

哈尔滨市水资源开发利用与城镇化发展的响应关系

丛东来^{1,2,3}, 于少鹏^{1,2,3}, 陈曦^{1,2}, 刘献⁴

(1. 哈尔滨学院 地理与旅游学院, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省寒区湿地生态与环境研究重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 哈尔滨湿地研究院, 黑龙江 哈尔滨 150086; 4. 哈尔滨学院 食品工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要: [目的] 研究水资源系统和城镇化系统的相互作用, 为资源开发与城镇化协调发展提供理论依据。[方法] 运用层次分析法、因子分析法和响应度模型对 2006—2017 年哈尔滨市水资源开发利用和城镇化发展的影响因素、时序特征、响应关系进行定量研究。[结果] ①研究期内哈尔滨市水资源开发利用和城镇化发展均呈阶段性增长趋势。二者均以 2011 年前后为时间节点, 表现出前期波动、后期趋稳的阶段性特征。②城镇化系统中经济、空间和社会城镇化的上升发展较为同步。人口城镇化起伏较大, 有衰退的潜在风险。城市水资源开发利用程度加深, 管理水平提升, 但资源赋存不稳定, 城市用水负荷增加。③响应关系测算比较中, 城镇化发展对水资源的变动具有更强的敏感性, 经济集聚和空间扩张产生了明显的资源消耗效应, 水资源开发利用程度对城镇化发展有制约作用。[结论] 需要运用系统性思维, 以水资源时空分布为基础, 保持城镇化适度发展, 合理抑制用水需求并提升水务管理能力, 以减轻水资源约束。

关键词: 水资源开发利用; 城镇化; 响应关系; 哈尔滨市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)01-0269-07

中图分类号: K909; X321

文献参数: 丛东来, 于少鹏, 陈曦, 等. 哈尔滨市水资源开发利用与城镇化发展的响应关系[J]. 水土保持通报, 2020, 40(1): 269-275. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2020. 01. 039; Cong Donglai, Yu Shaopeng, Chen Xi, et al. Response relationship between water resources utilization and urbanization in Harbin City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(1): 269-275.

Response Relationship Between Water Resources Utilization and Urbanization in Harbin City

Cong Donglai^{1,2,3}, Yu Shaopeng^{1,2,3}, Chen Xi^{1,2}, Liu Xian⁴

(1. College of Geography and Tourism, Harbin University, Harbin, Heilongjiang 150086, China; 2. Heilongjiang Province Key Laboratory of Cold Region Wetland Ecology and Environment Research, Harbin, Heilongjiang 150086, China; 3. Harbin Institution of Wetland Research, Harbin, Heilongjiang 150086, China; 4. College of Food Engineering, Harbin University, Harbin, Heilongjiang 150086, China)

Abstract: [Objective] The interaction between water resources systems and urbanization systems was studied in order to provide a theoretical basis for the coordinated development of resource exploitation and urbanization. [Methods] Analytic hierarchy processes, factor analysis, and a response model were used to quantitatively study the influencing factors, spatio-temporal characteristics, and response relationship of water resources utilization and urbanization development respectively, in Harbin City from 2006 to 2017. [Results] ① The development and utilization of water resources and urbanization in Harbin City increased in stages. Both stages had 2011 as the node time, showing the stage characteristics of early fluctuation and later stabilization. ② The three subsystems of economy, space, and society, in the urbanization system rose and developed synchronously. The subsystem of population urbanization fluctuated greatly and risked systematic recession. In the water resources system, the utilization degree was deepened, and the management level was improved, however the resources were unstable and the urban water consumption load increased. ③ In the calculation of the response relationship, urbanization development was more sensitive to the change of water resources,

收稿日期: 2019-08-15

修回日期: 2019-10-14

资助项目: 国家自然科学基金项目“东北地区城市化发展与生态环境效应非协调耦合的识别及脱钩机制设计”(41271555); 哈尔滨市社科联 2019 年项目“哈尔滨市提升城市生态品质的路径研究”

第一作者: 丛东来(1978—), 男(汉族), 黑龙江省哈尔滨市人, 硕士, 讲师, 主要从事区域开发与可持续发展研究。Email: congdonglai@163.com。

通讯作者: 于少鹏(1972—), 男(汉族), 黑龙江省哈尔滨市人, 教授, 主要从事生态环境保护与修复研究。Email: yushaopeng1972@163.com。

economic agglomeration, and spatial expansion that produced an obvious resource consumption effect. The development and utilization of water resources had a restrictive effect on the development of urbanization. [Conclusion] Systematic thinking should be used to maintain the moderate development of urbanization based on the spatial and temporal distribution of water resources, rationally restraining the demand for water use and enhancing the management ability will help reduce the water constraints.

