

# 长江经济带水足迹与经济高质量发展的脱钩效应

王保乾,严雷

(河海大学商学院,江苏南京 211100)

**摘要:**基于2009—2018年长江经济带11个省市水足迹的面板数据,运用Tatio脱钩弹性系数模型研究水足迹与经济高质量发展之间的脱钩效应,利用STIRPAT模型研究水足迹强度的驱动因素。研究结果表明:长江经济带水足迹总量在2016年出现拐点后逐年下降,而经济高质量发展水平整体处于稳步上升状态,二者整体上呈现弱脱钩趋势。其中,长江下游省市基本实现强脱钩,中上游省市从弱相关性向强相关转变。

**关键词:**长江经济带;水足迹;经济高质量发展;Tatio脱钩;STIRPAT模型

**中图分类号:**F407.9

**文献标志码:**A

**文章编号:**1003-9511(2022)01-0006-07

长江经济带覆盖沿江11个省市,横跨我国东中西三大区域,人口和地区生产总值均超过全国的40%。长江经济带水资源丰富,水资源总量占比44.2%;但同时水资源消耗巨大,综合用水量约占全国的近45%。2020年11月,习近平总书记在南京召开的全面推动长江经济带发展座谈会上指出:“要使长江经济带成为我国生态优先绿色发展的主战场,成为引领经济高质量发展的主力军。在严格保护生态环境的前提下,全面提高资源利用效率。”

水资源是维持长江经济带持续健康发展的重要基础资源。但是随着经济高速增长,长江经济带出现了用水结构不合理、水资源消耗持续增加等问题。水足迹作为衡量水资源消耗的有效手段,创新地从水资源消费的角度出发,结合实体和虚拟水资源,通过生产、生活、服务、贸易所需来计算水资源的使用情况。研究水足迹与经济高质量发展之间的关系,对于实现长江经济带水资源合理利用与保护具有重要的意义,同时有助于解决全国范围内出现的各种水资源问题。

## 1 研究综述

水足迹的提出主要是基于“生态足迹”<sup>[1]</sup>和“虚拟水”理论<sup>[2]</sup>,最初是应用于研究生产农产品所需的水资源问题<sup>[3]</sup>。由于过去对于水资源使用情况

的衡量通常只关注用水量,而自从水足迹被Hoekstra等<sup>[4]</sup>提出之后,这种从实体水资源与虚拟水资源的新视角衡量水资源消耗的方法引起了学者们的广泛关注。我国学者自2000年后接触到水足迹并对其进行研究,潘忠文等<sup>[5]</sup>、李宁等<sup>[6]</sup>均采用水足迹法来计算某国家或区域的水资源消耗。此外,基于水足迹的核算还引申出人均水足迹、水足迹强度以及水资源自用率等一系列评价指标<sup>[7]</sup>。水足迹强度是衡量水资源利用效率的重要指标。张玲玲等通过测度2002—2014年中国31个省(区、市)的水足迹强度,对其时空格局演变情况进行分析,同时探究水足迹强度的驱动因素<sup>[8]</sup>。

有关水足迹与经济发展关系的研究可以从多个角度进行,比如耦合协调关系<sup>[9]</sup>、匹配演变关系<sup>[10]</sup>、Tatio脱钩关系等。脱钩主要是用来研究水资源消耗情况与经济增长的不同步关系,Tatio脱钩模型主要是将EKC环境库兹涅茨曲线的原理与脱钩模型相结合,以揭示两者关系变化的意义。国内外学者近年来比较多的将脱钩效应应用于经济、环境污染与资源利用等领域的研究。Tatio<sup>[11]</sup>研究了芬兰1970—2002年全国汽车等交通工具排放的CO<sub>2</sub>总量,进而讨论了其与工业经济增长之间的脱钩关系。国内较早研究水资源消耗和经济发展之间脱钩关系的是于法稳<sup>[12]</sup>从工业的视角,对2000—2006年山东省菏泽市9个区县的工业生产总值、工业用水量

**基金项目:**国家社会科学基金(17BJY142)

**作者简介:**王保乾(1964—),男,教授,博士,主要从事应用经济和区域经济研究。E-mail: bq64@163.com

以及工业废水排放量之间的脱钩关系进行了实证分析。此后,越来越多的学者通过脱钩研究水资源消耗与经济发展之间的关系。李宁等<sup>[6]</sup>将研究范围缩小到长江中游城市群,通过水足迹评价水资源消耗及其与经济增长协调发展的脱钩关系,发现目前长江中游城市群用水结构不合理,水资源使用与经济增长处于相对脱钩的初级协调状态。孙付华等<sup>[13]</sup>构建水足迹-LMDI 模型分析了 2007—2017 年江苏省水资源消耗情况及其与经济发展的脱钩效应,同时发现技术进步与产业结构是二者脱钩的主要驱动因素。

