

安徽省绿色经济增长时空变化及影响因素研究

郑丽琳^{1a}, 汪雷^{1b}, 戴炜²

(1. 安徽财经大学 a. 管理科学与工程学院; b. 中国合作社研究院, 安徽蚌埠 230030;
2. 安徽省统计局, 安徽合肥 230001)¹

【摘要】绿色经济增长是实现可持续发展的重要保障。针对现有绿色 GDP 核算中无法用市场价值衡量资源环境成本的缺陷, 借助能值分析 (EMA) 统一核算量纲, 计算能值一货币价值实现对自然资源、能源损耗与环境退化定价, 进而测度绿色 GDP 总量。文章以安徽省为研究区域, 估算 2011-2015 年 16 个地级市主要能值指标及绿色经济增长规模, 分析其时空变化特征, 并利用空间滞后面板模型考察其关键因素及空间溢出效应。结果表明: 2011-2015 年, 安徽省各地绿色 GDP 人均值显著提高, 但占传统 GDP 比值多数城市小幅下降, 且空间发展不平衡; 各地经济绿色增长存在显著的外溢效应, 投资、消费、进出口、产业结构、能源消耗、环境保护等变量是影响地区绿色增长的关键因素。

【关键词】能值分析; 绿色国内生产总值; 空间面板模型; 安徽省

【中图分类号】F127 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1007-5097 (2018) 01-0018-09

一、引言

十八届五中全会提出了“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念, 将绿色发展作为关系我国发展全局的一个重要理念摆在突出位置, 以此指引“十三五”乃至更长时期我国经济社会发展建设。然而, 在传统的经济总量核算中, 片面忽视自然资源及生态资源的经济价值, 没有考虑资源消耗成本、环境退化成本以及污染治理成本, 导致了“唯 GDP”式的粗放型发展。有鉴于此, 2015 年我国再度重启绿色 GDP 研究, 试图弥补传统 GDP 的核算问题。但现有的净租金法、净价值法和使用成本法等绿色 GDP 核算方法不仅无法以市场价值衡量部分环境资源 (如太阳辐射、空气、降雨), 而且无法解决不同类型自然资源或环境资源量纲不统一的难点, 因此影响了绿色 GDP 核算方法的推广应用。对一个地区绿色经济总量进行核算, 必须实现地区资源消费“高效化”和“减量化”, 全面系统考察地区生态经济系统的各种资源消费。20 世纪 80 年代美国生态学家 Odum 提出了能值分析理论 (EMA), 将生态系统和复合生态系统中各种不同类别、不同等级的能量和物质转换为以太阳光能为共同基准的指标数据, 分析系统内部各个环节的分配和流转状况。该理论可以将不同类型自然资源的消耗及生态环境的退化转化为统一量纲的能值数据, 有效地解决了现有绿色 GDP 核算过程中出现的两个关键问题。因此基于 EMA 进行地区绿色 GDP 核算具有较强的科学性及可

收稿日期: 2017-08-29

基金项目: 国家社会科学基金青年项目 (14CTJ006); 安徽省自然科学基金青年项目 (1408085QG142); 安徽省高校优秀青年人才支持计划重点项目 (gxyqZD2017046)

作者简介: 郑丽琳 (1981-), 女, 安徽合肥人, 副教授, 博士, 研究方向: 资源与环境经济学;

汪雷 (1963-), 男, 安徽绩溪人, 教授, 研究方向: 公共管理;

戴炜 (1967-), 男, 安徽合肥人, 副处长, 研究方向: 数据挖掘。

操作性。

现有文献中已有学者运用能值分析测算各类地区绿色经济增长规模,从省级区域层面看,如张虹等(2010)、张丽君等(2013)、李涛等(2014)、成福伟等(2016)利用能值分析就福建省、河南省、湖南省、京津冀生态支撑区等地绿色 GDP 进行核算^[1-4]。从市级层面看,康文星等(2010)、郭丽英等(2015)、窦睿音等(2016)、李晓刚等(2017)分别就怀化市、商洛市、榆林市、汉中市等资源型城市的绿色 GDP 进行测度^[5-8]。特别在农业绿色增长领域,能值分析也得到了很好的应用,朱玉林等(2012)、白小梅(2015)、杨灿等(2016)分别就洞庭湖湖区、宁南黄土丘陵区、湖南省农业生态系统绿色发展进行定量分析^[9-11],李兆亮等(2016)则对2003-2014年中国及各省域单元农业绿色 GDP 进行了测算,并利用空间分析方法研究我国农业绿色经济增长的空间格局与收敛特征^[12]。可见,目前基于 EMA 核算的绿色 GDP 研究主要集中于单一行政级别绿色经济总量的时间变化特征,侧重点多以资源型城市与农业领域为主,较少涉及不同地区之间空间变化特征的横向比较。然而单方面考虑时间维度变化无法充分挖掘地区绿色经济增长时空互动背后隐含的经济含义,因此需借助空间定量分析进一步研究地区间绿色经济增长的纵向时间变化、横向空间差异及关联效应。

安徽省作为中部省份,具有承东启西、连南接北、临江近海的区位优势,皖江经济带更是中国宏观经济发展“T”形轴线的交汇处,辐射潜力较大。该省绿色经济基础较好,近些年来受益于中部崛起战略,经济社会发展取得了瞩目的成就,但生态压力也进一步增大,生态质量呈现下降趋势。如何发展绿色经济,主动协调经济增长与资源利用、环境保护间的空间冲突,对类似安徽这样的欠发达省区在新经济形势下面出新路、实现可持续发展具有重要现实意义。

二、理论方法与区域概况

(一) 能值分析(EMA)与绿色经济增长核算方法

能值分析(EMA)认为各种资源、产品或劳务在形成过程中都直接或间接地源自于太阳能,因此能值是指某种流动或贮存的能量中包含的太阳能数量。借助 Odum 等(1996)计算的太阳能值转换率^[13],可以将生态经济系统中流动、储存的不同类型等级的诸多资源、产品或劳务统一折算成相同的以太阳能焦耳(sej)为共同单位的太阳能值,进而展开其他定量分析。能值计算公式如下:

$$E_m = \sum_i \theta_i \times E_i \quad (1)$$

其中, E 表示能量(物质)的能值(太阳能焦耳 sej); E_i 表示某种能量或物质(焦耳 J 或克 g); θ_i 代表不同能量及物质的能值转换率(sej/J 或 sej/g)。数值来自 Odum 等(1996)^[13]和蓝盛芳等(2001)^[14]的研究成果。

