

# 资源环境与产业结构升级耦合协调研究

## ——以长江中游城市群为例

汤学兵, 张守磊

(华中师范大学 经济与工商管理学院, 湖北 武汉 430079)

**[摘要]** 协调城市群资源环境和产业结构升级关系对于实现区域经济高质量发展具有重要意义。使用耦合协调模型度量 2005—2019 年长江中游城市群资源环境和产业结构升级耦合度, 并利用空间面板模型探究其影响因素。结果表明: (1) 研究样本期间, 长江中游城市群资源环境和产业结构升级的耦合协调度总体上呈波动上升趋势, 并以 2012 年为间隔体现不同发展特点。(2) 经济发展水平、政府行为和人口因素对耦合协调度具有正向效应, 而工业化水平则会产生一定的负向阻碍作用。

**[关键词]** 长江中游城市群; 资源环境; 产业结构; 耦合协调度

**[中图分类号]** F 127

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1008-889X (2023) 04-0057-11

## 一、引言

《国家新型城镇化规划 (2014—2020 年)》提出要根据城市资源环境承载能力调整优化产业结构, 培育发展各具特色的城市产业体系。2015 年, 《长江中游城市群发展规划》正式获得国务院批复。2016 年, 《促进中部地区崛起“十三五”规划》明确要求发展壮大长江中游城市群, 加快建立现代产业体系, 提升城市群综合实力和竞争力, 打造生态文明和绿色城镇化样板。然而在实际发展过程中, 长江中游城市群总体上面临资源环境承载压力过大问题<sup>[1]</sup>, 同时大多数城市普遍存在产业结构不合理现象<sup>[2]</sup>。因此, 无论在资源环境保护方面还是在产业结构调整方面, 长江中游城市群均面临严重挑战。随着我国进入新发展阶段, 面对持续恶化的国际经济压力、更趋复杂严峻的国内经济形势以及艰巨繁重的改革发展任务, 如何从资源环境保护和产业结构调整方面着手培育发展长江中游城市群, 使之成为推动国土空间均衡开发、引领区域经济发展的重要增长极, 实现经济高质量发展, 是当前亟

需解决的深层次问题。因此, 深入剖析长江中游城市群资源环境和产业结构升级耦合协调程度对于新发展阶段如何进一步加强资源环境保护和优化产业结构具有较强的现实意义。

耦合是指两个 (或两个以上的) 系统或运动形式通过各种相互作用而彼此影响的现象, 耦合度则是描述系统或要素彼此相互作用程度的测度<sup>[3]</sup>。具体来看, 在资源环境和产业结构升级的综合系统中, 两个子系统中的任意一个发生变化, 都会通过耦合作用影响另一个子系统。现有文献对于资源环境和产业结构升级间关系的研究可以分为 2 个方面:

1. 单向研究。Dinda 首先从产业结构的角度出发解释环境库兹涅茨曲线, 发现产业结构调整 and 环境污染存在倒 U 型关系; 原毅军等认为, 环境规制对产业结构升级起到有效的倒逼作用; 李虹等进一步研究发现环境规制越严厉越有利于产业结构升级, 与胡晖等、陈璇等的研究结论相似; Huang 和 Su 等通过实证分析发现大城市产业结构升级有利于提高能源利用和环境保护水平; 徐小鹰研究发现, 区域资源匮乏和环境污染是导致产业结构不合理的重要原因; 牛方曲等发

**[收稿日期]** 2022-06-04

**[基金项目]** 国家社会科学基金项目 (17BJL040)

**[作者简介]** 汤学兵 (1976—), 男, 湖北荆州人, 副教授, 博士, 主要从事区域经济与产业发展、生态治理政策分析研究。

现产业结构升级有利于实现资源利用、环境保护和经济发展的平衡,进而提高资源环境承载力;陈妍等通过对比东北地区资源型与非资源型城市,发现环境规制可有效促进产业升级,而资源依赖对资源型城市产业结构高级化有阻碍作用,对非资源型城市的产业结构合理化具有促进作用;孔海涛利用省级面板数据研究发现,环境规制有利于产业结构升级,而资源错配会阻碍产业结构升级,错配程度增加会降低环境规制对产业结构高度化的正向促进作用<sup>[4-14]</sup>。

2. 双向研究。胡曼菲等认为,资源环境既是产业结构调整的基础,也是其制约因素,产业结构优化能够促进资源有效利用和生态环境保护;于向宇等通过对省级面板数据进行实证分析,发现环境规制有利于推动产业结构优化和产业转型升级,进而破除“资源诅咒”;高同彪等通过度量东北地区城市群高质量发展耦合协调度,发现资源环境和产业结构之间既相互影响又相互制约;李小帆等以我国资源衰退型城市为研究对象,发现产业结构升级有利于减少污染物排放,而污染物减排有助于倒逼产业结构升级<sup>[15-18]</sup>。

纵观已有成果,相关文献从理论、方法、不同研究区域等对资源环境和产业结构升级的关系作了大量深入研究,为本研究奠定了基本的分析框架,但针对城市群的研究相对匮乏。针对不同系统之间协调发展的研究,许多学者使用耦合协调度模型方法进行分析<sup>[19-20]</sup>,其中产业结构通常被作为次级指标或者子系统纳入经济社会系统<sup>[21]</sup>,对于资源环境和产业结构升级耦合协调发展的研究不够全面。因此,以长江中游城市群为研究对象,利用耦合协调模型,度量2005—2019年该城市群各城市资源环境和产业结构升级耦合协调程度,并进一步利用空间计量模型探究其影响因素,为我国新时代区域协调发展提供参考。

