

# 台灣河川水質淨化工法—

## 表面流人工濕地成效之普查

張文亮 台灣大學生物環境系統工程學系教授

### 中文摘要

在 2004 到 2005 年，我們調查了環保署河川水質淨化工法 13 個表面流人工濕地的場址。由於許多場址缺乏水力設計、操作程序與處理效率的資料，不容易評估其處理污水的成效。因此我們前往現場分析水質、入流與出流量，並且調查河川生態環境的改善。

我們主要探討的，是每個場址的生化需氧量、氨氮、磷與懸浮顆粒濃度，在不同水力停滯時間與水力負荷量的去除效率，以比較各場址處理污水的成效。處理水質的效率與日本、美國、歐洲相比較，生化需氧量與磷的去除率為 55.1% 與 33%，與外國相近。氨氮的去除率為 68.6% 較外國高。懸浮顆粒去除率為 7.9% 較外國低，這與水中植物種類過多與植栽過密有關。

生化需氧量、氨氮與磷鹽酸平均一階反應係數為 0.25/day、0.25/day 與 0.14/day。其水力負荷量為 1,090 m<sup>3</sup>/ha day，平均水力停滯時間為 10.67 日，這與歐美的人工濕地相近。

本研究的目的是提供未來河川水質淨化工法設計、建造與維護的參考。

中文關鍵字：表面流人工濕地、污水處理、生化需氧量、氨氮、磷

## Survey on Stream Purification

### of Free Surface Flow Wetlands in Taiwan

Wen-lian Chang, Dept. of Bioenvironmental Systems Engineering,  
National Taiwan University, Professor

During 2004 and 2005, we investigated 13 free surface flow wetlands for wastewater treatment, sponsored by Environmental Protection Agency, Taiwan. Since available information on hydraulic design, operational process, and treatment efficiency were not available; it was difficult for us to evaluate their performance. Therefore, we went to each site to analyze water quality, measure amount of water in influent and effluent, and investigate its ecological enhancement.

BOD, nitrogen, phosphorus and SS removal rate in each site were calculated, which were

determined by hydraulic retention time and hydraulic loading rate, the two key factors of performance efficiency. The removal rates are similar to that of Japan, U.S. and Europe. The removal rate of BOD and phosphorus is 55.1% and 33%, respectively. The removal rate of nitrogen is 68.6%, which is higher than Japan, U.S. and Europe. The removal rate of SS is 7.9%, which is lower than Japan, U.S. and Europe, mainly due to the over growth and high density of water plants.

The average first order reaction rate of BOD, nitrogen and phosphorus is 0.25, 0.25 and 0.14/day, respectively. Its hydraulic loading rate is 1,090 m<sup>3</sup>/ha day, and the average hydraulic retention time is 10.67 days, which is similar to that of the U.S. and Europe.

The purpose of this paper is to provide a reference point for natural treatment design, construction, and maintenance in the future.

Key words: free surface flow wetland, wastewater treatment, BOD, nitrogen, phosphorus

## 前 言

建造人工濕地處理污水起源於 1960 年代德國的研究。自此，美國開始大量以此作為都市污水二級處理之後的處置與非點源污染的處理。這種污水處理的方式，造價較污水處理廠便宜，而且場址的選擇較有彈性，只要接近污染源的合適地點，就可以進行建造。處理的濕地，以淨化污水的生化需氧量、懸浮顆粒濃度為主，其次為去除氨氮，而且栽種水生植物，素有最美麗的污水處理廠之稱，具有促進生態功能與景觀之用，因此在世界各國逐漸推廣。

不同的國家，在發展人工濕地建造，配合自身的環境與水文氣候，也有不同的調整。例如日本的平地較為狹小，所建造的濕地大多是在溪邊或湖泊灘地，水域面積一般小於 1 ha，水深約 10~20 公分，處理水量約 40~260 m<sup>3</sup>/day，水力停滯時間約 0.2~0.7 日，水力負荷量約 0.03~0.46 m/day，所種的植物以蘆葦為主，其次為水芥菜、香蒲、布袋蓮等，大部份是表面流濕地，所處理的水是以河川為主，而非一、二級污水處理廠的排放水 (Nakamura et al.)。

