

人工棲所的設置對水生生物的影響

The Effects of Artificial Shelters on Aquatic Organisms

國立成功大學
水利及海洋工程學系
博士候選人

邱宏彬

Hung-Pin Chiu

國立成功大學
水利及海洋工程學系
碩士

陳虹琪

Hung-Chi Chen

國立成功大學
水利及海洋工程學系
副教授

孫建平*

Jian-Ping Suen

摘 要

渠道之水生生態及其周邊土地利用等對農業生態環境的影響，漸因現今生態環境保育觀念的提升而獲得大家的重視，進而提供水生生態環境的渠道設施，也因此工程施作上進行了許多的改良。人工棲所這種以河道內避難棲所為概念的工法已在國外行之有年，而臺灣的灌排系統中也有施行這種工法。本研究的研究區域—嘉南大圳南幹支線，曾於 2010 年 6 月在部份渠道段完成人工棲所的設置，為了解此一人工棲所的設置對水生生物的影響，本研究於 2010 年 7 月起於不同的灌溉期進行水生生物和環境因子的調查，並與傳統的三面工混凝土渠道進行比較。研究結果顯示各測站的環境差異不大，而在設有人工棲所的測站，魚類的密度會高於其他無設置人工棲所的測站，且原生魚種的相對豐度在不同的灌溉期幾乎都高於外來魚種，但蝦類反而是以在遠離市區的測站(無人工棲所的傳統的三面工混凝土矩型渠道)有比較高的密度，探究其原因為蝦類可能對於濁度的要求較高。水溫的高低對於水生生物具有一定的影響，但本研究發現無論是哪種水溫狀況，原生魚、蝦類在設有人工棲所或是鄰近人工棲所的測站都有較高的相對豐度。期望藉由探討這項灌溉渠道人工棲所的結果，能提供未來圳路生態工程化的參考。

關鍵詞：人工棲所，主成份分析，灌溉渠道。

ABSTRACT

In agricultural ecosystems, the ecological concern of irrigation channels and ditches has been reconsidered and materialized in channel improvement. The ecological concept has been widely accepted and applied into irrigation systems. The idea of the in-stream

*通訊作者，國立成功大學水利及海洋工程學系副教授，70101 台南市東區大學路 1 號，jpsuen@mail.ncku.edu.tw

shelter/cover technique has been used as a new method in many countries. Recently, this eco-construction has also been installed in the irrigation system of Taiwan. In Xinhua, Tainan City, an installation of artificial shelters for southern branch of Chia Nan Irrigation Channel was completed in June 2010. In order to know the effects of artificial shelters on aquatic organisms, this study investigates aquatic organisms and environmental factors among different types of sampling channels (U-shaped, trapezoid-shaped, with and without artificial shelters) during the different irrigation periods from July 2010. The results indicate environmental factors are not significant differences among different types of sampling channels. The density of fish in the channel with artificial shelters is higher than without artificial shelters, and the relative abundance of native species is approximately higher than relative abundance of exotic species. The density of shrimp is the highest in the U-shaped channel (Without artificial shelters). This phenomenon perhaps results from the influence of turbidity analyzed by principal component analysis. The abundance of aquatic organisms is affected by water temperature, but this study detects that native species have more relative abundance in the channel with artificial shelters or adjacent the channel with artificial shelters at different water temperature conditions. We believe our study can provide some helpful information for the improvement of ecological engineering of Taiwan irrigation system in the future.

Keywords: Artificial shelters, Principal component analysis, Irrigation Channel.

一、前 言

臺灣的農田圳路面積相當廣泛，過去這些水路與農地交錯的環境能提供生物生存，除了生物能從水、土壤、植被等環境獲取不同的養分需求外，水圳中的水文條件(水深、流速、流量、水質等)對於水圳中生物物種的組成亦有相當大的影響(Herzon and Helenius, 2008)。隨著臺灣產業型態的轉變，加上人口激增和都市化，許多既有的農田圳路被開發填平，剩餘的也因為輸水效益、施工成本和圳路邊坡穩固等考量下，大量地使用水泥鋪面(渠道化)取代過去傳統的砌石或疊石工法，而水泥鋪面使用的結果會讓渠道變得光滑，植物不易附著，泥沙、礫石等底質所組成的多孔隙環境亦隨之消失，原有的棲地環境變得較單一化，不適合原生種生存(Carroll *et al.*, 1977；Scarnecchia, 1988；Lau *et al.*, 2006)。

從世界各地的發展來看，農田圳路的渠道化最主要是因為糧食需求增加，相對耕作面積亦隨

之增加，在大面積的開墾和灌溉需求下，早期藉由土溝渠引水灌溉的方式容易發生河道侵蝕、泥沙堆積、植生遭到破壞、邊坡不穩定等問題，加上傳統的土溝渠還會有滲漏問題，因此農田圳路的渠道化才會變得迫切。雖然農田圳路的渠道化改善了上述的問題，但卻改變了棲地環境，部分生存於這些棲地環境內的生物將因為難以適應環境劇烈的改變而死亡甚至滅絕，尤以水生生態系統最直接也最嚴重，因為農田圳路的渠道化將會移除了原有的淺灘、潭等環境，形成單調的微棲地、極少樣的生態區位(Ecological niche)和更加不穩定的底質環境和流況(Carroll *et al.*, 1977；Lau *et al.*, 2006)。另外，渠道化也會使得河寬、水深以及底質環境更趨於單調，棲地中魚類群聚結構的多樣性降低(Scarnecchia, 1988)，因為有許多魚類需仰賴一定環境條件才能有較高的產卵率，而渠道化的結果將使得這些魚類的產卵成功率降低(Carline and Klosiewski, 1985)。綜合上述，農田圳路渠道化的魚類棲地被歸類出有 5 個

特色：整體棲地面積減少、河道梯度或流速增加、底床之底質為細緻且不穩定的狀態、缺乏淺灘和潭交替的變化流況、整體棲地環境的多樣性降低(Zimmer and Bachmann, 1978；Chapman and Knudsen, 1980)。

為了使生物環境回復至以往自然的狀態，許多的生態工法概念紛紛應用於溪流環境的復育上。人工棲所(artificial shelter)已在國外行之有年，其概念近似於河道內避難棲所(shelter/cover)，簡單來說為存在於河岸與河道內之遮蔽區域稱之(Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG), 1998)，且此種環境能在溪流中提供水生生物更多樣的微棲地(Talmage *et al.*, 2002)。一般來說，魚類會在以下幾種情況時利用河道內的此種微棲地，例如當洪水來臨流速驟增時，魚類會躲藏其中，以避開高流速之環境；或當乾旱低流量時，魚類會聚集在此，獲得足夠生存的空間；還有如遭受掠食者以及天敵威脅時，魚類也會利用這種環境，作為暫時遮蔽、庇護的地方，如此一來便可避免受到捕食與攻擊(Mesick, 1988)。

Katano *et al.* (2001)曾針對人工棲所進行相關研究，主要是在一條人工間歇渠道設置兩條輸水路，其中一輸水路兩邊設置兩種型態的人工棲所，包含混凝土磚堆砌而成以及塑膠管製成的兩種人工棲所，另一條輸水路則保持無設置人工棲所的單調型態，用以作為實驗對照組；實驗結果發現，在有設置人工棲所的輸水路中，其魚類群落和底棲無脊椎動物的數量會比無設置人工棲所的輸水路多，且當地的優勢物種一箱根三齒雅羅魚(*Tribolodon hakonensis*)和其他魚種的平均標準體長(Standard length)在有設置人工棲所的輸水路中，也會較無設置人工棲所的輸水路長，這代表在輸水路中設置人工棲所，發揮的效能與鄰近的自然河川一千曲河中的天然避難棲所相類似。人工棲所的存在，提供了河道中更多樣的微棲地環境，若增加這些人工棲所的數量與面積，則對於河道中的魚類密度與多樣性亦具有正面影響(Hunt, 1976；Maruyama and Ishida, 1991；Morgan and Ringler, 1992；Jong *et al.*, 1997；Eklöv

and Greenberg, 1998；Talmage *et al.*, 2002)。

人工棲所的概念，在經過實驗後發現具有一定的機能性，應用在水生環境的生態多樣性復育上應可達到一定的成效，而近幾年臺灣的灌排系統中也有出現人工棲所這項技術，但是國內探討其成效的研究並不多；本研究的研究區域—嘉南大圳南幹支線新化段渠道改善工程，其使用的工法與人工棲所相同，過去也有針對此一人工棲所進行相關的研究(陳虹琪和孫建平, 2011；孫建平等人, 2013)，為了瞭解人工棲所的功能性對於水中魚、蝦類的影響，本研究於工程區域選擇了設置有人工棲所的工程區域，於供、停灌期進行魚、蝦類的採集和環境因子的量測，並與傳統的三面工混凝土渠道進行比較。為保育臺灣農田水利生態的環境及生物多樣性，大家積極改良及應用相關工法於各灌排系統中，但在施行生態工程後，應長期追蹤監測其整體生物相是否達到原本設計之理念，才能因此思考工程設計的盲點或是改善缺失，以達到促進農田水利生態工程推廣之目的，本研究亦希望藉由探討這項渠道改善工程的結果，提供臺灣未來農田水利生態工程參考之依據。

