

# 鲁南经济带城乡绿色发展效率时空分异及 驱动因素识别

郭付友<sup>1,2</sup>, 佟连军<sup>3</sup>, 仇方道<sup>4</sup>, 许丽梦<sup>1</sup>

(1. 曲阜师范大学地理与旅游学院, 日照 276800; 2. 日照市国土空间规划与生态建设重点实验室, 日照 276800; 3. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102; 4. 江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院, 徐州 221116)

**摘要:** 城乡绿色发展效率对高效低耗绿色发展模式构建、社会经济可持续发展以及实现城乡互动融合具有重要意义。基于鲁南经济带35个县(市、区)13 a 面板数据, 综合采用DEA-Malmquist 指数法、城乡绿色发展效率脱钩状态模型、地理探测器等多种计量模型, 对2005—2017年鲁南经济带城乡绿色发展效率时空分异特征与驱动因素进行综合研究, 结果表明: (1) 技术进步是鲁南经济带绿色 *TFP* 增长的主要来源, 但其贡献度不断下降, 而纯技术效率与规模效率对于绿色 *TFP* 增长的促进作用逐年增强; (2) 研究期内鲁南经济带绿色 *TFP* 增长具有空间分异性, 绿色 *TFP* 的高效率区和次高效率区有向东北和西南地区集中的趋势; (3) 鲁南经济带城乡绿色发展效率的脱钩关系出现反复, 由负脱钩(耦合)到脱钩再到负脱钩, 整体上城乡绿色发展处于动态变化与非协调(或低级耦合)阶段; (4) 普通中学在校学生数、粮食产量、城乡居民储蓄存款余额是城乡绿色发展效率的高作用力影响指标, 因子交互作用后对城乡绿色发展效率解释力远超单因子, 反映出鲁南经济带城乡绿色发展效率的驱动因素具有复杂性特征。

**关键词:** 绿色发展效率; 时空分异; 驱动因素; 地理探测器; 鲁南经济带

长期以来, 我国线性粗放式经济增长模式对生态环境产生了严重胁迫作用, 引起了资源能源供给短缺与生态环境的持续恶化。如何实现经济增长与环境保护的协调统一, 实现二者耦合共生的可持续发展成为亟待解决的关键性问题。绿色发展在生态可持续发展理念指导下, 以资源节约型与环境友好型产业为发展重点, 以产业清洁化、低碳化与绿色化为发展目标, 最终促进区域发展模式由外延粗放的“工业文明”向集约高效的“生态文明”模式转变, 实现经济发展、社会进步与环境保护的全面脱钩<sup>[1-3]</sup>。我国经济进入新常态, 经济增速趋于平稳, 经济增长动力多元化, 客观上要求变革传统粗放型经济增长模式, 实现经济绿色可持续性发展。建立生态环境容量和资源承载力约束下的绿色发展模式, 适应区域可持续发展要求, 为区域科学发展提供了新理念。

区域绿色发展的关键在于绿色发展效率的提升<sup>[4-8]</sup>。绿色发展效率综合考虑了区域发展过程中的资源消耗情况, 弥补了传统效率评价时只考虑依赖增加物质要素投入的规模扩张与总量增长的缺陷, 综合反映了区域发展与资源环境消耗的双向演化关系, 有利于客观体现与评估区域发展真实成本。20世纪90年代以来绿色发展效率开始受到广泛关注, 目前对其研究集中在以下方面: (1) 内涵诠释。绿色发展效率也被称为生态效率,

收稿日期: 2019-10-24; 修订日期: 2020-05-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(41801105, 41771138, 41971158); 山东省自然科学基金博士基金项目(ZR2018BD002)

作者简介: 郭付友(1987-), 男, 山东菏泽人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为区域经济地理与产业生态化。E-mail: guofy945@nenu.edu.cn

指考虑了环境因素的能源效率<sup>[9]</sup>以及区域发展的资源环境消耗的综合发展效率<sup>[10]</sup>，一般而言，包括两个方面内涵：一是衡量区域发展过程中投入要素的利用效率，反映了单位投入成本上的期望产出能力；二是表征了在原有投入要素利用效率基础上的资源环境成本，反映了区域发展过程中的资源环境损耗。由此可见，绿色发展效率是既定产出条件下区域经济要素投入情况下资源环境损耗最小化的能力<sup>[11]</sup>，反映能源消耗和污染物排放的投入产出效率<sup>[12]</sup>。（2）研究内容与评价方法。国外学者多运用经济投入产出生命周期评价模型（EIO-LCA）<sup>[13]</sup>、四阶段DEA模型<sup>[14]</sup>、RAM模型<sup>[15]</sup>、DEA模型<sup>[16]</sup>、可持续评价模型<sup>[17]</sup>等方法对美国、土耳其、马来西亚、欧盟等国家的绿色发展效率进行研究。国内学者则多运用SFA<sup>[18]</sup>、Malmquist生产率指数<sup>[19]</sup>、DEA-Malmquist模型<sup>[20]</sup>、SBM-Undesirable模型<sup>[21]</sup>、超效率DEA视窗分析方法<sup>[22]</sup>、EBM模型<sup>[9]</sup>、Malmquist-Luenberger指数<sup>[23]</sup>、Super-SBM模型<sup>[24]</sup>等研究方法，分析东部沿海地区四大城市群、长江经济带、东北地区、重化工业区等区域绿色发展效率水平。（3）影响因素与驱动机制。区域绿色发展效率是多种因素相互作用与相互影响的结果，从内生增长理论分析，技术进步直接影响创新驱动，教育是创新培育孵化的现实路径，教育与创新因素直接影响着绿色发展效率<sup>[25]</sup>。从要素层面分析，雄厚的经济条件可以为绿色发展效率的提升提供充足的资金技术支持<sup>[26]</sup>。市场条件的竞争机制迫使企业甚至城市管理者采用先进的技术与管理经验，从而有助于绿色发展效率提升。在财政分权经济体制下，政府宏观调控由于在要素自由流动以及资源配置方面的先天优势，直接影响着绿色发展效率水平<sup>[27]</sup>。实证研究认为绿色发展效率直接受到经济发展水平<sup>[28]</sup>、产业结构<sup>[29,30]</sup>、所有制结构<sup>[31]</sup>、科学技术条件<sup>[22]</sup>、环境规制强度<sup>[32]</sup>、城市规模<sup>[33]</sup>、对外开放水平<sup>[10]</sup>、金融发展程度<sup>[34]</sup>、城镇化水平<sup>[35]</sup>、市场化水平<sup>[36]</sup>、能源强度<sup>[24]</sup>等方面影响。同时在绿色发展效率“过程—格局—机理”研究基础上，针对全国、省域、市域等不同区域尺度提出了具体的优化响应策略。纵观国内外绿色发展效率研究进程，研究尺度与研究方法更加多维化与多元化，研究内容从区域绿色发展效率开始演进到测算工业<sup>[37]</sup>、制造业<sup>[38]</sup>、海洋产业<sup>[39]</sup>、水资源<sup>[40]</sup>等具体产业和资源的绿色发展效率。但现阶段研究多集中于从不同地域尺度下测度绿色发展效率，相对缺少对于相互影响与相互制约的互动—响应城乡绿色发展效率的研究。同时对于绿色发展潜在需求较大及具有后发优势的欠发达地区绿色发展效率的研究尚着墨不多。

