

# 不同水生植物人工浮岛对生活污水的净化效果

何海成<sup>1</sup>, 李青青<sup>2</sup>, 崔建平<sup>3</sup>, 叶展同<sup>4</sup>, 朱暖飞<sup>5</sup> (1. 廊坊师范学院, 河北廊坊 065000; 2. 廊坊市农林科学院, 河北廊坊 065000; 3. 廊坊莲韵苑花卉研究所, 河北廊坊 065000; 4. 吉林大学化学学院, 吉林长春 130000; 5. 江苏大学环境与安全学院, 江苏镇江 212013)

**摘要** [目的]研究水生植物人工浮岛对生活污水水体的净化效果。[方法]利用人工浮岛技术种植水生植物,通过建立模拟的静态污水池,研究千屈菜、水生黄鸢尾、菖蒲、水生美人蕉对污水中化学需氧量(COD)、氨氮和总磷的净化效果。[结果]污水池中,千屈菜长势最好,所有植株开花;水生黄鸢尾和香蒲的株高变化明显,且不断有新芽冒出,长成完整的植株;水生美人蕉长势最差,根系生长不明显,只有少数植株开花,叶子呈黄色。4种植物对COD的净化主要在生殖生长阶段,对氨氮和总磷的净化主要在营养生长阶段。4种植物的优选顺序依次为千屈菜、水生黄鸢尾(菖蒲)、水生美人蕉。[结论]该研究可为优选水生植物和地面水的净化修复研究提供数据支持。

**关键词** 水生植物;生活污水;COD;氨氮;总磷

**中图分类号** X52 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)03-0068-04

## Study on the Purification Effect of Aquatic Plant by Artificial Floating Island on Domestic Sewage

HE Hai-cheng<sup>1</sup>, LI Qing-qing<sup>2</sup>, CUI Jian-ping<sup>3</sup> et al (1. Langfang Teachers University, Langfang, Hebei 065000; 2. Langfang Academy of Agricultural and Forestry Science, Langfang, Hebei 065000; 3. Langfang Lianyunyuan Institute of Garden Flowers, Langfang, Hebei 065000)

**Abstract** [Objective] To study the purification effect of aquatic plant by an artificial floating island method on domestic sewage. [Method] Cultivating aquatic plant by artificial floating island, through establishing simulated static sewage tank, the removal effects of willow vegetables, aquatic yellow iris, calamus, aquatic canna on COD, ammonia nitrogen, TP were studied. [Result] In sewage pond, willow vegetables grow best, all plants bloom; plant height of aquatic yellow iris, calamus changed obviously; aquatic canna grow worst, root growth was not obvious, only a few plants flowering, with yellow leaves. For COD, the purification of plants was mainly in the reproductive stage, and for ammonia nitrogen and total phosphorus, it was mainly in the vegetative growth stage. The optimal order of four plants was as following, willow vegetables, aquatic yellow iris (calamus), aquatic canna. [Conclusion] This study can benefit to the optimization of the aquatic plants and the further research on purification of surface water.

**Key words** Aquatic plant; Domestic sewage; COD; Ammonia nitrogen; Total phosphorus

水生植物修复技术是一项用于清除环境中有毒有害污染物的绿色修复技术,是通过植物的根系吸附、吸收、富集和降解去除水中污染物以达到修复污水的目的,具有效率高、成本低、环境扰动小、易于操作的优点。同时,该技术还可以打造城市水体生态景观与生态环境相协调,是一种具有广阔发展前景的环境治理技术<sup>[1]</sup>。人工浮岛具有效率高、投资少、运转费用低、可实现原位修复和控制污染物等特点,近年来得到广泛关注<sup>[2]</sup>。利用人工浮岛作为载体种植水生植物可用来修复污水。同时筛选适合当地生长且有一定观赏价值的植物种植在人工浮岛上,具有美化环境和净化污水双重功能<sup>[3-5]</sup>。

