

DOI: 10.5846/stxb201708151464

黄和平, 胡晴, 乔学忠. 基于绿色 GDP 和生态足迹的江西省生态效率动态变化研究. 生态学报, 2018, 38(15): - .

Huang H P, Hu Q, Qiao X Z. Changes of eco-efficiency under green GDP and ecological footprints: A dynamic analysis in Jiangxi Province. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(15): - .

基于绿色 GDP 和生态足迹的江西省生态效率动态变化研究

黄和平¹, 胡 晴^{2,*}, 乔学忠¹

1. 江西财经大学生态经济研究院, 南昌 330013

2. 江西财经大学旅游与城市管理学院, 南昌 330032

摘要:生态效率是循环经济与可持续发展的有效测度,其测度方法一直是相关研究领域的热点和难点。鉴于绿色 GDP 能反映出剔除资源损耗和生态环境影响的国民经济净收益,生态足迹则更能全面地衡量经济发展中消耗的各种物质、能源以及带来的环境影响,基于 WBCSD 提出的生态效率定义及核算方法,创新性地从绿色 GDP 和生态足迹的视角改进生态效率度量模型,并以江西省为研究对象,对其 2000—2015 年间的生态效率变化轨迹及成因进行衡量与分析。结果表明:(1) 2000—2015 年江西省单位面积生态足迹的绿色 GDP 即生态效率总体呈上升趋势,15 年来提升了 4.57 倍,与此同时,绿色 GDP、生态足迹也呈上升趋势,但绿色 GDP 的增速明显高于生态足迹的增速;(2) 江西省绿色 GDP 占总的 GDP 的比例处于不规则波动状态,平均为 84.61%,其中自然资源损耗价值、环境退化损失价值和资源环境改善效益也呈不规则波动,三者皆呈现出先上升后下降的趋势,其中自然资源损耗对绿色 GDP 的影响较为显著;(3) 江西省生态足迹不断增加,总生态足迹 15 年来增加了 83.6%,年平均增长率为 4.26%,从生态足迹构成来看,各土地利用类型生态足迹均呈波动上升趋势,其中牧草地足迹增长最为显著;(4) 江西省生态足迹的主要类型是牧草地足迹、耕地足迹和化石能源用地足迹,其中牧草地足迹比重最大,并且保持波动上升趋势,其次是耕地和化石能源用地足迹,但两者比重均呈小幅下降趋势。文章最后从生态效率度量模型的创新性、适应性和生态效率的提高途径等方面进行了详细的探讨。

关键词:生态效率;绿色 GDP;生态足迹;江西省

Changes of eco-efficiency under green GDP and ecological footprints: A dynamic analysis in Jiangxi Province

HUANG Heping¹, HU Qing^{2,*}, QIAO Xuezhong¹

1 Institute of Ecological Economics, Jiangxi University of Finance & Economics, Nanchang 330013, China

2 School of Tourism and Urban Management, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330032, China

Abstract: Ecological efficiency (Eco-efficiency) is considered to be the effective tool of circular economy and sustainable development, and researches have been mostly focusing on the analytical approach of its measurement. While green GDP indicates the net income of a nation, the ecological footprint (eco-footprint) evaluates the materials and energy consumed in the process of economic development as well as the environmental impact. Based on the definition of ecological efficiency and the accounting method proposed by the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), this study adopts the improved eco-efficiency model which accommodates the ratio of green GDP and the eco-footprint to analyze the changes and driving factors of eco-efficiency during 2000 to 2015 of Jiangxi Province, China. The results show that: (1) In

基金项目:国家自然科学基金项目(41661113, 71463020);中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室开放课题(SKLURE 2014-2-5);江西省学位与研究生教育教学改革研究项目(JXYJG-2016-064)

收稿日期:2017-08-15; **网络出版日期:**2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hq_1219@163.com

general, the eco-efficiency of Jiangxi Province presents a rising trend and increases by 4.57 times between 2000 and 2015. In addition, the values of the green GDP and eco-footprint have been moving upward fluctuately, and the growth rate of green GDP is significantly higher than that of the eco-footprint. (2) The proportion of green GDP in Jiangxi Province is irregularly fluctuated between 2000 and 2015 with an average value of 84.61%. Among the components of green GDP, the values of natural resource consumption, environmental degradation, as well as the benefit of resource and environmental improvement also irregularly fluctuate and all exhibit a downward trend after several years of rising. Moreover, natural resource consumption has considerable impacts on green GDP. (3) The value of the eco-footprint of Jiangxi Province has been continuously increasing during the period 2000 to 2015 while the total value of the eco-footprint increases by 83.6% over the past 15 years with an average annual growth rate of 4.26%. From the view of the composition of the eco-footprint, all the land type eco-footprints generally show a fluctuately upward trend, and among which the change of the grassland footprint is the most significant. (4) The main types of eco-footprint in the Jiangxi Province are grassland footprints followed by arable land footprints, and fossil energy footprints. The proportion of grassland footprints to the total value of footprints is the largest, with an upward trend. The footprints associated with cultivated land and fossil energy show a slight decline. Finally, the innovation, adaptability, and possible enhancements of eco-efficiency measurement model are discussed in detail.

Key Words: eco-efficiency; green GDP; eco-footprint; Jiangxi Province

经济发展与资源环境保护的矛盾问题始终贯穿各国(地区)发展过程中,如何在减轻环境压力的同时实现资源高效利用,从而促进区域经济可持续发展成为世界范围内广泛关注的热点问题。而生态效率概念的提出为研究社会发展过程中如何以最小的资源环境损耗获得最大的经济效益,从而实现区域可持续发展提供可度量的入口。生态效率源于 Eco-efficiency 的译文,该概念自提出至今,不断得以丰富和发展,目前普遍接受的概念是:在提供能满足人类需要和提高生活质量的竞争性定价产品与服务的同时使生态影响和资源强度在整个生命周期中逐渐减低,直至与地球的估计承载力水平一致^[1],简言之就是生态环境影响最小化、资源利用价值最大化^[2]。生态效率分析受到国内外学者的广泛关注,形成了较为科学的研究方法,目前主要有单一比值法、指标体系法、模型法。单一比值法基于世界可持续工商理事会(WBCSD)对生态效率的定义,采用经济 and 环境的比值来衡量^[3-5]。国外较具代表性的有 Gossling、Korhonen 等^[6-8] 学者的研究。国内众多学者也作出有益探索,汪克亮、张炳等^[9-10] 通过 GDP 与环境压力总值的比值衡量生态效率;赵薇^[11] 采用单一比值法基础上衍生出的生命周期法测度生态效率。指标体系法通过构建能够反映社会、经济、自然发展程度和协调程度的指标体系来衡量生态效率,国外研究成果颇丰^[12-14]。国内学者也就不同研究区域和领域开展了大量研究。彭迪云^[15] 通过改进的 G1 法与 TOPSIS 法相结合构建省域及市域尺度生态效率评价体系;任宇飞^[16] 设计资源投入—经济效益—环境影响复合生态效率评价指标体系,构建县域单元生态效率评价模型;毛建素^[17] 通过能源消耗和污染排放量构建中国工业生态效率测算指标体系。模型法目前多借助于数据包络分析模型及其改进模型度量生态效率,国外学者在数据包络模型法的基础上进一步优化生态效率评价方法^[18-19],国内数据包络分析法也得到较多运用,笔者^[20] 在数据包络分析模型中加入污染排放物这一非期望输入,对杭州企业生态效率做出评价;郑慧、罗能生等学者采用非期望产出的超效率 DEA 模型测算中国省域生态效率^[21-22];武春友^[23] 运用状态空间模型对工业生态效率做出评价。

