

DOI: 10.5846/stxb201306041304

郑德凤, 臧正, 孙才志, 李红英. 基于生态系统服务理论的中国绿色经济转型预测分析. 生态学报, 2014, 34(23): 7137-7147.

Zheng D F, Zang Z, Sun C Z, Li H Y. Prediction and analysis of the transition to green economy in China based on the theory of ecosystem services. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(23): 7137-7147.

基于生态系统服务理论的中国绿色经济转型预测分析

郑德凤¹, 臧 正^{1,*}, 孙才志¹, 李红英²

(1. 辽宁师范大学 城市与环境学院, 大连 116029; 2. 辽宁省水文局, 沈阳 110003)

摘要:着眼于中国绿色经济转型之路的科学预测与分析, 借鉴传统环境负荷模型以及资源与经济脱钩理论、区位熵理论等, 提出基于生态系统服务理论的有关绿色经济评价指标评价模型。应用该模型计算出 2001—2010 年全球及中国有关绿色经济指标, 依照未来中国经济与社会发展规划目标, 预计“十二五”末期中国经济发展中的资源消耗及环境损失成本、人均绿色 GDP 将分别达到 3.11×10^{12} 美元、 0.37×10^4 美元, 生态负荷强度、资源脱钩指数及绿色 GDP 的区位熵指数分别为 0.38、0.66、75; 2020 年中国绿色 GDP 的区位熵指数将超越全球平均水平、2024 年人均 GDP 将突破 1 万美元关口步入中等发达国家行列。计算结果表明中国生态系统压力逐年降低、资源利用效率、环境绩效与经济效益同步提高, 逐渐在全球经济绿色转型过程中发挥重要作用; 未来, 中国仍需秉承“共同但有区别的责任”原则, 处理好与其他国家的权责纷争; 同时积极推进节能减排、经济结构调整工作, 进一步协调好城乡之间、区域之间经济社会发展与自然资源及生态环境的关系。

关键词:绿色转型; 生态系统服务; 生态负荷; 脱钩理论; 区位熵

Prediction and analysis of the transition to green economy in China based on the theory of ecosystem services

ZHENG Defeng¹, ZANG Zheng^{1,*}, SUN Caizhi¹, LI Hongying²

1 School of Urban Planning and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

2 Hydrology Bureau of Liaoning Province, Shenyang 110003, China

Abstract: In order to predict and analyze the way of China's green transition, the calculation model on green economic indicators was put forward based on the theory of ecosystem services, the traditional input-output analysis method, the traditional environmental load model, decoupling theory and location quotient theory. These economic indicators can clearly show the dynamic relationship between resource consumption and environmental loss costs and ecosystem. By using simulation method the service values of all kinds of land ecosystems were firstly calculated in 2010 on the basis of the equivalent weights of land ecosystem service values in China. Moreover, the model on resource consumption and environmental loss costs was established based on service values of ecosystem. And these formulas for calculating green GDP, ecological load intensity, resource decoupling indicator and location quotient on green GDP were respectively presented. Using the above models and formulas the global and China's index values of green economy were calculated from 2001 to 2010. With high development of the national economy in recent years, China's resource consumption and environmental loss costs are increasing day by day. Many disputes and friction on the rights and responsibilities with the developed countries are also produced. On the basis of China's future planning objectives on economic and social development as well as the relevant national statistical data, economic development indicators were calculated using the

基金项目:教育部人文社会科学研究规划基金(14YJAZH112); 高等学校博士学科点专项科研基金(20122136110003); 辽宁省社会科学规划基金(L13BJL019); 辽宁经济社会发展课题(2014LSLKTZJXJX-06)

收稿日期: 2013-06-04; 修订日期: 2014-06-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zangzheng@126.com

above-mentioned models and the global future indicators were predicted using a unitary linear regression model. The predicted results showed that total cost of resource consumption and environmental loss would reach $\$ 3.11 \times 10^{12}$ and net worth of green GDP per person reached $\$ 0.37 \times 10^4$, the ecological load intensity, resource decoupling indicator and location quotient on green GDP were respectively 0.38, 0.66 and 75 by 2015. The results in this study showed that China's ecological pressure would be gradually reduced, and the efficiency of resource utilization and location quotient on green GDP would be simultaneously improved with the economic benefit enhancing. The location quotient on green GDP will exceed the global average in 2020, the GDP per person will surpass ten thousand dollars and join the range of moderately developed countries in 2024. In future, China will still adhere to the principle of "common but differentiated responsibilities", and solve the disputes on the rights and responsibilities with other countries. Meanwhile, China will actively promote energy conservation, industrial restructuring, and further coordinate the regional relationship among economic development, natural resources and ecological environment.

Key Words: green transition; ecosystem services; ecological load; decoupling theory; location quotient

绿色经济是以市场为导向、以传统产业经济为基础、以经济与环境和谐发展为目标的新型经济发展方式,最早由英国环境经济学家 Pearse 于 1989 年在其著作《绿色经济的蓝图》一书中提出。人们最初接受的绿色经济概念,是以“经济增长能抵消环境和社会损失”为主旨的弱可持续发展观点,由此拉开传统经济向低碳经济、绿色经济转型研究序幕;Jacobs 与 Postel 等人 1990 年代在传统产业经济的 3 种基本生产要素(土地、劳动、人造资本)基础上增加社会组织资本,提出绿色经济产业的 4 个要素——生态资本、人力资本、生产资本、社会组织资本;此后,绿色经济内涵不断外延,国外学者针对经济发展中的能源消耗和环境污染问题展开大量研究^[1-3],2008 年新一轮全球经济危机过后,世界各国开始关注以“自然资本的非减化”为目标的强可持续发展——强调真正的可持续发展不应以自然资本的大量消耗为代价,从而推动全球经济发展逐渐向真正的绿色经济转型。随着全球尤其是广大发展中国家人口不断增加,人类生产、生活对全球生态系统的负面影响逐步加深,资源与环境对经济与社会发展的约束作用逐渐显现,因此权衡不同区域生态系统服务的消费、分配与补偿问题日益成为学术界探讨的热点^[4-5],各国学者不断尝试在经济学的视角下,将自然资产损失和环境污染等成本纳入到国民经济核算研究^[6],或在此基础上进行生态效率、环境绩效评价^[7-8]。2012 年 6 月联合国可持续发展大会(“里约+20”峰会)将发展绿色经济作为大会主题,进一步明确了全球经济向绿色转型的整体方向,绿色发展成为全球共识。