绿色经济增长往往以绿色 GDP 为核算指标,用以衡量国家或地区扣除自然资源损失后新创造的真实国民财富总量。利用能值理论将不同类型资源耗减成本、环境退化成本、生态破坏成本等转化为统一量纲的能值数据,便于进行地区绿色 GDP 核算。借助能值分析核算绿色 GDP 计算公式如下:

$$\text{绿色GDP} = \text{传统GDP} - \sum N - \sum M - \sum P \quad (2)$$

其中, $\sum N$ 代表复杂系统中各种不可更新自然资源能值的货币价值之和; $\sum M$ 代表复杂系统中各种消耗的不可更新辅助能(能

源)能值的货币价值之和; ΣP 代表复杂系统中废物流造成环境损耗能值的货币价值之和。核算过程需利用能值/货币比率, 以便反映无法用市场价值衡量的各类资源及环境损耗值, 最终获得统一核算口径下的绿色 GDP 货币价值量。

$$\text{能值/货币比率 (EMR)} = \text{能值总量 SE} / \text{同年当地传统 GDP} \quad (3)$$

$$\text{能值-货币价值 (D}_i\text{)} = E_i / (\text{EMR}) \quad (4)$$

其中, 能值总量 SE 为环境-生态经济复杂系统中的可更新环境资源、不可更新自然资源、不可更新辅助能(能源)和货币流各组成部分的能值之和。

(二) 区域概况与数据来源

安徽省地处华东, 介于东经 $114^{\circ} 54' - 119^{\circ} 37'$ 、北纬 $29^{\circ} 41' - 34^{\circ} 38'$ 之间, 辖区内包含 16 个地级市; 土地面积 13.94 万平方公里, 地形地貌复杂, 平原面积占全省总面积的 31.3%, 丘陵占 29.5%, 山区占 31.2%, 湖沼洼地占 8.0%。该省属暖温带向亚热带的过渡型气候, 年平均气温为 $14^{\circ} - 17^{\circ} \text{C}$, 年平均降水量为 773-1670mm。矿产资源丰富, 拥有煤炭、铁矿、铜矿、明矾石等多种资源, 11 座城市入选中国资源型城市。考虑到该省重要的地理区位优势和资源环境特点, 本文以安徽省 16 个地级市为研究对象。

考虑数据可比性、可得性, 选择 2011-2015 年安徽省 16 个地级市数据为研究对象, 数据来源于 2012-2016 年《安徽省统计年鉴》及各地市统计年鉴。其中气象数据(降雨量、日照时长、风速、海拔等)来源于中国气象科学数据共享服务网提供的中国地面气候资料日值数据集 (V3.0)^①, 本文对隶属于安徽的 25 个国家级气象站点日值数据进行整理归纳。

三、基于 MEA 的安徽省绿色经济增长时空特征分析

(一) 经济-环境-生态经济系统能值总量分析

经济-环境-生态经济系统的能值总量计算涉及复杂系统的方方面面, 其中可更新环境资源包括太阳辐射能、风能、雨水化学能、雨水势能和地球旋转能等, 不可更新自然资源包括土壤流失能和表层土损耗能等, 不可更新辅助能包括原煤、焦炭、原油、汽油、柴油、燃料油、天然气(液态、气态)、原木、全社会用电总量、氮肥、磷肥、复合肥、农药和塑料薄膜等, 货币流包括进口、国内外旅游、实际利用外资和劳务收入等, 废物流包括废水、废弃、固体废弃物排放等。依据能值理论, 将所有不同量纲的资源环境数据, 借助 Odum 和蓝盛芳等的能量折算系数和能值转换率, 计算得到以太阳能焦耳为统一单位的能值数据, 并进行归类操作, 计算安徽省 16 个地级市 2011-2015 年经济-环境-生态经济系统能值总量数值。根据式 (3) 计算各地能值货币比率, 随后利用式 (4) 得到各类资源的能值货币价值, 最后借助式 (2) 核算各地绿色 GDP, 借此反映城市绿色经济增长规模。为了剔除价值因素的影响, 本文利用各地级市 GDP 平减指数(2010 年为基期)对现行传统 GDP 进行价格调整, 以此代入公式 (3) 计算消除价格因素的能值货币比率, 进而测度各地实际价绿色 GDP 规模大小。鉴于篇幅限制, 表 1 中仅列示 2015 年核算结果。

表 1 2015 年安徽省各市经济-环境-生态经济系统能值分析及绿色 GDP 核算

地区	各分类太阳能值 E+19SEJ					能值总量 E+19SEJ	能值货币 比率\$	各分类能值货币价值 E+4\$			绿色 GDPE+8\$
	可更新环 境资源	不可更 新资源	不可更新 能源	货币流	废物流			不可更新资 源	不可更新能 源	废物流	
合肥	168.27	135.66	2462.41	28494.72	107.92	31261.07	3.44E+12	39438.48	715844.21	31373.51	830.12
淮北	30.69	40.47	4022.45	6132.69	45.31	10226.3	8.38E+12	4831.84	480211.02	5408.85	73.56

亳州	97.20	143.85	428.07	18888.91	22.53	19558.04	1.29E+13	11131.30	33124.42	1743.31	146.74
宿州	108.14	137.95	933.65	19653.30	160.80	20833.04	1.05E+13	13138.63	88922.95	15315.34	186.68
蚌埠	75.27	90.76	958.39	12060.92	18.59	13185.34	6.55E+12	13848.48	146233.92	2836.52	184.89
阜阳	119.84	156.19	1224.18	32963.78	17.79	34463.98	1.69E+13	9222.09	72282.41	1050.17	195.24
淮南	77.66	82.13	4209.96	11519.66	532.35	15889.41	1.10E+13	7478.09	383316.32	48470.53	100.75
滁州	192.91	173.03	1075.83	15233.44	35.93	16675.21	7.95E+12	21753.19	135249.10	4516.89	193.48
六安	248.39	127.67	651.14	20119.58	138.69	21146.78	1.30E+13	9852.89	50251.73	10703.10	156.12
马鞍山	64.62	42.51	2479.58	7707.79	481.87	10294.51	4.70E+12	9052.89	527987.97	102607.34	155.24
芜湖	102.36	65.02	1924.06	11272.13	78.27	13363.58	3.39E+12	19197.16	568042.66	23107.39	333.50
宣城	253.65	62.34	551.13	10685.16	75.17	11552.28	7.41E+12	8417.46	74410.62	10149.12	146.67
铜陵	58.81	23.07	1404.01	6705.58	196.01	8191.46	5.60E+12	4121.59	250863.02	35021.55	117.36
池州	184.13	35.18	2440.96	6168.77	53.56	8829.02	1.01E+13	3484.47	241802.10	5305.95	62.89
安庆	251.25	93.62	801.28	18108.21	34.78	19254.35	8.46E+12	11065.08	94706.57	4110.56	216.59
黄山	234.54	19.19	417.32	5301.31	14.50	5972.35	7.01E+12	2738.15	59560.75	2069.60	78.80

