

江浙沪地区农村生活污水污染调查

李新艳¹, 李恒鹏^{1①}, 杨桂山¹, 贺斌¹, 华梦飞², 王亮², 纪丞², 于诗贇², 庞业², 陈健²

(1. 中国科学院流域地理学重点实验室/中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏南京 210008; 2. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏南京 210044)

摘要: 采用问卷调查的方法研究了太湖流域农村生活用水量、污水产生量、空间分布及生活污水去向, 为准确核算农村生活污水污染物负荷提供科学依据。结果表明: 农户人均日用水量与农户收入水平之间呈显著正相关关系, 上海平原区农户人均日用水量最高。受生活水源和水价约束等因素的影响, 江苏和浙江丘陵区农户平均日用水量高于平原区。各乡镇年用水量与生活污水污染物的空间差异主要与所处地形区、常住人口数量、农民收入水平以及地区经济发展不均衡有关。虽然化粪池在太湖流域农村地区得到了普及使用, 但是只有厕所污水和一部分浴室、厨房污水被收集起来进入化粪池进行初步处理, 30%~50%的厕所污水经初步处理以后排入河流, 对地表水环境造成的污染不容忽视。现有的污水处理设施并不能有效减轻流域内农村生活污水排放对地表水环境的压力。

关键词: 用水量; 农村生活污水; 污水处理设施

中图分类号: X824 文献标志码: A 文章编号: 1673-4831(2016)06-0923-10

DOI: 10.11934/j.issn.1673-4831.2016.06.009

Survey of the Jiangsu, Zhejiang Province and Shanghai Area for Rural Domestic Wastewater Pollution. LI Xin-yan¹, LI Heng-peng¹, YANG Gui-shan¹, HE Bin¹, HUA Meng-fei², WANG Liang², JI Cheng², YU Shi-yun², PANG Ye², CHEN Jian² (1. Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences/ Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: To provide a scientific basis for accurate calculation of pollutant load of rural domestic wastewater, a survey was unfolded by means of questionnaire in the Taihu Lake watershed to investigate consumption of water and wastewater generation in daily life and spatial distribution and fate of the wastewater in the rural areas. It is found that daily water consumption per capita of farm households is significantly and positively related to income level of the households and the highest in the plain of Shanghai. As influenced by factors such as water source and water price, it is higher in the hilly areas than in the plain areas in Jiangsu and Zhejiang Provinces. Spatial variation of annual domestic water consumption and wastewater generation is related to terrain, resident population, farmer's income level and economic development of the towns or villages. Although septic tanks are quite popularized in rural areas of the Taihu Lake Valley, they are used to pool toilet sewage and some bathroom wastewater and kitchen sewage only for primary treatment. About 30%~50% of the toilet wastewater is discharged directly into rivers after being treated in septic tanks. The pollution it brings about to the surface water environment cannot be ignored. Obviously the existing sewage treatment facilities can hardly effectively reduce the pressure of the discharge of rural domestic sewage on the surface water environment.

Key words: water consumption; rural domestic wastewater; sewage treatment facilities

随着经济的发展和城市化进程的加快, 中国农村生态环境有加剧恶化的趋势。唐丽霞等^[1]开展了全国 26 个省 150 个村的农村环境污染调查, 结果显示, 76% 的调查村庄环境受到污染。黄季琨等^[2]调查了全国 5 省 101 个村的环境污染现状, 结果表明, 1998—2008 年农村环境恶化的村占 44%。5 个样本省份(江苏、四川、陕西、吉林、河北)中, 位于太湖流域的江苏省环境综合污染程度位居榜首。太湖

流域位于长江三角洲的核心区, 是我国人口最稠密和经济发展最具活力的地区。该地区城镇化水平、

收稿日期: 2015-10-30

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KZZD-EW-10-04); 江苏省自然科学基金面上项目(BK20141513); 国家自然科学基金(41201496); 中国科学院南京地理与湖泊研究所“135”项目(NIGLAS2012135005)

① 通信作者 E-mail: hpli@niglas.ac.cn

农村经济和农民收入水平在全国处于前列,然而在农村地区,大多数村庄分散分布,水冲厕所普遍,污水处理设施的普及率与利用率不高,除少部分位于城乡结合处的村庄纳入污水收集管网以外,大多数村庄的生活污水经化粪池简单处理后,直接就近排放到自然水体,所以太湖流域农村生活污水排放量大,难以集中处理^[3]。近年来,太湖及其流域的水环境质量呈严重恶化趋势,2009—2013年连续5 a太湖总体水质为劣V类或V类(总氮参评)^[4],太湖入湖河道水质污染程度呈明显上升趋势^[5-7]。农村生活污水排放对水环境的危害引起广泛关注^[8-14]。研究太湖流域农村生活用水量、污染物产生量及空间分布以及农村生活污水去向,对于农村水环境治理具有重要意义。

已有的农村生活污染研究集中于农村产排污系数与污染物入河系数测算^[8-10]、农村水污染现状调查^[1-3,12]、污染负荷核算^[5-6]、农村生活污水去向及污水处理工艺^[13-14]、制约欠发达地区区域发展的农户行为^[15]等。谢文明等^[7]调查了长兴农村地区水污染现状,结果表明55个地表河水样品中有45个样品处于劣V类水的标准,其余样品为V类水。王文林等^[8]对宜兴市大埔镇埔南中心村300户农户进行入户调查与现场监测,获取了农户生活污水产排污系数,对于摸清农村生活污水污染负荷提供了基础数据。但是太湖流域农村生活污水污染物在通过地表或地下径流汇入太湖的过程中会衰减,直接影响入湖污染负荷,因此,有必要对污水污染物在环境中的输移、转化的要素及污水污染物的入湖量进行定量研究。尹微琴等^[9]采用入户监测方法获取了2007—2008年昆山锦溪镇农村生活污水污染物排放系数。唐晓燕等^[10]针对太湖流域农村面源污染问题,研究了太湖流域上游典型地区农村污染物的产生、排放系数的确定方法。李卉等^[11]采用随机抽样方法,获取了太湖运河流域农村生活污染的入河系数。徐洪斌等^[12]采用入户监测方法获取了宜兴农户的人均日用水量、排水量及生活污水COD、BOD、TN和TP浓度等水质参数,但是由于监测样本量仅4户,而且研究区生活污水基本不经处理就近排入河道,只能反映分布在太湖流域湖滨带的农村生活污染状况及污水处理水平。李新艳等^[13]采用调查问卷方法研究了江苏太湖地区农村生活用水量空间差异及生活污水去向;马鲁铭等^[14]探讨了上海市农村生活污水的处理工艺,但是并不代表整个太湖流域的农村生活污染及处理情况。李小建等^[15-16]从经济学角度分析了制约区域发展