Keywords: development and utilization of water resources; urbanization; response relationship; Harbin City

城镇化是以人口和经济活动向特定地域集中为基本特征的发展过程,是现代化的必由之路。按国家行政建制设立的市、镇是城镇化发展的重要空间载体,而可供开发利用的各类资源则是城镇化发展不可或缺的物质保障。当前中国城镇化率已接近 60%,未来 25 a 中国城镇化水平每提高 1% 所需水量、建设用地和造成的生态超载分别是过去 25 a 的 1.88 倍, 3.45, 2.42 倍^[1],表明未来取水难度、用地难度和生态重建难度会越来越大。水是自然系统中最为活跃的因子,具有原生的生态属性和次生的“生态—社会”关联属性^[2],水作为基础性的自然资源和战略性的经济资源^[3],已成为中国建设“生态文明”和进行“绿色发展”的重要支撑条件。新世纪以来,伴随着中国城镇数量的增加和城镇面积的不断扩大,城镇化发展与水资源、水环境和水生态的相互作用日趋复杂。因此,探讨水资源开发利用与城镇化发展的复杂关系具有现实价值和长远的战略意义。

由于发达国家城镇化发展较早,并且目前多数发达国家已进入城镇化进程后期,因此国外对城镇化进程与水资源开发利用相互关系的研究成果较多。主要涉及水资源管理、政策与城镇化环境的关系^[4]、水污染对城镇化的影响^[5]、城镇化增长与水资源危机^[6]、城镇化发展阶段与水资源开发利用阶段的对应关系^[7]等。国内学者对城镇化与水资源开发利用关系的研究,从内容上看主要包括城镇化与水资源系统的动态耦合及其效应分析^[8]、城镇化与水足迹、水污染的关系^[9]、城镇化进程中水资源承载力的测度^[10]、城镇化与水系统的演变^[11]、城镇化与水资源利用的互动机理和调控模式^[12]、水资源对城镇化发展的约束作用^[13]等;从研究区域看,多集中在西北干旱、半干旱地区、华北地区和两湖地区^[14-16];从研究的空间尺度看,以全国范围、流域范围和规模较大的城市群地区为主^[17-19]。整体而言,现有成果以宏观、中观尺度的城镇化发展为背景,探讨城镇化进程中水资源的承载力、约束力问题较多,而针对人水关系、地水关系相对紧张的城镇化核心城市的研究尚有不足。基于此,本文选取北方地区典型的缺水型中心城市——哈尔滨市为研究对象,评价其水资源开发利用与城镇化发展状态,并建立二者的响应关系模型,以期揭示城

镇化进程与水资源开发利用的作用机制。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

哈尔滨市是黑龙江省省会,地处东北亚中心位置,是中国东北北部的区域性中心城市、哈长城市群的核心城市之一和第一批国家新型城镇化综合试点城市。同时,哈尔滨也是中国重要的制造业基地和商品粮基地。作为东北地区“T”型经济网络的关键节点和哈大齐工业走廊的起点,哈尔滨是地区经济的增长极和人口的聚集地。截止到 2017 年末,哈尔滨市辖 9 区 9 县(市),全市常住人口 1092.9 万人,其中户籍总人口 955 万人,常住人口城镇化水平 64.5%;市域总面积 53 076 km²,其中市辖区面积 10 193 km²,建成区面积 434 km²;国内生产总值 6.355 亿元,占全省国内生产总值 39.2%。

哈尔滨市为北温带大陆性季风气候,年降水变率较大。水资源空间分布呈东—中—西依次递减的格局,具有东丰西欠、贫富不均的特征。市域多年平均降水量为 611 mm,6 月至 9 月汛期径流量占多年平均径流量的 60%~75%,多年平均水资源量为 1.14×10^{10} m³,地下水资源总量约为 3.00×10^9 m³。松花江干流中段在哈尔滨穿城而过,城市过境水资源相对丰富。2017 年,全市人均综合用水量 708.3 m³,万元工业增加值用水量 22.9 m³。按照国际通行的水资源紧缺指标判断^[20],哈尔滨市属于中、重度缺水地区。2008 年到 2013 年,哈尔滨市先后被列为第三批全面节水型社会建设试点地区,国家级水生态系统保护与修复试点城市,第一批全国水生态文明城市建设试点。但受水资源时空分布不均,水质污染和用水供需矛盾突出等因素影响^[21],哈尔滨市社会经济发展与水资源开发利用的形势依然严峻。

1.2 指标体系和研究方法

系统论的视角有利于揭示“人—地—水”复合系统内部的相互作用及其整体性特征,按照“要素—子系统—系统”的构成关系^[22],本研究通过选取要素指标构建城镇化系统和水资源系统,评价其发展状况,并运用响应度模型分析二者的响应关系。

(1) 要素指标。通过理论分析和频度统计法初

步选取城镇化系统和水资源系统的基本要素指标。运用 SPSS19.0 软件筛选出相关系数较大的指标并予以去除,再利用因子分析法,提取累计贡献率超过 85% 的指标作为终选指标^[16]。由于水资源系统要素

