

DOI: 10.5846/stxb201802050302

孙湛, 马海涛. 基于 BP 神经网络的京津冀城市群可持续发展综合评价. 生态学报, 2018, 38(12): 4434–4444.

Sun Z, Ma H T. Assessment of the sustainable development of the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration based on a back propagation neural network. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12): 4434–4444.

# 基于 BP 神经网络的京津冀城市群可持续发展综合评价

孙 湛<sup>1,2</sup>, 马海涛<sup>1,3,\*</sup>

1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101

**摘要:** 在综合分析了京津冀城市群各城市功能定位的基础上, 构建了包含经济发展、社会发展、科技创新和生态环境 4 个子系统的城市可持续发展评价指标体系, 运用 2006—2015 年的数据, 采用熵值法和 BP 神经网络对京津冀城市群可持续发展能力进行非线性测度与分类, 结果较为理想。结果表明: (1) 北京和天津处于高可持续发展水平, 可持续发展能力在空间上呈现出以京、津为中心随距离递减的趋势, 最南端的邯郸和邢台处于低可持续发展水平; (2) 北京可持续发展能力呈现下滑趋势, 其他城市可持续发展能力逐年稳步上升, 大城市可持续发展压力较大; (3) 城市在不同子系统存在各自的优劣势。各个子系统在可持续发展中均起到重要作用, 城市宜结合各自子系统的优、劣势制定具有针对性的发展对策。

**关键词:** 可持续发展; BP 神经网络; 熵值法; 京津冀; 评价

## Assessment of the sustainable development of the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration based on a back propagation neural network

SUN Zhan<sup>1,2</sup>, MA Haitao<sup>1,3,\*</sup>

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

**Abstract:** Based on a comprehensive analysis of the functional orientation of each city in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, an urban sustainable development evaluation index system was constructed with four subsystems, including economic development, social development, scientific and technological innovation, and the ecological environment. The entropy method and a back propagation neural network were used to non-linearly measure and classify the sustainable development ability of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration during 2006–2015. The results show that: (1) Beijing and Tianjin are at a high level of sustainable development, and sustainable development decreases with increasing distance from Beijing and Tianjin. Handan and Xingtai are at a low level of sustainable development. (2) Beijing's level of sustainable development exhibits a decreasing trend, while that of other cities is increasing. Large cities are associated with greater pressure on sustainable development. (3) Different cities have their own advantages and disadvantages in the different subsystems. Cities should develop targeted development strategies in combination with the advantages and

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(41590842); 国家自然科学基金重点项目(71433008)

收稿日期: 2018-02-05; 修订日期: 2018-05-07

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: maht@igsrr.ac.cn

<http://www.ecologica.cn>

disadvantages of their subsystems.

**Key Words:** sustainable development; back propagation neural network; entropy method; Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration; assessment

城市群作为我国区域发展战略的核心,发挥着区域经济增长极的作用,中心城市的扩散和周边城市的网络化联系共同推动当地区域的发展<sup>[1]</sup>。在城市群快速发展过程中,过度重视经济的发展,追求短期效益会导致出现城市之间恶性竞争<sup>[2]</sup>、城市内生态环境污染<sup>[3]</sup>、能源利用率低下、基础设施配套不足<sup>[4]</sup>、空气污染<sup>[5]</sup>、水质恶化<sup>[6]</sup>等城市生态风险问题,以至于城市发展的不可持续<sup>[7]</sup>。在京津冀地区,这些问题尤为显著<sup>[8]</sup>。城市在大力发展经济的同时,也须贯彻落实可持续发展战略,实现经济、社会和生态的协调发展,而科学的评估方法可以为城市制定具体的可持续发展规划。因此在全面了解城市发展现状的基础上,建立一套科学完备的指标体系、运用科学合理的评测方法,评价京津冀城市群的可持续发展的基本态势成为了亟待解决的问题。

联合国世界与发展委员会在《我们共同的未来》报告中首次提出了可持续发展的概念,这一理念已经逐渐成为了世界各个国家、城市发展的重要标准<sup>[9]</sup>。中国在《中国 21 世纪议程》中提出促进经济、社会、资源、环境相互协调的可持续发展战略目标<sup>[10]</sup>。国内外学者在对区域可持续发展评价领域上进行了大量的探索,主要包括对单一城市的评价、对某一类型的城市进行评价以及城市可持续发展评价指标体系的构建等<sup>[11-14]</sup>。主要评价方法包括层次分析法、德尔菲法、生态足迹法等<sup>[15-16]</sup>。上述方法中层次分析法和德尔菲法需要依托专家打分,存在不同程度的主观判断,影响评价结果的科学性;生态足迹法较为科学且可操作性强,但是难以完整的反映系统的可持续性状态<sup>[17]</sup>。

城市是一个集经济、社会、生态环境为一体的复杂系统,城市之间存在异质性,因此在对城市的可持续发展能力进行评价时应综合考虑综合指标因素。现有的评价方式大多是线性映射,在面对多指标、多因素系统这类的非线性系统时,无法做到综合所有指标做出评价。而人工神经网络具有非线性映照能力,能够以任意精度逼近任何非线性连续函数<sup>[18]</sup>,从而做到在协调所有指标的基础上给出完整评价。

人工神经网络是大量简单神经元联接而成的非线性复杂网络系统,是基于模仿大脑神经网络结构和功能而建立的一种信息处理系统,能够进行复杂逻辑操作和非线性化关系实现的非自然系统<sup>[18]</sup>。人工神经网络包含多种网络类型,如 SOFM 网络、BP 网络、RBF 网络等等,其中 BP 神经网络是人工神经网络中应用最广泛的网络类型,这种网络与传统的统计模型相比具有较强的容错性、自适应性、自组织性和鲁棒性<sup>[19]</sup>。目前人工神经网络在模式识别、生物分类、预测预报以及评价等方面得到了较好的应用,并逐渐扩展到资源可持续利用、区域综合评价等领域,如李梅等运用 BP 网络算法对水环境质量进行了评价<sup>[20]</sup>;陈守煜结合模糊数学和 BP 网络两种方法构建了模糊神经网络并应用于系统识别<sup>[21]</sup>;许月卿等运用 BP 网络对中国区域发展水平的差异进行了判定<sup>[22]</sup>;李双成以中国 1996 年 31 个省市(自治区)的社会、经济、资源和环境状况作为样本,采用人工神经网络进行了可持续发展区域差异的判定<sup>[23]</sup>等等。

