

# 探討農水路生態品質以模糊理論方法之評估

## Assessment of Ecological Quality in Irrigation Canals by Fuzzy Theory

中華大學土木系  
副教授

**陳 莉**

Li Chen

中華大學土木系  
研究生

**涂家盛**

Chia-sheng Hsu

農業工程研究中心  
技師

**黃雲和**

Yun-Ho Huang

中華大學土木系  
研究生

**魏曉萍**

Hsiao-Ping Wei

### 摘 要

台灣地區共有 17 個農田水利會，農水路之總長度約有 57,740 公里，這些農水路縱橫於廣大的農地，肩負生產、生活、生態三大功能。

近年來，政府已意識到生態保育的重要性，故有「生物多樣性推動方案」之提出，農水路在生態方面有其功能，於是在工程改善時，建議採用生態工法或近自然工法，惟採用這些工法後，其在生態功能方面之成效如何，值得去研究。

國內在水路方面，不管是生態調查、工法等，都偏重河川，對於農水路生態調查及生態品質評估，可說是沒有，有好的生態品質，才能發揮生態功能。本研究乃針對農水路之生態品質，試擬一套評估模式。

模糊理論已被廣泛應用於各種領域中，本研究為利用模糊理論，以赤蘭溪、筏子溪之調查資料為基礎，選取環境因子(不封底比、底質組成、護岸材料、護岸坡度、植物被覆率、水質、水深)及生物因子(魚類多樣性、蝦蟹類多樣性、水生昆蟲多樣性)，建立各因子的隸屬函數程度及權重，同時以模糊綜合評估及邏輯推論，分析各因子與農水生態品質的綜合程度，評估其生態品質等級。

最後以宜蘭農田水利會柯林湧泉圳、苗栗農田水利會穿龍圳為案例，以本研究評估方法給予評估，由評估結果知，本研究評估方法可應用於農水路生態品質之評估。

**關鍵詞：**農水路，生態品質，模糊理論。

### ABSTRACT

There are 17 Irrigation Associations in Taiwan, with a total canal length of 57,740 km. The irrigation canals widely spread in farmlands, supporting the productive,

ecological and living functions.

Recently, the government has aware of the importance of ecological conservation and proposed the "Ecological Diversity Promotion Project". The irrigation canals hold ecological function if they adopt the ecological working method or the near-natural working method in canal renovation. However, the successfulness of the ecological function by those working methods has to be investigated further.

For waterway studies in Taiwan, there is an emphasis on the rivers in either ecological survey or quality assessment, but less study for the irrigation canals. The success of ecological functions are based on high ecological quality. This study is to develop an evaluation model to assess the ecological quality for irrigation canals.

The Fuzzy theory has been extensively applied in many fields. Using the fuzzy theory and surveyed data from Chelan creek and Fartz creek, the environmental factors (uncover ratio, canal-bed composition, protective bank material, bank slope, vegetation cover ratio, water quality, and water depth), and ecological factors (fish diversity, shrimp diversity, aquatic insects diversity) are taken into account. The overall ecological quality and level among their membership function and weighting function are analyzed by using integral fuzzy evaluation and logical inference.

Finally, the Kolin-YonChuan canal of Ilan irrigation association and the Chuan-Long canal of Miaoli irrigation association are taken as study areas. It reveals that the method can be used in canal ecological quality assessment for irrigation canals.

**Keywords:** Irrigation canals, Ecological quality, Fuzzy theory.

## 一、前言

政府〈2001〉提出「生物多樣性推動方案」，此方案之內容包括方案目的、實施期間、國家整體目標與實施策略、人力需求、管考及配合措施。政府提出此方案，是意識到「生物多樣性」(Biodiversity)的重要性，它具有生態與經濟、科學與教育、文化、倫理與美學等價值。在廣泛的定義上，為各式各樣的生命相互依賴著複雜、緊密而脆弱的關係，生活在不同形式的人文及自然系統中，也就是人和萬物生生不息在地球的生物圈共存。

台灣地理位置與生態環境跨亞熱帶與熱帶，有多樣性的棲地與生態系，是全球生物資源的重鎮，也是持續我國經濟發展、追求全民優質生活環境與長遠利益的基礎保障。

「農業白皮書」〈1995〉及「跨世紀農業建設方案」〈1997〉指出台灣未來農業政策將以生產、生活、生態之三生農業永續經營為主。而農

業之發展要以農地為基石。台灣 17 個農田水利會包括灌溉及排水之農水路長度約有 57,740 公里〈2000〉，這些農水路縱橫於農地，要使農地兼具生產、生活、生態之功能，從農水路著手，則可收提綱契領之效。

台灣地區農水路區分為灌溉、排水及灌排兼用等水路，因考慮輸水功能、防漏施工快速及構造物安全穩定等因素，因此大部分採用以鋼筋混凝土加模板澆置而成，如此一來，原有水路之生態保育功能盡失。

最近國內在溪流整治時，多提倡近自然工法(Nature-Working Method)其意義和另一名詞生態工法(Ecological Working Method)相近，中興大學水保系林〈1998〉綜合國內外相關資料，給予廣義的內涵定為「對環境保存、維護、永續性利用、復舊及改良所施作的工事，包括生物與非生物材料的應用」，其適用的範圍沒有一定的區域及條件，乃是基於環境中各種自然生態及生物棲息地的尊重，所作最適當處理方式，以達到環境和階

性。

台灣省政府水利處(現為經濟部水利署)，曾函請全省各農田水利會儘量不要做混凝土內面工渠道有礙地下水補助，並檢討採用自然工法方案。

農水路採用生態工法，雖為剛開始階段，因環保、生態觀念的覺醒，將來必朝此方向走。但農水路採用生態工法後，其生態品質如何？值得進一步去調查與研究。

美國加里福尼亞大學控制論專家查德(L. A. Zadeh)〈1965〉首先提出模糊理論。到現在 37 餘年的發展歷程中，其理論方法日臻完善，已廣泛地被用在自然科學和社會科學各領域中。由於模糊數學在處理客觀實際問題時即能與精確數學結合又有區別於精確數學“非此即彼”的“亦此亦彼”的特性，因而為它的廣泛應用找到了理由，也使它成為國際上目前較為敏感的新興學科。模糊數學拓寬了經典精確數學的基礎，找到了一條解決概念劃分上不確定性現象的描述方法，二者的結合使數學本身又昇華了一個層次。而且，它為人工智能仿真提供了頗有誘惑力的科學方法，它的產生是歷史發展的必然結果。

