

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2018.04.11

雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域国家及尼泊尔水土-经济耦合评价

吕燕¹, 陈俊旭^{1,2}, 赵红玲¹

(1. 云南大学资源环境与地球科学学院, 云南昆明 650504;

2. 云南大学国际喀斯特联合研究中心, 云南昆明 650091)

摘要:采用耦合协调度模型,研究了雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域4个国家及尼泊尔1961—2014年的水土资源和经济发展耦合状况。结果表明:研究区域1961—2000年水土资源承载水平高于经济发展水平,2001—2014年则相反,水土资源承载变化与经济发展缺乏同步性;1961—2014年各国水土资源与经济耦合协调度介于0.312~0.739,处于濒临失调和基本协调型,耦合协调最好的是尼泊尔,最差的是孟加拉国;耦合协调度提升幅度最大的是中国,达到0.368,幅度变化最小的是孟加拉国;各国水土资源与经济发展系统对比关系由经济滞后型转变为水土资源支撑滞后型。

关键词:水土资源;耦合协调度;雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域;尼泊尔;中国

中图分类号:TV122 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2018)04-0061-06

Evaluation on water and land-economy coupling of countries in Yarlungzangbo-Brahmaputra River Basin and Nepal

LYU Yan¹, CHEN Junxu^{1,2}, ZHAO Hongling¹

(1. School of Resource Environment and Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650504, China;

2. International Joint Research Center for Karstology, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: The coupling coordination degree model was performed to assess the coupling level of water and land resources and economy of the four countries in the Yarlungzangbo-Brahmaputra River Basin and Nepal from 1961 to 2014. The results show that the carrying level of water and land resources is higher than the level of economic development from 1961 to 2000, which is opposite from 2001 to 2014. The change of carrying level of water and land resources is not synchronous with economic development. The coupling coordination degree of water and land resources and economy in the five countries is between 0.312 and 0.739, which indicates that the countries are on the verge of disorders or basic coordination. Nepal is on the best coupling coordination and Bangladesh is on the worst state. China experiences a huge improvement with 0.368 of coupling coordination degree and Bangladesh has the smallest change in magnitude. For all the study countries, the correlation between water and land resources and economy changes from the mode of economic lag to water and land resource lag.

Key words: water and land resources; coupling coordination degree; Yarlungzangbo-Brahmaputra River Basin; Nepal; China

基金项目:国家自然科学基金(41661144,41701039);“东陆中青年骨干教师培养计划”项目(WX069051);云南省重点实验室项目(2015DG012)

作者简介:吕燕(1993—),女,硕士研究生,研究方向为水土资源耦合配置。E-mail:lvyan201306@163.com

通信作者:陈俊旭,讲师。E-mail:chenjunxu@ynu.edu.cn

水土资源是一个国家可持续发展的基础和综合国力的有机组成部分,支撑和保障流域国家的社会经济发展^[1-3]。水土资源禀赋能否与经济发展相协调,将直接影响流域水土资源良性发展和资源经济可持续发展^[4]。特别是在全球资源问题日益突出的背景下,如何有效利用水土资源、促进经济协调、缓解流域争端、实现水土资源增长的有效耦合已是当前研究的热点^[5-6]。

雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域涉及众多国家,跨国水资源开发及利用已导致流域水土-经济矛盾日益突出,吸引着越来越多的学者关注。此前,已有学者对雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域做过研究,内容上,主要是研究流域极端气候事件^[7]、水资源特性^[8]、气候变化与土地覆被变化等对可更新水资源的影响^[9];区域上,开展了雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域 GDP 数据空间分布^[10]、泥沙^[11]、降水预报^[9]等工作以及其他局部或区域尺度^[12]的研究;在地缘政治上,开展了“稀缺-冲突”视角解释中印崛起背景下跨境水资源问题^[13]、印度与不丹特殊关系的发展进程^[14]、国际河流安全性^[15]等研究。然而这些研究未涉及雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域水土-经济耦合及其对地缘政治的指示意义。“一带一路”是我国政府提出的国际合作倡议,雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域所涉及国家与“一带一路”倡议关系密切,受到“一带一路”的深刻影响,流域存在的水资源问题^[16]以及水土-经济匹配问题也将反过来影响“一带一路”倡议的顺利实施。

