

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkj.2019.0031

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 H Z, LI L J, LI J Y. 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. (in Chinese)

# 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

余灏哲<sup>1,2</sup>, 李丽娟<sup>1</sup>, 李九一<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学 资源与环境学院, 北京 100049)

**摘要:** 京津冀位于中国的“首都圈”, 具有极其重要的战略地位, 而水资源短缺已成为严重制约京津冀经济社会发展的因素之一。利用 2000—2016 年京津冀水资源利用与城市经济发展指标等数据, 首先基于变异系数、锡尔系数对京津冀用水数量、用水结构与用水量效率进行时空分析; 其次采用灰色关联法, 探讨了水资源利用类型与城市经济发展指标之间的关联程度; 在此基础上, 利用二次回归模型分析了产业结构对农业、工业用水的影响, 并且重点分析了城市经济发展与生活用水量之间的关系。结果表明, 京津冀地区受经济基础、发展条件等因素影响, 各城市间用水类别空间差异较大, 尤其是生活用水量与工业用水量空间不均程度加剧, 空间差异明显; 京津冀地区城市经济发展指标与水资源利用类型之间存在较高的关联度, 产业结构对水资源利用量的关联度最大; 北京市生活用水量受城市经济发展影响显著, 天津市则为工业用水量, 河北省为工业、农业用水量; 京津冀地区产业结构与各用水量之间存在较优的回归关系 ( $p < 0.01$ ), 其中北京市、天津市生活用水量增速最快, 而水价的提升并未起到对该地区生活用水量的抑制与减少作用。

**关键词:** 水资源利用; 城市经济发展; 空间差异分析; 灰色关联; 回归分析; 京津冀

中图分类号: TV213 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Temporal and spatial relationships between water resources utilization and urban economic development in Beijing-Tianjin-Hebei region during integration process

YU Haozhe<sup>1,2</sup>, LI Lijuan<sup>1</sup>, LI Jiuyi<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Beijing-Tianjin-Hebei region, located in the "capital circle" of China, has an extremely important strategic position. The shortage of water resources has become one of the factors that seriously restrict its economic and social developments. Based on the data of water resources utilization and urban economic development from 2000 to 2016, this study firstly investigated the spatiotemporal variations of quantity, structure and efficiency of water resources in Beijing-Tianjin-Hebei region with coefficient of variation and the Theil coefficient. Secondly, the grey correlation method was used to explore the correlation degree between

收稿日期: 2018-11-15 修回日期: 2019-02-26 网络出版时间: 2019-03-21

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.tv.20190319.1611.016.html>

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0401402)

作者简介: 余灏哲(1992—), 男, 陕西汉中, 在读博士研究生, 主要从事水文水资源研究。E-mail: yuhaozhe1992@126.com

通信作者: 李丽娟(1961—), 女, 吉林吉林人, 研究员, 博士生导师, 主要从事水文与水资源研究。E-mail: lilj@igsnr.ac.cn

the types of water resources utilization and the indicators of urban economic development. Thirdly, the quadratic regression model was adopted to analyze the impacts of industrial structure upon agricultural and industrial water, focusing on the relationship between urban economic development and domestic water consumption. The results showed that: There was a large spatial difference in water use between the Beijing-Tianjin-Hebei region, especially in the spatial imbalance between domestic water consumption and industrial water consumption, due to regional economic and development levels; There was a high correlation between the index of urban economic development and the types of water resources utilization in Beijing-Tianjin-Hebei region, and the industrial structure had the greatest correlation with water resources utilization. Beijing's domestic water consumption was significantly affected by urban economic development, while Tianjin's was by the industrial water consumption, and Hebei was by the industrial and agricultural water consumption; There was a better regression relationship between industrial structure and water consumption in Beijing-Tianjin-Hebei region ( $p < 0.01$ ), among which Beijing and Tianjin had the fastest growth rate of domestic water consumption, while the increase of water price has not played a role in restraining and reducing domestic water consumption in this region.

**Key words:** water resources utilization; urban economic development; spatial difference; grey-correlation; regression analysis; the Beijing-Tianjin-Hebei region

水资源是人类社会不可或缺的重要资源,水资源与城市的兴起、发展关系紧密。一方面伴随着城市化的进程,城市范围逐步扩张,人口向城市集聚,产业数量与类型剧增,势必对水资源的需求量加大,形成供不应求的局面;另一方面,为了继续保持经济的快速发展,通过不断挤占生态环境用水、超采地下水等来填补城市用水缺口,并且工农业生产带来的废污水排放量增大,水污染的外部不经济性反过来又将影响或阻碍城市的发展<sup>[1-2]</sup>。

水资源利用与经济发展关系的研究一直以来受到学界的广泛关注,主要研究内容集中在以下几个方面:城镇化进程中用水特征、用水结构时空分析<sup>[3-4]</sup>;用水指标与经济发展指标关联度、耦合度等研究<sup>[5-6]</sup>;水资源利用与经济发展的和谐度、匹配度分析<sup>[7-9]</sup>;水资源利用与经济发展之间脱钩分析<sup>[10-11]</sup>;基于库兹涅茨曲线的水资源-水环境拟合评价分析<sup>[12-13]</sup>;基于空间计量经济模型的水资源利用效率评价<sup>[14-15]</sup>等。目前针对京津冀地区城市水资源的研究主要围绕着用水结构分析、水资源配置、水资源承载力等研究<sup>[16-19]</sup>,而对不同用水类型与城市经济发展之间定量关系研究相对较少。京津冀地区是我国人类活动对水循环扰动强度最大、水资源承载压力最大、水资源安全保障难度最大的地区之一,京津冀地区多年平均水资源量不足全国平均的 1%,人均水资源量仅为全国平均值的 1/9,以占全国 0.63%的水资源量,生产了全国 10.1%的 GDP,承载着全国 8.1%的人口,水资源条件与经济社会布局极不相称,水资源问题十分突出<sup>[20-21]</sup>。因此,亟需科学认识京津冀地区水资源与城市经济发展之间的相互关系,有效解决由城市经济发展对水资源造成

的负效益,做到水资源与城市发展和谐共生。这不仅是面向国家重大战略需求,更是学界关于大型城市群水资源与经济发展和谐共生的科学命题。

为此,本研究利用变异系数、锡尔系数、灰色关联、回归分析等方法,定量分析京津冀地区城市经济发展因素与水资源利用间的相互关系,揭示水资源与经济社会之间矛盾,以期为区域水资源可持续开发利用与管理提供分析依据与参考。

## 1 研究方法 with 数据来源

### 1.1 空间差异分析法

#### (1) 变异系数

变异系数<sup>[22-24]</sup>是衡量某类数据中各观测值变异程度的一个统计量,能够反映某项指标偏离总体平均状态的差异,计算公式为

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \times \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中: $C_v$ 表示变异系数; $S$ 表示该指标的标准差; $\bar{x}$ 表示该指标的平均值; $x_i$ 表示第*i*项指标值; $n$ 表示研究对象的个数。当 $C_v$ 值越大,表明指标之间差异程度就越大。

