

基于能值生态足迹和生态效率的 贵州省可持续发展评价

易其国^{1,2} 陈慧婷¹¹

(1. 贵州财经大学 经济学院, 贵州 贵阳 550025;

2. 中国西部绿色发展战略研究院, 贵州 贵阳 550025)

【摘要】: 利用能值生态足迹模型以及绿色 GDP 核算初步评价了贵州省 2000—2017 年可持续发展状况, 并选取已经扣除了非期望产出的绿色 GDP 作为产出指标测算贵州省生态效率, 进一步评价其可持续发展水平。研究结果表明: (1) 贵州省人均能值生态承载力较稳定, 无较大波动; 人均能值生态足迹呈现不断上涨的趋势; 研究期间贵州省始终处于生态赤字状态; 六种生态生产性土地中, 化石燃料用地和耕地对生态足迹的贡献度最大。(2) 贵州省绿色 GDP 的增长速度远低于 GDP 的增长速度, 绿色 GDP 在传统 GDP 中的占比呈不断下降的趋势, 不可更新资源产品的消耗量大是主要原因。(3) DEA 结果显示, 2000—2017 年, 有 7 个年份是 DEA 有效, DEA 无效年份资本投入和劳动力投入存在冗余, 投入和产出未达到最佳状态。

【关键词】: 能值生态足迹 绿色 GDP 生态效率 数据包络分析

【中图分类号】: F062.2; X196 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)04-170-07

0 引言

经济持续高速发展的背后是人口的急剧膨胀、“三废”污染严重、气候变暖、臭氧层耗竭、生物多样性锐减、土壤退化加速、森林赤字。能源枯竭和环境污染问题是全球持续关注的焦点, 可持续发展道路是人类社会发展的必由之路。在建设生态文明提升为“千年大计”、打造“富强民主文明和谐美丽”社会主义现代化强国的背景下, 如何高质量地处理好经济发展、资源消耗和环境保护三者的关系是实现区域可持续发展的必要条件。要想实现可持续发展, 首先要有效地测度和评价区域可持续发展状况。目前被广泛接受并应用较多的评价方法主要有生态足迹法、能值分析法、能值生态足迹法、综合评价法、真实储蓄率测算法和绿色 GDP 法等^[1-6]。

生态效率作为有效测度可持续发展的方法之一, 其概念最早由 Schaltegger & Burritt^[7]在 1990 年提出, 即服务和产品产生的价值与环境影响的比值, 其核心思想就是以最小的资源消耗量和环境污染程度换取最大的经济价值。生态效率的核算方法概括起来主要包括三种: 单一比值法、指标体系法和模型法, 三种核算方法各有利弊^[8]。其中, 模型法主要有生态足迹法、数据

作者简介: 易其国, 博士, 副教授, 研究方向为资源环境经济与政策。E-mail: yqgjoy@qq.com

基金项目: 国家重点研发计划“中国南方喀斯特槽谷区生态产业技术体系研发与应用示范实施方案”子课题“喀斯特槽谷区生态产业构建与效益评价”(2016YFC0502305); 贵州省教育厅自然科学研究项目“林木生物质热转化技术评估与潜在环境影响研究”(黔教合 KY 字(2015)365); 贵州省教育厅人文社会科学研究项目“低碳经济背景下贵州农业生物质能发展研究”(2016ZC041); 贵州财经大学校级科研基金“贵州高质量发展测度及其对策研究”(2019XYB07)

包络分析法 (DEA) 以及 DEA 的一些拓展模型。DEA 模型凭借独特优势在近些年研究中被应用广泛。首先, DEA 模型需要的信息相对较少; 其次, DEA 模型不需要对原始的投入产出数据进行量纲处理; 最后, DEA 模型系统直接对指标赋予权重, 不需要人为确定权重, 克服了主观因素对结果的影响。目前生态效率理论已经得到了不断发展和完善, 被应用于多个研究领域, 例如区域、农业、工业、旅游业等层面。屈小娥^[9]从省域层面出发, 采用空间统计分析方法测算了我国 30 个省份生态效率的时空关联及集聚特征。邢贞成等^[10]将生态足迹作为生态投入指标, 运用 SBM 模型分析了长江经济带全要素生态效率的时空分异与演变。程翠云等^[11]对我国农业生态效率进行了测算, 研究结果表明我国农业生态效率总体水平比较低。王俊岭等^[12]以中国的钢铁工业为研究对象, 基于 DEA 模型测算了中国钢铁工业的生态效率。姚治国等^[13]将生态效率应用于旅游业的可持续发展评价, 基于旅游碳足迹模型, 测算了海南省旅游生态效率。

