应用生态学报 2015年12月 第26卷 第12期
Chinese Journal of Applied Ecology, Dec. 2015, **26**(12): 3818-3826

京津冀地区资源环境承载力动态变化及其驱动因子*

郭 轲 王立群**
(北京林业大学经济管理学院, 北京 100083)

摘 要 在构建京津冀地区资源环境承载力评价指标体系的基础上,运用状态空间模型科学测量京津冀地区资源环境承载力,并结合时间序列Tobit模型分析京津冀地区资源环境承载力的驱动因素.结果表明: 2000—2012年,京津冀地区资源环境承载力都处于可载状态,且在上升阶段.社会经济增长对资源环境带来的压力较大.京津冀三省(市)的承载度都呈现"U"型曲线形式,资源环境承载度都较低,资源环境承载潜力较大.常住人口数量、城镇居民恩格尔系数是京津冀地区资源环境承载力的共同影响因素,人口问题很可能成为限制区域社会经济发展的瓶颈,对资源环境造成威胁.三地应该在资源环境、社会发展、经济结构方面互为补充,把资源环境承载力作为参考等政策启示.

关键词 京津冀地区; 资源环境承载力; 驱动因子; 状态空间模型; Tobit模型
文章编号 1001-9332(2015)12-3818-09 **中图分类号** F290 **文献标识码** A

Change of resource environmental bearing capacity of Beijing-Tianjin-Hebei region and its driving factors. GUO Ke, WANG Li-qun (*School of Economic and Management, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2015, **26**(12): 3818-3826.

Abstract: Based on the evaluation index system established for measuring the resource environmental bearing capacity (REBC), this paper measured the REBC of Beijing-Tianjin-Hebei region by applying the state space model and analyzed their driving factors by using the Tobit model. The results showed that the REBC of Beijing-Tianjin-Hebei region was in the available state and at the rising stage as well during 2000-2012. The social economic growth had great pressure on the resources and environment. The bearing ratios of the REBCs of Beijing, Tianjin and Hebei all presented a U curve and located at low levels, which meant that there was high REBC potential in these regions. Both of the permanent population and the urban residents 'Engel's coefficient were the influence factors of the REBC of Beijing-Tianjin-Hebei region. The population problem was likely to become the bottleneck to restrict the regional social and economic development, and also threaten the resources and environment. The specific driving factors of the REBC were different in Beijing, Tianjin and Hebei. For example, energy consumption per unit of GDP only had significant impact on Tianjin. At last, the paper proposed that the three regions should complement each other in resources and environment, social development, and economic structure, also the REBC should be taken a reference in decision and policy making.

Key words: Beijing-Tianjin-Hebei; resource environmental bearing capacity; driving factors; state space model; Tobit model.

污染的外部性、以邻为壑的行政割据观念,制约了京津冀都市圈的发展,协同治理、协同发展,成为了京津冀地区的必然选择.越来越严峻的区域发展现状,尤其是雾霾困局的倒逼,加快了京津冀一体化战略构想的实施.从国家《十二五规划纲要》[1]到习近平总书记在京津冀协同发展工作座谈会上的重要讲话,再到《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》[2]的出台,京津冀协同发展已经成为国家重大发展战略.与其他城市圈相比,京津冀地区GDP第二产业占比较高,人口、资源、环境等一系列区域问题严重制约京津冀地区的经济发展.这也是京津冀一体化协同发展所面临的严峻形势.要解决好京津

*北京社会科学基金项目(15JGB044)、林业公益性行业科研专项和教育部人文社会科学研究规划基金项目(11YJA630127)(201304308)资助.
**通讯作者. E-mail: wlq@bjfu.edu.cn
2015-04-20收稿,2015-10-08接受.

冀地区的协同发展问题，首先就要了解区域资源、环境的承载力情况，处理好经济发展与资源禀赋、环境问题之间的关系，从而实现区域经济可持续发展.资源环境承载力指特定时期内，在保证资源合理开发利用和生态环境保育良好的前提下，不同尺度区域的资源环境条件对人口规模及经济总量的承载能力[3].作为衡量可持续发展的重要标志，区域资源环境承载力的深入研究可以定量揭示区域发展存在的制约性问题，并为实施可持续发展战略提供更具有针对性的调控对策依据[3].尤其是对具有国家战略意义的京津冀都市圈而言，对其资源环境承载力进行深入研究具有极强的理论和现实意义.

国外资源环境综合承载力研究最早可追溯至1949 年美国学者 Vogt[4] 所著《生存之路》一书.该书首次把人类对自然资源环境的过度开发所造成的生态变化称为“生态失衡”，并明确提出区域承载力概念.20 世纪 80 年代，英国科学家 Sleeser[5] 基于新的资源环境承载力定义，综合考量人口、资源、环境和发展之间的关系，建立了系统动力学模型，提出计算资源环境承载力的新方法.除了因为承载力受多种因素影响和制约，存在很大的不确定性和不一致性（主观与客观）特点外，欧美发达国家自身拥有相对丰富的资源储备，人口压力很小，促使他们更为关心环境污染问题，但专门对资源环境承载力进行研究却很罕见，能够发现的极少数研究也仅是将其在可持续发展文献中进行宽泛探讨[3].随着承载力理论在国内的深入研究和应用，学者们逐渐发现资源或环境单要素承载力研究存在局限性，资源环境综合起来系统研究，成为承载力研究适应资源环境领域实际变化的必然发展趋势，也是承载力研究能够真正推动可持续发展理论前行的可能突破点[3].刘殿生[6] 在研究中明确提出了“资源环境综合承载力”的概念.秦成等[7] 系统分析了资源-环境-社会-经济复合系统的结构和功能，构建了资源环境承载力普适性评价指标体系.李悦等[8] 将资源环境承载力外延为资源环境支撑、资源环境保育、资源环境经济、资源环境消耗 4 个维度，并在界定的框架内选取可获取的指标，构建指标体系.李健等[9] 通过主成分分析，选取使用频率较高的指标确定指标体系，运用变异系数法确定权重，从影响天津市环境承载力的压力要素和承压要素两方面构建了评价指标体系，并运用状态空间模型测算了天津 2006—2011 年的环境承载力，分析了其关键影响因素.此外，还有学者通过建立评价指标体系，以资源环境承载力为标准，进行省际或者区域功能区划分，并分析其空间差异性和相关性[10-12].

