

小城镇土地生态安全评价研究

——以贵州省猫跳河流域为例

许月卿, 崔 丽

(中国农业大学 土地资源与管理系, 北京 100094)

摘 要:土地资源生态安全是生态安全的重要组成部分。以贵州省喀斯特山区猫跳河流域的小城镇为研究对象, 根据当地喀斯特山区特有的自然环境和经济发展水平, 从土地自然生态安全系统、土地经济安全系统和土地社会安全系统三方面构建西南喀斯特山区小城镇土地生态安全评价指标体系, 计算了小城镇土地生态安全程度指数, 查明了影响土地生态安全的主要影响因子, 并就其原因进行了分析, 为小城镇土地资源持续利用和区域可持续发展提供了科学依据。

关键词:生态安全; 土地生态安全评价; 小城镇; 贵州省

中图分类号: F321.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)05-0345-04

Evaluation on Ecological Security of Land Resources in Towns

——A Case Study of Maotiao River, Guizhou Province

XU Yue-qing, CUI Li

(Department of Land resources and Management, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Ecological security of land resources is the main component of ecological security research. Taking towns of Maotiao River, Guizhou province as the study area, according to the natural environment and social economic conditions, from three aspects such as natural ecological system, economic system, and social system, the ecological security index system of land resources in towns of Chinese southwestern karst areas was constructed, the security index of land resources was calculated, the factors that influence land resources ecological security were recognized and the causes were discussed also. It provides scientific basis for sustainable land resources and regional sustainable development of towns.

Key words: ecological security; evaluation on ecological security of land resources; town; Guizhou province

生态安全是整个生态经济系统和可持续发展的生态保障, 是国家其它安全的载体和基础, 生态安全研究已成为国内外多学科、多领域的热门课题^[1~3]。土地资源生态安全是生态安全的重要组成部分。随着工业化、城市化的高速发展和人口的高速增长, 出现许多全球性和区域性的土地生态问题, 对人类的生存和发展形成了严峻的挑战, 引起了全社会的普遍关注。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安全调控, 成为国内外关于土地利用变化研究的一个重要趋势^[4~6]。

小城镇生态环境是当地群众生存和社会经济发展的基础, 其生态安全对国家稳定起着保障作用^[7]。而以往研究主要是集中于大城市和区域的生态研究, 在小城镇生态问题方面的研究较少受到关注, 有关小城镇生态问题的基础研究严重不足, 使小城镇生态建设陷入盲目混乱状态。因此, 开展小城镇生态安全评价研究, 因地制宜地提出小城镇生态建设优化措施具有重要的理论意义和实践意义。

我国西南喀斯特山区山高坡陡、植被覆盖度低、土层疏松浅薄、陡坡旱地广泛分布, 在多暴雨条件下, 水土流失十分

严重, 由土壤侵蚀导致的石漠化问题正逐渐演化为继北方沙漠化和黄土高原水土流失之后的我国第三大生态问题^[8], 是我国主要脆弱生态地区之一^[9]。鉴于此, 本文以贵州省喀斯特山区猫跳河流域的小城镇为研究对象, 根据当地喀斯特山区自然环境和经济发展水平, 构建西南喀斯特山区小城镇土地生态安全评价指标体系, 对小城镇土地生态安全程度进行了评估, 查明了影响土地生态安全的主要影响因子, 为小城镇土地持续利用和区域可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况

猫跳河流域位于贵州省中部, 介于 106°00'~106°53'E, 26°00'~26°52'N 之间, 属长江水系, 是乌江的一条主要支流。在行政辖区上, 猫跳河流域主要涉及西秀区、长顺、平坝、贵阳市(包括乌当区、白云区)、清镇、修文等县市, 辖 19 个乡, 28 个镇, 流域面积 3 195 km²。猫跳河流域山高坡陡, 生境脆弱, 资源、环境与社会经济存在着明显的地域性, 自然生态与社会经济特征极具代表性, 是贵州省生态重建和社会

