

京津冀城市群水资源开发利用的时空特征与政策启示

鲍超^{1,2,3}, 贺东梅^{1,2,3}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:京津冀城市群是中国在国际经济体系中具有最强竞争力的支撑平台之一,也是中国乃至全世界水安全保障难度最大的地区之一。本文主要以2000-2014年数据为基础,采用泰尔系数、变异系数、曲线分析和空间分级分类分析等方法,揭示了京津冀城市群水资源与用水变化的时空特征。结果显示:①绝大多数城市多年平均水资源总量显著减少,干旱化的长期趋势明显,而且北部、西部城市减少幅度更大;②京津冀城市群水资源极度短缺,空间不均衡性呈现先减小后增大的趋势,而且中部和南部城市水资源开发利用潜力更低,缺水更甚;③绝大多数城市用水总量零增长或缓慢负增长,用水结构以工农业用水比重下降为主要特征,各类用水的空间不均衡性保持相对稳定;④用水效率普遍快速提升,空间分布差异呈现先增大后减小的总体趋势。基于此,建议京津冀城市群实施“以水量城”的城镇化政策和“以水定产”的产业政策,完善水生态补偿政策,落实水资源管理红线政策,实现水资源约束下各城市间经济社会与生态环境的协同发展。

关键词:水资源;用水效率;时空演变;发展政策;京津冀城市群

1 引言

京津冀城市群位于东北亚中国环渤海地区心脏地带,是中国在国际经济体系中具有强大竞争力的最主要支撑平台之一,也是有望成为影响乃至控制世界性经济体系的大城市群之一(陆大道, 2015)。然而,目前京津冀城市群尚处于起步阶段,还存在着中心城市现代化功能不足、城乡联动不足、产业分工不足、市场化水平不足、基础设施一体化不足、消费和出口作用不足等许多不利于发展等问题(肖金成等, 2015)。随着京津冀城市群人口与产业继续集聚、城市社会经济规模不断扩张,系统性、区域性、复合性、长期性的资源环境问题正在日

益集中激化(方创琳, 2014)。其中,京津冀城市群是中国乃至全世界人类活动对水循环扰动强度最大、水资源承载压力最大、风险程度最高、安全保障难度最大的地区之一(刘登伟, 2010; 刘瑜洁等, 2016)。长期以来,水资源过度开发利用引起了一系列生态环境问题,如河道断流、湿地萎缩、地下水位下降、水体严重污染、地下水漏斗成片、土地退化等;在强人类活动干扰及脆弱生态环境约束下,水资源已成为制约京津冀城市群经济社会发展的关键要素(顾朝林等, 2014; 李孟颖等, 2015)。

虽然已经普遍认识到水资源对京津冀城市群的重要支撑作用,如水利部已经组织编制完成了《京津冀协同发展水利专项规划》,国家发改委组织

收稿日期:2016-12;修订日期:2016-12。

基金项目:国家自然科学基金重大项目(41590844);国家自然科学基金面上项目(41571156);中国科学院特色研究所培育建设服务项目(TSYJS02) [Foundation: Major Projects of the National Natural Science Foundation of China, No.41590844, National Natural Science Foundation of China, No.41571156; Service Project on the Cultivation and Construction for the Characteristic Research Institute of the Chinese Academy of Sciences, No.TSYJS02]。

作者简介:鲍超(1978-),男,湖北麻城人,博士,副研究员,硕士生导师,近期主要从事城镇化与城市可持续发展研究,
E-mail: baoc@igsrr.ac.cn。

引用格式:鲍超, 贺东梅. 2017. 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, 36(1): 58-67. [Bao C, He D M. 2017. Spatiotemporal characteristics of water resources exploitation and policy implications in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration [J]. Progress in Geography, 36(1): 58-67.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.01.006

编制的《京津冀都市圈区域规划》对水资源也进行了专题研究,但关于京津冀城市群水资源开发利用方面的研究总体上仍较薄弱。从中国知网、亚马逊网上书店、当当网上书店等网站,以篇名同时含有“京津冀”和“水资源”进行查询可知,公开出版的学术论文仅30篇、专著仅1部。而且除少数几篇论著对京津冀地区水资源脆弱性(刘瑜洁等, 2016)、水资源短缺风险(刘登伟, 2010)、水资源供需平衡及水资源承载力(封志明等, 2006; 王晶等, 2014; 刘登伟, 2016)进行研究外,其余多为基于经验认识而提出的京津冀地区水资源合理开发利用的思路与对策。总之,与国家的战略需求相比,学术界对京津冀城市群水资源开发利用的研究仍有很多基础工作要做,尤其是首先要摸清京津冀城市群不同空间尺度水资源开发利用的演变特征。为此,本文主要采用泰尔系数、变异系数、曲线分析和空间分级分类分析等方法,揭示京津冀城市群水资源与用水变化的时空特征,并从水资源可持续利用的视角提出京津冀城市群协同发展的政策建议,以期水资源约束下的京津冀城市群可持续发展提供参考。

2 数据与方法

2.1 研究区域与数据来源

京津冀城市群地处华北平原中北部,北靠燕山山脉,东邻渤海,西倚太行山,以平原地貌为主,属温带季风气候和半湿润地区,年平均降水量为400~800 mm,属海河流域,主要包括海河水系、滦河水系、徒骇—马颊河水系。其中:海河水系由海河干流和上游的北运河、永定河、大清河、子牙河、南运河五大支流组成;滦河水系包括滦河、冀东滦河以东诸河、冀东滦河以西诸河;徒骇—马颊河水系包括徒骇河和马颊河。为保证京津冀城市群区域的整体性、系统性以及与国家发展战略的协调性,本文将京津冀城市群的范围界定为北京市、天津市以及河北省下辖的全部11个地级市。2014年,京津冀城市群国土面积约 $21.68 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全国的2.26%;常住人口为 1.12×10^8 人,占全国的8.18%;地区生产总值为 6.66×10^{12} 元,占全国的10.46%;水资源总量为 $203.69 \times 10^8 \text{ m}^3$,仅占全国的0.75%;人均水资源量为 182 m^3 ,仅为全国平均水平的9.14%;用水总量为 $250.03 \times 10^8 \text{ m}^3$,占全国的4.10%;人均综合用水量为 224 m^3 ,为全国平均水平的50%;万元GDP

