

高效藻类塘系统处理太湖地区农村生活污水

李旭东, 周琪, 黄翔峰, 池金萍, 何少林, 陈广

(同济大学环境科学与工程学院污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要:对高效藻类塘系统处理太湖地区农村生活污水进行了试验研究,实验系统由沉淀水箱、高效藻类塘和水生生物塘等组成。结果表明:高效藻类塘出水 COD 浓度受藻类生长影响较大,但出水溶解性 COD 比较稳定,平均去除率在 70%以上。氨氮的去除效果好,平均去除率为 93%,氨氮主要通过硝化、挥发和生物同化吸收三种途径去除。塘内磷主要通过沉淀去除,总磷平均去除率在 50%左右。水生生物塘不仅能有效去除高效藻类塘出水中的藻类和悬浮物,而且能进一步降低水中有机物、氮、磷等污染物浓度。冬季水力停留时间的延长对保障系统的整体运行效果是有效的。高效藻类塘系统用来处理太湖地区农村生活污水具有一定的应用前景。

关键词: 高效藻类塘 水生生物塘 农村生活污水 脱氮除磷

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770(2006)06-0061-04

近年来太湖水体富营养化严重,随着我国环保事业的发展,流域内的点源污染得到了有效治理,但湖泊水质并没有得到显著改善,其主要原因是农业面源污染占有相当比例。农村生活污水是面源污染的重要组成部分。因此,有必要研究和开发低成本、易操作和高效率的农村生活污水处理方法。

与传统的二级生物处理技术相比,高效藻类塘具有很多独特的性质,对于土地资源相对丰富,但技术水平相对落后的农村地区来说,是一种较具推广价值的污水处理技术。本文主要探讨了高效藻类塘系统在我国太湖地区处理农村生活污水运行状况及出水水质,并确定了一些相关运行参数。

1 试验

1.1 试验地点及装置

试验地点位于江苏省宜兴市大浦镇洋渚村内。洋渚村距太湖西岸仅 1.5 公里,素有“太湖西岸第一陶瓷村”之称。村内常住人口约 2300 人。

实验系统由沉淀水箱、高效藻类塘、水生生物塘等部分组成(见图 1)。高效藻类塘试验装置长 1.0m,宽 0.32m,高 0.40m,有效水深 0.3m,有效容积 92 L。采用 10mm 厚的塑料板制成,中间用 5mm 厚

的塑料板作为挡板,将池子分隔成一个循环廊道,为了更好地促进水流的混和,池子四角做 45° 倒角。采用搅拌桨进行连续搅拌,桨片直径为 0.6m,宽度为 30mm。搅拌速度通过无级变速器调节,池内平均水流速度保持在 0.15m/s。水生生物塘长宽高为 0.6m×0.2m×0.5m,有效水深为 0.4m,塘中种植水花生,主要用来去除高效藻类塘出水中的藻类。

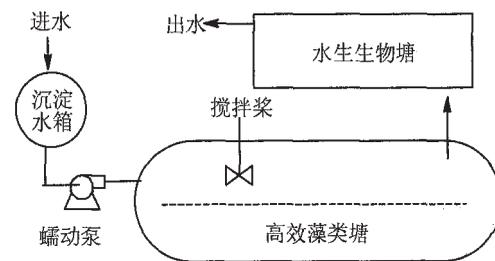


图 1 试验装置及工艺流程图

Fig.1 Test device and technological process

1.2 试验用水

由于试验所在村庄的经济水平较高,多数家庭都使用抽水马桶,粪便污水所占的比例较高,导致污水中氨氮浓度比一般报道的农村生活污水要高。农户家中的生活污水通过管网收集进入沉淀水箱预沉 12h 后,再用蠕动泵送入高效藻类塘试验装置内进

收稿日期 2005-04-29

基金项目 国家科技部“十五”科技专项资助项目(2002AA601012-1BA)

作者简介 李旭东(1974-),男,博士,主要从事水污染控制与治理研究,联系电话:13817065945 E-mail: Leo5000@sina.com.

行处理。表 1 为污水经预沉后的水质情况,即高效藻类塘试验装置进水水质特征。

表 1 试验用水水质 (mg/L)
Table 1 Quality of tested water (mg/L)

项目	TN	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	TP	COD
最小值	24.7	21.8	0	1.7	85.2
最大值	127.4	103.6	2.4	9.1	416.9
平均值	71.2	60.7	0.8	5.1	176.8
标准差	26.8	22.6	0.6	2.2	66.7