二、材料與方法

2.1 研究區域

本研究位於臺南市新化區的嘉南大圳南幹支線，其水路為灌溉使用，水源則取自烏山頭水庫，渠道中的魚、蝦類會隨著渠道供灌時，在水庫流域以及灌溉區中移動。2009年起，嘉南農田水利會在南幹支線(10k+426m~10k+959m)進行改善工程(含生態綠美化)，該工程於2010年6月完工，工程改善項目包括將主要輸水渠道內牆以RC造型生態模板進行內面工渠道改善，並於南幹支線測點10k+470m~10k+920m區間設置有植栽型留水槽的人工棲所，以提供枯水或斷水時期生物避難暫時的棲息空間。另外位於新化高中側門處10k+637m設置右岸生態池，提供緩流區供水中生物棲息，渠道兩側也保留既有樹木植栽，並設置兩棲類生態廊道之青蛙步道，惟經過現地調查發現，因考量避免輸水損失及滲漏等因素，



圖 1 調查樣站位置圖

生態池與渠道為無連接(不通水)的截斷狀態，而專為兩棲類設置的青蛙步道也因為需加強防洪排水之效能而將渠堤加高約 30 公分，阻斷了兩棲類由陸地通往渠道獲取水源的生態廊道。

嘉南大圳南幹支線的調查測站選定以工程區域上游、工程區域(包含兩處植栽型留水槽、橋下凹槽及兩處一般矩形断面)、工程區域下游兩處等區段進行比較，詳細的調查樣站位置及環境如圖 1 及圖 2 所示。測站 A (工程區域上游)位於採樣區最上游處，其渠道型態為傳統的三面工混凝土矩形渠道，測站周邊環境多為農田，但渠道本身跟農田之連接性不佳，因為渠道位於築高的堤上，與農田具連接性的放水口之垂直落差大。矩形渠道再往下游連接水管橋，輸送的灌溉水流經水管橋後便進入工程區域。測站 B、C、D、E、F 五個樣站皆位於工程區域，其中測站 B 和 F 為渠道岸壁有設置植栽型留水槽的人工棲所，測站 C 和 E 為兩岸無植栽型留水槽的區段(一般矩



圖 2 各測站之渠道型式和整體環境狀況

形断面)，測站 D 為新化高中側門之橋下，周邊為道路以及改善工程設置的步道，而位於橋的正下方渠道有一凹槽，凹槽中富含礫石與泥沙。測站 G (工程區域下游)位於採樣區下游處的民宅旁(緊鄰新化國中)，渠道型態為傳統混凝土三面工梯形渠道。測站 H(工程區域下游)位於新化體育公園附近，渠道型態亦為傳統混凝土三面工梯形渠道。

2.2 魚、蝦類與環境資料採集

魚類的採集方式有許多種，但都有其優缺點(Copp, 1991)，在考量了採樣作業時的便利性、採樣效率、安全性、作業環境水深以及最不傷害魚類為原則等條件因素下，本研究以背負式電魚器

進行採樣，採樣時會將測站的上、下游利用圍網阻隔(網目為 1.2 cm)，避免魚類自採樣範圍逃脫或是由其他河段進入採樣區域。雖然本研究利用背負式電魚器採樣，但為顧及採樣人員之安全，因此電棒和電網的長度都有加長，如此背負式電魚器即可放置於岸上，採樣時亦可達到大範圍區域的調查。採樣進行時，由一人手持電棒和電網，兩側另由兩名採樣人員手持撈網進行捕撈，並以「Z」字型的方式從下游至上游進行採樣，而採集得到的魚類會進行種類的辨識，辨識完後即立刻放回原採樣區域。採集魚類時，亦可同時採集蝦類，故蝦類的採樣方式與魚類相同，併入本研究的分析中。

環境資料的採集包含了水溫、pH 值、導電度、鹽度、溶氧、濁度、流速和水深，其中水溫、pH 值、導電度和鹽度是採用 YSI 63 pH/導電度/鹽度測定儀量測，溶氧採用 YSI 550A 手持式溶氧計量測，濁度則是採用 HACH 2100P 攜帶式濁度計量測。

2.3 採樣時間

2010 年 6 月改善工程完工後，同年的 7 月本研究即開始嘉南大圳南幹支線的環境調查，至 2013 年結束已調查 18 次，調查期間供灌期有 8 次(2010 年：7 月 25 日、10 月 14 日、11 月 19 日；2011 年：3 月 2 日；2012 年：9 月 16 日；2013 年：6 月 9 日、7 月 29 日、10 月 20 日)，停灌期有 9 次(2010 年：12 月 10 日；2011 年：1 月 7 日、3 月 9 日、11 月 20 日；2012 年：4 月 20 日、5 月 3 日、11 月 4 日；2013 年：11 月 3 日、11 月 10 日)，雜作停灌期有 1 次(2012 年 3 月 15 日)，其中工程區域內的測站多集中在上午採樣，工程區域上、下游則是集中在下午採樣。由於雜作停灌期只有 1 次的調查紀錄，因此不列入分析，但其魚、蝦類資料仍會顯示於分析的圖中。每次的調查時間約為 1 個白天，1 次最多僅可調查 5 個測站，加上少數測站是從 2013 年開始進行調查，因而本研究分析時將排除採樣數較少的測站(測站 E 和測站 H)。

魚類的調查期間與環境調查相同，共計調查

16 次，調查期間供灌期有 6 次，停灌期有 9 次，雜作停灌期有 1 次。蝦類的調查時間是從 2012 年 3 月開始，至 2013 年結束共計調查 8 次，其中供灌期有 2 次，停灌期有 5 次，雜作停灌期有 1 次。

2.4 資料分析

為了解嘉南大圳南幹支線環境資料在供、停灌期以及各測站間是否有差異，本研究利用獨立樣本 T 檢定檢定各測站供、停灌期的環境資料，再以各測站的平均值進行單因子變異數分析，並搭配 Post Hoc 檢定(Hair *et al.*, 2009; Huitema, 2011) (本研究採用 Duncan 法)以比較各測站間的環境資料。在魚、蝦類與環境資料間的關係，本研究利用主成份分析法(Pearson, 1901; Hotelling, 1933)進行分析，此方法除了能用來了解生物所偏好的環境之外，亦有研究利用主成份分析探討生物或測站在整體環境上的分佈範圍或趨勢(Morán-López *et al.*, 2006; Soulsby *et al.*, 2012)。本研究也會利用類似的概念找出各魚、蝦種在供、停灌期在整體環境上的分佈範圍，除了比較供、停灌期在整體環境上的分佈範圍是否有差異外，亦會比較各測站不同魚、蝦種的相對豐度。另外，本研究的調查時間約有 3.5 年，採樣的時間遍佈在各個月份，因此會將每次採樣的日平均水溫利用群集分析進行水溫分群，最後再將分群的結果與主成份分析的結果進行結合，以探討各魚、蝦種在不同水溫分群上的差異，並會比較不同水溫分群內各魚、蝦種的相對豐度(%)。主成份分析的資料是採用相關矩陣進行分析。

