

2018年度重庆市出版专项基金资助项目

DOI:10.11721/cqnuj20190318

三峡地区资源环境生态研究

水体污染造成的水体功能经济损失量核算研究*

——以三峡库区为例

刘雁慧, 李阳兵, 梁鑫源, 冉彩虹

(重庆师范大学 地理与旅游学院 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 401331)

摘要:【目的】为研究三峡库区2006—2016年水环境污染造成的经济损失量。【方法】选取易受到水环境变化影响的渔业、工业、农业、生活用水功能为主要水体功能,基于水体功能污染损失率,计算分析库区水体污染对主要水体功能造成的经济损失。【结果】1) 2006—2016年三峡库区水体功能中生活用水和渔业受水环境变化的影响程度较大,农业受水体污染影响最小;各类产业损失值中,工业的功能经济损失量最大,其次是农业、生活用水、渔业。2) 库区整体生产总值增长速度快于水体功能经济损失率的下降速度,导致库区水环境污染损失量在功能经济损失率下降的情况下仍逐年上升,但增加值总体呈减小的趋势。研究时间内三峡库区的年均水环境污染功能经济损失高达80亿元,约占年均GDP的2.17%,损失额年均增长值占GDP年均增加值的比重约为1.63%。3) 社会经济情况对水质及水体功能经济损失影响很大,产业结构的变化直接影响库区水质变化及水体功能经济损失。主要表现为水质随第二产业占比的增加而恶化,反之好转;水体功能经济损失的增加随第二产业占比的增加而加速,反之减缓。【结论】三峡库区经济效益可以弥补库区水体功能损失,但代价非常大,长期发展应以环保建设为主。

关键词:污染功能经济损失模型;水体功能价值;经济损失;三峡库区

中图分类号:X502

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2019)03-0056-08

三峡工程建设带来的经济效益能否充分弥补所造成的环境损失长期以来都是社会各界争论的焦点^[1-3]。水资源是自然资本中的关键部分,且不可替代^[4],在生态环境中有着至关重要的地位。水环境问题会严重制约经济的发展,甚至可能成为长期影响社会经济发展进程的瓶颈因素^[5]。近些年来国内外学者运用线性拟合法^[6]、灰色关联系数、TOPSIS模型^[7]等方法从多角度定性分析了三峡库区水质多年来的变化情况以及氮、磷等污染物的时空分布特征^[8-9],并探讨了引起库区水质变化的原因。也有学者对三峡库区经济状况及可持续发展进行评价^[10],将库区环境与经济进行耦合分析^[11],探讨库区社会经济发展与生态环境之间的关系^[12]。但这些研究主要在于定性评价,将库区水环境与经济联系起来的相关研究仍然欠缺。

三峡工程自建设以来对库区水体造成很大的影响,使原来的天然河道变为人工水体。2006年三峡水库蓄水至156m,而随着水库蓄水深度的增加,河流流速减缓,污染物扩散能力降低^[13]。杨发坤等人^[14]认为三峡工程的建设使库区的水质受到很大程度的污染,所造成的危害难以用经济效益弥补。而印士勇等学者^[15-16]认为,水库蓄水虽然导致污染物的扩散能力降低,但得益于排洪蓄清与防污治理的结合,库区水质不但没有像预测一样持续恶化,而且还逐渐呈现好转趋势。本文使用污染功能经济损失计量模型^[17],从水环境本身所具有的资源价值角度出发,计算2006—2016年三峡水库水体污染功能经济损失率,探究各污染物对水体功能经济损失的贡献率,并进行量化分析,估算各年份水体污染造成的水体功能经济损失,将水体污染以更为直观的经济损失量的形式表现出来,并进而揭示研究时间内库区水体污染造成的水体功能经济损失占库区生产比重及水体功能净收入的比重,探讨库区水体功能经济效益能否弥补水体污染造成的水体功能经济损失,从而为库区制定水环境政策、协调经济发展与水体污染物治理提供参考。

* 收稿日期:2018-05-30 修回日期:2019-05-06 网络出版时间:2019-05-09 19:29

资助项目:重庆市基础与前沿研究计划项目(No. cstc2015jcyjBX0128);重庆师范大学研究生科研创新项目(No. YKC18033)

第一作者简介:刘雁慧,女,研究方向为水资源与水环境,E-mail:yhvivian1202@163.com;通信作者:李阳兵,男,教授,E-mail:li-yapin@sohu.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20190509.1929.012.html>

1 研究区概况

三峡库区东起湖北宜昌,西至重庆江津城西 10 km,南北到长江分水岭。库区山峦重叠,地形陡峻,谷深水急,地表外动力侵蚀过程强烈,山体破碎,沟壑纵横,生态环境脆弱。由于特殊的自然历史背景,库区的城镇、工矿企业多沿江河分布,长江及它的支流为库区生活、生产等提供水源,同时也是城市和工业企业的纳污水体。库区常年年均降水量为 1 114.9 mm,年均径流量为 9 775.33 m³ · s⁻¹。2016 年库区废水排放总量达 101 139.45 万吨,其中农业废水 41.45 万吨,工业废水 22 300 万吨,生活废水 71 400 万吨。

