

天山北坡经济带主要城市用水效率的时空差异

刘鸞瑛^{1,2}, 吕光辉^{2,3}, 张雪妮^{2,3}, 滕德雄^{1,2}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 干旱生态环境研究所, 新疆 乌鲁木齐 830046; 3. 新疆绿洲生态重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘 要: [目的] 分析天山北坡经济带主要城市用水效率对于促进水生态文明城市建设, 推动天山北坡经济带发展。[方法] 基于 2004—2015 年天山北坡经济带 7 个主要城市面板数据, 利用超效率 DEA 模型和 Malmquist 指数研究各城市用水效率及其时空差异。[结果] ①2004—2015 年, 天山北坡经济带 7 个主要城市的水资源利用效率总体呈波动上升趋势, 且 2004—2008 年期间的用水效率低于 2009—2015 年; 空间上, 乌鲁木齐市、克拉玛依市、石河子市、昌吉市和阜康市水资源利用效率高于乌苏市和奎屯市; ②2004—2015 年天山北坡经济带 7 个主要城市水资源全要素生产力指数呈“W”型波动, 增长不稳定; 技术变化 (techch) 是制约天山北坡经济带 7 个主要城市水资源利用效率提升的主要因素; ③SAR 模型表明用水效率具有空间依赖性; 在时空尺度上, 在 0.05 显著水平下, 总用水量、生活用水、人口和生态用水与用水效率显著相关, 但城市间距离、工业用水和农业用水与用水效率的相关性不显著。[结论] 政府应大力改进生产技术, 普及节水工艺; 优化产业结构, 平衡各城市间的水资源投入比例, 提高技术进步贡献率, 是提高天山北坡经济带主要城市水资源利用效率的途径。

关键词: 用水效率; 超效率 DEA; Malmquist 指数; 空间依赖性; 空间自回归模型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)01-0256-08

中图分类号: F062.2

文献参数: 刘鸞瑛, 吕光辉, 张雪妮, 等. 天山北坡经济带主要城市用水效率的时空差异[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 256-263. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.01.045. Liu Siying, Lu Guanghui, Zhang Xueni, et al. Temporal and spatial differences of water use efficiency of main cities in north slope of Tianshan Mountains[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 256-263.

Temporal and Spatial Differences of Water Use Efficiency of Main Cities in North Slope of Tianshan Mountains

LIU Siying^{1,2}, LÜ Guanghui², ZHANG Xueni^{2,3}, TENG Dexiong^{1,2}

(1. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China; 2. Institute of Arid Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China; 3. Key Laboratory of Oasis Ecology, Urumqi, Xinjiang 830046, China)

Abstract: [Objective] To analyze the water use efficiency of the main cities in order to promote the water ecological civilization urban construction and the development of Northern Slope Economic Zone in Tianshan Mountain. [Methods] Based on the data from 7 main cities in the north slope of Tianshan Mountains in 2004—2015, this paper analyzed the water use efficiency and the spatial and temporal differences of the cities by using the super efficiency DEA model and Malmquist index. [Results] ① Super efficiency DEA analysis showed that the utilization efficiency of water resources in the Northern Slope Economic Zone showed a rising trend, but fluctuated during 2004—2015, meanwhile, the water use efficiency during 2004—2008 is lower than that during 2009—2015. The water resources utilization efficiency in Urumqi, Karamay, Shihezi, Changji and Fukang City was relatively high, while the water resources utilization efficiency in Wusu and

收稿日期: 2017-09-10

修回日期: 2017-09-19

资助项目: 国家科技支撑计划(专题)“准噶尔北部脆弱生态系统生态保育技术集成与示范”(2014BAC15B01)

第一作者: 刘鸞瑛(1993—), 女(汉族), 山东省日照市人, 硕士研究生, 研究方向为生态经济。E-mail: 15899268288@163.com。

通讯作者: 吕光辉(1963—), 男(汉族), 山东省青岛市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事生态经济、群落生态等方面的研究。E-mail: ler@xju.edu.cn。

Kuitun City was relatively low. ② Malmquist index analysis result showed that the water resources TFP index in 7 main cities fluctuated greatly, and the growth was not stable, showed a “W” type fluctuation. Technical change was the main factor restricting the water resources utilization efficiency in the Tianshan Mountains. ③ SAR model indicated that the water use efficiency showed a spatial dependence. At the temporal and spatial scales, at the 0.05 level, significant correlations were found among the total amount of water, living water, water use efficiency and population and ecological water use. But the correlation between the distances between the cities and the related industrial water and agricultural water use and water use efficiency was not significant. [Conclusion] The government should make great efforts to improve the production technology, popularize water-saving technology, optimize the industrial structure, adjust the proportion of water resources and labor input and improve the contribution rate of technological progress, so as to improve the water resources utilization ratio of main cities in north slope of Tianshan Mountains.

