

DOI: 10.5846/stxb201908201740

杜霞, 孟彦如, 方创琳, 李聪. 山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合协调发展的时空格局. 生态学报, 2020, 40(16): 5546-5559.

Du X, Meng Y R, Fang C L, Li C. Spatio-temporal characteristics of coupling coordination development between urbanization and eco-environment in Shandong Peninsula urban agglomeration. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(16): 5546-5559.

山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合协调发展的时空格局

杜霞^{1,2}, 孟彦如¹, 方创琳^{2,*}, 李聪³

1 枣庄学院旅游与资源环境学院, 枣庄 277100

2 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

3 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048

摘要: 城镇化与生态环境耦合协调发展研究, 是目前国际研究的热点与前沿领域。以山东半岛城市群为研究对象, 建立城镇化系统和生态环境系统指标体系, 运用耦合协调度模型定量分析山东半岛城市群 2000—2016 年城镇化与生态环境耦合协调发展时空格局。结果表明: (1) 2000—2016 年城镇化水平不断提高, 多年平均值表现为空间城镇化 > 人口城镇化 > 经济城镇化 > 社会城镇化, 生态环境水平呈现出波动中上升的趋势, 生态压力子系统曲线下降, 生态状态和生态保护子系统曲线不断上升, 生态环境总体有了一定的改善和提高; (2) 2000—2016 年耦合协调度逐渐增强, 依次经历了严重不协调、基本不协调、基本协调、中度协调、高级协调 5 个阶段, 实现了从极度不协调向优质协调的转变, 子系统耦合协调特征从严重不协调—城镇化滞后型向高级协调—生态环境滞后型演变; (3) 17 地市城镇化以中等水平城镇化区为主要类型, 高水平城镇化区集中在济南、青岛“双核”地区和北部的东营, 较低水平城镇化区范围逐渐缩小, 低水平城镇化区消失; 生态环境优质区主要集中在东部沿海城市带威海、青岛、烟台、日照和中部泰安, 生态环境中等区从胶济城市带轴线向南北扩散, 生态环境较低区主要集中在菏泽、聊城、滨州, 生态环境恶劣区不存在; (4) 2000—2016 年城市耦合协调度不断提高, 空间差异明显, 呈现出由沿海城市带、济南都市圈核心城市向西南地区逐渐降低的空间分布趋势, 子系统耦合协调特征由城镇化滞后型向同步型、生态环境滞后型开始转化, 发达城市的集聚作用明显, 落后地区的城镇化问题和生态环境问题比较严重。

关键词: 城镇化; 生态环境; 耦合协调; 时空格局; 山东半岛城市群

Spatio-temporal characteristics of coupling coordination development between urbanization and eco-environment in Shandong Peninsula urban agglomeration

DU Xia^{1,2}, MENG Yanru¹, FANG Chuanglin^{2,*}, LI Cong³

1 School of Tourism and Resource Environment, Zaozhuang University, Zaozhuang 277100, China

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

3 College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China

Abstract: The coupling coordination research between urbanization and eco-environment is becoming more popular at the international level. Based on the data of 2000—2016, the article constructed measurement index system of urbanization and eco-environment, analyzed the spatio-temporal differentiation of the coupling coordination relationships between urbanization and eco-environment in Shandong Peninsula urban agglomeration by the coupling coordination degree model. The results showed that the urbanization level had been raising persistently from 2000 to 2016, the spatial urbanization was better than

基金项目: 山东省社会科学规划项目(18CGLJ31); 国家自然科学基金重大项目(41590842)

收稿日期: 2019-08-20; 网络出版日期: 2020-06-08

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

population urbanization, population urbanization was better than economic urbanization, and the social urbanization was relatively weak. The eco-environment level went on improving in fluctuation volatility which ecological pressure subsystem curve declined while ecological state subsystem and ecological protect subsystem kept going up. The coupling coordination degree between urbanization and eco-environment in Shandong Peninsula urban agglomeration had a significantly upward trend. It achieved the change from the extremely unbalanced to well coordination which was experienced seriously unbalanced, preliminary unbalanced, preliminary coordination, moderate coordination, and well coordination. The coupling coordination characteristic of subsystems evolved from seriously unbalanced development with urbanization lagged to well coordination development with eco-environment lagged. The middle urbanization area was the dominant type in 17 cities and the spatial pattern of the high urbanization area remained double cores of Qingdao, Jinan and Dongying in northern area. The spatial pattern of slightly low urbanization area declined significantly, and low urbanization area was virtually non-existent. The superior eco-environment area was located in Qingdao, Yantai, Weihai, Rizhao of eastern coastal area and Taian of middle area. The middle eco-environment area was spread from Jiaoji axis to the south and north area, but slightly low eco-environment area was located in Heze, Liaocheng, Binzhou. No areas exhibited inferior eco-environment. The regional difference of the coupling coordination levels between urbanization and eco-environment was significant and city coupling coordination degree had been increasing constantly from 2000 to 2016, while it showed the reducing trend of spatial distribution from eastern coastal area, Jinan metropolis circle to south-west areas. The subsystem coupling coordination development gradually changed from urbanization lagged to synchronization and eco-environment lagged. Gathering influence in the developed cities was clear while the problem of the urbanization and the eco-environment in backward area became very serious.

Key Words: urbanization; eco-environment; coupling coordination; spatio-temporal pattern; Shandong Peninsula urban agglomeration

21 世纪以来,我国城镇化发展水平较快,常住人口城市化率从 2000 年的 36.2% 增加到 2018 年的 59.58%, 年均增长超过 1%。城镇化快速增长给区域生态环境承载力带来巨大压力,人口的剧增、工业化进程的加速、经济总量的飞跃式发展、经济增长方式的粗放型特征引发了严峻的生态环境问题,同时区域生态环境恶化也制约城镇化的进一步发展,阻碍城镇化发展质量的提升,二者是相互影响、交互胁迫的耦合关系。面对快速城镇化引发的生态环境问题,2014 年出台《国家新型城镇化规划(2014—2020)》,明确提出建设“以人为本”的中国特色新型城镇化道路,党的十八大和十九大报告也高度重视“生态文明建设”发展战略,因此城镇化与生态环境的耦合协调研究已经成为国家进行生态文明建设的重要内容之一。城镇化如何在生态环境承载力范围内实现合理、有效、优质发展,生态环境如何更好的为城镇化发展提供良好空间和基础载体,成为区域可持续发展的关键问题。开展城镇化与生态环境交互耦合效应的研究,已经成为国际上未来 10 年地球系统科学与可持续性科学研究的热点与前沿领域^[1-5]。

国外学者 David J. Rapport 和 Tony Friend 1979 年提出 PSR 模型,即从“压力-状态-响应”角度研究经济活动与生态环境之间的相互关系^[6]; Pearce 认为在城市发展不同阶段所采取的环境政策不一样,提出“城市发展阶段环境对策模型”^[7]; Grossman 和 Krueger 通过研究人均收入与环境指标的关系认为,城镇化与生态环境呈现出倒“U”字型的环境库兹涅茨假设(EKC)^[8],并判定不同地区的耦合状态^[9]。国内相关研究发展较晚,主要集中在城镇化与生态环境耦合理论^[10-11]、机制^[12-14]、相互关系^[15-16]、耦合评价^[17-18]、规律与协同路径^[19-20]等方面展开,研究方法主要运用双指数曲线^[21]、综合响应度模型^[22]、灰色关联模型^[23]、耦合协调度模型^[24-25]、BP 模型^[26]、SD 模型^[27]、VAR 模型^[28]。研究尺度集中在国家^[29-30]、省级^[31-34]、城市^[35-36]、县域^[37],马海涛^[38]对不同尺度下城镇化与生态环境关系进行了研究评述,刘海猛^[39]构建了城镇化与生态环境耦合机理的分析框架-耦合魔方,提出城镇化与生态环境耦合的 4 个分析维度——时间、空间、表象、组织,拓展了近