2012 年,党的十八大报告提出要把资源消耗、环境损害、生态效益等纳入国民经济与社会发展评价体系,明确提出构建包括生态文明在内的五位一体的新发展布局,通过绿色发展、循环发展和低碳发展建设美丽中国。然而,在全球经济与社会发展向绿色转型的大背景下,中国局部地区经济转型进展缓慢,大多停滞在体制改革的门槛前无法实现跨越。为此中国《国民经济与社会发展的第十二个五年规划纲要》提出,要持续推进并解决那些严重制约经济社会中长期发展的重大问题,积极寻找和破解转变经济发展方式的路径和方向,制订切实可行的举措以改善宏观经济环境,持续推进产业结构优化调整,实现国民经济与社会发展的绿色转型。在这一背景下,近年来国内学者基于不同层面对中国绿色经济发展进行了一些有益的尝试和探讨,开展了一系列绿色经济转型机制及其评价体系、评价方法等宏观层面研究,或通过实证分析在较小尺度的城市绿色经济发展研究方面取得进展^[9-12];相比较而言,中国国民经济与社会发展付出的资源消耗、环境损失等中间消耗及投入成本的量化研究相对较少,导致研究成果对生产实践的指导作用有所局限。

21 世纪人类经济与社会发展的核心挑战,是在实现自身发展的同时生态系统的核心服务功能不被破坏^[13],真正的绿色经济必须将区域生态系统服务价值纳入绿色国民经济账户,在降低经济发展对资源消耗过度依赖的同时,通过对自然资本投资达到生产要素的可持续利用,以效率、和谐、持续为发展目标,构建以生态农业、循环工业和持续服务产业为

基本内容的经济结构和经济增长方式。地球生态系统是全人类生产、生活的重要基础和平台,因此人类不能仅仅将其视为生产资本盲目利用,也要重视其巨大的生态价值和环境价值潜力等。本文引入生态系统服务价值理论构建绿色经济核算与评价模型,对全球及中国有关绿色经济指标进行实证分析与情景预测,以期构建中国绿色国民经济账户、并为进一步明晰经济与社会发展成本等提供参考。

1 研究方法

本文结合前人研究成果,依据生态系统服务价值理论对国民经济与社会发展过程中的资源消耗及环境损失成本进行核算;基于已有工作基础并借鉴传统环境负荷模型以及经济脱钩理论、区位熵理论等,提出基于生态系统服务理论的有关绿色经济指标评价模型,据此对 2001—2025 年中国有关绿色经济指标进行分析、预测。

1.1 国内生产总值的绿色核算方法

国内生产总值(GDP)是联合国统计委员会提出的国民经济核算体系(SNA)中衡量国民经济发展规模与宏观经济效益的重要指标之一,是一个国家或地区所有常住单位在一个核算期内生产或提供的最终货物与服务的总价值^[14-15]。绿色 GDP 核算是从传统 GDP 中扣除经济与社会发展过程中的资源消耗、环境损失等中间消耗及投入成本,依据联合国统计委员会在《综合环境与经济核算手册(SEEA) 2003》中提出的有关自然资源绿色核算概念^[15],其核算方法可用下式表达:

$$\text{GeGDP} = \text{GDP} - \text{C\&I} \quad (1)$$

式中,GeGDP 与 GDP 分别代表绿色 GDP 及按生产法核算的传统 GDP,C&I 为中间消耗及投入成本。

由于绿色 GDP 衡量的是当期新创造产品及服务的总价值,能够反映经济增长数量及社会发展质量,利于明晰经济与社会发展的真实成本及收益,是衡量真实国民财富与福利的科学方法。但是,由于中间消耗及中间投入成本往往没有相应的实物形态,使其核算工作相对复杂和困难。

1.2 基于生态系统服务价值的资源环境成本核算模型

生态系统服务价值是指生态系统为维持人类生存提供的自然环境条件及效用^[14-15],既包括为人们

提供物质产品、文化娱乐服务等直接利用价值,也包括维持生态平衡、保护资源环境等间接利用价值,为国民生产各个部门提供几乎全部自然资本存量^[16-17]。区域生态系统服务价值的单位为“美元或元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ ”,即生态系统服务价值每年都得到更新或再生,因此与那些能够被人类以最终产品形式直接利用的价值相比,实际上这些以存在价值形式作为中间投入被人们在生产、生活中间接利用和消耗的生态系统服务价值更容易被忽视。为了科学、全面地衡量人类对生态系统服务价值的消耗,借鉴前述自然资源的绿色核算方法,引入生态系统服务价值理论核算区域国民经济与社会发展过程中的中间消耗及中间投入成本(即以生态系统服务价值形式为人类生产和生活消耗和损失掉——即转移、固化到当年国民经济与社会发展成就之中的资源环境成本)。

生态系统是具有多重反馈、结构复杂的开放系统,由于缺少成熟、统一的价值核算方法及评价标准,因此生态系统服务价值评价过程中的不确定因素容易对结果产生干扰,致其对实践的指导作用往往有所局限。谢高地等通过广泛调查研究,提出了中国陆地生态系统服务价值当量因子的概念及各类陆地单位面积生态系统服务价值的修正算法,被广泛应用于自然资源的核算评价研究等^[18]。本文在此借鉴 Costanza、谢高地等关于全球及中国土地利用类型以及生态系统服务价值的分类、计算方法^[15-16],构建基于生态系统服务价值的资源环境成本核算模型如下:

$$\text{C\&I} = P \times Y \times \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^6 (e_{ij} \times a_j) / 7 \quad (2)$$

式中,C&I 为资源消耗及环境损失成本(代表国民经济与社会发展的中间消耗及投入成本,以下简称资源环境成本,元); P 与 Y 分别为粮食价格(元/kg)及粮食单产(kg/hm^2); e_{ij} 为区域第 j 类土地生态系统($j=1-6$ 分别代表农田、林地、牧草地、湿地、内陆水域和近海海域、各类荒地及未利用地)的第 i 项生态系统服务价值($i=1-9$ 分别代表食物生产、原材料供给、生物多样性保护、气体调节、土壤形成与保护、废弃物处理、涵养水源以及调节小气候、文化娱乐服务功能)的当量因子; a_j 为第 j 类土地面积(hm^2); Y 值可表征区域生产力发展水平, P 值可代表当年物价水平, a_j 和 e_{ij} 代表区域资源禀赋、相应类型生态系