指标的统计数量及统计年份都有一定的局限,因此综合考虑数据的可得性,对少部分相关系数较高但对系统评价重要的要素指标予以保留,最终确定的要素指标详见表 1。

表 1 哈尔滨市城镇化系统与水资源系统评价体系及指标权重

系统	子系统	要素指标	权重	属性
城镇化	人口城镇化(0.278)	城镇人口比重	0.136	正向
		人口密度	0.064	正向
		二、三产业就业人口比重	0.078	正向
	经济城镇化(0.307)	人均 GDP	0.091	正向
		人均工业总产值	0.026	正向
		二、三产业经济密度	0.178	正向
		二、三产业产值比重	0.012	正向
	社会城镇化(0.242)	城镇居民人均可支配收入	0.049	正向
		人均消费额	0.073	正向
		恩格尔系数	0.042	逆向
		高等教育学生占总人口比重	0.022	正向
		百户城市居民汽车拥有量	0.047	正向
	空间城镇化(0.173)	万人拥有医疗床位数	0.009	正向
		城镇密度	0.074	正向
		人均建成区面积	0.025	正向
人均道路铺装面积		0.020	正向	
人均公共绿地面积		0.006	正向	
水资源	水资源禀赋(0.179)	公路网密度	0.048	正向
		水资源总量	0.073	正向
		人均水资源占有量	0.011	正向
		产水模数	0.052	正向
	水资源荷载(0.168)	产水系数	0.043	正向
		城镇生活用水量	0.031	逆向
		农村生活用水量	0.007	逆向
		工业用水量	0.069	逆向
		农业用水量	0.053	逆向
	水资源利用(0.383)	生态环境用水量	0.008	逆向
		人均用水量	0.036	逆向
		水资源开发利用率	0.134	逆向
		万元 GDP 用水量	0.099	逆向
		工业用水重复率	0.095	正向
	水资源管理(0.270)	灌溉水有效利用系数	0.019	正向
水利行政管理费占行政支出比例		0.081	正向	
万元工业增加值废水排放量		0.105	逆向	
城镇污水处理率		0.061	正向	
		水质监测达标率	0.023	正向

(2) 系统、子系统综合评价指数。采用层次分析法,结合熵权法对初始指标进行修正^[23],并进行标准化处理。运用逐层加权法分别计算系统、子系统综合评价指数。

(3) 水资源系统与城镇化系统的响应指数和响应度模型。响应指数通常用响应度来表达,其内涵来自于经济学点弹性的概念,表示因变量对自变量变化

的敏感程度。响应度模型^[24]可以揭示水资源开发利用与城镇化发展的响应关系及作用强度。

$$\xi_j = \sum_{t=1}^n \frac{1}{T} |\theta_k(t)| \left[\theta_k(t) = \frac{d\beta_{kt} U_t}{dU_t \beta_{kt}} \right] \quad (1)$$

式中: ξ_j 为 T 时期内第 k 个水资源子系统对城镇化系统的响应度; $\theta_k(t)$ 为 t 年第 k 个水资源子系统对城镇化系统的响应系数; U_k 为 t 年城镇化系统综合评价

指数; β_{kt} 为 t 年第 k 个水资源子系统综合评价指数; $\frac{d\beta_{kt}}{dU_i}$ 为 t 年第 k 个水资源子系统综合评价指数对城镇化的导数; $k=1, 2, \dots, b$; $t=1, 2, \dots, n$ 。

(4) 水资源子系统和城镇化子系统的相互作用。采用 SPSS19.0 软件,对水资源和城镇化的子系统相关系数矩阵进行运算,得出相关系数及其 p 值,据此判断二者之间的关联程度和作用机制。

1.3 数据来源

本研究采用的 2006—2017 年城镇化发展和水资源开发利用的数据,来自于相应的《哈尔滨统计年鉴》《哈尔滨市国民经济和社会发展统计公报》《中国城市统计年鉴》《哈尔滨市水资源公报》,以及哈尔滨市水务局年度工作总结和部门决算(网址: http://www.hrb-wrb.gov.cn/n_zwggk/n_bmysxx/)。对个别年份数据缺失的百户城市居民汽车拥有量、生态环境用水量、城镇生活用水量、灌溉水有效利用系数指标,进行了相关部门补充调查或相邻年份插值法处理。

2 结果与分析

2.1 城镇化系统综合评价

2.1.1 城镇化系统发展的主要影响因素 哈尔滨市城镇化系统的主要影响因素可通过其子系统和要素指标的权重来体现(见表 1)。4 个子系统的影响力从大到小依次为经济城镇化(0.307)、人口城镇化(0.278)、社会城镇化(0.242)和空间城镇化(0.173)。前三者权重合计 82.7%,对哈尔滨城镇化系统的影响较大,经济城镇化子系统起主导作用。在评价哈尔滨城镇化系统的 18 个要素指标中,二三产业经济密度(0.178)、城镇人口比重(0.136)、人均 GDP(0.091)等 9 个指标的权重合计约 80%,是哈尔滨城镇化系统发展的主要影响因素,主要影响因素指标的权重分布与城镇化子系统权重值相互对应,可以看出影响哈尔滨城镇化系统发展的主要影响因素集中在二三产业经济结构、城镇人口的规模分布和生产消费方面。

2.1.2 城镇化系统的时序演化特征 由图 1 可知,2006—2017 年哈尔滨城镇化系统及经济、社会、空间子系统均呈同步上升、增速放缓的态势。人口城镇化的发展变化较为剧烈和复杂,呈前期陡增、中期波动、后期趋稳态势。2006—2014 年,经济城镇化和社会城镇化滞后于人口城镇化和空间城镇化,说明这期间哈尔滨城镇化发展主要受人口城镇化驱动,其次是空间城镇化驱动。具体表现为 2006—2014 年城镇人口数量增长了 1.19 倍,建成区面积增加了 1.33 倍,城乡人口转变加快,外延型城市土地扩张明显,是典型