通过梳理国内外相关文献可以发现,基于 WBCSD 提出的生态效率定义下的核算方法(单一比值法)是生态效率测度方法中较为基础且广泛运用的研究方法。该测算方法虽具备一定科学性,但当采用传统的 GDP 指标对产品或者服务价值进行测度时,忽略了由自然资源消耗和生态环境破坏所造成的 GDP 折减;而且在资源环境影响的衡量上,各项指标权重的赋值易受主观因素影响。立足于上述生态效率测度方法的不足,本研究将分别采用绿色 GDP 作为产品或者服务价值测度指标、生态足迹作为资源环境影响测度指标,以两者之比

定义生态效率。与以往生态效率测度研究中采用的传统 GDP 相比,绿色 GDP 将资源损耗和生态环境破坏成本纳入其中,能更为真实地体现社会实际财富总量和国民经济净收益;而生态足迹则是将社会发展过程中人类消耗的各种物质和能源按照一定换算比例折算为相应的生物生产性土地面积,能较为全面地衡量经济发展中消耗的各种物质、能源以及带来的环境影响^[24],并且在资源环境影响测度时能避免指标赋权过程中主观因素的干扰,又具备易于量化的优势。

江西省作为中国中东部省份,同全国其他省份一样,其城镇化和工业化进程取得了显著成果,但经济快速发展的同时也面临严重的生态环境问题。随着“鄱阳湖生态经济区”和“江西省生态文明先行示范区”成为江西省的全局性战略并提升至国家战略,借助生态效率来研究江西省生态、环境与经济的协调发展对实现江西省社会经济的可持续发展具有重大的理论和现实意义。因此,本文以江西省为例,提出以单位面积生态足迹的绿色 GDP 产出来衡量生态效率,即:生态效率=绿色 GDP/生态足迹,并对其 2000—2015 年的生态效率变化规律进行分析。以期丰富生态效率测度方法,也对促进江西省实现资源-经济-环境协调发展的决策提供一定借鉴意义和参考价值。

1 研究方法和数据来源

1.1 绿色 GDP 核算

1.1.1 绿色 GDP 核算方法

绿色 GDP 的测度,较为普遍运用的是基于环境与经济核算体系(System of integrated Environmental and Economic Accounting, SEEA)的平衡推算法^[25],即:从国内总产值中减去资源损耗成本和环境退化成本,再加上资源环境改善带来的效益,得到绿色 GDP^[26]。具体计算见公式(1):

$$\text{绿色 GDP} = \text{GDP} - \text{COST}_{\text{Resources}} - \text{COST}_{\text{Environment}} + \text{SAVE}_{\text{Resources-Environment}} \quad (1)$$

式中, $\text{COST}_{\text{Resources}}$ 表示自然资源损耗成本, $\text{COST}_{\text{Environment}}$ 表示环境退化成本, $\text{SAVE}_{\text{Resources-Environment}}$ 表示资源环境改善效益。

1.1.2 指标选取及核算方法

在借鉴前人研究成果的基础上^[27],结合江西省近 15 年来资源消耗的主要类型,本研究对绿色 GDP 核算的账户分类共计 11 类,下涉 17 项指标。对自然资源消耗成本的核算可分为五大自然资源类型的消耗,具体表征指标为耕地耗减量、木材采伐量、总用水量、能源消费总量、采矿行业产值。对环境退化成本的核算,则是选取对江西省生态环境具有显著影响的各类指标,其中大气污染包括 SO_2 排放量、烟粉尘排放量;水污染选取生活污水和工业废水的排放量作为指标;固体废弃物包括工业固体废弃物排放量、生活垃圾清运量;自然灾害经济损失为森林火灾直接经济损失。而在资源环境改善效益方面,由于统计口径和内容难以统一,故只将“三废”综合利用产品产值及绿地生态效益纳入核算,其中绿地生态效益具体衡量指标为固氧释碳经济价值、吸收 SO_2 经济价值、调节气候经济价值、滞尘经济价值。

在 SEEA 指导下,上述指标体系及具体核算方法如表 1 所示。其中,自然资源损耗成本的核算主要采用市场价值法,环境退化成本及资源环境改善收益主要采用“维护成本法”,核算中涉及的价格主要来源于《中国环境经济核算指南》及相关学者的研究成果^[33],并采用历年商品零售价格指数进行调整。

1.2 生态足迹核算

1.2.1 生态足迹计算方法

生态足迹法将人们消费的各种物质和能源按照一定比例折算为相应的生物生产性土地面积,反映了区域社会经济发展过程中对资源的消耗以及产生的环境影响^[37],其具体计算如公式(3)^[38]:

$$EF = \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^n (r_j \times C_i / Y_i) \quad (3)$$

式中, EF 为总生态足迹(hm^2); r_j 为均衡因子; $j=1,2,\dots,6$ 分别代表耕地、林地、牧草地、水域、化石能源用地、

建筑用地这 6 种生态足迹土地利用类型; C_i 为第 i 种消费项目的年消费量(t); i 为消费项目的类型,实际采用生产量数据; Y_i 为生物生产性土地所生产的第 i 种消费项目的全球年平均产量(t/hm^2)。

