

# 42 年来兴国县土壤侵蚀时空变化规律研究

梁音, 潘贤章, 孙波

(中国科学院 南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

**摘要:** 以江西省兴国县为研究区域, 应用遥感和 GIS 技术, 借助 6 个不同时段的黑白航片、MSS 影像和 TM 数据为信息源, 在建立土壤侵蚀解译标志的基础上, 对全县 3 215 km<sup>2</sup> 范围内的土壤侵蚀进行了监测研究。结果表明, 该县从 1958—2000 年 42 a 期间, 土壤侵蚀的变化分 2 个阶段。第一阶段是 1982 年前, 全县的侵蚀面积在 2 000 km<sup>2</sup> 左右; 第二阶段是从 80 年代初到 2000 年, 该县被列为全国水土流失综合治理重点区, 侵蚀面积在 18 a 间共减少了 739 km<sup>2</sup>, 平均每年减少 41 km<sup>2</sup>。将 1992 与 2000 年的土壤侵蚀图叠置分析可以看出, 该县 5 个侵蚀等级的面积都有不同程度的降低; 在侵蚀等级的转变方面, 大约有 34% 的侵蚀面积, 其侵蚀等级发生了改变, 其中以改变一个等级的面积为主, 大约有 66% 的侵蚀面积其侵蚀等级未发生变化, 说明兴国县的土壤侵蚀已呈现出明显的减弱趋势。

**关键词:** 土壤侵蚀; 动态监测; 遥感技术; GIS 空间分析

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2006)06—0024—04

中图分类号: S157

## Spatial and Temporal Variations of Soil Erosion in Xingguo County from 1958 to 2000

LIANG Yin, PAN Xian-zhang, SUN Bo

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

**Abstract:** The spatial and temporal variations of soil erosion were investigated by taking Xingguo County, Jiangxi Province as a research area. Remote sensing and GIS techniques were applied in the study of the county area of 3 215 km<sup>2</sup>. Remote sensing data of six years such as black-white aero-photograph, MSS images and Landsat TM data were obtained. Interpretation characteristic indexes were established from remote sensing images. Results showed that from 1958 to 2000, changes in the eroded area may be divided into two different periods. First period ranged from 1958 to 1982, and the soil erosion area was increased to about 2 000 km<sup>2</sup>. Second period ranged from 1982 to 2000. During the period, the county was ratified as a national representative region for controlling soil erosion. The total erosion area of the county was decreased by 739 km<sup>2</sup> during the 18 years, which implied an average decrease of 42 km<sup>2</sup> per year. The erosion areas for five grades were found to be somewhat decreased through comparing soil erosion map in 1992 with that in 2000. Soil erosion grades in about 34% of soil erosion area were subject to change, and the change was dominated by one of the grades. Soil erosion grades in about 66% of soil erosion area were not changed. This means that soil erosion in this county is lowering obviously.

**Keywords:** soil erosion; dynamic monitoring; remote sensing technique; GIS special analysis

土壤侵蚀是区域经济发展和农业可持续发展中不可忽视的环境问题, 了解土壤侵蚀空间分布格局以及长期的动态演化规律, 对于侵蚀预报及控制起着重要的意义。目前对土壤侵蚀动态监测与演变的研究, 主要是通过遥感和 GIS 手段。遥感技术的应用, 为开展土壤侵蚀动态监测开辟了新的途径。美国农业部土壤保持局(SCS), 环境保护局(EPA)以及联合国粮农组织(FAO)和环境规划署(UNEA)等机构,

应用遥感技术监测土壤侵蚀活动的(现状的)和潜在的土壤侵蚀;通过对地表径流的监测了解泥沙淤积和水道的农药污染情况, 以及监测防治或减少土壤退化措施的效益等。近 20 a 来, 德国广泛应用遥感技术编制土壤侵蚀图, 监测土壤侵蚀动态、风沙迁移动向和防风固沙措施的效益等, 取得了较好的成果。我国应用遥感技术监测土地沙化、沙漠化前进速度, 以及治理效益等, 均取得了新的进展<sup>[1,7]</sup>。近年来, 中国

收稿日期: 2005-11-29

修稿日期: 2006-07-05

资助项目: 中国科学院知识创新工程领域前沿项目(ISS ASIP0602); 国家科技攻关项目(2007C8407206)

