

# 基于生态足迹的土地生态安全评价研究

黄海, 刘长城, 陈春

(重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074)

**摘要:** 土地生态安全是区域生态系统健康与可持续发展的重要内容,但目前缺乏系统、有效的评价方法。采用生态足迹方法探讨了土地生态安全评价问题,提出了土地生态压力指数概念及计算方法,并以重庆市合川区为例,计算了 2006—2010 年这一区域的生态足迹、土地生态承载力、生态赤字与土地生态压力指数。结果表明:(1) 研究区域土地生态承载力呈下降趋势,生态赤字明显,土地生态压力指数呈上升趋势;(2) 5 a 间研究区域土地生态安全等级处于极不安全状态;(3) 土地生态需求与生态供给矛盾日益突出。最后有针对性地提出了加强区域土地生态安全的对策。研究表明,采用生态足迹法进行区域土地生态安全评价是科学、可行的。

**关键词:** 生态足迹; 生态承载力; 土地生态安全; 重庆市合川区

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)01-0193-04

## Appraisal of Land Ecological Security Based on Ecological Footprint

HUANG Hai, LIU Chang-cheng, CHEN Chun

(School of River & Ocean, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** Land ecological security is an important factor for the health of ecological system and sustainable development. However, it is short of systematic and effective appraisal methods. The ecological footprint method was applied to the appraisal of land ecological security based on the concept of land ecological pressure and its calculation method. The Hechuan district of Chongqing city was taken as a case study of its ecological footprint, land ecological carrying force, ecological deficit and land ecological pressure index from the year 2006 to 2010. The results showed; (1) land ecological carrying force was decreasing and land ecological pressure index was increasing with obvious deficit for the research area; (2) the land ecological security was graded as the extremely insecure within the 5 years; (3) the contradiction between land ecological need and supply was increasingly obvious. Finally, countermeasures were given for strengthening the land ecological security of the research area. The ecological footprint method is scientific and feasible in terms of land ecological security appraisal.

**Key words:** ecological footprint; ecological carrying capacity; land ecological security; Hechuan District of Chongqing City

生态安全是 20 世纪末随着生态恶化和环境问题日益严重而提出的一种安全理念,区域生态安全状况一方面受自然因素影响,如全球气候变化、自然灾害等,另一方面受人类活动影响,如城市化、工业化、经济发展与社会转型导致的土地利用变化等,是这两方面因素共同作用的结果。在人类活动导致的生态环境问题中,土地利用变化过程对区域生态安全起着决定性的作用<sup>[1]</sup>,因此,重视区域土地利用变化的生

态环境效应问题,加强土地生态环境系统的评价和安全调控,成为国内外土地利用和生态环境研究领域的一个重要方向。

现有的土地生态安全评价方法主要有 P—S—R (压力—状态—响应)模型、主成分分析方法、物元模型、投影寻踪模型和基于 GIS 技术的评价方法等<sup>[2-9]</sup>,由于土地利用生态系统自身的复杂性以及人类对其影响的不确定性,导致对土地生态安全评价的

研究还处于不断探索阶段,目前还没有形成一套系统且行之有效的评价方法。生态足迹概念自提出以来已广泛应用于全球或区域的生态承载力、可持续发展的研究中,已取得不少成果。本文依据生态足迹原理,采用生态压力指数指标,对重庆市合川区 2006—2010 年的土地生态安全状况进行评价,探讨其变化趋势,基于此,提出改善该区域土地生态条件的具体措施。以期为解决该区域社会经济快速发展和生态环境退化间的矛盾提供科学依据,为西部生态环境管理决策提供借鉴。

