

中国三大城市群经济与环境协调度时空特征及影响因素

张国俊¹, 王珏晗², 吴坤津³, 许志桦⁴

(1. 广东财经大学公共管理学院, 广州 510320; 2. 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275;
3. 广东财经大学工商管理学院, 广州 510320; 4. 香港浸会大学当代中国研究所, 香港)

摘要: 采用熵值法、泰尔指数、空间自相关、马尔科夫链等方法, 分析2006—2016年中国京津冀、长江三角洲、珠江三角洲三大城市群经济与环境协调度的时空格局特征, 并运用Tobit模型探讨其影响因素。结果表明: ①研究期内三大城市群经济与环境协调度持续增长, 珠三角协调度最高, 长三角协调度增速最快; ②三大城市群内部城市之间的差异波动减小, 珠三角城市群的减小幅度最小; ③三大城市群经济与环境协调等级演化具有一定的路径依赖, 但随时间推移有向高一状态转移趋势; ④行政级别较高的城市及部分沿海沿江发达城市的经济与环境协调度持续处于较高水平; ⑤三大城市群经济与环境协调度空间特征由分散走向集聚; ⑥经济发达的城市经济与环境趋向于“同步发展”; ⑦能源消耗水平、科学技术水平、固定资产投资强度、外资依存度和所有制结构对三大城市群的经济与环境协调度具有影响, 但各因素影响的显著程度有差异。

关键词: 经济发展; 环境质量; 协调度; 时空格局; 影响因素; 三大城市群

DOI: 10.11821/dljy020181241

1 引言

伴随工业革命的推进, 全球经济一路高歌猛进的背后却饱受环境恶化的困扰。经济增长与生态环境如何协调发展已成为世界各国共同关注的重大问题。中国经历了改革开放40年的经济增长奇迹跃为全球第二大经济体。然而, 经济发展的负外部性日益凸显, 受资源环境约束, 十九大将“美丽中国”建设提上议程, “新常态”下的中国经济面临向高质量发展转型, 未来中国经济在增长的同时将更加关注与环境改善、社会进步统一协调发展。

学术界长期以来关注经济发展与环境保护之间的关系。20世纪90年代, Grossman和Krueger通过三种空气污染物与地区人均收入水平的分析, 实证研究了环境质量与经济发展之间的关系, 指出经济增长与污染排放呈“倒U型”曲线关系^[1,2]。Panayotou将环境污染与经济发展之间的这种关系曲线称为环境库兹涅茨曲线 (environmental Kuznets curve, EKC)^[3], EKC成为探讨经济与环境关系的经典理论。随后许多研究对EKC进行验证, 得出经济与环境之间的关系除“倒U型”外, 还呈现“U型”^[4]、“N型”^[5]、“倒N型”^[6]

收稿日期: 2018-11-17; 修订日期: 2018-12-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41601161, 41671169); 广东省自然科学基金项目 (2017A030313224)

作者简介: 张国俊 (1977-), 女, 湖北公安人, 博士, 副教授, 研究方向为区域发展与城乡规划。

E-mail: guojunz@gdufe.edu.cn

通讯作者: 许志桦 (1975-), 女, 湖北荆州人, 博士, 副研究员, 研究方向为城市与区域发展、产业集聚等。

E-mail: xzhual00@hkbu.edu.hk

等多种关系。其中,对经济与环境的协调关系研究成果丰富,总体而言,主要表现在以下两个方面:一是以“产业生态化”“绿色经济效率”等概念为基础,研究经济与环境相结合的整体系统发展水平。如从“投入-产出”视角测度绿色经济效率^[7]、建立综合指标体系对产业生态化水平进行测度并总结两者协调类型及发展模式^[8]。二是将经济、环境视为两个系统,研究两者之间的关系。如利用系统动力学模型揭示城市经济和环境子系统的非结构特征和动态特征^[9],利用耦合度分析中国经济与环境耦合度格局并从工业结构视角加以解析^[10],利用协调度探究省域经济发展与环境保护的发展水平差异^[11]。也有研究涉及对未来经济和环境系统状态的预测,如运用GM(1,1)灰色模型^[12]、ARMA模型^[13]对经济与环境系统协调发展状态进行评价与预测。就经济与环境协调关系的影响因素,已有文献表明城市空间和产业发展策略、经济外向性、技术创新、环境监管等因素对经济与环境协调发展产生影响^[8,14-18]。基于地理学研究视角,目前相关研究的尺度主要集中在全国^[10]、经济带^[19-21]、地区^[22]、省域^[23-25]、单个城市^[26]等,而对城市群之间经济与环境协调度的测度与比较的研究相对较少^[27,28]。城市群是多个城市相互之间吸引集聚形成的一个相对完整的城市“集合体”^[29],作为区域空间形态的最高组织形式,城市群已成为未来中国经济的核心增长极^[30]。其中,京津冀、长三角、珠三角三大城市群以占全国GDP比重超40%的总量一直引领中国经济发展。三大城市群在产业分工、环境治理等方面具有单一城市无法比拟的优势,然而其经济增长与环境保护之间的平衡问题也较单一城市更为复杂多样。三大城市群的产业发展、自然环境各具特色,三大城市群之间经济与环境问题也存在差异。鉴于此,本文分别构建经济发展和环境质量指标体系,测度2006—2016年京津冀、长三角和珠三角三大城市群的经济与环境协调度,对协调度的时空特征进行动态对比剖析,并对协调度的影响因素进行阐释,以期将三大城市群的经济与环境协调度特征与城市群各自的经济社会特征关联,试图总结其共性与个性,以丰富城市群经济与环境协调发展的相关研究,为中国城市群高质量建设提供参考。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

本文城市群的范围以国务院批复的规划范围为主,行政区划以2016年为准。研究区域为京津冀(13市)、长三角(26市)、珠三角(9市),共48个城市。

三大城市群的发展水平在全国城市群中居最高等级^[30]。从经济总量绝对数看,2016年,长三角GDP以148 656.1亿元位居第一;从相对值看,珠三角的人均GDP和地均GDP分别以11.31万元、1.23亿元/km²位居榜首(表1)。从产业结构看,三大城市群均以第三产业为主。其中,京津冀第三产业占比最高,达65.21%,工业主导产业为电子信息、汽车、金属冶炼和化学化工等^[31];长三角和珠三角第三产业占比分别为53.30%和56.07%,长三角的工业主导产业为装备制造、钢铁制造、石油化工、汽车、纺织服装

表1 2016年三大城市群经济水平与工业主导产业表

Tab. 1 The economic level and the dominant industries of the three major urban agglomerations in 2016

城市群	人均GDP(万元)	地均GDP(亿元/km ²)	工业主导产业
京津冀	5.072	0.263	电子信息、汽车、金属冶炼、化学化工
长三角	9.798	0.701	装备制造、钢铁制造、石油化工、汽车、纺织服装
珠三角	11.310	1.233	通信电子设备制造、汽车、家用电器、纺织家具

等^①；珠三角的工业主导产业为通信电子设备制造、汽车、家用电器、纺织家居等^②。

2.2 指标体系与数据来源

基于已有研究和数据可得性，从经济发展和环境质量两个方面构建三大城市群经济与环境协调度的评价指标体系（表2）。参考已有文献^[24]，从经济发展水平、产业结构、发展活力三方面构建指标体系衡量经济发展水平。其中，人均GDP反映地区经济发展水平，从业人员人均GDP反映全员劳动生产率；第三产业产值比重反映产业高级化程度，产业结构偏离度^[32]衡量三次产业的劳动力效率；GDP增长率反映经济增长速度，人均客运量和人均货运量反映经济要素流通速度，人均社会消费品零售额反映贸易活力。“压力-状态-响应”模型（PSR）是环境质量评价常用的一种评价模型^[33]。参照该模型，本文采用单位GDP工业废水排放量、单位GDP工业二氧化硫排放量和单位GDP工业烟（粉）尘排放量三个指标表征环境压力，即人类的经济活动对环境造成的扰动；从人均绿地面积和建成区绿化覆盖率两个指标反映环境状态；以工业固体废物综合利用率、城市污水处理率和生活垃圾无害化处理率反映环境响应，即减轻、阻止、恢复人类活动对环境的负面影响的行动措施强度。