应用 DEA 模型核算生态效率需要先确定投入和产出指标, 目前是以 GDP 作为主要产出指标, 而传统 GDP 没有考虑资源环境损耗成本(这是目前资源环境经济学的热点和难点), 而不同学者对非期望产出指标的选取(通常选取“三废”排放中的若干污染物作为非期望产出)和(例如非期望产出作投入法、倒数转换法、方向性距离函数法和修正 DEA 模型等^[14-15])有所差异, 不同研究结果无法进行比较。He 等^[16]运用 DEA 模型评价江苏省生态效率时, 以绿色 GDP 作为产出指标, 却依旧将废弃物排放量作为非期望产出指标。在基于 DEA 模型评价区域生态效率时, 多数研究以国内生产总值 (GDP) 作为期望产出, 但是 GDP 忽视了经济增长过程中资源的消耗以及环境的损害。而绿色 GDP 作为对传统 GDP 的补充和完善, 是指扣除了资源耗减价值与环境污染损失价值后的国内生产总值, 克服了传统 GDP 未考虑资源环境因素的弊端。

贵州省生态环境脆弱, 山区面积大, 是“两江”上游的重要生态屏障区。本文结合能值生态足迹模型以及绿色 GDP 核算综合初步评价贵州省可持续发展水平, 并将绿色 GDP 作为产出指标(已经扣除了非期望产出)计算生态效率, 有针对性地为贵州省高质量发展决策提供理论依据, 为综合评价区域可持续发展水平提供了一种新的思路。

1 研究方法与数据来源

1.1 能值分析

能值 (emergy) 概念是由美国著名生态学家 Odum^[17]在 20 世纪 80 年代提出。自从 1992 年留美学者蓝盛芳将能值理论引入我国后就得到了广泛的应用, 学者们将其用于研究和评价城市生态经济系统、农业生态系统以及海洋生态系统等^[18-20]。各种产品和资源的太阳能值计算公式为:

$$E=M \times T \tag{1}$$

式中: E 为能值, M 是产品或资源有效能, T 为能值转化率。

1.2 能值生态足迹模型

生态足迹的概念最早由生态经济学家 Rees^[21]在 1992 年提出。Wackernagel & Rees^[22]认为, 任何已知人口(某个人、一个城市或一个国家)的生态足迹就是生产这些人口所消费的所有资源和吸纳这些人口所产生的所有废弃物所需要的生态生产性土地的总面积, 具体分为耕地、草地、林地、水域、化石燃料用地和建筑用地六种类型。随着学者对生态足迹概念的研究和运用, 生态足迹模型的缺陷也逐渐凸显。传统生态足迹模型中均衡因子、产量因子和全球平均土地生产能力等指标没有充分考虑各区域和时间角度的现实差异, 导致测算结果不稳定^[23]。能值生态足迹模型基于能值理论对传统生态足迹模型进行了修改和完善, 摒弃了均衡因子和产量因子, 引入了相对稳定的全球能值密度和区域能值密度的概念。因此, 本文将采用能值分析理论来计算生态承载力和生态足迹, 具体指标体系如表 1 所示。

表 1 贵州省能值生态足迹指标体系

类型	指标
耕地	粮食、大豆、薯类、油料、麻类、甘蔗、烟叶、蔬菜、茶叶、水果、猪肉
草地	牛肉、羊肉、牛奶、禽蛋、蜂蜜
林地	木材、油桐籽、油茶籽
水域	水产品
化石燃料用地	煤炭、焦炭、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气
建筑用地	电力

1.2.1 能值生态承载力

采用能值分析理论来计算生态承载力，计算公式为

$$EC=e/p_1 \quad (2)$$

式中：EC 为人均能值生态承载力；e 为可更新资源的人均太阳能，是可更新环境资源能值与总人口的比值； p_1 为全球平均能值密度(根据 Odum 等^[24]的研究结果，全球平均能值密度为 $3.104 \times 10^{14} \text{sej/hm}^2$)，是全球能值总和与全球面积的比值。为了保持生物多样性，根据世界环境与发展委员会的报告，在生态承载力计算时需要扣除 12% 的生物多样性保护面积进行修正，即：

$$EC'=(1-12\%) \times EC \quad (3)$$

1.2.2 能值生态足迹

采用能值分析理论来计算生态足迹，计算公式为：

$$EF = \sum_{i=1}^n (c_i / p_2) \quad (4)$$

$$p_2 = \text{区域总能值} / \text{区域土地面积} \quad (5)$$

式中：EF 为人均能值生态足迹，i 为消费项目类型， c_i 为第 i 种资源的人均能值， p_2 为区域能值密度。计算区域能值密度考虑的是可更新环境资源能值。为了避免重复计算，同一性质的能量投放只取最大值。太阳辐射能、风能、雨水化学能、雨水势能由太阳辐射作用产生，取其中最大值。地球旋转能由地球内能引起，需加总计算。

