

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2022.03.015

# 河南省水资源“农转非”时空演变及驱动力

焦士兴<sup>1</sup>, 王安周<sup>2</sup>, 李玉靖<sup>1</sup>, 赵荣钦<sup>3</sup>, 尹义星<sup>4</sup>, 王雅思<sup>1</sup>

(1. 安阳师范学院资源环境与旅游学院, 河南 安阳 455002; 2. 洛阳市第十九中学, 河南 洛阳 471000;  
3. 华北水利水电大学测绘与地理信息学院, 河南 郑州 450046;  
4. 南京信息工程大学水文与水资源工程学院, 江苏 南京 210044)

**摘要:**运用重心模型与 ArcGIS10.2 软件, 探讨河南省水资源“农转非”时空变化趋势, 采用岭回归模型对其驱动因素的效应进行分析。结果表明: 河南省水资源“农转非”重心轨迹整体由西南向东北移动, 且呈阶段性变化特征; 河南省水资源“农转非”程度呈现上升趋势, 其中豫中、豫西较高, 豫东、豫南、豫北较低; 济源等 8 市“农转非”程度均有所提升, 三门峡等 7 市保持稳定, 南阳等 3 市则有所下降; 河南省水资源“农转非”驱动因素的时间效应存在差异, 依据驱动因素的正负效应以及变化情况可划分为 4 种类型, 分别对河南省水资源“农转非”具有驱动、约束、调节和不明显的作用; 河南省水资源“农转非”驱动因素的空间效应存在差异, 不同区域驱动因素作用的差异显著。

**关键词:** 水资源“农转非”; 时空演变; 重心模型; 岭回归模型; 驱动效应; 河南省

**中图分类号:** TV213.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-6933(2022)03-0109-08

**Spatio-temporal evolution of water transfer from agriculture to non-agriculture and its driving factors in Henan Province** // JIAO Shixing<sup>1</sup>, WANG Anzhou<sup>2</sup>, LI Yujing<sup>1</sup>, ZHAO Rongqin<sup>3</sup>, YIN Yixing<sup>4</sup>, WANG Yasi<sup>1</sup> (1. School of Resources Environment and Tourism, Anyang Normal University, Anyang 455002, China; 2. The Luoyang 19th High School, Luoyang 471000, China; 3. College of Surveying and Geo-informatics, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China; 4. School of Hydrology and Water Resources, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Using the center of gravity model and ArcGIS software, the spatio-temporal change trend of water transfer from agriculture to non-agriculture (WTAN) was discussed in Henan Province, and its driving factors were analyzed with the ridge regression model. The results show that the center of gravity of WTAN generally moves from southwest to northeast in Henan Province, presenting a phased change; the degree of WTAN shows an upward trend, with the values being higher in central and western Henan Province, and relatively lower in eastern, southern, and northern Henan Province; the degree of WTAN has increasing trends in Jiyuan and other seven cities, has stably trends in Sanmenxia and other six cities, and has decreasing trends in Nanyang and other two cities. There are significant differences in temporal effects of different driving factors, and the factors can be classified into four types that have driving effect, constraining effect, regulating effect, and insignificant effect, respectively, on WTAN in Henan Province. There are also significant differences in spatial effects of different driving factors, and the driving factors have different kinds of effects in different regions.

**Key words:** water transfer from agriculture to non-agriculture; spatio-temporal evolution; center of gravity model; ridge regression model; driving effect; Henan Province

中华人民共和国成立以来, 全国大兴农田水利、大力发展灌溉农业, 农业用水供给稳定, 有力支撑了农业发展<sup>[1]</sup>。近年来, 伴随着工业化、城镇化进程加速, 农业用水受到工业和生活用水的挤压, 水资源

利用结构发生显著变化, 对粮食生产安全造成了威胁<sup>[2-3]</sup>。水资源“农转非”是指通过水资源优化配置, 不断把单位经济效益相对较低的农业水资源, 通过不同途径向单位效益较高的工业、生活和生态等

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目(21A170001); 河南省大学生创新创业训练计划(202110479039); 2020年度安阳市科技发展计划项目(101); 安阳师范学院大学生创新基金(202110479039)

作者简介: 焦士兴(1970—), 男, 教授, 博士, 主要从事水资源和水环境研究。E-mail: jiaoshixing@163.com

非农业用水转变的过程<sup>[2]</sup>,即从农业用水转向非农业用水。合理的水资源“农转非”有利于优化用水配置,缓解结构性用水压力,提高用水效率和提升社会经济收益<sup>[4]</sup>;不合理“农转非”导致农业用水减少并损害农业生产<sup>[5]</sup>。

水资源“农转非”研究较早出现在西方国家。为了解决美国西部干旱缺水问题,实施了将农业用水调配给工业和城市工程;同期,澳大利亚、日本也尝试水资源“农转非”,并以此实现用水均衡<sup>[2]</sup>。国内有关研究主要集中于概念内涵<sup>[2]</sup>、补偿机制<sup>[3,6]</sup>、时空格局<sup>[4]</sup>等方面。如王凤婷等<sup>[2]</sup>研究了水资源“农转非”的概念内涵、发展脉络、政策影响以及补偿机制;祁翔<sup>[3]</sup>分析了水资源“农转非”对农业生产的影响,提出了完善的补偿机制;胡美娟等<sup>[4]</sup>研究了中国省域水资源“农转非”的时空格局、过程及机制。目前,我国有关水资源“农转非”研究成果丰富,主要集中在全国及省域角度,但是有关省域及所辖市域水资源“农转非”时空演变规律及其驱动因素的效应研究仍然相对薄弱。