以2006—2016年作为研究期，数据主要来源于2007—2017年《中国城市统计年鉴》^[34]和各省统计年鉴。受数据可获性限制，部分缺失指标用插值法替代，对于不能直接获取的指标数据，通过对相关原始数据的换算求得。

2.3 研究方法

2.3.1 熵值法

熵值法通过信息熵度量系统状态的无序程度，判断指标变化的相对幅度。熵值法是一种客观赋权法，较好地克服指标赋权的主观性，权重具有更高的可信度。具体步骤如下^[35]：

（1）原始数据标准化：由于指标的量纲和正负取向不同，本文采用极差法对原始数据进行标准化，方法如下：

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (1)$$

$$y_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (2)$$

① 根据《长江三角洲城市群发展规划（2015—2030年）》。

② 根据《珠江三角洲产业布局一体化规划（2009—2020年）》。

表2 经济发展与环境质量指标体系

Tab. 2 The evaluation indicators system of economic development and environmental quality

系统层	准则层	指标层
经济发展	发展水平	人均GDP
		从业人员人均GDP
	产业结构	第三产业产值比重
		产业结构偏离度
	发展活力	GDP增长率
		人均客运量
环境质量	环境压力	人均货运量
		人均社会消费品零售额
		单位GDP工业废水排放量
	环境状态	单位GDP工业二氧化硫排放量
		单位GDP工业烟（粉）尘排放量
		人均绿地面积
	环境响应	建成区绿化覆盖率
		工业固体废物综合利用率
		城市污水处理率
		生活垃圾无害化处理率

式中: y_{ij} 为标准化数据矩阵; x_{ij} 为原始数据矩阵; $\max(x_{ij})$ 和 $\min(x_{ij})$ 分别表示第 j 项指标的最大值和最小值。当指标值越大水平越高时, 采用公式 (1); 当指标值越大水平越低时, 采用公式 (2)。

(2) 指标熵值计算:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (3)$$

式中: e_j 表示指标熵值, $0 \leq e_j \leq 1$; $k=1/\ln m$, 其中 m 为评价对象数量; $p_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij}$ 。

(3) 指标权重确定:

$$w_{ij} = (1 - e_{ij}) / \sum_{i=1}^n (1 - e_{ij}) \quad (4)$$

式中: w_{ij} 表示指标权重; e_{ij} 表示指标熵值; n 表示指标个数。

(4) 得分计算:

指标层得分计算:

$$Y_i = \sum w_{ij} \times y_{ij} \quad (5)$$

式中: Y_i 为指标层得分; w_{ij} 为指标权重。

准则层得分计算:

$$X_i = \sum W_i \times Y_i \quad (6)$$

式中: X_i 为准则层得分; W_i 为指标权重。

系统层得分计算:

$$S_i = \sum Q_i \times X_i \quad (7)$$

式中: S_i 为系统层得分; Q_i 为指标权重。

2.3.2 耦合协调度模型 借鉴物理学中的容量耦合系数模型, 构建中国三大城市群经济与环境耦合度模型^[36]为:

$$C_n = \{(U_1 U_2 \cdots U_n) / \prod (U_i + U_j)\}^{1/n} \quad (8)$$

式中: C 为耦合度, 取值范围为 $[0, 1]$, 数值越大表示耦合度越高; U_i 为各系统的评价指数, 本文 U_i 指 U_1 和 U_2 , 分别代表经济发展和环境质量; $n=2$ 。根据式 (8) 推出经济发展与环境质量的耦合度模型为:

$$C = \{(U_1 U_2) / [(U_1 + U_2)(U_1 + U_2)]\}^{1/2} \quad (9)$$

耦合度模型无法判断两系统的绝对水平高低, 为了将两系统的绝对水平纳入研究, 本文着重运用建立在耦合度模型基础上的协调度模型^[37], 表达式如下:

$$D = (C \times T)^{1/2}, \text{ 其中, } T = (\alpha U_1 + \beta U_2) \quad (10)$$

式中: D 为协调度, 取值范围为 $[0, 1]$, 数值越大表示协调度越高; T 为经济发展与环境质量的综合协调指数, 反映两者的整体水平对协调度的效应。借鉴已有研究^[38], 将 α 、 β 分别取 0.5, 将协调度分为 10 个等级 (表 3)。

2.3.3 泰尔指数 泰尔指数 (Theil index) 是利用信息论中的熵概念度量总体差异程度的方法, 不仅可以衡量差异的绝对水平, 还可以分别衡量组内差距与组间差距对总差距的贡献^[39]。引入泰尔指数测度中国三大城市群经济与环境协调度的不均衡程度, 公式如下^[40]:

$$T = T_b + T_w \quad (11)$$

表3 耦合协调度等级划分标准

Tab. 3 Criteria for evaluating coupling coordination degree

序号	协调度	协调等级	序号	协调度	协调等级
1	0.00~0.09	极度失调	6	0.50~0.59	勉强协调
2	0.10~0.19	严重失调	7	0.60~0.69	初级协调
3	0.20~0.29	中度失调	8	0.70~0.79	中级协调
4	0.30~0.39	轻度失调	9	0.80~0.89	良好协调
5	0.40~0.49	濒临失调	10	0.90~1.00	优质协调

$$T_b = \sum_{k=1}^K y_k \log \frac{y_k}{n_k/n} \quad (12)$$

$$T_w = \sum_{k=1}^K y_k \left(\sum_{i \in g_k} \frac{y_i}{y_k} \log \frac{y_i/y_k}{1/n_k} \right) \quad (13)$$

式中: T_b 与 T_w 分别为组间差距和组内差距; n 个城市的经济和环境协调度被分为 K 个群组, 每组分别为 $g_k (k=1, 2, \dots, K)$, 第 k 组 g_k 中的城市数目为 n_k ; y_i 与 y_k 分别表示城市 i 的协调度与组 k 的协调度。

2.3.4 马尔科夫链 (Markov chain) 马尔科夫链通常描述研究单元等级结构转变过程。将城市经济与环境协调度分为 k 个等级, 计算相应等级的概率分布及年际变化, 反映演化过程。将各城市的初始状态记为 E_i , 转变为状态 E_j 的概率为 P_{ij} , 公式如下^[41]:

$$P_{ij}(E_i \rightarrow E_j) = \frac{n_{ij}}{n_i} \quad (14)$$

式中: n_{ij} 表示由 E_i 转变为 E_j 时 i 等级转移到 j 等级的城市数量之和; n_i 表示 E_i 处于 i 等级的城市数量, 得到马尔科夫转移概率矩阵 P_{ij} 。如某城市经济与环境协调度在初始状态为 i 等级, 经时间 t 等级不变, 为平稳状态; 若等级提高, 为向上转移; 反之为向下转移。

2.3.5 空间自相关 空间自相关是分析空间异质性和关联性的常用方法, 一般通过全局空间自相关和局部空间自相关测度要素的空间关联程度。全局空间自相关采用 Global Moran' I 测度, 体现要素在研究范围内的空间关联情况; 局部空间自相关用 Local Moran' I 测度, 反映区域单元与邻近单元的要素关联情况, 公式分别如下^[42,43]:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (15)$$

式中: I 为 Global Moran' I 值; n 为研究城市个数; x_i 和 x_j 为城市 i 和城市 j 的协调度; \bar{x} 为 x_i 的平均值; w_{ij} 为空间权重矩阵; $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ 。 I 的取值范围为 $[-1, 1]$, 其值大于 0 表示空间正相关, 要素聚合分布; 其值小于 0 表示空间负相关, 要素呈离散分布; 其值等于 0 表示要素随机分布。

$$I_i = \sum w'_{ij} Z_i Z_j \quad (16)$$

式中: I_i 为各城市的 Local Moran' I 值; Z_i 和 Z_j 分别为城市 i 和城市 j 的协调度标准化值; w'_{ij} 为空间权重矩阵 w_{ij} 的行标准化。

3 三大城市群经济与环境协调度时空特征

3.1 时序演进上,三大城市群经济与环境协调度总体呈现持续上升态势,珠三角协调度最高,长三角协调度增速最快

基于熵值法和耦合协调模型测度2006—2016年中国三大城市群经济与环境协调度。结果表明,2006—2016年每个城市群的经济与环境协调度都持续平稳上升(图1)。京津冀和长三角均于2008年从濒临失调等级进入勉强协调等级,珠三角在整个研究期内都处于勉强协调等级,且协调度始终高于另两个城市群。从经济与环境协调度的增长速度看,长三角年均增长率为1.95%,高于京津冀(1.72%)和珠三角(1.66%)的增长速度。

