

段婧婧,耿晨光,董金龙,等. 长江三角洲农村地区分散式污水水量及水质调查——以宜兴市万石镇为例[J]. 江苏农业科学,2013,41(7):328-331.

长江三角洲农村地区分散式污水水量及水质调查 ——以宜兴市万石镇为例

段婧婧^{1,2}, 耿晨光^{1,2}, 董金龙^{1,2}, 李 汛¹, 段增强¹

(1. 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 江苏南京 210008;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:当前农村水体污染的情况日益严重。为了弄清楚长江三角洲农村地区分散式污水水量及水质随季节变化的情况,对长江三角洲地区的典型城镇——宜兴市万石镇的 3 个村庄进行了资料收集、入户调查($n=17$)以及定点监测($n=11$)。研究发现:约有 80% 的家庭采用抽水马桶,并配合三格式化粪池;村民对自来水的人均用水量为 41.3 L/(人·d),生活污水排放量约为 55.0 L/(人·d);农村生活污水在秋、冬季的平均总氮(TN)浓度分别为 286.79、277.74 mg/L,夏季仅为 106.31 mg/L;总磷(TP)浓度在春、冬季较大,分别为 30.63、26.59 mg/L;零散式养殖废水污染物浓度较高,除夏季以外,养猪场废水污染物浓度一般高于同一季节的奶牛场废水;养猪场废水中 TN 浓度在秋季达到最大,为 2 615.22 mg/L,夏季最小,仅为 386.36 mg/L,奶牛场废水 TN 浓度全年在 350.58~494.20 mg/L 之间。

关键词:长江三角洲;农村地区;分散式污水;季节变化

中图分类号: X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)07-0328-04

我国农村地区人口众多,居住分散,产生的生活污水量大且难于收集。由于经济发展水平普遍不高,大部分农村地区没有采取任何生活污水的收集和处理措施。据调查,目前有 96% 的村庄没有排水渠道及污水处理系统^[1]。《第二次全国农业普查数据公报》显示,在普查的 19 391 个镇中,仅有 19.4% 镇的生活污水经过集中处理。余浩的调查表明,农村的生活污水约 41.8% 就近排入河流;约 33.8% 先排入下水道,然后入河;约 14.4% 直接洒在空地上^[2]。农村生活污水和村落地表径流中氮、磷对水体污染的贡献率分别为 29%、34%,是水环境污染的主要污染源^[2]。孙瑞敏在对湖北省农村生活污水水量及水质的调查研究中发现,由于季节以及村民生活习惯与生活方式的不同,基本不饲养家禽的农村污水水质波动相当大;普遍饲养家禽的农村污水中各类污染物指标值均较高,远高于城市污水的相应浓度^[3]。未经处理的生活污水任意排放造成了水体污染,蓝藻、水华等诸多生态环境问题由此产生^[4]。目前,农村生活污水已经成为引起农村水体环境恶化的重要污染源^[5]。

建造传统的污水处理厂不仅耗资较多,而且在其运行过程中大量清洁水被浪费于污物的输送过程^[6]。在低密度、分散式居住的农村地区,分散式污水处理成为可选的方法^[7-8]。根据美国 EPA 的相关研究^[9],分散式污水管理系统适合低密度社区以及不同的场所,比集中式系统更加节约成本,它们包括利用传统的化粪池系统、设计先进的原位系统、集群或其他基于土地的系统。当前对于分散式污水处理技术的研究有很

多^[7,10-11],然而对分散式污水的排放量和水质状况的研究较少。

虽然长江三角洲地区经济较为发达,然而环境污染问题也日益严重^[12]。当前涉及该地区农村生活污水水质研究的侧重点一般集中在对适宜的污水处理技术和处理效果的探讨上,缺乏对污水水质全面系统的分析^[13-14]。徐洪斌等对太湖流域的农村生活污水进行了比较详细的调查,然而调查时间仅仅集中在夏季^[15]。为了弄清楚长江三角洲农村地区分散式污水随季节变化的排放情况及水质状况,为日后选择合适的处理技术提供参考,笔者对长江三角洲地区的典型城镇——宜兴市万石镇的大尖村、后洪村、南漕村 3 个村进行了资料收集、入户调查以及定点监测研究。本研究中的农村分散式污水包括分散式生活污水和零散式养殖废水。其中分散式生活污水指农村地区未经集中处理的生活污水,零散式养殖废水指农户零散养殖或中小型养殖场养殖畜禽所产生的废水。

