

华北平原地区农村生活污水产污特征研究

张磊¹, 裴国霞^{1*}, 张玉华², 刘东生², 李想², 谭平¹

(1.内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018; 2.农业部规划设计研究院农村能源与环保研究所, 北京 100125)

摘要:为了解华北平原地区农村生活污水产污特征,准确评价农村生活污染状况,本研究选取华北平原地区典型农村(保定市徐水县荆塘铺村)不同收入水平的15户典型农户,对其生活污水的产污情况进行12个月(2010年8月至2011年7月)的调查和监测,得到农户的生活污水人均日产生量、pH、COD、TAN、TN和TP的产污系数。农户生活污水人均日产生量为 $21.03 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{人}^{-1}$, pH值为6.14, COD、TAN、TN和TP的产污系数分别为 7.87 、 0.581 、 $1.31 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{人}^{-1}$ 和 $0.066 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{人}^{-1}$ 。各项指标从高到低依次为中收入水平农户,高收入水平农户和低收入水平农户,且高中收入水平农户与低收入水平农户各项指标差异性较显著。以上结果表明华北平原地区农村生活污水人均日产生量和污染物产污系数与收入水平有关。

关键词:华北平原地区;农村生活污水;污水人均日产生量;产污系数

中图分类号:X502 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2012)02-0410-06

Sewage Produced Characteristic of Rural Areas in North China Plain Region

ZHANG Lei¹, PEI Guo-xia^{1*}, ZHANG Yu-hua², LIU Dong-sheng², LI Xiang², TAN Ping¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 2. Institute of Energy and Environmental Protection, Chinese Academy of Agriculture Engineering, Beijing 100125, China)

Abstract: In order to evaluate the status of rural domestic wastewater pollution in the North China Plain region, the rural domestic wastewater of 15 typical peasant households with different income levels in Jingtangpu Village, Xushui County, Baoding City was made a continuous investigating and monitoring for 12 months, including the daily produced per capita, pH, chemical oxygen demand(COD), total ammonia nitrogen(TAN), total nitrogen(TN) and total phosphorus(TP) of rural domestic wastewater. The mean value of sewage generated was $21.03 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{person}^{-1}$, pH was 6.14, the sewage production coefficients of COD, TAN, TN and TP were $7.87 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{person}^{-1}$, $0.581 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{person}^{-1}$, $1.31 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{person}^{-1}$ and $0.066 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{person}^{-1}$. The households with middle income levels had highest indicators, followed by high and low income level households, and the difference between high, middle and low income level households was significant, these results indicated that the amount of sewage produced per capita and sewage production coefficients were related to the income.

Keywords: North China Plain; rural sewage; the daily produced per capita; sewage production coefficients

近几年我国部分水体和地下水都受到了不同程度的污染,其中农业面源污染所造成的影响逐渐显现出来^[1]。关于农业面源污染的研究主要集中在化肥污染、农药污染、集约化养殖场污染和农膜污染等^[2],而

农村生活污水污染也逐渐成为研究的重点,成为急需关注的问题。

现今我国大部分农村地区的生活污水处理设施还很不完善,致使大部分农村生活污水问题得不到解决。而搞清楚农村生活污水水质水量的基本情况,是研究解决农村生活污水问题的一个重要环节^[3]。但是我国对农村生活污水水质水量大规模的调查研究较少,多数集中于我国南方地区,像太湖,滇池,巢湖,三峡等重要的流域周围^[4],对北方农村生活污水水质水量的研究相对较少。我国地域广阔,人口分布不均匀,各地居民生活习惯不相同,这就导致了各地农村生活

收稿日期:2011-07-12

基金项目:公益性行业(农业)科研专项;农业清洁生产与农村废弃物循环利用集成配套技术体系研究与示范项目(200903011)