#### (2) 锡尔系数

锡尔系数又称锡尔熵<sup>[24]</sup>,最早是由 Theil 和 Henri 提出来的,原本用来对经济发展、收入分配等均衡(不均衡)状况进行定量化描述,计算公式为

$$T = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \log \frac{\bar{x}}{x_i} \quad (2)$$

式中: $T$ 表示锡尔系数; $x_i$ 表示第*i*项指标值; $n$ 表示研究对象的个数; $\bar{x}$ 表示该指标的平均值。当 $T$ 值越大,表明指标之间不均衡程度就越大。

## 1.2 灰色关联分析法

灰色关联分析<sup>[25-27]</sup>是由著名学者邓聚龙教授首创的一种分析方法,其基本思想是通过因素之间发展趋势的相似或相异程度,即“灰色关联度”作为衡量因素间关联程度的一种方法,主要计算过程如下。

### (1) 确定分析数列

确定反映系统行为特征的参考数列和影响系统行为的比较数列。反映系统行为特征的数据序列,称为参考数列。影响系统行为的因素组成的数据序列,称比较数列。

### (2) 无量纲化处理

由于系统中各因素列中的数据可能因量纲不同,因此在进行灰色关联度分析时,一般都要进行数据的无量纲化处理。

### (3) 计算灰色关联系数

$$\min_i(\Delta_i(\min)) = \min_i(\min_k |x_0(k) - x_i(k)|) \quad (3)$$

$$\max_i(\Delta_i(\max)) = \max_i(\max_k |x_0(k) - x_i(k)|) \quad (4)$$

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i(\Delta_i(\min)) + 0.5 \max_i(\Delta_i(\max))}{|x_0(k) - x_i(k)| + 0.5 \max_i(\Delta_i(\max))} \quad (5)$$

式中: $x_0$  为参考指标; $x_i$  为比较指标; $i$  为指标个数; $k$  为时间序列个数; $\Delta$  为绝对差; $\xi_i$  表示灰色关联系数。

### (4) 计算灰色关联度

$$R_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i(k) \quad (6)$$

式中: $R_i$  表示灰色关联度, $R_i$  介于 0~1 之间,当越接近于 1 表明这两项指标的关系越密切,反之亦然; $N$  为时间序列个数; $k$  意义同上。

## 1.3 回归分析法

回归分析指的是确定两种或两种以上变量间相互依赖的定量关系的一种统计分析方法。在本研究中文中,主要利用回归模型构建了用水类型与城市经济发展指标之间的数学关系。

## 1.4 指标构建与数据来源

用水类型遵循水资源公报的类别划分,即农业用水、工业用水、生活用水及生态用水。城市经济发展指标,主要从城市化进程、产业结构、国民经济发展状况及居民生活水平等四个方面来考虑<sup>[21,28-31]</sup>,具体指标见图 1。



图 1 水资源利用类型与城市经济发展指标

Fig. 1 Water resources utilization types and urban economic development indicators

所有指标数据均来源于 2000—2016 年北京市、天津市与河北省《统计年鉴》《统计公报》《水资源公报》。

## 2 结果与分析

### 2.1 京津冀水资源利用时空差异分析

#### 2.1.1 用水总量分析

将京津冀 13 个城市的用水量数据进行空间差异计算,其锡尔系数、变异系数变化见图 2、图 3。由图 2、图 3 可得,生活用水量跃升为第一位,并且逐渐递增;工业用水量先有一个急剧下降的阶段,后期逐渐平稳;农业用水量和用水总量变化不明显。生活用水量反映的是城市人口规模的空间不均衡,北

京、天津作为首都与直辖市,城市基础设施、医疗、教育等条件优越,人口不断涌向这两个地市,导致其生活用水量不断增加并与其他城市拉开差距,表现出空间差异大的特征。工业用水量的空间均衡性之所以先提升后保持稳定,一方面由于一些工业发展基础好的城市不断通过技术革新、产业升级改造等途径实现了工业用水的下降,并且保持平稳;另一方面,早期一些工业欠发达的城市,通过不断提升工业规模,从而增加了工业用水量。

2016 年京津冀地区城市群用水总量为 248.6 亿  $\text{m}^3$ ,与 2000 年相比,用水总量下降了 12.3%,2000—2005 年的平均变化率为  $-1.7\%$ ,2006—2010 年的平均变化率为  $-0.6\%$ ,2011—2016 年为

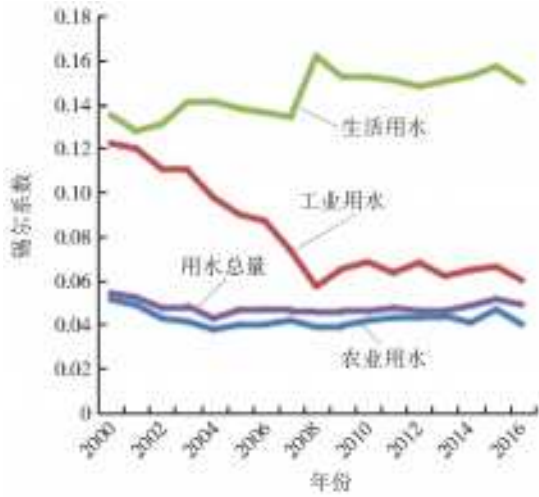


图 2 京津冀用水量锡尔系数变化(城市)

Fig. 2 Changes of Theil coefficients of water consumption in Beijing, Tianjin and Hebei (Urban)

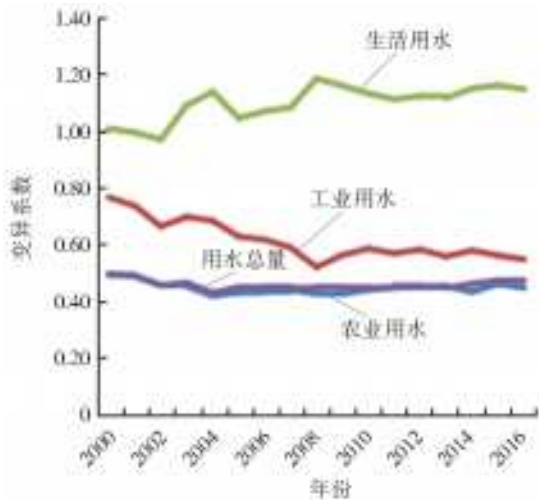


图 3 京津冀用水量变异系数变化(城市)

Fig. 3 Variations of coefficient of variation of water consumption in Beijing, Tianjin and Hebei (Urban)

