

京津冀经济发展与生态足迹的时空演变与耦合关系

李建龙¹, 孙 钰^{1,2}, 崔 寅²

(1. 天津商业大学公共管理学院, 天津 300134; 2. 天津大学管理与经济学部, 天津 300072)

摘 要: 通过构建反映京津冀经济发展的评价指标体系 and 对其生态足迹的测算, 综合运用熵值法、耦合协调度模型和灰色关联分析, 分析了京津冀 13 市 2008–2017 年经济发展与生态足迹的时空演变特征及耦合关系, 并进一步探究了其驱动因素。针对研究结论, 本文从因地制宜优化区域生态空间格局、加大生态环境的保护力度、采取有效措施合理控制外来人口的大量涌入等角度提出促进两系统协调发展的策略建议。

关键词: 京津冀; 经济发展; 生态足迹; 耦合关系

中图分类号: X321; F062.2

文献标识码: A

文章编号: 1673–4513 (2022) –02–006–11

引言

在京津冀协同发展战略背景下, 京津冀已然成为推动我国经济发展的重要引擎, 然而在其经济快速发展的过程中, 资源约束趋紧、环境污染严重、生态承载力不足的生态困境却成为阻碍京津冀经济社会持续发展的桎梏, 妨碍了经济发展的稳定性和可持续性。生态足迹 (Ecological footprint) 是指能够容纳人类所排放废弃物的生物生产性土地 (或水域) 面积, 它可以定量判断某一地域的可持续发展程度。目前, 国内外学界关于经济发展与生态足迹的相关问题展开了大量的研究, 主要聚焦于以下两个方面: 一是聚焦于生态足迹的发展现状及其社会经济动因的分析。如学者叶文伟、王立群、Luo Huan 等就分别基于省域、市域的研究尺度研究了其生态足迹的现状及其经济驱动因素。任海军、李少坤等还分析了生态足迹区域差异

的影响因素, 结果表明: 经济发展差距是影响区域生态足迹不平等的重要因素。马剑锋等学者认为, 经济发展水平与社会技术进步的交替上升, 使得我国整体生态足迹呈现出波动变化的态势, 且不同区域间差异明显, 而提高能源利用效率、促进产业结构升级并放缓城镇人口化进程是降低生态足迹、促进城镇化可持续发展的重要途径。二是聚焦于生态足迹 (生态环境) 与经济发展的关系探索。以王荣森、王刚毅等为代表的学者就研究了省域范围内生态足迹与城镇化率 and 经济增长之间的关系, 结果表明: 生态足迹和生态承载力与城镇化率明显相关, 且均随着城镇化率的提高而增长, 即一定程度的经济增长导致了生态足迹水平的提升; Khan Irfan、Lu Wencheng、Chen Yang、傅春等还研究了生态足迹与旅游产业、贸易开放、人力资本和城市化、经济产业等之间的关系; 王

收稿日期: 2021 年 06 月 20 日

作者简介: 李建龙 (1995–), 男, 山东滨州人, 硕士, 主要研究方向: 区域公共基础设施利用与管理效率。

孙 钰 (1965–), 女, 天津市人, 教授, 博士, 主要研究方向: 区域公共经济与服务事业。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“城市公共基础设施利用效益研究” (NSF 71273186); 天津市哲学社会科学规划重点项目“京津冀生态文明与城市化耦合协调发展的时空演进研究” (TJYY19XSX–018)。

德录等还在研究区域生态足迹与经济发展关系的同时进一步探究了其经济社会动因。

从对上述文献的梳理回顾来看,已有研究虽从多个方面丰富了经济发展与生态足迹等相关问题的探索,但本文认为还需在以下三个方面进一步完善:第一,在评价指标方面,考虑到京津冀资源环境形势严峻等地域实际,本文将“可持续发展”要素纳入到经济发展系统的指标体系之中,力求体现生态文明融入经济建设的要求。第二,在研究方法方面,对于某一地域生态足迹的测算,部分学者采用的是国际普遍均衡因子,并不符合京津冀的地域实际。第三,在测度区域经济发展与生态足迹时空演变特征的基础上进行两者耦合关系及驱动力因素的研究成果尚为鲜见。基于此,本文通过构建体现京津冀发展特征的经济发展评价指标体系,在对京津冀 13 个地级及以上城市的经济发展水平和生态足迹状况进行定量化评价的基础上,分析并挖掘了两系统之间的耦合协调关系及背后的驱动力因素,以期为京津冀实现经济发展与生态环境的协调共进提出策略建议。

一、研究方法与数据来源

(一) 经济发展的评价指标体系和区域生态足迹的测算

1. 经济发展的评价指标体系

我国经济已由高速增长转向高质量发展阶段,在新形势下评价经济的发展水平,不应仅仅统计经济数值的增长,也应涵盖社会发展、生态环境等方面,以达到全面评价的目的。基于此,本文在参考发展改革委印发的《绿色发展指标体系》和相关学者研究的基础之上,遵循指标选取的可获取性、代表性和科学性的原则,基于京津冀资源环境约束趋紧、经济发展方式亟待转型等的地域特征,从经济增长、人民生活和可持续发展三个方面选取指标进而构建了经济发展的评价指标体系,并用熵值法确定了各指标的权重,见表 1。其中,要素层“经济增长”由 GDP 增长率、人均 GDP、人均地方财政收入、单位 GDP 能耗等指标构成;要素层“人民生活”由城镇化率、居民人均可支配收入、建成区绿化覆盖率、城镇登记失业率

