

中国西部地区生态承载力与生态安全空间差异分析

张青¹, 任志远^{1,2}

(1. 陕西师范大学 西北历史环境与经济社会发展研究中心,
陕西 西安 710062; 2. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 根据改进的生态足迹理论对中国西部地区生态安全状态进行了定量分析, 以中国西部各省 2010 年统计年鉴数据为依据, 对中国西部地区 2009 年的生物资源账户和能源账户的生产性生态足迹、生态承载量和生态压力指数进行了计算。结果表明: (1) 2009 年中国西部生物资源账户与能源账户的生态承载量均小于生态足迹, 说明中国西部地区生态系统整体处于不安全状态; (2) 空间上生物资源账户生态足迹整体上东部高于西部地区, 南部高于北部地区, 生态承载量呈现出南部明显高于北部; (3) 人口的分布差异影响着人均生态承载量和承载总量的分布格局差异; (4) 生物资源账户生态不安全地区面积占到中国西部地区总面积的 68.6%; 能源账户的生态足迹和生态压力指数较大的地方均分布在西北地区, 西北地区能源账户生态足迹占到中国西部地区的 75%。并揭示和提出了生产性生态压力指数较大的原因和减小生态赤字的途径。

关键词: 生态安全; 生产性生态足迹; 生态压力指数; 中国西部地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0230-06

中图分类号: P951

Spatial Difference in Ecological Carrying Capacity and Ecological Safety in Western China

ZHANG Qing¹, REN Zhi-yuan^{1,2}

(1. Center for Historical Environment and Socio-economic Development in Northwest China, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China; 2. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: The original ecological footprint theory established based on global ecosystem is often adopted improperly in evaluation of regional ecological carrying capacity and ecological safety. The authors applied the improved ecological footprint model—productive ecological footprint, to calculate and analyze the ecological footprint, ecological carrying capacity and ecological footprint indicator of West China using the data published on 2009 statistical yearbook. The results showed that the ecological footprints of biological resource and energy accounts were greater than ecological carrying capacity in this area in 2009, implying the ecosystem of West China was in a state of insecurity. Ecological footprints of biological resources accounts in eastern and southern parts of the area were greater than western and northern parts, and ecological carrying capacity in the southern was significantly higher than the northern. The distribution of population affected the spatial pattern of ecological footprint per capita and ecological carrying capacity. The area with ecological deficit of biological resource account accounted for 68.6% of the total area of West China. The areas with large ecological footprints and high ecological pressure index of energy accounts were mainly distributed in the Northwestern China; the ecological footprint of energy accounts in northwest region accounted for 75% of total ecological footprint of energy accounts of Western China. In addition, the authors analyzed the causes of larger productive ecological index and discussed the means to reduce the deficits.

Keywords: ecological safety; productive ecological footprint; ecological pressure index; Western China

收稿日期: 2012-05-13

修回日期: 2012-06-08

资助项目: 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“黄土高原南部土地资源演变过程中的人文自然因素研究”(2009JJD770025); 国家自然科学基金项目“西北黄土高原台塬区土地资源开发利用与生态安全动态分析”(41071057)

作者简介: 张青(1985—), 女(汉族), 陕西省榆林市人, 硕士研究生, 主要从事资源环境遥感与 GIS 研究。E-mail: zhangqing1711@126.com。
通信作者: 任志远(1953—), 男(汉族), 陕西省兴平市人, 教授, 主要从事国土资源开发与生态环境评价研究。E-mail: renzhy@snnu.edu.cn。