1.2.3 生态赤字或盈余

用人均能值生态足迹和人均能值生态承载力之差表示生态赤字或盈余，计算公式为：

$$ES=EF-EC \quad (6)$$

式中：ES 表示人均生态赤字或盈余，当 ES 大于 0 时，表示该地区存在生态赤字，说明该区域的环境负荷超过其生态承载力；当 ES 小于 0 时，表示该地区存在生态盈余，说明该地区的生态系统比较稳定，人们的资源消耗没有超过其所能承受的范围之内，可以保持可持续发展的状态；当 ES 为 0 时，称为生态平衡，表明该区域处于弱可持续发展状态。

1.3 基于能值的绿色 GDP

国内生产总值 (GDP) 是衡量和反映一个国家或地区经济发展水平的重要指标，但是 GDP 的核算存在局限性，它忽视了人类经济活动对资源和环境的影响。绿色 GDP 弥补了传统 GDP 的不足，将资源损耗和环境破坏的成本纳入核算，更能真实地反应社会实际财富，更能体现可持续发展的思想。本文将采用能值分析的方法对绿色 GDP 进行核算。

1.3.1 总能值

能值理论的核心思想就是通过能值转换率将不同种类的资源或产品转换成统一的能值单位再进行度量。系统总能值的计算公式如下：

$$E = \sum_{i=1} E_i = \sum_{i=1} (M_i \times T) \quad (7)$$

式中：E 表示系统的总能值 (sej)； E_i 表示第 i 种资源或产品的总能值 (sej)； M_i 表示第 i 种资源或产品的原始数据 (sej)；T 表示能值转换率。

1.3.2 能值货币价值

能值货币价值 (emergy dollars, 简称 Em\$) 是指生态经济系统的能值换算成货币时相当于多少币值，其计算公式为资源或产品的能值与能值货币比率的比值，即

$$V_i = E_i / R \quad (8)$$

$$R = \sum_{j=1} E_j / GDP \quad (9)$$

式中： V_i 表示第 i 种资源或产品的能值货币价值 (美元)； E_i 表示第 i 种资源或产品的总能值 (sej)；R 表示能值货币比率 (sej/美元)； $\sum E_j$ 表示系统利用的总能值之和 (包括可更新环境资源、不可更新环境资源、不可更新资源产品、货币流)；GDP 表示国内生产总值 (美元)。

1.3.3 绿色 GDP

$$\text{绿色 GDP} = \text{传统 GDP} - \sum A - \sum B - \sum C \quad (10)$$

式中： ΣA 表示不可更新环境资源的总能值货币价值； ΣB 表示不可更新资源产品的总能值货币价值； ΣC 表示废弃物的总能值货币价值。具体指标体系如表 2 所示。

1. 4DEA 评价方法

Charnes 等^[25]于 1978 年提出数据包络分析 (data envelopment analysis, 简称 DEA) 的概念。DEA 在实际应用中不需要预先估计参数, 不需要主观赋值, 而是采用统计学自动赋值, 具有一定的优越性, 得到了广泛使用。传统的 CCR 模型由 Charnes、Cooper 和 Rhodes 于 1978 年提出, 用于评价 DMU 的规模和技术有效性, BCC 模型是在 CCR 模型基础上建立起来的, 适用于规模报酬可变的情形。投入导向下对偶式的 BCC 模型表示如下:

$$\begin{aligned} & \min \{\theta\} \\ & \text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_{j_0} \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_{j_0} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0; S^- \geq 0; S^+ \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \tag{11}$$

式中： X_{j_0} 表示第 j_0 个 DMU 输入向量, Y_{j_0} 表示第 j_0 个 DMU 输出向量, θ 表示投入缩小比率, λ 表示决策单元线性组合的系数, S^- 表示投入冗余率, S^+ 表示产出不足率。若 $\theta=1, S^-=S^+=0$, 则称 j_0 单元为 DEA 有效; 若 $\theta=1, S^-$ 和 S^+ 存在非零值, 则称 j_0 单元为 DEA 弱有效; 若 $\theta<1$, 则称 j_0 单元为 DEA 无效。

表 2 贵州省基于能值的绿色 GDP 核算指标体系

类别	名称	能值转换率/(sej/J)
可更新环境资源	太阳辐射能	1
	雨水化学能	623
	雨水势能	15444
	风能	8888
	地球循环能	29000
不可更新环境资源	表土损失能	74000
可更新资源产品	水力发电	80000
	粮食	148000
	大豆	690000
	薯类	83000
	油料	690000
	麻类	83000
	甘蔗	84000
	烟叶	84900
	蔬菜	83000
	茶叶	200000

