圖-----	149
圖4-26	鞘翅目昆蟲總數與RPI之趨勢圖-----	150
圖4-27	蜉蝣目昆蟲總數與RPI之趨勢圖-----	151
圖4-28	嘉藥系統蚊科家蚊屬、瘧蚊屬數量-----	154
圖4-29	港尾系統蚊科家蚊屬、瘧蚊屬數量-----	155
圖4-30	蚵寮系統蚊科家蚊屬、瘧蚊屬數量-----	156

第一章 前言

1-1 研究動機

人工溼地系統 (constructed wetland system) 是將生態工程技術應用於水或廢污水管理及處理的一種自然淨化程序，相較於一般傳統的廢污水處理系統，具有省能源、低成本、不添加化學藥劑及不破壞生態等優點，頗能符合處理污染性河水技術的要求⁽¹⁾。

表面流人工溼地由水池、土壤、水生植物組成，透過污水與自然環境中的氧氣、土壤、微生物和植物的交互作用，達到水質淨化的目的。表面流人工溼地是現地處理工法，與自然溼地最相似，也是較早且普遍使用的方法。表面流人工溼地栽種許多耐污染的挺水性水生植物，植物的莖和葉貫穿水面、暴露於空氣中，根部則深入溼地底層的土壤內，茂密的根系可以讓許多微生物附著生長，空氣中的氧氣也可經由植株運送至溼地底層，提供氧氣給微生物利用，讓微生物發揮分解污染物質的功用⁽²⁾。

人工溼地所營造出的人工棲地可提供許多物種棲息。在台灣的昆蟲物種類繁多，生活史中可能均為水棲，或有部分昆蟲的幼蟲期為水棲，而營造出人工溼地的環境也可提供水棲昆蟲的棲息。

在溪流的水棲環境中，因結構穩定，許多水棲生物定居於溪流環境中，因此不少研究利用水棲生物來評估水質。包括使用群聚參數 (Community parameters)、單一指標方法 (uni-metric approach) 及多重指標方法 (multi-metric approach) 來評估溪流水質污染程度或進行水質監測。

台灣地區檢驗水質方式一般使用水質分析，檢驗方式有單一指標及綜合水質指標。單一指標以水質參數的功能或污染特性進行分類，主要仰賴物理及化學分析方式進行分析，檢驗分析所得數據準確性較

高。綜合水質指標大多應用於河川污染指標，環保署利用分析四種水質參數的結果訂定河川污染指標（RPI, River Pollution Index），將河川水質污染等級分成四級，分別為未受（或稍受）污染、輕度污染、中度污染及嚴重污染。這四種水質參數分別是溶氧（Dissolved Oxygen, DO）、生化需氧量（Biochemical Oxygen Demand, BOD₅）、氨氮（Ammonia Nitrogen, NH₄-N）、懸浮固體（Suspended Solid, SS）等。

國內外關於人工溼地水棲昆蟲相調查的研究資料不多，利用水棲昆蟲做為生物指標，進行人工溼地水質監測或評估深具發展潛力。因此本論文進行不同人工溼地系統之水質分析檢測，並調查人工溼地水棲昆蟲棲群動態，建立人工溼地系統之水質及水棲昆蟲發生的關係，探討生物指標評估人工溼地水質的可行性。

1-2 研究方向與目的

本研究利用嘉藥校園人工溼地系統（以下簡稱嘉藥系統）、港尾社區自然淨化系統（以下簡稱港尾系統）、蚵寮國中人工溼地系統（以下簡稱蚵寮系統）、二行社區人工溼地系統（以下簡稱二行系統）、安順排水淨化系統（以下簡稱安順系統）及烏松溼地公園（以下簡稱烏松溼地）等進行水棲昆蟲的採樣，並針對各採樣點進行各項水質測定及分析（圖 1）。本研究方向主要討論各個人工溼地系統處理水質的情形，及各個人工溼地系統水棲昆蟲發生的狀況，並分析水棲昆蟲的發生與水質的關係，目的在探討建立生物指標評估人工溼地水質的可行性，另外對人工溼地中的孑孓，討論工濕地與公共衛生的關係。

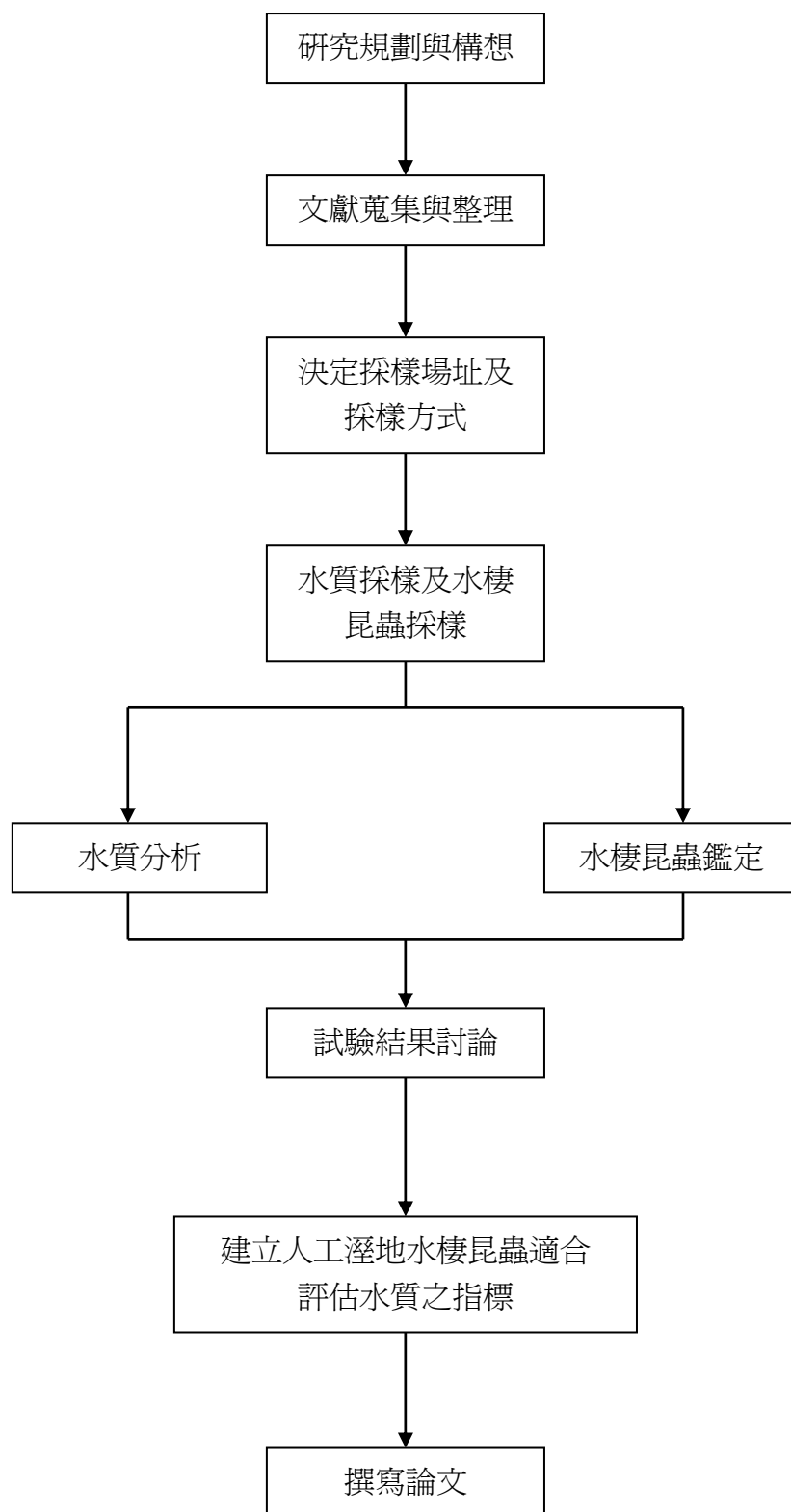


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2-1 人工溼地概述

人工溼地（constructed wetland, CW）是指人工開挖或使用擋水設施造成的窪地，裡面常保持濕潤或有淺層積水，並種植水生植物。一般溼地設置的理由包括進行環境補償，彌補開發過程所造成的自然損失，及去除顆粒性及溶解性污染物，並應用生態工程技術處理廢污水。因為人工溼地可進行環境補償作用，所以強調維護棲地品質，並以孕育物種為目標，確實做到「補償」人為開發所破壞或傷害之溼地。除污用的人工溼地主要在於「截留」污染物質，利用生態自淨的機制進行分解、濾過污染物。因此人工溼地以最自然的方式來處理廢污水，並能提供生態環境復育的機會。另外溼地水池可以美化景觀，同時具有水資源涵養、地下水補注、污染物淨化、防洪、調節水量等等多元功能。

人工溼地與一般廢水處理系統做比較，具有省能源、無二次污染、操作維護簡單等優點，並提供動植物棲息空間，營造棲地以達到「易地保存」的功能。以人工溼地淨化廢污水，可使將淨化後的水質再循環利用，是操作簡單且深具應用價值的自然處理方法⁽³⁾。

2-1-1 人工溼地的種類

人工溼地主要分為兩大類型，分別為自由表面流動式系統及表面下流動式系統兩種：

1. 自由表面流動式系統（FWS, free water surface system）(如圖2-1)⁽⁴⁾是模擬自然溼地之水文及環境狀態的人工溼地。為一淺的窪地，底部含20~30公分土壤或其他介質以提供水生植物著根，此種人工溼地系統種植的大型水生植物（macrophytes）可分為下列五種^(5,6)

:

- A. 挺水性植物 (emergent macrophytes) : 常用的水生植物有蘆葦 (*Phragmites spp.*)、香蒲 (*Typha spp.*)、燈心草 (*Juncus spp.*)、蘆草 (*Cyperus spp.*) 及狼尾草 (*Pennisetum spp.*) 等。
- B. 浮水性植物 (free-floating macrophytes) : 常用的水生植物有布袋蓮 (*Eichhornia crassipes*)、浮萍 (*Lemna spp.*) 及水芙蓉 (*Pistia stratiotes*) 等。
- C. 著根浮水植物 (bottom-rooted floating macrophytes) : 葉片為浮水性，根部著生於底泥中。
- D. 挺水植物浮水型 (emergent macrophytes with floating mat) : 一些挺水植物聚生在一起之後，根部交叉生長，同時累積植物殘渣後形成類似墊片物而浮在水中，包括蘆葦、香蒲及石蓮花 (*Hydrocotyle umbellate*) 等。
- E. 沉水植物型 : (submerged macrophytes) : 常用的水生植物有水草 (*Elodea spp.*) 。

人工溼地水位控制設施調整約10~60cm的水深，進流水在溼地表面層開放地區流動，當水流經底部土壤層並與植物的莖、根部接觸後，可達淨化結果，北美地區大多採用此種系統。由於外觀及作用接近天然沼澤，除了具污染防治功能外，FWS系統可營造新的野生動物棲息地，增強鄰近自然溼地保育野生動物的功能，具有景觀美化的功效。

- 2. 表面下流動系統 (SSF, subsurface flow system) (如圖2-2)⁽⁷⁾ 是將水流經礫石下，無法由溼地表面看到水層，此種溼地一般種植挺水性植物或草本植物。利用窪地槽體，充填40~60cm厚的礫石和砂粒及挺水性植物，使孔隙間的生物膜能處理污染物質。

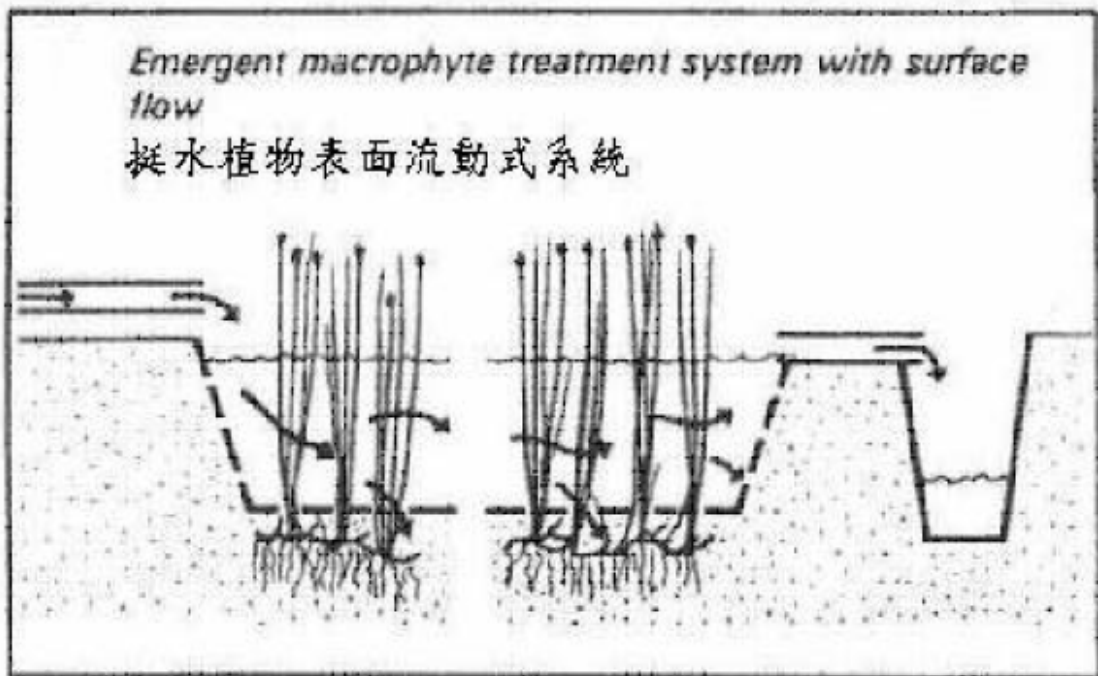
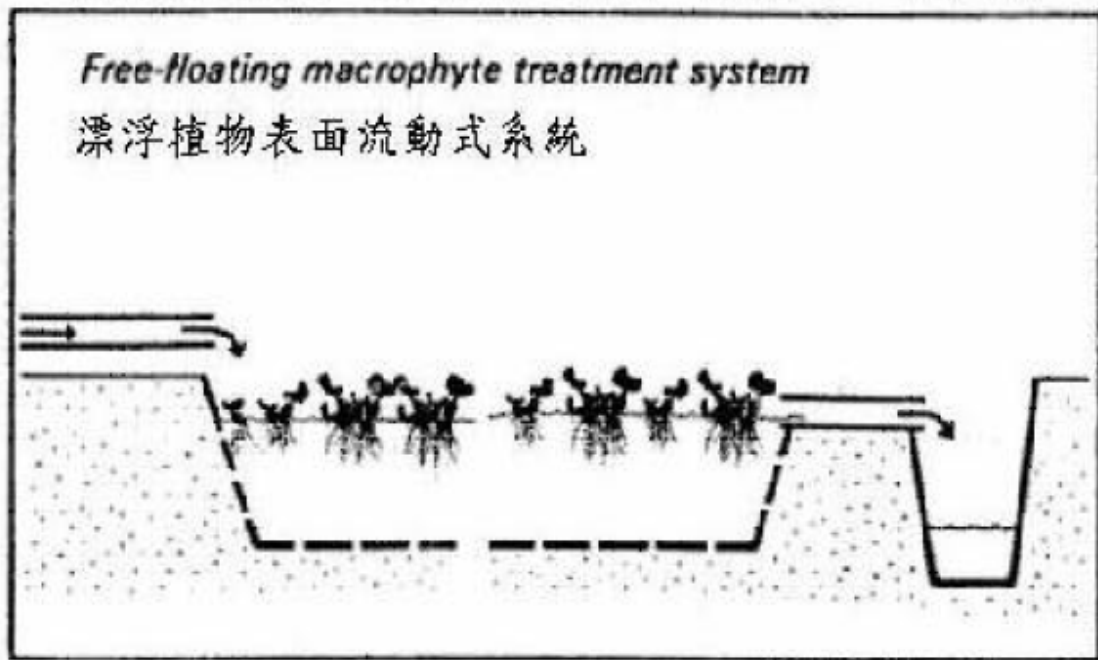


圖2-1 自由表面流動式系統⁽⁴⁾

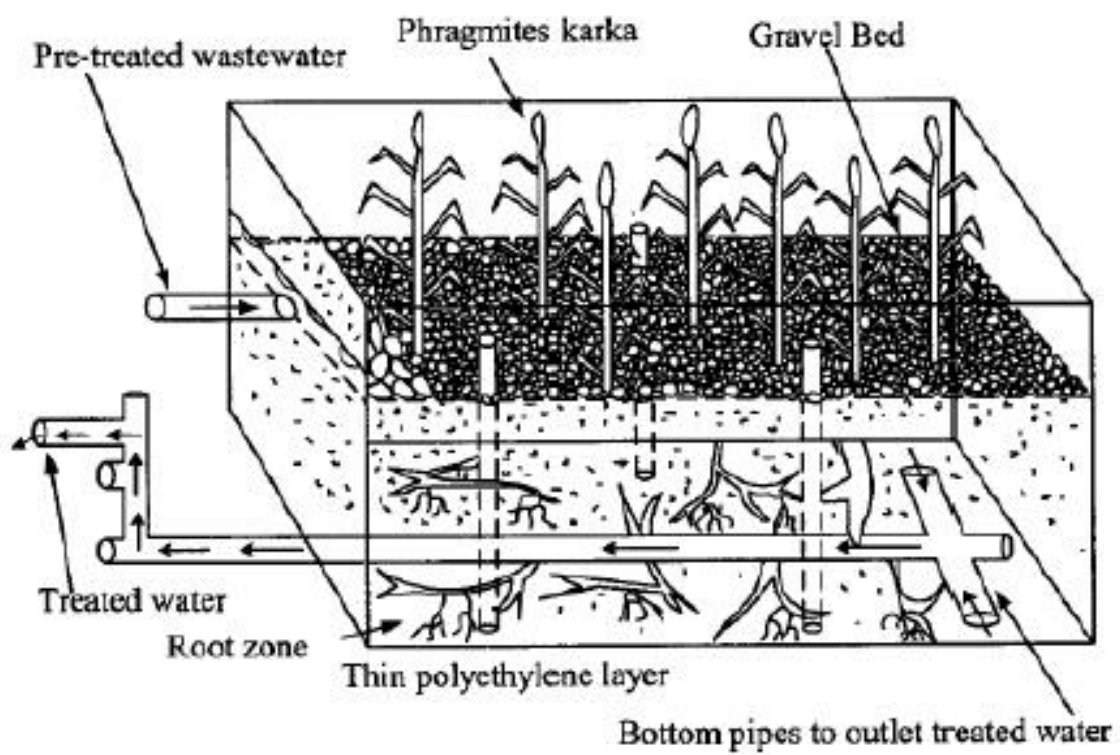


圖2-2 表面下流動系統⁽⁷⁾

2-1-2 人工溼地發展沿革與應用

人工溼地的起源約在一百多年前，美洲某些地區利用自然溼地作為生活污水的放流場址，當監測這些承接廢水的自然溼地，便發現溼地淨化水質的潛能，因而逐步模仿，蔚成人工溼地的研究熱潮。1970年代於北美洲將溼地生態工程技術發展應用於廢水處理，即為自由表面流動式系統技術的由來。另外，歐洲則盛行使用表面下流動系統溼地技術，德國在1960~1980年發展出利用植物根系處理廢水之程序，稱為根系區間法（root-zone method, RZM）；1985年英國積極投入蘆葦床處理系統（reed bed treatment system, RBTS）之研究發展；此種SSF 溼地技術並推展至奧地利、丹麥、法國、瑞典、瑞士、北美、澳洲、非洲及亞洲（印度及中國大陸）等國家。經過30年之推廣應用後，目前歐洲及北美洲已分別有超過500及600個人工溼地系統成功地使用於水污染防治上^(4,8)。

人工溼地技術經過30年之推廣應用後，無論是已開發國家或開發中國家，均陸續有許多學者參與計畫研究，並已有超過1000個實際應用的溼地系統。這些文獻報導又以人工溼地系統佔多數，其研究應用多是將人工溼地當作二級處理程序或高級處理程序，用以處理都市污水、小規模家庭污水、畜牧業廢水、農田排水、礦業廢水、食品業廢水、石化工業廢水、造紙業廢水、垃圾掩埋場滲出水及污泥處理等⁽⁹⁾。2002年美國EPA整合近幾年有關人工溼地的成果，陸續完成了人工溼地設計準則與手冊⁽¹⁰⁾。人工溼地在國內已經有相當普遍的應用，對於廢污水處理、調洪、暴雨逕流的處理，以及景觀生態環境的再造，都有日新月異的成果⁽¹¹⁾。

2-2 溼地生態中昆蟲綱的生物階層

台灣的昆蟲種類繁多，已知的種類就超過15000種，每年還有許多新的種被發現，其中更有許多是台灣的特有種。

全部的生活史或生活史的某一個時期在水中完成之昆蟲稱為水棲昆蟲（Aquatic insects）。所有的昆蟲物種中，約有3%的昆蟲具有水棲或半水棲的生活階段⁽¹²⁾。淡水環境的水棲昆蟲群落，可能超過大型無脊椎動物總個體數或種類數的95%⁽¹³⁾。在水棲環境中，水棲昆蟲會呈現多樣化的適應，如冷泉、潮間帶小潮池、易乾枯的水塘、被冰雪所覆蓋的溪流或湖泊，都會發現水棲昆蟲的活動^(14,15,16,17)。由台灣生物多樣性資訊入口⁽¹⁸⁾登錄發現台灣的昆蟲綱有24目，而水棲昆蟲則涵蓋在11個目中，其中襉翅目（Plecoptera）、蜉蝣目（Ephemeroptera）、毛翅目（Trichoptera）與蜻蛉目（Odonata）等4個目的幼蟲完全是水生；廣翅目（Megaloptera）、半翅目（Hemiptera）、鱗翅目（Lepidoptera）、鞘翅目（Coleoptera）、雙翅目（Diptera）、脈翅目（Neuroptera）及膜翅目（Hymenoptera）等7個目，有部份種類的幼蟲或成蟲是棲息於水域中的，其他大部分的種類則棲息於陸域。

2-2-1 水棲昆蟲分類方式

棲息於水域環境中之水棲昆蟲，大多是幼蟲階段，在屬或種的分類會出現瓶頸，即便勉強分類到種的階層，其龐大的種類及數量，也不清楚在溪流生態系所扮演角色及功能。Cummins等⁽¹⁹⁾提出以功能攝食群（functional feeding groups）進行水棲昆蟲分類。

功能攝食群的分類是以水棲昆蟲攝食的食物種類與機制區分，食物的種類則依據食物顆粒的大小、有無葉綠素及蛋白質含量的多寡來

區分⁽²⁰⁾。

攝食食物的種類分爲：1.有機碎屑（detritus）、2.附著性藻類（periphyton）、3.大型水生植物（macrophytes）及4.動物。各類食物的分類如下所述：

1.有機碎屑（detritus）：有機碎屑不是活的有機物質，顆粒大小以1mm爲區分。大於1mm的爲粗顆粒有機物（coarse particulate organic matter, CPOM），常見的有落葉、枯枝和果實等；而小於1mm的爲細顆粒有機物（fine particulate organic matter, FPOM）。

2.附著性藻類（periphyton）：附著的藻類及相關的有機物質。

3.大型水生植物（macrophytes）：苔蘚類、開花植物及大型藻類。活的水生植物大多不能被直接利用，而在枯萎後成爲有機碎屑才能被利用，主要是因爲水生植物的碳氮比值大，含有大量的纖維素和木質素，降低蛋白質被消化的能力。

4.動物：因富含高能量及高蛋白質，在溪流生態系中被視爲最高品質的食物來源。

若依照水棲昆蟲的攝食機制，功能攝食群可分爲五大類：1.碎食者（shredders）、2.採食者（collectors）、3.刮食者（scrapers）、4.捕食者（predator）及5.刺吸者（piercer）。這種攝食機制的分類，可以讓我們了解食物資源的利用⁽²⁴⁾。各分類方式如下列所述：

1.碎食者（shredders）：碎食者直接咀嚼或蛀食生長的水生植物組織，或取食植物組織被分解後粗顆粒有機物質，如：襍翅目卷石蠅科、短尾石蠅科，毛翅目鱗石蛾科、石蛾科，鱗翅目螟蛾科及鞘翅目泥蟲科等。

2.採食者（collectors）：採食者又分爲濾食性採食者（filtering collector）及集食性採食者（gathering collector）。採食者利用特化

之濾食性口器採食水中細顆粒有機物質，或直接採食微細有機沉積物之鬆軟表面，濾食性採食者，如：雙翅目蚊科、蚋科及毛翅目網石蛾科、多距石蛾科等。集食性採食者，如：雙翅目食蚜蠅科、水虻科、蛾蚋科，毛翅目姬石蛾科、長腳石蛾科及蜉蝣目四節蜉蝣科等。

3.刮食者（scrapers）：刮食者利用口器刮食石塊或植物表面之藻類及有機物質。

4.捕食者（predator）：捕食者以咀嚼方式直接吞嚥所捕獲之小型水生動物，如：蜻蛉目弓蜓科、細蟪科，鞘翅目龍蝨科，雙翅目搖蚊科。

5.刺吸者（piercer）：刺吸者利用特化之刺吸式口器，刺入食餌體內吸食體液。

由此可知水棲昆蟲在水域生態系的物質循環、物質分解及重新分配上扮演相當重要的角色。

Hawkins 和 Sedell⁽²¹⁾ 認為 Cummins 以食物功能攝食群的方式將無脊椎動物進行分類，不僅可以減少傳統分類鑑定的困難，更可簡化群聚結構的資料。

2-2-2 水棲昆蟲生活史

水棲昆蟲生活史可區分為同步生長（Synchronization growth）與非同步生長（asynchronous growth）二種模式。同步生長是指水棲昆蟲的卵具有同步發育和孵化的現象，同步生長的優點可減少同類相食^(22,23)，及有效率的利用短時間內所產生的食物資源⁽²⁴⁾。非同步生長模式發生在經過水災沖洗後的溪流，可能扮演再拓殖（recolonization）的角色⁽²⁵⁾。

2-3 水棲昆蟲在生物指標的應用

以往主要利用物理及化學方法進行檢測水質，環保署利用分析水質之DO，BOD₅，HN₄-N，SS及將河川污染情形分成四不同的污染等級，包括未受（或稍受）污染、輕度污染、中度污染及嚴重污染。雖物理及化學方法的數據較為準確，但需使用較精密的儀器設備，進行分析所使用的藥品消耗量大且昂貴，檢驗人員更需要經過訓練才能操作準確，而每次的採樣點及採樣時間也會造成誤差。

台灣溪流的生態經過一段較長的時間，許多水棲生物逐漸建立自己的棲群，在長期的演化過程中，水棲生物會不斷的改變來適應周遭的環境，當水棲生物察覺環境改變卻無法適應環境時，會死亡或是離開該棲地。許多研究人員便利用水棲生物適應環境的能力來判斷水質的優劣情形。

2-3-1 科級生物指標

若以各項物化指標來評估水域環境的水質變化，其測量值較精確且較能定量某一種污染物，但所獲得的測量值僅能代表該採樣時間及位置的資料，且容易受到污染源的排放方式、流量、氣候及季節等因素影響⁽²⁷⁾。因此必須有許多不同時間點或採樣點的測量值，否則以有限的指標來評估水質的變化，易造成評估上的誤差。若是增加不同時間點及採樣點的採樣工作，需要耗費許多人力及金錢，在實際執行會有困難。魚類、大型無脊椎動物、大型水生植物、藻類、細菌及病毒等都生活於水域生態環境中，這些水棲生物長期受到各項物理及化學因子的綜合影響，因此可以利用作為評估水質指標。作為水質生物指標之生物通常具有數量多、分布廣、採樣容易、鑑定容易、對環境變化反應靈敏及生命週期適中等特性。

1908年德國生物學家Kolkwitz 和 Marsson率先以生物作為水質指標，研究在英國排污水道之浮游性藻類與附著性藻類，結果發現藻類物種與群聚結構會隨排污水道之溶氧量而變化，於是發展以藻類群聚結構特徵反應水質狀況之生物指標法。早期應用生物指標評估環境，通常使用一至二個指標，或是生物屬性做為評估，如Hilsenhoff 生物指標及科級生物指標，多半是以單一屬性（uni-metric）的分析為主，可能無法完全反應水域生物所面臨到環境壓力，因此結合多項單一指標進行多重屬性的分析方法（multi-metric approach），較能反應出各種活動對生態所造成的衝擊⁽²⁷⁾。

Hilsenhoff於1982年⁽²⁸⁾提出單一屬性的方法，主要優點是指標值的計算簡便，但忍受值僅能於特定區域的特定種類才適用。Hilsenhoff於1988年⁽²⁹⁾提出同科不同屬物種對於污染物的差異，以及Plafkin *et al* (1982)認為同一種物種在不同環境區域對污染物的差異應該有應用上的限制。

1982年Hilsenhoff⁽²⁸⁾利用單一屬性生物指標法調查威斯康辛州（Wisconsin）53條河流，提出以節肢動物作為評估水質的生物指標（Biotic index），將各分類群對有機污染的忍受值分成六個等級，數值分別由0至5，數字越小代表忍受力越低，並以個體數加權計算，統計出採樣分類群之平均忍受值。1987年Hilsenhoff⁽³⁰⁾改進原有的生物指標，採樣的鑑定做修正，將忍受值細分為0至10，以達到更高的準確度。1988年Hilsenhoff⁽²⁹⁾更提出科級生物指標（Family-level biotic index），只要將水棲昆蟲鑑定至科的層級，在野外便可迅速進行鑑定。1998年Hilsenhoff⁽³¹⁾發現大多數的溪流，在夏季及冬季的極端水溫，Hilsenhoff生物指標值會出現偏高或偏低的現象，所以Hilsenhoff將個體數設定為10隻，超過10隻以上則以10隻計算，這樣可以減少偏

差產生。

2-3-2 生物多樣性指標

一個環境的穩定與否與生物多樣性有關。第一位提出生物多樣性（Biodiversity）的生物學家是Edward O.Wilson，他在1986年將Biological diversity合併為Biodiversity，並定義為：「包含所有層次（從屬於同物種的基因變體，到不同物種、屬、科及更高的分類層次）的生物類型，也包含各類型的生態系（由某特定棲境內之生物群落區及棲息的物理環境所組成）」，Edward O.Wilson更於1992年在提出：「層次包含基因、物種到生態系內的各類型生命。各層次空間範圍亦可由地方性、區域性或全球性的尺度來看。」⁽³²⁾

林⁽³³⁾引述金恆鏞所翻譯之『繽紛的生命』書篇中的一段提出：「生物多樣性是指某取樣面積或單位內，所有相異分類單元的總數，及各分類單元的個數佔所有分類單元內個體總數的百分率。所提到的分類單元可以是生態系、群組、物種或是基因組。」

生物多樣性可分為遺傳多樣性、物種多樣性及生態系多樣性。其中：

- 1.遺傳多樣性：指每一個物種內個體的變異性，任何單一物種裡的每個個體都是獨一無二，是農、林、漁、牧品種改良的依據，進行遺傳工程的素材⁽³⁴⁾。
- 2.物種多樣性：指地球上生命有機體的多樣性，具體且易量化的部份。目前已命名的物種約有160~175多萬種。生物學家也將所有物種分門別類，例如植物、鳥類、魚類等，同時是農、林、漁、牧產業經營的對象，也是醫藥發展的必需品⁽³⁴⁾。
- 3.生態系多樣性：指生物圈內的棲息地，由一群物種組成成群聚及生

態系的多樣性，沒有一定的疆界和規模，也不是一個獨立的單位。生態系在維持物種和基因多樣性的存續是不可或缺的，生態系更提供水、養分等重要的服務⁽³⁴⁾。

生物多樣性本身也富含價值，如生態系服務價值、保存基因多樣性價值、醫療價值、內在價值、科學價值及經濟價值等⁽³⁵⁾。因開發熱帶雨林，許多物種絕種的速度也越來快，每年約消失 5 萬種的物種，並預測 50 年內，地球會有四分之一的物種消失⁽³⁶⁾。每一種物種在生態系中都佔有一定的地位，並與其他物種相關連，一旦減少其中一個物種，則有可能影響另一個物種，在此情況之下會使得整個生態系失調。人為影響而導致生物多樣性消失的原因有棲地的喪失與碎裂化、環境污染、氣候變化、生物資源過度利用及不當引種等，均有可能使生態系失衡達難以復原的情形^(37,38)。

因人為活動干擾及破壞，導致生物多樣性面臨不少危機⁽³⁵⁾，其中棲地破壞會使物種消失，則是因為動、植物原生環境消失、劣化與切割，不斷的在海岸或陸地上興建工業區、養殖池、漁港、道路等⁽³⁹⁾。人工溼地的興建除了可進行水質淨化功能，也可營造人工棲地讓許多生物居住，形成小型的生態系。生物多樣性指標是由族群中的種類數與個體數所構成，可反應群聚的特性及功能。生物物種的多樣性與群聚的穩定程度有關，一般而言均勻的分佈表示生物多樣性較高⁽⁴⁰⁾，較常使用計算生物多樣性公式有分類群豐度（Richness index）、夏農-威佛歧異度指標（Shannon-Weaver Diversity index）、辛普森歧異度指標（Simpson's diversity index）及均勻度指標（Evenness index）。

國內也有不少人在生態研究及環境影響評估方面上應用魚類、大型底棲無脊椎動物與藻類作為評估水質環境的指標生物。例如楊等人⁽⁴⁰⁾於北勢溪使用 $50*50\text{cm}^2$ 定面積水網進行水棲昆蟲相調查，並將調

查結果利用津田之指標生物來評估北勢溪的水質，另外更將水棲昆蟲群聚的情形進行種豐富度、歧異度及均勻度的顯著分析。徐與楊⁽²⁷⁾於1997年應用水棲昆蟲生物指標評估基隆河水質，同樣以50*50cm²定面積水網調查水棲昆蟲種類及個體數，將採集到的水棲昆蟲使用Hilsenhoff種級生物指標、科級生物指標、百分比模式相似性、豐度指標與快速生物評估法進行基隆河水質評估，結果發現基隆河水質評估以科級生物指標較適用。2004年郭等人⁽⁴²⁾利用水棲昆蟲監測雪壩國家公園武陵地區溪流水質，也將所採集的水棲昆蟲進行統計分析，包括水棲昆蟲種類、數量及群聚組成，並以科級生物指標及EPT豐度指標來評估武陵地區的水質。2004年田等人⁽⁴³⁾利用水棲昆蟲作為指標生物評估台北外雙溪的水質，使用了EPT豐度指標、谷田氏水質生物指標、Hilsenhoff生物指標與Hill種歧異度指標進行水質評估，研究結果提出，Hilsenhoff生物指標沒有列出長鬚石蠶科及幽螳科之忍耐值，而楊與徐於1998年在基隆河調查時曾為此兩科物種暫時定出忍耐值，但長鬚石蠶科之忍耐值並不適用外雙溪的調查，因此在報告中進行修正。

