

太湖流域农村生活污水污染物排放系数研究 ——以昆山为例

尹微琴¹, 王小治¹, 王爱礼¹, 赵海涛¹, 郁志华², 朱培淼², 封克¹

(1. 江苏省扬州农业环境安全技术服务中心, 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏省扬州规模猪场高效健康养殖公共技术服务中心, 江苏 扬州 225127; 2. 江苏昆山土壤肥料站, 江苏 昆山 215300)

摘要:为估算农村生活污水污染物排放系数,于2007年8月至2008年7月在昆山锦溪镇周家浜村,通过每月收集不同收入家庭的排放污水,对生活污水排放量以及COD和氮磷排放情况进行了调查研究。结果表明,农村居民人均污水排放量、人均生活污水COD排放量和氮磷排放量的季节差异显著,且与家庭收入呈负相关趋势。农村生活污水COD、氨氮、总氮和总磷排放系数分别为58.3、3.6、6.2、0.4 kg·a⁻¹·人⁻¹,氮磷总排放系数达6.6 kg·a⁻¹·人⁻¹,明显高于以往文献中常用的3.3 kg·a⁻¹·人⁻¹,并对其原因进行了分析。该排放系数对太湖流域其他地区农村生活污水排放的估算具有一定参考价值。

关键词: 农村生活污水 排放系数 太湖 COD 氮 磷

中图分类号 X501 文献标志码 A 文章编号 1672-2043(2010)07-1369-05

Discharge Index of Pollutants from Village Sewage in TaiHu Region——A Case Study in Kunshan

YIN Wei-qin¹, WANG Xiao-zhi¹, WANG Ai-li¹, ZHAO Hai-tao¹, YU Zhi-hua², ZHU Pei-miao², FENG Ke¹

(1. Yangzhou Technical Service Center for Agro Environment Safety of Jiangsu Province, College of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou Technical Service Center for Efficient and Healthy Breeding in Scaled Pig Farms of Jiangsu Province, Yangzhou 225127, China; 2. Soil and Fertilizer Station of Agricultural Bureau, Kunshan 215300, China)

Abstract: To estimate discharge index of pollutants from village sewage in Taihu region, the investigation on village sewage was carried out in Zhoujiabang Village, Jinxi Town, Kunshan City. The village sewage from families with different incomes was collected monthly in August 2007 to July 2008, and the discharges of COD, NH₄⁺-N, total nitrogen(TN) and total phosphorous(TP) from village sewage were determined. The results showed that the amount of village sewage per person and the amount of COD, TN and TP from village sewage changed significantly with seasons, and had a negative correlation with the family income. The discharge indexes of COD, NH₄⁺-N, TN and TP pollution from village sewage in Kunshan were 58.3 kg·a⁻¹·person⁻¹, 3.6 kg·a⁻¹·person⁻¹, 6.2 kg·a⁻¹·person⁻¹ and 0.4 kg·a⁻¹·person⁻¹, respectively. The discharge index of N and P from village sewage(6.6 kg·a⁻¹·person⁻¹) was much higher than that reported in previous literature(3.3 kg·a⁻¹·person⁻¹). The possible reasons were discussed in this paper. The discharge indexes of pollution from village sewage obtained from the present study provide the useful information for the estimation of pollution discharge in other zones of Taihu region.

Keywords: village sewage pollution; discharge index; Taihu; COD; nitrogen; phosphorous

近年来,太湖水体富营养化问题日趋严重。氮、磷是湖泊水体富营养化的关键因子^[1]。我国太湖水体的富营养化也主要是由于氮、磷元素的富集^[2]。农业非点源

污染物是导致受纳水体富营养化的重要原因之一^[3-4],对农业非点源污染的研究日益受到重视。相关研究主要集中在大气湿沉降、农田径流排放、畜禽养殖业污染物排放以及对非点源污染控制等方面^[5-11],而对农村生活污水排放的研究相对缺乏。目前常采用每人每日平均粪尿量进行估算^[12],由于广义的生活污水不仅包括人粪尿,还包括厨余废水、洗浴废水和洗衣废水等,同时家庭收入状况也可能影响生活污水量及污水

收稿日期 2010-02-09

基金项目:农业部行业项目(200803031);江苏省科技厅太湖专项(BK2007737,BS2007164)

