

陕西省城市绿色增长水平时空演变特征 及影响因素解析

刘宇峰¹, 原志华², 郭玲霞¹, 封建民¹, 孔伟³, 党晨萌¹

(1. 咸阳师范学院资源环境与历史文化学院, 咸阳 712000; 2. 咸阳师范学院经济与管理学院, 咸阳 712000;

3. 河北北方学院生态建设与产业发展研究中心, 张家口 075000)

摘要: 绿色增长是实现人地协调的一种可持续发展模式, 对区域绿色发展和生态文明建设的推进具有重要作用。研究以陕西省为例, 在系统梳理绿色增长内涵及特征的基础上, 构建了绿色增长系统作用机制框架及评价指标体系, 运用TOPSIS-灰色关联分析、泰尔指数等方法分析了2008—2017年城市绿色增长水平的时空演变特征及影响因素。结果表明: (1) 陕西省城市绿色增长水平总体呈现“上升—下降—上升”的“N”型波动上升变化过程。(2) 空间分布上, 城市绿色增长水平存在明显的区域差异, 且有进一步扩大的趋势; 空间演化上, 地区内差异略呈下降趋势, 而地区间差异上升趋势明显。(3) 区域生态环境(X_3)、生活质量环境(X_4)和政策支持环境(X_5)是制约陕西省绿色增长水平的主要障碍因素, 且不同准则层在城市间的障碍作用存在明显的空间分异。(4) 全省层面上, 对城市绿色增长水平阻碍作用最大的5个因子依次是废气治理设施处理能力 X_{43} 、单位GDP能耗下降率 X_{31} 、科研和技术服务从业人员数 X_{34} 、建成区绿化覆盖率 X_{49} 和一般工业固体废物综合利用率 X_{42} ; 在城市层面上, X_{34} 的阻碍作用最强, 其次是 X_{43} 、 X_{31} 、每万人拥有公交车和出租车辆数 X_{48} 以及人均GDP X_{21} 。(5) 外部环境驱动方面, 产业结构、科技创新能力两个要素对陕西绿色增长的贡献度最大, 其次是贸易水平、市场化水平、城镇化水平和人口密度。据此, 从构建多元化能源结构体系、完善绿色增长相关政策制度、优化外部环境条件等五方面提出对策建议。

关键词: 绿色增长水平; 时空演变; TOPSIS-灰色关联分析; 影响因素; 陕西省

19世纪中期以来, 工业化进程不断加快, 全球经济进入快速发展的黄金时代, 以追求经济高速增长为目标的传统发展观长期占据统治地位^[1]。然而, 传统的增长无极限式的经济发展模式带来的资源—环境双重危机对人类的生存发展产生严重威胁, 那么由经济高速增长向高质量增长转型、推动环境—经济可持续发展便成为国际社会的普遍共识。20世纪中期以来, 美国学者蕾切尔·卡逊(Rachel Carson)《寂静的春天》^[2]、国际著名学术团体罗马俱乐部《增长的极限》^[3]、斯德哥尔摩“人类环境会议”^[4]等激起了全球各界对生态环境保护事业的重视, 可持续发展理念应运而生; 1987年联合国世界与发展委员会(WCED)推出的《我们共同的未来》首次正式界定了可持续发展的概念^[5], 且在1992年签署的《里约环境与发展宣言》中将可持续发展理念推向新高度。中国在经济发展过程中同样面临因能源资源过度消耗、污染物量排放而导致的生态环境持续恶化问

收稿日期: 2020-08-16; 修订日期: 2020-11-12

基金项目: 国家社会科学基金项目(19BSH077); 陕西省科技计划项目(2021KRM033); 陕西省大学生创新创业训练项目(S201910722016); 咸阳师范学院青蓝人才项目(XSYQL201805)

作者简介: 刘宇峰(1981-), 男, 山西忻州人, 博士, 副教授, 主要从事环境演变与区域发展研究。

E-mail: yfliu518@163.com

题,且部分地区甚至已经逼近生态环境承载能力的阈值,走可持续发展之路是必然选择。1995年,自党的十四届五中全会首次把可持续发展作为国家的基本战略以来,逐步推进可持续发展战略的实施成为中国经济社会发展的必然要求;2015年,党的十八大首次正式提出了经济社会发展要遵循“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念;2017年,习总书记在十九大报告中提出了“绿水青山就是金山银山”的绿色发展理念。可见,致力于保障经济增长的同时促进生态环境质量的提高,是新时代背景下实现经济高质量发展目标的重要体现。绿色增长成为区域可持续发展战略实施的重要途径,如何实现绿色增长是当前中国经济发展面临的重大挑战^[1]。目前,国内外对绿色增长的研究主要集中在指标体系、评估模型、空间格局、影响机理和政策对策等方面。

(1) 指标体系与评估模型研究。科学构建指标体系和评估模型对绿色增长评价研究至关重要,当前国际上较为典型的与绿色增长有关的指标体系和评估模型主要有OECD的“四维度”绿色增长评价模型、全球绿色增长研究所(GGGI)的“五要素”绿色增长评估模型、北京师范大学科学发展观与经济可持续研究基地提出的“三维度”绿色发展指数评价指标体系,以及中国科学院可持续发展战略研究课题组提出的可持续发展能力综合评价指标体系等。此外,部分专家学者从不同角度构建了绿色增长的指标体系和评估模型,例如,Veronika等^[6]在借鉴OECD评价体系的基础上构建了包含可持续与公平性等五个要素的绿色增长评价体系;曾贤刚等^[7]从经济转型有效性、资源利用绿色度、进步和福祉实现度三个方面构建了评价指标体系,并对中国30个地区的绿色经济发展水平进行了评价;赵奥等^[8]提出的绿色增长评价指标体系包括经济发展、资源利用等六个方面;程钰等^[1]从绿色增长、绿色福利和绿色财富三个维度构建了绿色发展评价指标体系。

(2) 空间格局与影响机理研究。绿色增长空间格局研究在尺度上以国家、城市(群)、经济带及省域为主,主要利用聚类分析、收敛模型检验、地理探测器、障碍度模型、Tobit回归模型等方法进行空间异质性和影响机理研究。例如,赵奥等^[9]利用聚类分析和绝对 α 收敛检验模型等方法分析了中国省域层面上绿色增长能力空间差异;陈英姿等^[10]基于DPSIR概念模型对东北三省的绿色增长水平进行空间差异评价,在此基础上采用Tobit回归模型对影响绿色增长的主要驱动因素进行分析;蔡烁纯^[11]基于纵横向拉开档次法测算了绿色增长指数,分析了中国各省的绿色增长水平差异以及社会经济、生态环境等各准则层对绿色增长水平的贡献度。

(3) 绿色增长政策与对策研究。政策是推动绿色增长的关键因素,对策为实现绿色增长提供了方法途径。目前的研究主要体现在政策(对策)的制定、实施方案、影响及效果评估等方面。例如,Won-sik等^[12]研究了韩国绿色增长政策对国民经济和环境的影响;周英男等^[13]系统探讨了不同社会制度下绿色增长政策的演进过程、制定手段、实施过程及实施效果;苏明^[14]分析了中国绿色经济发展过程中的财政税收政策、措施及实施效果,认为构建有效的财政税收政策是实现绿色经济发展和减贫的有效手段。

此外,部分学者基于不同视角对陕西省绿色发展水平进行了初步研究,李文正等^[15-17]认为陕西省绿色发展水平整体表现为波动增长趋势,区域差异较大,且与全国其他省份相比差距较为明显,总体处在中游水平(位于16~19位),仍有很大的进步空间;周亮等^[18]研究认为陕西省绿色增长效率除西安和榆林为高水平外,其余城市基本均为中等水平;对陕西省绿色发展的影响因素(障碍因子)研究发现,人居环境(生态环境、生活环境)和经

济增长(经济效率)是影响绿色发展水平的主要障碍因素^[15-17]。

根据以上研究现状分析,目前国内外学者主要围绕绿色增长的指标体系、评估模型、空间格局、影响机理和政策对策等方面开展了较为详细的理论和实证研究,取得了一系列较为丰硕的研究成果,但也存在一些局限和不足。在研究对象(尺度)上,主要以国家、城市群、经济带为研究对象,省域尺度上城市绿色增长评价及空间演变研究相对较缺乏。在绿色增长评价指标体系的构建上,多数研究只是从经济、资源、环境等某一方面或某几个方面进行研究,未能综合考虑其他因素如政策、科技等的影响,致使实证研究结论与实际情况存在一定的差距。此外,区域绿色增长水平受诸多内部要素、外部环境的影响和制约,但目前大多数研究缺乏对影响绿色增长水平的内、外因素及其空间差异进行综合诊断分析,影响机理仍需进一步探索。鉴于此,本文在剖析绿色增长内涵及特征的基础上,通过构建评价模型,对陕西省2008—2017年的绿色增长水平进行定量评价,并进行时空演变分析和影响因素综合诊断,期望在完善绿色增长评价理论体系的同时,为地方政府部门转变经济发展方式、制定促进绿色增长实践的政策制度、法规等提供参考。

1 研究方法与数据来源

1.1 绿色增长内涵与特征

目前,相关研究机构和专家学者提出了生态经济、循环经济、低碳经济、绿色发展、绿色增长、绿色经济等一系列可持续发展的理论范式^[4,17-22]。其中,绿色增长一词最早出现于Colby^[22]、Goodstein^[23]、Barnes^[24]等学者的文章中,但没有引起国际相关机构及学者的重视;直到2005年,绿色增长的概念模式才在联合国亚洲及太平洋经济社会委员会(UNESCAP)环境与发展部长会议上被正式提出^[25,26];2008年,联合国环境规划署(UNEP)首次倡导在全球推行绿色经济;经济合作与发展组织(OECD)在2009年和2011年先后两次对绿色增长的概念进行了界定^[25],阐述了其核心内涵,同时构建了绿色增长的评估体系^[27,28];韩国在2009年颁布的《低碳绿色增长基本法》中给出了绿色增长的具体定义^[25-30];2012年,“里约+20”联合国可持续发展大会在巴西里约热内卢举行,其会议主题之一就是绿色经济,大会提出“要在变革经济发展范式的基础上进一步推进绿色增长”的发展理念^[4]。该次会议在很大程度上刺激了学术界对“绿色增长”的研究兴趣,Meyer等^[31]、Reilly^[32]、Jacobs^[33]、张江雪等^[34]、韩晶等^[35]、武春友等^[36]诸多国内外学者从不同角度揭示了绿色增长的本质内涵(表1)^[4,25-36]。

