

刘运伟. 基于生态足迹模型的民族地区土地资源生态承载力动态分析——以四川凉山彝族自治州为例[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(7): 341-344.

# 基于生态足迹模型的民族地区土地资源生态承载力动态分析

## ——以四川凉山彝族自治州为例

刘运伟<sup>1,2,3</sup>

(1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川成都 610041; 2. 西昌学院农业科学院, 四川西昌 615013;  
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:**对四川省凉山州 2004—2011 年的生态足迹、生态承载力和生态赤字等进行了研究, 结果表明, 凉山州人均生态足迹呈逐年增长趋势, 年均增长 2.42%; 人均生态承载力呈逐年减少趋势, 年均减少 2.11%; 凉山州处于生态盈余状态, 但盈余逐年减少, 其中, 林地盈余明显, 其次为耕地、化石能源用地和建筑用地, 而草地、水域为赤字状态; 生态压力指数小于 1, 发展总体呈可持续状态; 2009 年, 凉山州与其他地区相比, 尚属可持续发展地区。近年来, 凉山州生态压力指数剧增, 其发展模式是不可持续的, 建议控制人口增量、提高彝区人口素质、提高资源利用率和农业生产率, 优化产业结构, 保护土地资源, 以实现可持续发展。

**关键词:**生态足迹; 生态承载力; 生态赤字; 四川凉山州

**中图分类号:** S181; F301.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)07-0341-04

人类社会的发展是对自然生态系统开发与利用的过程, 存在明显的供需关系, 自然生态系统是供方, 人类社会系统是需方。自 1987 年世界环境发展委员会(WCED)首次提出可持续发展的概念以来, 世界人口、贫困、消费日益增加, 资源、土地、生物多样性锐减, 种种问题表明人类正远离可持续性, 人类生存在更加危险的世界之中<sup>[1]</sup>。生态足迹是衡量资源可持续利用的一种综合核算工具, 是量化区域可持续发展程度的重要方法, 由加拿大经济学家 Rees 于 20 世纪 90 年代初提出<sup>[2]</sup>, Wackernagel 等对其计算原理及方法进行了进一步的发展和完善<sup>[3]</sup>。生态足迹法的计算思路为: 先计算一定区域的人口消费资源及其废物的数量, 根据土地均衡因子转化成相应的生产性土地面积, 即得该区域生态足迹。同时, 计算区域内耕地、林地、草地、水域、化石能源地、建筑用地等 6 种类型土地承载力, 引入产量因子, 将各类土地转换成可比面积, 得到该区域生态承载力, 然后比较生态足迹大于/小于生态承载力, 区域分别表现为“生态赤字/盈余”, 进而对地区可持续状态进行评价。

凉山彝族自治州(简称凉山州)是四川省 3 个民族地区之一, 资源、能源十分丰富, 各方面的经济发展具有巨大的潜力, 后发优势明显, 协调好其经济发展和生态持续间的关系, 减缓经济发展与环境压力之间的矛盾, 具有重大的现实意义。本研究基于生态足迹计算模型, 结合有关资料, 对凉山州 2004—2011 年生态足迹进行测算, 以此来定量表征凉山州近年来的生态承载能力, 分析区域经济发展和生态环境压力之

间矛盾的主要原因, 揭示影响区域可持续发展的重要因子及不同土地利用类型人均生态足迹的变化对凉山州生态环境的影响效应, 并有针对性地提出相关对策建议, 为其区域可持续发展提供有效的参考。

