丰水区城镇化进程与水资源利用的关系
——以江苏省为例

刘 洁，谢丽芳，杨国英，魏 巍，王 倩，赵言文
（南京农业大学 资源与环境科学学院，江苏 南京 210095）

摘 要：[目的] 以江苏省为例，研究丰水区城镇化发展与水资源开发利用的主要影响因素、变化特征以及两者响应关系，以实现城镇化发展与水资源利用的协调。[方法] 运用熵权法构建江苏省城镇化综合发展水平和水资源开发利用综合潜力评价指标体系，并进行响应度关系模型构建和相关性分析。[结果] 研究期间，尤其是 2008—2012 年，江苏省处于经济快速发展时期，人口城镇化和空间城镇化水平高于经济城镇化和社会城镇化，城镇化发展不协调；伴随城镇化进程的推进，江苏省水资源开发利用水平呈上升趋势，水资源禀赋逐年降低，水资源利用水平稳步提升，但水资源污染程度也在加深。2004，2009，2010 年，江苏省水资源系统在一定程度上制约了城镇化的发展。[结论] 城镇化进程与水资源利用存在一定的响应关系，目前江苏省正面临提高城镇化发展协调性的任务，必须改变传统的外延型扩张模式，合理高效地利用水资源。

关键词：熵权法；城镇化；水资源开发利用；综合发展指数；响应度；江苏省
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2016)03-0193-07 **中图分类号**：X143

文献参数：刘洁，谢丽芳，杨国英，等. 丰水区城镇化进程与水资源利用的关系[J]. 水土保持通报，2016，36(3)：193-199. DOI：10. 13961/j. cnki. stbctb. 2016. 03. 033

Relationships Between Urbanization and Utilization of Water Resource in Water-rich Areas
—A Case Study in Jiangsu Province

LIU Jie, XIE Lifang, YANG Guoying, WEI Wei, WANG Qian, ZHAO Yanwen
(*College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu* 210095, *China*)

Abstract: [Objective] We took Jiangsu Province as a case study to investigate the key influence factors, the variation characteristics and the relationships between urbanization development and water resources development and utilization in order to coordinate the development of urbanization and utilization of water resource. [Methods] Evaluation index system of the comprehensive development level of urbanization and potential development and utilization of water resources in Jiangsu Province was constructed by entropy weight method. The response relationship model and correlation analysis was employed. [Results] During the study period, especially from 2008 to 2012, Jiangsu Province was in a period of rapid economic development. The economic and social development level was lagged behind the population and area increase, and the urbanization was not coordinated. With the advance of urbanization process, the level of water resources development and utilization increased steadily, however, the water resource amount decreased and the water resources pollution increased year by year. The shortage of water resources restricted the development of urbanization in 2004, 2009, 2010. [Conclusion] There is a certain response relationship between urbanization process and water resources usage. At present, Jiangsu Province is facing the task of improving the coordination of urbanization, it need to reform the traditional expansion of urbanization and to use the water resource rationally and efficiently.

收稿日期：2015-06-07 **修回日期**：2015-08-29
资助项目：国家自然科学基金重点项目“农村发展中生态环境管理研究”(70833001)
第一作者：刘洁(1990—)，女(汉族)，山东省临沂市人，硕士研究生，研究方向为水土保持、环境规划与评价。E-mail：1316237270@qq. com。
通讯作者：赵言文(1965—)，男(汉族)，江苏省徐州市人，博士，教授，博士生导师，主要从事水土保持、环境生态学、环境影响评价研究。E-mail：ywzhao@njau. edu. cn。

Keywords: entropy weight method; urbanization; development and utilization of water resources; comprehensive development index; the response relationship; Jiangsu Province

