

# 基于水足迹理论的山西省水资源与经济增长脱钩分析

马海良, 郑浩楠, 李一凡

(河海大学商学院, 江苏 常州 213022)

**摘要:** 基于水足迹理论对山西省 2009—2020 年的水资源消耗情况进行核算, 并对农业和工业水足迹与经济增长进行脱钩分析, 从而找出影响水资源消耗的主要因素。结果表明: 山西省水足迹近十多年上升较快, 从 2009 年的 214.90 亿  $m^3$  上升至 2020 年 310.22 亿  $m^3$ , 年均上升约 7.94 亿  $m^3$ ; 在山西省水足迹构成中农业占比最高, 达 89.28%, 而其中又以玉米、水果和猪肉的占比较大, 分别为 30.17%、20.77% 和 12.67%; 2009—2020 年水资源利用与经济增长的脱钩关系多数年份呈弱脱钩状态, 其中农业用水与农业经济的脱钩状态对整体脱钩状态影响最大。提出应努力控制山西省水足迹增长速度, 重点关注农业中玉米、水果和猪肉的生产过程节水改善等政策建议。

**关键词:** 水足迹; 水资源利用; 经济增长; 脱钩分析; 山西省

**中图分类号:** F407.9

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1003-9511(2022)05-0023-06

水是生命之源, 生产之要, 生态之基。黄河流域作为中华文明的发源地, 在我国经济社会发展和生态安全方面具有十分重要的地位。伴随着工业化和城镇化的推进, 其原有水资源时空分布不均以及水灾害等问题没有得到系统解决。同时, 水资源短缺、水生态损害、水环境污染等新问题却越来越突出。面对黄河流域新老水问题相互交织的严峻局面, 习近平总书记在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上明确提出“重在保护, 要在治理”的重要判断, 强调把水资源作为最大的刚性约束, “有多少汤泡多少馍”, 并鼓励沿黄河各地区根据实际条件进行产业规划<sup>[1]</sup>。山西省地处黄河中游, 水资源问题突出。2020 年山西省人均年水资源量约为 278.67  $m^3$ , 约为全国人均占有量的 12.44%, 仅为世界人均占有量的 3.11%, 属于极度缺水地区。因此, 本文基于水足迹理论对山西省 2009—2020 年的水资源消耗情况进行核算, 分析山西省在经济发展过程中水资源消耗的脱钩状态, 从而为山西省乃至整个黄河流域生态保护和高质量发展提供参考。

## 1 文献综述

水足迹指的是在某一生活条件或区域内, 生产消费的所有产品以及服务所需的水资源数量。1995

年英国学者 Allan 等<sup>[2]</sup>提出, 必须用系统的观念来考虑水资源利用问题, 尤其需要考虑到产品或服务在被生产时所消耗的淡水体积或质量。在此基础上, Mels 等<sup>[3]</sup>在 1999 年提出水足迹测算的相关方法, 并将该方法运用到资源经济研究领域。目前国内外有关水足迹方面的研究从两方面展开: 一是以特定区域为对象展开水足迹测算, Long 等<sup>[4-5]</sup>通过对全球以及各国家水足迹进行大规模精确核算的研究, 发现水足迹与经济水平和产业结构有较大的关联; 马静等<sup>[6]</sup>对中国各省份的水足迹进行了系统评估, 发现中国各省份的水足迹具有显著的空间差异。二是以特定产品为对象展开水足迹分析, Wang 等<sup>[7-8]</sup>核算了常见农产品、畜牧产品和工业系统产品的水足迹, 得出结论为全球肉类产品消费的增长和动物生产系统的集约化将会对全球淡水资源带来更大的压力; 盖力强等<sup>[9]</sup>使用水足迹的理论对华北地区的小麦、玉米的虚拟水及其水足迹进行了研究, 结果表明小麦、玉米的水足迹总量为当地水资源量的 2.2 倍; 焦士兴等<sup>[10]</sup>对河南粮食生产过程中的水足迹进行测算, 并结合投入产出表对各部门之间的虚拟水流动进行了分析。

