

低温下沉水植物塘对农村污染水体的净化作用

邹国林,王全金,朱平,宋嘉俊,熊伟

(华东交通大学环境工程系,江西 南昌 330013)

摘要:通过4种常见的沉水植物与基质组成的水生植物塘系统对模拟的农村污染水体进行净化处理,分析不同沉水植物在低温下的净化能力.结果表明:4种沉水植物对总磷(TP)、化学需氧量(COD)均有良好的处理效果,对TP和COD的去除率在80%以上,其中黑藻和金鱼藻对TP的去除率达到了97%;对氮的去除较明显,对总氮(TN)的去除率在54.27%~77.45%之间,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率在47.26%~60.79%;对营养物质的去除速率较快,最佳水力停留时间为2~3天.总体上看,低温下金鱼藻和黑藻对农村污染水体的净化作用较好,可作为沉水植物处理农村污染水体的优选物种.

关键词:藻类植物;水环境;化学需氧量;氨氮

中图分类号:X522

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.03.009

0 引言

随着城市生活污水和工业废水问题已引起了广泛关注并得到有效治理,农村水环境污染问题日益突出.农村污水主要由村落污水、农田尾水、灌溉余水、畜禽养殖污水和少量雨水径流组成^[1].中国大部分农村地区污水收集系统不完善,废水处理设施缺乏,污水任意排放,流入周边湖泊、河流,导致农村周边水环境污染越来越严重,氮磷的富营养化问题尤为突出.截止到2009年,26个国控重点湖泊中有11个处于富氧氧化,占42.4%,中度富营养化2个,占7.7%,重度富营养化1个,占3.8%,其余均为轻度富营养或中营养^[2].有研究表明生活污水和农田的氮、磷流失是造成水体富营养化的主因,而工业废水对总氮(TN)、总磷(TP)的贡献率仅占10%~16%^[3],农村污水体的处理已刻不容缓.

研究表明,水生植物对去除污水中的N、P,改善水质具有明显的效果^[4],其中又以挺水植物研究居多,对沉水植物的研究比较少.沉水植物塘对污水的处理原理与自然水域自净过程基本相似,沉水植物由于其完全沉没在水底,地上地下部分均可从环境中吸收营养物质,因而具有比其他水生植物更强的处理营养物质的能力^[5].包先明^[6]等人利用太湖常见沉水植物对污染水体进行处

理,发现对TN的去除率在83.7%~88.7%,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率在68%左右,对TP的去除率达到了99.1%.研究发现,温度是影响水生植物处理效果的重要因素,低温下植物枯萎,附着于植物根系的微生物活性降低,从而降低污水的处理效果^[7].而一些沉水植物是越冬生长,能够降低温度对污水处理效果的影响^[8].笔者选取几种江西地区常见沉水植物,研究其在冬季对农村污染水体的处理效果,为江西地区利用沉水植物处理农村污水提供参考.

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验采用4个1 m×1 m×1 m的混凝土池子,池底铺5 mm厚砾石,在砾石上铺10 mm的泥土,在池底设一个排水阀门,供取水样用.有研究表明水深植物塘的最佳有效水深为0.5 m^[9],所以试验时每个池子的有效水深设为0.5 m.

试验沉水植物选取对污水处理效果较好的马来眼子菜、黑藻、金鱼藻、狐尾藻,2011年10月在每个池子里种一种沉水植物,一周后,4种植物有新叶和新芽萌出,试验过程中植物均生长良好,未出现死亡现象.

本研究对江西农村典型污染水体—南昌市蒋巷镇农村小河流水质进行了为期半年的监测,经

收稿日期:2012-02-16

基金项目:国家自然科学基金项目(51169006);江西省自然科学基金(2010GZC0021)

作者简介:邹国林(1989-),男,江西抚州人,硕士研究生.研究方向:污水处理.

指导老师:王全金,女,硕士,教授.研究方向:水环境污染治理.

