

江西省城市绿色经济效率时空变动及影响因素

李汝资 潘锴¹

(南昌大学 经济管理学院, 江西 南昌 330031)

【摘要】：运用DEA-BCC模型测度了2000—2015年江西省各城市绿色经济效率，并运用面板Tobit回归模型对其影响因素进行分析。研究发现：2000年以来，绿色经济效率在全省层面及城市层面呈现波动上升状态，纯技术效率逐步提升，但规模效率波动起伏较大，仍未具备理想的规模报酬优势；南昌、九江、赣州在产业升级转型的过程中，具备组织管理和制度优势，但尚未形成规模化。新兴城市萍乡、新余等因地制宜，绿色经济发展情况较好；从绿色经济效率的影响因素上看，实证结果符合“波特假说”及“污染天堂假说”，加快产业结构转型升级，实现劳动力资本合理配置对江西省绿色生产效率的提高起推动作用。

【关键词】：绿色经济效率；区域差异；影响因素；DEA-Tobit模型

【中图分类号】：F062.2；F061.5 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1671-4407(2019)05-100-05

1 引言

江西省作为欠发达地区，虽然经济总量与发达省份仍有一定差距，但近年来经济增长速度始终处于国内领先地位，成为新时期我国经济保持双目标发展新支撑形成的重要部分。从资源环境约束视角来看，江西省经济增长的能源消耗远低于全国平均水平（图1），客观上表明，长期以来江西省具有绿色发展的比较优势潜力。然而，从江西省自身来看，全省已经进入工业化中期阶段，但伴随其经济发展水平的提升，环境污染物排放量（尤其是水环境问题）同样不断攀升（图2），经济发展与生态环境保护的矛盾仍然突出。

江西省作为全国生态文明建设示范区，在新常态资源环境约束下，肩负着经济赶超与生态环境保护双重任务，因此，必须坚持绿色发展理念引导经济发展方式转变，来探寻经济新增长点。全球价值链下的高粗放性和弱主动性发展方式使得江西省产业结构层次仍然较低，能源消耗仍然较大，面临巨大的资源环境压力，同时经济增长速度面临下行压力，这本质上是由于生产率下降与要素成本上升的共同作用所导致。因此，在要素投入既定前提下，提升江西省城市绿色经济效率将是保证江西省经济平稳运行、持续增长的核心动力，也是江西省实现经济转型升级的必然选择，亦可为江西省实现发展升级、小康提速、绿色崛起目标提供保障。

2 文献综述

伴随我国经济持续高速增长和环境问题日益凸显，新时代转型背景下经济增长的持续性受到广泛关注，由此，绿色发展问

¹**基金项目**：国家社会科学基金青年项目“国家价值链重构下我国经济效率空间梯度优化及区域协调实习机制研究”（16CJL053）；江西省高校人文社会科学研究项目“国家价值链重构下江西省城市绿色生产率及促进经济转型升级的作用机制及优化路径研究”（JJ162015）

第一作者简介：李汝资（1988—），男，山东临沂人，博士，讲师，硕士研究生导师，研究方向为区域经济与生态经济。E-mail: liraz390@163.com

题开始成为学术界讨论的热点。陈诗一^[1]认为，区域环境质量和生产率同时提高的双赢发展，需要考虑能源和环境污染约束对生产率增长可能带来的负面影响，绿色经济效率提升对区域经济发展至关重要。此后，诸多学者对我国不同区域及行业层面绿色经济效率展开深入研究。钱争鸣和刘晓晨^[2]研究发现，1996—2010 年，我国整体的绿色经济效率水平偏低。规模效率对绿色全要素生产率贡献明显大于技术进步和纯技术效率^[3]。行业层面，李斌等^[4]将绿色 TFP 对工业经济增长的贡献率作为中国工业发展方式转变的衡量标准，并运用 ML 生产率指数来测算分行业绿色 TFP，认为 2001—2010 年中国工业分行业的绿色 TFP 非但没有出现增长反而出现一定的倒退。王恕立等^[5]将环境因素纳入 TFP 研究体系，发现考虑环境因素的 TFP 对服务业贡献率达 26.8%。