表 1 京津冀经济可持续发展指标体系及权重

目标层	要素层	指标层	单位	性质	权重
经济发展	经济增长	GDP 增长率	%	+	0.0779
		人均 GDP	元/人	+	0.0680
		人均地方财政收入	元/人	+	0.0690
		单位 GDP 能耗	吨标准煤/万元	-	0.0615
	人民生活	城镇化率	%	+	0.0576
		居民人均可支配收入	元/人	+	0.0705
		居民人均消费性支出	元/人	+	0.0699
		城镇基本医疗保险覆盖率	%	+	0.0661
		城市建成区绿地率	%	+	0.0535
		城镇登记失业率	%	-	0.0505
		城镇居民恩格尔系数	%	-	0.0412
	可持续发展	生活垃圾无害化处理率	%	+	0.0559
		工业固体废弃物综合利用率	%	+	0.0774
		人均二氧化碳排放量	吨/人	-	0.0639
		人均工业粉尘排放量	吨/人	-	0.0643

等指标构成；要素层“可持续发展”由生活垃圾无害化处理率、工业固体废弃物综合利用率、人均二氧化碳排放量、人均工业粉尘排放量等指标构成。

2. 京津冀生态足迹的测算。

生态足迹的测算则在参考淳阳等研究的基础上，结合京津冀生产消费的实际情况，将其生态足迹账户分为生物资源性账户和能源消费账户（见表2）。另外，由于不同类型土地的生产力以及不同地域的生态环境和技术水平存在差异，故在生态足迹的计算过程中不能进行简单的加总运算，需要引入均衡因子对数据进行调整处理，本文直接引用了学者刘某承等对北京、天津、河北的均衡因子的测算结果，具体

见表3。

生态足迹的计算公式为：

$$EF = N \cdot ef = N \cdot r_j \cdot \sum_{i=1}^6 (c_i/p_i) \tag{公式1}$$

式中， EF 为总生态足迹， N 为总人口数， ef 为人均生态足迹， c_i 为第 i 类生物资源人均消费量。

(二) 研究方法

1. 利用熵值法确定各指标权重并进而计算两系统的综合评价得分。计算步骤如下：

第一步，计算第 j 项指标第 i 个值的比重

$$P_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^n Y_{ij}, (j = 1, 2, \dots, m) \tag{公式2}$$

表2 京津冀生态足迹账户分类及权重

生态 足迹	账户分类	项目	类别	权重
	生物资源账户	耕地	粮食、棉花、油料、麻类、蔬菜	0.176
		林地	干果、园林水果	0.162
		草地	肉类、蛋类、禽类	0.158
		水域	水产品	0.167
	能源消费账户	化石能源用地	煤炭、石油、天然气	0.172
		建设用地	电力、热力	0.167

表3 京津冀三地六类土地类型的均衡因子

均衡因子						
	耕地	林地	草地	水域	能源用地	建设用地
北京	1.03	0.60	0.62	0.48	0.60	1.03
天津	0.98	0.86	0.63	0.50	0.86	0.98
河北	1.10	0.67	0.48	0.38	0.67	1.10

第二步，计算第 j 项指标的熵值

$$e_j = -k \cdot \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, \text{其中 } k > 0, k = 1/\ln m \tag{公式3}$$

第三步，计算第 j 项指标的熵权

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^m (1 - e_j), (j = 1, 2, \dots, m)$$

第四步，计算综合评价得分。

$$ESI(e) = \sum_{j=1}^m w_j \cdot Y_{ij} \tag{公式4}$$

$$ESI(f) = \sum_{j=1}^m w_{jf} \cdot Y_{jf} \tag{公式5}$$

上式中， $ESI(e)$ 、 $ESI(f)$ 分别为经济发展和生态足迹系统的综合评价得分； w_j 、 w_{jf} 分别为两系统中指标 j 的权重； Y_{ij} 、 Y_{jf} 分别为两系统中第 j 项指标第 i 个值的标准化值； m 为指标的个数。

2. 基于两系统的综合评价得分，应用耦合协调度模型分析两系统间相互作用关系。本文构建的经济发展与生态足迹系统的耦合协调度模型为：

$$\begin{aligned} C &= \{ [ESI(e) \times ESI(f) / ([ESI(e) + ESI(f)]/2)^2]^k \} (k \geq 2) \\ D &= (C \times T)^{1/2} \\ T &= \alpha \times ESI(E) + \beta \times ESI(f) \end{aligned} \tag{公式6}$$

上式中， C 为耦合度，取值范围为 $[0,1]$ ，数值越大，耦合度越高、两系统的相互作用越强； $ESI(e)$ 、 $ESI(f)$ 分别为经济发展系统和生态足迹系统的综合评价得分； k 为调节系数，本文

取 $k=2$ 。 D 为耦合协调度, 取值范围为 $[0, 1]$, 数值越大, 表明两系统的耦合协调度越高; T 为综合协调指数, α 、 β 为加权系数且和为 1, 同时, 本文认为经济发展和生态足迹的重要程度在该系统中相同, 故 α 和 β 的均取值均为 0.5。

3. 基于两系统耦合协调度的测算结果, 运用灰色关联分析法来分析影响京津冀经济发展与生态足迹耦合协调度的影响因素, 分析步骤如下:

第一步, 确定该评价模型中的参考数列和

$$\xi_i(k) = \frac{(\min_i |\min_k X_0(k) - X_i(k)|) + \rho \max_i (\max_k |X_0(k) - X_i(k)|)}{X_0(k) - X_i(k) + \rho \max_i (\max_k |X_0(k) - X_i(k)|)} \quad (\text{公式 7})$$

