

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.11.015

滇池流域城市居民家庭生活污水特征研究

吴雪¹, 张英^{1,2}, 何佳¹, 周鸿斌^{1,2}, 邓伟明^{1,2}

(1. 昆明市生态环境科学研究院, 云南 昆明 650032; 2. 云南高科环境保护科技有限公司, 云南 昆明 650032)

摘要: 家庭生活污水是滇池流域污染负荷的主要来源之一,对家庭生活污水特征进行研究采取有针对性污染控制措施的基础。磷是滇池流域最常见的水质超标因子,也是造成滇池富营养化的重要原因之一。监测滇池流域城市生活污水水质水量和常见的家用洗涤洗护用品磷含量的结果表明,滇池流域城市居民家庭生活污水中 COD、TP、NH₃-N 和 TN 的平均浓度分别为 527、13.586、53.825、82.47 mg/L,人均排污系数分别为 70.12、1.80、7.17 和 10.97 g/(人·d);来自家庭生活的 TP 占全流域 TP 产生量的 60.0%,占入湖量的 65.6%;滇池流域来自家用洗涤洗护用品的人均 TP 产生量为 1.93 g/(人·年),2018 年洗涤洗护用品贡献的 TP 为 7.9 t,占城镇生活源 TP 产生量的 0.3%,滇池流域“禁磷”成效显著。人均排污系数是研究污染负荷总量的重要参数,会随着生活水平的提高而发生变化,应建立长期、持续的跟踪研究机制,以推动流域精准治污;对于磷的控制应综合施策,在不断提升流域生活污水收集处理率的同时,加强面源污染控制。

关键词: 滇池流域; 家庭生活污水; 生活污染负荷; 磷; 人均排污系数

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)11-0089-07

Characteristics of Urban Residents Domestic Sewage in Dianchi Lake Watershed

WU Xue¹, ZHANG Ying^{1,2}, HE Jia¹, ZHOU Hong-bin^{1,2}, DENG Wei-ming^{1,2}

(1. Kunming Institute of Eco-Environmental Science, Kunming 650032, China; 2. Yunnan Gaoke Environmental Protection Technology Co. Ltd., Kunming 650032, China)

Abstract: Domestic sewage is one of the main sources of pollution load in Dianchi Lake Watershed, and domestic sewage characteristics are the basis of taking specific measures to control the pollution. Phosphorus is the most common factor exceeding the water quality standard in Dianchi Lake Watershed and also one of the important causes for eutrophication of Dianchi Lake. Water quality and quantity of urban sewage and phosphorus content of common household washing products in Dianchi Lake Watershed were monitored. Average COD, TP, NH₃-N and TN of domestic sewage were 527 mg/L, 13.586 mg/L, 53.825 mg/L and 82.47 mg/L, respectively, and the per capita pollution coefficients were 70.12 g/(person·d), 1.80 g/(person·d), 7.17 g/(person·d) and 10.97 g/(person·d), respectively. TP from household accounted for 60.0% of the total TP generation in the watershed and 65.6% of TP discharged into the lake. In Dianchi Lake Watershed, the per capita TP production of domestic detergents and toiletries was 1.93 g/(person·a), and the TP contribution from domestic

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07102-001-001); 滇池流域水质目标管理和总量控制优化方案研究项目

通信作者: 张英 E-mail: 345644190@qq.com

detergents and toiletries was 7.9 tons in 2018, accounting for 0.3% of the TP production from urban living sources. The “phosphorus prohibition” in Dianchi Lake Watershed had achieved remarkable performance. The per capita pollution coefficient is an important parameter to determine the total pollution load, which may change with improving living standard. Establishing a long-term and continuous tracking system is necessary to promote accurate pollution control in the watershed. Comprehensive measures should be taken for phosphorus control, and non-point source pollution control should be strengthened while domestic sewage collection and treatment rate in the watershed is continuously improved.