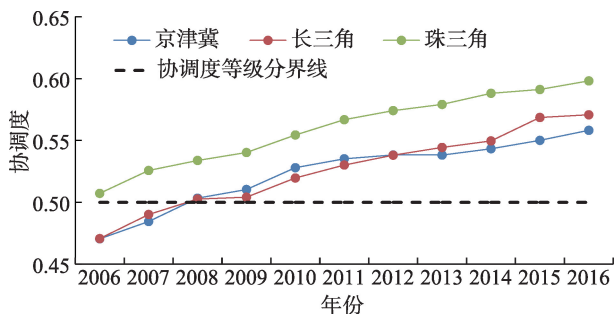


图1 2006—2016年各城市群经济与环境协调度发展趋势
Fig. 1 The change trend of the coordination between economic and environmental development in each major urban agglomeration from 2006 to 2016

从经济、环境两个系统的发展水平演变看,三大城市群的经济和环境发展水平波动上升(图2),珠三角的经济和环境质量得分均高于其他两个城市群。在增速方面,经济发展增速快于环境质量增速。其中,长三角的经济发展增速最快,2016年比2006年增长了85.37%;京津冀的环境质量增速最快,2016年比2006年增长了25.25%。

3.2 均衡程度上,三大城市群内部城市之间的差异波动减小,珠三角减小幅度最小

从泰尔指数及其分解的结果看(表4),三大城市群泰尔指数均波动减小,即各城市群内部城市之间的差异趋于缩小。相对而言,珠三角泰尔指数波动较大,减小幅度最小。

2006—2016年三大城市群之间的差异贡献率持续处于1%~4%,各城市群内部差异贡献率高达96%以上,说明各城市群内部差异远大于城市群之间差异。2006年各城市群内

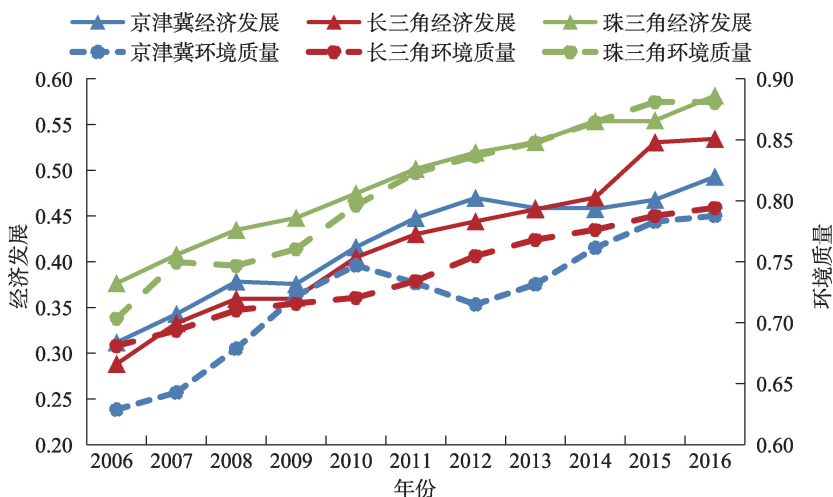


图2 2006—2016年三大城市群经济与环境发展水平变化

Fig. 2 Evolution of development level of the economic system and the environmental system in the three major urban agglomerations from 2006 to 2016

表4 2006—2016年三大城市群经济与环境协调度泰尔指数及其分解

Tab. 4 Theil index of the degree of coordination between economic and environmental development and its decomposition results in the three major urban agglomerations during 2006-2016

年份	组别						组间	
	京津冀		长三角		珠三角			
	泰尔指数	贡献率 (%)	泰尔指数	贡献率 (%)	泰尔指数	贡献率 (%)	泰尔指数	贡献率 (%)
2006	0.0076	31.78	0.0082	34.26	0.0074	30.99	0.0002	2.97
2007	0.0060	30.14	0.0072	36.56	0.0058	29.53	0.0003	3.63
2008	0.0049	26.87	0.0062	34.23	0.0069	37.75	0.0001	1.16
2009	0.0043	27.23	0.0045	28.05	0.0068	43.11	0.0001	1.62
2010	0.0038	27.40	0.0050	35.93	0.0048	34.34	0.0001	2.33
2011	0.0038	27.50	0.0044	32.34	0.0051	37.48	0.0001	2.67
2012	0.0039	29.67	0.0039	29.75	0.0050	38.44	0.0001	2.14
2013	0.0036	27.05	0.0033	24.52	0.0064	47.19	0.0001	1.24
2014	0.0039	29.65	0.0032	24.28	0.0058	43.57	0.0001	2.51
2015	0.0037	29.10	0.0035	27.15	0.0052	40.99	0.0001	2.76
2016	0.0037	29.70	0.0033	27.11	0.0050	40.33	0.0001	2.86

部差异对总差异的贡献率相似。随后京津冀和长三角内部差异对总差异的贡献率波动下降；珠三角内部差异对总差异的贡献率波动上升，2016年占三大城市群总差异的40%。

3.3 等级演变上,三大城市群经济与环境协调等级具有一定的路径依赖

利用马尔科夫链转移概率矩阵反映三大城市群经济与环境协调度在不同等级间的变化情况(表5)。转移概率矩阵对角线的数值表示协调度等级不变的概率,对角线上方的数值表示协调度等级上升的概率,对角线下方的数值表示协调度等级下降的概率。

整体上,对角线上的数值普遍高于非对角线上的数值,表明协调等级水平维持原样的概率较大,具有一定的路径依赖。对角线上的协调等级从低到高,等级保持不变的概率逐渐上升,说明处于越高等级,等级转变的难度越大。协调等级不变和上升的概率都

表5 2006—2016年三大城市群各城市经济与环境协调度的马尔科夫状态转移概率矩阵

Tab. 5 Markov matrix of transition probability for coordination between economic and environmental development from 2006 to 2016

城市群	等级	城市个数	轻度失调	濒临失调	勉强协调	初级协调
京津冀	轻度失调	4	0.250	0.750	0.000	0.000
	濒临失调	58	0.000	0.845	0.155	0.000
	勉强协调	64	0.000	0.047	0.922	0.031
	初级协调	4	0.000	0.000	0.000	1.000
长三角	轻度失调	13	0.615	0.385	0.000	0.000
	濒临失调	94	0.011	0.787	0.202	0.000
	勉强协调	151	0.000	0.026	0.940	0.033
	初级协调	2	0.000	0.000	0.000	1.000
珠三角	轻度失调	2	0.000	1.000	0.000	0.000
	濒临失调	26	0.038	0.769	0.192	0.000
	勉强协调	48	0.000	0.021	0.917	0.063
	初级协调	14	0.000	0.000	0.000	1.000

远高于等级下降的概率,说明各城市经济与环境协调度很少出现下降情况。此外,协调等级若发生转变,都发生在相邻等级之间,几乎不存在协调等级跳跃式发展。

3.4 空间差异上,行政级别较高的城市及部分沿海沿江发达城市的经济与环境协调度较高

根据2006—2016年经济与环境协调度计算结果,按照其对应的协调等级进行空间可视化,以反映中国三大城市群的经济与环境协调度的空间差异特征(图3)。京津冀城市群中,2016年首都北京和沿渤海湾的唐山达到初级协调等级,这两个城市的协调度等级持续处于京津冀城市群的最高值;2006—2011年处于勉强协调等级的城市增长较快,5年间增加5个城市,基本在城市群中部形成连片发展的态势,而2011—2016年只有北京周围的张家口和廊坊这2个城市从濒临失调等级发展为勉强协调等级;随着各城市协调

