

水圳水泥化對其間生物數量變動之影響

林文隆^[1] 蔡顯修^[2] 吳雪如^[3]

摘要 本研究主要探討灌溉水圳水泥化對魚類等生物的影響，於 1994 年 7 月至 1997 年 6 月與 2001 年 7 月至 2004 年 6 月在台中縣霧峰鄉的四德圳進行田野研究，兩段時間分別代表水圳水泥化前後之狀況。比較水泥化前後發現之魚類、兩棲爬蟲類與鳥類，在物種及數量上均有明顯差異。利用 Shannon-Wiener 與 Simpson 等多樣性指數，比較水泥化前後魚類及兩棲爬蟲類等類群生物多樣性的差別，結果顯示水泥後生物多樣性有降低之趨勢。因此建議相關單位在進行各項水利設施現代化工程的同時，也應重視各地區原有之生物資源及環境特性，落實生態工法兼顧工程考量及生態需求之精神。

關鍵詞：灌溉水圳、水泥化、生物組成、生物多樣性、農業生態。

Effect of ditch living thing by process of original structure replacement by RC irrigation ditch

Wen-Loung Lin^[1] Hsien-Hsiu Tsai^[2] Hsuan-Ju Wu^[3]

ABSTRACT This study presents ditch ecology that's affected due to the process of traditional structure replaced by concrete irrigation ditch. We chose Se-Ter ditch for study area in Wu-Feng township. This survey was conducted from July 1994 to June 1997 and July 2001 to June 2004 separately. Construction were started and finished in 2000. We used Shannon-Wiener function and Simpson's index to examine the difference of the biological composition of the ditch. The results showed that biodiversity index dropped after construction. By this way, we concluded that the biodiversity be connected with the material of which the ditch was made.

Key Words: irrigation ditch, concretion, species composition, biodiversity, agriculture ecology.

一、前言

台灣早期農業相當興盛，水利工程也因而相當發達；而從以前到現在，水利設施不斷轉變，以因應時代之需求。近年來各界極力提倡之生態工法，即以生態為基礎、安全為導向，減少工程施工對自然環境造成傷害等較多面向的考量，對各項工程進行規劃及作

業。因此，許多主要河川的治理工程，皆須符合生態工法的觀念與精神才能施作(行政院公共工程委員會，2004a)。可惜的是過去水域生態相關調查研究常僅針對溪、川、河、池、塘、湖、水庫等棲地型態，而忽略了田間的灌溉水圳等農田水利設施。其實，這樣的環境也有相當豐富的生態資源。有鑒於目前國內外對水圳生物資源的研究極少，本研究以四德圳為例，透

[1] 民翔環境生態研究有限公司(通訊作者)
Min-Shiang Environment and Ecology Research Company (Corresponding Author)
E-mail: owl@ms30.url.com.tw
[2] 中國文化大學土地資源學系副教授
Department of Natural Resource, Chinese Culture University
[3] 民翔環境生態研究有限公司
Min-Shiang Environment and Ecology Research Company

過長期的研究，將其水泥化前後之生物族群變化呈現出來，目的希望相關單位在進行河川情勢調查或規劃各項農田水利設施的同時，能將灌溉水圳的生物資源與生態特性一併列入考慮。

研究地點之四德圳位在台中縣霧峰鄉的四德村，調查起點是從國道三號高速公路霧峰 211k 附近至中投交流道 209k 為止，全長約 2km(圖 1)。水圳的水來自烏溪，起點附近有水閘控制水量。在水圳尚未改變之前，兩側為舊有的卵石堆砌結構，水圳底質主要是卵石與礫石，岸邊緩流則有淤泥(圖 2)。水中有水王孫(*Hydrilla verticillata*)、苦草(*Vallisneria spiralis*)、金魚藻(*Ceratophyllum demersum*)等沉水植物；岸邊灘地則被當地農民利用種植綠竹(*Bambusa lodhamii*)、香蕉(*Musa acuminata*)，水中緩流處則種植芋頭(*Colocasia esculenta*)與茭白筍(*Zizania latifolia*)等作物。水圳兩岸植生以禾本科為主，包括象草(*Pennisetum purpureum*)、巴拉草(*Brachiaria mutica*)與五節芒(*Miscanthus floridulus*)，並參雜野

薑花(*Hedychium coronarium*)等濕生植物。2000 年四德圳施工成現今的三面光狀態，水圳底部與兩側完全水泥化(圖 3)。兩岸與水中植生均消失，水中的絲狀藻成為優勢植物，如圖 3 所示。

二、材料與方法

1. 研究時間與調查頻度

研究可以分成兩個時期，2000 年之前為四德圳尚未水泥化的生物調查，時間是從 1994 年 7 月至 1997 年 6 月。2000 年四德圳進行水泥化工程，施工期間並未進行任何調查；施工後一年，也就是 2001 年 7 月開始進行施工後相關生物的調查，時間是從 2001 年 7 月至 2004 年 6 月。每年於枯水期與豐水期各進行一次調查；枯水期與豐水期之調查工作分別選在 2 月與 8 月進行，定義 2 月為枯水期與 8 月為豐水期主要是參考中央氣象局月平均雨量與降雨天數等統計資料。

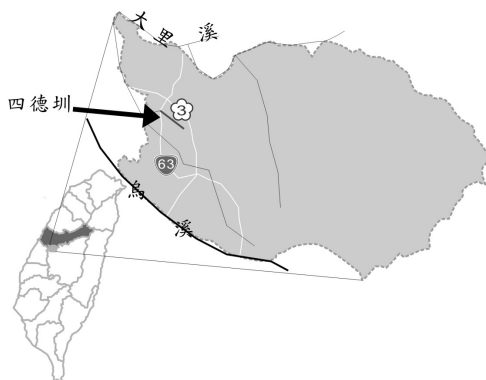


圖 1 台中縣霧峰鄉四德圳所在位置示意圖

Fig.1 The map of study area



(資料來源：台中農田水利會)

圖 2 水圳水泥化前微棲地豐富的環境

Fig.2 The diverse microhabitats before concrete construction



(資料來源：台中農田水利會)

