

长江经济带灰水足迹与经济成长的二维脱钩分析

何伟军^{1,2},孔阳¹,沈菊琴³

(1.河海大学商学院,江苏南京 211100;2.三峡大学经济与管理学院,湖北宜昌 443002;

3.河海大学农业科学与工程学院,江苏南京 211100)

摘要:基于环境库兹涅兹曲线(EKC)和Tapio脱钩模型,首先测算长江经济带11省(市)2003—2018年的灰水足迹,然后构建计量模型探究灰水足迹与经济成长的EKC形态,最后结合EKC拐点和改进后的Tapio模型分层次进行二维脱钩分析。结果显示:长江经济带灰水足迹省际差异显著,除云南外,其余10省(市)灰水足迹总体呈下降趋势;长江经济带灰水足迹EKC呈N形变化,两个拐点处的人均GDP分别为3.67万元和10.34万元,农业比重和对外开放程度对灰水足迹具有显著正向影响;除江西、重庆、贵州三地出现“伪脱钩”外,其余8省(市)的灰水足迹与经济成长共出现7种二维脱钩状态;经济发展水平低的上游省份实现了更多的弱脱钩类型,而经济发展水平高的下游省份实现了更多的强脱钩类型。

关键词:灰水足迹;水污染;经济成长;脱钩理论;EKC假说

中图分类号:TV213

文献标志码:A

文章编号:1671-4970(2022)01-0068-07

一、引言

实现环境压力(资源消耗、环境污染)与经济成长脱钩是可持续发展目标的关注重点。学术界将环境压力与经济成长之间的非同步动态变化关系称为“脱钩”。常用的脱钩分析方法有OECD脱钩模型^[1]、Vehmas脱钩指数^[2]、Tapio模型^[3],鉴于Tapio模型既克服了基期选择对脱钩结果的影响,又通过引入弹性系数实现了脱钩状态的细分,因而使用更

为广泛^[4]。在进行水污染与经济成长脱钩分析时,大部分研究都是基于水污染物浓度^[5-6]或污水排放量^[7-8]进行分析,很难准确量化实际水污染。为此,荷兰学者Hoekstra等基于虚拟水与生态足迹概念提出了水足迹^[9],其中的灰水足迹实现了用水量指标衡量水污染程度,将其引入脱钩分析可以兼顾水量和水质双重属性。然而,现阶段的脱钩研究存在两个不足:一是未在脱钩分析前进行“伪脱钩”^①检验;二是无法区分不同经济发展水平下的相同脱钩状

基金项目:河海大学中央高校基本科研业务费(学生项目);江苏省研究生科研与实践创新计划(KYCX21_0445);国家社会科学基金重大项目(2019ZDA089)

作者简介:何伟军(1965—),男,教授,博士,主要从事水资源技术经济及管理研究。E-mail:weijunhe@ctgu.edu.cn

通信作者:沈菊琴(1963—),女,教授,博士,主要从事环境会计与生态补偿研究。E-mail:jqshen@hhu.edu.cn

^①参考“伪回归”概念,笔者采用Person相关系数对Tapio脱钩进行改进,当资源环境压力与经济成长在统计上不相关时,讨论其脱钩状态没有意义,称为“伪脱钩”。

态。因此,在进行灰水足迹脱钩分析时,有必要在“伪脱钩”检验的基础上,对不同经济水平下的相同脱钩状态进行有效区分。

早在脱钩理论之前,环境库兹涅兹曲线(EKC)就已用于探究环境污染与人均收入之间的非线性变化^[10]。由于易于理解且方便量化,EKC假说被广泛用于研究CO₂^[11]、大气污染物^[12]和水污染^[13]。经典EKC呈倒U形,但当研究对象或样本不同时,EKC也可能出现U形、N形、倒N形(S形)^[14-15]。值得注意的是,脱钩理论和EKC假说之间具有很强的内部关联,均可用于研究环境污染和经济增长之间的动态变化关系。高新才等曾运用Tapio模型与EKC假说探究西部省份环境污染与经济增长的动态关系^[16],但该研究只是将两种方法单独使用,无法进行不同经济水平下的二维脱钩分析。夏勇等创造性地将EKC方程和Tapio脱钩指数公式联立使用,分别探究工业SO₂排放、CO₂排放与经济增长之间的二维脱钩关系,研究发现EKC拐点处的人均GDP与强、弱脱钩临界点处的人均GDP近似相同^[17-18]。这两项研究对区分不同经济水平下的相同脱钩状态具有启示作用,但均未考虑“伪脱钩”问题。截至目前,尚无学者结合EKC假说和Tapio模型进行水污染与经济增长之间的二维脱钩分析。

