

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2021.05.003

广东省东江流域显著水问题类型识别

何艳虎^{1,2}, 郭红江¹, 谭倩^{1,2}, 潘炜杰¹, 陈淑英¹

(1. 广东工业大学环境生态工程研究院, 广东 广州 510006;
2. 广东省流域水环境治理与水生态修复重点实验室, 广东 广州 510006)

摘要:通过构建流域水资源、水环境与水生态功能评价指标体系,采用 ArcGIS 自然间断点分级法分析广东省东江流域水资源、水环境与水生态 3 类涉水功能的空间格局特征,采用 Spearman 等级相关系数定量分析 3 类涉水功能间的交互作用,识别各地区显著水问题类型,并提出相应管控策略。结果表明:广东省东江流域水资源、水环境与水生态功能评价等级空间格局体现出显著的空间差异性;流域水资源、水环境与水生态功能间的交互作用类型为兼容;基于 3 类涉水功能评价等级及功能间交互作用类型,将广东省东江流域 10 个评价单元划分为水资源、水环境、水生态、水资源-水环境、水生态-水环境及非显著型 6 个显著水问题类型。

关键词:水问题类型;水资源;水环境;水生态;功能交互;东江流域;广东省

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2021)05-0016-06

Type identification of significant types of water problems in the Dongjiang River Basin, Guangdong Province // HE Yanhu^{1,2}, GUO Hongjiang¹, TAN Qian^{1,2}, PAN Weijie¹, CHEN Shuying¹ (1. Institute of Environmental and Ecological Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Water Quality Improvement and Ecological Restoration for Watersheds, Guangzhou 510006, China)

Abstract: By constructing the evaluation index system of water resources, water environment and water ecology functions in the basin, the spatial pattern characteristics of three kinds of water functions of water resources, water environment and water ecology in the Dongjiang Basin of Guangdong Province were analyzed by using the ArcGIS natural breakpoint classification method. Spearman rank correlation coefficient was used to quantitatively analyze the interaction among the three water functions, identify the types of significant water problems in each region, and put forward corresponding management and control strategies. The results show that there are significant spatial differences in the evaluation grade spatial pattern of water resources, water environment and water ecology functions. The interaction types among water resources, water environment and water ecology functions are compatible. Based on three types of water function evaluation grades and interaction types between them, 10 evaluation units in the Dongjiang River Basin are divided into six significant water problem types: water resources, water environment, water ecology, water resources-water environment, water ecology-water environment and non-significant type.

Key words: type of water problem; water resources; water environment; water ecology; interaction function; Dongjiang River Basin; Guangdong Province

伴随着我国区域发展战略的逐步实施,经济社会发展与资源环境保护之间的矛盾日益凸显,高强度人类活动驱动下引发的流域水资源枯竭、水环境污染与水生态退化现象层出不穷。且由于各地区资源禀赋、地理区位和发展阶段的不同,体现出较为明显的空间差异性,客观上阻碍了我国经济社会的均

衡协调可持续发展。近年来,伴随生态文明建设战略和河(湖)长制的实施,我国涉水问题的生态空间管控的相关研究也迅速发展并取得许多成果^[1-4],在水生态空间管控指标体系^[5-8]、流域生态保护红线及生态空间划分方法^[9-13]、水生态空间管控策略^[14-16]等关于水生态空间管控的理论与实证方面

基金项目:国家自然科学基金(51979043, 51822905, 51779255);中国工程院咨询研究项目(2019-XZ-035);广东省自然科学基金(2021A1515010723);广东省水利科技创新项目(2021-09)

作者简介:何艳虎(1985—),男,副教授,博士,主要从事变化环境下的水文水资源响应研究。E-mail: heyianhu456@gdut.edu.cn

的研究逐步深入。流域水生态空间功能与管控分类是基于人类经济社会活动对水生态空间的功能需求而进行的^[17],需要统筹考虑流域水资源、水环境与水生态承载力问题,而流域水资源、水环境与水生态承载力一般在空间上又表现出显著差异性^[18-24]。此外,流域水资源、水环境与水生态功能相辅相成,相互制约,密不可分。例如,水环境是水资源利用消耗产生的各种污染物的最终归宿,其不只与水有关,而是一个与水资源、水生生物和污染密切相关的综合体,水环境变化直接影响着水生生物的生存与繁衍^[12]。本文在分析流域水资源、水环境与水生态功能强弱空间分异的基础上,借鉴景观生态学中景观功能交互作用^[25-26]的研究成果,定量分析流域水资源、水环境与水生态功能间的交互作用,依各涉水功能间的互动关系实际确定其交互作用类型是冲突、协同还是兼容,综合识别出流域显著的水问题类型,进而提出相应的水问题管控策略,以提升流域水资源、水环境与水生态承载力,保障流域水安全。