在以往,三峡库区经济增长缓慢,发展水平偏低,在长江流域内属于经济发展低谷区,基础建设薄弱。近些年来,库区经济发展和城镇建设加速,产业结构在不断调整变化过程中。库区第一产业占比逐年下降,一方面是由于该产业比较利益低,增长缓慢,另一方面又是因为第二产业、第三产业快速发展导致了第一产业相对地位的迅速下降。库区第二产业比重较高,长期占主导地位,且以重工业为主;从 2011 年起发生产业转型,第二产业比值逐渐降低,第三产业比重增加,库区经济建设由工业为主逐渐向服务业为主转变,工业区的污染治理力度也逐年加大。当前,库区整体经济持续稳定增长,城镇化率也逐年上升。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及选取

三峡库区 26 县市的经济及社会数据来源于《重庆市统计年鉴》及《湖北省统计年鉴》,水质数据来源于三峡公报、中华人民共和国环境检测网及重庆市生态环境监测中心。由于数据限制,选取 2006—2016 年间数据进行研究。

本文选取朱沱、丰收坝、扇沱、和尚山和宜昌断面水质来计算库区水质情况。库区的经济效益来源多样化,但并非所有的效益都会受到水质变化的影响。三峡工程的建设所发挥的经济效益主要有航运、发电、防洪、渔业、工业、农业、生活用水等方面。其中水产养殖所用的水大部分未经过处理直接使用,因此水体污染对渔业的影响最为直接。污水的使用会导致农作物减产,农田遭受污染,土壤质量降低。在工业上,水体污染会导致工业用水投入更多的处理费用,造成资源、能源的浪费,食品工业用水要求更为严格,水质不合格会直接影响产值。水体污染在生活用水方面造成的影响除了会加大处理成本,还会不同程度影响人体健康。因此本文选取渔业、农业、工业、生活用水为水体功能。水体污染对航运、发电影响很小,并且防洪与发电功能与工业功能有一定程度的重合,故不将这些指标列入本文水体功能计算中。

2.2 研究方法

2.2.1 库区水质污染计算 利用库区各水质监测断面的监测值计算各断面年均单项污染指数,库区整体单项污染指数通过各断面水质单项污染指数的加权平均值来确定,各断面权重按它们的监测水域长度计算:

$$C_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(a_j \cdot \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m C_{ij} \right), \quad (1)$$

其中: C_i 为第 i 项污染物年均浓度, C_0 为环境允许的污染物临界浓度,取值参照《地表水评价标准》, C_{ij} 为第 i 项污染物在第 j 个水质断面各周实测数据; n, m 分别为水质断面数和各水质断面检测次数; a_j 为第 j 个水质断面的权重。

2.2.2 污染功能经济损失模型 朱发庆等人^[17]在 James 等人^[18]发现的“损失-浓度曲线”基础上初次建立了计算环境功能经济损失的数学模型,有学者^[19-22]将该模型修正并应用于连云港、深圳、东湖等地区大气和水的环境评价中;本文采用这一修正后的模型计算三峡库区水体污染造成的水体功能经济损失:

$$S = \frac{k}{1 + a \cdot \exp(-b \cdot c)} \quad (2)$$

其中: S 为水体在污染浓度 c 下的水体功能经济损失, k 为水体总价值, a, b 为待估系数。

水体第 t 项功能受到第 i 种污染物影响的污染损失率 R_{it} 为该污染物在污染浓度 C_{ij} 下引起的损失 S_{it} 与水体总价值 k_t 的比值:

$$R_{it} = \frac{S_{it}}{k_t} = \frac{1}{1 + A_{it} \cdot \exp(-B_{it} \cdot X_{it})}, \quad (3)$$

其中: A_{it}, B_{it} 为待估系数,以断面实测数据和现有水质标准、毒性资料进行估算, X_{it} 为用于计算水体第 t 项功能的第 i 种污染物的评价指标, $X_{it} = \frac{C_{it}}{C_0}$, C_i 由(1)式计算得出。

通过水体价值和污染损失率计算主要使用功能的经济损失量,水体污染造成的功能价值总功能经济损失为各项功能经济损失量之和:

$$S_i = R_i^{(i)} \cdot k_i = [R_i^{(i-1)} + (1 - R_i^{(i-1)})] \cdot k_i, \quad (4)$$

$$S_z = \sum_{i=1}^i S_i, \quad (5)$$

(4),(5)两式中, S_i 为水体第 t 项功能的经济损失量, S_z 为水体污染造成的整体水体功能经济损失量, $R_i^{(i)}$ 为水体第 t 项功能的综合污染损失率, k_i 为第 t 项功能的水体价值, i 为污染物种类。

