

# 沙田人工湿地植物生长特性及除污能力的研究

石 雷<sup>1</sup>, 王宝贞<sup>1</sup>, 曹向东<sup>2</sup>, 王 进<sup>1</sup>, 刘正应<sup>3</sup>, 吕炳南<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150006 2. 深圳市龙岗区环保局, 广东 深圳;

3. 深圳市龙田污水处理有限公司, 广东 深圳)

**摘 要:** 采用人工模拟小试系统, 研究了沙田人工湿地 9 种植物的长势、生物量变化及对污染物的去除能力, 分析了各种植物的生长特性、环境适应性和在系统中的作用。结果表明, 在深圳的气候条件下, 植物生长期可贯穿全年, 但长势受季节等环境因素的影响仍非常明显。植物茎叶的生物量受收割季节和周期的影响较大, 根系的生物量及根区范围随植物收割呈周期性变化。在热带砾石床中, 红花美人蕉 (*Canna indica*)、水葱 (*S. tabernaemontani* Gmel.) 难以适应环境, 芦苇 (*Ph. australis* Trin.)、再力花 (*Thalia dealbata*)、荻 (*M. sacchariflorus*) 一直生长旺盛, 但荻的除污能力较差, 纸莎草 (*Cyperus papyrus*) 和美人蕉长势较快, 较适合于需快速启动的湿地系统。

**关键词:** 潜流人工湿地; 湿地植物; 生长特性; 生物量; 除污能力

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2005)01-0098-06

## Growing Characteristics of Several Plants and Their Removal Ability on Pollutants in Shatian Constructed Wetland

SHI Lei<sup>1</sup>, WANG Bao-zhen<sup>1</sup>, CAO Xiang-dong<sup>2</sup>, WANG Jin<sup>1</sup>, LIU Zheng-ying<sup>3</sup>, LU Bing-nan<sup>1</sup>

(1. Faculty of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006, China; 2. Longgang District Environmental Protection Agency of Shenzhen City, Shenzhen; 3. Longtian Shatian Sewage Manage Co., Ltd, Shenzhen)

**Abstract:** This investigation studied growth, biomass variation of several plants in Shatian constructed wetland and their removal ability on pollutants, and discussed the growth characteristics, acclimatization and function of different plants in the constructed wetland treatment system. In the local weather, the growing period of the plants was whole year – round, but seasonal discrepancy could be observed obviously. The growth of the plants had highly positive correlation with their biomasses. The cycle and the season of reaping plants exhibited significant influence on haulm biomass. The root biomass and its area were cyclical change with reaping plants. The root area and biomasses of different plants had a large difference. The roots of reed and Sweetcane flower, Silvergrass could penetrate up to a depth of 50 cm. In contrast, the depth of canna root was less than 25 cm. The root biomass of the reed was 1504.2 g, but that of lucky bamboo was only 53.8 g. In tropical gravel bed, red colour canna and great bulrush could not acclimatize environment, and reed, powdery thalia and sweetcane flower, silvergrass were flourishing during the whole experimental process, but the removing ability of pollutants by sweetcane flower, silvergrass was very low. Lucky bamboo grew very slowly and its effect on removing ability was very small. Although sedge and other two species canna were sensitive to environment, they grow very quickly and their removal efficiencies of pollutants were satisfactory. So they could be chosen as a fast start – up constructed wetlands system.

**Keywords:** subsurface – flow constructed wetland; wetland plants; growth characteristic of plants; biomass; removing ability

随着农村城市化的发展加速, 农村的水污染问题日益严重, 如何使之得到有效控制和治理已是当务之

急。人工湿地具有基建和运行费用低、出水水质好、抗冲击负荷、兼有生态效益等诸多优点<sup>[1]</sup>。在农村若充分利用各种荒弃、不适于耕种的土地构建人工湿地, 即可达到在较少的基建投资和运行成本的前提下有效处理污水的目的, 应用前景十分广阔。

湿地植物是人工湿地的基本组成部分, 也是受地

收稿日期: 2004 – 06 – 23

作者简介: 石 雷 (1972—), 男, 河北围场人, 工程师, 博士研究生, 研究方向为水污染控制与资源化。E-mail: shilei9899@163.com