归纳上述研究发现,目前水足迹与经济发展脱钩效应的研究中,大多都是采用 GDP 作为衡量经济增长的指标,但 GDP 增长不能全面地衡量经济增长,因此研究有一定局限性。基于此,本文构建长江经济带经济高质量发展指标评价体系,用经济高质量发展指数衡量经济发展;同时,本文在探究脱钩效应的基础上进一步研究影响水足迹强度的驱动因素,运用 Stata15.0 软件的固定效应模型研究这些驱动因素对水足迹强度的影响大小及方向。

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 研究方法

#### 2.1.1 水足迹法

“水足迹”指一个国家或地区在一定时间内消费所有产品和服务所需要的水资源数量,其中不仅包含了经济发展过程中消耗的实体水资源,而且包括了产品和服务中隐藏的虚拟水资源,两者结合真实地反映了一个区域的水资源消耗情况。本文采用水足迹衡量长江经济带 11 个省市的水资源消耗情况,同时选取较为常见的自下而上核算法,从消费者的角度构建水资源账户进行计算,其公式如下:

$$W = W_I + W_E \quad (1)$$

$$W_I = W_{AU} + W_{IU} + W_{DU} + W_{EU} - W_{VF} \quad (2)$$

$$W_E = W_{VI} - W_{VRE} \quad (3)$$

式中: $W_T$ 为一个国家或地区水足迹总量; $W_I$ 为内部水足迹,即生产该国或该地区所消费所有产品和服务所需的水资源总量; $W_E$ 为外部水足迹,即由其他国家或地区生产并被本国或本地区消费的产品和服务所消耗的水资源总量; $W_{AU}$ 为农业用水量,包括农作物和动物产品生产用水两部分; $W_{IU}$ 为工业用水量; $W_{DU}$ 为居民生活用水量; $W_{EU}$ 为生态用水量; $W_{VF}$ 为出口产品虚拟用水量; $W_{VI}$ 为进口产品虚拟用水量; $W_{VRE}$ 为进口产品和服务再出口的虚拟水量。

根据水足迹的计算结果,选取人均水足迹、水

资源自用率以及水足迹强度等评价指标从不同角度分析长江经济带目前的水资源消耗情况。公式如下:

$$W_{PC} = W_T/P \quad (4)$$

$$W_{SS} = W_I/W \quad (5)$$

$$W_{FS} = W/G \quad (6)$$

式中: $W_{PC}$ 为人均水足迹; $P$ 为人口总数; $W_{SS}$ 为资源自用率; $G$ 为某地区生产总值,即 GDP; $W_{FS}$ 为水足迹强度,衡量的是单位 GDP 产出所需要水资源情况。

#### 2.1.2 经济高质量发展指标体系

经济高质量发展涉及经济多个层面,需要一个综合性指标来反映。本文借鉴从经济增长动能、经济增长结构与经济增长成果等维度构建的经济增长质量评价体系<sup>[14-15]</sup>以及《长江经济带高质量发展指数报告》中评价高质量发展水平的 5 个指标维度:经济绩效、经济结构、科技创新、绿色发展以及社会共享,同时遵循指标构建过程中的科学合理性、系统性、严谨性以及可比性等原则,最终确定从经济结构、增长动能和经济绩效等维度构建长江经济带经济高质量发展的二级指标,包括 15 个三级指标<sup>[16-17]</sup>,如图 1 所示(图中数据为指标权重)。

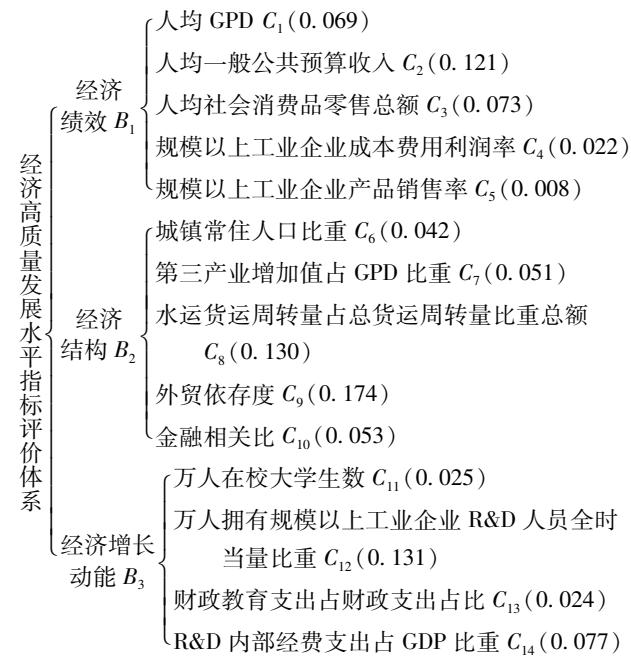


图 1 经济高质量发展水平指标评价体系

经济绩效是经济高质量发展的核心要求,需要更全面、客观的评价指标进行衡量,主要包含经济实力、政府财力、市场情况以及企业经营情况等指标。收入水平是衡量一个地区经济实力最基本的尺度;财政是一个地区服务于经济发展的重要保证;企业是重要的经济主体,包括企业的利润率、销售率等指