表 1 绿色 GDP 核算方法
Table 1 Accounting method of green GDP

账户种类 Account type	账户分类 Account classification	指标 Index	核算方法 Accounting methods
自然资源损耗成本 Natural resource loss	耕地耗减价值	耕地耗减量	耕地耗减价值=耕地耗减量×单位面积耕地价格 ^[27]
	森林资源耗减价值	木材采伐量	森林资源耗减价值=木材采伐量×混合平均单价 ^[28]
	水资源耗减价值	总用水量	水资源耗减价值=总用水量×单位体积意愿支付价格 ^[29-30]
	能源耗减价值	能源消费总量	能源耗减价值=能源消费总量×能源价格 ^[31]
	矿产资源损耗价值	采矿行业产值	江西省采矿行业产值 ^[32]
环境退化成本 Loss of environmental degradation	大气污染	SO ₂ 排放量	SO ₂ 排放损失成本=SO ₂ 排放量×SO ₂ 平均治理成本 ^[33]
		烟、粉尘排放量	烟粉尘排放损失成本=烟粉尘排放量×烟粉尘平均治理成本 ^[33]
	水污染	工业废水排放量	工业废水排放损失成本=工业废水排放量×废水边际社会成本 ^[33]
		生活污水排放量	生活污水排放损失成本=生活污水排放量×污水边际社会成本 ^[33]
	固体废弃物	工业固体废弃物排放量	工业固体废弃物损失成本=工业固体废弃物排放量×固体废弃物边际社会成本
		生活垃圾清运量	生活垃圾损失成本=生活垃圾清运量×生活垃圾边际社会成本 ^[33]
	自然灾毁损失	森林火灾直接经济损失	政府统计数据
资源环境改善效益 Source and environment improvement benefit	“三废”利用指标	“三废”综合利用产品产值	政府统计数据
	绿地生态效益	固碳释氧经济价值	固碳释氧价值=绿地面积×(328.5×40.94×当年美元平均汇率+ 12×400) ^[34-35]
		吸收 SO ₂ 经济价值	吸收 SO ₂ 经济价值=绿地面积×0.296×单位治理成本 ^[36]
		调节气候经济价值	调节气候经济价值= 0.9×24×189×0.6×绿地面积 ^[34]
		滞尘经济价值	滞尘经济价值=绿地面积×10.9×单位除尘成本 ^[28]

因能源足迹的计算有其特殊性,此处单独处理^[39]。具体计算见公式(4):

$$EF_i = \frac{X_i \times K_i}{ef_{ai}}$$

(4)

式中, EF_i 为第 i 种能源的生态足迹; X_i 为第 i 种能源的生产总量; K_i 为第 i 种能源的折算系数; ef_{ai} 为第 i 种能源的全球平均能源足迹。

1.2.2 生态足迹账户及均衡因子

根据生态足迹理论和概念模型,江西省实际生产与消费情况^[24,40-42],确定生态足迹账户的具体消费项目,并借鉴相关文献^[24,40],确定各地类的均衡因子,见表 2。全球平均产量的确定是基于联合国粮农组织公布的统计结果及相关学者的研究,全球平均能源足迹和热量折算系数的确定是综合前人研究结果^[38, 40, 43]。

1.3 生态效率核算

有关区域生态效率的计算,尚且没有定论,方法也多样化,基于 WBCSD 界定生态效率的概念,其值为产品或服务价值与资源消耗与环境影响之比^[1]。

为了更准确地表达生态效率的真实涵义,本文认为绿色 GDP 能反映出排除资源、环境损耗之后的区域净经济总量,其在国际上是具有代表性和通用性的指标,因而产品或服务价值用绿色 GDP 来表示;而生态足迹

能较全面地反映社会发展过程中消耗的各种资源总量以及带来的环境影响,可以用来表示资源消耗与环境影响。基于此,本文借助于绿色 GDP 和生态足迹,提出了改进的生态效率度量模型,见公式(5):

$$\text{生态效率} = \frac{\text{绿色 GDP}}{\text{生态足迹}}$$

(5)

表 2 生态足迹账户及均衡因子
Table 2 Ecological footprint account and equivalence factor

账户 Account	生态足迹指标(均衡因子) Eco-footprint index (equivalence factor)	消费资源 Consumption resources
生物资源账户 Biological resources account	耕地(2.8)	谷物、豆类、薯类、油料、麻类、甘蔗、烟叶、蔬菜、瓜果
	林地(1.1)	木材、茶叶、油桐籽、水果
	牧草地(0.5)	猪肉、牛肉、羊肉、禽肉、禽蛋、奶类
	水域(0.2)	水产品
能源资源账户 Energy resources account	化石能源用地(1.1)	原煤、焦炭、燃料油、汽油、柴油
	建筑用地(2.8)	电力

1.4 数据来源

本文数据主要来源于 2000—2016 年的《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《江西省统计年鉴》、《江西省环境状况公报》、《江西省环境统计年报》、《江西省水资源公报》以及相关文献等。

2 基于绿色 GDP 和生态足迹的江西省生态效率分析

2.1 绿色 GDP 分析

根据前述绿色 GDP 组成类目(表 1)及相关核算方法,得到江西省 2000—2015 年绿色 GDP、各分项值及其占 GDP 的比重,见表 3。

从表 3 可以看出,2000—2015 年间,江西省地区生产总值(GDP)从 2000 年的 2003.71×10^8 元增长到 2015 年的 16723.78×10^8 元,15 年来增长了 4.3 倍(不变价);与此同时,绿色 GDP 也从 2000 年的 1705.92×10^8 元增长到 2015 年的 14305.41×10^8 元,15 年来也是增长了约 4.3 倍(不变价),保持着与 GDP 相近的增长速度。这也使得绿色 GDP 占地区总 GDP 的比重处于比较稳定的状态,其平均占比为 84.61%,只有少数几年波动较大,其中 2007 年比例最低,为 74.01%,2009 年达到最高,为 94.96%,其原因可能涉及到城镇化发展进程中产业结构变化以及国家和省级相关政策的波动等多方面。

从构成绿色 GDP 的主要核算指标来看,自然资源损耗价值一直占据着主导地位,其值从 2000 年的 302.55×10^8 元波动中上升到 2015 年的 2444.43×10^8 元,15 年来增长了 4.1 倍,几乎主导了绿色 GDP 的增长态势,其波动状况也完全决定了绿色 GDP 占地区总 GDP 的比例,例如其增长值 2007 年达到了 1456.59×10^8 元,比上一年翻了将近 1 倍,其占 GDP 的比重也达到 25.11% 的峰值,使得绿色 GDP 占地区总 GDP 的比例也降低到了最低谷,即:74.01%;同样,2009 年自然资源损耗价值直线式地跌到 346.41×10^8 元,比上一年改善了近 2/3,其占地区总 GDP 的比重只有 4.53%,使得绿色 GDP 占地区总 GDP 的比例上升到了最高峰,即:94.96%,完全主导了绿色 GDP 占地区总 GDP 的比重,而其体量基本是另一构成成分即环境退化损失价值的 12 倍以上,两者完全不在一个等量级。尽管如此,环境退化损失的价值也基本是保持增长的趋势,即:从 2000 年的 19.84×10^8 元增长到 2015 年的 148.93×10^8 元,但其占 GDP 的比重已有所下降,已从 2004 年的最高峰 3.12% 下降到 2015 年的 0.89%,接近历史最低水平,说明了研究区环境保护工作在近 10 年来已取得明显成效。另外值得关注的是,资源环境改善带来的收益也不容忽视,其占 GDP 的比重一直在 1% 左右,近年来虽有所下降,也几乎可以抵消环境退化损失的价值,甚至在近半数年份还稍有超过,这也是研究区注重生态修复使得资源环境改善所带来的成效,虽远不能抵消主要由资源消耗带来的负面价值,但能基本抵消环境退化的损失,为研究区资源环境与社会经济的协调可持续发展奠定了坚实的基础。