域和自然条件影响最大、最难控制的因素之一<sup>[2]</sup>。深圳沙田人工湿地建成至今运转良好,是华南地区潜流人工湿地处理村镇污水的典型范例。本文通过对沙田人工湿地运行两年来植物生长等情况的研究,探讨了不同植物在人工湿地环境中的适应性、生长特性、生物量变化及除污能力等问题,供人工湿地的研究、设计和管理者参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 沙田人工湿地的水质水量

沙田人工湿地污水处理工程位于深圳市龙岗区坑梓镇,用于处理受工业及生活污水污染严重的田脚河河水,设计处理规模为  $5\,000\text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ ,2001 年 11 月正式投入运行。运行后的实际处理水量随田脚河枯、丰水季河水流量的不同而在  $2\,000 \sim 10\,000\text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$  的范围内变化。水质方面,该河水的可生化性较差, $\text{BOD}_5/\text{COD}_{\text{Cr}}$  平均值仅为 0.33,其他常规水质指标检测结果见表 1。

表 1 田脚河原污水水质检测结果 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

Table 1 Monitoring results of water quality of Tianjiao River

检测项目	检测结果
$\text{COD}_{\text{Cr}}$	110 ~ 250
$\text{BOD}_5$	40 ~ 80
SS	45 ~ 110
TN	12 ~ 69.7
TP	1.0 ~ 5.0

### 1.2 沙田人工湿地系统工艺流程

沙田人工湿地系统由预处理单元、湿地单元和污泥处理单元组成,其平面布局如图 1 所示。

本工程主体工艺为两级潜流人工湿地:一级湿地为水平流形式,填料为粒径  $30 \sim 50\text{ mm}$  的风化石,厚度  $100\text{ cm}$ ,二级湿地为垂直下向流形式,填料为粒径  $4 \sim 32\text{ mm}$  的风化石,厚度  $80\text{ cm}$ 。各平行单元水力负荷相同。

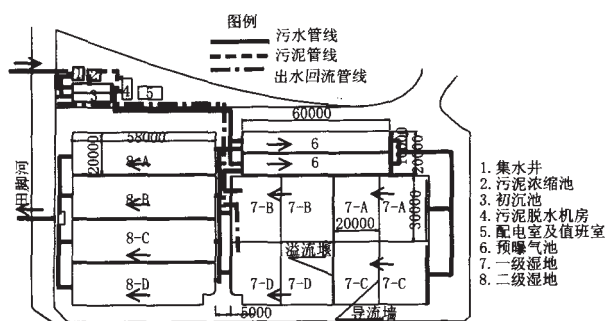


图 1 沙田人工湿地平面图

Figure 1 Diagram layout of shatian constructed wetland

### 1.3 沙田人工湿地植物的种植

本湿地最初共选择了 7 种植物,包括:3 种颜色的美人蕉(黄色、橙色和红色)、荻、芦苇、水葱、再力花。芦苇、荻采用秸秆扦插,再力花、水葱、美人蕉采用带根移植,植物分布情况如下:第一级湿地地块 7-A 再力花,地块 7-B 荻,地块 7-C 芦苇,地块 7-D 水葱;第二级湿地的地块 8-A 红花美人蕉、橙花美人蕉,地块 8-B 黄花美人蕉,地块 8-C 红花美人蕉,地块 8-D 水葱。

在湿地投入运行以后,对植物的种类和分布情况进行了几次调整:2002 年 6 月,7-B 下半段引进了纸莎草;2003 年 3 月,纸莎草移至二级湿地,8-B 引进少量富贵竹(*Dracaena sanderiana*)。

### 1.4 小试系统的构建

为便于在相同条件下比较各种湿地植物的污染物去除能力,本研究专门构建了小试系统。小试系统由 8 个  $L \times B \times H = 1\,000\text{ mm} \times 500\text{ mm} \times 500\text{ mm}$  的聚乙烯箱组成。砾石填料取自二级湿地表层,粒径为  $4 \sim 8\text{ mm}$ 。每个箱内从沙田人工湿地中移植一种植物(尽量保证根系完整,力求使移栽对植物及基质的影响最小化),植株密度与原位置基本相同,即富贵竹为  $80\text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ ,其他植物收割后单株分蘖数一般均在 20 个以上,植株密度为  $3 \sim 4\text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ 。进水来自沙田人工湿地预曝气池,从一端顶部以穿孔管横向布水,另一端底部同样以穿孔管横向集水(如图 2 所示),水力负荷为  $0.1\text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ 。该小试系统 2004 年 3 月初构建完毕并开始运行。