Key words: Dianchi Lake Watershed; domestic sewage; domestic pollution load; phosphorus; per capital pollution coefficient

城市居民生活污染是滇池流域入湖污染负荷的主要来源之一,通常采用人均排污系数和城市居民常住人口数进行核算。截至 2018 年,滇池流域城市生活污染负荷核算采用的人均排污系数是参考 2008 年的《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》以及“十一五”水专项调查结果,到目前已有十余年。随着生活水平的提高,滇池流域城市居民人均排污系数可能已经发生了变化。为准确核算城市生活污染负荷,有必要开展家庭生活人均排污系数研究。

对合成洗涤剂采取“禁磷”措施可以有效减少磷排放,是控制水体富营养化最简单易行的方法^[1]。昆明市是我国最早开展“禁磷”的城市之一,1996 年该市率先在滇池流域推广无磷洗涤剂,1998 年在《滇池保护条例》中明确规定“禁止在滇池流域范围内使用含磷洗涤用品”,以立法形式确保了“禁磷”工作的权威性和强制性。经过二十多年,有必要对“禁磷”工作的成效进行评估,解析家庭生活磷的来源。

1 滇池 TP 的变化趋势

滇池流域位于云贵高原中部,地处长江、珠江和红河三大水系的分水岭地带,流域面积为 2 920 km²,承载着昆明市的经济和社会发展重任。35 条入湖河流呈向心状注入滇池,源近流短,水资源极度匮乏。从 20 世纪 80 年代末开始,迅速推进的工业化、城市化和高速增长的经济、人口导致入湖污染负荷迅速增加,生境受到破坏,滇池水质恶化到劣 V 类,富营养化严重,一度成为我国污染最为严重的湖泊之一^[2]。

TP 是滇池流域主要水质超标因子之一。1987 年—2019 年,滇池湖体 TP 浓度经历了先上升后下降的过程,如图 1 所示,外海 TP 峰值浓度出现在

1999 年(0.331 mg/L),2010 年以后波动下降,2018 年—2019 年降低至 0.07 mg/L 左右;草海 TP 浓度峰值出现在 2009 年(1.456 mg/L),随后大幅下降,2018 年—2019 年降低至 0.08 mg/L。外海在滇池流域“禁磷”后 TP 浓度显著下降,而草海在 1998 年—2010 年期间 TP 浓度均较高,与这段时期草海持续开展底泥疏浚工程有关^[3]。近年来滇池湖体 TP 浓度显著降低,但距离滇池外海Ⅲ类水功能区划目标仍有一定差距。TP 也是入湖河流的主要超标指标,2019 年入湖河流 TP 水质水量加权平均浓度为 0.1 mg/L,35 条入湖河流中有 5 条 TP 浓度超过 0.2 mg/L。

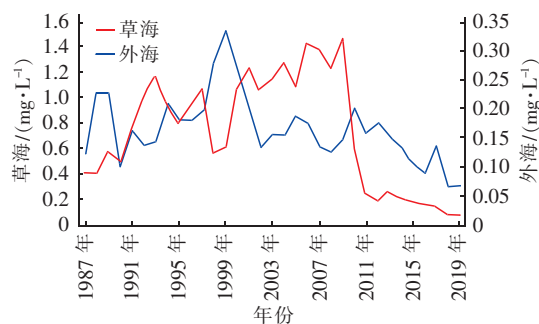


图 1 1987 年—2019 年滇池湖体 TP 浓度的变化趋势

Fig. 1 Variation of TP concentration in Dianchi Lake from 1987 to 2019

2 研究方法

2.1 污染负荷核算

滇池水污染来源包括点源和面源,其中点源包括城市生活源、工业源和第三产业源,面源包括农业农村面源和城市面源。另外,自牛栏江—滇池补水工程 2013 年底通水后,滇池又增加了外流域调水带入的污染,以点源的形式入湖。

城市生活源采用城市常住人口和人均排污系数计算,工业源和第三产业源来自环统数据和污染源

普查结果,点源产生量减去污水处理厂削减量后得到点源入湖量;城市面源采用建成区面积、降雨量和污染输出系数计算;农业农村面源分为农村生活源和农业生产源,其中农村生活源采用农村常住人口和人均排污系数计算,农业生产源采用畜禽养殖量、种植面积、施肥量及流失系数计算;具体参数和方法借鉴徐晓梅等的研究^[4]。牛栏江补水带入的污染负荷采用补水口水质监测数据和补水水量计算。

