

# 7 种典型挺水植物净化生活污水中氮磷的研究

杨林<sup>1</sup> 伍斌<sup>2</sup> 赖发英<sup>1\*</sup> 张俊<sup>3</sup> 高勇生<sup>1</sup>

(1. 江西农业大学 国土资源与环境学院, 江西 南昌 330045; 2. 江西省南昌县环保局, 江西 南昌 330200; 3. 江西农业大学 南昌商学院, 江西 南昌 330045)

**摘要:**挺水植物是构建人工湿地植被系统的主要植物类型, 选取 7 种典型的具有一定景观效应和经济价值的挺水植物, 初步研究它们对生活污水中的氮磷降解特性以及氮磷积累及其分布状况。结果表明: 美人蕉、黄菖蒲、香根草、薹苳都表现出较强的氮磷降解能力, 生活污水中总氮磷的去除率与湿地植物氮磷的积累量成线性相关 ( $P < 0.05$ )。各植物间以及其自身的地上部分与地下部分的生物量(鲜质量)差异显著 ( $P < 0.05$ )。对氮磷的降解与水力停留时间成线性相关, 相关系数均大于 0.9, 说明它们有较为稳定的氮磷吸收能力。通过收割可以去除整个植株总氮和总磷含量的 60% ~ 80%。

**关键词:**人工湿地; 挺水植物; 生命周期; 氮磷

中图分类号: X173 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2011)03-0616-06

## Studies on Seven Typical Emerging Plants Absorbing Nitrogen and Phosphorus in Constructed Wetlands

YANG Lin<sup>1</sup>, WU Bin<sup>2</sup>, LAI Fa-ying<sup>1\*</sup>, ZHANG Jun<sup>3</sup>, GAO Yong-sheng<sup>1</sup>

(1. College of Land Resources and Environment, JAU, Nanchang 330045, China; 2. Nanchang County Environmental Protection Agency, Nanchang 330200, China; 3. College of Nanchang Business, JAU, Nanchang 330045, China)

**Abstract:** Emerging plants are the main types of plants for the constructed wetland vegetation system. In this test, seven typical emerging plants which have a certain landscape effect and economic value are selected to study their degradation, accumulation and distribution of nitrogen and phosphorus in constructed wetlands, which provides a theoretical backbone for the promotion of constructed wetlands. The experiment results showed that: *Cannaindica*, *Iris pseudacorus*, *Vetiveria zizanioides* and *Schoenoplectus lacustris* all have a strong degradation ability of nitrogen and phosphorus, and their degradation of nitrogen and phosphorus has a linear correlation with HRT after a period of adaptation to constructed wetlands and the correlation coefficients are larger than 0.9. These indicate that they have a stable absorption of nitrogen and phosphorus. The total plant uptake of nitrogen and phosphorus accounts for 60% to 80% of the overall nutrient removal in constructed wetlands.

**Key words:** wetlands; emerging plant; life cycle; nitrogen and phosphorus

收稿日期: 2011-12-08 修回日期: 2011-03-24

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2008BAD96B04)

作者简介: 杨林(1982—), 男, 硕士生, 主要从事污染防治与生态修复研究, E-mail: yanglin5201234@163.com; \* 通讯作者: 赖发英, 副教授, 博士, 硕士生导师, E-mail: laifyjx@126.com。

人工湿地是依据土地处理系统及水生植物处理污水的原理,由人工建立的具有湿地性质的污水处理生态系统<sup>[1]</sup>。具有净化污染物效果好、运行费用低和易维护的特点<sup>[2-4]</sup>,其主要由水、基质、植物、水生动植物及其微生物群落构成。

国内关于人工湿地对污水中氮磷的处理大部分集中在人工湿地基质对氮磷的吸附,微生物对污水中氮磷的去除应用多着重于植物根部微生物功能的发挥<sup>[5]</sup>,而研究植物自身吸收对去除氮磷的贡献较少,中科院沈阳生态研究所尹炜、李培军等<sup>[6]</sup>对植物在人工湿地处理污水中氮磷的贡献仅限于芦苇单一植物,蒋跃平<sup>[7]</sup>只是对园艺植物进行研究。人工湿地净化污染物的机理比较复杂,其中水生植被系统起着重要的作用,水生植被系统不仅本身能吸收同化污水中N、P等污染物,还能提高整个湿地生态系统微生物的数量,调整其组成类型,促进湿地生态系统的硝化和反硝化作用进行,强化其净化能力<sup>[8-10]</sup>。