本文利用信息熵值法及耦合协调度模型,对雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域 4 个国家及尼泊尔 1961—2014 年水土-经济发展的耦合协调程度进行

评价,以期在“一带一路”倡议实施背景下为流域资源经济可持续发展提供参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

雅鲁藏布江发源于喜马拉雅山,从藏南进入印度,在藏南巴昔卡附近与其他两河合流后称布拉马普特拉河(印度境内),流经孟加拉国后称为贾木纳河,于瓜伦多卡德与恒河汇合,最后注入孟加拉湾,全长为 2 900 km^[10-12]。雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域经中国、印度、孟加拉国、不丹以及边界国尼泊尔。

1.2 数据来源

数据主要来源于世界银行《世界发展指标(1961—2014)》。选取雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域涉及的 4 个国家(中国、印度、孟加拉国、不丹)及尼泊尔,将其 54 年的水资源、土地资源、经济发展数据划分为 6 个年代,从水土地资源子系统^[17]和经济子系统^[18]两方面选取水土资源综合指标与经济发展指标。其中取水总量和人均可再生内陆淡水资源年代数据缺失,采用最近距离替代法进行插补^[19]。

2 研究方法

2.1 评价指标体系构建及权重计算

在兼顾代表性、基础性与可获取性的原则,依据指标特征与性质,从水土资源和经济子系统两方面选取 12 个指标,构建水土资源与经济发展耦合评价指标体系(表 1),其中人口密度、二氧化碳排放量的指标为负功效,其余指标为正功效。采用信息熵值法计算各指标权重^[20-23],计算公式为

表 1 水土资源与经济发展耦合评价指标体系及权重

指标类型	指标名称	指标单位	指标特征与性质	权重
水土资源指标	农业用地面积	km ²	农业用地资源总量(+)	0.1689
	人口密度	人/km ²	人口压力(-)	0.1617
	人均耕地面积	hm ²	人均耕地资源状况(+)	0.1656
	二氧化碳排放量	kt	水土环境状况(-)	0.1616
	取水总量	10 ⁹ m ³	水资源总体水平(+)	0.1668
	人均可再生内陆淡水资源	m ³	人均水资源状况(+)	0.1754
经济发展指标	国内总储蓄	美元	经济发展水平(+)	0.1705
	居民最终消费支出	美元	人民消费水平(+)	0.1681
	人均 GDP	美元	人民生活水平(+)	0.1631
	城镇人口增长率	%	城镇化发展水平(+)	0.1619
	农业增加值	美元	农业发展状况(+)	0.1661
	工业增加值	美元	工业发展状况(+)	0.1704

注:“+”指正功效;“-”指负功效。

$$\lambda_{ij} = \frac{1 - e_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (1 - e_{ij})} \quad (1)$$

式中： λ_{ij} 为指标权重值； e_{ij} 为指标的信息熵值。

2.2 耦合协调度计算

借鉴物理学中容量耦合概念以及容量耦合系数模型,采用耦合度评价水土资源与经济发展两个系统的耦合关联程度,耦合度反映两个系统的一致性,计算公式为

$$C = 2 \left(\frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \right)^{1/2} \quad (2)$$

其中 $\mu_1 = \sum_{j=1}^6 \lambda_{1j} \chi_{1j}$ $\mu_2 = \sum_{j=1}^6 \lambda_{2j} \chi_{2j}$

式中： C 为耦合度, $C \in [0, 1]$ ； μ_1 为水土资源子系统功效值； λ_{1j} 为水土资源系统各指标权重值； χ_{1j} 为水土资源系统各指标的标准值； μ_2 为经济发展子系统功效值； λ_{2j} 为水土资源系统各指标权重值； χ_{2j} 为水土资源系统各指标的标准值。

耦合度只能说明系统中子系统相互作用的强弱,不能反映系统协调水平的高低。为杜绝耦合度偏离实际,采用耦合协调度来评价水土资源与经济发展的协调水平^[24],计算公式为

$$D = [C(a\mu_1 + b\mu_2)]^{1/2} \quad (3)$$

式中： D 为水土资源与经济发展的耦合协调度； a 、 b 为待定系数,需要考虑水土资源与经济发展系统的重要性来确定。考虑到水土资源是社会经济发展的基础,水土资源的承载能力将制约经济的发展,但经济发展水平将带动资源产业优化、节水技术发展、水土集约程度的提高,从而系统提高资源利用效率,减少资源浪费,加强水土资源保护。因此,水土资源和经济发展两个系统相互作用,彼此影响,本文将水土资源与经济发展视为同等重要,取 $a = b = 0.5$ 。