瑞典人工濕地的建造，為改善波羅的海優養化的問題，有別於美國、日本，主要在去除水中氨氮的濃度，而且瑞典的森林多，所以在森林中建造長條狀的土渠，以促進氨氮的吸收，水力停滯的時間也較長，約 7.5 日，人工濕地為兩段式的操作，先將污水流過礫間接觸的石床，以進行厭氧性的脫氮，再流過森林間長條狀的土渠，渠道中以飄浮性水生植物水蘓 (*Elodea nuttallii*) 為主，以進行好氧性的吸收。採用水蘓的原因是，其植株上有許多附生性的微生物，是吸收水中氮的主要媒介，其處理氮的排放濃度以低於 1 mg/l 為要求，以減少近海的優養化 (Wittgren and Tobiasson, 1995)。

當人工濕地的建造，在世界各國逐漸成為污水的處理方式，有幾個關鍵的問題，仍然需要依照在地的環境來決定，如場址的選定、植栽的種類、材料的選定、最佳操作的評估、建造後的維護，尤其是設計的參數，如反應係數、水力停滯時間等，如果沒有這

些參數，工程的設計就需依賴經驗，而缺乏科學的基礎。需要理想的設計理論，才能評估合理的建造與操作 (Brown and Reed, 1994)。

但是開發中國家在推展人工濕地的建造時，由於缺乏這些基本參數，大都採用已開發國家的參數，因為設計建造不符合當地的實情，產生不符合在地環境的處理效益。例如在印度人工濕地的建造，發現在乾、濕季分明的地方建造人工濕地，容易面臨缺水與淹水的問題，耐污染的外來物種，藉由人工濕地成為入侵的管道，或成為滯留未經處理污水的地方，滋生惡臭、蚊蟲 (Gopal, 1999)。

以表面流人工濕地處理污水在台灣的發展是近五年的事，所設計、建造的工程也出現過上述的問題，而且台灣有自己獨特的水文與氣候環境，因此為了往後的發展，極需整理現有場址的案例，彙集資料，並且給予綜合性的分析，以評估其處理水質的成效與本土性的參數依據。故本研究的目的，就是整合環保署表面流人工濕地的資料，綜合分析其生化需氧量、氮氮、磷與懸浮顆粒濃度的去除效率、水力停滯時間與反應係數，並與外國的資料互相比較之。

#### 理論與分析

評估人工濕地污水處理的成效，包括下列 6 個參數：

1. 水力負荷量 (hydraulic loading rate, HLR)，為單位濕地的平均流速，或濕地承受污水的速率 (hydraulic application rate)，

$$HLR = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Q 為單位時間的流量 ( $m^3/day$ )，A 為濕地面積。

2. 水力停滯時間 (hydraulic retention time, HRT) 為污水在濕地的停滯時間。

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

V 為濕地的體積。

3. 化學一階反應係數 (the first order reaction rate, kv) 為化學物質在濕地中分解的反應速率常數。

$$\frac{C_o}{C_i} = \exp^{-kv \cdot HRT} \quad (3)$$

$C_i$  為流入濕地的化學物質濃度， $C_o$  為流出濕地的化學物質濃度。

4. 營養物質負荷量 (loading rate, LR)，一般指營養物質 BOD、TN、 $NH_4$  或 TP 等可被濕地微生物分解的項目。

$$\begin{aligned} LR &= C_i \cdot \frac{Q}{A} \\ &= C_i \cdot HLR \quad (4) \end{aligned}$$

LR 代表單位面積每日所進入的重量，單位為  $g/m^2day$ 。

5. 濃度去除率 (removal rate) 代表濕地入出流營養物質濃度的變化

$$R = \frac{(C_i - C_o)}{C_i} \times 100\% \quad \Lambda \quad \Lambda \quad \Lambda \quad \Lambda \quad \Lambda \quad (5)$$

或是質量的變化 
$$R = \frac{(C_i Q_i - C_o Q_o)}{C_i Q_i} \times 100\% \quad \Lambda \quad \Lambda \quad \Lambda \quad \Lambda \quad \Lambda \quad (6)$$

Q<sub>o</sub> 為流出濕地的流量，Q<sub>i</sub> 為流入濕地的流量。

6. 每日去除率 (removal rate per day)

$$R_d = \frac{R}{HRT} \quad \Lambda \quad \Lambda \quad \Lambda \quad \Lambda \quad \Lambda \quad (7)$$

