

黄河经济带生态文明建设与城市化 耦合关系及空间特征研究

葛世帅, 曾刚, 杨阳, 胡浩

(华东师范大学中国现代城市研究中心/城市与区域科学学院, 上海 200062)

摘要: 通过研究系统耦合协同评价体系, 构建一个适宜大区域的评价生态文明建设和城市化情况的指标体系, 借助该指标体系, 从时空两个维度分析黄河经济带 2008—2016 年生态文明建设和城市化耦合协调发展状况、格局及空间关系。实证结果表明: (1) 2008—2016 年, 黄河经济带生态文明建设成效并不显著, 压力依然很大; 城市化有所提升, 但发展速度依然偏慢。两方面均不存在明显的龙头城市, 且空间差异明显。(2) 2008—2016 年, 研究区生态文明建设与城市化处于低度耦合阶段, 协调度处于轻度失调状态, 生态文明建设普遍滞后于城市化, 表现出明显的空间异质性和行政指向性。(3) 协调度表现出一定的空间依赖, 存在一定的空间溢出效应, 地理临近的区域更容易受高协调度区域的影响。

关键词: 黄河经济带; 生态文明; 城市化; 耦合协调模型

生态文明建设关系人民福祉, 关乎民族未来, 是中国特色社会主义事业的重要内容^[1]。“十七大”以来, 党中央十分重视生态文明建设, 将其融入到社会建设的全过程和各个方面。20 世纪以来, 伴随生产力的持续提高, 城市化进程不断加快, 提升了经济水平, 改善了城市居民生活状况^[2], 但也引发了诸如生态破损^[3]、雾霾严重^[4]等生态问题^[5]。将生态文明理念融入到城市化过程中, 处理好两者的关系, 是推进城市高质量可持续发展的必要举措^[6]。

国外学者的研究中较少提及“生态文明”的概念, 但非常关注经济发展和生态保护的关系, 研究聚焦于可持续发展问题, 其与“生态文明”异曲同工, 生态理念也渗透到城市化相关的研究中。1898 年 Howard^[7]提出田园城市理论, 阐述了城镇和生态双重空间结合的区域发展模式。20 世纪 60 年代, 《寂静的春天》《增长的极限》等著作发表, 人类发展与生态环境的关系受到社会各界空前关注, 20 世纪 80 年代以来, “可持续”逐渐成为城市发展的核心理念^[8]。在城市化评价方面也多涉及生态指标, 如 Drakakis-Smith 等^[9]从政治、经济、人口、社会和环境五个方面研究城市化的可持续性。学界对我国生态文明相关方面的研究已逐渐从单一的自然环境保护, 上升到自然、经济、社会多方面协调发展的广度^[10]。大量学者从生态文明的视角审视我国经济和社会发展的各个方面^[11,12], 其中部分研究分析了生态文明建设与其他系统之间的相互关系。容贤标等^[13]对中国旅游业与生态文明建设耦合度的空间差异特征进行研究, 毕国华等^[14]从省域尺度分析中国生态

收稿日期: 2020-07-21; 修订日期: 2020-11-25

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0502701)

作者简介: 葛世帅 (1990-), 男, 河南新乡人, 博士研究生, 研究方向为生态文明和区域可持续发展。

E-mail: gss.ssg@qq.com

通讯作者: 曾刚 (1961-), 男, 湖北武汉人, 博士, 教授, 研究方向为创新网络与产业集群、生态文明与区域发展模式。E-mail: gzeng@re.ecnu.edu.cn

文明建设与城市化的耦合协调发展状况,杨立等^[15]运用耦合协调度模型分析无锡近些年生态文明与新型城镇化协调情况,郭向阳等^[16]研究了河南省旅游业与生态文明建设耦合协调的时空演化及差异。城市化与生态环境以及生态文明是一种相互作用、交互耦合的关系^[14,17,18]。城镇化与生态环境耦合是以陆地表层人类活动与生态环境系统为研究对象,揭示城镇化过程与生态环境系统交互胁迫效应的科学理论与研究范式,也是新时期中国地理学人地关系系列研究的重要组成部分^[19]。尽管相关研究的深度和广度在不断加深和扩展,城镇化与生态环境耦合关系的空间尺度效应,尤其是实现以城市群地区为研究主体的多尺度集成研究有待加强^[20]。

黄河经济带是中华文明重要的发源地和传承创新区,在国家经济社会发展和生态文明建设中具有极为重要的战略地位^[21]。2019年9月,习近平在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上强调了黄河流域生态屏障和经济地带的重要性,肯定了其在我国生态安全和经济社会发展方面的地位。在首届黄河(生态)经济带发展战略高层论坛上,学者提出发展黄河经济带契合实现区域经济均衡协调发展的思路,在建设黄河经济带的过程中,要突出抓好生态环境可持续发展;国家实施区域发展战略,构建区域政策体系,有利于黄河经济带的发展^[22]。金凤君^[23]对黄河流域生态保护与高质量发展的协调推进策略的研究表明,城镇化和工业化的快速发展导致重点区域资源环境压力增大,发展规模与承载能力不匹配的问题是黄河流域发展与保护的主要矛盾之一。大力提升生态文明建设水平,推进城市化发展,协调两者之间的关系,不仅关乎经济带自身的发展,也是实现流域生态保护和高质量发展并进的重要途径。

综上所述,本文借鉴已有研究成果,尝试构建一个综合指标体系,能够客观定量测度黄河经济带城市化和生态文明建设的具体情况。进一步利用耦合协调度模型和探索性空间分析方法测算2008—2016年研究区生态文明建设与城市化的耦合协调度及空间相关性,为加快研究区生态文明建设,推进可持续城市化提供参考。

1 生态文明建设与城市化评价指标体系构建

1.1 一级指标体系构建

从评价对象的内涵出发,最终能够表征评价对象各方面的特性是构建评价指标体系的核心内容。

2007年国家环保部刊发《生态县、生态市、生态省建设指标(修订稿)》,全面阐述了城市生态文明建设的内涵。“生态市”被定义为社会经济和生态环境协调发展,各领域满足可持续发展要求的市级行政区域^[24]。其后,《生态县、生态市、生态省建设规划编制导则》阐释了生态市建设的内涵,指出生态、经济、社会、整体协调四大方面为生态市建设的基本目标^[25]。可见市域生态文明建设的内容不仅涉及自然生态单方面,而是自然、经济、社会等多方面的协调。在学者的研究中,马世骏等^[26]认为社会系统、经济系统和自然系统尽管性质不同,但三者的生存和发展均受到其他系统制约,应视为一个复合系统,其提出的“经济—社会—自然”复合生态系统理论影响广泛。王如松^[27]依托“自然—经济—社会”复合生态系统理论研究我国生态整合和文明发展,认为三个系统协调发展非常重要。当前对区域生态文明评价的文献中,多数学者以经济效益或环境效益作为生态文明评价的主要指标,忽略了生态文明建设是一个复合的过程,其核心在于系统各组分的和谐进步^[28]。本文借鉴复合生态系统理论,考虑到文章指标构建更侧重于生

态方面,且“经济—社会—自然”复合生态系统由马世骏等^[26]提出的“社会经济生态系统”演变而来。鉴于此,文章从生态、经济、社会三个方面入手,最终构建了生态、经济、社会三个I级指标来评测黄河经济带生态文明建设情况。