1 材料与方法

1.1 时间、地点与材料

根据离万石镇中心的远近和经济发展程度,选取与镇政府毗邻的大尖村、离镇政府略远的以种植业和养殖业为主的后洪村、离镇政府较远的以发展工业为主的南漕村 3 个村进行调查(2011 年夏季进行)。按照夏、秋、冬、春四季(采样时间分别为:2011-08-23、2011-11-04、2012-02-18、2012-04-21)对 3 个村中 9 个典型农户化粪池污水以及零散式养猪场废水和奶牛场废水分别进行采样分析。农户小型养猪场、奶牛场均位于后洪村,养猪场的年养猪量 70~80 头,奶牛场调查 400 多头奶牛。

1.2 调查方法

通过在村委会调查 3 个农村的常住人口数、人口结构、用水情况、污水处理情况、零散式养殖等情况,获得若干不同经济条件、人口、养殖状况的典型家庭。然后在每个村选择 5~

收稿日期:2012-12-10

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(编号:200903011)。

作者简介:段婧婧(1984—),女,陕西西安人,博士研究生,研究方向为环境污染过程与生态修复。E-mail:jjduan@issas.ac.cn。

通信作者:段增强,男,研究员,主要从事植物营养和环境科学方面的工作。E-mail:zqduan@issas.ac.cn。

10 户典型家庭进行入户调查,通过与农户交谈,获得家庭人口、经济状况等基本信息,并了解用水、排水状况。若农户养殖了畜禽,便询问养殖情况及废水处理情况。

1.3 监测项目及方法

对典型农户的生活污水以及零散式养殖废水进行取样分析。pH 值、悬浮颗粒物(SS)、硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、总氮(TN)、总磷(TP)的测定参照文献[16]进行。化学需氧量(COD)用 COD/TOC 分析仪(ET99731,德国 Lovibond)进行测定。总有机碳(TOC)用总碳分析仪(Multi N/C 3000,德国 Jena)进行测定。

2 结果与分析

2.1 调查情况分析

根据村委会所了解的情况,宜兴市万石镇后洪村、大尖村、南漕村的户籍人口分别为 1 886、4 400、4 595 人。2011 年,3 个村的农民人均收入分别为 1.36 万、1.49 万、2.52 万元。3 个村的农民用水主要以自来水为主,自来水供应均由和桥自来水分公司管理,该公司隶属于宜兴市自来水总公司,以衡山水库的水作为水源。当前约有 80% 的家庭使用抽水

马桶,并配合三格式化粪池,有少数家庭的化粪池未接通。大尖村住在集镇上的村民(占全村 23%)产生的污水通过污水处理厂进行处理;住在村里的村民(占全村 77%)的洗菜用水一般通过管道排入河流,厕所水(包括粪尿、洗浴水等)则进入化粪池。南漕村以发展工业为主,工业废水通过污水处理厂进行处理。工业污水管网周边农户的生活污水也进入污水管网,纳入污水处理厂,约占整个行政村的 1/3,其余农户的生活污水则通过化粪池进行处理。

从表 1 可以看出,宜兴市农村地区的经济收入较高,超过 70% 被调查用户的收入超过 12 000 元/(人·年)。经入户调查分析,生活在集镇上的村民人均用水量高于村里的住户,村里住户的人均自来水用水量在 10.4 ~ 74.4 L/(人·d)之间,平均为 41.3 L/(人·d);而居住在集镇的住户的平均用水量为 66.5 L/(人·d)。一般村里人吃饭、洗澡使用自来水,洗衣服等用井水,有些人家还配合使用河水洗衣。集镇住户的生活污水大多有统一的管网收集进入污水处理厂;村里住户的洗菜、洗碗等产生的厨房污水多通过管道排入河流、沟渠;经过改造的厕所抽水马桶出水后进入化粪池中,部分家庭的化粪池未接通,少数仍使用旱厕。

