

# 江苏省人口城镇化与能源消费 CO<sub>2</sub> 排放 耦合协调度时空格局及影响因素

李建豹<sup>1, 2</sup> 黄贤金<sup>3, 4</sup> 揣小伟<sup>3</sup> 孙树臣<sup>51</sup>

(1. 南京财经大学 公共管理学院, 中国江苏 南京 210023;

2. 南京财经大学 政府管理研究中心, 中国江苏 南京 210023;

3. 南京大学 地理与海洋科学学院, 中国江苏 南京 210023;

4. 国土资源部海岸带开发与保护重点实验室, 中国江苏 南京 210023;

5. 聊城大学 环境与规划学院, 中国山东 聊城 252059)

**【摘要】**：基于耦合协调度模型、探索性数据分析和 LISA 时空跃迁分析，探究 2006—2017 年江苏省人口城镇化与能源消费 CO<sub>2</sub> 排放耦合协调度的时空格局，并构建空间滞后面板 Tobit 模型，分析其影响因素。结果表明：(1) 2006—2017 年，江苏省人口城镇化与能源消费 CO<sub>2</sub> 排放耦合协调度呈上升趋势，耦合协调度类型由良好耦合协调转化为优质耦合协调。耦合协调度存在明显的区域差异，总体呈东部>西部>中部、南部>北部的趋势，空间格局较为稳定。耦合协调度绝对差异总体上呈减小趋势，相对差异与绝对差异变化趋势基本一致，空间集聚性呈波动变化趋势。(2) 空间滞后面板 Tobit 模型结果表明：年末总人口与空间因素对耦合协调度具有显著的正向作用，人均 GDP 和碳排放强度对耦合协调度具有显著的负向作用，第二产业比例对耦合协调度具有负向作用，但不明显。

**【关键词】**：人口城镇化 耦合协调度 新型城镇化 绿色低碳发展

**【中图分类号】**：F426.2 **【文献标志码】**：A **【文章编号】**：1000-8462 (2021) 05-0057-08

全球变暖问题引起世界各国广泛关注，CO<sub>2</sub> 排放是导致全球变暖的重要因素之一，而中国已成为最大的碳排放国，中国城镇地区的能源消耗量占总消耗量的 75.15%<sup>[1]</sup>。城镇化已成为影响碳排放的重要因素。近年来，中国人口城镇化水平快速发展，自 2014 年已超过世界平均水平，快速城镇化引发了一系列的生态环境问题，如资源短缺、生态环境恶化和环境污染等。《国家新型

**作者简介**：李建豹 (1986-)，男，山东临清人，博士，讲师，硕士生导师，研究方向为城镇化碳排放、土地利用与规划。  
E-mail: lijianbao888@126.com

黄贤金 (1968-)，男，江苏扬中人，博士，教授，博士生导师，研究方向为自然资源与区域土地利用变化。E-mail: hxj369@nju.edu.cn

**基金项目**：国家自然科学基金项目 (41901245)；江苏省高等学校自然科学研究面上项目 (19KJB170014)；国家社会科学基金重大项目 (17ZDA061)

城镇化规划（2014—2020年）》要求保护生态环境。“十八大”“十九大”高度重视生态文明建设，提倡绿色发展和低碳城镇化建设。城镇化与生态环境关系十分复杂，如何协调城镇化与生态环境的关系成为亟待解决的重大难题<sup>[2]</sup>。CO<sub>2</sub>是生态环境的重要组成要素之一<sup>[3]</sup>，研究人口城镇化与能源消费 CO<sub>2</sub>排放间耦合协调度的时空格局及影响因素，对城镇化与碳排放协调发展具有重要意义。

关于城镇化与碳排放关系的观点主要有 3 种：一是城镇化与碳排放呈线性关系，城镇化导致碳排放增加，随着城镇化水平的提高，大量农民进入城镇，城镇人口急剧增加，导致各种物质资料和基础设施需求增大，同时，生产方式由原来的人力为主转向使用机械，消费方式高碳化，直接导致能源消耗和碳排放量增加。同时，在城镇化过程中出现了大拆大建和重复建设，也会导致碳排放增加<sup>[4-11]</sup>。二是城镇化与碳排放呈非线性关系，较多学者认为城镇化与碳排放间存在倒“U”型关系<sup>[12-16]</sup>，在城镇化初期阶段，随着城镇化水平的提高，碳排放量增加。当城镇化水平提高到一定程度后，会促进管理技术和低碳技术水平的提高，使得各种物质资料和基础设施得到充分利用，一定程度上降低碳排放。三是城镇化与碳排放关系不明显<sup>[17]</sup>。

