

## 應用灰色關聯理論於人工濕地多指標水質關聯分析

陳鈞華<sup>1</sup> 李煜基<sup>2</sup> 蔡瀚德<sup>3</sup> 鄭富尚<sup>4</sup> 徐貴新<sup>5</sup> 甘俊二<sup>6</sup>

1屏東科技大學土木工程系副教授、水利技師

2、3、4屏東科技大學土木所碩士班

5東南科技大學土木工程學系副教授兼系主任、水利技師

6七星農田水利研究發展基金會董事長、水利技師

## 摘要

目前國內人工溼地人在建設中且在水質數據觀測不易，因此難以有效的使用統計進行相似度分析。灰色關聯性分析具有在有限下水質數據進行灰系統參數間相似度分析的能力，本研究分別針對 2009、2010 年台北市新海橋人工濕地水質參數氫離子濃度(pH)、溫度(Temp)、導電度(EC)、懸浮固體(SS)、生化需氧量(BOD)，以灰色關聯性和加權權重進行分析比較。結果顯示：溫度對 pH 相似度為 0.92；pH 對溫度相似度為 0.92；SS、BOD 對 EC 相似度為 0.77；pH 對 SS 相似度為 0.68；EC、SS 對 BOD 相似度為 0.685。本研究結果可提供未來規劃新海橋人工溼地改善水質之最佳參考依據。

關鍵詞：人工溼地、灰色關聯性分析、水質

## 一、研究動機與目的

「水」為地表生物三大要素之一，而濕地正是地球自然濾淨器。溼地在水陸交接處生態最為豐富，濕地擁有被水淹沒、高濕度的土壤之特性這些校準所公佈的數據可用之土壤有機質含量高，依據拉姆薩爾國際濕地公約(ramsar convention)，以及水深不到 6 公尺的淺海域(張與劉等人，2008)，都稱濕地。由於台灣平原面積占全台的三分之一，其部分使的建設嚴重的破壞自然濕地，人工溼地有著復育自然濕地的功能(閻與曾，2005)，但目前對於這方面知識並不普遍難以著手，因此規劃人工濕地需考慮的因素，決定濕地淨化水質的成敗(楊磊，1999)。

一般而言，人工濕地淨水系統可分為自由表面流系統(Free Water Surface System, FWS)及地下水流系統(Subsurface Flow System, SFS)兩種，通常這兩種淨水系統主要利用過濾或是微生物處理，有效降低水質中的變量達到淨水的能力(高與張，2004)。人工濕地淨化水質的機制，其包含的範圍有生物性指標(如昆蟲、魚類與藻類)，但干擾因素較複雜，故以物理性與化學性的水質指標作為考量。水質的種類大致可分為溶氧、懸浮固體、有機性物質、氮磷營養鹽、金屬及病原菌等等(D. Steer, 2002 and M.A. Maine, 2006)。在水質中變量是有著相互關聯的性，如：懸浮固體就與導電度、溫度及酸鹼值等等(范與張，2010)。在目前的技術變量



的掌控是有限的，以簡單、快速取得資料的變數，去影響或改變這是必然的(陳與許，2010)。

本文利用灰相關性，比對出水質的因子相互影響關係，而有效的改變及掌控，期許能達到淨化水質的需求。

## 二、研究方法

### 2.1 灰色系統理論

世界中存在著各類系統，是由許多變量組成的。這些變量之間，相互關係非常複雜。特別是表面現象變化的隨機性容易混淆人們的直覺，掩蓋事物的本質，使人們在認識、分析、預測和決策時得不到充分全面的資訊，不容易形成明確的概念。因此，不僅不同系統之間的關係是灰的，同系統中不同變量之間的關係也是灰的。為此，灰色系統理論提出了關聯度分析的概念，其目的就是通過一定的方法理清系統中各因素間的主要關係，找出影響最大的因素對兩個系統或兩個因素之間關聯性大小的量度，稱為關聯度。灰色關聯度分析是對於一個系統發展變化態勢的定量描述和比較。

