

第十二章 水生雜草之管理

蔣永正

行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所公害防治組

一、前言

水資源的開發在全球人口快速成長、經濟急速發展下日趨蓬勃，為達到充分利用及儲備水源的目的，各類輸水、集水之渠道及水庫等設施應運而生，不僅造就了大小深淺不同之動態及靜態水生環境，同時也增加了人類活動對水系生態的影響程度。幾乎所有天然與人工水體中，都會發現水生植物的存在，生長在水邊、水面、水底、溪流、渠道或澁水田內，全球不同地區之分布多達數千種以上，種類及數量均有豐富的變化。水生植物本為水生生態系的成員之一，扮演平衡及穩定生態系的重要角色，只是因為水質等環境的改變或外來入侵種的介入，引起特定植物的大量繁殖及蔓延，干擾其他水生生物的存活，甚至造成人類健康及居住的威脅，此種水生植物即被視為需要防除之水生雜草。水生雜草的危害隨著水資源的開發與利用有日益嚴重之趨勢，尤其是熱帶與亞熱帶國家，因為水溫高、水壩及灌溉設施的增加，助長水生雜草的生長、繁殖及散布。臺灣地區內陸河川因為大都短而湍急，用於航運的價值不高，大部分水源用於農業灌溉，少部分為工業及民生用水。因此，水生雜草的危害主要是堵塞水閘及溝渠，雨季期間甚至造成河水氾濫，危及鄰近居民生命及財產的安全。由於水域面積廣闊，水上活動不易操控，一旦意識到水生雜草普遍滋生引起危害時，往往需要投入大量的人力及經費，卻未必能達到理想的控制效果。

早期水生雜草防治計畫集中在防除方面，有關布袋蓮(*Eichhornia crassipes*)的研究報告，其中防除就占了 50%，危害性 25%，生理和利用性各占 11%，其他 3%(蔣及呂 1984)；實際上因為不易達成完全消除的目的，同時防除的效益過低，水生雜草對經濟的衝擊很難估計。研究顯示維持適當的水生植物群落，不但有助於物種多樣性之發展及水生生態系的穩定，同時還具有淨化水質的潛力(Oki 1992)。因此建立適時適度之水生植物管理系統，為維繫水體生命所

迫切需要的。

二、水生雜草之生長及分布

水生雜草指在水中或含飽和水之土壤，完成全部或部分生育期之植物。廣義的水生雜草包括生長在水邊的濕地雜草，狹義的水生雜草為終生都生活在有水的環境中，且必需在水中完成生活史者。

(一)水生雜草的分類

依據生長之環境及外觀形態特徵(洪及呂 1980, 彭 1996, Holm *et al.* 1970, Ridout 1980), 水生雜草可分為:

1. 挺水性雜草 (emergent weeds)

多分布於水深一公尺以下之淺水區中; 如水位深淺具季節性變化之水體, 或規律性洩洪之水庫堤岸邊。根系著生於水底, 大部分莖葉露出水面, 多數在水面上開花, 根系之氧氣由莖葉之通氣組織供應, 亦可稱為半水生性雜草 (semi-aquatic weeds), 如水燭 (*Typha angustifolia*)、香蒲 (*T. orientalis*)、蘆葦 (*Phragmites communis*)、竹葉菜 (*Commelina benghalensis*) 及鴨舌草 (*Monochoria vaginalis*) 等。另外如無柄花石龍尾 (*Limnophila sessiliflora*)、圓葉節節菜 (*Rotala rotundifolia*)、眼子菜科之 *Potamogeton natans*、及蓴科之 *Brasenia schreberi* 等兩棲性植物 (amphibious), 同時具有沉水及挺水葉或沉水及浮水葉, 即浮於水面之寬闊葉片和沉於水下之全裂葉片。

2. 漂浮性雜草 (floating weeds)

分布在大而深之水系中, 或具流動性之水渠及池澇中。涵蓋單細胞藻類及大型維管束植物, 完全在水中生長及完成生活史, 當水體乾涸時, 水底泥層中常會留有種子或營養繁殖器官伺機萌發。布袋蓮、大萍 (*Pistia stratiotes*) 及槐葉蘋 (*Salvinia natans*) 等根系漂浮於水中, 枝葉位於水面, 植株具有特化的氣囊, 會隨水流漂浮至遠距離; 另一種形態之漂浮性雜草為根系固定在底層土壤中, 葉片平貼於水面, 葉柄隨水深而伸長, 水面下亦會長出沉水葉, 大氣中氧

氣經由葉上表面之氣孔供應水中根系之生長, 如荷花 (*Nelumbo nucifera*)、臺灣萍蓬草 (*Nuphar shimadai*) 及角果藻 (*Zannichellia palustris*) 等。

3. 沉水性雜草 (submerged weeds)

發生在深淺不同之水系或具流動性之渠道中, 大部分幾乎都在水面下萌芽、生長及繁殖, 根及營養繁殖器官伸入底層土壤中, 葉片呈線形、絲狀或條狀, 莖葉內之機械、輸導及表皮角質組織均不發達, 多數種類會將花挺出水面以便授粉。依據水的深度又可分為淺水性沉水雜草, 如小茨藻 (*Najas minor*)、馬藻 (*Potamogeton crispus*) 等, 及水蘊草 (*Elodea canadensis*)、水王孫 (*Hydrilla verticillata*)、聚藻 (*Myriophyllum spicatum*) 等深水性沉水雜草。