城镇化在国际上通常称为城市化,在中国一般称为城镇化。在未来的20 a,中国经济将处于高速发展时期,城市化的加速发展将成为支撑经济高速发展的主要动力,因此城镇化势必将成为中国经济社会发展面临的重要任务[1]。水资源是人类赖以生存和发展的最基本物质条件,随着经济社会的不断发展,水资源作为战略性的经济资源已经得到完全体现。伴随着城镇化进程中水资源浪费、水资源污染等问题的出现,许多领域的学者对城镇化与水资源的关系展开了深入研究。目前,大多数发达国家已进入城镇化发展后期并实现了需水零增长,其研究对象主要为水环境污染和水资源管理[2-3]。中国关于城镇化对水资源影响的研究主要集中在城市的水质、水资源供求、水循环等单个方面,如田禹等[4]通过对山东省城镇化发展与污水排放关系的研究,提出了随着山东省城镇化的不断快速发展,污水排放量呈上升趋势;王东东等[5]研究表明随着经济的迅速发展和城镇化进程的加快,水的资源的供需矛盾变得日益突出;姜昀等[6]研究了城市化进程引起的水文演化规律,并提出多种水文循环演化的解决对策;也有学者研究了水资源约束下的城市化进程,如鲍超等[7]分析了城市化水平与水资源利用关系,探讨了与水资源约束相适应的城市化发展模式,陈妍彦等[8]探讨了在水资源总量控制约束下,用水和产业结构的关系。以往城镇化发展对水环境的相关研究主要侧重于用水需求方面的静态影响,而城镇化对水资源利用的动态影响及二者关系的只有少量学者进行过研究,且研究区域主要集中于干旱、半干旱区域等资源型缺水的地区[9-12],目前对相对丰水地区城市化与水资源相互关系的研究仍少有人涉猎。尽管从理论的推导来看,区域水资源整体上有着随城市化发展先恶化、后改善的耦合规律,但在城市化发展的不同时期内,水资源对城市化综合发展水平的响应特征以及水资源与城镇化各个分量的响应关系并不确定[13]。可见,对城市化所导致的水资源响应及其规律进行分析是非常有必要的。

本文拟结合2004—2013年江苏统计年鉴,江苏省水资源公报的相关数据计算整理获得水资源量,水资源开发利用,城镇建设及社会经济发展等数据资料,并从水资源的稀缺性和对经济发展的约束性出发,以促进水资源的合理分配,提高水资源利用水平和水资源的可持续利用为目标,在定量测评江苏省城镇化综合发展水平和水资源开发利用综合潜力的基础上,通过构建响应度关系模型和相关性分析来判断两者的响应关系,旨在研究2003—2012年江苏省城镇化综合发展水平与水资源开发利用综合潜力的主要影响因素、变化特征以及两者的响应关系,以期为江苏省城镇化建设、经济社会协调发展及水资源的可持续开发提供科学参考。

1 研究区概况

江苏省位于中国大陆东部沿海中心(东经116°18′—121°57′,北纬30°45′—35°20′),全省国土面积1.026×10^5 km^2,东濒黄海,西连安徽,北接山东,东南与浙江和上海毗邻。江苏省是中国东部的经济大省,是城镇化水平较高的省份,2012年,江苏省总人口7 919.98万人,其中城镇人口4 990.09万人,城镇化水平63%,一、二、三产业所占比重分别为6.3%,50.2%和43.5%,远远高于中国城镇化水平,成为快速城镇化地区。但是在经济发展和城镇化快速推进的过程中确面临着城镇化发展协调问题,主要表现为地区内城镇化发展不协调,区域(苏南、苏中、苏北)发展不协调以及区域间差距不断扩大。江苏省的苏南区域包括宁、镇、苏、锡、常5市,苏中区域包括扬、通、泰3市,苏北区域包括徐、淮、连、盐、宿5市。

全省境内河川交错、水网密布,有大小湖泊290多个。全省处于南北气候过渡带,地表水资源量年内分配不均且年际变化大,2012年全省水资源总量为3.73×10^{10} m^3,全省人均水资源量471.34 m^3,仅为全国人均水资源量的1/5。位居江淮、沂、沭、泗几大流域的下游,过境水资源量丰富,但由于来水的年际、年内变化很大,且引用江水受到水利工程设施建设不完善的限制,水量可用却不可靠。水资源开发利用方面,目前主要是利用地表水,地表水源占供水量的98.2%,地下水利用的很少。全省区域用水具有明显的差异,苏南、苏中及苏北面积分别占全省的28%,20%及52%,苏南、苏中、苏北的用水量分别为2.34×10^{10},1.29×10^{4},1.90×10^{10} m^3,分别占全省总用水量的42.3%,23.4%,34.3%。全省总体上水资源总量丰富,人均水资源不足,区域间水资源利用不平衡,再加上人口增加和工农业迅速发展导致的水环境日趋恶化,作为相对丰水地区的江苏省水资源的也存在严重不足的问题。

