

皖江城市带城市化与水资源环境耦合的时空变异分析

王飞, 李景保, 陈晓, 徐志

(湖南师范大学 资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410081)

摘要: 在建立城市化与水资源评价指标体系的基础上, 构建了两者之间的耦合协调度模型, 对皖江城市带的城市化与水资源环境的耦合关系进行时空分析。结果表明: 2005年到2014年, 皖江城市带的城市化与水资源环境的耦合协调度处于0.3852到0.9411之间, 大致呈波动上升的态势, 多数年份属于高度协调的耦合。空间上, 皖江城市带9个地级市的水资源环境与城市化的耦合协调度差异较大, 整体上呈现东南高西北低的态势, 最高的合肥达到0.8168, 而最低的六安则只有0.3506, 大多属于中度协调的耦合、高度协调的耦合、极度协调的耦合3个类型, 且耦合协调度与各区域经济发展水平之间有很大的对应关系。

关键词: 城市化; 水资源环境; 耦合协调度; 皖江城市带

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)01-0001-06

Spatiotemporal variability analysis of coupling relationship between urbanization and water resources environment of Wan River city belt

WANG Fei, LI Jingbao, CHEN Xiao, XU Zhi

(College of Resources and Environmental Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: Based on the assessment indicator system of urbanization and water resource, in this paper a coupling coordination degree model between them was constructed, and then the spatiotemporal variations of coupling relationship between urbanization and water resource environment of Wan river city belt were analyzed. The result showed that, from 2005 to 2014, the coupling coordination degree between urbanization and water resource environment of Wan river city belt ranged between 0.3852 and 0.8336 and had a fluctuant increasing trend, most of the years belonged to high-coordination couplings. Spatially, an obvious difference in coupling degree between urbanization and water resources environment was detected among the 9 prefecture-level cities, characterized by high value in the southeast and low value in the northwest areas, of which Hefei had the highest coupling degree (0.8168) while Lu'an had the lowest value (0.3506). Most cities belonged to three types of middle, high, or extreme coupling degree level, and a congruent relationship could be seen between coupling degree and economic development level among different areas.

Key words: urbanization; water resources environment; coupling coordination degree; Wan river city belt

城市化与生态环境的交互耦合关系已成为地理研究和区域发展研究的一个核心问题^[1]。城市化水平的提高意味着城市人口的增加、城市面积的扩张、城市公共设施和的提升以及人民生活水平的全面提高。城市化在带来这些文明和进步的同时也面临着巨大的生态环境特别是水资源环境的压力。水资源是城市化发展的重要支撑, 城市化的健康发展离不开水资源环境的协调与优化, 同时水资源环境

的破坏也成为限制城市化发展的重要因素。城市化与水资源环境系统之间客观上存在着复杂的耦合作用^[2]。

2010年国家正式批复《皖江城市带承接产业转移示范区规划》, 安徽沿江城市带承接产业转移示范区建设纳入国家发展战略。皖江城市带承接产业转移示范区包括合肥、芜湖、滁州、马鞍山、铜陵、安庆、池州、宣城以及六安的裕安区和舒城县, 总面积7.6 ×

收稿日期: 2016-08-07; 修回日期: 2016-10-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571100); 湖南省重点学科(地理学)建设项目