程耦合、远程耦合、近期耦合、远期耦合、组内耦合、组间耦合、显性耦合、隐形耦合 8 种耦合机制。崔学刚^[40]总结了 4 种城镇化与生态环境耦合动态模拟模型:系统动力学模型、人工智能算法模型(ANN 和 BN)、土地利用变化模型(CLUE、CA 和 MAS)、多模型集成复合模型。但是国内以城市群尺度进行研究的相对较少,部分成果也多集中在对国家级重点城市群进行有效的探索,如京津冀城市群、长三角城市群、珠三角城市群,针对国内其他城市群的关注较少。方创琳^[41-42]对中国城市群取得的重大进展进行了梳理,提出开展特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应的研究,是未来 10 年地球系统科学研究的前沿领域和高优先研究主题,并从理论上解析了特大城市群地区城镇化与生态环境的交互耦合效应,创建了特大城市群地区城镇化与生态环境的交互耦合效应解析的理论框架及技术路径。王少剑^[43]对京津冀城市群地区城镇化与生态环境耦合关系和动态变化进行定量测度,梁龙武、王振波^[44]进一步分析了京津冀城市群内部城镇化与生态环境耦合关系的空间分异和协同发展格局,陈肖飞^[45]从利奥波德大地伦理观思想出发,对长三角城市群新型城镇化与生态环境承载力耦合协调研究,崔木花^[46]以中原城市群 9 个城市为例研究城镇化与生态环境耦合协调关系,还有部分学者对特大城市群的生态安全^[47]、大气污染^[48]、生态效率等特征进行分析,均取得了一定的研究成果。中国有 19 个城市群,由于历史发展、资源禀赋、产业基础、经济结构等条件各不相同,每一个城市群的城镇化发展水平存在较大差异,生态环境条件和生态问题更是复杂多样,导致二者出现不同的耦合特征,因此对于每一个城市群都要结合自身特点进行研究。

本文在借鉴相关研究成果的基础之上,以山东半岛城市群为例,探讨城镇化与生态环境的时空演变及耦合格局。山东半岛城市群位于京津冀城市群和长三角城市群中间地带,是国家主体功能区规划中的优化开发区,是国家重点建设的沿海城市群之一。最初有济南、青岛、淄博、潍坊、威海、烟台、东营、日照 8 个沿海城市,2014 年规模扩大到 13 个城市,2017 年出台《山东半岛城市群发展规划(2016—2030)》,扩大到 17 个城市。国家在“十三五”规划中明确提出“优化提升东部地区城市群,提升山东半岛城市群开放竞争水平”,打造北方重要开放门户,打破行政壁垒,构建“两圈四区”的城市群空间格局(图 1)。截止到 2018 年底,山东半岛城市群常住人口 10047 万人,地区生产总值 76469 亿元,常住人口城市化率达到 61.18%,比全国平均水平 59.58% 提高近 2 个百分点。快速城镇化对区域人口容量、资源承载力、环境承载力产生巨大的压力,传统资源产业的快速发展给生态环境带来一定的挑战,城镇化与生态环境协调发展问题越来越受到关注。基于以上分析,本文以山东半岛城市群为例,研究 2000—2016 年城镇化与生态环境发展特征和耦合时空格局,探索影响二者耦合协调发展存在的问题,以期对山东半岛城市群城镇化与生态环境协调发展提供一定的建议,为其他同类城市群城镇化与生态环境协调发展提供借鉴,推动城市群健康绿色发展和区域经济高质量发展,带动全国城镇化水平和生态水平的进一步提升,对于丰富城市群的可持续发展研究具有一定的理论意义与实践意义。

1 研究方法 with 指标体系

1.1 研究方法

1.1.1 耦合协调度模型

耦合度源于物理学,指多个系统或要素之间彼此相互作用、相互影响的程度。本文研究城镇化与生态环境两个系统之间的耦合协调关系,借鉴耦合概念模型得出两个系统相互作用的耦合度模型,公式如下:

$$C = \left\{ \frac{f(a) \times f(b)}{\left[\frac{f(a) + f(b)}{2} \right]^2} \right\}^{1/2} \quad (1)$$

$$T = \alpha f(a) + \beta f(b) \quad (2)$$

式中, C 为系统耦合度, $f(a)$ 是城镇化发展水平综合评价指数, $f(b)$ 是生态环境综合评价指数, $f(a)$ 和 $f(b)$ 可以通过多指标综合评价模型计算得出, T 为城镇化发展水平与生态环境水平系统总得分,反映城镇化与生态环境的整体协同效应。 n 为调节系数($n \geq 2$),本文取 $n=2$ 。由于城镇化与生态环境的相互关系中,二者同等

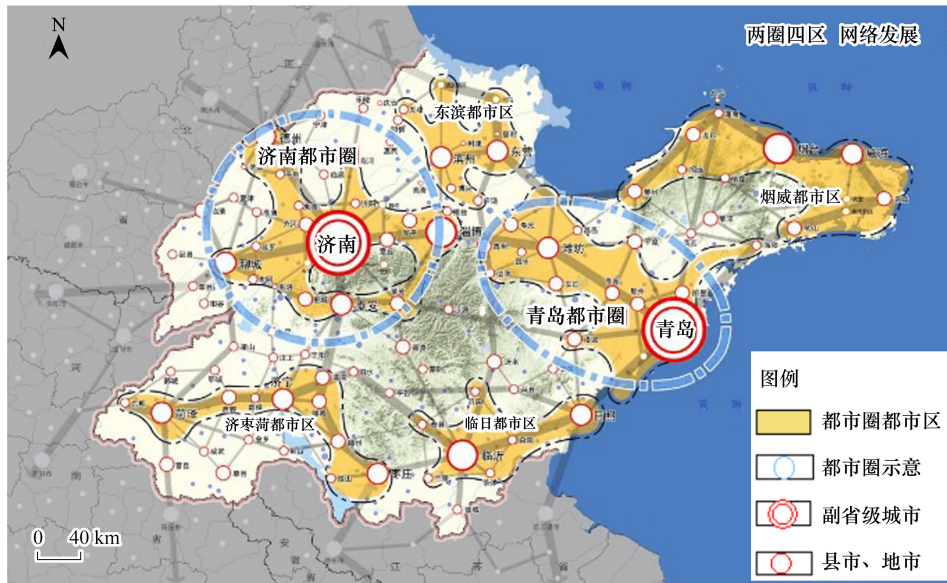


图 1 山东半岛城市群范围及空间规划示意图^[49]

Fig.1 Spatial structure planning of Shandong Peninsula urban agglomeration

重要,因此取 $\alpha=\beta=0.5$ 。 $C \in [0,1]$,当 $C = 1$ 时,表明城镇化和生态环境系统位于最佳耦合协调状态;当 $C = 0$ 时,表明城镇化和生态环境系统基本处于不耦合状态。

耦合度的高低并不能反映两个子系统的发展水平。当生态环境与城镇化都比较低时,也能有较高的耦合度,但这种高耦合数值与高水平耦合的内涵不同,因此构建能反映生态环境与城镇化协调发展水平的耦合协调度模型:

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (3)$$

D 为系统耦合协调度, D 的数值介于 0 和 1 之间,耦合协调度越接近 1,说明系统之间的耦合协调程度越高,越接近 0,说明系统耦合协调度越低。

1.1.2 耦合协调类型

结合已有研究成果^[43-44],综合耦合协调度和子系统综合评价指数得出城镇化与生态环境耦合协调发展类型及特征,如表 1 所示。

1.2 指标体系

城镇化是农村人口转化为城镇人口、农业用地转化为城市用地的过程,不仅仅是人口和土地的空间变化,还有人口空间移动所带来的城市经济结构、社会服务、生活方式、城市文化等全方位的城镇化。中国新型城镇化明确提出建立“以人为本”的城镇化,人口迁移到城市是否能够享受到和城市居民同样的福利待遇、生活水平、生存空间,人口城镇化与就业岗位是否匹配成为制约新型城镇化发展的关键。生态环境是人类赖以生存的自然资源与自然环境系统,主要包括水资源、大气环境、能源系统、土地资源、生态绿地系统等多方面。生态环境的优劣取决于区域某一段时期内人类的生产和生活消费对资源环境产生的压力、资源禀赋的生态生产力以及生态环境治理和保护力度。结合已有研究成果,从人口城镇化、经济城镇化、社会城镇化、空间城镇化 4 个方面构建城镇化系统指标体系,从生态环境压力、生态环境状态、生态环境保护 3 个方面构建生态环境系统指标体系,具体指标如表 2 所示。

