

汉中市水域生态承载力的研究与分析

张养安¹, 郑志峰², 王永红³

(1. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054;

3. 陕西省第三测绘工程院 西安 710054)

摘要: 为分析汉中市水域承载力的变化, 反映水域利用的安全程度, 以寻求提高水域承载力的途径与方法, 对汉中市水域生态承载力进行了计算和分析。结果表明: 从 2001—2013 年, 汉中市水域生态承载力整体处于安全状态, 汉台区的生态承载力指数为 0.56, 处于基本安全状态, 其余各县的生态承载力指数均小于 0.50, 处于安全状态。其中, 宁强、略阳、镇巴、留坝、佛坪 5 个县生态承载力指数小于 0.10, 洋县、西乡、勉县 3 个县生态承载力指数在 0.20~0.30, 南郑县的生态承载力指数在 0.30~0.40, 城固县的生态承载力指数在 0.40~0.50。但是出现生态压力增加、生态承载力下降、安全程度逐渐降低等趋势, 建议相关部门下一步需做好渔业生产规划, 加强水源地生态环境保护治理和加强水域管理监测等措施来提高水域生态承载力。

关键词: 水域; 生态承载力; 生态足迹; 汉中市

中图分类号: P332

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)05-0356-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.05.056

Research and Analysis on Ecological Carrying Capacity of Hanzhong City

ZHANG Yangan¹, ZHEN Zhifeng², WANG Yonghong³

(1. Yangling Vocational Technical College, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Chang'an University the School of Earth Science And Resources, Xi'an 710054; 3. The Third Shaanxi Institute of Engineering Surveying and Mapping, Xi'an 710054)

Abstract: To analyze the changes of water carrying capacity in Hanzhong City and to reflect the safety degree of water use in order to find ways and methods to improve the carrying capacity of waters. In this paper, the ecological carrying capacity of Hanzhong City is calculated and analyzed. From 2001 to 2013, the ecological carrying capacity of Hanzhong City is in a safe state, but the ecological carrying capacity index of the waters is larger and the safety degree is gradually reduced. Hantai area of ecological carrying capacity index is 0.56, in the basic safety state, the remaining counties ecological bearing capacity index of less than 0.50, is in safe condition. Among them, the Ningqiang, Lueyang, Zhenba, Liuba, Feping five counties of ecological carrying capacity index is less than 0.10; Yangxian, Xixiang, Mianxian three county of ecological carrying capacity index in 0.20~0.30, Nanzheng capacity index in 0.30~0.40, ChengGu index in 0.40~0.50. But a drop in ecological pressure increased, the ecological carrying capacity, safety degree gradually reduce the trend, suggest grassland, take next to fishery production planning, strengthen management of water ecological environment protection and strengthen the monitoring of water management measures to improve the water ecological carrying capacity.

Keywords: waters; ecology bearing capacity; ecological footprint; Hanzhong City

生态承载力是指在某一特定环境条件下某种个体存在数量的最高极限^[1-2]。生态承载力包括两层基本含义: 第一是指生态系统的自我维持与自我调节能力以及资源与环境子系统的供容能力, 为生态承载力的支持部分^[3]; 第二是指生态系统内社会经济子系统的发展能力, 为生态承载力的压力部分^[4]。水资源作

为当地经济、社会发展的基本要素, 它的生态承载能力直接影响着当地发展的水平与经济的可持续性^[5]。目前, 国内对水生态承载力的研究较少, 主要集中在对一个区域内的水资源的生态承载力进行分析上。王文国等^[6]对四川省的水资源生态承载力进行了计算, 发现在 2001—2009 年间, 四川省人均水资源生态

足迹总体呈上升趋势,且水资源生态承载力较高,水资源利用率在逐步提高,存在一定的生态盈余。卢艳等^[7]对河南省水生生态承载力进行了测算,发现河南省多数城市水资源呈现生态赤字,而且人均水资源生态足迹和生态承载力也存在着空间分布的不均衡性。程超等^[8]对云南省中部地区的城市水资源承载力进行了研究,结果表明滇中城市群水资源生态承载力为 $0.216\sim 1.370\text{ hm}^2/\text{人}$,年间变化和区域内部差异较大。刘明虎等^[9]研究也表明,磴口县的水资源消费已大大超过其承载力,区域处于极不安全状态。随着国家提出生态文明建设的战略,一个区域的生态文明代表着该地区的发展程度,而水域的生态承载力,也是该区域生态文明建设的一个重要体量指标^[10]。