鲁南经济带作为山东半岛城市群以及淮海经济区的重要组成部分，其资源比较丰富，但内生比较优势依然不足，长时期形成了以建材、机械、化工和纺织等传统重型化产业占据主体的情况，长时期粗放式规模扩张和总量增长的工业化发展模式已经对于环境产生了严重干扰，亟需以绿色发展倒逼区域发展模式转变，实现区域发展与资源环境的协调。同时鲁南经济带仍处于集聚发展的工业化中期，地区之间以及城乡之间存在着明显的差异性，突出表现在城市对乡村要素的虹吸效应，如何有效引导城市要素向乡村地域的回流，实现城乡互融发展也是鲁南经济带亟需解决的迫切问题。基于此，本文采用计量方法对于鲁南经济带城乡绿色发展效率时空格局特征与驱动机制进行综合研究，以为鲁南经济带及其他欠发达地区城乡绿色互融发展提供参考借鉴。

## 1 研究方法 with 数据来源

### 1.1 研究区概况

鲁南经济带区域范围包括日照市、临沂市、枣庄市、济宁市和菏泽市5个地级市

43个县(市、区),幅员面积5.05万 $\text{km}^2$ ,2017年区域年末总人口数和GDP分别为3785.02万人和15534.78亿元,分别占山东省的37.83%和21.39%,鲁南经济带的发展对于山东省社会经济发展起到重要的带动作用。在研究时限内,鲁南经济带进行了相关行政区划调整,如2013年济宁市撤销市中区、任城区,设立新的任城区,以原市中区、任城区的行政区域为新设任城区的行政区域,同时2013年兖州市撤市设区以及2016年定陶县撤县设区。基于此,考虑到研究区域完整性与可对比性,将2005—2013年市中区与任城区进行合并处理,同时将兖州市、定陶县作为外围县域进行考虑,最终确定鲁南经济带包括5个市辖区、30个县级单元(图1)。



图1 研究区域示意图

Fig. 1 The map of the Lunan Economic Belt

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 DEA-Malmquist 模型

区域绿色发展效率直接依赖于区域发展的投入产出特性,而区域劳动力、资本以及科技等生产要素在短时期难以得到根本性转变,由此在既定投入条件下尽可能增加产出是本文关注的焦点问题。本文选择基于以产出为主导的DEA-Malmquist模型进行分析,具体计算方法详见参考文献<sup>[41]</sup>。其中绿色全要素生产率(Total Factor Production, TFP)指数可进一步细分为技术进步(*techch*)、纯技术效率变化(*pech*)和规模效率变化(*sech*),当绿色TFP、*techch*、*pech*、*sech*分别大于1时,表征决策单元发生了TFP增长或改善、技术进步、资源配置与利用效率提高、规模效率提高。反之,上述各指标小于1时,表征相应效率下降或恶化。若上述各指标等于1,表征相应效率未发生变化<sup>[42]</sup>。

### 1.2.2 城乡绿色发展效率脱钩状态模型

“脱钩(Decoupling)”最早起源于物理学,指两个或多个物理量之间的响应关系的不复存在<sup>[43]</sup>,被广泛应用于经济协调发展与资源环境消耗<sup>[44-46]</sup>、城市建设用地变化<sup>[47]</sup>等方面。城乡之间是一种相互作用、相互制约的响应关系,在无外界干扰理想状态下,城市

作为区域发展的增长极，在其快速发展时期突出表现为城市对于乡村的剥夺效应，人口、资金、技术、信息等各种要素流入城市，城乡之间差距逐步扩大造成了二者相互对立。伴随城市扩展过程中出现了与民争地、环境污染等“城市病”与“乡村病”集中爆发，“城强乡衰”的城乡矛盾不可调和。随着城市发展的规模扩张和总量不断增长，在辐射扩散机制与涓滴回流效应的内部驱动以及“城市病”效应的外部影响下，区位便利以及环境优美等类型乡村成为各种要素的回流“洼地”，开始出现“乡兴城退”的发展特征，在城乡发展史上，二者矛盾尤为突出，城乡绿色发展效率的脱钩分析主要是通过探讨城市绿色发展效率与乡村绿色发展效率之间的定量关系变化，揭示区域城乡统筹发展的相互作用状态及程度。在我国行政区域管辖范围下，市辖区突出表现了城市的实体地域，外围县代表了城市作用力影响甚微的乡村地域，为定量测度市辖区绿色发展效率与外围县绿色发展效率之间的脱钩状态及程度，引入城乡绿色发展效率弹性系数（EC），其计算公式为：

$$EC_t = \frac{\Delta MCR_t}{\Delta PCR_t} = \frac{MCR_{it}/MCR_{jt} - 1}{PCR_{it}/PCR_{jt} - 1} \quad (1)$$

式中： $EC_t$ 为 $t$ 时期城乡绿色发展效率弹性系数，表示城乡绿色发展效率的脱钩状态与脱钩程度； $\Delta MCR_t$ 为 $t$ 时期市辖区绿色发展效率的变化率； $\Delta PCR_t$ 为 $t$ 时期外围县绿色发展效率的变化率； $MCR_{it}$ 和 $MCR_{jt}$ 分别为 $t$ 时期研究起始年和期末年的市辖区绿色发展效率； $PCR_{it}$ 和 $PCR_{jt}$ 分别为 $t$ 时期研究起始年和期末年的外围县绿色发展效率。根据相关研究成果<sup>[48,49]</sup>，可划分为脱钩、连接、负脱钩三大类（表1）。

表1 城乡绿色发展效率脱钩程度判断标准

Table 1 The judgment standard of decoupling degree of urban and rural green development efficiency

脱钩程度	脱钩			连接			负脱钩		
	强脱钩	弱脱钩	衰退脱钩	衰退连接	扩张连接	扩张负脱钩	弱负脱钩	强负脱钩	
$\Delta PCR_t$	$\Delta PCR_t > 0$	$\Delta PCR_t > 0$	$\Delta PCR_t < 0$	$\Delta PCR_t < 0$	$\Delta PCR_t > 0$	$\Delta PCR_t > 0$	$\Delta PCR_t < 0$	$\Delta PCR_t < 0$	
$\Delta MCR_t$	$\Delta MCR_t < 0$	$\Delta MCR_t > 0$	$\Delta MCR_t < 0$	$\Delta MCR_t < 0$	$\Delta MCR_t > 0$	$\Delta MCR_t > 0$	$\Delta MCR_t < 0$	$\Delta MCR_t > 0$	
$EC_t$	$EC_t < 0$	$0 < EC_t < 0.8$	$EC_t > 1.2$	$0.8 < EC_t < 1.2$	$0.8 < EC_t < 1.2$	$EC_t > 1.2$	$0 < EC_t < 0.8$	$EC_t < 0$	

