

基于 P-S-R 模型的湘南红壤丘陵区土地生态安全研究

——以衡阳市为例

王鹏^①, 况福民^①, 邓育武^②, 田亚平^③, 符跃鑫^④
(衡阳师范学院 资源环境与旅游管理系, 湖南 衡阳 421002)

[摘要] 针对衡阳市土地资源的特点以及问题,在国内关于区域生态安全研究成果的基础上,基于“压力-状态-响应”框架模型,构建了一套土地资源生态安全评价指标体系,采用熵权赋权法确定指标权重,运用土地资源生态安全综合模型对该区域2001—2010年的土地生态安全综合指数进行了计算。结果表明,衡阳市10年中土地资源生态安全一直处于临界安全与较不安全水平,其中2002年和2003年处于较不安全状态,其余年份均为临界安全状态。整体上来说,衡阳市近10年来土地资源生态安全状态不容乐观。土地生态安全状况的改善主要依赖于对土地生态环境的治理,现阶段土地的生态压力依然严峻。

[关键词] 土地生态安全; 湘南红壤丘陵区; 指标体系; P-S-R模型; 衡阳市

[中图分类号] X826 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2013)03-0005-06

目前全球范围内自然灾害频繁发生,自然资源匮乏也日益加剧,人们对生态环境保护的意识也日益增强,对生态安全的关注程度倍增,生态安全研究已成为多门学科的研究热点^[1]。土地生态安全研究是生态安全研究的基础与核心内容,因此,关注对土地生态安全问题的研究并从中探寻土地可持续利用和长远发展是必不可少的。土地生态安全研究尚处于探索研究阶段^[2],目前,学术界对土地生态安全的研究主要表现为:研究方法上,主要集中于从自然因素、经济因素和社会因素出发,在P-S-R模型框架下,应用景观生态、生态足迹、GIS、物元分析模型和支持向量机等多种手段,建构区域土地生态安全评价指标体系对该区域土地生态安全进行评价^[3];研究内容多集中在水土流失、土地荒漠化、土地整理和草地退化等方面;研究区域上,我国北方地形区或生态脆弱区研究较多,而南方脆弱生态系统——湘南红壤丘陵区土地生态安全研究较少;研究期限上,多为短期研究,较少有长时间的动态评价研究。本文以衡阳市为例,在P-S-R模型的框架内,建立层次指标体系,运用熵权法确定指标权重,对湘南红壤丘陵区土地生态安全状况进行较长时间且连续

(2001—2010年)的动态评价研究,旨在为当地政府科学、合理的利用土地提供决策参考或政策性建议。

一 研究区域概况

本研究以位于湖南省南部红壤丘陵区的衡阳市作为研究区域(E110°32'16"~113°16'32",N26°07'05"~27°28'02"),来研究其土地生态安全问题。该区域处于湖南省凹型面的轴带部分,四周山丘环绕,中部平岗丘交错,地形崎岖不平;境内气候为中亚热带季风气候,年均温度17-18℃,积温在5300℃以上,无霜期295天,年均降水量1300mm左右,雨、热基本同季,气温及降水年内及年际变化大,旱涝灾害严重;土壤多为弱酸性地带性红壤,覆盖全市土地总面积的60%左右^[4]。地貌类型和其他自然特征分析表明,衡阳市属于典型的红壤丘陵区,生态脆弱。因此,以衡阳市作为湘南红壤丘陵区的典型区域具有一定的代表性。

二 研究方法与数据来源

土地资源生态安全评价的方法主要有主成分投影法、生态足迹法、模糊综合法、层次分析法、灰色关联度法等^[5]。本文是在P-S-R模型的框架中对土地

[收稿日期] 2012-03-12

[基金项目] 国家自然科学基金项目“南方红壤丘陵区土地生态安全研究——以湘南红壤丘陵区为例”资助(编号:41171076);湖南省普通高校“十二五”地理专业综合改革试点项目(湘教通[2012]266号)和湖南省“十二五”人文地理学重点建设学科项目资助(编号:湘教通[2011]76号)

