

## 收割植物對漫灌區水質淨化效能之影響研究

袁又罡 黃妙如

國立雲林科技大學通識與科學教育中心

640 雲林縣斗六市大學路三段 123 號

### 摘要

本研究主要是在探討土地處理系統之漫灌區中的植物，於定期收割情況下，污水處理之成效是否會受到影響。由於漫灌區之污水淨化原理，係利用土壤、植物與微生物之共同作用，使污染物質在動態變化過程中產生型態改變，以方便植物之吸收與累積。第一次收割是在冬季進行，平均氣溫為 18.4°C，實驗期間之總降雨量為 105.5 mm，總體氣候變化並不穩定；而第二次收割是在春季，平均氣溫為 27.1°C，實驗期間之總降雨量有 350 mm，總體氣候變化趨向穩定。由於第一次收割實驗期間溫度較低，植物生長較為緩慢，收割區域之植物覆蓋率恢復到收割前之原來情況須 27 日左右，而第二次收割實驗期間之溫度已日漸回升，收割區域之植物覆蓋率恢復到收割前之原有情況約需 19 日。以優勢植物之變化來看，第一次實驗期間主要為大花咸豐草、葎草、紫花霍香薊和蔓澤蘭，以蔓澤蘭為關鍵種；第二次實驗期間則為大花咸豐草、葎草和巴拉草，以大花咸豐草為關鍵種，若將磷的去除率合併來看可以發現，當第二次實驗期間之優勢植物進入開花期時，磷的去除率有明顯增加。總體來說，正磷酸鹽的去除率隨著水力停留時間的增加而增加，硝酸鹽基本上亦同，但氣溫升高對硝酸鹽的去除有明顯促進作用，而隨著植物逐漸復原並自然演替之後，去除率皆普遍下降，可見收割對植物去除正磷酸鹽與硝酸鹽確有正面影響。

**關鍵詞：**植物收割，正磷酸鹽，硝酸鹽，水質

## Effects of Harvesting Plants on Water Quality in an Overland Flow System

YU-KANG YUAN and MIAO-ZU HUANG

*General Education Center of National Yunlin University of Science and Technology*

*123 University Rd., Sec. 3, Douliou, Yunlin, Taiwan 64002, R.O.C.*

### ABSTRACT

This study focused on whether the efficiency of sewage treatment would be affected if the plants in an irrigated land-treatment system area are periodically harvested. An important consideration is the sewage purification principle for an irrigated area, which requires the cooperation of soil, plants and microorganisms. Thus, the type of pollution changes during a dynamic variation process, thereby facilitating both absorption and accumulation in the plants. The first harvesting was done in winter when the average temperature was 18.4°C and the total rainfall 105.5 mm. The second

harvesting was in spring, at an average temperature of 27.1°C and a total rainfall of 350 mm in stable weather conditions. The dominant species exhibiting change were *Bidens pilosa*, *Humulus scandens*, *Ageratum houstonianum* and *Mikania cordata*; however, the keystone species were not observed in the first experiment. In the second trial, the species showing change were *Bidens pilosa*, *Humulus scandens* and *Brachiaria mutica*, an observation fitting the criteria for the dominant species. Concerning the total removal rate for phosphorous, an obvious increase was observed in the second experiment when the dominant species were in their flowering season. Finally, the longer the HRT (hydraulic retention time), the greater the removal rate of orthophosphates; moreover, the same effect was observed for nitrates.

**Key Words:** harvesting plants, orthophosphate, nitrate, water quality

## 一、前言

台灣地區自 1949 至 1990 年，年平均降雨量 2,515 mm (Taiwan EPA, 2000)，約為世界平均值之 2.6 倍，但是因地勢陡峻，雨量分配不均，加以地小人稠，每人每年平均分配雨量僅約 4074 立方公尺，所得低於世界平均值之五分之一，排名缺水國家第 18 位 [1, 4]。因此，水資源管理之適當與否將直接影響本區域能否永續發展 (sustainable development)。