为研究水资源利用与经济增长的协调关系, 许多研究者使用脱钩理论与水足迹理论相结合进行研

**基金项目:** 教育部人文社会科学研究项目(20YJA790052); 中央高校基本科研业务费专项(B210207041)

**作者简介:** 马海良(1979—), 男, 副教授, 博士, 主要从事资源经济与可持续发展研究。E-mail: mahl@hhu.edu.cn

究论证。自从 2005 年 Tapio<sup>[11]</sup> 提出脱钩模型的 8 种状态以后,脱钩理论在探讨诸多领域各类要素之间的相互影响关系中得到了广泛应用。例如:马海良等<sup>[12]</sup> 基于中国 2009—2014 年的数据,构建了工业废水排放与经济增长的脱钩模型,并从产业和资源两个角度以及技术、结构、生态和效率四个方面对脱钩状态进行分解分析;潘忠文等<sup>[13]</sup> 利用水足迹理论与 Tapio 脱钩评价模型对中国 1999—2016 年水资源利用与经济增长进行了分析;张华明等<sup>[14]</sup> 对黄河流域 2006—2019 年的碳排放与经济增长的脱钩状态进行研究,发现 91.2% 的城市实现了碳排放与经济增长的相对脱钩,但脱钩程度仍弱于珠三角、长三角、京津冀地区,且各城市脱钩状态有所不同。

梳理文献发现,水足迹理论通过对产品生产过程中的水资源进行测算,从而系统衡量某个区域的水资源利用水平,而脱钩理论可以将资源利用与经济发展放在一起系统考虑,从而较好评估经济增长带来的资源环境代价。如果将二者有效结合,可准确评估水资源与经济增长的协调关系,为区域“以水定产”和可持续发展提供理论支撑。目前水资源与经济脱钩的较多研究都是从全国层面或流域层面来展开,较少围绕某个具体的省份展开具体特定的分析,尤其是围绕山西省水资源利用情况的研究较少。山西省为黄河流域的重点省份,掌握山西省水资源利用情况有利于黄河流域生态保护和高质量发展战略目标的推进。因此,本文通过测算山西省 2009—2020 年的水足迹及其构成,分析其水资源利用的变化规律,并结合 Vehmas 的脱钩复钩模型剖析其经济增长与水资源利用的关系。

## 2 研究区域概况

山西省位于中国华北地区的黄土高原上,是黄河流域的主要省份之一,位于北纬 34°34′~40°44′,东经 110°14′~114°33′,总面积达 15.67 万 km<sup>2</sup>,约占中国陆地面积的 1.6%,属温带大陆性季风气候,全省各地区年降水量在 358~621 mm 波动,夏季 6—8 月降水集中,占全年的 60%,受地形影响省内各地区降水差异较大。省内有大小河流 1 000 余条,分属于黄河和海河,黄河流域面积占全省面积 62.2%,海河流域面积占全省面积的 37.8%。2019 年全省降水量 715.9 亿 m<sup>3</sup>,水资源总量为 97.2981 亿 m<sup>3</sup>,其中地表水量 58.4899 亿 m<sup>3</sup>。2019 年度全省总用水量 75.9714 亿 m<sup>3</sup>,耗水总量 60.0417 亿 m<sup>3</sup>,废污水排放量 7.8364 亿 m<sup>3</sup>。截至 2020 年末,全省常住人口为 3 491.5616 万人,人均年水资源量为 278.67 m<sup>3</sup>,在全国属于极度缺水地

区。由于山西省水资源结构中农业用水占了 80% 以上,且较少采用喷灌、滴灌等现代化农业手段,导致山西省水资源利用效率相对较低。同时,由于山西省工业产业结构相对落后,煤炭化工等传统型产业发达,导致水环境污染严重,水资源问题突出。

## 3 研究方法与数据来源

### 3.1 水足迹核算方法

区域水足迹的核算方法一般有自上而下法与自下而上法。孙才志等<sup>[15]</sup> 认为自上而下的方法更适合省级、国家级尺度的水足迹核算。因此,本文采用自上而下法来核算区域水足迹,总水足迹等于区域内水足迹加上净进出口虚拟水量,净进出口虚拟水量为进口虚拟水量减去出口虚拟水量。具体表达式为

$$W = W_i + W_n \quad (1)$$

式中:W 为区域的总水足迹;W<sub>i</sub> 为内部水足迹;W<sub>n</sub> 为净进出口虚拟水量。内部水足迹由以下 4 部分组成:

$$W_i = W_a + W_g + W_u + W_e \quad (2)$$

式中:W<sub>a</sub> 为该区域农业水足迹;W<sub>g</sub> 为工业水足迹;W<sub>u</sub> 为城乡居民生活水足迹;W<sub>e</sub> 为生态水足迹。