圖 3 水圳水泥化後單調的環境

Fig.3 The pure and uniformed Environment

2. 魚類採集與鑑定

魚體採集方法包括手拋網捕以及蝦籠誘捕等兩種方式, 單位努力捕獲量(Capture per unit effort; 簡稱 CPUE)為累計這兩種方法採獲的魚隻數量(張, 1999), 方法分述如下:

- (1) 手拋網捕法屬於主動的調查方式。利用規格為 3 分 12 尺(張網直徑約 3.0m, 孔徑約為 1cm×1cm)之手拋網, 沿調查河段逢機拋網, 由於拋網的驚擾會使魚類竄離原棲地, 因此每處拋網的距離均相隔 30m 以上。每次調查以成功拋網 20 次為努力量, 而所謂的成功拋網是指網面積全開的狀況, 若遇拋網失敗則不列入記錄。
- (2) 蝦籠誘捕法主要用於捕捉底棲或夜行性魚類。本研究利用中型蝦籠(口徑 12cm, 長度約 35cm)內置炒過之狗飼料, 隨機佈設 20 個於水圳中較緩流處, 放置一天, 於佈設隔日收回蝦籠並檢視籠中獲物。遇到蝦籠遺失狀況, 則另外補足, 使調查的努力量相等。

採獲魚體經過鑑定與計算數量後, 隨即野放。種類鑑定主要參考「台灣魚類誌」分類檢索(沈, 1993), 輔以「台灣淡水及河口魚類誌」(陳等, 1999)一書。

3. 兩棲爬蟲類與濱溪繁殖鳥類調查

兩棲爬蟲類為沿水圳以直接搜尋的方式進行, 調查以水圳兩岸搜尋二次為努力量, 一次為白天, 另一次為夜間, 記錄發現或捕捉的個體及數量。此處所指之水圳兩岸為圳溝堤岸至兩旁農田田埂間的範圍。蛙類調查僅記錄變態後之成體, 卵、蝌蚪與尾部尚未消失的幼蛙在計量上比較容易產生誤差, 因此本研究並不列入記錄。

濱溪繁殖鳥類部分, 調查時間配合兩棲爬蟲類的日間調查。調查時僅記錄在水圳兩岸繁殖的種類。至於覓食或棲息等物種可能受到遷移、食物需求量等影響, 於本處出現情況不固定者, 並不列入記錄。兩棲爬蟲類與濱溪繁殖鳥類的調查主要參考 Sutherland(1996)與 Bibby *et al.*(1992)等所提之相關調查方法。

物種鑑定之依據主要參考「台灣兩棲爬行動物圖鑑」(呂等, 1999)、「台灣野鳥圖鑑」(王等, 1991)、「蛙—訪陽明山國家公園兩棲類」(楊, 1991)、「台灣爬蟲動物」(呂等, 1989)等書籍。

4. 多樣性指數

本研究所使用的多樣性指數是參考 Krebs(1998)之 *Ecological Methodology* 一書, 利用 Shannon-Wiener 與 Simpson 兩項指數對調查所得之結果加以計算, 其運算式分別如下述:

$$\text{Shannon-Wiener}(H') = - \sum_{i=1}^S P_i \log P_i \dots\dots\dots (1)$$

其中 P_i 為物種出現的頻度, S 為總物種數。當 H' 值愈高, 表示物種數愈多或種間數量分配愈均勻, 其多樣性愈高。

$$\text{Simpson's index}(D) = \sum_{i=1}^S P_i^2 \dots\dots\dots (2)$$

其中 P_i 為物種出現的頻度, S 為總物種數。 D 值愈低時, 表示多樣性愈高; 反之, 代表多樣性愈低。

5. 統計方法

利用 SPSS 統計軟體以 T-test 進行水泥化前後生物組成、數量與多樣性之相關性分析。

三、結 果

1. 魚類

(1) 水泥化前

1994 年 7 月至 1997 年 6 月間, 四德圳水泥化之前的調查共記錄 8 科 24 種魚類, 每年調查發現的魚種數在 21 至 23 種之間(表 1)。種類包括飯島氏銀鮡(*Squalidus ijimae*)、粗首鱯(*Zacco pachycephalus*)、陳氏鰍鮒(*Gobiobotia cheni*)、短吻小鰾鮡(*Microphysogobio brevirostris*)、高身小鰾鮡(*Microphysogobio alticorpus*)等 5 種台灣特有種魚類; 台灣石鮒(*Tanakia himategus*)、高體鱒鮒(*Rhodeus ocellatus*)、條紋二鬚鮒(*Puntius semifasciolatus*)、羅漢魚(*Pseudorasbora parva*)、鯽魚(*Carassius auratus*)、紅鰱鮒(*Culterichthys erythropterus*)、中華花鰍(*Cobitis sinensis*)、泥鰍(*Misgurnus anguillicaudatus*)、黃鰱(*Monopterus albus*)、七星鱧(*Channa asiatica*)、斑鱧(*Channa maculate*)等 11 種原生種魚類; 白鰻(*Anguilla japonica*)、鱸鰻(*Anguilla marmorata*)等 2 種兩側洄游魚種, 鱸鰻同時為二級保育魚類; 吳郭魚(*Tilapia zillii*)、琵琶鼠(*Pterygoplichthys sp.*)、大肚魚(*Gambusia affinis*)、泰國鱧

(*Channa striata*)、鯉魚(*Cyprinus carpio*)、日本鰱(*Carassius cuvieri*)等 6 種外來魚種。每年的單位努力捕獲量為 681(1994)至 780 尾(1995)之間，枯水期平均捕獲魚類 304.5 ± 42.2 尾，而豐水期平均捕獲 427.8 ± 47.0 尾。優勢魚類為台灣石鮒，各年度捕獲的數量在 187(1997)至 258 尾(1996)之間，組成比例為 25.6(1997)

至 35.0%(1996)(圖 4)。其次為大肚魚，各年度捕獲的數量在 103(1996)至 142 尾(1997)之間，組成比例為 14.1(1996)至 19.3%(1997)。依 1994 至 1997 年的順序，水泥化前魚類的 Shannon-Wiener 值為分別為 0.97、0.98、0.96、0.99；Simpson 值為 0.16、0.15、0.17、0.14(表 1)。

