

基于水生态足迹模型的重庆市水资源 可持续利用分析与评价

张倩¹, 谢世友^{1,2}

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715;

2. 西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要:【目的】探讨重庆市水资源的可持续发展前景。【方法】运用水生态足迹、万元GDP水生态足迹等模型分析了重庆市2003—2016年水生态足迹、水生态承载力及水资源开发利用状况。【结果】2003—2016年重庆市水生态足迹除个别年份有微弱下降外, 总体呈上升趋势, 变化范围为0.725 6~1.407 2亿hm², 用水量主要集中在第一产业和第二产业, 城乡居民生活污水是影响重庆市水质的主要来源; 水生态承载力受降水影响大, 变化范围为0.513 0~0.894 2亿hm², 地区分布不平衡; 万元GDP水生态足迹在2011年突升, 总体呈下降趋势, 水资源利用率在不断提高, 但水资源的开发利用不合理, 开发利用潜力大。【结论】基于水资源可持续开发利用, 应加大对重庆市生活污水的处理率, 优化产业结构, 将发展重心移至第三产业, 利用政策辅助, 优化地区用水结构。

关键词: 可持续发展; 水生态足迹模型; 水资源; 重庆市

中图分类号: S275

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.20180260

张倩, 谢世友. 基于水生态足迹模型的重庆市水资源可持续利用分析与评价[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(2): 93-100.

0 引言

随着现代经济社会的快速发展, 人民生活水平在不断提高, 对水资源使用量不断增加的同时, 产生的水污染也日益严重。全球水资源短缺加上水环境的恶化给水生态系统带来了巨大的压力, 这种压力若超过了对应的承载力, 将严重影响地区水资源的持续开发利用, 进而影响地区社会经济可持续发展。因此分析地区水资源可持续利用情况, 对保证水生态系统安全具有重要意义^[1]。生态足迹是一种以土地面积为度量单位, 通过比较人类对自然资源的开发利用程度与自然界对人类生命提供的支持和服务能力^[2], 来衡量区域的生态可持续性评估方法。其概念是由加拿大生态经济学家 William Rees 于 20 世纪 90 年代提出, 并由 Mathis Wackernagel 进行了补充和完善文献。将生态足迹引入到水资源账户中, 衍生出水足迹、水生态足迹等概念。其中水足迹用于衡量人类消费的各类产品和服务所需要的水资源量, 水生态足迹用于衡量水资源消费和水污染消纳所需的生物生产性土地面积^[3], 对应的土地类型为水资源用地, 因此可将水生态足迹分为 2 个方面: 水量生态足迹(生产生活中对水资源的消耗)和水质生态足迹(稀释和净化污水对水资源的消耗)^[4]。从可持续发展角度看, 水足迹以立方米(m³)为单位, 仅考虑了水资源的消耗, 没有测算对水环境的净化, 不能综合衡量人类活动对自然资源的占用^[5]; 而水生态足迹是从生态占用的角度^[6], 评价地区水资源的可持续发展状态。

重庆市虽地处长江与嘉陵江交汇处, 降雨充沛, 水资源总量相对丰富, 但由于位于我国西南岩溶山区, 土层浅薄, 石漠化分布广泛, 地表水渗漏严重, 与地下水形成联动污染, 减少了水资源的可利用量。受地形的影响, 耕地破碎, 居民点分布异常集中, 人口密度大, 造成重庆市的人均水资源占有量很低, 仅分别占全国和世界人均水平的 70% 和 15.6%^[7], 加上城市发展与水资源利用水平之间具有较强的联动关系^[8], 因此, 如何

收稿日期: 2018-05-07

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAC01A16, 2011BAC09B01)

作者简介: 张倩(1995-), 女, 四川泸州人。硕士研究生, 主要从事地表环境与应用地理方面研究。E-mail: zqxinndx@163.com

通信作者: 谢世友(1960-), 男, 江苏徐州人。教授, 博士, 主要从事自然地理、水土保持、资源开发与区域可持续发展研究。E-mail: xiesy@swu.edu.cn

利用有限的水资源发挥其最大效益,实现水资源的持续利用引起了关注。目前已有一些学者从水资源供需角度分析了重庆市水资源可持续利用状况^[9-11],但是前人在分析需水量时仅考虑了生产生活消耗的水资源量,忽略了水资源污染净化所占用的水资源利用量,因此计算出来的需水量要小于实际值。基于此,综合考虑水生态系统中水量与水质的整体性^[12],从水生态足迹的基本原理出发,分析了重庆市2003—2016年水生态足迹变化特征,并核算了其对应的水生态承载力,从水资源供需2个方面表征重庆市水资源的盈亏状态,以期对重庆市水生态持续发展、水资源合理开发利用和水污染管控提供一定参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

