

# 南方红壤侵蚀区典型小流域土壤侵蚀敏感性研究

鄢新余<sup>1</sup>, 陈志强<sup>1</sup>, 黄锦祥<sup>2</sup>, 熊伟<sup>2</sup>, 罗玮祥<sup>1</sup>

(1. 福建师范大学 地理科学学院, 福建 福州 350007; 2. 福建省宁化县水土保持站, 福建 宁化 365400)

**摘要:** 选取降雨侵蚀力、地形坡度、植被覆盖度、土壤类型和土地利用 5 个因子作为评价指标, 借助 Arc-GIS 空间分析功能, 评价了南方红壤侵蚀区朱溪小流域的土壤侵蚀敏感性。结果表明: (1) 流域内土壤侵蚀以敏感级别面积最大, 占总面积的 55.96%; 其次为轻度敏感, 占 38.62%; 高度敏感和不敏感分布较小, 分别占 4.22% 和 1.20%; 而极敏感区面积极小, 仅占 0.001%; (2) 流域东部、中部和西部地区土壤侵蚀敏感性都以轻度敏感和敏感占绝对比例, 不敏感和高度敏感比例很小, 极敏感区都分布在中部, 但东部敏感性总体上高于中部和西部; (3) 土壤侵蚀敏感性与土壤侵蚀现状在空间分布上总体吻合度不高, 土壤侵蚀敏感性以敏感级别比例最大, 而土壤侵蚀强度却以微度侵蚀为主, 其主要原因是人类活动的影响。

**关键词:** 土壤侵蚀敏感性; 空间分异; 朱溪小流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)02-0007-04

中图分类号: S157.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.002

## Sensitivity of Soil Erosion in Typical Small Watershed in Eroded Red Soil Region in South China

YAN Xin-yu<sup>1</sup>, CHEN Zhi-qiang<sup>1</sup>, HUANG Jin-xiang<sup>2</sup>, XIONG Wei<sup>2</sup>, LUO Wei-xiang<sup>1</sup>

(1. College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China;

2. Soil and Water Conservation Station of Ninghua County, Ninghua, Fujian 365400, China)

**Abstract:** Five factors affecting soil erosion were chosen including precipitation, topology, soil texture, vegetation cover and land use to evaluate the soil erosion sensitivity in Zhuxi small watershed using the spatial analysis function of ArcGIS. The results showed that: (1) The area of high sensitivity is largest, accounting for 55.96% of total area; followed by percentage of slight sensitivity, which account for 38.62% of the total area; the percentage of high sensitivity and none sensitivity erosion are low, accounting for 4.22% and 1.20% respectively. However, the area with extrem sensitivity erosion only accounts 0.001%; (2) The erosion of slight sensitivity and sensitivity are the main types of soil erosion in the east, middle and west of the whole watershed, and the proportions of high and none sensitivity area are small. Extreme erosion sensitivity area spreads in the middle of the watershed. Generally, the erosion sensitivity in the east is higher than that in the central and west of the watershed; (3) The soil erosion sensitivities are not consistent with soil erosion degree in many regions, because the human activities are the main factors affecting the soil erosion in this area. The proportion of erosion sensitivity is the largest, nevertheless the main degree type of soil erosion is micro erosion.

**Keywords:** soil erosion sensitivity; spatial differentiation; Zhuxi small watershed

土壤侵蚀是导致土地资源退化, 泥沙淤积, 洪涝灾害频繁, 生态环境恶化等问题的主要原因之一, 已日益成为全球关注的焦点。土壤侵蚀敏感性是指在自然状况下发生土壤侵蚀可能性的大小<sup>[1]</sup>, 土壤侵蚀敏感性评价可以识别每个区域土壤侵蚀敏感性的大小, 为制定相应的水土保持防治措施和宏观决策提供科学依据<sup>[2]</sup>。

目前, 国内外许多学者在土壤侵蚀敏感性方面已做了大量的研究工作并取得了一定成果, 如 Martin 等<sup>[3]</sup>利用 GIS/USLE 模型评价了流域的土壤侵蚀敏感性; Lu 等<sup>[4]</sup>应用 RUSLE、遥感以及 GIS 绘制了巴西亚马逊流域的土壤侵蚀敏感性分布图; 陈燕红等<sup>[5]</sup>应用 USLE 的基本原理定量评估了福建省吉溪流域土壤侵蚀敏感性; 李月臣等<sup>[6]</sup>揭示了三峡库区(重