以往區域水資源之經營管理均將水量與水質視為兩項主要研究課題，但表面上的需求量往往更甚於對水質的要求，更遑論對環境生態 (environmental ecology) 的維護，結果使得環境與生活品質不能達到先進國家的標準。如何既能兼顧水量需求又能提升水質，乃成為近十年來的重要思考方向。

由於台灣是從農業社會逐步發展成工業社會，之後再轉型成工商業社會，原有的農業灌溉系統遍布西部各地，而目前在缺乏足夠的污水下水道 (sewer) 之情況下，多數生活污水與部分工業廢水 (industrial wastewater) 均流入鄉市鎮的灌溉圳道 (irrigation ditch) 中，不但污染了農田，同時也污染了中下游河川的可用水源。如能改善此一現況，將有利於水量與水質之增加和改善。

自 1999 年開始，台灣地區即積極推展以生態工法 (ecological engineering) 為手段的各項治水 (to regulate rivers and watercourses) 工程，希望藉此改善各地受污染的水體。在國立雲林科技大學 (National Yunlin University of Science & Technology, 簡稱 NYUST) 的校園內，亦根據原有的地表水系統規劃出一套土地處理系統 (land treatment system)，包含曝氣階梯 (aerated lader)、氧化塘 (oxidation pond)、儲水池 (reservoir) 與漫灌區 (flooding irrigation

zone)，並逐步針對植物與微生物對水質的淨化能力，進行一系列之研究，包括優勢植物的演進 (succession)、重金屬的去除效率、氮與磷營養鹽的去除率等 [13, 14]。

本研究主要在探討收割 (harvesting) 行為對於漫灌區水質的影響，也就是當植物被收割之後，當各種物理性因子在環境中不斷改變之時，水質與這些因子間是否存在交互作用，並以與植物生長密切相關的正磷酸鹽 (orthophosphate) 和硝酸鹽 (nitrate) 作為指標 (indicator)，希望藉此建立該系統的最佳管理模式。

## 二、材料與方法

### (一) 採樣點設置

本研究的實驗場址為土地處理系統末端之漫灌區 (irrigated area)，總長約 42 m、寬約 22.7 m，總面積約為 953.4 m<sup>2</sup>，本研究在此區設置了 8 個水樣採取點，各採樣點依階梯分層隨機設置，以能取到滲出水為主，採樣點設置如圖 1 所示。初始水力停留時間 (initial hydraulic retention time) 設定為 24 小時，採用連續進流 (inflow) 方式，採樣期間再依採水情況調整。

### (二) 收割範圍劃定及方式

本研究選定 3、4、5 點區域進行收割，選定範圍長 19 m，寬為 4 m，總面積約 76 m<sup>2</sup> (圖 1 灰底包圍區域)，採用人工徒手收割。為了避免收割後落葉遺留造成營養鹽釋出的情形，進行收割時將所割除的植物體以麻布袋收集起來，另行處理。因缺乏文獻依據，乃設計備試驗 (preliminary test) 探討植物收割時應保留之最佳高度，故本研究決定收割後的植物高度約為 50 cm。

### (三) 採樣時程及水質分析

漫灌區共施行兩次收割，收割後進行九次的逕流水採

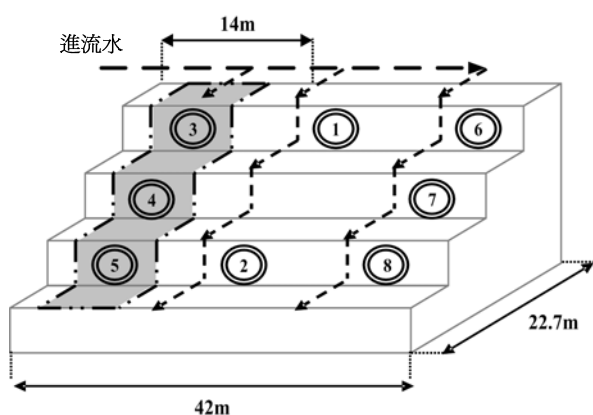


圖 1. 採樣點設置位置圖

樣，每次採樣皆採集四採樣點（含進流點之進流水 influent water）之水樣，九次的採樣時間如下：第 1、2、3、4、6、9、15、21 與 27 天。

在系統中各採樣點採集到的逕流水樣，依環保署（Taiwan EPA）公告之方法，分別進行正磷酸鹽（NIEA W443.51C）和硝酸鹽氮（NIEA W419.50A）之檢測分析。在現場採樣時，同時以儀器測定大氣與水體之溫度，並作成紀錄以方便後續結果之分析。

