

区域生态安全空间格局评价模型的研究

陈 星^{1,2}

(1 中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室

2 福州大学福建省空间信息工程研究中心)

摘要:生态安全是区域社会经济可持续发展的重要保障, 区域生态安全评价是区域可持续发展的科学基础。通过分析影响区域生态安全的主要因素, 采用少量、有代表性的指标, 建立生态安全空间格局模型; 提出了用区位系数表达自然地域差异在生态环境方面的特征, 为量化表达地理空间生态环境特征和评价区域生态安全支持系统能力提供了新方法; 用 GDP 和人口数量两个指标, 描述区域人类社会系统所产生的生态安全负荷量; 用区域森林分布生物量作为生态安全支持系统的能力指标。以福建省长汀县为例, 对以水土流失为特征的长汀县生态安全问题进行了定量评价, 结果为生态安全和比较安全的区域占全县面积的 87.75%。文中讨论了区域森林资源、地理特征和人为活动等对区域生态安全的影响, 其中, 人为活动是影响区域生态安全的关键因素。

关键词:生态安全; 空间格局; 评价模型; 福建长汀

中图分类号: X171.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1522(2008)01-0021-08

CHEN Xing^{1,2}. **Spatial pattern modelling of ecological security assessment in a region.** *Journal of Beijing Forestry University* (2008) 30(1) 21-28 [Ch, 18 ref.]

1 State Key Laboratory of Resources & Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, P. R. China;

2 Spatial Information Research Center of Fujian Province, Fuzhou University, 350003, P. R. China.

Ecological security is an important environmental indemnification and its assessment is a scientific foundation for the sustainable development of a region. A spatial pattern modelling of a regional ecological security had been developed by a few representative indices after considering the ecological security load and ecological security support system capacity in this paper. The paper proposes location coefficient, which is a new method to measure the regional differentiation in ecological environmental aspect. And GDP and population were used to describe the ecological security load produced by the regional human society system. Biomass of forest distribution, which is a new concept, is taken as the capacity of ecological security support system. Taking Changting County of Fujian Province as the example, the regional ecological security was assessed quantitatively for soil erosion. The results showed that the area of ecological security and comparison security in Changting County occupied 87.75% of the total land area. The impacts of regional ecological security by forest resources, regional differentiation and human activities were discussed in this paper, and human activities are the key aspects affecting the regional ecological security.

Key words ecological security; spatial pattern; assessing model; Changting County of Fujian Province

目前已经有许多关于生态安全、资源与环境评价模型方面的研究成果^[1-7]。这些评价或模型的共同特点是使用了大量的指标来建立评价体系, 力求对目标进行比较全面的评价。影响区域生态安全的因素多种多样, 不同的评价方法之间所考虑的影响

因素不同。大量指标的使用, 除了增加评价难度和复杂性外, 更重要的是在不同区域的评价结果的比较上, 往往显得比较困难。主要原因是: ①区域分异性使得不同区域所采用的评价指标往往并不完全一致; ②在数据采集上, 不同区域之间, 指标的可获取

收稿日期: 2006-11-13

http://www.bjfujournal.cn, http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(D0410013)。

作者简介: 陈星, 博士生, 工程师。主要研究方向: 生态环境信息系统。电话: 0591-87838802 Email: chxok@reis.ac.cn 地址: 350003 福州

大学福建省空间信息工程研究中心

性也是不一致的。鉴于生态安全的影响因素太多,在研究中抓住主要矛盾,突出主导因素。为了便于研究结果的应用,评价指标和方法应简便适用。本研究以“简单适用、可对比”为指导思想,试图以尽量少的指标,建立评价模型,使数据的可获取性强、模型通用性好、评价结果可比性强,在实际应用中具有普遍意义。长汀县是福建省水土流失历史最久、面积最大、程度最严重的区域^[9]。水土流失与区域生态安全密切相关,水土流失不仅造成土地资源的破坏、土壤退化、河流淤积,而且导致农业生产环境恶化,严重时造成区域生态平衡失调,直接影响到区域的自然生态与环境的稳定和安全,是我国一种危害严重、分布范围广的生态环境问题^[9],严重威胁着人类的生存与发展。本研究以福建省长汀县水土流失为例,进行生态安全空间格局评价实证研究。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