1.3 试验的运行与管理

试验于 2004 年 7 月开始运行,污水以连续流方式进入高效藻类塘装置,进水时间为 6:00~18:00。夜晚停止进水,出水方式为溢流式,试验以水力停留时间为控制条件,受光照强度、光照时间和水温等的影响,并参考文献报道^[1,2]中的典型值。暖季(7月~10月)停留时间为 4d,进水流量为 1.92L/h;寒季(11月至次年 1月)停留时间为 8d,进水流量为 0.96 L/h。夏季试验装置内水体呈现浓绿色,进入冬季后,水体颜色发暗逐渐变为青绿色,在最冷的一月份则以黄褐色为主。高效藻类的塘的出水进入水生生物塘,水生塘的水力停留时间为暖季 2d,寒季 4d,整个试验阶段系统均无恶臭等异味散发。

1.4 检测项目与方法

实验过程中,水质检测项目有 pH、溶解氧(DO)、氨氮、TN、NO₃-N、NO₂-N、TP、DTP、PO₄³⁻、COD、DCOD、叶绿素 a、SS 等,分别采用仪器法和国标法进行分析,采样频率为每周 1~2 次。

2 结果与讨论

2.1 pH 值的变化

污水进入高效藻类塘后,pH 值会有一定程度的增加,高效藻类塘和水生生物塘内 pH 值日变化情况见图 2。由图 2 可知,藻类塘内 pH 值日变化有一个波动过程,一般在 10:00~15:00 到达一个高峰

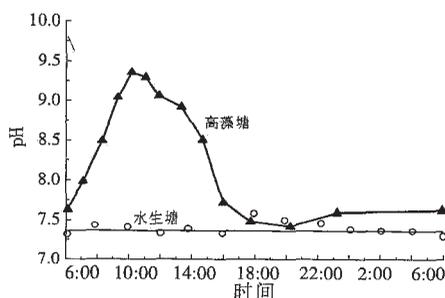


图 2 藻类塘和水生塘内 pH 值日变化曲线

Fig.2 pH daily changing curves in high rate algal pond and aquatic pond

值,之后回落。塘内 pH 值的变化主要由藻类和微生物生理活动所控制,一系列生物活动是改变塘内 pH 值的主要原动力。藻类的光合作用使 pH 值升高,呼吸作用使 pH 值降低,硝化作用也使 pH 值降低;白天光合作用较呼吸作用速率大,pH 值上升,随着光照强度的减弱,光合作用渐趋缓慢,pH 值回落,到凌晨时降到最低,有光线后又开始下一个周期变化。此外,藻类塘内 pH 值还在不同季节有不同变化,但整体是偏碱性的。高效藻类塘内 pH 值的升高将有利于氨的形态转变和磷的沉淀等。与藻类塘不同,水生生物塘内的 pH 值在 24h 则维持在一个较稳定的水平上,趋近中性(pH=7.0),波动很小,说明水生生物塘对 pH 值有较好的调节功能。

2.2 DO 的变化

藻类通过光合作用不仅影响了水体中的 pH 值,同时也增加 DO 浓度。图 3 是高效藻类塘和水生生物塘内 DO 日变化情况。从图 3 可知,藻类塘内 DO 浓度与 pH 值有相似的变化规律。由于藻类高密度繁殖,光合作用产氧量十分充足,在夏季的下午水体中的 DO 浓度常达到超饱和状态,试验运行中曾测到 18mg/L 的 DO 浓度。装置内的 DO 浓度一般在每天的 20:00 左右达到最低值,但仍能保持在 6.0mg/L 以上,这与文献报道^[3]的高效藻类塘在夜间 DO 浓度趋向于 0 不符,主要原因可能是试验装置采用夜间停止进水,塘内微生物降解有机物消耗的氧量比连续进水时相对减少。塘内 DO 浓度的升高将有利于有机物的去除和氨氮的硝化等。水生塘内 DO 值在 24h 内基本维持 2mg/L 以下,波动很小。表明高等水生植物对藻类有很好的抑制作用。

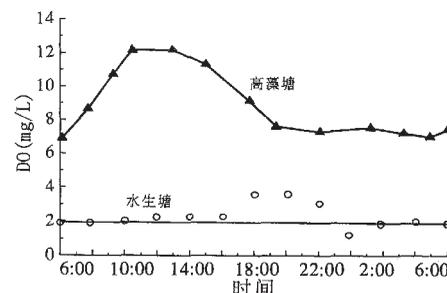


图 3 高藻塘内不同季节 DO 日变化曲线

Fig.3 DO daily changing curves in high rate algal pond and aquatic pond

2.3 叶绿素 a 的变化

由于藻类含有较多的叶绿素 a (Chl-a),通常用 Chl-a 的浓度表示污水中藻类含量。图 4 为高效藻类塘和水生生物塘出水 Chl-a 浓度变化情况。由图 4

