

京津冀水资源脆弱性评价

刘瑜洁, 刘俊国, 赵旭, 张颖

(北京林业大学 自然保护区学院, 北京 100083)

摘要: [目的] 评价京津冀水资源脆弱性, 为京津冀水资源管理提供理论依据与数据支撑。[方法] 选取人口密集、经济发达、水资源问题极为突出的京津冀区域, 采用水足迹的理论与方法, 构建了集水资源压力—发展压力—污染压力—水资源管理压力(RDHM)于一体的水资源脆弱性评价指标体系, 采用层次分析法确定不同指标的权重, 对该区域 2003—2013 年水资源脆弱性进行了评价。[结果] 京津冀地区面临着水资源禀赋差, 开发利用强度大, 污染严重, 水资源管理力度区域差异大等问题。北京市在水资源管理方面水平相对较高, 但水污染压力长期没有得到有效缓解; 天津市虽然在水资源管理上获得了长足的进步, 但水资源脆弱性有增无减, 其水资源问题的解决亟需寻找新的途径; 河北省水资源管理相对京津地区差距较大, 水资源脆弱性逐年突显, 成为京津冀地区水资源问题的短板。[结论] 缓解区域水污染压力, 正视河北省水资源管理的滞后性, 统一配置水资源, 缩小水资源脆弱性区域差异在京津冀一体化背景下势在必行。

关键词: 京津冀一体化; 水资源脆弱性; 水足迹; 区域差异

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0211-08

中图分类号: TV213

文献参数: 刘瑜洁, 刘俊国, 赵旭, 等. 京津冀水资源脆弱性评价[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 211-218.

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.036

Assessment of Vulnerability of Water Resources in Beijing-Tianjin-Hebei Region

LIU Yujie, LIU Junguo, ZHAO Xu, ZHANG Ying

(College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: [Objective] Assessment of the vulnerability of water resources in Beijing-Tianjin-Hebei(BTH) region was carried out in order to provide theoretical and data support for water resources management. [Methods] This study focuses on the vulnerability of water resources in BTH, a highly populated and developed region yet with serious water resource problems. An indicator system of water resources vulnerability was established by integrating resource pressure, development pressure, pollution pressure and management pressure(RDPM) using the concept theories of water footprint while analytic hierarchy process was used to determine the weights of different indicators. Then the water vulnerability was assessed from 2003 to 2013 for the BTH region. [Results] The BTH region was exposed to problems such as poor water resources endowments, high water exploitation, serious water pollution and unbalanced management. Beijing City had a relatively high level of water resources management, it still suffered from serious water pollution. Tianjin City has made a great progress in water resources management, but the water resources vulnerability did not show a declining signal and new management approaches need to be explored. Compared to Beijing and Tianjin City in terms of water resources management, there is a big lag in Hebei Province, whose water resources vulnerability seems to be more serious in these years. As a result, Hebei has been a “short slab” of water resources management in the BTH region. [Conclusion] It is imperative to relieve the pressure on water pollu-

收稿日期: 2016-01-14

修回日期: 2016-02-25

资助项目: 北京市自然科学基金项目“京津冀水足迹演变驱动机制与水资源调控分析”(8151002); 国家自然科学基金项目“京津冀水资源短缺演变规律及驱动机制”(41571022); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2015ZX07203-005); 北京市教育委员会科学研究与研究生培养共建项目

第一作者: 刘瑜洁(1989—), 女(汉族), 河北省张家口市人, 硕士研究生, 研究方向为生态水文和水足迹。E-mail: happyliuyujie@126.com.

通讯作者: 刘俊国(1977—), 男(汉族), 山东省莱芜市人, 博士, 教授, 主要从事水文水资源和生态修复研究。E-mail: liu_junguo@163.com.

tion, increase the management strategies in Hebei Province, allocate water resources reasonably and improve water management in all BTH regions.

Keywords: integration of Beijing-Tianjin-Hebei Region; water resources vulnerability; water footprint; regional gaps

随着全球变化、人口激增和社会经济的发展,全球用水量在 20 世纪增加了 6 倍,其速度是人口增长的 2 倍^[1]。很多水资源匮乏地区,水资源开发利用强度远远超过其承载能力。目前有约占世界人口总数 40% 的 40 个国家和地区严重缺水。随着世界经济重心向发展中国家转移和全球气候变化,水风险越来越受到关注,2015 年 1 月世界经济论坛上发布的《全球风险报告》中,水风险成为影响全球经济的最关键因子,在所有影响因子中居首位^[2]。因此,在强人类活动干扰的区域,进行水资源脆弱性评价,分析水资源对经济社会的响应规律,提出水资源短缺应对策略,具有重要的理论价值与现实意义。

中国水资源总量居世界第 6 位,但人均水资源量仅为 $2\,300\text{ m}^3/\text{人}$,仅为世界平均水平的 $1/4$,按国际通用的 Falkenmark 指数,处于轻度缺水状态。水资源分布严重不均,其中海河流域仅为 $300\text{ m}^3/\text{人}$,是全国水平的 $1/7$ ^[3]。水污染问题更加剧了本来紧张的水资源供需矛盾,加之气候变化引起的干湿变化和极端天气,使得中国水资源系统的脆弱性更加凸显。