指标权重的确定方法可以分为主观赋权评价法和客观赋权评价法,常用主观赋权评价法有 AHP 法、Delphi 法、模糊评价法等,常用客观赋权评价法主要有熵值法、主成分分析法、多目标规划法、TOPSIS 法、变异系数法等。不同的评价方法都有一定的科学性和局限性,本文在确定指标权重时采用了两种方法:主观赋值

层次分析法(AHP)和客观赋值熵值法,分别计算二者权重求平均值,有利于消除单一方法所带来的弊端,通过数据处理之后的结果如表2所示。

表1 城镇化与生态环境耦合协调类型及发展特征

Table 1 Coupling coordination types and characteristic of urbanization and eco-environment

耦合协调度 Coupling coordination	类别 Category	亚类别 Subcategory comparison	子系统比较 Subsystem characteristic	协调特征 Coordinated	类型 Type
$0 \leq D < 0.2$	不协调	严重不协调 (I)	$f(b) - f(a) > 0.1$	城镇化滞后	I a
			$ f(b) - f(a) \leq 0.1$	同步型	I b
			$f(a) - f(b) > 0.1$	生态环境滞后	I c
$0.2 \leq D < 0.4$		基本不协调 (II)	$f(b) - f(a) > 0.1$	城镇化滞后	II a
			$ f(b) - f(a) \leq 0.1$	同步型	II b
			$f(a) - f(b) > 0.1$	生态环境滞后	II c
$0.4 \leq D < 0.6$	转型发展	基本协调 (III)	$f(b) - f(a) > 0.1$	城镇化滞后	III a
			$ f(b) - f(a) \leq 0.1$	同步型	III b
			$f(a) - f(b) > 0.1$	生态环境滞后	III c
$0.6 \leq D < 0.8$	协调发展	中度协调 (IV)	$f(b) - f(a) > 0.1$	城镇化滞后	IV a
			$ f(b) - f(a) \leq 0.1$	同步型	IV b
			$f(a) - f(b) > 0.1$	生态环境滞后	IV c
$0.8 \leq D \leq 1$		高度协调 (V)	$f(b) - f(a) > 0.1$	城镇化滞后	V a
			$ f(b) - f(a) \leq 0.1$	同步型	V b
			$f(a) - f(b) > 0.1$	生态环境滞后	V c

表2 城镇化指标体系和生态环境指标体系及指标权重

Table 2 The index systems and index weights of urbanization and eco-environment

系统 System	子系统 Subsystem	熵值法 Entropy method	AHP 法 AHP method	均值 Average weight	具体指标 Specific indicator	属性 Attribute	熵值法 Entropy method	AHP 法 AHP method	均值 Average weight
城镇化系统 Urbanization system	人口城镇化	0.2469	0.4285	0.3377	人口城市化率/%	+	0.2946	0.4953	0.3949
					市区人口密度/(人/km ²)	+	0.1895	0.2436	0.2165
					第二产业就业比重/%	+	0.2685	0.0987	0.1836
					第三产业就业比重/%	+	0.2474	0.1624	0.2049
	经济城镇化	0.2501	0.2143	0.2322	人均GDP/元	+	0.1634	0.3750	0.2692
					非农产业占GDP比重/%	+	0.0741	0.1875	0.1308
					人均固定资产投资/元	+	0.1862	0.0625	0.1243
					人均财政收入/元	+	0.1937	0.0632	0.1280
					GDP增长率/%	+	0.1147	0.0928	0.1042
					人均工业增加值/元	+	0.1245	0.0937	0.1091
					人均第三产业增加值/元	+	0.1434	0.1250	0.1342
					人均社会消费品总额/元	+	0.1811	0.1928	0.1869
	社会城镇化	0.2530	0.1428	0.1979	城镇人均可支配收入/元	+	0.1555	0.3856	0.2705
					万人拥有床位数/(个/万人)	+	0.2080	0.0642	0.1361
					万人拥有医生数/(个/万人)	+	0.2341	0.1285	0.1813
					万人拥有大学生数/(个/万人)	+	0.0699	0.0771	0.0735
					万人拥有公共汽车/(辆/万人)	+	0.0526	0.0964	0.0745
					失业率/%	-	0.0988	0.0551	0.0769
	空间城镇化	0.2500	0.2144	0.2326	建成区所占市域比重/%	+	0.1703	0.0755	0.1229
					人均建成区面积/(km ² /人)	+	0.1990	0.1761	0.1875
					城市用地占市域比重/%	+	0.1360	0.5283	0.3321

续表

系统 System	子系统 Subsystem	熵值法 Entropy method	AHP 法 AHP method	均值 Average weight	具体指标 Specificindicator	属性 Attribute	熵值法 Entropy method	AHP 法 AHP method	均值 Average weight
生态环境系统 Eco-environment system	生态压力	0.3288	0.2174	0.2731	人均道路面积/(m ² /人)	+	0.1618	0.1321	0.1469
					人均公路里程 km/人	+	0.3330	0.0881	0.2105
					人均用水量/m ³ /人	-	0.1433	0.0637	0.1035
					人均用电量/(kWh/人)	-	0.1352	0.0635	0.0993
					人均工业废水排放/(t/人)	-	0.1337	0.3301	0.2319
					人均工业 SO ₂ 排放/(t/人)	-	0.1741	0.1913	0.1827
					人均工业固体废物排放/(t/人)	-	0.1611	0.0764	0.1188
					人均烟(粉)尘排放/(t/人)	-	0.0807	0.1274	0.1041
					能源消费弹性系数	-	0.1221	0.0955	0.1088
					人口自然增长率/%	-	0.0497	0.0521	0.0590
	生态状态	0.6521	0.4057	0.5289	建成区绿化覆盖率/%	+	0.1716	0.2871	0.2229
					人均耕地/(666.7m ² /人)	+	0.0481	0.1961	0.1220
					人均公园绿地面积/(m ² /人)	+	0.1254	0.1176	0.1215
					森林覆盖率/%	+	0.4935	0.3012	0.3973
					人均水资源/(m ³ /人)	+	0.1614	0.0980	0.1297
					污水处理率/%	+	0.0959	0.3774	0.2366
					工业固体废弃物利用率/%	+	0.0617	0.1698	0.0780
					万元 GDP 能耗/(吨标准煤/万元)	+	0.1660	0.1887	0.1773
					万元 GDP 电耗/(万 kWh/万元)	+	0.2041	0.0629	0.1334
					万人专利授权量/(个/万人)	+	0.3201	0.1258	0.2607
	生态保护	0.1305	0.2655	0.1980	环境治理投资占 GDP 比重/%	+	0.1523	0.0755	0.1138

AHP: 层次分析法 The analytic hierarchy process

1.3 数据来源

本文时间序列以 2000—2016 年为研究阶段,空间格局以 2000 年、2005 年、2010 年、2016 年为截面,数据主要来源于《中国城市统计年鉴(2001—2017)》、山东省国民经济和社会发展统计公报(2001—2017)、山东省城市国民经济和社会发展统计公报(2001—2017)、《山东省城市统计年鉴(2001—2017)》、《中国统计年鉴(2001—2017)》、《山东省统计年鉴(2001—2017)》、《中国环境统计年鉴(2001—2017)》、《中国农村统计年鉴(2001—2017)》、《中国国土资源公报(2001—2017)》,个别缺失数据通过移动平均法补齐。

2 实证结果分析

2.1 山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合协调的时间演变特征

2.1.1 城镇化水平

2000—2016 年,山东半岛城市群城镇化综合水平一直保持着持续上升的趋势(图 2),城镇化水平得到有效发展。2003 年出台山东半岛城市群规划,2007 年提出“一体两翼”区域发展战略,北翼黄河三角洲作为新的区域增长极,同时作为欠发达地区的南翼鲁南经济带区域发展规划也正式实施,2009 年黄河三角洲高效生态经济区发展规划正式上升为国家战略,2011 年山东半岛蓝色经济区发展规划上升为国家战略,正式提出“一蓝一黄”发展战略,2013 年提出“一圈一带”规划,即省会城市圈发展规划和西部经济隆起带发展规划,所有这些规划的颁布与实施加快了山东半岛城市群城镇化发展速度,全面提升了城镇化发展水平。

通过图 2 可以进一步分析城镇化子系统的变化趋势情况,多年平均值表现为空间城镇化>人口城镇化>经济城镇化>社会城镇化。2000 年到 2005 年,经济城镇化略大于人口城镇化和空间城镇化,但是幅度较小。从 2006 年到 2008 年,人口城镇化开始超过空间城镇化,空间城镇化超过经济城镇化,人口增长进入高速发展