除了以全国或者省际为研究对象，还有学者对城市群的资源环境承载力进行探索研究.如刘晓丽等[13] 对城市群资源环境承载力进行初步研究，总结了国内外研究的不足之处，认为应该重视城市群系统的开放特征及其区域空间结构整体性，重视科技和制度等人文因素的作用，充分利用先进技术方法强化综合定量研究.毛汉英等[14] 结合环渤海地区的实际，探究了区域承载力的定义、特点、影响因素等，采用状态空间法和系统动力学（SD）模型，分别对区域的承载状况和未来变化趋势进行了定量描述和预测.张学良等[15] 从空间和经济效率的角度给出城市群资源环境承载力的定义，并对 2011 年中国城市群资源环境总量、资源环境效率、环境 TFP 以及城市群资源环境承载力的大小进行分析.孙钰等[16] 对环渤海地区城市群土地综合承载力进行了实证研究.关于京津冀地区的资源环境承载力也有学者进行探索性研究.如毕明[17] 运用主成分分析法分析了京津冀城市群的资源环境承载力.还有学者分析了京津冀地区的土地承载力[18-21].王树强等[22] 运用秩和比方法对京津冀三地的土地资源、水资源、环境容量、能源、交通设施、市政设施和社会等综合承载力进行了总体分析与评估.

在研究方法上，承载力测算经历了由以单要素承载力加权求和方法测算综合资源环境承载力指数（大多侧重对现状的静态评估分析为主[3]），到系统动力学模型，再到 K 值可以动态提升的双 Logistic 曲线方程及生态足迹、虚拟水、能值分析[13].毛汉英等[23] 提出，将状态空间模型应用到承载力的测算中，并对环渤海地区区域承载力进行测算[14].其后，状态空间模型在测算区域承载力的研究中得到了较为广泛的应用[9,24-25].目前，对资源环境承载力影响因素方面的研究还比较少见，使用的方法也多为理论阐述[9,14,26].在社会经济领域，Tobit 模型被广泛地应用于影响因素的分析.随着不断发展，该模型已经从最初的结构式模型扩展到时间序列模型、面板数据模型以及非参数模型等形式.因本研究的因变量为离散型变量，且为时间序列数据，因此选择时间序列 Tobit 模型分析京津冀地区资源环境承载力的驱动因子.

迄今，国内外就资源环境承载力已经进行了一定研究，研究成果也较为丰富，研究方法从定性到定性与定量相结合、从单一到综合、从静态到动态.但

是,以往的大部分研究分别从资源、环境两个维度来分析承载力,将资源与环境承载力分开研究,在明确的资源环境承载力概念基础上将资源与环境结合起来进行资源环境承载力的研究则较为少见;而且所使用的研究方法不能完整、全面、准确地评价和计算国家或地区的资源环境承载力;在评价模型构建方面,目前还没有形成主导的资源环境承载力评价模型[27];所形成的指标体系存在简单的套用,缺乏与实际的结合,科学性较为欠缺;在分析资源环境承载力的基础上深入分析驱动因素的研究则更为少见;虽然有学者以城市群为对象进行研究,但是成果并不多见;以京津冀地区为对象进行的大部分研究,仅考虑了某一资源类型或将资源承载力与环境承载力分开,未将资源承载力与环境承载力结合放到资源环境承载力的框架下进行研究.鉴于此,本文通过构建京津冀地区资源环境承载力评价指标体系,运用状态空间模型科学测量京津冀地区资源环境承载力,并在此基础上运用 Tobit 模型分析京津冀地区资源环境承载力的驱动因素,为政府制定社会、经济区域发展规划和资源、环境战略提供参考依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域概况

京津冀一体化由京津唐工业基地的概念发展而来,包括北京市、天津市以及河北省,涉及到京、津和河北省 11 个地级市的 80 多个县(市).国土面积约 12 万 km^2,人口总数约 9000 万.

北京(39.4°—41.6° N,115.75—117.4° E)是中国首都、直辖市和国家中心城市,政治、文化中心,中国经济的决策和管理中心,地处华北平原的北部,背靠燕山,毗邻天津市和河北省,国土面积 16410.54 km^2,下辖16个区县.2014年末,全市常住人口 2151.6 万.2014 年全市生产总值 21330.8 亿元,三次产业结构为 2.0∶20.1∶77.9[28].

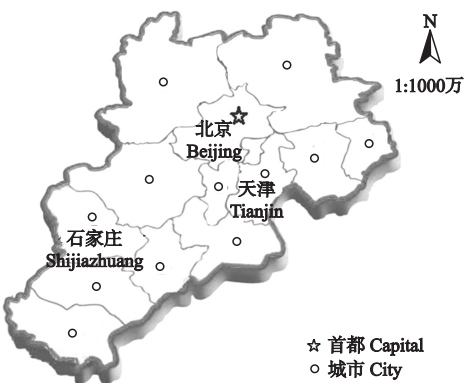


图 1 京津冀一体化区域分布图

Fig.1 Zone map of Beijing-Tianjin-Hebei region.

天津(38.34°—40.15° N,116.43°—118.04° E)是中国直辖市、国家中心城市,北方经济中心、环渤海地区经济中心,地处华北平原北部,东临渤海,北依燕山.国土面积 11946 km^2,有 12 个市辖区,1 个副省级区,3 个市辖县,共有乡镇级区划数为 240 个.2014 年末,全市常住人口 1516.81 万.2014 年全市生产总值 15722.47 亿元,三次产业结构为 1.3∶49.4∶49.3[29].