除了針對溪流來利用水棲昆蟲進行水質評估外，也有在溼地進行調查。1999年彭等人⁽⁴⁴⁾進行南仁山古湖溼地四節浮游稚蟲之分布與密度消長調查，統計分析有植物區域與無植物區域四節蜉蝣的稚蟲數，利用two-factor ANOVA無重複統計分法及Pearson積差相關係數來檢驗無差異之相關顯著性，文章中提到大量的降雨及溫度會造成四節蜉蝣稚蟲數的生長。

2-4 人工溼地存在的孳孳及造成的潛在影響

人工溼地營造出的人工棲地，能使許多生物棲息而形成一個小型生態系，但也可能造成蚊子的滋生，如家蚊屬、瘧蚊屬。蚊子通常出現在水流速度快的溪流及池塘，或是流動速度慢的沼澤及湖，而蚊子的幼蟲只要在4ppm氧氣的環境，就能存活。雙翅目大蚊科的幼蟲會出現於池塘、湖及沼澤；雙翅目食蚜蠅科之幼蟲可以在溪流或池塘等溶氧低的環境中生存⁽⁴⁵⁾。

蚊子的繁殖時期、族群高峰期及每年的活動季節幾乎是固定的。瘧蚊屬從4月春天開始暖和時出現，到11月時數量會減少；熱帶家蚊在12月至1月冬天的數量較少。陳⁽⁴⁶⁾報告指出家蚊滋生的範圍甚廣，只要有機質較多的水域及人工容器皆有可能，如污水槽、水溝、下水道及積水防空洞等。而報告中也引述連日清博士於1968年對全省熱帶家蚊季節消長的調查發現，在3月至4月會有一個高峰，11月至12月會有一個較小的高峰，9月會有出現低谷。

溼地大小和植物的密度對孳孳也會造成影響。Diemont⁽⁴⁷⁾在宏都拉斯的人工溼地研究，發現溼地大小、藻類密度以及溼地的水深都會影響孳孳的密度，溼地大、水越淺、低水位及藻類密度高皆會使孳孳密度升高。Walton⁽⁴⁸⁾也提出淺水且植物密集的環境會引起蚊子孳生，並提出較污染、負荷大的水質，具有較高的有機物和營養物提供藻類生長，進而當做孳孳的食物。在溼地的深水區域，蚊子的孳生會減少，然而在深水區域的浮水植物和沉水植物，偶而還是會有蚊蟲孳生。水對於蚊子生命週期的影響是溼地優先考量的管理政策，若要抑制蚊子孳生，可以從植物的管理及水深的改變來抑制，如水的擾動以及水波不利於蚊子產卵，也可能淹死尚未發育完成羽化的成蚊；或是可以增加捕食魚類和其他動物；如果能維持良好的水質環境，將可減

少蚊子滋生。

蚊蟲的出現與公共衛生的關係相當密切，Russell⁽⁴⁹⁾指出蚊子可以攜帶不同疾病的病原，會感染人類及動物，文獻中也提出Whelan與Russell分別於1984及1993提出瘧蚊可能引起人類的瘧疾，瘧蚊因為溼地中植被生長及覆蓋在表面藻類的保護，孑孓得免於受到天敵和風力影響。另外，家蚊屬的蚊蟲也是許多疾病的病媒，埃及斑蚊(*Aedes aegypti*)及白線斑蚊(*Aedes albopictus*)會傳播登革熱；三斑家蚊(*Culex tritaeniorhynchus*)、環紋家蚊(*Culex annulus*)及白頭家蚊(*Culex fuscocephalus*)會傳播日本腦炎；矮小瘧蚊(*Anopheles minimus*)會傳播瘧疾；熱帶家蚊(*Culex quinquefasciatus*)則會傳播血絲蟲病。因此，蚊子所造成的公共衛生問題也是溼地管理系統很重要的課題。

第三章 研究設備與方法

3-1 人工溼地系統介紹

3-1-1 嘉藥校園人工溼地系統⁽⁵⁰⁾

嘉藥系統位於嘉南藥理科技大學新建校區，整個溼地的總面積約為 11,000m² (不含景觀生態湖)，由四個單元所組成，包括取水井、表面下流動式 (subsurface flow system, SSF) 溼地、表面流動式 (free water surface, FWS) 溼地，最後再將處理過後的淨化水排入景觀生態湖。各處理單元的操作情形為 (圖 3-1)：

(1) 取水井：

學生宿舍園區污水處理廠的二級放流水會經排放渠道排放至校外，因此於排放渠道中建構取水井，並設置沉水泵及時間控制器，定時啟動抽取排放渠道中的二級放流水至嘉藥人工溼地系統。

(2) 表面下流動式 (SSF) 溼地系統

SSF人工溼地系統面積為 2,300 m²，平均水深約為 0.7m，主要是利用SSF溼地礫石床形成之高密度植生群落，發揮溼地介質過濾功能，增強污染物的穩定化，有效去除懸浮固體及有機物。本系統平均分區種植挺水性植物包括：蘆葦 (*Phragmites australis*)、香蒲 (*Typha orientalis*)、風車草 (*Cyperus alternifolius subsp.flabelliformis*)、培地茅 (*vetiver*) 及荸薺 (*Eleocharis dulcis*)。

(3) 表面流動式 (FWS) 溼地系統

FWS人工溼地系面積為1,500 m²，平均水深約為0.4 m，主要利用淺水挺水植物之浮水型人工溼地所形成高密度植生群落，增強溼地過濾、穩定化、除氮及抑制藻類生長的功能。本系統平均分區種植挺水性植物及浮葉性水生植物包括：紙莎草 (*Cyperus iria L.*)、粉綠狐尾藻 (*Myriophyllum aquaticum*)、大安水蓑衣 (*Hygrophila pogonocalyx*)、齒葉睡蓮 (*Nymphaea lotus*)、台灣萍蓬草 (*Nuphar shimadai*) 及白花

水龍 (*Ludwigia adscendens*) 等。

(4) 景觀生態湖

生態湖湖內種植多樣景觀性水生植物，主要為貯存經人工溼地系統處理後之淨化水。並建構溼地淨化水收集井，設置沉水泵，啟動沉水泵即可抽取淨化水澆灌景觀植栽。景觀生態湖會吸引生物群聚繁殖，可營造更豐富的生態環境。

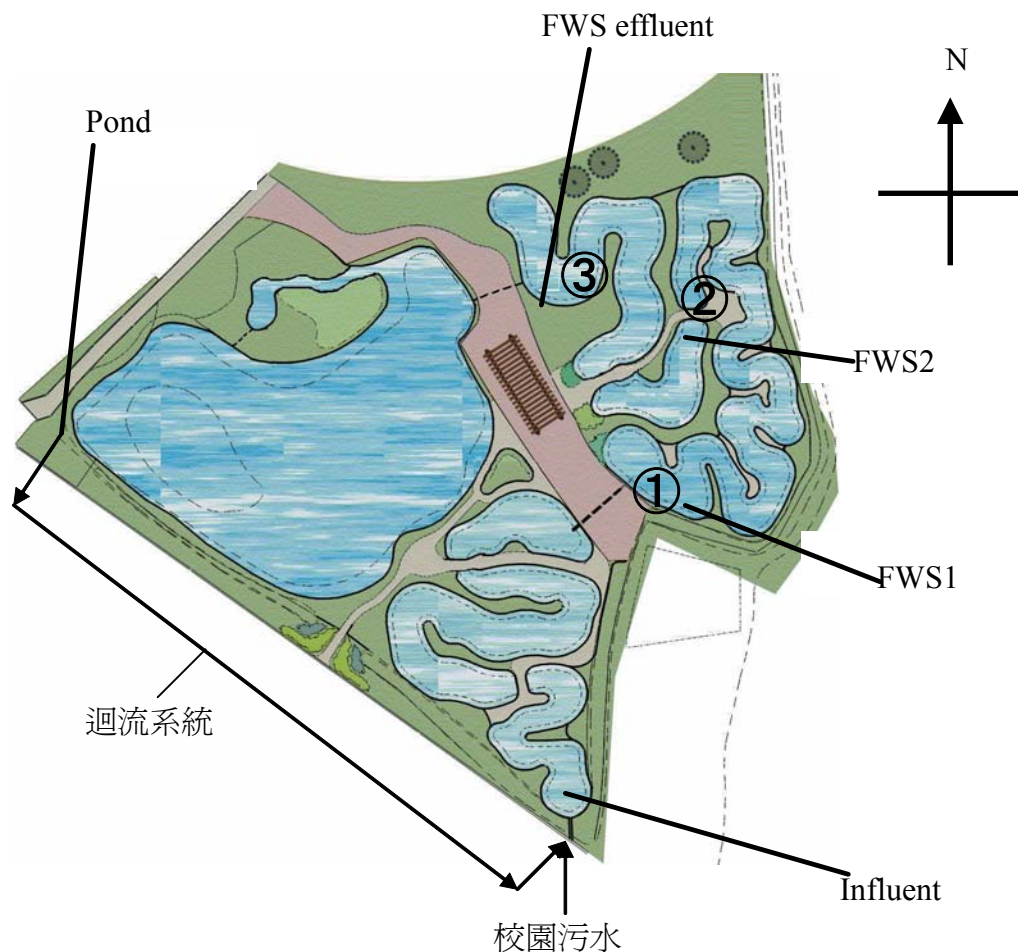


圖 3-1 嘉藥校園人工溼地系統⁽⁵⁰⁾

3-1-2 港尾社區自然淨水系統⁽⁵¹⁾

港尾系統位於麻豆鎮港尾里港尾社區內，為表面流式（free water surface, FWS）人工溼地，主要分為「北側處理水池」及「南側景觀生態池」二部份。社區生活污水經水池淨化後，可直接排入原承受水體，一部分引入南側景觀生態池，一方面可復育台灣鄉間日益減少的水生植物，同時也營造野生埤塘溼地之生態棲地環境。

進流泵將社區排水由場址西側進流井打入北側處理水池，依序流經密植區 I →開放水面區 I →開放水面區 II →密植區 II →生態池，港尾社區自然淨水系統各處理單元的操作情形為（圖 3-2）：

（1）進流井

將社區排水道內匯集之生活污水導入後續處理單元中，設置攔污柵將大型污染物攔阻，透過流量計可監測入流流量，資訊將顯示於配電盤控制面板上的流量指示計。

（2）密植區（I）、（II）

以不透水布鋪設於池底，覆上 30 公分的壤土，並混拌基肥以利水生植物生長。以管徑 50mm 的散水管包覆礫石引入進流水，使水流能均勻擴散，而以管徑 100mm 的水管將放流水引到次一處理單元。利用大安水蓼衣 (*Hygrophila pogonocalyx*) 及光葉水菊 (*Gymnocoronis spilanthoides*) 這兩種挺水型水生植物進行水質淨化。

（3）開放水域區（I）、（II）

以不透水布鋪設於池底，覆上 30 公分的壤土，並混拌基肥以利水生植物生長。以管徑 100mm 的散水管包覆礫石引入進流水，使水流能均勻擴散，而以管徑 100mm 的水管將放流水引到次一處理單元。利用金魚藻 (*Ceratophyllum demersum*) 進行水質淨化。

(4) 生態池

利用現地土壤配合天然工法使池底達到防水效果，種植各式本土性水生植物，並設置管徑 50mm 的標高管作為溢流之用。進流水由放流井的放流水提供，利用自然處理系統處理後的淨化水，創造一個適合水生原生動、植生長的环境，並配合設置全區解說導覽系統的與訓練專業解說人員，達成生態保育與環境教育的目標。

控制污水停留於密植區內的時間應多於 2 天，而開放水面區應少於 2 天，淨化水可由放流井中直接回收引用。另外，應注意南側景觀生態池的水位，當水位不足時即開啓淨化水進流閥，將淨化水引入生態池中。

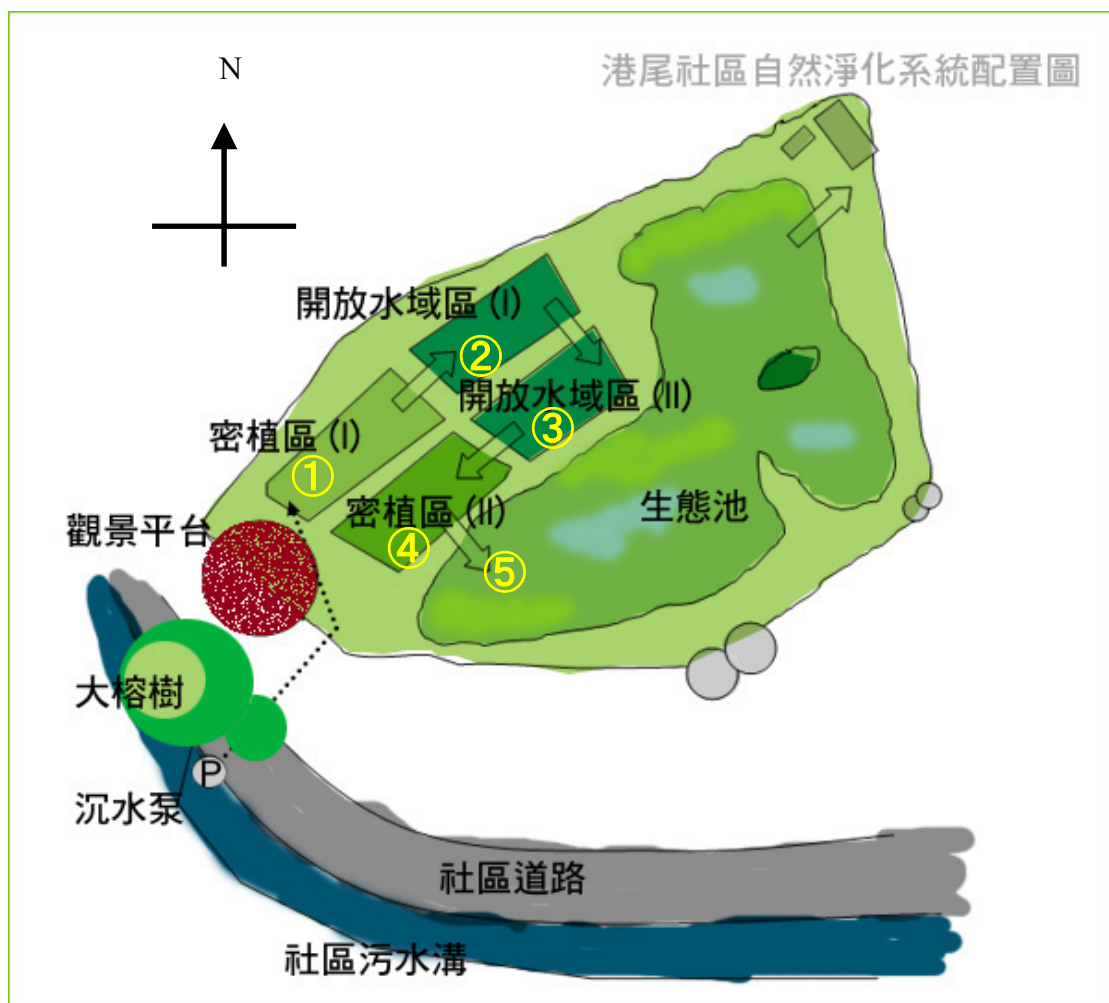


圖 3-2 港尾社區自然淨水系統⁽⁵¹⁾

3-1-3 蚵寮國中人工溼地系統

蚵寮系統位於蚵寮國中校園西側的低窪區，緊鄰茄苳溪右岸，為茂密的水岸次生林，由於地勢低平，常受漫淹所影響。主要處理校園生活污水，重金屬含量不高，適合採用低耗能的自然處理系統進行水體的污染削減。針對校地面積及學生人數，將處理量能規劃設定為50CMD。基地為一淺窪地，是模擬天然溼地之水文及環境狀態的人工溼地，底部含20~30公分的土壤或其它介質，提供水生植物著根，並種植挺水性植物。共分為（1）密植區、（2）開放水域及（3）景觀生態池（圖3-3）。

（1）密植區：

為SSF溼地系統，主要種植挺水性水生植物，形成高覆蓋度的環境，營造低溶氧、多生物單體的環境。以物理性的吸附、過濾，及生物性的無氧消化為主，並培養硝化菌成為優勢菌種。而礫石可發揮溼地介質的過濾功能，並增強污染物的穩定化，以有效去除懸浮固體及有機物。礫石的遮蔽作用可避免使溼地前面高負荷階段形成臭味，減少孑孓生長。

（2）開放水域：

為FWS系統，主要種植沉水性水生植物物，以營造高溶氧、多生物單體的環境。以物理性的沉降及生物性的好氧消化為主。

（3）景觀生態池：

設置不同水深變化的溼地生態池，形成周圍淺灘區及內圍深水區。淺灘區栽種挺水性水生植物，深水區培植稀疏的著根浮葉植物，如香水蓮花。深水區形成開放水域供魚類活動，並於適當地點設置浮島供陸生動物棲息，形成生物多樣性的溼地生態，並藉由延長停留時間得以進一步削減污染物。



圖 3-3 蚵寮國中人工溼地系統

3-1-4 二行社區人工溼地系統⁽⁵²⁾

二行系統於 2001 年開始操作，於 2003 年在人工溼地系統前端增加水生植物塘處理單元(氧化塘)，以處理二行社區龐大的生活污水，該場址於 2005 年 12 月終止操作。此溼地系統處理單元主要由三個部分所組成：(1) 水生植物塘(氧化塘)、(2) 表面流動式 (free water surface, FWS) 溼地及 (3) 表面下流動式 (subsurface flow, SSF) 溼地，每天可處理 40~60 噸的污水。各處理單元的操作情形為(圖 3-4)：

(1) 水生植物塘(氧化塘)：

社區內的溝渠將二行社區的生活污水收集到集水井中，再由集水井引流至氧化塘 (oxidation pond)。氧化塘的長、寬及深分別為 36.2m、7.4m 及 1.42m，由進流至出流依序分為三個區域：第一區未種植植物、第二區種植水芙蓉 (*Pistia stratiotes*)、第三區種植布袋蓮 (*Eichhornia crassipes*)，經氧化塘處理後的污水再引流至 FWS 溼地。

(2) 表面流動式 (FWS) 溼地：

以重力流動方式將氧化塘初步處理過後的污水導入 FWS 溼地。FWS 溼地 (free water surface flow system, FWS) 為彎曲型的渠道，總長 98.5 公尺，共分為三個渠道，每一個渠道長 33.7m，寬 13.8m，水深 0.5m、泥土深 0.3m。在第一渠道種植蘆葦 (*Phragmites australis*)，其餘兩個渠道種植香蒲 (*Typha orientalis*)。由 FWS 溼地處理過後的污水，被引流至 SSF 溼地。

(3) 表面下流動式 (SSF) 溼地：

SSF 溼地 (subsurface flow system, SSF) 全長 14.4m，寬 50m、水深 0.8m，並鋪有 0.5m 深的石頭床。經 SSF 溼地處理過後的污水，再被引流至園區的生態池及抽水池。

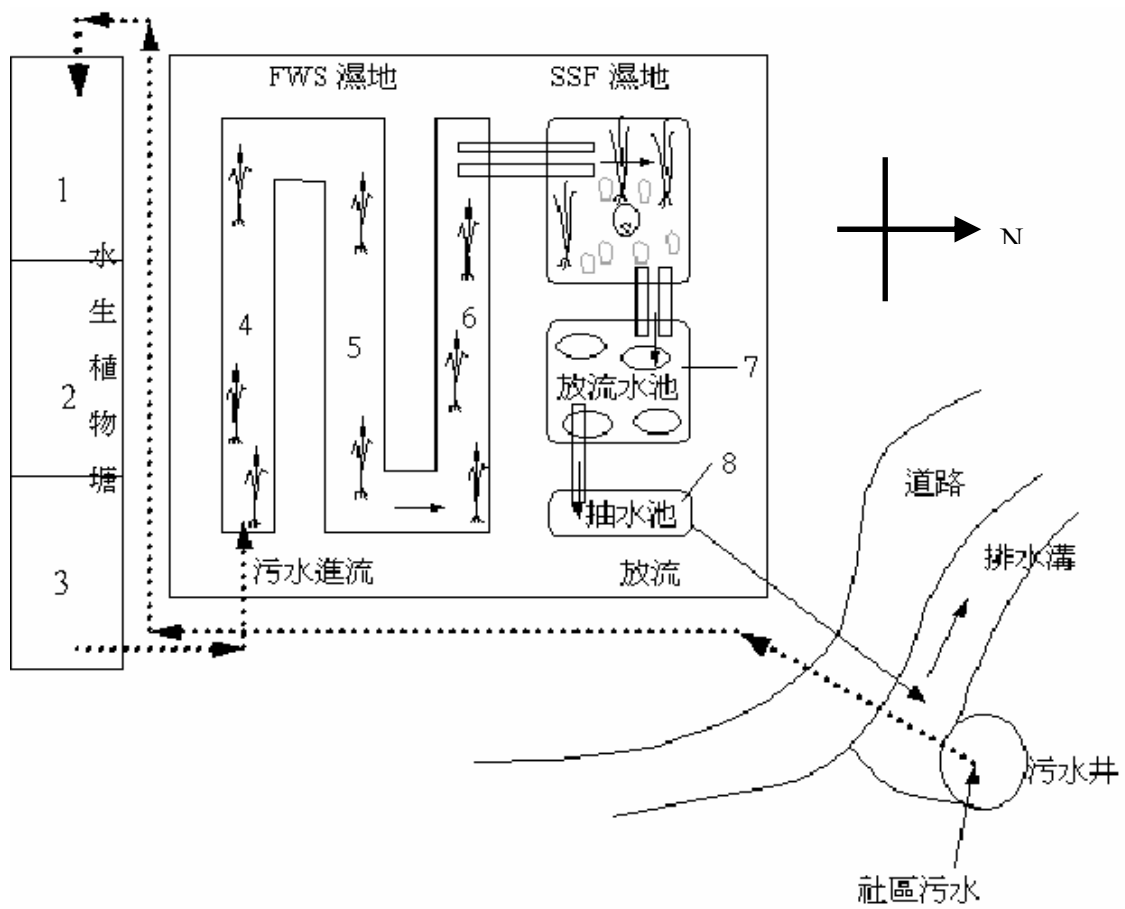


圖 3-4 二行社區人工溼地系統⁽⁵²⁾

3-1-5 安順排水淨化系統

安順系統（圖 3-5）主要是處理安順大排之廢污水，此場址本身即為污水處理場，經由廢污水處理場處理過的放流水，一部分排入草溝，一部分直接排入 FWS 溼地系統，匯流後最終再重新排入安順大排。

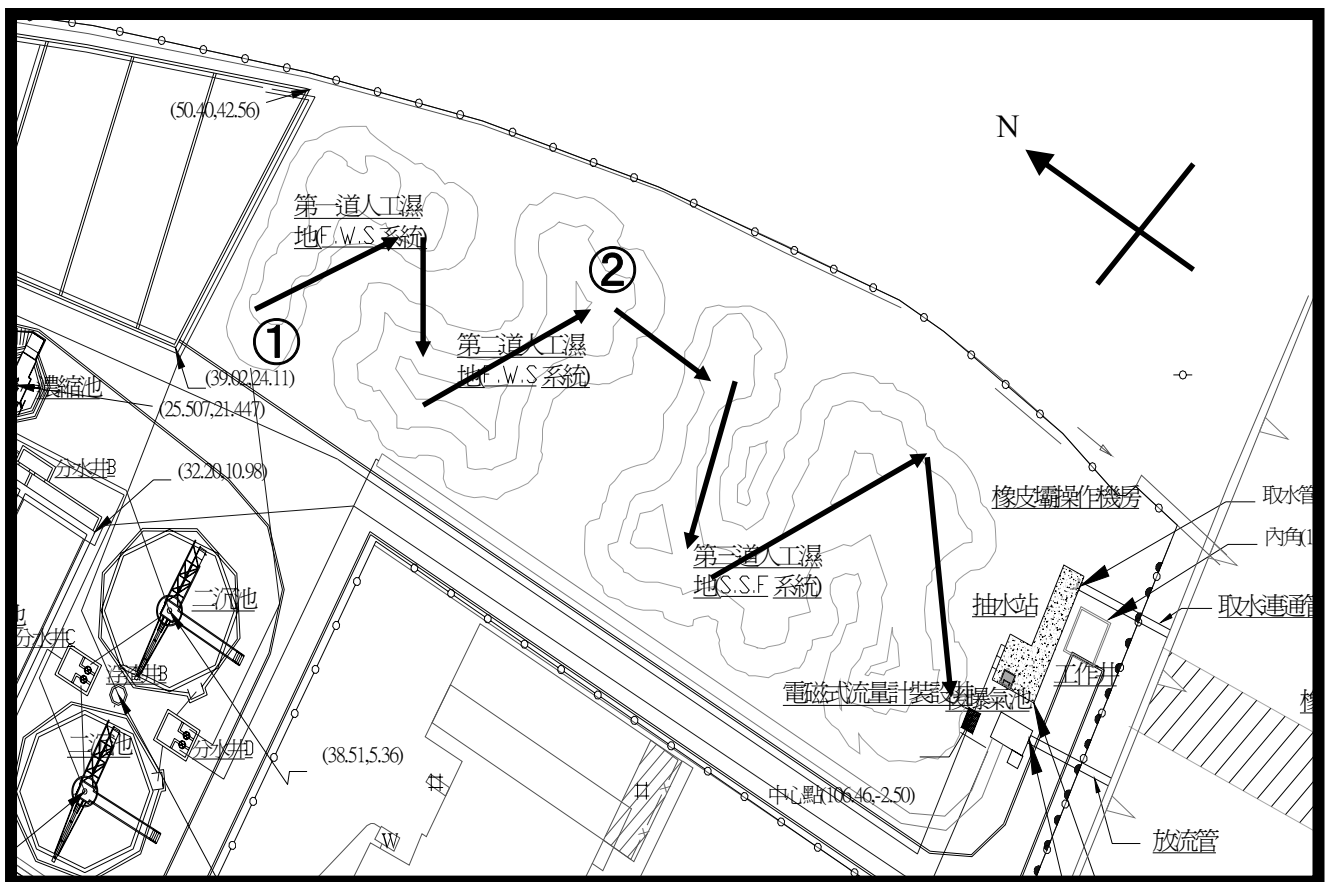


圖 3-5 安順排水淨化系統

3-1-6 鳥松溼地公園⁽⁵³⁾

鳥松溼地位於澄清湖大門口東側，介於澄清路與大埤路交叉處的三角地帶。鳥松溼地原為自來水公司七區管理處洗砂廢水的沉砂池，及做為大雨沖刷澄清湖大門廣場、圓山飯店及大埤路前段等地表逕流水的沉澱作用。由於該溼地的水源充足，營養豐富，逐漸形成完整的小型半人工溼地，溼地內的水域分為深水區及淺水區兩座水塘。

鳥松溼地公園主要水源為雨水和圓山飯店之二級處理放流水，以涵管先導入溼地公園之沉砂池，再依序流經小池及大池，最後再經由溢水閘門的溢流口，流入大埤路長庚醫院及正修科技大學方向的集水渠。當水源不足時，公園內有二口備用深水井，可抽取井水作為補助水源。而溼地公園內教學池的水源則全年由另一口深水井抽水注入，再經由溢水閘門流進大池。當遇到大雨或累積水位超過溢流口高度程時，溼地內的池水便排放到下游水渠中。重整後的鳥松溼地公園的水生植物包括布袋蓮、水燭、莎草及蘆葦等（圖 3-6）。

在「高雄縣鳥松溼地公園服務建議書」中的調查資料提及，原始鳥松溼地內植物種類中約有二十五種屬於良好的誘蝶植物，又因為緊鄰澄清湖，加上良好的溼地生態，因此常見或應有之蝴蝶約有 20 種之多。鳥松溼地公園是一個典型的埤塘溼地，池邊茂盛而密集的水生及水邊植物所造就的生態環境，不論水面、池邊或水中，均是水棲昆蟲的活動處所。2000 年重建整理後，高雄市野鳥學會的調查紀錄有七十種以上的昆蟲及多種兩棲爬蟲類等，主要有鱗翅目 16 種、鞘翅目 9 種、直翅目 8 種、半翅目 5 種、雙翅目 7 種、膜翅目 3 種、蜻蛉目 4 種、蜘蛛 6 種及其它昆蟲 16 種。2002 年 10 月調查園內昆蟲的數量及種類約有 13 目 140 種以上的昆蟲。



圖 3-6 鳥松溼地公園⁽⁵⁴⁾

3-2 水質採樣

為瞭解水質與昆蟲發生的關係，在每次進行水棲昆蟲採樣時，同時進行各項的水質分析，包括溫度、pH、導電度、DO、BOD₅、NH₄-N、SS等，均依照環保署所列的方法進行各項水質分析。並於各系統的進流端及出流端進行採樣，探討各個人工濕地處理水質的情形。

3-2-1 嘉藥校園人工溼地系統

嘉藥系統採樣時間自 2006 年 3 月至 2008 年 5 月，採樣週期分為二階段，初期（2006 年 3 月至 2007 年 1 月）進行一整年雙週一次採樣，後期（2007 年 2 月至 2008 年 5 月）則每個月進行一次的採樣。六個採樣點分別為 SSF 溼地系統進流端及 SSF 系統的中間段，FWS 溼地系統的三個採樣點分別為 SSF 系統放流端、中間段及出流端，最後的採樣點為景觀生態池末端（圖 3-1）。

3-2-2 港尾社區自然淨水系統

港尾系統的採樣時間自 2006 年 12 月至 2007 年 10 月，每個月進行一次採樣。共六個水質採樣點，分別為進流端、密植區 I、開放水面區 I、開放水面區 II、密植區 II 及生態池（圖 3-2）。

3-2-3 蚵寮國中溼地系統

蚵寮系統採樣時間自 2007 年 12 至 2008 年 2 月，每個月進行一次採樣。共三採樣點，分別為取水井、SSF 溼地放流水及 FWS 溼地放流水（圖 3-3）。

3-2-4 二行社區人工溼地系統

二行系統採樣期間自 2004 年 8 月至 2005 年 8 月，為期一年，每兩週進行一次採樣。八個採樣點包括氧化塘的個三水池、FWS 系統

的三個渠道、SSF 溼地系統放流水池及抽水池（圖 3-4）。

3-2-5 安順排水淨化系統

安順系統於 2007 年 10 月進行一次採樣調查，採集點為 FWS 溼地進流口及 FWS 溼地出流口（圖 3-5）。

3-2-6 烏松自然溼地公園

於 2008 年 6 月以烏松溼地為對照組，比較人工溼地及自然溼地水質的差異。採樣點為烏松溼地沉沙池、溼地觀察池及大池（圖 3-6）。

3-3 水質分析方法

3-3-1 儀器設備

檢測水質所需之精密儀器包括：

溶氧測定儀 (AQUA LYTIC-OX22)

酸鹼值測定儀 (SUNTEX TS-1)

比電導度測定儀 (WTW-LF330)

現場溫度 (水溫) 測定儀 (TES 1310 TYPE-K)

烘箱：設定恆溫 105°C 以乾燥 TSS。

恆溫箱 (WISDOM-721)：設定恆溫 20°C 測定 BOD₅。

冷藏裝置：設定恆溫 4°C 以下以保存水樣。

離子層析儀 (DIONEX DX-120)

3-3-2 分析方法

分析方法均依中華民國行政院環保署所公告之標準分析方法，各項分析方法分述如下。

(1) 導電度與 pH 值:

導電度可測定水體中電解質含量，實驗水樣以導電度計 (WTW Microprocessor Conductivity Meter LF330) 測定，每次測定前，先以 0.01N 之標準氯化鉀溶液校正，再用去離子水將電極充分洗淨，再置入水樣中，即可讀取導電度值，單位為 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (25°C)。

pH 值可檢驗水質是否變化或受污染，當 pH 值突然變化時即表示水質出問題，以 pH 計 (SUNTEX TS-1) 來測量 pH 值，先以 pH 緩衝液進行校正，再將玻璃電極放入水樣中測定 pH 值。

(2) 懸浮固體 (SS) 的檢測 (標準方法 NIEA W210.57A)：

將攪拌均勻之水樣置於已知重量之蒸發皿中蒸乾，移入 103~105°C 之烘箱繼續烘至恆重，所增加之重量即為總固體重。另將攪拌

均勻之水樣以已知重量之玻璃纖維濾片過濾，再將濾片移入 103℃～105℃烘箱中乾燥至恆重，所增加之重量即為懸浮固體重。

(3) 生化需氧量 (BOD₅) 的檢測 (標準方法 NIEA W510.54B)：

將水樣在 20℃ 恆溫培養箱中暗處培養 5 天，測定水樣中好氧性微生物在此期間氧化水中物質所消耗之溶氧 (Dissolved Oxygen, DO)，即可求得 5 天之生化需氧量。由於人工溼地系統中含有天然的菌種，檢測過程中不需另外植菌，因此可以下列公式計算出水中之 BOD₅：

$$BOD_5 (mg/L) = (D_1 - D_2) / P \quad (\text{式 3-1})$$

D₁：稀釋後水樣之初始溶氧 (mg / L)

D₂：稀釋後水樣經 20℃ 恆溫培養箱培養 5 天之溶氧 (mg / L)

P：水樣原體積 (mL) / 稀釋後水樣之最終體積 (mL)

(4) 離子層析法 (Ion Chromatography, IC) (標準方法 NIEA W415.52B)：

利用水樣中之待測陰離子，隨流洗液流經一系列離子交換層析管時，與低容量之交換樹脂間因親和力不同而被分離。分離後之待測陰離子再流經高容量陽離子交換樹脂之抑制裝置，被轉換成具高導電度之形態。經轉換後之待測陰離子再流經電導度偵測器，即可依其滯留時間及波峰面積予以安定及定量。可依設備之不同，進行陰離子與陽離子之切換分析。

IC 又可依保護管柱、分析管柱型號構造之差異，分析項目也會有所不同；流洗液也可依管柱的不同而有所變化。在此實驗規格下，可測得之陰離子為 NO₂⁻、NO₃⁻，可測得之陽離子為 NH₄⁺。

3-3-3 處理效能評估

六個採樣站中，各個系統的水質來源及設施不同，嘉藥系統與蚵寮系統為處理校園污水，其嘉藥系統之進流水為學生宿舍污水處理場之二級放流水；港尾系統與二行系統為處理社區廢污水；安順系統為處理安順大排之廢污水，其污水處理場處理過後之放流水排入人工溼地系統；鳥松溼地為一個自然溼地系統。

本研究僅針對嘉藥系統、港尾系統及蚵寮系統三個系統之不同架構進行BOD₅、NH₄-N及SS污染物濃度去除效率討論。

3-4 水質污染指標分析

在台灣一般使用傳統水質分析檢驗水質，可以使用單一指標或是綜合水質指標。單一指標是指水質參數，一般以水質參數的功能或污染特性做分類，本論文利用一般水質參數，討論與生物指標的關係。綜合水質指標是將水質參數經過計算後用來評估水質之指標，在此僅討論利用以DO、BOD₅、NH₄-N及SS所計算的河川污染指標(RPI, River Pollution Index) 進行水質評估。