作者简介: 王飞(1992-), 女, 安徽宣城人, 硕士研究生, 主要从事区域经济发展方面的研究工作。

通讯作者: 李景保(1951-), 男, 湖南桂阳人, 本科, 教授, 硕士生导师, 主要从事水文水资源方面的研究。

10^4 km^2 , 人口 $3\ 096 \times 10^4$ 人, 分别占全省的 54% 和 45%。2014 年的地区生产总值达 $104\ 027 \times 10^8$ 元, 占全省的 67%, 城市化水平达 55.9%, 高于全省 6.8 个百分点。皖江城市多年平均降雨量为 1 300 mm, 年内降水分布不均, 水资源总量约 $540 \times 10^8 \text{ m}^3$, 人均水资源拥有量约 $1\ 400 \text{ m}^3$, 低于全国平均水平。城市带沿岸重工业分布密集, 污染加剧。流域内面临水资源短缺、水质下降等水资源环境问题。城市化的发展, 给水资源环境造成了巨大的压力, 因此研究皖江城市带城市化与水资源环境之间关系已是大势所趋。且目前对于皖江城市带的研究主要集中在产业转移方面, 对于城市化与水资源环境的研究还是空白。基于此, 本文通过构建城市化与水资源环境之间的协调度模型, 对多水地区皖江城市带的城市化与水资源环境之间的关系进行量化研究。

1 数据的来源与处理

1.1 数据来源

文章的数据主要来源于 2005 - 2014 年的安徽省统计年鉴和安徽省水资源公报。通过分别统计皖江城市带各城市 2005 - 2014 年的各项指标, 然后相加求得平均值作为皖江城市带的指标得分, 对皖江城市带的城市化和水资源环境的耦合情况进行时间变化分析, 再以 9 个地级市 2005 - 2014 年各指标的平均值作为截面数据进行空间差异分析。鉴于资料的可得性和城市之间的可比性, 本文用六安市代替六安市中属于皖江城市带的舒城县和裕安区。

1.2 数据处理

由于原始数据的量纲不同, 无法进行比较, 需要对原始数据进行无量纲化处理。本文主要是参考相关文献[3 - 5], 运用极差法对数据进行标准化处理。

2 指标体系的建立和权重

2.1 指标体系的建立

城市化和水资源环境都是由复杂的体系构成, 因此必须建立一个全面的指标体系来反映其发展和利用情况。在遵循指标体系选取的科学性、主导型、动态性、层次性的基础上, 参考相关文献[6 - 9]并结合皖江城市带的实际情况, 初步确定从人口城市化、社会城市化、空间城市化和经济城市化 4 个准则层中选取 15 个指标来反映城市化的发展情况, 从水资源水平、水资源压力、水资源管理 3 个准则层中选取 11 个指标来反映水资源环境的情况。城市化与水资源环境的指标体系见表 1。

2.2 指标权重的确定

由于城市化和水资源环境的各个指标对其作用大小不同, 因此每个指标的权重也不一样。本文利用层次分析法(AHP)来确定指标的权重, AHP 是将评价要素按各要素之间的隶属关系分成目标层、准则层和措施层, 在征求专家意见的基础上, 确定出递阶层次结构各指标的两两判断矩阵, 根据求得的判断矩阵利用求和法或者是方根法计算特征向量和最大特征值, 然后对矩阵进行一致性检验^[8], 最终结果见表 1。

3 城市化和水资源环境耦合协调度模型建立

3.1 耦合协调度模型建立

耦合度和协调度的计算模型有很多, 目前应用较多的有刘耀彬等^[10]和乔标等^[4]利用协同思想建立的城市化与生态环境之间的耦合度模型以及张晓东等^[11]建立的城市承载力和经济发展之间耦合协调度模型。但考虑到城市化和水资源交互耦合的动态性、不平衡性的特征, 并结合实际情况, 本文参考了刘耀彬^[12]提出的协调发展度模型, 构造了能够全面反映两个子系统的整体“功效”与“协同”效应的耦合协调度模型。首先城市化与水资源综合评价指数模型可表示为:

$$T = \alpha f(x) + \beta g(y) \quad (1)$$

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \omega_i x_i \quad (2)$$

$$g(y) = \sum_{j=1}^n \omega_j y_j \quad (3)$$

式中: T 为城市化和水资源综合评价指数; $f(x)$ 和 $g(y)$ 分别代表城市化和水资源综合评价函数; ω_i 、 ω_j 为各指标的权重。设 x_i 为城市化指标 ($i = 1, 2, 3, \dots, m$), y_j 为水资源环境指标 ($j = 1, 2, 3, \dots, n$)。 α 和 β 为待定系数(根据皖江城市带的实际情况认为城市化和水资源同等重要, 因此取 $\alpha = \beta = 0.5$)。

