

中国省域水资源生态足迹格局均衡性研究

陆砚池, 方世明

(中国地质大学(武汉)公共管理学院, 武汉 430074)

摘要:以水资源生态足迹格局模型为基础,通过基尼系数及其分解和重心迁移分析来衡量水资源配置的均衡程度和均衡性的动态演变过程。结果表明:(1) 水资源生态压力保持“北高南低”格局,水资源经济效率高效区域主要集中于长江经济带、环渤海经济区、东南沿海地区和京津冀区域周边;(2) 水资源生态压力总体基尼系数长期逼近于0.4的均衡性警戒线,地区间水资源生态压力差异较大。水资源经济效率总体基尼系数整体较低,我国水资源生态足迹与承载力不甚匹配,与GDP则较为匹配;(3) 2006—2015年水资源生态压力的重心位于中国地理重心东北部,且有往东迁移的趋势,水资源经济效率的重心位于中国地理重心东南部,且有向西南部迁移的趋势。

关键词:水资源生态足迹; 均衡性; 基尼系数; 重心迁移

中图分类号:F205

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)04-0289-09

Study on Equilibrium of Ecological Footprint Pattern of Provincial Water Resources in China

LU Yanchi, FANG Shiming

(School of Public Administration, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: We describe the equilibrium degree of water resources allocation and the dynamic evolution of equilibrium by Gini index and its decomposition and migration of barycenter based on ecological footprint of water resources pattern model. The results show that: (1) the ecological pressure of water resources is higher in the north and lower in the south, and the regions with high economic efficiency of water resources mainly concentrate in the Yangtze River Economic Belt, the Bohai Rim Economic Zone, the southeast coastal area and the surrounding region of Beijing—Tianjin—Hebei; (2) the overall Gini index of water resources ecological pressure is approaching the equilibrium warning line of 0.4 for a long time, and the ecological pressures of water resources in different regions are quite different, the overall Gini index of water resources economic efficiency is low, and the ecological footprint of water resources in China does not match the carrying capacity and is more in line with GDP; (3) during the period from 2006 to 2015, the barycenter of the ecological pressure of water resources is located in the northeast of Chinese geographical barycenter, and has a trend of eastward migration; the barycenter of the economic efficiency of water resources is located in the southeast of Chinese geographical barycenter, and has a trend of migration towards the southwest.

Keywords: ecological footprint of water resources; equilibrium; Gini index; migration of barycenter

我国是世界上严重缺水的国家之一,水资源时空分布不均、供需矛盾尖锐、循环利用率低等现实情况^[1],已经成为制约经济发展和生态可持续性的重要原因,因此水资源生态足迹格局的空间均衡性研究就尤为重要,这可以为我国调水、节水、治水政策提供合

理建议,保证水资源配置合乎经济和生态的双重要求。生态足迹模型是由加拿大资源生态学家 Rees 提出的,该模型通过估计人类消耗的自然资源量以及消化人类产生废弃物所需要的生产性土地面积,来评价区域生态可持续发展能力^[2]。水资源生态足迹则是

将区域消费的水资源量通过一系列方法折算为土地面积。其意义表现在人类和自然两方面:其一是人类生产生活活动对水资源的消耗,其二是自然界为维持自身生态功能对水资源的需求^[3]。目前水资源生态足迹测算方法已经较为成熟,主要以黄林楠的生态足迹账户为标准,将水资源生态足迹划分为生活用水足迹、生产用水足迹和生态蓄水足迹 3 个二级账户^[3],这种方法也逐渐成为水资源生态足迹的主流测算方法^[4-6]。水资源生态足迹空间均衡性是衡量各个区域水资源实际消耗量和需求量的平衡程度,目前关于水资源生态足迹空间均衡性的研究比较少,现有研究可以从两个角度进行归纳:

(1) 研究方法。关于水资源生态足迹均衡性的研究方法主要有指标体系法和指数分析法。指标体系法是构建关于均衡性的指标体系,并赋权求值。贾绍凤等选取水可持续性、社会公平和经济效率三方面指标对宁夏平原用水合理性进行测算^[7];Mimi 等通过构建水资源分配公平指标并加权求和,测度了约旦河流域内国家水资源分配公平性^[8]。指数分析法主要是将数学、经济学中的公平指数引入,用以定量测度水资源分配均衡性,目前用的较多的指数包括基尼系数^[4,9-10]、泰尔指数^[11]和差异系数^[12-13]。

(2) 研究区域尺度。关于水资源生态足迹均衡性的研究尺度包括国家尺度^[14-15]、城市群尺度^[16]、省(市)级尺度^[17-18]和流域尺度^[8,19],其中研究多以省(市)和流域尺度为主,大区域尺度的研究较少,然而水资源具有很强的流动性和外部性,仅仅局限于小尺度区域难以从宏观上为节水和治水政策提供可靠建议。

综合来看,前人的水资源生态足迹研究成果为本文提供了诸多可借鉴的经验。但水资源生态足迹均衡性的研究还存在一些不足之处,大尺度区域的均衡性研究还比较少见,已有研究多为区域小尺度研究,均衡性指标也多为全局性指标,难以进行分区均衡性评价。本文即在前人的研究基础之上,构建水资源生态足迹格局模型(水资源生态压力和水资源经济效率模型),然后通过基尼系数及其分解来分析东、中、西部大尺度区域水资源生态足迹格局的区域均衡性和均衡性的边际效应,再通过重心迁移分析来弥补基尼系数在地理要素空间分布均衡性动态分析方面的不足,阐述 10 a 间水资源生态足迹格局的均衡性演变趋势。