#### 3.1.1 农业水足迹核算

山西省主要的农业种植作物有稻谷、小麦、玉米、谷子、高粱、豆类、薯类、水果、蔬菜、棉花和油料作物,主要的畜牧业产品有牛肉、羊肉、猪肉、禽类、牛奶、蛋类以及水产,共计 18 种农业产品。农业用水量主要计算以上产品的虚拟水含量,由单位产品虚拟水体积乘以产量得到。农业种植作物的单位虚拟水含量参考 Chapagain 等<sup>[16]</sup> 关于中国种植物虚拟水含量的数据,动物类产品数据参考 Mekonnen 等<sup>[8]</sup> 对中国动物类产品虚拟水含量的计算结果。主要农业与畜牧业产品单位虚拟水含量核算结果见表 1。

表 1 主要农业与畜牧业产品单位虚拟水含量

类别	单位虚拟水含量/ (m <sup>3</sup> · t <sup>-1</sup> )	类别	单位虚拟水含量/ (m <sup>3</sup> · t <sup>-1</sup> )		
种植业 作物 产品	稻谷	1321	畜牧 业 动物 产品	猪肉	5455
	小麦	690		禽类	3117
	玉米	801		奶类	1072
	谷子	1863		蛋类	2428
	高粱	863		水产	5000
	豆类	228		牛肉	13290
	薯类	276		羊肉	5799
	水果	803			
	蔬菜	220			
	棉花	5500			
	油料	2200			

### 3.1.2 工业用水、生活用水、生态用水的水足迹和净进出口虚拟水量核算

在工业用水、生活用水和生态用水中,主要以实体水的形式出现,因此使用 2009—2020 年《山西省统计年鉴》中统计的实际用水量作为水足迹,其中生活用水在年鉴中分为城镇生活和农村生活用水。净进出口贸易虚拟水量需计算虚拟水的进口量与出口量,计算方法为根据当年的进出口贸易总额(依照当年汇率换算为人民币),再乘以当年单位 GDP 耗水量作为净进出口贸易虚拟水量:

$$W_n = W_j - W_o \quad (3)$$

其中 
$$W_j = \frac{T_i}{G} \times W_s$$

$$W_o = \frac{T_e}{G} \times W_s$$

式中:  $W_n$  为净进出口贸易的虚拟水量,表示进口虚拟水量与出口虚拟水量的差;  $W_j$  为进口虚拟水量;  $W_o$  为出口虚拟水量;  $T_i$  为进口贸易量;  $T_e$  为出口贸易量;  $W_s$  为当年总用水量;  $G$  为 GDP 的值。

### 3.2 脱钩分析方法

根据王保乾等<sup>[17]</sup>研究思路,将脱钩复钩关系划分为强脱钩、弱脱钩、强复钩、弱复钩、扩张性复钩和衰退性脱钩。构建水足迹变化率与经济增长率的脱钩模型:

$$\Delta GDP = \frac{G_t - G_{t-1}}{G_{t-1}} \quad (4)$$

$$\Delta W = \frac{W_t - W_{t-1}}{W_{t-1}} \quad (5)$$

$$F = \Delta G - \Delta W \quad (6)$$

式中:  $\Delta G$  为当年的经济增长率;  $G_t$ 、 $G_{t-1}$  分别为第  $t$  年的地区生产总值和第  $t-1$  年的地区生产总值;  $\Delta W$  为水足迹变化率;  $W_t$ 、 $W_{t-1}$  分别为第  $t$  年与第  $t-1$  年的水足迹;  $F$  为脱钩指数,由经济增长率和水足迹变化率计算得到。

利用以上脱钩模型对山西省 2009—2020 年生产总值与总水足迹、工业生产总产值与工业水足迹和农业生产总值与农业水足迹分别进行分析,对应的脱钩与复钩状态判断标准如表 2 所示。当水足迹消耗减少而经济增速变快,且脱钩指数为正时,为强脱钩状态,是最为理想的状态;而当水足迹消耗增多,经济增长变慢,脱钩指数为负值,属于强复钩状态,此时区域的水资源与经济增长协调关系最差,为最不理想状态。

表 2 水足迹与经济增长的脱钩复钩状态分析

状态	$\Delta W$	$\Delta G$	$F$
强脱钩	<0	>0	>0
弱脱钩	>0	>0	>0
消退性脱钩	<0	<0	>0
弱复钩	<0	<0	<0
扩张性复钩	>0	>0	<0
强复钩	>0	<0	<0