阶段,城市地域面积扩大,大量人口从乡村涌入到城市,导致人口城市化率快速提高,同时由于经济增长开始从增长速度向增长质量转变,导致经济增长率下降,特别是2008年、2009年受全球金融危机的影响使经济城镇化处于最低点。2009年到2014年,城市土地扩张进入快速发展期,城市新区、高新产业园区、城市工业园区、经济技术开发区的建设导致城市用地面积不断扩大,人均城市建设用地面积不断增加,造城运动盛行,空间城镇化逐渐超过人口城镇化。经济城镇化在这一时期随着经济增长率的持续下降增长缓慢,2008年GDP增长率为20%,2009年下降到9.6%,2014年继续下降到7.6%,初步改变了长期以来依靠资源型产业、重工业带动经济增长的局面,为实现经济增长方式的变革而放慢了经济增长的速度。2015年到2016年,人口城镇化超过空间城镇化,2014年出台了《国家新型城镇化规划(2014—2020)》,提出建设“以人为本”的新型城镇化,严格控制城市建设用地扩张规模,避免城市“摊大饼”式的空间增长,抑制了土地城镇化的发展速度。但是随着我国2015年陆续放开城市人口“二胎”政策,使城市人口自然增长率增加,人口总量不断提高,从而超过空间城镇化。社会城镇化子系统的贡献度最低,但是也呈现出不断上升的趋势,提高幅度是四个子系统中最大的,说明山东半岛城市群在不断完善医疗、卫生、文化、公共交通等各项基础设施和服务功能方面做了很大努力,社会城镇化水平也不断提高。

2.1.2 生态环境水平

2000—2016年山东半岛城市群综合生态水平呈现出两次波动中不断上升的趋势(图3),这说明山东半岛城市群生态环境出现过紧张状态但总体上不断走向优质。第一次波动是在2003年综合生态指数开始上升,明确提出“生态省”建设,生态环境发展水平上了一个台阶,2006年指数下降是由于2006年人均水资源降到 214m^3 ,降水量出现极低值。第二次波动上升是在2009年,综合生态环境水平出现骤增,主要由于森林城市创建取得一定进展,2009年威海创建成为区域第一个国家森林城市,森林覆盖率从2008年的13%提高到2009年的16%,提高了区域生态资源容量,临沂、淄博、枣庄、济南、青岛、泰安也陆续创建成为国家森林城市,缓解了生态压力带来的负面影响,随后生态环境水平缓慢上升。

进一步分析生态环境子系统的变化趋势如图2所示,2000年—2016年,生态压力曲线表现为波动中下降的趋势,说明在这16年间随着城镇化发展水平的快速增长和人口总量的快速增加,对资源的挖掘和消耗日益严重,污染物的排放和资源的消耗逐渐增大,给区域生态环境造成一定的压力,生态环境问题比较严峻。从2012年开始,生态压力曲线开始提升,生态压力现状才开始有所缓解。生态状态和生态保护曲线都一直呈现出不断上升的趋势,主要由于山东半岛城市群提出“生态山东”建设,推进绿色发展、循环发展、低碳发展,生态资源开发、生态环境治理、生态环境保护以及产业结构转型升级大大改善了区域生态环境的总体水平,同时居民对生态环境的保护意识逐渐加强以及政府相关部门对生态环境问题关注度不断提高,环保投入增加、资源生态生产力增强,逐渐形成山东半岛城市群生态建设

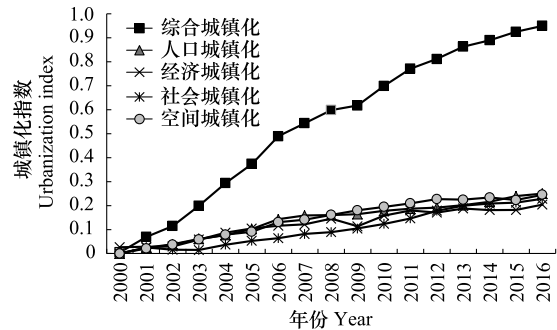


图2 2000—2016年山东半岛城市群城镇化水平发展趋势

Fig. 2 Trends of comprehensive levels of urbanization in Shandong Peninsula urban agglomeration during 2000—2016

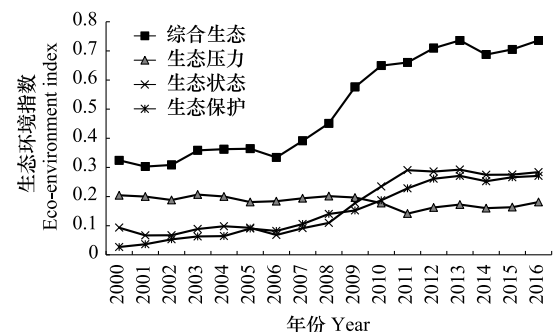


图3 2000—2016年山东半岛城市群生态环境水平发展演变图

Fig. 3 Trends of comprehensive levels of eco-environment in Shandong Peninsula urban agglomeration during 2000—2016

的大格局。工业污染物的排放和技术处理、城市绿地面积和森林面积是制约山东半岛城市群城市生态环境优劣的主要影响因素,政府要重点考虑环境污染和环境资源、环境治理之间的关系。

2.1.3 耦合协调度

根据 2000—2016 年山东半岛城市群城镇化综合评价指数和生态环境综合评价指数,计算得出城镇化与生态环境耦合协调度 D ,其变化趋势如图 4 所示:2000—2016 年山东半岛城市群耦合度和耦合协调度都不断提高, C 值从 0.4 提高到 0.9 以上,耦合协调度由基本不协调向高级协调发展转变,子系统协调特征从城镇化滞后型向生态环境滞后型转变。

2000—2016 年,山东半岛城市群城镇化和生态环境耦合度表现为“快速增长-保持稳定”的发展特征,耦合协调度由 0.196 缓慢上升至 0.914,经历了严重不协调、基本不协调、基本协调、中度协调、高级协调 5 个阶段。2003 年之前耦合协调度不高, D 值处于 0.2—0.4 之间,2003 年进入基本协调阶段,2005 年进入中度协调阶段,2010 年之后基本稳定在 0.8—0.9 之间,处于高水平协调阶段,说明山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合协调越来越密切。具体来说可以分为以下几个时期:

第一阶段为不协调阶段(2000 年—2001 年),耦合协调特征为不协调-城镇化滞后阶段。2000 年 D 值为 0.196,处于严重不协调阶段,但是已经接近基本不协调,2001 年 D 值是 0.381,完全进入到基本不协调阶段。生态环境系统综合水平要远远高于城镇化系统综合水平,21 世纪初城镇化发展速度还没有进入到高速增长阶段,对生态环境系统还没有构成严重的威胁,城镇化发展和生态环境的耦合关系并不明显。

第二阶段为转型阶段(2002 年—2005 年),耦合协调度不断提高, D 值由 2002 年 0.434 增长到 2005 年 0.591,由不协调-城镇化滞后阶段进入到基本协调-同步阶段。城镇化系统发展水平开始迅速提高,逐渐追平生态环境系统发展水平,在城镇化发展过程中开始注意生态环境的保护与治理,生态环境有所改善。

第三阶段为中级协调阶段(2006 年—2009 年),耦合协调度继续提高, D 值由 2006 年 0.636 增长到 2009 年 0.772,由基本协调-同步阶段进入到中度协调-生态环境滞后阶段。城镇化进入高速发展期,大规模的人口城镇化导致人口短时间内大量集聚到城市,给城市生态环境带来一定的压力和冲击,导致生态环境系统发展水平出现暂时的回落。但是随着对生态环境污染治理投资的加大以及对生态资源的有效利用与开发,生态环境综合发展水平也不断提高,二者的耦合关系越来越密切,但是生态环境综合发展水平始终落后于城镇化综合发展水平,因此二者耦合协调类型从基本协调-同步型转向中度协调-生态环境滞后型转化。