3-4-1 單一指標

單一指標所指的是一般水質參數。主要是表示水體之物理性質及化學性質。本論文所選擇之一般水質參數為溫度、pH、導電度、DO、BOD₅、NH₄-N及SS。

3-4-2 綜合水質指標

綜合水質指標有多種類型，目前國內較常採用的綜合水質指標是河川污染指標(RPI, River Pollution Index)，這是引進日本學者的研究。河川污染指標主要是以DO、BOD₅、NH₄-N及SS作為參數，將水質濃度換算成水質點數，再計算出水質點數以評估水體污染情況。

在傳統檢測河川水質優劣，主要仍仰賴化學指標的分析，且化學檢驗分析所得的數據準確性較高。環保署採用河川污染指標訂定「河川污染等級分類表」。計算方式及換算表如下(表3-1)：

$$RPI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i$$

N_i：第i 項水質參數污染點數（由對照表之點數轉換）

n：參數的項數

表3-1 河川污染分類指標污染等級分類表

項目	未(稍)受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
溶氧量(DO) mg/L	6.5以上	4.6~6.5	2.0~4.5	2.0以下
生化需氧量(BOD ₅)mg/L	3.0以下	3.0~4.9	5.0~15	15以上
氨氮(NH ₄ -N) mg/L	0.50 以下	0.5~0.99	1.0~3.0	10
懸浮固體(SS) mg/L	20 以下	20~49	50~100	100 以上
點數	1	3	6	10
RPI	2.0以下	2.0~3.0	3.1~6.0	6.0以上

按照RPI的範圍可將水質污染程度分為以下四種：

- 1.未(稍)受污染：四種水質項目換算成點數後之加權平均點數在2.0以下時稱之。
- 2.輕度污染：四種水質項目換算成點數後之加權平均點數在2.0~3.0之間時稱之。
- 3.中度污染：四種水質項目換算成點數後之加權平均點數在3.1~6.0之間時稱之。
- 4.嚴重污染：四種水質項目換算成點數後之加權平均點數在6.0 以上時稱之。

3-5 水棲昆蟲採樣

水棲昆蟲採樣方式是利用網口直徑 11cm、深 2.5cm 的細撈網，每次採樣分別在各採樣點撈取水棲昆蟲 9 次，再將水棲昆蟲樣品放置於含 75%酒精的容器保存，攜回實驗室於解剖顯微鏡下分類鑑定。

3-5-1 嘉藥校園人工溼地系統

嘉藥系統水棲昆蟲採樣，初期自 2006 年 3 月至 2007 年 1 月以每兩週採樣一次，為期一年；後期自 2007 年 2 月至 2008 年 5 月以每個月進行一次採樣。採樣點分別設置於 FWS 溼地進流端、中間段及 FWS 溼地出流口。採樣點編號分別為嘉藥 1、嘉藥 2 及嘉藥 3，採樣點位置如圖 3-1 所示。

3-5-2 港尾社區自然淨水系統

港尾系統水棲昆蟲採樣點位於密植區 I、開放水面區 I、開放水面區 II、密植區 II 及生態池。自 2006 年 12 月至 2007 年 10 月，每月採樣一次，採樣點編號分別為港尾 1、港尾 2、港尾 3、港尾 4 及港尾 5，採樣點位置如圖 3-2 所示。

3-5-3 蚵寮國中人工溼地系統

蚵寮系統水棲昆蟲採樣點位於密植採樣區及開放水域區。自 2007 年 10 月至 2008 年 2 月，每月採樣一次，採樣點編號分別為蚵寮 1、蚵寮 2 及蚵寮 3，採樣點位置如圖 3-3 所示。

3-5-4 二行社區人工溼地系統

二行系統水棲昆蟲自 2004 年 8 月至 2005 年 8 月每兩週採樣一次，分別在氧化塘、FWS 溼地、SSF 溼地放流水及抽水池撈取。氧化塘分別為未種植植物、種植水芙蓉及種植布袋蓮三個區塊，此三

個採樣點編號為二行 1、二行 2 及二行 3。FWS 溼地為彎區型渠道，共有三個渠道且所栽種植物並不相同，因此分別在三個彎曲型渠道設置採樣點，採樣點編號為二行 4、二行 5 及二行 6。溼地生態淨水系統最終之 SSF 溼地系統處理過之放流水及抽水池分別設置二行 7 與二行 8 的採樣點。採樣點位置如圖 3-4 所示。

3-5-5 安順排水淨化系統

安順系統水棲昆蟲採樣點位於安順廢污水處理場人工溼地系統之進流端及出流端。此採樣點僅於 2007 年 10 月進行一次性調查，採樣點編號為安順 1 及安順 2。採樣點位置如圖 3-5 所示。

3-5-6 鳥松溼地公園

鳥松溼地半人工溼地，增加此採樣點做為對照組，以比較人工溼地與天然溼地水棲昆蟲相的差異。採樣點位置分別設置於沉沙池、溼地觀察池及大池，此採樣點僅於 2008 年 6 月進行一次性調查，採樣點編號為鳥松 1、鳥松 2 及鳥松 3。採樣點位置如圖 3-6 所示。

3-6 水棲昆蟲分析及科級鑑定

將所採集的蟲體以 ZESS KL 1500 LCD 解剖顯微鏡分類、鑑定及記錄，並浸泡於 75%酒精保存。水棲昆蟲之分類鑑定主要依據川合禎次⁽⁵⁴⁾；連日清⁽⁵⁵⁾；ROBERT W. PENNAK, Ph.D.⁽⁵⁶⁾ 及貢穀紳⁽⁵⁷⁾ 等文獻資料。由於水棲昆蟲體型小，且於稚蟲時期較難分辨，因此僅鑑定至科等級。

3-7 生物指標分析

將水棲昆蟲鑑定及計數後之資料進一步計算出科級生物指標、分類群豐度指標、歧異度指標及均勻度指標等。

3-7-1 科級生物指標

Hilsenhoff 利用生物指標法評估水質，主要是依照各種、屬或科的水棲昆蟲對水質的適應能力訂定忍受值。因水棲昆蟲幼蟲辨識度較高，因此僅鑑定至科級，選擇以科級生物指標來評估水質。科級生物指標將水質等級分成七級，將水棲昆蟲污染忍受值帶入公式，換算後參照等級表，即可評斷水質的污染程度。

六採樣站之水棲昆蟲忍受值（表 3-2）及水質參照表如下表（表 3-3）：



表3-2 水棲昆蟲忍受值⁽⁵⁸⁾

Taxa	Tolerance
DIPTERA 雙翅目	
Chironomidae 搖蚊科	6
Culicidae 蚊科 (家蚊屬)	8
Culicidae 蚊科 (瘧蚊屬)	8
Tipulidae 大蚊科	3
Syrphidae 食蚜蠅科	10
Psychodoidae 蛾蚋科	10
Stratiomyidae 水虻科	7
ODONATA 蜻蛉目	
Coenagrionidae 細蟬科	9
Corduliidae 弓蜓科	5
COLROPTERA 鞘翅目	
Dytiscidae 龍蝨科	5
EPHEMEROPTERA 蜉蝣目	
Baetidae 四節蜉蝣科	4
LEPIDOPTERA 鱗翅目	
Pyralidae 螟蛾科	5

表 3-3 科級生物指標水質參照表^(30,31)

Water Quality	Family-level BI Range
Excellent	0.00~3.75
Very Good	3.76~4.25
Good	4.26~5.00
Fair	5.01~5.75
Fairly Poor	5.76~6.50
Poor	6.51~7.25
Very Poor	7.26~10.00

科級生物指標（Family-level BI）公式：

$$FBI = \Sigma (a_i \times n_i) \div N$$

其中， a_i ：第*i*種（科）水棲昆蟲之污染忍受值

n_i ：第*i*種（科）水棲昆蟲之個體數

N ：各採樣站水棲昆蟲之總個體數

3-7-2 生物多樣性指標

生物多樣性對生態而言，每一個物種對於維持地球生命非常重要。生物多樣性也提供了許多重要的環境功能，如保持表土、維護集水區、決定地區性氣候等等。生物多樣性通常標繪出一個地理學地區分類的豐富度，為現時的參考。

生物多樣性指標一般較常使用分類群豐度指標、夏農-威佛歧異度指標、辛普森歧異度指標及均勻度指標。

分類群豐度指標表示物種之數量，夏農-威佛歧異度指標、辛普森歧異度指標用以表示此採樣站中總物種數與各物種分布情形，辛普森歧異度指標用以表示此採樣站有無優勢物種，均勻度指標表示此採樣站中全部物種個體數目的分配狀況。

一般常用的歧異度指標計算公式如下：

1 分類群豐度指標 (Richness index)

$$(a) . \text{Margalef index} = S - 1 / \ln (N)$$

S：物種數

N：總個體數

$$(b) . \text{Menchincl index} = S / \sqrt{n}$$

S：物種數

N：總個體數

$$(c) . \text{Gleason index} = S / \ln (A)$$

S：物種數

A：採樣面積

2 夏農-威佛歧異度指標 (Shannon-Weaver diversity index (H'))

$$H' = -\sum (P_i \times \ln P_i) \quad ; \quad P_i = n_i / N$$

n_i 代表採樣站中第*i*種所採獲的個體數， N 代表該樣站所採樣之水棲昆蟲總個體數。

$H' = 0$ 時表示此採樣站僅發現一個物種；當物種愈多，個體數越平均時， H' 愈大。一般 H' 指標範圍大多介於1.5~3.5之間，指標越大表示此環境物種越豐富，各物種個體數越多越均勻，其歧異度值亦愈大，顯示群聚結構愈穩定。

3 辛普森歧異度指標 (Simpson's diversity index (S))

$$S = \sum (P_i)^2$$

P_i ：第*i*種生物所佔總個體數之值

S 指標數值範圍約0~1之間，數值越大顯示有明顯優勢種出現，代表個體數在物種間分配愈不均勻。

4 均勻度指標 (Pielou's Evenness)

$$E = H' / \ln (S)$$

H' ：Shannon-Weaver diversity index

S ：所出現的物種總數

E 值範圍介於0~1 之間，表示此採樣站中全部物種個體數目的的分配情形。當此指數愈接近1 時，表示此調查環境中的各物種的個體數越平均，優勢種越不明顯。

3-8 統計分析方法

將各個溼地所採集之水棲昆蟲分類並計算各採樣站水棲昆蟲之科級生物指標、分類群豐度指標、夏農-威佛歧異度指標、辛普森歧異度指標及均勻度指標等資料。以 SPSS10.0 統計軟體之 Pearson 相關係數分析水質參數與水棲昆蟲總個體數及生物指標之相關係數。利用單因子變異數分析之 Duncan 法分別對六個採樣站之水質參數分組以及生物指標分組以比對顯著相關性。利用線性迴歸之逐步迴歸分析法對水質參數及生物指標找出其相關方程式，以及強迫進入變數法找出生物指標及水質參數其相關方程式。

第四章 結果與討論

本論文共進行六個人工溼地系統的研究，分別為嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統、二行系統、安順系統及鳥松系統，針對各個人工溼地系統之水質採樣分析結果、水棲昆蟲調查結果及水質與水棲昆蟲間相互的關係進行探討。

4-1 人工溼地淨化系統處理效能

嘉藥系統為處理校園污水處理廠所排放之二級放流水，港尾系統為處理社區污水，蚵寮系統為處理校園污水，二行系統為處理社區污水，安順系統為處理安順大排之污水處理廠所排放之放流水，鳥松溼地為一個天然溼地，目前僅截留雨水。在嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統、二行系統、安順系統及鳥松系統進行水質採樣，分別測定溫度、pH、導電度、DO、BOD₅、NH₄-N及SS等水質參數，並比較各系統處理水質淨化的狀況。

4-1-1 各項水質參數分析

1. 溫度 (Temperature)

嘉藥校園人工溼地系統進出流之水溫變動範圍約在17.0~32.0°C之間，港尾社區自然淨水系統進出流之水溫變動範圍約在21.0~32.0°C之間，蚵寮國中人工溼地系統進出流水溫變動範圍約在18.0~32.0°C之間，二行社區人工溼地系統進出流之水溫變動範圍約在17.0~32.0°C之間，安順排水系統各採樣點水溫變動範圍約在28.4~30.0°C之間，鳥松溼地公園各採樣點水溫變動範圍約在30.5~32.5°C之間（圖4-1）。

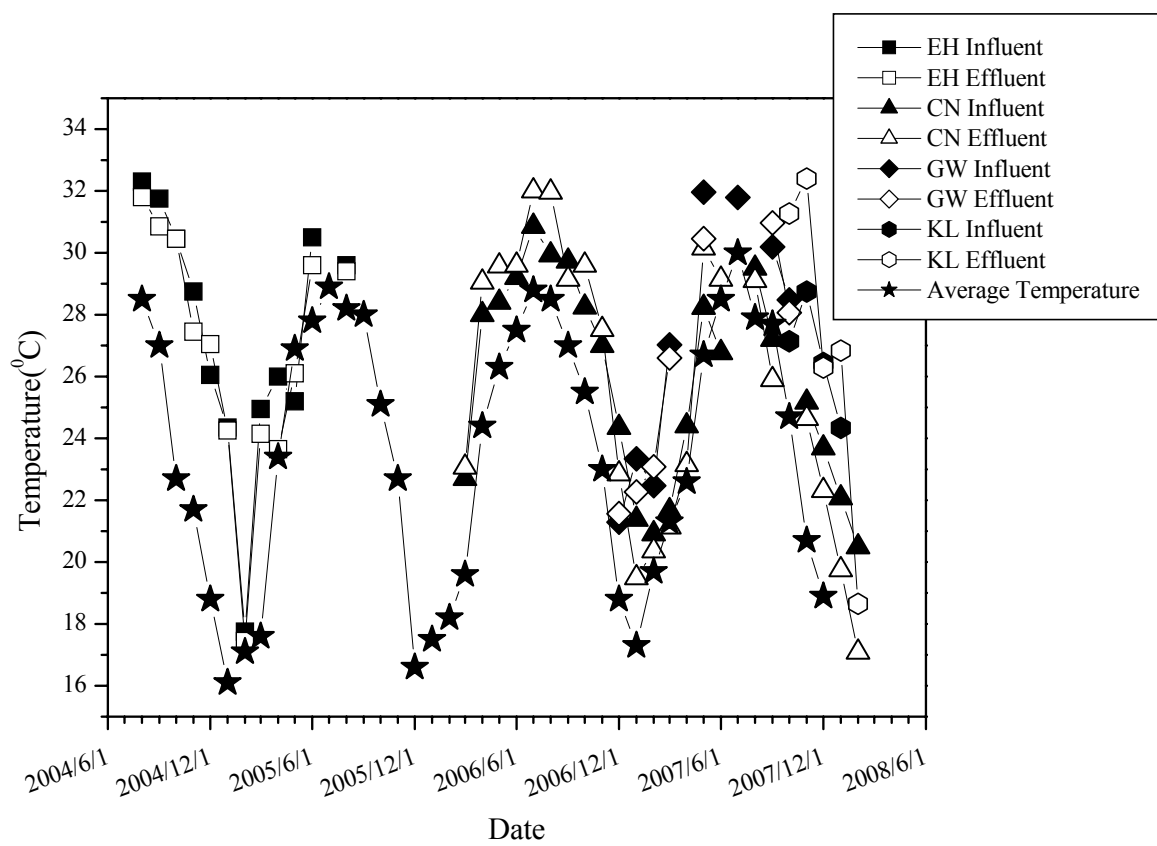


圖 4-1 各採樣站中進出流之水溫變化

2. 酸鹼值 (pH value)

嘉藥校園人工溼地系統進出流之pH值變動範圍約在6.8~8.7之間，港尾社區自然淨水系統進出流之pH值變動範圍約在7.6~8.4之間，蚵寮國中人工溼地系統進出流pH值之pH值變動範圍約在7.8~8.3之間，二行社區人工溼地系統進出流之pH值範圍約在7.2~7.8之間，安順排水系統各採樣點pH值變動範圍約在8.4~8.8之間，鳥松溼地公園各採樣點pH值變動範圍約在6.5~8.6之間（圖4-2）。

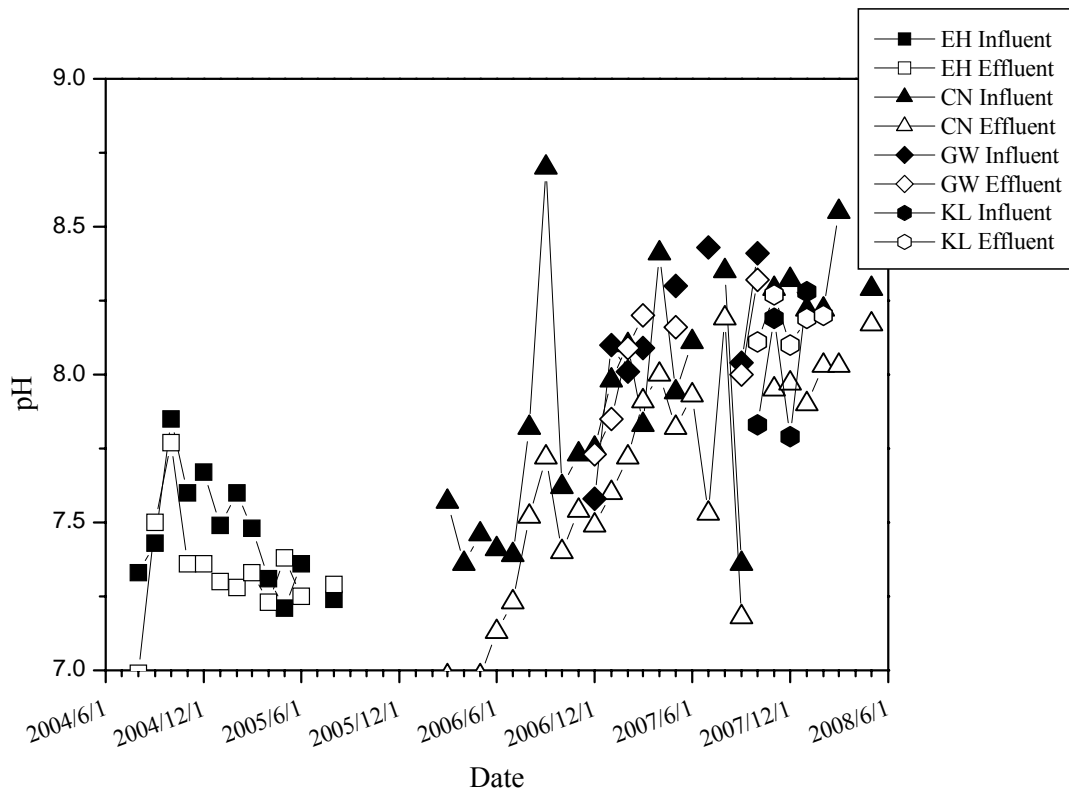


圖 4-2 各採樣站中進出流之 pH 值變化

3. 導電度 (Electrical conductivity)

嘉藥校園人工溼地系統進出流之導電度變動範圍約在330~2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 之間，港尾社區自然淨水系統進出流之導電度變動範圍約在0~1350 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 之間，蚵寮國中人工溼地系統之導電度變動範圍約在1430~4450 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 之間，二行社區人工溼地系統進出流之導電度變動範圍約在200~3300 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 之間，安順排水系統各採樣點導電度變動範圍約在600~780 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 之間，鳥松溼地公園各採樣點導電度變動範圍約在260~280 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 之間（圖4-3）。

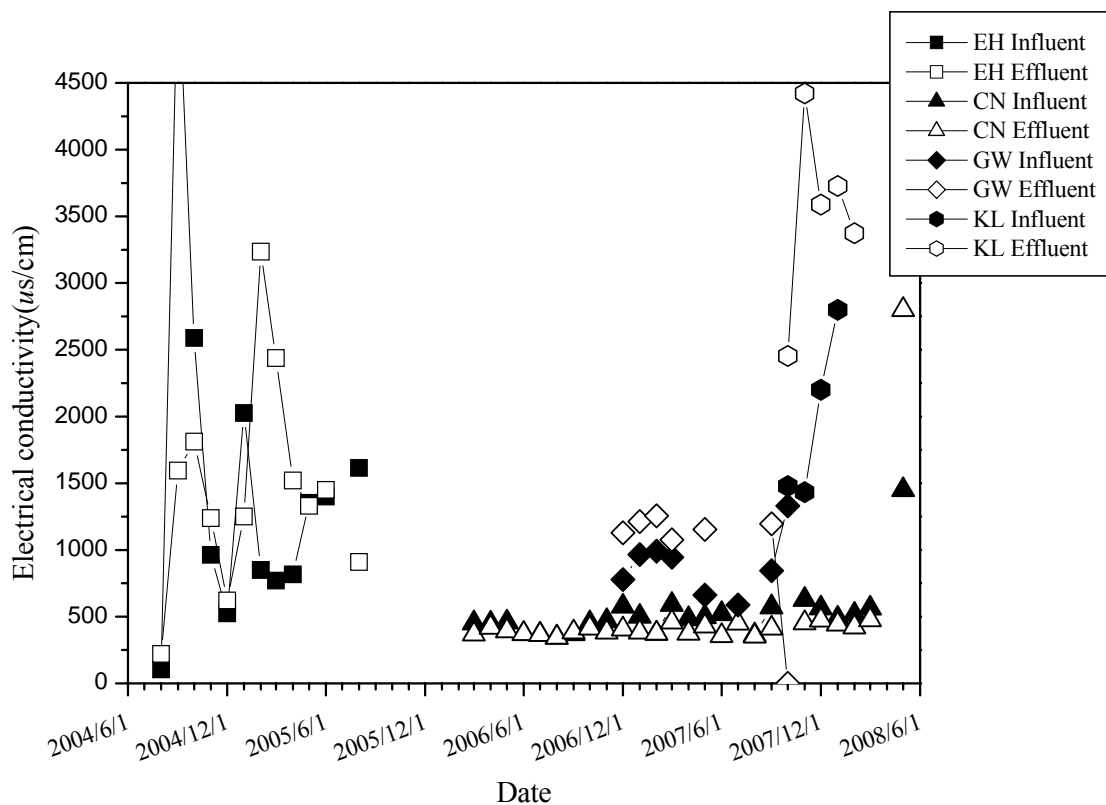


圖4-3 各採樣站中進出流之導電度變化

4. 溶氧 (Dissolved Oxygen, DO)

人工溼地系統中的DO會因日照、植物進行光合作用及污染物存在而改變，水溫與DO間彼此會互相影響，DO也是RPI水質參數之一。

嘉藥校園人工溼地系統進出流之DO變動範圍約在0.30～5.20mg/L之間，港尾社區自然淨水系統進出流之DO變動範圍約在1.15～12.00mg/L之間，蚵寮國中人工溼地系統進出流之DO變動範圍約在0.95～7.90mg/L之間，二行社區人工溼地系統進出流之DO變動範圍約在0.00～5.50mg/L之間，安順排水系統各採樣點變動範圍約在6.50～14.00mg/L之間，烏松溼地公園各採樣點變動範圍約在4.85～6.00mg/L之間（圖4-4）。

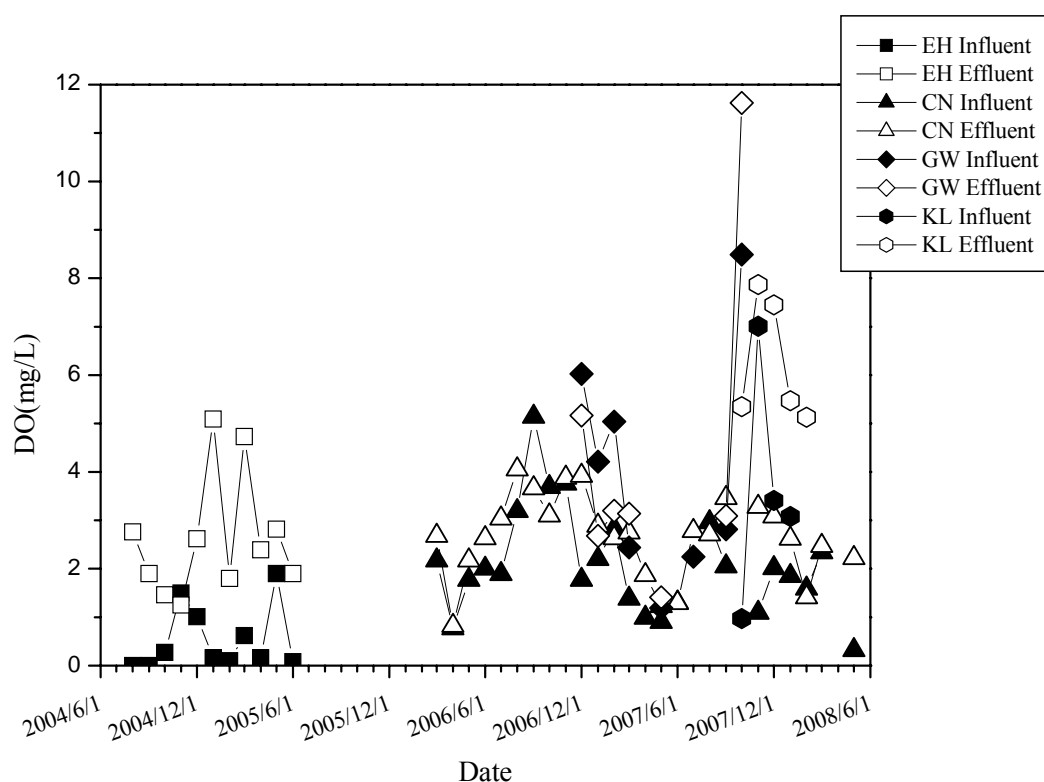


圖4-4 各採樣站中進流水之DO濃度變化

5. 生化需氧量 (Biochemical Oxygen Demand, BOD₅)

BOD₅代表水中含有容易受到微生物分解的有機物質，間接代表水中受有機污染的程度，BOD₅越高代表污染負荷越高，而BOD₅也是RPI水質參數之一。

嘉藥校園人工溼地系統進出流之BOD₅變動範圍約在1.50～105.00mg/L之間，港尾社區自然淨水系統進出流之BOD₅變動範圍約在2.50～31.00mg/L之間，蚵寮國中人工溼地系統之BOD₅變動範圍約在3.80～17.60mg/L之間，二行社區人工溼地系統進出流之BOD₅變動範圍約在5.00～90.00mg/L之間，安順排水系統各採樣點BOD₅變動範圍約在3.6～14.50mg/L之間，鳥松溼地公園各採樣點BOD₅變動範圍約在4.50～7.00mg/L之間（圖4-5）。

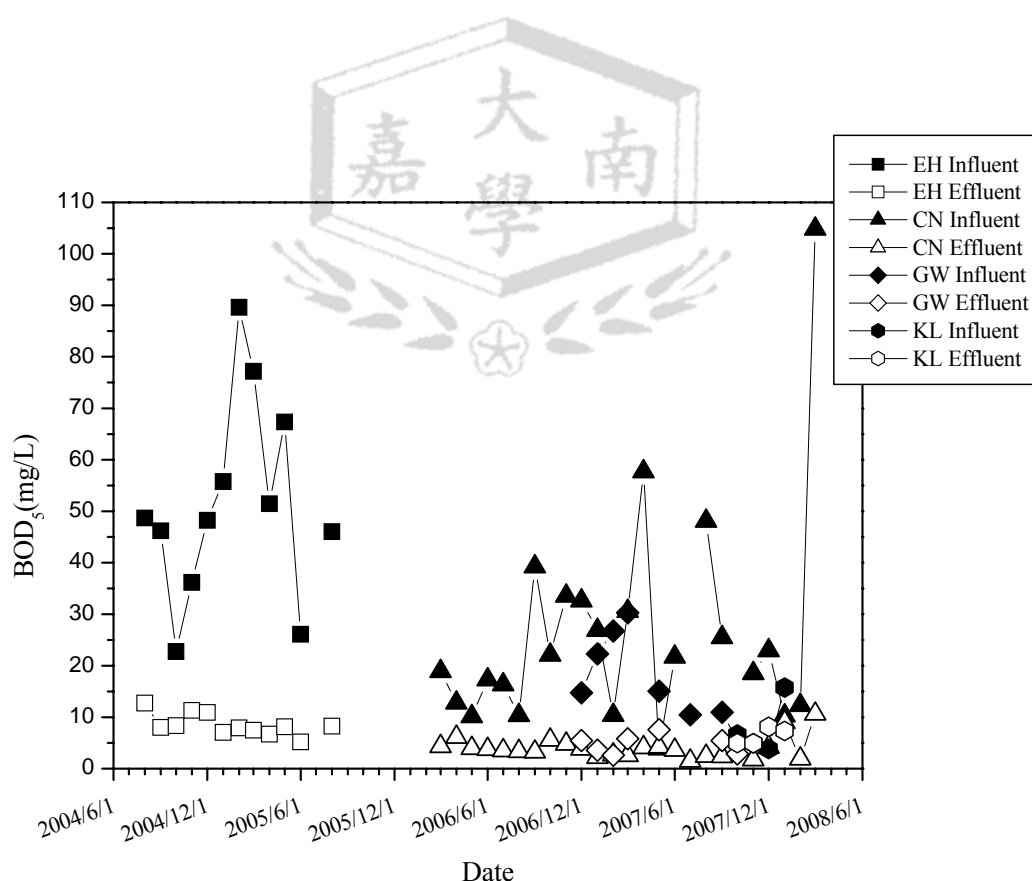


圖4-5 各採樣站中進出流之BOD₅濃度變化

6. 氨氮 (Ammonia Nitrogen, NH₄-N)

氮在溼地中進行轉換時，通常涉及微生物的參與，當含氮污水進入系統後，部分會沉降於土壤中分解成溶解性有機氮(solution organic nitrogen, SON)，植物及微生物會吸收攝取此部分的氮。SON 也可能受水溫及pH值的影響，轉換成離子態的 NH_4^{+} ⁽⁵⁹⁾， $\text{NH}_4\text{-N}$ 也是RPI水質參數之一。

嘉藥校園人工溼地系統進出流之 $\text{NH}_4\text{-N}$ 變動範圍約在0.060～24.000mg/L之間，港尾社區自然淨水系統進出流之 $\text{NH}_4\text{-N}$ 變動範圍約在0.000～30.000mg/L之間，蚵寮國中人工溼地系統進出流之 $\text{NH}_4\text{-N}$ 變動範圍約在1.300～18.500mg/L之間，二行社區人工溼地系統進出流之 $\text{NH}_4\text{-N}$ 變動範圍約在0.000～43.500mg/L之間，安順排水系統各採樣點 $\text{NH}_4\text{-N}$ 變動範圍約在0.070～0.130mg/L之間，烏松溼地公園各採樣點 $\text{NH}_4\text{-N}$ 變動範圍約在0.650～0.900mg/L之間（圖4-6）。

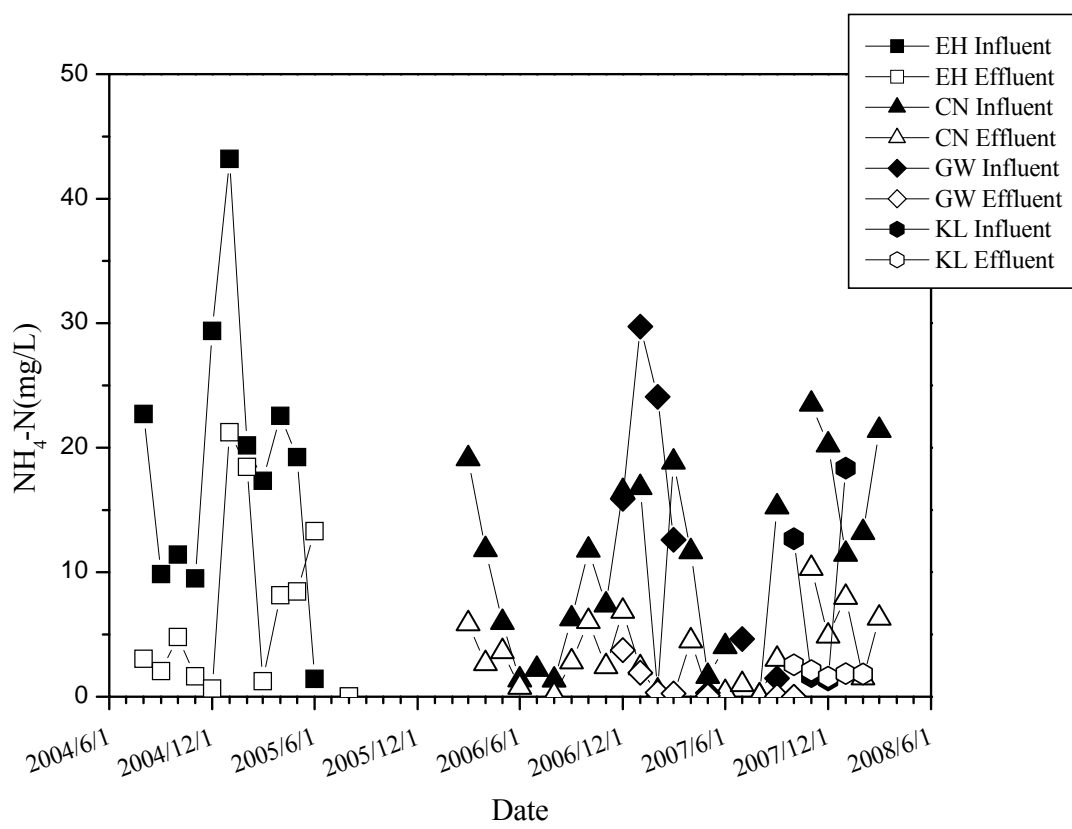


圖4-6 各採樣站中進出流之 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度變化範圍

7. 懸浮固體 (Suspended Solid, SS)

過多的懸浮固體會影響水中生物，若懸浮固體為有機物則會產生好氧情形，若為無機物顆粒則會產生沈澱的現象。而SS也為RPI水質參數之一。

嘉藥校園人工溼地系統進出流兩年之四季及年平均SS變動範圍約在2.0~65.0mg/L之間，港尾社區自然淨水系統進出流之四季及年平均SS變動範圍約在7.5~203.0mg/L之間，蚵寮國中人工溼地系統各採樣點之月平均SS變動範圍約在16.0~85.0mg/L之間，二行社區人工溼地系統進出流之四季及年平均SS變動範圍約在4.0~35.0mg/L之間，安順排水系統SS各採樣點SS變動範圍約在0~9mg/L之間，烏松溼地公園SS各採樣點SS變動範圍約在5~30mg/L之間（圖4-7）。