2 研究方法

本文按照如下步骤和方法构建评价指标体系并计算综合指数,量化江苏省城镇化与水资源的关系,

并据此分析江苏省城镇化的与水资源的变化特征、影响因素以及两者的响应特征。

2.1　构建评价指标体系

根据江苏省城镇化发展特点以及水资源开发利用情况,在综合分析前人研究成果的基础上,考虑到在选取评价指标体系时所遵循的科学性、综合性、动态性、可获得性等原则,参照其他文献城镇化发展水平和水资源开发利用评价指标体系及其标准,构建评价指标体系。城镇化综合发展水平评价指标从人口城镇化、经济城镇化、社会城镇化、空间城镇化等 4 个方面选取[13-14];水资源开发利用综合潜力评价指标从水资源禀赋、水资源利用水平和水资源污染程度 3 个方面选取[15-18]。最终得到江苏省城镇化综合发展水平与水资源开发利用综合潜力评价指标体系(表 1)。

表 1　江苏省城镇化与水资源综合评价指标体系

目标层	标准层	指标层	属性
城镇化综合发展水平	人口城镇化	单位面积城镇人口数	正程
		城镇人口比重	正程
		非农从业人员比重	正程
	经济城镇化	人均 GDP	正程
		工业增加值占 GDP 比重	正程
		第三产业增加值占 GDP 比重	正程
		非农产值比	正程
		非农经济密度	正程
	社会城镇化	城镇居民人均可支配收入	正程
		农村居民人均可支配收入	正程
		万人拥有医院病床数	正程
		在校大学生	正程
		人均城乡居民储蓄存款余额	正程
		人均邮电业务量	正程
	空间城镇化	人均建成区面积	正程
		人均住宅使用面积	正程
		人均公共绿地面积	正程
		人均铺装道路	正程
水资源开发利用综合潜力	水资源禀赋	水资源量	正程
		农业用水	逆程
		工业用水	逆程
		生活用水	逆程
	水资源利用水平	万元 GDP 用水量	逆程
		万元工业增加值用水量	逆程
		农田灌溉每 1 hm^2 用水量	逆程
	水资源污染程度	工业万元产值废水排放量	逆程
		耕地每 1 hm^2 施用化肥	逆程
		工业废水排放达标率	正程

由于江苏省区域发展水平不平衡,而且不同地区的水资源禀赋、水资源利用水平南北也有较大差异,为了更加全面、客观地了解江苏省的城镇化和水资源开发利用水平,本文还将以江苏省苏南、苏中、苏北为研究对象,对江苏省的城镇化发展和水资源利用进行分区评价。

2.2　运用熵权法确定各指标的权重

熵权法是一种比较客观(层次分析法比较主观)、全面(主成分分析法丢失部分信息)、无需先验结果(BP 神经网络模型需要先验结果进行训练才能得出指标的相应权重)的综合评价[19]。熵权法主要是根据各指标的信息量大小来确定其权数,如果指标的信息熵越小,该指标提供的信息量则越大,权重就越高,在综合评价中所起作用也就越大,反之亦然。

由于不同指标存在量纲、量级的差别,为了使各个指标具有可比性,先运用隶属度函数,对各指标进行归一化处理,使其转化为[0,1]。

预期型指标的计算公式为:

$$X_{ij}'=(X_{ij}-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min}) \quad (X_{\min}<X<X_{\max}) \tag{1}$$

约束型指标的计算公式为:

$$X_{ij}'=(X_{\max}-X_{ij})/(X_{\max}-X_{\min}) \quad (X_{\min}<X<X_{\max}) \tag{2}$$

$$H_j=\frac{1}{\ln m}\left(\sum_{i=1}^{m} f_{ij}\ln f_{ij}\right) \tag{3}$$

$$f_{ij}=\frac{X_{ij}'}{\sum_{i=1}^{n} X_{ij}'} \tag{4}$$

$$W_j=\frac{1-H_j}{n-\sum_{j=1}^{n} H_j} \tag{5}$$

式中:X_{ij}'——归一化后的指标值;X_{ij}——具体指标的属性值;i——年份;j——第 i 年的指标个数;H_j——第 j 项评价指标的熵值;m——年份的总数;f_{ij}——第 i 年第 j 项指标占该年所有因子的比例;W_j——各指标的权重;n——评价指标的个数。