2.2.3 参数的确定 水体具有一定的自净能力,因此只有当水体污染物超过一定阈值时,才会引起水体功能的经济损失,视功能损失率在 $0 \sim 1$ 范围内,污染浓度为临界状态时,功能损失率视为 0.01 ;污染浓度达到极限浓度时,功能损失率视为 $0.99^{[17]}$ 。现有研究常使用临界浓度与极限浓度确定污染物浓度阈值,计算公式为:

$$\begin{cases} A_i = 99^{\frac{(X_i+1)}{(X_i-1)}}, \\ B_i = \frac{2 \ln 99}{(X_i-1)}. \end{cases} \quad (6)$$

其中: A_i 、 B_i 为第 i 种污染物对水体第 t 项功能造成损失的待估系数, X_i 为用于计算水体第 t 项功能的第 i 种污染物的评价指标。本文中 A_i 、 B_i 结果见表 1。

表 1 A_i, B_i 参数的取值Tab. 1 Value of parameters(A_i, B_i)

参数	渔业		农业		工业		生活用水	
	A_i	B_i	A_i	B_i	A_i	B_i	A_i	B_i
pH	985.0	2.297 6	274.9	1.021 1	274.9	1.021 1	985.0	2.297 6
高锰酸盐指数	985.0	2.297 6	160.6	0.483 7	274.9	1.021 1	985.0	2.297 6
溶解氧/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	985.0	2.297 6	274.9	1.021 1			57 388.1	6.36
氨氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	160.6	0.483 7			274.9	1.021 1	368.0	1.312 9
总磷/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	160.6	0.483 7			274.9	1.021 1	368.0	1.312 9

表 2 水库水质指标值

Tab. 2 The water quality index value

年份	pH	高锰酸盐 指数	溶解氧/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氨氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总磷/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
2006	8.18	2.39	8.50	0.17	0.11
2007	8.16	2.56	7.67	0.19	0.10
2008	8.17	2.33	7.79	0.18	0.07
2009	8.04	2.46	8.25	0.19	0.10
2010	8.03	2.26	8.55	0.20	0.15
2011	7.95	2.15	8.81	0.22	0.14
2012	7.91	2.23	9.12	0.19	0.13
2013	7.87	2.03	8.57	0.18	0.10
2014	7.76	2.05	8.44	0.17	0.11
2015	7.84	1.95	9.19	0.18	0.10
2016	7.92	2.03	8.75	0.17	0.12
标准值	6.5~8.5	≤ 2	≥ 8	≤ 0.15	≤ 0.1

3 结果分析

3.1 库区年均水质变化

根据污染物单项年均污染指数 C_i 反应库区水体污染物浓度变化情况(表 2)。在 2006—2016 年期间,三峡库区各水质监测站测定的 pH 值均在 $6.5 \sim 8.5$ 之间,符合国家水质标准,故下文不对它进行计算分析。水库在所研究的时间范围内水体中溶解氧的含量逐年增加,表明库区水质整体好转,同时高锰酸盐指数呈下降趋势,2015 年下降至 1.95,低

于标准值 2。氨氮和总磷的含量分别在 2008—2011 年和 2008—2010 年呈增长趋势,其余时间内逐年减少。

3.2 水体主要功能损失率

根据污染损失率和综合污染损失率模型,计算水体综合功能损失率(表 3),溶解氧含量越高表明水质情况越好,因此溶解氧取倒数参与计算。在 4 种水体功能价值中,生活用水的损失率最高,表明受到污染物排放的影响最大,其次是渔业和工业,农业损失率最小。生活用水的损失率峰值分别在 2010 年和 2007 年。渔业、工业和生活用水损失率在 2008 年出现较 2007 年、2009 年低的小低谷值。在变化趋势上,各功能经济损失率呈现不同程度的下降趋势,与水质总体变化基本一致。

3.3 主要水体功能经济损失量

库区各功能价值为该功能各年的产值,农业包括种植业和林业产值,生活用水功能价值为生活用水量与水

价的乘积,库区整体生活用水功能价值由三峡库区内各区县的生活用水功能价值相加得到。2006—2016 年各区县水价在每吨 2.1~2.7 元之间,通过各区县各年水价及用水量计算库区生活用水功能价值。最后由各功能经济损失率计算得出功能损失价值(表 4)。

