



环境工程技术学报

Journal of Environmental Engineering Technology

ISSN 1674-991X, CN 11-5972/X

《环境工程技术学报》网络首发论文

题目: 2005—2019年辽宁省城镇化与生态环境质量耦合协调时空分异及影响因子研究

作者: 郭力娜, 王刚, 姜广辉, 赵艳霞, 訾丰娇, 叶林, 刘洪义

收稿日期: 2021-08-05

网络首发日期: 2021-11-20

引用格式: 郭力娜, 王刚, 姜广辉, 赵艳霞, 訾丰娇, 叶林, 刘洪义. 2005—2019年辽宁省城镇化与生态环境质量耦合协调时空分异及影响因子研究[J/OL]. 环境工程技术学报. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5972.X.20211119.1021.002.html>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

2005—2019 年辽宁省城镇化与生态环境质量耦合协调时空分异及影响因子研究

郭力娜¹, 王刚^{1*}, 姜广辉², 赵艳霞¹, 訾丰娇¹, 叶林¹, 刘洪义³

1.华北理工大学矿业工程学院

2.北京师范大学资源学院

3.德州市自然资源局

摘要 城镇化战略核心是引领城市与生态环境和谐共生,走可持续发展道路,辽宁省作为东北老工业基地之一,研究其城镇化与生态环境质量的协调关系,对于辽宁省城市可持续发展具有重要意义。综合运用耦合度、耦合协调度和地理探测器等方法对辽宁省 2005—2019 年城镇化与生态环境质量指数、耦合协调度及影响因子进行实证分析。结果表明 2005—2019 年辽宁省城镇化与生态环境质量指数为 2.44~4.79,总体上升趋势明显,城镇化指数空间上呈沈阳市、大连市为高值核心区域,四周聚集发展的态势,生态环境质量指数呈沈阳市为核心区,周围聚集发展趋势;省级尺度耦合协调度保持稳定上升,局部地区以濒临失调和勉强失调为主,空间分布上呈沈阳市、大连市为高值区域,东西部低的格局;环境治理、城镇经济和城镇社会子系统所涉及的影响因子对不同时期城镇化与生态环境质量耦合协调度贡献较大,主要影响因子有建成区面积、参加基本养老保险人数、生活垃圾清运量和城市污水日处理能力等。辽宁省城镇化与生态环境质量整体向好发展,耦合协调度有待提高,政府应继续注重生态环境的治理工作,加大环境保护力度,提高生活质量。

关键词 城镇化;生态环境;耦合协调度;地理探测器;辽宁省

中图分类号: X24 doi:10.12153/j.issn.1674-991X.20210385

Spatial-temporal differentiation and influencing factors of coupling coordination between urbanization and eco-environmental quality in Liaoning Province from 2005 to 2019

GUO Lina¹, WANG Gang^{1*}, JIANG Guanghui², ZHAO Yanxia¹, ZI Fengjiao¹, YE Lin¹, LIU Hongyi³

1.College of Mining Engineering, North China University of Technology

2.College of Resources, Beijing Normal University

3.Dezhou Bureau of Natural Resources

Abstract The core of urbanization strategy is to lead the city and the ecological environment to coexist harmoniously and take the road of sustainable development. Liaoning Province is one of the old industrial bases in northeast China, so it is of great significance to study the coordinated relationship between urbanization and ecological environment quality for the sustainable development of Liaoning province. Coupling degree, coupling coordination degree and geographical detector were used to empirically analyze the urbanization and eco-environment quality index, coupling coordination degree and influencing factors of Liaoning province from 2005 to 2019. The results showed that the urbanization and eco-environmental quality index of Liaoning province from 2005 to 2019 ranged from 2.44 to 4.79, with an obvious upward trend. The urbanization index showed a spatial trend of Shenyang and Dalian as the high-value core area and surrounding cluster development. The eco-environmental quality index showed Shenyang as the core area and surrounding cluster development trend. The coupling coordination degree of provincial scale kept rising steadily, and the regional coupling coordination degree was mainly near disorder and barely disorder, and the spatial distribution pattern was high in Shenyang and Dalian, and low in eastern and western regions. The influencing factors involved in environmental governance, urban economy and urban social subsystem contribute greatly to the coupling coordination degree of urbanization and

收稿日期: 2021-08-05

基金项目: 河北省社会科学基金项目 (HB19SH006); 国家自然科学基金项目 (41771560, 41671519); 教育部人文社会科学研究规划项目 (19YJAZH113)

作者简介: 郭力娜 (1980—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为土地评价与可持续利用、土地利用信息技术 guolina1101@163.com

*通信作者: 王刚 (1996—), 男, 硕士研究生, 研究方向为区域资源环境遥感监测与评价、地理信息技术与应用, 18332905672@163.com

ecological environment quality in different periods. The main influencing factors include the built-up area, the number of people participating in the basic endowment insurance, the volume of domestic garbage and the daily treatment capacity of urban sewage. The overall development of urbanization and ecological environment quality in Liaoning province is good, and the coupling coordination degree needs to be improved. The government should continue to pay attention to ecological environment governance, strengthen environmental protection, and improve people's quality of life.

Key words urbanization; ecological environment; coupling coordination; geographic detector; Liaoning Province

城镇化是人类社会发展到一定阶段的必然产物，也是人类社会聚集程度的不可逆模式^[1]。城镇化率不断提高，一方面反映出社会经济不断增长，城市进入快速发展期，对产业发展、人口聚集都起到了积极作用；另一方面也使城市面临着“城市病”多发的困扰，特别是城市空间的外延式扩张，对城市边缘其他空间的不断挤压，在一定程度上破坏了城市与周边环境的生态平衡，加剧了生态环境压力。故研究城市发展与生态环境之间的时空关系，并探究影响因子，可为城市可持续发展提供参考。

虽然城镇化迄今为止没有统一的含义^[2]，但城镇化与生态环境的关系一直是学术界的研究热点。学者普遍认为城镇化存在着城市人口聚集、经济发展、空间扩张和生活质量提高等 4 个方面的特征^[3-5]。在城镇化与生态环境关系研究中，国内外学者在以下方向进行了宏观性、大尺度、定性定量相结合的多角度探索：1) 城镇化与生态环境系统理论关系模型。早期 Grossman 等^[6]研究发达国家两系统关系时就提出了“环境库兹涅茨曲线”，认为城镇化发展和生态环境之间不是单纯的正负相关关系，而是生态环境伴随着城镇化发展先下降后上升，呈现倒 U 形关系。2002 年 OECD^[7]提出的脱钩理论，认为生态环境压力会随着经济发展到一定阶段时达到峰值随后逐渐下降。2) 城镇化和生态环境关系静态耦合。如聂艳等^[8]认为城镇化与生态环境相互作用的现象和结果即为耦合关系，二者之间影响的程度为城镇化与生态环境耦合度。黄莘绒等^[9-10]构建城镇化与生态环境质量评价指标体系，以定量的方法研究城镇化和生态环境的现状特征。宋雪峰等^[11-12]，总结了城镇化通过人口性质变更聚集，经济发展和建设空间扩张不断挤压生态环境空间，而生态环境依托着政府保护政策，排斥企业资本又限制着城镇化发展。3) 城镇化与生态环境关系动态模拟。如杨亮洁等^[13]将脱钩模型应用到成渝城市群地区研究上，发现了生态环境增长率和城镇化增长率均为正，城镇化和生态和环境以弱脱钩和连接扩张为主。马艳^[14]将城镇化与生态环境动态交互胁迫模型应用在长江经济带，对两个子系统演变轨迹进行了曲线拟合，验证了交互胁迫的关系。

