

基于水土流失的赣州市生态安全评价

汪邦稳^{1,2}, 方少文², 张光辉¹, 杨洁²

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 江西省水土保持科学研究所, 江西 南昌 330029)

摘要: 为定量评价赣州地区 30 a 来水土流失治理对生态环境变化的影响, 基于水土流失状况构建了赣州市生态安全评价指标体系。利用“压力—状态—响应”模型, 从水土流失角度, 采用频度统计法和专家咨询法, 构建了 17 个评价指标, 首次对赣州地区生态安全状况进行了评价。结果表明: (1) 经过 30 a 的水土流失治理, 赣州地区生态安全水平得到明显提高, 但局部地区出现了不同程度降低, 整体生态安全等级处于 II 级水平, 生态环境有待进一步的改善; (2) 赣州地区水土流失与生态安全呈现明显的负相关性, 经过 30 a 的水土流失治理, 赣州市水土流失与生态安全的负相关性逐渐减弱, 水土流失对该地区的生态安全影响逐步降低, 因此, 水土保持是改善该地区生态环境的重要途径之一。

关键词: 水土流失; 生态安全; “压力—状态—响应”模型; 赣州市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)04-0204-06

中图分类号: S157.1, X826

Ecological Security Assessment Based on Soil and Water Loss in Ganzhou City

WANG Bang-wen^{1,2}, FANG Shao-wen², ZHANG Guang-hui¹, YANG Jie²

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang, Jiangxi 330029, China)

Abstract: To quantify the effects of 30 years soil and water conservation on the regional ecological security in Ganzhou City, the 17 indices of ecological security assessment were constructed using frequency statistics and expert consultation method based on soil erosion status of study area. The ecological security of Ganzhou City was evaluated by the pressure—state—response model. The results showed that: (1) The ecological security of Ganzhou City obviously improved in the past 30 years. However, the level of ecological security declined in some area. The integrated level of ecological security was only grade III in Ganzhou City and needed further improvement. (2) Negative correlation between ecological security and soil and water losses was found in Ganzhou City. With 30 years comprehensive conservation of soil and water, the correlation was weakening, and the influences of soil erosion and water loss on the ecological security were decreased. Therefore, soil and water conservation become one of the most important methods to improve ecological environment in Ganzhou City.

Keywords: soil and water loss; ecological security assessment; pressure—state—response; Ganzhou City

水土流失是中国的头号环境问题, 严重影响着我国的生态安全^[1]。为此, 2005 年水利部、中国科学院和中国工程院联合开展“中国水土流失与生态安全综合科学考察”, 对不同区域的水土流失及生态安全问题进行了原因分析, 提出了需要进一步研究解决的重大问题^[2]。当前, 国内外许多学者已从不同角度对生态安全开展了研究^[3-7], 但是基于水土流失的生态安全定量评价尚显不足^[8]。近来, 有的学者就水土流失对生态安全的影响和水土保持对生态安全的保障作

用提出了不同见解^[9,10], 但是, 定量评价水土流失对生态安全的影响还有待进一步的研究。

江西省是水土流失最严重的省份之一, 生态安全比较脆弱^[11-12]。从 20 世纪 80 年代以来国家对赣州地区进行了水土流失重点治理, 尤其近 10 a 治理力度不断加大, 生态环境逐渐改善^[13-14]。但如何定量评价水土流失对该地区的生态环境的影响, 已成为急需解决的问题。为此, 基于水土流失, 采用“压力—状态—响应”模型对赣州地区的生态安全进行定量评

收稿日期: 2011-01-13

修回日期: 2011-05-03

资助项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目“水蚀地区坡面水土流失阻控技术研究”(200901047); 江西省水利厅科技项目(200909)

作者简介: 汪邦稳(1981—), 男(汉族), 安徽省合肥市人, 博士研究生, 工程师, 主要研究方向为水土保持。E-mail: bangwenbest@126.com。

通信作者: 杨洁(1958—), 女(汉族), 福建省漳浦县人, 教授级高级工程师, 主要研究方向为水土保持和生态环境。E-mail: zljy@126.com。

