

# 生活污水处理场主要湿地植物 吸氮纳磷的生态功能

刘 颖<sup>1</sup>, 李 虹<sup>2</sup>, 袁平成<sup>3\*</sup>, 胡小飞<sup>1</sup>, 高勇生<sup>4</sup>

(1 南昌大学 生命科学与食品工程学院, 江西 南昌 330031; 2 江西省高等公路管理局 赣州管理处, 江西 赣州 342500; 3 江西农业大学 园林与艺术学院, 江西 南昌 330045; 4 江西农业大学 国土资源与环境学院, 江西 南昌 330045)

摘要: 利用原位定点观测方法, 研究梭鱼草、鸢尾、美人蕉、芦苇、菖蒲和香根草 6种人工湿地植物的根、茎、叶氮、磷浓度及其化学计量的季节变化。结果表明: (1) 6种植物体不同部分氮、磷浓度分别介于 14~ 51 mg/g 和 1.4~ 6.2 mg/g 均具有较强的氮、磷吸收能力, 除香根草外, 其它植物地上部分氮、磷浓度均高于地下部分 ( $P < 0.05$ ); (2) 植物体单位面积根、茎和叶的氮、磷贮量与植物生物量呈正比, 且地上部分高于地下部分, 故收割植物地上部分是去除生活污水氮、磷含量的有效途径; (3) 鸢尾叶片 N:P 比值大于 16, 梭鱼草在 14~ 16 其余小于 14, 且芦苇、菖蒲和香根草氮、磷贮量较高, 故推荐后 3种植物为该生活污水处理场的优先选择物种。

关键词: 污水处理; 湿地植物; 氮; 磷; 生态功能

中图分类号: S714.2 文献标志码: A 文章编号: 1000- 2286(2010)06- 1291- 06

## The Ecological Function of Nitrogen and Phosphorus Accumulations for Six Wetland Plants in Domestic Sewage Treatment Plant

LIU Ying<sup>1</sup>, LI Hong<sup>2</sup>, YUAN Ping-cheng<sup>3\*</sup>, HU Xiao-fei<sup>1</sup>, GAO Yong-sheng<sup>4</sup>

(1 College of Life Sciences and Food Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China; 2 Jiangxi High-grade Highway Administration Bureau, Ganzhou 342500, China; 3 College of Landscape and Art, JAU, Nanchang 330045, China; 4 College of Land Resources and Environment, JAU, Nanchang 330045, China)

**Abstract** Seasonal variations of N and P concentrations and N: P ratios in roots, stems and leaves were studied on six wetland plant species including *Pontederia cordata*, *Iris germanica*, *Canna indica*, *Phragmites communis*, *Acorus calamus* Linn and *Vetiveria zizanioides* using in situ observation method. The results showed (1) The N and P concentrations in different parts of the six plant species are between 14~ 51 mg/g and 1.4~ 6.2 mg/g respectively. All the selected species have strong ability of N and P accumulation. The N and P concentrations are higher in the aboveground part than in the underground part except *Vetiveria zizanioides* ( $P < 0.05$ ). (2) The N and P storages per m<sup>2</sup> of all the plants are positively related with their biomass and higher in the aboveground part than in the underground part, which indicates that it is an effective pathway to remove N and P accumulations with harvesting the plant above ground parts in domestic sewage. (3) The N: P ratio of *Iris germanica* is higher than 16, the ratio of *Pontederia cordata* is between 14 and 16 while the ratios

收稿日期: 2010- 04- 19 修回日期: 2010- 11- 30

基金项目: 江西省科技厅支撑项目 (2009BSB09002)、江西省教育厅项目 (GJJ09158)和江西省交通厅世行贷款项目 (200700031)

作者简介: 刘颖 (1986- ), 女, 硕士生, 主要从事植物生态研究, E-mail liuyingdou60@163.com; \* 通讯作者: 袁平成, 副教授, E-mail pingchengy711115@126.com.

of other species are lower than 14. Additionally, the N and P storages are higher in *Phragmites communis*, *Acorus calamus* Linn and *Vetiveria zizanioides* than in *Iris germanica* and *Pontederia corlata*s. Thus the authors suggest that the three species mentioned afore would be preferential species to plant in this domestic sewage treatment plant.