为表征水土资源和经济发展两个系统的协调发展程度,将耦合协调发展程度划分为高度协调型、基本协调型、濒临失调型、失调衰退型 4 个大类 10 个亚类(表 2)。再根据水土资源系统和经济发展系统的功效值对比,将其分为水土资源滞后型、经济滞后型、水土资源与经济平衡型 3 个大类 7 个亚类^[24-26](表 3)。

3 结果与讨论

3.1 研究区域水土资源与经济发展系统功效值变化

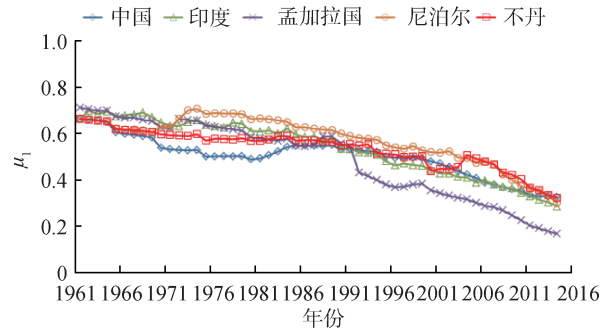
通过计算得出研究区域 5 个国家水土资源和经济发展两个系统的功效值,见图 2。由图 2 可见,研究期内各国经济发展系统总体都表现出增强趋势,

表 2 水土资源与经济耦合协调度划分标准

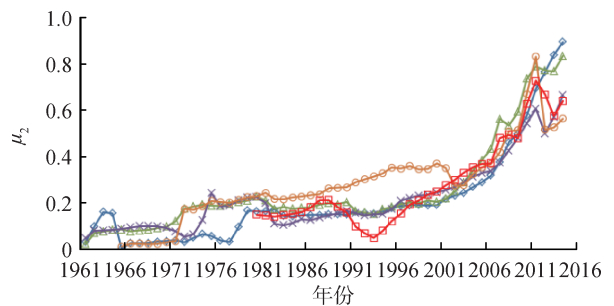
协调程度	耦合协调度	耦合协调类型
	[0.9, 1.0)	优质协调型
高度协调型	[0.8, 0.9)	良好协调型
	[0.7, 0.8)	中级协调型
基本协调型	[0.6, 0.7)	初级协调型
	[0.5, 0.6)	勉强协调型
濒临失调型	[0.4, 0.5)	濒临失调衰退型
	[0.3, 0.4)	轻度失调衰退型
	[0.2, 0.3)	中度失调衰退型
失调衰退型	[0.1, 0.2)	严重度失调衰退型
	[0, 0.1)	极度失调衰退型

表 3 水土资源与经济发展系统功效值比值分类

对比关系	对比类型	μ_1 与 μ_2 比值	类型
$\mu_1 < \mu_2$	水土资源滞后型	$\mu_1/\mu_2 > 0.6$	水土资源略微滞后型(Ⅰ)
		$0.4 < \mu_1/\mu_2 \leq 0.6$	水土资源轻微受损型(Ⅱ)
		$0 < \mu_1/\mu_2 \leq 0.4$	水土资源明显受损型(Ⅲ)
$\mu_1 > \mu_2$	经济滞后型	$\mu_2/\mu_1 > 0.6$	经济略微滞后型(Ⅳ)
		$0.4 < \mu_2/\mu_1 \leq 0.6$	经济轻微滞后型(Ⅴ)
		$0 < \mu_2/\mu_1 \leq 0.4$	经济明显滞后型(Ⅵ)
$\mu_1 = \mu_2$	平衡型	$\mu_1/\mu_2 = 1$	经济环境同步型(Ⅶ)