表 1 入户调查统计情况

农户编号	家庭常住人口(人)	居住地	人均日用水量(L)	家庭年收入(万元)	其他信息
I	4	后洪村	37.2	5 ~ 6	养 60 多羽鸡、鸭;使用太阳能;废水拖地后再利用,采用抽水马桶
II	2	后洪村	32.7	4 ~ 5	种植 0.33 hm ² 水稻
III	2	后洪村	10.4	无	不种地;用井水洗衣服;使用粪罐,不用抽水马桶
IV	3	后洪村	49.6	≈10	每年养 70 ~ 80 头猪;有 0.67 hm ² 苗木林地;冲圈废水通过化粪池处理
V	2	后洪村	22.3	0.2 ~ 0.3	种植 0.33 hm ² 水稻
VI	4	后洪村	44.6	6	种植葡萄、水芹
VII	2	大尖村	44.6	≤2	种植 0.20 hm ² 水稻;养 20 只鸡鸭;使用太阳能;化粪池未通。
VIII	3	大尖村	69.4	5 ~ 6	户主在邮局工作;种植 0.17 hm ² 水稻,养 5、6 羽小鸡;吃饭、洗澡使用自来水,其他(洗衣服等)用井水、河水
IX	2	大尖村	74.4	未知	使用太阳能
X	2	大尖村	74.4	7 ~ 8	户主开棋牌店;种植 0.17 hm ² 水稻;有太阳能;洗菜水等通过管道排入河流,厕所水(包括粪尿、洗浴水)进入化粪池
XI	4	南漕村	37.2	10	户主以经营为主;种植 0.17 hm ² 水稻;抽水马桶水进入下水道后汇入污水管网,雨污分流
XII	2	南漕村	25.3	5 ~ 6	水源有自来水、井水;厨房污水和厕所污水均纳入管网;使用太阳能
XIII	3	南漕村	19.8	10	收入包括出租房屋与施工队的工资,不种地;厨房污水排入河流,洗衣服水用河水,厕所污水进入管网进行处理
XIV	2	南漕村	35.7	5	户主在企业工作,种 0.33 hm ² 地;用水为自来水、井水;厨房污水入管道后进入沟渠,厕所污水进入化粪池
XV	3	万石镇	35.7	8	户主收入以经营为主
XVI	3	万石镇	89.3	6	户主自种 0.33 hm ² 水稻,使用太阳能
XVII	6	大尖村集镇	74.4	5 ~ 6	户主搞运输工作,无地;使用太阳能;洗浴用污水冲厕所,污水纳入处理厂处理系统

注:表中的人均日用水量通过住户的月水费进行折算。

通过走访农户,笔者画出了宜兴市万石镇典型农户住宅庭院布局及排污路径示意图(图 1)。根据徐洪斌等的研究,在太湖流域经济状况较好的宜兴市农村,人均用水量为 70 ~ 110 L/(人·d),排水量为 25 ~ 70 L/(人·d)^[15]。根据中华人民共和国住房和城乡建设部于 2010 年发布的《东南地区农村生活污水处理技术指南》:经济条件较好、卫生设施较齐全的居民用水量为 80 ~ 100 L/(人·d);经济条件一般、有简单

卫生设施的居民用水量为 60 ~ 90 L/(人·d)。在此次调查中,农村住户的平均用水量为 41.3 L/(人·d),比前人研究的值较小,这可能是因为有些住户习惯用井水和河水洗衣服,而这部分用水并未被统计到用水量中。若自来水用量按全部用水量的 60% 计算^[17],则被调查农村住户的实际用水量约为 68.8 L/(人·d),接近前人的研究结果。如果生活污水排放系数按 0.8 计算^[17],生活污水排放量约为 55.0 L/(人·d),