**Key words** waste water treatment; wetland plants; nitrogen; phosphorus; ecological function

据估计,我国每年排放的污水只有 24% 的工业污水和 4% 的生活污水经过处理, 80% 的饮用水源遭到污染, 而已建成的传统污水处理厂远远不能满足污水处理的需要<sup>[1]</sup>。相比其他污水处理技术, 人工湿地污水处理与利用技术具有污染物去除率高、氮磷去除能力较强、出水水质好; 运行维护管理方便, 投资及运行费用低; 能够改善和美化环境, 促进旅游业发展等优点<sup>[1]</sup>, 是解决中小城市和农村生活污水问题的最佳选择。湿地植物是人工湿地处理系统的核心部分<sup>[2]</sup>, 筛选抗性强、净化效果好的湿地植物, 有助于人工湿地的高效运行与维护, 实现生态效益和经济效益的双赢。氮、磷通常以多种形态存在于污水中, 会引起水体的富营养化, 以至于降低水体水质和影响水功能, 所以污水的氮磷去除效果一直是评价人工湿地处理系统功能的重要指标<sup>[3]</sup>。而近些年来, 氮磷生态化学计量学理论及其应用的拓展为揭示植物氮磷吸收及其调控机制提供了新的思路<sup>[4]</sup>。

中亚热带具有丰富的湿地植物, 温暖湿润、日照充足、霜期较短、雨量充沛等优越的气候条件<sup>[5]</sup> 有助于构建集经济、高效和景观一体化的人工湿地污水处理系统。然而, 由于对湿地生态功能以及湿地植物在人工湿地构建中的作用认识欠缺, 目前对人工湿地植物的筛选及其生态功能的评价还远远不能满足人工湿地生活污水处理系统日益增长的需求。

在构建 3 年的江西农业大学生活污水处理系统中选取 6 种典型湿地植物为研究对象, 避免盆栽试验的缺陷, 采用原位观测的方法, 剖析不同植物根、茎、叶的氮、磷浓度及其化学计量的季节变化, 比较不同植物体氮磷积累的分布格局, 评价单位面积不同植物体吸氮纳磷的生态功能, 从而为人工湿地植物的筛选、景观化植物群落的构建和人工湿地生活污水处理系统的管理提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 生活污水处理系统

江西农业大学生活污水处理场于 2005 年构建, 采用 3 套系统。即表面流湿地系统 (SFW)、潜流式湿地系统 (SSFW) 和多级流湿地系统 (MFW)。该湿地总面积约为 535 m<sup>2</sup> (其中, SFW 400 m<sup>2</sup>, SSFW 10 m<sup>2</sup>, MFW 125 m<sup>2</sup>), 有效容积约为 179.7 m<sup>3</sup> (其中, SFW 120 m<sup>3</sup>, SSFW 23.1 m<sup>3</sup>, MFW 36.6 m<sup>3</sup>), SFW 有效水深为 0.2~0.5 m, 水力停留时间 28.8 h; SSFW 有效水深为 0.7 m, 水力停留时间 11 h; MFW 有效水深为 0.4 m, 水力停留时间 17.57 h。该系统湿地植物 60 余种, 其中挺水植物约 40 种, 浮水植物约 10 种, 沉水植物约 10 种, 其中, SFW 采用连续进水, SSFW 采用间歇式进水的方式, 系统进水口水质指标见表 1, 出场水质的各项化学指标均达到了 GB18918-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准。

表 1 湿地系统进水水质指标

Tab 1 The indexes of water quality in wetland systems

mg/L

水质指标 Water quality	总氮 Total N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N	总磷 Total P	COD	BOD
范围 Range	25~33	11~20	0.2~2.6	0.1~0.3	4.6~9.3	85~121	10~19
平均值 Mean	29.11	15.33	0.93	0.19	6.93	102.86	14.48