长汀县地处福建省西部(116°00′45″~116°39′20″E, 25°18′40″~26°02′05″N),属武夷山南段,亚热带季风气候区,全县土地总面积 30.86 万 hm^2 ,森林覆盖率 81%。区域内地势东、西、北三面高,中、南部低,自北向南倾斜。山地切割深度较大,坡度较陡,沟谷纵横,多为 V 型谷。低山、丘陵占全县总面积的 71.11%。汀江横贯盆地的中西部,在水口附近流出盆地^[10]。沉积岩及变质岩约占全县总面积的三分之二。成土母岩主要有砂质岩、泥质岩、酸性岩类等,其风化物发育而成红壤和黄壤。红壤为县内主要土壤资源,分布广、面积大,占土地总面积的 79.81%。这种地貌最显著的特征在于自然坡面在自然力作用下易产生表土流失,坡度越陡,环境就越脆弱,一旦植被破坏,就越易造成水土流失。

1.2 研究方法

人类的生存环境是由多种生态系统构成,如森林生态系统、水体生态系统、湿地生态系统、农田生态系统等。建立森林与区域生态安全评价模型,是基于森林在区域生态安全中所起的作用,主要考虑以下 3 个方面:①生态安全评价的目标期望是用良好的生态环境构建、维护人类和自然界其它生物的生存空间,评价该生存空间的安全状况,以指导人类的行为。②森林是陆地生态系统的主体,森林占全球陆地生态系统服务价值和自然资本价值的 38.2%^[11],因此,以森林作为自然环境支撑人类社会的基本环境条件。③森林生态系统和人类社会系统都是非常复杂的巨系统。对于这类复杂的、目前人类尚未完全认识和理解的巨系统,根据系统论原

理,通过系统的特征描述量可以从另一方面反映出系统的功能和作用,如森林面积、森林生物量、森林覆盖率等指标与森林生态系统密切相关,人口数量、GDP 指标与人类社会系统状态密切相关,以此从整体上予以把握,即其整体可以用一般术语可描述的总体规律予以把握^[12],因此可以用这些指标来表达系统的作用。根据安全负荷原理,提出生态安全评价模型:

$$\text{区域生态安全状态} = \frac{\text{生态安全负荷}}{\text{生态安全支持系统能力}} \times \text{区位系数} \quad (1)$$

1.2.1 生态安全负荷

众所周知,现在全球正在经历一场以变暖为主要特征的变化,这个变化引起了更多方面的反响,特别是在环境方面,比如水资源短缺、生态系统退化、侵蚀、生物多样性减少、大气成分变化等,这些改变相当一部分是负面影响。生态安全负荷也称环境负荷,它的产生和变化可以分为自然因素和人类活动因素两类。对于自然因素来说,一般以气候因素为主,是比较稳定并且有规律的。对于人类活动因素而言,研究表明^[13-14]:①伴随世界工业化的进程,全球气候与环境急剧恶化,气候与环境问题成为危及人类发展的重要问题,人类活动造成的温室效应已经改变了自然规律,成为人类影响气候的一个铁证;②在我国,由于人类不合理的利用,以至于造成如黄河断流,平湖造田——造成全国的湖泊面积大幅度减少,影响了区域环境与生态系统;③《京都议定书》《气候变化框架公约》《蒙特利尔议定书》《湿地保护公约》等国际公约的产生,更表明了人类对环境的负面影响。可见,人类活动因素对环境的影响,已经威胁到人类社会自身的生存与发展。因此,在生态安全负荷方面主要考虑人类活动因素产生的负荷,即

$$\text{区域生态安全负荷} \approx$$

$$\text{区域人类活动因素负荷} \quad (2)$$

式(2)表明了区域生态安全支持系统所承担的生态安全负荷量。人类活动对环境产生的影响可以分为两类:一类是对环境产生积极的影响,如植树造林,这类影响的结果可以由有关森林宏观指标表达;另一类是对环境产生消极的影响,如人口增长、资源消耗和污染增加,以及经济利益驱使所造成的“公共物品的悲剧”,不断危害人类的生存环境和福祉。随着社会的发展,人类面临的环境压力越来越大。显然,地球系统承受的压力,主要取决于地球上的人口数量以及人类期望的生活水平^[15]。人口越多、人类期望的生活水平越高,人类生存的环境压力将越大,在不采取有效的缓解环境压力的措施的情况下,生态安全状况将恶化。国内生产总值(GDP)是国民经

济各行各业在核算期内增加值的总和,是国际上用来衡量所有国家与地区经济表现的通用标准。这里采用 GDP 和人口数量这两个最具有代表性的指标来描述人类社会系统所产生的生态安全负荷量:

$$\begin{aligned} \text{区域人类活动因素负荷} = & \\ & \text{区域 GDP(或工农业总产值)} \times \\ & \text{区域人口数量} \end{aligned} \quad (3)$$