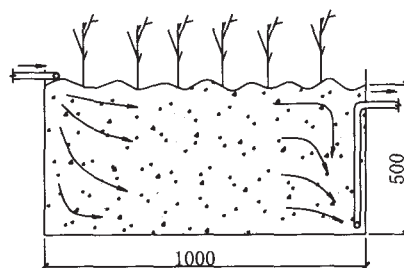


图 2 小试系统示意图

Figure 2 Schematic diagram of small scale in the wetland system

### 1.5 检测分析方法

**植物高度测量:**每个水平流湿地单元分前、中、后 3 段各取 9 点测量,垂直流湿地每种植物各取 9 个测量点,每周定时定点测量植物高度。

**植物生物量的测量:**于每种植物生长末期或收割时,由前到后蛇形布点取根系、秸秆样品各 5 个;其中根系样品按  $0 \sim 15\text{ cm}$ 、 $15 \sim 35\text{ cm}$ 、 $35 \sim 50\text{ cm}$  分层

采集,用铁铲小心挖取土样,剔除碎石,用尼龙网在清水中缓慢洗出根系。以上样品采集后称鲜重,放在自然通风处风干,达到恒重后烘干再称干重( $105^{\circ}\text{C}$ 烘 8 h)<sup>[3]</sup>。

各项水质指标检测按《水和废水监测分析方法》进行<sup>[4]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 植物整体长势及环境因子的影响

在碎石床潜流湿地中,湿地床基质对秸秆扦插植物的栽植成活率和幼苗生长有明显影响。本湿地在初次大面积的扦插时,芦苇和荻的成活率不足 20%;后来采用集中扦插培养、成活后带根移植的两段式栽植方法,成活率提高到 95% 以上。

深圳地区春、夏、秋 3 季日平均气温均接近或高于  $20^{\circ}\text{C}$ ,只有冬季的 12 月份和 1 月份气温相对较低,最低温度在  $5^{\circ}\text{C}$  以下的天气极少。而本湿地的植物均属于热带或亚热带植物,最适生长温度为  $20^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ ,所以气候条件十分有利于湿地植物的生长,植物生长期可达全年。依据当地的气候特点和植物的长势,可将全年分为两个生长季节,即:高速生长季,从 2 月下旬到 11 月中旬,该季各种植物均旺盛生长,污水处理能力强;低速生长季,从 11 月下旬至次年 2 月中旬,此时植物生长相对缓慢,甚至近乎停止,污水处理能力相对较弱。

湿地植物在冬季虽然具有一定的抗寒能力,但强度较大的寒流仍可对植物生长产生伤害。在 2002 年 12 月份出现了两次明显的大风降温天气。尤其是 2002 年 12 月末,日最低气温低至  $4^{\circ}\text{C}$ 。在此期间植

物的生长明显减慢或停止;在低温过后的 2~3 d,部分湿地植物表现出了明显被寒害侵袭的特征:上风一侧的纸莎草花序顶端约 10~15 cm 出现干枯;大部分美人蕉叶片干枯、黄化明显;芦苇、荻、再力花、水葱受寒害影响较轻。从寒害发生的范围和程度上看,下风侧植物明显轻于上风侧植物,生长旺盛阶段的植物明显轻于幼苗和生长后期的植物。

深圳地处沿海地区,夏季经常会有台风天气,一般不会影响植物的正常生长。但 2003 年 9 月初出现了 50 a 不遇的强台风,使湿地植物出现了大面积的倒伏,其中以美人蕉最为严重,倒伏率接近 100%,并且倒伏的茎叶在闷湿的天气中很快开始枯萎、腐烂,严重影响了湿地系统的正常运行,因而立即对其进行了收割;纸莎草、水葱约有 35% 以上的茎秆倒伏、折断,明显影响了整体生长,随后也进行了收割;芦苇、再力花、荻和富贵竹所受的影响较轻,虽然也有轻微的倒伏,但仍可正常生长,未收割。