城镇化与碳排放关系的研究已取得了丰硕成果，为本研究提供了借鉴。但现有研究仍存在以下不足：一是多集中在城镇化对碳排放影响研究，其实，二者是相互影响的关系，耦合可以较好地测度城镇化与碳排放的相互影响程度；二是多为静态研究，缺乏城镇化与碳排放时空耦合动态演化趋势研究；三是有关城镇化与碳排放耦合机理的研究较少。基于此，本文从耦合视角，研究城镇化与碳排放耦合协调度的时空格局及影响因素。

江苏省“十三五”规划要求推进新型城镇化，必须强调“人的城镇化”。江苏省人口城镇化快速发展，人口城镇化率由 2006 年的 51.9%，增加到 2017 年的 68.8%，增长率为 2.596%。碳排放由 2006 年的 4.188 亿 t，增加到 6.620 亿 t，增长率为 4.251%，碳排放增长速度快于人口城镇化速度。江苏省能源结构对煤炭依赖度较大，碳排放相对较高，节能减排任务较重。为有效缓解江苏省资源环境约束与经济高速发展的矛盾，须率先进行生态文明建设。而碳减排已成为生态文明建设的重要组成部分，掌握人口城镇化与碳排放耦合协调度的时空格局及影响因素，有利于推进新型城镇化，实现碳减排，促进人口城镇化与碳排放协调发展。因此，本文以江苏省为研究对象，开展 2006—2017 年人口城镇化与能源消费 CO<sub>2</sub>排放（下文中“碳排放”一律指“能源消费 CO<sub>2</sub>排放”）耦合协调度时空格局及影响因素研究，揭示人口城镇化与碳排放的耦合机理，并提出相应的政策建议，以期对江苏省低碳城镇化发展提供科学依据。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 数据来源

人口城镇化数据源自 EPS 数据平台，人均 GDP、第二产业比例、人口密度和人均绿地面积数据源自 2007—2018 年《江苏省统计年鉴》，能源消费数据源自 2007—2018 年各市的统计年鉴及国民经济和社会发展统计公报。DMS/OLS(Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System) 夜间灯光数据和 NPP/VIIRS(National Polar-orbiting Partnership satellite's Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) 夜间灯光数据源自美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 下属的国家地球物理数据中心(National Geophysical Data Center, NG-DC)。江苏省地图矢量数据源自国家基础地理信息中心 1:400 万数据库。

江苏省缺少 2006—2017 年连续年份的城市尺度能源消费数据，借鉴李建豹、Li 等的方法<sup>[18-19]</sup>，利用能源消费数据、DMS/OLS 夜间灯光数据和 NPP/VIIRS 夜间灯光数据模拟城市能源消费碳排放数据，主要处理步骤如下：第一，利用 IPCC 参考算法计算城市能源消费碳排放；第二，借鉴 Li 等的方法<sup>[19]</sup>，使用经过数据预处理、参考影像校正、年内融合和年际校正处理后的 2013 年 DMS/OLS 夜间灯光数据与经噪声去除后的 2013 年 NPP/VIIRS 夜间灯光数据，构建 NPP/VIIRS 夜间灯光数据的校正模型，以实现 NPP/VIIRS 夜间灯光数据与 DMS/OLS 夜间灯光数据的连续性校正；第三，利用 2006—2013 年 DMS/OLS 夜间灯光数据与 2014—2017 年校正后的 NPP/VIIRS 夜间灯光数据，提取城市范围的夜间灯光总值，并与对应的能源消费碳排放统计值拟合，构

建碳排放模拟模型；第四，根据各城市内的夜间灯光总值，利用碳排放模拟模型计算各城市内的碳排放，最后，利用 CO<sub>2</sub> 统计值检验模拟值的精度发现，CO<sub>2</sub> 模拟值和统计值的平均相对误差为 5.09%，表明基于夜间灯光数据模拟的 CO<sub>2</sub> 数据精度较高。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 耦合协调度模型