将式(3)代入式(2),得

$$\begin{aligned} \text{区域生态安全负荷} \approx & \\ & \text{区域 GDP(或工农业总产值)} \times \\ & \text{区域人口数量} \end{aligned} \quad (4)$$

1.2.2 生态安全支持系统能力

生态安全支持系统能力与生态系统存量密切相关。一般地,区域生态系统存量越大,认为生态安全支持系统能力越强。区域生态系统存量由区域内各种生态系统构成:生态安全支持系统能力 \propto 生态系统存量。

生态系统存量=森林生态系统存量+水体生态系统存量+农田生态系统存量+草地生态系统存量+……。

森林是陆地生态系统的主体,因此取森林生态系统作为生态安全支持系统。具有一定规模的生态系统才能发挥出生态服务功能。森林的生态服务功能在于森林生态系统的规模效应,故以森林生态系统存量作为生态安全支持系统的能力指标。森林生物量(或蓄积量)和森林覆盖率是两个比较好的区域森林数量和空间分布的宏观指标,因此选用森林生物量(或蓄积量)和森林覆盖率的综合性指标——区域森林分布生物量^[16]来代表模型中的生态安全支持系统能力。

1.2.3 区位系数

地球不同空间内的自然环境存在地域差异,不同的地理环境,如地理位置、地形、地貌、海拔、河流以及植被状况都影响着森林的生长及其产生的生态效应。根据自然地域分异规律和《全国森林资源经营管理分区施策导则》^[17],提出用区位系数表示自然地域差异在生态环境方面的特征^[16]。对区域景观,按照生态重要性进行分类;对区域下垫面因子,按照生态敏感性进行分类。通过区域生态重要性等级与敏感性等级的综合,生成该区域的区位类型和区位系数。区位系数值越高,表示生态保护的的需求越强烈,也就是该区域的生态安全支持系统的冗余度较低;反之亦然。

从加强生态保护和适度服务地方经济出发,将森林资源经营管理类型的分类指标划分为生态重要性和区域生态敏感性两个方面^[17]。生态重要性标

志着某一区域对维持地区生态安全的重要程度及森林在该区域所表现出的生态功能的大小。生态重要性等级分为 4 级:生态重要性高(A 级)、生态重要性较高(B 级)、生态重要性一般(C 级)和生态重要性较低(D 级),分别对应的生态功能的重要程度为生态功能很重要、重要、较重要和一般。生态敏感性是指自然因素决定下的区域生境对自然和人为因素干扰的反应程度。根据区域生态敏感性的自然状况和抗干扰能力,生态敏感性等级分为 4 级:脆弱区(1 级)、亚脆弱区(2 级)、亚稳定区(3 级)和稳定区(4 级)。依据生态重要性等级和生态敏感性等级指标的交叉组合,形成 16 个区位类型(表 1)^[17],以此表示各区位的基础地理条件,并进行赋值量化(图 1)。

表 1 区位类型

TABLE 1 Location types

级别	生态重要性等级			
	A	B	C	D
1	A1	B1	C1	D1
2	A2	B2	C2	D2
3	A3	B3	C3	D3
4	A4	B4	C4	D4

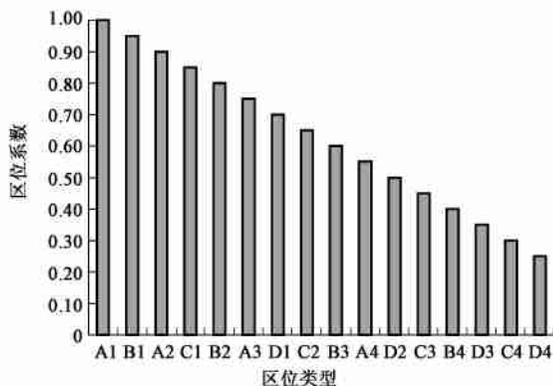


图 1 森林资源经营管理类型保护级别序列

FIGURE 1 Grade list of location coefficient protection in forest resource management

1.2.4 模型的建立

基于上述结果及式(1),有下式:

$$E = \ln \left[\frac{L}{C_e} f \right] \quad (5)$$

式中, E 为区域生态安全指数 (Ecological Security Index), L 为区域单位面积生态安全负荷 (Load of Ecological Security), C_e 为区域单位面积生态安全支持系统能力 (Capability of Ecological Security Supporting System), f 为区位系数。