2.2 人均排污系数研究

家庭生活污水收集借鉴王钟的方法^[5]。2019年4月,在滇池流域选择50户家庭作为调查对象,记录每个家庭的家庭成员数,开展为期一周的跟踪监测。每个家庭成员每次产生的洗漱污水、洗浴污水和每个家庭每次产生的厨房污水、大扫除污水、洗衣污水全部用塑料水桶收集(根据成员数换算成人均排水量),测量体积并记录,同时取样待测。每个家庭成员每次产生的小便直接接入塑料量杯并记录体积;大便样品用塑料袋取样,称量质量并记录;按照抽水马桶的水箱容积稀释配制小便污水和大便污水各1 L待测。一周内对每个家庭的7种生活污水待测水样分别采集2次,一次在工作日采集,一次在周末采集,共采集到700个污水水样。检测指标包括COD、TN、TP、NH₃-N,采用重铬酸钾法测定COD,采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定TN,采用钼酸铵分光光度法测定TP,采用纳氏试剂比色法测定NH₃-N。在进行数据分析过程中,对周末和工作日的污水量、水质按照2:5的比例进行加权平均,通过人均水量与污水平均水质相乘计算人均排污系数。

2.3 居民家用洗涤洗护用品磷含量研究

在大型超市采集了滇池流域常见市售10个类

别共计50个样品的家用洗涤洗护用品,包括洗发水、护发素、沐浴液、洗手液、洗面奶、牙膏、肥皂、洗洁精、洗衣粉、洗衣液各5个样品,对样品进行编号,采用硝酸/高氯酸消化-钼酸铵分光光度法对样品中的磷含量进行检测。

在开展50个家庭的跟踪监测时,记录以上各家庭各种洗涤洗护用品人均用量。通过平均用量和样品磷含量,估算滇池流域城市居民家用洗涤洗护用品产生的磷污染负荷量,评估洗涤洗护用品的使用对水环境中磷的污染贡献。

2.4 城市生活污水排水规律及沿程变化研究

在滇池流域遴选3个城市居民小区开展城市生活排水水质水量监测,监测点为小区总排口,在小区化粪池之后。每个小区共监测2次,一次为工作日,另一次为周末,均为旱天采样。每次监测时,对3个小区开展连续24 h流量监测,每10 min记录一次流量,流量监测期间,分别于01:00—04:00、06:00—09:00、11:00—13:00、15:00—16:00、18:00—21:00、22:00—24:00各取一个混合样测定水质(每小时取一个瞬时样混合)。选择一个典型小区,对生活污水从住户到污水厂处理后的TP浓度进行跟踪监测,研究污水TP浓度的沿程变化。

3 结果与讨论

3.1 滇池流域污染负荷现状

2018年,滇池流域有城市常住人口378万人,农村常住人口32万人,生猪37.15万头,大牲畜4.15万头,羊8.13万只,家禽620.65万只,农业生产氮肥折纯施用量11 086 t,磷肥折纯施用量4 073 t,建成区面积为255.6 km²,降雨量为1 071 mm,牛栏江向滇池补水6.05×10⁸ m³。表1为2018年滇池流域水污染负荷产生量和入湖量。

表1 2018年滇池流域水污染负荷产生量和入湖量

Tab.1 Generated and discharged pollution load of Dianchi Lake Watershed in 2018

项 目		产生量				入湖量			
		COD	NH ₃ - N	TN	TP	COD	NH ₃ - N	TN	TP
点源	城市生活源	99 430	12 776	17 758	1 571	11 888	3 164	3 926	269
	工业源	1 294	85	90	14	155	21	20	2
	第三产业源	26 021	255	1 177	153	3 111	63	260	26
	牛栏江	2 145	109	1 669	43	2 145	109	1 669	43
面源	城市面源	33 248	398	1 381	123	14 172	227	492	35
	农业农村面源	22 461	2 442	4 685	1 335	2 253	315	613	118
总量		184 599	16 064	26 760	3 239	33 724	3 899	6 980	494