河北省(36.05°—42.40° N,113.27°—119.50° E)地处华北,漳河以北,东临渤海、内环京津,西为太行山地,北为燕山山地,燕山以北为张北高原.国土面积 188500 km^2,辖 11 个地级市,39 个市辖区、18 个县级市、106 个县、6 个自治县,共有 1970 个乡镇. 2014 年,全省常住人口 7383.75 万.2014 年全省生产总值 29421.2 亿元,三次产业比重为 11.7∶51.1∶37.2[30].

1.2 研究方法

1.2.1 指标体系构建 资源环境承载力作为指导区域可持续发展的理论内容之一,需要一套与其理论相对应、可对区域复杂系统准确评价、分析、决策的动态化研究方法[3].指标体系是进行资源环境承载力测量的基础,在运用状态空间模型测量区域资源环境承载力的研究中,一般从压力指标和承压指标两方面考虑.毛汉英等[23]将压力类指标划分为经济增长类指标和人口类指标,将承压类指标划分为资源环境类指标和潜力类指标,后来的研究多借鉴这种分类方法.本研究在科学界定资源环境承载力的基础上,结合京津冀地区实际情况,并借鉴已有研究成果[3,9,12-14,27],对既有研究中的指标体系进行科学统计分析,并通过对先验指标体系进行因子分析、主成分分析,选取使用频率高、科学性、代表性强的指标,最终分别从压力类指标和承压类指标两方面设计了包含经济增长指标、人口指标、资源环境指标和潜力类指标的 4 大类 28 个具体指标的指标体系(表 1).其中,压力类指标主要反映社会经济发展、人口增长对京津冀地区所带来的资源环境承载压力,包括人口的数量、人口增长速度、生活消费以及人类社会经济活动而引发的经济增长、资源消耗与环境污染等;承压类指标主要反映京津冀地区的资源本底与发展方面的指标,如主要自然资源的拥有量以及可提高资源环境承载能力的潜力类指标(如产业结构、科研投入、环境治理及生活质量指标等).

表 1　资源环境承载力测评指标体系

Table 1　Evaluation index system of resource environmental bearing capacity

指标属性 Indicator attribute	指标类别 Indicator category	指标 Indicator
压力类 Pressure	经济增长 Economic growth	万元 GDP 水资源消耗(m^3)；万元 GDP 能耗(10^4 t of SCE)；万元 GDP 工业 SO_2 排放量(10^4 t)；万元 GDP 工业化学需氧量排放量(10^4 t)
	人口类 Population	常住人口数(万人)；人口自然增长率(‰)；人均生活用能源(kg SCE)
承压类 Bearing capacity	资源环境 Resource and environment	可供本地消费的能源量(10^4 t of SCE)；人均水资源总量(m^3)；可吸入颗粒物每日均值($mg \cdot m^{-3}$)；城市污水日处理能力(10^4 t)；污水处理率(%)；降水量(mm)
	潜力 Potential	人均 GDP(元)；三次产业贡献率(%)；R&D 经费占 GDP 比重(%)；万人拥有公共图书馆图书藏量(册)；城市人均道路面积(m^2)；人均住房建筑面积(m^2)；万人拥有公共交通车辆(标台)；建成区绿化覆盖率(%)；人均公园绿地面积(m^2)；千人口拥有医院床位数(张)；千人口拥有执业(助理)医师数(人)；企业家信心指数；开发区占地比(%)；职工月最低工资(元)；城镇居民恩格尔系数(%)

1.2.2 状态空间模型　状态空间是欧氏几何空间用于定量描述系统状态的一种有效方法.通常由表示系统各要素状态向量的三维状态空间轴组成.应用状态空间法可作为定量地描述和测度区域承载力与承载状态的重要手段[23].

如图 2 所示,本文将三维状态空间轴分别设定为社会经济活动轴、资源轴、环境轴.利用状态空间中的原点与系统状态点所构成的矢量模数表示区域承载力的大小,考虑到社会经济活动与资源环境各要素对区域承载力所起的作用不同,因而状态轴的权重也不一样.区域资源环境承载力的数学表达式为:

$$REBC = |M| = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} w_i \times x_{ij}^{\ 2}} \tag{1}$$

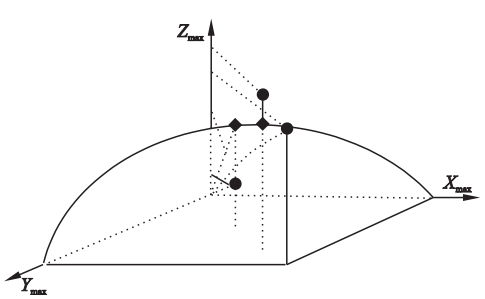


图 2　区域资源环境承载力概念模型示意图[23]

Fig.2　Concept model sketch of resource environmental bearing capacity[23].

X: 资源轴 Resource axis; Y: 环境轴 Environment axis; Z: 社会经济活动轴 Social economic activity axis.

式中:$REBC$ 为区域资源环境承载力值;M 为代表区域资源环境承载力的有向矢量的模数;x_i 为区域社会经济活动与资源环境处于理想状态时在状态空间中的坐标值($i=1,2,\cdots,n$);w_i 为 x_i 轴的权.

由于现实的区域承载状况与状态空间中理想的区域承载力并不完全吻合,其偏差值可作为定量描述区域承载状况的依据.通常区域承载状况有超载、满载与可载 3 种情况.区域承载状况的计算公式为:

$$RCS = RCC \times \cos\theta \tag{2}$$

式中:RCS 为现实的区域承载状况;RCC 为区域承载力;θ 为现实的区域承载状况矢量与该资源环境承载体组合状态下的区域承载力矢量之间的夹角.计算公式如下:

$$\cos|\theta| = \frac{(a,b)}{|a||b|} = \frac{\sum_{i=1}^{k} x_{i\,a} x_{i\,b}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{k} x_{i\,a}^{\ 2} \times \sum_{i=1}^{n} x_{i\,b}^{\ 2}}} \tag{3}$$

式中:a、b 分别代表状态空间中的两个向量,假设其顶点分别为 A、E,$x_{i\,a}$ 和 $x_{i\,b}$ 则代表顶点 A、E 在状态空间中的坐标值,$i=1,2,\cdots,k$,k 代表状态空间的维数,本文中 $k=3$.