### 2.2 不同植物的生长

各种植物在湿地环境中生长旺盛,芦苇、荻、再力花、美人蕉在人工湿地中的生长高度显著高于正常值,水葱、纸莎草、富贵竹与自然状态下的长势接近,各种植物 2002 年 12 月—2003 年 12 月的生长高度曲线见图 3。

由图 3(a) 可知,美人蕉在湿地中生长最为迅速,年收割频率达 3 到 4 次之多。但美人蕉在每年的 8、9 月份会出现大面积的烂根现象,华南师范大学的研究也有类似的报道<sup>[5]</sup>。本湿地共引种了红、黄、橙 3 种颜色的美人蕉,红花美人蕉虽然也有较高的成活率,但

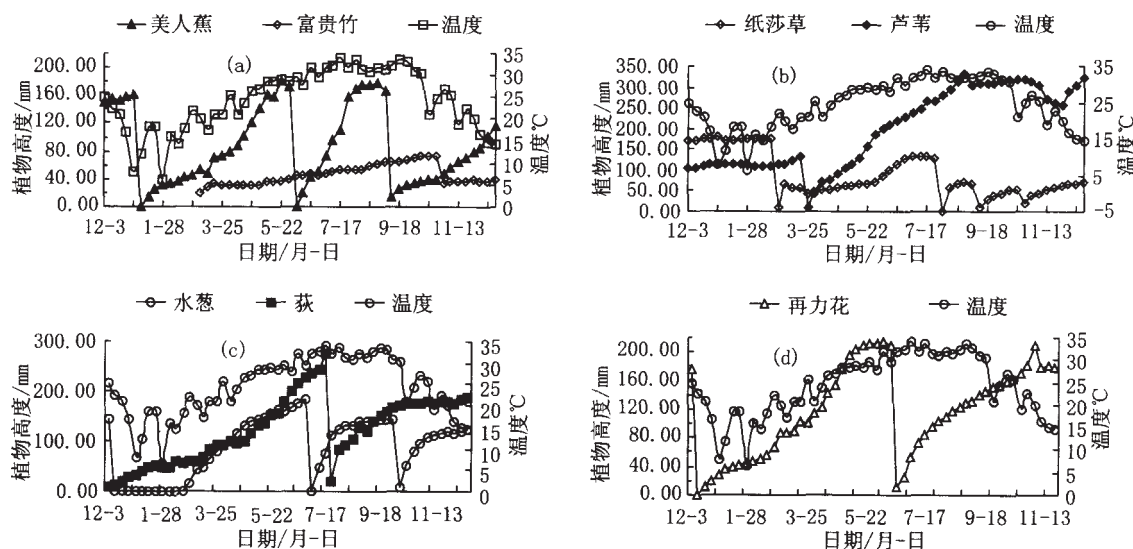


图 3 人工湿地植物生长高度曲线

Figure 3 The change of vegetal high in the constructed wetland

在第一年就表现出了对湿地环境明显的不适应:普遍出现烂根、大面积枯死,首先被淘汰。橙花美人蕉的长势明显优于黄花种——生长旺盛,茎秆粗壮,成年期植株的高度平均可高于黄花种 20~30 cm;但在 2003 年 9 月份出现了大面积的烂根,药剂无法控制,60% 以上的植株枯死,目前濒临淘汰,这可能是由于有害物质大量累积,超过了植物的耐受极限所致。黄花美人蕉虽然长势略差,但对污染物质却表现出了更强的抗逆性,一直生长良好。

再力花在本湿地的环境中生长旺盛而稳定,抗病虫害能力强,全年均可开花,2003 年的长势好于上一年(图 3(d),表 2)。

水葱在本湿地中的长势一直不好,枝叶细弱、末端枯黄,畸形植株较多,病虫害每年均有 2 到 3 次。在 2003 年 7 月对湿地的温度监测时发现,当天气晴朗、

室外气温接近 35℃ 时,其他植物覆盖度较高单元的床表温度仅为 29℃~31℃,而水葱单元由于枝叶无法对床体形成遮蔽,阳光可直接照射到砾石表面,床表温度竟高达 49℃~50℃,远远超过了湿地植物的最适生长温度,这可能正是水葱难以正常生长的原因所在。