监测其平均污染物浓度 TN 9.07 mg/L、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 4.43 mg/L、TP 2.45 mg/L、化学需氧量(COD) 48.78 mg/L。由于污染水体离试验基地较远,本试验进水为模拟江西典型农村污染水体水质,采用尿素、 KH_2PO_4 、葡萄糖、 NH_4Cl 进行配水,进水水质见表1。

表1 试验原水水质
Table 1 Quality of experimental water

COD _{Cr} /	TN/	$\text{NH}_3 - \text{N}$ /	TP/
(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
61.49 ± 9.08	10.42 ± 0.29	3.33 ± 0.29	2.76 ± 0.09

1.2 试验方法

测定指标包括总氮(TN)、氨氮($\text{NH}_3 - \text{N}$)、总磷(TP)、重铬酸钾指数(COD_{Cr}),测定方法参照《水和废水监测分析方法(第四版)》进行测定,总氮采用碱性过硫酸钾氧化紫外分光光度法,氨氮采用纳氏分光光度法,总磷采用过硫酸钾消解法,COD用重铬酸钾法测定。试验于2011年12月12日进行,期间均为晴天,温度为2~10℃。

2 试验结果与分析

2.1 4种沉水植物对TP去除的贡献

水生植物对P的去除有着重要的作用,一方面水生植物可通过同化作用去除P,即通过植物根系吸收可溶性活性磷,合成植物细胞所需的核酸、核苷酸、磷脂及糖磷酸酯等;另一方面,水生植物表面可为聚磷菌等微生物提供附着空间。沉水植物的茎、叶和表皮都沉没在水中,与根一样具有吸收作用,且皮层细胞含有叶绿素,能进行光合作用,这种结构对水体中氮、磷等具有良好的吸收作用^[10]。

4种沉水植物对TP的去除效率高,出水水质好。由图1可知,马来眼子菜、黑藻、金鱼藻、狐尾藻对TP的最佳去除率分别为84.75%、97.14%、97.02%、81.43%;出水水质分别为0.46 mg/L、0.13 mg/L、0.08 mg/L、0.53 mg/L。其中金鱼藻和黑藻出水TP到达地表Ⅰ类水和Ⅱ类水标准,黑藻和金鱼藻对TP的去除优于马来眼子菜和狐尾藻,这是因为金鱼藻和黑藻叶片在水面处形成茂密的上冠层生物量集中在水面处,对水中磷吸收具有优势^[11]。综合分析4种沉水植物对TP的去除效果贡献依次为黑藻>金鱼藻>马来眼子菜>狐尾藻。

水力停留时间(HRT)对TP的去除效果有较大影响。从图1可见,4种沉水植物对TP的去除在HRT为2天时已达到一个较高水平,HRT为3

天时基本达到最大值,说明系统在HRT为3天时对TP的吸收已经趋于饱和,之后随着水力停留时间的增加,去除率并没有明显的变化,这主要是由于冬季温度低,沉水植物一些根茎枝叶枯萎死亡会向水体中释放营养物质,使植物对P的吸收和释放速度处于一个相对平衡的状态,所以4种沉水植物对TP的处理最佳水力停留时间为2~3天。

