长江经济带城镇化与生态环境的耦合协调及时空格局研究

王宾[a] 于法稳[a，b1]

（中国社会科学院 a.农村发展研究所；

b.生态环境经济研究中心，北京 100732）

【摘 要】：文章构建城镇化与生态环境协调发展评价指标体系，基于熵权耦合协调模型，对长江经济带城镇化与生态环境之间的协调程度进行系统研究。研究结果表明：在时间维度上，长江经济带城镇化与生态环境之间的协调性呈现稳步提升态势，但是增长幅度不大，且协调性差，整体处在初级耦合协调区间；在空间维度上，长江经济带城镇化与生态环境之间的协调性由东至西逐渐衰减，且省际差距有增加趋势，东部省（市）为良好耦合协调，中部多数省（市）为初级或中级耦合协调，部分西部地区（贵州省和云南省）处于濒临失调衰退区间；2005 年以来，长江经济带城镇化发展滞后于生态环境综合发展水平，2016 年除上海、江苏、浙江属于生态环境滞后型外，其余省（市）均为城镇化滞后型。

【关键词】：城镇化 生态环境 长江经济带 耦合协调 时空格局

【中图分类号】：F291.1；F205 **【文献标志码】**：A **【文章编号】**：1007-5097（2019）03-0058-06

一、引言

城镇化是当前我国最大的发展潜力和内需所在，也是“十三五”时期乃至未来实现社会经济平稳健康发展的最大动力。2016 年，我国城镇化率达到 57.35%，根据“诺瑟姆 S 形曲线”规律，已经进入了城镇化发展的平稳加速阶段。但是，长期以来，城镇化的粗放发展对生态环境造成不同程度的破坏，包括对水资源、土地资源、矿产、能源等的大量消耗以及所造成的大气污染、水污染、生物多样性锐减等[1]。城镇化与生态环境之间相互影响的关系逐渐备受关注[2-4]，生态环境对城市发展既有支持作用也有限制作用，生态环境承载力特征影响着城市发展方向和发展特点[5]。

为破解生态环境对城镇化的“硬约束”，早在1989年，EHoward提出“田园城市”理念，试图从理性规划的角度实现城市化与生态环境的协调发展[6]。随后，国内外学者在此理论基础上，对二者之间的协调关系进行了深入探讨。Berry 首次应用生态因子法分析城镇化对生态环境的影响作用及机制[7]；Grossman & Krueger(1991)[8]、Shafik & Bandyopadhyay(1992)[9]等提出了环境库兹涅茨曲线(Environmental Kuznets Curve)，认为伴随城市经济发展，生态环境质量呈现倒“U”型演变规律；Walter(2013)则认为要实现城市化与生态环境的协调发展，关键在于合理使用自身资源、提高资源利用效率[10]。

[1]**作者简介**：王宾(1987-)，男，山东宁阳人，助理研究员，经济学博士，研究方向：区域经济，生态经济理论；于法稳(1969-)，男，山东鄄城人，研究员，博士生导师，管理学博士，研究方向：生态经济理论与方法。

基金项目：国家社会科学基金重点项目(17AZD012)。

国内理论研究普遍认为,城镇化与生态环境协调发展是建立新型城镇化的核心目标[11]。生态环境会伴随城镇化发展而出现先恶化后改善的规律,二者之间存在着交互耦合胁迫机制[12-13]。一方面,城镇化加快必然引起生态环境的变化,由城镇人口扩张、城镇资源锐减等带来的生态环境问题日益突出[14];另一方面,生态环境的变化必然引起城镇化水平的变化[15];城镇化的生态环境效应的研究应从环境学、地理学、生态学的角度出发,探讨城镇化的发展对生态环境造成的影响[16]。实证研究利用耦合协调测度模型[17]、生态环境响应模型[18]、双对数模型[19]、模糊物元模型[20]、PCA 模型[21]、系统动力学模型[22]探讨了城镇化与生态环境之间的协调关系。此外,不同学者通过选取差异化样本,对西北地区[17]、中原经济区[23]、中东部地区[24]、黄河三角洲地区[25]等区域的城镇化与生态环境之间的协调关系做出了研究。