综上所述,在分析水污染与经济增长的脱钩状态时,现有研究存在以下三点不足:第一,未能准确量化实际水污染;第二,未进行“伪脱钩”检验;第三,未建立不同经济水平下的二维脱钩分类标准。长江经济带是我国区域协调发展和水污染治理的重要区域,为了打破水污染对该地区经济发展的制约,亟须在《中华人民共和国长江保护法》的指导下,制定针对性的区域发展政策。基于此,基于该区域2003—2018年的灰水足迹测算结果,通过面板回归模型探究灰水足迹EKC类型,将“伪脱钩”和EKC拐点处的人均GDP引入Tapio脱钩模型,构建灰水足迹与经济增长的二维脱钩分类标准并进行脱钩分析。

二、研究方法 with 数据来源

1. 研究方法

(1) 灰水足迹法

参照文献^[9, 19-20]可知,灰水足迹(GWF_{total})包括农业灰水足迹(GWF_{agr})、工业灰水足迹

(GWF_{ind})和生活灰水足迹(GWF_{dom})。由于水污染物种类多、浓度差异大,在计算灰水足迹时仅考虑其中最主要的污染物,计算公式如下:

$$GWF_{total} = GWF_{agr} + GWF_{ind} + GWF_{dom} \quad (1)$$

第一,农业灰水足迹。农业灰水足迹(GWF_{agr})包括种植业灰水足迹(GWF_{pla})和养殖业灰水足迹(GWF_{bre})^[19-20]。氮肥是种植业水污染的最大来源,牛、羊、猪和家禽粪便、尿液中的化学需氧量(COD)和总氮(TN)是养殖业水污染的最主要来源。在计算灰水足迹时,同类型污染物产生的灰水足迹进行加总,不同类型污染物产生的灰水足迹取最大值^[19-20]。计算公式如下:

$$GWF_{agr} = \max[GWF_{bre(COD)}, (GWF_{pla(TN)} + GWF_{bre(TN)})] \quad (2)$$

$$GWF_{pla} = \frac{\alpha N_{Appl}}{C_{TN,max} - C_{TN,nat}} \quad (3)$$

$$GWF_{bre} = \max(GWF_{bre(COD)}, GWF_{bre(TN)}) \quad (4)$$

$$GWF_{bre(i)} = \frac{L_{bre(i)}}{C_{i,max} - C_{i,nat}} \quad (5)$$

其中 $L_{bre(i)} = \sum_{h=1}^4 N_h D_h (f_h p_{hf} \beta_{hf} + u_h p_{hu} \beta_{hu})$

式中: α 为氮肥淋溶率; N_{Appl} 为氮肥施用总量; $C_{TN,max}$ 为总氮的水质标准浓度; $C_{TN,nat}$ 为总氮的自然本地浓度^[19-20]; $GWF_{bre(i)}$ 为第*i*类污染物的养殖业灰水足迹; $L_{bre(i)}$ 为第*i*类污染物的排放量;*i*为总氮或化学需氧量;*h*为牛、羊、猪和家禽; N_h 、 D_h 、 f_h 、 u_h 、 p_{hf} 、 p_{hu} 、 β_{hf} 、 β_{hu} 分别为*h*的数量、饲养周期、日排粪量、日排尿量、单位尿的污染物含量、单位粪便的污染物含量、单位粪便的污染物流失率、单位尿的污染物流失率^[19-20]。

第二,工业灰水足迹。COD和氨氮排放量(NH₃-N)是工业废水中的主要污染物, GWF_{ind} 计算公式如下:

$$GWF_{ind} = \max(GWF_{ind(COD)}, GWF_{ind(NH_3-N)}) \quad (6)$$

$$GWF_{ind(k)} = \frac{L_{ind(k)}}{C_{k,max} - C_{k,nat}} \quad (7)$$

式中: $GWF_{ind(k)}$ 为第*k*类污染物的工业灰水足迹; $L_{ind(k)}$ 为工业废水中第*k*类污染物的排放量;*k*为污染物COD或NH₃-N。

第三,生活灰水足迹。生活污水与工业污水都属点源污染,主要污染物均为COD和NH₃-N,计算公式如下:

$$GWF_{dom} = \max(GWF_{dom(COD)}, GWF_{dom(NH_3-N)}) \quad (8)$$

$$GWF_{\text{dom}(k)} = \frac{L_{\text{dom}(k)}}{C_{k,\text{max}} - C_{k,\text{nat}}} \quad (9)$$