## 1 研究区概况

重庆合川区位于重庆主城区北,距重庆 58 km,地理坐标为东经 105. 58' 37"—106. 40' 37"、北纬 29. 51' 02"—30. 22' 24"。全区幅员面积 2 343. 21 km<sup>2</sup>,辖 27 个镇、3 个街道办事处,共 517 个村、54 个居民委员会,全区现有总人口 153. 29 万人,其中主城区人口 35. 8 万人,主城区建成面积 32. 3 km<sup>2</sup>。合川区地处川中丘陵和川东平行岭谷的交接地带,地形以丘陵为主,占全区总面积的 90%。全区地貌特征是东、北、西三面地势较高,南面地势较低。合川属北半球亚热带季风气候区,全年气候温和,四季分明,雨量充沛,湿润多阴,日照尚足,无霜期长。年平均气温 18. 4℃,年日照时数 1 342. 6 h,年降雨量 1 552. 7 mm,平均气压 986. 5 hPa,年相对湿度 84%,平均风速 0. 7 m/s。合川主城区位于嘉陵江、渠江、涪江交汇处,三江横贯全境,99 条河溪绵延不绝,总长 1 990 km,流域面积达 77 km<sup>2</sup>,年过境水流量 730 亿 m<sup>3</sup>,人均拥有水量是全国平均的 19 倍。

## 2 生态足迹及生态安全的计算方法

### 2.1 生态足迹模型及计算方法

生态足迹是指支持一定地区的人口所需的生产性土地和水域的面积,以及吸纳这些人口所产生的废弃物所需要的土地总和。生态足迹模型主要用来计算在一定的人口和经济规模条件下,维持资源消费和废弃物吸收所必需的生物生产面积。通过对一个地区的生态承载力与生态足迹进行比较,可以判断该地区的发展模式是否处于可持续状态<sup>[10-11]</sup>。生态足迹模型的计算分为生态足迹和生态承载力两部分。生态足迹的计算步骤与公式<sup>[10]</sup>为:

(1) 各类型消费项目人均生物生产土地面积。

$$aa_i = c_i / P_i = (Q_i + I_i - E_i) / (P_i \times N) \quad (1)$$

式中:  $aa_i$ ——人均  $i$  种交易商品折算的生物生产面积 (hm<sup>2</sup>);  $c_i$ —— $i$  种商品的人均年消费量 (kg);  $P_i$ —— $i$

种消费商品的年平均生产能力 (kg/hm<sup>2</sup>);  $N$ ——人口数 (人);  $O_i$ ——第  $i$  种消费品的年生产量;  $I_i$ ——第  $i$  种消费项目的年进口量;  $E_i$ —— $i$  种消费项目的出口量;  $i$ ——消费商品和投入的类型。

(2) 人均生态足迹。

$$ef = r_j \times \sum_{i=1}^n aa_i \quad (2)$$

式中:  $r_j$ ——土地均衡因子;  $j$ ——生物生产性土地类型。

人均生态承载力的计算步骤与公式为:

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

式中:  $ec$ ——人均生态承载力 (hm<sup>2</sup>/人);  $r_j$ ——均衡因子;  $y_j$ ——产量因子;  $a_j$ ——人均占有的第  $j$  类生物生产性土地 (耕地、林地、草地、建筑用地、水域和化石能源用地) 面积 (hm<sup>2</sup>/人)。

### 2.2 土地生态安全评价方法

赵先贵等<sup>[12]</sup>在研究区域生态安全评价时提出生态压力指数,认为“生态压力指数为某一国家或地区可更新资源的人均生态足迹与生态承载力的比率”,该指数代表了区域生态环境的承压程度,故土地生态安全评价模型为:

$$ETI = ef / ec \quad (4)$$

式中:  $ETI$ ——研究区域的土地生态压力指数;  $ef$ ——区域土地资源的人均生态足迹;  $ec$ ——区域人均生态承载力。

## 3 重庆市合川区土地生态承载力计算与生态安全评价

根据生态足迹方法基本原理,以 2006—2010 年重庆市合川区生物资源消耗及能源消耗为基础,对重庆市合川区人均生态足迹进行估算。生态足迹计算主要由三部分构成:① 生物资源的消费 (表 1);② 能源的消费 (表 2);③ 贸易调整部分。由于贸易的影响,一个区域的生态足迹可以跨越地区界限,在生物资源和能源的消费中应考虑贸易的调整,以计算净消费额,陈晨和夏显力通过对全球生态足迹模型修正,提出了本地生态足迹计算模型<sup>[13]</sup>,但其调整参数的求取过于复杂,且随意性较大。本文对贸易调整的计算方法采用将生物资源或能源贸易类型与生物生产面积类型配比<sup>[14]</sup>。

