

文章编号: 1006-4710(2012)01-0007-06

基于水生生态分区的太子河流域水生生态承载力研究

宋策, 李靖, 周孝德

(西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: 为实现太子河流域水生生态系统的分区保护, 采用系统动力学方法, 建立了基于水生生态分区的水生态承载力模型, 模拟了太子河流域水生生态系统的动态变化。结果表明: 太子河流域各水生生态分区的水生态承载力各不相同。通过对8种情景下水生态承载力的比较分析, 认为集产业结构调整、适度经济发展速度、节水及控污于一体的综合方案使各分区水生生态承载力的提高效果最为显著。针对各分区面临的不同承载压力, 提出相适应的水生态承载力改善措施, 为流域水生生态系统的可持续发展提供科学依据。

关键词: 水生生态分区; 指标; 系统动力学; 水生生态承载力

中图分类号: X171.1 **文献标志码:** A

Research on Water Ecological Carrying Capacity in Taizi River Basin Based on Water Ecological District

SONG Ce, LI Jing, ZHOU Xiaode

(Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: To achieve partition protection of water ecosystems in Taizi River Basin, the model system of water ecological carrying capacity (WECC) based on water ecological district is constructed using the method of systematic dynamics. The dynamic trend of the WECC in Taizi River Basin is simulated by using the model. The results show that: The WECC of each water ecological division in the basin differs from one another. It is held through the comparative analysis on WECC in 8 scenarios that, the comprehensive program concentrating industrial restructuring, moderate pace of economic development, water conservation, pollution control to one make the improvement of the partition's WECC become most significant. With the aim of the different bearing pressures the district faces, the measures adaptable to improving the WECC are proposed, whereby providing the scientific basis for the sustainable development of watershed ecosystem.

Key words: water ecological zoning; indicators; system dynamics; water ecological carrying capacity

流域水生生态承载力(WECC)是在水环境承载力和水资源承载力研究基础上发展起来的, 旨在为流域水生生态系统综合管理提供科学依据。国外对于流域、湖泊和海湾等水体进行的生态学承载力研究中, 有一些涉及到水环境承载力方面^[1-2], 但一般仅在可持续发展文献中提到。目前我国水环境承载力的研究主要关注水环境的纳污功能^[3-6]。水资源承载

力最初由我国新疆水资源科学研究组提出^[7-11], 主要为基于水资源的评价理论和优化配置; 近年来, 许多学者从系统整合性出发提出生态承载力的概念, 对承载力的概念进一步扩展与完善^[12-13], 但目前学术界对其定义、理论与研究方法尚未达成共识^[14-15], 谭红武等^[16]认为三者可表示为满足一定的约束条件下所能支撑的一定科技水平和一定生活水

收稿日期: 2011-11-10

基金项目: 国家重大水专项研究资助项目(2008ZX07526-004-T005)。

作者简介: 宋策(1971-), 男, 陕西西安人, 讲师, 博士生, 研究方向为环境水力学。E-mail: songcecn@sohu.com。周孝德(1960-), 男, 江西玉山人, 教授, 博导, 博士, 研究方向为水污染控制和环境水力学。E-mail: zhouxd@mail.xaut.edu.cn。

平的人类社会经济规模,差异表现在约束条件的不同,逐渐关注承载力的空间分异性、动态性和模糊性等内涵。随着水生态环境问题的日益复杂化,在流域水量和水质问题并存的情况下,水生态系统出现水生生物数量和多样性大幅度减少,以及水生态系统退化等问题。而流域水生态系统在时间和空间分布上具有显著的时空异质性,因此,不同的水生态系统所面临的生态环境问题也存在明显的时空差异,面对不同的承载压力,急需针对不同的问题,找出其承载压力,提出相适应的对策与解决方案。为满足流域水生态的综合管理需求,本文综合考虑水质、水量和生物的需求以及社会经济互动关系,提出基于水生态分区的流域水生态承载力定义:在保证流域水生态分区生态系统水质水量目标的前提下,基于流域的水资源管理和水污染控制措施,流域水资源量和水环境容量所能持续支撑人类经济社会发展规模的阈值。