用水量为 38 m^3 ,为全国平均水平的40%。总体而言,京津冀城市群是中国经济最具活力、开放程度高、创新能力最强、吸纳人口多的地区之一,也是水资源极为短缺和用水效率较高的地区之一。基于数据的准确性和可获得性,本文以京津冀城市群13个地级以上城市为研究单元,凡涉及京津冀城市群整体的数据,均为13个地级以上城市相应数据的汇总,并将主要研究时段定为2000-2014年。所需的社会经济数据主要来源于历年《北京统计年鉴》《天津统计年鉴》《河北经济年鉴》;所需的水资源和用水数据主要来源于历年《北京市水资源公报》《天津市水资源公报》《河北省水资源公报》。

2.2 研究方法

为准确地刻画京津冀城市群水资源开发利用的时空演变特征,本文主要采用泰尔系数(Theil Index)、变异系数(Coefficient of Variation)、曲线分析和空间分级分类分析等方法进行研究。其中,泰尔系数是1967年由泰尔运用信息理论提出的一个可以按加法分解的不平等指数,是衡量空间差异的一个重要的指标,其计算公式为(王露等, 2008):

$$I = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log \frac{\bar{x}}{x_i} \quad (1)$$

式中: I 表示泰尔系数; x_i 表示 i 城市某项指标值; \bar{x} 表示该项指标的平均值; N 表示研究单元的个数。泰尔系数越大,说明地区分布差异越大。

变异系数是各区域某项指标的标准差与其均值之比,它也反映了区域间某项指标偏离总体平均水平的相对差距,其计算公式为(王露等, 2008):

$$C = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

式中: C 表示变异系数; x_i 表示 i 城市某项指标值; \bar{x} 表示该指标的平均值; s 表示该指标的标准偏差; n 表示研究单元的个数。变异系数越大,说明不均衡程度越大。

3 京津冀城市群水资源变化及其短缺程度的时空特征

3.1 多年平均水资源总量的时空特征

据统计,京津冀城市群1956-2014年多年平均水资源量为 $240.22 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中北京 $34.19 \times 10^8 \text{ m}^3$,天津市 $15.07 \times 10^8 \text{ m}^3$,河北省 $190.96 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。虽然

1956-2000年京津冀城市群多年平均水资源量为 $257.70 \times 10^8 \text{ m}^3$,但2001-2014年多年平均水资源量却降为 $184.14 \times 10^8 \text{ m}^3$,减少了约30%。这与张健等(2009)和李鹏飞等(2015)对京津冀地区1960年以来降水量减少趋势分析得出的结论吻合。从多年平均水资源量及其变化的空间分布来看(图1),虽然在空间分布上都不平衡,但有缩小的趋势。主要表现

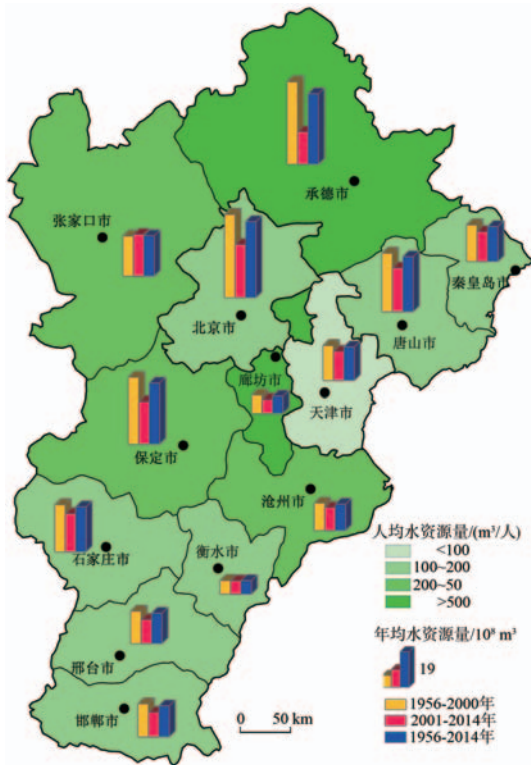


图1 1956-2014年京津冀城市群多年平均水资源量的时空变化

Fig.1 Spatiotemporal variation of average annual water resources in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration, 1956-2014

为:①1956-2000年多年平均水资源量的泰尔系数、变异系数分别为0.06、0.51,而2001-2014年多年分别下降为0.03、0.38,说明京津冀城市群水资源量空间分布不均衡性在减小;②除张家口市2001-2014年多年平均水资源量为1956-2000年的105%,略有增加外,其余12个地级以上城市都有不同程度的减少。其中,承德市减少幅度最大,高达61%;保定市和北京市次之,均减少了36%;邢台市、邯郸市、唐山市、廊坊市减少的比例均在22%~26%之间;石家庄市、秦皇岛市、天津市、沧州市减少的比例均在15%~19%之间;衡水市减少幅度最小,仅为2.6%。总体上看,京津冀城市群水资源量受气候变化影响较大,北部、西部城市水资源总量大但减少幅度也大,而南部、东部城市水资源总量少且减少幅度也小。

