

# 湖北省水资源环境与经济发展耦合关系时序特征研究

聂晓, 张中旺

(湖北文理学院 资源环境与旅游学院, 湖北 襄阳 441053)

**摘要:**【目的】评价湖北省水资源环境与经济发展耦合协调水平, 提出合理建议。【方法】运用耦合协调度模型分析了湖北省2006—2017年水资源环境与经济发展耦合关系时序特征。【结果】2006—2017年, 湖北省水资源环境综合指数整体呈波动上升趋势, 经济发展综合指数呈线性增长趋势。湖北省水资源环境与经济发展耦合协调度表现为线性增长趋势, 且具有阶段性, 2006—2010年和2011—2017年分别为经济发展滞后于水资源环境水平的过度发展阶段和水资源环境滞后于经济发展的协调发展阶段, 2017年水资源环境与经济发展达到良好耦合协调。【结论】为实现水资源环境与经济发展的优质耦合协调发展, 湖北省重视经济转型升级和城镇生活污水控制。

**关键词:** 水资源环境; 经济发展; 耦合关系; 耦合协调度; 湖北省

中图分类号: TV213.9

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.20190262

聂晓, 张中旺. 湖北省水资源环境与经济发展耦合关系时序特征研究[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(2): 138-144.

NIE Xiao, ZHANG Zhongwang. Temporal characteristics of the coupling relationship between water resources environment and economic development in Hubei Province[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(2): 138-144.

## 0 引言

随着区域社会经济的快速发展, 水资源供给压力日益增大, 水污染问题日益严峻<sup>[1]</sup>。水资源环境与经济发展之间存在着相互的耦合关系<sup>[2]</sup>。经济快速发展一方面会给水资源环境带来不利影响, 另一方面经济快速发展也可以为水资源利用效率的提高以及水环境的保护提供资金支持和技术保障; 水资源环境水平的高低也会影响经济发展的成效, 充足的水资源和优良的水质, 可以保障经济又快又好地发展。因此, 研究经济发展与水资源环境水平的耦合关系已成为保障区域经济可持续发展的重要内容。目前, 国内学者对水资源环境与经济发展关系的研究大多集中在水资源利用与经济发展的耦合关系<sup>[3-6]</sup>以及水环境质量与经济发展的耦合关系<sup>[7-9]</sup>。但针对水资源环境系统与经济发展系统耦合关系的综合研究开展得比较少。蔡振饶等<sup>[2]</sup>借助于耦合协调模型对贵阳市水资源环境与经济发展的耦合关系开展了研究; 夏菁等<sup>[10]</sup>将经济发展系统和社会系统作为一个整体, 构建四平市经济社会系统与水资源环境系统的指标体系, 基于耦合协调模型研究了水资源环境与经济社会协调发展水平的时空差异。

湖北省位于长江中游, 是我国“中部崛起”战略的支点和中心。近年来, 随着经济的快速发展以及南水北调中线工程的实施, 湖北水资源供需矛盾和水环境污染问题日益突出<sup>[11]</sup>。湖北省水资源环境保护和经济发展的矛盾日益显现。在此背景下, 构建湖北省水资源环境与经济发展耦合关系评价指标体系, 综合评价水资源环境水平与经济发展水平, 客观定量揭示湖北省水资源环境与经济发展之间耦合关系的时序变化特征, 寻找水资源环境与经济耦合协调发展的薄弱环节, 为针对性制定政策实现湖北省水资源环境与经济优质耦合协调可持续发展提供重要依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

湖北省位于 29°05'N—33°20'N, 108°21'E—116°07'E, 属于长江中游流域, 是南水北调中线工程核心水源区。全省国土总面积 18.59 万 km<sup>2</sup>, 其中山地占 56%, 丘陵占 24%, 平原湖区占 20%。地势大致为东、西、北三面环山, 中间低平, 略呈向南敞开的完整盆地。气候大部分为亚热带季风性湿润气候, 光能充足, 热量丰富, 无霜期长, 降水充沛, 雨热同季<sup>[12]</sup>。湖北省多年平均降水量 1 166 mm, 且降水分布具有明显的地域差异和季节差异, 鄂西、鄂西北等地缺水问题较为突出。随着经济社会的不断发展, 水资源需求持续增加, 水污染问题日益突出。