### 2.2 數據的處理

系統中若有參數的物理意義不同，或單位不同，在進行分析比較時混雜難得到中確的結果。因此必須將原始數據進行特殊處理。

#### 均質化處理

分別求出個原始序列的平均值，再利用平均值去除對應序列中每個數據。

#### 初值化處理

分別用原始序列的第一個原始數據去除後面各個數據，得到一新的序列。

#### 2.2.1 關聯度

利用平均法，關聯度計算為：

$$r(X_0, X_i) = \frac{1}{n \sum_{k=1}^n r(X_0(k), X_i(k))} \quad (1)$$

在實際的系統上，各個參數對系統的影響重要性並不見得都會相同，因此在權重不相等的情况下，計算關聯度為：

$$r(X_0, X_i) = \frac{1}{n \sum_{k=1}^n \beta_{ky} r(X_0(k), X_i(k))} \quad (2)$$

#### 2.2.2 關聯順序

先設定灰色關聯度之門檻，作為標準，去除掉相對於同一參考序列下之比較序列指標中灰色關聯度低於門檻值者。再將剩下高於門檻值的指標，依其灰色關聯度的大小遞減排序。(e)

灰色關聯分析就是一種影響測度的模型，其數學定義如下：

另  $X$  為關聯因子集

$$X = \{X_i | i \in I, I = \{1, 2, \dots, m\}, m \geq 2\}$$

$$X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)), x_i(k) \in X_0 \quad (3)$$

$$k \in K, K = \{1, 2, \dots, n\}, n \geq 3$$

另  $X_0(k)$  為參考數列

$X_i(k)$  為一特定比較序列

$X_0(k)$  與  $X_i(k)$  分別為  $X_0$  與  $X_i$  在地  $k$  點的數據

倘若有非負實數  $r(X_0(k), X_i(k))$  為  $X$  在任一環境下  $X_0(k)$  與  $X_i(k)$  的比較測度，且令非負實數  $r(X_0, X_i)$  為  $r(X_0(k), X_i(k))$  的平均值

$$\text{即 } r(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r(X_0(k), X_i(k)) \quad (4)$$

$r(X_0, X_i)$  則稱為  $X_i$  對於  $X_0$  的灰關聯度，簡記為  $r_{0i}$

$$r_{0i}(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f_i(k) \quad (5)$$

$$\text{而其中 } f_i(k) = \frac{\min_{k \in K} \max_{i \in I} |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \min_{k \in K} \min_{i \in I} |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \min_{k \in K} \max_{i \in I} |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (6)$$

灰關聯係數，簡記為  $f_i(k)$



$\rho \in [0,1]$  為分別係數，一般取值為 0.5。

但在實際上，各個變數對系統影響的重要性不盡然相同，因為個變數權重不相等的情况下，關聯度算式為：

$$r(X_i, X_j) = \frac{1}{n \sum \beta_k r(X_i(k), X_j(k))} \quad (7)$$

其中  $\beta_k$  表示權重，權重的大小由需求而定，但必須滿足  $\sum \beta_k = 1$ 。若無特別需要權重可以取相等來進行計算。

### 三、研究分析

#### 3.1 研究區域

依據「台北縣人工溼地功能效益評鑑計畫」對於新海人工溼地：設置截流大排、第一密植區、開放水域、第二密植區、生態池、放流口等 6 處，其量測重點針對生態、水質及污染削減、操作維護管理等整體功能效益方面加以分析評鑑。

