

DOI: 10.5846/stxb201306021271

王少剑, 方创琳, 王洋. 京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度. 生态学报, 2015, 35(7): 2244-2254.

Wang S J, Fang C L, Wang Y. Quantitative investigation of the interactive coupling relationship between urbanization and eco-environment. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(7): 2244-2254.

京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度

王少剑^{1,2}, 方创琳^{1,*}, 王 洋³

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 广州地理研究所, 广州 510070

摘要: 城市化与生态环境之间客观上存在着极其复杂的交互耦合关系, 如何实现城市化与生态环境协调发展将是世界经济社会发展的核心议题, 也是近年来国内外研究的热点命题。首先构建了城市化和生态环境系统综合评价指标体系, 然后借助物理学耦合模型, 构建了城市化与生态环境动态耦合协调度模型, 定量分析了 1980—2011 年京津冀地区城市化与生态环境的耦合过程与演进趋势。结果表明: 人口城市化和生态压力分别对城市化子系统与生态环境子系统的贡献份额最大, 明显高于其他因素; 在耦合协调度测算模型中, 城市化子系统与生态环境子系统 3 种不同贡献份额所得出的耦合协调度的变化趋势是一致的, 表明耦合协调度模型受城市化与生态环境子系统贡献份额比例的影响很小; 1980 年以来京津冀地区的城市化与生态环境耦合协调度呈现出 S 型曲线变化, 协调类型从严重不协调-城市化受阻发展到高级协调-生态环境滞后类型; 正确认识城市化与生态环境交互胁迫的时空动态耦合规律, 采取恰当的区域发展政策和适当的城市发展战略, 对进一步加快区域城市化进程, 改善生态环境, 实现京津冀地区城市化与生态环境的协调和可持续发展具有重要的指导意义。

关键词: 城市化与生态环境; 交互耦合关系; 耦合协调度模型; 协调发展类型; 京津冀

Quantitative investigation of the interactive coupling relationship between urbanization and eco-environment

WANG Shaojian^{1,2}, FANG Chuanglin^{1,*}, WANG Yang³

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

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

3 Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China

Abstract: Over the past three decades, China's gradual transition toward an urbanization-oriented development strategy has generated a spectacular urbanization development with an average annual growth rate at 0.93%. Although, China achieved a great success in urbanization process, many serious challenges appeared at the same time, such as, population explosion, resources scarcity, and eco-environmental deterioration. Accordingly, China's rapid urbanization has been characterized by high-speed economic growth and a series of environmental issues. As it is widely known that there exists an extremely complex interactive coupling and coercing relationship between urbanization and eco-environment, which indicates that urbanization has a strong coercing effect on eco-environment, and eco-environment has a lagged constraint force on urbanization. How to realize the coordinated development of urbanization and eco-environment is not only the key issue in the world economic and social development, but also a hot topic in domestic research in recent years. To start with, this paper establishes a comprehensive index system for assessment of the level of urbanization based on four aspects (population

基金项目: 国家自然科学基金(41371177); 国家社科基金重大项目(13&ZD027)

收稿日期: 2013-06-02; **网络出版日期:** 2014-05-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fangcl@igsnrr.ac.cn

urbanization, spatial urbanization, social urbanization and economic urbanization) and eco-environment based on four aspects (resource factor, eco-environment endowment, eco-environment pressure and eco-environment response). Furthermore, each indicator in the compound system is weighted with subjective and objective weight determination methods: the methods of AHP, entropy and multi-objective decision-making power coefficient. Finally, a coupling coordination degree model focusing on the coupling processes and evolution trends of the compound system of urbanization and eco-environment is established, based on the physical model from 1980 to 2011 in Beijing-Tianjin-Hebei region. The results show that: (1) population urbanization and the eco-environmental pressure make the greatest contribution to the urbanization subsystem and the eco-environmental subsystem respectively, indicating that they are the significant factors when adjusting the compound coupling coordination system during decision-making; (2) in the coupling coordination degree model, the three different subsets of contributions of the urbanization subsystem and the eco-environmental subsystem make no differences to the coupling coordination degree between urbanization and eco-environment system, which indicates that the two parameters have less effect on the coupling coordination system; (3) the coupling coordination degree between urbanization and eco-environment shows an S-shaped curve, and both subsystems evolve from the seriously unbalanced development with urbanization hindered into superiorly balanced development with environment lagged; (4) we argue that it is important to recognize the spatial-temporal dynamic coupling law of interactive coercing between urbanization and eco-environment. It is of great significance to take appropriate urbanization development modes to realize sustainable development between urbanization and eco-environment in Beijing-Tianjin-Hebei region. Furthermore, the results of this study also offer a scientific decision-making for achieving the goal of eco-environment protection and promoting the healthy urbanization in Beijing-Tianjin-Hebei region.

Key Words: urbanization and eco-environment; the interactive coupling relationship; the coupling coordination degree model; the coordinated development type; Beijing-Tianjin-Hebei region

城市化与生态环境的交互耦合关系已成为地理研究和区域发展研究的一个核心问题。改革开放 30 多年来,中国加快发展方式转变,工业化和城市化进程快速推进,经济增长率平均超过 9.9%,经济规模仅排在美国之后,位列全世界第二位^[1]。然而快速工业化根植于能源的巨大需求和消耗,快速城市化来源于对生态环境和资源的剥夺,过大的需求和侵占势必对生态系统和资源环境承载力带来巨大压力,损伤生态服务功能。所以追求经济发展和生态环境保护是一对矛盾体,如何协调二者之间的发展将会对推动区域经济、社会、生态的协调、稳定与可持续发展至关重要^[2-3]。