从诸多机构和学者对绿色增长的概念界定可以看出,绿色增长具有以下特征:(1)可持续性。绿色增长是一种追求构建社会良性发展的经济增长模式,而非单纯追求物质规模的经济增长方式,这与可持续发展思想一脉相承^[4,37,38],继承了可持续发展经济、环境、社会三大主体协调统一的思想,其终极目标是大幅提升经济增长过程的绿色化程度,实现绿色发展。(2)技术创新性。绿色增长更加注重科技进步与技术创新的关键支撑作用。(3)包容性与协调性。绿色增长强调通过变革生产、消费模式追求经济增长的同时要完善社会福利、提高人类福祉,体现社会包容,最终达到人地协调。(4)政策引导性。科学的政策引导是绿色增长顺利有效实施的重要推动因素,OECD在《迈向绿色增长》中指出“绿色增长的实现应包括一系列能够较好地量化经济与环境互相作用

表1 绿色增长内涵界定
Table 1 Definition of green growth

机构/学者	内涵/侧重点	出处
联合国亚洲及太平洋经济社会委员会 (UNESCAP)	绿色增长是为了实现低碳和全社会成员的发展而推行的环境可持续发展的经济发展过程	UNESCAP 环境与 发展部长会议 ^[25,26]
经济合作与发展组织 (OECD)	绿色增长是指在防止代价昂贵的环境破坏、气候变化、生物多样性丧失和以不可持续的方式使用自然资源的同时，追求经济增长和发展；绿色增长是在确保自然资源能继续提供人类福祉所需的资源和环境服务的同时，促进经济增长和发展	《绿色增长宣言》《迈向绿色增长》 ^[27-29]
韩国	绿色增长指通过清洁能源、绿色技术开发以及绿色革新，最小化使用能源、资源，减少气候变化和环境污染，确保增长动力，创造工作岗位，实现经济环境和谐相融的增长方式	《低碳绿色增长基本法》 ^[30]
国外代表性学者	Meyer等 ^[31] 认为绿色增长的核心是将经济增长与资源消耗解耦；Reilly等 ^[32] 从经济、环境、社会三方面阐述了绿色增长的内涵；Jacobs等 ^[33] 指出绿色增长的本质是追求显著环境保护的经济增长	见参考文献 [31-33]
国内代表性学者	张江雪等 ^[34] 指出科技进步与创新是绿色增长的重要支撑，只有拓宽技术创新的目标，加大科技与环境保护力度，才能实现经济、资源与环境的协调统一；韩晶等 ^[35] 认为绿色增长的核心是提升资源环境绩效，激励产业发展向集约、低碳、绿色转型，而实现绿色增长的关键在于绿色创新能力的提升；武春友等 ^[36] 对绿色增长给出的定义是：通过绿色技术创新驱动与制度安排，用最小的资源消耗和环境代价，创造出资源效率、环境友好、社会包容与和谐的经济增长与最大发展效益	见参考文献 [34-36]

的可操作性政策^[4,28]。”可见，绿色发展作为一种可持续发展范式，其本质是寻求绿色发展模式，强调经济、环境、社会的和谐共生，而绿色经济的本质则更加注重经济的绿色化；绿色增长是绿色经济的基本手段，是绿色发展得以实现的基础。

综上所述，绿色增长是一种动态过程，是一个涉及资源、环境等自然本底及经济、社会等人文要素多重反馈结构的复杂系统，在其发展演变的各个阶段受多重因素的综合影响和制约。本文以前人成果为基础，构建了绿色增长系统与驱动作用机制的基本框架（图1），即绿色增长系统主要通过自然资源条件、社会经济条件等基本要素的有效投入且发挥协同作用才能促使区域生产和消费模式的变革，从而实现污染排放减少、资源环境绩效提升、促进经济增长和社会公平等理想的产出，最终达到人与自然、社会的和谐统一。

1.2 绿色增长评价指标体系构建

科学构建评价指标体系是合理评价绿色增长水平的关键，已有的研究基本上都是以OECD、UNEP、GGGI、北师大科学发展观与经济可持续研究基地等机构提出的评价体系为基础，根据研究的实际需要选择具体的评价指标。本文根据前文对绿色增长内涵特征、系统要素及驱动作用机制的整体把握和认知，参考借鉴OECD^[28]等机构和国内学术界武春友等^[39]、郭玲玲等^[25,40]、于惊涛等^[41]的研究成果，构建了包含自然基础、社会经济、区域生态、生活质量和政策支持5个准则层32个要素层的绿色增长水平评价指标体系（表2）。在具体指标的选取上，依据系统性、科学性、综合性、动态性、可操作性等原则，同时考虑所选指标的可比性及统计口径的一致性，选择相关机构及专家学者研究成果中出现的高频指标。（1）自然基础环境。自然基础是产生空间异质性的的重要因素，其禀赋条件、可持续承载能力是绿色增长系统的基石。本文从水资源条件、耕地条件和森林条件三方面表征自然基础环境。（2）社会经济环境。社会经济投入是绿色增长

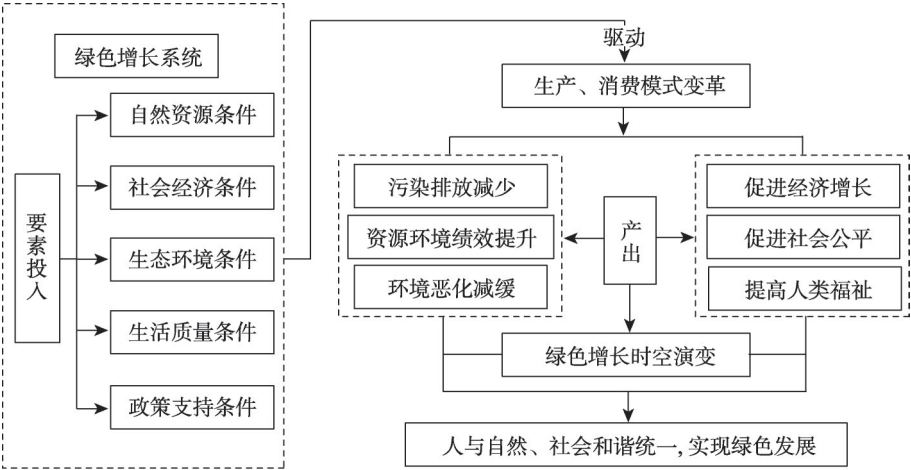


图1 绿色增长系统及驱动作用机制、绿色增长发展时间轴

Fig. 1 Green growth system and driving mechanism, green growth development timeline

必不可少的要素，社会经济产出亦是绿色增长衡量的重要指标。选择常用的GDP、全社会固定资产投资等指标来体现社会经济投入，同时为了反映绿色增长社会包容性的特点，重点强调人的作用，最终选取了人均GDP、人口自然增长率，以及代表国民收入的城镇居民人均可支配收入、农村居民人均纯收入等6个指标。（3）区域生态环境与生活质量环境。生态环境与生活质量环境是绿色增长水平评价的核心要素，是绿色增长过程产出的重要体现。选择单位GDP能耗下降率等8个指标反映区域生态环境投入，用生活垃圾无害化处理率等10个指标反映生活质量环境投入。（4）政策支持环境。政策是绿色增长的重要推动因素，是保障绿色增长高质量发展的关键环节。选用节能环保支出占GDP的比例、科学技术支出占GDP的比例等5个指标表征政策支持环境投入。

1.3 研究方法

1.3.1 绿色增长评价方法

目前主要采用数据包络分析法（DEA）、模糊综合评价法（FCE）、综合指数评价法（CIEM）、层次分析法（AHP）、TOPSIS综合评价法以及灰色关联度分析法（GRA）等^[25]方法进行绿色增长评价。每种方法都有其自身的优势和缺点，本着遵循对数据资料要求低、方法操作简单易行的原则，同时能够分析数据序列的动态变化以及系统要素间的紧密程度，采用郭玲玲^[25]、郭艳花等^[44]提出的TOPSIS-灰色关联度分析集成法对陕西省的绿色增长水平进行定量评价，该方法的具体原理及计算步骤如下：

假设有某一决策问题，其对应的决策矩阵为A，在此基础上通过计算求得规范决策矩阵Z'，其元素为Z'_{ij}，则有：

$$Z'_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}} \quad (i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m)$$

(1)

其中，X_{ij}由决策矩阵给出：

$$A = \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix}$$

(2)

表2 绿色增长水平评价指标体系及权重

Table 2 Evaluation index system of green growth level and weight calculation results

序号	准则层/权重	要素层	单位	指标性质	主要参考文献	权重
1	自然基础环境 $X_1/0.0789$	X_{11} : 人均水资源供应量*	m^3	正向指标	[1,41,42]	0.0326
2		X_{12} : 人均耕地面积*	$hm^2/人$	正向指标	[1,25,41]	0.0198
3		X_{13} : 造林面积**	hm^2	正向指标	[11,41]	0.0266
4	社会经济环境 $X_2/0.1583$	X_{21} : 人均GDP*	元/人	正向指标	[1,29]	0.0415
5		X_{22} : 人口自然增长率*	%	适中指标	[9,25,29]	0.0065
6		X_{23} : 第三产业占GDP的比例*	%	适中指标	[1,29,41]	0.0069
7		X_{24} : 城镇居民人均可支配收入*	元	正向指标	[25,29,41]	0.0377
8		X_{25} : 农村居民人均纯收入**	元	正向指标	[41,43,44]	0.0283
9		X_{26} : 全社会固定资产投资**	10^8 元	正向指标	[19,29,45]	0.0374
10	区域生态环境 $X_3/0.2043$	X_{31} : 单位GDP能耗下降率*	%	正向指标	[1,25,29]	0.0761
11		X_{32} : 二氧化硫排放量**	t	负向指标	[9,25,29]	0.0132
12		X_{33} : 氮氧化物排放量**	t	负向指标	[25,46]	0.0166
13		X_{34} : 烟(粉)尘排放量**	t	负向指标	[9,19]	0.0221
14		X_{35} : 化学需氧量排放量**	t	负向指标	[11,25,39]	0.0227
15		X_{36} : 工业固体废弃物产生量**	10^4 t	负向指标	[25,44]	0.0111
16		X_{37} : 工业废水排放总量**	10^4 t	负向指标	[25,29,44]	0.0298
17		X_{38} : 规模以上工业企业能源消费量**	10^4 tce	负向指标	[47]	0.0126
18	生活质量环境 $X_4/0.3510$	X_{41} : 生活垃圾无害化处理率*	%	正向指标	[1,25,29]	0.0405
19		X_{42} : 一般工业固体废物综合利用率*	%	正向指标	[19,25,41]	0.0171
20		X_{43} : 废气治理设施处理能力**	$10^4 m^3/h$	正向指标	[47,48]	0.0626
21		X_{44} : 废水治理设施处理能力**	$10^4 t/d$	正向指标	[47,48]	0.0292
22		X_{45} : 用水普及率**	%	正向指标	[9,25]	0.0267
23		X_{46} : 燃气普及率**	%	正向指标	[9]	0.0352
24		X_{47} : 每万人拥有医疗机构床位数**	张	正向指标	[9,25,43]	0.0203
25		X_{48} : 每万人拥有公交车和出租车辆数**	标台	正向指标	[1,9,25]	0.0445
26		X_{49} : 建成区绿化覆盖率*	%	正向指标	[1,25,29]	0.0380
27	政策支持环境 $X_5/0.2075$	$X_{4,10}$: 城市人均公园绿地面积**	$m^2/人$	正向指标	[1,25,29]	0.0368
28		X_{51} : 节能环保支出占GDP的比例**	%	正向指标	[25,44]	0.0303
29		X_{52} : 科学技术支出占GDP的比例**	%	正向指标	[9,25,29]	0.0287
30		X_{53} : 水利建设投资完成额**	10^4 元	正向指标	[48]	0.0181
31		X_{54} : 教育经费支出占GDP的比例**	%	正向指标	[25,43,44]	0.0220
32		X_{55} : 科研、技术服务从业人员数**	10^4 人	正向指标	[25,41]	0.1084