收稿日期: 2019-06-13

基金项目: 湖北省教育厅人文社科重点项目(2016D090); 湖北省技术创新专项软科学项目(2019ADC155); 湖北省人文社科重点研究基地-湖北文理学院鄂北区域发展研究中心课题(2019JDB015)

作者简介: 聂晓(1984-), 女, 讲师, 博士, 主要从事水资源环境与水生态文明研究。E-mail: xiaonie84@163.com

1.2 研究方法

1.2.1 评价体系及指标权重

参照已有研究成果<sup>[2-3]</sup>，结合湖北省的实际情况，依照指标选取的科学性、可获得性以及可操作性的原则，按照水资源环境状态-压力-响应的框架选取 14 个指标，构建了水资源环境综合评价体系；按照经济发展规模-结构-效率的框架选取 10 个指标，构建了经济发展综合评价体系。湖北省水资源环境与经济发展耦合协调评价指标体系列于表 1。为避免主观判断对研究结果的影响，采用熵值法确定各指标权重<sup>[13]</sup>。具

体计算过程为：

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)}, \quad (1)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n \frac{x_{ij}^*}{\sum_{i=1}^n x_{ij}^*} \ln \frac{x_{ij}^*}{\sum_{i=1}^n x_{ij}^*}, \quad (2)$$

式中： $w_j$ 为各个指标的权重； $e_j$ 为第  $j$  个指标的熵值； $x_{ij}^*$ 为第  $i$  项指标在第  $j$  年同向化后的标准值； $m$  为指标数量； $n$  为被评价的年数。

表 1 评价指标体系及权重

Table 1 Evaluation system and index weight

目标层 Target layer	准则层 Standard layer	指标层 Indicator layer	指标权重 Indicator weight	
水资源环境水平 Water resources environment level	水资源环境状态 Status of water resources environment	水资源开发利用 Water resources utilization ratio (-)	0.076 7	
		年均降雨量 Average annual rainfall (+)	0.063 5	
		人均水资源量 Per capita water resources (+)	0.067 6	
		三级以下地表水比例 Proportion of surface water under Class III (-)	0.065 8	
	水资源环境压力 Pressure of water resources environment	用水总量 Total water use (-)		0.096 6
			工业废水排放量 Industrial waste-water emissions (-)	0.085 6
		城镇生活污水排放量 Urban domestic sewage discharge (-)		0.086 9
			化学需氧量排放量 COD emissions (-)	0.067 1
		城镇人均生活用水量 Urban domestic water consumption per capita (-)		0.077 6
			工业用水量 Industrial water consumption (-)	0.075 3
		水资源环境响应 Respond of water resources environment	工业废水排放达标率 Industrial waste-water emission compliance ratio (+)	0.038 7
			工业用水重复利用率 Industrial water reuse ratio (+)	0.085 1
			农田有效灌溉面积 Effective irrigated agriculture land area (+)	0.072 3
			城镇污水集中处理率 Concentrated treatment ratio of urban sewage (+)	0.041 1
经济发展水平 Economic development level	经济规模 Economic scale	人均 GDP per capita GDP (+)	0.080 4	
		城镇居民人均可支配收入 Per capita disposable income of urban resident (+)	0.079 8	
		城镇固定资产投资额 Investment in urban fixed assets (+)	0.113 8	
	经济结构 Economic structure	财政收入 Fiscal revenue (+)	0.113 5	
		第一产业比重 Primary industry proportion (+)	0.081 3	
		第三产业比重 Tertiary industry proportion (+)	0.117 5	
经济效率 Economic efficiency	农村恩格尔系数 Rural Engel coefficient (-)	0.111 9		
	GDP 增长率 GDP Growth rate (+)	0.078 0		
	第三产业增长率 Tertiary industry growth rate (+)	0.140 3		
		规模以上工业增加值 Added value of industry above designated size (+)	0.081 6	

注 “+”表示正向指标，“-”表示负向指标。Note “+”Represents a positive indicator, and “-” Represents a negative indicator.