长江经济带作为我国综合实力最强、战略支撑作用最大的区域之一,覆盖上海市、江苏省、浙江省、安徽省、江西省、湖北省、湖南省、重庆市、四川省、云南省、贵州省等 11 省(市),其横跨我国东中西部,与沿海共同构成我国国土开发和经济建设“T”字形宏观格局[26]。2016 年,城镇化率达到 56.91%,按照国际经验,当城镇化率在 50%～65%时,会出现环境承载力被削弱、社会矛盾多发等问题。目前,长江经济带生态环境破坏严重、能源结构水平不高、科技成果转化率偏低等制约着区域的可持续发展能力[27]。基于此,本文以长江经济带为研究区域,构建了城镇化与生态环境协调发展评价指标体系,基于熵权耦合协调模型,从时间维度和空间维度对 2005-2016 年长江经济带城镇化与生态环境协调关系进行研究,以厘清二者之间的内在逻辑和特征,并为国内相关研究提供借鉴与参考。

二、数据来源与研究方法

(一)数据来源及处理

本文研究对象为长江经济带涵盖的 11 个省(市),时间限定在 2005-2016 年,所选取数据依据可获得性、可比较性、易操作性等原则,均来自国家统计局、《中国统计年鉴》及各省(市)相关年份的统计年鉴。

同时,由于量纲不同,需要对原始数据进行标准化处理,处理形式如下:

首先,成本型指标的无量纲化处理:

$$r_i=\begin{cases}1, & x_i \leqslant m_i;\\ (M_i-x_i)/(M_i-m_i), & m_i \leqslant x_i \leqslant M_i;\\ 0, & M_i \leqslant x_i\end{cases} \qquad (1)$$

其次,效益型指标的无量纲化处理:

$$r_i=\begin{cases}1, & x_i \geqslant M_i;\\ (x_i-m_i)/(M_i-m_i), & m_i \leqslant x_i \leqslant M_i;\\ 0, & x_i \leqslant m_i\end{cases} \qquad (2)$$

其中,x_i代表指标值,M_i代表最大值,m_i代表最小值。

(二)研究方法

1.指标体系的构建

构建科学合理的指标评价体系,是探讨长江经济带城镇化与生态环境之间耦合协调关系的基本前提。根据相关研究[14,18,21,28,29],结合长江经济带发展现状及战略定位,构建本研究所用的指标评价体系。该指标体系包含城镇化和生态环境两大子系统,其中,城镇化子系统包含人口城镇化、空间城镇化、经济城镇化和社会城镇化等 4 个准则层 18 个指标;生态环境子系统包含生态环境压力和生态环境保护等 2 个准则层 12 个指标。

2.指标权重的设定

权重的设定是评价客体重要性的衡量标准,主要分主观权重设定和客观权重设定两种形式。其中,主观权重设定包括德尔菲法、专家打分法、层次分析法、环比赋权法、头脑风暴法和加权统计法等,其赋值原理在于通过不同领域专家的主观性评判,与样本数据没有关联;而客观设定权重的方法包括均方差法、离差最大化法、熵权法、主成分分析、因子分析等,该类方法基于指标本身的信息量驱动,避免人为因素带来的偏差,本文采用熵权值法确定指标权重。

具体指标体系及权重设定见表 1 所列。Shannon(1948)[30]指出由于信息和熵是互补的,熵越大,意味着所知道的信息量越少,不确定性越大,提出了熵的概念。其计算步骤为:

表 1 城镇化与生态环境协调发展评价指标体系及权重

系统层	准则层	指标层	权重	备注
城镇化子系统	人口城镇化	城镇人口占比	0.05	效益型指标
		人口自然增长率	0.06	成本型指标
	空间城镇化	人均建成区面积	0.07	效益型指标
		人均城市道路面积	0.03	效益型指标
		城乡收入差距指数	0.04	成本型指标
		城乡消费差距指数	0.07	成本型指标
	经济城镇化	人均 GDP	0.07	效益型指标
		人均固定资产投资总额	0.05	效益型指标
		人均地方财政收入	0.06	效益型指标
		人均 R&D 科研经费投入量	0.08	效益型指标
		第三产业产值比重	0.05	效益型指标
	社会城镇化	城市用水普及率	0.04	效益型指标
		城市燃气普及率	0.04	效益型指标
		城镇基本医疗保险人数比重	0.07	效益型指标
		人均拥有公共图书馆藏量	0.06	效益型指标
		人均教育经费	0.06	效益型指标
		每万人拥有公共交通车辆运营数	0.04	效益型指标
		城镇失业率	0.06	成本型指标
生态环境子系统	生态环境压力	人均工业废水排放量	0.08	成本型指标
		人均工业二氧化硫排放量	0.05	成本型指标
		人均工业固体废弃物产生量	0.11	成本型指标
		单位地区生产总值能耗	0.08	成本型指标
	生态环境保护	人均公园绿地面积	0.06	效益型指标
		人均水资源量	0.07	效益型指标