但已有研究在区域选择上，普遍关注大城市群或更大尺度的空间差异，一方面或是因为大城市群经济发展迅速，或是研究区地处环境敏感和社会重点关注地带。然而在新时期国土空间生态修复背景下，省级及以下尺度城镇空间生态环境问题已成为国土空间生态修复内容之一；同时，由于省域内部城镇化和生态环境质量存在着比较明显的空间异质性，故在此背景下探究省域城镇化与生态环境质量关系和空间差异非常必要。基于此，笔者以辽宁省为研究区，基于多年统计数据，采用定量方法，探究研究区城镇化和生态环境质量的时空演变特征，以及二者耦合协调程度的空间分异及影响因子，以期与研究区城镇化和生态环境协调发展提供借鉴，为城市高质量协调发展提供参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

辽宁省（118°53'E~125°46'E，38°43'N~43°26'N）位于东北地区南部，南临黄海、渤海，西南与河北省接壤，西北与内蒙古毗邻，东北与吉林省为邻，东南与朝鲜隔江相望。地势大致为自北向南，自东西两侧向中部倾斜，东西两厢为山地丘陵，向中部平原下降，呈马蹄形向渤海倾斜（图 1）^[15]。目前，辽宁省下辖 14 个地级市，总面积为 14.86 万 km²，截止到 2019 年，辽宁省城镇人口已达 2 964 万人，城镇化率为 68.11%，高于全国 60.6%的城镇化率，统计信息来源于中华人民共和国 2019 年国民经济和社会发展统计公报。

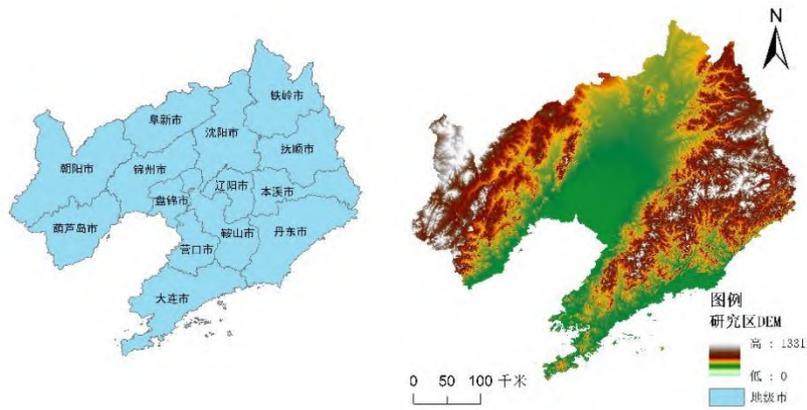


图1 研究区地势

Fig.1 Terrain map of the study area

1.2 数据来源

研究所需基础地理信息数据主要包括政区及边界，从辽宁省自然资源厅收集。其他主要研究数据分别来自 2005—2019 年《辽宁省统计年鉴》《中国城市统计年鉴》和各市的《国民经济和社会发展统计公报》。

2 研究方法与模型构建

2.1 研究方法

2.1.1 权重确定——熵权法

研究采用熵权法确定城镇化和生态环境质量评价指标权重，相较于主观赋权法，熵权法能避免人为因子所造成的偏差，更准确的反应指标的重要程度。由于指标体系里各指标含义与量纲不同，并且指标在评价时其参与的评价变化方向不完全一致，出现正、负 2 种指标。为了使指标数据具有可比性，采用极值标准化方法对指标数据进行无量纲化处理^[16]，得到无量纲处理的数据后，再通过熵权法^[17-18]计算权重，计算公式如下。

第 i 个城市第 j 项指标的比重 (Y_{ij}):

$$Y_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^m X'_{ij}} \quad (1)$$

计算指标信息熵 (e_j):

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m Y_{ij} \times \ln Y_{ij} \quad (2)$$

计算信息熵冗余度 (d_j):

$$d_j = 1 - e_j \quad (3)$$

计算指标权重 (W_j):

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (4)$$

式中: X'_{ij} 为第 i 个城市第 j 项指标数据标准化处理后的指标值; $k=1/\ln m$; m 为评价城市数; n 为指标数。

2.1.2 地理探测器影响因子分析法

地理探测器是探测空间差异性，以及探究主要关系背后驱动力和影响因子的一种统计学方法^[19-20]。因受到的条件制约较少，所以采用地理探测器分析法，定量的探测耦合协调度的主要影响因子。计算公式如

地理探测器正确引用:

[1] Wang JF, Li XH, Christakos G, Liao YL, Zhang T, Gu X & Zheng XY. 2010. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China. International Journal of Geographical Information Science 24(1): 107-127.

[2] Wang JF, Zhang TL, Fu BJ. 2016. A measure of spatial stratified heterogeneity. Ecological Indicators 67: 250-256.

[3] 王劲峰, 徐成东. 2017. 地理探测器: 原理与展望. 地理学报 72(1): 116-134.

[Wang JF, Xu CD. 2017. Geodetector: Principle and prospective. Acta Geographica Sinica 72(1):116-134.]

下：

$$P_{q,U} = 1 - \frac{1}{N\sigma_U^2} \sum_{l=1}^M N_{q,l} \sigma_{U_{q,l}}^2 \quad (5)$$

式中： $P_{q,U}$ 为影响因子 q 的因子探测力； N 为整个区域样本数； $N_{q,l}$ 为次一级区域样本数； M 为次级区域个数； σ_U^2 为整个区域城镇化与生态环境耦合协调度的方差； $\sigma_{U_{q,l}}^2$ 为次一级区域的耦合协调度方差。 $P_{q,U}$ 的取值为 $[0, 1]$ ， $P_{q,U}$ 越大，说明 q 因子对耦合协调度的影响越大。

2.2 评价模型

2.2.1 耦合度模型

任何系统都不是单独存在的，系统内部各要素之间、2个子系统之间或某一系统内部各要素与另一系统内部各要素之间一定存在着某种关系，这种系统或要素之间的相互作用及影响的关系即耦合状态，可用耦合度模型^[21]来评价，计算公式如下：

$$C = [U(x) \times E(y)]^{1/2} / |U(x) + E(y)| \quad (6)$$

式中： C 为耦合度， $0 \sim 1$ ； $U(x)$ 为城镇化系统综合分值； $E(y)$ 为生态环境系统综合分值。 C 越大，耦合程度越高，根据 C 的大小，可进一步将系统耦合阶段划分为不同类型（表1）。

表1 基于耦合度的耦合类型划分标准

$0 < C \leq 0.3$	$0.3 < C \leq 0.5$	$0.5 < C \leq 0.8$	$0.8 < C < 1$
分离阶段	拮抗阶段	磨合阶段	耦合阶段

2.2.2 耦合协调度模型

耦合度只反映了城镇化系统与生态环境系统的相互影响程度的大小，但不能区分耦合正负向，需要进一步利用耦合协调度模型，测算研究对象之间的协调程度，以判断其耦合水平，反映系统之间相互作用的协调程度^[22]，计算公式如下：

$$T = \alpha U(x) + \beta E(y) \quad (7)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (8)$$