根據有關文獻資料，模糊理論的應用在下列方面已被廣泛的應用，如農業、氣象、林業、環境、地質地理、醫學、化學、經濟管理、物理、體育……等。

農水路生態品質的好壞，通常難以做明確的區分，也就是包含一些模糊、不明確的意思。而模糊集合，如同人們的思維模式，每一元素可以說是將二值邏輯推展成多值邏輯，除以 0 和 1 來表示所屬程度之外，並推廣至介於 0 至 1 之間的數值來表示。

本研究目的為針對台灣目前具有生態及未來採用生態工法施工之農水路，採用模糊理論建立一套生態品質的評估方法，可做為評估農水路維護生物多樣性功能的參考。

## 二、文獻回顧

評估農水路之生態品質，首先須了解農水路中有那些生物，要採用那些生態工法來保護這些

生物，所採用之生態工法功效如何？如何評估？下述前人之研究值得參考。

### 2-1 農水路的生物

#### 1. 水圳中的生物世界

楊〈1997〉說明在水圳生態系中，水生物為重要成員；棲息水圳中的水生物，主要分為動、植物兩大類：

動物包括浮游性動物、扁形動物、環形動物、圓形動物、海綿動物、節肢動物、軟體動物及脊椎動物，脊椎動物則以魚類及兩棲類為主。而植物則包括浮游植物及高等植物。另外還有許多水鳥及徜徉水邊的哺乳類動物也是水圳生態系中的成員。

#### 2. 宜蘭地區農水路的生物

黃〈2000〉以宜蘭地區的基礎生態調查結果為依據，研究評估水路型態與生態品質的關係，研究出一套簡易農水路生態評估準則，在農水路生物調查方面，從宜蘭境內較大河川著手，調查上、中、下游的魚類、螺貝、蝦蟹。

調查結果為天然水路生物資源較豐，歧異度較高。與其銜接的農水路生物資源與生物種類也受其影響。以水路整體長度而言，天然野溪受外來物種的污染干擾似乎也較小，如琵琶鼠、福壽螺、布袋蓮等，與兩種棲息地的特性可能相關，如天然水路不但受人為干擾程度較少，整體的棲地種類也較豐富。

### 2-2 農水路採用生態工法的可行性

杜〈1998〉指出近年來由於社區意識及環境保育的覺醒，使國人開始思考如何解決動植物生態遭受破壞的問題。

目前農用灌排水路基於水路輸水效益、護岸穩定、施工迅速與方便以及節省土地等因素，多以混凝土渠道取代傳統上利於生態發展的土渠與乾砌石水路，造成水路生態空間的逐漸喪失，破壞水生動植物正常棲息與繁衍的環境。

本研究以棲地的研究配合矩陣表法分析目前混凝土渠道所產生的生態問題，並引入生態材料及施工方式的觀念，改善農用水路之生態棲息

條件。

文後以新竹縣照門地區之九芎湖護岸作為水路生態工法之研究個案。結果顯示該個案在渠道材料、工法參入生態維護之觀念，但對渠道坡度造成影響之考量以及原生種植栽之考量較少。

改善現有農用水路之生態棲地條件、生態工法與工法，並配合水路生態計畫的規劃，是未來台灣農用水路結合水利生態發展可行途徑。

## 2-3 生態環境評估方法

### 1. 河川生態評估系統建立

龐等〈1998〉對於淡水河環境生態系統提出評估之準則，其指出在河川水資源管理的總目標下，河川生態體系完整性的維護，實為水資源與生態系永續發展的核心。在水源缺乏的台灣，常將河川管理目標放在水資源的供應上，鮮少注意河川整體效益或生態品質，輕忽了生態系統複雜互動特性的影響，以及河川長期品質有賴生態完整性維持。

生態完整性的觀念為整合生物群聚整體表現和棲地表現兩部分。選出了二項群聚結構指標，三項群聚功能指標。結構部分包括歧異度和低耐受度生物指標，選取生物的種類擴及各不同生物類別，包括魚類、昆蟲、底棲大型無脊椎生物及藻類。群聚功能表現則加入能量產生、轉移、和使用效率考量，包含了攝食功能群、生產速率和 P/R 比值。基於良好棲地品質具有孕育較佳生物族群的潛能，故整合水體、河床、河岸三類棲地品質的考量，加入七項棲地指標。

對評估結果的評分，主觀地將評分值先優而劣分成五個等級，甲級 81~100 分，乙級 61~80 分，丙級 41~60 分，丁級 21~40 分，戊級 0~20 分。所謂甲級為環境屬於自然狀態、生態品質最優，戊級為生態環境遭受嚴重干擾破壞，生態品質最低劣。

生態完整性的觀念，包括生物群聚及棲地品質兩部分，可以供作農水路生態品質選定評估因子之參考。

### 2. 農水路生態和施工方法的評估

神宮字寬等〈1999〉指出，在日本，近年來

以魚類、水生昆蟲等表示水田生態系之生物多樣性指標，獲得很高的評價。

日本和我國一樣，為了不讓水滲漏掉，把很自然的土渠農水路改成鋼筋混凝土，結果造成生物棲息環境被破壞，有鑑於此，開始採用生態工法，但是施工後之效果如何，須加以評估，因此提出本研究。

本研究針對滋賀縣琵琶湖附近之金屋水路、橫關水路做調查，調查的項目包括底生無脊椎動物種類及數量(包括水生昆蟲、甲殼類、軟體動物、環形動物)、物理的環境調查(包括水路構造、水流狀態、護岸狀態、底質狀態、週邊環境)、水質(包括 EC、PH、DO、水溫)。

底生無脊椎動物的評估，採用多樣性指數，能顯示物種的豐富度、種數及個體數之關係，本文研究指出，無脊椎動物和護岸基質(孔隙率)、底質組成(粒徑)、底質厚度、被覆率有關，多樣性指數可應用在植物或動物的物種評估，農水路的水中動物擬採用此指數來做評估。

## 2-4 應用模糊理論之相關文獻

### 1. 水邊景觀設計與環境生態整合規劃之研究

黃〈1999〉探討河川與民衆之三大機能關係，分別以生態、景觀、人文教育與經濟管理為目標，在河川整治綠化改善水域生態同時，針對河岸水邊景觀與生態整合之評估提供一套評估方法。

在環境、景觀與生態評估過程中，對資訊難以量化之模糊訊息的處理，以模糊數學之模糊集隸屬度轉換方式加以量化，同時以模糊綜合評價方式進行整合之評估模式的建立，建立好的模式即可對現況進行評估工作，以了解目前河川整治之水邊景觀及環境生態綠化的成效，這些評估訊息可提供未來規劃之參考。

