本土性水生植物對水中污染質之去除成效研究

The Removal Ability of Pollution Quality Using Taiwanese Aquatic Plants

農業工程研究中心 助理研究員 農業工程研究中心 技 師 農業工程研究中心 研究助理 農業工程研究中心 高級研究助理

劉玉雪*

吳 浚 霖

陳秀美

鍾 恵 珠

Yu-Hsiueh Wu Liu

Chun-Lin Wu

Hsiu Mei Cheng

His-Chu Chung

摘 要

依據歷年臺灣地區人工溼地建置場址案例型式,可瞭解人工溼地系統設計的種類型式,除單純以表面流式系統以外,亦有複合式人工溼地系統之應用型式存在,並且各單元處理聯絡型式的規劃,有串聯、並聯、或並串聯作法被使用,均考驗著人工溼地之處理成效。在這些處理方式,其水域環境內水生植物之物種選擇與維護管理機制程序等,都會影響人工溼地可否持續永續經營,並達到預期淨化水質的去污效能。

因此,本試驗研究目的,係進行本土性水生植物物種對污水削減去污效能、研析人工溼地之最佳設計與操作條件,與提升國內現地處理技術作法,讓臺灣地區在人工溼地現地處理技術上,建立具體性最佳規劃設計,精進本土性水質淨化現地處理技術。有關本試驗之研究成果如下:

- (一)5種本土水生植物去污效能試驗結果發現,生化需氧量與氨氮去除效果大致分別 在 HRT 4~5 日及 2~3 天時,達穩定狀態,此項成果可作爲未來設計之參考值。
- (二)以 5 種水生植物的浮床式試驗成果而言,香蒲對生化需氧量與氨氮之去除效果均佳,可列爲人工溼地淨化水質之優先考慮的物種。

關鍵詞:水生植物,水力停留時間,生化需氧量,氨氮。

ABSTRACT

According to site patterns of constructed wetland in Taiwan recently, there are several compound patterns with serial or parallel system design as well as single free water surface system. These compound system designs have faced challenges from aquatic vegetation selection and maintenance mechanism to sustain their water treatment

^{*}通訊作者,農業工程研究中心助理研究員,32061 中壢市合江路 18 號,ysliu@aerc.org.tw

effectiveness.

Therefore, in this research, an experiment has been conducted to comprehend vegetation water treatment effectiveness from five Taiwanese native aquatic plants. Finally, suggestions for further research activities have been given to cope with basic parameters and application techniques in next three years. Of research results are as follows:

- 1. By the wastewater treatment experiment of five native aquatic plants, most of BOD and NH₃ removal by plants have become stable when hydraulic retention time reached 4 to 5 days and 2 to 3 days.
- 2. Among five test plants on the floating mat base experiment, cattail might be the best wastewater treatment plant for combining BOD and NH₃ removal effect.

Keywords: Aquatic plants, Hydraulic retention time, BOD, NH₃₋N.

一、前言

臺灣地區爲改善河川水質、創造優質的水域 環境,因此環保署等單位自民國 91 年起,在順 應世界之環境永續發展潮流,與應用生態工程淨 化水體水質興起之下,期待在公共污水下水道建 設完成前可以透過應急處理技術,減低河川水質 污染量,落實環境保育目的,而著手進行河川污 染整治工作規劃,研擬策略,推動河川水質維護 改善行動。其中,對於臺灣地區河川水質污染整 治之應急處理措施政策上,則引進歐、美、日等 國家之水質自然淨化不同現地處理工程技術,並 在河川各支流排水區域建置相關現地處理工程 場域,以作爲臺灣目前現階段河川水質污染減量 方法之一,亦期待能夠透過水質自然淨化現地處 理之生態工程技術,讓臺灣地區在目前公共污水 處理系統建設網絡完成之前,暫時作爲一種現階 段控制臺灣地區河川污染之惡化與減緩其污染 程度措施之工程應用技術。

在這些現地廢水處理場址,種植各類水生植物藉由其生長所吸收之 C、N 與 P 等營養源,以達到淨化水質之 BOD、NH₃-N 等濃度,但各類水生植物不同之生長趨勢,以致對污染質需求就有所差異,因此本項研究,選擇台灣地區常種植於現地處理之五種本土性水生植物,在溫室中進

行栽培與水質分析等作業,以研析與釐清其對去 污效能之多寡,以利現地廢水處理之參考與提昇 其去除成效。

二、文獻回顧

蒐集本研究所採用五種水生植物相關國內 外水生植物對污染質之去除效果,與本試驗結果 進行比較與評估。蘆葦(Phragmites australis)與香 蒲(Typha orientalis Presl)試驗係在 1 m ×1 m × 1 m 人工溼地,水力負荷 600 mm/day,水力停留 時間 14 h,其進流水 BOD:17.2 mg/L 時,蘆葦、 香蒲等試驗系統之去除率為 92.1%、93.2%,但 無種植作物之敞開系統也有 91.9%之成效(梁 等,2004); 另在夏季(6月)與秋季(11月)進行 KN 與 TP 去除率比較,蘆葦、香蒲 KN 去除率分別 爲 10.6~30.6%、23.5~74.9%,其中除香蒲出現夏 季有較高成效外,蘆葦則以秋季效果較佳,無種 植作物之開放系統去除率也有 16.4~46.4% 成 效。但 T-P 在開放系統均無下降趨勢,夏季時去 除率呈現香蒲 66.2%>蘆葦 58.3%>敞開系統 0%,秋季僅香蒲有26.5%去除率,其他物種均無 去除效果。香蒲在移植後 2、4、8 與 12 週進行 收割,其對全氮去除率分別為 73%、78%、86% 與 80%,8 週後收割的香蒲植株 N 含量為 7.1~7.5 kg/ha.day (Thammarat et al., 1997)。在人工溼地中

種植蘆葦等水生植物對溼地根區氧含量有傳輸作用(張, 2006: Thoren $et\ al.$, 2004: Kyambadde $et\ al.$, 2005)。

蘆葦床溼地系統爲降低過量營養物質進入 海洋之有效手段(Hosokawa *et al.*, 1992)。

利用人工溼地水生植物去除高速公路逕流水中油酯、有機物與重金屬鉛及鋅,其中寬葉香蒲(Typha latifolia)具有攝取同化、吸附等適合之物種(Ellis et al., 1994)。

在新海橋人工溼地種植 14 種水生植物,包含挺水性、浮水性與沉水性等物種,在不同生長階段量測各種植物之生長高度、密度,並分析各階段之 BOD 濃度,以探討其最佳去除量(張,2005),試驗結果顯示,香蒲在 0.95 m 生長高度、生長密度 146 株/m² 時,則有 4.08 g/m²/day 的 BOD 去除量,大安水簑衣在 0.50 m 生長高度、生長密度 427 株/m² 時,則有 1.28 g/m²/day 的 BOD 去除量。

以不同高等水生植物人工溼地淨化都市污水之研究,分別流過蘆葦、寬葉香蒲等單一植物之溼地,其進流水濃度氨氮濃度爲 24.7 mg/L,出流水濃度分別爲 5.3 mg/L 、7.7 mg/L,去除率分別爲 81%、74% (Cerberg et al., 1986)。

研究人工溼地中水生植物水麥冬(Triglochin procerum)與蘆葦等地上部、地下部與總生物量之組織中營養成份,結果顯示,水麥冬對氮、磷的去除效果爲蘆葦的5倍(Adoock et al.,1994)。