2.3　计算综合指数

以城镇化综合发展水平指数 C_i 为例,计算公式为:

$$C_i=\sum_{j=1}^{n} W_j\times X_{ij}' \tag{6}$$

2.4　构建水资源对城镇化的响应度模型[13]

本文通过借鉴经济学中点弹性的定义,构造水资源对城镇化的响应度模型,定量揭示出水资源对城镇化的响应强度,分析水资源对城镇化发展的响应关系。水资源与城镇化响应度模型的计算公式如下:

$$G_j=\sum_{t=1}^{n}\frac{1}{T}\left|\theta_k(t)\right| \tag{7}$$

$$\theta_k(t)=\frac{\mathrm{d}F_{kt}}{\mathrm{d}C_t}\times\frac{C_t}{F_{kt}} \tag{8}$$

式中:G_j——T 时期内的水资源 k 分量对城镇化的综合响应度;$\theta_k(t)$——t 年份的水资源 k 分量对城镇化的响应度;C_t——t 年份的城镇化综合指数;F_{kt}——

t 年份的水资源 k 分量数值；dF_{kt}/dC_t——t 年份的水资源 k 分量对城镇化的导数。

2.5 水资源与城镇化的相关性关系

为分析城镇化与水资源利用的响应关系，运用 SPSS 软件将城镇化综合发展水平指数各分量和水资源综合潜力指数各分量分别进行双变量相关关系分析，并根据得到的相关系数 r 值和 p 值，以此来比较城镇化各分量与水资源各分量的相关性和影响机制。

3 结果与分析

3.1 江苏省城镇化综合发展水平

如图 1 所示，2003—2012 年，江苏省城镇化综合发展水平指数及人口城镇化指数、经济城镇化指数、社会城镇化指数、空间城镇化指数发展都呈现上升趋势，说明江苏省正处于城镇化快速发展的关键时期；而且江苏省的城镇化进程并不是一成不变的，在不同的时间段内，居于主导地位的因素各不相同，这与不同时期的历史条件以及政策因素密切相关。

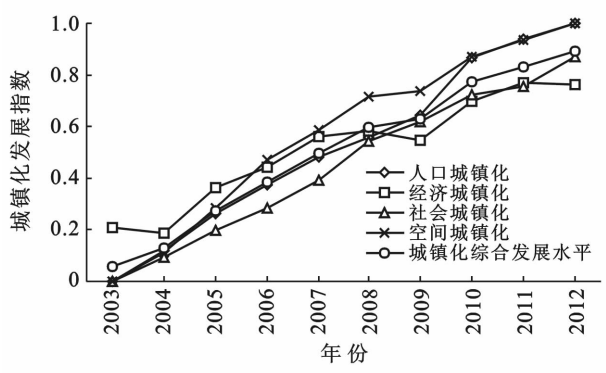


图 1 江苏省城镇化综合指数变化过程

分区域来看，将 2012 年江苏省 3 个区域城镇化发展水平的综合测评结果进行分析(表 2)，江苏省城镇化发展水平可以分为较高、中等、较低 3 大类。苏南城镇化水平最高；苏中处于中等水平；苏北仍然处于落后的位置，但其与苏中的差距并不大。苏南不仅占尽改革开放后乡镇企业发展的先机，而且具有紧邻上海吸引外资的地缘优势并在此基础上提升城镇民生设施、环境和城乡关系，成为城镇化发展水平较高的一族；苏中凭借其临江和紧邻苏南的区位优势接收了其产业转移并注重改善人民生活质量、环境和城乡差异，城镇化水平处于中等的位置；苏北无突出的优势区位且自身发展基础较差，在城镇化过程中逐渐被边缘化，成为城镇化水平中较低的一类。