可知,藻类塘出水中含有较多的藻类,Chl-a浓度多在1.0mg/L以上,经过水生塘处理后Chl-a浓度很低,平均为0.1mg/L,说明大量藻类被去除,平均去除率为88.4%。水生生物塘的除藻功能主要是由于水生植物的叶片能够阻挡阳光的辐射,抑制藻类的生长,使其腐烂、分解、沉淀。但这一功能受气候影响较大,进入秋冬,塘内水花生逐渐枯萎,去除效果有所下降。

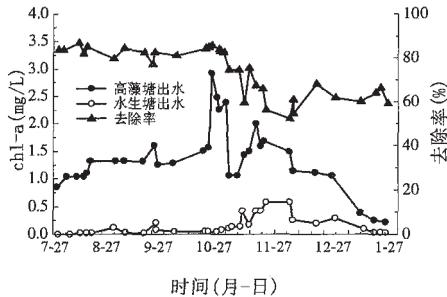


图4 藻类塘和水生塘内Chl-a浓度变化曲线

Fig.4 Chl-a concentration changing curves in algal pond and aquatic pond

2.4 高效藻类塘污染物去除效果

2.4.1 COD的去除

进入高效藻类塘内的有机污染物,在好氧条件下被异氧细菌分解为氨氮、磷酸盐和CO₂等产物,藻类通过光合作用利用这些产物作为营养源,合成自身的有机体,并释放出氧气,供细菌分解有机物之用。两者相互依存,不断循环,使水质得到净化。但高效藻类塘出水中含有较多的藻类,影响有机物、悬浮物等的达标。因此,衡量高效藻类塘内有机物的去除程度常用出水中溶解性COD(即DCOD)表示。

表2 高效藻类塘COD的浓度及去除率

Table2 COD concentration and removal rate in highly effective algal pond

试验阶段	夏季	冬季
停留时间 d)	4	8
进水COD _T mg/L)	176.9	257.6
出水COD _T mg/L)	97.6	114.2
出水DCOD _T mg/L)	44.1	75.1
DCOD去除率 %)	75.6	71.3

表2为试验装置在不同季节COD的进出水浓度变化及去除情况。由表2可知,夏季在短的停留时间下就能取得75.6%的DCOD去除率,冬季由于气温低,藻类的生长受到气候条件的限制,对有机物的氧化分解作用比较缓慢,此时需延长停留时间才能维持一定的DCOD去除率(71.3%)。

2.4.2 氮的去除

由于系统处理的对象是农村生活污水,氨氮含

量占总氮的80%以上(表1),同时氨氮也是环境污染中需要控制的关键因子,因此重点考察系统对氨氮的去除。图5为高效藻类塘氨氮去除效果的变化曲线,由图5可知,高效藻类塘对氨氮的去除好且稳定,在夏季出水氨氮常常接近零。进入12月份以后,氨氮去除率略有下降,但仍能保持在90%左右。从整体上来看,高效藻类塘对氨氮都有较高的去除率,平均去除率为93%,这与文献报道的氨氮去除效果基本一致^[4]。

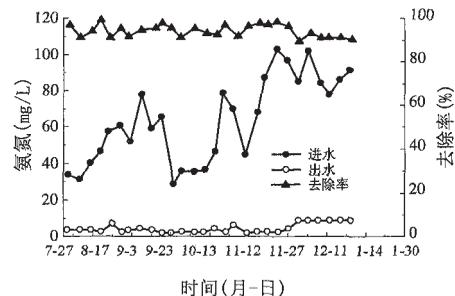


图5 高效藻类塘内氨氮的去除

Fig.5 Phosphorus removal changing effect in high rate algal pond

高效藻类塘内氨氮的去除主要靠氨氮的挥发、硝化作用和生物同化等。本研究中高效藻类塘内发现明显的硝化作用,出水中测到的NO₃-N和NO₂-N浓度最高值分别可达75mg/L和64mg/L。计算结果表明,高效藻类塘内有50%以上的氨氮转化成了硝态氮,说明本研究中硝化作用是氨氮减少的最主要途径。由于高效藻类塘内缺乏厌氧环境,反硝化难以进行,受其影响,高效藻类塘TN全年平均去除率只有36%。

2.4.3 磷的去除

高效藻类塘内磷的去除主要由pH和Ca²⁺离子浓度决定的,磷酸钙在pH为8左右时开始形成,因此,白天由于光合作用pH上升而使磷酸根离子更易和钙结合生成沉淀而去除。此外,藻类和细菌出于自身生长的需要也会同化吸收一部分磷,但这部分占比例不大,一般在20%以下。由高效藻类塘磷的

表3 高藻塘磷的去除效果

Table3 Phosphorus removal changing effect in high rate algal pond

试验阶段		夏季	冬季
停留时间 d)		4	8
TP	进水 mg/L)	4.6	5.8
	出水 mg/L)	2.1	3.1
	去除率 %)	55	47
PO ₄ -P	进水 mg/L)	3.4	4.3
	出水 mg/L)	1.5	2.5
	去除率 %)	54	41