[作者简介] 王鹏(1965-),男,湖南祁东人,衡阳师范学院资源环境与旅游管理系教授,博士。

①衡阳师范学院教师。②衡阳师范学院讲师。③衡阳师范学院教授。④衡阳师范学院学生。

资源生态安全进行评价。P-S-R 模型即“压力—状态—响应”模型是用于定量测度生态安全的概念模型,其主要思路是人类活动对生态环境和自然资源施加“压力”,改变了生存环境的“状态”和自然资源的质量和数量;人类社会则通过经济政策和宏观调控对自然反馈的“状态”变化作出“响应”,以减缓由于人类活动对生态环境造成的压力,维持系统的可持续性^[6]。基于该模型框架,某类环境问题可用三个互相联系但有区别的指标类型来表示(图 1):压力指标是指人类活动对环境所造成的负荷;状态指标是指自然资源、环境质量、生态系统的支持能力;响应指标则表示人类面临环境问题所采取的对策^[7]。

本文所需数据比较庞杂,包括衡阳市 2001—2010 年自然、经济、社会发展资料,历年土地利用变更资料和土地生态环境质量方面的资料;数据来源包括研究区域相关年份统计年鉴、统计公报、环境质量报告,相关年份土地利用变更调查和更新调查资料,本领域或相关领域的各种文献资料等。数据分析采用 Excel

对数据库中的原始数据进行标准化处理。

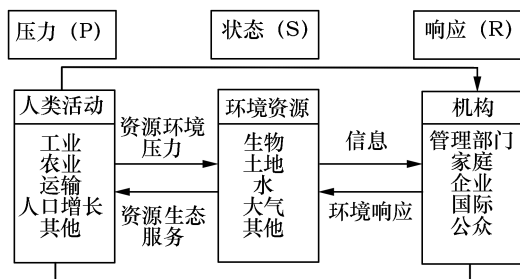


图 1 土地生态安全 P-S-R 模型

三 土地资源生态安全评价指标体系

(一) 指标体系的层次结构

本研究基于 P-S-R 模型框架,根据指标选择的基本原则,结合研究区域土地生态问题的特点,以国家对土地安全评价的应用性评估指标体系为基础,并参考已有的相关研究成果^[8-13],构建了包含指标层、因素层、准则层和目标层等 4 个层次的衡阳市土地生态安全评价指标体系(表 1)。

表 1 衡阳市土地生态安全评价指标体系

目标层	准则层	因素层	指标层	指标类型	权重
土地生态安全	土地资源压力	环境压力	X ₁ 人均耕地 (ha)	正向	0.0408
			X ₂ 单位耕地面积农药负荷 (kg/ha)	逆向	0.0597
			X ₃ 单位耕地面积化肥负荷 (kg/ha)	逆向	0.0524
		社会经济压力	X ₄ 城市化水平 (%)	正向	0.0499
			X ₅ 农业收入比重 (%)	正向	0.0607
			X ₆ 人口密度 (人/km ²)	逆向	0.0626
	土地资源状态	资源状态	X ₇ 人口自然增长率 (%)	逆向	0.0604
			X ₈ 耕地面积比重 (%)	正向	0.0394
			X ₉ 人均粮食产量 (kg)	正向	0.0603
		环境状态	X ₁₀ 万元能耗 (t 标准煤)	逆向	0.0574
			X ₁₁ 水土流失率 (%)	逆向	0.0537
			X ₁₂ 森林覆盖率 (%)	正向	0.0531
			X ₁₃ 城区人均公共绿地面积 (m ² /人)	正向	0.0516
	人文环境响应	经济响应	X ₁₄ 人均 GDP (元)	正向	0.0450
			X ₁₅ 第三产业比重 (%)	正向	0.0496
			X ₁₆ 工业废水排放达标率 (%)	正向	0.0505
		社会响应	X ₁₇ 环保投入占 GDP 比重 (%)	正向	0.0486
			X ₁₈ 非农业人口比重 (%)	正向	0.0578
			X ₁₉ 农民纯收入 (元)	正向	0.0466

注:人均耕地面积 = 耕地总面积/户籍人口;农业收入比重 = 人均农业产值/人均纯收入(农业人口);森林覆盖率为全市平均值。

(二) 确定指标权重

确定指标权重的方法有主观赋权法和客观赋权法两种,本研究采取客观赋权法中的熵权法,其具体的计算过程如下:

(1) 数据的无量纲化处理。采用极差法,

对于正向安全性指标采用公式:

$$y_{ij} = (x_{ij} - x_{j\min}) / (x_{j\max} - x_{j\min}) \quad (1)$$

对于负向安全性指标采用公式:

$$y_{ij} = (x_{j\max} - x_{ij}) / (x_{j\max} - x_{j\min}) \quad (2)$$

标准化公式中: $x_{j\min}$ 为指标值最小值; $x_{j\max}$ 为指

标值最大值; x_{ij} 为第*i*年的第*j*个指标的原始值; y_{ij} 为指标原始值的标准化值。计算结果见表2。

表2 指标标准化值

指标	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
X_1	0.2763	0.1316	0	0.1184	0.1316	0.1053	0.0658	0.8553	1	0.9079
X_2	0.9300	0	0.7098	0.6303	0.5147	0.4330	0.2660	0.9170	0.8578	1
X_3	1	0.8333	0.5532	0.2207	0.1061	0.0871	0	0.7459	0.7524	0.8753
X_4	1	0.9000	0.8280	0.6828	0.5645	0.3925	0.1667	0.0930	0.0591	0
X_5	1	0.7500	0.7500	0.9167	0.6667	0.5000	0.5000	0.5833	0.3333	0
X_6	1	0.9815	0.9444	0.8889	0.8333	0.7778	0.7593	0.7407	0.6296	0
X_7	0.9050	1	0.8145	0.5475	0.7511	0.7104	0.8009	0.8462	0.2353	0
X_8	0.1480	0.0553	0	0.0980	0.1226	0.1226	0.1070	0.6346	0.7736	1
X_9	0.8094	0.2680	0	0.9368	1	0.8123	0.8057	0.6300	0.8025	0.4665
X_{10}	0.7000	1	0.6250	0.9250	0.9500	0.8500	0.9750	0.1250	0	0.3000
X_{11}	1	0.7628	0.5092	0.4809	0.3597	0.3478	0.2701	0.2154	0.7710	0
X_{12}	0.3450	1	1	0.6969	0.6969	0.6969	0.7221	0	0.0489	0.1355
X_{13}	0	0.0982	0.0821	0.2185	0.4252	0.5997	0.6554	0.7578	0.9282	1
X_{14}	0	0.0132	0.0594	0.1503	0.2344	0.3150	0.4666	0.6495	0.8196	1
X_{15}	0.1784	0.5054	1	0.4189	0.6703	0.2324	0.3784	0.0216	0.1757	0
X_{16}	0	0.0308	0.3025	0.2297	0.4454	0.8123	0.9944	0.4622	0.2409	1
X_{17}	0	0.0187	0.0231	0.3358	0.3686	0.4529	0.4976	0.6476	0.7537	1
X_{18}	0	0.0526	0.5556	0.6316	0.6316	0.6316	0.6316	0.6842	0.7368	1
X_{19}	0	0.0304	0.0643	0.1613	0.2435	0.3400	0.4784	0.6419	0.8005	1

(2) 利用熵权法确定各指标的权重^[14]。

定义 f_{ij} 为第 j 项指标下第 i 个被评价的指标比重, 公式为:

$$f_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij} \quad (3)$$

令 e_j 为第 j 项指标的熵值, 公式为:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij}$$

($k = 1/\ln m$; 当 $f_{ij} = 0$ 时, 令 $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$) (4)

令 w_j 为第 j 项指标的熵权, 公式为:

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^m (1 - e_j) \quad (5)$$

($0 \leq w_j \leq 1, \sum_{j=1}^m w_j = 1$)

其中, m 代表研究期, 研究期为 10, j 为指标个数, 为 19。各指标的权重见表 1。

(三) 指标安全指数的测算

在上述层次体系中, 要求测算准则层和目标层的安全指数^[2], 计算过程如下:

(1) 准则层用安全指数来定量测度人类活动对环境造成的压力、环境显示出的状态以及各方面对

环境问题的响应能力。令安全指数为 ESI_i , 则有:

$$ESI_i = \sum_{i=1}^m y_{ij} \times w_j \quad (0 \leq w_j \leq 1) \quad (6)$$

式中, m 为各指标层的指标个数。

(2) 目标层用综合安全指数来测度一个区域土地生态安全的总体水平, 是较为全面的反映。令综合安全指数为 ESI_{II} , 则有:

$$ESI_{II} = \sum_{i=1}^m y_{ij} \times w_j \quad (0 \leq w_j \leq 1, \sum_{i=1}^m w_j = 1) \quad (7)$$