#### 1. 正磷酸鹽（NIEA W443.51C）

水樣中正磷酸鹽與鉬酸鉍（ammonium molybdate）和酒石酸銻鉀（antimony potassium tartrate）在酸性條件下反應形成錯合物（complex），之後，此錯合物被維生素丙（vitamin C）溶液（ascorbic acid solution）還原為另一種藍色高吸光度之產物，藉由分光光度計（spectrophotometer）（JUSCO 7850, two cell）量測 880 nm 波峰（wave peak）之吸光值，以定量水樣中正磷酸鹽之含量。

#### 2. 硝酸鹽（NIEA W419.50A）

水溶性有機物質和硝酸鹽在 220 nm 波長處會出現吸光現象，而硝酸鹽在 275 nm 不吸光，因此，本方法係以分光光度計（spectrophotometer）（JUSCO 7850, two cell）測量水樣在 220 nm 之吸光度，扣除水樣在 275 nm 之兩倍吸光度，而後求得硝酸鹽氮（NO<sub>3</sub>-N）之含量。

#### （四）植物生長狀況觀察（Observation of Plant Growth）

依收割區內不同植物之覆蓋程度判斷試驗期間之植物優勢種（dominant species）[3]，並分析探索關鍵種（keystone species）[5]，藉此估計收割區覆蓋率完全恢復（此係以收割前的覆蓋度為基準）所需要之時間。

#### （五）營養鹽去除率（Nutrient Removal Ratio）

針對各採樣點之各次分析結果，將進流水之數值減去各採樣點所分析之數值，再除以進流水之原數值，由此得到該採樣點之去除率。如下列公式所示：

$$\text{去除率} = \frac{\text{進流水營養鹽濃度} - \text{採樣點營養鹽濃度}}{\text{進流水營養鹽濃度}} \times 100\% \quad (1)$$

