

郭艳花, 梅林, 佟连军. 产业集聚对绿色发展效率的影响机制——以吉林省限制开发区为例 [J]. 地理科学, 2020, 40(9): 1484-1492. [Guo Yanhua, Mei Lin, Tong Lianjun. The effect of industrial agglomeration on green development efficiency in restricted development zone of Jilin Province. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(9): 1484-1492.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2020.09.010

产业集聚对绿色发展效率的影响机制 ——以吉林省限制开发区为例

郭艳花^{1,2}, 梅林^{1,3}, 佟连军²

(1. 东北师范大学地理科学学院, 吉林 长春 130024; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102;
3. 长春财经学院管理学院, 吉林 长春 130122)

摘要: 适度的产业集聚能够促进专业化生产、改善资源利用方式、提高绿色发展效率, 与限制开发区的功能定位与发展方向高度契合。运用考虑非期望产出 SBM-DEA 模型对 2011—2015 年吉林省限制开发区绿色发展效率进行测算, 并运用空间分析法分析其空间差异特征, 在此基础上采用 Tobit 回归模型分析产业集聚对绿色发展效率的影响机制。结果表明: ① 吉林省限制开发区绿色发展效率处于中等水平, 在时间变化上呈现波动上升的趋势, 在类型上重点生态功能区的绿色发展效率高于农产品主产区; ② 绿色发展效率空间上分布不均衡, 梨树县、伊通县、长岭县、乾安县、扶余县、抚松县、安图县等 7 县位于有效状态, 其余大多数县(市、区)处于效率损失状态; ③ 产业集聚水平与绿色发展效率之间存在先抑制后促进的“U”型非线性关系; ④ 城镇化、产业结构、经济发展、人口承载力等控制因素对绿色发展效率均呈现不同程度的影响。最后根据影响机制分析结果提出相应的政策启示。

关键词: 产业集聚; 绿色发展效率; SBM-DEA; 限制开发区; 吉林省

中图分类号: K902 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2020)09-1484-09

主体功能区规划在国土空间发展格局规范与优化中发挥了积极引导与约束作用^[1], 而该背景下的限制开发区的发展一直面临经济增长与生态环境保护的双重矛盾。限制开发区作为中国主体功能区规划的主要区域类型区, 是指在地域功能上限制工业化与城镇的发展强度和范围以保证农产品供给与生态安全的区域^[2]。该类区域特指限制大规模高强度的工业化城镇化开发, 并不是限制所有的开发活动, 但必须把提供农产品和生态产品作为发展的重要内容, 把增强农产品供给能力、生态产品生产能力作为国土空间开发的重要任务。这样在一定程度上剥夺了该区域的发展权利。随着主体功能区规划的逐步落实, 其自身发展与生态环境保护的矛盾愈加明显, 面对限制开发区保护性的发展要求, 绿色发展成为限制开发区实现

自我突破的重要途径。

国外对绿色发展的相近概念进行了诸多的研究, 如绿色经济^[3]、绿色 GDP^[4]、绿色建筑^[5]、绿色供应链^[6]、可持续发展^[7]等研究。国内绿色发展问题在中国经济转型发展与生态文明建设的双重需求背景下衍生而来, 是可持续发展观在新时期的演化。绿色发展是基于循环经济、低碳经济、生态经济等发展路径, 力求打破现有资源环境对经济发展的约束, 指引社会形态从“工业文明”转向“生态文明”, 实现资源节约、环境友好与经济增长协调共生的发展。关于绿色发展的研究热点, 诸多学者聚焦于绿色发展水平/效率评估及格局演化^[8-10]等研究, 与此同时绿色发展动力机制研究也逐渐关注的着眼点, 比如技术进步^[11]、金融发展^[12]、资源开发^[13]、城镇化发展^[14]、产业集聚^[15-18]等对绿色发展

收稿日期: 2019-02-21; 修订日期: 2019-06-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771138)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41771138).]