的粗放型城镇化发展;同期经济城镇化和社会城镇化虽然持续增长,但整体效率不高,城镇化质量有待提升。2014 以后空间城镇化、经济城镇化和社会城镇化稳步上升,人口城镇化的发展趋于平稳。原因在于哈尔滨在城市发展战略上注重人口—经济—空间—社会发展的协调性,在空间布局上延续“北跃—南拓—中兴—强县”的空间均衡思想,人口集聚更加趋于理性;而空间城镇化仍有较快发展原因在于哈尔滨市双城等地撤市划区的行政区划变动、二三产业的布局调整,促进了哈尔滨都市圈内部土地利用的优化。

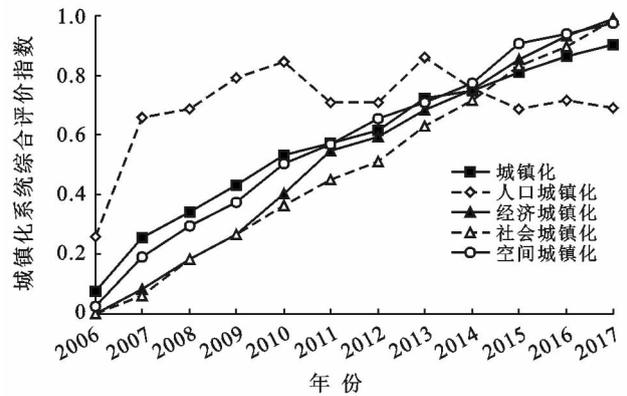


图 1 哈尔滨市城镇化系统及其子系统综合评价指数

根据哈尔滨城镇化系统综合评价指数及其年增长率的变化,可将 2006—2017 年哈尔滨城镇化系统的发展分为两个阶段:①2006—2010 年城镇化快速增长阶段。此阶段是东北振兴战略启动以后的红利释放期,哈尔滨城镇化发展迎来较大机遇。②2011—2017 年城镇化阶梯式增长阶段。这一阶段中国先后提出了新型城镇化内涵式发展和经济新常态,东北经济处在转型升级的进程中,哈尔滨市通过出台一系列以“紧凑型城市”和“精明增长”为目标的政策法规,有效控制了城市建设用地的无序蔓延,逐步提升城镇化效率。

2.2 水资源系统综合评价

2.2.1 水资源系统开发利用的影响因素 哈尔滨市水资源系统的 4 个子系统影响作用从大到小依次为水资源利用(0.383)、水资源管理(0.270)、水资源禀赋(0.179)、水资源荷载(0.168)。在构成水资源系统的 18 个要素指标中,水资源开发利用率(0.143)、万元工业增加值废水排放量(0.105)、万元 GDP 用水量(0.099)等 9 个指标的权重和为 80%,其中 4 个与工业用水密切相关的指标约占总权重的 1/3 以上,即哈尔滨水资源系统开发利用的主要影响因素是工业经济的用水需求和用水效率,其次是水利行政管理和农业用水因素。

2.2.2 水资源系统的时序演化特征 由图 2 可知, 2006—2017 年哈尔滨市水资源系统整体呈上升发展态势, 研究期内系统波动变化明显, 波动幅度逐渐减小。各子系统中: ①水资源禀赋波动最为剧烈, 主要原因是受季风区自然条件影响, 哈尔滨市年降水变率较大, 研究期内降雨量最大值为 2013 年的 $4.10 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 最小值为 2007 年的 $2.15 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 分别比多年平均降雨量浮动 +26.4% 和 -33.6%; ②水资源荷载在研究期的首末时间点上变动不大, 水资源荷载略有增加, 但整体发展过程中的变动十分明显。2006—2008 年荷载的指标值明显高于水资源其他 3 个子系统, 表明哈尔滨市在快速的城镇化进程中, 人口和社会经济的发展压力造成水资源负荷过重; 2008—2013 年水资源负荷持续降低, 与推行严格的节水制度、建设节水型城市以及产业用水调整有很大关联; 2013—2017 年用水负荷再次持续增加, 主要是受气候条件影响, 农业用水增加较多; ③水资源管理整体上不断提升进步, 反映在水利行政经费投入占比逐年增加、城镇污水处理率、水质监测达标率持续上升等方面, 管理系统的稳步发展得益于哈尔滨水资源管理制度的高效落实和水处理技术的应用推广; ④水资源利用与水资源系统的变动趋势大体保持同步。万元 GDP 用水量连续下降, 下降幅度达 132%, 工业产业的水依赖逐渐减小; 工业用水重复率和灌溉水有效利用系数持续增大, 得益于水处理技术的提升和水利设施的增加。但是, 在技术进步和城镇化内涵发展的背景下, 哈尔滨市人均用水量和水资源开发利用(用水量与水资源总量的比值)两项指标仍有明显增加, 具体表现为工业用水量减小的同时, 农业用水量不断增加, 并且哈尔滨市农田灌溉用水占全市各产业用水比重常年保持在 80% 以上。