(a) 水土资源系统



(b) 经济发展系统

图 2 1961—2016 年研究区域内 5 个国家水土资源和经济发展两个系统功效值变化

中国上升最为显著,孟加拉国表现弱于其他国家,尼泊尔 2000 年前上升势头优于其他国家。各国水土资源系统总体都表现出衰退趋势,表明水土资源承载系统矛盾日益突出。孟加拉国水土资源系统衰退最快,尼泊尔和不丹衰退表现趋缓。各国变化发展均表现出两个阶段的特征,1961—2000 年 μ_1 总体

高于 μ_2 , 表明水土资源承载量的增加值快于经济系统的发展速度; 2001—2014 年 μ_2 总体上高于 μ_1 , 表明经济发展速度快于水土资源承载量的增加值。

依据 μ_1 与 μ_2 的比值, 研究区域国家可分为水土资源略微滞后型、水土资源轻微受损型、水土资源明显受损型、经济略微滞后型、经济轻微滞后型、经济明显滞后型 6 种(表 4)。在 2000 年之前, 各国 $\mu_1 > \mu_2$, 都属于经济滞后型, 即经济发展劣于水土资源承载水平; 2000—2010 年, 中国、尼泊尔、不丹属于经济略微滞后型, 而印度、孟加拉国属于水土资源略微滞后型; 在 2011 年之后, 各国 $\mu_1 < \mu_2$, 都属于水土资源滞后型。研究期内, 各国对比关系都发生了显著的变化, 即由经济滞后型转变为水土资源滞后型。其中, 印度变化最大, 尼泊尔变化最小, 整体上看, 尼泊尔运行平稳, 印度动荡。在区域上各国均未能达到水土资源支撑与社会经济发展良好匹配, 特别是印度和孟加拉国经济社会发展明显损害了水土资源承载能力。2000 年后 μ_1/μ_2 值的快速转变说明各国经济发展系统变化远快于水土资源系统, 水土资源被过度消耗, 流域水土资源已经面临较大的压力和风险。

表 4 研究区域国家 1961—2014 年水土资源与经济系统对比类型变化

国家	水土资源与经济系统对比类型					
	1961—1970 年	1971—1980 年	1981—1990 年	1991—2000 年	2001—2010 年	2011—2014 年
中国	VI	VI	VI	VI	IV	II
印度	VI	VI	VI	VI	I	III
孟加拉国	VI	VI	VI	V	I	III
尼泊尔	VI	VI	VI	IV	IV	II
不丹		VI	VI	VI	IV	II

3.2 研究区域水土资源系统与经济发展系统耦合协调度演变

研究期内, 5 个国家水土资源系统与经济系统的耦合协调度总体都表现出增强趋势(表 5)。各国协调程度属于濒临失调类型和基本协调类型, 中国、印度、尼泊尔、不丹的耦合协调度为 0.5~0.6, 属于基本协调的勉强协调型, 孟加拉国的协调水平相对较低, 濒临失调。从平均值看, 各国中耦合协调最好的是尼泊尔, 印度次之, 孟加拉国最差; 20 世纪 60 年代, 耦合协调度最好的是孟加拉国、印度次之, 尼泊尔最差(缺不丹数据); 从 2011 年后, 耦合协调度最好的是中国, 印度次之, 孟加拉国最差; 耦合协调度提升幅度最大的是中国, 达到 0.368, 变化幅度最小的是孟加拉国。

表 5 研究区域国家 1961—2014 年水土资源与经济发展耦合协调度变化

国家	D 值						平均 值
	1961—1970 年	1971—1980 年	1981—1990 年	1991—2000 年	2001—2010 年	2011—2014 年	
中国	0.371	0.375	0.487	0.498	0.565	0.739	0.506
印度	0.444	0.562	0.544	0.496	0.605	0.720	0.562
孟加拉国	0.460	0.522	0.486	0.462	0.510	0.537	0.496
尼泊尔	0.312	0.568	0.605	0.639	0.631	0.662	0.570
不丹		0.499	0.518	0.462	0.630	0.689	0.560

3.3 研究区国家水土资源与经济发展耦合协调度的地缘政治指示意义

水土资源-经济发展耦合评价结果可从资源禀赋与经济支撑匹配、各国演变幅度、进展效果等方面为区域跨境安全提供支撑: ①从长期来看, 地区水土资源支撑与经济发展匹配较好的区域是尼泊尔、印度和不丹, 中国和孟加拉国较差, 这也反映出中国在 1990 年以前未能充分发挥水土资源对经济社会发展的支撑作用; ②从演变幅度看, 中国和印度变化显著, 中国与印度同属经济发展迅猛国家, 是“金砖国家”的代表, 经济快速发展促使两个区域大国的水土资源面临紧张; ③从耦合协调程度看, 孟加拉国在 20 世纪 60 年代开始较其他国家领先, 20 世纪 90 年代后不断退步。

