

测定潜流人工湿地根系生物量的新方法

陈章和 陈 芳 刘谓诚 程秀云 王玉彬 周先叶

(华南师范大学生命科学学院, 广州 510631)

摘要 设计了一种新方法研究潜流人工湿地植物根系的分布和生物量。采用自制的圆柱形的不锈钢网柱, 安放在潜流湿地的碎石基质中, 定期分层取出网柱内的碎石, 可观察根系的分布特点; 收获网柱内的根, 可测定根系的生物量和生长量。网柱的直径 20 cm, 高 50 cm, 网孔直径 1.80 cm, 不锈钢丝粗 1.38 mm。安装时, 使网柱垂直, 上端达碎石表面, 下端靠近湿地床底。安装好后, 装入碎石基质, 观察测定时, 把基质取出, 观察完后, 再把基质放回。用该方法, 对碎石基质的潜流人工湿地中植物根系的分布和生物量进行了 1a 的实验测定, 认为该方法是测定潜流人工湿地根系生长和分布的有效方法, 它易于安装、测定方便、准确。7 月和 12 月份两次测定的湿地根系生物量之和为 331.8 g m^{-2} , 其中分布于 0~5 cm 的根生物量为 174.4 g m^{-2} , 5~15 cm 为 142.1 g m^{-2} , 15 cm 以下为 15.3 g m^{-2} 。种间根系生物量的差异很大, 根系生物量最大的是美人蕉, 为 182.4 g m^{-2} , 最小的是水鬼蕉, 为 1.38 g m^{-2} 。根生物量似乎呈不同的季节格局, 象草 7 月份根系生物量较大, 而其他种 12 月份的较大。不同种根系生物量的垂直分布也有显著的差异, 具根状茎的芦苇和较粗根的水鬼蕉以直径大于 1 mm 的根为主, 它们的根分布较深, 而浅层根较少; 象草、美人蕉和风车草, 直径 1 mm 以内的根占根生物量的 80% 以上甚至 100%, 它们的根分布较浅。

关键词 新方法 根 生物量 分布 网柱 潜流人工湿地

文章编号: 1000-0933 (2007) 02-0668-06 中图分类号: Q948.1 文献标识码: A

A new method for root biomass measurement in subsurface flow gravel-bed constructed wetlands

CHEN Zhang-He, CHEN Fang, LIU Xu-Cheng, CHENG Xiu-Yun, WANG Yu-Bin, ZHOU Xian-Ye

College of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (2) 0668 ~ 0673.

Abstract : A new device was designed to study root biomass and distribution in the subsurface flow gravel-bed constructed wetland. The cylindrical device is made of a stainless steel mesh with a wire thickness of 1.38 mm and a mesh size of 1.80 cm. This device is 50 cm in height and 20 cm in diameter. The cylinder is installed vertically between plant rows with the top just above the gravel sediment of the wetland and filled with gravel medium as the substrate for plant root establishment. The gravel inside the device can be retrieved to observe root distribution and to measure root biomass and placed back when completed. During this study, 15 cylinders were installed in a small gravel-bed constructed wetland [8 m \times 3 m \times 0.7 m ($L \times W \times D$)] vegetated with 5 wetland plant species. Our results indicate that this method was effective and easy to use.

Total root biomass from two measurements during the one year study was 331.8 g m^{-2} , of which 174.4 g m^{-2} in the medium depth of 0—5 cm, 142.1 g m^{-2} in 5—15 cm, and 15.3 g m^{-2} in below 15 cm. Measurements on five macrophytes

基金项目 广东省自然科学基金资助项目 (021082); 国家自然科学基金资助项目 (30470346)

收稿日期 2005-12-20; 修订日期 2006-07-21

作者简介 陈章和 (1954~), 男, 广东阳江人, 博士, 教授, 主要从事生态学和环境科学研究. E-mail: chenzhh@senu.edu.cn

Foundation item The project was financially supported by Natural Science Foundation of Guangdong Province (No. 021082), and National Natural Science Foundation of China (No. 30470346)

