

# 区域产业生态化发展及其联动转移机制研究

## ——以长江中游城市群为例

张新芝<sup>1</sup> 王亚飞<sup>1</sup> 李小红<sup>2,3</sup>

(1. 江西省民营经济研究院, 江西南昌 330000;

2. 南昌工程学院, 江西南昌 330099;

3. 江西财经大学工商管理学院, 江西南昌 330013)

**【摘要】:** 通过构建长江中游城市群产业生态化指数综合评价指标体系, 基于熵值法、全局空间自相关、动态面板空间自回归模型 (DP-SAR) 对长江中游城市群产业生态化进行研究, 研究结果显示: (1) 2004—2018 年长江中游城市群产业生态化快速发展, 但区域发展差距不断拉大, 初步形成了以武汉—长沙—南昌为中心的三角格局; (2) 基于邻近距离、经济距离和混合距离权重矩阵的长江中游城市群的产业生态化发展表现出显著的空间负相关关系; (3) 长江中游城市群产业生态化存在空间和时间两条区域联动转移机制, 空间方面表现为周边城市、标杆城市对地区产业生态化具有负向影响, 时间方面则表现为地区产业生态化发展存在惯性路径。

**【关键词】:** 产业生态化 区域联动转移 动态面板空间自回归 长江中游城市群

**【中图分类号】:** F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)12-048-09

改革开放以来, 中国的产业经济得到快速发展, 工业增加值稳居世界第一位。经济快速发展伴随着资源大量消耗, 污染大量排放, 对生态环境造成严重威胁。2015 年, 党的十八届五中全会提出新发展理念, 其中“绿色发展”是主要内容之一。当前, 中国正处于高速发展向高质量发展的转型阶段, 产业生态化是高质量发展的题中之义, 对于贯彻新发展理念、构建双循环新发展格局具有重要的现实意义。特别是, 长江中游城市群位于中部地区, 主要包括湖北、湖南和江西, 在长江经济带中处于承上启下的位置, 实现产业生态化发展是落实环境保护和提高经济发展质量的必然要求。一方面, 长江中游城市群成长为新的增长极需要实现产业发展; 另一方面, 在发展过程中又特别需要注重经济与生态协调共进。因此, 研究长江中游城市群的产业生态化水平及其区域联动转移机制, 对于认清当前发展阶段, 预判未来发展趋势, 制定科学合理的干预政策具有重要意义。

现有文献关于产业生态化已有丰富的研究, 主要集中在产业生态化评价、效率及其影响因素、空间溢

<sup>1</sup>**基金项目** : 江西省社会科学基金规划项目“绿色长江经济带产业生态化升级路径及其区域联动转移机制研究”(17YJ10); 2022 年度江西社会科学青年创新团队重大委托项目“民营经济发展促进‘富裕江西’建设研究”(22WT21)

**第一作者简介** : 张新芝, 博士, 研究员, 研究方向为民营经济和区域经济。E-mail: 173560935@qq.com

出效应等方面。首先，在产业生态化评价方面，现有研究多采用构建指标体系的方式对产业生态化发展水平进行综合评估，例如陆根尧等<sup>[1]</sup>、何天祥等<sup>[2]</sup>、张诗超<sup>[3]</sup>、郭付友等<sup>[4]</sup>、张媛媛等<sup>[5]</sup>、魏巍等<sup>[6]</sup>的研究。其次，在产业生态化效率及其影响因素研究方面，主要是基于数据包络等方法对各地区的产业生态化效率进行测算，并研究其影响因素，讨论其内在机制，相关研究如李倩和盛逖<sup>[7]</sup>、王晶和孔凡斌<sup>[8]</sup>、马勇和刘军<sup>[9]</sup>、唐建荣和李晓静<sup>[10]</sup>、张国俊等<sup>[11]</sup>、雷玉桃和游立素<sup>[12]</sup>、曾鹏和韩晓涵<sup>[13]</sup>。此外，现有研究还关注了产业生态化的空间溢出效应。例如，杨得前和刘仁济<sup>[14]</sup>、袁世一等<sup>[15]</sup>的研究表明，产业生态化表现出空间集聚特征。这些文献对本文的研究具有重要的启发价值，但存在如下改进空间：在对产业生态化的空间溢出效应进行研究中，现有文献多采用传统的空间计量模型。然而在现实中，随着时间的演变，产业生态化还表现出时间依赖路径。这种时间变化反映了区域产业生态化溢出效应的动态过程，对于更加科学地把握产业生态化的发展现状及其演变路径具有重要意义。

基于此，本文首先构建长江中游城市群产业生态化综合评价指标体系，并采用熵值法对其进行综合评价。在此基础上，基于全局空间自相关模型计算 Moran' sI 指数和动态面板空间自回归（DP-SAR）模型研究长江中游城市群产业生态化区域联动转移机制。

# 1 方法与数据

## 1.1 研究方法

### 1.1.1 产业生态化评价指标体系

对一个地区的产业生态化发展水平进行综合评价，是研究产业生态化发展区域联动转移机制的前提，现有文献多采用构建指标体系的方法对地区的产业生态化水平进行评价。从产业生态化的含义来看，要求实现产业发展与生态环境相协调。正是从这个角度出发，赵丹阳等<sup>[16]</sup>从产业结构优化度和资源环境效率两个方面建立产业生态化指标体系，类似的研究还有郭付友等<sup>[4]</sup>从产业系统和生态环境系统两个维度，王珏晗等<sup>[17]</sup>从经济发展效率和资源环境效率两个角度进行构建。此外，亦有诸如陆根尧等<sup>[1]</sup>的研究从经济社会发展水平、生态保护水平、资源消耗水平、污染排放水平、资源循环利用水平五个方面建立省际产业生态化指标体系。张媛媛等<sup>[5]</sup>则从影响因素角度概括了产业生态化水平的三个方面：经济因素、社会因素和自然环境因素。从研究视角来看，现有关于产业生态化综合评价研究存在差异，但所选取的指标大同小异。