3.2 人均和地均水资源量的时空特征

京津冀城市群及各城市2000-2014年人均和地均水资源量均呈现波动式的变化,但人均水资源量多在 500 m^3 以下,属极度缺水地区;地均水资源量(水资源量折合地表径流深)多在 150 mm 以下,低于水资源维系良好生态系统的临界值(吴佩林, 2005)。从京津冀城市群2000-2014年人均和地均水资源量的泰尔系数、变异系数来看(图2),二者在时间上具有一致的变化趋势,即2000-2002年人均和地均水资源量在空间上的分布差异都较大,2003-2009年空间分布差异都较小,而2010-2014年空间分布差异都明显加大。

以整个京津冀城市群为研究单元,除2012年人均水资源量达 285 m^3 以外,其他年份多在 $150 \sim 200 \text{ m}^3$ 之间;除2012年水资源量折合地表径流深达 142 mm 以外,其他年份均在 100 mm 以下。为消除

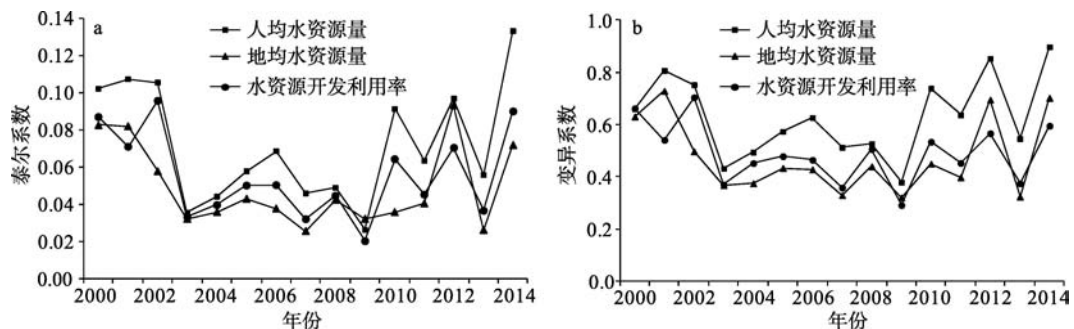


图2 2000-2014年京津冀城市群主要水资源指标空间不均衡性的变化曲线

Fig.2 Variation of spatial imbalance of major indicators of water resources in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration, 2000-2014

水资源总量的时间波动性,以1956-2014年多年平均水资源量和2014年的常住人口、国土面积分别计算京津冀城市群各城市人均水资源量和水资源量折合地表径流深,并划分为4种地域类型:①人均水资源量稍大于 500 m^3 的仅承德和廊坊市,200~500 m^3 之间的有张家口、保定、沧州市,100~200 m^3 之间的有石家庄、秦皇岛、邢台、北京、邯郸、唐山、衡水市,而天津市小于100 m^3 ;②地均水资源量折合地表径流深稍大于200 mm的仅廊坊和北京市,150~200 mm之间的有保定市,100~150 mm之间的有石家庄、天津、沧州、邯郸市,低于100 mm的有邢台、唐山、承德、秦皇岛、衡水、张家口市。总体上看,由于人口密度在空间上分布不均,京津冀城市群人均和地均水资源量在空间上并不完全匹配,但从哪个角度都能表明水资源极度短缺。

3.3 水资源开发利用率的时空特征

京津冀城市群及各城市2000-2014年水资源开发利用率(以当年用水量占水资源总量的比重计算)呈现波动式的变化,总体上均有降低的趋势,但水资源开发利用率高多在70%以上。而且除张家口、承德、秦皇岛市外,其他城市绝大多数年份均超过了100%,主要原因是用水量中重复利用水量和中水回用量有所提高,更重要的是严重超采深层地下水,导致实际用水量超过了可利用的水资源总量。从京津冀城市群2000-2014年水资源开发利用率的泰尔系数、变异系数来看(图2),其与人均和地均水资源量的泰尔系数、变异系数在时间上具有一致的变化趋势,即2000-2002年在空间上的分布差异较大,2003-2009年空间分布差异减小,而2010-2014年空间分布差异又明显加大。

为消除水资源总量的时间波动性,采用1956-2014年多年平均水资源量和地下水资源量,以及2014年的用水量和地下水开采量,计算京津冀城市群各城市平均情况下的水资源开发利用率和地下水资源开采率,并划分为4种地域类型:①水资源开发利用小于70%的仅有承德、廊坊、张家口和保定市,70%~100%之间仅有沧州市,100%~150%的有北京、邯郸、秦皇岛和邢台市,大于150%的有石家庄、天津、唐山和衡水市;②地下水资源开采率小于70%的仅有承德、张家口和秦皇岛市,70%~100%之间没有城市,100%~150%的有邢台、唐山、北京、石家庄、邯郸、沧州和天津市,大于150%的有廊坊、衡水和保定市。综合来看,京津冀城市群仅北部的

承德市和张家口市还有一定的水资源开发潜力,其余城市在地表水或地下水超采方面都存在较为严重的问题。

4 京津冀城市群水资源利用时空特征

4.1 用水总量的时空特征

京津冀城市群用水总量由2000年的 $282\times 10^8\text{ m}^3$ 下降到2014年的 $250\times 10^8\text{ m}^3$,总体下降了11%,年均下降了0.86%。其中,2000-2004年下降到 $251\times 10^8\text{ m}^3$,而2005-2007年反弹至 $258\times 10^8\text{ m}^3$ 左右,2008-2010年保持在 $252\times 10^8\text{ m}^3$ 左右,在2011年升至 $255\times 10^8\text{ m}^3$ 后,2012-2014年又基本保持在 $251\times 10^8\text{ m}^3$ 左右。除天津市用水总量在绝大多数年份保持在 $22\times 10^8\sim 23\times 10^8\text{ m}^3$ 左右,2014年因环境用水激增($4\times 10^8\text{ m}^3$)导致用水总量突然升至 $26\times 10^8\text{ m}^3$ 外,其他城市用水总量都是缓慢下降或在某一数值上下波动,变化趋势与京津冀城市群整体基本吻合,说明京津冀城市群水资源利用已进入零增长阶段。综合考虑各城市的水资源短缺程度、用水结构与产业结构等情况,京津冀城市群水资源利用总体上属于约束零增长模式,即在水资源极度短缺和水资源开发利用极高的条件下,不得不通过调整产业结构、用水结构甚至减缓经济发展速度等措施来控制用水总量。而北京、天津与其他城市可能稍有不同,即在约束零增长的情况下,由于节水技术水平提高和产业结构优化,用水增长受水资源约束相对较小。

