

# 基于 ArcGIS 的安徽省用水强度驱动效应空间格局分析

张乐勤, 朱超洪

(池州学院 资源环境学院, 安徽 池州 247000)

**摘要:** [目的] 探索用水强度驱动效应空间关联格局, 为制定优化水资源配置及实行最严格水资源保护政策提供依据。[方法] 以安徽省为例, 运用完全分解模型, 对用水强度驱动效应进行测算; 基于 ArcGIS 平台, 运用 Kriging 插值及热值分析方法, 对用水强度驱动效应空间关联格局及热点(冷点)地区进行考察。[结果] (1) 2011—2014 年, 技术效应均值为 94.09%, 结构效应均值为 5.91%; (2) 技术效应、结构效应半变异函数分析块金系数分别为 1, 0.843 9, 空间自相关性弱, 整体结构性差, 区域差异明显; (3) 技术效应、结构效应热点与冷点地区分别占总数的 31.25%, 37.5%, 温点地区占 68.75%, 62.5%, 分布于皖江中下游、皖南地区及皖北的蚌埠市。[结论] 用水强度驱动效应空间异质特征显著, 技术创新与结构调整为提升区域用水强度的重要途径。

**关键词:** 用水强度; 驱动效应; 完全分解模型; 半变异函数; 热值分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)03-0284-06

中图分类号: F062.1

**文献参数:** 张乐勤, 朱超洪. 基于 ArcGIS 的安徽省用水强度驱动效应空间格局分析[J]. 水土保持通报, 2017, 37(3): 284-289. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.049; Zhang Leqin, Zhu Chaohong. ArcGIS-based analysis of drivers' spatial patterns of water use intensity in Anhui Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(3): 284-289. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.049

## ArcGIS-based Analysis of Drivers' Spatial Patterns of Water Use Intensity in Anhui Province

ZHANG Leqin, ZHU Chaohong

(College of Natural Resources and Environment, Chizhou University, Chizhou, Anhui 247000, China)

**Abstract:** [Objective] The spatial correlation pattern of water intensity drivers was explored to provide basis for the policy formulation of optimizing water resources allocation and for implementing the most rigorous water resources protection policy. [Methods] Taking Anhui Province as an example, the effects of different drivers on water use intensity were calculated using the complete decomposition model. And then ArcGIS-based Kriging interpolation and calorific value analysis methods were used to investigate the spatial correlation pattern and to find out the hot spots /cold spots of water use intensity. [Results] (1) From 2011 to 2014, the technical effect was valued at 94.09%, and the structural effect was 5.91%; (2) The coefficient nuggets of semi-variogram of the technical effect and structure effect were 1 and 0.843 9. The spatial auto-correlation was weak as the overall structure variance was poor, but the regional differences was obvious. (3) Hot spot plus cold spot areas of technical and structural effects of covered for 31.25% and 37.5% of the total provincial area, and moderate areas of the two effects accounted for 68.75% and 62.50%, mainly distributed in the middle and lower reaches of Wanhe River, in South Anhui, and in Bengbu City. [Conclusion] The spatial heterogeneity of drivers of water use intensity was significant. Technological innovation and structural adjustment are considered as two important ways to enhance regional water use intensity.

**Keywords:** water use intensity; driving effect; complete decomposition model; semi-variogram; hot spot analysis

中国水资源供给不足掣肘经济社会可持续发展与生态文明建设问题, 已引起管理层及学术界高度关

注, 破解这一症结的举措在于提高水资源利用效率<sup>[1]</sup>, 如何提高水资源利用率, 降低用水强度是关键,

收稿日期: 2016-11-18

修回日期: 2017-01-09

资助项目: 安徽省科技厅 2016 年软科学项目“安徽省技术进步、产业结构调整对用水变化驱动效应时空差异及响应对策研究”(1607a0202061); 安徽省教育厅质量工程项目“水处理工程实践教育中心”(2015xnxz023)

第一作者: 张乐勤(1965—), 男(汉族), 安徽省宿松县人, 硕士, 教授, 研究方向为资源生态与可持续发展。E-mail: zhangleqing@sohu.com.