### 3.1 生物资源生产性生态足迹

重庆市合川区生物资源生产分为农产品、畜产品、林产品及水产品等几大类,各大类进行了详细分类。在计算中使用 1993 年世界生物生产面积的平均水平作为标准,以使计算结果可以与其他区域进行比

较,具体计算过程中将重庆市合川区 2006—2010 年的平均消费转化为提供这些消费需要的生物生产面积,采用的计算方法如下:

$$EF_i = P_i / Y_{\text{average}} \quad (5)$$

式中:EF<sub>i</sub>——i 种资源的消费足迹;P<sub>i</sub>——i 种资源的总产量;Y<sub>average</sub>——世界上 i 种资源的平均产量。

表 1 重庆市合川区 2006—2010 年平均生态足迹生物资源帐户

项目	全球平均产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	平均生物量/t	平均人均生态足迹 (hm <sup>2</sup> /人)	生产面积类型
粮食	2744	703528	0.170740	耕地
油料	1856	12970	0.005010	耕地
麻类	1500	7.2	0.000003	耕地
糖料	18000	756	0.000021	耕地
烟叶	1548	114	0.000047	耕地
蚕茧	900	2391	0.001732	耕地
蔬菜	18000	681325	0.022581	耕地
茶叶	566	72	0.000078	林地
水果	18000	22873	0.000846	林地
木材(m <sup>3</sup> )	1.99	474342	0.149620	林地
猪肉	74	86736	0.713684	草地
牛肉	33	631	0.011252	草地
羊肉	33	1723	0.029453	草地
奶类	502	1021	0.001478	草地
水产品	29	18953	0.412740	水域

注:平均生物量数据根据 2007—2011 年重庆市合川区统计年鉴计算得到。

### 3.2 能源生产性生态足迹

重庆市合川区能源消费帐户计算要考虑煤炭、油

表 3 重庆市合川区 2006—2010 年平均土地生态足迹与生态承载力计算结果

生物生产面积 类型	人均生态足迹			土地类型	人均生态承载力		
	人均面积 (hm <sup>2</sup> /人)	均衡因子	均衡面积 (hm <sup>2</sup> /人)		人均面积 (hm <sup>2</sup> /人)	产量因子	均衡面积 (hm <sup>2</sup> /人)
耕地	0.2001	2.82	0.56428	耕地	0.0783	1.66	0.3671
草地	0.7559	0.50	0.37795	草地	0.0004	0.19	0.00005
林地	0.1505	1.10	0.16555	林地	0.01867	0.91	0.0184
化石能源用地	0.1715	1.14	0.19551	CO <sub>2</sub> 吸收	0	0.00	0.0000
建筑用地	0.1165	2.82	0.32853	建筑用地	0.0162	1.49	0.0642
水域	0.4127	0.20	0.08254	水域	0.0071	1	0.00410
人均生态足迹			1.7144	人均生态承载力			0.454
				减去生物多样性保护面积(12%)			0.0545
				可利用的人均生态承载力			0.400

### 3.3 土地生态安全动态评价与分析

根据公式(4)结合研究区域人均生态足迹和人均生态承载力指标的计算,得出研究区域 2006—2010 年平均土地生态压力指数为 4.286,土地生态压力指数反映了某区域土地资源的生态足迹需求与生态承载力的比例关系,该指数越大,说明区域的土地生态

品、天然气及电力,具体计算时除将电力消费转换为建筑用地面积外,其他能源消费采用世界上单位化石燃料生产土地面积的平均发热量为标准,将研究区域能源消费所耗热量折算成一定的化石燃料型生产面积<sup>[6]</sup>。

表 2 重庆市合川区 2006—2010 年平均生态足迹能源帐户

项目	全球平均能源足迹/ (GJ · hm <sup>-2</sup> )	折算系数	平均消耗量/t	人均生态足迹 (hm <sup>2</sup> /人)	生产面积类型
油品	93	43.124	44668	0.01309	化石能源用地
煤	55	20.934	494571	0.14132	化石能源用地
天然气	71	50.200	38853	0.017120	化石能源用地
电力	1000	11.800	16167830	0.116479	建筑用地