经过核算,2018年滇池流域COD、NH₃-N、TN和TP污染负荷的产生量分别为184 599、16 064、

26 760、3 239 t, 经过污水处理厂削减和沿程衰减以后, COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 以及 TP 的入湖量分别为 33 724、3 899、6 980、494 t, 约占产生量的 20%。城市生活源是滇池流域最主要的水污染来源, 在各类污染负荷中, 除 COD 入湖量呈现出城市面源贡献大于城市生活源贡献的特点以外, 其余污染负荷均以城市生活源为主要来源。

3.2 滇池流域城市居民人均排污系数

滇池流域家庭生活污水 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP 的平均浓度分别为 527、53.835、82.47 和 13.586 mg/L (见表 2)。

表 2 滇池流域各类家庭生活污水水质水量

Tab. 2 Water quality and quantity of all kinds of domestic sewage in Dianchi Lake Watershed

项 目	污水浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)				人均排水量/ ($\text{L} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	排污系数/($\text{g} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)			
	COD	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TN	TP		COD	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TN	TP
洗漱污水	563	1.500	5.66	17.747	9	4.88	0.01	0.05	0.15
洗浴污水	138	1.651	9.17	0.360	27	3.77	0.05	0.25	0.01
厨房污水	667	7.000	22.71	3.515	24	15.78	0.17	0.54	0.08
洗衣污水	712	21.000	25.66	0.369	19	13.56	0.40	0.49	0.01
大扫除污水	252	6.000	12.65	0.908	5	1.29	0.03	0.06	0.005
小便污水	478	158.000	220.00	33.783	37	17.74	5.87	8.17	1.25
大便污水	1 092	53.000	117.17	24.467	12	13.10	0.64	1.41	0.29

滇池流域城市生活人均排污系数分析结果如表 3 所示。

表 3 滇池流域城市生活人均排污系数分析结果

Tab. 3 Analysis results of per capita pollutant coefficient of urban living in Dianchi Lake Watershed

项 目	人均排水量/ ($\text{L} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	排污系数/($\text{g} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)			
		COD	TP	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TN
本研究	133	70.12	1.80	7.17	10.97
徐晓梅等 ^[5]	220	60.90	1.02	—	12.26
《室外排水设计规范》(2016 年版)	—	—	0.7 ~ 1.4	—	5 ~ 11
《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》	140	72.00	1.14	9.00	12.80
《生活源产排污系数及使用说明》(2010 年修订版)	140	60.00	1.00	8.76	11.28

从表 3 可以看出, 本研究得到的人均排水量比徐晓梅等^[4]所用的人均排水量小, 与《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》和《生活源产排污系数及使用说明》(2010 年修订版) 的人均

从表 2 可以看出, 对于 TP 指标, 浓度最高的是小便污水 (33.783 mg/L), 浓度最低的是洗浴污水 (0.360 mg/L) 和洗衣污水 (0.369 mg/L)。人均排水量最高的家庭生活污水种类为小便污水 [37 L/(人·d)], 最低的是大扫除污水 [5 L/(人·d)]。根据生活污水水质水量核算出的 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 和 TP 家庭生活污水排污系数分别为 70.12、7.17、10.97 和 1.80 g/(人·d)。各类家庭生活污水中, 85.7% 的 TP 来自大小便后的冲厕污水, 8.5% 来自洗漱污水, 4.6% 来自厨房污水, 来自洗浴、洗衣以及大扫除污水的 TP 仅占 1.2%。

排水量接近。

分析原因, 这可能是由于家庭节水器具普及使得人均用水量减少; COD 人均排污系数与《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》所用参数类似, 比其他结果略大; $\text{NH}_3 - \text{N}$ 人均排污系数比其他结果略小; TN 人均排污系数介于《室外排水设计规范》(2016 年版) 推荐值范围内; TP 人均排污系数比其他结果略大。各主要污染物人均排污系数与其他结果不一致的原因, 除受调查样本规模局限性的影响以外, 还受生活水平改变造成的生活排污状况变化的影响。