作者简介: 梁音(1963—), 男(汉族), 陕西省长武县人, 博士, 副研究员, 长期从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: yliang@issas.ac.cn

科学院南京土壤研究所先后在江西省全省、江西兴国县、安徽岳西县<sup>[1-6]</sup>, 曾作过土壤侵蚀遥感调查以及动态监测研究, 内容包括研究区域的土壤侵蚀时空变化, 同时涉及侵蚀土壤肥力及生产潜力的变化规律等。它将土壤侵蚀动态研究提高到新的深度和高度, 对进一步分析我国农业土壤资源的基本状况、历史变化、发展趋势, 以及存在问题等, 可提供重要的科学依据和新的手段。

## 1 材料与方法

遥感信息源能够如实纪录和反映不同时期的地表各类信息<sup>[9]</sup>, 因此土壤侵蚀动态监测可以借助于遥感数据。我国从50年代起相继对国内许多地方进行过航摄, 积累了大量航空遥感资料。1972年起美国相继发射的陆地卫星 landsat-1-5、法国1986年发射的 SPOT 卫星, 以及我国发射的国土卫星均为各地积聚了大量的卫星遥感信息资料, 尤其随着卫星的地面分辨率的提高, 大大改善了解译的精度, 为编制土壤侵蚀图提供了可选择的遥感资料。我们可以根据成图比例尺要求, 选择不同遥感信息。中、大比例尺制图, 可选用 1/1 万到 1/5 万的航片或 TM 卫片; 中比例尺制图, 宜选用 1/5 万到 1/10 万的 TM 或 MSS 信息; 小比例尺制图, 则可选用 TM 或 MSS 信息。当然, 采用遥感 TM 数据直接进行处理合成, 无疑是一种又快又好的方法。

尽管最近几年, 不断出现了 IKONOS, Quickbird, SPOT5 等高分辨率的遥感数据, 为进一步提高土壤侵蚀监测精度提供了可能, 但是由于数据成本昂贵, 目前采用比较多的还是 TM 数据。TM 图像的波段选取和组合非常重要。美国陆地卫星(Landsat)上的专题制图仪(TM)共有7个波段, 其中每一个波段都有固定的波长范围, 分别记录地面上相应波段的信息。而且, 每个波段具有不同的特性和使用目的。由于单波段图像都是由黑白灰度图像来表示, 但在遥感制图中, 根据人眼对彩色分辨力高的特点, 往往选择其中2个以上波段进行组合, 提取或加强地物的特征信息, 制作彩色图像提供判读。通常情况下用兰、绿、近红外光谱段合成, 制作常规假彩色合成图像, 其植被为红色, 水体为蓝色。常规合成是利用 TM2, 3, 4 这3个波段的组合, 也有利用 TM3, 4, 7 这3个波段的组合。然而, 在研究过程中发现, 选用 TM3, 4, 5 这3个波段合成效果更好。其原因有两点: 其一, TM5 提供的光谱信息最丰富, 约占整个 TM7 个波段信息量的 43.5%, 远远超过了 TM7 的 24.4% 的信息量, 并且涵盖了 TM7 的全部范围。其二, 根据我们

测试的江西省兴国县、鹰潭、进贤、新建等地不同土壤的光谱反射率, 结果表明, 在 TM5 波段范围内各类土壤间的差值除个别外均要大于 TM7。这就说明, 由 TM5 组成的图像上各类土壤易于识别。实践证明, TM4, 3, 5 波段分别赋予红、绿、兰合成的假彩色图像上的地物影像鲜明, 信息量丰富, 极易判读识别, 在土壤侵蚀解译中明显优于其它的波段组合。

监测兴国县土壤侵蚀, 所采用的是6个时相遥感资料, 分别是1958年11月1:5万黑白航片、1975年11月卫星磁带数据, 1982年12月23日1:10万 MSS 图像(由4, 5, 7波段合成), 1992年9月10日1:10万 Landsat TM 图像, 1996年12月25日1:10万 Landsat TM 图像, 2000年10月9日 Landsat TM 数字影像, 其中1992, 1996和2000年度的均是由3, 4, 5波段合成。

土壤侵蚀监测的目的, 最终是借助图件和统计数字, 反映研究区域在一定间隔时间内土壤侵蚀面积和强度的变化情况, 随着遥感技术不断发展和高精度的遥感数据的出现, 使其在土壤侵蚀动态监测中的应用越来越广泛。