上述研究分别从不同的方面提出了关于产业生态化的综合评价指标体系，对本文的研究具有重要参考价值，但也存在改进的空间。从实现产业生态化的动机来看，这是由于区域经济发展受到生态约束和资源约束<sup>[18]</sup>。一方面，在资源约束方面，产业发展需要消耗资源，尤其是对不可再生资源的消耗。然而，许多资源是有限的，过度使用将导致资源过快枯竭。为了避免资源过快枯竭，需要提高资源使用效率。另一方面，从生态约束来看，产业发展还会增加废水、废气、固废排放，对环境造成污染，从而恶化人居环境；产业发展还会扩大征地面积，导致大量绿色用地被建设用地替代，城市绿色空间缩小。因此，为了改善人居环境，需要注重在产业发展过程中保护生态环境，增加生态资本。同时，产业发展是为了增加产出，提高国民经济福利。因此，产业经济发展水平也是衡量产业生态化水平的一个重要方面。由此可见，产业生态化是在产业经济发展、生态资本存量 and 资源使用效率三方面的权衡，也即是一个关于“经济—生态—资源”的有机系统，要求在推动经济增长的同时，增加资本存量，提高资源使用效率。根据科学性、系统性、完整性、可操作性的原则，本文建立产业生态化综合评价指标体系，如表 1 所示。

表 1 产业生态化综合评价指标体系

| 一级指标    | 二级指标     | 三级指标           | 单位      | 权重     |
|---------|----------|----------------|---------|--------|
| 区域产业生态化 | 产业经济发展水平 | 人均地区生产总值       | 元       | 0.2699 |
|         |          | 第二、第三产业产值比重    | %       | 0.0888 |
|         |          | 产出与就业协调程度      | —       | 0.0044 |
|         |          | 社会消费品零售总额比重    | %       | 0.1288 |
|         | 生态资本存量   | 人均绿地面积         | 平方米     | 0.3149 |
|         |          | 建成区绿化覆盖率       | %       | 0.0627 |
|         | 资源使用效率   | 万元地区生产总值耗电     | 万千瓦时/万元 | 0.0404 |
|         |          | 工业固体废物综合利用率    | %       | 0.0652 |
|         |          | 万元地区生产总值工业废水排放 | 吨/万元    | 0.0093 |
|         |          | 万元地区生产总值工业废气排放 | 立方米/万元  | 0.0156 |

表 1 中的产业生态化指标体系，所选取的指标总体上同现有研究是一致的。但与现有研究不同的是，本文在产业经济发展中引入了“产出与就业协调程度”指标，该指标计算的是非农产业产值比重/非农产业就业比重偏离均衡水平（等于 1 为均衡水平）的绝对值。从经济发展效率的角度来看，非农产值比重等于非农产出就业比重表明部门间经济发展协调。相反，若两者比值不相等，则表明经济发展过程中存在资源配置扭曲、要素配置效率不高的现象<sup>[19-20]</sup>。事实上，要素配置效率也是衡量地区产业经济发展水平的重要指标，本文因此将其引入到产业生态化发展综合评价指标体系中。

1.1.2 熵值法

在评价方法方面，本文采用熵值法对长江中游城市群各城市的产业生态化水平进行综合评价。参考姚成胜等<sup>[21]</sup>的研究，计算步骤如下：

（1）数据标准化处理。由于表 1 中各指标的单位存在差异，不同指标数据的量纲及其正负取向都存在着显著差距。因此，在计算指标权重前，首先需要对数据进行标准化。对于正向指标，其标准化公式如下：

$$x'_{ijt} = \frac{x_{ijt} - \min x_i}{\max x_i - \min x_i} \tag{1}$$

式中：i 表示指标，j 表示城市，t 表示年份，表示标准化处理后的指标值， $x_{ijt}$  表示原始指标值。

（2）计算 j 城市第 t 年 i 指标的比重  $y_{ijt}$ ，其计算公式为：

$$y_{ijt} = \frac{x'_{ijt}}{\sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T x'_{ijt}} \tag{3}$$

式中：T 表示时间长度，由于本文是对 2004—2018 年的数据进行研究，故 T=15；n 为城市数量，在本文中为 28；i=1, 2, …, N, N=10，表示指标个数。

(3) 计算指标的信息熵。定义 i 指标的信息熵为  $e_i$ ，其计算公式为：

$$e_i = -k \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T (y_{ijt} \times \ln y_{ijt}) \quad (4)$$

其中， $k=1/\ln(T \times n)$ 。因此，可得  $0 \leq e_i \leq 1$ 。若  $y_{ijt}=0$ ，则记  $y_{ijt} \times \ln y_{ijt}=0$ 。

(4) 计算信息熵冗余度。定义信息熵冗余度为  $d_i$ ，其计算公式为：

$$d_i = 1 - e_i \quad (5)$$

(5) 计算指标权重。定义指标权重为  $w_i$ ，根据式 (5) 计算的信息熵冗余度，可以计算各指标权重为：

$$w_i = d_i / \sum_{i=1}^N d_i \quad (6)$$

式中：N 表示指标个数。基于上述公式，可以得到长江中游城市群各地级市的产业生态化综合评价指数：

$$M_{jt} = \sum_{i=1}^N w_i \times x'_{ijt} \quad (7)$$

式中： $M_{jt}$  表示 j 城市 t 年的产业生态化指数。根据计算结果，本文将产业生态化综合评价指数划分为五个区间，其中  $[0, 0.2)$  为低产业生态化阶段， $[0.2, 0.4)$  为较低产业生态化阶段， $[0.4, 0.6)$  为一般产业生态化阶段， $[0.6, 0.8)$  为较高产业生态化阶段， $[0.8, 1.0]$  为高产业生态化阶段。

### 1.1.3 空间自相关分析法

地理学第一定律阐释了空间的联系与其距离的关系，认为事物之间的相关性同其距离的远近有着正向相关作用。根据熵值法可以计算出长江中游城市群产业生态化发展指数，可进一步采用全局空间自相关方法探究产业生态化发展水平在空间上的相关关系。全局空间自相关描述的是根据 Moran' sI 指数来衡量产业生态化在空间上的整体分布状况。为此，长江中游城市群的产业生态化 Moran' sI 指数计算公式如下：

$$\text{Moran's } I = \frac{n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n w_{jk} (M_j - \bar{M})(M_k - \bar{M})}{s^2 \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n w_{jk}} \quad (8)$$