表 3 2000—2015 年江西省绿色 GDP、各分项值及其占 GDP 比重

Table 3 Percentage of green GDP and its components in traditional GDP in Jiangxi Province during 2000—2015

年份 Year	GDP/ ($\times 10^8$ 元)	自然资源 损耗价值 Natural resources depreciation/ ($\times 10^8$ 元)	自然资源 损耗价值占 GDP 比重 Proportion of GDP/%	环境退化 损失价值 Environmental degradation / ($\times 10^8$ 元)	环境退化 损失价值占 GDP 比重 Proportion o f GDP/%	资源环境 改善收益 Benefits of resources and environment/ ($\times 10^8$ 元)	资源环境 改善收益 占 GDP 比重 Proportion of GDP /%	绿色 GDP Green GDP / ($\times 10^8$ 元)	绿色 GDP 占 GDP 比重 Proportion of GDP/%
2000	2003.71	302.55	15.10	19.84	0.99	24.60	1.23	1705.92	85.14
2001	2175.68	321.61	14.78	19.52	0.90	27.48	1.26	1862.03	85.58
2002	2450.48	352.62	14.39	21.51	0.88	30.77	1.26	2107.12	85.99
2003	2807.41	424.42	15.12	23.18	0.83	36.73	1.31	2396.55	85.37
2004	3456.76	582.85	16.86	109.84	3.12	43.40	1.26	2807.48	81.22
2005	4056.76	657.10	16.20	124.38	3.07	48.58	1.20	3323.86	81.93
2006	4820.53	777.86	16.14	122.21	2.54	54.45	1.13	3974.92	82.46
2007	5800.25	1456.59	25.11	119.21	2.06	68.08	1.17	4292.53	74.01
2008	6971.05	1093.59	15.69	122.20	1.75	73.42	1.05	5828.69	83.61
2009	7655.18	346.41	4.53	125.39	1.64	86.21	1.13	7269.59	94.96
2010	9451.26	1384.17	14.65	130.10	1.38	103.13	1.09	8040.12	85.07
2011	11702.82	1706.44	14.58	127.87	1.09	113.97	0.97	9982.48	85.30
2012	12948.88	1889.66	14.59	126.26	0.98	126.77	0.98	11059.74	85.41
2013	14410.19	1959.50	13.60	120.81	0.84	138.92	0.96	12468.81	86.53
2014	15714.63	2294.86	14.60	114.65	0.73	156.28	0.99	13461.40	85.66
2015	16723.78	2444.43	14.62	148.93	0.89	174.99	1.05	14305.41	85.54
均值 Mean value	7696.84	1124.67	15.03	98.49	1.48	81.74	1.13	6555.42	84.61

总的来讲,自然资源损耗价值、环境退化损失价值和资源环境改善效益在 2000—2015 年间均呈不规则波动现象,三者都先上升后下降,且自然资源损耗对绿色 GDP 的影响最为显著,其占 GDP 的平均比重为 15.03%,基本决定了绿色 GDP 的变化态势;资源环境改善收益总值在研究期间是波动上升的,虽然基本能抵消环境退化的损失成本,但是其占 GDP 的比重却总体呈下降趋势。可见江西省循环经济改造及生态环境建设还是滞后于经济发展,仍需要注重环境保护,提高废弃物的资源化利用率,加快生态环境修复,使资源环境改善的收益增长速度快于其他指标的增长速度,从而实现经济发展和资源环境的双赢目标。

2.2 生态足迹分析

根据上述生态足迹核算账户及均衡因子(表 2)、计算公式(3)和公式(4),得到江西省 2000—2015 年总生态足迹,见表 4,并在此基础上进一步对生态足迹账户内各地类生态足迹的增幅和比重进行分析。

表 4 江西省历年总生态足迹

Table 4 The total ecological footprint of Jiangxi Province over the years

年份 Year	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
总生态足迹/($\times 10^6 \text{hm}^2$) Total eco-footprint	57.82	57.76	58.21	60.69	71.58	78.73	79.93	83.63	86.69	97.88	96.89	102.07	104.40	107.06	108.50	106.16

从表 4 可以看出,2000—2015 年期间江西省总生态足迹总体呈上升趋势,即:从 2000 年的 $57.82 \times 10^6 \text{hm}^2$ 几乎直线增加到 2015 年的 $106.16 \times 10^6 \text{hm}^2$,15 年来增加了 $48.34 \times 10^6 \text{hm}^2$,其增长比率达 83.60%。具体来讲,江西省生态足迹 15 年来的变化可分为 3 个阶段,第一个阶段是 2000—2003 年间,该期间江西省生态足迹虽有增长,但变化比较缓慢,即从 2000 年的 $57.82 \times 10^6 \text{hm}^2$ 增加到 2003 年的 $60.69 \times 10^6 \text{hm}^2$,3 年来增长了 $2.87 \times 10^6 \text{hm}^2$,增长比例只有 4.96%,年均增长 1.6 个百分点;第二个阶段是 2003—2009 年间,在此期间江西省生态

足迹增幅最大,即从 2003 年的 $60.69 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 快速增加到 2009 年的 $97.88 \times 10^6 \text{ hm}^2$,6 年来增加了 $37.19 \times 10^6 \text{ hm}^2$,增加比例高达 61.28%,年均增长 8.22%;第三个阶段是 2009—2015 年间,为江西省生态足迹增长趋于平缓的阶段,先是从 2009 年的 $97.88 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 轻微下降到 2010 年的 $96.89 \times 10^6 \text{ hm}^2$,之后再上涨到 2014 年的最高峰 $108.50 \times 10^6 \text{ hm}^2$,最近一年再下降到 $106.16 \times 10^6 \text{ hm}^2$,增幅比较平缓,6 年来增长了 8.46%,年平均增长率为 1.46%,显示出了江西省近年来资源消耗约束的政策已初见成效。当然,生态足迹的增加意味着对自然资源的利用程度加大和生态环境压力的加剧,伴随未来江西省经济结构的进一步调整、城镇化进程的加剧以及人口增长、人民生活水平的不断提高,江西省生态足迹仍将进一步增加,经济可持续发展仍然面临严峻的资源环境压力。