### 2. 土石流危險度之評判

王〈2000〉藉由土石流相關文獻，選取潛在因子及激發因子為災害因子，由各因子的隸屬函數，建立潛在因子及激發因子 I~V 級之模糊危險等級，並以此兩大因子建立模糊綜合評判，考慮兩者間有一定的模糊關連性，由此關係可推得

綜合之危險程度，作為預警決策分析之參考。

本文之模糊綜合評判及邏輯推論之評判方法，可以供作農水路生態品質評估方法之參考。

### 三、模糊理論分析

#### 3-1 評估方法之擬定

蒐集模糊理論資料，找出適合的評估方法，並界定各因子的隸屬函數及權重值，再以模糊邏輯的方法加以推論評估等級。而模糊集合，如同人們的思維模式，每一元素可以說是將二值邏輯推展成多值邏輯，除以 0 和 1 來表示所屬程度之外，並推廣至介於 0 至 1 之間的數值來表示。農水路生態品質性很好或很差，可界定很好為 1，很差為 0，而在很好和很差之間的程度可界定在 0~1 之間，屬於模糊理論研究之領域，因此農水路生態品質評估之方法可採用模糊理論之方法。

#### 3-2 模糊理論分析

影響農水路生態品質有很多的因子，針對這些因子加以分析，並作綜合評估。這些問題大都可以利用模糊理論來解決，以下為模糊綜合評估方法的介紹。

##### 1. 建立因子集

因子集是由影響評估對象的各個因子所組成的集合，可表示為

$$X = \{ x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_m \} \dots\dots\dots(3.1)$$

其中  $x_i$  表示問題要考慮的因子

$m$  為要考慮的因子數

##### 2. 建立權重集

一般來說，各個因子在評估中有不同的重要性，因此必須對各個因子  $x_i$  按其重要程度給不同的權重  $a_i$ 。由各權重組成的因子權重集  $A$  是因子集  $X$  上的模糊子集，可用模糊集合表示為：

$$A = \{ a_1, a_2, a_3, \dots, a_i, \dots, a_m \} \dots\dots\dots(3.2)$$

其中元素  $a_i$  是因子  $x_i$  對  $A$  的隸屬度，即反應了各個因子在綜合評估中所具有的重要程度。

##### 3. 建立評價集

表 3-1 從  $X \rightarrow Y$  的模糊關係

	Y				
		$y_1$	$y_2$	---	$y_n$
X	$x_1$	$r_{11}$	$r_{12}$	---	$r_{1n}$
	$x_2$	$r_{21}$	$r_{22}$	---	$r_{2n}$
	---	---	---	---	---
	$x_m$	$r_{m1}$	$r_{m2}$	---	$r_{mn}$

評價集是由評估對象作出評估結果所組成的集合，可表示為

$$Y = \{ y_1, y_2, y_3, \dots, y_i, \dots, y_n \} \dots\dots\dots(3.3)$$

其中  $y_i$  表示問題所要判斷的等級。

#### 4. 模糊評估

從  $X \rightarrow Y$  的一個模糊映射  $R$ ，它反應如表 3-1 的模糊關係，列向量  $[r_{11} \ r_{12} \ r_{13} \ \dots \ r_{1n}]$  是考慮單因子  $x_i$  在  $Y$  上的綜合評估。

設  $X$  上的模糊向量集  $A = [a_1, a_2, \dots, a_m]$ ， $a_i$  表示對單因子  $x_i$  的加權數， $Y$  上的備擇集  $B = [b_1, b_2, \dots, b_n]$ ， $b_i$  表示對評估的等級，因此，對各因子的綜合評估結果可表示為

$$A \circ R = B$$

其中， $A \circ R = B$  可用模糊矩陣運算方式求得。

#### 5. 模糊推論

若有一模糊控制規則，若  $x$  是  $A$ ，則  $y$  為  $B$  定義為  $A \rightarrow B$ ， $\rightarrow$  表蘊含， $A, B$  為在論域  $U, V$  的模糊集合，其隸屬函數為  $\mu_A(u)$  及  $\mu_B(v)$ ，一般模糊邏輯控制器的設計都使用 GPM(Generalized Modus Ponens)推論(闕頌廉，1991)，其推論的合成規則為

$$B' = R \circ A' = \bigvee_{j=1}^n [r_{ij} \wedge a_{ij}] i, j = 1, 2, 3, \dots, n \dots\dots\dots(3.4)$$

其中

$U, V$  為論域是模糊統計試驗四個要素之一。

$\vee$  為模糊聯集較大值，“ $\vee$ ”表示取大運算。

$\wedge$  為模糊聯集較小值，“ $\wedge$ ”表示取小運算。

$\mu_A(u)$  表示之元素 屬於合  $A$  的隸屬程度，為 0 到 1 之間的實數。

$\mu_B(v)$  表示之元素 屬於合  $B$  的隸屬程度，為 0

到 1 之間的實數。  
 模糊關係推論則採用 Mamdani 法 (1974)

$$R = A \rightarrow B = A \times B$$

其隸屬函數為

$$\mu_R = \int_{U \times V} \mu_A(u) \wedge \mu_B(v) / (u, v)$$

若前部件由兩個命題所構成的推論，則

事實：x is A' and y is B'

規則：if x is A and y is B then z is C

結論：z is C'

#### 四、模式建立

農水路生態品質，以生態完整性概念為基礎，整合了環境品質和生物群聚表現兩部分，環境品質包括棲地環境和水體環境。生物群聚功能指標可選取多種生物以充分彰顯不同的群聚生存形式所能反映多層次生態環境狀態。

##### 4-1 評估因子之選定

以農水路生態完整性觀念為基礎選定評估因子，分為環境因子及生物因子兩大項，環境因子分棲地因子及水體因子兩項，棲地因子包括：不封底比、底質組成、護岸材料、護岸坡度、植物被覆率。水體因子包括水質、水深。生物因子則包括魚類多樣性、蝦蟹類多樣性、水生昆蟲多樣性(如圖 4-1)。

##### 4-2 隸屬函數之建立

本研究以隸屬函數的概念，將環境因子、生物因子分成五個模糊等級如下：

模糊等級：{ I 級、II 級、III 級、IV 級、V 級 }

{ 優、佳、中、可、差 }

其中，I 級表示生態品質等級為優之情況，II 級為佳之情況，III 級為中等之情況，IV 級為可之情況，V 級為差之情況。

以上五個等級皆為模糊值，本文採用三角形隸屬函數如圖 4-2 所示。將環境因子、生物因子分成 { 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 } 等 9 個等級，其各因子與生態品質等級之隸屬數如表 4-1。其次分別建立 1. 不封底比 2. 底質組成 3. 護