三、結果

3.1 各測站環境狀況

至 2010 年 7 月以來，本研究於嘉南大圳南幹支線共計採樣 18 次(天)，各環境因子採集的結果如表 1 所示。各測站內大部份的環境因子在供、停灌期間無顯著的差異，僅流速和水深有顯著差異。在各測站間的環境因子比較，導電度和鹽度以測站 G 最高，主要是因為測站 G 緊鄰住宅

表 1 各測站環境因子的基本資料

測站	導電度($\mu\text{S}/\text{cm}$)	濁度(NTU)	鹽度(ppt)	溶氧(mg/L)	pH 值	水深(cm)	流速(m/s)	
A	供灌期	281.90 ± 35.79	46.14 ± 33.34	0.1 ± 0.0	7.65 ± 1.72	8.41 ± 0.17	61.1 ± 14.2	1.1 ± 0.9
	停灌期	— ³	—	—	—	—	—	—
	p 值 ¹	—	—	—	—	—	—	—
	平均值 ²	281.90 ± 35.79 ^a	46.14 ± 33.34 ^a	0.1 ± 0.0 ^a	7.65 ± 1.72 ^a	8.41 ± 0.17 ^b	61.1 ± 14.2 ^a	1.1 ± 0.9 ^b
B	供灌期	283.80	34.60	0.2	9.22	8.56	68.0	0.2
	停灌期	314.80 ± 41.86	51.90 ± 42.87	0.2 ± 0.1	8.52 ± 4.79	7.96 ± 0.27	26.5 ± 6.6	0.0 ± 0.0
	p 值	0.587	0.760	0.667	0.911	0.191	0.032	0.001
	平均值	306.90 ± 32.50 ^a	39.89 ± 35.64 ^a	0.2 ± 0.0 ^{ab}	8.86 ± 3.42 ^a	8.19 ± 0.37 ^{ab}	43.4 ± 23.6 ^a	0.1 ± 0.1 ^a
C	供灌期	264.98 ± 37.36	65.63 ± 54.41	0.1 ± 0.0	6.57 ± 1.77	8.35 ± 0.15	105.6 ± 4.6	0.4 ± 0.3
	停灌期	290.78 ± 55.24	15.06 ± 7.83	0.1 ± 0.0	6.93 ± 3.12	7.92 ± 0.46	24.4 ± 11.7	0.0 ± 0.0
	p 值	0.453	0.159	0.407	0.863	0.122	0.000	0.281
	平均值	283.25 ± 46.27 ^a	34.81 ± 41.47 ^a	0.1 ± 0.0 ^{ab}	7.14 ± 2.60 ^a	8.15 ± 0.41 ^{ab}	50.1 ± 38.4 ^a	0.1 ± 0.2 ^a
D	供灌期	282.60 ± 38.78	54.47 ± 45.56	0.1 ± 0.0	7.51 ± 1.83	8.30 ± 0.12	89.6 ± 17.5	0.4 ± 0.3
	停灌期	300.99 ± 46.50	28.00 ± 45.52	0.1 ± 0.1	7.72 ± 3.80	7.82 ± 0.28	25.5 ± 10.7	0.0 ± 0.0
	p 值	0.425	0.282	0.950	0.919	0.001	0.000	0.023
	平均值	293.62 ± 41.46 ^a	38.38 ± 45.10 ^a	0.1 ± 0.1 ^{ab}	7.89 ± 3.17 ^a	8.07 ± 0.33 ^{ab}	50.5 ± 33.6 ^a	0.2 ± 0.3 ^a
F	供灌期	288.10 ± 41.77	50.05 ± 48.10	0.1 ± 0.0	8.89 ± 2.74	8.21 ± 0.12	89.2 ± 17.4	0.4 ± 0.2
	停灌期	346.35 ± 160.63	47.76 ± 30.97	0.2 ± 0.1	5.96 ± 2.23	7.61 ± 0.28	24.2 ± 9.5	0.0 ± 0.0
	p 值	0.295	0.904	0.459	0.044	0.000	0.000	0.009
	平均值	319.98 ± 120.09 ^a	47.06 ± 37.90 ^a	0.1 ± 0.1 ^{ab}	7.11 ± 2.71 ^a	7.89 ± 0.37 ^a	49.0 ± 35.0 ^a	0.1 ± 0.2 ^a
G	供灌期	295.48 ± 10.34	58.38 ± 45.98	0.1 ± 0.1	9.22 ± 1.17	8.29 ± 0.09	71.0 ± 14.0	0.7 ± 0.3
	停灌期	644.00 ± 295.45	26.52 ± 27.53	0.3 ± 0.2	7.33 ± 5.16	8.09 ± 0.53	21.0 ± 7.7	0.0 ± 0.0
	p 值	0.178	0.341	0.144	0.660	0.577	0.000	0.010
	平均值	444.84 ± 252.70 ^b	44.72 ± 40.00 ^a	0.2 ± 0.2 ^b	8.08 ± 3.84 ^a	8.20 ± 0.33 ^{ab}	46.0 ± 28.4 ^a	0.3 ± 0.4 ^a

備註 1：為各個測站內，以獨立樣本 T 檢定檢定供、停灌期的 p 值。

備註 2：各測站的平均值有利用單因子變異數分析搭配 Post Hoc 檢定進行比較。

備註 3：無資料。

區，受家庭廢水的影響最大，加上停灌期時無水流流動，因而導致過多的解離性無機鹽類會聚集於此；pH 值以測站 A 最高，測站 F 最低，兩測站間亦有差異，不過測站 A 僅只有供灌期的資料，其餘測站在供灌期的數值皆與測站 A 接近，唯獨停灌期時由於無水流流動，加上枯枝落葉等物質堆積沉澱，因此在停灌期的 pH 值會低於供灌期，而測站 F 又比其他測站多了植栽型留水槽的設置，更容易有較多的枯枝落葉堆積沉澱；流速以測站 A 最高，但也是因為其並未有停灌期的資料，因此其平均流速會高於其他測站；濁度、溶氧、水深等環境因子無顯著的差異。

3.2 魚、蝦類捕獲狀況

本研究在嘉南大圳南幹支線共計捕獲魚類有 8 科 16 種，蝦類有 2 科 4 種，分佈的情形如表 2 所示。由表 2 可發現，優勢魚類為革條田中鯉鰻(共計捕獲 1580 隻)、極樂吻鰻虎(共計捕獲 720 隻)、吳郭魚(共計捕獲 285 隻)和鰻(共計捕獲 156 隻)，優勢蝦類為日本沼蝦(共計捕獲 194 隻)、粗糙沼蝦(共計捕獲 117 隻)和貪食沼蝦(共計捕獲 116 隻)，其中革條田中鯉鰻在測站 B 和測站 F 的平均密度較高(> 1.0 捕捉隻數/平方公尺)，極樂吻鰻虎(0.8 捕捉隻數/平方公尺)、吳郭魚(0.5 捕捉隻數/平方公尺)和鰻(0.3 捕捉隻數/

表 2 各測站採集到的魚、蝦類密度(捕捉隻數/平方公尺)

測站		食蚊魚	鱉	吳郭魚	革條田中鱒鮠	極樂吻鰕虎	日本沼蝦	衛氏米蝦	貪食沼蝦	粗糙沼蝦
A	供灌期	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.6
	停灌期	— ²	—	—	—	—	—	—	—	—
	p 值 ¹	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	平均值	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.6
B	供灌期	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	—	—	—	—
	停灌期	0.0	0.6	0.9	2.0	1.3	0.1	0.0	0.0	0.1
	p 值	0.667	0.350	0.529	0.410	0.215	—	—	—	—
	平均值	0.0	0.5	0.7	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.1
C	供灌期	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	停灌期	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.1	0.0	0.1	0.0
	p 值	—	0.104	0.362	0.468	0.024	0.411	0.500	0.703	0.500
	平均值	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0
D	供灌期	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0
	停灌期	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.2	0.0	0.1	0.0
	p 值	0.331	0.779	0.088	0.082	0.018	0.224	0.550	0.515	0.880
	平均值	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.2	0.0	0.1	0.0
F	供灌期	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1
	停灌期	0.0	0.1	0.5	1.8	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0
	p 值	0.566	0.073	0.068	0.029	0.003	0.274	0.555	0.648	0.488
	平均值	0.0	0.1	0.3	1.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1
G	供灌期	0.1	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	停灌期	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	p 值	0.235	0.178	0.299	0.279	0.078	—	—	—	—
	平均值	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