科学识别出其影响因子,并辅之以相应政策响应,便成为保障水资源可持续利用核心,对此进行探索无疑具有重要现实意义。

针对用水强度驱动效应,前人基于 DEA, LMDI、完全分解等不同模型,采用回归分析、主成分分析方法,在国家或省域尺度或流域层面上,从技术因素、结构因素、价格因素等方面揭示了对用水强度驱动影响<sup>[1-8]</sup>,所得结果显示,技术进步、产业结构优化及提高水价均具有显著正向影响,为本研究提供了有益启示,然而,既有研究多从整体视角来进行考察,缺乏对研究区域内空间差异分析,事实上,不同地域空间水资源禀赋、经济社会状态、产业结构差异显著,仅从整体上进行考察,不能客观反映出其空间异质性,影响着差别化水资源保护政策制定,也制约了水资源优化配置,鉴于此,本文拟以安徽省为例主要基于以下考虑,一是安徽省水资源禀赋不足,2014 年人均水资源仅为全国平均水平的 66.65%;二是生态强省为安徽省重要发展战略,考察其用水强度驱动效应的空间差异更具典型性与示范性。采用完全分解模型,对其驱动效应进行测算,借助 ArcGIS 平台,运用 Kriging 插值及热值分析方法,对其空间关联格局及热点(冷点)地区进行考察,以期识别出空间差异,进而为管理层制定差别化水资源利用效率政策提供决策参考,有利于最严格水资源管理制度的实施及区域水资源可持续利用,也利于生态文明建设。

## 1 研究方法

### 1.1 用水强度驱动效应测算

万元 GDP 用水量是国际上通用表征用水强度指标<sup>[9]</sup>,若以  $I$  表示单位 GDP 用水量,  $I_i$  表示  $i$  产业单位 GDP 用水量(用水强度),则有:

$$I = \frac{W}{G} = \frac{\sum_{i=1}^3 W_i}{\sum_{i=1}^3 G_i} = \frac{\sum_{i=1}^3 I_i G_i}{\sum_{i=1}^3 G_i} = \sum_{i=1}^3 I_i \frac{G_i}{G} = \sum_{i=1}^3 I_i S_i \quad (1)$$

式中:  $G$ ,  $G_i$ ——GDP 总量、 $i$  产业产值(万元);  $W$ ,  $W_i$ ——用水总量、 $i$  产业用水量( $m^3$ );  $S_i$ —— $i$  产业产值占 GDP 比重(%). 若以  $I^t, I^0$  分别表示  $t$  期、基期单位 GDP 用水量,则有:  $I^t = \sum_{i=1}^3 I_i^t S_i^t$ ,  $I^0 = \sum_{i=1}^3 I_i^0 S_i^0$ , 从基期到  $t$  期单位 GDP 用水变化可表示为:

$$\Delta I = I^t - I^0 = \sum_{i=1}^3 (I_i^t S_i^t - I_i^0 S_i^0) \quad (2)$$

根据 Laspeyres 指数分解方法可以将用水强度分解为<sup>[3]</sup>:

$$\Delta I = \sum_{i=1}^3 (I_i^t - I_i^0) + \sum_{i=1}^3 (S_i^t - S_i^0) + \sum_{i=1}^3 (I_i^t - I_i^0)(S_i^t - S_i^0) \quad (3)$$

式中:  $\sum_{i=1}^3 (I_i^t - I_i^0)(S_i^t - S_i^0)$  为分解余值,依据 Sun<sup>[10]</sup> 提出的联合产生和平等贡献原理,可以将  $\Delta I$  分解为由技术进步引致的贡献份额( $\Delta I_T$ )与结构效应引致的贡献份额( $\Delta I_S$ )<sup>[3]</sup>:

$$\Delta I_T = \sum_{i=1}^3 [(I_i^t - I_i^0) S_i^0 + \frac{1}{2} (I_i^t - I_i^0)(S_i^t - S_i^0)] \quad (4)$$

$$\Delta I_S = \sum_{i=1}^3 [(S_i^t - S_i^0) I_i^0 + \frac{1}{2} (I_i^t - I_i^0)(S_i^t - S_i^0)] \quad (5)$$

依据式(4),(5)可得技术效应为:  $\Delta I_{T(\text{EFF})} = \frac{\Delta I_T}{\Delta I}$

$\times 100\%$ , 结构效应为:  $\Delta I_{S(\text{EFF})} = \frac{\Delta I_S}{\Delta I} \times 100\%$ 。

### 1.2 半变异函数分析

半变异函数是空间统计学中用于分析空间相关程度的常用工具<sup>[11]</sup>,表达式如下<sup>[11]</sup>:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i+h)]^2 \quad (6)$$

式中:  $\gamma(h)$ ——半变异函数;  $h$ ——两样本点空间分隔距离;  $N(h)$ ——分隔距离为  $h$  时样点数;  $Z(X_i)$ ,  $Z(X_i+h)$ ——随机变量在点  $X$  与偏离空间位置  $h$  点  $X+h$  处的观测值<sup>[11]</sup>。