#### 試驗與方法

調查表面流人工濕地的場址，共 13 處。每一個現場採流入與流出口的水樣，以流速計測定其流速，以量尺測其斷面積。並且依環保署公告的方法測定水中的氨氮、生化需氧量、懸浮顆粒濃度與磷酸鹽濃度。根據工程的驗收報告，記錄其場址面積。採樣時間皆在工程驗收後，於正常操作的情況，無降雨日時採樣。

#### 結果與討論

13 個表面流人工濕地的面積，處理水量與水質以表（一）示之，不同場址的濕地面積，有很大的差異，除了花蓮鯉魚潭人工濕地是建造在湖泊旁邊，台東關山人工濕地是建造在排水溝渠旁邊，其餘 11 個人工濕地建造在溪流的旁邊。水域邊灘地可用的面積，常決定人工濕地可建面積的大小，目前以高屏溪舊鐵橋表面流人工濕地面積最大。台灣的表面流人工濕地平均所處理的水量為 1,090 m<sup>3</sup>/ha day。

雖然表面流人工濕地的場址在水域的旁邊，但是所處理的水，常取自排入水域的污水，處理後再排入附近的溪流與湖泊。取水的方式，有用馬達抽水，如淡水河新海橋人工濕地、朴子溪中洋子人工濕地、武洛溪人工濕地等；有用重力的方式引用，如花蓮鯉魚潭人工濕地、關山人工濕地等；有用重力與抽水合用，如高屏溪舊鐵橋人工濕地；有用潮汐漲退而引水，如淡水河五股人工濕地，這個場址位於天然濕地，經過些微人工改建而成。

表（二）顯示，台灣的表面流人工濕地揉合了美國與日本表面流人工濕地的建造特色，在水深、水力停滯時間與水力負荷量都較接近美國，是以停滯較久、入流量較小，水位較深的方式處理，但是所用的濕地面積較小。不同於日本與歐美的，就是在小面積的濕地裡，種植的水生植物種類多、而且植株密度高，這與外國經常只種少數幾種的水生植物不同，這將在水質處理的成效上，產生問題。

表二、台灣表面流人工濕地與外國表面流人工濕地建造狀況之比較

濕地	台灣	日本	美國	歐洲
面積 (ha)	0.08~31.06	0.01~20	0.02~498 <sup>(2)</sup>	0.01~1.30 <sup>(2)</sup>
平均面積 (ha)	4.03	1.04	32.64 <sup>(2)</sup>	0.20 <sup>(2)</sup>
水深 (m)	0.18~0.97	0.05~0.30	0.1~0.5 <sup>(1)</sup>	—
平均水深 (m)	0.51	0.17	—	—
入流量 (m <sup>3</sup> /day)	48~32846	9.4~216000	1.0~34254 <sup>(2)</sup>	2.6~2627 <sup>(2)</sup>
平均入流量 (m <sup>3</sup> /day)	738	—	2159 <sup>(2)</sup>	215 <sup>(2)</sup>
水力負荷量 (m/day)	0.01~0.52	0.03~1.20	0.07~0.6 <sup>(1)</sup>	0.02~0.31 <sup>(2)</sup>
平均水力負荷量 (m/day)	0.11	0.47	—	0.08 <sup>(2)</sup>
水力停滯時間 (day)	0.78~29.88	0.08~4.79	5~14 <sup>(1)</sup>	—
平均水力停滯時間 (day)	10.34	0.63	—	—

資料來源：(1).Crites, 1994. (2).Kadlec and Knight, 1996.

台灣與外國表面流人工濕地處理水中生化需氧量的成效，以表（三）示之。台灣人工表面流人工濕地的生化需氧量一般較歐美低，主要的原因是大都取自排放水，而非直接取自經過一級處理或二級處理的污水，所以入流負荷量也較美國的入流負荷量低。如果入流的生化需氧量受到排放水生化需氧量較低的影響，則可以增加引水量與減少水力停滯時間，以提高入流的負荷量。