備註 1：為各個測站內，以獨立樣本 T 檢定檢定供、停灌期的 p 值。

備註 2：無資料。

平方公尺)以測站 B 最高，日本沼蝦(0.2 捕捉隻數/平方公尺)和貪食沼蝦(0.1 捕捉隻數/平方公尺)以測站 D 最高，粗糙沼蝦(0.6 捕捉隻數/平方公尺)以測站 A 最高。各魚、蝦種的平均密度大多以測站 G 最低(鱉及 4 種蝦類)；革條田中鱒鮠和極樂吻鰕虎以測站 A 平均密度最低，但牠們在測站 G 的平均密度皆為次低；吳郭魚以測站 C 的平均密度最低。由於高體高鬚、斑駁尖塘鱧、羅漢魚、琵琶鼠、鯽魚、高體鱒鮠、鯉魚、珍珠石斑、明潭吻鰕虎、大鱗副泥鰍、豹紋翼甲鯉等魚種捕獲數較少，採樣密度幾乎為 0.0 捕捉隻數/平方公尺，因此沒將數據列於表 2 中，且這些魚種亦不進行以下的分析。

3.3 魚、蝦類於各測站在供、停灌期的差異

由於嘉南大圳南幹支線屬於灌溉用渠道，因此會有供灌和停灌的時間，而藉由主成份分析發現各魚、蝦種在這兩個期間對於環境有不同的偏好，如供灌期各魚、蝦種多會與水深、流速、pH 值、溶氧等環境因子呈現正向的趨勢，但停灌期則是會與這些環境因子呈現反向的趨勢(圖 3 及圖 4)。由於革條田中鱒鮠、極樂吻鰕虎等魚種捕獲的數量較多，因此大多數的測站的相對豐度在供、停灌期都較高，但這些測站多集中於測站 B 至測站 F，測站 A 及測站 G 則是以吳郭魚有較高的相對豐度，尤以停灌期更為明顯，而革條田中鱒鮠和極樂吻鰕虎在停灌期時於測站 G 幾乎無捕獲；蝦類以日本沼蝦在測站 B 至 F 有較高的相對豐度，但本研究所採集的 4 種蝦類，無論是在供灌期或是停灌期，在測站 G 幾乎無捕獲。

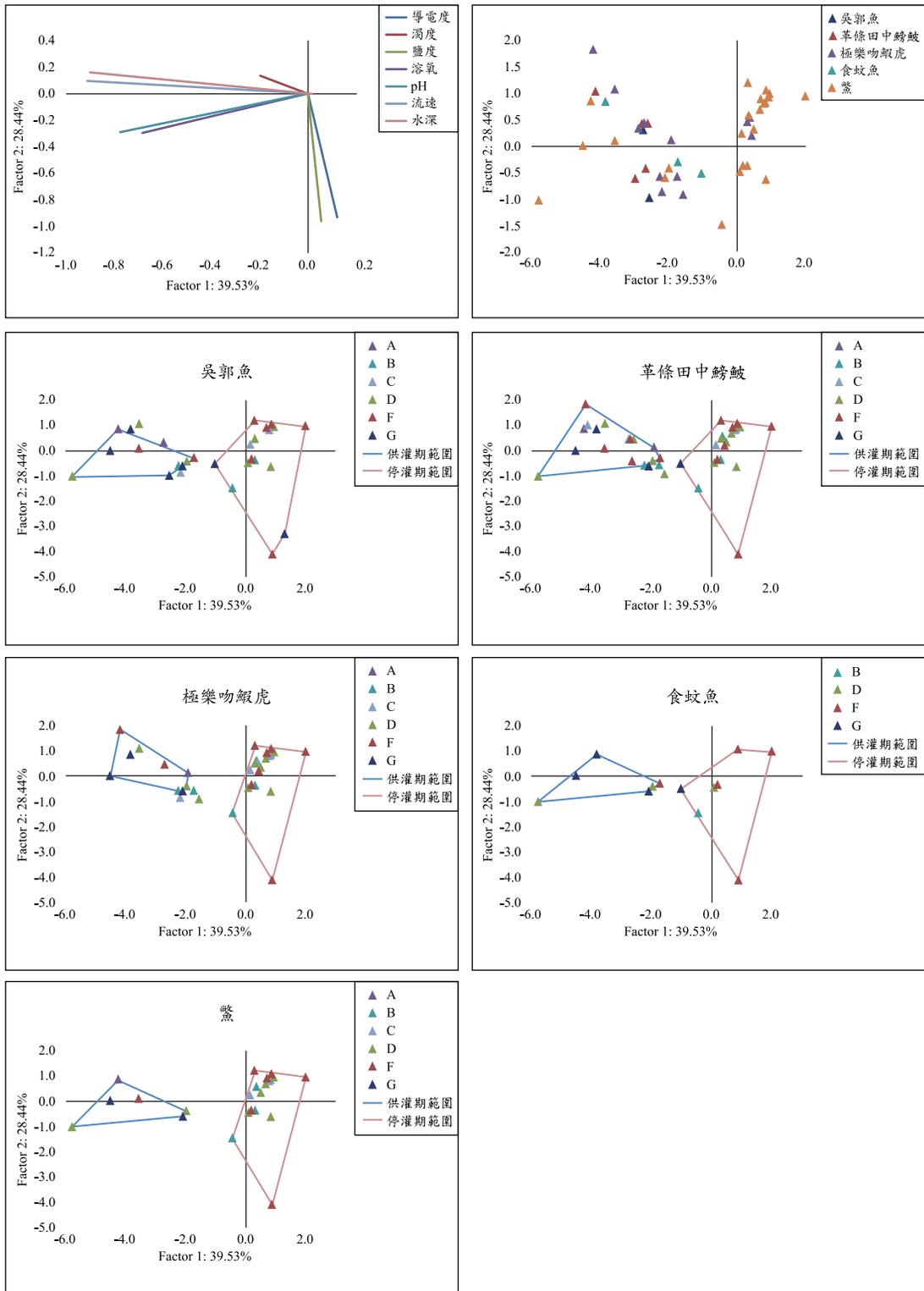


圖 3 魚類-環境因子的主成份分析空間排序圖(比較供、停灌期之差異)