1 研究方法和数据来源

1.1 水资源生态足迹格局模型

1.1.1 水资源生态足迹模型 本文计算水资源生态

足迹主要考虑水资源的淡水供给功能、水产养殖功能和水质净化功能,因此将水资源生态足迹分为 3 类:淡水资源生态足迹、水产品生态足迹和水污染生态足迹^[20]。其中淡水资源生态足迹以工业、农业、生活用水和生态环境补水为基础,此外由于水体可同时实现水产养殖功能和水质净化功能,因此区域水资源生态足迹包含两部分:水产品生态足迹(EF_{wp})与水污染生态足迹(EF_{ww})的最大值、淡水资源生态足迹(EF_{fw})。各类水资源生态足迹计算公式为:

$$EF_{wp} = N\varphi_1 \times (AC_{wp} / AP_1)$$

$$EF_{ww} = N\varphi_2 \times (AC_{ww} / AP_2)$$

$$EF_{fw} = N\varphi_2 \times (AC_{fw} / AP_2)$$

总的水资源生态足迹则为:

$$WEF = \max(EF_{wp} + EF_{ww}) + EF_{fw}$$

式中:WEF 为总的水资源生态足迹(hm^2); N 为人口数量; AC_{wp} 为人均水产品消耗量($t/人$); AC_{ww} 为人均水污染净化需水量($m^3/人$); AC_{fw} 为人均水资源消耗量($m^3/人$); φ_1 为全球水域均衡因子,根据刘某承和李文华的测算取 0.35^[21]; φ_2 为全球水资源均衡因子,根据黄林楠的测算取 5.19^[3]; AP_1 为全球水产品平均生产能力(t/hm^2),本文取 0.18 t/hm^2 ^[22]; AP_2 为全球水资源平均生产能力(m^3/hm^2),本文取 3 140 m^3/hm^2 ^[3]。

1.1.2 水资源生态压力模型 为了表示各区域水资源生态承载力的容纳能力,构建水资源生态压力模型:

$$WESC_i = \frac{WEF_i}{WEC_i}$$

$$WESC = \frac{\sum_i WEF_i}{\sum_i WEF_i}$$

式中: WEF_i 为 i 省(市)水资源生态足迹; WEC_i 为 i 省(市)水资源生态承载力; $WESC_i$ 为 i 省(市)水资源生态压力; $WESC$ 为全国水资源生态压力均值。以往研究往往将区域水域扣除 60% 后作为水资源生态承载力的基础,但由于国家南水北调工程的实施,提高了调入城市的水资源生态承载力,因此本文以区域供水资源总量为基础,通过均衡因子、产量因子和全球水资源平均生产能力将其转换为水资源生态承载力。水资源生态压力越大,表示一定承载力条件下需要承受的水资源消耗越高,水生态容量越低;反之,则表示一定条件下需要承受的水资源消耗越低,水生态容量越高。

1.1.3 水资源经济效率模型 为了表示各地区水资源消耗对区域经济的贡献能力,构建水资源经济效率模型:

$$\text{WECC}_i = \frac{\text{GDP}_i}{\text{WEF}_i} \quad \text{WECC} = \frac{\sum_i \text{GDP}_i}{\sum_i \text{WEF}_i}$$

式中: GDP_i 为*i*省(市)国民生产总值; WECC_i 为*i*省(市)水资源经济效率; WECC 为全国水资源经济效率均值。水资源经济效率越大,表示水资源生态足迹对区域经济贡献能力越大,水资源利用效率越高;反之,表示水资源生态足迹对区域经济贡献能力越小,水资源利用效率越低。

1.2 水资源生态足迹格局均衡性模型

1.2.1 基尼系数及其区域分解 基尼系数是衡量资源配置公平性的最常用指标之一^[23]。基尼系数越小,公平性越高,根据国际惯例,基尼系数可以划分为:0.2以下、“绝对平均”、0.2~0.3、“相对平均”、0.3~0.4、“比较合理”、0.4~0.6、“差距偏大”和“高度不平均”。本文分别以区域水资源生态承载力和区域国民生产总值为参考因子,测算水资源生态足迹格局的基尼系数,参考戴平生、孙才志等学者的研究^[24-27],将基尼系数进行区域分解,研究总体水资源生态足迹格局均衡性与区域水资源生态足迹格局均衡性的内生关系。

总体水资源生态足迹格局基尼系数可以分解为中国各大区域基尼系数关于单位承载力承受的水资源生态足迹(水资源生态压力)或单位GDP消耗的水资源生态足迹(水资源经济效率的倒数)的加权平均值与排序差异两部分之和,分解式如下:

$$G = \sum_{i=1}^n \frac{q_i y_i}{S} \omega_i = \sum_{k=1}^r \frac{S_k}{S} G_k + \sum_{k=1}^r \sum_{i \in N_k} \frac{q_i y_i}{S} (\omega_i - \omega_i^k)$$

式中: $\sum_{k=1}^r \frac{S_k}{S} G_k$ 即为各大区域基尼系数关于单位承载力承受的水资源生态足迹或单位GDP消耗的水资源生态足迹的加权平均值; $\sum_{k=1}^r \sum_{i \in N_k} \frac{q_i y_i}{S} (\omega_i - \omega_i^k)$ 即为排序差异; G 为总体基尼系数; G_k 为区域*k*的基尼系数,本文将全国划分为东、中、西部,即*k*=1,2,3; q_i 为*i*省的水资源生态承载力或GDP; y_i 为*i*省单位承载力承受的水资源生态足迹或单位GDP消耗的水资源生态足迹(按递增顺序排列); S_k 是区域*k*内各省(市)水资源生态足迹总和; S 是各省(市)水资源生态足迹总和; ω_i 为测算总体基尼系数时产生的组合系数; ω_i^k 为测算区域*k*基尼系数产生的组合系数。

