

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2018.03.07

# 水资源效益与城乡供水一体化发展耦合效应分析

——以洛川县为例

夏伟<sup>1,2</sup>, 周维博<sup>1,2</sup>, 李文溢<sup>1,2</sup>, 何庆龙<sup>1,2</sup>

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学 旱区  
地下水文与生态效应教育部重点实验室, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 为了研究水资源效益与城乡供水一体化发展之间的协调程度,以延安市洛川县为例,在建立水资源效益系统和城乡供水一体化发展系统的评价指标体系的基础上,运用脉冲响应函数(IRF)、耦合度及耦合协调度模型等方法对洛川县水资源效益系统与城乡供水一体化发展系统进行耦合效应分析。结果表明:节水灌溉面积的增加与城乡供水一体化发展水平的提高彼此之间具有相互促进作用,农业万元GDP用水随着城乡供水一体化发展水平的提高先是持续减小,后有所增加,而城乡供水一体化发展水平对农业万元GDP用水增大的响应却相反;2007-2015年洛川县水资源效益综合评价指数整体呈增大趋势,城乡供水一体化发展综合评价指数逐年增大,且两者之间相关系数高达0.965;洛川县水资源效益系统与城乡供水一体化发展系统之间耦合度均在0.4~0.5之间,耦合协调度逐年提升,从2007-2010年的失调阶段发展到2011-2015年的协调阶段。

**关键词:** 水资源效益; 城乡供水一体化; 脉冲响应函数; 耦合度; 耦合协调度; 洛川县

中图分类号:TV213.9

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2018)03-0039-06

## Analysis of coupling effect between water resources benefits and the integration of urban and rural water supply development: a case study of Luochuan County

XIA Wei<sup>1,2</sup>, ZHOU Weibo<sup>1,2</sup>, LI Wenyi<sup>1,2</sup>, HE Qinglong<sup>1,2</sup>

(1. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xian 710054, China; 2. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecology in Arid Areas of Ministry of Education, Chang'an University, Xian 710054, China)

**Abstract:** In order to study the coordination degree between water resources benefits and the integration of urban and rural water supply, based on the evaluation index system on the coupling between water resources benefits system and the integration of urban and rural water supply development system, Luochuan county in Yan'an city was used as an example to apply impulse response function (IRF), coupling degree and coupling coordination degree to conduct analysis of coupling effect between water resources benefits system and the integration of urban and rural water supply development system. The results showed that the increase of water-saving irrigation area and the increase of the level of the integration of urban and rural water supply have mutual promoting effects. Agricultural ten thousand yuan GDP water consumption first continues to decrease and then increases with the increase of the development level of the integration of urban and rural water supply, but the response of the development level of the integration of urban and rural water supply to the increase of agricultural ten thousand yuan GDP water consumption is just opposite. The comprehensive evaluation index of water resources benefits shows a trend of increase as a whole and the comprehensive evaluation index of the integration of urban and rural water supply development increases year by year in Luochuan county from 2007 to 2015 and the correlation between them is as high as 0.965. The coupling degrees between water resources benefits system and the integration of urban and rural water supply development system are all between 0.4 and 0.5 in Luochuan

收稿日期:2017-11-08; 修回日期:2017-12-15

作者简介:夏伟(1994-),男,江苏盐城人,在读硕士研究生,研究方向为水生态及水环境研究。

通讯作者:周维博(1956-),男,陕西乾县人,博士,教授,博士生导师,研究方向为水资源、水环境及节水灌溉研究。

county and the coupling coordination degree between them increases year by year, which develops from disorder stage (2007–2010) to coordination stage (2011–2015).