1.2.2 子系统综合评价指数

由于指标原始数据量纲不同会对评价结果产生影响，因此需要对原始指标数据进行标准化处理。正向指标和负向指标的标准化计算公式分别为：

$$x_{ij}^* = (x_{ij} - x_{j\min}) / (x_{j\max} - x_{j\min}), \quad (3)$$

$$x_{ij}^* = (x_{j\max} - x_{ij}) / (x_{j\max} - x_{j\min}), \quad (4)$$

式中： $x_{ij}^*$ 是同向化后的标准值； $x_{ij}$ 、 $x_{j\min}$ 、 $x_{j\max}$  分别

是第  $j$  项指标的第  $i$  个样本值、第  $j$  项指标的最小样本值、第  $j$  项指标的最大样本值。

指标原始数据标准化后，结合指标权重进行加权求和，得到湖北省水资源环境综合指数  $R_1$  和经济发展综合指数  $R_2$ 。

1.2.3 耦合协调度模型

选用耦合协调度模型来评价湖北省水资源环境与经济发展的耦合协调发展水平，具体计算式为<sup>[10]</sup>：

$$D = \sqrt{R \times C}, \quad (5)$$

$$R = \alpha R_1 + \beta R_2, \quad (6)$$

$$C = \left[ R_1 \times R_2 / \left( \frac{R_1 + R_2}{2} \right)^2 \right]^K, \quad (7)$$

式中： $D$  为耦合协调度； $C$  为耦合度； $R$  为水资源环境与经济发展综合评价指数； $\alpha$ 、 $\beta$  的取值采用等权重的处理方式<sup>[14]</sup>，即  $\alpha = \beta = 0.5$ ； $K$  为调节系数， $K \geq 2$ ，

表2 耦合协调类型及判别标准

Table 2 Coupling coordination type and evaluation criteria

大类 Major types	亚类 Subtypes	耦合协调度 ( $D$ ) Coupling coordination degree	$R_1$ 与 $R_2$ 对比关系及基本类型 $R_1$ and $R_2$ contrast relations and basic types
失调衰退类 Disorder recession type	极度失调衰退 Extreme disorder recession	0~0.1	(1) $R_1 > R_2$ 经济发展滞后型 Economic development lagging behind type
	严重失调衰退 Serious disorder recession	0.1~0.2	
	中度失调衰退 Medium disorder recession	0.2~0.3	
	低度失调衰退 Low disorder recession	0.3~0.4	
过渡发展类 Transitional development type	濒临失调衰退 on the verge of disorder recession	0.4~0.5	(2) $R_1 < R_2$ 水资源环境滞后型 Water resources environment lagging behind type
	勉强耦合协调 Reluctant coupling coordination	0.5~0.6	
协调发展类 Coordination development type	初级耦合协调 Primary coupling coordination	0.6~0.7	(3) $R_1 = R_2$ 经济与水资源环境同步型 Economic and water resources environment synchronization type
	中级耦合协调 Intermediate coupling coordination	0.7~0.8	
	良好耦合协调 Good coupling coordination	0.8~0.9	
	优质耦合协调 High coupling coordination	0.9~1.0	

### 1.2.4 数据来源

以湖北省为研究对象，选择 2006—2017 年的面板数据，对湖北省水资源环境与经济发展耦合关系的时序变化特征进行分析。指标数据来自《湖北省统计年鉴》（2007—2018 年）、《中国环境统计年鉴》（2007—2018 年）、《湖北省水资源公报》（2006—2017 年）和湖北省水利厅的相关水资源统计数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 湖北省水资源环境系统演变分析

由表 1 可知，在水资源环境系统中，用水总量指标（0.096 6）、城镇生活污水排放量（0.086 9）、工业废水排放量（0.085 6）和工业用水重复利用率（0.085 1）的指标权重相对较大。

图 1 是湖北省水资源环境综合指数与各子系统指数的时序变化。由图 1 可知，湖北省水资源环境综合指数总体上呈波动上升趋势，2006—2007 年，水资源环境综合指数呈现上升趋势，在该阶段，水资源环境压力相对较小，水资源环境状态指数呈上升趋势；2008—2012 年，水资源环境综合指数呈波动下降的趋势，主要是因为随着经济的快速发展，水资源环境压力显著增加，2012 年，水资源环境压力指数仅为 0.096 9，为整个研究期的最低值，原因在于 2012 年湖北省的工业废水排放量、工业用水量均相对较大，