(二) 水生雜草之生長特性

水生生態系的組成極為複雜, 水深深度、水流速度、懸浮粒子含量、水溫、光線之穿透性及氣體濃度的變化等, 均會影響水生雜草之生長、繁殖及分布。當水溫發生季節性改變時, 會影響植物的代謝活性, 但水界溫度一般仍較陸地變化小。光照則因為深水引起之吸光度遞減, 甚至因為水中所含物質的成分及比例, 可能遮蔽特定波長之光線伸入水底, 影響光合作用的進行及植株形態的發生。水中氣體濃度則主要指氧氣和二氧化碳的含量, 除和植物光合及呼吸作用有關外, 二氧化碳還會改變水體 pH 值, 限制植物的生長。如布袋蓮之生育主要受溫度影響呈季節性變化, 在溫帶地區冬季極低溫下, 大部分植株均會死亡, 只有極少數殘存至翌春。這些越冬

的個體在春天生長，夏天繁殖，秋天即可造成龐大的族群。但類似雙穗雀稗 (*Paspalum distichum*) 等岸邊多年生挺水雜草，其蔓藤在嚴寒冬季不具休眠性，若未定期防除族群有逐年增大之趨勢 (Shibayama 1981)。

漂浮型雜草其莖葉飄浮在空氣中，對溫度如低溫較敏感，在分布上有季節性及區域性的變化，水中養分含量、深度及水質污染程度亦會影響其生長、繁殖及散布速率。水流速度與生長之穩定性有關，一般在流速緩慢之河域或渠道內發生之數量較多。挺水型雜草根著生於水底之缺氧層，養分的吸收易受水質影響，大部分在熱帶或亞熱帶之水中，或水系周圍適合生長之地區蔓延。沉水型雜草之生育，則受限於水底碳、氮等營養成分及氧氣濃度的供應，影響光合作的效率，具有薄而大的細胞構造以利氣體擴散，生化上則有與氧氣高度親和之能力，以適應水中環境。

水生雜草通常具有快速的生育及繁殖能力，布袋蓮在臺灣地區主要以匍匐莖 (stolon) 產生新的分株，於 6-11 月期間 (溫度範圍 24-29°C)，幼株數目呈指數型速率增加；植株平均 5.5 日產生一片新葉，葉片壽命長達 2 個月左右才開始老化 (未發表數據)。氣候、水質、水流速度及其他水生生物等為影響生育之主要因子；溫度、日照會改變水生植物群落在單位面積產生的生物量 (biomass)，一般呈季節性變化。水中氮、磷、鉀、鈣等營養源含量增加，會加速植物的生育及繁衍，但極端的 pH 或水中鹽類濃度過高時，則會抑制植株的正常生長。在水流速度緩慢與渠道兩邊發生大型禾本科或蔓藤植物時，會阻擋水生雜草不被水流沖走，駐留在局部地區逐漸蔓延龐大。

水生雜草大部分都具有營養繁殖體，且以營養繁殖為主。走莖的生長迅速很快產生分株，溫帶氣候下平均 8-14 天，植株密度即倍增，莖節斷裂處也會長出新芽。如槐葉蘋雖只行無性繁殖，但可由頂芽及側芽分出小株，或以走莖繁殖。有些水生雜草也會產生種子行有性繁殖，溫帶地區植株在嚴寒的冬季會整株枯死，只有靠休眠的種子於翌年春天發芽，成為延續族群的唯一途徑。根據 Holm *et al.* (1970) 調查，布袋蓮在萌芽後 26 日即開花結子，每株產生的活性種子高達 5,000 粒。這些種子在水底可保存活性 5-7 年，並在適宜狀況下萌芽，發芽率高達到 90% 以上 (Ueki and Oki 1979)。臺灣地區因為冬季低溫不明顯，布袋蓮植株雖不會產生新的營養體，但母株仍能存活至次年，待夏季溫度升高後即大量繁殖，因此種子的重要性相對減低。

(三) 水生雜草之分布

許多水生植物經由 (1) 人為引進；如 1890-1901 年間日本人以觀賞為目的，將布袋蓮引入臺灣；(2) 水生動物或候鳥的夾帶種子；3. 纏繞船身之蔓藤類植物隨航線散布至各地區等傳播路徑，而迅速擴展蔓延及廣布於全球各地 (洪及呂 1979)。入侵雜草若能適應當地氣候等環境變化，且無原產地天敵所構成的威脅時，在生育上即具有強大的競爭力，成為新侵入環境中之優勢種，且歷經時日後有可能因此改變原有環境中之生物相。以生長型式而言，目前南美、非洲、亞洲等地區人工湖內之水生雜草以沉水型最多，浮漂型次之，挺水型較少。