京津冀地区地处水资源极为脆弱的海河流域。区域面积不足全国的 2.3%,水资源仅占全国的 1%,却承载着全国 8% 的人口和 11% 的经济总量。长期以来,随着社会经济的发展,资源过度开发利用引起了一系列的生态环境问题,河道断流、地下水位下降、水体严重污染等,并在很多地区出现“有河皆干,有水皆污”的情况^[4]。在强人类活动的干扰下,京津冀生态环境错综复杂,水资源成为制约区域发展的关键要素^[5]。

京津冀地区拥有优越的城市发展平台,以及政策、资源、人才、技术优势,其建设不仅关系到自身的发展,也关系中国北方经济与社会的全面发展,更关系到中国综合国力在全球的竞争力。京津冀地区的发展存在区域经济结构失衡、缺乏公平合理的区际利益协调机制等问题^[6]。“京津冀一体化”战略更强调京津冀地区的优势互补、互利共赢,3 个区域的协调发展^[7]。三地处于不可分割、复杂联系的水系统中,其中河北省位于上游地区、是京津的生态屏障和重要水源地,每年向京津供水达 $2.00 \times 10^9\text{ m}^3$ ^[8]。因此,水资源既是京津冀协同发展的一部分,又是整体协同发展的基石。京津冀一体化背景下,综合考虑强人类活动干扰和社会经济因素,分析京津冀地区的水资源

脆弱性演变规律与区域差异,寻找水资源管理和调配的方向,具有很强的科学价值和实践意义。

水资源脆弱性评价最早起源于对地下水脆弱性的研究^[9]。20 世纪 80 年代末期形成了以缺水程度等为标准的水资源脆弱性评价方法^[10]。90 年代以来地表水和水资源系统的脆弱性逐渐兴起,唐国平等^[11]、刘绿柳^[12]在国外地下水脆弱性研究基础上,给出了宏观水资源脆弱性的概念;2006 年以来,邹君等^[13-14]等进一步研究了地表水资源脆弱性的概念内涵及评价方法,并应用于多个区域;夏军等^[15]探讨了气候变化背景下的水资源脆弱性概念、评价方法,并进行了适应性调控研究。但目前水资源脆弱性评价仍存在以下问题:① 水资源脆弱性评价指标多针对水质脆弱性,水量脆弱性缺乏考量;② 现有的评价仍多着眼于自然状况下的水资源脆弱性,但随着社会经济的发展,人类活动对水资源产生着深刻的影响,因此需要进行社会经济影响下的水资源脆弱性评价;③ 现有的水资源脆弱性评价方法多是采用取水量或者用水量核算水资源脆弱性指标,但以流域或者地区为整体进行研究时,因为用水量的一部分回流到流域当中^[16],取水量或者用水量不能很好地反应水资源消耗量。因此,本文拟以强人类活动干扰下的京津冀区域为研究对象,综合考虑水量水质和人类水资源利用及管理活动,评价京津冀水资源脆弱性,以期京津冀水资源管理提供理论依据与数据支撑。

1 研究方法

1.1 水资源脆弱性评价指标体系

本文在联合国教科文组织(UNESCO)发布的国际生命之水十年行动计划(2005—2015)中指出的水资源问题重点关注领域的基础上^[17],构建了集水资源压力—发展压力—污染压力—水资源管理压力(RDHM)于一体的水资源脆弱性指标体系。考虑到指标的可比性,进行了归一化处理,使得所有指标均在 0~1 范围内(0 表示水资源脆弱性最低,1 表示水资源脆弱性最高)。在评价过程中,我们采用了“水足迹”的概念来表征生产耗水情况,水足迹指的是生产消费者消费的产品和服务所消耗的水资源量^[18]。借鉴水足迹的概念进行水资源脆弱性评价主要有以下 2 个方面的优点。① 与传统的用水指标相比,水足迹关注的重点是耗水,在一定程度上水足迹比用水更

能表征流域实际的水资源消耗^[19],对水资源脆弱性的评价也更加合理。② 水足迹不仅关注水资源利用,还关注水污染(灰水),为综合评价水资源脆弱性提供了理想的方法支持。文中水足迹的核算方法参见水足迹评价手册^[18]。

(1) 资源压力(resources stress)。本文采用水短缺压力指数 S_w 来核算水资源压力,将人均水资源量与国际公认的水资源紧缺阈值相比较^[20],公式如下:

$$S_w = \begin{cases} 1 - \frac{W_{RP}}{W_{RP_{min}}} & (W_{RP} \leq 1700) \\ 0 & (W_{RP} > 1700) \end{cases} \quad (1)$$

式中: S_w ——水短缺压力指数; W_{RP} ——人均水资源量(m^3); $W_{RP_{min}}$ ——水资源压力警戒线(m^3)。下同。国际公认人均年水资源量少于 $1700 m^3$ 水紧缺警戒线。