为更全面地认识京津冀城市群的可持续发展水平及发展趋势,本文从经济、社会、科技创新和生态环境 4 个方面着手构建城市可持续发展评价指标体系,选取该城市群 2006—2015 年 10 年间的 18 项指标共计 2340 项数据,通过熵值法确定各指标的权重,运用 BP 神经网络方法计算京津冀城市群 13 个城市的可持续发展水平,并对京津冀城市群各城市的可持续发展水平进行分类评价。

## 1 研究设计

### 1.1 研究区概况及数据来源

京津冀城市群位于我国华北地区,包括北京、天津两大直辖市以及河北省内的石家庄、保定、廊坊、唐山、邯郸、邢台、衡水、沧州、承德、秦皇岛、张家口共 11 个地级市,国土面积 21.8 万 km<sup>2</sup>,2016 年末城市群内常住

人口 1.12 亿人, GDP 总量达 7.56 万亿元, 是中国北方经济体量最大的地区。目前京津冀城市群已经成为我国继长江三角洲城市群、珠江三角洲城市群之后的第三大世界级城市群<sup>[24]</sup>。

京津冀城市群这 13 个城市每一个城市都有其独特的功能定位, 而且能够为区域的发展提供相应的资源。北京作为国家首都, 成为金融、商贸、高新技术等高端服务业的基地, 是区域内的经济和政治核心。天津、石家庄作为交通和贸易枢纽, 连接整个京津冀城市群内的经济联系。河北省的其他城市则作为区域内的资源供给地, 如唐山、邢台为区域提供矿产资源; 张家口、秦皇岛、承德保障了区域内的淡水供应; 张家口、廊坊、衡水等地区则是区域内的蔬菜、肉类和部分鲜活农产品的重要供应基地。可持续发展不只局限于经济和社会的发展, 还包括生态、资源、环境等一系列要素, 不同的功能定位决定了各个城市的发展重心, 也决定了不同城市在不同子系统中的可持续发展能力的高低。在评价城市的可持续发展水平时要以宏观性、综合性、动态性、层次性为原则去构建评价指标体系。

本文采用的数据主要来源于《北京统计年鉴》(2007—2016)、《天津统计年鉴》(2007—2016)、《河北经济年鉴》(2007—2016) 等, 部分指标数据经过原始数据计算后得到。

## 1.2 研究方法

### (1) 熵值法

采用熵值法进行城市群可持续发展水平的综合测度可以有效避免人工确定指标权重的主观性。用熵值的思想确定各个子系统内指标的变异程度, 也即各个指标的权重<sup>[25]</sup>。指标的熵值越大, 表明该指标的变异程度越大, 那么该指标在本次评价中起到的作用也越大。具体公式如下:

在  $n$  个城市共计  $p$  个指标中, 首先归一化处理:

$$\text{正向指标: } S_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (1)$$

$$\text{逆向指标: } S_{ij} = \frac{\max\{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (2)$$

式中,  $x_{ij}$  表示第  $i$  个地区中第  $j$  项评价指标的数值;  $\max\{x_{ij}\}$ 、 $\min\{x_{ij}\}$  分别表示第  $i$  个地区中第  $j$  项评价指标的最大值和最小值。

计算第  $i$  个地区中第  $j$  项指标的比重:

$$Y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (3)$$

计算指标的信息熵值:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n (Y_{ij} \times \ln Y_{ij}) \quad k = \frac{1}{\ln n} \quad (4)$$

计算指标  $j$  的信息效用值:

$$g_j = 1 - e_j \quad (5)$$

计算指标  $x_j$  的权重:

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^p g_j} \quad (6)$$

### (2) BP 神经网络

误差反向传播方法 BP 网络(Back Propagation) 是一种多层状型的人工神经网络, 该网络由输入层、输出层和隐含层构成, 每一层都包含若干个神经元, 层与层之间通过连接权重相互关联, 同一层的神经元之间相互独立。BP 网络模型是一种监督性网络类型, 输入信号  $x_i$  先向前传播到隐含层, 经过作用函数后把隐含层的输出信息传播到输出层  $y_j$ , 最后给出输出结果<sup>[22]</sup>(图 1)。

本文采用的 BP 神经网络模型是在 MATLAB 环境下, 采用 MATLAB 神经网络工具箱中的函数编程求解。

MATLAB 的神经网络工具箱提供了初始化权值、学习和训练等函数,可以构建出任意输入、输出神经元和隐含层的 BP 网络<sup>[18]</sup>。在本研究中,将城市可持续发展指标值作为输入样本,评价级别作为网络输出,BP 网络通过不断学习,找到评价指标与评价级别之间复杂的内在对应联系,利用此网络模型可以进行城市可持续发展水平的综合评价。

考虑到区域可持续发展综合评价的大多数指标很难确定其最佳范围,并且运用人工神经网络评价城市可持续发展能力的研究目前没有通用的评价标准,故本文根据样本数据的值域区间,运用线性内插的方式设定影响等级,将可持续发展水平分为四级,I 表示可持续发展水平低、II 表示可持续发展水平较低、III 表示可持续发展水平较高、IV 表示可持续发展水平高,并加入熵值法确定的指标权重,完成构建人工神经网络的评价网络。同时构建拓扑结构为  $18 \times 5 \times 1$  的训练网络,其中输入层节点  $u_1 - u_{18}$  共 18 个,隐含层节点为 5 个<sup>[22]</sup>,输出层 1 个节点  $s$  (图 2)。设置网络的初始权值为  $[0, 1]$  之间的随机数,基本学习速率为 0.1,动量参数为 0.4;最大训练批次为 10000 次,最大误差为 0.01,训练至网络收敛,完成 BP 网络的构建。将归一化的各个城市各项指标的数据矩阵输入到训练好的网络中,输出的可持续发展指数在  $[0, 4]$  之间。