在库区各类水体功能经济损失中,工业功能经济损失量最大,其次是农业功能经济损失量,生活用水功能经济损失量和渔业功能经济损失量较小,各水体功能经济损失量的大小与各类产业产值多少有关,变化趋势及幅度与整体功能经济损失基本一致。库区整体功能经济损失呈增加趋势,其中 2013—2014 年有小幅度减少,之后有小幅度增长。整体功能经济损失增加幅度在 2008—2011 年最大,从 2011 年开始得到了遏制,在 2013 年出现负增长。但总体功能经济损失量仍然居高不下,2011—2016 年每年因水体污染造成的水体功能经济损失量约有 100 亿元左右,损失值巨大,水体污染治理刻不容缓。

库区水体各功能经济损失年度变化规律与污染损失率的变化规律并不完全一致。工业功能经济损失率低于渔业和生活用水损失率,但功能经济损失量却最高,渔业损失率略低于生活用水损失率,大于工业和农业损失率,而它的功能经济损失量为 4 类水体功能中最小,这种差别是由于各功能产值不同所致。

表 3 水污染综合功能损失率

Tab. 3 Comprehensive functional loss rate of water pollution %

年份	渔业 损失率	农业 损失率	工业 损失率	生活用水 损失率
2006	4.50	2.04	3.53	4.53
2007	4.93	2.16	3.80	5.36
2008	4.36	2.07	3.55	4.36
2009	4.67	2.07	3.80	4.84
2010	4.58	1.99	3.91	5.39
2011	4.36	1.94	4.13	5.03
2012	4.28	1.93	3.61	4.58
2013	3.93	1.93	3.43	3.91
2014	3.98	1.95	3.22	3.98
2015	3.72	1.85	3.32	3.58
2016	3.65	1.74	3.16	3.19

表 4 水环境各功能价值及其污染损失

Tab. 4 The function value of the water environment and its pollution loss

亿元

年份	渔业功能 价值	农业功能 价值	工业功能 价值	生活用水 功能价值	渔业损失	农业损失	工业损失	生活用水 损失	总功能 经济损失
2006	32.20	182.51	717.22	52.20	1.13	3.72	32.29	2.36	39.51
2007	36.28	192.28	837.82	55.97	1.38	4.15	41.28	3.00	49.81
2008	41.83	206.66	994.27	69.57	1.48	4.28	43.31	3.03	52.10
2009	49.31	223.57	1 159.13	88.49	1.87	4.63	54.13	4.28	64.91
2010	43.83	269.06	1 499.34	99.46	1.72	5.35	68.67	5.36	81.09
2011	41.80	375.90	1 980.15	107.05	1.73	7.27	86.25	5.39	100.64
2012	50.38	418.49	2 061.77	119.91	1.82	8.06	88.19	5.49	103.56
2013	58.80	452.76	2 214.66	121.63	2.02	8.73	86.98	4.76	102.48
2014	67.14	483.32	2 167.24	125.13	2.16	9.41	86.28	4.98	102.84
2015	76.60	516.76	2 334.56	129.10	2.54	9.58	86.85	4.62	103.59
2016	84.60	579.14	2 436.16	133.64	2.94	9.82	87.21	4.24	104.16

3.4 水污染功能经济损失及增加值占比

对功能经济损失与净收入做对比,以反映水体污染造成的水体功能经济损失和产值之间的关系(图 1)。本文只对库区水质变化会造成影响的水体功能部分进行了核算,三峡工程的建设除渔业、农业、工业及生活用水功能之外,在航运、防洪、发电等方面每年也创造着巨大的经济效益。对功能经济损失与净收入做对比的同时,也将它与库区 GDP 进行对比分析(图 2)。

从图 1 中可以看出,水体污染造成的水体功能经济损失呈增长态势,从 2011 年起增幅减小,2011—2016 年,各年水体功能经济损失量基本一致,变化规律与产业转型尤其是第二产业占比的变化规律基本吻合。可以看出,产业占比对水体功能经济损失的影响很大,其中第二产业对其影响较为直观。水体污染造成的水体功能经

济损失随水质综合指数的波动而波动,但二者趋势并不完全一致,是由于各年份水体功能价值涨幅不同所致。

水体污染造成的经济损失占净收入和 GDP 的比重总体呈下降趋势,占净收入和 GDP 的比重最大值为 2007 年的 4.64% 和 2.49%,之后逐渐下降至 2016 年的 3.39% 和 1.37%。

由图 2 可知,水体功能经济损失增加值占净收入增加值和 GDP 增加值的比重逐年下降,其中占净收入增加值的比值在 2008 年与 2014 年各有 1 次急剧下降。有研究表明,长江干流三峡段的水质污染在 2007 年达到极大值后逐步下降,2009 年乌江水体污染严重,导致干流水体也受到影响^[23],2008 年相对于 2007 年和 2009 年水体中污染物含量较小,水体功能经济损失增加值幅度相对较小;2014 年水体功能净收入小于 2008 年,增加值为负,因此 2008 年与 2014 年水体功能经济损失增加值占净收入增加值的比重急剧下降。水体功能经济损失增加值占 GDP 增加值的比值整体呈减少趋势,一方面是由于 GDP 增加值速度大于水体功能经济损失增加值的速度;另一方面,水质逐年好转也是一个重要原因。