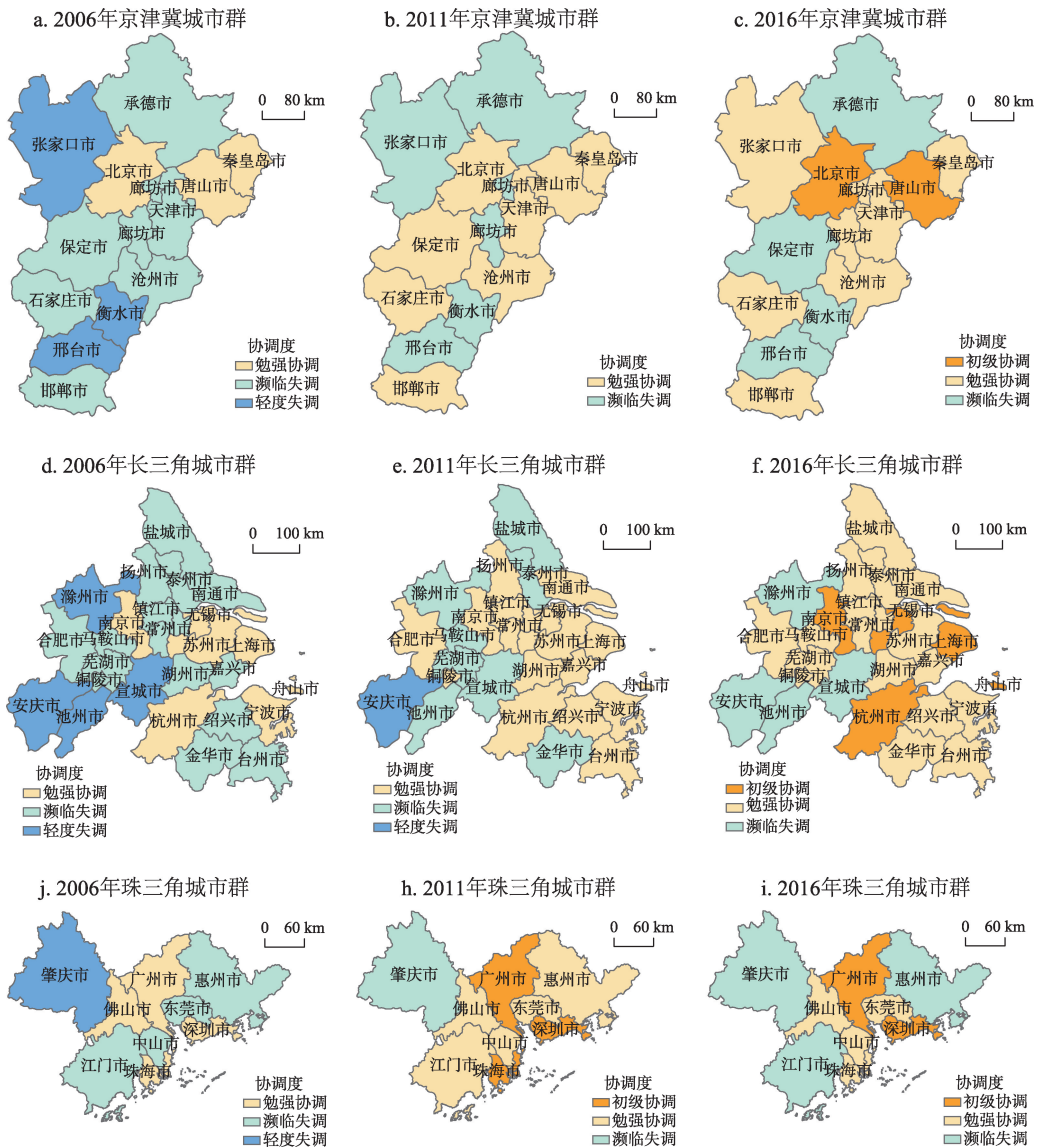


图3 2006年、2011年和2016年各城市群经济与环境协调度空间分布

Fig. 3 The spatial distribution of coordination between economic and environmental development of the three major urban agglomerations in 2006, 2011 and 2016

水平提升,处于濒临失调等级的城市逐渐减少;2006年张家口以及南部的衡水、邢台处于轻度失调等级,2011年以后轻度失调等级消失。长三角城市群中,2016年直辖市上海、省会城市南京和杭州以及沿长江的无锡达到初级协调水平;2006年仅有7个城市位于勉强协调水平,除直辖市和省会城市以外还有沿海的宁波和舟山、沿长江的苏州和无锡,2011年处于勉强协调等级的城市在长三角城市群东部沿海及中部沿长江成片分布,2016年勉强协调等级城市延伸至安徽省会合肥及其周边城市;濒临失调等级范围逐步缩小;轻度失调等级2006年存在于长三角城市群西部——安徽省的安庆、池州、宣城、滁州,2011年仅有安庆处于轻度失调等级,至2016年所有城市都越过轻度失调等级。珠三角城市群中,其省会城市广州和经济特区深圳在2011年已处于初级协调等级,至2016年,共有广州、深圳和同为经济特区的珠海达到初级协调等级;勉强协调等级范围逐步扩展,至2016年仅有北部肇庆没有达到勉强协调等级;相应地,濒临失调和轻度失调等级的范围缩小,2006年仅肇庆处于轻度失调等级,此后没有城市处于轻度失调等级。

总体上,三大城市群经济与环境协调度呈现以高值为中心连片发展的特点,具有明显空间差异性。经济与环境协调度高值位于直辖市、省会城市、经济特区等行政级别较高的城市以及部分沿海沿江发达城市。行政级别较高的城市通常也是经济要素集聚中心,同时也具备相对强大的行政能力加强环境保护力度,经济与环境协调度较高;沿海沿江发达城市优良的交通区位条件有利于经济发展,一般而言生态环境基础较好,经济与环境协调度也较高。

3.5 空间关联上,三大城市群经济与环境协调度空间特征由分散走向集聚

三大城市群各城市的经济与环境协调度差异不断缩小仅反映了其空间异质性,不能反映空间相互作用特征。因此,本文通过全局Moran's I 指数和局部空间自相关揭示三大城市群经济与环境协调度的空间关联特征。

2006—2016年全球Moran's I 指数都大于0,但2006—2014年全球Moran's I 指数不能通过显著性检验,表明2006—2014年三大城市群协调度总体呈现分散分布。2015—2016年全球Moran's I 指数均通过5%显著性水平检验,且从2015年0.1517上升至2016年的0.1539,总体具有显著的空间关联特征且集聚性增强。

由局部空间自相关识别中国三大城市群经济与环境协调度的空间关联类型(图4)。2016年京津冀协调度高值地区对周边地区的辐射带动作用较弱,呈现高值和低值地区相邻分布的格局。北京北部的承德为低高集聚类型,而河北省省会石家庄为高低集聚类型。2016年长三角协调度空间格局趋向均衡,但西部边缘地区持续处于低值。随着长三角城市群总体内部差异减小,空间关联类型中仅有低低集聚类型存在,位于城市群西部边缘的安庆和池州。2016年珠三角内部城市之间的协调度差异仍然较大,北部地区协调度较低。深圳属于高高集聚类型,肇庆为低高集聚类型。

3.6 发展类型上,经济发达的城市趋向于经济与环境协调度“同步发展”

将研究期内各城市经济发展和环境质量得分的位序进行比较,对各城市发展类型进行划分。若经济发展位序比环境质量靠前2位以上,视为“经济先行”;若环境质量位序比经济发展靠前2位以上,视为“环境先行”;若经济发展与环境质量位序的差距小于等于2,视为“同步发展”。

2006年三大城市群共有11个城市发展类型为“同步发展”,20个城市为“经济先行”,17个城市“环境先行”(图5)。京津冀除北京为“同步发展”外,其他城市都为“经济先行”。长三角城市群9个城市为“同步发展”,基本连片分布于长三角中南部,包括上海、杭州等经济发达的城市;4个城市为“经济先行”,分布于浙江沿海地区;13个

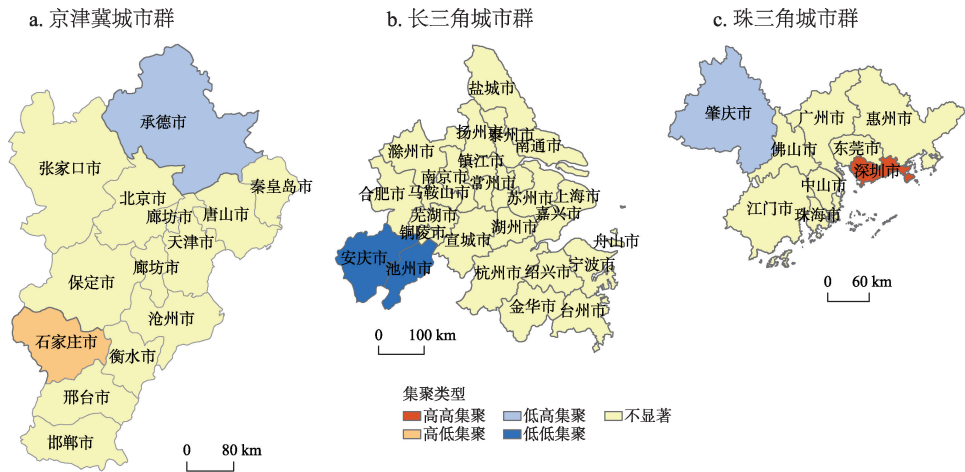


图4 2016年三大城市群经济与环境协调度LISA图

Fig. 4 LISA of coordination between economic and environmental development of the three major urban agglomerations in 2016