由式(4),有:

$$L = \frac{GP}{S} \quad (6)$$

式中, G 为区域国内生产总值, P 为区域人口数量,

S 为区域土地总面积。

$$C_e = V_e \quad (7)$$

$$V_e = \frac{V_1 S_f}{S} \quad (8)$$

式中, V_e 为区域森林分布生物量; V_1 为区域森林生物量(或活立木总蓄积量); S_f 为区域森林面积。

设 C 为森林覆盖率, 则

$$C = \frac{S_f}{S} \quad (9)$$

因此

$$V_e = \frac{V_1}{S} C \quad (10)$$

将式(6)、(7)、(10)代入式(5), 有:

$$E = \ln \left[\frac{\frac{GP}{S} f}{\frac{V_1}{S} C} \right] = \ln \left[\frac{GP}{V_1 C} f \right] \quad (11)$$

所以, 区域生态安全空间格局评价模型为:

$$E = \ln \left[\frac{GP}{V_1 C} f \right] \quad (12)$$

式(12)说明了一个单位森林所承担的环境或人类社会发展的压力, 或单位生态安全支持系统所承担的区域生态安全负荷。

关于该模型的普适性问题, 从景观学角度看, 研究区域应包含最小的“自然-生物(如森林生态系统)-人类社会系统”的综合景观。强调的是区域内应包含至少一个森林生态系统, 而非仅仅林木。从景观形态学上看, 研究区域的景观结构应包含自然结构和人为结构。由于区域生态安全问题不是孤立地研究自然生态系统或人类社会系统, 而是研究两者的复合系统, 是人类的生存环境在人类活动作用下的反应, 并对人类社会未来发展的影响。在研究区域的选择上应考虑以下3个方面: ①区域内是否存在森林生态系统及其生态效应的覆盖范围; ②社会经济状态; ③模型运算所需要的数据的可获取性。

关于模型边界和研究区域的划分问题, 影响模型(式(12))的因子不仅仅是自然因子, 还涉及到社会经济因子, 由于我国区域管理模式是以行政县域为单元, 社会经济(统计)数据都以行政管理区域为单位进行统计核算, 目前GDP的最小统计区域是县级; 在森林资源管理上, 我国也是以县为基本管理单位。因此, 一般地从方便数据采集来看, 对于本模型的应用, 最小的研究区域(对象)宜以县为单位。即, 以县级行政区域为本模型应用的最小区域边界。

1.3 数据来源

1.3.1 森林资源调查数据

森林资源调查数据包括: 森林资源数据、基础地

理数据以及其他数据(代码库等)。运算中用森林蓄积量代替森林生物量。

1.3.2 社会经济统计数据

长汀县社会经济数据来源于《长汀县统计年鉴(2000年)》; 以乡镇为单位的GDP(农林牧渔现行价产值)和总人口数量。由于统计规则的变化, 2003年以后没有按乡镇为单位进行GDP(农林牧渔现行价产值)统计, 因此本研究以2000年的统计年鉴数据替代, 并制作成图(图2、3)。

1.3.3 长汀县区位系数

区位系数的确定关系到区域景观(如河流、道路、山体部位等)和下垫面因子(如坡度、土壤水蚀程度、土壤厚度、植被盖度等)^[17]。从基础地理数据和森林资源数据中, 提取上述因子, 制作成图(图4~9)。运用ArcGIS空间分析与图形计算功能: ①将水土流失分布图(数据)代入生态重要性等级、生态敏感性等级中, 计算并制作出长汀县生态重要性等级分布图(图10)、长汀县生态敏感性等级图(图11)。根据区位系数原理, 综合成长汀县生态安全区位系数分布图(图12)。

1.3.4 其他数据

其他数据包括: SPOT5 卫星遥感影像(2003年10月22日)、2003年福建省森林资源二类调查数据(1:10 000)、福建省县级行政界线电子地图(1:10 000)、福建省1:10 000电子地图、福建省1:50 000 DEM数据、2000—2003年月降雨资料、长汀县水土保持事业局径流小区的部分实测数据等。

2 结果与分析

根据式(12), 通过图形计算得出长汀县生态安全空间格局图(图13)。县级区域生态安全评价, 假设县域范围内, 社会经济和自然环境具有相对可比性, 各乡镇由于地理分异特征以及社会经济发展的不平衡, 因此呈现出生态安全的差异性, 为了增强县域内生态安全评价的可比性, 以生态安全指数比较好的区域为生态安全区域, 比较差的区域为不安全区域, 以此建立生态安全等级划分阈值。

长汀县生态安全状况为: 安全和比较安全的区域占全县面积的87.75%; 处于安全临界状况的占11.79%; 就全县而言, 不安全和极不安全的区域非常小。从分布区域来看, 属于生态安全1级的区域主要分布在偏远的乡镇, 如红山乡、羊牯乡、铁长乡, 它们的1级安全区域均在78%以上, 其中红山乡为99.94%, 羊牯乡为98.28%; 属于生态安全2级的区域占全县的绝大部分, 超过全县生态安全2级平均值0.7061的乡镇有10个, 占乡镇总数(18个乡镇)