重庆市位于我国西南部,长江上游地区,地处105°11'—110°11'E,28°10'—32°13'N。重庆东部、东南部挨着湖北和湖南,南部连接贵州,西部和北部与四川相邻,东北部与陕西和湖北相衔。地处川东平行岭谷南部,多丘陵、山地;气候属典型亚热带湿润季风气候,水量和光热充足,有“山城”、“雾都”之称。重庆市域多河流,包括长江、嘉陵江、乌江、涪江等水系,河段全年期水质以Ⅲ类为主,长江部分河段为Ⅱ类。境内河流中有274条的流域面积大于100 km²,其中42条流域面积大于1 000 km²。2016年全市平均降水量1 236.8 mm,地表水资源量为604.866 8亿m³。

1.2 研究方法

1.2.1 水生态足迹

根据水生态足迹的基本概念,可用生产生活所利用水资源的用地面积和污水消纳所占用水资源的用地面积表示。水生态足迹模型^[13]为:

$$EF_w = EF_{wr} + EF_{wq}, \quad (1)$$

式中: EF_w 、 EF_{wr} 和 EF_{wq} 分别为水生态足迹、水量生态足迹和水质生态足迹(hm²)。其中,水量生态足迹计算式为:

$$EF_{wr} = N \times ef_{wr} = r_w \times U_{wr} / P_w = r_w \times (U_{wr1} + U_{wr2} + U_{wr3} + U_{wr4}) / P_w, \quad (2)$$

式中: N 和 ef_{wr} 分别代表区域的总人口数量和人均水量生态足迹(hm²/人); r_w 和 P_w 分别代表全球水资源均衡因子和平均生产能力(m³/hm²); U_{wr} 为区域水资源利用量, U_{wr1} 、 U_{wr2} 、 U_{wr3} 和 U_{wr4} 分别代表第一产业、第二产业、第三产业和生活用水量(m³)。

水质生态足迹计算式为:

$$EF_{wq} = EF_{COD} + EF_{NH_3} = r_w \times (U_{COD} / P_{COD} + U_{NH_3} / P_{NH_3}), \quad (3)$$

式中: EF_{COD} 和 EF_{NH_3} 分别代表COD和NH₃的水质生态足迹(hm²); U_{COD} 和 U_{NH_3} 分别代表其对应的排放量(m³); P_{COD} 和 P_{NH_3} 分别代表水域对自身的吸纳能力(m³/hm²)。

1.2.2 水生态承载力

水生态承载力模型计算式为:

$$EC_w = 0.4 \times r_w \times \varphi \times Q / P, \quad (4)$$

式中: EC_w 为水生态承载力(hm²); φ 和 Q 分别代表区域水资源产量因子和水资源总量(m³);0.4为除去维持生物多样性和生态自身发展的水资源量^[14]。

1.2.3 水生态压力指数

水生态压力指数是将区域内水生态足迹和生态承载力相比较,用来判断研究区域内水资源的可持续利用情况^[6],其计算式为:

$$\text{水生态压力指数} = EF_w / EC_w, \quad (5)$$

当水生态压力指数>1时,表明水资源处于不可持续利用状态;相反,区域水资源的供给还能支撑其消费水平,水资源处于相对可持续利用状态。

1.2.4 水资源负载指数

水资源负载指数是关于降水、人口、经济规模以及水资源总量的一个综合指标,用指数的形式表示水资源对水资源开发利用程度的等级测度,反映区域水资源利用程度^[15]。可以分为5个等级,水资源负载指数值

越大,表示区域水资源利用程度越高,开发利用潜力较小。计算式为:

$$C=K\sqrt{NG}/Q, \tag{6}$$

式中: C 和 G 分别为水资源负载指数和国内生产总值(亿元); K 为与降水量有关的系数; R 为年平均降水量(mm)。当 $R\leq 200$ 时, K 取值为1;当 $200<R\leq 400$ 时, K 取值为 $1-0.1(R-200)/200$;当 $400<R\leq 800$ 时, K 为 $0.9-0.2(R-200)/400$;当 $800<R\leq 1600$ 时, K 为 $0.7-0.2(R-200)/800$;当 $R>1600$ 时, K 取值为0.5。

表1 水资源负载指数分级^[16]

