文章编号:1000-5641(2012)03-0138-07

上海农村生活污水排放规律及土壤渗滤效果探讨

任翔宇, 尚钊仪, 车 越, 杨 凯, 钟春节
(华东师范大学 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室,上海 200062)

摘要: 对上海市宝山区的 3 个农村生活污水处理试点村庄开展实地调查. 通过水量与水质的连续跟踪监测,调研农户生活用水习惯及污水排放规律,评估土壤渗滤系统的处理效果,探讨化粪池、土壤渗滤系统各环节对污染物的削减贡献. 结合试点项目开展情况,对上海地区农村生活污水处理项目的进一步推广及后续管理提出建议.

关键词: 农村生活污水; 排放规律; 化粪池; 土壤渗滤系统
中图分类号: X321 **文献标识码**: A **DOI**:10. 3969/j. issn. 1000-5641. 2012. 03. 018

Discharge pattern of rural domestic sewage and the efficiency of soil infiltration in Shanghai

REN Xiang-yu, SHANG Zhao-yi, CHE Yue, YANG Kai, ZHONG Chun-jie
(*Shanghai Key Laboratory for Urban Ecology and Sustainability, East China Normal University, Shanghai* 200062, *China*)

Abstract: A field investigation was made in respect of the volume and quality of domestic sewage in 3 villages in Baoshan District of Shanghai, where pilot experiments of domestic sewage treating system had been performed. Meanwhile, a study on the water usage and discharge pattern in rural areas and an assessment of efficiency of soil infiltration system were made by continuous monitoring data. And an evaluation of the contribution by septic tank and treating system was also made. Finally, suggestions on the promotion and management of domestic sewage treating system in Shanghai was provided.

Key words: rural domestic sewage; discharge pattern; septic tank; soil infiltration system

0 引 言

上海市自 2008 年至 2009 年已建造各类农村生活污水处理设施 491 座,其中土壤渗滤是最主要的工艺类型,但部分试点项目的出水水质存在一定问题. 另一方面,农村地区存在

收稿日期:2011-02
基金项目:国家自然科学基金(71073055);上海市水务局科研项目(沪水科 2011-06);中央高校基本科研业务费专项资金
第一作者:任翔宇,女,硕士研究生,研究方向为区域水资源与水环境. E-mail: sherry-ren@hotmail. com.
通讯作者:杨凯,男,教授,研究方向为区域水资源与水环境. E-mail: kyang@re. ecnu. edu. cn.

诸如外来人口较多导致排水量的不确定性，井水自来水混用令人难以将所有污水纳入处理系统，化粪池和后续处理系统污染物削减贡献不明等现象[1-3]. 这些现像成为部分处理系统的隐患，也是影响农村生活污水处理系统运行及维护的重要因素. 国外学者在这方面进行了一定研究，Bakir 认为污水处理系统必须与当地社会、文化、经济、环境相适应[4]；Engin 等认为成本是农村污水处理工艺适用性的重要影响因素[5]. 可见对上海地区农村生活污水排放规律进行研究，并以此指导农村生活污水处理的运行维护具有重要实践指导意义.

上海农村普遍安装的化粪池出水效果及对后续污水处理设施的进水影响不明确. 在现有研究中，王玉华等认为化粪池处理效果不明显[6]，范建伟和王红燕则认为化粪池具有较理想的处理效果[7, 8]. 研究者对于上海地区土壤渗滤工艺效果的讨论也较少.

基于以上问题，本文选取以化粪池为预处理工艺、以土壤渗滤工艺为最终处理工艺的宝山区 3 个不同村镇，通过实地跟踪监测及调研，探讨其污水排放特征、化粪池及土壤渗滤工艺处理效果，以期为今后上海地区农村生活污水处理提供参考.

1　研究区域

作为上海近年来重点发展的地区之一，宝山区的市政设施得到大幅改善，但城乡结合部及农村地区的生活污水难以收集至污水处理厂进行集中处理，农村居民生活污水直排河道，导致河道黑臭现象较为严重. 因此，宝山区自 2008 年起推进农村生活污水处理项目，已建成运行项目 240 套，主要分布于罗泾镇、罗店镇、月浦镇和顾村镇等 4 个镇 22 个自然村 79 个自然宅，涉及 3 160 户村民. 其中 95％的生活污水处理系统采用土壤渗滤工艺.