## 二、指标体系构建、数据处理和模型选择

### (一) 指标体系构建

资源环境是城市的基础性条件,对城市的经济社会发展具有支撑和约束作用。长江中游城市群地形主要以冲积平原为主,长江从区域中间穿

流而过,区域内支流、湖泊众多,水资源丰富,但在工业化和城镇化背景下,具有人口和经济高度密集特征,且存在环境污染严重、资源约束趋紧等问题<sup>[22]</sup>。结合上述实际,本研究在遵循科学性、代表性、可操作性以及数据可得性等原则的基础上,并借鉴李爽和刘梅香、姜磊等已有研究成果<sup>[23-24]</sup>,从资源禀赋、资源消耗、环境污染和环境治理4个维度出发,选取土地、水、电、绿化以及各种废弃物的排放和治理等方面数据,建立资源环境综合评价指标体系。

产业结构升级本质是经济增长方式的转变与经济发展模式的转轨,周振华、刘伟等指出产业结构优化升级应关注要素资源在产业间的配置、协调和利用效率<sup>[25-26]</sup>。可通过产业结构合理化和产业结构高度化2个指标衡量产业结构升级水平,其中产业结构合理化是指在现有技术条件下产业间的相互协调,产业结构高度化是指产业结构从较低水准向较高水准发展的过程<sup>[27]</sup>。

产业结构合理化评价大多基于资源配置说,以要素投入结构和产出结构的耦合程度来衡量<sup>[28]</sup>。参考刘程等、袁航等学者的研究方法<sup>[28-29]</sup>,具体计算方法为:

$$\text{Ind}_r = y_{1,i,t} \times \ln(y_{1,i,t}/l_{1,i,t}) + y_{2,i,t} \times \ln(y_{2,i,t}/l_{2,i,t}) + y_{3,i,t} \times \ln(y_{3,i,t}/l_{3,i,t}) \quad (1)$$

其中  $\text{Ind}_r$  表示产业结构合理化程度,  $y_{1,i,t}$ 、 $y_{2,i,t}$ 、 $y_{3,i,t}$  分别表示  $i$  地区第一、二、三产业在  $t$  时期占地区生产总值的比重,  $l_{1,i,t}$ 、 $l_{2,i,t}$ 、 $l_{3,i,t}$  分别表示  $i$  地区第一、二、三产业在  $t$  时期从业人员所占总就业人数的比例。该值反映了地区产业结构均衡状态的偏离程度,如果  $\text{Ind}_r$  等于0,说明地区产业结构正处于均衡状态,反之则偏离均衡状态。

产业结构高度化程度的衡量,参照了龚日朝等的研究方法<sup>[30]</sup>,具体计算方式为:

$$\text{Ind}_h = \sqrt{(y_{2,i,t} + y_{3,i,t}) \left( y_{2,i,t} + \frac{y_{3,i,t}}{y_{1,i,t} + y_{2,i,t}} \right)} \quad (2)$$

其中  $\text{Ind}_h$  表示产业结构高度化程度,其他符号与式(1)保持一致。 $\text{Ind}_h$  数值越大,意味着该地区产业结构高度化程度越高。

基于上述分析,构建了资源环境和产业结构升级综合评价指标体系(见表1)。

表 1 资源环境和产业结构升级综合评价指标体系

子系统	指标	单位	指标性质
资源环境综合评价子系统	人均耕地面积	公顷/人	正向
	资源供给		
	人均公园绿地面积	平方米/人	正向
	人均水资源占有量	立方米/人	正向
	资源消耗		
	人均电力消费量	千瓦时/人	负向
	单位工业产值耗电量	千瓦时/元	负向
	城市人均日生活用水量	升/人	负向
	环境污染		
	人均工业废水排放量	吨/人	负向
	人均工业二氧化硫排放量	千克/人	负向
	人均工业烟粉尘排放量	千克/人	负向
	可吸入细颗粒物年平均浓度	微克/立方米	负向
	环境治理		
产业结构升级综合评价子系统	一般工业固体废物综合利用率	%	正向
	污水处理厂集中处理率	%	正向
	生活垃圾无害化处理率	%	正向
	工业废水排放达标率	%	正向
	产业结构合理化程度	无量纲	负向
	产业结构高度化程度	无量纲	正向

(二) 数据来源说明与处理

1. 数据来源说明。所需数据主要来源于历年《中国城市统计年鉴》，部分源于湖北、湖南和江西历年《水资源统计公报》以及研究范围内各城市统计年鉴。数据有缺失的指标采用线性插值法予以补全。

2. 权重计算。现有文献中的赋权方法主要包括主观赋权法和客观赋权法<sup>[31]</sup>。产业结构升级系统的指标，产业结构合理化程度和产业结构高度化程度同等重要<sup>[32]</sup>，因此对上述 2 个指标权重均取 0.5。而资源环境系统中指标过多，为保证评价结果真实可靠，故采用客观赋权法中的熵值法确定权重。熵值法是利用熵值携带的信息进行权重计算，结合各项指标的变异程度，通过利用信息熵计算出各项指标权重，从而为多指标综合评价提供依据。具体计算步骤如下：