		森林覆盖率	0.08	效益型指标
		人均耕地面积	0.07	效益型指标
		城市污水日处理能力	0.09	效益型指标
		生活垃圾无害化处理率	0.10	效益型指标
		工业固体废物综合利用率	0.11	效益型指标
		工业污染治理投资占 GDP 比重	0.10	效益型指标

考虑一个具有 n 个可能相互独立结果的 $a_1, a_2, \cdots, a_n$ 概率实验,假设出现这些结果所具有的离散概率为 $p_1, p_2, \cdots, p_n$,它们所满足概率合理性条件公式(3):

$$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1 \text{ 与 } p_i \geqslant 0 \ (i = 1,2,\cdots,n) \qquad (3)$$

则离散型信息熵函数可表示为公式(4):

$$S = -\sum_{i=1}^{n} p_i \ln p_i \qquad (4)$$

利用公式(4)可计算出各因素的熵值,假设存在矩阵(M_{ij}),根据各指标的差异程度具体计算步骤如下:

Step1:计算第 j 项指标 x_{ij} 所在指标中的权重,即 $p_{ij}, p_{ij} = x_{ij} \Big/ \sum_{i=1}^{n} x_{ij}$。

Step2:计算第 j 项指标的熵值,即 $S_j = -k \sum_{i=1}^{n} p_{ij} \ln p_{ij}$。

Step3:计算第 j 项指标的偏差度,即 $d_j = 1 - S_j \ (j = 1,2,\cdots,n)$。

Step4:计算第 j 项指标熵权值,即 $W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j} = \frac{(1 - S_j)}{\sum_{j=1}^{n} (1 - S_j)} \ (j = 1,2,\cdots,n)$。

3.熵权耦合协调模型

所谓“耦合”,最早起源于物理学概念,是指两个或两个以上的电路元件或电网络的输入与输出之间存在紧密配合与相互影响,并通过相互作用从一侧向另一侧传输能量的现象。而耦合度是对模块间关联程度的度量,用来描述系统或者要素之间作用影响程度。耦合协调模型的计算步骤如下:

Step1:计算系统间的耦合度 C。本文涉及城镇化和生态环境两个子系统,二者之间相互作用的耦合度模型 C 可以表示为:$C=[(U,E)/\prod(U+E)]^{1/2}$,其中,U 代表城镇化子系统,E 代表生态环境子系统,耦合度 $C \in [0,1]$。

Step2:计算综合协调指数 T。该指标反映城镇化与生态环境之间的协同效应,$T=\alpha U+\beta E$,并取 $\alpha=\beta=0.5$。Step3

Step3:计算城镇化与生态环境之间的耦合协调度 D。该指标不同于耦合度 C,能够更好避免单纯依靠耦合度判断所引起的误差,消除系统之间的动态性和不平衡性,用以反映两者之间的协调程度,令 $D=(C\times T)^{0.5}$。

耦合协调程度的划分标准见表 2 所列。

表 2 耦合协调程度的划分标准

项目	耦合协调类(可接受)				过渡类(勉强接受)		失调衰退类(不可接受)			
D	0.90-1.00	0.80-0.89	0.70-0.79	0.60-0.69	0.50-0.59	0.40-0.49	0.30-0.39	0.20-0.29	0.10-0.19	0.00-0.09
亚类	优质耦合协调	良好耦合协调	中级耦合协调	初级耦合协调	勉强耦合协调	濒临失调衰退	轻度失调衰退	中度失调衰退	严重失调衰退	极度失调衰退