从国内外关于城市化与生态环境交互作用关系研究来看,研究重点主要涉及城市化与生态环境交互作用机理^[4],并在城市化与生态环境系统协调发展方面取得了新进展。研究理论基础主要包括耦合裂变律,动态层级律,随机涨落律,非线性协同律,阈值律和预警律等六大基本定律^[5-6];研究范围主要涉及欧洲、美国、俄罗斯和中国等国家和地区^[7-11];研究尺度涵盖全球、国家、省(州)、城市和城市内部,并以城市为研究重点^[10,12-14];研究方法主要包括“3S”技术定量分析、系统分析、数学模型和回归分析等^[15-19];学科视角主要为生态经济学、地理学、管理学、空间经济学以及多学科综合等^[20-23]。但当前的研究主要以城市化对生态环境的胁迫效应研究较多,生态环境对城市化的约束效应研究较少,所以城市化与生态环境关系的协调问题是目前研究的薄弱环节,较少有学者从生态环境约束的角度,将生态环境变化与城市化结合起来,探讨城市化过程对生态环境变化的影响以及生态环境对城市化的影响。

学者对城市化与生态环境耦合动态协调发展的研究主要集中在协调度测度、协调发展类型判别等方面,并出现许多新趋势:①测度方法上数学计量模型成为主流工具,研究尺度逐渐趋小化,同时并注重多尺度分析对比研究^[24-28];②协调发展类型上,对不同地区的耦合状态进行判别,主要有运用 EKC 计量模型进行定性分析^[29-30];运用灰色系统模型对耦合协调度进行定量测度^[31];运用双指数模型对城市化与生态环境交互双指数

曲线进行验证分析^[32-34];运用投入产出模型对人口-资源-环境-经济系统的耦合度进行定量分析^[35];此外许多学者运用耦合模型来定量分析城市化与生态环境的耦合演变^[23,36-38]。总体而言,这些研究逐渐由静态、定性现状分析转向动态、定量趋势评价,为人们进一步研究城市化与生态环境的关系奠定了理论和实践基础。但这些研究同时也忽略了对城市化与生态环境关系长期发展的规律性验证,没有详细的判定系统协调发证状态。

伴随着技术方法的革新,可以更好的了解城市化与生态环境发展的模式、动态及耦合机制。目前国内已有的城市化与生态环境关系的研究主要集中在干旱区和全国性省级层面^[36-37],却较少以城市群为单元来研究城市化与生态环境的耦合关系。京津冀地区是中国未来经济发展格局中最具活力和潜力的核心地区,在其城市化快速推进过程中,生态环境受到了不同程度的破坏,城市化与生态环境间出现了不协调发展的画面,所以其城市化与生态环境之间的耦合关系最具代表性。深入研究京津冀地区的城市化与生态环境的耦合过程及演变趋势,提出良性耦合的对策建议,对实现京津冀地区城市化与生态环境的协调和可持续发展具有重要的指导意义。

1 研究区域与数据来源

自改革开放以来,京津冀地区经济发展迅速,以北京和天津为经济增长的龙头,带动了京津冀地区经济的腾飞,使京津冀地区成为中国区域经济增长最快、经济发展水平最高的地区增长极之一。2011年,京津冀地区拥有8508万人,面积为183704 km²,占全国面积的1.9%;地区生产总值为40590亿元,在全国22个城市群中排名第三,经济增长速度为14.09%高于全国的8.74%;从1980—2011年,城市化率从38.86%增加到59.47%,年均增长1.38%高于全国的0.93%。伴随着京津冀经济的快速发展,区域内部资源环境问题也日益突出,在快速城市化背景下,如何实现城市化与生态环境协调发展将是京津冀地区面临的新挑战。本文以京津冀地区为研究单元(图1),以1980—2011年间社会经济和生态环境数据为研究对象,分析了1980年以来京

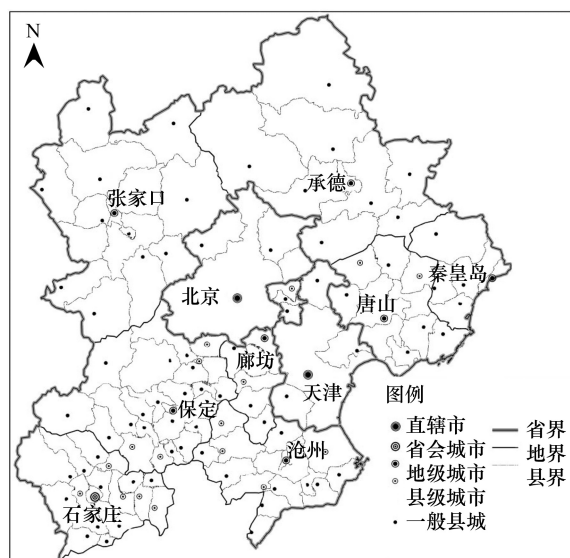


图1 研究范围与区域

Fig.1 Location and range of the study areas

津冀地区的城市化与生态环境耦合协调变化的特征。本文数据来自《中国统计年鉴》(中国统计出版社,1985—2012)、《中国农村统计年鉴》(中国统计出版社,1985—2012)、《中国教育统计年鉴》(中国统计出版社,1987—2011)、《中国区域统计年鉴》(中国统计出版社,2000—2012)、《中国城市统计年鉴》(中国统计出版社,1991—2012)、《新中国六十年统计资源汇编》(中国统计出版社,1949—2008)及北京、天津统计年鉴和相关地市统计年鉴。