全球主要水生雜草及分布列於表 1 及表 2，其中布袋蓮為全球性發生之嚴重水生雜草。亞洲地區所分布之種類及

表 1. 全球主要水生雜草(摘自洪及呂 1980, 彭 1996, Lancar and Krake 2002, Oki 1994)。

| 科名 | 學名 | 科名 | 學名 |
|------------------------|------------------------------------|------------------------|----------------------------------|
| 澤瀉科(Alismataceae) | <i>Sagittaria</i> spp. | 茨藻科(Najadaceae) | <i>Najas guadelupensis</i> |
| 莧科(Amaranthaceae) | <i>Alternanthera philoxeroides</i> | 柳葉菜科(Onagraceae) | <i>Jussiaea repens</i> |
| 天南星科(Araceae) | <i>Pistia stratiotes</i> | 禾本科(Poaceae) | <i>Distichlis spicata</i> |
| 滿江紅科(Azollaceae) | <i>Azolla caroliniana</i> | | <i>Leersia herxandra</i> |
| | <i>Azolla filiculides</i> | | <i>Panicum repens</i> |
| 水馬齒科(Callitricaceae) | <i>Callitriche verna</i> | | <i>Paspalum distichum</i> |
| 金魚藻科(Ceratophyllaceae) | <i>Ceratophyllum demersum</i> | | <i>Pennisetum purpureum</i> |
| Characeae | <i>Chara</i> spp. | 蓼科(Polygonaceae) | <i>Phragmites australis</i> |
| | <i>Nitella</i> spp. | | <i>Polygonum hydropiper</i> |
| 旋花科(Convolvulaceae) | <i>Ipomea carnea</i> | 雨久花科(Pontederiaceae) | <i>Polygonum punctatum</i> |
| 莎草科(Cyperaceae) | <i>Cyperus articulatus</i> | | <i>Eichhornia crassipes</i> |
| | <i>Cyperus difformis</i> | 眼子菜科(Potamogetonaceae) | <i>Monochoria vaginallis</i> |
| | <i>Eleocharis acicularis</i> | | <i>Potamogeton crispus</i> |
| | <i>Eleocharis palustris</i> | | <i>Potamogeton diversifolius</i> |
| | <i>Scirpus mucronatus</i> | | <i>Potamogeton foliosus</i> |
| 小二仙草科(Haloragaceae) | <i>Myriophyllum brasiliense</i> | | <i>Potamogeton natans</i> |
| | <i>Myriophyllum spicatum</i> | | <i>Potamogeton nodosus</i> |
| 水蘚科(Hydrocharitaceae) | <i>Egeria densa</i> | | <i>Potamogeton pectinatus</i> |
| | <i>Elodea canadensis</i> | 槐葉蘋科(Salviniaceae) | <i>Salvinia</i> spp. |
| | <i>Hydrilla verticillata</i> | 香蒲科(Trapaceae) | <i>Typha angustifolia</i> |
| 浮萍科(Lemnaceae) | <i>Spirodela polyrhiza</i> | | <i>Typha domingensis</i> |
| 千屈菜科(Lythraceae) | <i>Ammannia auriculata</i> | | <i>Typha latifolia</i> |

表 2. 全球主要水生雜草之分布(摘自 Lancar and Krake 2002)。

| 雜草名稱 | 亞洲 | 澳洲及紐西蘭 | 非洲 | 南美 | 歐洲 | 美國及墨西哥 |
|---|-----|--------|-----|-----|-----|--------|
| 布袋蓮(<i>Eichhornia crassipes</i>) | +++ | ++ | +++ | +++ | 無 | +++ |
| 香蒲科(<i>Typha</i> spp.) | ++ | ++ | 無 | 無 | 無 | ++ |
| 樹牽牛(<i>Ipomea carnea</i>) | ++ | 無 | 無 | 無 | 無 | 無 |
| 水王孫(<i>Hydrilla verticillata</i>) | ++ | ++ | 無 | +++ | 無 | +++ |
| 槐葉蘋科(<i>Salvinia</i> spp.) | ++ | ++ | ++ | +++ | 無 | ++ |
| 空心蓮子草(<i>Alternanthera philoxeroides</i>) | + | ++ | + | 無 | 無 | ++ |
| 鴨舌草(<i>Monochoria vaginallis</i>) | + | 無 | 無 | 無 | 無 | 無 |
| 澤瀉科(<i>Sagittaria</i> spp.) | + | +++ | 無 | 無 | 無 | 無 |
| 眼子菜科(<i>Potamogeton</i> spp.) | ++ | +++ | + | +++ | +++ | +++ |
| 大萍(<i>Pistia stratiotes</i>) | ++ | 無 | ++ | 無 | 無 | ++ |

分布頻度：+為發生樣品占總調查樣品之 1-35%；++為發生樣品占總調查樣品之 36-75%；+++為發生樣品占總調查樣品之 76-100%。

數量較多，可能和耕地中灌溉田所占面積居全球之冠有關，水田及灌溉溝渠的廣布，擴展了水生雜草的生存空間。紐澳地區內屬眼子菜科之 *P. ocheratus* 及馬藻為主要之沉水雜草，挺水雜草則以澤瀉科之 *Sagittaria* spp. 為主；布袋蓮、人厭槐葉蘋 (*Salvinia molesta*) 及大萍為非洲地區普遍發生之難防除雜草。美洲地區除布袋蓮、水王孫、槐葉蘋科及眼子菜科等主要水生雜草外，莎草科之 *Scirpus* 屬、*Cyperus* 屬、*Eleocharis* 屬及禾本科之 *Phragmites* 屬的分布亦十分普遍。至於歐洲地區之重要水生雜草除眼子菜科外，*Myriophyllum heterophyllum* 在灌輸渠道亦屬常見之水生植物，沉水性的 *Callitriche obtusanula* 及 *Elodea nuttalli* 則發生在優養化溪流中，其他如蘆葦為重要之湖岸雜草，粉綠狐尾藻 (*Myriophyllum aquaticum*) 及雙穗雀稗為普遍發生之入侵性草，湖泊及溪流中高密度之 *Lemna minuta* 會造成魚類的死亡及降低無脊椎動物之種間多樣性 (Kunii 1991, Lancar and Krake 2002)。

臺灣地區在水生環境大肆破壞、外來動植物危害及競爭、除草劑等農藥毒害與水質嚴重污染的影響下，三百多種之水生植物幾近半數瀕臨絕跡。常見之布袋蓮與大萍即為適應佳、繁殖與生長速度快之外來植物，尤其在夏季高溫時會快速長出許多走莖。每一走莖均可萌發成單一植株，株數幾成指數或對數之速率增加，往往在有限空間內佔據大部分的水面，排擠了其他水生生物的生存資源，也阻礙了水流的順暢，成為水域及渠道內密集發生之水生雜草。其他早期水田內普遍發生之水生雜草如槐葉

蘋、浮萍等，可能因為除草劑的大量使用，如今僅在茭白筍等深水田區內出現。

三、水生雜草的災害

水生植物在水生生態系內雖然具有製造氧氣、提供食物及棲所等功能，但大肆繁衍成為水生雜草時，則會改變水生環境原有之性質，影響其他水生生物的存活，以及人類對水資源的利用價值。水生雜草因族群過於龐大，會直接造成河道阻塞泥層淤積，雨季河水氾濫之危害；間接影響為導致水域之蒸發蒸散量大，旱季水位明顯下降，干擾水系的利用。此外亦會成為病蟲原中間寄主，破壞公共衛生影響人體健康。