第三步, 计算关联度 r_i 。 r_i 的值越大表明比较数列对参考数列的影响越大。

$$r_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (\text{公式 8})$$

第四步, *Pearson* 相关系数检验。借鉴李琼等的研究方法, 为保证灰色关联分析结果的

$$p = \frac{N \sum X_0(K) X_i(K) - \sum X_0(K) \sum X_i(K)}{\sqrt{N \sum [X_0(K)]^2 - (\sum X_0(K))^2} \sqrt{N \sum [X_i(K)]^2 - (\sum X_i(K))^2}} \quad (\text{公式 9})$$

(三) 数据来源

本文的原始统计数据均来自于《北京统计年鉴》《天津统计年鉴》《河北统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》以及各城市的国民经济和社会发展统计公报。为力求数据的完整性和准确性, 对于无法收集到的缺省数据, 以缺失值邻近点的算术平均值进行替代。

二、京津冀经济发展与生态足迹时空演变特征

(一) 京津冀经济发展与生态足迹的时序演进

从时间脉络演进发现, 2008 年到 2017 年, 京津冀经济发展与生态足迹的综合评价得分逐年增大 (见图 1), 这表明, 研究期内京津冀的经济发展虽呈逐年增长的态势, 但其增长模式还是处在以土地换发展的过程当中, 通过依赖土地的占用和能源的消耗来换取经济的高速增长, 区域发展的可持续性不高。具体来说, 就

比较数列。本文以 2008—2017 年京津冀经济发展与生态足迹系统的耦合协调度 D 为参考数列: $X_0 = (X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(k))$; 以人口数量、人均 GDP、城镇化率、人均公园绿地面积等 10 个影响因素构成比较数列: $X_i = (X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(k))$ 。

第二步, 在对原始数据进行无量纲化处理之后, 计算比较数列对参考数列在 k 时刻的灰色关联系数 $\xi_i(k)$ 。式中, ρ 为分辨系数, 取值为 0.5。

客观可靠性, 采用 *Pearson* 相关系数进行验证。若 *Pearson* 相关系数 p 通过显著性检验, 则表明灰色关联分析的结果可靠。*Pearson* 相关系数 p 的取值范围为 $[-1, 1]$, 绝对值越大即相关性越高, 0 为完全不想关。其计算公式为:

经济发展而言, 京津冀经济发展综合得分均值在研究期内增长显著, 由 2008 年的 0.3239 增长到 2017 年的 0.8199, 其中, 张家口、天津、北京、衡水等地的经济发展水平综合得分增长最为明显, 分别增长了 74%、68%、68% 和 66%; 廊坊的经济发展水平综合得分增幅最低, 仅为 7.3%。就生态足迹而言, 京津冀人均生态足迹由 2008 年的 $3.09 \text{ hm}^2/\text{人}$ 增长到 2017 年的 $3.41 \text{ hm}^2/\text{人}$, 增长了百分之十左右, 其中, 北京、秦皇岛、张家口、天津等地的人均生态足迹增幅最大, 分别为 17.8%、14.9%、12.5% 和 11.3%; 沧州、承德等地的增幅最小, 均不足 5%。

同时, 本文利用变异系数 CV 来刻画 2008—2017 年京津冀经济发展与生态足迹的变动趋势。由图 2 可知, 京津冀经济发展的变异系数整体呈下降的趋势, 由 2008 年的 0.209 下降到 2017 年的 0.110, 表明在研究期内, 京津冀经济发展的区域差异正在逐步减小; 生态足迹的变异系数整体呈上升的趋势, 由 2008 年的 0.033 上升