	水果	530000
	肉类	4000000
	牛奶	2000000
	禽蛋	2000000
	蜂蜜	84000
	水产品	2000000
	林产品	44000
不可更新资源产品	原煤	40000
	汽油	66000
	煤油	66000
	柴油	66000
	燃料油	54000
	天然气	53000
	钢	1.40×10^{15}
	水泥	2.07×10^{15}
	氮肥	3.80×10^{15}
	磷肥	3.90×10^{15}
	钾肥	1.10×10^{15}
	复合肥	2.80×10^{15}
	农药	1.60×10^{15}
	塑料薄膜	3.80×10^{14}
货币流	商品进口	1.66×10^{12}
	实际利用外资	1.66×10^{12}
	旅游外汇收入	1.73×10^{12}
	劳务输入	3.80×10^5
	商品出口	1.66×10^{12}
废弃物	废气	4.80×10^4
	废水	8.60×10^5
	固体废弃物	1.80×10^6

从技术和经验上，DEA 对 DMU 有如下要求：一是参考集中的 DMU 应该具有“同类型”特征；二是通常认为参考集元素的个数不少于输入输出指标总数的二倍为宜。本文以贵州省为研究对象，基于贵州省 2000—2017 年的相关数据展开实证分析，符合 DEA 的基本要求。在 DEA 效率评价过程中，将资本存量、劳动力投入作为投入指标，将绿色 GDP 作为产出指标。其中，资本存量(百亿美元)投入采用永续盘存法计算，其数据计算以 2000 年为基期，运用到张军等^[26]的估算模式，其估算公式为： $K_t = (1 - \delta_t)K_{t-1} + I_t$ ，其中， K_t 表示第 t 年期末的资本存量， δ_t 为该 t 年的折旧率， I_t 为该 t 年的实际投资，采用的当年投资指标是固定资本形成总额。劳动力投入(千万人)指的是每年年末就业人员总数。期望产出采用绿色 GDP(百亿美元)来核算，计算过程中采用的是以 2000 年为基期的不变价 GDP，绿色 GDP 已经扣除了资源损耗和环境污染等非期望产出，这就直接解决了模型的非期望产出问题。

1.5 数据来源

本文运用贵州省 2000—2017 年的数据来评价贵州省的可持续发展状况，数据来源于国家统计局、2001—2018 年的《中国统

计年鉴》、《贵州统计年鉴》、贵州宏观经济数据库。其中有个别指标在个别年份存在数据缺失，采用的是插值法进行填补。本文所用到的能值计算公式、能值折算系数以及能值转换率借鉴蓝盛芳等^[27]、朱玉林^[28]、Brown & Ulgiati^[29]等学者的研究成果。

2 实证分析

2.1 能值生态足迹与能值生态承载力分析

由图 1 可知，2000—2017 年，贵州省的能值生态足迹呈现上升趋势，从 2000 年的 $12.03 \times 10^7 \text{hm}^2$ 变化到 2017 年的 $31.31 \times 10^7 \text{hm}^2$ ，增长了 2.60 倍。人均能值生态足迹和总能值生态足迹呈现相同的变化趋势，总体上呈现上升趋势，从 2000 年的 3.20hm^2 变化到 2017 年的 8.75hm^2 ，增长了 2.73 倍。在 2008—2014 年这个时间段，总能值生态足迹和人均能值生态足迹的波动较大，呈现下降和上升交替变化的趋势，峰值出现在 2011 年。