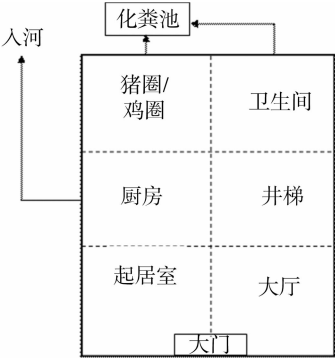


图1 宜兴市万石镇典型农户住宅庭院布局示意图

略高于施卫红对苏南地区典型农村的调查结果(人均污水排放量 40~50 L/d)^[13]。

2.2 分散式污水水质

表 2 不同季节万石镇分散式污水水质

季节	废水类型	项目	pH 值	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	NH ₄ ⁺ - N (mg/L)	NO ₃ ⁻ - N (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)
夏	生活污水 (n=9)	最低值	7.05	26.0	17.36	0.80	15.62	0.47	120	23
		最高值	8.30	90.0	167.09	16.39	72.11	17.76	250	99
		平均值	7.64	56.9	106.31	7.99	54.34	3.36	187	61
	养殖废水 (n=2)	养猪场废水	7.32	1 730	386.36	43.21	270.50	20.29	1 756	567
		奶牛场废水	8.50	2 100	402.38	84.18	376.42	33.95	2 015	328
秋	生活污水 (n=9)	最低值	6.38	12.35	113.65	1.66	109.02	1.27	234	207
		最高值	8.89	507.04	582.57	26.56	569.24	2.21	709	700
		平均值	7.95	184.01	286.79	17.57	234.73	1.62	390	398
	养殖废水 (n=2)	养猪废水	8.96	548.39	2 615.22	113.20	2 047.14	63.26	4 680	2 175
		奶牛场废水	7.48	20.62	494.20	50.90	480.72	5.03	374	309
冬	生活污水 (n=9)	最低值	6.99	10.42	9.35	4.44	6.29	0.13	35	19
		最高值	8.89	387.10	897.46	41.43	868.92	32.04	1 460	515
		平均值	8.32	139.45	277.74	26.59	258.26	5.99	407	185
	养殖废水 (n=2)	养猪场废水	9.36	1062.50	1 914.67	57.60	1 837.79	51.61	3 470	1 150
		奶牛场废水	8.15	777.78	350.58	30.50	315.04	18.09	760	647
春	生活污水 (n=9)	最低值	6.94	9.90	6.71	3.76	1.61	0.21	30	8
		最高值	7.68	280.00	333.83	70.82	280.43	31.97	436	221
		平均值	7.32	107.07	149.66	30.63	108.08	5.80	205	71
	养殖废水 (n=2)	猪场废水	8.77	159.09	1 829.57	96.36	1 795.01	23.32	3 200	1 045
		奶牛场废水	7.42	775.00	412.57	60.16	387.53	9.16	730	216

对不同季节分散式生活污水的水质进行比较可以看出:SS、TN、NH₄⁺ - N、COD、TOC 的浓度在秋冬季节高于春夏季节;而 TP 浓度在春季和冬季最大;在秋冬春季,铵态氮为主要氮形态,而在夏季 NH₄⁺ - N 浓度仅占 TN 的 51.1%。黄翔峰等的研究发现,农村生活污水水质受季节影响很大,秋、冬季污水的有机物浓度较夏季高出 3~4 倍^[14]。本研究也得到了类似的结果,秋、冬季生活污水的 TOC 浓度分别为夏季的 6.5、3.0 倍;COD 浓度分别为夏季的 2.1、2.2 倍。黄翔峰等的研究还发现,夏季农村生活污水铵态氮、总氮浓度分别为 1.8~70、20~70 mg/L;在秋、冬季的浓度分别为 70~110、70~138 mg/L^[14]。本研究中秋、冬季污水中铵态氮平均浓度分别为 234.73、258.26 mg/L,总氮平均浓度分别为 286.79、277.74 mg/L,比黄翔峰的研究结果大;夏季生活污水总氮、总磷平均浓度分别为 106.31、7.99 mg/L,高于徐洪斌等的研究

