

# 茭草、芦苇与水葫芦的污染物释放规律

卢少勇,张彭义,余刚,祝万鹏,向长生 (清华大学环境科学与工程系,北京 100084)

**摘要:** 选取昆明某人工湿地中的茭草、芦苇和水葫芦进行浸泡试验,考察因植物组织的溶解而导致的污染物释放规律。最快的释放发生在最初的 24h内。COD的释放率小于TN和TP的释放率。芦苇的COD和TN释放速率最小,茭草的TP释放速率最小,茭草的COD释放速率最大,水葫芦的TN和TP释放速率最大。在停留时间为 5d,水力负荷为 8.7cm/d,TN、TP和COD负荷为 1.52,0.11,13.7g/(m<sup>2</sup>·d)条件下,植物组织释放N、P、COD的量分别占去除负荷的 29%,20%和 38%。这表明对于进水负荷较低的人工湿地,收割植物可以改善湿地低效率时期的处理效率。

**关键词:** 污染物释放; 茭草; 芦苇; 水葫芦; 收割

中图分类号: X503.23 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2005)05-0554-04

**The contaminants release rule of *Zizania caduciflora*, *Phragmites australis* and *Eichhornia crassipes*.** LU Shao-yong, ZHANG Peng-yi, YU Gang, ZHU Wan-peng, XIANG Chang-sheng (Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China). *China Environmental Science*, 2005,25(5): 554~557

**Abstract:** The soak test was made for *Zizania caduciflora*, *Phragmites australis* and *Eichhornia crassipes* selecting from kunming certain of constructed wetland; the contaminants release rule induced by dissolution of plant's tissue was inspected. The quickest release happened within the first 24 hours. The release rate of COD was lower than that of total nitrogen (i.e. TN) and total phosphorus (TP). The contaminants release rate was dependent on the plant species, i.e. *Phragmites australis* had the least COD and TN release rate, *Zizania caduciflor* had the least TP release rate and the largest COD release rate, *Eichhornia crassipes* had the largest TN and TP release rates. Under the conditions of 5d residence time, 8.7cm/d hydrodynamic loading, TN, TP and COD loadings of 1.52, 0.11 and 13.7g/(m<sup>2</sup>·d). The amounts of N, P and COD released from the plant's tissue occupied 29%, 20% and 38% respectively of the removal load. In the constructed wetland of lower influent water load, the crop reaping was very necessary to improve the treatment efficiency of the wetland during the low efficiency period.

**Key words:** contaminants release; *Zizania caduciflora*; *Phragmites australis*; *Eichhornia crassipes*; harvest

湿地植物具有较强的吸收N、P的功能,收割挺水植物能除N 200~500kg/(hm<sup>2</sup>·a)、除P 30~50kg/(hm<sup>2</sup>·a)。用作二级处理的湿地系统,最佳条件下因收割挺水植物去除的N量占N总去除量的10%~16%。用于深度处理的湿地系统,收割植物对于营养物去除则不可忽略<sup>[1]</sup>。在冬季,湿地污染物去除效果通常较差。一方面因温度降低对微生物活性不利;另一方面因冬季植物处于衰亡期,植物组织中大量营养物会分解并释放到水中,进而对湿地系统的处理效果产生负面影响<sup>[2]</sup>。因此如何提高湿地在此阶段的去除效果对湿地全年稳定运行很关键。

作者针对植物根和茎叶组织在浸泡状态下的营养物释放的状况进行研究,结合同时期的湿

地运行,分析植物释放作用和微生物综合作用下的溶出占湿地进水负荷量的比例,可为处理类似负荷的湿地中植物收割与否提供参考。

## 1 材料与方法

2004年5月28日,从湿地进水端取芦苇和茭草各2株,从湿地沉淀塘取水葫芦2株,洗净,擦干植株表面的水分,芦苇和茭草仅取地上部分。均匀选取并称取水葫芦16g,茭草9.6g,芦苇9.6g,切成0.5~1cm段,在105℃烘箱中杀青30min,之

收稿日期: 2005-02-04

基金项目: 国家重大科技专项“滇池流域面源污染控制研究”(2000-03)