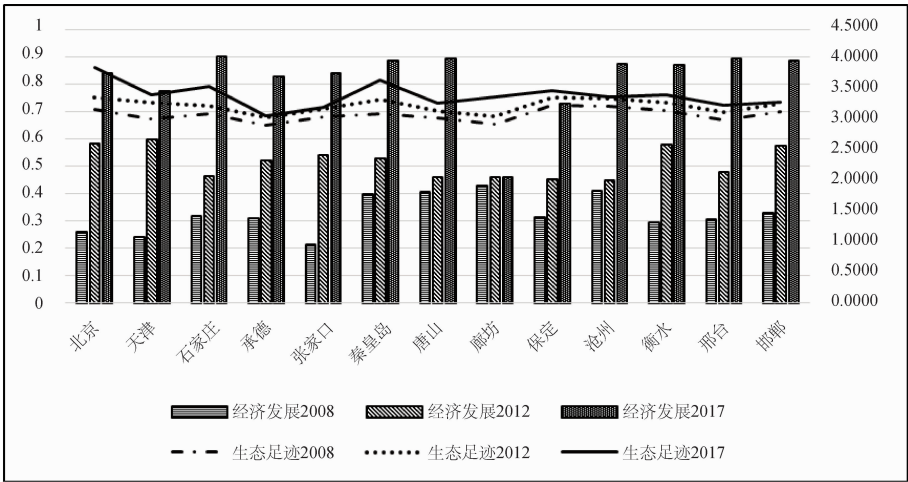


图1 2008 - 2017 年京津冀经济发展与人均生态足迹的发展状况

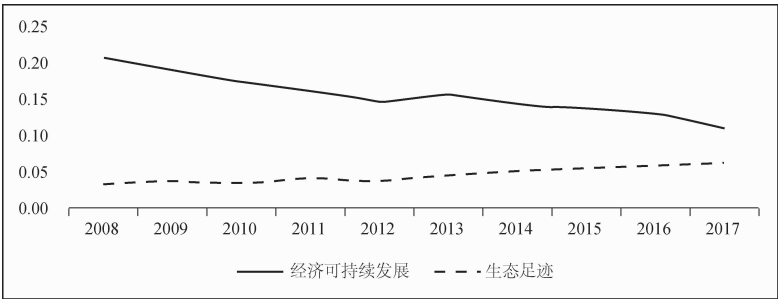


图2 京津冀经济发展与生态足迹的变异系数

到 2017 年的 0.061，表明京津冀在研究期内生态足迹的区域差异正在逐步增大。

（二）京津冀经济发展与生态足迹的空间分异

应用自然间断点分级法，将 2008 年与 2017 年的京津冀经济发展与生态足迹的综合评价得分归为 5 大类，分别是经济发展低水平、较低水平、中等水平、较高水平和高水平；生态足迹低可持续发展水平、较低可持续发展水平、中等可持续发展水平、较高可持续发展水平和高可持续发展水平，并对其进行了可视化呈现。

从图 3 中我们可以看出，从 2008 年到 2017 年，京津冀的经济发展水平空间分布格局总体趋于稳定，仅局部发生变化，大致呈现出东北部高、西南部低的分布特征，北京和天津在该区域内的核心地位比较突出。具体来说，在 2008 年，北京、天津和唐山，是经济发展高水平城市；石家庄、廊坊、秦皇岛、沧州等四地

处于经济发展较高水平区域，这两级别城市占到了京津冀城市数量的一半以上；而位于京津冀西南部地区的承德、邯郸、衡水等地，则属于经济发展较低水平城市；保定和邢台，则位于京津冀各市经济发展水平的末端。到了 2017 年，唐山的经济发展水平略有下降，从 2008 年的高水平城市掉到了第二梯队；承德由中等经济发展水平城市上升到较高水平经济发展城市，邯郸、衡水和张家口等由较低水平突围到中等水平，同时，在该时间段内，京津冀中等以上经济发展水平城市已达 11 个，占区域内城市数量的 85% 以上，区域整体的经济发展水平显著提升。

京津冀人均生态足迹的空间分布格局整体呈现“中部高、南北低”的分布特征（见图 4），且在 2008 年—2017 年研究期内，区域整体生态足迹呈逐年上升的态势，有一半以上的城市生态足迹变化显著，京津冀各城市发展的可

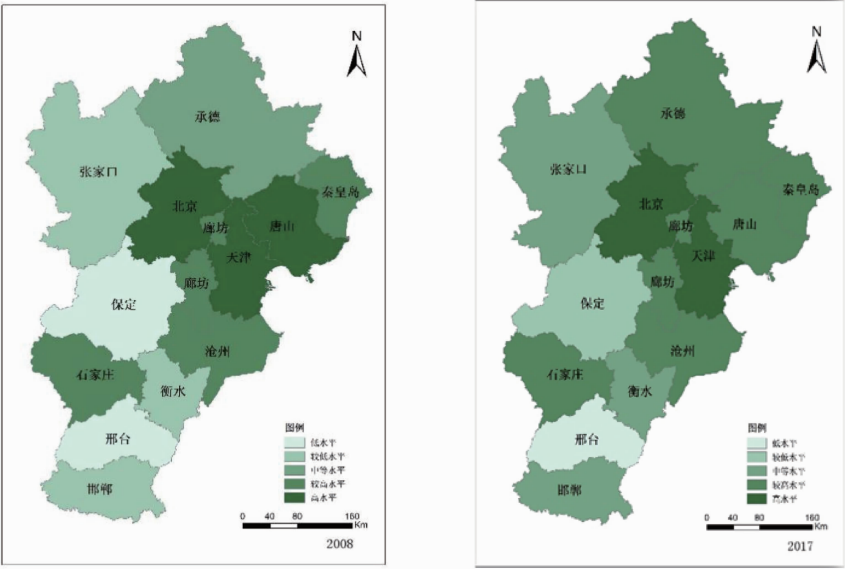


图3 京津冀2008年与2017年经济发展水平区域差异

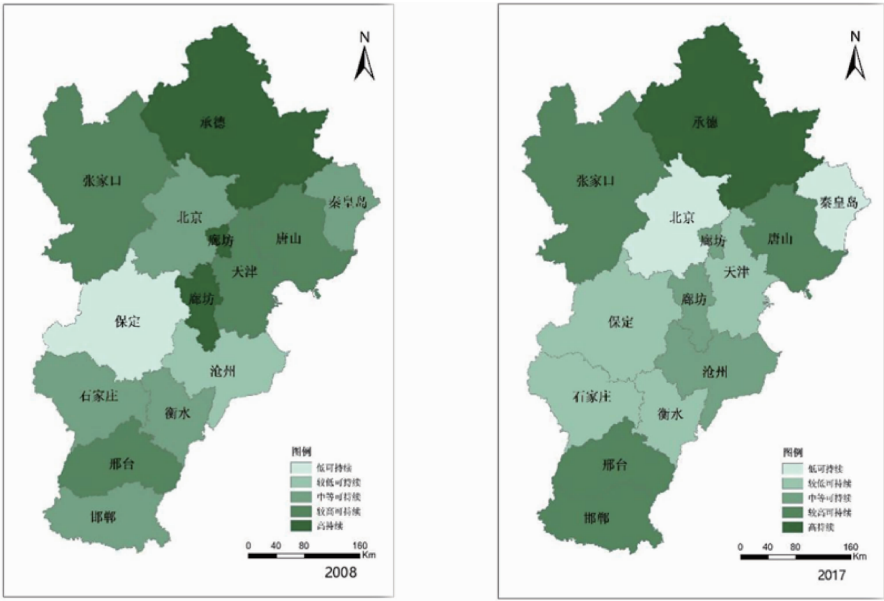


图4 京津冀2008年与2017年生态足迹区域差异

持续性正在走低。具体来说，处在京津冀北部边缘地带的承德市，作为区域内著名旅游城市，其区域可持续发展水平最高；邯郸、沧州、保定三地的生态足迹下降，由2008年的中等、较低、低可持续发展上升为2017年的中等可持续发展 and 较高可持续发展；廊坊、天津、石家庄、秦皇岛、衡水和北京等地的生态足迹上升，可持续发展水平降低，其中以廊坊、天津、秦皇岛和北京变化最为显著，分别由高持续、较高可持续、中等可持续下降到中等、较低和低可

