

引用格式:陈敏. 长江经济带水资源配置质量演化特征及其驱动因素[J]. 资源科学, 2022, 44(6): 1280-1291. [Chen M. Evolution trend and driving factors of water resources allocation quality in the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources Science, 2022, 44(6): 1280-1291.] DOI: 10.18402/resci.2022.06.14

长江经济带水资源配置质量演化特征及其驱动因素

陈 敏

(南京林业大学经济管理学院, 南京 210037)

摘 要:长江经济带的绿色发展离不开水资源的合理配置。本文选择四川、湖北和江苏作为长江经济带上、中、下游的代表性省份,以灰水足迹强度作为水资源配置质量的指标,基于2002—2017年水资源投入产出表,研究了长江经济带水资源配置质量的区域和行业差异及其演化特征。主要研究结论有:①从地区差异看,2002—2017年长江经济带上游水资源配置质量先升后降,中下游水资源配置质量一直上升,但提升速率放缓。这种演化特征与污染密集型产业转移和特征污染物回流的特征事实相关。②从产业差异看,农业和工业水资源配置质量持续提升,上中游服务业水资源配置质量较低且呈恶化趋势,特别是住宿和餐饮业、居民服务和其他服务业。③从驱动因素看,化学需氧量(COD)浓度变动效应和污水排放系数变动效应对长江经济带流域水资源配置质量优化起正向驱动效应,最终需求水平变动效应对长江经济带流域水资源配置质量优化起负向驱动效应。因此,本文提出动态协调规划、调整农业内部结构、健全市场化供水和排污收费制度3条提升水资源配置质量的建议。

关键词:水资源配置;水足迹强度;质量评估;投入产出分析;灰水足迹;结构分解分析;长江经济带

DOI: 10.18402/resci.2022.06.14

1 引言

“十三五”开局之年,习近平总书记在推动长江经济带发展座谈会上提出“共抓大保护,不搞大开发”的发展理念;2020年春天,习近平总书记三度“寻山访水”,生态保护、绿色发展的理念贯穿始终,为流域经济带的高质量发展奠定了新基调。长江流域经济带的绿色发展离不开水资源的合理配置,高耗水和水污染已成为制约长江经济带流域经济社会可持续发展的两个瓶颈,在此背景下,实现水资源的合理配置显得尤为重要^[1]。在既定的条件下,如何有效利用水资源,使之达到最大的符合社会需要的产出,实现水资源优化配置和高效利用一直是学者们关心的问题。

现有水资源配置质量的评价研究主要围绕单因素评价和多因素评价两种方法展开:一方面,常见的单要素方法主要利用地区(国家)经济产出与

水资源消耗的比值来衡量水资源配置质量,如万元GDP用水量、万元工业增加值用水量等。单要素评价虽然视角单一,但评价简单直观,便于比较分析,常用于水资源配置质量的演化比较与结构分析^[2-4]。另一方面,多要素评价方法引入社会、经济以及生态文明因素,从生态、社会以及经济可持续性等方面建立评价体系^[5]。多要素评价虽然较为全面,考虑了经济、社会和生态在内的方方面面,但部分指标数据收集存在困难且权重的确定带有主观性^[6-9]。鉴于此,本文采用单因素指标评价长江经济带水资源配置质量的演化特征。

作为一种全面核算人类活动对水资源占用的综合指标,水足迹将消费终端与水资源利用紧密关联,已成为衡量一个地区水资源环境压力的常用指标^[10]。按照水源类型、污染类型等划分标准,水足迹可分为绿水足迹、蓝水足迹、灰水足迹三大类,在区

收稿日期:2021-07-02,修订日期:2021-11-04

作者简介:陈敏,女,江苏盐城人,硕士,研究方向为水资源管理、农业经济理论与政策。E-mail: chenmin2292@163.com

<http://www.resci.cn>

2022年6月

域间经济社会活动中,绿水、蓝水对环境影响较小,对环境产生直接影响的主要是灰水足迹。灰水足迹是指在现有水质标准下稀释污染负荷以达到特定水质标准所需的淡水量^[11],能更直观地反映人类活动对水资源配置质量的影响,在水污染、水资源效率和水资源承载能力评估方面具有良好的应用前景^[2]。目前国内外学者对灰水足迹的研究主要集中在工农业生产灰水足迹和区域灰水足迹的核算评价,如陈红等^[12]和何伟军等^[13]分别对黑龙江省粮食生产和长江经济带11省(市)的灰水足迹进行了核算评价,而从既细分区域又细分部门角度的研究较少^[14,15]。

长江经济带贯穿东西、连接南北,区域水资源总量十分丰富,占全国水资源总量的一半左右,经济总量占全国的近五成,但是区域内部水资源拥有量及经济水平差距较大,水资源分布和经济发展呈现明显的地区差异,同时区域水资源总量与经济发展水平之间不协调。投入产出模型可以直观、精确地分析国民经济系统中各部门之间及部门内部的虚拟水流动关系,能够有效克服传统水足迹测算方法在部门间联系和测算精度等方面的不足,可广泛应用到包括农产品、工业品和服务业产品在内的所有商品的水足迹测算,在水资源配置质量研究中具

有独特的比较优势^[16]。故本文分别选取四川省、湖北省和江苏省作为长江经济带上游、中游和下游的代表性省份^①,利用2002、2007、2012和2017年各省份投入产出表数据和水资源数据,编制水资源投入产出表,基于单要素评价,分析长江经济带水资源配置质量的内部结构差异和演化特征。

区别于已有研究,本文主要在细分长江经济带上中下游、细分国民经济三次产业的基础上,对三次产业进一步细分到部门,进而测算各细分区域和各细分部门的水资源配置质量,研究长江经济带水资源配置质量区域差异和行业差异的动态演化过程以及背后的驱动因素,从而为实现长江经济带水资源高质量配置提供更加精准的数据支持和分析建议。

2 理论模型与数据来源

2.1 灰水足迹及其强度测算

投入产出分析最早由经济学家Leontief提出,能够反映国民经济系统中各种产业部门生产活动的直接和间接联系,在投入产出模型的基础上,引入水资源的投入与使用,建立水资源拓展型投入产出表模型,已被广泛应用于测算虚拟水流动与水足迹分布等^[16,17]。如表1所示,一个经济系统的生产活动存在如下平衡:

表1 长江经济带各省市非竞争型水资源投入产出简表

Table 1 Input and output table of non-competitive water resources in provinces and cities of the Yangtze River Economic Belt

投入	中间使用	最终使用						合计	总产出
		农村居民消费	城镇居民消费	政府消费	投资	出口	国内省外流出		
省内产品中间投入	$A^d X$	F_{c1}^d	F_{c2}^d	F_{c3}^d	F_{in}^d	F_{ex}^d	F_{ou}^d	F^d	X
省际产品中间投入	$A^n X$	F_{c1}^n	F_{c2}^n	F_{c3}^n	F_{in}^n	F_{ex}^n	F_{ou}^n	F^n	N
进口产品中间投入	$A^m X$	F_{c1}^m	F_{c2}^m	F_{c3}^m	F_{in}^m	F_{ex}^m	F_{ou}^m	F^m	M
增加值	V								
总投入	X								
排水量	W								

注:大写字母 A 、 F 、 X 、 N 、 M 、 V 、 W 分别表示直接消耗系数矩阵、最终需求向量、地区总产出向量、省际产品向量、进口产品向量、地区增加值向量以及废污水排水量;小写上标字母 d、n、m 分别表示省内产品、省际产品和国外进口产品,如 A^d 表示省内产品的直接消耗矩阵, $A^d X$ 表示省内产品在生产过程中的直接消耗向量;小写下标字母 c1、c2、c3、in、ex、ou 用于区分农村居民消费需求、城镇居民消费需求、政府消费需求、投资需求、出口需求以及国内省外产品流出需求,如 F_{c1}^d 表示省内产品最终需求中的农村居民消费需求向量。

① 根据《国务院关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》,长江经济带可具体划分为上游(四川、贵州、云南、重庆)、中游(湖北、湖南、江西)和下游(江苏、浙江、安徽、上海)3个区域。

$$A^d X + F^d = X \quad (1)$$

即省内产品中间使用与最终使用之和等于省内产品总产出。式(1)经移项变形可得如下形式:

$$X = L F^d \quad (2)$$

式中: $L = (I - A^d)^{-1}$ 表示列昂惕夫逆矩阵, 表示一单位最终需求所诱发的总产出。

各部门生产过程中的直接排水系数作为灰水足迹核算的基础, 表示生产一单位产品过程中直接排出的污水水量, 其计算方式如式(3):

$$R = W \hat{X}^{-1} \quad (3)$$

式中: R 为直接排水系数向量; \hat{X} 为 X 的对角矩阵。根据直接排水系数, 可计算完全排水系数如下:

$$S = RL \quad (4)$$

式中: S 为完全排水系数向量; 元素 s_j 表示 j 部门每增加一单位产品所需整个经济体系总排水量的增加量。

借鉴王艳阳等^[18]的研究方法, 采用基于稀释理论的方法计算灰水足迹。具体计算时, 一方面要考虑污水排放量及其污染物浓度, 另一方面要考虑水质标准以及特征污染物含量。与已有多数研究一致^[19,20], 本文选取化学需氧量(COD)为特征污染物。灰水足迹(Y_{wf})是由于污水排放产生的水足迹, 包括当地居民消费当地生产所排放的污水和当地居民消费的其他地区(省际流入和国际进口)商品生产所排放的污水:

$$Y_{wf} = Y_{iwf} + Y_{nwf} + Y_{mwf} \quad (5)$$

式中: Y_{iwf} 为内部灰水足迹; Y_{nwf} 为外部省际灰水足迹; Y_{mwf} 为外部进口灰水足迹, 计算公式分别为:

$$Y_{iwf} = \frac{p \hat{S}(F^d - F_{ex}^d - F_{ou}^d)}{p_{max} - p_{nat}} \quad (6)$$

$$Y_{nwf} = \frac{p \hat{S}(N - F_{ex}^n - F_{ou}^n)}{p_{max} - p_{nat}} \quad (7)$$

$$Y_{mwf} = \frac{p \hat{S}(M - F_{ex}^m - F_{ou}^m)}{p_{max} - p_{nat}} \quad (8)$$

式中: p 为污水排放中特征污染物(COD)浓度; \hat{S} 为 S 的对角矩阵; $\hat{S}(F^d - F_{ex}^d - F_{ou}^d)$ 为当地居民消费当地产品所排放的污水; $p \hat{S}(F^d - F_{ex}^d - F_{ou}^d)$ 为

当地居民消费当地产品所产生的污染负荷; $p \hat{S}(N - F_{ex}^n - F_{ou}^n)$ 为当地居民消费省际产品产生的污染负荷; $p \hat{S}(M - F_{ex}^m - F_{ou}^m)$ 为当地居民消费进口产品产生的污染负荷; p_{max} 为最大允许污染物浓度, 取值依据《污水综合排放标准》(GB8978-1996)中COD一级排放标准浓度60mg/L确定; p_{nat} 为自然条件下水体背景污染物浓度, 参照Hoekstra^[5], 设为0。

灰水足迹强度(Y_{wfi})代表处理单位GDP所产生的污染物所需要的淡水资源量, 该指标值越大, 表明单位增加值所排放的水污染物越多, 可以更清楚地显示水污染、水资源量和经济之间的相互作用, 突破了对水污染的单一考虑, 可用来评价某一区域灰水资源配置质量^[21,22]。计算公式:

$$Y_{wfi} = Y_{wf} \hat{V}^{-1} \quad (9)$$

式中: \hat{V} 为 V 的对角矩阵。

2.2 驱动因素分解分析——基于SDA方法

到底是什么原因促使了长江经济带水资源配置质量的变化, 值得探讨。为深化长江经济带水资源配置质量优(恶)化路径的认识, 深究水资源配置质量变化背后的原因, 有必要对驱动水资源配置质量变化的各因素从总效应中分离出来, 单独计量其对水资源配置质量优(恶)化的贡献。由于灰水足迹(Y_{wf})是实物量, 所以增加值(V)采用不变价格计算的价值量。由公式(9)可看出, 水足迹强度越小, 该地区水资源配置质量越高。为找到影响灰水资源配置质量变化的原因, 利用投入产出分析作如下分解:

$$\Delta Y_{wfi} = Y_{wfi1} - Y_{wfi0} = \frac{1}{V_1} P_1 R_1 L_1 f_1 Z_1 D_1 - \frac{1}{V_0} P_0 R_0 L_0 f_0 Z_0 D_0 \quad (10)$$