—0.1%，在此阶段用水量基本保持稳定。京津冀地区发展历史早、产业发达、人口稠密，对水资源的需求量极大，而京津冀地区多年平均降水量仅为 526 mm，人均水资源量为 218 m<sup>3</sup>，仅为全国平均值的 1/9，远低于国际公认的人均 500 m<sup>3</sup> 的极度缺水标准，水资源本底数量不足，水资源开发利用率高。用水量的变化是与城市经济发展状况紧密相关，2011 年以后用水总量平均值为 251.4 亿 m<sup>3</sup>，表明水资源利用已进入零增长阶段，即在水资源极度短缺和水资源开发利用极率极高的条件下，京津冀各城市通过产业结构调整 and 升级改造，淘汰高耗水的产业，发展节水产业，提高水资源的循环利用率等途径来控制用水量，使得水资源利用能够满足经济发展的需求，促进经济社会与水资源利用可持续发展。

### 2.1.2 用水结构分析

2000 年京津冀用水总量为 283.4 亿 m<sup>3</sup>，北京、天津、河北省占比为 14 : 8 : 78，2016 年为 248.6 亿 m<sup>3</sup>，占比分别为 16 : 11 : 73，用水总量下降了 12.2%，其中北京用水总量从 2000 年的 40.4 亿 m<sup>3</sup> 下降到 2016 年的 38.8 亿 m<sup>3</sup>，天津市由 2000 年的 22.6 亿 m<sup>3</sup> 增长到 27.2 亿 m<sup>3</sup>，河北省由 2000 年的 219.3 亿 m<sup>3</sup> 下降为 2016 年的 182.5 亿 m<sup>3</sup>，变化率为 -16.7%，河北省对京津冀地区用水总量的下降贡献率最大。依据京津冀各城市 2000—2016 年用水结构的特征，可以将京津冀地区各城市划分为以下 3 类。

第一类是农业用水占主导的城市，主要包括河北省下辖的所有地市，各城市农业用水比重均高于 60%，按照工业用水与生活用水的比例大小可进一步细分，具体情况见表 1。

表 1 河北省各城市用水主导分类

Tab. 1 Dominant urban water use classifications in Hebei

农业用水 比例	工业用水比例 = 生活用水比例	工业用水比例 < 生活用水比例	工业用水比例 > 生活用水比例
60%~70%	秦皇岛	廊坊	唐山 承德
70%~80%	邯郸 邢台	石家庄 保定	张家口 沧州
80%以上	衡水		

第二类生活用水占主导的城市：北京市。北京市生活用水量自 2000 年开始一直高于工业用水量，并在 2005 年超越农业用水量。2016 年北京市生活用水量是农业用水量的 2.9 倍，是工业用水量的 4.8 倍。

第三类是生活用水与工业用水共同主导的城市：天津市。天津市 2012—2016 年平均农业用水、工业用水量和生活用水比例分别为 47.6%、21.4%、20.4%，工业用水与生活用水量相当。

### 2.1.3 用水效率分析

将京津冀 13 个城市的万元 GDP 用水量、万元工业增加值用水量、万元农业增加值用水量进行锡尔系数、变异系数计算，结果见图 4、5。万元 GDP 用水量是一种综合反映用水效率的指标，表征了经济社会用水效率的整体状况，从数值的绝对值来看，万元 GDP 用水量锡尔系数和变异系数均最大，表明在空间上分布不均衡、地区之间地区差异大。从变化趋势分析，万元 GDP 用水量的两种系数呈现递增态势；万元工业增加值用水量波动变化较大，期间在 2000—2003 年先是一个递减趋势，2003—2008 年为递增态势，2008 年以后呈现递减趋势；万元农业增加值用水量呈现小幅度的递增趋势。

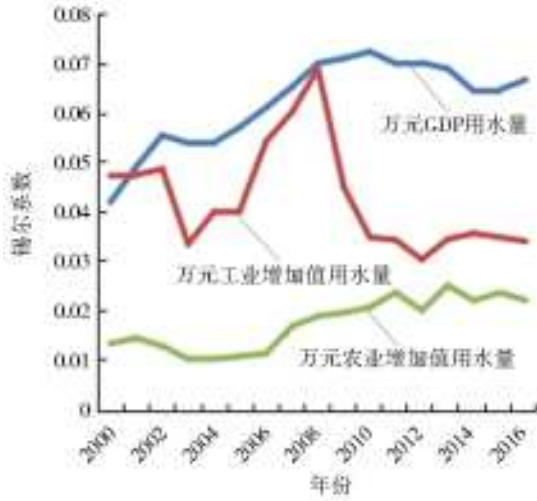


图4 京津冀用水效率锡尔系数变化

Fig. 4 Variations of Theil coefficient of water use efficiency in Beijing, Tianjin and Hebei

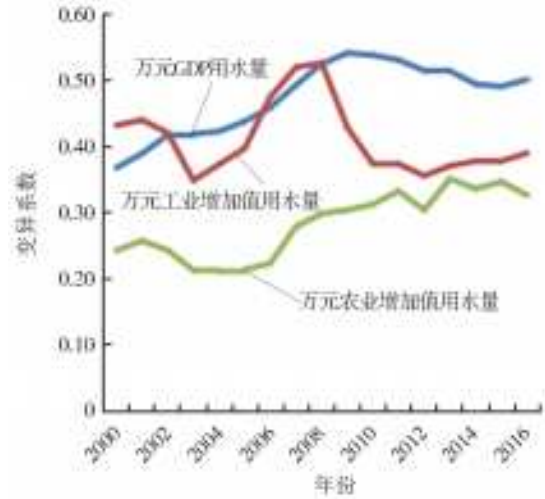


图5 京津冀用水效率变异系数变化

Fig. 5 Variation coefficients of water use efficiency in Beijing, Tianjin and Hebei

## 2.2 城市经济发展指标与水资源利用类型关系分析

### 2.2.1 灰色关联度分析

基于图1构建的指标体系,利用灰色关联分析方法分别计算了京津冀城市经济发展指标与水资源利用量之间的相互关联性,结果见图6、7。

(1)分析城市经济发展指标对水资源利用量的关联度。由图6可知,第三产业比重与城市化率对

北京市水资源利用量的灰色关联度为0.81、0.74,可见这两项指标对北京市水资源利用量影响程度最大。影响天津市水资源利用量最大的指标为第二产业比重(0.61)、第三产业比重(0.68)与城市化率(0.71)。河北省则有所不同,其中第一产业比重(0.67)、第二产业比重(0.78)是影响河北省最大的两个指标因素。综合分析得到,产业结构指标对水资源利用量的关联度最大。