为分析各区域的基尼系数贡献度和边际效应,假定区域*k*的水资源生态足迹增加固定比例*e*,参考因子其他区域足迹保持不变,得到基尼系数的增量表达式:

$$\Delta G = G' - G = \frac{eG}{1 + \frac{eS_m}{S}} \left(\frac{\sum_{i \in N_m} \frac{q_i y_i}{S} \omega_i}{G} - \frac{S_m}{S} \right) + \Delta_1$$

$$\Delta_1 = \sum_{i=1}^n \frac{q_i y_i'}{S'} (\omega_i' - \omega_i)$$

式中: ΔG 为基尼系数增量; G 和*G'*为增加前后基尼系数; ω_i' 和 ω_i 为增加前后的组合系数;由于*e*的增幅较小, ω_i' 和 ω_i 和差异产生的 Δ_1 可忽略不计;

$\frac{\sum_{i \in N_m} \frac{q_i y_i}{S} \omega_i}{G}$ 为各区域对总体基尼系数的贡献度; $\frac{S_m}{S}$ 为各区域的份额权数,两者相减即为各区域对总体基尼系数的边际效应,当边际效应大于0时,基尼系数变大,均衡性恶化,反之,均衡性优化。公式具体推导过程见参考文献^[25]。

1.3 数据来源

由于港、澳、台地区数据难以获取,本次研究区域为中国其余31个省(市、自治区)。区域工业、农业、生活用水和生态环境补水数据、区域供水数据来源于《中国环境统计年鉴》2007—2016年和《水资源公报》2006—2015年;水产品消耗量、水体污染物排放量和国民生产总值GDP数据来源于《中国统计年鉴》2007—2016年;水污染排放标准数据来源于《地表水环境质量标准GB3838—2002》;均衡因子、产量因子和全球水资源平均生产能力来源于部分参考文献^[20]。

2 结果与分析

2.1 水资源生态足迹格局总体特征分析

测算得到31个省(市、自治区)的水资源生态足迹(表1),可以看到,水资源生态足迹总量呈逐年递增的趋势,从2006年的 $1.721\ 16 \times 10^9\ \text{hm}^2$ 增长至2015年的 $2.054\ 31 \times 10^9\ \text{hm}^2$,年均增长率约为2%,2006—2012年增长较快,2012年1月,国务院印发《关于实行最严格水资源管理制度的意见》,严格管控水资源开发利用,从2013年开始全国水资源生态足迹总量增速开始放缓,水资源管理制度初见成效。从区域来看,东部地区水资源生态足迹总量最高,中部地区次之,西部地区最低,到2015年,东部地区达到了 $9.060\ 2 \times 10^8\ \text{hm}^2$,中部地区为 $6.049\ 2 \times 10^8\ \text{hm}^2$,西部地区为 $5.433\ 8 \times 10^8\ \text{hm}^2$ 。水资源生态足迹最高的省份为东部地区的广东省和江苏省,两省历年均超过 $1.50 \times 10^8\ \text{hm}^2$,广东省珠三角地区,制造业和服务业发达,产业集聚效应明显,区域耗水量极大,江苏省经济发展水平很高,工农业发达,且人口众多,工、农、生用水量。水资源生态足迹最低的省份为西部地区的西藏自治区和青海省,两自治区深居内陆,降水量较少,且人口数量较小,10年间水资源生态足迹波动下降。

表 1 2006—2015 年中国各省(市、自治区)水资源生态足迹值及其格局 10⁶ hm²

地区	2006 年		2009 年		2012 年		2015 年	
	足迹值	足迹格局	足迹值	足迹格局	足迹值	足迹格局	足迹值	足迹格局
北京	20.60	高一中	25.89	高一中	25.88	高一高	27.89	高一高
天津	12.17	高一中	12.34	高一高	15.61	高一高	17.46	高一高
河北	65.32	高一低	66.85	高一低	75.74	高一中	75.09	高一中
辽宁	53.63	高一低	54.48	高一低	57.47	高一中	60.25	高一中
上海	51.41	高一低	53.47	高一低	50.35	高一中	49.01	高一高
江苏	163.62	高一低	165.05	高一低	176.35	高一中	183.32	高一中
浙江	81.45	低—低	84.59	低—低	92.60	低—中	92.46	低—中
福建	61.67	低—低	68.28	低—低	69.51	低—低	69.80	低—中
山东	80.36	高一低	91.35	高一中	104.78	高一中	114.79	高一高
广东	168.99	低—低	174.34	低—低	193.8	低—低	202.85	低—中
海南	12.71	低—低	12.68	低—低	12.76	低—低	13.12	低—低
山西	24.43	高一低	24.36	高一中	31.21	高一中	32.80	高一中
吉林	30.82	高一低	33.96	高一低	38.45	高一中	40.13	高一中
黑龙江	63.75	高一低	67.99	高一低	82.44	高一低	79.84	高一低
安徽	63.65	低—低	73.79	低—低	83.98	低—低	87.62	低—低
江西	53.12	低—低	60.79	低—低	68.71	低—低	72.35	低—低
河南	77.05	高一低	86.12	高一低	96.84	高一中	98.48	高一中
湖北	76.85	低—低	84.30	低—低	91.56	低—低	94.42	低—中
湖南	88.88	低—低	90.29	低—低	97.6	低—低	99.27	低—低
内蒙古	38.28	高一低	40.36	高一低	45.04	高一中	46.47	高一中
广西	88.9	低—低	93.58	低—低	85.00	低—低	80.76	低—低
重庆	33.51	高一低	35.01	高一低	32.53	低—中	34.36	低—中
四川	71.44	高一低	74.29	高一低	80.98	低—低	92.46	低—中
贵州	24.40	低—低	25.00	低—低	28.14	低—低	32.14	低—中
云南	35.37	低—低	37.68	低—低	46.99	低—低	49.46	低—低
西藏	6.25	低—低	5.59	低—低	5.59	低—低	5.93	低—低
陕西	26.21	高一低	29.75	高一低	32.85	高一中	38.98	高一中
甘肃	26.72	高一低	26.94	高一低	28.78	高一低	29.24	高一低
青海	8.08	高一低	7.91	高一低	7.66	高一低	7.79	高一中
宁夏	17.35	高一低	17.82	高一低	17.01	高一低	16.17	高一低
新疆	94.17	高一低	98.73	高一低	110.87	高一低	109.62	高一低
全国	1721.16	1.35~1.19	1823.59	2.00~1.22	1987.1	2.90~1.32	2054.31	3.52~1.37