式中: Y_{wfi1} 、 Y_{wfi0} 分别为第1期和第0期的水足迹强度; $\frac{p}{p_{max} - p_{min}}$ 记作 P , 表示特征污染物(COD)浓度占比; f 为最终需求水平, 即最终需求总量; Z 为最终需求系数矩阵, 其元素 z_{ik} 表示第 k 类最终产品中购买的第 i 部门产品比例; D 为最终需求分布矩阵, 即省内需求、省际需求和进口需求占最终需求水平的比例。

2022年6月

利用两极分解法^[23]得到 ΔY_{wfi} 的分解公式:

$$\begin{aligned}\Delta Y_{\text{wfi}} &= f(\Delta V) + f(\Delta P) + f(\Delta R) + f(\Delta L) + f(\Delta f) + \\ &\quad f(\Delta Z) + f(\Delta D) \\ f(\Delta V) &= \frac{1}{2} \Delta \frac{1}{V} (P_0 R_0 L_0 f_0 Z_0 D_0 + P_1 R_1 L_1 f_1 Z_1 D_1) \\ f(\Delta P) &= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{V_0} (\Delta P) R_1 L_1 f_1 Z_1 D_1 + \frac{1}{V_1} (\Delta P) R_0 L_0 f_0 Z_0 D_0 \right] \\ f(\Delta R) &= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{V_0} P_0 (\Delta R) L_1 f_1 Z_1 D_1 + \frac{1}{V_1} P_1 (\Delta R) L_0 f_0 Z_0 D_0 \right] \\ f(\Delta L) &= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{V_0} P_0 R_0 (\Delta L) f_1 Z_1 D_1 + \frac{1}{V_1} P_1 R_1 (\Delta L) f_0 Z_0 D_0 \right] \\ f(\Delta f) &= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{V_0} P_0 R_0 L_0 (\Delta f) Z_1 D_1 + \frac{1}{V_1} P_1 R_1 L_1 (\Delta f) Z_0 D_0 \right] \\ f(\Delta Z) &= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{V_0} P_0 R_0 L_0 f_0 (\Delta Z) D_1 + \frac{1}{V_1} P_1 R_1 L_1 f_1 (\Delta Z) D_0 \right] \\ f(\Delta D) &= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{V_0} P_0 R_0 L_0 f_0 Z_0 (\Delta D) + \frac{1}{V_1} P_1 R_1 L_1 f_1 Z_1 (\Delta D) \right]\end{aligned}\quad (11)$$

式中: $f(\Delta V)$ 、 $f(\Delta P)$ 、 $f(\Delta R)$ 、 $f(\Delta L)$ 、 $f(\Delta f)$ 、 $f(\Delta Z)$ 、 $f(\Delta D)$ 分别测量了增加值变动效应、COD 浓度变动效应、污废水排放系数效应、经济技术变动效应、最终需求水平变动效应、最终需求系数变动效应和最终需求分布效应。

2.3 数据来源

2002—2017 年四川、湖北和江苏地区投入产出表数据来源于国家统计局, 由于各省投入产出表之间部门统计口径不一, 故将所有行业合并为 36 个部门(表 2)。考虑到不同年份价格的可比性问题, 借鉴李虹等^[24]的思路, 将各年份投入产出表转化为以 2002 年为基期的可比价投入产出表, 有关农业、工业和服务业的价格指数分别根据历年各省统计年鉴中“农产品生产价格指数”“按行业分工业生产者出厂价格指数”和“第三产业分行业增加值指数”推算得出。当出现某一省份或某一产业价格指数缺失时, 用全国价格指数近似替代。此外, 由于国家统计局历年公布的各省市投入产出表中, 中间使用和最终使用部分并未对国内产品、省际产品以及省内产品有效区分, 所以借鉴张友国^[25]的比例拆分法, 将竞争型投入产出表转化为非竞争型投入产出表。最后需要指出的是, 2002 年中国各省市投入产出表没有区分进口和出口、国内省外流入和国内省外流出, 本文根据 2002 年中国投入产出表估计了出

表 2 部门编号及名称

Table 2 Sector numbers and names

编号	部门名称	编号	部门名称
1	农林牧渔业	19	通信设备、计算机及其他电子设备制造业
2	煤炭开采和洗选业	20	仪器仪表及文化办公用机械制造业
3	石油和天然气开采业	21	废品废料和其他制造业
4	金属矿采选业	22	电力、热力的生产和供应业
5	非金属矿及其他矿采选业	23	燃气及水的生产与供应业
6	食品制造及烟草加工业	24	建筑业
7	纺织业	25	批发和零售业
8	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	26	交通运输、仓储和邮政业
9	木材加工及家具制造业	27	住宿和餐饮业
10	造纸印刷及文教体育用品制造业	28	信息传输、计算机服务和软件业
11	石油加工、炼焦及核燃料加工业	29	金融业
12	化学工业	30	房地产业
13	非金属矿物制品业	31	租赁和商务服务业
14	金属冶炼及压延加工业	32	研究试验和技术服务业
15	金属制品业	33	居民服务和其他服务业
16	通用、专用设备制造业	34	教育
17	交通运输设备制造业	35	文化、体育和娱乐业
18	电气机械及器材制造业	36	卫生、公共管理、社会保障和社会组织

口与进口之间的比例关系,根据2017年各省投入产出表估计了流入与流出之间的关系,并结合净流入额得到2002年各省进口和出口、国内省外流入和国内省外流出数值。

四川、湖北和江苏地区农业部门耗水量来源于各省水资源公报;污水排放量借鉴王艳阳等^[23]的思路,采用农业部门用水量与耗水量的差值。行业水数据借鉴孙才志等^[25]的做法,基于水资源公报中各省工业污水排放总量,参照各工业部门的地区生产总值,间接得到各工业部门的排水量。服务业各部门排水量的细分方法与工业部门相同。需要指出的是,2002年服务业的耗水量借鉴王艳阳等^[26]的思路,基于水资源公报中各省生活排水总量,参照生活用水与服务用水的比例关系间接得到^②。其中,服务业用水量等于水资源公报中生活用水总量减去居民家庭用水总量,居民家庭用水总量由《城市居民生活用水标准(GB/T50331-2002)》中各省城市居民生活用水量(L/(人·天))与各省统计年鉴中总人口数相乘得到。工业污水中COD排放量和生活污水中COD排放量来自于各省统计年