(2) 发展压力(development stress)。本文采用水资源利用压力指数 S_u 和安全饮用水压力指数 S_d 来衡量发展压力。水资源利用压力指数定义为蓝水足迹与当地可利用蓝水资源量的比值。可利用蓝水资源量为当地水资源量扣除环境流的部分。环境流指的是维持淡水或河口生态系统所需的水量、时间、水质,以及依赖上述系统的人类生计与福祉^[21]。采用海河流域 35% 水资源总量作为环境流^[22]。公式如下:

$$S_u = \begin{cases} 1 - \frac{W_{RA}}{B_{WF}} & (W_{RA} < B_{WF}) \\ 0 & (W_{RA} \geq B_{WF}) \end{cases} \quad (2)$$

$$S_d = 1 - \frac{P_{SDW}}{P} \quad (3)$$

式中: S_u ——水资源利用压力指数; B_{WF} ——蓝水足迹(m^3); W_{RA} ——可利用蓝水资源量(m^3)。安全饮用水压力指数; P_{SDW} ——可获得安全饮用水的人口; P ——当地总人口。下同。

(3) 污染压力(pollution stress)。引入灰水足迹的概念计算水污染压力指数 S_p ,灰水足迹是与污染有关的指标,定义为以自然本底浓度和现有的环境水质标准为基准,将一定的污染物负荷吸收同化所需的淡水体积^[18],其计算公式如下:

$$S_p = \begin{cases} 1 - \frac{W_{RA}}{G_{WF}} & (W_{RA} < G_{WF}) \\ 0 & (W_{RA} \geq G_{WF}) \end{cases} \quad (4)$$

$$G_{WF} = \frac{L}{C_{max} - C_{min}} \quad (5)$$

式中: G_{WF} ——灰水足迹(m^3/a); W_{RA} ——可利用蓝

水资源量; L ——污染物排放负荷(kg/a); C_{max} ——达到环境水质标准情况下的污染物最高浓度; C_{min} ——受纳水体的初始浓度(kg/m^3)。受纳水体的初始浓度指自然条件下某种污染物的浓度。下同。

工业和生活部门在用水过程中产生的是点源污染,可按上述公式直接核算。农业部门的污染以面源污染为主。在计算灰水足迹时,假定一部分农业生产污染排放物最终会到达地表水或地下水,而进入水体的污染物与总施肥量中的该物质的比例为一个固定值^[18]。计算公式如下:

$$G_{WF_a} = \frac{\alpha \times A}{C_{max} - C_{min}} \quad (6)$$

式中: G_{WF_a} ——农业部门的灰水足迹(m^3); A ——使用的化学物质质量(kg); α ——进入水体的某物质引起的污染量占该物质施用量的比例。对于农业部门,氮元素是最主要的污染物,因此依据氮元素施肥量来核算灰水足迹。这种情况下, α 等于氮肥的淋失率。下同。

本研究中核算了农业、工业和生活 3 个部门的灰水足迹。工业和生活部门,排放的污染物以 COD 和氨氮为主,本研究中把工业和生活部门合并在一起核算,分别计算由 COD 引起的 2 个部门的灰水足迹和由氨氮引起的灰水足迹,取较大值作为工业和生活部门灰水足迹 $G_{WF_{i,d}}$ 。农业部门以氮元素为指标进行核算。由于水体中可以同时对氮元素和 COD 或氨氮进行稀释,不同物质间的交互作用较为复杂,我们对该问题进行简化,选择由氮元素引发的灰水足迹和由 COD 或者氨氮引发的灰水足迹中的较大值作为该地区的灰水足迹。计算公式如下:

$$G_{WF} = \max\{G_{WF_a}, G_{WF_{i,d}}\} \quad (7)$$

式中: G_{WF_a} ——农业部门生产的灰水足迹(m^3); $G_{WF_{i,d}}$ ——工业及生活部门生产的灰水足迹(m^3)。下同。

(4) 管理压力(management stress)。通过比较研究区与世界经济合作与发展组织(Organization for Economic Co-operation and Development,以下简称 OECD 组织)万元 GDP 用水量对单位 GDP 用水量指数进行标准化处理,计算单位 GDP 用水量压力指数 S_g ,计算公式如下:

$$S_g = \begin{cases} \frac{1 - W_{UGDP_{OECD}}}{W_{UGDP}} & (W_{UGDP} \geq W_{UGDP_{OECD}}) \\ 0 & (W_{UGDP} < W_{UGDP_{OECD}}) \end{cases} \quad (8)$$

式中: W_{UGDP} ——研究区单位 GDP 用水量(m^3);

$W_{\text{UGDP}_{\text{OECD}}}$ ——OECD 组织平均水平的单位 GDP 用水量(m^3)。下同。

卫生设施压力指数 S_s 的计算公式如下:

$$S_g = 1 - \frac{P_s}{P}$$
 (9)