从京津冀城市群2000-2014年用水总量、农业用水量、工业用水量、生活用水量的泰尔系数、变异系数来看(图3),除工业用水量的泰尔系数、变异系数在2000-2008年出现明显下降外,其他的变化均不明显。说明各城市用水量占京津冀城市群的比重在时间上变化不大,空间均衡性保持相对稳定。而工业用水量的空间均衡性之所以先提高后保持稳定,一方面是由于工业基础好、工业用水量大的北京、石家庄、保定、邯郸等城市因产业转型升级带来工业用水逐渐下降并保持稳定,而天津、唐山等传统工业强市在新一轮工业大发展的背景下却实现了工业用水保持稳定或缓慢增长;另一方面是由于其他工业相对落后、工业用水量小的城市因工业化进程加快导致工业用水稳中有升。总体上,在水资源约束和经济社会发展需求驱动的双重综

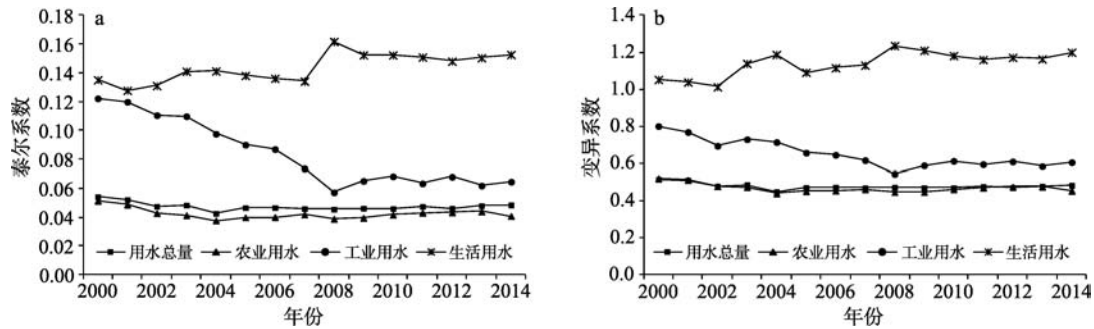


图3 2000-2014年京津冀城市群各类用水量空间不均衡性的变化曲线

Fig.3 Variation of spatial imbalance of all kinds of water utilizations in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration, 2000-2014

合作用下,京津冀城市群用水总量在时空上保持了相对稳定的发展态势(图4)。

4.2 用水结构的时空特征

京津冀城市群农业用水占用水总量的比重在2000-2007年之前稳定在70%左右,之后逐年下降至2014年的61.2%,总体下降了8.8%;工业用水占用水总量的比重从2000年的15.7%波动下降至2010年的13.3%,2011-2013年之间又升至14%,2014年降至13.9%,总体下降了1.8%;生活用水占用水总量的比重从2000年的14.1%下降至2003年的13.1%后逐年上升至2014年的18.4%,总体上升了4.3%;环境用水占用水总量的比重从2000年的0.2%逐年上升至2014年的6.5%,总体上升了6.3%。除天津市用水结构变化较为复杂但总体变化不大,邯郸市由于水资源极度短缺迫使高耗水工业转型进而引起工业用水比重下降10.4%,而农业用水比重上升6.5%;唐山、秦皇岛、沧州、承德、衡水等城市由于工业规模扩张式发展导致工业用水比重明显上升以外,多数城市与京津冀城市群整体情况类似,即农业用水比重较快下降,工业用水比重缓慢下降并进入良性循环的零增长阶段,而生活用水和环境用水比重均呈现出明显的上升趋势。

从京津冀城市群各城市2000-2014年用水结构变化可将其综合划分为3种类型:①生活用水主导型,为北京市,其农业、工业、生活、环境用水所占比例(%)从2000年的41:26:32:1变为2014年的22:14:45:19,农业用水所占比重变小、工业用水比重下降快、生活用水逐渐居主导地位;②工业和生活用水联合主导型,为天津市,其农业、工业、生活、环境用水所占比例(%)从2000年的53:24:23:1变为2014年的44:20:20:16,农业用水所占比重降至

50%以下、工业和生活用水比重接近;③农业用水主导型,区内其他11个地级市,其农业用水比重一直保持在60%以上。其中,第三类城市又可进一步划分为3类:一是包括廊坊、唐山、秦皇岛、承德4市,农业用水比重从2000年的70%多下降至2014年的60%多,而工业和生活用水比重均在15%~20%之间变动;二是包括石家庄、保定、沧州、张家口、邯郸、邢台6市,农业用水比重多从2000年的80%多下降至2014年的70%多(邯郸市2000年为65%但2004年后基本稳定在71%左右),而工业和生活用水比重均在10%~15%之间变动;三是衡水市,农业用水比重从2000年的90%下降至2014年的84%,而工业和生活用水比重均在10%以下变动。总体而言,由于京津冀城市群各城市水资源约束强度较大,迫使产业结构和用水结构均向“理想的优化状态”转变,而且后进城市的优化力度更大,最终不仅使各类用水量在时空上保持了相对稳定的态势(图4),而且用水结构差异也趋于均衡。