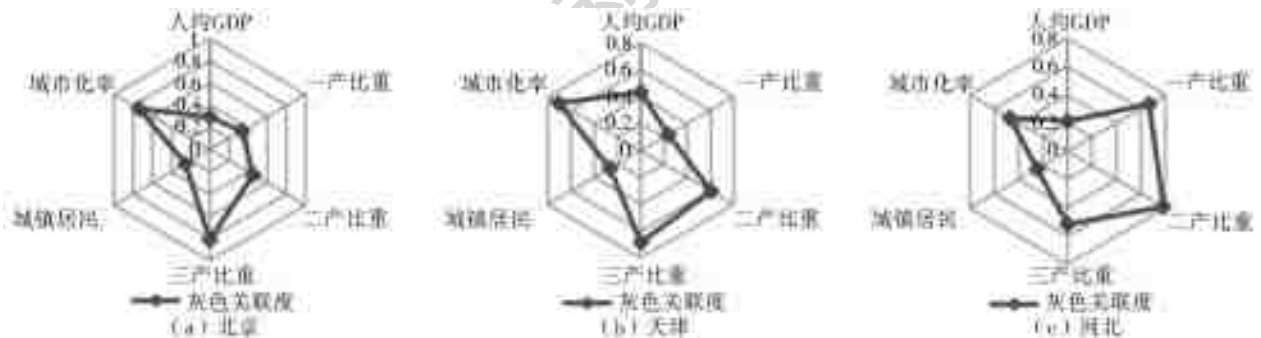


图6 京津冀地区城市经济发展对水资源利用量灰色关联度

Fig. 6 Grey relevance degrees of urban economic development to water resources utilization consumption in Beijing-Tianjin-Hebei region



图7 京津冀水资源利用类型对城市经济发展灰色关联度

Fig. 7 Grey relevance degrees of water resources utilization types to urban economic development in Beijing-Tianjin-Hebei region

(2)分析水资源利用类型对城市经济发展指标的关联度。由图7可知,北京:生活用水(0.88)>工业用水(0.70)>农业用水(0.61)>生态用水

(0.48)。天津:工业用水(0.83)>生活用水(0.77)>农业用水(0.72)>生态用水(0.49)。河北:工业用水(0.79)>农业用水(0.76)>生活用水(0.75)>生

态用水(0.33)。之所以京津冀三省市灰色关联度不同,是由于不同的用水类型与不同的城市经济发展是相互对应的,一方面经济社会发展会对用水量产生影响,反过来,不同类型的用水变化能够反映经济发展的变化。北京市生活用水(0.88)对城市经济发展指标的关联度最高,表明生活用水受到城市发展影响最大,生活用水量的变化能够反映城市经济发展的变化。目前北京市水资源紧张、用水压力大,生活用水量占据首位,如果通过转移人口、调整用水政策、水价等手段可以减少生活用水量,进而推动产业结构的升级,就能使区域向可持续发展的方向转变。天津市工业用水(0.83)对城市经济发展指标的关联度最高,表明工业用水受到城市发展影响最大。河北省的工业用水(0.79)、农业用水(0.76)则灰色关联度最高,表明河北省城市经济发展对工农业用水影响较大。

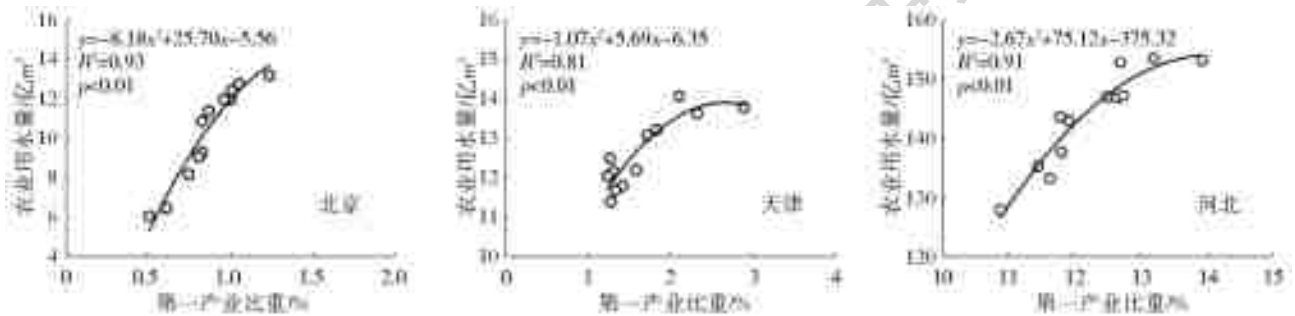


图 8 京津冀农业结构变化与农业用水回归分析

Fig. 8 Agricultural structure changes and agricultural water use regression analysis in Beijing, Tianjin and Hebei

由图 8 可得,北京、天津和河北的第一产业比重都是逐年减少,伴随第一产业比重降低,农业用水量也呈现递减态势;造成农业用水减少的原因,一是通过降低农业种植面积,从而减少农业用水量;二是通过优化农业种植结构,减少高耗水型作物种植比例,间接减少了农业用水量。

北京市第一产业比重最低,2016 年仅为全市 GDP 的 0.51%,农业用水量为 6 亿  $m^3$ ,北京市经济主要以高附加值的第三产业为主,农业种植面积逐年减小,农业比重降低,因此农业用水量逐年递减。天津市的变化与北京市相类似,2010 年以前,递减变率较大,2010 年以后第一产业比重基本维持在 1.34%,递减变率变小,表明天津市第一产业基本维持在瓶底期。2005 年以来,河北省农业比例也在逐年下降,使得农业用水递减。但是一方面由于体量大,农业用水量仍然居高;另一方面,由于河北省冬小麦的种植面积较大,但该地区降水主要集中在夏季,而冬小麦种植主要依靠超采地下水灌溉,是造成区域地下水超采的主要原因。另外,河北省农

## 2.2.2 水资源利用与经济社会发展回归分析

通过 3.2.1 小节的灰色关联分析得到,产业结构对水资源利用的影响较大,关系紧密。因此,在本小节将利用回归模型对产业结构与水资源利用类型进行分析。此外,京津冀生活用水量呈现明显的递增,成为用水量的大户,生活用水量与城市经济发展紧密相关,因此也将对关系进行分析研究。

(1) 农业结构变化对农业用水的影响。将 2005—2016 年第一产业比重作为自变量,农业用水量作为因变量,基于 Eurequa 软件进行曲线拟合,该软件可以同时拟合不同类型的函数,并返回各拟合函数的方程表达式,以及各方程的决定系数、相关系数、均方根误差、方程复杂度等指标,供研究参考。本研究通过不断尝试,从决定系数、相关系数、均方根误差、方程复杂度等综合考虑,构建了二次函数回归模型,结果见图 8。

业用水存在浪费也是一个原因,2016 年河北省农业有效灌溉面积  $4.4576 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ,而高效节水灌溉面积仅为  $1.8 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ,大水漫灌现象还比较普遍,灌溉水有效利用系数为 0.67,与发达国家 0.7~0.8 的水平还具有一定差距。因此,河北省在调整优化农业结构、农业水资源高效利用等方面仍亟待加强与提升。

