

## 灌排水路應用生態工法實施流程之擬議

### A Study of Ecological Engineering Methods for Irrigation Channel and its Implementation Procedures

農業工程研究中心  
助理研究員

蔡逸文  
Yie-Wen Tsai

農業工程研究中心  
研究員兼工程組組長

陳獻  
Shinne Chen

農業工程研究中心  
主任

張斐章  
Fi-John Chang

#### 摘要

台灣 17 個農田水利會之灌溉排水水路總長 68,780 公里，灌溉排水受益面積達約 38 萬公頃。從灌溉水源經輸水系統至農田灌溉，再從農田排水系統至河川，建構形成農業水域生態環境重要體系，具有生產、生態、生活等三生功能。然而，台灣生態工法議題中較少提及農田水利工程。究其原因，台灣農田灌溉水路係專為輸送灌溉水供農業生產而設置，農田排水路係以快速排水、防洪為主，部分排水路採用混凝土工，以防止崩塌或減少雜草生長阻礙排水。基於上述背景，以往農田水利工程之設計較少重視生態，不利於野生生物之生存。

要推動農田灌排水路應用生態工法，須調整既有之設計理念及實施流程。行政院農委會為促進農田水利對生態環境維護之貢獻，委託農業工程研究中心進行農田水利應用生態工法之相關研究，已有初步研究成果，可提供應用實務之參考。

本文將農業工程研究中心研擬推動農田灌排水路生態工法之經驗，並以柯林湧泉生態教育園區為例，探討其規劃設計過程，根據案例推廣經驗並參照國內外河川、區域排水等整治經驗，研擬適合台灣農田水利之「灌排水路應用生態工法之實施流程」，作為農田水利事業從業人員之工作參考。

關鍵詞：生態工法，農田灌排水路。

#### ABSTRACT

Amid 17 Irrigation Associations (IAs) in Taiwan, there are a total of 380,000 hectares (ha) benefited from their irrigation and drainage canal systems, of which consist of 68,780 kilometers (km) in length. The irrigation water resources are delivered via their

conveyance systems distributing to the field; and through their drainage systems collecting to the river, so as an agricultural water eco-system is formulated. Three major functions of this water eco-system, namely, production, ecology and living, are prevailing.

However, the ecological engineering methods in Taiwan are seldom being applied to the canal system of irrigation utilities, because the irrigation canal system were constructed mainly for conveying irrigation water resources to support the agricultural production. In the light of designing drainage system, fast flashing flood is the main goal of design, thus linings with concrete block are often adopted to prevent the erosion of canal bottom and collapse of slopes, and undertaking weed control. In these circumstances, very few attentions have ever paid to the ecology in the previous design of irrigation and drainage system. Obviously this has resulted in disadvantages maintaining the wild lives.

In order to apply the ecological construction method in the design and construction of irrigation and drainage system, the existing design concept and implementing procedures require appropriately adjusted. In order to purist the ideal of protection of eco-system on the existing the canal system of irrigation utilities in Taiwan by means of ecological engineering method, the Council of Agriculture (COA), the Executive Yuan, has funded the Agricultural Engineering Research Center (AERC) in conducting relevant studies on the ecological engineering methods. The outcomes of studies have presented hereunder for reference and a tentative trials for the practice in the fields

Furthermore, this study has also particularly compiled the materials of previous studies carried out by this Center (AERC), used "Study on Ecological Construction Method—Construction of "Ko-lin-yuong-chuan Ecological Park" as the example, the relevant experiences conducting in abroad, particularly in the fields of rivers and regional drainages, a "Proposal on the Application of Ecological Engineering Method and Its Implementation Procedures" has been compiled herewith for the reference to personnel in charge of operation and maintenance of irrigation utilities.

**Keywords:** Ecological Engineering method; The irrigation and drainage canal system of irrigation utilities.

## 一、前 言

「廿一世紀新農業方案」為 90 年度以後行政院農委會之施政依據，其中「加強農田水利生態化」成為農田水利業務重要工作項目之一。行政院農委會為促進農田水利對生態環境維護之貢獻，於 91 年起委託農業工程研究中心進行「灌溉排水工程對維護生物多樣性功能示範、調查及實驗規劃設計」[1]之研究。92 年起農委會為推動生態工法，輔導農田水利會於更新改善工程時

試辦生態工法，並委託農工中心與農田水利會合作，進行灌排水路採用生態工法之相關調查研究、規劃設計及技術訓練推廣等工作[2,3]。

生態工法強調兼顧人類資源使用與生態資源保育，所營造之自然環境，亦可使野生生物獲得生存空間，且使土地資源仍能提供人類進行適度的開發。許多生態工法所衍生的自然景觀，往往不遜色於刻意營造的人工風景，而且景緻更富特色難以模仿，成為重要的生態體驗與山水旅遊的觀光資源[4]。因此生態工法的使用是先進國家

之共識，亦代表國家進步與人民素質的文明指標。

灌溉水路係專為輸送農業生產之必要灌溉水源而設置，其設計以水理分析為理論基礎，考量輸水能力、輸水效率、結構安全、節省工程費及管理方便為主[5]，並未考慮生態環境系統之保育。排水路則以迅速排水、防洪安全、容易管理、較低養護經費為主[5]，為節省每年水路管理經費與維護工作的便利，部分排水路施設混凝土工，以防止崩塌。要推動農田灌排水路應用生態工法，須調整既有之設計理念及實施流程。

本文介紹柯林湧泉圳生態工法試辦工程之規劃設計[1]及其試辦成效[2,3]，並擬議「灌排水路應用生態工法之實施流程」[2,3]，供農田水利事業從業人員參考。

## 二、文獻探討

### (一) 國際生態工法之沿革

1930 年代為解決歐洲因過度開發自然資源，導致大規模雪崩、山洪及洪氾等陸續發生之災害，1938 年德國 Seifert 首先提出近自然河溪整治的概念[6]，以接近自然、廉價且保持自然景觀的方式，來整治德國萊茵河。1962 年美國 Odum 等提出利用自然自我修復行為(self-organizing activities)的概念於工程上，並首度使用生態工程(Ecological Engineering)一詞，主張「對自然環境的改變，應採用最少的人工能量，以維持自然系統自我修復的功能」，並於 1971 及 1983 年補充其定義，指出「在人類所操縱(manipulate)的環境中，利用一小部分額外的能量來控制一個主要能量仍源自於自然資源的系統，生態工程所應用的規則雖以自然生態系為出發點，但之後所衍生的新系統將有別於原者。生態工程亦即自然之經營管理，力圖以一獨特之觀點補強傳統工程，或可謂一種與大自然的合夥關係(partnership)」[7-9]。1989 年美國生態學家 Mitsch 及 Jørgensen 彙整生態工程之本質與內涵，賦予生態工程一明確定義[10]，主張生態工程要注重人為環境與自然環境間的互動，以達到人類與自然生態雙贏的目的。