第一步：对原始指标数据进行标准化处理。由于数据具有不同的单位和数量级，因此，需要对原始指标数据进行标准化处理以消除不同量纲的影响，即异质指标同质化。计算公式为：

$$X_{ij}^{+} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \tag{3}$$

$$X_{ij}^{-} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \tag{4}$$

其中， $x_{ij}$  表示地区  $i$  相应指标  $j$  的原始数值， $x_{\min}$  和  $x_{\max}$  分别表示  $x_{ij}$  中的最小值和最大值。 $X_{ij}^{+}$  表示经过标准化处理后的值， $X_{ij}^{+}$  是正向指标，该指标数值越大表示评价结果越好， $X_{ij}^{-}$  是负向指标，数值越小表示评价结果越好。但以上处理过程有可能导致个别数据为 0，故采用在该类数值后加 0.001 进行处理以避免赋值数无意义。

第二步：计算样本数据比重。假设共有  $n$  个地区，每个地区共有  $m$  个指标，则地区  $i(i = 1, 2, \cdots, n)$  相应的指标  $j(j = 1, 2, \cdots, m)$  的比重  $\mu_{ij}$  的计算公式为：

$$\mu_{ij} = X_{ij} / \sum_{i=1}^n X_{ij} \tag{5}$$

第三步：计算指标熵值。指标熵值就是指标包含的信息的差异程度，计算公式为：

$$e_j = - \left( \frac{1}{\ln n} \right) \sum_{j=1}^n \mu_{ij} \ln \mu_{ij} \tag{6}$$

第四步：计算指标的差异性系数。计算公式为：

$$g_j = 1 - e_j \tag{7}$$

最后，计算指标权重。计算公式为：

$$w_j = g_j / \sum_{j=1}^m g_j \tag{8}$$

（三）模型选择

1. 耦合度模型。耦合度指 2 个或 2 个以上系统之间的相互作用大小、实现协调发展的动态关联关系，可以反映系统之间的相互依赖、相互制约程度。耦合度模型具体如下<sup>[33]</sup>：

$$U_{k=1,2} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (X_{ij} \times w_j) \tag{9}$$

$$C = 2 \times \left[ \frac{U_1 \times U_2}{(U_1 + U_2)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{10}$$

其中， $U_1$  和  $U_2$  分别表示区域资源环境综合评价得分和产业结构升级综合评价得分。 $C$  表示资源环境和产业结构升级的耦合度，取值区间为  $[0, 1]$ ，取值越大意味着资源环境和产业结构

升级的相互作用越强。

2. 耦合协调度模型。由于各地资源分布不均衡、环境差异相对较大，区域产业结构升级水平存在较大差距，有可能存在区域资源环境和产业结构升级综合评价得分都处于低值但耦合度较高的情况。而耦合协调度模型不仅能反映系统间的相互作用，还能体现协调发展水平<sup>[34]</sup>。具体如下：

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \tag{11}$$

$$D = \sqrt{C \times T} \tag{12}$$

其中， $T$  表示资源环境和产业结构升级的协调度， $D$  表示 2 个子系统的耦合协调度。（11）式中的系数  $\alpha$  和  $\beta$  分别表示两个子系统的贡献度且  $\alpha + \beta = 1$ ，现实中区域资源环境和产业结构升级相互支持、地位相当，因此取  $\alpha = \beta = 0.5$ 。在计算中使  $T \in [0, 1]$ ，从而保证  $D \in [0, 1]$ 。参考舒小林等和邓宏兵等人的做法<sup>[35-36]</sup>，得到耦合协调度的划分标准（见表 2）。

表 2 耦合协调度等级划分标准

耦合协调度 $D$ 值区间	协调等级	耦合协调程度	分类
(0.0 ~ 0.1)	1	极度失调	失调衰退类型 (不可接受区间)
[0.1 ~ 0.2)	2	严重失调	
[0.2 ~ 0.3)	3	中度失调	
[0.3 ~ 0.4)	4	轻度失调	
[0.4 ~ 0.5)	5	濒临失调	中间过渡类型
[0.5 ~ 0.6)	6	勉强协调	(可接受区间)
[0.6 ~ 0.7)	7	初级协调	协调提升类型 (可接受区间)
[0.7 ~ 0.8)	8	中级协调	
[0.8 ~ 0.9)	9	良好协调	
[0.9 ~ 1.0)	10	优质协调	