Keywords: water use efficiency; super efficiency DEA; Malmquist index; spatial dependence; spatial autoregressive model

在生态系统中,水资源无疑是其中重要的组成部分,也是维系生态系统正常运行的必要条件。对生态系统进行系统化分析,通过调研、模拟或者计算,合理配置水资源成为当前研究的一个重要热点^[1]。中国是世界 13 个贫水国家之一,在水资源有统计的国家中排名第 127 位,位居后列^[2]。新疆地处中国西北内陆,不仅地域辽阔、资源丰富,而且成为了丝绸之路经济带的核心区域^[3],迎来经济社会发展的新机遇。但与中国其他省份相比,新疆远离海洋,“三山夹两盆”的地貌特征使其形成了典型的干旱气候,生态环境十分脆弱,水资源相对紧缺,经济社会发展对水资源压力巨大^[1]。因此,处理好经济发展与资源保护的关系,探索水资源可持续利用与主要耗水产业系统协调发展,是新疆社会各界高度重视的重大课题,也是探索生态与经济、人与自然协调发展新模式的重要方面。

天山北坡经济带是新疆经济总量最高、最发达的区域,也是丝绸之路中面向中亚通向欧洲的重要枢纽^[3]。在国家“一带一路”的总体战略下,天山北坡经济带迎来了一个重要的发展阶段。但基于其水资源短缺、水环境退化等基本水情的严峻现实,在优势资源转换的战略格局和发展形势下,都要求我们必须建立健全水资源统一管理体制机制,加快传统水利向现代水利、可持续发展水利转变,优化配置水资源,实现可持续发展^[4]。

学者们针对水资源利用与区域复杂系统中经济发展与生态环境的相关性问题开展了相对丰富的研究,其研究领域涵盖水资源供需均衡^[5]、水资源承载力^[6]、水资源配置^[7]、水资源持续利用^[8]和生态需水^[9]等方面。其中涉及到耗水产业生态系统与经济发展关系的研究主要集中在水资源承载力方面。但是,关于水资源承载能力的研究多从承载力的内涵及

外延^[10]、承载能力的衡量标准^[11]等方面着手开展;而从生态经济、生态管理等角度和空间计量经济学的研究刚刚起步^[12],尤其是就天山北坡经济带这一特殊区域水资源利用效率和城市间水资源利用的空间依赖性问题而开展研究的文献偏少。

现存研究中不乏区域间水资源利用效率差异分析的文章,但专门以天山北坡经济带为研究对象的文献较稀缺,这一地区的用水效率时空差异问题尚未解决。当前,全国正在开展创建水生态文明城市试点工作,因此,本文拟研究天山北坡经济带 7 个主要城市在 2004—2015 年水资源利用效率,分析各城市目前水资源利用情况及时空分布差异性,探讨全要素生产力指数的变化及其主要影响因素,利用空间自回归模型(spatial autoregressive model, SAR)研究各城市用水问题之间的依赖关系,并在此基础上提出合理的提高水资源利用效率的对策,以期对缓解人水矛盾,促进水生态文明城市建设,推动天山北坡经济带发展研究提供依据。

1 研究区域和研究方法

1.1 研究区概况

天山北坡经济带位于中国“两横三纵”城市化战略格局中陆桥通道横轴的西端,包括新疆天山以北、准噶尔盆地南缘的带状区域以及伊犁河谷的部分地区(包括:乌鲁木齐市、阜康市、昌吉市、乌苏市、石河子市、奎屯市、克拉玛依市等,以及新疆生产建设兵团中位于天山北坡的各个团场)^[13]。

天山北坡经济带总面积约 $9.54 \times 10^4 \text{ km}^2$,占新疆总面积的 5.9%。这一地带是 19 个国家级重点开发地区之一,是新疆现代工业、农业、交通信息、教育科技等最为发达的核心区域,集中了全疆 83% 的重

工业和 62% 的轻工业, 历年国内生产总值占全疆 40% 以上^[14]。其城镇、交通、能源等基础条件好, 对全疆经济起着重要的带动、辐射和示范作用。但天山北坡经济带属于典型的干旱绿洲经济区, 水资源却仅占全疆的 11%^[15], 是严重的资源性缺水地区。水资源的短缺、用水效率的低下和生态环境的脆弱, 使整个区域的环境承载力相对较低。