挺水植物是构建人工湿地植被系统的主要类型植物,具有吸收同化污染物和拦截、过滤污染物的作用<sup>[11-12]</sup>。生命周期比藻类、浮水植物长,氮磷的储存比藻类稳定,容易通过收割除去氮磷<sup>[13]</sup>,还具有发达的根系和较强的输氧能力,容易在湿地底部形成好氧的微环境进一步提高氮磷去除率,试验中选取的挺水植物在自然状态下生长良好,较适合中国南方气候环境,生长迅速、生物量大,并具有一定的经济价值和景观效应。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试湿地植物

薹苳(*Coix lacryma-jobi*)、香根草(*Vetiveria zizanioides*)、菖蒲(*Acorus calamus*)、美人蕉(*Canna indica*)、菰(*Zizania latifolia*)、芦苇(*Phragmites australis*)、黄菖蒲(*Iris pseudacorus*)。

### 1.2 实验方法

选取以上形态差异不大的7种植物用水培法进行实验(图1),利用上直径约25 cm、下直径50 cm,高25 cm圆台塑料花盆为试验容器,每种选10株,洗净泥土、去除枯叶后,移栽到花盆,预培养2周后称质量,开始试验。进水为江西农业大学教工生活排水,经生态塘处理后的污水,基本水质指标( $COD_{cr}$  125.01~81.80 mg/L,总氮 10.9~9.1 mg/L,总磷 1.01~0.58 mg/L),每次进水80 L,试验时间约为3个月,每2 d取1次水样,测定总磷(TP)、总氮(TN)含量。每天用蒸馏水补充因蒸发而减少的水分。每种植物设3个重复,2个无水生植物的空白对照,实验数据取平均数。



图1 植物筛选试验

Fig. 1 Screening test plants plant

### 1.3 植株内氮磷测定方法

每株样品按地上部分和地下部分分别称鲜质量,然后90℃烘干至恒重,称干质量。粉碎后,用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮,全氮以奈氏试剂比色法,全磷以钼锑抗比色法测定<sup>[14]</sup>。

### 1.4 数据计算与统计方法

植物氮磷积累量(PA)的计算公式为:

$$PA = PB \times PC \quad (1)$$

PB为植物增加的生物量,PC为植物的氮磷含量;氮磷总去除率(R)的计算公式为:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^3 [(IC_i - OC_i) \times Q_i]}{\sum_{i=1}^3 IC_i \times Q_i} \quad (2)$$

$IC_i$  和  $OC_i$  分别第  $i$  次进水和出水的氮磷浓度,  $Q_i$  为第  $i$  次进水量。实验数据用 SPSS 17.0 统计软件进行分析工作。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同湿地植物的生长状况

水培实验开始后,连续地观察各湿地植物生长状况,在第1次进水后(0~10 d),各植物生长速度较慢,特别是菰和芦苇,其他植物均有少量芽长出;第2次进水后(10~20 d),香根草和黄菖蒲表现出较强长势,薹苳和菖蒲长势一般,芦苇生长缓慢,而菰已感上病虫害,叶片出现小孔;第3次进水后(20~30 d),香根草、黄菖蒲、美人蕉、薹苳迅速生长,根、茎、叶生物量迅速增加,菖蒲和芦苇的生物量变化较小,而菰几乎死亡。整个水培期间各植物长势总体评价见表1。

表1 水培期间各植物生长活力总体评价

Tab.1 The general valuation of different plants during water cultivating experiment

植物种 Plant species	植物长势 Plant growing		
	根 Root	茎 Stalk	叶 Leaf
薹苳( <i>Coix lacryma-jobi</i> )	+	++	++
香根草( <i>Vetiveria zizanoides</i> )	++	++	++
菖蒲( <i>Acorus calamus</i> )	+	+	+
美人蕉( <i>Canna indica</i> )	++	++	++
菰( <i>Zizania latifolia</i> )	-	-	-
芦苇( <i>Phragmites australis</i> )	-	-	-
黄菖蒲( <i>Iris pseudacorus</i> )	++	++	++

++表示长势强,+表示长势一般,-表示长势弱。

++ expressvigorous,+ expressmedia,- expressweak.