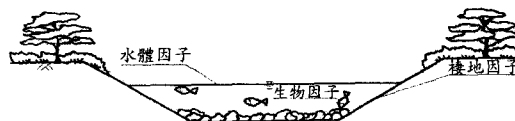


圖 4-1 農水路生態品質評估因子

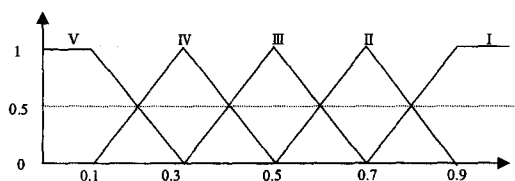


圖 4-2 各因子模糊等級之三角形隸屬函數圖

表 4-1 各因子與生態品質等級之隸屬度

	生態品質等級								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
V	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
IV	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
III	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0
II	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0
I	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1

岸材料 4. 護岸坡度 5. 植物被覆率 6. 水質 7. 水深 8. 魚類多樣性 9. 蝦蟹類多樣性 10. 水生昆蟲多樣性的隸屬函數。

環境因子及生物因子之隸屬函數整理如下：

##### 1. 不封底比( $X_1$ )

水路底完全為土質，沒有封底以 100% 計，隸屬函數  $\mu(X_1)=1.0$ ，若完全封底以 0% 計，隸屬函數  $\mu(X_1)=0$ ，(沒封底面積)/(農水路底面積) 之比 (%) 即等於  $\mu(X_1)$  之值。隸屬函數之訂定如式 4-1 及圖 4-3。

$$\mu(X_1) = \begin{cases} 1.0 & \chi_1 = 100\% \\ 0 < \mu(X_1) < 1.0 & 0\% < \chi_1 < 100\% \\ 0 & \chi_1 = 0\% \end{cases} \quad (4-1)$$

##### 2. 底質組成( $X_2$ )

修正河川底質分級標準表(特有生物研究保育中心, 2001)成適合農水路之底質分級標準表(表 4-2)，直徑 12.8cm 之卵石之  $\mu(X_2)=1.0$ ，各底

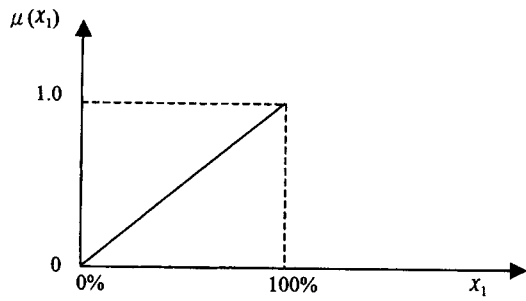


圖 4-3 不封底比之隸屬函數

表 4-2 農水路底質分級標準表

底質類型	大小範圍 (cm)	級別代號
細沉積砂土 (Fine sediments, Smooth surface)、有機物碎屑 (Organic detritus)、粘土 (Clay)、泥 (Silt)、砂 (Sand)	<2.0	4
礫石	2.0~6.3	3
卵石 (小礫, Pebble)	6.4~12.7	2
卵石 (大礫, Cobble or Rubble)	>12.8	1

質大小之級別代號為 1, 2, 3, 4 級, 其與 12.8cm 卵石之圓周長比即為各級之  $\mu(x_2)$ , 分別為 0.75, 0.32, 0.15。隸屬函數之訂定如式 4-2 及圖 4-4。

$$\mu(x_2) = \begin{cases} 1.0 & x_2 \geq 12.8\text{cm} \text{ (1級)} \\ 0.75 & 12.8\text{cm} > x_2 \geq 6.4\text{cm} \text{ (2級)} \\ 0.32 & 6.4\text{cm} > x_2 \geq 2.0\text{cm} \text{ (3級)} \\ 0.15 & 2.0\text{cm} > x_2 \text{ (4級)} \end{cases} \quad (4-2)$$

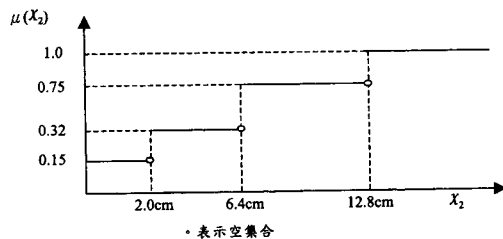


圖 4-4 底質組成之隸屬函數

### 3. 護岸材料( $x_3$ )

依照各種材料之孔隙率來擬定  $\mu(x_3)$ , 土質為 1.0, 乾砌塊石、蛇籠、魚巢塊為 0.67, 混砌塊石

為 0.33, 混凝土面為 0。隸屬函數之訂定如式 4-3 及圖 4-5。

$$\mu(x_3) = \begin{cases} 1.0 & x_3 \text{ 為土質} \\ 0.67 & x_3 \text{ 為乾砌塊石, 蛇籠, 魚巢塊} \\ 0.33 & x_3 \text{ 為混砌塊石} \\ 0 & x_3 \text{ 為混凝土面} \end{cases} \quad \dots\dots\dots(4-3)$$

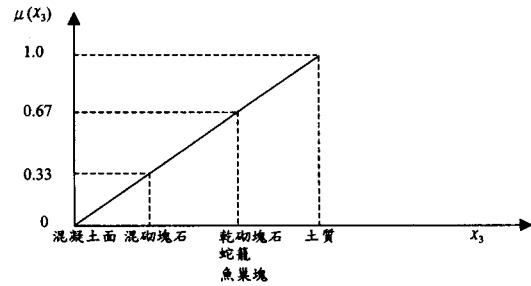


圖 4-5 護岸材料之隸屬函數

### 4. 護岸坡度( $x_4$ )

楊(2002)在河川生態工法之安全穩定分析中, 求得  $33^\circ$  對護岸來說為一安全穩定的坡度。因此以  $33^\circ$  為基準, 其  $\mu(x_4)$  為 1.0,  $90^\circ$  之護岸, 其  $\mu(x_4)$  則定為 0,  $33^\circ \sim 90^\circ$  之間之  $\mu(x_4)$  為  $0 < \mu(x_4) < 1.0$ 。隸屬函數之訂定如式 4-4 及圖 4-6。

$$\mu(x_4) = \begin{cases} 1.0 & x_4 \leq 33^\circ \\ 0 < \mu(x_4) < 1.0 & 1 - (x_4 - 33^\circ) / (90^\circ - 33^\circ) \\ 0 & x_4 \geq 90^\circ \end{cases} \quad \dots\dots\dots(4-4)$$