1 研究区概况

广东省东江流域位于我国华南湿润区,流域内的深圳、广州、东莞、惠州等城市是粤港澳大湾区的重要组成部分,还承担着向湾区核心城市香港供水的重要任务,在我国经济社会发展中具有重要的战略地位。东江发源于江西省寻乌县桠髻钵山,自东北向西南注入珠江口,是下游城市深圳和香港的主要供水水源^[27]。东江流域面积 35 340 km²,广东省境内为 31 840 km²,流经梅州、河源、韶关、惠州、东莞,以及广州和深圳等粤港澳大湾区核心城市(图 1)。沿

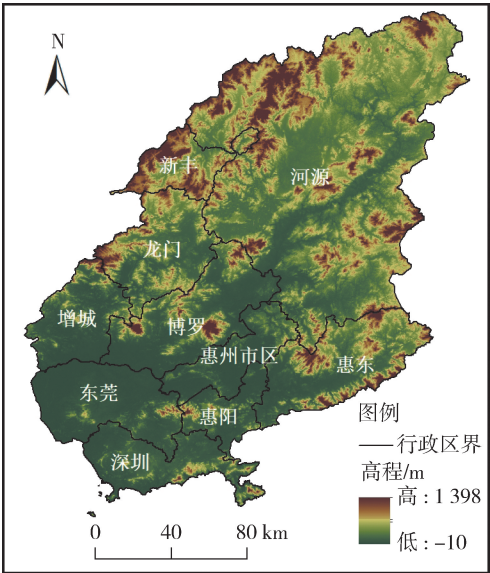


图 1 广东省东江流域概况
Fig. 1 Sketch map of Dongjiang River Basin in Guangdong Province

江各地市 1990 年以来经济社会发展迅速,人口集聚,河道外生产和生活需(用)水增长迅猛,废污水排放量大,流域面临着水资源短缺、水环境污染与水生态退化的严峻挑战。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

研究数据主要来源于广东省东江流域内广州(增城)、深圳、东莞、惠州(惠州市区、龙门、博罗、惠东、惠阳)、韶关(新丰)、河源等地市统计年鉴、环境状况公报和水资源公报等资料,整理得到 2017 年各地区原始指标数据。

2.2 研究方法

鉴于流域水资源、水环境与水生态功能是保障流域经济发展功能和生态服务功能的重要成分,且流域内各地区水资源禀赋、经济社会发展水平和地理区位不尽相同,水资源、水环境与水生态功能强弱在空间上存在客观差异性。因此,本文以广东省东江流域 10 个行政区为研究单元,基于保障有效水资源供给、维持良好水环境质量与提升完整水生态功能的价值取向和目标定位,从水资源、水环境与水生态 3 个方面,进行流域各地区水资源、水环境与水生态功能评价,评价体系见图 2(图中括号内数字为指标权重)。

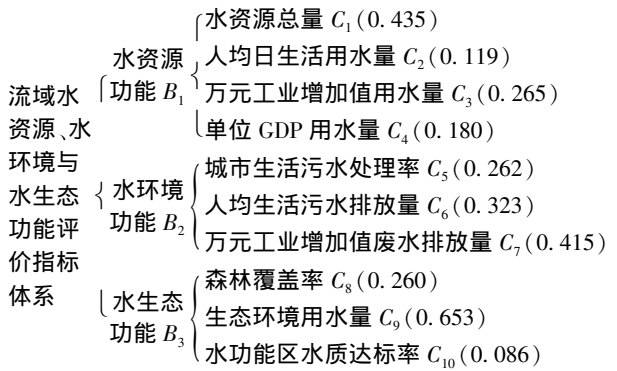


图 2 流域水资源、水环境与水生态功能评价指标体系
Fig. 2 Evaluation index system of water resources, water environment and water ecology functions

