

# 濕地植物去污淨化功能與選種建議

文、圖 ■ 賴明洲 ■ 東海大學景觀學研究所

薛怡珍 ■ 台灣發展研究所生態暨資源保育研究所

黃士嘉 ■ 東海大學景觀學研究所

楊瓊華 ■ 東海大學景觀學研究所

**生**態系本身具有自我恢復的功能，舉凡如植物對於污染物的吸附、過濾及其他降解污染的情形。據此，利用濕地的自淨能力來處理人類所產生的廢水，除可將污水水質淨化，減少對環境的污染外，亦可維持自然濕地或人工濕地之生態系統之功能。除此之外，可考慮二級以上處理過廢污水經過濕地系統淨化後，其放流水可考慮回收再行利用之可行性，以達到水資源永續利用之目的。一般而言，污染物的去除是在濕地植物、水體和濕地基質的相互作用下完成的，這些過程包含物理過程，化學過程和生物過程。茲分述如下：

## 一、物理過程

在濕地系統中發生去除污染物的物理過程是在植物（生物量）和基質的作用下完成的。植物的存在可阻攔污水的通行，促進水體進行懸浮固體物的沉降（sedimentation）及過濾（filtration）等作用。以土壤和礫石充當過濾床（即基質）用以過濾污水，幫助懸浮固體物的去除。

## 二、化學過程

物質之間的化學反應（特別是針對金屬）使可溶性化合物轉化成不溶狀態，從而從水體中沉澱出來。暴露於大氣和陽光下能使有機殺蟲劑分解和殺死病原體。由植物分泌的抗生素類化合物也具有去除污水中病原體的作用。此外，在懸浮固體、基質、植物體及有機物碎片表面進行吸附（adsorption）及離子交換（ion exchange）作用，亦有助於磷酸鹽、重金屬的去除作用。

## 三、生物過程

人工濕地系統亦是生物系統的一種，生物作用的過程對污染物的去除也具有相當重要的作用。附隨著植物體或基質表面中的微生物，進行有機質之礦化（mineralization）、氮化（ammonification）、硝化（nitrification）及脫硝（denitrification）、同化（assimilation）等作用，去除含碳、氮化合物。光合作用、呼吸作用、發酵作用、氮化作用、去氮化作用和磷的去除等六種的生物反應過程被認為是在濕地系統中能夠有效去除污染物的「生



物過程」(Mitchell, 1996)。光合作用是由濕地植物去完成的，光合作用的結果是在去除水體中有機碳的同時，增加水體氧氣量，這是因為植物葉片呼出的氧氣增加靠近水表面的大氣中氧的壓力，因而促進氧氣擴散入水中 (Bedford *et al.*, 1991)。發酵作用是指在缺氧的條件下，有機碳分解成為富含能量的化合物，如甲烷、乙醇和揮發性脂肪酸等，發酵作用是藉由存在於水體和基質中的微生物作用下進行。氮化/去氮化過程是由微生物的攝取促成的，可有效去除氮（氨氮及硝酸氮）、磷及重金屬，最終使氮元素從污水中去除，其中揮發的物理過程也有助於氮的去除。磷的生物去除過程發生在生物膜內，生物膜是在基質和存在於基質的微生物發展起來的。植物從水裡吸收溶解性的營養元素和其他污染物，並將它們轉化為植物生物量。水中的營養元素和污染物通過植物體運到地下儲存器官，當植物年老和死亡時，這些物質就作為枯枝落葉積存在基質裡。

存在於濕地裡的微生物包括細菌和真菌，它們凝結成絮狀物質，吸附水中污染物，在分解有機物的同時利用有機物分解產

生的能量不斷形成新的細胞組織，從而達到穩定和去除水中溶解態和膠體狀態的有機物。在濕地裡的許多微生物與出現在傳統的生物處理系統的微生物是相同的。Ye *et al.* (2001) 的研究結果也顯示廢水淨化是通過各種物理、化學和生物的過程去完成的，在某些情況下，這些過程是獨立的，而在另一些情況下則是相互作用的。污水中金屬元素的固定和去除的物理化學機制，包括通過氧化沉澱、金屬微粒的沉澱、陽離子交換點的吸附、與有機物的複合和硫的還原等。金屬元素在微生物的作用下氧化後沉澱，被認為是濕地最重要的去除金屬元素的機制之一 (Skousen *et al.*, 1994)。在人工濕地裡，污染物的去除常通過下述幾種途徑完成 (Sundaravadivel & Vigneswaran, 2001) (如表1)：