价,为国家进一步的水土流失治理和生态安全保护提供一定的数据支撑。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

赣州市位于赣江上游、江西南部(113°54′—116°38′ E, 24°29′—27°09′ N),面积 $3.94 \times 10^4 \text{ km}^2$,现辖1区2市15县。2008年末总人口888.95万人,国内生产总值达834.77亿元,现有耕地面积 $3.04 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。地貌以山地丘陵为主,占国土面积的83%,平均海拔300~500 m,坡度 $16^\circ \sim 45^\circ$ 。地带性土壤主要有红壤、黄壤和黄棕壤,其中红壤分布最广、面积最大。赣州市属典型的亚热带湿润季风气候,年均降水量1586.9 mm,年均蒸发量1416.3 mm,降水年内、年际分配不均,多年平均气温 18.9°C 。该市森林覆盖率为74.2%,林相单一,属于人工次生林,以针叶林为主,林分结构不合理,主要树种为马尾松(*Pinus massoniana* Lamb)和湿地松(*Pinus elliotti* Engelm)。赣州市是江西省最重要的粮油林果生产区,但由于长期不合理的经济活动,该地区的原生植被遭到严重破坏,土壤侵蚀严重,生态环境亟需改善。

1.2 评价方法与指标体系的确定

“压力—状态—响应”模型由经济合作和开发组织(OECD)与联合国环境规划署(UNEP)在20世纪80年代末共同提出的^[15],在该模型构架下,环境问题可以表达为3个不同但又相互联系的指标类型,即压力指标反映人类活动给环境造成的负荷,状态指标表征环境质量、自然资源与生态系统的状况,响应指标表征人类面临环境问题所采取的对策与措施。该模型从人类与环境系统的相互作用与影响出发,对环境指标进行组织分类,具有较强的系统性,所以选择该模型作为本研究的评价方法。遵循科学性、代表性、可操作性的原则,充分考虑系统的动态变化和水土流失影响因素,借鉴国内外的指标,结合赣州市实际情况和水土流失特点,在参考大量国内外相关研究的基础上,采用频度统计法和专家咨询法,构建赣州市基于水土流失的“压力—状态—响应”模型的生态安全评价指标体系,共筛选指标17项(表1)。

1.3 数据来源

指标体系数据主要来源于江西省1983,1999和2009年统计年鉴、赣南水土流失专题数据及赣州市各县调查统计的资料(表1)。

表1 赣州市生态安全指标数据来源

目标层	制约层	序号	指标层	数据来源
生态安全	生态系统 压力	1	人口密度/(人·km ⁻²)	江西省统计年鉴(1983,1999,2009年)
		2	人均耕地面积(hm ² /人)	江西省统计年鉴(1983,1999,2009年)
		3	单位化肥施用量(折纯量)/(kg·hm ⁻²)	江西省统计年鉴(1983,1999,2009年)
		4	单位耕地面积农药施用量/(kg·hm ⁻²)	江西省统计年鉴(1983,1999,2009年)
		5	人均粮食总产量(kg/人)	江西省统计年鉴(1983,1999,2009年)
		6	经济密度/(万元·km ⁻²)	江西省统计年鉴(1983,1999,2009年)
生态安全	生态系统 状态	7	土壤侵蚀面积率/%	赣南水土流失专题数据(1980,1998,2008年)
		8	强度以上侵蚀面积占侵蚀总面积比例/%	赣南水土流失专题数据(1980,1998,2008年)
		9	森林覆盖率/%	赣州各县统计调查数据(1980,1998,2008年)
		10	土壤侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)	赣南水土流失专题数据(1980,1998,2008年)
		11	城市化水平/%	江西省统计年鉴(1983,1999,2009年)
		12	农民人均纯收入/元	江西省统计年鉴(1983,1999,2009年)
生态安全	生态系统 响应	13	人均GDP(元/人)	江西省统计年鉴(1983,1999,2009年)
		14	第三产业占GDP比例/%	江西省统计年鉴(1983,1999,2009年)
		15	人口自然增长率/‰	江西省统计年鉴(1983,1999,2009年)
		16	单位土壤侵蚀面积投资/(万元·km ⁻²)	赣州各县统计调查数据(1980,1998,2008年)
		17	封山育林面积占国土面积比率/%	赣州各县统计调查数据(1980,1998,2008年)

