

长江经济带水足迹结构异化特征及协调发展策略研究

刘 钢^{1,2,3},王保平³,徐业帅³,陈骏宇^{1,3,4}

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京 210098;

2. 沿海开发与保护协同创新中心, 江苏南京 210098; 3. 河海大学管理科学研究所, 江苏南京 210098;

4. 澳大利亚联邦科学与工业组织水陆地部, 澳大利亚昆士兰 4102)

摘 要: 针对长江经济带水足迹结构异化导致的省际水资源管理困境, 依托考虑时空差异性的水足迹算法为基础, 以农业、工业、生活、生态4类水足迹为核心, 开展长江经济带水足迹精准核算工作。依托水足迹强度、水足迹土地密度等指标, 分析长江经济带水足迹结构规律, 厘清水足迹结构异化特征。研究表明: 农业是长江经济带省际水足迹主要来源, 动量效应与规模效应是省际水足迹结构异化特征, 生态禀赋与发展格局是省际水足迹结构异化本质。因此, 长江经济带水资源协调发展的关键在于协调产业布局、地理位置、人口规模3大水足迹主导要素关系。

关键词: 长江经济带; 水足迹结构; 协调发展策略

中图分类号: F129; X24

文献标志码: A

文章编号: 1671-4970(2017)03-0042-07

一、引 言

水资源作为生态之基、生产之要、生命之源, 是人类社会发展的源泉, 其稀缺性也为人类发展提出了创新发展的强约束。“一带一路”战略是我国提出的世界共同发展的宏伟蓝图, 而长江经济带作为“一带一路”战略的商品生产基地与发展动力源头, 其健康稳定的可持续发展是推进“一带一路”建设的重中之重。如何在我国长江经济带战略发展中妥善解决好水资源管理问题, 缓解人水冲突、人人冲突困境, 是历史摆在水资源管理领域研究面前的新问题。长江经济带正处在大开发向大保护转型的关键时期, 沿线各省水资源管理水平、管理问题、管理举措的差异性与竞合性显著。各自为政、九龙治水的水资源管理制度已经很难解决长江经济带上下游、左右岸的水资源管理竞合矛盾, 亟需从水资源生命周期视角重新审视长江流域水资源空间分异特征, 寻找适宜于长江经济带实践情况的用水之道与发展策略。习近平总书记明确提出“节水优先, 空间均衡, 系统治理, 两

手发力”的新时期治水方略, 指出了解决长江经济带水资源管理问题的新思路, 也就是全面系统定位水资源生命周期, 基于水资源(包括实体水与虚拟水)供应链把握个体和组织的水资源消费行为对长江经济带环境的影响, 以水足迹视角^[1]分析区域水资源实际使用情况、以水足迹辨识水资源空间分异特征, 进一步形成长江经济带协调生态保护与经济发展的综合策略。

二、国内外研究进展

流域水资源管理是一个世界难题, 尤其在现行水资源管理体制下, 长江流域上下游、左右岸的水资源协调管理难度更是如此。比如, 面对上下游在同一省界断面处存在差异化水质标准、左右岸在同一流域存在差异化管理标准等问题时, 跨区域的水资源协调管理往往只能是在冲突多于合作的局面下临时性应对, 以解决突发性问题为主, 尚未提出行之有效的长效管理机制。卢曦等利用三阶段 DEA 分析证明长江经济带水资源利用效率差异性显著^[2], 史安娜等运用 DPSIR 分析框架预

收稿日期: 2016-11-08

基金资助: 国家社会科学青年基金项目(14CGL030); 国家自然科学基金重点项目(71433003); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(新教师类)(20130094120022); 河海大学中央高校基本科研业务费项目(2015B09314, 2015B06414)

作者简介: 刘钢(1981—), 男, 山西太原人, 博士, 讲师, 从事生态经济学与制度经济学研究。

测长江经济带水质、水量、生态保护水平均面临较大压力^[3]。综合来看,面对各省发展绩效考核要求,现行的管理模式并不能真正解决长江经济带水资源管理本质问题,即保护与发展的对立统一关系问题,亟需从流域层面整体考虑水资源结构异化问题,这已成为水资源管理领域的研究热点问题。