标,反映某地区企业发展绩效及当地市场经济是否健康发展。

目前长江经济带经济发展的落脚点依旧是在不平衡的经济结构上,因此“调整产业结构优化升级,转变发展方式”是促进经济更高水平发展的根本途径。本文采用产业结构、人口结构以及所有制结构衡量经济结构。产业结构的变动直接反映了经济结构的调整,人口结构反映了城镇化发展水平,所有制结构则从不同方面,如开放水平、服务业等反映了对于经济发展的支持度。

经济增长动能是经济保持高质量发展的条件,这包含着创新潜力、科研能力、教育投入等指标。企业科研人员、科研投入经费预示着创新潜力,同时财政投入以及教育也是经济未来高质量发展的驱动因素。

指标权重的赋值采用熵权法,因为其仅依赖于数据本身的离散性,较为客观。具体指标及权重的赋值见图1。各省市经济高质量发展水平计算公式如下:

$$H_i = \sum_{j=1}^m w_j x'_{ij} \quad (7)$$

式中: $H_i$ 为第*i*个省市的经济高质量发展水平; $x'_{ij}$ 为第*i*个省市、第*j*个指标的值( $i=1, 2, \dots, n$  ( $n \leq 14$ )); $j=1, 2, \dots, m$  ( $m \leq 14$ )); $x'_{ij}$ 为标准化后的值; $w_j$ 为各指标的权重值。

### 2.1.3 脱钩效应模型

脱钩理论最早应用于物理学,后来随着EKC曲线的盛行,越来越多的学者将其与脱钩结合并应用于经济发展与环境污染、资源消耗的关系研究<sup>[18]</sup>。本文运用脱钩理论探究水足迹与经济高质量发展之间的关系,其脱钩的实质就是:在保持经济社会各方面高质量发展的前提下,水足迹增速不断降低,最终实现零增长甚至负增长。本文采用Tapi弹性分析法,该法是在OECD脱钩模型的基础上优化而来,根据计算所得的弹性系数作为判断脱钩状态的依据。Tapi弹性分析法避免了因基期、末期选择数据的高敏感性而带来的计算误差,且所需数据量较小,更易于计算。计算公式如下:

$$e = \frac{\Delta W}{\Delta H} = \frac{(W_n - W_{n-1})/W_n}{(H_n - H_{n-1})/H_n} \quad (8)$$

式中: $e$ 为脱钩指数,表示第*n-1*年到第*n*年水足迹与经济高质量发展之间的变化关系; $W_n$ 、 $H_n$ 分别为第*n*年水足迹情况和经济高质量发展水平; $\Delta W/\Delta H$ 为水足迹与经济高质量发展的变化速率,%。根据变量的变化方向及指数大小,可将脱钩状态分为3大类型8种状态,如表1所示。

表1 经济高质量发展水平与水足迹情况的脱钩类型划分

脱钩类型	$\Delta W$	$\Delta H$	$e$	脱钩判断(程度)
脱钩	<0	>0	$\leq 0$	强脱钩
	>0	>0	(0, 0.8)	弱脱钩
	<0	<0	$\geq 1.2$	衰退性脱钩
连接	>0	>0	(0.8, 1.2)	增长连接
	<0	<0	(0.8, 1.2)	衰退性连接
负脱钩	>0	<0	$\leq 0$	强负脱钩
	<0	<0	(0, 0.8)	弱负脱钩
	>0	>0	$\geq 1.2$	扩张性负脱钩

### 2.1.4 STIRPAT 模型

STIRPAT ( stochastic impacts by regression on population, affluence, and technology) 环境影响评估模型,是IPAT模型的扩展模型。经典的IPAT模型主要是通过人口、财产和技术等3个变量评估人类活动与环境资源压力之间的关系<sup>[19]</sup>。但是该模型无法分析各个驱动因素对环境资源消耗的非比例影响,因此被修正成可以进行假设检验的、具有随机性和可拓展性的STIRPAT模型<sup>[20]</sup>。STIRPAT模型可以运用回归的方法衡量人口、财富及技术对资源环境的影响;且在实际应用中自变量“*T*”可以进行分解进而增加变量,加强回归模型的实用性和结果的准确性。

