

# 河龙区间植物措施因子定量计算

曹 炜<sup>1,2</sup>, 高云飞<sup>2</sup>, 李智广<sup>3</sup>, 杨胜天<sup>4</sup>, 曹 勇<sup>5</sup>

(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 黄河水土保持生态环境监测中心, 西安 710021; 3. 水利部水土保持监测中心, 北京 100055; 4. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 5. 黄河水土保持绥德治理监督局, 陕西 绥德 718000)

**摘 要:**为解决区域植物措施( $B$ )因子的计算问题,以河龙区间为研究区,通过计算半月降雨侵蚀力确定了主要侵蚀性降雨季,应用 MODIS NDVI 产品提取了半月植被覆盖度,得到侵蚀性降雨季植被覆盖度。根据已有研究成果,结合土地利用,计算了区域  $B$  因子,应用小区观测数据对植被覆盖度反演结果进行了检验。结果表明:反演与实测的植被覆盖度季节变化曲线变化趋势、值域范围基本一致。7—8 月为主要侵蚀性降雨季,平均植被覆盖度达到 57.23%, $B$  因子平均值为 0.345。年均降雨量与植被覆盖度成正比关系,与  $B$  因子成反比。该文采用的植物措施因子计算方法为区域土壤侵蚀监测提供参考。

**关键词:**河龙区间; 植物措施因子; 植被覆盖度; 降雨侵蚀力

中图分类号:Q948

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0096-05

## Quantitative Calculation of Biological-control Factor in Helong Region

CAO Wei<sup>1,2</sup>, GAO Yun-fei<sup>2</sup>, LI Zhi-guang<sup>3</sup>, YANG Sheng-tian<sup>4</sup>, CAO Yong<sup>5</sup>

(1. Beijing Forestry University, Beijing 100875, China; 2. Monitoring Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment of Yellow River, Xi'an 710021, China; 3. The Monitoring Center of Soil and Water Conservation, MWR, Beijing 100055, China; 4. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 5. Suide Governs the Surveillance Bureau of Yellow River Conversation of Soil and Water, Suide, Shaanxi 718000, China)

**Abstract:** In order to calculate the regional biological-control( $B$ ) factor, Helong region was taken as the study area. Using MODIS NDVI product, the vegetation coverage per half month was extracted, the erosive rainfall season was determined, then the erosive rainfall season vegetation coverage was calculated. Based on existing research results and land use information, the regional factor  $B$  was calculated, and then the inversion vegetation coverage with the data of observations in unit plot was retrieved. The results showed that the inversion and observed results of the vegetation coverage of seasonal variation curve was basically the same in terms of the trend and value range. As the main erosive rainfall season appeared during July and August, the average vegetation coverage reached 57.23%, the average factor  $B$  was 0.345. The average annual rainfall was proportional to the vegetation coverage, and was inversely proportional to the  $B$  factor. In this paper, the method for calculation of biological-control factor can be used in regional soil erosion monitoring.

**Key words:** Helong region; biological-control factor; vegetation coverage; rainfall erosivity

植物措施  $B$  (Biological-control) 是 CSLE (Chinese Soil Loss Equation) 模型的主要参数之一,是指一定条件下有植被覆盖或实施田间管理的土地土壤流失总量与同等条件下实施清耕的连续休闲地土壤流失总量的比值,无量纲,值介于 0~1 之间<sup>[1]</sup>。 $B$  因子取值范围变化大,影响因素复杂<sup>[2]</sup>。国外的研究主

要集中在 USLE 模型的先后几个版本上<sup>[2-4]</sup>。国内杨子生等<sup>[5]</sup>确定了滇东北山区 4 种作物  $B$  因子的范围为 0.15~0.49。于东升等<sup>[6]</sup>确定了江西低丘红壤区 6 种土地利用类型  $B$  因子的范围为 0~0.031。张岩等<sup>[7]</sup>确定了黄土高原 7 种作物  $B$  因子的范围为 0.23~0.74。蔡崇法等<sup>[8]</sup>建立了由植被盖度估算  $B$