(2) 工业结构变化对工业用水的影响。分别选择 2005—2016 年第二产业比重、规模以上工业增加值(以下简称工业增加值)与工业用水量做回归分析,结果见图 9。北京市工业用水量伴随第二产业比重下降而下降,在 2008—2014 年,出现了比较明显的“团簇”现象,即第二产业比重在此期间稳定在 21.31%~23.33%,变化率不大,而工业用水量也停滞在 5.08 亿  $m^3$  上下波动,这反映了一个过程,在前期,通过转移与关停重化工等高耗水的产业,从而使得工业用水呈现快速下降,但是当下降到一定阶段时候,出现了瓶颈期,工业用水下降速率变缓,当第二产业比重下降到 20% 以下时,工业用水量也相

应陡坡式下降到 3.8 亿  $m^3$ ;工业增加值与工业用水量也呈现类似的变化。河北省工业用水量在 2005—2014 年变化呈现一种波动式下降的趋势,总体上是递减,但在小范围内波动,造成这种情况的原因可能是由于河北省比较独特的工业结构,河北的高耗水产业比重较大,钢铁、化工、火电等高耗水行

业占 65% 以上,粗钢、成品钢和生铁的产量占全国总产量的 25% 以上,焦炭产量占全国的 14%,工业水资源利用效率较低,因此河北省在这样较短时间段内想要彻底淘汰一些高耗水的产业比较困难,但是从外部经济形势来看,为了可持续发展就必须得萎缩或者优化一些高耗水的重工业。

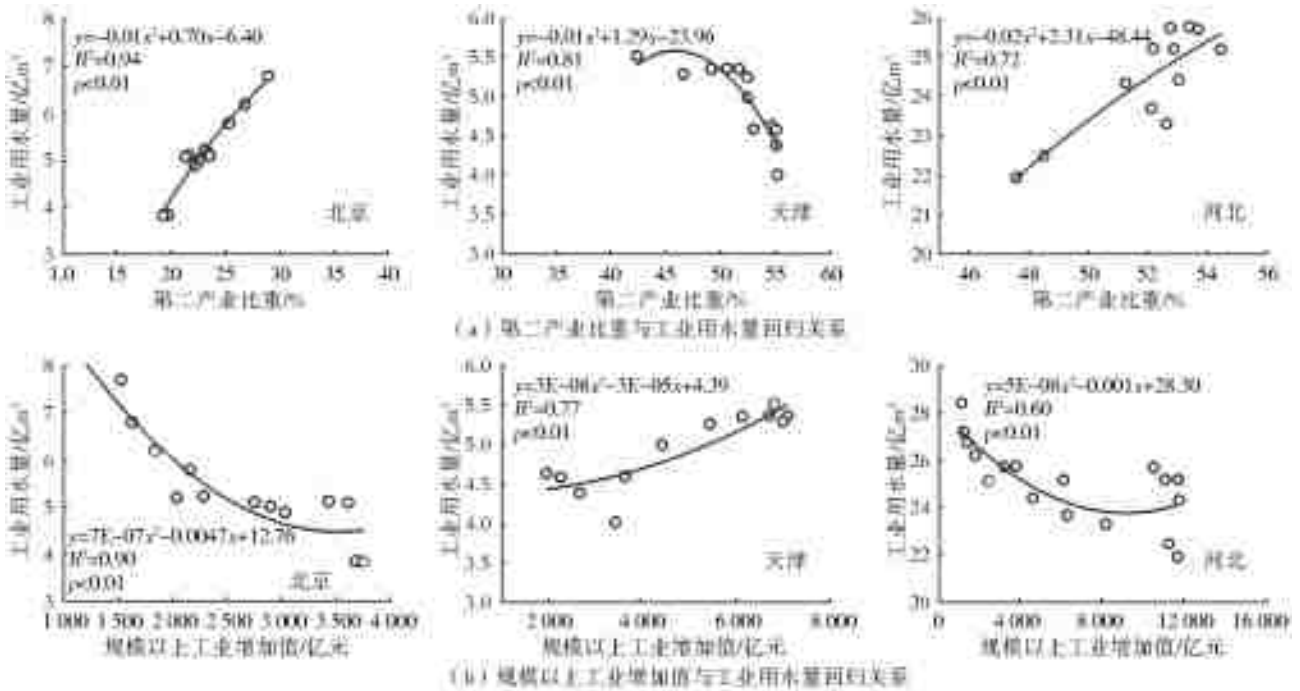


图 9 京津冀工业结构变化与工业用水回归分析

Fig. 9 Regressions of industrial structure changes and industrial water use in Beijing, Tianjin and Hebei

天津市则有所不同,天津市的第二产业比重逐年降低,但是工业用水量则是上升,从工业增加值与工业用水量来也印证了这一变化,即工业用水量是从曲线底部开始缓慢增加,这就说明天津市工业节水空间开始萎缩,但是工业产值是逐年增加的,工业规模在不断扩大,从而引起用水量的增加。

(3)城市经济发展指标对生活用水量的影响。生活用水量的变化受城市经济发展的影响较大,因此为了更加清晰的反映生活用水量的变化特征,故选取城市经济发展因子中的第三产业比重、城市化率、人均 GDP 与城镇居民可支配收入四项指标与生活用水量进行回归分析,结果见图 10。各回归因子与生活用水量之间均存在拟合度较高的回归关系,更加表明经济发展与生活用水量之间关系最紧密,对生活用水量的变化影响较大,其中北京市的拟合度最优,拟合优度  $R^2$  均高于 0.87。

生活用水在所有供水中是首要满足的,但是在日常生活中,城市水资源浪费的现象比比皆是,给原本严峻的水资源供给形势增加了负担。水价能够从经济学的角度反映了一个城市生活用水量的变化,一般情况下当区域供水丰盈时,水价相对较低;相

反,当水资源供给紧张时,用水需求增大时,水价会随之提升,因此,再选取水价与生活用水量进行分析<sup>[32-34]</sup>(由于河北省各地市水价资料不全,暂未分析河北省),结果见图 11。

由图 11 可得,天津市的随着水价升高,生活用水量有所下降,但随着水价的继续升高反而用水量剧增。北京市则表现的更为显著,水价的抬升并未阻止生活用水量的增加。由此看可以看出北京、天津居民经济基础好,可支配收入高,经济的快速发展改变了居民的生活方式、影响了居民的用水观念,这两个城市居民生活质量高,除了满足正常的用水基本需求外,也更注重了高层次的用水享受,因此,水价的增加并未给其经济上带来较大的负担,所以他们的用水行为是需求大于经济成本,所以单纯通过上调水价并未对这两个地区产生较大影响,也反映出城市在制定水价方面还存在漏洞。