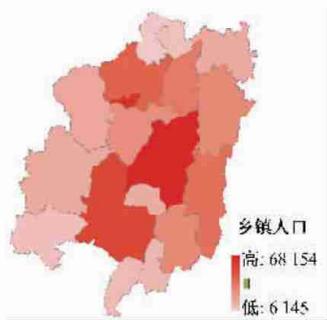


图2 长汀县人口分布图

FIGURE 2 Distribution of population in Changting County

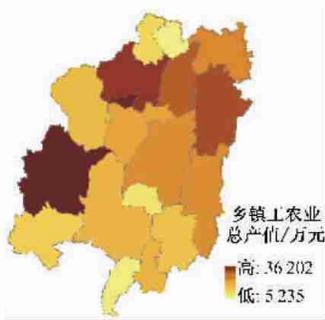


图3 长汀县工农业总产值分布图

FIGURE 3 Distribution of GDP in Changting County

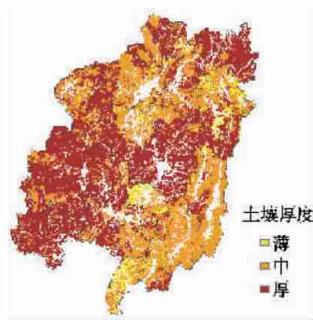


图4 长汀县土壤厚度分布图

FIGURE 4 Distribution of soil thickness in Changting County

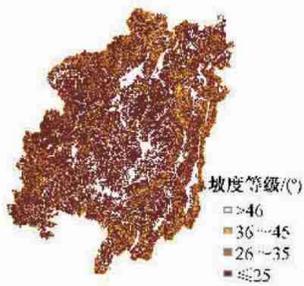


图5 长汀县坡度图

FIGURE 5 Slope map in Changting County



图6 长汀县植被盖度分布图

FIGURE 6 Distribution of vegetation coverage in Changting County



图7 长汀县山体部位图

FIGURE 7 Mountain spot in Changting County



图8 长汀县主干河流图

FIGURE 8 Main rivers in Changting County



图9 长汀县道路分布图

FIGURE 9 Distribution of roads in Changting County



图10 长汀县生态重要性等级分布图

FIGURE 10 Rank distribution of ecological significance in Changting County

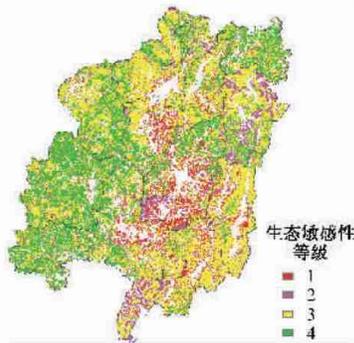


图11 长汀县生态敏感性等级分布图

FIGURE 11 Rank distribution of ecological sensitivity in Changting County

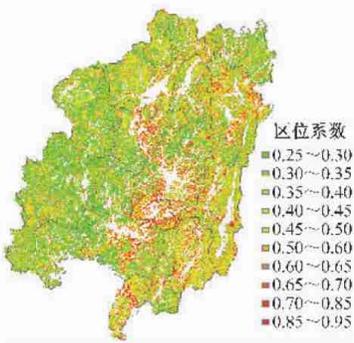


图12 长汀县生态安全区位系数分布图

FIGURE 12 Location coefficient distribution of ecological security in Changting County