由于本文度量的是水资源环境与经济发展 2 个子系统的耦合协调度，故取  $K=2$ <sup>[2]</sup>。为了直观地分析水资源环境与经济发展的耦合协调水平，参考已有研究成果<sup>[10, 15]</sup>，耦合协调类型按照表 2 进行分类。另外，根据水资源环境综合指数  $R_1$  与经济发展综合指数  $R_2$  的对比关系，进一步将其分为经济发展滞后型、水资源环境滞后型、经济与水资源环境同步型（表 2）。

特别是工业用水量为研究期内的最大值，工业的快速发展对水资源环境产生了较大的负面影响，水资源环境状态指数呈波动下降的趋势；2013—2017 年，水资源环境综合指数呈快速上升的趋势，主要是由于水资源环境保护不断加强，水资源环境状态指数提升显著，水资源环境压力有所减小，主要是因为 2013 年湖北省政府发布了《湖北省人民政府关于实行最严格水资源管理制度的意见》，促进了湖北省各地区严格控制水资源利用和防治水污染，2017 年，湖北省工业用水量由 2012 年的 121.64 亿  $m^3$  下降到 2017 年的 87.78 亿  $m^3$ ，工业废水排放量由 2012 年的 9.160 9 亿 t 下降到 2017 年的 4.415 8 亿 t，三级以下地表水比例由 2013 年的 27.2% 下降到 2017 年的 9%，水环境得到了一定的改善。2016 年水资源环境综合指数增幅比较大，为研究期的最大值，主要是因为工业废水排放量大幅度减少（由 2015 年的 8.081 7 亿 t 下降到 2016 年的 4.909 0 亿 t），可能还与 2016 年的降水量异常丰沛有关（2016 年年均降雨量为 1 423.4 mm，为研究期内的最大值，显著高于多年平均降雨量 1 166 mm），2016 年湖北省根据水利部第 9 部委《关于印发“十三五”实行最严格水资源管理制度考核工作实施方案的通知》实行了最新的最严格水资源管理制度考核内容，进一步促使湖北省各地区加快经济和产业转型升级保护水资源环境。

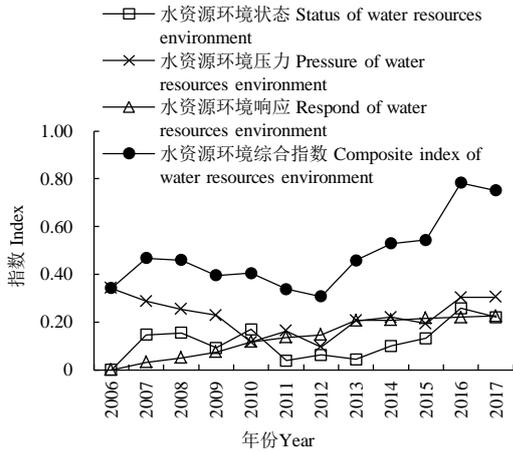


图 1 湖北省水资源环境指数时序变化

Fig.1 Changes of water resources environment index in Hubei Province

图 2 为湖北省城镇生活污水排放总量及比重时序变化。由图 2 可知，随着经济和城市化的快速发展，湖北省城镇生活污水总量以及占废水排放总量的比重整体呈不断增加的趋势，由 2006 年的 61.97% (14.85 亿 t) 增加到 2017 年的 83.79% (22.82 亿 t)，说明城镇生活污水排放量是制约湖北省水资源环境综合指数提升的一个重要因素。因此，湖北省未来水资源环境管理的一个重点应是控制城镇生活污水排放，并不断完善城镇生活污水处理设施，提高污水处理能力。

### 2.2 湖北省经济发展系统演变分析

图 3 为湖北省经济发展综合指数与各子系统指数的时序变化。由图 3 可知，湖北省经济发展综合指数总体上呈线性的增长趋势，这主要得益于经济规模指数和经济结构指数的提升。研究期内，湖北省经济规模指数稳步提升，湖北省人均 GDP 从 2006 年的 13 360 元增加到 2017 年的 60 198.68 元，增长了 4.5 倍，城镇居民人均可支配收入从 2006 年的 9 803 元增加到 2017 年的 31 889 元，增长了 3.3 倍。研究期内，湖北省经济结构指数总体上处于波动增长的状态，这说明湖北省在经济结构转型方面做出了一些努力，在 2006—2012 年，经济结构指数较为平稳，变幅较小，2013—2017 年，经济结构指数明显提升，产业结构和消费结构不断优化，2017 年湖北省第一产业增加值占 GDP 比重由 2006 年的 15.2% 下降至 10.3%，第三产业增加值占 GDP 比重由 2006 年的 40.8% 增加至 2017 年的 45.2%，农村恩格尔系数由 2006 年的 46.8% 下降至 2017 年的 28.6%。湖北省经济效率指数略有下降，但整体上较平稳，特别是 2013 年以来，指数变幅较小，说明湖北省经济整体上保持较稳定的增长态势。