表三、台灣表面流人工濕地與外國表面流人工濕地生化需氧量處理成效之比較

	台灣	日本	美國	歐洲
入流濃度 (mg/l)	3.2~71.6	—	0.7~282.3 <sup>(1)</sup>	3~661 <sup>(1)</sup>
平均入流濃度 (mg/l)	24.3	—	34.4 <sup>(1)</sup>	128 <sup>(1)</sup>
出流濃度 (mg/l)	1.5~54.1	—	0.3~36.7 <sup>(1)</sup>	2~149 <sup>(1)</sup>
平均出流濃度 (mg/l)	9.0	—	10.0 <sup>(1)</sup>	18 <sup>(1)</sup>
濃度去除率 (%)	-62.5~96.5	—	-71.4~97.7 <sup>(1)</sup>	-66.7~99.0 <sup>(1)</sup>
平均濃度去除率 (%)	55.1	—	54.0 <sup>(1)</sup>	85.6 <sup>(1)</sup>
入流負荷量 (g/m <sup>2</sup> day)	0.02~6.59	—	6.0 <sup>(2)</sup>	—

平均入流負荷量 (g/m <sup>2</sup> day)	2.37	—	—	—
一階反應係數 (1/day)	-0.02~0.95	—	—	—
平均一階反應係數 (1/day)	0.25	—	0.501 <sup>(4)</sup> —	0.1 <sup>(3)</sup>

資料來源：(1).Kadlec, 1996. (2).EPA, 2000.建議在 8.3ha 濕地設計入流 BOD 負荷量。  
(3).Cooper, 1990. (4).EPA, 1993.

台灣的表面流人工濕地，生化需氧量去除率最高的是二仁溪灣裡的人工濕地，達 96.5%，不過其引入的水量少，水力負荷量 0.03 m/day，停滯時間久，達 12.6 日，可以讓污水在濕地裡，有充分的時間分解。若以單位面積每日去除量來比較，關山人工濕地生化需氧量的去除量 3.15 g/m<sup>2</sup>day 最高。

台灣表面流人工濕地，由於溫度較高，生化需氧量的平均一階反應係數為 0.25/day，大於歐洲的反應係數 0.1/day，但仍然低於美國的 0.501/day，只有朴子溪中洋子的人工濕地，其一階反應係數為 0.68/day，該場址的水力停滯時間為 2.65 日，這在去除生化需氧量的操作上是稍快了一些，其生化需氧量的去除量為 1.31 g/m<sup>2</sup>day，低於關山表面流人工濕地的去除量，因此評估表面流人工濕地處理的最佳指標，不單是反應係數，更需依據單位面積單位時間的去除量。

台灣與外國表面流人工濕地對水中氨氮的處理成效比較，以表（四）示之。其處理的成效，就濃度去除率而言，台灣表面流人工濕地的平均一階反應係數都較日本、歐、美為高，這是因為台灣表面流人工濕地有較長停滯時間與溫度較高，有助氨氮的分解。例如高屏溪舊鐵橋人工濕地與花蓮鯉魚潭人工濕地去除氨氮濃度可達 99.2%與 98.1%，氨氮的移除量為 1.31 與 1.08 g/m<sup>2</sup>day。

表四、台灣表面流人工濕地與外國表面流人工濕地氨氮處理成效之比較

	台灣	日本 <sup>(1)</sup>	美國 <sup>(2)</sup>	歐洲 <sup>(2)</sup>
入流濃度 (mg/l)	2.0~28.3	0.43~6.60	0.05~22.00	0.1~79.1
平均入流濃度 (mg/l)	9.1	2.52	5.81	21.0
出流濃度 (mg/l)	0.1~4.3	0.23~4.30	0.01~20.09	0.1~46.6
平均出流濃度 (mg/l)	2.1	2.21	1.96	11.3
濃度去除率 (%)	21.9~98.1	2.9~67.7	-1124.5~97.9	-600.0~90.9

平均濃度去除率 (%)	68.6	32.1	27.7	33.0
入流負荷量 (g/m <sup>2</sup> day)	0.08~3.30	0.11~4.42	—	—
平均入流負荷量 (g/m <sup>2</sup> day)	0.90	1.21	—	—
一階反應係數 (1/day)	0.04~0.57	—	—	—
平均一階反應係數 (1/day)	0.25	—	0.107 <sup>(3)</sup>	—

資料來源：(1). Nakamura et. al. (2). Kadlec and Knight, 1996. (3). EPA, 1993.