持续水平；各分类级别城市数量总体呈现“中等可持续 > 较高可持续 > 较低可持续 > 低可持续 > 高可持续”的局面。

三、京津冀经济发展与生态足迹的耦合关系研究

(一) 京津冀经济发展与生态足迹的耦合互动关系

通过对京津冀经济发展与生态足迹时空演变特征的分析发现，京津冀经济发展与生态足

迹系统之间存在着联系，即经济发展水平高的某些地域，其生态足迹的值也相对较高，发展的可持续性较低，这也从一定程度上说明了经济发展对以生态足迹表征的生态环境具有负面的影响作用。为进一步探究这种“联系”，本文应用耦合协调度模型测算了京津冀各市 2008 年、2012 年和 2017 年经济可持续发展和生态足迹的耦合度和耦合协调度，并参考谢园园、梁丽英等的划分标准，采取中值分段法对其进行了等级划分（见表 4）。

表 4 耦合度和耦合协调度的等级划分

耦合度	耦合阶段	耦合协调度	耦合协调阶段
$0 < c \leq 0.3$	分离阶段	$0 < D \leq 0.3$	严重失调阶段
$0.3 < c \leq 0.5$	拮抗阶段	$0.3 < D \leq 0.5$	中度失调阶段
$0.5 < c \leq 0.8$	磨合阶段	$0.5 < D \leq 0.8$	低度协调阶段
$0.8 < c \leq 1$	耦合阶段	$0.8 < D \leq 1$	良好协调阶段

从图 5 的计算结果来看，京津冀各市“经济发展—生态足迹”系统的耦合度 C 的平均值在 0.61–0.65 之间，且各城市耦合度 C 的值逐年升高，表明在研究期内，该区域两系统的相互作用影响程度正在逐步增强；而大部分城市的耦合协调度 D 的平均值在 0.45–0.55 之间，表明该区域在研究期内位于濒临失调阶段，区域发展的可持续性不高。

具体来说：（1）2008 年，位于良好协调阶

段的城市只有张家口、承德两市，耦合协调度 D 值分别为 0.8524、0.8172；位于低度协调阶段的的城市有 6 市，包括北京、天津、唐山、廊坊、秦皇岛、沧州等；位于中度失调阶段的的城市有石家庄、保定、衡水、邢台和邯郸等 5 市。（2）2012 年，位于良好协调阶段的的城市只有承德，耦合协调度 D 值为 0.7255，数量较上一统计年份有所下降；位于低度协调阶段的的城市有北京、天津、石家庄、唐山、廊坊、秦皇岛、沧州、张家口等 8 市，数量较 2008 年有所增长；位于中度失调阶段的的城市仍为保定、衡水、邢台、邯郸等 4 市。（3）2017 年，位于良好协调阶段的的城市有承德、廊坊、石家庄等 3 市，耦合协调度 D 的均值为 0.7429；位于低度协调阶段的的城市有北京、天津、唐山、秦皇岛、沧州、张家口、衡水等 7 个城市；位于中度失调阶段的的城市有保定、邢台和邯郸等 3 市。从对上述的分析结果来看，京津冀“经济发展—生态足迹”系统的耦合态势整体变化平稳，多数城市位于低度协调阶段，各年份中均未出现严重失调的城市，承德市一直位于研究期内的良好协调阶段，而像北京、天津、石家庄、唐山等经济发展好、城镇化水平高的城市则面临经济发展与生态环境失衡的困局；但同时，中度失调城市数目的减少、低度协调和良好协调城市数目的增加也从侧面反映了近年来京津冀地