1. 污染物被植物直接吸收；
2. 微生物降解污染物；
3. 水流流經人工濕地時，由於水流速度減慢便將水中固體物沉澱下來；
4. 當水流流經植物根部時，大的顆粒被過濾；
5. 營養元素被土壤和基質所吸附，如氮和磷；

表1. 污染物去除的過程

去除的污染物類型	去污完成的過程
有機物 (以BOD作為測量指標)	生物降解、沉澱、微生物吸收
有機污染物如殺蟲劑	吸附、揮發、光解作用、和生物及非生物降解
氮	沉澱、氮化、去氮化、植物和微生物吸收
磷	沉澱、過濾、微生物吸收、植物吸收和揮發
病原體	自然死亡、沉澱、過濾、捕食、紫外線降解、吸附
氨氮、亞硝酸氮和硝酸氮	微生物硝化作用及轉化作用 (如氮化、硝化和脫硝)
磷酸鹽、重金屬	離子交換、沉澱、吸附和植物吸收、同化作用
懸浮固體	沉澱、過濾

(修改自Mitchell, 1996；林瑩峰等, 2001)

6. 在濕地滯留期間，病原體的自然死亡；
7. 紫外線和植物分泌的抗體破壞病原體。

國際水協會（International Water Association, 簡稱IWA）於2000年曾提出植物在濕地淨化水質功能中所扮演的角色，茲分述如下（如表2）：

1. 產生氧分子經由根及根莖系釋放至土壤及水中，提供細菌礦化、硝化、呼吸等作用的需氧來源；
2. 植物根莖組織提供細菌附著生長所需面積；
3. 氮、磷及重金屬的攝取；
4. 產生有機碳作為細菌脫硝作用；
5. 遮光作用抑制藻類生長；
6. 增進過濾及沉降作用。

此外，植物亦會提供生物棲息所需的環

境及景觀美化之功能。

而Tanner *et al.*（1996）認為適合在人工濕地種植的植物種類應具備下述的特性：

1. 生態的可接受性，即所選種的植物不是有害雜草，對周邊自然生態環境的生態遺傳整體性（ecological genetic integrity）不會構成危害；
2. 能適應當地的氣候條件，具有一定的抗病蟲害能力；
3. 能忍耐污染物和 Wassers 的環境條件；
4. 容易繁殖和快速生長；
5. 淨化能力強，可以通過直接的吸收、同化和儲存或間接的通過增強微生物的轉化作用來達到去除污染物的效果。

不同的濕地環境對於植物種類的的需求是

表2. 植物組織在不同濕地位置中所扮演的角色

植物性質	處理機制上的角色
水面上的植物組織	光線衰減→抑制植物性浮游生物的生長 影響微部氣候→對溫度的隔絕作用 降低水面風速→避免顆粒再懸浮 美學上令人愉悅的外觀 營養物儲存
水中的莖及葉組織	過濾效應→過濾大的顆粒殘骸 降低水流速度→增進沉降效果、避免顆粒再懸浮 提供細菌附著生長所需面積 排出光合作用產生的氧→增進好氧分解 營養物攝取
底泥中的根及地下莖	提供細菌附著生長所需面積 底泥表層穩定化→減少受侵蝕 釋出氧增進好氧分解及硝化 防止SSF濕地中礫石間隙的堵塞 營養物的攝取 釋出有機物→促進脫硝作用