作者简介:张磊(1987—),男,山西临汾人,硕士研究生,主要从事水环境污染研究。E-mail:baipanggao@163.com

*通讯作者:裴国霞(1957—),女,内蒙古农业大学教授,硕士生导师,主要从事水处理理论与技术研究。

E-mail:peiguoxia@126.com

污水水质水量存在着差异^[5]。所以开展针对我国不同地方的农村生活污水水质水量的调查研究是非常有必要的。

本文依托公益性行业(农业)科研专项“农业清洁生产与农村废弃物循环利用集成配套技术研究与示范”项目,对华北平原地区典型农村的生活污水开展调查和监测,得到该地区具有一定代表性的农村生活污水水质水量的基本资料。希望能为评估华北平原地区农村生活污水对环境的影响提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

华北平原是我国重要的农业和工业地区,人口众多,经济相对发达。但是人均水资源占有量仅有 335 m³,不足全国的 1/6,世界的 1/24^[6],所以水资源的保护和高效利用十分重要。随着华北地区农村生活水平的提高,大量未经处理的农村生活污水随意排放,已成为周围水环境的一个重要污染源^[7]。

本研究选择保定市徐水县荆塘铺村作为研究对象。该村位于徐水县城西南方向 7 km 处,属于华北地区中北部。截止至 2010 年 8 月,全村共有 450 户,常住人口 1 850 人,并且该村土地肥沃,地势平坦开阔,人口较为稠密,经济水平在华北平原地区属于中等,可以作为具有一定区域代表性的典型农村。

1.2 研究对象

地形条件、农民生活习惯和家庭收入水平等可能是影响农村生活污染物产生及排放的主要因素^[4],本文以收入水平为主要因素进行研究。结合河北省农村经济发展水平,按照农户人均年收入水平,把监测农户分为高、中、低 3 个档次^[8],同时这 3 个档次的农户也反映出是否有给排水设施和淋浴设备(表 1)。

1.3 研究方法

1.3.1 污水产污监测与样品采集

为每户监测农户提供监测桶,将监测农户 3 日内所产生的废水全部收集到桶内。与此同时对农户进行随机探访,以保证收集污水的真实准确性。研究监测

时间从 2010 年 8 月至 2011 年 7 月,总共持续 12 个月时间。采样频次为每月 1 次,共 12 次,每次监测持续 3 d,全部安排在每月的中下旬。每次监测前做好监测桶清理和常住人口调查等准备工作,收集的污水范围包括厨房废水、洗浴废水和洗衣废水。采集水样时用清洁木棍搅拌使生活污水充分混合,在监测桶的不同部位,不同深度采取样品 1 000 mL,并在当天进行各指标的测定。

1.3.2 污水监测指标

本文监测农户生活污水水质的各项指标包括 3 d 内每户农户的污水产生量、化学需氧量(COD)、氨氮(TAN)、总氮(TN)和总磷(TP)的浓度和 pH 6 项指标。3 d 户污水产生量和 pH 值采用现场测定的方法,COD、TAN、TN 和 TP 的浓度全部采用国标方法测定^[9]:重铬酸钾法测定 COD;纳氏试剂分光光度法测定 TAN;碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定 TN;钼酸铵分光光度法测定 TP。

1.3.3 农村生活污水情况调查

对该村随机 120 户农户进行问卷调查,调查得到了该村农户生活污水的基本情况。该村居民以中老年人和儿童为主,每人每日生活污水产生量不高,主要是厨房和洗衣废水,洗浴废水较少。村民冬季用水量较少,夏季用水量较高。每日产生的生活污水主要集中在早晨 7—9 时和晚上 18—20 时。村内大部分农户有排水系统,少量农户无排水系统。村内有少部分比较富裕的农户有淋浴设备,大部分农户无淋浴设备。全村厕所类型均为卫生旱厕,无水冲式厕所。全村农户均没有建设污水处理设施,污水全直接排放,因此污水产生量与污水排放量相同,各污染物产污系数与排污系数相同。以下测算的全部是污水产生量与产污系数,测得污水产生量与产污系数也即为污水排放量与排污系数。

1.3.4 生活污水产污系数计算

农村生活污水产污系数^[10]为在一定自然环境和一定经济收入水平下,每人每日正常生活所产生的污染物的量。产污系数计算公式为:

表 1 农户人均年收入划分标准、给排水设施状况和监测户数

Table 1 Criteria for grading of annual per-capita income of farmer households, status of water supply and drainage facilities and the number of households for monitoring