**Key words:** water resources benefits; the integration of urban and rural water supply; impulse response function; coupling degree; coupling coordination degree; Luochuan County

## 1 研究背景

我国人多水少、水资源时空分布不均的基本国情使得水资源越来越成为制约我国经济发展的重要因素,这就决定了我国必须提高水资源效益,加大对城乡水资源的管理和保护<sup>[1]</sup>。水资源效益是指单位水资源投入与消耗在经济、社会、生态与环境等方面所实现的物质产出,是衡量水资源利用合理性和可持续性的重要指标<sup>[2]</sup>。城乡一体化是指通过城市与农村的共同发展来实现经济繁荣与社会进步的统筹规划。城乡供水一体化是城乡一体化的重要组成部分,即将城乡作为一个供水整体,进行统一供水<sup>[3]</sup>。水资源效益与城乡供水一体化之间存在着紧密的联系,一方面,城乡供水一体化在一定程度上提高了水资源效益;另一方面,有限的水资源效益增加又在一定程度上制约着城乡供水一体化的发展进程。因此,研究水资源效益与城乡供水一体化的耦合变化规律具有重要的理论意义和实践价值。

对于水资源效益方面的研究一直是研究的热点<sup>[4]</sup>,学者们主要集中于提高水资源效益、构建综合指标体系和评价模型的分析研究<sup>[5-7]</sup>。对于城乡供水一体化方面的研究,主要是对城乡供水一体化建设模式进行探索研究<sup>[8-9]</sup>。目前,鲜有对水资源效益与城乡供水一体化模式进行综合评价分析的相关研究。因此,本文以延安市洛川县为例,对水资源效益与城乡供水一体化发展系统进行耦合分析。洛川县作为国家级生态示范区、世界最佳苹果优生区和国内最大的绿色苹果集中连片种植基地,水资源供需矛盾日趋突出,同时,洛川县又作为全国第一个建立水务局的行政县,在全国率先走上了城乡供水一体化发展道路。本文在分析洛川县水资源效益以及城乡供水一体化的发展进程的基础上,运用脉冲响应函数(IRF)、耦合度及耦合协调度模型等方法对两者进行耦合效应分析,以期为提高水资源效益与城乡供水一体化模式之间协调性提供理论参考。

## 2 材料和方法

### 2.1 研究区概况

洛川县为延安市下辖县之一,位于东经 109°13'14"~109°45'47"、北纬 35°26'29"~36°04'12",地处

渭北黄土高原沟壑区,北接富县、宜川,南与渭南市白水县相邻,东靠黄龙山地,西与黄陵、宜君毗连。境内东西宽约 41.65 km,南北长约 79.32 km,面积为 1 804.84 km<sup>2</sup>,属北温带大陆性湿润易干旱季风气候,早晚温差较大,年平均气温为 9.2℃,年平均降水量为 558.8 mm,其中,7–9 月占年降水量的 60%。洛川县现辖凤栖街道办、善堤乡、交口河镇等 7 镇 1 乡 1 街道办。2015 年全县总人口为 22.34 × 10<sup>4</sup>,城镇化率为 37.66%。2015 年全口径生产总值完成 182 × 10<sup>8</sup> 元,在陕西省县域城乡发展一体化水平评价排名中位居全省第 6 名。

### 2.2 数据来源

本文所用数据主要来源于 2007–2015 年《洛川统计年鉴》,并且以洛川县国民经济和社会发展统计公报中相关数据作为补充。

### 2.3 研究方法

2.3.1 脉冲响应函数 脉冲响应函数(Impulse Response Function, IRF)是指在向量回归(VAR)模型中,在扰动项上加一个标准差大小的冲击,分析这种冲击对变量当前值和未来值的影响,是系统对其某一变量的一个冲击或扰动所做的反应<sup>[10]</sup>。在 VAR(1)模型中,脉冲响应函数可以表示为<sup>[11]</sup>:

$$x_t = \alpha_{11}x_{t-1} + \alpha_{12}y_{t-1} + \varepsilon_{1t}, t = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$y_t = \alpha_{21}x_{t-1} + \alpha_{22}y_{t-1} + \varepsilon_{2t}, t = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中: $\varepsilon_{1t}, \varepsilon_{2t}$  为随机扰动项; $\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{22}$  为参数。