生态足迹理论是由加拿大生态经济学家 William 及其博士生 Wackernagel 提出的用于度量可持续发展程度的方法^[1],进而评价生态安全状态,其主要方法是将人类消耗的各种资源和能源折算成耕地、林地、草地、水域、建筑用地和化石能源用地生态生产性土地面积,然后将 6 类生态生产性土地面积加和与现有生态承载力进行对比,以评价区域的可持续发展程度^[2]及生态安全状态。目前,国内外许多学者将其应用于不同区域生态承载力以及可持续发展研究,并取得一系列成果^[3-7]。但这些研究中的生态足迹属于消费型生态足迹,其是基于全球生态系统提出的,由于全球生态系统是一个自给自足的系统,人类的生物消费量和生物生产量是相等的,所以这种生态足迹方法适合反映全球可持续发展状况。然而,当研究区为某一区域时,其计算是基于消费量,各计算指标包括当地生产量、出口量、进口量,出口量会导致当地生态压力变大,而进口量会使当地的生态压力得到缓解,但真正对生态系统造成压力的是人们直接从生态系统中取得的生物量,所以消费型生态足迹不能准确真实反映人类对当地生态系统的压力。为了解决这一不足,熊德国^[8]等人提出了生产性生态足迹来衡量一个区域的生态承载力及可持续发展。近年来已有学者将生产性生态足迹方法应用于一些区域的生态承载力的实例分析与研究,并取得一系列的成果^[9-11]。但此类研究多单独应用于大尺度(省)区域内,而在大区域范围内进行中小尺度研究的案例较为少见。鉴于此,本研究采用生产性生态足迹方法对我国西部各地区 2009 年生态承载力和生态安全空间差异进行分析,以期当地社会、经济和生态可持续发展提供参考依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

中国西部地区包括重庆、四川、贵州、云南、广西、陕西、甘肃、青海、宁夏、西藏、新疆、内蒙古 12 个省(区市),总面积约 $6.87 \times 10^6 \text{ km}^2$,占国土面积的 71.5%,目前人口总数约为 3.8 亿人,约占全国总人口的 29%。中国西部地区地质构造复杂多变,地势起伏高差悬殊,区域差异明显,区域内有黄土高原、青藏高原、内蒙古高原、云贵高原、塔里木盆地和四川盆地等不同地理单元,受纬度带谱和垂直带谱影响,该区几乎包含了陆地生态系统中的所有生态系统,构成了类型齐全、复杂多样的生态环境。但西部地区又是中国生态脆弱区,面临一系列生态系统的破坏与退化问题,人口、资源、环境之间的问题严重。因此,研究中

国西部生态承载力及安全状态对未来西部生态环境保护决策的制定和发展地方民族经济是十分必要的。

1.2 生态足迹测评模型

生态足迹理论从需求方面计算生态足迹的大小,从供给方面计算生态承载量的大小,通过对二者的比较来评价研究区域的生态承载能力。生产性生态足迹是指一个区域每年从生态系统中实际取得的生物产量所需要的生态生产性土地面积,与消费型生态足迹的计算方法相比,进而评价区域可持续发展程度,即生产性生态足迹模型将区域人口生态消费量换成区域生产量,计算公式^[8]为:

$$EF = N \times ef \quad (1)$$

$$ef = \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^n (r_j a_i) = \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^n (r_j \times c_i / p_i) \quad (2)$$

($j=1, 2, 3, \dots, 6$)

式中:EF——区域总的生态足迹;N——区域人口数量;ef——区域人均生态足迹; i ——消费资源的类别; a_i ——根据世界第 i 种消费资源平均产量折算的人均占有的生态生产性土地面积; c_i ——第 i 种消费资源人均产量; p_i ——生态生产性土地生产第 i 种消费资源的世界平均产量; r_j ——第 j 种生态生产性土地的均衡因子,共有 6 种生态生产性土地。

1.3 生态承载力测评模型^[8]

生态承载力计算公式为:

$$EC = N \times ec \quad (3)$$

$$ec = \sum_{j=1}^6 (A_j r_j y_j) \quad (4)$$

式中:EC——区域总的实际生态承载量;N——区域人口数量;ec——区域实际人均生态承载量; j ——生态生产性土地的类别; A_j ——第 j 种生态生产性土地的人均面积; r_j ——第 j 种生态生产性土地的均衡因子; y_j ——第 j 种生态生产性土地的产量因子。

在计算生态足迹和生态承载量时使用均衡因子和产量因子是将土地实际生产面积转化为全球平均生产力土地面积,便于不同地区,不同类型土地生态足迹和生态承载量之间的可加和可比性。本研究采用的产量因子和均衡因子统一采用 Wackernagel 等^[5]公布的中国生态足迹的“均衡因子”和“产量因子”。

1.4 生态安全度测评模型^[12]