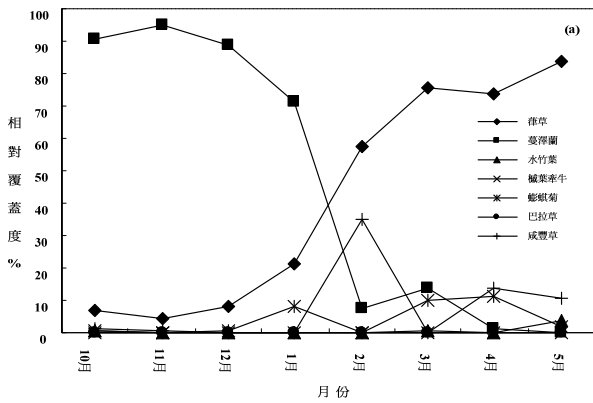
### 三、結果與討論

#### （一）優勢植物與關鍵種（Dominant Species of Plant and Keystone Species）

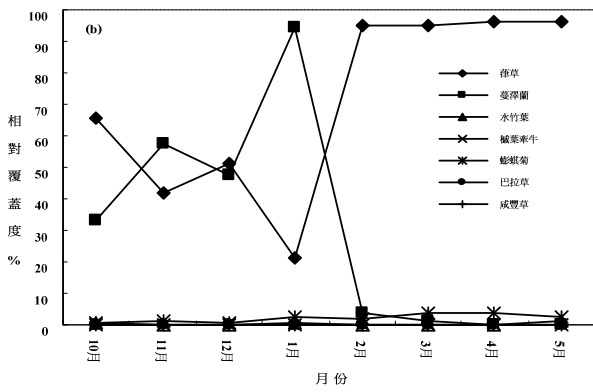
在預備實驗之觀測結果部分，採樣點 3 在 10 月至隔年 1 月（冬季）期間，以蔓澤蘭為最具優勢，相對覆蓋度在 70% 以上，而隔年 2 月至 3 月（春季）開始，則以葎草占優勢，而此一優勢將一直延續至 5 月（夏季）。而採樣點 4 部分，葎草由 10 月至 12 月（冬季）皆為最優勢種，相對覆蓋度均在 40% 以上，直至隔年的 2 月開始才加入蔓澤蘭、大花咸豐草的競爭。至於採樣點 5 部分，在 10 月至 12 月期間，葎草和蔓澤蘭之間互有消長，植物相對覆蓋度變化介於 60% ~ 20%，隔年 1 月至 5 月則以葎草為優勢種，植物覆蓋度大於 60%，此一趨勢與採樣點 3 和 4 基本上一致，直至 4 月起才有蔓澤蘭再次加入競爭。（以上請參考圖 2）

由以上結果不難推知，已經穩定之生態系統會隨著季節更替，而有不同優勢種植物出現 [13, 15]。本研究依據預備實驗期間之植物相組成變化，選擇 10 月與隔年 2 月做為植物收割起始點，一方面了解植物在不同季節之次生演替（secondary succession）狀況，另一方面也藉此了解在植物生長與演替過程中，水質處理效能可能受到的影響。

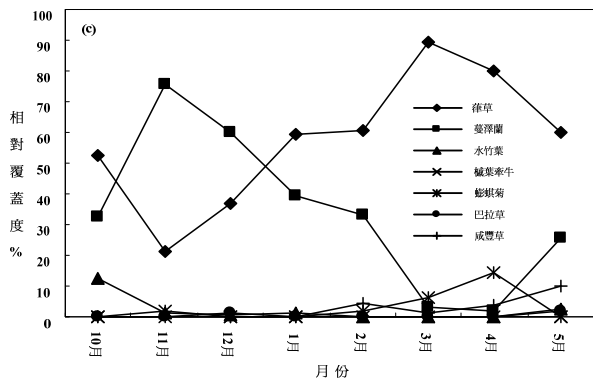
依據觀察紀錄的結果顯示，在第一次試驗期間（冬季），優勢植物有大花咸豐草（*Bidens pilosa* L. var. *radiata* (Bl.))、葎草（*Humulus scandens* (Lour.) Merr.）、紫花霍香薊（*Ageratum houstonianum* Mill）和蔓澤蘭（*Mikania cordata* (Burm.f)），其中以蔓澤蘭為關鍵種（keystone species）；而第二次試驗期間（春季）之優勢植物，有大花咸豐草、葎草和巴拉草（*Brachiaria mutica* (Forsk)），以大花咸豐草最為符合關鍵種之定義。這樣的結果與 Zheng [15] 的研究結果--「隨著季節變化，每個月都有可能出現不同的優勢種植物，特別是一些已到開花期的植物種類，演替趨勢



(a) 採樣點 3



(b) 採樣點 4



(c) 採樣點 5

圖 2. 預備實驗之植物相對覆蓋度

極為明顯」一相符合，由此可以看出植物演替 (succession) 根據觀察，第一次收割試驗期間，由於氣溫與水溫皆偏低，而且變動劇烈，植物生長較為緩慢，植物覆蓋率恢復到原來情況約需 27 日左右。第二次試驗期間，由於氣溫與水溫已逐漸回升超過 25°C，加上雨量充沛，植物生長速度極快並已進入開花期，植物覆蓋率恢復到原來的情況約只需 19 日左右。因為收割對植物體會造成傷害，因此，在植物新芽長

出之前，仍有枯萎的情況發生，對試驗結果可能產生某種程度之干擾。

(二) 收割後進流水水質 (Inflow Water Quality after Harvest)