通过分析水污染功能经济损失占净收入和 GDP 的比重,以及该损失增加值占净收入增加值和 GDP 增加值的比重,可以发现三峡库区水环境污染造成的功能经济损失在整个经济环境中所占比重逐渐减小,经济增长速度远大于水体功能经济损失的增长速度。

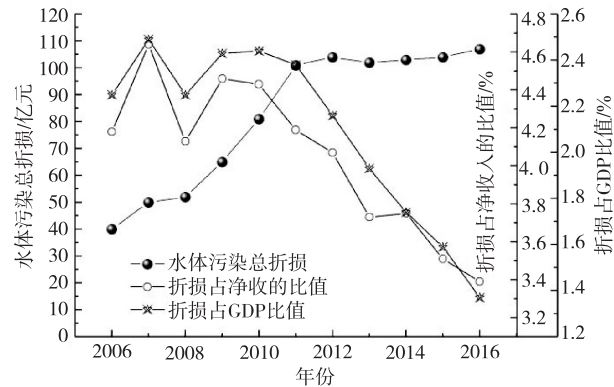


图 1 水体功能经济损失及污染物对各水体功能经济损失贡献率

Fig. 1 Pollutant rate function of each economic loss contribution

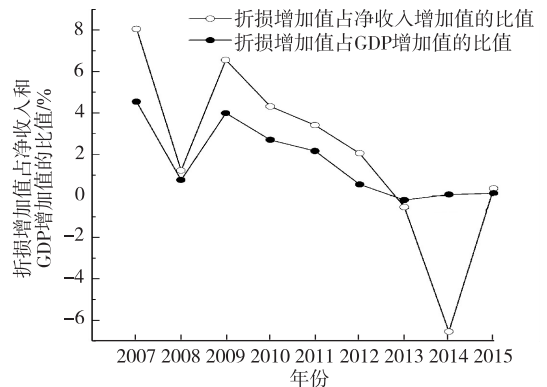


图 2 污染物对各水体功能经济损失贡献率

Fig. 2 Pollutant rate function of each economic loss contribution

4 讨论

4.1 库区水体功能经济损失的原因及展望

三峡库区水体功能经济损失逐年增加,在 2011 年之后增长速度减缓,并在 2013 年出现负增长,结合三峡库区经济发展特征(图 3)进行分析,其中原因主要有:1) 三峡库区经济水平长期较为落后,社会经济发展仍然以基础产业性为主^[24-25],对环境的影响较大。2) 生活污染严重,社会经济发展不均衡,在基础设施不够完善的地区,很多生活污水未经处理排放^[13],导致水污染现象加剧。3) 产业结构对水体功能经济损失的影响很大。库区第二产业比重较高,长期占主导地位,且以重工业为主。2006—2011 年库区经济以第二产业为主,第一产业所占比重也较大,农业的面源污染较为严重。自 2011 年起,库区经济建设由工业为主逐渐向服务业为主转变,工业区的污染治理力度也逐年加大。库首主导产业向服务业及排污量小的高端企业过渡,库区腹地及库尾地区依托独特的地理环境及人文要素,大力发展旅游业等第三产业,第三产业占比逐年增加。产业结构调整导致工业不合格废水排放不断减少。4) 响应政府的环保政策,2011 年前后对库区内排污严重的工矿企业进行了大量整改,环保投资在逐年加大,水体治理措施逐年加强,污水治理率不断提高。5) 自然因素方面,库区水体作为人工水体,每年会进行排洪与蓄清,尤其是 2010 年水深达到 172 m 之后,加强了水库自然澄清的作用,是库区水质逐渐好转的一个原因。

库区经济的增长在某种程度上是以环境污染为代价的,在做好污染治理的同时,应该重视产业生产的环保化。最大程度的从源头上控制污染,看似使企业的经济效益受损,但从长期来讲是明智的做法。良好的社会经济发展模式会营造人与自然和谐共处的模式。库区经济迅速增长,可用于环境保护的资金也在迅速增长,与此同时,库区水体功能损失增幅渐缓,环保压力逐渐减小,此时应加大政策对库区社会经济发展和环境保护的宏观调控力度,做好防污治污,在整体 GDP 增长的同时降低功能损失率。