综合考虑水资源系统及其子系统的变化, 可以将 2006—2017 年哈尔滨市水资源系统的发展划分为两个阶段。①2006—2011 年波动发展阶段, 这一阶段前期哈尔滨市水资源系统发展退化的压力较大, 后期因国家生态、环保政策调整和区域增长方式转变使得水资源系统快速恢复和提升; ②2012—2017 年阶梯式发展阶段, 此阶段在生态水文明背景下哈尔滨市进

行了水生态保护与修复试点城市建设, 以技术进步和产业升级为基础水资源系统得以稳步发展。水资源系统与城镇化系统的阶段划分在时间节点上较为接近, 表明二者的发展在系统内外部环境上存在一定关联。由于城镇化系统和水资源系统在自身各阶段的发展速度和内容并不一致, 必然导致两个系统间产生差异性的响应。

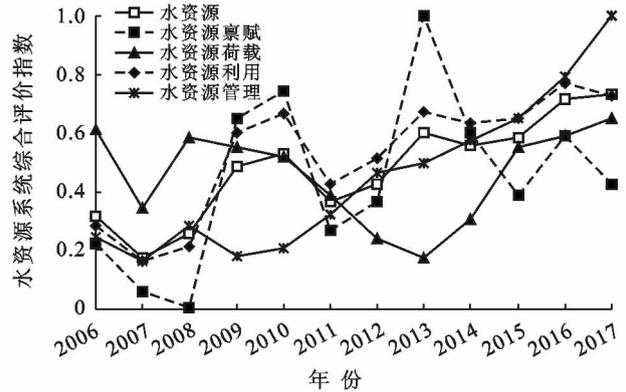


图 2 哈尔滨市水资源系统及其子系统综合评价指数

2.3 水资源系统与城镇化系统的响应关系分析

2.3.1 水资源系统与城镇化系统响应关系的函数表达 一般而言, 两系统的响应关系是由 $A \rightarrow B$ 和 $B \rightarrow A$ 共同组成。A 对 B 的响应 ($B \rightarrow A$), 是指以 B 为自变量, 以 A 为因变量, 考察 B 变动时 A 的变动幅度, 反之亦然。因此, 表征水资源系统与城镇化系统响应关系的函数如表 2 和表 3 所示。使用 SPSS19.0 软件, 进行线性模型、指数模型、幂函数模型、二次项模型、三次项模型、逻辑斯蒂模型、生长曲线模型等多种曲线估计分析, 对城镇化和水资源的系统及子系统的响应指数分别进行曲线拟合, 通过比较拟合优度建立最佳响应函数(表 2 和表 3)。从响应函数的类型看, 除水资源禀赋对城镇化的响应方程为指数函数、经济城镇化和社会城镇化对水资源系统的响应方程为二次函数以外, 其他响应函数均为三次函数。对拟合的响应函数进行检验, 当 $F > F_{0.1}(1, 10) = 3.285$, $p < 0.1$ 时, 响应函数具有显著性意义。测定系数 R^2 值越大表明拟合优度越高。

表 2 2006—2017 年哈尔滨市水资源系统对城镇化系统的响应函数及其检验

指数	函数表达式	拟合优度		响应度
		R^2	$F(p)$	
水资源综合响应指数	$Y = 0.326 - 0.679X + 2.128X^2 - 0.999X^3$	0.818	11.991(0.002)	0.656
水资源禀赋响应指数	$Y_1 = 0.053 2.894X$	0.267	3.650(0.085)	0.095
水资源荷载响应指数	$Y_2 = 0.445 + 1.841X - 6.524X^2 + 5.254X^3$	0.765	10.92(0.002)	1.065
水资源利用响应指数	$Y_3 = 0.293 - 0.907X + 3.751X^2 - 2.471X^3$	0.751	8.661(0.008)	0.601
水资源管理响应指数	$Y_4 = 0.255 - 0.171X - 0.5X^2 + 1.702X^3$	0.957	58.78(0.000)	1.295

注: 表中 Y, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 表示水资源系统和水资源禀赋、荷载、利用、管理子系统; X 表示城镇化系统。

表 3 2006—2017 年哈尔滨市城镇化系统对水资源系统的响应函数及其检验

指数	函数表达式	拟合优度		响应度
		R^2	$F(p)$	
城镇化综合响应指数	$X=0.468-2.515Y+8.336Y^2-5.609Y^3$	0.771	8.980(0.006)	1.154
人口城镇化响应指数	$X_1=1.566-8.425Y+21.607Y^2-16.063Y^3$	0.409	3.847(0.008)	1.128
经济城镇化响应指数	$X_2=-0.107+0.809Y+0.939Y^2$	0.771	15.119(0.001)	1.294
社会城镇化响应指数	$X_3=-0.063+0.431Y+1.346Y^2$	0.811	19.335(0.001)	1.126
空间城镇化响应指数	$X_4=0.311-1.806Y+7.007Y^2-4.522Y^3$	0.756	13.640(0.002)	1.414