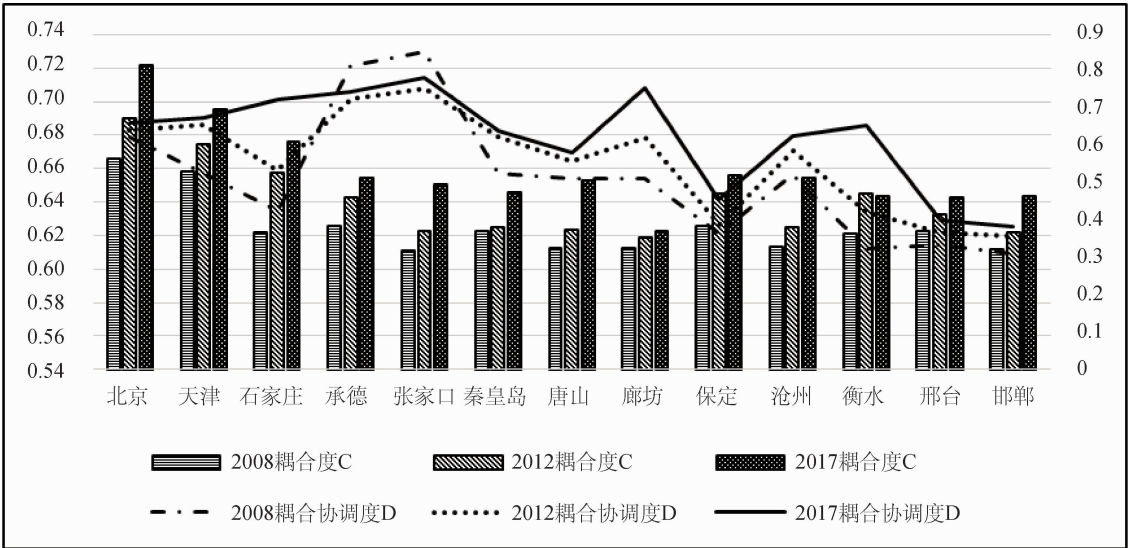


图 5 京津冀经济发展与生态足迹的耦合协调度

区整体“经济—生态”协调发展的改善。

(二) 京津冀经济发展与生态足迹耦合协调的驱动因素

通过对上述京津冀经济发展与生态足迹耦合协调的分析来看，虽然该区域在研究期内位于濒临失调阶段，但是其整体的耦合协调度正在逐年提高，表明区域内经济系统与生态系统的协调程度正在逐步改善。为进一步探究其改善的原因，本文借鉴相关研究并在参考已建立

的经济发展评价指标中，选取了人口数量 (X_1)、人均 GDP (X_2)、城镇化率 (X_3)、城镇居民人均可支配收入 (X_4)、城镇居民恩格尔系数 (X_5)、第二产业增加值占 GDP 比重 (X_6)、第三产业增加值占 GDP 比重 (X_7)、建成区绿化覆盖率 (X_8)、人均公园绿地面积 (X_9)、环境污染治理占 GDP 比重 (X_{10}) 等 10 个来综合反映人口增长、经济发展、产业结构、绿化治理等因素的指标构成比较数列 (X_i)，以测算其对参考数列耦合协调度的影响。

表 5 灰色关联度和 Pearson 相关系数

指标因素	2008 年		2012 年		2017 年		平均灰关度	排序
	灰色关联度	相关系数	灰色关联度	相关系数	灰色关联度	相关系数		
X1	0.53	-0.428 **	0.55	-0.502 **	0.57	-0.473 **	0.55	1
X2	0.32	0.328	0.33	0.314	0.35	0.452 *	0.33	9
X3	0.51	0.512 *	0.51	0.517 *	0.53	0.532 *	0.52	3
X4	0.37	0.343	0.37	0.352	0.39	0.571	0.38	7
X5	0.47	0.453	0.52	0.478 *	0.49	0.507 *	0.49	4
X6	0.46	0.402	0.49	0.479 **	0.52	0.492 **	0.49	5
X7	0.52	0.516 **	0.53	0.523 **	0.57	0.554 **	0.54	2
X8	0.34	0.334	0.33	0.325	0.37	0.340 **	0.35	8
X9	0.43	0.453	0.47	0.472 *	0.51	0.483 **	0.47	6
X10	0.32	0.337 *	0.35	0.372	0.33	0.424	0.33	10

注：* $P < 0.1$ ，** $P < 0.05$ ，*** $P < 0.01$ 。

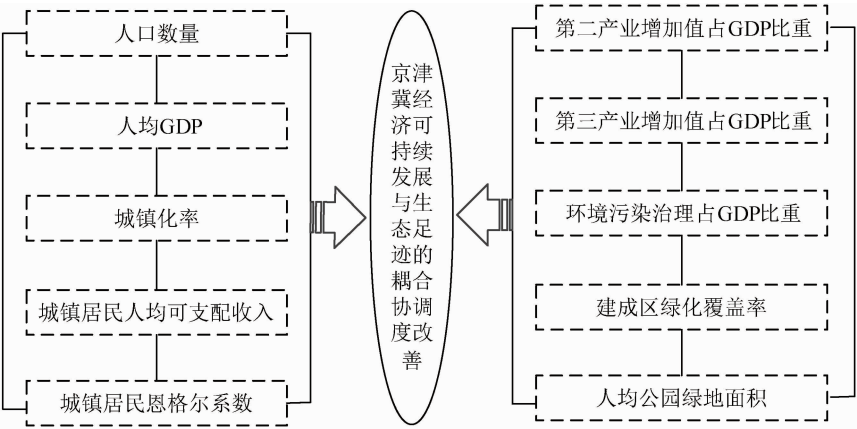


图 6 京津冀经济发展与生态足迹耦合协调改善的驱动因素

总体来看，10 个驱动因素对京津冀经济发展与生态足迹的耦合协调影响程度大小依次为：人口数量 (0.55) > 第三产业增加值占 GDP 比重 (0.54) > 城镇化率 (0.51) > 城镇居民恩

格尔系数 (0.49) > 第二产业增加值占 GDP 比重 (0.49) > 人均公园绿地面积 (0.47) > 城镇居民人居可支配收入 (0.38) > 建成区绿化覆盖率 (0.35) > 人均 GDP (0.33) > 环境污

染治理占 GDP 比重 (0.33)。

具体来说,以人口数量表征的人口因素,从 Pearson 相关系数来看,3 个年份的相关系数均为负值且均在 5% 的水平下通过显著性检验,表现出较强的负相关性。从灰色关联度的变化来看,3 个年份的关联度均在 0.50 以上,相关度较高,且这种关联程度呈逐年增大的态势。这表明,人口因素是阻碍京津冀经济发展与生态足迹耦合协调改善的关键驱动力。2017 年,京津冀常住人口突破 11247 万人,比 2008 年增加了 1311 万人;常住人口密度为 519 人每平方公里,是同期全国的 3.6 倍。人口数量的增加必然会引起粮食、能源等相关资源消耗的增加,使区域内的生态压力增大,从而不利于经济发展与生态足迹耦合协调的改善。