注:电力单位 kW · h 已经换算为 tons of SCE;数据来源于 2007—2011 年重庆市合川区统计年鉴。

根据《重庆市合川区统计年鉴》和土地利用现状统计资料,采用前述的计算方法,对重庆市合川区 2006—2010 年各种生物资源生产土地面积和能源生产土地面积进行分类汇总,并进行均衡因子的修正,耕地和建筑用地为 2.82,林地为 1.10,化石燃料用地为 1.14,草地 0.5,水域 0.2,得到重庆市合川区 2006—2010 年的人均生态足迹。对人均拥有的各类生物生产性面积乘以均衡因子和产量因子,扣除 12%的生物多样性保护面积后,得到重庆市合川区 2006—2010 年平均人均土地生态承载力。计算中产量因子采用 Wackernagel 等在计算中国生态足迹时的取值,耕地为 1.66、建筑用地为 1.49,草地为 0.19,林地为 0.91,水域为 1<sup>[14-15]</sup>,计算结果见表 3。

压力越大,土地生态系统的安全性越差。借用赵先贵等<sup>[12]</sup>对不同尺度区域生态压力指数等级划分(表 4),可以看出重庆市合川区土地生态安全处于极不安全状态,其发展模式处于不可持续状态。从时间维度考虑,重庆市合川区 2006—2010 年的人均生态足迹、生态承载力及生态压力指数计算计算结果如表 5 所示。

表4 生态压力指数的等级划分标准<sup>[12]</sup>

等级	指数特征	表征状态
1	<0.5	很安全
2	0.51~0.80	较安全
3	0.81~1.00	稍不安全
4	1.01~1.50	较不安全
5	1.51~2.00	很不安全
6	>2.00	极不安全

表5 重庆市合川区2006—2010年人均生态足迹、生态承载力及生态压力指数计算结果

项目	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
人均生态足迹	1.6548	1.6999	1.7132	1.7311	1.7730
人均生态承载力	0.4321	0.4213	0.4088	0.3867	0.3711
生态压力指数	3.830	4.035	4.191	4.477	5.050

表5表明,合川区2006—2010年5a间生态压力指数不断增大,说明该区域生态环境呈不断恶化的趋势,造成这一问题的主要原因有:

(1) 自然地理条件。重庆合川区紧邻三峡库区腹心地带,属于生态环境的敏感区、脆弱区和易污染易破坏区,由于所处的特定地质构造环境,区内滑坡、泥石流、暴雨等自然灾害较为严重,而且辖区为山地丘陵地区,地形地貌较为复杂,在资源开发和基础设施建设方面难度大、成本高,城镇基本上沿区域内“三江”(嘉陵江、涪江、渠江)布局。该区的土地利用以耕地为主,森林覆盖率较低,在外界因素的干扰下,特别是在人为活动干扰下,非常容易退化。

(2) 社会经济背景。① 研究区域人口众多。虽然近几年人口增长率不高,但是合川区人口基数大,导致土地资源的人均占有量低;② 土地利用未能合理规划。土地利用结构和布局不合理,低效和违规利用多,农业用地没有得到有效的保护;③ 能源消耗大。合川区近几年对产业结构进行了大幅度的调整,但是传统产业包括采煤、水泥、矿石开采等行业在合川区工业中仍然占有重要的地位。传统工业产业耗能大,增大了化石能源的消耗,从而增大了生态压力。

## 4 建议与讨论

针对重庆市合川区土地生态安全存在的问题,建议从以下几个方面加强该区域土地生态安全建设,改善和提高土地生态安全水平。

(1) 加快生态工业和生态农业的发展,促进百姓致富。重庆市合川区虽然位于经济发展较好的渝西经济区,但人口众多、经济基础较差,城乡二元结构突出,生态环境承载力严重不足。要改善区域土地生态环境现状,迫切需要促进区域经济结构调整和社会转型,着重解决宏观生态建设与微观农民收益的目标错

