

DOI: 10.5846/stxb201504220827

赵先贵, 赵晶, 马彩虹, 肖玲, 马彩芳, 王晓宇. 基于足迹家族的云南省资源与环境压力评价. 生态学报, 2016, 36(12): - .

Zhao X G, Zhao J, Ma C H, Xiao L, Ma C F, Wang X Y. Study of resource-environmental pressure considering the Footprint Family in Yunnan Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(12): - .

基于足迹家族的云南省资源与环境压力评价

赵先贵¹, 赵晶^{2,*}, 马彩虹³, 肖玲¹, 马彩芳¹, 王晓宇¹

¹ 陕西师范大学旅游与环境学院; 西安 710062

² 西安石油大学思想政治理论教学科研部; 西安 710065

³ 宁夏大学资源环境学院; 银川 750021

摘要: 为了科学评价区域资源与环境压力状况, 为生态文明建设提供参考依据, 构建了基于足迹家族的资源环境压力评价体系, 并应用于云南省的资源环境压力评估。结果表明, 1990—2013 年, 云南省生态压力由中上(Ⅱ_b)升至较高等级(Ⅲ_a); 虽然林业碳汇 23 年来提高了 73.28%, 目前可中和全省 14.67% 的温室气体(GHG)排放, 但碳足迹却增高了 325.98%, 致使 GHG 排放由较低(Ⅰ_b)上升至中下等级(Ⅱ_a); 人均水足迹增速很小, 可用水资源量较高, 水资源压力虽很低(Ⅰ_a), 但人均可用水资源量却以年均 3.66% 的速率减少; 1990 年以来, 云南省的资源环境压力升高了一个亚级, 由较低(Ⅰ_b)上升至中下等级(Ⅱ_a)。空间上生态压力变化较大, 昆明、曲靖、昭通、文山、玉溪和红河等 6 市很高(Ⅲ_b), 保山市和楚雄州较高(Ⅲ_a), 大理州和临沧市为中上等级(Ⅱ_b), 丽江、德宏、西双版纳、普洱等市(州)为中下等级(Ⅱ_a), 怒江州和迪庆州分别属较低(Ⅰ_b)和很低等级(Ⅰ_a); GHG 排放的空间差异较大, 曲靖和昆明市为很高等级(Ⅲ_b), 玉溪市较高(Ⅲ_a), 红河市为中上(Ⅱ_b), 西双版纳、怒江和迪庆 3 州属碳汇(Ⅰ_s), 丽江和普洱市的 GHG 排放水平则低于全球应对气候变化目标的限定值, 属很低等级(Ⅰ_a), 其余地区较低(Ⅰ_b); 空间上水资源压力亦不尽相同, 昆明市的水资源压力很高(Ⅲ_b), 楚雄州为中上等级(Ⅱ_b), 玉溪市、大理州和曲靖市为中下等级(Ⅱ_a), 其余地区很低(Ⅰ_a); 资源环境压力的空间差异很大, 昆明市很高(Ⅲ_b), 曲靖市和玉溪市较高(Ⅲ_a), 红河市中上(Ⅱ_b), 昭通、文山、楚雄和大理州等市(州)中下(Ⅱ_a), 保山市、临沧市和德宏州较低(Ⅰ_b), 其余地区很低(Ⅰ_a)。在今后的发展中, 云南省应严格保护耕地资源, 推广农业高新技术, 提高土地生产率; 调整能源消费结构, 大力发展清洁能源, 减少 GHG 排放; 加强森林保育, 继续提高林业碳汇能力。使山清水秀的云南成为中国生态文明建设的一面旗帜。

关键词: 足迹家族; 资源环境压力; 云南省

Study of resource-environmental pressure considering the Footprint Family in Yunnan Province, China

ZHAO Xiangui¹, ZHAO Jing^{2,*}, MA Caihong³, XIAO Ling¹, MA Caifang¹, WANG Xiaoyui¹

¹ College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China

² Ideological and Political Theory Teaching and Research Department, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China

³ School of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

Abstract: In order to evaluate the regional resource-environmental pressure and to provide a reference for the construction of an ecological civilization, the author proposed an evaluation system considering the Footprint Family (Ecological, Carbon and Water Footprints). This system allowed for the study of resource-environmental pressure in Yunnan Province, China. The results revealed that, in Yunnan Province, the ecological pressure level increased from an above-average grade (Ⅱ_b) to a high grade (Ⅲ_a) in the period between 1990 and 2013. Forest carbon sequestration increased 73.28% in the past 23

基金项目: 国家社会科学基金项目(14XKS019)

收稿日期: 2015-04-22; 修订日期: 2016-02-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhjzhj200318@163.com