### 1.3 指标体系建立

在指标体系的建立上,不同国家不同地区有着不同的评判标准。如英国政府发布的城市可持续发展指标分为五大类,分别是可持续的生产和消费、气候转变和能源、自然资源 and 环境保护以及可持续发展的社区与世界平等<sup>[26]</sup>。美国国家环保局建立的可持续发展综合指标体系包括经济、教育、环境、政府、健康、居住、人口、公共安全、娱乐、资源利用、社会和人类共 12 大类<sup>[27]</sup>。中国国家统计局和中国 21 世纪议程管理中心提出了中国可持续发展的指标体系中包括经济、资源、环境、社会、人口和科教共 6 大类<sup>[10-28]</sup>。国内学者在可持续发展指标的构建上也有不同的见解。如王祥荣<sup>[29]</sup>、赵国杰<sup>[30]</sup>、李双成<sup>[23]</sup>等均在城市可持续发展指标构建上做出贡献。

虽然不同学者在评价城市可持续发展指标的选取上有所差异,但都认为城市是有社会、经济、生态 3 个基本要素相互作用、相互制约而形成的复杂的系统<sup>[31]</sup>,在评价城市的可持续发展能力上,社会、经济、生态是三大重要的指标<sup>[32]</sup>。而在当今时代,科学的发展是城市能否进步的前提<sup>[33]</sup>,创新是城市可持续发展的动力<sup>[34]</sup>。综合前文提到的不同国家的国家标准以及学者的见解,本文提出应该从经济、社会、科技创新、生态环境四类子系统对城市群的可持续发展进行测度评判。综上构建京津冀城市群可持续发展综合评价指标体系(表 1)。

该指标体系由经济发展、社会发展、科技创新和生态环境 4 个子系统组成,考虑数据的科学性与可获取性,选取了 18 个三级指标。其中经济发展子系统是可持续发展的前提和基础,分为人均 GDP、人均财政收

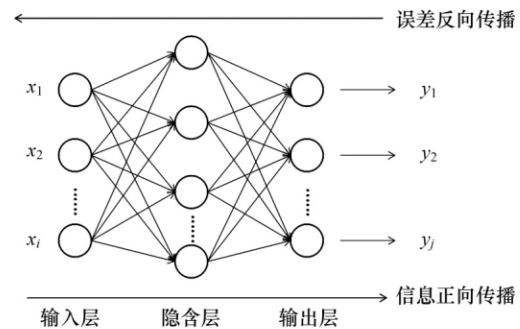


图1 BP网络拓扑结构示意图

Fig.1 Topology schematic diagram of back propagation neural network

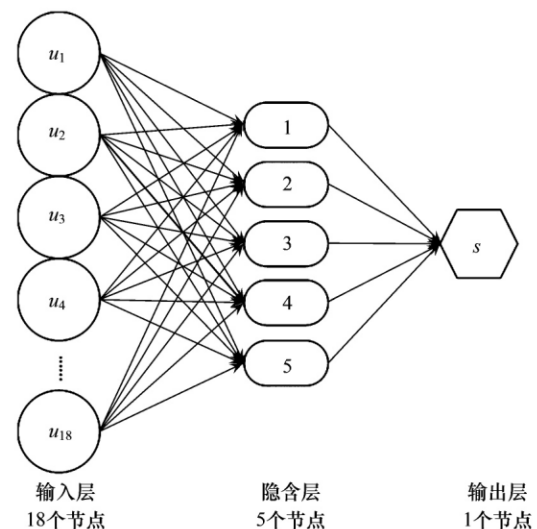


图2 可持续发展水平的BP网络模型

Fig.2 Back propagation neural network model for sustainable development level

入、人均社会固定资产投资、人均进出口总额、GDP 增速共 5 个三级指标;社会发展子系统分为城镇化水平、人口综合增长率、平均工资、人均卫生机构床数、人均公路里程数共 5 个三级指标;科技创新子系统分为科研投入、万人在校大学生数、平均受教育年限、互联网户数共 4 个三级指标;生态环境子系统分为人均水资源、人均绿地面积、废水处理率、单位 GDP 能耗共 4 个三级指标。

表 1 京津冀地区可持续发展水平综合指标体系

Table 1 Comprehensive index system for the level of sustainable development in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration

一级指标 First level index	二级指标 Two level index	三级指标 Three level index	单位 Unit
京津冀地区可持续发展水平 综合指标体系 Comprehensive index system for the level of sustainable development	经济发展指数	人均 GDP	元
		人均财政收入	元
		人均社会固定资产投资	元
		人均进出口总额	元
		GDP 增速	%
	社会发展指数	城镇化水平	%
		人口综合增长率	%
		平均工资	元
		人均卫生机构床数	位
		人均公路里程数	km
	科技创新指数	科研投入	亿元
		万人在校大学生数	人/万人
		平均受教育年限	a
		互联网户数	户
		人均水资源	亿 m <sup>3</sup>
	生态环境指数	人均绿地面积	hm <sup>2</sup>
		废水处理率	%
		单位 GDP 能耗	t

2 结果与分析

2.1 可持续发展水平时间序列

运用熵值法计算出京津冀城市群 2006—2015 年 10 年间逐年的客观权重,取均值得到城市群可持续发展测度指标的权重(表 2)。

根据样本数据中各项指标的最大值与最小值,归一化后运用线性内插的方式设定影响等级,构建人工神经网络的训练数据(表 3),其中每一纵列为每一个子系统所包含的三级指标,各项指标均为最高值 1 时则为最高等级可持续发展水平,均为最低值时为最低等级可持续发展水平。

将归一化后的城市各项指标数据输入训练好的网络并运行至最大批次后,得到京津冀 13 个城市的可持续发展 4 个子系统的可持续发展指数以及综合指数,以其为纵轴、时间为横轴,做出其可持续发展水平的时序图(图 3)。

在 2006—2015 年这 10 年间,京津冀地区城市的各类发展指数较为稳定。从经济可持续发展指数来看,多数城市的指数变化较为稳定。其中北京和天津有轻微下降的趋势,分别从 2005 年的 3.88 和 3.15 降到 2015 年的 3.55 和 2.81,降低幅度不大。唐山、石家庄、廊坊和沧州的经济可持续发展指数上升幅度较大,河北省其他城市的经济可持续发展指数在上下波动中相对稳定的态势。

从社会可持续发展指数来看,北京和天津呈现出逐年下降的趋势,分别从 2005 年的 3.70 和 3.07 降低到 2015 年的 2.70 和 2.92,下降幅度较大,说明北京和天津的社会发展的可持续发展水平逐年下降。由于北京和天津市京津冀城市群的核心城市,大量的人口涌入这两座城市中,导致城市有限的资源分摊在不断增加的