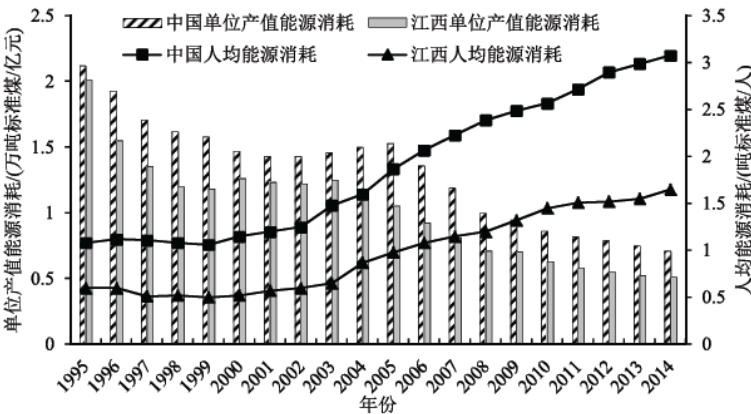


图1 江西省经济增长过程中的能源消耗及其变化趋势

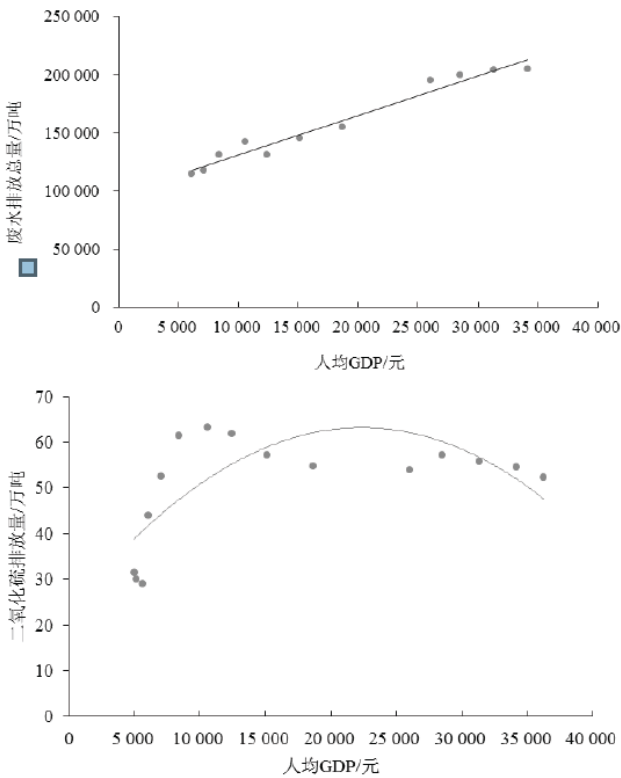


图2 江西省经济发展水平与污染物排放量散点图

区域层面，汪克亮等^[6]测度2000—2009年中国省域和三大区域GTFP，发现10年间GTFP实现了年均0.68%、累计6.27%的增长，且主要由技术进步驱动，技术效率起到了阻碍作用。王兵和刘光天^[7]研究发现，1999—2012年中国绿色全要素生产率平均增长

1.2%，节能减排是生产率增长的核心动力。王维国和范丹^[8]对1999—2010年中国30个省、自治区、市及东、中、西、东北四大区域的绿色全要素生产率进行了测度，其中，东部地区最高，东北次之，西部最低。卢丽文等^[9]研究表明，长江经济带城市绿色效率整体水平不高，但是有逐步改善的趋势。相比规模效率，技术效率成为制约长江经济带绿色城市综合效率的主要因素。

综上所述，由于研究空间尺度、时间维度、研究方法和数据的处理等存在差异，学者们得出的结论不尽相同，而江西省绿色经济效率相关研究较少。在绿色发展引领下，江西省在保证经济高速发展的同时，更要考虑资源和环境的代价，处理好发展与保护两者之间的关系至关重要。因此，本文运用DEA模型测算出2000—2015年江西省绿色经济效率，然后利用面板Tobit模型分析绿色经济效率的影响因素，明晰江西省在绿色发展指引下的前进方向。