水土资源是社会经济发展的基础资源, 水土资源与经济系统的对比关系揭示水土资源与经济发展系统演变类型, 并对地缘政治具有一定的意义。流域相关国的政治、经济、水电开发、洪水防治和水资源分配等一直是区域纠纷的核心问题。水土资源系统显示出一定的脆弱性^[27], 围绕水安全的本国风险向外转移及跨境冲突将增加流域国家未来经济社会发展的不确定性及风险。各国在 20 世纪 60 年代经济发展水平都很低, 印度是当时流域经济发展最好的, 随着各国经济发展水平有所提升, 中国在 20 世纪 80 年代经济发展水平显著提高, 区域合作成为主流。然而, 雅鲁藏布江是世界海拔最高的大河, 水土资源开发的经济效益与控制南亚区域的战略意义显著, 开发主导权的意义突出, 成为相关国家跨境纠纷、利益冲突和外交斡旋的重要内容^[28]。现阶段, 世界性的缺水危机以及雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域各国对水土资源的需求再次引发新的冲突。随着中国经济快速发展, 中国影响力不断上升, 但面对雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域各国资源与经济协调发展水平不均衡的状况, 围绕区域发展变化的历史冲突要素将产生新的变化。

4 结 论

a. 雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域国家及尼泊尔 1961—2000 年 μ_1 总体高于 μ_2 , 2001—2014 年 μ_2 总体上高于 μ_1 , 其经济发展与水土资源承载变化缺乏同步性。研究期内流域国经济发展系统表现出增强趋势, 中国上升最为显著, 耦合协调度提升幅度达到 0.368; 水土资源系统表现出衰退趋势, 孟加拉国衰退最快。

b. 研究期内, 各国水土资源与经济系统耦合协调度为 0.312 ~ 0.739, 耦合协调程度为濒临失调类型和基本协调类型。中国、印度、尼泊尔和不丹属于勉强协调型, 孟加拉国的耦合协调水平相对较低。

c. 各国水土资源与经济系统对比关系由经济滞后型转变为水土资源滞后型。2000—2010 年, 印度、孟加拉国属于水土资源略微滞后型; 2010 年之后, 各国都属于水土资源滞后型; 印度由经济略微滞后变为水土资源直接受损, 变化最大; 尼泊尔近 10 年才由经济略微滞后转为水土资源略微受损, 运行平稳。印度和孟加拉国经济社会发展明显损害了水土资源承载能力。

水土资源与经济发展耦合协调程度对地缘政治具有一定指示意义, 但囿于数据精度、政治外交复杂性及未来不确定性等, 需要进一步开展不同时期资源与经济发展关系所反映的地缘利益诉求和冲突风险、水土资源脆弱性及跨境水安全等研究。

参考文献:

[1] 刘彦随, 吴传钧. 中国水土资源态势与可持续食物安全 [J]. 自然资源学报, 2002, 17 (3): 270-275. (LIU Yansui, WU Chuanjun. Situation of land-water resources and analysis of sustainable food security in China [J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17 (3): 270-275. (in Chinese))

[2] 张利平, 夏军, 胡志芳, 等. 中国水资源状况与水资源安全问题分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18 (2): 116-120. (ZHANG Liping, XIA Jun, HU Zhifang, et al. Situation and problem analysis of water resource security in China [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009, 18 (2): 116-120. (in Chinese))

[3] 杨艳昭, 张伟科, 封志明, 等. 土地利用变化的水土资源平衡效应研究: 以西辽河流域为例 [J]. 自然资源学报, 2013, 28 (3): 437-449. (YANG Yanzhao, ZHANG Weike, FENG Zhiming, et al. Land use change induced land and water resources balance: a case study on the Xiliaohe Watershed [J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28

(3): 437-449. (in Chinese))