生態工法隨著學者不斷的研究應用及推廣，不斷被賦予不同內涵。各國與生態工法有關之措施及觀念之共通點為：「在工程的規劃與工法上考量生態」。但因各國國情需求、時空差異之不同，而在措施、手段及涵蓋項目上有所不同。在參考各國生態工法經驗時，應著重在瞭解各國面臨問題的解決方式[3]。

### (二) 國內生態工法定義

生態工法 (Ecologic engineering) 於民國 87 年正式引進國內[11]，91 年行政院公共工程委員會成立「生態工法諮詢小組」，行政院農委會、經濟部、交通及內政部等四大部會亦相繼成立生態工法推動小組。91 年 8 月 14 日公共工程委員會召開「生態工法諮詢小組」會議，確認我國官方版之生態工法定義，即「基於對生態系統深切認知與落實生物多樣性保育及永續發展，而採取生態為基礎、安全為導向的工程方法，以減少對自然環境造成傷害」。

### (三) 農田水利生態工法之推動

行政院農委會農田水利處依主管農田水利事業之權責，配合推動農田水利生態工法。農田水利設施之生態考量，特別著重在「水循環」環境的營造，因為在生物多樣性之生態系統中，天然的水源扮演著不可缺少的角色。農田水利灌溉工程係補天然降雨之不足，為對作物提供水量之人工措施，其量與面之影響，對缺水地區之生物多樣性和對人類食物之生產，具有深遠之影響。對環境貢獻包含：

- (1) 水循環系統之保護。
- (2) 抑止土壤之沖蝕與土壤之風化。
- (3) 生物養分之儲存與循環。
- (4) 水質污染之稀釋、分解和吸收。
- (5) 調和氣候及吸收過剩之二氧化碳。

因為農田水利系統具有上述重要生態功能，農委會訂定「廿一世紀新農業方案」時，已將「加強農田水利生態化」列為農田水利業務重要工作項目。而后，民國 93 年 6 月 30 日再訂定「農田水利建設應用生態工法規劃設計與監督

管理作業要點」，作為推動農田水利建設時兼顧「提升農業生產、保育生態環境、維護生物多樣性及營造農村景觀」，採取生態工法以減少對自然環境造成傷害，達到「永續發展」之目標。

#### (四) 規劃灌排水路應用生態工法之注意事項

依據農委會頒訂之「農田水利建設應用生態工法規劃設計與監督管理作業要點」規定，灌排水路應用生態工法規劃時之考慮事項如下：

1. 排水路儘可能順應地形保持蜿蜒，或利用不同之工法使其形成多樣性流況。湧泉地區之水路不予封底，以保護生物棲地環境。
2. 在用地許可之情形下，渠面應儘量採緩坡設計，在不影響水路流況及阻礙巡防道路情況下，最高設計水位超高部分或渠頂宜適量覆土，俾提供植物生長，以利景觀、生態功能。
3. 水路設置得以容納小生物避難或隱藏之多孔隙空間。
4. 灌排分離之水路，由於配合灌溉管理，可能於一段期間內斷水，故需視實際狀況規劃非灌溉期間容留水中生物避難的地方。
5. 水路周邊得設置綠地、河畔林或灌木檣，以提供水路多樣性生態環境。
6. 跌水工、陡槽或攔河堰如對水中魚類有移動障礙，為使不影響其繁衍，可考慮採用多階段小落差之連續水工型態或設置魚道。
7. 排水渠道因有被洪水沖毀之可能，應考量安全與生態兼具之工法，渠底應採透水性之材料，以涵養補注地下水。
8. 為維護良好灌溉水質，應考量預防未經許可之搭排及受污染之地面逕流流入灌溉渠道。
9. 灌溉、排水渠道採生態工法設計，如週遭環境及維護管理等條件合適，得考量規劃具親水功能、景觀及植栽等設施，俾增加居民休憩及生態教育之功能。
10. 灌溉、排水渠道如流經湧泉地區，可考量加大圳路寬度、挖深使成水塘，在灌溉停

水或渠道維修期間，成為水生動物之避難所，或在豐水期間成為水生物之棲息地。

### 三、宜蘭農田水利會柯林湧泉圳之案例研究

#### (一) 案例試辦緣由

柯林湧泉圳位於宜蘭縣羅東鎮，屬宜蘭農田水利會所管，原為土渠，因長年沖刷導致改道侵佔私人用地，必須重造水路，將改道佔用土地歸還地主，所以列於農田水利設施更新改善工程。因其水源為地面湧泉，所以水質清澈且終年有水，孕育極豐富魚類資源，一般更新改善通常採用混凝土三面工，會阻絕湧泉出水及影響施工後邊坡植物之復生，嚴重降低圳路原有生態機能，因此列為生態工法試辦工程，嘗試採用生態工法進行改善，減輕對原有生態環境之影響。

#### (二) 考量生態之設計理念及採用工法

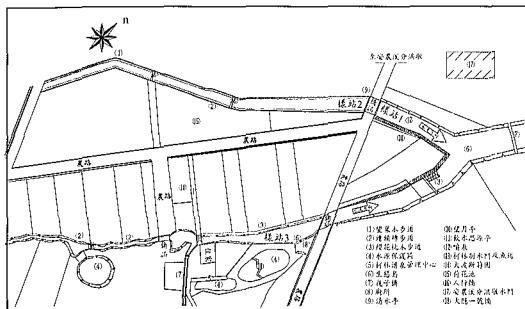
柯林湧泉圳更新改善工程有維持歸還佔用土地、改善灌溉排水及維護生態環境等三項主要目的。考量生態之設計理念包括(1)基腳混凝土工埋設香蕉莖，腐爛後形成孔洞供水生動物躲藏；(2)營造圳路流況多樣化；(3)營造多孔隙護坡；(4)連接土壤基質兼慮生態與安全；(5)保留原有樹種及營造野生植物之復生空間；(6)圳路景觀綠美化；(7)設置生態保護區等，分別說明如下：

##### (1) 基腳混凝土工埋設香蕉莖，腐爛後形成孔洞供水生動物躲藏

為確保乾砌石邊坡之重力支撐，基腳仍採用混凝土工。調查中發現圳中有黃鱊、鮀魚、白鰻、鱸鰻、七星鱧、斑鱧等適合底棲、體型較狹長、偏好在草叢間或石縫洞穴中之魚類，因此在施作基腳混凝土工時，每隔 1.5m 埋設一段香蕉莖(直徑 15cm 以上)，香蕉莖埋設方向與水流方向垂直。完工後因為香蕉莖本身會成為微生物餌食並逐漸腐爛，而腐爛後所產生的孔洞，可誘引上述魚種或蝦、蟹類利用該孔洞，作為水生動物的棲息所[15]。(詳如圖 2)