收稿日期: 2006-10-30

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40335046); 国土资源部土地利用重点实验室开放基金项目

作者简介: 许月卿(1972—), 女, 河北定州人, 副教授, 主要从事土地利用及其环境效应评价等研究。

经济可持续发展的重点攻关区域。

鉴于以往的研究基础和数据的可得性,本文选取猫跳河流域清镇市的红枫湖镇、修文县的龙场镇、白云区的麦架镇、乌当区的金华镇、西秀区的七眼桥镇、长顺县的广顺镇为研究对象,根据当地的自然社会经济情况,构建土地生态安全评价指标体系,评价其土地生态安全程度,识别土地生态安全影响因子,以实现区域土地资源的可持续利用。

2 小城镇土地生态安全评价

2.1 指标体系构建

小城镇土地生态安全评价指标的选择不仅要考虑生态环境状态,更要反映出对生态安全有潜在影响的重要因素的变化以及人类活动的影响,同时也要考虑生态安全指标数据的可获得性。根据区域性、科学性、整体性、可度量性与可操作性等原则,结合猫跳河流域小城镇实际情况,从土地自然生态安全系统、土地经济安全系统和土地社会安全系统三方面建立小城镇土地生态环境安全评价指标体系(表 1)。该指标体系由目标层(O)、准则层(A)和指标层(C)组成。目标层以小城镇土地生态环境安全评价指数为目标,用以综合表征土地生态环境安全态势;准则层(A)分为土地自然生态安全系统、土地经济安全系统和土地社会安全系统;指标层为整个指标体系最基本的层面,由 19 项指标构成。

指标数据分别来自猫跳河流域 1:5 万 DEM、2002 年土地利用图、各县统计年鉴、土壤侵蚀分布图等。其中地形破碎度由各镇不同点的高程标准差来代表。

生长季节月干燥指数(GFDI)为植物生长季节 4~10 月的月干燥指数平均而成,由基于月平均气温数据计算而得。

其计算公式为:

$$GFDI = E_i / P_i \quad (1)$$

式中: E_i ——月蒸发量, $E_i = 2.215 \times T_i$; T_i ——某月平均气温; P_i ——月降水量; $GFDI$ ——生长季节干燥指数。当 $GFDI=1$ 时,表明水分平衡,当 $GFDI<1$ 时,表明水分有盈余,当 $GFDI>1$ 时,表明水分短缺^[10]。

NPP 即净第一性生产力,是衡量生态系统生产力最重要的指标。本文采用 Thornthwaite 纪念模型来计算。NPP 的计算公式为:

$$NPP(E) = 3000 \times (1 - e^{-0.0009495(E-20)}) \quad (2)$$

式中: $NPP(E)$ ——植被净第一性生产力($g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$); e ——自然对数底数; E ——年实际蒸发量(mm),可用公式(3)确定:

$$E = 1.05 \times P / [1 + (1.05 \times P/L)^2]^{1/2} \quad (3)$$

式中: P ——年降水量; L ——年平均最大蒸发量,是温度 T 的函数, L 与 T 的关系为:

$$L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3 \quad (4)$$

当 $P>0.316L$ 时,(4)式成立,若 $P<0.316L$,则 $P=E$ 。

2.2 指标权重确定

对某一项指标而言,评价指标值间的差距越大,说明指标在综合评价中所起的作用越大,如果差异为零,表明该指标在综合评价中不起作用。据此原理,本研究采用信息熵计算各指标的权重。其计算公式如下:

(1)对评价指标进行综合标准化,即计算第 i 个镇(街道)第 j 项指标值的比重:

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (5)$$

式中: P_{ij} ——标准化后所得值; x_{ij} ——评价指标实际值, $i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,m$;