## 2.2 数据来源

本文将长江经济带11个省市作为研究对象,统计汇总2009—2018年各项数据,数据主要来自2009—2018年中国统计年鉴、水资源公报、中国农业年鉴以及11个省市历年的统计年鉴。

在水足迹计算中,农业产品的水足迹包含了农作物和动物生产用水两部分,通过农产品产量乘以单位农产品虚拟含水量来计算。单位农产品虚拟水含量参考了王新华等<sup>[21]</sup>、李宁等<sup>[6]</sup>的研究成果,农作物产品及动物产品的虚拟水含量如表2所示。工业产品水足迹、生活水足迹以及生态水足迹均为实体需水量,数据来自各省市水资源公报中的实际用水量。进出口产品虚拟用水量由各省市进出口总额乘以各地区平均万元GDP用水量进行计算。此外,由于缺乏相应的统计数据,本文忽略进口产品再出口虚拟水量的计算。

表2 农作物产品和动物产品的单位产品虚拟水含量

单位:m<sup>3</sup>/kg

农作物产品	虚拟水含量	动物产品	虚拟水含量
粮食	0.880	猪肉	2.210
棉花	4.400	牛肉	12.560
油料	3.967	羊肉	5.200
糖料	1.480	禽肉	3.110
茶叶	13.170	牛奶	2.200
水果	0.820	禽蛋	3.550
蔬菜	0.110	水产品	5.000

表3 2009—2018年长江经济带水足迹构成及评价指标

年份	水资源消耗量/亿m <sup>3</sup>	农业水足迹/亿m <sup>3</sup>	工业水足迹/亿m <sup>3</sup>	生活水足迹/亿m <sup>3</sup>	生态水足迹/亿m <sup>3</sup>	进口水足迹/亿m <sup>3</sup>	出口水足迹/亿m <sup>3</sup>	人均水足迹/m <sup>3</sup>	水资源自用率/%	水足迹强度/(m <sup>3</sup> ·万元 <sup>-1</sup> )
2009	7055.9	5994.8	830.9	337.2	28.7	326.6	462.3	1239.4	95.37	480.00
2011	7412.7	6318.5	868.3	353.1	21.9	381.2	530.3	1287.2	94.86	348.73
2013	7810.5	6754.6	855.6	352.1	26.2	319.0	497.0	1342.9	95.92	298.71
2015	8077.1	7078.8	830.2	380.0	27.9	251.4	491.2	1374.4	96.89	264.65
2016	8155.5	7052.7	828.7	393.8	30.6	232.0	382.3	1379.0	97.16	241.87
2017	8044.7	6930.5	815.4	403.0	31.8	267.5	403.5	1352.0	96.68	216.84
2018	8123.3	6994.0	809.1	414.9	34.4	277.7	406.8	1356.7	96.58	201.58

### 3 长江经济带水足迹与经济高质量发展脱钩效应的时空演化

#### 3.1 水足迹构成与分析

由表3可知,10年来长江经济带整体水足迹波动不大,从2009年开始逐年上升,2016年达到最大值8155.45亿m<sup>3</sup>,之后水足迹处于递减的趋势,但有所波动。

在水足迹构成方面,2009年农业水足迹占比85%,2015年达到最大值87.64%,此后逐年递减。我国是农业大国,长江经济带气候温暖湿润,水资源丰富,土壤肥沃,农业生产条件优越,拥有众多商品粮基地,农业水足迹占比较大。近两年来,随着生产条件的提高、施肥品种的改善,农业水足迹有了下降的趋势。

工业水足迹占比约12%,比例较低,中上游地区工业水资源消耗较少,表明长江中上游地区工业存在较大发展空间。进出口水足迹的变化趋势相近,均是2010年达到最高值后又下降,并在2017年和2018年有了小幅上升,但是两者占比较小。由表4可知,长江中上游地区进出口水足迹总和小于长江下游地区上海、江苏、浙江任何一个省市的进出口水足迹。因此,长江中上游地区各省市对外贸易发展不足。

表4 长江上中下游工业、进口与出口水足迹的比较

单位:亿m<sup>3</sup>

地区	工业水足迹	进口水足迹	出口水足迹
长江三角洲	4428.3	2490.6	3609.4
中游城市群	2503.6	297.6	572.8
上游城市群	1463.6	281.9	516.9
上海	724.4	760.1	646.4
江苏	2223.3	1307.2	1958.4
浙江	542.1	269.9	771.3

在水足迹评价指标中,人均水足迹总量由2009年的1239.4m<sup>3</sup>增加到2018年的1356.7m<sup>3</sup>,长江经济带人均水资源消耗量逐年递增;水资源自用率10年来处于波动状态,但一直维持在94%左右,这说明长江经济带水资源内部水足迹可以满足基本用