注: X, X_1, X_2, X_3, X_4 表示城镇化系统和城镇化人口、经济、社会、空间子系统; Y 表示水资源系统。

2.3.2 水资源系统与城镇化系统的响应关系 从水资源对城镇化的响应来看(见表 2): ①水资源管理与城镇化拟合程度最高,其次是水资源荷载和水资源利用,水资源禀赋与城镇化系统拟合度较低。说明城镇化发展通过促进技术进步和提高社会组织效能,进而对水资源管理能力提升产生显著影响。而水资源禀赋受自然条件影响较大,受人类活动影响相对较小; ②水资源荷载和水资源管理对城镇化系统的响应度较大,表明哈尔滨市的用水和水资源管理对城镇化发展有更强的敏感性。一方面 2006—2017 年水资源荷载的发展呈剧烈波动的双 U 结构(见图 2),与城镇化的发展轨迹并不具有对应性;另一方面在某些年份,如 2006, 2013, 2017 年水资源荷载与水资源禀赋的变化呈反相对应关系,反映出水资源荷载的响应强度不仅与城镇化自身演进有关,也受区域降水等自然因素影响; ③水资源系统综合评价指数位于拟合曲线上方(见图 3),反映出这些年份哈尔滨市水资源系统具有较大的承载空间,能够对城镇化发展起支撑作用,保障城镇化健康发展;其余年份水资源系统综合评价指数位于拟合曲线下方,表明城镇化对水资源系统的消耗较大,水资源对城镇化发展产生了约束作用。

从城镇化系统对水资源系统的响应来看(表 3): ①空间城镇化与水资源系统拟合度最高,其次是经济城镇化、社会城镇化和人口城镇化。表明哈尔滨市水资源系统与社会—经济—空间的城镇化关联性较强,而与人口城镇化的关联相对较弱; ②城镇化系统及其子系统对水资源系统的响应度数值较为接近,极值差仅为 0.288,说明响应的敏感性差异较小,反映出生态文明背景下哈尔滨的城镇化发展追求生产、生活、生态的全面效益,进而优化了水资源系统结构; ③从城镇化和水资源各类指数的响应度数值来看(表 2—3),前者

明显大于后者,表明哈尔滨市城镇化发展对水资源系统的变动更具敏感性,水资源变动对城镇化发展的影响有放大效应。尤其是哈尔滨城镇化粗放式快速增长时期,大量新增的用水需求对水资源系统形成胁迫作用,增大了水资源系统衰退的风险。

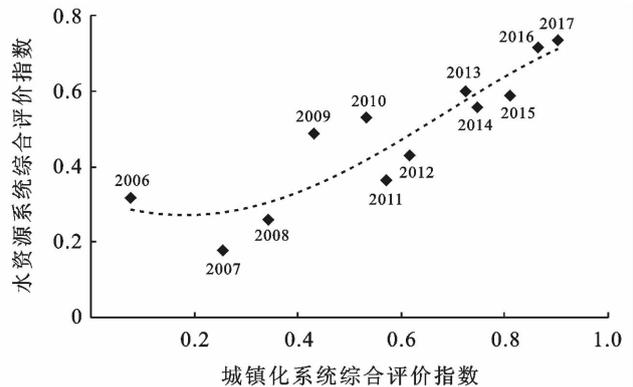


图 3 水资源系统与城镇化系统发展的关系

2.3.3 水资源子系统和城镇化子系统的相关性分析

对哈尔滨水资源子系统评价指数和城镇化子系统评价指数进行相关性分析,形成的 4×4 关系矩阵可反映出子系统间的关系(见表 4)。①水资源荷载与经济城镇化呈“显著”的负相关,与空间城镇化呈“非常显著”的负相关,表明哈尔滨市水资源的负荷压力与经济活动和空间扩张关联较大。哈尔滨新区建设和城镇空间拓展,导致水需求加大,加剧了水资源负荷; ②水资源利用、水资源管理与经济、社会和空间城镇化都存在“非常显著”的正相关,说明城镇化的发展加强了水资源开发利用程度、提升了水资源管理能力,从而提高水资源利用效率; ③水资源禀赋与城镇化各子系统均不相关,体现出水资源禀赋的自然属性与城镇化发展的社会经济属性具有一定的独立性。

表 4 哈尔滨市水资源子系统与城镇化子系统的相关关系

水资源子系统	统计指标	城镇化子系统			
		人口城镇化	经济城镇化	社会城镇化	空间城镇化
水资源禀赋	相关系数 r	0.516	0.461	0.453	0.467
水资源荷载	相关系数 r	-0.387	-0.678*	0.024	-0.848**
水资源利用	相关系数 r	0.527	0.831**	0.836**	0.836**
水资源管理	相关系数 r	0.127	0.901**	0.923**	0.871**

注: ** 表示 $p < 0.01$, 差异非常显著; * 表示 $p < 0.05$, 差异显著。

3 结论与建议

3.1 结论

(1) 从发展过程看,2006—2017 年哈尔滨市水资源开发利用与城镇化发展均呈阶段性增长趋势。水资源开发利用过程变化剧烈,城镇化发展过程相对平稳。二者均以 2011 年前后为时间节点,表现出前期波动、后期趋稳的阶段性特征。