通过对宜兴市万石镇 3 个村 9 个农户的化粪池污水和零散式养殖废水的定点调查,得出不同季节分散式污水的水质状况(表 2)。从表 2 看出:夏季生活污水中 SS 浓度的均值为 56.9 mg/L;TN、NH₄⁺ - N、NO₃⁻ - N 浓度的均值分别为 106.31、54.34、3.36 mg/L;COD、TOC 浓度的均值分别为 187、61 mg/L;TP 浓度的均值为 7.99 mg/L。秋季生活污水中 SS 浓度的均值为 184.01 mg/L;TN、NH₄⁺ - N 浓度的均值分别为 286.79、234.73 mg/L;COD、TOC 浓度的均值分别为 390、398 mg/L;TP 浓度的均值为 17.57 mg/L。冬季生活污水中 SS 浓度的均值为 139.45 mg/L;TN、NH₄⁺ - N 浓度的均值分别为 277.74、258.26 mg/L,浓度变化较大;COD、TOC 浓度的均值分别为 407、185 mg/L;TP 浓度的均值为 26.59 mg/L。春季生活污水中 SS 浓度的均值为 107.07 mg/L;TN、NH₄⁺ - N 浓度的均值分别为 149.66、108.08 mg/L;COD、TOC 浓度的均值分别为 205、71 mg/L;TP 浓度的均值为 30.63 mg/L。

结果(TN:30~40 mg/L,TP:2.5~3.5 mg/L)^[15];同时 TN 浓度高于城市生活污水总氮的高浓度排放标准,而 TP 浓度与城市生活污水总磷的中等浓度排放标准相当^[18]。这可能是因为本研究中的生活污水取自化粪池,其主要来源是粪尿和洗浴水,黑水的成分较大,故氮磷等污染物浓度较高,若直接排放到环境中会造成水体污染,因此在污水处理中需要考虑地形、气候、农村经济、生活习惯、居民分布、行政管理等综合因素,选择合适的分散式处理技术^[10~11]。现有的污水分散处理技术主要分为初级处理工艺和主体处理工艺,其中初级处理工艺包括化粪池、Imhoff 池、初沉池等,主要用于去除部分 SS;主体处理工艺包括曝气池、生物滤池、膜-生物反应器、稳定塘、人工湿地等,主要用于去除 COD、SS 或氮、磷^[10]。在实际操作中可以根据不同的处理目的和实际情况,将各种工艺进行组合。

另一方面,本研究结果显示:零散式养殖废水的污染物浓度较高,除夏季以外,养猪场废水污染物浓度一般高于同一季节的奶牛场废水。夏季养猪场废水和奶牛场废水中的 SS 浓度较高,分别为 1 730、2 100 mg/L。养猪场废水 TN 浓度在秋季达到最大值 2 615.22 mg/L,在冬、春季次之,分别为 1 914.67、1 829.57 mg/L,在夏季最小,仅为 386.36 mg/L;奶牛场废水的 TN 浓度在四季间变化不大,在 350.58 ~ 494.20 mg/L 之间。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 变化规律与 TN 相同,为主要氮形态,养猪场废水的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度在秋季最大,达到 2 047.14 mg/L,为夏季的 7.6 倍;奶牛场废水在四季 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度在 315.04 ~ 480.72 mg/L 之间。养猪场废水中 TP、COD、TOC 浓度在秋季最高;奶牛场废水中 TP、COD 浓度在夏季最高,TOC 浓度在冬季最高。畜禽养殖废水主要由尿液、冲洗水(主要有圈舍冲粪水、饮槽冲洗水、地面清洁水、设备用水)、少量的工人生活生产过程中产生的废水组成^[19]。根据调查发现,长江三角洲地区的畜禽养殖主要分布在城郊结合部和广大的农村地区,绝大多数的畜禽粪尿都没有经过处理便随意排放,有些直接排入河道,有些露天堆置,在雨后随径流进入水体,严重污染了环境^[12]。这些畜禽养殖废水带来的环境问题亟待解决,因此需要加大投入开发及推广使用价低、实用、高效的分散式污水处理技术,以适应社会主义新农村建设的发展需求。