2 城市化与生态环境系统模型构建

2.1 城市化与生态环境的交互耦合关系分析

城市化是一个经济、社会、文化等多种因素综合发展的过程,实质上也是以内向式集聚为主和外向式推延为辅的综合作用的过程,它不仅表现为人口由农村向城镇的转移集聚、城镇人口逐步增加,还表现为农业景观向城市景观转换、农业地域向城市地域转换导致城镇数量的增加和城镇规模的扩大;不仅表现为农业活动向非农业活动转换、城市产业结构的转型升级,还表现为城市经济和生活方式向广大农村地区扩散。基于这种认识和过程,城市化的内涵可以概括为4个方面:人口城市化、空间城市化、经济城市化和社会城市化。人口

城市化一方面通过人口密度的增加给生态环境带了巨大压力,城市人口的增加快于城市地域的扩张,这样城市生态环境所承受的压力越来越大;一方面通过改善人们的生活方式和消费结构来过多过快的向生态环境索取资源,生活水平越高,索取的力度越大。空间城市化主要变现为城市密度的增加和城市地域范围的扩展,在这一过程中城市用地不断增加,造成土地资源紧张,同时衍生而来的城市交通扩展也给生态环境带来了景观破坏和噪声污染等问题。经济城市化表现为农业活动向非农业活动转换,和城市经济的转型提升。由于规模经济带动了产业集聚从而提升了经济总量,同时消耗更多资源能源,增大了生态环境压力;同时由于经济总量的增加,使城市更具能力进行环保投资,在一定程度上缓解生态压力,经济城市化对生态环境具有双重作用。社会城市化主要表现为城市经济和生活方式向广大农村地区蔓延扩散。它是城市化外向式推延的过程,对城市化的提升具有辅助作用,通过改变人们的生活方式和传统消费理念来影响资源利用方式和环境保护治理效果。以上说明城市化过程中的每个方面都会对生态环境带来一定的影响和压力,而同时生态环境通过自身的响应对城市化过程的每个方面都有一定的约束和限制作用。总的来说,城市化和生态环境之间客观存在着极其复杂的交互耦合关系,城市化对生态环境有一定的胁迫作用,生活环境对城市化有一定的限制和约束作用(图2)。

2.2 城市化与生态环境的耦合协调度模型

耦合度是一个物理学概念,是指两个(或两个以上的)系统通过受自身和外界的各种相互作用而彼此影响的现象,耦合度模型即^[38-39]:

$$C_n = \left\{ (m_1 m_2 m_n) / \left[\prod (m_i + m_j) \right] \right\}^{1/n} \quad (1)$$

由于系统之间的耦合关系存在相似性,耦合现在被广泛地应用到研究城市化与生态环境交互胁迫关系之中,即:

$$C = \{f(U) g(E) / ([f(U) + f(E)] / 2)^2\}^{1/2} \quad (2)$$

进一步构造城市化与生态环境的耦合协调度模型,来判别城市化与生态环境的协调程度,即:

$$T = \alpha f(U) + \beta g(E) \quad (3)$$

$$D = \sqrt{C T} \quad (4)$$

式中, C 是耦合度, $f(U)$ 是城市化子系统, $g(E)$ 是生态环境子系统;在城市化与生态环境综合系统中, C 代表城市化与生态环境的耦合度, D 是城市化与生态环境的耦合协调度, T 代表城市化与生态环境综合调和指数; α 和 β 分别代表城市化和生态环境的贡献份额^[39]。根据耦合协调度 D 及城市化子系统 $f(U)$ 和生态环境子系统 $g(E)$ 的大小,同时借鉴物理学关于协调类型的划分,可以将城市化与生态环境的耦合类型分为3大类,4个亚类和12个子类型^[39](表1)。

3 京津冀地区城市化与生态环境协调发展的耦合态势分析

3.1 城市化与生态环境综合评价指标体系构建

为了准确评价城市化水平和生态环境的关系,在设置评价指标体系时,借鉴相关研究成果^[39],综合可持续发展度量法和资源环境承载力模型,按照目的科学性原则、系统整体性原则、层次性原则和定性定量结合原则,结合京津冀实际情况,最后形成了有人口城市化、空间城市化、经济城市化和社会城市化4个一级指标,非农业占总人口比重、人均GDP等17个基础指标所构成的京津冀地区城市化水平的综合指标体系(表2);形成了有资源要素、生态要素、生态条件和生态响应4个一级指标,建成区绿化率、人均绿地等15个基础指标所构成的京津冀地区生态环境综合指标体系(表3)。

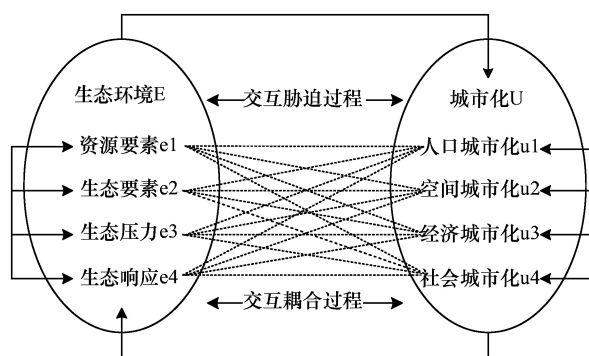


图2 城市化过程与生态环境变化的胁迫耦合关系分析图

Fig.2 Analysis chart of the coupling relationship of urbanization and eco-environment

表 1 城市化与生态环境的耦合协调类型划分

Table 1 Classification of the development of coupling of urbanization and the environment