纸莎草在一级湿地长势良好,株高达 160~180 cm,覆盖度接近 100%。但由图 3(b)可见,在 2003 年 3 月份移植到二级湿地后,纸莎草的长势与在一级湿地时差距非常明显。这可能是由于纸莎草一般习惯于在开阔地带生长,而二级湿地地势较为低洼,对生长产生了不利影响。

富贵竹在二级湿地中采用扦插法即可获得接近 100% 的成活率,且生长稳定,但 9 个月平均高度增加不到 60 cm,长速过于缓慢。

芦苇和荻由于栽植初期成活率较低,2002 年 6

表 2 植物茎叶生物量及株高

Table 2 Haulm biomass and vegetal high of the plants in the constructed wetland

植物	取样时间(年-月-日)	株高/cm	生物量/kg·m <sup>-2</sup>
芦苇	02-12-17	134±27	1.33±0.69
	04-01-07	325±58(142.54)	3.55±0.73(166.92)
再力花	02-11-25	174±36	1.43±0.48
	03-11-27	207±46(18.97)	1.70±0.34(18.88)
荻	02-12-01	186±27	1.25±0.27
	03-07-17	245±42(31.72)	1.68±0.42(34.40)
水葱	02-11-20	146±35	1.58±0.66
	03-10-08	145±30(-0.68)	1.65±0.72(4.43)
美人蕉	02-12-31	162±20	0.63±0.09
	04-01-20	168±32(3.70)	0.69±0.25(9.52)
纸莎草	02-12-18	175±20	0.91±0.05
	03-07-31	132±14(-24.57)	0.46±0.07(-49.45)
富贵竹	03-10-22	73±38	0.69±0.26

注:括号内为两次所测的生物量增加百分率。

表 3 植物根系生物量(干重)

Table 3 Root biomass (dry weight) of the plants in the constructed wetland

植物	取样时间(年-月-日)	根系生物量/g·m <sup>-2</sup>			合计
		0~15 cm	15~35 cm	35~50 cm	
芦苇	02-12-25	465.7±95.4	348.7±102.3	21.9±10.7	836.3±140.3
	03-12-26	615.5±30.1(32.2)	713.6±54.6(104.7)	175.1±77.2(699.5)	1504.2±99.2(79.9)
再力花	02-12-01	548.4±137.4	387.9±115.6	3.2±2.3	939.5±179.6
	03-12-26	756.9±78.3(38.0)	436.4±101.2(12.5)	21.3±9.2(565.6)	1214.6±128.7(29.3)
荻	02-12-01	376.1±111.2	280.5±73.3	18.5±12.7	675.1±133.8
	03-11-11	513.9±86.8(36.6)	475.8±65.4(69.6)	42.7±13.3(130.8)	1032.4±109.5(52.9)
水葱	02-12-01	509.5±209.1	594.1±225.9	0.0	1103.6±307.8
	03-10-08	611.2±257.4(20.0)	721.6±312.6(21.5)	17.9±12.1	1350.7±405.1(22.4)
美人蕉	02-12-01	369.3±104.5	232.1±98.1	0.0	601.4±143.3
	03-11-25	376.4±67.9(1.9)	237.5±73.7(2.3)	0.0	613.9±100.2(2.1)
纸莎草	02-12-01	462.7±137.5	335.4±84.0	5.4±2.3	803.5±161.1
	03-10-20	168.6±35.7(-63.6)	98.7±26.5(-70.6)	0.0	267.3±44.5(-66.7)
富贵竹	03-12-01	25.6±2.7	28.2±4.1	0.0	53.8±4.9