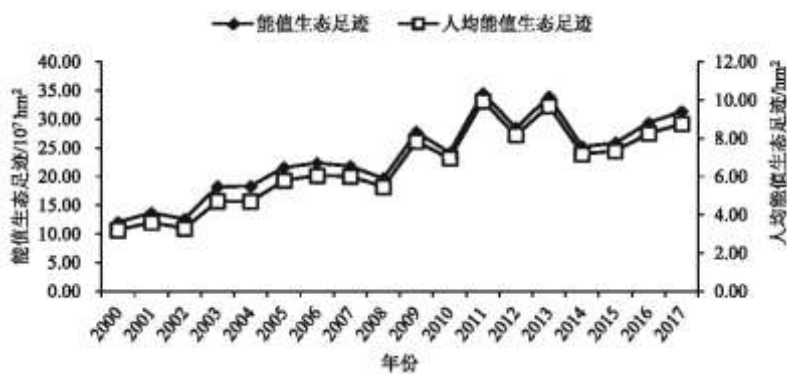


图 1 2000—2017 年贵州省能值生态足迹和人均能值生态足迹

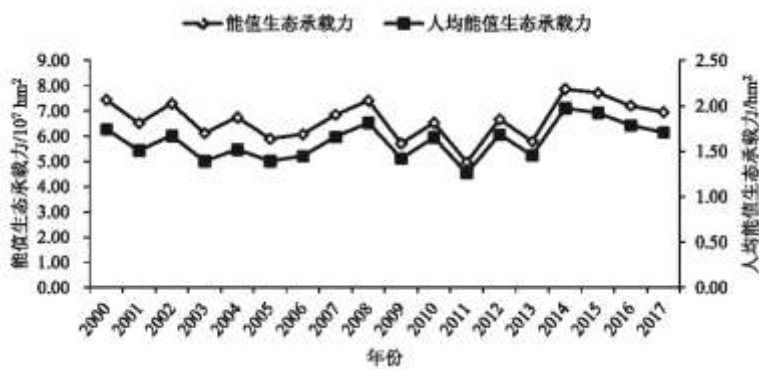


图 2 2000—2017 年贵州省能值生态承载力和人均能值生态承载力

由图 2 可知，2000—2017 年，贵州省的能值生态承载力总体上比较稳定，无较大的波动。人均能值生态承载力和总能值生态承载力呈现相同的变化趋势。个别年份数值下降主要是因为降水量的减少，从而导致可更新环境资源能值下降，或者是人口数量的增加导致人均能值生态承载力降低。从贵州省 2000—2017 年可更新环境资源的能值数值可知，各年份的太阳辐射能、风能及地球循环能基本上保持不变，雨水化学能和雨水势能受降水量的影响而有所波动，从而导致了可更新环境资源的能值发生变动。

生态足迹和生态承载力的差值就是生态赤字或者生态盈余。由表 3 可知，贵州省在 2000—2017 年这 18 年一直处于生态赤字的状态，并且总体上呈现明显的上升趋势，人均生态赤字从 2000 年的 1.46hm²变化到 2017 年的 7.04hm²。2011 年，人均能值生态足迹达到峰值，人均能值生态承载力达到最低值，从而导致人均生态赤字达到最大值，生态环境的负荷远超过环境的承载力。2000—2002 年，贵州省的能值生态足迹和能值生态承载力几乎达到平衡状态，生态赤字较小。随着时间推移，生态赤字不断增大，打破了原有的平衡状态，能值生态足迹远大于能值生态承载力。这表明贵州省在经济社会发展的进程中自然资源 and 生态环境的压力越来越大，生态系统处于严重的赤字状态，偏离可持续发展的轨道。

表 3 2000—2017 年贵州省人均生态足迹、人均生态承载力与人均生态赤字

年份	人均生态足迹	人均生态承载力	人均生态赤字
2000	3.20	1.74	1.46
2001	3.60	1.51	2.09
2002	3.29	1.67	1.61
2003	4.71	1.39	3.32
2004	4.70	1.52	3.17
2005	5.78	1.39	4.39
2006	6.05	1.45	4.60
2007	6.00	1.66	4.34
2008	5.46	1.81	3.65
2009	7.83	1.42	6.41
2010	6.95	1.65	5.29
2011	9.94	1.26	8.68
2012	8.17	1.69	6.48
2013	9.68	1.46	8.23
2014	7.17	1.97	5.20
2015	7.33	1.92	5.41
2016	8.25	1.79	6.46
2017	8.75	1.71	7.04

图 3 呈现了六种生态生产性土地的能值生态足迹变化趋势，我们可以看出，林地、草地和水域的能值生态足迹在总能值生态足迹中占比较小，分别为 1.24%、1.04%、0.50%，并且在 2000—2017 年无明显的波动。这表明贵州省林、牧、渔的生态足迹贡献度较低。化石燃料用地、耕地和建筑用地对贵州省能值生态足迹的贡献较大，其中化学燃料用地的能值生态足迹最大，耕地次之，建筑用地第三。从折线图趋势可以看出，化石燃料用地和建筑用地的能值生态足迹呈现明显的上升趋势。其中，化石燃料用地的能值生态足迹从 2000 年的 $5.39 \times 10^7 \text{hm}^2$ 变化到 2017 年的 $1.68 \times 10^8 \text{hm}^2$ ，增长了 3.11 倍，其在总能值生态足迹中平均占比为 52.27%。建筑用地的能值生态足迹从 2000 年的 $1.26 \times 10^7 \text{hm}^2$ 变化到 2017 年的 $6.51 \times 10^7 \text{hm}^2$ ，增长了 5.15 倍，其在总能值生态足迹中平均占比为 16.11%。这表明贵州省的经济发展对化石燃料和电力的依赖度很大。耕地的能值生态足迹在 2000—2017 年无明显的波动，但是其在总能值生态足迹中占比变化较大，从 2000 年的 41.00%变化到 2017 年的 22.97%。这是由于化石燃料用地对能值生态足迹的贡献越来越大，这也是贵州省生态赤字不断恶化的主要原因。

