

不同草坪覆盖地下渗滤系统处理生活污水研究

张晓辉^{1,2}, 崔建宇¹, 蓝艳¹, 赵扬阳¹, 胡林^{1*}

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 2. 北京电子科技职业学院生物技术系, 北京 100029)

摘要:采用高羊茅和结缕草 2 种不同草坪草覆盖的地下渗滤系统对生活污水进行处理. 结果表明, 不同处理对 COD 均有较好的去除效果, COD 浓度从 97 ~ 357 mg·L⁻¹ 降至 48 mg·L⁻¹ 以下, 达到我国污水处理二级排放标准, 不同处理间差异不显著; 不同处理对氨氮的去除从 76.3 ~ 125.8 mg·L⁻¹ 降至 0.5 mg·L⁻¹ 以下, 均达到地下水Ⅳ类(≤0.5 mg·L⁻¹) 标准, 裸地处理氨氮出水浓度显著大于高羊茅处理, 与结缕草处理差异不显著; 不同处理对 TP 的去除从 3.70 ~ 18.42 mg·L⁻¹ 降至 0.05 mg·L⁻¹ 以下, 均达到地表水Ⅱ类(≤0.1 mg·L⁻¹) 标准, 各处理间差异不显著; 不同处理 TN 和硝氮去除效果均不好, 达到地下水Ⅲ类(≤20 mg·L⁻¹) 标准的概率不到 1/3, 裸地处理的出水 TN、硝氮浓度显著高于高羊茅和结缕草处理.

关键词:地下渗滤系统; 草坪草; 生活污水; 化学需氧量; 总氮; 总磷

中图分类号: X799.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)01-0165-06

Study on Subsurface Wastewater Infiltration System Covered by Different Turfgrass for Domestic Sewage Treatment

ZHANG Xiao-hui^{1,2}, CUI Jian-yu¹, LAN Yan¹, ZHAO Yang-yang¹, HU Lin¹

(1. College of Resource and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. Department of Biotechnology, Beijing Vocational College of Electronic Science, Beijing 100029, China)

Abstract: Domestic sewage was treated with subsurface wastewater infiltration system covered by two different turfgrass, namely, *Festuca arundinacea* Schres. and *Zoysia japonica* Steud.. The result shows that all the different systems have good removal rates to COD. The concentration of COD decreased to less than 48 mg·L⁻¹ from 97-357 mg·L⁻¹ which achieve the second class criteria specified in Integrated Wastewater Discharge Standard, and there are no prominent difference among different systems. The concentration of NH₄⁺-N decreased to less than 0.5 mg·L⁻¹ from 76.3-125.8 mg·L⁻¹ which achieve the Ⅳ criteria(≤0.5 mg·L⁻¹) specified in Groundwater Quality Standard, the effluent concentration of NH₄⁺-N in naked system are prominently higher than that in system covered by *Festuca arundinacea* Schres., and there are no prominent difference compared with system covered by *Zoysia japonica* Steud.. The concentration of TP in different systems decreased to less than 0.05 mg·L⁻¹ from 3.70-18.42 mg·L⁻¹ which achieve the Ⅱ criteria(≤0.1 mg·L⁻¹) specified in Surfacewater Quality Standard, and there are no prominent difference among different systems. The removal rates of TN and nitrate were all not good enough, the probability which achieve the Ⅲ criteria(≤20 mg·L⁻¹) specified in Groundwater Quality Standard are less than one third, and the effluent concentration of TN and nitrate in naked system are prominently higher than that in systems covered by *Festuca arundinacea* Schres. and *Zoysia japonica* Steud..

Key words: subsurface wastewater infiltration system; turfgrass; domestic sewage; COD; TN; TP

地下渗滤系统(subsurface wastewater infiltration system, SWIS)是将污水有控制地投配到具有一定构造、距地面一定深度的土层中,借助土壤、微生物、植物系统的综合净化功能,达到污水处理要求的一种原位污水处理系统(onsite wastewater treatment system, OWTS)^[1,2],适用于分散污水尤其是分散生活污水的处理. OWTS 在国外已经得到广泛应用,而其中最主要的系统之一就是 SWIS^[3,4].