(2) 从系统构成看:①哈尔滨市城镇化系统中经济、空间和社会 3 个子系统的上升发展较为同步。哈尔滨市城镇化由 2014 年以前单一的人口城镇化驱动转变为 2014 年以后的经济、空间和社会城镇化共同驱动。空间城镇化的发展表明,在人地协调和均衡开发的前提下,哈尔滨市的外围县(市)、镇尚有较大的城镇化提升空间。人口城镇化在研究期内起伏较大,虽然发展渐趋平稳,但是需要警惕持续人口外流带来系统衰退的风险;②水资源系统中,受哈尔滨市自然条件影响水资源禀赋表现出明显的不稳定性。尽管水资源利用和水资源管理整体上升发展,但水资源负荷仍有少量增加,主要原因在于哈尔滨市农业耗水居高不下抵消了工业节水和其他节水的效果。

(3) 从响应关系来看:①城镇化系统对水资源系统的响应强度明显高于水资源系统对城镇化系统的响应程度。表明在哈尔滨市这类缺水城市中,城镇化发展对水资源的变动具有更强的敏感性,水资源的量和质是制约城镇化发展的重要因素;②空间、经济和社会城镇化对水资源系统响应较强,说明哈尔滨市的经济集聚和空间扩张产生了明显的资源消耗效应。人口城镇化对水资源系统的响应较弱,原因在于受人口外流影响,哈尔滨市人口城镇化的发展阶段与水资源系统改善并不具有对应关系;③水资源荷载与经济城镇化和空间城镇化呈明显的负相关,表明哈尔滨市水资源的负荷压力与经济活动和空间扩张关联较大,水资源开发利用受到城镇化发展的胁迫,城镇化对资源环境的剥夺效应明显。水资源利用、水资源管理与经济、社会 and 空间城镇化都存在“非常显著”的正相关,说明城镇化的发展能够加强水资源开发利用程度、提升水资源管理能力,促进水资源系统的优化。

3.2 建议

(1) 运用系统观和整体性思维解决“人—地—水”的复杂矛盾问题。①整合管理资源,协调水利、城建、土地和环保等多个部门探索新的管理机制,处理好哈尔滨市水利规划、国土规划和城市总体规划的关系;②以水资源时空分布为依据,适时调整产业结构和布局,构建节水型产业体系,形成“以供定需”和“分

质供水”的水资源利用格局;③保持城镇化适度发展,推进主城区海绵城市建设,加速水生态修复和城市修补的“双修工程”进度,实现水生态文明和新型城镇化建设的同步发展。

(2) 加快城乡基础设施信息化建设,增强水资源时空调控能力和区域供水保障能力。与“数字龙江”和“智慧城市”云平台对接,提升水资源管理的集成化和智能化水平,实现大数据驱动的水资源优化配置,实时评估和预测水资源与城镇化的匹配程度,减少水资源对城镇化发展的硬约束。

与社会经济发展数据相比,水资源指标统计类型、统计年限都较为有限,在一定程度上制约了水资源与城镇化响应关系的规律性总结。并且由于样本数的限制,基于“点弹性”的响应模型在变量拟合的精度上受到一定限制。此外,哈尔滨市建成区与外围县(市)乡在经济发展和资源环境方面差异较大,因此市域内部差异带来的复杂影响、人口城镇化与水资源开发利用的作用机制等问题的解决还有待于统计数据的积累和测度模型的进一步完善。

[参 考 文 献]

- [1] 方创琳,周成虎,顾朝林,等.特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J].地理学报,2016,71(4):531-550.
- [2] 来海亮,汪党献,吴涤非.水资源及其开发利用综合评价指标体系[J].水科学进展,2006,17(1):95-101.
- [3] 马海良,黄德春,张继国,等.中国近年来水资源利用效率的省际差异:技术进步还是技术效率[J].资源科学,2012,34(5):794-801.
- [4] O' Hara J K, Georgakakos K P. Quantifying the urban water supply impacts of climate change[J]. Water Resources Management, 2008,22(10):1477-1497.
- [5] Al-Kharabsheh A, Ta'Any R. Influence of urbanization on water quality deterioration during drought periods at South Jordan[J]. Journal of Arid Environments, 2003,53(4):619-630.
- [6] Fitzhugh T W, Richter B D. Quenching urban thirst: Growing cities and their impacts on freshwater ecosystems[J]. BioScience, 2004,54(8):741.
- [7] Merrett S. Introduction to the Economics of Water Resources: An International Perspective[M]. UK, London: UCL Press,1997.
- [8] 方创琳,孙心亮.河西走廊水资源变化与城市化过程的耦合效应分析[J].资源科学,2005,27(2):2-9.
- [9] 阙大学,吕连菊.中国城镇化对水资源利用的影响研究:基于水足迹视角和空间动态面板数据[J].上海经济研究,2017(12):37-46,84.
- [10] 王金南,于雷,万军,等.长江三角洲地区城市水环境承载力评估[J].中国环境科学,2013,33(6):1147-1151.