3.3 滇池流域居民家用洗涤洗护用品磷含量

我国对无磷洗涤剂的要求是总磷 (以 P_2O_5 计) 含量不大于 1.1%^[6]。本次采集到的 50 个家用洗涤洗护样品磷含量均较低, 均达到无磷洗涤剂的标准, 其中磷含量最高的产品为牙膏 (0.142 8%), 最低的为洗衣液 (0.002 5%), 如表 4 所示。尽管各类洗涤洗护用品的人均用量高达 11 761 g/(人·年), 但由于磷含量较低, 滇池流域来自洗涤洗护用品的人均磷排放量仅为 1.93 g/(人·年), 其中 54% 来自牙膏贡献的污染负荷。滇池流域家用洗涤洗护用

品贡献的磷负荷仅占流域家庭生活人均磷排放量的0.3%。

表4 滇池流域居民家用洗涤洗护用品磷含量和人均磷排放量

Tab.4 Phosphorus content and per capita phosphorus emissions of domestic detergents and toiletries in Dianchi Lake Watershed

项目	P 含量/%			人均用量/(g·人 ⁻¹ ·年 ⁻¹)	来自洗涤洗护用品的人均P排放量/(g·人 ⁻¹ ·年 ⁻¹)
	最小值	最大值	平均值		
洗发水	0.000 4	0.011 1	0.006 3	1 680	0.11
护发素	0.000 7	0.005 7	0.003 8	470	0.02
沐浴液	0.001 0	0.011 4	0.004 6	2 000	0.09
洗手液	0.000 7	0.022 7	0.013 5	200	0.03
洗面奶	0.002 7	0.047 5	0.021 3	960	0.20
牙膏	0.030 7	0.378 6	0.142 8	730	1.04
肥皂	0.026 6	0.057 2	0.047 1	421	0.20
洗洁精	0.000 1	0.015 8	0.007 5	1 000	0.07
洗衣液	0.001 4	0.004 7	0.002 5	4 000	0.10
洗衣粉	0.002 0	0.074 1	0.021 9	300	0.07

3.4 滇池流域城市生活污水排污及沿程变化规律

滇池流域3个城市居民小区有相似的污水产生规律,如图2所示。可以看出,工作日城市居民生活用水呈现出了3个流量峰值,分别出现在07:00—09:00、11:00—13:00和18:00—20:00;周末城市居民生活用水呈现出2个峰值,分别为11:00—13:00和19:00—21:00。

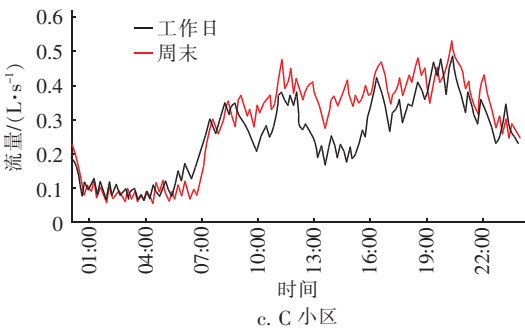
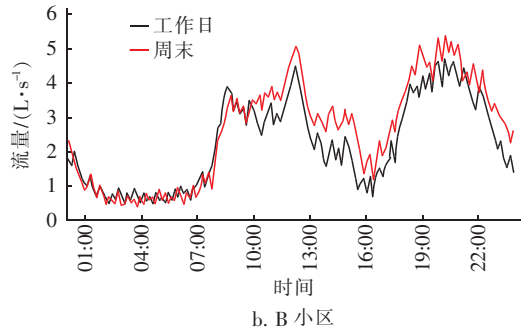
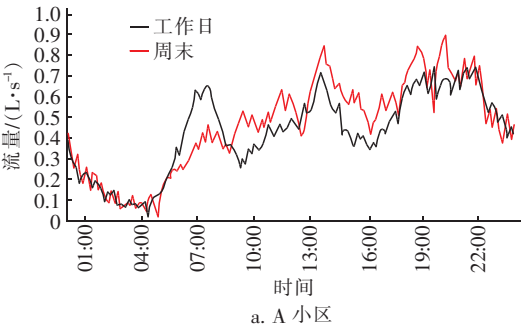