### 2.2 湿地植物水培前后生物量的变化

水培实验前后各植物的生物量均有不同程度的增加(表2),鲜质量增加量为23.4~437.1 g,其中美人蕉增加最多为437.1 g,菰最少为17.5 g,方差分析表明各种植物增加的生物量差异显著( $P < 0.05$ )。实验后各湿地植物平均每株的地上部分生物量和地下部分生物量(干质量)分别为2.383~24.550 g和0.867~14.417 g。地上部分以香根草的最大,黄菖蒲次之,地下部分以黄菖蒲最大,香根草次之。各植物地下部分生物量占总生物量(鲜质量计)以黄菖蒲最高56.02%,芦苇最低19.47%,其它为30%~43%。由此可见,不同植物对湿地环境的适应能力有较显著的差别,其涉及到病虫害、生命力和环境的

表2 水培前后植株生物量变化

Tab.2 The biomass change of different plants during water cultivating experiment

植物种类 Plant species	初始总生物量/g Weight of vegetable at initial	末期总生物量/g Weight of vegetable affina	增加的生物量/g Weight of vegetable	末期生物量干质量/g Dry weight of vegetable affine	
				地下部分 Underground	地上部分 Aboveground
				薹苳( <i>Coix lacryma-jobi</i> )	147.8
香根草( <i>Vetiveria zizanoides</i> )	380.4	783.6	413.2*	67.6	147.3
菖蒲( <i>Acorus calamus</i> )	203.5	279.3	75.8*	15.3	32.4
美人蕉( <i>Canna indica</i> )	521.3	958.4	437.1*	37.5	54.1
菰( <i>Zizania latifolia</i> )	156.3	173.8	17.5*	10.7	14.3
芦苇( <i>Phragmites australis</i> )	36.2	59.6	23.4*	5.2	21.5
黄菖蒲( <i>Iris pseudacorus</i> )	645.0	913.2	268.2*	86.5	67.9

\*表示差异5%水平显著性。\* significant at 0.05 level.

适应性。所以湿地植物的选择上应尽量选择抗病虫害能力强、生长迅速、生命力强的品种。

### 2.3 湿地植物对生活污水 TN 的降解特性

每次进水之前 均排空前次进水。各植物处理系统对污水中总氮(TN) 去除见图 2。第 1 次进水期间 ,各植物对 TN 的去除效果均不好且不稳定。除香根草外 ,其它与对照的差异均不显著 ( $P > 0.05$ ) ;第 2 次进水期间 ,薏苡、香根草、美人蕉、黄菖蒲均表现出较稳定的降解效果 ,与对照的差异显著( $P < 0.05$ ) ,其水培污水中总氮(TN) 浓度随水力停留时间呈负相关( $r > 0.94$ ) ;第 3 次进水期间 ,除菰外 ,其它植物处理与对照的差异显著( $P < 0.05$ ) ,且对 TN 的降解均表现出较强且较稳定的降解 ,尤其是香根草和黄菖蒲 ,它们的降解率高达 90.70% 和 72.39% ,水培污水中 TN 浓度随水力停留时间呈负相关( $r$  分别为 0.971 和 0.997) 除菰、芦苇外 ,其它植物处理的相关系数都在 0.9 以上。