以往的承载力研究很少见到基于水生态分区的水生态承载力研究成果。本文利用系统动力学的方法将“水—生态环境—社会经济发展”作为一个有

机体来分析,通过对太子河流域内各水生态分区的水生态承载力在不同情景下的发展趋势研究,提出适合于各分区特点的水生态承载力改善措施,以实现太子河流域水生态系统的分区保护,并为流域内水生态承载力与社会经济协调发展战略的实施提供科学依据。

1 研究方法

1.1 流域水生态承载力指标体系

水生态承载力指标体系是用来反映水生态系统发展的规模与质量,科学合理的指标体系直接关系到研究结果的可靠性,是水生态承载力量化的基础。

影响水生态承载力的因素复杂多变,包括水资源、土地资源、水环境、水生态以及人类经济社会领域的各种指标,涉及的种类繁多,若选取不当可能出现指标重复和难以量化等问题。因此根据科学、全面和层次性等准则,参照欧盟水框架指令的相关条例及指标体系的建立方法,定出太子河流域水生态承载力指标体系,如表1所示,并采用层次分析法确定其权重。

表1 太子河流域水生态承载力指标体系

Tab.1 Index system for evaluating WECC of Taizi River Basin

目标层	准则层	指标层	计算方法	单位
水生态承载力	经济社会指标	城镇化率(C1)	城镇人口数/农村人口数	-
		人均GDP(C2)	年GDP/总人口数	元/人
		万元GDP需水量(C3)	年需水总量/万元GDP	万m ³ /万元
		万元GDP污水排放量(C4)	年污水排放量/万元GDP	万m ³ /万元
		万元GDP污水处理量(C5)	年污水处理量/万元GDP	万m ³ /万元
水资源指标	水生态指标	人均水资源量(C6)	水资源总量/总人口数	m ³ /人
		供需比(C7)	供水量/需水量	-
植被覆盖	水生态指标	植被覆盖率(C8)	植被覆盖面积/区域面积	-
		生态需水率(C9)	生态需水量/需水总量	-
		栖息地面积(非库区)(C10)	WUA与流量Q非线性关系表函数	m ² /km
营养指数(库区)(C11)	水环境指标	采用地表水资源质量评价技术规范(SL395-2007)湖泊富营养化评价方法		-
		COD环境容量承载率(C12)	COD容量/COD排放量	-
		NH ₃ -N环境容量承载率(C13)	NH ₃ -N容量/NH ₃ -N排放量	-

1.2 流域水生态承载力系统动力学模型

系统动力学在研究复杂系统的行为时,对于处理多变量、多重反馈、高度非线性及高阶次问题具有优势^[17]。在系统分析的基础上,所建立的系统动力学模型主要包括流图和结构方程式^[18]。

1.3 流域水生态承载力量化模型

通过历史数据的模拟对系统动力学进行真实可靠性检验,可以模拟出指标体系中各指标的值,进而采用模糊数学中隶属度的概念来对水生态承载力进行标量化,表达为(0,1)区间的值。根据各指标的

承载范围,可对最终确定的承载度值进行分类^[19]。

2 研究与分析

2.1 研究区域及基础资料的获得

太子河是辽河下游左侧一大支流,主要流经辽宁省本溪、辽阳、鞍山三市,干流长 413 km,流域面积 1.39 万 km²。本课题组成员中国水科院李国强博士等将太子河流域划分成 11 个水生态分区(见图 1),本文选取 C~J 区为研究对象。其中 C 区(观音阁水库下游区)为天然生态区,基本没有污染分布;D(本溪城区)、G(辽阳城区)和 J(鞍山城区)为城市生态区,城镇化率高,经济增长速度快,工业用水定额高,水质一般较差,主要污染源为工业污水和生活污水;E(葭窝水库区)为水库生态区,经济增长速度快,工业用水定额高,水质较差,主要污染源为工业污水;F(汤河区)为混合生态区,水质较差,兼有城市生态区、水库生态区和农业生态区的特点,主要污染源为农业面源;H(北沙河区)和 I(柳濠河区)