注:括号内为两次所测的生物量增加百分率。



月份之前一直处于调整期,此后才实现了稳定生长。由图 3(b)、3(c)与表 2 可知,此两种植物 2003 年的长势明显好于 2002 年,尤其是芦苇。

### 2.3 生物量的测定

在两年多的人工湿地运行期间,各种植物的生物量增长差距较大,茎叶和根系的生物量测量结果见表 2、表 3。

植物茎叶的生物量,在两次测量中,纸莎草呈负增长,美人蕉、水葱变化较小,而再力花、荻和芦苇增幅较大,尤其是芦苇,增加达 170%。研究中发现,收割周期对茎叶的生物量增长有明显的影响。为了对比不同收割周期植物生物量的变化情况,2003 年 6 月选取了两块  $1\text{ m} \times 20\text{ m}$ 、芦苇长势基本相同的地块(分别记作 I 区、II 区),当时对 I 区进行了收割,这时植物正处于生长高峰期,平均株高为 266 cm,生物量(干重,下同)为  $1.05\text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ;至 12 月末整体收割时两块同时收割, I 区芦苇的平均株高为 364 cm,生物量为  $4.45\text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ; II 区平均株高为 392 cm,生物量为  $3.70\text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。虽然 I 区植物高度略低、茎秆略细,但却有更大的植株密度,仅第二次收割的生物量已显著高于对照组的 II 区。可见,收割周期和收割季节的选择对人工湿地植物茎叶生物量有着明显的影响。

根系生物量方面,芦苇、水葱、再力花和荻均具有庞大的根系生物量,纸莎草、美人蕉较少,富贵竹最少。芦苇、荻的根系最深,35~50 cm 的深度仍然有较

大的生物量;水葱、再力花、纸莎草的根系主要集中在 0~30 cm 的区域,35 cm 以下很少或没有;美人蕉的根系一般在 20 cm 以上的区域横向生长,25 cm 以下则极少见;富贵竹的根系最为弱小,根须稀疏,长度一般只有 10~15 cm,横向生长。在此一年间,芦苇和荻的根系生物量增幅最大,分别达到了 79.9% 和 52.9%,美人蕉基本没有变化,而纸莎草仍呈负增长。通过对植物根系的定期取样观测发现,所有植物的根系在收割后均要经历一次老根大量死亡的过程,根区范围和根系生物量亦随之呈大→小→大的周期性变化趋势。植株越密,收割越晚,根系死亡率越高,而且不同植物根系的死亡比例存在一定的差别:芦苇 35% 以上的根系可参加下一轮生长,荻次之,再力花、水葱约 80% 以上的根系死亡;纸莎草、美人蕉仅剩根状茎或块茎还可继续生长,须根全部死亡。

综合图 3 与表 2、表 3 可知,植物的长势与根系、茎叶的生物量三者间存在明显的正相关。

### 2.4 不同植物对污染物的去除能力比较

该项研究在小试系统中进行。小试系统中的各种植物在移植后生长正常,除芦苇因移植受到影响长势略差外,其他植物与原所在湿地的长势基本相同。2004 年 6 月份对小试系统每周均进行了水质检测,此时各种植物生长正常,没有明显的不良性状,生长周期较短的美人蕉、水葱、纸莎草已逐渐达到最大生长高度。水质检测统计结果见表 4。

检测结果显示,再力花对 TN 的去除能力明显高

表 4 不同植物对污染物的去除效果对比

Table 4 The effects of removing pollutants in different plants cells

人工湿地植物及效果		人工湿地进水污染物含量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$				
		COD <sub>Cr</sub> 96.00 ± 12.45	BOD <sub>5</sub> 23.65 ± 2.62	TP 2.46 ± 0.89	TN 53.67 ± 5.92	NH <sub>3</sub> -N 28.37 ± 10.28
再力花	出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	41.60 ± 1.86	2.24 ± 0.23	0.25 ± 0.04	10.20 ± 0.92	5.24 ± 3.05
	去除率/%	56.66	90.54	89.93	81.00	81.53
芦苇	出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	38.81 ± 4.48	2.56 ± 0.39	0.33 ± 0.10	18.27 ± 2.22	7.51 ± 2.19
	去除率/%	59.57	89.18	86.48	65.97	73.51
荻	出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	47.73 ± 1.78	6.12 ± 0.10	0.50 ± 0.04	28.83 ± 3.56	14.37 ± 3.41
	去除率/%	50.28	74.14	79.57	46.28	49.35
水葱	出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	36.09 ± 6.22	2.90 ± 0.21	0.29 ± 0.04	17.95 ± 0.65	6.74 ± 3.56
	去除率/%	62.41	87.72	88.24	66.55	76.25
美人蕉	出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	25.65 ± 5.62	2.07 ± 0.19	0.24 ± 0.08	14.74 ± 0.46	7.17 ± 3.69
	去除率/%	73.28	91.25	90.18	72.54	74.74
纸莎草	出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	28.52 ± 8.43	2.19 ± 0.38	0.24 ± 0.02	13.64 ± 0.82	6.26 ± 1.72
	去除率/%	70.29	90.74	90.12	74.58	77.92
富贵竹	出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	33.50 ± 8.44	3.18 ± 0.15	0.51 ± 0.17	24.20 ± 3.22	10.44 ± 3.65
	去除率/%	65.11	86.54	79.22	54.91	63.21
无植物	出水/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	36.93 ± 9.19	3.04 ± 0.49	0.62 ± 0.19	25.80 ± 3.57	10.27 ± 4.37
	去除率/%	61.53	87.15	74.88	51.93	63.81