1.2 数据来源

选取 2004—2015 年天山北坡经济带的 7 个主要城市(乌鲁木齐、克拉玛依、石河子、奎屯、乌苏、昌吉、阜康)的投入产出数据为研究样本。能源、劳动和资金是经济增长模型的三大投入要素, 借鉴早期相关文献中关于水资源效率的评价指标, 本文选取全年固定资产投资总额(10^8 元)为资金投入, 生态用水量(10^4 t)、工业用水量(10^4 t)、农业用水量(10^4 t)、生活用水量(10^4 t)作为资源投入指标, 就业人口(10^4 人)作为劳动投入数据, 地区生产总值(10^8 元)为产出指标。各项指标原始数据取自各城市的统计公报与统计年鉴。

1.3 研究方法

本文运用超效率 DEA 模型和 Malmquist 生产力指数分析 2004—2015 年天山北坡经济带 7 个主要城市用水效率的时空差异性。超效率 DEA 模型(super efficiency DEA, SE-DEA)是 Andersen 和 Petersen^[16]提出的一种改进的计算模型, 在效率计算方面被广泛的应用。该模型能够对有效决策单元进行比较排序, 从而实现了多个决策单元进行横向对比和评价的目的; Malmquist 生产力指数是基于距离函数而提出来的, 可用距离函数之比来衡量生产效率的变化^[17]。超效率 DEA 值和 Malmquist 生产力指数可分别通过 EMS 1.3 和 Deap 2.1 软件计算获得, 具

体见参考文献[18]。

本文运用空间自回归模型(SAR)研究 2004—2015 年天山北坡经济带 7 个主要城市用水效率的空间依赖性。空间自回归模型(SAR), 也称空间滞后模型, 是 Anselin 基于空间依赖关系研究的基础上提出的, 用于研究观测区域的因变量受到该观测区域邻近区域的影响, 揭示了观测区域之间复杂的依赖关系结构^[19]。本文基于现有文献在水资源利用效率影响因素测度中归纳的部分元素的基础上, 利用空间滞后随机效应模型, 综合考虑了 2011—2015 年天山北坡经济带 7 个主要城市自变量与用水效率之间的相关性(选取的 7 个变量分别是: 2004—2015 年天山北坡经济带 7 个主要城市的距离(intercept)、全年固定资产投资总额(total-IFA)、生态用水量(eco-water)、工业用水量(ind-water)、农业用水量(agr-water)、生活用水量(liv-water)和就业人口(Pop)。本文中空间自回归模型利用 R 语言计算。

2 结果与讨论

2.1 天山北坡经济带水资源利用超效率

如表 1 所示, 乌鲁木齐市水资源利用超效率值分别在 2007, 2009—2012, 2014—2015 年超过 100%。100%代表水资源利用较为合理的临界值, 即在上述 7 a 中, 乌鲁木齐市水资源的配置较为合理, 水资源利用率较高; 其中克拉玛依市、阜康市、石河子市和昌吉市分别有 5, 6, 7 和 8 a 水资源利用超效率值高于 100%; 乌苏市和奎屯市均有 4 a 水资源利用超效率值高于 100%。这可能是由于天山北坡经济带不同城市间的支柱产业不完全相同, 以工业和第三产业为主的城市水资源利用超效率会明显高于以农业为主的城市。

表 1 2004—2015 年天山北坡经济带 7 个主要城市水资源利用效率状况

年 份	城市 7 个主要城市水资源利用超效率值/%							平均值/%
	乌鲁木齐	克拉玛依	石河子	昌吉	阜康	乌苏	奎屯	
2004	84.33	66.27	135.98	57.31	90.67	54.29	22.91	73.11
2005	89.38	72.73	105.64	57.31	90.67	61.50	34.30	73.08
2006	98.80	74.57	98.96	95.74	88.54	92.66	39.32	84.09
2007	104.24	74.00	91.23	99.61	97.97	77.74	46.81	84.52
2008	98.71	89.16	95.15	105.70	98.00	103.62	62.90	93.32
2009	112.95	72.34	105.57	100.56	124.76	107.54	83.81	101.08
2010	101.59	123.07	106.57	109.99	91.67	88.62	77.45	99.85
2011	127.31	140.11	93.25	116.31	105.06	136.13	82.62	114.40
2012	104.62	103.12	100.90	107.34	114.84	94.47	316.27	134.51
2013	99.26	191.58	135.84	117.08	100.00	93.63	144.27	125.95
2014	109.31	135.57	132.18	133.56	102.60	95.76	141.04	121.43
2015	118.17	82.5	115.33	119.99	115.61	134.01	107.44	113.29
平均值	104.06	102.08	109.72	101.71	101.70	95.00	96.59	
排 名	2	3	1	4	5	7	6	