注：*表示指标为国际上相关组织机构采用的指标；**表示指标是已有研究成果中出现频率较高的指标。

(1) 指标数据的标准化处理。数据的标准化处理利用极差标准化方法，对指标体系中正向、负向、适中三种指标分别采用以下计算公式进行标准化：

正向指标标准化：

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} (X_{ij})}{\max_{1 \leq i \leq m} (X_{ij}) - \min_{1 \leq i \leq m} (X_{ij})}$$

(3)

负向指标标准化：

$$X'_{ij} = \frac{\max_{1 \leq i \leq m} (X_{ij}) - X_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} (X_{ij}) - \min_{1 \leq i \leq m} (X_{ij})} \quad (4)$$

适中指标标准化:

$$X'_{ij} = \begin{cases} 1 - \frac{p - X_{ij}}{\max[p - \min_{1 \leq i \leq m} (X_{ij})], |\max_{1 \leq i \leq m} (X_{ij}) - p|]}, & X_{ij} < P \\ 1 - \frac{X_{ij} - p}{\max[p - \min_{1 \leq i \leq m} (X_{ij})], |\max_{1 \leq i \leq m} (X_{ij}) - p|]}, & X_{ij} > P \\ 1, & X_{ij} = P \end{cases} \quad (5)$$

式中: X'_{ij} 为标准化处理后的值; $\min_{1 \leq i \leq m} (X_{ij})$ 为第 i 个评价年第 j 项指标的最小值; $\max_{1 \leq i \leq m} (X_{ij})$ 为第 i 个评价年第 j 项指标的最大值; P 为第 j 个指标的理想值。

(2) 计算指标权重。熵值法是用以确定指标权重的一种常用方法。熵表征的是信息的不确定性, 计算出的熵值越大, 说明不确定性越大, 反之则确定性较小。本文利用熵值法计算得到所有评价指标的权重值 W_j , 具体计算过程见参考文献 [49, 50], 计算结果见表 2。

(3) 构造规范化的加权决策矩阵 Z 。

$$Z = W_j Z'_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

(4) 确定决策问题的正理想解 Z^+ 以及负理想解 Z^- 。

$$Z^+ = (Z_1^+, Z_2^+, \dots, Z_m^+) = \left\{ \max_i Z_{ij} | j = 1, 2, \dots, m \right\} \quad (7)$$

$$Z^- = (Z_1^-, Z_2^-, \dots, Z_m^-) = \left\{ \min_i Z_{ij} | j = 1, 2, \dots, m \right\} \quad (8)$$

(5) 计算灰色关联度系数。某一评价年某个指标与正理想解之间的灰色关联度系数 β_{ij}^+ 为:

$$\beta_{ij}^+ = \frac{\min \min |Z_{0j}^+ - X'_{ij}| + \rho \max \max |Z_{0j}^+ - X'_{ij}|}{|Z_{0j}^+ - X'_{ij}| + \rho \max \max |Z_{0j}^+ - X'_{ij}|} \quad (9)$$

式中: Z_{0j}^+ 为该指标的正理想值; ρ 为分辨系数, ρ 值越小, 说明数据间关联系数的差异越大, 分辨能力越强, 通常情况下, ρ 取 0.5。

(6) 计算各评价年与正理想解之间的灰色关联度系数矩阵 γ^+ 。

$$\gamma^+ = \begin{bmatrix} \gamma_{11}^+ & \cdots & \gamma_{1n}^+ \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{m1}^+ & \cdots & \gamma_{mn}^+ \end{bmatrix} \quad (10)$$

(7) 计算各评价年与正理想解之间的灰色关联度 γ_i^+ 。

$$\gamma_i^+ = \frac{\sum_{j=1}^n \gamma_{ij}^+}{n} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

同理, 可以求得各评价年与负理想解之间的灰色关联度 γ_i^- 。

(8) 利用 γ_i^+ 和 γ_i^- 计算灰色关联贴近度 B_i 。

$$B_i = \frac{\gamma_i^+}{\gamma_i^+ + \gamma_i^-} \quad (12)$$

按 B_i 的大小进行排序, B_i 值越大, 反映该评价年的绿色增长水平越好, 反之则越差。

需要说明的是, 在利用 TOPSIS-灰色关联分析方法进行数据处理时, 将样本中正向指标的最大值和负向指标的最小值确定为最优值, 对于人口自然增长率 (X_{22}) 和第三产业占 GDP 的比例 (X_{23}) 的两个适中指标的最优值, 按以下原则确定: 世界银行对全球发达国家第三产业占 GDP 比例的统计结果显示, 其占比一般均在 60% 以上, 所以本文将第三产业占 GDP 的比例的理想值确定为 60%^[51]; 另外, 根据中国在“十三五”期间的人口发展规划, 将人口自然增长率的理想值确定为 6‰^[52]。

1.3.2 地区差异测度

利用泰尔指数 (Theil) 进行绿色增长水平区域差异的测度, 具体计算公式如下^[44,46]:

$$T = T_{\omega} + T_{\beta} \quad (13)$$

$$T_{\omega} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{m_i \bar{y}_i}{m \bar{y}} \right) T_i \quad (14)$$

$$T_{\beta} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} \left(\frac{\bar{y}_i}{\bar{y}} \right) \ln \left(\frac{\bar{y}_i}{\bar{y}} \right) \quad (15)$$

式中: T 为绿色增长水平的泰尔指数; T_{ω} 和 T_{β} 分别为整体地区内和地区间城市绿色增长水平差异; m_i/m 为不同地区所含城市数量占比; \bar{y}_i/\bar{y} 为第 i 个城市绿色增长水平与陕西省绿色增长水平的比值; T_i 为第 i 个城市绿色增长水平的泰尔指数。此外, 计算不同地区泰尔指数与陕西省泰尔指数的比值可得到各地区的差异贡献率。

1.3.3 障碍度模型

利用障碍度模型对影响城市绿色增长水平的主要因素进行分析, 公式如下^[48]:

$$S_{ij} = \frac{(1 - x_{ij})W_{ij}}{\sum_{j=1}^n (1 - x_{ij})W_{ij}} \times 100\%, \quad S_i = S_{ij} \quad (16)$$

式中: S_{ij} 表示第 j 个要素指标对绿色增长水平的障碍度; x_{ij} 表示要素指标标准化处理后的值; W_{ij} 表示要素指标的权重; n 为要素指标数量 (个); S_i 表示第 i 个准则层对绿色增长水平的障碍度。

1.4 数据来源

本文以 2008—2017 年陕西省城市绿色增长水平评价为样本, 其指标数据主要来源于《陕西统计年鉴》《陕西省区域年鉴》和陕西省各地市统计年鉴及经济社会发展统计公报等; 部分指标数据来源于《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和《中国工业统计年鉴》。

2 结果分析

2.1 陕西省城市绿色增长水平时空演化

2.1.1 城市绿色增长水平时序演进

(1) 全省总体时序演变特征

基于 TOPSIS-灰色关联分析方法计算得到陕西省城市绿色增长系统与各准则层的灰色关联贴近度, 从而对陕西省绿色增长水平进行定量评价 (图 2)。由图 2 可知, 2008—

2017年陕西省城市绿色增长水平总体呈现“上升—下降—上升”的“N”型波动上升变化过程,年上升率为0.0237。具体可以分为三个阶段,第一阶段(2008—2010年),陕西省城市绿色增长水平表现为上升趋势,灰色关联贴适度由2008年的0.3268增加到2010年的0.4157,增加了27%;第二阶段(2010—2011年),灰色关联贴适度显著减小,由2010年的0.4175减小至2011年的0.2813,减小了33%,反映该阶段陕西省城市绿色增长水平显著下降;第三阶段(2011—2017年),陕西省城市绿色增长水平迅速提升,灰色关联贴适度由2011年的0.2813增加至2017年的0.5755,提升幅度达到105%。

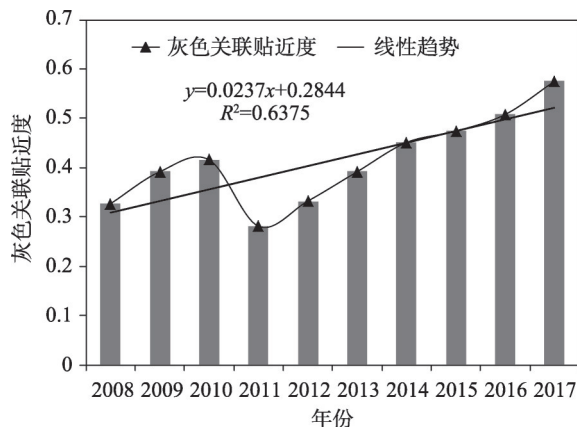


图2 陕西省绿色增长水平(灰色关联贴适度)时间变化趋势

Fig. 2 Temporal change trend of green growth level (grey correlation closeness) in Shaanxi province