Received date 2005-12-20; **Accepted date** 2006-07-21

Biography CHEN Zhang-He, Ph. D., professor, mainly engaged in ecology and environmental science. E-mail: chenzhh@senu.edu.cn

(*Canna indica* Linn. , *Cyperus alternifolius* subsp. *flabelliformis* (Rottb.) Kuentz , *Hymenocallis littoralis* (Jacq.) Salisb. , *Pennisetum purpureum* Schum. and *Phragmites communis* Trin.) revealed significant differences in root biomass among these species , with the highest root biomass of 182.4 g m^{-2} in *C. indica* and the lowest root biomass of 1.38 g m^{-2} in *H. littoralis*. Root biomass of different species seemed to have different seasonal patterns. *P. purpureum* had larger root biomass in July , as it showed more vigorous shoot growth during the earlier part of the year , and the other species had higher root biomass in December.

Vertical distribution of root biomass differed markedly among species. *H. littoralis* and *P. communis* , which have rhizomes or thick roots , presented higher percentages of root biomass in sizes greater than 1 mm , deeper root distribution and less root biomass in the shallow layer. *C. indica* , *C. flabelliformis* and *P. purpureum* , which have a fibrous root system , showed greater than 80% to 100% of root biomass within 1 mm size , and shallow root distribution.

Key Words : new method ; root ; biomass ; distribution ; mesh cylinder ; subsurface flow constructed wetland

人工湿地污水处理技术出现于 20 世纪 70 年代。人工湿地具有良好的污水净化效果 ,其建设和运行费用较传统的污水处理方法低^[1~3]。因而 ,自 20 世纪 90 年代以来 ,其应用得到了极快的发展^[4,5]。可是 ,目前对人工湿地中植物、微生物、土壤基质、污染物的复杂的相互作用过程和机理仍然很不清楚^[6]。目前特别缺少对湿地中植物根系的研究 ,如湿地中植物根系的生长、分布和生物量 ,根系在湿地污水处理中的作用等。研究认为 ,湿地植物根际是植物、微生物、基质和污染物相互作用的活跃区域 ,因而也是污水净化最活跃的区域^[6]。根的密度和分布与湿地基质的物理、化学和生物特性有关 ,根的生长被认为是评价湿地植物应用于污水处理潜力的决定性因素之一^[7,8]。但目前对人工湿地根的了解不多 ,人工湿地根区仍被当作是一个“黑箱 (black box) ”^[6]。

在土壤基质中 ,根系的生物量常用土壤钻钻取土壤样品或用挖掘法挖出一定体积的土壤样品 ,分离并测定土壤样品中的根量而获得。土壤基质中根的生长量通常采用埋入土柱法^[9,10] ,定期取出埋入的土柱 ,分离并测定土柱中的根量而获得。这些方法应用于以碎石为基质的潜流人工湿地要难得多。Tanner 曾用锋利的钢钻对碎石基质的人工湿地根生物量进行测定^[11] ,这相当于土壤基质的土钻法。钻取样品时 ,由于碎石可能会发生移动 ,而导致较大测定误差 ,因此须使用较大直径的土钻 ,但由于碎石基质的阻力比土壤大得多 ,因而钻起来要困难得多。在以碎石为基质的潜流人工湿地植物根系生物量研究的取样至今仍缺乏有效的方法 ,而以碎石为基质的潜流人工湿地植物根系的生长量 ,至今仍缺乏直接的测定。潜流人工湿地一般比表面流湿地具有较大的负荷能力和较好的净化效果 ,因而具有广泛的应用。因此 ,采用合适的方法 ,研究潜流人工湿地的根系分布、生物量和生长量 ,对探讨和提高潜流湿地植物根系在污水净化中的作用是非常必要的。本文介绍研究潜流人工湿地根系生长和分布的一种新方法。