半变异函数可借助 ArcGIS 平台,采用地统计分析中克里金插值方法实现,若分析数据服从正态分布,可用普通克里金(Ordinary Kriging)插值法进行分析,反之,则应选用析取克里金(disjunctive Kriging)插值法进行分析<sup>[12]</sup>,析取克里金插值法提供了 Log, Box-Cox, Arcsin, Normal Score 等数据交换方法,可通过比较标准误差选择最优交换方式<sup>[12]</sup>,再通过比较不同拟合模型标准误差,来获取最适宜插值模型。

半变异函数参数包括:块金值( $C_0$ )、偏基台值( $C$ )、基台值( $C+C_0$ )、变程( $A_0$ ),其中,块金值( $C_0$ )与基台值( $C+C_0$ )之比为块金系数,表示由随机性因素引起的空间异质性占总变异的比例<sup>[11,13]</sup>,当块金系数小于 0.25 时,表明变量具有强烈空间自相关性,全局同质特征明显,空间结构性稳定;当该比例介于 0.25~0.75 时,表明变量具有中等空间相关性;当该比例大于 0.75 时,表明空间相关性弱,异质特征性明显,随机因素所起作用大<sup>[13]</sup>。

### 1.3 空间热值分析

热点分析为空间统计学中旨在揭示研究区域某种属性各单元局部相关的分析方法<sup>[14]</sup>,在资源环境<sup>[14-16]</sup>空间格局研究中广受学者青睐,其通过 Getis-Ord  $G_i^*$  统计值计算,可判别高值(热点)和低值(冷点)的空间聚类<sup>[14]</sup>,表达式如下<sup>[14]</sup>:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^m \omega_{ij} X_j - \bar{X} \sum_{j=1}^m \omega_{ij}}{S \sqrt{\frac{m \sum_{j=1}^m \omega_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^m \omega_{ij})^2}{m-1}}} \quad (7)$$

式中:  $X_j$ —— $j$  的属性值;  $\omega_{ij}$ —— $i$  和  $j$  的空间权重;  $m$ ——样本点总数素;  $\bar{X}$ ——均值;  $S$ ——标准差。若  $G_i^*$  得分显著为正, 表示  $i$  单元属性值高, 周围单元属性值亦高, 为高值空间集聚区(热点区), 分值越高, 热点聚类越紧密, 若  $G_i^*$  得分显著为负, 表示  $i$  单元属性值低, 周围单元属性值亦低, 为低值空间集聚区(冷点区), 分值越低, 冷点的聚类就越紧密<sup>[14]</sup>。

## 2 实证研究

### 2.1 研究区概况与数据来源

安徽省地处华东腹地, 介于  $114^{\circ}54' - 119^{\circ}37' E$  与  $29^{\circ}41' - 34^{\circ}38' N$ , 面积  $1.394 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。地形以平原、丘陵、山地为主, 且呈相间分布, 气候属暖温带与亚热带过渡地区, 年际降水变化较大。2014 年, 常住总人口 6 083 万, GDP 总量为 20 848.8 亿元, 全年降水量 1 278.5 mm, 水资源总量为  $7.78 \times 10^{10} \text{ m}^3$ , 总用水量为  $2.72 \times 10^{10} \text{ m}^3$ , 其中, 第一产业用水  $1.43 \times 10^{10} \text{ m}^3$ , 第二产业用水  $9.271 \times 10^9 \text{ m}^3$ , 第三产业用水  $3.655 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

鉴于安徽省 2011 年行政区划变动(原巢湖市撤销, 分别划归合肥市、芜湖市、马鞍山管辖), 考虑到数据获取的完整性与连续性, 选取 2011—2014 年作为研究样本, 三次产业用水界定如下: 第一产业用水为农业用水; 第二产业用水为工业用水; 第三产业用水借鉴文献<sup>[17]</sup>, 界定为城镇公共与生态用水。同时, 为了研究一致, 对 GDP 及三次产业增加值, 以 2011 年为基准, 采用价格指数进行抵减。原始数据主要来源于 2012—2015 年《安徽统计年鉴》, 其中, 各地级市用水数据来源于《2011—2014 年安徽省水资源公报》。

### 2.2 用水强度变化态势

运用产业用水与 GDP 统计数据, 可对安徽省各地级市 2011—2014 年年均用水强度变化进行计算, 结果如图 1 所示。由图 1 可知, 2011—2014 年, 除马鞍山市外, 安徽省其余 15 个地级市用水强度均呈下降态势, 从年均变化看, 六安市变化最大, 由 2011 年  $369.39 \text{ m}^3/\text{万元}$  降至 2014 年  $262 \text{ m}^3/\text{万元}$ , 万元 GDP 用水年均减少了  $35.8 \text{ m}^3$ , 从年均变化幅度看, 降幅最大的为黄山市, 年均下降达 21.29%, 究其原因, 马鞍山为传统钢铁工业城市, 生产设备相对陈旧, 受技术、资金限制, 设备改造升级难以在短期见效, 致