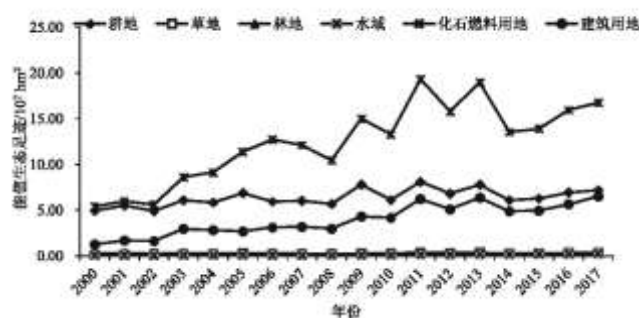


图3 2000—2017年贵州省六种生态生产性土地的能值生态足迹

2.2 绿色GDP分析

由图4可以看出，贵州省2000—2017年的GDP和绿色GDP都呈明显的上升趋势，近10年以来，GDP的增长速度远大于绿色GDP的增长速度。绿色GDP与GDP的比值呈明显的下降趋势，从2000年的78.32%变化到2017年的60.60%。由图5可以看出，贵州省绿色GDP与GDP的比值不断下降是因为近些年不可更新资源产品和废弃物的能值货币价值不断上升，不可更新资源产品表现得尤为突出。不可更新资源产品的能值货币价值增长了16.68倍，废弃物的能值货币价值增长了7.64倍。不可更新资源产品中，原煤的消耗量最大，在不可更新资源产品中的占比在研究期间均在50%以上。废弃物排放中，固体废弃物的排放量最大，在废弃物中的占比在研究期间也均在50%以上。说明贵州省2000—2017年在经济发展过程中大量消耗不可更新资源产品，并且排放大量废弃物，经济的快速发展是以资源的消耗和环境的损害为代价的。

2.3 生态效率分析

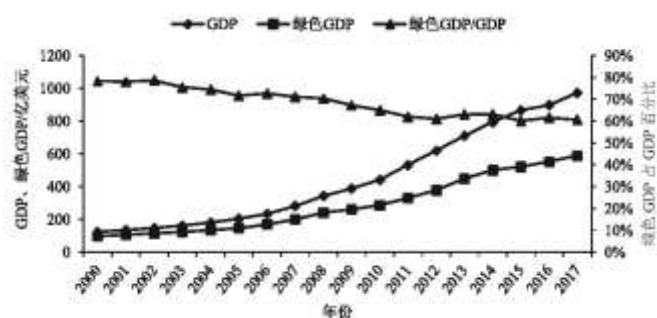


图4 2000—2017年贵州省GDP和绿色GDP

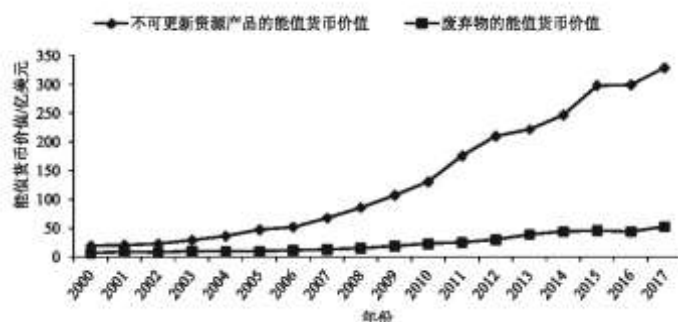


图 5 2000—2017 年贵州省不可更新资源产品和废弃物的能值货币价值

由表 4 可知,从综合效率来看,在 2000—2017 年期间,贵州省 DEA 有效的年份是 2000 年、2008 年、2010 年、2011 年、2013 年、2014 年和 2017 年,它们的综合效率值都等于 1,松弛变量都等于 0,表明这些决策单元 DMU 都处于效率前沿面上,投入和产出达到了最佳的状态。剩余年份都为 DEA 无效,它们的综合效率都小于 1。以 2008 年为分界点,可以看出 DEA 无效年份大多出现在 2000—2007 年间,后 10 年间 DEA 有效年份明显增多。从纯技术效率来看,在 DEA 有效的年份,即综合效率为 1 的年份,技术效率也为 1,即技术有效;在 DEA 无效的年份,即综合效率不为 1 的年份,技术效率也不等于 1,即技术无效,表明资源配置的合理程度未达到最优。从规模效率来看,DEA 无效的年份通常规模效率也是无效的。同样以 2008 年为分界点,可以看出规模效率无效年份都出现在 2000—2007 年,且较多年份呈规模收益递减,后 10 年间规模效率明显提高,发挥了规模效益。从冗余变量来看,DEA 无效年份存在投入冗余,这些年份在经济发展中投入要素和产出要素的组合没有达到最优,存在对资本或者劳动力的利用率不足的问题。

