

杜欢,刘春敬,宋漫利,等. 河北省清水河流域农村生活污水产污特征[J]. 江苏农业科学,2018,46(4):255-259.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.04.063

河北省清水河流域农村生活污水产污特征

杜欢,刘春敬,宋漫利,高志岭,谢建治

(河北农业大学资源与环境科学学院/河北省农田生态环境重点实验室,河北保定 071001)

摘要:为了解清水河流域农村生活污水产污特征,掌握农村生活污水污染现状的基础资料,准确评价农村生活污水污染状况,抽样选择清水河流域内6个行政村的30家农户,对清水河流域农村生活污水产污特征进行抽样调查和监测,得到清水河流域农村生活污水的具体水量水质数据及产污系数。清水河流域农村生活污水人均产生量为7.0~8.4 L/(d·人),化学需氧量(chemical oxygen demand,简称COD)、氨态氮(ammonia nitrogen,简称NH₃-N)浓度、总氮(total nitrogen,简称TN)浓度、总磷(total phosphorus,简称TP)浓度、悬浮物(suspended solids,简称SS)浓度、溶解氧(dissolved oxygen,简称DO)浓度分别为1157.8、14.0、34.4、5.4、697.6、1.4 mg/L,pH值为6.14,生活污水COD、NH₃-N、TN、TP产污系数分别为9.038、0.108、0.263、0.042 g/(d·人),并与我国其他地区农村进行比较分析。结果表明,清水河流域农村生活污水人均日产生量、污染物浓度及产污系数均与经济水平无关,可为治理清水河流域农村面源污染和实施分散型农村生活污水处理技术提供科学依据,为华北其他山区的农村生活污水处理提供参考。

关键词:清水河流域;农村生活污水;污水水质;水质水量;产污系数

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)04-0255-05

永定河-洋河段位于海河北系,是官厅水库流域水质改善与水污染防治的重点流域,其水质的改善将为海河流域的水质改善奠定坚实基础。清水河属海河流域永定河水系上游,洋河上的支流,发源于河北省张家口市崇礼县桦皮岭南麓,主要由东沟、中沟和西沟等3条沟组成。3沟汇合后流经河北省张家口市大境门外与元宝山西沟汇合,穿越张家口市至清水河村西南2.5 km处注入洋河,由洋河流入官厅水库,河道全长109 km,流域面积2 380 km²[1]。北京-张家口成功申办的2022年冬季奥林匹克运动会雪上项目比赛场地位于崇礼县清水河流域,这对清水河流域的水污染防治提出更高的要求,亟待明确清水河的水环境和水资源支撑能力,加强清水河流域的水污染防治和生态环境保护。随着工业废水和城市生活污水等点源污染得到有效控制,农村非点源污染已经取代点源污染成为水环境污染的最重要来源[2],而造成水体污染的一项重要原因是包括农村生活污水污染在内的农村非点源污染的治理没有跟上,另外农村生活污水造成的环境污染问题严重影响农民生活质量,是改善农村人居环境亟须解决的问题[3]。目前虽然国家有相关地域农村生活污水水质水量参考值,但是很多工程实践表明,农村生活污水的治理存在大马拉小车的现象,因此有必要对农村生活污水的产生特征进行系统调查,清楚掌握农村生活污水水质水量的基本情况,是研究和解决农村生活污水问题的一个重要环节[4]。由于缺乏清水河流域内农村生活污水污染现状的基础

资料,很多工作不能因地制宜地开展。本试验选择崇礼县距清水河东沟、中沟和西沟1 km范围内的农户,调查并研究该流域范围内农村生活污水污染状况,为治理清水河流域农村面源污染和实施分散型农村生活污水处理技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查时间与范围

本调查在冬季和夏季进行,时间分别为2015年11月2日至2015年11月5日和2016年7月20日至2016年7月24日,根据河北省张家口市崇礼县清水河流域地势地貌和村庄分布情况选择距清水河东沟、中沟和西沟1 km范围内的行政村,调查地点依据在经济水平、人口数量、年龄结构等方面具有代表性的原则抽样选取狮子沟乡六号村、高家营镇下新营村和高家营村、红旗营乡西红旗营村和下双台村、石嘴子乡石嘴子村,分别编号为A、C、G、D、E、F,共计6个行政村,每个行政村随机抽样选择5家农户,标为1~5号,对选定的30家农户进行农村生活污水污染现状调查。