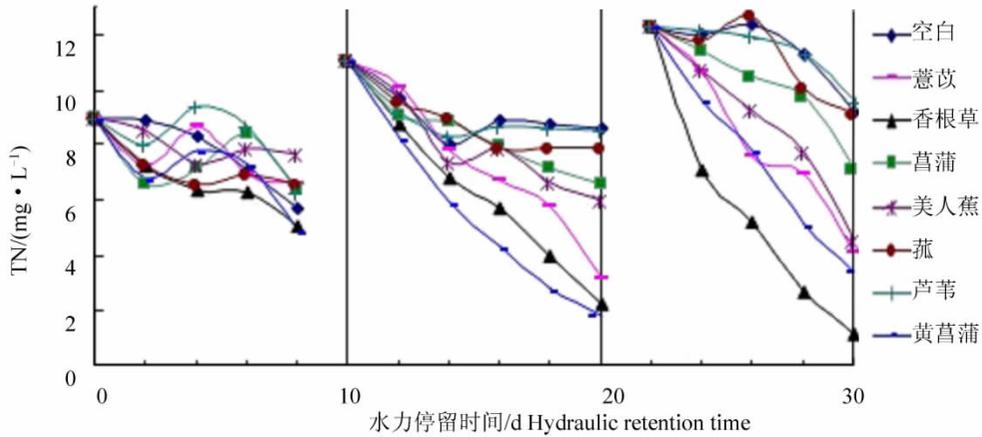


图 2 3 次进水各植物对污水中总氮的去除

Fig.2 Total nitrogen removal in domestic sewage during there of different plants

### 2.4 湿地植物对生活污水 TP 的降解特性

3 次进水中各植物对污水中总磷(TP) 去除见图 3。第 1 次进水期间 ,各植物对总磷的降解表现出不稳定性 ,除香根草和黄菖蒲与对照差异显著 ( $P < 0.05$ ) 外 ,其它均不显著;第 2 次进水期间 ,各植物对

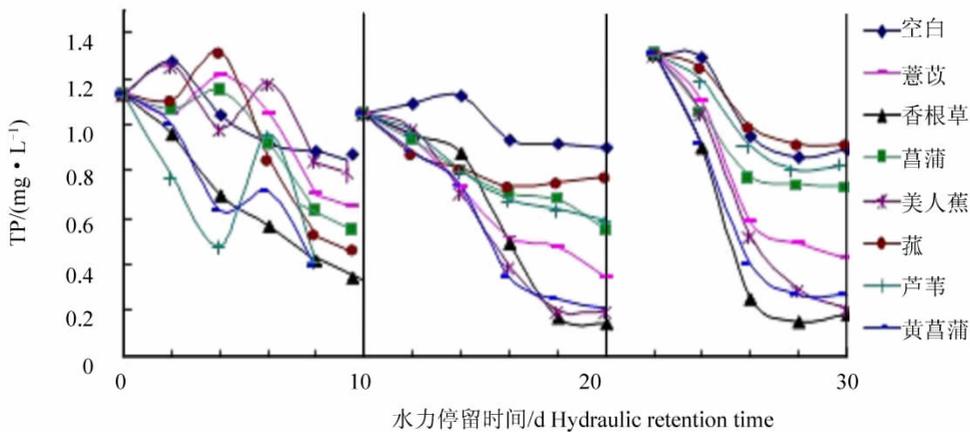


图 3 3 次进水各植物对污水中总磷的去除

Fig.3 Total phosphorus removal in sewage during three of different plants

污水中总磷(TP) 均表现出一定的降解能力 ,水培污水中总磷(TP) 浓度随水力停留时间呈负相关( 相关系数  $r$  均大于 0.9) ,降解率依次以香根草、美人蕉、黄菖蒲居高 ,分别达到了 86.49%、80.99% 和 79.99% ;第 3 次进水期间 ,各植物与对照差异均显著 ( $P < 0.05$ ) ,对总磷(TP) 的均有较稳定的降解 ,污水中总磷(TP) 浓度随水力停留时间呈负相关( 相关系数  $r$  均大于 0.9) ,但菰、芦苇、菖蒲的去除率较低 ,分别为: 29.70%、36.65% 和 44.00% ,而香根草、美人蕉、黄菖蒲、薏苡仍保持较高的去除率 ,分别为: 86.39%、83.99%、79.59% 和 67.60% 。随着时间的延长 ,7 种植物对氮磷的处理效果呈现上升趋势 ,这主要与植物生物量迅速增长相关 ,植物补偿性吸收氮磷致使与无植物的对照组差异显著。