注:限于文章篇幅,未将所有年份数据列出。

根据水资源生态足迹格局模型测算出各省历年的水资源生态压力和水资源经济效率,将水资源生态压力低于当年均值的区域称为低压区域,反之则为高压区域;将水资源经济效率为 0~3 万元/hm² 的区域称为低效区域,3~5 万元/hm² 的区域称为中效区域,>5 万元/hm² 的区域称为高效区域。对水资源生态压力和水资源经济效率进行聚类分析,可以划分为 5 类:“低压—低效”,“低压—中效”,“高压—低效”,“高压—中效”,“高压—高效”(简称“低—低”、“低—中”、“高一低”、“高一中”、“高一高”)(表 1)。从水资源生态压力和水资源经济效率聚类格局来看(图 1),全国各省市水资源生态格局逐步由以“高一低”、“低—低”型为主过渡到以“高一中”、“低—中”型为主。2009

年以前全国呈现南北分明的格局,北部以“高一低”型为主,南部以“低—低”型为主,水资源生态高压、低压区域分布稳定,高压区域全部位于北部区域,且分布区域广大,低压区域分布在南部地区以及西藏地区,这是由于我国水资源量和降水量呈现“东多西少、南多北少”的格局造成的。水资源经济效率方面,全国绝大部分区域的经济效率均属低效;2009 年以后,东北部地区逐渐由“高一低”型转为“高一中”型,南部沿海地区以及中部地区由“低—低”型逐渐转为“低—中”型,这就表示虽然南水北调工程在一定程度上缓解了北方地区的缺水状况,但北部区域的水资源生态承载力依旧较低,水资源生态压力依旧较高,但水资源经济效率开始逐步提升,形成了以北京市为核心的

东北部中效区域,并逐步向南部地区拓展;2015 年,全国各省市水资源生态格局已转为东西格局,西部地区以“高一低”型和“低—低”型为主,东部地区以“高一中”型、“高一高”型和“低—中”型为主,此外可以看到“低—中”型区域从无至有,分布于中部地区和东南沿海,水资源生态压力格局不变,但水资源经效率中效和高效区域已经占据了半数省份。图中

可以看出高效区域主要集中于长江经济带、环渤海经济区、东南沿海地区和京津冀区域周边,这些区域经济发展迅猛,科技成果转化率高,此外 2012 年国务院印发《“十二五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》,大力推动水污染的治理,在高效经济和再生用水政策的双重驱动下,这些区域水资源生态效率不断提升。