### 1.2.3 地理探测器模型

地理探测器模型因可以有效解决假设条件过多的制约条件被广泛应用于社会经济因素与自然环境因素的作用机理的相关研究方面<sup>[50]</sup>。利用地理探测器模型分析作用因素对于因变量的交互作用，是分析复杂因素驱动作用机制的有效研究方法，探测城乡绿色发展效率影响因素的计算模型如下<sup>[51,52]</sup>：

$$P_{DG} = 1 - \frac{1}{n\sigma_G^2} \sum_{i=1}^m n_{D,i} \sigma_{D,i}^2 \quad (2)$$

式中： $P_{DG}$ 为探测因子 $D$ 的探测值； $\sigma_G^2$ 为指标的方差； $n$ 为研究区单元数（个）； $n_{D,i}$ 和 $\sigma_{D,i}^2$ 分别为 $i$ （ $i=1, 2, \dots, m$ ）的层样本量和方差。 $P_{DG} \in [0, 1]$ ， $P_{DG}=0$ 时表示鲁南经济带城乡绿色发展效率空间分布不受驱动因素的作用， $P_{DG}=1$ 时表示鲁南经济带城乡绿色发展效率空间分布高度受到驱动因素的作用，且 $P_{DG}$ 值越大表示探测因子对于城乡绿色发展效率的解释程度越大，空间异质性越强，反之，则空间异质性越弱。

### 1.3 指标选取与数据来源

绿色发展效率综合反映了社会—经济—环境三维系统的协调发展情况，对于绿色发展效率的测度需要综合考虑投入与产出情况。本文以县域为研究单元，对其绿色发展效率的测度可以表征为一定规模要素投入水平下的产出结果，产出水平越高，其效率越好，反之则反。借鉴相关文献<sup>[20,21,32-37]</sup>，基于数据可获得性、可比性及科学性原则，构建了绿色发展效率投入产出评价指标体系，其中投入指标选择年末单位从业人员数、固定资产投资完成额、普通中学在校学生数分别表征劳动力、资本及科技要素投入；产出指标选择地区生产总值、社会消费品零售总额及城乡居民储蓄存款余额分别表征经济效益、社会福利及居民生活。以上所有指标数据均来源于2006—2018年《山东统计年鉴》、2006—2018年《中国县域统计年鉴》，个别年份缺失数据由相邻年份求均值计算得出。

## 2 结果分析

### 2.1 鲁南经济带绿色发展效率时空演变特征

#### 2.1.1 鲁南经济带绿色发展效率时序演化

借助于MaxDEA软件计算得出鲁南经济带35个县（市、区）绿色发展各项效率指标值（表2）。总体上，2006—2017年鲁南经济带技术进步变化指数、规模效率变化指数以及绿色TFP指数分别为1.074、1.005、1.089，说明鲁南经济带绿色TFP增长主要来源于技术进步的贡献。研究期限内鲁南经济带各效率值均在小幅度范围内上下波动，其中纯技术效率变化幅度最大，由0.920升至1.022，其次是技术进步效率，由1.213降至1.083，而绿色全要素生产率和规模效率变化幅度最小，由此说明虽然技术进步是绿色发展效率的主导力量，但其对全要素生产率的贡献呈减弱趋势，尤其是2011年之后技术进步效率不断下降。同时纯技术效率与规模效率对于鲁南经济带绿色发展效率的贡献作用不断加强，说明鲁南经济带绿色发展的规模化集聚水平与集约化发展逐年增强。

表2 2005—2017年鲁南经济带DEA-Malmquist生产率指数及其分解

Table 2 DEA-Malmquist productivity index and its decomposition in Lunan Economic Belt from 2005 to 2017

年份	<i>techch</i>	<i>pech</i>	<i>sech</i>	绿色TFP	年份	<i>techch</i>	<i>pech</i>	<i>sech</i>	绿色TFP
2005—2006	1.213	0.920	0.978	1.092	2011—2012	1.035	1.062	1.123	1.234
2006—2007	1.010	1.014	1.066	1.092	2012—2013	1.081	0.991	1.009	1.080
2007—2008	1.507	1.071	1.012	1.633	2013—2014	1.012	1.026	1.002	1.041
2008—2009	0.782	0.999	0.957	0.748	2014—2015	1.036	0.987	1.003	1.026
2009—2010	1.022	1.037	1.020	1.081	2015—2016	1.058	0.978	1.012	1.047
2010—2011	1.053	0.964	0.883	0.896	2016—2017	1.083	1.022	0.991	1.097

通过变异系数分析可知，鲁南经济带绿色TFP的变异系数呈阶段性变化特征，2006—2013年呈钟摆振荡特征，2014年之后则缓慢上升，说明研究时限内鲁南经济带绿色TFP区域差异并未得到根本性变化，反映出区域绿色发展相对具有稳定固化特征。技术进步变异系数在2006—2013年波动上升，之后逐年降低，说明鲁南经济带技术进步的区域差异性先扩大后缩小。纯技术效率总体波动下降，反映出研究期限内随着鲁南经济带向绿色发展模式转变，区域之间联合发展规划相继出台，一定程度上优化区域资源配

置与经济集约化发展，促进了区域绿色发展水平的提升，相对缩小了区域之间的差距。规模效率的变异系数在2006—2011年波动上升，之后不断下降，说明2006年以来由规模集聚因素导致的投入产出能力差异呈现出先扩大后缩小的特征。

### 2.1.2 鲁南经济带绿色发展效率空间分异特征

为进一步从空间视角分析鲁南经济带绿色发展效率的分布特征，根据2006—2017年全要素生产率指数，选取2006年与2017年截面数据，借助于ArcGIS软件可视化分析功能，采用自然断裂点法将其分为四类：高效率区、次高效率区、次低效率区、低效率区（图2）。

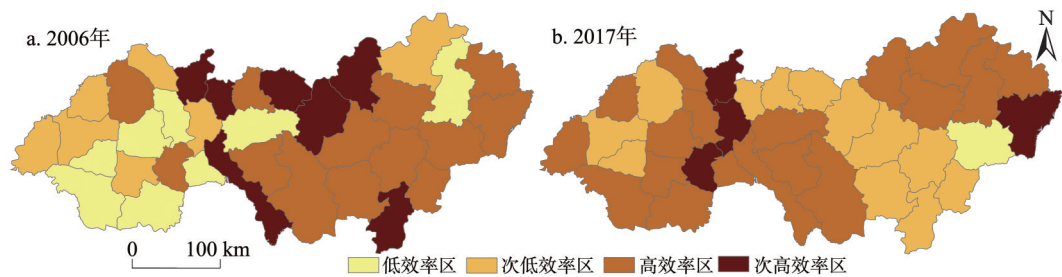


图2 2006年和2017年鲁南经济带绿色全要素生产率指数空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of green total factor productivity index in Lunan Economic Belt in 2006 and 2017