表 1 霧峰四德圳水泥化前後魚類組成變化(1/2)

Table 1 Change in fish composition before and after ditch concretion in Se-Ter ditch(1/2)

魚種	年度		1994		1995		1996		1997		2001		2002		2003		2004	
	枯	豐	枯	豐	枯	豐	枯	豐	枯	豐	枯	豐	枯	豐	枯	豐	枯	豐
鯉科 Cyprinidae																		
台灣石鮒 <i>Tanakia himategus</i>	102	115	95	125	84	174	85	102			3	2			3	1	4	
高體鰱 <i>Rhodeus ocellatus</i>		2		4	1		5	1										
條紋二鬚鰱 <i>Puntius semifasciolatus</i>	32	28	25	47	13	69	21	54										
羅漢魚 <i>Pseudorasbora parva</i>	10	5	8	17	6	13	5	2										
飯島氏銀鮡 <i>Squalidus ijimae</i> ⁺	4	6	19	2	5	11	21	10										
鰱魚 <i>Carassius auratus</i>	35	27	45	69	25	31	24	54	6	18	2	6	19	31	10	14		
日本鰱 <i>Carassius cuvieri</i> [△]	6	9	5	4	2	8	4	7										
鯉魚 <i>Cyprinus carpio</i> [△]	2	4	3	4	5	9	2	1		1	1			1	2	1		
粗首鱧 <i>Zacco pachycephalus</i> ⁺	1	5	6	3	4	5	8	2										
陳氏鰕鮒 <i>Gobiobotia cheni</i> ⁺		2				1		1										
短吻小鱧 <i>Microphysogobio brevirostris</i> ⁺		15		12		13	1	6										
高身小鱧 <i>Microphysogobio alticorpus</i> ⁺				1														
紅鰭鮒 <i>Culterichthys erythropterus</i>		1		1				1										
鰱科 Cobitidae																		
中華花鰱 <i>Cobitis sinensis</i>	33	29	17	25	36	24	17	26										
泥鰱 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	6	9	6	5	8	3	6	4										
鰻鱺科 Anguillidae																		
白鰻 <i>Anguilla japonica</i> [○]			1			1												
鱸鰻 <i>Anguilla marmorata</i> ^{○*}	2		1			1		1										
鱧科 Synbranchidae																		
黃鱧 <i>Monopterus albus</i>	3	2	3	2	1	4	1	1										
鱧科 Channidae																		
七星鱧 <i>Channa asiatica</i>	3	9	2	10	5	9	15	7	1			1	1	1			1	
斑鱧 <i>Channa maculate</i>		2		2		1	1											
泰國鱧 <i>Channa striata</i> [△]	1	1			1									1		1		
慈鯛科 Cichlidae																		
吳郭魚 <i>Tilapia sp.</i> [△]	19	27	54	23	16	19	28	36	41	29	56	64	47	56	28	72		
胎鱧科 Poeciliidae																		
大肚魚 <i>Gambusia affinis</i> [△]	48	70	54	60	24	79	51	91	21	31	25	42	29	47	24	50		
棘甲鯢科 Loricariidae																		
琵琶鼠 <i>Pterygoplichthys sp.</i> [△]	2	3	9	12	14	12	10	19	3	9	18	12	16	15	7	12		
數量(尾)	309	372	353	427	250	487	306	425	72	91	102	127	113	154	73	154		
Shannon-Wiener	0.97		0.98		0.96		0.99		0.58		0.51		0.62		0.59			
Simpson	0.16		0.15		0.17		0.14		0.31		0.38		0.28		0.32			

註：“○”表兩側洄游魚種；“△”表外來種；“+”表特有種；“*”表保育類物種；未標示者為一般原生種。

(2) 水泥化後

2001年7月至2004年6月間,在水圳水泥化後進行的調查共記錄5科8種魚類,每年調查發現的魚種數在7至8種之間,包括台灣石鮒、鯽魚、七星鱧等3種原生種魚類;吳郭魚、琵琶鼠、大肚魚、泰國鱧、鯉魚等5種外來魚種。每年的單位努力捕獲量在163(2001)至267尾(2003)之間,枯水期平均捕獲魚類 90.0 ± 20.7 尾,而豐水期平均捕獲 131.5 ± 29.8 尾。水泥化後的優勢魚類為吳郭魚,各年度捕獲的數量在70(2001)至120尾(2002)之間,組成比例為38.6(2003)至52.4%(2002)(圖4)。其次為大肚魚,各年度捕獲的數量在52(2001)至76尾(2003)之間,組成比例為28.5(2003)至32.6%(2004)。施工後依2001至2004年的順序,魚類的Shannon-Wiener值為分別為0.58、0.51、0.62、0.59;Simpson值為0.31、0.38、0.28、0.32(表1)。

2. 兩棲爬蟲類

(1) 水泥化前

水泥化前調查共記錄7科12種兩棲爬蟲

類,種類有斑龜(*Ocadia sinensis*)、鱉(*Pelodiscus sinensis*)、草花蛇(*Xenochrophis piscator*)、花浪蛇(*Amphiesma stolatum*)、臭青公(*Elaphe carinata*)、南蛇(*Ptyas mucosus*)、雨傘節(*Bungarus multicinctus multicinctus*)、眼鏡蛇(*Naja naja atra*)、澤蛙(*Rana limnocharis*)、虎皮蛙(*Rana tigrina rugulos*)、貢德氏赤蛙(*Rana guentheri*)、小雨蛙(*Microhyla ornate*)與黑眶蟾蜍(*Bufo melanostictus*)(表2)。除了1995年發現9種兩棲爬蟲類外,其餘每年均可記錄11種兩棲爬蟲類,發現數量為85(1994)至182隻(1995)。鱉、花浪蛇、雨傘節、澤蛙、虎皮蛙、貢德氏赤蛙、小雨蛙與黑眶蟾蜍等8種物種每年皆可發現。數量方面,以澤蛙所佔之比例最高,最低與最高分別為44.0%(1997)與64.3%(1995);小雨蛙、貢德氏赤蛙、黑眶蟾蜍、鱉、花浪蛇等物種次之。其餘物種的數量則較零星(圖5)。依1994至1997年的順序,水泥化前兩棲爬蟲類的Shannon-Wiener值分別為0.65、0.51、0.65、0.75;Simpson值為0.37、0.45、0.36、0.25(表2)。

