

# 关中东部地区农村生活源水污染物产排污系数测算

张洛红,王玥,王凡凡,柴易达,常艳娜,王文韬,王瑜  
(西安工程大学环境与化学工程学院,陕西 西安 710600)

**摘要:**通过调查问卷与实地监测等手段,以陕西关中东部地区的4镇8村为例研究农村居民生活污水排放特点,并分析其影响因素及机理。结果表明:关中东部地区与陕西其他地区(陕南、陕北)相比,农村生活源水污染物排放量关中最高,陕南、陕北次之。SPSS相关性检测显示:河流水期、农耕规律、收入水平、文化程度及年龄结构等因素与TN、TP、NH<sub>3</sub>-N污染物产排系数显著相关。

**关键词:**农村生活源污水;系数核算;数据分析;关中东部地区

中图分类号:X52 文献标志码:B 文章编号:1006-2009(2020)05-0072-04

## Estimation of Production and Discharge Coefficient of Pollutants in Rural Domestic Water Source in Eastern Guanzhong

ZHANG Luo-hong, WANG Yue, WANG Fan-fan, CHAI Yi-da, CHANG Yan-na,  
WANG Wen-tao, WANG Yu

(School of Environmental and Chemical Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an,  
Shaanxi 710600, China)

**Abstract:** Taking 8 villages from 4 towns in eastern Guanzhong of Shaanxi as examples, the characteristic, influence factors and mechanism of domestic sewage discharge were studied by means of questionnaire and field monitoring. Results showed the pollutant discharge amount from the rural domestic water source was the highest in Guanzhong, second highest in southern and northern Shaanxi compared to other regions. Results by SPSS correlation analysis showed the water period of rivers, farming rules, incomes, education and age structure had significant correlation with the production and discharge coefficients of TN, TP and NH<sub>3</sub>-N.

**Key words:** Rural domestic sewage; Coefficient accounting; Data analysis; Eastern Guanzhong

农村居民生活源水污染物调查是生活源水污染物调查的重要组成,明确其产排特征是准确核算农村生活污染物数量的基本前提和重要保证。关中地区农业人口占陕西省乡村人口的59%<sup>[1]</sup>,作为全省经济中心,其农村水体污染不仅对人们的身体健康及生活环境造成直接影响,而且在一定程度上制约着陕西农村经济发展。农村生活居民用排水基本依靠邻近地下水及河流,易形成水源用排闭环,使得各类污染物富集进入人体,导致农村的疑难病症增多,农村生态环境也进一步恶化<sup>[2]</sup>。

随着农村区域的经济的发展,农村生活污水水质成分也变得更加复杂。目前,农村生活污水主要包括餐厨污水、洗涤污水及洗漱用水<sup>[3]</sup>,有机物含量

较高(耗氧污染物、氮磷污染物等)。农村生活污水的排放水质水量波动大,污水排放不均匀<sup>[4]</sup>。同时,生活源水污染物的产排特征受乡村发展的自然环境变化和人类阶段性活动等时空差异影响,其中人口、气候、地貌、生活习惯、水资源等因素的影响性突出<sup>[5]</sup>。从实际出发有针对性地农村生活源水污染物产排系数测算及分析显得尤为重要。

收稿日期:2019-06-08;修订日期:2020-08-24

基金项目:陕西省重点研发计划基金资助项目(2018KW-036);西安市科技计划基金资助项目(2019217114GXRC007CG008-GXYD7.10)

作者简介:张洛红(1969—),男,陕西西安人,教授,博士,研究方向为环境监测与污染控制。

## 1 研究区概况

以我国 6 大行政地理分区为基础,综合考虑地理环境因素、气候特点、排水特征和生活习惯等,将全国划分为 6 个区域。以农村居民人均可支配收入为主要依据进行农村地区划分,每个区域分为 3 个等级,形成 3 类农村地区。

陕西省除西安市、杨凌示范区为第一类农村地区外,其余均属第三类农村。结合陕西省人口、气候、地貌等特征,选择关中东部地区的华阴市华西镇(华西村、冯东村),渭南市大荔县段家镇(育红村、北至村),埭桥镇(小营村、南高迁村)及西安市临潼区秦陵街办(鱼池村、刘堡村)作为关中东部地区农村典型采样监测地区。其中,秦陵街道地属西安市为一类农村,经济情况最好;华西镇所属的华阴市相比于其他两镇所属的大荔县经济情况略好;埭桥镇是以农耕为主要经济来源的典型农村地区,地处平原,农作物丰富,相对地处台塬地区的段家镇经济发展较为优越。