图2 工作日和周末滇池流域城市居民区生活污水水量变化趋势

Fig.2 Variation trend of the amount of domestic sewage in Dianchi Lake Watershed on weekday and weekend

3个城市居民小区排水水质也呈现出一定的相似规律,即周末城市居民生活污水污染物浓度高于工作日,但在一天内污染物浓度波动变化并无明显规律,如图3所示。本次监测的3个小区的污水中COD、TP、NH₃-N、TN工作日的平均浓度值分别为375、7.448、50.083、60.24 mg/L,周末的平均浓度值分别为672、9.828、55.900、73.29 mg/L。城市居民生活污水浓度较高,如果直接排放会对河湖水质产生较大负面影响。与工作日相比,周末生活污水浓度、水量均较高。

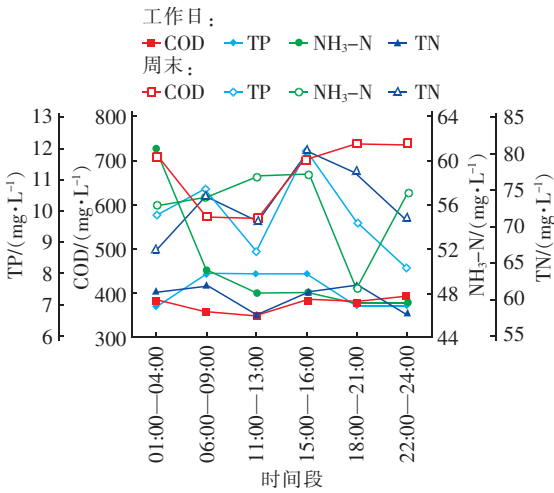


图3 工作日和周末滇池流域城市居民区生活污水水质变化趋势

Fig.3 Variation trend of the water quality of domestic sewage of a community in Dianchi Lake Watershed on weekday and weekend

本研究以滇池流域某居民小区为例,探索了生活污水TP的沿程变化。滇池流域某小区生活污水的排水方向为:住户→小区总排口→截污干管→水

质净化厂→尾水,沿程 TP 的浓度分别为 13.569、6.575、4.960、3.510、0.200 mg/L,TP 浓度呈现出明显的沿程降低趋势。这是由于磷在水环境中受物理沉淀、微生物降解等作用而自然衰减,同时也受到外来水的稀释作用。污水 TP 浓度从居民家庭到达小区总排口的过程中就已削减了 52%,从小区污水管到截污干管又削减 25%,从截污干管到污水处理厂进水口再削减 29%,在污水处理厂内又大幅削减 94%。最终污水处理厂出水 TP 浓度仅为家庭污水 TP 浓度的 1.5%。

4 讨论

4.1 居民家庭生活对滇池污染的贡献评估

不同家庭生活污水浓度和排水量差异较大,尤其是厨房污水的差异最大,说明家庭生活污水排污系数与个人的生活习惯、生活条件紧密相关,具有非常大的不确定性。本研究得出的 TP 排污系数较《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》中的数值增大了 58%,这可能是受本次调查样本规模局限性影响,也可能是由居民生活水平的提高而导致的。本研究中,人均排污系数对污染负荷入湖量构成的影响如图 4 所示。