\* 责任作者, 副教授, zpy@mail.tsinghua.edu.cn

后置于1L烧杯中,加蒸馏水0.8L,置于2~4℃冰箱中,剩余部分测定长度、重量、含水率和营养物含量,测定方法参考文献[3]。定期取样(取样后加蒸馏水补充至原液面),采用标准方法<sup>[4]</sup>分析总氮(TN),硝氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N),亚硝氮(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N),氨氮(NH<sub>3</sub>-N),总磷(TP)和COD,为期20d,测定期间pH值为6.5~7.0。茭草在第120h采样分析后,换水。

## 2 结果与讨论

### 2.1 植株的理化性质

植株理化性质测定结果见表1。

表1 植株理化指标

Table 1 Results of plant physicochemical index

植株	重量(g)	含水率(%)	TN(g/kg干重)	TP(g/kg干重)
水葫芦茎叶根	100.9	95.0	24.44	6.02
茭草茎叶	58.7	76.3	22.22	2.75
芦苇茎叶	74.4	68.1	16.94	1.96

### 2.2 单位释放量的变化曲线

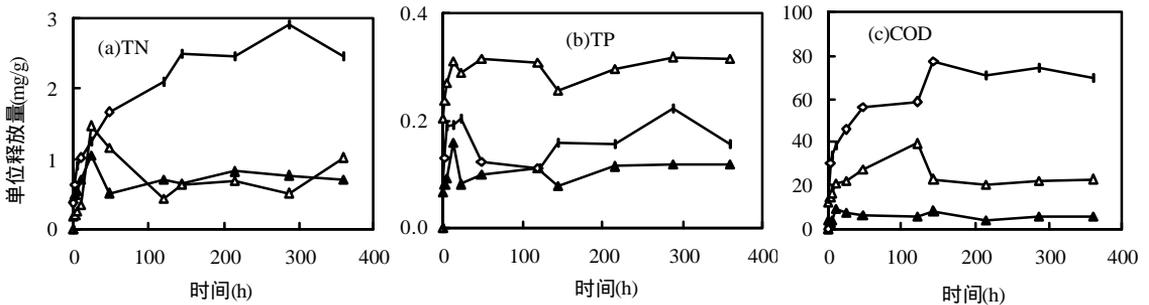


图1 TN、TP与COD释放量

Fig.1 Result of TN、TP and COD release

— — 水葫芦茎叶根 — — 芦苇茎叶 — — 茭草茎叶

2.3.3 C、N、P的浓度变化途径分析 由于试验在5℃以下进行,微生物的生长速度低,COD的降解速率也较低<sup>[5]</sup>。

浸泡过程中pH<8.0,可忽略氨气挥发。因植株死亡,故无生物吸收和异化作用。芦苇与茭草不是固N植物,可忽略固N作用。由于温度低于5℃,硝化反硝化反应很弱<sup>[6]</sup>。所以系统中N浓度降低

累积释放量计算方法如下:

$$Ra = V_i \cdot C_i + \sum (V_{S_j} \cdot C_j)$$

式中:Ra为累积释放量,g; V<sub>i</sub>为第i次采样前溶液总体积,L; C<sub>i</sub>为第i次采样前溶液总浓度,mg/L; V<sub>S<sub>j</sub></sub>为第j次采样体积,L; C<sub>j</sub>为第j次采样前溶液总浓度,mg/L; i=2,3,4...; j=1,2,3...(i-1)。

为便于比较,由累积释放量除以取样重量(湿重)得到单位释放量,单位为mg/g。有机N(ON)用TN扣除NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>3</sub>-N和NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N表示。

### 2.3 污染物释放规律

2.3.1 浓度差的影响 由图1,图2可见,各组植物在0~24h时污染物释放最快。由图1可见,第120h~144h,茭草组的COD、TN和TP的单位释放量均有明显的升高。这表明,水固两相之间的浓度差是植物组织C、N、P释放的一个重要动力。

2.3.2 吸附表面积的影响 由图1,图2可见,COD、N和P随时间的变化均存在一定的波动,因为随着试验的进行,系统中的吸附表面积是动态变化的,吸附-解析作用也是动态的。