2.1.1 用水效率的空间分布 在 2004—2015 年,天山北坡经济带 7 个主要城市水资源利用超效率值,在 12 a 间的平均值大小为:石河子市>乌鲁木齐市>克拉玛依市>昌吉市>阜康市>奎屯市>乌苏市,说明石河子市是在 12 a 间总体用水效率最高的城市;除乌苏和奎屯市外,其余 5 个城市水资源利用超效率年平均均值均超过 100%,说明这 5 个城市在 12 a 间的水资源配置总体较为合理。综上所述,天山北坡经济带 7 个主要城市用水效率在空间分布上可划分为 2 个区域:乌鲁木齐—石河子—克拉玛依—昌吉—阜康区域,水资源超效率平均值均超过 100%;乌鲁木齐—奎屯区域,水资源超效率平均值未超过 100%。

2.1.2 用水效率的时间分布 在研究时间段内天山北坡经济带 7 个主要城市用水效率年平均值的的大小为:2012>2013>2014>2011>2015>2009>2010>2008>2007>2006>2004>2005,说明在 2004—2015 年,2012 年是用水效率最高的年份。奎屯、乌苏、昌吉、乌鲁木齐、阜康、克拉玛依和石河子市用水效率超效率值年均增长率依次降低,分别为 13.74%,7.82%,6.35%,2.85%,2.05%,1.84%和-1.36%。在 2004—2015 年,奎屯市和克拉玛依市分别是天山北坡经济带用水效率年均提高最快和最慢的城市。

综上所述,天山北坡经济带 7 个主要城市用水效率在时间上可划分为 2 个时期:2004—2008 时期,用水效率普遍低于 100%,但超效率值呈上升趋势,年增长率较高;2009—2015 时期,用水效率基本高于 100%,但超效率值每年浮动较大,年增长率不稳定,变化趋势呈“波浪形”。

2.1.3 各城市投入要素冗余情况 各投入指标松弛变量值衡量了在获得相同产出量(即:地区生产总值 GDP)的情况下,使水资源利用超效率值达到 100% 时各投入指标可以减少的数量。以乌鲁木齐市和石河子市为例(表 2),在 2006 年,乌鲁木齐生态用水量、工业用水量和生活用水量在理论上分别可以节约 40,2 580 和 4 780 t;就业人口可以减少 8.41 万人。可以看出,乌鲁木齐市在就业人口和生活用水方面存在较严重的浪费情况,节水潜力较大。乌鲁木齐市作为天山北坡经济带的核心城市,人口总数和就业人员均是 7 个城市中最多的,人口数量是制约乌鲁木齐市水资源利用的主要因素。随着经济的发展,城市化进程不断加快,人口不断向城市集聚,人口数量的增加导致了就业和生活用水的双重压力,因此,一方面政府应该合理控制涌入城市的人口数量,以缓解就业压力;另一方面应推行城市居民住宅生活节水和公建市政节水的措施,以减少生活用水。

表 2 2004—2015 年各投入指标的松弛变量值

年份	变量	乌鲁木齐	克拉玛依	石河子	昌吉	阜康	乌苏	奎屯
2004	S_1^-	—	—	—	—	—	—	—
	S_2^-	0.015	0.439	—	—	0.037	—	—
	S_3^-	0.358	0.279	—	0.119	0.418	0.044	0.015
	S_4^-	0.362	0.298	—	0.273	2.264	1.044	0.761
	S_5^-	0.474	0.062	—	0.085	0.146	0.025	0.061
	S_6^-	3.784	6.32	—	2.060	2.739	0.488	0.197
2005	S_1^-	—	—	—	—	—	—	—
	S_2^-	0.002	0.422	—	—	0.037	—	—
	S_3^-	0.273	0.236	—	0.119	0.427	0.08	0.002
	S_4^-	—	0.222	—	0.341	2.264	1.275	1.003
	S_5^-	0.431	0.045	—	0.085	0.146	0.028	0.086
	S_6^-	8.656	0.265	—	2.060	2.739	0.552	0.207
2006	S_1^-	—	—	—	—	—	—	—
	S_2^-	0.004	0.330	—	0.027	0.006	—	0.021
	S_3^-	0.258	0.137	0.063	0.190	0.371	0.091	—
	S_4^-	—	—	1.278	0.470	1.714	1.878	1.055
	S_5^-	0.478	0.060	0.080	0.057	0.046	—	0.096
	S_6^-	8.410	—	—	1.998	2.194	0.929	0.191
2007	S_1^-	—	17.371	—	—	—	—	—
	S_2^-	—	0.238	—	0.012	0.025	—	0.051
	S_3^-	—	—	0.296	0.366	0.263	0.084	0.134
	S_4^-	—	—	1.001	0.207	2.795	0.698	1.111
	S_5^-	—	—	—	—	0.038	—	—
	S_6^-	—	0.895	—	0.195	1.619	0.537	0.128