统的开发利用及其对环境的损失强度。

1.3 基于生态系统服务理论的绿色经济评价模型

传统经济向绿色经济转型是一个长期渐进的过程,不仅要求人们减少资源消耗、控制环境损失成本,还需要对生态环境进行投资。绿色 GDP 只是绿色经济总量核算的一部分,为了系统、全面地衡量国民经济与社会发展态势,仅仅依靠绿色 GDP 总量核算是不够的,须有一系列能够科学地评价当前经济与社会发展质量的指标体系,藉此对国民经济与社会发展状况进行预测分析、对驱动绿色经济转型的政策机制进行评价等。鉴于此,本文在前述资源消耗及环境损失成本核算方法的基础上,提出基于生态系统服务理论的绿色经济指标评价模型如下:

为了衡量生态系统因经济与社会发展中资源消耗及环境损失而受到的压力大小,在此借鉴传统 IPAT 模型^[19],提出基于生态系统服务理论的生态(系统)负荷强度模型:

$$T = C\&I/GDP \quad (3)$$

式中, T 为生态负荷强度,若 $C\&I$ 、 GDP 均以万元为单位, T 值(无量纲)可表征区域经济和社会发展过程中每创造万元 GDP 的资源消耗及环境损失成本的相对大小; T 值越大表明资源消耗及环境损失导致生态系统承受的相对负荷越大; $T>1$ 、 $T=1$ 、 $T<1$ 分别表示生态系统处于超负荷、平衡、低负荷状态(前述有关文献的研究结果表明 1994 年全球及中国生态系统均处于超负荷状态)。

为了进一步衡量经济增长对资源消耗的依赖程度以及不同区域经济与社会发展过程中的经济发展质量和环境绩效水平,借鉴经济学中的脱钩理论和区位熵理论^[20-21],分别提出基于生态系统服务理论的资源脱钩指数、区域绿色 GDP 的区位熵指数模型,数学表达式分别如下:

$$D = (T_b - T)/T_b \quad (4)$$

$$E = \frac{GeGDP}{GeGDP_w} \cdot \frac{Q}{Q_w} = \frac{GeGDP/Q}{GeGDP_w/Q_w} \quad (5)$$

式中, D 为脱钩指数(无量纲), D 值越大表明经济增长与资源消耗的脱钩趋势越明显(依赖程度越小), T_b 为基期(本文以 2001 年为基期)生态负荷强度; E 为区域绿色 GDP 区位熵指数(无量纲),即区域绿色 GDP 及人口数各自占全球比重的比值,亦即区域人均绿色 GDP 与全球平均值之比, E 值越大表明区域

人均绿色 GDP 相对全球平均水平越高、对提升全球经济质量的区位贡献越大、环境绩效越高; Q 为区域人口数, Q_w 为同期全球人口, $GeGDP_w$ 为同期全球绿色 GDP 值。

2 数据来源及实证、预测结果

本文以 2001—2025 年中国大陆 31 个省级行政区(因统计数据缺失,研究对象未含香港、澳门特别行政区以及台湾省、钓鱼岛、南海诸岛等)为研究对象(计算全球资源环境成本时,以中国各类陆地生态系统服务价值当量因子代表同期全球平均水平)。2001—2010 年中国及全球 GDP 总量、人口数、人民币兑美元汇率、粮食单产及全球各类土地利用面积依据国家统计局网站提供的有关年度中国统计年鉴和世界统计年鉴(依据世界银行 WDI 数据库、联合国粮农组织 FAO 数据库)整理得出^[22-24];历年中国及全球原粮市场平均价格基于中国国家发展和改革委员会网站提供的 2012 年中国原粮(玉米、小麦及稻米)市场均价^[25]、国际市场粮食均价(美国小麦、玉米及越南晚籼米、泰国梗米离岸均价)并参照国家统计局、FAO 提供的中国及全球历年农产品价格指数计算得出^[22,24];中国各类土地利用面积依据国家统计局以及中国国家资源环境遥感宏观调查与动态研究所、中国国土资源统计年鉴(光盘版)提供的有关土地面积增减变动数据计算、整理得出(部分缺失数据以前一年数据推算);有关数据统计、处理结果如表 1 所示。

2.1 2001—2010 年全球及中国有关绿色经济指标核算

结合表 1 中有关数据、利用式(2)计算出 2001—2010 年中国及全球资源消耗及环境损失成本;利用式(1)、式(3)—(5)计算历年中国及全球有关绿色经济指标结果见表 2(为了便于比较,计算区位熵指数时,以全球同期值为 100 进行参照转换)。

2.2 2011—2025 年中国有关经济社会发展指标预测

根据规划^[26]：“十二五”末期中国内地总人口要控制在 13.9×10^8 人以内,即未来几年中国人口只有 0.49 亿增长空间、人口自然增长率控制在 7.2‰ 以内,通过延续现行计划生育政策,进一步降低经济与社会发展中的资源消耗及环境损失成本、减轻生态

表 1 2001—2010 年全球及中国有关统计数据整理和计算结果

Table 1 The data and calculated values on the global and China's indicators from 2001 to 2010

年度 Year	$Y_w/$ (Kg/hm ²)	$P_w/$ (\$ /kg)	$Q_w/10^8$ 人	$R/$ 元	$Y_c/$ (Kg/hm ²)	$P_c/$ (元/kg)	$Q_c/$ 10 ⁸ 人
2001	3121.47	0.086	61.00	8.27	4800	1.778	12.76
2002	3064.84	0.096	62.25	8.27	4885	1.795	12.85
2003	3115.61	0.102	63.01	8.27	4873	1.803	12.92
2004	3354.00	0.110	63.65	8.27	5187	1.869	13.00
2005	3291.42	0.138	64.38	8.20	5225	1.902	13.08
2006	3261.50	0.175	65.38	7.80	5310	1.934	13.14
2007	3347.47	0.201	66.10	7.60	5320	2.022	13.21
2008	3421.00	0.280	66.97	6.95	5548	2.141	13.28
2009	3514.00	0.199	67.75	6.83	5447	2.131	13.35
2010	3745.20	0.254	68.95	6.77	5524	2.200	13.41

Y_w : 全球粮食单产 Global grain yield per acre; P_w : 全球粮食价格 Global grain prices; Q_w : 全球人口数 Total global population; R : 美元兑人民币汇率 Exchange rate; Y_c : 中国粮食单产 China's grain yield per acre; P_c : 中国粮食价格 China's grain prices; Q_c : 中国人口数 Chinese population

表 2 2001—2010 年全球及中国有关绿色经济指标核算结果

Table 2 The calculated results on the global and China's indicators of green economy from 2001 to 2010