(一) 水生環境的改變

1. 降低水體的利用率

(1) 漁業：漂浮及沉水性雜草植株，雖然會提供魚群等水生生物遮蔽及棲息之場所，但生長過密水面被完全覆蓋時，魚群正常的生長及繁殖會受影響，植物殘體分解後，會導致水中溶氧量過低導致魚類窒息死亡。此外水生雜草的發生也限制了水體內各層面物質的混合，降低水生環境的自然肥力，影響魚類的養殖。同時過度滋生之水生雜草還會干擾魚蝦等捕撈工作。

(2) 灌溉：溝渠及溪流中之水生雜草，會減緩水流速度及水流量影響農田灌溉。灌排系統堵塞嚴重時，會導致排水溝內水向外溢流，造成農地及附近地區之湛水，甚至引起局部性水災發生。此外河道中之水草流入水田內，

會干擾整地及栽培作業，和作物競爭養分、傳佈病原菌等，1973年印度即因水草的發生，使水稻減產21% (Kerala Agricultural University 1976)。美國加州每年灌溉計畫之經費，需花費約30%在防除水生雜草 (Ridout 1980)。

- (3) 航運及水力發電：水生雜草會阻擋船舶在水道或河域之移動，植株捲入船身或纏繞發電機之馬達裝置，影響冷卻系統及渦輪的正常運轉，甚至腐敗的殘枝所放出的有機酸，還會腐蝕河堤及損壞水庫內渦輪裝置，降低水力發電效率，以及增加維修費用。
- (4) 其他：水生雜草會吸附住水中之碎屑及殘渣，導致水體快速填滿；植物殘體分解後形成之不溶性鹽類沉澱物堆積在池塘、湖泊及渠道，密集之植體使水流減緩泥沙淤積，致河床升高影響水系壽命，甚至導致水體乾涸或變成為沼澤、濕地。

2. 降低水庫及水池等蓄水力

經由蒸發散作用 (evapotranspiration) 減少湖水或水壩之水量。漂浮及沿岸挺水雜草葉片之蒸發蒸散作用，為水系內水量損失之主要原因。如布袋蓮葉片釋出之水量為水面單獨經蒸發損失之水量的3-4倍；某些柳樹、西洋杉等木本岸邊植物 (phreatophytes)，在日間蒸散作用旺盛時，地下水水位也會明顯下降。蒸發蒸散作用所耗損的水量超過水面的自由蒸發量。在布袋蓮二者損失比例為1.45-6.60:1，槐葉蘋為1.14:1。實際的蒸發蒸散耗水量前者約為 $0.85 \text{ ml cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ，後者為 $1.50 \text{ ml cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 左右，因此往往造成乾旱地區水庫內水量的嚴重乾涸 (Brezny *et al.* 1973,

Mitchell 1974)。

3. 破壞環境衛生及干擾水上活動

水生雜草阻擋部分風力及水波引起的搖動，提供蚊子等幼蟲發育不受干擾之場所，密集枝葉形成的自然遮蔽網，成為蚊蟲棲息的適合環境。此外蝸牛及水蛭等軟體動物的繁殖倍增，隨著漂浮性水草的移動四處散佈，造成環境衛生上的威脅。

水生雜草也限制或阻礙游泳、釣魚、滑水及划船等水上娛樂活動之進行。如布滿藻類植物之游泳池，會因為地面過滑引起絆倒之危險，同時在景觀上的不雅也影響觀光的價值。

水生雜草增加水中有機質的含量而影響水質，且有機質與水泥結合後會影響堤岸混凝土之密實度。繁殖快速之布袋蓮，一個生長季即布滿水面，形成密織的網蔭，整片向下游漂浮，對橋樑結構造成巨大之壓力。

(二) 水生生態系的衝擊

過量的水生雜草會和水中其他生物競爭光線、氧氣及養分等，藻類及高等植物對生態系有不同層面的影響。

1. 藻類

包括浮游藻及絲狀藻，大部分適合生長在光照下之湖、溪、池塘、及海洋等淡水及鹹水環境中。藻類因為水中氮、磷等營養源過多而大量繁殖時，會使水色呈綠、棕、紅及黑色變化之水華 (water bloom) 現象，嚴重時更因為藻類死亡造成水中溶氧遽降，形成厭氧或還原狀態，導致好氣性生物無法存活，致整個水生生態系發生逆轉之可能；一般在夏季水流緩慢、上下對流不良、水中 pH

值 7-9、陽光充足且營養含量高之水域較常發生。優養化作用(eutrophication)即為藻類引起水華現象之主因；都市化及農業活動導致過量的植物養分進入水體形成優養化，植物相及微生物相因而發生改變。過量的植物養分會加速固態污水的沉積作用，藻類的組成及大型植株的群落均發生改變(Jeffries and Mills 1990)。能夠忍耐及利用過量養分之水生雜草會迅速繁茂，敏感的水生植物則逐漸消失，以致多樣性降低。此外經某種藍綠藻引起水華現象之污染水，會導致牲畜、寵物及野生生物飲用後，發生中毒死亡現象。大量聚集之藻類群落，也會遮蔽光線影響水底之曝光量，阻礙以種子萌芽為主之沉水雜草的生長。藻類在水體內也會產生不佳的氣味，破壞飲用水之風味，干擾家用或工業上之用途，同時漂浮在水面有如浮渣之藻體，也破壞了水系作為進行娛樂休閒場所之品質。一般而言絲狀藻較易阻塞水管之過濾系統，堵塞水門及渠道干擾水系正常運作。