的农户行为,并结合模型和GIS空间分析技术,估算了河南省镇平县各村最高日用水量及其空间分布。以上研究主要基于全国第一次污染源普查^[8-9]或者个体调查^[12-16],对准确估算太湖流域农村生活源污染物的产生量和排放量具有一定参考价值,但是由于调查的样本量有限^[12-16],调查区域局限于某一村庄或者地区^[9,12-16],不能反映目前或者全流域尺度的农村生活污水污染状况。

随着太湖流域区域经济的快速发展和农民收入的提高,农村居民的生产与生活方式发生很大变化,农村生活污水处理率与利用率相应提高,有必要摸清太湖流域农村居民的生活用水量与生活污水污染物产生量及其空间分布、主要污水处理设施所占比例以及农村生活污水去向,为准确核算太湖流域农村生活污水污染物负荷提供科学依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区域

太湖流域地处长江三角洲,位于 $30^{\circ}7'19''\sim 32^{\circ}14'56''\text{N}$, $119^{\circ}03'01''\sim 121^{\circ}54'26''\text{E}$ 之间。北临长江,南靠杭州湾,东临东海,西接天目山宜溧山地。流域地跨江苏、浙江、上海、安徽3省1市,总面积 3.69万 km^2 (图1),其中江苏省 $19\,346\text{ km}^2$,占53%;浙江省 $12\,190\text{ km}^2$,占33.4%;上海市 $4\,924\text{ km}^2$,占13.5%;安徽省 40 km^2 ,占0.1%^[17-18]。该区地势西高东低,地形以平原、丘陵山地和水面为主,其中平原占58.3%,丘陵山地占24.2%,水面占17.5%^[19]。属亚热带季风气候区,年平均气温 $14.9\sim 16.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,多年平均降水量 $1\,000\sim 1\,400\text{ mm}$,年内降雨分配不均匀,降水集中在夏季和春季^[19]。太湖流域经济发达,在全国位居前列。以2013年为例,流域GDP达76184亿元,占全国GDP的13.0%;人均GDP高达96016元,城镇化水平平均高达62.3%;农民人均年收入为18141元,是全国平均水平(7917元)的2倍多^[20-29]。

1.2 数据获取方法

采用问卷调查方式,对太湖流域代表乡镇人口相对密集的村庄进行农户随机抽样调查。调查乡镇的选择根据该乡镇农民人均年收入水平在所属地级市处于中等水平来确定,分别从位于流域丘陵山区的江苏无锡、常州、镇江以及浙江湖州各选择2个典型乡镇,从位于流域平原河网区的江苏常州、苏州、无锡、上海市青浦区以及浙江省嘉兴各选择2个典型乡镇,从Google Earth选取该乡镇农村人口相对密集的村庄。

调查过程中采用一对一的方式对农户进行入户问卷调查,确保每一份调查问卷的有效性 & 准确性。根据计算最小样本量的公式,在 95% 置信区间,抽样误差不超过 2.5% 的情况下,要求抽样调查的最小样本数为 1 537。调查共获取有效问卷 1 787 份,涉及家庭常住总人口 7 314 人,样本数符合统计学要求。其中,江苏、上海、浙江农村地区分别获取有效问卷 1 156、313 和 318 份。采用 SPSS 19.0 软件对同一乡镇不同调查员的结果进行统计,检验同一调查参数的均值与方差,保证在 95% 置信区间内

调查参数的离散程度、集中趋势一致;对于调查过程中出现的缺失值或异常值,选择临近点的序列均值代替。

1.3 调查时间与地点

调查时间为 2014 年 1 月 10—13 日、2014 年 5 月 24—25 日和 2014 年 9 月 20—21 日,调查地点为江苏、上海、浙江平原区和丘陵山区的典型村庄(表 1),调查内容包括农户家庭人口结构、农民收入水平、人均日用水量及生活污水去向与处理情况等。

表 1 农户调查时间与地点

Table 1 Time and place of the farm households surveyed

调查省市	地形区	调查地区	调查乡镇	调查村庄个数	调查农户户数	调查日期
江苏省	平原区	常州	罗溪镇、雪堰镇	10	97	2014-01-10
			苏州	尚湖镇、辛庄镇	10	97
		无锡	厚桥镇、羊尖镇	13	106	2014-01-11
	丘陵山区	无锡	宜兴太华镇	8	88	2014-05-25
			镇江	白兔镇、宝堰镇	10	186
		常州	溧阳溧城镇、天目湖镇、南渡镇、戴埠镇	35	582	2014-12-13—2014-12-15
上海市	平原区	青浦区	练塘镇、沈巷镇	8	313	2014-09-20—2014-09-21
浙江省	平原区	嘉兴	油车港镇	8	112	2014-09-21
	丘陵山区	湖州	天荒坪镇、递铺镇	8	206	2014-09-21—2014-09-22

1.4 核算方法与数据来源

流域内各乡镇农村年平均用水量计算公式为

$$Q_i = 0.0365 \times q_i \times F_i \quad (1)$$

式(1)中, Q_i 为研究区所辖乡镇 i 农村地区年平均用水量, $t \cdot a^{-1}$; q_i 为调查获取的农户人均日用水量, $L \cdot a^{-1} \cdot a^{-1}$; F_i 为各乡镇 1 a 内的农村常住人口数量, $10^4 \text{ 人} \cdot a^{-1}$ 。