[4] 夏军, 陈俊旭, 翁建武, 等. 气候变化背景下水资源脆弱性研究与展望 [J]. 气候变化研究进展, 2012, 8 (6): 391-396. (XIA Jun, CHEN Junxu, WENG Jianwu, et al. Advances and future prospects of research in water resources vulnerability under climate change [J]. Advances in Climate Change Research, 2012, 8 (6): 391-396. (in Chinese))

[5] 吕添贵, 吴次芳, 游和远. 鄱阳湖生态经济区水土资源与经济发展耦合分析及优化路径 [J]. 中国土地科学, 2013, 27 (9): 3-10. (LYU Tianguai, WU Cifang, YOU Heyuan. Study on the coupling degree and optimizing path between land-water resources and economic development in the Ecological Economical Zone of Poyang Lake [J]. China Land Science, 2013, 27 (9): 3-10. (in Chinese))

[6] 吴业鹏, 袁汝华. 丝绸之路经济带背景下新疆水资源与经济社会协调性评价 [J]. 水资源保护, 2016, 32 (4): 60-66. (WU Yepeng, YUAN Ruhua. Evaluation of coordination between water resources and economic and social development in Xinjiang in context of Silk Road Economic Belt [J]. Water Resources Protection, 2016, 32 (4): 60-66. (in Chinese))

[7] 游庆龙, 康世昌, 闫宇平, 等. 近 45 年雅鲁藏布江流域极端气候事件趋势分析 [J]. 地理学报, 2009, 64 (5): 592-600. (YOU Qinglong, KANG Shicang, YAN Yuping, et al. Trends in daily temperature and precipitation extremes over the Yarlung Zangbo River Basin during 1961-2005 [J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64 (5): 592-600. (in Chinese))

[8] MD SHAHRIAR P, GEOFFREY M H. Assessing the impacts of climate and land use and land cover change on the freshwater availability in the Brahmaputra River Basin [J]. Journal of Hydrology: Regional Studies, 2015 (3): 285-311.

[9] MD SHAHRIAR P, GEOFFREY M H. Projections of the Ganges Brahmaputra precipitation Downscale from GCM predictors [J]. Journal of Hydrology, 2014, 517: 120-134.

[10] 周秋文, 杨胜天, 蔡明勇. 雅鲁藏布江-布拉马普特拉河流域 GDP 数据空间化估算与分析 [J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15 (5): 176-182. (ZHOU Qiuwen, YANG Shengtian, CAI Mingyong. Estimation and analysis of spatialized gross domestic product data in Tsangpo-Brahmaputra River Basin [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15 (5): 176-182. (in Chinese))

[11] WANG Zhaolin, YU Gaoan, WANG Xuzhao, et al. Sediment storage and morphology of the Yalu Tsangpo valley due to uneven uplift of the Himalaya [J]. Science China Earth Sciences, 2015, 58 (8): 1440-1445.