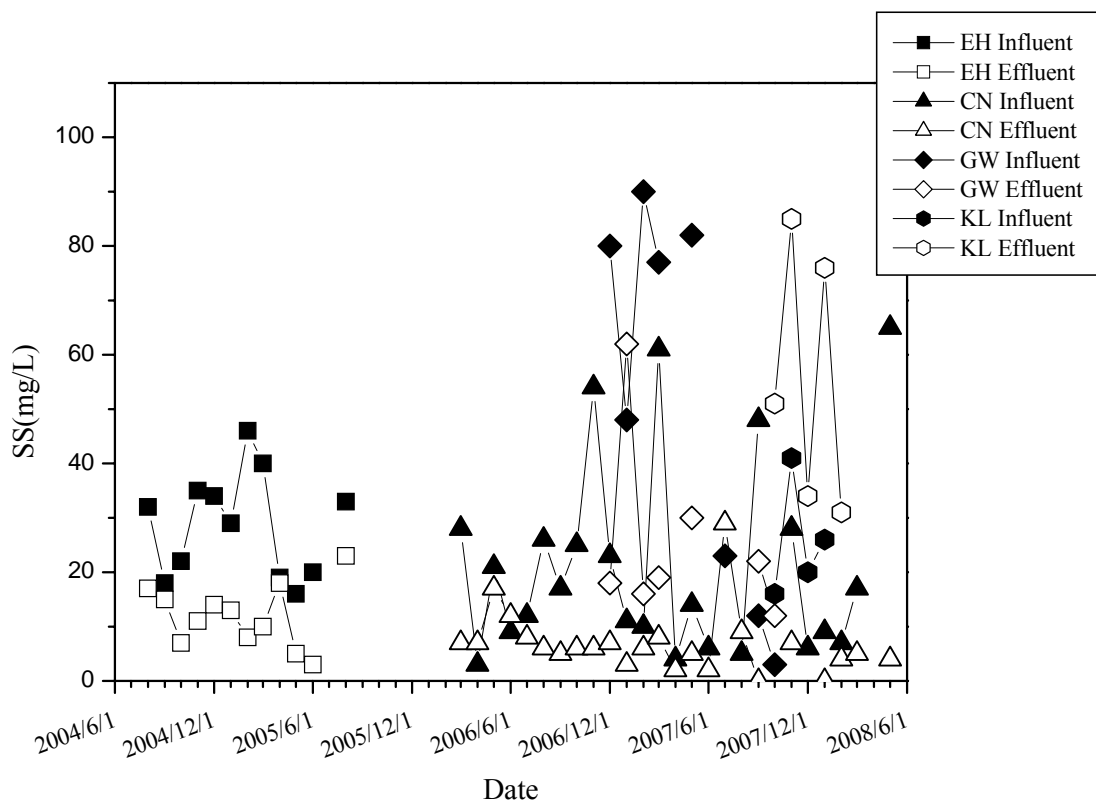


圖4-7 各採樣站中進出流之SS變化範圍

4-1-2 人工溼地淨水系統處理效能

比較嘉藥系統、港尾系統及蚵寮系統之BOD₅、NH₄-N及SS之進出流平均濃度及去除率（表 4-1），嘉藥系統、港尾系統及蚵寮系統BOD₅之去除率分別為84.47%、73.43%及 18.48%，三個系統當中，嘉藥系統BOD₅進流水濃度最高，去除率為最佳。嘉藥系統、港尾系統及蚵寮系統NH₄-N之去除率分別為68.50%、91.62%及 76.19%，三個系統當中，港尾系統NH₄-N之進流濃度最高，去除率為最佳。氨氮的去除與植物的吸收有關，雖植物體與微生物會消耗氨氮濃度，但是當植物體死亡卻沒有及時撈除，則可能將所吸收之氨氮再度釋放於水中。嘉藥系統、港尾系統及蚵寮系統SS之去除率分別為 73.21%、54.48%及 -138.86%，三個系統當中，港尾系統SS進流水濃度為最高，去除率次之，港尾系統尚未設置SSF溼地系統，因此對於SS之截留較嘉藥系統差。

表 4-1 嘉藥系統、港尾系統及蚵寮系統進出流之BOD₅、NH₄-N及SS之平均濃度及去除率

濕地系統	BOD ₅ (mg/L)			NH ₄ -N (mg/L)			SS (mg/L)		
	進流	出流	去除率 (%)	進流	出流	去除率 (%)	進流	出流	去除率 (%)
嘉藥系統	26.39±14.12	4.10±1.40	84.47	10.52±6.49	3.31±2.41	68.50	21.75±14.01	5.83±2.51	73.21
港尾系統	17.93±7.28	4.77±1.49	73.43	12.68±9.05	1.06±1.18	91.62	55.86±29.88	25.43±11.76	54.48
蚵寮系統	7.79±3.99	6.35±1.39	18.48	8.50±7.02	2.03±0.31	76.19	25.75±7.75	61.50±19.00	-138.83

4-2 人工溼地水棲昆蟲與環境因子之關係

4-2-1 水棲昆蟲各採樣點水質比較

1. 溫度 (Temperature)

水棲昆蟲的生長與許多環境因子息息相關，水溫會影響微生物的活動，且微生物的生長也會隨溫度而改變。

表 4-2、表 4-3、表 4-4 及表 4-5 分別為嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統及二行系統之各採樣點水溫平均變化，各採樣站水棲昆蟲採樣點之水溫間並無明顯差異。蚵寮系統因採樣次數較少，安順系統及烏松溼地因只進行一次性採樣，無法觀察出一年四季水溫變化的情形。

表 4-6 為嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統及二行系統等採樣區溫度之 AVONA 單因子多變數分析。依照 ANOVA 單因子多變數分析結果，自由度(5, 361)，F 值 $2.12 < \text{臨界值 } 3.07$ (P 值 $0.06 > \alpha = 0.01$)，故可知六個採樣站中之整年平均溫度不具顯著差異，利用 SPSS 10.0 單因子變異數分析之 Duncan 檢定結果，排除安順系統及烏松溼地，嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統及二行系統之水溫並無明顯差異。

表 4-2 嘉藥校園人工溼地水昆蟲採樣點溫度表

單位：(°C)	嘉藥 1	嘉藥 2	嘉藥 3	採樣站總平均
2006 春	24.52	24.76	24.84	24.71
2006 夏	29.22	30.12	29.93	29.76
2006 秋	28.39	29.47	29.46	29.11
2006 冬	23.34	23.12	22.97	23.14
2007 春	20.57	20.57	20.33	20.49
2007 夏	27.08	27.91	27.80	27.59
2007 秋	28.23	27.93	27.87	28.01
2007 冬	22.09	21.35	20.68	21.37
2008 春	21.28	21.55	20.65	21.16
平均	24.97±2.90	25.20±3.25	24.95±3.39	25.04±3.18

表 4-3 港尾社區自然淨水系統水棲昆蟲採樣點溫度表

單位：(°C)	港尾 1	港尾 2	港尾 3	港尾 4	港尾 5	採樣站總平均
2006 冬	22.33	22.49	22.70	22.06	21.80	22.27
2007 春	24.16	24.69	24.74	21.52	25.43	24.11
2007 夏	29.77	31.43	29.69	28.62	30.46	29.99
2007 秋	30.59	28.44	30.38	29.13	30.00	29.71
平均	26.71±3.47	26.76±3.17	26.88±3.16	25.33±3.54	26.92±3.31	26.52±3.33

表 4-4 蚵寮國中人工溼地水棲昆蟲採樣點溫度表

單位：(°C)	蚵寮 1	蚵寮 2	蚵寮 3	採樣站總平均
2007/10/19	27.14	33.13	31.27	30.51
2007/11/1	28.75	34.03	32.40	31.73
2007/12/13	26.44	27.18	26.29	26.64
2008/1/10	24.34	27.19	26.84	26.12
2008/2/15		18.60	18.65	18.63
平均	26.67±1.28	28.03±4.44	27.09±3.80	26.73±3.52

表 4-5 二行社區人工溼地水棲昆蟲採樣點溫度表

單位：(°C)	二行 1	二行 2	二行 3	二行 4	二行 5	二行 6	二行 7	二行 8	採樣站總平均
秋	31.5	30.5	30.4	30.6	30.4	30.6	30.9	31.0	30.7
冬	26.7	25.6	25.6	25.7	25.8	25.9	26.9	26.5	26.1
春	22.9	22.8	22.7	22.4	22.6	22.6	22.1	21.8	22.5
夏	27.0	27.0	27.0	26.8	26.1	26.3	26.6	27.3	26.8
平均	27.01±2.25	26.47±2.27	26.42±2.28	26.36±2.31	26.21±2.07	26.35±2.11	26.60±2.11	26.60±2.25	26.26.51±2.23

表 4-6 各採樣區平均水溫之 AVONA 單因子多變數分析

	N	範圍	平均值*	
嘉藥	118	17.45-33.30	25.64±3.99 ^a	
港尾	54	18.89-31.78	26.13±3.92 ^a	
蚵寮	14	18.60-34.03	27.30±4.68 ^{ab}	
二行	176	16.30-33.10	26.58±4.17 ^a	
安順	2	28.48-29.64	29.06±0.82 ^{ab}	
烏松	3	30.60-32.20	31.50±0.82 ^b	
變源	自由度	F	P-值	臨界值
組間	5	2.12	0.06	3.07
組內	361			
總和	366			

*各採樣測定值總平均

2. 酸鹼值 (pH value)

影響人工溼地pH值的因素相當多，如進流廢水的性質、碳源改變、底泥中生物的脫硝、硝化作用等⁽⁶⁰⁾。水棲昆蟲對於水質pH值的容忍程度也不同，例如蜻蛉目對pH值的忍受度很高^(61,62)，而pH值也會影響溶氧。

表 4-7、表 4-8、表 4-9 及表 4-10 分別為嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統及二行系統之各採樣點 pH 平均變化，pH 於各採樣站中之水棲昆蟲採樣點之間無明顯差異。港尾系統各採樣點間之 pH 雖無明顯差異，但仍可觀察到採樣點港尾 3 的 pH 值偏高，採樣點港尾 4 有下降趨勢，採樣點港尾 5 又開始上升。蚵寮系統因採樣次數較少，無法觀察出一年四季之 pH 變化，安順系統及烏松溼地因只進行一次性採樣，無法判斷整年導電度變化的情形。

表 4-11 為二行、嘉藥、港尾、蚵寮採樣區之 AVONA 單因子多變數分析。依照 ANOVA 單因子多變數分析結果，自由度 (5, 361)，F 值 39.34 > 臨界值 3.07 (P 值 $0.00 < \alpha = 0.01$)，故知六個採樣站中之 pH 值存在顯著差異。安順排水系統的 pH 值較其他採樣站高。利用 SPSS 10.0 單因子變異數分析之 Duncan 檢定結果，排除安順系統及烏松系統，各採樣點之間均有明顯差異，其中嘉藥系統與二行系統之間無顯著差異，港尾系統與蚵寮系統之間無顯著差異。

表4-7 嘉藥校園人工溼地水昆蟲採樣點pH值

	嘉藥 1	嘉藥 2	嘉藥 3	採樣站總平均
2006 春	7.06	6.93	6.91	6.97
2006 夏	7.01	7.23	7.09	7.11
2006 秋	7.39	7.64	7.52	7.51
2006 冬	7.53	7.54	7.54	7.54
2007 春	7.83	7.87	7.88	7.86
2007 夏	7.87	7.8	7.78	7.81
2007 秋	7.89	7.88	7.85	7.87
2007 冬	8.02	7.95	7.94	7.97
2008 春	8.01	7.99	8.03	8.01
平均	7.62±0.34	7.65±0.28	7.61±0.31	7.63±0.31

表 4-8 港尾社區自然淨水系統水棲昆蟲採樣點 pH 值

	港尾 1	港尾 2	港尾 3	港尾 4	港尾 5	採樣站總平均
2006 冬	7.81	7.89	8.26	7.89	7.77	7.92
2007 春	7.86	7.78	8.12	7.88	8.16	7.96
2007 夏	8.19	8.04	8.13	7.95	8.16	8.09
2007 秋	8.05	8.18	8.05	7.81	8.10	8.04
平均	7.98±0.14	7.97±0.14	8.14±0.06	7.88±0.04	8.05±0.14	8.00±0.06

表 4-9 蚵寮國中人工溼地水棲昆蟲採樣點 pH 值

	蚵寮 1	蚵寮 2	蚵寮 3	採樣站總平均
2007/10/19	7.83	8.03	8.11	7.99
2007/11/1	8.19	8.21	8.27	8.22
2007/12/13	7.79	7.97	8.10	7.95
2008/1/10	8.28	8.40	8.19	8.29
2008/2/15		8.65	8.20	8.43
平均	8.02±0.20	8.25±0.22	8.17±0.06	8.18±0.16

表 4-10 二行社區人工溼地系統水棲昆蟲採樣點 pH 值

	二行 1	二行 2	二行 3	二行 4	二行 5	二行 6	二行 7	二行 8	採樣站總平均
秋	7.53	7.49	7.45	7.41	7.34	7.34	7.26	7.42	7.40
冬	7.59	7.45	7.50	7.54	7.31	7.35	7.35	7.34	7.43
春	7.46	7.42	7.46	7.37	7.45	7.27	7.16	7.28	7.36
夏	7.25	7.52	7.59	7.32	7.23	7.35	7.29	7.33	7.36
平均	7.46±0.10	7.47±0.04	7.50±0.04	7.41±0.06	7.33±0.06	7.33±0.03	7.26±0.05	7.34±0.04	7.39±0.03

表4-11 各採樣區pH值之AVONA 單因子多變數分析

	N	範圍	平均值*	
嘉藥	118	6.74-8.72	7.54±0.46 ^a	
港尾	54	7.61-8.46	7.99±0.19 ^b	
蚵寮	14	7.79-8.65	8.16±0.22 ^b	
二行	176	6.83-8.51	7.40±0.25 ^a	
安順	2	8.4-8.77	8.59±0.25 ^c	
烏松	3	6.89-8.62	7.34±1.11 ^a	
變源	自由度	F	P-值	臨界值
組間	5	39.34	0.00	3.07
組內	363			
總和	366			

*各採樣測定值總平均

3. 導電度 (Electrical conductivity)

表 4-12、表 4-13、表 4-14 及表 4-15 分別為嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統及二行系統之各採樣點導電度平均變化。在嘉藥系統長達兩年的觀察，採樣點嘉藥 2 與嘉藥 3 導電度差異較小，平均約在 400 μ s/cm 以上。港尾系統進流至出流的導電度有上升的現象，而各採樣點間，港尾 5 之導電度較其他採樣點高。蚵寮系統因採樣次數較少，無法觀察出一年四季之導電度變化，安順系統及鳥松溼地因只進行一次性採樣，無法判斷整年導電度變化的情形。

表 4-16 為二行、嘉藥、港尾、蚵寮採樣區導電度之 AVONA 單因子多變數分析。依照 ANOVA 單因子多變數分析結果，自由度 (5, 353)，F 值 36.32 > 臨界值 3.07 (P 值 0.00 < α = 0.01)，故知六個採樣站之導電度具顯著差異。蚵寮國中人工溼地系統導電度比其他採樣站高。利用 SPSS 10.0 單因子變異數分析之 Duncan 檢定結果，排除安順系統及鳥松溼地，各採樣點之間均有明顯差異，其中嘉藥系統與港尾系統之間無顯著差異，且導電度為最低，港尾系統與二行系統之間無顯著差異，而蚵寮系統之導電度平均值為最高。

表 4-12 嘉藥校園人工溼地水昆蟲採樣點導電度

單位：μs/cm	嘉藥 1	嘉藥 2	嘉藥 3	採樣站總平均
2006 春	409	426	388	408
2006 夏	405	388	380	391
2006 秋	378	381	374	378
2006 冬	422	421	389	411
2007 春	430	411	403	415
2007 夏	426	446	415	429
2007 秋	379	380	372	377
2007 冬	462	458	456	458
2008 春	504	486	449	480
平均	424±28	422±29	403±25	416±26

表 4-13 港尾社區自然淨水系統水棲昆蟲採樣點導電度

單位：μs/cm	港尾 1	港尾 2	港尾 3	港尾 4	港尾 5	採樣站總平均
2006 冬	859	1038	835	801	1157	938
2007 春	1081	1093	908	1033	1135	1050
2007 夏	585	1090	642	691	1154	832
2007 秋	1017	519	504	889	797	745
平均	885±164	935±208	722±149	854±107	1061±132	891±103

表 4-14 蚵寮國中人工溼地水棲昆蟲採樣點導電度

單位：μs/cm	蚵寮 1	蚵寮 2	蚵寮 3	採樣站總平均
2007/10/19	1479	2411	2453	2114
2007/11/1	1433	2476	4422	2777
2007/12/13	2200	2321	3588	2703
2008/1/10	2800	1416	3728	2648
2008/2/15		758.8	3374	2066
平均	1978±522	1877±631	3513±480	2462±297

表 4-15 二行社區人工溼地水棲昆蟲採樣點導電度

單位： $\mu\text{s}/\text{cm}$	二行 1	二行 2	二行 3	二行 4	二行 5	二行 6	二行 7	二行 8	採樣站 總平均
秋	2733	1869	1392	1395	1347	1368	1296	907	1538
冬	1525	1283	1222	1341	1249	1211	1240	1230	1288
春	811	2348	2356	2378	2414	2387	2385	2573	2207
夏	1368	2207	2503	2291	1742	1487	1437	1370	1801
平均	1609 \pm 562	1927 \pm 351	1868 \pm 561	1851 \pm 484	1688 \pm 390	1613 \pm 387	1589 \pm 398	1520 \pm 526	1708 \pm 295

表 4-16 各採樣區導電度之 AVONA 單因子多變數分析

	N	範圍	平均值*
嘉藥	118	300-2800	447±265 ^a
港尾	54	0-1384	892±259 ^{ab}
蚵寮	14	759-4422	2490±1029 ^c
二行	168	10-7890	1632±1160 ^{bc}
安順	2	610-774	692±116 ^{ab}
烏松	3	262-281	270±10 ^a

變源	自由度	F	P-值	臨界值
組間	5	36.32	0.00	3.07
組內	353			
總和	358			

*各採樣測定值總平均

4 溶氧 (Dissolved Oxygen, DO)

DO的多寡對水棲昆蟲的棲息也是一個重要的影響因素，表4-17、表4-18、表4-19及表4-20分別為嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統及二行系統之各採樣點DO濃度平均變化。嘉藥系統因含有SSF溼地及FWS溼地系統，在採樣點嘉藥1的DO偏低，因採樣點嘉藥1為SSF溼地系統放流水，故水中的DO較低，在經過FWS溼地系統開放水域環境後，採樣點嘉藥2及嘉藥3之DO有上升的現象。在港尾系統的冬、春兩季DO具有差異性，因冬季氣溫低，春季回暖現象，DO由高逐漸降低。在蚵寮系統採樣點蚵寮1之DO較低，經過溼地處理過後的水流到開放水域區，DO有增加的現象，因採樣次數較少，不易看出整年DO的變化。二行系統因系統設置氧化塘、FWS溼地系統及SSF溼地系統，DO濃度在開始時呈現較差之現象，但經過氧化塘及FWS溼地系統處理後出現逐漸上升的現象。因為SSF溼地系統為厭氧狀態，在經過SSF溼地系統處理過的放流水之DO會降低。安順系統及烏松溼地因只進行一次性採樣，無法判斷整年DO變化的情形。

表 4-21 為二行、嘉藥、港尾及蚵寮等採樣區 DO 之 ANOVA 單因子多變數分析。依照 ANOVA 單因子多變數分析結果，自由度 (5, 345)，F 值 24.60 > 臨界值 3.07 (P 值 $0.00 < \alpha = 0.01$)，六個採樣站之 DO 存有顯著差異。安順排水系統之 DO 要比其餘採樣站中來的高。利用 SPSS 10.0 單因子變異數分析之 Duncan 檢定結果，排除安順系統及烏松溼地，各採樣點之間均有明顯差異，其中嘉藥系統、港尾系統與二行系統之間無明顯差異，DO 濃度為最低，港尾系統與蚵寮系統之間無顯著差異，蚵寮系統 DO 濃度為最高。

表 4-17 嘉藥校園人工溼地水昆蟲採樣點之 DO 濃度

單位：mg/L	嘉藥 1	嘉藥 2	嘉藥 3	採樣站總平均
2006 春	0.79	1.06	1.93	1.26
2006 夏	0.83	3.26	2.54	2.21
2006 秋	0.85	5.30	3.67	3.27
2006 冬	0.86	3.34	3.61	2.60
2007 春	1.12	1.94	2.42	1.83
2007 夏	1.07	1.60	1.63	1.43
2007 秋	3.19	3.09	2.96	3.08
2007 冬	1.63	1.85	2.99	2.16
2008 春	1.42	1.20	1.94	1.52
平均	1.31±0.51	2.52±1.10	2.63±0.60	2.15±0.57

表 4-18 港尾社區自然淨水系統水棲昆蟲採樣點之 DO 濃度

單位：mg/L	港尾 1	港尾 2	港尾 3	港尾 4	港尾 5	採樣站總平均
2006 冬	4.32	5.38	7.80	3.46	4.34	5.06
2007 春	2.08	2.45	2.68	1.58	3.16	2.39
2007 夏	1.70	1.07	1.23	0.67	1.41	1.22
2007 秋	5.12	3.20	4.77	1.45	5.93	4.10
平均	3.30±1.44	3.03±0.78	4.12±1.25	1.79±0.37	3.71±1.62	3.19±1.39

表 4-19 蚵寮國中人工溼地水棲昆蟲採樣點之 DO 濃度

單位：mg/L	蚵寮 1	蚵寮 2	蚵寮 3	採樣站總平均
2007/10/19	0.97	5.57	5.35	3.96
2007/11/1	7.01	5.78	7.87	6.89
2007/12/13	3.41	6.21	7.45	5.69
2008/1/10	3.08	3.78	5.47	4.11
2008/2/15		4.47	5.13	4.80
平均	3.62±1.70	5.16±0.83	6.25±1.12	5.09±0.96

表 4-20 二行社區人工溼地水棲昆蟲採樣點之 DO 濃度

單位：mg/L	二行 1	二行 2	二行 3	二行 4	二行 5	二行 6	二行 7	二行 8	採樣站 總平均
秋	0.09	0.82	1.36	0.90	0.73	1.01	1.24	2.04	0.91
冬	0.89	1.41	1.40	1.62	1.13	3.48	3.55	2.99	1.82
春	0.32	1.23	2.34	1.31	3.63	2.40	2.56	3.09	1.99
夏	1.29	3.80	4.13	1.34	0.95	3.36	2.68	2.51	2.33
平均	0.65±0.44	1.81±0.99	2.31±0.93	1.29±0.20	1.61±1.01	2.56±0.86	2.51±0.63	2.66±0.38	1.76±0.43

表 4-21 各採樣區 DO 之 AVONA 單因子多變數分析

	N	範圍	平均值*	
嘉藥	118	0.16-8.59	2.24±1.42 ^a	
港尾	54	0.60-11.62	3.41±2.36 ^{ab}	
蚵寮	14	0.97-7.87	5.11±1.86 ^{bc}	
二行	160	0.00-9.35	1.83±1.69 ^a	
安順	2	6.96-13.93	10.45±4.93 ^d	
烏松	3	4.85-6.51	5.82±0.86 ^c	

變源	自由度	F	P-值	臨界值
組間	5	24.60	0.00	3.07
組內	345			
總和	350			

*各採樣測定值總平均

5. 生化需氧量 (Biochemical Oxygen Demand, BOD₅)

表 4-22、表 4-23、表 4-24 及表 4-25 分別為嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統及二行系統之各採樣點BOD₅濃度平均變化。嘉藥系統本身含有SSF溼地及FWS溼地系統，其BOD₅已去除至一定程度，因此在各採樣點間不具明顯差異，保持於 5mg/L以下。港尾系統BOD₅進流濃度高，在經過FWS溼地系統處理過後有下降的現象。蚵寮系統於各採樣點間之BOD₅濃度變化，因採樣次數較少，較不易看出整年BOD₅變化的情形。二行系統進出流之BOD₅高達 40mg/L以上，在經過氧化塘、FWS溼地及SSF溼地系統，達到去除有機污染物的效果，BOD₅降至 10mg/L以下。安順系統及烏松溼地因只進行一次性採樣，無法判斷整年BOD₅變化的情形。

表 4-26 為二行、嘉藥、港尾、蚵寮採樣區BOD₅之ANOVA 單因子多變數分析。依照ANOVA單因子多變數分析結果，自由度 (5, 361)，F值 37.54>臨界值 3.07 (P值 0.00< α =0.01)，故可知六個採樣站中之BOD₅具顯著差異。嘉藥校園人工溼地系統的BOD₅比其餘採樣站低。利用SPSS 10.0 單因子變異數分析之Duncan檢定結果，排除安順系統及烏松溼地，各採樣點之間均有明顯差異，其中嘉藥系統、港尾系統與蚵寮系統之間無明顯差異，BOD₅濃度最低，蚵寮系統與二行系統之間無顯著差異。二行系統BOD₅濃度最高，嘉藥系統BOD₅濃度最低。

表 4-22 嘉藥校園人工溼地水昆蟲採樣點之BOD₅濃度

	嘉藥 1	嘉藥 2	嘉藥 3	採樣站總平均
2006 春	4.48	5.37	5.06	4.97
2006 夏	3.67	4.68	3.78	4.04
2006 秋	3.96	5.09	4.07	4.37
2006 冬	6.11	4.67	3.77	4.85
2007 春	3.43	3.14	3.14	3.24
2007 夏	3.53	1.99	3.41	2.98
2007 秋	4.98	2.51	2.41	3.30
2007 冬	4.58	7.76	4.99	5.78
2008 春	4.82	5.79	2.07	4.22
平均	4.40±0.67	4.56±1.34	3.63±0.78	4.19±0.72

表 4-23 港尾社區自然淨水系統水棲昆蟲採樣點之BOD₅濃度

	港尾 1	港尾 2	港尾 3	港尾 4	港尾 5	採樣站總平均
2006 冬	9.68	10.31	10.14	9.62	4.83	8.92
2007 春	14.02	5.61	6.78	15.05	4.75	9.24
2007 夏	9.47	4.20	6.71	15.27	7.56	8.64
2007 秋	8.68	6.59	5.80	4.68	4.59	6.07
平均	10.46±1.78	6.68±1.82	7.36±1.39	11.15±4.00	5.43±1.06	8.22±1.07

表 4-24 蚵寮國中人工溼地水棲昆蟲採樣點之BOD₅濃度

	蚵寮 1	蚵寮 2	蚵寮 3	採樣站總平均
2007/10/19	6.62	4.97	7.10	6.23
2007/11/1	4.94	4.96	17.58	9.16
2007/12/13	3.84	8.13	14.88	8.95
2008/1/10	15.76	7.34	17.40	13.50
2008/2/15		3.34	7.89	5.62
平均	7.79±3.99	5.75±1.59	12.97±4.38	8.69±2.21

表 4-25 二行社區人工溼地水棲昆蟲採樣點之BOD₅濃度

	二行 1	二行 2	二行 3	二行 4	二行 5	二行 6	二行 7	二行 8	採樣站 總平均
秋	39.21	18.61	18.82	16.54	11.88	11.96	7.93	9.70	16.83
冬	46.73	38.74	32.80	28.51	22.82	17.80	9.90	9.76	25.88
春	72.74	31.74	26.16	21.25	17.37	12.07	7.72	7.37	24.55
夏	53.60	19.72	26.98	17.53	13.50	12.04	5.63	7.16	19.52
平均	53.07±10.10	27.20±8.04	26.19±3.70	20.96±3.92	16.39±3.70	13.47±2.17	10.55±2.13	8.50±1.23	21.70±3.52

表 4-26 各採樣區BOD₅之AVONA 單因子多變數分析

	N	範圍	平均值*	
嘉藥	118	1.14-17.58	4.29±2.35 ^a	
港尾	54	1.31-22.56	8.19±4.47 ^a	
蚵寮	14	3.34-17.58	8.91±5.16 ^{ab}	
二行	176	1.23-92.8	22.07±16.20 ^b	
安順	2	3.66-14.46	9.06±7.64 ^{ab}	
烏松	3	4.98-6.93	5.74±1.04 ^a	
變源	自由度	F	P-值	臨界值
組間	5	37.54	0.00	3.07
組內	361			
總和	366			

*各採樣測定值總平均

6. 氨氮 (Ammonia Nitrogen, NH₄-N)

表 4-27、表 4-28、表 4-29 及表 4-30 分別為嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統及二行系統之各採樣點NH₄-N濃度平均變化。嘉藥系統NH₄-N濃度在各採樣點間呈現下降的趨勢。港尾系統NH₄-N各採樣點中，港尾 4 的NH₄-N濃度有上升趨勢，水流經生態池後，在港尾 5 的NH₄-N濃度下降。蚵寮系統於各採樣點間NH₄-N濃度變化，因採樣次數較少，較不易看出整年NH₄-N變化。安順系統及烏松溼地因只進行一次性採樣，無法判斷整年NH₄-N變化的情形。

表 4-31 為二行、嘉藥、港尾、蚵寮採樣區NH₄-N濃度的 AVONA 單因子多變數分析。由ANOVA單因子多變數分析結果，自由度 (5, 355)，F值 24.80 > 臨界值 3.07 (P值 0.00 < α = 0.01)，可知六個採樣站中之NH₄-N具顯著差異。安順排水系統的NH₄-N濃度比其餘採樣站低。利用SPSS 10.0 單因子變異數分析之Duncan檢定結果，排除安順系統及烏松溼地，各採樣點之間均有明顯差異，其中嘉藥系統、港尾系統與蚵寮系統之間無明顯差異，NH₄-N濃度最低，蚵寮系統與二行系統之間無顯著差異。港尾系統NH₄-N濃度最低，二行系統NH₄-N濃度最高。

表4-27 嘉藥校園人工溼地水昆蟲採樣點之NH₄-N濃度

	嘉藥 1	嘉藥 2	嘉藥 3	採樣站總平均
2006 春	9.52	8.92	4.58	7.67
2006 夏	2.78	2.30	2.02	2.37
2006 秋	2.19	2.43	2.54	2.39
2006 冬	6.02	4.37	3.66	4.68
2007 春	5.72	0.73	1.58	2.68
2007 夏	1.61	2.02	0.44	1.36
2007 秋	2.21	2.02	1.03	1.76
2007 冬	10.83	7.40	7.72	8.65
2008 春	11.48	5.52	3.91	6.97
平均	5.82±3.23	3.91±2.35	3.06±1.69	4.27±2.42

表4-28 港尾社區自然淨水系統水棲昆蟲採樣點之NH₄-N濃度

	港尾 1	港尾 2	港尾 3	港尾 4	港尾 5	採樣站總平均
2006 冬	11.19	0.84	2.15	3.56	3.14	4.17
2007 春	2.87	0.52	0.40	3.27	0.28	1.47
2007 夏	0.12	0.18	0.12	1.12	0.07	0.32
2007 秋	0.06	0.09	0.11	0.29	0.02	0.11
平均	3.56±3.81	0.41±0.27	0.69±0.73	2.06±1.36	0.88±1.13	1.52±1.33

表4-29 蚵寮國中人工溼地水棲昆蟲採樣點之NH₄-N濃度

	蚵寮 1	蚵寮 2	蚵寮 3	採樣站總平均
2007/10/19	12.69	3.23	2.57	6.16
2007/11/1	1.62	3.48	2.10	2.40
2007/12/13	1.35	1.90	1.57	1.61
2008/1/10	18.36	0.98	1.86	7.07
2008/2/15		0.40	1.82	1.11
平均	8.50±7.02	2.00±1.08	1.98±0.28	3.67±2.36

表4-30 二行社區人工溼地水棲昆蟲採樣點之NH₄-N濃度

	二行 1	二行 2	二行 3	二行 4	二行 5	二行 6	二行 7	二行 8	採樣站 總平均
秋	14.66	9.49	7.02	5.58	5.52	6.00	3.85	3.30	7.05
冬	27.36	18.58	14.73	13.25	10.84	11.12	7.26	7.84	14.06
春	20.03	27.60	24.02	22.25	17.74	18.52	12.69	9.29	18.85
夏	13.31	18.71	15.13	17.39	19.32	17.23	14.12	10.07	15.72
平均	18.84±4.86	18.59±4.56	15.22±4.40	14.62±5.20	13.36±5.17	13.22±4.66	9.48±3.93	7.62±2.16	13.87±3.47

表4-31 各採樣區NH₄-N之AVONA 單因子多變數分析

	N	範圍	平均值*	
嘉藥	113	0.00-16.67	4.12±4.18 ^{ab}	
港尾	53	0.00-17.75	1.65±3.27 ^a	
蚵寮	14	0.40-18.36	3.85±5.13 ^{ab}	
二行	176	0.00-46.70	13.04±11.33 ^b	
安順	2	0.07-0.13	0.10±0.04 ^a	
烏松	3	0.65-0.90	0.75±0.13 ^a	
變源	自由度	F	P-值	臨界值
組間	5	24.80	0.00	3.07
組內	355			
總和	360			

*各採樣測定值總平均

7. 懸浮固體 (Suspended Solid, SS)

表 4-32、表 4-33、表 4-34 及表 4-35 分別為嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統及二行系統之各採樣點NH₄-N濃度平均變化。嘉藥系統於採樣點間可看出SS濃度變化的情形，嘉藥系統操作初期SS濃度有上升之情形，但整體SS濃度仍是下降的趨勢。港尾系統採樣點港尾 4 的SS濃度有上升趨勢，水流經生態池後之SS濃度會下降。蚵寮系統於各採樣點間之SS濃度變化，因採樣次數較少，較不易看出整年SS變化。安順系統及烏松溼地因只進行一次性採樣，無法判斷整年SS變化的情形。

表 4-36 為二行、嘉藥、港尾及蚵寮之 SS 的 AVONA 單因子多變數分析。依照 ANOVA 單因子多變數分析結果，自由度 (5, 356)，F 值 15.66 > 臨界值 3.07 (P 值 0.00 < α = 0.01)，六個採樣站之 SS 具顯著差異。安順排水系統的 SS 比其餘採樣站低。利用 SPSS 10.0 單因子變異數分析之 Duncan 檢定結果，排除安順系統及烏松溼地，各採樣點之間均有明顯差異，其中嘉藥系統死二行系統之間無顯著差異，港尾系統、蚵寮系統與二行系統之間無顯著差異。嘉藥系統 SS 濃度最低，蚵寮系統 SS 濃度最高。

表4-32 嘉藥校園人工溼地水昆蟲採樣點之SS濃度

	嘉藥 1	嘉藥 2	嘉藥 3	採樣站總平均
2006 春	8	17	7	10
2006 夏	9	9	13	10
2006 秋	12	5	6	8
2006 冬	5	8	5	6
2007 春	4	5	5	5
2007 夏	24	12	10	15
2007 秋	6	13	6	8
2007 冬	11	1	1	4
2008 春	9	7	4	6
平均	10±4	8±4	7±2	8±3

表4-33 港尾社區自然淨水系統水棲昆蟲採樣點之SS濃度

	港尾 1	港尾 2	港尾 3	港尾 4	港尾 5	採樣站總平均
2006 冬	44	55	71.3	57	32	52
2007 春	41	21	18	203	18	60
2007 夏	50	5	49	44	30	35
2007 秋	25	2.5	11	32	17	18
平均	40±7	21±17	37±23	84±59	24±7	41±15