### 3.3 数据来源

数据主要来源于 2009—2020 年《山西省统计年鉴》、2009—2020 年《山西水资源公报》,以及上述文献中已有虚拟水含量的计算数据。另外,根据山西省的数据的可获得性,本文以农牧产品用水量、工业用水量、城镇生活、农村生活、生态用水量和净虚拟进出口水量 6 项数据计算全省 2009—2020 年水足迹。

## 4 结果分析与讨论

### 4.1 水足迹情况

#### 4.1.1 整体情况

由表 3 可知,山西省 2009—2020 年的水足迹呈现出逐年递增的趋势,2009 年为 214.90 亿  $m^3$ ,2020 年达到了 310.22 亿  $m^3$ ,12 年间水足迹增加了 95.32 亿  $m^3$ ,年均增加 7.94 亿  $m^3$ 。这表明山西省 2009—2020 年随着产业规模的发展与人口增长,水

表 3 2009—2020 山西省各行业水足迹值

单位:亿  $m^3$

年份	农业用水	净进出口贸易	工业用水	城镇生活	农村生活	生态用水	总量
2009	194.09	-1.54	10.53	7.33	3.18	1.30	214.90
2010	203.78	1.53	13.98	8.85	4.37	2.60	235.11
2011	226.52	1.68	14.27	10.99	5.52	3.43	262.41
2012	243.13	0.40	15.5	10.87	4.28	3.32	277.50
2013	256.27	-0.07	15.72	9.06	3.12	3.54	287.63
2014	268.13	-0.59	14.19	9.12	3.09	3.44	297.38
2015	265.68	-0.86	13.75	9.05	3.27	2.35	293.24
2016	266.99	-1.41	12.95	9.21	3.42	3.25	294.41
2017	274.53	-1.09	13.49	9.46	3.38	3.01	302.79
2018	269.36	-1.20	14.02	9.97	3.47	3.51	299.13
2019	278.11	-0.75	13.45	10.30	3.49	4.89	309.49
2020	278.54	-0.32	12.65	10.72	3.51	5.12	310.22

资源消耗总量不断增加。由于水文和水资源情形的相对稳定性,近年来山西省水资源短缺和水资源贫困的情形突出,亟需调整产业结构和提高水资源利用效率。

从各行业的水足迹构成来看,山西省农业水足迹占比最高,约占 89.32%,其次为工业用水,占 4.91%,城镇生活用水占 3.41%,农村生活用水占 1.33%,生态用水较少为 1.16%,进出口贸易虚拟水可以忽略不计,只有 0.12%。因此对山西省而言,在水资源开发利用过程中要抓紧农业用水这个“牛鼻子”,要强化农业用水的定额管理,以及农业用水方面的激励性规制和科技水平提升,切实提高农业用水的效率。同时要优化水资源利用结构,可适度增加生态用水与进出口贸易水足迹,尽可能增加耗水丰富的农产品进口。

#### 4.1.2 农业水足迹情况

2009—2020 年农业水足迹构成的平均值如表 4 所示,表现出来的结构特征为种植业大于畜牧业,粮食作物占比大于经济作物,其中占比最大的为玉米(占 30.17%),玉米水足迹占比远大于小麦、谷子和水稻。占比第二大的为水果,达到了 20.77%,第三为猪肉,占比 12.67%,其中猪肉水足迹占比远大于牛肉、羊肉和禽肉。另外,经济类作物水足迹占比较小,如棉花占 0.51%,油料作物占 0.13%,豆类占 0.24%。因此,在农业水足迹中,玉米和猪肉分别是种植业和畜牧业中水足迹占比最大的产品,因此在合理配置水资源,优化水资源利用效率时,应优先考虑针对玉米和猪肉的种植养殖过程的水资源消耗利用进行改进。

表 4 山西省 2009—2020 年农业各类别产品

水足迹占比的平均值

类别	产品	占比/%	类别	产品	占比/%
种植业作物产品	稻谷	0.04	畜牧业动物产品	猪肉	12.67
	小麦	6.18		禽类	1.38
	玉米	30.17		奶类	3.63
	谷子	2.44		蛋类	8.39
	高粱	0.27		水产	0.89
	豆类	0.24		牛肉	2.95
	薯类	0.41		羊肉	1.58
	水果	20.77			
	蔬菜	7.37			
	棉花	0.51			
	油料	0.13			