经济因素:人均 GDP 和城镇化率。从 Pearson 相关系数来看,人均 GDP 在 2008 年和 2012 年均未通过显著性检验,2017 年在 10% 的水平下通过显著性检验,相关性较低,且这三个年份的灰色关联度也较低,这表明人均 GDP 对该系统耦合协调度的改善影响程度不大;城镇化率在 3 个年份均通过 10% 显著性检验,且相关系数均在 0.50 以上,表现出较强的相关性,灰色关联度在 0.50 左右,且呈现逐年增大的态势,这表明城镇化率对京津冀经济可持续发展与生态足迹的耦合协调改善影响程度较大。城镇化率是一个地区城镇人口占总人口规模的比率,通常认为随着城镇化率的提高、城市化的扩张将会降低人均生态足迹,加大生态压力,但之所以会出现与现实相悖的实证结论,可能是由于城镇化率的提高可能会带来土地集约利用、能源高效利用上的优势。

财富水平:人均可支配收入、城镇居民人居恩格尔系数。从 Pearson 相关系数来看,城镇居民人均可支配收入在 3 个年份均没有通过显著性检验,且灰色关联度较低,这表明城镇居民人均可支配收入对该系统耦合协调度的改善影响不大;城镇居民人居恩格尔系数在 2008 年未通过显著性检验,在 2012 年和 2017 年均在 10% 的水平下通过显著性检验,表现出较强的相关性,灰色关联度的数值也聚集在 0.50 左

右,表明城镇居民人居恩格尔系数对京津冀经济可持续发展与生态足迹的耦合协调程度的改善有着较大的影响。恩格尔系数是指食物消费支出占个人消费总支出的比重,从 2008 年到 2017 年,京津冀城镇居民恩格尔系数(由各市恩格尔系数均值代替)由 36.16% 下降到 27.70%,食物消费比重的减少,精神层面和服务类消费比重的增加,可在一定程度上降低区域生态足迹,减轻生态压力,推动区域经济发展与生态足迹耦合协调的改善。

产业结构因素:第二产业、第三产业增加值占 GDP 比重。从 Pearson 相关系数来看,第二产业增加值占 GDP 比重在 2008 年未通过显著性检验,在 2012 年和 2017 年均在 5% 的水平下通过显著性检验,第三产业增加值占 GDP 比重在这三个年份均通过 5% 显著性检验,表现出较强的正相关性。从灰色关联度的变化来看,第三产业增加值占 GDP 比重在三个年份的灰色关联度均值为 0.54,相关度较高,且略大于第二产业增加值占 GDP 比重,并呈现逐年增大的态势。这表明,第三产业、第二产业增加值占 GDP 比重是影响京津冀经济发展与生态足迹耦合协调改善的又一关键驱动力。2008 年,京津冀第三产业增加值占 GDP 比重为 49.1%,到了 2017 年,这一数值上升到 60.1%,各类服务或商品创造的价值在 GDP 中所占比例上升;2008 年,京津冀第二产业增加值占 GDP 比重为 44.0%,到了 2017 年,这一数值下降到 35.7%,工业生产创造的价值在 GDP 中所占比例下降。这一产业结构的变化,对于缓解经济发展过程中面临资源约束趋紧、环境污染形式严峻的生态困境具有重要的意义。

绿化治理因素:建成区绿化覆盖率、人均公园绿地面积和环境污染治理占 GDP 比重。从 Pearson 相关系数来看,建成区绿化覆盖率在 2008 年和 2012 年均未通过显著性检验,2017 年在 5% 的水平下通过显著性检验,相关性较低,且这三个年份的灰色关联度也不高,这表明,虽然在研究期内京津冀建成区绿化覆盖率(由各市均值代替)由 2008 年的 38.7% 上升到 2017 年的 42.15%,但该指标因素对该系统耦

合协度的改善影响程度不大。人均公园绿地面积除 2008 年外,其余两个年份均通过显著性检验,虽呈现出正向相关性,但相关性并不强。环境污染治理占 GDP 比重仅在 2008 年通过显著性水平检验,相较于其他驱动力因素,灰色关联度数值偏低,这表明虽然研究期内京津冀人均公园绿地面积由 2008 年的 10.1 (平方米/人) 上升到 2017 年的 14.7 (平方米/人),环境污染治理占 GDP 比重逐年升高,但上述因素并非是推动京津冀经济发展与生态足迹的耦合协调改善的关键驱动力。

四、结论与展望

(一) 研究结论

1. 京津冀整体的经济发展水平较高,但不同城市间差异显著,大致呈现东北部经济发展水平高、西南部经济发展水平低的空间分布格局;京津冀人均生态足迹在研究期内呈逐年增长的态势,表明区域发展的可持续性正在走低,且在地理位置上大致呈“中部高、南北低”的空间分布特征,同时各城市间生态足迹的差异正在逐步增大。

2. 京津冀“经济发展—生态足迹”系统在研究期内位于濒临失调阶段,区域发展的可持续性不高,还未出现严重不协调的城市。

3. 在影响京津冀经济发展与生态足迹协调发展的驱动因素中,人口数量、城镇化率、城镇居民恩格尔系数、第三产业增加值占 GDP 比重等是关键的影响因素。

(二) 策略建议

针对上述研究结论,本文从因地制宜优化区域生态空间格局、加大生态环境的保护力度、采取有效措施合理控制外来人口的大量涌入等角度提出促进两系统协调发展的策略建议:

1. 因地制宜优化区域生态空间格局。如北京、保定等可持续发展水平较低的城市应大力开展观赏性旅游生态建设;位于北部地界的承德、石家庄等可持续发展水平较高的城市要重点开展风沙治理、荒山造林和平原造林等生态涵养区的建设,加强区域联防联控,弥合逐步

增大的区域差异。另外,三地政府要在统一调配下,根据其人口规模、财力状况和功能定位等区域差异建立合理的生态补偿机制,通过生态补偿对生态环境进行共建共享,实现京津冀 3 省市生态共享、经济互补和可持续发展。

2. 加大生态环境的保护力度。从企业层面来讲,要加大科技投入,引进先进的技术和经验,提高资源利用效率,降低单位产能能耗;从政府视角来看,要建立和完善生态环境保护法规体系,加大对污染行为的防控和预警,严格落实环境责任追究制度,同时京津冀三地政府还要继续深化跨区域合作,施行联防联控、共同治理,建立京津冀生态建设专项资金,积极鼓励和引导民间资本投入生态建设,推动区域经济发展与生态足迹耦合协调的改善。

3. 采取有效措施合理控制外来人口的大量涌入,引导人口从生态脆弱、生态压力大的地区向生态盈余地区迁移,缓解京津冀区域内的生态足迹压力,同时还要全面提升人口素质,引导人们树立绿色、低碳的生活方式和生态消费观念,建立生态消费模式,减轻生态足迹压力,为京津冀发展的可持续性创造良好的人口环境。

参考文献:

- [1] 叶文伟,王城城,赵从举,等. 近 20 年海南岛热带农田生态系统碳足迹时空格局演变 [J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42 (10): 114 - 126.
- [2] 王立群,李冰,郭轲. 北京市生态足迹变化及其社会经济驱动因子分析 [J]. 城市问题, 2014 (7): 2 - 8.
- [3] 倪琳,张欢,余红梅. 城市居民生活消费生态足迹测算及影响因素分析——以长沙市为例 [J]. 西北人口, 2014, 35 (1): 69 - 73.
- [4] 任毅,李宇,郑吉. 基于改进 STIRPAT 模型的定西市生态足迹影响因素研究 [J]. 生态经济, 2016, 32 (1): 89 - 93.
- [5] 杨灿,朱玉林. 绿色发展视阈下湖南省生态足迹的驱动力因素分析 [J]. 经济地理, 2020, 40 (4): 195 - 203.
- [6] Luo Huan, Huan Luo, Fang Wang. Evaluation of regional sustainable development based on ecological footprint model — take Luzhou city as an example.

2020, 568 (1): 012007 - .

[7] 胡雪萍, 李丹青. 城镇化进程中生态足迹的动态变化及影响因素分析——以安徽省为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25 (2): 300 - 306.

[8] 杨茂. 河南省生态足迹现状及其经济驱动因素研究 [J]. 广西大学学报 (哲学社会科学版), 2018, 40 (6): 99 - 104.

[9] 徐大伟, 程艳茹. 生态足迹不平等的影响因素研究——基于回归方程分解法 [J]. 大连理工大学学报 (社会科学版), 2016, 37 (4): 39 - 44.

[10] 任海军, 唐晶. 生态足迹影响因素的区域差异分解 [J]. 统计与决策, 2016 (7): 103 - 107.

[11] 李少坤, 王少军, 张志, 等. 三维生态足迹视角下江西省自然资本可持续利用演化及其驱动因素 [J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43 (1): 110 - 123.

[12] 胡正李, 葛建平, 韩爱萍. 中国大都市生态足迹的比较研究——以北京、上海、天津和重庆为例 [J]. 现代城市研究, 2017 (2): 84 - 93.

[13] 马剑锋, 秦腾, 佟金萍. 干旱区水资源生态足迹变动及影响因素的分析 [J]. 统计与决策, 2016 (18): 100 - 103.

[14] 郝海广, 李秀彬, 张惠远, 等. 农牧交错区农户生态足迹及其影响因素 [J]. 自然资源学报, 2016, 31 (1): 52 - 63.

[15] 冯银, 成金华, 申俊. 中国省域能源生态足迹空间效应研究 [J]. 中国地质大学学报 (社会科学版), 2017, 17 (3): 85 - 96.

[16] 王志平, 陶长琪, 沈鹏熠. 基于生态足迹的区域绿色技术效率及其影响因素研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24 (1): 35 - 40.

Spatial Temporal Evolution and Coupling Relationship Between Economic Development and Ecological Footprint in Beijing-Tianjin-Hebei Region

LI Jianlong¹, SUN Yu^{1,2}, CUI Yin²

(1. School of Public Management, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China;
2. School of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: By constructing the evaluation index system reflecting the economic development of Beijing, Tianjin and Hebei and calculating its ecological footprint, and comprehensively using entropy method, coupling coordination degree model and grey correlation analysis, this paper analyzes the temporal and spatial evolution characteristics and coupling relationship of economic development and ecological footprint of 13 cities of Beijing, Tianjin and Hebei from 2008 to 2017, and further explores its driving factors. In view of the research conclusions, this paper puts forward strategic suggestions to promote the coordinated development of the two systems from the perspectives of optimizing the regional ecological spatial pattern according to local conditions, strengthening the protection of the ecological environment, and taking effective measures to reasonably control the influx of foreign population.

Keywords: Beijing-Tianjin-Hebei; economic development; ecological footprint; coupling relationship;
(责任编辑: 胡睿)