目前关于水生植物修复技术的报道较多,但大多仍停留在实验室模拟阶段<sup>[6-7]</sup>,而且受地域、气候等条件的影响,无论是水生植物品种的选择和优化效果,还是推广用于水体的动态修复,都还有很多工作要做。廊坊市莲韵苑花卉研究所在国内较早利用人工浮岛栽培水生植物进行景观修饰和净化污水研究,并在全国多地实施,取得了良好效果,但一直缺乏相关数据的支撑来说明不同植物对污水的净化程度。鉴于此,笔者选择适合北方气候且有一定观赏价值的千屈菜、水生黄鸢尾、菖蒲、水生美人蕉4种水生植物,通过建立模拟的静态污水池,利用人工浮岛技术,研究不同水生植物对污水的净化效果,旨在为人工浮岛污水修复技术的推广应用提

供科学依据。

## 1 材料与方法

**1.1 仪器和试剂** 主要仪器:LB-901A COD 恒温加热器(青岛路博伟业环保科技),722G 分光光度计(上海精密科学仪器有限公司),KDY-9820 凯氏定氮仪(北京市通润源机电技术有限责任公司),SHZ-D(III)循环式真空泵(巩义市予华仪器有限责任公司),FA1604N 型电子天平(上海精密科学仪器有限公司),SC404-24-4 型电热板(江苏省东台市电器厂)。

主要试剂:氯化铵、硝酸、高氯酸、氢氧化钠,均为优级纯;硫酸银、硫酸汞、硫酸、重铬酸钾、硫酸亚铁、邻菲罗啉、二氯化汞、碘化钾、硼酸、氢氧化钾、酒石酸钾钠、抗坏血酸、钼酸铵、酒石酸锑钾、磷酸二氢钾、酚酞,均为分析纯。

**1.2 水样的采集及前处理** 对建在廊坊市莲韵苑花卉研究所基地的19个污水池中的水进行采样,污水采自廊坊市西昌路西侧环城水系,同时以1个地下清水池作为对照。按照五点采样法取样,共采集样品19个,每个样品包含5个子样,每个子样250 mL,每个样品取样量为1 250 mL,置于聚乙烯容器中。

水样经过滤,测定COD含量的水样置于细口瓶中,待用。测量水池的长、宽及水的深度,并记录。

**1.3 测定项目与方法** 2014年6—10月每隔7 d分别测定1次COD、氨氮、总磷浓度,据相应的计算公式求出COD、氨氮、总磷的浓度后,乘以模拟水池中水的体积求得其含量(g)。

**1.3.1 COD浓度的测定——重铬酸钾法**<sup>[8]</sup>。去干扰试验:该试验的主要干扰物是氯化物,可加入少量硫酸汞部分除去,

**基金项目** 廊坊市科技局资助项目(2013043007S)。  
**作者简介** 何海成(1956—),男,河北三河人,教授,从事食品、环境和生物样品中微量元素的测定方法及其相关性分析研究。  
**收稿日期** 2016-11-28

经回流后,氯离子可与硫酸汞结合成可溶性的氯汞络合物。

**水样测定:**在 20 mL 水样中加入 10 mL 重铬酸钾标准溶液、少量硫酸银固体和几颗沸石,摇匀,从空气冷凝管上端缓慢加入约 30 mL 浓硫酸,不断转动消煮管使之混合均匀。将消煮管放于恒温加热器上,自消解管内溶液达到 170 ℃ 开始沸腾起回流 2 h。冷却至室温后,用 80 mL 水从空气冷凝管上端冲洗空气冷凝管,取下空气冷凝管,将消煮管中液体转移至锥形瓶中,再用水稀释至 140 mL 左右。加入 3 滴邻菲罗啉指示剂,用硫酸亚铁标准溶液滴定,溶液的颜色由黄色经蓝绿色变为红褐色,即为滴定终点。记录滴定时消耗硫酸亚铁标准溶液的体积( $V_1$ )。

**空白测定:**按水样测定的方法,以 20 mL 超纯水替代水样进行空白试验,其余试剂和水样测定时相同,记录空白滴定时消耗硫酸亚铁标准溶液的体积( $V_0$ )。

水样中 COD 浓度按下式计算:

$$\text{COD}_{\text{Cr}}(\text{O}_2, \text{mg/L}) = \frac{(V_0 - V_1) \times c \times 8 \times 1000}{V}$$