## 2 选点及采样

样本选取:农村居民生活污染是指农村居民在日常生活中所产生的污染物,故农村居民是其污染排放的主要载体,也是主要研究对象。为体现随机性与典型性,对 4 个镇(区)划分,分别在每镇(区)选取 2 个典型行政村,每村选取 30 户问卷调查,同时每村布设 8 个采样点。

布点采样:综合考虑居民生活规律等因素,选择夏、秋、冬季各 1 个工作日、2 个休息日连续采样,早、中、晚各采样 1 次,等体积混合形成全天混合样。主要监测指标为污水中的 COD、BOD、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP 和动植物油。按照监测污染物数量的 10% 采集平行样,按照样品数量的 5% 设置全程序空白样,并在每期采样中连续采集当地本底水样。样本分析采用国家和环境保护行业监测分析方法标准规定的监测方法。

## 3 污染物系数处理与计算

目前,陕西省农村大部分地区未布设污水处理设施,仅少数地区使用氧化塘及化粪池处理生活污水,且该处理方式无法计算排放系数,因而针对陕西农村具体情况产生系数等同于排放系数。通过调查典型农村住户人数和用水量及特征污染物的实测浓度,确定人均污水量和主要污染物产排系数。每

户人均产污系数核算方法见公式(1)~(2):

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^t Q_j C_{ij}}{1\ 000 \times t} \quad (1)$$

式中: $W_i$  为生活污水中污染物  $i$  的平均每天产生量, g/d;  $Q_j$  为住户每天的生活污水产生量, L/d;  $t$  为测量天数, d;  $C_{ij}$  为生活污染物  $i$  的每天实测浓度平均值。

$$F_i = W_i/n \quad (2)$$

式中: $F_i$  为生活污水中污染物  $i$  的产生系数, g/(人·d);  $W_i$  为生活污水中污染物  $i$  的平均每天产生量, g/d;  $n$  为所测住户的常住人口, 人。

原始数据既有反映各地不同生活特征的正确数据,也有由于某些不特定因素导致的偏差数据。故在校核系数测算过程中,先做异常数据的判别和剔除。

工作样本数大,异常值个数 > 1,标准差未知,采用格拉布斯检验法,置信度水平为 99%,结果 COD、BOD、排水量均剔除异常值 3 个, NH<sub>3</sub>-N、TN 均剔除 2 个, TP 剔除异常值 4 个。由于各因素指标的数据类型不同,分析污染物排放系数跟各指标之间的相关关系采用 Pearson 和 Spearman 分析法。

## 4 结果与讨论

### 4.1 经济对全省各地区面源污染影响分析

农业水污染与经济发展之间符合环境库兹涅兹曲线(EKC)倒 U 型关系,即随着人均收入的增加,环境污染由低趋高,环境恶化程度随经济的增长而加剧<sup>[6]</sup>。当经济发展达到临界点后,随着人均收入的增加,环境污染由高趋低。

根据陕西省统计局发布的区域经济情况汇总,关中地区生产总值占全省的 64.8%,农村居民人均可支配收入分别高出陕北、陕南 7% 和 23%。目前该省 3 大区域居民收入水平的格局与经济水平基本一致,关中最高,陕南最低<sup>[7]</sup>。全省研究样本共 120 户,780 余个样品。2018 年度陕西省各区域污染物排放系数见表 1。关中地区农村居民生活源水污染物排放量均低于各地区所得污染物排放测算值。该调查结果符合经济因素对污染物排放情况的基本发展规律,即在现有经济发展及环境消耗条件下,经济发展状况与污染物排放呈负相关。

### 4.2 关中采样地区农村污染物系数分析

经济对污染的影响因素有收入水平、农村人口

表 1 陕西省各区域污染物排放系数  $g/(人 \cdot d)$   
Table 1 Pollutant emission coefficient in different regions of Shaanxi  $g/(人 \cdot d)$

区域	排放系数					
	COD	BOD	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	动植物油
陕北	18.849	9.694	0.052	0.256	0.031	0.058
关中	14.900	7.070	0.049	0.222	0.022	0.090
陕南	16.998	8.054	0.086	0.320	0.061	0.098
全省	16.955	8.298	0.066	0.267	0.038	0.082

结构等<sup>[8]</sup>。耕种条件、农户受教育水平和降雨量也是影响农业面源污染的因素<sup>[9]</sup>。为减少数据误差,保证结论的可靠性,对于经济差距较小且地理范围接近的地区不采用 EKC 分析法。因此,从时空差异角度对采样地区环境地理、人文、水文、污染物浓度分别进行数据整理,得出污染物产排系数的影响因素。

#### 4.3 污染物排放系数的影响因素

##### 4.3.1 受时间变化影响

农村居民生活规律及用水习惯与当地自然环境变化联系紧密,其中,影响最大的是气候条件。调研问卷显示,大多依赖自然水体的家庭,其用水习惯、饮食规律都相应变化。农村生活源污染物排放系数随时间波动变化显著,分别考虑各影响因素与污染物的相关关系。