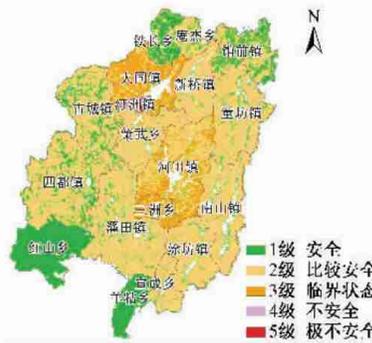


图13 长汀县生态安全空间格局图

FIGURE 13 Spatial patterns of ecological security in Changting County

的 55.6%;不安全和极不安全的区域主要集中在汀洲镇;处于生态临界状态的乡镇为三洲、大同、河田 3 个乡镇(详见表 2)。

表 2 长汀县生态安全等级比例统计表

TABLE 2 Statistics on ecological security rank proportion in Changting County

区域	1~2 级 合计	4~5 级 合计	1 级 (安全)	2 级 (比较安全)	3 级 (临界)	4 级 (不安全)	5 级 (极不安全)
红山乡	1.00		0.999 4	0.000 6			
羊牯乡	1.00		0.982 8	0.017 2			
铁长乡	0.999 4		0.783 7	0.215 7	0.000 6		
馆前镇	0.999 9		0.366 3	0.633 6	0.000 1		
四都镇	1.00		0.243 9	0.756 1	0.000 2		
古城镇	0.999 8		0.190 3	0.809 5	0.000 2		
庵杰乡	0.999 9		0.101 2	0.898 7	0.000 1		
宣成乡	1.00		0.000 7	0.999 3			
童坊镇	0.999 9		0.000 1	0.999 8	0.000 1		
濯田镇	0.999 7		0.000 3	0.999 4	0.000 3		
涂坊镇	0.999 6			0.999 6	0.000 4		
南山镇	0.999 6			0.999 6	0.000 4		
新桥镇	0.955 9		0.000 2	0.955 7	0.044 1		
策武乡	0.941 8	0.000 3	0.000 1	0.941 7	0.057 9	0.000 2	0.000 1
河田镇	0.467 2			0.467 2	0.532 8		
大同镇	0.170 1	0.000 3	0.000 3	0.169 8	0.829 6	0.000 2	0.000 1
三洲乡	0.120 0			0.120 0	0.880 0		
汀洲镇	0.002 4	0.993 6		0.002 4	0.004 0	0.650 4	0.343 2
全县	0.877 5	0.004 6	0.171 4	0.706 1	0.117 9	0.003 0	0.001 6

3 讨 论

从森林对区域生态安全的支持角度来看,影响区域生态安全的主要因子有:区域社会经济发展状况,如人口数量、GDP(或区域工农业总产值);区域森林资源状况和地理特征。在反映区域社会经济发展状况的人口、工农业总产值(GDP)的分布图中,人口最多的区域在长汀县的中部,如河田镇、汀洲镇和濯田镇,人口较少的区域在西北和西南部的乡镇,如红山乡、铁长乡和庵杰乡;工农业总产值较高的地方是西部的四都镇、汀洲镇和大同镇,它们对生态安全都造成一定的压力,如汀洲镇(县城所在地),人口和工农业总产值都比较高,而西北部的铁长乡和庵杰乡工农业总产值都比较低(图 2、3)。森林资源状况方面,森林覆盖率比较高的区域集中在长汀县的东部和西南部的乡镇,西北部比较少(如铁长乡和庵杰乡);从森林蓄积量的分布看,主要集中在西南部的红山乡、四都镇和东北部的童坊镇,森林资源多的地方自然对生态安全的贡献较大。区域地理特征通过生态区位系数反映。在生态敏感性方面,长汀县中部、东南部和东北部比较脆弱;在生态重要性方面,西部、西南部和东北部重要性等级较高;综合生态敏感性和生态重要性,其结果为:长汀县中部、东南部

和东北部的区位系数值较高,这意味着它们对生态安全的影响较大。

综合上述因素的影响,得出的结果是,生态安全比较好的区域在长汀县的西南部和北部的乡镇。例如红山乡,地处长汀县西南边陲,距县城 78 km,全乡土地面积 210.6 km²,全乡辖 11 个行政村,人口 8 545 人^[10]。红山乡是一个 4 县 8 乡的结合部,交通相对不便,至今仍是典型的欠发达边远山区乡镇。此外,羊牯乡、铁长乡和馆前镇,其主要特征是人口少、工农业总产值低、森林资源相对丰富。由于人为活动少,对自然界干扰较小,因此生态安全状况较好。而生态安全状况不好或处于临界状态的地方主要在长汀县的中部和西北部的部分乡镇,比较典型的是汀洲镇(长汀县城),位于汀江上游,面积 10.6 km²,人口 6.26 万,自唐朝以来就是州、君、路、府的所在地,为闽西政治、经济、文化的中心,是客家人祖地,也是历史悠久的著名手工业城市。改革开放以来,工业迅速发展,2000 年全镇有 2 525 个私营企业,完成产值 34 679 万元^[10]。由于历史悠久,人口密度和工农业总产值密度都比较高,尽管在生态重要性和生态敏感性上不突出,但是其森林资源缺乏,森林覆盖率和森林蓄积量都很低,因此呈现出生态安全压力较大。由此可见,作为城镇,其生态系统的