式中, $c$  为硫酸亚铁标准溶液的浓度, mol/L;  $V_0$  为滴定空白时消耗硫酸亚铁标准溶液的体积, mL;  $V_1$  为滴定水样时消耗硫酸亚铁标准溶液的体积, mL;  $V$  为水样的体积 20 mL; 8 为氧气转移 1 mol 电子的质量。

**1.3.2 氨氮浓度的测定——纳氏试剂分光光度法<sup>[9]</sup>。**铵标准使用溶液:移取 5 mL 铵标准贮备溶液于 500 mL 容量瓶中,加水至标线。该溶液氨氮浓度为 0.010 mg/mL。

**标准曲线的绘制:**量取 0、0.25、0.50、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00 mL 铵标准使用溶液分别于 25 mL 比色管中,加水稀释至标线,加 1.00 mL 酒石酸钾钠溶液,摇匀。再加 1.50 mL 纳氏试剂,摇匀。放置 10 min 后,用光程 1 cm 的比色皿,以水为参比,在波长 420 nm 处测定吸光度。由测得的吸光度减去零浓度空白管的吸光度后,得到校正吸光度,绘制以氨氮量(mg/L)对校正吸光度的标准曲线(图 1)。其回归方程为: $Y = -0.02282 + 0.48123X$ ,线性相关系数( $r$ )为 0.9985。

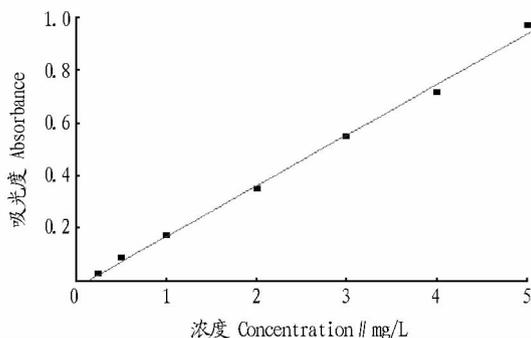


图 1 氨氮的标准曲线

Fig. 1 The standard curve of ammonia nitrogen

**水样的处理:**量取 25 mL 水样加入消煮管内,打开凯氏定氮仪,设定加入氢氧化钠溶液和硼酸溶液的时间均为 2 s,点击开始,加入溶液后,自动蒸馏。待蒸馏结束后,接收瓶中约有 100 mL 液体,取 25 mL 液体置于 25 mL 比色管中。

**水样的测定:**将处理后的水样以测定标准曲线步骤测量吸光度。以蒸馏水代替水样,做全程空白测定。扣除空白后,从标准曲线上查得氨氮浓度(mg/L),进而得到水样中氨氮浓度(mg/L)。

**1.3.3 总磷浓度的测定——钼酸铵分光光度法<sup>[10]</sup>。**磷标准使用溶液:将 10 mL 磷标准贮备溶液转移至 250 mL 容量瓶中,用水稀释至标线并混匀。该标准使用溶液磷浓度为 2.00 μg/mL。

**标准曲线的绘制:**取 7 支比色管分别加入 0、0.50、1.00、3.00、5.00、10.00、15.00 mL 磷标准使用溶液,加水至 25.00 mL。加入 1.00 mL 抗坏血酸溶液混匀,30 s 后加 2.00 mL 钼酸盐溶液充分混匀。室温下放置 15 min 后,使用光程为 1 cm 比色皿,在 700 nm 波长下,以水做参比,测定吸光度。扣除空白试验的吸光度后和对应的磷浓度绘制标准曲线(图 2)。