耦合度是两个或两个以上系统相互作用或影响的程度。本文中人口城镇化与碳排放的耦合度 A 表达式如下<sup>[20]</sup>：

$$A = \frac{2\sqrt{f(U)g(C)}}{f(U) + g(C)} \quad (1)$$

式中：A 表示人口城镇化与碳排放的耦合度；f(U) 表示人口城镇化系统的水平，用城镇人口占总人口比例表示；g(C) 表示碳排放系统的水平，用碳排放量表示。借鉴相关成果<sup>[18]</sup>，将人口城镇化与碳排放的耦合度分为 4 种类型：分离阶段（0 < A ≤ 0.3）、拮抗阶段（0.3 < A ≤ 0.5）、磨合阶段（0.5 < A ≤ 0.8）和耦合阶段（0.8 < A ≤ 1）。

耦合协调度是城镇化与碳排放变化过程中和谐一致的程度<sup>[18]</sup>。耦合协调度越高，耦合协调性越强。人口城镇化与碳排放的耦合协调度 D 表达式如下<sup>[20]</sup>：

$$T = af(U) + bg(C) \quad (2)$$

$$D = (A \times T)^{0.5} \quad (3)$$

式中：T 表示综合协调指数；a 和 b 表示待定系数，借鉴现有成果<sup>[21]</sup>，本文认为人口城镇化与碳排放同等重要，将 a 和 b 均设置为 0.5；D 表示人口城镇化与碳排放的耦合协调度。借鉴现有研究成果<sup>[22-24]</sup>，将耦合协调度划分为以下 5 种类型：勉强耦合协调（0.50~0.59）、初级耦合协调（0.60~0.69）、中级耦合协调（0.70~0.79）、良好耦合协调（0.80~0.89）和优质耦合协调（0.90~1.00）。

### 1.2.2 空间自相关模型

空间自相关模型主要包括全局空间自相关（Moran's I）和局部空间自相关（Local Moran's I）。Moran's I 用于分析人口城镇化与碳排放耦合协调度的空间集聚性<sup>[25]</sup>。

## 2 人口城镇化与碳排放耦合协调度时空特征

### 2.1 耦合协调度总体特征

由图 1 可知，2006—2017 年江苏省人口城镇化与碳排放耦合度和耦合协调度均呈上升趋势，表明人口城镇化与碳排放的相互作用程度不断增强。耦合度大于 0.996，均处于耦合阶段。耦合协调度类型由良好耦合协调转换为优质耦合协调。2006—2017 年耦合协调度大体可分为 2 个阶段：(1) 2006—2009 年，处于良好耦合协调阶段。(2) 2010—2017 年，处于优质耦合协调阶段。2010—2011 年，耦合协调度快速增加，主要由于为应对国际金融危机，2008 年 11 月，国家发起了“四万亿计划”，要求在 2010 年前完成投资，而投资多流向基础设施建设领域，带来了碳排放与人口城镇化的快速增加，人口城镇化与碳排放耦合协调度增

加；2011—2017年，耦合协调度平稳增加。由于2011年碳排放强度目标正式纳入“十二五”规划目标，碳排放得到有效控制，人口城镇化的增长率下降，由快速增长转入平稳增长，因此，耦合协调度也呈平稳增长。

将江苏省各市人口城镇化与碳排放的耦合协调度数据与江苏省矢量地图数据链接，利用手动分类法，将其分为5类（图2）。由图2可知，2006年，宿迁和淮安处于勉强耦合协调阶段，连云港、盐城、扬州、泰州、镇江和常州处于初级耦合协调阶段，徐州和南通处于中级耦合协调阶段，南京和无锡处于良好耦合协调阶段，仅苏州处于优质耦合协调阶段。与2006年相比，2017年，淮安由勉强耦合协调阶段转换为初级耦合协调阶段，盐城、扬州、泰州、镇江和常州由初级耦合协调阶段转换为中级耦合协调阶段，南通由中级耦合协调阶段转换为良好耦合协调阶段，其他市所处的协调发展阶段不变。耦合协调类型以向高级别类型转换为主，占市总数的7/13，保持不变的占市总数的6/13。经以上分析可知，苏州、南通、无锡和南京的耦合协调度较高，可能由于苏州和南通受上海的辐射带动作用，经济发展水平较高，产业结构较为合理，城镇化水平相对较高，碳排放量相对较大。南京重工业比例相对较高，能源消耗较多，碳排放量相对较高，人口城镇化水平较高。无锡经济总量相对较大，第二产业比例较高，碳排放量相对较高，城镇化水平相对较高。宿迁一直处于勉强耦合协调阶段，可能由于经济基础较薄弱，区位条件较差，城镇化水平相对较低，经济发展对能源依赖度较高，导致耦合协调度较低。江苏省各市的耦合协调度类型变化不大，即便发生变化也只是在相邻类型间转换，表明江苏省各市的耦合协调度空间格局较为稳定。