### 3 结论与政策建议

#### 3.1 结论

(1)基于锡尔系数、变异系数计算分析,京津冀

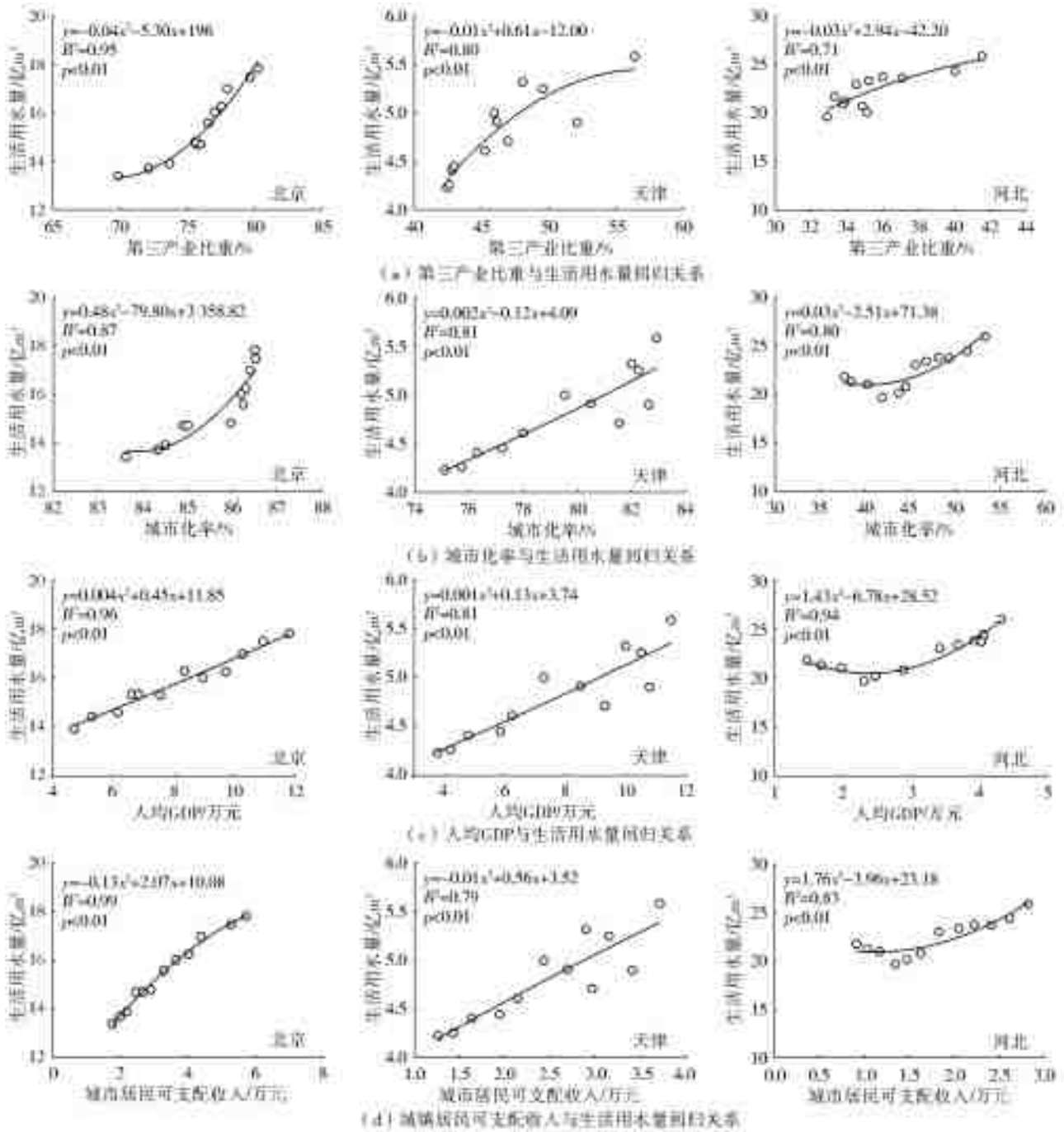


图 10 京津冀城市经济发展指标与生活用水回归分析

Fig. 10 Regressions of urban economic development index and domestic water use in Beijing, Tianjin and Hebei

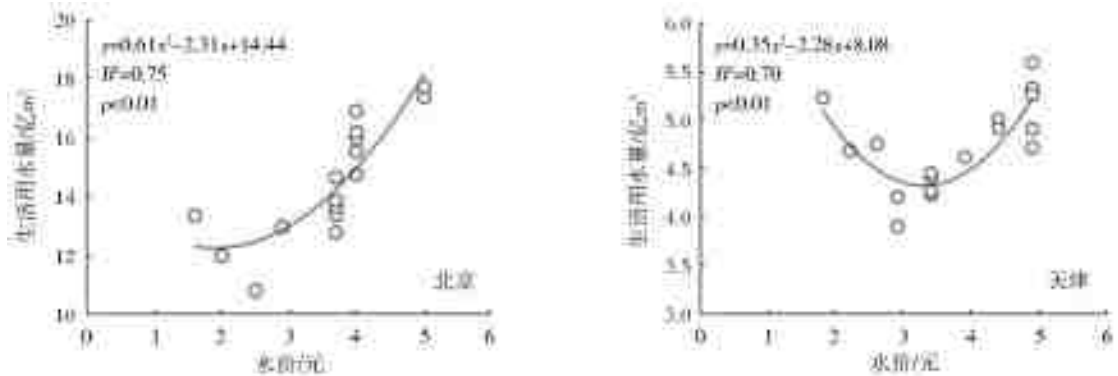


图 11 水价变化对北京、天津生活用水量影响

Fig. 11 Impact of water price changes on domestic water consumption in Beijing and Tianjin



地区各用水类型空间变异程度不同,其中生活用水量空间不均衡性与差异性最大,工业用水量的空间不均衡性有减小的趋势,表明用水量的变化是与城市经济发展状况紧密相关。针对不同城市的用水结构特点,将京津冀地区各城市划分出农业用水占主导、生活用水占主导、生活用水与工业用水共同主导等类别。伴随经济发展、技术进步等,京津冀地区用水效率普遍快速提升,用水效率的空间分布差异呈现先增大后减小的趋势,其中万元工业增加值用水量的空间差异较大,波动起伏明显,万元 GDP 用水量后期总体持稳,万元农业增加值用水量变化幅度不大。

(2)基于灰色关联分析,京津冀水资源利用与城市经济发展指标之间有较强的关联性,产业结构变化对水资源利用量影响最大;北京市生活用水量受到城市经济发展影响最大,天津市为工业用水量,河北省则为工业、农业用水量。

(3)基于回归拟合,京津冀地区产业结构与水资源利用类型之间均存在较优的回归关系。北京、天津市生活用水量在城市发展的过程中受到城镇居民收入水平、人均 GDP 等指标的影响较大,决定其居民生活用水量的多寡主要取决于需求行为,水价的提高并未直接起到抑制用水量、节约用水等作用,这也反映出城市水价仍存在一些问題。

