

DOI: 10.5846/stxb202107051790

张旖琳, 吴相利. 国家重点生态功能区城市与毗邻非生态功能区城市绿色发展水平测度与时空差异. 生态学报, 2022, 42(14): 5761-5777.

Zhang Y L, Wu X L. Urban green development level and spatio-temporal difference of cities in the National Key Ecological Function Zones and adjacent non-ecological function zones. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(14): 5761-5777.

# 国家重点生态功能区城市与毗邻非生态功能区城市绿色发展水平测度与时空差异

张旖琳, 吴相利\*

哈尔滨师范大学地理科学学院, 哈尔滨 150025

**摘要:**以黑龙江省为主体的中国北方森林湿地生态功能区及毗邻地区作为实证研究区域,从绿色生产、绿色生活、绿色生态三个维度构建绿色发展水平测度指标体系,运用熵权-TOPSIS 评价法、障碍度模型、趋势移动平均模型等方法,对 2009—2018 年期间长白山森林生态功能区、三江平原湿地生态功能区、大小兴安岭森林生态功能区及毗邻的非生态功能对照区绿色发展水平进行了动态测度和时空差异比较,评估了绿色转型发展速度、识别并分析了障碍因素作用,预测了绿色发展趋势水平。主要结论如下:①区域自然生态本底优质,但各功能区绿色发展水平相对较低,绿色指数均低于 0.6;十年间各功能区绿色发展水平呈小幅上升趋势。城市间绿色发展整体水平的最大差距徘徊在 0.16—0.17 之间,呈微弱缩小态势。②从 3 个时间节点各功能区整体绿色发展空间格局上看,长白山森林生态功能区处于较高水平,三江平原湿地生态功能区水平偏低。大小兴安岭森林生态功能区绿色发展水平上升幅度较大,毗邻对照区则较小。高水平类型城市数量有所增加,由 1 个增加至 3 个,低水平地区数量下降,由 4 个下降至 2 个,并呈向高水平转变的趋势。③区域绿色转型效果总体不显著,转型速度缓慢未呈现显著的加速转型发展的态势。④相较绿色生态而言,绿色生活和绿色生产两个指标对城市绿色发展水平阻碍强度较大。⑤未来 5 年区域绿色发展水平将呈波动上升的发展趋势。强化创新驱动机制,提高绿色创新能力;完善基础设施建设,促进区域协同发展;加大人才资金投入,提高生态环境治理力度是全面推进区域绿色发展的重要举措。

**关键词:**城市绿色发展;水平测度;时空差异;影响因素;生态功能区及毗邻地区;黑龙江省

## Urban green development level and spatio-temporal difference of cities in the National Key Ecological Function Zones and adjacent non-ecological function zones

ZHANG Yilin, WU Xiangli\*

College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin 150025, China

**Abstract:** The forest wetland ecological function area and adjacent areas in northern China with Heilongjiang Province as the main body are selected as empirical research areas. The green development level measurement index system is constructed from three dimensions of green production, green life, and green ecology. Using Entropy TOPSIS evaluation method, obstacle degree model, trend moving average model and other methods, the green development level of the forest ecological function area of Changbai Mountain, the wetland ecological functional area of Sanjiang Plain, the forest ecological function area of Daxing'an Mountains and Xiaoxing'an Mountains and adjacent non-ecological function control areas were dynamically measured and compared with time and space differences. The green transformation speed was evaluated, and the role of obstacle factors were identified and analyzed. We also predicted the level of green development trends from 2009

**基金项目:**国家自然科学基金项目(41171433);国家社会科学基金项目(16BJY039);黑龙江省自然科学基金项目(D2018003)

**收稿日期:**2021-07-05; **网络出版日期:**2022-03-23

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jndxwxl@163.com

to 2018. The main conclusions are as follows: ①the regional natural background is high-quality, but the green development level of each functional area is relatively low, and the green index is lower than 0.6; the green development level of each functional area has a slight upward trend during the decade. The biggest gap in the overall level of green development between cities hovers between 0.16 and 0.17, showing a slight shrinking trend. ②From the perspective of the overall green development spatial pattern of each functional area at the three time nodes, the forest ecological function area of Changbai Mountain is at a relatively high level, while the wetland ecological functional area of Sanjiang Plain is at a low level. The level of green development in the forest ecological function area of Daxing'an Mountains and Xiaoxing'an Mountains has increased significantly, while that in adjacent non-ecological function control areas is smaller. The number of high-level cities has increased from 1 to 3, and the number of low-level areas has decreased from 4 to 2, and the trend is shifting to a higher level. ③The overall effect of regional green transformation is not significant, and the slow speed of transformation does not show a significant trend of the accelerated transformation development. ④Compared with green ecology, the two indicators of green life and green production hinder the level of urban green development. ⑤The level of regional green development will fluctuate and rise in the next 5 years. Enhancing the innovation-driven mechanism and improving the ability of green innovation, improving infrastructure construction and promoting regional coordinated development, increasing investment in human resources and improving the governance of ecological environment are important measures to promote regional green development in an all-round way.

**Key Words:** urban green development; level measure; time and space differences; influence factor; ecological functional area and adjacent areas; Heilongjiang Province

绿色发展是在资源环境制约下,通过改变发展动力机制,实现经济、社会、生态之间协调平衡的发展模式,其已经成为时代的发展主题。推动绿色发展,对实现自然与经济良性循环互动、提高人类生活质量、促进人与自然和谐共生具有重要意义。以黑龙江省为主体的区域是我国北方重要的森林湿地生态功能区,区域共有 51 个市县属于国家重点生态功能区范围,总面积占比超过 60%,自然生态本底优质。但由于长期采取过度依赖自然资源的发展方式<sup>[1]</sup>导致资源日趋枯竭,水土流失、大气环境污染、植被破坏等生态问题日益加重,这阻碍经济、社会、生态协调发展,也致使“天生丽质”的自然生态本底基础并未达成高水平绿色发展目标。评估绿色发展水平、诊断并解决绿色发展中存在问题的已成为推进区域可持续发展的重要举措,本文基于生态功能区及毗邻地区绿色发展水平的比较研究将为两种类型区域绿色发展提供更具针对性的科学依据和发展指导。

国内外学者针对绿色发展展开了一系列研究,其中国外学者对绿色发展的研究涉及绿色经济<sup>[2-3]</sup>、绿色政策保障<sup>[4-6]</sup>、绿色供应链<sup>[7]</sup>、绿色建筑<sup>[8]</sup>等众多领域,研究内容丰富广泛。Bina<sup>[9]</sup>利用模型解释了绿色经济对可持续发展的意义和影响。Mckendry 等<sup>[10]</sup>总结了发达国家和发展中国家绿色城市的经验教训,并提出政策建议促进经济增长、社会和环境的协调。Tseng 等<sup>[11]</sup>研究了绿色供应链的概念、驱动因素以及管理方法和绩效评估等,并提出未来研究的见解和方向。Dwaikal 等<sup>[12]</sup>从能源消耗的角度评估了绿色建筑的实际经济性能,并研究了不同能源价格的上涨方案。中国学者对绿色发展的研究则主要从研究方法、研究内容、研究空间三个方面展开。研究方法方面包括主观赋权法和客观赋权法,主观赋权法具有一定的偏颇和误差,客观赋权法包括熵权-TOPSIS 评价法、投影寻踪模型<sup>[13]</sup>、数据包络分析( DEA )<sup>[14]</sup>、主成分分析法等方法;研究内容方面包括绿色发展的内涵及理论<sup>[15-16]</sup>、构建城市绿色发展体系<sup>[17-19]</sup>、绿色发展水平测度与绩效评估<sup>[20-21]</sup>、绿色发展的空间格局与演变特征<sup>[22-25]</sup>、绿色发展影响因素识别<sup>[26]</sup>以及绿色发展在行业中的研究<sup>[27]</sup>等几个方面,其中在绿色发展水平测度方面研究较为全面;研究空间方面,涵盖了国家<sup>[28]</sup>、省市<sup>[29]</sup>、城市群<sup>[30]</sup>、特殊区域等多空间尺度对绿色发展水平进行评价。

既有绿色发展研究多为绿色发展或绿色转型单方面研究,将绿色发展和绿色转型结合研究的文献还少见。绿色发展与绿色转型相结合,从发展水平和转型能力两方面对城市绿色发展水平进行综合评价,其对城市认识更加全面系统也更加符合实际,结果也更具有实践参考价值。本文利用熵权-TOPSIS 评价法对 2009—

2018 年以黑龙江省为主体区域的我国东北重要的生态功能区及毗邻地区的绿色发展水平进行测度,并选取 2009、2013、2018 年三个时间点借助 ArcGIS 软件对区域时空差异的变化进行分析,运用转型速度进一步对区域内发展差异进行评价,采用障碍度模型识别并分析影响绿色发展水平的障碍因素,预测绿色发展水平的变化趋势,提出推进区域绿色经济、社会、环境协调发展的对策建议。