鉴,COD浓度利用污水中COD排放量除以污水排放量得到;农业和服务业COD浓度参照生活COD浓度得到。

3 结果与分析

3.1 整体水资源配置质量测度

通过表3可以看出:长江经济带上中下游灰水足迹的变化趋势各不相同。2002—2017年上游灰水足迹一直上升,中游灰水足迹先上升后下降,下游灰水足迹先下降后轻微上升。一方面,曲玥等^[27]认为,要素成本及生产率的区域性差异会使中国水污染密集型产业向中上游省份转移,本文的计算结果佐证了这一观点:中上游省份经济相对欠发达、生产要素价格相对较低,承接了下游省份逐渐淘汰的污染产能,灰水足迹上升明显;下游经济相对发达,为获求经济增长新动源,升级自身产业结构,实现污染产业转移的“飞雁模式”^③,2002—2007年间灰水足迹明显下降。另一方面,2012—2017年下游省份灰水足迹稍微上升,出现这一反弹现象可能与水污染密集型行业污染物逐渐顺流而下回流到下游有关,该结论印证了沈坤荣等^[28]的猜想。

表3 2002—2017年长江经济带上中下游灰水足迹及其强度测度结果

Table 3 Grey water footprint and its intensity measurement in the middle and lower reaches of the Yangtze River Economic Belt, 2002-2017

地区	年份	省内灰水足迹/亿 m ³	省际灰水足迹/亿 m ³	进口灰水足迹/亿 m ³	灰水足迹/亿 m ³	灰水足迹强度/(m ³ /万元)
上游	2002年	435.94	49.25	9.39	494.57	1021.48
	2007年	400.46	122.34	1.93	524.72	700.53
	2012年	303.44	221.32	12.78	537.54	390.19
	2017年	382.91	330.58	81.71	795.20	434.90
中游	2002年	369.29	62.08	7.62	438.99	888.72
	2007年	334.99	122.02	0.00	457.01	674.48
	2012年	252.81	106.60	75.29	434.71	331.83
	2017年	161.91	118.03	20.12	300.06	162.65
下游	2002年	273.82	115.45	61.43	450.69	438.40
	2007年	149.25	95.66	111.81	356.71	176.92
	2012年	136.74	114.73	102.67	354.14	101.83
	2017年	129.55	143.39	86.26	359.20	91.19

② 水资源公报的统计口径有两种,老口径按农业、工业、生活三大类用户统计,新口径按生产(又可再分为第一、二、三产业)、生活和生态三大类用户统计。2002年水资源公报以老口径统计,2007、2012和2017年水资源公报以新口径统计。根据《2017年湖北水资源公报》的定义,在老口径下,生活用水包括城镇居民用水、城市公共用水、农村居民用水及牲畜用水;在新口径下,生活用水包括城镇居民用水和农村居民用水。

③ 飞雁模式也称“雁阵模式”,是指随着经济发展阶段的改变,一个国家(或者经济体)会逐渐淘汰落后的产业至更不发达的国家或地区,同时升级自身的产业结构以求经济增长新的动力源泉。

2022年6月

进一步深入分析后可发现,上中下游灰水足迹强度与灰水足迹的关系存在差异。首先,对于上游而言,前期因污染产业转移带来的经济效益远大于环境污染的负面效应,故2002—2012年期间,灰水足迹强度下降,与灰水足迹上升的特征相反;后期随着污染物累积,单位增加值所产生的污染物增多,所需要的淡水资源量相应增加,故2012—2017年期间灰水足迹强度与灰水足迹同步上升。其次,对于中下游而言,灰水足迹强度与灰水足迹的演化特征基本一致,2012—2017年期间,上游污染物顺流而下,下游水资源配置质量提升放缓。最后,省内灰水足迹、省际灰水足迹和进口灰水足迹对灰水足迹强度的贡献存在差异。不管上游还是中下游,省内灰水足迹的平均贡献最大,但贡献率逐年下降。中国加入WTO不仅使得长江经济带上中下游经济快速发展,而且对长江经济带水资源配置质量的内在结构产生一定影响,进出口贸易扩大、国内国际双循环发力,使得省际和进口灰水足迹对灰水足迹强度贡献上升。同时,地理位置差异对水资源配置质量的内在结构产生一定影响:下游地区地势平坦、交通便利,且邻近上海,先天的地理优势与经济发展使得其国际贸易与省际贸易发达,上、中游接受国际贸易的机会相对较少,因此下游省内灰水足迹相较上、中游而言,灰水足迹强度的贡献占比更小,下降更快。

3.2 三次产业水资源配置质量测度

表3显示长江经济带流域水资源配置质量高低与地区经济发展层次性相一致,即长江经济带水资源配置质量高低的地理分布表现为下游优于中游,中游优于上游,水资源丰富的上游反而是用水质量最低的地区。从这一角度来看,长江流域可能存在“资源诅咒”现象,是长江经济带流域治理的重点之一。表4进一步给出长江经济带各产业的灰水资源配置质量的计算结果:上中下游三次产业水资源配置质量有着截然不同的演化特征。①对第一产业而言,中下游水资源配置质量一直在提升,而上游在2012—2017年间水资源配置质量出现恶化。②对第二产业而言,三次产业水资源配置质量的演变与整个国民经济体水资源配置质量的演变基本一

表4 2002—2017年长江经济带上中下游三次产业灰水足迹强度测度结果 ($\text{m}^3/\text{万元}$)

Table 4 Grey water footprint intensity measurement results of the industries in the middle and lower reaches of the Yangtze River Economic Belt, 2002-2017 ($\text{m}^3/\text{ten thousand yuan}$)