年度 Year	$GDP_w/$ 10 ¹² \$	$C\&I_w/$ 10 ¹² \$	$GeGDP_w/$ 10 ⁴ \$	$GDP_c/$ 10 ¹² \$	$C\&I_c/$ 10 ¹² \$	$GeGDP_c/$ 10 ⁴ \$	T_c	D_c	E_c
2001 年	36.920	20.160	0.275	1.310	1.440	-0.010	1.10	0.00	-4
2002 年	38.070	20.640	0.280	1.440	1.480	0.003	1.03	0.07	-1
2003 年	39.630	21.370	0.290	1.630	1.480	0.012	0.91	0.18	4
2004 年	41.730	23.350	0.289	1.930	1.640	0.022	0.85	0.23	8
2005 年	45.050	24.220	0.324	2.240	1.700	0.041	0.76	0.31	13
2006 年	48.630	26.720	0.335	2.770	1.840	0.071	0.66	0.40	21
2007 年	54.350	27.950	0.399	3.510	1.990	0.115	0.57	0.49	29
2008 年	60.690	31.450	0.437	4.550	2.400	0.162	0.53	0.52	37
2009 年	57.940	32.640	0.373	4.980	2.380	0.195	0.48	0.57	52
2010 年	62.910	36.260	0.387	5.910	2.510	0.254	0.42	0.61	66

GDP_w : 全球传统 GDP The traditional global GDP; $C\&I_w$: 全球资源环境成本 Global costs of resources and environment; $GeGDP_w$: 全球人均绿色 GDP Global Green GDP per person; GDP_c : 中国传统 GDP The traditional China's GDP; $C\&I_c$: 中国资源环境成本 China's costs of resources and environment; $GeGDP_c$: 中国人均绿色 GDP China's Green GDP per person; T_c : 中国生态负荷强度 China's ecological load intensity; D_c : 中国资源脱钩指数 China's resource decoupling indicator; E_c : 中国的绿色 GDP 区位熵指数 China's location quotient index

系统压力;未来中国 GDP 预期年均增长率为 7%、相比“十一五”降低 0.5%,旨在通过降低经济增长速度以引导各地转变经济发展方式、促进产业结构调整;未来中国粮食播种面积要坚守 $1.067 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 的红线,粮食产量稳定在 $5.4 \times 10^8 \text{ t}$ 左右;未来城乡居民消费价格指数(CPI)要力争控制在 3%左右,努力增加全民净福利,不断提高人民生活水平,以推动社会发展的绿色转型。

根据上述规划目标,分别取情景参数 $q=0.72\%$ 、 $g=7\%$ 、 $y=0.36\%$ 、 $p=4\%$ (q 为中国人口年均增长率、 g 为 GDP 年均增长率、 y 为粮食单产年均增长率、 p 为原粮市场价格的年均增长率),据此对 2011—2025

年中国有关绿色经济指标进行预测。以 2010 年资源消耗及环境损失成本 $C\&I_0$ 及生态负荷强度 T_0 为基准(忽略未来 15a 各类土地利用面积变动的影响),将上述参数分别代入式(2)和式(3)可得 2010 年以后第 n 期的资源消耗及环境损失成本与生态负荷强度的预测模型:

$$C\&I_n = C\&I_0 \times [(1+p)(1+y)]^n \quad (6)$$

$$T_n = T_0 [(1+p)(1+y)/(1+g)]^n \quad (7)$$

2.3 2011—2025 年全球经济指标及人口总量预测

由于全球经济与社会发展缺少相应规划细则,因此本文依据世界银行(WB)在《全球经济展望》报告中对 2011—2015 年全球经济增长率的预测

(2011、2012 年为实际值), 并以上述 5 个年度预测数据的平均值为基础计算 2013—2015、2016—2025 年全球 GDP 值^[23], 结果见表 3。对于未来全球资源环境成本及全球人口总量, 通过线性回归模型进行预测; 表 1、表 2 显示 2001—2010 年全球资源环境成本及人口总量与中国相应指标均呈逐年增长之势, 通过计算可得两个指标的相关系数分别为 0.987、0.997, 表明二者存在高度相关关系, 故可通过未来中国相关指标对全球资源环境成本、人口总量进行预测。依据表 1—表 2 相关数据计算可得其线性回归模型分别为:

$$C\&I_w = 1.526 + 13.229C\&I_c \quad (8)$$

$$Q_w = -87.599 + 11.645Q_c \quad (9)$$

式中, $C\&I_w$ 、 Q_w 分别表示全球未来资源环境成本、人口总数的预测值, $C\&I_c$ 、 Q_c 分别表示未来中国的资源环境成本及人口总数。统计结果显示上述模型的 F 值分别为 172.44、1185.44, 通过了置信水平为 0.001 ($F_{0.001}(1, 8) = 25.42$) 的可信度检验(同时通过了 R^2 检验), 表明模型可信度、拟合优度均较高, 可以用来预测未来 15 年全球资源环境成本及人口总数。

2.4 2011—2025 年全球及中国有关绿色经济指标预测

依据式(4)—(9) 计算 2011—2025 年全球及中国有关绿色经济指标, 结果如表 3 所示。

表 3 2011—2025 年全球及中国有关绿色经济指标预测结果

Table 3 The predicted results on the global and China's indicators of green economy from 2011 to 2025

年度 Year	GDP _w / 10 ¹² \$	C&I _w / 10 ¹² \$	GeGDP _w / 10 ⁴ \$	GDP _c / 10 ¹² \$	C&I _c / 10 ¹² \$	GeGDP _c / 10 ⁴ \$	T_c	D_c	E_c
2011	69.660	36.190	0.480	6.320	2.620	0.274	0.41	0.63	57
2012	71.710	37.640	0.481	6.770	2.730	0.297	0.40	0.64	62
2013	74.170	39.230	0.486	7.240	2.850	0.320	0.39	0.65	66
2014	76.714	40.950	0.489	7.750	2.980	0.346	0.38	0.66	71
2015	79.345	42.670	0.494	8.290	3.110	0.373	0.38	0.66	75
2016	82.067	44.520	0.498	8.870	3.250	0.401	0.37	0.67	81
2017	84.882	46.370	0.503	9.490	3.390	0.433	0.36	0.67	86
2018	87.793	48.360	0.507	10.150	3.540	0.465	0.35	0.68	92
2019	90.805	50.340	0.513	10.870	3.690	0.502	0.34	0.69	98
2020	93.919	52.460	0.517	11.630	3.850	0.540	0.33	0.70	104
2021	97.141	54.710	0.522	12.440	4.020	0.580	0.32	0.71	111
2022	100.472	57.090	0.526	13.310	4.200	0.624	0.32	0.71	119
2023	103.919	59.470	0.530	14.240	4.380	0.670	0.31	0.72	126
2024	107.483	61.980	0.535	15.240	4.570	0.719	0.30	0.73	135
2025	111.170	64.630	0.540	16.310	4.770	0.773	0.29	0.74	143