1.4 指标体系权重确定方法

1.4.1 评价样本矩阵的构建及矩阵元素的标准化

定义X为区域生态安全状况对应于m个评价指标与n个区域的样本矩阵,即:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} = [x_{ij}] \quad (1)$$

式中: x_{ij} ——第i个区域在第j个指标上的统计值,

指标确定后,由于量纲不统一,直接进行评价比较困难,因此,必须对参评因子进行标准化处理。采用极差标准化方法,假设样本矩阵 X 标准化后记为 Y ,则:

对效益型指标,令

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

对成本型指标,令

$$y_{ij} = (x_{j\max} - x_{ij}) / (x_{j\max} - x_{j\min}) \quad (3)$$

式中: $x_{j\max}$, $x_{j\min}$ ——分别为第 j 个指标下各评价样本属性值的最大值和最小值。

经标准化处理后,样本矩阵 $[x_{ij}]$ 转化为矩阵 $[y_{ij}]$, $y_{ij} \in [0, 1]$ 。

1.4.2 指标权重的确定 熵权法^[13]是根据各评价对象的指标值来确定各指标的权重,反映指标间的相互比较关系,该方法受人为主观影响较小,因此,采用熵权法来确定指标的权重。

(1) 定义 f_{ij} 为矩阵 X 第 j 项指标下第 i 个区域被评对象的指标值的比例,则:

$$f_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (4)$$

(2) 定义第 j 项指标的熵为 H_j ,有:

$$H_j = -k \sum_{i=1}^n f_{ij} \cdot \ln f_{ij} \quad (5)$$

式中: k —— $1/\ln n$; 当 $f_{ij} = 0$ 时, $f_{ij} \cdot \ln f_{ij} = 0$ 。

(3) 计算各指标的权重:

$$w_j = (1 - H_j) / \sum_{i=1}^m (1 - H_j) \quad (6)$$

式中: w_j ——第 j 项指标的权重。

1.4.3 生态安全指数评价方法 生态安全指数 (I_{ES}) 是衡量生态安全程度的指标,它的值介于 0~1 之间,根据生态安全指数评估数据,可以判断区域的生态安全状况^[16]。

(1) 各子系统生态安全指数计算方法为:

$$I_{ESi} = \sum_{j=1}^m y_{ij} w_j \quad (7)$$

式中: I_{ESi} —— i 子系统的生态安全度指数; y_{ij} ——该指标的标准化值。

(2) 总系统的生态安全度计算模型:

$$I_{ES} = \sum_{i=1}^n I_{ESi} w_i \quad (8)$$

式中: I_{ES} ——总系统的生态安全度指数; w_i —— i 子系统的权重。

1.5 生态安全等级的确定

为评价江西省以及各地市的生态安全状况,将生态安全水平分为 5 个等级^[16](表 2)。

2 结果与讨论

通过对矩阵元素的标准化处理和权重计算,得出各指标的权重(表 3)。采用生态安全指数评价方法,得出生态安全水平的系统层指数和生态安全指数(表 4)。

表 2 生态安全等级划分标准

I_{ES} 指数	等级	安全水平	指标特征
0~0.2	I	强脆弱	土壤侵蚀剧烈,生态环境破坏严重,生态系统服务功能近乎崩溃,生态恢复与建设非常困难,生态灾害频繁。
0.2~0.4	II	中度脆弱	土壤侵蚀达到极强烈程度,生态环境破坏较大,生态系统服务功能严重退化,生态恢复与重建困难,生态灾害较多。
0.4~0.6	III	微脆弱	土壤侵蚀达到强烈程度,生态环境受到一定破坏,生态系统服务功能已有一定退化,生态恢复与重建有一定困难,生态问题较多,生态灾害时有发生。
0.6~0.8	IV	较安全	土壤侵蚀达到中度侵蚀,生态环境基本未受到破坏,生态系统服务功能基本完整,生态系统恢复与重建较快,生态问题不显著,生态灾害不常出现。
0.8~1.0	V	安全	土壤侵蚀在轻度或轻度以下,生态环境基本未受到干扰破坏,生态系统服务功能完整,系统恢复再生能力强,生态问题不明显,生态灾害少。