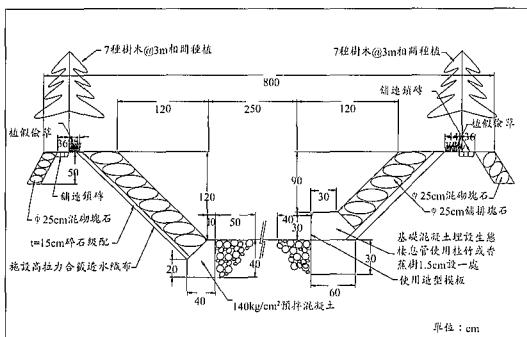
##### (2) 營造圳路流況多樣化

第一期工程圳路上游段原來水深較淺且流



圖片來源：宜蘭農田水利會

圖 1 柯林湧泉圳園區規劃平面佈置圖



圖片來源：宜蘭農田水利會

圖 2 柯林湧泉圳上游段(樣站 2)之標準斷面圖

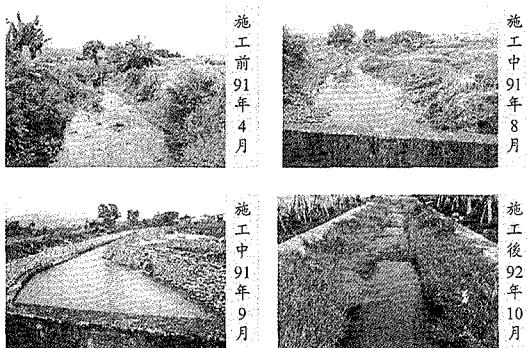
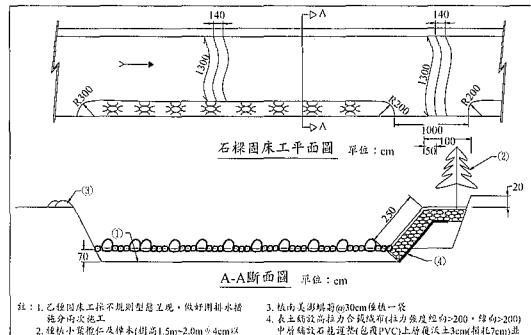


圖 3 第一期工程上游段(樣站 2)施工前、中、後照  
片

況單一，因此設計利用連續的石樑固床工，提高水深並使圳內產生不同流速，營造流況多樣化。(圖 3 及圖 4)。

第一期工程圳路下游原為廣闊之靜水域，為營造圳內水體產生類似迴流、淺瀨、深潭等水體，提供魚類等生物更有利的生活空間，以大石塊堆疊攔水(圖 5 及圖 6)。



圖片來源：宜蘭農田水利會

圖 4 柯林湧泉排水路石樑固床工平面及斷面圖

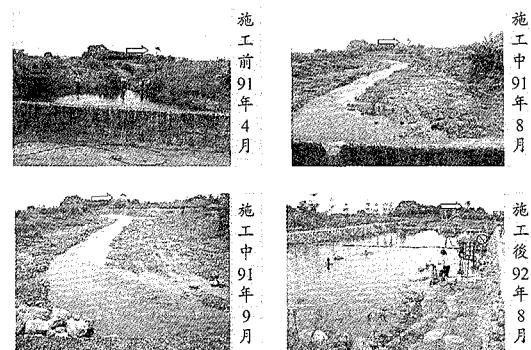


圖 5 第一期工程下游段(樣站 1)施工前、中、後照  
片

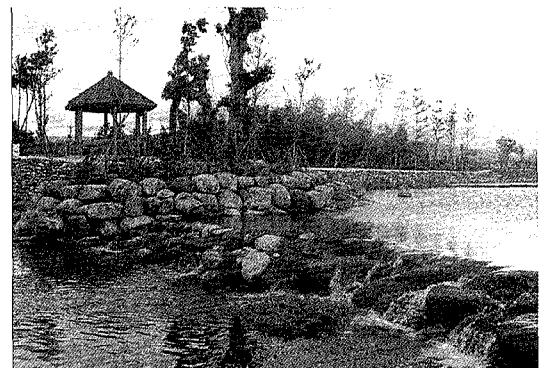


圖 6 樣站 1 利用大石塊堆疊攔水，營造迴流、淺  
瀨、深潭

### (3) 营造多孔隙護坡

乾砌石堆疊之護岸，能製造許多空隙，使得魚、蝦、蟹類及植物能利用孔隙躲藏、紮根(圖 7)。

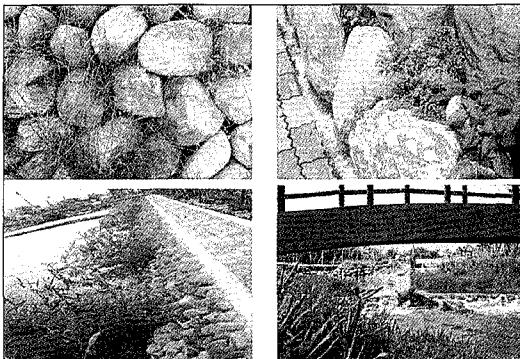


圖 7 乾砌石護岸提供復生植物之紮根及魚、蝦、蟹類躲藏

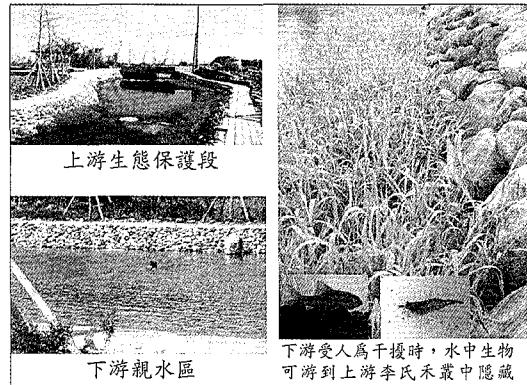


圖 9 設置生態保護圳路段

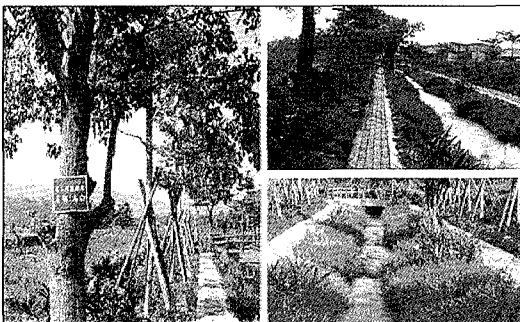


圖 8 保留苦楝、鳥臼、筋冬、水柳、血桐、錫蘭饅頭果等原生樹種

#### (4) 考慮護岸之穩定與環境機能之保全[16-18]

在乾砌塊石下方，以背墳砂礫土及不織布來連接原生之土壤底質，使土壤不會流失而影響砌石護岸之穩定，可使水分與空氣仍可穿透不織布至土壤底質，維持原本自然系統之交換作用，且讓瀕溪植物能從砌石孔隙內，紮根到土壤中。