years, which neutralized 14.67% of greenhouse gas (GHG) emissions in 2013. The Carbon Footprint increased 325.98%, which led to an increase in the level of GHG emissions from a low grade (I_b) to a below-average grade (II_a). The Water Footprint per capita grew slightly, and the available water resources were relatively high. As a result, the water resource pressure was very low (I_a). However, the available water resources per capita decreased at an annual average rate of 3.66%. Since 1990, resource-environmental pressure in Yunnan Province increased a sub-grade, from a very low grade (I_a) to a low grade (I_c). Ecological pressure of individual cities varied throughout the province. Kunming, Qujing, Zhaotong, Wenshan, Yuxi, and Honghe each had a very high grade (III_b). Baoshan and Chuxiong each had a high grade (III_a), while both Dali and Lincang had an above-average grade (II_b). Lijiang, Dehong, Xishuangbanna, and Pu'er each had a below-average grade (II_a). Nujiang had a low grade (I_b), and Diqing had a very low grade (I_a). GHG emissions varied spatially as well. Qujing and Kunming both had very high grades (III_b) and Yuxi had a high grade (III_a). Honghe had an above-average grade (II_b) while Xishuangbanna, Nujiang, and Diqing each had a carbon sequestration grade (I_s). Finally, Lijiang and Pu'er each had a very low grade (I_a), of which was lower than the target set for the control of global climate warming. The rest regions had a low grade (I_b). Additionally, water resource pressure varied amongst the cities. Kunming had a very high grade (III_b), while Chuxiong had an above-average grade (II_b). Yuxi, Dali, and Qujing each had below-average grades (II_a), and various other regions had very low grades (I_a). The resource-environmental pressure too, was very different amongst the cities of the Yunnan Province. Kunming had a very high grade (III_b) while Qujing and Yuxi both had high grades (III_a). Honghe had an above-average grade (II_b), and Zhaotong, Wenshan, Chuxiong, and Dali each had below-average grades (II_a). Finally, Baoshan, Lincang, and Dehong all had low grades (I_b), and various other regions had very low grades (I_a). In the future, Yunnan Province should firmly protect cultivated land resources, promote agricultural high-new technology, and improve the productivity of land. Additionally, the province should adjust energy consumption structure, develop clean energy, reduce GHG emissions, strengthen forest conservation, and enhance carbon sequestration capacity. These measures would allow for the beautiful Yunnan Province to become a banner for ecological civilization construction in China.

Key Words: Footprint Family; resource-environmental pressure; Yunnan Province

面对资源枯竭、环境恶化与生态危机,自上个世界 90 年代以来,资源环境与可持续发展一直是学术界及社会各方关注的焦点^[1]。资源与环境压力的评估也成为可持续发展研究的重要内容。资源与环境压力的评价方法较多,常见的有多指标综合评价法^[2-4]、模型法^[5-6]、足迹法^[7-8]等。综合评价法的不足在于评价因子的选取受人为因素影响大;就模型法而言,有的仅提供评价框架(如 PSR 模型),有的提供分析影响因子的模式(如 IPAT 模型),但评价因子的选择仍受人为因素的影响;生态足迹、水足迹等方法虽弥补上述不足,但由于资源与环境的多样性和复杂性,任何单一的指标难以全面评价区域资源环境的压力。足迹家族法(包括生态足迹、碳足迹、水足迹等)与国际接轨^[9-10],不受主观因素的影响,且考虑了土地和水资源承载力、碳排放与林业碳汇及可持续发展等问题,涵盖了认识、尊重、顺应、利用和改造自然以造福人类的生态文明建设的基本内涵。但该方法缺少评价指标的细化、整合及等级划分标准。云南是中国西南生态安全屏障和生物多样性宝库,也是我国唯一陆路同时面向西亚、南亚、东南亚开放,并沟通太平洋与印度洋的省份,是南方丝绸之路的重要节点,在“一带一路”建设中具有得天独厚的区位优势。本文构建了基于足迹家族的资源环境压力评价体系,并应用于云南省的资源环境压力评价,该研究可为政府相关部门在生态红线、节能减排等生态文明建设方面提供科学依据。

1 研究区概况

云南省地处中国西南边陲,位于 $21^{\circ}8'32''$ — $29^{\circ}15'8''N$ 和 $97^{\circ}31'39''$ — $106^{\circ}11'47''E$ 。东部与广西壮族自治区

区、贵州省相邻,西部与缅甸接壤,南部和越南、老挝为邻,北部紧依四川省,西北部与西藏自治区相连。云南省辖 8 市 8 自治州,总面积 39.4 万 km²,气候属亚热带高原季风型,年均温 15—18 ℃,年均降水量 1278.8 mm。2013 年底常住人口 4665×10⁴人,GDP 比上年增长 12.1%,高于全国 4.4 个百分点。其中,第一、二、三产业分别增长 6.8%、13.3%、12.4%。三次产业结构为 16.2 : 42.0 : 41.8。

2 研究方法

2.1 足迹家族法

本文采用 Galli 等^[7-8]的定义:足迹家族由生态足迹、碳足迹和水足迹组成,用于评估人类对生物和水资源的需求以及 GHG 排放对环境的影响。

2.1.1 生态足迹

生态足迹是人类活动对生物圈需求的度量;生物承载力(Biocapacity)是指生物生产土地和海域能够提供给人类消费的生态服务总量。生态足迹可分为生物质足迹和能源足迹^[11],生态赤字可分为生态硬赤字(生态赤字且生物质赤字)与生态软赤字(生态赤字但生物质盈余)^[12]。有关公式如下:

$$ef = \sum_{i=1}^n (c_i/p_i) \times r_j \quad (i=1,2,\dots,n;j=1,2,3,4,5,6) \quad (1)$$

$$ec = \sum_{j=1}^6 (a_j \times r_j \times y_j) \quad (j=1,2,3,\dots,6) \quad (2)$$

式中, c_i 为第 i 种消费品的人均消费量; p_i 为第 i 种消费品的全球平均产量; r_j 为均衡因子; i 为消费品的种类; j 为生物生产面积类型; a_j 为人均实际拥有的生物生产面积; y_j 为产量因子。

本文的均衡因子取值于全球足迹网最新公布的结果^[11],耕地和建筑用地为 2.51,草地为 0.46,林地为 1.26,水域为 0.37;耕地和建筑用地的产量因子依据当地粮食产量与同年全球平均产量相比较得出;其余土地类型的产量因子依据文献^[13-15]取其平均值,草地为 0.34,林地为 0.91,水域为 0.81。