结合表 4,从整体上分析,赣州市生态安全度在 1980,1998 和 2008 年分别为 0.256,0.351 和 0.412,呈逐渐上升趋势。与 1980 年相比,1998 和 2008 年的赣州市生态安全度分别提高 51.53% 和 67.56%,生态安全等级由 1980 和 1998 年的 II 级,提高到 2008 年的 II 级,生态安全达到微脆弱水平。

从各县分析,在 1980,1998 和 2008 年,除了安远、会昌、定南和崇义县的生态安全度出现年际波动

外,其它各县的生态安全度都呈逐渐提高的态势,提高的水平从 0.6% 至 27.5% 不等(表 5),提高水平最高的是 1980—2008 年的龙南县为 27.5%,提高最低的是 1998—2008 年的寻乌县为 0.6%。在生态安全度出现波动的各县中,除了崇义县的生态安全等级从 1980 年的 II 级降到 1998 年的 II 级外,其它县虽然年际间的生态安全度出现不同程度的下降,但生态安全等级没有降低。

表 3 赣州市生态安全评价指标权重

准则层	权重	指标层	权重
压力指数	0.200 6	人口密度/(人·km ⁻²)	0.175 0
		人均耕地面积(hm ² /人)	0.020 6
		单位施用量(折纯量)/(kg·hm ⁻²)	0.035 4
		单位耕地面积农药施用量/(kg·hm ⁻²)	0.139 0
		人均粮食总产量(kg/人)	0.016 5
		经济密度/(万元·km ⁻²)	0.613 9
状态指数	0.523 4	土壤侵蚀面积率/%	0.026 2
		强度以上土壤侵蚀占土壤侵蚀总面积比例/%	0.203 8
		森林覆盖率/%	0.038 2
		土壤侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)	0.043 9
		城市化水平/%	0.419 1
		农民人均纯收入/元	0.051 5
		人均 GDP(元/人)	0.217 3
响应指数	0.276 0	第三产业占 GDP 比重/%	0.039 9
		人口自然增长率/‰	0.044 2
		单位土壤侵蚀面积投资/(万元·km ⁻²)	0.349 8
		封山育林面积占国土面积比率/%	0.566 0

表 4 赣州市生态安全指数评价结果

地区	系统压力指数			系统状态指数			系统响应指数			生态安全指数		
	1980 年	1998 年	2008 年	1980 年	1998 年	2008 年	1980 年	1998 年	2008 年	1980 年	1998 年	2008 年
赣州市	0.200	0.303	0.324	0.252	0.296	0.376	0.304	0.490	0.545	0.256	0.351	0.412
章贡区	0.614	0.692	0.788	0.720	0.814	0.757	0.313	0.520	0.731	0.586	0.708	0.756
瑞金县	0.197	0.317	0.334	0.201	0.269	0.331	0.022	0.100	0.104	0.151	0.232	0.269
南康县	0.225	0.285	0.331	0.150	0.295	0.286	0.674	0.819	0.831	0.309	0.438	0.446
赣县	0.193	0.298	0.334	0.148	0.166	0.142	0.270	0.583	0.648	0.191	0.308	0.320
信丰县	0.224	0.285	0.325	0.294	0.329	0.349	0.295	0.356	0.398	0.280	0.327	0.358
大余县	0.225	0.294	0.347	0.536	0.490	0.534	0.152	0.401	0.436	0.367	0.426	0.470
上犹县	0.190	0.317	0.331	0.265	0.295	0.272	0.386	0.546	0.725	0.284	0.369	0.409
崇义县	0.195	0.251	0.304	0.552	0.343	0.434	0.274	0.488	0.469	0.404	0.365	0.417
安远县	0.197	0.258	0.193	0.357	0.318	0.248	0.320	0.441	0.491	0.315	0.340	0.304
龙南县	0.191	0.357	0.354	0.146	0.344	0.406	0.348	0.488	0.733	0.211	0.386	0.486
定南县	0.199	0.368	0.364	0.288	0.395	0.320	0.209	0.327	0.373	0.248	0.371	0.344
全南县	0.206	0.255	0.284	0.475	0.491	0.522	0.437	0.569	0.587	0.411	0.465	0.492
宁都县	0.195	0.335	0.341	0.119	0.164	0.244	0.251	0.474	0.782	0.170	0.284	0.412
于都县	0.194	0.288	0.284	0.093	0.128	0.154	0.149	0.656	0.727	0.129	0.306	0.338
兴国县	0.186	0.296	0.327	0.077	0.087	0.198	0.344	0.657	0.668	0.172	0.286	0.353
会昌县	0.200	0.335	0.298	0.259	0.224	0.200	0.524	0.571	0.554	0.320	0.342	0.317
寻乌县	0.197	0.199	0.266	0.321	0.355	0.321	0.144	0.392	0.428	0.247	0.334	0.339
石城县	0.217	0.313	0.337	0.186	0.143	0.247	0.285	0.328	0.380	0.219	0.228	0.302