使单位 GDP 水耗较大, 用水效率低; 六安市积极引导产业调整, 农业在国民经济中比重不断下降, 由于三次产业中以第一产业耗水最大, 第一产业比重的下降, 相对减少了单位 GDP 水耗, 从而导致了用水强度呈现出较大降幅; 黄山市为皖南旅游、文化、生态资源禀赋丰厚的国际旅游城市, 2011 年来, 黄山市积极主动调整产业结构, 第二产业结构比重不断下降, 第三产业比例日渐上升, 由于产生单位第三产业产值用水较少, 进而驱动了用水强度出现了较大降幅。

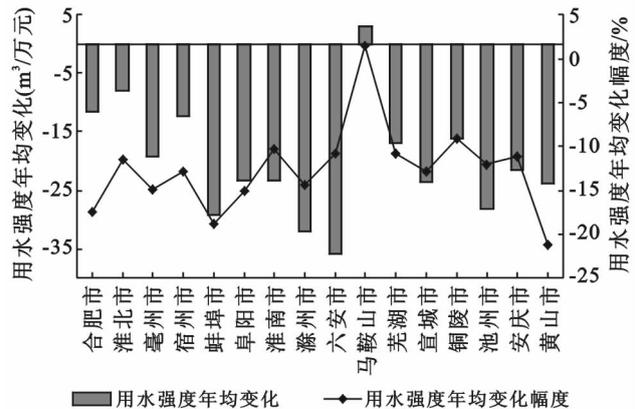


图 1 安徽省各地级市 2011—2014 年用水强度年均变化

### 2.3 用水强度变化驱动效应测算

运用测度用水强度的表达式(4), (5) 及统计数据, 可对安徽省 2011—2014 年各地级市用水强度驱动效应进行测算, 结果如表 1。由表 1 可知, 考察样本期, 用水强度变化技术效应均值为 94.09%, 中值为 77.965%, 其中, 大于中值的地级市有 8 个, 马鞍山市最强, 宣城市最弱, 而结构效应均值为 5.91%, 中值为 22.035%, 大于中值的地级市同为 8 个, 宣城市最强, 马鞍山市最弱, 由此表明, 技术因素在用水变化中起主导作用, 而结构因素影响较小。

### 2.4 用水强度变化驱动效应半变异函数分析

运用 ArcGIS 软件地统计分析模块, 可对表 1 中安徽省 2011—2014 年用水强度变化技术与结构驱动效应进行正态分布检验, 结果如表 2 所示。表 2 表明, 技术效应、结构效应偏度离 0 值较大, 峰度均大于 3, 且中位数与平均值偏离较大, 由此表明, 技术效应与结构效应均不服从正态分布, 为此, 半变异函数分析中, 应采用析取克里金法进行插值分析。

采用 Log, Box-Cox, Arcsin, Normal Score 交换方法, 分别进行析取克里金拟合, 结果显示, 技术效应以 Log 交换标准误差最小, 结构效应以 Normal Score 交换标准误差最小, 基于析取克里金法插值方法, 对技术效应、结构效应分别采用 Log, Normal Score 交换方式, 并进行 ArcGIS 软件提供的多种模型进行拟合, 所得结果表明, 技术效应以 Gaussian 拟

合最优(平均标准差为 36.310 3,均方根为 65.040 4,标准均方根为 1.790 2),结构效应以 J-Bessel 拟合最优(平均标准差为 65.658 1,均方根为 69.492 4,标