1 材料与方法

本文使用的方法 ,称之为“网柱法”。用不锈钢丝网焊接成两端开口的网柱 ,柱的内直径 20 cm ,高 50 cm。网孔为六边形 ,相对的两边相距为 1.80 cm ,不锈钢丝粗 1.38 mm。网柱垂直安放在碎石基质中 ,底部接近湿地床底 ,上部达碎石表面或比碎石表面略低。安放平稳后 ,装满碎石基质即可。网柱安装好后 ,在离网柱一定距离处种上植物 (也可先种植物 ,后装网柱) 。一定时间后 ,分层把网柱中的碎石取出 ,便可观察根系生长和分布、测定根的生物量。相隔一定时间测定的生物量 ,可作为生产量的估计值 ,一年中多次测定的生物量之和 ,可作为年生产量的估计值 ,其原理类似于土壤基质中的埋入土柱法。观察测定完后 ,再把碎石放回。

本实验在广州华南师范大学植物园内的人工湿地研究基地进行。广州处北纬 $28^{\circ}08'$,东经 $113^{\circ}09'$,年平均气温 22°C ,最热月 (7 月份) 平均气温 28°C ,最冷月 (1 月份) 平均气温 13°C ,年平均降雨量约 1700 ~ 1900 mm ,湿季从 4 月至 9 月份 ,旱季从 10 月至翌年 3 月份。研究的潜流湿地床长 8 m ,宽 3 m ,深 0.7 m ,四周和底部用砖砌 ,再用水泥批好以防渗漏。湿地床内填放大小 3 cm 左右的碎石 0.55 m 深 ,于 2004 年 3 月种上美人

蕉 (*Canna indica* Linn.), 风车草 (*Cyperus alternifolius* subsp. *flabelliformis* (Rottb.) Kukenth), 水鬼蕉 (*Hymenocallis littoralis* (Jacq.) Salisb.), 象草 (*Pennisetum purpureum* Schum.) 和 芦 苇 (*Phragmites communis* Trin.) 等 5 种植物 , 每种植物种 4 行。象草的分蘖能力和美人蕉产生蘖株的能力强 , 行株距为 50 cm × 40 cm , 其他种为 30 cm × 30 cm。接着在植物的行间安装网柱 , 每行 3 个 , 5 行共 15 个。5 月开始灌溉污水 , 污水为学生宿舍和饭堂的混合污水 , 先经化粪池预处理后 , 输至 8 m × 2 m × 0.6 m (*L* × *W* × *H*) 的沉淀池沉淀后 , 再输往湿地。污水负荷量约为 0.2 t m⁻² d⁻¹。污水中主要污染物的浓度如表 1。于 7 月和 12 月两次进行根系生长观察和生物量测定。测定时 , 从基质表面往下按 0 ~ 5 cm , 5 ~ 15 cm 和 > 15 cm 分层取出网柱中的碎石 , 观察根系的分布情况 , 并把柱内的活根剪出 , 放在不透气的塑料袋内。当观察和测定 15 cm 以下的根时 , 用小水泵把柱内的水抽干。装在塑料袋的根带回实验室 , 用自来水冲洗干净并用吸水纸吸干根表面的水 , 按直径 < 1 mm , 1 ~ 3 mm 和 > 3 mm 分开 , 用电子天平 (上海天平仪器厂 , FA1104 型) 称鲜重 , 并把全部根样品在 80 ℃ 烘箱中烘至恒重后称干重。12 月份测定湿地植物地上部分生物量。测定时 , 在近地表处把植物割下 , 称取每种植物的枯死部分和活的植物鲜重 , 并称取每种植物不同器官鲜重样品 100 ~ 200 g , 在 80 ℃ 烘箱中烘至恒重后称干重。

表 1 本实验所用生活污水几种污染物的浓度 (mg/L)

Table 1 Concentration of some contaminants in the wastewater irrigated					
COD _{Cr}	BOD ₅	TN	TP	SP	NH ₄ -N
185.03 ± 23.48	111.02 ± 18.29	25.52 ± 3.30	3.88 ± 0.33	2.55 ± 0.20	21.64 ± 2.06