为农业生态区,水质差,主要污染源为农业面源。



图 1 太子河流域水生态分区图

Fig. 1 Map of water ecological zoning in Taizi River basin

基础资料的获得主要通过实地考察、现场搜集等方式,并在辽宁省水科院及水文局等相关单位的协助下,获得大量的水文、水质、生态、地理信息资料,以及近 8 年的省及地方的统计年鉴。总结 2007 年太子河流域各水生态分区的水生态承载力指标值见表 2。

表 2 各分区指标值

Tab. 2 The values of each indicator

指标	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
C 区	0.57	2.03	0.136 3	0.003 0	0.002 9	6 411	2.31	0.14	0.94	226.99	-	0.11	0.02
D 区	7.18	3.71	0.020 5	0.002 7	0.002 6	1 491	1.96	0.22	0.79	29.74	-	0.83	0.31
E 区	1.78	3.45	0.004 1	0.002 2	0.001 6	4 770	33.84	0.14	0.00	-	73.35	0.55	0.08
F 区	0.59	2.46	0.105 9	0.004 1	0.003 7	4 125	1.59	0.15	0.88	-	62.08	0.15	0.01
G 区	5.69	3.73	0.029 8	0.003 0	0.002 9	1 811	1.63	0.32	0.81	35.06	-	0.59	0.03
H 区	0.48	2.32	0.023 8	0.007 0	0.006 8	1 500	2.03	0.18	0.00	200.00	-	0.49	0.15
I 区	0.35	1.87	0.286 9	0.019 1	0.018 7	6 038	1.12	0.15	0.76	385.65	-	0.45	0.09
J 区	4.39	1.45	0.041 4	0.003 2	0.003 0	984	1.64	0.14	0.83	264.05	-	0.93	0.24

2.2 发展情景设计

根据太子河流域各生态分区的特点,以及各子系统之间的关系,结合辽宁省的水资源规划,同时参考一些专家学者对研究区域的生态发展问题分析^[20-21],从经济调控、节水及污染控制等角度设计方案模拟 2007—2015 年间水生态系统的变化趋势,设计方案见文献[22]。

2.3 计算结果及分析

根据所建立的系统动力学模型模拟各方案下各水生态分区的水生态承载力指标发展情况,并采用量化模型计算水生态承载力的值,各方案下的水生态承载力的发展趋势见图 2~9。

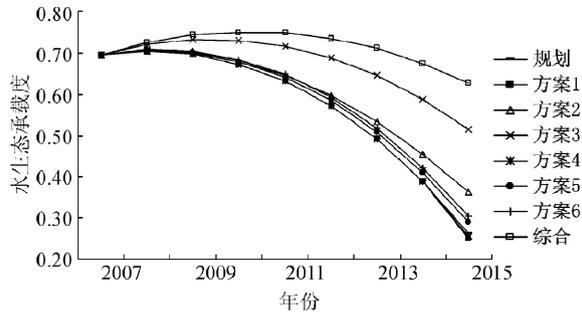


图 2 各方案下观音阁下游区水生态承载力

Fig. 2 Downstream of the Guanyingge reservoir area ' WECC based on different scheme