表 1 小城镇土地生态安全评价指标体系

目标层(O)	准则层(A)	指标层(C)
小城镇土地生态安全水平	土地自然生态安全水平	坡度/°
		海拔/m
		地形破碎度
		干燥指数
		NPP/($g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)
	土地经济生态安全水平	河流密度
		土壤侵蚀模数/($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)
		森林覆盖率/%
		裸岩面积比例/%
		城市化率/%
	土地社会生态安全水平	人口密度/($km^2 \cdot a^{-1}$)
		公路密度
		人均农业产值/(元·人 ⁻¹)
		旱地比例/%
		水田比例/%
	土地社会生态安全水平	大于 25°耕地面积比例/%
		人均耕地/($hm^2 \cdot a^{-1}$)
		人均粮食/(kg·人 ⁻¹)
		粮食单产/($kg \cdot hm^{-2}$)

(2)计算第 j 项指标的熵值 $e_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij}$,

令 $k = \frac{1}{\ln n}$, 则 $0 \leq e_j \leq 1$;

(3)计算第 j 项指标的差异性系数 $g_j = 1 - e_j$;

(4)计算第 j 项指标的权重 $W_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j}$ 。

按照上述计算方法,得到小城镇各项指标的权重(表 2)。就准则层指标权重而言,土地自然生态安全系统>土地社会生态安全系统>土地经济生态安全系统。这说明猫跳河流域小城镇自然生态环境对土地生态安全的重要性最大,其次是土地利用结构等社会系统,而经济状况对土地生态安全的影响最小。贵州省山高坡陡、陡坡旱地广布、土层疏松浅薄,水土流失严重,生境十分脆弱。在人口和经济发展的压力下,粗放式土地利用强度过大,导致严重的土地退化乃至“石漠化”,以土壤侵蚀为特征的土地退化成为喀斯特地区的主要环境退化方式。贫困群众为了生存,不得不掠夺性开发自然资源,又使得贵州的石漠化现象更加加剧,从而陷入“生态脆弱—贫困—掠夺式土地利用—资源环境退化—进一步贫困”的恶性循环怪圈^[11]。因此,脆弱的自然生态系统是影响贵州喀斯特山区土地生态安全的最主要因素。在土地自然生态系统内,裸岩面积比例的权重最大,说明裸岩面积比例对土地生态安全的影响也最大,这与贵州喀斯特地区严重石漠化现象密切相关。在贵州喀斯特山区,植被破坏和水土流失的严重后果就是大面积的“石漠化”。根据贵州省水

利厅调查显示,全省轻度以上石漠化面积达 $3.59 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占贵州省国土面积的 20.39%, 况且, 每年仍以 900 km^2 的速度继续扩大, 使得生活在此的老百姓长期难以摆脱贫困, 所以“石漠化”现象很多地方被称为“石魔”, 又被称为“生态癌症”。因此, 裸岩面积比例是影响当地土地生态安全的重要因素。河网密度对土地生态安全的影响次之。虽然贵州喀斯特山区年均降水多在 $1\,000 \sim 1\,300 \text{ mm}$ 之间, 但严重的水土流失和石漠化使地表土层流失殆尽, 植被生长困难, 地表土壤植被系统的贮水保水功能大幅度降低, 缺乏森林植被来调节缓冲地表径流, 导致地表径流在低洼处汇集, 造成暂时局域性涝灾; 另一方面, 由于石漠化地区的喀斯特漏斗、裂隙及地下河网发育, 地表径流又能较快地汇入地下河系而流走, 造成石漠化大面积的地表干旱。“十天不雨即干旱, 一场大雨又成灾”即是石漠化地区水文景观的真实写照。因此, 河网密度对土地生态安全的影响较大。

在土地经济生态安全系统内, 城市化率对土地生态安全影响程度最大, 其次是人口密度。由于贵州喀斯特山区是以农业为主的省份, 城市化率越高, 在一定程度上表明经济越发达, 人们对耕地的压力越小, 进行生态环境建设的能力相对较强。而人口密度越大, 则意味着对土地资源的压力就越大, 从而导致土地生态安全的压力加大。