## 2 侵蚀因素分级

根据兴国县土壤侵蚀的特征, 选择植被覆盖度、土壤母质岩性、地形(坡度)、土地利用方式作为影响土壤侵蚀的主要因子<sup>[11]</sup>。

(1) 植被覆盖度。植被是影响水土流失的最重要的因子之一, 它在控制水土流失、保护生态环境方面起着决定性的作用。实践证明, 植被覆盖度愈高, 水土流失愈轻微, 当植被覆盖度达到75%以上时, 一般不会发生严重的水土流失。植被覆盖度主要是依据 TM 遥感图像的红色色调的深浅、疏密程度及图形结构进行划分: ①高覆盖, 植被盖度大于75%; ②中高覆盖, 盖度介于60%~75%之间; ③中覆盖, 盖度介于45%~60%之间; ④中低覆盖, 盖度介于30%~45%之间; ⑤低覆盖, 盖度低于30%。

(2) 岩性。土壤母质岩性, 按照岩石的理化性质和抗蚀强度由大到小的顺序进行依次划分为: ①变质岩; ②石灰岩; ③第四纪红土; ④紫色页岩; ⑤红砂岩; ⑥花岗岩。

(3) 地貌。地貌主要依据研究区域的 DEM 进行划分: ①中山, 绝对高程大于800 m, 山体呈垄状, 山脊呈锯齿状, 延伸远, 切割深度大, 多被植被覆盖; ②低山, 绝对高程介于500~800 m 之间, 特征同中山, 植被盖度略低于中山; ③高丘, 绝对高程介于200~500 m 之间, 呈馒头状或垄状, 地形切割较为破碎; ④

低丘,绝对高程介于 150~300m 之间,呈馒头状或缓坡状,地形切割破碎,水系密度较大;⑤岗地,绝对高程低于 200 m,呈垄岗状,位于盆地中,垄岗相间排列,土地利用程度较高,岗间多为水田,岗坡多为旱地,岗顶植被稀疏;⑥谷地,相对高差低于 20m,为山丘间纵长的凹地或盆地内的滩地、阶地,多被开垦为水田,为规则的条块状。

(4) 植被结构及土地利用方式。植被结构及土地利用主要依据遥感图像进行划分:①高结构,为乔灌草三层密结构;②中高结构,为乔草、灌草二层结构,或为园地;③中结构,为密集草或灌一层结构,或为牧草地;④中低结构,为疏灌草、疏草等,或为牧草地;⑤低结构,为疏林、疏灌、荒草地,或为旱地;⑥裸地,无植被地,或为荒地、水田。

### 3 土壤侵蚀监测图编制

#### 3.1 土壤侵蚀类型及强度分级

兴国县是水力侵蚀区域,其土壤侵蚀强度依据土壤侵蚀模数 $[t/(km^2 \cdot a)]$ 分为微度侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀、极强度侵蚀、剧烈侵蚀 6 个等级,在侵蚀图上分别用 0, 1, 2, 3, 4, 5 来代替,侵蚀模数的相应范围依次为:0~500, 500~2 500, 2 500~5 000, 5 000~8 000, 8 000~15 000 和  $\geq 15 000 t/(km^2 \cdot a)$ 。

#### 3.2 土壤侵蚀解译标志

(1) 微度侵蚀。以高覆盖、高结构植被、中山—低山、变质岩为主。MSS 图像上阳坡为深红色,阴坡为暗红色;TM 图像上阳坡为亮黄红色、浅黄红色,阴坡为深黄褐色、暗黄褐色,为连片状。

(2) 轻度侵蚀。以中高覆盖、中高结构植被、低山、变质岩—花岗岩为主,色调略淡于微度侵蚀。MSS 图像上为红色、红黄色;TM 图像上为亮黄色、淡黄色,块状。

(3) 中度侵蚀。以中覆盖、中结构植被、高丘—低丘、石灰岩—紫色页岩—花岗岩为主,色调淡于轻度侵蚀。MSS 图像上为浅黄色,夹有淡红色;TM 图像上为黄色、浅黄色,团块状。