去除較高的氮氮不代表能去除較多的生化需氧量，以關山表面流人工濕地為例，生化需氧量的去除率很高，氮氮的去除量卻只有 0.35 g/m<sup>2</sup>day，濃度去除率為 50%，原因是該人工濕地內，水中藍綠藻滋生，把空氣裡的氮氣，轉換成為有機氮與氨氮，降低了該場址氮氮去除的效果，定期移除藍綠藻成為該場址必要的維護措施。

台灣與外國表面流人工濕地對去除水中磷的效果，以表（五）示之。磷的去除率與平均入流負荷量皆與國外相似。而對於懸浮顆粒去除的效果，以表（六）示之，顯示台灣表面流人工濕地懸浮顆粒的去除率遠低於歐美。污水在濕地中水力停滯時間在 10 日以上，能夠去除水中的生化需氧量、氮氮、磷，為何不易去除懸浮顆粒濃度？美國環保署(1993)建議，人工濕地去除水中懸浮顆粒，效率最佳為 2 日，為了去除生化需氧量與氮氮，才考慮延長水力停滯時間。

不過美國環保署（1993）也特別提出，延長水力停滯時間，若此時人工濕地內水生植物栽種過多，植株有機碎屑將增加排水中的懸浮顆粒濃度，使懸浮顆粒的去除率降低。在二仁溪港尾人工濕地、鯉魚潭人工濕地與竹林人工濕地等，都有類似的問題。為此，美國環保署（2000）建議，人工濕地的自由水面維持在 0.95~0.875 的濕地表面積，以避免水生植物生長過密所造成的問題。而調查場址中，最具去除懸浮顆粒的表面流人工濕地，是中洋子人工濕地，水力停滯時間 2.65 日，其水深較淺、場址平坦、而且水生植物的種類只有三、四種，只要定期清除，懸浮顆粒濃度去除率達 97.7% 或 103.39 g/m<sup>2</sup>day 的去除量。

表五、台灣表面流人工濕地與外國表面流人工濕地磷處理成效之比較

	台灣	日本 <sup>(1)</sup>	美國 <sup>(2)</sup>	歐洲 <sup>(2)</sup>
入流濃度 (mg/l)	0.01~3.11	0.02~1.10	0.00~23.19	0.5~35.0
平均入流濃度 (mg/l)	1.13	0.39	3.76	7.30

出流濃度 (mg/l)	0.01~2.40	0.01~0.44	0.02~7.74	0.2~14.6
平均出流濃度 (mg/l)	0.52	0.21	2.01	5.50
濃度去除率 (%)	-61.0~98.6	0~75	-128.6~97.6	-111.4~97.9
平均濃度去除率 (%)	33.0	40.0	42.7	29.2
入流負荷量 (g/m <sup>2</sup> day)	0.00~0.25	0.01~0.62	—	—
平均入流負荷量 (g/m <sup>2</sup> day)	0.10	0.14	—	—
一階反應係數 (1/day)	-0.17~0.72	—	—	—
平均一階反應係數 (1/day)	0.14	—	—	—

資料來源：(1). Nakamura et.al. (2).Kadlec and Knight, 1996.

表六、台灣表面流人工濕地與外國表面流人工濕地懸浮顆粒處理成效之比較

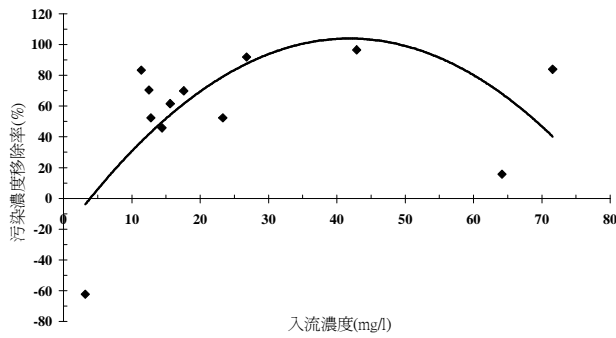
	台灣	日本	美國	歐洲
入流濃度 (mg/l)	3.6~779.6	—	0.7~588.0	4~1960
平均入流濃度 (mg/l)	93.0	—	57.5	163
出流濃度 (mg/l)	0.8~86.3	—	1.0~81.0	2~750
平均出流濃度 (mg/l)	21.9	—	15.7	27
濃度去除率 (%)	-435.3~97.7	—	-328.6~97.1	-157.1~99.5
平均濃度去除率 (%)	7.9	—	45.4	83.4
入流負荷量 (g/m <sup>2</sup> day)	0.06~105.51	—	—	—
平均入流負荷量 (g/m <sup>2</sup> day)	13.11	—	—	—

資料來源：Kadlec and Knight, 1996.