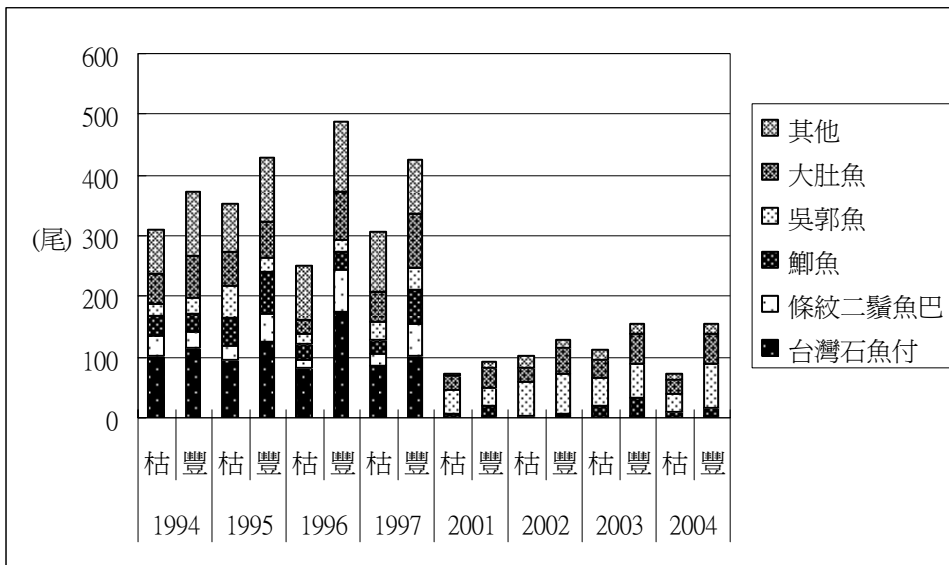


圖4 四德圳水泥化前後魚類數量組成

Fig.4 Change in fishies composition before and after ditch concretion in Se-Ter ditch

表 2 霧峰四德圳水泥化前後兩棲爬蟲類組成變化

Table 2 Change in amphibian and reptile composition before and after ditch concretion in Se-Ter ditch

種類	年度								
	1994	1995	1996	1997	2001	2002	2003	2004	
爬蟲類									
河龜科 Bataguridae									
斑龜 <i>Ocadia sinensis</i>	1		3	1					
鱉科 Trionychidae									
鱉 <i>Pelodiscus sinensis</i>	3	2	7	3		1			
黃額蛇科 Colubridae									
草花蛇 <i>Xenochrophis piscator</i>	1			1					
花浪蛇 <i>Amphiesma stolatum</i>	3	1	4	3			1		
臭青公 <i>Elaphe carinata</i>			2	1		1		1	
南蛇 <i>Ptyas mucosus</i>	1		1						
蝙蝠蛇科 Elapidae									
眼鏡蛇 <i>Naja naja atra</i> *		1							
雨傘節 <i>Bungarus multicinctus multicinctus</i> *	1	1	4	2					
兩棲類									
赤蛙科 Raniidae									
澤蛙 <i>Rana limnocharis</i>	49	117	85	55	14	6	18	25	
虎皮蛙 <i>Rana tigrina rugulosa</i> *	3	5	1	10					
貢德氏赤蛙 <i>Rana guentheri</i> *	9	14	12	17					
狹口蛙科 Microhylidae									
小雨蛙 <i>Microhyla ornata</i>	11	31	25	18					
蟾蜍科 Bufonidae									
黑眶蟾蜍 <i>Bufo melanostictus</i>	3	10	6	14	1	5	3	8	
數量 (隻次)	85	182	150	125	15	13	22	34	
Shannon-Wiener	0.65	0.51	0.65	0.75	0.11	0.49	0.25	0.29	
Simpson	0.37	0.45	0.36	0.25	0.88	0.37	0.69	0.60	

註：“*”表示保育類物種

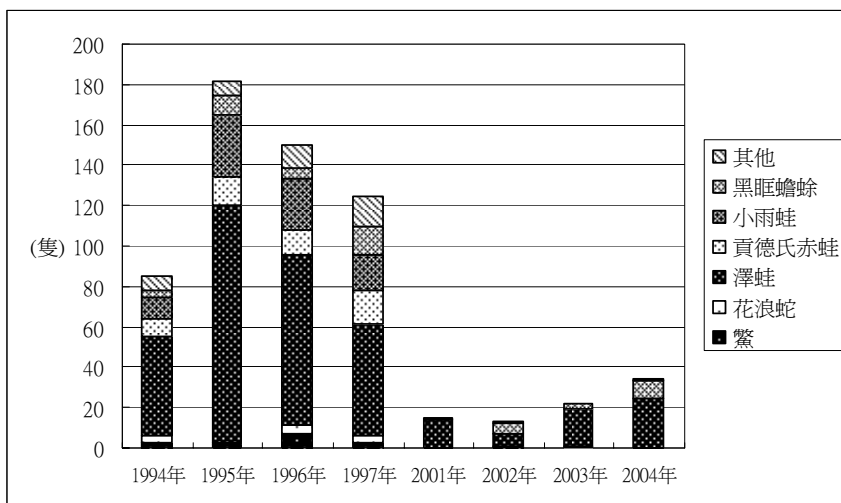


圖 5 四德圳水泥化前後兩棲爬蟲類數量組成

Fig.5 Change in amphibian and reptile composition before and after ditch concretion in Se-Ter ditch