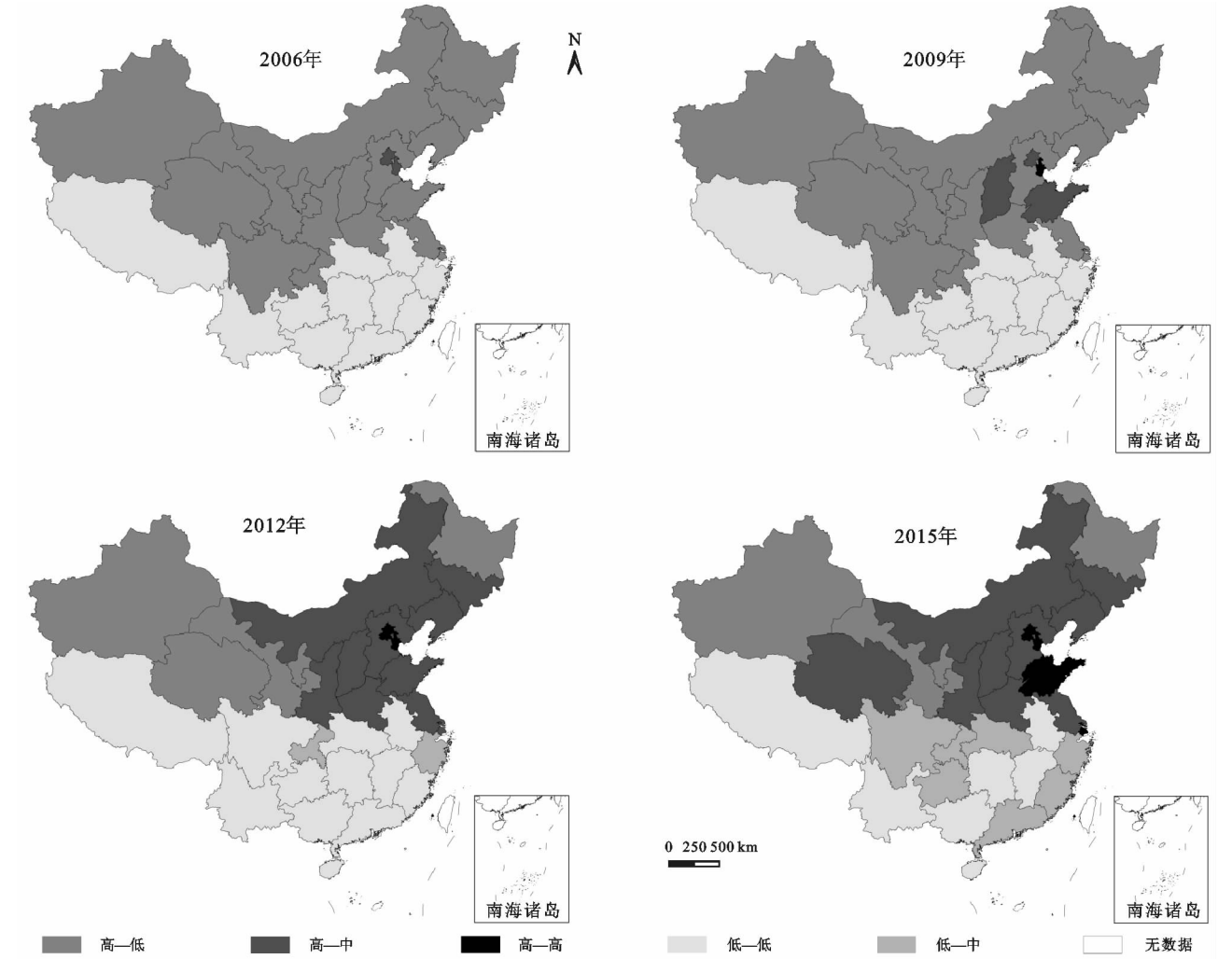


图 1 2006 年、2009 年、2012 年、2015 年中国水资源生态足迹格局特征

2.2 水资源生态足迹格局均衡性分析

2.2.1 水资源生态足迹格局基尼系数及其分解 表 2 为水资源生态压力基尼系数区域分解结果,可以发现,水资源生态压力总体基尼系数 10 年间略有上升,保持在 0.380~0.395,长期逼近于 0.4 的均衡性警戒线,说明各地区的水资源生态足迹与水资源承载力的比配处于警戒线边缘,地区间用水差异较大。东部地区水资源生态压力基尼系数略有上升,区域水资源生态压力的差异得到抑制,这是因为国家南水北调工程的实施使得北京、天津等城市供水压力得以缓解,此外东部总体基尼系数的贡献率从 2006 年的 0.391 上升至 2015 年的 0.448,说明东部地区水资源生态压力基

尼系数的变动会对总体基尼系数影响较大。中部地区水资源生态压力基尼系数基本稳定在 0.350 左右,处于均衡性较为合理的阶段。西部地区历年水资源生态压力基尼系数均高于 0.400,西北部地区新疆、甘肃、青海等地区水资源生态压力较大,西南部地区西藏、云南等地区水量充足,水资源生态压力较小,所以当以水资源承载力为参考时,西部地区各省水资源生态足迹均衡性较差。

东部地区水资源生态压力基尼系数的边际效应在 2011 年以前处于 0 线以下,2011 年以后处于 0 线以上且靠近 0 线,说明 2006—2011 年,东部地区水资源生态承载力提高较快,适时地提高水资源生态足迹有助于改善

总体均衡性,2011—2015 年间,东部地区水资源生态承载力出现下降现象,因此需要减少水资源生态足迹才能起到改善总体均衡性的效果。中部地区水资源生态压力基尼系数的边际效应一直处于 0 线以下,且变动不大,说明相比较而言目前中部地区水资源生态承载力较高,提高中部地区水资源生态足迹,有助于水资源生态

压力总体均衡性的改善。西部地区水资源生态压力基尼系数的边际效应一直处于 0 线以上,2006—2011 年由 0.152 下降至 0.071,2011 年以后变动不大,由于西部地区水资源生态承载力较低,因此如果水资源生态足迹增加,水资源生态压力增大,就会导致总体基尼系数增加,使得总体均衡性降低。

表 2 2006 年、2009 年、2012 年、2015 年中国水资源生态压力(WESC)基尼系数区域分解及其相关参数

区域	2006 年				2009 年			
	基尼系数	份额权数	贡献率	边际效应	基尼系数	份额权数	贡献率	边际效应
东部	0.349	0.448	0.391	-0.058	0.356	0.444	0.353	-0.091
中部	0.353	0.278	0.183	-0.095	0.357	0.286	0.237	-0.049
西部	0.435	0.273	0.426	0.152	0.421	0.270	0.409	0.139
总体	0.382	1.000	1.000		0.384	1.000	1.000	

区域	2012 年				2015 年			
	基尼系数	份额权数	贡献率	边际效应	基尼系数	份额权数	贡献率	边际效应
东部	0.361	0.440	0.430	-0.010	0.366	0.441	0.448	0.007
中部	0.353	0.297	0.218	-0.080	0.353	0.294	0.207	-0.087
西部	0.439	0.262	0.352	0.090	0.443	0.265	0.344	0.080
总体	0.389	1.000	1.000		0.393	1.000	1.000	

表 3 为水资源经济效率基尼系数区域分解结果,可以发现,与水资源生态压力总体基尼系数相比,水资源经济效率总体基尼系数整体较低,说明我国水资源生态足迹与承载力配比不甚契合,与 GDP 配比则较为契合。水资源经济效率总体基尼系数 10 年间处于不断下降的状态,由 2006 年的 0.251 下降至 2015 年的 0.199,由相对均衡提升至绝对均衡。东、中部地区水资源经济效率基尼系数变动趋势相似,均为逐步下降,东部地区由 2006 年的 0.168 下降至 2015 年的 0.124,中部地区由 2006 年的 0.142 下降至 2015 年的 0.124,西部地区水资源经济效率基尼系数呈波动下降的趋势,由 2006 年的 0.278 下降至 0.256。中、西部地区水资源经济效率基尼系数的贡

献率处于较高值,中部地区由 2006 年的 0.542 上升至 2015 年的 0.826,西部地区贡献率虽在持续下降,但到 2015 年仍旧保持 0.701 的水平,这成为总体基尼系数保持较低水平的主要原因,而东部地区由于 GDP 水平很高,与东、西部地区相比,区域水资源经济效率较高,且差距还在日益扩大,因此东部地区的贡献率为负数且还有不断下降的趋势。可以看出虽然水资源经济效率总体基尼系数较低,达到了绝对均衡的状态,但此种均衡状态暗含非良性均衡,东、中、西部内部均衡性较高,但实际上大区域之间,尤其东部地区整体水资源经济效率要远高于中、西部地区,因此需要大力提高东、西部地区整体用水效率以优化总体均衡性。