三、资源环境和产业结构升级耦合协调发展结果分析

根据耦合协调度模型计算，得出长江中游城市群 2005—2019 年资源环境和产业结构升级的

耦合协调度测算结果。

参照该结果并结合表 2 对耦合协调度的状态分类，得出了 2005—2019 年长江中游城市群资源环境和产业结构升级耦合协调发展状态频次统计图（见图 1）。



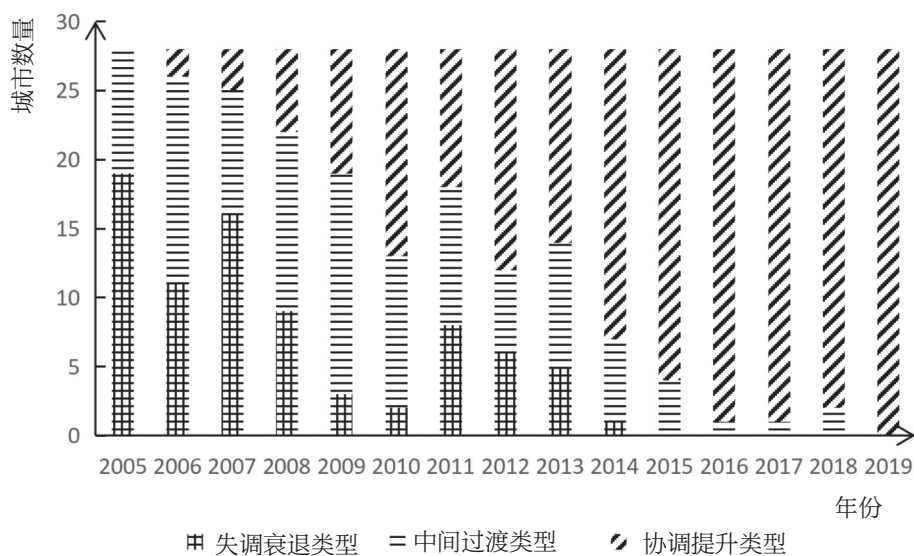


图 1 2005—2019 年长江中游城市群资源环境和产业结构升级耦合协调发展状态频次统计

2005—2019 年, 长江中游城市群的耦合协调发展程度整体上呈现波动向上趋势。2005 年仅有 3 个城市达到勉强协调阶段, 分别是景德镇市 (0.536)、咸宁市 (0.538) 和岳阳市 (0.579), 而其他大部分城市的产业结构升级综合得分均高于资源环境综合得分, 说明当时长江中游城市群对产业结构升级、经济发展的重视程度远大于对资源环境保护程度。到了 2019 年, 绝大多数城市已达到良好协调或优质协调的阶段, 其中 19 个城市已经达到优质协调阶段, 这意味着长江中游城市群在推进产业结构升级的同时兼顾了资源环境保护, 从而形成了资源环境和产业结构升级的良性互动局面, 使得二者进入了发展的成熟期。具体来看, 可以分为 2 个阶段:

第一阶段 (2005—2012 年): 耦合协调度有所提升, 总体向好发展, 但波动幅度较大。变化比较明显的 2 个年份分别是 2007 年和 2011 年, 2007 年失调衰退类型的城市数量增加了 5 个, 而 2011 年失调衰退类型的城市数量增加了 6 个。2007 年根据指标计算得到的资源环境综合得分是历年来最低点, 说明当时对资源环境的保护力度不够, 资源环境事件频发, 导致失调衰退类型的城市数量有所增加。而 2011 年出现波动的原因在于, 在当时国家宏观调控大趋势下, 中部地区进一步加快开放力度, 承接东部产业转移的能力增强, 大量劳动密集型产业、资源导向型产业

加快从沿海地区向内陆地区进行转移。从产业结构上看, 耦合协调发展状态回落城市的第二产业比重有了明显的增加, 而第三产业比重则相对缩小, 产业结构高度化程度低, 合理化程度偏离均衡状态。同时大量工业企业涌入, 导致环境污染程度加重, 资源消耗量增加, 进而导致耦合协调发展度的数值下降, 耦合协调发展状态出现回落。因此, 在这一阶段, 东部沿海地区产业向内陆转移浪潮是导致波动幅度较大的主要原因。

第二阶段 (2013—2019 年): 耦合协调度数值波动幅度较小, 呈现出稳步上升状态。2012 年党的十八大报告指出, 推进经济结构战略性调整是加快转变经济发展方式的主攻方向, 推动产业结构优化升级是转变经济发展方式的重点任务, 在提高生产力的同时更加强调人与自然的协调发展, 不再制定具体的经济增长目标。这意味着我国经济发展由过去的重速度、粗放型发展转向重质量、集约型发展, 这一转变是长江中游城市群耦合协调发展以 2012 年为间隔点呈现出具有不同特点的前后 2 个发展阶段的重要原因。2013—2015 年, 长江中游城市群资源环境和产业结构升级的耦合协调发展程度获得大幅提升, 共有 10 个城市从中间过渡状态提高至协调提升状态。2015 年发布的《长江中游城市群发展规划》要求该地区城市群建设要着重注意产业的协调发展和生态文明建设, 极大地促进了资源环

境和产业结构升级的耦合协调发展。2015 年后，长江中游城市群各城市基本都达到了协调提升类型。

此外，从各个城市的耦合协调度均值来看，长江中游城市群中三大省会城市南昌、武汉和长沙的均值水平相对较低，这是由于城市吸引力较高、人口净流入数量较大、资源消耗较多、对环境的污染程度相对于其他城市可能更大，导致耦合协调发展程度较低。但从各城市的增长幅度来看，南昌、武汉和长沙的增幅相对较大，这一特点在第二阶段中更加明显，其原因在于大城市的经济发展水平更高、对资源环境保护财政投入更多、社会经济支撑力较强。此外，个别城市的耦合协调发展波动性较强，如景德镇、岳阳、娄底等，这可能是由于政策执行力度不够和产业升级不畅等原因导致的结果。