由图2可知，研究期限内鲁南经济带绿色 *TFP* 水平有了一定程度改善，四大效率分布区域数量发生了明显变化，其中次高效率区域数量明显增长，由2006年13个增至2017年18个，而低效率区域则由2006年8个减至2017年1个。同时高效率区域和次高效率区域所占比例也由2006年57.14%升至2017年62.86%，由此说明，鲁南经济带绿色发展效率发生了相对明显的改善。2007年针对山东省东西部发展不平衡问题，提出了“一体两翼”的发展构想，其中鲁南经济带作为发展南翼。2008年《鲁南经济带区域发展规划》正式通过，进一步推动了鲁南经济带互补性与兼容性发展，且2013年《西部经济隆起带发展规划》与2014年《山东省新型城镇化规划》均提出要促进鲁南经济带由点状集聚向带状发展，客观上也促进了区域绿色发展效率的提升。从空间上分析，鲁南经济带绿色 *TFP* 的高效率区和次高效率区有向东北和西南地区集中的趋势，反映出研究期限内鲁南经济带东部和西部地区绿色 *TFP* 改善程度相对优于中部地区，可能由于西部地区直接受到中原城市群和济南省会都市圈涓滴效应，而东部地区受到山东半岛蓝色经济区和青岛都市圈直接带动作用，相对促进了区域绿色发展水平的提升。中部地区以山地为主，区域发展的地形阻隔因素相对明显。

### 2.2 鲁南经济带城乡绿色发展效率脱钩状态

根据城乡绿色发展效率脱钩状态模型测算研究期限内鲁南经济带城乡绿色发展效率脱钩程度（表3）。由表3可知，2007—2010年菏泽市、临沂市、日照市以弱脱钩与弱负脱钩为主，而济宁市和枣庄市的城乡绿色发展效率脱钩状态则经历了较大的转变过程；2011—2014年临沂市脱钩状态未发生明显变化，仍以弱负脱钩为主，菏泽市和日照市则从弱负脱钩向强负脱钩与强脱钩转变，济宁市则以弱脱钩与弱负脱钩为主，枣庄市脱钩状态仍呈现不稳定性；2015—2017年除菏泽市仍以强脱钩为主外，鲁南经济带其他地级

表3 鲁南经济带城乡绿色发展效率的脱钩程度

Table 3 The decoupling degree of urban and rural green development efficiency in Lunan Economic Belt

年份	菏泽市	济宁市	枣庄市	临沂市	日照市
2007	弱脱钩 (0.005)	扩张负脱钩 (2.802)	衰退脱钩 (1.54)	弱负脱钩 (0.120)	强负脱钩 (-0.387)
2008	弱脱钩 (0.014)	强脱钩 (-0.169)	强负脱钩 (-4.68)	弱脱钩 (0.098)	弱脱钩 (0.179)
2009	弱负脱钩 (0.025)	弱负脱钩 (0.037)	衰退连接 (1.011)	弱负脱钩 (0.079)	弱负脱钩 (0.717)
2010	弱脱钩 (0.127)	强脱钩 (-0.012)	弱脱钩 (0.076)	弱脱钩 (0.087)	弱脱钩 (0.292)
2011	弱负脱钩 (0.655)	弱脱钩 (0.062)	强负脱钩 (-58.2)	强脱钩 (-0.030)	弱负脱钩 (0.175)
2012	强负脱钩 (-0.086)	弱负脱钩 (0.005)	强脱钩 (-0.810)	弱负脱钩 (0.130)	弱负脱钩 (0.083)
2013	强负脱钩 (-4.123)	弱负脱钩 (0.600)	衰退连接 (1.103)	弱脱钩 (0.072)	强脱钩 (-0.039)
2014	强脱钩 (-1.427)	弱脱钩 (0.278)	扩张连接 (0.931)	弱负脱钩 (0.072)	强负脱钩 (-0.387)
2015	强负脱钩 (-0.351)	衰退连接 (1.048)	衰退连接 (0.983)	强负脱钩 (-0.113)	强脱钩 (-0.102)
2016	弱负脱钩 (0.230)	衰退连接 (1.000)	扩张连接 (1.074)	强负脱钩 (-0.331)	扩张负脱钩 (1.556)
2017	强脱钩 (-0.409)	弱脱钩 (0.324)	扩张连接 (1.034)	衰退脱钩 (1.225)	扩张负脱钩 (3.125)

注：括号中为城乡绿色发展效率弹性系数。

市脱钩状态则发生了显著的变化，济宁市以弱负脱钩为主转变为衰退连接，枣庄市则以扩张连接为主，临沂市以弱负脱钩为主转变为强负脱钩，日照市则以扩张负脱钩为主。

为了更好地揭示不同时期阶段鲁南经济带城乡绿色发展效率脱钩状态，将2005—2017年划分为2005—2009年 ( $T_1$ )、2010—2013年 ( $T_2$ )、2014—2017年 ( $T_3$ ) 等三个时期，应用公式计算鲁南经济带城乡绿色发展效率弹性系数（以下简称 $EC$ ），结果详见表4。

表4 2005—2017年鲁南经济带城乡绿色发展效率的脱钩程度

Table 4 The decoupling degree of urban and rural green development efficiency in Lunan Economic Belt from 2005 to 2017

地区	$T_1$ (2005—2009年)				$T_2$ (2010—2013年)				$T_3$ (2014—2017年)			
	$\Delta MCR$	$\Delta PCR$	$EC$	脱钩程度	$\Delta MCR$	$\Delta PCR$	$EC$	脱钩程度	$\Delta MCR$	$\Delta PCR$	$EC$	脱钩程度
菏泽市	-0.270	-2.585	0.104	弱负脱钩	-0.100	-1.843	0.054	弱负脱钩	-0.117	-0.005	23.400	弱负脱钩
济宁市	0.024	-2.853	-0.008	强负脱钩	-0.338	-2.310	0.146	弱负脱钩	-0.254	0.792	-0.321	强脱钩
枣庄市	-0.289	-0.416	0.695	弱负脱钩	-0.089	-0.131	0.679	弱负脱钩	0.061	0.054	1.130	扩张连接
临沂市	-0.404	-4.752	0.085	弱负脱钩	0.619	9.889	0.063	弱脱钩	-0.087	-1.270	0.069	弱负脱钩
日照市	-0.426	-0.792	0.538	弱负脱钩	-0.380	2.291	-0.166	强脱钩	0.323	0.778	0.415	弱脱钩
鲁南经济带	-1.365	-11.398	0.120	弱负脱钩	-0.288	7.896	-0.036	强脱钩	-0.074	0.349	-0.212	强脱钩

由表4可知， $T_1$ 时期内，仅有济宁市为强负脱钩，而菏泽市、枣庄市、临沂市、日照市及鲁南经济带均为弱负脱钩； $T_2$ 时期内，菏泽市和枣庄市仍为弱负脱钩，而济宁市与临沂市分别由强负脱钩、弱负脱钩转变为弱负脱钩、弱脱钩，日照市与鲁南经济带均从弱负脱钩转变为强脱钩； $T_3$ 时期内，鲁南经济带城乡绿色发展效率脱钩状态的区域差异性显著，除菏泽市是弱负脱钩状态不变外，济宁市、枣庄市、临沂市、日照市以及鲁南经济带状态均发生了改变，分别转变为强脱钩、扩张连接、弱负脱钩、弱脱钩、强脱钩。

通过以上分析可知，一方面总体上鲁南经济带城乡融合发展程度有了一定程度的改善，中心区域增长极的涓滴回流效应开始显现，外围县获得了发展良机。另一方面不同地级市的绿色发展效率提升重点区域具有明显的差异性，其中菏泽市和临沂市仍是强