* 数据为 2004 年 5 月 ~ 12 月每月测定的平均值 Average of monthly measurements from May to December , 2004 ; 平均值 ± 标准差 mean ± s. d. , *n* = 8

2 结果与分析

2.1 方法的总体评价

实验表明 , “网柱法” 在本实验测定中是成功的。与在土壤基质中采用的埋入土柱法相比 , 网柱法更易于取出根系的生长基质 , 更易于把根与生长基质分离 , 测定的体积更固定和准确。此外 , 在网柱法中 , 能清楚地观察柱中每条根的分布和生长状况 , 而在埋入土柱法是做不到的。在观察和测定较深层的根时 , 只需要小水泵便可抽出柱中的水而完成观察和测定。与土壤钻取样相比 , 有以下优点 : 使用更方便和省力 ; 由于它的位置是完全固定的 , 因而测定更为准确 ; 由于它是固定的 , 因而可以测定一定时间根的生长量。总的看来 , 网柱法是研究碎石基质潜流人工湿地植物根系生长、分布、生物量和生产量的有效方法。

2.2 潜流人工湿地中根的分布及生物量

7 月份和 12 月份两次测定的湿地根生物量共 331.8 g m⁻² , 其中 *D* (直径) < 1 mm 的根生物量为 287.1 , 1 mm < *D* < 3 mm 的为 36.9 , *D* > 3 mm 的为 7.87。根生物量显示很大的种间差异。7 月份 , 象草、美人蕉、芦苇、水鬼蕉和风车草的根生物量分别是 95.0 , 63.6 , 2.60 , 1.38 和 0.674 (g m⁻²) , 12 月分别为 29.6 , 118.8 , 18.9 , 0 和 1.28。两次测定的根生物量之和 , 美人蕉是 182.4 , 象草 124.6 , 芦苇 21.49 , 风车草 1.95 , 水鬼蕉 1.38 (g m⁻²) (图 1)。

不同植物种 , 根生物量呈现出不同的季节格局 , 象草早春便开始快速生长 , 上半年地上部分生长最为旺

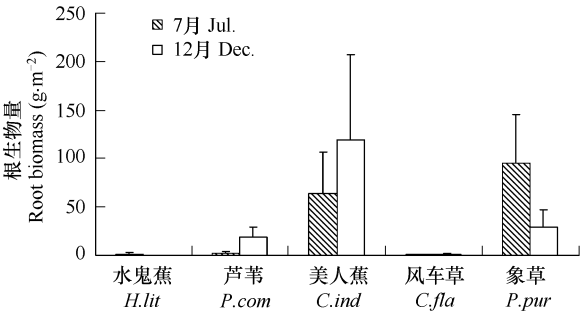


图 1 5 种湿地植物在碎石基质潜流湿地中的根生物量 (平均值 ± 标准差 , *n* = 3)

Fig.1 Root biomass (mean ± s. d.) of five species grown in the subsurface flow gravel-bed constructed wetland measured with the mesh cylinder technique

H. lit : 水鬼蕉 *Hymenocallis littoralis* (Jacq.) Salisb. ; *P. com* : 芦苇 *Phragmites communis* Trin. ; *C. ind* : 美人蕉 *Canna indica* Linn. ; *C. fla* : 风车草 *Cyperus alternifolius* subsp. *flabelliformis* (Rottb.) Kukenth ; *P. pur* : 象草 *Pennisetum purpureum* Schum. ; 下同 the same below

盛,在7月份的测定中,其根生物量在5个种中最大。下半年,象草的生长减慢,其根生物量在12月份也远较7月份低。美人蕉、风车草和芦苇12月份的根生物量较7月份高。水鬼蕉根系生长较慢,下半年网柱中没有新的根长出。

不同的种,根的大小有很大的差异。水鬼蕉和具根状茎的芦苇,根较粗,以直径1~3 mm的根的生物量为主。象草、风车草的根较细,直径小于1 mm的根生物量占总量的80%以上甚至100%。美人蕉虽有根状茎,但其根状茎只起储藏作用,其根系也以直径小于1 mm的细根为主(图2)。