类型 Types		亚类型 Sub-types	子类型 Basic types	
协调发展	$0.8 < D \leq 1$	高级协调	$g(E) - f(U) > 0.1$	高级协调-城市化滞后
			$f(U) - g(E) > 0.1$	高级协调-生态环境滞后
			$0 \leq f(U) - g(E) \leq 0.1$	高级协调
转型发展	$0.5 < D \leq 0.8$	基本协调	$g(E) - f(U) > 0.1$	基本协调-城市化滞后
			$f(U) - g(E) > 0.1$	基本协调-生态环境滞后
			$0 \leq f(U) - g(E) \leq 0.1$	基本协调
不协调发展	$0.3 < D \leq 0.5$	基本不协调	$g(E) - f(U) > 0.1$	基本不协调-城市化受阻
			$f(U) - g(E) > 0.1$	基本不协调-生态环境受阻
			$0 \leq f(U) - g(E) \leq 0.1$	基本不协调
	$0 < D \leq 0.3$	严重不协调	$g(E) - f(U) > 0.1$	严重不协调-城市化受阻
			$f(U) - g(E) > 0.1$	严重不协调-生态环境受阻
			$0 \leq f(U) - g(E) \leq 0.1$	严重不协调

表 2 城市化综合评价指标及权重

Table 2 The index system and weights of urbanization

一级指标 First-class indicators	AHP 法 AHP method	决策权 系数 Decision marking method	熵值法 Entropy method	综合权重 Comprehensive weights	基础 指标层 Basic indicators	AHP 法 AHP method	决策权 系数 Decision making method	熵值法 Entropy method	综合权重 Comprehensive weights
人口城市化	0.53	0.26	0.25	0.35	非农业人口占总人口比重/%	0.37	0.29	0.60	0.42
					第三产业从业人员比重/%	0.28	0.37	0.10	0.25
					城镇人口密度/(万人/km ²)	0.34	0.34	0.30	0.33
空间城市化	0.20	0.30	0.10	0.20	城镇密度/(个/km ²)	0.15	0.38	0.83	0.46
					交通线网密度/(km/km ²)	0.29	0.33	0.07	0.23
					每万人拥有建成区面积/km ²	0.56	0.29	0.10	0.31
经济城市化	0.20	0.23	0.47	0.30	二、三产业增加值占 GDP 比重/%	0.31	0.26	0.09	0.22
					人均 GDP/元	0.22	0.14	0.24	0.20
					人均工业总产值/元	0.16	0.05	0.21	0.14
					人均地方财政收入/元	0.17	0.26	0.11	0.18
社会城市化	0.07	0.21	0.17	0.15	全社会固定资产投资/万元	0.15	0.29	0.35	0.26
					人均社会消费品零售总额/元	0.04	0.17	0.06	0.09
					每万人拥有大学学位数/个	0.16	0.13	0.03	0.11
					每万人拥有电话数量/个	0.31	0.18	0.18	0.22
					每万人有互联网用户数/户	0.28	0.18	0.15	0.20
					每万人拥有医生数量/个	0.14	0.12	0.10	0.12
					城镇居民人均可支配收入/元	0.07	0.23	0.48	0.26

AHP (Analytic hierarchy process) 法—层次分析法

表 3 生态环境综合评价指标及权重

Table 3 The index system and weights of eco-environment

一级指标 First-class indicators	AHP 法 AHP method	决策权 系数 Decision marking method	熵值法 Entropy method	综合权重 Comprehensive weights	基础 指标层 Basic indicators	AHP 法 AHP method	决策权 系数 Decision making method	熵值法 Entropy method	综合权重 Comprehensive weights
资源要素条件	0.17	0.24	0.33	0.25	人均可利用水资源总量/m ³	0.55	0.25	0.12	0.32
					人均耕地面积/666.7m ²	0.06	0.34	0.45	0.28

续表

一级指标 First-class indicators	AHP 法 AHP method	决策权 系数 Decision marking method	熵值法 Entropy method	综合权重 Comprehensive weights	基础 指标层 Basic indicators	AHP 法 AHP method	决策权 系数 Decision making method	熵值法 Entropy method	综合权重 Comprehensive weights
生态要素条件	0.46	0.34	0.04	0.28	人均粮食作物播种面积/666.7m ²	0.27	0.15	0.16	0.19
					人均粮食总产量/kg	0.12	0.25	0.25	0.21
					建成区绿化覆盖率/%	0.37	0.41	0.30	0.36
					人均绿地面积/m ²	0.30	0.09	0.54	0.31
生态压力条件	0.27	0.22	0.34	0.27	森林覆盖率/%	0.33	0.50	0.16	0.33
					人均工业废水排放量/m ³	0.25	0.20	0.03	0.16
					人均工业二氧化硫排放量/m ³	0.48	0.20	0.10	0.26
					人均工业烟尘排放量/t	0.16	0.25	0.01	0.14
生态响应条件	0.11	0.20	0.27	0.20	人均工业固体废物产生量/t	0.07	0.16	0.01	0.08
					人均工业废气排放总量/m ³	0.05	0.19	0.85	0.36
					工业固体废物综合利用率/%	0.36	0.41	0.25	0.34
					城镇生活污水处理率/%	0.46	0.22	0.40	0.36
					生活垃圾无害化处理率/%	0.18	0.37	0.34	0.30

城市化与生态环境指标可以分为两种类型,对不同的类型采用相应的无量纲化方法^[39],公式为:

$$r_{ij} = (X_{ij} - \min\{X_j\}) / (\max\{X_j\} - \min\{X_j\}) \quad (5)$$

$$r_{ij} = (\{\max X_j\} - X_{ij}) / (\max\{X_j\} - \min\{X_j\}) \quad (6)$$

式中, i 为年份, j 为指标序号, X_{ij} 为指标数据原始值, r_{ij} 为标准化值, $\max(X_j)$ 和 $\min(X_j)$ 分别为第 j 指标的最大值和最小值;当指标值为正向作用时,即所用指标的值越大越好时,采用公式(5),当指标值为逆向作用时,即所用指标的值越小越好时,采用公式(6),经过这样的处理,所有的指标值都会在 $[0, 1]$ 范围内。