(2) 水泥化後

灌溉水圳水泥化之後的調查共記錄 4 科 5 種兩棲爬蟲類, 種類有鱉、花浪蛇、臭青公、澤蛙與黑眶蟾蜍(表 2)。每年記錄物種在 2 至 4 種之間, 每年發現的數量為 13(2002)至 34 隻(2004)。澤蛙與黑眶蟾蜍每年皆可發現, 但其他爬蟲類的出現則比較不穩定(圖 5)。水泥化之後的優勢物種仍為澤蛙, 記錄數量佔該年度發現總數量的 46.2%(2002)至 93.3%(2001)之間。依 2001 至 2004 年的順序, 水泥化後兩棲爬蟲類的 Shannon-Wiener 值為分別為 0.11、0.31、0.19、0.29; Simpson 值為 0.88、0.36、0.69、0.60(表 2)。

3. 濱溪繁殖鳥類

(1) 水泥化前

水圳水泥化前, 在四德圳的調查範圍內共發現 4 種以泥岸或藉水生植物繁殖的鳥類, 分別為翠鳥 (*Alcedo atthis*)、棕沙燕 (*Riparia paludicola*)、紅冠水雞(*Gallinula chloropus*)與

彩鷓(*Rostratula benghalensis*), 除了彩鷓僅在 1996 年有 1 巢記錄外, 其餘種類每年均可發現營巢繁殖(表 3)。各年度發現的巢數在 11(1997)至 26 巢(1996)之間, 以翠鳥發現的巢數較多, 1994 至 1997 年間共記錄 30 巢, 每年平均發現 7.5 ± 2.5 巢。其次為棕沙燕, 共記錄 26 巢, 每年平均發現 6.5 ± 3.2 巢。細分鳥類營巢微棲地, 棕沙燕均以純泥岸為繁殖場所(26 巢), 翠鳥則除了純泥岸之外, 亦發現營巢於有大型禾本科(竹林)或喬木等植物覆蓋之泥岸, 兩種棲地分別記錄 7 巢與 23 巢。紅冠水雞每年平均發現 2.8 ± 1.5 巢, 營巢環境以水中禾本植物較多的地方為主, 此環境共記錄 10 巢, 另有 1 巢是在茭白筍中發現。彩鷓營巢環境為水圳中的灘地(表 4)。

(2) 水泥化後

水圳水泥化後, 在四德圳繁殖的濱溪鳥類僅剩紅冠水雞, 於 2002 與 2003 年各發現 1 巢(表 3), 營巢環境分別為水中禾本植物與茭白筍中(表 4)。

表 3 四德圳水泥化前後濱溪繁殖鳥類巢數變化

Table 3 Change in breeding bird numbers before and after ditch concretion in Se-Ter ditch

種類	年度	年度							
		1994	1995	1996	1997	2001	2002	2003	2004
翠鳥	<i>Alcedo atthis</i>	7	7	11	5				
棕沙燕	<i>Riparia paludicola</i>	8	3	10	5				
紅冠水雞	<i>Gallinula chloropus</i>	2	4	4	1		1	1	
彩鷓	<i>Rostratula benghalensis</i>			1					
合計		17	14	26	11	0	1	1	0

表 4 霧峰四德圳濱溪繁殖鳥類微棲地環境

Table 4 Microhabitat using by breeding bird in Se-Ter ditch

種類	巢區環境	1994-1997					2001-2004				
		純泥岸	有植物覆蓋之泥岸	水中禾本植物	茭白筍	淤沙灘地	純泥岸	有植物覆蓋之泥岸	水中禾本植物	茭白筍	淤沙灘地
翠鳥	<i>Alcedo atthis</i>	7	23								
棕沙燕	<i>Riparia paludicola</i>	26									
紅冠水雞	<i>Gallinula chloropus</i>			10	1				1	1	
彩鷓	<i>Rostratula benghalensis</i>					1					
合計		33	23	10	1	1	0	0	1	1	0

4. 水泥化前後生物組成、數量與多樣性的差異

(1) 魚類

水泥化前共記錄 8 科 24 種魚類，每年平均捕獲魚類 21.8 ± 1.0 種；水泥化後則記錄 5 科 8 種物種，每年平均捕獲 7.5 ± 1.0 種。數量部分，水泥化前每年調查平均捕獲 732.3 ± 40.5 尾，水泥化後每年調查平均捕獲 221.5 ± 43.1 尾。水泥化前的魚類種類與數量明顯較水泥化後多 ($t_{\alpha/2, 6}=20.2$ ， $\alpha=0.005$ ； $t_{\alpha/2, 6}=17.3$ ， $\alpha=0.005$)。優勢魚種由台灣石鮒轉變為吳郭魚(圖 4)。

水泥化前依 1994 至 1997 年的順序，Shannon-Wiener 值分別為 0.97、0.98、0.96、0.99，Simpson 值為 0.16、0.15、0.17、0.14；施工後依 2001 至 2004 年的順序，Shannon-Wiener 值分別為 0.58、0.51、0.62、0.59，Simpson 值為 0.31、0.38、0.28、0.32(表 1)。無論以 Shannon-Wiener 或 Simpson 多樣性指數分析，水泥化後皆呈現生物多樣性下降的趨向。

(2) 兩棲爬蟲類

水泥化前共記錄兩棲爬蟲類 7 科 13 種，每年平均記錄 10.5 ± 1.0 種的兩棲爬蟲類；水泥化後僅記錄 4 科 5 種物種，每年平均記錄物種數降至 3.0 ± 0.8 種。數量部分，水泥化前每年調查平均記錄 135.5 ± 41.0 隻兩棲爬蟲類，水泥化後數量降為 21.0 ± 9.5 隻，水泥化後的兩棲爬蟲種類與數量明顯較之前少 ($t_{\alpha/2, 6}=11.7$ ， $\alpha=0.005$ ； $t_{\alpha/2, 6}=5.4$ ， $\alpha=0.005$)。

水泥化前的 Shannon-Wiener 值，依 1994 至 1997 年的順序，分別為 0.65、0.51、0.65、0.75；Simpson 值則分別為 0.37、0.45、0.36、0.25。水泥化後兩棲爬蟲類的 Shannon-Wiener 值分別為 0.11、0.31、0.19、0.29；Simpson 值為 0.88、0.36、0.69、0.60(表 2)。無論以 Shannon-Wiener 或 Simpson 多樣性指數分析，在水泥化後之生物多樣性皆呈現下降的趨向。