准均方根为 1.057 7),分别采用 Gaussian 模型、J-Bessel模型对技术效应、结构效应进行拟合,所得半变异函数参数如表 3 所示。

表 1 安徽省 16 个地级市 2011—2014 年用水强度驱动效应

| 地区  | 2011—2012 年 |              |              |                     |                     | 2012—2013 年 |              |              |                     |                     | 2013—2014 年 |              |              |                     |                     | 2011—2014 年         |                     |
|-----|-------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|-------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|-------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|     | $\Delta I$  | $\Delta I_T$ | $\Delta I_S$ | $\Delta I_{T(EFF)}$ | $\Delta I_{S(EFF)}$ | $\Delta I$  | $\Delta I_T$ | $\Delta I_S$ | $\Delta I_{T(EFF)}$ | $\Delta I_{S(EFF)}$ | $\Delta I$  | $\Delta I_T$ | $\Delta I_S$ | $\Delta I_{T(EFF)}$ | $\Delta I_{S(EFF)}$ | $\Delta I_{T(EFF)}$ | $\Delta I_{S(EFF)}$ |
| 合肥  | -11.89      | -10.37       | -1.52        | 87.24               | 12.76               | -5.32       | -3.34        | -1.98        | 62.80               | 37.2                | -17.72      | -14.35       | -3.37        | 80.98               | 19.02               | 77.01               | 22.99               |
| 淮北  | -12.97      | -12.20       | -0.77        | 94.04               | 5.96                | -5.00       | -4.65        | -0.35        | 92.99               | 7.01                | -5.66       | -2.92        | -2.74        | 51.63               | 48.37               | 79.55               | 20.45               |
| 亳州  | -41.19      | -38.76       | -2.43        | 94.09               | 5.91                | 2.34        | 4.13         | -1.79        | 176.56              | -76.56              | -18.69      | -10.33       | -8.36        | 55.26               | 44.76               | 108.63              | -8.63               |
| 宿州  | -12.15      | -10.08       | -2.07        | 82.98               | 17.02               | -7.85       | -5.60        | -2.25        | 71.31               | 28.69               | -17.00      | -12.81       | -4.19        | 75.36               | 24.65               | 76.55               | 23.45               |
| 蚌埠  | -29.30      | -25.41       | -3.89        | 86.74               | 13.26               | -14.25      | -10.14       | -4.11        | 71.14               | 28.86               | -43.76      | -35.52       | -8.25        | 81.15               | 18.85               | 79.68               | 20.32               |
| 阜阳  | -40.05      | -35.02       | -5.02        | 87.45               | 12.55               | -3.81       | -2.66        | -1.15        | 69.87               | 30.13               | -26.15      | -18.36       | -7.79        | 70.21               | 29.79               | 75.85               | 24.15               |
| 淮南  | -34.14      | -30.99       | -3.14        | 90.79               | 9.21                | -19.15      | -19.09       | -0.06        | 99.70               | 0.30                | -17.01      | -11.02       | -6.00        | 64.75               | 35.25               | 85.09               | 14.92               |
| 滁州  | -16.92      | -12.01       | -4.91        | 70.98               | 29.02               | -41.45      | -35.43       | -6.02        | 85.47               | 14.53               | -37.38      | -25.68       | -11.70       | 68.69               | 31.31               | 75.05               | 24.95               |
| 六安  | -50.94      | -45.42       | -5.52        | 89.17               | 10.83               | -24.09      | -13.77       | -10.32       | 57.15               | 42.85               | -32.36      | -19.58       | -12.79       | 60.49               | 39.51               | 68.94               | 31.06               |
| 马鞍山 | 28.51       | 30.45        | -1.95        | 106.84              | 6.84                | 0.24        | 2.05         | -1.82        | 862.85              | -762.85             | -19.76      | -11.28       | -8.48        | 57.09               | 42.91               | 342.26              | -242.26             |
| 芜湖  | -21.24      | -19.18       | -2.06        | 90.29               | 9.71                | -17.40      | -16.23       | -1.16        | 93.31               | 6.69                | -11.84      | -1.00        | -10.85       | 8.42                | 91.58               | 64.01               | 35.99               |
| 宣城  | -36.85      | -32.71       | -4.13        | 88.79               | 11.21               | -5.79       | -1.87        | -4.08        | 31.41               | 68.59               | -27.75      | -16.16       | -11.59       | 58.23               | 41.77               | 59.48               | 40.52               |
| 铜陵  | -24.19      | -22.02       | -2.16        | 91.05               | 8.95                | -15.53      | -13.59       | -1.94        | 87.52               | 12.48               | -8.67       | -6.00        | -2.67        | 69.17               | 30.83               | 82.58               | 17.42               |
| 池州  | -45.19      | -42.38       | -2.81        | 93.79               | 6.21                | -3.89       | -1.52        | -2.37        | 39.15               | 60.85               | -35.57      | -24.14       | -11.43       | 67.87               | 32.13               | 66.93               | 33.07               |
| 安庆  | -37.09      | -33.51       | -3.57        | 90.36               | 9.64                | 9.92        | 7.27         | 2.65         | 73.31               | 26.69               | -37.64      | -27.51       | -10.13       | 73.09               | 26.91               | 78.92               | 21.08               |
| 黄山  | -50.87      | -47.72       | -3.15        | 93.81               | 6.19                | -8.09       | -7.37        | -0.72        | 91.09               | 8.91                | -12.33      | -8.64        | -3.69        | 70.06               | 29.94               | 84.98               | 15.02               |