各土地类型的生态足迹变化情况见图 1。从图 1 可以看出,各土地类型生态足迹均呈波动上升趋势,其中牧草地生态足迹的变化最为显著,其值在 2000—2015 年间提升了 2.2 倍,牧草地足迹多是由于肉类的消费形成的,反映出江西省居民生活消费需求由基本性粮食向动物性食品转变,消费结构的改变也从侧面说明了江西省经济发展较好,人民生活水平明显提高。但是化石能源用地从 2009 年开始呈现小幅下降的趋势,可能是江西省政府注重调整产业结构和环境保护的结果。

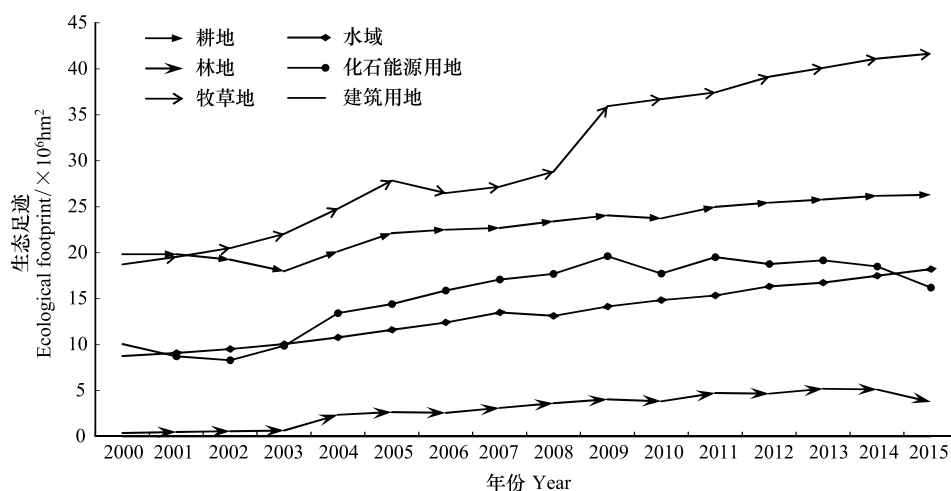


图 1 各土地类型生态足迹变化

Fig.1 Changes of the ecological footprint of each land type

从生态足迹的构成来看(图 2),各土地类型生态足迹之间存在较大差异,历年来江西省牧草地足迹占总生态足迹的比重最大,其次是耕地足迹和化石能源用地足迹,三者足迹之和的历年平均比重超过 80%,由此可知江西省生态足迹的主要类型是牧草地足迹、耕地足迹和化石能源用地足迹。其中,牧草地生态足迹所占比重呈波动上升趋势,从 2000 年的 32.41% 上升到 2015 年的 39.26%,但耕地和化石能源用地足迹呈现出逐渐缩小的趋势,所占比例分别由 34.31%、17.43% 下降到 24.78%、15.27%,水域和建筑用地足迹比重基本稳定,说明江西省仍然是农业大省,农业利用效率虽有所提升,但农业生产活动依旧对生态造成巨大压力。能源足迹比例有所下降,表明江西省能源利用效率有所提升,可能是江西省产业结构不断调整的结果。

2.3 生态效率分析

基于公式(1)、(3)、(4)、(5),计算出江西省 2000—2015 年的生态效率,结果如图 3 所示:

从图 3 可以看出,2000—2015 年江西省生态效率总体呈上升趋势,从 2000 年的 2950.32 元/ hm^2 上涨到 2015 年的 13475.03 元/ hm^2 ,15 年来,提升了 4.57 倍,与此同时总生态足迹增长了 1.84 倍,绿色 GDP 增长了 8.39 倍,反映出江西省经济已经由原来高资源消耗、高环境压力的发展模式慢慢转变为高资源利用率、高产出的较为可持续的发展模式,经济发展对于资源的依赖性有所减弱。