作者简介: 郭艳花(1991-), 女, 河南焦作人, 博士研究生, 主要研究方向为区域地理与区域开发。E-mail: guoyh068@nenu.edu.cn

通讯作者: 梅林。E-mail: meil682@nenu.edu.cn

的影响机制。其中产业集聚与绿色发展的有着较为密切的因果关系,产业集聚是产业配置的主要表现形式与实现途径,同时也是区域实现绿色发展的必要条件。从产业配置角度来看,区域各种资源、生产要素甚至各产业为选择最佳区位在空间地域发生流动和转移,对资源、生产要素进行重新组合和配置,进而影响区域产业结构变化以及资源环境利用效率。区域在经济发展过程中所投入的各种资源和要素经过产业结构的转换在空间上集聚形成产业集聚,新经济地理学理论认为^[19],产业在适度集聚的情况下,有利于降低生产成本、促进专业生产、改善生产效率,不断提高边际生产效益形成规模经济;而在过度集聚的情况下,会出现资源供给不足、交通拥挤严重、生活成本上升等现象,不利于发展效率的提升。与此同时,产业集聚与结构变化尤其是第三产业的增加在减少污染排放量方面发挥着重要作用^[19],其通过“结构效应”倒逼提升区域科学技术水平,降低能耗与污染排放增速、改善生产要素配置方式,进而提高绿色发展效率^[20]。因而区域绿色发展规定着产业配置的方向及路径,很大程度上体现了产业配置对绿色发展效率的适应与契合。关于在产业集聚对绿色发展效率的作用机制方面,很多研究从细分行业验证其与绿色发展之间的关系,如农业、旅游业、文化产业、高新技术产业等,并且发现产业集聚对绿色发展效率的作用呈现“U”型曲线关系。总结已有研究,本文的不同之处主要有以下2点:一是现有研究成果在尺度上主要集中在全国、区域、省级、市级层面,本研究从县域单元尺度进行研究以弥补尺度上的不足;二是将限制开发区作为重点关注区域,该类区域自身经济发展与生态保护两种功能冲突尖锐,具有一定的典型性。

为阐释产业集聚对吉林省限制开发区的绿色发展综合影响是促进还是阻碍,本研究以吉林省限制开发区为实证研究案例,在运用考虑非期望产出的SBM-DEA模型测算绿色发展效率的基础上,进一步借助Tobit回归模型分析产业集聚与绿色发展效率的作用机制关系。厘清绿色发展效率与产业集聚的关系将有助于科学统筹吉林省限制开发区绿色发展,建立绿色发展视角下产业配置模式,形成绿色发展效率提升与产业集聚效益的双轮驱动,同时为吉林省限制开发区绿色发展战略制定与产业合理协调发展提供参考借鉴。

1 研究方法、指标选取与数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 SBM-DEA 模型

数据包络分析DEA模型是多投入与多产出之间相对效率评价方法,优点在于不经设定具体函数形式和参数权重就可以得到科学清晰的效率评价,是评价相对效率的重要工具与方法。鉴于绿色发展效率是基于资源环境约束的一种发展效率,传统DEA模型(CCR-DEA、BBC-DEA模型)未考虑投入产出的松弛问题即非期望产出问题,Tone创新性地提出非径向、非角度的SBM-DEA模型^[21],考虑非期望产出的SBM模型能够对投入产出之间的绿色发展效率作出客观地评价,减少评价偏差。具体计算方法见文献[22]。

1.1.2 Tobit 回归模型

Tobit回归模型是被解释变量受到限制的一种回归模型,又称截尾回归。由于SBM-DEA模型测算出的绿色发展效率值介于0~1之间,属于截尾数据,若采用最小二乘法(OLS)估计将会导致估计存在偏差或不一致,故采用最大似然法对Tobit回归模型参数进行估计^[23]。具体计算方法见文献[24]。

1.2 指标选取

绿色发展效率是诸多学者研究绿色发展的重要指标,与传统经济效率有所不同,绿色发展效率考虑了生产要素的非期望产出问题,将资源环境约束指标纳入分析中,以期实现区域资源节约、环境友好与经济增长,是对传统经济效率的改进与修正。以2011—2015年吉林省限制开发区37个县(市、区)作为决策单元(Decision-Making Unite),从投入-产出角度构建DEA模型指标体系,指标选取个数原则一般遵循投入指标数与产出指标数之和小于等于决策单元(DMU)个数的1/3。综合绿色发展效率的内涵,投入变量从劳动力、资本、资源、技术等生产要素方面,分别选取单位从业人员、固定资产投资总额、水资源消耗量、科技支出总额、专业技术人员数量等5个指标,产出变量涉及期望产出、非期望产出,以基于2010年的不变价GDP产值指标表示期望产出,以工业废水排放量、工业二氧化硫排放量、固体废物产生量表示非期望产出。

1.3 数据来源

依据《全国主体功能区规划》与《吉林省主体

功能区规划》中的限制开发区域名录(http://zb.jl.gov.cn/test2012zb_39290/2013015/201315JZF/201312/t20131212_1584164.html), 吉林省限制开发区包括吉林省 41 个县(市、区), 其中农产品主产区有 28 个县(市、区)、重点生态功能区 13 个县(市、区), 面积 161 969 km², 约占吉林省面积的 86.43%(图 1)。根据数据的可得性, 长春市双阳区、九台区和通化市东昌区不考虑在内, 并将白山市的浑江区以及江源区合并为白山市辖区, 因此本研究区域县域单元共包括 37 个。由于国务院于 2010 年颁发《全国主体功能区规划》, 因此以 2011 年为起始年份, 分析 2011—2015 年产业集聚对吉林省限制开发区绿色发展效率的影响及其与产业集聚之间的相互作用关系, 其基础数据来源于 2012—2016 年《吉林省统计年鉴》^[25]、各地级市国民经济和社会发展统计公报以及吉林省统计局。