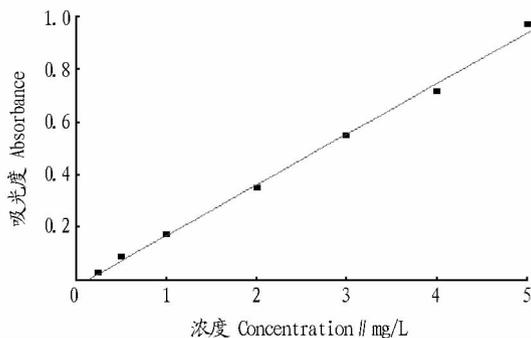


图 2 总磷的标准曲线

Fig. 2 The standard curve of total phosphorus

**水样的消解:**取 25 mL 水样于 50 mL 锥形瓶中,加数粒碎瓷片,加 2 mL 硝酸在电热板上加热浓缩至 10 mL。冷却后加 5 mL 硝酸,再加热浓缩至 10 mL,冷却。再加 3 mL 高氯酸,加热至高氯酸冒白烟,调节电热板温度,使消解液在瓶内壁保持回流状态,直至剩下 3~4 mL,冷却。加 5 mL 水,再加 2 滴酚酞指示剂,滴加氢氧化钠溶液至刚好呈微红色,再滴加硫酸溶液,使微红褪去,充分混匀,移至 25 mL 比色管中,加水定容至标线。其回归方程为  $Y = 0.00497 + 0.33558X$ ,线性相关系数( $r$ )为 0.9999。

**水样的测定:**将消解后的水样以测定标准曲线步骤测量吸光度。扣除空白试验的吸光度后,从标准曲线上查得磷的浓度(mg/L),即得水样中的磷浓度(mg/L)。

## 2 结果与分析

**2.1 4 种水生植物的生长状况** 植物的生长情况可以间接反映植物净化水体和适应污水的能力,因此试验期间对植物的生长状况进行了观察。总体来说,污水池中,千屈菜长势最好,株高变化最大,根系较发达,所有植株都开花。水生黄鸢尾和菖蒲的株高变化明显,且不断有新芽生出,长成完整的植株,使得试验种植密度增大;水生美人蕉长势最差,根系生长不明显,只有少数植株开花,且叶子呈现黄色的不健康颜色。