### 1 研究区概况

凉山州位于四川省西南部川滇交界处, 横断山区东北部, 青藏高原东南部, 地理位置为 100°15′~103°53′ E、26°03′~29°27′ N, 是中国西南云、贵、川三省接壤地带“金三角”的腹地区域, 也是国家攀西地区资源综合开发区的重要组成部分。凉山州地处川西南山地中亚热带季风气候区, 具有年温差小, 日温差较大, 四季不分明, 旱、雨季分明和光、热、水资源丰富等特征。特殊的地理环境和气候条件, 使其生物资源种类丰富, 品种繁多, 粮食作物和经济作物产量高、质量优。同时, 又因地处攀西古裂谷成矿带, 矿产资源十分丰富, 现已探明矿种达 82 种, 有表内储量的达 59 种。钒钛磁铁矿储量为 13.73 亿 t; 富铁矿为 4 985.8 万 t, 居全省第一; 稀土矿保有储量为 103 万 t, 居全省第一、全国第二; 铜矿金属储量为 135.17 万 t, 占全省的 69.1%; 铅锌矿金属储量为 346.98 万 t, 居全省第一; 锡矿金属储量 4 万 t, 居全省第一。境内河流纵横, 水力资源丰富, 是名副其实的“水电王国”。境内地貌复杂多样, 高山、深谷、平原、盆地、丘陵相互交错, 生态环境十分脆弱, 自然灾害频发。全州共辖 17 个县(市、区), 面积 60 423 km<sup>2</sup>, 有汉、彝、藏、蒙古、纳西等 14 个世居民族, 是我国最大的彝族聚居区, 也是四川省民族类别和少数民族人口最多的地区。2011 年, 凉山州地区生产总值(GDP)为 1 000.13 亿元, 一、二、三产业结构比例为 19.45:52.35:28.20。凉山州是全国最为贫困、集中连片的少数民族地区之一<sup>[4]</sup>, 存在土地后备资源质量不高、林地水土流失较为严重、耕作方式落后、高潜质土地开发整治利

收稿日期: 2013-10-10

基金项目: 四川省教育厅科研项目(编号: 12ZB127)。

作者简介: 刘运伟(1982—), 男, 江西赣县人, 博士, 讲师, 主要从事山区可持续发展研究。E-mail: yunweiliu@sina.com。

用不够、土地生态保护措施较差等问题,严重影响其区域可持续发展。

2 研究方法

2.1 土地资源承载力

中国科学院自然资源综合考察委员会将土地资源承载力定义为:在未来不同时间尺度上,以可预见的技术、经济和社会发展水平及与此相适应的物质生活水准为依据,一个国家或地区利用其自身的土地资源所能持续稳定供养的人口数量。

2.2 生态足迹法

生态足迹法是一种用来衡量人类对自然资源利用程度及自然界为人类提供生命支持服务功能的方法<sup>[5]</sup>,主要包括 3 个常用的衡量指标<sup>[3,6-7]</sup>:(1)生态足迹(ecological footprint)是指一个人口、一个城市、一个国家或一个地区所消费的所有资源和消纳这些人口所产生废弃物所需要的生物生产土地面积<sup>[2]</sup>,其表征人类生态需求,人类发展的生态负荷值往往与环境破坏度呈正比。(2)生态承载力(ecological capacity)是指某一区域范围内所能提供的生物生产面积<sup>[8-10]</sup>,其表征区域生态系统供给人类自然资源和生态服务的能力。(3)生态赤字或盈余(ecological deficit or reserve,ED/ER)是指生物承载力与生态足迹之差,ED/ER 反映该区域人口对自然资源的利用状况和计算时刻该区域的生态可持续性<sup>[11]</sup>,生态承载力小于生态足迹,就表现为生态赤字,相反则表现为生态盈余。生态赤字越大,区外依赖性越强,这种依赖性在某种程度上反映不同区域对于生态系统的安全状况<sup>[12]</sup>。

生态足迹法计算基于以下事实:人类可确定自身消耗的大多数资源及其所产生的废弃物数量;这些资源和废弃物能转换成相应的生物生产面积;地球表面的生态生产性土地分为六大类:化石能源用地、耕地、草地、林地、建设用地和水域<sup>[2]</sup>;均衡因子和产量因子,二者采用目前的通用值,均衡因子取值:耕地和建筑用地为 2.8、草地为 0.5、水域为 0.2、林地和化石燃料为 1.1,产量因子取值:耕地和建筑用地为 1.66、草地为 0.91、水域为 1.0。