汉中市位于陕西省西南部,是陕西省乃至全国重要的水源地之一,也是“引汉济渭”工程的水源地,其生态承载力的安全程度直接关系到南水北调工程的水源,分析汉中市水域承载力的变化,可以反映水域利用的安全程度,以便寻求提高水域承载力的途径与方法,为南水北调工程水源地生态环境承载力的变化建立预警机制,确保南水北调中线工程水源地生态安全,为政府决策及区域可持续发展提供参考。

1 研究方法与技术路线

1.1 研究区概况

汉中市位于居于陕西省南部山区西段,国土面积 2.72 万 km^2 ,2013年末总人口386.24万人,实现地区生产总值881.73亿元。汉中地处秦巴山区,山高坡陡,河流多为山溪性河流,其特征是河道狭窄,河床比降大,水流急,自然调蓄能力差,洪枯变幅大,但水能丰富。汉中市境内干流长 141.7 km ,流域面积 $7\,554\text{ km}^2$,占全区总面积的27.7%;区内 10 km^2 以上的支流有225条,其中流域面积在 $1\,000\text{ km}^2$ 以上的1条, $500\sim 1\,000\text{ km}^2$ 的有4条, $100\sim 500\text{ km}^2$ 的有16条。

1.2 研究方法

本文采用生态足迹模型对水域生态承载力进行评价。水域生态足迹是指在特定人口数量下,区域人口所消耗水资源和消纳所产生废物所需要的水域^[11]。水域生态承载力为人均水域生态足迹需求量与人均水域生态足迹供给量的比值,其中,人均水域生态足迹需求量指的是区域内人均需要的具有生物生产功能和资源功能的水域面积,可简称为人均水域需求量^[12];人均水域生态足迹供给量指得是某一区域内可以提供给每个居民使用的具有生物生产功能和资源功能的水域面积,可简称为人均水域供给量^[13]。

1.2.1 区域人均水域生态足迹需求量 水域不仅具

有生物生产功能,为人类提供水产品,还具有资源功能,为人类生产生活提供农业用水、工业用水和居民日常生活用水。因此生态足迹的需求从水产品、农业、工业、生活四个方面进行计算。

(1)水产品用水生态足迹需求计算。利用生产力数据将水产品的消费折算为实际生物生产性水域的面积。计算公式^[14]为:

$$l_i = \frac{c_i}{d_i} \quad (1)$$

式中: C_i 为汉中市水产品的人均消费量($\text{kg}/\text{人}$); d_i 为水产品的全国年平均生产能力(kg/hm^2)。为便于比较,以全国淡水水产品的生产能力作为基本参数,计算人均生物生产性水域面积。其次,计算人均水域生态足迹需求。计算公式^[15]为:

$$ef_1 = \gamma_1 \times l_i \quad (2)$$

式中: ef_1 为生产水产品的人均水域需求面积($\text{hm}^2/\text{人}$); l_i 为人均占有水产品生物生产性水域的面积(hm^2); γ_1 为水产品水域的均衡因子,即将水域生物生产性土地转化为在生物生产力上等价的系数。

(2)农业用水的生态足迹需求计算。根据水资源生态足迹的描述,将消耗的水资源量转化为相应账户的生产面积—水资源用地面积,然后进行均衡处理,最终得到可用于不同地区不同地类可以相互比较的均衡值。计算模型为^[16]:

$$ef_2 = \gamma_2 \times W_n / (Q/A) \quad (3)$$

式中: ef_2 为农业用水的人均水域需求面积($\text{hm}^2/\text{人}$); γ_2 为水资源的均衡因子^[17],水资源生态足迹计算可得水域的均衡因子为5.19; W_n 为人均农业用水量($\text{m}^3/\text{人}$); Q 为水资源总量(m^3)。

(3)工业用水的生态足迹需求计算。工业用水生态足迹的计算模型与农业用水生态足迹的计算模型类似。计算公式^[18]为:

$$ef_3 = \gamma_2 \times W_g / (Q/A) \quad (4)$$

式中: ef_3 为工业用水的人均水域需求面积($\text{hm}^2/\text{人}$); γ_2 为水资源的均衡因子; W_g 为人均工业用水量($\text{m}^3/\text{人}$); Q 为水资源总量(m^3)。