位问题,才能从根本上改变对生态环境的破坏。同时,区域扶持产业必须符合区域生态环境保护要求,确保“三江”水资源环境安全。鼓励项目向生态产业园区集中,实现资源充分利用,严格控制污染物排放量。推进农业结构调整和产业化经营,探索多种方式集约利用土地,鼓励农民以出租、互换、转让、股份合作等形式流转承包地,建设生态农业园;推进区域内钓鱼城、涑滩古镇为龙头的旅游业发展,带动第三产业发展<sup>[9,13,15]</sup>。

(2) 加强土地利用规划,实现土地资源优化配置。以往土地利用优化的目标是追求经济效益最大化,多关注土地利用数量结构的生态优化,忽视了土地利用空间格局的优化。如果要实现生态效益的最大化,最佳选择莫过于在调整现有土地利用结构的前提下,通过生态工程和植被的逐渐演替,不断扩大规模,形成良性的生态安全格局。充分发挥土地利用规划对生态的保护作用,推行生态环境友好型土地利用模式。依据合川区沿江地区土地生态现状,划分不同的生态功能区,优先划定禁止建设、限制建设区域,促进研究区生态廊道建设、景观生态格局恢复<sup>[9,17]</sup>。

(3) 加强污染治理力度,推进环境监测体系建设。加强沿江地区综合管理,完善污水和垃圾处理设施的配套建设,持续开展区域内工业污染治理和农业面源污染防治,大力推广实施农村沼气能源。建立区域土地生态系统监测数据库,加强对水土流失、污染指数、地质灾害、水环境、生态与生物多样性、局地气候变化等的监测力度,通过定期监测更新数据信息,掌握其动态变化情况,健全生态环境预警机制。

本文对生态足迹模型在区域土地资源生态压力指数和安全评价中的应用进行了初步探索,虽然该模型已经在生态环境及可持续发展研究中得到了广泛应用,但是该模型中涉及到的均衡因子、产量因子、平均产量等参数在不同尺度(全球尺度、全国尺度和区域尺度)存在差异,对评价结果也会产生很大的影响<sup>[18]</sup>;且土地生态安全只是区域生态环境安全的组成部分,采用该方法得出的评价结论的可靠性也值得进一步推敲。因此,采用生态足迹模型进行土地生态安全评价需要进一步深入研究。

### 参考文献:

- [1] 喻锋,李晓兵,王宏,等. 皇甫川流域土地利用变化与生态安全评价[J]. 地理学报,2006,61(6):645-653.
- [2] 许国平. 中国土地资源安全评价研究进展及展望[J]. 水土保持研究,2012,19(2):276-284.
- [3] 李智国,杨子生. 中国土地生态安全研究进展[J]. 中国安全科学学报,2007,17(12):5-11.