关于城市化水平的评测,学者多从人口、经济、社会和城市空间等与城市化关系密切的几个方面进行刻画。陈明星等^[29]从解析城市化内涵出发,构建了包括人口、经济、社会、土地四个方面的指标体系,定量测度1981—2006年的中国城市化水平;齐爱荣等^[30]从人口、经济、社会、景观四个方面测度西安市城市化水平。综上所述,最终选取人口城市化、经济城市化、社会城市化和土地城市化四个I级指标测度城市化水平。

1.2 二级指标体系构建

通过检索同类研究中的指标体系,比对提取出现频率高,受认可度高的指标是II级指标选择的常用方法。本文在选取生态文明建设的II级指标时,主要参考了适用于地级市及以上空间尺度的指标体系,具体参考了《生态县、生态市、生态省建设指标(修订稿)》;山东、河南、山西、黑龙江、湖北、吉林、辽宁、四川8省的《生态省建设规划纲要》,青海、陕西、内蒙古三省(自治区)的《生态环境建设规划》,宁夏、甘肃两省(自治区)的《生态保护与建设规划》中的指标体系。并结合了陈炳等^[6]、宓泽锋等^[10,31]对生态文明评价相关的研究。在选取城市化II级指标时,主要参考了引用率较高的陈明星等^[29]、黄金川等^[18]、刘润佳等^[32]对城市化评价的研究成果。

具体指标的选择步骤如下:(1)海选指标。明确海选指标的方向。生态文明建设评价方面,生态指标表征区域资源利用、环境保护及污染防治能力;经济指标表征区域经济基础、经济结构与经济效益;社会指标表征区域社会进步、福利水平和绿色行为。城市化评价方面,人口城市化指标反映城市集聚人口的过程;经济城市化指标反映经济结构向非农化的转变;社会城市化指标反映城市生活状况的变化;土地城市化指标反映城市景观及空间的改变^[6]。(2)筛选指标。在海选指标的基础上,选择各指标体系中出现频率较高的指标。(3)检验指标。受部分区域或年份数据限制,剔除数据缺失严重的指标。另外,尽量采用人均、地均等指标,以消除省会城市与其他城市体量上的差距,最终确定的指标体系如下表所示(表1)。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究区概况

黄河经济带的提出多见于新闻报道和学者的倡议,近来其相关问题逐渐明晰。苗长虹^[33]从五个方面论述了黄河经济带的战略需求及定位,但整个经济带系统功能发挥亟需进一步提升。作为我国重要的经济发展带,促进黄河流域自然、生态、文化等各方优势转化为流域高质量发展的支撑,已成必然之势。关于黄河经济带的区域范围界定,已有学者提出较有说服力的见解。黄河流经山东、河南、陕西、山西、内蒙古、宁夏、甘肃、青海和四川9个省(自治区)。王海江等^[34]研究认为,黄河经济带除包含上述流经的9个省(自治区)外,还应纳入河北、北京和天津3个省市。丁志伟等^[35]认为河北、北京和天津属于海河流域的地区并且处于京津冀城市群,另外四川省已经被纳入长江经济带,因此黄河经济带的范围包含流域内除四川之外的8个省(自治区)。结合已有研究,最终选取山东、河南、陕西、山西、内蒙古、宁夏、甘肃、青海8个省(自治区)为研

表1 生态文明建设与城市化评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of ecological civilization construction and urbanization

I级指标	II级指标	单位	正/负向
生态	建成区绿化覆盖率	%	正
	人均公园绿地面积	m ² /人	正
	城市污水集中处理率	%	正
	生活垃圾无害化处理率	%	正
	工业固体废物综合利用率	%	正
	每万人二氧化硫排放量	t/万人	负
	工业粉尘去除率	%	正
	PM _{2.5} 浓度	μg/m ³	负
经济	第三产业占比	%	正
	人均公共财政支出	元/人	正
	人均GDP	元/人	正
	单位建设用地创造的GDP	万元/km ²	正
社会	城镇登记失业率	%	负
	人均用电量	kW·h/人	负
	人口自然增长率	‰	正
	科技支出占公共财政支出的比例	%	正
	每万人拥有公共汽车数辆	辆/万人	正
	人均道路面积	m ² /人	正
人口城市化	城镇人口比例	%	正
	二三产业就业人员比例	%	正
经济城市化	二三产业产值占GDP比例	%	正
	人均工业总产值	元/人	正
社会城市化	万人医疗卫生机构床位个数	张/万人	正
	百人公共图书馆藏书量	件/百人	正
	万人在校大学生数	人/万人	正
	互联网普及率	%	正
土地城市化	建成区面积占辖区面积比比例	%	正
	城市人均建设用地面积	km ² /人	正

究区域，其中内蒙古不包括东四盟^①。

2.2 数据来源

2007年建设生态文明被写入党的“十七大”报告中，全国生态文明建设迎来新的发展期。以此时间为节点，本文分析“十七大”以来黄河经济带生态文明建设情况，结合数据的可得性和完备性，最终选取2008—2016年黄河经济带80个城市的数据作为分析样本，数据大部分来自研究区8个省（自治区）的统计年鉴（2009—2017年）以及《中国区域经济统计年鉴2009—2014年》《中国城市统计年鉴2009—2017年》，部分数据来源于研究区相关城市的国民经济与社会发展公报。值得说明的是，PM_{2.5}数据来源于哥伦比亚大学国际地球科学信息网络中心（CIESIN）所属的社会经济数据和应用中心（SE-DAC）公布的相关数据。

^① 2019年1月，国务院批复同意撤销地级莱芜市，划归济南市，本文最新数据为2016年，故将莱芜市作为独立城市单元分析。2013年2月，海东撤地设市，故2013年后的海东市数据通过前几年数据插值处理所得。

2.3 研究方法

2.3.1 熵权TOPSIS分析法

熵权TOPSIS法通过分析比对有限个方案与最优方案的接近程度，最终实现方案的客观排序。具体操作中，先依据各指标数值的变异程度进行赋值，再计算每个评价对象与理想化方案的相对接近程度，最终对评价对象进行排序^[36]。其实现步骤如下。

(1) 构建判断矩阵A:

$$A = (a_{ij})_{m \times n} \quad (1)$$

(2) 进行归一化处理得矩阵B:

$$B = (b_{ij})_{m \times n} \quad (2)$$

(3) 确定各评价指标的熵:

$$f_{ij} = b_{ij} / \sum_{i=1}^m b_{ij} \quad (3)$$

$$e_i = -(1/\ln m) \sum_{i=1}^m (f_{ij} \times \ln f_{ij}) \quad (4)$$

(4) 计算权重矩阵W:

$$W = (\omega_i)_{1 \times n} \quad (5)$$

其中:

$$\omega_i = (1 - e_i) / \sum_{j=1}^n (1 - e_i) \quad (6)$$

(5) 求出各指标权重集R:

$$R = (r_{ij})_{m \times n} \quad (7)$$

其中:

$$R = B \times W \quad (8)$$

值得说明的是，为便于比较连续多年的指标得分变化，在权重处理上选取多年的权重均值进行计算。

(6) 根据权重集R，计算正理想解 Q_+ 及负理想解 Q_- :

$$Q_+ = (r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+), Q_- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-) \quad (9)$$

(7) 分别测算各方案与 Q_+ 及 Q_- 的距离，得到 D_i^+ 、 D_i^- :

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_i^+)^2}, D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_i^-)^2} \quad (10)$$