作者简介:尹微琴(1971—),女,硕士,农艺师,主要从事土壤重金属及农业面源污染研究。E-mail: wqyin@yzu.edu.cn

通讯作者:王小治 E-mail: xzwang@yzu.edu.cn

中氮磷排放量。国内已有学者对农村污水排放特征进行研究^[13-15],但大多只调查几日的的时间,很难直接应用于农村生活污水排放的估算。本文在太湖流域的昆山市锦溪镇周家浜村,在2007年8月到2008年7月的1a时间里,通过入户调查和采样分析的方法,对不同收入状况家庭排放的生活污水量、组成、季节变化特征等进行调查研究,据以估算农村生活污水排污系数,以期正确评价农村生活源污染以及流域污染控制与治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 地点及时间

在昆山市锦溪镇周家浜村进行,考虑到家庭经济状况可能对生活污水排放产生影响,经过调查按家庭人均年收入水平将其分为高(大于12000元·a⁻¹·人⁻¹)、中(8000~12000元·a⁻¹·人⁻¹)和低(小于8000元·a⁻¹·人⁻¹)3种,分别选取代表性家庭进行。本次监测生活污水包括厨房、厕所、洗澡、洗衣等产生的污水。为农户配发污水收集桶,并建污水收集池。长、宽、高均为1m的收集池建在地表以下,池底和池壁做防渗处理,做到不漏水、不渗水。收集池带有池盖,以防雨水等进入。从2007年8月至2008年7月,每月采集1次连续3d的污水,在采样日期的前3d开始清洗污水收集池,确保3d内所有生活污水全部进入污水收集池。

1.2 样品采集与测定

采样时通过测量收集池污水深度,计算污水产生量;用清洁竹竿充分搅拌使污水混合均匀后,在收集池的不同部位、不同深度多点采混合样1000mL,加浓H₂SO₄调至pH≤2,保存待测。相关测定均采用标

准方法^[16],具体为:蒸馏滴定法测氨氮(NH₄⁺-N);过硫酸钾氧化紫外分光光度法测总氮(TN, Total nitrogen);过硫酸钾氧化钼酸铵分光光度法测总磷(TP, Total phosphorus);重铬酸钾法测定COD。

1.3 数据分析

用Excel 2007对数据进行处理,SPSS15.0进行统计分析,Sigmaplot10作图。

2 结果与分析

2.1 污水排放量

由图1可以看出,农户人均污水排放量在不同月份存在较大差异,家庭经济收入状况对人均污水排放量有明显影响,高收入、中收入和低收入农户污水排放量分别在26.7~42.9 L·d⁻¹·人⁻¹、47.5~73.3 L·d⁻¹·人⁻¹和48.1~146.7 L·d⁻¹·人⁻¹之间,呈现出收入越高人均污水排放量越低的趋势。

2.2 污水中污染物浓度及排放量

农村生活污水中COD浓度在不同月份差异很大,不同收入家庭之间也有一定差异(图2a),高收入家庭人均COD排放浓度在294~1738 mg·L⁻¹之间,明显低于中低收入家庭,中、低收入家庭人均COD排放浓度分别在507~4876 mg·L⁻¹和826~4827 mg·L⁻¹之间。中等收入家庭和低收入家庭之间未表现出明显的规律性差异。不同收入家庭排放污水中氮磷浓度在不同月份差异也很大(图2b,c,d),中收入和低收入家庭排放污水中NH₄⁺-N、TN、TP浓度分别为48.1~247.9 mg·L⁻¹、95.7~460.5 mg·L⁻¹、8.5~24.3 mg·L⁻¹和29.5~460.0 mg·L⁻¹、75.0~794.5 mg·L⁻¹、6.7~30.7 mg·L⁻¹之间。比较低收入和低收入家庭排放污水中氮磷浓度