由图 2 可见,流域水资源、水环境与水生态功能相辅相成,密不可分。水资源有效供给能力的提升在保证河道外生产生活用水、促进经济社会发展的同时,也带来了大量废污水排放,有可能造成水环境污染。但另一方面,经济社会发展水平的提升也增强了人民群众对水环境质量提升的需求,提供了水污染防治的技术资金保障。水资源的有效供给与水环境质量提升为水生态修复及其功能完善提供了基础,水资源供给结构的变化(如生产用水抢占生态用水等)则有可能导致水生态功能的进一步退

化。因此,需要基于上述流域水资源、水环境与水生态功能的空间格局,研究它们的相互作用类型,进而识别出流域各地区显著的水问题类型。

流域水资源、水环境与水生态功能的计算涉及多项指标,各指标单位不同,为消除单位量纲的影响,运用极值法对原始指标数据进行标准化处理,采用熵值法^[28]计算指标权重并乘以各指标的归一化值得到各指标的评价值,分别将各个功能的指标评价值相加进而得到各功能的评价值,并通过 ArcGIS 进行空间可视化处理。运用自然间断点分级法^[29]依据评价值的大小将水资源、水环境和水生态 3 类承载力由高到低划分为优、良、中、较差和差 5 个等级。

水资源、水环境与水生态 3 类涉水功能空间可视化的结果一定程度上可以反映出功能间的交互作用。流域水资源、水环境与水生态功能间的交互作用是指流域一种涉水功能对其他涉水功能的影响,可以分为 3 类:冲突、协同和兼容。冲突是指两种功能间存在竞争关系,一种功能增强另一种功能则相应减弱;协同是指两种功能间可以相互增强;兼容是指两种功能共存时不会减弱或增强彼此的功能。由于数据分布存在不满足正态分布的情况,故本文采用 Spearman 等级相关系数^[30]定量描述流域涉水功能间的交互作用。

3 结果与分析

3.1 评价等级空间格局

流域水资源、水环境和水生态功能的强弱可由相应的评价等级来表征。广东省东江流域水资源、水环境和水生态功能评价等级结果见表 1。由表 1 可以看出,水资源功能评价等级差的地方是新丰,较差的是增城和惠州市区;新丰地区多山地,水资源量少且需水量较大,这样的矛盾使得该地水资源问题尤为突出;增城位于广州市辖区范围,地理位置上和

东莞相邻,西南方向靠近珠江口,人口聚集,且只有部分支流流经该地,水资源量较少,但其人均生活用水量却很高,水资源压力较大;惠州市区水资源量最少,但其生活和工业用水量较大,水资源问题也比较突出。东莞、博罗、龙门和惠阳 4 地客观上存在水资源禀赋、产业结构、经济社会发展水平的差异,水资源功能评价等级为中等;东莞位于流域下游,东江干流穿过,水资源较为丰富,境内产业发达,人口聚集,人均生活用水量大,但其工业用水效率较高;龙门境内河流较少,与博罗生活用水量相似,但龙门多山地,工业用水量较低;惠阳人均生活用水量和龙门以及博罗相近,但是万元工业增加值用水量比龙门高比博罗低,单位 GDP 用水量远小于龙门。深圳和惠东的水资源功能评价等级为良;深圳人口密集,生活用水量大,但其发展是以高新技术产业为主,工业用水效率高;惠东多山地,人口少,水资源量较丰富,万元工业增加值用水量也不高,单位 GDP 用水量处于中等水平。河源市区位于流域上游,多山地,城乡建设用地少,人口基数小,生活用水量低,且水资源总量丰富,水资源功能评价等级为优。

由表 1 可见,惠州市区的水环境功能评价等级为差,惠州市区面积相对较小,人口比较集中,万元工业增加值废水排放量为所有地区中最高,生活污水和工业废水排放量较大,水环境问题尤为突出。水环境功能评价等级为较差的是博罗、龙门、惠东和河源市区,不难发现这几个地区城镇建成区面积和人口密度较小;博罗、龙门和惠东 3 地城市生活污水处理效率一般,万元工业增加值废水排放量略高,工业废水排放量较大;河源市区生活污水排放量较少,但万元工业增加值废水排放量很高,尤其是市区工业废水排放量大。东莞人口密度大,工业发达,大小企业集聚,虽然其生活污水和工业废水排放量大,但已投入大量资金来治理环境尤其是水环境问题,污水处理效率高,水功能区的水质状况已得到明显改