式中： $GWF_{\text{dom}(k)}$ 、 $L_{\text{dom}(k)}$ 分别为生活污水中第 k 类污染物的灰水足迹、排放量。

(2) EKC 假说

考虑到 EKC 类型多变,将灰水足迹 EKC 方程设定为如下更为通用的三次函数形式^[12]:

$$GWF_{jt} = \alpha_0 + \alpha_1 g_{jt} + \alpha_2 g_{jt}^2 + \alpha_3 g_{jt}^3 + \alpha_m Z_{m,jt} + \varepsilon \quad (10)$$

式中： GWF_{jt} 、 g_{jt} 分别表示 j 省 t 年的灰水足迹、人均实际 GDP； α_0 为截距项,表示人均实际 GDP 以外的其他解释变量不变时的灰水足迹平均值； α_1 、 α_2 、 α_3 分别为一次项、二次项、三次项的系数； ε 为随机误差； Z_m 为控制变量。当 $\alpha_1 > 0, \alpha_2 < 0, \alpha_3 = 0$ 时,灰水足迹与人均 GDP 呈倒 U 形关系；当 $\alpha_1 < 0, \alpha_2 > 0, \alpha_3 = 0$ 时,呈 U 形关系；当 $\alpha_1 > 0, \alpha_2 < 0, \alpha_3 > 0$ 时,呈 N 形关系；当 $\alpha_1 < 0, \alpha_2 > 0, \alpha_3 < 0$ 时,呈倒 N 形(S 形)关系^[12]。EKC 拐点即方程(11)的极值点,令 $\partial_{GWF} / \partial_g = 0$ 得,

$$g = \frac{-2\alpha_2 \pm \sqrt{4\alpha_2^2 - 12\alpha_1\alpha_3}}{6\alpha_3}$$

通过大量权威文献阅读,最终选取环境治理能力、农业占比、人口密度、对外开放程度和水资源禀赋等作为控制变量。具体变量介绍如表 1 所示。

表 1 控制变量及其相关假设

变量名称	变量含义	假设
环境治理能力	环境治理投资占 GDP 的比重	环境治理能力对 GWF 起抑制作用 ^[21]
农业占比	第一产业产值占 GDP 的比例	农业占比对 GWF 起促进作用 ^[22]
人口密度	单位面积年末常住人口	人口密度对 GWF 起促进作用
对外开放程度	进出口贸易额占 GDP 的比例	对外开放程度对 GWF 起抑制作用
水资源禀赋	人均水资源量	水资源禀赋对 GWF 起促进作用 ^[22]

(3) 二维 Tapio 脱钩模型

灰水足迹与经济增长之间的 Tapio 脱钩弹性系数计算公式如下:

$$D_t = \frac{(GWF_t - GWF_{t-1}) / GWF_{t-1}}{(GDP_t - GDP_{t-1}) / GDP_{t-1}} \quad (11)$$

式中： D_t 为第 t 年的脱钩弹性系数； GDP_t 、 GWF_t 分别为第 t 年的实际 GDP 和灰水足迹； GDP_{t-1} 、 GWF_{t-1} 分别为第 $t-1$ 年的实际 GDP 和灰水足迹。强脱钩是

最理想的脱钩状态,表示水污染随经济增长而减少；弱脱钩是第二理想的脱钩状态,表示水污染增速小于经济增速^[4]。这两种状态下,单位 GDP 水污染均在下降。联立 EKC 方程和 Tapio 模型进行数理推导^[18],探究不同经济发展水平下的灰水足迹脱钩状态细分方法。

令 $r = g_t - g_{t-1}$,由于 $GDP_t = g_t P_t$,假设同一省市相邻两年的年末常住人口维持不变,则

$$P_t = P_{t-1} = P \quad (12)$$

$$G_{t-1} = g_{t-1} P_{t-1} = (g_t - r) P \quad (13)$$

式中： g_t 为第 t 年的人均实际 GDP； P_t 为第 t 年的年末常住人口； r 为相邻两年人均实际 GDP 变化量。则有

$$D_t = \frac{[(\alpha_1 - \alpha_2 r + \alpha_3 r^2) + (2\alpha_2 - 3\alpha_3 r)g_t + 3\alpha_3 g_t^2](g_t - r)}{\alpha_0 + \alpha_1(g_t - r) + \alpha_2(g_t - r)^2 + \alpha_3(g_t - r)^3} \quad (14)$$