2.3.2 熵值法 本文采用比较客观的熵值法确定指标权重,其主要思想是根据各指标传递给决策者信息量的大小来决定指标权重<sup>[12]</sup>。系统信息熵越大,表明系统结构越均衡,差异越小,其权重越小;反之,系统结构越不均衡,差异越大,其权重越大。其具体步骤如下:

计算第  $i$  个年份第  $j$  个指标的比重:

$$X_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (3)$$

计算指标信息熵:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m (X_{ij} \ln X_{ij}) \quad (4)$$

信息冗余度:

$$d_j = 1 - e_j \quad (5)$$

指标权重:

$$W_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j \quad (6)$$

2.3.3 功效函数 为了消除各指标间单位的差异,采用无量纲化法对原始数据进行标准化处理,建立水资源效益与城乡供水一体化发展的功效函数<sup>[13]</sup>。具体计算公式如下:

对于正贡献指标,即指标值越大,该指标对系统正贡献越大,有:

$$\mu_{ij} = (x_{ij} - \beta_{ij}) / (\alpha_{ij} - \beta_{ij}) \quad (7)$$

对于负贡献指标,即指标值越大,该指标对系统负贡献越大,有:

$$\mu_{ij} = (\alpha_{ij} - x_{ij}) / (\alpha_{ij} - \beta_{ij}) \quad (8)$$

式中: $\mu_{ij}$  为  $x_{ij}$  标准化的数值; $x_{ij}$  为第  $i$  个年份第  $j$  个指标的原始数据; $\alpha_{ij}, \beta_{ij}$  分别为第  $j$  个指标的最大值和最小值。

2.3.4 耦合度与耦合协调度模型 耦合是指两个或两个以上系统或运动形式通过各种相互作用而彼此影响以至协同的现象。耦合度是描述系统或要素相互作用影响的程度。本文的耦合度用于分析水资源效益与城乡供水一体化发展系统之间的耦合关系,耦合度越高,二者之间关系越紧密,相互作用影响程度越大。具体耦合度模型如下<sup>[14]</sup>:

$$C = \left[ \frac{E_1 \cdot E_2}{(E_1 + E_2)^2} \right]^{1/2} \quad (9)$$

式中: $E_1$  为水资源效益系统综合评价指数; $E_2$  为城乡供水一体化发展系统综合评价指数; $C$  为两个系统的耦合度, $C \in [0, 1]$ , $C$  越大,表明系统耦合程度越好,当  $C = 0$  时,表明系统内各要素之间处于无关状态,系统将向无序发展,当  $C = 1$  时,表明系统内各要素之间达到良性共振耦合,系统将趋向有序状态演变。

由于耦合度模型只能反映两者之间的相关程度,不能很好地反映系统间协调发展的综合发展水平或综合效益,故若单纯依靠耦合度模型进行判别可能会产生误差,也可能造成结论与实际偏离过大。因此,需引入耦合协调度模型以评价水资源效益与城乡供水一体化发展系统之间的协调发展程度。具体耦合协调度模型如下<sup>[15]</sup>:

$$D = (C \cdot T)^{1/2} \quad (10)$$

$$T = \alpha E_1 + \beta E_2 \quad (11)$$

式中: $D$  为系统耦合协调度; $C$  为耦合度; $T$  为协调度; $E_1$  为水资源效益系统综合评价指数; $E_2$  为城乡供水一体化发展系统综合评价指数; $\alpha, \beta$  为待定系数,由于水资源效益系统与城乡供水一体化发展系

统同等重要,这里  $\alpha$  和  $\beta$  均取 0.5。

为了更直观地反映水资源效益系统与城乡供水一体化系统之间的协调发展程度,参考相关文献<sup>[12-13]</sup>,对系统耦合协调度进行等级划分,如表 1 所示。

表 1 耦合协调度等级划分标准

耦合协调度	协调等级	耦合协调度	协调等级
[0, 0.1]	极度失调	(0.5, 0.6]	勉强协调
(0.1, 0.2]	严重失调	(0.6, 0.7]	初级协调
(0.2, 0.3]	中度失调	(0.7, 0.8]	中级协调
(0.3, 0.4]	轻度失调	(0.8, 0.9]	良好协调
(0.4, 0.5]	濒临失调	(0.9, 1.0]	优质协调