### 1.2 拟筛选的湿地植物及其特征

选取 6 种在人工湿地中生长良好且具有一定的景观效应和经济价值的植物, 分别是: 梭鱼草 (*Pontederia corlata*)、鸢尾 (*Iris germanica*)、美人蕉 (*Canna indica*)、芦苇 (*Phragmites communis*)、菖蒲 (*Acorus calamus* Linn) 和香根草 (*Vetiveria zizanioides*)。梭鱼草为多年生挺水植物, 生长迅速, 繁殖能力强; 鸢尾为多年生湿生宿根草本植物, 适应性强; 美人蕉为多年生直立草本, 具有良好的污水净化<sup>[6]</sup>和美观价值; 芦苇为多年生水生或湿生的高大禾草, 适应性广, 抗逆性强; 菖蒲为多年生挺水植物, 具有较强吸收磷的

能力<sup>[7]</sup>; 香根草为密集丛生的多年生草本植物, 具有适应能力强、生长繁殖快、根系发达等特性。以上植物均是构建人工湿地植物系统的主要种类, 具有较强同化吸收污染物和拦截、过滤污染物的作用, 应用范围广泛<sup>[8]</sup>。湿地植物梭鱼草、鸢尾、芦苇、菖蒲于 2005 年 4 月种植在 SFW 中; 美人蕉于 2005 年 6 月种植在 SSFW 中; 香根草于 2006 年 5 月种植在 MFW 中。在每种植物栽种前, 对湿地系统先进行清水处理, 而后对所有湿地植物进行半污灌溉处理, 最后全部灌入污水, 并定期对污水的质量状况和生长状况进行测量。

### 1.3 植物样品的采集及预处理

试验于 2008 年 6 月、9 月和 12 月对 6 种湿地植物进行全株收获。每次收获时于处理系统内选取两处(污水入口近端和远端)分别采集不同湿地植物平均大小的植株 1~3 株, 用自来水快速冲洗后, 立即带回实验室, 用蒸馏水逐一冲洗, 再按根、茎、叶不同器官分开, 最后用牛皮纸包好, 放入 60 °C 烘箱中烘干至恒重。采样为 2 次重复, 即污水入口近端和远端的植株不混合, 分别测定、分析和计算。

### 1.4 植株根、茎、叶的生物量

采集样品的同时, 分别围绕所采集的植株, 调查 1 m × 1 m 范围内植株数, 换算成植株密度, 结合植株烘干后的根、茎、叶的干重, 计算单位面积植株不同器官及其地下、地上和全株生物量。

### 1.5 根、茎、叶氮磷测定及其贮量计算

不同植株的根、茎、叶烘干后, 磨碎, 过筛, 用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮后, 分别采用凯氏定氮法和钼锑抗比色法测定全氮和全磷含量<sup>[9]</sup>。计算出不同植物体根、茎、叶的氮、磷浓度及其化学计量比, 并根据以下公式换算出植物体不同器官氮和磷贮量(PS):  $PS = PB \times PC$

其中,  $PB$  为植物体单位面积的生物量,  $PC$  为植物体的氮和磷浓度。

### 1.6 数据处理与分析

所有数据采用 SPSS (11.5) 软件处理。采用单因素方差分析中的多重比较分别检验不同植物种类和不同营养器官之间氮磷浓度、贮量、积累量的差异, 显著性水平 ( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同植物根、茎、叶氮磷浓度

植物体氮和磷浓度 6 月、9 月和 12 月均存在月份上的波动; 植物体根、茎、叶不同器官氮磷浓度月份波动规律不一致。总体来看, 叶的月份波动幅度较大, 根次之, 而茎较小; 氮浓度的月份波动幅度大于磷 [图 1(A) 和 (B)]。尽管 6 种植物种类之间不同器官氮磷浓度的高低次序随月份有微小的变化, 但总体看来, 根的氮浓度表现为梭鱼草、鸢尾和芦苇较高, 美人蕉和菖蒲居中, 香根草最低; 茎的氮浓度表现为鸢尾的最高, 梭鱼草和菖蒲居中, 美人蕉和芦苇较低; 叶的氮浓度表现为梭鱼草最高, 鸢尾、美人蕉和芦苇居中, 菖蒲和香根草较低 [图 1(A)]。根的磷浓度表现为梭鱼草和菖蒲较高, 鸢尾、美人蕉和芦苇居中, 香根草最低; 茎的磷浓度表现为梭鱼草最高, 美人蕉和菖蒲居中, 鸢尾和芦苇较低; 叶的磷浓度表现为梭鱼草和美人蕉较高, 鸢尾和菖蒲居中, 芦苇和香根草较低 [图 1(B)]。