兩次收割 (2004/02/18、2004/04/18) 試驗期間，共計取得十九組水質分析數據，因第二次試驗期間出現降雨干擾，乃調整採樣時間。有關進流水之基本資料，整理結果如表 1 所示。第一次與第二次收割試驗期間，進流水平均 pH 值分別為 7.14、7.45，平均水溫為 18.4°C、27.1°C，硝酸鹽氮 (NH<sub>3</sub>-N) 濃度平均為 4.14 與 5.39 mg/L，正磷酸鹽平均濃度為 0.18 和 0.11 mg/L，實驗期間平均氣溫為 15.5、26.3°C，平均降雨量則為 105.5、350 mm。由氣候資料顯示，第一次收割期間整體氣候並不穩定 (圖 3)，但第二次收割期間，雖然降雨量增加，但氣溫等氣候因子已趨向穩定 (圖 4)。

由以上結果顯示，在冬季進行的第一次收割，由於經過氧化塘 (oxidation pond) 處的進流水，因溫度低而使得塘中之藻類活性不高，故未能充分吸收正磷酸鹽。到了第二次收割時，溫度已上升，藻類活動能力因而提高，正磷酸鹽濃度乃出現下降情形。至於硝酸鹽部分，似乎與正磷酸鹽的情形相反。

表 1. 進流點水質分析數據 (平均值)

	PH	水溫 (°C)	氣溫 (°C)	總降雨量 (mm)	硝酸鹽氮 (mg/L)	正磷酸鹽 (mg/L)
第一次收割 2004/02/18	7.14	18.4	15.5	105.5	4.14	0.18
第二次收割 2004/04/18	7.45	27.1	26.3	350.0	5.39	0.11

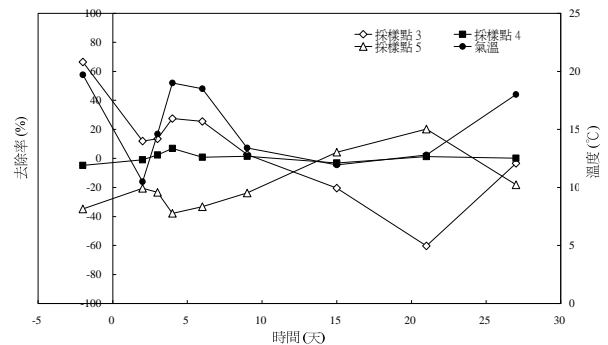


圖 3. 第一次收割後採樣 3、4、5 點硝酸鹽氮去除率變化圖

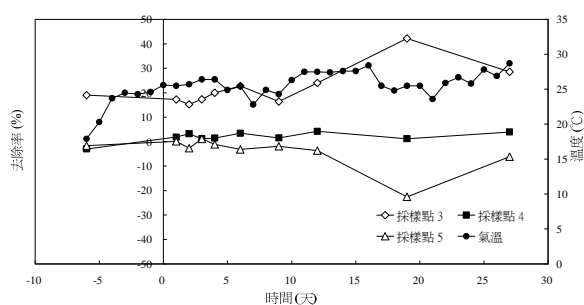


圖 4. 第二次收割後採樣 3、4、5 點硝酸鹽氮去除率變化圖

### (三) 營養鹽去除率與氣溫 (Nutrient Removal Ratio with Air Temperature)

採樣點由上往下分別為 #3、#4 與 #5，水力停留時間 HRT (hydraulic retention time) 由上往下逐漸延長，對於營養鹽的去除有正面幫助。由圖 3 來看，第一次收割試驗期間，硝酸鹽的去除率在第 9 天以前，#3 > #4 > #5，此可能與植物遭到傷害後生理機能一時失調，且氣溫上下變化極大對植物生長不利有關。#3 在收割後對硝酸鹽的去除率一直下降，而#4 的硝酸鹽去除率自第 6 天開始即幾乎沒有作用，顯示氣溫的劇烈變動對植物的生長不利，反應在覆蓋率的恢復上竟然長達 27 日。#5 則只有在第 15 天與 21 天有些微去除作用，可見溫度在第一次收割試驗期間對硝酸鹽的去除有直接的影響。植物在冬季時，生長速率較慢，使得營養鹽被利用的機會相對減少，因此，硝酸鹽氮 (nitrides) 的去除率將會明顯受到溫度的影響，溫度愈高，則去除率愈好 [6, 8, 10, 11]。