第四阶段为高级协调阶段(2010—2016 年),耦合协调度继续提高,上升速度减慢,耦合协调度曲线逐渐放缓, D 值稳定在 0.8 以上,由中度协调-生态环境滞后阶段进入到高度协调-生态环境滞后阶段。城镇化发展水平继续提高,生态环境综合发展水平在波动中也不断提高,二者协调程度不断优化,主要由于贯彻执行国家十八大、十九大陆续提出和深化“生态文明”建设以及“新型城镇化建设”的结果。但是后期城镇化发展与生态环境发展有拉大趋势,生态环境出现一个下降,说明高水平城镇化发展给生态环境带来的问题仍然十分严峻。

2.2 山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合协调空间格局

以 2000 年、2005 年、2010 年和 2016 年为时间点,对山东半岛城市群城镇化综合评价指数与生态环境综合评价指数进行截面耦合分析,得到 17 个地级市城镇化发展水平、生态环境发展水平、城镇化与生态环境耦

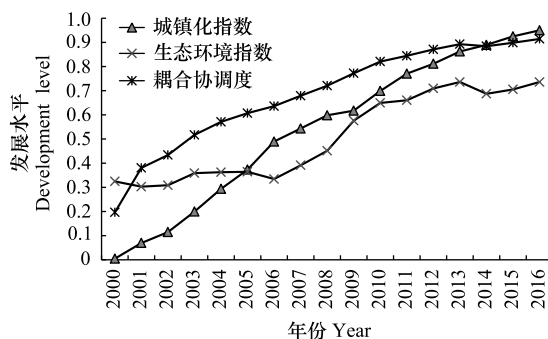


图 4 2000—2016 年山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合协调度演变图

Fig.4 Trends of comprehensive levels of coupling coordination between urbanization and eco-environment in Shandong Peninsula urban agglomeration during 2000—2016

合协调度的时空格局演化特征。由于城镇化发展速度和生态环境发展速度不相同,因此在进行发展水平测度时的标准略有不同,城镇化发展速度较快,划分为五级,分别是高水平城镇化区 $[0.6, 1]$ 、较高水平城镇化区 $[0.4, 0.6)$ 、中等城镇化区 $[0.3—0.4)$ 、较低水平城镇化区 $[0.2, 0.3)$ 、低水平城镇化区 $[0, 0.2)$,如图 5 所示;生态环境发展速度较慢,划分为四级,分别是生态环境优质区 $[0.6, 1]$ 、生态环境中等区 $[0.5, 0.6)$ 、生态环境较差区 $[0.4—0.5)$ 、生态环境恶劣区 $[0, 0.4)$,如图 6 所示。

2.2.1 城镇化发展水平

从图 5 可以看出,首先,绝大多数城市的城镇化发展水平不断提高,但是城镇化发展速度不同,城镇化发展水平空间差异有拉大的趋势,即高水平城镇化地区城镇化发展速度快于低水平城镇化地区。济南城镇化水平从 2000 年的 0.581 提高到 2016 年的 0.762,增加了将近 0.2,而聊城从 0.172 提高到 0.282,只提高了 0.1,发展较为缓慢。第二,高水平城镇化地区“双核”特征明显,中等城镇化地区范围不断扩大,较低城镇化地区逐渐缩小,低水平城镇化区消失。高水平城镇化区分布范围逐渐扩大,从 2000 年的东营不断蔓延到 2016 年的核心城市济南、青岛,济南和青岛的“双核”特征明显,形成了高城镇化的第一梯队。东营人口较少,石油产业发达,人均 GDP 在区域排名第一位,2009 年成为黄河三角洲高效生态经济区的核心城市,城镇化发展水平高,但 2014 年沾化县撤县换区使东营建成区面积扩大,导致整体城镇化水平有所下滑。济南作为省会城市,人口集聚能力、产业集聚能力、政策吸引能力强,社会基础服务设施完善,技术人才、城市建设和发展、资金支持等都走在了前列。青岛作为一座边缘港口城市,承接山东半岛城市群对外发展功能,交通区位优势 and 高端科技人才优势明显,产业基础雄厚,创新能力强。围绕济南都市圈的淄博和莱芜以及沿海的威海和烟台形成城镇化发展的第二梯队,依靠“双核”的涓滴效应和自身的资源优势成为城镇化发展水平较高的地区。淄博人口城市化率达到 70%,是全国重要的建材基地和石化基地,城市化发展水平较高。莱芜从中等城镇化水平上升到较高城镇化水平区,钢铁工业在产业结构中占有较大比重,但是单一的工业结构类型也给未来莱芜抗风险压力有所降低。威海和烟台属于东部滨海城市,自然环境优越,旅游产业、机械制造、化工产业高度发达,是山东半岛蓝色经济区的重要核心城市。第三梯队主要集中在鲁南地区的枣庄、济宁、临沂以及日照、潍坊。济宁从较低城市化地区上升到中等城市化地区,临沂从低水平城市化地区上升到中等水平城市化地区。临沂医学制药业、食品工业、建材工业、现代物流业高度发达,但是临沂总人口 1000 万左右,大部分分布在县级行政区划单位,从人均水平上降低了该市综合城镇化水平。日照从低水平城镇化地区上升到中等水平地区,主要受到青岛的辐射带动作用。城镇化水平较低的有聊城、德州、菏泽以及滨州,从低水平城镇化区上升为较低水平区,农业人口比重较大,城市产业不发达,今后应继续挖掘本地资源优势,提高基础服务功能,探索适合本地发展的新型城镇化道路。

2.2.2 生态环境发展水平

从图 6 可以看出,研究时间范围内整体生态环境水平逐渐提高,高水平生态环境区主要集中在东部沿海地区,中等水平生态环境区从胶济沿线向南北扩散,低水平生态环境区主要集中在鲁西南、鲁北部分地区。东部沿海烟威都市区、青岛都市圈核心城市青岛、临日都市区日照生态环境优质,具有先天的自然条件优势,滨海风景优美,第三产业高度发达,居民的环保意识强烈,政府对生态环境的监管和处置力度到位,特别是威海空气质量、环境优良度在山东半岛城市群都处于首位,构成了山东半岛城市群的东部绿色沿海防线,泰安成为中部生态环境最为优质的城市。济南都市圈中的济南、莱芜、淄博、德州、潍坊、济枣荷都市区的济宁、枣庄、临日都市区的临沂、东滨都市区的东营组成了中等水平生态环境区。济南虽然是省会城市,但是长期钢铁、机械、化工产业的发展给城市生态环境带来了一定的问题,工业烟尘和固体废弃物的排放较多,政府对环境要给与充分的重视,今后要不断增强省会中心的人口凝聚力和高新技术产业凝聚力。莱芜产业结构以重工业和煤能源产业为主,钢铁产业占整个工业结构的 40%,导致城市的工业烟尘、工业固体排放物、工业 SO_2 排放量严重超标,但近年来生态环境质量有所改善。临沂和枣庄长期以来一直处于生态环境低水平状态,临沂陶瓷建材工业和枣庄煤炭工业给当地生态环境造成巨大的破坏,但是随着枣庄煤炭工业向煤化工产业的转型、台儿

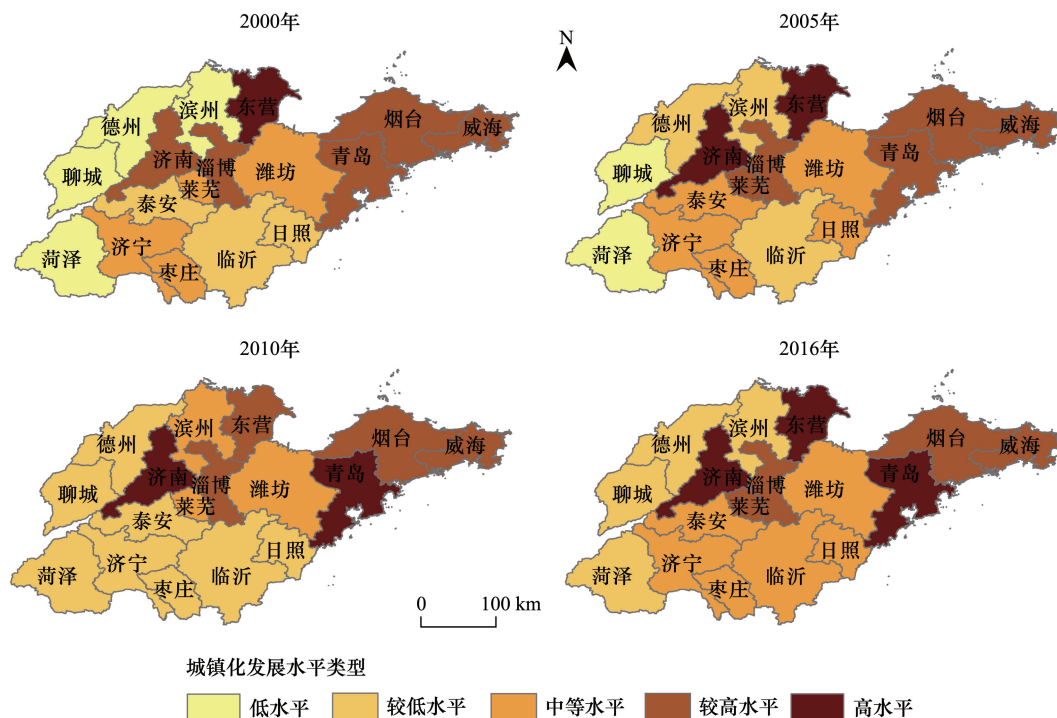


图5 山东半岛城市群城镇化系统发展水平空间演变

Fig.5 Spatial evolution of urbanization system level in Shandong Peninsula urban agglomeration