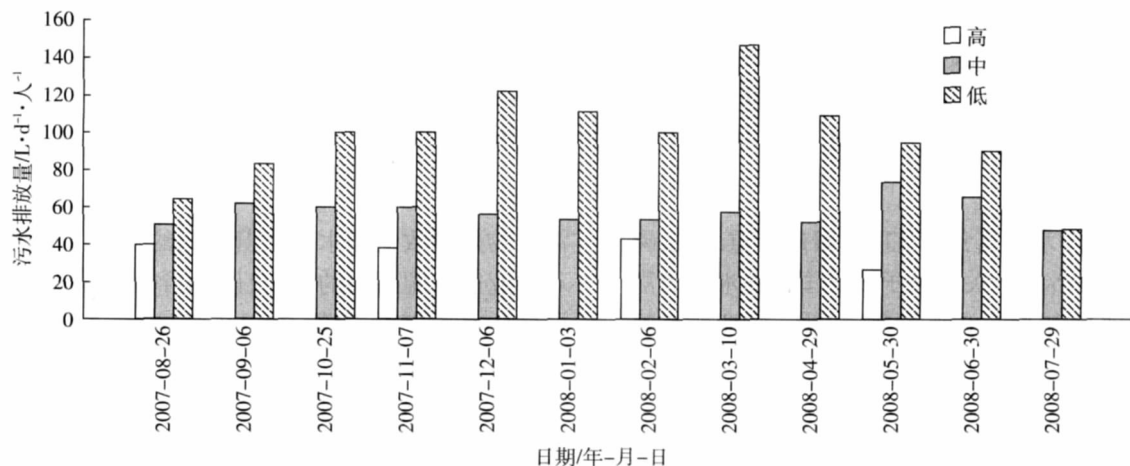


图1 农村不同收入家庭生活污水排放量

Figure 1 Amount of sewage from rural families with different incomes

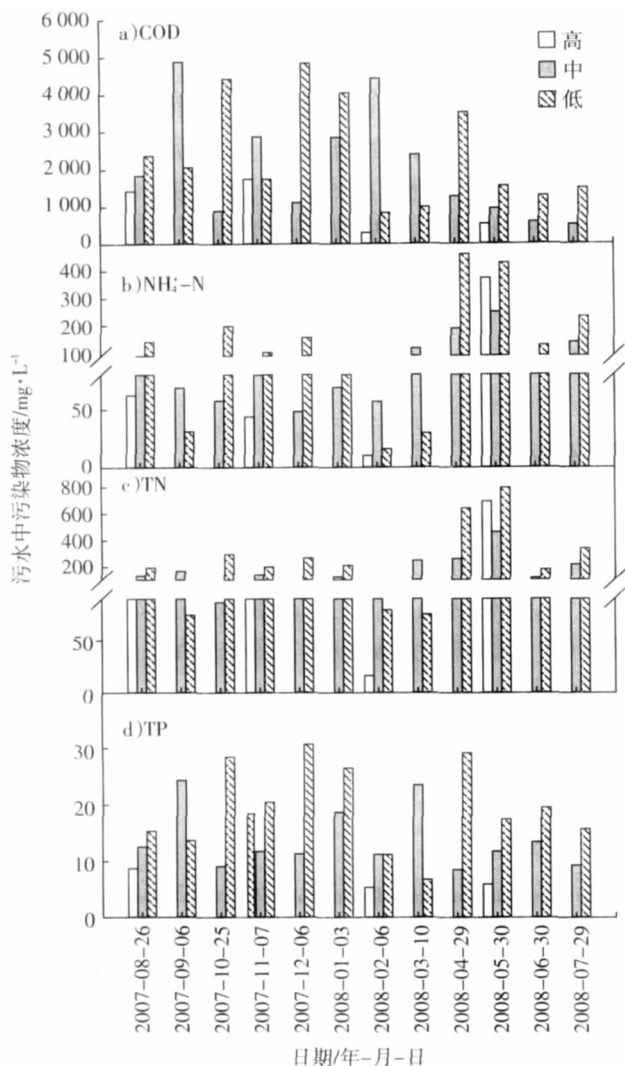


图 2 农村不同收入家庭生活污水中污染物浓度

Figure 2 Concentration of pollutant in sewage from rural families with different incomes

可发现(高收入家庭只取了 4 次样)除 2007 年 9 月 6 日、2008 年 2 月 6 日和 2008 年 3 月 10 日外,其余 9 次均为低收入家庭氮磷浓度高于中收入家庭。从不同季节污染排放量来看(图 3)其受家庭收入影响的趋势更为明显,均表现出家庭收入越高,其每日人均