季节气候:季节变化与温度变化、降雨量、径流量紧密相关,直接或间接影响着农村居民的饮食习惯和作息规律。采用 SPSS 分析季节气候因素与各类污染物排放系数发现,COD、TN 在 0.05 级别相关性显著,随着采样季节更替气温降幅显著,居民饮食习惯趋于摄入更多高蛋白食物,餐饮废水中 COD、BOD 的浓度分别增长了 20.0% 和 16.8%,与季节变化呈现负相关;NH<sub>3</sub>-N、TN、TP 均呈正相关,这与河流水期及地表径流量、农作物成熟时节联系紧密,其相关性检验可达 0.991。季节更替伴随水量及温度的降低使农户洗衣洗漱频次明显降低 20% ~ 25%,洗涤产品使用率下降使得生活废水中 NH<sub>3</sub>-N、TN、TP 浓度同时呈现降低趋势。

河流水期:采样周期横跨丰水期、平水期、枯水期。以渭河干流的华阴断面及临潼断面作为控制断面,年内 7—10 月为丰水期,11 月—次年 1 月为平水期,2—6 月为枯水期<sup>[10]</sup>。3 次采样调研日期均按 3 个水期进行。经检测 COD、TN、NH<sub>3</sub>-N 的相关性均较好,其中 TN 在 0.01 级别相关性显著。河

流径流与农村生活水源供给关系紧密,关中地区大多村镇依靠自然水体为供水水源,枯水期常出现生活用水短流断流的情况。河流径流量减少使得居民用水量随之减少,同时影响当地村民的用水习惯,采用更节水的方式保证日常生活,如减少衣物洗涤次数及清洁用品用量,NH<sub>3</sub>-N、TN、TP 随之下降。据调研,存在居民采用面汤等进行二次利用情况,增加了 COD 的浓度,使 COD 的负相关性可达 0.966。

农耕规律:采样地区农村均以种植业为主要收入来源,主要经济作物葡萄、冬枣均在 5—9 月采摘售卖。居民生活规律主要根据农耕时间进行调整。农耕期间多选择降低在家食宿频率,从每日两三餐更替为一两餐并增加营养的摄入,该时段检测的餐厨用水中动植物油浓度相对冬季测量最低值可高出 18.7%;农忙时节劳作强度大、排汗量高使洗涤废水中 NH<sub>3</sub>-N 含量增加,相关性可达 0.999,在 0.01 级别相关性显著;洗衣频次的提升也使 TN、TP 随农耕规律正相关变化。因此,农耕规律应成为农村生活污水产排系数测算中的重要影响因素。

##### 4.3.2 受空间影响

污染物排放系数受居民个体因素的影响较大<sup>[11]</sup>。以采样地不同地理特征为划分标准,以家庭为单位每户人均产污量来表示不同因素对污染物排放系数的影响特点及影响程度(见表 2),可对研究农村居民生活源水污染物排放特点及制定针对性治理措施起到参考性作用。

经济收入水平:当经济发展到更高水平时,经济结构向生态环保型转变,环保意识随物质和文化的增长而增强<sup>[12]</sup>。一般收入水平越高,消费种类数量越多,产生的污染物越多。研究中简化家庭成员消费行为,考虑其生活行为对水环境的影响<sup>[13]</sup>。随着收入水平降低,COD、BOD、TN、动植物油与收入均发生正相关变化。经济发展较好地区在消费行为中倾向于饮食结构更丰富,生活用品更环保,经济发展偏上地区其 COD、BOD、TN、动植物油人均产排系数均高于经济收入水平较低地区 8% ~ 57%。问卷调查显示,段家镇居民倾向选择更价廉清洁用品,其废水中 TP、NH<sub>3</sub>-N 浓度均高于其他地区<sup>[14]</sup>。因饮食结构受经济收入水平、年龄结构及受教育程度多方影响,其中受教育程度与 COD 变化相关性最高,故导致经济收入阶梯中 COD、BOD 差距不大,相关性较弱。

文化程度:文化程度高的居民,对优美环境的

表2 污染物排放系数与影响因素的相关性

Table 2 Correlation between pollutant discharge coefficient and influence factor

因素	COD	BOD	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	动植物油
收入水平	0.151	0.199	-0.770	0.990	-0.756	0.977
文化程度	-0.375	-0.330	-0.988	0.780	-0.984	0.732
年龄结构	-0.231	-0.183	-0.953	0.865	-0.946	0.826
用水量系数	0.084	0.133	-0.811	0.978	-0.798	0.961