我国对 SWIS 的研究起步较晚,从 20 世纪 90 年代起才进行相应深入研究^[5,6]. 在地下渗滤系统最上层土壤表面种植草坪、花卉、树丛等植物,既能实现污水处理的功能,又能达到绿地利用的目的^[7]. 国内外在对地下渗滤系统进行的研究中,地表覆盖植物主要以草坪植物为主^[8~11]. 由于各地土壤质

地、气候、污水性质及草种特性等存在差异,系统的处理效果存在不稳定性,对地下水环境会造成一定的环境风险,这也正是其在我国未得到广泛应用的原因之一.

本试验选取北京地区具有代表性的土壤质地沙壤土为主体土壤,选取冷季型草坪草高羊茅(*Festuca arundinacea* Schres.)和暖季型草坪草日本结缕草(*Zoysia japonica* Steud.)作为地表覆盖植物,对不同地表覆盖的地下渗滤系统处理生活污水的效

收稿日期: 2010-01-19; 修订日期: 2010-03-31

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD16B09, 2008BAD16B17-11); 北京电子科技职业学院自然科学基金项目(YZK2009006)

作者简介: 张晓辉(1980~),男,博士研究生,讲师,主要研究方向为水污染处理和环境监测, E-mail: zxx11218@sina.com

* 通讯联系人, E-mail: hulin@cau.edu.cn

果进行了研究,旨在为地下渗滤系统在北京地区的广泛、高效、安全的应用提供一些科学依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验草种选取品种为王朝的冷季型草坪草高羊茅(*Festuca arundinacea* Schres.)和暖季型草坪草日本结缕草(*Zoysia japonica* Steud.).

试验土壤取自北京南部某镇,质地为沙壤土.试验进水取自中国农业大学西区某化粪池出口的上清液.

1.2 试验方法

本试验包括高羊茅、结缕草 2 种不同的地表覆盖方式,为了更好对比,增加裸地处理,每个处理重复 3 次.试验安排在中国农业大学资源与环境学院气象站草坪基地.

1.2.1 试验装置

试验装置为直径 30 cm、高度 102 cm 的 PVC 材料制成的试验柱(如图 1 所示).其基本构造如下:底部由 5 cm 砾石层和 5 cm 粗砂层(93.7% 的粒径为 0.5~2.0 mm)构成;中间主体部分为沙壤土(过 2 mm 筛);在离柱子上表面距离为 35cm 处安放一个尺寸为 25 cm×15 cm×15 cm 的渗滤沟槽,其底部密封上表面开放,渗滤沟槽内底部依次铺上 5 cm 砾石层和 5 cm 粗砂层,压实,其余部分全部装入按一定比例掺杂草炭(过 5 mm 筛)的沙壤土,生活污水经进水槽沿多孔布水管进入渗滤沟槽;多孔布水管为 PVC 材质,管径 1.5 cm,按梅花状开设进水小孔;表层为 10cm 厚的沙壤-草炭混合物,并按照一定的 N、P、K 比例施入底肥;试验柱底端设出水口,并与出水水样采集器相连接以收集水样.

1.2.2 试验步骤

高羊茅按照 25 g·m⁻² 进行播种.考虑到日本结缕草的生长周期,日本结缕草采用铺设草皮方式进行建植,草皮来源为北京某高尔夫学校.

为防止系统堵塞,将化粪池出口处上清液经无纺布过滤后使用.进水时间为每天 09:00,采取一次性布入,布水强度为 10 mm·d⁻¹.定期收集渗滤出水,对进、出水水质进行测定.

1.2.3 测试项目

运行过程中,监测进水和渗滤出水的化学需氧量(COD)、总氮(TN)、氨氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)、总磷(TP).渗滤出水水质监测项目及方法见表 1.