式中: P_s ——可获得卫生设施的人口数; P ——总人口。下同。

1.2 指标权重的确定

确定指标权重是水资源脆弱性评价的一个重要步骤,也是水资源脆弱性研究的一个难点。权重的确定既要遵循客观的原则,又要结合研究的实际要求和科学含义。主要有主观赋权法和客观赋权法。

主观赋权法是一种定性分析方法,一般由决策者根据主观偏好或者经验判断给出。其确定方法主要有:平均法、专家调查法、模糊评价法等。

客观赋权法是一种定量分析的方法,一般由建立的指标体系所提供的数学信息给出。其确定方法主

要有:主成分分析法、因子分析法、变异系数法等。面对复杂的决策问题,前人开发了主客观相结合的方法,如层次分析法(AHP)、熵权系数法等。

层次分析法(AHP)是一种解决多目标的复杂问题的决策分析方法。该方法将定量分析与定性分析结合起来,用决策者的经验判断各衡量目标能否实现的标准之间的相对重要程度,并合理地给出每个决策方案的每个标准的权数,利用权数求出各方案的优劣次序,有效地应用于那些难以用定量方法解决的课题。该方法综合考虑了指标直接的相对重要性(主观性)和层次单排序和总排序的一致性(客观性),将科学涵义与客观统计检验相结合。

由于层次分析法兼顾主观性与客观性,本文采用层次分析法对权重进行确定。具体过程参见张明月等^[23]对疏勒河流域昌马灌区的水资源脆弱性分析。本文京津冀水资源脆弱性数据来源如表 1 所示。

表 1 京津冀水资源脆弱性核算指标及数据来源

目标层	准则层	指标层	数据来源
社会 经济 水 资源 脆 弱 性	资源压力	水短缺压力指数 S_w	人均水资源量来自《中国环境统计年鉴 2004—2014》
	发展压力	水资源利用压力指数 S_d	环境流比例来自 Vladimir Smakhtin 等,蓝水资源量来自《中国环境统计年鉴 2004—2014》
	污染压力	安全饮用水压力指数 S_d	可获得安全饮用水的人口数来自《中国卫生统计年鉴 2004—2014》
		水污染压力指数 S_p	环境水质标准采用地表水环境质量标准 GB3838—2002,农业氮肥施用量、工业及生活氨氮、COD 排放量来自《中国环境统计年鉴 2004—2014》
	管理压力	单位 GDP 用水量指数 S_g	OECD 组织单位 GDP 用水量来自 OECD 数据集,京津冀地区单位 GDP 用水量来自《中国环境统计年鉴 2004—2014》
		卫生设施压力指数 S_s	可获得卫生设施的人口数来自《中国卫生统计年鉴 2004—2014》

2 结果与分析

2.1 京津冀地区水资源脆弱性指标变化情况分析

(1) 资源压力。由图 1a 可知,京津冀 3 个地区的水短缺压力指数从 2003—2013 年介于 0.81~0.94 之间,远远高于全国平均水平(中国作为整体人均水资源量大于 1 700 m^3 ,因此中国水短缺压力指数为 0)。年际变化规律不明显。天津市的水短缺压力最大,其次是北京市、河北省。

(2) 发展压力。由图 1b 可知,京津冀地区的水资源利用压力指数分布在 0~0.58 的范围内,该指标综合考虑了当地可用水量和生产水足迹,年际变化较大。在 2005—2007 年该压力值相对较高。总体上,天津和河北水资源利用压力指数较大,北京相对较低。但 2010 年以后河北省水资源利用压力指数下降明显。

由图 1c 可知,京津冀地区安全饮用水压力指数反映的是当地安全饮用水的可获得性。因为城市采用统一的供水,安全饮用水问题主要集中在农村地区。京津冀地区安全饮用水压力指数分布在 0.00~0.21 范围内,均远远低于全国的水平。总体而言,北京市安全饮用水压力指数最低;天津市饮用水问题改善很快,安全饮用水压力指数在 2003—2013 年降低了 92.3%,到 2013 年可保障 98.9%的农村人口获得安全饮用水;河北省安全饮用水压力指数相对较高,在 2003—2013 年期间仅下降了 38.1%,饮用水问题改善相对滞后。

(3) 污染压力。由图 1d 可知,水污染压力指数分布在 0.78~0.97 的范围内,京津冀地区水污染压力均较高,总体而言,呈现逐年下降趋势。3 个地区承受的水污染压力由高到低依次为:天津市、河北省、北京市。就变化趋势而言,北京市水污染压力下降趋

势较为明显,其中2008年该指数出现最低值,可能与2008年降雨较丰富有关;北京市和河北省下降趋势较低,天津市2009年以后水污染压力指数下降幅度较大。

(4) 管理压力。由图1e可知,京津冀地区单位GDP用水量指数分布在0.00~0.88范围内,均低于全国水平,尤其是京津两地其管理压力指数远远低于全国水平。该指标反应的是当地生产过程中水资源利用效率与OECD组织的对比情况,北京市和天津市,从2003—2013年单位GDP用水量指数降低很快,从2010年开始当地水分利用效率达到了发