2 吉林省限制开发区绿色发展效率时空特征

2.1 绿色发展效率时间变化特征

根据上述公式, 运用 Matlab 2016 软件测算 2011—2015 年及吉林省限制开发区各县(市、区)总体绿色发展效率均值, 结果如图 2 所示。从整体

来看, 2011—2015 年吉林省限制开发区的绿色发展效率值分别为 0.565、0.599、0.671、0.653、0.627, 在水平上绿色发展效率处于中等水平, 主要在 0.6 上下波动, 时间变化特征上, 绿色发展效率值呈现先上升后降低的特征, 但整体是上升的趋势, 说明吉林省限制开发区绿色发展效率总体状态不理想, 资源优化配置水平还处于中等水平; 其中梨树、伊通等 17 个县(市、区)绿色发展效率处于平均水平之上, 其余县(市、区)位于平均水平之下。从限制开发区类型上看, 绿色发展效率存在类型差异, 2011—2015 年重点生态功能区的绿色发展效率分别为 0.566、0.580、0.691、0.742、0.694, 农产品主产区的绿色发展效率分别为 0.565、0.607、0.662、0.615、0.599, 重点生态功能区的绿色发展效率总体上要高于农产品主产区。

2.2 绿色发展效率空间格局特征

为具体且直观地显示吉林省限制开发区绿色发展效率的时空格局演进特征, 结合 ArcGIS 10.2 绘制专题地图对 2011 年、2015 年两期绿色发展效率时空格局特征进行对比分析(图 3)。可以看出 2011 年、2015 年吉林省限制开发区绿色发展效率的时空演化格局具有不同的演化特征, 绿色发展效率存在空间不均衡的状态, 处于效率有效的县

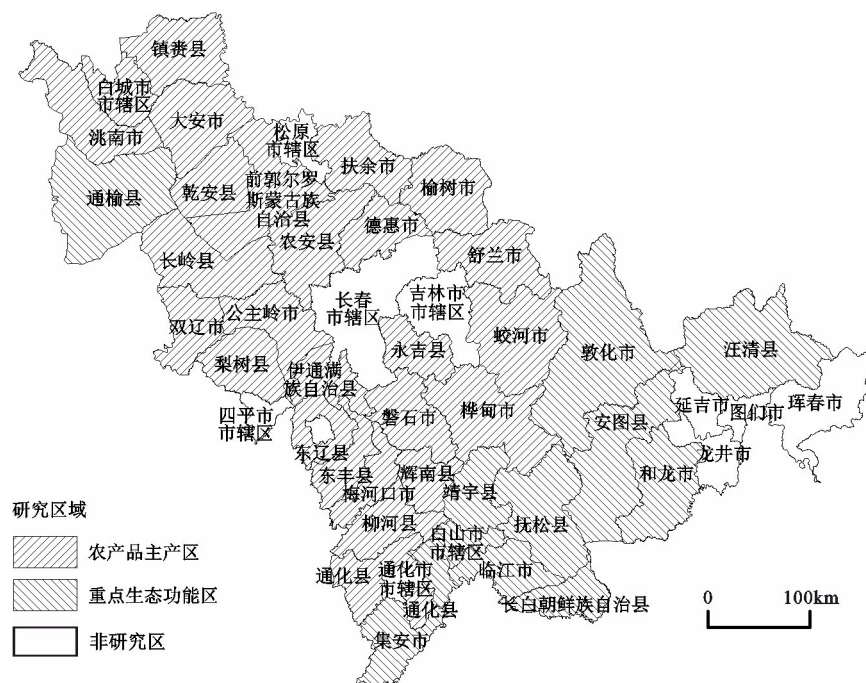
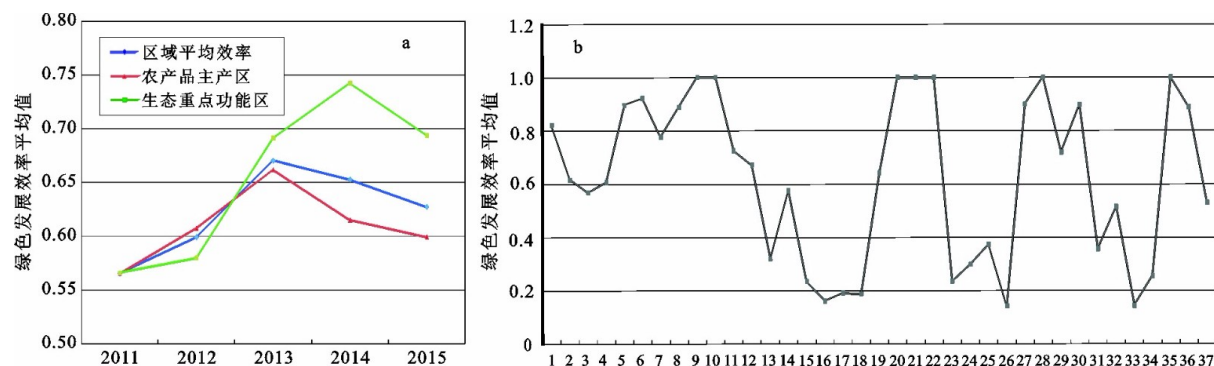