于其他植物,而对有机物的去除率却偏低,美人蕉、纸莎草在各项水质指标上均获得了较高的去除率,这与其旺盛的长势是一致的;芦苇、水葱对上述 5 项指标的去除率都不突出,作为传统的湿地植物,应该具有较一般植物更强的耐污和去污能力,在本湿地的表现可能与其长势较差有关。富贵竹除总氮去除率略高于无植物的参照单元外,其他指标两者均十分接近,可见该植物在湿地除污中的作用是微弱的,荻在小试系统中的长势依然十分良好,但除 TP 外其他各项指标的去除率都最低,在小试系统和沙田湿地的运行中我们都发现荻单元一直不生长杂草和藻类,基质中的污泥量也明显少于相邻单元,可见荻对微生物和弱小植物存在较强的抑制作用,因而所在湿地单元对污染物的处理能力较低可能是受此影响。

### 3 结论

在华南地区,人工湿地植物的生长期贯穿全年,但季节和突变气候等环境因素仍有一定的影响。在砾石床中,地体因素对采用扦插法栽植植物的成活率影响明显,可采用先集中培养、再带根移植的两段式栽植方法,以获得较高的成活率。

植物长势与根系、茎叶的生物量呈明显的正相关。植物茎叶的生物量受收割周期和收割时间的影响明显,根系的生物量及根区范围随植物收割呈周期性变化。不同植物的根区范围和根系生物量差异很大,芦苇、荻根深可达 50 cm,而美人蕉却不到 25 cm;芦苇的根系生物量达 1 504.2 g,而富贵竹却只有 53.8 g。

芦苇、荻和再力花在生物量、生长稳定性、抗逆能

力方面高于其他植物。其中,再力花具有明显高于其他植物的除氮能力,是以脱氮除磷为主要目的的湿地的首选植物;芦苇对各种污染物的去除能力较为均衡,通用性较强,但栽植后的调整期较长,约需一年以上;而荻对弱小植物及微生物存在偏害性,降低了湿地系统的除污能力,作为湿地植物应慎选。

美人蕉、纸莎草、水葱的生长周期较短,栽种后很快即可实现稳定生长,且污染处理能力均不错,是需要快速启动的湿地优先选择物种,但须注意,美人蕉在湿地环境中初秋普遍存在烂根现象,红花种无法适应类似沙田人工湿地的环境,橙花种抗污染物累积毒害能力较差;纸莎草不适宜在低洼地带生长,且收割后死根量较大;水葱难以适应华南地区砾石床湿地的高温环境。富贵竹根系稀少,生长过于缓慢,对污染物去除的贡献极其有限。以上植物在湿地中表现出来的特点,都是构建高适应性、高效能的人工湿地植物体系所必须充分注意的。

#### 参考文献:

- [1] 沈耀良,王宝贞. 人工湿地系统地除污机理[J]. 江苏环境科技, 1997, 3(1): 1-6.
- [2] 成水平,吴振斌. 人工湿地植物研究[J]. 湖泊科学, 2002, 14(2): 179-184.
- [3] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 第 1 版. 北京: 科学出版社, 1983.
- [4] 国家环境保护局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水检测分析方法[M]. 第四版. 北京: 中国环境科学出版社, 2003.
- [5] 赵建刚,杨琼. 几种植物根系生物量研究[J]. 中国环境科学, 2003, 23(3): 290-294.