## 2.2 耦合协调度趋势分析

为分析耦合协调度的空间差异情况，对江苏省各市的耦合协调度进行趋势分析（图3）。图3中黑色竖线的高度表示耦合协调度的大小，竖线与XY平面的交点为该市所处的位置，绿点在东西向和南北向上的投影，蓝点在东西向和南北向上拟合得到图中的曲线。由图3可知，2006年，在东西向上，略呈“U”型，且东部高于西部，中部最低，表明江苏省各市耦合协调度总体上东部大于西部，中部最低。在南北向上，呈“L”型，自北向南总体呈上升趋势，表明江苏省耦合协调度南部大于北部。2017年，在东西向上，“U”型趋势减弱，在南北向上，自北向南仍呈上升趋势，但南北差距缩小。与2006年相比，2017年在东西向上，江苏省各市中部的耦合协调度与东西部的差距明显减小。在南北向上，江苏省各市的耦合协调度南北差距减小。经以上分析可知，2006—2017年江苏省人口城镇化与碳排放的耦合协调度总体上呈东部>西部>中部、南部>北部的趋势。

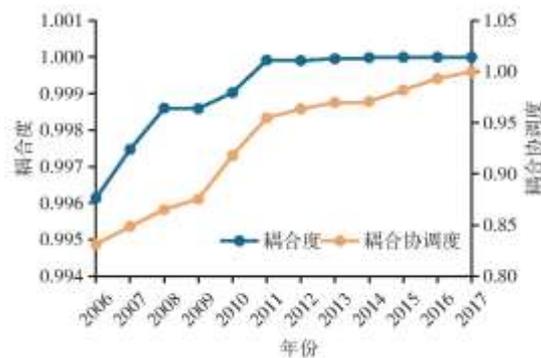


图1 2006—2017年江苏省人口城镇化与碳排放耦合度和耦合协调度

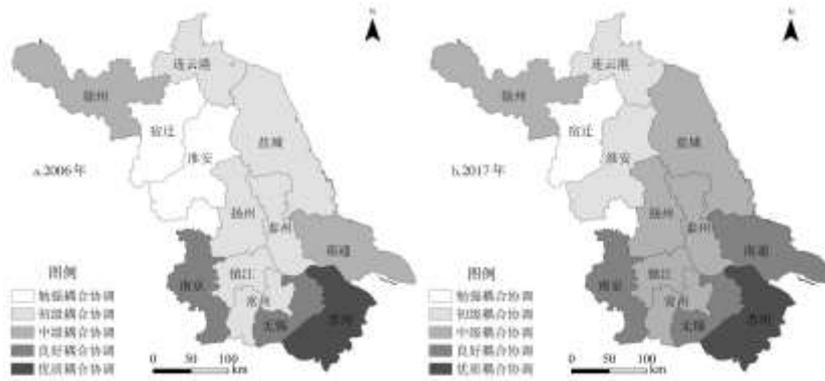


图2 2006—2017年江苏省人口城镇化与碳排放的耦合协调度空间分布

### 2.3 相对差异与绝对差异

由图4可知，以标准差测度的人口城镇化和碳排放耦合协调度的绝对差异总体上呈减小趋势，2008年标准差最大，为0.110，2015年最小，为0.085，下降了0.025；2007年变异系数最大，为0.154，2015年最小，为0.110，下降了0.044。标准差大致可分为3个阶段：2006—2008年，呈略微增加趋势，表明耦合协调度的绝对差异略微增加；2008—2015年，呈下降趋势，表明耦合协调度的绝对差异下降；2015—2017年呈波动变化趋势，表明耦合协调度的绝对差异呈波动变化。变异系数与标准差的变化趋势基本一致，表明相对差异与绝对差异基本保持一致。