各乡镇农村生活污水污染物产污量 W_i 计算公式为

$$W_i = \sum k_i \times F_i \times r_i \quad (2)$$

式(2)中, W_i 为各乡镇农村生活污水污染物产污量, $t \cdot a^{-1}$; k_i 为不同收入水平农户生活污水 TN、TP、COD 和 NH_4^+-N 产污系数, $g \cdot d^{-1} \cdot \text{人}^{-1}$, $i = 1, 2, 3$ 分别代表高、中、低收入水平^[8]; r_i 为不同收入水平农户数量占调查农户总数比例,取值 0~1。

各乡镇农村常住人口数量 F_i 、农民人均年收入数据来自各地级市统计年鉴 2014^[24-29],不同收入水平的农户人均日用水参数 q_i 、不同收入水平农户数量占调查农户总数比例参数 r_i 均来自调查问卷,产污系数 k_i 来自文献[8]。

1.5 数据处理与制图

采用的数字高程模型(digital elevation model,

DEM) 数据为 SRTM DEM,其空间分辨率为 90 m,太湖流域 DEM 如图 2 所示。10 m 等高线是影响太湖流域地形的分级界限标准^[30], $\geq 10 \text{ m}$ 等高线区域主要集中在太湖流域西部,东部也有零星分布。因此,提取 10 m 等高线作为太湖流域平原区与丘陵山区的分界线,位于 10 m 等高线以西的地区属于丘陵山区,位于 10 m 等高线以东的地区属于平原区。

基于太湖流域各地级市乡镇分布图,采用目视解译方法提取各乡镇边界,并采用 ArcGIS 10.1 软件制图得到太湖流域各乡镇(或街道)空间分布图。判断各地级市所辖乡镇属于何种地形区,作为选择农户人均日用水量参数的依据。对于 10 m 等高线穿过的乡镇,考虑到内部地形的差异分布,按照不同地形区所占面积进行加权计算农村用水量。

采用 SPSS 19.0 与 Excel 2003 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 太湖流域农村居民生活用水量比较

太湖流域农村居民人均日用水量、加权平均用水量调查结果如表 2 所示。从表 2 可知,农户人均日用水量因农民收入和所处地形区的不同而差异

显著,表现为中、高收入农户人均日用水量高于低收入农户。平原区农村居民的加权平均用水量从大到小依次为上海、浙江和江苏,上海和浙江农户加权平均用水量分别为江苏农户(75 L·人⁻¹·d⁻¹)的约2.1倍和1.8倍;浙江丘陵区农村居民的加权平均用水量高于江苏,大致为江苏的1.4倍。从所处地形区来看,江苏和浙江丘陵区农村居民的

加权平均用水量均高于平原区。徐洪斌等^[12]对宜兴大铺镇4个农户进行跟踪调查得到农户人均用水量为70~110 L·人⁻¹·d⁻¹;董婷婷^[31]调查发现上海市宝山区农户人均用水量为116~173 L·人⁻¹·d⁻¹;笔者调查获取的太湖流域农村地区人均生活日用水量数据与之基本一致。

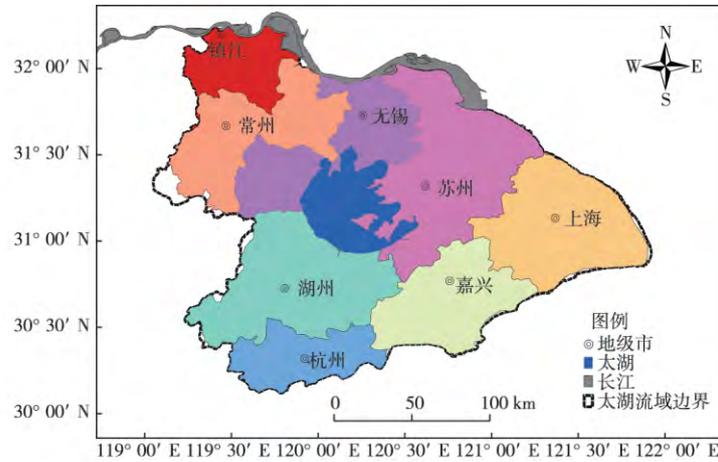


图1 太湖流域地理位置示意

Fig. 1 Geographical location of the Taihu Lake Watershed

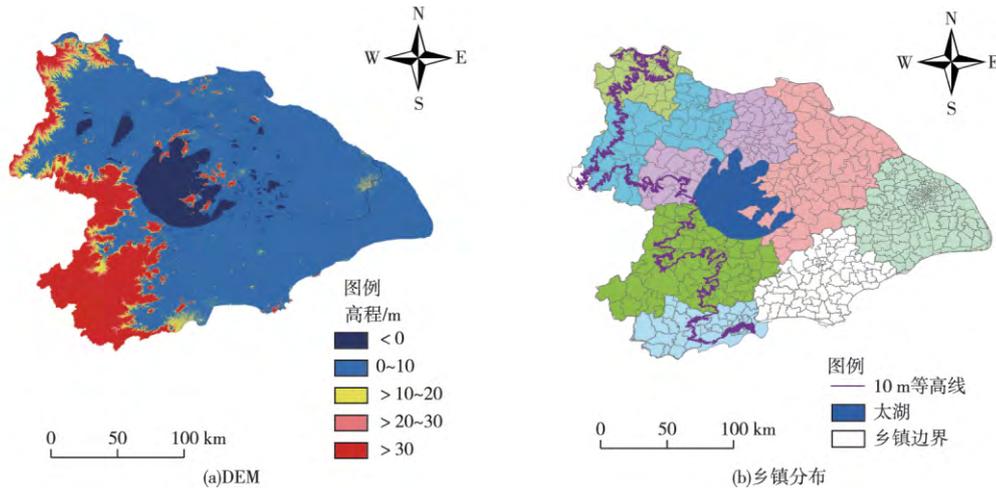


图2 太湖流域DEM及乡镇分布图

Fig. 2 Map of DEM and towns in the Taihu Lake Watershed

2.2 农村生活用水量与污水污染物产生量空间分布

根据式(1)核算得到太湖流域各乡镇农村地区用水量(图3)。太湖流域农村地区生活用水量空间差异很大。年均用水量超过500万t的乡镇在上海地区有5个,浙江地区8个,江苏地区2个,均分布在平原区。上海用水量最高的乡镇集中分布于上