2.1.2 碳足迹

碳足迹是人类活动过程中直接和间接的 GHG 排放量^[7-8]。本文采用《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》和基于 IPCC 的《省级温室气体编制指南》推荐的方法,其计算公式和因子取值见文献^[16-17]。碳足迹以 t CO₂e (CO₂当量)表示。

2.1.3 水足迹

水足迹由直接水足迹(实体水的使用)和间接水足迹(虚拟水的使用)两部分组成,间接水足迹等于某种消费品的消费量与其单位产品的虚拟水含量的乘积^[18-19],即:

$$wf = wu + \sum_{i=1}^n (p_i \times vwf_i) \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (3)$$

式中, wf 为人均水足迹(m³); wu 为人均直接水足迹; p_i 为第 i 种消费品的人均消费量; vwf_i 为该消费品单位产品的虚拟水含量,取值见文献^[20-21]。

2.2 资源环境压力评价体系的构建

基于足迹家族原理,本文提出由生态压力指数(Ecological pressure index,简称为 EPI)、温室气体(GHG)排放指数(GHG emission index,简称为 GEI)、水资源压力指数(Water resource pressure index,简称为 WPI)综合而成的资源环境压力指数(Resource-environmental pressure index,简称为 RPI)。文中各指数皆采用极值法进行标准化; EPI 、 WPI 的最大值分别取 2 和 1。王爱平等对比研究了德尔菲法、层次分析法和熵权法等 6 种指标赋权方法,结果表明熵权法最优^[22],故本文有关权重的确定均采用熵权法^[22-23]。

生态压力指数是指某一区域生物质足迹与生物承载力的比率^[24]。水资源压力指数(WPI)定义为区域水足迹与其可用水资源量的比值^[25]。GHG 排放指数由人均 GHG 排放指数(C_p)、单位面积 GHG 排放指数(C_a)综合而成^[16]。 C_p 定义为区域人均碳足迹与应对全球气候变化目标的人均碳足迹的比值; C_a 定义为单位面积

的碳足迹(碳足迹密度)与应对全球气候变化目标的碳足迹密度的比值(面积换算为生物承载力的生物生产面积)。Stern 将人均 2 t CO₂e 作为各国承担减排义务的目标^[26]。2014 年 WWF^[27] 公布的 2010 年全球生物承载力为 120×10⁸hm²,故应对全球气候变化目标的碳足迹密度为 1.18 t/hm²。在 C_p和 C_a两个概念的基础上,可构建区域 GHG 排放指数(GEI)。计算方法如下:

$$GEI = W_p \times \frac{C_p}{C_{p,max}} + W_a \times \frac{C_a}{C_{a,max}}$$

(4)

式中,C_{p,max}、C_{a,max}分别为全球人均碳足迹、碳足迹密度的最大值,值依次为 15 和 20;W_p、W_a为权重,其值分别为 0.5001 和 0.4999。

为便于判断某一区域资源环境压力总体状况,在上述 EPI、GEI、WPI 等 3 个指数的基础上,构建出资源环境压力指数(RPI)。通过熵权法确定的 3 种指数在资源环境压力评价中的权重依次为 0.3330、0.3339、0.3331,分别以 W_e、W_c、W_w表示,资源环境压力指数计算方法如下:

$$RPI = EPI \times W_e + GEI \times W_c + WPI \times W_w$$

(5)

通过试评价,相应指数的等级划分标准见表 1。

表 1 资源环境压力指数等级划分标准
Table 1 The grade of resource environment pressure index

等级 Grade	I		II		III	
表征状态 Token state	低压力		中等压力		高压压力	
亚级 Sub grade	I _a	I _b	II _a	II _b	III _a	III _b
EPI	<0.20	0.20—0.35	0.36—0.50	0.51—0.65	0.66—0.80	>0.80
表征状态 Token state	很低	较低	中下	中上	较高	很高
GEI	0—0.06	0.07—0.25	0.26—0.40	0.41—0.55	0.56—0.70	>0.70
表征状态 Token state	很低	较低	中下	中上	较高	很高
WPI	<0.20	0.20—0.35	0.36—0.50	0.51—0.65	0.66—0.80	>0.80
表征状态 Token state	很低	较低	中下	中上	较高	很高
RPI	<0.20	0.20—0.35	0.36—0.50	0.51—0.65	0.66—0.80	>0.80
表征状态 Token state	很低	较低	中下	中上	较高	很高

注:(1)各国承担减排义务的目标为于人均 2 t CO₂e,表 1 中 GEI=0.06 对应于此值;(2)当 GEI<0 时为碳汇,用 I_s表示。(3)EPI、GEI、WPI 和 RPI 分别表示生态压力指数、GHG 排放指数、水资源压力指数和资源环境压力指数

2.3 数据来源

研究所需要的数据主要来源于中国经济与社会发展统计数据库、中国及云南统计局网站、电子年鉴、中经网产业数据库,以及 1991—2014 年的中国统计年鉴、中国能源统计年鉴、中国奶业统计年鉴、中国农村统计年鉴、中国林业统计年鉴和云南省统计年鉴等,另外也通过云南省及其各市的统计局、农业厅、林业厅等行业主管部门补充和校对数据。