(4) 强度侵蚀。以中低覆盖、中低结构植被、低丘—高岗、花岗岩—紫色页岩为主。MSS 图像上为灰黄色;TM 图像上为黄色中夹有白色、灰绿色、灰白色,团块状。

(5) 极强度侵蚀。以低覆盖、低结构植被、丘陵—岗地、第四纪红土—花岗岩为主。MSS 图像上为灰白色、白色、白青色;TM 图像为青绿色、绿青色,团块状,一般分布于强度侵蚀之中。

(6) 剧烈侵蚀。以裸岩—裸土、红砂岩—第四纪

红土为主。MSS 图像为白色、白青色;TM 图像上为深青色、暗青色,团块状,多分布在极强度侵蚀之中。

(7) 堆积地类。包括水田、水面、河滩等。水田在 MSS 影像上为青色调,TM 影像上有水稻时为红色调,无水稻时为灰色调和白色调;水面为蓝色调,河滩为白色调。

#### 3.3 人机交互解译

室内人机交互目视解译,它是水土流失遥感调查的最重要阶段。由于经增强处理和几何纠正后的遥感图像,与同比例尺的地形图各类主要地物套合很好,因此,能够非常准确地确定图斑界限,然后再根据遥感解译的基本原理和野外建立的解译标志,确定图斑的属性。

#### 3.4 判读精度检验

野外校核与验证,是检验解译质量的唯一手段。在土壤侵蚀草图上,同样采用典型样区校核和线路验证的方法。在线路设计上,部分考察线路与第一次建立解译标志时相重叠,用以验证解译的准确性,同时设置几条新的考察线路,来检验草图绘制时的外推的准确性。在实地,采用全球卫星定位系统(GPS)进行校核位置的定位,由专家、教授进行评判,并提出校核意见。

#### 3.5 侵蚀数字图的生成

根据野外校核情况和专家提出的修改意见,对水土流失草图进行全面修改。主要是对一些有疑问的图斑进行修改,特别是侵蚀强度的微调和定稿。将修改后的侵蚀图件,直接转入 ARC/INFO 进行编辑成图,建立土壤侵蚀图形和属性数据库,并由计算机自动进行图斑面积量测和各侵蚀类型面积统计。

## 4 空间分布与变化趋势分析

#### 4.1 各级土壤侵蚀强度变化趋势

兴国县 6 个时段土壤侵蚀监测结果见表 1,可以看出 1982 年为土壤侵蚀面积的转折点。在建国以后至 1982 年前,尽管采取了一些水土保持措施,进行了一定的治理,但始终没有摆脱边治理,边破坏,甚至破坏大于治理的情况,致使全县水土流失面积一直居高不下,徘徊在 2 000  $km^2$  左右。在 1975 年更达到了 2 100  $km^2$  多,占全县土地面积的 2/3 左右。然而,自 20 世纪 80 年代初开展水土流失综合治理以来,情况大为改观,流失面积逐年降低。从 1982—2000 的 18 a 间,流失面积减少了 739  $km^2$ ,平均每年减少 41  $km^2$ 。侵蚀面积占土地总面积的比例也由 1982 年的 46% 下降至 2000 年的 23%,平均每年下降 1.3 个百分点。

表1 兴国县流失面积动态变化

km<sup>2</sup>

年代	轻度	中度	强度	极强度	剧烈	侵蚀面积	占土地总面积/%
1958	623.16	565.64	380.98	359.73	76.68	2006.19	62.42
1975	758.28	551.36	402.36	345.68	54.15	2111.83	65.71
1982	389.73	380.93	522.95	130.04	41.34	1464.99	45.57
1992	372.83	295.21	325.97	109.36	39.26	1142.63	35.55
1996	301.13	228.61	179.80	68.0	29.93	807.47	25.12
2000	313.53	167.54	187.67	46.40	11.13	726.27	22.60

#### 4.2 土壤侵蚀空间变化分析

在GIS空间分析的基础上,选择1992年度和2000年度的土壤侵蚀监测图,进行土壤侵蚀强度的空间变化分析。主要原因是这两个时段的遥感信息都是1:10万Landsat TM数字图像,而且图像的获取月份也很接近,二者相差仅29d,尽管年度跨度不大,但可比性非常强。

为了减小叠置图的复杂程度,我们将两张侵蚀图的侵蚀级别,由6级合并为微度、轻度、中度和强度4级,其中合并后的强度面积等于合并前的强度+极强度+剧烈,其余级别不变,见表2。