### 2.2 不同植物根、茎、叶氮磷化学计量比

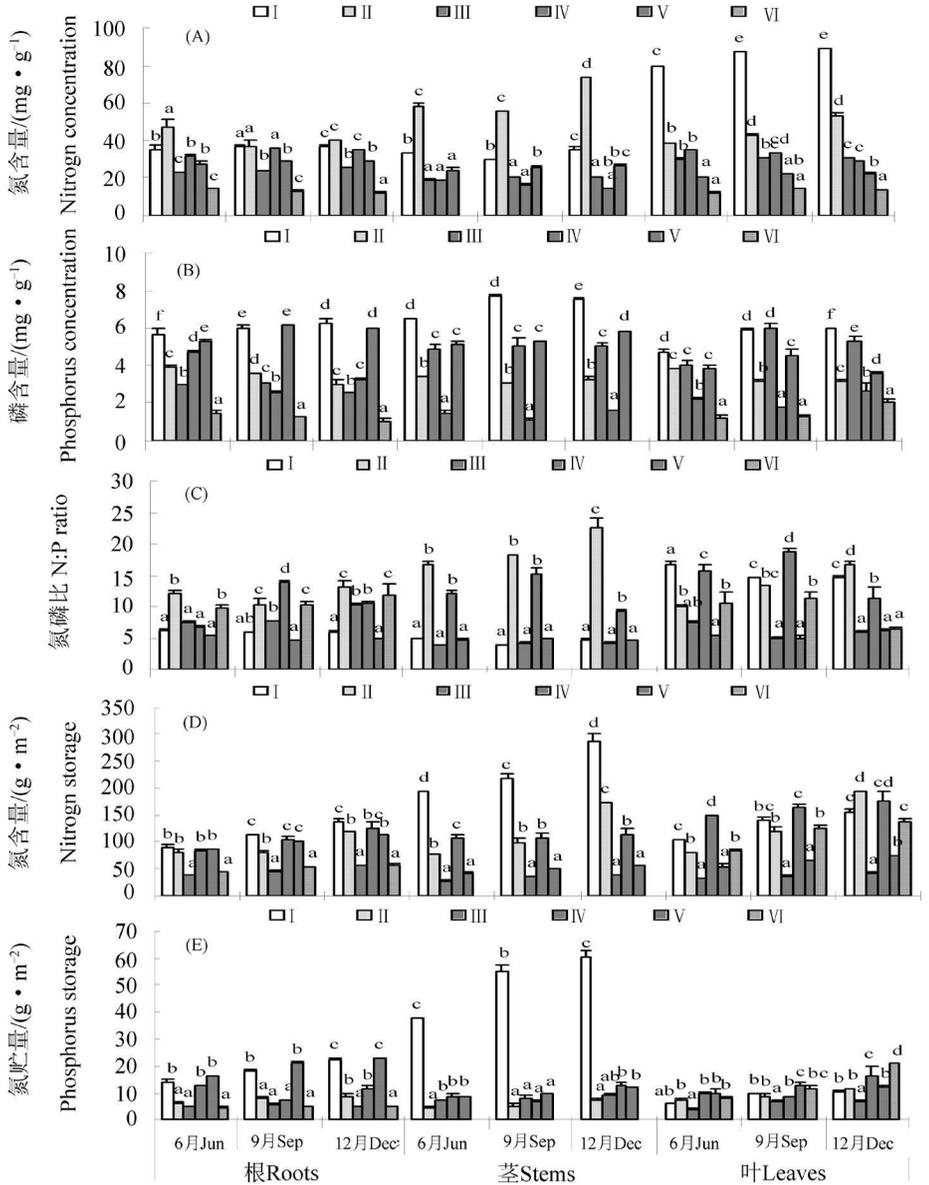
相对植物体氮磷浓度的月份波动性来说, 植物体根、茎、叶氮磷化学计量比的月份波动性较小 [图 1(C)]。总体来看, 根氮磷比表现为鸢尾、美人蕉、芦苇和香根草高于梭鱼草和菖蒲; 茎的氮磷比表现为鸢尾和芦苇高于梭鱼草、美人蕉和菖蒲; 叶的氮磷比表现为梭鱼草、鸢尾和芦苇高于美人蕉、菖蒲和香根草 [图 1(C)]。不同器官氮磷比的高低随植物种类而有不同的趋势, 其中梭鱼草表现为叶的氮磷比明显高于根和茎; 鸢尾表现为茎明显高于根和叶; 美人蕉表现为根、叶、茎依次降低; 而芦苇、菖蒲和香根草均表现为根、茎、叶之间差异不显著 [图 1(C)]。