收稿日期: 2013-04-10

修回日期: 2013-05-13

资助项目: 国家自然科学基金项目“南方红壤侵蚀区芒萁散布的地质分析及其时空模拟”(41171232); 国家自然科学基金项目(410011701)

作者简介: 鄢新余(1990—), 女(汉族), 江西省宜春市人, 硕士研究生, 研究方向为资源环境与水土保持。E-mail: yxygogo@163.com。

庆段)土壤侵蚀敏感性空间分异特征。我国南方红壤区因其土壤可蚀性强、降雨强度大且分布不均等自然因素,加上人类活动干扰,已经成为我国水土流失量较大、程度较高的区域,总水土流失面积达 $6.0 \times 10^5 \text{ km}^2$ <sup>[7]</sup>。因此进行土壤侵蚀敏感性评价,制定有效的水土保持规划,是南方红壤侵蚀区生态建设的一项重要内容。本研究选取南方红壤侵蚀区的典型代表朱溪小流域为研究对象,对其土壤侵蚀敏感性进行定量评价,揭示其空间分布特征,以期为我国南方红壤侵蚀区的生态环境保护提供理论参考和实践经验。

## 1 研究区概况

朱溪小流域地处福建省长汀县河田镇东部,地理位置为 $116^\circ 23' 30''$ — $116^\circ 30' 30''\text{E}$ , $25^\circ 38' 15''$ — $25^\circ 42' 55''\text{N}$ ,总面积为 $4\,495.66 \text{ hm}^2$ ;该小流域地貌以低山、丘陵为主,地势大体东高西低,自东北向西南倾斜,河流沿岸及支流有河谷盆地分布,地势较为平坦;气候属中亚热带季风性湿润气候,多年平均气温 $18.3 \text{ }^\circ\text{C}$ ,平均

降水量 $1\,700 \text{ mm}$ ,降雨强度较大;山地土壤主要为花岗岩在长期湿热气候条件下风化发育形成的红壤,抗蚀性差,且酸性较强,保水保肥能力较低;由于长期人为活动频繁,原始植被几乎全部为次生林所代替,主要植被类型为丘陵地带的次生马尾松中、幼林,树种单一。朱溪小流域是南方红壤侵蚀区的典型代表,1940年福建省在此设立了土壤保肥试验区,开展土壤侵蚀治理的试验研究;1995年以来,该流域先后被列为福建省重点治理小流域、全国水土保持生态环境建设“十百千”示范小流域和全国30条典型监测小流域之一。

## 2 研究方法

根据2002年国家环境保护总局《生态功能区划暂行规程》和水利部《土壤侵蚀分类分级标准(SL190—96)》,结合研究区实际情况,制定降雨侵蚀力等5个影响因子的评价等级标准,通过专家打分法确定各评价因子的权重(表1)<sup>[8]</sup>。

表1 朱溪小流域土壤侵蚀敏感性评价因子分级标准

评价指标	权重	不敏感	轻度敏感	敏感	高度敏感	极敏感
降雨侵蚀力/ $(\text{J} \cdot \text{cm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$	0.11	<25	25~100	100~400	400~600	>600
地形坡度/ $(^\circ)$	0.21	<8	8~15	15~25	25~35	>35
土壤类型	0.16	潜育型水稻土	渗育型水稻土、泥沙土	酸性岩红壤、酸性岩黄红壤	酸性岩侵蚀红壤	酸性岩粗骨性红壤
植被覆盖度	0.28	>0.75	0.75~0.60	0.60~0.30	0.30~0.15	<0.15
土地利用	0.24	建筑用地、水域、交通用地	苗圃、草地、有林地	耕地、园地、疏林地、迹地、荒草地、沙地、稳定型崩岗	工矿用(采石场)、半活动崩岗	活动型崩岗
分级赋值 C		1	3	5	7	9
综合评价分级标准 S <sub>i</sub>		1.0~2.0	2.1~4.0	4.1~6.0	6.1~8.0	>8.0