海城区或经济开发区周围,如位于浦东新区的川沙新镇、三林镇,紧邻奉浦工业区、现代农业区和城区街道的南桥镇,以及闵行区的梅陇镇,农村用水量均超过600万t·a⁻¹。浙江地区用水量分布相对均衡,年用水量最高的乡镇集中分布于杭嘉湖平原,如位于吴兴区的紧邻城(镇)区或经济开发区的白雀乡和濮院镇用水量均超过800万t·a⁻¹,位于嘉

兴南湖区的新胜镇、洪合镇以及嘉兴秀洲区的新塍镇用水量均达 600 万 $t \cdot a^{-1}$ 以上。江苏地区用水量相对较高的乡镇集中分布于平原区,以常熟虞山镇和常州武进区紧邻城区和工业区的湖塘镇用水量

最高,分别为 667 万和 537 万 $t \cdot a^{-1}$,农村用水量相对较少的乡镇主要分布于太湖上游丘陵区地处偏僻的农村或者平原区经济相对落后、常住人口相对较少的农村。

表 2 太湖流域不同地形区农户人均日用水量 q_i 及各地级市农户加权平均用水量比较

Table 2 Per capita daily water consumption and weighted average water consumption for farmers in the Taihu Lake Watershed

地形区	省(市)	调查比例 ¹⁾ /%			农户人均日用水量 q_i / (L·人 ⁻¹ ·d ⁻¹)			加权平均用水量 ²⁾ / (L·人 ⁻¹ ·d ⁻¹)
		低收入	中收入	高收入	低收入	中收入	高收入	
平原地区	江苏	29	38	33	63	71	89	75
	上海	55	29	17	149	159	181	157
	浙江	43	35	22	114	145	170	137
丘陵区	江苏	47	36	18	103	109	127	110
	浙江	28	38	34	107	168	167	151

1) 指处于一定收入范围的被调查农户数量占该地级市所有被调查农户数量的比例; 2) 指该地级市不同收入范围的农户人均日用水量 q_i 按照调查比例加权后得到的平均值。

根据式(2)计算得到太湖流域各乡镇农村生活污水污染物产生量(图4)。太湖流域农村生活污水污染物产生量空间差异较大,与各乡镇用水量的空间分布基本一致。生活污水污染物总产污量从大到小依次为江苏、浙江和上海,产污量最高的乡镇分布在江苏苏州虞山镇、滨湖新城镇、木渎镇、无锡江阴徐霞客镇和周庄镇、常州武进湖塘镇、浙江湖州白雀乡和嘉兴濮院镇、上海市奉贤区南桥镇和浦东新区川沙新镇、三林镇,生活污水 TN 每日产生量均在 700 kg 以上。2013 年江苏、浙江和上海市农村生活污水污染物产生量比例大致为 $m(\text{COD}) : m(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : m(\text{TN}) : m(\text{TP}) = 44 : 8 : 12 : 1$ 。

2.3 农村生活污水去向

2.3.1 平原区农村生活污水去向

(1) 浴室、厨房污水去向

太湖流域平原区农户的浴室与厨房污水排放基本采用同一出口,因此其排放去向基本一致,此处不再分别对浴室与厨房污水去向进行分析。对流域内江苏、上海、浙江平原区的农户浴室、厨房污水去向的调查结果如图 5 所示。

从图 5(a) 可看出,平原区农村绝大部分浴室、厨房污水经化粪池处理,浙江、上海和江苏的处理比例分别为 75.9%、58.3% 和 56.8%。进入污水处理厂进行处理的从大到小依次为上海、江苏和浙江,分别为 27.5%、19.8% 和 2.7%。污水直接排放的比例从大到小依次为江苏、浙江和上海,分别为 23.3%、21.4% 和 14.2%。可见,太湖流域平原区农村浴室、厨房生活污水 50% 以上经化粪池进行初步处理,经污水处理厂处理的比例低于 30%,直接

排放的比例在 14%~23% 之间。

(2) 厕所污水去向

厕所污水是影响农村地区地表水环境质的主要部分^[8],太湖流域平原区农村厕所污水去向的调查结果如图 5(b) 所示。从图 5(b) 看出,平原区高达 94% 的农村厕所污水经化粪池处理,但是处理后进入污水处理厂的比例差别很大,上海、江苏和浙江地区分别为 62.6%、31.0% 和 17.0%。经化粪池处理以后排入河流的比例从大到小依次为浙江、上海和江苏,分别为 48.2%、29.4% 和 28.7%。农田利用是吸纳厕所污水污染物的重要途径,调查结果显示,江苏和浙江农村地区分别有 34% 和 29% 的厕所污水经化粪池处理以后被农田利用,上海地区仅为 1.9%。由于化粪池的氮磷去除效率较低,仅分别为 8.9% 和 27.8%^[12],因此农村地区厕所污水经化粪池处理后排入河流的部分对地表水环境的污染不容忽视,特别是浙江农村地区,接近一半的厕所污水经化粪池处理以后排入河流,江苏和上海农村地区的比例也高达 30% 左右,这部分生活污水对地表水体的直接污染更应引起充分重视。

2.3.2 丘陵区农村生活污水去向

(1) 浴室、厨房污水去向

对位于太湖流域丘陵区的浙江、江苏农村地区浴室、厨房污水去向的调查结果如图 5(c) 所示。浴室、厨房污水经化粪池处理的比例在 50%~60% 之间,进入污水处理厂进行二次处理的比例均不到 4%,直接排放的比例在 38.1%~47.1% 之间。可见,太湖流域丘陵区农村的浴室、厨房污水仍停留在直接排放到环境中和初级处理阶段,这不仅造成