1.2.3 Tobit 模型　以资源环境承载力作为因变量,取值为(0,+1),采用 Tobit 模型分析自变量与资源环境承载力之间的关系.Tobit 模型形式为:

$$RCS^{*} = \beta_0 + \beta x + u,\ u|x \sim N(0,\delta^2) \tag{4}$$

式中:RCS 代表实际资源环境承载力;x 代表资源环境承载力影响因素的向量;β_0 和 β 分别为截距项和系数;潜变量满足经典线性假设.

参考指标体系选择上,本研究在进行回归的基础上,最终选择包括人口变量(常住人口数)、能耗变量(万元 GDP 能耗、人均生活用能源)、经济变量(人均 GDP、三次产业贡献率、恩格尔系数)、环境污染变量(GDP 工业 SO_2 排放量、可吸入颗粒物)、社会发展变量(人均住房建筑面积、人均公园绿地面积)在内的一组变量来分析资源环境承载力的影响因素.在变量选择时已经考虑了变量的共线性问题,作为变量选择的一个因素.

1.3　数据来源与处理

本文数据来源于相应年度《北京统计年鉴》[28]、《天津经济年鉴》[29]、《河北经济年鉴》[30].

应用变异系数法确定各指标权重,首先对数据标准化处理,将每一项指标数值处理成 0~1 之间的数值.随后通过计算各个指标的平均数(R_{ij})和标准值(S_{ij}),得出变异系数(V_i)以及权重(W_i),公式

如下：

$$V_i = S_i / R_i \quad (5)$$

$$W_i = V_i / \sum_{i=1}^{m} V_i \quad (i = 1,2,\cdots,n) \quad (6)$$

2 结果与分析

2.1 京津冀地区资源环境承载力动态

根据式(5)和(6)求得京津冀三地变异系数和权重. 2000—2012 年间，京、津、冀地区的理想承载力值分别为：

$$RCC_{bj} = \sqrt{\sum_{i=1}^{22} w_i X_{ij}^2} = 2.1059$$

$$RCC_{tj} = \sqrt{\sum_{i=1}^{22} w_i X_{ij}^2} = 2.0468$$

$$RCC_{hb} = \sqrt{\sum_{i=1}^{22} w_i X_{ij}^2} = 2.0293$$

说明研究期间京津冀地区的理想资源环境承载力呈现依次递减的情况，北京承载力最大，河北最小.

由表 2 可以看出，2000—2012 年，京津冀三地的资源环境承载力与实际承载状况都在增长，且三地在资源环境承载力与实际承载状况两方面的差异都不大.京津冀地区实际资源环境承载状况远小于理想资源环境承载力，说明京津冀地区社会经济发展始终处于资源环境承载力可载状态，仅从社会经济发展对资源消耗以及环境影响的角度来看，发展空间还很大，社会经济发展与资源、环境处于协调发展阶段.这与李健等[7]对天津市承载状况的研究结论一致.但是，当前京津冀地区出现以雾霾为主的环境问题非常突出，可能原因为：虽然当前社会经济发展所带来的 SO_2、可吸入颗粒物等污染物的产生量并未对环境造成严重威胁，处于资源环境可载范围，但是由于污染物处理技术落后、处理水平低等造成污染物排放量大，从而对环境造成严重影响，导致了严重的环境问题.京津冀地区社会经济增长对资源环境带来的压力增长幅度较大.2000—2012 年北京实际资源环境承载力增长了 163.3%，天津、河北两地的增幅分别为 124.7%和 129.1%.从资源环境承载力增长幅度来看，北京大于河北、天津.同期，北京、天津、河北三地的经济增幅分别为 465.5%、657.6%、426.4%，人均生产总值增幅分别为 308.6%、436.9%、381.9%.将资源环境承载力增幅与经济增幅指标相比较，发现北京单位经济增长所带来的资源环境承载力增幅为 35.1%，单位人均经济增长所带来的资源环境承载力增幅为 52.9%，天津所对应的值分别为 19.0%和 28.5%，河北所对应的值分别为 30.3%和 33.8%，说明北京单位经济增长对资源环境所带来的压力高于天津和河北，天津单位经济增长所带来的资源环境压力最小.三地人均经济增长所带来的资源环境压力呈现同样的趋势.

为了更直观地反映京津冀地区实际资源环境承载状况与理想资源环境承载力的变化，本研究用资源环境承载度的概念进行刻画(即实际承载状况与理想承载力的比值，REBD，图 3).

2000—2012 年，京津冀地区的承载度都呈现“U”型曲线形式，三省(市)资源环境承载度先降低后增加，但总体均呈现增长趋势；三省(市)资源环境承载度都较低，说明资源环境承载潜力都较大.其