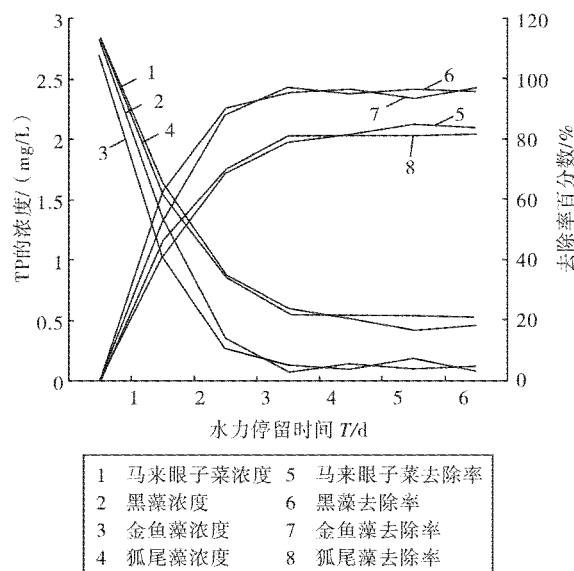


图1 4种沉水植物对TP去除的贡献

Fig. 1 Contribution for TP removal of 4 species of submersed plants

2.2 4种沉水植物对TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 去除的贡献

4种沉水植物对N的去除较明显,出水水质较好。由图2可知,马来眼子菜、黑藻、金鱼藻、狐尾藻对TN的最佳去除率分别为54.71%、77.45%、69.07%、54.28%,出水水质为4.72、2.48、3.35、5.032 mg/L,达到了国家污水处理厂一级A类排放标准。4种沉水植物对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除效果较好,由图3可以看出,马来眼子菜、黑藻、金鱼藻、狐尾藻对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的最佳去除率分别为55.41%、62.10%、55.20%、49.02%,出水水质为1.41、1.42、1.30、1.70 mg/L,均达到国家地表水Ⅴ类标准。综合分析,4种沉水植物对TN的去除效果贡献依次为黑藻>金鱼藻>狐尾藻>马来眼子菜,对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除效果贡献依次为黑藻>马来眼子菜>金鱼藻>狐尾藻。

水力停留时间(HRT)对N的去除效果有较大影响,并且对不同沉水植物有不同的影响。从图2中可以看出黑藻、狐尾藻、金鱼藻(除在HRT为3天外)对TN的去除率一直稳步提升,去除效果明显。而马来眼子菜对TN的去除率在HRT为3天时达到47.74%,之后出现起伏。从图3中可看出4

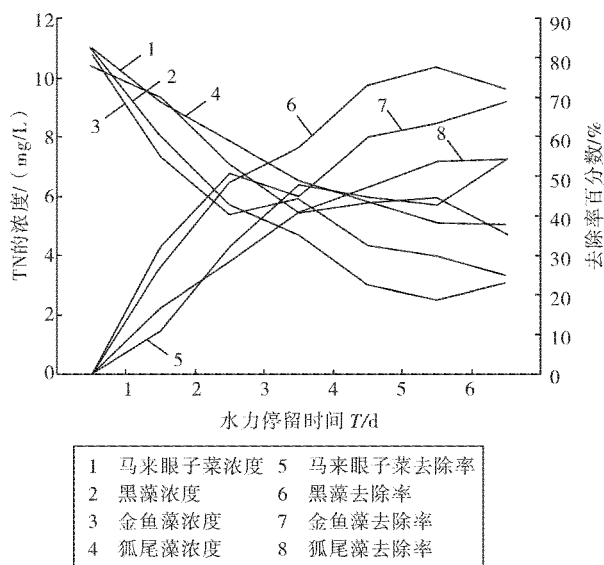
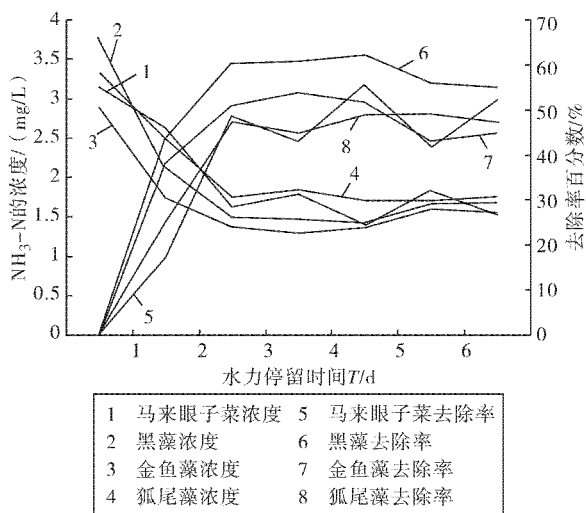


图 2 4 种沉水植物对 TN 去除的贡献

Fig. 2 Contribution for TN removal of 4 species of submersed plants

种沉水植物对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除在 HRT 为 2 天时都已经接近于各自的最大去除率,之后均出现起伏,说明沉水植物对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除较快,最佳的水力停留时间为 2 天。

图 3 4 种沉水植物对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除的贡献Fig. 3 Contribution for $\text{NH}_3\text{-N}$ removal of 4 species of submersed plants