水资源的浪费,而且对地表水环境质量带来严重的负面影响。

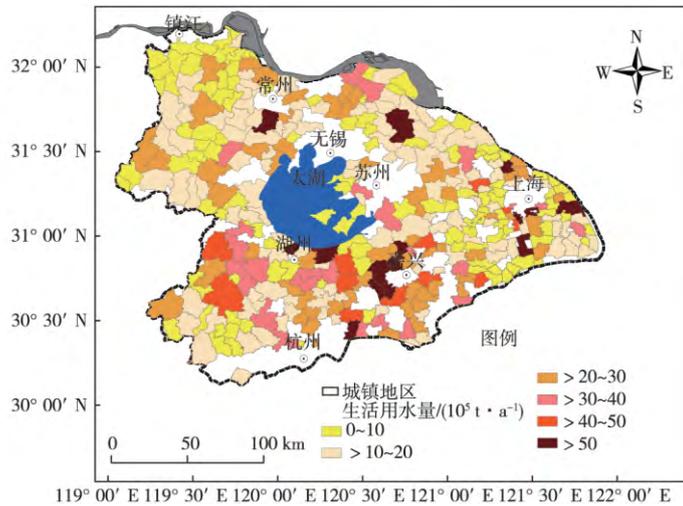


图3 太湖流域农村地区生活用水量分布

Fig. 3 Spatial distribution of domestic water consumption in rural areas of the Taihu Lake Watershed

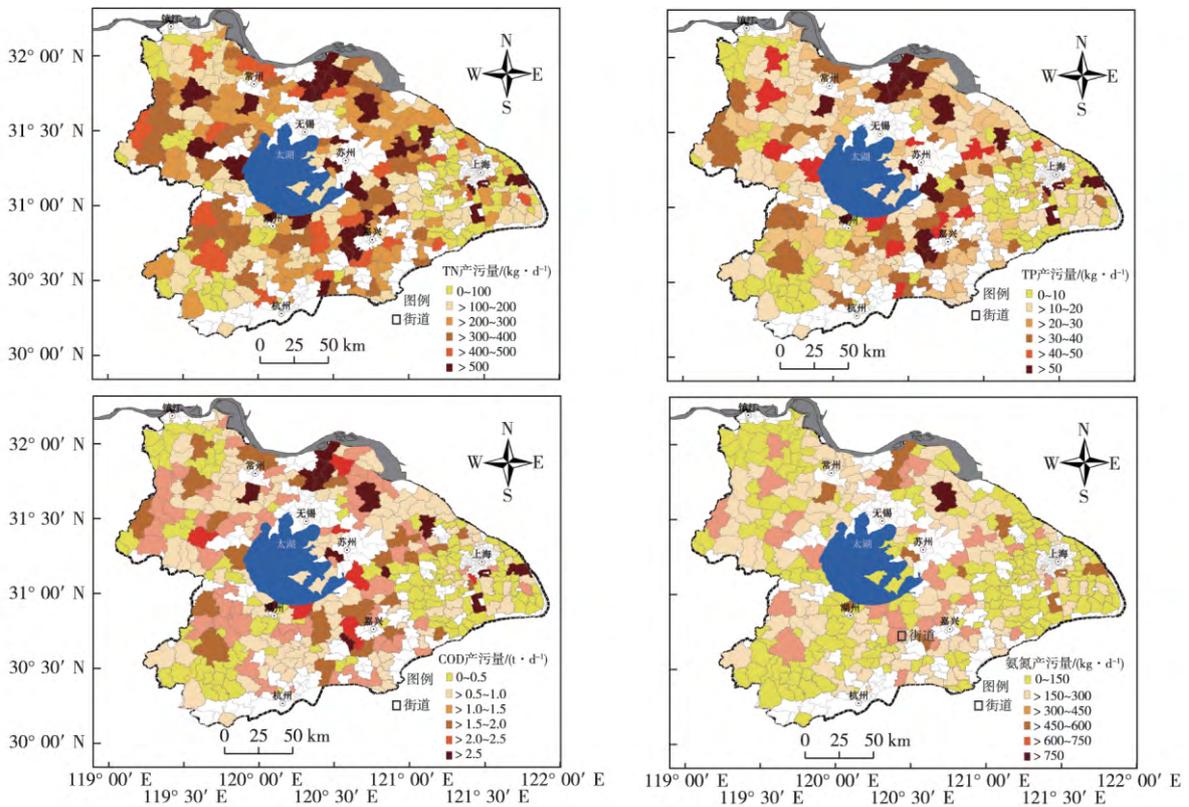


图4 太湖流域分乡镇农村生活污水污染物产生量空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of domestic wastewater generation in the rural areas of the Taihu Lake Watershed

(2) 厕所污水去向

对江苏、浙江丘陵山区农村厕所污水去向的调查结果如图5(d)所示。可看出厕所污水经化粪池处理的比重大致在87%~89%,经化粪池处理后

46%~52%排入河流,18%~33%被农田利用,10%~18%进入污水处理厂,直接排放和进入农田的比例合计为11%~13%。可见,在太湖流域丘陵山区农村,虽然绝大部分厕所污水进入化粪池进行初级处