类型	人均收入水平/元·人 ⁻¹ ·a ⁻¹	设施	监测户数
高收入水平	5 000 元以上	有给排水设施,无淋浴设备	5
中收入水平	4 000~5 000 元	有给排水设施,无淋浴设备	5
低收入水平	4 000 元以下	只有给水龙头,无排水和淋浴设备	5

$$W_{p,k} = \frac{1}{1000n} (Q_p \times \rho_{i,k})$$

式中: $W_{p,k}$ 为污水中第 k 种污染物的产污系数, $\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{人}^{-1}$; Q_p 为污水产生量, $\text{L} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{户}^{-1}$, 此值由 3 d 户污水产生量可以得出; $\rho_{i,k}$ 为第 i 农户污水中第 k 种污染物的质量浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; n 为第 i 农户人口数, $\text{人} \cdot \text{户}^{-1}$ 。

2 结果与分析

2.1 污水人均日产生量

图 1 为不同收入水平农户从 2010 年 8 月至 2011 年 7 月间各月份的生活污水人均日产生量, 表 2 为收入水平对农户生活污水产污系数影响的方差分析结果。从图 1 可知在 12 个月的监测期间, 基本呈现中收入水平农户污水人均日产生量最高, 高收入水平农户次之, 低收入水平农户最低(10 月份和高收入水平农户污水人均日产生量高于中等收入水平农户, 2011 年 6 月份高收入水平农户污水人均日产生量低于低收入水平农户)。各收入水平农户生活污水人均日产生量随月份变化较为明显, 基本上呈现 6、7、8 月份污水人均日产生量最高, 12 月和 1 月份污水人均日产生量最低, 但 2 月份污水人均日产生量出现一次突增。由表 2 可知 3 种收入水平农户之间差异性较显著 ($P < 0.01$), 但是高、中收入水平农户之间和高、低收入水平农户之间差异性并不十分显著 (高、中收入水平之间 $P > 0.05$; 高、低收入水平之间 $0.05 > P > 0.01$)。

2.2 污水污染物产污系数

图 2 为不同收入水平农户全年各污染物的产污系数, 可知高收入和中收入水平农户 COD 产污系数要大于低收入水平农户。COD 产污系数随月份起伏

较为明显, 在 6、7、8 月份和 2 月份较高。由表 2 可知高中收入水平农户 COD 产污系数差异性不显著 ($P > 0.05$), 但低收入水平农户与高中收入水平农户 COD 产污系数之间差异性较为显著 ($P < 0.01$)。

TAN 与 TN 产污系数基本呈现中收入水平农户最高, 高收入水平农户次之, 低收入水平农户最低(5 月份除外)。TAN 与 TN 产污系数随月份变化较为明显, 但是各水平农户无明显规律。由表 2 可知高、中收入水平农户 TAN 产污系数差异性并不十分显著 ($0.05 > P > 0.01$), 但是高、中、低收入水平农户之间 TAN 和 TN 产污系数差异性较为显著 ($P < 0.01$)。

TP 产污系数亦呈现出中收入水平农户最高, 高收入水平农户次之, 低收入水平农户最低。随月份变化较为明显, 其中以 2、8、9 月份最多。由表 2 可知高、中收入水平农户 TP 产污系数差异性并不十分显著 ($0.05 > P > 0.01$), 但是高、中、低收入水平农户之间 TP 排污系数差异性较为显著 ($P < 0.01$)。

根据图 2 的分析可以总结出人均收入水平对农村生活污水污染物产污系数有一定影响, 其中高、中收入水平农户差异性并不十分显著, 但是高、中收入水平与低收入水平农户差异性较显著。产污系数在量上表现基本上是以中收入水平农户最大, 其后依次是高收入和低收入水平农户(高收入与中收入水平农户较为接近)。各收入水平农户污水人均日产生量算术平均值、污染物产污系数算术平均值、pH 均值和总均值如表 3 所示。