自 1993 年英国学者 Allan 提出虚拟水^[4]、荷兰学者 Hoekstra 于 2002 年提出水足迹概念^[5]以来,国际上对水足迹的研究大致集中在 3 个方面:一是水足迹理论框架及量化方法的研究、二是水足迹的案例研究、三是基于水足迹的水资源评价和管理研究。国外学者主要聚焦于水足迹理论框架、大尺度水足迹评估、水足迹管理应用等方面,2010 年 Feng 等对英国水足迹进行空间分析^[6];2010 年 Hoekstra 提出水足迹与价值链的关系问题^[7];2011 年 Egan 进一步提出了水足迹量化及评价框架^[8];2011 年 Mekonnen 等构建了基于栅格尺度的动态水分平衡模型^[9],并在此基础上对全球作物的生产水足迹进行了量化;2011 年可口可乐公司对欧洲糖类水足迹的研究^[10];2012 年 Ewing 等对地区生态足迹和水足迹的整合^[11],同年 Hoekstra 等对全球水足迹的评估^[12];2013 年 Cazcarro 等对西班牙水足迹进行了评价^[13];Zhang 等指出水足迹为明确人类消费活动对水资源的影响提供了新的途径,通过进行水足迹评价,可以帮助管理机构实现水资源的可持续利用^[14];Ercin 等分析未来人口、经济发展及生产和消费结构变化情景下,全球消费和生产水足迹的变化情况,为政府和相关机构制定水资源管理策略提供参考^[15]。国内水足迹研究主要聚焦于水足迹评价理论、流域级和省级尺度的水足迹评估,2003 年徐中民等指出水足迹不但包括传统水资源管理理论中生活必需品所含虚拟水、生活用水及生态用水,重点关注了贸易虚拟水,更综合全面地反映了该地区的水资源可持续利用水平及短缺情况^[16];龙爱华等分别以省(区)为空间分析单元,研究了区域、省域的水足迹演变规律^[17];2008 年高孟绪等测算了中国 2000 年各省份的人均水足迹,并借助 GIS 软件将我国 31 个省份的人均水足迹划分为 5 类^[18];2012 年刘梅等计算了 1995—2008 年河北省 11 个行政区的水足迹及其相关指数^[19];2014 年王晓萌等对我国 14 个产业部门水足迹演变及其影响因素的分析^[20]。

综上所述,面对人水冲突、人人冲突的水资源供需矛盾问题,水足迹已成为近年来的研究热点,

已有研究成果很好地支撑了水足迹体系的合理性与实用性,但囿于数据约束,传统水足迹测算方法存在准确性差、空间差异表达能力弱等问题。然而,流域水冲突的解决关键必须回答保护与发展的对立统一关系问题,需要依托时空分布情况精准测算省域水足迹结构,系统分析全流域水足迹结构异化特征,提出精准管理下的水资源协调发展策略。

三、研究方法 with 模型构建

笔者在合理测算区域水足迹的基础之上,以水足迹强度、水足迹土地密度等指标来反向刻画区域水资源利用状态,进而探讨如何构建水资源差异化配置策略体系,实现长江经济带 11 省市的协调可持续发展。

1. 省际水足迹测算模型

将省际水足迹概念界定为一段时期内某省用于生产生活所消费产品及服务的全部水资源总量。提出省际水足迹测算模型为

$$WF = WF_{CA} + WF_{IP} + WF_{LE} \quad (1)$$

式中 WF 为省际水足迹, WF_{CA} 为省际居民消费的农畜产品水足迹, WF_{IP} 为省际居民消费的工业产品水足迹, WF_{LE} 为生活与生态水足迹。其中,考虑到各部分水足迹之间的转移规律差异性较大且统计数据支持能力较弱,针对 3 分水足迹的计算主要以各部分产出角度核算。各部分核算模型分别如下。