城市化与水资源环境的协调发展度模型为:

$$C = \left\{ \frac{f(x) \cdot g(y)}{\left[\frac{f(x) + g(y)}{2} \right]^2} \right\}^k \quad (4)$$

$$D = \sqrt{T \cdot C} \quad (5)$$

式中: C 为耦合度; k 为调节系数, 一般情况下 $2 \leq k \leq 5$, 在此取 $k = 2$; D 为耦合协调度。显然 $0 < C < 1$, 且 C 越大越协调, D 越大耦合协调度越高。

表 1 城市化与水资源环境的指标体系

目标层	准则层	措施层	指标属性	权重
城市化	人口城市化 (0.2145)	人口城市化水平	正向	0.0715
		第三产业人口占总就业人口的比重	正向	0.1430
		第三产业在 GDP 中的比重	正向	0.0736
	经济城市化 (0.3876)	第三产业占非农产业的比重	正向	0.0470
		人均 GDP	正向	0.1041
		人均工业总产值	正向	0.1629
	社会城市化 (0.2741)	万人拥有医生数	正向	0.0292
		万人普通高校在校人数	正向	0.0385
		万人拥有公共车辆数	正向	0.0508
		城镇居民人均消费支出	正向	0.0671
		城镇居民人均可支配收入	正向	0.0885
	空间城市化 (0.1238)	人均建成区面积	正向	0.0520
		人均公共绿地面积	正向	0.0333
		人均城市道路面积	正向	0.0235
		人均住房面积	正向	0.0150
水资源	水资源水平 (0.1958)	人均水资源拥有量	正向	0.1057
		年径流深	正向	0.0320
		人均年降雨量	正向	0.0581
	水资源压力 (0.3108)	人均用水量	逆向	0.0335
		万元工业产值用水量	逆向	0.0908
		万元 GDP 用水量	逆向	0.0580
		万元工业产值废水排放量	逆向	0.1284
	水资源管理 (0.4934)	工业废水达标排放率	正向	0.2235
		城市污水处理率	正向	0.1291
		生态环境用水率	正向	0.0583
		废水治理设施费用占 GDP 的比重	正向	0.0825

3.2 耦合协调类型的判别

根据协调度 C 的值和耦合协调度 D 的值,参考已有文献的划分标准^[13-14],现将耦合度和耦合协调度划分为 6 个类型,如表 2。

表 2 城市化与水资源环境耦合协调类型的判别

耦合度(C)	发展阶段	耦合协调度(D)	发展阶段
$C = 0$	无序发展	$D = 0$	完全失调阶段
$0 < C \leq 0.3$	低水平耦合	$0 < D \leq 0.4$	低度协调的耦合
$0.3 < C \leq 0.5$	拮抗阶段	$0.4 < D \leq 0.5$	中度协调的耦合
$0.5 < C \leq 0.8$	磨合阶段	$0.5 < D \leq 0.8$	高度协调的耦合
$0.8 < C < 1$	高水平协调	$0.8 < D < 1$	极度协调的耦合
$C = 1$	有序发展	$D = 1$	完全协调阶段

4 结果分析

4.1 皖江城市带城市化和水资源环境耦合的时间变化

在对各指标的数据进行无量纲化处理的基础上,利用公式(2)和(3)分别计算出各年份皖江城市

带城市化和水资源环境的综合评价指数,然后利用这两个评价指数,根据公式(4)和(5)计算出城市化和水资源环境耦合的评价值——耦合度 C 和耦合协调度 D , 计算结果见图 1。