(1)生态足迹计算模型  $E_F = N \cdot e_f = N \cdot r_j \cdot \sum_{i=1}^n a_i = N \cdot r_j \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{p_i}$ ,式中: $E_F$  代表区域生态足迹总供给; $e_f$  代表人均生态足迹; $N$  代表参与消费的人口数量; $i$  代表消费商品类别; $j$  代表土地类型; $a_i$  代表第  $i$  种商品的人均生物生产性土地面积; $r_j$  代表均衡因子; $C_i$  代表第  $i$  种商品人均消费量; $p_i$  代表第  $i$  种商品的全球平均生产力。(2)生态承载力计算模型  $E_c = N \cdot e_c = N \cdot r_j \cdot y_j \cdot \sum_{i=1}^n \cdot \sum_{i=1}^n a_j$ ,式中: $E_c$  代表总的生态承载力; $e_c$  代表人均生态承载力; $N$  代表参与消费的人口数; $a_j$  代表实际人均占有的  $j$  类生物生产性土地面积; $r_j$  代表均衡因子; $y_j$  代表产量因子。据 WCED 要求,应预留出 12% 用于生物多样性保护,扣除后的生态足迹供给才是人类可以利用的。(3)生态赤字(盈余)计算模型  $E_D(E_S) = E_C - E_F$ ,式中: $E_D/E_S$  代表生态赤字/生态盈余; $E_F$ 、 $E_C$  代表研究区总的生态足迹和生态承载力。(4)生态压力指数计算模型  $I_{ET} = \frac{e_f}{c_f}$ ,式

中: $I_{ET}$  代表生态压力指数; $e_f$  代表人均生态足迹; $c_f$  代表人均生态承载力。当区域生态压力指数大于 1,则表明该区经济发展处于不可持续状态;指数等于 1,该区经济发展处于弱可持续状态;指数小于 1,该区经济发展处于可持续状态。

3 结果与分析

凉山州 2004—2011 年生态足迹计算由生物、能源资源消费两部分组成,前者包括农产品、动物产品、水果和木材等,后者包括煤、焦炭、天然气、燃料油、原油、汽油、柴油和电力等,将二者转化为生物生产性土地面积。利用《凉山州土地利用总体规划(2006—2020)》和《凉山州统计年鉴(2005—2012 年)》中相关数据,得到凉山州 2004—2011 年的人均生态足迹、人均生态承载力、生态赤字/盈余数据及其构成要素(表 1 至表 4)。

3.1 人均生态足迹、生态承载力与生态盈余/赤字的动态变化分析

由表 1 可知,凉山州 2004—2011 年的人均生态足迹波动增长,由 2004 年的 0.381 66  $\text{hm}^2$  增至 2011 年的 0.451 26  $\text{hm}^2$ ,总体增长 0.069 60  $\text{hm}^2$ ,年均增长 2.42%,其中,2004—2005 年增长 0.003 90  $\text{hm}^2$ ,增长 1.02%;2005—2006 年减少 0.007 49  $\text{hm}^2$ ,减少 1.94%;2006—2010 年增长 0.097 72  $\text{hm}^2$ ,人均生态足迹突增 25.85%,年均增长 5.92%,这一时期凉山州大力发展经济,人们生活水平和需求提高,消耗量大量增加,经济发展与生态环境压力矛盾加剧;2010—2011 年降低 0.024 53  $\text{hm}^2$ ,减少 5.16%,这说明凉山州在发展的同时认识到了环境问题,并对环境保护采取了有效措施。

凉山州 2004—2011 年人均生态承载力逐年减少,由 2004 年的 1.045 22  $\text{hm}^2$  减至 2011 年的 0.887 28  $\text{hm}^2$ ,减少率为 15.11%,年均减少 2.31%,这反映出凉山州经济发展对环境造成严重影响,土地规模减小、破碎严重,抵御自然气候事件能力差,承载力储蓄功能低下,系统保育力丧失,最终作用于生态承载力而增加生态足迹,呈现正反馈高碳熵增积累状态。

凉山州 2004—2011 年表现为生态盈余,但盈余量逐年剧减,由 2004 年的 0.524 61  $\text{hm}^2$  减至 2011 年的 0.329 55  $\text{hm}^2$ ,减少率为 37.18%,年均减少 6.43%,这是生态足迹剧增、生态承载力剧减的后果,说明凉山州目前发展模式是不可持续的。

表 1 凉山州 2004—2011 年人均生态足迹、人均生态承载力、生态盈余/赤字动态变化

年份	人均生态足迹 ( $\text{hm}^2$ )	人均生态承载力 ( $\text{hm}^2$ )	生态盈余/赤字 ( $\text{hm}^2$ )
2004	0.381 66	1.045 22	0.524 61
2005	0.385 56	1.012 81	0.505 71
2006	0.378 07	1.001 82	0.503 53
2007	0.395 95	0.991 47	0.472 84
2008	0.428 86	0.960 19	0.416 10
2009	0.453 03	0.911 03	0.348 66
2010	0.475 79	0.900 72	0.316 84
2011	0.451 26	0.887 28	0.329 55