### 2.1 土壤侵蚀敏感性单因子评价

2.1.1 降雨侵蚀力因子 通过比较,本研究采用周伏建等<sup>[9]</sup>提出的福建省降雨侵蚀力 R 值计算公式:

$$R = \sum_{i=1}^{12} (-2.6398 + 0.3046P_i) \quad (1)$$

式中: $P_i$ ——月降雨量(mm); R——年降雨侵蚀力 $[\text{J} \cdot \text{cm}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$ 。结合福建长汀县气象站点的1961—2000年的降雨观测资料,计算出 R 值为495.40,从而得出朱溪小流域降雨侵蚀力因子对土壤侵蚀敏感性评价。

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 \text{SAN}(1 - \frac{\text{SIL}}{100})]\} \times (\frac{\text{SIL}}{\text{CLA} + \text{SIL}})^{0.3} \times [1.0 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)}] \times [1.0 - \frac{0.7\text{SN}}{\text{SN} + \exp(-5.51 + 22.9\text{SN})}] \quad (2)$$

式中:SAN——砂含量(% ,粒径为 $0.05 \sim 2 \text{ mm}$ ); SIL——粉砂含量(% ,粒径为 $0.002 \sim 0.05 \text{ mm}$ );

2.1.2 地形坡度因子 对研究区1:1万地形图进行数字化,在ArcGIS中建立数字高程模型DEM,然后将DEM数据作为提取地形坡度的数据源,在ArcGIS中Slop命令生成坡度图,根据表1的分级标准进行重新分类,从而生成坡度对土壤侵蚀敏感性影响分布图。

2.1.3 土壤类型因子 借鉴福建省主要土壤K值特征表<sup>[10]</sup>和EPIC模型来估算朱溪小流域各土壤类型K值<sup>[11]</sup>,计算公式为:

CLA——黏粒含量(% ,粒径 $<0.002 \text{ mm}$ ); C——有机质含量(%), $\text{SN} = 1 - \text{SAN}/100$ 。利用查图表法计

算土壤类型对应的土壤可蚀性  $K$  值。根据  $K$  值的大小将土壤类型归类到不同的土壤侵蚀敏感性级别中,重新归类合并与分级赋值,得出土壤类型对土壤侵蚀敏感性分布图。

2.1.4 植被覆盖度因子 应用 ENVI 4.2 软件,根据归一化差值植被指数 (NDVI) 来近似估算植被覆盖度 (公式 3),最后,根据朱溪小流域的土地利用现状及植被覆盖解译与反演结果,参考蔡崇法等<sup>[12]</sup> 求取  $C$  值的研究成果,实现植被覆盖度因子的定量提取。

$$VFC = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\text{soil}}) / (\text{NDVI}_{\text{veg}} - \text{NDVI}_{\text{soil}}) \quad (3)$$

式中:  $VFC$ ——植被覆盖度;  $\text{NDVI}_{\text{soil}}$ ——完全是裸地的 NDVI 值;  $\text{NDVI}_{\text{veg}}$ ——高纯度像元的 NDVI 值即纯植被像元的 NDVI 值。

2.1.5 土地利用因子 以 2011 年朱溪小流域 SPOT 卫星遥感影像为基础,更新该流域 2007 年土地利用矢量图,然后将崩岗类型分布图与土地利用图进行合并。最后,根据土地利用类型对土壤侵蚀的敏感的差异,划分出不同土地利用类型的敏感性级别。

## 2.2 土壤侵蚀敏感性综合评价

为了全面地反映一个地区的土壤侵蚀敏感性差异,土壤侵蚀敏感性指数计算公式为:

$$S_s = \sum_{i=1}^5 C_i W_i \quad (4)$$

式中:  $S_s$ ——空间单元土壤侵蚀敏感性指数;  $C_i$ —— $i$  因子敏感性等级值;  $W_i$ ——影响土壤侵蚀性因子的权重。

根据公式(4),在单因子土壤侵蚀敏感性评价基础上,统一投影系统,设置栅格大小为  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ ,利用 ArcGIS 9.3 软件对 5 个因子图件进行加权叠加计算,最终得到朱溪小流域土壤侵蚀敏感性综合评价图。根据自然环境的差异性,将该小流域分成东部、中部和西