GDP_w: 全球传统 GDP The traditional global GDP; C&I_w: 全球资源环境成本 Global costs of resources and environment; GeGDP_w: 全球人均绿色 GDP Global Green GDP per person; GDP_c: 中国传统 GDP The traditional China's GDP; C&I_c: 中国资源环境成本 China's costs of resources and environment; GeGDP_c: 中国人均绿色 GDP China's Green GDP per person; T_c : 中国生态负荷强度 China's ecological load intensity; D_c : 中国资源脱钩指数 China's resource decoupling indicator; E_c : 中国的绿色 GDP 区位熵指数 China's location quotient index

3 结果分析

绿色经济概念突破了传统经济的规模和效率导向, 指出经济发展在受到自然资源及生态环境限制的同时要体现公平性和包容性, 尊重和保障每个地球公民平等地享有经济发展与自然资本的权利^[27]。结合表 1—表 3 得出的有关结果, 绘制 2001—2025 年中国及全球有关绿色经济指标的对比图见图 1—

图 4, 现分别从经济规模与质量、公平性与包容性两个视角分析中国绿色转型之路。

3.1 从经济规模与质量的视角

据表 2、表 3 可得 2001—2025 年中国传统 GDP 与资源环境成本以及生态负荷强度与资源脱钩指数(图 1、图 2)、中国与全球人均 GDP 及人均绿色 GDP(图 3、图 4)的对比情况如下。

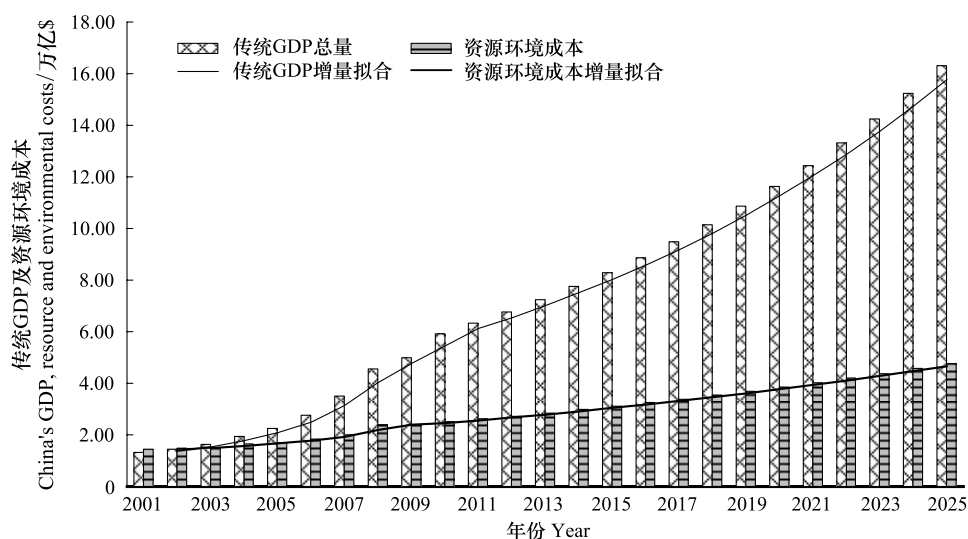


图1 2001—2025 年中国传统 GDP 与资源环境成本对比

Fig.1 The traditional China's GDP and China's costs of resources and environment from 2001 to 2025

图1显示,随着中国经济总量(GDP)的持续高速增长,中国的资源消耗及环境损失成本也随之增长,从二者的增量拟合曲线斜率可以看出2003年以后中国经济增速明显高于资源环境成本的增长速度,经济增长对资源环境成本的依赖性呈减弱趋势,经济总量在一定程度上掩盖了经济发展所付出的代价。然而,据国家统计局统计(仅就农业生产而言)2001—2010年中国农业生产过程中的化肥施用量由 $4254 \times 10^4 \text{ t}$ 增至 $5562 \times 10^4 \text{ t}$ 、年均增长3.42%;农药施

用量由 $100 \times 10^4 \text{ t}$ 增至 $170 \times 10^4 \text{ t}$ 、年均增长7.78%,二者年均增幅均远高于粮食单产的增长幅度;农业生产中的农膜残留率达到40%、每年有 $50 \times 10^4 \text{ t}$ 残留在农田中^[22]。按照FAO的统计结果,依靠粮食连年增产,中国用占全球8.1%的耕地养活了占全球19.2%的人口,同时也用掉了全球35%的化肥^[24]。因此,在正视大量施用化肥及农药对促进中国粮食增产、保障国家粮食安全的积极作用的同时,也不能忽视由此造成的资源过度消耗及环境污染等负面问题。

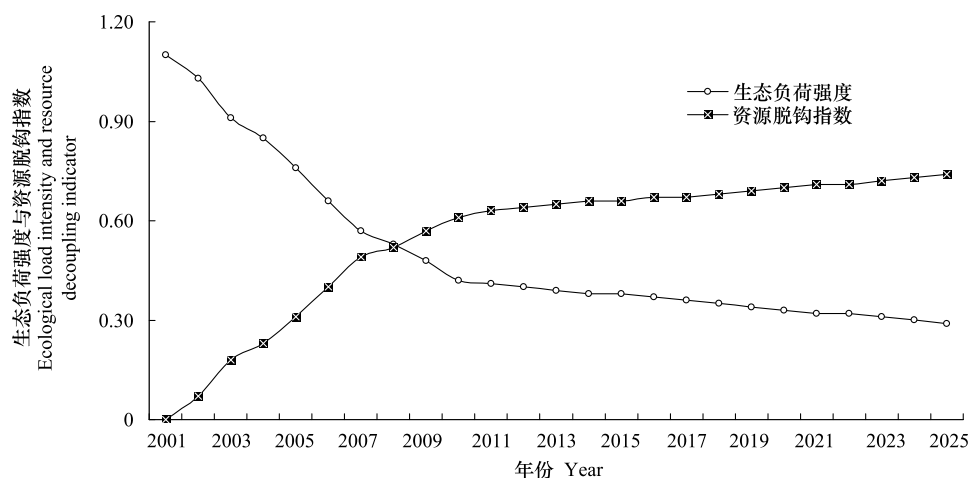


图2 2001—2025 年中国生态负荷强度与资源脱钩指数

Fig.2 China's ecological load intensity and resource decoupling indicator from 2001 to 2025