产业	年份	上游(四川)	中游(湖北)	下游(江苏)
第一产业	2002年	3810.09	5394.22	3166.95
	2007年	3538.35	4440.32	2351.37
	2012年	3273.74	3039.05	1830.00
	2017年	4020.10	1263.25	1633.39
第二产业	2002年	472.97	166.01	97.04
	2007年	136.59	89.62	24.38
	2012年	22.81	33.56	14.08
	2017年	4.66	15.07	11.28
第三产业	2002年	9.26	29.73	21.18
	2007年	26.52	38.46	14.01
	2012年	44.30	23.20	9.31
	2017年	51.01	40.02	12.16

致。2002—2017年水资源配置质量不断提高,但提升的速度越来越慢,水资源配置质量的提升出现瓶颈,大部分工业行业通过技术手段提高水资源利用效率、降低污水排放的空间越来越小,若仍保持现有的技术和方法,水资源配置质量的优化将持续趋缓。③对第三产业而言,2002—2017年期间上游水资源配置质量一直在恶化,结合前文分析,其原因可能是由于一、三产业水资源配置不够合理。此外,相对上中游,下游服务业发展更为发达,市场化供水和排污收费制度相对完善,水资源配置质量最高。

3.3 代表性行业水资源配置质量测度

研究进一步从行业角度探析2002—2017年长江经济带上中下游水资源配置质量的情况,结果如表5、表6所示。①从二次产业内部看(表5),轻工业的生产更为清洁,单位增加值产生的污染物所需淡水资源更少;而重工业尤其是煤炭石油开采加工等行业单位增加值产生的污染物需大量淡水资源才能稀释。如上游废品废料和其他制造业(部门21)、中游通信设备、计算机及其他电子设备制造业(部门19)、下游纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制造业(部门8)、水资源配置质量相对较优;而上游石油加工、炼焦及核燃料加工业(部门11)、中游煤炭开采

表5 2002—2017年长江经济带上中下游工业部门平均灰水足迹强度测度与排名 (m³/万元)

Table 5 Average grey water footprint intensity measurement and ranking of industrial sectors in the middle and lower reaches of the Yangtze River Economic Belt, 2002-2017 (m³/ten thousand yuan)

上游		中游		下游	
部门代码	平均灰水足迹强度	部门代码	平均灰水足迹强度	部门代码	平均灰水足迹强度
21	47.23	19	33.47	8	4.11
9	49.17	17	34.23	21	9.40
3	68.83	24	40.24	7	13.81
6	70.41	15	44.84	6	15.11
8	99.65	8	47.48	19	16.29
18	101.10	7	56.80	10	18.09
10	105.43	22	60.25	20	18.85
17	113.27	14	62.65	18	20.02
13	121.62	16	64.54	17	20.97
7	137.04	6	65.39	2	23.03
14	149.50	13	68.77	16	27.04
24	164.51	5	87.47	9	29.93
12	187.36	18	93.30	12	30.62
4	203.76	21	98.94	13	36.51
15	204.34	20	101.25	15	39.69
19	225.09	12	103.36	22	57.19
16	230.48	9	109.05	14	69.01
22	243.72	4	176.84	11	73.08
20	250.62	10	253.74	2	94.46
2	302.97	11	279.12	5	286.72
5	430.21	23	954.61	3	459.86
23	628.78	3	1172.68	4	792.87
11	3416.42	2	2354.53	23	984.19

表6 2002—2017年长江经济带上中下游服务业部门平均灰水足迹强度测度与排名 (m³/万元)

Table 6 Average grey water footprint intensity measurement and ranking of service sectors in the middle and lower reaches of the Yangtze River Economic Belt, 2002-2017 (m³/ten thousand yuan)

上游		中游		下游	
部门代码	平均灰水足迹强度	部门代码	平均灰水足迹强度	部门代码	平均灰水足迹强度
36	78.17	30	70.26	30	6.53
28	79.92	28	71.75	25	22.77
30	95.93	25	78.78	26	31.31
26	115.91	36	101.48	29	38.60
32	119.76	34	141.26	31	38.73
34	120.68	32	151.40	36	58.85
25	138.82	26	159.5	34	77.52
29	148.27	29	171.11	32	82.50
31	156.14	33	179.68	35	95.30
27	230.50	35	241.33	33	99.33
35	284.65	31	243.99	28	175.46
33	327.21	27	351.16	27	198.80

2022年6月

与洗选业(部门2)、下游燃气及水的生产与供应业(部门23)水资源配置较差。②从三次产业内部看(表6),资金密集型与人才密集型行业水资源配置质量较高,而劳动密集型行业水资源配置质量较低。如上游卫生、公共管理、社会保障和社会组织业(部门36)、中下游房地产业(部门30)水资源配置质量相对较优;而上游居民服务和其他服务业(部门33)、中下游住宿和餐饮业(部门27)水资源配置质量相对较差。③从二、三产业对比来看,服务业整体水资源配置质量水平优于工业行业,且服务业行业间水资源配置质量的差异小于工业行业。

3.4 水资源配置质量变化的因素分析

通过上文的分析,本文得以了解长江经济带上中下游各个行业水资源配置质量的演化特征,但未涉及水资源配置质量发生变化的内在因素。通过2002—2017年长江经济带水资源配置质量变化的成因分解(表7)可以发现:①污废水排放系数变动效应、COD浓度变动效应正向驱动长江经济带流域水资源配置质量优化,是引起水资源配置质量优化的主要原因,这可能与政府加大水资源管理力度、社会公众环保意识增强后环境污染降低有关;②最终需求水平变动效应负向驱动长江经济带流域水资源配置质量优化,侧面反映日益增长的生产生活

需要加重了水资源负荷;③增加值变动效应和最终需求系数变动效应正向驱动上中游水资源配置质量优化,对下游水资源配置质量优化起负向驱动效应,这可能是由于,下游相对发达、经济增长快,但随着经济发展,高污染行业水污染物加速积累,经济增长速度逐渐低于灰水足迹的增长速度,水资源配置质量降低;④经济技术变动效应正向驱动中、下游水资源配置质量优化,对上游水资源配置质量优化起负向驱动效应,这可能与中、下游科技水平较高而上游科技水平较低有关;⑤最终需求分布变动效应正向驱动中游水资源配置质量优化,对上、下游水资源配置质量优化起负向驱动效应,可能的原因是,中游省内、省际和进口水资源配置最为合理,而上、下游在省内、省际和进口水资源配置上有待进一步提升。