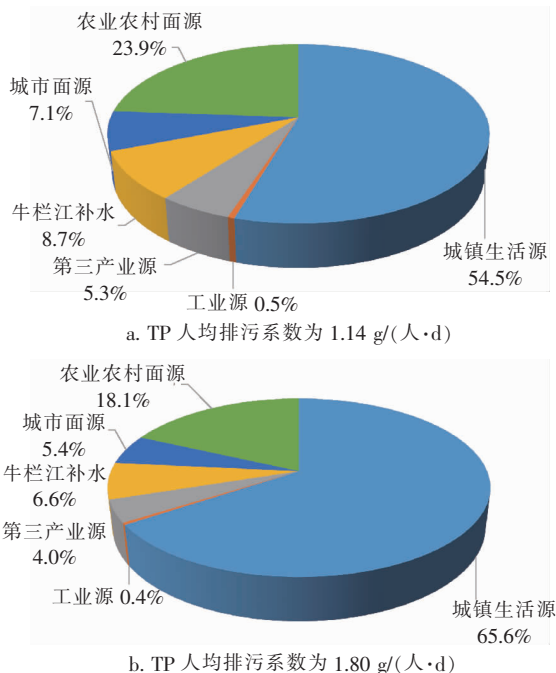


图 4 人均排污系数对污染负荷入湖量构成的影响

Fig. 4 Influence of per capita pollution coefficient on composition of pollution load into Dianchi Lake

按照本研究得出的家庭生活污水 TP 排污系数,滇池流域 2018 年来自于城市生活的 TP 负荷占

全流域 TP 产生量的 60.0%,占全流域 TP 入湖量的 65.6%。人均排污系数对入湖污染负荷构成的分析结果影响比较大,当 TP 人均排污系数从 1.14 g/(人·d)增大到 1.80 g/(人·d)时,TP 的城市生活源贡献率从 54.5% 上升到 65.6%。人均排污系数的准确性将直接影响对污染来源构成的认知,也可能造成治理措施和重点上的改变。对滇池流域人均排污系数的研究始于 20 世纪 80 年代,随着社会经济的发展和生活方式的改变,人均排污系数也会产生较大的变化,只有通过扩大调查样本和长期跟踪监测才能获得相对准确、具有统计意义的排污系数。另外,借助一些先进的成套城镇居民生活污水污染物产生量测算装备^[7],可以更便利、准确地测算人均排污系数。

王钟^[5]的研究结果表明,长沙市不同季节的居民家庭生活人均产污量呈现出春季>夏季>冬季>秋季的特点。本研究仅开展了为期一周的跟踪监测,未能分析人均排污系数可能存在的季节性差异,但由于昆明市具有“四季如春”的气候特点,生活污水的季节性变化可能相对其他城市会稍小。

4.2 滇池流域“禁磷”成效评估

根据相关研究^[1]，“禁磷”以前,洗涤剂中磷酸盐贡献了环境水体中 20% 左右的磷污染负荷。按照本研究核算的来自洗涤洗护用品的人均 TP 产生量 1.93 g/(人·年)估算,家用洗涤洗护用品贡献的 TP 产生量为 7.9 t,经污水处理厂处理后仅约为 1 t,占整个滇池流域 TP 入湖量的 0.2%,说明来源于家用洗涤洗护用品的磷已经得到了较好控制,已基本没有进一步削减的空间。

4.3 滇池流域磷污染控制综合措施

家庭生活污水浓度较高,即使达到“水十条”要求的 95% 的污水收集处理率,若表 1 中计算得到的城镇生活污染负荷 TP 产生量 1 571 t 中有 5% 直接入湖,产生的入湖量也将达到 79 t,在其他污染负荷入湖量维持现状的情况下,将贡献 14% 的入湖 TP 负荷量,而且目前滇池流域排水体制以合流制为主,雨季由于排水系统截污倍数有限,超量污水直接溢流进入河湖污染水环境,造成滇池雨季水质不能稳定达标,因此截污治污和溢流污染控制仍是滇池流域水污染防治工作的重点。

尽管我国城市和农村生活污水卫生状况显著改善,点源磷负荷已呈下降趋势,但分散式畜禽养殖、

土壤侵蚀、森林砍伐带来的面源污染可能抵消点源负荷削减效益^[8]。农业农村面源成因复杂、涉及面广,是滇池流域TP污染负荷的重要来源,然而目前尚缺乏有效控制措施,农村生活污水收集处理率有待提高,测土配方等农业面源污染控制措施实施效果难以量化评估。另外,滇池流域磷矿资源丰富,是重要的磷矿产区,磷矿开采加工造成的磷流失问题长期存在,富磷区域水土流失带来的磷污染也不可小觑,但目前这部分磷流失量还难以准确定量,更缺乏系统的治理方案,亟待深入研究和加强控制。