## 四、资源环境和产业结构升级耦合协调发展的影响因素

资源环境和产业结构升级是一个复合的系统间耦合协调过程，不仅受到政府宏观调控的影响，也受到企业发展或人口因素的影响。经济发展水平是区域产业结构升级和资源环境保护的经济基础，政府宏观调控发挥引导作用，工业企业越多、工业污染强度越高，对资源环境产生不利影响越大，人口流动和集聚给当地资源环境带来一定的承载压力。因此，可从经济发展水平、政府行为、工业化程度、人口以及城市吸引力 5 个方面分析长江中游城市群两系统耦合协调发展的影响因素。各变量的定义及描述性统计结果见表 3。

表 3 变量定义与描述性统计

变量名称	变量符号	定义	平均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	$D$	耦合协调度	0.617	0.224	0.1	0.995
经济发展水平	$ECO$	人均地区生产总值取对数	10.333	0.705	8.552	11.888
政府行为	$GOV$	政府支出与地区生产总值的比值	0.155	0.05	0.071	0.314
工业化程度	$IND$	第二产业 GDP 占地区生产总值的比重	0.495	0.075	0.286	0.67
人口	$POP$	常住人口密度取对数	5.926	0.42	5.226	7.176
城市吸引力	$ATT$	常住人口与户籍人口的比值	0.957	0.072	0.816	1.291

考虑到长江中游城市群资源环境和产业结构升级的耦合协调发展中可能存在空间相关性，需利用莫兰指数来进行全局空间自相关分析。全局莫兰指数结果显示，大部分年份的耦合协调度存在正相关性，且  $p$  值在 10% 的水平上显著。经过 LR 检验和 Wald 检验，发现 SAR 为最优模型。据此构建如下空间计量模型：

$$D = \rho \sum_{j=1}^n w_{ij} D + \beta_1 \cdot ECO_i + \beta_2 \cdot GOV_i + \beta_3 \cdot IND_i + \beta_4 \cdot POP_i + \beta_5 \cdot ATT_i + \mu_i + \varepsilon_i \quad (13)$$

考虑到城市人口数量与耦合协调度之间可能存在非线性关系，在模型（13）的基础上加入

城市吸引力变量的平方项，得到：

$$D = \rho \sum_{j=1}^n w_{ij} D + \beta_1 \cdot ECO_i + \beta_2 \cdot GOV_i + \beta_3 \cdot IND_i + \beta_4 \cdot POP_i + \beta_5 \cdot ATT_i + \beta_6 \cdot ATT_i^2 + \mu_i + \varepsilon_i \quad (14)$$

式中， $w_{ij}$  为反距离空间权重矩阵， $i$  表示地区， $\mu_i$  表示空间效应， $\varepsilon_i$  表示随机扰动项。经过 Hausman 检验，固定效应模型优于随机效应，因此采用固定效应法对上述 SAR 模型进行估计，结果见表 4。该表第（2）列和第（3）分别为模型（13）和（14）的回归结果，第（4）列为随机效应模型回归结果。

表4 耦合协调发展影响因素回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	OLS	SAR	SAR	SAR
<i>ECO</i>	0.224 *** (19.14)	0.116 *** (3.44)	0.132 *** (3.95)	0.123 *** (5.57)
<i>GOV</i>	1.365 *** (8.75)	0.779 ** (2.03)	0.789 ** (2.00)	0.855 *** (3.53)
<i>IND</i>	-0.675 *** (-6.50)	-0.676 *** (-3.18)	-0.660 *** (-3.18)	-0.615 *** (-4.30)
<i>POP</i>	-0.050 ** (-2.47)	0.289 (1.00)	0.578 ** (2.28)	-0.023 (-0.78)
<i>ATT</i>	-0.442 *** (-3.63)	-0.152 (-0.34)	7.859 *** (4.36)	5.291 *** (3.70)
<i>ATT2</i>			-3.993 *** (-5.11)	-2.690 *** (-4.03)
$\rho$		0.469 *** (6.62)	0.436 *** (6.27)	0.497 *** (8.55)
<i>sigma2_e</i>		0.015 *** (11.67)	0.014 *** (11.39)	0.016 *** (11.53)
<i>lgt_theta</i>				-0.004 (-0.02)
<i>constant</i>	-0.855 *** (-5.82)			-3.235 *** (-4.01)
控制效应		fe	fe	re

Robust z - statistics in parentheses, \*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1, 以下同。

为进一步判断是否存在空间外溢效应，对模型（14）的估计结果进行效应分解，回归结果见表5。

表5 耦合协调发展影响因素的空间效应分解

变量	系数	直接效应	间接效应	总效应
<i>ECO</i>	0.132 *** (3.95)	0.136 *** (3.94)	0.100 *** (3.97)	0.236 *** (4.63)
<i>GOV</i>	0.789 ** (2.00)	0.782 ** (1.97)	0.587 * (1.80)	1.368 ** (1.96)
<i>IND</i>	-0.660 *** (-3.18)	-0.654 *** (-3.22)	-0.495 *** (-2.60)	-1.149 *** (-3.17)
<i>POP</i>	0.578 ** (2.28)	0.592 ** (2.25)	0.462 * (1.77)	1.054 ** (2.10)
<i>ATT</i>	7.859 *** (4.36)	8.068 *** (4.34)	6.065 *** (3.42)	14.132 *** (4.53)
<i>ATT<sup>2</sup></i>	-3.993 *** (-5.11)	-4.095 *** (-5.11)	-3.090 *** (-3.62)	-7.185 *** (-5.22)