(4)生活用水的生态足迹需求计算。生活用水生态足迹的计算模型与农业用水生态足迹的计算模型类似。计算公式^[19]为:

$$ef_4 = \gamma_2 \times W_s / (Q/A) \quad (5)$$

式中: ef_4 为生活用水的人均水域需求面积($\text{hm}^2/\text{人}$); γ_2 为水资源的均衡因子; W_s 为人均生活用水量($\text{m}^3/\text{人}$); Q 为水资源总量(m^3)。

1.2.2 区域人均水域生态足迹供给量计算 根据人

均水域生态足迹供给的计算规则。计算公式^[15]为：

$$ec=\gamma_2\times y\times A/P$$
(6)

式中：*ec* 表示人均水域生态足迹供给(hm²/人)；*A* 为水域的面积(hm²)；*P* 为人口总量；*y* 为产量因子； γ_2 为水资源的均衡因子。

同时，一个国家或地区的水资源开发利用率，若超过 30%~40%将导致生态环境恶化及一系列衍生后果，无论从技术水平还是经济社会环境和谐发展需要考虑，区域水资源开发利用率都不能达到 100%，必须在该区域的水资源生态承载力中至少扣除 60%用于维护生态环境和生物多样性^[10]，因此水资源承载力的供给为理论值的 40%，在上述公式的基础上乘以 40%作为水域人均供给的计算结果。

1.2.3 生态承载力指数计算 生态承载力指数定义为人均水域生态足迹需求量与人均水域生态足迹供给量的比值。其值越大，表明该区域水域生态越不安全，生态环境的可持续发展程度越低；相反，其值越小，表明该区域土地资源越安全，生态环境的可持续发展程度越高。把各区域的水域生态足迹人均需求与水域生态足迹人均供给相比，可以计算得出各区域的水域生态承载力指数值。

1.3 技术路线

以水域面积为基础，结合汉中市社会经济数据，选择生态学与地理信息技术相结合的方法，监测汉中水域及其生态承载力的变化。

(1)根据 2001 年正射影像，采用人工解译的方法，采集汉中市 2001 年宽度大于 10 m 的水域边界范围，统计水域面积。2013 年水域面积则直接采用土地利用现状数据库中的数据经投影转换后统计获取。水域面积包括宽度大于 10 m 的河流水面、水库水面和坑塘水面。

(2)以生态足迹模型为依托，通过收集和整理社会经济数据，按照国际生态足迹计算规则(模型)，测算水域的生态供给和生态需求。

(3)根据生态足迹的情况，分析汉中全市及 11 个区县的水域生态承载力的压力指数，并对水域的生态保护及承载力的改善提出建议。

2 结果与分析

2.1 区域人均水域生态足迹需求量

根据生态足迹模型分别计算得出了汉中市及各县的水产品生态足迹、农业用水生态足迹、工业用水生态足迹和生活用水生态足迹，四者总和即为汉中市各县人均生态足迹总量，即水域的人均需求面积，2001 年和 2013 年人均生态足迹需求计算，结果见表 1。

表 1 汉中市 2001—2013 年水域生态足迹人均需求变化
单位：hm²/人

行政区	2001 年人均	2013 年人均	2001—2013 年	2001—2013 年
	生态足迹 需求量	生态足迹 需求量	人均需求 变化量	人均需求 变化比率/%
汉中市	0.0052b	0.0080a	0.0028	52.58
汉台区	0.0063a	0.0088a	0.0025	40.13
南郑县	0.0073a	0.0100a	0.0030	41.55
城固县	0.0073a	0.0103a	0.0032	43.40
洋县	0.0057b	0.0093a	0.0036	63.70
西乡县	0.0051b	0.0084b	0.0032	64.19
勉县	0.0051b	0.0100a	0.0054	105.38
宁强县	0.0023c	0.0029c	0.00067	26.12
略阳县	0.0015c	0.0021c	0.0006	39.65
镇巴县	0.0020c	0.0018c	-0.00033	-15.88
留坝县	0.0019c	0.0036c	0.0017	86.32
佛坪县	0.0036cb	0.0042c	0.0006	17.37