在生态足迹的理论基础之上,利用生态压力指数测评区域的生态安全状态。

$$T = EF/EC \text{ 或 } t = ef/ec \quad (5)$$

式中: T 或 t ——区域生态足迹压力指数;EF——区域总的生态足迹;EC——区域实际生态承载总量;ef——区域人均生态足迹;ec——区域实际人均生态承载量。

1.5 数据来源

数据来自 2010 年各省(区市)的统计年鉴,2010 年《中国能源统计年鉴》,2010 年《中国农村统计年鉴》。在计算过程中将生态足迹分为生物资源账户与能源账户两部分进行计算,其中生物资源账户细化到中国西部的 132 个市,而能源账户计算到中国西部的 12 个省(区市)。生物资源账户的生态足迹指标主要有耕地、林地、草地、水域的指标,能源账户的指标主要有化石燃料地和建筑用地的指标,各类型生态生产性土地生态足迹指标详见表 1。

表 1 各类型生态生产性土地生态足迹指标

地类	指标
耕地	粮食,棉花,油料,薯类,麻类,烟叶,茶叶,猪肉,禽蛋,蔬菜等
林地	水果,木材,油桐籽,油茶籽等
草地	牛肉,羊肉,羊毛,羊绒,奶类等
水域	水产品产量
化石能源	煤炭,石油,天然气
建筑用地	电力

2 生物资源账户分析

2.1 生态足迹空间分布格局

生物资源账户的生态足迹总量空间分布极不均匀(图 1),整体上东部高于西部地区,南部高于北部地区,但在新疆自治区的喀什地区、中部天山山脉地区和青海省出现高值,而在贵州省的中西部出现明显的低值。各省、自治区内,生态足迹空间分布也不均匀。生物资源账户人均生态足迹空间分布格局(图 2)整体上除内蒙古东部外,该区的人均生态足迹西北部大于东南部,人均生态足迹在内蒙古东部、西藏自治区的东南部和阿里地区、四川省的西北部以及广西西部出现高值。而省会城市的人均生态足迹相对省内的其他地区要低。

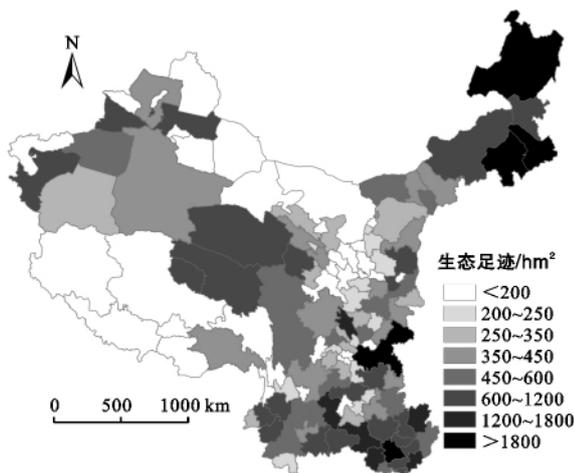


图 1 中国西部各市生物资源账户总生态足迹分布

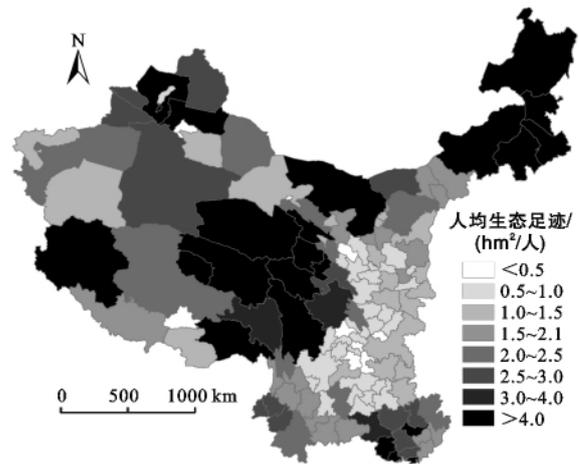


图 2 中国西部各市生物资源账户人均生态足迹

2.2 生态承载量空间分布格局

生物资源账户的生态承载总量呈现出地域性分布和局地性分布相结合分布格局(图 3)。除内蒙古自治区东部外,整体上中国西部地区南部生态承载总量明显高于北部,但在新疆自治区伊犁哈萨克自治州、喀什地区也出现高值。人均生态承载量的空间分布格局整体上除内蒙古自治区东部外,西北部大于东南部,在内蒙古自治区东北部、青海省大部、西藏自治区北部、四川省西北部以及西双版纳出现高值(图 4)。