庄古城的旅游开发以及临沂现代物流商贸业的发展,区域产业结构和经济增长方式不断优化升级,生态环境逐渐好转,形成生态环境发展水平的第二梯队。菏泽、聊城、滨州的生态环境质量最差,产业结构以工业为主,政府相关机构环保长效机制不健全,监督和奖惩措施不到位,污染物科学治理、排污、处置能力不够,沿袭重经济发展、弱环境保护的传统老路。菏泽化工园区环境问题突出,城市基础服务设施不完善。聊城工业占国民经济结构的60%,是全国重要铝和铜有色金属基地,化石燃料消耗严重,热电燃煤所需要的火电释放大量的污染物。滨州工业废水和工业 SO_2 排放量严重超标,人均排放量分别达到51.62t/人和404/人,排污治污设施标准低。

2.2.3 耦合协调度

基于GIS分析软件平台,根据耦合协调度区间划分标准,得出研究期内山东半岛城市群城镇化发展与生态环境耦合协调度空间格局,如图7所示。

山东半岛城市群城镇化与生态环境整体耦合协调性不断向前推进,空间差异明显,呈现出东部沿海地区、鲁中地区向鲁南、鲁西地区逐渐降低的分布趋势,东部大于西部,沿海大于内陆。山东半岛城市群经济发展基础和自然环境条件不同,导致耦合协调度出现空间差异。首先,“双核”耦合协调度高,以青岛为核心的山东半岛蓝色经济区是城镇化与生态环境耦合协调度整体水平最高的地区,青岛和威海从2000年中度协调走向2016年高级协调,城市化水平和生态环境水平发展程度都很高,日照从基本协调上升到中度协调,烟台一直保持在中度协调状态。“双核”中的另一核——以济南为核心的济南都市圈耦合协调度较高,济南从中级协调进入到高度协调,周边区域泰安、莱芜也从基本协调阶段进入到中度协调阶段。第二,中度协调城市较多,包括东营、淄博、烟台、潍坊、济宁、泰安、日照、莱芜、临沂、德州。东营作为黄河三角洲高效生态经济区的核心城市,城市化发展水平高,但是在发展初期一度环境污染非常严重,后期虽在“黄河三角洲高效生态经济区”规划不断实施的过程中,生态环境质量有所改善,但是距离高效生态区的标准还有一定距离。枣庄、临沂、德州、莱芜从2000年基本协调进入到2016年中度协调,资源枯竭型城市枣庄目前正处于城市旅游转型关键时

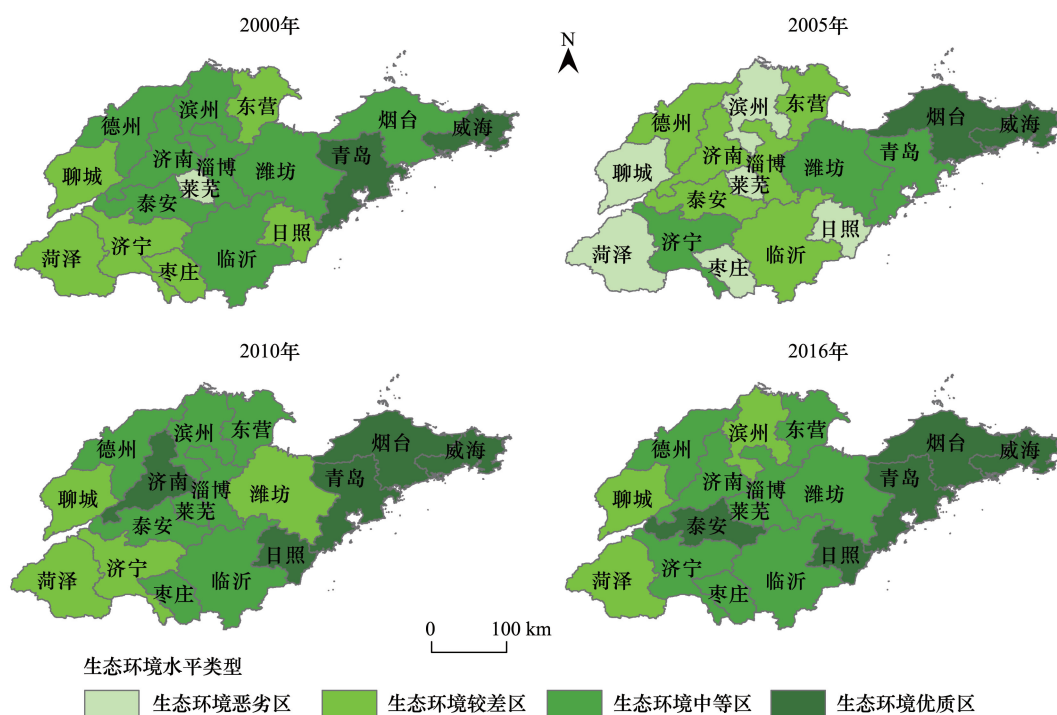


图6 山东半岛城市群生态环境系统发展水平空间演变

Fig.6 Spatial evolution of eco-environment system level in Shandong Peninsula urban agglomeration

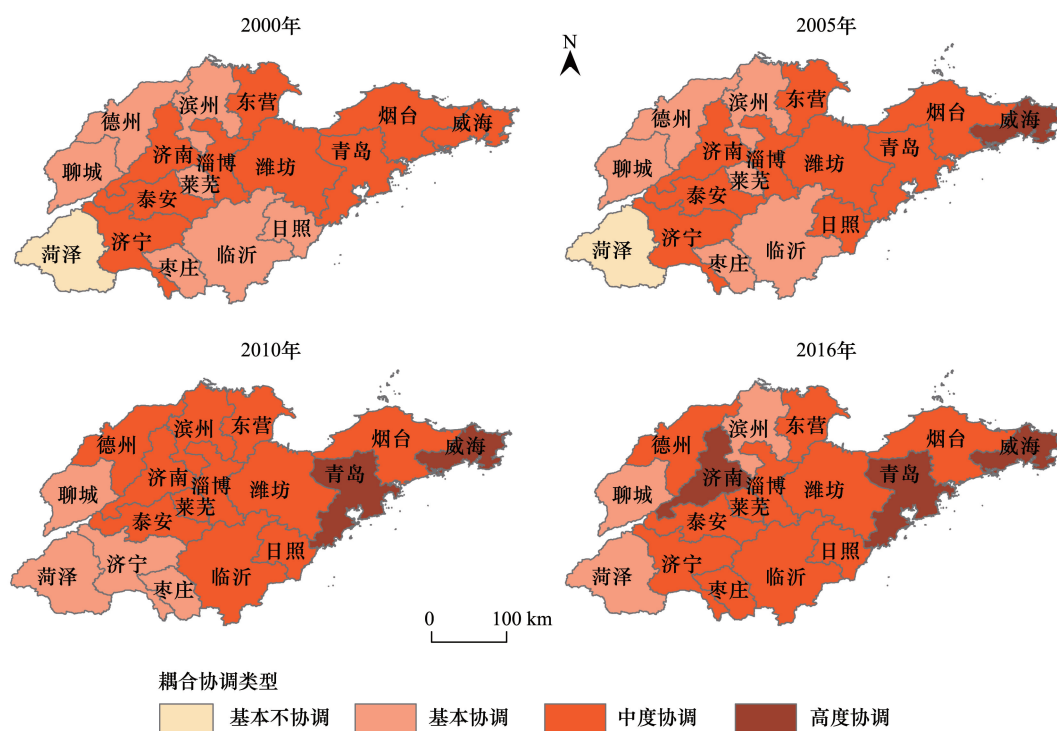


图7 山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合协调度空间演化

Fig.7 Spatial evolution of coupling coordination between urbanization and eco-environment in Shandong Peninsula urban agglomeration