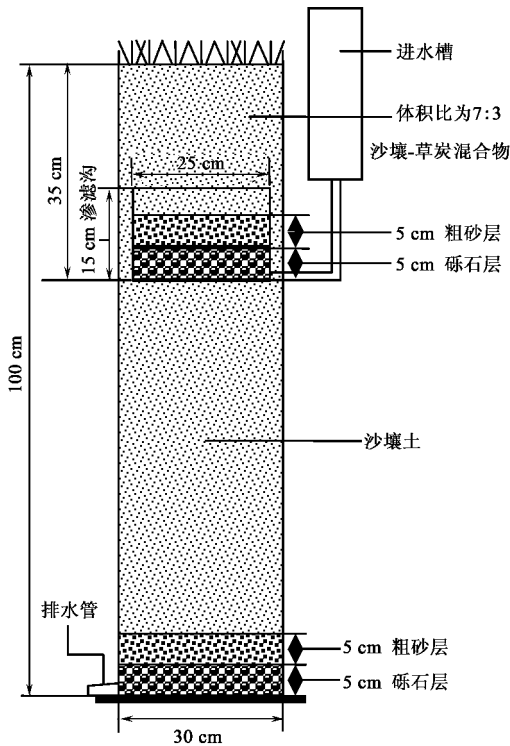


图 1 实验装置示意
Fig.1 Experimental device

表 1 渗滤出水水质监测项目与方法	
Table 1 Test items and analysis methods of effluent water quality	
检测项目	分析方法
COD	快速密闭催化消解法
总氮	过硫酸钾氧化紫外分光光度法
氨氮	纳氏试剂光度法
硝氮	紫外分光光度法
总磷	钼锑抗分光光度法

2 结果与讨论

2.1 进水水质指标

进水水质各指标的变化范围和平均值见表 2.

2.2 不同草坪覆盖对 COD 去除效果的影响

不同草坪覆盖下地下渗滤系统出水 COD 浓度的变化情况见图 2.裸地处理的出水 COD 浓度范围为 18~39 mg·L⁻¹,平均浓度为 27 mg·L⁻¹;高羊茅处理的出水 COD 浓度范围为 16~48 mg·L⁻¹,平均浓度为 27 mg·L⁻¹;结缕草处理的出水 COD 浓度范围为 18~42 mg·L⁻¹,平均浓度为 28 mg·L⁻¹.进水 COD 浓度范围为 97~357 mg·L⁻¹,出水 COD 已经降至 48 mg·L⁻¹ 以下,3 种处理间差异不显著.从图

2 可以看出,COD 均至少达到地表水水质标准中规定的出水浓度标准,仅就出水中的 COD 而言,不会对当地水环境造成危害.

表 2 试验期间进水水质情况/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$					
Table 2 Influent water quality during the experiment/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$					
项目	COD	总氮	氨氮	硝氮	总磷
变化范围	97 ~ 357	92.0 ~ 131.5	76.3 ~ 125.8	0.98 ~ 3.90	3.70 ~ 18.42
平均值	228	118.0	110.5	2.38	7.41