表 5 赣州市各县生态安全度变化

年份	赣南	章贡	瑞金	南康	赣县	信丰	大余	上犹	崇义	安远	龙南	定南	全南	宁都	于都	兴国	会昌	寻乌	石城
1980—2008	15.6	17.0	11.8	13.6	12.9	7.8	10.2	12.5	1.4	-1.1	27.5	9.5	8.1	24.1	21.0	18.1	-0.3	9.2	8.2
1998—2008	6.1	4.8	3.7	0.8	1.2	3.1	4.3	4.0	5.3	-3.6	9.9	-2.7	2.7	12.8	3.2	6.7	-2.5	0.6	7.3
1980—1998	9.5	12.2	8.1	12.8	11.7	4.7	5.9	8.5	-3.9	2.5	17.6	12.3	5.4	11.3	17.7	11.4	2.2	8.6	0.9

从空间上分析(附图 6), 1980 年生态安全等级处于 I 级的有宁都、兴国、于都、瑞金和赣县这 5 县, 处于 II 级的有章贡、崇义和全南县, 其它各县生态安全等级都处于 II 级。到了 1998 年, 宁都、兴国、于都、瑞

金和赣县的生态安全等级上升为Ⅱ级,南康和大余县的生态安全等级上升为Ⅲ级,章贡区生态安全等级上升为Ⅳ级,崇义县下降到Ⅱ,其它各县生态安全等级没有变化。再到 2008 年,宁都、上犹、崇义和龙南县的生态安全等级上升为Ⅲ级,其它各县区的生态安全等级在 1998 年的基础上维持不变。

从 1980、1998 和 2008 年赣州市各县区的生态安全度与土壤侵蚀模数的关系图可以看出(图 1),土壤侵蚀模数大的县区,生态安全指数明显偏低;土壤侵蚀模数小的县区,其生态安全指数明显偏高。借助 SPSS 软件,分析 1980、1998 和 2008 年赣州市各县区的土壤侵蚀模数与生态安全度的皮尔逊相关系数和显著性水平分别为: $-0.576, 0.010$; $-0.458, 0.048$ 和 $-0.378, 0.053$ 。土壤侵蚀与生态安全度呈现出较强的负相关性,说明水土流失对生态安全有着明显的负影响^[17]。与 1980 年相比,1998 年的土壤侵蚀与生态安全度的负相关性有了明显下降,相关显著性也有 1980 年的极显著水平下降到 1998 年度显著水平。与 1980 和 1998 年相比,2008 年的土壤侵蚀与生态安全度的负相关性下降显著,相关显著性水平达到不显著水平,但显著性值较低,相关性还仍然存在。