3 研究方法 with 数据处理

3.1 DEA-BCC模型

运用 DEA-BCC 模型可以实现可变规模报酬下的决策单元静态效率的测度，将传统 CCR 模型下的静态综合效率（crs）进一步分解为纯技术效率（vrs）和规模效率（scal）。对于任一决策单元 DMU₀ 而言，其 BCC 模型的对偶形式（产出导向）可表示为：

$$\begin{aligned} \min & \delta_0 \\ \text{s.t.} & \begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i y_{ir} \geq y_{0ir}; \forall r \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i x_{ij} \geq \delta_0 x_{0j}; \forall j \\ \lambda_i \geq 0; \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \\ i=1,2,3,\dots,n; j=1,2,3,\dots,m; r=1,2,3,\dots,s \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

式中： λ 为参数， o 为产出导向， i 为决策单元 DMU； j 为输入变量， r 为输出变量； x 为投入要素， y 为产出。 δ_0 为 DMU₀ 的有效值，若 $\delta_0=1$ ，表示决策单元 DEA 有效；若 $\delta_0<1$ ，表示决策单元 DEA 非有效。

3.2 面板 Tobit 回归模型

面板 Tobit 回归模型在效率研究领域应用较多。由于因变量值大于 0 而小于 1，带有角点解特征，导致数据被截断，属于典型受限变量，常规 OLS 估计会导致结果有偏，因此，面板 Tobit 回归模型适用于本样本研究分析。面板 Tobit 回归模型基本形式如下：

$$\begin{aligned} y_i^* &= \beta x_i + \varepsilon_i \quad \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \\ y_i &= \begin{cases} y_i^* & 0 < y_i^* \leq 1 \\ 0 & y_i^* \leq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

式中： y_i 为被解释变量； β 为参数； ε 为随机扰动项。在实际研究中，只能观测到 y_i 而观测不到 y_i^* ，在可观测范围内有 $y_i=y_i^*$ ，并运用极大似然估计法来估计系数 β 。

3.3 数据的来源和处理

本文收集了2000—2015年江西省11座城市的相关数据，选定资本和劳动力两种要素作为DEA模型的投入变量，以各城市GDP及废水排放量的倒数作为产出变量。各个变量的数据来源与处理方法如下。

投入方面，固定资本存量以城市全社会固定资产投资作为当年固定资本，采用国际上通用的永续盘存法对江西省各市的资本存量进行估算。本文采用Young^[10]的研究方法，对于基期资本存量，用初始年份投资额除以10%作为基年资本存量。 δ 取6%的折旧率。固定资产投资数据选自《中国城市统计年鉴》，投资价格指数数据选自《江西统计年鉴》。劳动力(L)投入选用2001—2016年《中国城市统计年鉴》中江西省各市年末单位从业人数。

选取各城市GDP为好产出，并用GDP平减指数进行平滑调整，数据来自《中国城市统计年鉴》。选取废水排放量作为主要坏产出，并对其取倒数，该指标值越大则越符合绿色发展目标。废水排放量数据源自《中国城市统计年鉴》。江西省全境有大小河流2400余条，赣江、抚河、信江、修河和饶河为江西省五大河流。鄱阳湖是中国第一大淡水湖。水资源对于江西省至关重要。因此，本文选择废水排放量作为具有主要影响的坏产出。

4 江西省城市绿色经济效率时空变动

4.1 江西省城市绿色经济效率的时间演化

从图3我们可以看出，2006年以前，江西省绿色综合效率与纯技术效率变动趋势相同；2006年以后，绿色综合效率则与规模效率的变动趋势相同。2012年以后，技术效率的提高成为综合效率提高的源动力。15年间，江西省的纯技术效率一直呈上升趋势，从2000年的0.819增长至2015年的0.962。这体现了在经济追赶阶段，江西省在提高技术效率，推进城市的创新发展，推动新技术、新产业、新业态的发展，促进产业结构的优化升级等方面取得了不错的成绩。同时，江西省的规模效率也不低，具备了相当规模报酬优势，但未来江西省通过城市规模及经济总量的扩张改善效率的空间不大，城市可以通过改进组织管理、制度安排机制从而促进城市综合效率的提高。我们追求的发展不应是盲目的城市规模扩大，GDP总量上升，而应是经济的发展与资源、环境相结合，构建资源节约型、环境友好型社会，做到可持续发展。总体而言，江西省绿色经济效率在波动中逐步上升，其中，2007年绿色效率大幅度下降，这可能是由于2008年全球遭遇金融危机，全球性金融风暴对实体经济造成冲击，导致众多经济数据呈现不稳定性。