### 2.3 不同植物单位面积氮磷贮量

随着植物生物量的增加, 6 月、9 月至 12 月 6 种植物体单位面积根、茎和叶的氮磷贮量均有不同程度的提高 [图 1(D) 和 (E)]。生长季末不同植物单位面积根的氮贮量为 54.31~135.13 g/m<sup>2</sup>, 梭鱼草、鸢尾、芦苇和菖蒲明显高于美人蕉和香根草; 茎的氮贮量为 37.49~285.07 g/m<sup>2</sup>, 梭鱼草最高, 鸢尾和芦苇居中, 美人蕉和菖蒲较低; 叶的氮贮量为 40.51~175.46 g/m<sup>2</sup>, 梭鱼草、鸢尾、芦苇和香根草高于美人蕉和菖蒲 [图 1(D)]。

生长季末不同植物单位面积根的磷贮量为 4.78~ 22.91 g/m<sup>2</sup>, 梭鱼草和菖蒲较高, 鸢尾和芦苇居中, 美人蕉和香根草较低; 茎的磷贮量为 7.66 ~ 60.73 g/m<sup>2</sup>, 梭鱼草显著高于鸢尾、美人蕉、芦苇和菖蒲; 叶的磷贮量为 7.01 ~ 21.06 g/m<sup>2</sup>, 芦苇和香根草较高, 梭鱼草、鸢尾和菖蒲居中, 美人蕉最低 [图 1 (E)]。

此外, 单位面积植物体氮磷贮量均表现为地上部分高于地下部分 (表 2 和表 3)。生长季末单位面积植物体全株氮贮量表现为梭鱼草、鸢尾和芦苇较高, 菖蒲和香根草居中, 美人蕉最低 (表 2); 全株磷贮量表现为梭鱼草最高, 芦苇和菖蒲居中, 鸢尾、美人蕉和香根草较低 (表 3)。



I 梭鱼草 *Pontederia cordata*, II 鸢尾 *Iris geminica*, III 美人蕉 *Canna indica*, IV: 芦苇 *Phragmites communis*, V: 菖蒲 *Acorus calamus* Linn, VI 香根草 *Vetiveria zizanioides*

图 1 不同植物的根茎叶氮磷浓度及其贮量的动态变化

Fig 1 The monthly variations in the concentrations and storages of N and P in roots stems and leaves of different plants

### 3 讨论与结论

#### 3.1 植物体氮磷浓度的变异性

植物体氮磷浓度季节变化表明, 6种植物体不同器官的氮磷浓度季节波动规律均不一致。从 6 月份到 12 月份, 同种植物不同器官氮磷浓度存在差异性。其中, 梭鱼草、美人蕉、芦氮浓度表现为叶 > 根 > 茎, 鸢尾为茎 > 叶 > 根, 菖蒲、香根草为根 > 茎 > 叶。磷浓度梭鱼草表现为茎 > 根 > 叶, 鸢尾、芦苇、香根草为根 > 叶 > 茎, 菖蒲为根 > 茎 > 叶, 美人蕉为叶 > 茎 > 根。总体来看, 梭鱼草、鸢尾、芦苇、美人蕉和菖蒲地上部分的氮、磷含量高于地下部分, 可能源于取样时期内这些植物长势良好, 植物生长未到枯萎期, 地上部分的氮磷浓度沿未转移到地下<sup>[10]</sup>。而香根草的地下部分高于地上部分, 可能是因为香根草的根系比较发达<sup>[11]</sup>, 氮磷的吸收功能较地上部分强。