注：表中数据后不同小写字母表示各县区间具有显著差异($P<0.05$)。下同。

从表 1 可以看出，2013 年人均生态足迹需求量最大的是城固县，达到 0.010 3 hm²/人，其次为南郑县、勉县、洋县和汉台区，与汉中市整体情况没有显著性差异；西乡县的 2001 年人均生态足迹需求量为 0.005 1 hm²/人，与城固县、勉县等存在显著性差异；排在最后的是宁强、略阳、镇巴、留坝、佛坪 5 个县，其人均生态足迹需求量分别为 0.002 9,0.002 1,0.001 7,0.003 6,0.004 2 hm²/人，与前面的几个县也存在显著性差异。另外，汉中市对水域的人均需求面积从 2001—2013 年整体上呈增加趋势，且增长幅度较大，汉中市整体需求增长幅度为 52.58%。2001—2013 年各县对水域面积的人均需求量除镇巴县略减少外，其余各县均增加，其中增幅最大的是勉县，其次是留坝县、西乡县和洋县。勉县的人均需求增加幅度最大，为 105.38%，这是因为 2001—2013 年间，勉县的发展较快，各项需求均较大；再次，留坝、西乡、洋县这 3 个县的人均需求增加 60%以上；城固、南郑、汉台区、略阳 4 个县(区)较 2001 年的需求比，2013 年的人均需求增加了约 40%左右；宁强、佛坪县的人均需求增长幅度最小，分别为 26.12%和 17.37%。

2.2 区域人均水域生态足迹供给量

从表 2 可以看出，2013 年汉中市 11 个县市水域生态足迹人均供给量分为 3 个档次。第 1 档次以佛坪县为最高，达到 0.162 hm²/人，留坝县为 0.119 hm²/人，两者之间没有显著性差异；第 2 档次为略阳县，达到 0.063 hm²/cap，与第 1 档的两个县存在显著性差异；第 3 档次包括南郑县、城固县、洋县、西乡县、勉县、宁强县和镇巴县，水域生态足迹人均供给量

分别为 0.027,0.026,0.039,0.042,0.035,0.038,0.024 hm²/人,分别与第 1 档和第 2 档的 3 个县(市、区)存在显著性差异。汉台区的水域生态足迹人均供给量最小,仅为 0.016 hm²/人。

在人均有效供给的增幅方面,增幅最高的为佛坪县,达到 43.13%,其次为勉县和宁强县,增幅分别达到 32.43%,31.59%,这 3 个县的增幅都超过 30%;人均有效供给增幅超过 20%的有汉台区、洋县、略阳县和留坝县 4 个县,其增幅分别为 25.8%,22.68%,22.35%,22.64%;人均有效供给增幅在 0~20%的有南郑县、城固县和西乡县,3 个县的增幅值分别为 14.75%,3.27%,5.90%;增幅唯一下降的是镇巴县,下降了 13.85%。

表 2 汉中市 2001—2013 年水域人均生态足迹				
行政区	供给量及其变化		单位:hm ² /cap	
	2001 年	2013 年	2001—2013 年	2001—2013 年
	人均有效供给量	人均有效供给量	人均有效供给量的变化	人均有效供给的变化率/%
汉中市	0.029c	0.034c	0.0045	15.42
汉台区	0.012d	0.016c	0.0032	25.80
南郑县	0.023c	0.027c	0.0034	14.75
城固县	0.025c	0.026c	0.0008	3.27
洋县	0.032b	0.039c	0.0072	22.68
西乡县	0.039b	0.042c	0.0023	5.90
勉县	0.026c	0.035c	0.0086	32.43
宁强县	0.029b	0.038c	0.0091	31.59
略阳县	0.052b	0.063b	0.0120	22.35
镇巴县	0.028c	0.024c	-0.0038	-13.85
留坝县	0.097a	0.119a	0.0220	22.64
佛坪县	0.113a	0.162a	0.0490	43.13