#### 4.1.3 工业、生活、生态和进出口水足迹情况

除了农业水足迹以外,2009—2020 年山西省工业、城镇生活用水、农村生活用水、生态用水的水足迹和进出口贸易虚拟水的变化情况如图 1 所示。工业、生活、生态和进出口水足迹情况整体上呈上

降平缓再上升的趋势,2009—2011 年上升,2011—2016 年下降或平缓,2016—2020 年缓慢上升。其中城镇生活用水与农村生活用水变化趋势保持一致,生态用水变化幅度较小,进出口贸易虚拟水量在 2010—2012 为大于 0,其余年份小于 0,原因是山西省的进口贸易量小于出口贸易量。

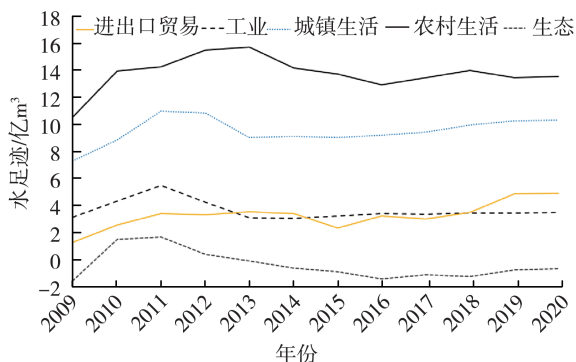


图 1 山西省 2009—2020 年工业、生活、生态与进出口贸易水足迹

## 4.2 山西省水资源利用与经济增长的脱钩分析

### 4.2.1 总体水资源利用与经济增长的脱钩分析

选取山西省 2009—2020 年 GDP 的增长速度作为经济增长的评价指标,以水足迹作为水资源消耗的指标,使用脱钩复钩理论对山西省水资源利用与经济增长的脱钩复钩情况做出评价,首先利用式(4)和式(5)计算出 2009—2020 年 GDP 的变化率与水足迹的变化率,利用式(6)计算出脱钩指数  $F$ ,根据表 3 做出脱钩复钩的判断分析,结果如表 5 所示。

表 5 山西省 2009—2020 年水足迹与经济增长的脱钩复钩情况

年份	$\Delta G$	$\Delta W$	$F$	脱钩情况
2010	0.2457	0.0940	0.1517	弱脱钩
2011	0.2236	0.1161	0.1074	弱脱钩
2012	0.0724	0.0575	0.0149	弱脱钩
2013	0.0260	0.0365	-0.0105	扩张性复钩
2014	0.0090	0.0339	-0.0249	扩张性复钩
2015	-0.0214	-0.0139	-0.0074	弱复钩
2016	0.0093	0.0040	0.0053	弱脱钩
2017	0.2124	0.0285	0.1840	弱脱钩
2018	0.1018	-0.0121	0.1138	强脱钩
2019	0.0629	0.0346	0.0282	弱脱钩
2020	0.0361	0.0023	0.0338	弱脱钩

由表 5 可见,除了 2013—2015 年,山西省水资源利用与经济增长的关系中多数年份呈弱脱钩状态。2013—2015 年两者为复钩状态,其中 2013 年和 2014 年为扩张性复钩状态。2015 年为弱复钩状态,表明此阶段水资源利用情况为不理想状态。此时山西省为了经济的增产加剧了水资源的消耗,导

致水资源短缺的压力明显增多。在研究期内多数年份呈弱脱钩状态,表明尽管这一段时间随着山西经济的发展、产业规模的扩大和人口的增长,消耗的水足迹也出现增多态势,但经济发展的速度远超过水足迹消耗速度,水资源利用的水平得到进一步提高。但还需要看到两者关系尚未处于最理想状态,还需要合理分配各产业的水资源利用情况,提高水资源的管理水平,才能促使山西省水资源与经济增长进入并保持强脱钩状态。

#### 4.2.2 农业及工业的水资源利用与经济增长的脱钩分析

对山西省用水最多的农业和工业部门单独列出分别进行脱钩分析,结果如表6所示。由于生活、生态与贸易水足迹体量较小对整体水足迹脱钩状态影响不大,在此不单独列出。

对于农业部门的水资源利用,山西省2009—2020年的农业水资源利用与农业经济增长中有8个年份为脱钩状态。2015年是弱复钩,2016—2017年是强复钩,其余年份均为脱钩状态,且2018年为强脱钩状态。山西省农业水资源与经济增长的脱钩关系与山西省整体的水资源与经济增长的脱钩关系基本一致,说明山西省的农业用水与农业经济的发展情况决定着山西省整体的水资源利用情况与经济增长情况。因此要着重提升农业水资源的利用,才能改善山西省整体的水资源利用情况。