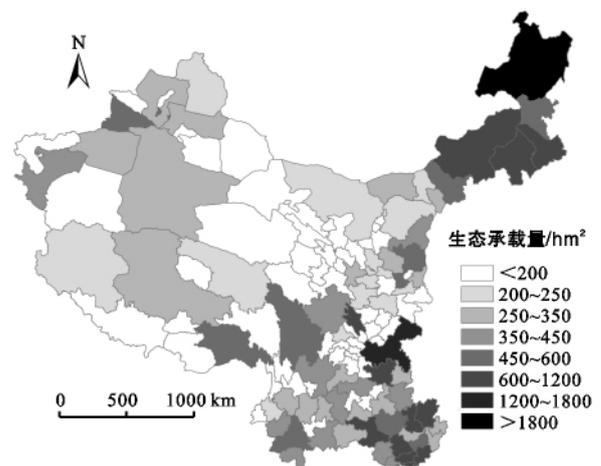


图 3 中国西部各市生物资源账户生态承载总量分布

2.3 生态安全度空间分布

本研究计算了中国西部各市生物资源账户生态足迹压力指数(图 5),根据压力指数将该区的生物资源账户生态安全度划分为 8 个等级。生态压力指数<math>< 0.5</math>的地区处于安全状态,生态压力指数在 0.5~0.7 的地区处于较安全状态,指数在 0.7~0.9 的地区处于欠安全状态,指数在 0.9~1.1 为临界状态,

指数在 1.1~1.5 为不安全状态,指数在 1.5~3.0 为很不安全状态,生态压力指数 >3 的地区处于极不安全状态。由图 5 可以看出,中国西部大部分地区生物资源账户处于生态不安全状态,生态极不安全及很不安全的地区主要分布在内蒙古自治区东部、青海省大部以及陕西省安康市、广西的来宾市、崇左市和云南的保山地区;生态安全的地区主要是西藏自治区大部分地区、甘肃省东南部、内蒙古自治区阿拉善盟和云南省的西双版纳地区;处于生态临界状态的地区主要是四川省西部、陕西省榆林市和云南省普洱地区。

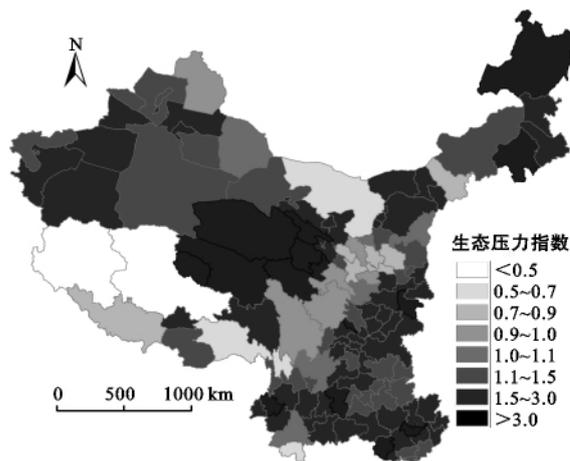


图 5 中国西部地区生物资源账户生态压力指数

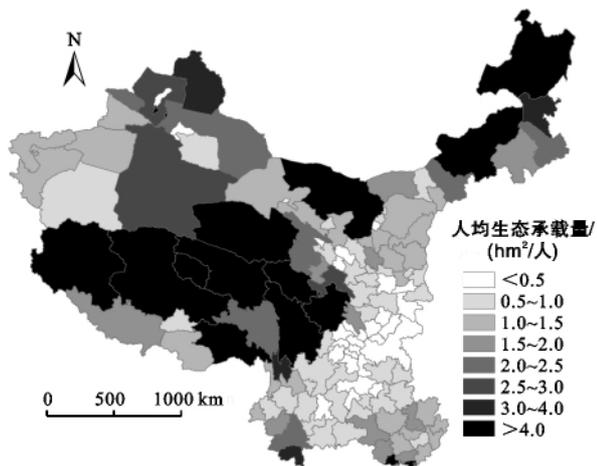


图 4 中国西部各市生物资源账户人均生态承载力

2.4 结果分析

生物资源账户的生态承载总量呈现出地域性分布。南部高于北部的主要原因是我国西部从南向到北依次为湿润,半湿润,半干旱,干旱和极端干旱的气候;相应的植被变化从南到北依次主要表现为湿润森林区,半干旱草原区,干旱荒漠区。地貌特征和自然环境状态是影响当地生态承载总量空间分布的基础因子。该区的人均生态承载量,整体上除内蒙古自治区东部外,西北部大于东南部,恰好与生态承载总量的分布格局相反,说明人口的分布差异影响着人均生态承载量和生态承载总量的空间分布格局(表 2)。

