

# 模糊理論應用於FWS人工溼地水質分類研究

陳鈞華<sup>(1)</sup>、宋建明<sup>(2)</sup>、鄭富尚<sup>(3)</sup>、徐貴新<sup>(4)</sup>、甘俊二<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup>屏東科技大學土木工程系副教授、水利技師

<sup>(2)</sup>屏東科技大學土木所博士班

<sup>(3)</sup>屏東科技大學土木所碩士班

<sup>(4)</sup>東南科技大學環境管理系副教授兼研發處處長、水利技師

<sup>(5)</sup>七星農田水利研究發展基金會董事長、水利技師

## 摘要

本研究利用屏科大校園 FWS 人工濕地中之監測水質資料，以模糊綜合評估理論為基礎，建立 BOD<sub>5</sub>、COD、SS、TC 等參數之輸入、輸出隸屬函數分佈和權重考量，以模糊綜合評估結合最後之邏輯推論，評估在 2007 年 8~10 月和 2008 年 1 月為 2 級水，2007 年 11、12、2008 年 3、4 月為 4 級水，2008 年 5、6 月為 5 級水。

**關鍵詞：**FWS人工濕地、模糊綜合評估理論、水質分類。

## 一、研究動機目的

本研究動機為以自由表面流系統(Free Water Surface System, FWS)人工溼地來處理校園污水。以人工濕地淨化水質，以太陽光能為能源，於介質上微生物膜為分解污染質主體，淨化過程完全依循自然淨化程序，具低耗能、低成本、維護易、不需添加化學藥劑、無二次污染、不破壞生態等優點，應用於為點源污染型態之校園污水處理。FWS 人工溼地系統之建立，可達到廢污水再利用及生態教育之功能。

本研究以屏東科技大學學校園 FWS 人工溼地為研究對象，利用模糊綜合評價探討污染質的水質評估等級。從民國 96 年 8 月到民國 97 年 6 月期間，觀測項目為化學

需氧量、生化需氧量、懸浮固體、總大腸桿菌群。不論自然濕地或人工濕地都具有一重要功能為淨化水質，由於自然濕地和人工濕地中水質參數眾多，以至無法綜合的評估來比較量化其水質等級，本研究目的為利用 FWS 人工濕地處理前、後水質，運用 Matlab 建立模糊綜合評估模式，在同時符合現行放流水標準、和陸面水體的雙成標準條件下，可達快速綜合評估並可靠分類。預期未來在發展人工濕地時，將可提出此分類方法於不同環境和條件下，給予人工溼地之處理效果，提供有效之量化等級數據，使得後續研究者更可客觀進行環境評估之依據。

## 二、材料及方法

綜合型水質參數具有程度上之差異，適合採用模糊理論中隸屬函數加以批次轉換後得到適當之量化範圍，並依此加以綜合評估。

### 2.1 模糊理論應用說明

FWS 溼地中單一水質參數的好壞，可藉由水體分類來得知，但多參數綜合型的水質好壞，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。FWS 溼地品質性很好或很差，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  $0 \leq 1$  之間，屬於模糊理論研究之領域，因此 FWS 溼地品質評估之方法可採用模糊理論之方法。

### 2.2 FWS 濕地水質分類之動態灰色模糊評價模型建立

#### 2.2.1 指標參數集建立

指標因子集係由具有影響評估對象所組成之各項因數的集合，其表示方式如下：

$$X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_i\} \quad (2)$$

$X_i$ ，表示評估時考慮因數。

其因數集合表示如下：

$$X = \{X_1, X_2, X_3, X_4\} = \{U_{1(x_i)}, U_{2(x_i)}, U_{3(x_i)}, U_{4(x_i)}\}$$

#### 2.2.2 評價集建立

本研究為瞭解人工濕地水質現況，將水質影響評估分為 5 個等級，其判斷集表示如下：

$$V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_i\}, (i=1 \cdots 5)$$

$V_1 \sim V_5$  對應水質分級為 1 級水~5 級水水質由“優”、“良”、“中”、“較差”、“差”，依序對應。

### 2.2.3 模糊評價之權重等級範圍

在灰色模糊綜合評價中，權重之決定其重要能直接影響綜合評價之結果。目前比較常用獲得指標因素權重值的方法，大致可分為 4 類：統計分析法(因素分析、徑路分析、結構方程式分析)、德菲法(Delphi method)法、層級分析法、法規規定範圍。本研究針對 FWS 人工溼地之水質界定權重等級範圍，採用環保署規定之放流水排放標準和地面水體分類及水質標準。

### 2.3 4 個 FWS 濕地水質指標子集綜合評估模型建立

#### 2.3.1 確定指標參數權重

設  $U_j$  中第  $j$  個水質指標  $U_{i(x_i)}$  的權重為  $a_{ij}$ ，則水質因素指標子集權重分配為

$$A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}。其中，a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in} = 1。$$