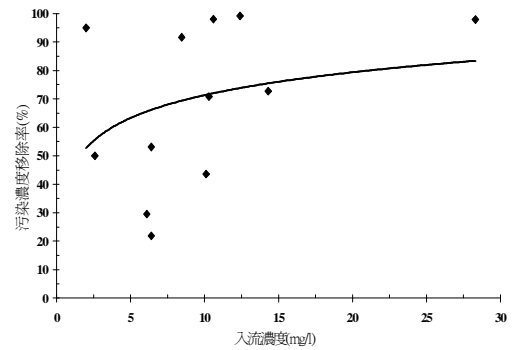
水質的入流濃度與入流負荷量是設計建造人工濕地的關鍵，若濃度太低或負荷量太高並非人工濕地所能處理，需要另採其他的工法，否則就會有排出濃度高於排入濃度，或是濃度去除率呈現負值的狀況。目前所調查的人工濕地，依水質條件、設計單元與所栽種的水生植物型態，都是屬於「污水處理型」的人工濕地，所歸納而得的成果，只適用在污水處理。



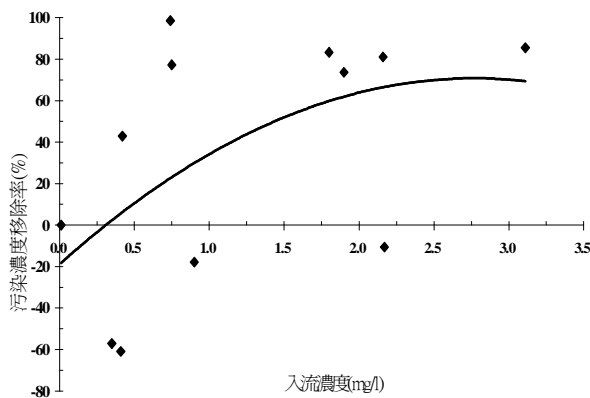
綜合 13 個場址的入流濃度與濃度去除率的關係，如圖（一）到圖（四）所示，生化需氧量最適的處理濃度在 30~60 mg/l，濃度超過 60 mg/l，處理效率降低，而且低於 4 mg/l 時，污染濃度去除率反成負值。美國環保署（1993）建議，生化需氧量低於 5 mg/l 時，不適合使用這種工法。