表 4 和表 5 结果显示，经济发展水平（*ECO*）和政府行为（*GOV*）对资源环境和产业结构升级的耦合协调发展度在 1% 的显著性水平下具有正向效应。经济发展水平会对资源环境和产业结构的协调发展产生重要影响，发挥基础性作用。经济发展水平直接效应系数和间接效应系数均显著为负，总效应系数为 0.236，意味着经济发展水平的提升有利于本地和周边地区的资源环境和产业结构升级耦合协调发展。产业结构优化升级能够有效地推动经济建设，进而为区域资源环境的保护提供强有力的经济支撑，促进资源环境和产业结构升级协调发展。政府行为在一定程度上代表了政府的干预程度，政府对企业 and 个人的积极引导能够有效提高资源环境和产业结构升级的协调发展程度，发挥正向引导作用。

工业化程度（*IND*）对资源环境和产业结构升级的协调发展具有负向效应，直接效应系数为 -0.654，间接效应系数为 -0.495。在地区或城市发展中，工业生产如果环境规制不严，就会造成资源浪费和环境污染，同时也会通过溢出效应对周边地区的资源环境产生一定负向影响。因此工业化发展过程中，要以产业转型升级以促进城市绿色发展水平，从高能耗、高排放、资源密集型转向低能耗、低排放、技术密集型产业，实现工业化绿色转型。

人口（*POP*）对资源环境和产业结构升级的耦合协调发展度在 5% 的显著性水平上具有正向效应。人口密度相对较大的城市人力资源也更加丰富，对资源环境保护的需求和投入力度更大，有利于产业结构高度化和合理化发展。从城市吸引力（*ATT*）角度来看，城市吸引力和耦合协调度成正比，但城市吸引力的平方（*ATT*<sup>2</sup>）和耦合协调度成反比，说明耦合协调度随着城市吸引力的提高呈倒 U 型变化，这意味着城市需

要保持合理人口规模。人口过多会带来更多的资源消耗，生态承载压力过大，不利于资源环境和产业结构升级的协调发展。

为缓解内生性问题，采用动态空间面板模型对上述结果进行检验。动态空间面板模型不仅能够有效处理内生性问题，而且能够显著降低空间自回归系数的有偏性，同时还能够进一步刻画出资源环境与产业结构升级耦合协调发展的路径依赖特征<sup>[37]</sup>。动态 SAR 模型估计结果如表 6 第（2）列所示，结果显示各解释变量的作用方向与基准回归结果一致。但其回归系数值相对有所减小，这是由于在空间动态 SAR 模型中，地理因素、空间效应和滞后效应从空间因素中被分离出来，矫正了在静态 SAR 模型中高估的解释变量回归系数所产生的偏差<sup>[37]</sup>。

进一步为证明基准回归结果的稳健性，分别使用 0-1 矩阵和经济距离矩阵替换反距离矩阵进行空间计量分析。0-1 矩阵是空间计量分析中较为常用的权重矩阵，刻画了地区单元之间是否相邻的特征，相邻表示为 1，不相邻表示为 0。经济距离矩阵刻画了 2 个地区经济差距的大小，即经济空间内的“距离”<sup>[38]</sup>。以经济距离矩阵表示各地级市之间的经济差距如下：

$$w_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{|h_i - h_j|}, i \neq j \\ 0, i = j \end{cases} \quad (15)$$

其中，*h<sub>i</sub>* 表示 *i* 地区 2005—2019 年实际 GDP 的平均值。在该权重矩阵中，实际 GDP 均值差值越小意味着两地区在经济上越“临近”。用 0-1 矩阵和经济距离矩阵代替反距离矩阵后，得到的结果分别如表 6 第（3）列和第（4）列所示。回归结果显示，各解释变量作用方向与基准回归结果作用方向一致，因此估计结果具有较高的稳健性水平。

表 6 稳健性检验

变量	(1) SAR	(2) SAR	(3) SAR	(4) SAR
<i>L1.D</i>		0.379 *** (7.17)		
<i>ECO</i>	0.132 *** (3.95)	0.040 ** (2.22)	0.165 *** (7.29)	0.195 *** (7.79)



续表 6

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	SAR	SAR	SAR	SAR
<i>GOV</i>	0.789 ** (2.00)	0.346 ** (2.02)	1.065 *** (4.15)	1.304 *** (4.71)
<i>IND</i>	-0.660 *** (-3.18)	-0.288 ** (-2.51)	-0.723 *** (-5.09)	-0.941 *** (-5.84)
<i>POP</i>	0.578 ** (2.28)	0.009 ** (1.98)	0.033 ** (2.32)	0.024 ** (1.96)
<i>ATT</i>	7.859 *** (4.36)	3.099 *** (2.97)	5.133 *** (3.17)	7.510 *** (4.46)
<i>ATT</i> <sup>2</sup>	-3.993 *** (-5.11)	-1.567 *** (-3.18)	-2.596 *** (-3.40)	-3.713 *** (-4.72)
$\rho$	0.436 *** (6.27)	0.451 *** (7.32)	0.323 *** (6.29)	0.184 *** (2.60)
<i>sigma2_e</i>	0.014 *** (11.39)	0.013 *** (12.80)	0.015 *** (12.45)	0.016 *** (13.05)
控制效应	fe	fe	fe	fe