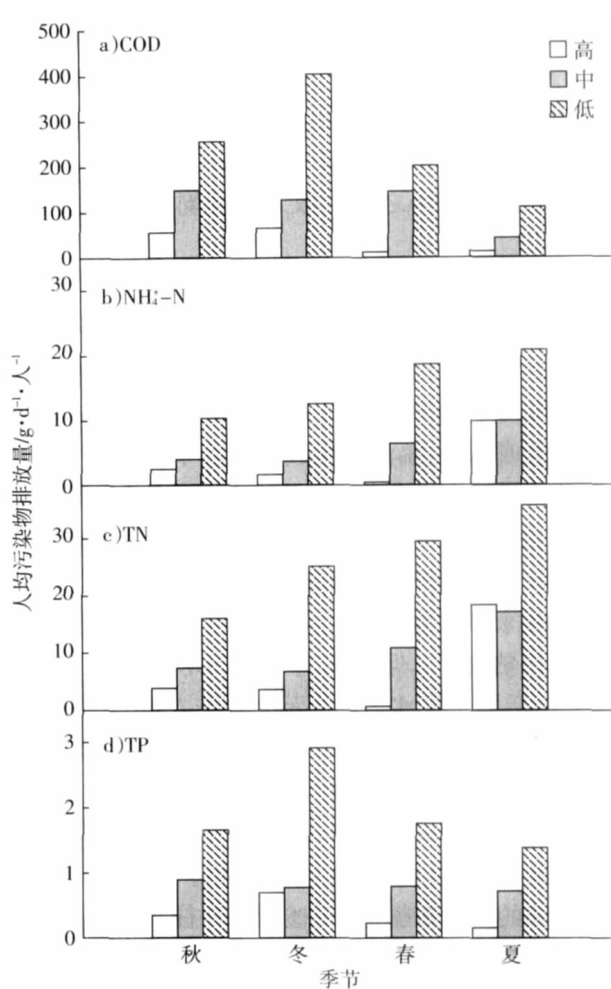


图 3 农村不同收入家庭生活污水中污染物排放量

Figure 3 Amount of pollutant in sewage from rural families with different incomes

污染物排放量越低。但不同污染物的季节排放规律有所不同, NH_4^+-N 和 TN 排放量以夏季最高,而夏季 COD 和 TP 的排放量较低。

全年各月数据统计分析的结果列于表 1。从中可见,不论是污水排放量还是污染物排放量,收入越低的家庭排放量越大。低收入家庭人均污水排放量为 $97.4 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$,为高收入家庭 ($36.9 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$) 的 2.6 倍;其

表 1 不同收入家庭生活污水中污染物浓度及排放量

Table 1 Concentration and amount of pollution in sewage from rural families with different incomes

收入状况	污水排放量/ $\text{L}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$	COD	NH_4^+-N	TN	TP	NH_4^+-N 占 TN 比例/ %
		$\text{g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$				
高收入	$36.9\pm 7.1\text{a}$	37.4 ± 28.1	3.6 ± 4.3	6.6 ± 8	0.4 ± 0.2	56.8 ± 8.9
中收入	57.6 ± 7.1	116.9 ± 85.6	6.0 ± 4.3	10.5 ± 7.9	0.8 ± 0.3	58.4 ± 9.6
低收入	97.4 ± 25.5	243.1 ± 173.2	15.6 ± 15	26.6 ± 22.8	1.9 ± 1.0	54.2 ± 16.6
平均	$71.7\pm 29.2\text{b}$	159.7 ± 146.3	9.8 ± 11.3	16.9 ± 17.9	1.2 ± 0.9	56.4 ± 12.7

注: a 为平均值±标准差(Average±SD) b 为所有检测数据的平均。

COD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、TN 和 TP 排放量分别为 159.7 、 9.8 、 16.9 $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$ 和 1.2 $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$ ，分别为高收入家庭的 6.5、4.3、4.0 倍和 4.8 倍。另外，生活污水中的氮以 $\text{NH}_4\text{-N}$ 为主，不同收入状况污水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 排放量占 TN 比例在 54.2%~56.8% 之间，收入状况对该比例影响不大。