期,临沂市 2013 年入选首批“国家生态文明先行示范区”建设,对于城市可持续发展和绿色赶超提供了生态文明创新之路。第三,聊城、菏泽、滨州是城镇化与生态环境耦合协调度最低的地区。虽然摆脱了不协调的状态,但在整个城市群仍处于最低的位置。菏泽和聊城产业结构以农业活动为主,城镇化发展速度和城镇化发展质量都不高,生态环境治理和保护意识较弱。滨州市的生态环境压力问题较为突出,今后应提高工业技术,从源头上降低污染物的排放。

2.2.4 耦合协调类型分析

根据表 1 得出的山东半岛城市群城镇化和生态环境耦合协调类型的分类,得出山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合类型变化特征,如表 3 所示:

表 3 山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合类型									
Table 3 Coupling types of urbanization and eco-environment in Shandong Peninsula urban agglomeration									
城市 Cities	2000	2005	2010	2016	城市 Cities	2000	2005	2010	2016
济南	IVb	IVc	Vc	Vc	威海	IVa	Va	Vb	Vb
青岛	IVa	IVc	Vb	Vb	日照	IIIa	IVb	IVa	IVa
淄博	IVb	IVc	IVb	IVb	莱芜	IIIb	IIIc	IVa	IVb
枣庄	IIIa	IVb	IIIa	IVa	临沂	IIIa	IIIa	IIIa	IVa
东营	IVc	IVc	IVb	Vc	德州	IIIa	IIIa	IVa	IVa
烟台	IVa	IVa	IVa	IVb	聊城	IIIa	IIIa	IIIa	IIIa
潍坊	IVa	IVa	IVa	IVa	滨州	IIIa	IIIa	IVa	IIIc
济宁	IIIa	IVa	IVa	IVa	菏泽	IIa	IIa	IIIa	IIIb
泰安	IIIa	IVa	IVa	IVa					

从表 3 可以发现,山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合协调类型从城镇化滞后型向同步型、生态环境滞后型开始转化,但落后地区的城镇化质量和环境问题仍不容乐观。2000 年,威海等 13 个城市为城镇化滞后,济南、淄博、莱芜为均衡发展,东营为生态环境滞后;2005 年,烟台等 10 个城市为城镇化滞后,济南、青岛、淄博、东营、莱芜 5 个城市为生态环境滞后,枣庄、日照为均衡发展,城镇化快速发展对生态环境胁迫作用增强;2010 年,生态环境的紧张状况有所缓解,济南仍然维持生态环境滞后,青岛等 4 个城市为均衡发展,其他城市为城镇化滞后;2016 年,济南、东营、滨州为生态环境滞后,青岛等 6 个城市为均衡发展,其他 7 个城市为城镇化滞后。从数量上来说,在这 16 年的发展过程中,城镇化滞后的数量由 2000 年的 12 个减少到 7 个,均衡发展的数量从 2 个提高到 6 个,生态环境滞后型由 1 个增加到 3 个,因此总体上山东半岛城市群城镇化发展水平有所提高。生态环境滞后型虽然只有东营、济南、滨州 3 个城市,但是其环境污染程度和生态环境压力是巨大的,滨州 2016 年人均 SO²排放量 404.77,比青岛 14.02 的 28 倍。落后地区的城镇化水平和生态环境问题都不容乐观,特别是聊城、菏泽的耦合协调度最低,城镇化发展水平和生态环境发展水平都处于最低状态。菏泽、聊城等欠发达地区的人口城镇化发展水平较快,从 2000 年的 17%提高到 2016 年的 45%左右,但是经济城镇化和社会城镇化发展速度慢、水平低,城镇化发展质量落后于城市化发展速度,抑制了城镇居民生活水平和享有社会基础设施服务水平的提升。落后的城镇化水平刺激了区域的大面积经济开发,但由于经济基础薄弱,技术创新能力低端落后,导致整体生态环境不断恶化,因此如何共同提高落后地区的城镇化与生态环境综合发展水平是政府相关部门今后要开展工作的方向。

发达城市的核心作用和集聚作用明显,对周围地区形成强大的吸引力成为区域增长极。济南的人口城镇化和社会城镇化高度集聚,2016 年人口城镇化指数 0.843,社会城镇化指数 0.921,比青岛还多 0.2 个指数点,东营的经济城镇化水平高,经济城镇化指数为 0.818,青岛的人口、经济、社会、空间城镇化水平比较均匀,综合城镇化水平较高,发达城市成为带动山东半岛城市群城镇发展的主要区域。因此城镇化发展水平的空间差异较大,落后地区与发达地区之间的城镇化发展指数差距较大,这也很好的解释了即使部分城市如聊城、菏泽、临沂是城镇化发展滞后类型,但是整个山东半岛城市群的综合城镇化水平仍然高于综合生态环境发展水平。

生态环境发展水平同样如此,威海的生态环境在每一年都是最优的,滨州、菏泽、聊城、莱芜的生态环境最恶劣,2016 年也是刚刚脱离了基本不协调类型。济南虽然城镇化发展水平高,但是一直处于生态环境滞后型,主要由于济南人口高度集聚,资源消耗大,重工业产业结构导致城市环境问题突出。

3 结论与讨论

根据 2000—2016 年的面板数据,借助耦合协调度模型,研究山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合协调发展的时空格局演变,得出以下结论:

(1)2000—2016 年山东半岛城市群城镇化综合水平高速发展,子系统发展特征表现为多年平均值空间城镇化>人口城镇化>经济城镇化>社会城镇化的演化趋势,生态环境综合发展水平呈现出波动中不断上升的趋势,生态压力子系统曲线先降后升,生态压力有所缓解,生态状态和生态保护曲线一直处在上升状态,总体生态环境不断走向优质。

(2)2000—2016 年山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合度和耦合协调度都不断提高,逐渐走向优质协调,依次经历了严重不协调、基本不协调、基本协调、中度协调、高级协调五个阶段,实现了耦合协调性从严重不协调向高级协调的转变,子系统耦合协调特征经历了四个阶段:不协调-城镇化滞后、基本协调-同步型、中度协调-生态环境滞后、高级协调-生态环境滞后,从城镇化滞后型向生态环境滞后型转变。

(3)分析 2000 年、2005 年、2010 年和 2016 年山东半岛城市群城镇化发展水平与生态环境发展水平的时空演化,得出:城镇化水平不断提高,但空间差异逐渐拉大,高水平城镇化地区“双核”特征明显,中等城镇化地区范围不断扩大,较低城镇化地区逐渐缩小,低水平城镇化区消失;高水平生态环境区主要集中在东部沿海的威海、烟台和鲁中的泰安,中等水平生态环境区从胶济沿线向南北扩散,低水平生态环境区主要集中在鲁西南、鲁北和鲁中部分地区,生态环境恶劣区不存在。

(4)分析 2000 年、2005 年、2010 年和 2016 年山东半岛城市群城镇化与生态环境系统耦合协调度的时空演化,得出山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合协调度空间差异明显,整体耦合协调性不断向前推进,耦合协调度呈现出由东部沿海地区、鲁中地区向鲁南、鲁西地区逐渐降低的分布趋势。青岛和济南由中度协调转化为高级协调;“双核”周边的城市以中度协调为主,鲁西南地区的聊城和菏泽是城镇化与生态环境耦合协调度最低的地区。子系统耦合协调类型由城镇化滞后型向同步型、生态环境滞后型开始转化,发达城市的集聚作用明显。