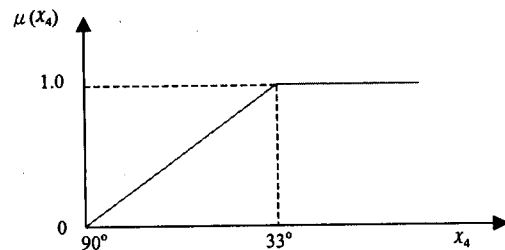


圖 4-6 護岸坡度之隸屬函數

表 4-3 台灣省河川污染程度分類表

污染程度項目	未受/稍受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
溶氧量 mg/l(DO)	6.5 以上	4.6~6.5	2.0~4.5	2.0 以下
生化需氧量 mg/l(BOD <sub>5</sub> )	3.0 以下	3.0~4.9	5.0~15	15 以上
懸浮固體 mg/l(SS)	20 以下	20~49	50~100	100 以上
氨氮 mg/l(NH <sub>3</sub> -N)	0.50 以下	0.50~0.99	1.0~3.0	3.0 以上
點數	1	3	6	10
積分	2.0 以下	2.0~3.0	3.1~6.0	6.0 以上

說明：1. 表內之積分數為 DO, BOD<sub>5</sub>, SS 及 NH<sub>3</sub>-N 點數之平均值。

2. DO, BOD<sub>5</sub>, SS 及 NH<sub>3</sub>-N 均採用平均值。

5. 植物被覆率( $x_5$ )

植物被覆率 100%之 $\mu(x_5)$ 為 1.0; 完全沒有植物, 被覆率為 0%, 其 $\mu(x_5)$ 為 0,  $0\% < x_5 < 100\%$ 之 $\mu(x_5)$ 為  $0 < \mu(x_5) < 1.0$ 。隸屬函數之訂定如式 4-5 及圖 4-7。

$$\mu(x_5) = \begin{cases} 1.0 & x_5 = 100\% \\ 0 < \mu(x_5) < 1.0 & 0\% < x_5 < 100\% \\ 0 & x_5 = 0\% \end{cases} \dots\dots\dots (4-5)$$

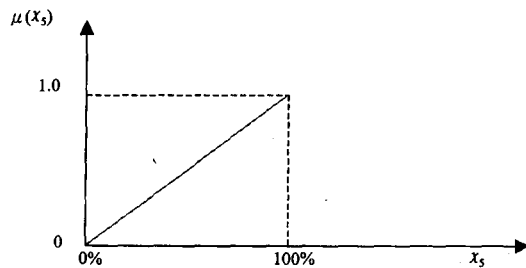


圖 4-7 植物被覆率之隸屬函數

6. 水質( $x_6$ )

水質的好壞, 採用台灣省河川污染程度分類表(經濟部水資源局, 1990)如表 4-3, 只要檢驗溶氧量、生化需氧量、懸浮固體、氨氮 4 項, 即能顯示水質之未受(或稍受)污染、輕度污染、中度污染、嚴重污染。可依各種污染程度對照之積分來決定 $\mu(x_6)$ ,  $x_6 < 2.0$ (未受污染),  $\mu(x_6)=1.0$ ,  $6 < x_6$ (嚴重污染),  $\mu(x_6)=0$ ,  $x_6$ 在 2.0~6.0 間, 則  $0 < \mu(x_6) < 1.0$ 。隸屬函數之訂定如式 4-6 及圖 4-8。

$$\mu(x_6) = \begin{cases} 1.0 & x_6 < 2.0 \\ 0 < \mu(x_6) < 1.0 & 1.0 - (x_6 - 2.0)/(6.0 - 2.0) \\ 0 & x_6 > 6.0 \end{cases} \dots\dots\dots (4-6)$$

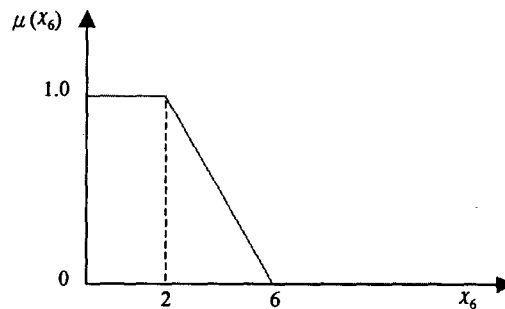


圖 4-8 水質之隸屬函數

7. 水深( $x_7$ )

陳(1999)指出螢火蟲幼蟲適合之水深為 0.2m~0.4m, 生活於農水路之生物體積都不大, 20cm 水深對生物來說可當作生態水深, 因此,  $x_7 > 20\text{cm}$ ,  $\mu(x_7)=1.0$ ,  $x_7=0\text{cm}$   $\mu(x_7)=0$ ,  $0\text{cm} < x_7 < 20\text{cm}$  則  $0 < \mu(x_7) < 1.0$ 。隸屬函數之訂定如式 4-7 及圖 4-9。

$$\mu(x_7) = \begin{cases} 1.0 & x_7 < 20\text{cm} \\ 0 < \mu(x_7) < 1.0 & 0\text{cm} < x_7 < 20\text{cm} \\ 0 & x_7 = 0\text{cm} \end{cases} \dots\dots\dots (4-7)$$



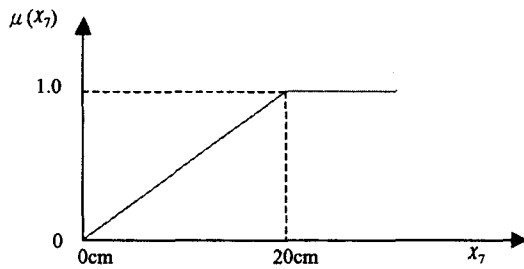


圖 4-9 水深之隸屬函數

生物因子包括(1)魚類多樣性(2)蝦蟹類多樣性(3)水生昆蟲多樣性。

生物因子採用多樣性指數(H')(Diversity Index)(林曜松, 1996)作基準, 此指數能簡易的顯示群落中種的豐富度、種類和各體數量之關係, 其公式如下:

$$H' = - (n_i/N) \log(n_i/N)$$

式中 N=生物總個體數

$n_i$  = 群落中第 i 種的個體數

在多樣性指數中包含兩個因素 1. 種類數目, 即豐富度 2. 種類中個體分配上的平均性(equitability), 生物種類多時, 可增加多樣性, 同種種類之間個體分配的均勻性增加, 亦會使多樣性提高, 因此生物種類相同, 個體數量分佈不均時, 其多樣性指數會比數量分佈平均的小。農水路生物大部分來自溪流, 魚類、蝦蟹類、水生昆蟲的平均種類大約是 6 種左右。而種類 6 種, 各種數量平均時之多樣性指數(H')為 1.7916, 故以  $H' = 1.7916$  為基準。隸屬函數之訂定如式 4-8~4-10。