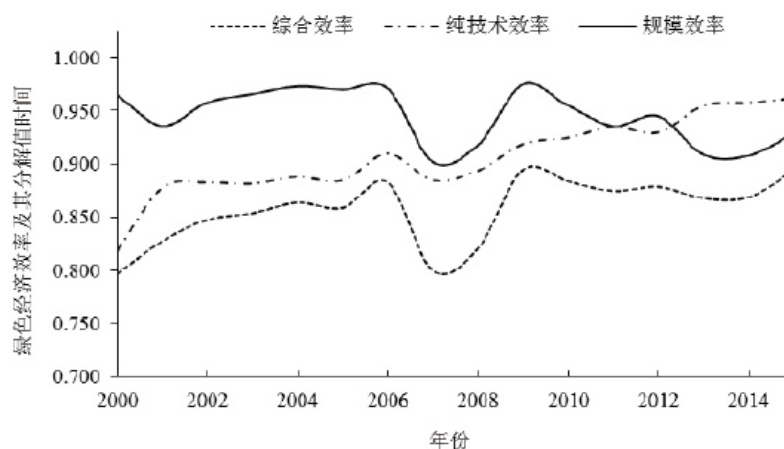


图3 江西省绿色经济效率及其分解值时间演化趋势

4.2江西省城市绿色经济效率的区域差异

表1展示了江西省各市主要年份静态经济效率情况。绿色静态综合效率为1，表示这些城市处在生产前沿面上，投入产出达到最优，在资源利用、环境保护方面优于其他城市。由于资源禀赋、地理位置、发展理念的差异，江西省各个城市的绿色经济效率变动情况不尽相同。从表中看出，21世纪初，南昌、萍乡、宜春3市的静态综合效率处于生产前沿面上。近年来，新余与鹰潭表现更为突出，发展更为合理，处在生产前沿面上。其中，萍乡在这16年来平均静态综合效率达到了0.986。

表1江西省各市主要年份绿色经济效率及分解值

地区	2000 年				2005 年				2010 年				2015 年			
	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬变化	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬变化	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬变化	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬变化
南昌	0.928	1.000	0.928	drs	1.000	1.000	1.000	-	0.835	1.000	0.835	drs	0.823	1.000	0.823	drs
景德镇	0.537	0.595	0.902	drs	0.724	0.763	0.949	irs	0.772	0.791	0.976	drs	0.880	0.895	0.983	drs
萍乡	1.000	1.000	1.000	-	1.000	1.000	1.000	-	1.000	1.000	1.000	-	1.000	1.000	1.000	-
九江	0.749	0.754	0.992	irs	0.705	0.715	0.986	irs	0.820	0.897	0.914	drs	0.854	1.000	0.854	drs
新余	0.618	0.628	0.983	irs	0.776	0.835	0.928	irs	1.000	1.000	1.000	-	1.000	1.000	1.000	-
鹰潭	1.000	1.000	1.000	-	0.890	1.000	0.890	irs	1.000	1.000	1.000	-	1.000	1.000	1.000	-
赣州	1.000	1.000	1.000	-	0.875	0.897	0.975	drs	1.000	1.000	1.000	-	0.931	1.000	0.931	drs
吉安	0.420	0.472	0.890	drs	0.835	0.854	0.978	irs	0.813	0.837	0.972	drs	0.782	0.877	0.891	drs
宜春	1.000	1.000	1.000	-	1.000	1.000	1.000	-	0.937	1.000	0.937	drs	0.921	0.995	0.926	drs
抚州	0.518	0.563	0.920		0.806	0.830	0.972	irs	0.776	0.815	0.952	drs	0.798	0.865	0.923	drs
上饶	1.000	1.000	1.000		0.837	0.842	0.994	drs	0.775	0.839	0.924	drs	0.843	0.948	0.890	drs
均值	0.797	0.819	0.965		0.859	0.885	0.970		0.884	0.925	0.955		0.894	0.962	0.929	