在華崙溼地以S型渠道人工溼地,依序種植布袋蓮(Eichhornia crassipes)、大萍(Pistia stratiotes)、空心菜(Ipomoea aquatica Forsk.)、大安水簑衣(Hydrophila pogonocalyx Hayata)等水生植物,對於污水中BOD、DO等指標之處理效果(陳,2007),實驗結果顯示,BOD去除率約爲75%,因爲進流水污染物變動相當大,水道夠長有足夠的停留時間,使渠道水藉由沉澱作用,且流速緩慢,使得懸浮性污染物沉澱和過濾作用,因藉由土壤內顆粒孔隙對廢水中細小顆粒之阻絕滯留作用而去除。

在朴子溪中洋子人工溼地進行研究,場區內水生植物台灣水龍(Ludwigia x taiwanensis

Peng)、布袋蓮、大萍及空心菜等水生植物(吳, 2006),試驗期間,進流水 BOD、NH₃-N、SS 分別介於 2.4~33.7、0.06~30.1、5.0~240 mg/L 之條件下,現地場址以空心菜生長情形較為茂密,對當地水質適應良好。BOD 去除率為 2.4~98.8%, 平均為 49.7%。

評估台中縣大里市都市廢污水灌溉空心菜之處理成效(劉,1998),其灌溉方式採漫地流方式,但無控制水力停留時間下,空心菜對污染質之處理成效爲 BOD:57.4%、NH₃-N:10.0%、T-P:-20.7%,顯然除 BOD 處理效果較佳外,對N與P成效均不彰,因此在廢水處理設計上,污水在現地的水力停留時間是一重要關鍵因子之一。

探討人工溼地水生植物之污水處理成效,空心菜在進流水質 T-N: 1.6~6.99 mg/L、T-P: 0.01~1.52 mg/L下,兩項去除率分別為 84.2~96.6%、98.7~99.1%,其成效良好(溫,2008),因此在有效控制水流狀況與定期收割等措施下,空心菜為一優良之水質淨化物種。

以蘇州護城河之水放置於 18 公升之玻璃缸,進行 10 種水生植物水質淨化試驗(萬,2004),經 30 天之試驗期,空心菜試驗組對 T-N除率為 77.9%, T-P 則為 68.2%。

在溫室下進行水質之淨化效果評估(陳, 2007),空心菜對 BOD 去除率為 85.0%。

彙整日本地區對於不同水生植物於不同進水濃度,其平均去除速率試驗研究,空心菜在入流濃度 TN 爲 $1.6 \sim 6.99 \text{ mg/L} \cdot \text{TP}$ 爲 $0.01 \sim 1.52 \text{ mg/L}$ 之下,其對 TN 與 TP 去除速率分別爲 $0.28 \sim 1.54 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 與 $0.041 \sim 0.25 \text{ g/m}^2/\text{day}$,顯示污水進流濃度與去除速率間呈現不規則之變化 (財團法人日本農業土木綜合研究所,1993)。

本土性水生植物對 N 與 P 去除速率,進流 濃度 TN 2.79 mg/L、T-P 1.83 mg/L 下,空心菜對 兩者之去除速率 TN 1.24 g/m²/day、T-P 0.6 g/m²/day (溫,2008)。

進行水生植物不同收割期之研究,結果發現,在植物生長末期,大致在 10 月時採收可以提高其對氮與磷之去除率,因可避免成熟植物種

子掉落及營養元素經莖葉傳輸到根部,導致營養元素之回流而降低去除率(Arthur *et al.*, 2003, Seklman, *et al.*, 2004)。

比較在小型人工溼地中根區之 DO、pH 與氧化情形,均發現三者在種植水生植物中高於無種植者,顯然植物有輸送氧氣之功能(Seldman, 2004)。另在研究中則發現蘆葦在溼地中之輸氧作用(Achintya *et al.*, 2005)。

大型挺水植物與浮水性植物的莖與根等能減緩水流速度和消除湍流,以達到過濾、沉澱砂粒與有機物之作用(Greenway et al., 2003)。

三、研究内容

3.1 本試驗水生植物物種

本項試驗選擇蘆葦(Phragmites australis)、香蒲(Typha orientalis Presl)、大安水簑衣(Hydrophila pogonocalyx Hayata)、野生空心菜(Ipomoea aquatica Forsk)、臺灣水龍(Ludwigia x taiwanensis Peng)等 5 種本土性水生植物物種,在三種 BOD 進流濃度下,進行其對 BOD、NH₃-N 淨化成效評估。

3.2 本試驗水力停留時間(HRT)

在污水處理系統中若採連續流時,水力停留時間(Hydraulic retention time, HRT) (Tchobanglous, 1991)之計算公式如下:

$$HRT = \frac{V}{O} \qquad(1)$$

上述中 V=試驗槽之體積 (m^3) ,Q 爲單位時間的流量 (m^3/day)

但本試驗桶體積 250 公升,廢水來源係以豬 糞尿稀釋配置方式,若採連續流進行試驗,其進 流濃度較無法有穩定控制,無法準確對污水去除 量進行計算與評估,因此污水進流方式採批式試 驗,HRT 是在污水進流後 1~6 天期間,每日定時 採取試驗桶之污水進行水質分析與評估。

3.3 本試驗進流濃度

三個不同污水入流濃度(其中,預定控制濃

度為 BOD 20 mg/L、35 mg/L 與 55 mg/L 之三個不同進流污水濃度)與三重複方式,其中預定控制設計濃度係由稱取定量乾豬糞經浸泡 1 夜,再採樣檢驗其浸泡液之水質,依其 BOD 濃度再稀釋配置成三種預定控制濃度,本試驗採三重複,在桃園縣中壢市農業工程研究中心之溫室內,進行本土性水生植物去污效能試驗。

3.4 本試驗去除效果之評估

然而,爲了建立台灣地區本土性5種水生植物污染質之去除參數,本研究則提出以下3個參數,以作爲評估其對污水處理成效之參考:

(1)濃度去除率(Removal rate, R)

代表評估試驗桶中在不同 HRT 時營養物質 濃度的變化趨勢。

$$R = \frac{(C_i - C_o)}{C_i} \times 100\% \dots (2)$$

 C_i 爲試驗桶的化學物質初始濃度(mg/L), C_o 爲不同停留時間試驗桶的化學物質濃度(mg/L)。

(2)單位去除量(Unit removal amount, Ra)

一般指營養物質 BOD、NH₃-N 或 TP 等可被 微生物分解的項目之每日去除量。

$$R_a = \frac{(C_i - C_o)V}{A} \qquad(3)$$

 R_a 爲在不同 HRT 下當日之去除量(g/m².day),V 爲試驗桶廢水體積(m³),A 爲水生植物在試驗桶 的種植面積(m²)。

(3)總去除量(Total removal amount, R_T)

一般指營養物質 BOD、NH₃-N 或 TP 等可被 微生物分解項目之6日 HRT 試驗期間之總去除量。

$$R_T = R_{a1} + R_{a2} + R_{a3} + R_{a4} + R_{a5} + R_{a6} \dots (4)$$

 R_T 爲 1~6 日 HRT 期間單位去除量 R_a 之總計 (g/m^2) ,其中 R_{a1} ~ R_{a6} 分別爲 1~6 日 HRT 當日的 去除量。

其中在 HRT 1~5 日期間將各日 R_a 累計値為 累計去除量,例如第 3 日之累計去除量為 R_{a1} + R_{a2} + R_{a3} 之統計値,其中 1~6 日之累計去除量, 亦即本研究之總去除量。