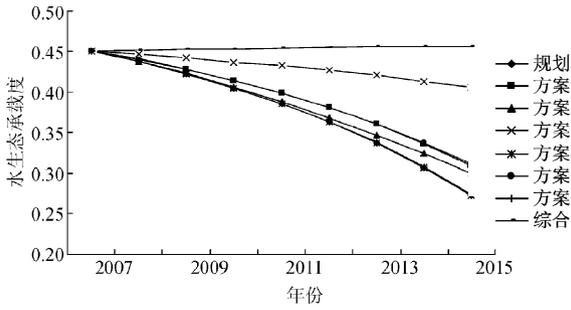


图3 各方案下本溪城区水生态承载力
Fig.3 Benxi City's WECC based on different scheme

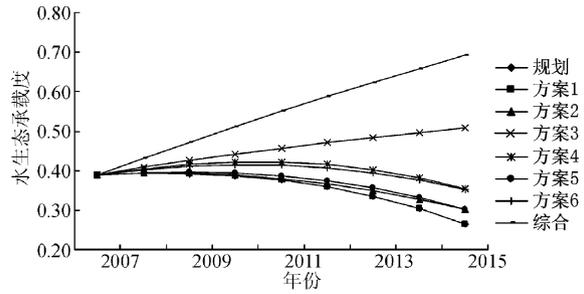


图7 各方案下北沙河区水生态承载力
Fig.7 Beishahe River District's WECC based on different scheme

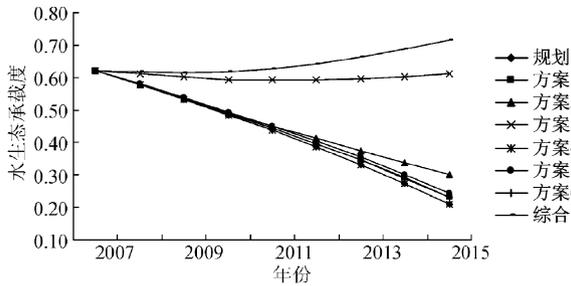


图4 各方案下葭窝水库区水生态承载力
Fig.4 Shenwo Reservoir area's WECC based on different scheme

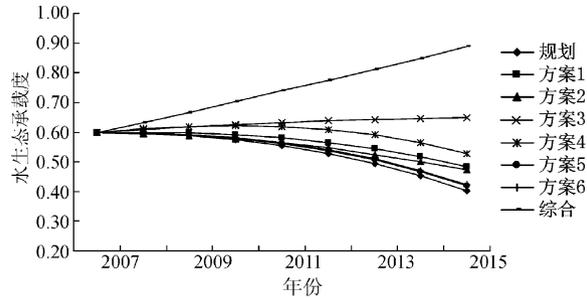


图8 各方案下柳壕河区水生态承载力
Fig.8 Liuhahe River District's WECC based on different scheme

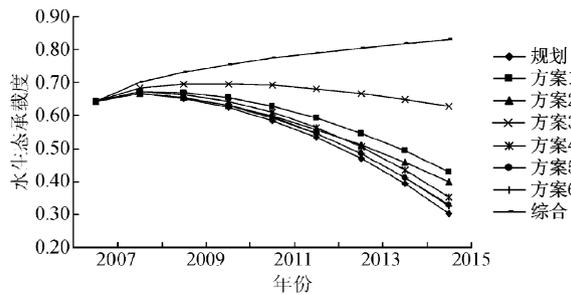


图5 各方案下汤河区水生态承载力
Fig.5 Tanghe District's WECC based on different scheme

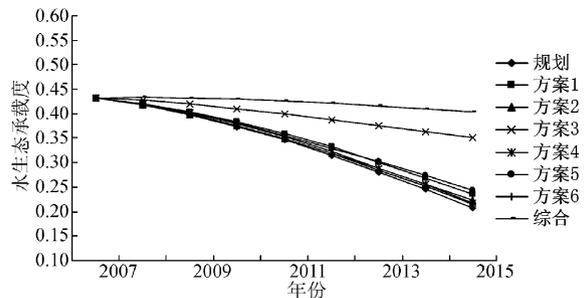


图9 各方案下鞍山城区水生态承载力
Fig.9 Anshan City' water ecological carrying capacity based on different scheme

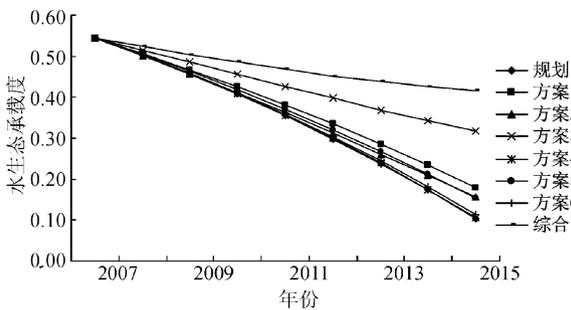


图6 各方案下辽阳城区水生态承载力
Fig.6 Liaoyang City's WECC based on different scheme

根据各水生态分区的指标值可以得出:

1) 规划情景下,随着经济社会的发展,各水生态分区的水生态承载力都随着时间的推移而逐年下降。各方案中综合方案对任何一个分区的水生态承载力提高效果都最好,可使观音阁水库下游区和葭窝水库区的水生态承载力一直保持在基本可承载范围;使本溪城区的水生态承载力一直保持在平稳发展状态;使汤河区和柳壕河区的水生态承载力逐年升高,从在基本可承载范围提高到良好可承载范围;

使辽阳城区和鞍山城区的水生态承载度下降得最为缓慢,在弱可承载范围;使北沙河区的水生态承载度逐年升高,从在弱可承载范围提高到基本可承载范围。

2) 由于太子河流域工业都比较发达,所以在各单一方案提高幅度相同的情况下,工业节水一方面降低了经济社会对水资源系统的需求压力,另一方面用水和排污相应减少,降低了对水环境系统的污染和对生态系统的破坏,因而方案3对各分区的水生态承载力改善效果较好。此外针对不同水生态分区,各方案对水生态承载力提高效果不同:方案2对观音阁水库下游区和葭窝水库区的水生态承载力改善效果较好,方案1和5对本溪城区和辽阳城区的水生态承载力改善效果较好,方案1和方案2对汤河区的水生态承载力改善效果较好,方案4和方案6对北沙河区和柳壕河区的水生态承载力改善效果较好。

3 结 论

本文针对流域水生态系统所具有的复杂特征,利用系统动力学方法建立了基于水生态分区的太子河流域水生态承载力模型。计算了不同发展情境下水生态承载力的发展趋势,得出节流、治污和调整产业结构等多项措施并举的综合方案对各水生态分区的水生态承载力提高效果显著,但由于各分区具有其不同特点,提高措施侧重点应不同,提出相适应的水生态承载力改善措施具体如下:

1) 节水。本溪城区、辽阳城区和鞍山城区应该针对不同行业采用相应的工业节水措施,鼓励推行高效率低耗水的生产工艺,降低工业用水定额,提高工业用水重复利用率;太子河流域主要涉及北沙河和柳壕河两个农业生态区,另外鞍山城区的灌溉面积也较大,因此主要针对这三个生态区的特点,应推广地膜覆盖技术以减少地面水分蒸发,推行农业节水措施。

2) 加强污染源控制,促进污水资源化。在本溪城区和辽阳城区,污水处理率提高、污染物排放浓度和总量的降低可将由水质引起水生态环境恶化降至最小。此外,中水回用可增加水资源可供量,这在北沙河区和柳壕河区会有很好的效果。

3) 调整产业结构。本溪城区、辽阳城区、柳壕河区和鞍山城区的高用水工业所占比重较大,调整产业结构后可节约大量的水资源,同时也可减少大量的污水排放,能够有效的提高该区的水生态承载力。

参考文献:

- [1] Careyd I. Development based on carrying capacity [J]. *Global Environ Change*, 1993, 3(2):140-148.
- [2] Falkenmark M, Lundqyht J. Towards water security: political determination and human adaptation crucial [J]. *Nat Resour Forum*, 1993, 21:37-51.
- [3] 王俊英,杜金辉,吕培茹,等. 山东省水生态环境承载力探讨[J]. *山东大学学报:工学版*,2008,38(5):94-98.
Wang Junying, Du Jinghui, Lü Peiru, et al. The evaluation of water eco-environmental carrying capacity in Shandong Province [J]. *Journal of Shandong University (Engineering Science)*, 2008, 38(5):94-98.
- [4] 陈艳霞. 渭河流域关中地区水环境承载力研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学,2007.
Chen Yanxia. Water environment carrying capacity in Guanzhong Area of Weihe Basin [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2007.
- [5] 赵青松. 汉江上游流域水环境承载力研究[D]. 西安:西安理工大学,2006.
Zhao Qingsong. The study of water environment carrying capacity on upstream of Hanjiang Basin [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2006.
- [6] 刘启明,张晨岚,林锦美,等. 厦门城市水环境承载力综合指标体系评价[J]. *华侨大学学报:自然科学版*, 2008,29(1):94-96.
Liu Qiming, Zhang Chenlan, Lin Jinmei, et al. The study of bearing capacity of water environment in Xiamen [J]. *Journal of Huaqiao University (Natural Science)*, 2008, 29(1):94-96.
- [7] 新疆水资源软科学课题组. 新疆水资源及其承载能力和开发战略对策[J]. *水利水电技术*,1989,(6):2-9.
Water Soft Science Research Panelin Xinjiang. Water resources in Xinjiang and its carrying capacity and development of strategic responses[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 1989, (6):2-9.
- [8] Feng Lihua, Zhang Xingcai, Luo Gaoyuan. Application of system dynamics in analyzing the carrying capacity of water resources in Yiwu City, China [J]. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2008,79(1):269-278.
- [9] 李吉玫,徐海量,宋郁东,等. 伊犁河流域水资源承载力的综合评价[J]. *干旱区资源与环境*,2007,21(3):39-43.
Li Jimei, Xu Hailiang, Song Yudong, et al. Evaluation of water resources carrying capacity in Yili River [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 21(3):39-43.
- [10] 姚治君,刘宝勤,高迎春. 基于区域发展目标下的水资源承载能力的研究[J]. *水科学进展*,2005,16(1):109-113.