4.3 用水效率的时空特征

京津冀城市群万元GDP用水量、万元农业增加值用水量、万元工业增加值用水量分别从2000年的273 m³、1821 m³、114 m³逐年下降到2014年的38 m³、398 m³、15 m³,年均下降13.2%、10.3%、13.7%,而且2000-2014年间均以指数函数的形式负增长(决定系数分别为0.9921、0.9937、0.9792),即先快速下降,然后下降速度趋缓。从各城市用水效率随时间的指数函数拟合模型的决定系数来看,除天津市万元农业增加值用水量对应为0.8544,沧州市和衡水市万元工业增加值用水量分别对应0.8667和0.6684以外,其他均大于0.9甚至接近于1,说明各城市用水效率的提高与京津冀城市群整体变化趋

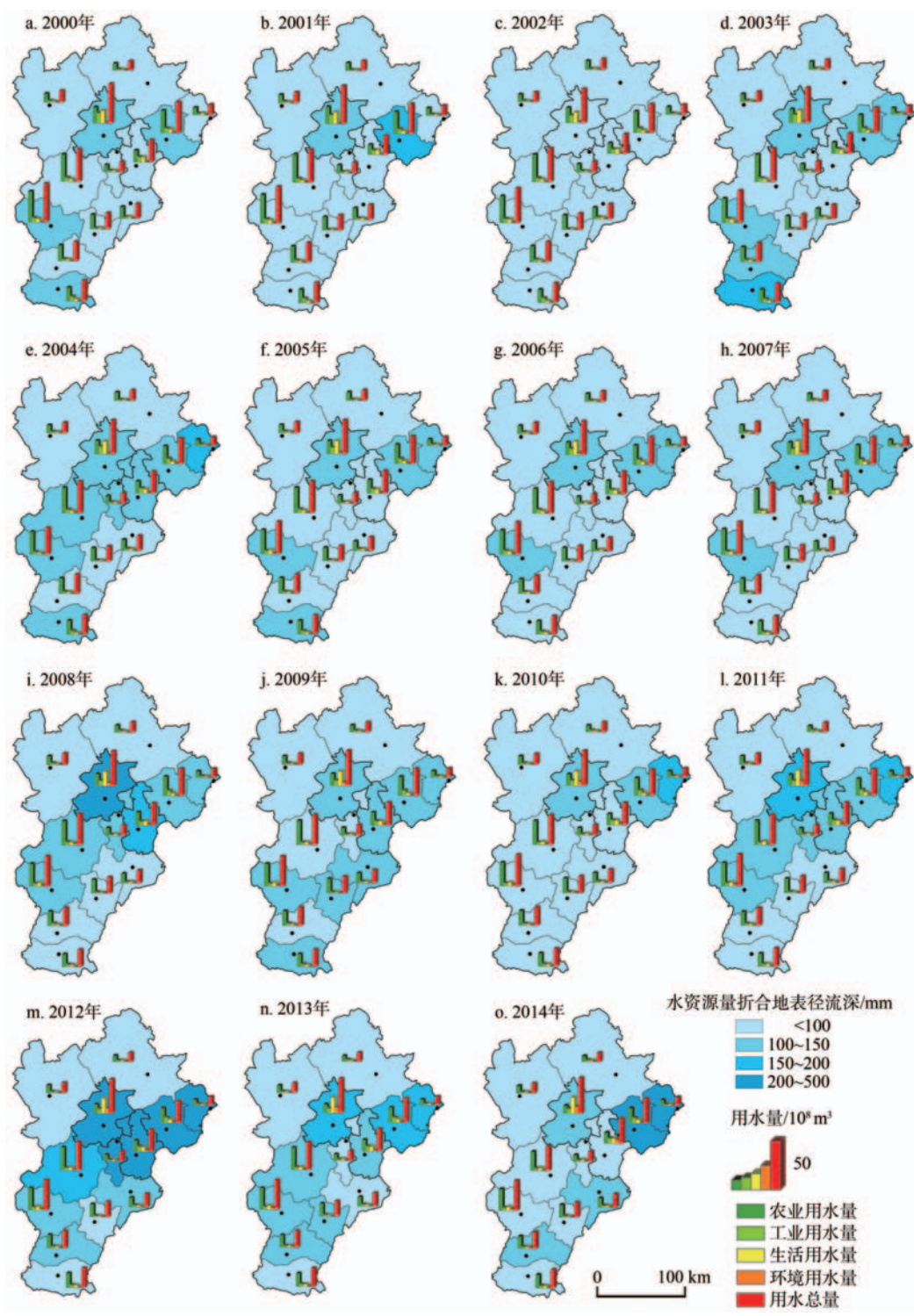


图4 2000-2014年京津冀城市群分类用水量的时空变化

Fig.4 Spatiotemporal variation of all types of water use in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration, 2000-2014

势基本类似。而且,万元GDP用水量的年均下降速度除衡水和邢台市分别为9.5%和10.9%以外,其他城市均在11%~14%之间。从具体的空间分布来看,北部的承德、张家口、秦皇岛等原来水资源条件较好、开发潜力较大而用水效率较低的城市,由于后