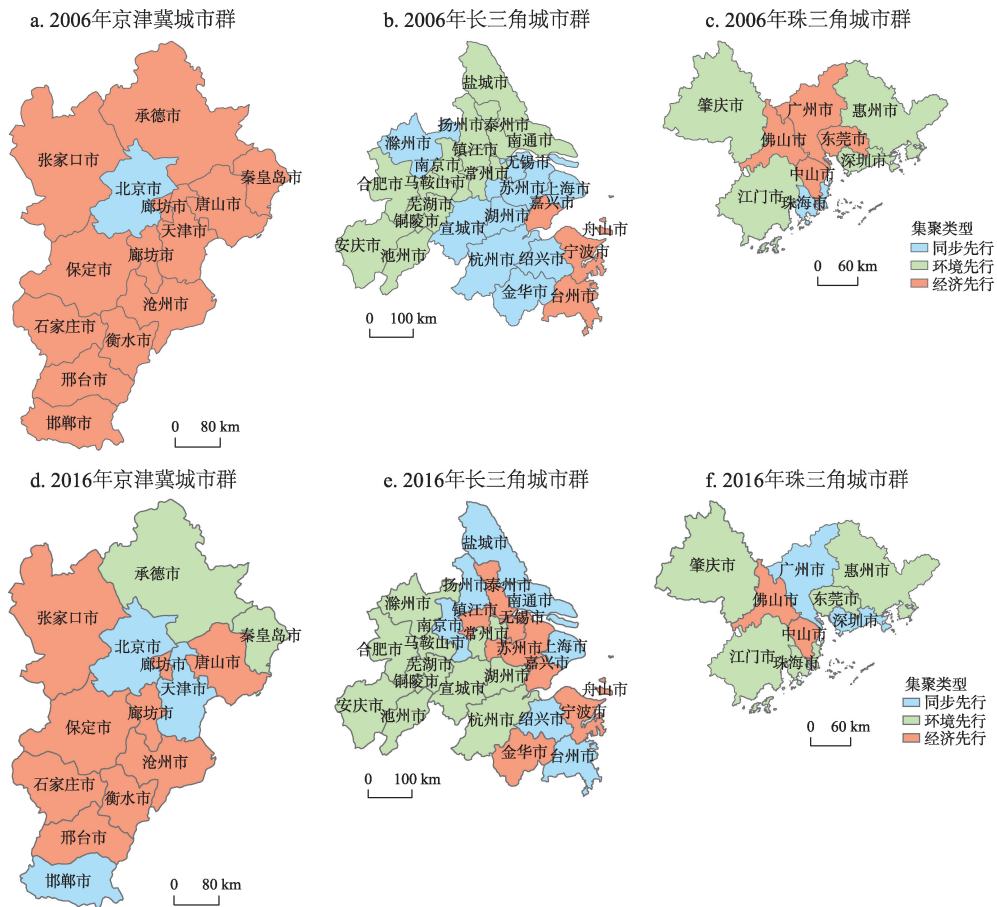


图5 2006年和2016年三大城市群各城市发展类型

Fig. 5 The coordination development types of cities in the three major urban agglomerations in 2006 and 2016

城市为“环境先行”，主要分布于长三角西部和北部。珠三角共有4个城市为“经济先行”，位于城市群中部，其他5个城市为“环境先行”。2016年，三大城市群共有12个城市“同步发展”，“经济先行”和“环境先行”的城市各有18个。京津冀“同步发展”的城市增加2个，共有北京、天津和邯郸3个城市属于“同步发展”类型；秦皇岛和承德转为“环境先行”；其他城市仍为“经济先行”类型。长三角有7个城市为“同步发展”类型；“经济先行”类型的城市数量增加4个，空间分布往北部拓展；“环境先行”城市数量减少2个，分布于长三角中部和西部。珠三角的广州和深圳转变为“同步发展”类型，东莞转变为“生态先行”。

总体上，京津冀内部城市持续以“经济先行”类型为主，但经济发达的城市具有向“同步发展”转变的迹象；长三角内部城市“经济先行”和“环境先行”类型数量趋向均衡，“经济先行”类型具有向北部拓展的趋势，经济发达城市多为“同步发展”类型；珠三角经济发达城市从“经济先行”转变为“同步发展”。

4 三大城市群经济与环境协调度影响因素

三大城市群经济与环境协调度受多种因素共同影响和制约，参考相关研究成果^[14,44]，结合数据可得性，选取单位工业产值用电量表征能源消耗水平（ x_1 ），科学技术支出占财政支出比重表征科学技术水平（ x_2 ），固定资产投资占GDP比重表征固定资产投资强度（ x_3 ），实际利用外资占GDP比重表征外资依存度（ x_4 ），非私营企业从业人口占从业总人口比重表示所有制结构（ x_5 ）。将这5个指标作为自变量，各城市经济与环境协调度为因变量，进行回归分析。

由于经济与环境协调度取值范围介于0~1之间，存在截断现象，引入面板Tobit计量模型对中国三大城市群经济与环境协调度的影响因素进行分析，模型公式为：

$$D = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \varepsilon \quad (17)$$

式中： D 为经济与环境协调度； β_0 为常数项； β_i 为各影响因素回归系数； ε 为随机误差项。

从各城市群内部分析各因素对经济与环境协调度的影响。由表6可知，这5个因素都对经济与环境协调度具有影响作用，但对不同城市群的影响有所差异。

能源消耗水平对京津冀和长三角的经济与环境协调度具有负向影响，但对珠三角的影响不显著。京津冀是中国传统重工业基地，以钢铁、石化、装备制造等重工业为主导的工业格局使其能源利用强度持续位于全国高位，再加上以煤炭作为支柱的能源利用结构，导致京津冀经济发展伴随着较严重的环境污染，对经济与环境协调度产生显著的负向影响。相比京津冀，长三角的重工业在工业结构中占比较低，但也集聚了石化、钢铁、印染、纺织等传统高能耗、高污染产业，这些产业的发展对能源的依赖程度深，加重环境负担，不利于经济与环境协调发展。而珠三角工业主导产业以通信电子设备制造、家用电器、纺织家居等轻工业为主，产业发展对能源的依赖性较低。珠三角高能耗产业相对较少，能源消耗水平对经济与环境协调度的影响不显著。以单位GDP工业废水排放量为例，排名前20的城市中，属京津冀的占11个、长三角占7个、珠三角仅占2个，而且排名都靠后。

科学技术水平对城市群经济与环境的协调度具有显著的正向影响。一方面，科技进步有利于提升工业技术装备水平，加快传统产业升级，助推新兴产业成长，优化产业结构；另一方面，科学技术进步直接作用于清洁生产和末端治理，提高资源利用率，减少

产业发展对资源环境的依赖和破坏。三大城市群是全国科学研究和高新技术产业的重要集聚区, 2016年京津冀普通高等学校占全国10.25%, 专利授权量占全国10.67%, 其中北京拥有全国最强的基础科学研究机构和大量国家高新技术企业^[45]; 长三角科教与创新资源丰富, 普通高等院校数量占全国11.56%, 国家工程研究中心和工程实验室等创新平台近300家^③; 2016年珠三角科技创新企业18880家, 日均新增22家^④。强大的科技能力促进了三大城市群经济与环境协调度逐年上升。

固定资产投资强度对各城市群的经济与环境协调度具有显著的负向影响。投资是拉动中国经济增长的主要动力, 第二产业是中国城市固定资产投资的主要集中领域^[46]。相对第一、第三产业, 目前第二产业对能源依赖较深, 对环境的影响程度更大, 对第二产业的大规模投资不利于经济与环境协调发展。三大城市群在进行固定