表4-34 蚵寮國中人工溼地水棲昆蟲採樣點之SS濃度

	蚵寮 1	蚵寮 2	蚵寮 3	採樣站總平均
2007/10/19	16	41	51	36
2007/11/1	41	55	85	60
2007/12/13	20	22	34	25
2008/1/10	26	47	76	50
2008/2/15		89	31	60
平均	26±8	51±17	55±20	46±12

表4-35 二行社區人工溼地水棲昆蟲採樣點之SS濃度

	二行 1	二行 2	二行 3	二行 4	二行 5	二行 6	二行 7	二行 8	採樣站總平均
秋	24	20	19	14	15	26	10	13	18
冬	33	27	20	22	18	21	17	12	21
春	35	26	26	22	20	13	10	12	20
夏	17	18	17	16	11	9	6	4	12
平均	27±7	23±4	20±3	19±3	16±3	17±6	120±3	10±3	18±3

表4-36 各採樣區之SS的AVONA 單因子多變數分析

	N	範圍	平均值*	
嘉藥	118	0-82	8.41±11.16 ^a	
港尾	49	0-428	44.43±66.59 ^b	
蚵寮	14	16-89	45.29±23.76 ^b	
二行	176	0-69	18.78±11.03 ^{ab}	
安順	2	0-9	4.50±6.36 ^a	
烏松	3	3-6	15.33±10.69 ^{ab}	
變源	自由度	F	P-值	臨界值
組間	5	15.66	0.00	3.07
組內	356			
總和	361			

*各採樣測定值總平均

8. 水質參數綜合討論

整理各採樣站之水質參數資料，表 4-37 列出嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統、二行系統、安順系統及烏松系統之溫度、pH 值、導電度、DO、BOD₅、NH₄-N、SS 及河川污染指標，並利用 SPSS 之單因子變異數分析及 Duncan 檢定分析將六個採樣站的水質參數進行分組。

水溫在水質環境判斷是一個重要的檢驗項目，除了會影響溼地微生物的生長，較高的水溫會使水中 DO 減少，導致微生物及水中生物因溫度過高或過低，及 DO 過少而導致死亡或離開棲地。六個採樣站的水溫並無明顯差異（表 4-37），排除安順系統及烏松溼地，蚵寮系統的水溫最高（27.30°C），次高為港尾系統（26.13°C）。由於烏松溼地公園僅採樣一次，無法判斷四季之平均水溫。港尾社區自然淨水系統年平均水溫較二行系統及嘉藥系統高，可能與 2004 年二行系統採樣期間的年平均氣溫較 2007-2008 年的年平均氣溫低有關，而且與嘉藥系統前端設置 SSF 溼地系統，減少水面直接曝曬陽光有關。港尾系統僅有 FWS 溼地系統，且處理水源為社區污水，故溫度較高。

各溼地系統的 pH 值在中性或弱鹼性的範圍，pH 值平均範圍介於 7.3~8.6 之間，pH 值會影響生物生長，部分水中生物對 pH 值較敏感，水棲昆蟲對水質 pH 值的容忍程度也不同。六個採樣站的 pH 值間具明顯差異（表 4-37），排除安順系統及烏松溼地，蚵寮國中人工溼地系統（pH8.16）最高，其次為港尾系統（pH7.99），前述兩個系統間的 pH 值不具明顯差異。嘉藥系統及二行系統的 pH 值則比其他系統低。

導電度為水體中導電性質，導電度越大代表水中電解質較多。六個採樣站間的導電度具明顯差異（表 4-37），排除安順系統及烏松溼地，以蚵寮國中人工溼地系統之導電度最高（2489.99 μ s/cm），其次為二行系統（1632.49 μ s/cm），再依序為港尾系統及嘉藥系統。

DO 可以判斷水質的情形，DO 越高代表環境中的水質較佳，DO 的多寡對水中生物的生長影響甚大，DO 過低會造成缺氧現象，導致水中生物無法生存

且易產生臭味。六個採樣站間的溶氧具明顯差異（表 4-37），排出安順系統及烏松溼地，以蚵寮系統最高（5.11mg/L），其次為港尾系統（3.41mg/L），而二行系統、嘉藥系統的 DO 最低。二行系統、嘉藥系統及蚵寮系統皆設置 SSF 溼地系統，SSF 溼地系統會使 DO 降低，且二行系統是處理社區污水，所以其 DO 較其它系統低。

BOD₅代表水中容易受到微生物分解的有機物質含量，可以間接代表水中受有機污染的程度，BOD₅越高代表污染負荷越高，較高之BOD₅會造成缺氧現象，與溶氧呈現反比狀態。六個採樣站間的BOD₅具明顯差異（表 4-37），排除安順系統及烏松溼地，BOD₅最高的為二行社區人工溼地系統（22.07mg/L），次高為蚵寮系統（8.91mg/L）及港尾系統（8.19mg/L），再其次為嘉藥系統（4.29mg/L）。處理社區污水的二行系統污染負荷高於港尾系統，而同是校園系統的嘉藥系統及蚵寮系統，嘉藥系統之BOD₅較小，這是由於嘉藥系統所處理之原污水為校園污水廠所排放之放流水，已達到水質處理程度二級放流水的標準，因此污染負荷較蚵寮系統較好。安順系統之進流水為廢水處理廠放流於台南市安順大排之原廢水，安順大排的廢水除了家庭污水外，也涵蓋屠宰場及養豬廢水，養豬廢水較校園污水的污染負荷較高，校園廢水處理場僅處理學生宿舍及部分教學大樓使用水，在不同水質環境背景的污水來源，港尾系統是應用當地環境直接建置之人工溼地，與其他人工溼地環境比較，較偏向天然溼地的特性。烏松溼地為天然溼地環境，主要水源為自來水及雨水，早期是來自圓山大飯店之放流水。將烏松溼地為做為天然溼地之對照組，與港尾系統之BOD₅濃度相符合

NH₄-N可表示污染程度，若水中含有肥料或是廢污水，易於水體造成優養化現象，使得藻類繁殖過盛，造成另一種環境污染問題。六個採樣站間的NH₄-N具明顯差異（表 4-37），排除安順系統及烏松溼地，其中二行系統之NH₄-N為最高（13.04mg/L），其次為嘉藥溼地系統（4.12mg/L）及蚵寮系統（3.85mg/L）。若溼地中死亡的植物體尚未移除，氮、磷會從死亡植物體再度釋出，NH₄-N的值會再提高。

過多的 SS 會影響水體外觀及水中生物，若 SS 為有機物則會產生好氧現象，若 SS 為無機物顆粒會產生沈澱現象。在 SSF 溼地系統因石頭中孔隙可截留 SS，並於 SSF 系統中沈澱，當水進流到 FWS 溼地系統中，SS 會減少，SS 的高低與溼地的年齡及水生植物覆蓋度有關。在六個採樣站間具顯著差異（表 4-37），排除安順系統及烏松溼地，SS 以蚵寮溼地系統（45.29mg/L）最高，次高為港尾系統（44.43mg/L）及二行系統（18.78mg/L）。

利用各水質參數計算出河川污染指標，在六個採樣站間具顯著差異（表 4-37），二行系統的河川污染指標明顯較其他 5 個採樣站高，若由河川污染指標的標準判斷水質，各採樣站水質的優劣依序為安順系統、烏松系統、港尾系統、嘉藥系統、蚵寮系統及二行系統。我們將分析各採樣站的水質與水棲昆蟲發生的相關性，探討訂定人工溼地系統生物指標的可行性。

表 4-37 六個採樣站中各種水質參數測定結果。表中各參數的表示法為 Mean±S.D.

水質參數	採樣站					
	嘉藥系統	港尾系統	蚵寮系統	二行系統	安順系統	烏松溼地
Temperature	25.64±3.37 ^a	26.13±3.55 ^a	27.30±3.29 ^{ab}	26.58±3.42 ^a	29.06±0.58 ^{ab}	31.50±0.60 ^b
pH	7.54±0.37 ^a	7.99±0.15 ^b	8.16±0.16 ^b	7.4±0.20 ^a	8.59±0.19 ^c	7.34±0.85 ^a
Electrical Conductivity	447.32±84.49 ^a	891.90±203.24 ^{ab}	2489.99±780.30 ^c	1632.49±846.33 ^{bc}	691.8±81.80 ^{ab}	270±7.33 ^a
Dissolved Oxygen	2.24±1.14 ^a	3.41±1.68 ^{ab}	5.11±1.41 ^{bc}	1.83±1.27 ^a	10.45±3.49 ^d	5.82±0.64 ^c
Biochemical Oxygen Demand	4.29±1.67 ^a	8.19±3.38 ^a	8.91±4.28 ^{ab}	22.07±11.74 ^b	9.06±5.40 ^{ab}	5.74±0.79 ^a
Ammonia Nitrogen	4.12±3.37 ^{ab}	1.5±1.96 ^a	3.85±3.34 ^{ab}	13.04±9.61 ^b	0.1±0.03 ^a	0.75±0.10 ^a
Suspended Solid	8.35±6.69 ^a	44.43±34.49 ^b	45.29±18.76 ^b	18.78±8.26 ^{ab}	0.5±8.50 ^a	15.33±7.78 ^{ab}
River pollution index	4.67±1.22 ^{bc}	4.50±1.31 ^{bc}	4.98±0.84 ^{cd}	6.54±1.18 ^d	1.88±0.38 ^a	3.17±0.11 ^{ab}

4-2-2 水棲昆蟲調查結果

4-2-2-1 嘉藥校園人工溼地

自 2006 年 3 月至 2008 年 5 月進行為期兩年的採樣，採樣共分為兩個階段，採樣初期以雙週進行為期一年的採樣，採樣後期以月為單位，進行為期一年的採樣，共進行 40 次採樣。調查FWS溼地系統近流端（代號為嘉藥 1）、中間點（代號為嘉藥 2）及出流端（代號為嘉藥 3）之水棲昆蟲相。共發現 6 目 15 科 15 種。分別為雙翅目 5 科 1 屬、蜻蛉目 2 科、半翅目 5 科、鞘翅目 1 科、蜉蝣目 1 科及鱗翅目 1 科。單位採樣面積的各目水棲昆蟲之數量分別為雙翅目 1878 隻/m²、蜻蛉目 1711 隻/m²、半翅目 455 隻/m²、鞘翅目 167 隻/m²、蜉蝣目 767 隻/m²及鱗翅目 66 隻/m²。

採樣期間於嘉藥 1（圖 4-8）發現雙翅目（搖蚊科、蚊科家蚊屬、大蚊科、食蚜蠅科、水虻科）、蜻蛉目（均翅亞目細蟪科、不均翅亞目弓蜓科）、半翅目（水黽科、田鼈科、水椿科、仰泳椿科）、鞘翅目（龍蝨科、牙蟲科）、蜉蝣目（四節蜉蝣科）及鱗翅目（螟蛾科），共 6 目 15 科 15 種。

採樣期間於嘉藥 2（圖 4-9）發現雙翅目（搖蚊科、蚊科家蚊屬）、蜻蛉目（均翅亞目細蟪科）、半翅目（水黽科、田鼈科、仰泳椿科）、鞘翅目（龍蝨科、牙蟲科）及蜉蝣目（四節蜉蝣科），共 5 目 9 科 9 種。

採樣期間於嘉藥 3（圖 4-10）發現雙翅目（搖蚊科、大蚊科）、蜻蛉目（均翅亞目細蟪科、不均翅亞目弓蜓科）、半翅目（寬黽科、水椿科、仰泳椿科）、鞘翅目（龍蝨科）、蜉蝣目（四節蜉蝣科）及鱗翅目（螟蛾科），共 6 目 10 種。

表 4-38 紀錄嘉藥系統各採樣點 40 次採樣過程中所採集到各目昆蟲種類的數量及所有水棲昆蟲種類的總數，計算各目昆蟲種類所佔比例，以雙翅目昆蟲及半翅目昆蟲的種類數較多。

表 4-39 紀錄嘉藥系統各採樣點 40 次採樣過程中所採集到各科水棲昆蟲個體的數量，以雙翅目搖蚊科採集數量為最多，其次為蜻蛉目均翅亞目細蟪科，再其次為蜉蝣目四節蜉蝣科。

表 4-38 嘉藥系統水棲昆蟲物種數及比例 (採樣時間自 2006 年 3 月至 2008 年 5 月)

採 樣 點	雙翅目		蜻蛉目		半翅目		鞘翅目		蜉蝣目		鱗翅目		種類 總數
	種 類 數	比例 (%)	種 類 數	比例 (%)	種 類 數	比例 (%)	種 類 數	比例 (%)	種 類 數	比例 (%)	種 類 數	比例 (%)	
嘉藥 1	5	33.33	2	13.33	4	26.67	2	13.33	1	6.67	1	6.67	15
嘉藥 2	2	22.22	1	11.11	3	33.33	2	22.22	1	11.11	0	0	9
嘉藥 3	2	20	2	20	3	30	1	10	1	10	1	10	10
平均	3	25.18	1.6	14.81	3.3	30	1.6	15.18	1	6.26	<1	5.56	11.33
範圍	2-5	20-33.33	1-2	11.11-20	3-4	26.67-33.33	1-2	10-22.22	0-1	6.67-11.11	0-1	0-10	9-15

表4-39 嘉藥系統各採樣點單位採樣面積水棲昆蟲採樣之總個體數（採樣時間自2006年3月至2008年5月，單位：隻/m²）

	嘉藥 1	嘉藥 2	嘉藥 3	總個體數
雙翅目搖蚊科	911	200	667	1778
雙翅目蚊科家蚊屬	33	11	0	44
雙翅目大蚊科	11	0	11	22
雙翅目食蚜蠅科	11	0	0	11
雙翅目水虻科	11	0	11	22
雙翅目總數	978	211	689	1878
蜻蛉目均翅亞目細蟴科	778	200	689	1667
蜻蛉目不均翅亞目弓蜓科	22	0	22	44
蜻蛉目總數	800	200	711	1711
半翅目水黽科	11	11	0	22
半翅目寬黽科	0	0	11	11
半翅目田鼈科	167	33	0	200
半翅目水椿科	22	0	11	33
半翅目仰泳椿科	33	67	89	189
半翅目總數	233	111	111	455
鞘翅目龍蝨科	33	67	67	167
蜉蝣目四節蜉蝣科	467	167	133	767
鱗翅目螟蛾科	44	0	22	66

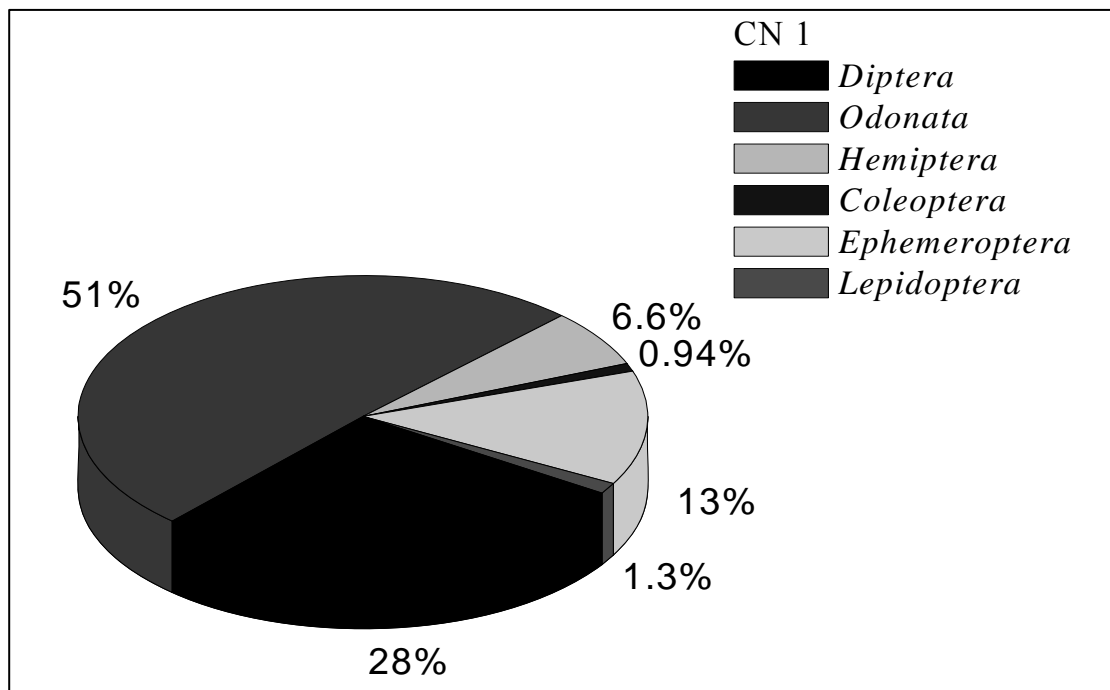


圖4-8 採樣點嘉藥1各目水棲昆蟲個體數百分比

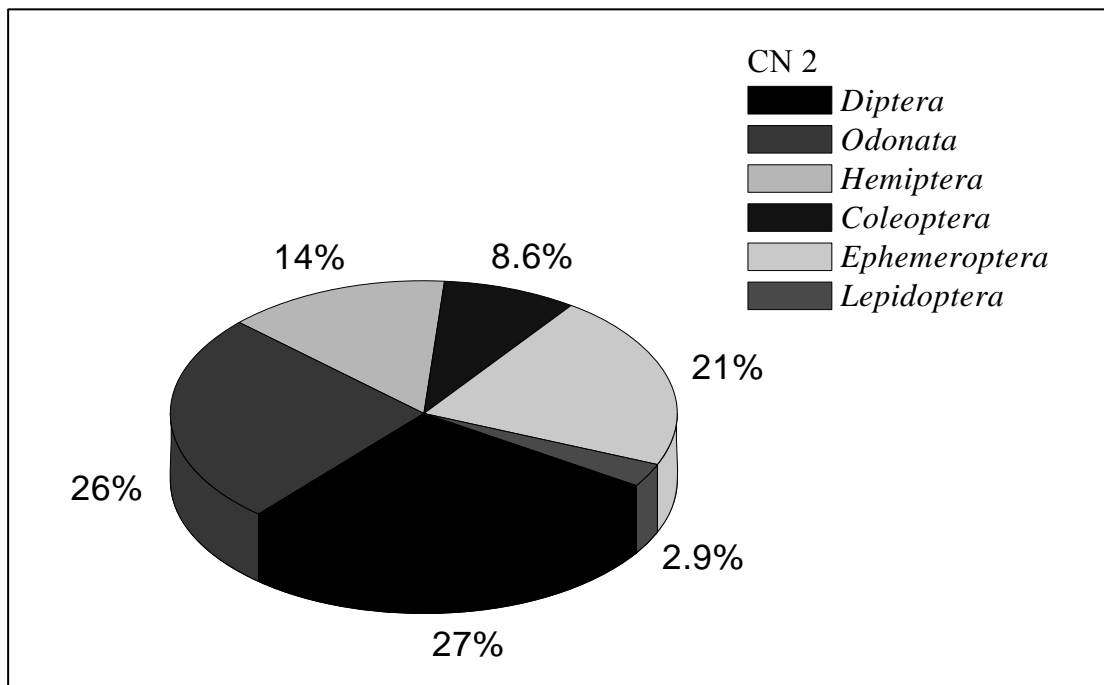


圖4-9 採樣點嘉藥2各目水棲昆蟲個體數百分比

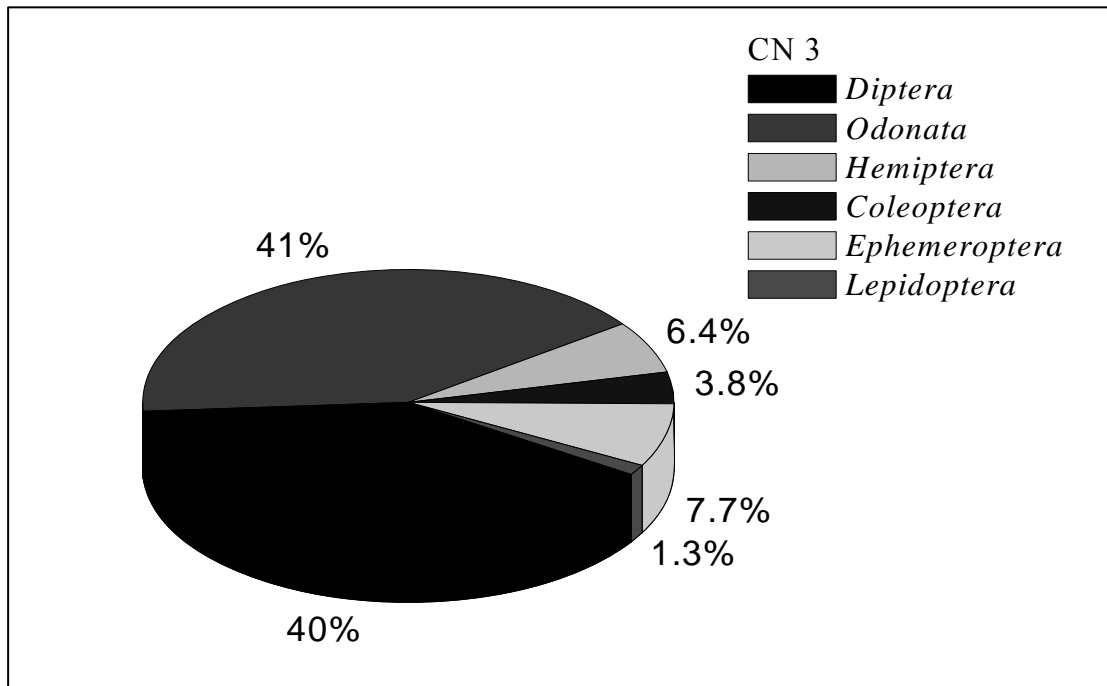


圖4-10 採樣點嘉藥3各目水棲昆蟲個體數百分比

4-2-2-2 港尾社區自然淨水系統

港尾社區自然淨水系統自 2006 年 12 月至 2007 年 10 月採樣，以月單位為週期，共採集 11 次，調查密植區 (I) (代號為港尾 1)、開放水域區 (I) (代號為港尾 2)、開放水域區 (II) (代號為港尾 3)、密植區 (II) (代號為港尾 4) 以及生態池 (代號為港尾 5) 之水棲昆蟲相。共發現 7 目 18 科 19 種。各目的組成分別為雙翅目 6 科、蜻蛉目 2 科、半翅目 6 科、鞘翅目 1 科、蜉蝣目 1 科、鱗翅目 1 科及彈尾目。單位採樣面積的水棲昆蟲各目數量分別為雙翅目 4244 隻/m²、蜻蛉目 1644 隻/m²、半翅目 6833 隻/m²、鞘翅目 133 隻/m²、蜉蝣目 2078 隻/m²、鱗翅目 44 隻/m²及彈尾目 22 隻/m²。

採樣期間於港尾 1 (圖 4-11) 發現雙翅目 (搖蚊科、蚊科家蚊屬及瘧蚊屬、大蚊科)、蜻蛉目 (均翅亞目細蟴科)、半翅目 (寬眼科、田鼈科、仰泳椿科、仰泳椿科 II)、鞘翅目 (龍蝨科)、蜉蝣目 (四節蜉蝣科) 及彈尾目，共 6 目 12 種。

採樣期間於港尾 2 (圖 4-12) 發現雙翅目 (搖蚊科、蚊科家蚊屬及瘧蚊屬、蛾蚋科)、蜻蛉目 (均翅亞目細蟴科)、半翅目 (寬眼科、田鼈科、水椿科、仰泳椿科、仰泳椿科 II)、鞘翅目 (龍蝨科)、蜉蝣目 (四節蜉蝣科)、鱗翅目 (螟蛾科) 及彈尾目，共 7 目 14 種。

採樣期間港尾 3 (圖 4-13) 發現雙翅目 (蚊科家蚊屬、蚊科瘧蚊屬)、蜻蛉目 (均翅亞目細蟴科、不均翅亞目弓蜓科)、半翅目 (水眼科、寬眼科、田鼈科、水椿科、仰泳椿科、仰泳椿科 II)、鞘翅目 (龍蝨科) 及蜉蝣目 (四節蜉蝣科)，共 5 目 12 種。

採樣期間於港尾 4 (圖 4-14) 發現雙翅目 (搖蚊科、蚊科家蚊屬及瘧蚊屬、水虻科)、蜻蛉目 (均翅亞目細蟴科)、半翅目 (寬眼科、田鼈科、仰泳椿科)、鞘翅目 (龍蝨科)、蜉蝣目 (四節蜉蝣科) 及鱗翅目 (螟蛾科)，共 6 目 11 種。

採樣期間於港尾 5 (圖 4-15) 發現蜻蛉目 (均翅亞目細蟴科)、半翅目 (寬眼科、水椿科、仰泳椿科、仰泳椿科 II)、蜉蝣目 (四節蜉蝣科) 及鱗翅目 (螟

蛾科)，共 4 目 7 種。

表 4-40 紀錄港尾系統各採樣點 11 次採樣過程中所採集到各目昆蟲種類的數量及所有水棲昆蟲種類的總數，計算各目昆蟲種類所佔比例，其中以雙翅目昆蟲及半翅目昆蟲的種類數較多。

表 4-41 紀錄港尾系統各採樣點 11 次採樣過程中所採集到各科水棲昆蟲個體的數量，以雙翅目蚊科家蚊屬採集個體的數量最高，其次為半翅目仰泳椿科。

表 4-40 港尾系統統水棲昆蟲物種數及比例（採樣時間自 2006 年 12 月至 2007 年 10 月）

採 樣 點	雙翅目		蜻蛉目		半翅目		鞘翅目		蜉蝣目		彈尾目		鱗翅目		種類 總數
	種 類 數	比例(%)	種 類 數	比例(%)	種 類 數	比例(%)	種 類 數	比例 (%)	種 類 數	比例(%)	種 類 數	比例 (%)	種 類 數	比例(%)	
港尾 1	4	33.33	1	8.33	4	33.33	1	8.33	1	8.33	1	8.33	0	0	12
港尾 2	4	28.57	1	7.14	5	35.71	1	7.14	1	7.14	1	7.14	1	7.14	14
港尾 3	2	16.67	2	16.67	6	50	1	8.33	1	8.33	0	0	0	0	12
港尾 4	4	36.36	1	9.09	3	27.27	1	9.09	1	9.09	0	0	1	9.09	11
港尾 5	0	0	1	14.28	4	57.14	0	0	1	14.28	0	0	1	14.28	7
平均	2.8	34.27	1.2	11.102	4.4	40.69	<1	6.58	1	9.43	<1	3.09	<1	6.01	11.2
範圍	0-4	0-36.36	1-2	7.14-16.67	3-6	27.27-57.14	0-1	0-9.09	1	7.14-14.28	0-1	0-8.33	0-1	0-14.28	7-14

表4-41 港尾系統各採樣點單位採樣面積水棲昆蟲採樣之總個體數(採樣時間自2006年12月至2007年10月,單位:隻/m²)

	港尾 1	港尾 2	港尾 3	港尾 4	港尾 5	總個體數
雙翅目搖蚊科	500	44	0	178	0	722
雙翅目蚊科家蚊屬	1589	256	122	1189	0	3156
雙翅目蚊科瘧蚊屬	167	33	22	89	0	311
雙翅目大蚊科	33	0	0	0	0	33
雙翅目蛾蚋科	0	11	0	0	0	11
雙翅目水虻科	0	0	0	11	0	11
雙翅目總數	2289	344	144	1467	0	4244
蜻蛉目均翅亞目細蟴科	656	111	467	222	100	1556
蜻蛉目不均翅亞目弓蜓科	0	0	89	0	0	89
蜻蛉目總數	656	111	444	222	100	1644
半翅目水黽科	0	0	11	0	0	11
半翅目寬黽科	156	156	211	44	67	633

表4-41 (續) 港尾系統各採樣點單位採樣面積水棲昆蟲採樣之總個體數(採樣時間自2006年12月至2007年10月,單位:
隻/m²)

	港尾 1	港尾 2	港尾 3	港尾 4	港尾 5	總個體數
半翅目田蠶科	56	78	89	33	0	256
半翅目水椿科	0	2322	367	0	44	2733
半翅目仰泳椿科	389	1244	22	11	1267	2933
半翅目仰泳椿科 II	11	111	89	0	56	711
半翅目總數	611	3911	789	89	1433	6833
鞘翅目龍蝨科	33	44	22	33	0	133
蜉蝣目四節蜉蝣科	122	456	1456	22	22	2078
鱗翅目螟蛾科	0	22	0	11	11	44
彈尾目	11	11	0	0	0	22