表 3 2006 年、2009 年、2012 年、2015 年中国水资源生态足迹经济效率(WECC)基尼系数区域分解及其相关参数

区域	2006 年				2009 年			
	基尼系数	份额权数	贡献率	边际效应	基尼系数	份额权数	贡献率	边际效应
东部	0.168	0.448	-0.295	-0.744	0.148	0.444	-0.336	-0.780
中部	0.142	0.278	0.542	0.264	0.142	0.286	0.649	0.363
西部	0.278	0.273	0.754	0.480	0.299	0.270	0.687	0.417
总体	0.251	1.000	1.000		0.239	1.000	1.000	

区域	2012 年				2015 年			
	基尼系数	份额权数	贡献率	边际效应	基尼系数	份额权数	贡献率	边际效应
东部	0.138	0.440	-0.325	-0.766	0.124	0.441	-0.527	-0.968
中部	0.134	0.297	0.714	0.417	0.124	0.294	0.826	0.532
西部	0.291	0.262	0.611	0.349	0.256	0.265	0.701	0.437
总体	0.215	1.000	1.000		0.199	1.000	1.000	

东部地区水资源经济效率基尼系数的边际效应一直处于 0 线以下,已由 2006 年的-0.744 下降至 2015 年的-0.968,且还有不断下降的趋势,说明在东部地区 GDP 较高的背景下,需要相应配备较高的水资源生态足迹,才能使得总体基尼系数降低,提高总体均衡性。中、西部地区水资源经济效率基尼系数的边际效应一直处于 0 线以上,中部地区持续上升,由 2006 年的 0.264 提升至 2015 年的 0.532,西部地区则一直保持在 0.400 左右,由于较东部地区而言,中、西部地区 GDP 水平较低,如果提高水资源生态足迹就会造成低效利用,降低总体均衡性。

2.2.2 水资源生态足迹格局重心迁移 图 2 为中国省域水资源生态压力重心迁移图,可以看出,2006—2015 年水资源生态压力的重心分布在陕西省榆林市和横山县境内(109.672°—110.037°E,37.989°—38.051°N),位于中国几何重心(103.50°E,36°N)东北部,说明我国东北部地区的水资源生态压力较大,这是由于振兴东北老工业基地战略实施后,东北部地区经济发展迅速,行业耗水

量高,且区域水资源存量较低,供需矛盾尖锐。从水资源生态压力的重心迁移来看,10 年间重心总体往东方迁移了 27.658 km,表明目前我国水资源生态压力核心区位于东北部,管控水资源开发利用、提高水资源利用率需要东北区域承担更大责任。

图 3 为水资源经济效率重心迁移图,可以看出,2006—2015 年水资源经济效率的重心分布在河南省开封市辖区、郑州市辖区、新密市、原阳县、中牟县境内(113.478°—114.182°E,34.474°—35.028°N),位于中国几何重心(103.50°E,36°N)东南部,说明我国东南部地区的水资源经济效率较高,这是由于东南部区域包含长江经济带以及整个东南沿海地区,是我国对外开放的窗口,经济发展迅速,科技成果转化率高。从水资源经济效率的重心迁移来看,10 年间重心总体往西南方向迁移了 81.102 km,表明西南方向水资源经济效率处于逐步提升的状态。国家西部大开发战略使得西部地区各省市经济有了较快发展,经济增幅高于水资源消耗量增幅,水资源经济效率也有了显著提升。