在土地社会生态系统内, 人均耕地对土地生态系统影响最大, 其次是人均粮食和旱地比例。贵州是农业大省, 同时又是以山地丘陵为主省份, 山地丘陵占全省面积的 97%, 所以, 人均耕地、旱地比例越大, 就意味着陡坡开荒的比例越大, 因而对土地生态安全造成严重影响。水田往往分布在地势平缓的盆地或坝子内, 不易引起水土流失, 因而对土地生态安全的影响较小。

从各项指标相对目标层的权重看, 裸岩面积比例 > 人均耕地 > 城市化率 > 河网密度 > 粮食单产 > 旱地比例 > 人口密度 > 人均粮食 > 大于 25° 耕地面积比例 > 森林覆盖率 > 土壤侵蚀模数 > 地形破碎度 > 人均农业产值 > 水田比例 > 坡度公路密度 > 干燥指数 > 海拔高度 > 植被第一性净生产力。可见, 影响贵州喀斯特山区小城镇土地生态安全程度的最主要影响因子是裸岩面积比例即石漠化, 石漠化是水土流失的终极状态。严重的石漠化往往造成“一方水土养活不了一方人”的困境, 其分布地区土地生态安全也相当脆弱。其次是人均耕地, 贵州是我国惟一没有平原支持的省份, 耕地面积的扩大往往是靠陡坡开荒、毁林毁草来实现, 造成人均耕地面积的扩大, 而盲目的陡坡开荒引起水土流失, 进而导致石漠化, 因此, 人均耕地面积越大, 意味着对土地生态安全的影响越大。

2.3 评价指标基准值的确定

生态安全评价标准值的确定通常有以下几种方法^[12]:

- (1) 国家、行业和地方规定的标准。国家标准是指国家已发布的环境质量标准, 如农药安全使用标准 (GB 4285—89)、地面水环境质量标准 (GB 3838—88) 等。
- (2) 环境背景基准。以工作区域生态环境背景值或本底值作为评价基准, 如区域森林覆盖率、水土流失本底值等。
- (3) 类比基准。以未受人类严重干扰的相似地区, 或类

似条件的生态因子和功能作为类比基准。

表 2 各指标层的权重

目标层 (O)	准则层(A)	权重	指标层	组合 权重	指标层 权重
土地自然生态 安全水平	0.4819		坡度	0.015	0.007
			海拔	0	0
			地形破碎度	0.052	0.025
			干燥指数	0.003	0.001
			NPP	0	0
			河流密度	0.127	0.061
			土壤侵蚀模数	0.053	0.026
			森林覆盖率	0.054	0.026
			裸岩面积比例	0.696	0.335
			城市化率	0.649	0.125
土地经济生态 安全水平	0.1919		人口密度	0.243	0.047
			公路密度	0.028	0.005
			人均农业产值	0.08	0.015
			旱地比例	0.153	0.05
			水田比例	0.045	0.015
			大于 25° 耕地	0.106	0.035
			面积比例		
			人均耕地	0.394	0.129
			人均粮食	0.123	0.04
			粮食单产	0.179	0.058
土地社会生态 安全水平	0.3262		人均耕地	0.106	0.035
			面积比例		
			人均耕地	0.394	0.129
			人均粮食	0.123	0.04
			粮食单产	0.179	0.058
			人均耕地	0.106	0.035
			面积比例		
			人均耕地	0.394	0.129
			人均粮食	0.123	0.04
			粮食单产	0.179	0.058

(4) 通过科学研究已判定的生态效应。通过当地或相似条件下科学研究已判定的指标体系, 如保障生态安全的绿化率要求等。

为了使评价结果具有针对性和可比较性, 考虑到猫跳河流域的实际情况, 本文主要采用贵州省和猫跳河流域的平均值作为标准值, 同时参考国家和世界公认的平均值 (表 3)。