以合肥市为例，2015年合肥市能值总量为 $3.13E+23sej$ ，其中可更新环境资源能值为 $1.68E+21sej$ ，不可更新自然资源能值为 $1.36E+21sej$ ，不可更新辅助能值为 $2.46E+22sej$ ，货币流能值为 $2.85E+23sej$ 。2015年合肥市GDP值为908.78亿美元（5660.27亿人民币），能值货币比率为 $3.44E+12sej/\$$ 借助该比率将不可更新自然资源、不可更新辅助能消耗、废物流等转化为货币价值，代表不同类型资源耗减成本、环境退化成本、生态破坏成本等，并将这些损耗值从传统GDP中扣除，最终计算绿色GDP总量为830.12亿美元。其他城市绿色GDP核算类似此过程。

（二）安徽省绿色经济增长时空特征分析

为了便于地区间时空比较，对各地总量数值进行价格指数调整及人均化处理，并计算绿色GDP占传统GDP比值，具体结果见表2所列。

表2 安徽省各市人均绿色GDP与占传统GDP比值（2011-2015年）

地区	人均绿色GDP（千美元）					人均传统GDP（千美元）					绿色GDP占传统GDP比值%				
	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
合肥	7.37	8.53	9.71	10.79	11.57	7.97	9.28	10.60	11.83	12.66	0.9242	0.9189	0.9153	0.9122	0.9134
淮北	2.40	2.73	3.16	3.39	3.40	3.87	4.50	5.30	5.74	5.64	0.6200	0.6062	0.5966	0.5905	0.6026
亳州	1.56	1.80	1.96	2.20	2.31	1.61	1.85	2.02	2.27	2.38	0.9740	0.9730	0.9712	0.9704	0.9696
宿州	1.77	2.05	2.37	2.70	2.87	1.91	2.22	2.55	2.89	3.05	0.9269	0.9202	0.9290	0.9335	0.9408
蚌埠	3.06	3.53	4.01	4.63	4.91	3.31	3.83	4.44	5.05	5.35	0.9264	0.9198	0.9041	0.9178	0.9190
阜阳	1.24	1.41	1.56	1.76	1.87	1.29	1.47	1.63	1.84	1.95	0.9652	0.9623	0.9606	0.9587	0.9594
淮南	3.03	3.38	3.44	3.16	2.63	4.47	5.08	5.44	5.28	3.77	0.6783	0.6653	0.6332	0.5975	0.6964
滁州	2.75	3.22	3.68	4.06	4.31	2.91	3.40	3.90	4.40	4.67	0.9475	0.9478	0.9428	0.9240	0.9230
六安	1.73	1.97	2.19	2.39	2.69	1.79	2.05	2.28	2.48	2.81	0.9662	0.9644	0.9629	0.9634	0.9566
马鞍山	5.17	5.59	5.96	6.32	6.79	7.75	8.56	9.14	9.53	9.59	0.6675	0.6534	0.6520	0.6633	0.7082
芜湖	5.71	6.57	7.43	8.22	8.67	6.66	7.74	8.82	9.78	10.25	0.8575	0.8491	0.8428	0.8408	0.8453

宣城	3.39	3.93	4.43	4.91	5.07	3.72	4.29	4.86	5.34	5.57	0.9118	0.9165	0.9127	0.9203	0.9108
铜陵	7.46	8.87	9.82	10.33	6.89	12.10	13.26	14.80	15.81	8.59	0.6166	0.6688	0.6630	0.6538	0.8019
池州	3.24	3.67	4.13	4.65	4.87	3.57	4.08	4.61	5.24	5.41	0.9064	0.8984	0.8962	0.8878	0.8999
安庆	2.80	3.18	3.32	3.58	3.76	3.04	3.47	3.68	4.05	4.33	0.9209	0.9150	0.9018	0.8845	0.8685
黄山	3.82	4.40	4.96	5.38	5.54	3.96	4.57	5.15	5.59	5.77	0.9656	0.9632	0.9624	0.9618	0.9606

1. 空间动态分析

鉴于篇幅限制，利用 GEODA 软件对表 2 中 2015 年各地人均绿色 GDP 及其占传统 GDP 比值进行四等分定级。图 1 (a) 显示安徽省各地级市人均绿色 GDP 具有南高于北、东高于西、中部凸起的空间集聚特征。第一等级主要集中于本省经济发达的皖中皖南地区，包括合肥、铜陵、芜湖、马鞍山；第二等级集中于皖南的黄山、池州、宣城以及皖北的蚌埠市；第三等级空间表现较为分散，主要包括淮北、宿州、滁州、安庆；第四等级主要集中在皖中皖北的六安、阜阳、淮南、亳州等地市。基于 EMA 计算的绿色 GDP 是从传统 GDP 中扣除各类资源利用及环境损耗的货币价值，其数值大小与传统 GDP 相关性较高。由此，进一步计算绿色 GDP 占传统 GDP 比值数据，以便反映地区不可更新自然资源和不可更新能源消耗及废物流产生等对地区经济总量的影响程度。图 1 (b) 显示安徽省各市绿色 GDP 占传统 GDP 比值，第一等级比值最低，包括淮北、淮南、马鞍山、铜陵，这四座城市虽然在空间上分散，但类型上同为该省传统的资源型城市；第二等级空间集中在皖中皖南安庆、池州、芜湖、宣城，这四座城市多为经济文化旅游城市；第三等级空间集中于皖东北部发展速度靠前的宿州、蚌埠、滁州以及中部合肥；第四等级绿色 GDP 所占比值最高，包括皖南旅游强市黄山和皖西北部的六安、阜阳、亳州等农业大市。结合表 1 可知，第一等级四座城市比值明显低于其他城市，其中淮南、淮北市数值更是低于 70%，铜陵市由于 2015 年行政区划变动，出现一定幅度数值跳跃。这四座城市均隶属于资源型城市，淮南、淮北市作为安徽省两大煤炭生产基地，拥有百年煤矿开采史；铜陵市作为“中国古铜都，当代铜基地”，是新中国最早的铜工业基地；马鞍山市更是因钢设市立市，是中国十大钢铁基地之一。这四座城市均或多或少存在资源枯竭、产能过剩、城市转型等现实问题，因此比值最低。第四等级四座城市均为农业大市和旅游强市，而农业及旅游业则主要涉及可更新资源消耗利用问题，这些内容没有纳入在绿色 GDP 耗减项内，因此比值最高。考察图 1 中所示两类指标 (a 与 b)，空间上对应关系不强。