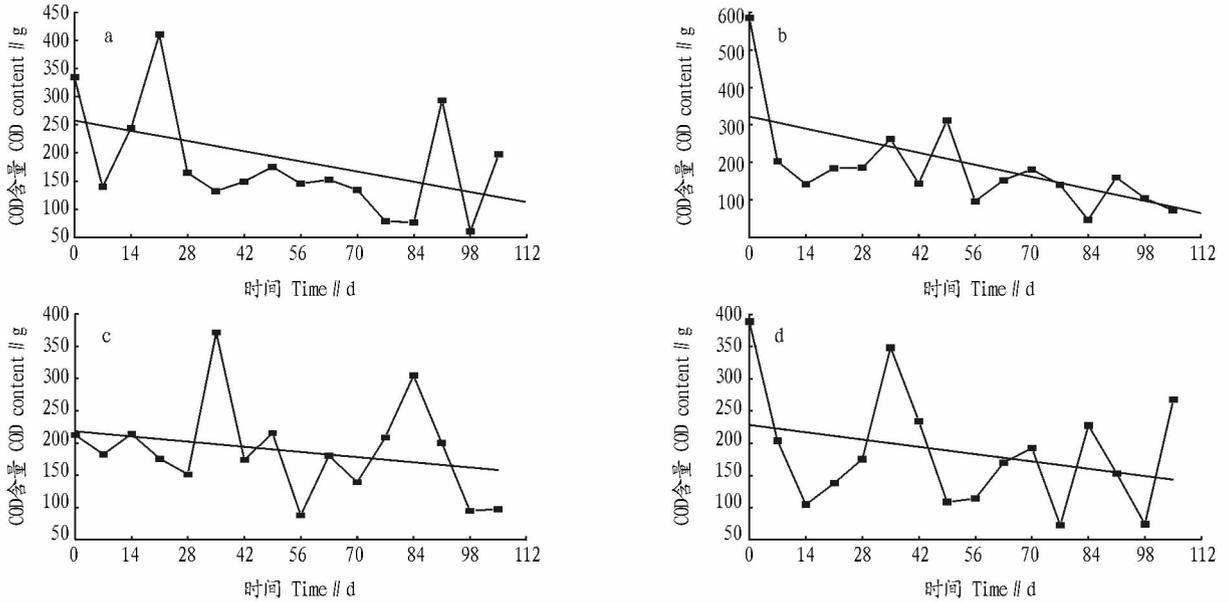
### 2.2 4 种水生植物对 COD、氨氮、总磷的净化效果

**2.2.1 对 COD 净化效果。**从图 3 可以看出,千屈菜和水生

美人蕉对 COD 的去除呈波动变化,最后 COD 含量下降相对较少;水生黄鸢尾和菖蒲对 COD 的净化也呈波动变化,最后 COD 含量下降相对较多。这是由于植物对 COD 的净化属于根部吸附,并由根部微生物吸收利用一部分,这说明根的多少、长短和寄居在根部的微生物成为吸附吸收 COD 的关键因素;COD 含量容易受到外部环境的影响。夏季降雨增多、持续高温等,试验后期模拟水池表面的藻类在生长过程中释放大量的营养物质,以及植物衰败,水生植物根系吸附能力降低,

根系微生物吸收量减少等,都会导致 COD 含量的波动。

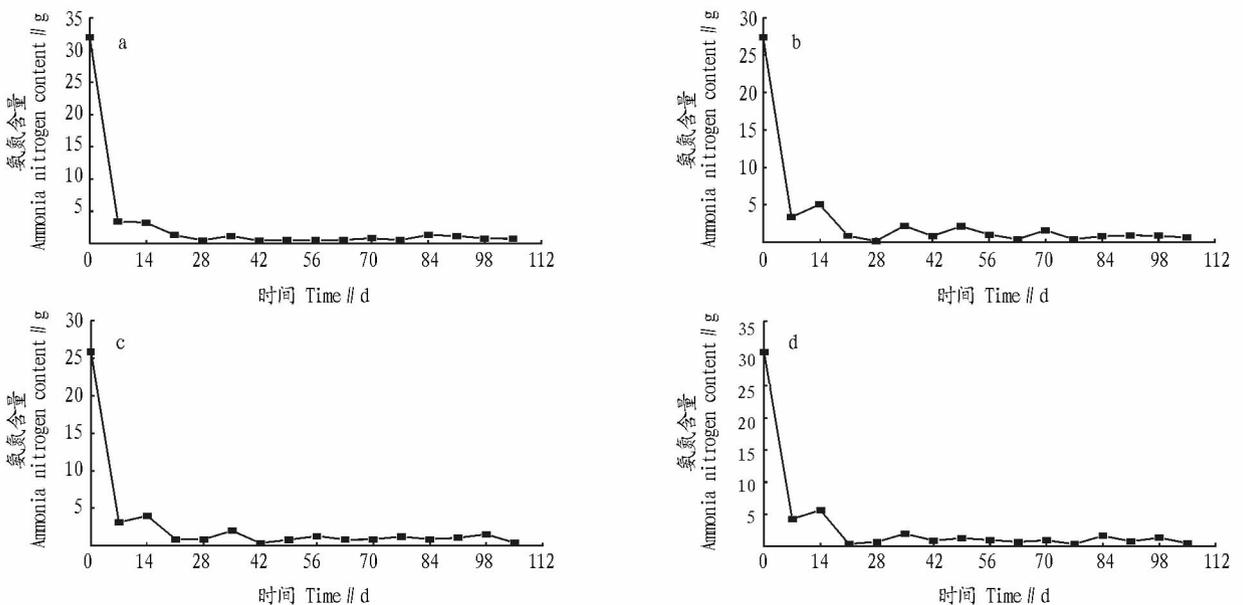
**2.2.2 对氨氮的净化效果。**从图 4 可以看出,4 种水生植物对水中氨氮的净化呈先快速下降中间波动最后平稳的变化趋势。原因分析:试验开始阶段由于泥土本身的氨氮及污水中氨氮含量较高,而此时植物生长速率较快,故氨氮含量降低较快;试验中期处于波动状态,氨氮含量的变化还受 2 种效应的影响:一是水生植物吸收净化作用,即使水中氨氮含量降低的效应;二是细菌的氨化作用,即使水中氨氮含量升