3.2 人均生态足迹、生态承载力与生态盈余构成的动态变化分析

由表 2 可知,化石能源用地和耕地占生态足迹比例较大,

二者为主要生产土地类型,这客观反映出凉山州以发展第一产业为主,兼重第二产业;各类土地足迹逐年递增,表明各类资源的开发利用程度逐年增强;化石能源用地足迹增幅最大,2004—2011 年增幅约为 0.037 35 hm<sup>2</sup>,这是凉山州近年凭借矿产资源丰富、大力发展资源开发型工业的结果,其次为耕

地、草地、水域,这主要是由于彝区人们生活水平不断提高,对农产品、牛羊肉、牛奶等畜牧产品的需求不断增加,另外渔业、旅游业的发展使水域足迹增加;建筑用地和林地比例较小,增幅不明显,这说明凉山州林业和城镇化发展缓慢。

表 2 凉山州 2004—2011 年人均生态足迹的构成分析

年份	耕地 (hm <sup>2</sup> )	林地 (hm <sup>2</sup> )	草地 (hm <sup>2</sup> )	水域 (hm <sup>2</sup> )	化石能源用地 (hm <sup>2</sup> )	建筑用地 (hm <sup>2</sup> )	人均生态足迹 (hm <sup>2</sup> )
2004	0.105 48	0.000 88	0.087 22	0.045 78	0.141 68	0.000 62	0.381 66
2005	0.112 19	0.000 81	0.082 21	0.043 26	0.146 46	0.000 63	0.385 56
2006	0.112 83	0.000 95	0.075 82	0.047 57	0.140 15	0.000 75	0.378 07
2007	0.111 96	0.001 04	0.075 32	0.050 01	0.156 76	0.000 86	0.395 95
2008	0.112 54	0.000 96	0.080 73	0.062 42	0.171 12	0.001 09	0.428 86
2009	0.110 80	0.001 03	0.081 17	0.059 76	0.198 80	0.001 47	0.453 03
2010	0.110 11	0.001 34	0.081 62	0.062 54	0.218 61	0.001 57	0.475 79
2011	0.118 96	0.001 35	0.089 28	0.060 80	0.179 03	0.001 84	0.451 26

由表 3 可知,生态承载力大小依次为林地、耕地、草地、建筑用地和水域,其中林地和耕地超过总承载力的 80%;各类土地的承载力均在减少,说明随人口的增长和经济的发展,资

源利用程度加大,生态环境遭到破坏,土地质量低下,生产效率并未提高,可利用土地和生产性土地数量不断减少。

表 3 凉山州 2004—2011 年人均生态承载力的构成分析

年份	耕地 (hm <sup>2</sup> )	林地 (hm <sup>2</sup> )	草地 (hm <sup>2</sup> )	水域 (hm <sup>2</sup> )	建筑用地 (hm <sup>2</sup> )	人均生态承载力 (hm <sup>2</sup> )	可用人均生态承载力 (hm <sup>2</sup> )
2004	0.168 54	0.769 30	0.062 02	0.015 38	0.029 98	1.045 22	0.906 26
2005	0.162 82	0.745 86	0.060 04	0.014 79	0.029 30	1.012 81	0.891 27
2006	0.161 04	0.737 49	0.059 48	0.014 55	0.029 26	1.001 82	0.881 60
2007	0.162 49	0.727 15	0.058 57	0.014 21	0.029 05	0.991 47	0.868 78
2008	0.153 67	0.707 33	0.056 91	0.013 76	0.028 52	0.960 19	0.844 95
2009	0.145 54	0.671 18	0.053 96	0.012 97	0.027 38	0.911 03	0.801 70
2010	0.143 63	0.663 95	0.053 30	0.012 77	0.027 07	0.900 72	0.792 63
2011	0.141 08	0.654 17	0.052 62	0.012 51	0.026 90	0.887 28	0.780 80

由表 4 可知,生态盈余主要优势在于林地盈余,而草地和水域处于赤字状态,说明人们对草地和水域的利用程度已超出承受范围,必须减缓开发速度;林地、耕地、建筑用地虽有盈余,但盈余量逐年减小,耕地和建筑用地盈余极少,若不提高