河南省作为农业大省和商品粮生产基地,农业耗水量多且占比较大。河南省属于水资源严重短缺地区<sup>[7]</sup>,2018年农业用水119.9亿m<sup>3</sup>,占总用水量的51.11%,明显低于2010年的57.36%,非农业用水量占比则不断提升,必然会影响粮食生产。现有水资源“农转非”多从经济学、管理学及农学视角研究,且多采用面板分位数回归模型<sup>[4]</sup>、岭回归分析<sup>[8]</sup>、Tobit模型<sup>[9]</sup>等方法,尚缺乏从地理学时空视角进行探讨<sup>[2,4]</sup>。基于此,本文运用重心模型<sup>[10-11]</sup>与ArcGIS 10.2软件,分析了河南省水资源“农转非”时空演变趋势,通过岭回归模型<sup>[8,12]</sup>分析其驱动因素,以期在确保粮食安全的前提下,为促进水资源优化配置、提高用水效率和效益提供决策参考。

## 1 研究方法

### 1.1 水资源“农转非”程度

水资源“农转非”是一种水资源跨区域、跨部门优化利用过程,以水资源均衡配置、提升用水部门生产效率为目标,同时兼顾公平和可持续性。其本质是一种特殊形式的水权交易,即农业水权所有者将水资源使用权有偿转让给非农业用水主体或部门。水资源“农转非”程度是指区域非农业用水与农业用水的比值<sup>[4]</sup>,其计算公式为

$$m_t = (W_t - W_{at}) / W_{at} \quad (1)$$

式中: $m_t$ 为水资源“农转非”程度; $W_t$ 为总用水量; $W_{at}$ 为农业用水量; $t$ 为年份。

### 1.2 水资源“农转非”重心模型

为反映水资源“农转非”区域差异动态变化,引入重心模型,用来表征时间维度上的动态演化特征<sup>[13]</sup>。重心变动反映了时空变化轨迹,重心偏移则指向了变化程度更快的区域,重心经纬度计算公式<sup>[14]</sup>为

$$X_t = \sum_{i=1}^n (m_{it}x_i) / \sum_{i=1}^n m_{it} \quad (2)$$

$$Y_t = \sum_{i=1}^n (m_{it}y_i) / \sum_{i=1}^n m_{it} \quad (3)$$

式中: $X_t$ 、 $Y_t$ 分别为 $t$ 年份水资源“农转非”重心的经度和纬度; $m_{it}$ 为 $t$ 年份区域 $i$ 水资源“农转非”程度; $x_i$ 和 $y_i$ 分别为区域 $i$ 地理中心的经度和纬度; $n$ 为河南省城市数量, $n=18$ 。

### 1.3 多元线性回归模型

#### 1.3.1 经典线性回归模型

结合国内外分析水资源“农转非”的基本方法<sup>[4,8]</sup>,采用多元线性回归模型对河南省水资源“农转非”驱动因素的时空效应进行分析。计算公式为

$$m_{it} = \beta + \sum_{j=1}^k (\beta_j C_{ij} + \varepsilon_j) \quad (4)$$

式中: $\beta$ 为常数项; $C_{ij}$ 为第 $j$ 个驱动因素; $\beta_j$ 为第 $j$ 个驱动因素的回归系数; $\varepsilon_j$ 为对应于 $C_{ij}$ 的随机项; $k$ 为河南省水资源“农转非”驱动因素数量,本文取 $k=11$ 。

#### 1.3.2 岭回归模型

岭回归模型是一种用于共线性数据分析的有偏估计方法,可避免自变量间多重共线性影响<sup>[15]</sup>,本质是放弃最小二乘法的无偏性,以损失部分信息、降低拟合精度而获取更符合实际、更可靠的回归系数<sup>[16]</sup>。经典线性回归模型不能解决数据共线性问题,多结合岭回归<sup>[8]</sup>、逐步回归<sup>[17]</sup>、主成分分析<sup>[18-19]</sup>等方法解决水资源问题。岭回归模型是通过约束长度系数间接解决多重共线性问题的统计方法<sup>[20]</sup>。具体步骤为:①通过极差标准化法对指标层进行标准化处理<sup>[21]</sup>;②利用SPSS16.0软件进行共线性诊断,要求方差膨胀因子小于10;③根据岭迹图中各个自变量趋于稳定的原则,选取岭参数;④通过岭回归结果,确定相应指标的回归系数<sup>[20]</sup>。岭回归计算结果表明,河南省及18市水资源“农转非”驱动因素回归方程的拟合系数为0.7~1.0,说明模型拟合程度高,模型选取合理。

## 2 指标构建及数据来源

### 2.1 评价指标体系构建

农业水权是指农业用水主体使用水资源实施农业灌溉用水的权利,归纳为农业用水总量控制指标、

灌区取水权、灌区内农业用水户水权和农村集体水权 4 种表现形式<sup>[22-23]</sup>, 从目前研究成果来看, 均没有清晰的量化指标。河南省“农转非”相关成果显示河南省大量的农业用水已经转向非农业用途, 本文研究基于已有成果, 并认为伴随着经济和社会的快速发展, 河南省“农转非”需求将一直存在<sup>[6]</sup>。