资产投资时应适当提高投资的环境准入门槛, 合理调整投资结构, 增加对经济环境协调发展有利的第三产业的投资比重^[47], 为环保技术的研发和应用提供足够的资金支持。

外资依存度对各城市群的经济与环境协调度具有显著的负向影响。外商直接投资对环境的影响的相关研究中盛行的一个观点是“污染天堂”假说, 即外资利用发展中国家较低的环境管制标准, 将污染密集型和资源消耗型产业布局于发展中国家, 使其沦为发达国家的“污染天堂”^[48]。实证研究进一步发现外资对环境污染的影响存在更复杂的传导机制^[49], 有研究认为外资增加所诱致的经济规模扩张导致了环境污染^[50]。三大城市群中外资依存度较高的多为经济实力较弱、产业结构层次偏低的城市, 这些城市所吸引的外商投资对经济与环境协调度产生不利影响。一方面, 外商投资力度增强可能对部分内资企业的市场份额和利润水平产生冲击, 增加了内资企业进一步提升技术、转型升级的难度; 另一方面, 外商投资使区域经济规模扩大, 而节能环保技术的提升相对较慢, 无法消除经济规模扩张造成的环境污染增量; 此外, 部分外商投资于高能耗、高污染的行业, 也不利于生态环境的保护。

所有制结构对京津冀和长三角的经济与环境协调度影响不显著, 但国有化程度对珠三角经济与环境协调度产生显著正向影响。一方面, 国有企业在追求利润的同时也具有非营利性的社会功能, 承担着更大的经济责任和社会责任^[51], 当面临环境管制时, 更倾

表6 三大城市群经济与环境协调度回归结果

Tab. 6 Estimation of influencing factors of the coordination between economic and environmental development of the three major urban agglomerations

解释变量	京津冀城市群	长三角城市群	珠三角城市群
x_1	-0.093*** (0.028)	-0.131*** (0.019)	-0.008 (0.016)
x_2	0.119*** (0.029)	0.099*** (0.014)	0.063*** (0.011)
x_3	-0.152*** (0.023)	-0.067*** (0.014)	-0.041** (0.018)
x_4	-0.034* (0.020)	-0.071*** (0.011)	-0.117*** (0.017)
x_5	0.004 (0.019)	0.004 (0.014)	0.020** (0.009)
C	0.462*** (0.021)	0.512*** (0.014)	0.540*** (0.021)
Log likelihood	285.139	642.133	248.631
Wald chi2(5)	91.740	424.870	310.870
Prob > chi2	0.000	0.000	0.000

注: **、*、·分别表示在1%、5%、10%水平上显著, 括号中数值表示标准差。

③ 数据来源于中华人民共和国国家发展和改革委员会. 国家发展改革委、住房城乡建设部关于印发长江三角洲城市群发展规划的通知. http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbghwb/201606/t20160603_806390.html.

④ 数据来源: 南方日报. 《2016珠三角企业创新报告》: 珠三角去年日均诞生22家高新企业, <http://static.nfapp.southcn.com/content/201705/08/c410603.html>, 2018-12-01.

向于提高节能减排能力,而私营和外资企业更倾向于迁往环境管制不严格的地区以获得更大的经济利润^[52];另一方面,国有企业一般规模较大,具有雄厚的经济实力,更有能力采取措施达到环保要求^[53]。珠三角的经济发展模式具有“自下而上”的特点,民营经济发达,中小企业众多,国有经济对经济与环境协调发展的促进作用在珠三角体现更为明显。

5 结论与讨论

以京津冀、长三角和珠三角三大城市群为研究对象,构建经济发展和环境质量指标体系,运用熵值法和耦合评价模型测算经济与环境协调度,运用泰尔指数、马尔科夫链和空间自相关等方法剖析了2006—2016年三大城市群经济与环境协调度的时空演化特征,并运用Tobit模型进一步对其影响因素进行阐释。研究结论如下:

(1)从三大城市群经济与环境协调度的共性角度看,主要表现在:①协调程度方面,三大城市群均呈现持续增长态势,各城市群内部城市之间的差异逐步缩小;②协调度等级演化方面,均具有一定的路径依赖特征,所处的协调等级越高,越倾向稳定于同一等级;③协调度空间分布方面,其高值主要位于城市群中行政级别较高的城市以及部分沿海沿江发达城市,并以高值为中心呈现连片发展特征;④协调度空间关联方面,逐步由分散向集聚方向发展;⑤影响因素方面,科学技术水平对三大城市群经济与环境协调度均产生正向影响,固定资产投资强度和外资依存度对三大城市群经济与环境协调度均产生显著的负向影响。

(2)从三大城市群经济与环境协调度之间的差异角度看,主要表现在:①珠三角的经济与环境协调度持续高于京津冀和长三角,但内部城市之间差异相对较大;②长三角的经济与环境协调度增速最快,空间格局趋向均衡,“经济先行”和“环境先行”并重的城市相对较多;③京津冀协调度高值地区对周边地区的辐射带动作用较弱,内部城市以“经济先行”类型为主导。④能源消耗水平仅对京津冀和长三角的经济与环境协调度具有显著负向影响;所有制结构仅对珠三角经济与环境协调度具有显著影响。

根据三大城市群经济与环境协调度的共性和个性分析,未来对三大城市群需加强科技水平的进一步提升;固定资产投资应适当提高投资的环境准入门槛,特别是对城市群内经济相对较弱的城市,应合理调整投资结构,促进区域经济与环境协调度均衡发展;在引进外资的过程中需要慎重对待引入产业的环境污染问题,同时也需要注重对本地产业的培育,降低对外来资本的依赖性。重点加强对京津冀和长三角能源消耗的监测;制定政策措施激发珠三角民营企业引入先进的生产技术,发挥清洁生产技术的溢出效应。长三角继续保持经济与环境协调度增速快且发展较均衡的优势,提升辐射带动效应;京津冀在内部区域产业结构层次、生态环境承载力与人口、产业之间的匹配等方面需要进一步增强改进措施,使经济与环境协调度发展总体水平得以较大提升。

上述结论表明三大城市群之间经济与环境协调度在时序演进和空间格局上具有一定的相似性,而在城市群内部发展均衡性、发展类型侧重点和影响因素上有所差异。城市群作为城市经济发展到高级阶段的重要标志,对于集聚生产要素、优化空间布局具有引领作用,经济发展与环境的协调程度是其经济发展质量的重要体现。为积极推进城市群高质量发展,更好地发挥其引领和辐射带动作用,需要对城市群经济发展与环境保护问题进行更深入的研究。今后的研究可将研究范围扩大至全国所有城市群,此外,随着基础数据的完善和技术方法的改进,在影响因素的探讨上可进一步深入。

参考文献(References)