新海人工濕地當地的水裡、水質、土壤、植物栽種都非常適合水值淨化，使量測水質的穩定度是可以被信賴的。其位置如圖 1 所示。

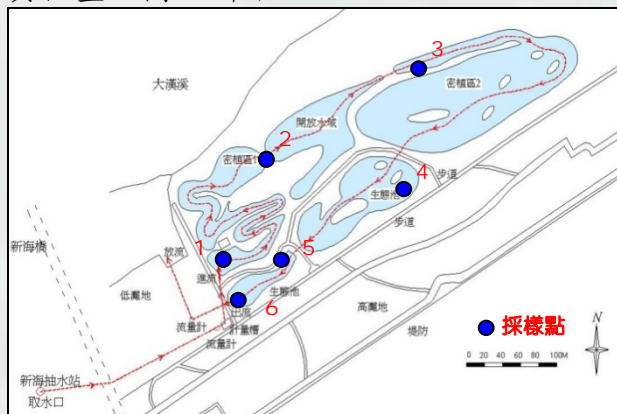


圖 1 新海人工濕地及取樣點

#### 3.2 環境因素

##### 3.2.1 水質項目

本研究評估過程依據環檢所公告之各分析一般項目之採樣程序進行，項目分析包含導電度、懸浮固體、生化需氧量，並於採樣現場進行氫離子濃度指數(pH)、水

溫，表 99 依序為新海橋溼地之分析數據。研究期間以導電度、懸浮固體、生化需氧量、氫離子濃度指數(pH)、水溫之項目作為環境項目。

##### 3.2.2 環境項目

由於河川水質淨化是一種處於自然開放與動態變化下的系統，因此不論是水溫、溫度、濕度、水域區域皆為有相互影響，本研究以每一個各別作為環境項目因素進行分析。

##### 3.2.3 灰關聯分析

採樣方法依據環檢所公告之各分析項目之採樣程序進行，其中生化需氧量及懸浮固體以 1L 塑膠瓶裝樣、總磷及氮氮以 100mL 之棕色玻璃瓶裝樣，一個禮拜送樣一單位，送樣時間以禮拜二及禮拜三為宜，彙集區域環境資料。以 2009、2010 年 4 至 9 月水質檢測，所得數據進行灰關聯分析，數據分析如下(步驟以分析水溫為例)：

第一步，將原始數據做初始化處理

分別用同一序列的第一個資料去除後面的各個原始資料，得到新的倍數數列，即為初值化數列。

第二步，計算關聯係數

首先計算各子序列同母序列在同一時刻的絕對時差，如：表 1。

表 1 個子序列同母序列在不同時刻的絕對時差

$t^0$	1 <sup>0</sup>	2 <sup>0</sup>	3 <sup>0</sup>	4 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>	6 <sup>0</sup>
水溫(°C)	0 <sup>0</sup>	4 <sup>0</sup>	3 <sup>0</sup>	1 <sup>0</sup>	0 <sup>0</sup>	2 <sup>0</sup>
EC( $\mu$ S/cm)	0 <sup>0</sup>	4 <sup>0</sup>	12 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>	17 <sup>0</sup>
(SS, mg/l)	0 <sup>0</sup>	90 <sup>0</sup>	91 <sup>0</sup>	88 <sup>0</sup>	88 <sup>0</sup>	92 <sup>0</sup>
BOD(mg/l)	0 <sup>0</sup>	11 <sup>0</sup>	31 <sup>0</sup>	51 <sup>0</sup>	37 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup>

從表 1 找出最大值及最小值進行不同值時如表 2。

表 2  $t$  為不同值時的關聯係數

$t^0$	1 <sup>0</sup>	2 <sup>0</sup>	3 <sup>0</sup>	4 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>	6 <sup>0</sup>
水溫(°C)	1.00 <sup>0</sup>	0.92 <sup>0</sup>	0.94 <sup>0</sup>	0.98 <sup>0</sup>	1.00 <sup>0</sup>	0.96 <sup>0</sup>
EC( $\mu$ S/cm)	1.00 <sup>0</sup>	0.92 <sup>0</sup>	0.79 <sup>0</sup>	0.73 <sup>0</sup>	0.73 <sup>0</sup>	0.73 <sup>0</sup>
(SS, mg/l)	1.00 <sup>0</sup>	0.34 <sup>0</sup>	0.34 <sup>0</sup>	0.34 <sup>0</sup>	0.34 <sup>0</sup>	0.33 <sup>0</sup>
BOD(mg/l)	1.00 <sup>0</sup>	0.81 <sup>0</sup>	0.60 <sup>0</sup>	0.47 <sup>0</sup>	0.55 <sup>0</sup>	0.53 <sup>0</sup>