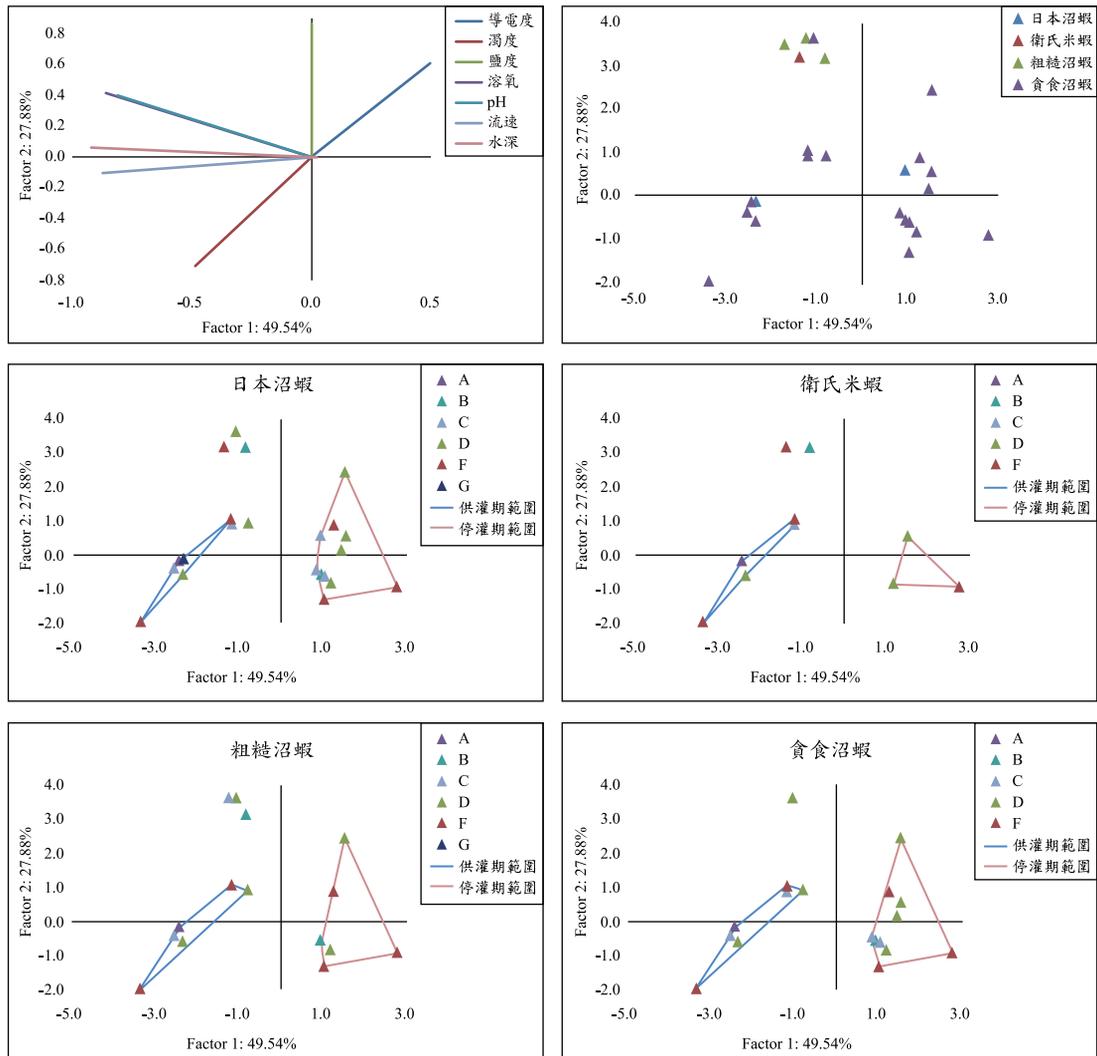


圖 4 蝦類-環境因子的主成份分析空間排序圖(比較供、停灌期之差異)

3.4 水溫對魚、蝦類的影響

根據群集分析的結果，本研究的採樣時間可以分成 4 群。第 1 群的日平均水溫為 28.9°C，採樣的月份為 4 月至 7 月和 9 月至 11 月兩個時段；第 2 群的日平均水溫為 25.1°C，採樣的月份為 10 和 11 月；第 3 群的日平均水溫為 21.4°C，採樣的月份為 1 月、3 月及 12 月；第 4 群的日平均水溫為 16.8°C，採樣的月份為 3 月。大多數的優勢魚類在第 4 群的分佈上會與其他 3 群不同，惟吳郭魚在這 4 群的分佈皆類似(圖 5)。4 種蝦類在各

分群皆有很大的不同，如日本沼蝦、粗糙沼蝦、貪食沼蝦在第 1 群和第 2 群對於水深、流速、溶氧、pH 值等環境因子的要求不同，而日本沼蝦、衛氏米蝦、粗糙沼蝦在第 1 群和第 3 群對於導電度、濁度、鹽度等環境因子的要求不同(圖 6)。雖然魚、蝦類在不同的季節對於環境的要求有所不同，但大部分的魚、蝦種的相對豐度多以工程區域內較高，僅少數魚種(吳郭魚、食蚊魚和鰲)會有較高的相對豐度出現於工程區域上游和下游(表 3)。

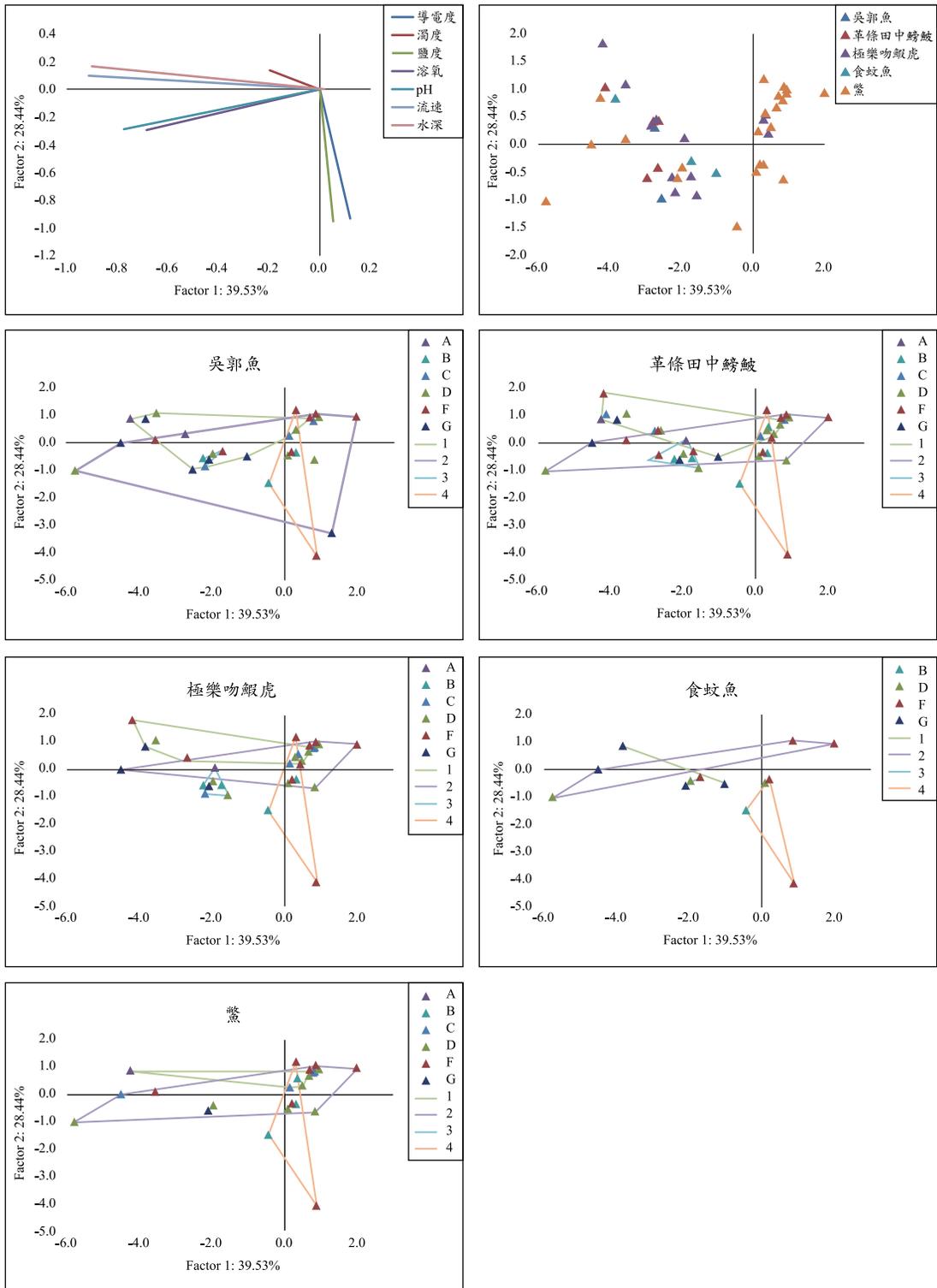


圖 5 魚類-環境因子的主成份分析空間排序圖(比較水溫分群之差異)