在处理指标权重时,由于考虑到每一种赋权法都有一定局限性,为了降低赋权法所带来的差异性,本文综合选择了一种主观赋权法模糊层次分析法(AHP)^[40]、两种客观赋权法熵值法^[41]和无限方案多目标决策方法进行行有限方法多目标决策法^[42],然后求其权重的均值得到综合权重,在一定程度上相应的缩小了单一赋权法带来的局限性和弊端,处理结果如表2、表3。

3.2 城市化与生态环境综合指数分析

从表2中可以看出,人口城市化(0.35)在城市化综合指标体系中所占的权重最大,因此是对城市化综合水平影响最大的层面,其次依次是经济城市化(0.3)、空间城市化(0.2)和社会城市化(0.15)。在城市化综合指标体系中,非农业人口占总人口密度(0.147)、城镇人口密度(0.116)、城镇密度(0.092)和全社会固定资产投资(0.078)是贡献份额最大的指标,所占的综合权重合计为43.25%。基于以上分析,可以看出在过去30年间,城镇人口的增加、城镇人口密度的提高和城市个数的增加是影响京津冀地区城市化快速发展的重要原因。研究结果也正好符合京津冀地区的实际情况,人口增加和城市发展的交互关系是影响京津冀地区区域可持续发展的重要原因之一。所以城市规划者和政府机构在考虑和构想城市发展政策时应给予城镇人口增加和城市地域范围扩张滞后的交互关系以高度关注。采取恰当的区域发展政策和恰当的城市发展战略对健康城镇化的发展具有重要战略意义。

从表3可以看出,建成区绿化面积(0.098)、人均工业废气排放总量(0.097)、人均可利用水资源总量(0.095)、人均绿地面积(0.0868)和人均水资源总量(0.08)对生态环境综合水平具有较高的贡献份额,总共占到了45.72%。总的来看,生态要素条件和生态压力条件是影响生态环境综合水平最重要的两个因素。基于以上分析,可以看出提高城市地区的绿化率、保障城市用水安全和减少工业废气排量是提高城市生态环境综合水平的强有力措施。

图3展示了城市化综合水平及各个层面城市化水平的变动趋势。城市化综合水平在1980—2011年间一直保持着上升趋势。这表明京津冀地区在改革开放以来,中心城市发展较快,城市规模不断扩张,非农业人口每年呈增长态势,城市地域范围也不断向外围扩张,相比20世纪90年代有很大增长,同时经济发展速度也较快,在整个国家战略区域竞争中处于绝对优势地位。具体人口城市化曲线也呈上升趋势,人口城市化对城市化综合水平的贡献份额和人口城市化曲线保持一致,再一次证明了人口城市化对城市化综合水平的贡献份额最高。空间城市化的贡献份额呈现出一个简单的倒“U”型曲线,1980—2002年,贡献份额呈上升趋势,2003—2008年贡献份额的比重比较稳定,没有出现波动性变化,2009年至今,空间城市化的贡献份额开始出现下降趋势。经济城市化对城市化综合水平的贡献份额呈逐年增高的趋势,这表明经济城市化所包含的要素在推动城市化快速发展的进程中所起的作用越来越大,所占的贡献份额也越来越高。社会城市化曲线也一直处于上升趋势,但其对城市化综合水平的贡献份额不高,虽然逐年升高,但还是处于较低水平。

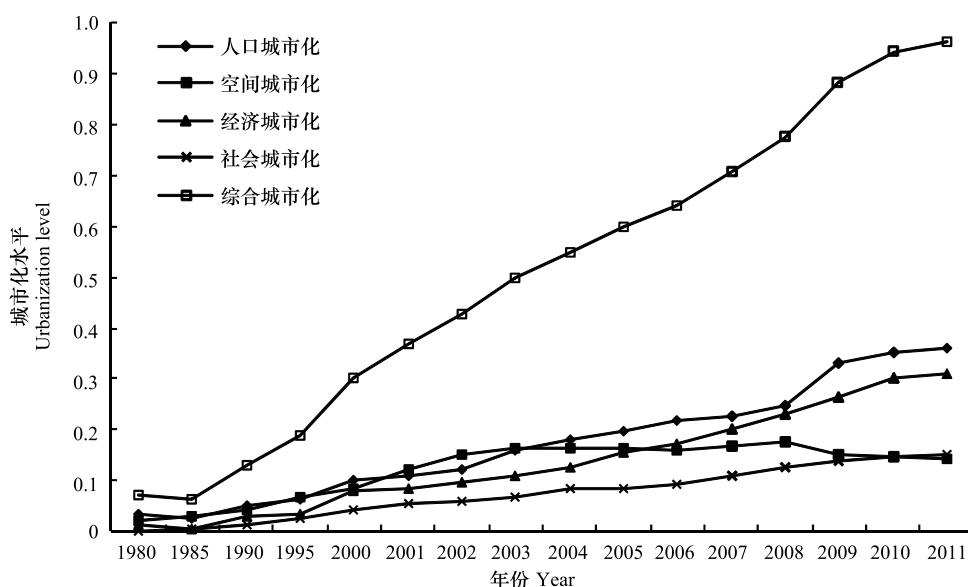


图3 城市化综合水平的演变趋势

Fig.3 Trends of comprehensive levels of urbanization

图4展示了生态环境综合水平以及各个层面生态环境水平的变化趋势。生态环境综合水平在整个研究时间段表现出波动中上升,其基本趋势和生态压力变化趋势是一致的。1980—1990年生态环境综合水平表现出急剧的上升;1990—2002年间,生态环境综合水平与资源要素层面的生态环境水平的变化趋势是一致的,出现了明显的下降变化;2003—2011年生态环境综合水平出现波动中上升。其他各个层面的生态环境水平分别呈现出各自不同的变化,生态要素和生态响应呈微弱上升趋势,生态压力呈波动性变化,资源要素在2003年出现拐点,2003年之前急剧下降,2003年之后缓慢上升。