C	级别	水资源利用程度	水资源开发条件
>10	I	很高,潜力不大	需要外流域调水
$5\sim 10$	II	高,潜力不大	困难
$2\sim 5$	III	中等,潜力较大	中等
$1\sim 2$	IV	较低,潜力大	较容易
<1	V	低,潜力很大	容易

1.2.5 万元GDP水生态足迹

为了衡量水资源的利用效率,用单位万元国内生产总值(GDP)所需的水生态足迹来表示,比值越小,表示水资源的利用效率越高,其计算式为:

$$WFG=EF_w/GDP, \tag{7}$$

式中: WFG 为万元GDP水生态足迹。

1.3 数据来源与部分变量说明

1.3.1 数据来源

水资源利用量(U)、水资源总量(Q)等水文基础数据来自2003—2016年《中国统计年鉴》、《重庆水资源公报》和《重庆市环境状况公报》,人口(N)和GDP数据来自于2003—2016年《重庆统计年鉴》。

1.3.2 变量说明

水生态足迹和水生态承载力所涉及的参数参照黄林楠等的研究成果^[12],全球水资源均衡因子 r_w 采用WWF2000年的核算结果,取值5.19,全球水资源平均生产能力 P 为3 140 m³/hm²,经核算重庆市水资源产量因子 ϕ 为2.04。由《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)规定的III类水质标准,得出单位面积水域对COD的吸纳能力为0.062 9 m³/hm²,对氨氮的吸纳能力为0.003 1 m³/hm²^[13]。

2 结果与分析

2.1 重庆市历年水量、水质生态足迹分析

由式(2)一式(3)计算得到重庆市2003—2016年的水量、水质生态足迹,其中,水量生态足迹包括第一产业、第二产业、第三产业和生活4个水资源账户的生态足迹,水质生态足迹包括了COD和氨氮2个方面的生态足迹,结果见图1。由图1可以看出,重庆市2003—2016年的水量生态足迹总体呈缓慢递增趋势,波动性不大。2003—2011年,水量生态足迹一直递增,由2003年的0.103 9亿hm²递增到2011年的0.142 3亿hm²,增幅为0.384亿hm²,其中2007—2008年增长速度最大,增长了0.008 8亿hm²,2012—2016年则缓慢下降,变化幅度仅为0.009 5亿hm²。

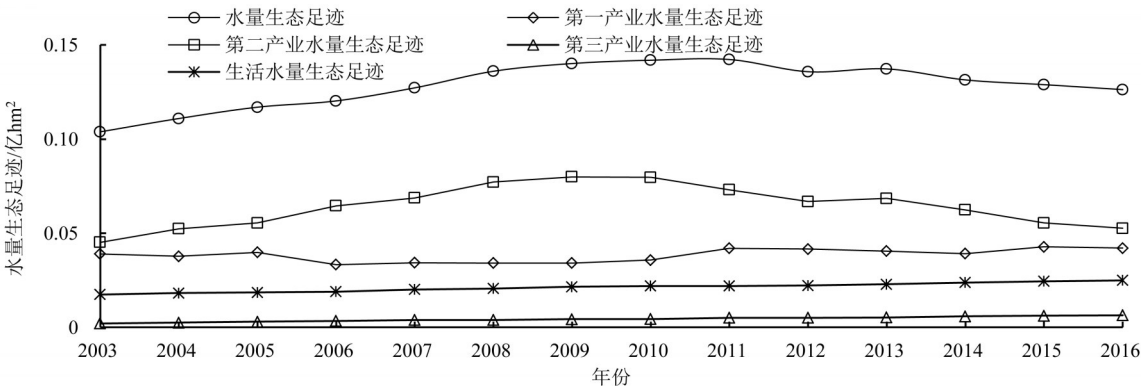


图1 2003—2016年重庆市水量生态足迹变化

从4个水资源账户的水量生态足迹看,第二产业变化趋势跟水量生态足迹最为接近,2003—2009年第二产业生态足迹递增,2009年后整体呈下滑趋势,2013年略有一点回升,变化范围在0.045 3亿~0.080 0亿 hm^2 之间,多年平均值为0.064 5亿 hm^2 ,占总水量生态足迹的49.76%,占比最大,主要是因为重庆市作为国家重要的制造业基地,工业企业占比最大的是煤炭开采、洗选业和金属矿采选业,用水量大,因此第二产业是影响重庆市水量生态足迹变化的主要因素。第一产业生态足迹在2003—2010年变化幅度较少,2010年后开始升到0.042 1亿 hm^2 ,以一个相对稳定的发展速度发展到2016年,与第二产业的差距日益缩小,多年平均值为0.038 4亿 hm^2 ,占总水量生态足迹的29.6%。第三产业用水量和生活用水量的生态足迹呈上升趋势,分别由2003年的0.002 1亿 hm^2 和0.017 5亿 hm^2 增加到2016年的0.006 5亿 hm^2 和0.025 0亿 hm^2 ,多年平均值分别为0.004 4亿 hm^2 和0.021 3亿 hm^2 ,对应的占比为3.44%和16.56%。