(8) 计算与理想解的相对接近程度，得到评价指数:

$$H_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (11)$$

式中： m 为方案数量（个）； n 为评价指标数量（个）； f_{ij} 为标准化值； e_i 是第 i 个指标的熵值； ω_i 为权重系数； D_i^+ 、 D_i^- 为各评价对象与最优方案及最劣方案的距离； H_i 为各评价对象对于理想解的贴进度， $H_i \in [0, 1]$ ， H_i 的值越大，说明该方案越好。

2.3.2 耦合协调度模型

“耦合”源于物理学，用来表示两个或两个以上系统或运动方式相互影响及相互作用的关系^[37,38]，耦合度反映多个系统的相互依赖相互制约程度。协调度测算多个系统耦合关

系中良性耦合的程度,反映协调状况的好坏。对生态文明建设与城市化的耦合度的计算,采用容量耦合系数模型,测算多系统的耦合度模型如下:

$$C_n = \left[(u_1 \times u_2 \times \cdots u_n) / \prod (u_i + u_j) \right]^{1/n} \quad (12)$$

依托上式,建立城市生态文明建设与城市化两个系统的耦合度模型:

$$C = \left\{ (u_1 \times u_2) / [(u_1 + u_2) \times (u_1 + u_2)] \right\}^{1/2} \quad (13)$$

式中: C 为耦合度; u_1 表示生态文明建设评价指数; u_2 表示城市化水平评价指数。鉴于耦合度的评价结果会出现二者发展水平皆低,但耦合水平却高的违背实际情况的可能性,进一步构建耦合协调度模型:

$$D = \sqrt{C \times T}, \text{ 其中: } T = \alpha u_1 + \beta u_2 \quad (14)$$

式中: D 表示耦合协调度(简称为协调度); T 表示二者的综合评价指数; α 和 β 为待定系数, α 、 β 的和为 1。本文认为生态文明建设与城市化具有同等重要地位,固将 α 和 β 均赋值为 0.5。 C 、 D 均 $\in [0, 1]$ 。

为便于对比黄河经济带城市间的差异,对耦合度和协调度进行分级处理。参考已有研究^[39-41],根据 C 的得分将耦合度划分为 4 个阶段: $0 \leq C < 0.3$ 为低度耦合阶段; $0.3 \leq C < 0.5$ 为拮抗阶段; $0.5 \leq C < 0.8$ 为磨合阶段; $0.8 \leq C \leq 1$ 为高度耦合阶段。另外,将协调度分为 5 个等级(表 2)。

2.3.3 探索性空间数据分析方法

本文借助 ArcGIS 10.2 和 GeoDa 1.12 空间数据分析软件,运用探索性空间数据分析方法^[42,43],通过全局和局部莫兰指数的测算,对黄河经济带生态文明建设与城市化协调度空间关联特征进行分析。

探索性空间数据分析方法主要分析地理事物在空间上的关联与集聚特征,其核心内容是全局空间自相关检验与局部空间自相关检验。全局空间自相关检验用于描述事物在整个区域的空间关联与差异程度,公式为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (15)$$

式中: I 为全局自相关莫兰指数; W_{ij} 为空间权重矩阵; n 为标本数目(个); x 为观测值; S^2 为样本方差。 $I \in [-1, 1]$, 其值越大表示区域相关性越大; $I > 0$, 表示该研究对象呈现空间正相关分布, $I < 0$ 则为负相关分布, $I = 0$ 表示其空间分布是随机的。

该方法的前提是假设研究空间是同质的,与现实中地理空间的异质性不符,需要进一步通过局部空间自相关检验,结合莫兰指数散点图和 LISA 分布图进行分析,将全局空间自相关指数分解到不同单元中,方程如下:

$$I_i = Z_i \sum_{j=1}^n W_{ij} Z_j \quad (16)$$

$$Z_i = x_i - \bar{x}; Z_j = x_j - \bar{x} \quad (17)$$

式中: I_i 为局部空间自相关莫兰指数。

表 2 协调度值及等级划分标准

Table 2 Coordination degree value and grade classification standard

协调度	协调等级
0.00~0.19	严重失调
0.20~0.39	轻度失调
0.40~0.59	一般协调
0.60~0.79	良好协调
0.80~1.00	优质协调

3 结果分析

3.1 总体情况分析

通过指标体系的构建,利用熵权TOPSIS法最终求得2008—2016年黄河经济带生态文明建设和城市化评价指数得分(图1)。

从2008—2016年80个城市的生态文明指数得分均值来看,黄河经济带生态文明建设成效并不显著,建设压力依然很大。2008—2013年,生态文明指数得分总体表现出平稳的态势,分值在0.30左右徘徊;2013年后指数得分下行趋势明显,到2016年得分只有0.22。王耕等^[1]分析认为目前中国生态文明建设效率整体不高;陈怡平等^[44]提出对黄河流域生态文明建设的思考,认为黄河流域近些年依然面临水量减少、水质变差、泥沙沉积、污染等突出的生态问题,均与本文分析的结果相契合。另外,从具体的指标来看,随着城市化和工业化的不断加深,研究区城市建设的生态系统指标表现较差致使其总体得分下降,对比2008年,2016年人均公园面积指标得分由0.19降为0.12;每万人二氧化硫排放量得分由0.85升为0.91;PM_{2.5}等表征环境状况的指标也并没太大改观。2018年5月,习近平在全国生态环境保护大会上指出^[45],我国生态文明建设正处于压力叠加、负重前行的关键期,生态环境质量成效并不稳固,稍有松懈就可能出现反复。数据分析结果表明黄河经济带生态文明建设压力依然很大,应继续加强该区域生态文明建设。

从2008—2016年80个城市的城市化指数得分均值来看,城市化指数除部分年份有波动外,整体上在不断提升,但发展速度依然偏慢。2008年的指数分值很小,为0.213,到2016年指数得分也仅为0.217。本文选取的指标多为人均指标,尽管中国近些年城市化进度发展迅速,但是考虑到指标中的数据并非只涉及城市市区,还包括行政区内其他区域,故并未表现出较显著的变化。李雪松等^[46]对2000—2015年长江经济带经济—社会—环境进行综合测度,发现区域在经济和社会方面的指标变化也并不突出,但相比长江经济带,黄河经济带在各方面仍有很大的追赶和发展空间。

利用ArcGIS 10.2分析软件,对80个城市的指数得分进行自然断裂法分类处理,进一步分析了黄河经济带2008年及2016年的生态文明建设及城市化情况。从两方面的城市得分来看,均不存在明显的门户城市。陆大道院士等^[47]认为与长江经济带拥有上海及长江三角洲那样的枢纽区相比较,黄河流域的对外部交流是多途径多门户的,不存在类似的门户城市与枢纽城市。

生态文明建设方面。从时间尺度来看,城市间的差异在不断减小。分类情况表明,最差一类的城市数量减少明显,由2008年的16个城市减少为2016年的7个城市,最好一类城市数量变化不明显,中间三类城市的数量增多。从空间特征来看,经济带东部及北部生态文明建设相对较好且进步明显,尤其是山东和内蒙古在生态文明建设方面表现突出;西部及南部区域相对较差,对比2008年,2016年得分最差一类的城市全部分布在南部区域(图2、图3)。