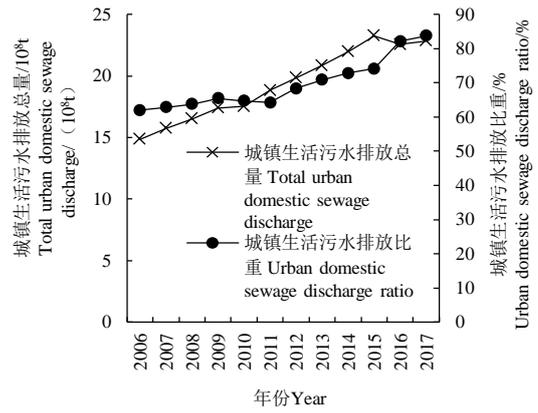


图 2 湖北省城镇生活污水排放总量及比重变化

Fig.2 Changes of total urban domestic sewage discharge and the ratio of urban domestic sewage discharge

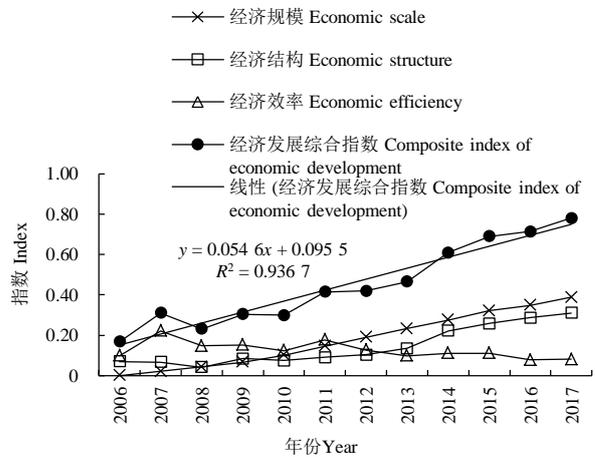


图 3 湖北省经济发展综合指数时序变化

Fig.3 Changes of economic development index in Hubei Province

### 2.3 湖北省水资源环境与经济发展耦合协调水平评价

图 4 为湖北省水资源环境系统与经济发展系统耦合关系的时序变化。由图 4 可知，湖北省水资源环境与经济发展耦合协调度总体上呈现线性上升趋势。依据表 2 对湖北省水资源环境与经济发展的耦合协调类型进行划分，耦合协调度介于 0.445 7 和 0.874 7 之间，耦合协调类型包括从濒临失调、勉强协调、初级协调、中级协调到良好协调的 5 小类：2006—2010 年，耦合协调度相对较低，耦合协调阶段从濒临失调发展到勉强协调，耦合协调大类属于过渡发展类；2011—2017 年，耦合协调度由 0.6 增加到 0.874 7，耦合协调小类从初级协调发展到中级协调最后发展为良好协调，耦合协调大类属于协调发展类。湖北省水资源环境与经济发展耦合协调水平虽然总体上呈不断上升的趋势，在 2017 年度达到良好耦合协调，但若最终实现水资源环境与经济发展的优质耦合协调发展，确保水资源环境与经济的可持续发展，湖北省应进一步在稳速发展经济的同时加快推动经济和产业结构的转型升级，大力推进绿色产业和循环经济

的发展,严格控制用水总量,提高水资源利用效率,控制水污染并进一步加大水污染的治理投资。

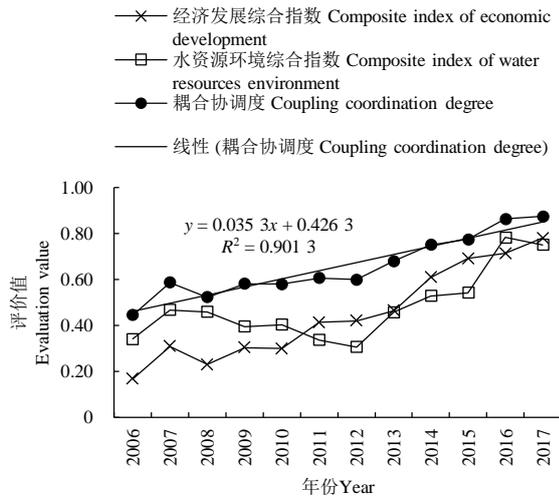


图4 湖北省水资源环境系统与经济发展系统耦合关系时序变化

Fig.4 Changes of coupling relationship between water resources environment and economic development in Hubei Province