同种器官不同植物氮磷浓度也有所不同。其中, 根的氮浓度为 13.55~ 41.56 g/kg 表现为鸢尾 > 梭鱼草 > 芦苇 > 菖蒲 > 美人蕉 > 香根草; 茎的氮浓度为 16.49~ 62.27 g/kg 表现为鸢尾 > 梭鱼草 > 菖蒲 > 美人蕉 > 芦苇; 叶的氮浓度为 13.40~ 84.79 g/kg 表现为梭鱼草 > 鸢尾 > 芦苇 > 美人蕉 > 菖蒲 > 香根草。根的磷浓度为 1.30~ 5.97 g/kg 表现为梭鱼草 > 菖蒲 > 芦苇 > 鸢尾 > 美人蕉 > 香根草; 茎的

表 2 单位面积不同植物地下部分(根)、地上(茎和叶)和全株氮贮量

Tab 2 The N storage per area in below ground parts ( roots), aboveground parts ( stems and leaves) and total individual for different plant species g/m<sup>2</sup>

植物种类 Plant species	地下部分 Belowground			地上部分 Aboveground			全株 Total		
	6月	9月	12月	6月	9月	12月	6月	9月	12月
梭鱼草 <i>Pontederia cordata</i>	88.22 ±4.08	110.98 ±1.84	135.13 ±8.19	294.18 ±1.90	357.14 ±16.36	440.47 ±20.40	382.39 ±5.97	468.12 ±14.53	575.60 ±28.59
鸢尾 <i>Iris germanica</i>	79.41 ±7.58	81.91 ±0.30	119.01 ±0.06	155.00 ±1.00	216.00 ±19.76	364.34 ±1.99	234.41 ±6.59	297.91 ±20.06	483.35 ±1.93
美人蕉 <i>Canna indica</i>	38.11 ±0.32	44.84 ±1.87	54.31 ±1.54	58.66 ±1.42	69.26 ±1.82	78.00 ±2.83	96.76 ±1.10	114.10 ±3.69	132.30 ±4.36
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	83.73 ±2.23	104.17 ±4.21	124.36 ±10.77	253.36 ±9.07	270.30 ±14.46	289.30 ±28.75	337.09 ±11.30	374.47 ±18.67	413.66 ±39.52
菖蒲 <i>Acorus calamus Linn</i>	85.33 ±0.74	99.69 ±2.45	112.77 ±0.81	94.43 ±4.31	113.38 ±0.33	131.35 ±0.22	179.75 ±3.56	213.07 ±2.78	244.11 ±1.03
香根草 <i>Vetiveria zizanioides</i>	43.26 ±0.33	52.32 ±0.87	56.16 ±3.08	82.62 ±4.07	126.17 ±2.91	137.58 ±5.79	125.88 ±3.00	178.49 ±3.25	193.74 ±7.81

平均值 ±标准误, n = 2, Mean ± Standard error, n = 2

表 3 单位面积不同植物地下部分(根)、地上(茎和叶)和全株磷贮量

Tab 3 The P storage per area in belowground parts ( roots), aboveground parts ( stems and leaves) and total individual for different plant species g/m<sup>2</sup>

植物种类 Plant species	地下部分 Belowground			地上部分 Aboveground			全株 Total		
	6月	9月	12月	6月	9月	12月	6月	9月	12月
梭鱼草 <i>Pontederia cordata</i>	14.03 ±0.77	18.17 ±0.40	22.53 ±0.52	43.78 ±0.08	64.99 ±2.92	71.24 ±2.36	57.81 ±0.85	83.15 ±2.51	93.77 ±2.88
鸢尾 <i>Iris germanica</i>	6.52 ±0.40	7.95 ±0.69	9.0 ±0.57	12.36 ±0.25	14.22 ±1.40	19.25 ±0.73	18.87 ±0.64	22.17 ±2.09	28.28 ±0.17
美人蕉 <i>Canna indica</i>	4.98 ±0.10	5.80 ±0.18	5.29 ±0.02	11.31 ±0.39	15.30 ±0.75	16.24 ±1.43	16.28 ±0.29	21.10 ±0.92	21.52 ±1.41
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	12.38 ±0.69	7.53 ±0.07	11.86 ±1.27	18.27 ±1.84	15.70 ±0.98	28.54 ±5.81	30.64 ±2.52	23.22 ±1.05	40.40 ±7.08
菖蒲 <i>Acorus calamus Linn</i>	16.09 ±0.01	21.23 ±0.51	22.91 ±0.34	18.77 ±1.23	23.05 ±0.99	24.13 ±0.26	34.86 ±1.24	44.27 ±1.50	47.04 ±0.60
香根草 <i>Vetiveria zizanioides</i>	4.47 ±0.21	5.07 ±0.25	4.78 ±0.35	7.95 ±0.86	11.30 ±1.35	21.06 ±0.18	12.41 ±0.91	16.37 ±1.34	25.84 ±0.20