3 结果与分析

3.1 云南省资源环境压力水平的动态变化特征

3.1.1 云南省生态足迹、碳足迹与水足迹的动态分析

云南省人均生态足迹由 1990 年的 1.29 hm²逐年增高至 2013 年的 2.46 hm²,增幅为 90.17% (图 1);人均生物承载力由 0.80 hm²波动增加到 0.96 hm²,增幅为 19.63%,可见生态足迹的增幅远大于生物承载力;同期人均生态赤字则由 0.50 hm²逐年增加到 1.51 hm²,增高了 203.95%。生态赤字的不断增高说明云南的生态需求已超出了生态系统的承载能力,其发展是不可持续的。虽然农业高新技术的推广应用使耕地产量因子自 1990 年以来提高了 37.17%,使单位土地面积的生物承载力提升了 19.63,但由于人口增长和耕地面积减少(同期人口增加了 25.03%,耕地面积减少了 5.44%),抵消了部分人均生物承载力的增幅。今后应坚守宝贵的

耕地资源的生态红线,推广农业高新技术,提高土地生产率,降低生态压力。

1990年至2013年,云南省碳足迹呈明显上升趋势(图2)。全省人均碳足迹由1990年的2.01 t增加到2013年6.86 t, GHG排放量已约超过应对气候变化目标的3.43倍。从各部门GHG的构成比例看,能源部门产生的GHG占总量(不包括林业固碳,下同)的比例为54.65%—74.31%,水泥占1.78%—9.20%,农业占17.81%—40.44%,废弃物处理占1.58%—2.95%;而林业固碳占GHG的比例高达14.67%—29.71%。可见能源消费和农业生产是引起云南省碳足迹增高的主要原因,而林业固碳可中和全省约15%—30%的GHG排放。虽然云南省的碳足迹并不高,但由于该省的能源消费和农业生产等所导致的碳足迹增幅远大于林业碳汇的增速,因此,碳减排和植被保育仍不容忽视。今后,应继续调整能源消费结构,大力发展清洁能源以减少GHG排放,同时应加强森林保育以提高林业碳汇能力。

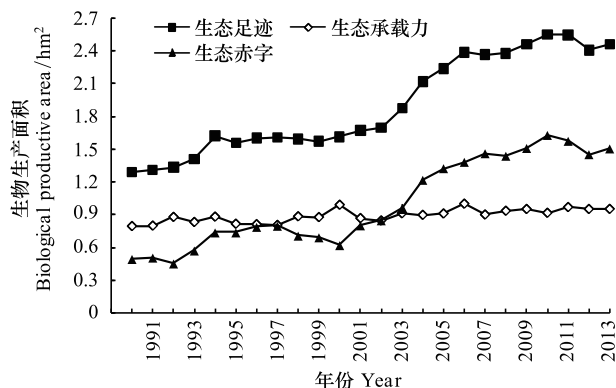


图1 云南省人均生态足迹和生物承载力变化趋势

Fig. 1 Dynamic changes of Ecological Footprint and biocapacity per capita in Yunnan Province

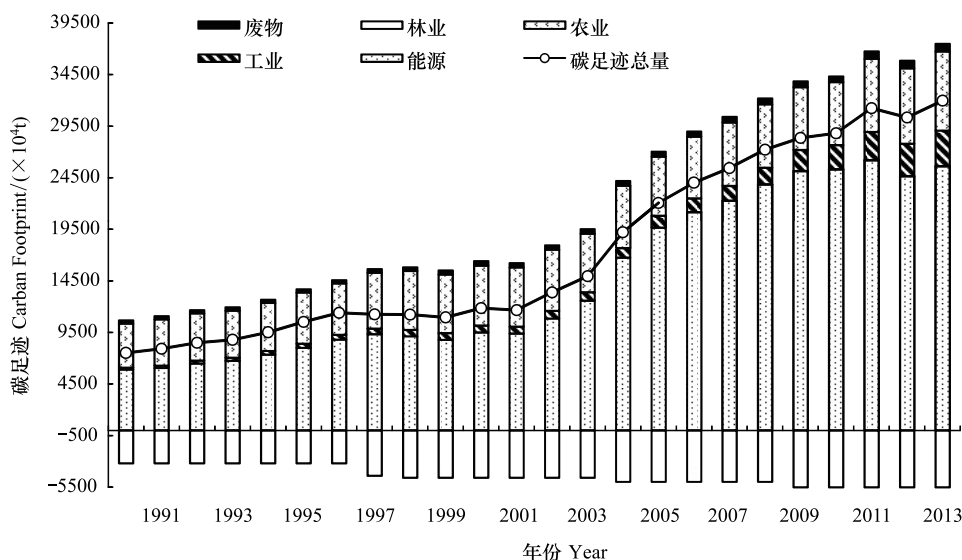


图2 云南省碳足迹构成及动态变化

Fig. 2 The component and dynamic changes of Carbon Footprint in Yunnan Province

人均水足迹由1990年的541.23 m³上升到2013年的566.46 m³,提高了4.66%(图3)。其中人均实体用水量增高了47.84%;人均虚拟水在456.26—542.3 m³之间波动。人均可用水量资源量减少了57.60%,同期人口增加了25.03%。可见,云南省的人均可用水量资源量的减少与人口增加有关外,还与气候干旱等原因导致水资源总量大幅减少有关。总体而言,水资源压力指数从0.06增加到0.16,远小于1,说明云南省的水资源压力不大。但可用水量大幅减少的现象不容忽视。

3.1.2 云南省资源环境压力的动态特征

1990—2013年,云南省生态压力由中上(Ⅱ_b)升至较高等级(Ⅲ_a),其中1990—1993年为中上(Ⅱ_b),1994年以后升为较高(Ⅲ_a)(图4);GHG排放由较低(Ⅰ_b)升至中下(Ⅱ_a),其中,1990—2010年为较低(Ⅰ_b)等级,2011年后升为中下等级(Ⅱ_a);水资源压力指数虽有增高(由0.06增加到0.16),但仍属很低(Ⅰ_a)等级;资源环境压力由较低(Ⅰ_b)升至中下等级(Ⅱ_a),其中1990—2009年为较低(Ⅰ_b),2010年后升至