## 1 指标体系构建与研究方法

### 1.1 研究区域概况

本文的研究区域涉及了国家划定的长白山森林生态功能区、三江平原湿地生态功能区 and 大小兴安岭森林生态功能区三个生态主体功能区及毗邻部分区域(图 1)。区域共有 51 个市县处于国家重点生态功能区范围,生态功能区面积约占整个研究区域面积的 67.8%,是我国北方重要的森林湿地生态功能区,也是国家重要的生态屏障区。为了便于研究区域绿色发展水平时空差异,本文以地级市为研究单元,研究区域涵盖了 11 个位于生态功能区内的城市,另外选择了 2 个毗邻的同时社会经济发展水平相当的处于非生态功能区的城市做比较。其中哈尔滨市地跨长白山森林生态功能区 and 大小兴安岭森林生态功能区,位于内蒙古自治区的松岭区将其划为大兴安岭地区做研究。研究该区域绿色发展对原有重点生态功能区建设和自然生态本底保护具有重要意义。

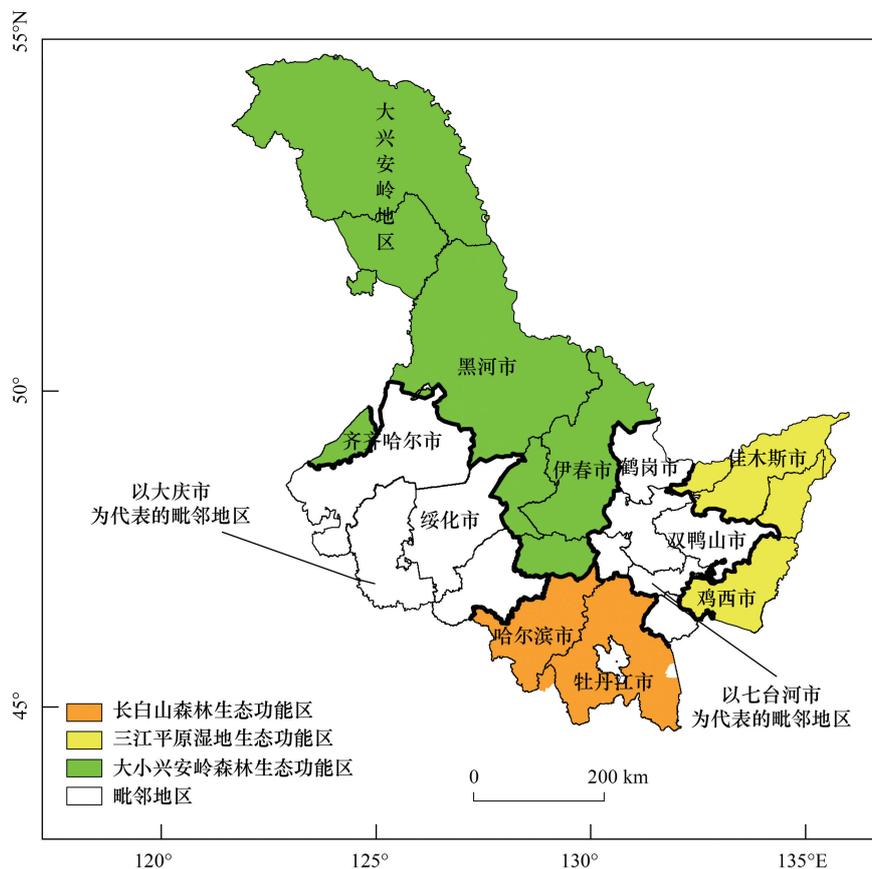


图 1 研究区域

Fig.1 The map of location of research area

### 1.2 城市绿色发展指标体系构建

研究区域是我国的老工业基地,正面临经济发展滞缓、生态经济效益低、资源日趋枯竭等问题,结合城市生态-生产-生活“三生”空间功能分类体系<sup>[31]</sup>,参考相关文献<sup>[1,17,25,29,33]</sup>,在遵循科学性、数据可获取性等原则基

基础上,从绿色生产、绿色生活、绿色生态三个维度,选取 23 个指标构建区域绿色发展水平评价指标体系(表 1)。

表 1 区域绿色发展水平评价指标体系

Table 1 The evaluation index system of regional green development level

目标层 A Target layer A	准则层 B Criteria layer B	指标层 C Index layer C	单位 Unit	属性 Attribute
黑龙江省城市绿色发展水平 The green development level in the ecological function zone and adjacent area	绿色生产 B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> 万元 GDP 工业综合消费量	t 标准煤	负向
		C <sub>2</sub> 单位地区生产总值电耗	(kWh)/万元	负向
		C <sub>3</sub> 人均 GDP	元	正向
		C <sub>4</sub> 第三产业占 GDP 比重	%	正向
		C <sub>5</sub> 万元 GDP 废水排放量	t	负向
		C <sub>6</sub> 万元 GDP 二氧化硫排放量	t	负向
		C <sub>7</sub> 单位建设用地第三产业增加值	亿元/km <sup>2</sup>	正向
		C <sub>8</sub> 科技支出占财政支出比重	%	正向
		C <sub>9</sub> 农用化肥投入强度	kg/hm <sup>2</sup>	负向
		C <sub>10</sub> 单位 GDP 二氧化碳排放量	t/万元	负向
	绿色生活 B <sub>2</sub>	C <sub>11</sub> 每万人拥有公共交通工具	辆	正向
		C <sub>12</sub> 每万人拥有医院床位数	张	正向
		C <sub>13</sub> 人均日生活用水量	m <sup>3</sup>	负向
		C <sub>14</sub> 供水普及率	%	正向
		C <sub>15</sub> 燃气普及率	%	正向
		C <sub>16</sub> 教育支出占财政支出比重	%	正向
		C <sub>17</sub> 人口密度	人/km <sup>2</sup>	负向
	绿色生态 B <sub>3</sub>	C <sub>18</sub> 污水处理厂集中处理率	%	正向
		C <sub>19</sub> 人均公园绿地面积	m <sup>2</sup>	正向
		C <sub>20</sub> 建成区绿化覆盖率	%	正向
		C <sub>21</sub> 人均城市道路面积	m <sup>2</sup>	负向
		C <sub>22</sub> 地级及以上城市空气质量优良率	%	正向
		C <sub>23</sub> 生态环保支出占财政支出比重	%	正向

指标体系中,绿色生产主要反映区域资源利用能力,提倡创建资源节约型社会,体现优化产业结构,促进产业结构高级化,带动人均 GDP 增长等,选取了单位地区生产总值电耗等 10 项指标;绿色生活主要反映绿色生活的各个方面因素,选取了每万人拥有公共交通工具等 7 项指标;绿色生态主要反映污染物排放强度的变化及环境治理能力,选取了建成区绿化覆盖率等 6 项指标。总体上正向指标 14 个,负向指标 9 个。

### 1.3 数据来源

本文研究数据主要来源于《中国城市统计年鉴》、《中国城市建设统计年鉴》、《中国环境年鉴》、《黑龙江统计年鉴》、黑龙江省生态环境厅网站(<http://www.hljdep.gov.cn/>)、土地调查成果共享应用服务平台([http://tddc.mnr.gov.cn/to\\_Login](http://tddc.mnr.gov.cn/to_Login))以及各地国民经济社会发展统计公报。

### 1.4 研究方法

#### 1.4.1 熵权-TOPSIS 评价法

熵权-TOPSIS 评价法<sup>[32]</sup>是传统 TOPSIS 方法的改进,通过熵值法确定评价指标的权重,再通过正负理想解以及欧式距离算出贴进度,进而判断研究对象的水平。具体步骤如下:

①无量纲处理:为了消除指标量纲的差异,对数据进行极差标准化处理,得到标准化矩阵  $Y = (y_{ij})_{m \times n}$ ,  $m$ 、 $n$  分别为城市个数和指标个数。

②计算信息熵:

$$H_j = -k \sum_{i=1}^m s_{ij} \ln s_{ij} \quad (1)$$

式中:  $k = 1/\ln m$ ;  $s_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij}$ 。

③定义指标  $j$  的权重:

$$w_j = (1 - H_j) / \sum_{i=1}^n (1 - H_j) \quad (2)$$

式中:  $w_j \in [0, 1]$ ;  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。

④确定加权矩阵:

$$R = (r_{ij})_{m \times n}, r_{ij} = w_j \times y_{ij} \quad (3)$$

⑤确定正理想解  $S_j^+$  和负理想解  $S_j^-$ :

$$S_j^+ = \max(r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj}), S_j^- = \min(r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj}) \quad (4)$$