第三步，計算關聯度

利用上表分別將各序列之關係數計算出平均值，即得關聯度。如：

$$r_{04} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \text{溫度}(i) = \frac{1}{6} (1 + 0.92 + 0.94 + 0.98 + 1 + 0.96) = 0.9$$

同理  $r_{02} = 0.82$   $r_{03} = 0.45$   $r_{04} = 0.66$

第四步，排出關聯順序

即  $r_{01} > r_{02} > r_{04} > r_{03}$

四、結果與討論

本研究經灰色關聯分析後，可得各環境項目之灰色關聯度如表 3 至 8 為 98、99 年 1~6 區 4~9 月灰色關聯度表所示：

表 3 1-6 區 4 月新海橋灰色關聯度表

第一期新海橋						第二期新海橋					
ρ	ph	溫度	EC	SS	BOD	ρ	ph	溫度	EC	SS	BOD
ph	-	0.97	0.82	0.45	0.66	ph	-	0.88	0.68	0.60	0.61
溫度	0.80	-	0.45	0.67	0.97	溫度	0.66	-	0.56	0.60	0.88
EC	0.47	0.72	-	0.81	0.78	EC	0.60	0.71	-	0.87	0.64
SS	0.56	0.47	0.46	-	0.50	SS	0.67	0.62	0.57	-	0.63
BOD	0.68	0.68	0.75	0.56	-	BOD	0.63	0.61	0.74	0.67	-

表 4 1-6 區 5 月新海橋灰色關聯度表

第一期新海橋						第二期新海橋					
ρ	ph	溫度	EC	SS	BOD	ρ	ph	溫度	EC	SS	BOD
ph	-	0.93	0.90	0.49	0.59	ph	-	0.84	0.80	0.49	0.52
溫度	0.91	-	0.50	0.58	0.93	溫度	0.85	-	0.50	0.55	0.84
EC	0.47	0.55	-	0.90	0.90	EC	0.49	0.55	-	0.79	0.84
SS	0.66	0.51	0.51	-	0.50	SS	0.72	0.51	0.52	-	0.52
BOD	0.61	0.60	0.59	0.66	-	BOD	0.54	0.57	0.59	0.72	-

表 5 1-6 區 6 月新海橋灰色關聯度表

第一期新海橋						第二期新海橋					
ρ	ph	溫度	EC	SS	BOD	ρ	ph	溫度	EC	SS	BOD
ph	-	0.95	0.87	0.57	0.65	ph	-	0.89	0.69	0.45	0.60
溫度	0.85	-	0.55	0.66	0.95	溫度	0.71	-	0.45	0.58	0.89
EC	0.58	0.65	-	0.86	0.84	EC	0.50	0.72	-	0.68	0.69
SS	0.61	0.58	0.57	-	0.61	SS	0.64	0.47	0.46	-	0.53
BOD	0.66	0.67	0.67	0.61	-	BOD	0.62	0.59	0.74	0.64	-

表 6 1-6 區 7 月新海橋灰色關聯度表

第一期新海橋						第二期新海橋					
ρ	ph	溫度	EC	SS	BOD	ρ	ph	溫度	EC	SS	BOD
ph	-	0.95	0.69	0.50	0.53	ph	-	0.85	0.64	0.52	0.48
溫度	0.72	-	0.52	0.55	0.95	溫度	0.66	-	0.50	0.46	0.85
EC	0.55	0.59	-	0.68	0.70	EC	0.67	0.64	-	0.62	0.64
SS	0.73	0.52	0.53	-	0.58	SS	0.88	0.54	0.51	-	0.70
BOD	0.55	0.56	0.62	0.73	-	BOD	0.50	0.47	0.67	0.88	-