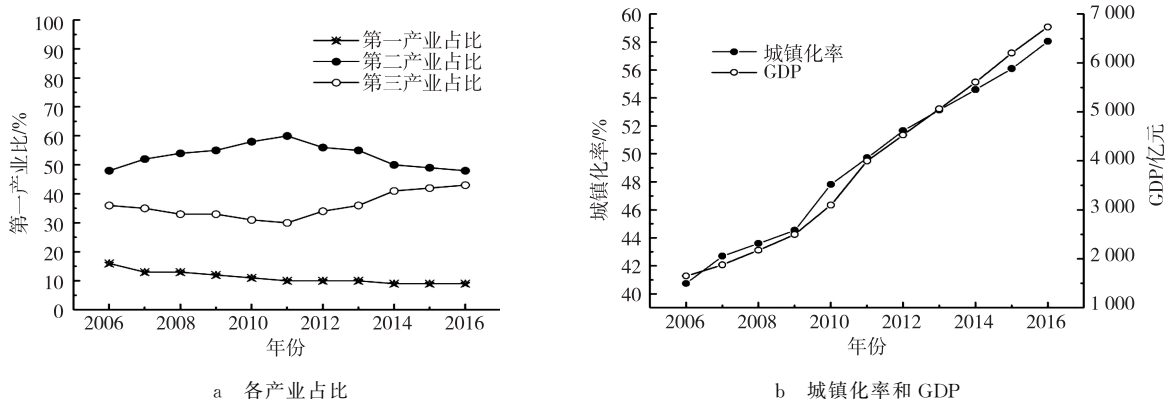


图3 库区主要经济指标

Fig. 3 Main economic indicators in the reservoir area

4.2 库区水体功能经济损失估算的现实意义

对库区水体污染的研究将水体污染状况与经济指标挂钩,以经济数值的形式呈现出来,能有效表达水体污染的严峻性,有助于公众对水环境问题的认识,从而积极参与水环境保护^[26]。库区水体功能经济损失占水体功能净收入和库区 GDP 的比值较为直观的反映出库区水体污染造成的水体功能经济损失在整个经济大环境中的位置。

在上文的研究中,研究区在 10 年内随着产业转型及库区污染治理过程,导致水质变化,从而影响水体功能经济损失。库区水体功能经济损失率逐年下降,但下降速度远远小于经济增长速度,因此库区水体功能经济损失增加幅度在逐年降低,损失值却仍在上升,2011—2016 年均 100 亿元左右。库区水体功能经济损失占水体功能净收入的比重约为 4.11%,占 GDP 的比重约为 2.17%,其增加值占 GDP 增加值约 1.63%。这表明,就本文所选取的 4 个主要水体功能来说,三峡库区经济社会发展带来的经济效益可以弥补水体污染造成的损失,但这种弥补在一定程度上会影响库区整体的经济水平,成为库区社会经济发展的一种制约因素。

由于篇幅限制,本文将三峡库区作为一个整体来研究,旨在揭示库区经济发展是否能弥补水体污染带来的损失,未从空间上探讨引起经济损失大小的空间位置,且只从水体污染一个角度进行了分析。在水体功能经济损失估算方法上只做了粗略的估计,未做精准计算。之后的研究可以从空间上进行对比分析,将污染功能经济损失的方法应用于更多的环境层面,并可尝试使用更精准的方法对水体污染造成的水体功能经济损失进行计算。

5 结论

综上所述,本文得出以下结论:

1) 三峡库区水体功能产值导致水体功能损失率规律与损失值规律之间存在差异。生活用水与渔业受到水体污染影响最大,农业受水体污染影响最小。而对比各类产业损失值,工业损失值最大其次依次是农业、生活用水、渔业。

2) 三峡库区整体生产总值增长速度快于水体功能价值功能经济损失率的下降速度,导致库区水环境污染损失量在功能经济损失率下降的情况下仍逐年上升,年均损失约 80 亿元,占 GDP 的比重年均约为 2.17%。水体污染带来的经济损失增加值总体呈减小的趋势,占 GDP 增加值的比重年均均为 1.63%,2015 年下降至 0.13%。

3) 社会经济情况对水质及水体功能经济损失影响很大。三峡库区产业转型直接影响着库区水质的变化及水体功能经济损失,第二产业占比增加时,水质恶化,水体功能经济损失增加迅速;第二产业占比减小时,水质好转,水体功能经济损失增加速度减缓。

4) 就水体污染方面来讲,三峡工程自 2006 年蓄水以来对文章选取的水体功能所带来的经济效益可以弥补水体功能损失,但代价巨大,长期发展应以建立完善的环境保护体系为主,不能只在水体污染造成经济损失后依赖于经济效益来弥补。

参考文献:

[1] 何燕生. 三峡工程与可持续发展[D]. 北京:中国社会科学出版社,2002.