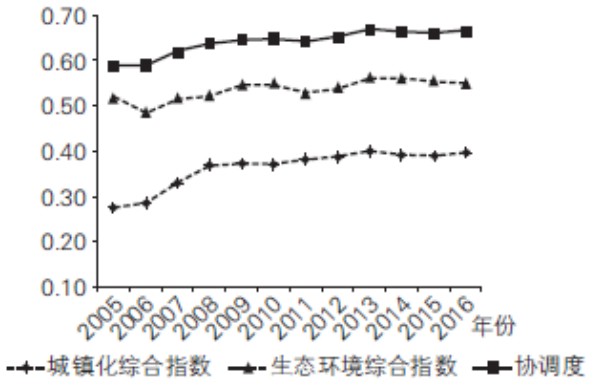
三、研究结果分析

(一)耦合协调度的年际变化

首先,长江经济带城镇化与生态环境的耦合协调性呈现稳步提升态势,但是增长幅度不大,基本处在[0.5892,0.6679]区间(见图 1 左)。其中,2005 年和 2006 年为勉强耦合协调,分别是 0.5892 和 0.5896;2007 年之后处于初级耦合协调;2016 年,城镇化与生态环境系统之间的耦合协调程度为 0.6659,长江经济带城镇化与生态环境之间的耦合协调程度低。

其次,长江经济带城镇化综合指数始终低于生态环境综合指数,属于城镇化滞后型。城镇化速度低,质量不高。主要由于长江经济带覆盖的 11 个省份中,多数地处中西部地区,城镇化进程较慢,而人口城镇化成为制约城镇化发展的瓶颈(见图 1 右),甚至出现递减趋势;经济城镇化虽然有所提升,但仍不能满足城市发展需要,城市基础设施建设力度不够,城市治理水平不高等,导致长江经济带城镇化水平偏低。虽然长江经济带生态资源较为丰富,具有比较优势。但是,城镇化发展没能够很好地兼顾生态环境承载能力,对生态环境的利用率不高,且较为粗放;在生态环境子系统中,生态环境压力呈递减趋势,而生态环境保护呈增长趋势,表明各省(市)的生态环境保护意识逐年提升,资源环境保护能力不断增强。

最后,长江经济带城镇化与生态环境综合指数之间的差距有缩小趋势,且城镇化增速高于生态环境子系统。图 1 左图可知,城镇化子系统和生态环境子系统之间的差距平均为-0.1722,处于轻微不协调状态,仍然在磨合阶段。长江经济带的提出,显然有效提升了城镇化发展,也在很大程度上提高了两个子系统之间的协调性。



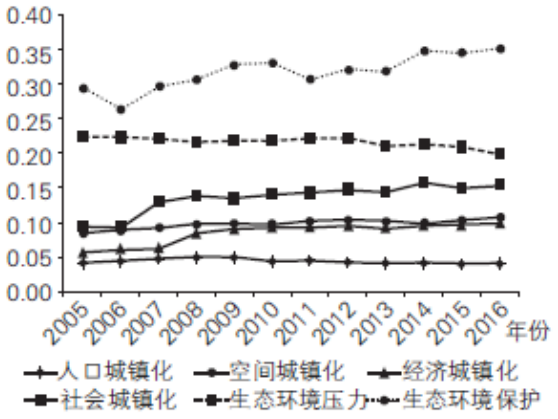


图 1 长江经济带城镇化与生态环境耦合协调度及各子系统指数

(二)耦合协调度的空间差异

1.2005-2016 年长江经济带城镇化与生态环境协调度空间格局演变

首先,长江经济带城镇化与生态环境协调性具有明显的地区差异。在时间维度,本文选取“十一五”“十二五”“十三五”规划的第一年为例,2006 年,有 3 个省(市)(上海、江苏、浙江)为中级耦合协调,2 个省(湖北、湖南)为初级耦合协调,1 个省(云南)为濒临失调衰退,1 个省(贵州)为轻度失调衰退,其余为勉强耦合协调。2011 年,城镇化与生态环境协调度性有所提升,处于可接受区间的省(市)数量也有所增加。除贵州省和云南省处于濒临失调衰退之外,上海市为中级耦合协调,江苏省、浙江省均达到了良好耦合协调,四川省为勉强耦合协调,其余省(市)为初级耦合协调。2016 年,贵州省和云南省依旧不变,而江西省降为勉强耦合协调区间,3 省(市)(安徽、湖南、四川)为初级耦合协调、3 省(市)(上海、湖北、重庆)为中级耦合协调、2 省(市)(江苏、浙江)为良好耦合协调,该年度处于耦合协调类的省(市)共 8 个,占长江经济带的 72.73%。其中,中级耦合及良好耦合协调省(市)共 5 个,比 2006 年增加了 2 个,表明长江经济带城镇化与生态环境耦合协调性正在逐渐优化,并不断提升(见图 2)。