3.3 城市化与生态环境的耦合协调度分析

为了探求城市化子系统与生态环境子系统对城市化与生态环境耦合协调度的影响,本文分析了3种不同类型($\alpha=1/3$, $\beta=2/3$; $\alpha=1/2$, $\beta=1/2$; $\alpha=2/3$, $\beta=1/3$)城市化与生态环境所占贡献份额的情况,基于这3种不同类型城市化子系统和生态环境子系统的贡献份额,从而测算城市化与生态环境耦合协调度的变化情况,测算结果和类型划分如图5和表4。

如图5所示,从3种不同城市化子系统和生态环境子系统贡献份额类型的耦合结果来看,3组耦合协调度的变化趋势是一致的,仅大小稍有不同。可以明显看出城市化子系统和生态环境子系统的所占贡献份额的大小对整个系统的耦合协调度的结果影响不大。所以本文的分析结果将不再着重分析由于不同权重所引起的耦合协调度差异,重点关注耦合协调度在1980—2011年的变化趋势分析。城市化与生态环境耦合协调度

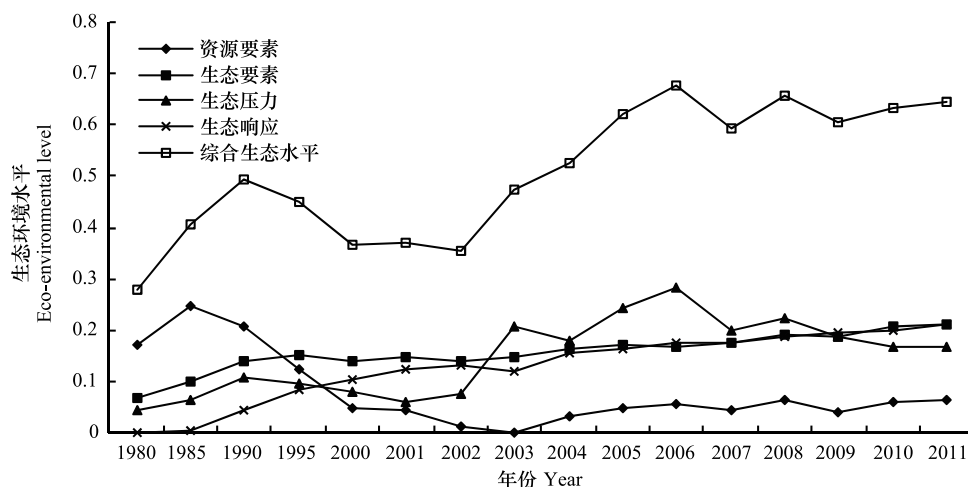


图4 生态环境综合水平的变化趋势

Fig.4 Trends of comprehensive levels of eco-environment

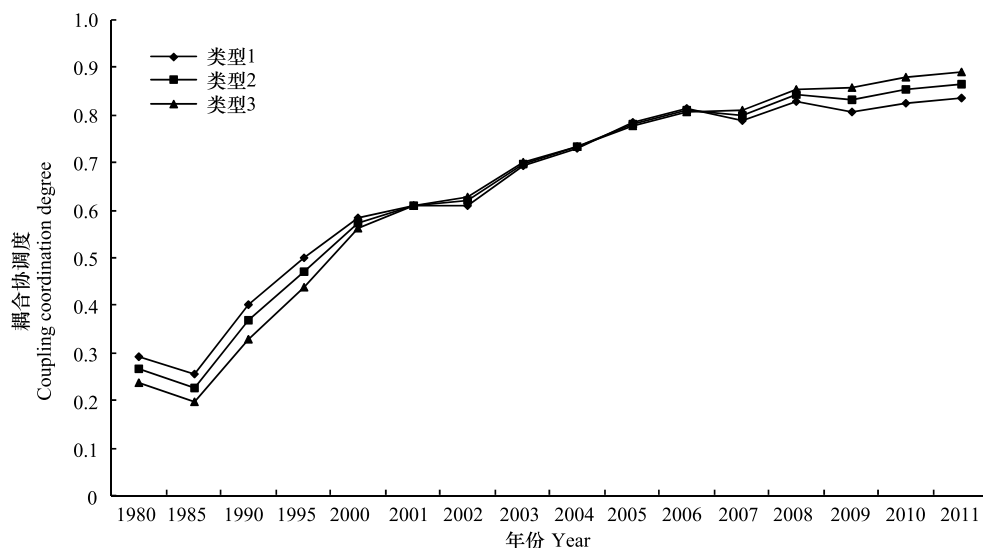


图5 生态环境综合水平的变化趋势

Fig.5 Trends of comprehensive levels of eco-environment

的变化趋势是先降后升,形成一个 S 型曲线。本文将从 4 个时间段详细阐述城市化与生态环境耦合协调度的变化趋势:

(1)1980—1985 年 这一阶段的城市化与生态环境耦合协调度呈下降趋势,但一直保持在严重不协调—城市化发展受阻阶段。这一时期的生态环境子系统的综合水平明显高于城市化子系统的综合水平,生态环境综合水平呈上升趋势,从 0.276 增加到 0.407;而城市化综合水平却出现稍微的下降,从 0.069 下降到 0.064.结果说明改革开放初期,城市化水平较低,经济发展缓慢,其对生态环境并没有构成严重影响。