表 7 1-6 區 8 月新海橋灰色關聯度表

第一期新海橋						第二期新海橋					
ρ	ph	溫度	EC	SS	BOD	ρ	ph	溫度	EC	SS	BOD
ph	-	0.98	0.82	0.56	0.58	ph	-	0.93	0.91	0.61	0.70
溫度	0.81	-	0.56	0.58	0.98	溫度	0.88	-	0.60	0.68	0.93
EC	0.60	0.62	-	0.81	0.80	EC	0.60	0.69	-	0.91	0.87
SS	0.81	0.58	0.57	-	0.63	SS	0.61	0.62	0.61	-	0.63
BOD	0.60	0.60	0.64	0.81	-	BOD	0.72	0.70	0.72	0.61	-

表 8 1-6 區 9 月新海橋灰色關聯度表

第一期新海橋						第二期新海橋					
ρ	ph	溫度	EC	SS	BOD	ρ	ph	溫度	EC	SS	BOD
ph	-	0.99	0.78	0.63	0.71	ph	-	0.93	0.78	0.57	0.68
溫度	0.78	-	0.64	0.71	0.99	溫度	0.82	-	0.56	0.67	0.93
EC	0.75	0.82	-	0.77	0.77	EC	0.52	0.68	-	0.77	0.81
SS	0.68	0.65	0.65	-	0.76	SS	0.61	0.58	0.57	-	0.54
BOD	0.72	0.72	0.84	0.68	-	BOD	0.69	0.68	0.70	0.61	-

將 98、99 年 1~6 區 4~9 月新海橋灰色關聯度表，利用加權權重的方式分析相互進行關聯度係數如表 9~13 98、99 年 1~6 區 4~9 月利用水溫與各項目進行灰色關聯度。

- r00=氫離子濃度指數 (pH)
- r01=水溫度 (單位：°C)
- r02=導電度 (EC，μS/cm)
- r03=懸浮固體 (SS，mg/l)
- r04=生化需氧量 (BOD，mg/l)

表 9 pH 4-9 月分析與各變數灰色相關分析

氫離子濃度指數 (pH)														
大至小(第一期新海橋)						大至小(第二期新海橋)								
4月	r01	r02	r04	r03	4月	r01	r02	r04	r03	5月	r01	r02	r04	r03
5月	r01	r02	r04	r03	6月	r01	r02	r04	r03	7月	r01	r02	r04	r03
8月	r01	r02	r04	r03	9月	r01	r02	r04	r03	加權				
加權					分數	5	4	3	1	加權	r01	r02	r04	r03
加總	r01	r02	r03	r04	加總	r01	r02	r03	r04	結果	30	24	8	16
結果	30	24	8	16	結果	30	24	8	16	溫度>EC>BOD>SS				



表 10 溫度 4-9 月分析與各變數灰色相關分析

水溫度 (單位: °C)									
大至小(第一期新海橋)					大至小(第二期新海橋)				
4月	r00	r02	r04	r03	4月	r00	r02	r04	r03
5月	r00	r02	r04	r03	5月	r00	r02	r04	r03
6月	r00	r02	r04	r03	6月	r00	r02	r04	r03
7月	r00	r02	r04	r03	7月	r00	r02	r04	r03
8月	r00	r02	r04	r03	8月	r00	r02	r04	r03
9月	r00	r02	r04	r03	9月	r00	r02	r04	r03
加權 分數	5	4	3	1	加權 分數	r00	r02	r04	r03
加總	r02=	r03=	r04=1	r00=3	加總	r02	r03=	r04=1	r00=2
結果	24	6	8	0	結果	=25	8	6	9
pH>EC>BOD>SS					pH>EC>BOD>SS				