为了更好的推动山东半岛城市群城镇化与生态环境之间的协调发展,首先要树立与生态文明建设相适应的新型城镇化发展理念,强化绿色、低碳、环保发展意识,维护和扩大绿色生态空间,增强区域生态环境承载力,出台相关政策支持节能减排、严把环保标准、淘汰落后产能,转变城市经济增长方式,促进产业结构升级,探索绿色城镇化的转型之路。同时在国家新旧动能转换背景下,积极培育特色小镇,推进农民就地城镇化,为促进山东半岛城市群绿色城镇化水平的提高提供了空间和载体,从而形成功能定位科学合理的生态战略格局,促进山东半岛城市群可持续发展。

城镇化和生态环境耦合协调发展是目前国内外学术界研究的热点,也是我国进行生态文明建设和新型城镇化建设的核心问题之一,但是目前国内以城市群尺度进行城镇化与生态环境协调发展的研究尚处于探索阶段,城市群和城市、区域相比是一个更复杂的系统,城市群城镇化系统和生态环境系统的庞大性、复杂性、特殊性更为突出,因此本研究在系统指标体系的构建上难免存在不足和缺陷,如城市群研究关注城市之间的经济联系、交通联系、社会联系等关联因素受到指标获取性的影响考虑不全面,今后要不断延伸和丰富城市群城镇化和生态环境指标体系。但是本论文在进行耦合时空特征及相关原因分析时尝试从城市群关联的角度进行分析,并且对城镇化子系统和生态环境子系统的变化特征也进行了充分的论证,对于深入剖析二者之间的耦合协调关系具有一定的意义,也对其他类似城市群的发展提供一定的思路。今后可继续围绕城市群城镇化与生态环境耦合协调的驱动机制、发展趋势和优化路径展开下一步的深入研究,不断丰富城市群经济、社会、环

境的可持续发展。

参考文献 (References):

- [1] 方创琳,周成虎,顾朝林,陈利顶,李双成.特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径.地理学报,2016,71(4):531-550.
- [2] Kates R W. Environment and development; Sustainability Science. Science, 2001, 292(5517): 641-642.
- [3] Clark W C. Sustainability science; A room of its own. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2007, 104(6): 1737-1738.
- [4] Clark W, Crutzen P J, Schellnhuber H J. Science for global sustainability: toward a New Paradigm. Working Paper Series, 2005, 15(35): 837-868.
- [5] 陈晓红,周宏浩.城市化与生态环境关系研究热点与前沿的图谱分析.地理科学进展,2018,37(9): 1171-1185.
- [6] Levrel H, Kerbiriou C, Couvet D, Weber J. OECD pressure-state-response indicators of managing biodiversity: A realistic perspective for a French biosphere reserve. Biodiversity and Conservation, 2009, 18(7): 1719-1732.
- [7] Pearce D W, Turner R. K. Economics of Natural Resources and the Environment. London: Harvester Wheatsheaf, 1990: 215-289.
- [8] Grossman G G, Krueger A B. Economic growth and the environment. Quarterly Journal of Economics, 1995, 110(2): 353-377.
- [9] 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.
- [10] 方创琳.京津冀城市群协同发展的理论基础与规律性分析.地理科学进展,2017,36(1): 15-24.
- [11] 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.
- [12] 陈晓红,万鲁河.城市化与生态环境耦合的脆弱性与协调性作用机制研究.地理科学,2013,33(12): 1450-1457.
- [13] 刘耀彬.区域城市化与生态环境耦合特征及机制:以江苏省为例.经济地理,2006,26(3): 456-462.
- [14] 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.
- [15] 刘耀彬.江西省城市化与生态环境关系的动态计量分析.资源科学,2008,30(6): 829-836.
- [16] 韩瑾.浙江省新型城镇化与生态环境耦合协调关系分析.宁波大学学报(人文科学版),2017,30(4): 118-123.
- [17] 陈泓冰,艾建国,鲁璐.湖北省城市化发展与生态环境耦合协调分析.湖北社会科学,2012(3): 59-64.
- [18] 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.
- [19] 冯霞,刘新平.江苏省城镇化与生态环境系统耦合协同发展的路径选择.干旱区地理,2016,39(2): 420-427.
- [20] 张荣天,焦华富.中国省际城镇化与生态环境的耦合协调与优化探讨.干旱区资源与环境,2015,29(7): 12-17.
- [21] 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.
- [22] 刘耀彬.江西省城市化与生态综合响应程度分析.自然资源学报,2008,23(3): 422-429.
- [23] 刘耀彬,陈斐,李仁东.区域城市化与生态环境耦合发展模拟及调控策略——以江苏省为例.地理研究,2007,26(1): 187-196.
- [24] 贾兴梅,李俊,贾伟.安徽省新型城镇化协调水平测度与比较.经济地理,2016,36(2): 80-86.
- [25] 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.
- [26] 陈晓红,吴广斌,万鲁河.基于BP的城市化与生态环境耦合脆弱性与协调性动态模拟研究——以黑龙江省东部煤电化基地为例.地理科学,2014,34(11): 1337-1343.
- [27] 宋学锋,刘耀彬.基于SD的江苏省城市化与生态环境耦合发展情景分析.系统工程理论与实践,2006,26(3): 124-130.
- [28] 王家庭,毛文峰.武陵山片区城镇化与生态环境响应的计量分析——以湘西自治州为例.经济地理,2016,36(6): 148-154.
- [29] 毕国华,杨庆媛,刘苏.中国省域生态文明建设与城市化的耦合协调发展.经济地理,2017,37(1): 51-58.
- [30] 黄河东,李东.中国城市群城镇化与生态环境耦合协调关系评价.江苏农业科学,2018,46(21): 268-272.
- [31] 邢璐平,方斌.江苏省城镇化和生态环境的时空格局与协调发展研究.南京师大学报(自然科学版),2018,41(3): 131-137.
- [32] 许宏,周应恒.区域城市化与生态环境耦合规律及协调发展研究——基于云南省的实证.云南财经大学学报,2011,27(4): 133-139.
- [33] 张晓天,刘养洁.山西省城市化与生态环境协调度分析.山西师范大学学报(自然科学版),2013,27(2): 80-85.
- [34] 秦钟,章家恩,骆世明,张锦,李韵.1996—2008年广东省城市化进程与生态环境的协调性分析.生态科学,2012,31(1): 42-47.
- [35] 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.
- [36] 杨晶,金晶,吴泗宗.珠三角地区城市化与生态环境协调发展的动态耦合分析——以珠海市为例.地域研究与开发,2013,32(5): 105-118.
- [37] 王洋,方创琳,王振波.中国县城城镇化水平的综合评价及类型区划分.地理研究,2012,31(7): 1305-1316.
- [38] 马海涛,刘海猛,张芳芳.不同尺度空间的城镇化与生态环境关系研究评述.世界地理研究,2018,27(5): 60-70.
- [39] 刘海猛,方创琳,李咏红.城镇化与生态环境“耦合魔方”的基本概念及框架.地理学报,2019,74(5): 1-19.
- [40] 崔学刚,方创琳,李君.城镇化与生态环境耦合动态模拟模型研究进展.地理科学进展,2019,38(1): 111-125.
- [41] 方创琳.中国城市群研究取得的重要进展与未来发展方向.地理学报,2014,69(8): 1130-1144.
- [42] 方创琳,王振波,马海涛.中国城市群形成发育规律的理论认知与地理学贡献.地理学报,2018,73(4): 651-665.
- [43] 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.
- [44] 梁龙武,王振波,方创琳.京津冀城市群城市化与生态环境时空分异及协同发展格局.生态学报,2019,39(4): 1212-1225.
- [45] 陈肖飞,郭建峰,姚士谋.长三角城市群新型城镇化与生态环境承载力耦合协调研究:基于利奥波德的大地伦理观思想.长江流域资源与环境,2018,27(4): 715-724.
- [46] 崔木花.中原城市群9市城镇化与生态环境耦合协调关系.经济地理,2015,35(7): 72-78.
- [47] 王振波,梁龙武,方创琳,庄汝龙.京津冀特大城市群生态安全格局时空演变特征及其影响因素.生态学报,2018,38(12): 4132-4144.
- [48] 刘海猛,方创琳,黄解军,朱向东,周艺,王振波,张蕾.京津冀城市群大气污染的时空特征与影响因素解析.地理学报,2018,73(1): 177-191.
- [49] 山东半岛城市群发展规划(2016-2030). (2017-01-21) [2019-12-15]. <https://wenku.baidu.com/view/cbf9774b54270722192e453610661ed9ac515509.html>