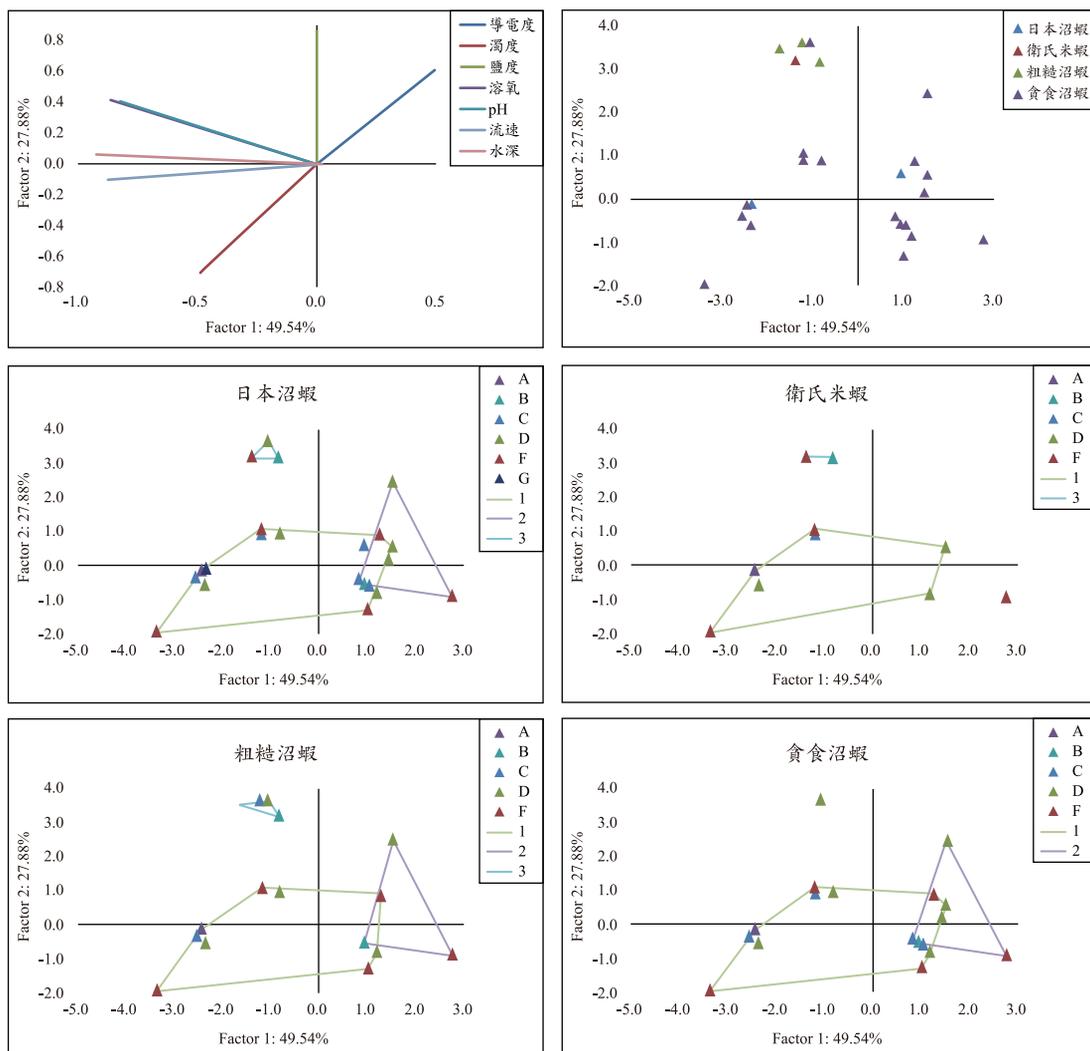


圖 6 蝦類-環境因子的主成份分析空間排序圖(比較水溫分群之差異)

四、討 論

本研究的研究區域—嘉南大圳南幹支線，屬於農業灌溉渠道，只有在需要灌溉時，上游水庫才會放水，而不需灌溉時，渠道內水流流況則是呈現停滯和水淺的環境，因此才導致嘉南大圳南幹支線各測站在供、停灌期的流速和水深會有顯著的差異。在各測站的環境比較，大部分的環境因子皆無明顯差異，僅流速、導電度、鹽度、pH 值在某些測站的比較上有顯著差異；流速有差異

的是測站 A，但由於測站 A 並未有停灌期的資料，因此其平均流速會遠高於其他測站，導致測站 A 會明顯與其他測站不同；導電度和鹽度有差異的是測站 A 和測站 G，主要是因為測站 G 位於住宅區內，生活污水會排放至渠道內，提高了解離性的無機鹽類，而測站 A 位於郊區，較無其他污水影響，因而導致測站 G 的導電度和鹽度會明顯高於測站 A；pH 值有差異的是測站 A 和測站 F，由於測站 F 兩旁植生茂密，兩旁又有植栽型留水槽的設置，因此植物的枯枝落葉掉入渠道

表 3 不同水溫分群內各魚、蝦種的相對豐度(%)

魚種	測站	A	B	C	D	F	G
	水溫分群						
吳郭魚	1	16.97	0.00	1.56	3.55	2.03	75.90
	2	0.00	0.00	0.91	9.11	50.07	39.91
	3	0.00	6.58	11.20	27.87	7.84	46.50
	4	0.00	49.80	0.00	2.86	47.34	0.00
革條田中鱒鯪	1	0.91	0.00	38.12	11.21	32.34	17.41
	2	0.00	32.15	3.18	21.78	40.10	2.79
	3	2.62	12.91	0.00	43.27	28.22	12.99
	4	0.00	46.62	0.00	4.85	48.53	0.00
極樂吻鰕虎	1	2.83	0.00	38.07	20.95	26.32	11.82
	2	0.00	38.12	20.94	24.31	15.71	0.92
	3	13.36	34.44	7.96	40.54	0.00	3.70
	4	0.00	69.44	0.00	24.18	6.38	0.00
食蚊魚	1	0.00	0.00	0.00	2.73	13.75	83.52
	2	0.00	0.00	0.00	35.97	24.10	39.93
	3	0.00	0.00	0.00	6.59	5.50	87.90
	4	0.00	13.20	0.00	41.68	45.12	0.00
鰲	1	42.73	0.00	20.00	15.45	21.82	0.00
	2	0.00	0.00	10.11	18.11	63.75	8.04
	3	0.00	0.00	0.00	31.00	0.00	69.00
	4	0.00	0.00	82.23	7.53	10.24	0.00
日本沼蝦	1	12.11	0.00	22.24	42.83	20.45	2.36
	2	0.00	18.37	21.68	40.72	19.23	0.00
	3	0.00	14.98	0.00	45.36	39.66	0.00
衛氏米蝦	1	76.05	0.00	2.23	16.73	4.99	0.00
	2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
	3	0.00	60.22	0.00	0.00	39.78	0.00
粗糙沼蝦	1	82.94	0.00	0.59	4.88	11.59	0.00
	2	0.00	58.25	0.00	12.59	29.16	0.00
	3	0.00	63.74	25.95	10.31	0.00	0.00
貪食沼蝦	1	21.49	0.00	13.02	44.64	20.84	0.00
	2	0.00	3.16	44.20	35.22	17.41	0.00
	3	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00

內容容易會在植栽型留水槽內堆積，當枯枝落葉釋出腐植質時，渠道內水的 pH 值會降低，而測站 A 除了兩旁沒有茂密的植生外，於停灌期時亦完全乾枯，因而測站 A 的 pH 值會高於測站 F。

嘉南大圳南幹支線各測站在環境上僅有些許差異，主要的原因是因為其水源源頭皆來自烏山頭水庫，在溪流中亦有類似的結果(Amos, 2001)。雖然各測站的環境差異不大，但是各測站

的魚類密度卻有很大的不同(表 2)。革條田中鱒鯪、極樂吻鰕虎、吳郭魚和鰲等魚類皆以測站 B 的密度最高，而除了極樂吻鰕虎外，其餘 3 種魚種的密度皆以測站 F 的密度為次高，這兩個測站皆為兩岸有設置植栽型留水槽的人工棲所。針對覓食、競爭和天敵掠食等角度探討，人工棲所的功能可分為流速避難、視覺隔離避難和遮蔽型避難(Mortensen, 1977; Wańkowski and Thorpe, 1979 ;