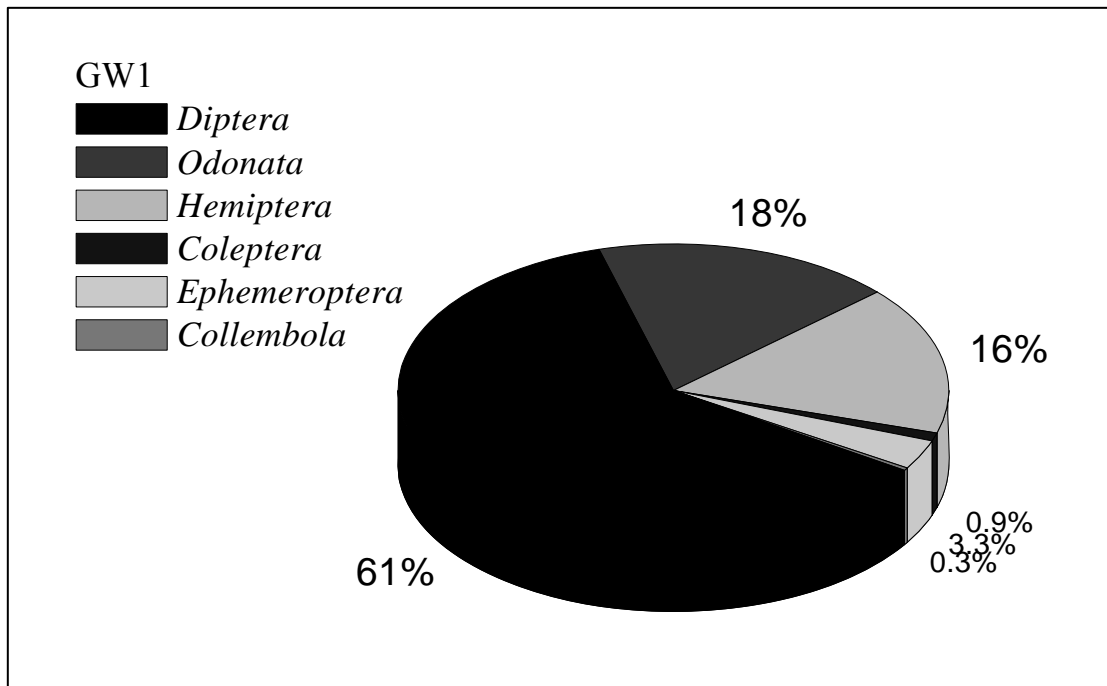


圖4-11 採樣港尾1各目水棲昆蟲個體數百分比

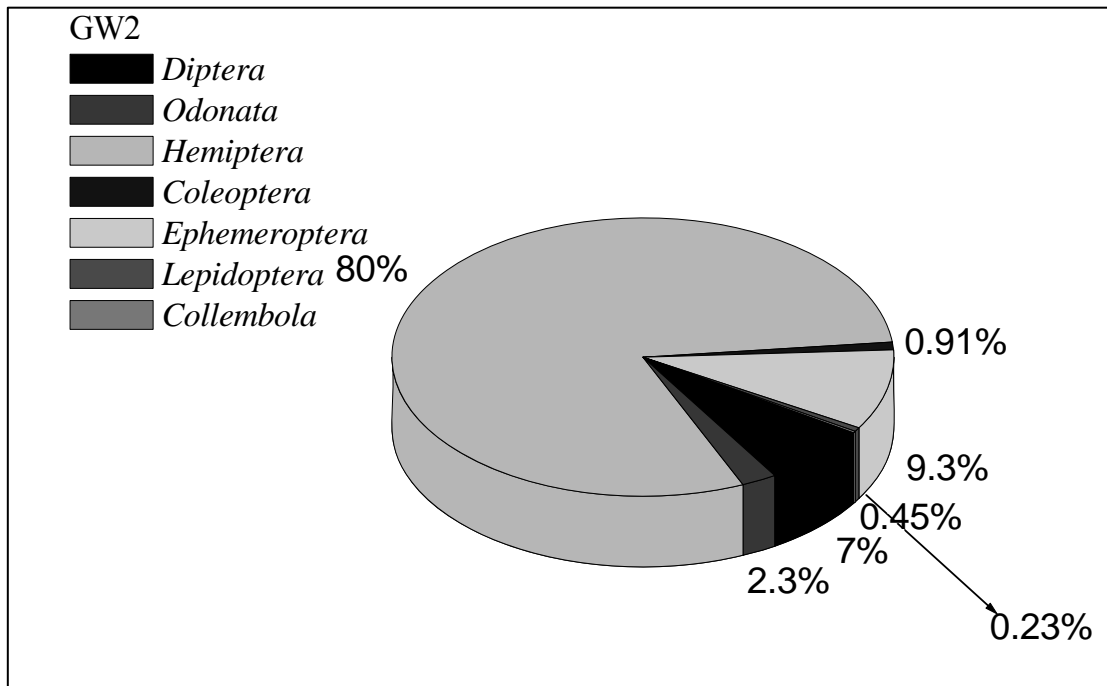


圖4-12 採樣點港尾2各目水棲昆蟲個體數百分比

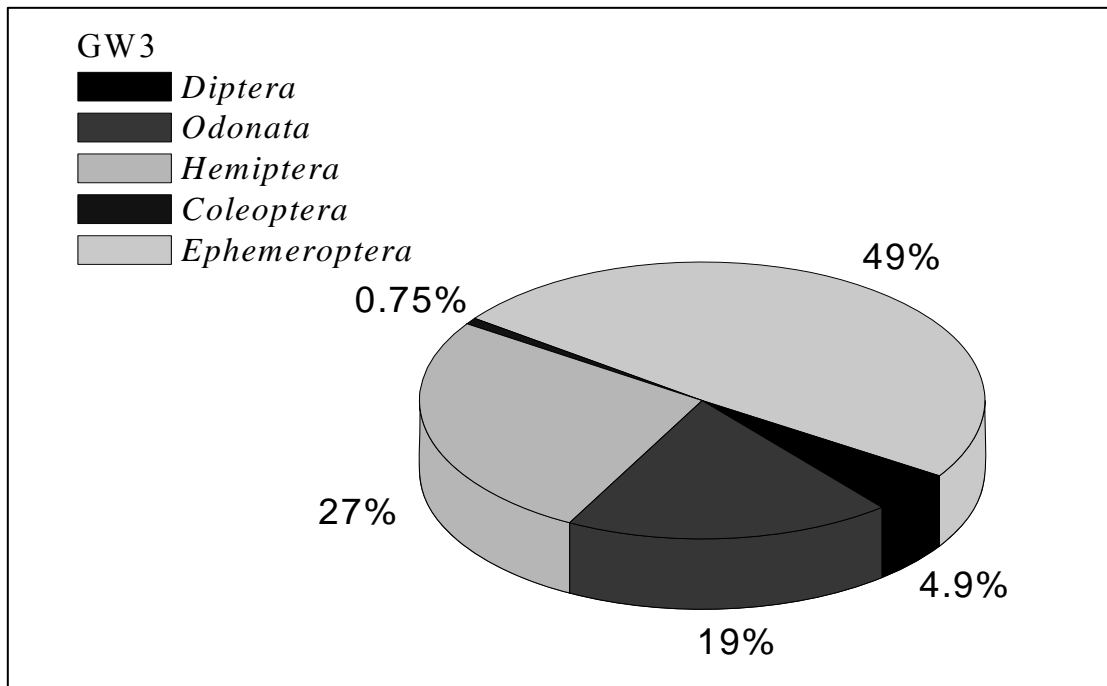


圖4-13 採樣點港尾3各目水棲昆蟲個體數百分比

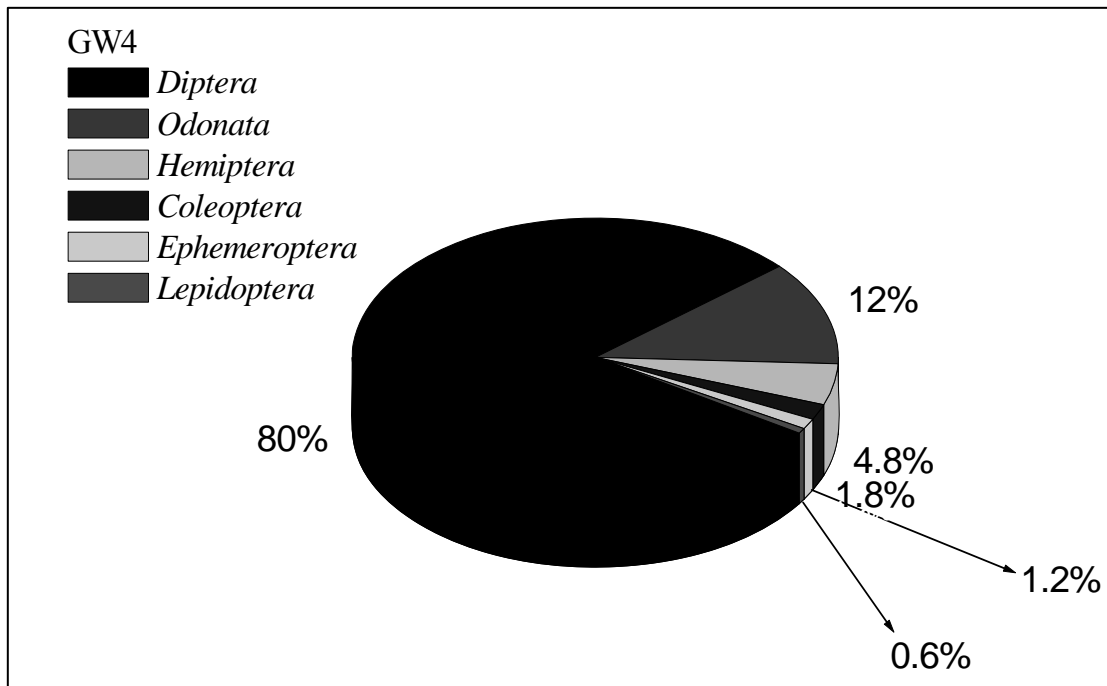


圖4-14 採樣點港尾4各目水棲昆蟲個體數百分比

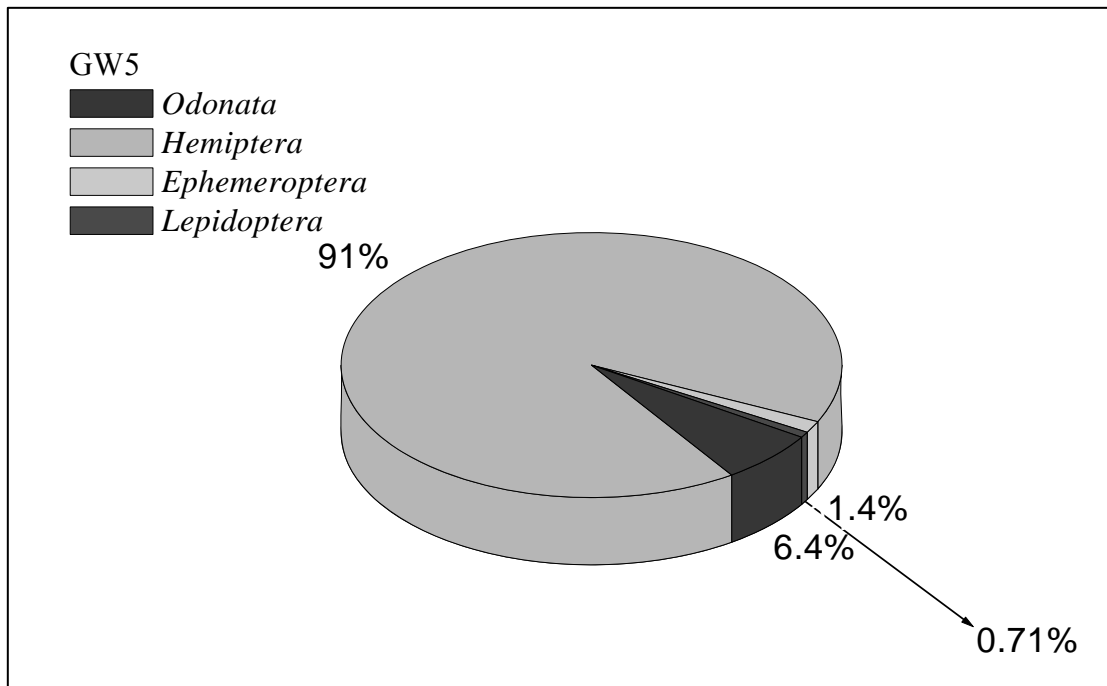


圖4-15 採樣點港尾5各目水棲昆蟲個體數百分比

4-2-2-3 蚵寮國中人工溼地系統

蚵寮國中人工溼地系統自 2007 年 10 月至 2008 年 2 月進行採樣，以月單位為週期，共採樣 5 次，調查密植採樣區（代號為蚵寮 1）及生態池（代號為蚵寮 2、蚵寮 3）之水棲昆蟲相。共發現 6 目 8 科 8 種。各目的組成分別為雙翅目 2 科 1 屬、蜻蛉目 2 科、鞘翅目 1 科、蜉蝣目 1 科、鱗翅目 1 科及彈尾目。單位採樣面積的水棲昆蟲各目之數量分別為雙翅目 89 隻/m²、蜻蛉目 278 隻/m²、鞘翅目 22 隻/m²、蜉蝣目 33 隻/m²、鱗翅目 44 隻/m²及彈尾目 11 隻/m²。

採樣期間於蚵寮 1（圖 4-16）發現雙翅目（蚊科家蚊屬、大蚊科）、蜻蛉目（均翅亞目細蟴科）、蜉蝣目（四節蜉蝣科）及鱗翅目（螟蛾科），共 4 目 5 科 5 種。

採樣期間於蚵寮 2（圖 4-17）發現雙翅目（蚊科家蚊屬、大蚊科、蛾蚋科）、蜻蛉目（均翅亞目細蟴科、不均翅亞目弓蜓科）、鞘翅目（龍蝨科）及蜉蝣目（四節蜉蝣科），共 4 目 7 科 7 種。

採樣期間於蚵寮 3（圖 4-18）發現蜻蛉目（均翅亞目細蟴科），共 1 目 1 科 1 種。

表 4-42 紀錄蚵寮系統各採樣點 5 次採樣過程中採集到各目昆蟲種類的數量及所有水棲昆蟲種類的總數，計算各目昆蟲種類所佔比例，其中以雙翅目昆蟲及蜻蛉目昆蟲的種類數較高。。

表 4-43 紀錄蚵寮系統各採樣點 5 次採樣過程中所採集到各科水棲昆蟲個體的數量，以蜻蛉目均翅亞目細蟴科採集的數量最多，其次為雙翅目蚊科家蚊屬。

表 4-42 蚵寮國中人工溼地系統水棲昆蟲物種數及比例（採樣時間自 2007 年 10 月至 2008 年 2 月）

採樣點	雙翅目		蜻蛉目		鞘翅目		蜉蝣目		彈尾目		鱗翅目		種類 總數
	種類 數	比例 (%)	種類 數	比例 (%)	種類 數	比例 (%)	種類 數	比例 (%)	種類 數	比例 (%)	種類 數	比例 (%)	
蚵寮 1	2	40	1	20	0	0	1	20	0	0	1	20	5
蚵寮 2	2	28.57	2	28.57	1	14.29	1	14.29	0	0	1	14.29	7
蚵寮 3	0	0	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	1
平均	1.3	22.86	1.3	49.52	<1	4.76	<1	11.43	0	0	<1	11.43	4.3
範圍	0-2	0-40	1-2	20-100	0-1	0-14.29	0-1	0-20	0	0	0-1	0-20	1-7

表 4-43 蚵寮國中人工溼地系統各採樣點單位採樣面積的水棲昆蟲採樣之總個體數（採樣時間自 2007 年 10 月至 2008 年 2 月，單位：隻/m²）

	蚵寮 1	蚵寮 2	蚵寮 3	總個體數
雙翅目蚊科家蚊屬	22	44	0	67
雙翅目大蚊科	11	11	0	22
雙翅目總數	33	56	0	89
蜻蛉目均翅亞目細蟪科	11	111	144	267
蜻蛉目不均翅亞目弓蜓科	0	11	0	11
蜻蛉目總數	11	122	144	278
鞘翅目龍蝨科	0	22	0	22
蜉蝣目四節蜉蝣科	22	11	0	33
鱗翅目螟蛾科	44	0	0	44
彈尾目	0	11	0	11

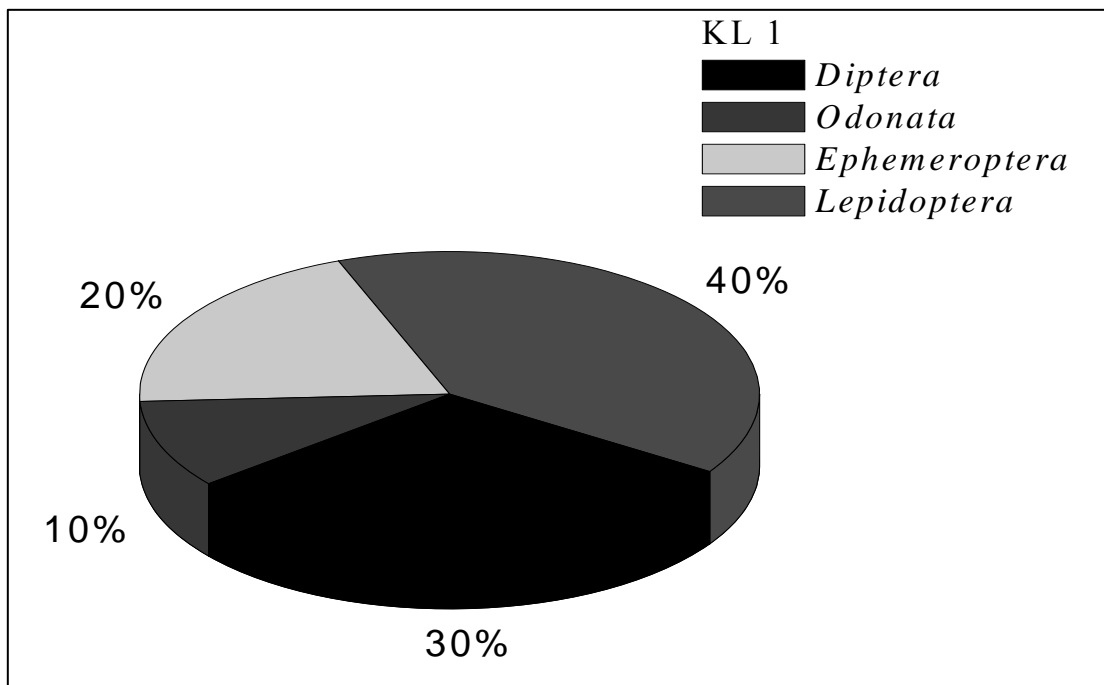


圖4-16 採樣蚵寮1各目水棲昆蟲個體數百分比

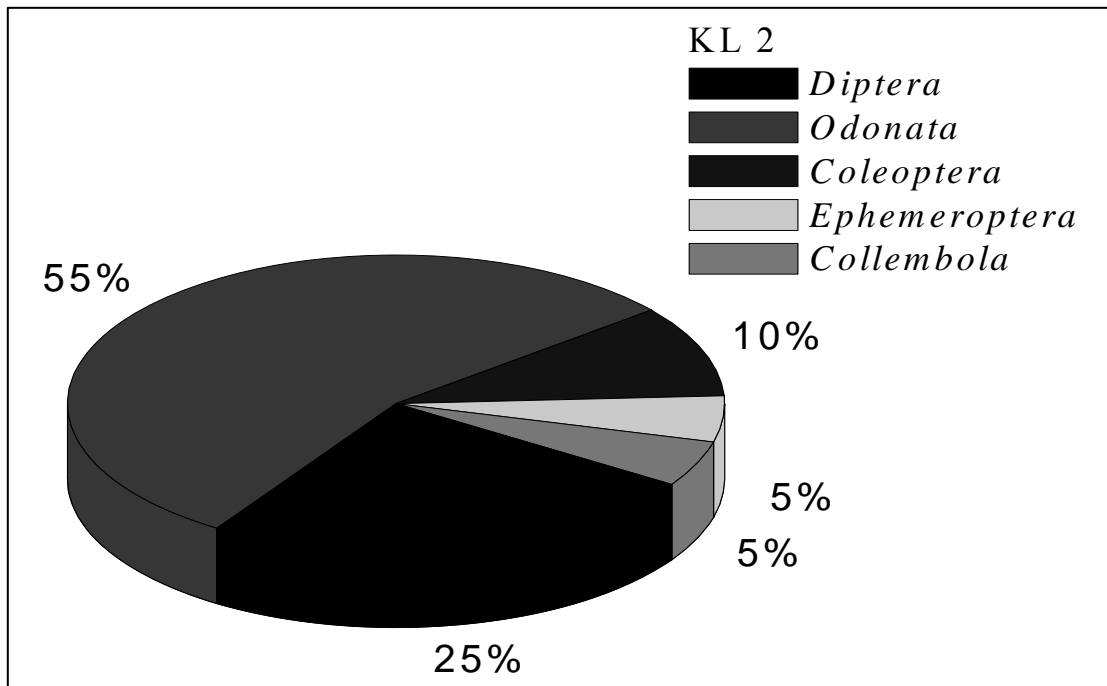


圖4-17 採樣點蚵寮2各目水棲昆蟲個體數百分比

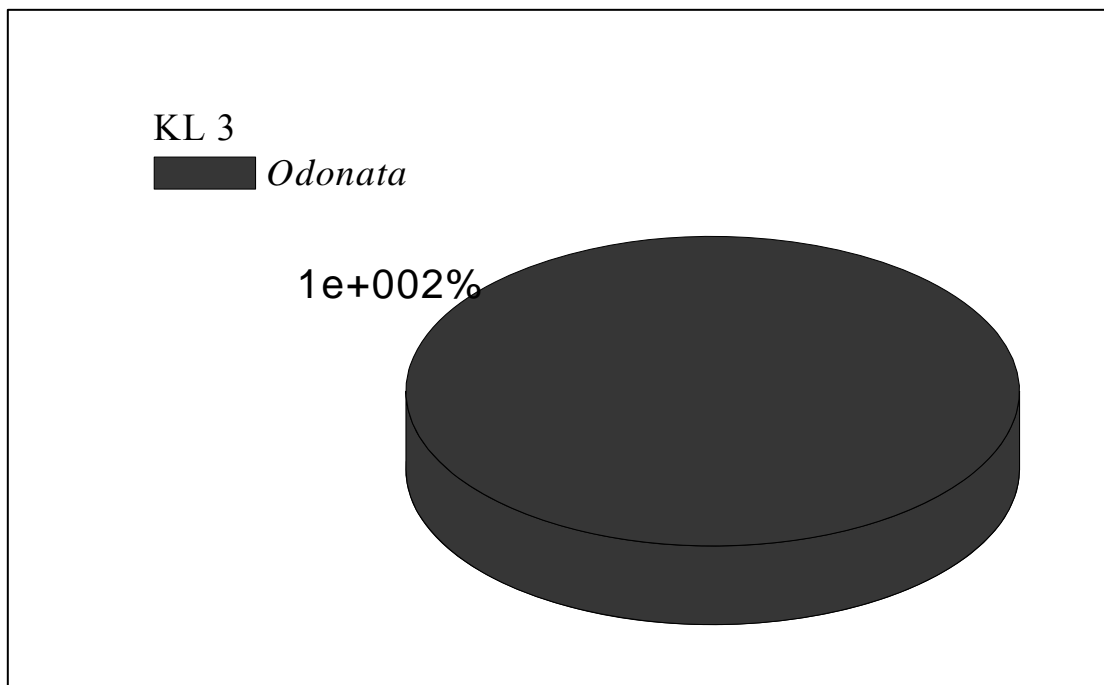


圖4-18 採樣點蚵寮3各目水棲昆蟲個體數百分比

4-2-2-4 二行社區人工溼地

自 2004 年 8 月至 2005 年 8 月，進行為期一年的採樣，調查氧化塘（代號為二行 1、二行 2、二行 3）、FWS 溼地系統（代號為二行 4、二行 5、二行 6）、景觀生態池（代號為二行 7）及抽水池（代號為二行 8）之水棲昆蟲相。共發現 6 目 15 科 17 種，各目的組成分別為雙翅目 3 科 4 種、蜻蛉目 2 科、半翅目 6 科、鞘翅目 2 科、蜉蝣目 1 科及毛翅目 1 科。

採樣期間於二行 1 發現雙翅目（搖蚊科、蚊科家蚊屬、食蚜蠅科）、蜻蛉目（均翅亞目細蟪科、不均翅亞目弓蜓科）、半翅目（水黽科、田鼈科、水椿科、仰泳椿科、仰泳椿科 II）、鞘翅目（龍蝨科）、蜉蝣目（四節蜉蝣科）及毛翅目幼蟲，共 6 目 13 種。

採樣期間於二行 2 發現雙翅目（搖蚊科、蚊科家蚊屬、蚊科瘧蚊屬、食蚜蠅科）、蜻蛉目（均翅亞目細蟪科）、半翅目（水椿科、仰泳椿科、仰泳椿科 II）、鞘翅目（龍蝨科）、蜉蝣目（四節蜉蝣科）及毛翅目幼蟲，共 6 目 11 種。

採樣期間於二行 3 發現雙翅目（搖蚊科、蚊科家蚊屬、蚊科瘧蚊屬、食蚜蠅科）、蜻蛉目（均翅亞目細蟪科）、半翅目（水椿科、仰泳椿科、仰泳椿科 II）、鞘翅目（龍蝨科）、蜉蝣目（四節蜉蝣科）及毛翅目幼蟲，共 6 目 11 種。

採樣期間於二行 4 發現雙翅目（搖蚊科、蚊科家蚊屬、蚊科瘧蚊屬、食蚜蠅科）、蜻蛉目（均翅亞目細蟪科）、半翅目（水黽科、寬黽科、田鼈科、仰泳椿科 II、蜎椿科）、鞘翅目（龍蝨科）、蜉蝣目（四節蜉蝣科）及毛翅目幼蟲，共 6 目 13 種。

採樣期間於二行 5 發現雙翅目（搖蚊科、蚊科家蚊屬、食蚜蠅科）、蜻蛉目（均翅亞目細蟪科、不均翅亞目弓蜓科）、半翅目（水黽科、水椿科、仰泳椿科 II）、鞘翅目（龍蝨科）、蜉蝣目（四節蜉蝣科）及毛翅目幼蟲，共 6 目 11 種。

採樣期間於二行 6 發現雙翅目（搖蚊科、蚊科家蚊屬、蚊科瘧蚊屬、食蚜蠅科）、蜻蛉目（均翅亞目細蟪科、不均翅亞目弓蜓科）、半翅目（水黽科、田

鼈科、水椿科、仰泳椿科、仰泳椿科Ⅱ、蝎椿科)、鞘翅目(龍蝨科)及蜉蝣目(四節蜉蝣科)，共 5 目 14 種。

採樣期間於二行 7 發現雙翅目(搖蚊科、蚊科家蚊屬、食蚜蠅科)、蜻蛉目(均翅亞目細蟴科)、半翅目(田鼈科、水椿科、仰泳椿科Ⅱ、蝎椿科)、鞘翅目(龍蝨科)、蜉蝣目(四節蜉蝣科) 及毛翅目幼蟲，共 6 目 11 科 1 屬。

採樣期間於二行 8 發現雙翅目(搖蚊科、蚊科家蚊屬)、蜻蛉目(均翅亞目細蟴科)、半翅目(水黽科、水椿科、仰泳椿科Ⅱ)、鞘翅目(龍蝨科)、蜉蝣目(四節蜉蝣科)，共 5 目 8 種。

在二行系統僅進行初步調查，並未計算水棲昆蟲的數量，紀錄各採樣點 23 次採樣中所採集到各目昆蟲的種類數及所有水棲昆蟲的種類數，計算各目昆蟲種類數佔採樣點種類總數的比例(表 4-44)，及各水棲昆蟲種類在 23 次採樣中被採集到的頻率。各採樣點各目水棲昆蟲種類數百分比，以半翅目昆蟲種類所佔百分比為最多，其次是雙翅目。二行社區採集到之雙翅目有蚊科家蚊屬及瘧蚊屬、搖蚊科和食蚜蠅科。在 23 次採樣過程中可以發現除了半翅目仰泳椿科(I)、半翅目蝎椿科、半翅目田鼈科、雙翅目蚊科瘧蚊屬、雙翅目食蚜蠅科、蜻蛉目不均翅亞目弓蜓科及毛翅目幼蟲未於每採樣點出現，其他各種於每次採樣過程中出現。

二行社區所採集到的雙翅目昆蟲易產生人工溼地與公共衛生問題的困擾，此部份將於第 4-4 章節進行討論。

表4-44 二行社區人工溼地系統個採樣點各目昆蟲種類數及所佔比例

採 樣 點	雙翅目		蜻蛉目		半翅目		鞘翅目		蜉蝣目		毛翅目		種類 總數
	種 類 數	比例 (%)	種 類 數	比例 (%)	種 類 數	比例 (%)	種 類 數	比例 (%)	種 類 數	比例 (%)	種 類 數	比例 (%)	
二行 1	3	23.08	1	7.69	6	46.15	1	7.69	1	7.69	1	7.69	13
二行 2	4	36.36	1	9.09	3	27.27	1	9.09	1	9.09	1	9.09	11
二行 3	4	36.36	1	9.09	3	27.27	1	9.09	1	9.09	1	9.09	11
二行 4	4	30.77	1	7.69	5	38.46	1	7.69	1	7.69	1	7.69	13
二行 5	3	27.27	2	18.18	3	27.27	1	9.09	1	9.09	1	9.09	11
二行 6	4	28.57	2	14.29	6	42.86	1	7.14	1	7.14	0	0	14
二行 7	3	27.27	1	9.09	4	36.36	1	9.09	1	9.09	1	9.09	11
二行 8	2	25	1	12.5	3	37.5	1	12.5	1	12.5	0	0	8
平均	3.88	29.34	1.25	10.95	4.13	35.39	1	8.92	1	8.92	<1	6.47	11.5
範圍	2-4	23.08-36.36	1-2	7.69-18.18	3-6	27.27-46.15	1	7.14-9.09	1	7.14-9.09	0-1	0-9.09	8-14

4-2-2-5 安順排水淨化系統

安順排水淨化系統於 2007 年 10 月進行水棲昆蟲採樣，此採樣點僅進行一次性調查做為對照比較。調查FWS溼地系統進流端（代號為安順 1）及出流端（代號為安順 2）之水棲昆蟲相。共發現 5 目 9 科 9 種。各目的組成分別為雙翅目 1 科、蜻蛉目 2 科、半翅目 3 科、蜉蝣目 1 科及彈尾目 1 科。單位採樣面積各目昆蟲個體的數量為雙翅目 11 隻/m²、蜻蛉目 122 隻/m²、半翅目 267 隻/m²、蜉蝣目 33 隻/m²及彈尾目 111 隻/m²。

採樣期間於安順 1（圖 4-19）發現半翅目（田鼈科）及蜉蝣目（四節蜉蝣科），共 2 目 2 科 2 種。

採樣期間於安順 2（圖 4-20）發現雙翅目（搖蚊科）、蜻蛉目（均翅亞目細蟴科、不均翅亞目弓蜓科）、半翅目（田鼈科、仰泳椿科、仰泳椿科 II）、蜉蝣目（四節蜉蝣科）及彈尾目，共 5 目 8 科 8 種。

表 4-45 紀錄安順系統各採樣點所採集到各目昆蟲種類的數量及所有水棲昆蟲種類的總數，計算各目昆蟲種類所佔比例，其中以半翅目昆蟲的種類數最多。

表 4-46 紀錄安順系統各採樣點所採集到單位採樣面積各科水棲昆蟲個體的數量，其中最多的是半翅目仰泳椿科，其次為蜻蛉目均翅亞目細蟴科。

表 4-45 安順排水淨化系統水棲昆蟲物種數及比例（採樣時間 2007 年 10 月）

採樣點	雙翅目		蜻蛉目		半翅目		蜉蝣目		彈尾目		種類 總數
	種類 數	比例 (%)	種類 數	比例 (%)	種類 數	比例 (%)	種類 數	比例(%)	種類 數	比例 (%)	
安順 1	0	0	0	0	1	50	1	50	0	0	2
安順 2	1	12.5	2	25	3	37.5	1	12.5	1	12.5	8
平均	<1	6.25	1	12.5	2	43.75	1	31.25	<1	6.25	5
範圍	0-1	0-12.5	0-2	0-25	1-3	37.5-50	1	12.5-50	0-1	0-12.5	

表 4-46 安順排水系統各採樣點單位採樣面積的水棲昆蟲採樣之總個體數（採樣時間 2007 年 10 月，單位：隻/m²）

	安順 1	安順 2	總個體數
雙翅目搖蚊科	0	11	11
蜻蛉目均翅亞目細蟴科	0	100	100
蜻蛉目不均翅亞目弓蜓科	0	11	11
蜻蛉目總數	0	122	122
半翅目田鱉科	11	56	67
半翅目仰泳椿科	0	33	33
半翅目仰泳椿科 II	0	167	167
半翅目總數	11	256	267
蜉蝣目四節蜉蝣科	11	22	33
彈尾目	0	111	111

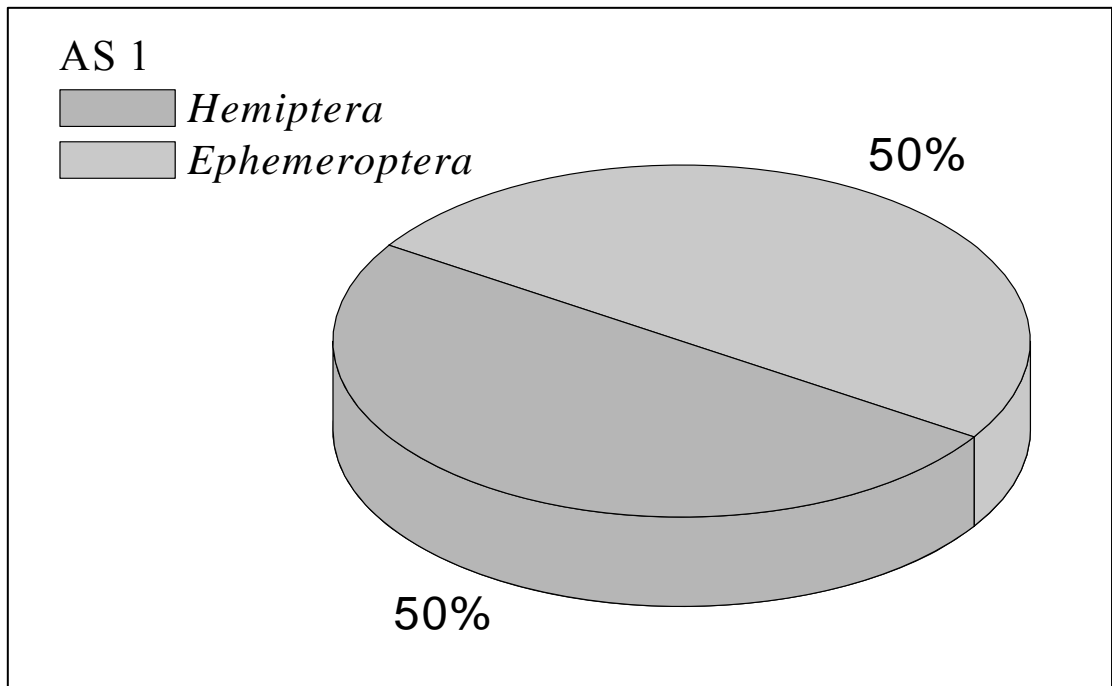


圖4-19 採樣點安順1各目水棲昆蟲個體數百分比

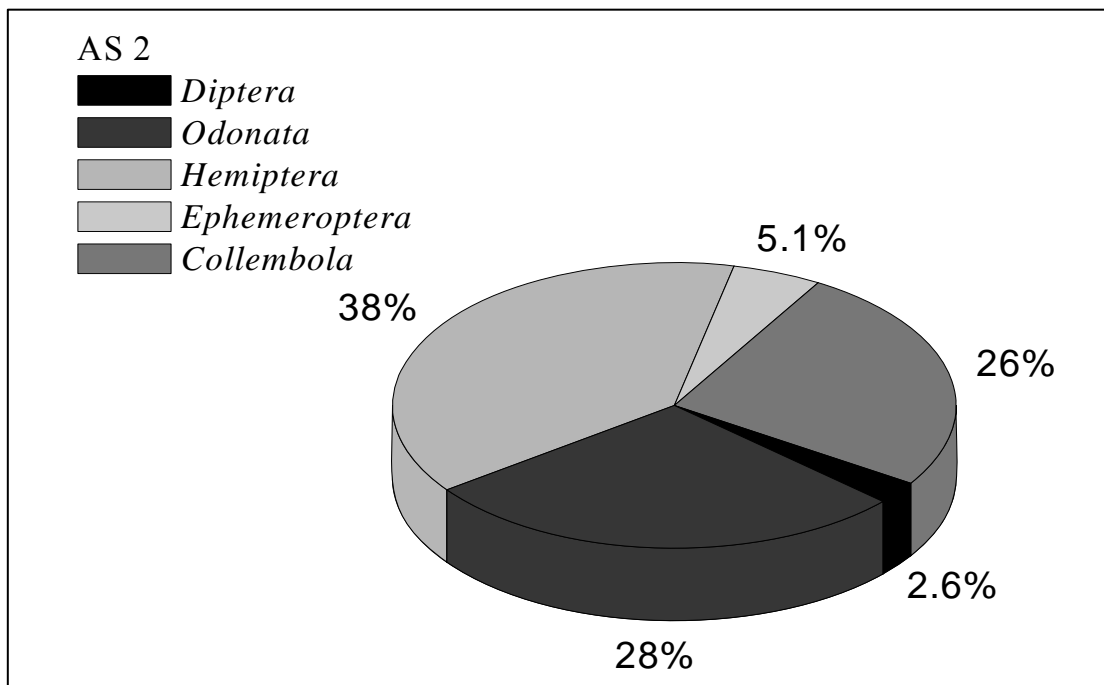


圖4-20 採樣點安順2各目水棲昆蟲個體數百分比

4-2-2-6 烏松溼地公園

烏松溼地公園於 2008 年 6 月進行水棲昆蟲採樣，此採樣點僅進行一次調查以做為對照比較。調查沉沙池（代號為烏松 1）、溼地觀察池（代號為烏松 2）及大池（代號為烏松 3）之水棲昆蟲相。共發現 5 目 5 科 5 種。各目的昆蟲種類分別為雙翅目 1 科、蜻蛉目 1 科、半翅目 1 科、鞘翅目 1 科及蜉蝣目 1 科。單位採樣面積各目的數量為雙翅目 22 隻/m²、蜻蛉目 56 隻/m²、半翅目 11 隻/m²、鞘翅目 11 隻/m²及蜉蝣目 11 隻/m²。

於採樣點烏松 1 採樣點尚未發現水棲昆蟲。

於採樣點烏松 2（圖 4-21）發現雙翅目（搖蚊科）、鞘翅目（龍蝨科）及蜉蝣目（四節蜉蝣科），共 3 目 3 科 3 種。

於採樣點烏松 3（圖 4-22）發現蜻蛉目（均翅亞目細蟴科）及半翅目（水椿科），共 2 目 2 科。

表 4-47 紀錄烏松溼地公園各採樣點所採集到各目昆蟲種類的數量及水棲昆蟲種類的總數，計算各目昆蟲種類所佔比例，各目昆蟲的種類數無差異。

表 4-48 中紀錄烏松溼地公園各採樣點單位採樣面積所採集到各科水棲昆蟲個體的數量，最多的是蜻蛉目均翅亞目細蟴科，其次為雙翅目搖蚊科。

表 4-47 烏松溼地公園水棲昆蟲物種數量及比例（採樣時間 2008 年 6 月）

採樣點	雙翅目		蜻蛉目		半翅目		鞘翅目		蜉蝣目		種類 總數
	種類 數	比例(%)	種類 數	比例 (%)	種類 數	比例 (%)	種類 數	比例(%)	種類 數	比例(%)	
烏松 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
烏松 2	1	33.33	0	0	0	0	1	33.33	1	33.33	3
烏松 3	0	0	1	50	1	50	0	0	0	0	2
平均	<1	11.11	<1	16.67	<1	16.67	<1	11.11	<1	11.11	1.67
範圍	0-1	0-33.33	0-1	0-50	0-1	0-50	0-1	0-33.33	0-1	0-33.33	0-3

表 4-48 烏松溼地公園各採樣點單位採樣面積的水棲昆蟲採樣之總個體數（採樣時間 2008 年 6 月單位：隻/m²）

	烏松 1	烏松 2	烏松 3	總個體數
雙翅目搖蚊科	0	22	0	22
蜻蛉目均翅亞目細蟴科	0	0	56	56
半翅目水椿科	0	0	11	11
鞘翅目龍蝨科	0	11	0	11
蜉蝣目四節蜉蝣科	0	11	0	11