2. 高等植物

種類極廣包括不同構造之水生及中生植物，植株之保護及輸導組織不發達，但與漂浮能力有關之通氣組織，如葉柄及葉肉之基本組織，莖、根之皮層組織的發育卻極明顯。大部分挺水雜草可以生長在堤岸邊或窪地，常見於灌排水系統及水流緩慢之渠道內，一般熱帶或亞熱帶水體最適合其生長、繁殖及散布。漂浮雜草除阻礙水流外，還會經蒸發蒸散作用造成水量的流失，布袋蓮、大萍及槐葉蘋為典型之代表雜草。沉水雜草之繁茂程度視水的深度、濁度及水

面下的物理特性而異；在深達 3.5 至 4 公尺之清澈水體中的發生會受限制。一般水生植物也會與浮游藻類競爭養分，影響後者之生物量累積。

四、水生雜草的利用性

水生植物以適當群落出現在水域時，對水生生態系具有平衡氧氣與二氧化碳比例，供給水生生物呼吸及維持水質適當酸鹼值之功能，同時提供幼齡及野生動物庇護與棲息之場所。另外如布袋蓮等漂浮雜草，還可作為草食性魚類及食用螺之飼料，生長在堤岸邊之水生植物也具有保護堤岸，避免水流沖刷的功能(Pieterse 1978)。

水生雜草的潛在用途，如乾燥之布袋蓮施入土壤後，可促進土壤結構及保水力，且其含量豐富的鉀肥，可作為果樹之堆肥。另外還可用為覆蓋作物，保持土壤水分、溫度及防除他種雜草種子。其次水草可作為水陸動物的食物，如布袋蓮含多種胺基酸，可調配成飼料的添加物。水草尚可成為工廠之原料，如布袋蓮之葉柄富含纖維質，在藤業加工廠可以加以利用；其紙漿產量也高達 31%，可用於造紙業(Pieterse 1978)；其他所含的化學物在商業上也有頗大利用價值。另外水草會吸收渠道中工廠排放之廢物，及農田流失之農藥，清潔水質維持他種水生生物之生存(Kerala Agricultural University 1976, Oki 1992)。某些水生雜草具有特殊之株形與花色，適當管理下可作為美化水生景觀的觀賞植物。

布袋蓮、*Lemna* sp.、*Pharagmites* sp.

及 *Azolla* sp. 等水生雜草可利用為減少污染水中養分含量的方法，因為這些植物會顯著而快速的吸收養分，目前也有關於 *Typha* sp.、*Scirpus* sp.、*Iris* sp. 及 *Phragmites* sp. 等植物，在天然及人工廢水處理的研究。布袋蓮等 13 種水生雜草進行有關家庭廢水污染溝渠之淨化試驗，歷經一年減少 83% 之全氮及 92% 之磷含量，特別是 *Iris*、*Juncus* 及 *Elodea* 具累積氮、磷之功能 (Oki 1994)。許多水生植物在減低農、工業及家庭廢水污染上，也扮演了暫時的淨化角色，或提供浮游生物及魚類等之食物。近年來美國、印度、中國等科學家，從事沼澤地帶水生植物分解後產生甲烷等天然氣之研究，企圖從水生雜草尋找替代能源之可能性。

但目前有關水生雜草之利用性，大部分止於試驗階段，所以在實際利用上需考量以下數點 (Ridout 1980)：

- (1) 水生雜草之利用，主要仍基於防除目的，因此在處理過程中仍需注意經濟評估，發展簡易運輸、處理及儲藏之流程。
- (2) 水生雜草所含的水量很高，一般用擠壓及日曬法除去多餘水分，此可能影響其內品質及養分含量，造成利用上的限制。
- (3) 水生雜草若為利用而任其大量生長繁殖，會成為蟲病原之寄主，影響人畜健康或流入河道造成危害。

因此水生雜草之利用在付諸實施前，需縝密的研究和發展，適當的設計及管理以確保效益。

五、水生雜草的管理

水生雜草的管理，Soerjani (1975) 將其分為四步驟：(1) 問題的確立，包括水生雜草的分類，生理及生態特性，和危害程度的評估；(2) 選擇防除的方法，包括預防、物理、改變棲息環境、生物、化學等防除方法，及系統化的綜合管理；(3) 防除方法的實施和效果的評估；(4) 建立水生雜草的長期管理策略，包括從限制引進，利用及防除等各方面，以控制水生雜草族群的過於發展。因此所有包括預防、物理、生物及化學等傳統的防除方法，均需做長、短程效益、環境及管理適用性、防除水準及成本的評估。一般化學防除方法可提供最快速有效之短期效果，但長期性之水生雜草管理，應從控制水源養分著手。另外改變棲息環境亦為水生雜草的防除方法之一，若能配合化學防除等其他方法適時的使用，應能符合經濟效益、生態平衡、及環境保護的期望。

(一) 預防性防除法

預防性防除包括三個主要目標；防止種子散布、消除供應生長之營養來源、及減少可固定根系之淺水區域。

1. 防止種子散布

水生植物似乎會快速蔓延至各處水塘中，藻類孢子會隨風飄散，水鳥的腳趾及羽毛、動物的皮毛會攜帶孢子、種子及植物的片段至各處，人類因為航行及旅遊也會將水生雜草四處散布。利用水生植物作為魚類等飼料或棲所，或將放置有水草之水族箱任意傾倒至湖泊或排水道中，為最常見之種子散布方法。任何出現在水塘或渠道之水生雜草，應立即在開花及形成種子前移除是為防治