#### (5) 保留原有樹種及營造野生植物之復生空間

圳路進行施工時設法保留護岸部分苦楝、鳥臼、筋冬、水柳、血桐、錫蘭饅頭果等原生樹種(圖 8)。乾砌塊石的許多孔隙，可供圳路周遭野生植物草籽著生，回復原有棲地植被之多樣性。此外，為避免施工後短期內無法滿足魚類在植物間遮蔭、躲藏、產卵、覓食有機碎屑物等需求，並避免過多藻類滋生，施工後在裸露的砌石縫間扦插李氏禾草、豆辦菜、野薑花等水生植物，作為原生植被復生前之替代植物。

#### (6) 錯路景觀綠美化

在地主同意水利會使用其私有土地下，施工後於圳路兩岸裸露之堤岸進行植栽綠美化，改善整體景觀，並提升水域的遮蔭效果。

#### (7) 設置生態保護區

自該圳上游起點至農路橋止，設置生態保護段，岸上設有人行步道，以供遊憩及賞景，水面上種植李氏禾以區隔人群，以利生物棲息繁殖。下游配合社區使用規劃為親水空間，當人為干擾親水空間內動物時，魚類等動物可以游泳到上游生態保護段隱藏，當夜晚人群散去時，魚類可以再回到下游繼續覓食生存(圖 9)。

完工後，宜蘭農田水利會開始推動封圳護魚：在宜蘭水利會的推動溝通下，先獲得宜蘭縣政府正面肯定，經鄉鎮公所召開公聽會與社區民眾溝通，而後由宜蘭縣政府公告封圳法定程序，並於園區內設置警示標誌，保護圳路內魚類等生物。

#### (三) 魚類之採集鑑定：

本研究在柯林湧泉圳設三個樣站(詳如圖1)，以圳路長度 50 公尺之水路為各樣站範圍，每月份對 3 個樣站進行一次魚類調查[12]。樣站 1 位於第一期更新改善工程之下游段，樣站 2 位於第 1 期更新改善工程之上游段，樣站 3 位於第 2 期更新改善工程之範圍內。選定之 3 樣站以電氣法(450W 120V 發電機)進行魚類採集[13]，沿 “Z” 字型路線自下游往上游進行採集。為降低對魚類族群之影響，以較低電流強度進行採集

表 1 柯林湧泉圳與赤蘭溪及筏子溪之魚類豐富度比較表[5,13]

名稱	魚類種數	調查面積	豐富度 *	魚種數/平方公尺
柯林湧泉圳	13 科 30 種	750 平方公尺	4.53	0.0333
筏子溪	14 科 27 種	39,250 平方公尺	2.55	0.0007
赤蘭溪	11 科 22 種	31,400 平方公尺	2.12	0.0007

\*註：魚類豐富度以 Gleason Index D (豐富度指數) =  $S$  (種類數) /  $\ln A$  (面積) 表示。

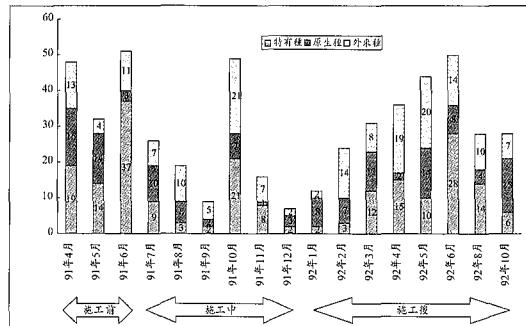


圖 10 柯林湧泉圳樣站 1(第一期施工區段下游)各月份魚類數量組成圖

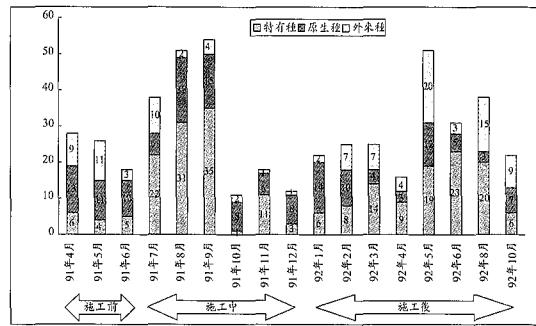


圖 11 柯林湧泉圳樣站 2(第一期施工區段上游)各月份魚類數量組成圖

以減少魚體之傷害，採樣後立即於現場鑑定魚種 [14]，並記錄後即放生回原採樣站。

#### (四) 施工前魚類調查結果

在 91 年 4~9 月調查結果中，3 樣站出現總計 12 科 25 種魚種，魚個體數總計 632 隻，最多魚個體數依序為劍尾魚、平頷鱲及吳郭魚，6 種台灣特有魚種。以赤蘭溪 11 科 22 種與筏子溪 14 科 27 種作比較(詳表 1)，顯示柯林湧泉圳路內魚類資源極為豐富。因此在工法設計上，需加強對於魚類棲地的維護。

#### (五) 施工中及完工後魚類調查結果討論

本文主要以第一期試辦工程施工前、中、後之魚類調查結果進行討論。因樣站 3 位於第二期工程範圍，與樣站 1 及樣站 2 位之位置關聯性較小，所以未列入討論。

##### (1) 施工中魚類之趨避現象：

91 年 4 月至 92 年 10 月共 17 次調查結果中，出現總計 13 科 30 種魚種(詳表 1)，其中有 8 種台灣特有種魚類。完工後 92 年新調查到的魚種則有朱文錦及鯀魚。調查結果顯示第 1 樣站魚

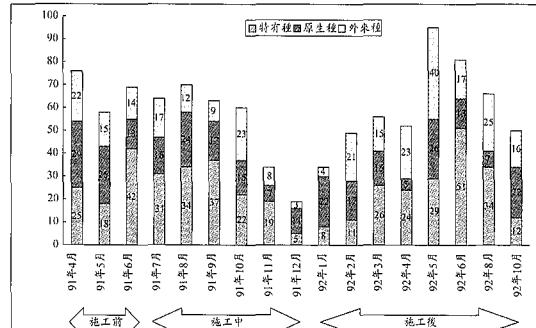


圖 12 柯林湧泉圳第一期施工區段(樣站 1+2)各月份魚類數量組成圖

類族群於 91 年 6、7、8 月數量逐漸減少(詳如圖 10)，應是 91 年 7 月怪手清除圳路兩岸植被後(詳如圖 3 及圖 5)，造成第 1 樣站及第 2 樣站魚類無躲藏棲地所致；對照第 2 樣站於 91 年 6、7、8 月魚類數量漸增(詳如圖 11)，推測魚類在失去遮蔽後，可能有部分魚類集中至上游尋求遮蔽所致。第二樣站於 91 年 10 月魚類數量劇減，同月份第一樣站魚類數量劇增，參照施工情況，應是樣站 2 之圳路段內之進行邊坡基腳混凝土工(詳如圖 3)，樣站 2 之魚群趨避至下游樣站 1(詳如圖 5)，