从图2可以看出,中国经济发展与资源环境成本的脱钩指数不断提高、生态系统负荷强度持续降低,表明中国经济与社会发展给生态系统造成的压

力逐渐减小、单位GDP对资源消耗及环境容量的需求逐渐降低,经济发展质量持续向好。未来,随着经济总量不断增长,预计中国的资源利用效率和经济

效益还将持续提高,经济发展在一定程度上抵消了资源消耗及环境损失成本。

需要指出的是:近年有研究报告提出当经济发展达到人均 GDP 为 2 万美元的水平时,人类生产、生活中的资源消耗及环境损失成本将逐渐减少,有学者据此提出中国很多城市已经越过了资源消耗拐点,将迎来一个值得期待的绿色通道^[28]。然而从图 2 可以看出,从“十二五”时期开始中国的资源脱钩指数升高及生态负荷强度降低的势头均逐渐变缓,资源脱钩指数始终在 0—1 之间,经济发展与资源环境将长期处于相对脱钩状态,绿色发展仍需依赖资源消耗,资源环境总成本仍将逐年增加。据联合国千年生态系统评估(MA)报告的统计结果,人类目前至少占用了全球生态系统初级生产力的 40%,因此仅就目前人类的生产力发展水平而言,希望大量缩减资源消耗而取得经济发展的想法是不现实的。事实上,经济增长构建了人类的生存基础,在一定时期内人类发展造成的资源消耗、环境损失仍是不能完全避免的。因此,以过于乐观或悲观的态度看待经济发展是不科学的,只有在尊重自然并辅以人为优化调整措施的基础上,努力增加生态系统的自然资本存量与环境容量,使经济发展与生态环境达到动

态平衡与相对协调,才是发展的出路。

3.2 从公平性与包容性的视角

依据表 1、表 2 可以得出 2001—2010 年中国粮食单产及 GDP 年均增长率分别为 1.68% 和 29.99%,原粮市场平均价格、人口总量年均增长率分别为 2.63% 和 5.6%,2010 年中国人均 GDP 为 4407 美元。对比“十二五”规划目标可以看出,未来中国主要经济发展的预期指标下调幅度较大、但是约束性指标仍预留较大增长空间,因此未来中国的资源消耗及环境损失成本仍将持续上升。按照世界银行的标准中国已经跨入中等收入国家行列^[23],然而事实上,在中国经济持续、高速增长的背后,自然资源过度消耗、生态环境日趋恶化等问题也导致生产要素成本不断攀升、资本投入的边际效益逐渐降低、发展的比较优势逐渐弱化,因此刚刚跳出“贫困陷阱”的中国又将面临一个所谓的中等收入陷阱^[27]——尽管中国经济总量已经升至世界第二,但是“人口多、底子薄”的痼疾仍然是保障公民平等地享有发展权利的障碍;受此影响,中国人均 GDP 在 2024 年才能突破 1 万美元(图 3)、由中等收入国家变为中等发达国家行列。

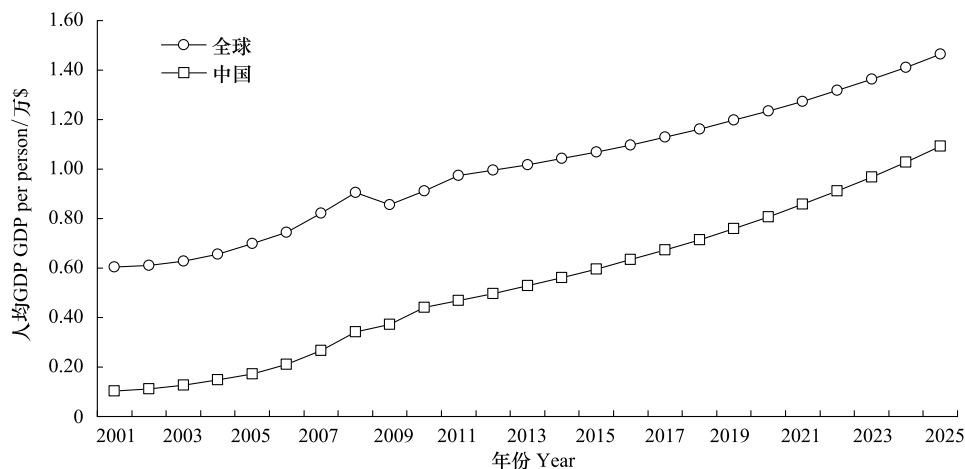


图 3 2001—2025 年中国与全球人均 GDP 对比

Fig.3 The China's and global GDP per person from 2001 to 2025

图 4 显示,未来中国人均绿色 GDP 增长速度明显高于全球平均增速,2020 年将超越全球人均水平;结合表 3 可以看出中国绿色 GDP 的区位熵指数逐年提高,2020 年升至 104,表明从彼时开始,中国将为提高全球经济质量和环境绩效做出正向贡献。另外从近年来中国经济与社会发展规划目标也可以看

出,中国不希望、也不能因循发达国家经历的“先发展后治理”的传统经济发展之路。随着中国经济与社会发展中的资源消耗及环境损失成本不断增长、生态系统对经济社会发展的约束作用日益凸显,未来中国将持续推进节能减排工作和产业结构调整,大力发展循环经济、绿色经济,积极协调城乡、区域