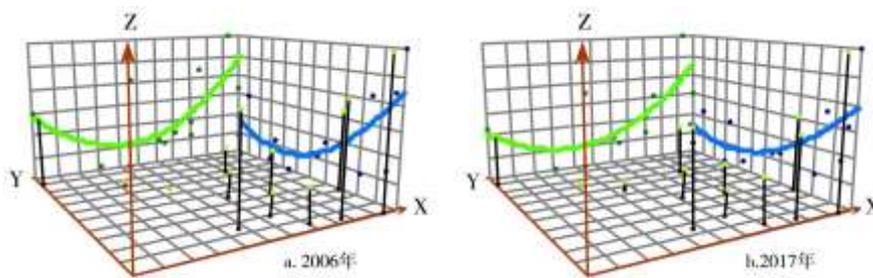


图3 2006—2017年江苏省人口城镇化与碳排放的耦合协调度趋势分析图

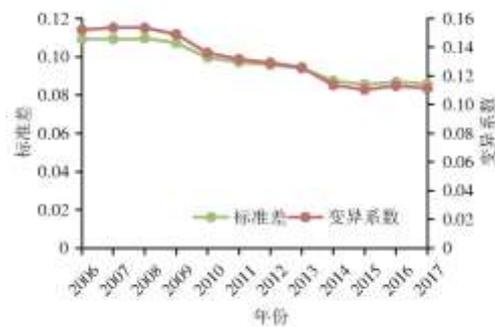


图4 2006—2017年江苏省人口城镇化与碳排放耦合度和耦合协调度差异变化

## 2.4 空间自相关性分析

2006—2017 年耦合协调度的 Moran' sI 值均为正, 且通过了 5%水平的显著性检验, 表明 2006—2017 年耦合协调度呈显著的的空间自相关性。Moran' sI 值呈波动变化趋势, 大致可分为 3 个阶段: 2006—2008 年, Moran' sI 值呈增大趋势, 表明耦合协调度的空间集聚性增强。2008—2015 年, Moran' sI 值呈减小趋势, 表明耦合协调度的空间集聚性减弱。2015—2017 年, Moran' sI 值呈缓慢增大趋势, 表明耦合协调度的空间集聚性缓慢增强。

为揭示江苏省各市人口城镇化与碳排放耦合协调度的空间关联类型, 测算江苏省各市耦合协调度的 Local Moran' sI<sub>i</sub>, 在 ArcGIS10.6 中进行可视化表达, 得到其空间关联类型图 (图 5)。

为分析 2006—2017 年 Local Moran' sI<sub>i</sub> 的时空演化特征, 采用时空跃迁分析法研究江苏省人口城镇化与碳排放耦合协调度的时空演化规律。不同类型间转换的概率相对较小, 其中, 由 HL 类型转换为 LL 类型的概率最大, 为 0.053, 表明江苏省人口城镇化与碳排放耦合协调度的区域空间结构较为稳定。本市发生跃迁的概率为 0.035, 相邻市发生跃迁的概率为 0.014, 本市与相邻市均发生跃迁的概率为 0, 本市与相邻市均未发生跃迁的概率为 0.951。由此可知, 2006—2017 年江苏省人口城镇化与碳排放耦合协调度空间稳定性较强, 各市自身的人口城镇化与碳排放情况决定了类型的改变。

## 2.5 动态演进特征

采用核密度估计分析 2006—2017 年江苏省人口城镇化和碳排放耦合协调度的动态演进特征, 选用 Epanechnikov 函数, 选取 2006 和 2017 年两个时间截面, 绘制核密度曲线 (图 6)。由图 6 可知, 耦合协调度的密度分布曲线明显向右移, 表明江苏省各市的耦合协调度呈增加趋势。从密度分布曲线的峰度可知, 2006 年曲线顶端相对扁平, 峰度较小, 2017 年曲线顶端相对尖峭, 峰度较大, 表明 2017 年耦合协调度的离群值比 2006 年多。从曲线形状可知, 江苏省的耦合协调度呈“单峰模式”, 2006 年耦合协调度集中在 0.65 左右, 主要分布在连云港、镇江、扬州、盐城和常州。2017 年耦合协调度集中在 0.75 左右, 主要分布在扬州、泰州、常州、盐城和徐州。