式中： α 、 β 为待定系数， $\alpha + \beta = 1$ ，本研究认为城镇化系统和生态环境系统对城市发展同等重要，因为 α 和 β 均取0.5。 T 为综合指数； D 为耦合协调度指数， $[0, 1]$ ， D 越大，表明2个系统之间的协调程度越高。根据已有的研究成果^[23-24]，可将协调发展程度划分为10个阶段，如表2所示。

表2 耦合协调度类型和等级划分标准

类型	协调等级	D	子类型
失调衰退类	1	$\geq 0.00 \sim 0.10$	极度失调
	2	$\geq 0.10 \sim 0.20$	严重失调
	3	$\geq 0.20 \sim 0.30$	中度失调
	4	$\geq 0.30 \sim 0.40$	轻度失调
过渡类	5	$\geq 0.40 \sim 0.50$	濒临失调
	6	$\geq 0.50 \sim 0.60$	勉强协调
	7	$\geq 0.60 \sim 0.70$	初级协调
耦合协调类	8	$\geq 0.70 \sim 0.80$	中级协调
	9	$\geq 0.80 \sim 0.90$	良好协调
	10	$\geq 0.90 \sim 1.00$	优质协调

3 评价指标体系构建

城镇化系统与生态环境质量系统是 2 个复杂的系统,科学准确地构建两系统的评价指标体系,是探究城镇化与生态环境耦合关系和影响因子的关键。在前人研究的基础上^[25-26],既考虑城镇化和城市生态环境自身的特点,又综合平衡各要素,考虑数据的可获得性,构建了城镇化与生态环境质量评价指标体系。其中,城镇化系统从人口、空间、经济和社会 4 个子系统层和 12 个指标层来反映城镇化质量;生态环境质量系统主要从生态环境的状态、压力、治理 3 个子系统层和 12 个指标层构建评价指标,综合体现了生态环境的现状和治理情况。基于熵值法赋权,最终得到各指标权重,结果见表 3。城镇化系统层权重为经济城镇化>社会城镇化>人口城镇化>空间城镇化,反应出经济城镇化对城镇化发展影响最大,空间城镇化对城镇化发展影响最小。生态环境质量系统层权重为生态环境治理>生态环境状态>生态环境压力,反应出生态环境的治理对生态环境系统质量贡献最大。

表 3 城镇化与生态环境质量评价指标体系

Table 3 Evaluation index system of urbanization and ecological environment quality

系统	子系统层	权重	指标层	信息熵	冗余度	权重
城镇化系统	人口城镇化 (正向指标)	0.209 5	城市人口占总人口比例/%	0.963 5	0.036 5	0.061 8
			城市人口密度/(人/km ²)	0.942 4	0.057 6	0.097 5
			第三产业从业人员比例/%	0.970 4	0.029 6	0.050 2
	空间城镇化 (正向指标)	0.186 4	建成区面积/km ²	0.943 1	0.056 9	0.096 4
			人均城市道路面积/(m ²)	0.983 5	0.016 5	0.028 0
			城市建设用地占市区面积比例/%	0.963 4	0.036 6	0.062 0
	经济城镇化 (正向指标)	0.306 6	人均 GDP/(元)	0.965 4	0.034 6	0.058 7
			城镇居民人均可支配收入/(元)	0.961 8	0.038 2	0.064 7
			全社会固定资产投资/万元	0.891 9	0.108 1	0.183 2
	社会城镇化 (正向指标)	0.297 4	每千人医疗机构床位数/	0.976 8	0.023 2	0.039 3
			参加基本养老保险人数/万人	0.923 1	0.076 9	0.130 3
			每万人在校大学生数/	0.924 6	0.075 4	0.127 8
生态环境质量系统	生态环境状态 (正向指标)	0.364 9	建成区绿化覆盖率/%	0.991 3	0.008 7	0.028 4
			人均农作物播种面积/(hm ² /人)	0.939 0	0.061 0	0.198 6
			人均公园绿地面积/(m ² /人)	0.988 6	0.011 4	0.036 9
	生态环境压力 (负向指标)	0.039 8	人均日生活用水量/(L/人)	0.969 0	0.031 0	0.101 0
			人均工业固体废物产生量/(t/人)	0.998 2	0.001 8	0.006 0
			人均工业废水排放量/(t/人)	0.994 7	0.005 3	0.017 1
生态环境治理 (正向指标)	0.595 2	人均工业二氧化硫排放量/(t/人)	0.996 0	0.004 0	0.013 2	
		人均工业烟粉尘排放量/(t/人)	0.998 9	0.001 1	0.003 5	
		生活垃圾清运量/(t/人)	0.933 0	0.067 0	0.218 1	
			生活垃圾无害化处理率/%	0.997 2	0.002 8	0.009 1
			工业固体废物综合利用率/%	0.976 9	0.023 1	0.075 2
			城市污水日处理能力/万 m ³	0.910 0	0.090 0	0.292 8

注:城市人口占总人口比例、城市人口密度、城市建设用地占市区面积比例、建成区绿化覆盖率为市辖区数据,其余均为全市数据。

4 结果与分析

4.1 城镇化与生态环境质量评价结果和时空变化

4.1.1 评价结果

根据表 3,采用综合加权计算得到 2005—2019 年辽宁省城镇化质量指数和生态环境质量指数(图 2),及其子系统层各评价指标指数(图 3 和图 4)。

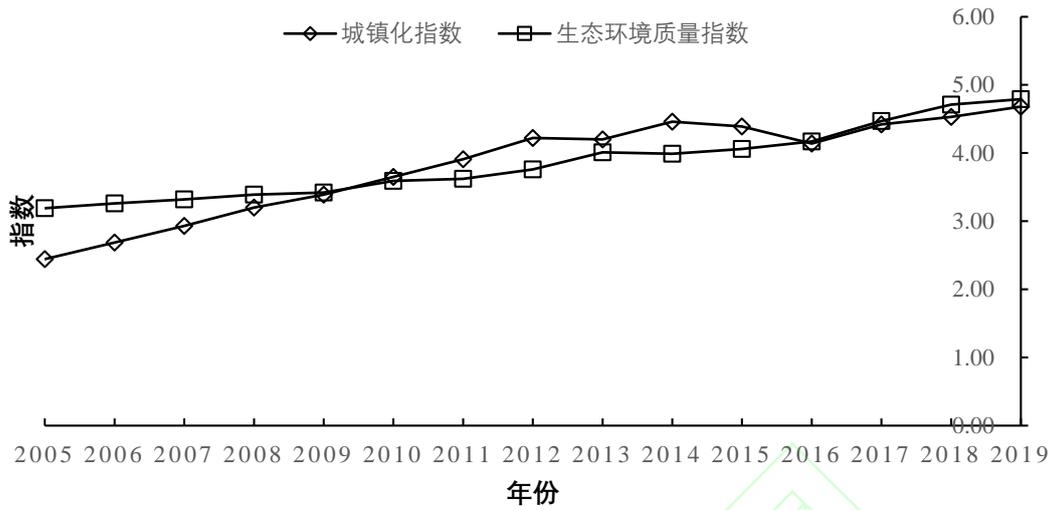


图2 辽宁省城镇化指数与生态环境质量指数年际变化

Fig.2 Interannual changes of urbanization quality index and ecological environment quality index in Liaoning Province



图3 辽宁省城镇化子系统各指标演变趋势

Fig.3 Evolution trend of comprehensive level of urbanization system in Liaoning Province