表 4 2000—2017 年贵州省 DEA 输出结果

年份	综合效率	纯技术效率	规模效率	增减规律	S_1^-	S_2^-	S_1^+
2000	1.000	1.000	1.000	—	0.000	0.000	0.000
2001	0.954	0.986	0.967	drs	0.000	0.174	0.000
2002	0.952	0.988	0.963	drs	0.000	0.214	0.000
2003	0.912	0.933	0.978	drs	0.000	0.135	0.000
2004	0.914	0.940	0.972	drs	0.000	0.189	0.000
2005	0.930	0.953	0.975	irs	0.000	0.000	0.000
2006	0.960	0.961	0.999	drs	0.000	0.010	0.000
2007	0.993	0.996	0.997	irs	0.000	0.000	0.000
2008	1.000	1.000	1.000	—	0.000	0.000	0.000
2009	0.991	0.991	1.000	—	0.000	0.000	0.000
2010	1.000	1.000	1.000	—	0.000	0.000	0.000
2011	1.000	1.000	1.000	—	0.000	0.000	0.000
2012	0.989	0.998	0.992	irs	0.224	0.000	0.000
2013	1.000	1.000	1.000	—	0.000	0.000	0.000
2014	1.000	1.000	1.000	—	0.000	0.000	0.000
2015	0.980	0.994	0.985	irs	1.593	0.000	0.000
2016	0.992	0.996	0.996	irs	0.438	0.000	0.000
2017	1.000	1.000	1.000	—	0.000	0.000	0.000
均值	0.976	0.985	0.990		0.125	0.040	0.000

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。

3 结论与讨论

本文基于贵州省 2000—2017 年的数据,运用能值分析理论、能值生态足迹模型和 DEA 模型,综合测算研究区域可持续发展水平,并分析其在经济发展中存在的不足及改进方向。主要研究结果如下:

(1)贵州省 2000—2017 年能值生态承载力处于稳定的状态,能值生态足迹不断增长,其环境负荷远超过生态承载力,生态赤字呈现明显的上升趋势。通过计算六种生态生产性土地的能值生态足迹可以得知,化石燃料用地、耕地以及建筑用地三者的能值生态足迹较大,林地、牧地、水域的能值生态足迹贡献度较小。从变化趋势来看,化石燃料用地和建筑用地的能值生态足迹呈现明显的上升趋势,耕地、林地、牧地以及水域的能值生态足迹无明显波动趋势。

(2)2000—2017 年,贵州省绿色 GDP 保持与传统 GDP 同样的增长趋势,但是绿色 GDP 的增长速度远远小于传统 GDP,且绿色 GDP 在传统 GDP 的占比不断减少,从 78.32%下降到 60.60%,这是由于不可更新资源产品的消耗以及“三废”的排放量都大幅上涨,使得绿色 GDP 与传统 GDP 之间的差距不断拉大。

(3)2000—2017 年,贵州省期有 7 个年份的综合效率为 1,即 DEA 有效;有 11 个年份的综合效率小于 1,即 DEA 无效。在 DEA 无效的年份,存在着资本投入冗余和劳动力投入冗余,投入和产出的要素组合未达到最优状态。以 2008 年为分界点,将 2000—2017 年分为两个阶段,可以明显看出第二阶段的综合效率、纯技术效率以及规模效率整体上高于第一个阶段,DEA 无效年份大多落于第一个阶段。

综合运用多种可持续发展评价方法实现了优势互补,弥补了单一评价方法的弱说服力,能够更加全面地评价研究区域的情况,为提升区域可持续发展能力指明了改进方向。基于能值理论改进的生态足迹模型将各种消费项目转换为相应的生物生产性土地的面积,可以得知贵州省生态赤字不断恶化的原因是化石燃料用地和建筑用地两者能值生态足迹不断上涨。但是能值生态足迹模型中没有考虑环境污染问题,基于能值理论绿色 GDP 核算不仅测算了不可更新资源产品的消耗,并且度量了废弃物排放带来的污染损耗,表明贵州省的经济发展是建立在资源消耗和环境污染的基础之上的。DEA 效率评价模型进一步指出 DEA 无效年份存在对资本投入和劳动力投入利用率不足的情况。