续表 2								
年份		乌鲁木齐	克拉玛依	石河子	昌吉	阜康	乌苏	奎屯
2008	S_1^-	—	—	—	—	0	—	—
	S_2^-	0.500	1.158	0.024	—	0.035	—	0.110
	S_3^-	0.034	0.079	0.634	—	0.332	—	0.154
	S_4^-	—	—	2.315	—	1.974	—	3.045
	S_5^-	0.222	—	—	—	0.038	—	—
	S_6^-	22.609	0.308	—	—	1.716	—	0.349
2009	S_1^-	—	—	—	—	—	—	—
	S_2^-	—	0.227	—	—	—	—	0.166
	S_3^-	—	0.110	—	—	—	—	0.220
	S_4^-	—	—	—	—	—	—	3.224
	S_5^-	—	—	—	—	—	—	—
	S_6^-	—	2.421	—	—	—	—	1.501
2010	S_1^-	—	—	—	—	—	—	—
	S_2^-	—	—	—	—	0.008	0.050	0.129
	S_3^-	—	—	—	—	—	0.162	0.027
	S_4^-	—	—	—	—	—	1.431	0.742
	S_5^-	—	—	—	—	0.018	—	—
	S_6^-	—	—	—	—	0.243	0.461	0.414
2011	S_1^-	—	—	—	—	—	—	—
	S_2^-	—	—	—	—	—	—	—
	S_3^-	—	—	—	—	—	—	0.604
	S_4^-	—	—	1.375	—	—	—	1.215
	S_5^-	—	—	0.062	—	—	—	0.030
	S_6^-	—	—	—	—	—	—	—
2012	S_1^-	—	—	—	—	—	—	—
	S_2^-	—	—	—	—	—	0.024	—
	S_3^-	—	—	—	—	—	0.047	—
	S_4^-	—	—	—	—	—	0.283	—
	S_5^-	—	—	—	—	—	0.045	—
	S_6^-	—	—	—	—	—	—	—
2013	S_1^-	—	—	—	—	—	—	—
	S_2^-	—	—	—	—	0.030	0.048	—
	S_3^-	0.012	—	—	—	0.080	0.022	—
	S_4^-	—	—	—	—	—	0.194	—
	S_5^-	0.041	—	—	—	0.030	0.033	—
	S_6^-	5.350	—	—	—	0.237	—	—
2014	S_1^-	—	—	—	—	—	—	—
	S_2^-	—	—	—	—	—	0.019	—
	S_3^-	—	—	—	—	—	0.002	—
	S_4^-	—	—	—	—	—	0.410	—
	S_5^-	—	—	—	—	—	0.015	—
	S_6^-	—	—	—	—	—	—	—
2015	S_1^-	—	33.169	—	—	—	—	—
	S_2^-	—	—	—	—	—	—	—
	S_3^-	—	0.174	—	—	—	—	—
	S_4^-	—	1.355	—	—	—	—	—
	S_5^-	—	—	—	—	—	—	—
	S_6^-	—	0.698	—	—	—	—	—

注： S_1^- 、 S_2^- 、 S_3^- 、 S_4^- 、 S_5^- 、 S_6^- 分别为在同样的产出条件下,全年固定资产投资总额(10^8 元)、生态用水量(10^4 t)、工业用水量(10^4 t)、农业用水量(10^4 t)、生活用水量(10^4 t)和就业人口(10^4 人)的可减少量。

在 2008 年,石河子市在生态用水量、工业用水量和农业用水量在理论上分别可以节约 $240,6.34\times 10^3$ 和 2.32×10^4 t。由此可见,石河子市在农业用水方面存在较严重的浪费情况,节水潜力较大。石河子市作为新疆生产建设兵团直辖市,以农业为依托,是一座工农结合、城乡结合的军垦新城,耕地面积共计 1.97×10^3 km²。对于石河子市来说,农业用水成为制约该城市水资源利用的主要因素,因此,政府应合理控制农业用水量、大力推行节水农业,以此提高该市的用水效率。

2.2 用水效率 Malmquist 生产力指数

由表 3,图 1 综合可知,2004—2015 年天山北坡经济带 7 个主要城市水资源 TFP 指数波动幅度较大,且增长不稳定,呈现“W”型。在 2004—2015 年的 11 个时期内,半数以上(6 个)时期的全要素生产率指数有所上升(TFP>1),说明水资源利用效率总体上呈逐年递增趋势;其中 2006—2008,2011 和 2014 年的 TFP 值均小于 1,分别为 0.862,0.815,0.508,0.402,0.643,说明以往年份的水资源利用效率还有进一步提升的空间,今后各城市可据此采取必要措施,提高用水效率。