水。水足迹强度逐年下降,年均减少率达到了9.19%。

整体来说,长江经济带水资源丰沛,能够满足农业、工业、生活、生态用水,其中农业水足迹占比最大;近几年随着政府政策以及各类节水措施的落实,各类水足迹有所减少;但长江中上游各省市水资源利用结构不合理,工业发展、对外贸易有所不足。

#### 3.2 经济高质量发展指数分析

2009—2018年长江经济带11个省市经济高质量发展水平稳步上升。2018年,超过长江经济带整体均值的省市只有4个,分别为上海、浙江、江苏、重庆。长江经济带经济高质量发展指数年平均增长率为5.62%,增长率超过这一值的省份有8个,前4名的省份为贵州、安徽、江西和四川。

分地区来看,长江经济带经济高质量发展现状呈现下中上游依次递减的水平;按时间来看,2009—2018年长江经济带整体经济高质量发展水平的变化趋势是逐年稳步增长的。巧合的是,目前经济高质量发展水平较高的长江下游各省市年平均增长率5.01%,低于整体年平均增长率6.26%;而经济高质量发展指数较低的长江中、上游各省市年平均增长率7.82%和8.21%都非常高。因此,经济高质量发展水平较低的省市对经济高质量发展水平较高的省市存在“追赶效应”。

#### 3.3 脱钩效应的时空演化分析

##### 3.3.1 时序脱钩分析

表5进行脱钩类型的时序分析,将2009—2018年按照我国经济发展的五年规划计划分为3个阶段,分别为“十一五”时期的2009—2010年、“十二五”2011—2015年、“十三五”时期的2016—2018年。经过3个时间段的对比发现,虽然2009—2015年这两个时间段几乎都是弱脱钩,但是明显“十二五”阶段各省市的脱钩指数小于“十一五”阶段,说明水足迹增幅不断减少。2016—2018年,长江下游各省市区已由弱脱钩转化为强脱钩,表明经济高质量发展不断提升的同时水足迹逐年降低。根据《长江经济带发展规划纲要》的要求,目前长江经济带

表5 长江经济带脱钩类型的时序对比

时间	长江三角洲		中游城市群		长江上游	
	脱钩指数	脱钩类型	脱钩指数	脱钩类型	脱钩指数	脱钩类型
2009—2010年	0.558	弱脱钩	0.563	弱脱钩	0.196	弱脱钩
2011—2015年	0.093	弱脱钩	0.363	弱脱钩	0.348	弱脱钩
2016—2018年	-0.253	强脱钩	0.003	弱脱钩	0.243	弱脱钩

正大力推动产业结构优化升级。长江下游各省正努力引导产业由东向西梯度转移,以促进中上游沿江省份经济发展,进而提高脱钩程度。

综上,长江经济带11个省市的脱钩状态呈现明显的上升态势。“十一五”和“十二五”时期主要是弱脱钩,其中“十二五”时期的弱脱钩指数明显小于“十一五”时期;“十三五”中的2016—2018年,长江经济带中有6个省市由弱脱钩转化为强脱钩,而其他省市的弱脱钩指数较“十二五”时期又有所下降。总体来说,长江经济带在经济保持高质量发展的同时,水资源得到合理的利用和保护。

### 3.3.2 空间脱钩分析

表6将长江经济带11个省市的脱钩类型进行了空间对比分析。具体来看,长江下游地区4省市经济高质量发展水平最高,脱钩程度也最高,2016—2018年均实现了强脱钩。从空间角度分析,上海在“十二五”阶段已经实现了强脱钩,不管是技术进步、产业升级,还是水资源节约、水污染防治等方面均优于其他省市。同时,这些优势也会辐射到苏南及浙北地区,带动长江下游其他省市实现强脱钩。长江中上游地区的湖北省、重庆市以及云南省已经实现了强脱钩,而其余省份的弱脱钩指数也较小,绝对值基本低于0.02,除了四川省和贵州省。四川省弱脱钩指数为0.189,与“十二五”时期的脱钩指数相比,降幅仅为28.4%,而同期其他省市脱钩指数的降幅为100%。两省份降幅不大的主要原因都是2010年后工业经济得到加速发展,各类资源消耗随之增多,其中包括水资源,因此水足迹总量增速较

慢,甚至贵州出现了脱钩指数下滑的现象。

基于上述空间脱钩分析,长江经济带下游经济高质量发展水平较高,对于水资源合理利用的节水意识较强,目前下游4个省市已全部实现强脱钩;长江中上游地区各个省份脱钩状态整体稍逊于下游地区,基本处于弱脱钩状态。而且由于长江中上游的部分省市经济发展正处于起步上升阶段,因此水足迹消耗较高,脱钩状态不稳定,个别省出现脱钩下滑现象。