陕西省绿色增长系统各准则层灰色关联贴适度在2008—2017年亦表现出波动变化(图3),但整体上都呈现增加趋势,反映了各准则层的绿色增长水平在研究时段内不断增强,尤以自然基础环境、社会经济环境和政策支持环境准则层的表现最为明显。三大准则层在2017年的灰色关联贴适度分别是2008年的91倍、101倍和18倍,这是导致陕西省城市绿色增长水平在2008—2017年不断增高的主要因素;而陕西省城市绿色增长水平在2010—2011年出现明显下滑的主要原因是区域生态环境和生活质量环境两个准则层的灰色关联贴适度出现急剧下降所致。其中,前者在2010—2011年的灰色关联贴适度均值仅为0.1719,不及多年平均值(0.3738)的46%;后者在2010年的灰色关联贴适度为0.6014,但到2011年急剧下降到0.2734,下降了55%。总体来看,2008—2017年陕西省城市绿色增长逐渐向高水平方向发展,说明陕西省的经济社会发展更加绿色化、区域生

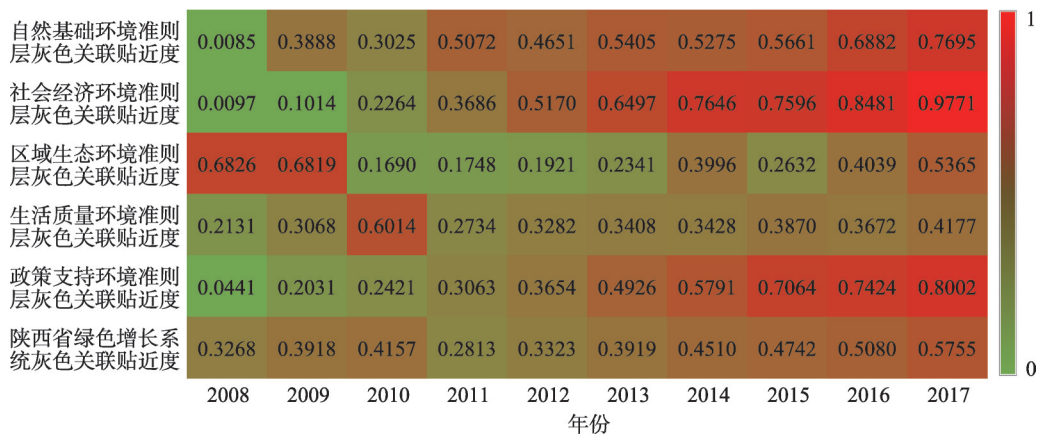


图3 各准则层绿色增长水平(灰色关联贴适度)时间变化

Fig. 3 Temporal change of green growth level (grey correlation closeness) of each criterion layer

态环境有所改善、居民生活环境更加绿色舒适，这无疑得益于自然基础环境的持续好转、经济产业结构和消费结构的不断优化、环境保护与污染治理力度的不断加强以及推行低碳经济、绿色发展等政策措施。

(2) 各城市时序演变特征

陕西省各城市绿色增长水平时间变化趋势见图4。由图4看出，2008—2017年陕西省各城市的绿色增长水平曲线呈现上升、下降、相对平稳三种趋势变化特征。西安、铜川、咸阳、渭南、汉中和安康6市的绿色增长水平有波动增高的趋势；宝鸡、延安、商洛3市的绿色增长水平表现出波动下降趋势；榆林的绿色增长水平变化趋势不明显，相对较稳定。在绿色增长水平有明显提升的6个城市中，铜川的表现最为突出，其绿色增长水平提升迅速且幅度最大，年上升率为0.0081，分别是渭南（排名第2）和汉中（排名第6）的2.9倍和8.1倍；在绿色增长水平出现下降趋势的城市中，商洛的表现尤为明显，其2017年的灰色关联贴适度（0.1849）较多年平均值（0.2086）低11%，年下降率达0.0076，是宝鸡和延安2市年下降率平均值的2.9倍。

从绿色增长水平排名变化来看（图5），陕西省大部分城市绿色增长水平在近10 a排名起伏变化较大，只有部分城市排名相对稳定。具体表现为：西安、榆林、汉中、商洛4个城市的绿色增长水平排名较稳定，其中西安的绿色增长水平最好，始终排在第1位，其次是榆林和汉中，大多数年份排在第2位和第6位；商洛除了2009年外，其余年份均排在第10位。其他6个城市绿色增长水平排名变化与西安等4市相比起伏较大，其中渭南的排名相对靠前，多数年份位居第3、第4位；延安、咸阳及安康则分别排在第7、第8位和第8、第9位；而宝鸡和铜川2市的排名起伏变化最大，非常不稳定。总体来看，陕西省十大城市绿色增长水平排名的起伏变化与自然基础环境、社会经济环境等五大准则层中各种正、负向指标的年际变化密切相关，而某些主导因素占绝对优势是部分城市绿色增长水平始终位居前列的重要原因。例如，西安与其他城市相比，其绿色增长系统

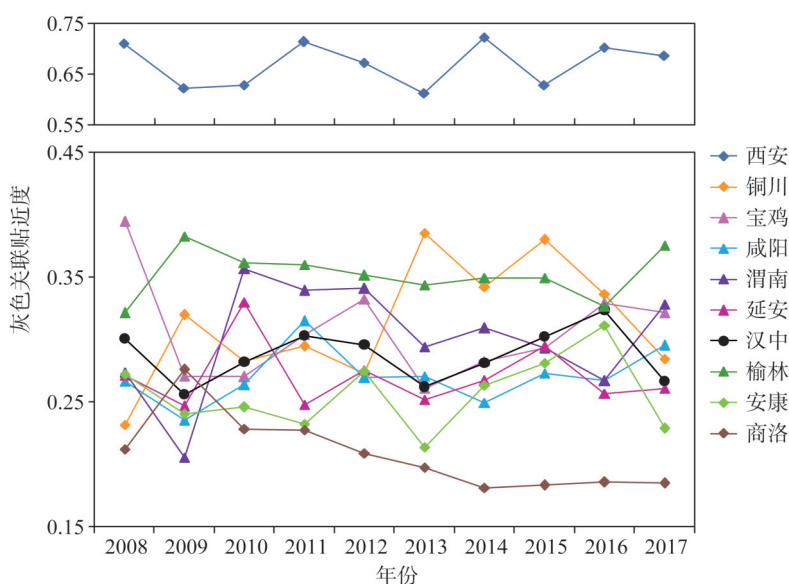


图4 陕西省各城市绿色增长水平（灰色关联贴适度）时间变化趋势

Fig. 4 Temporal change trend of green growth level (grey correlation closeness) of cities in Shaanxi province

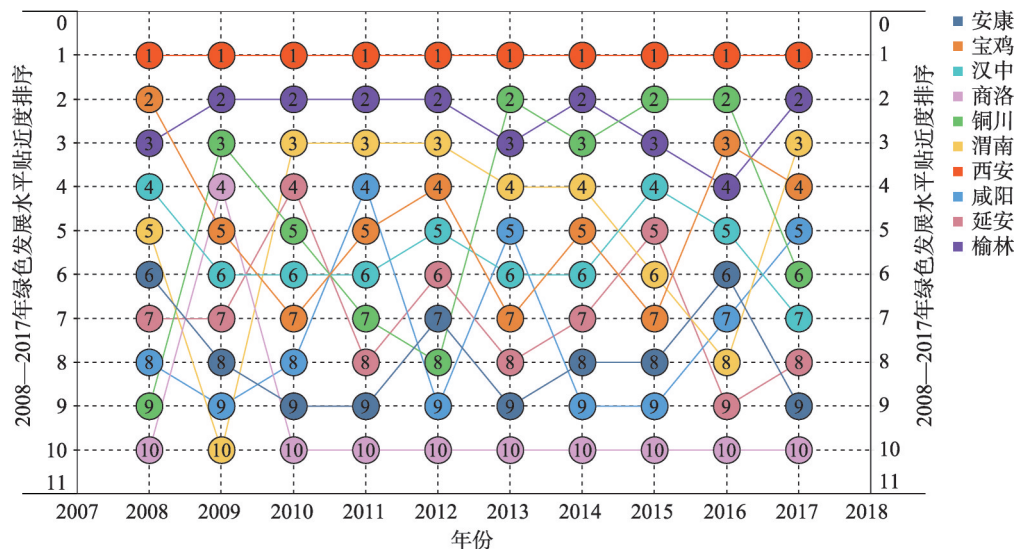


图5 陕西省各城市绿色增长水平（灰色关联贴程度）排名变化

Fig. 5 Ranking changes of green growth level (grey correlation closeness) of cities in Shaanxi province from 2008 to 2017

中五大准则层所含32项指标在所有城市中几乎都占绝对优势，如西安2008—2017年“第三产业占GDP的比例”的平均值为57.5%，而其他城市该指标平均值的最大值不到40%。

2.1.2 城市绿色增长水平空间分异特征

采用标准差分级法对陕西省城市绿色增长水平（灰色关联贴程度）进行分级，共分为低水平区、中等水平区、较高水平区和高水平区四个等级，结果见表3。以表3绿色增长水平分级结果为依据，绘制了2008年、2012年、2017年陕西省城市绿色增长水平空间分布图（图6）。由表3和图6可知，陕西省城市绿色增长水平在不同时期具有明显的空间分异特征。具体表现为：（1）西安始终是唯一的绿色增长高水平区，其多年灰色关联贴程度平均值为0.6700，是位居第2位榆林（灰色关联贴程度多年平均值为0.3523）的

表3 2008—2017年陕西省城市绿色增长水平分级表

Table 3 Grading table of urban green growth level in Shaanxi province from 2008 to 2017

年份	分级标准			
	低水平区 (0, A-S]	中等水平区 (A-S, A]	较高水平区 (A, A+S]	高水平区 (A+S, 1)
2008	(0, 0.1889]	(0.1889, 0.3257]	(0.3257, 0.4625]	(0.4625, 1)
2009	(0, 0.1899]	(0.1899, 0.3055]	(0.3055, 0.4212]	(0.4212, 1)
2010	(0, 0.2153]	(0.2153, 0.3251]	(0.3251, 0.4349]	(0.4349, 1)
2011	(0, 0.2005]	(0.2005, 0.3338]	(0.3338, 0.4670]	(0.4670, 1)
2012	(0, 0.2084]	(0.2084, 0.3295]	(0.3295, 0.4506]	(0.4506, 1)
2013	(0, 0.1954]	(0.1954, 0.3092]	(0.3092, 0.4230]	(0.4230, 1)
2014	(0, 0.1847]	(0.1847, 0.3249]	(0.3249, 0.4650]	(0.4650, 1)
2015	(0, 0.2168]	(0.2168, 0.3280]	(0.3280, 0.4393]	(0.4393, 1)
2016	(0, 0.1990]	(0.1990, 0.3306]	(0.3306, 0.4623]	(0.4623, 1)
2017	(0, 0.1920]	(0.1920, 0.3233]	(0.3233, 0.4546]	(0.4546, 1)