之上策。

針對外來水生雜草入侵之最有效方法為避免其引入，利用檢疫法規及相關法則，強制禁止外來植物的入侵；如作物種子及有害草種的檢查，即依據任何在生長期間，直接或間接危害作物及牲畜的生育、影響灌溉、水域利用、水生及野生動物的生育、或公共衛生等植物，進行其在當地生育及蔓延，對環境及生態影響之風險評估，採取禁止及限制(次級有害雜草)的手段。以臺灣目前造成問題之外來雜草中，部分是農業單位及個人藉研究、觀賞或營利為目的所引進。對同為熱帶或亞熱帶生長及繁殖力強，危害潛力高之植物，國人尤其應該保持高度警覺，不可輕意帶入任其生長繁衍。

2. 控制營養源

避免溪流、湖泊及蓄水池內氮磷鉀等營養源之流入，為近年來防治水生草的主要項目之一。灌排溝內之肥料，牲畜飼養場之排泄物，污水處理場及下水道之排放水，含磷清潔劑之家庭廢水為營養源之主要來源。因此，有效遏止水源的污染，為解決水生雜草蔓延的根本之道(Shelton and Murphy 1989)。減少營養源流入水域之方法涵蓋以下數點：(1) 水域周圍保留適當隔離帶，以防止逕流及養分吸收。(2) 水體四周如有草坪及高爾夫球場等重肥施用區，應設置不施肥區，避免流入鄰近池塘及湖泊中。(3) 避免牲畜進入水體內，減少其排泄物之流入，及防止堤岸土壤的崩解。(4) 水體區應使用不整地(最小)耕作法，避免土壤的流失。(5) 於支流進入主水體前，構築蓄水池吸收其中營養源，以減少養分的流入。(6) 除需維持魚池內浮游藻之生長

外，避免將肥料直接丟入水體。(7) 訂定污水場及排水管之排放水標準，污水場內禁止使用有毒染劑。

減少養分為控制浮游藻等生物繁衍最有效之方法，但養分控制法對已建立族群之水生植物影響不大，對水底尚無豐富養分沉澱之新建水體，防止其水生雜草的蔓延較具成效。

3. 消除淺水區域

新建之池塘或湖泊應避免低於 90 公分以下之淺水區過大，以防止岸邊雜草的深入及繁衍。

(二) 物理防除法

移去已存在之水生雜草植株，包括人工拔除及使用耙子等各種機械器具。人工拔除最為有效，可移去雜草的任一部分，避免遺留之種子或地下部營養繁殖體再生，符合長期控制的目標，只是費時費工不符經濟原則。機械器具包括具拖曳裝置之機具，通常用於灌排溝渠植株及移除沉澱，只是需經常性重複使用且花費昂貴。雜草清除機則用於較大池塘及湖泊，可移去大部分之水生植體，包括絲狀藻及水面下 10-13 公分深之沉水植物。但清除機的使用及維護費用頗為昂貴，同時亦需重複使用，以防止未剪斷部分之再生，通常不適淺於 90-120 公分深之水系使用，而適用於較大之水系(Roegge and Evans 2003)。機械防治之優點為不會殘留植體於水中分解，造成氧氣耗損及營養源增加之危機，但收集之植體需有適合之處所置放及做後續之處理。不具植體收集裝置之剪草機則不適用於水系雜草防除，因為任何留在水中之植體均有可能再生新根

及侵入未滋生雜草之水域。

人工及機械防除，為最直接而不易產生他種負面影響之方法，在水生雜草種類複雜的地區，亦不致破壞某些雜草的利用性，但是其效果在多次重複後才趨顯著，因此人工缺乏、工資昂貴的狀況下是較不經濟的。此外尚需從事新機械發展的研究，以適合不斷發生的草種。

(三)棲所改變防除法

改變水生雜草發生地區之環境，包括：(1)沿岸排列碎石等，防止堤岸邊水生雜草之滋生。(2)冬季或乾旱期移去水底淤泥，可防除沉水及漂浮性雜草及降低水位。(3)在小型集水池內之底層覆蓋黑色塑膠布，可防止沉水雜草之生長。(4)施用無毒染劑遮蔽水面光線的照射，可防治沉水雜草之生長，但因為在整個生長期均需維持一定濃度，故大多在雜草萌發前之靜態水域(池塘等)內使用。(5)通氣有利於水體內之生命，但對水生雜草之防除效果不大，通氣裝置包括將氣體打入深水缺氧處，或將底層水抽至表面與空氣混合，主要是減少藻類產生水華現象。

(四)生物防除法

即利用生物體防治害物之方式，引進原產地生態系內菌類或昆蟲等天敵，在水生雜草群落發育的適當時期釋放以達到壓制的效果。但天敵寄主範圍的專一性，則為首要測試項目，以免造成地區農業的危機。此外天敵對本地環境之適應性，亦為防治(除)成效上的重大考量。

一般因為水生環境所受干擾較低，且水生作物之產值不高，成功使用後會

得到長期之防治(除)效果，較之機械及化學防除為低成本之技術；包括昆蟲、軟體動物、魚類、爬蟲類、鳥類、哺乳動物、病原菌、及他種植物的競爭等應用。實際案例有防治滿天星之金花蟲(*Agasicles hygrophila*)(Bennet 1974)；以沉水雜草或浮萍為食之草食性鯉魚(Barrett *et al.* 1990)；會使布袋蓮感病之 *Alternariaeichhorniae*, *Myrothecium roridum* 和 *Rhizoctonia solani*(Oki 1994)。但生物防治使用之昆蟲或他種動物，均需具嚴格之專一性食性，鵝、鴨等禽類也具有某種程度之效果，但其排泄物會造成水體之優養化，導致浮游藻類產生水華現象。