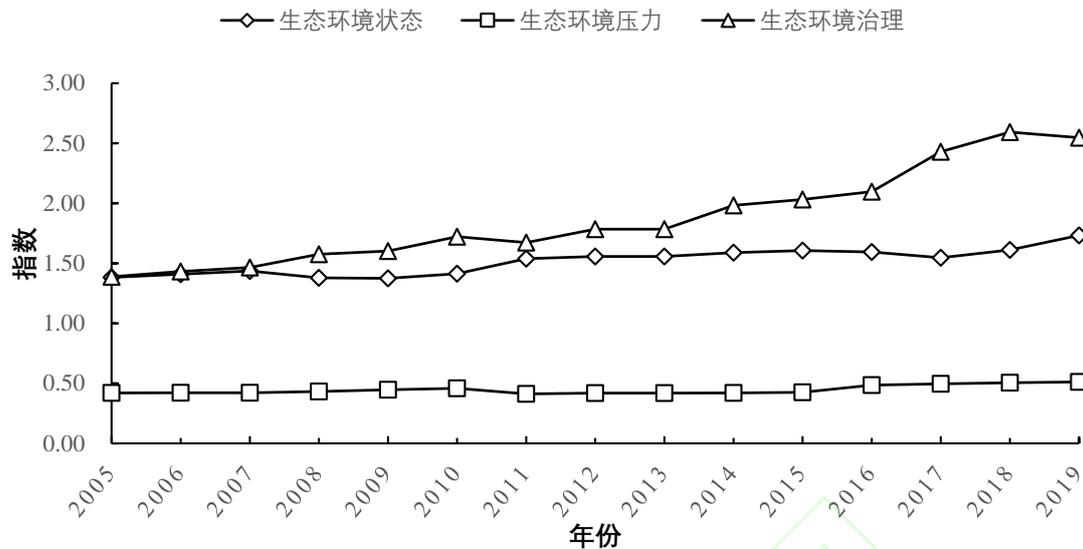


图 4 辽宁省生态环境质量子系统各指标演变趋势

Fig.4 Evolution trend of eco-environmental quality subsystem comprehensive level in Liaoning Province

从图 2 可以看出，2005—2019 年，辽宁省城镇化指数和生态环境质量指数均表现出增长趋势。其中，城镇化质量指数由 2005 年的 2.44 增长至 2019 年的 4.68，增长率为 91.8%，特别是 2005—2012 年呈直线上升趋势，2013 年和 2016 年有小幅波动下降后依旧保持增长趋势。生态环境质量指数增长速率略低于城镇化，由 2005 年的 3.19 增至 2019 年的 4.79，增长率为 50.2%，2013—2015 年，呈现微弱下降再上升趋势。总体来看辽宁省整体生态环境质量不断向好，特别是近年来，2016—2019 年，指数上升趋势较大。

从图 3 可以看出，2005—2019 年，空间城镇化和社会城镇化指数保持持续上升，空间城镇化指数由 2005 年的 0.48 提高到 2019 年的 0.93，增长率为 93.8%，社会城镇化指数由 2005 年的 0.66 增加到 2019 年的 1.38，增长率为 110%；人口城镇化指数在 2014 年和 2018 年出现一定程度的向下波动，但总体保持缓慢上升状态；经济城镇化指数起伏最大，2005—2012 年上升趋势较快，由 0.23 增加到 1.31，增长率达 469%，2014—2016 年呈断崖式下降趋势，随后又稳步上升。这表明城市空间城镇化、社会城镇化呈稳定增长，人口城镇化进程较慢，经济城镇化波动性较大。反应的实际状况是城市空间呈扩张态势，城市功能和社会服务不断增强，但存在城市人口增长乏力，经济发展动力不足等问题。

从图 4 可以看出，2005—2019 年，辽宁省生态环境压力指数变化不大，未见明显增长；生态环境状态指数在 2017—2019 年有小幅度增长见好趋势；生态环境治理指数在 2005—2016 年呈现缓慢波动上升的趋势，在 2016—2019 年快速上升随后缓慢下降。整体上，生态环境质量有一定程度改善，主要受益于生态环境治理能力的提升。

4.1.2 时空变化

为进一步分析城镇化与生态环境质量多年变化在空间上的分异，基于时空分布格局思想研究^[27]和多年评价结果，选择 2005 年、2010 年、2015 年和 2019 年 4 个时间节点，以地级市为分级单元，利用 GIS 软件绘制了城镇化指数和生态环境质量指数时空分异图（图 5 和图 6）。

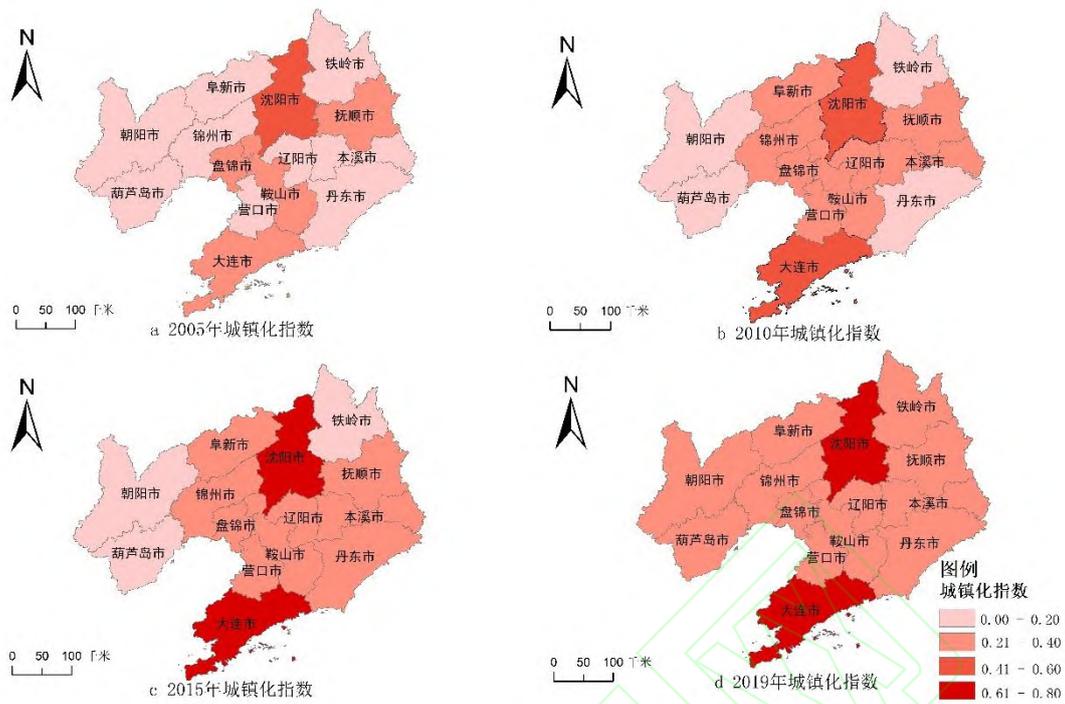


图5 辽宁省城镇化指数时空分异

Fig.5 Spatial and temporal variation of urbanization quality index in Liaoning Province