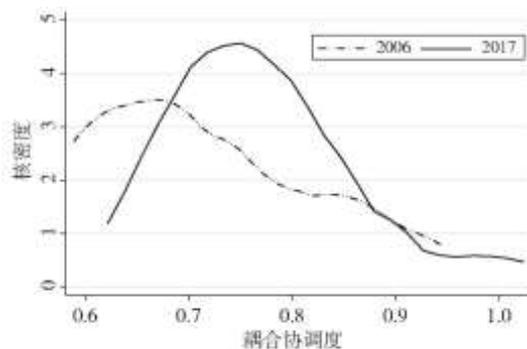


图 6 2006—2017 年江苏省人口城镇化与碳排放耦合协调度核密度估计

## 3 人口城镇化与碳排放耦合协调度的影响因素分析

### 3.1 变量选择

影响人口城镇化与碳排放耦合协调发展的因素有多种, 综合分析现有研究<sup>[18,26]</sup>, 以耦合协调度为因变量, 从人口总量、经济水平、技术水平和产业结构等方面选择自变量, 其中, 人口总量用年末总人口表示, 反映一个地区一定时间内人口总数; 经济

水平用人均 GDP (2006 年不变价) 表示, 衡量经济发展状况; 技术水平用碳排放强度表示, 衡量经济发展与碳排放之间的关系; 产业结构用第二产业比例表示, 反映第二产业在 GDP 中所占比例, 对各变量进行无量纲化处理。

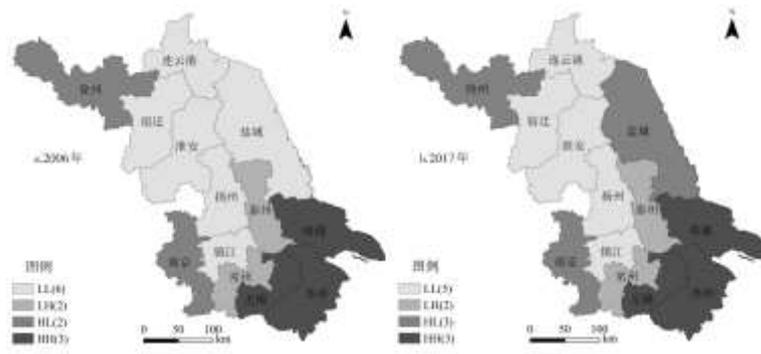


图 5 2006—2017 年江苏省人口城镇化与碳排放的耦合协调度空间关联类型图

### 3.2 模型选择

2006—2017 年耦合协调度的 Moran' sI 为 0.213,  $P < 0.01$ , 表明江苏省人口城镇化与碳排放耦合协调度存在显著的正的空间自相关性, 有必要构建空间计量经济学模型。耦合协调度处于 0~1 之间, 有必要选择面板 Tobit 模型。因此, 采用空间滞后面板 Tobit 模型研究人口城镇化与碳排放耦合协调度的影响因素。

利用最大似然估计法估计空间滞后面板 Tobit 模型。模型的  $R^2$  为 0.906, 调整  $R^2$  为 0.898, 表明耦合协调度能够被各自变量解释 89.8%, 模型整体拟合效果较好。空间自回归系数为 0.194, 且通过了 1% 水平的显著性检验, 表明江苏省各市间耦合协调度存在空间溢出效应, 即本市耦合协调度提高, 能够增加相邻市耦合协调度。因此, 可通过设置人口城镇化与碳排放耦合协调发展试点城市, 充分发挥其引领示范作用, 提高耦合协调度。

年末总人口与耦合协调度的弹性系数最大, 为 0.279, 且通过了 1% 水平的显著性检验, 表明年末总人口与耦合协调度呈显著正相关, 在其他条件保持不变的前提下, 年末总人口每增加 1%, 耦合协调度增加 0.279%, 调控人口总量是改变人口城镇化与碳排放耦合协调发展的重要途径。一般年末总人口较高时, 城镇化水平相对较高, 碳排放量较大, 因此, 随着年末总人口的增加, 耦合协调度增加。

人均 GDP 的弹性系数为 -0.076, 且通过了 5% 水平的显著性检验, 表明人均 GDP 与耦合协调度呈显著负相关, 在其他条件保持不变的前提下, 人均 GDP 每增加 1%, 耦合协调度降低 0.076%。经济发展水平较高时, 人们对环境的要求相对较高, 政府也有更多资金投入环境治理和低碳技术, 碳排放效率相对较高, 碳排放相对较低。经济发展水平较高市对农村人口的吸引力较高, 带动人口城镇化水平提高。因此, 随着人均 GDP 的提高, 耦合协调度下降。