註：「SSF」為表面下流動式系統（SubSurface Flow system）。

（引自林瑩峰等，2001）



不同的，這有賴於濕地植物在處理去污淨化系統中所扮演的功能及作用；這與濕地的設計類型、動作模式（連續或間歇性）、排灌率和污水特徵等因素相關。在選擇人工濕地植物種植時，除考慮其對污水的忍耐程度外，還必須考慮因污水濃度改變對其生長狀況所產生的影響，以及植物對降解去污的程度。另外還可考慮其他的功能，舉凡如生態的、審美的、娛樂的和經濟的功能等，也可能影響植物種類的選擇。例如位於公園內的人工潛流型濕地，便可選擇一些既具有去污降解能力又兼具觀賞價值的植物，如水芙蓉、美人蕉等。

Tanner *et al.* (1996) 在處理污水模擬的濕地環境中，採用了八種水生植物，用以比較其養分吸收和污染物去除的能力，結果發現從這些模擬人工濕地的環境中，總氮的去除與總植物生物量成線性關係。

此外，有些會限制植物生長的因素，舉凡如水的深度影響著植物種類的分布，隨著水深度的增加將會出現厭氧並減少光的可利用性等現象。水流速度對植物生長也產生影響，研究顯示濕地植物葉片形態上的變異與水的深度和流速相關，這是植物對水流和水深所造成的機械壓力的一種適應。植物的生長隨著水深的增加而下降，且有更多的生物量被分配到根部。養分的可利用性與濕地的基質有較大的關係，例如養分的可利用性與濕地中水的更新、基質的通氣性和水源等相關。此外，沉積物的質地也會影響到植物根部的生長。有機質含量較高的土壤容易於形

成一種厭氧環境，因此導致某些金屬轉變成有毒形態，例如Fe和Mn。

林瑩峰等（2001）對於人工濕地植物的選擇，考慮普遍性及本土性、水質、浸水問題、氣候及標高、計畫目標等因素，茲分述如下：

### 1. 普遍性及本土性：

人工濕地最普遍的挺水植物為莎草、蘆葦及香蒲，而最常使用的浮水植物為布袋蓮（如表3），選擇具本土性植物，不僅可增加植物存活率，亦可避免因其他植物的引入，造成環境生態的另一個衝擊。在某些區域，有些植物可能是罕見缺乏的。據此，可嘗試使用濕地鄰近地區的本土型水生植物來克服此一問題。

### 2. 水質：

流入濕地的水，若含較高之鹽度（salinity），則需選擇耐鹽性之濕地植物，此外，因水污染的問題，植物對於污染物的抗污能力也需納入考量，一方面可透過植物降解水中污染物，一方面亦可避免植物因適應不良而死亡。依據林瑩峰等（2001）研究發現蘆葦的耐鹽度較香蒲高，並適合種於淡水中生長。

### 3. 浸水問題：

不同種類之水生植物可忍受之浸水深度各異。一般而言，生長快速之挺水性植物含有較多的木質素（lignin），較能適應變動的水深，因此較適合人工濕地系統。例如蘆葦和香蒲可忍受之水深分別為0.05~0.5m及0.1~0.75m（IWA, 2000）。

### 4. 氣候及標高：

一般而言，多年生的植物比一年生的植物更適合使用於人工濕地。然而，在溫帶地區的秋冬季節，使地面上之植物組織枯萎而冬眠，而在生長季節來臨時，地下組織又可重新生長，此種季節變化的生長特性會影響植物的功能。反觀，在亞熱帶氣候條件下，植物生長季節較長，冬眠期較短或甚至不明顯，植物的功能較不受影響。此外，人工濕地技術應用在高海拔地區時，遭遇的問題便是所使用的植物必須能夠越冬。

### 5. 計畫目標：

污染防治是建設人工濕地的主要目標，而景觀則是次要目標，因此可選擇具美化功能的植物，如蓮花、美人蕉及鳶尾等。人工濕地若兼具水鳥棲地的功能，亦可種植提供

水鳥棲息隱蔽的植物，如菱角；若是設置於農地，並考慮其作物採收功能，則可選擇種植蘿菜（*Ipomoea aquatica* Forsk.），即空心菜。

近年來的研究發現，有限面積的濕地亦可具有有效的廢水處理。濕地中除了微生物的分解作用外，大型水生植物（macrophytes）對於水中物質的吸收攝取、提供水中溶氧以及莖部供微生物附著生長等方面亦扮演極重要的角色。荊樹人等（1997）研究數種本土型水生植物，包括香蒲、空心菜、竹葉菜、水芙蓉、球花蒿草及香附等，種植於實驗室規模的表面流動型（bench scale surface flow）人工濕地，以批式（batch）操作處理人工合成污水，並探討這些挺水性及浮水性