#### 8. 魚類多樣性( $\chi_8$ )

$$\mu(\chi_8) = \begin{cases} 1.0 & \chi_8 \geq 1.7916 \\ 0 < \mu(\chi_8) < 1.0 & \chi_8 / 1.7916 \dots\dots (4-8) \\ 0 & \chi_8 = 0 \end{cases}$$

#### 9. 蝦蟹類多樣性( $\chi_9$ )

$$\mu(\chi_9) = \begin{cases} 1.0 & \chi_9 \geq 1.7916 \\ 0 < \mu(\chi_9) < 1.0 & \chi_9 / 1.7916 \dots\dots (4-9) \\ 0 & \chi_9 = 0 \end{cases}$$

#### 10. 水生昆蟲多樣性( $\chi_{10}$ )

$$\mu(\chi_{10}) = \begin{cases} 1.0 & \chi_{10} \geq 1.7916 \\ 0 < \mu(\chi_{10}) < 1.0 & \chi_{10} / 1.7916 \dots(4-10) \\ 0 & \chi_{10} = 0 \end{cases}$$

### 4-3 隸屬程度與權重之建立

赤蘭溪與筏子溪有詳細完整的調查資料, 兩者之特性與一般農水路特性相近, 尤其是筏子溪是吸收台中農田水利會葫蘆堵圳的迴歸水再灌溉知高本圳、王田圳, 為灌排兼用之水路, 由環境因子、生物因子之隸屬函數代入赤蘭溪、筏子溪之調查資料中, 可求得各因子之隸屬程度, 加總平均後, 便得知各因子與農水路生態品質之隸屬程度及評估等級如表 4-4, 表 4-5。

各因子的權重如下:

環境因子的各因子權重集為

$$A_1 = \{ a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{16}, a_{17} \} \\ = \{ 0.140, 0.083, 0.083, 0.127, 0.067, 0.185, 0.315 \}$$

生物因子的各因子權重集為

$$A_2 = \{ a_{21}, a_{22}, a_{23} \} = \{ 0.455, 0.297, 0.248 \}$$

只計算魚類、蝦蟹類則為

$$A_2 = \{ a_{21}, a_{22} \} = \{ 0.605, 0.395 \}$$

### 4-4 模糊邏輯及推論

經過模糊評估後, 得環境因子及生物因子的生態品質等級, 再建立環境因子(A)生物因子(B)的綜合生態品質等級(C)之模糊關係, 其模糊邏輯規則如下:

If A(環境因子) is I and B(生物因子) is

I then C(生態品質等級) is I

If A(環境因子) is II and B(生物因子) is

II then C(生態品質等級) is II

If A(環境因子) is III and B(生物因子) is

III then C(生態品質等級) is III

If A(環境因子) is IV and B(生物因子) is

IV then C(生態品質等級) is IV

If A(環境因子) is V and B(生物因子) is

V then C(生態品質等級) is V

表 4-4 環境因子隸屬程度及生態品質等級

因子別		環境因子																				
		棲地因子														水體因子						
		不封底 比(%)	$\mu(X_1)$	生態 品質 等級	底質 組成	$\mu(X_2)$	生態 品質 等級	護岸 材料	$\mu(X_3)$	生態 品質 等級	護岸 坡度	$\mu(X_4)$	生態 品質 等級	植物 被覆 率(%)	$\mu(X_5)$	生態 品質 等級	水質	$\mu(X_6)$	生態 品質 等級	水深 (m)	$\mu(X_7)$	生態 品質 等級
赤 蘭 溪	第1 樣區	100	1.0	I	0.2951	0.30	IV	混砌 塊石	0.67	II~III	26°	1.00	I	70	0.70	II	3.333	0.67	II~III	0.6	1.0	I
	第2 樣區	100	1.0	I	0.5023	0.50	III	混砌 塊石	0.67	II~III	26°	1.00	I	70	0.70	II	4.333	0.42	III~IV	0.6	1.0	I
	第3 樣區	100	1.0	I	0.1775	0.18	IV~V	土質	1.00	I	30°	1.00	I	80	0.80	I~II	4.333	0.42	III~IV	0.6	1.0	I
	第4 樣區	100	1.0	I	0.1500	0.15	IV~V	土質	1.00	I	30°	1.00	I	80	0.80	I~II	5.000	0.25	III~IV	0.6	1.0	I
筏 子 溪	第1 樣區	100	1.0	I	0.8264	0.83	I~II	混砌 塊石	0.33	III~IV	45°	0.79	I~II	30	0.30	IV	3.333	0.67	IV~V	0.5	1.0	I
	第2 樣區	100	1.0	I	0.7892	0.79	I~II	蛇籠	0.67	II~III	30°	1.00	I	20	0.20	IV~V	3.333	0.67	II~III	0.5	1.0	I
	第3 樣區	100	1.0	I	0.7986	0.80	I~II	混砌 塊石	0.33	III~IV	45°	0.79	I~II	20	0.20	IV~V	3.333	0.67	II~III	0.5	1.0	I
	第4 樣區	100	1.0	I	0.8825	0.88	I~II	混砌 塊石	0.33	III~IV	45°	0.79	I~II	20	0.20	IV~V	2.667	0.83	I~II	0.5	1.0	I
	第5 樣區	100	1.0	I	0.8875	0.89	I~II	混砌 塊石	0.33	III~IV	45°	0.79	I~II	20	0.20	IV~V	3.333	0.67	II~III	0.5	1.0	I
平均				I		0.591	II~III		0.592	II~III		0.907	I		0.478	III~IV		0.586	II~III		1.000	I
權重		1.000/3.568		0.591/3.568		0.592/3.568		0.907/3.568		0.478/3.568		0.586/1.586		1.000/1.586								
		0.280		0.166		0.166		0.254		0.134		0.369		0.631								
權重(棲地 因子、水 體因子合 併計算)		0.140		0.083		0.083		0.127		0.067		0.185		0.315								

表 4-5 生物因子之隸屬程度及生態品質等級

地點		魚類多樣性指數(H')	$\mu(X_8)$	生態品質等級	蝦蟹類多樣性指數(H')	$\mu(X_9)$	生態品質等級	水生昆蟲類多樣性指數(H')	$\mu(X_{10})$	生態品質等級
赤蘭溪	第1樣區	1.960	1.00	I	1.165	0.65	II~III	1.362	0.76	I~II
	第2樣區	1.756	0.98	I	1.293	0.72	I~II	1.100	0.61	II~III
	第3樣區	0.932	0.52	II~III	0.982	0.55	II~III	0.825	0.46	III~IV
	第4樣區	1.016	0.57	II	1.095	0.61	II~III	0.173	0.10	V
筏子溪	第1樣區	1.670	0.93	I	1.115	0.62	II~III	0.534	0.30	IV
	第2樣區	1.364	0.76	I~II	0.743	0.42	III~IV	0.903	0.51	II~III
	第3樣區	1.243	0.69	II~III	0.481	0.27	IV~V	0.244	0.14	IV~V
	第4樣區	1.513	0.85	I~II	0.873	0.49	III~IV	1.164	0.65	II~III
	第5樣區	1.851	1.00	I	0.946	0.54	II~III	0.970	0.54	II~III
平均		1.478	0.83	I~II	0.966	0.54	II~III	0.808	0.45	III~IV
權重		1.478/3.252 0.455			0.966/3.252 0.297			0.808/3.252 0.248		
權重(只計算魚類、蝦蟹類)		1.478/2.444 0.605			0.966/2.444 0.395					