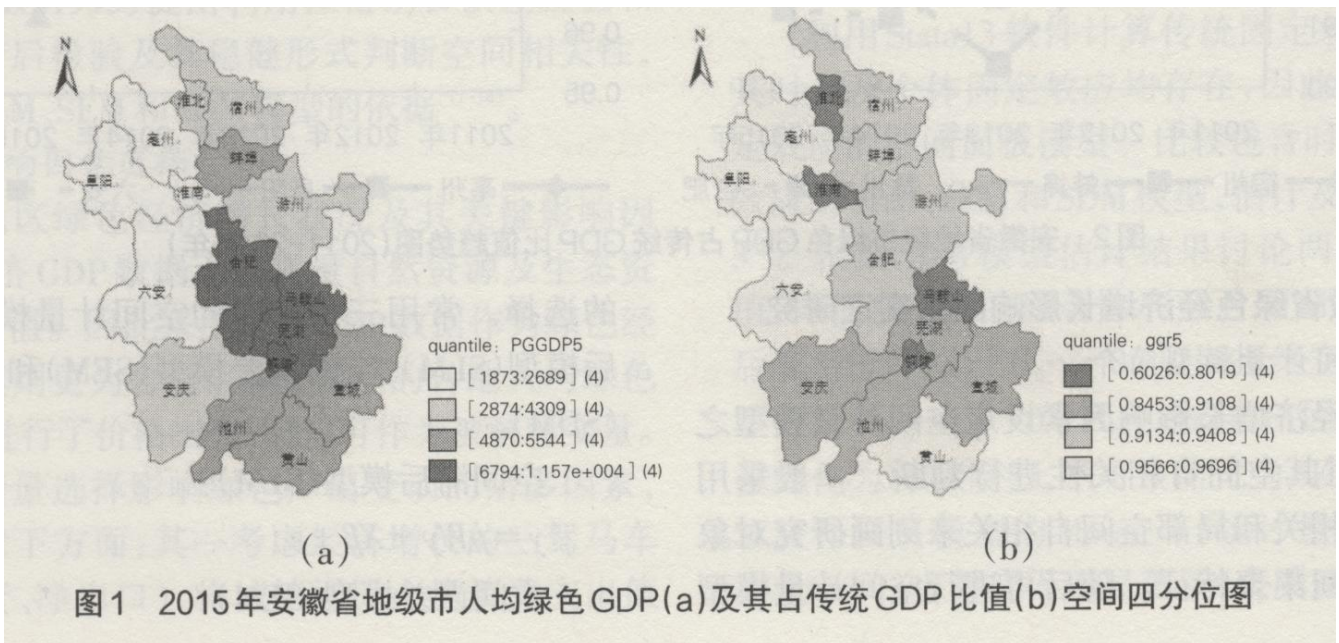
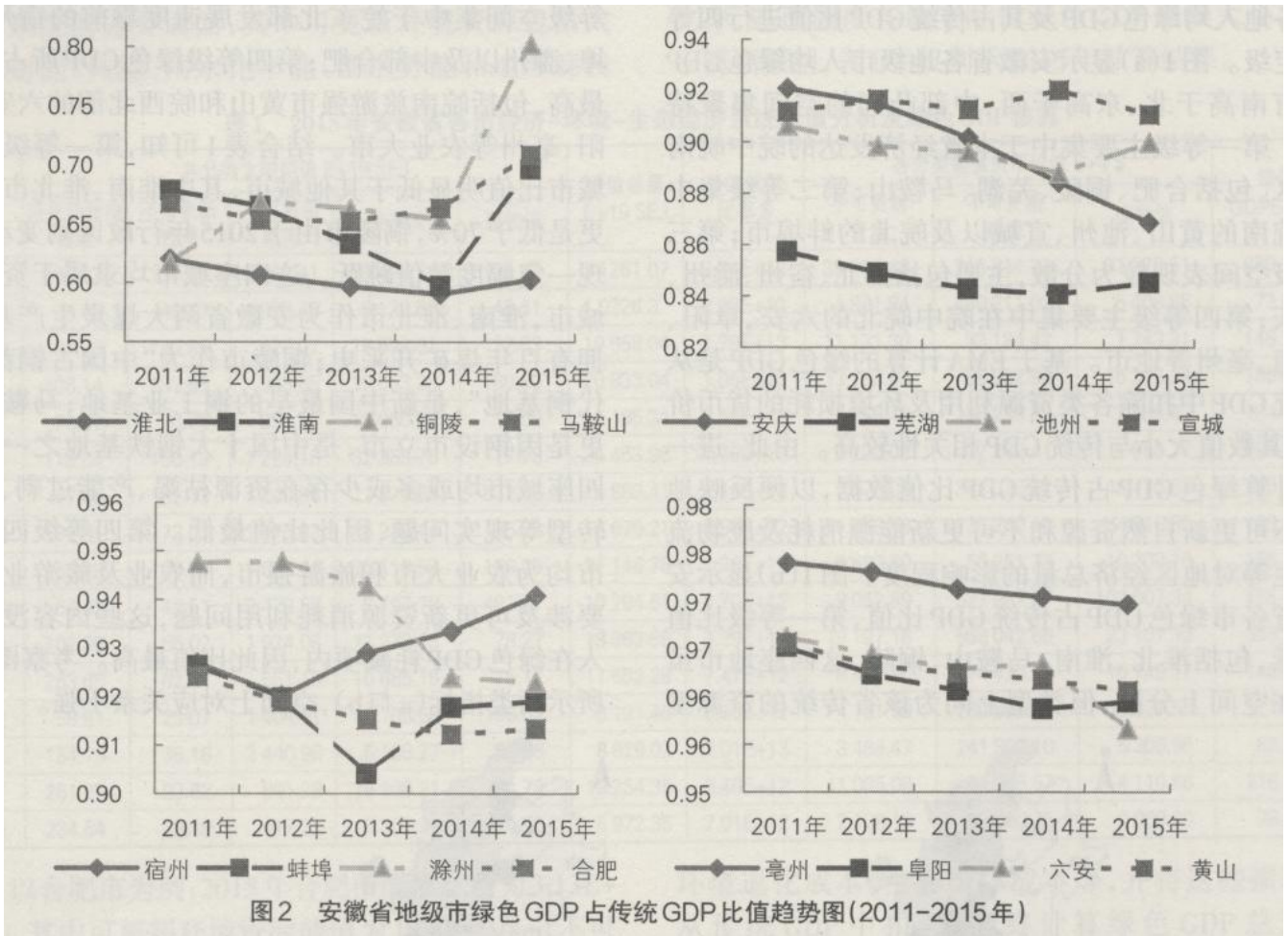