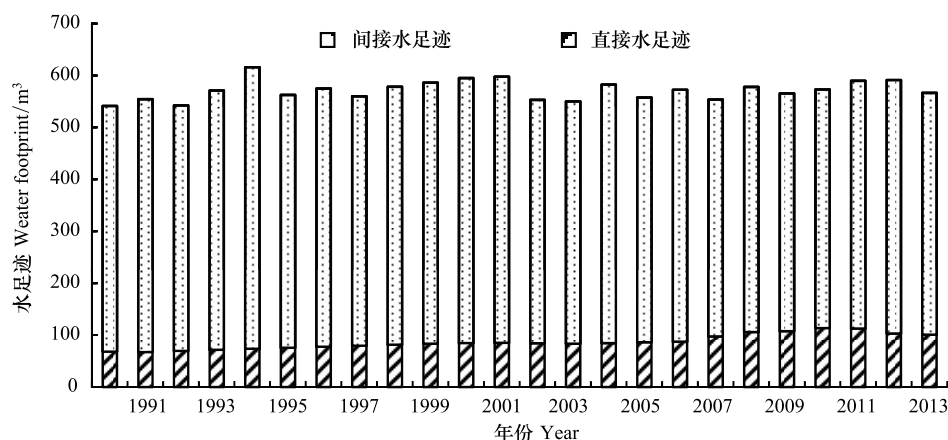


图3 云南省水足迹的动态变化
Fig.3 Dynamic changes of Water Footprint in Yunnan Province

中下等级(Ⅱ_a),23年间升高了一个亚级。

全省的资源环境压力逐渐增大的趋势值得重视。今后,云南应坚持绿色发展,在生态文明建设中处理好三方面的关系:一是人与自然的关系,珍惜良好的自然环境,严格按照自然生态规律办事,让云南永远成为中国的绿色生态屏障;二是发展与保护的关系,“既要金山银山,也要绿水青山。”三是生态文明建设与发展方式的关系,大力推进低碳试点省建设,抓好普洱国家绿色经济试验示范区建设,深入开展国家循环经济试点,充分利用国内外知名的“七彩云南,旅游天堂”的优势,将旅游业作为云南省支柱产业来发展,以云南省提出的“十大工程”为抓手推进云南的生态文明建设更上一层楼。

3.2 云南省资源环境压力的空间差异特征

3.2.1 云南省生态足迹、碳足迹与水足迹的空间差异特征

云南各市(州)2013年人均生态足迹可分为两大类(表2),曲靖、丽江、玉溪、昆明、红河等5市的人均生态足迹较高($>3.00 \text{ hm}^2$),其余9市(州)则较低($<2.00 \text{ hm}^2$);人均生物承载力可分为3大类,较高的是迪庆和怒江州($>2.60 \text{ hm}^2$),普洱、西双版纳、丽江、德宏、临沧、楚雄等市(州)居中($1.08\text{—}1.71 \text{ hm}^2$),其余地区较低($<0.90 \text{ hm}^2$);人均生态赤字也可分为3类,曲靖、昆明、红河、玉溪等4市较高($>2.30 \text{ hm}^2$),丽江、文山、昭通、楚雄、大理、保山、临沧等市(州)的生态赤字较低($<1.50 \text{ hm}^2$),其中丽江市属生态软赤字;其余地区存在生态盈余,怒江和迪庆两州的生态盈余分别高达 1.29 、 4.35 hm^2 。

2013年人均碳足迹较高的有曲靖、玉溪、昆明、红河等4市($>9.30 \text{ t}$);普洱、西双版纳、怒江、迪庆等4市(州)的人均碳足迹为负值,属碳汇;丽江市的人均碳足迹仅 0.18 t ,远低于全球应对气候变化目标的限定值(人均 2 t);全省其余地区的人均碳足迹居中($2.50\text{—}5.00 \text{ t}$)。

2013年人均水足迹可分为两类,昆明、迪庆、保山、西双版纳、玉溪、楚雄、大理、普洱等市(州)的人均水足迹较高($>600 \text{ m}^3$),其余地区的较低($<580 \text{ m}^3$)。其中,昆明、迪庆、玉溪、大理、保山、曲靖和德宏等市(州)的人均实体用水量较高($100\text{—}220 \text{ m}^3$),其余地区较低($<100 \text{ m}^3$);昆明、迪庆、保山、楚雄、西双版纳、文山、临沧、普洱、大理等市(州)的人均虚拟水较高($>500 \text{ m}^3$),其余地区较低($<480 \text{ m}^3$)。人均可用水量资源量可分为

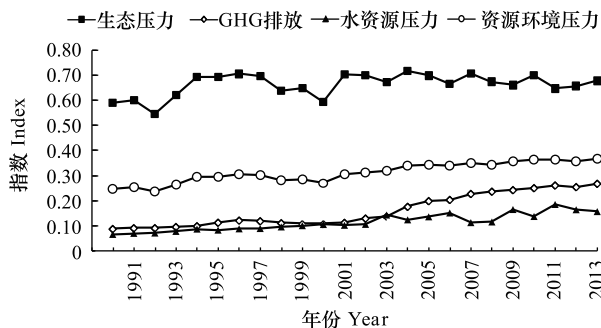


图4 云南省资源环境压力指数的动态变化
Fig.4 Dynamic change of resource environment pressure index in Yunnan Province