1.2 调查内容

对抽样选定的30家农户进行连续跟踪调查,冬季持续时间为4 d,夏季持续时间为5 d,跟踪记录每户每天的生活污水产生量,对1个行政村5家农户所产生的生活污水以村为单位取混合污水样1 000 mL,所有监测指标均在12 h内完成测定,连续监测6个村每天的生活污水水质情况。

1.3 监测项目与方法

1.3.1 生活污水产生量 为抽样选定的30家农户统一发放1~2个带有刻度线的60 L塑料大桶作为生活污水收集容器,每24 h记录1次生活污水产生量。

1.3.2 生活污水水质 共监测7项农村生活污水水质指标,分别是化学需氧量(chemical oxygen demand,简称COD)、溶解氧(dissolved oxygen,简称DO)浓度、酸碱度(pH值)以及氨

收稿日期:2016-09-19

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2015ZX07203-005)。

作者简介:杜欢(1992—),男,四川南充人,硕士研究生,研究方向为农业环境规划与管理。E-mail:duhuan531@163.com。

通信作者:刘春敬,博士,硕士生导师,主要从事环境污染与控制研究。E-mail:chunjingliu2008@163.com。

态氮 (ammonia nitrogen, 简称 $\text{NH}_3 - \text{N}$)、总磷 (total phosphorus, 简称 TP)、总氮 (total nitrogen, 简称 TN)、悬浮物 (suspended solids, 简称 SS) 浓度, 所有监测指标均采用国家标准分析方法^[5]进行测定; COD 采用重铬酸钾法测定; $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度采用纳氏试剂分光光度法测定; TN 浓度采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定; TP 浓度采用钼酸铵分光光度法测定; SS 和 DO 浓度采用便携式仪器测定; pH 值采用玻璃电极法测定。

1.3.3 计算公式 对 1 个村 1 d 内生活污水中的各污染物浓度与 1 d 内生活污水产生量加权平均得到 1 个村生活污水中各污染物的日均浓度:

$$\overline{\rho}_{i,k} = \frac{\sum_{j=1}^n (\rho_{i,j,k} \times V_{i,j})}{\sum_{j=1}^n V_{i,j}} \quad (1)$$

式中: i 为村庄号; $\overline{\rho}_{i,k}$ 为村庄 i 生活污水污染物 k 的日均浓度, mg/L ; $V_{i,j}$ 为村庄 i 第 j 天生活污水产生量, L ; $\rho_{i,j,k}$ 为村庄 i 第 j 天生活污水污染物 k 的浓度, mg/L 。

对 6 个村生活污水中的各污染物日均浓度与其日生活污水产生量均值加权平均得到清水河流域农村生活污水各污染物浓度:

$$\overline{\rho}_k = \frac{\sum_{i=1}^6 (\overline{\rho}_{i,k} \times V_i)}{\sum_{i=1}^6 V_i} \quad (2)$$

式中: $\overline{\rho}_k$ 为清水河流域农村生活污水污染物 k 的浓度, mg/L ; V_i 为村庄 i 生活污水日产生量, L 。

农村生活污水 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP 的产污系数为

$$W_{p,k} = \frac{1}{1000x} (Q_p \times \overline{\rho}_{i,k}) \quad (3)$$

式中: $W_{p,k}$ 为农村生活污水污染物 k 的产污系数, $\text{g}/(\text{d} \cdot \text{人})$; Q_p 为污水产生量, $\text{L}/(\text{d} \cdot \text{村})$, 表示每村所调查 5 户的监测值; x 为村庄 i 的人口, $\text{人}/\text{村}$, 表示每村所调查 5 户的人口。