(1) 农畜产品水足迹

主要计量居民消费粮食、蔬菜、食用油、肉类、蛋类及其制品、水产品、果类、酒类等产品产生的水足迹。采用 CROPWAT 模型与生产树法分区探讨长江经济带各省农畜产品水足迹。

$$WF_{CA} = VW_C + VW_A \quad (2)$$

式中 VW_C 表示农作物水足迹, WF_A 为畜产品水足迹。

① 种植作物水足迹计算

种植作物水足迹的分区核算主要使用联合国粮农组织 (FAO) 开发的 CROPWAT 模型,利用气温、相对湿度、风速、日照时数等气象参数,结合研究区的经纬度和海拔等地理信息,利用内嵌的 Penman-Monteith 公式计算参考作物蒸发蒸腾量^[5],然后再根据作物生育期根系活动层深度及作物系数等数据,对作物蒸发蒸腾量进行计算,从而得到作物水足迹。

$$\begin{cases} VW_c = \sum_i (CWR_{ij}/Y_{ij}) \\ CWR_{ij} = 10K_i \cdot ET_0 \\ Y_{ij} = Q_{ij}/S_{ij} \\ ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \end{cases} \quad (3)$$

式中, VW_c 表示第 j 省种植作物 i 的单位产量水足迹; CWR_{ij} 表示第 j 省种植作物的生长期需水量; Y_{ij} 表示第 j 省土地上第 i 种单位作物的产量; K_i 是种植作物生育阶段平均作物系数, 一般参考 FAO 推荐值; ET_0 是参考种植作物的蒸发蒸腾量; Q_{ij} 为第 j 省第 i 种作物总年产量; S_{ij} 为第 j 省第 i 种作物种植面积; Δ 为饱和水汽压—温度曲线斜率; R_n 为太阳净辐射; G 为土壤热通量; γ 为湿度计常数; T 为平均气温; e_s 和 e_a 分别为饱和水汽压和实际水汽压; u_2 为离地面 2 m 高处的平均风速。

② 畜牧产品水足迹计算

动物的虚拟水含量与动物类型、饲养结构及其成长的自然环境有极大关系, 尤其是地域差别和气候条件, 涉及变量比较多。主要参照 Chapagain 等提出的产品生产树方法进行计算, 包含动物生长水足迹、产品消费水足迹^[21]。

$$\begin{cases} VW_A = \sum_i (VW_{idrink} + VW_{ifood} + VW_{iserve}) \\ VW_{idrink} = \frac{\int_{birth}^{slaughter} water_a dt}{weight_a} \\ VW_{ifood} = \frac{\int_{birth}^{slaughter} \left\{ water_a + \sum_{i=1}^n SWD(i, j) \cdot C \right\} dt}{weight_a} \\ VW_{iserve} = \frac{\int_{birth}^{slaughter} water_{serve} dt}{weight_a} \end{cases} \quad (4)$$

式中, VW_{idrink} 表示动物饮用水量; VW_{ifood} 表示动物饲料所含虚拟水量; VW_{iserve} 表示畜牧产品服务虚拟水量; $water_a$ 表示动物每日饮用水量; $weight_a$ 表示活体动物屠宰时的平均重量; $water_{serve}$ 表示动物生命期内清理动物活动范围、维持环境和其他相关服务所消耗的水资源量。

(2) 工业产品水足迹

考虑工业产品品种繁多、不同行业的初级产品水足迹转移过程差异性较大, 分类计算绩效不佳, 同时统计数据有限, 笔者参考赵良仕等^[22]提出的算法, 从工业产出水足迹角度测算省际工业产品水足迹。

$$WF_{IP} = MIW \cdot IO + VWT_I - VWT_O \quad (5)$$

式中, MIW 为万元工业耗水量, IO 为工业产值, VWT_I 为省际进口贸易的虚拟水含量, VWT_O 为省际出口贸易的虚拟水含量。

(3) 生活与生态水足迹

生活与生态水足迹主要描述居民生活用水情况以及为了改善城市环境而人为补充的水量情况, 包括居民用水、公园湖泊用水、风景观赏河道用水、城市绿化与园林建设用水以及污水稀释用水。参考王新华等^[23]工作成果, 测算模型如下。

$$\begin{cases} WF_{LE} = Q_L + WF_E \\ Q_L = K_i P_i \\ WF_E = \frac{100}{99} A \eta \cdot EP \end{cases} \quad (6)$$

式中, Q_L 为居民生活用水量, 采用定额法计算; WF_E 为生态环境虚拟水量, 采用绿地生态需水量计算; K_i 为年均用水定额; P_i 为年人口数量; A 为市区面积; η 为不包含水面的城市绿化覆盖率; EP 为植物蒸腾蒸散量。