⑥计算与正理想解和负理想解的欧氏距离:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (s_j^+ - r_{ij})^2}, D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (s_j^- - r_{ij})^2} \quad (5)$$

⑦计算贴进度:

$$D_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, D_i \in [0, 1] \quad (6)$$

式中:  $D_i$  越大表示绿色发展水平越高,反之绿色发展水平就越低。根据贴进度的大小可以对研究对象进行优劣排序。

#### 1.4.2 转型速度模型

根据熵值法求出各城市的绩效总得分<sup>[33]</sup>,得分的变化表示绿色转型的效果,得分变化越快表示转型效果越明显,反之则不明显。将绩效得分和转型效果联系起来,把一定时间内绩效得分的平均年变化率作为绿色转型速度。通过绿色转型速度<sup>[34]</sup>来进一步分析绿色发展水平。

转型速度为:

$$S = \sqrt{\frac{V_{m_2}}{V_{m_1}}} - 1 \quad (7)$$

式中:  $V_{m_2}$ 、 $V_{m_1}$  分别表示相应年份的转型速度,  $\Delta m$  表示间隔年数。

#### 1.4.3 障碍度模型

本文采用障碍度模型<sup>[35]</sup>对绿色发展水平障碍因素进行识别,通过障碍度的大小反映障碍因素的主次关系。数值越大表示指标对绿色发展水平阻碍程度越大,反之则阻碍程度较小。计算公式如下:

$$Z_{ij} = (1 - y_{ij}) \times w_j / \sum_{j=1}^n (1 - y_{ij}) \times w_j \times 100\% \quad (8)$$

式中:  $Z_{ij}$  为第  $i$  个市第  $j$  个指标的绿色发展水平的障碍度,  $y_{ij}$  为第  $i$  个市第  $j$  个指标的标准化值,  $w_j$  为第  $j$  个指标的权重。

#### 1.4.4 趋势移动平均法

趋势移动平均法<sup>[36]</sup>是趋势分析法的一种,是以一次移动平均值作为基期值,二次移动平均值作为趋势斜率,建立预测模型。本文运用该模型对未来五年区域绿色发展水平进行预测,其结果能进一步反映出各城市的变化趋势并进行了检验精度。预测模型如下:

$$y_{t+T} = a_t + b_t \times T \quad (9)$$

式中:  $T$  是预测期数,  $y_{t+T}$  表示第  $t + T$  期预测值,  $a_t$  和  $b_t$  的计算见式(10)和式(11)。

$$a_t = 2m_t^{(1)} - m_t^{(2)} \quad (10)$$

$$b_t = \frac{2}{n-1}(m_t^{(1)} - m_t^{(2)}) \quad (11)$$

式中:  $m_t^{(1)}$ ,  $m_t^{(2)}$  为一次移动平均值和二次移动平均值,  $n$  为移动平均的间隔,  $t$  为期数。

## 2 区域绿色发展水平测度

### 2.1 绿色发展水平时序特征

根据熵权-TOPSIS 评价法的评价结果(表 2), 总体上看 2009—2018 年各功能区绿色发展水平均值均低于 0.6, 其中长白山森林生态功能区的绿色发展指数均值为 0.5784, 高于其余两个生态功能区, 毗邻对照区的绿色发展指数均值为 0.5044, 低于所有生态功能区, 与生态功能区的指数值相差在 4.09%—12.8% 之间, 还存在差距, 这表明自然生态本底是影响不同功能区绿色发展的重要因素, 而人类活动的“绿色化”还存在差距, 尚未完成产业结构的绿色转变, 绿色发展进程缓慢。各年份间绿色发展水平波动不大, 未形成持续发展格局, 还处低水平徘徊状态。从市域尺度上看, 绿色发展指数最高的为三江平原湿地生态功能区内的佳木斯市, 其指数值相对于区域十年绿色指数均值 0.5323 高出 11.2%; 绿色发展指数最低的为大小兴安岭森林生态功能区内的伊春市, 其指数值相对于区域十年绿色指数均值低出 14.8%。伊春市、大兴安岭地区是我国著名的森林生态主体功能区, 其属于自然生态本底优质的功能区, 由于资源枯竭以及传统产业比重大阻滞了绿色产业化发展, 生产与生活等人类活动的“绿色化”低, 导致绿色发展水平偏低, 这也能体现出各城市绿色发展水平的非均衡性特征。哈尔滨市作为长白山森林生态功能区 and 大小兴安岭森林生态功能区的共有城市, 其绿色化指数在长白山森林生态功能区中为最高值, 在大小兴安岭森林生态功能区则非最高值。2009、2013、2018 年城市间绿色发展指数最大差距分别为 0.1675、0.1674、0.1656, 呈微弱缩小态势但整体水平的最大差距徘徊在 0.16—0.17 之间。十年间生态功能区中有 4 个城市绿色化水平有所下降应引起重视, 从评价指标上看, 这些城市下降原因主要来自绿色生态方面, 位于长白山森林生态功能区的牡丹江市建成区绿化覆盖率从 2014 年开始逐年骤减, 位于三江平原湿地生态功能区的双鸭山市、鸡西市和位于大小兴安岭森林生态功能区的齐齐哈尔市环保支出占比逐年下降, 致使绿色生态指数下降, 加强生态环境治理以全面提高绿色发展水平并实现持续绿色发展还要付出多方面的努力。

表 2 区域绿色发展水平评价结果

Table 2 Results and ranking of regional green development level

区域 Region	代表性城市 Representative city	年份 Year			10a 均值 10 annual average	差值 Difference	10a 区域均值 Ten annual regional average
		2009	2013	2018			
长白山森林生态功能区 The forest ecological function area of Changbai Mountain	哈尔滨	0.5635	0.5589	0.6155	0.5874	0.0521	0.5784
三江平原湿地生态功能区 The forest ecological function area of Changbai Mountain	牡丹江	0.5918	0.5858	0.5298	0.5693	-0.062	
大小兴安岭森林生态功能区 The forest ecological function area of Daxing'an Mountains and Xiaoxing'an Mountains	佳木斯	0.5436	0.5875	0.6197	0.5901	0.0762	0.5259
	双鸭山	0.5231	0.5216	0.5136	0.5159	-0.0095	
	鹤岗	0.4442	0.4693	0.4547	0.4689	0.0105	
	鸡西	0.5373	0.5159	0.4882	0.5287	-0.0492	
	黑河	0.5789	0.5742	0.6171	0.5875	0.0383	0.5304
	伊春	0.4522	0.4201	0.4542	0.4416	0.002	
	哈尔滨	0.5635	0.5589	0.6155	0.5874	0.0521	
	齐齐哈尔	0.5636	0.5681	0.5498	0.5523	-0.0138	
	绥化	0.4951	0.5424	0.5436	0.5281	0.0485	
	大兴安岭	0.4475	0.4807	0.5301	0.4857	0.0826	
毗邻参照区 Adjacent the reference area	大庆	0.5445	0.586	0.5686	0.5575	0.024	0.5044
	七台河	0.4243	0.442	0.4745	0.4513	0.0503	
最大差距 Maximum gap		0.1675	0.1674	0.1656	0.1485	0.1446	0.0739

从总体上看(图 2), 三个维度绿色发展水平均波动上升, 但水平仍偏低。从各维度上看, 绿色生产指数呈

波动上升的趋势,长白山森林生态功能区绿色发展指数值高于其余两个生态功能区及毗邻对照区,2018 年指数值最高为 0.6765,绿色发展指数值低的三江平原湿地生态功能区低于该值 33.8%、毗邻对照区的指数值低于该值 31.8%,推动产业绿色转型升级、工业节能减排等还有较大的提升空间。绿色生活指数呈波动上升的趋势,各功能区的指数值均在 0.49—0.69 之间波动,没有明显差别。增加每万人拥有公共车辆数以实现绿色交通、减少人均日生活用水量实现节能减排、增加教育支出占比提高居民的环保意识是未来推动绿色生活指数持续提升的重要动力。绿色生态指数呈波动上升的态势,三江平原湿地生态功能区的指数值高于其余两个生态功能区及毗邻对照区,2018 年指数值为 0.52,指数值低的长白山森林生态功能区低于该值 30.5%,毗邻对照区的指数值低于该值 5.8%,其中长白山森林生态功能区的指数值小幅下降,其原因在于牡丹江的绿色生态指数下降明显,人类过度追求经济增长,对我国北方重要的生态功能区原有自然生态本底的保护还有所欠缺,生态功能体系建设与环境治理还需加强。