- [1] Grossman G M, Krueger A B. Environmental impacts of a north american free trade agreement. National Bureau of Economic Research Working Paper, 1991.
- [2] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353-377.
- [3] Panayotou T. Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. World Employment Programme Research Working Paper, 1993.
- [4] 李春梅. 环境库兹涅茨曲线之于北京市的适用性分析. *城市问题*, 2017, (4): 34-40. [Li Chunmei. Applicability of environmental Kuznets curve to Beijing. *Urban Problems*, 2017, (4): 34-40.]
- [5] 王陆军, 范拴喜, 白慧莉. 基于环境库兹涅茨模型对铜川市近几年经济与环境特征分析. *干旱区地理*, 2015, 38(5): 1031-1039. [Wang Lujun, Fan shuanxi, Bai Huili. Characteristics of economic and environment in Tongchuan city based on Environmental Kuznets Curve (EKC) model. *Arid Land Geography*, 2015, 38(5): 1031-1039.]
- [6] 朱冉, 赵梦真, 薛俊波. 产业转移、经济增长和环境污染: 来自环境库兹涅茨曲线的启示. *生态经济*, 2018, 34(7): 68-73. [Zhu Ran, Zhao Mengzhen, Xue Junbo. Industrial transfer, economic growth and environmental pollution: An inspiration from the Environmental Kuznets Curve. *Ecological Economy*, 2018, 34(7): 68-73.]
- [7] 林晓, 徐伟, 杨凡, 等. 东北老工业基地绿色经济效率的时空演变及影响机制: 以辽宁省为例. *经济地理*, 2017, 37(5): 125-132. [Lin Xiao, Xu Wei, Yang Fan, et al. Spatio-temporal characteristics and driving forces of green economic efficiency in old industrial base of northeastern China: A case study of Liaoning province. *Economic Geography*, 2017, 37(5): 125-132.]
- [8] 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. *地理研究*, 2018, 37(6): 1070-1086. [Zhang Guojun, Wang Juehan, Zhuang Dachang. The characteristics and driving forces of spatial and temporal evolution of industrial ecology in Guangzhou. *Geographical Research*, 2018, 37(6): 1070-1086.]
- [9] 贺晟晨, 王远, 高倩, 等. 城市经济环境协调发展系统动力学模拟. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(8): 698-703. [He Shengchen, Wang Yuan, Gao Qian, et al. System dynamics simulation for the coordinated development of urban economy and environment. *Resources and Environment in the Yang tze Basin*, 2009, 18(8): 698-703.]
- [10] 马丽, 金凤君, 刘毅. 中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析. *地理学报*, 2012, 67(10): 1299-1307. [Ma Li, Jin Fengjun, Liu Yi. Spatial pattern and industrial sector structure analysis on the coupling and coordinating degree of regional economic development and environmental pollution in China. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(10): 1299-1307.]
- [11] 王辉, 郭玲玲, 宋丽. 辽宁省14市经济与环境协调度定量研究. *地理科学进展*, 2010, 29(4): 463-470. [Wang Hui, Guo Lingling, Song Li. A quantitative study on the coordination degree between economy and environment in Liaoning province. *Progress in Geography*, 2010, 29(4): 463-470.]
- [12] 史亚琪, 朱晓东, 孙翔, 等. 区域经济-环境复合生态系统协调发展动态评价: 以连云港为例. *生态学报*, 2010, 30(15): 4119-4128. [Shi Yaqi, Zhu Xiaodong, Sun Xiang, et al. A dynamic assessment for the coordination between economic development and the environment: A case study of Lianyungang, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4119-4128.]
- [13] 韩瑞玲, 佟连军, 朱绍华, 等. 基于 ARMA 模型的沈阳经济区经济与环境协调发展研究. *地理科学*, 2014, 34(1): 32-39. [Han Ruiling, Tong Lianjun, Zhu Shaohua, et al. The coordinated development of economy and environment based on ARMA Model in Shenyang Economic Zone. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(1): 32-39.]
- [14] 郭付友, 佟连军, 魏强, 等. 吉林省松花江流域产业系统环境适应性时空分异与影响因素. *地理学报*, 2016, 71(3): 459-470. [Guo Fuyou, Tong Lianjun, Wei Qiang, et al. Spatio-temporal difference and influencing factors of environmental adaptability assessment of industrial system in the Songhua River Basin of Jilin province. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(3): 459-470.]
- [15] 顾丽娟, Mark ROSENBERG, 曾菊新. 社会经济及环境因子对不同收入群体自评健康的影响. *地理研究*, 2017, 36(7): 1257-1270. [Gu Lijuan, Rosenberg M, Zeng Juxin. The impacts of socioeconomic and environmental factors on self-rated health status among different income groups in China. *Geographical Research*, 2017, 36(7): 1257-1270.]
- [16] 周侃, 樊杰. 中国环境污染源的区域差异及其社会经济影响因素: 基于339个地级行政单元截面数据的实证分析. *地理学报*, 2016, 71(11): 1911-1925. [Zhou kan, Fan Jie. Regional disparity of environmental pollution source and its socio-economic influencing factors: Based on the cross-section data of 339 cities at prefecture level or above in China. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(11): 1911-1925.]
- [17] 陈祖海, 雷朱家华. 中国环境污染变动的时空特征及其经济驱动因素. *地理研究*, 2015, 34(11): 2165-2178. [Chen Zuhai, Leizhu jiahua. The spatial-temporal characteristics and economic drivers of environmental pollution changes in Chi-

- na. *Geographical Research*, 2015, 34(11): 2165-2178.]
- [18] 王立平, 管杰, 张纪东. 中国环境污染与经济增长: 基于空间动态面板数据模型的实证分析. *地理科学*, 2010, 30(6): 818-825. [Wang Liping, Guan Jie, Zhang Jidong. Environmental pollution and economic growth in China: A dynamic spatial panel data model. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 30(6): 818-825.]
- [19] 邹辉, 段学军. 长江经济带经济-环境协调发展格局及演变. *地理科学*, 2016, 36(9): 1408-1417. [Zou Hui, Duan Xuejun. Pattern evolution of economy-environment coordinated development in the Changjiang River Economic Belt. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(9): 1408-1417.]
- [20] 刘艳军, 刘德刚, 付占辉, 等. 哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变的耦合分异机制. *地理科学*, 2018, 38(5): 662-671. [Liu Yanjun, Liu Degang, Fu Zhanhui, et al. The differentiation mechanism of coupling degree among space exploitation, economy development and environment evolution in Harbin-Dalian Giant Urban Belt. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(5): 662-671.]
- [21] 关伟, 刘勇凤. 辽宁沿海经济带经济与环境协调发展度的时空演变. *地理研究*, 2012, 31(11): 2044-2054. [Guan Wei, Liu Yongfeng. The analysis of spatiotemporal evolution of economic and environmental coordination development degree in Liaoning coastal economic belt. *Geographical Research*, 2012, 31(11): 2044-2054.]
- [22] 陈妍, 梅林. 东北地区资源型城市转型过程中社会-经济-环境协调演化特征. *地理研究*, 2018, 37(2): 307-318. [Chen Yan, Mei Lin. Coordination of the "economy-society-environment" triad in the transition development of resource: Based cities in Northeast China. *Geographical Research*, 2018, 37(2): 307-318.]
- [23] 逯进, 常虹, 赵少平, 等. 山东省能源-经济与环境耦合关系的演化特征. *经济地理*, 2016, 36(9): 42-48. [Lu Jin, Chang Hong, Zhao Shaoping, et al. The evolution of coupling relationship among energy, economy and environment in Shandong province. *Economic Geography*, 2016, 36(9): 42-48.]
- [24] 唐晓丹, 仇方道, 朱传耿, 等. 江苏省经济与环境协调发展时空格局分析. *世界地理研究*, 2015, 24(2): 68-77. [Tang Xiaodan, Qiu Fangdao, Zhu Chuangeng, et al. Temporal-spatial change of coordinated development between economy and environment in Jiangsu province. *World Regional Studies*, 2015, 24(2): 68-77.]
- [25] 段七零. 江苏省县域经济-社会-环境系统协调性的定量评价. *经济地理*, 2010, 30(5): 829-834. [Duan Qiling. Quantitative evaluation on the coordination of county-level economy-society-environment system in Jiangsu province. *Economic Geography*, 2010, 30(5): 829-834.]
- [26] 王西琴, 何芬, 张兵. 丽江市经济发展与环境污染水平的关系. *地理研究*, 2010, 29(5): 927-934. [Wang Xiqin, He Fen, Zhang Bing. Study on the relationship between economic growth and environmental degradation of Lijiang city. *Geographical Research*, 2010, 29(5): 927-934.]
- [27] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系: 以珠江三角洲城市群为例. *热带地理*, 1999, 19(2): 76-82. [Liao Chongbin. Quantitative judgement and classification system for coordinated development of environment and economy: A case study of the city group in the Pearl River Delta. *Tropical Geography*, 1999, 19(2): 76-82.]
- [28] 杜忠潮, 黄波, 陈佳丽. 关中-天水经济区城市群人口经济与资源环境发展耦合协调性分析. *干旱区地理*, 2015, 38(1): 135-147. [Du Zhongchao, Huang Bo, Chen Jiali. Coordinating development of population economy and resources environment of the city group in Guanzhong-Tianshui. *Arid Land Geography*, 2015, 38(1): 135-147.]
- [29] 姚士谋, 周春山, 王德, 等. 中国城市群新论. 北京: 科学出版社, 2016. [Yao Shimou, Zhou Chunshan, Wang De. *New Perspectives on Urban Agglomerations in China*. Beijing: Science Press, 2016.]
- [30] 张国俊, 黄婉玲, 周春山, 等. 城市群视角下中国人口分布演变特征. *地理学报*, 2018, 73(8): 1513-1525. [Zhang Guojun, Huang Wanling, Zhou Chunshan, et al. Spatio-temporal characteristics of demographic distribution in China from the perspective of urban agglomeration. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(8): 1513-1525.]
- [31] 王哲. 京津冀主导产业选择及产业协同发展问题研究. *经济论坛*, 2017(6): 9-13. [Wang Zhe. Study on the selection of leading industries and the cooperative development of industries in Beijing, Tianjin and Hebei. *Economic Forum*, 2017(6): 9-13.]
- [32] 段禄峰. 我国产业结构偏离度研究. *统计与决策*, 2016, (6): 122-125. [Duan Lufeng. Research on the deviation degree of industrial structure in China. *Statistics & Decision*, 2016, (6): 122-125.]
- [33] 谢余初, 巩杰, 张玲玲. 基于PSR模型的白龙江流域景观生态安全时空变化. *地理科学*, 2015, 35(6): 790-797. [Xie Yuchu, Gong Jie, Zhang Lingling. Dynamics of landscape ecological security based on PSR model in the Bailongjiang River Watershed. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(6): 790-797.]
- [34] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2007-2017. [Department of Urban Surveys, National Bureau of Statistics of China. *China City Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2007-2017.]