图 1 2015 年安徽省地级市人均绿色 GDP(a)及其占传统 GDP 比值(b)空间四分位图

2. 时间动态分析

结合表 2、图 2，发现近五年来安徽各地人均绿色 GDP 绝对数上升，多数城市绿色 GDP 占传统 GDP 比值相对数下降，其中下降比值最大地区为安庆市，年均下降 1.16 个百分点(按几何平均数，下同)。值得一提的是马鞍山、宿州、铜陵、淮南四市，此项比值先降后增，年均增长率分别为 1.2%、0.3%、5.4%、0.5%，它们均为资源型城市(部分为资源枯竭性城市)。比值上升反映这类城市近些年来不断深化供给侧结构性改革，着力创新培育新兴产业，大力降低产能、减少污染，努力实现城市转型发展，绿色经济效果初显。此外，2015 年安徽省行政区划发生重大变动，引发铜陵、淮南两市数值显著提高，安庆、六安两市数值显著下降。由于行政区划变动导致自然环境、资源条件、经济总量、产业结构等发生显著变化，从而引发相关数据的明显调整。不可更新资源(特别是化石能源)消耗、波动的污染排放量是影响绿色 GDP 占传统 GDP 比值动态变化的重要因素。表 2、图 2 显示安徽省各地绿色 GDP 绝对数总量上升、相对数比值总体下降的现象，说明该省各地经济总量的扩大仍以大规模的自然资源利用为前提，且具有持续维持的趋势。2011-2015 年间，安徽省能源消费总量由 10251.86 万吨标准煤上升至 12331.97 万吨标准煤，年均增长率为 3.76%，地区消耗发展不平衡，其中皖北地区增幅明显高于皖中皖南地区，滁州市年均涨幅最高为 4.5%，而马鞍山等市则出现了下降，年均跌幅为 3.8%。全省工业废水、废气、固废排放量由 2011 年的 70720 万吨、30411 亿立方米、11473 万吨变动至 2015 年的 71436 万吨、29188 亿立方米、13059 万吨，城市生活废水、生活及其他二氧化碳排放量由 2011 年的 172384 万吨、42246 吨增长至 2015 年 208928 万吨、60002 吨。因此，为实现绿水青山和金山银山有机统一，安徽省绿色经济发展仍任重而道远。



四、安徽省绿色经济增长影响因素实证研究

(一)空间计量模型简介

对绿色经济增长影响因素设定空间计量模型之前，应首先对其空间自相关性进行判断。一般采用全局空间自相关和局部空间自相关来刻画研究对象是否具有空间集聚特征。随后再进行空间计量模型的选择。常用三种基本的空间计量模型，即空间滞后模型 (SLM)、空间误差模型 (SEM) 和空间德斌模型 (SDM)。

空间滞后模型 (SLM)：

$$y = \rho W y + X \beta + \varepsilon \quad (5)$$

空间误差模型 (SEM)：

$$y = X \beta + \varepsilon, \quad \varepsilon = \lambda W \varepsilon + \mu \quad (6)$$

空间德斌模型 (SDM)：

$$y = \rho W y + X \beta + W X \delta + \varepsilon, \quad \mu \sim N(0, \sigma^2 I) \quad (7)$$

其中， y 为被解释变量； X 为解释变量向量； β 为系数； ρ 、 γ 分别为空间自回归系数和空间自相关系数； ε 、 μ 为随机误差项； W 为 $n \times n$ 的空间权重矩阵，权数系数往往根据实际情况决定。常用空间权重矩阵的设置方法包括空间邻接权重、反距离权重、经济权重和嵌套权重。本文采用空间邻接权重矩阵，遵循 Rook 相邻规则将两个地区拥有共同边界则视为相邻 (Lesage, 1999^[15])，若地区 i 和 j 边界相邻， W 中的元素 W_{ij} 的值为 1，否则即为 0；主对角线上元素为 0。权重矩阵经过行标准化处理，用每个元素除以所在行元素之和，保证每行元素之和为 1。