发优势其用水效率提高更快(图5)。但万元农业和工业增加值用水量已经很低的城市,因产业结构调整空间与节水技术上升空间较小,随时间的推移其用水效率提高较慢。

从京津冀城市群 2000-2014 年万元 GDP 用水

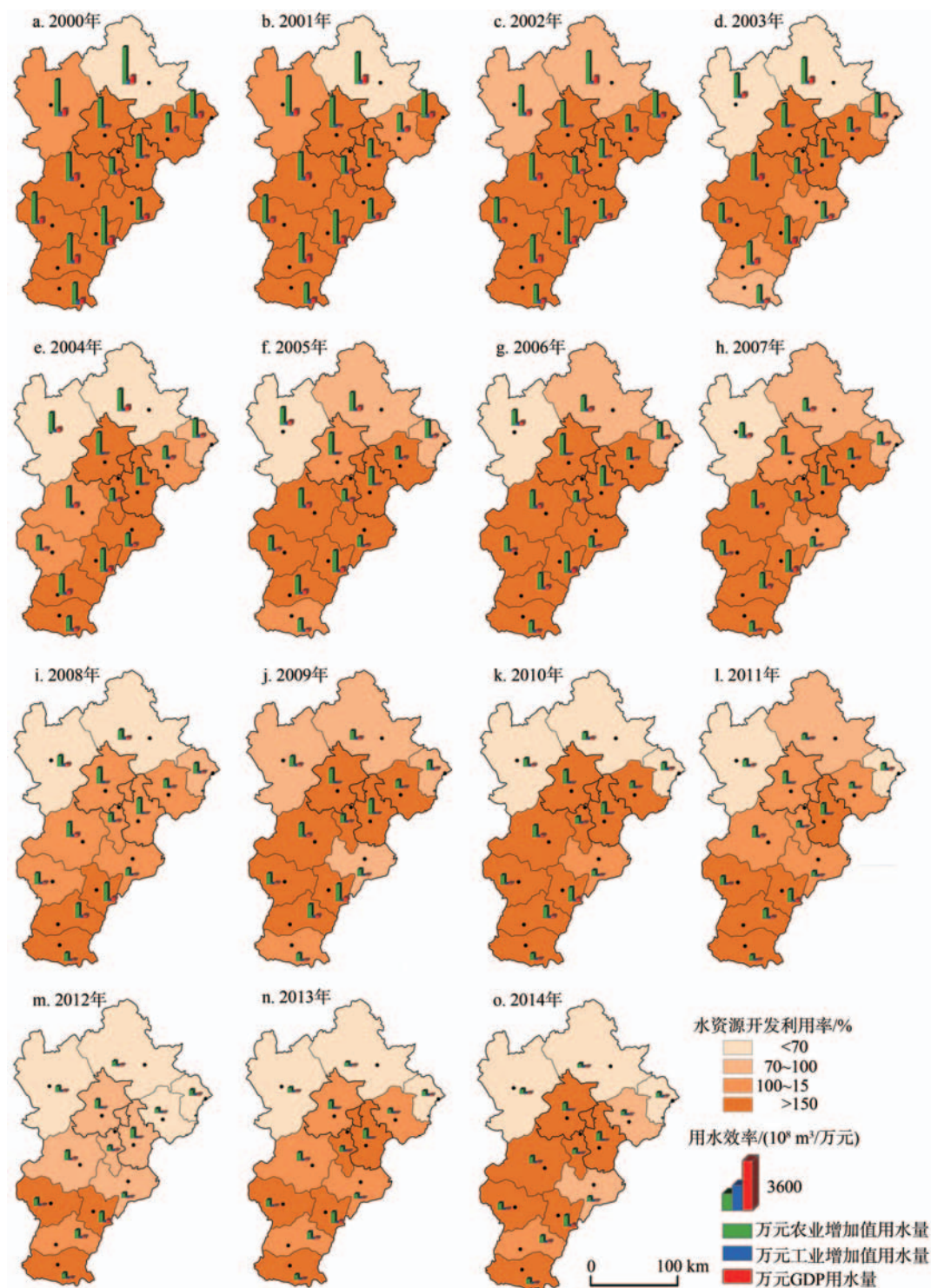


图5 2000-2014年京津冀城市群用水效率的时空变化

Fig.5 Spatiotemporal variation of water use efficiency in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration, 2000-2014

量、万元农业增加值用水量、万元工业增加值用水量的泰尔系数、变异系数来看(图6):①除万元农业增加值用水量变化稍不规则外,总体上均呈现先增大后减小的趋势,说明各城市用水效率的空间差异经历了“相对均衡、不均衡、又趋均衡”的过程;主要

原因是北京、天津、廊坊、唐山、沧州等用水效率较高的城市在2008年之前提升较快,而其他用水效率较低的城市提升速度较慢,进而导致区域差异加大;但之后用水效率较高的城市提升空间逐渐变小而用水效率较低的城市迎头赶超,使得区域差异逐

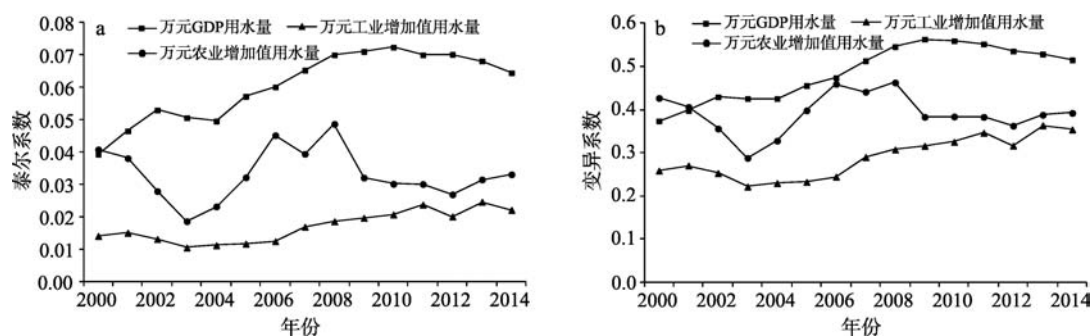


图6 2000-2014年京津冀城市群主要用水效率指标空间不均衡性的变化曲线

Fig.6 Variation of spatial imbalance of major indicators of water use efficiency in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration, 2000-2014

渐减小。②从历年来三者之间的绝对值来比较,综合用水效率的空间差异最大,农业用水效率的空间差异次之,工业用水效率的空间差异最小,说明第三产业的高级化水平和节水水平相对于工业和农业来说,在京津冀城市群各城市间差距最大,因而可作为今后提高用水效率应重点关注的方向。