(3) 濱溪繁殖鳥類

水泥化前後分別在調查範圍內記錄 4 種及 1 種濱溪繁殖鳥類(表 3)。水泥化前每年平均可以記錄 17.0 ± 6.5 的繁殖巢，但水泥化後降至 $0.5 \pm$

0.6 巢，水泥化後濱溪鳥類在此繁殖的數量明顯減少($t_{\alpha/2, 6}=5.1$ ， $\alpha=0.005$)。

四、討 論

四德圳在水泥化前是由大小不同的卵石堆疊而成，所以在兩旁護岸有大小不同的孔隙，可供動物藏身或穿梭，加上岸邊或淺水處自然或人為的禾本植物或水生植物叢，涵養許多不同需求的魚類、兩棲爬蟲類與鳥類等生物。多樣的微棲地環境使水圳除了原有提供農業灌溉的功能外，還能讓多樣的生物在此以穩定的食物網方式建構一穩定的生態系。環境變化前的優勢魚類為台灣石鮒，是一種原本廣泛分布台灣西部水域的小型魚類。這種小型魚類非常特殊，必須利用二枚貝如石蚌(*Unio douglasiae*)才有辦法順利繁殖子代，兩者關係可說非常密切。同樣有此生態習性的還有高體鯉。而有關石鮒或是鯉類利用蚌類繁殖的研究相當多，彼此之間行為、蚌類族群量改變對鯉的影響，甚至是演化的轉變都是許多學者研究的題材(Reichard *et al.*, 2004; Mills and Reynolds, 2003; Mills and Reynolds, 2002; Reichard *et al.*, 2002; Candolin and Reynolds, 2001; Smith *et al.*, 2001)。過去研究顯示，環境穩定度、適合度與異質性等因子會直接影響魚類族群的波動(Ward and Stanford, 1979; Gorman and Kar, 1978)。以台灣石鮒而言，能成為優勢魚種除了水圳內有足夠的食物來源可供其生長外，也顯示水圳內的石蚌有穩定的族群數量，提供繁殖所需條件。水泥化後，護岸被光滑平整的水泥牆面取代，緩流、灘地、淺水環境等多樣化的微棲地消失，成為水泥化的單調環境。而水圳底部的泥質環境消失，影響的就是蚌類的生存，連帶造成台灣石鮒與高體鯉的數量明顯減少。

台灣地區每年都會遭受數個颱風侵襲，夾帶的豪雨造成的溪水暴漲對生存其間的魚類而言是一大威脅，而水圳對棲息烏溪主流的陳氏鰍與小鰍等嗜流性魚類而言，是對抗溪水暴漲及流速變快，尋求暫時庇護的最適場所。水圳水泥化後，渠道筆直與光滑水泥面都會增加流速，一遇洪水，水圳內的狀況將與主流一樣，來的快去的也快，某種角度來說，等於是讓主流魚類原本的一處庇護所消失。除此之外，原本水圳內與兩旁護岸生長茂密的水生植物及禾本植物，在水泥化後已不存在或減少許多，直接影響在其間活動或繁殖的飯島氏銀鮡及條紋二鬚鮡等稀少魚種(林, 2003; 林, 2002)。而由於具遮蔽效果的植物消失，

使水圳內光照增加,溫度也隨之提高,兩旁及底部大型的附着性藻類生長繁茂,以大型藻類為主食的吳郭魚此時也取代台灣石鮒,成為水圳內的優勢魚種。Régis *et al.*(2005)提出一觀點,小型魚類由於移動力較弱,因此與環境的相依關係非常強烈,而由於不同魚類有其不同需求,所以非常適合用來檢視環境的變化。本研究結果正好可以佐證其論點。

水圳水泥化對濱溪繁殖鳥類最大的影響就是繁殖環境消失。以觀察到的翠鳥與棕沙燕為例,水泥化前分別記錄5至11對與3至10對在純泥岸或有少許植被覆蓋的泥岸環境繁殖。水泥化後,泥岸環境消失,取而代之的是其無法利用的光滑水泥結構。根據研究,翠鳥偏好的繁殖環境是在植被較少的泥岸或全泥岸,以捕捉54-60mm的魚類為食(Heneberg, 2004; Campos *et al.*, 2000; Peris and Rodriguez, 1997, 1996; Raven, 1986; Morgan and Glue, 1977)。不同於對泥岸環境的需要,紅冠水雞多利用水中禾本植物叢築巢,而其繁殖是否成功與水位及植被環境等條件有關(Takano and Haig, 2004; Post and Seals, 2000)。水生植物叢生的環境減少除直接影響利用其繁殖的紅冠水雞數量外,水泥化後的流速變化與水生植物減少也會使水位的調控出現問題,間接影響到繁殖的成功率。環境變化後,原有的濱溪鳥類或許並未死亡,只是遷移他處,但從生態觀點來看,區域內原可滿足這些鳥類繁殖需求的承載量(carrying capacity)已經明顯下降甚至消失殆盡。

許多國外研究顯示,棲地消失是目前兩棲類、蛇類與一些半水生的爬蟲類減少的主因(Alford and Richards, 1999; Dorcast *et al.*, 1998; Buhmann, 1995; Shine, 1991)。而本研究中生存在水圳環境的生物也同樣面對這樣的問題。Burke and Gibbons(1995)提出一相當重要個觀念,保護一個濕地除了保護濕地本身外,更重要的是濕地外圍的環境也要多加關注,因為多數兩棲爬蟲類繁殖、冬眠,甚至躲避天敵都仰賴這些地方。這告訴我們,維持一個棲地絕對不是一個單一面向,不是只要有要保護的範圍,必續擴大思考層面到生物所需,才能較完善的保護到。換言之,水圳水泥化所帶來的衝擊也絕非一個簡單的影響,不是只影響到水裡面的魚,而是其間擁有複雜關係的食物網,甚至是依此延伸的各自生物學。如果沒有詳加調查研究便貿然改變,則恐怕不只改變一二種生物的命運,而是更多。