深入2002—2017年各阶段分析,本文发现水资源配置优化的动力来源结构在这期间发生了巨大变化。2012年前,COD浓度变动效应极大促进了上游水资源配置质量优化,但在2012年后,COD浓度变动效应却抑制了水资源配置质量的优化。增加值变动效应对下游水资源配置质量优化的作用效果类似,2012年前促进下游水资源配置质量优化,2012年后抑制了下游水资源配置质量改进。以上

表7 2002—2017年长江经济带水资源配置质量变动成因分解

Table 7 Cause decomposition of changes in water resource allocation quality in the Yangtze River Economic Belt, 2002-2017

地区	阶段	增加值变动效应	COD浓度变动效应	污废水排放系数变动效应	经济技术变动效应	最终需求水平变动效应	最终需求系数变动效应	最终需求分布变动效应	合计
上游	2002—2017年	-0.56	-0.25	-0.85	0.28	0.69	-0.14	0.08	-0.74
	2002—2007年	-0.40	-0.16	-0.75	0.25	0.38	-0.09	0.08	-0.69
	2007—2012年	-0.09	-0.16	-0.04	0.04	0.22	-0.04	0.00	-0.08
	2012—2017年	-0.07	0.07	-0.06	0.00	0.10	-0.01	0.00	0.02
中游	2002—2017年	-0.54	-0.66	-0.36	-0.10	1.22	-0.24	-0.06	-0.74
	2002—2007年	-0.19	-0.35	0.16	-0.01	0.37	-0.21	0.07	-0.16
	2007—2012年	-0.24	-0.13	-0.59	-0.09	0.70	0.06	-0.12	-0.41
	2012—2017年	-0.11	-0.18	0.07	0.00	0.15	-0.09	0.00	-0.17
下游	2002—2017年	0.17	-0.83	-1.39	-0.14	1.33	0.09	0.10	-0.66
	2002—2007年	-0.23	-0.50	0.30	-0.23	0.67	-0.29	0.01	-0.28
	2007—2012年	-0.18	-0.10	-0.52	-0.06	0.59	0.11	0.09	-0.06
	2012—2017年	0.58	-0.22	-1.17	0.15	0.06	0.26	0.01	-0.33

注:为对2002—2017年期间长江经济带水资源配置质量变动成因进行统一分析,本表中所有数据都以2002年水资源配置质量作为参照值,下同。

变化可能是由于2012年经济进入新常态后,下游经济增长速度放缓。

深入产业层面(表8)分析可知,对不同产业而言,其水资源配置质量优化的动力并不相同,但最终需求水平变动效应始终是制约三次产业水资源配置质量优化的最重要因素,且对农业的制约最为明显。人类社会经济发展离不开水,农业生产过程中产生化肥、农药、畜禽粪便等农业面源污染,最终需求总量的增加必然增加灰水足迹,进而降低水资源配置质量水平。除最终需求水平变动效应外,首先,对农业而言,最终需求分布变动效应严重制约了中游水资源配置质量的优化,尽管表7显示中游

整体省内、省际和进口水资源配置最为合理,但就农业生产而言,中游国内、省际和进口水资源有待进一步合理分布;其次,对工业而言,随着工业污水处理技术日趋成熟,工业水资源配置质量提升对于整体水资源配置质量提升愈加重要,与上中游相比,下游在增加值变动效应方面存在水资源配置质量优化瓶颈。最后,对服务业而言,其水资源配置质量持续恶化对整体水资源配置质量提升的负面驱动最为严重,其中污水排放系数变动效应对服务业水资源配置质量提升的制约仅次于最终需求水平变动效应,说明相对于工业,服务业相关技术性污水处理方式和处理经验较为落后,亟待解决。

表8 2002—2017年长江经济带三次产业水资源配置质量变动成因分解

Table 8 Cause decomposition of changes in water resource allocation quality of the industries in the Yangtze River Economic Belt, 2002-2017

产业	地区	增加值变动效应	COD浓度变动效应	污水排放系数变动效应	经济技术变动效用	最终需求水平变动效应	最终需求系数变动效应	最终需求分布变动效应	合计
第一产业	上游	-0.45	-0.05	-0.18	-0.23	1.57	-0.58	-0.02	0.13
	中游	-0.08	-0.03	-0.07	0.03	-0.11	-0.30	0.31	-0.25
	下游	-0.27	-0.26	-0.26	-0.54	1.19	-0.29	-0.06	-0.48
第二产业	上游	-0.50	-0.27	-1.07	0.38	0.44	-0.07	0.10	-0.99
	中游	-0.46	-0.59	-0.44	-0.06	0.91	-0.23	-0.06	-0.93
	下游	0.59	-1.21	-2.25	0.09	1.32	0.30	0.22	-0.94
第三产业	上游	-6.01	-0.59	8.13	-1.04	9.19	-0.82	-0.17	8.69
	中游	-1.48	-2.49	1.24	-0.47	4.71	0.03	-0.02	1.54
	下游	-0.99	-0.47	0.04	-0.09	1.95	0.17	-0.09	0.53

4 结论与政策建议

4.1 结论

本文基于地区投入产出表最新数据,编制了2002—2017年长江经济带水资源拓展型投入产出表,基于投入产出方法计算了灰水足迹,并以灰水足迹强度作为单要素评价指标,分析长江经济带水资源配置质量的结构差异与演化特征。所得主要结论如下:

(1)当流域水污染密集型产业发生转移时,前期因污染产业转移带来的经济效益远大于环境污染的负面效应,流域水资源配置质量整体提高;后期随着污染物累积,单位增加值所产生的污染物增多,所需要的淡水资源量相应增加,污染产业转入地(上游)水资源配置质量降低,污染产业转出地

(下游)因污染物回流导致水资源配置质量提升有限。

(2)长江经济带流域水资源配置质量水平与地区经济发展层次性相一致。传统的粗放式发展方式导致水资源丰富的上游水资源配置质量最低,尤其表现为一、三产业水资源配置不合理,是长江经济带流域治理的重点之一。农业作为其他部门生产不可或缺的基础性行业,其水资源配置质量的提高对流域综合用水质量的提高有事半功倍的效果。