2011 年之前绿色 GDP、总生态足迹以及生态效率的增幅均波动较大,但 2011 年之后慢慢趋向于平缓,绿

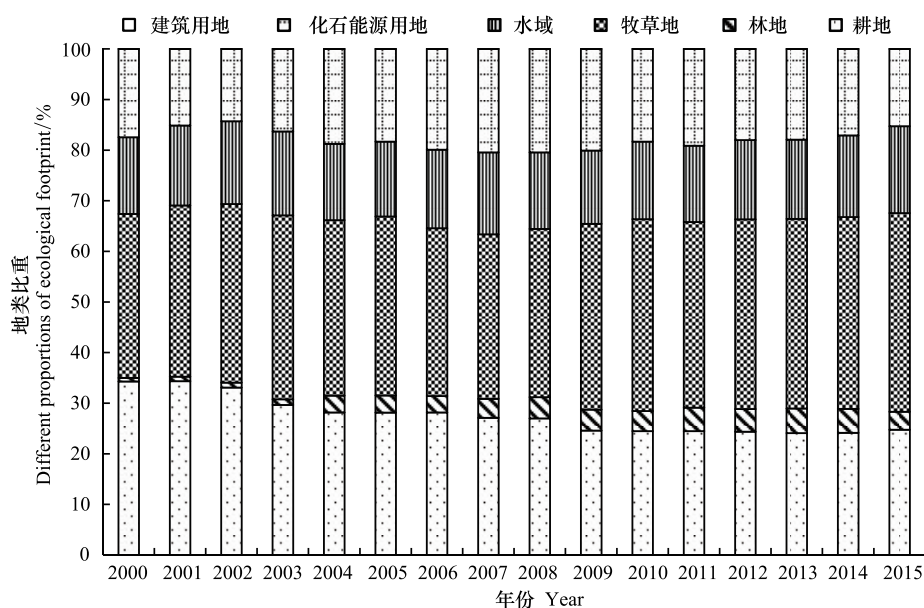


图2 分地类生态足迹比重

Fig.2 The proportion of ecological footprints of different land types

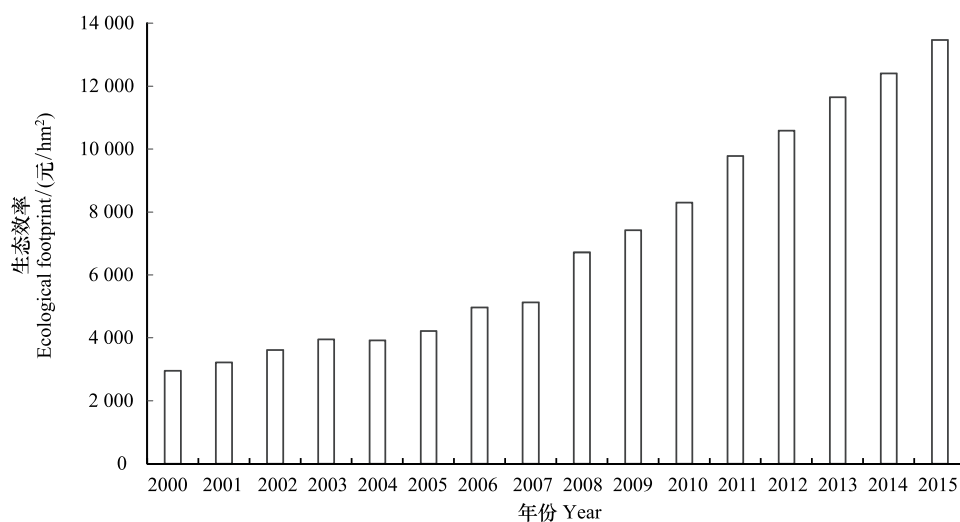


图3 江西省生态效率

Fig.3 Ecological efficiency of Jiangxi Province

色 GDP 的增幅要高于总生态足迹和生态效率,并且生态效率与绿色 GDP 的增幅变化趋势基本保持一致,与总生态足迹的增幅相反,总生态足迹增幅较大的年份,生态效率均出现增幅下降,见图 4。不难看出在绿色 GDP 增幅较大的年份间总生态足迹的增幅也随之增加,这说明了江西省经济发展能力的提高是以增长生态足迹为代价的,即经济发展仍然是建立在消耗大量的资源和能源基础上的,发展的同时也带来了巨大的生态环境压力。但是总体来看绿色 GDP 增长的幅度要大于生态足迹增长幅度,反映出江西省资源能源消耗效益在逐渐提高。

江西省生态效率增幅的最小值出现在 2003—2004 年间,为 -0.66% 。究其原因,自 2001 年以来在“加速推进工业化、城市化”战略引导下江西省城镇化进入快速发展阶段^[44],带来巨大资源消耗并引发生态环境破坏。特别是江西省于本世纪初推行工业兴省战略^[45],工业产值对 GDP 增长的贡献率逐步提升并占据主导地位,但是其工业发展趋向于以高消耗,高污染的重工业为主导,万元国内生产总值、工业总产值能耗,以及主要

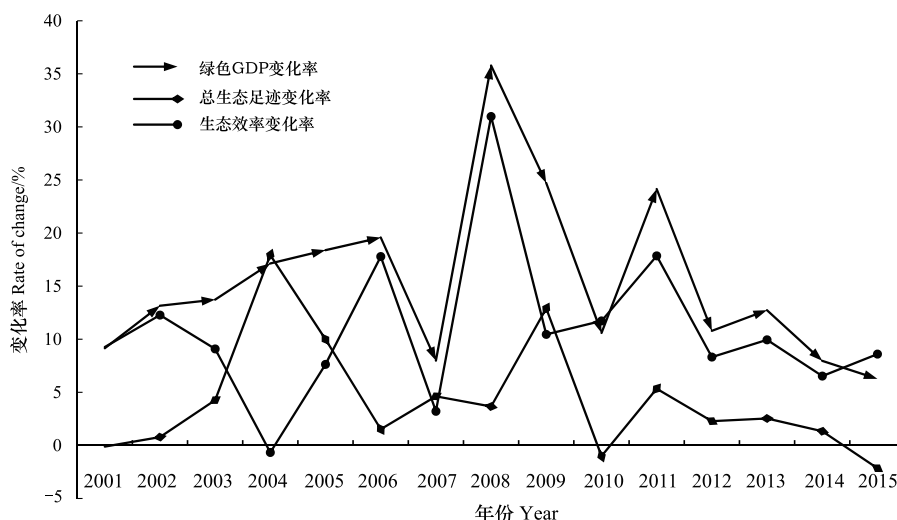


图4 绿色 GDP、总生态足迹和生态效率变化率

Fig.4 The rate of change of Green GDP, total ecological footprint and ecological efficiency

产品的大部分能耗、物耗都高于全国平均水平,重工业污染导致生态成本增加,大大降低了其环境竞争力,因此 2003—2004 年间生态效率增幅下降。

江西省生态效率增幅在 2007—2008 年达到最大值,主要得益于经济增速的快速上升以及注重生态环境保护,具体涉及产业结构优化、城镇化发展、政策调整等多个方面。从 2003 年开始,江西省将包括航空制造、金属冶炼、电子信息等产业在内的 6 大产业确立为支柱产业,重点培育其发展^[46],加速了江西省工业化发展进程,成效显著,一、二、三产业结构的比例由 2000 年的 24:35:41 转变为 2008 年的 16:52:32^[47],工业在国民经济中的地位凸显,工业产值远高于农业产值,因而带来全省经济体量的大幅提升。此外,城镇化有助于促进低污染、低能耗、高产值的知识密集型和技术密集型产业发展,逐步淘汰高污染、高能耗产业,降低环境污染水平。江西省城镇化自 2005 年进入快速发展阶段,其减少环境污染、提升资源利用效率的作用逐渐凸显。在政策方面,一方面,江西省立足于农业大省的实情,出台相关政策提升农业在经济发展中的贡献,先后于 2003 年、2004 年启动集体林改试点建设、推行林业产权制度改革^[48-49],“十一五”期间,江西省又提出建设“绿色生态江西”的目标,加大林业投资的同时配合实施 2006 年林改配套,使得林业成为地方经济新的增长点^[50]。与此同时,又通过实施“造地增粮富民”工程增加耕地面积提升耕地产值^[51],因此农业发展对经济增长的促进作用显著;另一方面,迫于资源环境压力不得不对产业发展政策进行调整,江西省将生态环境作为一项重要指标纳入产业结构调整方案,注重各行业资源效率、各工艺技术的改进和区域环境保护,于 2006 年出台了《江西省循环经济“十一五”发展规划》(赣发改工业字[2006]1346 号)^[52],之后相关部门在节约循环型产业和社区建设方面做了大量工作,有效减缓了产业发展的生态环境压力。最终在城镇化和工业化进程推进、产业结构优化升级、政策调整的多重作用下使得江西省生态效率在 2007—2008 年大幅上升。

江西省在大力发展经济的同时也更加注重资源利用效率的提升和环境保护,并且取得了良好的效果。但不难看出,作为中部欠发达省份的江西省,虽然改革开放以来经济取得迅猛发展,但是伴随工业化和城镇化进程加快,其发展将持续面临资源和环境的双重约束,江西省仍然需要进一步调整优化产业结构,加强资源的节约集约利用和生态环境保护,促进人口、资源、环境的协调和可持续发展。

3 结论和讨论

3.1 结论

本文基于江西省 2000—2015 年的时间序列数据,通过绿色 GDP 和生态足迹的比值来衡量生态效率,得

出如下结论:

(1) 2000—2015 年江西省生态效率总体呈上升趋势,15 年来提升了 4.57 倍,与此同时绿色 GDP、生态足迹也呈现上升趋势,并且绿色 GDP 的增幅总体上要明显高于总生态足迹和生态效率,反映出江西省资源利用效率的提升和经济发展模式不断向较为可持续的模式转变。