表2 兴国县1992—2000年各级侵蚀面积 km<sup>2</sup>

年度	微度	轻度	中度	强度	侵蚀面积
1992	2050.4	372.8	295.2	474.6	1142.6
2000	2467.8	313.5	167.5	245.2	726.2

从兴国县1992年与2000年的土壤侵蚀图叠置看,各等级的土壤侵蚀都有明显降低趋势(表3)。但是,也有一些侵蚀等级存在升高现象,比如有7.9 km<sup>2</sup>和39.5 km<sup>2</sup>的微度面积分别变成了强度和中度(见表3)。从微度变成强度的主要分布在兴国南部紫色砂岩区,从微度变成中度的主要分布在兴国县西南部的花岗岩地区,这就提醒我们,在人口密集的紫色砂岩和花岗岩地区,要特别注意防止植被破坏。从表3还可以看出,在1992年度474.6 km<sup>2</sup>的强度面积,经过8a时间的治理,有138.7, 42.7, 66.6 km<sup>2</sup>分别变成了2000年度的微度、轻度和中度,当然还有226.6 km<sup>2</sup>的强度面积没有发生变化。

在侵蚀等级的转变方面,大约有34%的侵蚀面积,其侵蚀等级发生了转变,其中以改变一个等级的面积为主。例如占土地面积17.9%的侵蚀面积其侵蚀强度都降了一个等级,而占土地面积9.6%的侵蚀面积其侵蚀强度反而提升了一个等级。变化2个等级以上的(或增或减)仅占土地总面积7%左右。当然,还有66%的侵蚀面积其侵蚀等级未发生变化(表4),说明该县的土壤侵蚀已趋于好转。

表3 兴国县从1992—2000年不同侵蚀强度的侵蚀面积变化趋势 km<sup>2</sup>

侵蚀强度	1992年度			
	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀
1992年度	2050.4	372.8	295.2	474.6
2000年度	1960.4	222.6	142.4	138.7
微度侵蚀	1960.4	222.6	142.4	138.7
轻度侵蚀	41.0	146.5	83.3	42.7
中度侵蚀	39.5	3.1	58.2	66.6
强度侵蚀	7.9	0.3	10.2	226.6

表4 兴国县1992—2000年侵蚀强度等级变化

侵蚀等级浮动量	面积/km <sup>2</sup>	占土地总面积/%
降低3个等级	32.14	1.50
降低2个等级	127.92	3.98
降低1个等级	575.33	17.90
未发生变化	2113.63	65.76
提升1个等级	308.56	9.60
提升2个等级	28.92	0.90
提升3个等级	5.14	0.16

注:因从陆地变水域或从水域变陆地的面积太小,未作统计。

## 5 结论

(1)以兴国县为代表,建立了一套适合南方地区土壤侵蚀强度的目视解译标志,在解译的过程中,以植被覆盖度、土壤母质岩性、地形(坡度)、土地利用方式作为影响土壤侵蚀的主要因子。

(2)土壤侵蚀监测的基本过程主要包括波段选取与合成、建立判读指标、室内人机交互解译与信息处理、野外校核与修改、精度检验、ARC/INFO出图和面积统计等基本程序。

(3)兴国县的土壤侵蚀面积变化分两个阶段,1982年则是分界点。在建国后至1982年前,全县的土壤侵蚀面积一直在2000 km<sup>2</sup>左右,然而,自80年代初开展水土流失综合治理以来,土壤侵蚀面积1982—2000年间,减少739 km<sup>2</sup>,年均减少41 km<sup>2</sup>。

(下转第71页)

学出版社, 1996. 28—29.