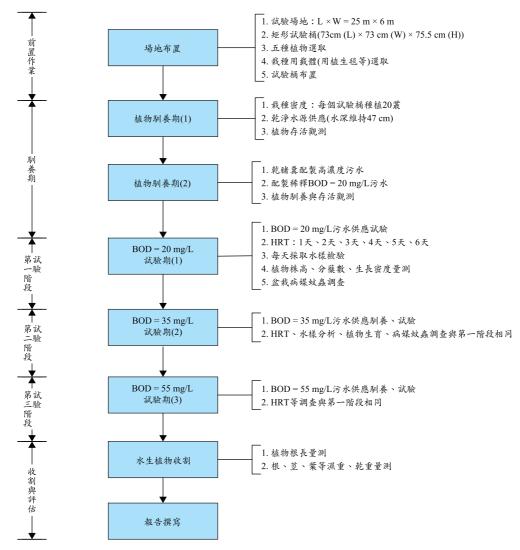


圖 1 5 種本土性水生植物去污效能研析之試驗設計作業流程

3.5 試驗作業流程

對於本項試驗設計作業流程,其可分爲前置作業、馴養期、第一、二、三試驗期與收割及評估等階段,詳細作業方式如圖1所示。本作業流程包括前置作業、植物馴養期、三階段試驗與收割期,在98年4月中旬前置作業進行試驗場地整地與試驗桶佈置;待場地佈置完成後接著進行植物馴養工作,首先置入乾淨水(桃園大圳之灌溉水),維持47公分水深,馴養約2週存活後,再以第一階段之處理濃度(BOD約20 mg/L)污水進行馴養,兩階段馴養期由5月1日~6月6日期間

進行。後續在6月7日、7月12日與8月16日期間預定以BOD約在20 mg/L、35 mg/L與50 mg/L污水濃度進行試驗,並每隔1日採取試驗桶之水樣,進行BOD、NH₃-N檢驗分析,並評估五種水生植物對其之去除成效。

3.6 本土性植物試驗場地建置、佈置與植株種植 3.6.1 試驗地點選擇

試驗場地選擇在財團法人農業工程研究中心之溫室場地,該場域係位於桃園縣中壢市區域。其提供試驗溫室面積範圍為 25 m×6 m (長×

寬,L×W),共計一座,溫室棚頂以不透水透明塑膠布覆蓋,以達到遮雨且透光的效果。

3.6.2 試驗佈置

首先在試驗溫室內進行整地,並覆蓋防草蓆 以防雜草生長,並將實驗室規劃成9個區塊,其 兩側均有排水溝,各區塊能擺設12個試驗桶, 試驗場地總計佈置108個試驗桶進行試驗與監測 工作。

3.6.3 試驗桶

而本試驗所採用試驗桶,係採矩形耐酸塑膠桶(K-420),其規格上部尺寸為 0.745 m×0.745 m (L×W),下部尺寸為 0.730 m×0.730 m (L×W),深度(H)為 0.755 m,其試驗桶總容積約 400公升。試驗水量放置 250 L,其水位維持在 47 cm,在每個試驗桶底之上方 10 cm處開鑿 1.5 cm 排水管,以便更換各處理濃度污水,在每個試驗桶中放置人工 PVC 人工浮島,讓各物種水生植物能種植與固定。

PVC 製浮島製作方式,係將原爲 4 公尺長的 PVC 管,切成管長 0.53~m,將四支 0.53~m的 PVC 管圍成一正方形,四個角落分別用一個 90度彎管連接,用膠水封住接口並確保 PVC 管內部爲密封不進水,本人工浮島面積爲 $0.55~\text{m} \times 0.55~\text{m} = 0.30~\text{m}^2$ 。

將一張稍大於 0.30 m² 的塑膠網鋪於方形外框上,於四邊以塑膠繩綁牢。最後用塑膠繩分別在長寬的 10 等分處穿插過塑膠網網孔,以增加塑膠網之支撐力,塑膠網上放置植物栽種盆,其放置間距爲 12 cm。

3.7 試驗成果統計研析

本試驗選擇五種水生植物與開放水面對照 組等六種處理,三種不同入流濃度限制下,並在 水力停留時間(HRT) 1~6 天時,採取其出流水進 行水質檢驗,同時在三種進流試驗期之 HRT 1 天、6 天量測並記錄其植株之生長密度、株高, 綜合各項試驗數據結果,將研析:

- 1.比較五種水生植物在三種進流污水濃度之 去除成效。
- 2. 在不同水力停留時間變化下,對於五種水生

植物在不同進流污水濃度施灌下,對其 BOD、NH₃-N等水質改善效益變化情形,以 探討對於水生植物栽種於人工溼地各單元 淨化處理系統之設計選擇物種應用。

3. 五種水生植物在不同生長密度與株高下,對 進流污水之去污成效與關係評估。

四、結果與討論

4.1 試驗期間環境概述

4.1.1 氣溫、水溫與 pH 值觀測結果

1.氣溫與水溫

水生植物之生長速率與水質淨化成效,深受 其生長環境氣溫與試驗桶水溫之影響,因此分別 於 98 年 6 月 7~13 日、7 月 12~18 日、8 月 16~22 日期間,進行三種進流濃度之水質淨化成效試 驗,其中除進行出流水採樣分析外,並量測溫室 之氣溫及試驗桶水溫。結果顯示,三次試驗之平 均氣溫分別爲 33.3℃、33.0℃與 32.2℃。但 6 月 試驗期間,五種植物平均水溫介於 27.9~28.6℃ 間,開放水面則為 28.7℃;7 月期間,植物試 驗之平均水溫介於 29.2~29.3℃間,開放水面為 29.5℃;8 月期間,植物試驗平均水溫介於 28.9~29.2℃間,開放水面爲 29.3℃。由上列資料 顯示7月平均水溫較8月高,而6月爲最低;但 開放水面因無水生植物之遮蔭效果,其平均水溫 較五種植物試驗高出 0.2~0.4℃,並隨著植物生長 密度越高其與開放水面差異越大。

2. pH 值檢測結果

三種進流濃度下,各種水生植物試驗出流水之 pH 值變化,以高進流濃度處理之出流水 pH 較低:降低趨勢以香蒲、水簑衣、空心菜與水龍最顯著,但蘆葦試驗之降低趨勢較不明顯。在第三種進流濃度下,其 pH 值<6.5 之植物,有香蒲、水簑衣、水龍等,同時此三種植物對 BOD 的去除成效亦有較高之趨勢。

開放水面(對照組)則出現相反之趨勢,低濃度進流下在 HRT 第 6 日時 pH 値高達 8.5,中濃度則在 4~6 日時 pH 値在 8.18~9.92 間,呈鹼性範圍,高進流濃度則出現 pH 値 7.26~9.32 趨勢。開放水面 pH 値昇高問題,可能與藻類生長有關,

試驗項目 單位 6月 7月 8月 試驗物種 進流濃度 26.4 ± 3.2 38.7 ± 7.9 46.8 ± 6.0 mg/L 36.0 ± 4.53 蘆葦 29.5 ± 0.54 40.5 ± 3.11 香蒲 38.4 ± 0.80 58.4 ± 7.80 53.1 ± 6.60 水簑衣 43.2 ± 0.60 55.2 ± 9.34 43.7 ± 15.0 g/m^2 總去除量 空心菜 26.7 ± 1.20 64.6 ± 5.90 37.9 ± 6.40 水龍 34.9 ± 0.20 42.4 ± 13.5 45.7 ± 5.00 開放水面 15.0 ± 1.20 23.4 ± 7.90 34.3 ± 6.69