对比图 2 和图 3 我们可以看出,4 种沉水植物前期对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的处理效果好于 TN,而后期 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度在达到最小值后均有略微的起伏, TN 的去除率逐步升高.这主要是由于: $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除主要有氨挥发、硝化反应、植物的吸收 3 种途径,其中硝化反应又是 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除的主要原因^[12].沉水植物光合作用向水体输送氧气,提高了水体中 DO 浓度,形成的好氧环境有利于硝化细菌将 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 转化化为硝酸盐,提高了 $\text{NH}_3\text{-N}$

的去除速率,而硝化反应过程会增加水体中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的含量,从而影响 TN 的去除效果.但随着 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度下降并趋于稳定后, $\text{NO}_3\text{-N}$ 的增量减少,植物以吸收 $\text{NO}_3\text{-N}$ 为主,从而不断降低水体 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量,使后期 TN 的去除率逐渐高于 $\text{NO}_3\text{-N}$.并且 N 元素的转化是一个可逆的过程,试验前期沉水植物在富营养状态下对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 吸收速度快,但在试验后期 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度降低,植物吸收的 N 还未被完全利用又转换成 $\text{NH}_3\text{-N}$ 而释放出来^[11],所以在 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率达到最大值后又下降,并出现起伏。

总体来说,沉水植物对 N 的去除较明显,但出水还需进一步的处理,我们可以用沉水植物塘与其他污水处理装置组合,来提高 N 的去除效果,使出水优于地表水 V 类标准.如罗思婷^[13]等人进行了沉水植物与生态浮床组合系统对养殖污水进行处理,在进水 TN、TP 质量浓度为 4.5 mg/L、0.29 mg/L 时,出水 TN、TP 质量浓度为 0.79 mg/L、0.02 mg/L,出水水质达到地表水 III 类标准。

2.3 4 种沉水植物对 COD 的去除效果

4 种沉水植物对 COD 的去除效果很好,出水水质优良.有机物主要靠填料表面生物膜的吸收和生物代谢以及填料的截留作用而被去除^[14],由图 4 可以看出它们的最佳去除率均在 90% 左右,其中金鱼藻达到了 90.24%,黑藻为 87.18%,狐尾藻和马来眼子菜均为 86.67%,出水水质分别为 8.06、6.72、5.38、9.41 mg/L,均达到地表水 I 类标准.由此表明沉水植物塘对 COD 的去除效果贡献依次为金鱼藻 > 马来眼子菜 > 狐尾藻 > 黑藻。

水力停留时间 (HRT) 对 COD 的去除效果有较大影响,从图 4 我们可以看出 4 种沉水植物对 COD 的去除在水力停留时间 2 天时就已经都高于 70%,去除速率快,此时出水水质已达到国家地表 II 类水标准,之后出水水质出现起伏,水质出现起伏主要是由于沉水植物生长的过程中出现叶片的腐烂分解释放营养物造成的,但总体保持上升趋势,因为本实验的处理设施是沉水植物塘,在充足氧气的条件下,有机物被异养微生物分解成二氧化碳、水等产物,而沉水植物在光照条件下,通过光合作用利用二氧化碳等产物合成细胞,释放氧气,供好养微生物分解有机物,这两个过程相辅相成,不断循环,使水中有机物被异养微生物充分分解,从而促进 COD 去除率的升高.在 HRT 达到 2 天时,COD 的浓度基本小于 20 mg/L,所以对 COD