注:a 为千屈菜;b 为水生黄鸢尾;c 为菖蒲;d 为水生美人蕉  
Note: a. Willow vegetable; b. Aquatic yellow iris; c. Calamus; d. Aquatic canna

图 3 4 种水生植物对 COD 的净化效果

Fig. 3 The removal effect of 4 kinds of aquatic plants to COD



注:a 为千屈菜;b 为水生黄鸢尾;c 为菖蒲;d 为水生美人蕉  
Note: a. Willow vegetable; b. Aquatic yellow iris; c. Calamus; d. Aquatic canna

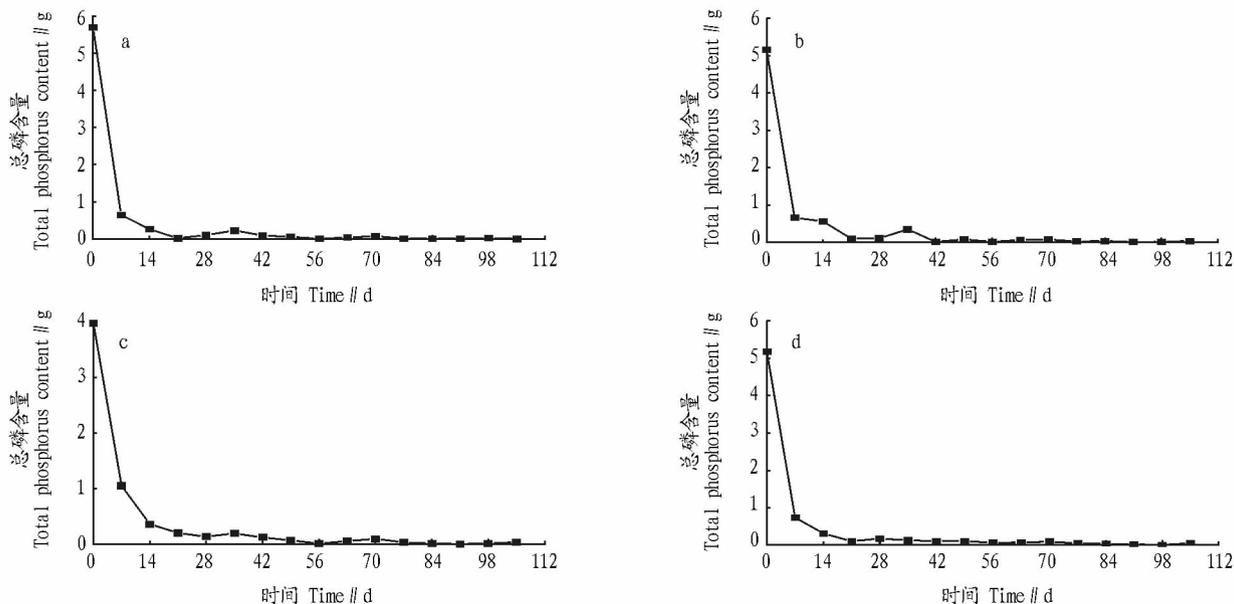
图 4 4 种水生植物对氨氮的净化效果

Fig. 4 The removal effect of 4 kinds of aquatic plants to ammonia nitrogen

高的效应。当净化作用大于氨化作用时,氨氮含量呈降低趋势;当净化作用小于氨化作用时,氨氮含量呈上升趋势。这 2 种作用与植物及相关微生物有关,植物的净化能力不同,因此出现波动的时间及时间的长短不同;后期趋于平稳是由于植物对污水中氨氮的吸收量已经达到饱和,植物所需的氨氮