2. 水足迹结构异化特征测算模型

(1) 水足迹强度

水足迹强度 (Water Footprint Strength Index, WFI) 是反映水资源利用效率的指标, 它等于合计水足迹与省内生产总值 (GDP) 的比值^[19]。

$$WFI_i = \frac{WF_i}{GDP_i} \quad (7)$$

式中, WF_i 为第 i 省的合计水足迹, GDP_i 为第 i 省的当年 GDP 。水足迹强度越小, 单位 GDP 消耗的水足迹越少、水资源利用效率越高; 反之, 单位 GDP 消耗的水足迹越多、水资源利用效率越低。

(2) 水足迹土地密度

水足迹土地密度 (Water Footprint Land Density, WFLD) 是用来度量单位国土面积上水足迹密度的指标,它等于合计水足迹与省域国土面积的比值。

$$WFLD_i = \frac{WF_i}{LD_i} \tag{8}$$

式中, WF_i 为第 i 省的合计水足迹, LD_i 为第 i 省的国土面积。水足迹土地密度越小, 单位国土面积上消耗水足迹越少、水资源的空间承载能力越强; 反则反之。

四、实例分析

1. 数据来源

选取长江经济带上 11 个省市作为研究区域, 研究数据主要包括《中国统计年鉴(2014)》及各省《统计年鉴(2014)》《中国水资源公报(2013)》《长江流域及西南诸河水资源公报(2013)》; 气象数据主要来自于中国气象科学院网站; 农作物系数数据来自于 FAO 的世界各国气象数据库。种植作物主要考虑稻谷、中稻、小麦、玉米、高粱、豆类、薯类、花生、油菜籽、烟叶、蔬菜、瓜果等品种, 畜牧产品主要考虑牛肉、羊肉、猪肉、牛奶、禽蛋、禽肉等。

2. 分析与讨论

(1) 长江经济带省际水足迹构成

2013 年, 长江经济带的 11 个省市水足迹构成

表 1 长江经济带省际水足迹构成					
省市	农业水足迹	工业水足迹	生态水足迹	生态水足迹	合计水足迹
江苏	1 312.4	207.99	52.8	2.70	1 575.9
四川	1 060.5	45.74	42.5	4.20	1 572.9
湖北	915.52	94.14	40.7	0.60	1 050.9
安徽	868.66	80.25	31.9	4.70	985.51
云南	769.21	29.30	19.5	2.00	820.01
湖南	651.07	86.57	41.8	2.70	782.14
江西	610.33	64.30	27.4	2.10	704.13
浙江	459.83	31.36	43.8	5.20	540.19
贵州	243.58	29.13	16.60	0.70	290.01
重庆	226.65	41.60	19.10	0.90	288.25
上海	123.00	41.24	24.40	0.80	189.44

如表 1 所示, 水足迹单位为 10^8m^3 。由表 1 可知, 长江经济带 11 省市水足迹构成中最大项均为农业水足迹, 最小项均为生态水足迹, 农业活动水资源需求仍是长江经济带的重点, 生态蓄水的给水量仍处于较低水平。另外, 江苏、四川、湖北 3 省的合计水足迹最大, 达到了 $1\,000 \times 10^8 \text{m}^3$ 以上; 贵州、重庆、上海的合计水足迹最小, 均在 $300 \times 10^8 \text{m}^3$ 以下, 表明水足迹存在较为显著的空间规模与人口规模效应。按照合计水足迹量可将长江经济带 11 省市划分为 3 个级别, 江苏、四川、湖北为第 1 梯队, 安徽、云南、湖南、江西为第 2 梯队, 浙江、贵州、重庆、上海为第 3 梯队。

(2) 长江经济带省际水足迹结构化特征分析

水足迹结构化特征主要包含供需两个层面的结构特征: 水足迹供给结构主要描述区域可利用水量对本地需求的支撑作用, 主要指标包含水资源依赖度、水资源自给率; 水足迹需求结构主要描述区域综合用水情况, 主要指标包含水足迹强度、人均水足迹。测算结果如表 2 所示。