根生物量的垂直分布如图3所示。根生物量主要分布在表层15 cm内,表层5 cm与5~15 cm根生物量差别不大,15 cm以下,根生物量很小。不同的种,根生物量的垂直分布呈现不同的特点,根状茎的芦苇和根较粗的水鬼蕉,根系分布较深,而浅层根生物量较少。象草、美人蕉、风车草等以细小根为主的种,根系分布较浅(图4)。在测定期间,5个种的根系都只分布在30 cm的深度范围内。

2.3 潜流人工湿地中植物的生长及生物量

7月份测定时,群落的高度150~200 cm,覆盖度约为70%,其中各种的覆盖度为,风车草60%,象草75%,美人蕉75%,芦苇30%,水鬼蕉45%。全部植物生长良好,尤以象草生长最好,高达210 cm。12月份测定时,群落的高度为200~300 cm,覆盖度90%,其中各种的覆盖度为,风车草95%,象草95%,美人蕉95%,芦苇50%,水鬼蕉80%。象草显老化现象,其它种生长正常。12月份收获地上部分,群落的地上部分生物量(g m^{-2})为5750。其中象草为1625,美人蕉1313,风车草1229,芦苇1000,水鬼蕉583。

3 讨论

本实验显示,网柱法是研究碎石基质的潜流人工湿地根生物量、生长和分布的好方法。实验结果也表明,网柱的直径是合适的,但其高度最好是达湿地的底部,虽然在本实验中,根系分布不超过30 cm,他人的研究也认为,很少根分布在30 cm以下^[1]。据作者几年对人工湿地的研究与观察,在连续生长多年的人工湿地,其根系分布很可能会深一些。

本文的网柱安装在植物的行间,对分蘖能力差的种,测定时,网柱离植株的基部有一定的距离,而使部分根不能生长至柱中,因此,测定的结果可能偏低。

由于根系在碎石基质中的伸展比在土壤中伸展可能更困难,分布呈现出显著的水平差异,这可从图中较大的标准差看出,这种差异可能比在土壤基质中更大。根系生物量较大的水平差异也和不同植物的分蘖能力有关。例如,象草、美人蕉和风车草分蘖能力强,在下半年,它们从分蘖产生的个体生长至离网柱很近处,因而长进网柱中的根也较多,而根状茎的芦苇和较粗根的水鬼蕉,由于较低的分蘖能力,其个体离网柱的距离较远(尽管种植时距离一样),长进网柱中的根也较少。因此,由于碎石基质的潜流湿地根生物量较大的水平差异,研究根系生长和分布的网柱的数量应较土壤基质情况下更多些。

本实验没有直接测定根的生长量,在植物群落根生长量的研究中,一些学者把埋入土柱法1年中几次测

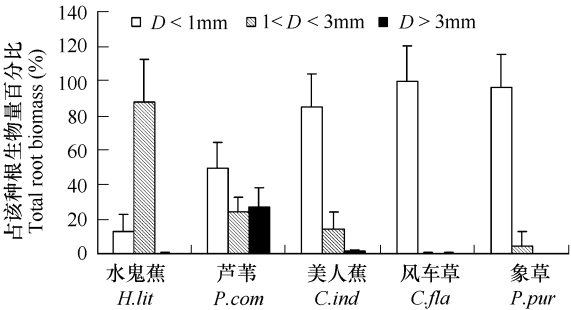


图2 5种湿地植物不同大小根的生物量占根总生物量的百分比(平均值±标准差,n=3)

Fig.2 Percent biomass (mean ± s. d.) of different root sizes over the total root biomass of each species grown in the subsurface flow gravel-bed constructed wetland