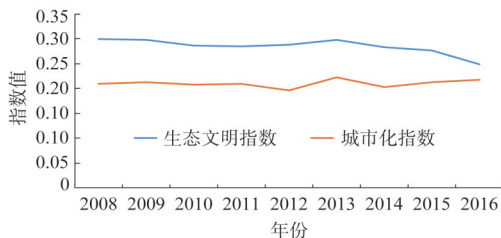
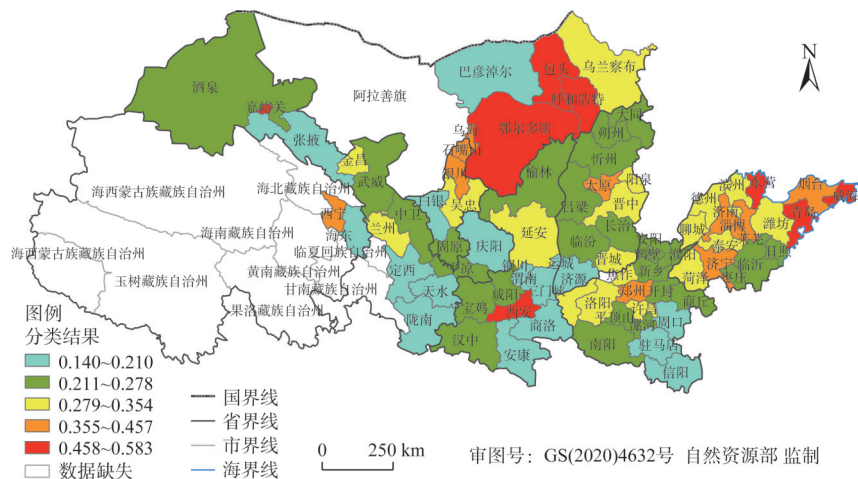


图1 2008—2016年黄河经济带生态文明建设和城市化指数

Fig. 1 Ecological civilization construction and urbanization index of the Yellow River Economic Belt from 2008 to 2016



注：本图基于自然资源部标准地图服务系统下载的标准地图制作，底图无修改，下同。

图2 2008年黄河经济带生态文明建设情况

Fig. 2 The situation of ecological civilization construction in the Yellow River Economic Belt in 2008

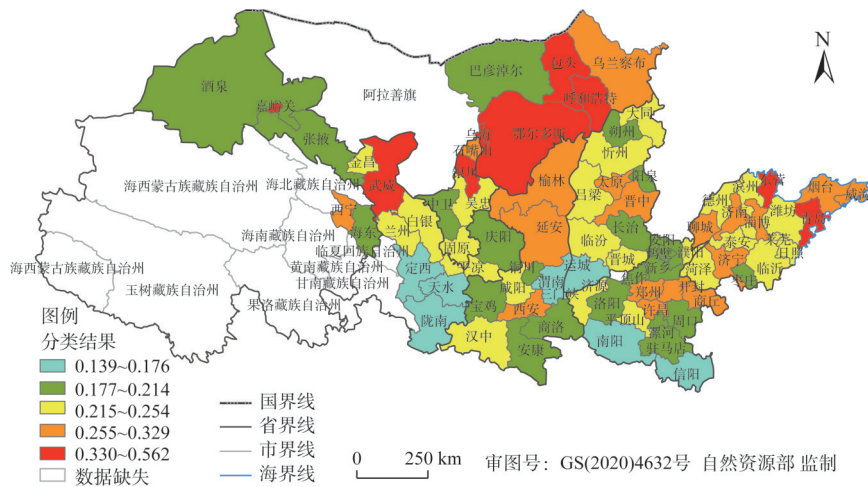


图3 2016年黄河经济带生态文明建设情况

Fig. 3 The situation of ecological civilization construction in the Yellow River Economic Belt in 2016

城市化发展方面。从时间尺度来看，黄河经济带城市化整体有所提升。指数得分最差的一类城市数量由2008年的18个减少到2016年的13个；得分最好的一类城市数量由9个增加为14个。从空间特征来看，黄河经济带东部城市的城市化指数相对较高，对比2008年和2016年，东部城市变动明显，城市分类整体有所提升。另外，省会城市城市化水平表现抢眼。2008年除了银川市和西安市两个得分为第二类城市外，其他6个省会城市均为第一类城市；2016年除了西安市为第二类城市外，其他7个省会城市均为第一类城市（图4、图5）。

3.2 耦合度及协调度分析

根据耦合协调模型计算公式，得到黄河经济带生态文明建设与城市化之间的耦合度 C 值，为更准确地反映系统间的协调关系，进一步计算协调度 D 值，并取全部城市各年

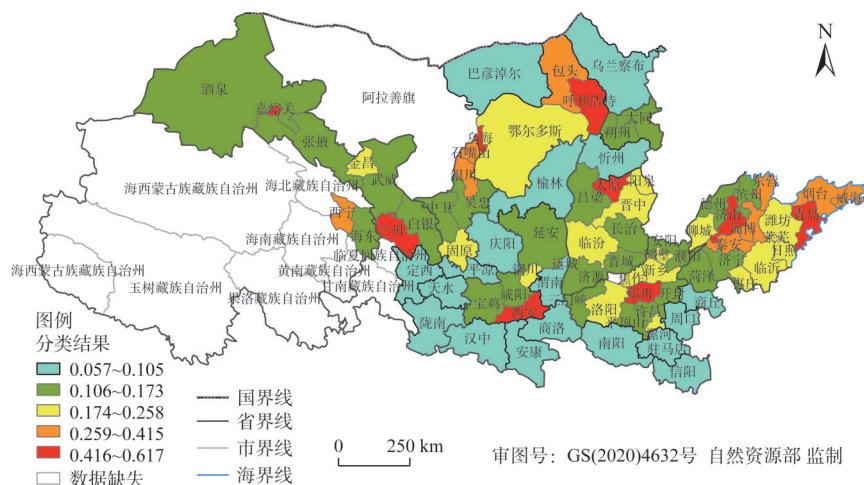


图4 2008年黄河经济带城市化情况

Fig. 4 The situation of urbanization in the Yellow River Economic Belt in 2008

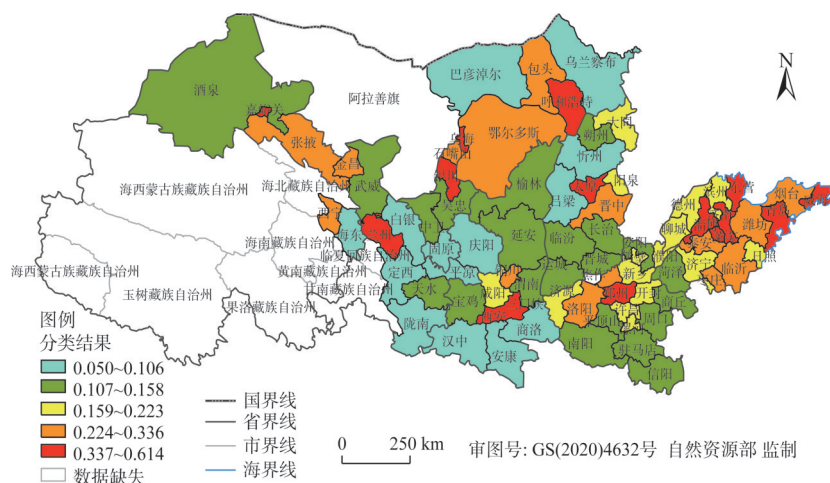


图5 2016年黄河经济带城市化情况

Fig. 5 The situation of urbanization in the Yellow River Economic Belt in 2016

均值反映黄河经济带城市的整体情况。由计算结果可知, 2008—2016年黄河经济带城市的生态文明建设与城市化之间的耦合度 C 及协调度 D 均 $\in [0.22, 0.26]$, 整体上, 耦合度处于低度耦合阶段, 协调度处于轻度失调状态, 耦合协调水平依旧较低, 表明这些城市生态文明建设与城市化的发展存在差异, 生态文明建设普遍滞后于城市化。从时间变化来看, 耦合度及协调度的值均呈现下降趋势, 说明二者的耦合协调发展水平不佳, 且发展形势堪忧(图6)。