2.3 生态承载力指数

表 3 为 2001—2013 年汉中市水域生态承载力指数的计算结果。汉中市的全市人均生态承载力指数变大,增加幅度达 32.19%。其中,汉台区的水域生态承载力指数最大,达到 0.560%,处于第 1 档次;其次为南郑县、城固县,水域生态承载力指数分别为 0.380%和 0.400%,与汉台区差异显著;处在第 3 档次的是洋县、西乡县和勉县,水域生态承载力指数分别为 0.240%,0.200%和 0.290%,与汉台区、南郑县和城固县存在显著性差异。宁强县、略阳县、镇巴县、留坝县和佛坪县的水域生态承载力指数最小,分别为 0.077%,0.034%,0.074%,0.031%,0.026%,与前面的县市区均存在显著性差异。从增幅来说,宁强、镇巴、佛坪 3 个县的生态承载力指数值变小,减少幅度分别为 4.16%,2.36%,18.00%;其余各县生态承载力指数均变大,增加幅度从 11.40%~55.08%,增幅最小的是汉台区,增幅最大的是勉县。

表 3 汉中市 2001—2013 年水域生态承载力指数				
行政区	单位:hm ² /cap			
	2001 年	2013 年	2001—2013 年	2001—2013 年水域
	水域生态承载力指数	水域生态承载力指数	水域生态承载力指数变化值	生态承载力指数变化幅度/%
汉中市	0.179b	0.240c	0.058	32.19
汉台区	0.510a	0.560a	0.057	11.40
南郑县	0.310b	0.380b	0.073	23.36
城固县	0.290b	0.400b	0.110	38.86
洋县	0.180b	0.240c	0.060	33.44
西乡县	0.130b	0.200c	0.072	55.05
勉县	0.190b	0.290c	0.110	55.08
宁强县	0.080c	0.077d	-0.003	-4.16
略阳县	0.029c	0.034d	0.004	14.14
镇巴县	0.075c	0.074d	-0.002	-2.36
留坝县	0.020c	0.031d	0.010	51.92
佛坪县	0.032c	0.026d	-0.006	-18.00

根据生态承载力指数,可以进行区域水域生态安全性等级划分,以表示区域水域生态环境的安全程度和等级差异。汉中市生态承载力指数可分为 4 个等级:等级Ⅰ,表征状态安全,指标特征为生态承载力指数小于 0.5;等级Ⅱ,表征状态基本安全,指标特征为生态承载力指数为 0.5~0.8;等级Ⅲ,表征状态临界状态,指标特征为生态承载力指数为 0.8~1.0;等级Ⅳ,表征状态不安全,指标特征为生态承载力指数大于 1.0。2001—2013 年汉中市的水域生态整体均处于安全状态,2001 年汉中市的水域生态承载力指数为 0.179,2013 年的水域生态承载力指数为 0.240;2001 年汉台区的水域生态承载力指数为 0.510,处于基本安全状态,其他各县的水域生态承载力指数均小于 0.5,均处于安全状态;2013 年汉台区的水域生态承载力指数增长为 0.560,仍处于基本安全状态,其他各县的水域生态承载力指数虽然上涨,但仍处于安全状态。宁强、略阳、镇巴、留坝、佛坪的生态承载力指数在 2001—2013 年均不足 0.100,水域生态承载力压力较小。

生态承载力指数表征的是区域范围内的生态承载力状况,2001—2013 年汉中市总体生态承载力指数变大,增加幅度达 32.19%,水域生态环境的生态承载压力增加,水域生态承载力下降。其中,宁强、镇巴、佛坪 3 个县的生态承载力指数值分别减少了 0.003,0.002,0.006,3 个县的生态压力略减少,生态承载力略增加;其余各县生态承载力指数均变大,水域生态压力增加,生态承载力下降,勉县、城固的生态承载力指数分别增加 0.110 和 0.110,汉台区、南郑、

洋县、西乡县的生态承载力指数分别增加 0.058, 0.073, 0.060, 0.072, 略阳、留坝的生态承载力指数分别增加 0.004, 0.010。

3 讨论与结论

水域生态承载力是反映水域利用安全程度的重要指标,以往对水域的研究工作均是从水资源优化配置、水污染处理等角度展开的,进行水域承载力研究,将丰富环境承载力、生态建设和区域可持续发展的理论和方法,对国民经济的可持续稳定发展具有深远的战略意义。本试验选取 2001 年、2013 年两期的监测数据计算两期水域生态承载力状况,探讨水域生态承载力的计算方法,通过分析得到的主要结论为:

根据水域生态承载力指数的大小,生态安全分为 4 个等级:安全(<0.5)、基本安全($0.5\sim0.8$)、临界状态($0.8\sim1.0$)和不安全(>1.0)。2001 年汉中市的水域生态承载力指数为 0.179,整体处于安全状态,汉台区的生态承载力指数为 0.510,处于基本安全状态;其余各县的生态承载力指数均小于 0.5,处于安全状态,其中,宁强、略阳、镇巴、留坝、佛坪五县的生态承载力指数小于 0.1,洋县、西乡、勉县 3 个县的生态承载力指数为 0.1~0.2,城固县的生态承载力指数为 0.2~0.3,南郑县的生态承载力指数为 0.3~0.4。2013 年,汉中市的水域生态承载力指数为 0.240,汉中市整体处于安全状态,汉台区的生态承载力指数为 0.560,处于基本安全状态,其余各县的生态承载力指数均小于 0.5,处于安全状态,其中,宁强、略阳、镇巴、留坝、佛坪 5 个县的生态承载力指数小于 0.1,洋县、西乡、勉县 3 个县的生态承载力指数为 0.2~0.3,南郑县的生态承载力指数为 0.3~0.4,城固县的生态承载力指数为 0.4~0.5。综上所述,目前汉中市水域生态环境虽然整体处于安全阶段,但仍出现生态压力增加、生态承载力下降、安全程度逐渐降低等趋势,建议相关部门下一步采取做好渔业生产规划,加强水源地生态环境保护治理和水域管理监测等措施来提高水域生态承载力。

参考文献:

- [1] 高吉喜. 可持续发展理论探索:生态承载力理论、方法与应用[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [2] Olivier R, Alain M. An ecosystem model for estimating

the carrying capacity of a macrotidal shellfish system [J]. Marine Ecology Progress, 1994, 115(1/2): 117-130.

- [3] 许联芳,杨勋林,王克林,等. 生态承载力研究进展[J]. 生态环境学报, 2006, 15(5): 1111-1116.
- [4] 高吉喜,陈圣宾. 依据生态承载力优化国土空间开发格局[J]. 环境保护, 2014, 42(24): 12-18.
- [5] 向秀容,潘韬,吴绍洪,等. 基于生态足迹的天山北坡经济带生态承载力评价与预测[J]. 地理研究, 2016, 35(5): 875-884.
- [6] 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): 1555-1565.
- [7] 卢艳,于鲁冀,王燕鹏,等. 河南省水资源生态足迹和生态承载力分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(1): 182-186.
- [8] 程超,童绍玉,彭海英,等. 滇中城市群水资源生态承载力的平衡性研究[J]. 资源科学, 2016, 38(8): 1561-1571.
- [9] 刘明虎,张景波,张瑞,等. 磴口县 2007 年水资源生态承载力分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(17): 255-259.
- [10] 高鹭,张宏业. 生态承载力的国内外研究进展[J]. 中国人口·资源与环境, 2007, 17(2): 19-26.
- [11] 王西琴,高伟,何芬,等. 水生态承载力概念与内涵探讨[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2011, 9(1): 41-46.
- [12] 田玲玲,罗静,董莹,等. 湖北省生态足迹和生态承载力时空动态研究[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(2): 316-325.
- [13] 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): 1279-1286.
- [14] 刘子刚,郑瑜. 基于生态足迹法的区域水生态承载力研究:以浙江省湖州市为例[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1083-1088.
- [15] 刘某承,李文华. 基于净初级生产力的中国各地生态足迹均衡因子测算[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(5): 401-406.
- [16] 刘某承,李文华,谢高地. 基于净初级生产力的中国生态足迹产量因子测算[J]. 生态学杂志, 2010, 29(3): 592-597.
- [17] 汪玉琼,郭建军,李凯,等. 石羊河流域上游山区生态承载力时空格局动态评价[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2013, 49(2): 166-172.
- [18] 朱一中,夏军,谈戈. 关于水资源承载力理论与方法的研究[J]. 地理科学进展, 2002, 21(2): 180-188.
- [19] 姜加虎,黄群. 洞庭湖生态环境承载力分析[J]. 生态环境学报, 2004, 13(3): 354-357.