#### 2.3.2 隸屬度函數建立

在 Matlab 之 FIS 系統中，隸屬度函數有 11 種包括 zmf-Z 型、trimf-三角形、trapmf-梯型、sigmf-Sigmoid 型、smf-S 型、psigmf-聯合 Sigmoid 型、pimf-p-II 型、gbellmf-鐘型、gaussmf-高斯型、guss2mf-聯合高斯型、dsigmf-兩個 Sigmoid 型的差。本研究採用 trapmf-梯型把各項指標之隸屬函數利用原先等級刻劃為隸屬函數之設定標準，把各指標原先屬於階段式之評估等級，利用函



數分段法將等級區分，將兩區間以線性函數處理後，如下式。

$$mf(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c \leq x \leq d \\ 0 & x \geq d \end{cases}$$

trapmf-梯型隸屬函數，該函數具有4個特徵參數a, b, c, d，數學方程式如下：

### 三、結果與討論

#### 3.1 Matlab 模糊綜合評價建立

利用Matlab fuzzy package首先調用模糊邏輯編輯器fuzzy，以mfedit打開隸屬函數編輯器，最後繪製FIS系統輸出圖形，並由模糊評價所得到之成果與判斷級之轉置矩陣相乘，得模糊評分。

##### 3.1.1 Matlab 指標參數集建立

為符合環保署放流水排放標準中的水質因素有BOD<sub>5</sub>、COD、SS、總大腸桿菌群(Total E. coli, TC)。本研究於評估因數為此4類指標參數，定義為BOD<sub>5</sub>因數U<sub>1(x<sub>i</sub>)</sub>、COD因數U<sub>2(x<sub>i</sub>)</sub>、SS因數U<sub>3(x<sub>i</sub>)</sub>、E. C. n因數U<sub>4(x<sub>i</sub>)</sub>，如圖1。

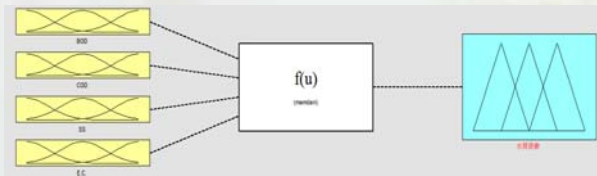


圖1 模糊指標參數輸入與輸出圖

##### 3.1.2 Matlab 輸入之隸屬度函數建立

本研究中以水質分級模糊集合A而言，在4級水和5級水的界定範圍，在其界定交界處範圍，屬於某種隸屬程度，也可稱為隸屬度函數 $mf_A(x)$ 。以下是以Matlab之mfedit指令分別建立BOD<sub>5</sub>、COD、SS、TC之trapmf-梯型隸屬函數圖形，如圖2。

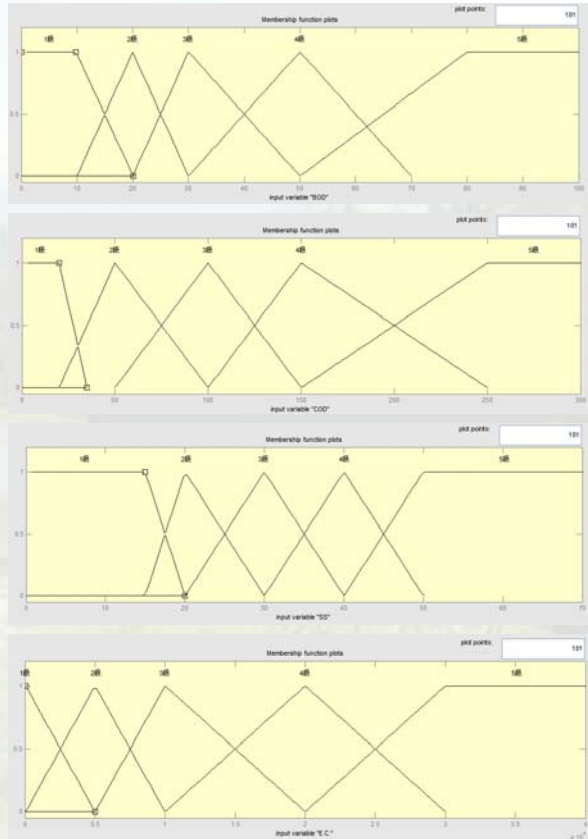


圖2 由上至下依序為BOD<sub>5</sub>、COD、SS、TC之隸屬度函數圖

#### 3.2 Matlab 輸出之權重函數模糊評價

以圖3之評分分類圖所示，求解出的模糊評分結果，如表1。

表1 綜合評估模糊運算結果

年	96					97					
	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
模糊解	0.2769	0.2769	0.2767	0.7525	0.7567	0.2767	0.2769	0.2768	0.2769	0.8498	0.8498