主要是因为吸附表面积增大,N浓度升高主要是因为组织的溶解释放作用。由图2可见,NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N的量一直很低。

P具有一种气体形式(膦化氢),只能测定到微量,因此忽略。植株已经死亡,可忽略生物吸收作用。系统主要发生矿化作用(即溶解释放作用),吸附沉淀络合作用不可忽略。

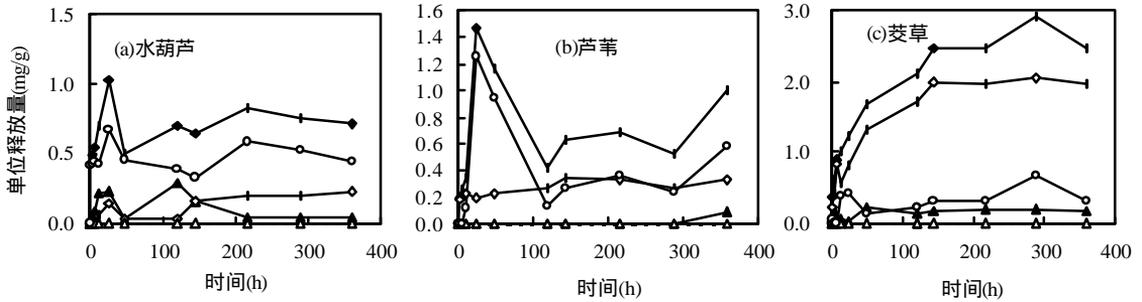


图 2 水葫芦茎叶根、芦苇茎叶与茭草茎叶N的释放量

Fig.2 Nitrogen release of *Eichhornia crassipes* haulm and root, *Phragmites australis* haulm and *Zizania caduciflora* haulm

— — TN — — ON — — NH<sub>3</sub><sup>+</sup>-N — — NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N

由图 1(b)可见,P的释放在浸泡后的最初 24h 内均达到最大值,主要发生组织的溶解作用,而之后吸附沉淀和络合作用逐渐增强.到第 216h之后,达到溶解释放平衡.

2.4 最大释放量和最大释放率

理论最大释放量即为茭草、芦苇和水葫芦的相应组织的 N、P 和 COD 的含量全部释放.根据实测的植物组织的 N、P 含量和含水率,得到理论最大释放量.COD的量按照植物干重乘以 45% 和 92.5%(COD<sub>Cr</sub> 能代表 90%~95%的有机物)<sup>[7]</sup>.植物组织营养物释放量实测最大量与理论最大量的比值定义为最大释放率(表 2).

2.5 植物收割的意义

在植物衰亡期进行植物收割带走其所含营养物,从而提高了总负荷去除量.同时还避免了植物的溶解释放导致的水质恶化.另外,因为衰亡期植株叶片的衰老以及温度的降低导致叶绿素含量降低和Rubisco酶活性降低,导致光合作用减弱<sup>[7]</sup>,大气复氧的贡献增加,此时植物收割加强了大气复氧.人工湿地挺水植物的收割会由于工人行走而对湿地的淤泥沉积层(微生物层和吸附层)产生一定的扰动.

试验期间(5~6 月)湿地平均进水流量为 170m<sup>3</sup>/d,水力负荷为 8.7cm/d.水力停留时间 4.4d.此时期的进水水质和负荷如表 3.

表 2 植物组织污染物最大释放量与最大释放率

Table 2 Theory maximum contaminants release amount and maximum contaminants release ratio

植物组织	of plant tissues					
	最大释放量(mg/g湿重)			最大释放率(%)		
	TN	TP	COD	TN	TP	COD
茭草茎叶	5.40	0.63	98.7	35.3	27.7	25.4
芦苇茎叶	5.27	0.65	133	26.6	44.8	15.0
水葫芦茎叶根	1.22	0.30	20.8	77.3	49.6	14.1

由表 2 可见,茭草的COD释放率大于水葫芦和芦苇;水葫芦的TN释放率最大,茭草次之,芦苇最小.水葫芦的TP释放率最大,芦苇次之,茭草最小.TN、TP的最大释放率大于COD.