1.1　农户基本情况

2010 年 4 月 27～28 日，选取宝山区罗店镇远景村（村落 a）、罗泾镇牌楼村（村落 b）、顾村镇沈宅村（村落 c）的三套典型土壤渗滤系统（系统 a、系统 b 和系统 c）为研究对象，并分别调查系统 a、系统 b 和系统 c 收集的农户 A、农户 B 和农户 C 产生的生活污水量和水质状况. 其中农户 A 为老式农宅，工作日 3 人居住（2 位老人和 1 位儿童）、周末 5 人居住（另增 2 位年轻人）；农户 B 为老式农宅，农户 C 为农民别墅，两户均为工作日及周末均 7 人居住（2 位老年人、2 位青年人、1 位儿童和 2 位外来青年人）.

1.2　系统基本情况

3 套系统均采用土壤渗滤工艺，分别服务农户 2 600 人、2 385 人和 299 人. 农户生活污水经过自家化粪池停留后进入土壤渗滤系统进行进一步处理（见图 1）；此外，由于外来人口较多，村落 b 内一处为外来人口服务的公厕污水也接入系统 b.

2　研究方法

2.1　入户调查方法

农村生活污水特殊的产量、污水结构、时段特征在一定程度上影响污水处理系统的负荷和稳定性[9]. 为此，研究人员于 27 日 16：00 至 28 日 13：00 期间，记录农户 A、农户 B 和农户 C 每个整点的水表读数，其中由于农户 B 仅使用少量井水（占其一天用水量 0.66％），故将自来水用水量视为全部用水量进行分析. 同时记录生活用水时间和用途.

2.2 样品采集及分析方法

2.2.1 采样方法

采样时段分为 27 日 11:00～13:00(中午)、15:00～17:00(下午)、18:00～20:00(夜间)、28 日 7:00～9:00(早晨);各时段均采集化粪池出水和系统进水和系统出水 3 个断面水样(如图 1). 同时采集 3 户农户的洗衣污水、厨余污水以及村落 c 内公共厕所出水水样进行测定.

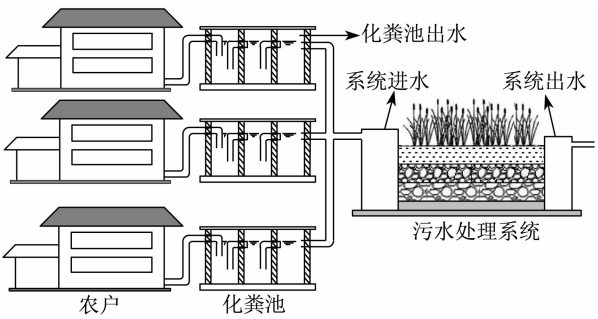

图 1 农户-化粪池-处理系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of farmhouse-septic tank-treating system

2.2.2 分析方法

根据上海市水文总站对上海地区农村生活污水处理系统的抽样检测结果,COD_{Cr}、BOD_5、氨氮和总磷浓度为制约系统出水达标与否的重要指标,本文对这 4 类污染物指标进行检测,在此基础上对污水处理系统的处理效果进行分析. 实验室分别采用 HJ535—2009、GB11893—89 和美国标准 5330 D 为指标分析水样中氨氮、总磷和 COD_{Cr} 浓度,使用无汞压力法测定 BOD_5.

3 结果与讨论

3.1 生活污水排放特征

3.1.1 排水高峰及排水量

分析 27 日 16:00 至 28 日 13:00 农户每小时用水量(见图 2),明显可见 3 户生活用水使用量和排放量在 1d 中均在 8:00～11:00 和 18:00～21:00 出现两个用水高峰. 两高峰内用水量无显著差异. 如按照排污量等于用水量的 90%计算,污水排放量与用水量在时间变化上一致. 这一特点与其他相关研究结论一致[10].

A、B、C 3 户 1 d 每户用水量分别为 0.867 m^3、1.157 m^3、0.902 m^3,人均日用水量基本未超过《上海市节水型区县考评指标体系》中 153 L/人的最高限[11]. 查看农户 A 自 2009 年 3 月至 2010 年 3 月各月自来水费缴纳单据(见图 3)可得该户全年用水较少,平均每月用水 9.9 m^3.

3.1.2 生活污水水质

大部分农村地区生活污水水质波动大,基本不含重金属等有害物质. 对 A、B、C 3 户洗衣污水、厨余污水和公厕污水水样进行实验室分析,计算污染物浓度平均数(见表 1).