表 4-6 環境因子生態品質等級與生物因子生態品質等級之模糊關係

A \ B		生物因子生態品質等級				
		I	II	III	IV	V
環境因子生態品質等級	I	100分	90分	80分	70分	60分
	II	90分	80分	70分	60分	50分
	III	80分	70分	60分	50分	40分
	IV	70分	60分	50分	40分	30分
	V	60分	50分	40分	30分	20分

模糊規則建立後，依據 Mamdani 推論法進行模糊推論，可得環境因子與生物因子等級之模糊關係如表 4-6，能推求綜合生態品質等級值(C)，其模糊等級如下：

I 級(優)	II 級(佳)	III 級(中)	IV 級(可)	V 級(差)
100分	80分	60分	40分	20分

## 五、案例分析

農業工程研究中心(2002)於農委會「灌溉排水工程對維持生物多樣性功能示範、調查及實驗設計規劃」計畫，商請國內具有權威之特有生物研究保育中心針對宜蘭農田水利會柯林湧泉圳、苗栗農田水利會穿龍圳水路之環境因子及生物因子協助調查，把調查之基本資料代入隸屬函

數及生態品質對照表，可整理如表 5-1~表 5-4，依此能評估出農水路生態品質之評估。

### 5-1 柯林湧泉圳案例

#### 1. 模糊評估

由各因子的對應等級，知其單因子評估矩陣，亦即環境因子  $X_1$  對應至評價集 Y 的模糊關係  $R_1$  為

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

表 5-1 柯林湧泉圳環境因子之隸屬度及其對應之生態品質等級

環境因子	不封底比 $x_{11}$	底質組成 $x_{12}$	護岸材料 $x_{13}$	護岸坡度 $x_{14}$	植物被覆率 $x_{15}$	水質 $x_{16}$	水深 $x_{17}$
基本資料	100%	1 級 50% 3 級 30% 4 級 20%	土質	20°	100%	2.5 輕度污染	0.30m
隸屬度	1	0.50	1.0	1.0	1.0	0.875	1.0
生態品質等級	I	II	I	I	I	I~II	I

表 5-2 柯林湧泉圳生物因子之隸屬度及其對應之生態品質等級

種類	魚類 $x_{21}$	蝦蟹類 $x_{22}$
多樣性指數(H')	2.1975	1.6198
隸屬度	1.00	0.90
生態品質等級	[1 0 0 0]	[1 0 0 0]

表 5-3 穿龍圳環境因子之隸屬度及其對應之生態品質等級

環境因子	不封底比 $x_{11}$	底質組成 $x_{12}$	護岸材料 $x_{13}$	護岸坡度 $x_{14}$	植物被覆率 $x_{15}$	水質 $x_{16}$	水深 $x_{17}$
隸屬度	1.0	0.15	0	0.26	0.1	0.75	1.0
對應等級	[1 0 0 0]	[0 0 0 0.5 0.5]	[0 0 0 0 1]	[0 0 0 0.5 0.5]	[0 0 0 0 1]	[0.5 0.5 0 0 0]	[1 0 0 0 0]

表 5-4 穿龍圳生物因子之隸屬度及其對應之生態品質等級

種類	魚類 $x_{21}$					蝦蟹類 $x_{22}$	
	大肚魚	台灣間爬岩鰍	溪哥	明潭吻蝦虎	極樂吻蝦虎	黃綠潭蟹	粗糙沼蝦
數量	1	2	1	2	1	1	1
多樣性指數(H')	1.5495					0.693	
隸屬度	0.865					0.387	
生態品質等級	[0.5 0.5 0 0 0]					[0 0 0.5 0.5 0]	

因此，環境因子的模糊綜合評估集為

$$\begin{aligned}
 B_1 &= A_1 \circ R_1 \\
 &= [0.140 \ 0.083 \ 0.083 \ 0.127 \ 0.067 \\
 &\quad 0.185 \ 0.315] \circ R_1 \\
 &= [0.825 \ 0.095 \ 0.080 \ 0 \ 0]
 \end{aligned}$$

同樣，根據各生物的對應等級可知其單因子評估矩陣，亦即生物因子  $X_2$  對應至評價集  $Y$  的模糊關係  $R_2$  為

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

因此，生物因子的模糊綜合評估集為：

$$B_2 = A_2 \circ R_2$$

$$\begin{aligned}
 &= [0.605 \ 0.395] \circ \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix} \\
 &= [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]
 \end{aligned}$$

## 2. 模糊推論

由模糊評估得知環境因子及生物因子的評估集分別為

$$B_1 = [0.825 \ 0.095 \ 0.080 \ 0 \ 0]$$

$$B_2 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

則環境因子生態品質等級介於 I~II 級間，權重 I 級佔 0.825，II 級佔 0.095，III 級佔 0.080。生物因子生態品質等級則在 I 級，權重為 1.0。

根據表 4-6 的模糊關係，計算兩大因子的綜合生態品質為 97.45 分，趨近於 I 級，屬優。

## 5-2 穿龍圳案例

### 1. 模糊評估

由各因子的對應等級，知其單因子評估矩陣，亦即環境因子  $X_1$  對應至評價集  $Y$  的模糊關係  $R_1$  為

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} B_1 &= A_1 \circ R_1 \\ &= [0.140 \quad 0.083 \quad 0.083 \quad 0.127 \quad 0.067 \\ &\quad 0.185 \quad 0.315] \circ R_1 \\ &= [0.5475 \quad 0.0925 \quad 0 \quad 0.105 \quad 0.255] \end{aligned}$$

生物因子  $X_2$  對應至評價集  $Y$  的模糊關係  $R_2$  為

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} B_2 &= A_2 \circ R_2 \\ &= [0.605 \quad 0.395] \circ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ &= [0.3025 \quad 0.3025 \quad 0.1975 \quad 0.1975 \quad 0] \end{aligned}$$