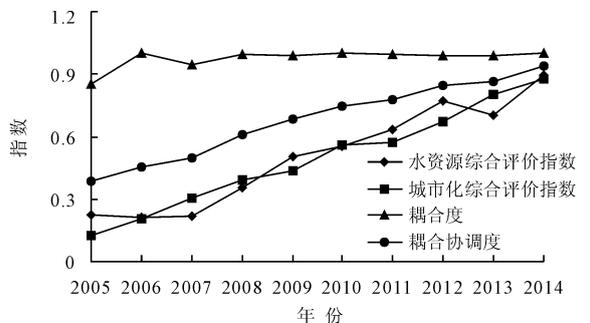


图 1 皖江城市带城市化与水资源耦合度及耦合协调度的变化趋势图(2005 - 2014 年)

4.1.1 城市化与水资源环境综合评价指数的时间变化 城市化综合评价指数的变化源于人口、经济、社会、空间 4 项指标的变化。皖江城市带 2005 - 2014 年城市化综合评价 4 项指标的具体变化趋势

见图2。

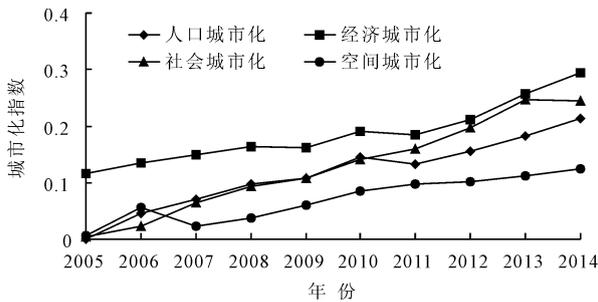


图2 皖江城市带城市化综合评价4项指标时间变化趋势图(2005-2014年)

由图1可以看出皖江城市带的城市化发展水平总体上是呈现一个波动上升的趋势,城市化综合评价指数从2004年的0.1258上升到2014年的0.8773。具体可以分为两个时间变化阶段:第1阶段2005-2009年,城市化综合评价指数在0.13到0.44之间。由图2可以看出在此阶段,人均生产总值、人均收入和消费的增长幅度不大,经济城市化的增长速度较慢,城市空间的增长未能满足人口增长的需要,空间城市化的增长幅度也较小。第2阶段2010-2014年,城市化综合评价指数在0.55到0.88之间。2010年皖江城市带承接产业转移示范区被确定作为国家战略,城市带也由此进入快速发展时期,人均可支配收入和消费水平大幅度提高,经济城市化迅速发展,同时人口城市化的发展速度也较快,如图2所示。虽然社会城市化的发展有所波动,但其他3项指标特别是经济城市化的快速上升导致城市化水平在2010年以后迅速提升。

水资源环境综合评价3项指标的变化决定了水资源环境综合评价指数的最终变化趋势,皖江城市带2005-2014年水资源环境综合评价3项指标的具体变化趋势见图3。

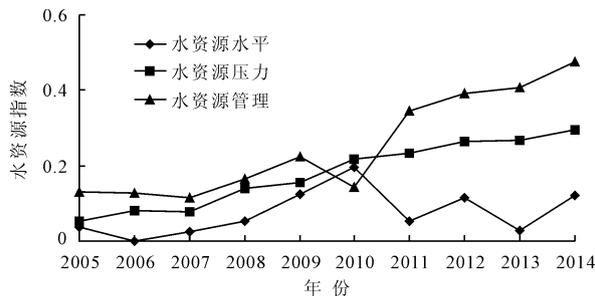


图3 皖江城市带水资源综合评价3项指标时间变化趋势图(2005-2014年)