图 1 吉林省限制开发区分布

Fig.1 The restricted development zone of Jilin Province



1 农安县;2 榆树市;3 德惠市;4 永吉县;5 蛟河市;6 桦甸市;7 舒兰市;8 磐石市;9 梨树县;10 伊通县;11 公主岭市;12 双辽市;13 东丰县;14 东辽县;15 通化县;16 辉南县;17 柳河县;18 梅河口市;19 前郭县;20 长岭县;21 乾安县;22 扶余市;23 镇赉县;24 洮南市;25 大安市;26 洮北区;27 临江市;28 抚松县;29 靖宇县;30 长白县;31 白城市区;32 敦化市;33 和龙市;34 汪清县;35 安图县;36 通榆县;37 集安市

图2 2011—2015年吉林省限制开发区绿色发展效率平均值

Fig.2 The average of green development efficiency for Jilin restricted development zone in 2011-2015

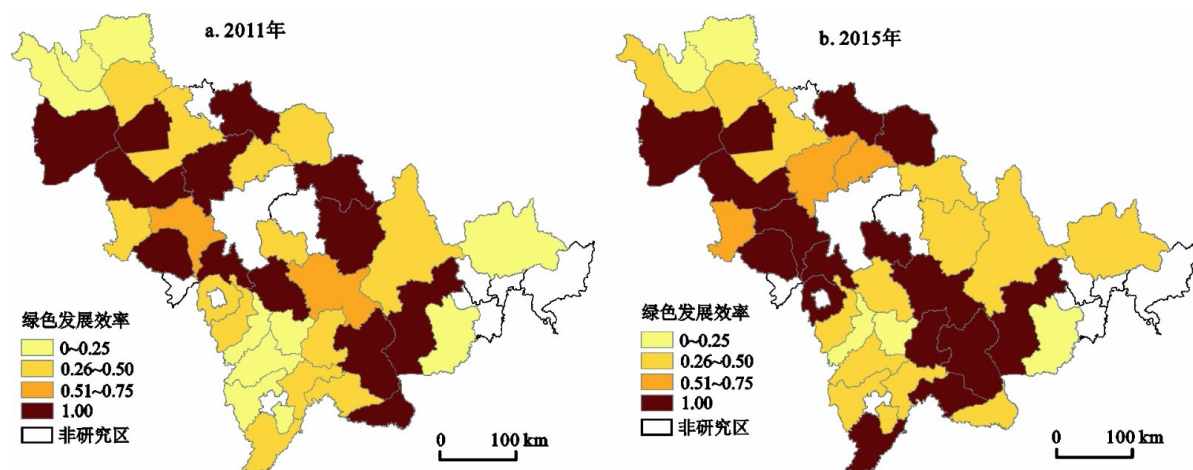


图3 2011、2015年吉林省限制开发区区域绿色发展效率空间格局演化

Fig.3 The spatial evolution of green development efficiency for Jilin restricted development zone in 2011 and 2015

(市、区)分布不均,大多数县(市、区)存在投入冗余或产出不足,处于绿色发展效率损失状态。从有效绿色发展效率来看,2011年绿色发展效率有效的13个县(市、区)有农安、蛟河、舒兰、磐石、梨树、伊通、长岭、乾安、扶余、抚松、长白、安图、通榆,数量占比35.13%,2015年绿色发展效率有效的县域单元数量从13个增加为16个,占比为43.24%,表明仍有较多的县(市、区)绿色发展的投入产出尚未达到最优的状态,吉林省限制开发区绿色发展效率有待进一步地提升。从绿色发展效率无效的县(市、区)来看,2011年绿色发展效率0.25以下即最低的县(市、区)有洮北、镇赉、洮南、汪清、和龙、梅河口、辉南、柳河、通化;2015年绿色发展效率最低的县(市、区)由9个减少为5个,仅有洮

北、镇赉、梅河口、辉南、和龙等县(市、区),总的来说主要集中在西部的白城市和东部的通化、延边大部分县(市、区)。

3 产业集聚对绿色发展效率的影响机制分析

3.1 模型构建

选取产业集聚核心解释变量以及其它控制变量分析产业集聚对绿色发展效率影响机制。以绿色发展效率(*GDE*)为被解释变量,以产业集聚及其它控制变量为解释变量,建立Tobit回归模型。