(3)长江经济带流域水资源配置质量提升瓶颈亟待破除。工业水资源配置质量的演变与流域整体水资源配置质量的演变相一致,其中纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制造业等轻工业的生产相对清洁,煤炭石油开采加工等重行业水资源配置质量最低;

2022年6月

服务性行业整体水资源配置质量水平优于工业行业,且服务业行业间水资源配置质量的差异也小于工业行业。

(4)抑制流域水资源配置质量提升的主要因素是最终需求水平变动效应。人们日益增长的物质需求与生产生活需要加大了水资源配置难度,上游技术水平相对较低,经济技术变动效应对上游水资源配置质量优化起负向驱动作用;下游相对发达,经济增长快,但随着水污染物的积累,经济增长速度逐渐低于灰水足迹的增长速度,增加值变动效应对下游水资源配置质量优化起负向驱动作用;中游省内、省际和进口水资源配置最为合理,但最终需求分布变动效应对中游农业水资源配置质量优化起负向驱动作用。

4.2 政策建议

根据以上结论,本文提出以下政策建议:

(1)流域是动态的,治理流域污染问题的关键,不仅在于能否设计一套行之有效的环境制度,还在于能否制定一套有效约束地方政府竞争行为的体制。因此,需将静态的、孤立的环境治理,转变为动态的、全面的协同规制,强化中央的垂直化管理以实现绿色发展。

(2)提高灌溉水有效利用率和土地生产力,推广最佳技术措施,调整农业内部结构,扩大水利用率高的农作物种植面积,提升农业用水配置质量。

(3)在创新节水技术的同时,选择性吸取发达国家“工业用水零增长”的经验,将耗水多污水多的劳动-资本密集型产业转变为耗水少污水少的知识-科技密集型产业,建立健全市场化的供水和排污收费制度。同时,提升长江经济带水资源配置质量需更有针对性的精准发力。

致谢:感谢姜卫民老师在文章数据处理和模型构建方面给予的宝贵意见。

参考文献(References):

[1] 邓洪中, 张玲. 长江经济带水资源绿色效率时空演变特征及其影响因素[J]. 资源科学, 2022, 44(2): 247-260. [Deng Q Z, Zhang L. Spatiotemporal pattern and influencing factors of green efficiency of water resources in the Yangtze River Economic Belt[J]. Re-

sources Science, 2022, 44(2): 247-260.]

- [2] Zhang L L, Zhang R, Wang Z Z, et al. Spatial heterogeneity of the impact factors on gray water footprint intensity in China[J]. Sustainability, 2020, 12(3): 865-885.
- [3] 孙才志, 王晨. 中国水资源投入的“拥塞效应”研究[J]. 资源科学, 2020, 42(2): 334-345. [Sun C Z, Wang C. Research on the “congestion effect” in China’s water resources input[J]. Resources Science, 2020, 42(2): 334-345.]
- [4] 陈岩, 童国平, 王蕾. 基于DEA-BCC模型的农业灰水足迹效率研究[J]. 人民黄河, 2020, 42(12): 61-65. [Chen Y, Tong G P, Wang L. Study on agricultural grey water footprint efficiency of Huaihe River Basin based on DEA-BCC model[J]. Yellow River, 2020, 42(12): 61-65.]
- [5] Hoekstra A Y, Chapagain A K, Aldaya M M, et al. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard[M]. London: Earthscan, 2011.
- [6] 龚艳冰. 基于正态云组合赋权的水资源配置方案综合评价方法[J]. 水资源保护, 2022, 38(2): 56-61. [Gong Y B. Comprehensive evaluation method of water resource allocation schemes based on normal cloud combination weighting[J]. Water Resources Protection, 2022, 38(2): 56-61.]
- [7] 王梅梅. 新发展理念下水资源优化配置绩效评价指标体系的构建[J]. 水利经济, 2022, 40(2): 38-45. [Wang M M. Establishment of evaluation index system for optimal allocation of water resources based on new development concept [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2022, 40(2): 38-45.]
- [8] 姚亭亭, 刘苏峡. 京津冀水资源利用多效率指标的变化特征比较[J]. 地理科学进展, 2021, 40(7): 1195-1207. [Yao T T, Liu S X. Comparison of the variation characteristics of water resource use efficiency indicators in the Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Progress in Geography, 2021, 40(7): 1195-1207.]
- [9] 张洪雷, 赵黎明, 张雪花. 城市绿色用水指标体系与评价方法研究: 以北京、上海和天津市为例[J]. 天津大学学报(社会科学版), 2017, 19(2): 113-118. [Zhang H L, Zhao L M, Zhang X H. Evaluation index system and method of urban green water utilization: A case study of Peking, Shanghai and Tianjin[J]. Journal of Tianjin University (Social Sciences), 2017, 19(2): 113-118.]
- [10] 彭红松, 郭丽佳, 章锦河, 等. 区域经济增长与资源环境压力的关系研究进展[J]. 资源科学, 2020, 42(4): 593-606. [Peng H S, Guo L J, Zhang J H, et al. Research progress and implication of the relationship between regional economic growth and resource-environmental pressure[J]. Resources Science, 2020, 42(4): 593-606.]
- [11] Xiang Y B, Shao W, Wang S Y, et al. Study on regional differences and convergence of green development efficiency of the chemical industry in the Yangtze River Economic Belt based on grey water footprint[J]. International Journal of Environmental Research and