2 结果与分析

本调查所选的六号村、下新营村、西红旗营村、下双台村、石嘴子村和高家营村等 6 个村的饮用水来源于各村自建饮用水井, 自来水普及率为 100%。由于当地气候条件、经济水平等因素的限制以及村民生活习惯的原因, 调查区域内的所有农户均没有水冲式厕所和淋浴设施, 农户使用的均是旱厕, 因此收集的生活污水主要包括厨余废水和洗衣废水等灰水。76.7% 的农户受当地气候环境和长期生活习惯的影响, 1 d 只吃 2 顿正餐, 与其他地区一日三餐的习惯有明显差异。6 个村均无生活污水收集管网和处理设施, 农户的环保意识较薄弱, 所有生活污水随意泼洒至开阔地、街道路面、雨水渠或河沟等。

2.1 清水河流域农村分散生活污水水量产生特征分析

在冬季、夏季分别连续 4、5 d 监测 6 个村 30 家农户每天的生活污水产生量, 发现清水河流域农户每天的人均生活污水产生量极不稳定, 在冬季和夏季所有监测数据中的极值分别为 1.0、38.0 $\text{L}/(\text{d} \cdot \text{人})$ 和 1.7、33.0 $\text{L}/(\text{d} \cdot \text{人})$ 。对 30 家农户的人均生活污水产生量监测可知, 冬季每户人均生活污水产生量 4 d 的平均值范围为 1.5 ~ 18.5 $\text{L}/(\text{d} \cdot \text{人})$, 夏季每户人均生活污水产生量 5 d 的平均值范围为 4.4 ~

14.1 $\text{L}/(\text{d} \cdot \text{人})$, 远低于我国其他省(市)地域农村人均生活污水产生量(表 1)^[4,6-13]。调查发现, 各个村基础设施条件差异不明显, 每户的人均生活污水产生量与该户人均收入和所处的村镇经济水平关系不大, 农户的生活习惯、家庭成员年龄结构和节水意识是影响生活污水产生量的重要因素。如下双台村和六号村整体经济条件不如高家营村和石嘴子村, 农户人均收入也较低, 但是下双台村和六号村每户人均生活污水产生量较高。E₁ 号、E₃ 号、D₂ 号和 D₅ 号等 4 家农户家中均有儿童, 且家庭成员年龄结构较为年轻, 在冬夏 2 季每户人均生活污水产生量都相对较高。六号村 A₄ 号与该村其他 4 家农户基本情况差异不大, 但该户节水意识较弱, 所以人均生活污水产生量比其他 4 户都高。

表 1 部分省(市)农村人均生活污水产生量^[4,6-13]

省(市)	研究区域	人均生活污水产生量 [$\text{L}/(\text{d} \cdot \text{人})$]
河北	华北平原	19.1 ~ 22.8
北京	密云水库	26.0 ~ 39.0
江苏	太湖流域	25.0 ~ 70.0
安徽	巢湖流域	19.3 ~ 35.2
广东	—	71.0
云南	洱海流域	30.0
重庆	三峡库区	21.7
四川	—	52.6 ~ 66.9
云南	滇池流域	22.6 ~ 30.9

注: “—”表示无具体区域。

由表 2 可知, 虽然各户人均生活污水产生量波动较大, 但是以每个村为单位核算出的人均生活污水产生量波动相对较小, 其中冬季波动最大的是西红旗营村, 人均生活污水产生量的范围为 6.9 ~ 15.3 $\text{L}/(\text{d} \cdot \text{人})$, 夏季波动最大的是下双台村, 人均生活污水产生量范围为 6.5 ~ 17.4 $\text{L}/(\text{d} \cdot \text{人})$ 。由于清水河流域地处张家口北部, 冬季气候寒冷且持续时间长(约为 5 ~ 6 个月), 导致 6 个村冬季人均生活污水产生量整体略低于夏季, 冬、夏季均值分别为 7.0、8.4 $\text{L}/(\text{d} \cdot \text{人})$, 就冬夏 2 季对 6 个村的调查数据均值来看差异并不大, 仅为 1.4 $\text{L}/(\text{d} \cdot \text{人})$, 但夏季人均生活污水产生量波动更小。总体而言, 清水河流域农村地处山区, 气候寒冷, 经济欠发达, 基础设施落后, 加上农户的生活习惯等因素, 农村人均生活污水产生量极低, 仅为 7.8 $\text{L}/(\text{d} \cdot \text{人})$, 远小于华北地区农村居民人均生活污水排放量参考取值 15.0 ~ 25.0 $\text{L}/(\text{d} \cdot \text{人})$ (户内有给水龙头, 无卫生设备, 只收集全部灰水进入污水管网), 造成这种差异的主要原因在于生活水平、水资源的丰富程度和地区的文化差异等^[14-15]。