表 1 广东省东江流域水资源、水环境与水生态功能评价结果

Table 1 Evaluation results of water resources, water environment and water ecology functions in Dongjiang River Basin of Guangdong Province

区域	水资源承载力	水资源功能等级	水环境承载力	水环境功能等级	水生态承载力	水生态功能等级
新丰	0.2883	差	0.8413	优	0.9940	优
深圳	0.4666	良	0.9290	优	0.4636	较差
增城	0.3361	较差	0.4678	良	0.4902	较差
博罗	0.4061	中	0.3686	较差	0.8236	中
龙门	0.5791	中	0.3519	较差	0.9618	优
惠阳	0.4464	中	0.4111	中	0.7780	中
惠州市区	0.3426	较差	0.0936	差	0.7258	中
惠东	0.5473	良	0.3490	较差	0.9223	良
东莞	0.3920	中	0.4010	优	0.0773	差
河源市区	0.3048	优	0.3577	较差	0.7520	中

善,水环境功能评价等级为中等。水环境功能评价等级为良的地区是增城,虽然其万元工业增加值废水排放量较大,但有着较低的生活污水排放量和较高的城市生活污水处理效率,水环境整体状况较好。水环境功能评价等级为优的地区是深圳和新丰;深圳虽然有着高密度的人口及庞大的废污水排放量,但凭借其雄厚的经济实力,污水处理率最高,而且其以高新技术产业为主,对环境影响较小;新丰人口少、经济发展水平一般,且多林地,城市建成区面积小,生活污水和工业废水排放量也很小,水环境质量好。

由表 1 可见,东江流域水生态功能评价等级最差的是东莞,较差的是深圳和增城;不难发现这 3 个地区均为人口聚集区,东莞城镇建设面积比较大,且城镇建设不断向周围扩张,全市森林覆盖率较低,仅靠近深圳的部分林区比较集中;深圳森林覆盖率要略高于东莞,但由于人口规模庞大且高度聚集,产业发达,大量排放的生产生活废水、垃圾使其水功能区的水质问题依旧十分严峻;增城位于广州城区边缘地带,近年来承接了大量产业转移,高速发展带来的污染使其生态环境质量不断恶化,水功能区的水质状况不容乐观。水生态功能评价等级为中等的地区有博罗、惠州市区、惠阳和河源;从地理位置上看,这几个地区主要位于东江流域的中游和上游,人口相对较少,且森林覆盖率较前几个地区高。惠东濒临南海,区域内人口主要集中在西部城镇建设区,东部地区多林地,森林覆盖率较高,生态环境用水量较低,水生态功能评价等级为良。龙门和新丰森林覆盖率最高,辖区内无大面积的城镇建设区,水功能区的水质较好,水生态功能评价等级为优。

3.2 水资源、水环境与水生态功能交互作用

表 2 为东江流域水资源、水环境与水生态功能评价指数的 Spearman 相关系数,可以看出它们之间不存在明显的相关关系。其中,水资源与水生态为负相关关系,相关系数为 -0.055,说明二者相关性很小,这与表 1 中结果一致,如,新丰的水资源功能评价等级为差,而水生态功能评价等级为优,惠州市区的水资源评价等级为较差,但水生态评价等级为中等。水资源与水环境也为不显著的负相关,相关系数为 -0.200,如,新丰水资源功能评价等级差,而

水环境功能评价等级却为优,河源市区水资源功能评价等级为优而水环境功能评价等级却为较差。水生态与水环境相关系数为 -0.224,同样也存在不显著的负相关性,如,河源市区和博罗的水环境功能评价等级较差,其水生态功能评价等级为中等。另外,新丰和惠阳的水生态以及水环境功能评价等级也未呈现出显著的相关性。由表 2 可知,3 个涉水功能间相关系数为负,说明其不存在协同作用;虽然 3 个涉水功能间相关系数为负值,但在 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平上不存在相关性,所以三者间并不存在冲突作用。因此,广东省东江流域水资源、水环境与水生态功能三者之间无显著相关性,交互作用类型为兼容。