平均值 ±标准误, n = 2, Mean ± Standard error, n = 2

磷浓度为 1.40~7.22 g/kg 表现为梭鱼草 > 菖蒲 > 美人蕉 > 鸢尾 > 芦苇; 叶的磷浓度为 1.52~5.54 g/kg 表现为梭鱼草 > 美人蕉 > 菖蒲 > 鸢尾 > 芦苇 > 香根草。本研究 6种植物的氮、磷浓度分别在 13.48~51.34 mg/L和 1.40~6.24 mg/L。其中梭鱼草的氮、磷浓度最高,香根草最低。DeBusk<sup>[12]</sup>的研究结果为,在中度富营养化(总氮总磷分别为 11.4 mg/L和 3.0 mg/L)水中,10种挺水植物的氮、磷浓度分别在 10.2~25.5 mg/L及 1.3~3.7 mg/g。蒋跃平等<sup>[13]</sup>研究显示,轻度富营养化水中(氮、磷含量分别为 1.71 mg/L和 0.08 mg/L),17种植物在稳定生长 105 d后,其氮、磷浓度分别在 10.68~32.66 mg/L及 0.73~3.36 mg/g。通过比较可以发现,本研究中 6种植物体内的氮、磷浓度相对较高,具有较强的氮、磷吸收能力。

### 3.2 氮磷化学计量比

从植物体根、茎、叶氮磷化学计量比可以看出,植物体不同器官的氮磷化学计量比和磷浓度密切相关。总体表现为磷浓度越高,氮磷化学计量比越小。这与生长速率理论中有机体 C:N:P 比的变化主要是由生物体 P 含量的变化决定<sup>[14]</sup>相一致。同种植物不同器官氮磷比存在差异。其中梭鱼草、美人蕉、

菖蒲表现为叶 > 根 > 茎, 鸢尾为茎 > 叶 > 根, 芦苇为叶 > 茎 > 根, 香根草为根 > 叶。同一器官不同植物氮磷比存在差异。其中根表现为鸢尾 > 香根草 > 芦苇 > 美人蕉 > 梭鱼草 > 菖蒲; 茎为鸢尾 > 芦苇 > 菖蒲 > 梭鱼草 > 美人蕉; 叶为梭鱼草 > 芦苇 > 鸢尾 > 香根草 > 美人蕉 > 菖蒲。

植物叶片的 N:P 临界比值被认为可以作为判断环境对植物生长的养分供应状况的指标<sup>[15]</sup>。本研究中 6 种植物 N:P 比表现为鸢尾大于 16 梭鱼草介于 14~16 而美人蕉、芦苇、菖蒲和香根草小于 14 [图 1(C)]。可见, 鸢尾具有较强的氮吸收能力, 而美人蕉、芦苇、菖蒲和香根草具有较强的磷吸收功能。而植物氮磷吸收可能还受到植物死亡分解过程中氮磷含量的释放<sup>[16]</sup>、污水本身氮磷含量、湿地基质以及气候条件等影响<sup>[10]</sup>。

### 3.3 湿地植物消氮纳磷生态功能

对植物体单位面积氮磷贮量进行比较得出, 6 月、9 月至 12 月 6 种植物体单位面积根、茎和叶的氮磷贮量与植物生物量呈正比, 这与蒋跃平等<sup>[13, 17]</sup>研究结果一致。其中, 氮贮量表现为: 梭鱼草具有最高的地上、地下部分氮贮量, 这与梭鱼草的单位面积生物量较高有关; 美人蕉具有最低的地上、地下部分氮贮量, 这是因为美人蕉生长势较差、生物量较低所致。菖蒲具有最高的地下部分磷贮量, 这与菖蒲根的生物量较大一致; 梭鱼草具有最高的地上部分磷贮量, 主要由于梭鱼草茎的生物量较大; 香根草具有最低的地上、地下部分磷贮量, 这也与其生物量较小相一致。从表 2 表 3 可看出, 这 6 种植物的地上部分氮磷贮量, 明显高于地下部分, 与蒋跃平等<sup>[13, 17]</sup>的试验结果一致。植物的氮磷积累量主要集中在植物的地上部分, 所以可以通过对植物地上部分的收割方式有效地将氮磷从污水和湿地系统中去除<sup>[13]</sup>。