4 类,怒江州和迪庆州($>24000\text{ m}^3$) 很高;德宏、普洱、西双版纳和保山($5000\text{—}9700\text{ m}^3$) 较高;临沧、丽江、文山、红河、昭通、大理、曲靖、玉溪和楚雄($1000\text{—}4700\text{ m}^3$) 中等;昆明市的人均可用水资源量较低(581.65 m^3),仅占云南省人均水资源量的 15.97%。

表 2 云南省各市州 2013 年足迹家族测算结果
Table 2 Result of Footprint Family of cities in Yunnan Province, 2013

市(州) Cities	ef	ec	ed	C_p	C_a	wf
昆明	3.08	0.37	2.71	9.80	26.79	838.21
曲靖	4.53	0.45	4.09	14.46	32.32	572.96
玉溪	3.08	0.69	2.39	12.65	18.41	624.54
保山	1.41	0.87	0.54	2.81	3.22	657.09
昭通	1.19	0.39	0.80	2.51	6.44	428.97
丽江	3.09	1.62	1.47	0.18	0.11	549.53
普洱	1.43	1.71	-0.28	-0.02	-0.01	601.85
临沧	1.37	1.12	0.25	4.26	3.80	581.51
楚雄	1.86	1.08	0.78	2.69	2.50	617.56
红河	3.07	0.57	2.50	9.32	16.23	534.11
文山	1.46	0.60	0.87	3.77	6.32	572.70
西双版纳	1.36	1.68	-0.32	-1.81	-1.08	628.74
大理	1.39	0.83	0.56	2.95	3.56	617.56
德宏	1.21	1.28	-0.07	4.89	3.82	580.72
怒江	1.33	2.62	-1.29	-7.28	-2.78	537.03
迪庆	1.39	5.74	-4.35	-13.52	-2.36	709.84

注:表 2 中, ef 、 ec 、 ed 、 C_p 、 C_a 、 wf 分别是人均生态足迹(hm^2)、生物承载力(hm^2)、生态赤字(hm^2)、人均碳足迹($\text{t}/\text{人}$)、碳足迹密度(t/hm^2)、人均水足迹(m^3)

3.2.2 云南省资源环境压力的空间差异特征

2013 年云南省生态压力很高(Ⅲ_b)的地区有昆明、曲靖、昭通、文山、玉溪和红河等 6 市,较高(Ⅲ_a)的为保山市和楚雄州,大理州和临沧市的生态压力为中上等级(Ⅱ_b),丽江、德宏、西双版纳和普洱等市(州)为中下等级(Ⅱ_a),怒江州和迪庆州分别属较低(Ⅰ_b)和很低等级(Ⅰ_a) (图 5)。GHG 排放状况,曲靖和昆明市的 GHG 排放等级很高(Ⅲ_b),玉溪市较高(Ⅲ_a),红河市为中上(Ⅱ_b),西双版纳、怒江和迪庆 3 州属碳汇(Ⅰ_s),丽江和普洱市的 GHG 排放水平低于全球应对气候变化目标的限定值(人均 $2\text{ t CO}_2\text{e}$, 即 $GEI=0.06$),属于很低等级(Ⅰ_a),其余地区较低(Ⅰ_b)。水资源压力方面,昆明市很高(Ⅲ_b),楚雄州为中上等级(Ⅱ_b),玉溪市、大理州和曲靖市为中下等级(Ⅱ_a),其余地区为很低等级(Ⅰ_a)。云南省的资源环境压力可分为 3 大类 6 亚类:昆明市很高(Ⅲ_b),曲靖市和玉溪市较高(Ⅲ_a),红河市为中上等级(Ⅱ_b),昭通、文山、楚雄和大理州等市(州)为中下等级(Ⅱ_a),保山市、临沧市和德宏州压力较低(Ⅰ_b),其余地区很低(Ⅰ_a)。

4 讨论

构建资源节约和环境友好型社会是生态文明建设的基本内涵。生态文明建设中,充分体现生态文明建设基本内涵,科学准确地评估区域资源环境所承受的压力,对于生态文明建设决策具有重要意义。为克服现有的资源环境压力评价方法受人为因素影响较大的不足,以及单一足迹类型在评估资源环境压力的有限性,根据当前国际上足迹研究趋向综合和集成的趋势,本文基于足迹家族法构建了生态文明建设背景下的资源环境压力评价指标体系。该指标体系基于生态压力指数、水资源压力指数和温室气体排放指数构成资源环境压力指标体系,考虑了人类需求与自然供给之间的平衡关系、人类活动对自然环境的影响和自然资源的承载力等问题,体现了资源节约和环境友好等生态文明建设的基本内涵。单一的足迹评价研究中缺少评价指标的细化、整合及等级划分标准。因此,本文对足迹家族中各种指标进行了细化、综合和等级划分,这也是构建资源环境压力评价体系的关键。生态足迹可分为生物质足迹和能源足迹,生物承载力中没有对应能源足迹的承载