厨余污水中 COD_{Cr}、氨氮浓度明显较高,均劣于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中Ⅱ级标准[12],主要来自大量食物碎渣. 洗衣污水中总磷浓度均优于 GB 18918—2002 的Ⅱ级水质要求,推测原因为无磷洗涤剂的使用. 同时,此三类污水 pH 值接近且均为弱碱性. 公厕污水中各类污染物浓度均劣于 GB 18918—2002 中的Ⅲ级水质标准.

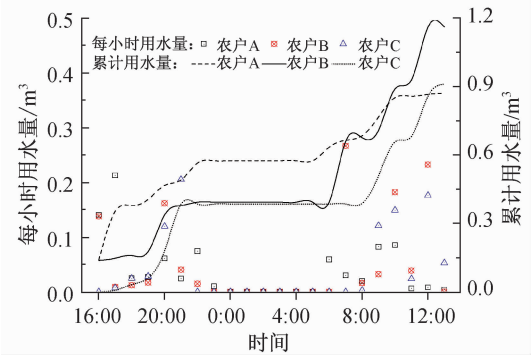

图 2　生活用水量的时段变化

Fig. 2　Domestic water consumption in different periods of the daily time

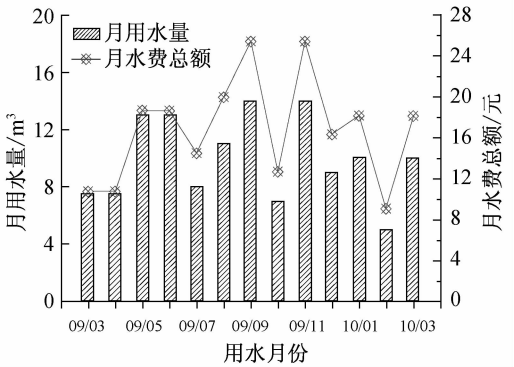

图 3　农户 A 水费支出(2009 年 3 月～2010 年 3 月)

Fig. 3　Annual water fee of one family

表 1　农户生活污水水质指标分析结果

Tab. 1　Water quality of different domestic wastewater

污水类别	污染物浓度/(mg·L⁻¹)			pH
	COD_{Cr}	氨氮	总磷	
洗衣污水	92.3	6.38	0.19	8.18
厨余污水	1263.4	32.16	0.60	8.08
公厕污水	1042.50	170.19	8.83	8.01

3.2　化粪池出水水质

化粪池通过截留悬浮物、厌氧发酵过程削减悬浮物及其他污染物浓度，且由于其建设运行成本低廉，在农村地区大范围推广为生活污水处理系统的预处理工艺[6].

然而分析 3 户自家化粪池 1 d 各时段出水水质(见图 4)却发现其出水水质并不理想，且同时段 3 户差异较大. COD_{Cr} 早晨、中午、下午、夜间 4 个时段内浓度范围分别为 330.00～1 376.67 mg·L⁻¹、796.67～1110.00 mg·L⁻¹、271.67～405.00 mg·L⁻¹、580.00～1 010.00 mg·L⁻¹；氨氮在 4 个时段极大极小值分别为 68.72～114.54 mg·L⁻¹、49.63～138.03 mg·L⁻¹、53.89～115.12 mg·L⁻¹、81.35～200.00 mg·L⁻¹；总磷在 4 个时段浓度范围分别为 2.50～4.39 mg·L⁻¹、2.31～5.07 mg·L⁻¹、2.42～4.63 mg·L⁻¹、4.29～6.80 mg·L⁻¹，全部劣于 GB 18918—2002 中的Ⅱ级标准. 各污染物浓度 1 d 变化幅度大，受农户本身用水排水行为影响明显. 这说明虽然化粪池对污染物有削减作用，但出水水质不达标且不稳定，难以抵抗不同时段的污染物浓度冲击.

3.3　污水处理系统处理效果

3.3.1　系统出水水质

3 套系统 1 d 内出水 COD_{Cr}、BOD_5、氨氮和总磷的浓度范围分别为 6.60～31.60 mg·L⁻¹、2.00～30.00 mg·L⁻¹、7.05～22.7 mg·L⁻¹和 0.01～0.35 mg·L⁻¹，平均浓度分别为 25.00 mg·L⁻¹、15.36 mg·L⁻¹、0.18 mg·L⁻¹和 18.25 mg·L⁻¹，均优于 GB 18918-2002 中Ⅱ级标准，其中 COD_{Cr}、总磷水平均优于Ⅰ级 B 标准，氨氮、BOD_5 部分时段优于Ⅰ级 B 标准. 4 个时段内 COD_{Cr} 浓度范围为 17.60～30.60 mg·L⁻¹、6.60～31.60 mg·L⁻¹、15.10～30.60 mg·L⁻¹、13.10～47.10 mg·L⁻¹；氨氮浓度范围为9.16～22.44 mg·L⁻¹、