表 2 中国西部生物资源账户生态安全度测评

分区	压力指数	市个数	百分比/%	土地面积/km ²	百分比/%	人口数/万人	百分比/%
生态安全地区(盈余)	<0.5	2	1.52	692 620	10.11	52.00	0.13
	0.5~0.7	4	3.03	397 312	5.80	185.19	0.48
	0.7~0.9	7	5.30	310 488	4.53	1 059.83	2.73
	总数	13	9.85	1 400 420	20.43	1 297.02	3.34
生态临界地区(平衡)	0.9~1	6	4.55	423 707	6.18	844.15	2.18
	1~1.1	6	4.55	327 840	4.78	1 523.62	3.93
	总数	12	9.09	751 547	10.96	2 367.77	6.10
生态不安全地区(赤字)	1.1~1.5	31	23.48	1 537 928	22.44	8 105.79	20.89
	1.5~3	62	46.97	2 009 657	29.32	24 116.95	62.16
	>3	14	10.61	1 154 509	16.84	2 908.68	7.50
	总数	107	81.06	4 702 093	68.60	35 131.42	90.55

2009 年中国西部生物资源账户生态承载总量为 $3.90 \times 10^8 \text{ hm}^2$,生态足迹为 $7.29 \times 10^8 \text{ hm}^2$,生态承载总量小于生态足迹,出现生态赤字,说明生物资源账户生态系统整体处于不安全状态。中国西部生物资源账户处于生态不安全状态的地区总共有 107 个市,面积达 $4.70 \times 10^6 \text{ km}^2$,占到中国西部总面积的 68.6%。其中,内蒙古自治区东部,有广阔的草原和

森林,分布在这里的大兴安岭林海,是我国重要的林业基地之一,其林木产品产量最大,但由于以往多以消耗森林资源为代价发展经济,再加上火灾等一些自然灾害,林地面积和活木储蓄量都在减小,导致该地区生态功能逐渐减弱。青海省是中国重要的畜牧业生产基地,其以牧草和草场为产业发展的基础,但由于社会人口数量的增加,人民生活水平的提高,畜牧

业产品的市场需求日益旺盛,导致牧区目前面临对草地资源进行掠夺式的开发,过度放牧,牲畜存栏数量远远超过草地能合理承载的数额等严重问题。因而,大力控制人口数量、提高人口素质、压缩牧畜头数,推广科学牧畜方法保护生态环境,成为贯彻“可持续发展”的关键环节。陕西省南部、四川省、重庆市的地形以山地为主,耕地面积本来就有限,而粮食产量大,造成耕地生态赤字较大,导致总的生态赤字大。云南和广西壮族自治区大力发展旅游业,随着旅游业的迅猛发展,一些景区的开发建设、保护、管理存在不少问题,使得当地的生态环境的保护不容乐观。新疆地区主要是广大戈壁沙漠地区,未利用土地较多,生态承载力供给量低,相对新疆自治区南部,其北部生态压力指数较小,主要原因是天山以南主要是沙漠和戈壁滩,而天山以北主要是高山和草原。

生态安全地区面积仅占到中国西部总面积的 20.43%,且主要分布在西藏地区。西藏自治区地形复杂,北部是藏北高原,占西藏自治区总面积的 2/3,大部分土地的有机质含量低从而导致土地的生态承载量低;藏南谷地即雅鲁藏布江及其支流流经的地方,主要包括拉萨、山南、日喀则这 3 个地市,该区土地总面积虽然只占自治区总面积的 3.6%,但由于该地区地势平坦,土地肥沃,引水灌溉便利,耕地面积占该区的 45.6%,是西藏自治区最重要的河谷农业区和商品粮基地。但该区居住着占自治区 40%以上的人口,所以拉萨市、山南地区、日喀则地区相对于西藏其他地区的生态压力指数高;而藏东地区是高山峡谷区。另外,甘肃省的东南部紧靠四川省,位于四川盆地附近,气候湿润,该地区自然环境好,污染小,该区