表 11 EC 4-9 月分析與各變數灰色相關分析

導電度(EC, μS/cm)									
大至小(第一期新海橋)					大至小(第二期新海橋)				
4月	r00	r01	r04	r03	4月	r04	r00	r01	r03
5月	r00	r01	r04	r03	5月	r04	r00	r01	r03
6月	r00	r01	r04	r03	6月	r01	r00	r04	r03
7月	r01	r00	r04	r03	7月	r04	r01	r00	r03
8月	r00	r01	r04	r03	8月	r03	r04	r01	r00
9月	r04	r00	r01	r03	9月	r00	r01	r04	r03
加權 分數	5	4	3	1	加權 分數	r01	r00	r04	r03
加總	r03	r04=2	r00=2	r01=2	加總	r03=	r04=2	r00=2	r01=2
結果	=6	0	8	4	結果	10	5	1	2
pH>溫度>BOD>SS					BOD>溫度>pH>SS				

表 12 SS 4-9 月分析與各變數灰色相關分析

懸浮固體(SS, mg/L)									
大至小(第一期新海橋)					大至小(第二期新海橋)				
4月	r04	r02	r00	r01	4月	r04	r02	r00	r01
5月	r04	r01	r00	r02	5月	r04	r02	r00	r01
6月	r04	r02	r00	r01	6月	r04	r02	r01	r00
7月	r04	r02	r01	r00	7月	r04	r02	r00	r01
8月	r04	r02	r00	r01	8月	r04	r02	r00	r01
9月	r02	r04	r01	r00	9月	r02	r00	r04	r01
加權 分數	5	4	3	1	加權 分數	r04	r00	r01	r02
加總	r04=	r00=1	r01=1	r02=2	加總	r04	r00=1	r01=	r02=2
結果	29	4	3	2	結果	=28	7	8	5
BOD>EC>pH>溫度					BOD>pH>溫度>EC				

表 13 BOD 4-9 月分析與各變數灰色相關分析

生化需氧量(BOD, mg/L)									
大至小(第一期新海橋)					大至小(第二期新海橋)				
4月	r02	r01	r00	r03	4月	r02	r03	r00	r01
5月	r03	r00	r01	r02	5月	r02	r03	r00	r01
6月	r02	r01	r00	r03	6月	r03	r02	r01	r00
7月	r03	r02	r01	r00	7月	r02	r03	r00	r01
8月	r03	r02	r00	r01	8月	r03	r02	r00	r01
9月	r02	r00	r01	r03	9月	r02	r00	r01	r03
加權 分數	5	4	3	1	加權 分數	r02	r00	r01	r03
加總	r00=	r01=1	r02=2	r03=1	加總	r00	r01=1	r02=2	r03=2
結果	18	8	4	8	結果	=17	0	8	3
EC>pH>溫度>SS					EC>SS>pH>溫度				

由上述 98-99 年分析，可得

- (1) 98~99 年氫離子濃度對溫度最據影響性，EC 第二，BOD 第三，SS 第四。
- (2) 98~99 年溫度對 pH 最據影響性，pH 第二，BOD 第三，SS 第四。
- (3) 98 年 EC 對 pH 最據影響性，溫度第二，BOD 第三，EC 第四。99 年 EC 對 BOD 最據影響性，溫度第二，pH 第三，SS 第四。
- (4) 98 年 SS 對 BOD 最據影響性，EC 第二，pH 第三，溫度第四。99 年 SS 對 BOD 最據影響性，pH 第二，溫度第三，EC 第四。
- (5) 98 年 BOD 對 EC 最據影響性，pH、溫度、SS 皆為第二。99 年 BOD 對 EC 最據影響性，SS 第二，pH 第三，溫度第四。