研究区间内,长江经济带各省(市)未出现经济负增长,因此仅考虑 $\Delta GDP > 0$ 的情况。设:

$$f(g_t) = [(\alpha_1 - \alpha_2 r + \alpha_3 r^2) + (2\alpha_2 - 3\alpha_3 r)g_t + 3\alpha_3 g_t^2](g_t - r) \quad (15)$$

$$h(g_t) = (\alpha_1 - \alpha_2 r + \alpha_3 r^2) + (2\alpha_2 - 3\alpha_3 r)g_t + 3\alpha_3 g_t^2 \quad (16)$$

令 $D_t = 0$,即 $f(g_t) = 0$ 则有 $h(g_t) = 0$ 或 $g_t = r$ 。当 $g_t = r$ 时, $g_{t-1} = 0$,这与实际不符。

当 $h(g_t) = 0$ 时,两个极值点对应的人均实际 GDP 为

$$\begin{cases} g_{t,1} = \frac{(3\alpha_3 r - 2\alpha_2) + \sqrt{4\alpha_2^2 - 3\alpha_3^2 r^2 - 12\alpha_1\alpha_3}}{6\alpha_3} \\ g_{t,2} = \frac{(3\alpha_3 r - 2\alpha_2) - \sqrt{4\alpha_2^2 - 3\alpha_3^2 r^2 - 12\alpha_1\alpha_3}}{6\alpha_3} \end{cases} \quad (17)$$

由于相邻两年的人均 GDP 变化较小,可将其近似看成零,即 $r = 0$ ^[18],对比发现,EKC 方程的两个极值点和强弱脱钩临界点处的人均 GDP 相等。参考夏勇等^[17-18]以及 EKC 定义,将 EKC 拐点处的人均 GDP 视为区域经济发展水平高低的分类标准,引入 Tapio 脱钩分类标准,得到如表 2 所示的 12 种二维脱钩状态。其中,“高经济水平-强脱钩”是最理想的二维脱钩状态,表示达到高经济水平时,灰水足迹随着经济增长而减少。

表 2 二维脱钩状态分类标准 ($\Delta GDP > 0$)

脱钩状态	$g_t < g_{左}^*$	$g_{左}^* < g_t < g_{右}^*$	$g_t > g_{右}^*$
强脱钩 (SD)	低经济水平-强脱钩 (L-SD)	中经济水平-强脱钩 (M-SD)	高经济水平-强脱钩 (H-SD)
弱脱钩 (WD)	低经济水平-弱脱钩 (L-WD)	中经济水平-弱脱钩 (M-WD)	高经济水平-弱脱钩 (H-WD)
扩张连接 (EC)	低经济水平-扩张连接 (L-EC)	中经济水平-扩张连接 (M-EC)	高经济水平-扩张连接 (H-EC)
扩张负脱钩 (END)	低经济水平-扩张负脱钩 (L-END)	中经济水平-扩张负脱钩 (M-END)	高经济水平-扩张负脱钩 (H-END)
		伪脱钩	

注： $g_{左}^*$ 和 $g_{右}^*$ 分别为 EKC 左拐点和右拐点处的人均 GDP，是经济水平发展高低的阈值。

2. 数据来源

灰水足迹计算所需要的氮肥淋失率、污染物的排放标准浓度、自然本底浓度、畜禽粪便排泄量、粪便污染物含量及饲养周期等基准数据来源于文献 [19]；污染物 COD、氨氮标准值来源于《污染物综合排放标准》(GB 8978—1996)。污水排放量、畜禽养殖量、化肥施用量、水资源禀赋、人口密度和环境治理投资等指标数据来源于长江经济带各省(市)的历年统计年鉴和环境年鉴,农业占比是通过计算农业增加值与 GDP 的比值得到。

三、实证结果分析

1. 灰水足迹相关结果分析

长江经济带各省(市)2003—2018 年的灰水足

迹测算结果见表 3。不难发现,长江经济带灰水足迹省际差异显著,除云南外,其余 10 省(市)的灰水足迹总体呈现波动下降趋势。其中,上海灰水足迹始终最低,从 2003 年的 65 亿 m^3 减少到 2018 年的 26.7 亿 m^3 ;四川灰水足迹始终最高,最大值为 382.9 亿 m^3 ,最小值为 312.2 亿 m^3 。从水足迹均值来看,上海、重庆、贵州和浙江的灰水足迹较低,都小于 140 亿 m^3 ,而四川、湖南、江苏、湖北和云南的灰水足迹较高,均超过 210 亿 m^3 。上海和浙江的人均 GDP 分别排在第一位和第三位,其对应的灰水足迹分别排名倒数第一和倒数第三;江苏和湖北的人均 GDP 分别排名第二和第四,其灰水足迹分别排名第三和第四,这表明省级的灰水足迹与经济发展水平并非严格负相关。究其原因,灰水足迹受经济规模和农业比重等多个因素共同影响,其中经济发展水平可以通过提高环境治理投资和污水处理技术来减少水污染,但无法直接决定灰水足迹的高低。