美國曾有學者針對一片長葉杉森林進行研究,發

現當97%面積的長葉杉消失時,會連帶的讓棲息於鄰近水域的扁木蝾螈(*Ambystoma cingulatum*)、佛州地鼠陸龜(*Gopherus polyphemus*)、靛青蛇(*Drymarchon corais*)、東部菱背響尾蛇(*Crotalus adamanteus*)一起消失(Means *et al.*, 1996; Guyer and Bailey, 1993)。由此可見,單純改變一個棲地所帶來的影響絕對不是可預期,誰會料想到一片針葉林跟蝾螈、烏龜與蛇會有什麼關係。以本研究來說,水泥化前後生物組成的改變除了魚類外,兩棲爬蟲類亦有明顯的數量變化。以澤蛙來說,水泥化前每年發現的數量在49至117隻次之間,水泥化後則僅能發現6至25隻次。而鱉、花浪蛇等也都有發現數量減少的現象。另外,水泥化前可發現穩定的雨傘節、草花蛇、虎皮蛙、貢德氏赤蛙與小雨蛙等生物,以及水域附近零星活動的南蛇等,水泥化後則未見蹤跡。國內不少文獻皆提到草花蛇、花浪蛇及各種蛙類較常在田邊活動;近年來數量明顯減少,原因包括一般認知的農耕地消失或農藥的使用(林等, 2003; 林, 2002; 林, 2001; 周等, 2000; 呂等, 1999; 呂等, 1989; Chou *et al.*, 1993)。Buhmann and Gibbons(1997)指出,致使黃斑地圖龜(*Clemmys muhlenbergii*)族群減少的原因包括河川污染、攔砂壩的興建,當然,與本文相關的河川渠道化也是關鍵因素之一。

那消失的生物究竟跑哪去了?在一個長達20年的研究中發現,一個森林內部池塘原本棲息著眾多的木雕水龜(*Clemmys insculpta*),森林被開發成為一空曠環境後,讓這些烏龜都不見了,消失的原因包括後續個體擴散離開、經過道路時被車輾斃、被捕捉販賣到寵物市場、被天敵捕食,還有被狗騷擾等(Garber and Burger, 1995)。這些原因都是在後續幾年追蹤調查所發現,說明了棲地改變除了有當下直接讓動物斃命的威力外,之後慢性致命的原因還會持續影響生物數年。水泥化後,這些兩棲爬蟲類消失無蹤,擴散個體除非在短期內找到類似環境,否則就如國外研究所示,族群量勢必減少。

不論河川或是田間的溝渠、水圳等設施都在隨著時代改變,隨著工業技術的發達,水泥化的人工構造物被廣泛地使用在各種環境。較早之前多半僅以工程結構穩固為考量,引水與排水便利為唯一宗旨,不惜破壞原有的生態景觀,以單純的水泥護岸取代之,除了截彎取直之外,也減少兩岸的孔隙,因而使水流速度更快,降低了棲地多樣性與功能性,也影響到生存

其間的生物(行政院公共工程委員會, 2004b; 陳等, 1999)。近年來保育意識抬頭, 各個河川整治工程均融入了生態的概念, 以求得工程結構安全考量與生物生存之平衡。對水圳、農水路整治規劃設計也有實際之研究與應用, 以增加孔洞、改變水泥結構物光滑面、創造不同深淺的多樣微環境、避免大量開挖等方式, 取代過去僅以輸水為考量的設計(黃等, 2004; 楊等, 2004)。行政院公共工程委員會自 2002 年開始積極推動生態工法至今, 有許多實際運用於河川整治與都市排水系統之案例, 然對於農田間的水圳、灌溉措施應用的例子則較少。吾人謹以幾年之觀察所得與各界分享, 並期望農田生態系能像河川、池塘一樣, 能同時保有時代進步的見證與其特色。

誌 謝

本研究後期感謝中興大學昆蟲系鐘鈺傑、洪仁傑等同學協助蝦籠佈設及兩棲爬蟲類之調查, 姚采宜同學協助處理圖片, 張集益協助英文摘要修改, 台灣電力公司公安環保處陳國琨先生提供具體建議, 以及民翔環境生態研究有限公司贊助部分研究經費, 方使研究能順利完成。

參考文獻

- 王嘉雄、吳森雄、黃光瀛、楊秀英、蔡仲晃、蔡牧起、蕭慶亮(1991), 「台灣野鳥圖鑑」, 亞舍圖書有限公司, 台北。
- 行政院公共工程委員會(2004a), 「本土化水域生態工法工程技術之研究」, 行政院公共工程委員會。
- 行政院公共工程委員會(2004b), 「生態工法案例編選集」, 行政院公共工程委員會。
- 呂光洋、杜銘章、向高世(1999), 「台灣兩棲爬行動物圖鑑」, 中華民國自然生態保育協會, 台北。
- 呂光洋、陳世煌、陳賜龍(1989), 「台灣爬蟲動物(陸棲蛇類)」, 台灣省政府教育廳, 霧峰。
- 沈世傑(1993), 「台灣魚類誌」, 國立台灣大學動物系, 台北。
- 林文隆(2003), 「台灣特有種魚類-飯島氏銀鮡」, 自然保育季刊, 42:53~57。
- 林文隆(2002), 「台灣本土魚類簡介-條紋二鬚鮠」, 自然保育季刊, 40:52~57。
- 林春富、黃朝慶、蔡昕浩、蔡雅芬、林斯正(2003), 「發現之旅—魚躍蛙鳴話埤塘」, 桃園縣政府, 桃園。
- 林華慶(2002), 「台灣瀕危蛇類的保育現況」, 瀕臨絕種生物的保育生物學研習會, 野生動物保育基金會, 台北。
- 林華慶(2001), 「台灣陸生蛇類的保育現況」, 科學月刊, 32(5):398~405。
- 周文豪、林俊義(2000), 「台灣蝌蚪的微棲地分化—兼論生態表型多樣性及保育的省思」, 2000年海峽兩岸生物多樣性與保育研討會論文集, 國立自然科學博物館, 台中。
- 陳義雄、方力行(1999), 「台灣淡水及河口魚類誌」, 國立海洋生物博物館籌備處, 屏東。
- 黃雲和、林文傑(2004), 「農水路生態工法—以七星農田水利會埤頂古圳為例」, 2004 農業工程研討會論文集, 中國農業工程學會, 桃園。
- 張明雄(1999), 「淡水魚類資源調查方法與技術」, 野生動物資源調查方法手冊, 行政院農委會特有生物研究保育中心, 南投。
- 楊邵洋、陳獻、蔡西銘、陳麒升、詹榮鑑(2004), 「生態孔洞應用於農水路生態化改善工程之研究」, 2004 農業工程研討會論文集, 中國農業工程學會, 桃園。
- 楊懿如(1991), 「蛙—訪陽明山國家公園兩棲類」, 內政部營建署陽明山國家公園管理處。
- Alford, R. A. and S. J. Richards (1999), "Global amphibian declines: A problem in applied ecology," *Annual review of ecology and systematics*, 30:133-165.
- Bibby, C. J., D. N. Burgess and D. A. Hill (1992), *Birds census techniques*, Academic Press, London.
- Buhlmann, K. A. and J. W. Gibbons (1997), *Imperiled aquatic reptiles of the southeastern United States: Historical review and current conservation status*. Lenz Design and Communications, pp. 201-232.
- Buhlmann, K. A. (1995), "Habitat use, terrestrial movements and conservation of the turtle *Dierochelys reticularia* in Virginia," *Journal of Herpetology*, 29:173-181.
- Burke, V. J. and J. W. Gibbons (1995), "Terrestrial buffer zones and wetland conservation: A case study of freshwater turtles in a Carolina Bay," *Conservation Biology*, 9:1365-1369.