[12] 杨志刚, 卓玛, 路红亚, 等. 1961—2010 年西藏雅鲁藏

- 布江流域降水量变化特征及其对径流的影响分析[J]. 冰川冻土, 2014, 36(1): 166-172. (YANG Zhigang, ZHUO Ma, LU Hongya, et al. Characteristics of precipitation variation and its effects on runoff in the Yarlung Zangbo River basin during 1961-2010 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(1): 166-172. (in Chinese))
- [13] 杨晓萍. 超越“稀缺-冲突”视角: 中印崛起背景下跨境水资源问题[J]. 国际论坛, 2012(4): 37-43. (YANG Xiaoping. Beyond “scarcity-conflict” perspective: trans-boundary water in the context of emerging India and rising China [J]. International Forum, 2012(4): 37-43. (in Chinese))
- [14] 童宇韬. 印度与不丹特殊关系的发展进程[J]. 东南亚南亚研究, 2015(4): 36-42. (TONG Yutao. The development process of special relationship between India and Bhutan [J]. Southeast Asian and South Asian Studies, 2015(4): 36-42. (in Chinese))
- [15] 周秋文, 杨胜天, 蔡明勇, 等. 基于事件数据的雅鲁藏布江-布拉马普特拉河国际河流安全分析[J]. 世界地理研究, 2013(4): 127-133. (ZHOU Qiuwen, YANG Shengtian, CAI Mingyong, et al. Security analysis of international river based on event data of the Yarlung Zangbo-Brahmaputra River [J]. World Regional Studies, 2013(4): 127-133. (in Chinese))
- [16] 左其亭, 郝林钢, 马军霞, 等. “一带一路”分区水问题及借鉴中国治水经验的思考[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(1): 1-7. (ZUO Qiting, HAO Lingang, MA Junxia, et al. “Belt and Road” water problem in regionalization and reflections on drawing lessons from China’s water management experiences [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(1): 1-7. (in Chinese))
- [17] 董雯, 杨宇, 张豫芳, 等. 绿洲城镇发展与水土资源开发的耦合效应及其时空分异[J]. 资源科学, 2013, 35(7): 1355-1362. (DONG Wen, YANG Yu, ZHANG Yufang, et al. Coupling effect and spatio-temporal differentiation between Oasis City development and water-land resources [J]. Resources Science, 2013, 35(7): 1355-1362. (in Chinese))
- [18] 刘耀彬, 杨新梅, 周瑞辉, 等. 中部地区经济增长中的水土资源“增长尾效”对比研究[J]. 资源科学, 2011, 33(9): 1781-1787. (LIU Yaobing, YANG Xinmei, ZHOU Ruihui, et al. A comparative analysis of resources consumption drag of the central region of China [J]. Resources Science, 2011, 33(9): 1781-1787. (in Chinese))
- [19] 沈琳, 陈千红, 谭红专. 缺失数据的识别与处理[J]. 中南大学学报(医学版), 2013, 38(12): 1289-1294. (SHEN Lin, CHEN Qianhong, TAN Hongzhuan. Identification and treatment of missing data [J]. Journal of Central South University (Medical Science), 2013, 38(12): 1289-1294. (in Chinese))
- [20] QIAO Biao, FANG Chuanglin. The dynamic coupling model of the harmonious development between urbanization and eco-environment and its application in arid area [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 3003-3009.
- [21] LI Yangfan, LI Yi, ZHOU Yan, et al. Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment [J]. Journal of Environmental Management, 2012, 15: 127-133.
- [22] 郭显光. 改进的熵值法及其在经济效益评价中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 1998(12): 98-102. (GUO Xianguang. Application of improved entropy method in evaluation of economic result [J]. Systems Engineering Theory & Practice, 1998(12): 98-102. (in Chinese))
- [23] 朱彬, 马晓东. 基于熵值法的江苏省农村人居环境质量评价研究[J]. 云南地理环境研究, 2011, 23(2): 44-51. (ZHU Bing, MA Xiaodong. Quality evaluation of rural human settlements in Jiangsu Province based on entropy method [J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2011, 23(2): 44-51. (in Chinese))
- [24] 张晓涛, 于法稳. 黄河流域经济发展与水资源匹配状况分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(10): 1-6. (ZHANG Xiaotao, YU Fawen. Analysis of the matching status between economic development and water resources in the Yellow River Basin [J]. China Population Resources and Environment, 2012, 22(10): 1-6. (in Chinese))
- [25] 郭施宏, 王富喜. 山东省城市化与城市土地集约利用耦合协调关系研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6): 163-167. (GUO Shihong, WANG Fuxi. Coupled coordination between urbanization and intensive urban land use in Shandong Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(6): 163-167. (in Chinese))
- [26] 黄德春, 孙敏敏. 新疆水贫困与城市化的协调关系研究[J]. 水资源保护, 2017, 33(1): 30-34. (HUANG Dechun. Study of coordination between water poverty and urbanization in Xinjiang [J]. Water Resources Protection, 2017, 33(1): 30-34. (in Chinese))
- [27] CHEN Junxu, XIA Jun, ZHAO Zhifang, et al. Using the RESC model and diversity indexes to assess the cross-scale water resource vulnerability and spatial heterogeneity in the Huai River Basin, China [J]. Water, 2016, 8(10): 431.
- [28] 邱志鹏, 张光科. 雅鲁藏布江水资源开发的战略思考[J]. 水利发展研究, 2006, 6(2): 15-19. (QIU Zhipeng, ZHANG Guangke. Strategic thinking on the development of water resources in the Yarlung Zangbo River [J]. Water Resources Development Research, 2006, 6(2): 15-19. (in Chinese))

(收稿日期: 2018-02-28 编辑: 王芳)