为对比黄河经济带生态文明建设与城市化耦合发展情况城市间的空间差异及变化, 将2008年和2016年黄河经济带生态文明建设与城市化的协调度进行空间可视化表达(图7、图8)。

从2008年黄河经济带生态文明建设和城市化协调度的空间特征看, 不存在良好协调和优质协调区域, 一般协调的城市多分布在经济带东部区域, 而南部城市的协调度

相对较低。另外,省会城市的协调度整体较高,济南、郑州、太原、西安、呼和浩特、兰州6个省会城市的协调度得分均高于0.4。

对比2008年,2016年黄河经济带中部城市协调度下降明显,协调度高的城市逐渐向山东省集聚,不过整体上省会城市依然表现抢眼。

3.3 空间关系分析

3.3.1 全局相关性分析

对城市生态文明和城市化协调度空间相关性的测算,首先需要构建各个城市间的空间权重矩阵,本文利用Anselin等^[48]提出的距离的倒数平方空间矩阵来说明城市间协调度相互作用受距离的增加而衰减的影响。测算结果显示,研究区协调度全局空间Moran指数值2008年为0.105, P 值为0.015;2016年为0.155, P 值为0.005,指数值显著大于0,且均在0.05置信水平下显著,研究区存在高度的空间相关性,表明协调度指数相近的城市在空间上呈现一定的集聚态势,即存在高值或低值集聚区。

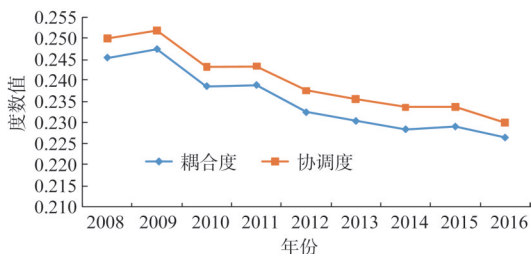


图6 2008—2016年黄河经济带生态文明建设与城市化的耦合度及协调度均值

Fig. 6 Mean value of coupling degree and coordination degree of ecological civilization construction and urbanization in the Yellow River Economic Belt from 2008 to 2016

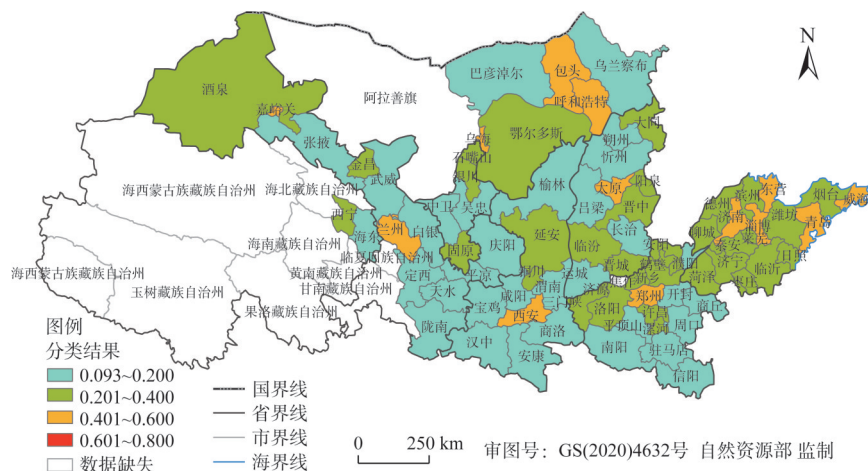


图7 2008年黄河经济带生态文明建设与城市化协调度的空间格局特征

Fig. 7 The characteristics of spatial pattern of coordination between ecological civilization construction and urbanization in the Yellow River Economic Belt in 2008

3.3.2 局部相关性分析

依据全局空间相关性分析结果,计算城市生态文明和城市化协调度LISA值并可视化(图9、图10)。可以看出,高一高集聚区主要集中在东部地区的山东省,2008年包括青岛市、淄博市、东营市、烟台市、潍坊市、威海市、莱芜市7个城市,2016年新增临沂市和滨州市两个城市,这几个城市具备良好的地理区位条件,是黄河经济带生态文明和城市化协调度的“热点”区域。另外,乌海市和石嘴山市位于经济带的边缘,周边鄂尔多斯市和银川市协调度较高,且阿拉善旗区域缺乏数据,故也表现出高一高集聚特征;

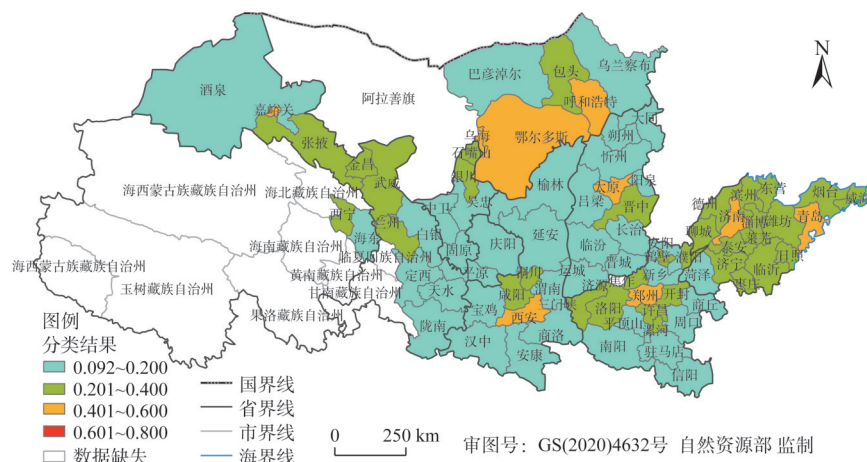


图8 2016年黄河经济带生态文明建设与城市化协调度的空间格局特征

Fig. 8 The characteristics of spatial pattern of coordination between ecological civilization construction and urbanization in the Yellow River Economic Belt in 2016

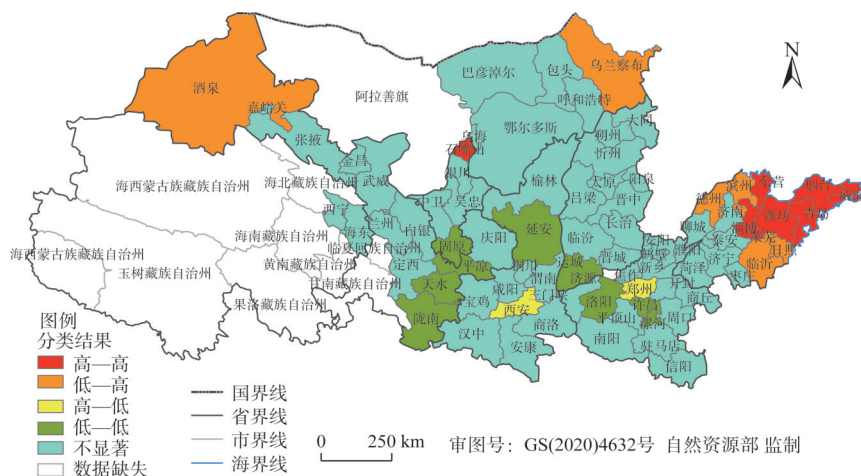


图9 2008年黄河经济带生态文明建设与城市化协调度的空间关联特征

Fig. 9 The characteristics of spatial relationship of coordination between ecological civilization construction and urbanization in the Yellow River Economic Belt in 2008