(2) 江西省绿色 GDP 占 GDP 的比重处于不规则波动状态,平均比重为 84.61%,自然资源损耗、环境退化损失价值和资源环境改善收益年间也呈不规则波动,三者都呈先上升后下降趋势。

(3) 2000—2015 年,江西省总生态足迹总体呈上升趋势,15 年来增加了 48.34 百万公顷,年平均增长率为 4.26%。各土地类型的生态足迹呈波动上升趋势,其中牧草地的变化最为显著;而从生态足迹的构成来看,江西省生态足迹的主要类型是牧草地、耕地和化石能源用地,历年来三者足迹之和的平均比重超过 80%。其中牧草地生态足迹比重最大,并且保持波动上升趋势,其次是耕地生态足迹和化石能源用地生态足迹,但两者比重均呈小幅下降趋势。

3.2 讨论

本文测算了江西省 2000—2015 年的生态效率,从分析结果看,生态效率在此研究期间内总体呈上升趋势,主要得益于城镇化发展、产业结构的优化升级、政策支持等多方面。反映出江西省经济由高消耗、高污染的发展模式逐渐向高资源利用率、注重环保的循环经济发展模式过渡,但是经济发展仍然面临诸多矛盾,产业结构目前依旧存在不合理现象,虽然第二产业比重略高于全国平均水平,但其产业内部结构偏重特征明显,带来巨大的环境压力,第三产业发展滞后,其比重低于全国平均水平,以运输、批发零售和餐饮业等传统产业为主导,农业现代化水平不高,资源消耗仍然偏高,环境约束不断增大。这就要求江西省要加快转变经济发展方式,逐步淘汰高耗能、高污染的行业,引进国内外先进生产理念以及技术,提升资源利用效率,同时加大环境保护、生态重建的投资力度,推进循环经济发展。

生态效率是资源能源利用效率及环境污染效益的综合表征指标,它是循环经济的合适测度。正如前文所述,其核算方法概括起来主要有 3 种:单一比值法、指标体系法、模型法,每种方法各有利弊,现就各种方法的适用范围及不足之处简述如下,以供讨论:

(1) 就单一比值法而言,多采用 WBCSD 对于生态效率的定义:生态效率=产品或者服务的价值/资源消耗或者环境影响。该方法通过“产出/投入”比的方式来度量生态效率,容易理解,但也存在诸如产品或服务价值虚高、资源消耗和环境影响难以统一为一个综合值来衡量等缺点,且单一比值法适用于分析较为独立的研究对象及开展区域尺度研究;

(2) 指标体系法通过彼此独立但又整体关联的各个指标构成生态效率指标集,指标集通常由物耗、能耗、水耗、土地、劳动力以及环境影响等几个部分组成,能够综合反映自然、社会、经济各子系统的发展协调度,适用于分析较为复杂的研究对象,但该方法存在需要赋予权重来表达环境和污染之间的关系,而赋权过程中很难避免人为主观因素的影响;

(3) 模型法目前多是采用数据包络分析模型及在此基础上的改进模型。数据包络分析是以相对效率概念为基础,根据多指标投入和多指标产出对于相同类型决策单元进行相对有效性或效益评级的一种系统性分析方法。模型法虽然规避了人为确权的主观影响,但该方法衡量效果好坏受限于决策单元的数量充足与否,适用于多决策单元的研究对象。

上述三种生态效率测度的方法中最为基础性和普遍采用的是单一比值法,但以往运用该方法对生态效率进行研究时多采用传统 GDP 来衡量产品或者服务价值,没有考虑到自然资源和生态环境损耗成本,因此本文在前人研究的基础上,引入绿色 GDP 对产品或者服务价值进行衡量,更为真实地体现社会实际财富总量和国民经济净正效益,采用生态足迹法衡量资源消耗和环境影响,从而实现对江西省生态效率的测度,具有一定的创新性,但是在绿色 GDP 和生态足迹计算中限于有些统计数据的缺乏,指标选取上存在一定的不全面,可能会带来结果的偏差;此外,本文仅是对江西省进行了年度序列的生态效率动态变化分析,在后续研究中可以增

加不同省份间的横向对比,以期更全面地评价江西省生态效率水平。

参考文献(References):