生态压力指数小。云南省的西双版纳地区处于生态安全状态,是与当地政府的《西双版纳州“十一五”生态建设与环境保护发展规划》的实施是分不开的。

3 能源账户结果与分析

2009 年中国西部地区能源账户的生态承载总量为 $1.17 \times 10^8 \text{ hm}^2$,生态足迹为 $7.43 \times 10^8 \text{ hm}^2$,生态承载总量小于生态足迹,能源账户生态赤字,处于不安全状态。比较中国西部各省(区市)状况,能源账户生态承载力压力指数排序为:陕西>内蒙古>新疆>宁夏>重庆>甘肃>贵州>云南>青海>广西>四川>西藏。煤炭人均生态足迹最大的是内蒙古地区,其次是陕西、宁夏、新疆和贵州地区;石油人均生态足迹最大的是新疆和陕西地区,其次是甘肃、宁夏、青海和内蒙古地区;天然气人均生态足迹较大的地方是新疆,陕西和青海地区;电力人均生态足迹较大的是内蒙古,宁夏,青海和贵州地区。研究结果表明,各类能源人均生态足迹较大的地方主要分布在西北地区(包括内蒙古自治区),而且能源账户生态压力指数较大的也分布在西北地区。西北地区能源账户生态足迹占到中国西部能源生态足迹的 75%,而西北地区建筑用地人均生态承载量仅占到中国西部总建筑用地承载量的 28.7%,主要原因是西北地区向外大量输出能源,开采过度以及开采技术的落后造成当地水土流失、土地沙漠化等环境问题,导致当地生态系统受到破坏,严重阻碍了西北地区的可持续发展。因此要放慢开采速度,改进开采能源的技术,提高能源利用率,鼓励开发利用新能源才能实现可持续发展(表 3)。

表 3 中国西部能源账户生态承载力测评

地区	人口/ 万人	人均生态足迹/ hm^2					能源账户	总生态足迹/ (10^4 hm^2)	人均生态承载 量/ $(\text{hm}^2/\text{人})$	生态承载总量/ (10^4 hm^2)	生态压力 指数
		煤炭	石油	天然气	电力	能源账户					
内蒙古	2 422.07	10.81	0.03	0.00	0.31	11.15	27 009.48	0.57	1 369.36	19.72	
广西	5 049.00	0.08	0.01	0.00	0.06	0.16	790.34	0.13	661.46	1.19	
重庆	3 275.61	0.60	0.00	0.00	0.05	0.65	2 123.72	0.07	239.12	8.88	
四川	8 984.70	0.49	0.01	0.09	0.06	0.65	5 871.84	0.59	5 309.46	1.11	
贵州	4 090.78	1.41	0.00	0.00	0.11	1.52	6 226.17	0.31	1 275.08	4.88	
云南	4 570.40	0.69	0.00	0.00	0.08	0.78	3 549.80	0.18	815.74	4.35	
西藏	281.10	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	5.96	0.10	28.11	0.21	
陕西	3 852.82	3.41	0.53	0.21	0.08	4.23	16 289.87	0.15	561.27	29.02	
甘肃	2 635.46	0.67	0.20	0.00	0.09	0.96	2 533.01	0.16	409.81	6.18	
青海	1 086.03	0.57	0.11	0.17	0.12	0.97	1 048.88	0.23	254.75	4.12	
宁夏	625.20	2.94	0.13	0.00	0.25	3.32	2 077.55	0.29	183.89	11.30	
新疆	2 565.42	1.45	0.72	0.40	0.07	2.64	6 764.69	0.22	576.26	11.74	

4 对策建议

为了缓解中国西部人、地、环境之间的矛盾,降低人类的生态足迹是各地方政府研究的重点内容,为此提出4点建议。

(1) 尽量避免生物生产力土地面积减少。如四川、重庆地区山地较多,耕地较少,但都是农业集中发展的区域,所以要控制该地区城市化过程中占用耕地面积行为。土地利用变化要注意生态环境的承载力和地区的可持续发展。

(2) 各地区应在发展优势产业基础上加大产业结构调整。中国西部资源原料型产品和初级产品比重相对较大,所以应根据资源优势、区位特点和市场情况优化产业布局,加快产业结构调整。