Valdimarsson and Metcalfe, 1998; Vehanen *et al.*, 2000), 本研究中的植栽型留水槽人工棲所, 除了在供灌期可提供魚類進行棲息外, 亦可提供魚類食物的來源, 加上具有凹槽以及降低光照強度, 具備所有的功能, 因此大部分的魚類會棲息於測站 B 和測站 F。雖然工程區域內其他測站的魚類密度大多低於測站 B 和測站 F, 但仍高於測站 A 和測站 G 等非工程區域的測站, 主要的原因是因為於停灌期時, 測站 A 會完全乾枯, 而測站 G 的導電度和鹽度會過高, 較不適合魚類生存, 僅吳郭魚還能在測站 G 生存, 由此可知工程區域不僅是魚類在停灌期的棲息地, 人工棲所的設置也能夠吸引魚類, 使得工程區域內的魚類密度會多於工程區域的上游和下游。相較於魚類, 蝦類的密度在植栽型留水槽的人工棲所並無明顯高於其他工程區域內的測站, 甚至於供灌期測站 A 擁有較高的密度, 推測其原因可能與濁度有關。從表 1 得知, 測站 A 的濁度在供灌期時低於各測站, 而從圖 4 亦可發現, 蝦類在停灌期的點位都位於濁度相對較低的位置上, 因此蝦類可能較喜歡生活於水質較為澄清的環境。

農業灌溉渠道不同於天然溪流環境, 會配合不同的季節以及作物的需求而有不同的流量, 因而也會形成不同的棲地環境。本研究以供、停灌期來探討魚類與環境之間的關係, 發現魚、蝦類在供、停灌期對於環境的利用或偏好明顯不同, 但無論是在供灌期或是停灌期, 各魚種都有很大的分佈範圍, 僅蝦類在供灌期的分佈範圍稍微小於停灌期, 表示各魚種在供、停灌期都有很好的適應能力, 不過從各測站的魚類相對豐度可以發現工程區域內的各測站在供灌期和停灌期仍以原生種(革條田中鯉鰻和極樂吻鰕虎)為較高。許多溪流的研究曾經指出外來種無法適應當地的水文環境, 因此不容易存活(Gido, 1997; Brouder, 2001; Valdez *et al.*, 2001; Schultz *et al.*, 2003)。人工棲所的設置提供了避難的功能, 但除了對原生種產生保護外, 可能也保護了外來種(陳虹琪和孫建平, 2011), 但是從捕捉隻數和密度來看, 吳郭魚的數量遠不及革條田中鯉鰻和極樂吻鰕虎, 推測原因可能為吳郭魚無法完全適應嘉南

大圳南幹支線供、停灌期的流量變化, 加上有時會有人在當地進行垂釣, 因而抑制了吳郭魚的數量。

不同的水生生物都有其適應的水溫, 因此水溫的高低會影響牠們的出現頻率(Zein-Eldin and Aldrich, 1965; Yu *et al.*, 1995; Ponce-Palafox *et al.*, 1997), 臺灣溪流水生生物的研究亦有將水溫納入探討(李德旺等人, 1998; 李德旺和于錫亮, 2005)。本研究利用群集分析將採樣資料分為 4 個不同的水溫分群, 發現大多數的魚類僅在第 4 群的狀況對於導電度、濁度和鹽度的偏好或適應性會稍微有所不同, 但蝦類在各水溫分群對環境的偏好或適應性會比較不同。本研究的區域由於會受到季節、作物等的影響, 因此在各季節會有不同的棲地環境產生, 因而魚、蝦類在棲地的利用上可能會有所不同, 但由此可以推測革條田中鯉鰻、極樂吻鰕虎、食蚊魚和鰲等魚類在適當的導電度、濁度和鹽度等環境下仍可以生存。另一方面, Vehanen *et al.* (2000)以鱒魚做研究, 發現鱒魚在夏季與冬季對於利用人工棲所之型態不同, 夏季時鱒魚會偏好使用具有流速避難機能的棲地環境, 冬季時反而會偏好具有視覺隔離與遮蔽機能的棲地環境, 主要是為了避免天敵的掠食。本研究的人工棲所由於具有流速避難、視覺隔離避難和遮蔽型避難等功能, 因此無論哪個水溫分群, 各魚種在具有人工棲所的測站 B、測站 F 或是接近此二測站的其他工程區域內的測站大致都有高的相對豐度, 僅外來種(吳郭魚和食蚊魚)會有比較多的最高豐度出現在非工程區域內的測站, 但由此可知嘉南大圳南幹支線設置的人工棲所由於具有較多的功能性, 魚類利用或棲息的時間就會比較久。雖然蝦類在測站 A 的密度較高, 但由表 3 亦可發現, 蝦類亦有許多的水溫分群, 其相對豐度在測站 B、測站 F 或是鄰近的測站也會有較高的百分比, 顯見人工棲所的設置不僅對魚類有助益, 對蝦類也會有一定的幫助。

嘉南大圳南幹支線的魚類中, 最優勢的魚種為革條田中鯉鰻, 在臺灣西部屬於常見的小型魚類, 其繁殖非常特殊, 須利用二枚貝如石蚌(*Unio*

douglasiae)才可以順利繁殖(林文隆等人, 2007)。本研究團隊於 2012 和 2013 年有進行螺貝類的調查, 但由於只是針對種的調查, 而數量只是大約估計, 因此並未放入本篇研究的分析中, 不過從各測站的螺貝類調查可以發現嘉南大圳南幹支線的工程區域內有臺灣石蚌, 且具有人工棲所的測站內數量會較多, 由此可知人工棲所除了提供不同的功能讓革條田中鰾鰻利用外, 亦可能吸引了臺灣石蚌, 使得革條田中鰾鰻於繁殖期時會聚集在人工棲所, 導致革條田中鰾鰻的數量會遠遠超過其他魚種。

五、結 論

本研究利用了獨立樣本 T 檢定、單因子變異數分析和主成份分析來探討嘉南大圳南幹支線於供、停灌期, 各個測站環境、水生生物密度的差異, 藉以了解有無人工棲所的設置對於水生生物的影響。研究中發現在有設置人工棲所的測站, 魚類的密度會高於其他無人工棲所的測站, 但蝦類反而是在工程區域上游有比較高的密度。不同的供、停灌期會有不同的棲地環境, 但大部分的水質環境都沒有太大的差異, 僅流速和水深有明顯的差異。藉由主成份分析可發現水生生物在供、停灌期對於環境的偏好會有很大的不同, 但其分佈範圍都很大, 僅蝦類在供灌期的分佈範圍會稍微小於停灌期, 但從各個測站的物種相對豐度來看, 原生種在具有人工棲所和鄰近人工棲所的測站的相對豐度幾乎都高, 由於研究區域內的人工棲所具有流速避難、視覺隔離避難和遮蔽型避難等功能, 因此無論是在供、停灌期都能有較多的魚類數量, 而外來種亦不例外, 但受到供、停灌期流量變化以及垂釣的影響, 因此外來種的數量遠低於原生種。水生生物在不同的水溫狀況下會有不同的出現頻率, 甚至對環境的偏好或適應性也會有所不同, 但從本研究發現無論是在哪種水溫狀況, 原生魚、蝦類在具有人工棲所或鄰近的工程區域測站, 其相對豐度幾乎都高於非工程區域的測站。由此可知, 灌溉渠道內若是能增設人工棲所, 對於原生魚、蝦類會有正面的幫助。

謝 誌

研究經費承蒙行政院農業委員會計畫 101 農發-3.1-利-03、102 農發-3.1-利-03 經費補助及財團法人農業工程研究中心與臺灣嘉南農田水利會人員指導。並感謝國立成功大學水利及海洋工程學系水資源生態環境系統研究室人員現地採樣及調查的協助。

參考文獻

1. 李德旺、于錫亮, 「埔里中華爬岩鰻棲地環境之需求」, 特有生物研究, 第 7 卷, 第 2 期, 第 13-22 頁, 2005。
2. 李德旺、邱健介、林維玲、于錫亮, 「卑南溪流域高身鏟頰魚之分布與環境因子的關係」, 中華林學季刊, 第 31 卷, 第 3 期, 第 219-225 頁, 1998。
3. 林文隆、蔡顯修、吳雪如, 「水圳水泥化對其間生物數量變動之影響」, 中華水土保持學報, 第 38 卷, 第 1 期, 第 31-42 頁, 2007。
4. 孫建平、邱宏彬、陳虹琪、林宗禹、蔡亦睿、洪世哲、丁又昌、劉同祐, 「嘉南大圳南幹支線人工魚槽之評估」, 2013 年動物行為暨生態學研討會, 花蓮, 第 23 頁, 2013。
5. 陳虹琪、孫建平, 「灌溉渠道人工棲所對魚類群聚之生態效應」, 100 年度農業工程研討會, 台北, 第 503-517 頁, 2011。
6. Amoros, C., "The concept of habitat diversity between and within ecosystems applied to river side-arm restoration," *Environmental management*, Vol. 28, No. 6, pp. 805-817, 2001.
7. Brouder, M.J., "Effects of flooding on recruitment of roundtail chub, *Gila robusta*, in a southwestern river," *The Southwestern Naturalist*, Vol. 46, No. 3, pp. 302-310, 2001.
8. Carline, R.F., and Klosiewski, S.P., "Responses of fish populations to mitigation structures in two small channelized streams in Ohio," *North American Journal of Fisheries Management*, Vol. 5, No. 1, pp. 1-11, 1985.