3 讨论

以上分析表明, 该地区农村生活污水的产排与收入水平有密切关系。根据对农户的调查, 高、中收入水

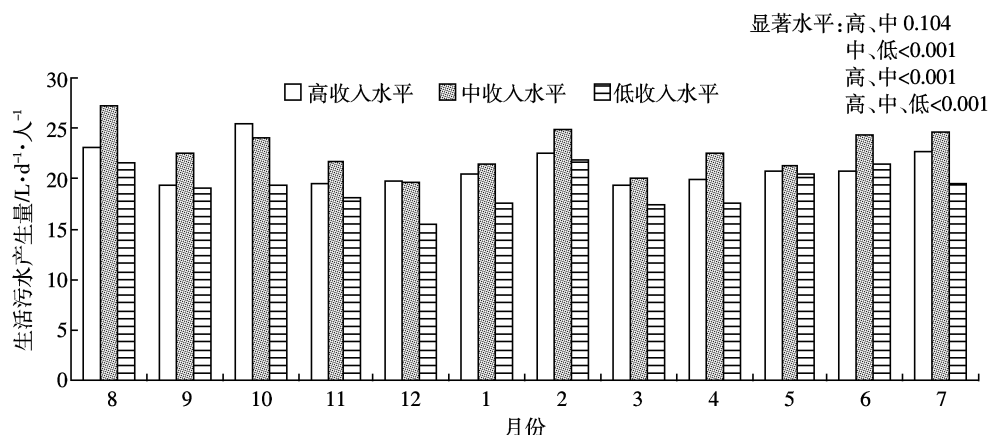


图 1 不同收入水平农户生活污水人均日产生量

Figure 1 The daily amount of sewage produced per capita from households with different income levels