第二次收割試驗期間，由於氣溫已普遍回升至 25°C 以上，並且試驗期間溫度變動範圍已縮小至 8°C 以內，反映出氣候已趨向穩定。但因降雨變化，使得第 9 天後的採樣時間修正為第 12、19、27 與 29 天。硝酸鹽的去除至第 12 天開始出現增加趨勢。由圖 4 中可見，硝酸鹽的去除與植物的關係似乎並不明顯，因至第 19 日時收割區覆蓋率已恢復至收割前之狀態，但#3 和#4 兩點之去除率合併只有 44.20%，故可能與微生物的活性 (activity) 有關 [2]。至於#5 則一直呈現不穩定，只有第 27 日之去除率有快速升高趨勢，此可能與溫度一直穩定上升有關。

至於正磷酸鹽部分，在第一次收割期間的溫度劇烈變動情況下 (圖 5)，從第二天開始#3 之去除率即開始減少，反應出植物收割後之明顯影響，之後，則隨著溫度變化，#4

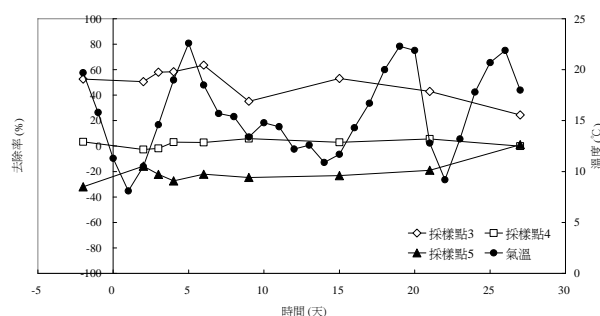


圖 5. 第一次收割後採樣 3、4、5 點正磷酸鹽去除率

之正磷酸鹽的去除效率並未出現劇烈改變。事實上，溫度高低將直接影響植物生長速率的快或慢，與正磷酸鹽的去除有密切關係 [12]。而溫度一旦升高至 25°C 以上 (圖 6)，植物和微生物的生長速度將加快，有可能對正磷酸鹽的需求更加強烈。#5 基本上有正磷酸鹽釋出的現象，此與植物因收割受傷引起枯萎，導致殘體中有機營養溶出遭微生物分解可能有關。但隨著植物開始快速生長其去除率有些微提升，直到第 27 天達到最高點。#4 自第 12 天以後快速升高，此可能與植物快速生長有關。第 19 天以後，收割區覆蓋率已大致恢復原狀，但只有#3 之去除率有升高。Stein 等人 (2006) 在他們探討植物種類 (plants species) 與溫度效應 (temperature effects) 間的關係時，對於 COD (chemical oxygen demand) 的去除，在採用的模式當中，透過數學分析得出微生物的作用有可能形成雜訊 (noise) 的效果 [7]。本研究在第二次試驗中，因持續高溫，有可能導致微生物活性提升，結果使得正磷酸鹽的去除效率無法隨植物生長而趨於規律，雖然植物的生長與演替一直穩定進行，而微生物的無法配合即有可能是一種“雜訊”。

## 四、結論

總體而言，在低溫情況下，正磷酸鹽的去除在前兩個採樣點較為穩定，顯示不需太長的處理路徑即可有效將磷去除，且水力停留時間 (HRT) 亦可以縮短許多。在植物覆蓋率完整的情況下，溫度在 22-29°C 時，初始正磷酸鹽的最好去除效果可以達到 46.34%，之後會慢慢降低而回歸常態。至於硝酸鹽的去除則只有在高溫時會比較好，此與高溫時微生物的活性有可能提升有關，但植物生長良好對於生活在植物根圈附近的微生物亦有良性的作用。所以，在高溫且植物覆蓋率完整時，前兩採樣點的水力停留時間即足以達到最佳