从具体指标来看，2008 年作为一个关键节点，各分量指数转折发展趋势初显。经济城镇化速度明显出现相对下降趋势，空间城镇化发展水平超过人口城镇化水平，并且与经济城镇化水平的差距有加大的趋势：产生这种现象的主要原因在于受 2008 年全球经济危机的影响，江苏省经济城镇化水平出现较为明显的下降，人口城镇化也在前段时间的快速发展中放缓了发展速度，土地集约利用水平不高，土地粗放利用依然严重，所以短时间内对空间的需求并未因此减少。2008—2012 年期间，人口城镇化指数和空间城镇化指数的增长速度远远高于经济城镇化指数和社会城镇化指数，表明这一过程中，江苏省城镇化的推进主要依赖于城镇规模的扩大，越来越多的人口居住在城镇，城镇外延扩张迅速，经济城镇化和社会城镇化发展相对滞后，城镇化进程中经济效益和社会效益不高，城镇化发展质量与规模并不协调，城镇化发展质量有待提升。

表 2 江苏省 3 大区域城镇化综合发展水平与水资源利用水平综合指数

目标层	标准层	综合得分		
		苏南	苏中	苏北
城镇化综合发展水平	人口城镇化	1.000 0	0.322 5	0.000 0
	经济城镇化	0.793 1	0.411 1	0.316 3
	社会城镇化	0.981 4	0.283 2	0.297 1
	空间城镇化	0.752 3	0.447 3	0.216 6
	城镇化综合发展水平	0.890 2	0.355 4	0.237 2
水资源开发利用综合潜力	水资源禀赋	0.341 6	0.643 0	0.677 6
	水资源利用水平	0.513 7	0.315 3	0.486 3
	水资源污染程度	0.761 3	0.428 0	0.238 7
	水资源开发利用综合潜力	0.463 9	0.457 0	0.350 6

3.2 江苏省水资源开发利用水平

如图 2 所示，2003—2012 年，江苏省水资源开发利用综合潜力总体处于波动式上升趋势，尤其是 2003—2004 和 2008—2010 年期间波动较大，这一现象可能与该期间灾情疫情突发、水利政策变动有关，如淮北大旱、淮南大水对水资源的冲击，“非典”的爆发给整体生态环境所带来的不利影响，不仅导致水资源质量的下降，在一定程度上也可能会影响对水利工作的投入力度等。

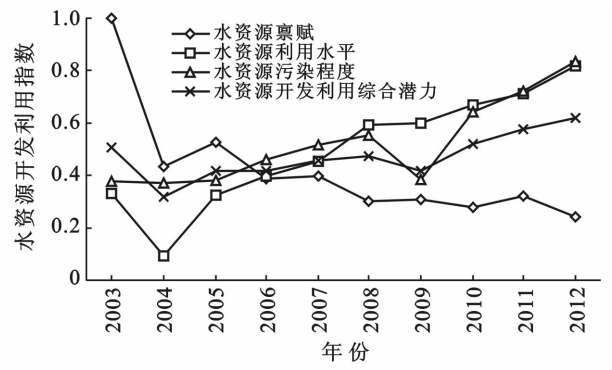


图 2 江苏省水资源综合指数变化过程

分区域来看,苏南地区的水资源开发利用水平较高,苏中处于中等水平,苏北处于较落后的位置,说明城镇化发展对水资源开发利用的促进作用;13 个省辖市中,苏中 3 市和苏北 5 市农业用水占总用水量 50%以上,苏南地区无锡、常州、苏州、镇江 4 市工业用水占总用水总量 40%,地区用水效率不高、用水结构不合理;苏南水污染问题的日益加剧,水资源供需矛盾将进一步激化:但是地区水资源开发利用水平还有很大的潜力,随着经济社会的持续发展和科技水平的提高,地区水资源开发利用水平必将得到有效改善。

从具体指标来看,水资源的需求不断增长,水资源禀赋逐年下降,农业用水和工业用水依然是江苏省水资源消耗最大的 2 个部分,水资源浪费严重,用水结构不合理,需要注意的是由于 2003 年淮河春汛、夏汛接秋汛,发生了建国以来仅次于 1954 年的全流域性大洪水,致使水资源禀赋值与其他年份相比偏高;城市污水处理能力得到显著增强,水资源利用水平明显快速提高,万元 GDP 用水量、万元工业增加值用水量均分别由 2003 年的 330 m^3 和 94 m^3 下降至 2012 年的 102 m^3 和 19 m^3。一方面,表明随着经济的发展,生产技术、污水处理技术等相关技术得以进步,在一定程度上降低了对水资源的压力;另一方面,体现了环保意识和节能减排的理念深入人心,以及一些节水硬性措施的出台,促使民众积极主动地参与水资源保护。但是由于灌溉方式不当等原因,农业灌溉用水效率依然较低,农田灌溉平均用水量却由 2003 年的 5 355 m^3/hm^2 上升到 2012 年的 6 450 m^3/hm^2;水资源污染程度依然呈上升趋势,工业万元产值废水排放量由 2003 年的37.22 m^3 下降至 2012 年的 9.88 m^3,污水处理率由 69.9%上升到 90.7%,但是耕地施用化肥量却没有减少反而增多,由 2003 年的 685.5 kg/hm^2 上升到 720.45 kg/hm^2 (图 2),农业污水成为新兴的污染源。江苏省正处于城镇化加速发展阶段,未来一段时期其水资源开发利用负荷还将持续加大,水资源可持续利用问题依然严峻。