注：表中A为平均值，S为标准差。

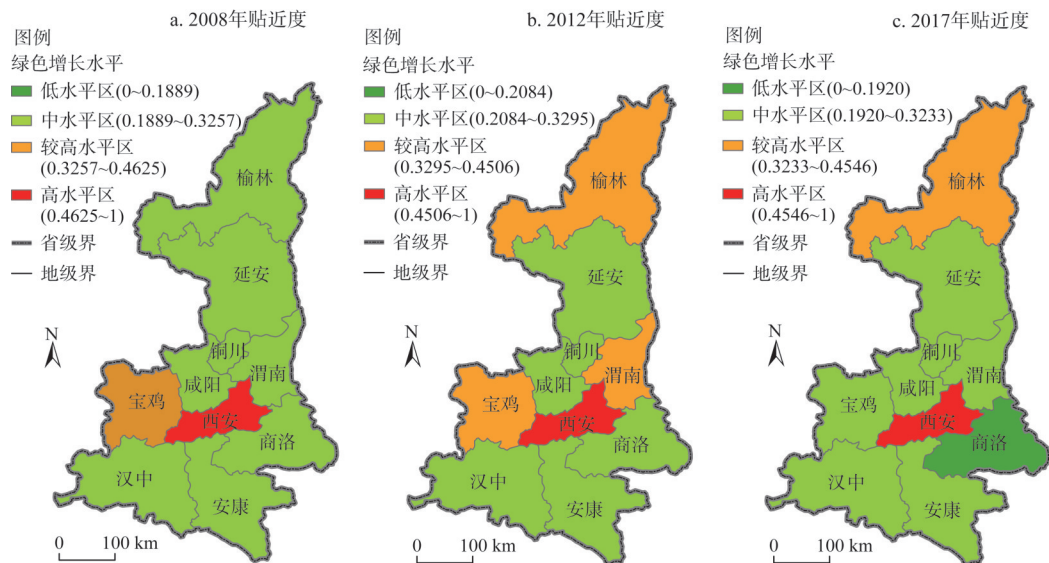


图6 陕西省城市绿色增长水平（灰色关联贴中度）空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of urban green growth level in Shaanxi province

1.9倍。(2) 绿色增长较高水平区主要集中在陕北的榆林、延安和关中的宝鸡、渭南和铜川，其中榆林相对稳定在较高水平区，而延安在研究时段后期则发展为中等水平区；宝鸡和渭南也经历了由较高水平向中等水平发展的过程，而铜川则呈现由中等向较高水平发展的趋势。(3) 绿色增长中等水平区分布区域较大，在陕北、关中和陕南均有分布。较为明显的是：陕南所属汉中、安康、商洛3市的绿色增长水平在研究时段基本都在中等水平以下；关中的宝鸡、渭南和铜川3市的绿色增长水平在较高和中等水平之间徘徊，而咸阳则一直属于绿色增长中等水平区。(4) 商洛是唯一处于低水平区的城市，其绿色增长水平经历了由中等水平向低水平发展的过程，2015年、2016年、2017年的灰色关联贴中度均值仅为0.1846，低于陕南绿色增长平均水平（0.2508），更不及陕西省城市绿色增长多年平均水平（0.4149）的45%。

依据绿色增长水平的泰尔指数测算结果（表4），2008—2017年间，陕西省各城市间绿色增长水平的总体差异较大，且差异随时间变化有不明显的小幅上升趋势，后5年绿色增长水平的泰尔指数平均值（0.0641）较前5年（0.0604）增加5.8%。从泰尔指数结构分解结果来看，陕西省绿色增长水平的地区内泰尔指数略呈下降趋势，而地区间的泰尔指数则呈现明显的波动上升趋势；地区内泰尔指数值在0.0372~0.0594之间，研究时段内平均贡献率为76.6%，而地区间泰尔指数值则介于0.0057~0.0231之间，历年平均贡献率为23.4%，由此说明，地区内差异是导致近10 a陕西省城市绿色增长水平差异的主要原因。比较三大区域的泰尔指数发现，关中地区城市绿色增长水平差异最大（泰尔指数10 a均值为0.0748）且有明显的下降趋势，是陕西省城市绿色增长水平总体差异贡献率（10 a贡献率均值为77.5%）最大的地区；陕北地区差异最小且相对较稳定，近10 a泰尔指数均值仅0.0101，历年贡献率均值为10.2%，陕南地区差异处在中等水平但呈现显著的上升趋势，近10 a泰尔指数均值为0.0120，历年贡献率均值为12.3%。

总体来看，陕西省城市绿色增长水平存在明显的区域差异，且这种差异在研究时段内有进一步扩大的趋势。一方面反映了陕西省各地区自然基础环境条件、经济产业结构

表 4 陕西省城市绿色增长水平的泰尔指数及结构分解

Table 4 Theil index and structure decomposition of urban green growth level in Shaanxi province

年份	总体差异	数值/贡献率(%)				
		地区内差异	地区间差异	陕北地区	关中地区	陕南地区
2008	0.0719	0.0594/82.5	0.0126/17.5	0.0035/3.2	0.0976/87.7	0.0102/9.1
2009	0.0602	0.0546/90.6	0.0057/9.4	0.0236/20.3	0.0911/78.4	0.0016/1.3
2010	0.0486	0.0372/76.4	0.0115/23.6	0.0010/1.5	0.0650/92.9	0.0039/5.6
2011	0.0651	0.0476/73.0	0.0176/27.0	0.0171/17.4	0.0720/73.4	0.0090/9.2
2012	0.0562	0.0437/77.6	0.0126/22.4	0.0074/8.5	0.0694/79.6	0.0104/11.9
2013	0.0586	0.0384/65.6	0.0202/34.4	0.0119/15.2	0.0586/75.3	0.0073/9.5
2014	0.0760	0.0578/76.1	0.0181/23.9	0.0090/7.8	0.0891/77.4	0.0170/14.8
2015	0.0505	0.0380/75.2	0.0125/24.8	0.0036/4.4	0.0565/69.0	0.0218/26.6
2016	0.0660	0.0544/82.4	0.0116/17.6	0.0072/6.3	0.0804/69.7	0.0277/24.0
2017	0.0693	0.0461/66.6	0.0231/33.4	0.0163/17.0	0.0686/71.6	0.0109/11.4

条件、政策环境管制条件等差异的普遍存在对绿色增长水平的制约；另一方面，陕西省各地区、各城市之间要进一步打破行政壁垒，在经济、社会、环境、科技发展等方面加强区域交流与合作，构建经济—社会—生态环境系统不断优化的人地协调发展体系，形成开放融通、互利共赢、优势互补的区域合作新格局，最终才能最大程度地缩小绿色增长水平的地区差异。

2.2 陕西省城市绿色增长水平影响因素解析

2.2.1 内部要素驱动作用

区域绿色增长水平的高低及其空间差异受内部要素和外部环境等多因素的共同作用和影响。基于障碍度模型测定了内部要素对陕西省绿色增长水平的作用，结果见图7~图9。在全省层面上（图7），陕西省绿色增长水平五大准则层的障碍作用具有显著差异，其中生活质量环境和区域生态环境准则层的障碍度最大，其值分别介于29.38%~50.85%和10.86%~30.80%，近10 a均值分别为36.94%和23.74%；政策支持环境准则层的障碍度次之，其值在10.99%~24.76%之间；社会经济环境和自然基础环境准则层的障碍度相对较小，近10 a障碍度平均值分别为11.42%和7.36%。在时间变化趋势上，生活质量环境和区域生态环境准则层障碍度呈现上升趋势，而政策支持环境、社会经济环境和自然基础环境三个准则层的障碍度则表现出下降趋势。这充分印证了前文的评价结果，

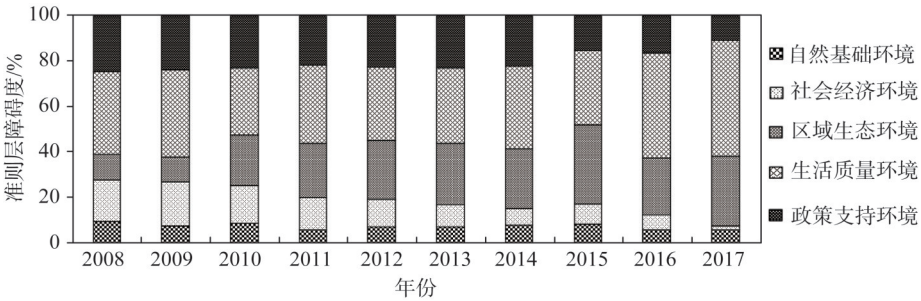


图 7 陕西省绿色增长水平准则层障碍度变化

Fig. 7 Change of barrier degree of criterion layer of urban green growth level in Shaanxi province

即陕西省绿色增长水平出现明显下滑与生活质量环境和区域生态环境两个准则层的强烈阻滞作用密切相关。在城市层面上（图8），不同准则层在城市间的障碍作用存在明显的空间分异。其中，对于榆林、咸阳、宝鸡3市而言，政策支持环境障碍度最大，而延安、西安等其余7市绿色增长的最大障碍则是生活质量环境；此外，社会经济环境在陕南的汉中、安康、商洛3市亦产生较强的阻滞作用。

总体来看，无论是全省层面还是城市层面，区域生态环境、生活质量环境和政策支持环境是制约陕西省城市绿色增长水平的主要障碍因素，且区域生态环境与生活质量环境对绿色增长水平的阻碍作用不断加强，而政策支持环境的阻碍作用则有弱化表现。这与李文正等^[15-17]的研究得出人居环境（生态环境、生活环境）是影响陕西省绿色发展水平提升的主要障碍因子的结论基本一致。