注：drs 表示规模报酬递减，irs 表示规模报酬递增，- 表示规模报酬不变。

南昌市作为江西省的省会，经济基础较好，拥有更为先进的技术，享有政策优势，技术效率水平一直比较高，造成决策单位非DEA有效的原因是规模效率非DEA有效，且处在规模报酬递减阶段（drs），所以南昌市应适度缩减投入规模，使投入产出相

匹配，做到高效可持续发展。

表2江西省各市主要年份投入产出冗余度情况

地区	2000 年			2005 年			2010 年			2015 年		
	坏产出	资本投入	劳动投入	坏产出	资本投入	劳动投入	坏产出	资本投入	劳动投入	坏产出	资本投入	劳动投入
南昌												
景德镇		-57.32	-31.60	2.61	-87.90	-3.71	0.06	-238.91	-3.65	1.85	-264.08	-2.04
萍乡												
九江	2.49	-220.08	-8.91	3.90	-242.99	-9.93	0.20	-255.85	-3.48			
新余	0.05	-32.17	-20.79	0.90	-45.18	-47.40						
鹰潭												
赣州				2.23	-73.70	-5.25						
吉安		-138.72	-118.52	4.27	-72.28	-3.14	0.72	-307.58	-3.29		-596.75	-4.71
宜春										0.22	-24.08	-0.23
抚州		-75.34	-76.70	2.42	-71.24	-3.44		-302.96	-3.92		-506.88	-8.39
上饶				3.12	-88.62	-5.07		-379.51	-4.83		-282.69	-2.42

从表2中我们可以看出，“瓷都”景德镇出现了坏产出过多的情况，该市的经济发展活动给生态环境造成了过重的压力。陶瓷行业是一个高耗能行业，陶瓷的高耗能必然带来高污染（主要为水污染）。生产工艺落后、生产设备陈旧、废物处理能力不足都将是景德镇进一步发展绿色经济需要解决的问题。同样，这也是九江市需要攻克的难关。

萍乡市是我国近代工业起步最早的城市之一，也是我国首批内陆开放城市，从表中的数据也可以看到，萍乡市是江西省发展最有效率的地级市。宜春市是著名的旅游城市，自然资源丰富，环境压力小，但近年来很少出现在生产前沿面上。说明宜春市近年来的发展出现了规模效率非有效情况，处于规模报酬递减阶段，并且资本投入、劳动力投入过剩，这使得宜春市的技术效率和规模效率均未达到最优水平。新余市在2009年成为我国唯一的新能源科技城，并且是22个国家森林城市之一，所以，2009年以后新余市一直处于生产前沿面上。新余市作为资源枯竭转型试点城市，近些年来的发展引人注目。根据产业梯度转移理论，发达地区将区域内丧失比较优势的产业向欠发达地区转移，鹰潭市地理条件优越，拥有明显的区位优势，是赣东北承接东南沿海产业转移第一城，在承接产业转移的过程中，鹰潭市做到了取其精华、去其糟粕。

通过投入产出冗余度分析（表2），我们发现，吉安市、抚州市、上饶市的发展出现了相似的问题：投入冗余和产出不足，年末社会就业人员冗余状况比较普遍，说明这3市的劳动力大量剩余，就业质量还不高，同时也说明其他方面的投入没有充分引导劳动力就业，生产效率低下。如果保持现有产出不变，吉安市、抚州市、上饶市分别可以减少4.71万人、8.39万人、2.42万人的劳动力投入。