表 1 不同 BOD 進流濃度下各類植物之總去除量

註:BOD 總去除量計算爲HRT1~6 天期間每日去除量總計所得值。

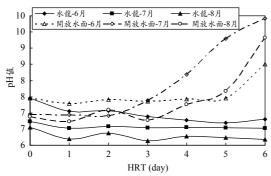


圖 2 水龍與開放水面污水試驗在不同 HRT 下出 流水 pH 值變化圖

其行光合作用消耗 CO₂ 而釋放出 O₂,導致水中酸鹼值提昇。試驗發現,水中藻類大致從 HRT 第 4 日時開始生長,生長最旺盛者以七月試驗期間,在中濃度進流試驗最爲顯著,以水龍與開放水面(對照組)繪製 HRT 在 1~6 日期間 pH 值變化趨勢如圖 2 所示,其他四種植物與水龍也有相同變化趨勢。

4.2 水生植物生長情形

4.2.1 生長密度

五種水生植物所進行之三種 BOD 進流濃度 試驗,分別在 HRT 第 1 天及第 6 天進行生長密度之量測。比較五種植物之生長密度增加情形,蘆葦以 6~7 月試驗期間有最高的生長速率,高達 15.0~16.5 株/m².day,顯然在該階段之分蘗數最爲旺盛,其次爲 6、8 月空心菜有 5.2、6.8 株/m².day,水龍 7、8 月則有 8.6、6.7 株/m².day,而水簑衣則以 8 月 2.8 株/m².day 爲三次中最多

者,由本試驗發現蘆葦以分蘗數增加爲主,空心 菜與水龍也有較高的分蘗數。

4.2.2 生長高(長)度

試驗期間生長高度量測結果,又以空心菜與水龍 1.30~2.03 cm/day、1.0~2.83 cm/day增加速率為較高,且均以7月具有最高之速率;香蒲與水簑衣則有 0.7~1.6 cm/day、0.38~1.38 cm/day居其次;另外蘆葦雖然有較高之分蘗數,但生長高度則較低。由資料顯示,以人工浮島進行蘆葦之栽培,其生長初期為植株分蘗數增加期,生長中期則以生長高度增加率較為明顯。而空心菜之生長高度增加速率遠大於蘆葦、香蒲與水簑衣等。

各類植物生長現況比較時,當分蘗數旺盛增 加期,相對的生長高度反而較低:相同的植物生 長高度快速期,植株的分蘗數反而明顯降低。

4.3 去污效能研析

4.3.1 不同入流濃度之總去除量比較

1. BOD 試驗

三次試驗 BOD 進流濃度分別為 26.4 ± 3.2 mg/L、 38.7 ± 7.9 mg/L、 46.8 ± 6.0 mg/L,各試驗 組 BOD 總去除量為每日去除量之總計值,而五 種植物系統之 BOD 總去除量為 6 月時 $26.7 \pm 1.20 \sim 43.2 \pm 0.60$ g/m²、7 月時 $40.5 \pm 3.11 \sim 64.6 \pm 5.90$ g/m²、8 月 $36.0 \pm 4.53 \sim 53.1 \pm 6.60$ g/m²,顯然蘆葦等四種植物均以 7 月試驗期有較佳之 BOD 總去除量,在 8 月時僅水龍較高濃度下有較高成效,詳如表 1 所示。

表 2 各類植物對 BOD、 NH_3 -N 與 PO_4^{3-} -P 之總去除量比較表

單位: g/m²

植物別		檢測項目	單位	6月	7月	8月
蘆葦		BOD		29.5 ± 0.54	40.5 ± 3.11	36.0 ± 4.53
	總去除量	NH ₃ -N	g/m ²	2.29 ± 0.06	2.96 ± 0.12	2.28 ± 0.09
		PO ₄ ³⁻ -P		0.03 ± 0.40	0.13 ± 0.12	-0.09 ± 0.06
	C:N:P			12.9:1:0.01	13.7:1:0.04	15.8:1:-0.04
香蒲	總去除量	BOD		38.4 ± 0.80	58.4 ± 7.80	53.1 ± 6.60
		NH ₃ -N	g/m ²	2.24 ± 0.02	4.32 ± 0.99	3.20 ± 0.18
		PO ₄ ³⁻ -P		2.12 ± 0.07	1.68 ± 0.97	1.58 ± 0.24
	C:N:P			17.1:1:0.95	13.5:1:0.39	16.6:1:0.49
	總去除量	BOD		43.2 ± 0.60	55.2 ± 9.34	43.7 ± 15.0
水簑衣		NH ₃ -N	g/m^2	2.48 ± 0.01	4.24 ± 0.55	2.62 ± 0.55
		PO ₄ ³⁻ -P		1.69 ± 0.07	0.54 ± 1.01	0.97 ± 0.46
	C:N:P			17.4:1:0.68	13.0:1:0.13	16.7:1:0.37
	總去除量	BOD		26.7 ± 1.20	64.6 ± 5.90	37.9 ± 6.40
空心菜		NH ₃ -N	g/m ²	1.73 ± 0.01	4.93 ± 0.30	2.50 ± 0.42
至心未		PO ₄ ³⁻ -P		0.60 ± 0.19	0.76 ± 0.07	1.90 ± 0.33
	C:N:P			15.4:1:0.35	13.1:1:0.15	15.2:1:0.76
	總去除量	BOD		34.9 ± 0.20	42.4 ± 13.5	45.7 ± 5.00
水龍		NH ₃ -N	g/m ²	0.81 ± 0.01	2.55 ± 0.74	2.33 ± 0.42
		PO ₄ ³⁻ -P		0.01 ± 0.37	0.24 ± 0.25	1.41 ± 0.32
	C:N:P			43.1:1:0.01	16.6:1:0.09	19.6:1:0.61
開放水面	總去除量	BOD		15.0 ± 1.20	23.4 ± 7.90	34.3 ± 6.69
		NH ₃ -N	g/m ²	1.07 ± 0.49	2.14 ± 0.14	1.48 ± 0.11
		PO ₄ ³⁻ -P		-1.49 ± 0.26	0.66 ± 0.08	0.40 ± 0.12
	C:N:P			14.0:1:-1.39	10.9:1:0.31	23.2:1:0.27

註:BOD、NH₃-N與PO₄³-P總去除量計算爲HRT1~6天期間每日之去除量總計所得值。

2. NH₃-N 試驗

三次試驗 NH_3 -N 進流濃度分別如表 2 所示,各植物試驗均以7月份進流濃度爲最高,在 4.53 ± 0.64 ~ 5.48 ± 0.07 mg/L 範圍, NH_3 -N 去除量亦出現有最佳成效,介於 2.55 ± 0.74 ~ 4.93 ± 0.30 g/m²間,且以水簑衣、空心菜有最顯著之成效,但水龍雖然 8 月份有較高進流濃度,卻仍以7 月有較高去除量,若能提昇蘆葦等四種植物試驗系統之進流濃度,可能亦能提昇對 NH_3 -N 的去除量,尤其以香蒲、水簑衣與空心菜三者對 NH_3 -N 去除量仍有增加空間與忍受性。

4.3.2 不同 HRT 時之去除率比較

1. BOD 去除評析

比較1~6天HRT期間BOD去除濃度與BOD

去除率,顯然五種植物均以第 4~5 日時,其去除率可達 80%以上,其中廬葦 6 月、7 月時在低、中濃度時在第 4 日,高濃度則在第 5 日才達此去除率,試驗系統之出流水均<10 mg/L (詳如表3);但香蒲除三種濃度均在第 4 日約達 90%去除率外,在高濃度處理則出現第 3 日可達 83%之成效,明顯較蘆葦之去除成效佳,因本試驗採人工浮島栽種方式,廬葦僅以分蘗數增加爲主,生長高度則受到限制,因此污染質的去除成效較差;水簑衣 BOD 去除成效,亦出現第 4 日可達約 80%去除率,高濃度處理則出現第 3 日達 80%之成效,空心菜試驗處理則以 7 月份階段爲最佳,可見均在第 4 日之前有明顯的去除成效;水龍則在第 3~4 日可達 80%,甚者高達 90%,但開放水面