量和污水的氨氮量达到平衡,因此变化不大。

**2.2.3 对总磷的净化效果。**从图 5 可以看出,4 种水生植物对总磷的净化效果明显,呈先快速下降后平稳的趋势。正磷酸盐是总磷的重要组成部分,也是水生植物生长所必需的养分,同时微生物也可以通过正常同化,将磷纳入分子组织去



注:a 为千屈菜;b 为水生黄鸢尾;c 为菖蒲;d 为水生美人蕉

Note:a. Willow vegetable;b. Aquatic yellow iris;c. Calamus;d. Aquatic canna

图 5 4 种水生植物对总磷的净化效果

Fig. 5 The removal effect of 4 kinds of aquatic plants to total phosphorus

除过量的磷。

**2.3 4 种水生植物的优选顺序** 从景观修饰、COD、氨氮、总磷的净化效果 4 个方面得到植物的优先顺序,结果见表 1。在选择植物时不仅要考虑净化水体的效果,还要考虑到景观修饰的作用。在这 4 种水生植物中,由于水生美人蕉长势不好,只有少数植株开花,景观修饰作用差,虽然对水体有一定的净化效果,但是水生美人蕉不适合种植在生活污水中;千屈菜植株变化明显,所有植株都开花且花期相对较长,景观修饰良好,对水体的修复效果好,达到了水体修复和景观修饰的双重作用,因此在生活污水中最适合种植千屈菜;而水生黄鸢尾和菖蒲的景观修饰和水体净化双重作用相似。植物的优选顺序依次为千屈菜、水生黄鸢尾(菖蒲)、水生美人蕉。

表 1 4 种植物的优先顺序

Table 1 The optimal order of four plants

序号 Serial No.	项目 Item	4 种植物的优先顺序 Optimal order of four plants
1	景观修饰	千屈菜、水生黄鸢尾(菖蒲)、水生美人蕉
2	COD 的净化效果	水生黄鸢尾、菖蒲、千屈菜、水生美人蕉
3	氨氮的净化效果	4 种植物的净化效果相似
4	总磷的净化效果	4 种植物的净化效果相似

### 3 结论

该研究结果表明,4 种水生植物用于生活污水水体净化的优选顺序依次为千屈菜、水生黄鸢尾(菖蒲)、水生美人蕉。

但对于水生美人蕉的最高耐受污染浓度仍有待进一步研究。从对不同植物不同生长时期对 COD、氨氮和总磷的吸收情况可知,植物对 COD 的净化主要体现在营养生长结束、根系达到最大,即生殖生长阶段;而对于氨氮和总磷来说,吸收最为明显的阶段在营养生长的开始,为植物的生长提供大量的营养物质,以促进其营养生长。

### 参考文献

- [1] 任秀娟,吴大付,张莉,等. 植物修复技术在污水生态系统中的应用研究进展[J]. 河南科技学院学报,2013,41(3):66-70.
- [2] 李英杰,金相灿,年跃刚,等. 人工浮岛技术及其应用[J]. 水处理技术,2007,33(10):49-51.
- [3] 陈志澄,郭丹桂,熊明辉,等. 处理生活污水的植物品种的筛选[J]. 环境污染治理技术与设备,2006,7(4):90-93.
- [4] 赵妍,王旭和,戚继忠. 十九种植物净化生活污水总氮及总磷能力的比较[J]. 北方园艺,2012(17):81-84.
- [5] 铁柏清,李希,李杰峰,等. 3 种植物人工浮岛对生活污水水质动态净化特性的比较[J]. 环境工程学报,2010,4(7):1566-1570.
- [6] 李希,铁柏清,彭陵文,等. 混合型植物人工浮岛处理生活污水的试验研究[J]. 安全与环境工程,2009,16(2):48-51.
- [7] 吴诗杰,陈慧娟,许小桃,等. 美人蕉、鸢尾、黄菖蒲和千屈菜对富营养化水体净化效果研究[J]. 安徽大学学报(自然科学版),2016,40(1):98-108.
- [8] 国家环境保护局. 水质 化学需氧量的测定重铬酸盐法:GB 11914-89[S/OL]. [2016-09-21]. <http://www.doc88.com/p-90094134756.html>.
- [9] 沈阳市环境监测中心站. 水质 氨氮的测定纳氏试剂分光光度法:HJ 535-2009 代替 GB 7479-87[S]. 北京:中国环境科学出版社,2010.
- [10] 袁玉璐,姚元. 水质 总磷的测定钼酸铵分光光度法:GB 11893-89[S/OL]. [2016-09-21]. <http://www.doc88.com/p-0931982002372.html>.