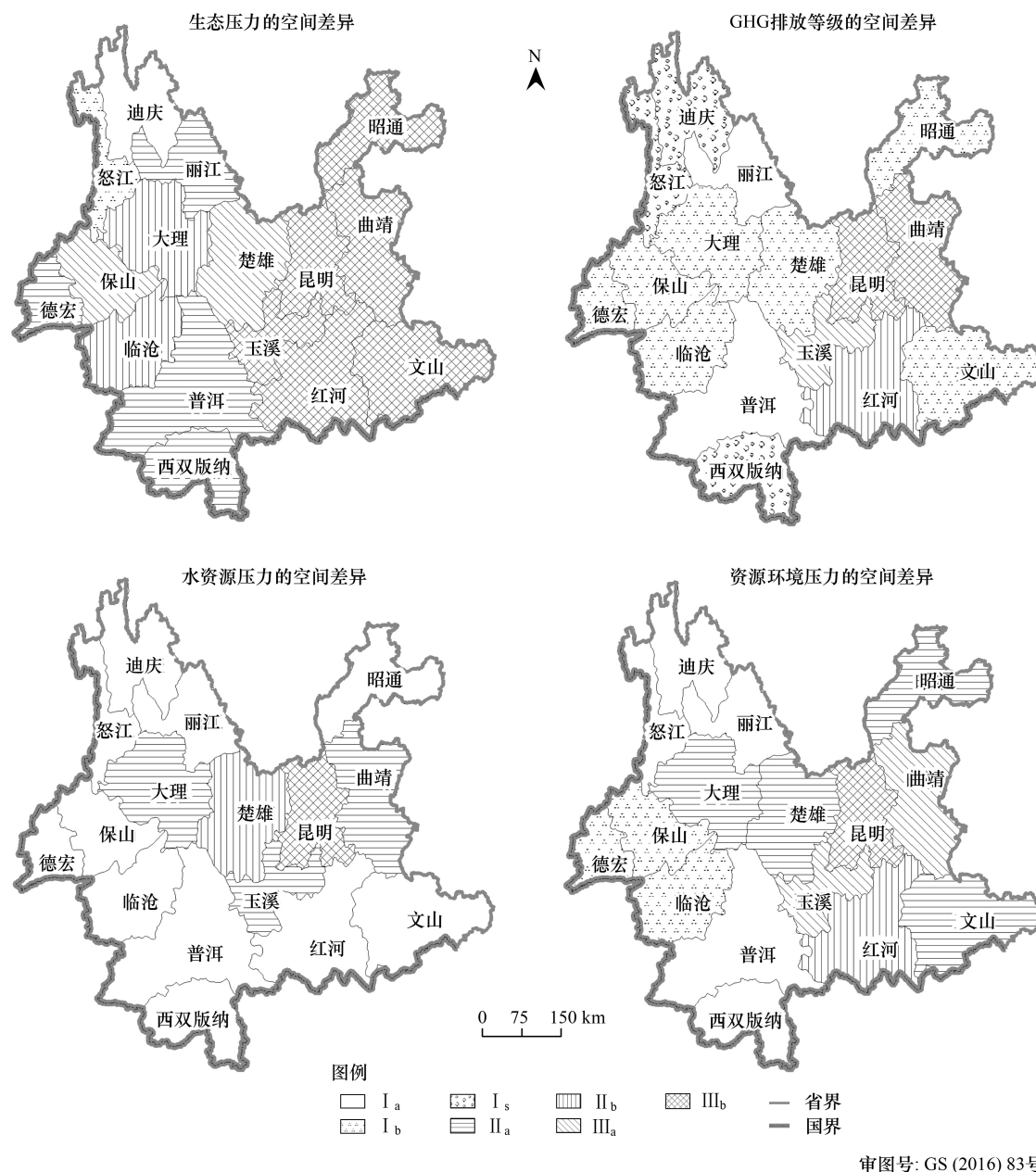


图5 云南省2013年资源环境压力的空间变化

Fig.5 Spatial changes of resource environment pressure in Yunnan Province, 2013

力,所以将生物质足迹与生物承载力之比作为生态压力指数更能反映区域的生态供需平衡。碳足迹缺少类似承载力的概念,本文将应对气候变化目标的人均2 t为基准^[26],并考虑了人口和国土面积因素,构建了GHG排放指数以反映人类活动产生的GHG对大气环境的影响,使得对GHG排放的研究更加科学。水资源压力则通过区域水足迹与可用水资源量的比率来反映,更具有合理性。

5 结论

本文基于足迹家族原理,构建了资源环境压力评价体系,并应用于云南1990—2013年的资源环境压力评估,结论如下:

(1) 1990—2013年,云南省生态压力由中上(II_b)升至较高等级(III_a)。空间上,2013年云南省生态压力很高(III_b)的有昆明、曲靖、昭通、文山、玉溪和红河等6市,较高(III_a)的是保山市和楚雄州,大理州和临沧市

生态压力为中上等级(Ⅱ_b),丽江、德宏、西双版纳、普洱等市(州)为中下等级(Ⅱ_a),怒江州和迪庆州分别属较低(Ⅰ_b)和很低等级(Ⅰ_a)。

(2) 1990 年以来云南省 GHG 排放由较低(Ⅰ_b)上升至中下(Ⅱ_a)等级。空间上,曲靖和昆明市的 GHG 排放达到很高(Ⅲ_b)等级,玉溪市较高(Ⅲ_a),红河市为中上(Ⅱ_b),西双版纳、怒江和迪庆 3 州属碳汇(Ⅰ_s),丽江和普洱市属于很低等级(Ⅰ_a),其余地区较低(Ⅰ_b)。

(3) 云南人均水资源量高,水资源压力虽很低(Ⅰ_a),但人均可用水资源量以年均 3.66% 大幅减少的现象不容忽视。空间上看,昆明市的水资源压力很高(Ⅲ_b),楚雄州为中上等级(Ⅱ_b),玉溪市、大理州和曲靖市为中下等级(Ⅱ_a),其余地区属很低等级(Ⅰ_a)。

(4) 1990 年以来,云南省资源环境压力由较低(Ⅰ_b)上升至中下等级(Ⅱ_a)。空间上看,昆明市很高(Ⅲ_b),曲靖市和玉溪市较高(Ⅲ_a),红河市中上(Ⅱ_b),昭通、文山、楚雄和大理州等市(州)中下(Ⅱ_a),保山市、临沧市和德宏州压力较低(Ⅰ_b),其余地区很低(Ⅰ_a)。