表 3 2004—2015 年天山北坡带 7 个主要城市
水资源分年全要素生产力指数及分解

年 份	技术效率变化	技术变化	纯技术效率	规模效率	全要素生产率 TFP 指数变化
2004—2005	1.026	1.334	1.000	1.026	1.369
2005—2006	0.891	0.968	1.000	0.891	0.862
2006—2007	0.981	0.831	1.000	0.981	0.815
2007—2008	1.150	0.442	1.000	1.150	0.508
2008—2009	0.856	1.439	1.000	0.856	1.232
2009—2010	1.180	1.242	1.000	1.180	1.465
2010—2011	0.955	0.421	1.000	0.955	0.402
2011—2012	0.936	1.198	1.000	0.936	1.122
2012—2013	1.059	1.392	1.000	1.059	1.474
2013—2014	0.984	0.654	1.000	0.984	0.643
2014—2015	0.981	1.173	1.000	0.981	1.151
平均值	0.996	0.931	1.000	0.996	0.927

2.2.1 各要素对全要素(TFP)指数的贡献 天山北坡经济带 7 个主要城市水资源 TFP 指数与技术变化 2 条曲线的变化趋势高度一致(图 1),表明技术变化是导致 TFP 增长的主要原因。在 2005,2009,2010,2012,2013 和 2015 年技术变化值均大于 1,其增长的快慢决定了 TFP 的增长,说明技术进步对提升水资源的利用效率具有正向影响。因此,技术进步有助于提高用水效率,加大科技投入对于提高天山北坡经济带 7 个主要城市用水效率非常必要。

此外,各年份的技术效率变化指数比较接近,技术效率变动指数又称“追赶效应”,解释为 2004—2015 年追赶效应不明显,即技术提高并未促进水资源利用效率。说明在此期间水资源的管理制度、管理模式以及资源的配置优化重组方面对水资源利用效率的提高没有起到较好的作用,需进一步加强。

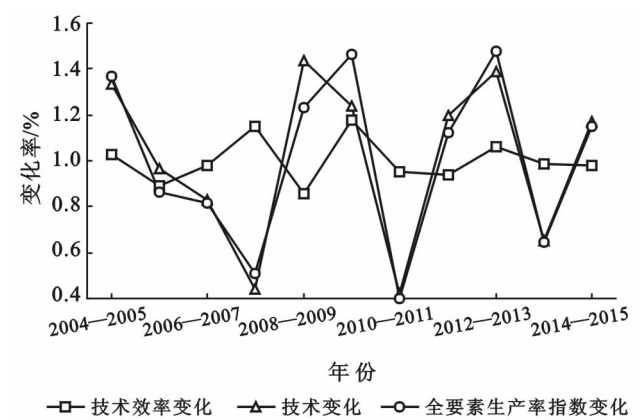


图 1 各指数与全要素指数的简单回归

根据表 3 可知,天山北坡经济带 7 个主要城市水资源利用的规模效率(sech)总体呈下降趋势,制约了水资源利用效率;而纯技术效率(pech)在 2004—2015 年没有变化,说明其对水资源利用效率和技术效率的贡献均不明显。

2.2.2 各城市水资源利用效率的制约因子 表 4 显示了 2004—2015 年天山北坡经济带 7 个主要城市水资源利用效率分城市 TFP 指数及分解,从表 4 中可知,2004 年以来天山北坡经济带 7 个主要城市平均增长率为负(TFP<1),TFP 平均指数仅为 0.927,年均衰退 7.3%,说明天山北坡经济带 7 个主要城市整体表现为衰退趋势。其中乌鲁木齐市的衰退趋势最为明显和严重,TFP 指数仅为 0.778,年均衰退 22.2%。从 TFP 指数分解的年均增长率来看,纯技术效率保持不变;技术变化年均下降 6.9%;规模效率和技术效率变化均下降 0.4%。其中技术变化下降趋势最为明显,是制约整体用水效率提升的主要原因。TFP 受技术变化的制约程度较大,说明技术在很大程度上制约了天山北坡经济带 7 个主要城市水资源利用效率的提高。

从具体城市上来看,TFP 指数排名第 1 的是奎屯,增长了 5.6%,说明奎屯市 TFP 指数增长率较快且超过了平均水平。奎屯市的超效率值排名第 6,处于中等偏下的位置,但增长率却排名第 1,说明该城市用水效率提升很快。其余 6 个城市增长率均出现负值,尤其是乌鲁木齐市衰退最为明显,年均衰退

22.2%。但是其超效率值却排名第 2,处于中等偏上位置,说明该城市应该提高增长率和保持用水效率。天山北坡经济带 7 个主要城市中,技术变化增长率最快的是奎屯市,年均增长率为 5.6%,同时,奎屯市也是 TFP 指数排名第 1 的城市,进一步说明技术变化是提高用水效率的主要推动力。