### 五、結論與建議

98、99 年 pH 對溫度最據影響性，可能是因廢污水排放也會對水溫造成影響。水溫會影響水的性質方面眾多（如：水的密度、黏度、蒸氣壓、表面張力等物理性質）。pH 值會影響生物的生長、物質的沉澱與溶解、水及廢水的處理等。98、99 年溫度對 pH 最據影響性，若水體受工業廢水或礦場廢水污染時，pH 值可能產生明顯的變化。在化學方面亦可影響化學反應速率



及氣體溶解度等，在生物方面則可能影響微生物的活性及其代謝速率等。98年 EC 對 pH 最據影響性，通常導電度愈高，表示水中電解質含量較多。由於大部分鹽類都可電離，而 99 年 BOD 最據影響性，可能是因在某特定時間及溫度下，被微生物的分解氧化作用所消耗的氧量。導電度也可表示水中總溶解固體的多寡，導電度太高對灌溉有不良的影響。98、99 年 SS 對 BOD 最據影響性，可能是因水中會因攪動或流動而呈懸浮狀態的有機或無機性顆粒，一般包含膠懸物、分散物。懸浮固體會阻礙光在水中穿透，因而間接影響了微生物分解的有機物質。98、99 年 BOD 對 EC 最據影響性，可能是因水質導電度與水中離子總濃度、移動性、價數、相對濃度及水溫等有關。水中易受微生物分解的有機物質，被微生物的分解氧化作用所消耗的氧量。生化需氧量可表示水中生物可分解的有機物含量，間接也表示了水體受有機物污染的程度。

本研究限於時間經費有限收集資料有所不足，使的水質分析項目中缺少了氨氮及溶氧，無法進一步分析水質項目之間相關聯性，未來將透過更加完整資料進行當地水質分析來探討水質相關之影響，能更完整供未來規劃新海橋人工溼地改善水質之最佳參考依據。

#### 文獻回顧

- 張謝淵、劉笠迪，「灰關聯分析溼地水質與溼地重建之研究」，第一屆亞洲溼地大會中文論文集，第 81-94 頁，台北，台灣 (2008)。
- 張謝淵、劉笠迪，「灰關聯分析溼地水質與溼地重建之研究」，第一屆亞洲溼地大會中文論文集，第 81-94 頁，台北，台灣 (2008)。
- 閻克勤、曾國雄、林楨，「海岸濕地永續管理之績效標準準則建立之研究：以灰色關聯分析應用在指標之選擇」，都市與計劃，第 32 卷，第 4 期，第 421~441 頁 (2005)。
- 楊磊，「人工濕地應用於海岸及離島型工業區廢水循環處理之研究」，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告：NSC88-2621-Z-110-006 (1999)。
- 高裕群、張文亮，「供為污水自然淨化系統之濕地建造」，第一屆生態工程學術研討會，第 372-383 頁，台北市 (2004)。
- 范正成、張郁麟、楊文仁、劉哲欣，「倒傳遞類神經網路應用於石門水庫懸浮固體濃度之即時分析與預測」，中華水土保持學報，第 37 卷，第 4 期，第 367-376 頁 (2006)。
- 陳鴻烈、許振峯、蔡大偉，「農村聚落污水懸浮質削減成效之探討」，水土保持學報，第 42 卷，第 4 期，第 465-478 頁 (2010)。
- D. Steer, L. Fraser, J. Boddy, B. Seiber, "Efficiency of small constructed wetlands for subsurface treatment of single-family domestic effluent", *Ecological Engineering*, 18(4), 429-440 (2002).
- M.A. Maine, N. Suñe, H. Hadad, G. Sánchez, C. Bonetto, "Nutrient and metal removal in a constructed wetland for wastewater treatment from a metallurgic industry", *Ecological Engineering*, 26(4), 341-347 (2006).

收稿：101 年 4 月 30 日  
修改：101 年 5 月 14 日  
接受：101 年 5 月 22 日