- [2] 谭雪兰,段建南,包春红,等. 基于 GIS 的麻阳县农村居民点空间布局优化研究[J]. 水土保持研究,2010,17(6):177-180.
- [3] 苏高华,陈方正,郑新奇. 基于系统论的农村居民点用地演变驱动机制研究[J]. 水土保持研究,2009,16(4):117-120.
- [4] Marlow V, Kmpa K S. Rural residential land use: tracking its growths[J]. Agricultural Outlook,2002(8):14-17.
- [5] Anna Haines. An innovative tool for managing rural residential development: a look at conservation subdivisions [EB/OL]. [http://courses.washington.edu/esrm200/Haines\\_Land\\_Use\\_Tracker\\_2002.pdf](http://courses.washington.edu/esrm200/Haines_Land_Use_Tracker_2002.pdf).
- [6] Hansen A J, Brown D G. Land-use change in rural America: rates, drivers, and consequences[J]. Ecological Applications,2005,15(6):1849-1850.
- [7] Mirko P, Valentina B. Problems of agriculture in Slovenia with special reference to Cirkovce[J]. GoeJournal, 1999,46(3):257-261.
- [8] Carmen C F, Elena G I. Determinants of residential land use conversion and sprawl at the rural-urban fringe[J]. American Agricultural Economics Association,2004,86(4):889-904.
- [9] 田光进,刘纪远,庄大方. 近 10 年来中国农村居民点用地时空特征[J]. 地理学报,2003,58(5):651-658.
- [10] 李昕,孟庆香,李畅. 农村居民点用地集约利用潜力研究:以河南省长葛市为例[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(5):51-58,64.
- [11] 姜广辉,张凤荣,谭雪晶. 北京市平谷区农村居民点用地空间结构调整[J]. 农业工程学报,2008,24(11):69-75.
- [12] 文枫,鲁春阳,杨庆媛. 重庆市农村居民点用地空间分异研究[J]. 水土保持研究,2010,17(4):222-227.
- [13] 朱小花,周就猫,王荣辉. 江西省农村居民点用地变化及其驱动力分析[J]. 安徽农业科学,2011,39(3):1708-1709,1717.
- [14] 胡贤辉,杨钢桥,张霞. 农村居民点用地数量变化及驱动机制研究[J]. 资源科学,2007,29(3):191-197.
- [15] 朱雪欣,王红梅,袁秀杰. 基于 GIS 的农村居民点区位评价与空间格局优化[J]. 农业工程学报,2010(6):326-333.
- [16] 刘英. 基于 GIS 的农村居民点用地时空特征及其优化布局研究[J]. 国土与自然资源研究,2008,29(4):35-36.
- [17] 陈振杰,李满春,刘永学. 基于 GIS 的桐庐县农村居民点空间格局研究[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(2):180-184.
- [18] 关小克,张凤荣,曲衍波,等. 平谷区农村居民点用地的优化布局研究[DB/OL]. <http://www.lrcr.org.cn/publish/portal0/tab164/info7345.htm>.
- [19] 磐石县志编纂委员会. 磐石县志[M]. 长春:吉林人民出版社,1999.
- [20] 乔蕻强,刘秀华,李让恩. 农村居民点用地整理现实潜力测算及分区:以重庆市丰都县为例[J]. 水土保持研究,2012,19(2):222-225.

(上接第 196 页)

- [4] 杨春红,张正栋,田楠楠,等. 基于 P-S-R 模型的汕头市土地生态安全评价[J]. 水土保持研究,2012,19(3):209-214.
- [5] 孙奇奇,宋戈,齐美玲. 基于主成分分析的哈尔滨市土地生态安全评价[J]. 水土保持研究,2012,19(2):234-238.
- [6] 余敦,陈文波. 鄱阳湖生态经济区土地生态安全研究[J]. 水土保持研究,2011,18(4):107-111.
- [7] 李红霞,李霖,赵忠君. 基于模拟退火算法的投影寻踪模型在土地生态安全评价中的应用研究[J]. 国土与自然资源研究,2011(1):62-64.
- [8] 莫宏伟. 基于 GIS 的关中地区土地利用变化及土地生态安全动态研究[D]. 西安:陕西师范大学,2011.
- [9] 孙芬. 基于 GIS 的三峡库区土地生态安全评价:以丰都县沿江地区为例[D]. 重庆:西南大学,2010.
- [10] 刘宁辉,彭希. 中国历年生态足迹计算与发展可持续性评价[J]. 生态学报,2004,24(2):2258-2259.
- [11] 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,2000,15(6):630-636.
- [12] 赵先贵,马彩虹,高利峰,等. 基于生态压力指数的不同尺度区域生态安全评价[J]. 中国生态农业学报,2007,15(6):135-136.
- [13] 陈晨,夏显力. 基于生态足迹模型的西部资源型城市可持续发展评价[J]. 水土保持研究,2012,19(3):197-201.
- [14] 张军以,苏维词. 三峡库区土地生态安全评价[J]. 广东农业科学,2009(9):211-213.
- [15] 陈颖,石培基,潘竟虎,等. 高原生态城土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究:以甘肃省民乐县为例[J]. 水土保持研究,2012,19(4):154-159.
- [16] 杨庆媛,王兆林,鲁春阳,等. 生态足迹研究方法在土地资源可持续利用评价中应用:以重庆市为例[J]. 西南大学学报:自然科学版,2007,27(8):134-138.
- [17] 徐辉,雷国平,崔登攀,等. 耕地生态安全评价研究:以黑龙江省宁安市为例[J]. 水土保持研究,2011,18(6):180-184.
- [18] 白钰,詹望. 城市尺度生态足迹模型应用中不同参数选择的影响分析[J]. 水土保持研究,2011,18(6):151-156.