3.3　水资源对城镇化的响应度

水资源对城镇化综合发展水平的响应关系。利用 SPSS 软件,分别对城镇化综合指数与水资源开发利用综合潜力指数及其分量进行曲线拟合并对各种曲线拟合方法进行优势比较,得出两者的最优响应方程,为进一步比较分析不同水资源分量对城镇化的响应敏感程度,求算出水资源综合指数及其分量对城市化综合指数的综合响应度(表 3)。

表 3　江苏省水资源对城镇化的响应关系函数及其检验

项 目	响应函数	拟合优度		响应度
		R^2	F(P)	
水资源综合潜力指数	$Y_1=0.472-0.535x+1.015x^2-0.274X^3$	0.714	0.045	0.426 2
水资源禀赋指数	$Y_2=1.509-3.786x+6.578x^2-3.79X^3$	0.785	0.020	0.877 1
水资源利用水平指数	$Y_3=0.271-0.619x+2.944x^2-1.817X^3$	0.912	0.001	0.611 8
水资源污染程度指数	$Y_4=0.313+0.847x-2.180x^2+2.104X^3$	0.890	0.003	0.762 9

注:X 代表城镇化指数;Y_1 代表水资源综合潜力指数;Y_2 代表水资源禀赋指数;Y_3 代表水资源利用水平指数;Y_4 代表水资源污染程度指数。

城镇化不仅表现为城市规模扩张与结构变化 2 个方面,同时也伴随着社会经济发展质量和效率的变化,这些变化一方面会对水资源系统产生胁迫作用,进而对城市水资源开发利用的结构与规模提出限制性要求,同时也会促进区域用水结构的优化、用水效率的提高和水资源利用水平的提升。从表 3 中可以看出,2003—2012 年,江苏省水资源开发利用综合潜力指数、水资源禀赋指数、水资源利用水平指数、水资源污染程度指数对城镇化综合指数的响应函数均为三次曲线方程,水资源禀赋指数、水资源利用水平指数、水资源污染程度指数对城镇化指数都具有较好的拟合效果,说明江苏省水资源开发利用对城镇化的响应主要体现在增加用水规模、改变用水结构、加剧水体污染、促使水资源高效利用、改变水资源开发利用方式等方面;其中水资源禀赋指数对城镇化指数的响应度较高,说明水资源禀赋与城镇化综合发展具有更强的敏感度,人口增长使得用水量随之增长,再加上农业、工业耗水量大,用水结构不合理、用水效益不高,导致城镇化对水资源禀赋的影响较大。

城镇化与水资源的响应关系不仅表现在各要素间相互作用的交错性,还表现在时序变动上的阶段性。研究期间,江苏省水资源对城镇化综合发展水平的响应关系可以划分为 2 类:一是水资源开发利用综合潜力指数值位于拟合曲线下方,表明 2004,2009,2010 年这 3 个年份江苏省水资源在一定程度上制约了城镇化的发展,同时也表现出随着城镇化的推进消

耗了一部分水资源开发利用潜力，主要是因为虽然城市化引起社会经济规模扩张，但用水效率提高需要一定的过程，当用水效率提高的速度慢于区域经济增长速度的情况下，区域生产用水不断增加，引起产业结构和用水结构变化，对农业和生态用水及水环境产生胁迫，导致缺水加剧；二是水资源开发利用综合潜力指数值位于拟合曲线上方，表明其他几个年份的江苏省水资源开发利用综合潜力与城镇化综合发展水平在同向提升，城镇化发展在一定程度上增加了水资源开发利用潜力，城镇化发展不受水资源的制约(图3)，主要是因为城镇化所带来的城镇规模效益和综合实力的提高提升了区域供用水效率、优化产业结构和用水结构、促进管理水平提高和节水防污型社会建设：为此需要继续提高省内水资源综合管理能力，以保障水资源开发利用对未来城镇化发展的支撑力。