### 2.5 水培实验后各湿地植物氮磷含量及分布

水培实验后 7 种湿地植物地下部分全氮和全磷含量分别为 95.048 ~ 2 636.572 和 8.789 ~ 345.073 mg 地上部分分别为 321.038 ~ 1 778.802 和 33.178 ~ 225.311 mg(表 3), 各种植物间差异显著 ( $P < 0.05$ )。地上部分和地下部分总含氮和总含磷量以黄菖蒲最高, 芦苇和菰最低, 其他依次是香根草、薹苳、美人蕉、菖蒲。除黄菖蒲以外, 植株的氮磷含量主要集中在地上部分, 它们的地上部分含氮量占总含氮量为 60% ~ 85%, 含磷量为 60% ~ 80%, 由此可见湿地处理系统可以通过收割湿地植物的地上部分, 彻底去除污水中的大部分氮磷, 减少更换基质的繁琐和对整个湿地处理系统的破坏。

表 3 水培实验后各植物的氮磷含量及分布

Tab. 3 Nitrogen and phosphorus content and distribution of plants after water cultivating experiment

植物种类 Plant species	植株总含氮量/mg Plant nitrogen		植株总含磷量/mg Plant phosphorus	
	地下部分 Underground	地上部分 Aboveground	地下部分 Underground	地上部分 Aboveground
	薹苳( <i>Coix lacryma-jobi</i> )	553.597	1 104.848*	52.966
香根草( <i>Vetiveria zizanoides</i> )	902.485	1 636.513*	97.098	158.382*
菖蒲( <i>Acorus calamus</i> )	524.054	822.255*	68.921	112.659*
美人蕉( <i>Canna indica</i> )	744.035	1 277.973*	70.120	136.075*
菰( <i>Zizania latifolia</i> )	193.649	321.038*	25.526	46.063*
芦苇( <i>Phragmites australis</i> )	95.048	436.142*	8.789	33.178*
黄菖蒲( <i>Iris pseudacorus</i> )	2 636.572	1 778.802*	345.037	225.611*

\* 表示差异 5% 水平显著性。\* significant at 0.05 level.

### 2.6 植株积累的氮磷与湿地氮磷总去除率的关系

表 4 水培实验后各植物的总氮磷含量及氮磷的总去除率

Tab. 4 Nitrogen and phosphorus content and distribution of plants after water cultivating experiment

植物种类 Plant species	植株积累氮磷量/g		氮磷总去除率/%	
	Accumulation of nitrogen and phosphorus		Nitrogen and phosphorus removal efficiency	
	氮 Nitrogen	磷 Phosphorus	氮总去除率 Nitrogen removal efficiency	磷总去除率 Phosphorus removal efficiency
薹苳( <i>Coix lacryma-jobi</i> )	979.204	135.908	57.05	57.93
香根草( <i>Vetiveria zizanoides</i> )	1 149.918	112.922	73.87	79.01
菖蒲( <i>Acorus calamus</i> )	365.378	49.279	37.70	45.37
美人蕉( <i>Canna indica</i> )	1 344.137	137.069	43.66	63.82
菰( <i>Zizania latifolia</i> )	51.824	7.208	27.20	36.12
芦苇( <i>Phragmites australis</i> )	208.554	16.477	24.38	47.39
黄菖蒲( <i>Iris pseudacorus</i> )	1 006.659	130.102	68.79	75.20

湿地植物对污水中总氮的去除率与其积累的氮量成显著线性相关 ( $r = 0.7756, P < 0.05$ ), 对污水中磷的去除率与其积累的磷量也成显著线性相关 ( $r = 0.8204, P < 0.05$ ) (表 4), 水体氮、磷去除率与水生植物净增生物量存在较高相关性, 这说明此水培湿地系统对氮磷的去除主要是湿地植物对氮磷的吸收。