Elhorst (2003) 提出了空间面板模型的估计与检验框架，主要讨论应该选择哪种空间面板模型及哪种固定效应两个问题^[16]。常用的做法及步骤为：一是采用全局空间自相关 (Moran's I) 和局部空间自相关 (莫兰散点图和 LISA 空间聚类图) 来刻画研究对象是否具有空间集聚特征。二是进行空间计量模型的选择，首先检验 SDM 能否简化为 SLM 或 SEM，若似然比 (LR) 检验不可拒绝空间误差模型的零假设 $H_0: \gamma + \rho\beta = 0$ 、 $H_0: \gamma + \rho\beta = 0$ ，则 SDM 可被简化为 SEM，若似然比 (LR) 检验不可拒绝空间滞后模型的零假设 $H_0: \gamma = 0$ ，则 SDM 可被简化为 SLM，若两个假设都被拒绝，则 SDM 模型为最优模型；其次判断 SLM 或 SEM 优劣，若 LMlag 检验和 LMerr 检验只有一个显著，设定为与显著统计量对应的模型，若两个均显著，比较稳健性 LMlag 检验和稳健性 LMerr 检验，选择显著 (相对显著) 的统计量对应的空间计量模型。本文采用 STATA 软件处理方法 (如 SPWEIGHTXT 命令)，用分块对角矩阵 C 代替原空间权重矩阵，由此这些检验可以扩展到面板数据分析。Anselin 和 Rey (1991)、Anselin 和 Florax (1995) 提出利用拉格朗日误差检验和拉格朗日滞后检验及其稳健形式判断空间相关性，作为选择 SLM、SEM 和 SDM 模型的依据^[17-18]。

(二) 影响因素选择

考察地区绿色经济增长状况及其关键影响因素，传统经济 GDP 数据无法考量自然资源及生态资源的经济价值。因此采用绿

色 GDP 数据作为绿色经济增长规模则更为合适。表 2 列示的各地人均绿色 GDP，已经进行了价格指数调整，可作为被解释变量。

解释变量选择影响绿色产出变动的诸多因素，主要包括以下方面：其一考虑经济增长的三驾马车（消费、投资、净出口），将城镇居民人均消费支出值 CUM、固定资产投资总额 INV、进出口值 JCK 作为代表性指标，由于固定资产投资价格指数以及进出口商品价格指数无分市核算数据，因此三者都采用分市的居民消费价格指数消除价格因素影响。其二考虑城镇化、产业结构变动等要素流动或结构变化对绿色经济增长的影响效应，选择城镇居民占总人口比例 CITY、第二产业占总产出比重 INDS 作为代表性指标。其三考虑能源、环保、科技因素对绿色经济增长的作用，选择各市人均能源消费量 EN、人均节能减排财政支出额 EP、人均科技财政支出额 SC 作为代表性指标，其中人均能源消费数据借助各市能耗指标计算得到，后两者数据也利用 CH 数据消除价格因素影响。所有价格指标均采用 2010 年定基指数。

（三）模型选择及实证结果分析

1. 空间自相关性判断

基于 Geoda 软件，计算 2011-2015 年安徽省人均绿色 GDP 的全局莫兰指数，采用随机排列法生成正态分布并检验其显著性。获得 2011-2015 年间安徽省人均绿色 GDP 全局莫兰指数分别为 0.4582、0.4412、0.4390、0.4563、0.4788，其正态统计量 Z 值均大于 2，在 5% 的显著性水平下均是有统计意义的，表明整个研究期间安徽省地级市间的绿色经济增长呈现了显著的空间自相关性，地理位置相邻的城市间绿色经济增长具有一定的相互依赖性。

利用莫兰散点图和 LISA 空间聚类图^②发现安徽省人均绿色 GDP 具有明显的局域空间集聚特征，总体以高高聚集和低低聚集为主，其中高高聚集主要出现在皖中及皖南地区，低低主要出现在皖北地区。各类型地级市空间分布及所属数量存在一定区域性、动态性特征。四年间人均绿色 GDP 属于高高聚集和低低聚集的地级市分别为 4 个和 4 个，2012 年分别为 3 个和 3 个，2013 年分别为 3 个和 3 个，2014 年分别为 5 个和 3 个，2015 年分别为 3 个和 5 个。

2. 空间计量模型选择

利用 Statal3 软件计算传统固定效应面板模型，其时点及个体固定效应均存在，因此需建立包含固定效应的空间面板模型。比较包含时间空间双固定效应的 SLM、SEM 和 SDM 模型，估计及检验结果见表 3^③。根据 SDM 模型估计结果讨论两个似然比检验值，即使在 10% 的显著性水平下，仍不可拒绝空间滞后模型的零假设 $H_0: \gamma = 0$ ，可以拒绝空间误差模型的零假设

$H_0: \gamma + \rho\beta = 0$ 、 $H_0: \gamma + \rho\beta = 0$ ，因此 SDM 模型可被简化为 SLM 模型，不可被简化为 SEM 模型。此外，SLM 和 SEM 模型的 Moran' s I 统计量值 0.0231（p 值为 0.6332）也都变得不显著了，表明这两种空间固定效应模型都已经消除了空间相关性，但从 LMlag 检验和 LMerr 检验看，LMlag 检验量值 8.4228 要显著大于 LMerr 检验量值 0.0655，体现空间滞后模型（SLM）更适用。

3. 实证结果分析

由表 3 可知，选择空间滞后面板模型 SLM 后，Moran' s I 统计量值下降至 0.0231，表明该模型能控制空间相关性，且部分解释变量显著性也得到了进一步的改善。此外，空间滞后面板模型所得 ρ 系数估计值为 0.0603，在 5% 的显著性水平下统计意义显著，反映安徽省各地经济绿色增长过程中外溢效应显著存在，即各地绿色经济增长的诸多影响因素会通过正向空间地理溢出对相邻地区的变量产生作用，进而对相邻地区的绿色经济增长产生影响，使相邻地区经济发展出现一定的伴随现象。从数值上表现为一个地区人均绿色 GDP 增长率提高 10 个百分点，其中将有益于相邻地区经济增长，提高约 0.6 个百分点^④。而 id 和 year 两项系数 t 检验都是显著的，反映安徽省地级市绿色经济增长既存在空间固定效应又存在时间固定效应。