導致 91 年 10 月樣站 1 之魚類數量劇增。91 年 11 月份資料顯示，第 1 樣站之圳路段內之進行邊坡基腳混凝土工後，魚類數量即劇減，91 年 11 月份柯林湧泉圳第一期施工圳路段完成驗收。91 年 12 月為施工後第一個月，魚類數量降到最低。

#### (2) 完工後魚類數量之回復：

92 年 1~10 月為第一期工程完工後第 2~10 月。資料顯示，第 1 樣站在完工後 2~6 月魚類數量逐漸增加，於 92 年 6 月份最高(50 隻)，與 91 年 6 月份(51 隻)非常接近。第 2 樣站在完工後 1~5 月魚類數量逐漸增加，於 92 年 5 月份最高(51 隻)，遠較 91 年 5 月(26 隻)、6 月份(18 隻)或 7 月(38 隻)高，顯示第 2 樣站在完工後，魚類數量較施工前高，可能與：①施工設計抬高水位、增加水深及②於第 2 樣站設置水中生物保護區有關。第一期施工區段(樣站 1+樣站 2)於完工後 1~5 月魚類數量逐漸增加，於 92 年 5 月達最高(95 隻)與 91 年 4~7 月魚類數量均高，顯示完工後整體而言魚類數量增加。

完工後追蹤調查，91 年 11 月至 92 年 10 月間魚類數量逐漸恢復數量，並於 92 年 5 月數量最高。完工後台灣原生種與特有種魚類數量逐漸恢復，顯示柯林湧泉圳以生態工法更新改善後，仍能提供當地原生魚類生存所需之棲地。

### (六) 案例後續發展及其延伸效應

#### (1) 完整之施工前、中、後生物調查，具學術參考價值

自 91 年 4 月至 92 年 10 月調查期間，總計出現 13 科 30 種魚類(表 2)；與一般河川之豐富度比較(表 1)，柯林湧泉圳區域極小卻具豐富之魚類多樣性，顯示農業灌漑排水路對農業生態系統保育的重要性。施工前、中、後柯林湧泉圳內之生態調查追蹤結果，可供其他灌排水路試辦生態工法參考。

#### (2) 推動封圳護漁，作為保育示範

柯林湧泉圳是台灣第一條進行封圳護漁的灌排兼用水路。宜蘭水利會自民國 90 年至 93 年歷時四年，推動柯林湧泉圳從灌排兼用水路轉型為兼具有綠美化生活機能、魚類保育生態機能、

表 2 宜蘭縣羅東鎮柯林湧泉圳魚類調查結果(91 年 4 月~92 年 10 月)

科名	中文名	樣點				總計	百分比
		第 1 樣點	第 2 樣點	第 3 樣點	第 4 樣點		
平鰭銀科	台灣間爬岩銀	◎	1			1	0.06%
合鰓科	黃鰭	○	1			1	0.06%
脂鯉魚科	大肚魚		3	1	75	4	5.21%
	哈氏劍尾魚		45	18	224	5	18.34%
香魚科	香魚	○	1			1	0.06%
棘甲鯈科	琵琶鼠				1	1	0.06%
慈鯛科	吳郭魚		123	77	143	26	369 23.18%
溪鱧科	溪鱧	○	1	1		2	0.13%
鯉科	日本鯉		2	13		15	0.94%
	台灣石鯉	◎	2			2	0.13%
	台灣石鯉	◎	26	33	5	64	1.02%
	朱文錦		1	1		2	0.13%
	高體鰐鱲	○	3	4		7	0.44%
	溪哥	◎	145	144	25	4	318 19.97%
	鯉魚	○		4	5	9	0.57%
	鯽魚	○	6	13	5	24	1.51%
	羅漢魚	○	9	14		23	1.44%
鯔科	鯔魚	○		3		3	0.19%
鯿科	中華花鯿	○	51	45	65	9	179 11.24%
	泥鰌	○	4			4	0.25%
鰻鰕科	白鰻	○		1		1	0.06%
	鰻鰕	○	1			1	0.06%
鱧科	七星鱧	○	2			2	0.13%
	班鱧	○	4	11		15	0.94%
鰍虎科	大吻鰍虎	◎	5	3		8	0.50%
	日本禿頭鰍	○	24	26		50	3.14%
	明潭吻鰍虎	○	11	17		28	1.76%
	細斑吻鰍虎	○	13	17		30	1.88%
	斑帶吻鰍虎	○	4	9		13	0.82%
	極榮吻鰍虎	○	22	22		44	2.76%
<b>總計</b>		<b>510</b>	<b>486</b>	<b>548</b>	<b>48</b>	<b>1592</b>	<b>100.00%</b>

生態工法示範教育機能之多功能目標之「柯林湧泉生態教育園區」，是推動農田水利設施推動生態工法之重要參考案例之一。此外，除了提供生態體驗及營造景觀遊憩外，自 91 年完工後，迄今歷經敏督利、海棠等重大風災，未聞損毀或排水不良等問題，不但可提高參訪人員對採用生態工法之信心，對改善生態工法之安全疑慮亦有正面之參考價值。

#### (3) 現地觀摩提供生態體驗

便利的交通及安全、整潔的觀摩場地，適足以彌補文字報告所不能給予親身的生態體驗。「柯林湧泉生態教育園區」在宜蘭水利會細心管理與推廣下，吸引周遭居民參觀、了解並提高對生態工法之信心。週遭學校如柯林國小、柯林國中等，亦以柯林湧泉圳作為生態工法、生態保育、自然生物觀察、農水圳文化等相關課程之現場觀摩教材。各水利會慕名前來參觀後，自然而然起仿效之心，加快生態工法試辦工程之腳步。機關首長、記者、觀光團體等訪客，透過灌排水