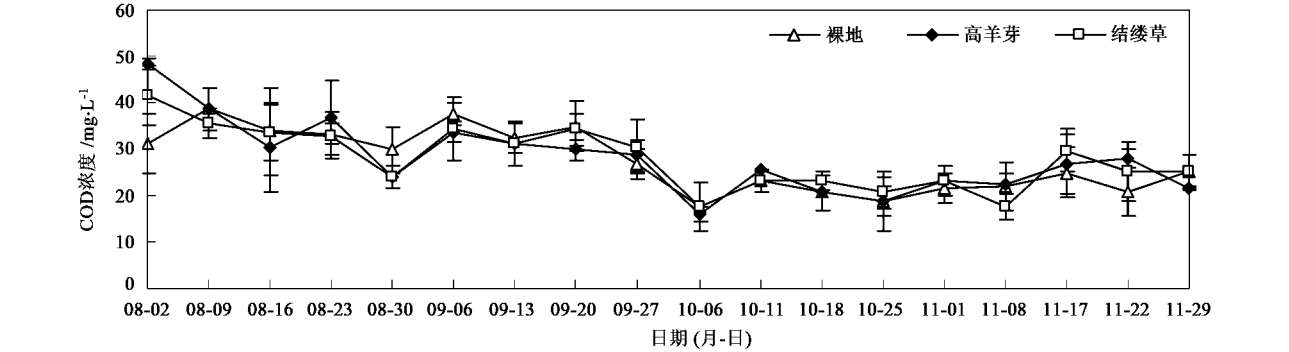


图 2 间歇测定条件下不同草坪覆盖的地下渗滤系统出水 COD 浓度的变化
Fig. 2 Changes of effluent COD concentration in different turfgrass of SWIS under intermittent determination

2.3 不同草坪覆盖对 TN 去除效果的影响
不同草坪覆盖的地下渗滤系统出水 TN 浓度的变化情况见图 3. 裸地处理的出水 TN 浓度范围为 17.7 ~ 122.1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 平均浓度为 75.6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 高羊茅处理的出水 TN 浓度范围为 9.0 ~ 125.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 平均浓度为 65.3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 结缕草处理的出

水 TN 浓度范围为 9.2 ~ 117.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 平均浓度为 67.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 进水 TN 浓度范围为 92.0 ~ 131.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 出水 TN 随着温度的降低而逐渐升高, 裸地处理的出水 TN 浓度显著高于高羊茅处理和结缕草处理.
进水 TN 浓度在 92.0 ~ 131.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间变

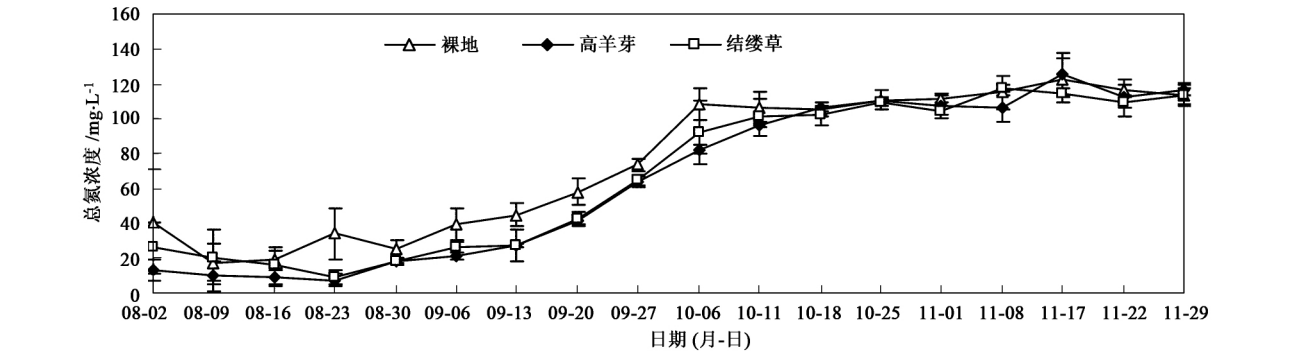


图 3 间歇测定条件下不同草坪覆盖的地下渗滤系统出水 TN 浓度的变化
Fig. 3 Changes of effluent TN concentration in different turfgrass of SWIS under intermittent determination

化,变幅较小,且进水 TN 以氨氮为主,占 TN 的 93.64 %. 而出水 TN 以硝态氮为主,浓度远远高于地表水 V 类水质标准. 其原因可能是由于污水中 C/N 的比例不合适从而使反硝化菌的活性受到抑制所致^[12,13], 国内外研究表明,当进水 TN 浓度 > 50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,总氮的去除效率总体很低,且处理

率不稳定^[14,15],仅当 TN 进水浓度 > 30 mg·L⁻¹时,出水浓度能达到 10 mg·L⁻¹以下^[16].