(3) 地方政府应采取和激励技术革新举措以保障资源的有效利用和废物的循环利用。

(4) 不可再生资源的开采和冶炼造成的负面影响是毋庸置疑的,制定和实施环境保护法律法规是十分必要的。

5 结论

(1) 2009年中国西部生物资源账户生态承载总量为 $3.90 \times 10^8 \text{ hm}^2$,生态足迹为 $7.29 \times 10^8 \text{ hm}^2$,能源账户的生态承载总量为 $1.17 \times 10^8 \text{ hm}^2$,生态足迹为 $7.43 \times 10^8 \text{ hm}^2$,生物资源账户与能源账户的生态承载总量均小于生态足迹,说明中国西部地区生态系统整体处于不安全状态。

(2) 空间上,生物资源账户生态足迹整体上东部高于西部地区,南部高于北部地区,但在新疆自治区的喀什地区、新疆自治区中部天山山脉地区和青海出现高值,而在贵州的中西部出现明显的低值;生态承载量呈现出地域性分布和局地性分布相结合的分布格局,除内蒙古自治区东部外,中国西部地区南部供给量明显高于北部。

(3) 生物资源账户的人均生态足迹与人均生态承载力的空间分布格局基本上保持一致,整体上除内蒙古自治区东部外,该区的人均生态承载量西北部大于东南部,恰好与生态承载总量的分布格局相反。说明人口分布差异影响着人均生态承载量和总承载量的分布格局。

(4) 中国西部地区生物资源账户中,生态不安全地区面积达 $4.70 \times 10^6 \text{ km}^2$,占中国西部总面积的68.6%,主要分布在在内蒙古自治区东部、青海省大部以及陕西的安康、广西的来宾市、崇左市和云南省的保山地区。能源账户中的需求总量、人均生态足

迹和生态压力指数较大的地方均分布在西北地区(包括内蒙古自治区),西北地区能源账户生态足迹占到中国西部能源生态足迹的75%。

本研究仅对中国西部2009年生态承载力进行分析,计算结果并不能反映未来的发展趋势;由于计算生态承载量过程中未扣除生物多样性保护用地面积,因此,计算出的生态压力指数偏小。在后续的研究中,还需在时间尺度上增长时间序列,以揭示区域生态足迹变化的特征和区域发展趋势。

[参考文献]

- [1] William E R. Revising carrying capacity: Area-based indicators of sustainability[J]. *Population and Environment*, 1996,17(3):195-215.
- [2] 杨开忠,杨咏,陈洁. 生态足迹分析理论与方法[J]. *地球科学进展*, 2000,12(6):31-35.
- [3] Wackernagel M, Rees W E. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [4] Wackernagel M, Onisto L, Bello P. *Ecological Footprints of Nations: How much nature do they use? How much nature do they have?* [C]. Toronto: Commissioned by the Earth Council for the Rio+5 Forum. International Council for Local Environmental Initiatives, 1997.
- [5] Wackernagel M, Onisto L, Bello P. National natural capital accounting with the ecological footprint concept [J]. *Ecological Economics*, 1999,29(3):375-390.
- [6] 张志强,徐中民,程国栋,等. 中国西部12省(区市)的生态足迹[J]. *地理学报*, 2001, 56(5):599-610.
- [7] Liu Dong, Feng Zhiming, Yang Yanzhao. Spatial patterns of ecological carrying capacity supply-demand balance in China at county level[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2011,21(5):833-844.
- [8] 熊德国,鲜学福,姜永东. 生态足迹理论在区域可持续发展评价中的应用及改进[J]. *地理科学进展*, 2003, 22(6):618-626.
- [9] 张可云,傅帅雄,张文彬. 基于改进生态足迹模型的中国31个省级区域生态承载力实证研究[J]. *地理科学*, 2011,31(9):1084-1089.
- [10] 杨海真,李爱梅,叶田. 基于修正的生态足迹区域可持续发展评价[J]. *同济大学学报*, 2010, 38(8): 1187-1193.
- [11] 岳东霞,马金辉,熊有才,等. 中国西北地区基于GIS的生态承载力定量评价与空间格局[J]. *兰州大学学报*, 2009,45(6):68-75.
- [12] 任志远,黄青,李晶. 陕西省生态安全及空间差异定量分析[J]. *地理学报*, 2005,60(4):597-605.