表 3 本試驗各類水生植物 BOD 去除率達 80%以上所需 HRT 統計表

	試驗期間	BOD 去除情形				
植物種類		試驗桶初始濃度*	HRT	去除率	試驗桶濃度**	
		(mg/L)	(day)	(%)	(mg/L)	
蘆葦	6月	41.2 ± 0.9	4	87.9 ± 1.1	5.6 ± 0.3	
香蒲		51.4 ± 1.1	4	88.6 ± 3.9	5.9 ± 1.9	
水簑衣		60.4 ± 0.3	4	83.0 ± 1.4	10.3 ± 0.9	
空心菜		41.2 ± 0.2	4	79.8 ± 2.7	8.3 ± 1.1	
水龍		48.3 ± 0.2	4	86.5 ± 0.5	6.5 ± 0.2	
開放水面		26.4 ± 0.3	6	70.1 ± 5.4	7.9 ± 1.4	
蘆葦	7月	53.4 ± 2.6	4	86.3 ± 3.4	8.7 ± 1.7	
香蒲		73.2 ± 9.3	4	90.4 ± 2.9	7.1 ± 1.1	
水簑衣		70.0 ± 11.7	4	87.5 ± 2.2	8.7 ± 1.5	
空心菜		83.2 ± 5.6	4	81.5 ± 5.7	15.2 ± 4.3	
水龍		52.9 ± 16.3	4	86.3 ± 3.7	6.7 ± 0.2	
開放水面		38.7 ± 7.9	6	70.8 ± 12.2	10.6 ± 2.8	
蘆葦		50.9 ± 7.0	5	80.4 ± 3.1	12.1 ± 1.8	
香蒲	8月	66.3 ± 7.4	3	83.0 ± 6.0	11.3 ± 3.1	
水簑衣		54.6 ± 17.7	3	79.2 ± 8.5	10.0 ± 2.9	
空心菜		49.6 ± 8.4	4	80.7 ± 4.7	10.0 ± 3.9	
水龍		56.3 ± 6.2	3	85.0 ± 1.2	8.4 ± 1.1	
開放水面		46.8 ± 6.0	4	79.3 ± 3.9	9.9 ± 3.0	

試驗桶初始濃度*:爲污水進流當天試驗桶中BOD之濃度。

試驗桶濃度**:爲本表中所列 HRT 時之去除率下試驗桶中 BOD 之濃度。

僅在 8 月份高濃度試驗時第五日達 83.9%,就整體而言,五種植物 BOD 去除率高於開放水面,而開放水面則在第三日水中藻類生長開始旺盛,因此去除量劇增。

2. NH₃-N 去除評析

各類試驗 1~6 天 HRT 期間之 NH₃-N 去除濃度與去除率,五種植物中以香蒲、水簑衣、空心菜與水龍均在第 1~2 日期間,去除率可達 90%以上,但廬葦在人工浮島上生長較不良下,在第 2~3日時可達此成效(詳如表 4):但 7~8 月香蒲與水簑衣、空心菜試驗、8 月空心菜、水龍試驗均在第 1 日即有良好之成效,就整體而言,五種植物 NH₃-N 去除率高於開放水面,而開放水面則在第 4~5 日才有較顯著除污效果。

3. 污染質去除機制探討

BOD 之去除作用,可藉由水中有機性膠體物之沉降與植物之吸附作用,移除水中污染物。一般沉降作用在第一天大致完成,開放水面無任何植株作用,其第 1 日去除濃度在 4.3~19.7

mg/L,若假設以第1日各類植物去除濃度扣除開放水面去除濃度,可得植物之吸附濃度,6月為5.8~25.1 mg/L,又以水簑衣爲最高,其次爲香蒲與水龍:7月份則爲4.6~22.3 mg/L,8月則呈現在-6.6~26.2 mg/L 範圍。三次試驗在HRT第1日的分解成效差異並不大,但水中污染物除藉由沉降作用外,植物根系生長旺盛與纏繞密集,亦能攔截有機膠體物,並藉由根毛部微生物之吸附與分解作用而達去污之效果,各類植物系統之試驗結果,仍以1~4日期間去污效果最爲顯著。

4.3.3 試驗水溫與 BOD 總去除量比較

統計三次試驗,在 HRT 1~6 日之 BOD 總去除量,詳如表 5 所示。在 6 月試驗期間,各試驗桶平均水溫爲 28.0 \pm 0.7~28.7 \pm 0.5°C時,則以水簑衣總去除量 43.2 \pm 0.60 g/m² 爲最高,其次爲香蒲 38.4 \pm 0.80 g/m²、水龍 34.9 \pm 0.20 g/m²。7 月試驗階段,平均水溫介於 29.2 \pm 0.1~29.5 \pm 0.2°C間,則以空心菜 64.6 \pm 5.90 g/m²、香蒲 58.4 \pm 7.80 g/m²、水簑衣 55.2 \pm 9.34 g/m² 爲較高。而

表 4 本試驗各類水生植物 NH3-N 去除率達 80%以上所需 HRT 統計表

	試驗期間	NH ₃ -N 去除情形				
植物種類		試驗桶初始濃度*	HRT	去除率	試驗桶濃度**	
		(mg/L)	(day)	(%)	(mg/L)	
蘆葦		2.79 ± 0.09	2	84.2 ± 7.1	0.44 ± 0.19	
香蒲	6月	2.76 ± 0.05	1	86.5 ± 4.3	0.37 ± 0.12	
水簑衣		3.02 ± 0.02	1	85.1 ± 9.6	0.45 ± 0.29	
空心菜		2.12 ± 0.02	1	86.9 ± 8.9	0.28 ± 0.19	
水龍		1.03 ± 0.01	1	96.8 ± 2.4	0.03 ± 0.02	
開放水面		2.90 ± 0.02	6	44.4 ± 20.1	1.61 ± 0.59	
蘆葦	7月	3.50 ± 0.11	3	98.3 ± 0.9	0.8 ± 0.08	
香蒲		4.76 ± 1.17	1	94.9 ± 4.6	0.19 ± 1.10	
水簑衣		5.48 ± 0.67	1	99.1 ± 0.3	0.05 ± 0.01	
空心菜		5.46 ± 0.36	2	99.7 ± 0.4	0.01 ± 0.02	
水龍		3.38 ± 0.89	1	87.0 ± 9.4	0.50 ± 0.47	
開放水面		2.60 ± 0.17	5	90.6 ± 1.8	0.25 ± 0.06	
蘆葦	8月	2.76 ± 0.08	2	86.8 ± 3.4	0.39 ± 0.10	
香蒲		4.06 ± 0.21	1	98.6 ± 0.5	0.06 ± 0.02	
水簑衣		2.98 ± 0.64	1	97.3 ± 1.6	0.07 ± 0.03	
空心菜		3.13 ± 0.50	1	98.2 ± 0.9	0.05 ± 0.02	
水龍		3.42 ± 0.43	1	96.8 ± 2.3	0.11 ± 0.09	
開放水面		3.30 ± 0.11	6	54.1 ± 5.8	1.52 ± 0.24	