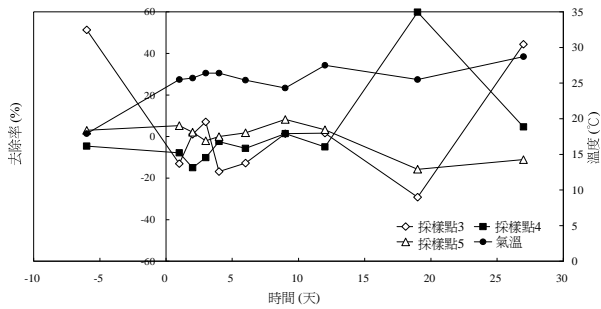


圖 6. 第二次收割後採樣 3、4、5 點正磷酸鹽去除率變化

的硝酸鹽去除效果。

由於收割過程保留了地表以上約 50 公分的植物體，對於水溫的穩定與土壤中微生物的保護有直接作用，而氣溫變動遠大於水溫，在考量收割行為對處理水質的影響時，選擇夏季植物生長快速的季節，縮短水力停留時間與漫流路徑，即可達到去除氮磷的最佳效果。

所以，就管理模式的建立來說，從正磷酸鹽與硝酸鹽的濃度變化來看，在夏季高溫時，由於植物生長快速，在保留植物高度約 50 公分的情況下，將多餘植物體進行收割，即可使漫灌區對水體的處理效能維持在最佳狀態。

### 參考文獻

1. 陳仲賢 (民 97)，台灣永續水資源，永續產業發展，37，3-11。
2. Christ, M. J., M. B. David, P. McHale, J. W. McLaughlin, M. J. Mitchell, L. E. Rustad and I. J. Fernandez (1997) Microclimatic control of microbial C, N and P pools in Spodosol Oa horizons. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne de Recherche Forestiere*, 27, 1914-1921.
3. Ge, F. (2002) *Modern Ecology*, Science Publisher, Peking.
4. Lee, L. L. and D. C. Yang (2002) Global change and sustainable development- Chap. 5: The review of policy for water resource in Taiwan. *GCRC News Report*, 34, 36-40.
5. Mills, L. S., M. E. Soule and D. F. Doak (1993) The keystone-species concept in ecology and conservation. *BioScience*, 43, 219.
6. Sikora, F. J., Z. Tong, L. L. Behrends, S. L. Steinberg and H. S. Coonrod (1995) Ammonium removal in constructed wetlands with recirculating subsurface flow: Removal rates and mechanisms. *Water Science and Technology*, 32, 193-202.
7. Stein, O. R., J. A. Biederman, P. B. Hook and W. C. Allen (2006) Plant species and temperature effects on the k-C\* first-order model for COD removal in batch-loaded SSF wetlands. *Ecological Engineering*, 26(2), 100-112.
8. Stober, J. T., J. T. O'Connor and B. J. Brazos (1997) Winter and spring evaluations of a wetland for tertiary wastewater treatment. *Water Environment Research*, 69, 961-968.
9. Taiwan EPA (2000) *The white book of environment*. Taiwan EPA, 45-66.
10. Van Oostrom, A. J. and J. M. Russell (1994) Denitrification in constructed wastewater wetlands receiving high concentrations of nitrate. *Water Science and Technology*, 29, 7-14.
11. Van Oostrom, A. J. (1995) Nitrogen removal in constructed wetlands treating nitrified meat processing effluent. *Water Science and Technology*, 32, 137-147.
12. Von Denffer, D. (1975) *Fundamental Botany*, National institute for Compilation and Translation, Taipei.
13. Yuan, Y. K., H. T. Lee, W. F. Lien and P. J. Meng (2003) To study the succession of flora in flooding irrigation zone and ammonia and nitrite, nitrate removal in surface-flow. Internal conference & Australian Water Association 20th Convention, Perth Western Australia.
14. Yuan, Y. K., Y. T. Chang and H. T. Fan (2004) A feasible study on nutrients removal from the polluted body of water by the land treatment system. *Journal of Science and Technology*, 13, 203-210.
15. Zheng, R. H. (2004) To study of the relationship between the diversity of plants in a land treatment system and water treatment efficiency. A thesis submitted to Institute of Safety Health and Environmental Engineering, National Yunlin University of Science & Technology.

收件：97.08.28 修正：97.09.26 接受：97.11.21