表3 三种空间面板模型估计及检验结果

变量	SLM		SEM		SDM	
	参数估计值	f 统计量 p 值	参数估计值	f 统计量 P 值	参数估计值	f 统计量/3 值
INV	0.7036	0.0000	0.8046	0.0000	0.5135	0.0000
CUM	0.2591	0.0910	0.3032	0.0660	0.2604	0.0490
JCK	0.4119	0.0000	0.3607	0.0000	0.2769	0.0000
CITY	72.1317	0.4180	-27.9212	0.7830	265.9704	0.0050
INDS	-249.6900	0.0050	-212.8900	0.0220	-210.8900	0.0260
EN	-1542.0500	0.0000	-1575.0500	0.0000	-522.8400	0.2370
EP	13.9509	0.0070	8.1516	0.1150	11.5416	0.0110
SC	30.5310	0.4180	45.3010	0.2700	-23.3932	0.4970
id	464.8006	0.0010	-223.2114	0.1030	-429.8406	0.0080
year	-2015.3170	0.0000	-1616.5440	0.0000	-1332.8500	0.0920
CONST	23449.0000	0.0000	23441.4200	0.0000	14555.9500	0.0030
R ²	0.9239		0.9414		0.7536	
P	0.0603	0.0000			-0.1156	0.0080
λ			0.0608	0.0000		
δ					2513.4350	0.0000
Moran MI	0.0231	0.6332	0.0231	0.6332	-0.2142	0.0072
Lmerr	0.0655	0.7980	0.0655	0.7980	4.1162	0.0425
Lmlag	8.4228	0.0037	8.4228	0.0037	0.1787	0.6725
Robust Lmerr	0.1414	0.7069	0.1414	0.7069	3.9501	0.0469
Robust Lmlag	8.4987	0.0036	8.4987	0.0036	0.0126	0.9107
LR test SLM vs. OLS	35.6756	0.0000				
LR test SEM vs. OLS			22.0231	0.0000		
LR test SDM vs. OLS					2.4199	0.1198
LR test ($Wx' s=0$)					47.3349	0.0000

表3主要解释变量估计结果如下:

第一,从经济增长的“三驾马车”看,固定资产投资 INV、城镇居民消费 GUM、进出口 JCK 均对安徽省各地绿色经济增长产生显著的正向影响,边际系数分别为 0.7036、0.2591、0.4119,反映 2011-2015 年间安徽省各地区绿色经济增长仍以投资拉动为主,依次为进出口及消费,特别是消费拉动效应相对较弱,仍需加强。

第二,从要素流动考虑,城镇化 CITY 进程对安徽省地区绿色经济增长的回归系数为正值,但在统计上并不显著。回归系数为正显示新型城镇化建设是未来推进地区绿色经济增长的强大推动力。但统计意义不通过表明城镇化指标对绿色增长影响尚不显著,城镇化进程中基础设施的不断完善和居民生活水平的日益提高一方面促进绿色产业、绿色服务等快速发展,另一方面也加大对资源能源需求、环境压力日增,从而产生对地区绿色增长影响的不确定性。

第三，从结构因素看，产业结构 INDS 对安徽省地区绿色经济增长的影响显著为负，若第二产业占总产出比重下降 10%，将促进地区人均绿色 GDP 增长 2496.9 元。图 1 显示的安徽省绿色 GDP 占传统 GDP 比值最低的四个城市（淮北、淮南、马鞍山、铜陵），第二产业产值所占比重均高于 60%，四座资源型城市在资源开采、加工、处理、利用过程中能耗大、排放多，绿色经济增长压力较大。所以资源型城市（特别是资源枯竭性城市）应更注重创新培育新兴产业、促进产业结构升级。系数为负反映以能值法为基础计算的地区绿色 GDP，第二产业占总产出比重过高不利于地区绿色经济增长。

第四，从能值计算绿色 GDP 直接扣减项看，涉及不可更新能源的能值-货币价值之和以及污染排放造成环境损耗的能值-货币价值之和。前者以能源消费量 EN 为代表，表 3 显示其对安徽省地区绿色经济增长的影响显著为负，如果人均能源消费增加 1 吨标准煤，地区人均绿色 GDP 将减少 1542.05 元。安徽省各地能源消耗多以煤炭等不可再生资源为主，2015 年全省原煤消费量为 18235.4 万吨，能源消耗量的增加无疑增大了绿色 GDP 扣减项数值，降低绿色产出数值，因此回归系数显著为负。后者以人均节能减排财政支出额 EP 作为环境保护成本代表，其对安徽省地区绿色经济增长的影响显著为正，边际系数为 13.95。大多数企业出于利益最大化目标在治污防污过程中缺乏动机和能力，污染治理、环境保护仍以政府主导为主，而安徽省此项支出时空波动较大，2015 年人均支出不足百元的城市包括淮北、亳州、宿州、阜阳、淮南，而这些地区人均绿色 GDP 均不足 3500 元。可见较低的环保投入不利于地区绿色经济增长。

第五，从科技投入看，人均科技财政支出额 SC 对安徽省地区绿色经济增长的影响为正，但统计意义不显著，科技研发可以直接提高能源利用效率、减少污染排放，又可以间接推动产业升级，但由于研发周期长、效益难显现等问题造成对地区绿色增长可能产生不确定性。

五、主要结论与政策含义

（一）主要结论

本文基于能值理论对 2011-2015 年安徽省 16 个地级市绿色 GDP 进行测度，分析其时空变化特征；鉴于地区间绿色经济增长具有明显的空间相关性，应用包含时间效应和空间效应的空间滞后面板模型，定量分析影响安徽省地级市绿色经济增长时空演变的关键因素，具体结论如下：

（1）安徽省各地绿色 GDP 人均值显著提高，但占传统 GDP 比值多数城市小幅下降，且空间发展不平衡。基于能值理论，将不可再生自然资源、能源及废物流的能值货币价值从传统 GDP 中扣减，获得 2011-2015 年安徽省 16 个地级市绿色 GDP。核算结果显示人均绿色 GDP 从规模上逐年提高，地区分布呈现中部凸起、南高于北、东高于西的特征。对绿色 GDP 占传统 GDP 比值进行空间四分位分类，第一阵营比值最低，主要包括淮南、淮北、铜陵、马鞍山四个传统资源型城市；第二阵营集中在皖中皖南合肥、安庆、芜湖、池州等经济文化旅游城市；第三阵营集中在安徽东北部发展速度前茅的宿州、蚌埠、滁州以及皖南的宣城；第四阵营比值最高，包括安徽西北部的亳州、阜阳、六安等农业大市以及皖南旅游强市黄山。空间分布结果反映安徽省各类城市发展绿色经济需因地制宜，资源型城市发展绿色经济压力最大，应积极加快城市转型发展，有效降低产能，减少污染排放；农业大市及旅游强市绿色经济基础最好，应进一步开展绿色农业及生态旅游，稳妥推进绿色城镇化；科教文化城市、创新性城市在本省绿色经济发展中优势不显著，应积极开拓创新思路，引导绿色消费，推动工业绿色升级，加快现代服务业发展。