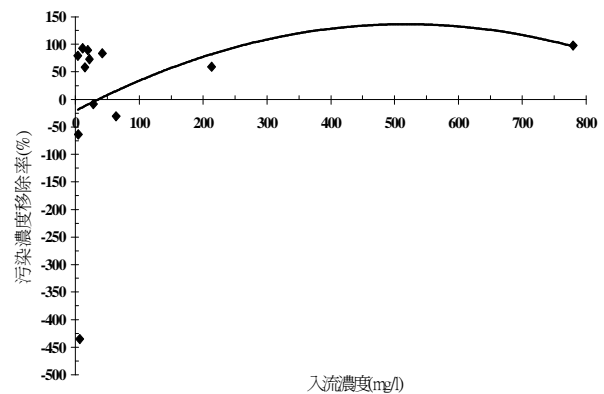
圖一、表面流人工濕地對生化需氧量  
入流濃度與污染濃度去除率關係



圖二、表面流人工濕地對氨氮  
入流濃度與污染濃度去除率關係



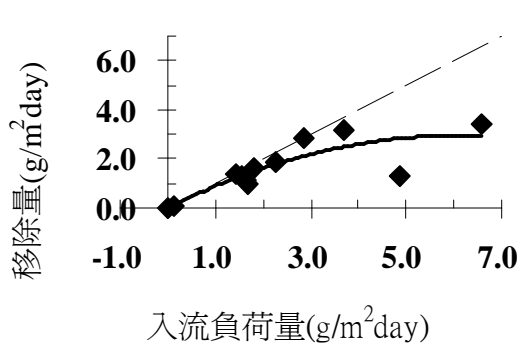
圖三、表面流人工濕地對磷酸鹽  
入流濃度與污染濃度去除率關係



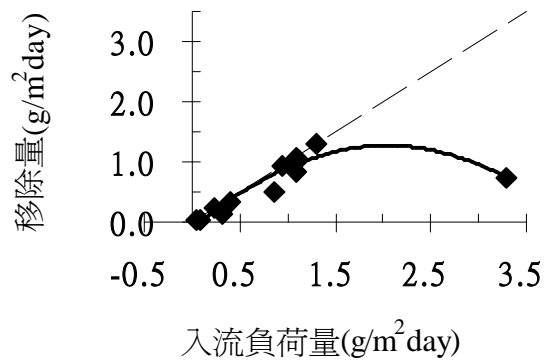
圖四、表面流人工濕地對懸浮顆粒  
入流濃度與污染濃度去除率關係

由於台灣表面流人工濕地氨氮的去除率高，所以圖（二）顯示，目前的未顯有限值，是照目前的方式無法處理或負荷的狀況。圖（三）顯示，水中的磷在 0.3 mg/l 以下，污染濃度去除率即呈現負值，所以目前這種污水型人工濕地，不適合用在低磷量的地方。圖（四）顯示，懸浮顆粒的去除，主要受到水生植物生長過多所影響，故幾乎與入流懸浮顆粒濃度無關。

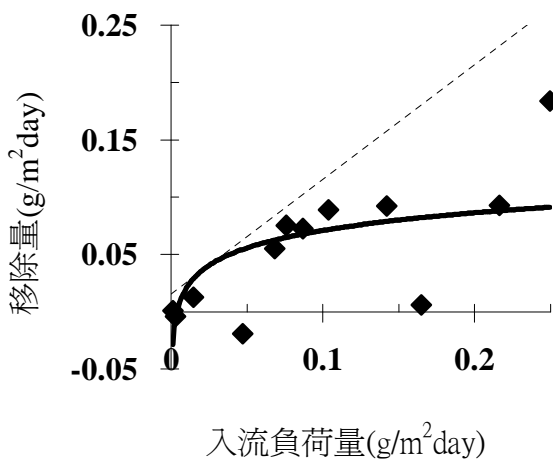
另一影響人工濕地操作的因子是入流負荷量，台灣表面流人工濕地的入流負荷量與去除量的關係以圖（五）到圖（八）示之。圖中的斜線代表負荷量等於去除量，由這些圖可知，在台灣生化需氧量在  $2.0 \text{ g/m}^2\text{day}$  以下，氮氮在  $1.0 \text{ g/m}^2\text{day}$  以下，磷在  $0.05 \text{ g/m}^2\text{day}$  以下，懸浮顆粒在  $5.0 \text{ g/m}^2\text{day}$  以下，有較佳的去除效率。



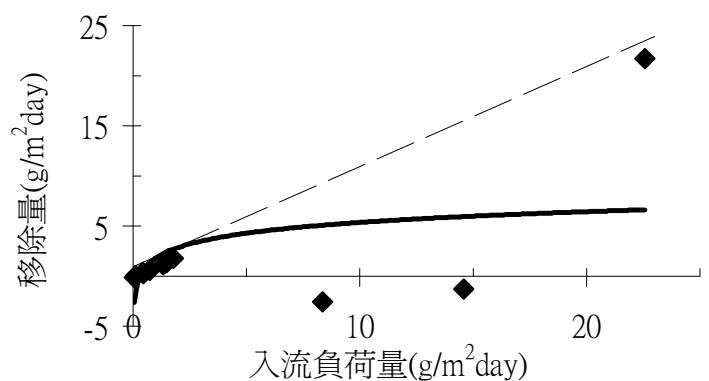
圖五、表面流人工濕地對生化需氧量入流負荷量濃度與去除量關係



圖六、表面流人工濕地對氮氮入流負荷量濃度與去除量關係



圖七、表面流人工濕地對磷酸鹽入流負荷量濃度與去除量關係



圖八、表面流人工濕地對懸浮顆粒入流負荷量濃度與去除量關係

### 結論

台灣表面流人工濕地的建造，雖然發展的時間約三、四年，而且初期多是半經驗式的建造，但是其生化需氧量與磷的去除率，與日本、美國、歐洲的表面流人工濕地的處理效果相近，氮氮的去除效果更佳。惟懸浮顆粒去除的效果較外國為低，主要的原因與濕地種植水生植物的種類較多、植株較密，以致水中的植物碎屑較多，增加懸浮顆粒濃度所