图1显示水资源环境指数从2005年的0.226波动上升到2014年的0.8942。根据水资源环境综

合评价指数的变化趋势可以将其划分为3个阶段。第1阶段2005-2007年。此阶段水资源环境综合评价指数在0.2到0.23之间,如图3所示,水资源水平值相对于其他年份较低,由于处于研究时间范围的最早期,其经济发展水平也不高,水资源管理能力弱,水资源压力大,因此水资源环境综合评价指数较低。第2阶段2008-2010年。此阶段为平稳上升阶段,皖江城市带经济稳速发展,水资源压力逐渐减小,水资源管理水平也逐步提高,促使水资源环境得到改善。第3阶段2011-2014年,皖江城市带作为国家战略的提出和之后的开发建设,促进了整个皖江城市带经济发展水平的提高,水资源管理水平和水资源压力得到了较大幅度的改善,水资源环境发展较好。但在2013年出现了较大的波动,主要由于2013年皖江城市带的水资源水平较低,导致2013年水资源综合评价指数的降低。

4.1.2 耦合度和耦合协调度的时间变化 由图1可以看出皖江城市带城市化和水资源环境的综合评价指数都呈现波动上升的趋势,其变化趋势具有很大的相似性,因此耦合度较高,且波动性较小。耦合数值处于0.85到1之间,属于高水平耦合阶段。但耦合度只能表明城市化与水资源环境的耦合情况,并不能反映两者的发展水平,耦合协调度则是两者的结合。

皖江城市带水资源环境与城市化的耦合协调度处于0.35到0.95之间,大致呈一个波动上升的趋势,多数年份属于高度协调的耦合。2005-2014年城市化与水资源环境耦合协调类型的具体判别情况见表3。

表3 城市化与水资源环境耦合协调类型的判别(2005-2014)

年份	耦合协调度的发展阶段
2005	低度协调的耦合
2006-2007	中的协调的耦合
2008-2011	高度协调的耦合
2012-2014	极度协调的耦合

如表3所示,2005-2007年分别属于低度和中度协调的耦合,耦合协调度较低。在此期间,皖江城市带的城市化发展水平不高,工业化处于加速时期,水资源压力较大,水资源的管理水平也较差,水资源环境处于恶化时期。因此在此阶段城市化与水资源环境的耦合协调度较低。2008-2014年属于高度协调和极度协调的耦合阶段。此阶段皖江城市带的

经济发展速度较快,人民生活水平不断提高,生活质量明显改善,经济城市化和城市社会化的发展速度较快。城市化水平的提高也促使了水资源环境的改善,人们开始加大对水资源环境的重视和管理,通过不断加强经费投入和科技支撑来改善水资源环境状况,城市化与水资源环境的耦合度越来越高。

4.2 皖江城市带城市化与水资源环境耦合的空间差异

皖江城市带作为一个统一的整体其内部也存在一定的空间差异,本文利用各地级市 2005 到 2014 年城市化和水资源环境数据的平均值求得各城市城市化和水资源环境的综合评价指数,并在此基础上求得其耦合度以及耦合协调度。结果见表 4。

表 4 皖江城市带各城市城市化与水源的耦合度和耦合协调度

城市	城市化指数	水资源指数	耦合度 C	耦合协调度 D
合肥	0.7037	0.6372	0.9951	0.8168
滁州	0.1579	0.4835	0.5510	0.4204
六安	0.1146	0.4043	0.4738	0.3506
马鞍山	0.5891	0.5184	0.9919	0.7412
芜湖	0.5609	0.5817	0.9993	0.7556
宣城	0.2553	0.4843	0.8175	0.5498
铜陵	0.6889	0.5200	0.9613	0.7623
池州	0.2799	0.5047	0.8425	0.5749
安庆	0.1486	0.4224	0.5930	0.4115