(五)化學防除法

一般使用除草劑為最經濟簡便而速效的方法，通常施用 1-2 次，效果即可持續一段時間。除草劑使用之時間及方法，隨雜草種類及生長特性而定，表 3-1 及表 3-2 所列為防治水生雜草之除草劑：其中 2,4-D 使用最廣，且在高劑量施用時殺草範圍大，對其他水生生物毒性小，但易飄散至附近田區，引起非目標作物之藥害；巴拉刈(paraquat)和 diquat 對浮漂雜草最有效，且易於吸附在水體中之有機顆粒上，對飲用及灌溉水的污染性小；達拉本(dalapon)則被推薦為防治水邊雜草，但使用時應小心避免灼傷皮膚；銅類化合物如硫酸銅對藻類防治有效，但對維管束植物則只能抑制其生長而不能根除。除草劑在水體施用時，應具備對環境中人、魚及其他生物絕對安全，不論在靜態或動態水域均可方便使用，且在殺草效果發揮後即迅

速分解及消散之特點。尤其應注意對環境的汙染，有關藥劑在水中分解時間及最終產物之物化性資料頗多，使用時以具高選擇性之藥劑為佳。目標水體之大小及位置、氣候、水源使用及移動、局部或全面用藥及法規之限制為除草劑正確使用之決定因子 (Chandran and Semmens 2002)。

除草劑之效果一般仍屬於短期之雜草防除，依據藥劑選擇性及雜草種類，控制期的長短從幾星期至幾個月，使用範圍則受限於水源的利用情形。臺灣地區目前僅針對布袋蓮之防治，登記有 41% 嘉磷塞 (glyphosate) 異丙胺鹽溶液及

61.6% 三氯比乳劑 (triclopyr) 等除草劑，但實際仍以人工撈除為主。魚蝦養殖池中絲藻之防治，登記有 3.7% 乙醇胺銅粒劑 (copper chelate) 及 9% 乙醇胺銅溶液 (copper chelate) (費及王 2002)。

使用除草劑防除水生雜草方法簡便、速效且適合在多種環境下施用，因而導致人們忽略了其他防除方法之適用性，尤其是預防營養源流入水域及避免淺水區域過大，為減少或消除水生雜草生長的根本因素。因此一個健全妥當之管理策略是整合預防、栽培、機械及除草劑必要使用，以提供水生雜草長程的控制之方案。

表 3-1. 水生雜草防除藥劑 (摘自洪及呂 1979, Lancar and Krake 2002, Masser *et al.* 2001)。

| 雜草名稱 | 除草劑 | 雜草名稱 | 除草劑 |
|---|--|---|-----------------------------------|
| 挺水雜草 (Emergent weeds) | | | |
| <i>Jussiaea repens</i> var. <i>glabrescens</i> (Creeping water primrose) | 2,4-D Paraquat | <i>Sagittaria</i> sp. (Arrow head) (澤瀉科) | 2,4-D Paraquat |
| <i>Justicia americana</i> (Water willow) (爵床科) | 2,4-D Paraquat | <i>Scirpus actus</i> (Bulrush)(莎草科) | 2,4-D Paraquat |
| <i>Nuphar advena</i> (Spatterdock) (睡蓮科) | Glyphosate | <i>Typha</i> sp. (Cattail) (香蒲科) | Dalapon Paraquat Glyphosate |
| <i>Phragmites karka</i> (Phragmites) (開卡蘆) | Glyphosate | | |
| 浮水雜草 (Floating weeds) | | | |
| <i>Eichhornia crassipes</i> (Water hyacinth)(雨久花科) | 2,4-D Paraquat | <i>Potamogeton nodosus</i> (American pondweed) (眼子菜科) | Endothall |
| <i>Nymphaea</i> sp. (Water lilies)(睡蓮科) | Dichlobenil 2,4-D | <i>Wolffia columbiana</i> (Water mela)(浮萍科) | Simazine |
| <i>Lemna minor</i> (Common duckweed) (浮萍科) | Diquat cation Endothall Simazine | | |
| 藻類 (algae) | | | |
| <i>Chara</i> spp. | Dichlobenil Copper sulfate | Filamentous algae | Copper sulfate Simazine |

表 3-2. 水生雜草防除藥劑(摘自洪及呂 1979, Lancar and Krake 2002, Masser *et al.* 2001)。

| 雜草名稱 | 除草劑 | 雜草名稱 | 除草劑 |
|---|-----------------------------------|--|----------------------------|
| 沉水雜草 (Submerged weeds) | | | |
| <i>Ceratophyllum demersum</i> (Common contrail) (金魚藻) | Endothall | <i>Potamogeton crispus</i> (Curly leaf pond weed)(馬藻) | Endothall |
| | 2,4-D | | Diquat cation |
| | Diquat cation | | Dichlobenil |
| | Diquat cation/copper | | Diquat cation/copper |
| | Triethanolamine complex | | Triethanolamine complex |
| | | | Simazine |
| <i>Elodea canadensis</i> (Elodea) | Copper ethylenediamine complex | <i>P. foliosus</i> (Leaf pond weed) (眼子菜科) | Endothall |
| | Diquat cation | | Diquat cation |
| | Diquat cation/copper | | Dichlobenil |
| | Triethanolamine complex | | Fenac |
| | | | Simazine |
| <i>Heteranthera lobia</i> (water stare grass) | Diquat cation | <i>P. pectinatus</i> (Sago pond weed) (龍鬚草) | Endothall |
| | Endothall | | Diquat cation |
| | | | Dichlobenil |
| | | | Fenac |
| | | | Simazine |
| <i>Najas flexillis</i> (Slender naiad) (茨藻科) | Copper-ethylenediamine complex | <i>P. pusillua</i> (Small pond weed) (柳絲藻) | Endothall |
| | Diquat cation | | Diquat cation |
| | Diquat cation/copper | | Dichlobenil |
| | Triethanolamine complex | | Fenac |
| | Endothall | | Simazine |
| | Dichlobenil | | |
| <i>N. guadalupensis</i> (Southern naiad) (茨藻科) | Copper-ethylenediamine complex | <i>Ranunculus</i> <i>trichlorodyll</i> (White butter cup) (毛茛科) | Diquat cation |
| | Diquat cation | | |
| | Diquat cation/copper | | |
| | Triethanolamine complex | | |
| | Endothall | | |
| | Dichlobenil | | |
| <i>Myriophyllum</i> spp. (Water milfoil) (小二仙草科) | 2,4-D | | |
| | Endothall | | |
| | Diquat cation | | |
| | Dichlobenil | | |
| | Fenac | | |