路生態工法，體驗人類與自然共存的農村生活，對農業生態系之天然蟲鳴、鳥語、魚躍、清泉等更是印象深刻終生難忘。

## 四、灌排水路應用生態工法實施流程之擬定

農田水利設施應用生態工法，必須兼顧工程安全、輸水量穩定與生態環境之維護，本研究綜合參考日本推動農田水利事業考量與環境調和之案例[16-18]、近年台灣河川治理規範[13,19]、區域排水情勢調查[20]及本中心國內案例如柯林湧泉圳、丸山二中排等推廣經驗[1-6,12,15]，擬定「灌排水路應用生態工法之實施流程」(詳如圖11)，可分為四個主要階段：

### (一) 先期作業階段

#### (1) 提出施工主要目的

農田灌排水路更新改善主要目的為 1.更新改善老舊圳路以確保灌排系統功能、2.因天災導致圳路損害嚴重，須搶修復建。此外，更新改善時亦可配合申請界址丈量以釐清土地問題，或增加綠美化改善圳路週邊之環境或解決土地佔用問題。

#### (2) 經由文獻考察當地生物資源

透過文獻蒐集彙整當地生物資源，作為召開座談會之事前準備。自 94 年起，農委會特有生物研究保育中心網站之「動植物資料庫」，提供該中心歷年於台灣各行政區內動植物之調查紀錄，可作為參考來源之一。

#### (3) 與學者專家民衆溝通

邀請學者專家與當地居民共同參與座談會，一方面居民基於自身需要會針對預定施工之圳路提出其他要求，一方面學者專家則依其專業經驗可以向民衆宣導溝通，以保護預定施工圳路段之生態資源。

#### (4) 能否兼慮生態

由主辦單位提出主要目的以解釋施工的必要性，並介紹當地生物資源，討論在主要目的達成的條件下，居民是否願意協助施工圳路達到兼顧生態的次要考量。

#### (5) 採用一般工法

若座談會結論居民不同意採用生態工法，且有迫切性需要，應按其結論執行一般工法。

#### (6) 工程結案

依一般工程進行測設、規劃設計、發包、施工、竣工及驗收，直至工程結案為止。

#### (7) 進行情勢調查

若座談會結論同意採用生態工法，則開始進行詳細的情勢調查，做為兼顧生態的評估參考，情勢調查分為(8)、(9)及(10)三大項：

#### (8) 生態環境

包含動物相 (多為魚類、鳥類、蝦類、蟹類、水生昆蟲、哺乳類、兩棲爬蟲類等幾大類或其他)、植物相 (木本類、草本類、蕨類、藻類、菌類、濱溪植物群、水生之挺水或浮水植物等) 及棲地環境，棲地蒐集資料可包含微棲地 (湍流、淺灘、深潭等) 定性之調查資料，以及圳路底質粒徑與底層分布(約 30 公分深之底層資訊) 水質 (PH、電導、鹽度、氨氮、溶氧、亞硝酸濃度等)、流況 (水深、流速、圳路寬度) 等定量之環境調查資料。

#### (9) 地理環境

為施工人員在設計規劃上所需之測量資料，包括地勢高程、土壤質地、原來圳路通水斷面、輸水損失、水深、流速等。

#### (10) 人文環境

主要以施工圳路周邊的土地利用現況分析、人口數與疏密分布、交通狀況、若未來發展觀光或休閒時交通動線的安排等與當地居民及社區較相關之資料。

#### (11) 環境現況分析

綜合天然環境、地理環境與人文環境之資料，以探討實際圳路周邊現況。根據兼顧生態之考量，列舉出施工時需注意之細節及施工限制。

#### (12) 與學者及民衆討論

根據情勢調查結果，彙整所有生態需求條件與施工限制後，召開說明會與學者及民衆討論決定應列入考慮之施工限制及施工可行性。此一持續性的雙向溝通機制，一方面可作為工程人員草擬不同方案之選定最後依據，並可據此機制之結

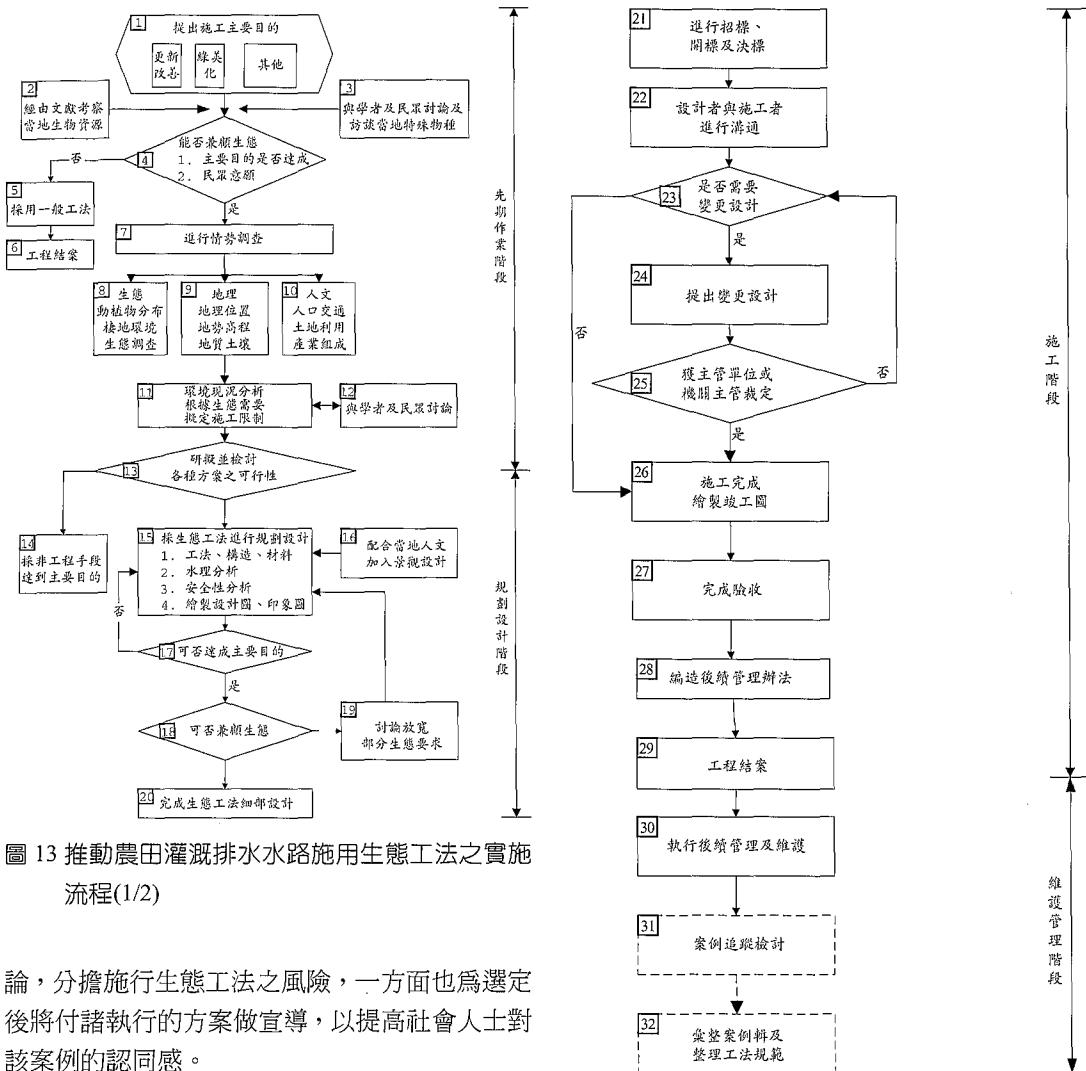


圖 13 推動農田灌溉排水水路施用生態工法之實施流程(1/2)