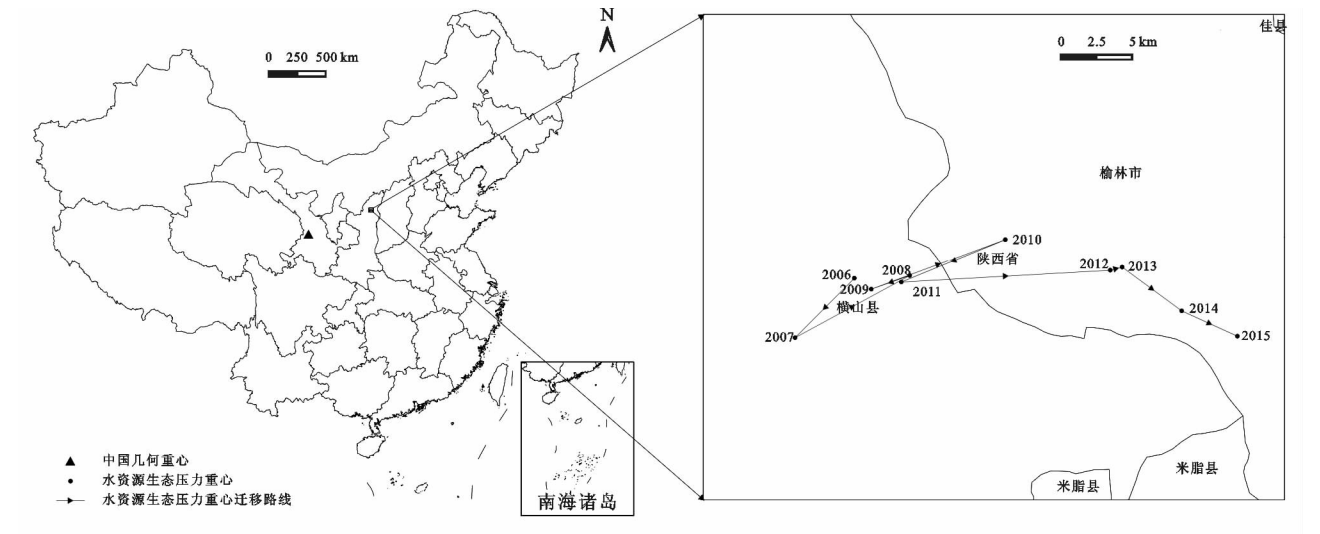


图 2 2006—2015 年中国省域水资源生态压力重心迁移

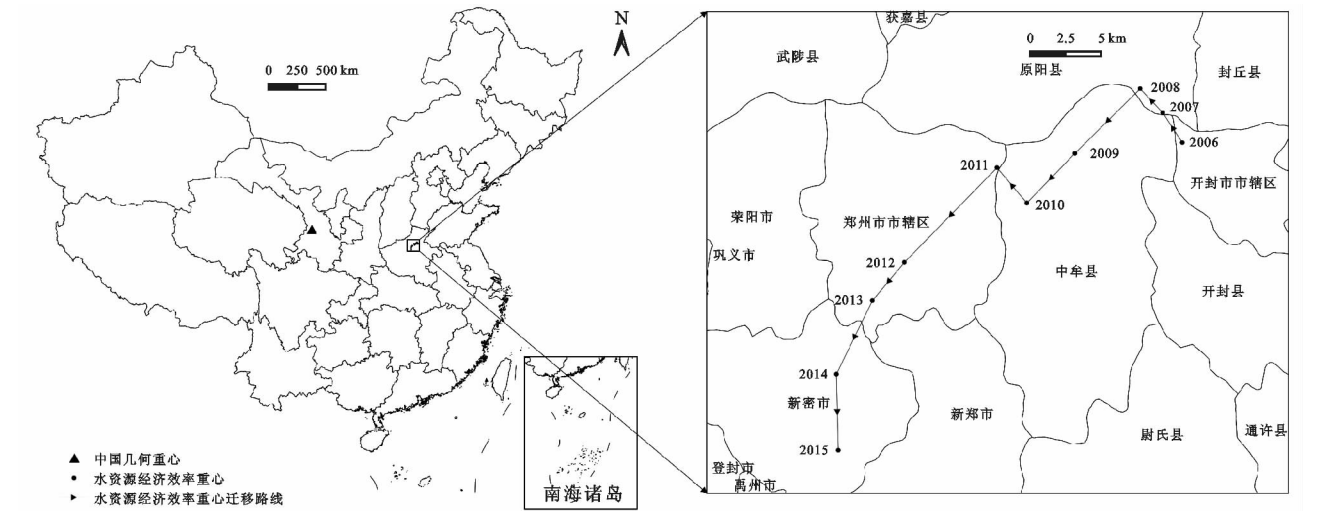


图 3 2006—2015 年中国省域水资源经济效率重心迁移

3 结论和讨论

3.1 结论

(1) 全国水资源生态足迹总量呈逐年递增的趋势,年均增长率约为2%,从2013年开始国家严格管控水资源开发利用,增速放缓,水资源管理制度初见成效。从水资源生态足迹量来看,东部地区水资源生态足迹总量最高,中部地区次之,西部地区最低,经济发达产业集聚的省份耗水量较大,如广东省和江苏省,两省历年均超过 $1.50 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 。

(2) 从水资源生态压力和水资源经济效率聚类格局来看,全国各省市水资源生态格局逐步由以“高一低”、“低一低”型区域为主过渡到以“高一中”、“低一中”型区域为主。水资源生态压力保持“北高南低”格局,水资源经济效率高效区域主要集中于长江经济带、环渤海经济区、东南沿海地区和京津冀区域周边。

(3) 水资源生态压力总体基尼系数长期逼近于0.4的均衡性警戒线,地区间水资源生态压力差异较大。东部地区基尼系数略有上升,边际效应从负到正,均衡性出现恶化;中部地区基尼系数处于0.35左右,边际效应为负,均衡性合理;西部地区历年水资源生态压力基尼系数均高于0.400,边际效应一直为正,均衡性较差。

(4) 水资源经济效率总体基尼系数整体较低,说明我国水资源生态足迹与承载力配比不甚契合,与GDP配比则较为契合。水资源经济效率总体基尼系数由相对均衡提升至绝对均衡,各区域均衡性也逐渐提高,东部地区边际效应为负,中、西部地区边际效应为正,东、中、西部大区域之间的均衡性依赖于中、西部用水效率的提升。

(5) 2006—2015年水资源生态压力的重心位于地理重心东北部,且有往东迁移的趋势,我国水资源生态压力核心区位于东北部,管控水资源开发利用、提高水资源利用效率需要东北区域承担更大责任。

(6) 2006—2015年水资源经济效率的重心位于中国地理重心东南部,且有向西南部迁移的趋势,说明我国东南部地区的水资源经济效率较高,国家振兴东北老工业基地和西部大开发战略使得东北和西南地区的经济提高,该区域水资源经济效率也有了显著提升。

3.2 讨论

(1) 缓解区域水资源生态压力。对于北方地区,重点在于降低水资源生态足迹,划定区域水资源生态压力标准值,并以此为目标层层划定区域调水量和流域取水量;对于南方地区,重点在于提高水资源承载

力,提高水污染排放标准,维持区域水资源生态质量,并加强主要水系的治污工作,恢复水生态系统功能。

(2) 提高水资源经济效率。对于东南地区,建议全面开征水资源税费,2016年国家在河北开展水资源税征收试点,但目前还未全面铺开,以国家强制力全面推动节水能够驱动东南地区节水意识提升,并提高利用效率;对于西北地区,需要引进先进用水、治水技术,提高科技成果转化效率,提高用水效率,此外还要实时监测地下水水位,防止地下水被过度利用;对于西南地区,区域水量丰沛,但水污染严重影响用水经济效率,需要全面控制污染物排放,推动污染企业的推出;对于东北地区,鼓励发展高效节水的现代农业,以水定产,提高农业用水经济效率。