人口上,人均受到的社会福利待遇降低,社会可持续发展能力下降。河北省城市社会发展指数相对稳定,在近年来呈现出上升的趋势。

表 2 京津冀地区可持续发展综合测度指标权重

Table 2 Weight of indicators for sustainable development in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration

二级指标 Two level index	权重 Weight	三级指标 Three level index	权重 Weight
经济发展指数 Economic development	0.2564	人均 GDP	0.0624
		人均财政收入	0.1044
		人均社会固定资产投资	0.0301
		人均进出口总额	0.0384
		GDP 增速	0.0209
社会发展指数 Society development	0.2208	城镇化水平	0.0572
		人口综合增长率	0.0489
		平均工资	0.0458
		人均卫生机构床数	0.0307
		人均公路里程数	0.0380
科技创新指数 Technological innovation	0.3151	科研投入	0.1459
		万人在校大学生数	0.0395
		平均受教育年限	0.0609
		互联网户数	0.0686
		人均水资源	0.0600
生态环境指数 Ecological environment	0.2075	人均绿地面积	0.0429
		废水处理率	0.0249
		单位 GDP 能耗	0.0796

表 3 城市可持续发展水平 BP 网络评价标准

Table 3 Training data for BP model of sustainable development level

经济子系统 Economic subsystem					等级 Grade	科技创新子系统 Technology innovation subsystem				等级 Grade
1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	IV	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	IV
0.6760	0.6674	0.7082	0.7371	0.7348	III	0.6688	0.6827	0.9102	0.6712	III
0.3520	0.3348	0.4165	0.4743	0.4697	II	0.3376	0.3654	0.8204	0.3425	II
0.0281	0.0022	0.1247	0.2114	0.2045	I	0.0064	0.0481	0.7306	0.0137	I
经济子系统 Economic subsystem					等级 Grade	科技创新子系统 Technology innovation subsystem				等级 Grade
1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	IV	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	IV
0.7843	0.6635	0.7777	0.7100	0.7246	III	0.6719	0.6857	0.9487	0.6667	III
0.5686	0.3270	0.5554	0.4200	0.4492	II	0.3438	0.3714	0.8973	0.3334	II
0.3530	-0.0095	0.3332	0.1299	0.1738	I	0.0157	0.0570	0.8460	0.0001	I

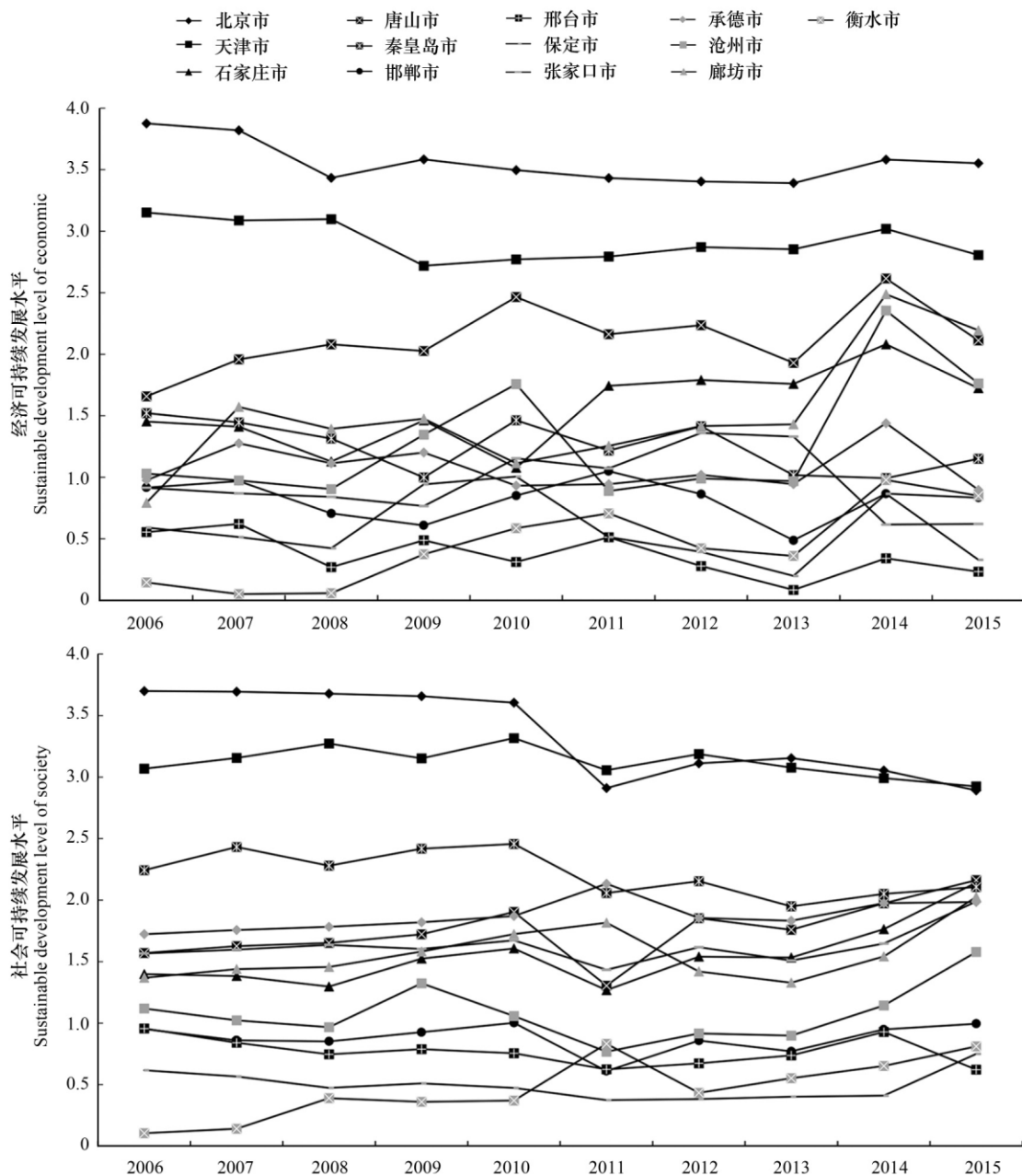
从科技创新指数来看,北京的可持续发展指数一枝独秀,远高于其他城市,且变化相对稳定。天津排在第二位,并且呈现出逐年上升的趋势。天津的经济发展水平更高、经济实力强大,且近年来天津一直积极发展“双创”事业,政府鼓励、扶持创新产业,以及《科技创新“十三五”规划》的实施,使得天津的科技创新可持续发展能力逐年上升。河北省内排名靠前的是石家庄和秦皇岛,其余城市的指数差距不大,且年变化较为稳定。在生态环境方面,承德和张家口的可持续发展指数最高,虽有波动但整体趋势较为稳定。北京的生态环境可持续发展指数居中,且在近年来呈现出上升趋势,说明在近年来,北京注重于生态环境的治理,如“疏解整治促提升”专项行动、清洁空气行动计划、垃圾处理、河长制、水环境和水污染治理、缓解交通拥堵等九类责任书的签订以及一系列环境治理整顿的行为,均为北京的生态环境可持续发展能力的提升做出贡献。衡水、秦皇