試驗桶初始濃度*:爲污水進流當天試驗桶中 NH3-N 之濃度。

試驗桶濃度**:爲本表中所列 HRT 時之去除率下試驗桶中 NH3-N 之濃度。

表 5 各類試驗植物 BOD 總去除量比較表

植物種類		水溫℃	BOD 總去除量(g/m²)		
但初性與	6月	7月	8月	BOD 怨云凉里(g/III)	
蘆葦	28.0 ± 0.7	29.3 ± 0.6	29.2 ± 0.2	$29.5 \pm 0.54 \text{\sim} 40.5 \pm 3.11$	
香蒲	28.2 ± 0.7	29.3 ± 0.2	28.9 ± 0.3	$38.4 \pm 0.80 \text{~-} 58.4 \pm 7.80$	
水簑衣	28.3 ± 0.5	29.4 ± 0.1	29.0 ± 0.3	$43.2 \pm 0.60 \sim 55.2 \pm 9.34$	
空心菜	28.2 ± 0.6	29.2 ± 0.1	29.0 ± 0.2	$26.7 \pm 1.20 \sim 64.6 \pm 5.90$	
水龍	28.6 ± 0.5	29.3 ± 0.2	29.0 ± 0.3	$34.9 \pm 0.20 \text{~}45.7 \pm 5.00$	
開放水面	28.7 ± 0.5	29.5 ± 0.2	29.3 ± 0.3	$15.0 \pm 1.20 \sim 34.3 \pm 6.69$	

- 1. 各類植物 BOD 去除量,爲 HRT 1-6 日 BOD 去除量之總計。
- 2. 水溫爲三次試驗期間三重複水溫之平均與標準偏差。

8 月試驗期間,平均水溫在 $28.9 \pm 0.3 \sim 29.3 \pm 0.3 ^{\circ}$ C 範圍,則呈現香蒲 $53.1 \pm 6.60 \text{ g/m}^2$ 、水龍 $45.7 \pm 5.00 \text{ g/m}^2$ 、水簑衣 $43.7 \pm 15.0 \text{ g/m}^2$ 有最佳總去除量。

五種水生植物之 BOD 總去除量,明顯較開放水面高,三次試驗中以7月在較高水溫下爲最大,其次爲8月份,6月試驗期,因水溫較低下,且生長密度與高度均屬最低狀況,其總去除量爲最小。雖然三次試驗中7月份之生長生長密度與

高度爲中間値,但水溫較高下,香蒲等水生植物 則有較佳之去除成效。

五種植物三階段試驗結果,香蒲均有較高之BOD 之總去除量,介於 38.4 ± 0.80 ~ 58.4 ± 7.80 g/m² 間,另水簑衣爲 43.2 ± 0.60 ~ 55.2 ± 9.34 g/m²、空心菜 26.7 ± 1.20 ~ 64.6 ± 5.90 g/m²、水龍 34.9 ± 0.20 ~ 45.7 ± 5.00 g/m²,而開放水面僅有 15.0 ± 1.20 ~ 34.3 ± 6.69 g/m² 爲最低(詳如表 5)。

另以各試驗三重複之水質與 1~6 日 HRT

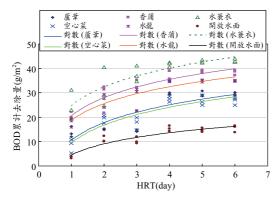


圖 3 6 月試驗期間各類植物試驗 BOD 累計去除量 迴歸圖

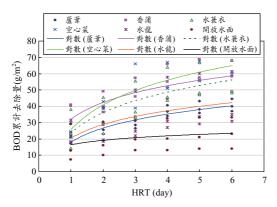


圖 4 7月試驗期間各類植物試驗 BOD 累計去除量 迴歸圖

間,繪製對數迴歸圖(如圖 3~圖 5),比較其對水中 BOD 之去除成效。由圖中顯示,6 月份以水簑衣、香蒲與水龍等有較高的去除潛勢,其次爲蘆葦與空心菜,開放水面去除累積量最爲平緩。7 月份則出現空心菜、香蒲與水簑衣有最高去除潛勢,水龍與蘆葦居次,開放水面最低。8 月份則出現香蒲、水龍與水簑衣具有很強之去除能力。

由三次去除試驗,可看出香蒲為一理想之去 污植物,水龍因旺盛之生長力則在第三次試驗仍 有較高之 BOD 去除成效,空心菜在第2階段, 因其分蘗與增長旺盛期,而有最高總去除量;然 而無進行採收下,其總去除量將因而再度下降。 4.3.4 溶氧 (DO)之變化

爲了解水生植物在水質去污淨化過程, 因消

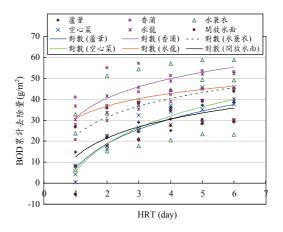


圖 5 8 月試驗期間各類植物試驗 BOD 累計去除量 迴歸圖

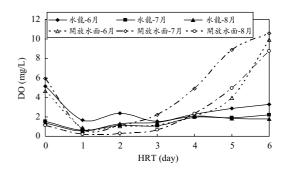


圖 6 水龍與開放水面污水試驗在不同 HRT 下出 流水 DO 變化圖

耗水中 DO 及由植物再度供輸等作用,可由其出流水 DO 高低看出端倪,圖 6 為水龍與開放水面在不同 HRT 時 DO 之變化圖。由圖中顯示,以 6 月份試驗期的第 4 日,DO 有較明顯之回昇趨勢,大致上均>2.0 mg/L,其中昇高趨勢最高者為香蒲、空心菜,其次為蘆葦、水龍與水簑衣等,致於開放水面亦在第 4 日 DO 有明顯昇高趨勢,且以 7 月份最為明顯,其 DO 含量>10.0 mg/L。由圖 6 又可見雖然 DO 在 HRT 第 1 日明顯下降,但第 2 日即再度回昇,第 3 日再些微降低,本試驗植物對水中有機物分解消耗 DO 後再度傳輸較爲快,因據彭江燕等(1998)針對蘆葦等 5 種植物試驗,在第 6.5 日 DO 僅在 0.08~1.21 mg/L 範圍。

7月、8月DO變化趨勢,亦在第4日後再

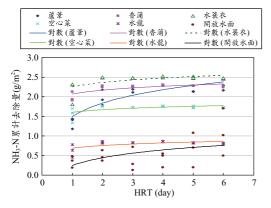


圖 7 6 月試驗期間各類植物試驗 NH₃-N 累計去除 量迴歸圖

回昇至 2.0 mg/L 左右,7 月份回昇量較 8 月份明顯,但遠低於 6 月份之趨勢,可見進流 BOD 濃度越高,其分解所需之 DO 也較爲殷切,但若植株供應量不敷使用時,水中 DO 呈現降低或回昇較緩慢情形。以水龍與開放水面(對照組)繪製HRT 在 1~6 日期間 DO 變化趨勢如圖 2 所示,其他四種植物與水龍亦有相同變化趨勢。

4.3.5 三次試驗 NH₃-N 之變化

累計 HRT 1~6 日每日之去除量得到總去除量,比較 6~8 月期間三次試驗結果,在 6 月試驗期間,其總去除量與 BOD 有一致趨勢,仍以水簑衣 2.46 ± 0.01 g/m² 爲最高,蘆葦 2.25 ± 0.06 g/m²、香蒲 2.26 ± 0.02 g/m² 等居其次。7 月試驗階段,以空心菜 4.93 ± 0.30 g/m²、香蒲 4.32 ± 0.98 g/m²、水簑衣 4.24 ± 0.55 g/m²,8 月之試驗成果,則呈現出香蒲 3.20 ± 0.18 g/m²、水簑衣 2.62 ± 0.55 g/m²、空心菜 2.50 ± 0.42 g/m² 有最佳總去除量。

綜合三次試驗結果,5種水生植物去除 NH₃-N之成效均較開放水面高,又以7月份在較 高水溫下有最大總去除量,其次爲8月份,最差 者爲6月試驗期,而7月空心菜、香蒲與水簑衣 有最佳總去除量。