表 2 京津冀地区 2000—2012 年区域承载状况

Table 2 RCC states of Beijing-Tianjin-Hebei region from 2000 to 2012

年份 Year	实际承载力 $REBC_{real}$			理想承载力 $REBC_{ideal}$			矢量夹角的余弦 $\cos\theta$		
	北京 Beijing	天津 Tianjin	河北 Hebei	北京 Beijing	天津 Tianjin	河北 Hebei	北京 Beijing	天津 Tianjin	河北 Hebei
2000	0.3286	0.3871	0.3640	1.7343	2.1348	2.0110	0.1561	0.1891	0.1794
2001	0.3510	0.3969	0.3920	1.8575	2.3560	2.2666	0.1667	0.1939	0.1932
2002	0.4322	0.4077	0.3537	2.3792	2.4077	2.1497	0.2052	0.1992	0.1743
2003	0.4264	0.4445	0.3762	2.3673	2.6327	2.2551	0.2025	0.2172	0.1854
2004	0.4626	0.4526	0.3822	2.6121	2.6848	2.3238	0.2197	0.2211	0.1884
2005	0.5031	0.4790	0.4063	2.8178	2.8164	2.4129	0.2389	0.2340	0.2002
2006	0.5554	0.4892	0.4684	3.1354	2.8778	2.7261	0.2637	0.2390	0.2308
2007	0.5662	0.5172	0.5374	3.1297	2.9683	2.9924	0.2689	0.2527	0.2648
2008	0.6903	0.5740	0.6540	3.6847	3.1203	3.4599	0.3278	0.2805	0.3223
2009	0.6528	0.6479	0.6733	3.5455	3.5039	3.5218	0.3100	0.3165	0.3318
2010	0.7198	0.6803	0.7411	3.9089	3.6366	3.8728	0.3418	0.3324	0.3652
2011	0.7545	0.7798	0.7874	4.0376	4.0175	4.0452	0.3583	0.3810	0.3880
2012	0.8654	0.8698	0.8340	4.5428	4.4373	4.2399	0.4109	0.4250	0.4110

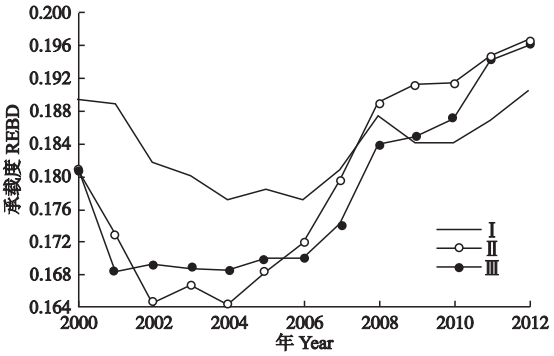


图 3　2000—2012 年京津冀资源环境承载度

Fig.3　REBDs of Beijing, Tianjin and Hebei from 2000 to 2012.

Ⅰ：北京 Beijing；Ⅱ：天津 Tianjin；Ⅲ：河北 Hebei.

中,北京市为 17.7%～19.1%,天津市为 16.9%～19.6%,河北省为 16.5%～19.7%.三省(市)资源环境承载度在具体变化中又有不同,具体体现在:1)增长幅度不同.研究期间,北京市资源环境承载度由 19.0%增长到 19.1%,增幅为 0.5%;天津市资源环境承载度由 18.1%增长到 19.6%,增幅为 8.1%;河北省资源环境承载度由 18.1%增长到 20.0%,增幅为 8.7%,以河北的资源环境承载度增幅最大,北京最小.2)触底时间不同.北京市与河北省资源环境承载度于 2004 年达到最低值,分别为 17.7%、16.5%,与 2000年水平相比分别减少了1.2%和1.7%,变化幅度分别为 6.5%、9.1%,天津市于 2001 年达到最低水平(16.9%),减少值和幅度分别为 1.3%、7.3%.到 2012 年,北京、天津、河北三省(市)的增长值分别为 1.3%、2.8%、3.2%,增幅分别为 7.6%、16.4%、19.6%.3)平缓程度不同.相对于天津、河北两地,北京地区 2000—2012 年资源环境承载度的变化更平缓,说明北京地区在资源环境承载潜力挖掘上较天津、河北两地更有节制,更注重资源环境的可持续利用与社会经济的可持续发展.河北资源环境承载度经过较剧烈的波动后,从资源环境承载度最低的地区一跃成为资源环境承载度最高的地区,说明河北为了促进社会经济的发展,不断加大对资源环境的利用强度,加快了挖掘资源环境承载力潜力的步伐.

2.2　京津冀地区资源环境承载力变化驱动因素

运用 Stata 12.1 软件,采用时间序列 Tobit 模型分别对京津冀三省(市)资源环境承载力的影响因素进行实证分析,结果如表 3 所示.3 个模型的似然比检验的卡方值分别为 29.47、31.63、33.07,其显著性都分别为 0,说明 3 个模型的拟合度较高,可以用模型结果进行分析.

2.2.1 人口变量　常住人口数对三省(市)资源环境承载力都有显著影响.说明人口数量是三省(市)承载力的重要影响因素,方向都为正,说明人口数量与承载力呈同向变化趋势.如果延续这样的发展趋势,

表 3　京津冀地区资源环境承载力的影响因素

Table 3　Driving factors of RCS in Beijing-Tianjin-Hebei

变量 Variable	北京 Beijing			天津 Tianjin			河北 Hebei		
	系数 Coefficient	标准误 SE	*P* 值 *P*>|*t*|	系数 Coefficient	标准误 SE	*P* 值 *P*>|*t*|	系数 Coefficient	标准误 SE	*P* 值 *P*>|*t*|
常住人口数 Permanent population	2.81*	1.16	0.093	0.10*	2.14	0.064	9.40*	3.75	0.087
万元 GDP 能耗 Energy consumption per unit of GDP	1.19	0.61	0.147	0.80**	0.72	0.022	1.60	0.87	0.162
人均生活用能源 Per capita consumption for non-production purpose	0.34	0.67	0.645	−0.07	0.53	0.230	−1.21	0.57	0.124
人均 GDP GDP per capita	0.28	0.34	0.471	0.28	0.39	0.427	0.92*	0.39	0.100
三次产业贡献率 Contribution rate of the tertiary industry	−0.46*	0.15	0.052	−0.35***	0.13	0.008	−0.21	0.10	0.138
GDP 工业 SO_2 排放量 SO_2 emissions per unit of GDP	1.01	0.62	0.201	0.01	0.73	0.573	2.75**	0.87	0.050
可吸入颗粒物(M_{10}) Particulate matters	0.29	0.45	0.564	0.41	0.36	0.468	0.57	0.27	0.127
人均住房建筑面积 Per capita net floor space	−0.50	0.71	0.528	−1.10**	0.47	0.036	−0.64*	0.26	0.088
人均公园绿地面积 Per capita area of parks	−1.83	1.03	0.175	−0.10	0.40	0.703	−0.12	0.27	0.692
城镇居民恩格尔系数 Engel's coefficient of urban residents	−1.96*	0.69	0.066	−0.43**	0.59	0.012	−0.55*	0.50	0.054
_cons	−15.10	5.48	0.070	−31.16	−27.31	0.061	−85.40	34.45	0.089
Log likelihood		29.47			31.63			33.07	
Prob > chi2		0			0			0	

* *P*<0.1；** *P*<0.05；*** *P*<0.01.