需求更高,受自我环保意识的约束,多选择环境友好型消费模式,从而降低污染物的产生量<sup>[14]</sup>。秦陵街道、华西镇、塄桥镇的大部分村落普遍重视教育输出,调查问卷显示近5a受教育程度呈上升趋势,人们大多重视蛋白质摄入,以植物油代替动物脂肪,倾向健康的饮食习惯,生活用品选择倾向高端环保类洗涤产品,降低了NH<sub>3</sub>-N及TP的排放量。

年龄结构:作为直接及间接因素在农村居民生活过程中对污染物系数产生影响。首先,年龄结构影响节水意识,区域年龄结构越偏向高龄化,该地农村居民节水意识越高;其次,年龄组成偏向高龄化地区环保意识较薄弱,即污染物排放浓度相应越高。段家镇调研村落大于60岁群体占比达65%,人口偏高龄化。其他调研地区年龄构成青中年群体占比达73%~76%,在年龄构成影响中占主导因素。污染物排放浓度系数相关性关系中NH<sub>3</sub>-N、TP受到年龄结构因素影响最为显著,结合受教育程度这一因素综合分析,年龄结构与受教育程度相关性达0.988,对污染物人均排放系数影响起到相似效应。即在年龄偏向低龄化地区,通过对该地人口受教育比例的正向影响而表现为居民环保意识提高,消费结构改善。

用水量系数:根据上一年度各水期采样数据,一般夏季污水排放量大,冬季小。关中东部地区地表径流量受降水量变化而影响当地居民用水习惯,对主要依靠自然水源的农村地区影响更为显著;不同区域的经济差距使地区间的供水条件差异显著。据调查,居民生活污水的平均排水量与其平均用水量呈正相关,居住人口流动及采样季节更替导致的气温变化使三期的用排水量随之减少。秦陵街道交通便利,供水设施建设已接近城镇,当地村民用水习惯受季节降雨因素影响较小,用水量较大污染物浓度系数相对较低;华西镇及塄桥镇调研地区供水系统较不完善,居民用水受季节降雨量限制,用水量年变化较大,村民生活用水受限,全天内分时

段供水,使污水产排量日变化明显,污染物日变化浓度波动大。

## 5 结语

生活源污水排放系数受时间、空间影响显著,各影响因素与污染物系数相关性较好。说明通过检测可按随时间变化而引起的季节、水期、农耕的变化规律进行针对性农村生活污水的治理。此外,可通过检测不同区域发展状况、设施建设条件及人文生活规律的相关差异进行针对性农村生活污水的治理,减少成本投入,增大治理的可行性。

### [参考文献]

- [1] 张可心,刘科伟,程永辉,等.乡村振兴的理论逻辑及发展重点研究——以陕西关中地区为例[J].中国农业资源与区划,2019,40(3):205-210.
- [2] 林海,李阳,李冰,等.北京市妫水河水水质现状评价[J].环境监测管理与技术,2019,31(2):40-43.
- [3] 王西琴,高伟,张远.基于控制单元的农村生活污水处理优化模型[J].中国环境科学,2015,35(9):2835-2842.
- [4] 张建明,王雷,刘兴哲,等.室外负压排水技术在北方山区农村污水收集处理工程中的应用[J].给水排水,2018,54(6):24-28.
- [5] 张震,刘帅.新形势下对环境统计工作的思考[J].环境监测管理与技术,2018,30(4):1-4,11.
- [6] 赵小风,黄贤金,张兴榆,等.区域COD、SO<sub>2</sub>及TSP排放的空间自相关分析:以江苏省为例[J].环境科学,2009,30(6):1580-1587.
- [7] 陕西省统计局.陕西省统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [8] 葛继红,周曙东.农业面源污染的经济影响因素分析——基于1978—2009年的江苏省数据[J].中国农村经济,2011(5):72-81.
- [9] 肖新成.农户对农业面源污染认知及其环境友好型生产行为的差异分析——以江西省袁河流域化肥施用为例[J].环境污染与防治,2015,37(9):104-109.
- [10] 徐梅梅.渭河干流关中段生态基流价值的时空变化研究[D].西安:西安理工大学,2017.
- [11] 许振成,王俊能,彭晓春.城市家庭规模与结构对生活污水排放特征影响分析[J].中国环境科学,2010,30(8):1149-1152.
- [12] 张锋,胡浩,张晖.江苏省农业面源污染与经济增长关系的实证[J].中国人口·资源与环境,2010,20(8):80-85.
- [13] 蔡美芳,李开明,陆俊卿,等.流域水污染源环境风险分类分级管理研究[J].环境污染与防治,2012,34(9):78-81.
- [14] 赵海霞,王淑芬,崔建鑫,等.城镇生活污染排放系数调查与核算——以常州市为例[J].环境科学学报,2016,36(7):2658-2663.

本栏目编辑 吴珊