### 3.2 政策建议

(1)以水定城、以水定产的核心就是要把水资源作为刚性前置约束条件,重视水资源—水生态—水环境承载力,充分依据城市水资源禀赋,控制城市发展规模,确定空间布局,调整产业结构,以实现城市的良性运行和可持续发展。北京市、天津市是首都圈中最为重要的两座城市,吸引大量的外来人口,因此该区域的水资源供需矛盾日益尖锐,以水定城就是根据城市水资源条件,合理控制北京、天津城市规模,逐步将人口向外围周边区域引导疏散。天津市在产业发展中,充分考虑城市水资源利用水平,发展低耗水、节水产业、逐步改造或淘汰高耗水产业。

(2)河北省农业用水比例较高,尤其是冬小麦的种植面积大,抽取地下水进行灌溉现象普遍,导致灌溉水有效利用系数不高,因此河北省在调整农业结构、农业水资源高效利用等方面仍亟待加强与提升,因地制宜发展节水农业,不断优化升级种植结构。

(3)重新审视现有水价的不足,科学制定更加具有弹性的水价,因地制宜,充分发挥经济杠杆作用,推进节约用水。从以上分析得到,北京、天津等大城市,由于城市整体经济基础好、竞争力强,因此定居在该城市居民可支配收入水平较高,现有水价并没

有很好起到节水。从经济学需求理论来看,水价的升高能抑制城市居民生活用水量,但是反观用水现状,生活节水收效甚微,这暴露出现有水价的制定存在滞后与不匹配性。因此必须要综合考虑不同地域的经济条件基础、居民用水行为等因素,深入研究不同城市水价与水消耗的内在关系以及定价的福利影响,科学制定更具有弹性的水价制度,做到因地制宜。此外,对居民进行节水宣传与节水教育亟待进行,这能从源头起到节水效果。因此可以将节水教育纳入作为大中小学的教育课程,培养学生的节水意识,从而带动全社会,最终培养与形成全民节水习惯、节水意识。

### 参考文献(References):

- [1] 张吉辉,李健,唐燕.中国水资源与经济发展要素的时空匹配分析[J].资源科学,2012,34(8):1546-1555. (ZHANG J H, LI J, TANG Y. Analysis of the spatio-temporal matching of water resource and economic development factors in China [J]. Resources Science, 2012, 34(8): 1546-1555. (in Chinese))
- [2] 李九一,李丽娟.中国水资源对区域经济社会发展的支撑能力[J].地理学报,2012,67(3):410-419. (LI J Y, LI L J. Water resources supporting capacity to regional socio-economic development of China [J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(3): 410-419. (in Chinese))
- [3] 颜明,贺莉,孙莉英,等.京津冀产业升级过程中水资源利用结构调整研究[J].干旱区资源与环境,2018,32(12):152-156. (YAN M, HE L, SUN L Y, et al. Water resources utilization during the restructuring optimization of industries in the Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018, 32(12): 152-156. (in Chinese))
- [4] 白鹏,刘昌明.北京市用水结构演变及归因分析[J].南水北调与水利科技,2018,16(4):1-6,34. (BAI P, LIU C M. Evolution law and attribution analysis of water utilization structure in Beijing [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(4): 1-6, 34. (in Chinese))
- [5] 吴丹.京津冀地区产业结构与水资源的关联性分析及双向优化模型构建[J].中国人口·资源与环境,2018,28(9):158-166. (WU D. Correlation analysis and bidirectional optimization model of industrial structure and water resources in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. China population, resources and environment, 2018, 28(9): 158-166. (in Chinese))
- [6] 张黎明,赵岩,王红瑞,等.基于信息熵与灰关联的西安市城市经济与用水结构的耦合度研究[J].南水北调与水利科技,2017,15(4):187-192,202. (ZHANG L M, ZHAO Y, WANG H R, et al. Study of the relationship

- between urban economic development and the utilization of water resources in Xi'an on information entropy and grey correlation grade[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(4):187-192. (in Chinese))
- [7] 姜秋香, 巩书鑫, 仇志强, 等. 粮食增产区黑龙江省农业水土资源时空匹配格局研究[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(4):160-168. (JIANG Q X, GONG S X, QIU Z Q, et al. Analysis of spatio-temporal matching of agricultural water and land resources in Heilongjiang Province during the grain production growth period[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(4):160-168. (in Chinese))
- [8] 孟令爽, 唐德善, 史毅超. 基于主成分分析法的城市人水和谐度评价[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(1):93-98. (MENG L S, TANG D S, SHI Y C. Evaluation of urban human-water harmony degree based on principal components analysis[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2018, 29(1):93-98. (in Chinese))
- [9] 郭唯, 左其亭, 马军霞. 河南省人口-水资源-经济和谐发展时空变化分析[J]. 资源科学, 2015, 37(11):2251-2260. (GUO W, ZUO Q T, MA J X. Spatial and temporal change analysis of harmony development among population-water resources-economics in Henan, China[J]. Resources Science, 2015, 37(11):2251-2260. (in Chinese))
- [10] 李宁, 张建清, 王磊. 基于水足迹法的长江中游城市群水资源利用与经济协调发展脱钩分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(11):202-208. (LI N, ZHANG J Q, WANG L. Decoupling and water footprint analysis of the coordinated development between water utilization and the economy in urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River[J]. China population, resources and environment, 2017, 27(11):202-208. (in Chinese))
- [11] 朱洪利, 潘丽君, 李巍, 等. 十年来云贵两省水资源利用与经济发展脱钩关系研究[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(5):1-5. (ZHU H L, PAN L J, LI W, et al. Decoupling relationship between water use and economic development in Yunnan and Guizhou Provinces during the first ten years of the great western development strategy [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(5):1-5. (in Chinese))
- [12] 曹飞. 中国省域城镇化与用水结构的库兹涅茨曲线拟合与研判[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(3):8-13. (CAO F. The fitting and assessment of provincial water-using structure in China by the spatial Kuznets Curve[J]. Journal of Arid Land Resources & Environment, 2017, 31(3):8-13. (in Chinese))
- [13] 贾绍凤, 张士锋, 杨红, 等. 工业用水与经济的关系: 用水库兹涅茨曲线[J]. 自然资源学报, 2004(3):279-284. (JIA S F, ZHANG S F, YANG H, et al. The relationship between industrial water use and economic development: Kuznets Curve of water use[J]. Journal of Natural Resources, 2004 (3):279-284. (in Chinese))
- [14] 孙才志, 马奇飞, 赵良仕. 中国东、中、西三大地区水资源绿色效率时空演变特征与收敛性分析[J]. 地理科学进展, 2018, 37(7):901-911. (SUN C Z, MA Q F, ZHAO L S. 2018. Temporal and spatial evolution of green efficiency of water resources in China and its convergence analysis[J]. Progress in Geography, 37(7):901-911. (in Chinese))
- [15] 陈威, 杜娟, 常建军. 武汉城市群水资源利用效率测度研究[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(6):1251-1258. (CHEN W, DU J, CHANG J J. Study on the measurement of water resources use efficiency of Wuhan Urban agglomeration[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(6):1251-1258. (in Chinese))
- [16] 韩雁, 张士锋, 吕爱锋. 外调水对京津冀水资源承载力影响研究[J]. 资源科学, 2018, 40(11):2236-2246. (HAN Y, ZHANG S F, LYU A F. Study on the influence of water diversion on water resources carrying capacity in Beijing, Tianjin and Hebei[J]. Resource Science, 2018, 40(11):2236-2246. (in Chinese))
- [17] 杜朝阳, 于静洁. 京津冀地区适水发展问题与战略对策[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(4):17-25. (DU C Y, YU J J. Problems and strategic measures of water suitability development in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2018, 16(4):17-25. (in Chinese))
- [18] 鲍超, 贺东梅. 京津冀城市群水资源开发利用的时空特征与政策启示[J]. 地理科学进展, 2017, 36(1):58-67. (BAO C, HE D M. Spatial-temporal characteristics and policy implications of water resources development and utilization in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. Progress in Geography, 2017, 36(1):58-67. (in Chinese))
- [19] 张梦瑶, 沙景华, 钟帅. 京津冀地区不同水资源配置方式的影响比较: 基于社会核算矩阵[J]. 资源与产业, 2016, 18(4):30-37. (ZHANG M Y, SHA J H, ZHONG S. Comparison of different water resources allocation modes in Beijing, Tianjin and Hebei region based on social accounting matrix[J]. Resources and Industries, 2016, 18(4):30-37. (in Chinese))
- [20] 海霞, 李伟峰, 王朝, 等. 京津冀城市群用水效率及其与城市化水平的关系[J]. 生态学报, 2018, 38(12):4245-4256. (HAI X, LI W F, WANG C, et al. Interactions between water use efficiency and urbanization level in the Beijing-Tianjin-Hebei megaregion, China [J]. ACTA ECOLOGICA SINICA, 2018, 38(12):4245-4256. (in Chinese))
- [21] 孙艳芝, 鲁春霞, 谢高地, 等. 北京城市发展与水资源利用关系分析[J]. 资源科学, 2015, 37(6):1124-