### 3 指标体系构建

本文根据洛川县实际情况,结合前人相关的研究成果<sup>[16-18]</sup>,且在指标选择时遵循科学性、系统性、可比性和可操作性原则的基础上,分别构建了水资源效益系统和城乡供水一体化发展系统的评价指标体系。其中,反映水资源效益的包括经济效益、社会效益以及生态效益 3 个子系统、9 个指标,反映城乡供水一体化发展的包括集中供水规模与供水水平 2 个子系统、6 个指标,权重通过熵值法计算得出,如表 2 所示。

### 4 结果与分析

#### 4.1 水资源效益与城乡供水一体化发展水平之间的响应分析

选取水资源效益系统中所占权重较大的节水灌溉面积指标和农业万元 GDP 用水指标来对水资源效益进行分析。借助 EViews 软件分别建立城乡供水一体化水平与它们之间的 VAR 模型进行脉冲响应分析,且将 2007-2015 年分为 9 期。具体分析结果如图 1 和 2 所示,其中,图 1(a) 为节水灌溉面积对城乡供水一体化发展水平的响应情景,图 1(b) 为农业万元 GDP 用水对城乡供水一体化发展水平的响应情景;图 2(a) 为城乡供水一体化发展水平对节水灌溉面积的响应情景,图 2(b) 为城乡供水一体化发展水平对农业万元 GDP 用水的响应情景。

由图 1(a) 可知,给城乡供水一体化发展水平一个正冲击后,在整个响应期内,节水灌溉面积对城乡供水一体化发展水平变动的响应值均大于 0,且响应值在第 2 期达到最大,之后逐渐减小,最后平稳接近于 0。这说明,城乡供水一体化发展水平的提高对节水灌溉面积的增加有积极促进作用,且在短期

内,这种积极促进作用达到最大,之后逐渐减弱。由图1(b)可知,给城乡供水一体化发展水平一个正冲击后,农业万元GDP用水对城乡供水一体化发展水平变动的响应值在前6期内为负值,在第7期之后变为正值。这说明,城乡供水一体化发展水平在前期对农业万元GDP用水具有反作用,城乡供水一体化发展水平提高,农业万元GDP用水下降,之后城乡供水一体化发展水平接近100%,农业还在不断发展,农业万元GDP用水会有所上升。

由图2(a)可知,给节水灌溉面积一个正冲击后,其响应效果与图1(a)相同,即节水灌溉面积的增加对城乡供水一体化发展水平的提高有积极促进作用,且在短期内,这种积极促进作用达到最大,之后逐渐减弱。由图2(b)可知,给农业万元GDP用水一个正冲击后,其响应效果与图1(b)相反,即农业万元GDP用水的增加在前期会促进城乡供水一体化发展水平的不断提高,之后会对城乡供水一体化发展水平的提高有所限制。

表2 水资源效益系统与城乡供水一体化发展系统耦合评价指标体系

目标层	准则层	指标层	权重	属性
水资源效益系统	经济效益	单方水GDP产出/元	0.1172	+
		工业万元GDP用水/m <sup>3</sup>	0.0891	-
		农业万元GDP用水/m <sup>3</sup>	0.2445	-
	社会效益	人均日生活用水量/L	0.0352	-
		节水灌溉面积/10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>	0.3912	+
		单方水粮食产量/kg	0.0513	+
		生态环境用水率/%	0.0119	+
	生态效益	工业重复用水率/%	0.0175	+
		污径比	0.0419	-
		城乡供水一体化发展系统	集中供水规模	集中供水量/m <sup>3</sup>
集中供水人口数	0.1169			+
配水管网总长/m	0.0488			+
供水水平	城乡居民人均用水量比/%		0.0525	-
	农村饮水安全人口比例/%		0.3188	+
	农村自来水入户率/%		0.0500	+