家水平;而河北省单位GDP用水指数相对较高,且在2003—2013年仅下降了28.4%,发展相对北京市和天津市落后。

由图1f可知,京津冀地区卫生设施压力指数在2003—2013年整体上呈现下降趋势,北京市和天津市卫生设施压力指数较低,其中北京市卫生设施压力呈现先增加后下降的趋势,天津市卫生设施建设发展较快,从2003—2006年卫生设施压力下降了88.9%,2006年以后基本保持平稳。河北省卫生设施压力指数较高,高于全国平均水平,且从2003—2013年仅下降了28.4%。

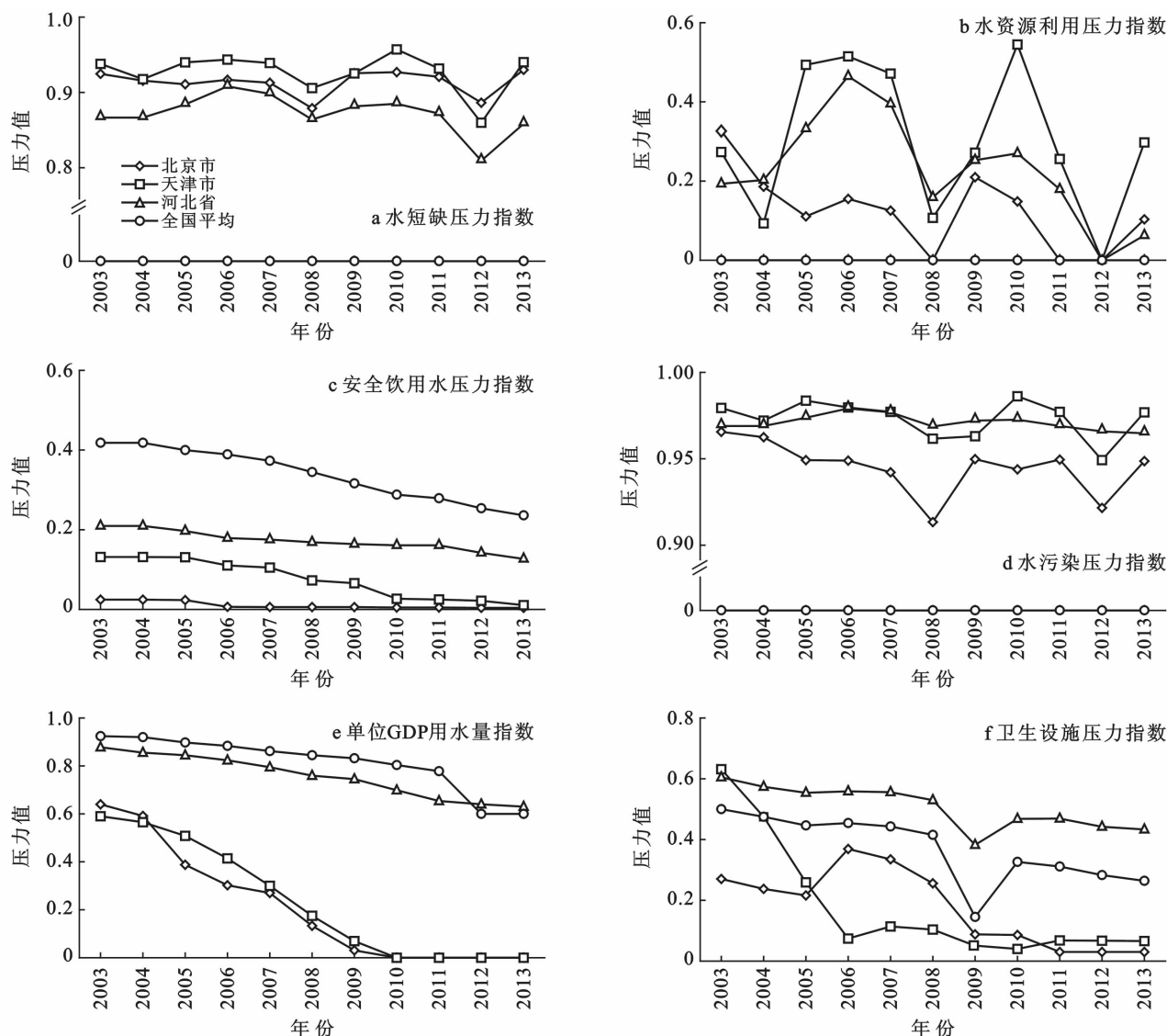


图1 京津冀地区水资源脆弱性指标

2.2 京津冀地区水资源脆弱性类型分析

由图2可知,河北省水资源脆弱性相对较高,北京市和天津市较低。3个地区呈现不同的特点。北京市各项指标压力值相对其他2个地区较低,但其水

压力指数方面较高,说明北京水资源禀赋较差。天津市水压力指数和水资源利用压力指数较高,尤其是水资源利用压力指数远远高于其他2个地区,生产用水压力大。

河北省相对北京市和天津市相对落后,各项指标压力均比较大,尤其是在卫生设施压力指数和单位 GDP 用水量指数方面,河北省的值远高于北京市和天津市。