式中： $M_j$  和  $M_k$  分别表示 j 和 k 城市的产业生态化水平； $\bar{M}$  为平均值； $w_{jk}$  表示空间权重矩阵，在此，本文同时采用 0—1 矩阵和经济距离矩阵作为空间自相关分析的权重矩阵； $s^2$  则表示各产业生态化指标的方差，n 则表示该变量的样本个数。根据式 (8) 可知，产业生态化 Moran' sI 指数介于 -1~1 之间。其中，若 Moran' sI > 0，则表示长江中游城市群生态化综合评价指数在空间上存在正相关关系，且越接近于 1 表明正向相关程度越高；相反，若 Moran' sI < 0，则表示产业生态化水平在空间上表现出负相关关系，该数值越小则表明负向相关程度越高。

#### 1.1.4 动态面板空间自回归 (DP-SAR) 模型

根据地理学第一定律, 各地区的经济行为在空间上可能存在相关关系, 考虑空间因素可以增强模型的解释力。例如, Funashima&Ohtsuka<sup>[22]</sup>的研究认为包括投资消费等行为均在空间上表现出依赖特征。对于中国而言, 还存在“晋升锦标赛”的情况, 地方官员为了获取晋升资格会更加注重发展经济, 例如 Yu 等<sup>[23]</sup>的研究。从产业生态化的角度来看, 无论是为了追求经济发展水平的提高, 还是为了贯彻“绿水青山就是金山银山”的发展思路, 各个地区都可能存在同业竞争, 这会导致产业生态化的空间依赖特征。为了对长江中游城市群的产业生态化区域联动转移机制进行研究, 构建如下空间计量模型:

$$M_{jt} = \rho W \cdot M_{jt} + \beta X_{jt} + e_{jt} \quad (9)$$

式中:  $M_{jt}$  表示  $j$  城市  $t$  期的产业生态化水平;  $W$  表示空间权重矩阵;  $\rho$  则表示空间依赖系数;  $X_{jt}$  表示控制变量集合;  $\beta$  表示控制变量回归系数向量;  $e_{jt}$  表示模型的误差项, 满足  $e_{jt} \sim pe(e, \Sigma)$  的分布,  $e$  表示误差项的均值,  $\Sigma$  则表示方差。根据式 (9) 可知, 一个城市的产业生态化发展会受到城市群内其他城市溢出效应的影响, 也即产业生态化的空间联动转移机制。此外, 一个地区的产业生态化发展可能还受到其历史发展水平的影响, 也即时间上的依赖路径。为此, 在式 (9) 的基础上, 构建长江中游城市群产业生态化动态面板空间自回归 (DPSAR) 模型, 研究产业生态化的区域联动转移机制, 如式 (10) 所示:

$$M_{jt} = \rho W \cdot M_{jt} + \gamma M_{j,t-1} + \beta X_{jt} + e_{jt} \quad (10)$$

式中:  $M_{j,t-1}$  表示  $j$  城市  $t-1$  期的产业生态化水平;  $\gamma$  表示产业生态化的时间转移路径, 该系数大于 0 则表明存在一条增长的产业生态化路径;  $e_{jt}$  表示模型的误差项, 满足  $e_{jt} \sim pe(e, \Sigma)$ 。此外, 在控制变量的选择方面, 本文主要考虑了如下控制变量, 分别是富裕程度、利用外资结构、科技支出占总支出比重、消费结构 4 个变量。

#### 1.2 研究区域与数据

本文的研究区域为 2004—2018 年的长江中游城市群, 主要研究对象为位于该城市群的地级市。根据国务院 2015 年批复的《长江中游城市群发展规划》, 长江中游城市群的覆盖范围包括武汉城市圈、环长株潭城市群和环鄱阳湖城市群, 主要覆盖了湖北、湖南和江西 3 个省份。根据研究需要和数据的可获得性, 本文选取的研究城市共有 28 个。其中, 湖北省包括武汉、黄石、鄂州、黄冈、孝感、咸宁、襄阳、宜昌、荆州、荆门 10 个城市, 湖南省包括长沙、株洲、湘潭、岳阳、益阳、常德、衡阳、娄底 8 个城市, 江西省包括南昌、九江、景德镇、鹰潭、新余、宜春、萍乡、上饶、抚州、吉安 10 个地级市。数据主要来源于两个方面, 其一, 关于各城市的地区生产总值、总人口、人均地区生产总值、公园绿地面积、建成区绿化率等指标, 数据来源于中经网统计数据库; 其二, 对于各城市的三废排放数据, 主要来源于 EPS 数据库。

## 2 结果分析

### 2.1 产业生态化综合评价

#### 2.1.1 产业生态化综合评价结果

根据表 1 和前文的计算方法,可以对长江中游城市群各地级市 2004—2018 年的产业生态化水平进行综合评价。表 2 报告了长江中游城市群产业生态化综合评价结果及排名。

表 2 长江中游城市群产业生态化综合评价结果及排名

| 城市  | 均值    | 省内排名 | 整体排名 | 城市 | 均值    | 省内排名 | 整体排名 |
|-----|-------|------|------|----|-------|------|------|
| 南昌  | 0.462 | 2    | 4    | 益阳 | 0.190 | 8    | 22   |
| 九江  | 0.366 | 4    | 8    | 常德 | 0.279 | 5    | 16   |
| 景德镇 | 0.455 | 3    | 5    | 衡阳 | 0.265 | 6    | 17   |
| 鹰潭  | 0.314 | 5    | 12   | 娄底 | 0.259 | 7    | 19   |
| 新余  | 0.469 | 1    | 3    | 武汉 | 0.544 | 1    | 1    |
| 宜春  | 0.141 | 10   | 28   | 黄石 | 0.329 | 3    | 10   |
| 萍乡  | 0.302 | 6    | 14   | 鄂州 | 0.307 | 4    | 13   |
| 上饶  | 0.203 | 7    | 21   | 黄冈 | 0.183 | 9    | 24   |
| 抚州  | 0.175 | 9    | 27   | 孝感 | 0.176 | 10   | 26   |
| 吉安  | 0.181 | 8    | 25   | 咸宁 | 0.231 | 7    | 20   |
| 长沙  | 0.498 | 1    | 2    | 襄阳 | 0.288 | 5    | 15   |
| 株洲  | 0.366 | 3    | 7    | 宜昌 | 0.357 | 2    | 9    |
| 湘潭  | 0.386 | 2    | 6    | 荆州 | 0.183 | 8    | 23   |
| 岳阳  | 0.321 | 4    | 11   | 荆门 | 0.263 | 6    | 18   |