六、結語

水生植物在水生生態系中扮演著製造氧氣，提供水生動物棲所及食物之重要角色，在族群分布適中時也具有吸收水中過量營養源純淨水質之功能。但在水域內養分含量過高形成優養化時，耐性的植物過度繁殖蔓延成為具有危害潛力之水生雜草，通常污水與雜草之密切關係為普遍存在之現象。因此水生雜草的防除實為水資源管理中的一環，針對水源的利用情形，符合經濟及環境安全的原則，控制植物生長與繁衍之速率。

水生雜草的管理在全球各地，包括臺灣地區都是迫切需要徹底執行之工作。目前人工及機械撈除最為普遍，但效果是暫時性的且所費不貲，化學及生物防除在大面積之施行不易。因此針對雜草問題發生之類型，及水體功能與利用情形，同時考量對環境衝擊之風險，亟需訂定一個可供遵循之適當管理系統。通常雜草清除的效果愈佳，負面衝擊之風險愈大。此外水系也被視為公共休閒娛樂之區域，水生雜草管理系統必需符合社會大眾，及環境可接受之形式來發展，任何單一之防治方法是不能成功的達到雜草管制之目的。結合數種適合之方法，包括雜草之利用性，根據生態法則，發展綜合防除技術，建立水生雜草的長程管理辦法。

七、參考文獻

- 洪亮吉、呂理燊。1979。排水溝布袋蓮防治試驗。植保會刊 21: 194- 205。
- 洪亮吉、呂理燊。1980。臺灣農地雜草。p.172-188.中華民國雜草學會，臺北。
- 彭鏡毅。1996。臺灣維管束植物編碼索引(初版)。行政院農業委員會委託，中央研究院植物研究所執行。臺北市。156 pp.
- 費雯綺、王玉美 編輯。2002。植物保護手冊。p.757-759。行政院農委會農業藥物毒物試驗所編印。行政院農委會農業技術諮議委員會審定。臺中縣霧峰鄉。
- 蔣永正、呂理燊。1984。水生雜草的防除。中華民國雜草學會會刊 5: 36- 42.
- Barrett, P.R.F., K.J. Murphy and P.M. Wade. 1990. The management of aquatic weeds. p.473-490. *In: Weed Control Handbook*. R.J. Hance and K. Holly, eds. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England.
- Bennet, F.D. 1974. The control of aquatic weeds. 6.3. Biological control. p.99-106. *In: Aquatic vegetation and its use and control*, D.S. Mitchell, ed. UNESCO, Paris.
- Brezny, O., I. Mehta and R.K. Sharma. 1973. Studies on evapotranspiration of some aquatic weeds. *Weed Sci.* 21:197-204.
- Chandran, R.S. and K. Semmens. 2002. Pest Management: Choose the correct herbicide to control weeds in ponds. WVU Extension Service. 2 pp.
- Holm, L.G., L.W. Weldon and R.D. Blackburn. 1970. Aquatic weeds. *PANS* 16:576-589.
- Jeffries, J. and D. Mills. 1990. *Freshwater Ecology*. Belhaven Press, London, England.
- Kerala Agricultural University. 1976. Report on the work done under Kerala Agricultural University on the control of *Salvinia*. Kerala Agr. Uni. Manuthy, Trichur.

- Kunii, H. 1991. Aquatic macrophyte composition in relation to environmental factors of irrigation ponds around Lake Shinji, Shimane, Japan. *Vegetation* 97: 137-148.
- Lancar, L. and K. Krake. 2002. Aquatic weeds and their management. ICID • CIID report. International Commission on Irrigation and Drainage. 65 pp.
- Masser, M.P., T.R. Murphy and J.L. Shelton. 2001. Aquatic Weed Management: Herbicides. SRAC Publication No. 361. 6pp.
- Mitchell, D.S. ed. 1974. Aquatic vegetation and its use and control. Unesco, Paris. 135pp.
- Oki, Y. 1992. Effect of aquatic weeds on nutrient removal from domestic sewage. *Proc. of the 1st International Weed Control Congress 2*: 365-371.
- Oki, Y. 1994. Integrated management of aquatic weeds in Japan. *FFTC Database on Asian Agriculture- Plant Protection- Weed Control* 96-104.
- Pieterse, A.H. 1978. The waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*): A review. *Abstracts on Tropical Agriculture* 4:9-42.
- Ridout, J. 1980. Water weed problem, potential utilization and control. Center for Oversea Pest Research, London. 21pp.
- Roegge, M. and S. Evans. 2003. Managing aquatic plants. University of Illinois Extension, Illinois. 4 pp.
- Shelton, J.L. and T.R. Murphy. 1989. Aquatic Weed Management: Control Methods. SRAC Publication No. 360. 2 pp.
- Shibayama, H. 1981. Aquatic weeds in creeks and their control in Japan. p.240-255. *In: Weeds and Weed Control in Asia. FFTC Book Series No. 20.*
- Soerjani, M. 1975. Integrated Control of Weeds on Aquatic Areas. p.121-151. *In: Integrated Control of Weeds.* J.D. Fryer and S. Matsunaka, eds. Univ. of Tokyo, Tokyo.
- Ueki, K. and Y. Oki. 1979. Seed production and germination of *Eichhornia crassipes* in Japan. p.257-260. *Proc. 7th Asian-Pacific Weed Sci. Soc. Conf. Sydney, Australia.*