理,但是只有很少部分进入污水处理厂进行深度处理。经化粪池初步处理后接近 50%的厕所污水直接排入河流,对地表水环境的危害不容忽视。浙江

和江苏丘陵区农村厕所污水经化粪池初步处理后进入污水处理厂的比例分别为 17.5%和 9.8%。

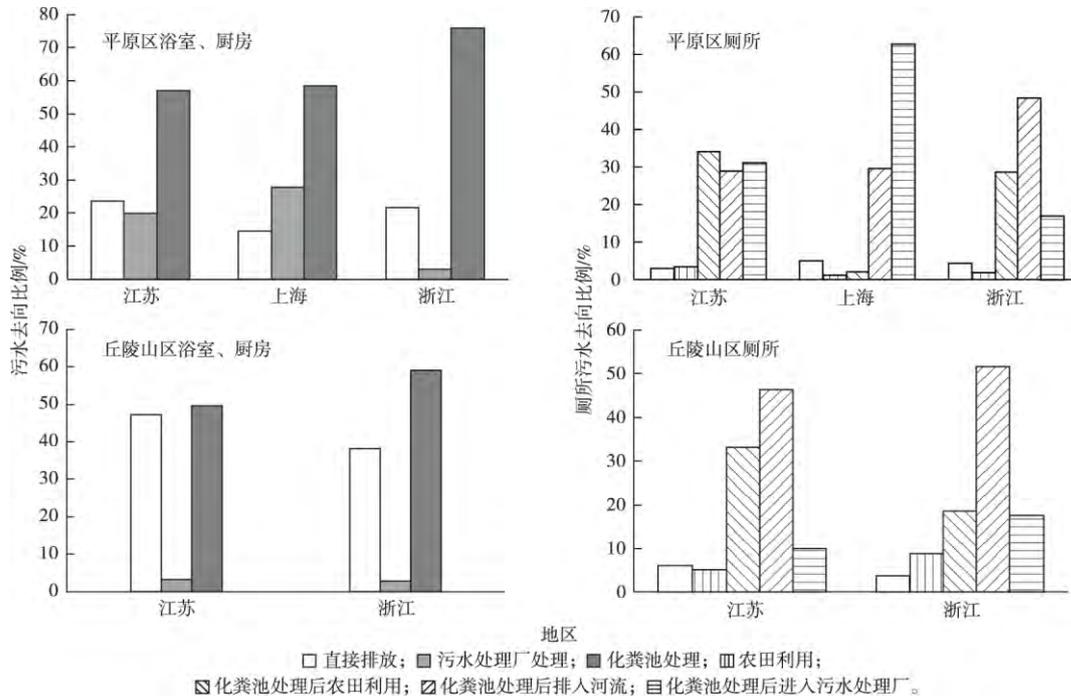


图 5 太湖流域平原和丘陵山区农户浴室、厨房和厕所污水去向比较

Fig. 5 Comparison of the sewage from bathrooms, kitchens and toilets in rural hilly and plain areas of Taihu Lake Watershed

3 讨论

3.1 农民收入

根据太湖流域经济发展情况,将农户人均年收入分为高、中、低 3 个水平: >2 万元·a⁻¹·人⁻¹, 高收入; >1.6~2 万元·a⁻¹·人⁻¹, 中收入; 1.2~1.6 万元·a⁻¹·人⁻¹, 低收入。统计分析发现,全流域农户人均日用水量与农民收入水平之间呈极显著正相关关系,相关系数 $R = 0.106$, $n = 1787$, $P < 0.01$ (表 3)。除浙江丘陵区外,江苏、上海和浙江农户人均日用水量与农民收入水平之间均呈显著正相关关系($n = 1675$, $P < 0.05$) (表 3),表明太湖流域农户人均日用水量随着农民收入水平的提高而增加。

对于江苏和浙江地区而言,位于丘陵区的农户人均日用水量明显高于平原区(表 2),这可能与农民的生活用水来源、收入水平和水价约束有关。随着丘陵区农业开发强度的增加,大量林地转化为高收益的茶果园,高强度施肥加上雨季暴雨冲刷导致土壤流失强度增加,从而增加河流、湖泊与水库中的营养盐浓度^[32-33]。另外,丘陵区旅游业的快速发展对湖泊水环境带来了负面影响,主要表现在游客

增加导致湖区污染物排放量增加,旅游设施开发加剧了水土流失强度,上游山区的水库观光旅游导致上游水源受到破坏等^[32]。因此,太湖上游丘陵区作为饮用水源地的湖泊水质已经或正在受到污染。与水源地水库相比较,山泉水水质相对清洁而且免费,是丘陵区农民重要的生活用水来源之一,使用无限制导致丘陵区农民的用水量较多。对于低收入农户来说,由于生活用水基本完全依赖山泉水,受季节性降雨的约束,农民在旱季的用水量明显低于雨季,从而导致全年用水量并不高。而对于中高收入的农户来说,在旱季除利用山泉水(或者地下水)之外,还更多地使用自来水。因此,中、高收入农户每年的用水量总体上要高于低收入农户。

在平原区则还可能与水价约束有关。由于太湖流域平原区浅层地下水普遍受到污染^[34],农民生活水源以自来水为主,仅使用井水作为生活辅助用水。受水价约束,浙江和江苏地区位于平原区的农户人均日用水量均比位于丘陵区的农户低。值得注意的是,在农民收入较高的上海农村地区,农民的人均日用水量明显高于浙江和江苏,表明上海农村地区目前的水价约束不能有效降低当地农民用

水量,可能还受到地区经济发展水平和农民生活方式的影响。上海平原区农村农民收入渠道多样,农业收入不再是农民收入的主要来源,受农户收入较高的影响,该地区的农户人均日用水量相对较高。

3.2 地区经济发展水平

地区经济发展的不平衡引起农村人口的流动,也是导致农村用水量和污水污染物产生空间差异的重要原因之一。江苏平原区外出打工人口比例(13%)明显低于丘陵山区(24%),而外来打工人口比例(19%)远远高于丘陵山区(1%),反映出平原区经济发展优势对农民具有较强的吸引力,从而吸引了大量农村外来务工人员。因此,江苏农村用水量较高的乡镇明显集中于平原区。而浙江平原区外出打工人口比例与丘陵山区大致相同(11%),外来打工人口比例略高于丘陵区,反映出浙江农村地区经济发展和人口流动相对平衡。因此,浙江丘陵区和平原区的农村生活用水量分布相对均衡。

表3 太湖流域农户人均日用水量与人均年收入水平相关性统计结果

Table 3 Statistic results of the relationship between per capita daily water consumption and per capita yearly income for farmers in the Taihu Lake Watershed