市辖区作为绿色发展效率的重点提升区域，日照市和枣庄市城乡绿色发展效率已经实现了相对脱钩，城乡绿色发展处于初级协调发展状态，济宁市绿色发展效率提升的重点在于外围县，在区域发展态势上表现出“乡兴城退”的发展特征。综合表3与表4，鲁南经济带区域城乡绿色发展效率的脱钩关系出现反复，由负脱钩（耦合）到脱钩再到负脱钩，通过脱钩状态反复更为直观的表现鲁南经济带城乡绿色发展处于动态变化与不协调（或低级耦合）阶段。

## 2.3 鲁南经济带城乡绿色发展效率时空效应

### 2.3.1 城乡绿色发展差异程度不断加剧

虽然在研究期限内鲁南经济带城乡绿色发展效率提升重点区域已经发生了转移，区域发展的辐射回流效应开始显现，但总体上鲁南经济带绿色发展效率依然较低，且个别年份与个别地区尚出现了绿色发展效率水平的显著下降。现阶段鲁南经济带仍处于规模扩张与总量增长的工业化加速发展时期，区域往往具有“唯GDP”发展冲动。鲁南经济带地市之间依据自身内生优势与依赖原有路径发展产业，且在行政壁垒与市场分割因素作用下导致了地市之间产业结构趋同、空间市场分割以及资源配置效率不高，区域之间绿色发展水平参差不齐，同时各地市城乡绿色发展效率提升区域不同势必进一步加剧区域绿色发展差异程度。

### 2.3.2 城乡绿色发展具有不可持续性特征

绿色发展效率的提升来源于科学技术的进步。但由前文分析可知，研究期限内技术进步对于鲁南经济带绿色TFP增长的贡献率不断下降，而纯技术效率与规模效率对其贡献率则逐年上升，且在边际效益递减规律作用下，鲁南经济带的绿色发展势必也会逐渐趋缓。同时鲁南经济带普遍存在传统重工业比例过大、资源型产业较为发育以及重型化产业结构尤为突出的问题，区域产业结构转型与优化提升的内在需求势必影响规模化驱动下的绿色发展模式。另一方面鲁南经济带城乡绿色发展的技术扩散传导路径难以摆脱行政壁垒的约束，又进一步制约了鲁南经济带城乡绿色协调共进与协调共生发展。

### 2.3.3 以“城”为主的发展模式短期内难以根本性转变

研究期限内鲁南经济带绿色效率高值区仍然集中于市辖区，在城乡绿色发展过程中，“城”依然发挥了带动作用。2006—2017年鲁南经济带市辖区绿色发展效率均值为1.1328，而外围县均值为1.0644；地级市层面分析，2006—2017年菏泽市、济宁市、枣庄市、临沂市、日照市市辖区绿色发展效率均值分别为1.1157、1.1501、1.0584、1.1298、1.1958，而外围县均值分别为1.1140、1.0742、1.0184、1.1237、1.0950。由此可见，鲁南经济带绿色发展效率仍是处于以城为主的发展阶段，且随着鲁南经济带城市化与工业化的加速推进，以城为主的绿色发展模式短时期尚难以得到根本性转变。

## 2.4 鲁南经济带城乡绿色发展效率驱动因素识别

影响鲁南经济带城乡绿色发展效率的因素繁多，本文从人力资本因素、社会经济因素、城乡收入差距因素三个方面共选取9项指标对鲁南经济带城乡绿色发展效率影响因素进行分析。人力资本因素是影响城乡绿色发展效率的基础性因素，分别选取年末单位人员数（ $x_1$ ）、普通中学在校学生数（ $x_2$ ）两项指标来表征；社会经济因素是影响城乡绿色发展效率的核心因素，能综合反映城乡绿色发展效率现状水平与未来前景，采用粮食产量（ $x_3$ ）、工业总产值（ $x_4$ ）、社会消费品零售总额（ $x_5$ ）、出口总额（ $x_6$ ）、固定资产投



资 ( $x_7$ ) 5项指标来反映; 城乡收入水平因素通过引导城乡之间要素流动进而影响绿色发展效率水平, 选用城乡居民储蓄存款余额 ( $x_8$ )、农民人均纯收入 ( $x_9$ ) 两项指标来表征。利用地理探测器的因子探测模型识别鲁南经济带城乡绿色发展效率的主要驱动因素, 同时采用交互探测识别各因子相互之间的交互作用程度, 囿于篇幅原因, 本文选取2006年、2011年、2017年三个年份进行分析 (表5)。

表5 鲁南经济带城乡绿色发展效率因子探测结果

Table 5 Detection results of urban and rural green development efficiency factors in Lunan Economic Belt

探测因子	$P_{DG}$ (2006年)	$P_{DG}$ (2011年)	$P_{DG}$ (2017年)	探测因子	$P_{DG}$ (2006年)	$P_{DG}$ (2011年)	$P_{DG}$ (2017年)
$x_1$	0.0348	0.0101	0.0768	$x_6$	0.1286	0.2045	0.0242
$x_2$	0.1868	0.2663	0.0981	$x_7$	0.0430	0.0158	0.0376
$x_3$	0.1447	0.2503	0.0610	$x_8$	0.0770	0.0142	0.0467
$x_4$	0.0121	0.0089	0.0228	$x_9$	0.0714	0.0004	0.0234
$x_5$	0.0041	0.0095	0.0036				

风险探测可以用于识别不同驱动因素对于城乡绿色发展效率变化的差异性, 2006年、2011年、2017年三个年份均通过了95%水平下的显著性检验, 说明本文选取的指标与城乡绿色发展效率变化具有相对一致性, 可以较好解释城乡绿色发展效率的差异性。利用因子交互探测发现, 探测因子之间交互作用对城乡绿色发展效率的影响远远超过单因子作用强度, 交互作用类型呈现非线性增强与双线性增强, 并不存在独立作用因子, 反映出城乡绿色发展效率差异性是由各驱动因子相互作用的综合表现, 鲁南经济带城乡绿色发展效率与驱动因素之间具有复杂性特征。

因子探测可以用于识别不同驱动因素对于城乡绿色发展效率变化的作用强度。2006年城乡绿色发展效率前五位的影响因素作用强度排序为 $x_2 > x_3 > x_6 > x_8 > x_9$ , 2011年则为 $x_2 > x_3 > x_6 > x_7 > x_8$ , 2017年则为 $x_2 > x_1 > x_3 > x_8 > x_7$ , 3年来 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_8$ 始终为高作用力影响指标, 由此说明, 人力资本因素、社会经济因素与城乡收入水平因素共同作用于城乡绿色发展效率。教育可以有效地阻断代际贫困, 提升区域农户基本生存与自身发展的绩效水平, 然而现阶段城乡教育非均衡发展的现实条件也导致城市绿色发展效率明显较高。粮食产量是反映农业发展水平的核心指标之一, 粮食产量越高表征县域农业发展情况越好, 农民平均收入越高, 一定程度上也会缩小城乡差距, 促进城乡绿色发展效率提升。城乡居民储蓄存款余额可以反映城乡收入水平, 其值越高表征城乡收入水平越好, 城乡收入水平的提升有助于促进城乡之间要素双向自由流动, 有助于工艺改进与生产技术提高, 促进规模效益形成、生态效率提升及区域生态化发展。