部 3 部分,将这 3 个区域分别与土壤侵蚀敏感性综合评价图进行叠加,从而得出朱溪小流域的东、中和西部的土壤侵蚀敏感综合评价结果(附图 1)。

## 3 结果分析

### 3.1 土壤侵蚀敏感性总体空间分布格局

朱溪小流域轻度敏感级别以上面积占总面积的 98.80%,说明该小流域存在不同程度的土壤侵蚀敏感性状况,但主要以敏感( $2\,515.34 \text{ hm}^2$ )和轻度敏感( $1\,736.20 \text{ hm}^2$ )为主,所占比例分别为 55.96%和 38.62%;其次为高度敏感( $189.88 \text{ hm}^2$ )和不敏感( $53.72 \text{ hm}^2$ ),比例分别为 4.22%和 1.20%;而极敏感面积极少,仅为  $0.02 \text{ hm}^2$ ,所占比例为 0.001%。不敏感区主要分布在河流、农村居民点等区域;轻度敏感区集中分布于耕地和板栗园等区域,多沿河谷分布;敏感区主要分布在疏林地和有林地等区域,基本遍及全流域;高度敏感区零星地分布于流域东部的一些疏林地、交通用地边坡、火烧山、崩岗等地,极敏感主要分布在采石场、活动中的崩岗等区域。

### 3.2 土壤侵蚀敏感性的空间分异特征

朱溪小流域东部大部分为敏感级别,其面积为  $1\,550.32 \text{ hm}^2$ ,占流域总面积的 34.49%,其次为轻度敏感和高度敏感,不敏感面积较小,比例占 0.06%;中部以轻度敏感和敏感为主,但轻度敏感面积略大于敏感,其次为高度敏感和不敏感,极敏感面积极少,仅为  $0.02 \text{ hm}^2$ ;西部以轻度敏感面积最大,为  $547.51 \text{ hm}^2$ ,远大于其它敏感级别面积之和,敏感次之,不敏感居第三,高度敏感面积很小,为  $1.19 \text{ hm}^2$ 。朱溪小流域东部、中部和西部土壤侵蚀敏感性都以轻度敏感和敏感级别为主,不敏感和高度敏感面积较小,而极敏感更小。但各地区间又存在较大差异,东部地区土壤侵蚀敏感性较高于中部和西部(表 2)。

表 2 朱溪小流域东、中和西部的不同土壤侵蚀敏感性面积及其比例

区域	不敏感		轻度敏感		敏感		高度敏感		极敏感	
	面积/ $\text{hm}^2$	比例/%	面积/ $\text{hm}^2$	比例/%	面积/ $\text{hm}^2$	比例/%	面积/ $\text{hm}^2$	比例/%	面积/ $\text{hm}^2$	比例/%
东部	2.55	0.06	396.88	8.83	1 550.32	34.49	166.05	3.69	0.00	0.00
中部	18.67	0.42	791.80	17.61	645.48	14.36	22.65	0.50	0.02	0.001
西部	32.50	0.72	547.51	12.18	319.54	7.11	1.19	0.03	0.00	0.00
合计	53.72	1.20	1 736.20	38.62	2 515.34	55.96	189.88	4.22	0.02	0.001

### 3.3 土壤侵蚀敏感性与土壤侵蚀现状对比分析

将朱溪小流域土壤侵蚀敏感性综合评价图与 2007 年土壤侵蚀现状图(附图 2)进行比较,可以看出二者的空间分布格局总体上存在较大差距,土壤侵蚀

敏感性以敏感级别比例最大,而土壤侵蚀强度却以微度侵蚀为主,这在东部地区表现得尤为明显,在东部大部分敏感区和高度敏感区只出现微度和轻度土壤侵蚀;而在一些土壤侵蚀敏感性较低的地方,目前土