表3. 台灣人工濕地常見的濕地植物種類

屬性	中名/學名	俗名
挺水	長梗滿天星（ <i>Alternanthera philoxeroides</i> (Moq.) Griseb.）	空心蓮子草
	曇華（ <i>Canna indica</i> Linn.）	美人蕉
	芋（ <i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott）	青芋
	鴨拓草（ <i>Commelina communis</i> Linn.）	竹葉菜
	香附子（ <i>Cyperus rotundus</i> Linn.）	莎草
	荸薺（ <i>Eleocharis dulcis</i> (Burm. f.) Trin. ex Henschel）	水燈心草
	鳶尾（ <i>Iris tectorum</i> Maxim.）	紫羅蘭
	水丁香（ <i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) Raven）	水燈香
	五節芒（ <i>Miscanthus floridulus</i> (Labill.) Warb. ex Schum. & Laut.）	芒草、管草
	象草（ <i>Pennisetum purpureum</i> Schumach.）	狼尾草
	蘆葦（ <i>Phragmites communis</i> (L.) Trin.）	蘆葦
	戟葉蓼（ <i>Polygonum thunbergii</i> Sieb & Zucc.）	水荇壁草
	野慈菇（ <i>Sagittaria trifolia</i> Linn.）	水芋
	三白草（ <i>Saururus chinensis</i> (Lour.) Baill.）	塘邊草
	水燭（ <i>Typha angustifolia</i> Linn.）	香蒲、水蠟燭
浮水	茭白筍（ <i>Zizania latifolia</i> (Griseb.) Stapf）	腳白筍
	布袋蓮（ <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms.）	鳳眼蓮
	大萍（ <i>Pistia stratiotes</i> L.）	水芙蓉
著根浮葉性	菱（ <i>Trapa bispinosa</i> Roxb.）	菱角
	蘿菜（ <i>Ipomoea aquatica</i> Forsk.）	空心菜
	蓮（ <i>Nelumbo nucifera</i> Gaertn.）	蓮花、荷花

（修改自林瑩峰等，2001）





植物對水中磷酸鹽的去除能力。在連續監測試驗中，各種植物對於合成污水中的磷酸鹽，約在三至四天即可達到穩定的去除效果，其去除率分別為香蒲100%、空心菜98.9%、竹葉菜98.6%、水芙蓉97.7%、球花蒿草96.8%、香附86.8%。就其生長狀況及種植難易而言，香蒲、竹葉菜、空心菜及球花蒿草較佳。

王姿文等（2001）將二仁溪河水與養殖廢水引入人工濕地中，經過一年多的觀察紀錄，發現二仁溪與養殖廢水人工濕地系統中出現蜘蛛、蚜蟲、螞蟥等多種小型動物開始棲息，且隨著季節、溫度的變化等波動，水面下的微生物種類亦有時多種，主要以單細胞藻類為主，另外還有生長一些原生動物亦生存其中。

荊樹人等（1998）亦以人工濕地處理二仁溪河水，將系統分為自由表面流動式濕地連接另一個表面下流動式濕地，其中自由表面流動式濕地又分兩個相等寬度的平行水道，一者種植水丁香（挺水式），另一種植空心菜（浮水式）；表面下流動式濕地則為一蘆葦床。研究結果顯示各污染物之平均去除率分別為COD55%、氮氣100%、磷酸鹽80%、總懸浮固體物50 %。

據此，在選擇植物時，需先對該地區污染源的種類及污染程度進行調查與評估，以作為植物在適合生長及抗污上提供選擇。透過調查，選出較合適之植物，不但可以增加污染物去除率，亦可減少因植物替換所產生的維護費用，本研究回顧相關文獻，針對不同植物對污染物的去除率及相關研究進行分