碳排放强度的弹性系数为 -0.061, 且均通过了 5% 水平的显著性检验, 表明碳排放强度与耦合协调度呈显著负相关, 在其他条件保持不变的前提下, 碳排放强度每降低 1%, 耦合协调度升高 0.061%。碳排放强度表征技术水平, 碳排放强度越低, 技术水平越高。因此, 提高技术水平, 有助于增加耦合协调度。

第二产业比例与耦合协调度的弹性系数为 -0.058, 未通过 5% 水平的显著性检验, 表明第二产业比例与耦合协调度呈负相关但不显著, 在其他条件保持不变的前提下, 第二产业比例每降低 1%, 耦合协调度升高 0.058%。应优化产业结构, 降低第二产业比例, 促进人口城镇化与碳排放耦合协调发展。

## 4 结论与讨论

以江苏省 13 个地级市为研究对象,采用耦合协调度模型、探索性数据分析和 LISA 时空跃迁分析,探究了 2006—2017 年江苏省人口城镇化与碳排放耦合协调度时空格局,揭示了人口城镇化与碳排放的耦合机理,得出以下主要结论:

(1)2006—2017 年,江苏省人口城镇化与碳排放耦合协调度呈上升趋势,表明人口城镇化与碳排放相互作用程度不断增强,耦合协调度类型由良好耦合协调转化为优质耦合协调。江苏省人口城镇化与碳排放的耦合协调度空间差异明显,总体呈东部>西部>中部、南部>北部的空间格局。耦合协调度绝对差异呈减小趋势,相对差异与绝对差异变化趋势基本一致,空间集聚性呈波动变化趋势。2006—2017 年本市与相邻市均未发生跃迁的概率为 0.951,表明 2006—2017 年江苏省人口城镇化与碳排放耦合协调度空间稳定性较强,各市自身的人口城镇化与碳排放情况决定了类型的改变。

(2)江苏省人口城镇化与碳排放耦合协调度的主要因素有年末总人口、人均 GDP、碳排放强度和空间因素。其中,年末总人口与空间因素对耦合协调度具有显著的正向作用,且弹性系数最大,调控人口总量是改变耦合协调度的重要途径。人均 GDP 和碳排放强度对耦合协调度具有显著的负向作用。第二产业比例对耦合协调度具有负向作用,但不明显。

基于以上结论,提出以下政策建议:(1)耦合协调度空间差异明显且空间格局相对稳定。应根据各市发展实际,制定适宜的措施。宿迁、连云港和淮安地处苏北地区,城镇化水平相对较低,经济发展和城镇化对能源依赖程度较高,缺乏资金、技术和人才支持,导致人口城镇化与碳排放的耦合协调度相对较低,这些地区应调整经济发展方式,优化产业结构,降低对能源的依赖,积极引入资金、技术和人才,发展绿色经济和低碳经济。盐城、扬州、泰州、镇江和常州处于中级耦合协调阶段,城镇化水平在江苏省处于中等或中等偏上水平,经济结构已开始转型,可借助其与良好耦合协调或优质耦合协调市位置相近优势,主动引入先进低碳技术,借助它们的资金、技术和人才优势,优化产业结构,突破经济发展瓶颈。南京、南通、无锡和苏州处于良好耦合协调阶段或优质耦合协调阶段,经济较为发达,城镇化水平较高,应不断提高城镇化质量,主动向耦合协调度相对较低市提供资金、技术和人才支持,充分发挥其引领示范作用。(2)耦合协调度存在显著的空间溢出效应。各地政府制定政策时,应考虑相邻市,加强区域间合作交流,实现优势互补。同时,可通过设置人口城镇化与碳排放耦合协调发展试点城市,引领其他城市的发展,也可为其他城市提供经验借鉴。(3)调控人口总量是改变耦合协调度的重要途径,应顺应人口发展规律,充分发挥市场在人口配置中的作用,制定具有前瞻性和科学性的人口规划,优化人口结构,提高人口素质和管理水平,缩小区域差异,加快区域均衡战略的实施。同时,还应优化产业结构,降低第二产业比例,提高低碳技术,发展绿色经济和低碳经济。

### 参考文献:

[1]Ouyang X,Lin B. Carbon dioxide(CO<sub>2</sub>)emissions during urbanization:A comparative study between China and Japan[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 143:356-368.

[2]方创琳,崔学刚,梁龙武.城镇化与生态环境耦合圈理论及耦合器调控[J].地理学报,2019,74(12):2529-2546.