2.4 不同草坪覆盖对硝氮转化效果的影响

不同草坪覆盖的地下渗滤系统出水硝氮浓度的变化情况见图 4. 裸地的出水硝氮浓度范围为 10.2 ~ 115.4 mg·L⁻¹,平均浓度为 69.2 mg·L⁻¹,比进水平均硝氮浓度增长了 28.1 倍;高羊茅处理的出水硝氮浓度范围为 4.8 ~ 116.7 mg·L⁻¹,平均浓度 61.9

mg·L⁻¹,比进水平均硝氮浓度增长了 25.1 倍;结缕草处理的出水硝氮浓度范围为 2.3 ~ 112.4 mg·L⁻¹,平均浓度为 63.0 mg·L⁻¹,比进水平均硝氮浓度增长了 25.5 倍. 进水硝氮浓度范围为 0.98 ~ 3.90 mg·L⁻¹,出水硝氮浓度随着温度的降低呈现出逐渐上升的趋势,至 11 月,出水平均硝氮浓度升至约 100 mg·L⁻¹,裸地处理的平均出水硝氮浓度显著大于高羊茅、结缕草处理.

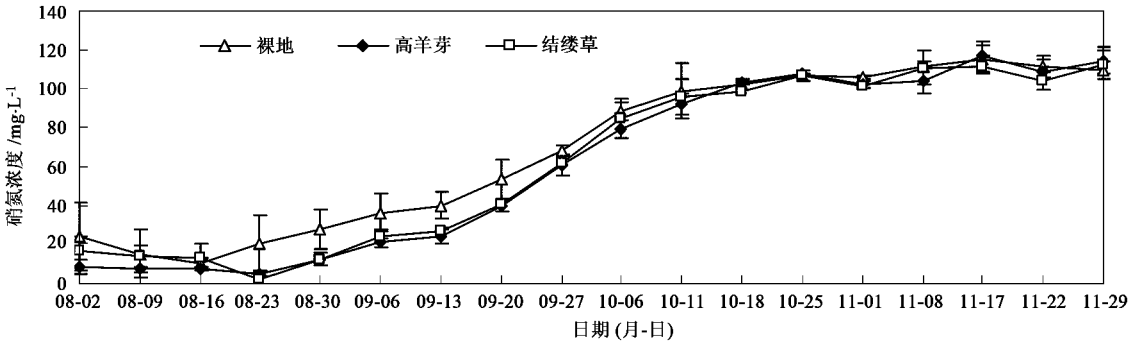


图 4 间歇测定条件下不同草坪覆盖的地下渗滤系统出水硝氮浓度的变化

Fig.4 Changes of effluent nitrate nitrogen concentration in different turfgrass of SWIS under intermittent determination

不同处理的出水硝氮所达地下水环境质量标准 (GB/T 14848-9) 的次数与总测定次数的比例关系见表 3. 在 8 ~ 11 月进行的 18 次水质监测中,对硝氮 (以 N 计) 日平均出水浓度,裸地处理方式 2 次为地下水Ⅲ类水质,占总次数的 11.1%;3 次为地下水Ⅳ类标准,占总次数的 16.7%;13 次为地下水Ⅴ类

标准,占总次数的 72.2%. 高羊茅和结缕草处理均有 1 次为地下水Ⅱ类水质,占总次数的 5.6%;4 次为地下水Ⅲ类水质,占总次数的 22.2%;2 次为地下水Ⅳ类标准,占总次数的 11.1%;11 次为地下水Ⅴ类标准,占总次数的 61.1%.