水资源与城镇化各分量的相关性分析。利用SPSS软件，对江苏省城镇化综合发展水平各分量和水资源综合潜力指数各分量进行相关性分析来探讨其响应关系(详情见表4)。

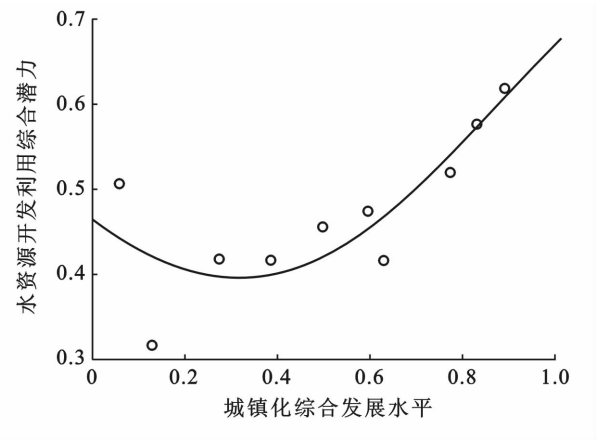


图3 江苏省水资源与城镇化综合发展水平的关系

表4 江苏省水资源与城镇化各分量的相关关系

分量	统计指标	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	−0.767	−0.729	−0.774	−0.807
	显著性 p	0.010	0.017	0.009	0.005
水资源开发利用水平	相关系数 r	0.928	0.943	0.940	0.932
	显著性 p	0.000	0.000	0.000	0.000
水资源污染程度	相关系数 r	0.875	0.869	0.843	0.830
	显著性 p	0.000	0.001	0.002	0.003

注：$p<0.05$ 为显著；$p<0.01$ 为非常显著。

从整体看来，江苏省水资源禀赋、水资源开发利用水平与水资源污染程度都与城镇化的各个分量都呈显著相关关系，表明水资源系统与城镇化质量、规模和进程密切相关。具体看来，水资源禀赋与人口城镇化指数、经济城镇化指数、社会城镇化指数、空间城镇化指数都呈显著负相关关系，并且与空间城镇化最为显著，表明江苏省城镇化进程中，日益加剧的水资源供需压力与城镇化的推进有密切的关系，而目前水资源的供需压力主要来源于城镇化规模的扩张；水资源开发利用水平与城镇化的各个分量的正相关性尤其显著，说明城镇化的发展促进了水资源开发利用水平的提高；水资源污染程度与各项城镇化指数呈显著正相关，意味着城镇化的不断发展致使水污染日趋严重，再加上水污染治理不及时，加剧了水资源危机：进一步验证了随着城镇化的推进，水资源禀赋逐年降低，水资源开发利用水平显著提高，但是水资源污染程度也在逐渐加深。

4 讨论与结论

(1) 2003—2012年，江苏省城镇化综合发展水平总体呈快速增长态势，但是在2008—2012经济城镇化和社会城镇化水平滞后于人口城镇化及空间城镇化水平，且存在苏南、苏中和苏北的空间分布差异，城镇化发展不协调。在未来一段时期，江苏省将面临提高城镇化协调度的任务，必须改变传统的外延型扩张模式，并因地制宜的给予分类指导，走区域差异化发展之路，使得城镇化进程健康发展。

(2) 研究期间江苏省水资源开发利用综合潜力呈波动式上升趋势，水资源利用水平显著提高，但是由于水资源污染程度的增强和水资源禀赋的下降，水资源供需压力依然较大；分区来看，苏南地区的水资源开发利用程度比较高，但水污染问题也在日益加剧，苏中、苏北地区用水结构不合理，农业是水资源消耗最大的部门。建议苏南地区调整工业结构，淘汰耗水量大和污染严重的产业，加大环境治理与监管，而苏中苏北地区应该逐步降低农业用水比例，依靠节水技术，提高农业用水效率。