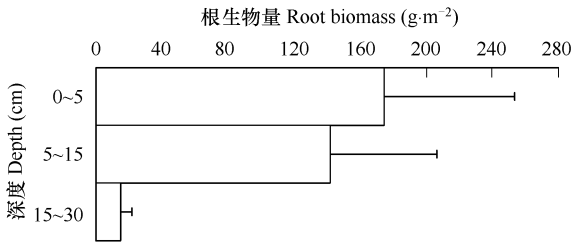


图3 碎石基质潜流湿地植物群落根生物量的垂直分布(平均值±标准差,n=15)

Fig.3 Vertical distribution of root biomass (mean ± s. d.) of the plant community grown in the gravel-bed constructed wetland measured with the mesh cylinder technique

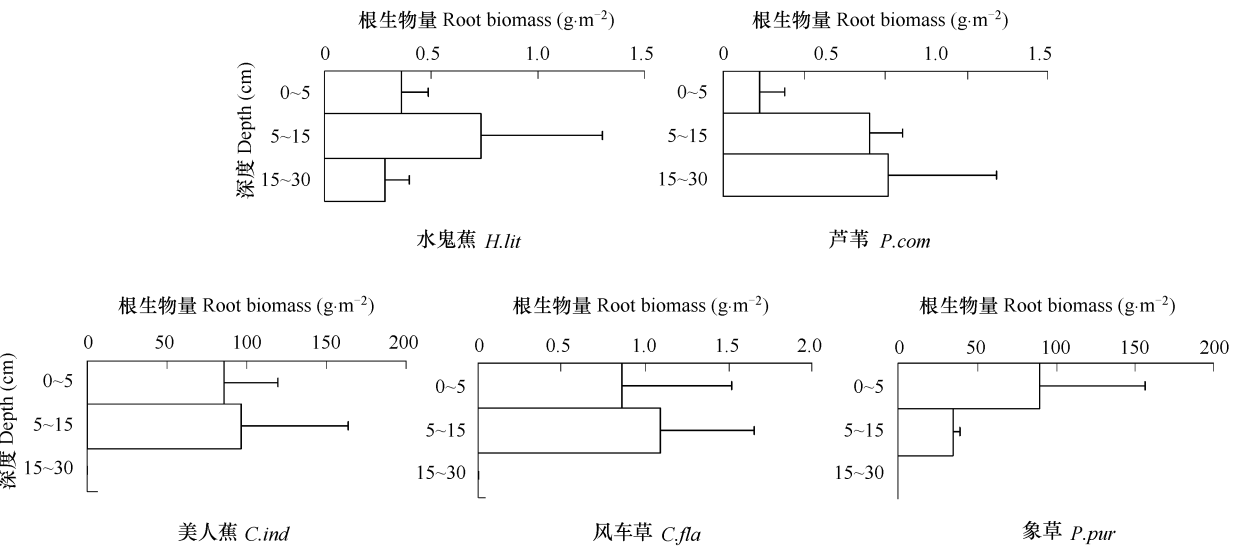


图 4 5 种湿地植物根生物量在碎石基质潜流人工湿地的垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution of root biomass of the five species grown in the subsurface flow gravel-bed constructed wetland measured with the mesh cylinder technique
平均值 ± 标准差 Mean ± s. d. , n = 3

定的根的生物量之和当作生长量的估计值^[10]。本实验两次测定的根的生物量可看作根生长量的估计值。但它很可能是较低的估计值,因为在两次测定之间,可能有少量的根死亡了而没包括在测定中。Tanner 估计污水处理人工湿地根的使用寿命可能大约 4 个月^[11]。另外网柱中根的收获,也可能对柱外的根有一定的损伤而影响它们的生长速度。当然,这种情况在埋入土柱法中也同样存在。