水资源的利用情况直接影响到地区经济的发展状况,为了更深入探讨三大产业用水量对经济的贡献量,分析了三大产业用水量占比与其产值占比之间的关系(图2)。从图2可以看出,就三大产业的GDP贡献率来看,重庆市第一产业的贡献率最小,而且在逐年减少,第二产业贡献率平均值为45.28%,年际变化小,第三产业的贡献率均在40%以上,而且在2008年超过了第二产业,成为重庆市GDP来源的主体。就三大产业用水所占比与产生的GDP占比对比看,2004—2009年,第一产业生产用水减少量与GDP的减少量呈正比,而在2010—2016年,生产用水量总体趋势在增加,但是GDP却在逐年降低;2006—2011年,第二产业生产用水量占比明显高于多年平均值49.53%,但相应阶段的GDP产值却没有相应增加,也就是说在这期间第二产业用水量的增加没能对GDP产生促进作用,2013年后第二产业生产用水比例逐年下降。所占生产用水量比例最小的第三产业产生的经济效应最强,产生的GDP占比是用水量占比的13.33倍。由于第一产业用水情况受气候、极端天气、病虫害等多方面的影响,因此在水资源分配过程中,在保证第一产业能支撑的人口、经济条件下,可将重点放在第三产业上,加上国家鼓励发展服务业,这也是以后的产业发展趋势。

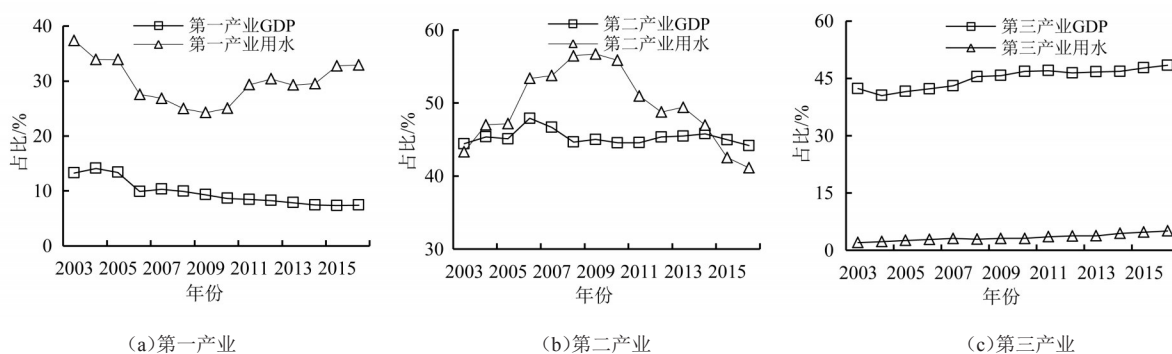


图2 2003—2016年重庆市三大产业用水量占比与其产值占比

将水体中的化学需氧量(COD)和氨氮量作为水体主要污染物指标,用于核算水质生态足迹。由图3可知,重庆市氨氮生态足迹的变化量最能表示水质生态足迹波动特征。2011年是重庆市水质生态足迹的一个重要转折点,2003—2010年氨氮水质生态足迹先缓慢上升再下降后上升,呈波浪式发展但变化幅度不大,均值为0.609 0亿 hm^2 ;2010—2011年,氨氮水质生态足迹由0.420 2亿 hm^2 突升到0.920 8亿 hm^2 ,之后又缓慢下降,在2016年又突降到0.604 4亿 hm^2 。COD生态足迹则相对平稳,趋势走向跟氨氮大致相同,但是变化幅度要小很多。

2003—2010年,重庆市水质生态足迹变化趋势明显,但分别在2011年和2016年出现明显的突升和突降,可将其归纳为政策导向的结果。2011年,重庆市围绕“建设国家主导的先进制造业基地”的发展理念,进行产业结构调整,排放污水量最多的煤炭开采和洗选业企业,而相应的废水处理设施减少了24套;根据重庆市2011年水环境状况公报^[17],2011年重庆市工业废水排放量比2010年减少了1.1亿t,其中COD和氨氮排放量分别减少2.9万t和0.23万t,而城镇生活污水排放量减少了2.14亿t,其中COD和氨氮排放量却增加了8.28万t和1.84万t,导致2011年水质生态足迹突升,说明在废污水排放量减少