壤却出现比较严重的侵蚀状况,这在中西部地区较为普遍。出现这种差异的主要原因是受人为因素的影响:在敏感性低的地区,由于人口较密集,人类活动影响大,长期的人为活动使自然植被受到破坏,造成了严重的土壤侵蚀,如部分区域开垦坡地、开采工矿、修建公路等;在一些土壤侵蚀敏感性较高的地区,由于开发利用难度大,人为活动的干扰程度相对较小,故此没有出现较严重的土壤侵蚀,如红畚水库东部中低山,由于地势高低起伏大,无道路可通达,人迹罕至,加之多年来采取封禁治理措施,提倡生态自我修复,因而该区逐渐由原先的强度侵蚀好转为轻度、微度侵蚀。

#### 4 结论

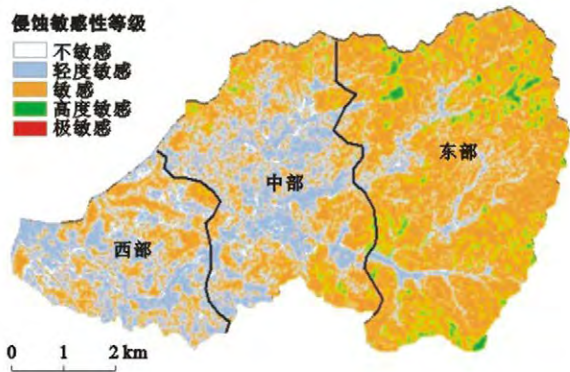
(1) 朱溪小流域土壤侵蚀敏感性以轻度敏感和敏感为主,不敏感和高度敏感面积所占比重较小,而极敏感区比重极小,且全部分布在中部地区。从总体上看,该流域土壤侵蚀敏感性东部高于中部和西部。

(2) 小流域土壤侵蚀敏感性与土壤侵蚀现状空间分布上总体吻合度不高,土壤侵蚀敏感性以敏感级别比例最大,而土壤侵蚀强度却以微度侵蚀为主,其主要原因是人为活动干扰影响该地区土壤侵蚀分布格局,因此转变不合理的土地利用方式,减少工矿开采、交通建设等人类活动引起的植被破坏是防治水土流失的关键环节。同时针对流域内不同侵蚀敏感区制定相应的防治措施,如对敏感性较低的地区,以预防为主,加强监督管理,保护现有植被;对敏感性较高的地区,应采取有效措施进行动态监测和综合防治,如坡耕地退耕还林还草,加强对偏远山区开发建设的管理等等。

(3) 由于土壤侵蚀发生机制比较复杂,建议在今后的土壤侵蚀敏感性研究中,评价因子选取要尽量全面和客观,避免因评价因子选取上的不足而影响土壤侵蚀敏感性空间分布格局,以期能够为相关地区水土保持工作提供科学依据。

#### [参 考 文 献]

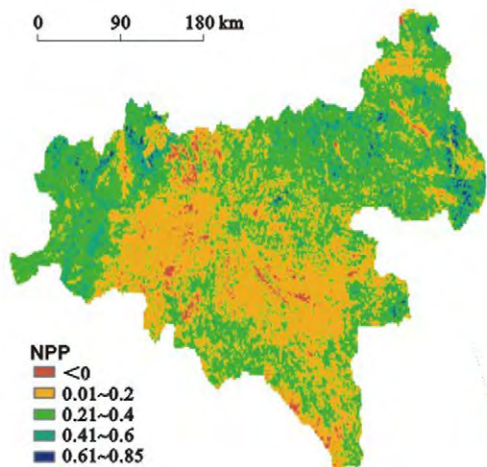
- [1] 徐天献,王玉宽,傅斌. 汶川地震重灾区土壤侵蚀敏感性评价[J]. 中国水土保持,2011(1): 39-42.
- [2] 苏泳娴,黄光庆,陈修治,等. 基于 GIS 和 RS 的红壤丘陵区土壤侵蚀敏感性评价研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(22): 13458-13462,13520.
- [3] Martin A, Gunter J T, Regens J L. Estimating erosion in a riverine watershed: Bayou Liberty—Tchefuncta River in Louisiana[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2003, 10(4): 245-250.
- [4] Lud L, Valladares E. Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: Using RUSLE, remote sensing and GIS[J]. Land Degradation and Development, 2004, 15(5): 499-512.
- [5] 陈燕红,潘文斌,蔡芜镛. 基于 RUSLE 的流域土壤侵蚀敏感性评价:以福建省吉溪流域为例[J]. 山地学报,2007,25(4): 490-496.
- [6] 李月臣,刘春霞,赵纯勇,等. 三峡库区(重庆段)土壤侵蚀敏感性评价及其空间分异特征[J]. 生态学报,2009,29(2): 788-796.
- [7] 陈志强,陈志彪,陈丽慧. 南方红壤侵蚀区典型流域土壤侵蚀危险性评价[J]. 土壤学报,2011,48(5): 1080-1082.
- [8] 陈丽慧. 基于多源信息的土壤侵蚀敏感性及其生态环境效应研究:以朱溪河小流域为例[D]. 福建 福州:福建师范大学,2009.
- [9] 周伏建,黄炎和. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. 水土保持学报,1995,9(1): 13-18.
- [10] 王美芝,许兆义,杨成永. 路堤边坡土壤类型对水土流失影响的试验研究[J]. 水土保持学报,2004,18(3): 16-19.
- [11] Williams J R, Renard K G, Dyke P T. EPIC: A new method for assessing erosion's effect on soil productivity[J]. Soil and Water Conservation, 1983, 38(5): 381-383.
- [12] 蔡崇法,丁树文,史志华,等. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报,2000,14(2): 19-24.