对于工业部门的水资源利用,山西省2009—2020年的工业水资源利用与工业经济增长的脱钩复钩关系为:2010—2015年脱钩与复钩情况交替出现。其中2010年、2012年、2013年和2015年为复钩状态,因此,2015年前山西省工业的经济增长与水源的脱复钩状态呈现波动趋势。在2017年之后,工业发展与水资源利用情况进入持续的弱脱钩状态,工业发展对水资源的依赖程度减弱,工业发展进入了相对节水与绿色发展的阶段,但仍未进入最

为理想状态的强脱钩状态。2019—2020年,山西省工业的经济增长与水资源之间呈现强脱钩状态,表明山西省根据黄河流域高质量发展要求,强化工业水资源利用的“三条红线”,积极根据“水情”进行产业规划,落实新发展理念,加快传统高耗能、高耗水产业的结构升级,在水资源利用方面和经济增长方面取得了较好的业绩。

## 5 结论与建议

### 5.1 结论

a. 2009—2020年山西省的总水足迹逐年增加,具体为从2009年的214.90亿 $m^3$ 增长到2020年的310.22亿 $m^3$ ,年均增加7.94亿 $m^3$ 。在水足迹的组成结构中,农业水足迹占比最大且有增长趋势,其中玉米、水果和猪肉的水足迹占比较大。工业、生活、生态水足迹呈上升下降再上升的变化趋势,进出口贸易虚拟水占比极小,且波动不明显。

b. 得益于近年来水资源双控行动,总体上山西省水资源与经济增长在大多数年份呈弱脱钩状态。具体而言,农业水足迹脱钩状态与总体的水足迹脱钩状态相近,可见山西省农业用水与经济增长的脱钩状态几乎决定着整体水资源与经济增长的脱钩状态,而工业的水资源利用与经济增长的关系为脱钩和复钩交替出现,较为不稳定,2017年后工业的经济增长对水资源的依赖程度明显降低,但后续保持脱钩状态的压力仍不可忽视。

### 5.2 建议

a. 在“节水优先”方面,要努力控制山西省内水足迹总量与水足迹增长速度。一是重点关注农业水足迹,通过提升农业灌溉与养殖用水的科技水平,颁布一系列农业用水节水政策,摒弃粗犷用水,促进农业用水模式向节约集约升级转型;二是要加强节水宣传教育,树立长期的水危机意识和水忧患意识,将节水观念放在首位。

表6 山西省2009—2020年农业、工业水足迹与经济增长的脱钩复钩情况

年份	农业水资源与经济增长				工业水资源与经济增长			
	$\Delta G$	$\Delta W$	$F$	脱钩情况	$\Delta G$	$\Delta W$	$F$	脱钩情况
2010	0.1508	0.0499	0.1009	弱脱钩	0.3166	0.3276	-0.0110	扩张性复钩
2011	0.1493	0.1116	0.0378	弱脱钩	0.2695	0.0207	0.2488	弱脱钩
2012	0.0945	0.0733	0.0211	弱脱钩	0.0127	0.0862	-0.0735	扩张性复钩
2013	0.0866	0.0540	0.0326	弱脱钩	-0.0342	0.0142	-0.0484	强复钩
2014	0.0560	0.0463	0.0097	弱脱钩	-0.0564	-0.0973	0.0409	消退性脱钩
2015	-0.0141	-0.0091	-0.0050	弱复钩	-0.2031	-0.0310	-0.1721	弱复钩
2016	-0.0027	0.0049	-0.0076	强复钩	-0.0339	-0.0582	0.0243	消退性脱钩
2017	-0.0071	0.0283	-0.0353	强复钩	0.3256	0.0417	0.2839	弱脱钩
2018	0.0300	-0.0188	0.0489	强脱钩	0.0634	0.0393	0.0241	弱脱钩
2019	0.1142	0.0325	0.0817	弱脱钩	0.0515	-0.0407	0.0922	强脱钩
2020	0.1470	0.0015	0.1455	弱脱钩	0.1660	-0.0595	0.2255	强脱钩