水资源“农转非”程度主要受城镇化、工业化等社会经济因素影响, 此外, 还受到水资源自然禀赋的影响。结合河南省实际和相关文献<sup>[2,4,8]</sup>, 考虑数据代表性、完整性和获得性, 构建包括经济发展等 5 个一级指标、产业结构变动率等 11 个二级指标的河南省水资源“农转非”评价指标体系, 如图 1 所示, 其中, 产业结构变动率( $C_1$ )为非农业产值与农业产值的比值; 工业化发展水平( $C_4$ )为工业产值与 GDP 的比值; 城镇化发展水平( $C_6$ )为当年城镇人口占比与基准期城镇人口占比的差值; 生活和环境用水比例( $C_7$ )为当年生活和生态用水与当年总用水量的比值; 水资源利用比较效益( $C_9$ )为单方水非农业产值与农业产值的比值; 有效灌溉率( $C_{10}$ )为有效灌溉面积与耕地面积的比值; 农业节灌率( $C_{11}$ )为节灌面积与耕地面积的比值。本文基于 11 个二级指标对河南省水资源“农转非”进行驱动因素的效应分析。



图 1 河南省水资源“农转非”评价指标体系

Fig. 1 Evaluation index system of water transfer from agriculture to non-agriculture in Henan Province

## 2.2 数据来源

农业用水量、工业用水量、城乡生活和环境用水量、总用水量、水资源总量等数据来源于《河南省水资源公报》(2010—2018 年); 国内生产总值、农业产值、工业产值、总人口数、城镇人口数、有效灌溉面积、耕地面积、节水灌溉面积等数据来源于《河南省统计年鉴》(2011—2019 年)。

## 3 结果与分析

### 3.1 河南省水资源“农转非”程度时空变化

#### 3.1.1 重心轨迹变化

利用式(2)(3)计算河南省水资源“农转非”重

心位置, 以探讨时空演变特征(表 1)。河南省水资源“农转非”重心轨迹整体呈现由西南向东北移动的趋势。河南省 2010 年水资源“农转非”重心为(113°19'55"E, 34°19'38"N), 2018 年重心为(113°23'27"E, 34°22'23"N), 年均自西南向东北方向的移动距离为 0.92 km, 表明豫东和豫北发展速度较快, 即河南省水资源“农转非”的发展不平衡。河南省水资源“农转非”重心轨迹呈现阶段性变化特征, 2010—2011 年重心向北偏东方向移动, 年均移动距离为 7.20 km; 2011—2013 年重心向南偏西方向移动, 年均移动 5.14 km; 2013—2017 年重心向北偏东方向移动, 年均移动 3.49 km; 2017—2018 年重心向西移动, 年均移动 2.63 km。

表 1 河南省水资源“农转非”重心轨迹演变

Table 1 Evolution of center of gravity of water transfer from agriculture to non-agriculture in Henan Province

年份	重心经纬度
2010	113°19'55"E, 34°19'38"N
2011	113°21'28"E, 34°23'18"N
2012	113°19'28"E, 34°22'05"N
2013	113°16'51"E, 34°19'17"N
2014	113°22'43"E, 34°22'49"N
2015	113°19'30"E, 34°21'03"N
2016	113°21'34"E, 34°22'27"N
2017	113°25'10"E, 34°22'22"N
2018	113°23'27"E, 34°22'23"N

#### 3.1.2 时间变化

利用式(1), 计算得到河南省及 18 市水资源“农转非”程度, 如表 2 所示。河南省水资源“农转非”程度呈波动上升趋势, 由 2010 年的 0.7884 增至 2018 年的 0.9565。从发展趋势来看, 郑州、平顶山、新乡、焦作、鹤壁、济源、安阳、开封、商丘、周口、驻马店、信阳 12 市水资源“农转非”程度呈波动上升趋势; 许昌、漯河、洛阳、三门峡、濮阳、南阳 6 市水资源“农转非”程度呈波动下降趋势。

#### 3.1.3 空间分布

从 2010—2018 年水资源“农转非”程度均值来看, 郑州、洛阳、平顶山、许昌、漯河、三门峡、南阳、济源 8 市(占 44.4%)的均值均高于河南省的均值, 表明非农业用水增长较快, 其中郑州、洛阳、平顶山 3 市基本稳居前三位; 开封、安阳、鹤壁、新乡、焦作、濮阳、商丘、信阳、周口、驻马店 10 市(占 55.6%)的均值均低于河南省的均值, 表明农业用水受非农产业用水挤压程度较低, 其中新乡、周口和开封 3 市则居后三位。总体来看, 河南省水资源“农转非”程度较高区域主要包括豫中 3 市、豫西 3 市(表 2)。豫中地区地处陇海、京广铁路沿线, 受省会郑州的辐射带动作用强, 区位条件优越, 经济发展水平较高<sup>[24]</sup>, 农

表 2 2010—2018 年河南省水资源“农转非”程度

Table 2 Degree of water transfer from agriculture to non-agriculture in Henan Province from 2010 to 2018