- Public Health, 2022, 19(3): 1703–1703.
- [12] 陈红, 王浩坤, 秦帅. 水足迹视角下黑龙江粮食生产用水绿色效率研究: 基于三阶段SBM-Malmquist指数分析法[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(12): 2790–2804. [Chen H, Wang H K, Qin S. Study on green efficiency of grain water resources in Heilongjiang Province from the perspective of water footprint: Based on three-stage SBM-Malmquist index analysis method[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(12): 2790–2804.]
- [13] 何伟军, 孔阳, 沈菊琴. 长江经济带灰水足迹与经济增长的二维脱钩分析[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2022, 24(1): 68–74, 111. [He W J, Kong Y, Sheng J Q. A two-dimensional decoupling analysis of grey water footprint and economic growth in the Yangtze River Economic Belt[J]. Journal of Hohai University (Philosophy and Social Sciences), 2022, 24(1): 68–74, 111.]
- [14] Johnson M B, Mehrvar M. An assessment of the grey water footprint of winery wastewater in the Niagara region of Ontario, Canada [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 214(20): 623–632.
- [15] Kan D X, Huang W C. An empirical study of the impact of urbanization on industry water footprint in China[J]. Sustainability, 2020, 12(6): 2263–2283.
- [16] 孙才志, 郑靖伟. 基于投入产出表的中国水资源消耗结构路径分析[J]. 地理科学进展, 2021, 40(3): 370–381. [Sun C Z, Zheng J W. Structural path analysis of water resources consumption in China based on input-output table[J]. Progress in Geography, 2021, 40(3): 370–381.]
- [17] 田贵良, 李娇娇, 李乐乐. 基于多区域投入产出模型的长江经济带虚拟水流动格局研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(3): 81–88. [Tian G L, Li J J, Li L L. Pattern of virtual water flow in the Yangtze River Economic Belt based on multi-regional input-output model[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(3): 81–88.]
- [18] 王艳阳, 王会肖, 张昕. 基于投入产出表的中国水足迹走势分析[J]. 生态学报, 2013, 33(11): 3488–3498. [Wang Y Y, Wang H X, Zhang X. China water footprint trend analysis based on input-output tables[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(11): 3488–3498.]
- [19] 周侃, 伍健雄, 钱者东, 等. 长江经济带水污染物减排的空间效应及驱动因素[J]. 中国环境科学, 2020, 40(2): 885–895. [Zhou K, Wu J X, Qian Z D, et al. Spatial effects on emission reduction of water pollutants and its driving forces in Yangtze River Economic Belt[J]. China Environmental Science, 2020, 40(2): 885–895.]
- [20] 王宇昕, 余兴厚, 熊兴. 长江经济带污染物排放强度的空间差异及影响因素研究[J]. 西部论坛, 2019, 29(3): 104–114. [Wang Y X, Yu X H, Xiong X. Study on spatial difference and influencing factors of pollutant emission intensity in the Yangtze River Economic Belt[J]. West Forum, 2019, 29(3): 104–114.]
- [21] 赵良仕. 中国省际灰水足迹强度的空间收敛性研究[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2017, 40(4): 541–547. [Zhao L S. Study on spatial convergence of grey water footprint intensity on provincial scale in China[J]. Journal of Liaoning Normal University (Natural Science Edition), 2017, 40(4): 541–547.]
- [22] 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. [Liu H G, Chen M, Tang Z P. Study on ecological compensation standards of water resources based on grey water footprint: A case of the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(11): 2553–2563.]
- [23] Dietzenbacher E, Los B. Structural decomposition techniques: Sense and sensitivity[J]. Economic Systems Research, 1998, 10(4): 307–324.
- [24] 李虹, 王帅. 需求侧视角下中国隐含能源消费量及强度的影响因素[J]. 资源科学, 2021, 43(9): 1728–1742. [Li H, Wang S. Research on influencing factors of China's energy consumption and intensity: Based on the demand-side perspective[J]. Resources Science, 2021, 43(9): 1728–1742.]
- [25] 张友国. 经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响[J]. 经济研究, 2010, 45(4): 120–133. [Zhang Y G. Economic development pattern change impact on China's carbon intensity[J]. Economic Research Journal, 2010, 45(4): 120–133.]
- [26] 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. [Sun C Z, Yan X D. Measurement and transfer analysis of grey water footprint of Chinese provinces and industries based on a multi-regional input-output model[J]. Progress in Geography, 2020, 39(2): 207–218.]
- [27] 曲玥, 蔡昉, 张晓波. “飞雁模式”发生了吗? 对1998–2008年中国制造业的分析[J]. 经济学(季刊), 2013, 12(3): 757–776. [Qu Y, Cai F, Zhang X B. Has the “flying geese” occurred in China? An analysis on the China's manufacturing industries from 1998 to 2008[J]. China Economic Quarterly, 2013, 12(3): 757–776.]
- [28] 沈坤荣, 周力. 地方政府竞争、垂直型环境规制与污染回流效应[J]. 经济研究, 2020, 55(3): 35–49. [Shen K R, Zhou L. Local government competition, vertical environmental regulation and the pollution backflow effect[J]. Economic Research Journal, 2020, 55(3): 35–49.]

Evolution trend and driving factors of water resources allocation quality in the Yangtze River Economic Belt

CHEN Min

(College of Economics & Management, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: The green development of the Yangtze River Economic Belt is inseparable from the rational allocation of water resources. This study examined the dynamic change process of regional and industry differences of water resources allocation and quality in the Yangtze River Economic Belt. Sichuan, Hubei, and Jiangsu were selected as the representative provinces of the upper, middle, and lower reaches of the Yangtze River Economic Belt. Based on the water resources input-output table from 2002 to 2017, we took grey water footprint intensity as the indicator of water resources allocation quality. (1) From the perspective of regional differences, from 2002 to 2017, the quality of water resources allocation in the upper reaches of the Yangtze River Economic Belt first increased and then decreased. The quality of water resources allocation in the middle and lower reaches has been rising, but the improvement rate has slowed down. This evolution feature is related to the characteristic facts of pollution intensive industry transfer and characteristic pollutant return. (2) From the perspective of industrial differences, the quality of water resources allocation in agriculture and industry continued to improve, while the quality of water resources allocation in the service industry in the upper and middle reaches was low and has deteriorated, especially in the accommodation and catering industry and residential service and other services industry. (3) From the perspective of structural decomposition, COD concentration variation and wastewater discharge coefficient variation had a positive driving effect on the optimization of water resources allocation quality in the Yangtze River Economic Belt. Final demand level had a negative driving effect on the optimization of water resources allocation quality in the basin. Therefore, this paper puts forward three suggestions to improve the quality of water resources allocation, including designing dynamic collaborative regulation, adjusting the internal structure of agriculture, and improving the market-oriented water supply and sewage charging system.

Key words: water resource allocation; water footprint intensity; quality evaluation; input-output analysis; grey water footprint; structural decomposition analysis; Yangtze River Economic Belt