在测度产业总体集聚指标方面,常用的方法主要有集中系数、变差系数、赫芬达尔系数、区位熵、锡尔系数和基尼系数等^[26]。根据数据的可获得

性,并借鉴相关研究^[27] 本文采用区位熵(LE)作为产业集聚的核心重要指标,在不受区域规模的影响下,能够反映要素的空间及分布情况,其值越大表示越集中,反之越分散。除了产业集聚核心变量之外,结合吉林省限制开发区具体情况,其他控制变量选取如下:以工业总产值代表工业化程度(ISC)、非农业人口占总人口比重代表城镇化水平(UL)、第三产业增加值占 GDP 比重代表产业结构(IST)、二氧化硫去除率代表环境规制(ER)、人均 GDP(以 2010 为基期的不变价)代表经济发展水平(ED)、人口密度代表人口承载力(PD),为了减少异方差的负面的影响,将人均 GDP 和人口密度进行对数变换后加入回归方程。根据公式(1)将实证模型设定:

$$GDE = \beta_1 LE + \beta_2 LE^2 + \beta_3 ISC + \beta_4 UL + \beta_5 IST + \beta_6 ER + \beta_7 \ln(ED) + \beta_8 \ln(PD) + \beta_0 + \varepsilon \quad (1)$$

式中, GDE 代表绿色发展效率, ISC 、 UL 、 IST 、 ER 、 ED 、 PD 分别代表工业化程度、城镇化水平、产业结构、环境规制、经济发展水平、人口承载力, $\beta_1 \sim \beta_8$ 为回归参数, β_0 为截距项, ε 为随机扰动项。

借助 Stata 15.0 软件进行 Tobit 回归分析得到的结果见表 1。从表 1 可以看出工业化程度及环境规制对绿色发展效率影响不显著,而产业集聚水平一次项、产业集聚水平二次项、城镇化水平、产业结构、经济发展水平、人口承载力等因素通过 10% 水平以内的显著性检验,说明这些因素对吉林省限制开发区绿色发展效率表现出显著的影响。

3.2 估计结果与分析

1) 产业集聚水平。大多数研究表明,产业集聚与绿色发展效率的关系存在非线性关系,因此本研究在回归方程中引入产业集聚的二次项验证两者之间是否存在非线性关系。结果表明,产业集聚的一次项系数在 1% 的水平显著为负,二次项系数在 1% 的水平显著为正,这也验证了产业集聚与绿色发展效率之间的“U”型关系,根据二次项公式的特点,确定产业集聚水平拐点为 1.257,两者之间存在先抑制后促进的作用。在产业集聚水平达到“U”型曲线拐点 1.257 之前,产业集聚水平较低,企业产业集聚红利难以释放,绿色发展效率下降,当产业集聚水平超过 1.257 拐点时有利于区域各类要素的合理最大化配置能够实现污染减排、资源节约等因素在内的绿色发展效率水平的提升。

2) 城镇化水平。城镇化水平对绿色发展效率存在显著负相关效应,并通过 10% 水平上的显著性检验。与以长春、四平、吉林、松原、辽源等市辖区为代表的重点开发区域城镇化发展阶段不同,吉林省限制开发区城镇化水平较之相比整体上仍然处于较低水平,农村劳动力向非农产业转移的过程中,由于文化层次、专业技能的限制,从事的行业及能力范围有限,可能会降低总体效率;另外区域内重点开发区域发展中对限制开发区产生的虹吸作用与集聚阴影,使限制开发区劳动力、资本、资源、技术等生产要素不断缺失,产生外部的不经

表 1 吉林省限制开发区产业集聚对绿色发展效率影响回归结果

Table 1 Regression results of influence factors about green development efficiency for Jilin restricted development zone

解释变量	系数	标准差	t值	P值
产业集聚水平	-3.1244	1.0169	-3.07	0.002***
产业集聚水平二次项	2.5056	0.6470	3.87	0.000***
工业化程度	-0.1026	0.1451	-0.71	0.481
城镇化水平	-0.3324	0.1922	-1.73	0.086*
产业结构	0.4661	0.2813	1.66	0.099*
环境规制	-0.1091	0.8273	-1.32	0.189
经济发展水平	0.5774	0.0809	7.14	0.000***
人口承载力	-0.1112	0.0401	-2.77	0.006***
常数	-4.2743	1.0065	-4.25	0.000***
Log likelihood	-33.8212			

注:***、* 分别表示在1%、10%水平上显著。

济性,加上生态补偿机制的不健全,自身发展又得不到相应的补偿,出现要素配置低效率现象,综合以上原因进一步限制了到绿色发展效率的提升。

3) 产业结构。产业结构对提高吉林省限制开发区绿色发展效率具有正向影响,产业结构的调整特别是第三产业增加值的比重,会有效促进绿色发展效率的提升。第三产业增加值比重的提高是区域产业结构向高级化发展的重要表现,第三产业的发展使得投入产出获得更大的边际产出效益,引导区域投入要素与产出效益的优化配置,推动绿色发展效率的提升;近年来,随着各县(市、区)逐步落实主体功能定位的发展要求,各县市产业准入负面清单的也逐步落地实施,严格产业准入条件,限制产业发展门类,明确限制类产业及禁止产业,对区域内煤炭、炼铁等不符合限制开发区开发管制原则的行业严控新增,政府及企业对现有企业升级改造、关停并转,实施产业入园,鼓励第三产业的发展,进而对绿色发展效率的提升起到促进作用。