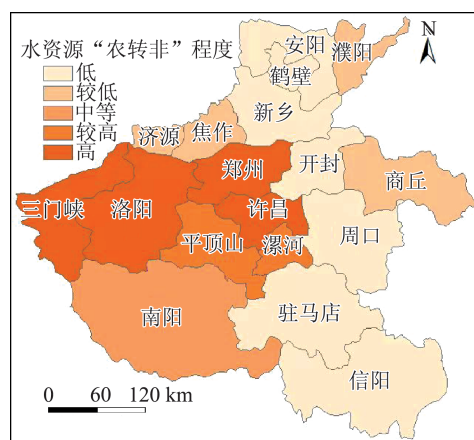
分区	城市	水资源“农转非”程度									均值
		2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	
豫中	郑 州	2.263 5	4.075 6	4.111 0	2.883 3	2.688 3	2.294 3	2.571 1	3.121 2	3.892 7	3.100 1
	许 昌	2.102 7	1.915 4	1.713 6	1.731 6	1.573 6	1.429 1	1.209 3	1.523 8	1.910 3	1.678 8
	漯 河	1.808 0	2.108 8	1.663 0	1.420 6	0.910 0	1.337 2	1.550 2	2.074 6	1.330 7	1.578 1
豫西	平顶山	1.759 6	2.057 3	3.151 3	3.674 0	2.963 8	3.164 0	2.223 9	2.457 4	2.647 5	2.677 6
	洛 阳	2.397 1	2.504 8	2.381 8	2.319 2	2.102 0	2.081 8	1.905 4	2.001 0	2.055 4	2.194 2
	三门峡	2.042 8	1.949 7	2.152 5	2.309 7	1.915 4	2.198 7	1.813 8	1.829 6	2.102 8	2.035 0
豫北	新 乡	0.442 2	0.453 0	0.435 0	0.388 1	0.461 4	0.438 1	0.432 8	0.432 5	0.499 5	0.442 5
	焦 作	0.680 6	0.769 3	0.760 9	0.687 1	0.744 7	0.599 6	0.575 1	1.457 1	0.643 2	0.768 6
	濮 阳	0.672 6	0.571 9	0.573 5	0.491 4	1.078 2	0.512 2	0.475 2	0.504 1	0.631 6	0.612 2
	鹤 壁	0.370 6	0.461 3	0.495 3	0.428 8	0.443 1	0.848 2	0.506 3	0.607 3	0.703 9	0.540 5
	济 源	0.553 6	0.949 5	0.900 5	0.613 9	1.078 9	0.915 1	1.321 3	1.209 4	1.347 7	0.987 7
	安 阳	0.429 4	0.512 4	0.468 7	0.530 3	0.440 7	0.564 2	0.614 8	0.792 7	0.558 3	0.545 7
豫东	开 封	0.378 7	0.386 3	0.416 9	0.383 8	0.468 8	0.574 1	0.718 8	0.744 1	0.718 7	0.532 2
	商 丘	0.567 0	0.551 0	0.530 2	0.493 1	0.651 6	0.598 0	0.523 5	0.594 8	0.634 0	0.571 4
	周 口	0.474 1	0.520 1	0.461 2	0.475 9	0.561 9	0.547 0	0.441 7	0.552 5	0.581 5	0.512 8
豫南	南 阳	1.178 5	0.950 6	0.825 5	0.856 4	0.862 6	0.990 1	0.751 6	0.803 9	0.844 1	0.895 9
	驻马店	0.458 2	0.372 4	0.375 6	0.613 9	0.743 5	0.627 0	0.567 1	0.919 7	0.746 4	0.602 6
	信 阳	0.481 4	0.480 2	0.662 0	0.492 7	0.623 9	0.584 6	0.709 0	0.770 0	0.893 3	0.633 0
河南省	0.788 4	0.765 8	0.834 9	0.771 7	0.857 1	0.855 6	0.812 4	0.903 0	0.956 5	0.838 3	

业用水受到生活用水、工业用水挤压,农业用水占比相对其他地区较低;豫西以山地丘陵为主,农业发展具有一定的局限性,而城镇化和工业化发展则相对迅速,导致非农业用水增长较快。豫东 3 市、豫南 3 市、豫北 6 市水资源“农转非”程度较低(表 2)。豫东 3 市、豫南 3 市多地处淮河平原,属于传统农业区,主要以发展农业为主,而工业发展基础相对薄弱,经济发展水平偏低<sup>[24]</sup>,水资源“农转非”程度相对较低;豫北 6 市自然条件、土地耕作条件较好,是国家优质小麦生产基地<sup>[25]</sup>,水资源“农转非”程度相对较低。

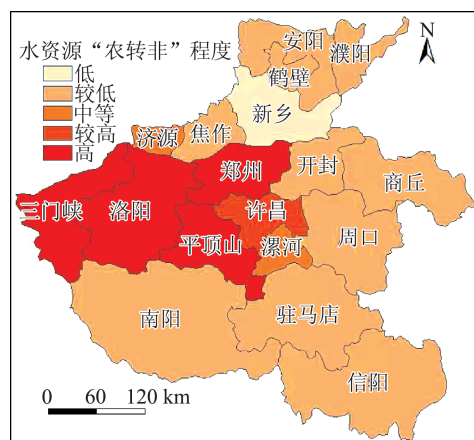
### 3.1.4 空间变化

运用 ArcGIS10.2 软件划分河南省水资源“农转非”程度空间等级,进而分析其空间变化趋势(图 2)。不同年份“农转非”程度处于动态变化,因此采用相等间隔分类法进行空间类型划分,具体划分为 5 级:低等级(0,0.5],较低等级(0.5,1],中等等级(1,1.5],较高等级(1.5,2]和高等级(2,4]。