探测因子作用强度时序演化分析, 总体上探测因子 $x_1$ 、 $x_4$ 解释力上升, 其余探测因子解释力下降, 一方面说明了工业化的发展对于鲁南经济带城乡绿色发展效率作用强度越来越突出, 但探测因子变异系数变小也反映出鲁南经济带城乡绿色发展效率驱动因素越来越错综复杂。三个年份中社会消费品零售总额 ( $x_5$ )、出口总额 ( $x_6$ )、固定资产投资 ( $x_7$ ) 解释力均较低, 说明提升鲁南经济带城乡绿色发展效率的“消费—出口—投资”三驾马车驱动较弱, 未来城乡绿色发展效率的提升面临极大的挑战。

### 3 结论与讨论

(1) 鲁南经济带绿色 *TFP* 增长主要来源于技术进步的贡献, 但其对绿色 *TFP* 增长的贡献度呈减弱趋势, 尤其是2011年之后技术进步效率不断下降。而纯技术效率与规模效率对于鲁南经济带绿色发展效率的贡献作用在不断加强, 说明鲁南经济带绿色发展的规模化集聚水平与集约化发展逐年增强。

(2) 研究期限内鲁南经济带绿色 *TFP* 水平有了一定程度改善, 四大效率分布区域数量发生了明显变化, 高效率区域和次高效率区域所占比例由2006年57.14%升至2017年62.86%。鲁南经济带绿色 *TFP* 的高效率区和次高效率区有向东北和西南地区集中的趋势, 反映出研究期限内鲁南经济带东部和西部地区绿色 *TFP* 改善程度相对优于中部地区。

(3) 鲁南经济带城乡绿色发展效率的脱钩关系出现反复, 由负脱钩(耦合)到脱钩再到负脱钩, 整体上鲁南经济带城乡绿色发展处于动态变化与不协调(或低级耦合)阶段, 势必加剧城乡绿色发展差异程度, 使鲁南经济带城乡绿色发展具有不可持续性特征。

(4) 因子探测表明普通中学在校学生数、粮食产量、城乡居民储蓄存款余额一直是城乡绿色发展效率的高作用力影响指标, 表明人力资本因素、社会经济因素与城乡收入水平因素共同作用于城乡绿色发展效率, 由此, 提升教育水平、提高机械化程度以及增加城乡居民收入可以有效促进城乡绿色发展效率提升。

欠发达地区往往面临着发挥区域比较优势与后发优势, 实现欠发达地区转型跨越式发展。但欠发达地区发展往往依赖于资源能源的物资硬性投入, 低效高耗的粗放外延发展模式对资源环境造成了严重干扰, 作为区域发展与资源环境矛盾冲突的尖锐地区, 研究欠发达地区城乡绿色发展效率时空分异与驱动因素具有迫切的现实诉求。通过本文研究发现鲁南经济带城乡绿色发展效率受到多要素相互作用与相互影响, 由此, 对于鲁南经济带城乡绿色发展提升之路需要多维度与多路径的循序推进: (1) 政策层面上要积极给予鲁南经济带政策、资金、人才与技术等支持倾斜力度, 优化区域产业空间布局与统筹区域内部发展的竞合关系, 促进鲁南经济带与周边区域的有效联系, 全面提升区域城乡绿色发展水平。(2) 发挥科学技术在区域绿色发展效率提升中的关键作用, 积极增强城乡发展过程中节能减排、生态经济、绿色循环等科学技术含量, 积极推动鲁南经济带向创新驱动的绿色发展模式转变, 提升区域工业化与城镇化的总量规模与质量效益。(3) 积极培育中心城市, 发挥中心城市的涓滴回流效应与辐射扩散效应, 推进中心城市与周围地区一体化发展进程, 促进鲁南经济带绿色发展向带状与网络式空间发展模式转变。本文的学术贡献在于构建了城乡绿色发展效率脱钩状态模型, 研究了欠发达地区城乡绿色发展效率时空分异特征与驱动因素。限于数据获取原因, 本文未获取到县域尺度下的环境类数据, 未考虑污染排放的非期望产出模型一定程度上会高估区域绿色发展效率。此外, 城乡绿色发展效率受到诸多因素相互作用影响, 未来尝试从微观视角以具体典型案例为研究对象深入揭示其驱动因素与作用机制。

#### 参考文献(References):

- [1] 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. [HU A G, ZHOU S J. Green development: Functional definition, mechanism analysis and development strategy. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(1): 14-20.]
- [2] 诸大建. 绿色经济新理念及中国开展绿色经济研究的思考. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(5): 40-47. [ZHU D J.

- New concept of green economy and consideration of deepening green economy studies in China. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(5): 40-47.]
- [3] 郭付友, 侯爱玲, 佟连军, 等. 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. [GUO F Y, HOU A L, TONG L J, et al. Spatio-temporal pattern and influencing factors of green development in the northeast restricted development zone since the revitalization of the Northeast China. *Economic Geography*, 2018, 38(8): 58-66.]
- [4] 杨志江, 文超祥. 中国绿色发展效率的评价与区域差异. *经济地理*, 2017, 37(3): 10-18. [YANG Z J, WEN C X. Evaluation on China's green development efficiency and regional disparity. *Economic Geography*, 2017, 37(3): 10-18.]
- [5] 穆学英, 刘凯, 任建兰. 中国绿色生产效率区域差异及空间格局演变. *地理科学进展*, 2017, 36(8): 1006-1014. [MU X Y, LIU K, REN J L. Spatial differentiation and change of green production efficiency in China. *Progress in Geography*, 2017, 36(8): 1006-1014.]
- [6] MACHIBA T. Eco-innovation for enabling resource efficiency and green growth: Development of an analytical framework and preliminary analysis of industry and policy practices. *International Economics and Economic Policy*, 2010, 7(2-3): 357-370.
- [7] NAGESHA N. Role of energy efficiency in sustainable development of small-scale industry clusters: An empirical study. *Energy for Sustainable Development*, 2008, 12(3): 34-39.
- [8] CALLENS I, TYTECA D. Towards indicators of sustainable development for firms: A productive efficiency perspective. *Ecological Economics*, 1999, 28(1): 41-53.
- [9] QU Y, YU Y, APPOLLONI A, et al. Measuring green growth efficiency for Chinese manufacturing industries. *Sustainability*, 2017, 9: 637-654.
- [10] 钱争鸣, 刘晓晨. 中国绿色经济效率的区域差异与影响因素分析. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(7): 104-109. [QIAN Z M, LIU X C. Regional differences in China's green economic efficiency and their determinants. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(7): 104-109.]
- [11] 王军, 耿建. 中国绿色经济效率的测算及实证分析. *经济问题*, 2014, (4): 52-55. [WANG J, GENG J. Analysis and empirical study on China green economic efficiency. *On Economic Problems*, 2014, (4): 52-55.]
- [12] AHMED E M. Green TFP intensity impact on sustainable East Asian productivity growth. *Economic Analysis and Policy*, 2012, 42(1): 67-78.
- [13] EGILMEZ G, KUCUKVAR M, TATARI O. Sustainability assessment of U.S. Manufacturing sectors: An economic input output-based frontier approach. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 53: 91-102.
- [14] ZKARA Y, ATAK M. Regional total-factor energy efficiency and electricity saving potential of manufacturing industry in Turkey. *Energy*, 2015, 93: 495-510.
- [15] RAMLI N A, MUNISAMY S. Eco-efficiency in greenhouse emissions among manufacturing industries: A range adjusted measure. *Economic Modelling*, 2015, 47: 219-227.
- [16] KORTELAINEN M. Dynamic environmental performance analysis: A malmquist index approach. *Ecological Economics*, 2008, 64(4): 701-715.
- [17] CHARDINE-BAUMANN E, BOTTA-GENOULAZ V. A framework for sustainable performance assessment of supply chain management practices. *Computers and Industrial Engineering*, 2014, 76: 138-147.
- [18] 肖黎明, 张仙鹏. 强可持续理念下绿色创新效率与生态福利绩效耦合协调的时空特征. *自然资源学报*, 2019, 34(2): 312-324. [XIAO L M, ZHANG X P. Spatio-temporal characteristics of coupling coordination between green innovation efficiency and ecological welfare performance under the concept of strong sustainability. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(2): 312-324.]
- [19] 李汝资, 刘耀彬. 1978年以来中国省际全要素生产率时空演变特征研究. *华东经济管理*, 2016, 30(7): 57-62. [LI R Z, LIU Y B. A study on the temporal and spatial evolution characteristics of the Chinese provincial TFP since 1978. *East China Economic Management*, 2016, 30(7): 57-62.]
- [20] 聂玉立, 温湖炜. 中国地级以上城市绿色经济效率实证研究. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(5): 409-413. [NIE Y L, WEN H W. Green economic efficiency of Chinese city at the level of municipality or above. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(5): 409-413.]