进一步对比湖北省水资源环境与经济发展综合指数(图4)可以发现,研究期内湖北省水资源环境与经济对比关系在时序上存在较明显的阶段性,具体可以划分为2大阶段:2006—2010年,经济发展滞后型的耦合阶段,在这一阶段,经济发展综合指数相对较低,水资源环境总体上能够保证经济的快速发展,为经济发展提供有力的保障,且这一阶段,经济发展综合指数与水资源环境综合指数的差距趋于减小,2个系统的耦合协调度在波动中缓慢增加;2011—2017年,水资源环境滞后型的耦合阶段,在这一阶段,随着经济的快速发展,水资源环境压力加大,导致水资源环境指数在2012年维持在一个较低的数值,与经济发展综合指数差距较大,2个系统的耦合协调度也略有降低,之后,湖北省加大了对水资源环境保护的重视程度,也加大了对水污染的治理投资,水资源环境综合指数取得较快的增长,与经济发展综合指数的差距在波动中变化,并在2016年后趋于减小,水资源环境与经济发展最终达到良好耦合协调的状态,2016年的水资源环境指数稍高于经济发展指数,可能与前面提到的2016年降水量异常丰沛有关。

### 3 讨论

2006—2017年湖北省水资源环境与经济发展评价结果与湖北省实际情况比较相符<sup>[11]</sup>。潘安娥等<sup>[4]</sup>基于水足迹的视角评价了水资源利用与经济发展之间的协调关系。前人的研究更侧重于湖北省水资源利用与经济发展的耦合协调发展评价,未涉及水环境方

面,而本研究将水环境纳入系统当中,综合地考虑水资源利用和水环境与经济发展的耦合关系。

目前,湖北省水资源环境水平略滞后于经济水平,处于良好耦合协调阶段,为了避免因水资源环境而制约经济发展的情况,实现水资源环境与经济的优质耦合协调发展,湖北省在经济和产业转型升级方面以及城镇生活污水控制和处理方面还需要做出更多的努力,这与张晓京等<sup>[11]</sup>的研究结论一致。鉴于此,建议大力宣传水资源环境保护政策,进一步提高公众保护水资源环境的意识;进一步增加污水处理投资,完善城镇生活污水处理设施,提高污水处理能力;进一步优化产业布局,借助水文化、水景观优势,深挖科教、区位资源,大力发展独具特色的旅游产业。

限于指标选择的一致性,文中未开展湖北省不同地区水资源环境与经济发展的耦合协调水平时序变化研究,在接下来的工作中将重点开展这方面的工作,为湖北省因地制宜地协调经济发展和水资源环境提供科学依据,另外,未来也将在此研究的基础上进一步深入分析产业结构和工业结构(主要耗水工业部门等)和水资源环境的耦合协调关系。

### 4 结论

1) 2006—2017年湖北省水资源环境综合水平在时序方面总体上呈现波动增长的趋势,水资源环境状态、水资源环境压力在波动中变化,水资源环境响应则呈现较稳定地增长趋势,说明湖北省在水资源环境保护方面已做出一些努力,但是在水污染控制和治理方面仍需努力,由于城镇生活污水排放总量和比重都趋于不断增加的趋势,因此未来湖北省水资源环境管理的一个重中之重就是控制和处理城镇生活污水。

2) 2006—2017年湖北省经济发展综合指数在时序方面整体上呈现较为明显的线性增长趋势。经济规模指数和经济结构指数总体升高,而经济效率指数略有下降,但总体上较平稳,说明湖北省经济保持较稳定的增长趋势,且经济结构得到了一定的优化。

3) 2006—2017年湖北省水资源环境与经济发展的耦合关系在时序变化方面呈现线性上升的趋势,且具有阶段性:2006—2010年为经济发展滞后于水资源环境水平的过渡发展阶段;2011—2017年为水资源环境滞后于经济发展的协调发展阶段,2017年达到良好耦合协调。

### 参考文献:

[1] 张倩,谢世友.基于水生态足迹模型的重庆市水资源可持续利用分析与评价[J].灌溉排水学报,2019,38(2):93-100.