(5) 保护耕地资源,推广农业高新技术,提高土地生产率;调整能源消费结构,大力发展清洁能源,减少 GHG 排放;加强森林保育,继续提高林业碳汇能力;坚持绿色发展,降低资源与环境压力,促进生态文明建设,是今后云南省应优先考虑的方面。

参考文献 (References):

- [1] Collet L, Ruelland D, Estupina V B, Dezetter A, Servat E. Water supply sustainability and adaptation strategies under anthropogenic and climatic changes of a meso-scale Mediterranean catchment. *Science of the Total Environment*, 2015, 536: 589-602.
- [2] 高翔. 西北地区城市化过程中水资源约束时空变化——以西北海兰新经济带甘肃段为例. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2013, 49(3): 299-305.
- [3] 王长建, 汪菲, 张小雷, 杜宏茹. 干旱区经济增长对城镇化和生态环境压力的影响分析. *中国科学院大学学报*, 2014, 31(2): 206-213.
- [4] 金悦, 陆兆华, 檀菲菲, 张萌, 张红玉. 典型资源型城市生态承载力评价——以唐山市为例. *生态学报*, 2015, 35(14): 4852-4859.
- [5] 张惠, 张志强. 民勤县经济发展与生态环境的定量关系研究. *地球科学进展*, 2014, 29(5): 632-639.
- [6] 王永刚, 王旭, 孙长虹, 芦晓燕. IPAT 及其扩展模型的应用研究进展. *应用生态学报*, 2015, 26(3): 949-957.
- [7] 赵卉卉, 王远, 谷学明, 王义琛, 周婧, 孙友胜. 基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建——以安徽省铜陵市为例. *生态学报*, 2012, 32(7): 2025-2032.
- [8] Fang K, Heijungs R, De Snoo G R. Understanding the complementary linkages between environmental footprints and planetary boundaries in a footprint-boundary environmental sustainability assessment framework. *Ecological Indicators*, 2015, 114: 218-226.
- [9] Galli A, Wiedmann T, Ercein E, Knoblauch D, Ewing B, Giljum S. Integrating ecological, carbon and water footprint into a “Footprint Family” of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecological Indicators*, 2012, 16: 100-112.
- [10] Galli A, Weinzettel J, Cranston G, Ercein E. A Footprint Family extended MRIO model to support Europe’s transition to a One Planet Economy. *Science of the Total Environment*, 2013, 461-462: 813-818.
- [11] Borucke M, Moore D, Cranston G, Gracey K, Iha K, Larson J, Lazarus E, Morales J C, Wackernagel M, Galli A. Accounting for demand and supply of the biosphere’s regenerative capacity: The National Footprint Accounts’ underlying methodology and framework. *Ecological Indicators*, 2013, 24: 518-533.
- [12] Jeroen C J M, van den Bergh, Grazi F. Reply to the first systematic response by the Global Footprint Network to criticism: A real debate finally?. *Ecological Indicators*, 2015, 58: 458-463.
- [13] 刘某承, 李文华, 谢高地. 基于净初级生产力的中国生态足迹产量因子测算. *生态学报*, 2010, 29(3): 592-597.
- [14] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁, 郑度. 中国的生态空间占用研究. *资源科学*, 2001, 23(6): 20-23.
- [15] 张桂宾, 王安周. 中国中部六省生态足迹实证分析. *生态环境*, 2007, 16(2): 598-601.
- [16] 赵先贵, 马彩虹, 肖玲, 郝高建, 王晓宇, 蔡文龙. 西安市温室气体排放的动态分析及等级评估. *生态学报*, 2015, 35(6): 1982-1990.
- [17] 赵先贵, 马彩虹, 肖玲, 纪芙蓉. 陕西省碳足迹时空变化研究. *地理科学*, 2013, 33(12): 1537-1542.
- [18] 马晶, 彭建. 水足迹研究进展. *生态学报*, 2013, 33(18): 5458-5466.
- [19] Ercein A E, Hoekstra A Y. Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. *Environment International*, 2014, 64: 71-82.
- [20] 赵达伟, 赵先贵, 张丽慧, 张玲, 杨斐. 襄垣县虚拟水消费的时空变异分析. *华中师范大学学报: 自然科学版*, 2010, 44(2): 315-318, 346-346.
- [21] 孙才志, 张蕾. 中国农产品虚拟水-耕地资源区域时空差异演变. *资源科学*, 2009, 31(1): 84-93.
- [22] 王爱平, 周焱, 李枋燕, 龙剑峰, 陈洋, 张慧. 指标权重方法比较研究——以渭源县基本农田划定为例. *贵州大学学报: 自然科学版*, 2015, 32(2): 135-140.
- [23] 林珍铭, 夏斌. 嫡视角下的广州城市生态系统可持续发展能力分析. *地理学报*, 2013, 68(1): 45-57.
- [24] 赵先贵, 马彩虹, 高利峰, 韦良焕. 基于生态压力指数的不同尺度区域生态安全评价. *中国生态农业学报*, 2007, 15(6): 135-138.
- [25] 代稳, 张美竹, 秦趣, 王金凤. 六盘水市水资源安全的水足迹分析. *水生态学杂志*, 2013, 34(5): 38-42.
- [26] Stern N. *Stern Review: The Economics of Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [27] Galli A. On the rationale and policy usefulness of Ecological Footprint Accounting: The case of Morocco. *Environmental Science & Policy*, 2015, 48: 210-224.