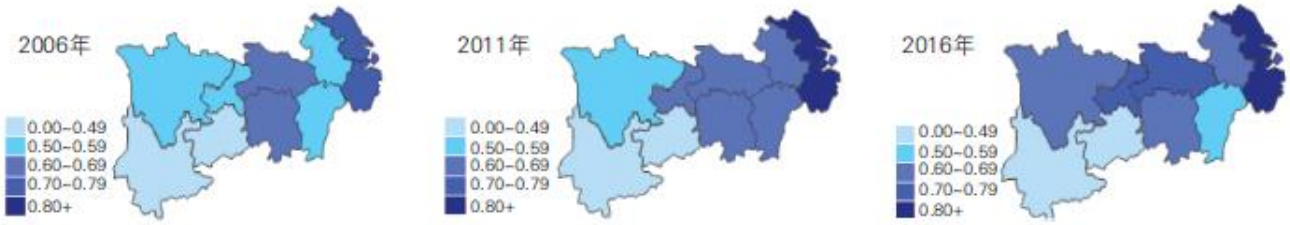


图 2 长江经济带城镇化与生态环境系统协调度空间格局演变

其次,在空间维度,长江经济带城镇化与生态环境协调性由东至西逐渐递减。无论是 2006 年、2011 年,还是 2016 年,东部沿海省(市)子系统之间的协调程性要高于中部、西部地区,其主要原因在于中西部地区城镇化滞后,拉低了城镇化与生态环境系统之间的协调。

2.2016 年长江经济带城镇化与生态环境协调度的省际差异

首先,对 2016 年长江经济带城镇化子系统与生态环境子系统得分进行排名,以横坐标代表城镇化综合指数,纵坐标代表生态环境综合指数,划分为四个象限(见图 3)。象限Ⅰ表示城镇化与生态环境处于较好的区间,以江苏省和浙江省为主要代表,二者协调程度较高;象限Ⅱ的省(市)应关注生态环境的保护和自然资源的高效利用,走生态城镇化道路,以湖北省为代表;象限Ⅲ表示城镇化和生态环境排名均较靠后,应在改善和保护生态环境前提下,转变城镇化粗放发展方式,同步提升城镇化和生态环境子系统,走集约发展之路,以贵州省、云南省为代表;象限Ⅳ表明城镇化质量有待进一步提升,应该更好地利用生态环境,发展循环经济,走低污染发展之路。

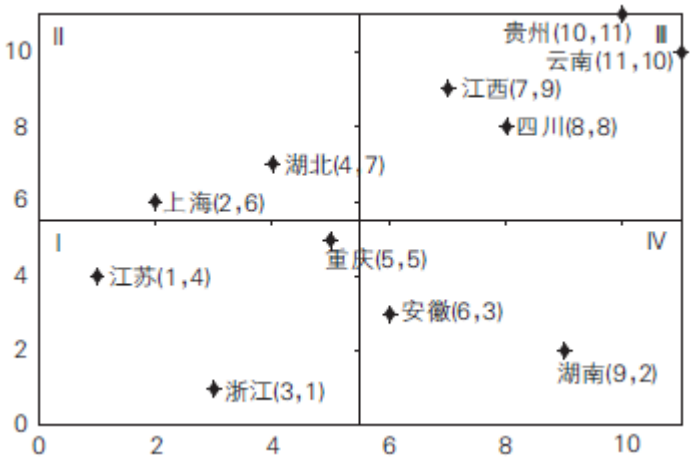


图 3 长江经济带城镇化与生态环境排名象限划分

其次,2016 年,长江经济带城镇化和生态环境协调程度也表现出明显的由东至西衰减趋势。江苏省、浙江省和上海市位于第一梯队,二者协调程度高。主要在于城镇化起步早,且均已经达到城镇化发展的平稳加速阶段,同时,又特别注重对生态环境的保护和利用。单从人口城镇化角度来看,上海市城镇化率已经达到 87.89%,加之社会经济的快速发展,城镇化质量也相对较高,城市基础设施建设和基本公共服务水平优于中西部省(市)。而贵州省和云南省而言,2016 年,城镇化与生态环境协调度处于濒临失调区,主要在于其城镇化严重滞后。图 4 右图显示,贵州省和云南省的人口城镇化、经济城镇化和社会城镇化发展水平要远低于其他省(市)。根据《中国农村扶贫开发纲要(2011-2020 年)》划定的 11 个集中连片特殊困难地区来看,云南省有 82 个县分布在乌蒙山区、滇桂黔石漠化区和滇西边境山区;而贵州省则有 65 个县分布在武陵山区、乌蒙山区和滇桂黔石漠化区;加上云南省在国家明确实施特殊扶持政策的四省藏区的 3 个县,两省合计 141 个县,占全国 680 个贫困县总数的 20.74%,也在很大程度上制约了贵州省和云南省城镇化水平和质量的提高。