- 猴自然保护区植被覆盖动态变化监测研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2013, 31(1): 17-21.
- [15] 蒋翼, 周忠发, 黄登红. 黔中水利枢纽区植被覆盖度时空变化及驱动力分析: 以平坝为例[J]. 水土保持研究, 2018, 25(6): 221-227.
- [16] 管文轲, 韦红, 钟家骅, 等. 塔里木河流域植被覆盖变化的遥感监测[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 244-248, 260.
- [17] 龙晓闽, 周忠发, 张会, 等. 基于 NDVI 像元二分模型植被覆盖度反演喀斯特石漠化研究: 以贵州毕节鸭池示范区为例[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(8): 4184-4186.
- [18] 陈清惠. 喀斯特生态环境脆弱性特征及其生态防治: 以贵州省为例[J]. 山地农业生物学报, 2007, 26(3): 244-247, 260.
- [19] 张鑫馨. 鄂尔多斯能源基地地下水开发的植被生态效应研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2010.
- [20] 贾媛, 陈贵峰, 吴立新. 鄂尔多斯盆地植被覆盖动态监测与评价[J]. 环境科学与管理, 2013, 38(1): 34-39, 72.
- [21] Hideyuki F, Toshio K, Keiji I. Improvement of the AMSR-E algorithm for soil moisture estimation by introducing a fractional vegetation coverage dataset derived from MODIS data [J]. Journal of the Remote Sensing Society of Japan, 2009, 29(1): 282-292.
- [22] 崔立新, 李政海, 张靖, 等. 克孜勒苏河流域植被覆盖空间格局及动态变化趋势分析[J]. 大连民族大学学报, 2019, 21(1): 39-43.
- [23] Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(8): 1533-1543.
- [24] 李登科, 范建忠, 王娟. 陕西省植被覆盖度变化特征及其成因[J]. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2896-2903.
- [25] Li Xiaobing, Chen Yunhao, Shi Peojun, et al. Detecting vegetation fractional coverage of typical steppe in Northern China based on multi-scale remotely sensed data [J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(10): 1146-1156.
- [26] Coban H O, Koc A, Eker M. Investigation on changes in complex vegetation coverage using multi-temporal Landsat data of Western Black sea region: A case study [J]. Journal of Environmental Biology, 2010, 31(1/2): 169-178.
- [27] 李惠敏, 刘洪斌, 王伟. 近 10 年重庆归一化植被指数变化分析[J]. 地理科学, 2010, 30(1): 119-123.
- [28] 杨胜天, 刘昌明, 杨志峰, 等. 南水北调西线调水工程区的自然生态环境评价[J]. 地理学报, 2002, 57(1): 11-18.
- [29] 苏伟, 孙中平, 李道亮, 等. 基于多时相 Landsat 遥感影像的海州露天煤矿排土场植被时空特征分析[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 5860-5868.
- [30] 张丽, 何晓旭, 魏鸣. 基于 NDVI 的淮河流域植被覆盖度动态变化[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(S1): 51-56.
- [31] 谭克龙, 王晓峰. 农牧交错区生态环境监测与动态变化分析: 以神府东胜地区为例[J]. 地球信息科学, 2006, 8(3): 109-113.
- [32] 李阳. 乡宁矿区植被覆盖度动态监测与评价[J]. 煤质技术, 2016(3): 55-59.

(上接第 275 页)

- [11] 高云福. 城市化发展与水系统的演变[J]. 城市勘测, 1998(3): 5-8.
- [12] 鲍超, 方创琳. 城市化与水资源开发利用的互动机理及调控模式[J]. 城市发展研究, 2010, 17(12): 19-23, 65.
- [13] 鲍超, 方创琳. 干旱区水资源对城市化约束强度的时空变化分析[J]. 地理学报, 2008(11): 1140-1150.
- [14] 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.
- [15] 李珊珊, 马海良, 侯雅如. 北京市城镇化与水资源系统的动态耦合分析[J]. 人民长江, 2018, 49(1): 60-64, 74.
- [16] 李静芝, 朱翔, 李景保, 等. 洞庭湖区城镇化进程与水资源利用的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1677-1685.
- [17] 曹祺文, 鲍超, 顾朝林, 等. 基于水资源约束的中国城镇化 SD 模型与模拟[J]. 地理研究, 2019, 38(1): 167-180.
- [18] 聂春霞, 孙慧, 闫海龙, 等. 新疆艾比湖流域经济社会水资源配置研究[J]. 经济地理, 2014, 34(1): 156-160.
- [19] 熊鹰, 苏孟婷, 张方明, 等. 长株潭城市群城镇化进程与水资源利用响应关系研究[J]. 人文地理, 2018, 33(6): 69-76.
- [20] 傅湘, 纪昌明. 区域水资源承载能力综合评价: 主成分分析法的应用[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(2): 168-173.
- [21] 刘晗, 牛鸿雁, 叶亚琦. 哈尔滨水生态文明城市建设探索[J]. 中国水利, 2015(5): 53-55.
- [22] 丛东来, 邱晖. 城市土地集约利用与城市化效率的时空耦合关系: 以辽中南城市群为例[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 298-306, 311.
- [23] 方创琳, Yehua Dennis Wei. 河西地区可持续发展能力评价及地域分异规律[J]. 地理学报, 2001, 56(5): 561-569.
- [24] 刘耀彬. 江西省城市化与生态综合响应程度分析[J]. 自然资源学报, 2008, 23(3): 422-429.