由表 2 可知, 长江经济带省际水足迹供需结构的特征值差异性显著, 为了更好探究长江经济带省际水足迹非均衡特征, 分别针对水足迹供给结构、需求结构进行分析(图 1~2)。其中, 合计水足迹单位为 10^8m^3 、人均水足迹单位为 m^3 、水足迹强度单位为 $\text{m}^3/\text{万元}$ 。

表 2 长江经济带省际水足迹特征值				
省市	水资源依赖度/%	水资源自给率/%	水足迹强度	人均水足迹/ m^3
江苏	2.93	92.24	0.03	1 985
四川	2.65	94.80	0.04	1 422
湖北	4.39	91.60	0.04	1 812
安徽	3.98	90.79	0.05	1 422
云南	2.95	94.68	0.07	1 750
湖南	4.75	90.35	0.03	1 094
江西	6.98	86.47	0.05	1 557
浙江	7.44	80.61	0.01	1 119
贵州	9.03	82.44	0.04	828
重庆	14.59	72.52	0.02	971
上海	18.05	50.73	0.01	784

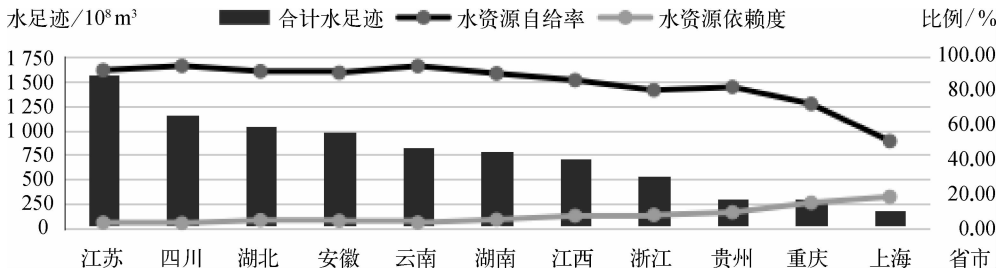


图 1 长江经济带省际水足迹供给结构特征

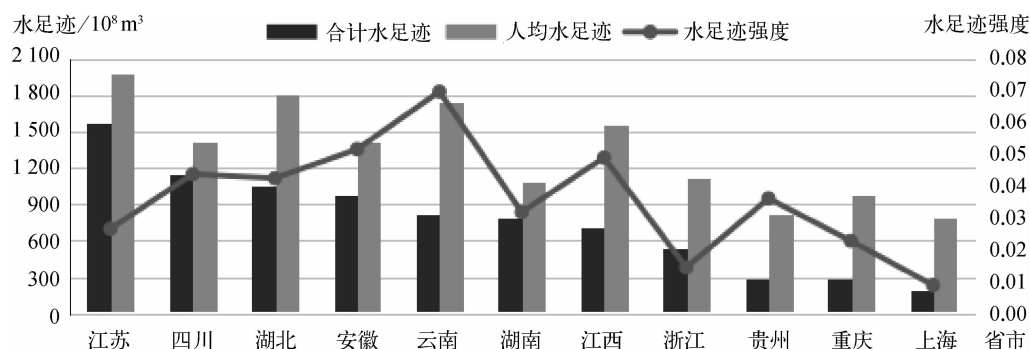


图2 长江经济带省际水足迹需求结构特征

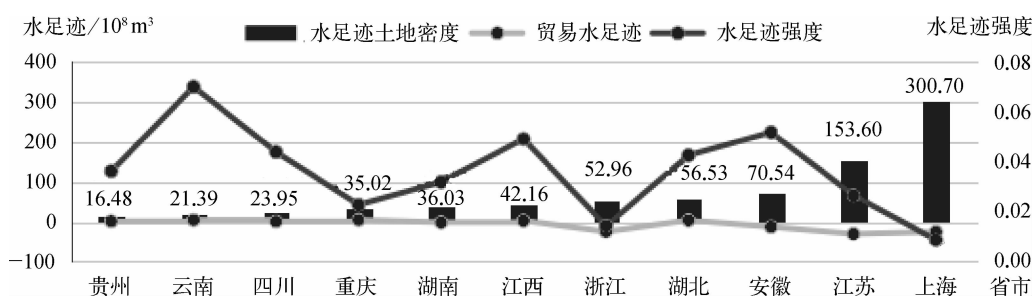


图3 水足迹的空间特征与经济特征分析

从图1可知,一方面,长江经济带省际水足迹供给结构呈现出较为显著的动量效应,水资源自给率同合计水足迹保持较好的正向关系,水资源依赖度同合计水足迹保持良好的反向关系。这表明水资源供给能力强的省份水资源消耗量也较大。另一方面,受农业水足迹影响,省际水足迹存在显著地农业规模效应,农业大省的水足迹往往较大且水资源自给率也较高,如江苏、四川、湖北、安徽等省份,而农业规模较少的重庆、上海等省市则水足迹较小。

从图2可知,长江经济带省际水足迹需求结构存在显著逆向人口规模效应,即人均水足迹越小,该省水资源的人口承载能力越强,同时,合计水足迹与人均水足迹的逆向增长表明该省市人口承载能力减弱,如湖北、云南、江西、重庆等省市。此外,分析水足迹强度演变规律可以发现,水资源利用效率呈现典型区域差异化特征,长江上游的云南、四川、贵州、重庆为水资源利用经济效益相对偏低的区域,该区域水资源利用的经济效益最高的为重庆市;长江中游的江西、湖北、湖南等省市为水资源利用经济效益中等区域,该区域水资源利用的经济效益最高的为湖南省;长江下游的安徽、江苏、浙江、上海等省市为水资源利用经济效益相对较高区域,该区域水资源利用的经济效益最高的是上海市。