支撑主要靠周边地区。另一个是长汀县水土流失比较严重的河田镇,位于长汀县中部,面积 285.5 km²,现辖 31 个行政村,168 个自然村,人口 6.8 万人。全镇低山高丘环绕四周,中部开阔,呈锅形地貌,是长汀县最大的河谷盆地,海拔 300~500 m。319 国道、赣龙铁路、龙(岩)长(汀)高速公路等均穿境而过。河田镇历史悠久,始建于唐朝开元二十四年(公元 736 年)。当时这里山清水秀,土地肥沃,森林茂密,柳竹成荫,河深水清,舟楫畅行,令人留连,故名留镇、柳村。唐初以来,不少客家先民举家陆续迁徙至河田。历史上因连续发生多次森林大砍伐,丘陵、山地植被遭受严重的毁坏,经常山洪爆发、洪水泛滥,水土流失连年加剧,河与田连成一片,致使“柳村无柳,河比田高”,故把柳村称为河田^[10]。可见,河田镇生态安全状况不好,与其开发早、人口多以及森林破坏等状况密切相关。从河田镇的森林蓄积量、森林覆盖率、人口、工农业总产值、生态敏感性等级和生态重要性等级等因子分布图^[16]上看,尽管森林蓄积量不高,但是森林覆盖率还是比较高的;该区域人口较多,但是工农业总产值不高;从区位生态特征上看,生态敏感性等级较高,而生态重要性等级不高。综合各个影响因子的作用,得出:河田镇 53.28% 的区域处于生态安全的临界状态,46.72% 的区域处于比较安全状态。这与历史上描述的河田镇的生态环境相比较,已经有了很大的改善。这一进步说明了近几十年来长汀县人民致力于水土流失的综合治理的结果。可见,人为因素在生态安全上起着正反两个方面的作用,可以改善生态环境,也可以对生态安全造成威胁。

4 结 论

1) 用对区域社会经济最具有代表性的 GDP 和人口数量这两个指标,来描述区域人类社会系统所产生的生态安全负荷量,用区域森林分布生物量作为生态安全支持系统的能力指标,用区位系数表示区域地理特征,建立了区域生态安全空间格局评价模型。模型的输入参数不多,且易于获取。该模型从宏观上评判区域生态安全的状况,为制定区域社会经济发展规划和布局提供科学依据,同时对区域生态建设具有重要的指导作用。

2) 综合区域景观和下垫面因子,考虑区域生态敏感性和生态重要性,提出了用区位系数表示自然地域差异在生态环境方面的特征,为量化表达地理空间生态环境特征和评价区域生态安全支持系统能力提供了新方法。

3) 生成区域生态安全空间格局图,以图形方式

表达区域生态安全空间格局的状况,改变了过去仅用单一数值的表达方式。这对于全面认识区域生态安全的空间分布格局、指导区域生态建设规划具有指导作用,对于区域可持续发展研究具有重要意义。

4) 长汀县生态安全状况为:安全和比较安全的区域占全县面积的 87.75%;处于安全临界状况的占 11.79%;就全县而言,不安全和极不安全的区域非常小。安全区域主要分布在偏远的北部、南部和西南部,不安全的区域主要集中在县城。处于临界状态的区域位于中部的三洲乡、河田镇和西北部的大同镇。

5) 人为活动是影响区域生态安全的关键因素。人类活动增加以及森林资源破坏导致区域生态安全压力增大。偏远山区,由于人类活动相对较少,对自然界的干扰较小,森林资源相对丰富,生态安全状况较好。人类可以改善当地的生态环境,如河田镇,通过几十年的努力,土壤流失减少,生态环境得到改善;人类也可以对区域生态安全造成威胁,如汀洲镇。这一结论与李宝林等^[21]的研究结果相一致。

致谢 本研究得到福建省自然科学基金资助(编号 D0410013),特此致谢。研究得到了中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室、福建省空间信息工程研究中心提供的软件和有关数据的支持,研究得到了周成虎研究员的精心指导,以及汪小钦博士、江洪硕士、孙为静硕士、肖胜高级工程师、许定成硕士的大力支持和帮助,在此致以衷心的感谢!

参 考 文 献

- [1] FAO. Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development [C]// *Proceedings of the workshop organized by the Land and Water Development Division, FAO Agriculture Department*. Rome:FAO, 1997, 2-5, 106.
- [2] COSTANZA R. Social goals and the valuation of ecosystem services [J]. *Ecosystems*, 2000, 3(1): 4-10.
- [3] 李素美. 生态安全的经济评价方法及总体思路[J]. *山西林业科技*, 2003, 2(2): 26-28.
LI S M. General frame and economic appraise method for ecological security [J]. *Shanxi Forestry Science and Technology*, 2003, 2(2): 26-28.
- [4] 曹伟. 生态足迹分析方法与城市生态安全[J]. *规划师*, 2003, 19(1): 20-24.
CAO W. EFAA (ecological footprint analysis approach) based on city ecological security [J]. *Planners*, 2003, 19(1): 20-24.
- [5] 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.
XIONG D G, XIAN X F, JIANG Y D. Discussion on ecological footprint theory applied to regional sustainable development evaluation [J]. *Progress in Geography*, 2003, 22(6): 618-626.
- [6] 王根绪, 程国栋, 钱鞠. 生态安全评价研究中的若干问题[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(9): 1 551-1 556.
WANG G X, CHENG G D, QIAN J. Several problems in ecological security assessment research [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1 551-1 556.