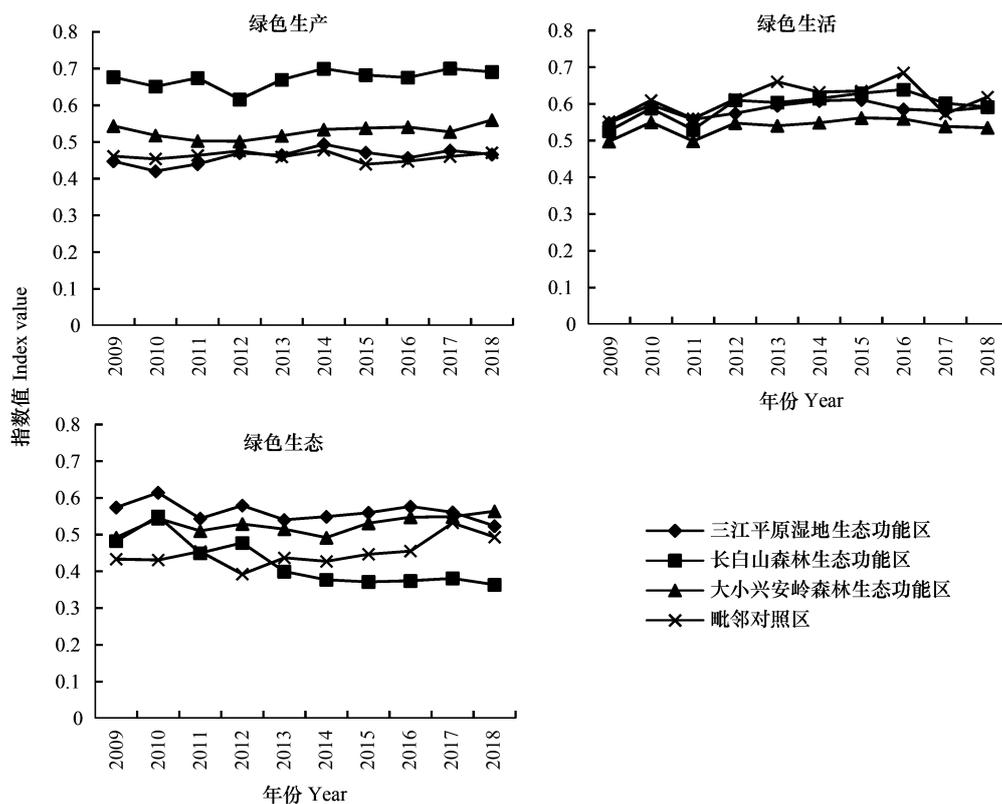


图 2 区域绿色发展各维度时间演变

Fig.2 Time evolution of regional green development criterion layer

## 2.2 绿色发展水平空间分异

采用变异系数法<sup>[37]</sup>对区域内城市绿色发展水平差异进行分析,经计算各功能区内城市绿色发展水平变异系数总体呈现下降的趋势,从 0.1292 下降到 0.1055,到 2018 年下降至 0.1053,区域绿色发展水平空间差异逐渐缩小,各城市趋向均衡发展状态。为了更直观的体现区域内城市绿色发展水平的空间差异,以绿色发展水平平均值  $M$  及标准偏差  $Std$  作为判断依据,对研究区内 13 个地市绿色发展水平进行等级划分(表 3),将区域内的城市划分四类进行绿色发展水平空间格局分析(图 3)。

从 3 个时间节点各功能区整体绿色发展空间格局上看,长白山森林生态功能区处于较高水平,而三江平原湿地生态功能区水平偏低;大小兴安岭森林生态功能区绿色发展水平上升幅度较大,毗邻对照区上升幅度则较小。大小兴安岭森林生态功能区中的黑河市万元 GDP 废水排放量和工业综合消费量较小,绿色发展水

平处于较高水平;而三江平原湿地生态功能区中的鹤岗市始终处于低水平,鹤岗市作为资源依赖型城市,高污染性质的采煤业占比大,环境治理任务艰巨、绿色转型差距大,绿色发展受到了阻碍。大兴安岭地区绿色发展水平逐年上升,从低水平上升到高水平,大兴安岭地区作为国家政策中第一个生态功能区起到了示范作用。生态功能区与毗邻对照区中处于低水平、较低水平、较高水平、高水平的城市数量分别由 2009 年 4、2、6、1 演化为 2018 年 2、3、5、3(表 4)。整体来看高水平类型城市数量有所增加,由 1 个增加至 3 个,低水平地区数量下降,由 4 个下降至 2 个,并呈向高水平转变的趋势,但低水平和较低水平地区所占比例高达 40%,三江平原湿地生态功能区的鹤岗市始终为低水平地区,未来需要产业结构升级化,使产业变“清”与“轻”以推进区域可持续发展。

表 3 区域绿色发展水平(Z)等级划分

Table 3 Classification of regional green development level

划分标准 Division criteria	绿色指数 Green index	划分等级 Division level	划分标准 Division criteria	绿色指数 Green index	划分等级 Division level
$M-2\times Std < Z < M-Std$	0.4126—0.4694	低水平	$M < Z < M+Std$	0.5262—0.5830	较高水平
$M-Std < Z < M$	0.4694—0.5262	较低水平	$M+Std < Z < M+2\times Std$	0.5830—0.6398	高水平

M:平均值 Mean;Std:标准差 Standard deviation

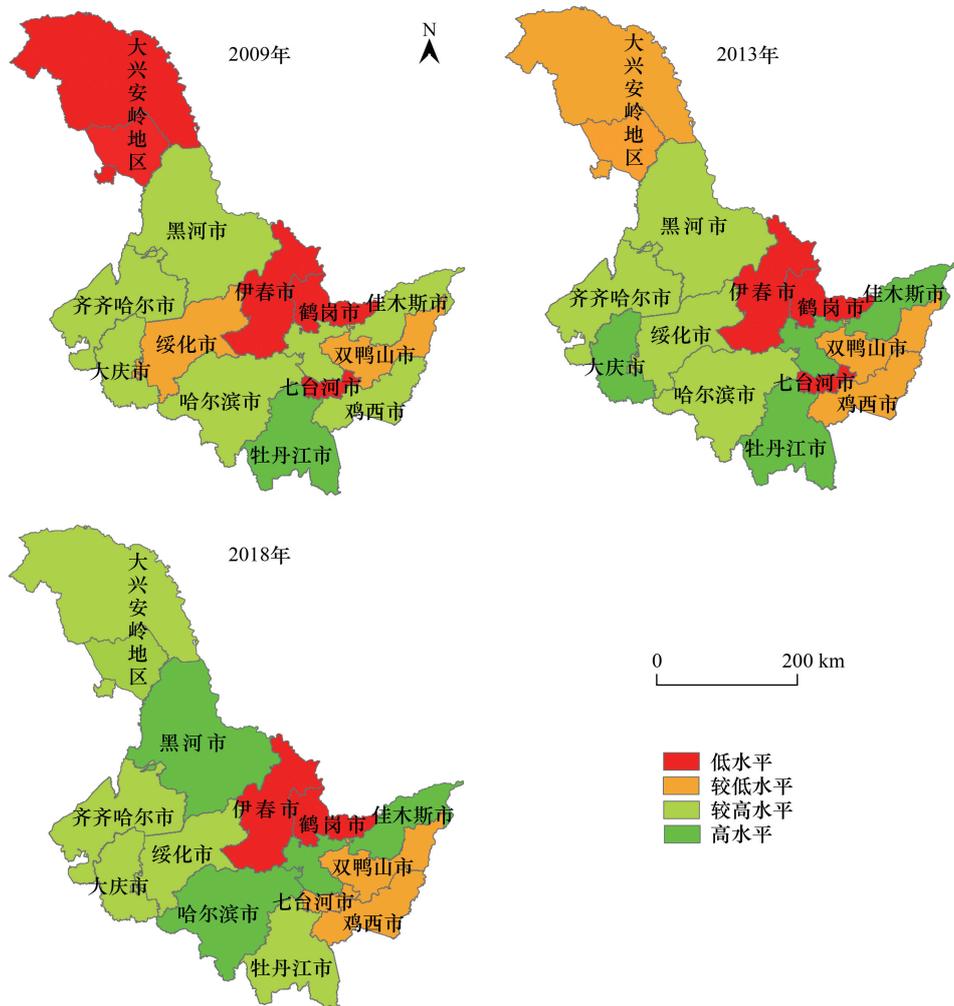


图 3 区域绿色发展水平空间分异

Fig.3 Spatial differentiation of regional green development level

表 4 城市绿色发展水平时空演变分析表

Table 4 Analysis of the Spatial-temporal Evolution of Urban Green Development Level