- [35] 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. *应用生态学报*, 2016, 27(9): 2933-2940. [Zhao Danyang, Tong Lianjun, Guo Fuyou, et al. Industrial ecological development of Jilin province, Northeast China based on structure optimization vision. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(9): 2933-2940.]
- [36] 刘军胜, 马耀峰. 基于发生学与系统论的旅游流与目的地供需耦合成长演化与驱动机制研究: 以西安市为例. *地理研究*, 2017, 36(8): 1583-1600. [Liu Junsheng, Ma Yaofeng. The evolution and driving mechanism of the supply and demand coupling about tourism flow and destination system based on the genesis and system theory: Taking Xi'an as an example. *Geographical Research*, 2017, 36(8): 1583-1600.]
- [37] 张引, 杨庆媛, 闵婕. 重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合分析. *地理学报*, 2016, 71(5): 817-828. [Zhang Yin, Yang Qingyuan, Min Jie. An analysis of coupling between the bearing capacity of the ecological environment and the quality of new urbanization in Chongqing. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(5): 817-828.]
- [38] 余菲菲, 胡文海, 荣慧芳. 中小城市旅游经济与交通耦合协调发展研究: 以池州市为例. *地理科学*, 2015, 35(9): 1116-1122. [Yu Feifei, Hu Wenhai, Rong Hui芳. Coordinated development about tourism economy and transportation in medium and small cities: Chizhou as example. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(9): 1116-1122.]
- [39] Zhang W, Bao S. Created unequal: China's regional pay inequality and its relationship with mega-trend urbanization. *Applied Geography*, 2015, 61: 81-93.
- [40] 万广华. 城镇化与不均等: 分析方法和中国案例. *经济研究*, 2013, (5): 73-86. [Wan Guanghua. The urbanization-inequality nexus method and application to China. *Economic Research*, 2013, (5): 73-86.]
- [41] 蒲英霞, 马荣华, 葛莹, 等. 基于空间马尔可夫链的江苏区域趋同时空演变. *地理学报*, 2005, 60(5): 817-826. [Pu Yingxia, Ma Ronghua, Ge Yin, et al. Spatial-temporal dynamics of Jiangsu regional convergence with Spatial markov chains approach. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(5): 817-826.]
- [42] Moran P A P. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 1950, 37(1/2): 17-23.
- [43] Anselin L. Local indicators of spatial association: LISA. *Geographical Analysis*, 1995, 27(2): 93-115.
- [44] 佟连军, 宋亚楠, 韩瑞玲, 等. 辽宁沿海经济带工业环境效率分析. *地理科学*, 2012, 32(3): 294-300. [Tong Lianjun, Song Yanan, Han Ruiling, et al. Industrial environmental efficiency of costal economic belt in Liaoning province. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(3): 294-300.]
- [45] 河北省人民政府. 河北经济年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2017. [The People's Government of Hebei Province. Hebei Economic Yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2017.]
- [46] 王少剑, 苏泳娴, 赵亚博. 中国城市能源消费碳排放的区域差异、空间溢出效应及影响因素. *地理学报*, 2018, 73(3): 414-428. [Wang Shaojian, Su Yongxian, Zhao Yabo. Regional inequality, spatial spillover effects and influencing factors of China's city-level energy-related carbon emissions. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 414-428.]
- [47] 韩楠. 基于供给侧结构性改革的碳排放减排路径及模拟调控. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(8): 47-55. [Han Nan. Simulation and regulation on the pathway of carbon emission reduction based on supply-side structural reform. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(8): 47-55.]
- [48] List J A, Catherine Y Co. The effects of environmental regulations on foreign direct investment. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2000, 40: 1-20.
- [49] 周力, 应瑞瑶. 外商直接投资与工业污染. *中国人口·资源与环境*, 2009, 19(2): 42-50. [Zhou Li, Ying Ruiyao. Foreign direct investment and industrial pollution. *China Population, Resources and Environment*, 2009, 19(2): 42-50.]
- [50] 张彦博, 郭亚军. FDI的环境效应与我国引进外资的环境保护政策. *中国人口·资源与环境*, 2009, 19(4): 7-12. [Zhang Yanbo, Guo Yajun. Effect of FDI on environment and environmental protection policy in using FDI in China. *China Population, Resources and Environment*, 2009, 19(4): 7-12.]
- [51] Lee M D P. Does ownership form matter for corporate social responsibility? A longitudinal comparison of environmental performance between public, private, and joint-venture firms. *Business and Society Review*, 2009, 114(4): 435-456.
- [52] 耿强, 杨蔚. 中国工业污染的区域差异及其影响因素: 基于省级面板数据的GMM实证分析. *中国地质大学学报: 社会科学版*, 2010, 10(5): 12-16. [Geng Qiang, Yang Wei. Empirical study on the regional difference and the determinants of industrial pollution in China. *Journal of China University of Geosciences: Social Sciences Edition*, 2010, 10(5): 12-16.]
- [53] 金祥荣, 谭立力. 环境政策差异与区域产业转移: 一个新经济地理学视角的理论分析. *浙江大学学报: 人文社会科学版*, 2012, 42(5): 51-60. [Jin Xiangrong, Tan Lili. Differences in environmental policies and transfer of regional industry: A perspective of New Economic Geography (NEG). *Journal of Zhejiang University: Humanities and Social Sciences*, 2012, 42(5): 51-60.]

Spatial-temporal characteristics and influencing factors of coordination between economic and environmental development of three major urban agglomerations in China

ZHANG Guojun¹, WANG Juehan², WU Kunjin³, XU Zhihua⁴

(1. School of Public administration, Guangdong University of Finance and Economics, Guangzhou 510320, China; 2. School of Geography and Planning, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China; 3. School of Business Administration, Guangdong University of Finance and Economics, Guangzhou 510320, China; 4. Advanced Institute for Contemporary China Studies, Hong Kong Baptist University, Hong Kong, China)

Abstract: This paper analyzed the spatial-temporal pattern of the degree of coordination between economic and environmental development in Beijing-Tianjin-Hebei region, Yangtze River Delta and Pearl River Delta from 2006 to 2016 by means of entropy method, Theil index, Markov chain and spatial autocorrelation, and then explored the influencing factors with Tobit model. The results showed that: (1) The degree of coordination between economic and environmental development of the three major urban agglomerations grew continuously from 2006 to 2016. In addition, the differences between the cities gradually narrowed. (2) Path dependence played a role in the evolution of the level of economic and environmental coordination. However, the degree of coordination between economic and environmental development tended to reach a higher level with the passage of time. (3) Cities with higher administrative levels and some developed cities along rivers or the sea continued to be at a higher level of degree of coordination between economic and environmental development. (4) The spatial characteristics of the degree of coordination between economic and environmental development of the three major urban agglomerations had changed from decentralization to agglomeration. (5) Regarding the type of development, the economically developed cities tended to develop simultaneously with the environment. (6) Energy consumption, progress in science and technology, investment in fixed assets, dependence on foreign investment and ownership structure have impacts on the degree of coordination between economic and environmental development of the three urban agglomerations as a whole and each urban agglomeration, but the significant degree of the influence of each factor is different.

Keywords: economic development; environmental quality; degree of coordination; spatiotemporal pattern; influencing factors; three major urban agglomerations