岛和北京位于第二梯队,其余城市位于第三梯队,年变化相对稳定。

从城市可持续发展综合水平(图4)来看,京津冀城市群内13个城市可持续发展表现为如下两个方面的特点:①各城市的可持续发展综合水平具有较大差异:2006—2015年综合可持续发展指数以北京为最高,表明2006—2015年北京可持续发展水平在京津冀地区居首位,其次是天津,北京和天津可持续发展指数远高于河北省内城市;②从时间序列来看,各个城市的可持续发展水平发展趋势虽有小幅波动,但总体上较为平稳。北京可持续发展指数呈现出轻微下降的趋势,天津及河北省内城市均呈现出上升的趋势,反映了京津冀城市群中大型城市的可持续发展面临着巨大压力。

## 2.2 可持续发展水平分类

从子系统的可持续发展水平(图5)来看,北京和天津处在经济和社会子系统的首位,且在2006—2015年间这一特点始终存在。说明在京津冀地区,北京和天津在经济和社会方面的发展要优于河北省,作为区域经济核心的地位稳定不动摇。北京在经济、社会、科技创新子系统中都是位于高可持续发展水平,主要是由于北京内有着众多的高校和科研院所,聚集着大量的大学生与科研工作者,科技创新能力强。但在生态环境子系



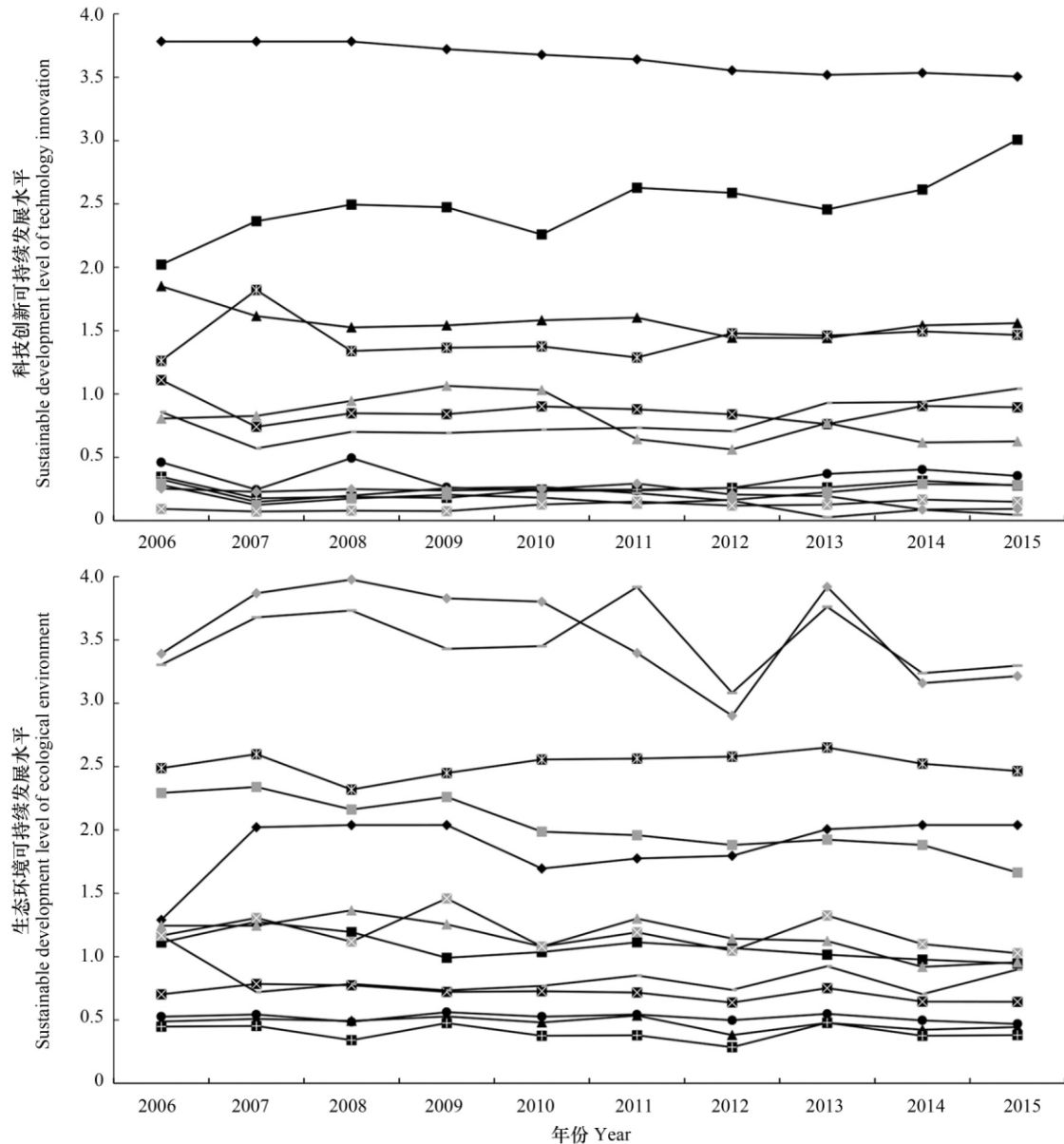


图3 京津冀城市群各子系统可持续发展指数动态变化

Fig.3 Dynamic changes of subsystem scores of urban sustainability in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration

统中属于较高水平,这是由于北京的资源储量较大,人口基数大,从而导致人均资源较少,因此其资源环境的可持续发展水平处在较高的位置上;天津在经济和社会两个系统中处于高水平,在科技创新子系统中属于较高水平;张家口和承德在生态环境子系统中是高可持续发展水平,这是由于承德和张家口是京津冀地区的水资源涵养地,同时也是京津冀地区的生态屏障和绿色生态农业基地,生态环境良好,且有着大量的自然资源,故这两座城市的资源环境可持续发展能力较强。但是在其他子系统中的可持续发展水平一般。在生态环境子系统中,北京、沧州处于较高水平,而邯郸、邢台、衡水和石家庄则处于低水平低位。唐山、秦皇岛和廊坊各个子系统中几乎处于较高水平低位,保定、衡水总体上是较低水平,邯郸和邢台处于低水平。从不同子系统的排名中可以看出,京津冀城市群中不同城市由于不同的资源优势导致不同子系统的可持续发展能力有所差异。因此在城市群的发展中应该发挥各个城市的比较优势,合理分工,形成合理,取长补短,实现协调发展。

从2015年京津冀城市群可持续发展综合水平(图6)可以看出,处在高可持续发展水平有北京和天津;位于较高可持续发展水平的有石家庄、唐山、秦皇岛、张家口、承德、沧州、廊坊;位于较低可持续发展水平的是衡



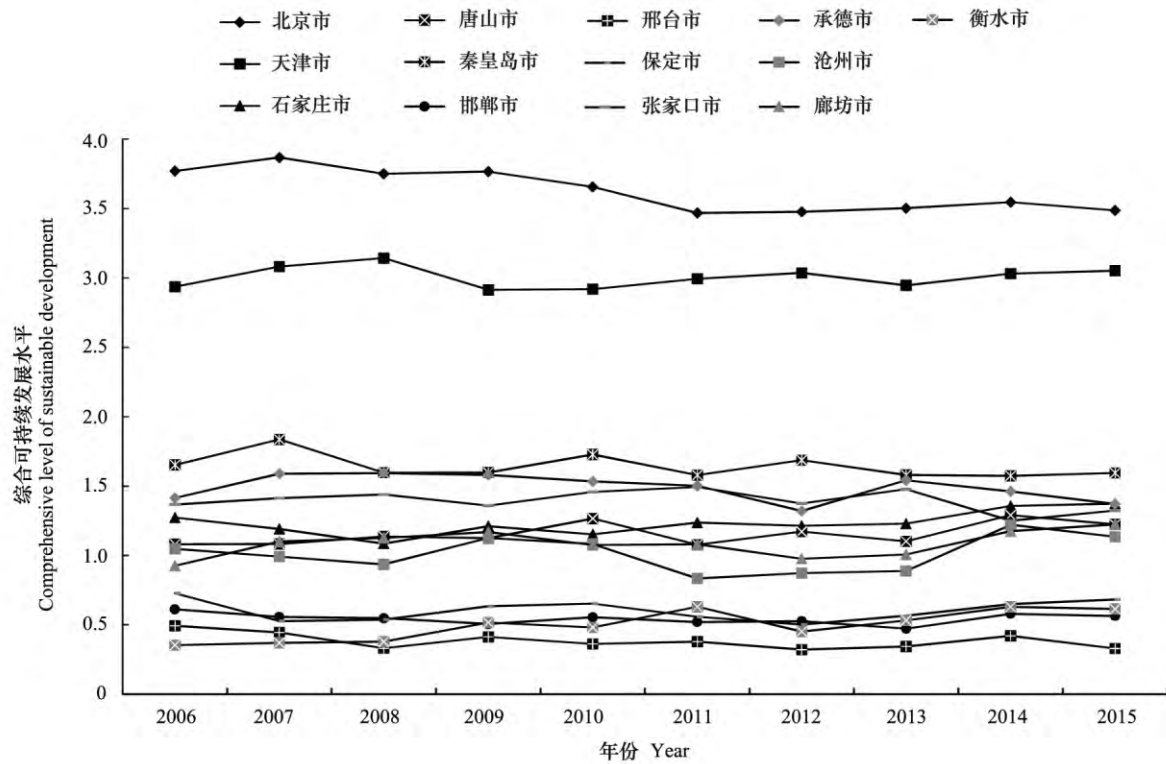
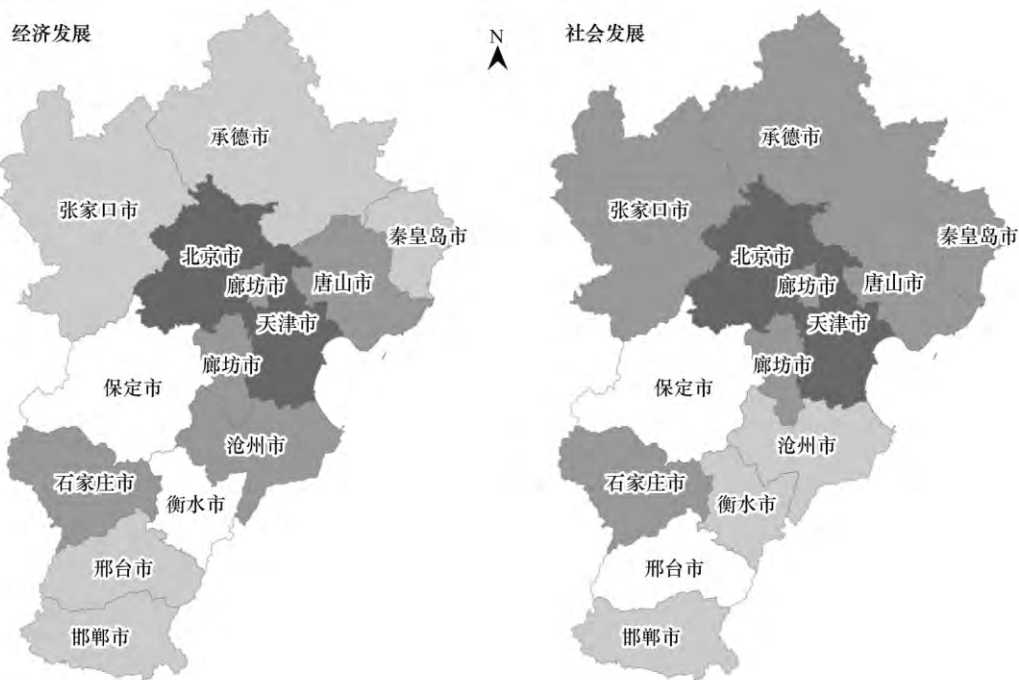