注: $\Delta I$  为用水强度变化; $\Delta I_T$  为技术因素引致用水强度变化份额; $\Delta I_S$  为结构因素引致用水强度变化份额; $\Delta I_{T(EFF)}$  为技术进步效应; $\Delta I_{S(EFF)}$  为结构效应。

表 2 正态分布检验

| 驱动效应 | 偏度       | 峰度     | 平均值    | 中位数    |
|------|----------|--------|--------|--------|
| 技术效应 | 3.453 7  | 13.328 | 94.094 | 77.965 |
| 结构效应 | -3.474 6 | 13.424 | 5.910  | 22.035 |

表 3 安徽省 2011—2014 年用水强度变化驱动效应半变异函数拟合参数

| 参数                    | 技术效应         | 结构效应         |
|-----------------------|--------------|--------------|
| 块金值( $C_0$ )          | 0.148 272 95 | 0.779 511 94 |
| 偏基台值( $C$ )           | 0            | 0.144 168 84 |
| 基台值( $C+C_0$ )        | 0.148 272 95 | 0.923 680 78 |
| 块金系数( $C_0/(C+C_0)$ ) | 1            | 0.843 9      |
| 最佳拟合模型                | Gaussian     | J-Bessel     |

表 3 显示,安徽省 2011—2014 年用水强度变化技术效应半变异函数块金系数为 1,表明考察样本期,技术效应空间自相关弱,整体结构性差,区域差异明显,掣肘技术效应内在结构因素(如人力资本、研发投入等)处从属地位,而规制政策、市场发育程度、外商投资水平等随机因素起主导作用。表 3 显示,用水强度变化结构效应半变异函数块金系数为 0.843 9,表明结构效应空间自相关亦较弱,空间异质特征显著,也说明内在因素(资源禀赋、供求关系、经济发展水平等)所起作用小,而随机因素(如宏观政策引向)所起作用大。进一步分析表 3 可知,技术效应块金系数大

于结构效应块金系数,表明技术效应空间差异要强于结构效应。

### 2.5 用水强度变化驱动热值分析

运用 ArcGIS 软件中热点分析工具,可计算安徽省 2011—2014 年用水强度变化技术与结构效应  $G_i^*$  得分,采用自然断点法,对其进行可视化处理,分为热点区、次热点区、次冷点区、冷点区 4 类,结果如图 2—3 所示。