五、结论及建议

通过选取城市资源环境和产业结构升级评价指标,在数据标准化处理和熵值法对各项指标赋权后,本研究衡量了长江中游城市群二者的综合发展水平,对其 2005—2019 年的耦合协调关系进行了实证研究。研究发现,长江中游城市群资源环境和产业结构升级耦合协调发展总体呈波动上升趋势,且以 2012 年为间隔体现出不同的发展特点。空间面板回归模型表明长江中游城市群中各城市的耦合协调发展度存在较强的空间依赖性,经济发展水平、政府行为和人口因素会对二者的耦合协调发展产生正向促进影响,工业化程度则会产生一定的负向阻碍作用。根据上述结论,得到如下政策启示:

1. 强化绿色循环发展,推动产业转型升级。绿色发展是实现经济高质量发展的必由之路,各地区要以绿色循环发展为重要突破口,提高资源利用效率,减少环境污染和生态破坏,助推产业转型升级。在产业结构调整过程中,要优先发展战略性新兴产业和现代服务业,支持工业化改造

升级,降低高能耗、高排放行业比重,不断推动产业结构向生态型产业转变。各级政府在提高经济发展水平的同时要加大资源环境保护,倒逼产业转型升级,实现区域经济高质量发展。

2. 发挥核心城市引领作用,中小城市因地制宜发展。长江中游城市群的三大核心城市(南昌、武汉和长沙)作为经济增长极,应充分发挥其规模经济和外部经济效应,强化对周边城市的引领辐射作用,提升资源环境保护力度和产业升级水平,推动城市群整体协调发展。不同区域资源环境差异较大但互补性强的各城市可充分发挥各自比较优势,补齐短板,联动发展。经济发展水平较高的城市应加大对资源环境保护力度,逐步淘汰高污染、高能耗企业,实现产业结构的合理化和高级化,发挥示范作用;而经济发展水平较低的城市在经济发展中要寻找新的经济增长点,积极培育和支持新兴产业,加大生态产业化和产业生态化力度,将生态优势转化为经济优势。

3. 加强城市群整体协作能力,发挥区域协同效应。要加快长江中游城市群中生产要素自由有序流动,促进沿海地区产业梯度转移和有效承

接,推动城市群协调有序发展。要充分利用当前政策利好,提升协调力度,建立区域生态环境联防联控联治机制,提高跨区域突发环境事件应对能力。加快建立公平公正、积极有效的跨区域生态补偿机制,加大补偿力度,通过制度建设提升生态补偿的法制化和规范化水平,进而实现长江中游城市群资源环境和产业结构升级双赢目标。

#### [参考文献]

- [1] 沈威,鲁丰光,秦耀辰,等. 长江中游城市群城市生态承载力时空格局及其影响因素 [J]. 生态学报, 2019, 39 (11): 3937-3951.
- [2] 谢谋盛,刘伟明,王明. 长江中游城市群环境污染与经济增长关系的实证分析 [J]. 江西社会科学, 2019, 39 (1): 66-76.
- [3] 高楠,马耀峰,李天顺,等. 基于耦合模型的旅游产业与城市化协调发展研究:以西安市为例 [J]. 旅游学刊, 2013, 28 (1): 62-68.
- [4] SOUMYANANDA DINDA. Environmental kuznets curve hypothesis: A survey [J]. Ecological Economics, 2004, 49 (4): 431-455.
- [5] 原毅军,谢荣辉. 环境规制的产业结构调整效应研究:基于中国省际面板数据的实证检验 [J]. 中国工业经济, 2014 (8): 57-69.
- [6] 李虹,邹庆. 环境规制、资源禀赋与城市产业转型研究:基于资源型城市与非资源型城市的对比分析 [J]. 经济研究, 2018, 53 (11): 182-198.
- [7] 胡晖,朱钰琦,方德斌,等. 环境规制影响产业结构的路径与机制:基于湘鄂赣皖地区城市的实证研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29 (12): 2620-2635.
- [8] 陈璇,钱薇雯. 环境规制对制造业产业转移和结构升级的双重影响 [J]. 统计与决策, 2020, 36 (18): 109-113.
- [9] HUANG Y, LI L, YU YT. Does urban cluster promote the increase of urban eco-efficiency? Evidence from Chinese cities [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 197: 957-971.
- [10] SU YX, WANG YL, ZHANG B, et al. Retrospect driving forces and forecasting reduction potentials of energy-related industrial carbon emissions from China's manufacturing at city level [J]. Environmental Research Letters, 2020, 15 (7): 1-12.
- [11] 徐小鹰. 资源环境约束下中国经济增长效率的影响因素研究 [J]. 生态经济, 2019, 35 (9): 151-156.
- [12] 牛方曲,封志明,刘慧. 资源环境承载力综合评价方法在西藏产业结构调整中的应用 [J]. 地理学报, 2019, 74 (8): 1563-1575.
- [13] 陈妍,王士君,梅林. 东北地区非资源型城市与资源型城市产业转型的对比研究 [J]. 地理研究, 2021, 40 (3): 808-820.
- [14] 孔海涛. 环境规制、资源错配与制造业转型升级 [J]. 企业经济, 2021, 40 (7): 127-136.
- [15] 胡曼菲,关伟. 基于产业结构视角的我国经济与环境耦合系统的演化分析 [J]. 资源开发与市场, 2010, 26 (10): 880-882; 879.
- [16] 于向宇,李跃,陈会英,等. “资源诅咒”视角下环境规制、能源禀赋对区域碳排放的影响 [J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29 (5): 52-60.
- [17] 高同彪,刘云达. 东北地区城市群高质量发展研究 [J]. 社会科学战线, 2020 (11): 245-250.
- [18] 李小帆,卢丽文. 资源衰退型城市产业结构调整与环境污染的联动效应 [J]. 华中师范大学学报 (自然科学版), 2021, 55 (5): 900-907.
- [19] LIU NN, LIU CZ, XIA YF, et al. Examining the coordination between urbanization and eco-environment using coupling and spatial analyses: A case study in China [J]. Ecological Indicators, 2018, 93 (C): 1163-1175.
- [20] GUO YT, WANG HW, PETER NIJKAMP, et al. Space-time indicators in interdependent urban-environmental systems: A study on the Huai River Basin in China [J]. Habitat International, 2015, 45: 135-146.
- [21] 唐晓灵,康铭敏. 区域资源环境与经济增长协调发展研究:以关中平原城市群为例 [J]. 价格理论与实践, 2021, (6): 161-164; 167.
- [22] 舒晓波,冯维祥,廖富强,等. 长江中游城市群农业生态效率时空演变及驱动因子研究 [J]. 水土保持研究, 2022, 29 (1): 394-403.
- [23] 李爽,刘梅香. 西部地区资源环境承载力与经济增长协调度分析:以陕西省为例 [J]. 西安财经学院学报, 2015, 28 (5): 46-53.
- [24] 姜磊,柏玲,吴玉鸣. 中国省域经济、资源与环境协调分析:兼论三系统耦合公式及其扩展形式 [J]. 自然资源学报, 2017, 32 (5): 788-799.
- [25] 周振华. 产业结构演进的一般动因分析 [J]. 财经科学, 1990 (3): 1-6.
- [26] 刘伟,张辉,黄泽华. 中国产业结构高度与工业