- [21] 林晓, 徐伟, 杨凡, 等. 东北老工业基地绿色经济效率的时空演变及影响机制: 以辽宁省为例. 经济地理, 2017, 37(5): 125-133. [LIN X, XU W, YANG F, et al. Spatio-temporal characteristics and driving forces of green economic efficiency in old industrial base of Northeastern China: A case study of Liaoning province. Economic Geography, 2017, 37(5): 125-133.]
- [22] 吴旭晓. 区域工业绿色发展效率动态评价及提升路径研究: 以重化工业区域青海、河南和福建为例. 生态经济, 2016, 32(2): 63-68. [WU X X. Research on the improving path and dynamic evaluation of regional industrial green development efficiency: Taking the heavy chemical industry zone of Qinghai, Henan and Fujian as examples. Ecological Economy, 2016, 32(2): 63-68.]
- [23] 李汝资, 刘耀彬, 王文刚, 等. 长江经济带城市绿色全要素生产率时空分异及区域问题识别. 地理科学, 2018, 38(9): 1475-1482. [LI R Z, LIU Y B, WANG W G, et al. Spatial-temporal evolution of green total factor productivity and identification of area problems in the Yangtze River Economic Belt. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(9): 1475-1482.]
- [24] 车磊, 白永平, 周亮, 等. 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. [CHE L, BAI Y P, ZHOU L, et al. Spatial pattern and spillover effects of green development efficiency in China. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(11): 1788-1798.]
- [25] 吕冰洋, 余丹林. 中国梯度发展模式下经济效率的增进: 基于空间视角的分析. 中国社会科学, 2009, (6): 60-72. [LYU B Y, YU D L. Improving economic efficiency within the framework of China's tiered development model: An analysis from a spatial perspective. Social Sciences in China, 2009, (6): 60-72.]
- [26] 赵林, 张宇硕, 吴迪, 等. 考虑非期望产出的中国省际海洋经济效率测度及时空特征. 地理科学, 2016, 36(5): 671-680. [ZHAO L, ZHANG Y S, WU D, et al. Marine economic efficiency and spatio-temporal characteristics of inter-province based on undesirable outputs in China. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(5): 671-680.]
- [27] 郭付友, 佟连军, 刘志刚, 等. 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. [GUO F Y, TONG L J, LIU Z G, et al. Spatial-temporal pattern and influencing factors of industrial ecology in Shandong province: Based on panel data of 17 cities. Geographical Research, 2019, 38(9): 2226-2238.]
- [28] 郭付友, 佟连军, 魏强, 等. 吉林省松花江流域产业系统环境适应性时空分异与影响因素. 地理学报, 2016, 71(3): 459-470. [GUO F Y, TONG L J, WEI Q, et al. Spatio-temporal difference and influencing factors of environmental adaptability assessment of industrial system in the Songhua River Basin of Jilin province. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(3): 459-470.]
- [29] 刘耀彬, 袁华锡, 王喆. 文化产业集聚对绿色经济效率的影响: 基于动态面板模型的实证分析. 资源科学, 2017, 39(4): 747-755. [LIU Y B, YUAN H X, WANG Z. Dynamic panel data modeling of the effects of cultural industry clusters on green economic efficiency. Resources Science, 2017, 39(4): 747-755.]
- [30] 赵领娣, 张磊, 徐乐, 等. 人力资本、产业结构调整与绿色发展效率的作用机制. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(11): 106-114. [ZHAO L D, ZHANG L, XU L, et al. Mechanism of human capital, industrial structure adjustment and green development efficiency. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(11): 106-114.]
- [31] 郭付友, 佟连军, 魏强, 等. 松花江流域(吉林省段)产业系统生态效率时空分异与影响因素. 地理研究, 2016, 35(8): 1483-1494. [GUO F Y, TONG L J, WEI Q, et al. Spatial-temporal differentiation and influencing factors of industrial system eco-efficiency in the Songhua River Basin of Jilin province. Geographical Research, 2016, 35(8): 1483-1494.]
- [32] 叶仁道, 张勇, 罗堃. 中国绿色经济效率的测算及影响因素: 基于偏正态面板数据模型. 技术经济, 2017, 36(11): 79-85. [YE R D, ZHANG Y, LUO K. Calculation and influence factors of green economic efficiency of China: Based on skew-normal panel data model. Technology Economics, 2017, 36(11): 79-85.]
- [33] 张文博, 邓玲, 尹传斌. “一带一路”主要节点城市的绿色经济效率评价及影响因素分析. 经济问题探索, 2017, (11): 84-90. [ZHANG W B, DENG L, YIN C B. Evaluation of green economy efficiency and analysis of influencing factors of main cities with "One Belt and One Road". Inquiry into Economic Issues, 2017, (11): 84-90.]
- [34] 王晓云, 魏琦, 杨秀平. 城市绿色经济效率动态评价及影响因素: 基于285个地级以上城市数据的分析. 生态经济, 2017, 33(2): 68-71. [WANG X Y, WEI Q, YANG X P. Dynamic evaluation of urban green economy efficiency and its influencing factors: Based on data of 285 cities. Ecological Economy, 2017, 33(2): 68-71.]
- [35] 方齐云, 许文静. 新型城镇化建设对绿色经济效率影响的时空效应分析. 经济问题探索, 2017, (10): 69-77. [FANG