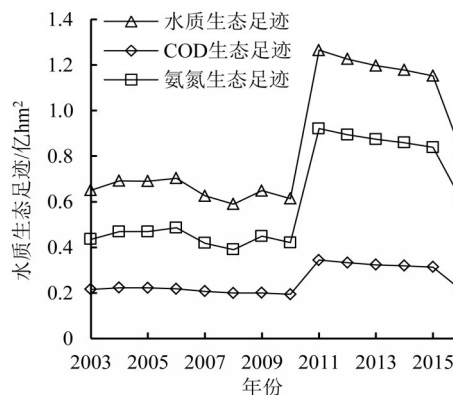


图3 2003—2016年重庆市水质生态足迹变化

的同时,重庆市加大了工业废水处理率,但是生活污水处理率却要低很多,因此在2011年,影响重庆市水质的重要因素是生活污水处理率。2016年,为全面贯彻落实水污染防治行动计划,深化全市水污染防治各项措施,保障三峡库区水环境安全。根据重庆市2016年环境状况公报^[18],2016年完成了1座污水处理厂的扩建和“三江”干流沿线8座城市污水处理厂提标改造工程,新建乡镇污水处理设施403座;加快推进产业结构调整,完成13家不符合产业政策的“十一小”企业关停取缔,完成7家主城重污染企业环保搬迁,累计完成195家主城重污染企业环保搬迁。另外,煤炭开采和洗选业的企业数减少了202家,大大降低了污水排放量,水质生态足迹骤降。

2.2 重庆市历年水资源生态承载力分析

由式(1)、式(4)、式(5)计算得到重庆市2003—2016年的水生态足迹、生态承载力和生态压力指数,其变化情况见图4。

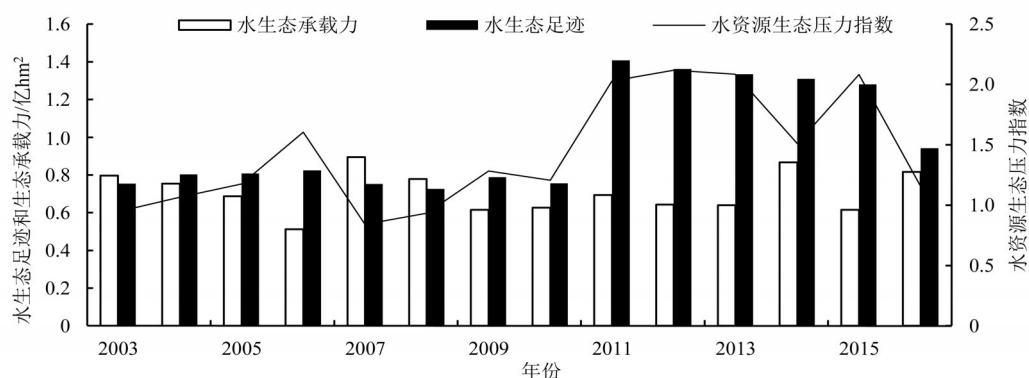


图4 2003—2016年重庆市水资源生态足迹、生态承载力和生态压力指数变化

由图4可知,重庆市水生态承载力呈波动式变化,变化范围介于0.513 0亿~0.894 2亿hm²之间。2006年水生态承载力最低,2007年最高,主要原因是2006年平均降水量仅为929.4 mm,远低于2003—2016年的平均降水量(1 130.19 mm),2007年降水量达1 269 mm,这也展现了气候的极端变化。受降水量的影响,除了2013—2016年重庆市水生态承载力交替升降外,2003—2006、2007—2009、2011—2013年3个阶段,水生态承载力持续下降,2006—2007、2009—2011年则呈上升状态。

由于水资源的时空差异大,导致重庆市水生态承载力空间分布不均衡,最低值和最高值分别为0.000 148亿hm²和0.083 050亿hm²,差距巨大。尤其是“主城九区”的渝中区、大渡口区、江北区、沙坪坝区、九龙坡区和南岸区,平均水生态承载力仅为0.001 7亿hm²。从人均水生态承载力来看,由于各个区县用水的人口结构不协调,导致一些地区水资源承载力高的地区人均承载力却较低,如江津区、万州区、涪陵区、开州区等,而城口县、万盛经开区的水生态承载力较低,但人均承载力却比较高,说明重庆市的水资源总量分配与人口分配结构不合理。这与魏寿煜等^[19]的结果一致:重庆市水资源与人口数量的基尼系数超过了0.5的警戒线。因此,可以加强政策辅助,减少水生态承载力低地区的人口数量,大力发展耗水量少、污染少的产业。