則環境因子生態品質等級佔有 I 級、II 級、IV 級、V 級，其權重分別為 0.5475、0.0925、0.105、0.255。生態品質等級佔有 I 級、II 級、III 級、IV 級，其權重分別為 0.3025、0.3025、0.1975、0.1975。

根據表 4-6 模糊關係，計算兩大因子之綜合生態為 72.825 分介於 II~III 間，即介於普通和佳之間。

## 5-3 結果與討論

1. 柯林湧泉圳之綜合生態品質為 97.45 分，等級

趨近於 I 級，屬優；穿龍圳之綜合生態品質為 72.825 分，等級介於 II~III 之間，屬佳和普通之間，兩者之差異在環境因子方面為(1)底質組成(2)護岸材料(3)護岸坡度(4)植物被覆率，柯林湧泉圳較好，生物因子方面魚類多樣性及蝦蟹類多樣性，柯林湧泉圳都比較好。

2. 從柯林湧泉圳、穿龍圳案例顯示，環境因子會影響生物因子，兩者有相關性，有好的環境才會有豐富的生態系。
3. 赤蘭溪、筏子溪的生態環境類似農水路的生態環境，以其建立環境因子、生物因子的權重應用於柯林湧泉圳、穿龍圳，可顯示兩者的生態品質等級。

## 六、結論與建議

### 6-1 結論

1. 農水路生態系統可視為一完整的有機體，評估其生態品質最恰當方式，是採行生態完整性觀念，藉由全面評估環境因子、生物因子的表現，來進行判斷。
2. 以環境因子及生物因子建立綜合模糊評估後，考量兩者含有一定的模糊關連性，運用模糊邏輯及推論，得到環境因子及生物因子的模糊關係，由此關係可推行綜合之生態品質等級。
3. 本文藉由赤蘭溪與筏子溪之調查資料，選取環境因子、生物因子，應用模糊統計探討各因子與農水路生態品質之相關性。
4. 本研究運用模糊邏輯所建立之評估模式，經以宜蘭水利會柯林湧泉圳、苗栗水利會穿龍圳二個案例驗證，可反應出農水路生態品質的優劣。

### 6-2 建議

1. 農水路採用生態工法為未來必走的路，惟在採用生態工法前，應先對農水路之生態品質做調查，水利會人員對生物調查的方法並不熟悉，因此，應給予訓練，多了解生物種類及調查方法後，可自行調查。
2. 本研究環境因子、生物因子隸屬函數權重的建

- 立，以赤蘭溪、筏子溪的調查資料為基礎，未來農水路之調查資料多時，就可用來建立各因子隸屬函數的權重。
3. 柯林湧泉圳及穿龍圳在生物因子只調查魚類及蝦蟹類，故以兩者為代表，未來在灌排水路之調查，應加入水生昆蟲，在評估農水路之生態品質時，資料能更完整。
  4. 農水路之生物調查，日本做了很多的調查，如端憲二(1998)研究鯉魚、鯽魚、泥鰍、鱗魚之生活史全部或部分要在農水路渡過。另在農水路和農田間，鈴木正貴等(2000)設置小型魚梯，做魚類上溯的調查研究等等，都值得學習與借鏡。
  11. 王安培、劉政良，「土石流危險度之評判」，第十一屆水利工程研討會論文集，民國 89 年 7 月。
  12. 闕頌廉，「應用模糊數學」，科技圖書，pp143~168，1991。
  13. 經濟部水利處水利規劃試驗所，「棲地復育、保育與生態水利工程規劃設計之試驗研究」，農委會特有生物研究保育中心，民國 90 年 12 月，頁 22~23。
  14. 楊朝平，「河川近自然工法論」，民國 91 年 6 月，頁 12-1~12-3。
  15. 經濟部水資源局，「後龍溪河川生態教育」，台北，經濟部水資源局，民國 89 年 10 月。
  16. 陳鈞華，「灌溉用渠道重現螢火蟲之再生環境之調查研究」，台北市七星農田水利研究發展基金會，民國 88 年 1 月。
  17. 林曜松、梁世雄，「淡水魚資源調查手冊」，行政院農業委員會，民國 85 年 6 月。
  18. 農業工程研究中心，「灌溉排水工程對維持生物多樣性功能示範、調查及實驗設計規劃」，民國 91 年 12 月。
  19. Zadeh, L. A., "Fuzzy sets", Information and Control Vol. 8, pp. 338-353, 1965.
  20. Mamdani, E. H., 1974. Application to fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plants, Proc. IEE, Vol. 121, No. 12, 1585-1588.
  21. 神宮字寬等 4 名，「親水性水に路生息する底生無脊椎動物群集と施工方法の評價」，農業土木學會誌第 67 卷第 5 號，1999 年 5 月，頁 503~509。
  22. 端 憲二，「水田灌溉システムの魚類への生息影響と今後の展望」，農業土木學會誌，第 66 卷第 2 期，民國 87 年 2 月，頁 143-148。
  23. 鈴木正貴等三名，「水田生態系保全のため小規模水田魚道開發」，農業土木學會誌，第 68 卷第 12 期，民國 89 年 12 月，頁 19-22。

### 參考文獻

1. 行政院農業委員會，「生物多樣性推動方案」，民國 90 年 8 月。
  2. 行政院農業委員會，「農業政策白皮書」，行政院農業委員會，民國 84 年 3 月。
  3. 行政院農業委員會，「跨世紀農業建設方案」，行政院農業委員會，民國 86 年 5 月。
  4. 農田水利會聯合會，「農田水利會簡介」，農田水利會聯合會，民國 89 年 12 月。
  5. 林信輝，「台灣地區邊坡暨河溪綠美化自然工法一個案調查與探討」，中華民國環境綠化協會，台中，民國 87 年 6 月。
  6. 楊平世，「水圳中的生物世界」，七星農田水利季刊創刊號，民國 86 年 6 月，頁 36-39。
  7. 黃志偉，「農水路綠美化生態工法評估方法之建立」，行政院農業委員會，89 農管-3.3-林-12，國立宜蘭技術學院，民國 89 年 12 月。
  8. 杜逸正，「台灣農用水路結合生態發展之可行性研究」，碩士論文，台灣大學農業工程學研究所，民國 87 年 6 月。
  9. 龐元勳等 7 名，「淡水河系污染整治對生物相群聚動態影響」，行政院環境保護署，EPA-87-G106-03-05，民國 87 年 5 月。
  10. 黃文政，「水邊景觀設計與環境生態整合規劃研究」，台灣農業與水利研究發展論叢 VI - 農業生態環境，民國 88 年 1 月，頁 415~429。
- 收稿日期：民國 92 年 1 月 8 日  
 修正日期：民國 92 年 5 月 9 日  
 接受日期：民國 92 年 5 月 19 日