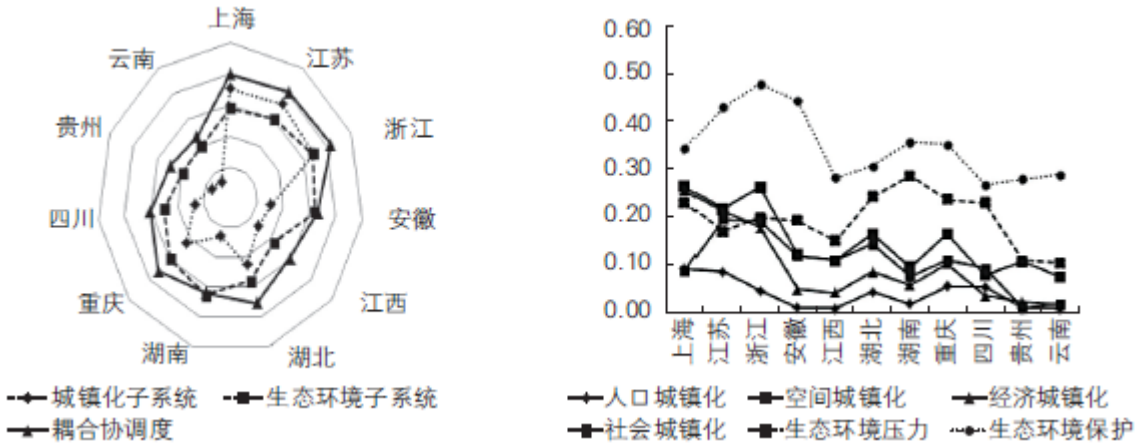


图 4 长江经济带城镇化与生态环境的耦合协调度及各子系统指数

四、结论与政策建议

本研究采用了熵权耦合协调模型,利用 2005-2016 年长江经济带面板数据,从时间和空间两个维度探讨了城镇化与生态环境

之间的耦合协调关系和时空格局演变,从而得出以下结论:

首先,长江经济带城镇化与生态环境耦合协调性差,处在初级耦合协调区间。虽然 2005 年以来,二者之间的协调程度稳步提升,但仍较低,制约了社会经济健康发展。同时,长江经济带城镇化与生态环境之间的协调性表现出由东至西衰减态势,西部省(市)无论是城镇化水平,还是协调性均明显落后于东部沿海地区,且省际差距有增加趋势。

其次,长江经济带城镇化发展落后于生态环境保护,属于城镇化滞后型。如湖北省、安徽省、贵州省等省(市),今后应依据各地资源环境承载能力吸纳人口到城市中来,加快推进人口、空间、经济和社会城镇化进程,全面提升城镇化质量。通过对建成区进行科学规划,合理扩容,提高户籍人口比重;在产业选择上,应借助生态环境的优势,做大做强优势产业,发展循环经济,坚定不移走绿色低碳可持续发展之路;在社会发展上,应进一步完善城市基础设施建设,加快推进医疗和教育等公共服务水平。以乡村振兴战略引领城乡一体化发展,加快构建城乡融合发展体制机制。而针对上海市、江苏省和浙江省的生态环境滞后型省(市),今后应该注重提升城镇化质量,更加关注生态环境的高效利用,加大环境治理力度,完善水环境、大气环境、土壤环境等保护制度,严格控制三废排放量,减少石化能源的消费,注重创新驱动,降低单位生产总值能耗,加快治理城市面源污染,并进一步提升环境监测、监管和执法能力,注重绿色发展,降低生态系统负荷,以环境保护倒逼引导产业转型升级,实现新旧动能转换。

最后,长江经济带城镇化与生态环境综合发展水平之间的差距正逐渐缩小。各省(市)应紧抓发展时机,将修复长江生态环境摆在压倒性位置,共抓大保护,不搞大开发,强化对生态环境的保护意识和加大对资源环境的利用效率。不仅发挥长江流域的生态服务价值,更加强调长江经济带的联动发展。同时,转变以往单纯重视规模扩张和人口数量集聚的粗放城镇化发展模式,坚持以产业带动为动力,以生态环境保护为前提,以实现社会、经济、资源与环境协调发展为最终目的的内涵式城镇化发展。

参考文献:

[1]任梅,程钰,任建兰.山东省城市化与生态环境非协调耦合关系判别及空间类型研究[J].世界地理研究,2016,25(5):58-68.