根据表 2 中的结果可知:(1)从省际产业生态化平均值来看,表现出湖南>江西>湖北的特征。其中,湖南的全省平均值为 0.320,湖北的全省平均值最低,为 0.286。这表明,湖南省各地级市的产业生态化平均值较高,湖北的平均水平最低。(2)从省会城市来看,产业生态化水平的位次关系为武汉>长沙>南昌。表 2 显示,武汉和长沙均是各自省份产业生态化水平最高的城市,江西各地市中,新余的产业生态化水平最高。结合省际产业生态化平均值可知,湖南的各地级市产业生态化水平差距较小,而湖北各个地级市的产业生态化水平存在较为显著的差异,极化现象更加明显。南昌的产业生态化水平在江西不是最高的,省会的极化效应不明显。(3)长江中游城市群产业生态化发展水平不断提高。2004 年,产业生态化的区域均值只有 0.198,到 2018 年显著增长至 0.411,跨越了两个等级。(4)在空间层面,长江中游城市群产业生态化发展的区域差异不断凸显。2004 年,产业生态化发展水平最高的是湘潭,为 0.327;最低的是宜春,仅有 0.073,两者相差 0.254。到了 2018 年,产业生态化发展水平最高的是武汉,为 0.798;最低的是孝感,仅有 0.217,两者差距达到 0.581。这表明随着时间的演变,长江中游城市群内部产业生态化发展区域差距不断拉大。其背后的原因在于,省会城市的产业生态化发展水平不断提高,省会城市首位度不断上升,省内和城市群内的极化效应不断凸显。

那么,2004—2018 年上述 3 个中心城市的产业生态化水平呈现怎样的演变呢?图 1 绘制了时间演变图,武汉、长沙、南昌 3 个中心城市的产业生态化水平呈现武汉>长沙>南昌的特征。2004 年,3 个省会城市的产业生态化水平相近,分别为 0.272、0.310 和 0.302,其中武汉的产业生态化水平在 3 个省会城市中得分最低。经过 15 年的发展,武汉的产业生态化水平显著增长至 0.798,较 2004 年增加高达 0.526,已经接近高产业生态化阶段;其次是长沙,增长至 2018 年的 0.720,较 2004 年增加 0.410,位于较高产业生态化阶段;南昌的产业生态化水平增加最小,仅有 0.654,但南昌 2018 年的产业生态化水平已经超越新余(0.599)位于江西第一位。由此可见,一方面,武汉的产业生态化水平持续快速提高,且同长沙和南昌的差距不断拉大。这表明,武汉在湖北的首位城市地位不断凸显,城市的极化现象不断加强。另一方面,长江中游城

市群地区，以武汉—长沙—南昌为中心的三角格局基本形成。

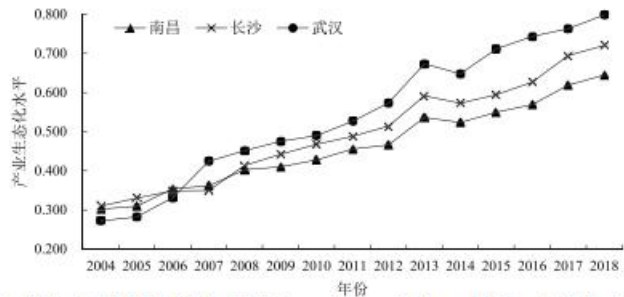


图1 长江中游城市群中心城市（武汉、长沙、南昌）产业生态化时间演变趋势

间演变趋势。为了进一步对长江中游城市群的产业生态化发展态势进行研究，本文基于 ArcGIS10.2 软件绘制了产业生态化时空演变趋势（2004 年、2011 年、2018 年），如图 2 所示。根据图 2 可知，长江中游城市群各地级市产业生态化发展水平经历着由区域整体性均衡向区域集中转变。在 2004 年，长江中游城市群各地级市的产业生态化水平都位于 0.400 下方，位于低产业生态化阶段或较低产业生态化阶段，长江中游城市群的产业生态化发展水平在 2004 年起步较低。到了 2011 年，武汉、长沙、南昌、新余和景德镇 5 个城市的产业生态化水平显著提高，处于中等产业生态化阶段。2018 年，武汉的产业生态化水平得到显著提高，已经位于较高产业生态化阶段。湖南也形成了以长沙为领头羊的产业生态化集群，且主要集中在长株潭和湘北等地区。南昌的产业生态化水平持续快速提升，并在 2017 年超越新余位于江西第一位。因此，从整个长江中游城市群的产业生态化发展水平来看，初步形成了以武汉为领头羊，与长沙、南昌争相竞争的格局。

2.1.2 产业—生态—资源评价结果

表 1 从产业—生态—资源三个维度建立了产业生态化综合评价体系，表 2 和图 2 显示了长江中游城市群各地级市的产业生态化发展水平。在此基础上，从产业—生态—资源三个维度对长江中游城市群的产业生态化发展水平进行分析，各城市产业生态化子系统综合评价均值见表 3。





图2 长江中游城市群产业生态化时空演变图

根据表 3 的计算结果可知：（1）各城市产业经济发展水平的差异是解释产业生态化差异的主要因子。长沙的产业经济发展水平在长江中游城市群中排第一，达到 0.285；武汉和南昌分别位于第二和第三位，分别为 0.273 和 0.209。（2）从生态资本存量角度来看，江西的生态资本存量显著高于湖南和湖北。