实验表明,不同的湿地植物种,根的生物量、生长和分布有很大的差异。在对湿地植物多年的观察研究中注意到,湿地植物的根系主要有两种类型,一类是以较粗的根为主的植物,其细根通常较少,包括有根状茎的植物和部分无根状茎的植物。前者的根状茎有发达的通气组织,如芦苇、香蒲、菖蒲等。后者的根较粗,根的通气组织通常很发达,如水鬼蕉。人们把这一类植物称“根茎型”植物。另一类是以细小的须根为主的植物,如风车草、象草以及其他一些禾本科的湿地植物。美人蕉虽有根状茎,但其根状茎仅起储藏作用,其根以细小的根为主,也归为这一类。称这些植物为“须根型”植物。作者曾提出假说,两类湿地植物的根系分布特点、对水生环境的忍耐能力、对污水的净化能力可能有显著的差异^[12]。本文结果显示,在碎石为基质的潜流湿地,根茎型植物以较粗($D > 1\text{ mm}$)的根的生物量为主,分布也较深。而“须根型”植物以较小($D < 1\text{ mm}$)的根的生物量为主,根系分布较浅。

本研究显示,不同的种,生长的季节格局不同,如象草生长较早、较快,4、5 月份,其根系已很发达。而芦苇、水鬼蕉等生长较慢,在秋冬季节也仍能保持一定的生长。两种类型植物根的特点(特别是根的大小)和根系分布的特点(特别是深度)有较大的差异。另外,5 个种构成的群落的地上部分,也显出一定的层次,7 月份测定时,象草和美人蕉高度在 150~200 cm,风车草和芦苇在 100 cm 左右,水鬼蕉 40 cm 左右。12 月份测定时,象草高度在 300 cm 左右,美人蕉、芦苇和风车草在 150~180 cm 左右,水鬼蕉 50~60 cm。不同高度、不同根系分布特点和不同生长季节格局的植物构成的多种人工湿地群落,从植物的时空配置的角度看,是更为合理的,也可能有利于提高人工湿地的净化效果。

References :

[1] Brix H. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants-The root zone method. Water Science and Technology, 1987, 19 (1-2) : 107 - 118.

[2] Conley L M , Dick R I , Lion L W. An assessment of the root zone method of wastewater treatment. Research Journal of the Water Pollution Control Federation ,1991 ,63 (3) :239 — 247.

[3] Green M B , Upton J. Constructed reed beds : A cost effective way to polish wastewater effluents for small communities. Water Environment Research ,1994 ,66 (3) :188 — 192.

[4] Wallace S. Advanced designs for constructed wetlands. BioCycle ,2001 ,42 (6) :40 — 44.

[5] Rousseau D P L , Vanrolleghem P A , De Pauwa N. Constructed wetlands in Flanders : a performance analysis. Ecological Engineering ,2004 ,23 (3) :151 — 163.

[6] Stottmeister U , Wießner A , Kusch P , *et al.* Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. Biotechnology Advances ,2003 ,22 (1-2) :93 — 117.

[7] Breen P F , Chick A J. Rootzone dynamics in constructed wetlands receiving wastewater : A comparison of vertical and horizontal flow systems. Water Science and Technology ,1995 ,32 (3) :281 — 290.

[8] Kyambadde J , Kansime F , Gumaelius L , *et al.* A comparative study of *Cyperus papyrus* and *Miscanthidium violaceum*-based constructed wetlands for wastewater treatment in a tropical climate. Water Research ,2004 ,38 (2) :475 — 485.

[9] Persson H. The distribution and productivity of fine roots in boreal forest. Plant and Soil ,1983 ,71 (1-3) :87 — 101.

[10] Lee K H , Joe S. Soil respiration , fine root production , and microbial biomass in cottonwood and loblolly pine plantations along a nitrogen fertilization gradient. Forest Ecology and Management ,2003 ,185 (3) :263 — 273.

[11] Tanner C C. Growth and nutrient dynamics of soft-stem bulrush in constructed wetlands treating nutrient-rich wastewaters. Wetlands Ecology and Management ,2001 ,9 (1) :49 — 73.

[12] Chen Z H , Chen F , Chen X Y , *et al.* Researches on macrophyte roots in the constructed wetlands (A review). Current Topics in Plant Biology , 2004 ,5 :131 — 142.