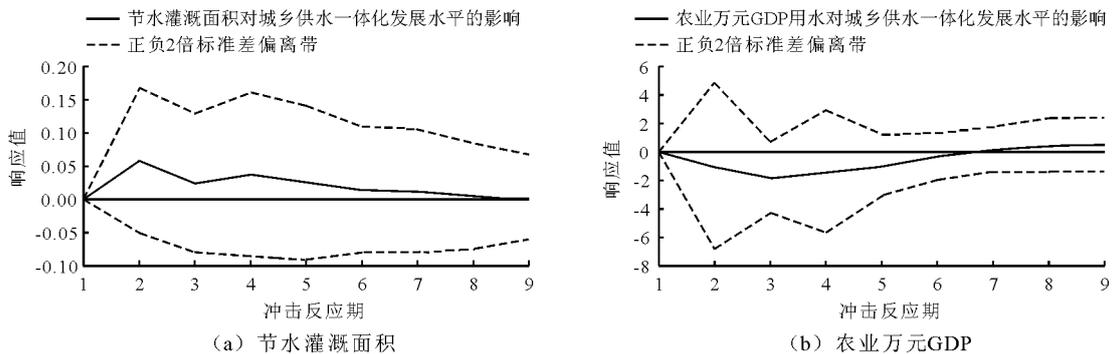


图1 节水灌溉面积和农业万元GDP用水对城乡供水一体化发展水平的响应

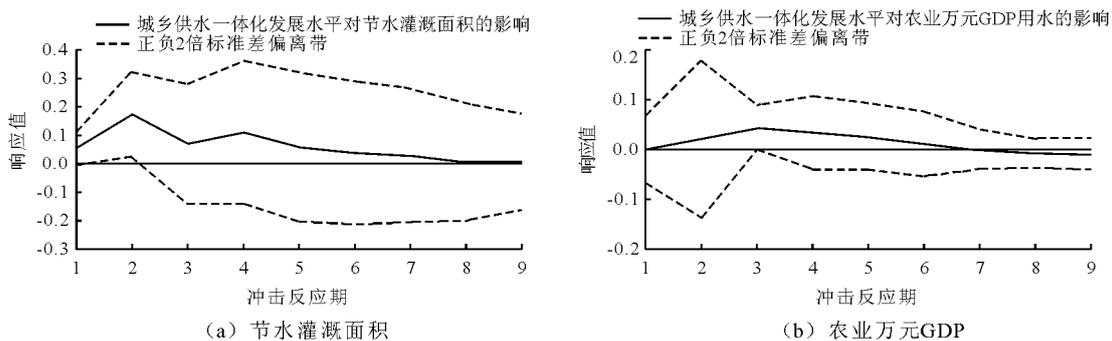


图2 城乡供水一体化发展水平对节水灌溉面积和农业万元GDP用水的响应

## 4.2 水资源效益系统与城乡供水一体化发展系统综合评价指数

通过计算得出洛川县水资源效益系统综合评价指数( $E_1$ )、城乡供水一体化发展系统综合评价指数( $E_2$ )、耦合度( $C$ )、协调度( $T$ )以及耦合协调度( $D$ ),并进行了等级划分,具体结果如表3和图3所示。

表3 洛川县水资源效益与城乡供水一体化综合发展水平及耦合协调度等级划分

年份	$E_1$	$E_2$	$C$	$T$	$D$	耦合等级
2007	0.104	0.036	0.436	0.070	0.174	严重失调
2008	0.203	0.081	0.452	0.142	0.254	中度失调
2009	0.243	0.237	0.500	0.240	0.347	轻度失调
2010	0.378	0.374	0.500	0.376	0.433	濒临失调
2011	0.549	0.493	0.499	0.521	0.510	勉强协调
2012	0.653	0.618	0.500	0.636	0.564	勉强协调
2013	0.770	0.763	0.500	0.767	0.619	初级协调
2014	0.759	0.890	0.498	0.824	0.641	初级协调
2015	0.734	0.995	0.494	0.865	0.654	初级协调