绿色发展水平 Green development level	城市数量/个 Number of cities			代表性城市 Representative city		
	2009 年	2013 年	2018 年	2009 年	2013 年	2018 年
低水平 Low level	4	3	2	大兴安岭地区、伊春市、鹤岗市、七台河市	伊春市、鹤岗市、七台河市	伊春市、鹤岗市
较低水平 Lower level	2	3	3	绥化市、双鸭山市	大兴安岭地区、双鸭山市、鸡西市	七台河市、双鸭山市、鸡西市
较高水平 Higher level	6	4	5	黑河市、齐齐哈尔市、大庆市、哈尔滨市、佳木斯市、鸡西市	黑河市、齐齐哈尔市、绥化市、哈尔滨市	大兴安岭地区、齐齐哈尔市、大庆市、绥化市、牡丹江市
高水平 High level	1	3	3	牡丹江市	大庆市、牡丹江市、佳木斯市	黑河市、哈尔滨市、佳木斯市

根据绿色发展水平各维度指数来看,为了更直观地体现各区域不同维度的水平差异,利用 ArcGIS 软件对指标体系中三个维度进行空间可视化(图 4)。

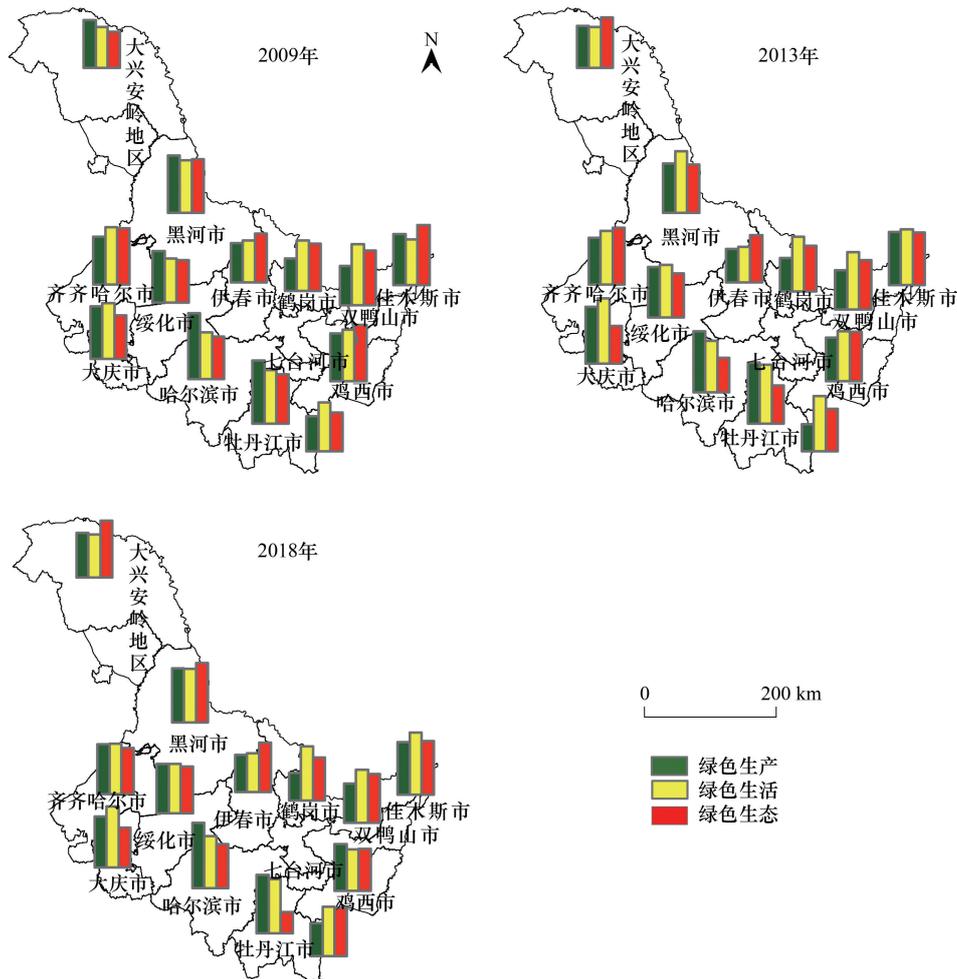


图 4 区域绿色发展水平各维度空间分异

Fig.4 Spatial differentiation of regional green development level criterion layer

从图中看出,三个维度总体水平均波动上升,但水平仍偏低。分维度上看,三个时间点生态功能区与毗邻对照区内的城市绿色生产指数均低于 0.74,呈波动上升变化。位于大小兴安岭森林生态功能区的齐齐哈尔市

上升幅度尤为明显,2018年指数值为0.5598,较2009年上升了10.62%,位于三江平原湿地生态功能区的鹤岗市下降幅度最大,2018年指数值为0.31,相比于2009年降低了8.2%,其中万元GDP废水排放量、单位地区生产总值电耗较大,严重抑制了绿色生产的发展,注重资源型城市的绿色生产,提升城市产业竞争力,进而带动经济发展是重要的努力方向;绿色生活指数大致在0.39—0.72之间,呈波动变化。位于三江平原湿地生态功能区的佳木斯市上升幅度最大,2018年指数值为0.6956,较2009年上升了21.5%,鸡西市下降幅度最大,较2009年下降了7.8%,加强绿色公共服务设施,为居民提供更多绿色福利,努力打造宜居生态绿色城市任务艰巨;绿色生态指数在0.23—0.67之间,波动变化小。大兴安岭地区上升幅度最显著,2018年指数值为0.6364,较2009年上升了66.2%,大兴安岭地区作为现存较完好、面积最大的原始森林,自然生态本底较好促进该地区绿色生态的发展。位于长白山森林生态功能区的牡丹江市下降幅度最明显,2018年指数值为0.23,较2009年下降了55.1%,由于建成区绿化覆盖率以及污水处理率低,该地区生态环境质量下降显著。作为我国北方重要的生态主体功能区,人类活动对自然环境的过度索取,致使原有优质的自然生态本底遭到一定程度的破坏。三个维度综合来看,各功能区之间还存在差异,绿色生产、绿色生活、绿色生态协调发展将成为提高绿色发展水平的努力方向。

### 3 区域绿色转型发展

推进绿色转型,这是对资源型城市在内的城市发展共同取向。人类需求与资源环境供给产生矛盾,绿色转型成为发展主题。本研究区域有7个典型资源型城市,数量占比较高,资源型城市长期大规模、高强度、大面积开采各类高耗能工业,致使资源日趋枯竭,实现绿色转型已迫在眉睫,引入转型速度用于比较研究各功能区的绿色转型状况。

本文将区域各城市相关数据代入公式3中,并求出各功能区的绩效得分。以研究时间段每五年为一个转型期,共分为两个转型期为基准计算转型速度,从而对各功能区绿色转型速度进行对比分析(表5),还可以将各功能区的绿色转型速度按三个维度进行分解,进而分析功能区间差异,结果如表6、表7、表8。

表5 绿色转型速度

Table 5 Green transformation speed

区域 Region	代表性城市 Representative city	2009—2013 转型速度 2009—2013 Transformation speed	2014—2018 转型速度 2014—2018 Transformation speed	10a 平均 转型速度 10 annual average transformation speed	转型幅度 Transformation range	10a 区域平均 转型速度 10 annual region average transformation speed
长白山森林生态功能区	哈尔滨	-0.01	1.47	1.31	1.48	-0.06
	牡丹江	-0.32	-2.61	-1.43	-2.29	
三江平原湿地生态功能区	佳木斯	1.93	0.52	1.64	-1.41	0.04
	双鸭山	-0.14	-0.81	-0.33	-0.67	
	鹤岗	1.60	-2.30	0.17	-3.89	
	鸡西	-1.15	-3.21	-1.34	-2.06	
大小兴安岭森林生态功能区	黑河	-0.48	0.93	0.86	1.41	0.84
	伊春	-2.07	1.86	-0.02	3.93	
	哈尔滨	-0.01	1.47	1.31	1.48	
	齐齐哈尔	0.25	0.15	-0.36	-0.10	
	绥化	2.82	0.91	1.47	-1.91	
毗邻参照区	大兴安岭	2.02	3.49	2.64	1.46	0.87
	大庆	2.31	-0.55	0.50	-2.86	
	七台河	0.77	0.98	1.24	0.21	

区域绿色转型效果总体不显著,前一个转型期转型速度较后一个转型期快,速度提高了 0.52;十年间各功能区转型速度缓慢,毗邻对照区转型速度为 0.87,快于生态功能区,长白山森林生态功能区转型速度最慢且未呈现显著的加速转型发展态势;十年间转型速度为负值的大部分为资源型城市,高污染的重型化产业仍占城市的主体,其产业结构为“二—三—一”型,绿色转型还面临瓶颈;位于大小兴安岭森林生态功能区的伊春市上升幅度相对较大,为 3.93,伊春市积极推进林区保护,停止商业性采伐,绿色转型效果显著;位于三江平原湿地生态功能区的鹤岗市则下降幅度最大,为-3.89,转变以煤为主的产业结构加快产业转型发展是未来发展的主要方向。