省份	地形区	Person 相关系数 R	样本数 n	显著性 水平 P
江苏	平原区	0.167**	300	0.004
	丘陵山区	0.110**	856	0.001
浙江	平原区	0.202**	206	0.004
	丘陵山区	0.185	112	0.051
上海	平原区	0.124*	313	0.028
流域平均		0.106**	1 787	0.000

* 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$ 。

3.3 污水处理设施及其处理效率

化粪池是太湖流域农村地区普及使用的初级污水处理设施,对降低悬浮固体浓度、缓冲水量有较好的作用^[14]。在平原区和丘陵山区农村化粪池拥有率分别为74.4%~91.8%和81.1%~91.6%,水冲式马桶和下水道普及率分别为91%~97%和85%~89%。统计分析结果表明,农村厕所污水去向与厕所类型、有无下水道和有无化粪池之间均呈极显著相关关系,表明太湖流域农村地区厕所污水主要通过下水道进入化粪池,进行初步处理后,再分别排入河流、被农田利用以及进入污水处理厂。

虽然化粪池使用很普遍,但是,农村厕所污水与浴室、厨房污水基本是分开排放的,只有一部分生活污水被收集起来进行处理。据研究,厕所污水

对污水污染总负荷贡献率最高,厕所污水中TN、TP贡献率占生活污水污染物总负荷的84%以上,而浴室、厨房污水TN、TP贡献率在12%以下^[8]。85%以上的被调查农户家中的厕所污水经化粪池处理(图5),而浴室、厨房污水经化粪池处理的比例仅为36%~59%。在江苏和浙江丘陵区农村,浴室、厨房污水的直排率分别高达47.1%和38.1%,平原区农村相对较低,分别为23.3%和21.4%。这说明在太湖流域农村地区,受地形限制和农民收入水平影响,只有厕所污水和一部分浴室、厨房污水被收集起来经化粪池初步处理,大量的浴室、厨房污水被直接排放到环境中。化粪池的使用重点针对厕所污水,而且化粪池的污染物去除效率相对较低^[8,35],对氮磷的去除率仅分别为8.9%和27.8%^[8],所以,目前的化粪池污水处理设施并不能有效降低农村生活污水污染物负荷。

污水处理厂的污染物去除效率要远远高于化粪池,但是由于投资和运转费用巨大,工艺复杂,需要定期维护^[14],不容易在经济落后、地形复杂的农村地区推广。上海农村地区厕所污水处理设施的使用率最高(62.6%),其次为江苏农村地区(26.7%),污水处理厂使用率最低的是浙江农村地区(17%),经化粪池处理后排入河流的比例高达48%~52%。可见,太湖流域农村生活污水的处理仍停留在初级处理阶段,经污水处理厂进行深度处理匮乏,农村生活污水排放对地表水环境的影响不容忽视。

3.4 农民生产与生活方式的改变

伴随地区经济的快速发展,太湖流域农民的生产与生活方式发生了较大改变^[32]。大量农民特别是青壮年劳动力从农村进入城市(镇)打工,留守农村的基本都是老幼妇孺。受劳动力缺乏的影响,农业生产严重依赖化学肥料,生活污水或人畜禽排泄物(对于农作物是有机肥料)很少或不再还田,而是直接排放到自然环境中,由此对地表水环境造成污染。

随着生活水平的提高,农民的生活方式逐步城市化,冲水式马桶和下水道普及率高达85%~97%,洗衣机的使用越来越普及,相应地大大增加了污水产生量。农村超过85%的厕所污水通过下水道排放,一方面减少了污染物在输送过程中因挥发、渗漏等对环境的直接污染,另一方面也增加了生活污水向自然环境的排放量。

3.5 政策和法制约束

为了保护有限的淡水资源,当地政府通过征收

水费来限制人们过度用水。但是,农民除了使用自来水以外,还使用井水或山泉水。由于井水和山泉水免费,农户使用无节制,所以有些农村地区总用水量很高。有些经济困难的农民为了节省水费,直接在河流、池塘里洗衣洗菜或者浸泡竹子以制作竹筷等产品,直接危害地表水环境。并且,在一些经济相对发达的农村地区,农业收入不再是家庭收入的主要来源,通过征收水费并不能有效约束当地农民的用水行为。因此,制定保护地表地下水资源的政策法规,并加强水资源保护的宣传十分必要。农村居民是农村环境保护的主力军,在农村环境整治中具有举足轻重的作用。应该充分利用广播、电视、报纸、宣传栏等渠道对农民进行生态和环境保护知识的教育和普及,使广大农民充分认识到农村生活污水的现状和问题的严重性,自觉保护水资源。

4 结论

采用农户调查问卷的方式,研究了太湖流域农村生活用水量、污水污染物产生量的空间分布及生活污水去向,主要得到以下结论:

(1) 太湖流域农村人均日用水量因农民收入和所处地形区的不同而差异显著。农户收入水平越高,人均日用水量越多,两者之间存在显著正相关关系,上海地区农户人均日用水量最高;从地形区来看,江苏和浙江地区位于丘陵区的农户人均日用水量高于本省内位于平原区的农户,主要是由于丘陵区农户以清洁免费的山泉水作为主要的生活用水来源,使用无限制,而平原区农户由于地下水受到污染,生活用水主要依赖自来水,用水量受到水价约束的限制。

(2) 太湖流域各乡镇农村生活用水量空间差异很大,年用水量最高的乡镇均分布在平原区,这主要与所处地形区、常住人口数量、农民收入水平以及地区经济发展的不均衡有关。平原区交通方便,经济发展优势吸引了更多的外来务工人员,常住人口相对密集;在靠近开发区或者城镇地区的乡镇,农民收入水平较高,年用水量相对较多。而丘陵区受地形限制,农村外出打工人员所占比例较高,常住人口相对较少,因此年用水量相对较少。

(3) 虽然化粪池在太湖流域农村地区得到普及使用,但是只有厕所污水和一部分浴室、厨房污水被收集起来经化粪池初步处理,大量的浴室、厨房污水被直接排放到环境中,丘陵区农村直排率高达38%~47%。而且化粪池的污染物去除效率有限,厕所污水直接排放的比例仍然较高,而且30%~