2.5 不同草坪覆盖对氨氮转化效果的影响

表 3 出水硝氮所达水质标准的次数与总测定次数比例/%

Table 3 Proportion of nitrate nitrogen on total monitoring times of every monitored water body/%

处理	地下水环境质量标准 (GB 3838-2002)			
	Ⅱ类 (≤5.0 mg·L ⁻¹)	Ⅲ类 (≤20 mg·L ⁻¹)	Ⅳ类 (≤30 mg·L ⁻¹)	Ⅴ类 (>30 mg·L ⁻¹)
裸地	—	11.1	16.7	72.2
高羊茅	5.6	22.2	11.1	61.1
结缕草	5.6	22.2	11.1	61.1

不同草坪覆盖的地下渗滤系统出水氨氮浓度的变化情况见图 5. 裸地处理的出水氨氮浓度范围为 0.04 ~ 0.44 mg·L⁻¹,平均浓度为 0.21 mg·L⁻¹;高羊茅处理的出水氨氮浓度范围为 0.03 ~ 0.36 mg·L⁻¹,平均浓度为 0.18 mg·L⁻¹;结缕草处理的出水氨氮浓度范围为 0.06 ~ 0.39 mg·L⁻¹,平均浓度为 0.19 mg·L⁻¹. 进水氨氮浓度范围为 76.3 ~ 125.8 mg·L⁻¹,出水氨氮已经降至 0.5 mg·L⁻¹以下,裸地处理的出水氨氮浓度显著高于高羊茅处理.

不同处理的出水氨氮所达水质标准的次数与总测定次数的比例关系见表 4. 由表 4 可知,不同草坪

覆盖的地下渗滤系统出水中,出水氨氮浓度均达到地表水Ⅱ类水质标准以及地下水Ⅳ类水质标准,说明该系统对污水中的氨氮具有很好的转化效果.

2.6 不同草坪覆盖对 TP 去除效果的影响

不同草坪覆盖的地下渗滤系统出水 TP 浓度的变化情况见图 6. 裸地处理的出水 TP 浓度范围为 0.003 ~ 0.042 mg·L⁻¹,平均浓度为 0.014 mg·L⁻¹;高羊茅处理的出水 TP 浓度范围为 0.005 ~ 0.045 mg·L⁻¹,平均浓度为 0.015 mg·L⁻¹;结缕草处理的出水 TP 浓度范围为 0.004 ~ 0.035 mg·L⁻¹,平均浓度为 0.016 mg·L⁻¹. 进水 TP 浓度范围为 3.70 ~

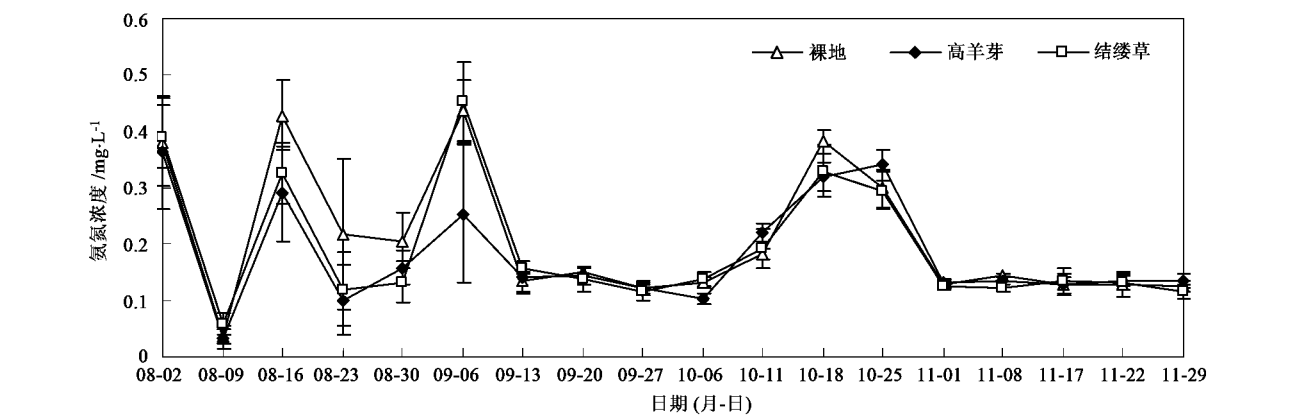


图 5 间歇测定条件下不同草坪覆盖的地下渗滤系统出水氨氮浓度的变化

Fig. 5 Changes of effluent ammonia nitrogen concentration in different turfgrass of SWIS under intermittent determination