(3) 研究期间江苏省城镇化与水资源系统内部要素间的响应关系总体上表现为城镇化对水资源环境系统的胁迫作用和优化作用。社会经济发展质量

和效率的变化一方面会增加用水规模、加剧水体污染,同时也会促进区域用水结构的优化、用水效率的提高和水资源利用水平的提升;城镇化与水资源的响应关系不仅表现在各要素间相互作用的交错性,还表现在时空上的阶段性。2004,2009,2010 年,江苏省城镇化的发展在一定程度上受水资源的约束。因此要继续加强省内水资源综合管理,以实现城镇化发展与水资源利用的协调。

本文是定量研究丰水区域城镇化进程与水资源利用相互关系的一次尝试,通过构建城镇化和水资源综合评价指标体系、水资源对城镇化的响应关系模型,能够揭示出江苏省城镇化与水资源的动态变化过程及响应特征,比较全面客观的体现江苏省城镇化进程与水资源利用的变化趋势及各区的城镇化与水资源状况,为保障城镇化进程中的水资源可持续利用,实现城市化发展与水资源利用的协调提供决策依据。需要指出的是受研究资料和数据搜集困难限制,水资源利用水平个别必要指标无法建立,不能对江苏省水资源开发利用综合潜力进行更全面的评价,导致研究具有一定的片面性,未来需要进一步完善,以便更深入地了解城镇化建设和水资源利用健康发展进程,制定一个科学合理的城镇化发展和水资源管理的战略和方向。

[参 考 文 献]

[1] 陈翠芳,毛春梅,张文锦.江苏快速城市化过程中的土地资源利用分析[J].安徽农学通报,2007,13(4):47-50.

[2] Al-kharabsheh A, Ta'any R. Influence of urbanization on water quality deterioration during drought periods at South Jordan[J]. Journal of A rid Environments, 2003, 53(4):619-630.

[3] 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.

[4] 田禹,高宗军,崔浩浩,等.山东省城镇化发展与污水排放量及地下水资源问题[J].水资源保护,2013,29(1):73-76.

[5] 王东东,焦树林,梁虹.贵州省城镇化进程中水资源利用分析[J].长江大学学报,2013,10(22):32-33.

[6] 姜昀,张升堂.城市化对水文循环的影响及应对措施[J].水科学与工程技术,2010(6):30-32.

[7] 鲍超,方创琳.河西走廊城市化与水资源利用关系的量化研究[J].自然资源学报,2006,21(2):301-310.

[8] 陈妍彦,张玲玲.水资源约束下的区域产业结构优化研究[J].水资源与水工程学报,2014,25(6):50-55.

[9] 晁增福,张艳波,韩天红,等.阿克苏地区城镇化与水资源利用量化关系研究[J].塔里木大学学报,2014,26(1):67-71.

[10] 晁增福,张艳波,韩天红,等.阿克苏地区城镇化水平与水资源利用的相关性分析[J].塔里木大学学报,2013,25(4):105-109.

[11] 李春丽,杨德刚,张豫芳,等.塔里木河流域城市化与水资源利用关系分析[J].中国沙漠,2010,30(3):730-736.

[12] 吴璞周,杨芳,卫海燕.西安市城市化水平与城市资源压力的定量关系研究[J].干旱区资源与环境,2008,22(5):42-46.

[13] 刘耀彬,陈斐,周杰文.城市化进程中的生态环境响应度模型及其应用[J].干旱区地理,2008,31(1):122-128.

[14] 李爱军,谈志浩,陆春锋.城市化水平综合指数测度方法探讨:以江苏无锡市、泰州市为例[J].经济地理,2004,24(1):43-47.

[15] 黄初龙,章光新,杨建锋.中国水资源可持续利用评价指标体系研究进展[J].资源科学,2006,28(2):33-40.

[16] 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.

[17] 刘毅,贾若祥,侯晓丽.中国区域水资源可持续利用评价及类型划分[J].环境科学,2005,26(1):42-46.

[18] 季妤,陆宝宏.南京市水资源可持续利用评价[J].水资源保护,2014,30(1):79-83.

[19] 张春梅,张小林,吴启焰,等.发达地区城镇化质量的测度及其提升对策:以江苏省为例[J].经济地理,2012,32(7):50-55.