2. EKC 假说检验及拐点分析

由表 4 中结果(5)可知,在控制了环境治理能力、农业比重、人口密度、对外开放程度和水资源禀赋等 5 个变量后, g 、 g^2 和 g^3 的回归系数分别为 17.11、-3.154、0.15,且在 1% 的统计性水平上显著。由式(10)求导可知,灰水足迹与人均实际 GDP 之间呈现 N 形变化,两个拐点处的人均 GDP 依次为 3.67 万元、10.34 万元。夏勇等^[17-18]结合 Tapio 模型和 EKC 假说分别探究 SO_2 和 CO_2 与经济增长之间

表 3 长江经济带 11 省(市)的灰水足迹

单位:亿 m^3

年份	上海	江苏	浙江	安徽	江西	湖北	湖南	重庆	四川	贵州	云南
2003	65.0	249.3	137.8	202.1	145.5	238.4	291.1	97.3	382.4	147.9	185.4
2004	54.4	263.1	138.4	196.5	154.4	239.3	304.7	100.2	380.1	151.3	192.8
2005	57.6	281.6	144.7	197.1	158.4	242.6	316.9	100.9	377.9	157.7	196.6
2006	57.1	275.5	143.6	185.6	159.2	238.3	319.3	99.8	382.9	161.2	197.5
2007	55.5	258.6	135.0	163.6	142.7	227.1	285.2	89.1	349.5	127.2	189.3
2008	51.4	252.6	132.4	162.4	141.5	231.1	285.2	90.4	350.1	128.5	189.5
2009	46.4	249.4	128.2	162.9	144.2	235.3	285.7	92.7	355.0	129.9	193.7
2010	42.4	243.9	123.5	162.0	145.5	236.0	279.4	92.5	352.8	129.4	196.8
2011	40.8	250.4	141.6	184.5	159.1	242.6	262.2	101.6	351.3	135.3	232.8
2012	39.3	243.0	137.4	184.2	160.1	245.1	261.4	100.8	346.9	133.1	235.2
2013	38.2	235.1	132.6	183.7	160.4	242.7	261.7	100.4	344.2	132.8	236.3
2014	36.4	228.5	125.7	182.0	160.7	239.7	262.6	100.6	348.3	137.3	239.2
2015	33.6	221.6	117.7	180.2	161.7	233.2	258.6	100.5	346.1	140.7	237.1
2016	30.9	218.2	108.8	174.0	159.9	216.6	242.3	97.8	337.8	136.5	238.1
2017	30.3	219.6	105.6	162.7	152.8	200.5	232.5	90.3	318.2	135.6	245.2
2018	26.7	206.0	100.9	152.2	152.1	194.9	226.3	88.6	312.2	130.4	243.1
均值	44.1	243.5	128.4	177.2	153.6	231.5	273.4	96.5	352.2	138.4	215.5
排名	11	3	9	6	7	4	2	10	1	8	5

的二维脱钩关系,两项研究均得到倒 U 形变化结果,并将 EKC 拐点值作为门槛值,前者的拐点值为 26903 元,后者为 7999.5 美元。借鉴上述做法,将灰水足迹 EKC 拐点处的人均实际 GDP 视为长江经济带经济发展水平高中低的判定标准。农业比重和对外开放程度的回归系数均显著为正,说明农业比重越高对灰水足迹具有促进作用,从而验证了表 1 中的假设;对外开放程度同样促进了灰水足迹,这与长江经济带进出口产品类型有关,表明该地区水密集型产品出口较多。

表 4 灰水足迹的回归结果

解释变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
g	1.921	19.06***	19.07***	16.90***	17.11***
g^2	-1.273**	-3.339***	-3.356***	-3.140***	-3.154***
g^3	0.0638*	0.145***	0.146***	0.149***	0.150***
环境治理能力		2.656	2.563	4.192	4.326
农业比重		4.319***	4.120***	4.027***	4.015***
人口密度			-0.000962	-0.00168	-0.00185
对外开放程度				316.9***	316.5***
水资源禀赋					-0.00234
常数项	196.3***	111.6***	116.5***	105.6***	110.5***
观测值	176	176	176	176	176
省市个数	11	11	11	11	11
R^2	0.304	0.396	0.397	0.426	0.429