- 化进程和地区差异的考察 [J]. 经济学动态, 2008 (11): 4-8.
- [27] 周振华. 论产业结构分析的基本理论框架 [J]. 中国经济问题, 1990 (1): 1-8.
- [28] 刘程, 王仁曾. 房价上涨会抑制地区产业结构升级吗? [J]. 产业经济研究, 2019 (2): 102-113.
- [29] 袁航, 朱承亮. 国家高新区推动了中国产业结构转型升级吗 [J]. 中国工业经济, 2018 (8): 60-77.
- [30] 龚日朝, 潘芬萍, 刘俞希. 产业结构高度化测度模型及其性质研究 [J]. 统计与决策, 2020, 36 (12): 67-71.
- [31] 杨慧. 基于耦合协调度模型的京津冀13市基础设施一体化研究 [J]. 经济与管理, 2020, 34 (2): 15-24.
- [32] 于春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响 [J]. 经济研究, 2011, 46 (5): 4-16.
- [33] 丛晓男. 耦合度模型的形式、性质及在地理学中的若干误用 [J]. 经济地理, 2019, 39 (4): 18-25.
- [34] 毕国华, 杨庆媛, 刘苏. 中国省域生态文明建设与城市化的耦合协调发展 [J]. 经济地理, 2017, 37 (1): 50-58.
- [35] 舒小林, 高应蓓, 张元霞, 等. 旅游产业与生态文明城市耦合关系及协调发展研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25 (3): 82-90.
- [36] 邓宏兵, 张天铃. 长江经济带创新环境与高技术产业创新耦合协调发展研究 [J]. 华中师范大学学报 (自然科学版), 2021, 55 (5): 755-766.
- [37] 赵磊, 方成. 城旅融合的经济增长空间效应研究: 基于空间动态面板数据 (SDPD) 模型的实证分析 [J]. 中国软科学, 2021 (11): 67-79.
- [38] 王赫, 吴朝阳. 经济差距对创新溢出与技术交流的影响: 基于经济距离矩阵的空间计量研究 [J]. 经济问题, 2020 (9): 78-84.

## On the Coupling Coordination of Resources and Environment and Industrial Structure Upgrading: Taking Urban Agglomeration in the Middle Reaches of the Yangtze River as an Example

TANG Xuebing, ZHANG Shoulei

(School of Economics and Business Administration, Central China Normal University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** Coordinating the relationship between urban agglomeration resources and environment and industrial structure upgrading is of great significance to achieve a high-quality regional economic development. In this paper, the coupling coordination model is used to measure the coupling coordination degree of resources and environment and industrial structure upgrading in the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River from 2005 to 2019, and the spatial panel model is used to explore its influencing factors. The results show: (1) During the study sample period, the coupling and coordination degree between resources and environment and industrial structure upgrading in the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River showed a fluctuating upward trend; The interval of 2012 reflected different development characteristics; (2) The level of economic development, government behavior and population factors positively promoted the degree of coupling coordinated development, while the degree of industrialization had a negative hindering effect.

**Key words:** urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River; resources and environment; industrial structure; coupling coordination degree

(责任编辑 陈蒙腰)