2.2 清水河流域农村分散生活污水水质特征分析

冬、夏季分别连续 4、5 d 监测 6 个村的生活污水水质, 冬季监测各村每天的 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度、TP 浓度和 pH 值等 4 项指标, 夏季增加了对 TN、SS、DO 浓度的监测, 6 个村的生活污水水质指标见图 1 至图 6。

由图 1 可知, 6 个村生活污水中的 COD 与季节变化关系不大, 冬夏季没有明显差异, 并没有因为夏季生活污水产生量较高而导致 COD 整体较低, 每个村每天生活污水中的 COD 均有不同程度的波动变化, 六号村、下新营村、西红旗营村、下双台村、石嘴子村、高家营村等 6 个村生活污水中的 COD 分

表2 6个村人均生活污水产生量

村名	编号	人均生活污水产生量[L/(d·人)]										
		11月2日	11月3日	11月4日	11月5日	冬季均值	7月20日	7月21日	7月22日	7月23日	7月24日	夏季均值
六号村	A	8.7±3.2	6.9±1.1	7.3±4.4	5.2±3.5	7.0±3.5	7.5±4.8	6.0±2.6	9.9±7.7	7.8±3.0	5.2±2.2	7.3±4.8
下新营村	C	5.8±2.4	8.2±5.0	4.5±2.9	3.7±1.2	5.6±3.6	13.4±6.5	8.0±4.7	13.5±10.8	10.8±7.4	6.8±2.3	10.5±7.5
西红旗营村	D	12.7±13.0	8.7±6.4	6.9±3.8	15.3±13.8	10.9±10.7	12.3±1.8	7.3±3.8	10.1±1.8	14.4±10.5	5.5±1.0	9.9±6.1
下双台村	E	14.5±5.8	13.4±8.4	8.8±2.8	9.2±8.4	11.5±7.2	10.5±4.7	7.5±3.8	17.4±9.5	8.0±4.0	6.5±2.5	10.0±6.7
石嘴子村	F	4.0±1.5	5.9±4.1	2.9±1.6	3.5±0.7	4.1±2.6	9.1±7.3	6.0±3.6	6.2±1.8	4.7±0.7	5.3±2.3	6.3±4.2
高家营村	G	3.0±1.1	4.7±4.5	2.5±0.7	2.6±0.8	3.2±2.5	9.8±6.1	5.3±1.7	6.4±3.2	5.5±3.6	4.9±0.8	6.4±4.0
平均		8.1±7.5	8.0±6.1	5.5±3.8	6.6±8.1	7.0±6.7	10.4±5.9	6.7±3.6	10.6±8.1	8.5±6.5	5.7±2.1	8.4±6.0