3.3 显著水问题类型识别

根据优势功能的划分方法,即某类功能的指标评价价值大于该类功能均值加 0.5 倍标准差则为优势功能^[31],结合流域水资源、水环境与水生态功能间的交互作用类型,本文最终将广东省东江流域各地区划分为 6 种涉水问题显著类型。每一种涉水问题显著类型即代表在某一地区内该类涉水功能相对于另外一种或者两种来说较弱,而非显著型表示该区域的 3 种涉水功能较为均衡,处于中游水平。

a. 水资源问题显著型。属于该类型的地区为新丰,新丰属于典型的山区县,和其他地区相比,新丰水资源总量少且万元工业增加值用水量 and 单位 GDP 用水量较大,造成新丰地区水资源短缺,与其水生态和水环境情况相比,新丰的水资源承载能力较弱,所以应注重节约用水同时减少非必要的水资源输出。

b. 水环境问题显著型。属于该类型地区为惠东,惠东濒临南海,是一个沿海山区县,森林覆盖率较好,东江的支流、西枝江流经该境,水资源状况良好,用水量相对较少。制鞋业为惠东的支柱型产业,包括制鞋业在内的制造业的发展使得惠东地区产生了一定程度的工业废水,污水处理效率相对较低而生活污水排放量又相对较高,和其水资源和水生态状况相比,水环境问题较为突出。惠东作为沿海县区,可适当加大海产品服务业,降低制造业规模,充分发挥其地理位置优势作用,改善水环境现状。

表 2 水资源、水环境与水生态功能评价指数 Spearman 相关系数

功能	水资源		水环境		水生态	
	相关系数	显著性(双侧)	相关系数	显著性(双侧)	相关系数	显著性(双侧)
水资源	1		-0.200	0.580	-0.055	0.881
水生态	-0.055	0.881	-0.224	0.533	1	
水环境	-0.200	0.580	1		-0.224	0.533

c. 水生态问题显著型。属于该类型的地区为深圳,和其他几个地区相比,深圳经济发达、人口密集,城市化进程快,建设用地不断向周围扩张,其森林覆盖率处于较低水平。此外,深圳以高新技术产业发展为主,传统的对环境污染影响较大的工业企业发展在深圳受到限制,其工业用水量远小于其他地区,由工业生产带来的水环境污染问题相较于其他地区并不是很严重,但深圳众多的人口使得其生活污水排放量居高不下,虽然全市加大水污染治理投资,但是目前形势依旧十分严峻,水功能区水质达标率低,进而造成突出的水生态问题。因此,合理控制水资源消耗,提高人们的节水和环保意识将有助于深圳的水生态文明建设。

d. 水资源-水环境问题显著型。属于该类型的地区为龙门,龙门属于典型的多山地区,森林覆盖率较高,水资源量一般,水质状况相对较好,但是其单位 GDP 用水量较高,工业废水排放量较大,并且污水处理效率相对较低,综合三者情况来看,龙门地区水资源和水环境问题比较突出,短期内可通过引流或者降低水资源消耗量来改善水资源供给现状,同时控制生活污水和工业废水的排放量并加大污水处理效率,以此来改善水资源与水环境问题。

e. 水生态-水环境问题显著型。属于该类型地区为河源市区,河源市区地处东江中上游,面积较大,三大河流(东江、北江、韩江)贯穿境内,水资源总量丰富,生态环境用水量相对较大。河源市区多山区,人口密度相对较小,但城市生活污水处理率较低,且由于其境内矿产资源丰富,工业用水量和工业废水排放量很大,因此导致其水质状况较差,水功能区水质达标率低。因此,相对于水资源来说,河源市区水生态和水环境问题比较突出,未来需要降低工业废水排放量,调整产业结构,提高用水效率和污水处理率,以改善其水生态和水环境问题。

f. 非显著型:属于该类型的地区共有 5 个,分别为增城、东莞、博罗、惠州市区和惠阳,在空间上分布较为集中,同时也是人口聚集区,水资源、水生态与水环境问题均不突出。这些地区水资源总量不多,但是由于人口稠密,产业较为发达,生活和工业用水量较大。相对来讲,东莞水功能区水质达标率较低,需加大污水处置力度和水环境治理投资;增城本地水资源量偏低,需增加供水安全保障体系建设,持续推进节约用水;博罗单位 GDP 用水量较高,需进一步优化产业结构,提高用水效率;惠州市区万元工业增加值废水排放量为流域各地市最高,需持续推进节能减排,在提高用水效率的同时,配套完善污水处理设施,降低可能带来的水环境问题的风险。