HE Y S. Three Gorges project and sustainable development [D]. Beijing:Graduate School of Chinese Academy of Social

- Sciences, 2002.
- [2] ZHAO P, TANG X, TANG J. Assessing water quality of Three Gorges reservoir, China, over a five-year period from 2006 to 2011 [J]. *Water Resources Management*, 2013, 27(13): 4545-4558.
- [3] ZHANG J Y, WANG L C. Assessment of water resource security in Chongqing city of China: what has been done and what remains to be done? [J]. *Natural Hazards*, 2015, 75(3): 2751-2772.
- [4] 王舒曼, 曲福田. 水资源核算及对 GDP 的修正: 以中国东部经济发达地区为例 [J]. *南京农业大学学报*, 2001, 24(2): 115-118.
WANG S M, QU F T. Water resource accounting and adjustment of GDP: a case study of the developed areas in the eastern part of China [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2001, 24(2): 115-118.
- [5] 程红光, 杨志峰. 城市水污染损失的经济计量模型 [J]. *环境科学学报*, 2001, 21(3): 318-322.
CHENG H G, YANG Z F. An econometric model for urban water pollution loss [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2001, 21(3): 318-322.
- [6] 卓海华, 吴云丽, 刘旻璇. 三峡水库水质变化趋势研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(6): 925-936.
ZHUO H H, WU Y L, LIU M X. Trend study of water quality in the Three Gorges Reservoir [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(6): 925-936.
- [7] 王小焕, 邵景安, 王金亮. 三峡库区长江干流入库水质评价及其变化趋势 [J]. *环境科学学报*, 2017, 37(2): 554-565.
WANG X H, SHAO J A, WANG J L. Water quality assessment and its changing trends in the reservoir inflow and outflow along the Yangtze river mainstream in the Three Gorge Reservoir area [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2017, 37(2): 554-565.
- [8] 王丹. 三峡库区氮、磷面源污染负荷模拟及水质评价 [D]. 重庆: 西南大学, 2016.
WANG D. Simulation of pollution load and water quality of nitrogen and phosphorus in Three Gorges Reservoir area [D]. Chongqing: Southwest University, 2016.
- [9] 郑丙辉, 曹承进, 秦延文. 三峡水库主要入库河流氮营养盐特征及其来源分析 [J]. *环境科学*, 2008, 29(1): 1-6.
ZHENG B H, CAO C J, QIN Y W. Analysis of nitrogen distribution characters and their sources of the major input rivers of Three Gorges Reservoir [J]. *Environmental Science*, 2008, 29(1): 1-6.
- [10] 胡江霞, 文传浩, 兰秀娟. 三峡库区经济可持续发展的生态压力分析及预测: 基于灰色预测模型 [J]. *技术经济*, 2015, 34(9): 55-60.
HU J X, WEN C H, LAN X J. Analysis and prediction on ecological pressure of economic sustainable development in Three Gorges Reservoir area: based on grey prediction model [J]. *Technology Economics*, 2015, 34(9): 55-60.
- [11] 黄磊, 吴传清, 文传浩. 三峡库区环境-经济-社会复合生态系统耦合协调发展研究 [J]. *西部论坛*, 2017, 27(4): 83-92.
- HUANG L, WU C Q, WEN C H. Coupling and coordinated development of the Three Gorges reservoir area's compound ecological system of environment, economy and society [J]. *West Forum*, 2017, 27(4): 83-92.
- [12] 王丽婧, 席春燕, 郑丙辉. 三峡库区流域水环境保护分区 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22(4): 1039-1044.
WANG L J, XI C Y, ZHENG B H. Zoning of water environment protection in Three Gorges reservoir watershed [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(4): 1039-1044.
- [13] ZHAO P, TANG X, TANG J. Assessing water quality of Three Gorges reservoir, China, over a five-year period from 2006 to 2011 [J]. *Water Resources Management*, 2013, 27(13): 4545-4558.
- [14] 杨发坤. 从“公地悲剧”看三峡库区水污染问题 [J]. *云南行政学院学报*, 2010, 12(6): 164-166.
YANG F K. From the “tragedy of the commons” to the water pollution in the Three Gorges reservoir area [J]. *Journal of Yunnan Administration Institute*, 2010, 12(6): 164-166.
- [15] 印士勇, 姜保锋, 刘辉. 三峡工程蓄水运用期库区干流水质分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(3): 305.
YING S Y, LOU B F, LIU H. Analysis of water quality of the Yangtze river within the Three Gorges reservoir area during construction period [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, 20(3): 305.
- [16] 冯静, 何太蓉, 韦杰. 三峡工程蓄水前后库区水质变化及对策分析 [J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2011, 28(2): 23-27.
FENG J, HE T R, WEI J. Analysis of water quality variation and countermeasures in Three Gorges project reservoir area before and after impoundment [J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2011, 28(2): 23-27.
- [17] 朱发庆, 高冠民. 东湖水污染经济损失研究 [J]. *环境科学学报*, 1993, 13(2): 214-222.
ZHU F Q, GAO G M. Economic loss from water pollution in Donghu lake [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1993, 13(2): 214-222.
- [18] 詹姆斯. 水资源规划经济学 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
JAMES. Economics of water resources planning [M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1984.
- [19] 陈妙红, 邹欣庆, 韩凯. 基于污染损失率的连云港水环境污染功能经济损失研究 [J]. *经济地理*, 2005, 25(2): 223-227.
CHEN M H, ZOU X Q, HAN K. Lianyungang water function value loss based on pollution loss rate approach [J]. *Economic Geography*, 2005, 25(2): 223-227.
- [20] 宋新山, 阎百兴, 何岩. 污染损失率模型的构建及其在环境质量评价中的应用 [J]. *环境科学学报*, 2001, 21(2): 229-233.