論，分擔施行生態工法之風險，一方面也為選定後將付諸執行的方案做宣導，以提高社會人士對該案例的認同感。

#### (13) 研擬並檢討各種方案之可行性

研擬各種解決方案，檢討包含非施工方案等各種方案之可行性，並盡量採用對生態保育效果較佳的方案，以達到事業目的及考慮生態需求。

#### (14) 採非工程手段達到主要目的

對現況原有之生態環境而言，施工通常會影響生態，因此評估後若能採用非工程之其他替代方案達成施工主要目的，避免影響原有生態，亦建議考慮採用。

## (二) 規劃設計階段

#### (15) 採用生態工法進行規劃設計

生態工法的規劃設計，包括工程構造、工程

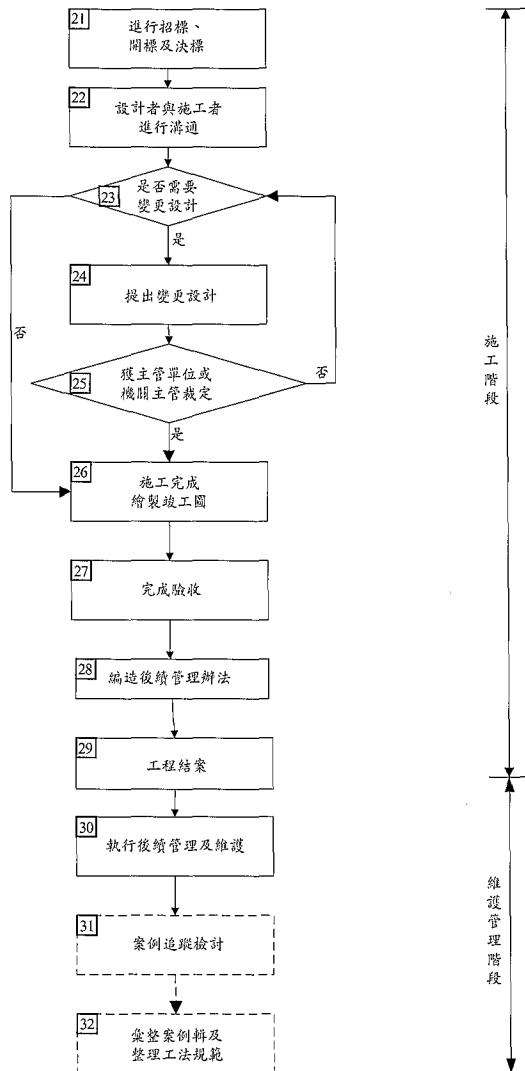


圖 13 推動農田灌溉排水水路施用生態工法之實施流程(2/2)

材料、施工方法、水理分析及安全分析等。在確定採用工法後，根據設計理念繪製印象圖。

#### (16) 配合當地人文加入景觀設計

生態工法的規劃重點首重於達成施工目的，其次才調整設計之構造或材料以符合生態的需求。當兩者較重要需求皆考慮齊備，在與主要目的及生態需求不衝突的條件下，可斟酌考量整體景觀之美化，使工程能當地人文景觀和諧。

#### (17) 可否達成主要目的

若規劃設計結果經評估不能達到主要目

的，應再研擬採用其他生態工法，若可以達到主要目的，則繼續評估是否可兼顧生態保全。

(18) 可否兼顧生態

評估採用之生態工法能否符合生態需求，若為是，即完成生態工法設計。

(19) 討論放寬部分生態要求

若不能兼顧生態，必須與學者及民衆討論是否選擇降低部分對生態保全的目標，再依討論結果重新擬定其他生態工法設計。

(20) 完成生態工法細部設計

當選用之生態工法能達到主要目的又能兼顧生態需求，則進行細部設計，包括施工細部圖、工程估價及施工說明三部分，最後編造工程預算書，即完成生態工法之細部設計。

### (三) 施工階段

(21) 進行招標、開標及決標

生態工法規劃設計完成後，即根據工程預算書進行招標。

(22) 設計者與施工者進行溝通

得標後承包商必須按圖施工。但設計圖往往無法明確量化生態工法之設計要求，例如流況多樣化或水路蜿蜒化等功能性說明。因此，在招標時設計者應說明工程構造物必須具備之功能與特徵，以及提供施工後所希望營造的印象圖。在決標決定施工包商後，承包商必須先與設計者於施工前溝通施工上的細節，徹底了解設計者設計理念，根據設計者設計理念來施工。

(23) 是否需要變更設計

生態工法常利用石、竹、木材或回收材料做施工材料，因其來源不同、天然之差異，若不因地制宜，視實際需要做調整，可能無法施工或僅符合施工要求卻失去應有之生態功能。因此，若施工中確實需要進行計畫變更以符合生態需求，包商、設計者、監造者及主管機關應共同配合檢討計畫變更之可行性。

(24) 提出變更設計

設計者與包商應針對現場施工狀況，提供示意圖及現場資料如相片等，說明必須變更設計的原因，向主管單位或承辦機關之主管提出變更計畫的申請。

(25) 獲主管單位或機關主管裁定

主辦機關及承辦機關主管根據生態考量及設計者及包商提出之變更設計理由，裁定是否變更設計，以利生態工法之執行。

(26) 施工完成繪製竣工圖

在施工完成後依照施工結果繪製生態工法竣工圖。

(27) 完成驗收

依照竣工圖逐一驗收施工物件及構造，驗收時建議設計者陪同，由設計者向驗收人員說明招標時提供之印象圖與實際竣工圖之關聯性。若有變更設計，亦應解釋實際完成之構造物與當初規劃之差異。