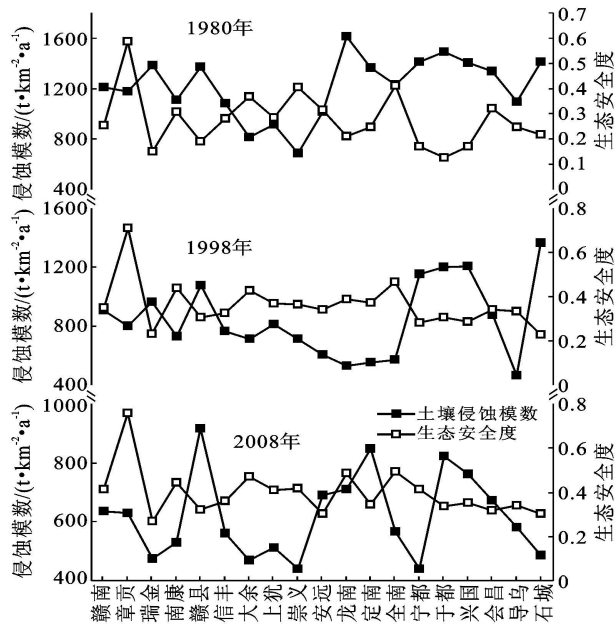


图 1 赣州市不同年份县区生态安全度与土壤侵蚀模数关系

赣州市生态安全在不同时期与空间分布上变化较大。赣州市的生态安全度和生态安全等级总体上呈上升趋势,尤其是宁都、兴国、于都、瑞金、章贡、赣县、上犹、南康等县区生态安全等级得到明显提高,这主要是从 20 世纪 80 年代以来中央到地方各级政府

加大对赣州市水土流失治理结果。但是,在整体好转的基础上,生态安全度也出现了局部地区降低的情况,在 1980、1998 和 2008 年的年际里,赣州市有 4 个县生态安全度出现了不同程度的降低。这些县相对其它县来说,生态安全基础较好,造成生态安全度降低的可能原因是经济的发展、开发建设项目的实施与水土流失治理投资不足的矛盾。

经过 30 a 的水土流失治理,赣州市水土流失得到有效控制,生态安全水平得到了明显提高,但整个地区水土流失仍然较为严重,生态环境脆弱,到 2008 年为止,总体生态安全等级刚刚达到Ⅲ级水平,还处于微脆弱状态,该地区总共 18 个县市区只有章贡区生态安全等级处于较安全状态,其它的有 17 个县处于不同的脆弱状态中,其中有 10 个县处于中度脆弱状态。所以,赣州市的生态安全有待进一步的提高。

当前,赣州市的水土流失还比较严重,尤其是崩岗和林下水土流失还需要加强治理;同时在生态安全系统层指数里,整体的指数水平不高,有的指数在生态安全水平提高的基础上呈现出降低的情况,所以在注重整体环境改善的同时,不能忽视由此带来的其它压力,因此鉴于赣州市的地区特点,需要进一步的加大该地区的水土流失综合治理力度,加快发展适合该地区的水土流失治理模式。

3 结论

(1) 经过 30 a 的水土流失治理,赣州地区的生态安全水平得到明显提高,但是,赣州市整体生态安全水平还处于微脆弱状态,其中有 10 个县还处于中度脆弱状态;加之,该地区的生态安全水平在整体提升的基础上,局部地区也出现了不同程度的降低,因此,赣州市的生态安全水平与生态环境有待进一步的提升和改善。

(2) 水土流失与生态安全度呈现明显的负相关关系,30 a 来,随着赣州市水土流失治理力度加大,水土流失对生态安全的影响逐步降低,1980—2008 年该地区的土壤侵蚀与生态安全度的负相关性由极显著水平下降到不显著水平,因此,水土保持是改善赣州市生态环境的重要途径之一。

[参 考 文 献]