- SONG X S, YAN B X, HE Y. Construction of pollution loss ratio model and its application to environmental quality assessment[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2001, 21(2): 229-233.
- [21] 张勇强, 杨建波, 莫大伦. 水污染造成的水库水环境价值损失分析: 以深圳铁岗、石岩水库为例[J]. *新疆环境保护*, 2005, 27(3): 12-15.
- ZHANG Y Q, YANG J B, MO D L. Analyzing on reservoir water environment value loss caused by water pollution: taking Tiegang & Shiyang reservoir in Shenzhen as an example [J]. *Environmental Protection of XinJiang*, 2005, 27(3): 12-15.
- [22] 李祚泳, 王珏, 刘国东. 大气质量污染损失率评价模型参数的 GA 优化[J]. *环境科学研究*, 2001, 14(2): 7-10.
- LI Z Y, WANG J, LIU G D. Optimum estimation of parameters on assessment model of pollution loss rate of atmospheric environmental quality using genetic algorithm[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2001, 14(2): 7-10.
- [23] 卓海华, 兰静, 吴云丽, 等. 乌江磷污染对三峡水库水质影响研究[J]. *人民长江*, 2014(4): 66-68.
- ZHUO H, LAN J, WU Y L, et al. Study on influence of phosphorus pollution of Wujiang river to water quality in Three Gorge Reservoir[J]. *Yangtze River*, 2014(4): 66-68.
- [24] 李炯光. 三峡库区区域经济发展状况的实证研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2005, 15(4): 63-68.
- LI J G. An empirical study on regional economic development in the Three Gorges Reservoir area[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2005, 15(4): 63-68.
- [25] 赵文婷, 苏维词. 重庆三峡库区生态经济区县域社会经济发展水平评价[J]. *广东农业科学*, 2010, 37(11): 299-301.
- ZHAO W T, SU W C. Evaluation of county's socio-economic development level in ecological-economic zone in Three Gorges Reservoir area of Chongqing[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2010, 37(11): 299-301.
- [26] 王红瑞, 肖杨, 吴丽娜. 水环境生态价值的定量分析: 以北京市为例[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2002, 38(6): 836-840.
- WANG H R, XIAO Y, WU L N. Quantitative analysis of ecological value of water environment[J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2002, 38(6): 836-840.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Study on Economic Loss Accounting of Water Environmental Pollution in the Three Gorges Reservoir Area

LIU Yanhui, LI Yangbing, LIANG Xinyuan, RAN Caihong

(Three Gorges Reservoir Area Surface Process and Environmental Remote Sensing Key Laboratory, School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] To study the economic loss caused by water environment pollution in the Three Gorges Reservoir Area (TGRA) from 2006 to 2016. [Methods] The fishery, industry, agriculture and domestic water functions that are susceptible to changes in the water environment are selected as the main water body functions. Based on the water body function pollution loss rate, the economic losses caused by the water body pollution in the reservoir area to the main water body functions are calculated and analyzed. [Findings] The research shows that: 1) From 2006 to 2016, domestic water use and fishery in the water function of the TGRA are greatly affected by changes in water environment, and the agriculture is the least affected by the water pollution. Among the various types of water functions, the industry loses the most, followed by agriculture, domestic water, and fisheries. 2) The growth rate of GDP in the TGRA is faster than the decline rate of the functional economic loss rate of the water body. Due to the decline of the functional economic rate loss, the water environment pollution loss in the TGRA is still increasing year by year, but the added value is decreasing overall. During the study period, the annual economic loss of the functional water pollution in the TGRA was as high as 8 billion yuan, accounting for 2.17% of the annual GDP. The annual average growth value of the loss accounted for 1.63% of the annual GDP growth value. 3) The socio-economic situation has a great impact on the economic loss of water quality and water function. The change of industrial structure directly affects the water quality change in the reservoir area and the economic loss of water body function. The main performance is that the water quality deteriorates with the increase of the proportion of the secondary industry, and vice versa; the increase of the functional economic loss of the water body accelerates with the increase of the proportion of the secondary industry, and vice versa. [Conclusions] The economic benefits of the TGRA can make up for the loss of water function, but the cost is very large. The long-term development should be based on environmental protection.

Keywords: pollution loss model; water function value; economic loss; the Three Gorges reservoir area