五種植物三階段試驗結果,對 NH₃-N 之總去除量,分別爲蘆葦 2.25 ± 0.06~2.96 ± 0.12 g/m²、香蒲 2.26 ± 0.02~4.32 ± 0.98 g/m²、水簑衣 2.46 ± 0.01~4.24 ± 0.55 g/m²、空心菜 1.73 ±

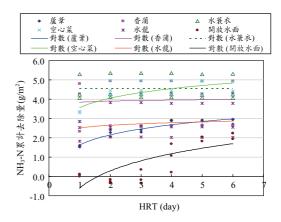


圖 8 7 月試驗期間各類植物試驗 NH₃-N 累計去除量迴歸圖

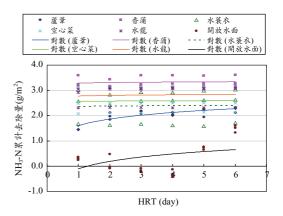


圖 9 8 月試驗期間各類植物試驗 NH₃-N 累計去除量迴歸圖

0.00~4.93 ± 0.30 g/m²、水龍 0.81 ± 0.01~2.55 ± 0.36 g/m²,而開放水面僅 0.50 ± 0.49~2.23 ± 0.14 g/m² 爲最低。

另以各試驗之三重複水質 NH₃-N 在不同 HRT 時之累計去除量,繪製其對數迴歸圖(如圖 7~圖 9),以比較水中 NH₃-N 去除趨勢,圖中顯 示,6 月份以水簑衣、香蒲與蘆葦等有較高的去 除潛勢,其次爲空心菜與水龍,開放水面去除成 效較低。

7 月份與 BOD 成效類同,亦以空心菜、香 蒲與水簑衣有最高去除潛勢,水龍與蘆葦居次, 開放水面最低。

8月份則出現香蒲、水龍與水簑衣有最強勢

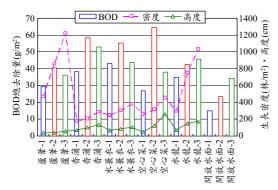


圖 10 各類植物試驗 BOD 去除量與生長密度與高度比較圖

去除能力,由三次去除試驗,結果顯示,對 NH₃-N 去除能力,香蒲爲最佳之植物;水龍因旺盛生長 力在第三次試驗仍有較高之 NH₃-N 去除成效; 雖然空心菜在第二階段生長旺盛期,有最佳成 效,然至第3階段因無採收下生長較爲遲緩,去 除成效再度減少。

4.3.6 植株生長與去除量之關係

1. 生長密度、高度與 BOD 總去除關係

以 6~8 月期間在 HRT 第 6 天時 BOD 總去除量,與生長密度、生長高度繪製如圖 10,圖中顯示,五種水生植物中僅水龍之生長後期 8 月有較高之總去除量外,其他四種植物,均在 7 月份高水溫下有較高之去除成效,開放水面則以 8 月試驗階段對 BOD 有較佳之去除效果。

6~8 月期間三次試驗分別爲水生植物種植後 50 日、87 日與 131 日進行試驗,雖然生長高度 與密度均以 8 月份爲最高,但卻以 7 月對 BOD 總去除量爲最高,其可能與 7 月平均水溫 29.2 ± 0.1° C~29.5 ± 0.2° C爲最高,較 7 月 28.0 ± 0.7° C~28.7 ± 0.5° C與 8 月份 28.9 ± 0.3° C~29.2 ± 0.2° C高下,微生物對 BOD 有較高之分解速率,其與植物根系吸收等作用的影響則較不明顯。

2. 生長密度、高度與 NH₃-N 去除比較

比較各類植物生長與水中 NH₃-N 去除之關係,雖然各類植物在8月有較大的密度與高度,但對 NH₃-N 去除量仍以7月份爲最佳(詳如圖11),8月份之成效居其次,6月份成效較低,顯示該試驗期,在水溫與生長密度均最低下,均可

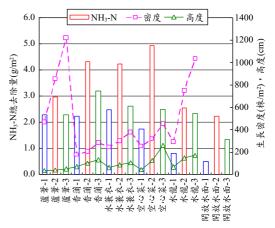


圖 11 各類植物試驗 NH3-N 去除量與生長密度與 高度比較圖

能影響其處理成效。與 BOD 去除情形相同,7 月平均水溫 29.2 ± 0.1 °C~ 29.5 ± 0.2 °C最高下,微 生物對其分解速率也最高。

4.3.7 相關文獻去除率之比較

五種水生植物對污水中 BOD 等去除率與國內外相關研究比較,本試驗蘆葦試驗以人工浮島上進行試驗,蘆葦的根系在無介質下,其生長與污染質去除成效均較人工溼地低。

香蒲在本試驗之人工浮島或相關人工溼地污染質之去除量均爲一強勢物種,以人工溼地香蒲試驗在 HRT 14 小時下,雖然對 BOD 有 93.2%去除率,但 NH₃-N 成效則較不佳(梁等,2004),本研究則需 1 天 HRT 即有 90%以上之去除成效,若同時考量 BOD 與 NH₃-N 去除成效達 80%以上時,仍需有 4~5 天的 HRT。本試驗在香蒲種植後 7.4、12.4、19 週水質採樣檢驗結果,單位面積 NH₃-N 每日去除量分別爲 3.7、7.2、5.3 kg/ha.day,較 Thammarat 等試驗在 8 週後所收割的香蒲植株 N 含量 7.1~7.5 kg/ha.day 低,因兩者分別在溫室人工浮島與人工溼地場址所進行,且氣候與水文環境不同下而有所差異。

相同的在溫室中進行大安水簑衣水質淨化 試驗,研究結果顯示,本研究與國內研究(陳,2007) 之試驗成果,BOD 去除率均在80~90%範圍,但 前者在夏季有較佳成效,後者則在冬季。空心菜 在污水進流濃度低於10 mg/L 與無 HRT 控制下 對兩者去除率偏低(劉,1998),本試驗在 BOD 25~50 mg/L 時需有 HRT 4~5 天,能達 80%以上去除率,較 30 天 HRT 之處理(萬,2004)理想,因 HRT 大小應用於現地場址時,相對影響所需用地面積的大小,就著本試驗成果顯示,應用於現地場址規劃時將有較經濟的用地費;本試驗香蒲與大安水簑衣試驗單位面積每日 BOD 去除量分別為 6.4~9.7 g/m²/day、7.2~9.2 g/m²/day 較在新海橋人工濕地之試驗值 4.08 g/m²/day 、1.28 g/m²/day 高(張,2005),因前者在溫室進行,後者試驗期間經颱風與降雨等天然災害,因而降低其廢水處理成效。

空心菜在污水進流濃度低於 10 mg/L 與無HRT控制下對兩者去除率偏低(劉,1998),因此污染質去除 HRT 的控制是一重要因子,本試驗在 BOD 25~50 mg/L 時需有 HRT 4~5 天,有 80%以上去除率,較 30 天 HRT 之處理(萬,2004)理想,因 HRT 大小應用於現地場址時,相對影響所需用地面積的大小,就著本試驗成果顯示,應用於現地場址規劃時將有較經濟的用地費;各試驗成果顯示,空心菜對氮的去除率均有 87~99.7%去除率(本研究,2009;溫,2008;吳,2006;財團法人日本農業土木綜合研究所,1993)。本試驗水中之溶氧均較無種植物高,顯然各類植物明顯均有供給養氣之功能,其與相關研究吻合。