2.3 重庆市历年水资源可持续利用分析

2.3.1 水资源生态压力指数分析

由图4可知,2003—2016年,水生态足迹和水生态承载力发展的不均衡性,导致重庆市水资源生态压力指数升降幅度大,年际变化介于0.842 0亿~2.117 8亿hm²之间。2011年水资源生态压力指数突然上升到2.029 2亿hm²,2012年达到最大,2013—2016年呈波动变化。2003、2007和2008年的水资源生态压力指数小于1,说明这3 a重庆市的水资源开发利用处于安全状态,还存在有一定范围的生态空间用于人类利用,对水的利用以及废污水排放力小于水资源的更新能力。其余各年的水资源生态压力指数都大于1,表明在这期间,水资源没有得到合理的开发利用,水资源安全受到威胁,尤其是2011—2013年、2015年。随着社会经济的发展,对水资源的需求量增加,加上水污染对水资源的消耗以及利用率低,重庆市水资源危机日益严峻。

2.3.2 水资源负载指数分析

水资源负载指数可以反映区域水资源对社会经济系统的负载能力及水资源的利用水平和开发前景。根据式(6)计算出重庆市2003—2016年水资源负载指数,结果见图5。除了2007、2014年和2016年水资源承载力指数呈现下降趋势外,重庆市2003—2016年的水资源负载指数大致呈上升趋势,最小值和最大值分别

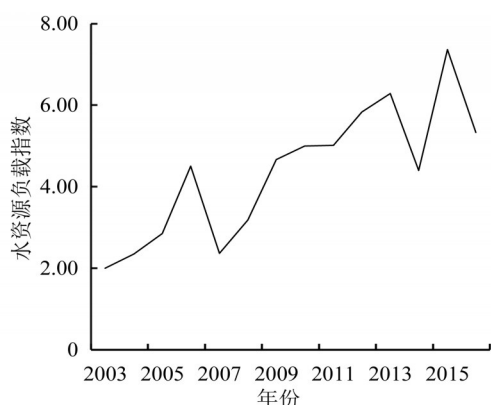


图5 2003—2016年重庆市水资源负载指数变化

出现在2003年和2015年,负载指数相差5.360 5。2011—2013年、2015—2016年为Ⅱ级,表明在这期间水资源利用程度高,潜力不大,其余各年为Ⅲ级,水资源利用水平不高,开发潜力较大。将2003年和2015年进行对比,2003年平均年降水量为1 229.8 mm,比多年平均值(1 130.2 mm)多99.61 mm,而2015年平均降水量为1 048.3 mm,加上人口的增长和GDP总值的增加,使得2015年的水资源负载指数增加。重庆市2003—2016年的平均用水量占多年平均水资源总量的14.78%,虽未超过水资源合理开发利用范围(20%),但超过了重庆市2001—2009年平均的水资源开发利用率(13.34%)^[16],而2003—2016年平均水资源总量仅比2001—2009年平均水平

高不到5亿 m^3 ,表明重庆市水资源开发利用的增加。

总体上看,重庆市水资源开发利用程度较低,因而具有较大的开发潜力。现阶段水资源可持续利用受到限制,因此,应根据重庆市现有的水资源开发利用情况进行用水结构的调整,开源节流,促进水资源的优化配置,保证重庆市的经济社会生态稳定发展。

2.4 重庆市万元GDP水生态足迹分析

为表示水资源的利用效率,根据式(7)计算出重庆市2003—2016年万元GDP水生态足迹,变化趋势见图6。由图6可知,重庆市万元GDP水生态足迹整体呈下降趋势,可分为2个阶段:第1阶段为2003—2010年,水资源生态足迹逐年递减,下降率为67%;第2阶段为2010—2016年,万元GDP水资源生态足迹呈先上升后下降趋势,下降率为62%。2010—2011年为上升阶段,主要是因为2011年水生态足迹较2010年增加了1倍,而GDP仅增加1/3,因此在2011年万元GDP水资源生态足迹出现了突升。重庆市万元GDP水生态足迹的下降表明水资源利用效率的不断提高,这是经济结构,尤其是产业结构调整,加上现代技术要素的运用和改善,经济增长方式向集约型方式转变的结果。