3 讨论

由于在我国大部分地区，农村生活污水的收集及处理设施尚不完善，农村生活污水是农业非点源污染中重要组成部分，搞清其排放状况对于准确评价农业非点源污染具有重要意义。迄今为止，对农村生活污水污染物排放系数的研究相对较少，由于农村生活污水排放的分散性、随机性等特点，给准确评价其排放状况带来很大难度，目前常采用每人每日平均粪尿量进行估算^[12]。但事实上生活污水不仅包括人粪尿，还包括厨余废水、洗浴废水和洗衣废水等，仅用粪尿量进行估算显然不够准确。目前国内学者已在太湖^[12]、四川^[14]、密云水库^[15]、滇池^[17]等地区对农村生活污水排放进行调查，其中部分研究还进行了一日中不同时段农村生活污水的排放特征研究，获得了很有价值的参考数据。但上述研究往往只进行几日的监测，未进行长期的排放研究，用所得排放系数计算某地区生活污水的全年排放可能不太准确，因为不同生活习惯、不同收入水平等均可能影响农村生活污水的排放特征，同时不同季节对污染物的排放也会产生一定影响。

本文在太湖流域的昆山市锦溪镇周家浜村，选择不同收入水平农户，从 2007 年 8 月到 2008 年 7 月进行一年的污水排放量以及 COD 和氮磷排放研究。本研究表明，农村生活污水污染物排放与收入水平有密切关系，收入越高其污染物排放量越小，这可能与高收入农户的工作、生活在外较多有关，对不同家庭的调查显示，高收入农户常在外面就餐，而低收入农户很少在外就餐。另外，不同收入家庭的消费品支出结构也可能存在差异。这需要进一步的调查研究，以找出造成不同收入水平农户污染物排放差异的真正原因。值得注意的是，农村生活污水 COD、TN 和 TP 的人均排放量为 159.7 、 16.9 $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$ 和 1.2 $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$ ，相当于 58.3 、 6.2 $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$ 和 0.4 $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$ ，生活污水氮磷排放总和为 6.6 $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$ ，比目前文献中常用的 3.3 $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$ 高 1 倍。可见，以 3.3 $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$ 作为生活污水氮磷排放系数将低估农村生活污水氮磷

的排放。本文对不同收入农户每月进行连续 3 d 的取样，以此计算农村生活污水污染排放系数，该排放系数代表性较强，对其他地区农村生活污水排放具有一定参考价值。要准确评价农村生活污水排放，应在太湖流域不同典型地区进行监测，通过进一步加大取样频率、增加监测点农户数、分类收集生活污水、并同期调查不同家庭的消费支出等措施，获得更为可靠的数据，以准确评价太湖流域农村生活污水排放特征，为有针对性的选择农村生活污水处理方法提供科学依据。

4 结论

通过对昆山市锦溪镇周家浜村居民生活污水污染排放进行为期一年的调查研究，获得以下结论：

(1) 农村居民人均生活污水排放量及人均生活污水 COD 和氮磷排放量的季节变化明显，且与家庭收入呈负相关趋势。

(2) 农村居民生活污水 COD、TN 和 TP 排放系数分别为 58.3 、 6.2 $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$ 和 0.4 $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{人}^{-1}$ 。

参考文献：

- [1] Salvatore Porrello, Mauro Lenzi, Emma Persia, et al. Reduction of aquaculture wastewater eutrophication by phytotreatment ponds system I. Dissolved and particulate nitrogen and phosphorus[J]. *Aquaculture*, 2003, 219: 515-529.
- [2] 范成新. 太湖水体生态环境历史演变[J]. *湖泊科学*, 1996, 8(4): 297-304.
FAN Cheng-xin. Historical evolution of water ecological setting in Taihu Lake[J]. *J Lake Sci*, 1996, 8(4): 297-304.
- [3] 吴炳方. 水田植物营养素的流失和控制措施[J]. *环境科学*, 1991, 12(3): 88-91.
WU Bing-fang. Plant nutrient loss by runoff in paddy field and its control measure[J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 1991, 12(3): 88-91.
- [4] Coote D R, MacDonald E M, Dickinson W T, et al. Agriculture and water quality in the Canadian Great Lakes Basin I. Representative agricultural watersheds[J]. *Environ Qual*, 1982, 11: 473-481.
- [5] 马立珊, 汪祖强, 张水铭, 等. 苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究[J]. *环境科学学报*, 1997, 17(1): 39-47.
MA Li-shan, WANG Zu-qiang, ZHANG Shui-ming, et al. Pollution from agricultural non-point sources and its control in river system of Taihu lake, Jiangsu[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1997, 17(1): 39-47.
- [6] 吕耀. 苏南太湖流域农业非点源污染及农业可持续发展战略[J]. *环境科学动态*, 1998(2): 1-4.
LV Yao. Non-point sources pollution and strategies of sustainable agricultural development in Taihu Region[J]. *Environmental Science Trends*,