表 3 长江中游城市群“产业—生态—环境”分项综合评价结果

| 城市  | 产业经<br>济发展水平 | 生态资<br>本存量 | 资源使<br>用效率 | 城市 | 产业经<br>济发展水平 | 生态资<br>本存量 | 资源使<br>用效率 |
|-----|--------------|------------|------------|----|--------------|------------|------------|
| 南昌  | 0.209        | 0.178      | 0.075      | 益阳 | 0.073        | 0.044      | 0.072      |
| 九江  | 0.205        | 0.095      | 0.066      | 常德 | 0.156        | 0.047      | 0.076      |
| 景德镇 | 0.173        | 0.209      | 0.073      | 衡阳 | 0.146        | 0.053      | 0.066      |
| 鹰潭  | 0.164        | 0.082      | 0.068      | 娄底 | 0.153        | 0.046      | 0.060      |



|    |       |       |       |    |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|----|-------|-------|-------|
| 新余 | 0.158 | 0.246 | 0.065 | 武汉 | 0.273 | 0.196 | 0.075 |
| 宜春 | 0.038 | 0.034 | 0.068 | 黄石 | 0.175 | 0.094 | 0.061 |
| 萍乡 | 0.141 | 0.093 | 0.068 | 鄂州 | 0.106 | 0.133 | 0.067 |
| 上饶 | 0.116 | 0.023 | 0.065 | 黄冈 | 0.099 | 0.011 | 0.073 |
| 抚州 | 0.056 | 0.046 | 0.072 | 孝感 | 0.062 | 0.058 | 0.056 |
| 吉安 | 0.081 | 0.033 | 0.067 | 咸宁 | 0.077 | 0.081 | 0.073 |
| 长沙 | 0.285 | 0.136 | 0.077 | 襄阳 | 0.135 | 0.079 | 0.074 |
| 株洲 | 0.188 | 0.109 | 0.069 | 宜昌 | 0.185 | 0.106 | 0.066 |
| 湘潭 | 0.194 | 0.123 | 0.069 | 荆州 | 0.086 | 0.031 | 0.066 |
| 岳阳 | 0.182 | 0.067 | 0.071 | 荆门 | 0.133 | 0.063 | 0.067 |

新余的生态资本存量平均值最高，为 0.246；其次是景德镇，为 0.209，两者都位于江西。排在第三位的是武汉，生态资本存量综合评价结果为 0.196。在省会城市中，长沙的生态资本存量综合评价结果最低，仅为 0.136。（3）长江中游城市群各城市资源使用效率综合评价结果相差不大。首先从省会城市来看，武汉、长沙和南昌分别为 0.075、0.077 和 0.075，差距不显著；从其他城市来看，最低为湖北孝感，仅有 0.056，与武汉相差 0.019，不是构成产业生态化差异的主要因子。产生这种现象的可能原因在于，各地区同时执行关于污染排放和资源使用效率的相关规定，从而导致差异较小。总而言之，表 3 的结果表明产业经济发展水平在解释区域产业生态化发展差异中的作用最大，其次是生态资本。

## 2.2 产业生态化空间相关性分析

### 2.2.1 基于空间邻近权重矩阵

根据式（7）计算的长江中游城市群各地级市 2004—2018 年的产业生态化指数，本文进一步基于式（8）和式（9）对其空间相关性进行初步分析。首先，表 4 报告了基于邻近距离权重矩阵的产业生态化的全局空间自相关系数（Moran' sI 指数）。

表 4 长江中游城市群产业生态化 Moran' sI 指数（邻近距离权重矩阵）

|                |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 年份             | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 | 2007 年 | 2008 年 |
| MoranMoran' sI | -0.101 | -0.040 | -0.087 | -0.123 | -0.135 |
| 年份             | 2009 年 | 2010 年 | 2011 年 | 2012 年 | 2013 年 |
| MoranMoran' sI | -0.183 | -0.155 | -0.165 | -0.183 | -0.206 |
| 年份             | 2014 年 | 2015 年 | 2016 年 | 2017 年 | 2018 年 |
| MoranMoran' sI | -0.213 | -0.228 | -0.228 | -0.229 | -0.246 |

根据表 4 可知，长江中游城市群各地级市的产业生态化指数呈现空间负相关，这表明长江中游城市群的产业生态化呈现空间发散的特征。从时间演变来看，长江中游城市群的产业生态化发展水平总体呈现负的空间相关关系。2004—2018 年，长江中游城市群的产业生态化的负空间自相关效应总体上呈现不断强化的趋势，由 2004 年的-0.101 变为 2015 年的-0.246，且均在 1%的显著性水平下显著。这表明长江中游城市群的产业生态化空间发散特征不断凸显。

### 2.2.2 基于经济距离权重矩阵

表 4 是基于邻近距离权重矩阵计算的长江中游城市群产业生态化指数，根据计算结果可知长江中游城市群的产业生态化发展水平呈现空间分散特征，表明地区的产业生态化水平同其周边城市呈负相关。本文进一步从经济距离权重矩阵的角度来研究长江中游城市群产业生态化的空间相关系数时间演变趋势，在变量选择方面则选取 2004—2018 年各地级市的人均地区生产总值平均值。本文采用两个地区人均地区生产总值的比值作为空间权重，该赋权方法相对于邻近距离空间权重矩阵而言赋予了不同发展水平城市不同的权重。在经济距离权重矩阵中，经济发展水平越高的地区对经济发展水平越低的地区被赋予了更大的权重。基于此，本文计算的 Moran' sI 指数如表 5 所示。

表 5 长江中游城市群产业生态化 Moran' sI 指数（经济距离权重矩阵）

|                |        |        |        |        |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 年份             | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 | 2007 年 | 2008 年 |
| MoranMoran' sI | -0.178 | -0.192 | -0.198 | -0.191 | -0.198 |
| 年份             | 2009 年 | 2010 年 | 2011 年 | 2012 年 | 2013 年 |
| MoranMoran' sI | -0.206 | -0.203 | -0.196 | -0.195 | -0.214 |
| 年份             | 2014 年 | 2015 年 | 2016 年 | 2017 年 | 2018 年 |
| MoranMoran' sI | -0.214 | -0.218 | -0.208 | -0.201 | -0.197 |

表 5 显示，当采用经济距离权重矩阵计算长江中游城市群产业生态化 Moran' sI 指数时，可见各地级市的产业生态化水平仍然存在显著的负相关关系。对比表 4 可知，2014 年及以前，基于经济距离空间权重矩阵计算的 Moran' sI 指数绝对值更大，而在 2014 年后则要小于表 4 中的估计值。这表明，一方面，长江中游城市群的产业生态化发展水平仍然表现出空间分散特征，这与基于邻近距离权重矩阵计算的结果是一致的，表明城市群的经济差距越大，产业生态化的发展差距也会变大；另一方面，在 2015 年前，一个城市的产业生态化水平更大程度上受到经济距离权重的影响，而 2015 年后则更加受到周边城市的影响，经济“标杆”城市的影响力降低。