计算后, 当 ESI_{II} 为 1 时, 表示土地资源生态安全状态为理想。当综合安全指数越大时, 说明该地土地资源生态安全度越高, 反之则越低。

(四) 土地资源生态安全标准与等级划分

本研究在依据实际的基础上, 借鉴前人在这方面研究经验^[8,14], 建立以下土地资源生态安全等级评判和等级划分标准(表 3)。本文将利用这个相对的安全等级标准, 指出衡阳市土地资源生态安全指数所在的安全区间, 并判断 2001~2010 年衡阳市土地生态安全的等级状态。

四 研究结果与分析

在 P-S-R 模型的框架中,通过对 2001—2010 年衡阳市土地资源生态安全相关数据的无量纲化处理,运用熵权法计算层次体系中各指标的权重,各指标归一化分值以及与其对应的权重加权求得土地资源

生态安全系统压力指数、系统状态指数、系统响应指数和系统综合指数。经过以上计算和判断,得出 2001—2010 年衡阳市土地生态安全指数和安全等级(表 4、图 2)。

表 3 衡阳市土地生态安全标准评价表

安全等级	综合指数	指标特征
I 不安全	0.0 ~ 0.2	土地生态系统退化严重,生态系统结构极不合理,系统功能丧失,抗外界干扰能力极差,生态恢复与重建很困难。
II 较不安全	0.2 ~ 0.4	土地生态系统受到较大破坏,生态系统及结构很不合理,系统功能退化,抗外界干扰能力很差。
III 临界安全	0.4 ~ 0.6	土地生态系统受到中度破坏,生态系统结构较不合理,但系统尚可维持基本功能,可抵抗部分外界干扰。
IV 较安全	0.6 ~ 0.8	土地生态系统受到轻微破坏,生态系统结构比较合理,系统自身功能和自我恢复能力较强。
V 安全	0.8 ~ 1.0	土地生态系统基本未受干扰破坏,生态系统结构合理,系统自身功能和自我恢复能力强。

表 4 2001—2010 年衡阳市土地生态安全综合指数

年份	压力安全指数	状态安全指数	响应安全指数	综合安全指数	安全等级
2001	0.347057	0.168330	0.008480	0.523867	临界安全
2002	0.261310	0.174873	0.032585	0.468768	较不安全
2003	0.266521	0.120557	0.103784	0.490862	较不安全
2004	0.232457	0.187550	0.099483	0.519490	临界安全
2005	0.207826	0.198080	0.132050	0.537956	临界安全
2006	0.176243	0.189391	0.141085	0.506719	临界安全
2007	0.153137	0.195427	0.172966	0.531530	临界安全
2008	0.266247	0.120321	0.154575	0.541143	临界安全
2009	0.208245	0.133497	0.174284	0.516026	临界安全
2010	0.142609	0.143546	0.248500	0.534655	临界安全