- [1] WBCSD. Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance. Geneva: WBCSD, 2000.
- [2] WBCSD. Eco-efficiency: creating more value with less impact. Geneva: WBCSD, 2000.
- [3] Hahn T, Figge F, Liesen A, Barkemeyer R. Opportunity cost based analysis of corporate eco-efficiency: a methodology and its application to the CO₂-efficiency of German companies. *Journal of Environmental Management*, 2010, 91(10): 1997-2007.
- [4] Figge F, Hahn T. Sustainable Value Added-measuring corporate contributions to sustainability beyond eco-efficiency. *Ecological Economics*, 2004, 48(2): 173-187.
- [5] Lamas W D Q, Palau J C F, Camargo J R D. Waste materials co-processing in cement industry: ecological efficiency of waste reuse. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 19(1): 200-207.
- [6] Gössling S, Peeters P, Ceron J P, Dubois E G, Patterson T, Richardson R B. The eco-efficiency of tourism. *Ecological Economics*, 2015, 54(4): 417-434.
- [7] Lorenzo-Toja Y, Vázquez-Rowe I, Chenel S, Marín-Navarro D, Moreira M T, Feijoo G. Eco-efficiency analysis of Spanish WWTPs using the LCA + DEA method. *Water Research*, 2015, 68(68): 651-666.
- [8] Figge F, Givry P, Canning L, Franklin-Johnson E, Thorpe A. Eco-efficiency of virgin resources: a measure at the interface between micro and macro levels. *Ecological Economics*, 2017, 138: 12-21.
- [9] 汪克亮, 孟祥瑞, 程云鹤. 环境压力视角下区域生态效率测度及收敛性——以长江经济带为例. *系统工程*, 2016, 34(4): 109-116.
- [10] 黄和平. 基于生态效率的江西省循环经济发展模式. *生态学报*, 2015, 35(9): 2894-2901.
- [11] 赵薇, 孙一桢, 张文宇, 梁赛. 基于生命周期方法的生活垃圾资源化利用系统生态效率分析. *生态学报*, 2016, 36(22): 7208-7216.
- [12] Dahlström K, Ekins P. Eco-efficiency trends in the UK steel and aluminum industries. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9(4): 171-188.
- [13] Michelsen O, Fet A M, Dahlsrud A. Eco-efficiency in extended supply chains: a case study of furniture production. *Journal of Environmental Management*, 2006, 79(3): 290-297.
- [14] Caneghem J V, Block C, Cramm P, Mortier R, Vandecasteele C. Improving eco-efficiency in the steel industry: the ArcelorMittal Gent case. *Journal of Cleaner Production*, 2010, 18(8): 807-814.
- [15] 彭迪云, 李莎. 区域生态效率动态评价模型的改进与实证——基于 G1-TOPSIS 法的研究. *云南民族大学学报: 哲学社会科学版*, 2017, 34(3): 92-99.
- [16] 任宇飞, 方创琳. 京津冀城市群县域尺度生态效率评价及空间格局分析. *地理科学进展*, 2017, 36(1): 87-98.
- [17] 毛建素, 曾润, 杜艳春, 姜畔. 中国工业行业的生态效率. *环境科学*, 2010, 31(11): 2788-2794.
- [18] Arabi B, Munisamy S, Emrouznejad A, Toloo M, Ghazizadeh M S. Eco-efficiency considering the issue of heterogeneity among power plants. *Energy*, 2016, 111: 722-735.
- [19] Giordano P, Caputo P, Vancheri A. Fuzzy evaluation of heterogeneous quantities: measuring urban ecological efficiency. *Ecological Modelling*, 2014, 288(5): 112-126.
- [20] 张炳, 毕军, 黄和平, 刘蓓蓓, 袁婕. 基于 DEA 的企业生态效率评价: 以杭州湾精细化工园区企业为例. *系统工程理论与实践*, 2008, 4(4): 159-165.
- [21] 郑慧, 贾珊, 赵昕. 新型城镇化背景下中国区域生态效率分析. *资源科学*, 2017, 39(7): 1314-1325.
- [22] 罗能生, 王玉泽. 财政分权、环境规制与区域生态效率——基于动态空间杜宾模型的实证研究. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(4): 110-118.
- [23] 武春友, 孙源远. 基于生态承载力的工业园区生态效率评价研究. *管理学报*, 2009, 6(6): 751-755.
- [24] 杨屹, 加涛. 21 世纪以来陕西生态足迹和承载力变化. *生态学报*, 2015, 35(24): 7987-7997.
- [25] 雷明. 1995'中国环境经济综合核算矩阵及绿色 GDP 估计. *系统工程理论与实践*, 2000, 20(11): 1-9, 66-66.
- [26] 高敏, 牛建明, 张庆, 康萨如拉, 马文静, 白高娃. 基于绿色 GDP 核算的鄂尔多斯市可持续发展研究. *内蒙古大学学报: 自然科学版*, 2013, 44(5): 490-495.
- [27] 金泽雨, 黄贤金. 基于资源环境价值视角的江苏省绿色 GDP 核算实证研究. *地域研究与开发*, 2014, 33(4): 131-135.
- [28] 楼永俊, 金立奇. 杭州市绿色 GDP 核算体系实证研究. *改革与战略*, 2010, 26(10): 122-124, 157-157.
- [29] 杨晓庆, 李升峰, 朱继业. 基于绿色 GDP 的江苏省资源环境损失价值核算. *生态与农村环境学报*, 2014, 30(4): 533-540.
- [30] 黄家宝. 水资源价值及资源水价测算的探讨. *广东水利水电*, 2004, 33(5): 13-14, 17-17.
- [31] 刘德智, 左桂鄂, 秦华. 河北省绿色 GDP 核算实证研究. *石家庄经济学院学报*, 2006, 29(5): 620-623.

- [32] 温怀德. 杭州市绿色 GDP 核算指标体系及应用研究. 技术经济与管理研究, 2011, (2): 110-114.
- [33] 於方. 中国环境经济核算技术指南. 北京: 中国环境科学出版社, 2009: 38-47.
- [34] 张文娟, 张峰, 严昭, 张自和. 兰州市绿地生态价值的初步分析. 草业科学, 2006, 23(11): 98-102.
- [35] 陈忠暖, 刘燕婷, 王滔滔, 吕逸宏. 广州城市公园绿地投入与环境效益产出的分析——基于数据包络 (DEA) 方法的评价. 地理研究, 2011, 30(5): 893-901.
- [36] 吴耀兴, 康文星, 郭清和, 王卫文. 广州市城市森林对大气污染物吸收净化的功能价值. 林业科学, 2009, 45(5): 42-48.
- [37] 郑晖, 石培基, 何娟娟. 甘肃省生态足迹与生态承载力动态分析. 干旱区资源与环境, 2013, 27(10): 13-18.
- [38] 张佳琦, 段玉山, 伍燕南. 基于生态足迹的苏州市可持续发展动态研究. 长江流域资源与环境, 2015, 24(2): 177-183.
- [39] 张靓, 曾辉, 赫胜彬. 基于改进模型的 1992—2010 年中国省域生态足迹核算. 生态环境学报, 2013, 22(8): 1365-1370.
- [40] 张爱菊, 张白汝, 向书坚. 中部 6 省生态足迹的测算与比较分析. 生态环境学报, 2013, 22(4): 625-631.
- [41] 傅春, 陈炜, 欧阳莹. 环鄱阳湖区生态足迹与经济产业发展关系的实证研究. 长江流域资源与环境, 2011, 20(12): 1525-1531.
- [42] 郭秀锐, 杨居荣, 毛显强. 城市生态足迹计算与分析——以广州为例. 地理研究, 2003, 22(5): 654-662.
- [43] 于兴丽, 陈兴鹏, 蒋莉. 甘肃省 1990—2002 年生态足迹的计算与分析. 干旱区资源与环境, 2007, 21(2): 100-103.
- [44] 刘耀彬. 江西省城市化与生态环境关系的动态计量分析. 资源科学, 2008, 30(6): 829-836.
- [45] 陈园, 王少东, 张国霞. 江西产业结构优化问题研究——基于江西现代服务业发展的视角. 江西社会科学, 2009, (7): 210-213.
- [46] 杨江, 黄新建, 万科. 新时期江西工业支柱产业的选择与发展研究. 南昌大学学报: 人文社会科学版, 2014, 45(5): 80-84.
- [47] 黄和平, 伍世安, 智颖颢, 姚冠荣, 江民锦, 周早弘. 基于生态效率的资源环境绩效动态评估——以江西省为例. 资源科学, 2010, 32(5): 924-931.
- [48] 陶黎, 曹建华, 朱惟豪. 基于投入产出方法的江西林业产业关联特性分析. 林业经济问题, 2006, 26(6): 510-513, 518.
- [49] 沈义力. 江西林业投融资现状、存在问题及对策分析. 江西社会科学, 2012, (6): 79-83.
- [50] 廖冰, 高雪萍, 廖文梅, 张广来. 江西林业固定资产投资结构比较分析. 林业经济问题, 2014, 34(2): 154-159.
- [51] 张海英, 傅春. 江西省经济增长与耕地集约利用的定量分析. 长江流域资源与环境, 2010, 19(10): 1159-1163.
- [52] 何雄伟, 孙育平. 环境约束下江西产业结构调整与优化路径选择. 企业经济, 2012, (11): 145-149.