处理	地表水环境质量标准 (GB 3838-2002)		地下水环境质量标准 (GB/T 14848 -9)	
	I 类 (≤ 0.15 mg·L ⁻¹)	II 类 (≤ 0.5 mg·L ⁻¹)	III 类 (≤ 0.2 mg·L ⁻¹)	IV 类 (≤ 0.5 mg·L ⁻¹)
裸地	55.6	44.4	61.1	38.9
高羊茅	61.1	38.9	66.7	33.3
结缕草	61.1	38.9	72.2	27.8

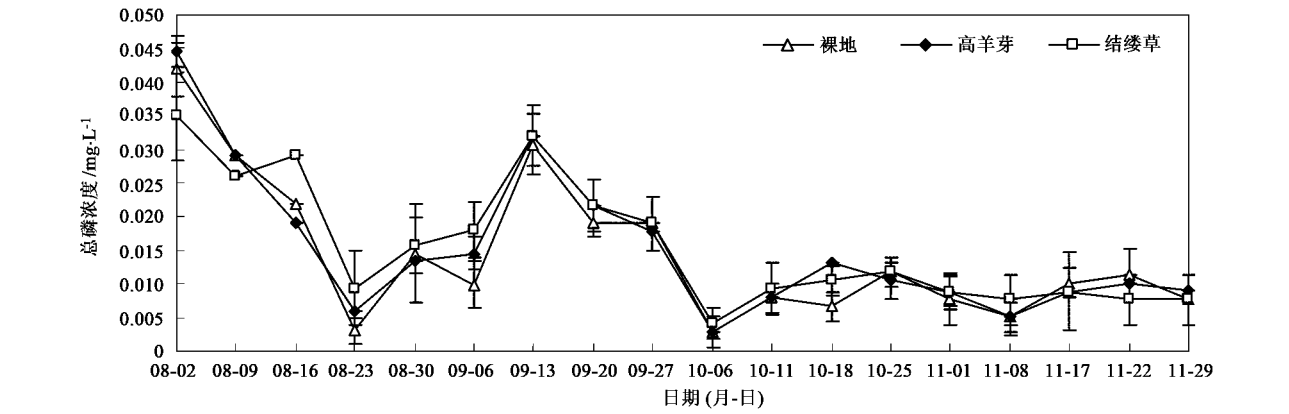


图 6 间歇测定条件下不同草坪覆盖的地下渗滤系统出水 TP 浓度的变化

Fig. 6 Changes of effluent TP concentration in different turfgrass of SWIS under intermittent determination

18.42 mg·L⁻¹,出水 TP 均在 0.05 mg·L⁻¹以下,3 种处理无显著差异.

不同处理的出水 TP 所达地表水环境质量标准 (GB 3838-2002) 的次数与总测定次数的比例关系见表 5. 其中,《地下水环境质量标准》(GB/T 14848-9)中未对地下水 TP 浓度提出具体达标要求.从表 5 可知,不同覆盖处理的出水 TP 平均浓度均达到地表水 II 类水质.根据文献报道,地下渗滤系统对磷有着非常好的去除效果,具有很高的去除率,去除率通常达到 90% 以上,同时几乎所有的土地处理系统常

年运行后均未出现磷吸附饱和现象^[17,18].

处理	地表水环境质量标准 (GB 3838-2002)	
	I 类 (≤ 0.02 mg·L ⁻¹)	II 类 (≤ 0.1 mg·L ⁻¹)
裸地	77.8	22.2
高羊茅	77.8	22.2
结缕草	72.2	27.8

表 5 出水 TP 所达水质标准的次数与总测定次数比例/%

Table 5 Proportion of TP on total monitoring times of every nonitored water body/%

3 结 论

(1)2 种不同草坪草覆盖及裸地地下渗滤系统对生活污水的 COD 有较好的去除效果,均远远低于我国污水处理二级排放标准,不同处理间差异不显著.