（圖片 / 高遠文化）

表4. 水芹對黃金的吸收能力

接觸時間 (hr)	黃金廢水量 (kg)	植物重量 (kg)	廢水濃度 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )							
			0.5		1.0		1.5		2.0	
			$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	淨化率	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	淨化率	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	淨化率	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	淨化率
24	15	0.262	0.1100	78.0	0.1400	86.0	1.1800	41.0	1.43	28.50
48	15	0.262	0.0095	98.1	0.0240	97.6	0.0490	97.6	1.15	42.55
72	15	0.262	0.0030	99.4	0.0030	99.7	0.0138	99.3	1.20	40.05
96	15	0.262	0.0315	93.7	0.0310	96.9	0.1740	91.3	1.14	43.05
120	15	0.262	0.0055	98.9	0.0078	99.2	0.0570	97.2	1.12	44.00

引自戴全裕等，1998)

析，舉凡如布袋蓮 (*Eichhornia crassipes* Solms.) 對於金屬的去除能力分別為銅79.3%、錳95.5%、鋅51.3%、鐵23.3%、鎂45.6% (唐述虞，1994)，風車草 (*Cyperus alternifolius* Linn.) 對於金屬的去除能力分別為銅30%、錳30%、鋅5-15%、鎘5-

15%、鉛5-15% (Cheng *et al.*, 2001)，水芹 (*Oenanthe javanica* (Blume) DC.) 對於黃金廢水的淨化率最高可達99.4 % (戴全裕等，1998) (如表4)。本研究並分別針對植物對氮、磷、SS、BOD、COD去污降解能力整理成表5、表6，茲分述如下：

表6. 植物降解SS、BOD、COD能力一覽表

植物種類	SS	BOD	COD	出處
水丁香 ( <i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) Raven)	—	—	65.70 %	王姿文等 (1998)
水芙蓉 ( <i>Pistia stratiotes</i> L.)	—	—	83.32 %	王姿文等 (1998)
水芹 ( <i>Oenanthe javanica</i> (Blume) DC.)	—	—	53 %	王旭明、匡晶 (1999)
竹葉菜 (鴨拓草) ( <i>Commelina communis</i> Linn.)	—	—	82.88 %	王姿文等 (1998)
香蒲 ( <i>Typha orientalis</i> Presl.)	58 %	78 %	51 %	賴恩華等 (2003)
寬葉香蒲 ( <i>Typha latifolia</i> L.)	—	74 %	—	Adcock and Ganf (1994)
薤菜 ( <i>Ipomoea aquatica</i> Forsk.)	—	—	50.6 %	王旭明 (1997)
	—	—	85.17 %	王姿文等 (1998)
蘆葦 ( <i>Phragmites communis</i> (L.) Trin.)	58.7 %	57.4 %	—	劉玉雪、徐錠基 (1997)
	—	96 %	—	Adcock and Ganf (1994)
	—	—	80-99 %	Kern and Idler (1999)
	—	—	79.38 %	王姿文等 (1998)
	—	81 %	—	Adcock and Ganf (1994)
蘆葦 ( <i>Phragmites communis</i> (L.) Trin.)	—	85.8 %	—	丁廷華 (1992)
	72 %	85 %	58 %	賴恩華等 (2003)
	91 %	90 %	—	張潤通、賀更然 (1998)
	99 %	95 %	80 %	Meuleman (1994)
蘆葦 ( <i>Phragmites communis</i> (L.) Trin.)	—	92 %	—	楊書潤 (2003)
寬葉香蒲 ( <i>Typha latifolia</i> Presl.)	79.1 %	78.7 %	54.4 %	吳堅瑜等 (2003)

註：SS為懸浮固體物，BOD為生化需氧量，COD為化學需氧量。

(本研究整理)