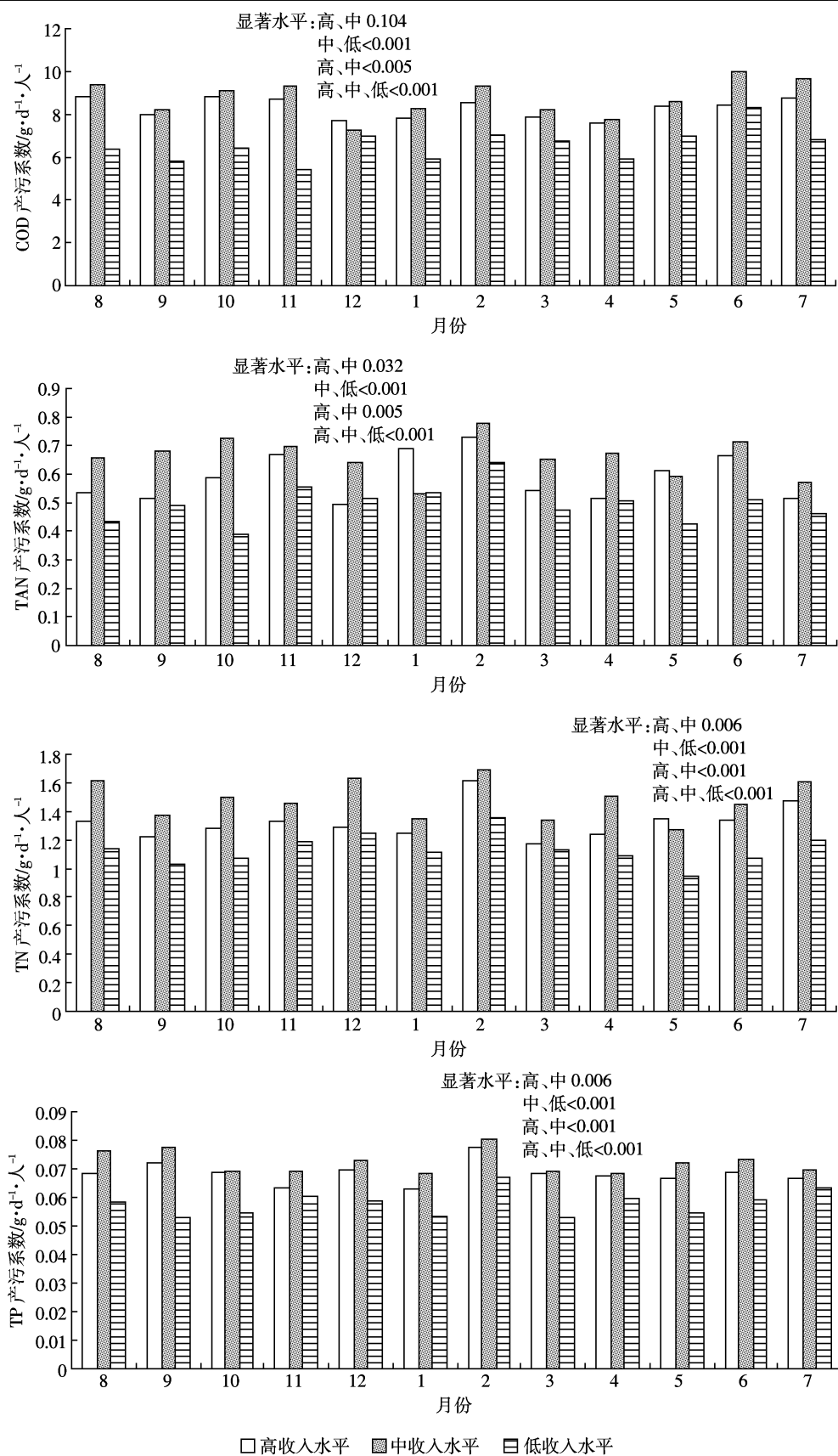


图2 不同收入水平农户污染物产污系数

Figure 2 Coefficient of sewage produced from households with different income levels

表 2 收入水平对农户生活污水产污系数影响的方差分析结果

收入水平	P 值				
	污水量	COD	TAN	TN	TP
高、中收入之间	0.057	0.104	0.032	0.006	0.024
中、低收入之间	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
高、低收入之间	0.019	<0.001	0.005	<0.001	<0.001
高、中、低收入之间	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表 3 不同收入水平农户总生活污水产污系数测算结果

收入状况	生活污水人均日产生量/L·d ⁻¹ ·人 ⁻¹	产污系数/g·d ⁻¹ ·人 ⁻¹				pH
		COD	TAN	TN	TP	
高收入水平	21.13	8.29	0.589	1.32	0.068 4	6.75
中收入水平	22.84	8.75	0.659	1.48	0.072 3	5.97
低收入水平	19.13	6.56	0.495	1.13	0.057 9	5.69
总均值	21.03	7.87	0.581	1.31	0.066 2	6.14

平农户一般有一个较稳定的工作，作息时间较为稳定，但是高收入水平农户工作流动性比中收入水平农户稍大，导致中收入水平农户污水人均日产生量和产污系数略高于高收入水平农户。低收入水平农户由于人均收入低，饮食结构和给排水设施与高、中收入水平农户有较大差异，导致各项指标基本均低于高、中收入水平农户，而各水平农户生活污水 pH 呈弱酸性主要是由于污水在储存过程中厌氧发酵产生酸性物质导致的。各收入水平农户污水人均日产生量和产污系数随月份变化较为明显，最高集中在 6、7、8 月份和 9 月份，在 12 和 1 月份最低，这符合北方农民夏季用水多，冬季用水少的生活习惯。但是在 2 月份有一次突增，主要是由于 2 月份过年农户用水量有所增加。

从以上数据还可以看出，该地区的污水人均日产生量和各污染物产污系数均小于南方发达地区的农村，像尹微琴等的研究发现太湖周边地区的农村人均污水排放量为 70~100 L^[1]，导致上述现象主要是由于南北方农村生活习惯，气候和经济水平有较大差异，南方大部分地区周围水资源丰富，而一般北方地区的水资源较少等原因。

对华北平原地区农村生活污水产污系数研究最终是为了确定农村生活污水对环境的影响程度，为该地区水环境保护提供基础数据，而生活污水排放对环境的影响在自然环境中有一定的衰减^[2]，本文测得的产污系数是指未经自然环境要素衰减的净排放，因此还需要对影响污染物在环境中的迁移、转化等要素进