7.05～22.70 mg·L^{-1}、8.34～22.61 mg·L^{-1}、7.46～22.08 mg·L^{-1};总磷浓度范围为0.01～0.33 mg·L^{-1}、0.03～0.35 mg·L^{-1}、0.03～0.33 mg·L^{-1}、0.03～0.35 mg·L^{-1}.各系统出水中污染物浓度稳定,随时间变化幅度较小.

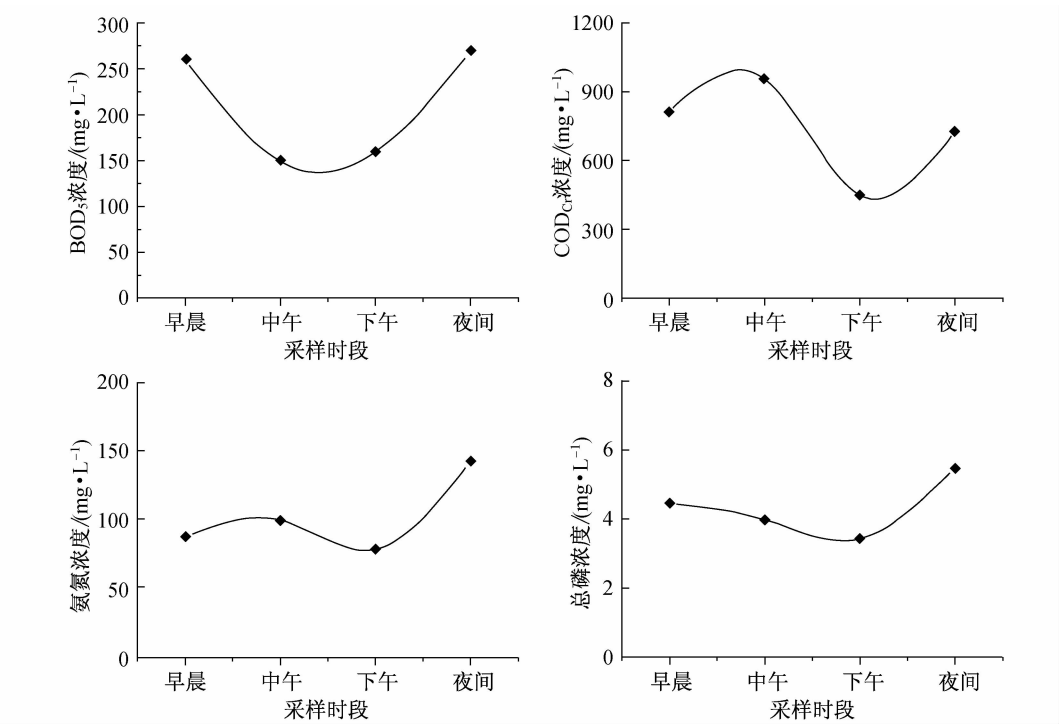

图 4 化粪池出水污染物浓度

Fig. 4 Pollutant concentrations in samples of effluent of septic tanks

3.3.2 系统污染物削减率

计算 a、b、c 三套系统进出水污染物浓度的平均值和平均去除率(见图 5).

首先,系统对污染物削减率高且稳定.三套系统对 COD_{Cr}、BOD_5、氨氮和总磷的平均削减率范围为 86.5%～95.6%、94.8%～98.1%、69.1%～74.5%和 91.1%～94.8%,1 d 内削减率随时间变化小.其中 a、b、c 三套系统对以上四种污染物的削减率分别均高于 90%、94%、70%和 85%,出水水质均优于 GB 18918—2002 中Ⅱ级标准、部分污染物指标优于Ⅰ级 B 标准且污染物浓度稳定,受系统进水浓度变化的冲击较小.如 a、b、c 三套系统进水中氨氮、总磷浓度差别很大,但处理后出水浓度持平.

其次,系统进水污染物浓度随时间变化幅度较大.系统进水污染物浓度与化粪池出水浓度变化规律基本一致,但由于一套处理系统需处理多户农户的生活污水,导致其中单户农户化粪池中污染物浓度与系统进水中污染物浓度有差异.同时,由于村落 b 公厕出水进入系统,污水中大量氨氮对系统进水中总氨氮有较大贡献,故呈现系统进水浓度远大于化粪池出水浓度的现象.