图 2 表明,河南省水资源“农转非”程度的空间变化趋势不同。三门峡、洛阳、郑州 3 市始终处于高等级;焦作、濮阳、商丘、新乡 4 市始终处于较低等级;安阳等 8 市水资源“农转非”程度的等级有所上升,其中安阳、鹤壁、开封、周口、驻马店、信阳 6 市由低等级升为较低等级,平顶山由较高等级升为高等级,济源由较低等级升为中等等级;南阳、许昌、漯河 3 市水资源“农转非”程度的等级有所下降,其中南阳由中等等级降为较低等级,许昌由高等级降为较



(a) 2010 年



(b) 2018 年

图 2 河南省水资源“农转非”程度空间分布

Fig. 2 Spatial distributions of degree of water transfer from agriculture to non-agriculture in Henan Province

高等级,漯河由较高等级降为中等等级。随着社会发展,河南省水资源“农转非”程度呈波动上升,反映了各市工业化、城镇化、市场化等综合因素的差异化影响。

### 3.2 河南省水资源“农转非”驱动因素的时空效应

#### 3.2.1 时间效应

基于岭回归模型,利用 SPSS16.0 软件,计算河南省水资源“农转非”驱动因素的回归系数。回归系数表示自变量对因变量影响大小的参数<sup>[26]</sup>,回归系数为正值表示因变量随自变量增大而增大,回归系数为负值则相反。依据驱动因素的正负效应以及变化情况,利用 SPSS16.0 软件进行 Ward 聚类分析,将其划分为 4 种类型,进而分析其驱动效应变化趋势。2010—2018 年河南省水资源“农转非”驱动因素回归系数年均值如图 3 所示。

**a.** GDP、人口数量、生活和环境用水比例、水资源利用比较效益 4 个指标(一类指标)对河南省水资源“农转非”具有驱动作用,且从时间上来看,驱动作用有减弱趋势(图 3(a))。目前,河南省水资源问题突出<sup>[27]</sup>,为改善水生态环境,城乡生活和环境用水逐年增加,2010—2018 年非农业产值增长率为 10.37%,高于农业产值增长率 3.54%,且受经济利益驱动,农业用水向收益更高的第二、第三产业转移。

**b.** 农业应用技术对河南省水资源“农转非”具有约束作用。农业应用技术包括有效灌溉率和农业节水率 2 个指标(二类指标),河南农业节水技术普及率较低是农业用水量较高的因素之一。从时间上来看,农业应用技术对河南省水资源“农转非”的约束作用有减弱趋势(图 3(b)),原因是近年来国家加大了对农业水利投资力度<sup>[28-29]</sup>,农业节水技术不断进行升级改造,提高了灌溉水有效利用系数<sup>[27]</sup>,从而降低了河南省农业用水量,提高了农业用水效率<sup>[30-31]</sup>。

**c.** 产业结构变动率、人均 GDP、城镇化发展水平、人均水资源量 4 个指标(三类指标)对河南省水资源“农转非”具有调节作用,且对河南省水资源“农转非”的影响不稳定(图 3(c)),呈现波动变化。例如 2010—2013 年河南省人均水资源量从 567.52 m<sup>3</sup>减少到 218.07 m<sup>3</sup>,水资源系统压力较大;2014 年后水资源开发力度加大,2014—2018 年水资源总量增长率为 9.94%,人均水资源量从 221.81 m<sup>3</sup>增至 343.37 m<sup>3</sup>,人均水资源量在一定程度上影响了区域用水结构<sup>[31]</sup>。

**d.** 工业化发展水平(四类指标)对水资源“农转非”的整体影响不明显(图 3(d)),主要原因是其

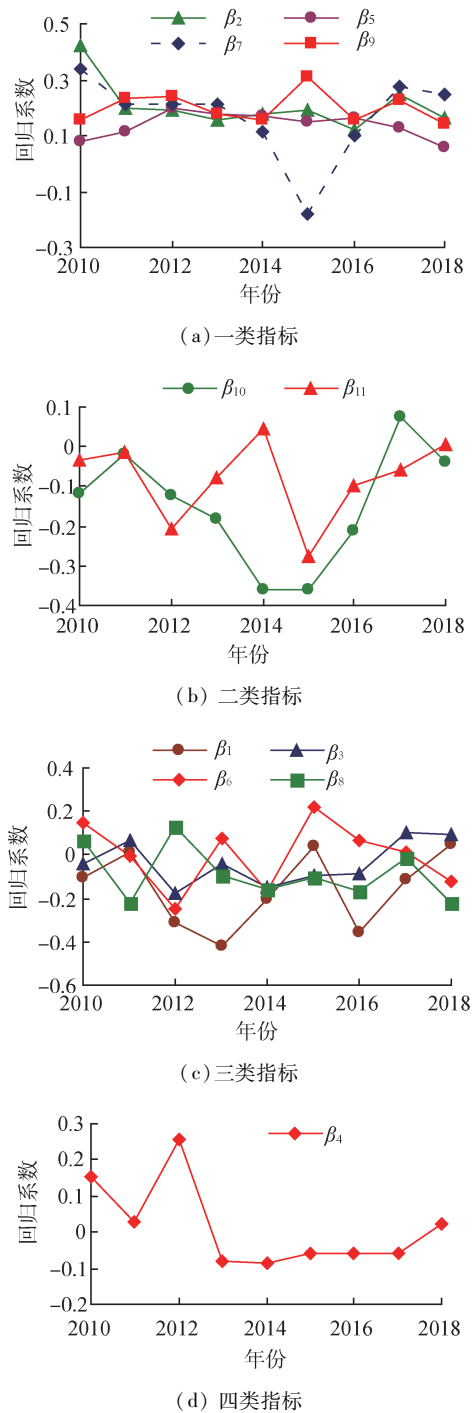


图 3 河南省水资源“农转非”驱动因素回归系数变化趋势

Fig. 3 Changing trends for regression coefficient of driving factors of water transfer from agriculture to non-agriculture in Henan Province