而低—低区域分布在中部和南部地区，包括河南省的洛阳市、许昌市、漯河市，山西省的运城市，宁夏回族自治区的固原市，陕西省的延安市，甘肃省的平凉市、天水市、陇南市，这几个城市的生态文明和城市化协调度几乎都处于黄河经济带城市的最低水平且在空间上相连，形成协调度的“冷点”区域。低—高区域的城市分布特征并不明显，2016年的日照市和德州市分别分布在高值集聚区南侧和北侧，受周边山东省其他城市协调度较高的影响，这两个城市在局部形成“洼地”。与周边其他城市相比，这两个城市未来需要在区域一体化发展中找准自身定位，才能更好地发展。高一—低区域2008年只有郑州市和西安市，2016年新增焦作市；郑州市和西安市作为省会城市，被省域其他协调度较低的城市环绕，在空间上形成一个局部的“高地”。

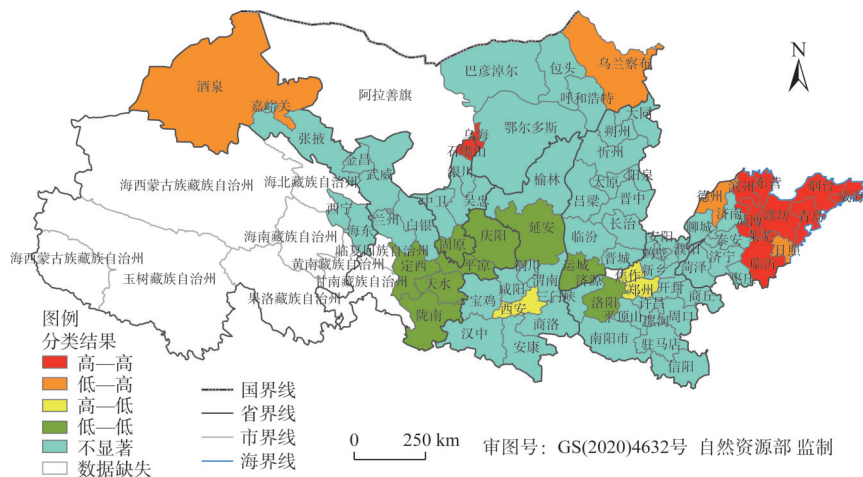


图10 2016年黄河经济带生态文明建设与城市化协调度的空间关联特征

Fig. 10 The characteristics of spatial relationship of coordination between ecological civilization construction and urbanization in the Yellow River Economic Belt in 2016

4 结论

本文构建了评价区域生态文明建设与城市化发展的指标体系,分析了黄河经济带城市在生态文明建设和城市化发展方面的具体情况,并进一步测算了二者的协调度,探究了协调度的空间关联特征,得到以下主要结论:

(1) 生态文明建设方面。2008—2016年,黄河经济带生态文明建设成效并不显著,建设压力依然很大,印证了黄河流域生态保护和高质量发展的必要性和迫切性。城市间生态文明建设的差距在不断地缩小,但空间差异较大,东部及北部生态文明建设相对较好且进步明显。城市化发展方面。城市化总体有所提升,但整体的发展速度依然偏慢。城市化发展水平在空间上表现出明显的不均,黄河经济带东部城市城市化相对较高,另外,省会城市城市化水平表现抢眼。从两方面的城市得分来看,均不存在明显的门户城市。

(2) 2008—2016年黄河经济带城市的生态文明建设与城市化之间的耦合度整体上处于低度耦合阶段,协调度处于轻度失调状态,生态文明建设普遍滞后于城市化发展。从时间变化来看,耦合度及协调度均呈现下降趋势,黄河经济带城市的生态文明建设与城市化之间的耦合协调发展水平在不断下降。从空间格局特征来看,协调度高的城市多分布在东部区域;省会城市协调度一般较省内其他城市高,其行政指向性仍较为明显。

(3) 研究区生态文明和城市化协调度在空间上表现出一定的空间依赖和空间联系。低—低区域和高—高区域的分布特征表明研究区协调度的“冷热”两重天,东西差异明显;高—高区域在东部呈现一定的集聚形态,表明协调度具有一定的空间溢出效应,地理临近的区域更有利于实现两者的协调发展。

生态文明建设具备很宽泛的内涵,城市化发展具有复杂多元的驱动因素,生态文明建设也是指导城市化高质量发展和可持续发展的重要依托,城市化发展过程中的空间格局优化是生态文明建设的战略任务,两者自成体系又相互交织,形成或并行或交叉的作用关系。本文仅仅从整体视角宏观分析了二者之间的耦合协调关系,没有从更为细致的

要素、结构层次进一步解构生态文明建设与城市化子系统的相互关系, 此方面的研究有待进一步深入。本文对黄河经济带生态文明建设和城市化耦合协调情况及其空间关联特征有了较为客观的把控, 但提出有针对性的黄河经济带未来发展建议, 还需进一步挖掘研究区表现出这些特征的深层原因, 分指标、多维度探究如何协调黄河经济带生态文明建设和城市化发展水平, 是接下来需要深入研究的方向。

参考文献(References):