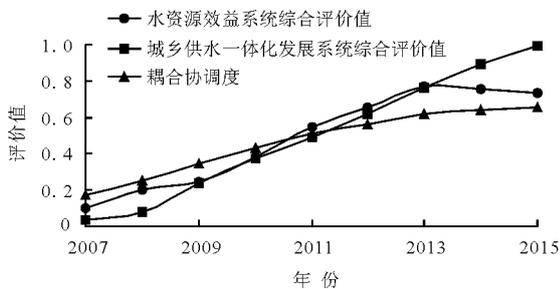


图3 洛川县2007-2015年水资源效益与城乡供水一体化发展耦合协调关系

从表3中可以看出,2007-2015年洛川县水资源效益系统与城乡供水一体化发展系统之间耦合度均在0.4~0.5之间。且借助SPSS软件对2007-2015年洛川县水资源效益系统综合评价指数与城乡供水一体化发展系统综合评价指数进行相关分析,发现两者相关系数高达0.965,且通过了0.01的显著性检验,这说明洛川县水资源效益与城乡供水一体化发展存在很强的相关性,具有一种耦合互动的关系。

由图3可以看出,2007-2015年洛川县城乡供水一体化发展水平稳步提高,而水资源效益整体呈上升趋势,仅在2014和2015年有所下降,且在2014年以前,水资源效益系统评价指数一直大于城乡供水一体化发展系统综合评价指数,2014年以后,城乡供水一体化发展系统综合评价指数超越水资源效

益系统评价指数。这主要由于洛川县实施产业转型,调整产业结构,使得洛川县2014年和2015年GDP有所下降,从而使水资源效益系统评价指数有所减小。

## 4.3 水资源效益系统与城乡供水一体化发展系统耦合协调度

结合图3和表3可知,2007-2015年洛川县水资源效益系统与城乡供水一体化发展系统之间耦合协调度稳步增大,总体上可分为两个阶段,第一阶段为2007-2010年的失调阶段,第二阶段为2011-2015年的协调阶段。这表明,洛川县在2010年以前,水资源效益与城乡供水一体化发展的协同效应较弱,彼此促进作用不强,之后水资源效益与城乡供水一体化发展的协同效应逐步增强,但2015年也只达到了初级协调水平,还有很大的提升空间。

## 5 结论与讨论

(1)本文通过建立洛川县城乡供水一体化水平与节水灌溉面积和农业万元GDP用水的VAR模型进行响应分析。研究表明,城乡供水一体化水平的发展对节水灌溉面积具有正向影响,对农业万元GDP用水具有负向影响,但随着城乡供水一体化水平的不断提高,对农业万元GDP用水转为正向影响;节水灌溉面积的增加对城乡供水一体化水平具有正向影响,而农业万元GDP用水的增大对城乡供水一体化水平的发展前期具有正向影响,之后转为负向影响。

(2)本文通过构建洛川县水资源效益系统和城乡供水一体化发展系统的评价指标体系,运用耦合协调度模型,对洛川县水资源效益系统与城乡供水一体化发展系统进行耦合分析。分析结果表明,2007-2015年洛川县城乡供水一体化发展水平稳步提高,水资源效益整体呈上升趋势,且两系统之间耦合度均处在0.4~0.5之间,耦合协调度逐年增大,从2007年的严重失调状态发展到2015年的初级协调状态。

由于县域单元数据获取的局限性,本文构建的评价指标体系中指标的代表性不够全面,选取数据时间序列较短,且未做空间差异分析,希望在进一步研究中,能够选取可获取指标更多、数据时间序列更长、范围更广的区域对水资源效益与城乡供水一体化发展耦合系统进行分析。