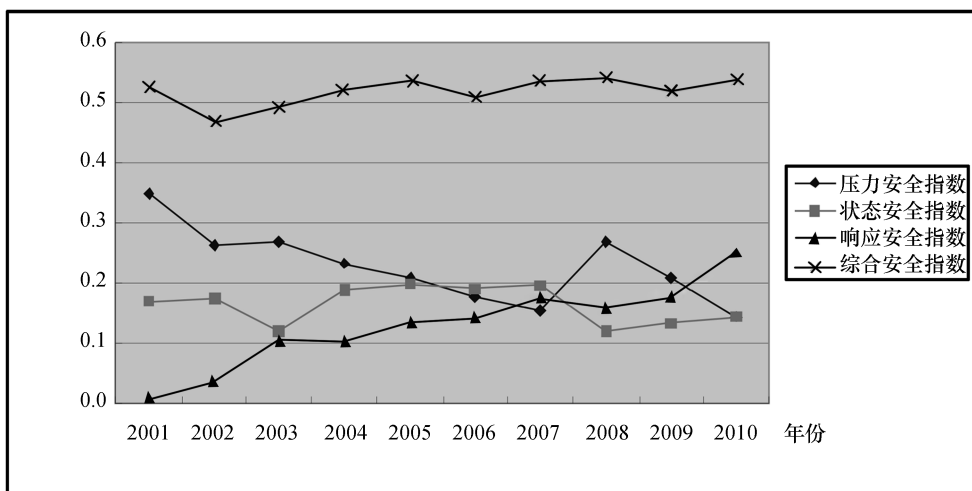


图 2 2001—2010 年衡阳市土地生态安全变化趋势图

(一)土地资源生态安全压力系统分析

根据表4和图2可知,2001—2010年,衡阳市土地生态安全压力安全指数总体上呈现出减小趋势。压力安全指数,由2001年的0.347057减小到2010年的0.142609,虽然由2007年的0.153137上升至2008年的0.266247,但之后迅速下降,至2010年仅为0.142609,年均降幅为6%。表明研究期内人类活动对土地资源造成的压力逐渐增加,压力层的安全状态也相应的由较不安全转向不安全。究其原因:第一,人口增加速度快。数据显示,2001—2010年,衡阳市人口由2001年的708.94万人增加到2010年的791.62万人,净增人口82.68万人,人口密度由463人/km²上升到517人/km²,人口压力增大;第二,人口增长直接导致人均耕地面积、人均林地面积等下降,土地资源压力加大;第三,进入21世纪以来,湖南省注重提升其经济发展水平,衡阳市作为湖南第二大城市,又是重要的重工业城市,衡阳市在这一时期经济快速增长,工业化进程明显加快,人均GDP由2001年的5535元迅速增长至2010年的19889元,城市化水平由25.70%上升至44.30%,固废排放量及农药、化肥施用量强度加大,城市新区的开发占用了大量的土地资源,土地资源经济环境压力增大。

(二)土地资源生态安全状态系统分析

根据表4和图2可知,2001—2010年,衡阳市土地资源状态安全指数波动较大,这与衡阳市多变的土地生态环境相关密切。衡阳市属于变化率大的亚热带季风气候区,降雨量年际变化大,年内分配不均,且多暴雨。水旱灾害频繁,旱涝保收率不高且波动较大。重工业比重大,万元能耗由0.64t标准煤增加到1.04t标准煤,在产值增加的同时能源消耗较大。城市化建设速度快,随着城市地产的开发,城区人均居住面积由2001年的17.24m²上升至2010年的32.42m²,森林覆盖率由2001年的45.99%降至2010年的39.80%,这给城市土地资源带来了更大的压力,尽管近些年来衡阳市政府注重水土保持、自然保护区建设等来促进衡阳市土地资源的可持续发展,人均绿地面积由2001年的2.03m²迅速增长为2010年的8.85m²,并实施了以退耕还林为主的生态环境建设,水土流失面积比例不断降低,但是,土地资源状态系统的不稳定性总体上并未改变,而造成状态指数波动明显。

(三)土地资源生态安全响应系统分析

由图2和表4可以看出,2001—2010年,衡阳市土地资源生态安全响应指数呈上升状态,由2001年的0.008480上升至2010年的0.248500,说明该

市对土地资源的保护能力和保护力度得到加强,效果也较为显著。随着经济持续快速发展,衡阳市农民人均纯收入不断提高,由2001年的2743元增长至2010年的7220元。同时,衡阳市生态安全保护成效显著,环保投入占GDP比重逐年增加,由2001年的0.8%增长到2010年的2.0%。此外,衡阳市在环境污染防治方面也初见成效,工业废水达标排放率由2001年的83.48%提高为87.05%。以上措施使得衡阳市土地资源生态安全响应能力不断提高。

(四)土地资源生态安全综合分析

从表4和图2看出,衡阳市土地资源生态安全综合指数为波动上升趋势,由2001年的0.523867上升到2010年的0.534655,除2002年和2003年为较不安全等级外,总体安全等级为临界安全。虽然安全值处于上升状态,但仍未达到较安全等级。整体上来说,衡阳市近10年来土地资源生态安全状态不容乐观。究其原因:第一,庞大的人口压力,人口密度一直处于增加状态,人地矛盾不断激化,土地资源压力仍在持续增大;第二,对社会经济效率的追求,使得耕地逐年减少的趋势仍未改变,环保投资率虽然有所增加但占财政支出的比重仍较小,人均环保投资率小^[15]。第三,环境压力大。水土流失治理率、坡耕地退耕还林比例虽有所提高,土地资源生态环境质量尚未有明显改善,农药化肥的施用强度较大,固废综合利用率也仍较低;第四,抵抗自然灾害的能力较低。旱涝灾害下的旱涝保收面积仍然较小。