- [1] 王耕, 李素娟, 马奇飞. 中国生态文明建设效率空间均衡性及格局演变特征. 地理学报, 2018, 73(11): 2198-2209. [WANG G, LI S J, MA Q F. Spatial equilibrium and pattern evolution of ecological civilization construction efficiency in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(11): 2198-2209.]
- [2] 陈明星, 梁龙武, 王振波, 等. 美丽中国与国土空间规划关系的地理学思考. 地理学报, 2019, 74(12): 2467-2481. [CHEN M X, LIANG L W, WANG Z B, et al. Geographical thinking on the relationship between beautiful China and land spatial planning. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2467-2481.]
- [3] 王振波, 梁龙武, 方创琳, 等. 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. [WANG Z B, LIANG L W, FANG C L, et al. Study of the evolution and factors influencing ecological security of the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(12): 4132-4144.]
- [4] FANG C L, WANG Z B, XU G. Spatial distribution of PM_{2.5} in Chinese urban agglomerations. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(11): 1519-1532.
- [5] 刘华, 钟炜, 张建民, 等. 城市化过程中的生态问题初探. 经济地理, 2006, 26(1): 92-95. [LIU H, ZHONG W, ZHANG J M, et al. A study of urbanization and urban ecological problems. *Economic Geography*, 2006, 26(1): 92-95.]
- [6] 陈炳, 曾刚, 曹贤忠, 等. 长三角城市群生态文明建设与城市化耦合协调发展研究. 长江流域资源与环境, 2019, 28(3): 530-541. [CHEN B, ZENG G, CAO X Z, et al. Coupling coordination development between ecological civilization construction and urbanization in Yangtze River Delta Urban Agglomerations. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(3): 530-541.]
- [7] HOWARD E. To-morrow: A Peaceful Path to Real Reform. London, UK: S. Sonnenschein & Co, 1898.
- [8] 何梅, 汪云, 夏巍, 等. 特大城市生态空间体系规划与管控研究. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010: 15-30. [HE M, WANG Y, XIA W, et al. *Ecological Spatial System Planning and Management Study of Megacity*. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010: 15-30.]
- [9] DRAKAKIS-SMITH D, DIXON C. Sustainable urbanization in Vietnam. *Geoforum*, 1997, 28(1): 21-38.
- [10] 宓泽锋, 曾刚, 尚勇敏, 等. 中国省域生态文明建设评价方法及空间格局演变. 经济地理, 2016, 36(4): 15-21. [MI Z F, ZENG G, SHANG Y M, et al. The evaluation method and spatial pattern evolution of ecological civilization construction of Chinese provinces. *Economic Geography*, 2016, 36(4): 15-21.]
- [11] 龙花楼, 刘永强, 李婷婷, 等. 生态文明建设视角下土地利用规划与环境保护规划的空间衔接研究. 经济地理, 2014, 34(5): 1-8. [LONG H L, LIU Y Q, LI T T, et al. Spatial interlinking of land use planning and environmental protection planning from the perspective of ecological civilization construction. *Economic Geography*, 2014, 34(5): 1-8.]
- [12] 钟镇涛, 张鸿辉, 洪良, 等. 生态文明视角下的国土空间底线管控: “双评价”与国土空间规划监测评估预警. 自然资源学报, 2020, 35(10): 2415-2427. [ZHONG Z T, ZHANG H H, HONG L, et al. Territorial space baseline control from the perspective of ecological civilization: "Double evaluation" and monitoring-evaluation-warning. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(10): 2415-2427.]
- [13] 容贤标, 胡振华, 熊曦. 旅游业发展与生态文明建设耦合度的地区间差异. 经济地理, 2016, 36(8): 189-194. [RONG X B, HU Z H, XIONG X. Regional differences in the coupling relationship between tourism development and ecological civilization construction. *Economic Geography*, 2016, 36(8): 189-194.]
- [14] 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): 50-58. [BI G H, YANG Q Y, LIU S. Coupling coordination development between ecological civilization construction and urbanization in China. *Economic Geography*, 2017, 37(1): 50-58.]
- [15] 杨立, 黄涛珍. 基于耦合协调度模型的生态文明与新型城镇化作用机理及关系研究. 生态经济, 2019, 35(12): 60-

66. [YANG L, HUANG T Z. Mechanism and interrelationship between ecological civilization and new urbanization based on Coupling Coordination Model. *Ecological Economy*, 2019, 35(12): 60-66.]
- [16] 郭向阳, 明庆忠, 穆学青, 等. 城市旅游业与生态文明耦合协调态势的时空演化研究: 以河南省为例. *资源开发与市场*, 2017, 33(6): 732-737, 753. [GUO X Y, MING Q Z, MU X Q, et al. Study on spatial and temporal evolution of urban tourism and ecological civilization: Taking Henan province as an example. *Resource Development & Market*, 2017, 33(6): 732-737, 753.]
- [17] 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. [LIU Y B, LI R D, SONG X F. Grey associative analysis of regional urbanization and eco-environment coupling in China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(2): 237-247.]
- [18] 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. [HUANG J C, FANG C L. Analysis of coupling mechanism and rules between urbanization and eco-environment. *Geographical Research*, 2003, 22(2): 211-220.]
- [19] 傅伯杰. 地理学: 从知识、科学到决策. *地理学报*, 2017, 72(11): 1923-1932. [FU B J. Geography: From knowledge, science to decision making support. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(11): 1923-1932.]
- [20] 任宇飞, 方创琳, 孙思奥, 等. 城镇化与生态环境近远程耦合关系研究进展. *地理学报*, 2020, 75(3): 589-606. [REN Y F, FANG C L, SUN S A, et al. Progress in local and tele-coupling relationship between urbanization and eco-environment. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(3): 589-606.]
- [21] 中国社会科学网. 推进区域协调发展谋划黄河(生态)经济带建设. http://ex.cssn.cn/index/zb/201906/t20190606_4914013_1.shtml, 2020-10-30. [China Social Sciences Network. Promote coordinated regional development and plan the construction of the Yellow River (ecological) Economic Belt. http://ex.cssn.cn/index/zb/201906/t20190606_4914013_1.shtml, 2020-10-30.]
- [22] 中国社会科学网. 促进黄河经济带可持续发展. http://www.cssn.cn/zx/bwyc/201905/t20190508_4875455.shtml, 2020-10-30. [China Social Sciences Network. Promote the sustainable development of the Yellow River Economic Belt. http://www.cssn.cn/zx/bwyc/201905/t20190508_4875455.shtml, 2020-10-30.]
- [23] 金凤君. 黄河流域生态保护与高质量发展的协调推进策略. *改革*, 2019, (11): 33-39. [JIN F J. Coordinated promotion strategy of ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin. *Reform*, 2019, (11): 33-39.]
- [24] 中华人民共和国环境保护部. 生态县、生态市、生态省建设指标(修订版). http://www.mee.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172492.htm, 2020-06-30. [Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Construction indexes of ecological counties, cities and provinces (revised draft). http://www.mee.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172492.htm, 2020-06-30.]
- [25] 卞有生, 何军, 张文国. 生态县、生态市、生态省建设规划编制导则. *中国工程科学*, 2004, 6(11): 1-7. [BIAN Y S, HE J, ZHANG W G. Guidelines for compiling construction plans of ecological counties, cities and provinces. *Strategic Study of CAE*, 2004, 6(11): 1-7.]
- [26] 马世骏, 王如松. 社会—经济—自然复合生态系统. *生态学报*, 1984, 4(1): 1-9. [MA S J, WANG R S. The social-economic-natural complex ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 1984, 4(1): 1-9.]
- [27] 王如松. 生态整合与文明发展. *生态学报*, 2013, 33(1): 1-11. [WANG R S. Integrating ecological civilization into social-economic development. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(1): 1-11.]
- [28] 刘某承, 苏宁, 伦飞, 等. 区域生态文明建设水平综合评估指标. *生态学报*, 2014, 34(1): 97-104. [LIU M C, SU N, LUN F, et al. An integrated indicator on regional ecological civilization construction. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(1): 97-104.]
- [29] 陈明星, 陆大道, 张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析. *地理学报*, 2009, 64(4): 387-398. [CHEN M X, LU D D, ZHANG H. Comprehensive evaluation and the driving factors of China's urbanization. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(4): 387-398.]
- [30] 齐爱荣, 周忠学, 刘欢. 西安市城市化与都市农业发展耦合关系研究. *地理研究*, 2013, 32(11): 2133-2142. [QI A R, ZHOU Z X, ZHANG H. The coupling relationship between urbanization and urban agriculture development in Xi'an city. *Geographical Research*, 2013, 32(11): 2133-2142.]
- [31] 宓泽锋, 周灿, 朱菲菲, 等. 生态文明建设的路径依赖与互动关系变化: 基于2003—2015年长江经济带地级市面板