（2）安徽省地区经济绿色增长存在外溢效应，投资、消费、进出口、产业结构、能源消耗、环境保护等因素是安徽省地区绿色经济增长的重要解释变量。比较 SLM、SEM、SDM 模型差异，发现除了空间和时间的异质性以外，安徽地区绿色经济增长还存在空间相关性特征，鉴于若干检验结果选择更适用的空间滞后面板模型（SLM）。实证结果显示在安徽省地区绿色经济增长过程中外溢效应显著存在，影响系数为 0.0603，表明一个地区更快更好的绿色增长业绩将惠及相邻地区，跨地区合作对绿色发展将产生共赢效果；2011-2015 年间固定资产投资、城镇居民消费、进出口、人均节能减排财政支出额均对安徽省地区绿色 GDP 产生显著的正向影响，边际系数分别为 0.7036, 0.2591, 0.4119、13.95，反映安徽省各地区绿色经济增长仍以投资拉动为主、消费拉

动仍需加强;第二产业占总产出比重、能源消耗量对安徽省地区绿色 GDP 产生显著的负向影响,边际系数分别为-249.69、-1542.05,表明如何推进节能减排、产业优化升级仍是实现绿色发展的重点和难点;城镇化率和人均科技财政支出额对安徽省地区绿色经济增长的回归系数均为正值,但在统计上均不显著,一是可能源于多重共线性影响,二是现阶段绿色发展过程中城镇化进程、科技研发效果实施存在不确定性,因此统计意义不显著。

(二)政策含义

从实证分析结果可以获得如下政策含义:①绿色增长以经济与环境的和谐为目的,追求经济发展与环境保护的统一,如何提高资源利用效率、减少污染排放,是实现绿色增长的首要问题;安徽省绿色发展应因地制宜,资源型城市、农业大市、旅游强市、科教文化城市、创新性城市绿色发展起点不同,道路不同,不能一刀切。②安徽省地区绿色经济增长存在显著的外溢效应,应积极寻求跨地区合作,形成共赢的发展新局面;重视地区的协调发展问题,地区发展规划应突出跨地区的空间特征。③为实现地区绿色经济增长更具活力,各地区应进一步扩大消费拉动力度,实现产业升级、实现绿色工业发展,打破行政区划的限制,鼓励生产要素自由流动,提高节能减排环保投入规模及科技实施效果,实现区域经济的高质量发展。

注 释:

① 感谢中国科学院地理科学与资源研究所朱良君博士提供的基础数据,本文对安徽省相关气象站点数据进行归类合并处理,形成 16 个地级市相关气象数据。

② 由于篇幅限制,莫兰散点图和 LISA 空间聚类图在文中未绘出,如有需要,请与作者联系。

③ SDM 由此表格设计及篇幅限制,并没有列出所有滞后解释变量的系数及 p 值,如有需要可与作者联系。

④ 相邻其他省的地级市或者区县行政单位也可能对本省边界上的地级市产生影响,如马鞍山市就受南京市影响较大。但考虑省级区划内部,无论是在政策传递执行、地区经济互动还是各类要素流动等方面,省内影响仍占主体,因此本文并未进行相关讨论及说明。

参考文献:

- [1] 张虹,黄民生,胡晓辉.基于能值分析的福建省绿色 GDP 核算[J].地理学报,2010,65(11):1421-1428.
- [2] 张丽君,秦耀辰,张金萍,等.基于 EMA-MFA 核算的县域绿色 GDP 及空间分异——以河南省为例[J].自然资源学报,2013,28(3):504-516.
- [3] 李涛,陈彦桦,王嘉炜,等.基于能值分析的广西绿色 GDP 核算研究[J].荆楚理工学院学报,2014,29(2):65-69.
- [4] 成福伟,张月丛.基于能值分析的京津冀生态支撑区绿色可持续发展评价——以河北承德为例[J].河北大学学报:哲学社会科学版,2016,41(11):106-113.
- [5] 康文星,王东,邹金伶,等.基于能值分析法核算的怀化市绿色 GDP[J].生态学报,2010,30(8):2151-2158.
- [6] 郭丽英,雷敏,刘晓琼.基于能值分析法的绿色 GDP 核算研究——以陕西省商洛市为例[J].自然资源学报,2015,30(9):1523-1533.

-
- [7] 窦睿音, 刘学敏, 张昱. 基于能值分析的陕西省榆林市绿色 GDP 动态研究[J]. 自然资源学报, 2016, 31 (6) :994-1003.
- [8] 李晓刚, 侯彦鹏, 肖杰, 等. 基于能值分析理论的汉中市绿色 GDP 核算研究[J]. 江西农业学报, 2017, 29(3) :144-150.
- [9] 朱玉林, 李明杰, 王茂溪, 等. 基于能值理论的环洞庭湖区农业生态系统绿色 GDP 核算研究[J]. 财经理论与实践, 2012(6) :118-121.
- [10] 白小梅. 基于能值的宁南黄土丘陵区农业生态系统可持续发展研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2015.
- [11] 杨灿, 朱玉林. 基于能值生态足迹改进模型的湖南省生态赤字研究[J]. 中国人口. 资源与环境, 2016, 26(7) :37-45.
- [12] 李兆亮, 罗小锋, 张俊飏, 等. 基于能值的中国农业绿色经济增长与空间收敛[J]. 中国人口. 资源与环境, 2016, 26(11) :150-159.
- [13] ODUM H T. Environment Accounting: Emery and Environmental Decision Making [M]. New York: John Wiley & Sons, 1996: 163-168.
- [14] 蓝盛芳, 钦佩. 生态系统的能值分析[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1) :129-131.
- [15] LESAGE J. The Theory and Practice of Spatial Econometrics [M]. Toledo: The Web Book of Regional Science., 1999.
- [16] ELHORST J P. Specification and Estimation of Spatial Panel Data Models[J]. International Regional Science Review, 2003, 26(3) :244-268.
- [17] ANSELIN L, REY S. Properties of Tests for Spatial Dependence in Linear Regression Models [J]. Geographical Analysis, 1991, 23(2) : 112-131.
- [18] ANSELIN L, FLORAX R. New Directions in Spatial Econometrics[M]. Berlin:Springer-Verlag, 1995:21-74.