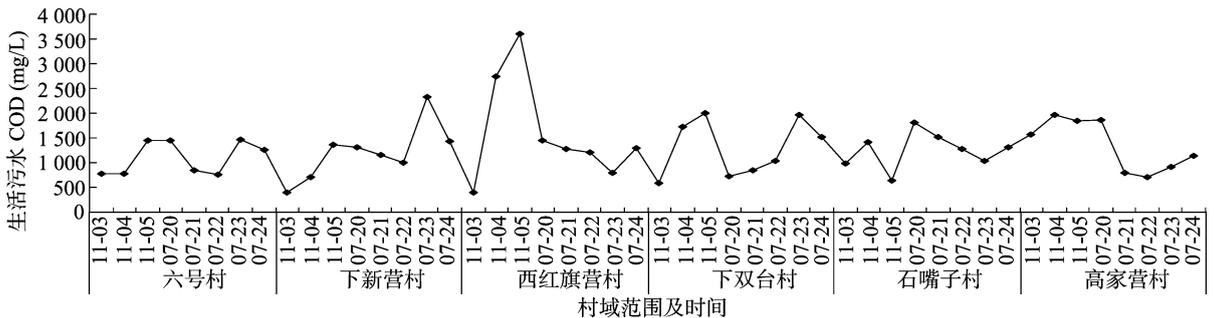


图1 6个村每天的生活污水 COD 浓度

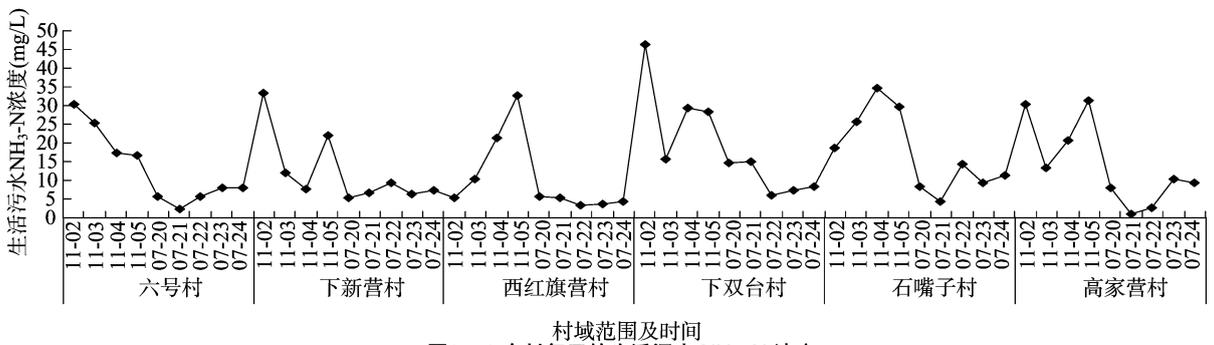
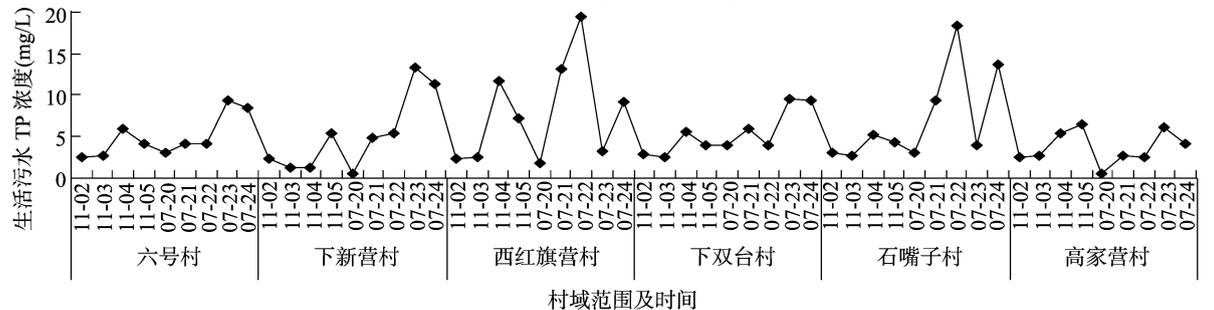
图2 6个村每天的生活污水 NH₃-N 浓度

图3 6个村每天的生活污水 TP 浓度

别为 760~1 465、392~2 320、392~3 600、588~2 000、640~1 805、710~1 960 mg/L。各村生活污水中的 COD 日均值分别是六号村 910.5 mg/L、下新营村 1 115.9 mg/L、西红旗营村 1 487.4 mg/L、下双台村 1 031.8 mg/L、石嘴子村 1 122.5 mg/L、高家营村 1 235.7 mg/L。对 6 个村生活污水中的 COD 日均值与其日生活污水产生量均值加权平均求得清水河流域农村生活污水的 COD 为 1 157.8 mg/L,可见无论是各村的最大 COD 还是平均值,都远高于华北地区农村居民生活污水水质 COD 参考取值 200~450 mg/L,与巢湖流域和滇池流域农村生活污水的 COD 相当^[14,16]。