(2)1985—2002 年 城市化与生态环境耦合协调度迅速增加,表明城市化子系统和生态环境子系统越来越协调,协调类型从严重不协调—城市化受阻逐步过渡到基本协调阶段。这一时期的城市化综合水平快速增加,城市经济发展迅速,城市人口逐渐增加,而这一时期的生态环境综合水平却呈现倒 U 型波动性变化,1985—1990 年上升,1990—2002 年快速下降,说明生态环境开始受到了城市化快速发展的影响,出现了生态响应。这一时期京津冀地区的经济发展以高耗能发展模式为主,产业结构以二产为主,资源消耗过快,但仍在资源环境承载力范围之内。

(3)2003—2008 年 城市化与生态环境耦合协调度继续增加,这一时期的协调类型从基本协调逐步过渡到高级协调-生态环境滞后阶段。城市化综合水平在这一阶段呈线性上升,生态环境综合水平稳步提高,2005—2006 年达到高级协调阶段。这一变化和京津冀地区的发展政策密切相关,2001 年北京取得了奥运会的申办权,北京及其周边地区开始采取各种措施对重化工以及污染性比较大的产业进行综合治理,由于滞后效应,从 2003 年开始环境质量得到稳步提升,城市化与生态环境耦合协调度逐步达到高级协调阶段。

(4)2008—2011 年 城市化与生态环境耦合协调度持续增加,但趋势变缓,一直维持在高级协调-生态环境滞后阶段。这一时期城市化综合水平继续增加,但生态环境却开始出现波动变化,究其原因主要是因为奥运会过后,京津冀地区的部分污染性行业企业逐步开始运行,环境质量开始下降,进而出现各种极端天气,影响京津冀地区整体的生态经济系统的协调发展。

表 4 不同耦合类型下的城市化与生态环境耦合协调度
Table 4 Coordinated coupling degree of urbanization and eco-environment based on discriminated standards

年份 Year	类型1 Case1: $\alpha = 1/3; \beta = 2/3$	类型2 Case2: $\alpha = 1/2; \beta = 1/2$	类型3 Case3: $\alpha = 2/3; \beta = 1/3$
1980	严重不协调—城市化受阻		
1985	严重不协调—城市化受阻	严重不协调—城市化受阻	严重不协调—城市化受阻
1990	基本不协调—城市化受阻	基本不协调—城市化受阻	基本不协调—城市化受阻
1995			
2000	基本协调—城市化滞后	基本协调	
2001			
2002			
2003	基本协调	基本协调	
2004			
2005	高级协调	高级协调	高级协调
2006	基本协调—生态环境滞后		
2007			
2008	高级协调—生态环境滞后		
2009			
2010			
2011			

严重不协调
城市化受阻

基本不协调
城市化受阻

基本协调城
市化滞后

基本协调生
态环境滞后

基本协调

高级协调生
态环境滞后

高级协调

低水平

高水平

4 结论与讨论

城市化与生态环境系统在城市经济发展、社会进步和生态演变的过程中,伴随着城市人口增加、城市资源开发、城市经济增长、城市科技进步以及城市生态环境破坏,经历着较长的演化过程,城市化与生态环境内部各要素之间形成了极其复杂的交互耦合关系。本文以京津冀地区为例,构建了耦合协调度模型定量的评价了城市化与生态环境的耦合协调度,同时在快速城市化背景下,本文也分析了城市化与生态环境耦合协调度的动态变化。研究表明:①人口城市化和生态压力分别对城市化子系统与生态环境子系统的贡献份额最大,明显高于其他因素;②在耦合协调度测算模型中,城市化子系统与生态环境子系统 3 种不同的贡献份额所得出的耦合协调度的变化趋势是一致的,表明耦合协调度模型受城市化与生态环境子系统贡献份额比例的影响很

小;③在 1980—2011 年间,京津冀地区的城市化与生态环境耦合协调度呈现了 S 型曲线变化,协调类型从严重不协调-城市化受阻发展到高级协调-生态环境滞后。

本文构建了耦合协调度测算模型,在城市化与生态环境客观复杂动态关系的基础上,通过交互胁迫关系和动态耦合应用来判读城市化与生态环境的协调发展类型。该分析强调城市化与生态环境耦合的动态时空演变,实证研究结果能较好的切合京津冀地区发展的实际情况,研究结论能为京津冀区域发展政策的制定提供依据。从以上的分析可以看出,京津冀地区的城市化与生态环境的耦合协调度变化趋势应该有两种类型,一是随着城市化水平的持续推进,生态环境进一步遭到破坏,进而达到崩溃,那么整体生态经济系统也将面临灭亡;一是随着城市化水平的持续提高,伴随着经济总量的增加,使城市更具能力进行环保投资,在一定程度上缓解生态压力,最终达到城市化与生态环境协调发展。该方法还可以为国内其他区域城市化与生态环境关系的研究提供新的方法思路。

参考文献 (References):