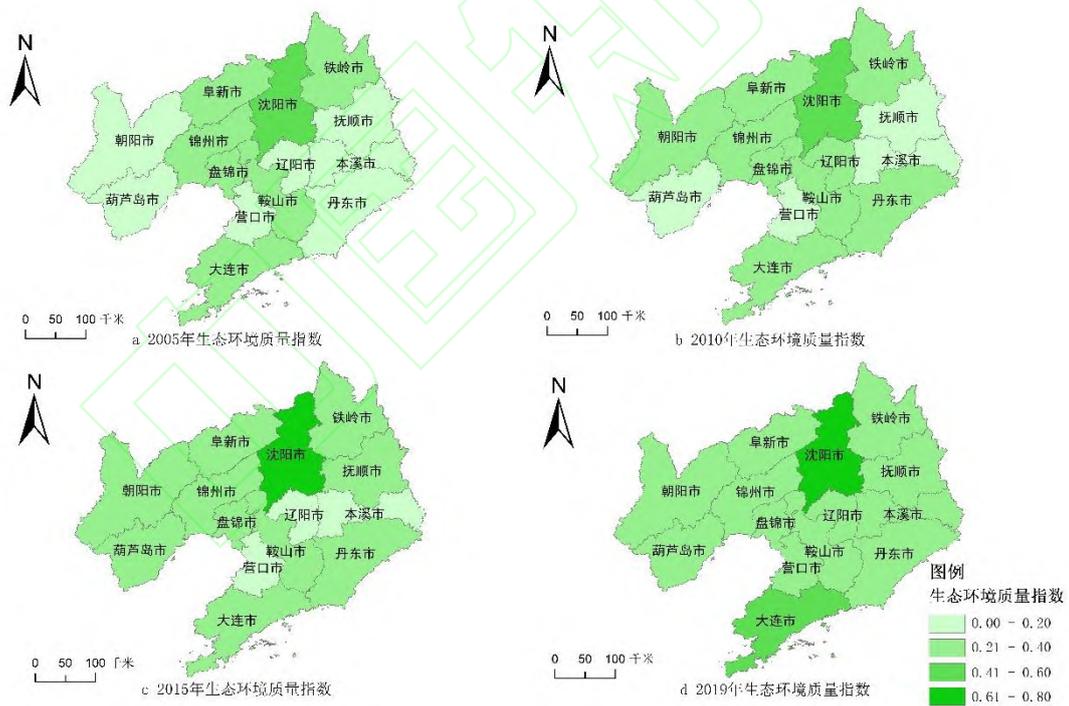


图6 辽宁省生态环境质量指数时空分异

Fig.6 Spatial-temporal pattern change of eco-environmental quality index in Liaoning Province

从图5可以看出，城镇化水平在空间上基本形成沈阳市和大连市城镇化水平明显高于其他地区的“双核心”分布特征。2005—2019年各地级城市城镇化指数呈增长趋势，且表现出沈阳市—大连市连线省域中部城市向周边扩散增长的态势。城镇化发展快慢在空间上也表现出明显差异，2005—2015年，西部朝阳市和葫芦岛市、北部铁岭市城镇化发展缓慢，城镇化指数都处于0.2以下，但2015年后快速发展。城镇化指数高于0.2的城市由2005年的5座增长至2010年的10座，2015年增长到11座，2019年增长到14座，2005—2010年是辽宁省城镇化发展的高峰期，主要集中在沈阳市周边城市。

从图 6 可以看出, 2005—2019 年, 生态环境质量总体向好发展, 生态环境质量指数高于 0.2 的城市由 2005 年的 7 座增加至 2010 年的 10 座, 2015 年增加至 11 座, 2019 年增加至 14 座, 特别是 2005—2010 年是生态环境质量改善比较明显的时期。但从生态环境质量指数变化上看, 整体呈缓慢上升趋势 (由 3.19 升至 4.79), 生态环境质量指数整体不高。在空间分异上表现出以沈阳市为高值中心, 大连市次之, 其他区域逐次缓慢改善的空间特征。

4.2 城镇化与生态环境质量耦合协调度时空分异

4.2.1 省级尺度耦合协调度态势判定

辽宁省城镇化和生态环境质量耦合度、耦合协调度见表 4。

表 4 2005—2019 年辽宁省城镇化与生态环境质量耦合度和耦合协调度

Table 4 Summary of coupling coordination degree between urbanization and eco-environmental quality in Liaoning Province from 2005 to 2019

年份	<i>C</i>	耦合度子类型	<i>D</i>	耦合协调度子类型
2005	1.000	耦合阶段	0.100	严重失调
2006	0.926	耦合阶段	0.280	中度失调
2007	0.904	耦合阶段	0.376	轻度失调
2008	0.893	耦合阶段	0.459	濒临失调
2009	0.880	耦合阶段	0.505	勉强失调
2010	0.934	耦合阶段	0.610	初级协调
2011	0.913	耦合阶段	0.651	初级协调
2012	0.927	耦合阶段	0.729	中级协调
2013	0.978	耦合阶段	0.795	中级协调
2014	0.959	耦合阶段	0.818	良好协调
2015	0.974	耦合阶段	0.828	良好协调
2016	0.994	耦合阶段	0.825	良好协调
2017	0.999	耦合阶段	0.914	优质协调
2018	1.000	耦合阶段	0.966	优质协调
2019	1.000	耦合阶段	0.995	优质协调

从表 4 可以看出, 城镇化与生态环境质量耦合度呈匀速下降—缓慢上升—平稳发展态势, 耦合协调度整体保持快速上升趋势。2005—2019 年, 大部分年份耦合度均在 0.9 以上, 城镇化与生态环境质量耦合程度高, 耦合度子类型都处于耦合阶段。2005—2013 年耦合协调度快速上升, 从 0.100 增长到 0.795, 耦合协调度类型从失调状态改善到初级协调, 2013—2016 年保持在中级、良好协调, 2017 年后改善为优质协调。整体上, 全省城镇化水平与生态环境质量表现出较好的耦合协调关系, 且持续向好。

4.2.2 市域尺度耦合协调度时空分异

由于不同地区城市发展存在差异, 故进一步从市域尺度分析城镇化与生态环境质量耦合协调度的时空差异。同样选取 2005 年、2010 年、2015 年和 2019 年 4 个时间节点, 汇总整理各市的耦合度及耦合协调度 (表 5), 并参考表 2 绘制耦合协调度类型时空分异图 (图 7)。

表 5 辽宁省各市城镇化与生态环境质量耦合度和耦合协调度

Table 5 Summary table of coupling degree and coupling coordination degree between urbanization and eco-environmental quality in Liaoning Province

城市	2005 年		2010 年		2015 年		2019 年	
	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
沈阳市	0.999	0.656	0.998	0.749	0.999	0.849	1.000	0.859
大连市	1.000	0.574	0.964	0.643	0.969	0.705	1.000	0.765
鞍山市	0.996	0.480	0.984	0.526	0.989	0.559	0.992	0.571
抚顺市	0.987	0.452	0.953	0.472	0.986	0.512	0.993	0.527

本溪市	0.999	0.375	0.995	0.430	0.987	0.460	1.000	0.515
丹东市	0.979	0.361	0.996	0.433	1.000	0.463	0.994	0.495
锦州市	0.995	0.458	1.000	0.519	0.998	0.543	0.999	0.580
营口市	0.991	0.394	0.997	0.451	0.979	0.482	0.988	0.546
阜新市	0.949	0.463	0.964	0.522	0.990	0.573	0.998	0.570
辽阳市	0.985	0.407	0.994	0.490	0.992	0.460	1.000	0.520
盘锦市	0.999	0.461	0.993	0.505	0.979	0.559	0.999	0.539
铁岭市	0.707	0.306	0.916	0.422	0.926	0.446	0.981	0.494
朝阳市	0.751	0.287	0.872	0.353	0.936	0.411	0.968	0.518
葫芦岛市	0.835	0.327	0.961	0.381	0.967	0.428	0.993	0.486