综合来看,长江经济带省际水足迹供需关系存在较为显著的空间不均衡特征,可用水资源供

给量大的区域水足迹也较大,水资源需求量较大的区域水足迹反而较小。如何打通长江经济带水资源与区域发展的纽带关系,是分析水足迹供需关系的主要目标,下面针对水足迹强度的空间特征与经济特征进行分析,以期探索上述问题的解决之道。

(3) 长江经济带省际水足迹异化特征分析

水资源是承载生产生活生态的物质基础,通过对比分析其空间特征与经济特征可以很好地描述水资源的承载效用水平。因此,对水足迹土地密度、贸易水足迹、水足迹强度3个指标进行分析(图3)。

从图3可知,长江经济带11省市的水足迹空间特征与经济特征具有显著的流域区位差异性,突出表现为以下两点。第一,观察水足迹土地密度与水足迹强度关系可以发现,水足迹土地密度呈现出较为显著的流域区位差异性,上游的重庆、四川、云南、贵州最低,下游的江苏、浙江、上海最高,这表明长江经济带省市的水资源空间承载能力与水资源流向成反向关系。结合长江流域经济社会发展情况可知,伴随长江流域的水资源流动,长江经济带11省市水资源消耗逐级加剧,尤其是上游的云南、中游的江西以及中下游的安徽,其水足迹强度最高,其水资源利用的经济效率在同一流域区位也最低;对于长江下游的江苏省、上海市而言,其单位国土面积上所产生的水足迹量均超过长江经济带平均水足迹土地密度

$73.66 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$,表明江苏省、上海市的水资源空间承载力已经突破长江经济带平均水平、可持续发展能力相对较弱;浙江省的水足迹土地密度仅为 $52.96 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$,这表明长江下游经济发达省份的水资源空间承载能力不存在“发展魔咒”,通过优化产业布局与人口规模,可以走出一条绿色协同发展道路。第二,观察水足迹土地密度与贸易水足迹关系可以发现,一方面,贸易水足迹总体上与水足迹土地密度呈反向关系,其中,贵州、云南、四川、重庆、江西、湖北的贸易水足迹为正,表明上述省份高耗水产品的进口量大于出口量,为虚拟水净流入区域;另一方面,湖南、浙江、安徽、江苏、上海为负,表明上述省份高耗水产品的进口量小于出口量,为虚拟水净流出区域。贸易水足迹最大值出现在重庆,最小值出现在江苏,整体呈现出同长江水资源流向的同向关系,这主要受气候差异性以及区域产业布局格局影响。