[2]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[J].地理科学,2013,33(12):1450-1457.

[3]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[J].经济地理,2006,5(3):456-462.

[4]张文婷,温宗国.资源环境约束下中国新型城镇化发展模式研究[J].中国人口·资源与环境,2016,26(5):385-388.

[5]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[J].地理学报,2016,71(5):817-828.

[6]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[J].中国软科学,2010(2):78-87.

[7]刘耀彬,李仁东,宋予峰.城市化与城市生态环境关系研究综述与评价[J].中国人口·资源与环境,2005,15(3):55-56.

[8]GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Environmental impact of a North American Free Trade Agreement[R].The National Bureau of Economic Research, Cambridge, 1991.

[9]SHAFIK N, BANDYOPADHYAY S. Economic Growth and Environmental Quality:Time Series and Gross-country Evidence[R]. Washington, DC:The World Band, 1992.

[10]WALTER A R. Environmental Politics and Policy[M].Washington, DC:Congressional Quarterly Inc, 2013.

[11]徐崇正,焦未然.找准新型城镇化与生态环境保护的平衡点[J].改革与战略,2013,29(12):100-104.

[12]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[J].地理研究,2003,22(2):211-220.

[13]ASTARAIE-IMAMI M, KAPELAN Z, FU G, et al. Assessing the combined effects of urbanization and climate change on the river water quality in an integrated urban wastewater system in the UK[J]. Journal of Environmental Management, 2012, 112 (24) :1-9.

[14]崔木花.中原城市群9市城镇化与生态环境耦合协调关系[J].经济地理,2015,35(7):72-78.

[15]方创琳,杨玉梅.城市化与生态环境交互耦合系统的基本定理[J].干旱区地理,2006,29(1):1-8.

[16]刘超,林晓乐.城镇化与生态环境交互协调行为研究——以黄河三角洲为例[J].华东经济管理,2015,29(7):49-58.

[17]高新才,杨芳.西北地区城镇化与生态环境耦合协调度测度[J].城市问题,2016(12):26-33.

[18]郭庆宾,刘静,王涛.武汉城市圈城镇化生态环境相应的时空演变研究[J].中国人口·资源与环境,2016,26(2):137-143.

[19]RORK R, ROSA E. IPAT and impact:analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J].Ecological Economics, 2003, 46 (3) :351-365.

[20]郭月婷,徐建刚.基于模糊物元的淮河流域城市化与生态环境系统的耦合协调测度[J].应用生态学报,2013,24(5):1244-1252.

[21]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[J].干旱区资源与环境,2015,29(7):12-17.

[22]ODUM H T, ODUM E C. Modeling for all Scales:an Introduction to System Simulation[J]. Quarterly Review of Biology, 2000 (6) :2212-2222.

[23]李波,张吉献.中原经济区城镇化与生态环境耦合发展时空差异研究[J].地域研究与开发,2015,34(3):143-147.

[24]冯霞,刘新平.中东部城镇化与生态环境压力耦合演变对比分析——以豫苏两省为例[J].江西社会科学,2017(1):80-87.

[25]苏昕,段升森,张淑敏.黄河三角洲地区城镇化与生态环境协调发展关系实证研究[J].东岳论丛,2014,35(10):127-131.

[26]武晓静,杜德斌,肖刚,等.长江经济带城市创新能力差异的时空格局演变[J].长江流域资源与环境,2017,26(4):490-499.

[27]王维.长江经济带“4E”协调发展时空格局研究[J].地理科学,2017,37(9):1-9.

[28]李晓庆,姜博,初楠臣.城市群土地集约利用与新型城镇化耦合协调分析——以我国三大城市群为例[J].长江流域资源与环境,2017,26(7):983-991.

[29]王宾,杨琛,李群.基于熵权扰动属性模型的新型城镇化质量研究[J].系统工程理论与实践,2017,37(12):3137-3145.

[30]SHANNON C E. The mathematical theory of communication, ⅠandⅡ[J]. Bell System Technical Journal, 1948, 27 (3) :379-423.