## 4 长江经济带水足迹强度的驱动因素分析

要实现水足迹与经济高质量发展的强脱钩,就必须在保证经济增长的同时,降低水足迹强度,即单位GDP产出所需的水资源消耗减少。因此为了实现长江经济带的强脱钩,有必要进一步研究水足迹强度的驱动因素。

### 4.1 变量设计及模型构建

本文运用STIRPAT模型研究水足迹强度的驱动因素。模型的因变量设置为水足迹强度,采用水足迹总量与GDP比值表示,水足迹强度越低,单位GDP产出所需的水资源就越低,水资源的消耗就越低。模型的自变量设置为人口集聚、财富、技术进步,人口集聚用人口密度表示,财富水平表示一个地区的经济发展情况,技术进步主要是衡量一个地区技术创新能力的提高。除此之外引入产业结构、外贸依存度及政府影响力等变量进行回归。借鉴何维达等<sup>[22]</sup>的指标选取,引入产业结构变量;由于长江经济带沿海沿江,地理位置优越,具有较高的外贸水平,因此引入外贸依存度;政府影响力则是为了检验

表6 长江经济带“十一五”至“十三五”各省市脱钩类型

省市	2009—2010年				2011—2015年				2016—2018年			
	$\Delta e$	$\Delta w$	脱钩指数	脱钩类型	$\Delta e$	$\Delta w$	脱钩指数	脱钩类型	$\Delta e$	$\Delta w$	脱钩指数	脱钩类型
上海	+	+	1.556	扩张性负脱钩	+	-	-0.581	强脱钩	+	-	-0.282	强脱钩
江苏	+	+	0.427	弱脱钩	+	+	0.529	弱脱钩	+	-	-0.262	强脱钩
浙江	+	+	0.348	弱脱钩	+	+	0.220	弱脱钩	+	-	-0.304	强脱钩
安徽	+	+	0.617	弱脱钩	+	+	0.203	弱脱钩	+	-	-0.142	强脱钩
江西	+	+	0.514	弱脱钩	+	+	0.306	弱脱钩	+	+	0.016	弱脱钩
湖北	+	+	0.569	弱脱钩	+	+	0.491	弱脱钩	+	-	-0.016	强脱钩
湖南	+	+	0.556	弱脱钩	+	+	0.289	弱脱钩	+	+	0.012	弱脱钩
重庆	+	+	0.333	弱脱钩	+	+	0.205	弱脱钩	+	-	-0.021	强脱钩
四川	+	+	0.247	弱脱钩	+	+	0.264	弱脱钩	+	+	0.189	弱脱钩
贵州	+	+	0.046	弱脱钩	+	+	0.184	弱脱钩	+	+	0.825	增长连接
云南	+	+	0.060	弱脱钩	+	+	0.731	弱脱钩	+	-	-0.013	强脱钩

政策倾斜是否会影响水足迹强度。具体的指标解释及数据选取见表 7。为了便于回归,对 STIRPAT 模型进行对数化处理后:

$$\begin{aligned} \ln W_{FS_i} = & \ln \alpha + \beta_1 \ln p_i + \beta_2 (\ln p_i)^2 + \gamma \ln G_{PC_i} + \\ & \delta \ln T_i + \theta \ln S_i + \mu \ln G_i + \omega \ln f_i + \ln \varepsilon_i \end{aligned} \quad (9)$$

式中: $i$  为长江经济带 11 个省市; $t$  为年份; $\alpha$  为截距项; $\varepsilon_i$  为随机误差项; $\beta, \gamma, \delta, \theta, \mu, \omega, \sigma$  分别为对应的弹性系数矩阵; $\beta_1, \beta_2$  分别为人口集聚的对数一次项和对数二次项的系数,若  $\beta_1$  为正数, $\beta_2$  为负数,则可以说明人口集聚与水足迹强度之间是倒“U”型曲线关系。

表 7 变量描述

变量	变量名称	变量含义
$W_{FS}$	水足迹强度	水足迹总量与 GDP 的比值
$p$	人口集聚	每单位行政面积常住人口数量 <sup>[23]</sup>
$G_{PC}$	人均 GDP	国内生产总值与常住人口的比重
$T$	技术进步	R&D 经费投入占 GDP 比重
$S$	产业结构	第三产业与非第三产业的比重
$G$	政府影响力	农林水务支出占一般预算支出的比值
$f$	外贸依存度	进出口贸易总额与 GDP 比值