ZHANG Qian, XIE Shiyu. Using ecological water footprint model to

- Analyze Sustainable Use of Water Resources in Chongqing [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(2): 93-100.
- [2] 蔡振饶, 李旭东, 李玉红, 等. 贵阳市经济发展与水资源环境耦合研究[J]. 人民长江, 2018, 49(6): 39-43.  
CAI Zhenrao, LI Xudong, LI Yuhong, et al. Study on coupling of economic development and water resources and environment in Guiyang [J]. Yangtze River, 2018, 49(6): 39-43.
- [3] 聂晓, 张弢, 冯芳. 湖北省用水效率-经济发展系统耦合协调发展研究[J]. 中国农村水利水电, 2019(4): 132-135.  
NIE Xiao, ZHANG Tao, FENG Fang. Coupling Coordinated Development between Water Use Efficiency and Economic Development in Hubei Province [J]. China Rural Water and Hydropower, 2019(4): 132-135.
- [4] 潘安娥, 陈丽. 湖北省水资源利用与经济协调发展脱钩分析: 基于水足迹视角[J]. 资源科学, 2014, 36(2): 328-333.  
PAN Ane, CHEN Li. Decoupling and Water Footprint Analysis of the Coordinated Development between Water Utilization and the Economy in Hubei [J]. Resource Science, 2014, 36(2): 328-333.
- [5] 余灏哲, 李丽娟, 李九一. 一体化进程中京津冀水资源利用与城市经济发展关系时空分析[J]. 南水北调与水利科技, 2019, 17(2): 29-39.  
YU Haozhe, LI Lijuan, LI Jiuyi. Temporal and spatial relationships between water resources utilization and urban economic development in Beijing-Tianjin-Hebei region during integration process[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(2): 29-39.
- [6] 李万明, 黄程琪. 西北干旱区水资源利用与经济要素的匹配研究[J]. 节水灌溉, 2018(7): 88-93.  
LI Wanming, HUANG Chengqi. The Study of Matching between Utilization of Water Resource and Economic Factors in the Northwest Arid Area of China [J]. Water Saving Irrigation, 2018(7): 88-93.
- [7] 饶清华, 林秀珠, 李家兵, 等. 流域社会经济与水环境质量耦合协调度分析[J]. 中国环境科学, 2019, 39(4): 1 784-1 792.  
RAO Qinghua, LIN Xiuzhu, LI Jiabing, et al. Analysis of coupling coordination between social economy and water environment quality in river basin [J]. China Environmental Science, 2019, 39(4): 1 784-1 792.
- [8] 杨丽花, 佟连军. 吉林省松花江流域经济发展与水环境质量的动态耦合及空间格局[J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 503-510.  
YANG Lihua, TONG Lianjun. Dynamic coupling and spatial disparity of economic development and water environmental quality in Songhua River Basin of Jilin Province, Northeast China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(2): 503-510.
- [9] 揣小伟, 黄贤金, 王婉晶, 等. 社会经济与水环境质量协调发展研究[J]. 生态经济, 2012(7): 57-61.  
CHUAI Xiaowei, HUANG Xianjin, WANG Wanjing, et al. The Study of the Harmonious Development between Socio-Economic and Water Environmental Quality [J]. Ecological Economy, 2012(7): 57-61.
- [10] 夏菁, 崔佳, 王宪恩, 等. 四平市水资源环境与经济社会协调发展研究[J]. 节水灌溉, 2015(1): 56-59, 64.  
XIA Jing, CUI Jia, WANG Xianen, et al. Study on Coordinated Development of Water Resource Environment, Economy and Society in Siping City [J]. Water Saving Irrigation, 2015(1): 56-59, 64.
- [11] 张晓京. 长江经济带湖北段水生态建设的问题、成因与对策[J]. 湖北社会科学, 2018(2): 61-67.  
ZHANG Xiaojing. Problems, causes and measures of water ecological construction in Hubei section of Yangtze River Economic Belt [J]. Hubei Social Science, 2018(2): 61-67.
- [12] 喻笑勇, 张利平, 陈心池, 等. 湖北省水资源与社会经济耦合协调发展分析[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(4): 809-817.  
YU Xiaoyong, ZHANG Liping, CHEN Xinchu, et al. Analysis of Coupling and Coordinated Development between Water Resources and Social Economy in Hubei Province [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(4): 809-817.
- [13] 邢广君, 赵孟伟. 基于综合权重灰色关联分析法的千鹤湖生态安全评价[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(3): 121-128.  
XING Guangjun, ZHAO Mengwei. Assessing the Ecological Health of Qianhe Lake Using Grey Correlation Analysis Method [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(3): 121-128.
- [14] LI Yangfan, LI Yi, ZHOU Yan, et al. Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment [J]. Journal of Environmental Management, 2012, 98(1): 127-133.
- [15] 张凤太, 苏维词. 贵州省水资源-经济-生态环境-社会系统耦合协调演化特征研究[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(6): 44-49.  
ZHANG Fengtai, SU Weici. The Evolution Characteristics of Coupling and Coordination of Water Resources-economy-environment-society System in Guizhou [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(6): 44-49.