表5. 植物降解氮、磷能力一覽表

植物種類	氮 (N)	磷 (P)	出處
水丁香 ( <i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) Raven)	89.43 %	43.76 %	王姿文等 (1998)
水芙蓉 ( <i>Pistia stratiotes</i> L.)	—	97.7 %	荊樹人等 (1997)
	98.63 %	62.18 %	王姿文等 (1998)
水芹 ( <i>Oenanthe javanica</i> (Blume) DC.)	66.67 %	73.7 %	王旭明、匡鼎 (1999)
	66.7 %	73.7 %	王旭明 (1997)
水芹 ( <i>Oenanthe javanica</i> (Blume) DC.)	204.80g/m <sup>2</sup> ?a	24.62 g/m <sup>2</sup> ?a	由文輝 (2000)
薺菜 ( <i>Ipomoea aquatica</i> Forsk.)			
水芹 ( <i>Oenanthe javanica</i> (Blume) DC.)			
薺菜 ( <i>Ipomoea aquatica</i> Forsk.)			
黃花菜 ( <i>Hemerocallis citrina</i> Baroni (=H. altissima Stout))	46.3 %	48.4 %	沈治蕊 (1997)
睡蓮 ( <i>Nympha orientalis</i> Presl.)			
水葫蘆 ( <i>Pistia stratiotes</i> L.)	7.9mg/ (m <sup>2</sup> ?d)	1.3 t/ (m <sup>2</sup> ?d)	濮培民 (2001)
布袋蓮 ( <i>Eichhornia crassipes</i> Solms.)	33 %	—	李志源等 (1998)
竹葉菜 (鴨拓草) ( <i>Commelina communis</i> Linn.)	—	98.6 %	荊樹人等 (1997)
	97.91 %	57.58 %	王姿文等 (1998)
香附 ( <i>Cyperus rotundus</i> Linn.)	—	86.6 %	荊樹人等 (1997)
香蒲 ( <i>Typha orientalis</i> Presl.)	31 %	52 %	蔡凱元、楊磊 (2003)
	32 %	16 %	賴恩華等 (2003)
球花蒿草 ( <i>Artemisia smithii</i> Mattf.)	—	96.8 %	荊樹人等 (1997)
寬葉香蒲 ( <i>Typha latifolia</i> Presl.)	565mg/ (m <sup>2</sup> ?d)	—	Philip and Bachand (2001)
	—	98.8 %	荊樹人等 (1997)
薺菜 ( <i>Ipomoea aquatica</i> Forsk.)	87.36 %	76.4 %	王旭明 (1997)
	95.37 %	76.13 %	王姿文等 (1998)
	44 mg/m <sup>2</sup> ?d	—	劉玉雪、徐銳基 (1997)
蘆草 ( <i>Scirphs triqueter</i> Linn.)	261 mg/ (m <sup>2</sup> ?d)	—	Philip and Bachand (2001)
	35 %	—	Kern and Idler (1999)
	51 %	31 %	賴恩華等 (2003)
	64.6 %	—	丁廷華 (1992)
蘆葦 ( <i>Phragmites communis</i> (L.) Trin.)	80 %	45 %	蔡凱元、楊磊 (2003)
	84 %	87 %	張潤通、賀更然 (1998)
	97.16 %	58.52 %	王姿文等 (1998)
	80-99 %	80-99 %	Kern and Idler (1999)
	69 %	21 %	蔡凱元、楊磊 (2003)
蘆葦 ( <i>Phragmites communis</i> (L.) Trin.)	71 %	57 %	楊書潤 (2003)
寬葉香蒲 ( <i>Typha latifolia</i> Presl.)	34.0 %	22.9 %	吳堅瑜等 (2003)
蘆葦 ( <i>Phragmites communis</i> (L.) Trin.)			
水蔥 ( <i>Schoenoplectus lacustris</i> )			
茭白 (菰) ( <i>Zizania aquatica</i> L.)	—	40-60 %	吳振斌等 (2001)
菖蒲 ( <i>Acorus calamus</i> L.)			
蘆草 ( <i>Scirphs triqueter</i> Linn.)			
茭白 (菰) ( <i>Zizania aquatica</i> L.)	—	65 %	吳振斌等 (2001)
菖蒲 ( <i>Acorus calamus</i> L.)			

(本研究整理)