4.2.1 耦合度的空间变化 结合上文耦合度的判别标准,可以看出皖江城市带 9 个地级市分别处于拮抗、磨合和高水平协调 3 个耦合阶段。

处于高水平协调阶段的城市得分在 0.9 到 1 之间,包括合肥、马鞍山、芜湖、铜陵、宣城和池州。其中合肥、马鞍山、芜湖和铜陵的城市化综合评价指数要稍高于水资源环境综合评价指数,这些城市的城市化发展水平较高,人们在追求物质享受的同时也开始关注环境变化,思想和技术的进步使水资源管理水平不断提高,水资源压力也逐渐减小。而宣城和池州的城市化综合评价指数则小于水资源环境综合评价指数,这两个城市的城市化与水资源发展水平都不高,经济发展水平较低,水资源管理能力也不够,但水资源环境和城市化都处于皖江城市带的中等水平,因此两者的耦合度较好。处于磨合阶段的包括滁州和安庆,其得分在 0.5 到 0.6 之间。这两个城市的城市化综合发展水平低,水资源环境状况要

高于城市化发展水平。

六安市处于拮抗阶段,耦合度为 0.4738,其城市化发展水平低而水资源的状况则较好。城市化发展对周围的水资源环境的影响不大,城市化发展的潜力较大。

4.2.2 耦合协调度的空间变化 通过 ArcGIS 软件绘制出皖江城市带各城市水资源与城市化耦合协调度的空间分布情况,如图 4 所示。从图 4 中可以看出,皖江城市带各城市的城市化与水源的耦合协调度差异较大,基本处于中度协调的耦合和高度协调的耦合,整体呈现东南高、西北低的态势。

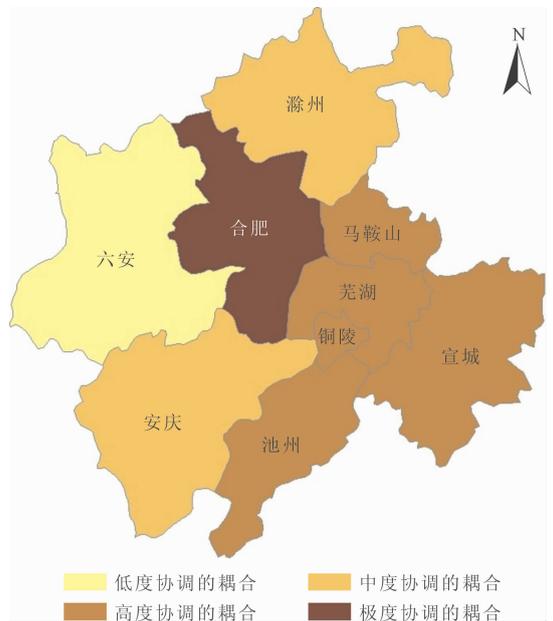


图 4 皖江城市带各城市 2014 年城市化与水资源耦合协调度空间分布图

合肥作为安徽省的省会城市水资源与城市化已经进入极度协调的耦合阶段。城市化的发展水平高,科学技术较发达,受教育水平高,思想意识较为先进,对水资源环境的调控能力越来越强,在城市化不断发展的同时,水资源环境也在不断地改善。因此耦合协调度处于整个皖江城市带的领先水平。

处于高度协调的耦合的城市包括马鞍山、芜湖、铜陵、宣城和池州,其中马鞍山、芜湖和铜陵的耦合协调度较高,在 0.7 以上。这几个城市的城市化已经发展到对周边生态环境做出积极响应的阶段,因此城市化和水资源环境的水平都较高,耦合协调度较好。宣城和池州的耦合协调度稍低,在 0.5 到 0.6 之间。宣城和池州的城市化和水资源都处于中等水平,城市化与水源的协调度较好,因此其耦合协调度也较高。

处于中度协调的耦合有安庆和滁州,耦合协调度在0.4到0.5之间。其水资源环境的综合评价指数不低,但城市化发展水平则较低,因而城市化与水源的耦合协调度不高。

六安处于低度协调的耦合,其城市化处于整个皖江城市带的最低水平,经济发展水平较为落后,水资源的管理水平低,水资源环境与城市化的耦合协调度低。

5 结论与讨论

通过建立指标体系和水资源与城市化的耦合协调度模型对皖江城市带城市化与水源的耦合协调度进行评价,最后得出如下结论:

(1)在时间上,皖江城市带的城市化与水源环境的耦合协调度呈波动上升的趋势,从2005年的0.3852上升到2014年的0.9411。多数年份属于高度和极度协调的耦合阶段,耦合协调度较高。由此可见皖江城市带的水资源还有较大的利用潜力,因此,皖江城市带在未来的发展中,应加快城市化进程,拓展城市发展空间,促进人口集聚,提高城市发展的质量。在城市化发展的同时注意水源的保护与节约,减少污染,提高用水效率。

(2)在空间上,皖江城市带各地级市的城市化与水源的耦合协调度差异较大。基本处于低度协调的耦合、高度协调的耦合和极度协调的耦合3个耦合阶段。马鞍山、芜湖、铜陵、宣城和池州属于高度协调的耦合,且马鞍山、芜湖、铜陵的城市化水平要高于水源环境水平,因此在未来的发展中应该更加注重水源环境的保护,加大水源保护的经费和科技投入。而宣城和池州的城市化水平则低于水源水平,水源的承载能力较强,因此应加大经济发展的力度,努力提高城市化水平和城市发展的经济效益。六安和安庆处于低度协调的耦合阶段,城市化的发展水平低,水源的承载能力也较强,应在大力发展城市化的同时注意水源的保护与节约。合肥属于极度协调的耦合阶段,城市化发展已经达到较高水平,在未来的发展中应更加注重水源节约与保护及相关技术装备的研发和应用。

(3)城市化与水源耦合协调度的空间差异也

反映出了皖江城市带各城市经济发展水平的空间差异。经济发展水平较高的城市同时耦合协调度也较高。这一结论也符合城市发展的一般规律,即城市在发展到一定阶段后就会对周围的生态环境做出积极地响应。

参考文献:

- [1] 王少剑,方创琳,王洋. 京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度[J]. 生态学报, 2015, 35(7): 2244-2254.
- [2] 张胜武,石培基,王祖静. 干旱区内陆河流域城市化与水源环境系统交互耦合分析——以石羊河流域为例[J]. 经济地理, 2012, 32(8): 142-148.
- [3] 何小勤,乔标. 甘肃河西走廊城市化与水源的协调发展[J]. 城市环境与城市生态, 2010, 23(5): 6-9.
- [4] 乔标,方创琳,黄金川. 干旱区城市化与生态环境交互耦合的规律性及其验证[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2183-2190.
- [5] 陈明星,陆大道,张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J]. 地理学报, 2009, 64(4): 387-398.
- [6] 刘艳艳,王少剑. 珠三角地区城市化与生态环境的交互胁迫关系及耦合协调度[J]. 人文地理, 2015(3): 64-71.
- [7] 李静芝,朱翔,李景保,等. 洞庭湖区城市化进程与水源利用的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1677-1685.
- [8] 李娜,孙才志,范斐. 辽宁沿海经济带城市化与水源耦合关系分析[J]. 地域研究与开发, 2010, 29(4): 47-51.
- [9] 夏富强,唐宏,杨德刚,等. 干旱区典型绿洲城市发展与水源地潜力协调度分析[J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5883-5892.
- [10] 刘耀彬,李仁东,宋学锋. 中国城市化与生态环境的耦合度分析[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 105-112.
- [11] 张晓东,池天河. 90年代中国省级区域经济与环境协调度分析[J]. 地理研究, 2001, 20(4): 506-515.
- [12] 刘耀彬. 区域城市化与生态环境耦合特征及机制——以江苏省为例[J]. 经济地理, 2006, 26(3): 456-462.
- [13] 熊东旭,陈荣. 南京城市化与水源环境耦合关系实证研究[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2015, 43(5): 95-101.
- [14] 蒋元勇,章茹,丰锴斌. 南昌市城市化与水源环境交互耦合作用关系分析[J]. 人民长江, 2014, 45(14): 17-21.