- [ 3 ] 冷疏影, 冯仁国, 李锐, 刘宝元, 等. 土壤侵蚀与水土保持科学重点研究领域与问题[ J ]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 1—6.
- [ 4 ] 蔡其华. 维护健康长江, 促进人水和谐[ J ]. 人民长江, 2005, 36(3): 1—4.
- [ 5 ] Mitchell J K, Moldenhauer W C, Gustafson D D. Erodibility of selected reclaimed surface mined soils[ J ]. Transaction of ASAE, 1983, 26(5): 1413—1421.
- [ 6 ] 叶翠玲, 许兆义, 董瑞树, 等. USLE 用于估算工程建设项目水土流失量的讨论[ J ]. 中国水土保持, 2001(12): 29—30.
- [ 7 ] 王文龙, 李占斌, 李鹏, 等. 神府东胜煤田开发建设弃土弃渣冲刷试验研究[ J ]. 水土保持学报, 2004, 20(3): 68—71.
- [ 8 ] 李智广, 曾大林. 开发建设项目土壤流失量预测方法初探[ J ]. 中国水土保持, 2001(4): 24—26.
- [ 9 ] Walling D E, He Q, Quine T A. Use of caesium-137 and lead-210 as tracers in soil erosion investigations[ J ]. In Tracer Technologies for Hydrological Systems IAHS Publ, 1995, 229: 163—172.
- [ 10 ] Zapata F. Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides [ M ]. Dordrecht/ Boston/ London: Kluwer academic publishers, 2002. 32—35.
- [ 11 ] Bai Z G, Wan G J, Wang C S, et al. <sup>7</sup>Be: A geochemical tracer for seasonal erosion of surface soil in watershed of Lake Hongfeng, Guizhou, China[ J ]. Pedosphere, 1996, 6(1): 23—28.
- [ 12 ] Walling D E, He Q P, Blake W. Use of and <sup>7</sup>Be and <sup>137</sup>Cs measurement to document short and medium-term rates of water-induced soil erosion on agricultural land [ J ]. Water Resource Research, 1999, 35(2): 3865—3874.
- [ 13 ] 唐翔宇, 杨浩, 李仁英, 等. <sup>7</sup>Be 在土壤侵蚀示踪中的应用研究进展[ J ]. 地球科学进展, 2001, 16(4): 520—525.
- [ 14 ] 丁晋利, 郑粉莉. <sup>7</sup>Be 示踪技术在土壤侵蚀研究中的应用[ J ]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 121—123.
- [ 15 ] 张信宝, 冯明义, 张一云, 等. 川中丘陵区<sup>7</sup>Be 在土壤中的分布和季节性本底值[ J ]. 核技术, 2004, 27(11): 873—876.

(上接第 27 页)

(4) 从 1992 年与 2000 年的土壤侵蚀解译图叠置看, 兴国县土壤侵蚀的各个等级都有明显降低; 从土壤侵蚀强度等级的变化看, 有 66% 左右的侵蚀面积其侵蚀等级保持不变。在变化的部分, 又以变化一个等级的面积为主, 说明兴国县的土壤侵蚀已呈现出明显的减弱趋势。

(5) 不难看出, 上述方法, 尽管在野外勘查的基础上, 结合 3S 技术进行土壤侵蚀动态监测, 但在确定土壤侵蚀强度时, 显得理由不充分, 还是以定性为主。因此定量监测土壤侵蚀是研究方向。尽管定量监测土壤侵蚀在理论上已经比较成熟, 可在实际应用中还是很难, 特别在区域尺度范围内。因此, 建立适合我国南方丘陵区不同尺度的土壤侵蚀预测模型, 是实现土壤侵蚀定量化的前提。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 史德明, 等. 应用遥感技术监测土壤侵蚀动态的研究[ J ]. 土壤学报, 1996, 33(1): 48—59.
- [ 2 ] 张佳华, 等. 江西兴国土壤侵蚀动态的研究[ J ]. 北京林业大学学报, 2004, 26(1): 53—56.
- [ 3 ] 梁音, 等. 江西省兴国县土壤侵蚀遥感动态监测即演变规律[ J ]. 南昌水专学报, 1995, 14(增刊): 40—45.
- [ 4 ] 李德成, 等. 应用卫星遥感技术监测兴国县水土流失动态演变[ J ]. 中国水土保持, 1998, 19(2): 29—32.
- [ 5 ] 潘剑君, 等. 江西省兴国县、余江县土壤侵蚀时空变化研究[ J ]. 土壤学报, 2002, 39(1): 58—64.
- [ 6 ] 王库, 等. 基于景观格局分析的兴国县土壤侵蚀演变研究[ J ]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 94—98.
- [ 7 ] 史德明, 梁音. 我国脆弱生态环境的评估与保护[ J ]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 6—10.
- [ 8 ] Matthew J, Cohena Keith D, Shepherdb Markus G. Walsh Empirical reformulation of the universal soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed [ J ]. Geoderma, 2005, 124: 235—252.
- [ 9 ] Sunar F, Musaoglu N. Merging multiresolution SPOT P and landsat TM data: the effects and advantages[ J ]. INT J Remote Sensing, 1998, 19(2): 219—224.