人口问题很可能成为限制区域社会经济发展的瓶颈,对资源环境造成威胁,尤其是北京这样的特大型城市.北京市常住人口由 2000 年的 1363.6 万增长到 2012 年的 2069.3 万,增幅达到 51.8%,对资源环境形成了较大压力,如水资源消耗、交通压力、住房压力等.因人口问题带来的一系列经济社会问题已经所有体现.为了抑制因人口增长带来的负面效应,北京市已经采取了限制人口增长的一系列措施.

2.2.2 能耗变量 万元 GDP 能耗对北京承载力有显著的正影响,说明北京能源消耗是影响其承载力的重要影响因素之一.2000 年北京万元 GDP 能耗为 1.311 万 t 标准煤,2012 年为 0.436 万元,降幅为 -66.7%.虽然能源利用效率和能源结构在发生改变,但是因社会经济发展对能源消耗所带来的压力依然不小.人均生活用能源对北京资源环境承载力没有显著影响,说明能源消耗对资源环境所造成的压力主要来源于除生活用能源以外的行业,如工业等.万元 GDP 能耗和人均生活用能源都没有对天津和河北两地承载力形成显著影响,说明二者不是天津和河北两地的显著影响因素.

2.2.3 经济增长变量 人均 GDP 只对河北省资源环境承载力有显著影响,说明经济增长对河北省资源环境形成了显著压力.2000—2012 年,河北省人均 GDP 从 7591.752 元增长到 36789 元,增幅达到了 384.6%,一直保持快速增长,这与河北省自改革开放以来采取的经济高速发展策略有关.而经济的高速发展,带来了对资源环境的过度消耗.三次产业贡献率对北京、天津两市的资源环境承载力有显著的负影响,说明京津两地三次产业比例的提高缓解了对资源环境所造成的承载压力,而三次产业结构对河北省的资源环境承载力还未形成显著的缓解效应.恩格尔系数是反映食品支出总额占个人消费支出总额的比重,家庭收入水平越低,食品支出占个人消费支出的比重越高,恩格尔系数越大.实证结果显示,城镇居民恩格尔系数对京津冀三省(市)的资源环境承载力有显著的负向影响,说明城镇居民收入水平的提升有助于缓解对资源环境承载力的压力.2000—2012 年,京津冀三省(市)城镇居民恩格尔系数都整体呈下降趋势,反映出京津冀三省(市)城镇居民的收入水平在提升.

2.2.4 环境污染变量 GDP 工业 SO_2 排放量对京津冀三省(市)都有正向影响.工业 SO_2 是工业生产的附属品,工业 SO_2 的减少,说明对资源环境的压力也在减少,但是只对河北资源环境承载力的影响达到显著水平.河北省 GDP 工业 SO_2 从 2000 年的 113.3×10^4 t 下降到 2012 年的 112.18×10^4 t,降幅达到 1.0%,说明随着产业机构优化以及技术水平提升,GDP 工业 SO_2 已经在降低,对资源环境的压力也在降低.钢铁、石化、装备制造是河北省的三大战略支撑产业.这些产业的特点就是高耗能、高污染、高排放,所以河北省经济发展对能源等资源的依赖性很大,同时对环境所造成的压力也较大.可吸入颗粒物是造成环境污染的重要因素之一,也是与人民生活息息相关的重要污染源.2000—2012 年,北京市可吸入颗粒物从 0.16 mg·m^{-3}减少到 0.11 mg·m^{-3},降幅达到 32.7%;天津市吸入颗粒物从 0.05 mg·m^{-3}升高到 0.11 mg·m^{-3},峰值时达到 0.11 mg·m^{-3};河北省可吸入颗粒物从 0.20 mg·m^{-3}降低到 0.14 mg·m^{-3},降幅达到 32.7%,说明京津冀三地可吸入颗粒物的排放量在降低.实证结果显示,可吸入颗粒物对于京津冀地区资源环境承载力都没有显著影响.

2.2.5 社会发展变量 人均住房建筑面积是反映区域人民生活水平的一个重要因素.人均住房面积对天津、河北两地资源环境承载力有显著的负向影响,对北京资源环境承载力没有显著影响.人均公园绿地面积也是反映人居生活环境的一个重要方面.在本研究中,人均绿地面积对京津冀地区资源环境承载力都没有显著影响.

3 结 论

本文在构建京津冀地区资源环境承载力评价指标体系的基础上,运用状态空间模型科学测量京津冀地区资源环境承载力,并借助时间序列 Tobit 模型分析京津冀地区实际资源环境承载力的驱动因素,得出如下研究结论和政策启示:

2000—2012 年,京津冀地区的理想承载力呈现依次递减的趋势,北京承载力最大,河北最小.京津冀三地的实际资源环境承载状况和资源环境承载力都处于上升阶段.京津冀地区社会经济发展始终处于资源环境承载力可载状态,发展空间还很大,从社会经济发展所带来的直接污染物产生量的角度来看,社会经济发展与资源环境处于协调发展阶段,而由于处理技术落后等原因所造成的污染物处理水平低、排放量大可能是京津冀三省(市)环境问题突出的主要原因.从年度变化趋势和幅度来看;京津冀地区社会经济增长对资源环境带来的压力增长较大;北京承载力增速快于天津、河北;天津单位经济增长

所带来的资源环境压力最小.