根据以上分析可知,衡阳市近10年中土地资源生态安全一直处于临界安全与较不安全水平,其中2002年和2003年处于较不安全状态,其余年份均为临界安全状态。整体上来说,衡阳市近10年来土地资源生态安全状态不容乐观。衡阳市土地资源生态安全在人类的干预下会发生改变,因此,合理的人类活动对土地资源生态安全的状况很重要。但是,根据自然系统的原理,自我调节对于系统的发展才是长远之道。因此,衡阳市经济和城市化发展应该在现有土地资源生态环境承载范围内进行,应采取切实有效措施,降低生态足迹,保护生态环境:(1)控制人口数量,提高人口素质,以缓解人地矛盾;(2)依法限制城市化过程中滥用耕地的情况,坚持社会经济和环境的可持续发展,退耕还林还草,改善生态环境;(3)工业上严格实行节能减排政策,低碳生产和消费,实行循环经济。

[参考文献]

- [1] 和春兰,饶辉,赵筱青.中国生态安全评价研究进展[J].云南地理环境研究,2010,22(3):104-110.
- [2] 陈西蕊,张蓉珍.基于P-S-R模型的陕西省土地资源生态安全动态评价[J].南方农业学报,2011,42(2):224-228.
- [3] 范瑞锭,陈松林,戴菲,余真.福建省土地利用生态安全评价[J].福建师范大学学报,2010,26(5):97-108.
- [4] 刘兰芳.红壤丘陵区生态退化的原因及生态恢复对策——以湖南省衡阳市为例[J].安徽农业科学,2008,36(12):5161-5162.
- [5] 李智国,杨子生.中国土地资源生态安全研究进展[J].中国安全科学学报,2007,17(12):5-12.
- [6] 彭建,王仰麟,吴健生,等.区域生态系统健康评价——研究方法与进展[J].生态学报,2007,27(11):4877-4884.
- [7] 张虹波,刘黎明,张军连,等.黄土丘陵区土地资源生态安全及其动态评价[J].资源科学,2007,29(7):193-200.
- [8] 杨春,何柯润,李灿斌.湖南省土地生态安全动态评价[J].工作探讨,2008,5(5):41-43.
- [9] 左伟,王桥,王文杰,等.区域生态安全评价指标与标准研究[J].地理学与国土研究,2002,18(1):67-71.
- [10] 黄辉玲.土地资源安全评价的指标体系及其利用[J].农机化研究,2006(1):55-56.
- [11] 叶亚平,刘鲁军.中国省域生态环境质量评价指标体系研究[J].环境科学研究,1999,13(3):33-36.
- [12] 李波,张俊飏,罗小锋.湖北省土地资源生态安全的评价[J].统计与决策,2008,16(总268):38-40.
- [13] 李玉平,蔡运龙.河北省土地生态安全评价[J].北京大学学报:自然科学版网络版(预印本),2007,2(3):1-6.
- [14] 邓楚雄.武冈市土地资源生态安全评价研究[D].长沙:湖南师范大学,2006.
- [15] 张霞.湖南省环境保护投资现状分析[J].环境保护与循环经济,2011(3):67-71.

Ecological Security of Land Resources in Red Soil Hilly Region in Southern Hunan

—A case study based on P-S-R model

WANG Peng, KUANG Fu-min, DENG Yu-wu, TIAN Ya-ping, FU Yue-xin

(Hengyang Normal University, Hengyang 421008, China)

Abstract: Based on “Pressure-State-Response” Model, this article attempts to establish a set of evaluating index systems for land resource eco-security by applying entropy weight method to determine the weight of index, and use evaluating model for land resource ecological security to calculate the land eco-security composite index of Hengyang City from the year 2001 to 2010. The results show that the land resources ecological security degree is between weak security and preferable security, yet in lower level. Land ecological security status mainly depends on the management of land ecological environment, and ecological pressure on land is still severe in present stage. This article puts forward some strategies aiming at dealing with the situation.

Key words: ecological security of land resources; red soil hilly region in Southern Hunan; the index system; Pressure-State-Response Model; Hengyang city