之间经济社会发展与生态环境不相容的矛盾关系。

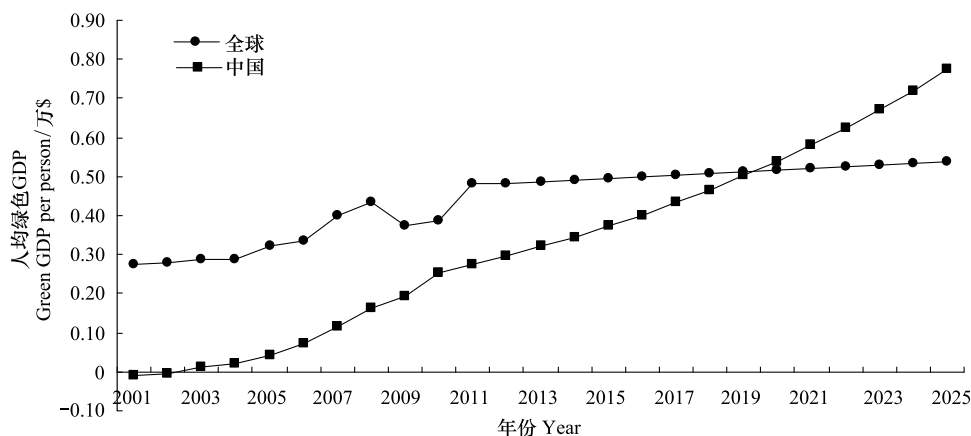


图 4 2001—2025 年中国与全球人均绿色 GDP 对比

Fig.4 The China's and global green GDP per person from 2001 to 2025

按照西方静态经济学理论,随着经济不断发展,自然资本存量及环境容量日益减小,地球生态系统逐渐由原本“空的世界”向“满的世界”转变,某些发达国家为此提醒发展中国家:当经济系统边界接触到生态系统边界时,将导致经济发展停滞或者生态系统崩溃^[29]。然而,发达国家是在生态系统处于相对较空的状态下,攫取了大量资源财富及环境容量,实现了传统经济的快速发展。当前多数发展中国家面临的是一个越来越拥挤的地球生态系统,资源存量、环境容量及发展空间日益受到约束和限制,经济发展过程中的困难不一而足,大多已经失去了先发优势。人类的终极目标是发展,因此为了追赶先进国家的发展脚步,未来一段时期中国仍需保持经济持续而稳定的增长。与此同时,人类只有一个地球,且地球生态系统毫无疑问是一个完整而统一的有机体,所以中国面临的必然是一条兼顾“区别”与“责任”的强可持续发展、追赶与超越之路,也必然是一条与发达国家携手共进的和平发展、共赢发展、和谐发展之路,在全球经济发展与生态系统的动态协调中,从不同的方向探寻经济发展、社会繁荣、生态平衡的生存空间^[27]。

4 结论与讨论

(1) 依据未来中国国民经济与社会发展规划目标,对 2011—2025 年中国有关绿色经济指标和绿色转型之路进行预测、分析。结果表明中国绿色经济规模不断扩大,与此同时生态负荷强度逐年降低、资源脱钩指数及绿色 GDP 的区位熵指数逐年提高,经

济质量持续向好;

(2) 未来一段时期中国仍需秉承“共同但有区别的责任”的原则,处理好与其他国家之间的权责纷争,同时积极开展经济结构调整、大力实施节能减排工作,进一步促进中国城市与农村之间、不同区域之间经济社会与资源、环境及生态系统的良性互动关系。

本文从全球生态系统的视角,结合自然资产的绿色核算概念,引入生态系统服务价值理论核算国民经济与社会发展过程中的资源环境成本,由于生态系统服务价值评价、资源环境成本核算方法固有的局限性和复杂性、预期全球经济与社会发展指标的困难性等因素的存在,因此本文的实证分析及预测仍然属于尝试性研究。在借鉴传统 IPAT 模型以及有关经济脱钩理论、区位熵理论的基础上提出绿色经济指标核算及评价模型,具有较好的适用性,便于推广应用;依据上述模型及有关统计数据计算并预测了 2001—2025 年中国经济发展中的资源消耗及环境损失成本、绿色 GDP 总值、生态负荷强度及资源脱钩指数、绿色 GDP 的区位熵指数等绿色经济指标,与近年来中国经济发展的整体趋势相吻合。与应用生态足迹理论构建生态负荷指数、得出全球生态系统处于超负荷状态的结论相比较^[30],本文从资源环境成本的角度对中国的生态负荷强度进行评价,得出相对全面、积极的评价结果;与以往通过能源消耗及 SO₂ 排放的实证分析得出 2001—2007 年中国能源消耗与 GDP 的脱钩指数比较^[20],本文计算得出该时段中国的资源脱钩指数同样在 0—1 之间、处

于相对脱钩状态,与其整体趋势相同;与基于环境绩效评价指标体系、通过权重得出的环境绩效指数 EPI (2006、2008、2010 年中国 EPI 分别为 56、65、49) 比较,本文基于生态系统服务价值理论,将区域生态系统服务价值以全部资源环境成本的形式纳入到绿色 GDP 核算,通过绿色 GDP 的区位熵表征中国对提升全球经济质量做出的相对贡献,客观地体现了中国的环境绩效水平,基于理论基础的考虑比较全面、评价指标体系相对简洁、数据的可得性提高,并且由于评价过程无需考虑权重问题,因此可在一定程度上降低人为因素影响(2012 版全球 EPI 评价给出各国环境绩效排名,但已不再采用打分的方式^[8]),评价结果的客观性得以增强,可为分析和预测中国绿色经济发展趋势、自主开展适合中国国情的环境绩效评估工作提供参考和借鉴,也为正视并积极处理中国与世界各国之间有关经济发展与环境保护争端等提供一定的理论依据。

References:

- [1] Trefers D J, Faaij A P C, Sparkman J, Seebregts A. Exploring the possibilities for setting up sustainable energy systems for the Long term: two visions for the Dutch energy system in 2050. *Energy Policy*, 2005, 33(13): 1723-1743.
- [2] Kawase R, Matsuoka Y, Fujino J. Decomposition analysis of CO₂ emission in long-term climate stabilization scenarios. *Energy Policy*, 2006, 34(15): 2113-2122.
- [3] Shimada K, Tanaka Y, Gomi K, Matsuoka Y. Developing a long-term local society design methodology towards a LOW-carbon economy: an application to Shiga Prefecture in Japan. *Energy Policy*, 2007, 35(9): 4688-4703.
- [4] Li S C, Zhang C Y, Liu J L, Zhu W B, Ma C, Wang Y. The tradeoffs and synergies of ecosystem services: Research progress, development trend, and themes of geography. *Geographical Research*, 2013, 32(8): 1379-1390.
- [5] Ma F J, Liu J T, Egrinya E A. A review of ecosystem services and research perspectives. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(19): 5963-5972.
- [6] Ouyang Z Y, Zhu C Q, Yang G B, Xu W H, Zheng H, Zhang Y, Xiao Y. Gross ecosystem product: concept, accounting framework and case study. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(21): 6747-6761.
- [7] Liu J R, Lv B, Zhang N, Shi Y. Definition and evaluation indicators of ecological industrial park's complex eco-efficiency. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(1): 136-141.
- [8] Yale Center for Environmental Law & Policy. Environmental performance index. [2012- 12- 15]. <http://epi.yale.edu/downloads>.
- [9] Ouyang Z Y, Zhao J J, Gui Z H, Ni Y M, Han B, Zhuang C W. Evaluation of green development in cities of China. *China Population Resources and Environment*, 2009, 19(5): 11-15.
- [10] Wang Y Q, Hu N L, Su Y Q. Evaluation on green transformation capability of resource-based city. *Technology Economics*, 2012, 31(5): 72-76.
- [11] Zhu D J. Studies on China urban green transition based on PSR analysis. *Journal of Tongji University: Social Science Section*, 2011, 22(4): 37-47.
- [12] Chen J, Chen N, Zhu D J, Tang L G, Wu X L. Evaluation of urban green transition based on gray relational analysis and entropy. *Urban Studies*, 2012, 19(11): 96-102.
- [13] Liu J Y, Deng X Z, Liu W D, Li H Y. Conceptual framework of Green Development in Western China [L]. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(10): 1-7.
- [14] Zheng D F, Zang Z, Sun C Z. An improved ecosystem service value model and application in ecological economic evaluation. *Resources Science*, 2014, 36(3): 584-593.
- [15] Zheng D F, Zang Z, Zhao L S, Sun C Z. Temporal and spatial change analysis of resource and environmental costs, the ecological load intensity at provincial scale in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(6): 642-650.
- [16] Zang Z, Zheng D F, Sun C Z, Zhang Y. Evaluation of wetland ecological benefit and restoration in the natural reserves of western Jilin Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(5): 1447-1454.
- [17] Chen Z X, Zhang X S. Value of ecosystem services in China. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(10): 870-876.
- [18] Xie G D, Lu C X, Leng Y F, Zheng D, Li S C. Ecological assets valuation of the Tibetan plateau. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 189-196.
- [19] York R, Rosa E A, Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 2003, 46(3): 351-365.
- [20] Lu Z W, Wang H M, Yue Q. Decoupling indicators: Quantitative relationships between resource use, waste emission and economic growth. *Resources Science*, 2011, 33(1): 2-9.
- [21] Deng Y F, Du X, Zhang L. Analysis of competitiveness of finance in Guangxi cities based on Cluster-oriented. *Journal of Regional Financial Research*, 2012, (11): 64-69.
- [22] National Bureau Statistics of China. China Statistical Yearbook 2002 to 2011. [2013-05- 17]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>.
- [23] World Bank. Global Economic Prospects. (2013-06-12) [2013-12- 15]. <http://data.worldbank.org/data-catalog/global-economic-prospects>.
- [24] Food and Agricultural Organization of the UN. FAOSTAT. [2013-

- 05-17]. <http://www.fao.org/statistics/en/>
- [25] National Development and Reform Commission of China. Economic situation analysis. [2013-05-17]. <http://www.ndrc.gov.cn/jjxsfx/>
- [26] Hu A G. China's 12 th five-Year plan and green development. Beijing: Center for China Study of Tsinghua University, 2011.
- [27] Zhu D J. New concept and trend of green economy emerging from Rio+20. China Population Resources and Environment, 2012, 22(9): 1-7.
- [28] Economist Intelligence Unit. Asian green city index. London: EIU Press, 2011.
- [29] Daly H E. Toward some operational principles of sustainable development. Ecological Economics, 1990, 2(1): 1-6.
- [30] Ren Q L. Analysis of the earth's ecosystems load and sustainable: Analysis based on ecological footprint method. Chinese Rural Economy, 2009, (10): 86-93.
- 参考文献:**
- [4] 李双成, 张才玉, 刘金龙, 朱文博, 马程, 王珏. 生态系统服务权衡与协同研究进展及地理学研究议题. 地理研究, 2013, 32(8): 1379-1390.
- [5] 马凤娇, 刘金铜, Egrinya E A. 生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述. 生态学报, 2013, 33(19): 5963-5972.
- [6] 欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 徐卫华, 郑华, 张琰, 肖赓. 生态系统生产总值核算: 概念、核算方法与案例研究. 生态学报, 2013, 33(21): 6747-6761.
- [7] 刘晶茹, 吕彬, 张娜, 石垚. 生态产业园的复合生态效率及评价指标体系. 生态学报, 2014, 34(1): 136-141.
- [9] 欧阳志云, 赵娟娟, 桂振华, 倪永明, 韩冰, 庄长伟. 中国城市的绿色发展评价. 中国人口资源与环境, 2009, 19(5): 11-15.
- [10] 王艳秋, 胡乃联, 苏以权. 中国资源型城市绿色转型能力评价. 技术经济, 2012, 31(5): 72-76.
- [11] 诸大建. 基于 PSR 方法的中国城市绿色转型研究. 同济大学学报: 社会科学版, 2011, 22(4): 37-47.
- [12] 陈静, 陈宁, 诸大建, 唐利国, 吴秀玲. 基于灰熵理论的城市绿色转型评价模型研究. 城市发展研究, 2012, 19(11): 96-102.
- [13] 刘纪远, 邓祥征, 刘卫东, 李海英. 中国西部绿色发展概念框架. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(10): 1-7.
- [14] 郑德凤, 臧正, 孙才志. 改进的生态系统服务价值模型在生态经济评价中的应用. 资源科学, 2014, 36(3): 584-593.
- [15] 郑德凤, 臧正, 赵良仕, 孙才志. 中国省际资源环境成本及生态负荷强度的时空演变分析. 地理科学, 2014, 34(6): 642-650.
- [16] 臧正, 郑德凤, 孙才志, 张雨. 吉林西部自然保护区湿地生态效益及生态恢复评价. 应用生态学报, 2014, 25(5): 1447-1454.
- [17] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值. 科学通报, 2000, 45(1): 17-21.
- [18] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [20] 陆钟武, 王鹤鸣, 岳强. 脱钩指数: 资源消耗、废物排放与经济增长的定量表达. 资源科学, 2011, 33(1): 2-9.
- [21] 邓杨丰, 杜雪, 张露. 集聚导向的广西城市金融产业竞争力分析. 区域金融研究, 2012, (11): 64-69.
- [22] 中国国家统计局. 2002-2011 年中国统计年鉴. [2013-05-17]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>.
- [23] 世界银行. 全球经济展望[DB/OL]. (2013-06-12) [2013-12-15]. <http://data.worldbank.org/data-catalog/global-economic-prospects>.
- [25] 国家发展和改革委员会. 经济形势分析. [2013-05-17]. <http://www.ndrc.gov.cn/jjxsfx/>
- [26] 胡鞍钢. 中国“十二五”规划与绿色发展. 北京: 清华大学国情研究中心, 2011.
- [27] 诸大建. 从“里约+20”看绿色经济新理念和趋势. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(9): 1-7.
- [30] 任群罗. 地球生态系统的负荷分析与可持续发展——基于生态足迹法的分析. 中国农村经济, 2009, (10): 86-93.