2.2.3 基于邻近×经济距离权重矩阵

表 4 和表 5 显示了不同权重矩阵下，长江中游城市群产业生态化发展的空间特征，本文进一步研究混合权重对产业生态化的影响。本文将邻近距离权重矩阵和经济距离权重矩阵结合，构建邻近×经济权重矩阵，表 6 报告了基于该混合矩阵的空间自相关 Moran' sI 指数。

表 6 长江中游城市群产业生态化 Moran' sI 指数（邻近×经济距离混合权重矩阵）

|           |        |        |        |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 年份        | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 | 2007 年 | 2008 年 |
| Moran' sI | -0.211 | -0.156 | -0.214 | -0.304 | -0.298 |
| 年份        | 2009 年 | 2010 年 | 2011 年 | 2012 年 | 2013 年 |
| Moran' sI | -0.349 | -0.304 | -0.300 | -0.331 | -0.402 |
| 年份        | 2014 年 | 2015 年 | 2016 年 | 2017 年 | 2018 年 |
| Moran' sI | -0.401 | -0.443 | -0.431 | -0.427 | -0.437 |

根据表 6 的计算结果，可知当考虑了混合权重矩阵时，长江中游城市群产业生态化的负空间自相关系数更加显著。在空间自相关的系数上，绝对值最高的为 2015 年的-0.443，且自 2013 年以来一直位于 0.4 以上。这表明，城市周边的标杆城市对其产业生态化发展水平具有十分显著的负向影响。

2.3 产业生态化区域联动转移机制

2.3.1 长江中游城市群产业生态化的影响因素

前文计算了长江中游城市群产业生态化综合评价指数和空间自相关系数，结果表明长江中游城市群各地级市的产业生态化发展水平在 2004—2018 年间呈现快速增长的态势，但在空间上呈现负相关的关系。为了对其内在机制进行进一步探讨，本文构建了产业生态化发展的计量模型。首先，本文基于面板固定效应模型研究产业生态化的影响因素。表 7 汇总报告了长江中游城市群产业生态化综合评价指数、产业经济发展水平、生态资本存量、资源使用效率的面板固定效应模型回归结果。

表 7 长江中游城市群产业生态化面板固定效应回归结果

| 变量         | 产业生态化综合评价指数       | 产业经济发展水平           | 生态资本存量            | 资源使用效率            |
|------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 富裕程度       | 0.422*** (0.010)  | 0.757*** (0.023)   | 0.385*** (0.029)  | 0.107*** (0.010)  |
| 利用外资结构     | -0.039<br>(0.026) | 0.111*<br>(0.062)  | -0.178** (0.078)  | -0.014<br>(0.026) |
| 科技支出占总支出比重 | 0.016*** (0.005)  | 0.008 (0.012)      | 0.040*** (0.015)  | -0.018*** (0.005) |
| 消费结构       | 0.000 (0.001)     | 0.004**<br>(0.002) | -0.002<br>(0.002) | -0.002** (0.001)  |
| 地区控制变量     | 控制                | 控制                 | 控制                | 控制                |
| 时间控制变量     | 控制                | 控制                 | 控制                | 控制                |
| 样本量        | 420               | 420                | 420               | 420               |
| R          | 0.908             | 0.837              | 0.525             | 0.286             |
| Wald 统计量   | 953.89            | 497.32             | 107.25            | 38.94             |

注：上角标\*\*\*、\*\*、\*分别表示在 1%、5%、10%的显著性水平下显著；括号中的数值为标准误。表 8、表 9 同。

根据表 7 的估计结果，可知：（1）地区富裕程度对长江中游城市群产业生态化发展具有显著的正向影响，尤其是对产业经济发展水平子系统的影响更为显著。地区的人均地区生产总值提高 1%，会导致产业生态化提高 0.422%，且通过了 1%的显著性检验；另外，会导致产业经济发展提高 0.757%；最低的是对资源效率的影响，为 0.107。这表明，地区的经济发展水平越高，会促使其产业生态化发展水平同步提高，两者存在显著正向关系。其原因不仅在于经济发展水平本身是产业生态化指标评价的组成之一，还在于经济发展水平提高的同时会提高居民对更加美好生态环境的追求，从而刺激产业生态化水平同步提高。（2）使用外资程度对产业生态化总体水平具有不显著的负向影响，对其各子系统具有异质性影响。在总体方面，利用外资水平越高，产业生态化水平越低，但未通过 10%的显著性检验。但在产业经济发展水平子系统方面，利用外资水平越高，产业经济的发展水平越高，且在 10%的显著性水平下显著。原因在于外资进入能够增加地区的产业资本存量，促进经济发展。但外资可能会进入一些资本密集型产业，尤其是招商引资导致的征地、污染等，会对产业生态化产生不利影响。其中，利用外资结构对生态资本存量的影响系数为-0.178，在 5%的显著性水平下显著。（3）财政科技支出占总支出的比重越高，产业生态化总体上也会越高，但同时也会导致资源利用效率子系统的得分下降。首先，科技支出比重对产业生态化的影响系数为 0.016，在 1%的显著性水平下是显著的，表明科技支出比重越高，产业生态化水平也越高，两者具有正向关系。但科技支出占比提高也可能会导致污染排放增多，尤其是较高的科技支出比重投入到污染性大的行业，例如光伏等产业。

此外，消费结构对地区的产业生态化发展水平影响不大，表明地区的产业生态化水平主要是由供给端驱动。

2.3.2 长江中游城市群产业生态化区域联动转移机制

表7估计了长江中游城市群产业生态化的影响因素，从中可以看出产业生态化受到哪些因素的影响。然而根据前文的分析，产业生态化可能还受到地区层面的影响，也可能存在其本身的依赖路径。为此，本文构建了产业生态化的动态面板空间自回归模型进行研究，表8首先报告了长江中游城市群内部的产业生态化动态面板空间自回归模型估计结果。