23. Campos, F., A. Fernández, F. Gutiérrez-Corchero, F. Martín-Santos and P. Santos (2000), "Diet of the Eurasian Kingfisher (*Alcedo atthis*) in northern Spain," *Folia zool.*, 49:115-121.
24. Candolin, U. and J. D. Reynolds (2001), "Sexual signaling in the European bitterling: females learn the truth by direct inspection of the resource," *Behavioral Ecology*, 12(4): 407-411.
25. Chou, W. H., S. W. Chang and K. Y. Lue (1993), "Notes on distribution of *Rana taipehensis* in Taiwan," *Bull. Nat. Mus. Nat. Sci.*, 4:183-186.
26. Dorcas, M. E., J. W. Gibbons and H. G. Dowling (1998), *Seminatrix Cope Black swamp snake*, Society for the Study of Amphibians and Reptiles, pp. 679.1-679.5.
27. Garber, S. D. and J. Burger (1995), "A 20-yr study documenting the relationship between turtle decline and human recreation," *Ecological Applications*, 5: 1151-1162.
28. Gorman, O. T. and J. R. Kar (1978), "Habitat structure and stream fish communities," *Ecology*, 59:507-515.
29. Guyer, C. and M. A. Bailey (1993), "Amphibians and reptiles of longleaf pine communities," *The Tall Timbers Fire Ecology Conference*, 18:139-158.
30. Heneberg, P. (2004), "Soil particle composition of Eurasian Kingfishers (*Alcedo atthis*) nest sites," *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 50(3):185-193.
31. Krebs, C. J. (1998), *Ecological methodology*, Harper Collins Publishing, Inc., New York.
32. Means, D. B., J. G. Palis and M. Buggett (1996), "Effects of slash pine silviculture on a Florida population of flat woods salamander," *Conservation Biology*, 10:426-437.
33. Mills, S. C. and J. D. Reynolds (2003), "The bitterling-mussel interaction as a test case for co-evolution," *Journal of Fish Biology*, 63:84-104.
34. Mills, S. C. and J. D. Reynolds (2002), "Mussel ventilation rates as a proximate cue for host selection by bitterling, *Rhodeus sericeus*," *Oecologia*, 131:473-478.
35. Morgan, R. and D. Glue (1977), "Breeding, mortality and movements of kingfishers," *Bird Study*, 24:15-24.
36. Peris, S. J. and R. Rodriguez (1997), "A survey of the Eurasian kingfishers (*Alcedo atthis*) and its relationship with watercourses quality," *Folia zool.*, 46:33-42.
37. Peris, S. J. and R. Rodriguez (1996), "Some factor related to distribution by breeding kingfisher (*Alcedo atthis*)," *Ekol. Pol.*, 44:31-38.
38. Post, W. and C. A. Seals (2000), "Breeding biology of the Common Moorhen in an impounded cattail marsh," *Journal of Field Ornithol.*, 71(3):437-442.
39. Raven, P. (1986), "The size of minnow prey in the diet of Young Kingfishers *Alcedo atthis*," *Bird Study*, 33:6-11.
40. Régis, C., F. Santoul, A. Compin, J. Figuerola and S. Mastroiello (2005), "Co-occurrence patterns of some small-bodied freshwater fishes in southwestern France: implications for fish conservation and environmental management," *Ambio.*, 34(6):440-444.
41. Reichard, M., P. Jurajda and C. Smith (2004), "Male-male interference competition decreases spawning rate in the European bitterling (*Rhodeus sericeus*)," *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 56:34-41.
42. Reichard, M., P. Jurajda, A. Šimková and I. Matějusová (2002), "Size-related habitat use by bitterling (*Rhodeus sericeus*) in a regulated lowland river," *Ecology of Freshwater Fish*, 11:112-122.
43. Shine, R. (1991), *Australian snakes: A natural history*, Cornell University Press.
44. Smith, C., K. Rippon, A. Douglas and P. Jurajda (2001), "A proximate cue for oviposition site choice in the bitterling (*Rhodeus sericeus*)," *Freshwater Biology*, 46:903-911.
45. Sutherland, W. J. (1996), *Ecological census techniques*, Cambridge University Press.
46. Takano, L. L. and S. M. Haig (2004), "Distribution and abundance of the Mariana Subspecies of the Common Moorhen,"

Waterbirds, 27(2):245-250.

47. Ward, J. V. and J. A. Stanford (1979), *The ecology of regulated streams*, Plenum Press, New York

2005年10月17日 收稿

2005年12月26日 修正

2006年3月29日 接受

(本文開放討論至2007年9月30日)