- Q Y, XU W J. Spatio-temporal effects of new urbanization construction on green economy efficiency. *Inquiry into Economic Issues*, 2017, (10): 69-77.]
- [36] 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.]
- [37] 黄磊, 吴传清. 长江经济带城市工业绿色发展效率及其空间驱动机制研究. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(8): 40-49. [HUANG L, WU C Q. Industrial green development efficiency and spatial driven mechanism in cities of the Yangtze River Economic Belt. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(8): 40-49.]
- [38] PAPETTI A, MENGHI R, DOMIZIO G D, et al. Resources value mapping: A method to assess the resource efficiency of manufacturing systems. *Applied Energy*, 2019, 249: 326-342.
- [39] 狄乾斌, 梁倩颖. 中国海洋生态效率时空分异及其与海洋产业结构响应关系识别. *地理科学*, 2018, 38(10): 1606-1615. [DI Q B, LIANG Q Y. Spatio-temporal difference of marine eco-efficiency and identification of its response relationship with marine industrial structure in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(10): 1606-1615.]
- [40] 孙才志, 姜坤, 赵良仕. 中国水资源绿色效率测度及空间格局研究. *自然资源学报*, 2017, 32(12): 1999-2011. [SUN C Z, JIANG K, ZHAO L S. Measurement of green efficiency of water utilization and its spatial pattern in China. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(12): 1999-2011.]
- [41] FARE R, GROSSKOPF S, NORRIS M, et al. Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries. *American Economic Review*, 1994, 84(5): 1040-1044.
- [42] 王贺封, 石忆邵, 尹昌应. 基于DEA模型和Malmquist生产率指数的上海市开发区用地效率及其变化. *地理研究*, 2014, 33(9): 1636-1646. [WANG H F, SHI Y S, YIN C Y. Land use efficiencies and their changes of Shanghai's development zones employing DEA model and Malmquist productivity index. *Geographical Research*, 2014, 33(9): 1636-1646.]
- [43] 刘贺贺, 杨青山, 张郁. 东北地区城镇化与生态环境的脱钩分析. *地理科学*, 2016, 36(12): 1860-1869. [LIU H H, YANG Q S, ZHANG Y. Urbanization and ecological environment effect in Northeast China based on decoupling analysis. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(12): 1860-1869.]
- [44] 赵兴国, 潘玉君, 赵庆由, 等. 科学发展视角下的区域经济增长与资源环境压力的脱钩分析: 以云南省为例. *经济地理*, 2011, 31(7): 1196-1201. [ZHAO X G, PAN Y J, ZHAO Q Y, et al. Decoupling analysis between regional economic growth and resources and environmental pressure based on view of scientific development: A case study of Yunnan province. *Economic Geography*, 2011, 31(7): 1196-1201.]
- [45] 王鹤鸣, 岳强, 陆钟武. 中国1998—2008年资源消耗与经济增长的脱钩分析. *资源科学*, 2011, 33(9): 1757-1767. [WANG H M, YUE Q, LU Z W. Decoupling analysis of China's resource consumption and economic growth over the period 1998-2008. *Resources Science*, 2011, 33(9): 1757-1767.]
- [46] 刘怡君, 王丽, 牛文元. 中国城市经济发展与能源消耗的脱钩分析. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(1): 70-77. [LIU Y J, WANG L, NIU W Y. Decoupling research between economic development and energy consumption of China's cities. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(1): 70-77.]
- [47] 白忠菊, 藏波, 杨庆媛. 基于脱钩理论的城市扩张速度与经济发展的时空耦合研究: 以重庆市为例. *经济地理*, 2013, 33(8): 52-60. [BAI Z J, ZANG B, YANG Q Y. On the degrees of decoupling and re-coupling of spatial and temporal evolution of urban expansion speed and economic development from 2000 to 2010: A case study of Chongqing city. *Economic Geography*, 2013, 33(8): 52-60.]
- [48] TAPIO P. Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport Policy*, 2005, 12(2): 137-151.
- [49] 钟太洋, 黄贤金, 王柏源. 经济增长与建设用地扩张的脱钩分析. *自然资源学报*, 2010, 25(1): 18-31. [ZHONG T Y, HUANG X J, WANG B Y. On the degrees of decoupling and re-coupling of economic growth and expansion of construction land in China from 2002 to 2007. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(1): 18-31.]
- [50] WANG J F, LI X H, CHRISTAKOS G, et al. 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*, 2010, 24(1): 107-127.

- [51] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134. [WANG J F, XU C D. Geodetector: Principle and prospective. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134.]
- [52] 吕晨, 蓝修婷, 孙威. 地理探测器方法下北京市人口空间格局变化与自然因素的关系研究. 自然资源学报, 2017, 32(8): 1385-1397. [LYU C, LAN X T, SUN W. A study on the relationship between natural factors and population distribution in Beijing using geographical detector. Journal of Natural Resources, 2017, 32(8): 1385-1397.]

## Spatio-temporal pattern and driving factors of urban-rural green development efficiency in Lunan Economic Belt

GUO Fu-you<sup>1,2</sup>, TONG Lian-jun<sup>3</sup>, QIU Fang-dao<sup>4</sup>, XU Li-meng<sup>1</sup>

(1. College of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Rizhao 276800, Shandong, China; 2. Rizhao Key Laboratory of Territory Spatial Planning and Ecological Construction, Rizhao 276800, Shandong, China;

3. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130102, China; 4. School of Geography, Geomatics and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, Jiangsu, China)

**Abstract:** Urban-rural green development efficiency is of great significance to the construction of efficient and low consumption green development model, the sustainable development of social economy and the realization of urban-rural integration. Based on 13-year panel data of 35 counties in Lunan Economic Belt (also known as Southern Shandong Economic Belt), the article estimated the spatio-temporal differentiation characteristics and driving factors of urban-rural green development efficiency in the study area by using DEA-Malmquist index method, decoupling state model of urban-rural green development efficiency, geographic detector and other econometric models. Research shows that: (1) Technological progress is the main source of green *TFP* growth, but its contribution is declining, while the pure technical efficiency and scale efficiency to green *TFP* growth is increasing year by year. (2) The growth of green *TFP* has spatial differentiation, and the high and sub-high efficiency areas of green *TFP* are different during the research period. The growth tends to concentrate in the northeast and southwest of Shandong province. (3) The decoupling relationship between urban and rural green development efficiency in the study area appears repeatedly, from negative decoupling (coupling) to decoupling and then to negative decoupling. On the whole, the green development of urban and rural areas is in the stage of dynamic change and non-coordination (or low-level coupling). (4) The number of students in ordinary middle schools, grain production and savings deposit balance of urban-rural residents are the driving indexes of urban-rural green development efficiency. The explanatory power of factor interaction on the urban and rural green development efficiency is far greater than that of single factor, reflecting the complexity of the driving factors of urban-rural green development efficiency in the Lunan Economic Belt.

**Keywords:** green development efficiency; spatio-temporal pattern; driving factors; geographical detector; Lunan Economic Belt