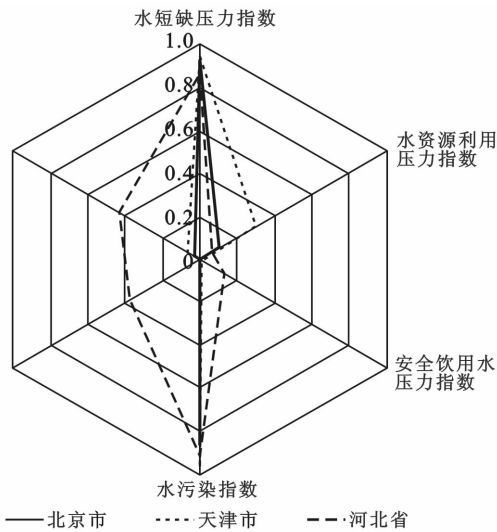


图 2 京津冀地区水资源脆弱性雷达图

2.3 京津冀地区水资源脆弱性指数年际变化

由图 3 可知,京津冀地区水资源脆弱性远远高于全国平均水平。2008 和 2012 年水资源脆弱性达到最低点。北京市水资源脆弱性在 3 个地区相对最低。

天津市 2005 年水资源脆弱性最高,从 2005—2008 年逐年下降,但 2008 年以后水资源脆弱性又呈现逐年上升的趋势,2010 年后呈现下降趋势。河北省和天津水资源脆弱性指数在 2004 年以后整体高于北京。

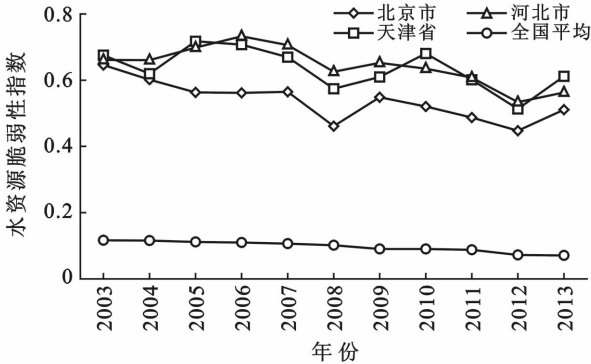
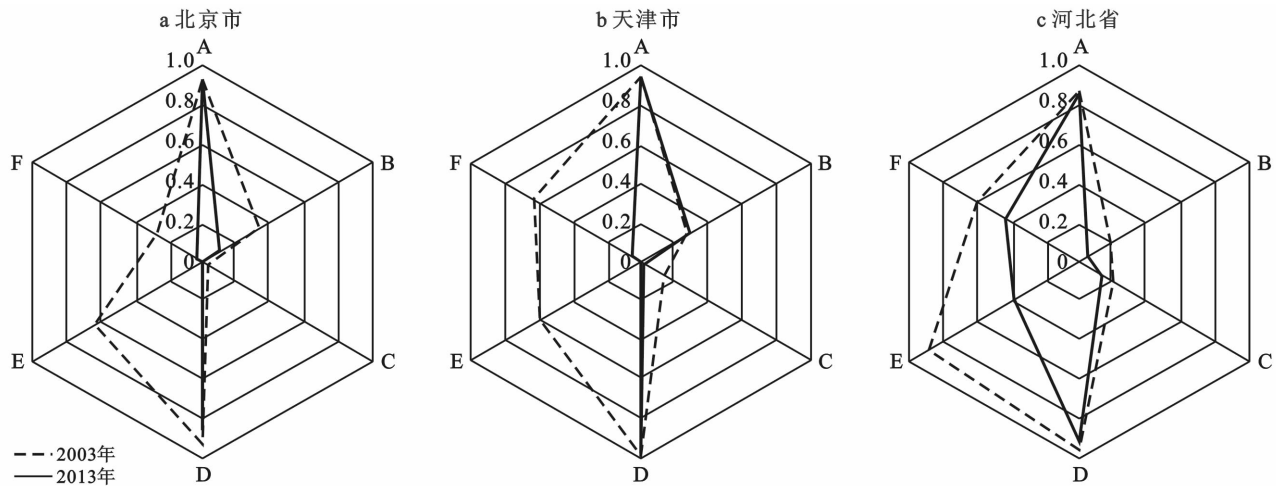


图 3 京津冀地区水资源脆弱性综合指数

由图 4 可知,2003—2013 年除水短缺指数外,北京市和天津市各项指数都有大幅下降,尤其是水资源压力指数和卫生设施压力指数下降明显。但京津两地水资源短缺指标仍然较高,说明两地仍面临严重的水资源短缺问题。河北省水资源脆弱性在 2003—2013 年期间变化相对较小,水资源利用压力略有增加,卫生设施压力指数和单位 GDP 用水量指数稍有下降,但总体上变化不显著。