(3) 提高水资源生态足迹与生态承载力、经济发展的配比均衡性。目前我国水资源生态足迹与经济发展配比较为均衡,与承载力配比差异过大。对于耗水量较大的北部和西北部区域,要划定区域水资源生态压力和水资源经济效率双重标准值,落实最严格水资源管理制度,控制工、农、生用水量和流域取水量,保证用水生态与经济的配比均衡性;对于东北和东南等粮食主产区,需要推动农业规模化、产业化,引进先进农业技术,使农业用水与农业经济和区域水承载力相匹配;对于产业技术相对落后的西部地区,在引进东部工、农业技术的同时,也需要降低用水造成的水资源退化率,提高用水重复率,保证地区、行业水资源供需均衡。

本文在水资源生态足迹测算的基础上,构建了水资源生态足迹格局模型,然后通过基尼系数及其分解来分析东、中、西部水资源生态足迹格局的区域均衡性和均衡性的边际效应,再通过重心迁移分析来弥补基尼系数在地理要素空间分布均衡性动态分析方面的不足,阐述了10年间水资源生态足迹格局的演变趋势。但本文也还存在以下不足之处:(1)在测算水资源生态足迹时,水产品生态足迹与水污染生态足迹的重叠关系没能定量测定,而将水产品生态足迹与水污染生态足迹做了取最大值处理;(2)水资源经济效率方面仅把GDP作为区域经济衡量标准,未考虑其他经济指标;(3)水资源生态足迹格局基尼系数模型中测定了大区域各自基尼系数和总体基尼系数,但没能定量测算出大区域之间的基尼系数。笔者将对这些不足之处进行持续的研究。

参考文献:

- [1] 夏军,翟金良,占车生.我国水资源研究与发展的若干思考[J].地球科学进展,2011,26(9):905-915.

- [2] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. *Environment and Urbanization*, 1992, 4: 121-130.
- [3] 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(3): 1279-1286.
- [4] 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.
- [5] 张义, 张合平, 李丰生, 等. 基于改进模型的广西水资源生态足迹动态分析[J]. *资源科学*, 2013, 35(8): 1601-1610.
- [6] Li Ying, Guo Ting Ting, Li Pan Pan. Study on Calculation of Ecological Footprint Model Parameters of Beijing Urban Water Resources[J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 1495(374): 105-108.
- [7] 贾绍凤, 张士锋, 王浩. 用水合理性评价指标探讨[J]. *水科学进展*, 2003(3): 260-264.
- [8] Mimi Z A, Sawalhi B I. A Decision Tool for Allocating the Waters of the Jordan River Basin between all Riparian Parties[J]. *Water Resources Management*, 2003, 17(6): 447-461.
- [9] 魏寿煜, 谢世友. 基于基尼系数和洛伦兹曲线的重庆市水资源空间匹配分析[J]. *中国农村水利水电*, 2015(2): 56-59, 73.
- [10] 陶国芳, 蒋兆恒. 基于基尼系数的吉林省水资源空间匹配分析[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(15): 8694-8697, 8722.
- [11] 李赫龙, 林佳, 苏玉萍, 等. 福建省水资源生态足迹时空差异及演变特征[J]. *福建师范大学学报: 自然科学版*, 2015, 31(6): 109-117.
- [12] 周玲玲, 王琳, 余静. 基于水足迹理论的水资源可持续利用评价体系: 以即墨市为例[J]. *资源科学*, 2014, 36(5): 913-921.
- [13] 周玲玲, 王琳, 刘伟峰, 等. 基于客观组合赋权法的即墨市水资源可持续利用评价[J]. *水资源与水工程学报*, 2014, 25(4): 50-55.
- [14] 马海良, 王若梅, 訾永成. 中国省际水资源利用的公平性研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(12): 70-77.
- [15] 董璐, 孙才志, 邹玮, 等. 水足迹视角下中国用水公平性评价及时空演变分析[J]. *资源科学*, 2014, 36(9): 1799-1809.
- [16] 李宁, 张建清, 王磊. 基于水足迹法的长江中游城市群水资源利用与经济协调发展脱钩分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(11): 202-208.
- [17] 吴旭, 王玉梅. 基于基尼系数的邯郸市水资源空间分配公平性分析[J]. *水科学与工程技术*, 2015(3): 1-5.
- [18] 何俊, 黄显峰. 区域水资源量非均衡性评价[J]. *河海大学学报: 自然科学版*, 2013, 41(2): 130-135.
- [19] 李建芳, 粟晓玲, 王素芬. 基于基尼系数的内陆河流域用水公平性评价: 以石羊河流域为例[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2010, 38(8): 217-222.
- [20] 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.
- [21] 刘某承, 李文华. 基于净初级生产力的中国生态足迹均衡因子测算[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(9): 1550-1559.
- [22] 谭秀娟, 郑钦玉. 我国水资源生态足迹分析与预测[J]. *生态学报*, 2009, 29(7): 3559-3568.
- [23] 翟腾腾, 郭杰, 欧名豪, 孔伟. 基于基尼系数的江苏省建设用地总量分配研究[J/OL]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(4): 84-91.
- [24] 戴平生. 基尼系数的区间估计及其应用[J]. *统计研究*, 2013, 30(5): 83-89.
- [25] Sun C, Wang S, Zou W. Chinese marine ecosystem services value: Regional and structural equilibrium analysis [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2016, 125: 70-83.
- [26] Ogowang T. The Marginal Effects in Subgroup Decomposition of the Gini Index[J]. *Journal of Official Statistics*, 2016, 32(3): 733-745.
- [27] 孙才志, 白天骄, 韩琴. 基于基尼系数的中国灰水足迹区域与结构均衡性分析[J]. *自然资源学报*, 2016, 31(12): 2047-2059.