表 4 2004—2015 年天山北坡带 7 个主要城市
水资源分城市全要素生产力指数及分解

城 市	技术效率变化	技术变化	纯技术效率	规模效率	全要素生产率指数变化
乌鲁木齐	0.999	0.799	1.000	0.999	0.778
克拉玛依	0.987	0.867	1.000	0.987	0.856
石河子	0.983	0.899	1.000	0.983	0.884
昌吉	1.000	0.994	1.000	1.000	0.994
阜康	1.000	0.951	1.000	1.000	0.951
乌苏	1.000	0.999	1.000	1.000	0.999
奎屯	1.000	1.056	1.000	1.000	1.056
平均值	0.996	0.931	1.000	0.996	0.927

3 天山北坡经济带主要城市用水效率的空间依赖性

空间滞后随机效应模型的估计结果见表 5。从 SAR 模型估计的结果来看,空间变异系数 λ 估计值为 0.594 890, $p<0.001$,说明用水效率存在极显著的空间正相关,即具有空间依赖性,表明天山北坡经济带各城市用水效率除了受当地因素的影响之外,还受周边相邻城市用水效率的影响,即相邻城市用水效率的提高会促进当地用水效率的提高。并且在时空尺度上,在 0.05 显著水平下,总用水量、生活用水、人口和生态用水与用水效率显著相关,表明总用水量、生活用水、人口和生态用水对用水效率的影响较大;而城市间距离、工业用水和农业用水与用水效率的相关性不显著。

表 5 空间滞后随机效应模型估计的结果

变量	估计量	标准值	t 值	p
λ	0.594 890	0.109 760	5.420 000	$<0.001^{***}$
I	5.335 928	3.013 448	1.770 700	0.076 61 $^{\cdot}$
S_1	0.116 864	0.265 070	4.408 800	$<0.001^{***}$
S_2	-0.180 610	0.083 211	-2.170 500	0.029 969 *
S_3	-0.200 509	0.102 746	-1.951 500	0.050 997 $^{\cdot}$
S_4	0.056 977	0.056 019	1.017 100	0.309 106
S_5	-0.212 120	0.713 570	-2.972 700	0.002 952 **
S_6	0.115 753	0.054 908	2.108 100	0.035 021 *

注: S_1 为全年固定资产投资总额, S_2 为生态用水量, S_3 为工业用水量, S_4 为农业用水量, S_5 为生活用水量, S_6 为就业人口;***表示 $p<0.001$; **表示 $p<0.01$ “”; *表示 $p<0.05$; $^{\cdot}$ 表示 $p<0.1$ 。下同。

表 6 综合了天山北坡经济带 7 个主要城市在 2004—2015 年影响用水效率的各个因变量的溢出效应,以生态用水量的溢出效应为例,SAR 模型估计的结果显示,生态用水量每减少 1%,导致用水效率增加 0.445 833% (总效应),其中直接效应增加 0.207 009%,间接效应增加 0.238 824%。表 6 的结果与表 2 的部分结果相吻合,这是因为表 6 综合了时间和空间的尺度,而表 2 是将时空尺度分开来计算的。

表 6 空间溢出效应

变量	直接效应	间接效应	总效应
S_1	0.133 944 8	0.154 530 9	0.288 475 7
S_2	-0.207 009 0	-0.238 824 0	-0.445 833 0
S_3	-0.229 817 0	-0.265 137 0	-0.494 954 0
S_4	0.065 304 8	0.075 341 5	0.140 646 2
S_5	-0.243 124 0	-0.280 490 0	-0.523 615 0
S_6	0.132 671 2	0.153 061 5	0.285 732 7

4 建议及结论

(1) 在时间上,天山北坡经济带 7 个主要城市用水效率在 2004—2008 年时期普遍低于 100%,但超效率值呈上升趋势,年增长率较高;在 2009—2015 年时期,用水效率基本高于 100%,但超效率值每年浮动较大,年增长率不稳定,变化趋势呈“波浪形”;在空间分布上可划分为 2 个区域:乌—石—克—昌—阜区域,水资源超效率平均值均超过 100%;乌—奎区域则低于 100%。在总体时空分布上,天山北坡经济带主要城市 2004—2008 年时期的水资源利用效率低于 2009—2015 年时期;乌—石—克—昌—阜区域水资源利用率高于乌—奎区域。

(2) 2004—2015 年天山北坡经济带 7 个主要城市水资源 TFP 指数波动幅度较大,且增长不稳定,呈现“W”型;技术变化是制约天山北坡经济带 7 个主要城市水资源利用效率提升的主要因素。

(3) SAR 模型表明用水效率具有空间依赖性。在时空尺度上,总用水量、生活用水、人口和生态用水与用水效率显著相关,但城市间距离、工业用水和农业用水与用水效率的相关性不显著。总用水量、生活用水、人口和生态用水对用水效率的影响较大。