对于要素指标层的障碍因子（图9），在全省层面上，障碍度排在前5位的指标为：废气治理设施处理能力 X_{43} （12.01%）>单位GDP能耗下降率 X_{31} （11.23%）>科研、技术服务从业人员数 X_{54} （9.30%）>建成区绿化覆盖率 X_{49} （3.60%）>一般工业固体废物综合利用率 X_{42} （3.45%），反映了这5个指标是2008—2017年间制约陕西省城市绿色增长水平的主要障碍因子。在变化趋势上， X_{43} 、

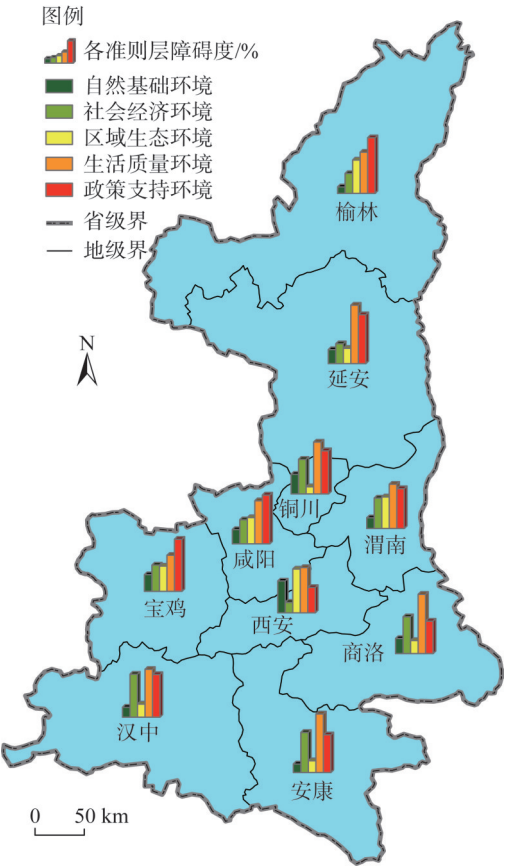


图8 陕西省绿色增长水平准则层障碍度空间差异
Fig. 8 Spatial difference of barrier degree of green growth level criterion layer in Shaanxi province

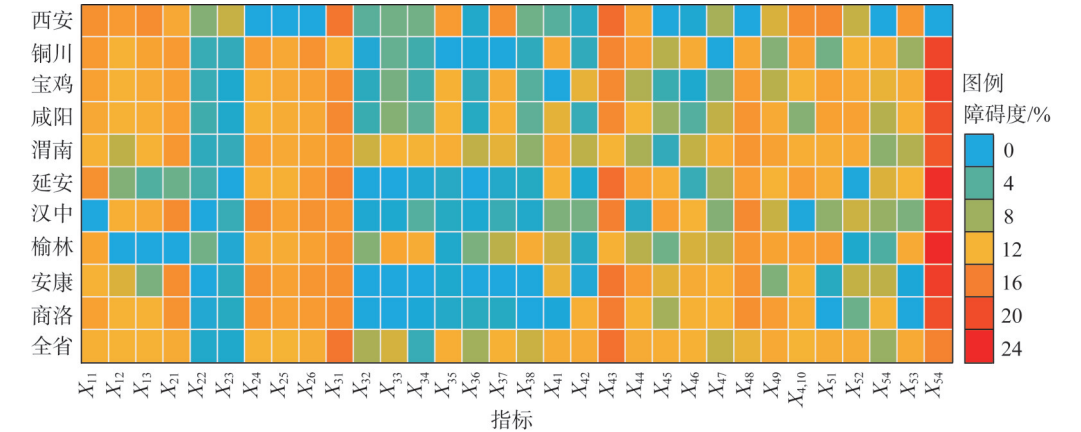


图9 陕西省各城市要素指标层主要障碍因素
Fig. 9 Main obstacle factors of 10 cities in Shaanxi province

X_{31} 、 X_{42} 三个指标的障碍度在2008—2017年表现出明显的增加趋势,说明这三个指标对陕西省城市绿色增长水平的阻碍作用有所加强,而 X_{54} 和 X_{49} 两个指标的障碍度呈现下降趋势,说明近10 a科研、技术服务从业人员数的增加和建成区绿化覆盖率的提升使其对城市绿色增长水平的阻碍程度逐渐减弱。在城市层面上,对绝大多数城市而言,科研、技术服务从业人员数 X_{54} 对绿色增长的阻碍作用最强,其次是废气治理设施处理能力 X_{43} 、单位GDP能耗下降率 X_{31} 、每万人拥有公交车和出租车辆数 X_{48} 以及人均GDP X_{21} 。

2.2.2 外部环境驱动作用

城镇化、市场化、产业结构等外部环境对区域可持续发展水平具有显著影响,借鉴程钰等^[1]的研究,从城镇化水平、产业结构、人口密度、市场化水平、贸易水平和科技创新能力六个方面分析外部环境对陕西省绿色增长水平的影响。其中,用城镇人口占总人口的比例表示城镇化水平,用第三产业产值与第二产业产值的比值表示产业结构,用人口总数与国土面积的比值表示人口密度,采用王小鲁等^[53]发布的《中国分省份市场化指数报告》中的市场化指数表示市场化水平,用进出口贸易总额占全省GDP的比例表示贸易水平^[1],用中国科技发展战略研究院发布的《中国区域创新能力评价报告》^[54]中的科技创新水平指数表示科技创新能力。

灰色关联度可以表征不同要素对现象变化的相对影响程度或效应大小^[55],为揭示城镇化水平等六项外部环境要素对绿色增长影响的重要性程度,将陕西省绿色增长水平(灰色关联贴近度)作为参考数列,六项要素作为比较数列,计算了它们之间的灰色关联系数(图10)。由图10可知,产业结构、科技创新能力两个要素与绿色增长水平的灰色关联系数均在0.85以上,分别为0.92和0.87,关联度最强。区域产业结构是人类经济活动的直接反映,产业结构的类型与组合情况在很大程度上决定着经济活动的投入产出状况,能够揭示区域的资源环境利用效率、经济效率以及生态环境效益;产业结构与陕西省绿色增长水平高度关联,说明产业结构经过不断优化与调整,逐步趋于合理化,对提升陕西省绿色增长效率发挥了重要作用。科技进步与技术创新尤其是绿色科技创新对绿色增长的支撑作用非常关键,科技创新能力与陕西省绿色增长水平高度关联反映了生产技术、消费模式、资源配置与利用方式、环境污染治理手段等诸多环节科技创新水平的提升使绿色增长程度显著提高;同时,科技创新在很大程度上促进产业结构优化升级,其合理化水平有所提高,从而弱化产业结构带来的负面环境效应。

贸易水平、市场化水平、城镇化水平和人口密度四项要素与绿色增长水平的灰色关联系数都在0.65~0.85之间,属于较强关联,说明这四项要素对陕西绿色增长效率的提升亦具有较大的促进作用。通过发展对外贸易,一方面可有效调节资源的配置效率,另一方面在引进和借鉴国际先进科学技术的同时,进一步促使本地企业更新技术,提高创新能力,促进绿色增长。市场化是区域经济

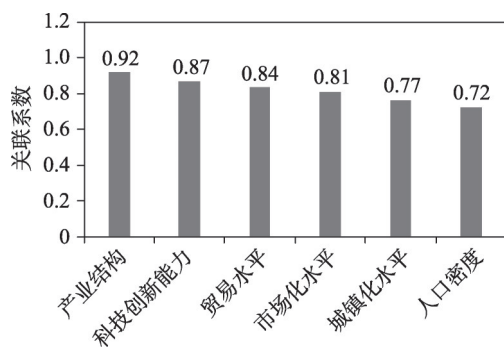


图10 外部环境因素与陕西省绿色增长水平的关联系数

Fig. 10 Correlation coefficient between external environmental factors and green growth level of Shaanxi province

社会发展的内在驱动力,能够促进各类生产要素由低质低效向优质高效流动,在政府的宏观调控下,市场化水平的提高对于转变经济增长方式、实现高质量发展具有重要的推动作用。城镇化水平标志着区域经济的发展程度,人口、产业、资本、知识、技能等的聚集过程和聚集程度是城镇化发展的集中体现,要素集聚产生的集聚效应、规模效应、辐射效应等在一定程度上促使企业通过研发新技术来减少生产成本,降低能耗,从而提高生产效率,增强经济竞争力。人口密度对绿色增长的影响主要体现在人口的大量聚集在提升城镇化水平的同时,对城市生态环境保护与污染治理提出了更高要求,在生态文明建设背景下地方政府必须更加关注城市生态和生活环境的绿色化。当然,城市人口的过度集聚亦会带来巨大的资源环境压力,只有人口发展与城镇化发展水平相适应、与社会经济发展水平相协调,实现均衡发展,才能有效提升绿色增长的质量和效益。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 2008—2017年,陕西省城市绿色增长水平总体呈现“上升—下降—上升”的“N”型波动上升变化过程;绿色增长系统各准则层的绿色增长水平在研究时段内不断增强,尤以自然基础环境、社会经济环境和政策支持环境准则层的表现最为明显。

(2) 2008—2017年,陕西省各城市的绿色增长水平曲线呈现上升、下降、相对平稳三种趋势变化特征;大部分城市绿色增长水平在近10 a排名起伏变化较大,只有西安、榆林、汉中、商洛4个城市的排名较稳定。

(3) 陕西省城市绿色增长水平存在明显的区域差异,且差异在研究时段内有进一步扩大的趋势。泰尔指数分解结果显示,陕西省绿色增长水平的地区内泰尔指数略呈下降趋势,而地区间的泰尔指数则呈现明显的波动上升趋势,且地区内差异是绿色增长水平差异的主要原因;关中地区城市绿色增长水平差异最大且有明显的下降趋势,是陕西省城市绿色增长水平总体差异贡献率(77.5%)最大的地区;陕北地区差异最小且相对较稳定,陕南地区差异处在中等水平但呈现显著的上升趋势。

(4) 内部要素驱动方面,陕西省城市绿色增长水平五大准则层的障碍度存在显著差异,且不同准则层在城市间的障碍作用存在明显的空间分异;区域生态环境、生活质量环境和政策支持环境是制约陕西省城市绿色增长水平的主要障碍因素,且区域生态环境与生活质量环境对绿色增长水平的阻碍作用不断加强,而政策支持环境的阻碍作用则有弱化表现。在全省层面上,制约绿色增长水平的五个主要障碍因子分别是废气治理设施处理能力 X_{43} (12.01%)、单位GDP能耗下降率 X_{31} (11.23%)、科研、技术服务从业人员数 X_{54} (9.30%)、建成区绿化覆盖率 X_{49} (3.60%)和一般工业固体废物综合利用率 X_{42} (3.45%),其中 X_{43} 、 X_{31} 、 X_{42} 三个指标的阻碍作用不断加强,而 X_{54} 和 X_{49} 两个指标则的阻碍程度逐渐减弱。在城市层面上, X_{54} 的阻碍作用最强,其次是 X_{43} 、 X_{31} 、每万人拥有公交车和出租车辆数 X_{48} 以及人均GDP X_{21} 。