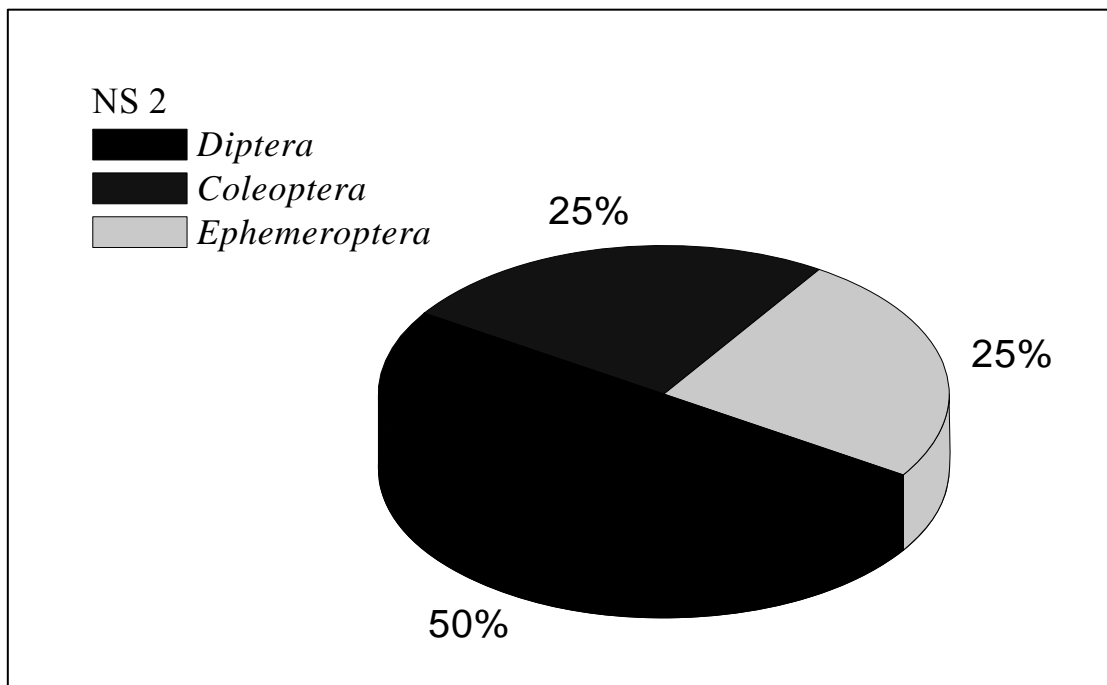


圖4-21 採樣點鳥松2各目水棲昆蟲個體數百分比

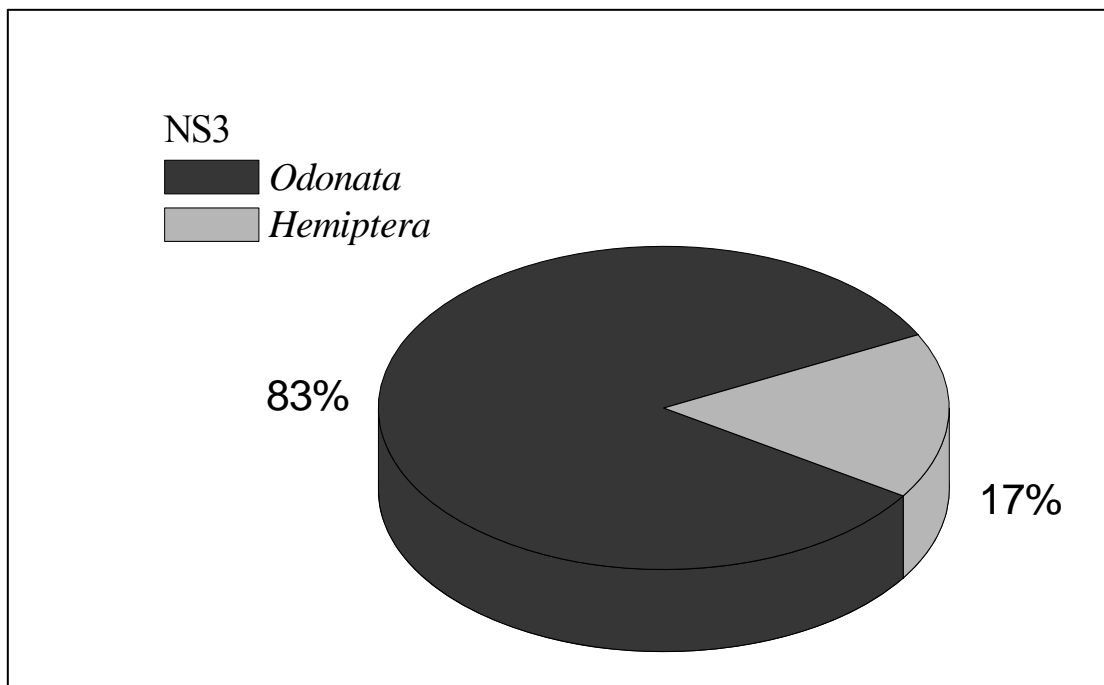


圖4-22 採樣點鳥松3各目水棲昆蟲個體數百分比

4-2-2-7 各採樣站之生物指標參數整理

將各採樣站之水棲昆蟲採集資料，套用各生物指標的公式，計算各種生物指標及其他生物多樣性指標。由於二行系統的採樣並未計算水棲昆蟲的數量，因此未進行與其他系統的比較。表 4-49 列出嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統、安順系統及烏松系統之總生物個體數平均值、科級生物指標、分類群豐度指標、Shannon-Weaver diversity index、Simpson's diversity index 及 Evenness index 之值，並利用 SPSS 之單因子變異數分析及 Tukey 檢定分析比較 5 個採樣站的差異性。

總生物個體數的平均值以港尾系統最高（276.5 隻/m²）、其次為安順系統（266.5 隻/m²）。

科級生物指標在河川水質監測方面應用甚多，科級指標的值越高表示水質環境越惡劣。有些半翅目的水棲昆蟲具備呼吸管，能直接在水面進行呼吸（如紅娘華：蠍椿科），有些種類則不定時浮到水面進行呼吸換氣（如仰泳椿科），對環境適應力較佳，因此缺乏半翅目水棲昆蟲之忍受值，因此未將半翅目列入計算。各採樣站間之科級指標具顯著差異（表 4-49），以安順系統之科級生物指標之值最小（FBI=2.39），安順系統 RPI 值為 1.88，在水質評斷標準被歸類為極佳（Excellent）。其次為港尾社區自然淨水系統（FBI=4.5），港尾社區系統 RPI 值為 2.69，在水質評斷標準被歸類為好（Good）。若按照科級指標的數值由小到大排序，依序為安順系統、港尾系統、烏松系統、嘉藥系統及蚵寮系統，此順序與各採樣站 RPI 值的水質優劣排序相同（表 4-37）。

分類群豐度指標表示各採樣站物種的數量，在分類群豐度指標的三種計算方式中，各採樣站間之 Menchinick index 不具顯著差異，而各採樣站間之 Margalef index 及 Gleason index 具顯著差異（表 4-49）。各採樣站之 Margalef index 值之高低順序依序為安順系統、港尾系統、烏松系統、嘉藥系統及蚵寮系統。各採樣站之 Menchinick index 值之高低順序依序為烏松系統、安順系統、嘉藥系統、港尾系統及蚵寮系統。各採樣站之 Gleason index 值之高低順序依序

為安順系統、港尾系統、烏松系統、嘉藥系統及蚵寮系統。

Shannon-Weaver diversity index 用以表示採樣站中物種總數與各物種的分布情形，數值一般介於 1.5~3.5 之間，數值越大表示此生態系中物種愈豐富也愈趨近於穩定。而各採樣站間之 Shannon-Weaver diversity index 具顯著差異(表 4-49)。各採樣站之 Shannon-Weaver diversity index 值之高低順序依序為安順系統、港尾系統、烏松系統、嘉藥系統及蚵寮系統。

Simpson's diversity index 用以表示此環境中有無優勢物種出現，Simpson's diversity index 的數值介於 0~1 之間，數值越大則顯示有明顯優勢種出現。表中所列之採樣站中 Simpson's diversity index 之值蚵寮系統值最大，安順最小。而各採樣站間之 Simpson's diversity index 具顯著差異(表 4-49)。各採樣站之 Simpson's diversity index 值之高低順序依序為蚵寮系統、嘉藥系統、港尾系統、烏松系統及安順系統。此結果與 Shannon-Weaver diversity index 的順序呈現相反的現象。

Evenness index 表示採樣站中全部物種個體數目之分配情形，Evenness index 介於 0~1 之間，當數值越接近 1，表示環境中個物種之個體數越平均，優勢種越不明顯。而各採樣站間之 Evenness index 具顯著差異(表 4-49)。各採樣站之 Evenness index 值之高低順序依序為蚵寮系統、安順系統、嘉藥系統、烏松系統及港尾系統。

各採樣站間的生物指標具顯著差異，將以這些生物指標與水質參數進行相關分析，探討以生物指標評估人工溼地水質的可行性。

表 4-49 各採樣站之生物指標參數。表中各項參數表示法為 Mean±S.D.。

	採樣站				
	嘉藥系統	港尾系統	蚵寮系統	安順系統	鳥松系統
No. of individuals	42.0±85.3 ^a	276.5±349.6 ^a	31.7±31.1 ^a	266.5±345.8 ^a	37.0±34.0 ^a
Family-level biotic index	5.53±1.91 ^{ab}	4.5±2.53 ^{ab}	7.15±1.64 ^b	2.39±0.39 ^a	6.38±1.13 ^b
Margalef index	0.78±0.49 ^{ab}	1.1±0.46 ^{ab}	0.42±0.51 ^a	1.64±0.19 ^b	1±0.44 ^{ab}
Menchinick index	0.98±0.26 ^a	0.96±0.31 ^a	0.85±0.28 ^a	1.3±0.12 ^a	1.16±0.34 ^a
Gleason index	0.29±0.13 ^{ab}	0.62±0.26 ^{bc}	0.24±0.12 ^a	0.74±0.44 ^c	0.37±0.07 ^{ab}
Shannon-Weaver diversity index	0.47±0.40 ^a	0.85±0.40 ^{ab}	0.29±0.41 ^a	1.22±0.52 ^b	0.75±0.29 ^{ab}
Simpson's diversity index	0.72±0.24 ^{ab}	0.56±0.20 ^{ab}	0.81±0.25 ^b	0.36±0.14 ^a	0.55±0.17 ^{ab}
Evenness index	0.85±0.14 ^a	0.66±0.16 ^a	0.92±0.03 ^a	0.92±0.08 ^a	0.8±0.15 ^a

4-2-3 水質與生物指標之關係

將各採樣站之水質參數與水棲昆蟲參數以 Pearson 相關分析其相關性。水質參數包括溫度、酸鹼值、導電度、溶氧、生化需氧量、氨氮、懸浮固體及河川污染指標；水棲昆蟲參數包括總個體數、科級生物指標 (Family-level biotic index)、分類群豐度 (Richness index)、Shannon-Weaver diversity index、Simpson's diversity index 及 Evenness index。

表 4-50 是嘉藥系統水質參數與水棲昆蟲之相關性，總個體數與溫度 ($r^2 = 0.086$, $P < 0.01$)、溶氧 ($r^2 = 0.052$, $P < 0.05$)、氨氮 ($r^2 = 0.095$, $P < 0.01$) 及 RPI ($r^2 = 0.047$, $P < 0.05$) 有顯著相關。科級生物指標 (Family-level biotic index) 僅與生化需氧量 ($r^2 = 0.064$, $P < 0.05$) 有顯著相關。分類群豐度中之 Gleason index 與溫度 ($r^2 = 0.012$, $P < 0.01$) 有顯著相關，而 Margalef index 及 Menchinick index 與水質參數並無顯著相關。Shannon-Weaver diversity index 僅與溫度 ($r^2 = 0.112$, $P < 0.01$) 有顯著相關。Simpson's diversity index 僅與溫度 ($r^2 = 0.118$, $P < 0.01$) 顯著相關。Pielou's evenness index 與溶氧 ($r^2 = 0.103$, $P < 0.05$) 及氨氮 ($r^2 = 0.126$, $P < 0.05$) 有顯著相關。

表 4-51 是港尾系統水質參數與水棲昆蟲之相關性，總個體數僅與溶氧 ($r^2 = 0.098$, $P < 0.05$) 呈現顯著關係。科級生物指標 (Family-level biotic index) 僅與導電度 ($r^2 = 0.106$, $P < 0.05$) 有顯著相關。分類群豐度中之 Margalef index 及 Gleason index 皆與溫度 ($r^2 = 0.168$, $P < 0.01$; $r^2 = 0.341$, $P < 0.01$) 有顯著相關，而 Menchinick index 與水質參數並無顯著相關。Shannon-Weaver diversity index 與溫度 ($r^2 = 0.227$, $P < 0.01$) 及溶氧 ($r^2 = 0.115$, $P < 0.05$) 有顯著相關。Simpson's diversity index 僅與溫度 ($r^2 = 0.153$, $P < 0.01$) 有顯著相關。Pielou's evenness index 與各項水質參數並無顯著相關。

表 4-52 是蚵寮系統水質參數與水棲昆蟲之相關性，總個體數與溫度 ($r^2 = 0.404$, $P < 0.05$) 及酸鹼 ($r^2 = 0.345$, $P < 0.05$) 值呈現顯著關係。科級生物指標 (Family-level biotic index) 與各項水質參數無明顯相關。分類群豐度中之

Menchinick index與導電度 ($r^2=0.340$, $P<0.05$) 及生化需氧量 ($r^2=0.404$, $P<0.05$) 有顯著相關, Gleason index與導電度 ($r^2=0.412$, $P<0.05$) 及懸浮固體 ($r^2=0.444$, $P<0.01$) 有顯著相關, 而Margalef index與水質參數並無顯著相關。Shannon-Weaver diversity index及Simpson's diversity index皆與各項水質參數無顯著相關。Pielou's evenness index因樣本數過少, 因此與各項水質參數所呈現之相關性皆同。

比較二行系統以外的 5 個人工溼地系統採樣站之河川污染指標、科級生物指標及 Shannon-Weaver diversity index (表 4-53)。河川污染指標之值代表水質污染程度, 值越高表示污染程度越高, 排除安順系統及烏松溼地, 由水質優劣順序排列, 依序為港尾系統、嘉藥系統、蚵寮系統, 港尾系統水質污染程度評估為最好, 蚵寮系統則較差。

科級生物指標之值代表採樣站中水質狀況, 值越小表示水質環境良好, 排除安順系統及烏松溼地, 依水質環境優劣順序排列, 依序為港尾系統、嘉藥系統、蚵寮系統, 港尾系統水質評估為最好, 最差為蚵寮系統。

Shannon-Weaver diversity index 代表採樣站中物種多樣性, 值越高表示此採樣中物種豐富程度, 排除安順系統及烏松溼地, 按照 Shannon-Weaver diversity index 值的高低順序排列, 依序為港尾系統、嘉藥系統、蚵寮系統, 港尾系統於此水質環境中物種較為豐富, 蚵寮系統則較貧乏。

將此三種指標相較之下, 河川污染指標可代表水質污染程度, 科級生物指標可代表生物指標中之單一指標, Shannon-Weaver diversity index 可代表生物多樣性指標, 此三種評斷水質的結果一致。因此, 應可參考現行利用生物指標評估溪流水質的方法, 建立以生物指標評估人工溼地水質的模式, 可使用科級生物指標或 Shannon-Weaver diversity index 評估水質, 輔助化學分析方法進行水質分析的檢測。

表 4-50 嘉藥系統水質參數與水棲昆蟲之相關性分析

	水質參數							
	Temperature	pH	Electrical Conductivity	Dissolved Oxygen	Biochemical Oxygen Demand	NH ₄ -N	Suspended Solid	River Pollution index
No. of individuals	-0.294** n=118	-0.142 n=118	0.03 n=118	-0.228* n=118	-0.065 n=118	0.308** n=113	-0.076 n=118	0.216* n=118
Family-level biotic index	-0.178 n=74	-0.093 n=74	0.12 n=74	-0.13 n=74	0.254* n=74	0.062 n=71	0.009 n=74	0.203 n=74
Margalef index	-0.11 n=55	0.164 n=55	0.059 n=55	0.032 n=55	0.187 n=55	0.007 n=53	-0.2 n=55	-0.055 n=55
Menchinick index	-0.03 n=74	0.219 n=74	0.056 n=74	0.1 n=74	0.156 n=74	-0.082 n=71	-0.15 n=74	-0.119 n=74
Gleason index	-0.316** n=74	0.041 n=74	0.091 n=74	-0.194 n=74	0.029 n=74	0.182 n=71	-0.2 n=74	0.095 n=74
Shannon-Weaver diversity index	-0.334** n=72	0.13 72	0.154 n=72	-0.111 n=72	0.024 n=72	0.135 n=69	-0.211 n=72	0.024 n=72
Simpson's diversity index	0.343** n=72	-0.06 72	-0.174 n=72	0.063 n=72	-0.047 n=72	-0.153 n=69	0.199 n=72	-0.032 n=72
Pielou's Evenness index	0.23 n=40	0.238 40	0.1 n=40	0.320* n=40	0.089 n=40	-0.354* n=38	-0.162 n=40	-0.296 n=40

**在顯著水準為 0.01 時，相關顯著。

*在顯著水準為 0.05 時，相關顯著。

表 4-51 港尾系統水質參數與水棲昆蟲之相關性分析

	水質參數							
	Temperature	pH	Electrical Conductivity	Dissolved Oxygen	Biochemical Oxygen Demand	NH ₄ -N	Suspended Solid	River Pollution index
No. of individuals	-0.307* n=54	-0.146 n=54	0.085 n=54	0.313* n=54	0.194 n=54	0.121 n=53	0.005 n=49	-0.044 n=54
Family-level biotic index	0.126 n=45	0.005 n=45	-0.326* n=45	-0.138 n=45	0.032 n=45	0.166 n=44	0.054 n=40	0.069 n=45
Margalef index	-0.410** n=43	-0.132 n=43	0.029 n=43	0.193 n=43	0.059 n=43	0.186 n=43	-0.083 n=39	0.067 n=43
Menchinick index	-0.111 n=45	-0.061 n=45	0.02 n=45	-0.086 n=45	-0.061 n=45	0.036 n=44	-0.11 n=40	0.045 n=45
Gleason index	-0.584** n=45	-0.063 n=45	0.069 n=45	0.444** n=45	0.195 n=45	0.29 n=44	-0.016 n=40	0.028 n=45
Shannon-Weaver diversity index	-0.477** n=45	-0.027 n=45	0.029 n=45	0.340* n=45	0.163 n=45	0.282 n=44	-0.085 n=40	0.061 n=45
Simpson's diversity index	0.391** n=45	0.023 n=45	0.003 n=45	-0.251 n=45	-0.118 n=45	-0.233 n=44	0.107 n=40	-0.04 n=45
Pielou's Evenness index	-0.028 n=40	-0.046 n=40	0.009 n=40	0.018 n=40	-0.081 n=40	0.049 n=39	-0.141 n=37	-0.003 n=40

**在顯著水準為 0.01 時，相關顯著。

*在顯著水準為 0.05 時，相關顯著。

表 4-52 蚵寮系統水質參數與水棲昆蟲之相關性分析

	水質參數							
	Temperature	pH	Electrical Conductivity	Dissolved Oxygen	Biochemical Oxygen Demand	NH ₄ -N	Suspended Solid	River Pollution index
No. of individuals	-0.636* n=14	0.558* n=14	-0.176 n=14	-0.15 n=14	-0.244 n=14	-0.07 n=14	-0.3 n=14	-0.116 n=14
Family-level biotic index	-0.257 n=9	0.547 n=9	-0.623 n=9	0.064 n=9	-0.487 n=9	-0.214 n=9	0.613 n=9	-0.454 n=9
Margalef index	-0.009 n=10	-0.477 n=10	0.547 n=10	-0.187 n=10	0.528 n=10	0.197 n=10	-0.583 n=10	0.336 n=10
Menchinick index	1.000** n=2	1.000** n=2	1.000** n=2	1.000** n=2	1.000** n=2	1.000** n=2	1.000** n=2	1.000** n=2
Gleason index	-0.01 n=9	0.451 n=9	-0.583 n=9	0.096 n=9	-0.635 n=9	-0.238 n=9	0.558 n=9	-0.411 n=9
Shannon-Weaver diversity index	0.213 n=10	0.136 n=10	-0.696* n=10	0.049 n=10	-0.695* n=10	-0.346 n=10	0.399 n=10	-0.453 n=10
Simpson's diversity index	-0.235 n=10	0.616 n=10	-0.642* n=10	0.067 n=10	-0.486 n=10	-0.218 n=10	0.666* n=10	-0.402 n=10
Pielou's Evenness index	-0.002 n=10	0.541 n=10	0.092 n=10	0.382 n=10	0.092 n=10	-0.341 n=10	0.619 n=10	0.047 n=10

**在顯著水準為 0.01 時，相關顯著。

*在顯著水準為 0.05 時，相關顯著。

表 4-53 嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統、安順系統及烏松溼地之河川污染指標、科級生物指標及 Shannon-Weaver diversity index 比較表

	採樣站				
	嘉藥系統	港尾系統	蚵寮系統	安順系統	烏松溼地
River pollution index	4.67±1.22 ^{bc}	4.50±1.31 ^{bc}	4.98±0.84 ^{cd}	6.54±1.18 ^d	1.88±0.38 ^a
Family-level biotic index	5.53±1.91 ^{ab}	4.5±2.53 ^{ab}	7.15±1.64 ^b	2.39±0.39 ^a	6.38±1.13 ^b
Shannon-Weaver diversity index	0.47±0.40 ^a	0.85±0.40 ^{ab}	0.29±0.41 ^a	1.22±0.52 ^b	0.75±0.29 ^{ab}

4-3 人工溼地水棲昆蟲生物指標建立

因嘉藥系統進行兩年的採集，且採樣數據穩定，因此利用嘉藥系統之水質參數來推斷生物指標適合之公式，並在其他系統利用此公式之運算，藉以評估理想值與實際值是否適用。另外，也針對嘉藥系統呈顯顯著相關性之生物指標法來進行水質參數推估，並在其他系統利用此公式之運算，藉以評估理想值與實際值是否適用。

4-3-1 利用水質參數推估生物指標

利用嘉藥系統兩年所採集之水質參數及生物指標推估理想方程式，以 SPSS 10.統計軟體之多元迴歸進行逐步迴歸分析法（篩選標準以 F 值選入的機率 ≤ 0.05 ，F 值刪除的機率 ≥ 0.1 ），將水質參數設定為自變數，生物指標設定為依變數進行迴歸分析。

逐步多元迴歸分析之方程式：

總個體數與水質參數經由逐步迴歸分析法篩選出溫度、酸鹼值及氨氮，其方程式為：

$$\text{總個體數} = 42.96 - 0.52 \text{ Temperature} - 3.59 \text{ pH} + 0.33 \text{ NH}_4\text{-N}$$

$$r^2 = 0.165$$

Family-level biotic index 經逐步多元迴歸分析後篩選出生化需氧量，其方程式為：

$$\text{Family-level biotic index} = 4.32 + 0.27 \text{ BOD}_5$$

$$r^2 = 0.073$$

分類群豐度中之 Margalef index 及 Menchinick index 無公式可使用，而 Gleason index 經由逐步迴歸後僅篩選出溫度，而其方程式為：

$$\text{Gleason index} = 0.63 - 0.01 \text{ Temperature}$$

$$r^2 = 0.100$$

Shannon-Weaver diversity index及Simpson's diversity index經逐步多元迴歸後篩選出溫度為公式。其方程式為：

$$\text{Shannon-Weaver diversity index} = 1.40 - 0.04 \text{ Temperature}$$

$$r^2 = 0.117$$

$$\text{Simpson's diversity index} = 0.16 + 0.02 \text{ Temperature}$$

$$r^2 = 0.125$$

Pielou's Evenness index經逐步多元迴歸後篩選出NH₄-N為公式，其方程式為：

$$\text{Pielou's Evenness index} = 0.91 - 0.01 \text{ NH}_4\text{-N}$$

$$r^2 = 0.126$$

平均絕對誤差(MAPE)被用以預測模式公式之評估預測能力，MAPE評估預測能力的計算式為：

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_t - X_i|}{X_i} \times 100$$

式中，X_t 代表推估值，X_i 代表實測值，n 為預測之數目，其預測能力可區分為：MAPE<10% 代表極佳，10%~20% 代表優良，20%~50% 代表可接受，>50% 代表不正確。

將上述 6 個多元迴歸的公式，利用水質參數推估生物指標，分別進行港尾系統、蚵寮系統、安順系統及鳥松溼地之推估值、實際值之運算，並計算平均絕對誤差率 (MAPE)。由表 4-54 中可看出運用水質參數所推估總個體數公式所計算出之結果經由 MPAE 所算出之絕對誤差值>50%以上，由此可知此計算式並不適用。利用水質參數推估科級生物指標公式所計算出之結果經由 MPAE 所算出之絕對誤差值>50%以上，由此可知此計算式並不適用。利用水質參數推估 Gleason index 公式所計算出之結果經由 MPAE 所算出之絕對誤差值介於 10~20%之間，由此可知此計算式為優良。利用水質參數推估夏農-威佛歧異度公式所計算出之結果經由 MPAE 所算出之絕對誤差值>50%以上，由此可知此

計算式並不適用。利用水質參數推估辛普森歧異度公式所計算出之結果經由MPAE所算出之絕對誤差值介於20~50%之間，由此可知此計算式為可接受。利用水質參數推估均勻度公式所計算出之結果經由MPAE所算出之絕對誤差值介於10~20%之間，由此可知此計算式為優良。

由此表可知，在水質評估的考量方面亦可使用Gleason index、Evenness index及Simpson's diversity index來替代水質分析檢測。河川污染指標在計算工程中仍需要四種水質參數才可計算，而在方程式推估中，Gleason index僅需要水質參數(溫度)即可進行計算。Evenness index僅需要水質參數(NH₄-N)即可進行計算。另外Simpson's diversity index僅需要水質參數(溫度)即可計算。運用此方程式計算可減少繁瑣的水質項目分析，可評估以一項參數判斷水質優劣的可行性。



表 4-54 生物指標之推估值、實際值和差異百分比

生物指標	採樣站								MAPE
	港尾系統		蚵寮系統		安順系統		鳥松溼地		
	推估值	實際值	推估值	實際值	推估值	實際值	推估值	實際值	
總個體數	1.23	25	0.74	3	0	24	0.46	3	88.77%
Family-level biotic index	6.53	4.5	6.73	7.15	6.77	2.39	5.87	6.38	53.63%
Gleason index	0.37	0.62	0.36	0.24	0.34	0.74	0.32	0.37	14.47%
Shannon-Weaver diversity index	0.35	0.85	0.31	0.29	0.24	1.22	0.14	0.75	53.40%
Simpson's diversity index	0.68	0.56	0.71	0.87	0.74	0.36	0.79	0.55	38.06%
Pielou's Evenness index	0.91	0.66	0.87	0.92	0.91	0.92	0.9	0.8	10.96%

4-3-2 水質指標生物的建立

由於嘉藥系統所採集之水棲昆蟲總個體數與河川污染指標呈顯著相關。因此計算各目的水棲昆蟲採樣數量，並與河川污染指標的四個水質參數DO、BOD₅、NH₄-N及SS進行SPSS 10 統計軟體之多元迴歸，將生物指標設定為自變數，水質參數設定為依變數，以強迫進入變數法進行迴歸分析。

強迫進入變數法之方程式：

將雙翅目水棲昆蟲總個體數與DO、BOD₅、NH₄-N及SS帶入後，以強迫進入變數法進行迴歸分析推估之方程式為：

$$\text{雙翅目} = 68.27 + 7.90 \text{ DO} - 5.58 \text{ BOD}_5 + 8.51 \text{ NH}_4\text{-N} - 1.59 \text{ SS}$$

$$r^2 = 0.170$$

將蜻蛉目水棲昆蟲總個體數與DO、BOD₅、NH₄-N及SS帶入後，以強迫進入變數法進行迴歸分析推估之方程式為：

$$\text{蜻蛉目} = 36.78 - 2.52 \text{ DO} - 2.79 \text{ BOD}_5 + 1.80 \text{ NH}_4\text{-N} + 1.56 \text{ SS}$$

$$r^2 = 0.111$$

將半翅目水棲昆蟲總個體數與DO、BOD₅、NH₄-N及SS帶入後，以強迫進入變數法進行迴歸分析推估之方程式為：

$$\text{半翅目} = 25.96 - 2.73 \text{ DO} - 0.91 \text{ BOD}_5 - 0.36 \text{ NH}_4\text{-N} - 0.04 \text{ SS}$$

$$r^2 = 0.112$$

將鞘翅目水棲昆蟲總個體數與DO、BOD₅、NH₄-N及SS帶入後，以強迫進入變數法進行迴歸分析推估之方程式為：

$$\text{鞘翅目} = 5.40 - 0.18 \text{ DO} + 1.52 \text{ BOD}_5 + 0.17 \text{ NH}_4\text{-N} + 0.05 \text{ SS}$$

$$r^2 = 0.418$$

將蜉蝣目水棲昆蟲總個體數與DO、BOD₅、NH₄-N及SS帶入後，以強迫進

入變數法進行迴歸分析推估之方程式為：

$$\text{蜉蝣目} = 64.65 - 8.47 \text{ DO} - 2.36 \text{ BOD}_5 - 0.31 \text{ NH}_4\text{-N} - 0.41 \text{ SS}$$

$$r^2 = 0.142$$

經上述公式推估雙翅目昆蟲發生數量與 RPI 之趨勢（圖 4-23），RPI 值越高，雙翅目昆蟲數量會減少。若依照科級生物指標評估判斷，當 RPI 越高，雙翅目昆蟲數量應越多。但在此計算式中，雙翅目有 6 科昆蟲列入計算，且水棲昆蟲忍受值範圍甚大，因此計算出之結果呈現減少的趨勢。

經上述公式推估蜻蛉目昆蟲發生數量與 RPI 之趨勢（圖 4-24），當 RPI 值越高，蜻蛉目昆蟲數量會增加。依照科級生物指標評估判斷，蜻蛉目細蟪科之水棲昆蟲忍受值為 9，弓蜓科之水棲昆蟲忍受值為 5，在水棲昆蟲採樣過程中，蜻蛉目所發現之物種大多為細蟪科，細蟪科是公式中之最大影響物種。忍受值越高表示越能忍受污染程度，由圖中可發現 RPI 值越大，蜻蛉目昆蟲數量也呈現增加之現象。

經上述公式推估半翅目昆蟲發生數量與 RPI 之趨勢（圖 4-25），當 RPI 值越高，半翅目昆蟲數量會先增加而後減少。由圖中可發現當 RPI 值介於 4~5 之間，半翅目昆蟲數量會達到一個高峰。

經上述公式推估鞘翅目昆蟲發生數量與 RPI 之趨勢（圖 4-26），當 RPI 值越高，鞘翅目昆蟲數量會增加。依照科級物指標評估判斷，鞘翅目龍蝨科之水棲昆蟲忍受值為 5，在水棲昆蟲採樣過程中，鞘翅目所發現之物種僅為龍蝨科，由圖中發現 RPI 數值越大，鞘翅目數量也呈現增加的情形。

經上述公式推估蜉蝣目昆蟲發生數量與 RPI 之趨勢（圖 4-27），當 RPI 值越高，蜉蝣目昆蟲數量會減少後增加再度減少。依照科級物指標評估判斷，蜉蝣目四節蜉蝣科之水棲昆蟲忍受值為 4，由圖中可發現，當 RPI 值大於 4 以上時，蜉蝣目水棲昆蟲數量會開始減少，當 RPI 值過高，蜉蝣目將無法忍受此污染環境水域。

上述公式僅以水棲昆蟲分類之目級進行各目水棲昆蟲數量出現情形與 RPI

之間相關性。由於目級所包含範圍甚廣，僅可當做初步預測之數量，若要得到更詳細各科水棲昆蟲數量與 RPI 之間相關性，需將採樣的樣品數增加，並將不同水棲昆除忍受值的各科昆蟲分別計算，當可獲得更明確之指標生物。