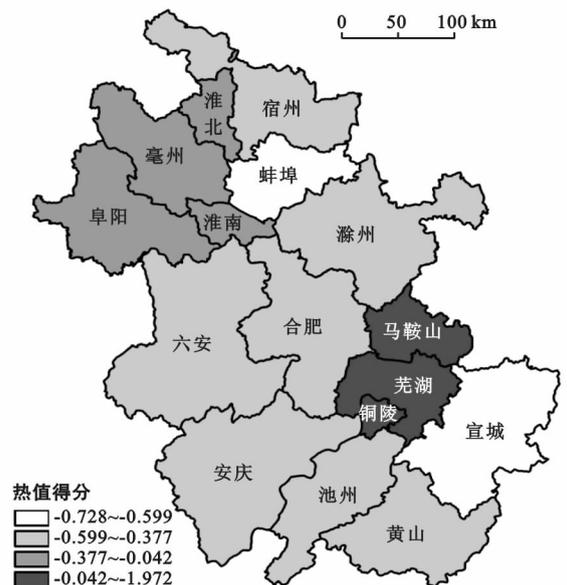


图 2 安徽省 2011—2014 年用水强度变化技术效应热值分析结果

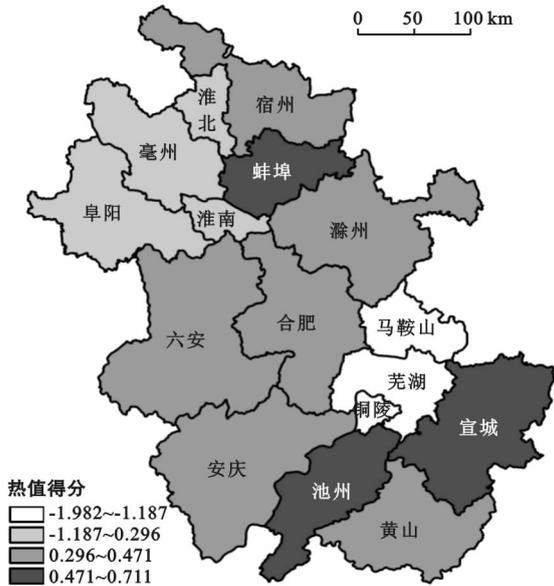


图3 安徽省 2011—2014 年用水强度变化结构效应热值分析结果

图 2 显示,技术效应热点地区有 3 个(马鞍山、芜湖、铜陵), $G_i^*$  得分介于 $-0.041\ 788\sim 1.972\ 154$ , $p$  值大于 0.1,表明马鞍山、芜湖、铜陵 3 市技术效应高,其邻近地市亦高的空间集聚特征不显著;冷点地区有 2 个(宣城、蚌埠), $G_i^*$  得分介于 $-0.727\ 629\sim -0.599\ 362$ , $p$  值大于 0.1,表明宣城、蚌埠技术效应低,其邻近地市亦低的低值集聚特征不显著;其余 11 个地市  $G_i^*$  得分介于 $-0.599\ 361\sim -0.041\ 789$ ,为次热点或次冷点地区,空间相关性较弱,呈随机分布特征。

图 3 显示,结构效应热点地区有 3 个(宣城、蚌埠、池州), $G_i^*$  得分介于 $0.470\ 585\sim 0.711\ 086$ , $p$  值大于 0.1,表明宣城、蚌埠、池州 3 市结构效应高,其邻近地市亦高的空间集聚特征不显著;冷点地区有 3 个(马鞍山、芜湖、铜陵), $G_i^*$  得分介于 $-1.981\ 501\sim -1.187\ 232$ 间,由于  $p$  值大于 0.1,表明冷点地区低值集聚特征不显著,结合表 1 可知,马鞍山、铜陵结构效应低,芜湖市结构效应达 35.99%,成为冷点地区中相对较热地区,究其原因,与其积极调整产业结构,发展战略新兴产业有关,考察样本期,芜湖市以建设国家科技创新试验区为契机,积极发展以机器人、新能源汽车、现代农业机械为代表的战略新兴产业,成为了安徽省皖江地区重要战略新兴产业聚集基地,产业结构相对周边的马鞍山、铜陵而言有了较大优化,驱动了其结构效应提升;其余 10 个地市  $G_i^*$  得分介于 $-1.187\ 231\sim 0.470\ 584$ ,为次热点或次冷点地区,空间相关性较弱,呈随机分布特征。

通过分析发现,无论是技术效应还是结构效应,热点与冷点地区较少,温点地区较多,从技术效应看,热点与冷点地区占总数的 31.25%,温点地区占

68.75%,从结构效应看,热点与冷点地区占总数的 37.5%,温点地区占 62.5%;,热点与冷点地区主要分布于皖江中下游、皖南地区及皖北的蚌埠市,热点与冷点地市集聚特征不显著,即效应高值或低值区周边并非高值或低值,离散的异质特征明显。

### 3 讨论与结论

(1) 考察样本期,安徽省用水强度整体呈下降态势,技术因素是用水变化主要驱动因素,结构因素驱动效应较弱。

(2) 技术效应与结构效应全局自相关性均较弱,空间异质特征显著,比较而言,技术效应空间差异更明显。

(3) 随机因素(如规制政策)在技术效应与结构效应中起主导作用,而内在因素处从属地位。

(4) 技术效应、结构效应热点与冷点地区均较少,温点地区多,空间集聚特征不显著。技术效应热点地区与结构效应冷点地区分布于皖江中下游的铜陵、芜湖、马鞍山 3 市,宣城、蚌埠为技术效应冷点地区,宣城、蚌埠、池州为结构效应热点地区。

鉴于上述结论,得出如下政策启示:首先,结构效应为掣肘安徽省用水强度下降的关键,为此,应将优化产业结构,特别是提升第三产业比例,作为降低用水强度,提高用水效率的重要抓手;其次,应采取差别化的规制政策,重点关注技术效应、结构效应冷点地区。对技术效应低的宣城、蚌埠 2 市,应依靠政策扶持与制度设计,积极推进科技创新,努力提高用水效率,降低单位 GDP 用水量,对结构效应低的铜陵、马鞍山 2 市,应摒弃传统二产占主导的经济发展模式,积极发展新兴产业与现代服务业,通过产业结构优化升级,促进结构效应提升;最后,提高技术效应与结构效应既要重视规制政策等随机因素,更要关注制约技术效应与结构效应的内在因素,如技术效应层面的人才队伍建设、研发投入等,结构效应的供给侧改革、经济发展水平等,进而实现提升技术效应与结构效应目标。