京津冀地区的承载度都呈现“U”型曲线形式，三省(市)资源环境承载度先降低后增加，总体均呈现增长趋势；三省(市)资源环境承载度都较低，说明资源环境承载潜力都较大.三省(市)资源环境承载度在增长幅度、触底时间、平缓程度方面有所不同.北京地区在资源环境承载潜力挖掘上较天津、河北更有节制，更注重资源环境的可持续利用与社会经济的可持续发展.河北资源环境承载度经过较为剧烈的波动，从资源环境承载度最低的地区一跃成为资源环境承载度最高的地区，说明河北为了促进社会经济的发展，不断加大对资源环境的利用强度，加快了挖掘资源环境承载力潜力的步伐.

常住人口数量是三省(市)承载力的重要影响因素，且方向都为正，说明人口数量与实际承载状况呈同向变化趋势.如果延续这样的发展趋势，人口问题很可能成为限制区域社会经济发展的瓶颈，对资源环境造成威胁.社会经济发展对能源消耗所带来的压力依然不小.能源消耗对资源环境所造成的压力主要来源于除生活用能源以外的行业，如工业.人均 GDP 只对河北省资源环境承载力有显著影响，说明经济增长对河北省资源环境形成了压力.三次产业贡献率对北京、天津两市的资源环境承载力有显著的负影响，说明三次产业比例的提高有助于缓解对资源环境的承载压力.城镇居民收入水平的提升有助于缓解对资源环境的承载压力. GDP 工业 SO_2 排放量对京津冀三省(市)都有正向影响，说明工业 SO_2 的减少，对资源环境的压力也在减少，但是只对河北省资源环境承载力有显著影响.人均住房面积对天津、河北两地资源环境承载力有显著的负向影响，而对北京资源环境承载力没有显著影响.

在一体化协同发展的大背景下，京津冀地区应该在资源环境、社会发展、经济结构方面互为补充，站在协同发展的角度，把资源环境承载力作为参考，打破行政壁垒，对资源进行优化配置，解决在实际发展中所遇到的资源瓶颈问题以及所带来的环境问题.就京津冀地区而言，虽然承载潜力很大，但是随着社会经济的发展，实际承载力在不断向理想承载力逼近，加大了环境问题发生的风险；而由于污染物处理技术的落后、污染物排放量增加，会引发一系列环境污染问题(如雾霾)等.因此需要站在整体区域协同发展的视角下，根据京津冀三省(市)各自在资源禀赋以及经济结构中的优劣势，对资源以及经济发展进行优化配置，并同时升级污染物处理技术，提升处理水平，降低污染物排放量.

人口问题已经成为京津冀地区资源环境承载力的重要影响因素之一.北京市已经出台了相应的人口控制政策，并有相关规划通过产业迁移等政策规划引导人口向天津、河北转移.这样的政策引导应该继续推行，但是其具体实施的路径规划应该予以科学论证.天津和河北两地也应该在人口控制方面做出相应的政策规划，不能只成为北京市人口疏散的承接地，应该通过优化产业结构等方式消耗自身人口压力和承接北京人口合理化转移，从而缓解三地社会经济发展对资源环境所造成的承载压力.社会经济发展所带来的环境污染问题对国民经济发展和人民生活水平的提升带来了威胁.在协同发展的背景下，社会经济的可持续发展、资源利用、环境污染、人民生活水平提升等问题都必须要进行战略规划，而这些问题的规划都需建立在实际资源环境承载力和资源环境承载潜力的基础上.京津冀三地在协同发展的框架下，除了要进行产业结构调整和人口总量控制以外，还应该发挥自身优势和区域优势，并通过有效利用国家政策和社会资本，从能源结构优化升级、公共绿地建设、住房条件改善等方面缓解日趋增加的实际资源环境承载压力，提升资源环境承载力水平.

参考文献

[1] Xinhuanet (新华网). The Twelfth Five-Year Plan for National Economic and Social Development of the People's Republic of China [EB/OL]. (2011-03-28) [2015-09-21]. http://news.xinhuanet.com/ziliao/2011-03/28/c_121239866.htm (in Chinese)

[2] CPC Central Committee and State Council (中共中央、国务院). National New Urbanization Plan (2014-2020) [EB/OL]. (2011-03-28) [2015-09-21]. http://news.xinhuanet.com/house/bj/2014-03-17/c_126274610.htm (in Chinese)

[3] Deng W (邓　伟). Discussion on mountain area resource and environment carrying capacity. *Geographical Research* (地理研究), 2010, **29**(6): 959-969 (in Chinese)

[4] Vogt W. Road to Survival. London: Victor Gollancz Ltd., 1948

[5] Sleeser M. Enhancement of Carrying Capacity Options. London: The Resource Use Institute, 1990

[6] Liu D-S (刘殿生). Comprehensive load-bearing capacity of resource and environment. *Research of Environmental Science* (环境科学研究), 1995, **8**(5): 7-12 (in Chinese)