b. 在“空间均衡”方面,要均衡水资源合理利用与社会经济发展两者的关系,深入理解水资源利用与经济增长脱钩关系的内在逻辑。在长治市、朔州市等传统产业占比较高的工业城市,需要加快产业升级,强化以水资源作为生产发展的刚性约束等举措。针对工业用水与工业经济脱钩状态波动、不稳定的状态,需要加快产业升级,以水定产、量水而行,努力在工业用水与经济增长方面保持稳定的弱脱钩或脱钩状态。

c. 在“系统治理”方面,农业用水、工业用水、生活用水、生态用水与进出口贸易几个方面要全面抓紧、互相协调,减弱或改进各行业中生产水足迹过大而经济效益较小的生产环节,重点关注玉米与猪肉两类产品的水足迹与经济价值,择优发展农业牧业产品,优化布局实现系统治理。

d. 在“两手发力”方面,充分发挥政府与市场“两只手”在协调水资源利用与经济增长关系上的功能作用。首先政府要担起监督统筹水资源保护利用与经济高质量发展的主导责任,在水足迹消耗最大、脱钩影响最显著的农业重点领域,特别是在水足迹占比较大的产物如玉米、蔬菜、水果和猪肉的种植或饲养领域,要实施生活水量核定和水效益核算等管理制度,努力实现水产品产业的高质量发展;其次要依赖市场机制,鼓励市场发展“水友好型”产业,把有限的水资源用在生产价值最大的地方去。

## 参考文献:

- [ 1 ] 习近平. 在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话[J]. 中国水利,2019(20):1-3.
- [ 2 ] ALLAN J A, WOLF A T. Hydro politics along the Jordan river: scarce water and its impact on the Arab-Israeli conflict [ J ]. International Affairs, 1995, 71 ( 4 ) : 903-910.
- [ 3 ] MELS A R, NIEUWANHUIJZEN A, JAAP H J. Sustainability criteria as a tool in the development of new sewage treatment methods [ J ]. Water Science & Technology, 1999, 39(5):243-250.
- [ 4 ] LONG A H, XU Z M, ZHANG Z Q. Estimate and analysis of water footprint in Northwest China [ J ]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 25( 6 ) : 692-700.
- [ 5 ] GERBENS W, HOEKSTR A Y, MEER T H. The water footprint of bioenergy [ J ]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2019,106(25): 10219-10223.
- [ 6 ] 马静,汪党献,来海亮,等. 中国区域水足迹的估算[J]. 资源科学, 2005,27(5): 96-100.
- [ 7 ] WANG X H, XU Z M, LONG A H. Estimation of water

footprint of China in 2000 [ J ]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005,27(5):774-780.

- [ 8 ] MEKONNEN M M, HOEKSTR A Y. A global assessment of the water footprint of farm animal products [ J ]. Ecosystems, 2012,15(3):15-28.
- [ 9 ] 盖力强,谢高地,李士美,等. 华北平原小麦、玉米作物生产水足迹的研究 [ J ]. 资源科学, 2010,32(11): 2066-2071.
- [ 10 ] 焦士兴,郭力菲,王安周,等. 基于水足迹理论的河南省水资源利用评价 [ J ]. 人民黄河,2021,43(11):87-91.
- [ 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(2): 137-151.
- [ 12 ] 马海良,侯雅如,李珊珊. 工业废水排放与经济增长脱钩的省际差异研究 [ J ]. 中国人口·资源与环境,2017,27(11):185-192.
- [ 13 ] 潘忠文,徐承红. 我国水资源利用与经济增长脱钩分析 [ J ]. 华南农业大学学报(社会科学版),2019,18(2): 97-108.
- [ 14 ] 张华明,元鹏飞,朱治双. 黄河流域碳排放脱钩效应及减排路径 [ J ]. 资源科学,2022,44(1):59-69.
- [ 15 ] 孙才志,阎晓东. 基于 MRIO 的中国省区和产业灰水足迹测算及转移分析 [ J ]. 地理科学进展,2020,39(2): 207-218.
- [ 16 ] CHAPAGAIN A K, ORR S. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: a case of Spanish tomatoes [ J ]. Journal of Environmental Management, 2009, 90(2):1219-1228.
- [ 17 ] 王保乾,严蕾. 长江经济带水足迹与经济高质量发展的脱钩效应 [ J ]. 水利经济,2022,40(1):6-12.

(收稿日期:2022-03-29 编辑:陈玉国)