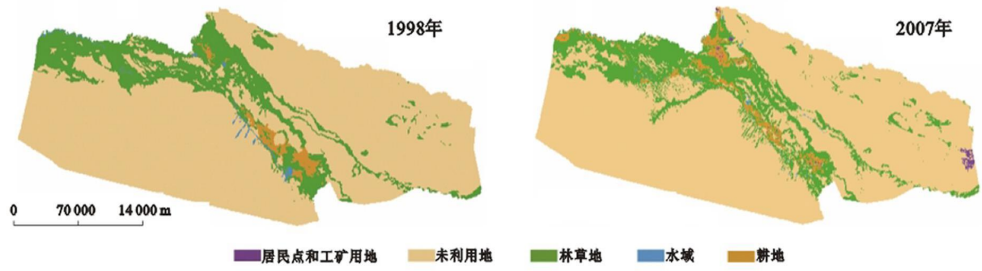
- [1] 李锐,上官周平,刘宝元,等.近 60 年我国土壤侵蚀科学研究进展[J].中国水土保持科学,2009,7(5):1-6.
- [2] 赵其国.我国南方当前水土流失与生态安全中值得重视的问题[J].水土保持通报,2006,26(2):1-8.
- [3] 黄宝荣,欧阳志云,张慧智,等.海南岛生态环境脆弱

- 性评价[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 639-646.
- [4] Zhao Y Z, Zou X Y, Cheng H, et al. Assessing the ecological security of the Tibetan plateau: Methodology and a case study for Lhaze County [J]. Journal of Environmental Management, 2006, 80(2): 120-131.
- [5] Eickhout B, van Meijl H, Tabeau A, et al. Economic and ecological consequences of four European land use scenarios [J]. Land Use Policy, 2007, 24(3): 562-575.
- [6] Michael C F. Environmental consequences of social security reform: A second best threat to public conservation [J]. Ecological Economics, 2005, 53(2): 191-209.
- [7] 黄辉玲, 罗文斌, 吴次芳, 等. 基于物元分析的土地生态安全评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 316-322.
- [8] 李锐. 中国水土流失基础研究的机遇与挑战[J]. 自然杂志, 2008, 30(1): 6-11.
- [9] 左太安, 苏维词, 马景娜, 等. 三峡重庆库区针对水土流失的土地资源生态安全评价[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2): 74-78.
- [10] 俞伟强, 黄国勤. 江西省水土流失的现状、问题及对策[J]. 水土保持研究, 2006, 13(5): 150-153.
- [11] 黄国勤. 江西省生态安全面临的问题和生态建设对策[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(2): 67-74.
- [12] Tong C. Review on environmental indicator research [J]. Research on Environmental Science, 2000, 13(4): 53-55.
- [13] 何长高, 胡建民. 赣州市水土保持与区域可持续发展[J]. 水土保持通报, 1999, 19(4): 49-53.
- [14] 熊平生. 赣南地区水土流失成因分析及其治理措施[J]. 水土保持研究, 2007, 14(5): 362-365.
- [15] 彭兆亮, 何斌, 彭勇, 等. 基于熵权的可变模糊模型在地下水质评价中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(4): 6-10.
- [16] 邱微, 赵庆良, 李崧, 等. 基于“压力-状态-响应”模型的黑龙省生态安全评价[J]. 环境科学, 2008, 9(4): 1148-1152.
- [17] 第宝锋, 宁堆虎, 鲁胜利. 中国水土流失与贫困的关系研究[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 67-73.

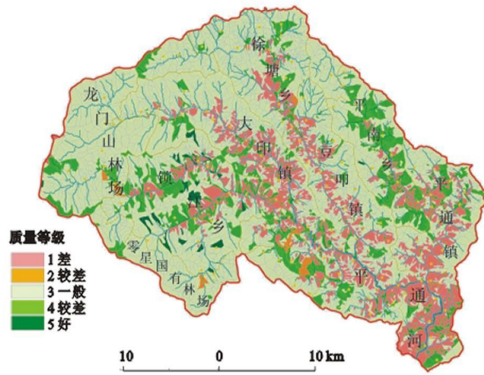
(上接第203页)

[参考文献]