(2)2 种不同草坪草覆盖及裸地地下渗滤系统出水 TN、硝氮浓度均较高,达到地下水Ⅲ类(≤20 mg·L⁻¹)标准的概率不到 1/3,裸地处理的出水 TN、硝氮浓度显著高于高羊茅和结缕草处理,其差别在草坪旺盛生长时期尤为显著.

(3)2 种不同草坪草覆盖及裸地地下渗滤系统对氨氮具有较好去除效果,出水浓度均低于 0.5 mg·L⁻¹.裸地处理氨氮浓度显著大于高羊茅处理,与结缕草处理差异不显著.

(4)2 种不同草坪草覆盖及裸地地下渗滤系统出水 TP 浓度均达到地表水Ⅱ类(≤0.1 mg·L⁻¹)标准,不同处理间差异不显著.

参考文献:

[1] USEPA. Design manual: Onsite wastewater treatment and disposal systems[R]. EPA 625/1-80-012, Washington, DC: USEPA,1980.

[2] 高拯民,李宪法. 城市污水土地系统处理利用手册[M]. 北京:中国标准出版社,1991.

[3] USEPA. Response to congress on use of decentralized wastewater treatment systems[R]. EPA8322R2972001b. Washington, DC: USEPA,1997.

[4] USEPA. Onsite wastewater treatment systems manual[R]. EPA/

625/R-00/008. Washington,DC: USEPA,2002.

[5] 陈星,大矢绫子,杨喜田,等. 土壤地下渗透系统处理污水的研究进展[J]. 河南科学,2007,25(2):316-320.

[6] 杨丽萍,田宁宁,褚富春. 土壤毛管渗滤污水净化绿地利用研究[J]. 城市环境与城市生态,1999,12(3):4-7.

[7] 马敏杰. 毛管渗滤土地处理铁路中小站污水技术[J]. 铁道标准设计, 2006,(11):86-87.

[8] 张建,黄霞,刘超翔,等. 地下渗滤处理村镇生活污水的中试[J]. 环境科学,2002,23(6):57-61.

[9] 张建,黄霞,魏杰,等. 地下渗滤污水处理系统的氮磷去除机理[J]. 中国环境科学,2002,22(5):438-441.

[10] 张建,黄霞,施汉昌,等. 掺加草炭的地下渗滤系统处理生活污水[J]. 中国给水排水,2004,20(6):41-43.

[11] 郑展望,徐甦,周联友. 土壤毛管渗滤系统在浙江湖州某区新农村示范工程中的应用[J]. 污染防治技术,2007,20(3):64-67.

[12] 郑兴灿,李亚新. 污水除磷脱氮技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998.

[13] 董泽琴,孙铁珩,李培军,等. 悬浮填料床/地下渗滤系统深度处理生活污水[J]. 中国给水排水,2006,22(4):70-73.

[14] 李彬,吕锡武,钱文敏. 分流型地渗系统的污水强化脱氮研究[J]. 水处理技术,2007,33(8):34-37.

[15] 张永锋,罗纨,贾忠华. 西安地区地下渗滤系统处理生活污水的试验研究[J]. 西安理工大学学报,2007,23(2):186-190.

[16] 孔刚,许昭怡,王勇. 地下土壤渗滤沟的工艺构造对氮磷去除的影响[J]. 环境科学与技术,2006,29(2):7-11.

[17] Tetreault M J, Benedict A H, Kaempfer C, *et al.* Biological phosphorus removal: A technology evaluation [J]. Water Environment Federation, 1986, 58(8):162-174.

[18] USEPA. Wastewater treatment/disposal for small communities [R]. EPA 625R92005, Washington,DC:USEPA,1992.