4) 经济发展水平。经济发展水平显著影响吉林省限制开发区的绿色发展水平效率,并通过了1%水平上的显著性检验,说明经济发展水平的提高对绿色发展效率的提升作用愈加显著。除了产业集聚核心变量之外,经济发展水平对绿色发展效率影响作用最大,由此可见,吉林省限制开发区绿色发展效率的经济“属性”较为明显,经济增量发展仍对吉林省限制开发区的绿色发展产生重要影响,随着经济的发展,人们生活水平不断提高,更加注重生态环境质量,环境保护意识增强,对生态环境的诉求越来越高,由此也会促进绿色发展效率的提升,这与黄跃等的研究结果也较为一致^[28]。

5) 人口承载力。回归结果显示人口密度对绿色发展效率的提升产生了抑制作用,并通过1%水平上的显著性检验。导致这一结果的可能是,人口密度在一定程度上反映出该县(市、区)的人口承载力状况,人口承载力越大,其生态承载力相对越高,反之相对越低;限制开发区多为经济欠发达地区,生态承载力较低,其生态环境系统更加脆弱,更容易受到气候变化、资源消耗和环境污染造成的破坏,自身的脆弱性使的经济发展的资源环境约束更强,因此对于这些地区而言,更有动力和压力推进绿色发展。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文通过考虑非期望产出的SBM-DEA模型测算了吉林省限制开发区的绿色发展效率,采用ArcGIS软件刻画考虑非期望产出情况下绿色发展效率值的时空格局变化,在此基础上运用Tobit面板回归方法分析产业集聚对绿色发展效率的影响机制,得出以下结论。

1) 由SBM-DEA模型测算的结果得出,2011—2015吉林省限制开发区的绿色发展效率处于中等水平,有较大的提升空间。在时间变化上绿色发展效率处于上升的状态,在限制开发区类型上,重点生态功能区的绿色发展效率要高于农产品主产区。在空间可视化上,吉林省限制开发区的绿色发展效率空间上分布不均衡,梨树县、伊通县、长岭县、乾安县、扶余县、抚松县、安图县等7县位于效率有效状态,其余大多数县(市、区)处于效率无效状态。

2) 运用Tobit回归解释产业集聚对绿色发展效率的影响机制,发现产业集聚对绿色发展效率之间存在“U”型的非线性关系,产业的集聚水平对吉林省限制开发区的绿色发展效率呈现先抑制后促进的作用;除了产业集聚的影响外,其他控制变量对绿色发展效率的影响各有不同,由于外部不经济性的存在,城镇化的发展对吉林省限制开发区的绿色发展效率起到了负向效应;产业结构以及经济发展水平对绿色发展效率的提升存在促进作用;而在人口承载力对绿色发展效率产生了抑制作用。

4.2 讨论

通过本研究得出的结论,得出吉林省限制开发区提升绿色发展效率几点政策启示:一是在样本研究时间段由于外部不经济的存在,以非农业人口比重衡量的城镇化的发展抑制了绿色发展效率的提升,因此限制开发区在适度范围内仍需要加强农业人口向非农业人口转移,应当重点提供第三产业为主的就业岗位;二是产业结构的调整尤其是第三产业增加值比重的增加对限制开发区的绿色发展效率起到提升作用,因此面对产业发展各项限制与禁止条件等保护性发展,应当走生态产业园的产业组织发展模式,同时限制不符合主体功能定位的产业扩张,制定资源消耗、生产规

模、工艺技术等强制性产业准入门槛;三是经济发展水平作为产业集聚之外的重要影响因素,说明发展经济仍然是推进具有欠发达经济特征的限制开发区的绿色发展提升的重要途径,在功能定位上应注重生态环境保护与经济发展的共同推进,两者不能偏废;四是吉林省限制开发区的人口承载力与绿色发展效率呈现抑制作用,人口承载力低一定程度上显示出生态环境承载力较弱,推动绿色发展中应注重其自身的资源环境约束,引导人口逐步自愿平稳有序转移,制定居住、就业、教育等补助政策引导居民当地集中生活或向外转移,使得经济发展与人口承载能力相适应。综合来讲,吉林省限制开发区需要通过推进城镇化、调整产业结构、转变经济增长方式、引导人口承载力等方式实现提升绿色发展效率的目标。

限制开发区作为生态环境保护与自身发展矛盾最尖锐的区域,讨论吉林省限制开发区产业集聚与绿色发展效率的作用机制,不仅有利于探索限制开发区地区的可持续发展问题,同时有助于建立绿色发展视角下限制开发区的产业配置模式。需要注意的是本文仍存在一些不足之处,由于主体功能区划以最小行政单元县域为尺度,故在本研究中受数据来源限制,在水资源消耗方面只选取了2011年之后的数据,未能对吉林省限制开发区绿色发展效率的长时间波动特征进行刻画,未来随着数据的丰富完善,考虑长时间样本量对分析产业集聚对绿色发展效率的影响机制更具有说服力。