图4 京津冀地区可持续发展综合水平动态变化

Fig.4 Dynamic changes in the comprehensive level of sustainable development in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration

水、保定;处在低可持续发展水平的是邯郸和邢台。

从空间分布来看,京津冀地区可持续发展水平呈现出“中高北平南低”的格局。可持续发展水平以京、津两市为最高,处在较高可持续发展水平的城市多集中于京津冀城市群的北部,且除了河北省会石家庄外均与京、津两市接壤。较低可持续发展水平的保定和衡水距北京和天津的距离较远,而位于京津冀地区南部边缘的邢台和邯郸则是低可持续发展水平的城市。可持续发展水平的地理分布反应了一座城市的地理位置的优



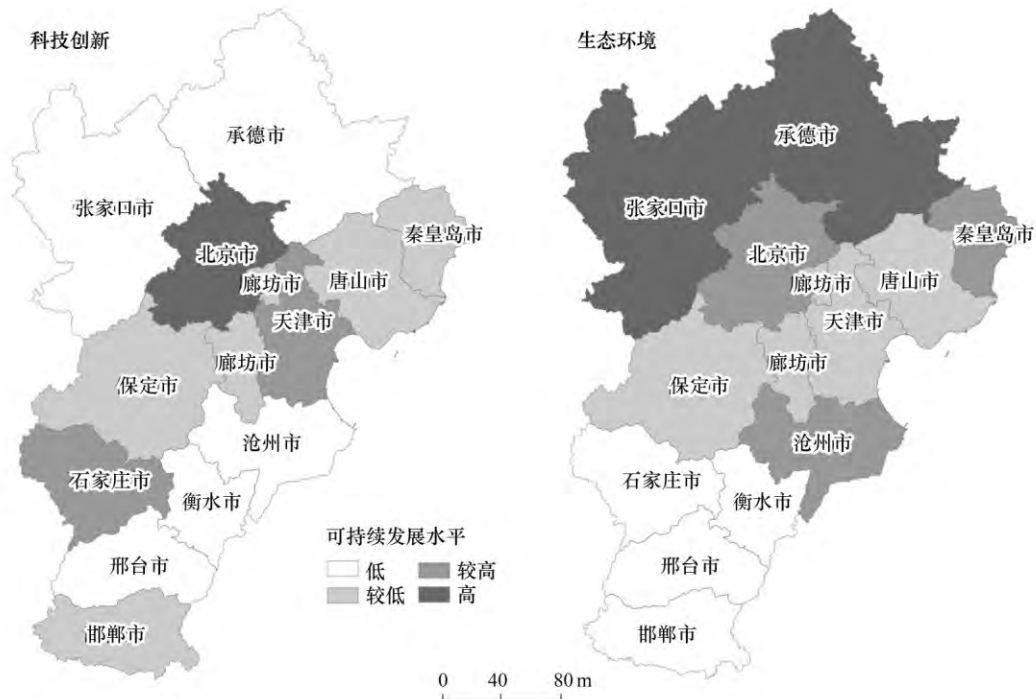


图 5 2015 年京津冀城市群子系统可持续发展水平分类结果

Fig.5 Classification results of the level of sub system sustainable development in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration( 2015)

劣也影响着可持续发展水平的高低。这里所说的地理位置优越指与核心城市的距离较近,交通便利,利于贸易、经济、资源等的往来,利于人口流动,保持经济活力。相反,如果距离核心城市较远,不利于城市之间的交流,就会使城市内的经济、资源等逐渐闭塞,不利于可持续发展。

### 3 结论与讨论

本文运用熵值法和 BP 神经网络对 2006—2015 年京津冀地区 13 个城市的可持续发展水平进行综合评价与水平分类。得到如下结论: (1) 经济较发达的城市(如北京、天津)在各个子系统的可持续发展能力方面也表现出较高的水平。但是随着时间的推移,大城市的可持续发展能力出现下滑。大型城市在发展过程中,吸引了大量的人口流入,在带来了人力资源的同时也分摊了有限的自然资源和社会资源,导致大城市的可持续发展面临着巨大压力; (2) 城市的地理位置对其可持续发展的能力水平有一定的影响。处于较高可持续发展的城市除石家庄外均在北京、天津的周边,处于低可持续发展的城市均在京津冀城市群的南部边缘地区。优越的地理位置对于推动城市的经济、贸易、设施建设、环境治理等等综合实力的发展有一定的影响; (3) 城市群地

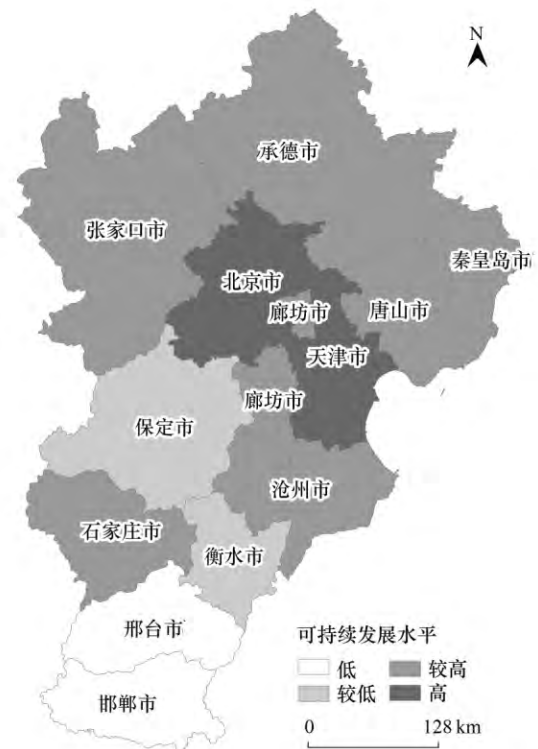


图 6 2015 年京津冀地区综合可持续发展水平分类结果

Fig.6 Classification results of the level of comprehensive sustainable development in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration( 2015)