4 结 论

a. 广东省东江流域水资源、水环境与水生态功能空间格局呈显著差异性。水资源功能的优良等级主要分布在河源、惠东等流域的东北片区;水环境功能为优良等级的片区分布较散,主要分布在新丰、增城和深圳等地;水生态功能的优良等级主要分布在流域中游的新丰、龙门片区。

b. 水资源与水环境、水生态功能呈现不显著的负相关关系,三者的交互作用类型为兼容。

c. 基于流域水资源、水环境与水生态功能状态和功能间的交互作用类型识别,将东江流域各地区划分为 6 种涉水问题显著类型:水资源问题显著型、水环境问题显著型、水生态问题显著型、水资源-水环境问题显著型、水生态-水环境问题显著型和非显著型。

参考文献:

- [1] WU X, LIU S, CHENG F, et al. A regional strategy for ecological sustainability: a case study in Southwest China [J]. Science of The Total Environment, 2018, 616/617: 1224-1234.
- [2] ZHANG H, PANG Q, HUA Y, et al. Linking ecological red lines and public perceptions of ecosystem services to manage the ecological environment: a case study in the Fenghe River watershed of Xi'an [J]. Ecological Indicators, 2020, 113: 106218.
- [3] LI S, ZHAO X, PU J, et al. Optimize and control territorial spatial functional areas to improve the ecological stability and total environment in karst areas of Southwest China [J]. Land Use Policy, 2021, 100: 104940.
- [4] 刘燕, 胡安焱. 渭河流域水问题、成因及其对策研究 [J]. 水资源保护, 2007, 23(1): 17-21. (LIU Yan, HU Anyan. Causes of formation of water problems in Weihe River Basin and countermeasures [J]. Water Resources Protection, 2007, 23(1): 17-21. (in Chinese))
- [5] HU M, LI Z, YUAN M, et al. Spatial differentiation of ecological security and differentiated management of ecological conservation in the Pearl River Delta, China [J]. Ecological Indicators, 2019, 104: 439-448.
- [6] 袁艳梅, 沙晓军, 刘煜晴, 等. 改进的模糊综合评价法在水资源承载力评价中的应用 [J]. 水资源保护, 2017, 33(1): 52-56. (YUAN Yanmei, SHA Xiaojun, LIU Yuqing, et al. Application of improved fuzzy comprehensive evaluation method to water resources carrying capacity evaluation [J]. Water Resources Protection, 2017, 33(1): 52-56. (in Chinese))
- [7] JIA Z, CAI Y, CHEN Y, et al. Regionalization of water environmental carrying capacity for supporting the sustainable water resources management and development