- 1998(2) :1-4.
- [7] 王小治, 高 人, 朱建国, 等. 稻季施用不同尿素品种的氮素径流和淋溶损失[J]. 中国环境科学, 2004, 24(5) :600-604.
WANG Xiao-zhi, GAO Ren, ZHU Jian-guo, et al. Study on nitrogen loss via runoff and leaching from soil added different urea types with monolith lysimeters[J]. *China Environmental Science*, 2004, 24(5) :600-604.
- [8] 梁新强, 田光明, 李 华, 等. 天然降雨条件下水稻田氮磷径流流失特征研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1) :59-63.
LIANG Xin-qiang, TIAN Guang-ming, LI Hua, et al. Study on characteristic of nitrogen and phosphorus loss from rice field by natural rainfall runoff[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(1) :59-63.
- [9] 邱卫国, 唐 浩, 王 超. 水稻田面水氮素动态径流流失特性及控制技术[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(4) :740-744.
QIU Wei-guo, TANG Hao, WANG Chao. Rule of lose of nitrogen in the surface water of rice fields and the control technology [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(4) :740-744.
- [10] 王小治, 高 人, 钱晓晴, 等. 利用大型径流场研究太湖地区稻季氮素的径流排放[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(3) :831-835.
WANG Xiao-zhi, GAO Ren, QIAN Xiao-qing, et al. Nitrogen loss via runoff from paddy field using the large catchment area in TaiHu Region [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(3) :831-835.
- [11] Hong Chen, Shuai Shi, Yang Song. An analysis of governmental economic activities on non-point source pollution treatment in rural areas in China[J] *Electronic Journal of Biology*, 2007, 3(2) :42-46.
- [12] 周徐海, 王 宁, 郭红岩, 等. 农业非点源污染潜力指数系统 (AP-PI) 在太湖典型区域的应用 [J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4) :1029-1034.
ZHOU Xu-hai, WANG Ning, GUO Hong-yan, et al. Preliminary application of agricultural non-point source pollution potential index in typical area of Taihu Lake[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(4) :1029-1034.
- [13] 徐洪斌, 吕锡武, 李先宁, 等. 太湖流域农村生活污水污染现状调查研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊) :375-378.
XU Hong-bin, LV Xi-wu, LI Xian-ning, et al. A survey on village sewage pollution in a zone of TaiLake[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(sup.) :375-378.
- [14] 张 鑫, 付永胜, 范兴建, 等. 农村生活污水排放规律及处理方法分析[J]. 广东农业科学, 2008, 8 :139-142.
ZHANG Xin, FU Yong-sheng, FAN Xing-jian, et al. The sewage of village life disposal rule and processing method research [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2008, 8 :139-142.
- [15] 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.
YIN Jie, ZHENG Yu-tao, WANG Xiao-yan. Discharge features of rural domestic wastewater from different types of villages in water source protection area, Miyun Reservoir, Beijing[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(6) :1200-1207.
- [16] 魏复胜. 水和废水监测分析方法[M]. 第四版. 北京:中国环境科学出版社, 2002.
WEI Fu-sheng. Water and wastewater monitoring analysis method[M]. Forth Edition. Beijing :Environment Science Press of China, 2002.
- [17] 张德刚, 汤 利, 陈永川, 等. 滇池流域典型城郊村镇排放污水氮、磷特征分析[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(6) :2245-2250.
ZHANG De-gang, TANG Li, CHEN Yong-chuan, et al. Discharge rule and character of nitrogen and phosphorus in household wastewater from suburb typical region in Dianchi Lake catchment [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(6) :2245-2250.