从总体上看(表 6),两个转型期绿色化生产没有出现明显好转,甚至出现了下滑趋势;十年间各功能区绿色化生产转型速度较慢且差异较小,毗邻对照区转型速度低于生态功能区且未出现好转。位于三江平原湿地生态功能区的鹤岗市十年间平均转型速度出现退步为-0.33,鹤岗市在绿色转型过程中存在发展乏力等问题,导致转型速度缓慢;大兴安岭地区上升幅度最大,为 1.63,大兴安岭地区拥有天然的生态资源,注重资源优势和产业基础使转型步伐明显加快。

表 6 绿色生产转型速度  
Table 6 Green production transformation speed

区域	代表性城市	2009—2013 转型速度	2014—2018 转型速度	10a 平均 转型速度	转型幅度	10a 区域 平均转型速度
长白山森林生态功能区	哈尔滨	-0.3	0.22	0.27	0.53	0.13
	牡丹江	0.11	-1.12	0	-1.23	
三江平原湿地生态功能区	佳木斯	0.89	-0.38	0.51	-1.27	0.17
	双鸭山	0.67	-1.12	0.36	-1.8	
	鹤岗	0.57	-1.84	-0.33	-2.41	
	鸡西	-0.31	-0.59	0.15	-0.28	
大小兴安岭森林生态功能区	黑河	-1.18	0.11	0.02	1.29	0.11
	伊春	-0.69	-0.57	-0.08	0.13	
	哈尔滨	-0.3	0.22	0.27	0.53	
	齐齐哈尔	0.17	0.01	0.44	-0.16	
	绥化	0.36	0.1	0.12	-0.27	
	大兴安岭	-0.92	0.71	-0.1	1.63	
毗邻参照区	大庆	1.45	-1.26	0.05	-2.71	-0.02
	七台河	-1.38	-0.29	-0.09	1.09	

从总体上看(表 7),前一个转型期转型速度较后一个转型期快,速度提高了 0.11;十年间各功能区绿色生活转型速度较慢且差异较小,长白山森林生态功能区相对较高为 0.41。位于三江平原湿地生态功能区的佳木斯市十年间平均转型速度最快,达到 1.29,佳木斯市加强服务设施建设,完善和提升服务业的功能和水平,尤其是旅游业,华夏东极风景区旅游线路日趋成熟,旅游收入的增长进而提高了人类生活质量;位于大小兴安岭森林生态功能区的伊春市上升幅度最快,达到 2.59,将森林生态旅游产业作为高质量转型发展的主导产业,进而加速绿色生活转型发展。

从总体上看(表 8),后一个转型期绿色生态转型速度比前一个转型期快;十年间大小兴安岭森林生态功能区转型速度为 0.85,高于其余生态功能区 and 毗邻对照区,“十三五规划”提出绿色发展战略后城市的转型速度得到明显改善。位于长白山森林生态功能区的牡丹江市十年间平均转型速度最慢,为-2.43,林地面积大量减少影响生态系统的稳定性,导致绿色生态转型速度急剧下降;转型幅度最大的是哈尔滨市,作为黑龙江省的中心城市,更加重视对生态系统的保护,促进绿色生态转型发展。

表 7 绿色生活转型速度

Table 7 Green life transformation speed

区域	代表性城市	2009—2013 转型速度	2014—2018 转型速度	10a 平均 转型速度	转型幅度	10a 区域 平均转型速度
长白山森林生态功能区	哈尔滨	1.09	-0.07	0.77	-1.16	0.41
	牡丹江	0.66	0.34	0.05	-0.32	
三江平原湿地生态功能区	佳木斯	1.44	0.97	1.29	-0.47	0.04
	双鸭山	-0.87	0.10	-0.72	0.98	
	鹤岗	0.44	0.27	0.46	-0.17	
大小兴安岭森林生态功能区	鸡西	-0.34	-0.74	-0.87	-0.41	0.13
	黑河	1.23	-0.44	0.10	-1.67	
	伊春	-1.47	1.11	-0.42	2.59	
	哈尔滨	1.09	-0.07	0.77	-1.16	
	齐齐哈尔	-0.83	-0.13	-0.60	0.71	
	绥化	1.63	0.36	0.66	-1.27	
毗邻参照区	大兴安岭	-0.27	1.09	0.29	1.36	0.28
	大庆	1.12	0.86	0.47	-0.26	
	七台河	0.98	-0.41	0.08	-1.39	

表 8 绿色生态转型速度

Table 8 Green ecology transformation speed

区域	代表性城市	2009—2013 转型速度	2014—2018 转型速度	10a 平均 转型速度	转型幅度	10a 区域 平均转型速度
长白山森林生态功能区	哈尔滨	-0.85	2.26	0.67	3.12	-0.88
	牡丹江	-1.63	-2.56	-2.43	-0.94	
三江平原湿地生态功能区	佳木斯	-0.43	0.23	-0.04	0.65	-0.23
	双鸭山	-0.02	0.57	-0.01	0.58	
	鹤岗	0.40	-0.42	0.04	-0.83	
大小兴安岭森林生态功能区	鸡西	-0.61	-2.34	-0.92	-1.73	0.85
	黑河	-0.27	1.74	1.12	2.01	
	伊春	0.52	1.58	0.58	1.06	
	哈尔滨	-0.85	2.26	0.67	3.12	
	齐齐哈尔	1.11	0.35	-0.45	-0.76	
	绥化	1.17	0.65	0.99	-0.52	
毗邻参照区	大兴安岭	4.31	1.82	3.04	-2.49	0.73
	大庆	-0.68	0.28	0.03	0.96	
	七台河	1.64	2.11	1.44	0.47	

#### 4 区域绿色发展障碍因素识别

运用公式(8)障碍度模型识别影响区域绿色发展水平的障碍因素。通过指标的数值来判断影响绿色发展水平的主要障碍指标,进而揭示区域绿色发展的提升方向。

从准则层中 3 个指标的障碍程度来看(表 9),绿色生产对长白山森林生态功能区阻碍较大,阻碍程度为 50%,毗邻对照区绿色生活的障碍度最高,2013 年为 42%,绿色生态对三江平原湿地生态功能区阻碍相对较大,阻碍程度接近 30%;各功能区内部准则层三个指标的障碍度也存在不同的差异,其中长白山森林生态功能区内绿色生产与绿色生活的障碍度高于绿色生态,三江平原湿地生态功能区内绿色生活始终作为首要障碍因子,绿色生产与绿色生活阻碍强度接近,成为第二障碍因子。大小兴安岭森林生态功能区内绿色生产始终作为首要障碍因子,绿色生活和绿色生态障碍程度接近,与绿色生产相差约 16%。毗邻对照区 2013 年后绿色

生活阻碍强度超过绿色生产,成为第一障碍。相较绿色生态而言,绿色生活和绿色生产对城市绿色发展水平的阻碍强度较大,未来区域绿色发展水平的提升主要从绿色生活、绿色生产两方面着手,大力提升基础设施建设,利用绿色交通、绿色医疗为居民提供便利;提高节能、降耗、减污意识,保护原有的生态本底以促进区域可持续发展。

表 9 区域准则层障碍度/%

Table 9 Obstacle degree of criterion layer of the region

区域 Region	年份 Year	$B_1$	$B_2$	$B_3$
长白山森林生态功能区	2009	52.31	27.78	19.91
	2013	51.69	32.89	15.41
	2018	53.95	32.68	13.36
三江平原湿地生态功能区	2009	34.41	35.76	29.83
	2013	35.64	36.89	27.47
	2018	36.02	37.22	26.76
大小兴安岭森林生态功能区	2009	46.04	30.44	23.53
	2013	41.68	31.95	26.37
	2018	42.59	29.84	27.57
毗邻参照区	2009	39.85	38.18	21.96
	2013	35.78	42.28	21.94
	2018	36.29	38.80	24.91

从指标层中 23 个指标的障碍程度来看,由于研究期间较长、指标数量较多,本文进一步筛选出各功能区排序前五位的障碍因子并求出了障碍度(表 10)。长白山森林生态功能区与毗邻对照区共有的障碍因子为燃气普及率和万元 GDP 二氧化硫排放量,十年间燃气普及率排在前五位的频次为 9 次,障碍度达到 7%,对绿色发展的阻碍程度具有稳定性,未来需要提高燃气普及率以实现绿色发展;大小兴安岭森林生态功能区与长白山森林生态功能区共有的障碍因子为万元 GDP 工业综合消费量和单位地区生产总值电耗,区域工业生产消耗能源不断增加,燃烧产生的气体对城市环境造成一定程度的污染,对消耗煤炭的企业进行优化是未来需要解决的问题;三江平原湿地生态功能区、大小兴安岭森林生态功能区、毗邻对照区中特有的障碍因子分别为农用化肥投入强度和每万人拥有医院床位数、人均日生活用水量和地级以上城市空气质量优良率、人口密度,障碍度分别为 7.16%、6.72%、5.53%、6.22%、5.76%;长白山森林生态功能区、三江平原湿地生态功能区、大小兴安岭森林生态功能区、毗邻对照区中首要障碍指标分别为万元 GDP 工业综合消费量、人均城市道路面积、