注:A 水短缺指数; B 水资源利用压力指数; C 安全饮用水压力指数; D 水污染指数; E 单位 GDP 用水量指数; F 卫生设施压力指数。

图 4 京津冀地区水资源脆弱性时间演变趋势

3 讨论

(1) 京津冀地区水资源脆弱性指标规律分析。由水短缺指数表征的资源压力主要体现了当地的水资源禀赋。京津冀地区该指标由当地人均水资源量核算,年际变化不明显。该指标受到降雨量影响较

大,2004,2008 年降雨量较丰富的年份水短缺压力指数较低。

水资源利用压力指数由当地可用水量 and 蓝水足迹决定,年际变化较大,该指标反应的是生产耗水相对可利用水资源量的变化情况;安全饮用水压力指数体现了农村地区安全饮用水普及情况,该指标京

京津冀3个地区均低于全国平均水平,北京市和天津市呈现明显的逐年下降趋势,而河北省在2003—2007年该指标基本保持平稳。

水污染指数是将灰水足迹的与可用水量资源量相比较,衡量了污染物对于水体水质的压力,该指标在京津冀地区压力值均在0.78以上,表明京津冀整体污染严重,水体纳污能力压力较大。

单位GDP用水量指数体现了最严格水资源管理制度中重要的水资源利用效率控制红线,结合卫生设施压力指数,体现了当地的水资源管理能力。京津冀地区尤其是北京市和天津市属我国经济最发达地区之一,单位GDP用水效率远远高于世界平均水平,但与发达国家相比差距还很大,将单位GDP的用水量与OECD组织相对比更能体现中国最严格水资源管理制度中用水效率达到或接近世界先进水平的要求。卫生设施压力指数,北京市呈现先增加后下降的趋势,可能与区域人口增加有关;天津市在2003—2006年卫生设施压力指数逐年下降,此后保持在0.15以下;河北省在2003—2013年期间卫生设施压力指数下降幅度较小,总体值高于全国平均水平。其中:安全饮用水压力指数和卫生设施压力指数因为城市建设均可满足,认为压力为0,所有这2个指标只针对农村地区。

总体而言,京津冀地区整体上存在水资源禀赋差,用水压力大,水污染严重等问题,而这些问题在天津市尤为突出。北京市随着技术进步、用水效率的提高,在京津冀地区水资源脆弱性相对较低。河北省的发展滞后、基础设施不完善,水资源脆弱性在2003—2013年期间未得到有效的缓解。

(2) 京津冀地区水资源脆弱性规律与最严格水资源管理制度的实施。水资源脆弱性评价着重于水资源系统在服务于生态经济系统的生产、生活、生态功能过程中,或者在抵御污染、自然灾害等不良后果出现过程中所表现出来的适用性或敏感性,评价结果能够为最严格水资源管理制度的实施提供参考。

2003—2013年期间,北京市用水量增加控制情况较好,安全饮用水压力指数、单位GDP用水量指数和卫生设施压力指数有明显下降,良好的水资源管理和发展投资对区域水资源脆弱性缓解作用较为明显,但水污染压力没有得到有效的缓解,污染物对水体纳污能力压力较大,这可能是北京2014年最严格水资源管理制度考核分数在京津冀地区相对较低的主要原因。

天津市2003—2013年在水资源管理方面的压力值也有明显下降,区域节水措施的实行和基础设施建

设方面发展迅速,2014年天津市最严格水资源管理制度考核结果为优秀,与研究结果一致。但水资源利用压力增加、加之水资源禀赋差,天津市的水资源脆弱性仍居高不下,天津市的水资源脆弱性的主要问题从水资源管理不足演变为水资源消耗巨大,其水资源脆弱性仍较高。

河北省水资源脆弱性在2003—2013年期间变化较小,但从2006年以后随着北京市和天津市水资源管理的飞速发展,河北省由于管理滞后导致的水资源脆弱性逐渐突显。虽然河北省在2014年最严格水资源管理制度考核结果为良好,说明“三条红线”相对控制目标的完成情况较好,但河北省在水资源管理上相对京津地区的滞后性仍然较大。水资源基础设施不完善以及潜在的对不可持续性水资源的开发^[24],使得河北省水资源脆弱性在3个区域最高。

4 结论与建议

在京津冀一体化背景下,本研究着眼于京津冀严峻的水资源问题,借鉴水足迹的概念,评价了京津冀地区的水资源脆弱性,结果表明京津冀地区水资源脆弱性远远高于全国平均水平,其主要原因是水资源禀赋差、开发利用强度大、污染严重、水资源管理力度区域差异大等。北京市通过良好的水资源管理,水资源脆弱性2003—2013年有所缓解,在应对水风险方面起到了较好的示范作用,但水污染压力一直以来没有得到有效的解决,最严格水资源管理制度执行情况有待进一步提高。天津市水资源脆弱性面临着水资源禀赋差和水资源开发利用强度逐年增加的双重压力,虽然在2003—2013年水资源管理方面得到了飞速的发展,但水资源脆弱性有增无减,单位GDP用水效率已经超越了OECD组织的平均水平,安全饮用水和卫生设施的可获得性已基本达到饱和,天津市水资源脆弱性的缓解亟需寻找新的出路。河北省经济发展和水资源脆弱性相对庸常,随着京津水资源管理的快速发展,河北的水资源管理滞后问题逐渐突显,2006年以后河北省水资源脆弱性在3个地区最高,导致京津冀区域内部发展不均衡性愈演愈烈。