- 数据. 地理研究, 2018, 37(10): 1915-1926. [MI Z F, ZHOU C, ZHU F F, et al. The path dependence and relationship change of ecological civilization construction: Based on the panel data analysis of prefecture-level cities in the Yangtze River Economic Belt from 2003 to 2015. *Geographical Research*, 2018, 37(10): 1915-1926.]
- [32] 刘润佳, 把多勋. 中国省会城市紧凑度与城镇化水平关系. 自然资源学报, 2020, 35(3): 586-600. [LIU R J, BA D X. The relationship between urban compactness and urbanization level in capital cities of China. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(3): 586-600.]
- [33] 苗长虹. 黄河经济带的战略需求与战略定位. 中国社会科学报, 2019-06-06(006). [MIAO C H. Strategic demand and strategic positioning of Yellow River Economic Belt. *Chinese Social Sciences Today*, 2019-06-06(006).]
- [34] 王海江, 苗长虹, 乔旭宁. 黄河经济带中心城市服务能力的空间格局. 经济地理, 2017, 37(7): 33-39. [WANG H J, MIAO C H, QIAO X N. Central cities external service capabilities spatial distribution of Yellow River Economic Belt. *Economic Geography*, 2017, 37(7): 33-39.]
- [35] 丁志伟, 刘晓阳, 程迪, 等. 黄河经济带县域城乡收入差距的空间格局及影响因素. 河南大学学报: 自然科学版, 2019, 49(1): 1-12. [DING Z W, LIU X Y, CHENG D, et al. Spatial pattern of urban-rural income gap and its influencing factors at county level in Yellow River Economic Belt. *Journal of Henan University: Natural Science*, 2019, 49(1): 1-12.]
- [36] 曹贤忠, 曾刚. 基于熵权 TOPSIS 法的技术开发区产业转型升级模式选择研究: 以芜湖市为例. 经济地理, 2014, 34(4): 13-18. [CAO X Z, ZENG G. The mode of transformation and upgrading based on the methods of Entropy Weight and TOPSIS in case of Wuhu Economic and Technological Development Zone. *Economic Geography*, 2014, 34(4): 13-18.]
- [37] 赵建吉, 王艳华, 张洁, 等. 中部地区人口结构与产业结构的时空耦合. 经济地理, 2019, 39(12): 129-137. [ZHAO J J, WANG Y H, ZHANG J, et al. Spatio-temporal coupling of population structure and industrial structure in Central China. *Economic Geography*, 2019, 39(12): 129-137.]
- [38] 韩增林, 赵启行, 赵东霞, 等. 2000—2015 年东北地区县域人口与经济耦合协调演变及空间差异: 以辽宁省为例. 地理研究, 2019, 38(12): 3025-3037. [HAN Z L, ZHAO Q H, ZHAO D X, et al. Population and economic coupling coordinated evolution and spatial differences at county level in Northeast China during 2000-2015: Taking Liaoning province as an example. *Economic Geography*, 2019, 38(12): 3025-3037.]
- [39] 马丽, 金凤君, 刘毅. 中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析. 地理学报, 2012, 67(10): 1299-1307. [MA L, JIN F J, LIU Y. Spatial pattern and industrial sector structure analysis on the coupling and coordinating degree of regional economic development and environmental pollution in China. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(10): 1299-1307.]
- [40] 周亮, 车磊, 孙东琪. 中国城镇化与经济增长的耦合协调发展及影响因素. 经济地理, 2019, 39(6): 97-107. [ZHOU L, CHE L, SUN D Q. The coupling coordination development between urbanization and economic growth and its influencing factors in China. *Economic Geography*, 2019, 39(6): 97-107.]
- [41] 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. [ZHANG R T, JIAO H F. Coupling and coordination between urbanization and ecological environment in China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2015, 29(7): 12-17.]
- [42] 吴媛媛, 宋玉祥. 中国旅游经济空间格局演变特征及其影响因素分析. 地理科学, 2018, 38(9): 1491-1498. [WU Y Y, SONG Y X. Spatial pattern evolution and influence factors of tourism economy in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(9): 1491-1498.]
- [43] 张凡凡, 张启楠, 李福夺, 等. 中国水足迹强度空间关联格局及影响因素分析. 自然资源学报, 2019, 34(5): 934-944. [ZHANG F F, ZHANG Q N, LI F D, et al. The spatial correlation pattern of water footprint intensity and its driving factors in China. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(5): 934-944.]
- [44] 陈怡平, 傅伯杰. 关于黄河流域生态文明建设的思考. 中国科学报, 2019-12-20(006). [CHEN Y P, FU B J. On the construction of ecological civilization in the Yellow River Basin. *Chinese Social Sciences Today*, 2019-12-20(006).]
- [45] 求是. 科学把握生态文明建设的新形势. http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2018-06/29/c_1123054114.htm, 2020-10-30. [QIUSHI. Grasp the new situation of ecological civilization construction scientifically. http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2018-06/29/c_1123054114.htm, 2020-10-30.]
- [46] 李雪松, 龙湘雪, 齐晓旭. 长江经济带城市经济—社会—环境耦合协调发展的动态演化与分析. 长江流域资源与环境, 2019, 28(3): 505-516. [LI X S, LONG X X, QI X X. Dynamic evolution and analysis of coupling development of

- economy, society and environment in Yangtze River Economic Belt. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(3): 505-516.]
- [47] 陆大道, 孙东琪. 黄河流域的综合治理与可持续发展. *地理学报*, 2019, 74(12): 2431-2436. [LU D D, SUN D Q. Development and management tasks of the Yellow River Basin: A preliminary understanding and suggestion. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2431-2436.]
- [48] ANSELIN L, SYABRI I, KHO Y. GeoDa: An introduction to spatial data analysis. *Geographical Analysis*, 2005, 38(1): 5-22.

The coupling relationship and spatial characteristics analysis between ecological civilization construction and urbanization in the Yellow River Economic Belt

GE Shi-shuai, ZENG Gang, YANG Yang, HU Hao

(Center for Modern Chinese City Studies, School of City and Regional Science, East China Normal University,
Shanghai 200062, China)

Abstract: To explore the sustainability of regional development, on the basis of the system coupling collaborative evaluation system, a comprehensive index system suitable for large regions and multi-cities is constructed, which can evaluate the construction of ecological civilization and urbanization. With the help of this index system, the ecological civilization construction and the coupling and coordinated development of urbanization in 80 cities at and above the Yellow River Economic Belt from 2008 to 2016 were evaluated from two dimensions of time and space. Then, the exploratory spatial data analysis method is used to analyze the spatial pattern and spatial relation characteristics of the coupling coordination level in the research area. The empirical results show that: (1) From 2008 to 2016, the ecological civilization construction in the Yellow River Economic Belt did not achieve significant results, and the pressure was still very high, which proves the necessity and urgency of ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin. The overall urbanization had improved, but the entire development rate was still too slow. There was no obvious leading city in both aspects, and the spatial difference was distinct. (2) From 2008 to 2016, the ecological civilization construction and urbanization in the cities of the Yellow River Economic Belt were in a low degree of coupling, the coordination degree was slightly unbalanced, and the ecological civilization construction generally lagged behind the urbanization development. The spatial pattern was characterized by obvious spatial heterogeneity and administrative orientation. (3) The coordination degree of ecological civilization and urbanization in the research area showed a certain spatial dependence and spatial connection, and the coordination degree showed a certain spatial spillover effect, and the geographical adjacent areas were more susceptible to the influence of regions with high coordination degree.

Keywords: Yellow River Economic Belt; ecological civilization; urbanization; coupling coordination model