去除的最佳 HRT 可定为 2 天。

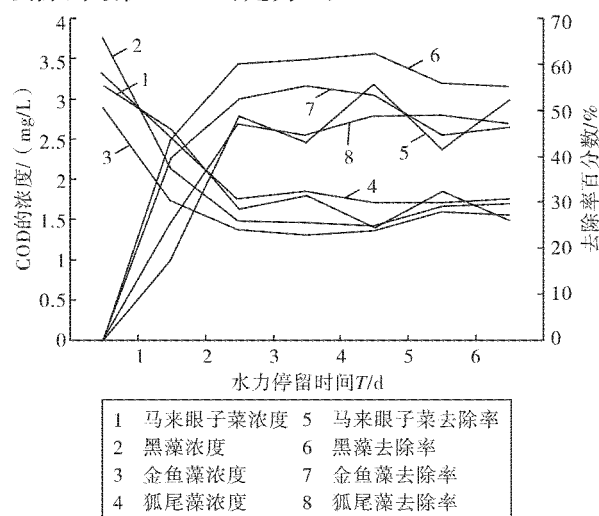


图4 4种沉水植物对 COD 去除的贡献

Fig.4 The contribution for COD removal of 4 species of submersed plants

3 结 语

a. 在低温条件下,所选的4种沉水植物均能很好的去除农村污染水体中的 TP 和 COD,4种沉水植物 TP、COD 的去除率介于 84.75% ~ 97.14%、86.67% ~ 90.24%,处理效果优良,其中以黑藻和金鱼藻对 TP 的处理效果最优,均达到 97%.4种沉水植物对 TN、NH₃-N 的去除较明显,去除率在 54.27% ~ 77.46%、49.02% ~ 62.10% 之间,为提高系统对 N 的去除效果,可把沉水植物塘与其他污水处理装置组合。

b. 4种沉水植物对营养物质的去除速率较快,在水力停留时间 2~3 天时,处理效果达到最佳,所以在利用沉水植物塘处理农村污染水体时可把水力停留时间定为 2~3 天。

c. 4种沉水植物对模拟的农村污染水体的处理效果明显,其中以黑藻和金鱼藻最好,可作为江西地区处理农村污染水体的优选物种。

参考文献:

[1] 卢少勇,张彭义,余刚,等. 人工湿地处理农业径流的研究进展[J]. 生态学报. 2007, 27(6): 2627-2635.

[2] 许其功,曹金玲,高如泰,等. 我国湖泊水质恶化趋势及富营养化控制阶段划分[J]. 环境科学与技术, 2011(11):147-151.

[3] 李贵宝,王东胜,谭红武,等. 中国农村水环境恶化成因及其保护治理对策[J]. 南水北调与水利科技, 2003(2):29-33.

[4] Prochaska C A, Zouboulisa A I, Eskridge K M, et al. Performance of pilot-scale vertical-flow constructed wetlands, as affected by season, substrate, hydraulic load and frequency of application of simulated urban sewage[J]. Ecological engineering, 2007(31): 57-66.

[5] 王艳丽,周阳. 沉水植物综合利用的研究进展[J]. 环境保护科学, 2009, 35(6): 16-19.

[6] 包先明,丁卓丽,祝朋飞,等. 不同沉水植物在太湖污染底泥上适应性生长过程及水体氮磷的响应[J]. 土壤通报, 2007(6):1191-1195.

[7] 张建,邵文生,何苗,等. 潜流人工湿地处理污染河水冬季运行及升温强化处理研究[J]. 环境科学, 2006(8):1560-1563.

[8] 黄蕾,翟建平,王传瑜,等. 4种水生植物在冬季脱氮除磷效果的试验研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2):366-370.

[9] 宋永会,彭剑峰,高红杰,等. 高效藻类塘与水生植物塘联用深度净化受污染河水研究[J]. 环境工程技术学报, 2011(4):317-322.

[10] 吴振斌,邱东茹,贺锋,等. 水生植物对富营养水体水质净化作用研究[J]. 武汉植物学研究, 2001, 19(4):299-304.

[11] GAO Jingqing, XIONG Zhiting, ZHANG Jingdong, et al. Phosphorus removal from water of eutrophic Lake Donghu by five submerged macrophytes[J]. Desalination, 2009, 242(4):193-204.

[12] 赵丰,张勇,黄民生,等. 水生植物浮床对城市污染水体的净化效果研究[J]. 华东师范大学学报, 2011(6):57-64.

[13] 罗思亭,张饮江,李娟英,等. 沉水植物与生态浮床组合对水产养殖污染控制的研究[J]. 生态与农村环境学报, 2011(2):87-94.

[14] 于水利,修春海,杨月杰. 人工湿地基质对微污染原水中有机的去除效果[J]. 中国给水排水, 2011(3):56-58.

(下转第 69 页)