表 10 区域障碍因子及障碍度

Table 10 Regional obstacle factor and obstacle degree

区域 Region	障碍因子 Obstacle factor	障碍度 Obstacle degree	区域 Region	障碍因子 Obstacle factor	障碍度 Obstacle degree
长白山森林生态功能区	$C_1$	7.31%	大小兴安岭森林生态功能区	$C_1$	7.78%
	$C_{15}$	6.75%		$C_{22}$	6.22%
	$C_2$	6.43%		$C_2$	5.74%
	$C_6$	6.25%		$C_{21}$	5.73%
	$C_{14}$	6.13%		$C_{13}$	5.53%
三江平原湿地生态功能区	$C_{21}$	7.92%	毗邻参照区	$C_{15}$	7.08%
	$C_9$	7.16%		$C_{20}$	6.97%
	$C_{14}$	7.09%		$C_{14}$	6.45%
	$C_{12}$	6.72%		$C_{17}$	5.76%
	$C_{20}$	6.47%		$C_6$	5.60%

万元 GDP 工业综合消费量、燃气普及率、障碍度分别为 7.31%、7.92%、7.78%、7.08%，十年间排在前五位的频次均为 10 次，阻碍程度较大，具有较强的稳定性。综合破解障碍因子的阻碍作用是提升绿色发展水平的关键。

5 绿色发展水平趋势预测及检验

运用简单移动平均法的前提是动态数列指标数值所受基本因素影响程度基本相同，本文符合该预测模型。本文利用 Excel 中的数据分析模块，建立预测模型，将各功能区内城市 10 年的指数值作为基础，进行一次移动平均和二次移动平均计算，将最接近实际值的一次移动平均值和二次移动平均值代入公式(12)、公式(13)求得  $a_t$ 、 $b_t$ ，如表 11 所示。

表 11 区域趋势预测系数值

Table 11 The coefficient values of trend prediction

区域 Region	代表性城市 Representative city	$a_t$	$b_t$	区域 Region	代表性城市 Representative city	$a_t$	$b_t$
长白山森林生态功能区	哈尔滨	0.6106	0.0033	大小兴安岭森林生态功能区	黑河	0.6297	0.0065
	牡丹江	0.5428	-0.0051		伊春	0.4383	-0.0051
三江平原湿地生态功能区	佳木斯	0.6199	0.0044	哈尔滨	0.6106	0.0033	
	双鸭山	0.5083	-0.0046	齐齐哈尔	0.5480	-0.0017	
	鹤岗	0.4546	-0.0079	绥化	0.5319	0.0031	
	鸡西	0.4991	-0.0153	大兴安岭	0.5321	0.0125	
				毗邻参照区	大庆	0.5592	-0.0022
					七台河	0.4880	0.0138

$a_t$ : 表示预测直线的截距;  $b_t$ : 表示预测直线的斜率

基于  $a_t$ 、 $b_t$ 、 $T$  值，建立预测模型。通过模型计算未来五年各市绿色发展水平指数并分析其变化趋势，结果如表 12 所示。

表 12 区域绿色发展水平预测结果

Table 12 The forecasting values of regional green development level

区域 Region	代表性城市 Representative city	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
长白山森林生态功能区	哈尔滨	0.6139	0.6172	0.6205	0.6238	0.6271
	牡丹江	0.5377	0.5327	0.5276	0.5226	0.5175
三江平原湿地生态功能区	佳木斯	0.6243	0.6287	0.6331	0.6375	0.6419
	双鸭山	0.5037	0.4991	0.4944	0.4898	0.4852
	鹤岗	0.4466	0.4387	0.4308	0.4229	0.4150
	鸡西	0.4839	0.4686	0.4534	0.4381	0.4228
大小兴安岭森林生态功能区	黑河	0.6361	0.6426	0.6490	0.6555	0.6619
	伊春	0.4579	0.4281	0.4229	0.4178	0.4127
	哈尔滨	0.6139	0.6172	0.6205	0.6238	0.6271
	齐齐哈尔	0.5463	0.5446	0.5429	0.5412	0.5395
	绥化	0.5350	0.5381	0.5412	0.5443	0.5474
	大兴安岭	0.5446	0.5571	0.5696	0.5822	0.5947
毗邻参照区	大庆	0.5570	0.5548	0.5526	0.5505	0.5483
	七台河	0.5018	0.5156	0.5294	0.5432	0.5570

预测结果表明未来 5 年区域绿色发展水平将呈上升的发展趋势，到 2023 年生态功能区中将有 4 个城市

绿色发展指数超过 0.6,但部分资源型城市仍呈下降趋势,城市转型困难以及人类活动的“绿色化”进程导致绿色发展水平下降。这为我们提出警醒,如果不优化产业结构、普及绿色生活方式、注重生态环境保护,绿色发展水平可能出现下滑趋势。

将 2018 年预测绿色发展水平与实际水平进行比较(表 13),预测绿色发展水平与实际水平较为接近,误差绝对值均低于 0.037,低于实际绿色发展水平的 0.075%,误差较小,说明预测方法可行,其预测结果可信。

表 13 2018 年绿色发展实际水平与预测水平比较分析表

Table 13 The comparative analysis between the prediction level and the actual green development level in 2018

区域 Region	代表性城市 Representative city	实际水平 Actual level	预测水平 Prediction level	绝对误差值 Absolute value of error	误差比例 Error proportion
长白山森林	哈尔滨	0.6155	0.6200	0.0044	0.0071
生态功能区	牡丹江	0.5298	0.5351	0.0053	0.0100
三江平原湿地	佳木斯	0.6197	0.6191	-0.0006	-0.0009
生态功能区	双鸭山	0.5136	0.5105	-0.0031	-0.0061
	鹤岗	0.4547	0.4612	0.0064	0.0141
	鸡西	0.4882	0.5245	0.0363	0.0743
大小兴安岭森林	黑河	0.6171	0.6406	0.0235	0.0380
生态功能区	伊春	0.4542	0.4545	0.0003	0.0006
	哈尔滨	0.6155	0.6200	0.0044	0.0071
	齐齐哈尔	0.5498	0.5545	0.0047	0.0084
	绥化	0.5436	0.5125	-0.0311	-0.0572
	大兴安岭	0.5301	0.5276	-0.0024	-0.0046
毗邻参照区	大庆	0.5686	0.5430	-0.0255	-0.0449
	七台河	0.4745	0.4806	0.0060	0.0126

## 6 讨论与结论

### 6.1 讨论

(1)本研究在绿色发展水平测度的基础上拓展研究了绿色转型,并采取分功能区类型、分城市的转型速度比较研究,深化了区域绿色发展研究,使发展障碍因子识别、未来发展趋势预测及对策设计充分考虑到区域差异,提升了研究的区域针对性。

(2)通过对各功能区绿色转型的分析发现,以人类活动为主题的绿色转型效果不显著,全面推进绿色化进程仍然任重道远。各功能区内阻碍强度较大的障碍因子不同,万元 GDP 工业综合消费量是主要的障碍因子,在碳中和、碳达峰的背景下,加大力度开发安全、清洁、高效的绿色能源以实现二氧化碳“零排放”。未来应因地制宜,率先改善各功能区的主要障碍因子并制定具有针对性的发展对策成为可持续发展的关键。

(3)未来研究为更深入的刻画和认识区域内部绿色发展的差异,可以将研究区域从城市层面深入到县域层面。在绿色发展评价指标体系方面,资源利用、生态环境治理等无法获取的数据,未来可以通过加大现有监测网络技术的监控范围、建立完善的统计数据库以实现研究区域数据的全面覆盖,能够更准确的测度绿色发展水平。预测模型的优化还有较大的提升空间,数据完整性的提升、评估时间的延长是进一步优化预测方法和预测结果的重要基础,选择合适的预测方法可以更好的把握未来发展的趋势方向。

### 6.2 结论

针对生态功能区及毗邻地区绿色发展问题,本研究在构建绿色发展评价指标体系下,分析各功能区绿色发展水平、时空差异特征、制约其发展的障碍因子,并对未来 5 年的绿色发展指数进行了预测,主要结论如下:

(1)区域自然本底优质,但各功能区绿色发展水平相对较低,绿色指数均低于 0.6;十年间各功能区绿色发展水平呈小幅上升趋势;城市间绿色发展水平最大差距呈微弱缩小态势但整体水平的最大差距徘徊在