9. Carroll, J.H., Ingold, D., and Bradley, M., "Distribution and species diversity of summer fish populations in two channelized rivers in Northeast Texas," *The Southwestern Naturalist*, pp. 128-134, 1977.
10. Chapman, D.W., and Knudsen, E., "Channelization and livestock impacts on salmonid habitat and biomass in western Washington," *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 109, No. 4, pp. 357-363, 1980.
11. Copp, G.H., "Sampling strategies and capture methods in the fisheries management of large river systems," In *Fisheries in the year 2000: proceedings of the 21st anniversary conference of the Institute of Fisheries Management*, Institute of Fisheries Management, Nottingham, UK, pp. 261-270, 1991.
12. Eklöv, A.G., and Greenberg, L.A., "Effects of artificial instream cover on the density of 0+ brown trout," *Fisheries Management and Ecology*, Vol. 5, No. 1, pp. 45-54, 1998.
13. Federal Interagency Stream Resoration Working Group, "Stream corridor restoration: principles, processes, and practices," 1998.
14. Gido, K.B., Propst, D.L., and Molles Jr, M.C., "Spatial and temporal variation of fish communities in secondary channels of the San Juan River, New Mexico and Utah," *Environmental Biology of Fishes*, Vol. 49, No. 4, pp. 417-434, 1997.
15. Hair, J.F., Black, W.C., Babin B.J., and Anderson, R.E., Multivariate data analysis, chapter 8, pp. 473, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 2009.
16. Herzon, I., and Helenius, J., "Agricultural drainage ditches, their biological importance and functioning," *Biological Conservation*, Vol. 141, No. 5, pp. 1171-1183, 2008.
17. Hotelling, H., "Analysis of a complex of statistical variables into principal components," *Journal of Educational Psychology*, Vol. 24, pp. 417-441, 498-520, 1933.
18. Huitema, B., The analysis of covariance and alternatives: Statistical methods for experiments, quasi-experiments, and single-case studie, Chapter 3, pp. 49-50, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2011.
19. Hunt, R.L., "A long-term evaluation of trout habitat development and its relation to improving management-related research," *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 105, No. 3, pp. 361-364, 1976.
20. Jong, M.V.Z.D., Cowx, I.G., and Scruton, D.A., "An evaluation of instream habitat restoration techniques on salmonid populations in a Newfoundland stream," *Regulated Rivers-Research and Management*, Vol. 13, No. 6, pp. 603-614, 1997.
21. Katano, O., Aonuma, Y., and Matsubara, N., "The use of artificial temporary streams with and without shelters by Japanese dace *Tribolodon hakonensis*," *Fisheries Science*, Vol. 67, No. 1, pp. 36-45, 2001.
22. Lau, J.K., Lauer, T.E., and Weinman, M.L., "Impacts of channelization on stream habitats and associated fish assemblages in east central Indiana," *The American midland naturalist*, Vol. 156, No. 2, pp. 319-330, 2006.
23. Maruyama, T., and Ishida, R., "Fish gathering effect precast nest block for river revetment work," *Fisheries Engineering*, Vol. 28, pp. 23-32, 1991.
24. Mesick, C.F., "Effects of food and cover on numbers of Apache and brown trout establishing residency in artificial stream channels," *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 117, No. 5, pp. 421-431, 1988.
25. Morán-López, R., Da Silva, E., Pérez-Bote, J.L., and Corbacho Amado, C., "Associations between fish assemblages and environmental factors for Mediterranean-type rivers during summer," *Journal of Educational Psychology*, Vol. 24, pp. 417-441, 498-520, 1933.

- of fish biology, Vol. 69, No. 5, pp. 1552-1569, 2006.
26. Morgan, C.R., and Ringler, N.H., "Experimental manipulation of sculpin (*Cottus cognatus*) populations in a small stream," *Journal of Freshwater Ecology*, Vol. 7, No. 2, pp. 227-232, 1992.
 27. Mortensen, E., "Density-dependent mortality of trout fry (*Salmo trutta* L.) and its relationship to the management of small streams," *Journal of Fish Biology*, Vol. 11, No. 6, pp. 613-617, 1977.
 28. Pearson, K., "On lines and planes of closest fit to systems of points in space," *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, Vol. 2, No. 11, pp. 559-572, 1901.
 29. Ponce-Palafox, J., Martinez-Palacios, C.A., and Ross, L.G., "The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931," *Aquaculture*, Vol. 157, No. 1, pp. 107-115, 1997.
 30. Scarnecchia, D.L., "The importance of streamlining in influencing fish community structure in channelized and unchannelized reaches of a prairie stream," *Regulated Rivers: Research and Management*, Vol. 2, No. 2, pp. 155-166, 1988.
 31. Schultz, A.A., Maughan, O.E., Bonar, S.A., and Matter, W.J., "Effects of flooding on abundance of native and nonnative fishes downstream from a small impoundment," *North American Journal of Fisheries Management*, Vol. 23, No. 2, pp. 503-511, 2003.
 32. Soulsby, C., Grant, J., Gibbins, C., and Malcolm, I.A., "Spatial and temporal variability of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) spawning activity in braided river channels: a preliminary assessment," *Aquatic sciences*, Vol. 74, No. 3, pp. 571-586, 2012.
 33. Talmage, P.J., Perry, J.A., and Goldstein, R.M., "Relation of instream habitat and physical conditions to fish communities of agricultural streams in the Northern Midwest," *North American Journal of Fisheries Management*, Vol. 22, No. 3, pp. 825-833, 2002.
 34. Valdez, R.A., Hoffnagle, T.L., McIvor, C.C., McKinney, T., and Leibfried, W.C., "Effects of a test flood on fishes of the Colorado River in Grand Canyon," *Arizona. Ecological Applications*, Vol. 11, No. 3, pp. 686-700, 2001.
 35. Valdimarsson, S.K., and Metcalfe, N.B., "Shelter selection in juvenile Atlantic salmon, or why do salmon seek shelter in winter?," *Journal of Fish Biology*, Vol. 52, No. 1, pp. 42-49, 1998.
 36. Vehanen, T., Bjerke, P.L., Heggenes, J., Huusko, A., and Mäki-Petäys, A., "Effect of fluctuating flow and temperature on cover type selection and behaviour by juvenile brown trout in artificial flumes," *Journal of Fish Biology*, Vol. 56, No. 4, pp. 923-937, 2000.
 37. Wańkowski, J.W.J., and Thorpe, J.E., "Spatial distribution and feeding in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. juveniles," *Journal of Fish Biology*, Vol. 14, No. 3, pp. 239-247, 1979.
 38. Yu, S.L., Peters, E.J., and Stroup, W.W., "Application of logistic regression to develop habitat suitability criteria for sand shiner, *Notropis stramineus*," *Rivers*, Vol. 5, No. 1, pp. 22-34, 1995.
 39. Zein-Eldin, Z.P., and Aldrich, D.V., "Growth and survival of postlarval *Penaeus aztecus* under controlled conditions of temperature and salinity," *Biological Bulletin*, pp. 199-216, 1965.
 40. Zimmer, D.W., and Bachmann, R.W., "Channelization and invertebrate drift in some Iowa streams," *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 14, No. 4, pp. 868-883, 1978.

收稿日期：民國 103 年 6 月 26 日
 修正日期：民國 103 年 8 月 18 日
 接受日期：民國 103 年 9 月 19 日