随着京津冀一体化战略的提出,河北省将承接北京市高污染、高耗能等产业转移的压力,其水资源问题或更为突出,河北省对于三地协同发展有着更为迫切的诉求。因此,对京津冀地区水资源管理的建议主要如下:①在严格控制用水需求过快增长、采取有保有退措施、使得用水需求与水资源承载力相适应的前提下,重视污染治理和污水处理回用,缓解区域水污染压力,提升区域生态系统健康性;②正视河北省水

资源管理的落后性,加强京津辐射作用,引进先进技术方法、完善基础设施建设、提高用水效率;③统一配置京津冀水资源,合理调整用水结构与格局,逐步缩小水资源脆弱性的区域差异。

[参 考 文 献]

- [1] United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. The UN World Water Development Report(WWDR4). [Z]. the 4th ed. 2012.
- [2] World Economic Forum. Global risks 2015[Z]. the 10th ed. World Economic Forum, Geneva, 2015.
- [3] 贾绍凤,吕爱峰,韩雁,等. 中国水资源安全报告[Z]. 北京:科学出版社,2014.
- [4] 王丽. 京津冀地区资源开发利用与环境保护研究[J]. 经济研究参考,2015(2):47-71.
- [5] 李孟颖,陈介山. 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,2015,15(3):347-355.
- [6] 李彦军,叶裕民,倪棵. 城市群内城乡统筹的理论基础与现实依据[J]. 中国人口. 资源与环境,2008,18(5):46-52.
- [7] 魏进平,刘鑫洋,魏娜. 京津冀协同发展的历程回顾、现实困境与突破路径[J]. 河北工业大学学报:社会科学版,2014,6(2):1-6.
- [8] 王一文,李伟,王亦宁,等. 推进京津冀水资源保护一体化的思考[J]. 中国水利,2015(1):1-4.
- [9] National Research C. Ground Water Vulnerability Assessment-predicting Relative Contamination Potential Under Conditions of Uncertainty[M]. Washington D C: National Academy Press, 1993.
- [10] Brouwer F, Falkenmark M. Climate-induced water availability changes in Europe[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1989,13(1):75-89.
- [11] 唐国平,李秀彬,刘燕华. 全球气候变化下水资源脆弱性及其评估方法[J]. 地球科学进展,2000,15(3):313-317.
- [12] 刘绿柳. 水资源脆弱性及其定量评价[J]. 水土保持通报,2002,22(2):41-44.
- [13] 邹君,杨玉蓉,谢小立. 地表水资源脆弱性:概念、内涵及定量评价[J]. 水土保持通报,2007,27(2):132-135.
- [14] 邹君,傅双同,毛德华. 中国南方湿润区水资源脆弱度评价及其管理:以湖南省衡阳市为例[J]. 水土保持通报,2008,28(2):76-80.
- [15] 夏军,石卫,陈俊旭,等. 变化环境下水资源脆弱性及其适应性调控研究:以海河流域为例[J]. 水利水电技术,2015,46(6):27-33.
- [16] Perry C. Efficient irrigation: Inefficient communication, flawed recommendations [J]. Irrigation and Drainage, 2007,56(4):367-378.
- [17] United Nations Department of Economic and Social Affairs. International decade for action water for life, 2005—2015[EB/OL]. United Nations Department of Economic and Social Affairs. <http://www.un.org/waterforlifedecade/>.
- [18] Aldaya M M, Chapagain A K, Hoekstra A Y, et al. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard[M]. New York: Routledge, 2012.
- [19] Hoekstra A Y. Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis[J]. Ecological Economics, 2009,68(7):1963-1974.
- [20] Falkenmark M, Widstrand C. "Population and Water Resources: A Delicate Balance," in Population Bulletin [M]. Washington D C: Population Reference Bureau, 1992.
- [21] Declaration B. The Brisbane Declaration: Environmental flows are essential for freshwater ecosystem health and human well-being. 10th [Z]. International River Symposium, Brisbane, Australia, 2007.
- [22] Smakhtin V, Revenga C, Döll P. A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity [J]. International Water Resources Association, 2004, 29(3):307-317.
- [23] 张明月,彭定志,钱鞠. 疏勒河流域昌马灌区水资源脆弱性分析[J]. 南水北调与水利科技,2012,10(2):104-106.
- [24] Srinivasan V, Karen C S K, Ruth E, et al. The impact of urbanization on water vulnerability: A coupled human-environment system approach for Chennai, India [J]. Global Environmental Change, 23(1):229-239.