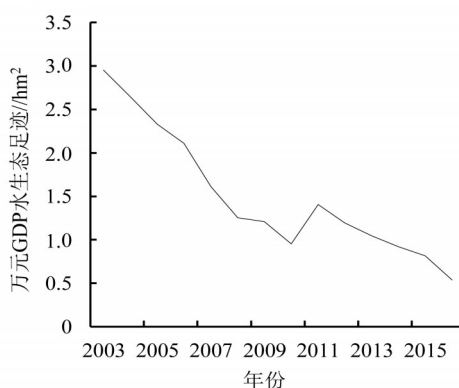


图6 2003—2016年重庆市万元GDP水生态足迹变化

3 讨论

水生态足迹模型是评价地区水资源的可持续利用的重要方法,其研究结果会因模型的不同而不同。本研究结果表明重庆市水资源安全受到严重威胁,与前人^[10-11]研究结果(重庆市水资源开发利用处于安全状态,存在较大盈余)不一致,其原因是在计算水生态足迹时采用的模型不一致。本研究在前人将水生态足迹定义为水资源消耗量的基础上,加入了水污染消纳的概念,完善了重庆市水生态足迹模型,计算出来的结果更加贴合实际情况。

与水量生态足迹相比,重庆市水质生态足迹更能影响水生态足迹的变化趋势,这也印证了龚久平等^[7]的研究结果:重庆市河流等水域中的COD和氨氮排放量已超过河流的纳污能力,水污染状况已严重威胁社会生态安全,水质是重庆市水生态环境的限制性因素,因此,重庆市在发展社会经济时还需兼顾环境与发展问题。影响水质的因素主要是工业废水和生活污水排放量以及废污水的处理率;此外,还可能是其地理位置和水文地貌情况:其大部分地域位于三峡库区,地貌以低山、丘陵为主,降水充沛,农业面源污染形势严峻,随水流于河道,加剧了水质污染^[7]。值得注意的是,政府部门在减少废污水排放总量的同时,生活污水中的COD和氨氮排放量却在增加,从而引起水质环境的恶化,对其原因有待更深一步的探讨。由于获取数据的有限性,仅考虑了废物水中量最多的COD和氨氮,今后可对其他污染物进行分析,不断完善水质生态足迹模型。

水生态承载力用来描述水资源支撑生态、经济系统持续发展的能力。区域的降水量直接影响水资源

总量,因而对区域水生态承载力产生影响,水生态承载力随着降水量的变化而变化,这与王文国等^[20]、常龙芳^[21]分析结果一致。由于获取数据受限,今后可对重庆市各区县历年的水生态足迹和生态承载力进行分析,研究二者在空间的分布特征随着时间的推移的变化规律。

4 结 论

1)水量生态足迹与经济社会发展关系紧密,重庆市水量生态足迹总体呈递增趋势,与社会经济发展趋势相符。在生产生活占用的水量中,第二产业用水量占比最大,但是最近几年重庆市第一产业用水量在不断增加,对照三大产业用水占比与其产生的经济效益占比来看,重庆市应调整产业结构,在保证第一产业产生的基本保障前提下,可将发展重心移至用水量最少,但产生的经济效益最大的第三产业,从而促进经济发展。

2)重庆市水质生态足迹是影响水生态足迹的关键因素,水生态承载力受降水量的影响较大,地区差异性较大,部分区县由于人口众多,导致人均水生态承载力偏低,水资源分配和人口分配结构不合理。水生态足迹和生态承载力的非均衡式发展导致水资源常年处于超负荷状态,其主要原因是经济社会高速发展下,城市居民增多,生活用水量增多,同时由于产业结构调整,需水量增多,而相应的水污染、浪费率增加。根源在于人口、资源等矛盾的产生。重庆市虽处亚热带季风气候,嘉陵江边,水资源丰富,但与水资源的可持续利用存在很大差异,经济社会的发展不应该以破坏生态为代价,因此要加强水资源的开发利用和废污水处理,实现生态环境的修复和保护。

3)水资源利用率在不断提高,但水资源没有得到合理的开发利用,开发利用潜力大;同时加上废污水中污染物浓度的增加,造成水质受到严重破坏,与人口、经济等发展不协调,水资源可持续利用压力巨大。

参考文献:

- [1] 穆贵玲,邵东国.湖北三峡库区水资源可持续利用评价[J].灌溉排水学报, 2014, 33(4/5):311-314.
- [2] 李飞,宋玉祥,刘文新,等.生态足迹与生态承载力动态变化研究:以辽宁省为例[J].生态环境学报, 2010, 19(3):718-723.
- [3] 张义,张合平.基于生态系统服务的广西水生态足迹分析[J].生态学报, 2013, 33(13):4 111-4 124.
- [4] 于冰,徐琳瑜.城市水生态系统可持续发展评价:以大连市为例[J].资源科学, 2014, 36(12):2 578-2 583.
- [5] 张义,张合平,李丰生,等.基于改进模型的广西水资源生态足迹动态分析[J].资源科学, 2013, 35(8):1 601-1 610.
- [6] 段锦,康慕谊,江源.基于淡水资源账户和污染账户的生态足迹改进模型[J].自然资源学报, 2012, 27(6):953-963.
- [7] 龚久平,张伟,洪云菊,等.重庆市水资源承载力分析与可持续发展利用探讨[J].西南农业学报, 2011, 24(6):2 429-2 433.
- [8] 吕素冰,马钰其,冶金祥,等.中原城市群城市化与水资源利用量化关系研究[J].灌溉排水学报, 2016, 35(11):7-12.
- [9] 张月,杨华.重庆市近10年水资源承载力时空格局动态演变研究[J].安徽农业科学, 2012, 40(28):13 933-13 936.
- [10] 王文国,龚久平,青鹏,等.重庆市水资源生态足迹与生态承载力分析[J].生态经济, 2011(7):159-162.
- [11] 郭晓娜,苏维词,杨振华,等.城乡统筹背景下重庆市水生态足迹分析及预测[J].灌溉排水学报, 2017, 36(2):69-75.
- [12] 胡彬,刘俊国,赵丹丹,等.基于水足迹理念的水资源短缺评价:以2022年冬奥会雪上项目举办地为例[J].灌溉排水学报, 2017, 36(7): 108-116.
- [13] 杨振华,苏维词,赵卫权,等.基于GRNN模型的岩溶地区城市水生态足迹分析与预测[J].中国岩溶, 2016, 35(1):36-42.
- [14] 黄林楠,张伟新,姜翠玲,等.水资源生态足迹计算方法[J].生态学报, 2008, 28(3):1 279-1 286.
- [15] 孟丽红,叶志平,袁素芬,等.江西省2007—2011年水资源生态足迹和生态承载力动态特征[J].水土保持通报, 2015, 35(1):256-261.
- [16] 封志明,刘登伟.京津冀地区水资源供需平衡及其水资源承载力[J].自然资源学报, 2006, 21(5):689-699.
- [17] 重庆市环保局.重庆市环境统计公报[R].重庆, 2011.
- [18] 重庆市环保局.重庆市环境统计公报[R].重庆, 2016.
- [19] 魏寿煜,谢世友.基于基尼系数和洛伦兹曲线的重庆市水资源空间匹配分析[J].中国农村水利水电, 2015(2):56-59, 73.
- [20] 王文国,何明雄,潘科,等.四川省水资源生态足迹与生态承载力的时空分析[J].自然资源学报, 2011, 26(9):1 555-1 565.
- [21] 常龙芳.云南省水资源生态足迹与生态承载力动态分析[J].云南地理环境研究, 2012, 24(5):106-110.

Using Ecological Water Footprint Model to Analyze Sustainable Use of Water Resources in Chongqing

ZHANG Qian¹, XIE Shiyu^{1,2*}

(1. School of Geographical Science, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Key Laboratory of the Three-gorges Reservoir Region's Eco-environment of the Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract:【Objective】Climate change results in frequent occurrence of extreme weather and improving sustainability in water resources use is hence essential to economic development. Taking Chongqing as an example, this paper analyzes how to use the ecological water footprint model to help improve sustainable water resources use. 【Method】We used water ecological footprint of 10 000 Yuan GDP, analyzing the water ecological footprint, ecological carrying capacity and water resources utilization from 2003 to 2016 in Chongqing. 【Result】On average, the water ecological footprint in Chongqing was improving despite occasional drop in a few individual years, changing from 72.56 million hm² to 140.72 million hm². Water consumption was mainly by primary and secondary industry, and sewage disposed from urban and rural areas was the main origin of water pollution. Water ecological carrying capacity was affected greatly by precipitation, changing from 51.30 million hm² to 89.42 million hm² and varying spatially. The ecological footprint of 10 000 Yuan GDP was in decline except a sudden drop in 2011. Water resources utilization rate was in rise, although there is still room for improvement in development and utilization of water resources. 【Conclusion】Sustainable development and utilization of water resources should focus on improving the treatment of domestic sewage. The industry should be reconstructed by shifting to tertiary industry. The regional water utilization should also be reconstructed assisted by policy changes.

Key words: sustainable development; water ecological footprint model; water resources; Chongqing

责任编辑:白芳芳