参考文献(References):

- [1] 樊杰. 主体功能区战略与优化国土空间开发格局[J]. *中国科学院院刊*, 2013, 28(2): 193-206. [Fan Jie. The strategy of major function oriented zoning and the optimization of territorial development patterns. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2013, 28(2): 193-206.]
- [2] 樊杰. 中国主体功能区划方案[J]. *地理学报*, 2015, 70(2): 186-201. [Fan Jie. Draft of major function oriented zoning of China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(2): 186-201.]
- [3] Carfi D, Schiliro D. A cooperative model for the green economy[J]. *Economic Modelling*, 2012, 29(4): 1215-1219.
- [4] Kunanuntakij K, Varabuntoonvit V, Vorayos N et al. Thailand green GDP assessment based on environmentally extended input-output model[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 167: 970-977.
- [5] Dwaikat L N, Ali K N. The economic benefits of a green building—Evidence from Malaysia[J]. *Journal of Building Engineering*, 2018, 18: 448-453.
- [6] Tseng M L, Islam M S, Karia N et al. A literature review on green supply chain management: Trends and future challenges[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 141: 145-162.
- [7] Bina O. The green economy and sustainable development: An uneasy balance?[J]. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 2013, 31(6): 1023-1047.
- [8] Wang M X, Zhao H H, Cui J X et al. Evaluating green development level of nine cities within the Pearl River Delta, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 174: 315-323.
- [9] 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[J]. *地理科学*, 2018, 38(11): 1788-1798. [Che Lei, Bai Yongping, Zhou Liang et al. Spatial pattern and spillover effects of green development efficiency in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(11): 1788-1798.]
- [10] 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[J]. *经济地理*, 2018, 38(8): 58-66. [Guo Fuyou, Hou Ailing, Tong Lianjun et al. Spatio-temporal pattern and influencing factors of green development in the northeast restricted development zone since the revitalization of Northeast China. *Economic Geography*, 2018, 38(8): 58-66.]
- [11] Zhang J, Chang Y, Zhang L et al. Do technological innovations promote urban green development?—A spatial econometric analysis of 105 cities in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 182: 395-403.
- [12] 黄建欢, 吕海龙, 王良健. 金融发展影响区域绿色发展的机理——基于生态效率和空间计量的研究[J]. *地理研究*, 2014, 33(3): 532-545. [Huang Jianhuan, Lv Hailong, Wang Liangjian. Mechanism of financial development influencing regional green development: Based on eco-efficiency and spatial econometrics. *Geographical Research*, 2014, 33(3): 532-545.]
- [13] 于成学, 葛仁东. 资源开发利用对地区绿色发展的影响研究——以辽宁省为例[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(6): 121-126. [Yu Chengxue, Ge Rendong. Impact of resource development and utilization on local green development: A case of Liaoning Province. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(6): 121-126.]
- [14] 王兵, 唐文狮, 吴延瑞, 等. 城镇化提高中国绿色发展效率了吗?[J]. *经济评论*, 2014(4): 38-49+107. [Wang Bing, Tang Wenshi, Wu Yanrui et al. Does urbanization increase China's green development efficiency?. *Economic Review*, 2014(4): 38-49+107.]
- [15] 薛蕾, 申云, 徐承红. 农业产业集聚与农业绿色发展: 效率测度及影响效应[J]. *经济经纬*, 2020, 37(3): 45-53. [Xue Lei, Shen Yun, Xu Chenghong. A research on spillover effects of agricultural agglomeration on agricultural green development efficiency. *Economic Survey*, 2020, 37(3): 45-53.]
- [16] 周杰文, 蒋正云, 李凤. 我国旅游产业集聚对绿色经济效率的