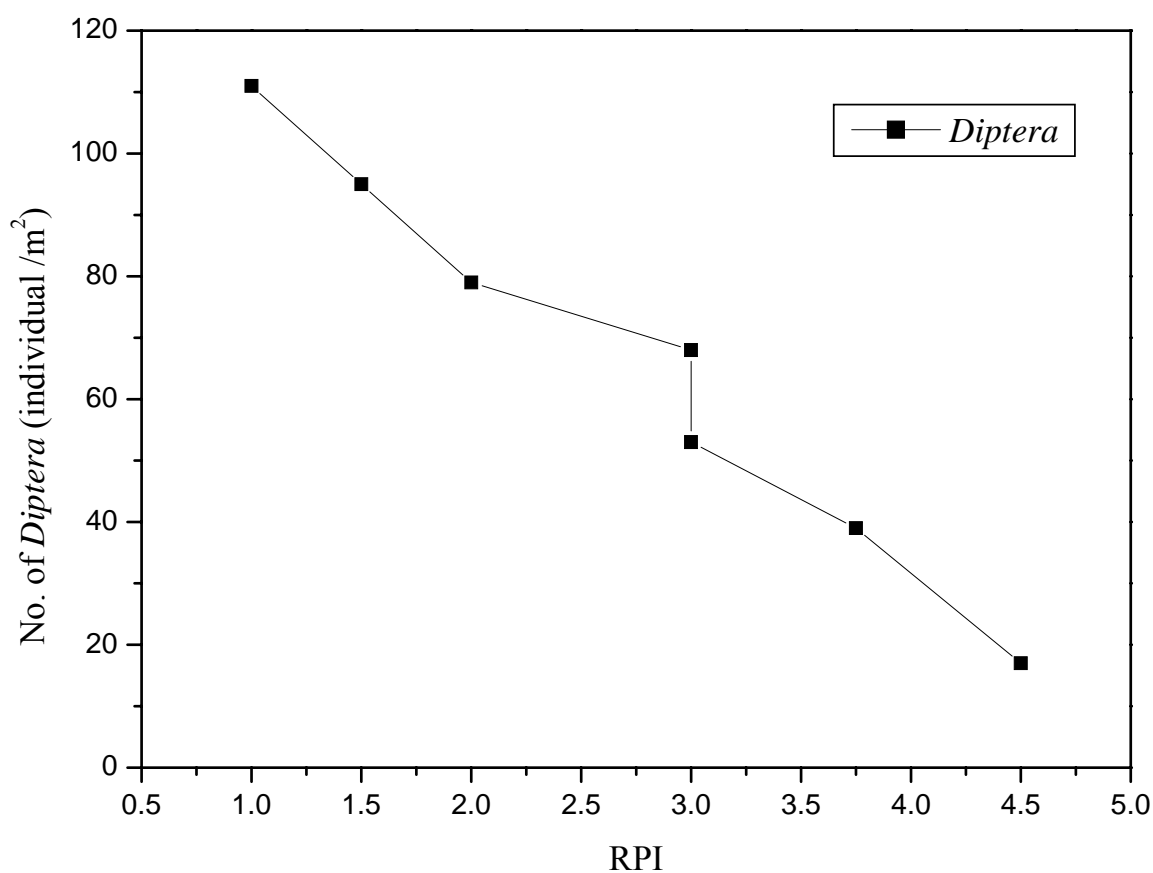


圖 4-23 RPI 與雙翅目昆蟲發生數量趨勢圖

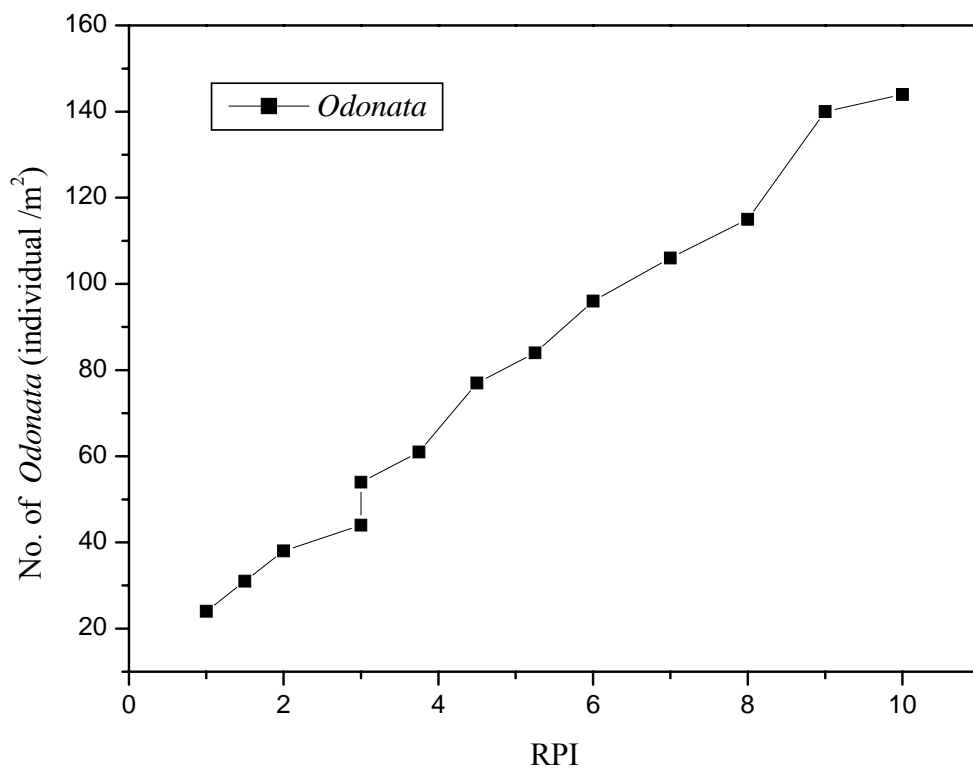


圖 4-24 RPI 與蜻蛉目昆蟲發生數量趨勢圖

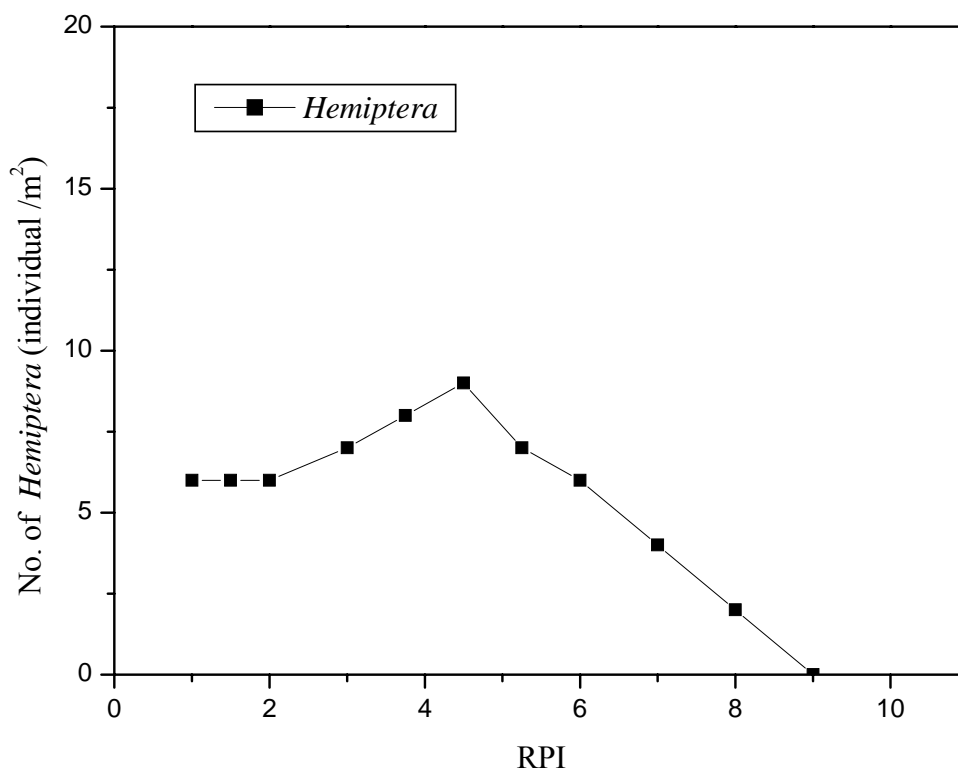


圖 4-25 RPI 與半翅目昆蟲發生數量趨勢圖

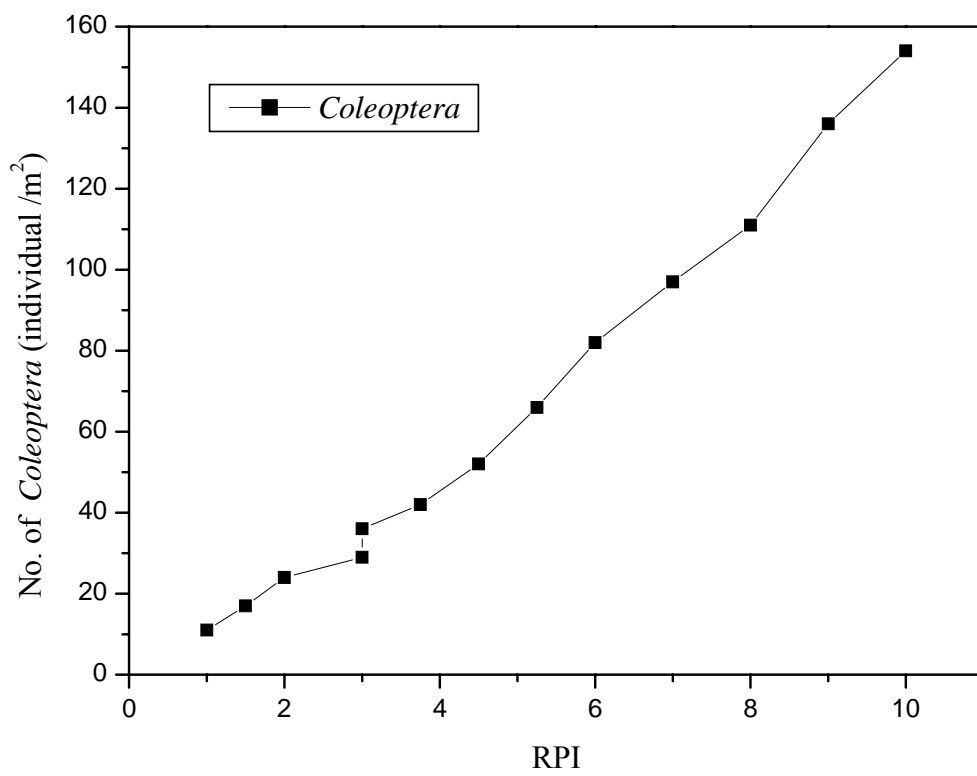


圖 4-26 RPI 與鞘翅目昆蟲發生數量趨勢圖

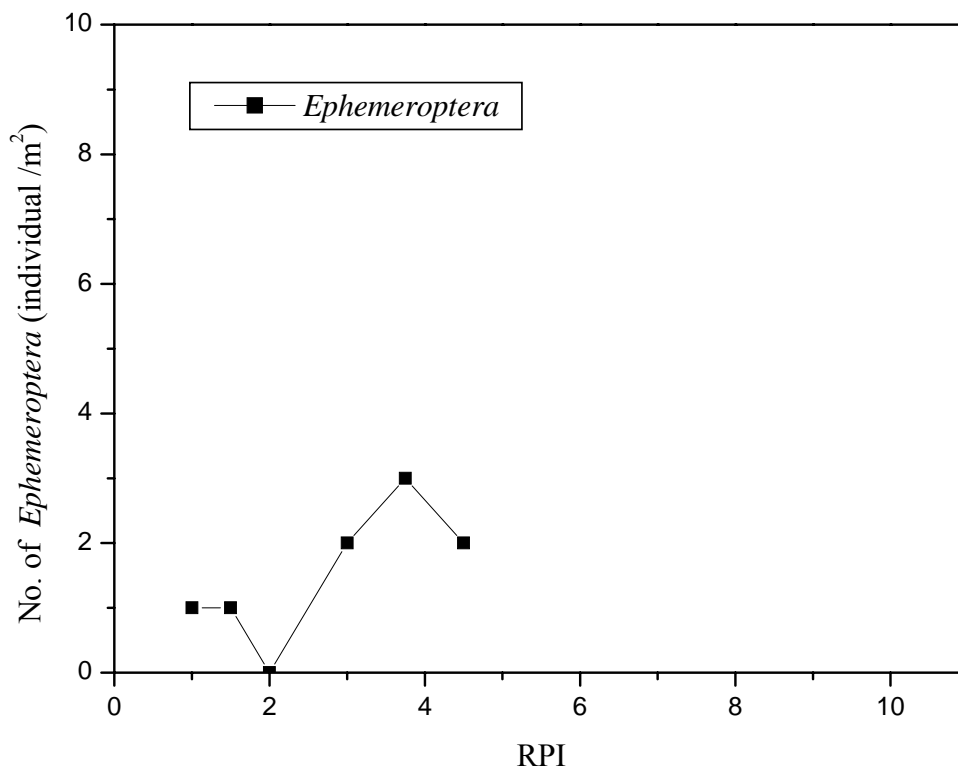


圖 4-27 RPI 與蜉蝣目昆蟲發生數量趨勢圖

4-4 人工溼地的孑孓的存在對公共衛生的潛在影響

人工溼地所營造出的人工棲地，能使許多生物棲息而形成一個小型生態系，但也可能造成蚊子的滋生，如家蚊、瘧蚊等。當這些蚊子出現時，對我們周遭環境之公共衛生造成威脅。採樣站出現蚊科家蚊屬及蚊科瘧蚊屬等病媒蚊，確實帶給大眾攸關公共衛生的困擾。

不同蚊種會攜帶不同疾病之病原，蚊科是許多傳染疾病的病媒，埃及斑蚊及白線斑蚊會傳播登革熱；三斑家蚊、環紋家蚊及白頭家蚊會傳播日本腦炎；矮小瘧蚊會傳播瘧疾；熱帶家蚊則會傳播血絲蟲病。即使當地沒有病原體存在，這些蚊蟲也會給叮咬人類造成騷擾。

嘉藥校園人工溼地系統在水棲昆蟲採集之過程中發現蚊科家蚊屬，出現時間為 2006 年 4 月及 2008 年 1 月份。由於嘉藥校園人工溼地系統所處理之污水為校園污水處理場處理過後之放流水，水質標準已達到二級處理。發現蚊蟲數量較多時，正值嘉藥系統操作初期，系統運作尚未穩定，當時 FWS 溼地系統水面覆蓋浮萍，植物於水面覆蓋度高，將可提供蚊子幼蟲藏匿。當 FWS 溼地系統水面沒有浮萍覆蓋時，便沒有再發現蚊科幼蟲。初步研判，蚊科幼蟲因浮萍消失減少藏匿處，溼地系統已呈穩定狀態（圖 4-28）。

港尾社區自然淨水系統在水棲昆蟲採集過程中發現蚊科家蚊屬、蚊科瘧蚊屬，出現時間為 2006 年 12 月份至 2007 年 3 月份，並於其餘月份零星出現。由於港尾系統處理之原污水為社區污水，故污染負荷較大，蚊科家蚊屬出現之個體數較多。一般熱帶家蚊於 3 月至 4 月會出現一個高峰，11 月至 12 月會有一個較小的峰⁽⁵¹⁾，港尾系統的調查與其他學者的調查結果相符（圖 4-29）。

蚵寮國中人工溼地系統於水棲昆蟲採集過程中發現蚊科家蚊屬，出現時間為 2008 年 2 月份（圖 4-30）。

二行社區人工溼地在水棲昆蟲採集之過程發現，蚊科家蚊屬及蚊科瘧蚊屬出現的時間為 2004 年 10 月份及 2005 年 2 月份到 5 月份。由於二行系統所處理之原污水為社區污水，污染負荷程度大，家蚊對於水質環境忍受度高，但二

行社區並無病例，沒有病原存在二行社區，這些蚊蟲僅會對社區居民造成叮咬的困擾。

安順系統及烏松系統於水棲昆蟲採集過程中僅發現搖蚊科幼蟲，由於僅進行一次採樣，無法判斷蚊蟲於此兩個採樣站中出現週期。

六個採樣站中，蚊蟲出現時間與相關文獻研究中所報告蚊子幼蟲出現之頻率相符，若要杜絕蚊蟲滋生，可於水中飼養大型水生生物，如食蚊魚。而在溼地系統中，蜻蜓與水生甲蟲等是孑孓的天敵，且他們存活的环境必須於溶氧環境大於4才可生存良好⁽⁶³⁾。若要抑制蚊子孳生，也可以從植物的管理及適時的調整水位深度來抑制，例如水波及擾動水流，均不利於蚊子產卵，也可能淹死尚未發育完成羽化的成蚊，但保持水質乾淨才是有效抑制蚊蟲孳生的不二法門。



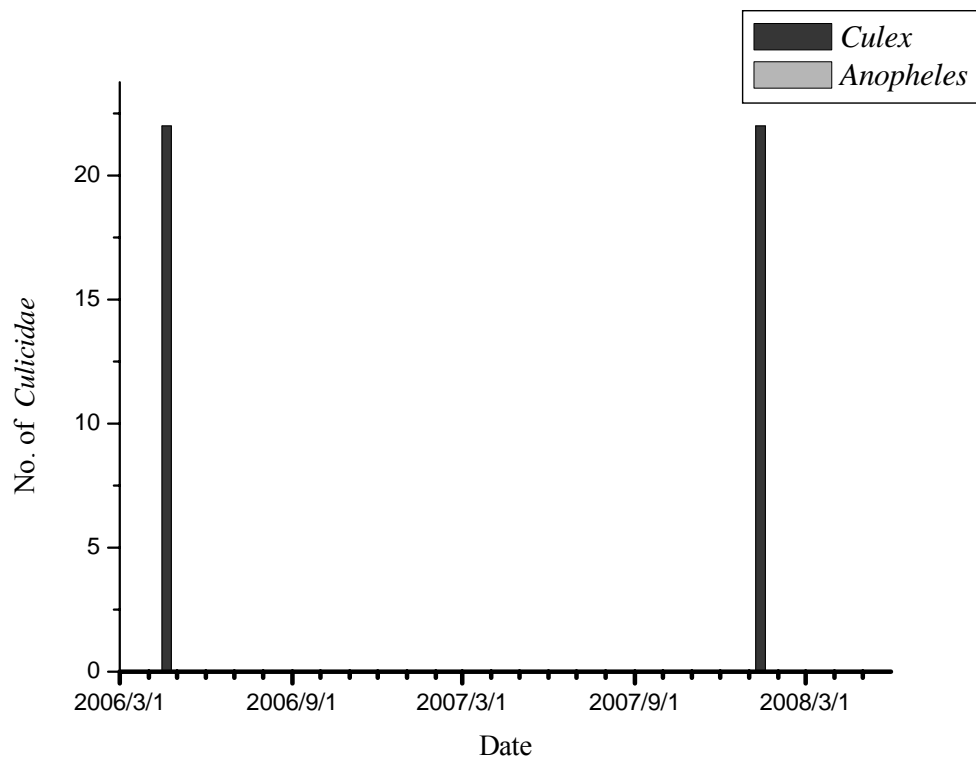


圖 4-28 嘉藥系統蚊科家蚊屬、瘧蚊屬數量

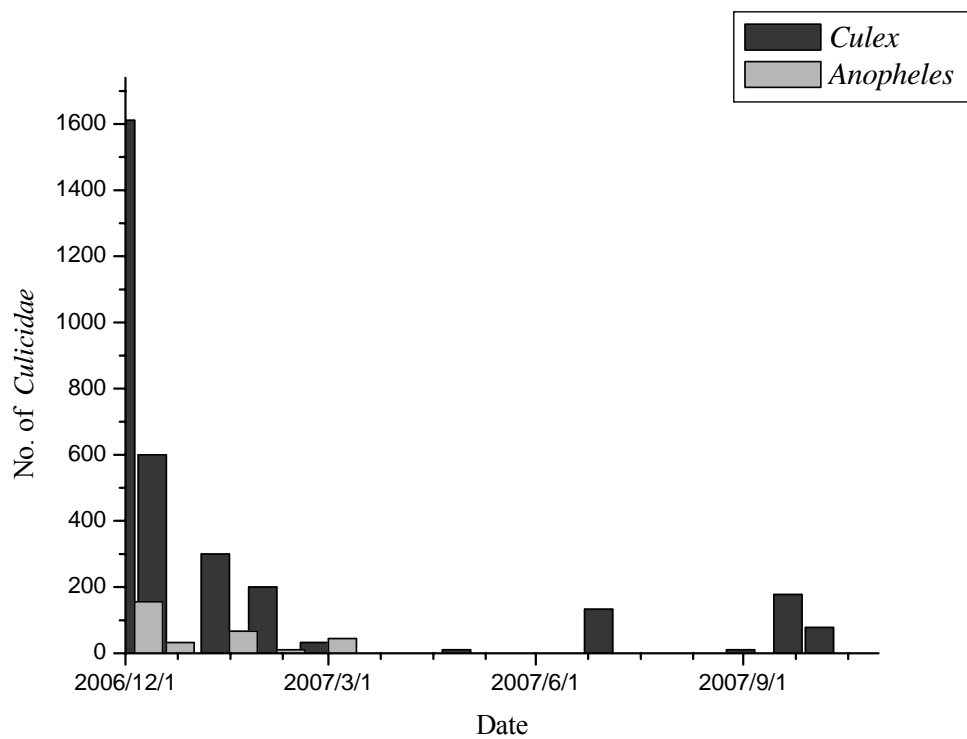


圖 4-29 港尾系統蚊科家蚊屬、瘧蚊屬數量

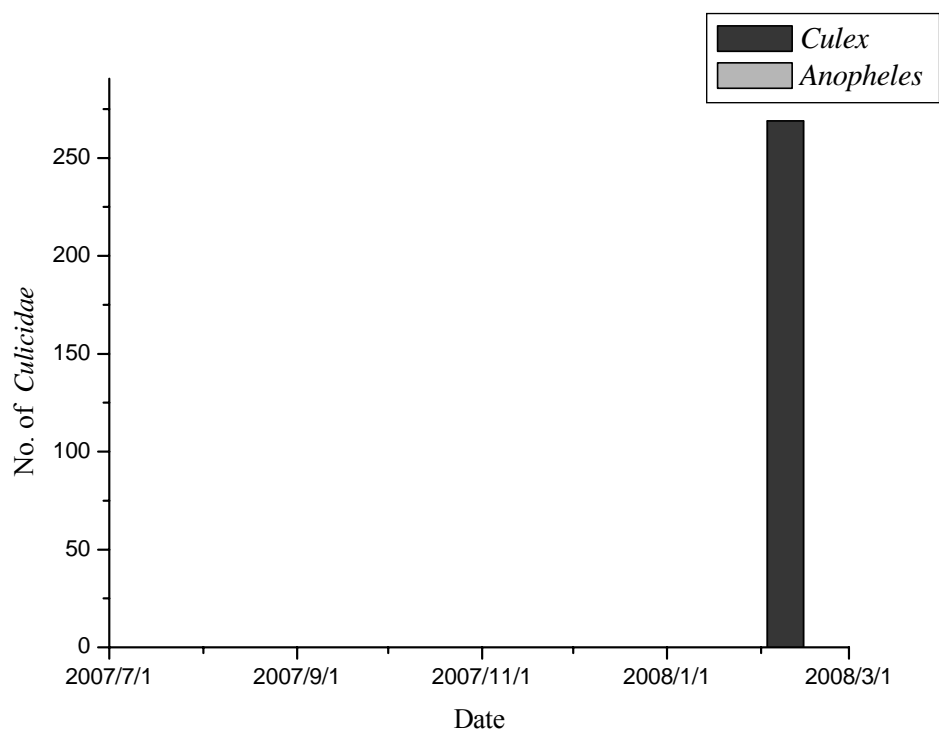


圖 4-30 蚋寮系統蚊科家蚊屬、瘧蚊屬數量

第五章 結論

1. 本研究選擇六個採樣站進行水質測定分析，除了溫度外，包括pH值、導電度、DO、BOD₅、NH₄-N、SS及RPI等，在六個採樣站均具顯著差異。
2. 比較六個採樣站的 DO 值，凡是人工溼地系統設置 SSF 溼地系統，其 DO 值會偏低。安順系統與嘉藥系統同樣都是處理經廢水處理廠放流水的溼地，安順系統的 DO 值較嘉藥系統高。安順系統人工溼地的設計，是讓廢水先流經 FWS 溼地再流至 SSF 溼地系統，因此在水棲昆蟲採樣點之 DO 值較高。嘉藥系統人工溼地的設計，是讓水先流經 SSF 溼地系統再流至 FWS 溼地系統，因系統前端為厭氧狀態，DO 值較低。
3. 比較六個採樣站的BOD₅值，二行系統的排放水雖已達到放流水標準，但與六個採樣站相比，BOD₅值仍較高。
4. 在二行系統、嘉藥系統、港尾系統及蚵寮系統等四個常態採樣的系統中，懸浮固體 SS 在嘉藥系統中削減的情形較明顯。
5. 以 RPI 指標評估六個採樣站水質，安順系統為未（稍）受污染，港尾系統為輕度污染，嘉藥系統、蚵寮系統及鳥松系統為中度污染，二行系統為嚴重污染。
6. 排除二行系統、安順系統及鳥松系統外，三個採樣站的科級生物指標由小至大，依序排列為港尾系統、嘉藥系統及蚵寮系統。
7. 五個採樣站的生物總個體數的平均值以港尾系統最高，其次是安順系統。分類群豐度指標中的三種計算式中，Menchinick index 不具顯著差異。Margalef index 及 Gleason index 在各系統間具顯著差異，其值的高低排列依序為安順系統、港尾系統、鳥松系統、嘉藥系統及蚵寮系統。
8. 由科級生物指標觀察採樣站間的差異，排除安順系統及鳥松溼地，港尾系統整體呈現較佳的狀況。
9. 除了二行系統外，在三個常態採樣的系統中，港尾系統的生物指標的評估結果較嘉藥系統及蚵寮系統好。港尾系統的水位於採樣期間有降低現象，

而港尾系統採樣點（港尾 2 及港尾 4）的植物覆蓋率高，增加水棲昆蟲遮蔽藏匿於植物的機會。港尾系統由四個池子組成，除飛翔性的昆蟲外，各池子環境的水棲昆蟲不易離開各採樣點，因此物種及數量較其他系統豐富。

10. Plafkin *et al.*⁽³⁰⁾，提出生物群聚綜合所有的污染物效應，可提供對溼地系統環境整體性的評估。
11. 比較採樣系統之水質參數與生物指標相關性，包括溫度、pH、導電度、DO、BOD、NH₄-NSS等六種水質參數，與生物指標的總個體數、科級指標、Margalef index、Menchinick index、Gleason index、Shannon-Weaver diversity index、Simpson's diversity index及Evenness index等，在不同的採樣點呈現不同的顯著相關。
12. 比較嘉藥系統、港尾系統、蚵寮系統、安順系統及烏松系統之 RPI、科級生物指標及 Shannon-Weaver diversity index，被用來評斷水質結果的相似度高。因此，應可參考現行利用生物指標評估溪流水質的方法，建立以生物指標評估人工溼地水質的模式，可使用科級生物指標或 Shannon-Weaver diversity index 評估水質，輔助化學分析方法進行水質分析的檢測。
13. 水質參數來推估生物指標，經過多元迴歸分析之逐步分析將所推估之理想方程式進行計算，選出平均誤差值小於 30%之可利用 Gleason index、Evenness index 及 Simpson's diversity index，如此可減少水質參數分析項目，達到整體評估水體環境的目的。
14. 河川污染指標進行水質指標生物的建立，將水棲昆蟲分類為目級進行各目水棲昆蟲數量出現情形與 RPI 之間相關性。以蜻蛉目、半翅目、鞘翅目及蜉蝣目結果較接近實際情形。若要計算至較精確可將水棲昆蟲分類至科級後進行相關性討論。
15. 調查發現人工溼地系統會孳生家蚊及瘧蚊，蚊蟲除了傳播疾病外也會造成對溼地附近民眾的騷擾，宜加強人工溼地的管理，以避免形成公共衛生上的問題。

第六章 參考文獻

1. 荆樹人，人工溼地之規劃設計理念及案例介紹，生態工法人才培訓講習會，2003。
2. 行政院環境保護署，水質淨化現地處理網站，
<http://wqp.epa.gov.tw/ecological/Taiwan.aspx?Num=03>)
3. 謝明奇，2005，自然溼地與人工溼地系統底泥特性之探討，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系，碩士論文。
4. International Water Association, 2000. Constructed Wetlands for Pollution Control. Processes, Performance, Design and Operation. UWA Publishing, London.
5. 洪國鑫，2002，高水力負荷下溼地污染物模式分析，國立成功大學環境工程學系，碩士論文。
6. 何茂賢，2003，以人工溼地系統處理受汙染河水中營養鹽之探討，嘉南藥理科技大學環境工程衛生系，碩士論文。
7. Billore, S. K.; Singh, N.; Sharma, J. K.; Dass, P.; Nelson, R. M., 1999, "Horizontal subsurface flow gravel bed constructed wetland with *Phragmites karka* in Central India." *Wat. Sci. Tech.*, Vol.40, Iss.3, pp.163-171.
8. Kadlec, R. H., and R. L. Knight. 1996. *Treatment Wetlands*. CRC Press, Boca Raton, FL. Cole, S. 1998. The emergence of the treatment wetlands. *Environ. Sci. Technol.* 32: 218A-223A.
9. USEPA, 2000, Equilibrium Partitioning Sediment Guidelines (ESGs) for the Protection of Benthic Organisms: PAH Mixtures. Off. Sci. Tech., US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
10. 游程凱，2003，利用穩定塘連接人工溼地處理社區污水效能之探討，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系，碩士論文。
11. Daly, H. V. 1996. General classification and key to the orders of aquatic and semiaquatic insects, *In: An Introduction to the Aquatic Insects of North*

- America (3rd ed.), R. W. Merritt, and K. W. Cummins, eds., Kendall/Hunt Publishing, Dubuque, IA. 722pp.
12. Ward, J. V. 1992. Aquatic insect ecology, Part I, Biology and habitat. John Wiley and Sons, New York. 456pp.
 13. Glazier, D. S. 1991. The fauna of North American temperate cold springs: patterns and hypotheses. *Freshwater Biology* 26: 527-542.
 14. Leeper, D. A., and B. E. Taylor. 1998. Insect emergence from a South Carolina (USA) temporary wetland pond, with emphasis on the Chironomidae (Diptera). *J. N. Am. Benthol. Soc.* 17: 54-72.
 15. Schütz, C., M. Wallinger, R. Burger, and L. Fureder. 2001. Effects of snow cover on the benthic fauna in a glacier-fed stream. *Freshwater Biology* 46: 1691-1704.
 16. Butcher, J. T., P. M. Stewart, and T. P. Simon. 2003. A Benthic Community Index for streams in the northern lakes and forests ecoregion. *Ecol. Indicators* 3: 181-193.
 17. 台灣生物多樣性資訊入口
http://www.taibif.org.tw/taibnet/AjaxTree/Allkingdom_taibif.php
 18. Cummins, K. W. 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Ann. Rev. of Entomol.* 18: 183-206.
 19. Cummins, K. W., and M. J. Klug. 1979. Feeding ecology of stream invertebrates. *Ann. Rev. Ecol. and Syst.* 10 : 147-172.
 20. Merritt R. W., and K. W. Cummins, eds. 1984. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Kendall/Hunt Publ. Co. Dubuque. Iowa. pp.722.
 21. Hawkins, C. P., and J. R. Sedell. 1981. Longitudinal and seasonal changes in functional organization of macroinvertebrate communities in four Oregon streams. *Ecology* 62 : 387-397.
 22. Willis, L. D., and A. C. Hendricks. 1992. Life history, growth, survivorship, and production of *Hydropsyche slossonae* in Mill Creek, Virginia. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 11: 290-303.

23. Hopper, K. R., P. H. Crowley, and D. Kielman. 1996. Density dependence, hatching synchrony, and without-cohort cannibalism in young dragonfly larvae. *Ecology* 77: 191-200.
24. Marten, M., and P. Zwick. 1989. The temperature dependence of embryonic and larval development in *Protonemura intricata* (Plecoptera: Nemouridae). *Freshwater Biology* 22: 1-14.
25. Zwick, P. 1996. Variable egg development of *Dinocras* spp. (Plecoptera: Perlidae) and the stonefly seed bank theory. *Freshwater Biology* 35: 81-100.
26. Plafkin, J. L., M. T. Barbour, K. D. Porter, S. K. Gross, and R. M. Hughes. 1989. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers--Benthic macroinvertebrates and fish: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C., EPA-440/4-89-001, pp.190.
27. 徐崇斌、楊平世，”應用水棲昆蟲生物指標評估基隆河水質之研究”，*中華昆蟲* 17 (3) : 152-161，1997。
28. Hilsenhoff, W. L. 1982. Using a biotic index to evaluate water quality in streams. *Tech. Bull. Wisconsin Dept. Nat. Resour.* 132. pp.22.
29. Hilsenhoff, W. L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 7 (1) : 65-68.
30. Hilsenhoff, W. L. 1987. An improved biotic index of organic stream pollution. *The Great Lakes Entomol.* 21 : 9-13.
31. Hilsenhoff, W. L. 1998. A modification of the biotic index of organic stream pollution to remedy problems and permit its use throughout the year. *Great Lakes Entomol.* 31: 1-12.
32. Edward, O. W. (2003). Biodiversity in the information age. *Issues in Science and Technology*, 19 (4) , 45-46.
33. 林曜松，”整合跨學們的生物多樣性研究”，*科學月刊*，30 (6) : 452-458，1999。
34. 林曜松，”生物多樣性之省思”，*台灣陸域生物多樣性研習班研習手冊*，

- 54-60，1999。
35. 錢湘蓉，2005，溼地生態之生物多樣性調查與戶外教學研究以社子島為例，國立臺北教育大學，碩士論文。
 36. Wilson, E.O. (1992). *The diversity of life*, Cambridge: Harvard University Press.
 37. 楊吉宗，”談生物多樣性”，自然保育季刊，22：60-61，1998。
 38. 金恆鏢，”生物多樣性的價值”，科學月刊，358：459-461，1999。
 39. 陳鎮東、王冰潔，”臺灣的湖泊與水庫”，國立編譯館出版，1997。
 40. Stilling, P. (2002). *Ecology Theories and Applications*. (Four Edition) Prentice Hall, 273-288.
 41. 楊平世、黃國靖、謝森和，”北勢溪之水棲昆蟲資源及生態調查”，中華昆蟲，10：pp209-224，1990。
 42. 郭美華、丘明智、謝易霖，”以水棲昆蟲監測雪壩國家公園武陵地區溪流水質”，台灣昆蟲，24：pp339-352，2004。
 43. 田志仁 吳承恩、黃顯宗、汪碧涵，”以水棲昆蟲為指標生物評估台北外雙溪水質”，自然保育季刊，45：pp.38-46，2004.3。
 44. 彭仁君、施希健、王健平，”南仁山古湖溼地內四節浮游 *Cloeon marginale* Hagen (Ephemeroptera:Baetidae) 之稚蟲分布與其密度消長”，中華昆蟲，19：pp.217-227，1999。
 45. “Identifying Aquatic Insects From Your Pond” Penobscot County Soil & Water Conservation District Natural Resources Conservation Service.
 46. 陳錦生，”第三章：熱帶家蚊生態及防治”IN：李學進、王俊雄編「居家害蟲生態與防治技術」，國立中興大學農業推廣中心出版，pp.37-42，2000。
 47. Diemont, S.A.W. 2006. Mosquito larvae density and pollutant removal in tropical wetland treatment systems in Honduras. *Environment International* 32: 332-341.
 48. Walton, W. E. 2003. Managing mosquitoes In Surface-Flow Constructed

- Treatment Wetlands. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Davis, CA. Publ. No. 8117. pp.11.
49. Russell, R. C. 1999. Constructed wetlands and mosquitoes: health hazards and management options--an Australian perspective. *Ecological Engineering* 12: 107-124.
 50. 陳易佐，2007，大型校園人工溼地實場操作模式探討，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系，碩士論文。
 51. 生活污水自然淨化系統效益評估計畫，嘉南藥理科技大學生態工程技術研發中心，2005。
 52. 羅怡珮、林怡潔、荆樹人、林瑩峰、李得元、施凱鐘，”二行社區人工溼地水棲昆蟲相調查”，中華民國環境工程學會第三十屆廢水處理技術研討會，中壢，2005。
 53. 陳麗瑜，2005，都會溼地公園水質淨化功能及規劃策略之研究，國立中山大學海洋環境及工程學系，碩士論文。
 54. 川合禎次，日本產水生昆蟲檢索圖說，東海大學出版會，1985年5月。
 55. 連日清，台灣蚊種檢索，藝軒圖書出版社，2004年12月第一版。
 56. ROBERT W. PENNAK, Ph.D. ,*Fresh-Water Invertebrates of the United States THE RONALD PRESS COMPANY* , pp.488-pp.666, NEW YORK. 1953
 57. 貢穀紳，昆蟲學中冊，國立中興大學農學院叢書第二號，1975年9月6號。
 58. S. M. Mandaville (Professional Lake Manage.) *Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters-Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols* pp.A-15-A-43
 59. K.P. Reddy and E.M. D' Angelo, 1997. Biogeochemical indicators to evaluate pollutant removal efficiency in constructed wetlands. pp.1-10.
 60. Jos T.A. Verhoeven, Arthur F.M. Meuleman, 1999.“Wetlands for wastewater treatment : Opportunities and limitations”, *Ecological Engineering* 12, pp.5-12.
 61. Chovanec, A., and R. Raab. 1997. Dragonflies (Insecta: Odonata) and the ecological status of newly created wetlands-examples for long-term bioindication programmes. *Limnologica* 27:381-392.

62. Corbet, P. S. 1993. Are odonata useful as bioindicators ? *Libellula* 12:91-102.
63. 施孟亨，成大人工溼地維護管理之研究 國立成功大學國立成功大學，碩士論文，2003。

附錄一 人工濕地所採集之水棲昆蟲照片



雙翅目大蚊科



雙翅目水虻科



雙翅目搖蚊科



雙翅目食蚜蠅科



雙翅目蛾蚋科



蜻蛉目細蟴科



蜻蛉目弓蜓科



半翅目水椿科



半翅目田鼈科



半翅目仰泳椿科



鞘翅目龍蝨科(幼蟲)



鞘翅目龍蝨科(幼蟲)



鞘翅目龍蝨科



蜉蝣目四節蜉蝣科