由图 2 可知,六号村、下新营村、西红旗营村、下双台村、

石嘴子村、高家营村等 6 个村的生活污水 NH₃-N 浓度分别为 2.3~30.2、5.3~33.2、3.5~32.6、6.0~46.5、4.4~34.6、1.0~31.3 mg/L,各村生活污水中的 NH₃-N 浓度日均值分别是六号村 14.2 mg/L、下新营村 10.8 mg/L、西红旗营村 11.6 mg/L、下双台村 18.1 mg/L、石嘴子村 16.7 mg/L、高家营村 11.0 mg/L,其中经济条件较差的下双台村无论是最大浓度还是日均值都是 6 个村中最高的,其次是经济条件较好的石嘴子村,可见生活污水中的 NH₃-N 浓度与经济条件无关。对 6 个村生活污水中的 NH₃-N 浓度日均值与其日生活污水产生量均值加权平均求得清水河流域农村生活污水中的 NH₃-N 浓度为 14.0 mg/L,该值与城镇生活污水中的 NH₃-N

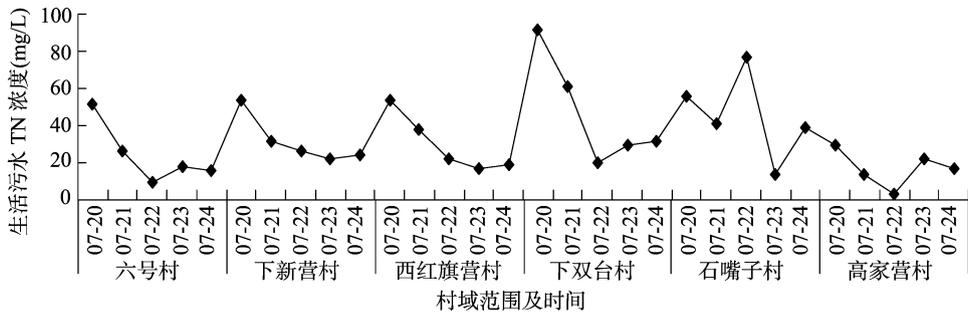


图4 6个村每天的生活污水TN浓度

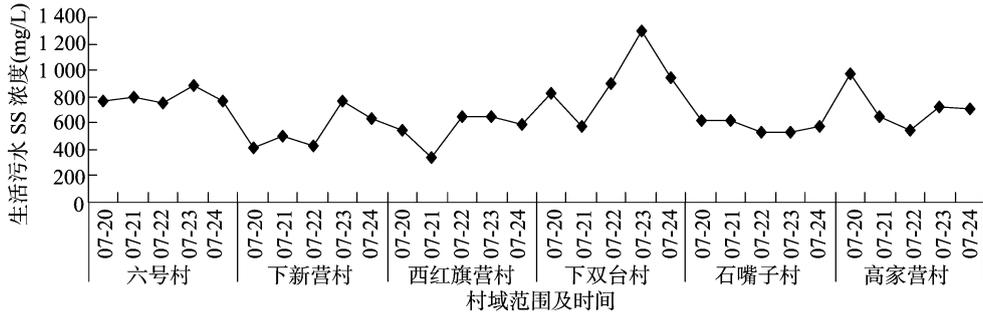


图5 6个村每天的生活污水SS浓度

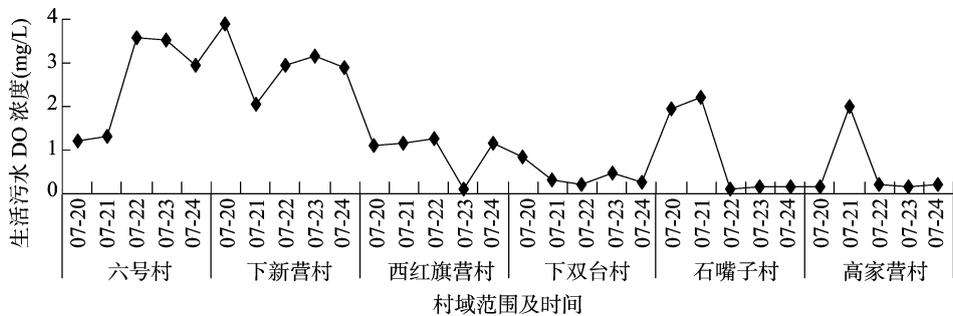


图6 6个村每天的生活污水DO浓度

浓度相当,较华北地区农村居民生活污水水质 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 参考取值 20 ~ 90 mg/L 略低。