由以上结论可知,乌鲁木齐市作为天山北坡经济带的核心城市,人口数量是制约乌鲁木齐市水资源利用的主要因素。随着经济的发展,城市化进程不断加快,人口不断向城市集聚,人口数量的增加导致了就业和生活用水的双重压力,因此,一方面政府应该合理控制涌入城市的人口数量,以缓解就业压力;另一

方面应推行城市居民住宅生活节水和公建市政节水的措施,以减少生活用水。石河子市作为以农业为依托的工农结合、城乡结合的军垦新城,农业用水成为制约该城市水资源利用的主要因素,因此,政府应合理控制农业用水量、大力推行节水农业,以此提高该市的用水效率;克拉玛依、昌吉市政府需要调整固定资产投资和就业人口的比例;阜康、乌苏和奎屯市政府需要大力发展第三产业,转变经济结构。

并且,各市政府均需要大力改进生产技术,普及节水工艺,从技术层面提升用水效率;同时,积极引入市场机制,尽快形成反映水环境成本的水资源定价机制,通过市场化手段引导水资源的节约,促进用水结构的优化,减少高耗水产业,提高用水效率;还需要合理规划生产要素投入规模,平衡各城市间的水资源投放比例;此外,技术变化值增长的快慢决定了TFP的增长,说明技术进步对提升水资源的利用效率具有正向影响。因此,加大科技投入对于提高技术进步贡献率对提高用水效率非常必要。

[参 考 文 献]

- [1] 张振龙,孙慧. 基于VAR模型的新疆区域水资源对产业生态系统与经济增长的动态关联性研究[J]. 生态学报, 2017,37(16):1-12.
- [2] 王浩,王建华. 中国水资源与可持续发展[J]. 中国科学院院刊,2012,27(3):352-358.
- [3] 向秀容,潘韬,吴绍洪,等. 基于生态足迹的天山北坡经济带生态承载力评价与预测[J]. 地理研究,2016,35(5):875-884.
- [4] 吴业鹏,袁汝华. 丝绸之路经济带背景下新疆水资源与经济社会协调性评价[J]. 水资源保护,2016,32(4):60-66.
- [5] 谢书玲,王铮,薛俊波. 中国经济发展中水土资源的“增长尾效”分析[J]. 管理世界,2005(7):22-25.
- [6] Ait-Aoudia M N, Berezowska-Azzag E. Water resources carrying capacity assessment: The case of Algeria's capital city[J]. Habitat International, 2016,58:51-58.
- [7] 姚治君,王建华,江东,等. 区域水资源承载力的研究进展及其理论探析[J]. 水科学进展, 2002,13(1):111-115.
- [8] Christina-Smith J, Cooley H, Gleick P H. Potential water savings associated with agricultural water efficiency improvements: A case study of California, USA [J]. Water Policy, 2012,14(2):194-213.
- [9] 李绍飞. 改进的模糊物元模型在灌区农业用水效率评价中的应用[J]. 干旱区资源与环境, 2011,25(11):175-181.
- [10] 岳立,赵海涛. 环境约束下的中国工业用水效率研究: 基于中国13个典型工业省区2003—2009年数据[J]. 资源科学,2011,33(11):2071-2079.
- [11] 王燕,谢蕊蕊. 能源环境约束下中国区域工业效率分析[J]. 中国人口·资源与环境,2012,22(5):114-119.
- [12] 孙爱军,董增川,王德智. 基于时序的工业用水效率测算与耗水量预测[J]. 中国矿业大学学报,2007,36(4):547-553.
- [13] 佟金萍,马剑锋,王圣,等. 长江流域农业用水效率研究:基于超效率DEA和Tobit模型[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(4):603-608.
- [14] 孙才志,刘玉玉. 基于DEA-ESDA的中国水资源利用相对效率的时空格局分析[J]. 资源科学,2009,31(10):1696-1703.
- [15] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978,2(6):429-444.
- [16] 曹思齐,吴成国,金菊良,等. 最严格水资源管理制度下的区域工业用水效率预测[J]. 水电能源科学,2014,32(8):56-60.
- [17] 韩雅清,苏时鹏. 福建省水资源利用效率的静态与动态分析:基于DEA-BCC和DEA-Malmquist两步法[J]. 资源与环境,2015,31(5):578-583.
- [18] 廖虎昌,董毅明. 基于DEA和Malmquist指数的西部12省水资源利用效率研究[J]. 资源科学,2011,33(2):273-279.
- [19] Anselin L. Spatial Econometrics: Methods and Models [M]. Holland: Dordrecht Kluwer Academic Publishers, 1988.