对水资源“农转非”的影响被产业结构变动率与水资源利用比较效益的影响所稀释。

#### 3.2.2 空间效应

从河南省水资源“农转非”驱动因素回归系数的年均值来看(图 3),河南省农业节水率回归系数小于 0,故为约束力;从空间效应看(表 3),豫西农业节水率回归系数大于 0,则为驱动力。由于研究

表3 河南省分区分水资源“农转非”驱动因素回归系数比较

Table 3 Comparison of regional regression coefficients of driving factors of water transfer from agriculture to non-agriculture in Henan Province

分区	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	$\beta_7$	$\beta_8$	$\beta_9$	$\beta_{10}$	$\beta_{11}$
豫西	-0.018	0.068	0.054	-0.096	-0.136	0.182	-0.086	-0.184	-0.085	0.105	0.168
豫北	-0.176	0.110	-0.406	0.353	0.118	-0.073	-0.050	0.134	-0.231	0.369	-0.013
豫南	-0.144	0.105	0.051	0.048	0.039	-0.044	0.110	0.182	0.126	-0.184	-0.032
豫东	-0.106	-0.151	-0.185	0.014	0.177	-0.107	0.105	-0.057	-0.044	0.107	0.101
豫中	-0.142	0.093	0.027	-0.040	-0.019	-0.023	-0.098	-0.189	0.141	-0.168	0.141

时空视角不同,影响水资源“农转非”的驱动因素存在差异。

豫西人均水资源量为水资源“农转非”的约束力,城镇化发展水平和农业节灌率则为驱动力。豫西城镇化发展速度较快,城镇化发展水平从2010年的39%提升到2018年的52%,拉动了居民生活用水和非农业用水需求,农业水利设施建设成效显著,农业用水量明显减少,从2010年的9.359亿 $m^3$ 降低到2018年的9.046亿 $m^3$ 。

豫北人均GDP为水资源“农转非”的约束力,工业化发展水平和有效灌溉率则为驱动力。豫北2010—2018年工业化发展水平的均值(58%)高于河南平均水平(52%),农业用水向工业用水转移,农业节水设施的推广降低了农业用水量,从2010年的43.871亿 $m^3$ 降至2018年的42.349亿 $m^3$ 。

豫南有效灌溉率和产业结构变动率为水资源“农转非”的约束力,人均水资源量则为驱动力。豫南为传统农业区,农业经济占据重要地位,2018年农业产值占GDP的16.61%,高于河南省的均值(8.7%)。随着人口的增长和城镇化发展,2010—2018年豫南总用水量增加了10.21亿 $m^3$ ,而生活和环境用水则增加了5.18亿 $m^3$ ,占增加总用水量的50.73%,出现了新增供水向居民生活和生态环境用水转移的情况。

豫东GDP和人均GDP为水资源“农转非”的约束力,人口数量则为驱动力。2010—2018年,豫东年均GDP仅占河南省14.51%,但生活用水和生态用水对水资源的需求量逐渐增加,从2010年8.492亿 $m^3$ 增加到2018年的12.142亿 $m^3$ ,人口规模效应驱动了农业用水向生活用水和生态用水转移。

豫中有效灌溉率和人均水资源量为水资源“农转非”的约束力,水资源利用比较效益则为驱动力。豫中人均水资源量由2010年181.11 $m^3$ 减少到2018年的102.03 $m^3$ ,且水资源总量由28.471亿 $m^3$ 减少为17.600亿 $m^3$ ,说明水资源绝对供给量增长空间越来越小,水资源“农转非”难度加大,但受经济诱导趋势影响,农业用水仍然向利益更高的第二、三产业转移。

## 4 结 论

a. 河南省水资源“农转非”重心轨迹整体呈由西南向东北移动的趋势,且呈现阶段性变化特征;河南省水资源“农转非”程度波动上升,郑州、洛阳、平顶山3市基本稳居前三位,而新乡、周口和开封3市则居后三位。

b. 豫中、豫西水资源“农转非”程度较高,豫东、豫南、豫北则较低;河南省水资源“农转非”程度空间等级变化明显,其中8市有不同程度提升,7市保持稳定,3市则有所下降。

c. 从时间效应来看,河南省水资源“农转非”驱动因素的影响力不同。水资源利用比较效益、GDP、总人口数量、生活和环境用水比例对“农转非”具有驱动作用,有效灌溉率、农业节灌率则具有约束作用,产业结构变动率、人均GDP、城镇化发展水平、人均水资源量则具有调节作用。因此,河南省需要持续发展节水农业,加强农业用水管理和改进灌溉技术。

d. 河南省水资源“农转非”驱动因素效应的空间差异显著。豫西人均水资源量为水资源“农转非”的约束力,城镇化发展水平和农业节灌率为驱动力,需通过政策引导等增强节水意识,建设节水型城市;豫北人均GDP为约束力,工业化发展水平和有效灌溉率为驱动力,需通过发展循环经济,提高产业用水效率,以满足区域用水需求;豫南有效灌溉率和产业结构变动率为约束力,人均水资源量为驱动力,需强化农业节水技术升级改造,不断提高节水潜力;豫东GDP和人均GDP为约束力,人口数量为驱动力,需要高质量提升工农业节水技术,全面提升城市节水水平;豫中有效灌溉率和人均水资源量为约束力,水资源利用比较效益则为驱动力,需在保证基本用水的前提下坚持节水优先,开源节流并举。