5 京津冀城市群水资源与用水时空变化的政策启示

5.1 根据水资源禀赋的时空差异实施“以水量城”的城镇化政策

京津冀城市群各城市人均和地均水资源量都少,水资源开发利用率高,水资源超载现象普遍严重,而且从长期来看具有干旱化趋势,因此通过用水总量扩张来支撑城镇化和经济社会发展的自由化用水模式必然难以为继,甚至会带来巨大的社会、经济和生态风险。虽然城镇化过程本身并不一定导致区域用水总量增加,但会导致城镇建成区用水集中爆发式增长(鲍超, 2014)。而且,由于京津冀城市群在国家的重要战略地位,其城镇化过程并不完全是自身区域范围内的人口向城区集聚,还包括从周边地区甚至全国范围吸引人口,有可能导致京津冀城市群整体及局部地区水资源供需矛盾更加尖锐。为此,要依据京津冀城市群各城市的水资源承载力,并综合考虑经济社会因素,合理确定城市规模,并将其纳入法定的城市总体规划。在制定京津冀城镇化协同发展战略及相关政策时,要根据水资源条件合理控制北京、天津两大核心城市规模,有序引导人口向周边的廊坊、保定、承德、张家口以及沿海的秦皇岛、唐山、沧州等水资源条件相对较

好的城市集聚,实现人水和谐发展。

5.2 根据水资源和用水水平的时空差异实施“以水定产”的产业政策

京津冀城市群产业发展的规模、结构与用水总量、用水结构、用水效率密切相关。在水资源与生态环境约束下,必须通过产业规模与用水定额的联合调控来实现用水零增长甚至适度还水于生态。这就要求一方面要控制产业规模特别是高耗水产业规模的扩张,另一方面要根据各城市综合条件优化产业结构和用水结构,大力发展节水高效型产业。为此,要依据京津冀城市群及各城市的水资源和用水水平,并综合考虑经济社会因素,合理确定产业发展的类型与规模,制定高耗水行业的水资源准入制度和退出机制,并将其纳入国民经济发展规划,作为各级发展与改革部门审批项目的重要依据。在制定京津冀产业协同发展战略及相关政策时,要根据水资源条件鼓励北京、天津发展高附加值的工农业与高端服务业,控制甚至禁止发展高耗水行业,部分行业可引导向周边或沿海城市疏解;而农业用水比重较高的石家庄、保定、衡水、邢台、邯郸、沧州、张家口等城市,一方面要加快工业化和城镇化进程,另一方面要调整种植业规模与结构,大力发展高效节水农业,最终实现节水高效发展。

5.3 根据水资源短缺程度的时空差异完善水生态补偿政策

京津冀城市群不仅社会经济用水供需矛盾大,而且由于地表水资源严重短缺,出现了河道断流、湿地萎缩、生态系统退化等现象,而超采地下水又引发了地下水位下降、地面沉降、水质恶化等地质环境问题。为了维系经济社会发展和改善修复生态环境,各级政府实施了跨流域和跨城市的水资源

调配工程及水源地保护工程,典型的有南水北调中线和东线工程,山西、河北两省的东榆林、册田、壶流河、友谊、云州等水库向北京市的官厅和密云水库集中输水工程,引黄入津和引滦入津工程,引岳济淀和引黄济淀工程,张家口、承德等对北京市的水源地保护工程等。上述工程有的主要解决京津冀中心城市的生活与工业用水短缺问题,同时兼顾或间接改善生态和农业用水紧张问题;有的直接为白洋淀、衡水湖、大浪淀等重要生态系统的补水工程。在上述工程实施过程中,必然涉及水资源在城市间、部门或行业间的重新分配,而且可能会对给水城市(部门或行业)和受水城市(部门或行业)的水资源供需态势产生重大影响,因此需要建立并完善水资源与生态补偿机制,制定受水城市(部门或行业)对供水城市(部门或行业)的补偿政策,最终实现生态可持续发展。

5.4 根据用水变化的时空规律落实水资源管理红线政策

京津冀城市群及其多数城市用水总量已经实现了零增长或缓慢负增长,万元GDP用水量以指数函数的形式负增长,具备了用水增长与经济增长绝对脱钩的基础。但京津冀城市群既是中国参与国际竞争的最重要地域单元之一,也是中国重要的粮食主产区之一,发展仍是其今后相当长时间内的主题。如果不实行最严格的水资源管理制度,粗放式的用水模式很难避免,用水总量也极易出现反弹。为此,京津冀城市群各城市要贯彻落实水资源管理红线政策。一是明确水资源开发利用红线,严格实行用水总量控制;二是明确用水效率控制红线,坚决遏制用水浪费;三是明确水功能区限制纳污红线,严格控制入河排污总量。京津冀城市群应统筹考虑各城市用水变化的时空规律,制定既适应经济社会发展需求、又不造成生态环境恶化的水资源管理红线的指标分解、落实、监管、考核方法和措施,最终实现水—生态—经济系统的良性循环和有序发展。

参考文献 (References)

鲍超. 2014. 中国城镇化与经济增长及用水变化的时空耦合关系[J]. 地理学报, 69(12): 1799-1809. [Bao C. 2014. Spatio-temporal coupling relationships among urbanization, economic growth and water use change in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 69(12): 1799-1809.]

方创琳. 2014. 中国城市群研究取得的重要进展与未来发展

方向[J]. 地理学报, 69(8): 1130-1144. [Fang C L. 2014. Progress and the future direction of research into urban agglomeration in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 69(8): 1130-1144.]

封志明, 刘登伟. 2006. 京津冀地区水资源供需平衡及其水资源承载力[J]. 自然资源学报, 21(5): 689-699. [Feng Z M, Liu D W. 2006. A study on water resources carrying capacity in Jing-Jin-Ji region[J]. *Journal of Natural Resources*, 21(5): 689-699.]