5 结论

TP是滇池流域主要水质超标因子之一,其来源包括点源和面源,城市生活源是最主要的污染来源。对滇池流域城市居民家庭生活污水的研究结果表明,COD、TP、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和TN人均排污系数分别为70.12、1.80、7.17和10.97 g/(人·d),城市居民贡献了滇池流域TP入湖量的65.6%。滇池流域自1996年对洗涤用品“禁磷”以来,家用洗涤洗护用品对TP的贡献得到有效控制,2018年城市居民使用洗涤洗护用品排放的TP为7.9 t,经污水处理厂处理后入湖量约为1 t,占滇池流域TP入湖量的0.2%。现状滇池流域家庭生活污水中,85.7%的TP来自冲厕污水,8.5%来自洗漱污水,4.6%来自厨房污水,1.2%来自洗浴、洗衣和大扫除污水。人均排污系数是流域污染负荷核算所用的重要参数,有必要建立跟踪研究机制,不断深化对流域污染来源的认识,推动形成科学治污、精准治污新格局。

参考文献:

- [1] 蒋首华. 我国无磷洗衣粉发展现状与前景[J]. 环境保护,1999(6):36-38.
JIANG Shouhua. The present and prospects of phosphorus-free detergent in China[J]. Environmental Production,1999(6):36-38(in Chinese).
- [2] 何佳,徐晓梅,杨艳,等. 滇池水环境综合治理成效与存在问题[J]. 湖泊科学,2015,27(2):195-199.
HE Jia, XU Xiaomei, YANG Yan, et al. Problems and effects of comprehensive management of water environment in Lake Dianchi[J]. Journal of Lake Sciences,2015,27(2):195-199(in Chinese).
- [3] 李中华,楚维国,舒畅,等. 滇池环保清淤工程工艺技术创新[J]. 水运工程,2018(S1):131-134,140.
LI Zhonghua, CHU Weiguo, SHU Chang, et al. Process technology reform and innovation of Dianchi environmental dredging project[J]. Port & Waterway Engineering,2018(S1):131-134,140(in Chinese).
- [4] 徐晓梅,吴雪,何佳,等. 滇池流域水污染特征(1988—2014年)及防治对策[J]. 湖泊科学,2016,28(3):476-484.
XU Xiaomei, WU Xue, HE Jia, et al. Research on the pollution characteristics of Dianchi Watershed (1988 - 2014) and identification of countermeasures[J]. Journal of Lake Sciences,2016,28(3):476-484(in Chinese).
- [5] 王钟. 典型城市居民家庭排水产污系数研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2009.
WANG Zhong. Study on the Sewage Discharge Coefficient of Typical Urban Households[D]. Changsha: Hunan Agricultural University,2009(in Chinese).
- [6] 胡勇. 我国洗涤剂全面禁磷的路还要走多远[J]. 海洋开发与管理,2008,25(6):92-95.
HU Yong. How far for China to completely forbid phosphorus using in detergent production[J]. Ocean Development and Management,2008,25(6):92-95(in Chinese).
- [7] 孙永利,郑兴灿,高晨晨,等. 城镇居民人均日生活污水污染物产生量测算之方法构建[J]. 中国给水排水,2019,35(24):1-4.
SUN Yongli, ZHENG Xingcan, GAO Chenchen, et al. Calculation method construction of daily domestic pollutant production of urban residents per capita[J]. China Water & Wastewater,2019,35(24):1-4(in Chinese).
- [8] TONG Y D, ZHANG W, WANG X J, et al. Decline in Chinese lake phosphorus concentration accompanied by shift in sources since 2006[J]. Nature Geoscience,2017,10(7):507-511.

作者简介:吴雪(1986-),女,云南昆明人,硕士,工程师,主要研究方向为流域治理与水环境系统分析。

E-mail:stellawu7@126.com

收稿日期:2020-03-20

修回日期:2020-05-26

(编辑:任莹莹)