3 结论与讨论

建有污水处理厂的农村地区,村民产生的污水通过污水处理厂进行处理;其余地区的村民洗菜水等生活污水一般通过管道排入河流,厕所污水则进入化粪池。

生活在镇上的居民人均自来水使用量高于村里住户,二者分别为 66.5、41.3 L/(人·d)。如加上井水和河水的使用,农村住户的实际用水量约为 68.8 L/(人·d),生活污水排放量约为 55.0 L/(人·d)。

农村生活污水 SS、TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、COD、TOC 浓度在秋冬季节高于春、夏季节,而 TP 浓度在春、冬季达到最大值。秋、冬季污水中铵态氮平均浓度分别为 234.73、258.26 mg/L,总氮的平均浓度分别为 286.79、277.74 mg/L。夏季生活污水中铵态氮、总氮浓度较低,分别为 54.34、106.31 mg/L。

零散式养殖废水污染物浓度较高。除夏季以外,养猪场废水污染物浓度一般高于同一季节奶牛场废水。养猪场废水 TN 浓度在秋季达到最大值 2 615.22 mg/L;冬、春次之,分别为 1 914.67、1 829.57 mg/L;夏季最小,仅为 386.36 mg/L。奶牛场废水 TN 浓度在四季变化不大,在 350.58 ~ 494.20 mg/L 之间。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 变化规律与 TN 大致相同,为主要氮形态。

参考文献:

- [1] 严岩,孙宇飞,董正举,等. 美国农村污水管理经验及对我国的启示[J]. 环境保护,2008(15):65-67.
- [2] 余浩. 水解池-滴滤池-人工湿地处理农村生活污水研究[D]. 南京:东南大学,2006:1-4.
- [3] 孙瑞敏. 湖北省农村生活污水水量水质调查与分析[D]. 武汉:武汉理工大学,2010:20-43.
- [4] 孙兴旺,马友华,王桂苓,等. 中国重点流域农村生活污水处理现状及技术研究[J]. 中国农学通报,2010,26(18):384-388.
- [5] 田娇,王玉军,梁小萌,等. 农村污水处理技术现状及发展前景[J]. 环境科学与管理,2010,35(5):83-85,142.
- [6] 伦斯 P,泽曼 G,莱廷格 G. 分散式污水处理和再利用[M]. 王晓昌,彭党聪,黄廷林,译. 北京:化学工业出版社,2004:3-24.
- [7] Massoud M A, Tarhini A, Nasr J A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90(1): 652-659.
- [8] Kayser K, Kunst S. Decentralised wastewater treatment - wastewater treatment in rural areas[M]//Kunst S, Kruse T, Burmester A, et al. Sustainable water and soil management. Berlin: Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 2002.
- [9] USEPA. Handbook for managing onsite and clustered(decentralized) wastewater treatment systems[M]. Washington D. C.: DIANE Publishing 2005:3-11.
- [10] 齐瑶,常杪. 小城镇和农村生活污水分散处理的适用技术[J]. 中国给水排水,2008,24(18):24-27.
- [11] 李海明. 农村生活污水分散式处理系统与实用技术研究[J]. 环境科学与技术,2009,32(9):177-181.
- [12] 顾培,沈仁芳. 长江三角洲地区面源污染及调控对策[J]. 农业环境科学学报,2005,24(5):1032-1036.
- [13] 施卫红. 新农村污水处理技术研究——以江苏三农村为例[C]. 黑龙江哈尔滨:中国城市规划学会,2007:954-956.
- [14] 黄翔峰,池金萍,何少林,等. 高效藻类塘处理农村生活污水研究[J]. 中国给水排水,2006,22(5):35-39.
- [15] 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.
- [16] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版(增补版). 北京:中国环境科学出版社,2002:88-284.
- [17] 袁晓燕,余志敏,施卫明. 大清河流域典型村镇生活污水排放规律和污染负荷研究[J]. 农业环境科学学报,2010,29(8):1547-1557.
- [18] 国家环境保护局科技标准司. 城市污水土地处理技术指南[M]. 北京:中国环境科学出版社,1997:22-33.
- [19] 朱杰,黄涛. 畜禽养殖废水达标处理新工艺[M]. 北京:化学工业出版社,2010:14-28.