表 3 进水水质、负荷与释放量

Table 3 Water quality, load and release amount

项目	进水 (mg/L)	负荷 [g/(m <sup>2</sup> ·d)]	茭草释放 (g)	芦苇释放 (g)	释放浓度 (mg/L)
TN	17.5	1.52	5491	2149	8.99
NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> -N	1.89	0.16	366	0	0.43
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	3.79	0.33	4506	205	5.54
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0.15	0.01	2.3	0.2	0
ON	11.7	1.01	617	1943	3.01
TP	1.25	0.11	291	225	0.61
COD	158	13.7	153539	28832	215

按照试验期间湿地的停留时间(取 5d)、总水量、生物量和植物释放量估算得到释放浓度.生

长初期的植物新生茎叶均从根部发出,因此在一定时间段内全部老茎叶均会逐渐浸泡于水中.忽略枯萎植物的直立部分因被风吹而发生的损耗.在短期内溶解释放的量有限,根据现场运行经验,假设全年最不利的 5d内溶出释放的植物茎叶量占总量的 25%.计算得,试验期间试验条件下植物组织释放N、P和COD的量相当于去除负荷的 29%、20%和 38%.

本试验条件和衰亡期相比,植物生物量、营养物质含量和进水负荷量均有差别,因此衰亡期的植物收割需要结合衰亡期的具体情况分析.试验与实际的人工湿地存在一些差异,在人工湿地中,微生物的作用不可忽略;用于浸泡植物的水的浓度较高,且动态变化.浸泡溶出的贡献在实际湿地中难以精确表征,因为土壤与填料的吸附和渗漏损失等难以测定和计算.

### 3 结论

3.1 360h的浸泡试验表明,最快的释放发生在最初的 24h内.换水有助于污染物的进一步释放.

3.2 植物组织的TN释放率排序为水葫芦茎叶根>茭草茎叶>芦苇茎叶.COD释放率排序为茭草茎叶>芦苇茎叶>水葫芦茎叶根.TP释放率排序为水葫芦茎叶根>芦苇茎叶>茭草茎叶.

3.3 不同污染物的释放速率存在差别,COD的释放率小于TN和TP的释放率.

3.4 在水力负荷为 8.7cm/d, TN、TP和COD负荷为 1.52,0.11,13.7g/(m<sup>2</sup>·d)条件下,植物组织释放N、P和COD量相当于去除负荷的 29%、20%和 38%.因此植物收割对于进水负荷较低的系统具有重要意义.

### 参考文献：

- [1] Vymazal J, Brix H, Cooper P F, *et al.* Removal mechanisms and types of constructed wetlands [A]. Vymazal J, Brix H, Cooper P F, *et al.* Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe [C]. Leiden: Backhuys Publishers, 1998.17-66.
- [2] Majer Newman J, Clausen J C, Neafsey J A. Seasonal performance of a wetland constructed to process dairy milkhouse wastewater in Connecticut [J]. *Ecological Engineering*, 2000, 14(1-2):181-198.
- [3] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000.
- [4] 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.
- [5] Vymazal J. Introduction [A]. Vymazal J, Brix H, Cooper P F, *et al.* Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe [C]. Leiden: Backhuys Publishers, 1998.1-15.
- [6] Vymazal J. Nitrogen removal in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow - can we determine the key process [A]. Nutrient cycling and retention in natural and constructed wetlands [C]. Leiden: Backhuys Publishers, 1999.1-17.
- [7] 周云龙.植物生物学 [M]. 北京:高等教育出版社, 2000.87-209.

作者简介：卢少勇(1976-),男,湖南郴州人,助理研究员,博士,主要从事水污染治理研究.发表论文 10 余篇.

## 《中国环境科学》荣获第二届中国科协期刊优秀学术论文奖

《中国环境科学》2003 年第 4 期发表的祁士华等人的文章“拉萨市城区大气和拉鲁湿地土壤中的多环芳烃”荣获 2004 年中国科协颁发的第二届中国科协期刊优秀学术论文奖.

《中国环境科学》编辑部