本文运用 ArcGIS 分析工具,揭示了技术与结构因素为安徽省用水强度主要驱动因素,且在空间格局具有异质的弱离散特征,所得结果与马海良等<sup>[1]</sup>、孙才志等<sup>[2]</sup>、佟金萍等<sup>[3]</sup>、姜蓓蕾等<sup>[4]</sup>、张陈俊等<sup>[6]</sup>基本一致,为其优化用水的空间配置,促进最严格水资源保护政策实施提供了决策参考,然而,受理论基础制约,本文未就技术因素、产业结构因素影响用水强度作用机理进行深度解析,这是本文不足之处,也是笔者今后展开更深入研究的方向。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 马海良,黄德春,张继国.考虑非合意产出的水资源利用效率及影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2012,22(10):35-42.
- [2] 孙才志,王妍,李红新.辽宁省用水效率影响因素分析[J].水利经济,2009,27(2):1-5.
- [3] 佟金萍,马剑锋,刘高峰.基于完全分解模型的中国万元 GDP 用水量变动及因素分析[J].资源科学,2011,33(10):1870-1876.
- [4] 姜蓓蕾,耿雷华,卞锦宇,等.中国工业用水效率水平驱动因素分析及区划研究[J].资源科学,2014,36(11):2231-2239.
- [5] 耿献辉,张晓恒,宋玉兰.农业灌溉用水效率及其影响因素实证分析:基于随机前沿生产函数和新疆棉农调研数据[J].自然资源学报,2014,29(6):934-943.
- [6] 张陈俊,章恒全,龚雅云.中国结构升级、技术进步与水资源消耗:基于改进的 LMDI 方法[J].资源科学,2014,36(10):1993-2002.
- [7] 李静,马潇璨.资源与环境双重约束下的工业用水效率:基于 SBM-Undesirable 和 Meta-frontier 模型的实证研究[J].自然资源学报,2014,29(6):920-933.
- [8] 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.
- [9] 中国科学院可持续发展战略研究组.2007 年中国可持续发展战略报告:水治理与创新[M].北京:科学出版社,2007.
- [10] Sun J W. Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model[J]. Energy Economics, 1998,20(1):85-100.
- [11] 梅志雄.基于半变异函数的住宅价格空间异质性分析:以东莞市为例[J].华南师范大学学报:自然科学版,2008(4):123-128.
- [12] 葛森,薛然尹,何进伟,等.中国男性儿童呼气高峰流量参考值地理分布[J].地理研究,2014,33(3):451-466.
- [13] 栾福明,张小雷,杨兆萍,等.1990—2011 年山东省旅游节庆的时空变异特征及机理[J].地理科学进展,2013,32(6):940-949.
- [14] 杨晓明,戴小杰,田思泉,等.中西太平洋鳀鱼围网渔业资源的热点分析和空间异质性[J].生态学报,2014,34(13):3771-3778.
- [15] 蒋海兵,徐建刚.江苏淮河流域工业点源负荷空间分布特征研究[J].长江流域资源与环境,2013,22(6):742-749.
- [16] 张丽,杨国范,刘吉平.1986—2012 年抚顺市土地利用动态变化及热点分析[J].地理科学,2014,34(2):185-191.
- [17] 盖美,郝慧娟,柯丽娜,等.辽宁沿海经济带水资源边际效益测度及影响因素分析[J].自然资源学报,2015,30(1):78-91.
- [18] 李凤英,何小武,周春火.坡度影响土壤侵蚀研究进展[J].水土保持研究,2008,15(6):229-231.
- [19] 汤国安,刘学军,房亮,等. DEM 及数字地形分析中尺度问题研究综述[J].武汉大学学报:信息科学版,2006,31(12):1059-1066.
- [20] 傅抱璞.坡地对于日照和太阳辐射的影响[J].南京大学学报:自然科学版,1958(2):25-48.
- [21] 杨军,贾鹏,周廷刚,等.基于 DEM 的洪水淹没模拟分析及虚拟现实表达[J].西南大学学报:自然科学版,2011,33(10):143-148.
- [22] 包蓓蓓.基于人类行为心理的景观空间感受尺度研究[D].上海:同济大学,2009.

(上接第 283 页)

- [11] 汤晓敏.景观视觉环境评价的理论、方法与应用研究[D].上海:复旦大学,2007.
- [12] 裘亦书,高峻,詹起林.山地视觉景观的 GIS 评价:以广东南昆山国家森林公园为例[J].生态学报,2011,31(4):1009-1020.
- [13] 王军围,唐晓岚.基于聚落适宜性分析的西山国家森林公园古村落空间布局[J].浙江农林大学学报,2015,32(6):919-926.
- [14] 中华人民共和国建设部.风景名胜区规划规范[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [15] 刘学军,王叶飞,曹志东,等.基于 DEM 的坡度坡向误差空间分布特征研究[J].测绘通报,2004(12):11-13.