## 4.2 回归结果及分析

本文利用 Stata 15.0 对 2009—2018 年长江经济带 11 个省市的面板数据进行分析。在模型的选择上,首先通过固定效应回归得到了  $F$  检验,  $P$  值为 0.0000, 小于 0.05, 拒绝原假设, 即固定效应模型要优于混合最小二乘估计回归模型。其次, 关于固定效应模型与随机效应模型的选择, 主要是依据 Hausman 检验结果, Prob 大于 chi2, 等于 0.0001, 小于 0.05, 因此拒绝随机效应模型。最后, 为了控制部分不可观测变量, 在一定程度上解决遗漏变量的偏差问题, 将年份虚拟变量控制的时间效应纳入固定效应模型中。因此, 本文选择个体时间双向固定效应模型探究长江经济带水足迹强度的驱动因素, 具体的回归结果见表 8。模型 1 是最简单的 IPAT 模型, 而模型 2 至模型 4 则是采用逐步回归法引入其他因素变量。与其他模型相比, 模型 4 中各个变量显著度较高, 整体估计结果有效, 因此将采用模型 4 结果进行分析。

人口集聚是水足迹强度最重要的驱动因素。模型 4 中人口集聚的一次项系数在 1% 的显著性水平下为正, 二次项系数在 5% 的显著性水平下为负, 说明人口集聚和水足迹强度呈现倒“U”型曲线关系, 即随着人口的增多, 水资源消耗增多, 在人口集聚逐渐形成规模效应后, 水资源消耗反而会降低, 水足迹强度降低。人口集聚通常发生在城市, 人口增多会导致个人及城市公共用水的增加, 因此起初水足迹

表 8 面板回归模型结果

变量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
$\ln p$	5.3538 *** (3.88)	5.6184 *** (4.09)	5.7365 *** (4.19)	6.2209 *** (4.50)
$(\ln p)^2$	-0.4850 *** (-5.12)	-0.4864 *** (-5.19)	-0.5052 *** (-5.36)	-0.5323 ** (-5.63)
$\ln G_{PC}$	-0.8349 *** (-38.34)	-0.8333 *** (-38.62)	-0.8281 *** (-37.99)	-0.8283 *** (-38.42)
$\ln T$	-0.0972 ** (-2.56)	-0.0826 ** (-2.14)	-0.0725 * (-1.86)	-0.0847 ** (-2.36)
$\ln S$		-0.0425 * (1.72)	-0.0469 * (-1.89)	-0.0591 ** (-2.32)
$\ln G$			0.0600 (1.38)	0.05580 (1.29)
$\ln f$				-0.0285 * (-1.76)
时间效应	控制	控制	控制	控制
个体效应	控制	控制	控制	控制
$R^2$	0.7636	0.7493	0.7489	0.7309
$F$ 检验	237.43 ***	164.83 ***	140.98 ***	136.29 ***
Hausman 检验	26.45 ***	33.23 ***	39.21 ***	45.49 ***

注: \*\*\*、\*\* 和 \* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平下显著, 括号里的数值为  $t$  值。

总量会激增;但是水足迹总量不会随着人口集聚程度的增加无限增多,而是在临界点之后,逐步减少。

经济发展对于水足迹强度的影响程度较大, 回归系数 0.8283, 即人均 GDP 每增加 1%, 水足迹强度降低约 0.8283%。一般会认为经济增长需要消耗资源, 即经济增长与资源消耗量成正比。但这十年的数据却充分说明了长江经济带摆脱了单纯以资源消耗为代价稳定经济增长的现象。长三角的上海、江苏等省市经济发展质量较高, 技术创新和人才效应帮助降低水足迹强度;在长三角经济发展溢出效应的影响下, 中上游其他相对欠发达省市的经济发展也得到带动, 未来这一区域的水足迹强度还将有新的发展空间。

产业结构与技术进步的系数均为负, 即二者与水足迹强度成反比。随着产业结构转型升级及技术进步, 水足迹逐步减少, 水足迹强度不断降低。长江经济带的产业升级主要包含两个方面, 一是长江中下游各省市进行产业迭代升级, 将二产中的高能耗、高污染的产业进行转化, 大力发展三产;二是长江下游各省引导产业进行自东向西梯度转移, 将一些资源加工型、劳动密集型产业向中上游省份转移。技术进步主要是指技术不断发展、完善, 新技术代替旧技术的过程。工业企业的技术进步主要体现在优化流程、提高效率、减少污染排放和资源消耗。因此, 技术进步会促进水足迹强度的降低。

外贸依存度对水足迹强度的影响作用在 10% 的显著水平下为负, 即外贸依存度越高, 水足迹越低, 水足迹强度越低。外贸依存度一定程度上可以

反映一个国家的经济发展水平,因此其对水足迹强度的影响作用和经济发展的影响作用较为接近。

政府影响力对水足迹强度的影响作用并不显著。一方面,政府通常都是通过间接措施降低水足迹,例如:推动长江沿江城市产业结构升级、推动“长江大保护”实施并进行立法;另一方面,本文采用农林水务支出与一般预算支出的占比来衡量政府影响力,可能不够全面具体,导致影响作用不显著。