- in China [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2018, 134:282-293.
- [8] 张需琴,李景保,李忠武. 三峡水库运行下荆南三口地区水环境承载力研究[J]. 水资源保护, 2017, 33(6): 133-141. (ZHANG Xuqin, LI Jingbao, LI Zhongwu. Research on water environment carrying capacity of Three Diversions of Jingjiang River under operation of Three Gorges Reservoir[J]. Water Resources Protection, 2017, 33(6):133-141. (in Chinese))
- [9] 赵筱青,李思楠,谭琨,等. 基于功能空间分类的抚仙湖流域“3类空间”时空格局变化[J]. 水土保持研究, 2019, 26(4):299-305. (ZHAO Xiaqing, LI Sinan, TAN Kun, et al. Spatial-temporal pattern change of ‘town-agriculture-ecological space’ in Fuxian Lake Basin based on functional space classification[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(4):299-305. (in Chinese))
- [10] 王筱春,夏雪,雷轩. 基于生态保护红线的滇池流域生态空间管控[J]. 经济地理, 2020, 40(5):191-197. (WANG Xiaochun, XIA Xue, LEI Xuan. Ecological space control of Dianchi Lake Basin based on Ecological Protection Red Line[J]. Economic Geography, 2020, 40(5):191-197. (in Chinese))
- [11] 孔令桥,王雅晴,郑华,等. 流域生态空间与生态保护红线规划方法:以长江流域为例[J]. 生态学报, 2019, 39(3):835-843. (KONG Lingqiao, WANG Yaqing, ZHENG Hua, et al. A method for evaluating ecological space and ecological conservation redlines in river basins: a case of the Yangtze River Basin[J]. Acta ecologica Sinica, 2019, 39(3):835-843. (in Chinese))
- [12] 贾紫牧,曾维华,王慧慧,等. 流域水环境承载力综合评价分区研究:以湟水流域小峡桥断面上游为例[J]. 生态经济, 2018, 34(4):169-174. (JIA Zimu, ZENG Weihua, WANG Huihui, et al. A study on assessment zoning for water environmental carrying capacity at the watershed scale: a case study on upstream area of Xiaoxia Bridge Section in Huangshui River Basin[J]. Ecological Economy, 2018, 34(4):169-174. (in Chinese))
- [13] 余珮珩,冯明雪,刘斌,等. 顾及生态安全格局的流域生态保护红线划定及管控研究:以云南杞麓湖流域为例[J]. 湖泊科学, 2020, 32(1):89-99. (YU Peiheng, FENG Mingxue, LIU Bin, et al. Demarcation and administration of watershed ecological protection red line considering the ecological security pattern: a case of the Qilu Lake watershed, Yunnan Province [J]. Journal of Lake Science, 2020, 32(1):89-99. (in Chinese))
- [14] 何祥亮,许克祥. 安徽池州市升金湖流域空间管控研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(23):44-46. (HE Xiangliang, XU Kexiang. Research on space management and control of Shengjin Lake Basin in Chizhou City of Anhui Province [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(23):44-46. (in Chinese))
- [15] 杨晴,孙翀,张建永,等. 海南省水生态空间管控对策研究[J]. 中国水利, 2017(16):21-24. (YANG Qing, SUN Chong, ZHANG Jianyong, et al. Measures for management and control of aquatic ecological space in Hainan Province[J]. China Water Resources, 2017(16):21-24. (in Chinese))
- [16] 王晓红,孙翀,李宗礼. 贵阳市南明河流域水生态空间管控对策研究[J]. 水利规划与设计, 2017(11):72-74. (WANG Xiaohong, SUN Chong, LI Zongli. Study on the spatial control strategy of water ecology in Nanming River Basin, Guiyang [J]. Water Resources Planning and Design, 2017(11):72-74. (in Chinese))
- [17] 杨晴,张梦然,赵伟,等. 水生态空间功能与管控分类[J]. 中国水利, 2017(12):3-7. (YANG Qing, ZHANG Mengran, ZHAO Wei, et al. Function of ecological storeroom of water and its classification for management and control[J]. China Water Resources, 2017(12):3-7. (in Chinese))
- [18] 王来健. 采煤沉陷湖人工湿地的价值评估与空间管治[D]. 南京:南京大学, 2017.
- [19] 岳东霞,杨超,江宝骅,等. 基于 CA-Markov 模型的石羊河流域生态承载力时空格局预测[J]. 生态学报, 2019, 39(6):120-130. (YUE Dongxia, YANG Chao, JIANG Baohua, et al. Spatio-temporal pattern prediction of the biocapacity in the Shiyang River Basin on the basis of the CA-Markov model [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(6):120-130. (in Chinese))
- [20] 徐翔宇,郦建强,金菊良,等. 基于风险矩阵的多要素水资源承载力综合评价方法[J]. 水利水电科技进展, 2020, 40(1):1-9. (XU Xiangyu, LI Jianqiang, JIN Juliang, et al. Comprehensive evaluation method of multi-factor water resources carrying capacity based on risk matrix[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2020, 40(1):1-9. (in Chinese))
- [21] 王好芳,窦实,郭乐. 东江流域水资源承载能力评价[J]. 水资源保护, 2009, 25(1):40-43. (WANG Haofang, DOU Shi, GUO Le. Evaluation of water resources carrying capacity in the Dongjiang River Basin[J]. Water Resources Protection, 2009, 25(1):40-43. (in Chinese))
- [22] 吕乐婷,王晓蕊,江源,等. 基于 SWAT 模型的东江流域蓝水、绿水时空分布特征研究[J]. 水资源保护, 2017, 33(5):53-60. (LYU Leting, WANG Xiaorui, JIANG Yuan, et al. Research on spatial and temporal distribution features of green and blue water in Dongjiang River Basin based on SWAT model[J]. Water Resources Protection, 2017, 33(5):53-60. (in Chinese))
- [23] 胡启玲,董增川,杨雁飞,等. 基于联系数的水资源承载力状态评价模型[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2019, 47(5):425-432. (HU Qiling, DONG Zengchuan, YANG Yanfei, et al. State evaluation model of water resources carrying capacity based on connection number [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2019, 47(5):425-432. (in Chinese))

(下转第 42 页)