由图3可知,六号村、下新营村、西红旗营村、下双台村、石嘴子村、高家营村等6个村的生活污水TP浓度分别为2.5~9.4、0.6~13.3、1.8~19.5、2.5~9.5、2.7~18.4、0.5~6.5 mg/L,各村生活污水TP浓度日均值分别是六号村4.7 mg/L、下新营村5.0 mg/L、西红旗营村7.0 mg/L、下双台村4.9 mg/L、石嘴子村6.9 mg/L、高家营村3.1 mg/L,其中经济水平较好的下新营村、西红旗营村、石嘴子村无论是最大TP浓度还是日均值都较大,与这3个村经济水平较好的农户洗涤剂用量较大有关。对6个村生活污水中的TP浓度日均值与其日生活污水产生量均值加权平均求得清水河流域农村生活污水中的TP浓度为5.4 mg/L,在华北地区农村居民生活污水水质TP浓度参考取值2.0~6.5 mg/L的范围内。

由图4至图6可知,6个村生活污水中的TN、SS、DO浓度范围分别是3.0~92.0、333.0~1300.0、0.1~3.9 mg/L。各村生活污水中的TN、SS、DO浓度日均值见表3,可见虽然TN浓度有一定波动,但都在合理范围内,对6个村生活污水中的TN浓度日均值与其日生活污水产生量均值加权平均求得清水河流域农村生活污水中的TN浓度为34.4 mg/L;6个村生活污水中的SS浓度不仅变化范围较大,而且日均值也非

常高,对6个村生活污水中的SS浓度日均值与其日生活污水产生量均值加权平均求得清水河流域农村生活污水中的SS浓度为697.6 mg/L,远高于华北地区农村居民生活污水水质SS浓度参考取值100~200 mg/L;除六号村和下新营村生活污水中的DO浓度较稳定外,其他4个村生活污水中的DO浓度都很低,对6个村生活污水中的DO浓度日均值与其日生活污水产生量均值加权平均求得清水河流域农村生活污水中的DO浓度为1.4 mg/L,约为城镇生活污水中DO浓度的40%~50%。6个村生活污水的pH值为5.24~7.45,除极大值7.45外,其他所有监测值均低于7.00,均值为6.14,可见清水河流域农村生活污水整体呈酸性,这主要是由污水中SS浓度较高,同时DO浓度较低,导致微生物厌氧发酵产生酸性物质所造成的。

2.3 清水河流域农村分散生活污水产污系数

根据《第一次全国污染源普查技术规定》,在一定自然环境区域和一定经济收入水平下,每人每天正常生活所产生污染物的量即为农村生活污染物产污系数^[17]。清水河流域抽样选定的6个村的生活污水中COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP产污系数见表4,其中西红旗营村和下双台村人均污水产生量和产污系数均较高,2村在地理位置上均属于中沟,且经济水平差异较大,可见生活污水产污系数受经济水平的影响不大,主要

表3 6个村生活污水污染物日均浓度

村名	污染物浓度日均值(mg/L)		
	TN	SS	DO
六号村	24.6	794.5	2.5
下新营村	33.0	529.9	3.1
西红旗营村	30.7	571.1	0.9
下双台村	43.5	911.1	0.4
石嘴子村	47.8	579.6	1.0
高家营村	18.7	755.9	0.5

表4 6个村生活污水产污系数

村名	人均污水产生量 [L/(d·人)]	产污系数[g/(d·人)]			
		COD	NH ₃ -N	TN	TP
六号村	7.2	6.556	0.102	0.177	0.034
下新营村	8.3	9.262	0.090	0.274	0.042
西红旗营村	10.4	15.469	0.121	0.319	0.073
下双台村	10.6	10.937	0.192	0.461	0.052
石嘴子村	5.3	5.949	0.089	0.253	0.037
高家营村	4.9	6.055	0.054	0.092	0.015
平均	7.8	9.038	0.108	0.263	0.042

受生活习惯和节水意识等因素的影响。

清水河流域农村生活污水人均日产生量和各污染物产污系数的平均值均远小于南方发达地区的农村,与华北平原地区农村相比,除COD略高外,其他3项指标均较低^[6,17],如太湖流域农村生活污水COD、NH₃-N、TN、TP产污系数分别为24.13、4.39、6.49、0.53 g/(d·人),华北平原地区农村生活污水COD、NH₃-N、TN、TP产污系数分别为7.87、0.58、1.31、0.07 g/(d·人),造成该现象的原因是清水河流域农村地区处寒冷山区,在生活习惯、气候条件和经济水平等方面与南方和华北平原地区有较大差异。