0.16—0.17 之间。

(2) 从 3 个时间节点各功能区整体绿色发展空间格局上看,长白山森林生态功能区处于较高水平,而三江平原湿地生态功能区水平偏低;大小兴安岭森林生态功能区绿色发展水平上升幅度较大,毗邻对照区则较小。高水平类型城市数量有所增加,由 1 个增加至 3 个,低水平地区数量下降,由 4 个下降至 2 个,并呈向高水平转变的趋势。

(3) 区域绿色转型效果总体不显著,转型速度缓慢未呈现显著的加速转型发展的态势。

(4) 相较绿色生态而言,绿色生活和绿色生产对城市绿色发展水平的阻碍强度较大,未来区域绿色发展水平的提升主要从绿色生活、绿色生产两方面着手;各功能区内排序前五位的障碍因子不同,综合破解障碍因子的阻碍作用是提升绿色发展水平的关键。

(5) 未来 5 年区域绿色发展水平将呈上升的发展趋势,但不排除个别城市可能出现波动。克服绿色发展水平上升过程的波动、提升绿色发展速度仍然任重道远。

根据本文得出的结论,提出如下几点政策建议,一是强化创新驱动机制,提高绿色创新能力。加大力度进行制度创新,吸引更多人才,进而引导产业结构优化,同时大力发展高新技术产业,加强环保治理产业发展,对绿色发展有强有力的支撑作用;二是完善基础设施建设,促进区域生态与生活协调发展。推动绿色出行,提倡低碳出行方式,加大公共交通工具推广度和普及率。鼓励消费者绿色消费,使用节能家电、节水器具等绿色产品;三是加大人才资金投入,提高生态环境治理力度。大力开展植树造林活动,扩大人均绿地面积,提高空气质量优良率,促进林业生态系统的可持续发展。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] 任嘉敏, 马延吉. 东北老工业基地绿色发展评价及障碍因素分析. 地理科学, 2018, 38(7): 1042-1050.
- [ 2 ] Reardon J. Comments on 'green economics: setting the scene. Aims, context, and philosophical underpinnings of the distinctive new solutions offered by green economics'. *International Journal of Green Economics*, 2007, 1(3/4): 532-538.
- [ 3 ] Carfi D, Schilirò D. A cooperative model for the green economy. *Economic Modelling*, 2012, 29(4): 1215-1219.
- [ 4 ] Lyne M M. Book review of rethinking economic recovery: a global green new deal. *Poverty & Public Policy*, 2012, 3(3): 1-2.
- [ 5 ] Pearson P, Foxon T. A low carbon industrial revolution? Insights and challenges from past technological and economic transformations. *Energy Policy*, 2012, 50(C): 117-127.
- [ 6 ] Shimada K, Tanaka Y, Gomi K, Matsuoka Y. Developing a long-term local society design methodology towards a low-carbon economy: an application to Shiga prefecture in Japan. *Energy Policy*, 2007, 35(9): 4688-4703.
- [ 7 ] Li Q L. Reverse logistics operation model research under the circumstance of green supply chain management. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, 687-691: 4771-4773.
- [ 8 ] Gan V J L, Lo I M C, Ma J, Tse K T, Cheng J C P, Chan C M. Simulation optimisation towards energy efficient green buildings: current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 254: 120012.
- [ 9 ] Bina O. The green economy and sustainable development: an uneasy balance? *Environment and Planning C*, 2013, 31(6): 1023-1047.
- [ 10 ] McKendry C, Janos N. Greening the industrial city: equity, environment, and economic growth in Seattle and Chicago. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 2015, 15(1): 45-60.
- [ 11 ] Tseng M L, Islam S, Karia N, Fauzi F A, Afrin S. A literature review on green supply chain management: trends and future challenges. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 141: 145-162.
- [ 12 ] Dwaikat L N, Ali K N. The economic benefits of a green building - evidence from Malaysia. *Journal of Building Engineering*, 2018, 18: 448-453.
- [ 13 ] 黄跃, 李琳. 中国城市群绿色发展水平综合测度与时空演化. *地理研究*, 2017, 36(7): 1309-1322.
- [ 14 ] 谢志祥, 秦耀辰, 沈威, 荣培君. 中国低碳经济发展绩效评价及影响因素. *经济地理*, 2017, 37(3): 1-9.
- [ 15 ] 李伟. 同心协力共同促进全球绿色可持续发展——在第四届全球智库峰会上的演讲. *中国经济时报*, 2015-06-29(1) [2021-07-02]. [https://jjsb.cet.com.cn/show\\_452014.html](https://jjsb.cet.com.cn/show_452014.html).
- [ 16 ] 胡鞍钢, 周绍杰. 绿色发展: 功能界定、机制分析与发展战略. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(1): 14-20.
- [ 17 ] 窦攀峰, 左舒翟, 任引, 黄葳. 基于城市分类的绿色城市指标体系构建. *生态学杂志*, 2019, 38(6): 1937-1948.
- [ 18 ] 高宇, 木皓可, 张云路, 田野, 汤大为, 李雄. 基于 MSPA 分析方法的市域尺度绿色网络体系构建路径优化研究——以招远市为例. *生态*

学报, 2019, 39(20): 7547-7556.

- [19] 魏家星, 宋轶, 王云才, 象伟宁. 基于空间优先级的快速城市化地区绿色基础设施网络构建——以南京市浦口区为例. 生态学报, 2019, 39(4): 1178-1188.
- [20] 孙才志, 童艳丽, 刘文新. 中国绿色化发展水平测度及动态演化规律. 经济地理, 2017, 37(2): 15-22.
- [21] 郭付友, 吕晓, 于伟, 任嘉敏, 初楠臣. 山东省绿色发展水平绩效评价与驱动机制——基于 17 地市面板数据. 地理科学, 2020, 40(2): 200-210.
- [22] 郭付友, 佟连军, 刘志刚, 赵海杰, 侯爱玲. 山东省产业生态化时空分异特征与影响因素——基于 17 地市时空面板数据. 地理研究, 2019, 38(9): 2226-2238.
- [23] 赵海霞, 王淑芬, 孟菲, 牛铭杰, 骆新燎. 绿色空间格局变化及其驱动机理——以南京都市区为例. 生态学报, 2020, 40(21): 7861-7872.
- [24] 侯纯光, 任建兰, 程钰, 刘树峰. 中国绿色化进程空间格局动态演变及其驱动机制. 地理科学, 2018, 38(10): 1589-1596.
- [25] 程钰, 王晶晶, 王亚平, 任建兰. 中国绿色发展时空演变轨迹与影响机理研究. 地理研究, 2019, 38(11): 2745-2765.
- [26] 郭付友, 侯爱玲, 佟连军, 马振秀. 振兴以来东北限制开发区绿色发展水平时空分异与影响因素. 经济地理, 2018, 38(8): 58-66.
- [27] 洪铮, 王林, 章成. 绿色发展背景下区域旅游生态效率影响因素——以西部地区为例. 生态学报, 2021, 41(9): 3512-3524.
- [28] 车磊, 白永平, 周亮, 汪凡, 纪学朋, 乔富伟. 中国绿色发展效率的空间特征及溢出分析. 地理科学, 2018, 38(11): 1788-1798.
- [29] 王勇, 李海英, 俞海. 中国省域绿色发展的空间格局及其演变特征. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(10): 96-104.
- [30] 刘杨, 杨建梁, 梁媛. 中国城市群绿色发展效率评价及均衡特征. 经济地理, 2019, 39(2): 110-117.
- [31] 李广东, 方创琳. 城市生态-生产-生活空间功能定量识别与分析. 地理学报, 2016, 71(1): 49-65.
- [32] 李平, 佟连军, 范围广, 郭艳花. 吉林省限制开发区域绿色发展格局演变及障碍因素识别. 地理科学, 2020, 40(5): 730-739.
- [33] 熊曦, 张陶, 段宜嘉, 方晓萍, 周家宇. 长江中游城市群绿色化发展水平测度及其差异. 经济地理, 2019, 39(12): 96-102.
- [34] 曾贤刚, 段存儒. 煤炭资源枯竭型城市绿色转型绩效评价与区域差异研究. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(7): 127-135.
- [35] 郭艳花, 佟连军, 梅林. 吉林省限制开发生态区绿色发展水平评价与障碍因素. 生态学报, 2020, 40(7): 2463-2472.
- [36] 程文仕, 曹春, 黄鑫. 趋势移动平均法在耕地面积预测中的应用研究——基于 1985—2010 年甘肃省耕地面积分析. 干旱区资源与环境, 2015, 29(8): 185-189.
- [37] 刘佩伶, 陈乐, 刘效东, 戴雨航, 冯英杰, 张倩媚, 褚国伟, 孟泽. 鼎湖山不同演替阶段森林土壤水分时空变异研究. 生态学报, 2021, 41(5): 1798-1807.