- [7] 罗贞礼. 土地利用生态安全评价指标的系统聚类分析[J]. 湖南地质, 2002, 21(4): 252-254.
LUO Z L. Systematically analysis on the estimation index of ecological safety in utilizing land[J]. *Hunan Geology*, 2002, 21(4): 252-254.
- [8] 王维明, 陈明华, 林敬兰, 等. 长汀县水土流失动态变化及防治对策研究[J]. 水土保持通报, 2005, 25(4): 73-77.
WANG W M, CHEN M H, LIN J L, et al. Monitoring soil and water loss dynamics and its management measures in Changting County [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2005, 25(4): 73-77.
- [9] 王效科, 欧阳志云, 肖寒, 等. 中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 14-19.
WANG X K, OUYANG Z Y, XIAO H, et al. Distribution and division of sensitivity to water-caused soil loss in China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 14-19.
- [10] 《长汀县志》编纂委员会. 长汀县志[M]. 北京: 生活·读书·新知三联书店出版社, 1993: 285.
Editing Committee of *Changting County annals*. *Changting County annals* [M]. Beijing: Shenghuo-Dushu-Xinzi Joint Publishing Company, 1993: 285.
- [11] COSTANZA R, D'ARCE R R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, 387(15): 253-260.
- [12] 欧阳莹之. 复杂系统理论基础[M]. 田宝国, 周亚, 樊瑛, 译. 上海: 上海科技教育出版社, 2002: 23.
AUYANG S Y. *Foundations of complex-system theories: In economics, evolutionary biology and statistical physics* [M]. TIAN B G, ZHOU Y, FAN Y, tran. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Education Publishing House, 2002: 23.
- [13] 秦大河. 中国气候与环境演变[EB/OL]. (2005-12-06) [2006-06-06]. <http://www.cas.cn/html/Dir/2005/12/06/6416.htm>.
QIN D H. Evolution of climate and environment in China[EB/OL]. (2005-12-06) [2006-06-06]. <http://www.cas.cn/html/Dir/2005/12/06/6416.htm>.
- [14] 刘东生. 人与自然和谐发展——来自环境演化研究的启示[EB/OL]. (2005-12-15) [2006-06-06]. <http://www.cas.ac.cn/html/Dir/2005/12/15/6692.htm>.
LIU D S. Nature developing with human harmoniously: From the apocalypse of environment evolution study[EB/OL]. (2005-12-15) [2006-06-06]. <http://www.cas.ac.cn/html/Dir/2005/12/15/6692.htm>.
- [15] GRAEDEL T E, ALLENBY B R. 产业生态学[M]. 第2版. 施函, 译. 北京: 清华大学出版社, 2004: 6.
GRAEDEL T E, ALLENBY B R. *Industrial ecology* [M]. 2nd ed. SHI H, tran. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 6.
- [16] 陈星. 区域森林生态安全空间格局评价研究——以福建省为例[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2006.
CHEN X. *The role of forests in maintaining ecological security: A spatial pattern analysis for Fujian Province, China* [D]. Beijing: Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research of CAS, 2006.
- [17] 国家林业局. 全国森林资源经营管理分区施策导则[M]//《森林资源动态监测与林业调查实用技术手册》编委会. 森林资源动态监测与林业调查实用技术手册, 银川: 宁夏大地音像出版社, 2005.
State Forest Administration. Forest resources management rules with zonal measure in countrywide [M]// Committee of *Handbook of Dynamic Measure of Forest Resource and Forest Survey*. *Handbook of dynamic measure of forest resource and forest survey*. Yinchuan: Ningxia Earth Sound & Image Press, 2005.
- [18] 李宝林, 周成虎. 东北平原西部沙地沙质荒漠化的遥感监测研究[J]. 遥感学报, 2002, 6(2): 117-122.
LI B L, ZHOU C H. A study on monitoring sandy desertification in sandy land of west northeast China plain [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2002, 6(2): 117-122.

(责任编辑 冯秀兰)