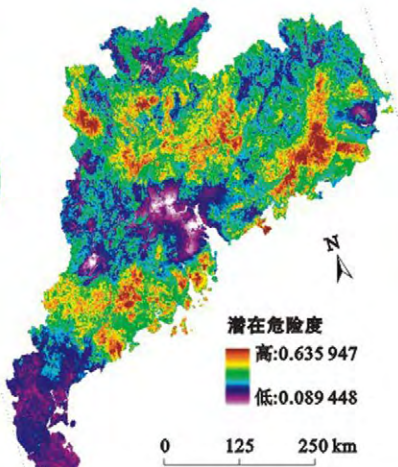
附图1 朱溪小流域土壤侵蚀敏感性综合评价



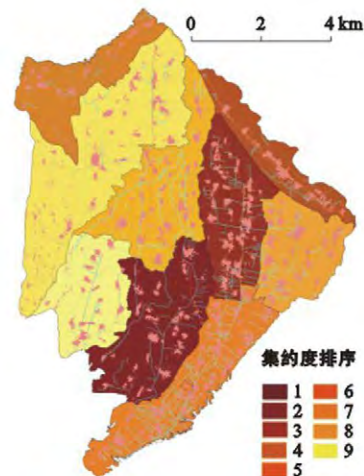
附图2 朱溪小流域土壤侵蚀现状



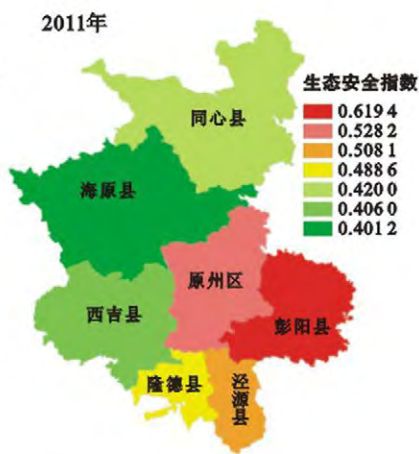
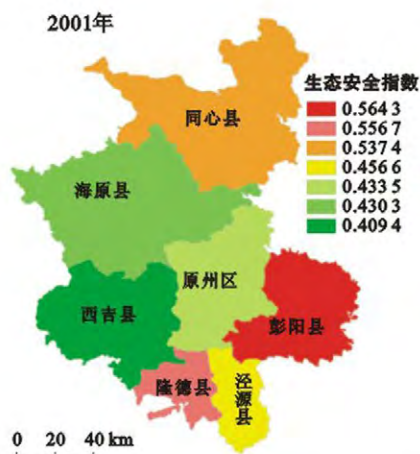
附图3 陕南地区植被净第一性生产力(NPP)变化趋势



附图4 广东省水土流失潜在危险度分布



附图5 甘肃省临夏县北塬地区农村建设用地集约度评价结果



附图6 宁夏六盘山连片特困区2001, 2007和2011年生态安全指数的空间分布