以圖4之綜合評分分類圖所示，求解出的模糊評分結果，如表1。

可知於FWS人工濕地11個月中由96年8月~97年10月，水質表現為2級水，但11月

污染質排放量變多，在控制流量不變的情況下，水質快速惡化轉為4級水接近5級水的表現。在1月時，由於學生開始放假大部分學生並不停留於宿舍和餐廳，排放之污染質即刻變少許多，水質於1月開始轉變為2級水，此時降低控制流量，於3、4、5月時水質持惡化為4級水~5級水，故可得知控制流量於處理校園污水的功能，極為重要。在以模糊理論綜合評價得知，8~10月和1月其處理後平均水質，可穩定達放流水標準，綜合評估結果表，如表2所示。

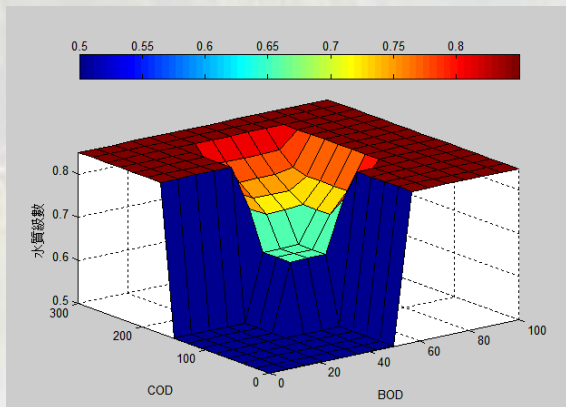


圖3 FIS系統綜合評估分類圖

#### 四、結果與建議

1. 本研究在於探討FWS人工濕地之水質綜合評估分類，可得知以模糊理論以地面水體(陸域)分類及放流水水質標準分類建立於梯型隸屬函數，以客觀角度來達到綜合評估水質參數之模糊分類等級。
2. 模式中以梯型隸屬函數建立主要因素為可因不同的時代背景因素而加以保守或非保守建立函數分佈極值和權重。
3. 本研究探討於夏季為人工濕地去除污染

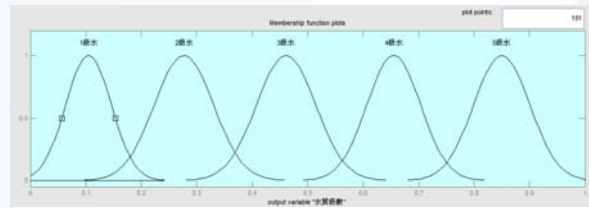


圖4 綜合評估分類圖

因實驗期間以流量大小可區分成兩階段，96/8~96/12平均流量調整為 $0.36\text{m}^3/\text{d}$ ；97/1~97/7平均流量調降為約 $0.26\text{m}^3/\text{d}$ 。當污水的平均流量降低時，污染質去除率會下降，導致水質綜合評估等級變大。

表2 模糊綜合評估等級結果表

年	96					97					
月	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
模糊等級	2級水	2級水	2級水	4級水	4級水	2級水	4級水	4級水	4級水	5級水	5級水

質最快速，處理過後可達放流水標準，冬季時推估因微生物活動減緩、植生休眠、流量減少因素，故以綜合評估後水質標準為4級。

4. 由於FWS人工濕地之在冬季時未達放流水標準，建議可加大流量，稀釋其污染質濃度後，抽樣檢測後，依本研究水質綜合評估分類方法，水質達3級或接近3級時，可適當放流。



## 參考文獻

1. Fuzzy Synthetic Evaluation of Wetland Soil Quality Degradation: A Case Study on the Sanjiang Plain, Northeast China Pedosphere, Volume 19, Issue 6, December 2009, Pages 756-764 . Jian-Hua WANG, Xian-Guo LU, Ming JIANG, Xiao-Yan LI, Jing-Han TIAN
2. Zadeh, L. A. (1978) PRUF - A meaning representation language for natural languages. International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 10, pp. 395-460.
3. Zadeh, L. A. (1965) Fuzzy sets. Information and Control, Vol. 8, pp. 338-353.
4. Zadeh, L. A. (1983) The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems. Memorandum No. UCB/ERL M83/41, University of California, Berkeley.
5. 陳麗瑜，2005，都會溼地公園水質淨化功能及規劃策略之研究，國立中山大學海洋環境及工程學系，碩士論文。
6. 蓋墟，「實用模糊數學」，亞東書局，臺北，民國80年11月。

收稿：100年5月4日
修改：100年5月7日
接受：100年5月11日