顾朝林, 辛章平. 2014. 国外城市群水资源开发模式及其对我国的启示[J]. 城市问题, (10): 36-42. [Gu C L, Xin Z P. 2014. Guowai chengshiqun shuiziyuan kaifa moshi jiqi dui woguo de qishi[J]. *Urban Problems*, (10): 36-42.]

李孟颖, 陈介山. 2015. 京津冀地区面向人居环境之水安全格局初探[J]. 安全与环境学报, 15(3): 347-355. [Li M Y, Chen J S. 2015. Investigation of water security pattern on human consumption for the Greater Beijing Municipality area[J]. *Journal of Safety and Environment*, 15(3): 347-355.]

李鹏飞, 刘文军, 赵昕奕. 2015. 京津冀地区近50年气温、降水与潜在蒸散量变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 29(3): 137-143. [Li P F, Liu W J, Zhao X Y. 2015. The changes of atmospheric temperature, precipitation and potential evapotranspiration in Beijing-Tianjin-Hebei region in recent 50 years[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 29(3): 137-143.]

刘登伟. 2010. 京津冀大都市圈水资源短缺风险评价[J]. 水利发展研究, 10(1): 20-24. [Liu D W. 2010. Jing-Jin-Ji da dushiquan shuiziyuan duanque fengxian pingjia[J]. *Water Resources Development Research*, 10(1): 20-24.]

刘登伟. 2016. 京津冀都市(规划)圈水资源供需分析及其承载力研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社. [Liu D W. 2016. Jing-Jin-Ji dushi(guihua)quan shuiziyuan gongxu fenxi jiqi chengzaili yanjiu[M]. Zhengzhou, China: The Yellow River Water Conservancy Press.]

刘瑜洁, 刘俊国, 赵旭, 等. 2016. 京津冀水资源脆弱性评价[J]. 水土保持通报, 36(3): 211-218. [Liu Y J, Liu J G, Zhao X, et al. 2016. Assessment of vulnerability of water resources in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 36(3): 211-218.]

陆大道. 2015. 京津冀城市群功能定位及协同发展[J]. 地理科学进展, 34(3): 265-270. [Lu D D. 2015. Function orientation and coordinating development of subregions within the Jing-Jin-Ji Urban Agglomeration[J]. *Progress in Geography*, 34(3): 265-270.]

王晶, 李云鹤, 郭东阳. 2014. 京津冀区域水资源需求分析与供水保障对策[J]. 海河水利, (3): 1-3. [Wang J, Li Y H,

- Guo D Y. 2014. Jing-Jin-Ji quyu shuiziyuan xuqiu fenxi yu gongshui baozhang duice[J]. *Haihe Water Resources*, (3): 1-3.]
- 王露, 仲伟俊, 梅姝娥. 2008. 江苏县(市)科技发展的空间差异及其演变分析[J]. *科技与经济*, 21(4): 26-29. [Wang L, Zhong W J, Mei S E. 2008. Jiangsuxian(shi) keji fazhan de kongjian chayi jiqi yanbian fenxi[J]. *Science & Technology and Economy*, 21(4): 26-29.]
- 吴佩林. 2005. 我国区域发展的水资源压力分析[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 33(10): 143-149. [Wu P L. 2005. A quantificational and comparative analysis on the regional water resource pressure and water scarcity in China[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition*, 33(10): 143-149.]
- 肖金成, 李娟, 马燕坤. 2015. 京津冀城市群的功能定位与合作[J]. *经济研究参考*, (2): 15-28. [Xiao J C, Li J, Ma Y K. 2015. Jing-Jin-Ji Chengshiqun de gongneng dingwei yu hezuo[J]. *Review of Economic Research*, (2): 15-28.]
- 张健, 章新平, 王晓云, 等. 2009. 京津冀地区近47a降水量的变化特征[J]. *干旱气象*, 27(1): 23-28. [Zhang J, Zhang X P, Wang X Y, et al. 2009. Climatic variation of precipitation in Beijing, Tianjin and Hebei in recent 47 years[J]. *Journal of Arid Meteorology*, 27(1): 23-28.]

Spatiotemporal characteristics of water resources exploitation and policy implications in the Beijing–Tianjin–Hebei Urban Agglomeration

BAO Chao^{1,2,3}, HE Dongmei^{1,2,3}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, CAS, Beijing 100101, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The Beijing–Tianjin–Hebei Urban Agglomeration is one of the most competitive support platforms of China in the international economic system. It is also one of the most challenging areas with regard to water security in China and worldwide. Mainly based on data from 2000–2014, we analyzed the spatiotemporal characteristics of water resources exploitation in the Beijing–Tianjin–Hebei Urban Agglomeration using quantitative and qualitative methods, including Theil index, coefficient of variation, curve analysis, and spatial classification analysis. The results show that: (1) The average annual water resources of nearly all cities decreased evidently. The decrease in the north and west were greater than that in the south and east. (2) Water resources are scarce and unevenly distributed in the Beijing–Tianjin–Hebei Urban Agglomeration. The spatial imbalances of water resources first decreased and then increased during the study period. Water scarcities in the central and southern parts of the region were more serious than that in the north. (3) Total water utilizations of nearly all cities showed zero or slow negative growth. The proportion of industrial and agricultural water uses in total water utilization decreased in most cities. However, the spatial imbalances of all types of water use remain relatively stable. (4) Water use efficiencies in all cities increased rapidly. Their spatial differences first increased and then decreased. Based on the above spatiotemporal characteristics, it is recommended that the size of cities and the scale of industrial operations in the Beijing–Tianjin–Hebei Urban Agglomeration should be planned according to water resources carrying capacity, and corresponding urbanization and industrial development policies should be implemented. Water and ecological compensation policies should be improved. Water resource management red line policies should be carried out.

Key words: water resource; water use efficiency; spatiotemporal change; development policy; Beijing–Tianjin–Hebei Urban Agglomeration