区内的各个城市在经济、社会、科技创新、生态环境等各个方面中分别存在着优势和劣势。如承德和张家口虽然在经济社会方面较为落后,但是在生态环境方面却有着巨大的优势;而石家庄虽然在经济社会方面较为领先,然而在生态建设、污染控制方面上存在不足,导致生态环境方面可持续发展水平较低。因此在追求城市发展时,需要考虑自身的优势与不足,因地制宜地制定合理、科学的发展对策。

本文所采用的熵值法和 BP 人工神经网络方法均有效的避免了人工确定指标带来的主观性,评价客观合理,并且 BP 人工神经网络具有高度非线性映射功能,在对京津冀地区的可持续发展水平进行分类时,科学的分成了 4 个层次,结果较为理想。不足的是本次研究所选取的样本数量较少,因此 BP 网络在训练时只用了较少的次数就达到了收敛,故训练的网络适应性不够强。若加大训练样本量,如选取全国市域范围内逐年的数据进行训练,可以使构建的训练网络具有更强的适应性,从而实现更准确的分类以及预测。

#### 参考文献(References):

- [1] Northam R M. Urban Geography. New York: Wiley, 1979: 430-444.
- [2] 马艳梅,吴玉鸣,吴柏钧. 长三角地区城镇化可持续发展综合评价——基于熵值法和象限图法. 经济地理, 2015, 35(6): 47-53.
- [3] 赵海燕,孙妍. 城镇化与生态环境协调发展的国际经验及借鉴. 商业经济, 2017, (3): 1-2.
- [4] Rana M M P. Urbanization and sustainability: challenges and strategies for sustainable urban development in Bangladesh. Environment, Development and Sustainability, 2011, 13(1): 237-256.
- [5] 吴兑. 近十年中国灰霾天气研究综述. 环境科学学报, 2012, 32(2): 257-269.
- [6] 高珊,黄贤金. 发达国家城市水污染治理的比较与启示. 城市问题, 2011, (3): 91-94.
- [7] 刘玉亭,王勇,吴丽娟. 城市群概念、形成机制及其未来研究方向评述. 人文地理, 2013, (1): 62-68.
- [8] 张予,刘某承,白艳莹,张永勋. 京津冀生态合作的现状、问题与机制建设. 资源科学, 2015, 37(8): 1529-1535.
- [9] 张卫,郭玉燕. 城市可持续发展指标体系的研究. 南京社会科学, 2006, (11): 45-51.
- [10] 中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书. 北京: 中国环境科学出版社, 1994.
- [11] 许学强,张俊军. 广州城市可持续发展的综合评价. 地理学报, 2001, 56(1): 54-63.
- [12] 郑伯红,廖荣华. 资源型城市可持续发展能力的演变与调控. 中国人口·资源与环境, 2003, 13(2): 92-95.
- [13] 毛汉英. 山东省可持续发展指标体系初步研究. 地理研究, 1996, 15(4): 16-23.
- [14] 方创琳,张小雷. 干旱区生态重建与经济可持续发展研究进展. 生态学报, 2001, 21(7): 1163-1170.
- [15] 曹慧,胡锋,李辉信,梁镇海,王昭昭. 南京市城市生态系统可持续发展评价研究. 生态学报, 2002, 22(5): 787-792.
- [16] 徐中民,程国栋,张志强. 生态足迹方法: 可持续性定量研究的新方法——以张掖地区 1995 年的生态足迹计算为例. 生态学报, 2001, 21(9): 1484-1493.
- [17] 彭建,吴健生,蒋依依,叶敏婷. 生态足迹分析应用于区域可持续发展生态评估的缺陷. 生态学报, 2006, 26(8): 2716-2722.
- [18] 焦李成. 神经网络系统理论. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1990.
- [19] 李双成,郑度. 人工神经网络模型在地质研究中的应用进展. 地球科学进展, 2003, 18(1): 68-76.
- [20] 李梅,孟凡玲,李群,黄强. 基于改进 BP 神经网络的地下水环境脆弱性评价. 河海大学学报: 自然科学版, 2007, 35(3): 245-250.
- [21] 陈守煜,李亚伟. 基于模糊人工神经网络识别的水质评价模型. 水科学进展, 2005, 16(1): 88-91.
- [22] 许月卿,李双成. 中国经济发展水平区域差异的人工神经网络判定. 资源科学, 2005, 27(1): 69-73.
- [23] 李双成. 中国可持续发展水平区域差异的人工神经网络判定. 经济地理, 2001, 21(5): 523-526.
- [24] 方创琳,宋吉涛,张蕾,李铭. 中国城市群结构体系的组成与空间分异格局. 地理学报, 2005, 60(5): 827-840.
- [25] 王富喜,毛爱华,李赫龙,贾明璐. 基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析. 地理科学, 2013, 33(11): 1323-1329.
- [26] Department for Environment Food and Rural Affairs. Sustainable Development Indicators in Your Pocket 2007. London: Department for Environment Food and Rural Affairs, 2007.
- [27] Hart M. Guide to Sustainable Community Indicators. 2nd ed. USA: QLF/Atlantic Center for the Environment, 1999.
- [28] 郑度. 中国 21 世纪议程与地理学. 地理学报, 1994(06): 481-489.
- [29] 王祥荣. 生态与环境: 城市可持续发展与生态环境调控新论. 南京: 东南大学出版社, 2000.
- [30] 赵国杰,兰国良. 城市发展的可持续性测评初探. 天津大学学报: 社会科学版, 2003, 5(3): 216-220.
- [31] 张辽,杨成林. 城市群可持续发展水平演化及其影响因素研究——来自中国十大城市群的证据. 统计与信息论坛, 2014, 29(1): 87-93.
- [32] 左学金,权衡. 科学发展与城市国际竞争力: 上海发展前景与政策选择研究. 上海: 上海社会科学院出版社, 2006.
- [33] 吴忠泽. 科技创新是 21 世纪城市可持续发展的源泉和动力. 中国软科学, 2006, (9): 13-17.
- [34] 檀菲菲,张萌,李浩然,陆兆华. 基于集对分析的京津冀区域可持续发展协调能力评价. 生态学报, 2014, 34(11): 3090-3098.