5 江西省绿色经济效率变动影响因素实证分析

5.1 变量选择与数据处理

为了验证影响绿色经济效率的因素，本文运用面板Tobit模型进行回归分析。选取的影响因素如下。

外商直接投资（ fdi ）：外商直接投资使得当地资源交换结构发生改变，并且通过技术溢出也能提高当地的生产技术与管理组织能力。本文选取外商直接投资额占GDP的比重来表示 fdi 。产业结构因素（ $indsh$ ）：用第三产业总产值占GDP的比重表示产业结构。产业结构隐含着技术进步带来的经济效率演进，有助于整体经济效率的提高。环境规制程度（ er ）：环境规制程度影响着生产对资源的利用和对生态环境的破坏，与绿色经济效率有着密切的联系。本文用工业废水、废气和固体废物处理量占生产量的加权平均表示环境规制程度。经济发展水平（ $pgdp$ ）：经济发展水平的差异会影响绿色经济效率，本文选择人均国内生产总值衡量区域经济发展水平。教育水平（ edu ）：教育水平的高低决定了创新能力的强弱，进而影响着生产技术的优劣，对现代经济增长有着深远的影响。本文选择高等学校人数占当地总人口比重作为教育水平的衡量指标。政府干预程度（ gov ）：市场与政府对资源配置起着重要作用，对绿色经济效率影响深远。本文选择用政府财政支出占地区生产总值比重衡量政府干预程度。禀赋结构（ kl ）：用资本劳动比率表示禀赋结构。城市化水平（ $urban$ ）：相比于农村，城市在资源利用和污染治理上拥有技术优势，但对资源的依赖程度也更高。本文采用城市人口占总人口比重来衡量城市化水平。

上述变量数据来自于2001—2016年《江西省统计年鉴》及《中国城市统计年鉴》。

5.2 回归模型构建

基于Tobit回归原理，本文构建江西省绿色经济效率影响因素的Tobit面板模型，运用极大似然法对系数 β 进行估计，具体计量模型如下：

$$EFF_{it}=c+\beta_1\ln fdi_{it}+\beta_2\ln indsh_{it}+\beta_3\ln er_{it}+\beta_4\ln pgdp_{it}+\beta_5\ln edu_{it}+\beta_6\ln gov_{it}+\beta_7\ln kl_{it}+\beta_8\ln urban_{it}+\varepsilon \quad (3)$$

式中： i 表示地区， t 为时间， EFF 表示地区静态综合效率值， c 为常数项， ε 为随机扰动项。

5.3 实证分析结果

表3估计结果显示，产业结构、环境规制程度、教育水平、禀赋结构、城市化水平对绿色经济效率的影响为正，外商直接投资、经济发展水平、政府干预程度对绿色经济效率的影响为负。其中，环境规制程度、教育水平、城市化水平对绿色经济效率的影响并不显著。

表3 江西省绿色经济效率影响因素估计结果

变量	回归系数	z 值
lnfdi	-0.025	-1.53
lnindsh	0.100	1.4
lner	0.003	0.51
lnpgdh	-0.061	2.53
lnedu	0.002	0.08
lngov	-0.046	-4.12
lnkl	0.069	6.14
lnurban	0.021	0.68
C	1.005	2.94
Sigma_u	0.087	4.3
Sigma_e	0.077	18.12

从结构要素来看，产业结构与禀赋结构对绿色经济效率有着积极影响，这说明我们应继续加快产业结构调整，提高制造业的资源配置效率和能源利用效率，同时大力发展现代服务业。此外，人力资本的提升可以使劳动力与资本更加有效地结合，从而促进产出的增加。环境规制程度对绿色经济效率的影响为正，符合波特假说，但影响不显著，政府的环境规制政策在一定程度上能够促使企业进行技术创新，淘汰落后产能，同时进行管理制度创新，实施节能减排，提高企业的效率。结果不显著可能是因为江西省环境规制强度还太低，对绿色经济效率的影响还很弱。

从外商直接投资方面来看，结论与涂正革和肖耿^[11]的结论一致，也印证了“污染天堂”假说。江西省早期为发展经济，选择引进外资。外商带来先进的技术与管理经验的同时，也对当地的环境、生态造成了破坏。今后，江西省应加强对外资企业的甄别和监管。经济发展水平与绿色经济效率负相关，这反映了江西省在经济追赶过程中，盲目地扩大投入产出，搞“大开发”“大建设”，重“量”不重“质”。因此，在进一步的发展中，江西省应积极推广节能减排设施，树立和谐可持续发展意识。政府干预程度对绿色经济效率的影响为负，政府在配置资源的过程中只是起辅助引导作用，不应该超越市场作用力过度干预资源的配置问题，要发挥市场的决定性作用。教育水平和城市化水平与绿色经济效率正相关，但统计学意义上不显著。

6 结论与启示

本文运用考虑坏产出的DEA-BCC模型测算了2000—2015年江西省各市的绿色经济效率及其分解值，分析了江西省绿色经济效率的现状、变动情况及地区差异。然后，通过建立Tobit面板数据模型分析了绿色经济效率的影响因素。发现：（1）总体上江