## 参考文献:

- [1] 胡继连,仇相玮. 水资源“农转非”监控管理研究[J]. 山东社会科学,2016(10):107-112. (HU Qilian, QIU

- Xiangwei. Research on the monitoring and management of water transfer from agriculture to non-agriculture [J]. Shandong Social Science, 2016 ( 10 ): 107-112. ( in Chinese )
- [ 2 ] 王凤婷,熊立春,于畅. 水资源“农转非”研究进展与展望[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25 ( 3 ): 173-182. ( WANG Fengting, XIONG Lichun, YU Chang. Advances and prospects of water transfer from agriculture to non-agriculture[J]. Journal of China Agricultural University, 2020, 25(3):173-182. ( in Chinese ) )
- [ 3 ] 祁翔. 水资源“农转非”的影响及补偿措施的建议: 基于浙江省的研究[J]. 现代经济信息, 2009(22):26-27. ( QI Xiang. Impact and measures of water transfer from agriculture to non-agriculture based on research in Zhejiang Province [ J ]. Modern Economic Information, 2009(22):26-27. ( in Chinese ) )
- [ 4 ] 胡美娟,李在军,丁正山,等. 中国水资源“农转非”时空异质性及形成机制[J]. 地理研究, 2019, 38 ( 6 ): 1542-1554. ( HU Meijuan, LI Zaijun, DING Zhengshan, et al. The spatio-temporal heterogeneity and driving mechanism of China's water transfer from agriculture to non-agriculture[J]. Geographical Research, 2019, 38( 6 ): 1542-1554. ( in Chinese ) )
- [ 5 ] 陈静慧. 水资源“农转非”利益补偿机制[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2008.
- [ 6 ] 祁鹏. 河南省农业水资源非农化利用的利益补偿机制研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2018.
- [ 7 ] 杜青辉,宋全香. 河南省地下水超采状况及治理措施研究[J]. 水资源开发与管理, 2021 ( 1 ): 33-37. ( DU Qinghui, SONG Quanxiang. Study on overexploitation of groundwater in Henan Province and control measures[J]. Water Resources Development and Management, 2021 ( 1 ): 33-37. ( in Chinese ) )
- [ 8 ] 周玉玺,葛颜祥,周霞. 我国水资源“农转非”驱动因素的时空尺度效应[J]. 自然资源学报, 2015, 30(1):65-77. ( ZHOU Yuxi, GE Yanxiang, ZHOU Xia. Scale effect on driving factors of agriculture-to-urban water transfers in China[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(1):65-77. ( in Chinese ) )
- [ 9 ] 赵敏,刘珊. 基于双前沿面 SBM-DEA 模型的农业用水效率评价[J]. 水利经济, 2020, 38 ( 1 ): 54-60. ( ZHAO Min, LIU Shan. Evaluation of agricultural water use efficiency based on SBM-DEA model with double frontiers [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2020, 38 ( 1 ): 54-60. ( in Chinese ) )
- [ 10 ] 王海军,张彬,刘耀林,等. 基于重心-GTWR 模型的京津冀城市群城镇扩展格局与驱动力多维解析[J]. 地理学报, 2018, 73 ( 6 ): 1076-1092. ( WANG Haijun, ZHANG Bin, LIU Yaolin, et al. Multi-dimensional analysis of urban expansion patterns and their driving forces based on the center of gravity-GTWR model [ J ]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73 ( 6 ): 1076-1092. ( in Chinese ) )
- [ 11 ] 牛海鹏. 耕地数量生态位重心模型构建及其应用: 以焦作市为例[J]. 水土保持研究, 2007, 14 ( 1 ): 21-23. ( NIU Haipeng. On construction and application of mathematical model of cultivated land quantity niche barycenter; a case study of Jiaozuo City [ J ]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14 ( 1 ): 21-23. ( in Chinese ) )
- [ 12 ] 尹康. 常用统计软件关于岭回归计算原理的比较分析[J]. 统计研究, 2013, 30 ( 2 ): 109-112. ( YIN Kang. Comparison on the calculation principle of ridge regression by common statistical software [ J ]. Statistical Research, 2013, 30(2):109-112. ( in Chinese ) )
- [ 13 ] 王泽宇,卢雪凤,孙才志,等. 中国海洋经济重心演变及影响因素[J]. 经济地理, 2017, 37 ( 5 ): 12-19. ( WANG Zeyu, LU Xuefeng, SUN Caizhi, et al. Influence factors and evolution of China's marine economic spatial pattern [ J ]. Economic Geography, 2017, 37(5):12-19. ( in Chinese ) )
- [ 14 ] 盖美,展亚荣. 中国沿海省区海洋生态效率空间格局演化及影响因素分析[J]. 地理科学, 2019, 39 ( 4 ): 616-625. ( GAI Mei, ZHAN Yarong. Spatial evolution of marine ecological efficiency and its influential factors in China coastal regions [ J ]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39 ( 4 ): 616-625. ( in Chinese ) )
- [ 15 ] 朱亚东,杨宁生. 基于岭回归模型的农村剩余劳动力转移影响因素分析[J]. 中国农学通报, 2015, 31 ( 6 ): 251-257. ( ZHU Yadong, YANG Ningsheng. Analysis of the transfer of rural surplus labor force based on ridge regression model [ J ]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(6):251-257. ( in Chinese ) )
- [ 16 ] 徐林清,聂楠. 污染物排放的空间集聚及其影响因素: 基于岭回归模型的分析[J]. 生态经济, 2015, 31 ( 5 ): 160-165. ( XU Linqing, NIE Nan. Spatial agglomeration and influencing factors of pollutant emission; the analysis based on ridge regression model [ J ]. Ecological Economy, 2015, 31(5):160-165. ( in Chinese ) )
- [ 17 ] 田乐蒙. 回归分析在水资源短缺预测中的应用[J]. 统计与决策, 2012(14):84-86. ( TIAN Lemeng. Application of regression analysis in water shortage prediction [ J ]. Statistical Research, 2012(14):84-86. ( in Chinese ) )
- [ 18 ] 赵良仕,刘思佳,孙才志. 黄河流域水-能源-粮食安全系统的耦合协调发展研究[J]. 水资源保护, 2021, 37