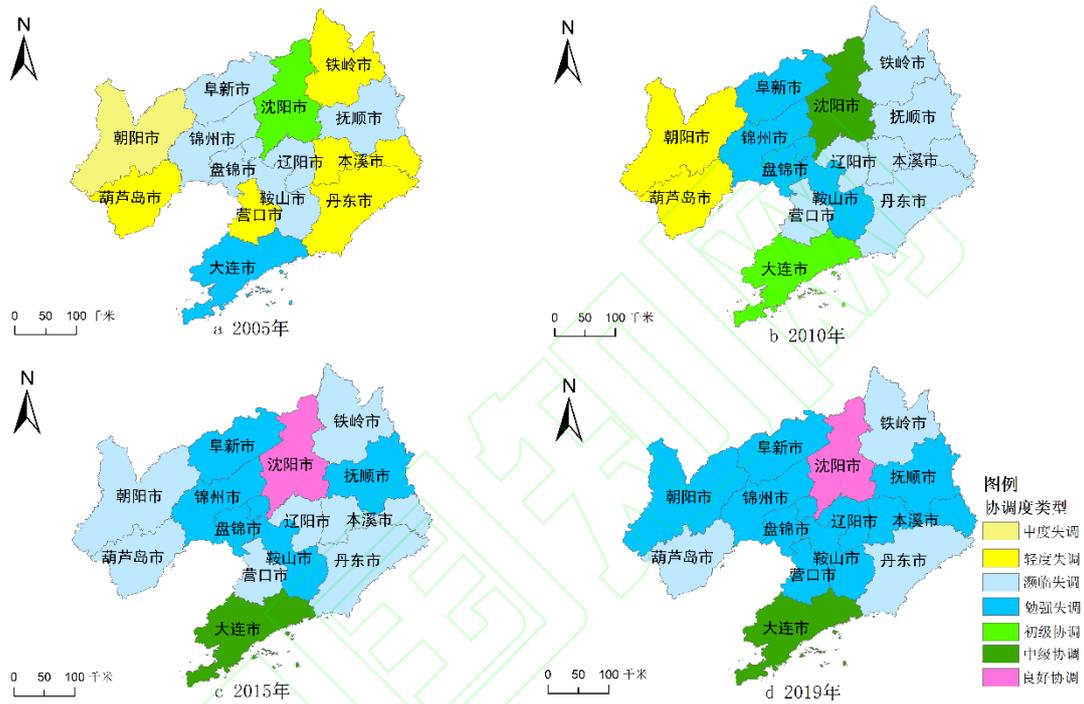


图 7 辽宁省城镇化与生态环境质量耦合协调度时空分异

Fig.7 Spatial-temporal pattern change of coupling coordination degree between urbanization and eco-environmental quality in Liaoning Province

从表 5 可以看出, 2005—2019 年除个别城市外, 大部分城市的耦合度和耦合协调度呈增长趋势, 这与全省态势一致。虽然城镇化与生态环境耦合协调度整体向好, 然而在空间演化上, 城市之间仍存在比较明显的差异。根据图 7 并结合表 5 可以看出, 2005—2010 年, 中、东部城市耦合协调度上升明显, 其中阜新、锦州、盘锦、鞍山等城市由濒临失调发展为勉强失调, 铁岭、本溪、丹东等城市由轻度失调改善为濒临失调, 这些城市城镇化指数和生态环境质量指数明显增高; 2010—2015 年, 西南部朝阳市、葫芦岛市耦合协调度升高 (0.353~0.428), 由轻度失调提升为濒临失调, 2015 年沈阳市改善为全省唯一良好协调的城市, 得益于“十二五”期间沈阳市深入落实东北老工业基地振兴和沈阳经济区新型工业化综合配套改革试验区国家战略^[28], 城镇化经济快速发展的同时更注重生态环境质量和环境保护; 2015—2019 年耦合协调度变化不大, 仅有朝阳、辽阳、本溪 3 座城市由濒临失调上升为勉强失调, 逐步形成以沈阳市为大核心、大连市为小核心区域聚集发展格局, 耦合协调度类型以濒临失调和勉强失调为主, 尚没有优质协调。

4.3 耦合协调度影响因子

选取 2005 年和 2019 年 2 个起始时间点, 基于 ArcGIS 软件将城镇化子系统和生态环境质量子系统内的各项指标数据用自然断点法进行分类排序, 将分组后的结果代入地理探测器模型公式, 计算影响因子探测力值, 进行耦合协调度影响因子分析, 结果见表 6。

表 6 2005 年和 2019 年耦合协调度影响因子探测结果

Table 6 Summary of coupling coordination degree driving factor detection results in 2005 and 2019

系统层	子系统层	因子探测力 (q)		指标层	因子探测力 (q)	
		2005 年	2019 年		2005 年	2019 年
城镇化系 统	城镇人口	1.747	0.774	城市人口占总人口比例	0.490	0.352
				城市人口密度	0.588	0.217
				第三产业从业人员比例	0.669	0.205
	城镇空间	1.808	1.507	建成区面积	0.680	0.948
				人均城市道路面积	0.815	0.178
				城市建设用地占市区面积比例	0.313	0.381
	城镇经济	1.987	2.629	人均 GDP	0.603	0.773
				城镇居民人均可支配收入	0.654	0.916
				全社会固定资产投资	0.730	0.940
	城镇社会	2.226	2.567	每千人医疗机构床位数	0.761	0.678
参加基本养老保险人数				0.724	0.944	
每万人在校大学生数				0.741	0.945	
建成区绿化覆盖率				0.365	0.109	
生态环境 质量系统	环境现状	1.487	0.376	人均农作物播种面积	0.161	0.055
				人均公园绿地面积	0.660	0.071
				人均日生活用水量	0.301	0.141
				人均工业固体废物产生量	0.315	0.175
	环境压力	1.319	0.777	人均工业废水排放量	0.196	0.169
				人均工业二氧化硫排放量	0.438	0.251
				人均工业烟粉尘排放量	0.370	0.182
				生活垃圾清运量	0.780	0.940
	环境治理	2.299	3.096	生活垃圾无害化处理率	0.553	0.912
				工业固体废物综合利用率	0.290	0.315
城市污水日处理能力				0.676	0.929	

因子的探测力越大, 该因子对耦合协调度的影响越大。从表 6 可见, 城镇化系统中对耦合协调度影响力较大的指标相较于生态环境系统较多, 两系统协调发展城镇化起到主导作用。2005 年, 子系统层对耦合协调度影响力为环境治理 (2.299) > 城镇社会 (2.226) > 城镇经济 (1.987) > 城镇空间 (1.808) > 城镇人口 (1.747) > 环境现状 (1.487) > 环境压力 (1.319); 2019 年, 子系统层对耦合协调度影响力为环境治理 (3.096) > 城镇经济 (2.629) > 城镇社会 (2.567) > 城镇空间 (1.507) > 环境压力 (0.777) > 城镇人口 (0.774) > 环境现状 (0.376)。2005—2019 年, 子系统层因子探测力上升最大的为环境治理, 增加了 0.797, 下降最大的是环境现状, 减少了 1.111。2 个年度中, 环境治理、城镇经济和城镇社会影响力度都较大, 并且子系统所对应的指标层因子探测力都较高, 在 0.5 以上, 这在一定程度上说明对生态环境保护政策和治理手段、城镇经济快速健康发展和人民生活水平、社会服务质量的提高是不同时期影响城镇化与生态环境质量耦合协调度的共性因子, 也是未来城镇与生态和谐发展更需坚持注重的地方。