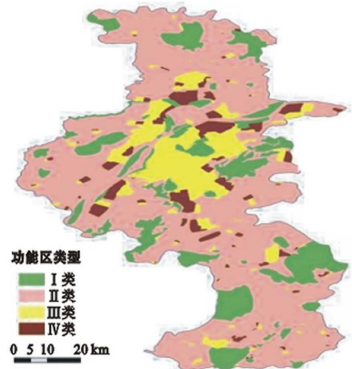
- [1] 张小林, 盛明. 中国乡村地理学研究的重新定向[J]. 人文地理, 2002, 17(1): 81-84.
- [2] 张华, 张勃. 国际土地利用/覆盖变化模型研究综述[J]. 自然资源学报, 2005, 20(3): 422-431.
- [3] Matthews, Gilbert, Roach, et al. Agent-based land use models: A review of applications [J]. Landscape Ecology, 2007, 22: 1447-1459.
- [4] 张鸿辉, 曾永年. 多智能体城市土地扩张模型及其应用[J]. 地理学报, 2008, 63(8): 869-881.
- [5] 刘小平, 黎夏, 叶嘉安. 基于多智能体系统的空间决策行为及土地利用格局演变的模拟[J]. 地球科学, 2006, 36(11): 1027-1036.
- [6] Ligtenberg, Wachowicz, Beulens, et al. A design and application of a multi-agent system for simulation of multi-actor spatial planning [J]. Journal of Environmental Management, 2004, 72: 43-55.
- [7] 陈海, 梁小英. Multi-Agent System 模型在土地利用/覆盖变化中的研究进展[J]. 自然资源学报, 2008, 23(2): 345-252.
- [8] Berger. Agent-based spatial models applied to agriculture: A simulation tool for technology diffusion, resource use changes, and policy analysis [J]. Agricultural Economics, 2001, 25: 245-260.
- [9] Parker, Manson, Janssen, et al. Multiagent systems for the simulation of land use and land cover change: A review [J]. Annals of the Association of American Geographers, 2003, 93: 314-337.



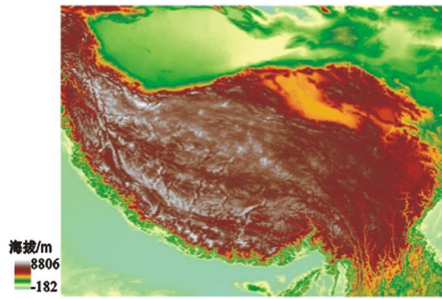
附图1 新疆自治区尉犁县1980和2007年土地利用和覆被图



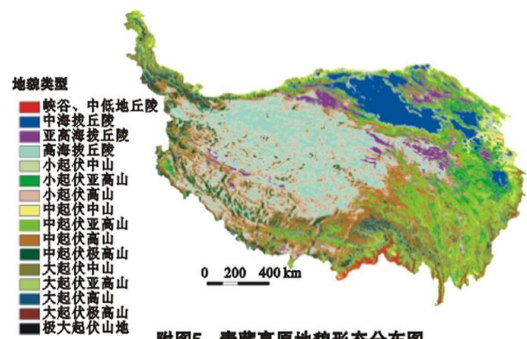
附图2 平通河流域防护林质量评价结果



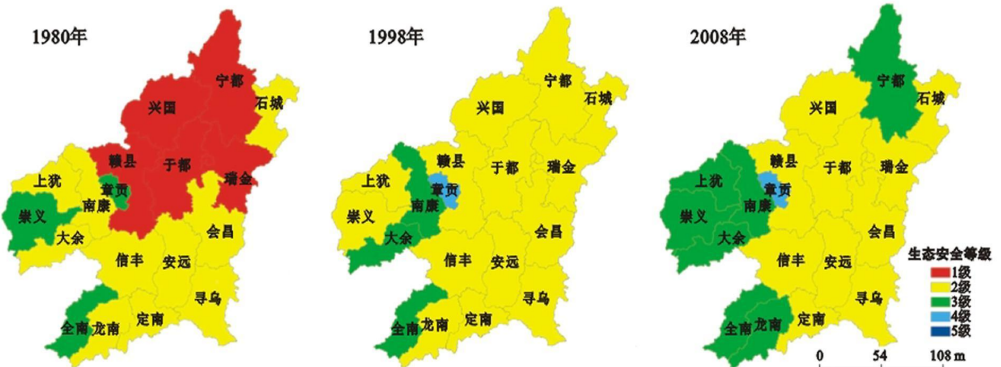
附图3 南京市土壤环境功能分区



附图4 青藏高原地形特征示意图



附图5 青藏高原地貌形态分布图



附图6 赣州地区生态安全等级分布