去除效果 (见表 3)可知,冬季在停留时间延长为 8d 时,其 TP、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的去除率仍低于夏季停留 4d 时的情况。这主要与塘内 pH 的变化密切相关,夏季光照条件好,塘内 pH 增幅大于冬季 (图 2),且峰值可以接近 11,大大有利于磷酸盐的去除。

2.5 水生生物塘去除效果

水生生物塘污染物去除效果列于表 4 中,表中数据为实验期间所有数据的平均值。由表 4 可知,水生生物塘可有效去除高效藻类塘出水中携带的 SS,其 SS 平均进水浓度为 158 mg/L,出水为 23 mg/L,去除率为 85.4%。水生生物塘可去除约 63% 的 COD。此外,水生生物塘还能进一步降低水中氮、磷的浓度,这是由于塘内水生植物的生长繁殖需要吸收水体中的无机氮,藻类的分解沉降能降低出水中有机氮的浓度。水生生物塘内 DO 值较低,会存在一些缺氧、厌氧环境,利于反硝化进行。通过植物吸收和反硝化,水生生物塘可去除一定的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 。研究期间水生生物塘对磷酸盐没有明显的去除作用,它对 TP 的去除主要源于高效藻类塘出水中处于悬浮状态的颗粒磷在塘内的沉降。

表 4 水生生物塘污染物去除效果表
Table 4 Pollutant removal effect in aquatic pond

污染物	进水 (mg/L)	出水 (mg/L)	去除率 (%)
SS	158.6	23.2	85.4
COD	232.2	86.1	62.9
TN	53.3	38.8	28.4
$\text{NO}_3\text{-N}$	34.8	27.3	21.6
TP	3.9	3.0	23.1
$\text{PO}_4\text{-P}$	2.2	2.1	4.5

水生生物塘去除污染物效果随季节有所变化,整体上呈现夏季好于秋季,冬季则效果最差。冬季气温降低,高效藻类塘本身的处理效果降低而使水花生塘进水污染物浓度较高;水生生物塘内水花生

由于处于生长停止的时期,几乎丧失了对于 N、P 的同化吸收的能力,水花生塘内菌藻体、原生动物和原生动物由于气温降低对于氮的同化吸收能力也会有所降低。

3 结 论

高效藻类塘内的 pH 值、溶解氧较高,这一特征有利于污水中主要污染物的去除。高效藻类塘出水 COD 受藻类生长影响很大,在藻类繁殖旺盛时出水 COD 增大,但 DCOD 较低,保持在 100mg/L 以下,整个试验过程中 DCOD 的平均去除率在 70% 以上。塘内氨氮的平均去除率高达 93%,在塘内发现了明显的硝化现象,氨氮的去除主要通过硝化作用和挥发去除。沉淀作用则是高效藻类塘除磷的最有效机制,这个过程主要受 pH 值控制,夏季平均去除率为 55%,高于冬季。水生生物塘不仅能有效去除高效藻类塘出水中的藻类和悬浮物,而且能进一步降低水中有机物、氮、磷等污染物浓度。冬季水力停留时间延长至 8d 对保障系统的整体运行效果是有效的。从整体运行情况来看,高效藻类塘系统能较好地处理太湖地区农村生活污水,且维护管理简单。

参考文献:

- [1] B Picot, *et al.* Nutrient removal by high rate pond system in a mediterranean climate (France)[J]. *Wat Sci Tech.*, 1991,(23): 1535-1541.
- [2] H O Bühr & S B Miller. A dynamic model of the high-rate algal-bacterial wastewater treatment pond[J]. *Wat Res.*, 1983,(17): 29-37.
- [3] B picot, S Moersdik, C Casellas, *et al.* Using diurnal variations in a high rate algal pond for management pattern[J]. *Wat Sci Tech.*, 1993, 28 (10): 169-175.
- [4] 许春华,周琪.高效藻类塘的研究与应用[J].*环境保护* 2001, 8: 41-43.

TREATMENT OF RURAL DOMESTICAL SEWAGE BY HIGHLY EFFECTIVE ALGAL POND IN TAIHU LAKE AREA

Li Xu-dong, Zhou Qi, Huang Xiang-feng, Chi Jin-ping, He Shao-lin, Chen Guang

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: A tentative research on rural domestical sewage treatment by highly effective algal pond was done. The results showed that the effluent COD concentration of highly effective pond was affected greatly by algal, but the COD solubility in effluent was more stable and the average removal rate was over 70%; ammonia-nitrogen removal effect was better than average removal rate of 93%; total phosphorus removal rate was about 50%. The application of highly effective algal pond to treatment of domestical sewage possesses better prospect in the rural area.

Key words: high rate algal pond; aquatic pond; rural domestic wastewater; nitrogen and phosphorus removal