五、结论与建议

针对长江经济带省际水资源管理异化特征表达问题,在开展长江经济带 11 省市水足迹核算工作的基础上,依托水足迹强度、水足迹土地密度等分析指标系统分析长江经济带省际水足迹供需结构、省际水足迹异化特征,结合《长江经济带发展规划纲要》落实要求,形成以下主要结论与建议。

1. 农业是长江经济带省际水足迹主要来源

通过分析长江经济带 11 省市的水足迹结构发现,农业用水是各省水足迹最大来源,生态用水是最小来源。

分析结果表明:首先,农业是长江经济带各省市水足迹结构异化的核心,尤其以粮食主产区的江苏、四川、湖北更为显著,因此农业是长江经济带提升水资源利用效率的战略基础,需要在依托自然禀赋的前提下,通过合理规划产业布局、创新农业用水制度设计、提高农业节水技术水平等方面多措并举,以水资源供应链为纽带,打通黄金水道上下游之间的水-能源-粮食的互动关系,在保障粮食安全的前提下,降低长江经济带农业水足迹,提升长江经济带水资源利用效率。其次,工业是长江经济带各省市水足迹结构异化的重心,工业水足迹主要影响因素包括产业结构、工业用水效率、产业规模等,是长江经济带提升水资源利用效率的发展要素,有必要从长江经济带整体规划着手,优化产业结构布局、依托长江水脉,提升水资源的经济产出水平。最后,生态是长江经济带各省市水足迹结构异化的短板,生态

水足迹普遍偏少,表明各省的绿地生态需水量偏少,相对较多的是浙江、安徽、四川 3 省,长江流域需要以大保护替代大开发,关键在于生态系统的可持续发展,这也是未来长江经济带健康发展的基石,因此,建议各省结合自身实际,通过技术创新与文化建设,大力提高生态用水的投入产出绩效。

2. 动量效应与规模效应是省际水足迹结构异化特征

通过分析长江经济带省际水足迹供需结构发现,动量效应与规模效应是长江经济带省际水足迹结构异化的主要特征,具体表现在长江经济带省际水足迹供需关系存在较为显著地空间不均衡特征,可用水资源供给量大的区域水足迹也较大,水资源需求量较大的区域水足迹反而较小;同时,丰水地区耗水率高,需求结构呈现出显著地逆向人口规模效应。

分析结果表明:一方面从供给视角来看,长江经济带各省水资源利用水平与水资源禀赋逆向相关,因此,精准识别各省市水资源禀赋差异,在此基础上构建因地制宜、因水制宜、因人制宜的精准化水资源管理制度体系、努力转变丰水地区水足迹大的现状,是提升长江经济带综合用水效率的核心。另一方面从需求视角来看,人均水足迹与水足迹强度可以很好地度量区域水资源利用能力的人口承载和经济效益两个维度,通过打造长江经济带的“生态-生产-生活”多维合作框架、降低长江经济带整体耗水率,提升水资源服务能力。

3. 生态禀赋与发展格局是省际水足迹结构异化本质

生态禀赋与发展格局是省际水足迹结构异化的本质。具体表现在水足迹土地密度呈现出较为显著的流域区位差异性,且提供了“先污染后治理”的“发展魔咒”并非唯一发展模式的力证;同时,贸易水足迹总体上与水足迹土地密度呈现反向关系,贸易水足迹整体呈现出同长江水脉的同向关系。

分析结果表明:一方面,长江流域上中下游的生态禀赋差异显著,这是长江经济带水足迹结构异化的核心,“求同存异、合作共赢”的包容性发展是长江经济带一体化发展的必然选择,因此就有必要以“创新、协调、绿色、开放、共享”为发展理念,以区域生态禀赋为基础强化流域整体发展规划,实现全流域的健康可持续发展。另一方面,长江经济带上中下游之间发展格局迥异,这是长江经济带水足迹结构异化的直接原因,发展是解决水资源冲突问题的硬道理,但考虑长江流域脆弱的生态系统环境,建