3. 灰水足迹与经济增长的二维脱钩分析

长江经济带 11 省(市)2003—2018 年灰水足迹与经济增长之间的二维脱钩状态如表 5 所示,江西、重庆、贵州三地的灰水足迹与经济增长之间出现“伪脱钩”,其余 8 省市共出现 7 种不同类型的二维脱钩状态。

表 5 长江经济带 11 省(市)灰水足迹与经济增长的二维脱钩分析

时期	上海	江苏	浙江	安徽	江西	湖北	湖南	重庆	四川	贵州	云南
2003—2004 年	M-SD	L-WD	L-WD	L-SD	伪脱钩	L-WD	L-WD	伪脱钩	L-SD	伪脱钩	L-WD
2004—2005 年	M-WD	L-WD	L-WD	L-WD	伪脱钩	L-WD	L-WD	伪脱钩	L-SD	伪脱钩	L-WD
2005—2006 年	M-SD	L-SD	L-SD	L-SD	伪脱钩	L-SD	L-WD	伪脱钩	L-WD	伪脱钩	L-WD
2006—2007 年	M-SD	L-SD	M-SD	L-SD	伪脱钩	L-SD	L-SD	伪脱钩	L-SD	伪脱钩	L-SD
2007—2008 年	M-SD	M-SD	M-SD	L-SD	伪脱钩	L-WD	L-WD	伪脱钩	L-WD	伪脱钩	L-WD
2008—2009 年	M-SD	M-SD	M-SD	L-WD	伪脱钩	L-WD	L-WD	伪脱钩	L-WD	伪脱钩	L-WD
2009—2010 年	M-SD	M-SD	M-SD	L-SD	伪脱钩	L-WD	L-SD	伪脱钩	L-SD	伪脱钩	L-WD
2010—2011 年	M-SD	M-WD	M-EC	L-WD	伪脱钩	L-WD	L-SD	伪脱钩	L-SD	伪脱钩	L-WD
2011—2012 年	M-SD	M-SD	M-SD	L-SD	伪脱钩	M-WD	L-SD	伪脱钩	L-SD	伪脱钩	L-WD
2012—2013 年	M-SD	M-SD	M-SD	L-SD	伪脱钩	M-SD	M-WD	伪脱钩	L-SD	伪脱钩	L-WD
2013—2014 年	M-SD	M-SD	M-SD	L-SD	伪脱钩	M-SD	M-WD	伪脱钩	L-WD	伪脱钩	L-WD
2014—2015 年	H-SD	M-SD	M-SD	L-SD	伪脱钩	M-SD	M-SD	伪脱钩	L-SD	伪脱钩	L-SD
2015—2016 年	H-SD	M-SD	M-SD	M-SD	伪脱钩	M-SD	M-SD	伪脱钩	M-SD	伪脱钩	L-WD
2016—2017 年	H-SD	H-WD	M-SD	M-SD	伪脱钩	M-SD	M-SD	伪脱钩	M-SD	伪脱钩	L-WD
2017—2018 年	H-SD	H-SD	M-SD	M-SD	伪脱钩	M-SD	M-SD	伪脱钩	M-SD	伪脱钩	M-SD

注:二维脱钩状态排序中,H-SD>M-SD>L-SD>H-WD>M-WD>L-WD。

从上、中、下游来看,2003—2018 年上游省(市)的灰水足迹与经济增长之间共出现了 3 种二维脱钩状态,其中 16 次 L-WD、10 次 L-SD、4 次 M-SD;中游省(市)出现了 4 种二维脱钩状态,其中 11 次 L-WD、3 次 M-WD、6 次 L-SD、10 次 M-SD;下游省(市)共出现 7 种二维脱钩状态,7 次 L-WD、2 次 M-WD、1 次 H-WD、12 次 L-SD、32 次 M-SD、5 次 H-SD、1 次 M-EC。对比发现,上游实现了更多的 L-WD,且脱钩状态没有表现出明显的变化规律;下游实现了最多的 L-SD、M-SD 和 H-SD,且 M-SD 和 H-SD 呈现增加趋势,脱钩状态呈现向好趋势。究其原因,这与下游具有更高的环保技术水平和更多的环保治理投资密切相关。