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [2] 王振波, 方创琳, 王婧. 1991 年以来长三角快速城市化地区生态经济系统协调度评价及其空间演化模式. 地理学报, 2011, 66(12): 1657-1668.
- [3] Wang Z B, Fang C L, Cheng S W. Evolution of coordination degree of eco-economic system and early-warning in the Yangtze River Delta. *Journal of Geographical Sciences*, 2013, 23(1): 147-162.
- [4] Markus P. Technical progress, structural change, and the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, 2002, 42(3): 381-389.
- [5] 方创琳, 杨玉梅. 城市化与生态环境交互耦合系统的基本定律. 干旱区地理, 2006, 29(1): 1-8.
- [6] 方创琳. 耗散结构理论与地理系统论. 干旱区地理, 1989, 12(3): 51-56.
- [7] Graniel C E, Morris L B, Carrillo-Rivera J J. Effects of urbanization on groundwater resources of Merida, Yucatan, Mexico. *Environmental Geology*, 1999, 37(4): 303-312.
- [8] Maryam A I, Zoran K, Fu G T, Butler D. Assessing the combined effects of urbanization and climate change on the river water quality in an integrated urban wastewater system in the UK. *Journal of Environmental Management*, 2012, 112: 1-9.
- [9] Shen W J, Wu J G, Grimm N B, Hope D. Effects of urbanization-induced environmental changes on ecosystem functioning in the Phoenix Metropolitan Region, USA. *Ecosystems*, 2008, 11(1): 138-155.
- [10] Grimm N B, Faeth S H, Colubiewski N E, Redman C L, Wu J G, Bai X M, Briggs J M. Global change and the ecology of Cities. *Science*, 2008, 319(5864): 756-760.
- [11] Antrop M. Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 67(1/4): 9-26.
- [12] Inmaculada M Z, Antonello M. The impact of urbanization on CO₂ emissions: Evidence from developing countries. *Ecological Economics*, 2011, 70(7): 1344-1353.
- [13] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析. 地理学报, 2005, 60(2): 237-247.
- [14] Liu S B, Wei C Y, Guo Y Q, Zeng X X, Liu S, Yin Y C, Liu Y G. Exploring harmonious development between urbanization and eco-environment based on climate analysis-A study in Changsha, China. *Journal of central South University of Technology*, 2011, 18(1): 101-107.
- [15] Grossman G M, Kreuger A B. Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353-377.
- [16] Kijima M, Nishide K, Ohyama A. Economic models for the environmental Kuznets curve: a survey. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2010, 34(7): 1187-1201.
- [17] Olli V, Sylvie F J. Water resources development in the lower Senegal River Basin: Conflicting interests, Environmental concerns and policy options. *International Journal of Water Resources Development*, 2002, 18(2): 245-260.
- [18] Cristina M, Christopher D E, Ramakrishna R. Assessing the impact of urban land development on net primary productivity in the southeastern United States. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86(3): 401-410.
- [19] Ducrot R, Page C L, Bommel P, Kuper M. Articulating land and water dynamics with urbanization: an attempt to model natural resources management at the urban edge. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2004, 28(1/2): 85-106.
- [20] Verdesca D, Federici M, Torsello L, Basosi R. Energy-economic accounting for sea-coastal systems: A novel approach. *Ecological Modeling*, 2006, 193(4): 132-139.
- [21] Barbera E, Currò C, Valenti G. A hyperbolic model for the effects of urbanization on air pollution. *Applied Mathematical Modeling*, 2010, 34(8): 2192-2202.

- [22] 宋建波, 武春友. 城市化与生态环境协调发展评价研究——以长江三角洲城市群为例. 中国软科学, 2010, (2): 77-87.
- [23] Lloret J, Riera V. Evolution of a Mediterranean coastal zone: Human impacts on the marine environment of Cape Creusa. *Environmental Management*, 2008, 42(6): 977-988.
- [24] 吴文恒, 牛叔文, 郭晓冬, 常慧丽, 李钢. 中国人口与资源环境耦合的演进分析. 自然资源学报, 2006, 21(6): 853-861.
- [25] 雷明. 中国环境经济综合核算体系框架设计. 系统工程理论与实践, 2000, (10): 17-26.
- [26] 孜比布拉 司马义, 苏力叶 木沙江, 帕夏古 阿不来提. 阿克苏市城市化与生态环境综合水平协调度评析. 地理研究, 2011, 30(3): 496-504.
- [27] 王新杰, 薛东前. 西安市城市化与生态环境协调发展模式演化分析. 自然资源学报, 2009, 24(8): 1378-1385.
- [28] 王长建, 张小雷, 杜宏茹. 近 30a 新疆城市化与生态环境互动关系的动态计量分析. 中国沙漠, 2012, 32(6): 1794-1802.
- [29] Jill L, Caviglia H, Dustin C. Taking the "U" out of Kuznets: a comprehensive analysis of the EKC and environmental degradation. *Ecological Economics*, 2009, 68(4): 1149-1159.
- [30] Dinda S. Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 2004, 49(4): 431-455.
- [31] 张明媛, 袁永博, 周晶, 冯士森. 基于灰色系统模型的城市承灾经济协调性分析. 系统工程理论与实践, 2008, 28(3): 171-176.
- [32] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析. 地理研究, 2003, 22(2): 211-220.
- [33] 乔标, 方创琳. 城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用. 生态学报, 2005, 25(11): 3003-3009.
- [34] 乔标, 方创琳, 黄金川. 干旱区城市化与生态环境交互耦合的规律性及其验证. 生态学报, 2006, 26(7): 2183-2190.
- [35] 姜涛, 袁建华, 何林, 许屹. 人口-资源-环境-经济系统分析模型体系. 系统工程理论与实践, 2002, (12): 67-72.
- [36] 吴玉鸣, 张燕. 中国区域经济增长与环境的耦合协调发展研究. 资源科学, 2008, 30(1): 25-30.
- [37] 高乐华, 高强. 海洋生态经济系统交互胁迫关系验证及其协调度测算. 资源科学, 2012, 34(1): 173-184.
- [38] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析. 自然资源学报, 2005, 20(1): 105-112.
- [39] Li Y F, Li Y, Zhou Y, Shi Y L, Zhu X D. Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment. *Journal of Environmental Management*, 2012, 98: 127-133.
- [40] 范丽芳, 江浩斌, 陈昆山. 基于模糊层次分析法的配送中心选址研究. 交通运输系统工程与信息, 2006, 6(1): 107-110.
- [41] 陆添超, 康凯. 熵值法和层次分析法在权重确定中的应用. 电脑编程技巧与维护, 2009, (22): 19-20.
- [42] 王应明, 傅国伟. 运用无限方案多目标决策方法进行有限方案多目标决策. 控制与决策, 1993, 8(1): 25-29.