对清水河流域农村生活污水水质水量及产污系数的测算研究最终是为了确定农村生活污水对环境的影响程度,为清水河流域水环境保护和实施分散型农村生活污水处理技术提供基础数据。调查发现,该流域范围内农村生活污水大部分是通过地表或地下径流等方式进入清水河的,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^[18],本试验测算的农村生活污水COD、NH₃-N、TN、TP产污系数是指入河污染物产生源未经自然环境要素衰减的净排放,若要更加精确测算该流域内农村生活污水污染物入河量,还须要扩大调查范围,增加调查样本,延长调查时间,对影响污染物在环境中削减的要素进行系统定量研究。

3 结论

通过对清水河流域农村生活污水产污特征监测和抽样调查研究,得出以下结论:

清水河流域农村生活污水人均产生量为7.0~8.4 L/(d·人),远低于其他地区,其值的高低与生活习惯、家庭成员年龄结构和节水意识等有关,与经济水平关系不大,季节差异不明显。

清水河流域农村生活污水中的COD、SS浓度分别为1 157.8、697.6 mg/L,均高于其他地区农村生活污水;而DO浓度仅为1.4 mg/L, NH₃-N浓度为14.0 mg/L, TN浓度为

34.4 mg/L, TP浓度为5.4 mg/L, pH值为6.14,与其他地区农村生活污水相当^[6-13]。对该流域内农村生活污水处理工艺的选择除应遵循低投资、小规模、耐低温等原则外,也应充分考虑极高的COD、SS浓度。

清水河流域农村生活污水COD、NH₃-N、TN、TP产污系数分别为9.038、0.108、0.263、0.042 g/(d·人),该产污系数可为评估清水河流域内农村生活污水对清水河水环境的影响以及评估华北山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] 刘雪峰. 张家口市清水河橡胶坝群防洪调度[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2012(34): 5-8.
- [2] 杨林章, 施卫明, 薛利红, 等. 农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践——总体思路与“4R”治理技术[J]. 农业环境科学学报, 2013(1): 1-8.
- [3] 李新艳, 李恒鹏, 杨桂山, 等. 江苏太湖地区农村生活用水量空间差异及污水去向[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(2): 158-165.
- [4] 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.
- [5] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [6] 张磊, 裴国霞, 张玉华, 等. 华北平原地区农村生活污水产污特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(2): 410-415.
- [7] 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.
- [8] 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2): 375-378.
- [9] 孙兴旺. 巢湖流域农村生活污染源产排污特征与规律研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2010.
- [10] 庞燕, 项颂, 储昭升, 等. 洱海流域城镇化对农村生活污水排放量的影响[J]. 环境科学研究, 2015, 28(8): 1246-1252.
- [11] 彭绪亚, 张鹏, 贾传兴, 等. 重庆三峡库区农村生活污水排放特征及影响因素分析[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(4): 758-763.
- [12] 王俊华, 陈俊敏, 付永胜, 等. 四川省重点流域农村生活污水排放现状调查[J]. 广东农业科学, 2010, 37(5): 150-152.
- [13] 严婷婷, 王红华, 孙治旭, 等. 滇池流域农村生活污水产排污系数研究[J]. 环境科学导刊, 2010, 29(4): 46-48.
- [14] 李向军. 《农村生活污水处理技术指南》试行[J]. 给水排水, 2011(9): 78.
- [15] 匿名. Domestic roof-water harvesting and water security in the humid tropics [R]//Milestone Report D 5, Sri Lanka: Rainwater Harvesting Forum, 2001.
- [16] 侯京卫, 范彬, 曲波, 等. 农村生活污水排放特征研究述评[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(2): 964-967.
- [17] 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.
- [18] Tim U S, Jolly R. Evaluating agriculture nonpoint-source pollution using integrated geographic information systems and hydrologic/water quality model[J]. Journal of Environmental Quality, 1994, 23(1): 25-35.