五、結 論

5.1 DO 及 pH 試驗成果

- 1. 五種水生植物試驗出流水,在 HRT 第 2 日時 DO 偏低,且均在 HRT 第 4 日再度昇高至 2.0 mg/L,顯示前 3 日可能因有機物分解較爲旺 盛,其所需耗氧量無法由植株有效的供應補 充。
- 2. 五種水生植物試驗出流水 pH,呈現爲低濃度 試驗偏中性,其他兩種試驗均呈偏酸性,且進 流 BOD 濃度越高者,其出流水 pH 越低,其可 能與有機物分解過程有機酸釋放所致。
- 3. 開放水面因在 HRT 第 4 日起,受水中藻類滋 生影響,導致水質出現高 DO 與偏鹼性趨勢。
- 4. 香蒲 DO 之供應較其他四種植物高。

5.2 BOD 去除試驗成果

- 1. 五種水生植物試驗,大致在 HRT 4~5 日時 BOD 去除效果達穩定,其出流水 BOD 濃度均低於 10 mg/L。
- 2. 五種植物三階段試驗結果,BOD總去除量蘆葦 $29.5 \pm 0.54 \sim 40.5 \pm 3.11 \text{ g/m}^2 \setminus$ 香蒲 $38.4 \pm 0.80 \sim 58.4 \pm 7.80 \text{ g/m}^2 \setminus$ 水簑衣 $43.2 \pm 0.60 \sim 55.2 \pm 9.34 \text{ g/m}^2 \setminus$ 空心菜 $26.7 \pm 1.20 \sim 64.6 \pm 5.90 \text{ g/m}^2 \setminus$ 水龍 $34.9 \pm 0.20 \sim 45.7 \pm 5.00 \text{ g/m}^2 \setminus$ 而開放水面僅有 $15.0 \pm 1.20 \sim 34.3 \pm 6.69 \text{ g/m}^2$ 爲最低。
- 3. 五種水生植物對 BOD 等去除成效以 7 月份試驗,因高溫環境下有較高之效果。去除量大小 爲空心菜>香蒲>水簑衣>水能>蘆葦。
- 4.空心菜在第二階段爲分蘗數與增長之旺盛期,而有最高 BOD 總去除量,但因無採收並有落葉情形下,以致於8月試驗期,去除量再度下降。

5.3 NH₃-N 去除試驗成果

- 1. 五種水生植物氨氮總去除量之趨勢與 BOD 相 似。
- 2. 五種植物三階段的試驗結果,對 NH_3 -N 之總去除量,分別爲蘆葦 $2.25 \pm 0.06 \sim 2.96 \pm 0.12 \text{ g/m}^2 \sim$ 香蒲 $2.26 \pm 0.02 \sim 4.32 \pm 0.98 \text{ g/m}^2 \sim$ 水簑衣 $2.46 \pm 0.01 \sim 4.24 \pm 0.55 \text{ g/m}^2 \sim$ 空心菜 $1.73 \pm 0.00 \sim 4.93 \pm 0.30 \text{ g/m}^2 \sim$ 水龍 $0.81 \pm 0.01 \sim 2.55 \pm 0.36 \text{ g/m}^2 \sim$ 開放水面僅 $0.50 \pm 0.49 \sim 2.23 \pm 0.14 \text{ g/m}^2$ 爲最低。
- 3.比較各類植物生長與水中 NH₃-N 總去除量之關係,雖然各類植物在8月有較大的密度與高度,但對 NH₃-N 總去除量均以7月份在較高溫下有最佳趨勢,8月份則居其次。6月份試驗期間,水溫與生長密度等均最低下,其去除成效較低。

5.4 污染去除與植物成長

- 1. 五種植物對水中 BOD、NH₃-N 之去除量均較開 放水面高。
- 2.生長密度與高(長)度與污染質去除之相關性, 其中蘆葦、香蒲與水簑衣等均無明顯相關性: 僅水龍在生育後期有最佳之 BOD 去除量,顯示

其生育對污染質去除量呈現正相關。

3. 香蒲對 BOD 與 NH₃-N 均佳,可列爲人工溼地 淨化水質之優先考慮物種。

參考文獻

- 1. 溫清光,2008,溼地植物的管裡-去除與利用,河川水質自然淨化工法現地處理生態工程之操作維護技術研討會。
- 陳銘耀,2007,水生植物人工濕地功能評估-布袋蓮、大萍、空心菜、大安水簑衣,大葉 大學環境工程學系碩士論文。
- 3. 吳獻凱,2006,台灣水生植物對水質淨化效果比較之研究,雲林科技大學環境與安全工程系碩士論文。
- 4. 張文亮,2005,人工溼地水生植物的栽種與 去除污染評估,水域生態與工程研討會。
- 5. 梁威等,2004,人工溼地植物根區微生物與 淨化效果的季節變化,湖泊科學,第16卷第 4期。
- 6. 萬志剛,2004,幾種水生維管束植物對水中 氮、磷吸收率的比率,中國淡水漁業,第34 卷第5期。
- 7. 財團法人日本農業土木綜合研究所,1993, 農業用水路における水質淨化のあらた取り 組み,PP.75~76.
- 8. 劉玉雪,1998,水空心菜濕地對市區污水之 去除能力,農業工程學報 第44卷第1期。
- Achintya N.B., T.C. Zhang, 2004. pH, redox, and oxygen microprofiles in rhizosphere of bulrush (Scirpus validus) in a constructed wetland treating municipal wastewater. Biotechnology and Bioengineering, Vol. 88, No.1, pp. 60-70.
- Adoock P.W., G.G. Carif, 1994. Growth characteristics of three macrophyte species Growing in a natural and constructed wetland system. Water Science Technology, Vol. 29, No. 4, pp. 95-102.
- 11. Arthur F.M., V.R. Logtestijn, Water and mass budgets of a vertical-flow constructed wetland used for wastewater treatment [j]. Ecological Engineering, Vol. 20, pp. 31-44.

- 12. Cerberg R.M., B.V. Elkins, S.R. Lyon, 1986. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. Water Science Technology, Vol. 20, No. 3, pp. 363-368.
- Eliis, B., D.M. Revitt, R.M.E. Shutes, 1994.
 The performance of vegetated biofilter for highway runoff control [j]. Science Total Environ, pp. 146-147.
- 14. Greenway, M., 2003. Suitability of macrophyte for nutrient removal from surface flow constructed wetlands receiving secondary treated sewage effluent in Queensland, Australia [j]. Water Science and Technology, Vol. 48, No. 2, pp. 121-128.
- 15. Hosokawa, Y., T. Horie, 1992. Flow and particulate nutrientre moval by wetland with emergent macrophyte [j], pp. 1271-1282.
- 16. Kyambadde, J., F. Kansime, 2005. Nitrogen and phosphorus removal in substrate-free pilot constructed wetlands with horizontal surface flow in Uganda [j] Water, AIR, and Soil Pollution, Vol. 165, No. 1, pp. 37-59.
- 17. Tchobanglous, G., 1991. Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse.
- 18. Seldman, N., 2004. The New recycling movement-part 1. recycling changes to meet new challenges [j/OL], http://www. ilsr. org/new movement 2.htm1.
- Thammarat, K., C. Poprasert, 1997. Role of plant uptake on nitrogen removal in constructed wetlands located in the tropics [j]. Water Science and Technology, Vol. 36, No. 12, pp. 1-8.
- 20. Thoren, A.K., C. Legrand, 2004. Temporal export of nitrogen from a constructed wetland: influence of hydrology and senescing submerged plants [j]. Ecological Engineering, Vol. 23. pp. 233-249.

收稿日期:民國 99 年 2 月 2 日 修正日期:民國 99 年 5 月 6 日 接受日期:民國 99 年 5 月 18 日