[3]方创琳,周成虎,顾朝林,等.特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J].地理学报,2016,71(4):531-550.

[4]Sathaye J,Meyers S. Energy use in cities of the developing countries[J]. Annual Review of Energy, 1985, 10(1): 109-133.

[5]Jones D W. Urbanization and energy use in economic development[J]. The Energy Journal, 1989, 10(4):29-44.

- 
- [6]Parikh J, Shukla V. Urbanization, energy use and greenhouse effects in economic development: results from a cross-national study of developing countries[J]. *Global Environmental Change*, 1995, 5(2):87-103.
- [7]York R. Demographic trends and energy consumption in European Union Nations, 1960-2025[J]. *Social Science Research*, 2007, 36(3):855-872.
- [8]林伯强, 刘希颖. 中国城市化阶段的碳排放: 影响因素和减排策略[J]. *经济研究*, 2010, 48(8):66-78.
- [9]周葵, 戴小文. 中国城市化进程与碳排放量关系的实证研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(4):41-48.
- [10]Sadorsky P. Do urbanization and industrialization affect energy intensity in developing countries?[J]. *Energy Economics*, 2013, 37:52-59.
- [11]王竹, 项越, 吴盈颖. 共识、困境与策略——长三角地区低碳乡村营建探索[J]. *新建筑*, 2016(4):33-39.
- [12]郭郡郡, 刘成玉, 刘玉萍. 城镇化、大城市化与碳排放——基于跨国数据的实证研究[J]. *城市问题*, 2013(2):2-10.
- [13]Dong X, Yuan G. China's Greenhouse Gas emissions' dynamic effects in the process of its urbanization: A perspective from shocks decomposition under long-term constraints[J]. *Energy Procedia*, 2011(5):1660-1665.
- [14]Zhu H, You W, Zeng Z. Urbanization and CO<sub>2</sub> emissions: A semi-parametric panel data analysis[J]. *Economics Letters*, 2012, 117(3):848-850.
- [15]Wang Y, Zhang X, Kubota J, et al. A semi-parametric panel data analysis on the urbanization-carbon emissions nexus for OECD countries[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 48:704-709.
- [16]Xu B, Lin B. How industrialization and urbanization process impacts on CO<sub>2</sub> emissions in China: evidence from nonparametric additive regression models[J]. *Energy Economics*, 2015, 48:188-202.
- [17]姬世东, 吴昊, 王铮. 贸易开放、城市化发展和二氧化碳排放——基于中国城市面板数据的边限协整检验分析[J]. *经济问题*, 2013(12):31-35.
- [18]李建豹, 黄贤金, 孙树臣, 等. 长三角地区城市土地与能源消费 CO<sub>2</sub> 排放的时空耦合分析[J]. *地理研究*, 2019, 38(9):2188-2201.
- [19]Li X, Li D, Xu H, et al. Intercalibration between DMSP/OLS and VIIRS night-time light images to evaluate city light dynamics of Syria's major human settlement during Syrian Civil War[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2017, 38(21):5934-5951.
- [20]李琼, 赵阳, 李松林, 等. 中国社会保障与经济发展耦合的时空特征及驱动力分析[J]. *地理研究*, 2020, 39(6):1401-1417.
- [21]Li Y, Li Y, Zhou Y, et al. Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment[J]. *Journal of Environmental Management*, 2012, 98:127-133.

- 
- [22]谢炳庚, 陈永林, 李晓青. 耦合协调模型在“美丽中国”建设评价中的运用[J]. 经济地理, 2016, 36(7):38-44.
- [23]李雪铭, 郭玉洁, 田深圳, 等. 辽宁省城市人居环境系统耦合协调度时空格局演变及驱动力研究[J]. 地理科学, 2019, 39(8):1208-1218.
- [24]张鹏岩, 杨丹, 李二玲, 等. 人口城镇化与土地城镇化的耦合协调关系——以中原经济区为例[J]. 经济地理, 2017, 37(8):145-154.
- [25]李建豹, 张志强, 曲建升, 等. 中国省域CO<sub>2</sub>排放时空格局分析[J]. 经济地理, 2014, 34(9):158-165.
- [26]周艳, 黄贤金, 徐国良, 等. 长三角城市土地扩张与人口增长耦合态势及其驱动机制[J]. 地理研究, 2016, 35(2):313-324.