对植物体单位面积氮磷贮量月份变化计算表明, 植物体从 3 月份到 12 月份净吸收的氮磷含量有差异。氮净吸收量为鸢尾 > 梭鱼草 > 芦苇 > 香根草 > 菖蒲 > 美人蕉, 而磷净吸收量为梭鱼草 > 香根草 > 菖蒲 > 芦苇 > 鸢尾 > 美人蕉。综合分析生活污水氮磷水平、植物生长特性、不同器官氮磷浓度及其化学计量比季节变化, 推荐芦苇、菖蒲和香根草为构建生活污水人工湿地系统优先种植的植物种。为了提升污水中氮磷去除效果, 建议要创造良好的生态环境条件, 改善植物的生长势, 增加植物生物量, 有效提高氮磷积累量, 从而保障湿地植物生活污水处理系统高效运行。

### 参考文献:

- [1] 杨奇. 人工湿地植物的筛选及试验研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2007.
- [2] 王圣瑞, 年跃刚, 侯文华, 等. 人工湿地植物的选择 [J]. 湖泊科学, 2004, 16(1): 91-96
- [3] 李林锋, 年跃刚, 蒋高明. 植物吸收在人工湿地脱氮除磷中的贡献 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(3): 337-342
- [4] 陈伏生, 胡小飞, 葛刚. 城市地被植物冬冬叶片氮磷化学计量比和养分再吸收效率 [J]. 草业学报, 2007, 16(4): 47-54
- [5] 江西省地方志编纂委员会. 江西省自然地理志 [M]. 南昌: 方志出版社, 2003
- [6] 李芳柏, 吴启堂. 无土栽培美人蕉等植物处理生活废水的研究 [J]. 应用生态学报, 1997, 8(1): 88-92
- [7] 杨敦, 徐丽花, 周琪. 潜流式人工湿地在暴雨径流污染控制中应用 [J]. 农业环境保护, 2002, 21(4): 334-336
- [8] 种云霄, 胡洪营, 钱易. 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, 4(2): 36-40
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [10] 金卫红, 付融冰, 顾国维. 人工湿地中植物生长特性及其对 TN 和 TP 的吸收 [J]. 环境科学研究, 2007, 20(3): 75-80
- [11] 黄丽华, 沈根祥, 钱晓雅. 7 种人工湿地植物人工扩展能力比较研究 [J]. 上海环境科学, 2006, 4: 176
- [12] DeBusk T A, Reddy K R. Use of aquatic and terrestrial plants for removing phosphorus from Dairy wastewater [J]. Ecological Engineering, 1995, 5: 371-393
- [13] 蒋跃平, 葛滢, 岳春雷, 等. 人工湿地植物对观赏水中氮磷去除的贡献 [J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1718-1723
- [14] Vanni M J, Flecker A S, Hood J M, et al. Stoichiometry of nutrient recycling by vertebrates in a tropical stream: linking biodiversity and ecosystem function [J]. Ecology Letters, 2002, 5: 285-293
- [15] Wassen M J, Olde Venterink HGM, De Swart EOAM. Nutrient concentrations in mire vegetation as a measure of nutrient limitation in mire ecosystems [J]. Journal of Vegetation Science, 1995, 6: 5-16
- [16] 李燕, 王丽卿, 张瑞雷. 5 种沉水植物死亡分解过程中氮磷营养物质的释放 [J]. 上海环境科学, 2008(2): 68-71
- [17] 蒋跃平, 葛滢, 岳春雷, 等. 轻度富营养化水人工湿地处理系统中植物的特性 [J]. 浙江大学学报: 理学版, 2005, 32(3): 309-313, 319.