表8的估计结果显示：（1）长江中游城市群产业生态化的空间依赖关系为负，且主要受到标杆城市的影响。首先基于邻近距离权重矩阵的估计结果的 $\rho$ 为-0.077，未通过10%的显著性检验，表明周边城市的产业生态化水平对其自身的产业生态化水平具有负向影响，基于经济距离和混合权重矩阵的估计结果同样也证实了该现象，这与前文计算的Moran's I是一致的。特别是，基于经济距离权重矩阵估计的空间依赖系数为-0.191，通过了1%水平下的显著性检验；基于混合距离权重矩阵估计的该系数为-0.096，也通过了1%的显著性检验。这表明地区的产业生态化水平更加受到标杆城市的影响，标杆城市的产业生态化水平越高，该地的产业生态化水平也就越低。产生的原因可能在于，较为发达的城市为了提高产业生态化水平，转而将污染性大的产业向发展水平较低的城市进行转移，导致地区的产业生态化发展差距不断拉大，区域层面的产业生态化方差也不断拉大。

（3）长江中游城市群产业生态化发展存在显著的自身依赖路径。采用邻近距离、经济距离和混合距离权重矩阵估计的 $\gamma$ 系数显著为正，且都位于0.600上方，表明地区上年的产业生态化水平对当年的产业生态化发展水平具有相当强的解释力，显示了地区产业生态化发展的惯性。此外，当控制了产业生态化的上期变量和空间依赖变量后，其他控制变量对地区产业生态化的影响基本上同表7的估计结果是一致的，但影响系数有所减小。

表8 长江中游城市群产业生态化动态面板空间自回归模型估计结果（城市群内）

| 变量            | 邻近距离权重矩阵            | 经济距离权重矩阵             | 邻近 X 经济距离混合权重矩阵      |
|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| $\rho$        | -0.077<br>(0.051)   | -0.191***<br>(0.055) | -0.096***<br>(0.046) |
| $\gamma$      | 0.673***<br>(0.031) | 0.691***<br>(0.031)  | 0.675***<br>(0.031)  |
| 富裕程度          | 0.171***<br>(0.015) | 0.209***<br>(0.018)  | 0.178***<br>(0.016)  |
| 利用外资结构        | -0.018<br>(0.014)   | -0.020<br>(0.014)    | -0.019<br>(0.014)    |
| 科技支出总支出比重     | 0.003 (0.002)       | 0.003 (0.002)        | 0.003 (0.003)        |
| 消费结构          | -0.000<br>(0.001)   | 0.000 (0.000)        | 0.000 (0.000)        |
| 地区控制变量        | 控制                  | 控制                   | 控制                   |
| 时间控制变量        | 控制                  | 控制                   | 控制                   |
| Loglikelihood | 766.773             | 771.6261             | 767.7633             |

表 8 的估计结果表明，长江中游城市群产业生态化发展存在两条转移路径。其一，长江中游城市群内部的空间转移路径。周边城市及标杆城市的产业生态化水平会对地区的产业生态化发展水平产生负向影响，导致区域的产业生态化发展水平不断扩大。产生该条路径的可能原因在于污染性产业的跨区域转移，落后地区在产业经济发展与生态环境保护上存在权衡。选择承接污染性企业，会导致生态环境保护的压力增大；拒绝承接污染性企业，则会导致经济发展水平滞后。因此，落后地区与发达地区的产业生态化水平不断拉大。其二，各地区产业生态化还存在时间转移路径。上年的产业生态化水平对当年的产业生态化发展水平具有十分显著的影响，这解释了总体上各地区产业生态化发展水平不断提高的现象。

表 9 长江中游城市群产业生态化动态面板空间自回归模型估计结果（省内）

| 变量            | 邻近距离权重矩阵             | 经济距离权重矩阵             | 邻近 X 经济距离混合权重矩阵      |
|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| P             | -0.141***<br>(0.036) | -0.648***<br>(0.151) | -0.133***<br>(0.033) |
| Y             | 0.674*** (0.029)     | 0.681*** (0.030)     | 0.666*** (0.029)     |
| 富裕程度          | 0.186*** (0.014)     | 0.216*** (0.017)     | 0.186*** (0.014)     |
| 利用外资结构        | -0.024*<br>(0.015)   | -0.026*<br>(0.015)   | -0.024*<br>(0.015)   |
| 科技支出占总支出比重    | 0.004 (0.003)        | 0.004 (0.003)        | 0.004 (0.002)        |
| 消费结构          | -0.000<br>(0.000)    | 0.000 (0.000)        | -0.000<br>(0.002)    |
| 地区控制变量        | 控制                   | 控制                   | 控制                   |
| 时间控制变量        | 控制                   | 控制                   | 控制                   |
| Loglikelihood | 766.773              | 771.6261             | 767.7633             |

2.3.3 长江中游城市群产业生态化区域省内联动转移机制

表 8 的估计结果表明，长江中游城市群产业生态化发展存在两条转移路径。本文在此基础上进一步讨论另一种可能，各城市的产业生态化发展更加显著地受到省内相邻城市或标杆城市的影响。这是由于，根据图 1 和图 2 可知，以武汉—长沙—南昌 3 个省会城市为中心的三角格局初步形成，且呈现愈演愈烈的趋势。那么，省内的产业生态化发展是否表现出省内极化的现象呢？本文对此进行进一步分析，结果见表 9。对比表 8 和表 9 的估计结果可知，长江中游城市群产业生态化的区域联动转移机制更加显著地表现为省内的联动转移。首先从邻近距离权重矩阵的估计结果可知，表 9 的估计系数为-0.141，通过了 1%的显著性检验，其绝对值比表 8 中的更大。这表明，省内周边城市的产业生态化对地区产业生态化具有十分显著的负向影响。其次，当以经济距离为权重矩阵时，所估计的系数为-0.648，不仅在数值上远高于表 8 中的-0.191，也通过了 1%的显著性检验，表明省内标杆城市对地区的产业生态化发展具有十分显著的影响。根据前文的区域联动转移机制，其原理在于省内经济发展水平高的城市会将污染性大的产业转出至省内其他城市，导致省内的产业生态化发展差距不断加大，这解释了图 1 和图 2 中武汉—长沙—南昌三角格局形成的原因。当以混合权重矩阵来计算时，该变量的系数为-0.133，也比表 8 中的更大，表明省内的周边标杆城市对地区产业生态化发展水平具有显著的负向溢出效应。当考虑省内效应时，省内标杆城市的负向溢出效应更加显著，也更为主要。除此之外，各城市的自身转移路径估计结果同表 8 中基本一致，其他控制变量的估计结果也基本一致。