致。

#### 致謝

本研究的進行，承蒙環保署「河川水質淨化工法設計研究計畫」(EPA-94-U1G1-02-101)經費的支持與縣市環保局的協助，特此致謝。

#### 參考文獻

1. Brown, D.S., and S.C. Reed. 1994. Inventory of constructed wetlands in the United States. *Water Science Technology*, 29(4), 309-318.
2. Cooper, P.F., 1990. European design and operations guidelines for reed bed treatment systems. Rep. UI17. Water Resource Center, Swindon, U.K.
3. Crites, R.W., 1994. Design criteria and practice for constructed wetlands. *Water Science Technology*, 29(4), 1-6.
4. Environmental Protection Agency, U.S., 2000. (National Risk Management Research Laboratory) Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewater. EPA/625/R-99/010.
5. Environmental Protection Agency, U.S., 1993. (Reed, S.C.) Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. EPA 832-R-93-008.
6. Gopal, B., 1999. Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: potential and problems. *Water Science Technology*, 40(3), 27-35.
7. Haberl, R., 1999. Constructed wetlands: a chance to solve wastewater problems in developing countries. *Water Science Technology*, 40(3), 11-17.
8. Kadlec, R.H., and R. L. Knight. 1996. *Treatment Wetlands*. Lewis Publishers. U.S.A.
9. Nakamura, K., Chiba, T., K. Sato, Y. Morita, M. Hosomi, and S. Tanaka. A survey of constructed wetlands in Japan. River restoration team, Public Works Research Institute. <http://www.pwri.go.jp/eng/kokusai/conference/nakamurakeigo13.pdf>.
10. Wittgren, H.B., and S. Tobiason. 1995. Nitrogen removal from pretreated wastewater in surface flow wetlands. *Water Science Technology*, 32(3), 69-78.

表一、表面流人工濕地處理水量與水質之分析

場址地點	面積 (ha)	入流量 (m <sup>3</sup> /day)	出流量 (m <sup>3</sup> /day)	體積 (m <sup>3</sup> )	HLR (m/day)	HRT (day)	生化需氧量		氨氮		磷酸鹽		懸浮顆粒	
							BOD(mg/l)		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)		PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)		SS (mg/l)	
							入流	出流	入流	出流	入流	出流	入流	出流
1. 台北縣淡水河新海橋表面流人工濕地	1.90	600*	600*	4600	0.03	7.8	71.6	11.5	10.1	5.7	2.16	0.41	42.3	7.0
2. 台北縣淡水河五股表面流人工濕地	3.30	17000	17000	13200	0.52	0.8	12.8	6.1	6.4	5.0	0.42	0.24	28.3	30.8
3. 台北縣林口溪林口表面流人工濕地	0.14	163	120	1354	0.12	9.6	14.4	7.8	2.0	0.1	0.75	0.17	3.6	0.8
4. 新竹縣頭前溪竹林表面流人工濕地	4.50	373	298	7968	0.01	23.8	15.6	6.0	6.1	4.3	1.8	0.3	6.8	36.4
5. 嘉義縣朴子溪中洋子表面流人工濕地	0.58	785	700	1964	0.14	2.7	11.4	1.9	6.4	3.0	0.35	0.55	779.6	17.6
6. 嘉義縣朴子溪介壽橋表面流人工濕地	0.65	48	71	1779	0.01	29.9	3.2	5.2	10.3	3.0	0.41	0.66	14.8	6.2
7. 高雄縣高屏溪舊鐵橋表面流人工濕地	31.06	32846	3184	151536	0.11	8.4	26.8	2.2	12.4	0.1	0.01	0.01	213.5	86.3
8. 屏東縣武洛溪表面流人工濕地	9.00	6843	5972	72000	0.08	11.2	64.2	54.1	14.3	3.9	2.17	2.4	19.3	2.0
9. 花蓮縣鯉魚潭表面流人工濕地	0.12	118	33	1150	0.10	15.2	17.6	5.3	10.6	0.2	0.74	0.01	4.4	7.2
10. 台東縣關山表面流人工濕地	0.95	1500	449	7900	0.16	8.1	23.3	11.1	2.6	1.3	0.9	1.06	11.2	0.8
12. 台南縣二仁溪港尾表面流人工濕地	0.08	110*	110*	419*	0.13	4.5*	12.5	3.7	8.5	0.7	1.9	0.5	63.6	83.2
13. 台南縣二仁溪灣裡表面流人工濕地	0.15	50*	50*	900*	0.03	12.6*	42.9	1.5	28.3	0.6	3.11	0.45	22.0	6.0

備註：\*表示依場址設計規畫報告書所提。