具体到指标层, 2005—2019 年城镇化系统中, 城市人口密度、第三产业从业人员比例和人均城市道路面积因子探测力下降较多, 人均城市道路面积下降最多, 达 0.637, 影响力减弱明显; 而建成区面积、人均 GDP、城镇居民人均可支配收入、全社会固定资产投资、参加基本养老保险人数和每万人在校大学生数的因子探测力显著增加, 影响力增强。说明城镇化发展后期影响城镇化与生态环境质量耦合协调度因子已经从基础的人口要素结构转变为高层次的经济和社会服务方面。在生态环境系统中, 人均公园绿地面积的因子探测力下降最多, 达 0.589, 建成区绿化覆盖率减少次之, 达 0.256, 2 个因子影响力减弱明显; 而生活垃圾清运量、生活垃圾无害化处理率和城市污水日处理能力的因子探测力都较高, 且 2019 年较 2005 年均均在升高。说明在生态环境发展后期, 对于耦合协调度的影响因子已经从简单的基础生态现状要素转变

为环境主动治理和保护方面。

5 结论与建议

5.1 结论

(1) 2005—2019年,辽宁省城镇化指数和生态环境质量指数均表现出增长趋势,但仍存在比较明显的时空差异。城镇化发展表现出城市空间和社会城镇化呈稳定增长,人口城镇化进程较慢,经济城镇化波动性较大的整体特征,并且在空间上形成沈阳市和大连市城镇化水平明显高于其他地区的“双核心”分布特征;虽然生态环境质量指数整体呈改善趋势,但其指数整体不高,在空间分异上亦表现出以沈阳市为高值中心,大连市次之,其他区域逐次缓慢改善的空间特征。

(2) 辽宁省城镇化水平与生态环境质量表现出持续向好的耦合协调关系,然而在空间演化上,城市之间仍存在比较明显的差异,多数城市耦合协调度水平不高,呈现沈阳市—大连市连线高值核心区域,东西部低的格局。2005—2019年,城镇化与生态环境质量耦合度呈匀速下降—缓慢上升—平稳发展态势,耦合度子类型基本处于耦合阶段;耦合协调度整体保持快速上升趋势,耦合协调度类型从失调状态改善到初步协调,2013—2016年保持在中级、良好协调,2016年后改善为优质协调。在空间上逐步形成以沈阳市为大核心,大连市为小核心区域聚集发展格局,耦合协调度类型以濒临失调和勉强失调为主。

(3) 根据地理探测器影响因子模型计算结果,环境治理、城镇经济和城镇社会子系统所涉及的影响因子指标对不同时期耦合协调度贡献较大,因子探测力均在0.5以上,是影响耦合协调度的主要因子。具体来看,因子探测力值较高的主要有建成区面积、城镇居民人均可支配收入、全社会固定资产投资、参加基本养老保险人数、每万人在校大学生人数,以及生活垃圾清运量和城市污水日处理能力等,需要在城镇化经济发展、社会基础服务和城市生活环境治理方面继续加强重视。

5.2 建议

(1) 针对辽宁省各地区之间差异明显情况,实施区域协调发展战略,以省会城市和大连沿海城市连线地区为辐射带、动力带,引导周边城市发展,加快西北部内陆城市经济发展,缩小地区间差异,把内陆资源优势与沿海交通运输优势结合起来,进一步促进全省城镇化进程与生态环境协调发展。

(2) 今后发展中政府应继续加大环境保护力度,加强环境监管,加强生活垃圾和污水等治理,完善环境保护法律法规和政策。同时辽宁省作为东北老工业基地,有着良好的工业基础,今后发展中,一方面要注重老工业基地的振兴,更要注重工业生产效率和质量的提高,限制负面企业发展,对高污染、高耗能企业实施严格管理措施,提倡低成本、高效率的发展措施。政府加大科技力量和资金投入,对企业进行升级改造,引导企业向绿色、环保节能的产业方向转变,减少工业废气排放,实现依托环境资源消耗的粗放发展类型向以技术效率驱动的节约集约型经济转变。

(3) 城镇化快速发展的同时对生态用地的侵蚀不容小觑,城市建设用地的的发展,要先从自身用地效率考虑,不断优化产业结构和布局、城市功能区,合理开发城市建设用地,对于城市内的低效用地进行二次开发,实行低效再利用措施,提高用地效率。省内不同地区加强合作,结合自身优势条件,统筹山水林田湖草一体化发展,走智慧、绿色、协调的城镇化道路。

参考文献

- [1] 陈锡才,彭燕梅,王学良,等.长江经济带人口与土地城市化协调度的空间特征与形成机理[J].水土保持研究,2021(5):375-379. CHEN X C,PENG Y M,WANG X L,et al.Spatial feature and its formation mechanism of the population and land urbanization coordination degree in the Yangtze River economic belt[J].Research of Soil and Water Conservation,2021(5):375-379.
- [2] 向春玲.中国特色城镇化道路的探索与选择[J].江苏行政学院学报,2004(6):61-66. XIANG C L.Exploration and Choice of the Path for Urbanization with Chinese Characteristics[J].The Journal of Jiangsu Administration Institute,2004(6):61-66.
- [3] 项继权.城镇化的“中国问题”及其解决之道[J].华中师范大学学报(人文社会科学版),2011,50(1):1-8.
- [4] 张元庆.城镇化、农民工内生性市民化与制度激励[J].财经科学,2016(1):121-132. ZHANG Y Q.Urbanization,migrant workers' endogenous urbanization and institutional incentives[J].Finance & Economics,2016(1):121-132.
- [5] 徐成龙,庄贵阳.新型城镇化下城镇可持续发展的内涵解析与差异化特征探讨[J].生态经济,2021,37(1):77-82. XU C L,ZHUANG G Y.Exploration on the connotation and differentiation of urban sustainable development under new-type urbanization[J].Ecological Economy,2021,37(1):77-82.
- [6] GROSSMAN G M,KRUEGER A B.Economic growth and the environment[J].The Quarterly Journal of Economics,1995,110(2):353-377.
- [7] 刘艳艳,王少剑.珠三角地区城市化与生态环境的交互胁迫关系及耦合协调度[J].人文地理,2015,30(3):64-71.