(5) 外部环境驱动方面,从对陕西省绿色增长水平的贡献度来看,产业结构、科技创新能力两个要素的贡献度最大,其次是贸易水平、市场化水平、城镇化水平和人口密度。

根据上述研究结果,提出以下对策建议:(1) 合理构建多元化能源生产和消耗体

系,着力提高区域生态环境质量。构建多元化能源结构体系,各地区要因地制宜地发展太阳能、风能、水能、生物质能等绿色清洁能源,不断扩大清洁能源在能源结构中的比例;推广自动化、数字化、智能化等现代科学技术在能源生产和消费中的应用,提高能源生产和利用效率,进一步降低单位产值能耗,提高生态环境质量。(2)提高城市生态建设和环境污染治理水平,优化生活质量环境。实施城市生态环境协同治理,完善城市环境污染治理体系,创新环境污染监测、雾霾监测与治理、“三废”处理等技术,提升“三废”处理能力和循环利用水平。不断优化“生产、生活、生态”空间比例,进一步提高建成区绿化覆盖率,完善公共服务基础设施建设。(3)重视科技人才培养与管理,提高绿色科技创新能力。无论是全省层面还是城市层面,科研、技术服务从业人员数对陕西省绿色增长具有较强的阻碍作用,因此必须进一步加强经济、生态、环保等各领域科技创新型人才的培养与管理,通过完善科技人才培养顶层设计,改革人才引进、管理和激励机制,充分发挥高端科技人才在绿色科技创新、科技成果转化与创收等方面的关键支撑作用。(4)完善绿色增长相关政策制度。根据绿色增长具体要求,制定、修订和完善适应陕西省区域发展与空间分异特点的经济建设、生态建设、环境保护等方面的政策法规,完善促进城市绿色增长政策制度落地的实施机制,实现不同区域的精细化和差异化管制。(5)不断优化外部环境条件,助推城市绿色增长。继续优化和调整(提高)城镇化水平、产业结构、人口密度、市场化水平、贸易水平和科技创新能力,尤其注重对现有产业结构进行转型升级,持续推进产业结构的合理化和高级化,同时着力提高区域科技创新能力,使经济发展从依靠要素、投资拉动为主转向依靠“创新驱动—科技引领—产业升级—绿色增长”为主。

3.2 讨论

本文在概括总结绿色增长内涵及特征的基础上,建立了绿色增长系统与驱动作用机制的基本框架,构建了评价指标体系,分析了陕西省绿色增长水平的时空演变特征及影响因素,研究结果对陕西省绿色增长的总体把控及城市生态文明建设的推进具有一定的参考价值。区域绿色增长系统受内在要素和外部环境多因素的综合影响,多因素的相互耦合胁迫形成了复杂绿色增长系统的作用机制,影响机理分析是绿色增长研究的重中之重。与以往研究相比,本文在明确陕西省城市绿色增长时序变化及空间分异特征的基础上,较为系统地揭示了内部要素和外部环境对绿色增长的驱动作用,但由于绿色增长内涵的丰富性及系统的复杂性,其理论研究在目前仍处于探索阶段,加之部分评价指标数据资料在获取时因统计口径问题而存在一定困难,且个别较为重要的指标难以量化,致使绿色增长的科学评价面临巨大的挑战。未来对绿色增长的研究,一是继续加强绿色增长基础理论研究,进一步完善地理学、生态学、环境学、经济学等多学科交叉视角下绿色增长的内涵界定、驱动机制及实施路径;二是加强绿色增长多尺度区域对比研究,揭示不同区域绿色增长驱动作用机制的空间差异,形成区域绿色增长差异化管制与监测预警机制。

参考文献(References):

- [1] 程钰,王晶晶,王亚平,等.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.
[CHENG Y, WANG J J, WANG Y P, et al. A comparative research of the spatial-temporal evolution track and influence mechanism of green development in China. Geographical Research, 2019, 38(11): 2745-2765.]
- [2] CARSON R. Silent Spring. Boston: Houghton Mifflin Co, 1962.

- [3] MEADOWS D H, MEADOWS D L, RANDERS J, et al. *The Limits to Growth*. New York: Universe Books, 1972.
- [4] 张旭, 李伦. 绿色增长内涵及实现路径研究述评. 科研管理, 2016, 37(8): 85-93. [ZHANG X, LI L. A review of green growth connotation and implementation path. *Science Research Management*, 2016, 37(8): 85-93.]
- [5] World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- [6] VERONIKA D, TOMÁŠ H. *Green Growth in the Czech Republic Selected Indicators*. Czech: Czech Statistical Office, 2011.
- [7] 曾贤刚, 毕瑞亨. 绿色经济发展总体评价与区域差异分析. 环境科学研究, 2014, 27(12): 1564-1570. [ZENG X G, BI R H. Evaluation and differential analysis of regional green economic development in China. *Research of Environmental Sciences*, 2014, 27(12): 1564-1570.]
- [8] 赵奥, 郭景福, 武春友. 中国绿色增长评价指标体系构建及实证测度研究. 科技管理研究, 2018, (16): 245-250. [ZHAO A, GUO J F, WU C Y. The research on construction of green growth evaluation system and empirical measurement of China. *Science and Technology Management Research*, 2018, (16): 245-250.]
- [9] 赵奥, 郭景福, 左莉. 高质量发展变革下中国省域绿色增长能力系统评价与时空差异演化研究. 经济问题探索, 2020, (8): 144-156. [ZHAO A, GUO J F, ZUO L. The research on systematic evaluation of green growth capability and spatial-temporal evolution of China's provinces under the reform of high-quality development. *Inquiry into Economic Issues*, 2020, (8): 144-156.]
- [10] 陈英姿, 荣婧, 李晓巍. 东三省经济绿色增长水平评价及动力因素研究. 生态经济, 2019, 35(8): 50-56. [CHEN Y Z, RONG J, LI X W. Research on evaluation and driving force factors of economic green growth in three northeast provinces of China. *Ecological Economy*, 2019, 35(8): 50-56.]
- [11] 蔡烁纯. 我国30个省市绿色增长指数实证研究: 基于纵横向拉开档次法. 西安石油大学学报: 社会科学版, 2019, 28(4): 28-36. [CAI S C. An empirical study on green growth index of 30 provinces or cities: Based on the vertical and horizontal pull-off method. *Journal of Xi'an Shiyou University: Social Science Edition*, 2019, 28(4): 28-36.]
- [12] WON-SIK H, INHA O, JEONG-DONG L. The impact of Korea's green growth policies on the national economy and environment. *The B. E. Journal of Economic Analysis & Policy*, 2014, 14(4): 1585-1614.
- [13] 周英男, 杨文晶, 王学先. 绿色增长政策研究述评与展望. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(s2): 91-94. [ZHOU Y N, YANG W J, WANG X X. Review and prospect of green growth policy. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(s2): 91-94.]
- [14] 苏明. 构建有利于减贫和绿色增长的财税政策. 国家行政学院学报, 2013, (3): 44-50. [SU M. Building fiscal and tax policies conducive to poverty reduction and green growth. *Journal of Chinese Academy of Governance*, 2013, (3): 44-50.]
- [15] 李文正, 刘宇峰, 张晓露, 等. 陕西省城市绿色发展水平时空演变及障碍因子分析. 水土保持研究, 2019, 26(6): 280-289. [LI W Z, LIU Y F, ZHANG X L, et al. Spatial-temporal evolution of urban green development level and its obstacle factors in Shaanxi province. *Research of Soil and Water Conservation*, 2019, 26(6): 280-289.]
- [16] 李文正, 刘宇峰, 陈玲侠. 2006—2015年陕西省城市绿色发展水平演变分析. 河南科学, 2017, 35(11): 1838-1844. [LI W Z, LIU Y F, CHEN L X. Evolution of Shaanxi province urban green development level from 2006 to 2015. *Henan Science*, 2017, 35(11): 1838-1844.]
- [17] 李文正, 刘倩, 纪茜, 等. 陕西省城市绿色发展水平评价: 基于同其他省区的比较. 江西农业学报, 2017, 29(11): 124-128. [LI W Z, LIU Q, JI Q, et al. Evaluation of urban green developmental level in Shaanxi province based on comparison with other provinces. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2017, 29(11): 124-128.]
- [18] 周亮, 车磊, 周成虎. 中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素. 地理学报, 2019, 74(10): 2027-2044. [ZHOU L, CHE L, ZHOU C H. Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban green development efficiency in China. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 2027-2044.]
- [19] BROWN L R. *Eco-economy: Building an Economy for the Earth*. New York: Earth Policy Institute, 2001.
- [20] 崔兆杰, 张凯. 循环经济理论与方法. 北京: 科学出版社, 2008. [CUI Z J, ZHANG K. *Theory and Method of Circular Economy*. Beijing: Science Press, 2008.]
- [21] Energy White Paper. *Our Energy Future: Creating a Low Carbon Economy*. UK: The Stationery Office, 2003.
- [22] COLBY M E. *The Evolution of Paradigms of Environmental Management in Development*. Word Bank: Strategic Plan-