## Temporal Characteristics of the Coupling Relationship Between Water Resources Environment and Economic Development in Hubei Province

NIE Xiao, ZHANG Zhongwang

(College of Resource Environment and Tourism, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053, China)

**Abstract:** 【Objective】 The coupling coordination degree between water resource environment and economic development was evaluated to provide reasonable suggestions for weak link. 【Method】 An empirical analysis on the temporal characteristics of the coupling relationship between water resources environment and economic development in Hubei Province was performed by constructing the coupling coordinated development index system and using the panel data in Hubei Province from 2006 to 2017. 【Result】 The overall evaluation index of water resource environment showed a fluctuated increase, while the overall evaluation index of economic development showed a linear growth trend. The coupling coordination degree was generally low, although it had been increasing. The coupling coordination degree between water resource environment and economic development showed a linear growth trend, and it had two stages. From 2006 to 2010, it was in the stage of transition development with the economic development index lagging behind the water resource environment index, while from 2011 to 2017, it was in the stage of coordinated development with the water resource environment index lagging behind the economic development index. And water resources environment and economic development well achieved coupling coordination in 2017. 【Conclusion】 More efforts are still needed to promote economic transition and to control the urban domestic sewage in order to achieve high quality coupling coordination between water resource environment and economic development.

**Key words:** water resources environment; economic development; coupling relationship; coupling coordination degree; Hubei Province

责任编辑: 白芳芳

~~~~~  
(上接第 128 页)

## Spatial Distribution Characteristics and Pollution Assessment of Ice-water Pollutants During the Ice-sealing Period in Wuliangsu Hai

LI Weiping<sup>1\*</sup>, TENG Fei<sup>1,2</sup>, YANG Wenhuan<sup>1</sup>, WANG Fei<sup>1</sup>, YU Linghong<sup>1</sup>

(1. School of Energy and Environment, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China;

2. Baotou Huimin Water Co., Ltd. Baotou 014010, China)

**Abstract:** 【Objective】 In order to understand the distribution characteristics and pollution level of heavy metals in the Wuliangsu Hai during the ice-sealing period, ice samples and underwater water samples were collected for analysis in February 2017. 【Method】 The concentration and distribution characteristics of TN, TP and soluble heavy metals Cd, Cr, Cu, Mn, Ni and Zn in the samples were measured. The environmental quality of different water phases in Wuliangsu Hai during the ice-sealing period were evaluated by single factor index method and comprehensive pollution index method. 【Result】 The results showed that pollutants migrated from ice to water during the ice-freezing period in Wuliangsu Hai. TP and TN are the main pollutants. The high value of heavy metals occurred in the southern part and the outlet of the lake area, while the low value lied in the central and northeastern part of the lake area. Some locations of Cu and Zn elements reached the Class II standard limits of *Surface Water Environmental Quality Standard* (GB3838-2002), which should cause special concern. 【Conclusion】 The pollutants distribution characteristics during the ice-water period might be useful for the remediation of lake water pollution.

**Key words:** Wuliangsu Hai; ice-sealing period; different phase water bodies; pollution assessment

责任编辑: 白芳芳