土地利用,补充新资源,将很快发展成赤字状态;由于凉山州大力发展工业,导致化石能源用地的盈余量剧减。工业发展、城市化加速、生活需求增大等成为凉山州生态盈余量逐年减少的主要原因。

表 4 凉山州 2004—2011 年生态盈余/赤字的构成分析

年份	耕地 (hm <sup>2</sup> )	林地 (hm <sup>2</sup> )	草地 (hm <sup>2</sup> )	水域 (hm <sup>2</sup> )	化石能源用地 (hm <sup>2</sup> )	建筑用地 (hm <sup>2</sup> )	总计 (hm <sup>2</sup> )
2004	0.063 06	0.768 42	-0.025 20	-0.030 40	0.141 68	0.029 36	0.524 61
2005	0.050 63	0.745 05	-0.022 17	-0.028 47	0.146 46	0.028 67	0.505 71
2006	0.048 21	0.736 54	-0.016 34	-0.033 02	0.140 15	0.028 51	0.503 53
2007	0.050 53	0.726 11	-0.016 75	-0.035 80	0.156 76	0.028 19	0.472 84
2008	0.041 13	0.076 37	-0.023 82	-0.048 66	0.171 12	0.027 43	0.416 10
2009	0.034 74	0.670 15	-0.027 21	-0.046 79	0.198 80	0.025 91	0.348 66
2010	0.033 52	0.662 61	-0.028 32	-0.049 77	0.218 61	0.025 50	0.316 84
2011	0.022 12	0.652 82	-0.036 66	-0.048 29	0.179 03	0.025 06	0.329 55

3.3 生态压力指数动态变化分析

由表 5 可知,凉山州 2004—2011 年的生态压力指数均小于 1,说明凉山州经济发展尚处于可持续发展状态;趋势线从 2006 年开始急剧上升,表明凉山州近年发展模式呈不可持续状态,生态盈余量渐减,经济发展的环境压力剧增,不利因素逐渐浮现;2010—2011 年趋势线有所下降,这表明在处理发

展与环境矛盾方面,政府已采取措施,且有所成效。

3.4 凉山州人均生态足迹、人均生态承载力、生态赤字/盈余与其他地区对比分析

以 2009 年的凉山州人均生态足迹、生态承载力、生态盈余/赤字与同时间其他地区进行比较,结果(表 6)表明,凉山州各项指标远低于其他地区,相较之下尚属于可持续发展地

表 5 凉山州 2004—2011 年生态压力指数

年份	生态压力指数	指数与 1 比较
2004	0.421 14	<1
2005	0.432 60	<1
2006	0.428 85	<1
2007	0.455 74	<1
2008	0.507 55	<1
2009	0.565 10	<1
2010	0.600 27	<1
2011	0.577 93	<1

表 6 凉山州人均生态足迹、生态承载力、生态赤字/盈余与其他地区对比

比较对象	人均生态足迹 (hm <sup>2</sup> )	人均生态承载力 (hm <sup>2</sup> )	生态赤字 (hm <sup>2</sup> )
凉山州(2009)	0.453 03	0.9110 3	-0.348 7
福建省(2009)	2.492 5	0.936 3	1.556 2
中国(2009)	2.214 1	0.978 1	1.236 0
世界(2007)	2.697 4	1.783 1	0.914 3
高收入国(2007)	6.091 6	3.059 3	3.0322
中收入国(2007)	1.955 2	1.712 8	0.242 5
低收入国(2007)	1.189 7	1.081 4	0.108 2

注:数据来源于 <http://www.Footprintnetwork.org/images/upload/2010-NFA-data-tables.xls>.