(28) 編造後續管理辦法

生態工法施工後，其竣工面貌往往可能與理想設計之印象圖有差距，新栽植之植被之育成與動物遷入棲息可能需半年以上或更久，因此需根據施工後現況編造符合生態之管理辦法。

(29) 工程結案

在驗收工作及編造後續管理辦法完成後，該案例的工程部分即可結束。

### (四) 維護管理階段

(30) 執行後續管理及維護

根據編造之後續管理辦法，進行維護管理。

(31) 案例追蹤調查

追蹤案例之施工前、中、後之生物相變化，作為工程後續改善與管理之參考。

(32) 彙整案例輯及整理工法規範

主管機關可將案例資料彙編成案例輯，提供生態工法從業人員之設計參考。案例之追蹤成效，可作為整理生態工法規範的參考依據。

## 五、結 論

- 農田灌溉排水系統之水路縱橫廣大農地間，為水生生物來往各地之通路之一，進行灌溉排水路更新改善時，若能考慮存活既有水路之野生生物生存所需，在構築水路之材料及構造加以變化，即可保存野生

生物及生態環境。維持圳路水質之乾淨與穩定性，是影響水中生物生長的重要因素。本文詳細說明規劃灌溉排水路應用生態工法之注意事項，並提供生態工法應用於灌排水路之實施流程，可提供農田水利會設計者之參考，循序漸進，從實務推動經驗再檢討精進工法。

2. 宜蘭農田水利會柯林湧泉圳之研究實例顯示：藉由兼顧生態與棲地保存之更新改善工程，從施工目標、規劃設計理念、施工監造、完工後續追蹤調查、及持續與社區溝通封圳保育之過程，可成功地將生態工法應用於一般的灌排水路。施工期間雖然魚類有逃至下游河川避難的現象，但工程完工後不到半年，魚類就自河川返回圳路棲息，確定魚類之生存空間未受影響。該圳路現在已成為附近學校之生態戶外教室，也是生態工法從業人員參考實體教材。綜合上述評定，柯林湧泉圳生態工法試辦工程為成功之灌排水路生態工法案例，值得推廣參考。
3. 對農田水利而言，應用生態工法之觀念技術是一個起點，思考如何保存與復育農業生態環境，是一個更長遠的課題；同時保全農業生態環境及生產機能，是永續「三生」農業之基本。地球上所有動、植物，互為生物食物鏈之成員，均不可或缺，否則會造成物種滅絕、生態失衡、地利受損，甚至導致土壤流失、土地變成沙漠。因此，基於農業永續經營長遠目標，應強調農業「兼顧生態」的正當性與必要性，積極維護生態環境。

## 六、建議

1. 生態調查為生態工法長期基礎工作的一環，其調查方法包含現場調查、文獻蒐集、訪問調查。灌溉水路更新改善工程規模通常較小且平均單價較低，但以柯林湧泉圳為例，其生物調查周期較短、追蹤時間較長，且水利會對案例之推動能兼顧地方

需求與景觀營造，使案例成果周詳且完善，而佔一席之地。因此，未來灌排水路生態工法若有類似具顯著成效之案例，建議應進行長期追蹤調查，以彰顯及推廣其成果。

2. 農田水利事業原係為農田生產而設，在倡導農業三生之政策導向下，農田水利建設兼顧生態環境維護是國家所訂之農田水利政策。農田水利建設兼顧生態環境之工法規範及參考手冊，須及早建立，俾全力推動。
3. 國內灌排水路生態工法仍在起步階段，累積之案例仍不充足，其設計與施工往往需借鑑國外作法及案例，惟國外之氣象水文、生物棲地以至人文地理，均與本國農田水利事業有所差異。建議主管機關與主辦機關依本文擬議之實施流程，讓國內水利工程師盡量發揮，並邀請相關學術研究單位參與規劃設計過程，並追蹤調查彼等圳路物理、化學及生物相之變化，蒐集足夠資料以資修訂生態工法規範及參考手冊。

## 致謝

承蒙農委會農田水利處「灌溉排水工程對維護生物多樣性功能示範、調查及實驗規劃設計」計畫提供經費供本中心進行研究，及宜蘭農田水利會於調查期間之各項配合與協助，並提供建造柯林湧泉圳相關資料，供本研究做案例分析，使研究得以完成，謹致謝忱。

## 參考文獻

1. 財團法人農業工程研究中心，灌溉排水工程對維護生物多樣性功能示範、調查及實驗規劃設計(I)，2002。
2. 財團法人農業工程研究中心，灌溉排水工程對維護生物多樣性功能示範、調查及實驗規劃設計(II)，2003。
3. 財團法人農業工程研究中心，灌溉排水工程對維護生物多樣性功能示範、調查及實驗規

- 劃設計(III)，2003。
4. 呂天降、蔡逸文、陳獻，農田水利事業維護自然生態環境之推動，二〇〇四年中日農田水利研討會，2004。
  5. 陳獻、蔡逸文，生態工法應用於台灣農田水利事業之策略試擬，九十三年度農業工程研討會論文集，2004。
  6. 高甲榮，1999，「近自然治理—以景觀生態學為基礎的荒溪(野溪)治理工程」，北京林業大學學報，21(1)：80-85。
  7. Odum, H. T., 1962. Man in the ecosystem. In proceedings Lockwood Conference on the Suburban Forest and Ecology. Bull. Conn. Agr. Station 652. Storrs, CT, pp.57-75.
  8. Odum, H. T., 1971, Environment, power, and society. New York: Wiley-Interscience.
  9. Odum, H. T., 1983. System Ecology: An introduction. Wiley, New York.
  10. Mitsch, W. J., S. E. Jorgenson, 1989. Ecological engineering: An introduction to Ecotechnology, Wiley, New York.
  11. 郭清江，2002，「生態工法之發展趨勢與推動機制」，2002 生態工法研討會論文集，第 307-379 頁，台北科技大學土木系暨環境所。
  12. 陳獻、蔡逸文、呂天降、楊桂芬，宜蘭柯林湧泉圳之生物多樣性初步調查及圳路規劃設計，九十一年度農業工程研討會論文集，2002。
  13. 行政院農業委員會特有生物研究保育中心，棲地復育、保育與生態水利工程規劃設計之試驗研究 (2/5) 生態水利工程案例彙編，2000, 2。
  14. 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出版。
  15. 財團法人農業工程研究中心，生態保育水路施作材料及工法之研究，1998。
  16. 山海堂(1997)まちと水邊に豊かな自然を－多自然型建設工法の理念と實際。
  17. 山海堂(1997)まちと水邊に豊かな自然をII－多自然型川づくりを考える。
  18. 山海堂(1998)まちと水邊に豊かな自然をIII－多自然型川づくりの取り組みとポイント。
  19. 行政院農業委員會特有生物研究保育中心，河川近自然工法與環境管理研討會論文集，2002.12。
  20. 經濟部水利署水利規劃試驗所，國際水利生態工法研討會論文集，2003.10。

收稿日期：民國 94 年 7 月 21 日

修正日期：民國 94 年 9 月 19 日

接受日期：民國 94 年 9 月 23 日