- 影响——基于省级面板数据的实证研究[J]. 生态经济, 2019, 35(3): 122-128. [Zhou Jiewen, Jiang Zhengyun, Li Feng. The Impact of Tourism Industry Agglomeration on the Efficiency of Green Economy: An Empirical Research Based on Provincial Panel Data. *Ecological Economy*, 2019, 35(3): 122-128.]
- [17] 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[J]. 资源科学, 2017, 39(4): 747-755. [Liu Yaobin, Yuan Huaxi, Wang Zhe. Dynamic panel data modeling of the effects of cultural industry clusters on green economic efficiency. *Resources Science*, 2017, 39(4): 747-755.]
- [18] 胡安军, 郭爱君, 钟方雷, 等. 高新技术产业集聚能够提高地区绿色经济效率吗?[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(9): 93-101. [Hu An'jun, Guo Ai'jun, Zhong Fanglei et al. Can the high-tech industrial agglomeration improve the green economic efficiency of the region?. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(9): 93-101.]
- [19] Cheng Z, Li L, Liu J. Industrial structure, technical progress and carbon intensity in China's provinces[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 81: 2935-2946.
- [20] 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[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(11): 106-114. [Zhao Lingdi, Zhang Lei, Xu Le et al. Mechanism of human capital, industrial structure adjustment and green development efficiency. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(11): 106-114.]
- [21] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002(1): 32-41.
- [22] 狄乾斌, 孟雪. 基于非期望产出的城市发展效率时空差异探讨——以中国东部沿海地区城市为例[J]. 地理科学, 2017, 37(6): 807-816. [Di Qianbin, Meng Xue. Spatial and temporal disparities of urban development efficiency of coastal cities in China based on undesirable outputs. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(6): 807-816.]
- [23] Tobin J. Estimation of relationship for limited dependent variables[J]. *Econometrica*, 1958, 26(1): 24-36.
- [24] 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[J]. 地理学报, 2019, 74(10): 2027-2044. [Zhou Liang, Che Lei, Zhou Chenghu. Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban green development efficiency in China. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 2027-2044.]
- [25] 吉林省统计局, 国家统计局吉林调查总队. 吉林统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012-2016. [Jilin Provincial Statistical Bureau, Jilin Investigation Corps of National Bureau of Statistics. *Jilin statistical year book*. Beijing: China Statistics Press, 2012-2016.]
- [26] 贺灿飞, 潘峰华. 产业地理集中、产业集聚与产业集群: 测量与辨识[J]. 地理科学进展, 2007, 26(2): 1-13. [He Canfei, Pan Fenghua. Geographical concentration and agglomeration of industries: Measurement and Identification. *Progress in Geography*, 2007, 26(2): 1-13.]
- [27] 唐承丽, 吴艳, 周国华. 城市群、产业集群与开发区互动发展研究——以长株潭城市群为例[J]. 地理研究, 2018, 37(2): 292-306. [Tang Chengli, Wu Yan, Zhou Guohua. Interactive development of urban agglomeration, industrial cluster and development zone: A case study of Chang-Zhu-Tan urban agglomeration. *Geographical Research*, 2018, 37(2): 292-306.]
- [28] 黄跃, 李琳. 中国城市群绿色发展水平综合测度与时空演化[J]. 地理研究, 2017, 36(7): 1309-1322. [Huang Yue, Li Lin. A comprehensive assessment of green development and its spatial-temporal evolution in urban agglomerations of China. *Geographical Research*, 2017, 36(7): 1309-1322.]

The Effect of Industrial Agglomeration on Green Development Efficiency in Restricted Development Zone of Jilin Province

Guo Yanhua^{1,2}, Mei Lin^{1,3}, Tong Lianjun²

(1. College of Geographical Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, Jilin, China;

2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, Jilin, China;

3. College of Management, Changchun University of Finance and Economics, Changchun 130122, Jilin, China)

Abstract: Green development efficiency is an indicator that is tied to economic growth and environment and severs as a useful instrument for sustainability analysis. This article estimates green development efficiency of 37 counties in restricted development zone of Jilin during 2011–2015 using slack SBM-DEA model which takes consideration of undesirable output. Then this article goes on to determine whether industrial agglomeration promote or impede the enhancement of green development efficiency in restricted development zone of Jilin by Tobit model. The results show that: 1) The average green development efficiency ranges from 0.565 4 to 0.670 5 during 2011–2015, which is at the medium level lower, and are following an upward path. Significant spatial differences exist in the green development efficiency in Northeast China. There are 7 counties, such as Lishu, Yitong, Changling, Ganan, Fuyu, Fusong and Antu in the green development state, and most of the other counties and cities are in a state of green development efficiency loss. 2) A U-shaped nonlinear relationship exists between industrial agglomeration level and green development efficiency and the inflection point is 1.257. The results concerning the industrial agglomeration level and its squared value reveal that green development undergoes a process of falling first and then rising as the industrial agglomeration reaches a high level. While green development efficiency tends to fall during the low level of industrial agglomeration, there comes a turning point when green development efficiency begins to increase as the industrial agglomeration level increases. 3) Industrialization and environmental regulation have no significant impact on green development efficiency. Control factors, such as economic development, urbanization, industrial structure, population carrying capacity, have different degrees of impact on green development efficiency, passing the significance test within 10% level. Economic development level and industrial structure are positively related to green development efficiency, while urbanization level and population density are negatively related to green development efficiency. 4) According to the analysis of effects of industrial agglomeration on green development efficiency, some corresponding policy implications are proposed in this article. The restricted development zone in Jilin Province should achieve the goal of improving the efficiency of green development by promoting urbanization, adjusting industrial structure, transforming economic growth mode, and guiding population carrying capacity.

Key words: industrial agglomeration; green development efficiency; SBM-DEA; restricted development zone; Jilin Province