## 5 结论与建议

**a.** 长江经济带水足迹总量整体波动不大,2009—2015年逐年上升,2016年出现拐点,此后逐年递减;长江中上游各省市工业及进出口水足迹占比较少,说明该区域水资源利用结构尚未达到最优状态。长江经济带经济高质量发展水平整体处于稳步上升阶段;下游各省市经济高质量发展水平较高,增长率较低,长江中上游省市对下游经济发展水平较高的省市存在着“追赶效应”。脱钩效应分析中,长江经济带整体处于弱脱钩状态,脱钩水平呈现明显的上升趋势;长江经济带下游4个省市已全部实现强脱钩,中游省市的脱钩状态稍逊于下游地区,而上游地区的脱钩状态则相对不稳定,部分省市出现了脱钩下滑的现象。

**b.** 在水足迹强度的驱动因素方面,人口因素是最重要的驱动因素,且人口集聚和水足迹强度呈现倒“U”型曲线关系;经济发展水平、外贸依存度、产业结构和技术进步负向影响水足迹强度。

基于上述结论,笔者提出以下对策建议:①调整水资源利用结构,加大农业节水工程建设,开展田间地头节水灌溉示范指导,不断提高农民们的节水意识;②增强长江中上游省份的外贸水平,进而实现更高质量的引进来和走出去,实现长江经济带的全方面对外开放格局;③以技术进步推动产业结构优化升级,全面塑造创新驱动发展优势,进一步推动经济高质量发展和促进水足迹强度降低,通过长江上、中、下游区域之间的协调联动发展,推动长江经济带整体科技创新能力的提高。

## 参考文献:

- [1] GOSSLING S, HANSSON C B, HORSTMEIER O, et al. Ecological footprint analysis as a tool to access tourism sustainability [J]. Ecological Economics, 2002 (43): 199-211.
- [2] MATHIS W. Our ecological footprint: reducing human impact on the earth [M]. Philadelphia: New Society Publishers, 1996.
- [3] ALLAN J A. Virtual water: a strategic resource global so-

lutions to regional deficits [J]. Groundwater, 1998, 36 (4): 545-546.

- [4] HOEKSTRA A Y, CHAPAGAIN A K, ALDAYA M M, et al. The water footprint assessment manual: setting the global standard [M]. London: Earthscan, 2011.
- [5] 潘忠文,徐承红.我国绿色水资源效率测度及其与经济增长的脱钩分析[J].华中农业大学学报(社会科学版),2020(4):1-9.
- [6] 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.
- [7] 谷学明,王远,赵卉卉,等.江苏省水资源利用与经济增长关系研究[J].中国环境科学,2012,32(2):351-358.
- [8] 张玲玲,沈家耀.中国水足迹强度时空格局演变与驱动因素分析[J].统计与决策,2017(17):143-147.
- [9] 邢霞,修长百,刘玉春.黄河流域水资源利用效率与经济发展的耦合协调关系研究[J].软科学,2020,34(8):44-50.
- [10] 韩雁,贾绍凤,鲁春霞,等.水资源与社会经济发展要素时空匹配特征:以张家口为例[J].自然资源学报,2020,35(6):1392-1401.
- [11] TAPIO P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001 [J]. Transport Policy, 2005, 12: 137-151.
- [12] 于法稳.经济发展与资源环境之间脱钩关系的实证研究[J].内蒙古财经学院学报,2009(3):29-34.
- [13] 孙付华,杨一帆,沈菊琴,等.基于水足迹-LMDI模型的江苏省水资源利用与经济发展的脱钩关系研究[J].江苏社会科学,2020(6):233-240.
- [14] 钱小静,任保平.城乡收入差距与中国经济增长质量[J].财贸研究,2014,25(5):1-9.
- [15] 曾艺,韩峰,刘俊峰.生产性服务业集聚提升城市经济增长质量了吗? [J].数量经济技术经济研究,2019,36(5):83-100.
- [16] 鲁邦克,邢茂源,杨青龙.中国经济高质量发展水平的测度与时空差异分析[J].统计与决策,2019,35(21): 113-117.
- [17] 师博,任保平.中国省际经济高质量发展的测度与分析[J].经济问题,2018(4):1-6.
- [18] TAPIO P, BANISTER D, LUUKKANEN J, et al. Energy and transport in comparison: immaterialisation, dematerialisation and decarbonisation in the EU15 between 1970 and 2000 [J]. Energy Policy, 2007, 35(1):433-451.
- [19] HOLDREN J, EHRLICH P. Human population and the global environment [J]. American Scientist, 1974, 62(3):282-292.
- [20] DIETZ T, ROSE E. Effects of population on CO<sub>2</sub> emissions [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1997, 94(1):175-179.

(下转第 28 页)