- (1): 69-78. (ZHAO Liangshi, LIU Sijia, SUN Caizhi. Study on coupling and coordinated development of water-energy-food security system in the Yellow River Basin [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(1): 69-78. (in Chinese))
- [19] 胡启玲,董增川,杨雁飞,等. 基于联系数的水资源承载力状态评价模型[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2019, 47(5): 425-432. (HU Qiling, DONG Zengchuan, YANG Yanfei, et al. State evaluation model of water resources carrying capacity based on connection number [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2019, 47(5): 425-432. (in Chinese))
- [20] 郭鹏妮. 岭回归与分位数回归的研究及结合应用[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2014.
- [21] 毛慧慧,王勇,董琳. 海河流域水利与经济社会协调发展定量评价[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10): 44-47. (MAO Huihui, WANG Yong, DONG Lin. The quantitative evaluation of coordinated development between water conservancy and economic society in Haihe Basin [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(10): 44-47. (in Chinese))
- [22] 徐梓曜,王寅,刘云杰,等. 农业水权市场综合框架体系及案例分析[J]. 水利经济, 2017, 35(4): 38-45. (XU Ziyao, WANG Yin, LIU Yunjie, et al. Integrated framework of agricultural water markets and case studies [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2017, 35(4): 38-45. (in Chinese))
- [23] 崔旭光,刘彬. 农业水权确权及交易模式研究[J]. 水利发展研究, 2020, 20(7): 4-7. (CUI Xuguang, LIU Bin. Research on the right confirmation and trading mode of agricultural water rights [J]. Water Resources Development Research, 2020, 20(7): 4-7. (in Chinese))
- [24] 焦士兴,张崇崇,王安周,等. 河南省绿色发展水平综合测度与时空演化研究[J]. 安全与环境学报, 2019, 19(6): 2192-2200. (JIAO Shixing, ZHANG Chongchong, WANG Anzhou, et al. On comprehensive measurement of green environment development level and spatial temporal evolution in Henan [J]. Journal of Safety and Environment, 2019, 19(6): 2192-2200. (in Chinese))
- [25] 张凯,刘战东,强小嫚,等. 豫北潮土水浇地合理耕层构建技术研究[C]//中国农学会耕作制度分会 2018 年度学术年会论文摘要集. 哈尔滨:中国农学会耕作制度分会, 2018: 70.
- [26] 曹昭. 多元线性回归系数的求解原理与矩阵初等变换的应用[J]. 统计与决策, 2015(17): 74-76. (CAO Zhao. Solution principle and the matrix elementary transformation of multiple linear regression coefficients [J]. Statistical Research, 2015(17): 74-76. (in Chinese))
- [27] 李雯. 河南省水资源特征及承载力的研究[J]. 吉林农业, 2019(22): 40. (LI Wen. Study on water resource characteristics and carrying capacity in Henan Province [J]. Jilin Agriculture, 2019(22): 40. (in Chinese))
- [28] 刘波,汪紫薇,王文鹏,等. 我国城市用水效率关键指标时空格局分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2020, 48(6): 534-541. (LIU Bo, WANG Ziwei, WANG Wenpeng, et al. Spatiotemporal characteristics analysis of major indicators of urban water use efficiencies over mainland China [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2020, 48(6): 534-541. (in Chinese))
- [29] 彭虹,黄攀攀,张万顺,等. 重庆市农业用水量与农业经济发展脱钩程度的时空变化[J]. 水资源保护, 2020, 36(2): 13-20. (PENG Hong, HUANG Panpan, ZHANG Wanshun, et al. Spatial-temporal change characteristics of decoupling between agricultural water consumption and agricultural economic development in Chongqing [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(2): 13-20. (in Chinese))
- [30] 孟德锋,廉俊霞. 水利建设新时期农田水利投资现状调查分析:以江苏、河南两省为例[J]. 市场周刊, 2013(10): 3-5. (MENG Defeng, LIAN Junxia. Analysis of irrigation and water conservancy investment on water conservancy construction: take Jiangsu and Henan provinces for example [J]. Citizen's Weekly, 2013(10): 3-5. (in Chinese))
- [31] 张玲玲,丁雪丽,沈莹,等. 中国农业用水效率空间异质性及其影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(4): 817-828. (ZHANG Lingling, DING Xueli, SHEN Ying, et al. Spatial heterogeneity and influencing factors of agricultural water use efficiency in China [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(4): 817-828. (in Chinese))

(收稿日期: 2021-04-19 编辑:施业)