## 3 结 论

### 3.1 降解低浓度生活污水氮磷的高效稳定湿地植物的筛选

植物作为人工湿地的主体, 是降解低浓度生活污水中氮磷的主要力量<sup>[15]</sup>, 选择高效且稳定的吸收

污水氮磷的植物品种显得尤为重要,实验结果表明:①在同一生境中,不同植物生物量增加差异显著,美人蕉增加最长达437.1g,菰最少为17.5g;②在总氮的降解上:香根草和黄菖蒲,它们的降解率高达90.70%和72.39%,水培污水中总氮浓度随水力停留时间呈负相关( $r$ 分别为0.971);③在总磷的降解上:水培污水中总磷(TP)浓度随水力停留时间呈负相关(相关系数 $r$ 均大于0.9),香根草、美人蕉、黄菖蒲、薹苳一直保持较高的去除率,分别为:86.39%、83.99%、79.59%和67.60%;④7种湿地植物地下部分全氮和全磷含量分别为95.048~2636.572mg和8.789~345.073mg,除黄菖蒲以外,植株的氮磷含量主要集中在地上部分,它们的地上部分含氮量占总含氮量为60%~85%,含磷量为60%~80%,植株的氮磷积累量主要集中在地上部分,因此在湿地植物生长旺盛的季节定期对其地上部分进行收割,不但可以去除氮磷,同时可以扩展其氮磷吸收空间。

### 3.2 湿地植物在人工湿地中的管理

实验结果表明:生活污水中总氮磷的去除率与湿地植物氮磷的积累量成线性相关( $P < 0.05$ ),说明湿地植物在污水氮磷降解中发挥重要作用,这主要因为植物本身生长繁殖需要大量的营养物质来合成有机质,所以在人工湿地运行中加强对湿地植物的管理显得尤为重要。水培后,各植物间以及其自身的地上部分与地下部分的生物量差异显著( $P < 0.05$ ),这是由于各种湿地植物都有其自身生长特性。

#### 参考文献:

- [1]吴建强,阮晓红,王雪.人工湿地中水生植物的作用和选择[J].水资源保护,2005(1):1-6.
- [2]王宝贞,王琳.水污染治理新技术:新工艺、新概念、新理论[M].北京:科学出版社,2004:200-256.
- [3]潘科,杨顺生,陈钰.人工湿地污水处理技术在我国的发展研究[J].四川环境,2005,24(2):71-75.
- [4]张兵之,吴振斌,徐光来,等.人工湿地的发展概况和面临的问题[J].环境科学与技术,2003,26:87-90.
- [5]种云霄,霁胡,洪莹,等.大型水生植物在水污染治理中的应用研究进展[J].环境污染治理技术与设备,2003(2):36-40.
- [6]尹炜,李培军,裘巧俊.植物吸收在人工湿地去除氮、磷中的贡献[J].生态学杂志,2006,25(2):218-221.
- [7]蒋跃平.亚热带地区人工湿地植物功能多样性研究[D].杭州:浙江大学,2005:5.
- [8]Kantaw S, Pilaila S, Tanapiyaw Wets, et al. Wastewater treatment by tropical plants in vertical-flow constructed wetlands [J]. Water Sci Technol, 1999, 40(3):173-178.
- [9]Kootatep T. Role of plant uptake on nitrogen removal in constructed wetlands located in the tropics [J]. Water Sci Technol, 1997, 36(12):1-8.
- [10]Lund L J, Horne A J, Williams A E. Estimating denitrification in a large constructed wetland using stable nitrogen isotope ratios [J]. Ecol Eng, 2000, 14:67-76.
- [11]Brij G. Natural and constructed wetlands for wastewater treatment. potential and problems [J]. Water Sci Technol, 1999, 40(3):27-35.
- [12]Brix H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands [J]. Water Sci Technol, 1997, 35(5):11-17.
- [13]石雷,杨璇.人工湿地植物量及其对净化效果影响的研究[J].生态环境学报,2010,19(1):28-33.
- [14]国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].第4版.北京:中国环境科学出版社,2002:243-257.
- [15]李建娜,胡曰利,吴晓芙,等.人工湿地污水处理系统中的植物氮磷吸收富集能力研究[J].环境污染与防治,2007,29(7):506-509.