- ning and Review Department, 1989.
- [23] GOODSTEIN E. Jobs and the environment: An overview. *Environment Management*, 1996, 20(3): 313-321.
- [24] BARNES P. Herbage yields and quality in four woody forage plants in a subhumid environment in Ghana. *Agroforestry Systems*, 1998, 42(1): 25-32.
- [25] 郭玲玲. 中国绿色增长程度评价及实现路径研究. 大连: 大连理工大学, 2016. [GUO L L. Evaluation of green growth degree and implementation paths in China. Dalian: Dalian University of Technology, 2016.]
- [26] ESCAP, UN, UNEP. Green growth, resources and resilience: Environmental sustainability in Asia and the Pacific. Bangkok: ADB Reports, 2013.
- [27] OCED. Declaration on green growth. Paris: OCED, 2009.
- [28] OCED. Towards green growth. Paris: OCED, 2011.
- [29] 吕晓菲. 资源型城市绿色增长能力评价研究. 大连: 大连理工大学, 2015. [LYU X F. Research on assessment of green growth capacity of resource-based city. Dalian: Dalian University of Technology, 2015.]
- [30] 吕福新. 绿色发展的基本关系及模式: 浙商和遂昌的实践. *管理世界*, 2013, (11): 166-169. [LYU F X. The basic relationship and model of green development: The practice of Zhejiang merchants and Suichang. *Management World*, 2013, (11): 166-169.]
- [31] MEYER B, MEYER M, DISTELKAMP M. Modeling green growth and resource efficiency: New results. *Mineral Economics*, 2012, 24(2-3): 145-154.
- [32] REILLY J M. Green growth and the efficient use of natural resources. *Energy Economics*, 2012, 34: S85-S93.
- [33] JACOBS M. Green growth: Economic theory and political discourse. London: Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper No, 2012, 108.
- [34] 张江雪, 朱磊. 基于绿色增长的我国各地区工业企业技术创新效率研究. *数量经济技术经济研究*, 2012, (2): 113-125. [ZHANG J X, ZHU L. Research on technological innovation efficiency of industrial enterprises based on green growth of regions in China. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2012, (2): 113-125.]
- [35] 韩晶, 宋涛, 陈超凡, 等. 基于绿色增长的中国区域创新效率研究. *经济社会体制比较*, 2013, (3): 100-110. [HAN J, SONG T, CHEN C F, et al. Research on regional innovation efficiency based on green growth in China. *Comparative Economic & Social Systems*, 2013, (3): 100-110.]
- [36] 武春友, 郭玲玲. 绿色增长理论与实践的国际比较研究. *中国国情国力*, 2020, (5): 37-41. [WU C Y, GUO L L. International comparative study on green growth theory and practice. *China National Conditions and Strength*, 2020, (5): 37-41.]
- [37] 佟贺丰, 杨阳, 王静宜, 等. 中国绿色经济发展展望: 基于系统动力学模型的情景分析. *中国软科学*, 2015, (6): 20-34. [TONG H F, YANG Y, WANG J Y, et al. Modeling China's green economy 2050: Scenario analysis based on the system dynamics model. *China Soft Science*, 2015, (6): 20-34.]
- [38] 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. [HUANG Y, LI L. A comprehensive assessment of green development and its spatial-temporal evolution in urban agglomerations of China. *Geographical Research*, 2017, 36(7): 1309-1322.]
- [39] 武春友, 郭玲玲, 于惊涛. 基于TOPSIS-灰色关联分析的区域绿色增长系统评价模型及实证. *管理评论*, 2017, 29(1): 228-239. [WU C Y, GUO L L, YU J T. Evaluation model and empirical study of regional green growth system based on TOPSIS and grey relational analysis. *Management Review*, 2017, 29(1): 228-239.]
- [40] 郭玲玲, 卢小丽, 武春友, 等. 中国绿色增长评价指标体系构建研究. *科研管理*, 2016, 37(6): 141-150. [GUO L L, LU X L, WU C Y, et al. A study of the evaluation index system construction of China's green growth. *Science Research Management*, 2016, 37(6): 141-150.]
- [41] 于惊涛, 张艳鸽. 中国绿色增长评价指标体系的构建与实证研究. *工业技术经济*, 2016, 35(3): 109-117. [YU J T, ZHANG Y G. The construction of evaluation index system of green growth and empirical study. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2016, 35(3): 109-117.]
- [42] 郝芳, 王雪华, 孔丘逸. 基于系统动力学的中国绿色增长评价模型研究. *大连理工大学学报: 社会科学版*, 2017, 38(3): 39-45. [HAO F, WANG X H, KONG Q Y. System dynamics-based research on the evaluation model of China green growth. *Journal of Dalian University of Technology: Social Sciences*, 2017, 38(3): 39-45.]

- [43] 周小亮, 吴武林. 中国包容性绿色增长的测度及分析. 数量经济技术经济研究, 2018, 35(8): 3-20. [ZHOU X L, WU W L. The measurement and analysis of the inclusive green growth in China. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2018, 35(8): 3-20.]
- [44] 王珊珊. 基于脱钩的绿色增长及影响因素: 国际比较研究. 大连: 大连理工大学, 2016. [WANG S S. International comparison research on green growth and its influence factors based on decoupling theory. Dalian: Dalian University of Technology, 2016.]
- [45] 张国俊, 邓毛颖, 姚洋洋, 等. 广东省产业绿色发展的空间格局及影响因素分析. 自然资源学报, 2019, 34(8): 1593-1605. [ZHANG G J, DENG M Y, YAO Y Y, et al. Comprehensive level of the green development of industry in Guangdong province and spatial econometric analysis of the influencing factors. Journal of Natural Resources, 2019, 34(8): 1593-1605.]
- [46] 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. [GUO Y H, TONG L J, MEI L. The level of green development and obstacle factors in the limited development ecological zone of Jilin province. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(7): 2463-2472.]
- [47] 张政. 湖北汉江生态经济带区域协调发展与绿色增长效应研究. 武汉: 武汉大学, 2017. [ZHANG Z. Study on regional coordinated development and green growth effect in Hubei Hanjiang Ecological Economic Belt. Wuhan: Wuhan University, 2017.]
- [48] 吴淑丽. 绿色经济测度: 定义与指标选择: 《构建共同的绿色增长指标方法》简介. 中国统计, 2013, (9): 22-23. [WU S L. Green economy measurement: Definition and index selection, brief introduction to "Building a Common Green Growth Indicator Method". China Statistics, 2013, (9): 22-23.]
- [49] 张欣莹, 解建仓, 刘建林, 等. 基于熵权法的节水型社会建设区域类型分析. 自然资源学报, 2017, 32(2): 301-309. [ZHANG X Y, XIE J C, LIU J L, et al. Analysis on the regional type of water-saving society based on entropy weight method. Journal of Natural Resources, 2017, 32(2): 301-309.]
- [50] 赵会杰, 于法稳. 基于熵值法的粮食主产区农业绿色发展水平评价. 改革, 2019, (11): 136-146. [ZHAO H J, YU F W. Evaluation of agricultural green development level in main grain producing areas based on entropy method. Reform, 2019, (11): 136-146.]
- [51] 张玉玲, 迟国泰, 祝志川. 基于变异系数-AHP 的经济评价模型及中国十五期间实证研究. 管理评论, 2011, 23(1): 3-13. [ZHANG Y L, CHI G T, ZHU Z C. The economic evaluation model based on the coefficient of variation and AHP and empirical research during the 10th Five-Year of China. Management Review, 2011, 23(1): 3-13.]
- [52] 人民网. 国务院关于印发国家人口发展规划(2016—2030 年)的通知, <http://politics.people.com.cn/n1/2017/0125/c1001-29049534.html>, 2017-01-25. [People's Network. Notice of the State Council on printing and distributing the national population development plan (2016-2030), <http://politics.people.com.cn/n1/2017/0125/c1001-29049534.html>, 2017-01-25.]
- [53] 王小鲁, 樊纲, 胡李鹏, 等. 中国分省份市场化指数报告(2018). 北京: 社会科学文献出版社, 2019. [WANG X L, FANG G, HU L P, et al. Marketization Index of China's Province: NERI Report 2018. Beijing: Social Science Literature Press, 2019.]
- [54] 中国科技发展战略研究小组. 中国区域创新能力评价报告2019. 北京: 科学技术文献出版社, 2019. [China Science and Technology Development Strategy Research Group. China's Regional Innovation Capability Evaluation Report 2019. Beijing: Science and Technology Literature Press, 2019.]
- [55] 张燕, 陈波, 黄艳非, 等. 西南高原区玉米地方品种农艺性状相关性及其灰色关联度分析. 广东农业科学, 2011, (24): 12-13. [ZHANG Y, CHEN B, HUANG Y F, et al. Correlation and grey correlation degree analysis of central agronomic characteristics of maize landrace in southwest plateau ecological region. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, (24): 12-13.]

Spatio-temporal characteristics of urban green growth level and its influencing factors in Shaanxi province

LIU Yu-feng¹, YUAN Zhi-hua², GUO Ling-xia¹, FENG Jian-min¹,
KONG Wei³, DANG Chen-meng¹

(1. School of Resource & Environment and Historical Culture, Xianyang Normal University, Xianyang 712000, Shaanxi, China; 2. School of Economics and Management, Xianyang Normal University, Xianyang 712000, Shaanxi, China; 3. Ecological Construction and Industry Development Research Center, Hebei North University, Zhangjiakou 075000, Hebei, China)

Abstract: Green growth is a sustainable development mode to realize the coordination between human and land, which plays an important role in promoting regional green development and ecological civilization construction. Taking Shaanxi province as an example, based on the systematic analysis of the connotation and characteristics of green growth, this paper constructs the mechanism framework and evaluation index system of green growth system, and analyzes the spatiotemporal evolution characteristics and influencing factors of urban green growth level from 2008 to 2017 by using TOPSIS grey correlation analysis and Theil index. The results show that: (1) The level of urban green growth in Shaanxi province presents a "rise - drop - rise" fluctuation process. (2) In terms of spatial distribution, there are obvious regional differences in the level of urban green growth, and there is a trend of further expansion; in terms of spatial evolution, the intra-regional differences show a slight downward trend, while the inter-regional differences have an obvious upward trend. (3) Regional ecological environment (X_3), quality of life environment (X_4) and policy support environment (X_5) are the main obstacles to the green growth level of Shaanxi, and there are obvious spatial differences in the barrier effect of different standard layers among cities. (4) On the provincial level, the five factors that hinder the level of urban green growth are the treatment capacity of waste gas treatment facilities (X_{43}), the decline rate of energy consumption per unit GDP (X_{31}), the number of employees engaged in scientific research and technical services (X_{54}), the green coverage rate of built-up areas (X_{49}), and the comprehensive utilization rate of general industrial solid waste (X_{42}); on the urban level, X_{54} has the strongest blocking effect, followed by X_{43} , X_{31} , the number of buses and taxis per 10000 people (X_{48}) and the per capita GDP (X_{21}). (5) In the aspect of external environment driving, industrial structure, scientific and technological innovation ability contribute the most to Shaanxi's green growth, followed by trade level, marketization level, urbanization level and population density. Finally, the paper puts forward countermeasures and suggestions from five aspects, such as building a diversified energy structure system, improving green growth related policies and systems, and optimizing external environmental conditions.

Keywords: green growth level; spatio-temporal evolution; TOPSIS and grey relational analysis; influencing factor; Shaanxi province