本文选取扣除了非期望产出的绿色 GDP 作为产出指标,为 DEA 效率评价中解决非期望产出问题提供了新的思路。后期可在以下方面深入研究:首先,在基于能值理论核算绿色 GDP 的过程中,只考虑了不可更新资源消耗和环境污染损耗的负效应,因目前贵州资源环境改善的正效应有待凸显,后期可尝试探索这方面的核算;其次,在 DEA 效率评价中,进一步的研究将从 R&D 智力投入和资金投入角度考虑技术创新投入,将居民个体发展与福祉指标加入产出指标;最后,可基于面板数据进一步考察长江经济带全要素生态效率的时空变化规律,为实现区域可持续发展提出具有针对性的政策建议。

参考文献:

- [1]陆俐呐,葛察忠,林爱军,等.基于生态足迹和生态承载力的湖北省利川市可持续发展研究[J].中国人口·资源与环境,2016(S2):124-129.
- [2]樊新刚,仲俊涛,杨美玲,等.区域可持续发展能力的能值与熵耦合分析模型构建[J].地理学报,2019(10):2062-2077.
- [3]Zhao S,Li Z Z,Li W L.A modified method of ecological footprint calculation and its application[J].Ecological Modelling,2005,185(1):65-75.
- [4]郭存芝,彭泽怡,丁继强.可持续发展综合评价的 DEA 指标构建[J].中国人口·资源与环境,2016(3):9-17.
- [5]胡鞍钢,唐啸,鄢一龙.中国绿色储蓄率核算:1978—2010[J].中国软科学,2013(8):3-15.
- [6]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(6):994-1003.

-
- [7]Schaltegger S,Burritt R.Contemporary environmental accounting:issues, concepts and practice[M].Sheffield: Greenleaf Publishing,2000.
- [8]尹科,王如松,周传斌,等.国内外生态效率核算方法及其应用研究述评[J].生态学报,2012(11):3595-3605.
- [9]屈小娥.中国生态效率的区域差异及影响因素——基于时空差异视角的实证分析[J].长江流域资源与环境,2018(12):2673-2683.
- [10]邢贞成,王济干,张婕.长江经济带全要素生态效率的时空分异与演变[J].长江流域资源与环境,2018(4):792-799.
- [11]程翠云,任景明,王如松.我国农业生态效率的时空差异[J].生态学报,2014(1):142-148.
- [12]王俊岭,徐丹宁,刘辰玥.基于DEA方法的中国钢铁工业生态效率分析[J].生态经济,2020(1):63-68.
- [13]姚治国,陈田,尹寿兵,等.区域旅游生态效率实证分析——以海南省为例[J].地理科学,2016(3):417-423.
- [14]吕彬,杨建新.生态效率方法研究进展与应用[J].生态学报,2006(11):3898-3906.
- [15]刘巍,田金平,李星,等.基于DEA的中国综合类生态工业园生态效率评价方法研究[J].中国人口·资源与环境,2012(5):93-97.
- [16]He J,Wan Y,Feng L,et al.An integrated data envelopment analysis and emergy-based ecological footprint methodology in evaluating sustainable development,a case study of Jiangsu Province,China[J].Ecological Indicators,2016,70:23-34.
- [17]Odum H T.Environmental accounting:Emergy and environmental decision making[M].New York:John Wiley & Sons,1996.
- [18]贾小乐,周源,延建林,等.基于能值分析的环太湖城市群生态经济系统可持续发展研究[J].生态学报,2019(17):6487-6499.
- [19]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(11):150-159.
- [20]韩增林,胡伟,钟敬秋,等.基于能值分析的中国海洋生态经济可持续发展评价[J].生态学报,2017(8):2563-2574.
- [21]Ress W E.Ecological footprints and appropriated carrying capacity:What urban economics leaves out[J].Environment and Urbanization,1992,4(2):121-130.
- [22]Wackernagel M,Ress W E.Our ecological footprint:Reducing human impact on the earth[M].Gabriola Island:New Society Publishers,1996.
- [23]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(7):37-45.

[24]Odum H T,Brown M T,Brandt-Williams S L.Handbook of emergy evaluation folio 1:Introduction and global budget[M].Gainesville:Center for Environmental Policy,University of Florida,2000.

[25]Charnes A,Cooper W W,Rhodes E.Measuring the efficiency of decision making units[J].European Journal of Operational Research,1978,2(6):429-444.

[26]张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2001[J]. 经济研究, 2004(10): 35-44.

[27]蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.

[28]朱玉林. 基于能值的湖南农业生态系统可持续发展研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2010.

[29]Brown M T,Ulgiati S. Emergy assessment of global renewable sources[J]. Ecological Modelling, 2016, 339:148-156.