3.4 讨论

(1) 系统 b 接纳了村落 b 的公厕污水后,污染负荷增大,因而其进水污染物浓度明显高于系统 a 和 c.近年上海地区农村外来人口激增导致公厕污水产生量上升,此类污水直排河

道将严重影响郊区水环境，故必须处理达标后排放. 但由于公厕污水污染物浓度高，会给系统带来剧烈冲击，因此在系统设计阶段应考虑这一因素.

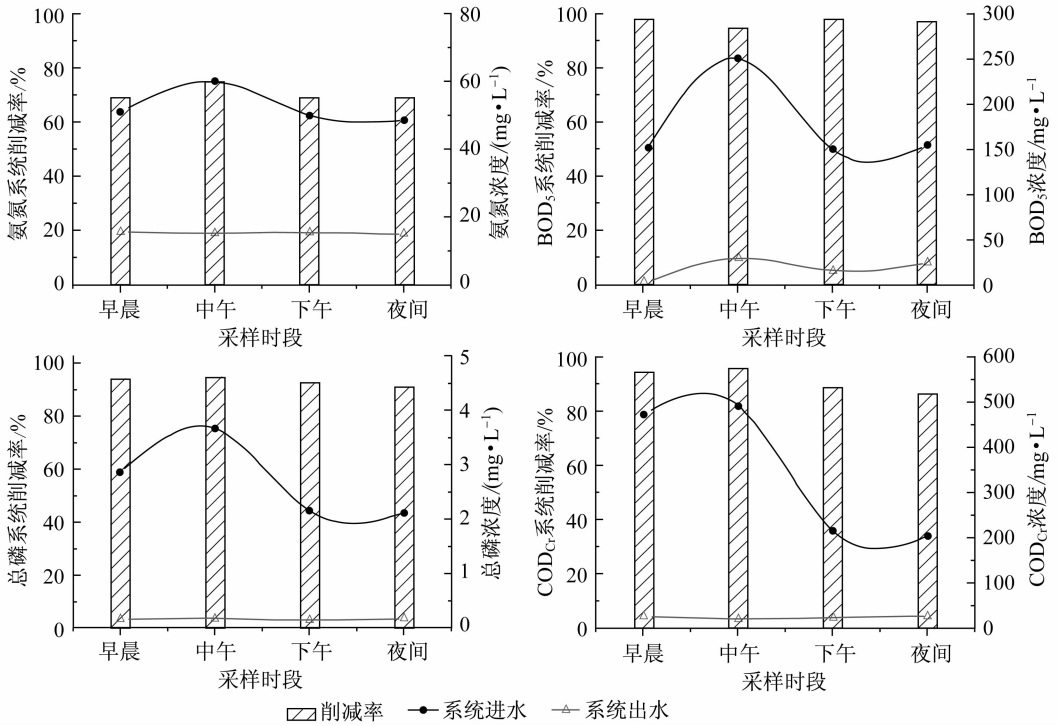

图 5　系统各环节污染物削减效果

Fig. 5　Pollutant concentrations in samples of influent and effluent, and pollutant removal rates of three sewage treating systems

（2）化粪池作为预处理设施在农村地区大范围推广，但在实践中存在以下问题. 一方面，普通“三格式”化粪池仅进行简单的固液分离和一定程度预处理[6]，污染物削减效果十分有限，而农村生活污水间歇排放的特点导致污染物浓度随时间和排污种类不同变化剧烈，仅靠化粪池难以进行有效处理，所以后续农村生活污水处理系统是非常必要的. 另一方面，由于上海地区农户化粪池建成时间较早，加之管理不完善，其处理能力下降，建议在进行污水处理系统建设的同时翻新农户化粪池，并对化粪池进行长期有效的管理，使之达到较好的预处理效果，减轻处理系统的负荷压力，延长污水处理系统的使用周期.