西省绿色经济效率呈现一种波动上升趋势，且纯技术效率稳定上升，但在规模化发展方面仍有不足。（2）一些中小城市，如新余市、鹰潭市、宜春市等在绿色发展方面势头强劲，基本做到了经济的发展与资源、环境相结合。（3）就全省而言，外商直接投资、政府干预程度对绿色经济效率起负面影响，产业结构、禀赋结构对绿色经济效率起积极作用。基于上述分析，本文提出如下政策启示。

在经济追赶阶段，江西省不能片面地追求GDP总量，应着力纠正“GDP至上”“以总量论英雄”等发展观念，不断完善考核评价指标体系，把绿色经济、低碳经济、生态经济等方面的内容纳入考核范围，建立发展生态经济激励机制，提出合理的环境规制强度，调动企业发展循环经济的积极性。

发挥市场在配置资源中的决定性作用，政府减少对经济的干预，做好引导、监管工作，把经济活动控制在自然生态的承载力和环境容量之内，合理确定产业发展的空间布局。政府要有的放矢，集中有限的人力、物力、财力、土地等各方面资源，在重点区域实行连片发展、重点发展。在引进外资时，进一步加强对外资企业的甄别与监管。

产业结构对绿色经济效率有积极影响。江西省应以调整优化产业结构和发展方式为主线，在优先保证生态垃圾的处理和对污染物的清除。二是提高生态生产效率，促进资源的集约、高效利用，鼓励以边用边发展的模式增强林业资源的可持续发展能力。三是保护林业资源，通过各种措施保护现有的林业资源，同时加大力度拓展新的林业生态保护区和护林园，加大绿化力度，做好林业管理，提高林业育种的专业化水平，这样多措并举就能增强林业生态承载力，在满足人们需求的同时为自然留下发展的空间。四是政府应提供林业生态建设和保护资金支持，在国民经济水平持续提高，人均GDP不断增长的同时，更应该重视生态安全和生态可持续发展，增加对林业生态建设和保护的投入，利用经济杠杆加强自然保护的力度，引导资源可持续发展和利用，为生态的长远发展提供可靠的保障。五是加强法制建设、技术保障和文化建设，为生态安全建设提供制度扶持、技术动力和人文环境，确保林业生态承载力的平衡增长或保持在合理水平。

参考文献：

- [1]张智光. 生态文明：新时代的发展观[N]. 绿色中国时报，2017-12-05（A1）.
- [2]张智光. 人类文明与生态安全：共生空间的演化理论[J]. 中国人口·资源与环境，2013（7）：1-8.
- [3]张智光. 林业生态安全的共生耦合测度模型与判据[J]. 中国人口·资源与环境，2014（8）：90-99.
- [4]洪伟，闫淑君，吴承祯. 福建森林生态系统安全和生态响应[J]. 福建农林大学学报（自然科学版），2003（1）：79-83.
- [5]张诞生. 林业生态环境建设现状与优化对策[J]. 现代园艺，2011（17）：91.
- [6]米锋，潘文婧，米宁，等. 模糊综合评价法在森林生态安全预警中的应用[J]. 东北林业大学学报，2013（6）：66-71.
- [7]刘婷婷，孔越，吴叶，等. 基于熵权模糊物元模型的我国省域森林生态安全研究[J]. 生态学报，2017（15）：4946-4955.
- [8]陈岩，张智光，廖冰. 中国东北国有林区林业生态安全动态变化研究——生态与产业共生视角[J]. 资源开发与市场，2017（4）：411-416.
- [9]廖冰，张智光. 林业生态安全指标——指数的耦合实证测度研究[J]. 资源科学，2017（9）：1777-1791.

-
- [10] 吴师强, 黄国宁. 构建海南林业生态安全体系问题的思考[J]. 热带林业, 2006 (4): 13-15.
- [11] 张斌. 协方差分析与典范对应分析在植物群落排序中的应用比较[J]. 植物生态学报, 2009 (5): 842-851.
- [12] 刘某承. 中国生态足迹的时间动态与空间格局[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [13] 徐美. 湖南省土地生态安全预警及调控研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2013.
- [14] 成舸. 基于生态足迹的江苏省生态安全评估研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.