50%的厕所污水经化粪池处理以后排入河流,这部分污水对地表水环境的污染不容忽视。因此,太湖流域农村地区现有的污水处理设施并不能有效减轻农村生活污水排放对地表水环境的压力。

(4) 随着城市化进程的加快和农民收入水平的提高,农村生活用水量和污水污染物产生量会继续增加。在太湖流域浅层地下水资源受到污染的情况下,选择适合农村特点的生活污水处理设施,减少农村生活污水向地表水体的排放,并通过制定水资源保护的政策法规,加强水资源保护宣传,对于保护有限的地表水资源尤为迫切。

参考文献:

- [1] 唐丽霞,左停.中国农村污染状况调查与分析:来自全国141个村的数据[J].中国农村观察,2008(1):31-37.
- [2] 黄季琨,刘莹.农村环境污染情况及影响因素分析[J].管理学报,2010,7(11):1725-1729.
- [3] 李响.太湖流域农村生活污水处理现状及建议[J].环境与发展,2011(11):67-67.
- [4] 中华人民共和国水利部.中国水资源公报2009-2011[EB/OL](2012-04-26)(2012-12-17)(2013-12-15)(2014-11-20)(2015-08-28)[2016-10-24].<http://www.mwr.gov.cn/zwzc/hygb/szygb/>.
- [5] 郑一,王学军,江耀慈,等.环太湖河道水质分析与入湖污染物负荷量估算[J].地理学与国土研究,2001,17(1):40-44.
- [6] 万晓凌,马倩,董家根,等.江苏省入太湖河道污染物分析[J].水资源保护,2012,28(3):38-41.
- [7] 谢文明,于飞,冯晓宇,等.太湖流域农村地区典型村镇土壤养分和水体污染现状调查[J].土壤,2014,46(4):613-617.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 唐晓燕,季斌,王丹丹,等.太湖流域农村生活源产排污系数测算的相关方法及问题分析[J].生态与农村环境学报,2013,29(4):433-437.
- [11] 李卉,苏保林,张倩,等.平原河网地区农村生活污染入河机制[J].生态与农村环境学报,2011,27(4):110-112.
- [12] 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1):375-378.
- [13] 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.
- [14] 马鲁铭,王云龙,刘志刚,等.南方农村生活污水处理目标及工艺模式探讨[J].中国环境科学,2013,33(1):18-122.
- [15] 李新建.欠发达农区经济发展中的农户行为:以豫西山地丘陵区为例[J].地理学报,2002,57(4):459-468.
- [16] 李新建,侯景伟,孔云峰.村域尺度上的农村用水量预测研究:以河南省镇平县为例[J].地域研究与开发,2009,28(5):124-129.

- [17] 中国科学院南京地理研究所.太湖综合调查初步报告[M].北京:科学出版社,1965:1-2.
- [18] 孙顺才,黄漪平.太湖[M].北京:海洋出版社,1993:1-15.
- [19] 黄漪平,范成新,濮培民,等.太湖水环境及其污染控制[M].北京:科学出版社,2001:1-30.
- [20] 苏州市统计局.2013年苏州市国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2014-06-11) [2016-10-24].http://www.szttj.gov.cn/tjnj/2015/indexch.htm.
- [21] 无锡市统计局.2013年无锡市国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2014-02-24) [2016-10-24].http://wx.xinhuanet.com/2014-02/24/c_119466915_2.htm.
- [22] 常州市统计局.2013年常州市国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2014-06-11) [2016-10-24].http://www.cztjj.gov.cn/html/tjj/2015/OEJQMFCO_0313/12271.html.
- [23] 镇江市统计局.2013年镇江市国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2014-06-11) [2016-10-24].http://www.stats-sh.gov.cn/fxbg/201506/279864.html.
- [24] 江苏省统计局.2013年江苏省国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2014-02-24) [2016-10-24].http://jsnews.jschina.com.cn/system/2014/02/20/020314904.shtml.
- [25] 浙江省统计局.2013年浙江省国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2014-05-08) [2016-10-24].http://www.jinhua.gov.cn/art/2014/5/8/art_3107_344921.html.
- [26] 上海市统计局.2013年上海市国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2014-05-08) [2016-10-24].http://www.shanghai.gov.cn/nw2/nw2314/nw2318/nw26434/u21aw847507.html.
- [27] 湖州市统计局.2013年湖州市国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2014-03-04) [2016-10-24].http://www.huzhou.gov.cn/xxgk/jcms_files/jcms1/web9/site/art/2014/3/4/art_2488_60982.html.
- [28] 嘉兴市统计局.2013年嘉兴市国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2014-05-04) [2016-10-24].http://www.jiaxing.gov.cn/stjj/tjxx_6433/tjgb_6434/201405/t20140504_384751.html.
- [29] 海盐县统计局.2013年海盐县国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2014-04-08) [2016-10-24].http://www.haiyan.gov.cn/art/2014/4/8/art_8_151508.html.
- [30] 高永年,高俊峰.太湖流域水生态功能分区[J].地理研究,2010,29(1):111-117.
- [31] 董婷婷.上海市节约用水及阶梯式水价研究[D].上海:同济大学,2009.
- [32] 李恒鹏,朱广伟,陈伟民,等.中国东南丘陵山区水质良好水库现状与天目湖保护实践[J].湖泊科学,2013,25(6):775-784.
- [33] 聂小飞,李恒鹏,黄群彬,等.天目湖流域丘陵山区典型土地利用类型氮流失特征[J].湖泊科学,2013,25(6):827-835.
- [34] 唐克旺,吴玉成,侯杰.中国地下水资源质量评价(II):地下水水质现状和污染分析[J].水资源保护,2006,22(3):1-5.
- [35] 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.

作者简介:李新艳(1978—),女,山东泰安人,助理研究员,博士,研究方向为流域营养盐循环过程模拟与面源污染。
E-mail: xyli@niglas.ac.cn

(责任编辑:陈昕)