[7] Qin C (秦　成), Wang H-Q (王红旗), Tian Y-N (田雅楠), *et al*. Study on evaluation indexs of resources and environmental carrying capability. *China Population, Resources and Environment* (中国人口·资源与环境), 2011, **21**(suppl.2): 335-338 (in Chi-

nese)
[8] Li Y (李 悦), Cheng J-H (成金华), Xi X (席 晶). Analysis on resource environmental bearing capacity in Wuhan: Based on GRA-TOPSIS. *Statistics and Decision* (统计与决策), 2014(17): 102-105 (in Chinese)
[9] Li J (李 健), Yang D-D (杨丹丹), Gao Y (高 杨). Measurement and assessment of environment carrying capacity of Tianjin based on state-space model. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2014, **28**(11): 25-30 (in Chinese)
[10] Lu X-L (卢小兰). The Chinese provincial resources environmental bearing capacity evaluation and spatial statistical analysis. *Statistics and Decision* (统计与决策), 2014(7): 116-120 (in Chinese)
[11] Wang Z-B (王振波), Zhang Q (张 蔷), Zhang X-R (张晓瑞), *et al*. Urban growth boundary delimitation of Hefei City based on the resources and environment carrying capability. *Geographical Research* (地理研究), 2013, **32**(12): 2302-2311 (in Chinese)
[12] Chen H-B (陈海波), Liu Y-Y (刘旸旸). The space difference of city resource environmental bearing capacity in Jiangsu Province. *Urban Problems* (城市问题), 2013(3): 33-37 (in Chinese)
[13] Liu X-L (刘晓丽), Fang C-L (方创琳). Progress and prospect of study on carrying capacity of resource and environment of city cluster. *Progress in Geography* (地理科学进展), 2008, **27**(5): 35-42 (in Chinese)
[14] Mao H-Y (毛汉英), Yu D-L (余丹林). Regional carrying capacity in Bohai Rim. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 2001, **56**(3): 363-371 (in Chinese)
[15] Zhang X-L (张学良), Yang Z-Y (杨朝远). The research of urban agglomeration's resources and environment carrying capacity in China. *Academic Monthly* (学术月刊), 2014, **46**(9): 64-70 (in Chinese)
[16] Sun Y (孙 钰), Li X-G (李新刚). The research of urban land comprehensive carrying capacity based on spatial regression analysis: Taking the Bohai rim urban agglomeration as example. *Areal Research and Development* (地域研究与开发), 2013, **32**(5): 128-132 (in Chinese)
[17] Bi M (毕 明). Research on Evaluation of Resources and Environmental Supporting Capacity in the Urban Agglomerations of Beijing, Tianjin and Hebei Province. PhD Thesis. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2011 (in Chinese)
[18] Sun Y (孙 钰), Li X-G (李新刚), Yao X-D (姚晓东). An evaluation of land comprehensive carrying capacity of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration based on Topsis model analysis. *Modern Finance and Economics* (现代财经), 2012(11): 71-80 (in Chinese)
[19] Liu C (刘 澄), Bai J (白 婧), Liu X-D (刘祥东). An evaluation of land comprehensive carrying capacity of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration based on ecological footprint models. *China Management Informationization* (中国管理信息化), 2013, **16**(23): 36-40 (in Chinese)
[20] Lin W (林 巍), Hu Y-L (户艳领), Li L-H (李丽红). Study on the structure optimization of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration based on the evaluation of land bearing capacity. *Journal of Capital University of Economics and Business* (首都经贸大学学报), 2015, **17**(2): 74-80 (in Chinese)
[21] Liu-M (刘 明), Gao-L (高 林). Based on the research of scientific development of urbanization on Beijing-Tianjin-Hebei's bearing capacity of land resources. *Urban Development Studies* (城市发展研究), 2015, **22**(4): 6-8 (in Chinese)
[22] Wang S-Q (王树强), Zhang G (张 贵). Study on comparing the comprehensive carrying capacity among Beijing-Tianjin-Hebei region based on the rank-sum ratio. *Areal Research and Development* (地域研究与开发), 2014, **33**(4): 19-25 (in Chinese)
[23] Mao H-Y (毛汉英), Yu D-L (余丹林). A study on the quantitative research of regional carrying capacity. *Advance in Earth Sciences* (地球科学进展), 2001, **16**(4): 549-555 (in Chinese)
[24] Cao M-L (曹茂林). Quantitative evaluation of biocapacity of Yangzhou City based on sate-space method. *Environment and Ecology in the Three Gorges* (三峡环境与生态), 2012, **34**(2): 47-50 (in Chinese)
[25] Xie Q-L (谢强莲), Jiang J-Y (蒋俊毅). Empirical analysis of the diversity of regional land resource carrying capacity: A case of Changzhutan urban agglomeration. *Systems Engineering* (系统工程), 2009, **27**(4): 58-64 (in Chinese)
[26] Zhou K (周 侃), Fan J (樊 杰). Characteristics and influence factors of resources and environment carrying capacity in underdeveloped areas of China. *Geographical Research* (地理研究), 2015, **34**(1): 39-52 (in Chinese)
[27] Li H-J (李华姣), An H-Z (安海忠). Reviews on resources and environment carrying capacity model and evaluation methods both in China and abroad: Based on content analysis. *Natural Resource Economics of China* (中国国土资源经济), 2013(8): 65-68 (in Chinese)
[28] Beijing Municipal Bureau of Statistics (北京市统计局), Survey Office in Beijing, National Bureau of Statistics (国家统计局北京调查总队). Beijing Statistical Yearbook in 2013 [EB/OL]. (2013-08-23) [2015-09-21]. http://www.bjstats.gov.cn/nj/main/2013-tjnj/index.htm (in Chinese)
[29] Tianjin Municipal Bureau of Statistics (天津市统计局), Survey Office in Tianjin, National Bureau of Statistics (国家统计局北京调查总队). Tianjin Statistical Yearbook in 2013 [EB/OL]. (2013-08-12) [2015-09-21]. http://www.stats-tj.gov.cn/2014/08/15/11044623936.html (in Chinese)
[30] Hebei Municipal Bureau of Statistics (河北省统计局), Survey Office in Hebei, National Bureau of Statistics (国家统计局北京调查总队). Hebei Statistical Yearbook in 2013 [EB/OL]. (2013-07-20) [2015-09-21]. http://www.hetj.gov.cn/hetj/tjsj/ndsj/101374627641041.html (in Chinese)

作者简介 郭 轲,男,1987 年生,博士研究生. 主要从事资源、环境与发展研究. E-mail: guoke13@bjfu.edu.cn

责任编辑 杨 弘