从省级层面来看,2003—2018 年安徽和四川在绝大部分年份实现了 L-SD,上海、江苏和浙江在绝大部分年份均实现了 M-SD;经济落后的云南在绝大部分年份实现了 L-WD 且未能实现 1 次 H-SD;经济水平较高的湖北实现了 6 次 M-SD 和 6 次 L-WD。综上所述,经济水平高的省(市)更容易实现 H-SD 或 M-SD,经济水平低的省(市)更可能实现 L-WD。从变化趋势来看,从 2013 年开始,长江经济带越来越多的省(市)实现了 M-SD,尤其是中下游省(市),与此同时,出现 L-WD 的省(市)显著减少,2018 年各省均未出现 L-WD。从 2014 年开始,更多省(市)达到高经济发展水平,其灰水足迹随着经济增长而减少。这与 2014 年国务院印发《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》密切相关,该意见重

点提出“强化长江水资源保护和合理利用,稳步提高长江流域水质”,促进了灰水足迹实现强脱钩。

四、结论与建议

一方面,长江经济带灰水足迹省际差异显著,除云南外,其他 10 省(市)的灰水足迹总体呈下降趋势。长江经济带的农业比重和对外开放程度显著促进灰水足迹,而环境治理能力、人口密度和水资源禀赋对灰水足迹未产生明显作用。

另一方面,除重庆、贵州和江西出现“伪脱钩”外,长江经济带其余省(市)2003—2018 年的灰水足迹与经济增长实现了强脱钩或弱脱钩,其中强脱钩次数呈波动增加趋势且整体多于弱脱钩。经济发展水平高的下游地区实现了更多的高经济水平-强脱钩或中经济水平-强脱钩,而经济水平越低的上游地区实现了更多的低经济水平-弱脱钩;从 2013 年开始,长江经济带经济发展水平较高且水污染治理效果明显,有更多省(市)实现高经济水平-强脱钩。

基于上述研究结论,在坚持以习近平总书记水生态文明思想和《中华人民共和国长江保护法》为指导的前提下,可以从以下两个层面加快推动区域水资源与经济可持续发展。

就中央政府而言,第一,要成立长江经济带乃至长江流域水污染协同治理小组,协调配置治理资金、技术和人力;第二,以“双控目标”为指导,加强跨省断面水质检测力度,完善污染联防联控,强化污染追责机制;第三,坚持“节水优先、系统治理”,将二维脱钩结果纳入水生态补偿主客体划分标准,建立健全长江流域横纵向生态补偿机制,切实提高长江流域水环境承载力;第四,对于不同脱钩类型的省(市),要明确其发展重点:鼓励“低经济水平-弱脱钩”型和“中经济水平-弱脱钩”型地区兼顾经济发展和水环境保护;鼓励“高经济水平-弱脱钩”型地区加大水污染治理技术研发投入力度,重点扶持“低经济水平-强脱钩”型地区发展经济。

就省(市)政府而言,第一,要开展排污清单管理,严控辖区内生活生产污水排放量及排放浓度,并加大监督惩处力度;第二,持续增加政府环境治理投资,设置水生态环境功能修复专项资金和横向生态补偿基金,促进水污染持续高效治理;第三,鼓励和扶持企业自主研发污水治理技术,提高污水重复利用率,加快编制企业污染排污负面清单,淘汰落后产

能;第四,坚持“以水定产”,在水环境承载力下优化区域产业结构和空间布局,特别是加快开展农业产业跨区域及区域内结构和布局优化,提高绿色农业技术研发及推广力度,推动农业高效生态发展。

参考文献:

- [1] Organization for Economic Co-operation and Development. Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth [EB/OL]. (2002-08-28) [2021-01-20]. <http://www.olis.oecd.org/olis/2002doc.nsf/LinkTo/sg-sd>.
- [2] VEHMAS J, LUUKKANEN J, KAIVOOJA J. Linking analyses and environmental kuznets curves for aggregated material flows in the EU [J]. Journal of Cleaner Production, 2006, 15(17): 1662-1673.
- [3] 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(2): 137-151.
- [4] KONG Y, HE W J, YUAN L, et al. Decoupling analysis of water footprint and economic growth: a case study of Beijing-Tianjin-Hebei region from 2004 to 2017 [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(23): 1-16.
- [5] 郭承龙,张智光. 污染物排放量增长与经济增长脱钩状态评价研究[J]. 地域研究与开发, 2013, 32(3): 94-98.
- [6] 张兆方,沈菊琴,何伟军,等. “一带一路”中国区域水资源利用效率评价——基于超效率 DEA-Malmquist-Tobit 方法[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2018, 20(4): 60-66.
- [7] 李宁,孙涛. 环境规制,水环境压力与经济增长——基于 Tapio 脱钩弹性的分解[J]. 科技管理研究, 2016, 36(4): 258-262.
- [8] 章恒全,陈卓然,张陈俊. 长江经济带工业水环境压力与经济增长脱钩努力研究[J]. 地域研究与开发, 2019, 38(2): 13-18.
- [9] HOEKSTRA A Y, CHAPAGAIN A K, ALDAYA M M, et al. The water footprint assessment manual: Setting the global standard [M]. London: Earthscan, 2011.
- [10] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. The inverted-U: what does it mean? [J]. Environment & Development Economics, 1996, 1(1): 119-122.
- [11] 胡宗义,刘亦文,唐李伟. 低碳经济背景下碳排放库兹涅茨曲线研究[J]. 统计研究, 2013, 30(2): 73-79.
- [12] 王勇,俞海,张永亮,等. 中国环境质量拐点:基于 EKC

- 的实证判断[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(10):1-7.
- [13] 李志涛, 黄河清, 张明庆, 等. 鄱阳湖流域经济增长与水环境污染关系研究[J]. 资源科学, 2010, 32(2):267-273.
- [14] 朱悦. 辽宁省环渤海地区经济增长与水环境污染水平计量模型研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(S1):65-68.
- [15] 鲁晓东, 许罗丹, 熊莹. 水资源环境与经济增长:EKC假说在中国八大流域的表现[J]. 经济管理, 2016, 38(1):20-29.
- [16] 高新才, 马丽. 基于脱钩和 EKC 理论的西部地区环境污染与经济发展关系研究[J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版), 2014, 35(6):117-122.
- [17] 夏勇, 钟茂初. 经济发展与环境污染脱钩理论及 EKC 假说的关系——兼论中国地级城市的脱钩划分[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(10):8-16.
- [18] SONG Y, ZHANG M, ZHOU M. Study on the decoupling relationship between CO₂ emissions and economic development based on two-dimensional decoupling theory: a case between China and the United States [J]. Ecological Indicators, 2019, 102:230-236.
- [19] 韩琴, 孙才志, 邹玮. 1998—2012 年中国省际灰水足迹效率测度与驱动模式分析[J]. 资源科学, 2016, 38(6):1179-1191.
- [20] 刘红光, 陈敏, 唐志鹏. 基于灰水足迹的长江经济带水资源生态补偿标准研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(11):2553-2563.
- [21] 贺志文, 向平安. 湖南省灰水足迹变化特征及其驱动因子分析[J]. 中国农村水利水电, 2018(10):19-26.
- [22] 孙才志, 韩琴, 郑德凤. 中国省际灰水足迹测度及荷载系数的空间关联分析[J]. 生态学报, 2016, 36(1):86-97.

(收稿日期:2021-05-10 编辑:张志琴)

《河海大学学报(哲学社会科学版)》投稿指南

1. 注册

通过“用户登录区”的“作者登录”进入作者区,点击作者区的新用户注册,填写个人信息,填写完毕提交后,您将收到注册成功的电子邮件,请按电子邮件提示激活账户后方可登录。

2. 投稿

在网站首页输入您的 email 和密码,以作者身份登录,进入投稿页面。按照页面提示填写全部投稿信息后提交即可(如不需要推荐审稿人或回避审稿人,可跳过)。建议投稿作者就是论文的通讯作者,以方便联系。

3. 查询稿件目前的处理情况

登陆系统后,进入稿件查询即可。

4. 修改稿件

关于稿件信息,在编辑部未对稿件进行任何处理时,您还可以在稿件查询处随时修改稿件信息。

一经处理,必须经编辑部进行退修操作才可以对稿件进行修改,在提交修改稿时,请直接以作者已申请的 email 和密码登录我们的网站,在[稿件管理]菜单下[上传/下载修改稿]子菜单,点击后请找到该稿件编号对应的稿件,请先下载(打开)原文,查阅编辑部是否有直接的批注或修改;修改稿或补充的内容再通过[修改]功能上传回来即可。请不要再使用投稿功能投此稿,否则会被视为新稿件,已有的审稿结果将作废。

5. 修改作者信息

文章的作者信息可以直接在稿件查询处随时修改。

6. 登记费用信息

稿费的收款日期可登陆系统在相关栏目登记。

7. 查询文章被引情况

稿件发表后,您可以常浏览我刊网站,查看您的文章被引情况。