行系统定量研究和对该地区更大范围的调查和监测，以此来精确测算农村生活污水对周边环境的影响。

4 结论

通过对华北平原地区农村生活污水的监测和调查得到以下结论：

(1)该地区农村生活污水人均日产生量和污染物产污系数与农户收入水平有关。各项指标从高到低依次为中收入水平农户，高收入水平农户，低收入水平农户，且高收入水平农户与中收入农户各项指标差异性不显著，低收入水平农户与中高收入水平农户各项指标差异性较显著。各项指标在全年中基本呈现夏季高、冬季低的特征。

(2)该地区农村生活污水人均日产生量为 21.03 L·d⁻¹·人⁻¹，pH 均值为 6.14，COD、TAN、TN 和 TP 的产污系数分别为 7.87、0.581、1.31 g·d⁻¹·人⁻¹ 和 0.066 2 g·d⁻¹·人⁻¹。以上数据可以为评估华北平原地区农村生活污水对环境的影响提供一定的数据支持。

参考文献：

[1] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7):1008-1017.
ZHANG Wei-li, WU Shu-xia, JU Hong-jie, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies I. Estimation of Agricultural non-point source pollution in China in early 21 Century[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 1008-1017.

[2] 宋家永, 李英涛, 宋宇, 等. 农业面源污染的研究进展[J]. 中国农学

通报, 2010, 26(11):362-365.

SONG Jia-yong, LI Ying-tao, SONG Yu, et al. Research and prospect on non-point pollution from agriculture[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(11):362-365.

- [3] 凌霄, 杨细平, 陈满, 等. 广东省农村生活污水治理现状调查[J]. 中国给水排水, 2009, 25(8):8-10, 15.

LING Xiao, YANG Xi-ping, CHEN Man, et al. Investigation on present situation of rural domestic sewage treatment in Guangdong Province[J]. *China Water & Wastewater*, 2009, 25(8):8-10, 15.

- [4] 张玉华, 刘东生, 徐哲, 等. 重点流域农村生活源产排污系数监测方法研究与实践[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(4):785-789.

ZHANG Yu-hua, LIU Dong-sheng, XU Zhe, et al. Monitoring method of generation and emission coefficients of rural domestic waste in key basins[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(4):785-789.

- [5] 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.

- [6] 夏军, 刘孟雨, 贾绍凤, 等. 华北地区水资源及水安全问题的思考与研究[J]. 自然资源学报, 2004, 19(5):550-560.

XIA Jun, LIU Meng-yu, JIA Shao-feng, et al. Water security problem and research perspective in North China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(5):550-560.

- [7] 孙添伟, 陈家军, 史震天, 等. 白洋淀流域典型村落非点源与地表径流污染负荷分析[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(30):16991-16993, 17042.

SUN Tian-wei, CHENG Jia-jun, SHI Zheng-tian, et al. Investigation on

non-point sources pollution of a typical village and pollution loads of the runoff in Baiyang Lake Watershed [J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2010, 38(30):16991-16993, 17042.

- [8] 国家统计局. 河北经济年鉴 2010[M]. 北京:中国统计出版, 2010.

National Bureau of Statistics. Hebei economic yearbook 2010[M]. Beijing: China Statistics Press, 2010.

- [9] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 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, 2002:210-281.

State Environmental Protection Administration Water and Wastewater Monitoring and Analysis Methods Editorial Board. Water and wastewater monitoring and analysis methods [M]. Fourth Edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2002:210-281.

- [10] 王文林, 胡孟春, 唐晓燕. 太湖流域农村生活污水产排污系数测算[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(6):616-621.

WANG Wen-lin, HU Meng-chun, TANG Xiao-yan. Estimation of sewage production and discharge coefficients of rural areas in Taihu Lake Basin [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2010, 26(6):616-621.

- [11] 尹微琴, 王小治, 王爱礼, 等. 太湖流域农村生活污水污染物排放系数研究-以昆山为例 [J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(7):1369-1373.

YIN Wei-qin, WANG Xiao-zhi, WANG Ai-li, et al. Discharge index of pollutants from village sewage in Taihu Region: A case study in Kunshan[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(7):1369-1373.

- [12] Udoyara S Tim, Robert Jolly. Evaluating a culture nonpoint-source pollution using integrated geographic information systems and hydrologic/Water Quality Model[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1994, 23(1):25-35.