表 3 各指标特性和标准值

指标	趋向性	标准值	基准值来源
人口密度/(人·km ⁻²)	负向	204	贵州省平均
城市化率/%	正向	14.46	贵州省平均
人均耕地面积/(hm ² ·人 ⁻¹)	负向	0.72	贵州省平均
人均农业产值/(元·人 ⁻¹)	正向	1770	流域平均
大于 25° 耕地面积百分比/%	负向	1.60	贵州省平均
粮食单产/(kg·hm ⁻²)	正向	3325	流域平均
NPP/(g·m ⁻² ·a ⁻¹)	正向	1400	流域平均
人均粮食/(kg·人 ⁻¹)	正向	270	贵州省平均
地形坡度	负向	17.8	贵州省平均
土壤侵蚀模数/(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	负向	26.7	流域平均
裸岩面积比例/%	负向	5	贵州省平均
地形破碎度	负向	56.33	贵州省平均
海拔高度/m	负向	1307	贵州省平均
森林覆盖率/%	正向	30	贵州省平均
干燥指数	负向	0.25	流域平均
河网密度	正向	1.1	流域平均
公路密度	正向	0.62	流域平均
旱地比例/%	负向	21.5	流域平均
水田比例/%	正向	16	流域平均

2.4 评价指标安全指数的确定

根据评价指标与土地生态环境安全的相关性, 可将其分为正相关指标和负相关指标, 正相关指标是指指标值越大越安全的指标, 负相关指标是指指标值越小越安全的指标。本文采

用如下数学方法计算各指标的安全指数。

设 X_i 为第 i 个评价指标的实际值, XS_i 为评价指标的基准值, $P(X_i)$ 为第 i 个指标的安全指数, $0 \leq P(X_i) \leq 1$, 则:

(1) 对于正相关性指标: 当 $X_i \geq XS_i$, 则 $P(X_i) = 1$; 当 $X_i < XS_i$, 则 $P(X_i) = X_i / XS_i$;

(2) 对于负相关性指标: 当 $X_i \leq XS_i$, 则 $P(X_i) = 1$; 当 $X_i > XS_i$, 则 $P(X_i) = XS_i / X_i$ 。

2.5 评价结果分析

在土地生态环境安全评价指标体系中, 每一项指标都可从不同侧面反映土地生态环境安全状况, 为了全面反映土地资源生态环境系统的总体安全状况, 本文采用综合指数和法来计算小城镇的土地生态安全程度, 其计算公式如下:

单项指标的安全指数: $I(X_i) = P(X_i) \times W_i$

综合土地利用安全指数 $I = \sum_{i=1}^{13} I(X_i) = \sum_{i=1}^{13} P(X_i) \times W_i$

综合评价指数越大, 表示土地生态安全程度越高。根据猫跳河流域小城镇土地利用现状及特点, 本文采用四级评价标准: 评价指数 $I \geq 0.9$ 时, 小城镇土地生态安全为安全级; 评价指数 $0.8 \leq I < 0.9$ 时, 小城镇土地生态安全为较安全级; 评价指数 $0.6 \leq I < 0.8$ 时, 小城镇土地生态安全为敏感级; 评价指数 $0.4 \leq I < 0.6$ 时, 小城镇土地生态安全为风险级; 评价指数 $I < 0.4$ 时, 小城镇土地生态安全为恶化级。

小城镇土地资源生态安全综合评价的计算结果见表 4。从土地自然生态安全系统评价指数看, 龙场镇 > 麦架镇 > 红枫湖镇 > 金华镇 > 七眼桥镇 > 广顺镇, 说明龙场镇的自然生态环境最好, 广顺镇最差; 从土地经济生态安全系统评价指数看, 龙场镇 > 麦架镇 > 红枫湖镇 > 七眼桥镇 > 金华镇 > 广顺镇; 从土地社会生态安全系统评价指数看, 红枫湖镇 > 龙场镇 > 麦架镇 > 七眼桥镇 > 金华镇 > 广顺镇。

从综合评价指数看, 红枫湖镇 > 龙场镇 > 麦架镇 > 金华镇 > 七眼桥镇 > 广顺镇。其中红枫湖镇、龙场镇和麦架镇的土地生态安全评价指数分别为 0.945、0.94 和 0.916, 均处于安全级; 金华镇土地生态安全评价指数为 0.844, 处于较安全级; 七眼桥镇土地生态安全评价指数为 0.679, 处于敏感级; 广顺镇土地生态安全评价指数为 0.478, 处于风险级。