1132. (SUN Y Z, LU C X, XIE G D, The conjunction between urban development and the utilization of water resources in Beijing[J]. Resources Science, 2015, 37(6):1124-1132. (in Chinese))
- [22] 马海良,施陈玲,王蕾. 城镇化进程中的江苏水资源承载力研究:基于组合赋权和升半 $\Gamma$ 型分布函数[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(11):1697-1703. (MA H L, SHI C L, WANG L. The research of water environmental carrying capacity in the process of urbanization in Jiangsu: based on combination of empowerment and half liter of  $\Gamma$  distribution function[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(11):1697-1703. (in Chinese))
- [23] 钟赛香,胡鹏,薛熙明,等. 基于合理权重赋值方法选择的多因素综合评价模型:以JCR中70种人文地理期刊为例[J]. 地理学报, 2015, 70(12):2011-2031. (ZHONG S X, HU P, XUE X M, et al. Multi-factor comprehensive evaluation model based on the selection of objective weight assignment method[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(12):2011-2031. (in Chinese))
- [24] 徐建华. 计量地理学[M]. 北京:高等教育出版社, 2006. (XU J H. Quantitative Geography[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006. (in Chinese))
- [25] 湛社霞,匡耀求,阮柱. 基于灰色关联度的粤港澳大湾区空气质量影响因素分析[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2018, 58(8):761-767. (CHEN S X, KUANG Y Q, RUAN Z. Factors impacting the regional air quality in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area: A study based on grey relational analysis [J]. J Tsinghua Univ (Sci & Technol), 2018, 58(8): 761-767. (in Chinese))
- [26] 宋帆,杨晓华,武翡翠,等. 灰色关联—集对聚类预测模型在吉林省用水量预测中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(3):28-33. (SONG F, YANG X H, WU F F, et al. Application of grey correlation degree-set pair analysis classified prediction method on water consumption prediction of Jilin Province [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2018, 29(3):28-33. (in Chinese))
- [27] 汪权方,晏群,徐慧,等. 基于灰色关联度的AHP权重矩阵构建方法改进及在农地评价中的应用[J]. 地理科学进展, 2016, 35(10):1249-1257. (WANG Q F, YAN Q, XU H, et al. A modified analytic hierarchy process method based on grey relation analysis and its application in evaluating sustainability of agricultural land use in Zaoyang City, Hubei Province [J]. Progress in Geography, 2016, 35(10):1249-1257. (in Chinese))
- [28] 吕素冰,马钰其,冶金祥,等. 中原城市群城市化与水资源利用量化关系研究[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(11):7-12. (LV S B, MA Y Q, YE J X, et al. Quantitative correlation between urbanization and water resources utilization in central Henan urban agglomeration [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2016, 35(11):7-12. (in Chinese))
- [29] 王新敏,石培基,焦贝贝,等. 敦煌城市发展与水资源利用潜力协调度评价[J]. 水土保持研究, 2015, 22(3):203-209. (WANG X M, SHI P J, JIAO B B, et al. Evaluation of harmonization degree between urban development and water resources utilization potential in Dunhuang City [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(3):203-209. (in Chinese))
- [30] 夏富强,唐宏,杨德刚,等. 干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析[J]. 生态学报, 2013, 33(18):5883-5892. (XIA F Q, TANG H, YANG D G, et al. Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5883-5892. (in Chinese))
- [31] 陈定贵,吕宪国,王艳平. 长春市城市发展与水资源环境约束关系研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2008, 40(2):130-135. (CHEN D G, LV X G, WANG Y P. Study on constraint of urbanization of Changchun City from urban water resources and environments [J]. Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition), 2008, 40(2):130-135. (in Chinese))
- [32] 廖显春,夏恩龙,王自锋. 阶梯水价对城市居民用水量及低收入家庭福利的影响[J]. 资源科学, 2016, 38(10):1935-1947. (LIAO X C, XIA E L, WANG Z F. The impact of increasing block water tariffs on residential water usage and the welfare of low income families in Chinese cities [J]. Resources Science, 2016, 38(10):1935-1947. (in Chinese))
- [33] 尚毅梓,赵勇,石红旺,等. 天津市行业用水变化与归因分析[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(1):153-157, 192. (SHANG Y Z, ZHAO Y, SHI H W, et al. Analysis of water use trend and its impact factors in Tianjing [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015, 13(1):153-157, 192. (in Chinese))
- [34] 刘晓晔. 北京市城镇居民用水定价模式与节水效用分析[D]. 北京:首都经济贸易大学, 2017. (LIU X Y. A novel water pricing model of the utility analysis for Beijing urban residents [D]. Beijing: Capital University of Economics and Business, 2017. (in Chinese))