3 研究结论与对策建议

### 3.1 研究结论

本文首先构建长江中游城市群产业生态化综合评价指标体系,基于熵值法、全局 Moran' sI 指数、面板固定效应模型、动态面板空间自回归模型,研究了长江中游城市群产业生态化发展现状及其区域联动转移机制。本文的研究得到如下结论:(1)长江中游城市群产业生态化呈现快速发展趋势,但区域极化效应不断凸显,逐步形成以武汉—长沙—南昌 3 个省会城市为中心的三角格局。2004 年的长江中游城市群的产业生态化均值仅 0.198,处于低产业生态化发展阶段;在 2018 年达到 0.411,位于中等产业生态化发展阶段。但从区域差异来看,长江中游城市群内部各年份的产业生态化发展的方差不断增大,极化效应凸显。

(2)长江中游城市群的产业生态化存在显著的负空间自相关现象。基于邻近距离、经济距离和混合距离权重矩阵计算的 Moran' sI 指数显示,长江中游城市群产业生态化发展存在十分显著的负空间自相关效应。

(3)长江中游城市群产业生态化的区域联动转移机制存在空间和时间两条路径。在空间转移路径方面,基于邻近距离、经济距离和混合距离权重矩阵的动态面板空间自回归估计结果均显示,产业生态化具有负的溢出效应。在时间路径方面,一个地区的产业生态化还存在自身的惯性,且这种惯性不受省内或长江中游城市群内的影响。

### 3.2 对策建议

在经济发展过程中提高产业生态化发展水平对于提高经济发展质量具有重要意义,基于前文的研究,提出如下建议:第一,协调区域产业发展政策。长江中游城市群的产业生态化正呈现显著的极化特征,这会导致大城市发展程度远高于中小城市,不同等级城市间发展水平失衡,经济效率降低。因此,需要协调区域产业发展政策,避免城市间的过度极化发展。第二,推动城市间要素自由流动。通过改革的手段破除要素流通障碍,让劳动、资本等资源能够在不同等级城市之间自由流动。通过要素流动平衡产业生态化发展状况,不仅可以避免大城市产业生态化极化发展,还可以提高中小城市的产业生态化水平。第三,中小城市可以发挥生态特长,优化经济结构。在实现经济发展的同时,需要更加发挥生态特长,发展生态经济,提高经济发展的生态效益,避免短期追求经济过快增长导致长期污染加剧。

### 参考文献:

- [1]陆根尧,盛龙,唐辰华.中国产业生态化水平的静态与动态分析——基于省际数据的实证研究[J].中国工业经济,2012(3):147-159.
- [2]何天祥,朱翔,王月红.中部城市群产业结构高度化的比较[J].经济地理,2012(5):54-58.
- [3]张诗超.中国高新技术产业园区生态化改造评价研究[J].科技进步与对策,2015(18):121-126.
- [4]郭付友,佟连军,刘志刚,等.山东省产业生态化时空分异特征与影响因素——基于 17 地市时空面板数据[J].地理研究,2019(9):2226-2238.
- [5]张媛媛,袁奋强,刘东皇,等.产业生态化水平的测度及其影响因素研究[J].长江流域资源与环境,2019(10):2331-2339.
- [6]魏巍,陈志国,孙春生,等.京津冀产业生态化水平测度及时空动态演变[J].统计与决策,2020(21):110-113.

- [7]李倩,盛逖.城市产业生态化实现路径及效率研究——以北京市为例[J].城市发展研究,2008(S1):136-139.
- [8]王晶,孔凡斌.区域产业生态化效率评价研究——以鄱阳湖生态经济区为例[J].经济地理,2012(12):101-107.
- [9]马勇,刘军.长江中游城市群产业生态化效率研究[J].经济地理,2015(6):124-129.
- [10]唐建荣,李晓静.产业生态系统协同评价及障碍因子诊断——基于2005—2014年安徽省16市的实证分析[J].华东经济管理,2016(11):17-25.
- [11]张国俊,王珏晗,庄大昌.广州市产业生态化时空演变特征及驱动因素[J].地理研究,2018(6):1070-1086.
- [12]雷玉桃,游立素.区域差异视角下环境规制对产业生态化效率的影响[J].产经评论,2018(6):140-150.
- [13]曾鹏,韩晓涵.中国城市群产业生态化及其空间特征[J].统计与决策,2020(8):51-55.
- [14]杨得前,刘仁济.地方财政支出对产业生态化的空间溢出效应研究[J].财贸经济,2018(7):49-64.
- [15]袁世一,李永武,陈维国,等.产业生态化与空间集聚效应研究——来自中国31个省、市、自治区的面板数据[J].管理评论,2020(6):72-81.
- [16]赵丹阳,佟连军,郭付友,等.基于结构调整视角的吉林省产业生态化发展[J].应用生态学报,2016(9):2933-2940.
- [17]王珏晗,张国俊,周春山,等.广东省产业生态化评价与时空演化特征[J].地域研究与开发,2019(2):36-43.
- [18]颜建军,徐雷,李扬.资源、环境双重约束下的湖南省产业生态化发展路径[J].经济地理,2017(6):183-189.
- [19]Adamopoulos T, Restuccia D. The size distribution of farms and international productivity differences [J]. American Economic Review, 2014, 104(6): 1667-1697.
- [20]Hsieh C T, Klenow P J. Misallocation and manufacturing TFP in China and India [J]. The Quarterly Journal of Economics, 2009, 124(4): 1403-1448.
- [21]姚成胜,邱雨菲,黄琳,等.中国城市化与粮食安全耦合关系辨析及其实证分析[J].中国软科学,2016(8):75-88.
- [22]Funashima Y, Ohtsuka Y. Spatial crowding-out and crowding-in effects of government spending on the private sector in Japan [J]. Regional Science and Urban Economics, 2019, 75(3):



35-48.

[23] Yu J H, Zhou L A, Zhu G Z. Strategic interaction in political competition: Evidence from spatial effects across Chinese cities [J]. *Regional Science and Urban Economics*, 2016, 57: 23-37.