表 4 小城镇土地生态安全综合评价指数

	广顺	七眼桥	红枫湖镇	龙场镇	麦架镇	金华镇
自然生态安全系统	0.200	0.247	0.465	0.472	0.466	0.436
经济生态安全系统	0.076	0.158	0.160	0.169	0.162	0.160
社会生态安全系统	0.202	0.274	0.321	0.299	0.288	0.249
综合评价指数	0.478	0.679	0.945	0.940	0.916	0.844

3 结论与讨论

(1) 自然生态环境对贵州喀斯特山区小城镇土地生态安全的影响程度最大, 其次是土地利用结构等社会系统, 而经济状况对土地生态安全的影响最小。在自然生态环境要素中, 石漠化是影响贵州喀斯特山区小城镇土地生态安全程度的最主要影响因子, 其次是人均耕地。这与喀斯特山区特有

的自然生态环境和社会经济发展水平密切相关。

(2) 红枫湖镇、龙场镇、麦架镇、金华镇, 毗邻贵阳市, 交通发达, 河流众多, 森林覆盖率大, 裸岩面积比例较小, 自然条件相对较好, 粮食产量较高、人均粮食产量和农业总产值较大, 社会经济发展水平较高, 土地的自然、经济和社会生态安全系统安全度指数均较大; 而广顺镇和七眼桥镇地处溶蚀高原面, 水资源缺乏, 裸岩面积比例较大, 森林覆盖率较小, 农业生产自然条件较差, 人均粮食和农业产值以及社会经济发展水平较低, 土地的自然、经济和社会生态环境安全指数均较小。计算结果与各镇实际土地生态环境状况较吻合。

(3) 特殊的地形地貌和脆弱的生态地质环境, 为猫跳河流域小城镇土地生态环境恶化奠定了自然基础, 而不合理的人类活动加速了土地利用结构的不合理性, 加大了对土地生态安全的压力, 落后的经济发展水平限制了土地生态环境改善, 从而使喀斯特山区小城镇土地生态安全受到严重威胁。

参考文献:

- [1] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387: 253—260.
- [2] 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): 1551—1556.
- [3] 肖笃宁, 陈文波, 郭富良. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354—358.
- [4] 赵凤琴, 汤洁, 王晨野, 等. 生态脆弱地区土地生态环境安全初探[J]. 水土保持通报, 2005, 25(1): 99—103.
- [5] 曹新向, 郭志永, 雒海潮. 区域土地资源持续利用的生态安全研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 192—195.
- [6] 刘勇, 刘友兆, 徐萍. 区域土地资源生态安全评价——以浙江嘉兴市为例[J]. 资源科学, 2004, 26(3): 69—74.
- [7] 王志勤, 白任朴. 小城镇地区可持续发展与生态安全战略[J]. 小城镇建设, 2003, (6): 10—12.
- [8] 吴秀芹, 蔡运龙, 蒙吉军. 喀斯特山区土壤侵蚀与土地利用关系研究——以贵州省关岭县石板桥流域为例[J]. 水土保持研究, 2005, 12(4): 46—48.
- [9] 吕耀, 谷树忠, 王道龙. 论生态脆弱带的食物保障与生态系统保护[J]. 中国农业资源与区划, 2001, 22(6): 23—26.
- [10] 李双成, 许月卿, 傅小锋. 基于 GIS 和 ANN 的中国区域贫困化空间模拟分析[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 76—81.
- [11] 蔡运龙. 中国西南喀斯特山区的生态重建与农林牧业发展: 研究现状与趋势[J]. 资源科学, 1999, 21(5): 37—41.
- [12] 汤洁, 朱云峰, 李昭阳, 等. 东北农牧交错带土地生态环境安全指标体系的建立与综合评价[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(1): 119—124.