### 参考文献:

[1] 梁变变,石培基,周文霞,等. 河西走廊城镇化与水资源

- 源效益的时空格局演变[J]. 干旱区研究, 2017, 34(2):452-463.
- [2] 杨宇, 刘毅, 金凤君, 等. 天山北坡城镇化进程中的水土资源效益及其时空分异[J]. 地理研究, 2012, 31(7):1185-1198.
- [3] 王慧娟, 孙中良, 余芳梅, 等. 统筹城乡发展背景下的城乡生活供水用户满意度实证分析——以镇江市为例[J]. 技术经济与管理研究, 2009(4):96-98+108.
- [4] 周斌. 国家重点研发计划“水资源高效开发利用”重点专项解析[J]. 水科学进展, 2017, 28(3):472-478.
- [5] 周维博. 干旱半干旱地域提高灌区水资源综合效益研究进展与思考[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(5):91-96.
- [6] 王效琴, 王启山, 王志文, 等. 城市水资源开发利用措施综合效益评价模型研究[J]. 水利学报, 2008, 39(4):466-471.
- [7] GADANAKIS Y, BENNETT R, PARK J, et al. Improving productivity and water use efficiency: a case study of farms in England [J]. *Agricultural Water Management*, 2015, 160:22-32.
- [8] 彭曦, 叶斌. 鄂州市城乡供水一体化模式探索[J]. 中国水利, 2010(3):46-47.
- [9] 陈涛, 张永丽, 刘志勇, 等. 西南地区E县城乡供水一体化方案设计与实践[J]. 中国农村水利水电, 2011(3):156-159.
- [10] 朱永明, 赵丽. 石家庄市耕地资源数量与经济发展关系研究——基于脉冲响应函数的实证分析[J]. 水土保持研究, 2013, 20(3):211-217+225.
- [11] 苏建军, 孙根年. 中国旅游投资与旅游经济发展的时空演变与差异分析[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(1):185-191.
- [12] 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.
- [13] 张胜武, 石培基, 王祖静. 干旱区内陆河流域城镇化与水资源环境系统耦合分析——以石羊河流域为例[J]. 经济地理, 2012, 32(8):142-148.
- [14] 文倩, 孟天醒, 范慧平, 等. 河南省水土资源与经济发展耦合效应及其时空分异[J]. 水土保持研究, 2017, 24(3):234-240.
- [15] 王永明, 马耀峰. 城市旅游经济与交通发展耦合协调度分析——以西安市为例[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2011, 39(1):86-90.
- [16] 董雯, 杨宇, 张豫芳. 绿洲城镇发展与水土资源开发的耦合效应及其时空分异[J]. 资源科学, 2013, 35(7):1355-1362.
- [17] 徐卫红, 于福亮, 张双虎, 等. 县域水资源可持续利用评价研究——以安塞县为例[J]. 水力发电学报, 2014, 33(3):81-87+97.
- [18] 白洁芳, 李洋洋, 周维博. 榆林市农业水土资源匹配与承载力[J]. 排灌机械工程学报, 2017, 35(7):609-615+626.

(上接第38页)

- [11] 王刚, 齐珺, 潘涛, 等. 北运河流域(北京段)主要污染物减排措施效果评估[J]. 环境污染与防治, 2016, 38(6):39-45.
- [12] 刘洋, 于洋, 王晓燕, 等. 北运河闸坝区水体氨氧化微生物及硝化活性特征研究[J]. 环境科学学报, 2016, 36(11):4044-4052.
- [13] 高晓薇, 刘培斌, 王国青, 等. 北运河(北京段)水污染特征时空变化模拟[J]. 水利水电技术, 2016, 47(12):73-77.
- [14] 詹杰民, 吕满英, 李毓湘, 等. 一种高效实用的河网水动力数学模型研究[J]. 水动力学研究与进展(A辑), 2006, 21(6):685-692.
- [15] 朱德军, 陈永灿, 王智勇, 等. 复杂河网水动力数值模型[J]. 水科学进展, 2011, 22(2):203-207.
- [16] 褚君达. 河网对流输移问题的求解及应用[J]. 水利学报, 1994(10):14-23+35.
- [17] 赵琰鑫, 张万顺, 汤怡, 等. 湖泊—河网耦合水动力水质模型研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2011, 9(1):53-58.
- [18] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. GB3838-2002 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.