- LIU Y Y,WANG S J.Coupling coordinative degree and interactive coercing relationship between urbanization and eco-environment in Pearl River Delta[J].*Human Geography*,2015,30(3):64-71.
- [8] 聂艳,雷文华,周勇,等.区域城市化与生态环境耦合时空变异特征:以湖北省为例[J].*中国土地科学*,2008,22(11):56-62.
- NIE Y,LEI W H,ZHOU Y,et al.Research on spatio-temporal variation characteristic of regional urbanization and eco-environment coupling:a case of Hubei Province[J].*China Land Science*,2008,22(11):56-62.
- [9] 黄莘绒,管卫华,陈明星,等.长三角城市群城镇化与生态环境质量优化研究[J].*地理科学*,2021,41(1):64-73.
- HUANG X R,GUAN W H,CHEN M X,et al.Urbanization and optimization of the Yangtze River Delta urban agglomeration[J].*Scientia Geographica Sinica*,2021,41(1):64-73.
- [10] 黄冬梅,刘小玉,郑庆昌,等.多中心格局对城镇化与生态环境耦合协调发展的影响研究:以福建省两大都市区为例[J].*生态学报*,2020,40(21):7886-7896.
- HUANG D M,LIU X Y,ZHENG Q C,et al.Effects of polycentric mode on the coupling and coordinated development between urbanization and ecological environment:a case study of two metropolitan areas in Fujian Province[J].*Acta Ecologica Sinica*,2020,40(21):7886-7896.
- [11] 宋学锋,刘耀彬.城市化与生态环境的耦合度模型及其应用[J].*科技导报*,2005,23(5):31-33.
- Song X F,Liu Y B.Coupling degree model of urbanization and ecological environment and its application[J].*Science & Technology Review*,2005,23(5):31-33.
- [12] 刘耀彬,宋学锋.区域城市化与生态环境耦合性分析:以江苏省为例[J].*中国矿业大学学报*,2006,35(2):182-187.
- LIU Y B,SONG X F.Study of coupling characteristics between regional urbanization and eco-environment:taking Jiangsu Province a case[J].*Journal of China University of Mining & Technology*,2006,35(2):182-187.
- [13] 杨亮洁,张小鸿,潘竟虎,等.成渝城市群城镇化与生态环境耦合协调及交互影响[J].*应用生态学报*,2021,32(3):993-1004.
- YANG L J,ZHANG X H,PAN J H,et al.Coupling coordination and interaction between urbanization and eco-environment in Cheng-Yu urban agglomeration,China[J].*Chinese Journal of Applied Ecology*,2021,32(3):993-1004.
- [14] 马艳.长江经济带城镇化与生态环境耦合协调效应测度与交互胁迫关系验证[J].*长江流域资源与环境*,2020,29(2):275-286.
- Ma Y.Examining the coupling degree and interactive stress between urbanization and eco-environment in Yangtze River economic belt[J].*Resources and Environment in the Yangtze Basin*,2020,29(2):275-286.
- [15] 纪学朋,黄贤金,陈逸,等.基于陆海统筹视角的国土空间开发建设适宜性评价:以辽宁省为例[J].*自然资源学报*,2019,34(3):451-463.
- JI X P,HUANG X J,CHEN Y,et al.Comprehensive suitability evaluation of spatial development and construction land in the perspective of land-ocean co-ordination:a case study of Liaoning Province,China[J].*Journal of Natural Resources*,2019,34(3):451-463.
- [16] 胡祥福,余陈焱,蒋正云,等.江西省新型城镇化与生态环境耦合协调度及空间分异研究[J].*生态经济*,2020,36(4):75-81.
- HU X F,YU C Y,JIANG Z Y,et al.Research on the coordination degree and spatial differentiation of new urbanization and ecological environment in Jiangxi Province[J].*Ecological Economy*,2020,36(4):75-81.
- [17] 徐素波.黑龙江省城市化与生态环境耦合协调发展研究[J].*林业经济*,2019,41(7):94-100.
- XU S B.A study on the coupling coordination relationship between urbanization and eco-environment in Heilongjiang Province[J].*Forestry Economics*,2019,41(7):94-100.
- [18] 孙徐阳,李卫明,粟一帆,等.香溪河流域水生生态系统健康评价[J].*环境科学研究*,2021,34(3):599-606.
- SUN X Y,LI W M,SU Y F,et al.Health assessment of aquatic ecosystem in Xiangxi River Basin,China[J].*Research of Environmental Sciences*,2021,34(3):599-606.
- [19] 孙黄平,黄震方,徐冬冬,等.泛长三角城市群城镇化与生态环境耦合的空间特征与驱动机制[J].*经济地理*,2017,37(2):163-170.
- SUN H P,HUANG Z F,XU D D,et al.The spatial characteristics and drive mechanism of coupling relationship between urbanization and eco-environment in the Pan Yangtze River Delta[J].*Economic Geography*,2017,37(2):163-170.
- [20] 贾振宇,王世曦,刘学,等.辽河保护区土壤保持功能时空变化及其影响因素分析[J].*环境工程技术学报*,2021,11(4):686-692.
- JIA Z Y,WANG S X,LIU X,et al.Spatial and temporal variation of soil conservation function and its influencing factors in Liaohu Conservation Area[J].*Journal of Environmental Engineering Technology*,2021,11(4):686-692.
- [21] 赵建吉,刘岩,朱亚坤,等.黄河流域新型城镇化与生态环境耦合的时空格局及影响因素[J].*资源科学*,2020,42(1):159-171.
- ZHAO J J,LIU Y,ZHU Y K,et al.Spatiotemporal differentiation and influencing factors of the coupling and coordinated development of new urbanization and ecological environment in the Yellow River Basin[J].*Resources Science*,2020,42(1):159-171.
- [22] 吉婷婷,王细元.江淮生态大走廊城市化与生态环境耦合特征及其影响因素研究[J].*水资源与水工程学报*,2019,30(2):107-113.
- JI T T,WANG X Y.Coupling interaction and its factors between urbanization and eco-environment in ecological corridor of Yangtze-Huai River[J].*Journal of Water Resources and Water Engineering*,2019,30(2):107-113.
- [23] 韩燕,张玉婷.甘肃省城镇化与生态环境耦合协调度[J].*水土保持研究*,2021,28(3):256-263.
- HAN Y,ZHANG Y T.Coupling and coordination development between urbanization and eco-environment in Gansu Province[J].*Research of Soil and Water Conservation*,2021,28(3):256-263.
- [24] 刘海军,崔东,闫俊杰,等.伊宁市城市化与生态环境耦合协调性评价与分析[J].*环境科学与技术*,2019,42(3):230-236.
- LIU H J,CUI D,YAN J J,et al.Evaluation and analysis of coupling and coordination between urbanization and ecological environment in Yining[J].*Environmental Science & Technology*,2019,42(3):230-236.
- [25] 刘春雨,刘英英,丁饶干.福建省新型城镇化与生态环境的耦合分析[J].*应用生态学报*,2018,29(9):3043-3050.
- LIU C Y,LIU Y Y,DING R G.Coupling analysis between new-type urbanization and ecological environment in Fujian Province,China[J].*Chinese Journal of Applied Ecology*,2018,29(9):3043-3050.
- [26] 李晓庆,姜博,米媛,等.黑龙江省资源型城市城镇化质量与生态环境承载力耦合分析[J].*江苏农业科学*,2018,46(8):259-263.
- LI X Q,JIANG B,MI Y A,et al.Coupling analysis between quality of urbanization and carrying capacity of eco-environment in Heilongjiang Province [J].*Jiangsu Agricultural Sciences*,2018,46(8):259-263.
- [27] 曹秉帅,单楠,顾羊,等.呼伦湖流域生态安全评价及时空分布格局变化趋势研究[J].*环境科学研究*,2021,34(4):801-811.
- CAO B S,SHAN N,GU Y Y,et al Evaluation of ecological security in Hulun Lake watershed and its spatio-temporal distribution

trend[J].Research of Environmental Sciences,2021,34(4):801-811.

[28] 郝明家,赵玉强,薛冰,等.沈阳市“十二五”环境保护研究[J].环境保护科学,2011,37(1):49-52.

HAO M J,ZHAO Y Q,XUE B, et al. Study on environment protection during the 12th five-year plan period in Shenyang[J].Environmental Protection Science,2011,37(1):49-52.