议在区域生态禀赋基础上制定精准发展战略,以对口合作发展、产业链融合发展、生态共建共享发展等为抓手,保障长江流域脆弱生态系统安全,落实《长江经济带发展规划纲要》。

综上所述,通过分析长江经济带省际水足迹供需结构特征可以发现,产业布局、地理位置、人口规模是影响省际水足迹的主导要素。其中,影响水足迹的核心要素是产业布局,农业规模的合理化发展与农业全过程节水技术推广是关键;影响水足迹的直接要素是地理位置,提升上下游共享发展能力,促进流域一体化发展是关键;影响水足迹的客观要素是人口规模,以水定城、以水定产、以水定人,推进户籍制度改革,强化多中心治理是关键。

参考文献:

- [1] 白雪,胡梦婷,朱春雁. ISO14046: 2014《环境管理水足迹原则、要求与指南》国际标准解读[J]. 标准科学, 2015(9): 56-60.
- [2] 卢曦,许长新. 基于三阶段 DEA 与 Malmquist 指数分解的长江经济带水资源利用效率研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017,26(1): 7-14.
- [3] 史安娜,陆添添,冯楚建. 长江经济带社会经济发展与水资源保护水平研究[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2017,19(1): 24-28.
- [4] ALLAN J A. Virtual water: a strategic resource global solutions to regional deficits[J]. Ground Water, 1998, 36(4): 545-546.
- [5] HOEKSTRA A Y, HUNG P Q. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade[J]. Water Research, 2002,49(11): 203-319.
- [6] FENG K, HUBACEK K, MINX J, et al. Spatially explicit analysis of water footprints in the UK[J]. Water, 2011(3): 47-63.
- [7] HOEKSTRA A. The water footprint: water in the supply chain[J]. Environmentalist, 2010(93): 12-13.
- [8] EGAN M. The water footprint assessment manual: setting the global standard [J]. Social & Environmental Accountability Journal, 2011,31(2): 181-182.
- [9] MEKONNEN M M, HOEKSTRA A Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products [J]. Hydrology & Earth System Sciences, 2011,15(5): 1577-1600.
- [10] EUROPE C. Towards sustainable sugar sourcing in Europe[R]. Brussels: Coca-Cola Europe, 2011.
- [11] EWING B R, HAWKINS T R, WIEDMANN T O, et al. Integrating ecological and water footprint accounting in a multi-regional input-output framework [J]. Ecological Indicators, 2012,23(4): 1-8.
- [12] HOEKSTRA A Y, MEKONNEN M M, CHAPAGAIN A K, et al. Global monthly water scarcity: blue water footprints versus blue water availability [J]. Plos One, 2012,7(2): e32688.
- [13] CAZCARRO I, DUARTE R, SANCHEZ-CHOLIZ J. Water footprints for Spanish regions based on a multi-regional input-output (MRIO) model [M]. Illinois: Champaign, 2013.
- [14] ZHANG G P, HOEKSTRA A Y, MATHEWS R E. Water footprint assessment (WFA) for better water governance and sustainable development [J]. Water Resources & Industry, 2013 (s1-2): 1-6.
- [15] ERCIN A E, HOEKSTRA A Y. Water footprint scenarios for 2050: a global analysis [J]. Environment International, 2014,64(3): 71-82.
- [16] 徐中民,龙爱华,张志强. 虚拟水的理论方法及在甘肃省的应用[J]. 地理学报, 2003,58(6): 861-869.
- [17] 龙爱华,张志强,徐中民,等. 甘肃省水资源足迹与消费模式分析[J]. 水科学进展, 2005,16(3): 418-425.
- [18] 高孟绪,任志远,郭斌,等. 基于 GIS 的中国 2000 年水足迹省区差异分析[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(1): 131-136.
- [19] 刘梅,许新宜,王红瑞,等. 基于虚拟水理论的河北省水足迹时空差异分析[J]. 自然资源学报, 2012, 27(6): 1022-1034.
- [20] 王晓萌,黄凯,杨顺顺,等. 中国产业部门水足迹演变及其影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2014,29 (12): 2114-2126.
- [21] CHAPAGAIN A K, HOEKSTRA A Y. Water footprints of nations[J]. Value of Water Research Report Series, 2004 (16): 1-80.
- [22] 赵良仕. 中国省际水资源利用效率测度、收敛机制与空间溢出效应研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2014.
- [23] 王新华,徐中民,李应海. 甘肃省 2003 年的水足迹评价[J]. 自然资源学报, 2005,20(6): 909-915.

(责任编辑:高虹)