- Yao Zhijun, Liu Baoqin, Gao Yingchun. Study on water resources carrying capacity based on regional development goals [J]. *Advances in Water Science*, 2005, 16(1): 109-113.
- [11] 王浩,秦大庸,王建华,等.西北内陆干旱区内水资源承载能力研究[J].*自然资源学报*,2004,19(2):152-158.
Wang Hao, Qin Dayong, Wang Jianhua, et al. Study on carrying capacity of water resources in inland arid zone of Northwest China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(2): 152-158.
- [12] Smaal A C, Prins T C, Bankers N, et al. Minimum requirements for modeling bivalve carrying capacity [J]. *Aquatic Ecology*, 1998, 31: 423-428.
- [13] Hudak A T. Rangel and mismanagement in South Africa: failure to apply ecological knowledge [J]. *Human Ecology*, 1999, 27(1): 55-78.
- [14] 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:中国环境出版社,2001.
- [15] 王群,章锦河.黄山风景区水生态承载力分析[J].*地理研究*,2009,28(4):1105-1113.
Wang Qun, Zhang Jinhe. Analysis of water ecology capacity in Hunagshan Resort [J]. *Geographical Research*, 2009, 28(4): 1105-1113.
- [16] 谭红武,杜强,彭文启,等.流域水生态承载力及其概念模型[J].*中国水利水电科学研究院学报*,2011,9(1):1-8.
Tan Hongwu, Du Qiang, Peng Wenqi, et al. Watershed aquatic ecological carrying capacity and it's conceptual model [J]. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, 2011, 9(1): 1-8.
- [17] 王其藩.高级系统动力学[M].北京:清华大学出版社,1995.
- [18] 李靖,周孝德,程文.太子河流域不同生态分区的水生态承载力年内变化研究[J].*中国水利水电科学研究院学报*,2011,9(1):74-80.
Li Jing, Zhou Xiaode, Cheng Wen. Study on annual change in water ecological carrying capacity of the different ecological district of the Taizi River Basin[J]. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, 2011, 9(1): 74-80.
- [19] 李靖,周孝德.叶尔羌河流域水生态承载力研究[J].*西安理工大学学报*,2009,25(3):249-255.
Li Jing, Zhou Xiaode. Research on water ecological carrying capacity of Yarkant river basin [J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2009, 25(3): 249-255.
- [20] 孙岩,李永化,程娜.本溪市环境问题与对策分析[J].*国土与自然资源研究*,2008,1:63-64.
Sun Yan, Li Yonghua, Cheng Na. The environment problem and countermeasure analyse of Benxi[J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2008, 1: 63-64.
- [21] 姜雄,朴文福.关于本溪市太子河水系的污染调查与数学统计分析[J].*环境研究与监测*,2006,19(2):37-39.
- [22] 周孝德.太子河流域水生态承载力的研究[C]//第二十三届全国水动力学研讨会暨第十届全国水动力学学术会议论文集.北京:海洋出版社,2011:1-6.
(责任编辑 杨小丽)