区,但近年发展情况并不利于可持续的维持,主要表现为生态压力逐年加大,生态脆弱性增强,经济发展和生态环境间的矛盾不断突出,照此模式最终会发展为赤字状态。

4 结论与建议

4.1 结论

通过对凉山州 2004—2011 年的人均生态足迹、人均生态承载力、生态盈余/赤字的动态分析以及与其他地区的对比分析,主要有以下结论。

(1) 生态足迹逐年递增,由 0.381 66 hm<sup>2</sup> 增至 0.451 26 hm<sup>2</sup>,年均增长 2.42%;生态承载力逐年递减,由 1.045 22 hm<sup>2</sup> 减至 0.88728 hm<sup>2</sup>,年均减少 2.11%;表现为生态盈余,但盈余逐年递减,由 0.524 61 hm<sup>2</sup> 减少为 0.329 55 hm<sup>2</sup>,年均减少 6.43%。盈余数据反映凉山州呈可持续发展状态,但生态足迹渐增、生态承载力渐减、盈余量锐减,说明发展模式不可持续。

(2) 各类土地的生态足迹逐年递增,化石能源用地为主要足迹使用地,其次为耕地、草地、水域、建筑用地和林地;承载力逐年递减,从大到小依次为林地、耕地、草地、建筑用地和水域,林地和耕地为主要生产性土地。反映城镇化和工业等飞速发展,人们需求结构变化,导致生境破坏,土地数量锐减;林地盈余最多,各类土地盈余量逐年剧减,草地和水域已经赤字,应对二者进行集约利用,提高产出效率。

(3) 生态压力指数小于 1,尚处于可持续发展的状态,趋势线迅速上升,说明凉山州近年注重经济发展,忽略了生境保护致使盈余量锐减、压力增大,同时,各项指标远低于其他地区,仍属土地利用和发展潜力大的可持续发展地区,但发展模式急需改进。

4.2 建议

4.2.1 控制人口增量,提高彝区人口素质 人口数量的控制直接作用于社会需求的总量控制,利于提高家庭消费水平和生活质量,形成利于生态足迹降低与生态保育力提高的发展。提高素质一方面有利于充分利用地区的土地生产力,增强生态承载力,另一方面可以加强生境保护的意识,实现需求绿色化、消费低碳化、出行减量化、废弃物循环化等。

4.2.2 提高化石能源利用效率,大力开发新能源 凉山州应充分利用自身资源及自然地理条件的优势,加大太阳能、风能等清洁能源的开发力度,减小对石化能源的依赖性,促进区域资源的可持续发展。

4.2.3 推广农业科技,提高生产效率 重点发展以安宁河谷、二半山为重点的优质稻、苦荞麦、蔬菜、花卉、石榴、薯蓣、优质野生菌类驯化生产,提高效率,增加产出,增加土地承载力。

4.2.4 切实保护各类土地资源,确保可持续利用 城市化、工业化进程中,尽可能减少对耕地的占用,特别是安宁河谷的优质耕地要加强保护。山区要注意水源涵养,做好防止水土流失的工作。作为“中国水电第一州”,对水域的开发中要特别重视水电开发对生态环境的不利影响。

参考文献:

[1] 徐中民,张志强,程国栋. 可持续发展定量研究的几种新方法评介[J]. 中国人口·资源与环境,2000,10(2):61-65.

[2] Ree W E. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992,4(2):121-130.

[3] Wackernagel M, Rees W E, Testmale P. Our ecological footprint: reducing human impact on the earth [M]. Gabriola Island: New Society Publishers,1996.

[4] 何仁伟,刘邵权,刘运伟. 典型山区居民生活水平评价及空间差异——以四川省凉山州为例[J]. 山地学报,2012,30(3):264-276.

[5] 欧洋铭,白若男,朱国宇. 成都市水资源承载力动态变化及成因研究[J]. 南水北调与水利科技,2012,10(6):24-28.

[6] Rees W E, Wackernagel M. Monetary analysis: turning a blind eye on sustainability[J]. Ecological Economics,1998,29:47-52.

[7] Wackernagel M, Rees W E. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: economics from an ecological footprint perspective[J]. Ecological Economics,1997,20(1):3-24.

[8] Cohen J E, Chen W. How many people can the earth support[J]. Population Research,1998,22(5):69-76.

[9] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept [J]. Ecological Economics,1999,29(3):375-390.

[10] Wackernagel M. Ecological economics forum: Why sustainability analyses must include biophysical assessments [J]. Ecological Economics,1999,29:13-15.

[11] 陈成忠,林振山,贾敦新. 基于生态足迹指数的全球生态可持续性时空分析[J]. 地理与地理信息科学,2007,23(6):68-72.

[12] 方一平,陈国阶. 西昌市生态空间占用及其生态系统安全评估[J]. 长江流域资源与环境,2004,13(3):212-217.