（3）由于土壤渗滤系统的初期处理效果良好且运行维护成本低，在农村地区大量推广使用，但是仍然有几个问题亟待解决. 首先，土壤渗滤系统通过微生物生长和填料吸附对污染物进行削减[13]，渗滤池内污染物在长期运行后逐渐积累，待其总量超过填料原有的负荷阈值、填料饱和时需要更换滤池内填料，否则系统处理效果将大幅度降低. 但施工单位表示长期负责系统维护有一定难度，希望移交政府统一管理，而相关部门尚未明文规定管理措施、运行维护资金筹措、使用细则等，使处理系统长期运行得不到保障. 其次，由于缺乏统一的工艺参数，部分处理系统渗滤池的防渗膜选取及铺设方式不标准、出水集水井水位与河道水位的高程差较小等，导致地下水渗入、河水倒灌等问题. 最后，由于缺乏有效的施工监管，加上土壤渗滤系统大部分深埋于地下，施工质量难以把关，渗滤池的防渗措施、实际建设规

模等得不到控制和保障.

4 结 论

(1) 上海地区农村人均用水量相对较少;各类生活污水对排污总量和污染物浓度贡献不同;污水排放量在时间上形成早晚两个高峰.由于服务外来人口的公厕污水污染物浓度高,有条件的情况下应纳入生活污水处理系统.

(2) 化粪池对污染物处理效果较不明显,其出水污染物浓度全部劣于 GB18918—2002 中Ⅱ级标准且在 1 d 内变化较大.为此,应建设后续污水处理系统对生活污水进行进一步处理.

(3) 3 套土壤渗滤系统 1 d 内出水中 COD_{Cr} 等 4 项污染物浓度均优于 GB18918—2002 中Ⅱ级标准.其中,氨氮、BOD_5 未达到 GB 18918—2002 中Ⅰ级 b 标准,部分污染物浓度达到 GB18918—2002 中Ⅰ级 b 标准.系统对不同污染物平均削减率在 69.1%至 98.1%之间,1 d 内变化幅度小.但土壤渗滤系统在其本身使用周期及设计管理运行上存在一些问题,该工艺是否适合在上海推广仍然值得探讨.

(4) 在推广上海市农村生活污水处理的同时,需根据当地生活污水排放规律选择恰当的处理工艺.同时需出台与当地社会、文化、环境、经济条件均适应的、可持续的长期运行和维护措施.

(5) 受制于调研时间及地点,本文仅对污水排放特征、化粪池及土壤渗滤工艺处理效果等问题进行了初步调研及探讨;不同进水的水质水量特征、化粪池实际削减率等问题仍然值得深入研究.

致谢:感谢上海市水利管理处金鹏飞、洪宏工程师在现场调查方面给予的协助,以及华东师范大学吕永鹏、吴伟、汪冬冬、白羽、刘辰和金妍等同学参加问卷调查和室内实验工作.

[参 考 文 献]

[1] 郭运功,林逢春,吕永鹏,等.上海市新农村生活污水处理现状分析及对策[J].中国给水排水,2008,24(10):7-10.

[2] 梁卓,何国富,刘伟,等.城郊农村生活污水排放现状分析及对策研究[J].安徽农学通报,2009,15(5):78-80.

[3] 毛晓梅,潘建清,冯宗富.太湖流域长兴地区农村生活污染源现状调查与分析[J].农业环境与发展,2009(4):4-7.

[4] BAKIR H A. Sustainable wastewater management for small communities in the Middle East and North Africa[J]. Journal of Environment Management, 2001, 61: 319-328.

[5] ENGIN G O, DEMIR I. Cost analysis of alternative methods for wastewater handling in small communities[J]. Journal of Environment Management, 2006, 79: 357-363.

[6] 王玉华,方颖,焦隽.江苏农村"三格式"化粪池污水处理效果评价[J].生态与农村环境学报,2008,24(2):80-83.

[7] 范建伟,张杰,尹大强.加强型生物化粪池/潜流人工湿地处理农村生活污水[J].中国给水排水,2009,25(24):69-71.

[8] 王红燕,李杰,王亚娥,等.化粪池污水处理能力研究及其评价[J].兰州交通大学学报,2009,28(1):118-124.

[9] 尹洁,郑玉涛,王晓燕.密云水库水源保护区不同类型村庄生活污水排放特征[J].农业环境科学学报,2009,28(6):1200-1207.

[10] 方芳,王磊,郭劲松.三峡库区典型临江村镇排放污水的水质水量特征分析[J].农业环境科学学报,2009,28(8):1661-1668.

[11] 上海市供水管理处.上海市节水型社会建设考评指标(试行)[S].上海:上海市供水处,2010.

[12] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局.GB18918-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准[S].北京:中国标准出版社,2002.

[13] 杨佘维,谢可军,赵婷,等.植物-土壤渗滤法对农村生活污水的处理工艺研究[J].安全与环境工程,2009,16(01):51-57.