收稿日期:2012-04-10

修回日期:2012-05-03

资助项目:中华人民共和国国务院第一次全国水利普查项目

作者简介:曹炜(1967—),男,陕西榆林市人,博士研究生,高级工程师,主要从事水土保持监测和规划研究。E-mail:hhcaowei@126.com

通信作者:杨胜天(1965—),男(彝族),博士,教授,主要从事水文水资源遥感、环境遥感和地理信息系统研究。E-mail:yangshengtian@bnu.edu.cn

因子的公式。流域尺度上,因难以获取详细程度相同或类似于坡面的土地利用分类数据,使坡面成果难以在流域上直接应用。在相同植被覆盖度条件下,不同土地利用类型的  $B$  值差别很大,农地与林草地相比,可能存在数十倍的差别,而大尺度的研究则更少。鉴于此,本文以河龙区间为研究区,利用 MODIS NDVI (归一化植被指数) 产品,结合土地利用数据反演植被覆盖度进行  $B$  因子计算,以期为区域土壤侵蚀监测提供参考。

## 1 研究区概况

研究区 ( $107^{\circ}54'50''$ — $112^{\circ}40'39''$ E,  $39^{\circ}35'55''$ — $40^{\circ}35'51''$ N) 位于黄河中游晋陕峡谷的河口镇至龙门区间(简称河龙区间),陕西、山西、内蒙古 3 省区交界处,共涉及 72 个县(市、旗),面积约为 11.3 万  $\text{km}^2$ , 约占黄河总流域面积的 15%, 属黄河流域土壤侵蚀最严重的地区之一,也是黄河流域水土保持生态建设的重点区。河龙区间为温带大陆性气候,夏季受太平洋暖湿气流的影响,多雨,降雨主要集中在 6—9 月。年降水量 140~360 mm, 多年平均降水量 241.4 mm (1981—2010 年)。降水在空间分布上南多北少,东多西少,自东南向西北递减。植被以草本为主,从东南向西北,大致以吴起、绥德、临县、兴县一线为界,北部以典型草原和荒漠草原为主,南部是森林草原和森林地带。西北部的沙漠边缘地区主要为沙生植被。新中国成立初期,由于不合理开垦,植被破坏严重,覆盖度很低。从 1999 年我国政府实施了退耕还林工程以来,植被逐渐恢复,覆盖度大幅提高。

## 2 材料与方法

### 2.1 基础数据

(1) 2010 年土地利用数据,1:10 万比例尺,采用中国遥感调查土地利用分类系统<sup>[9]</sup>。

(2) 2010 年 MODIS NDVI 产品(MOD13Q1), 时间分辨率 16 d, 空间分辨率 250 m。

(3) 95 个气象、水文站点 1980—2009 年(或 1981—2010)年 30 d 日降雨量数据。其中研究区内站点 39 个,周边站点 56 个。

### 2.2 技术路线

结合土地利用数据,利用 MODIS NDVI 产品,应用混合像元模型得到 30 m 半月 NDVI, 计算得到 30 m 半月植被覆盖度。利用日降雨量资料计算半月降雨侵蚀力,得到主要侵蚀性降雨分布月份,计算同期植被覆盖度。通过归并土地利用类型,按照文献中不同土地利用下植被覆盖度与植物措施因子的关系

计算区域  $B$  因子。技术路线详见图 1。

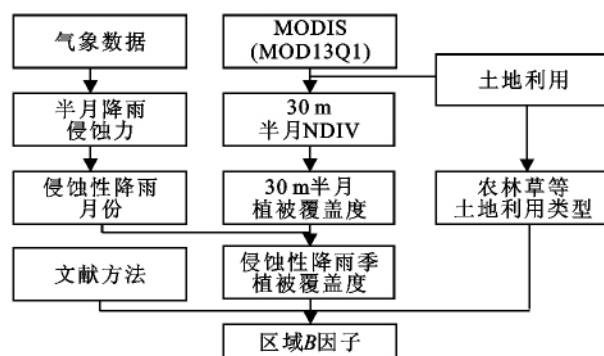


图1 区域  $B$  因子计算技术路线图

### 2.3 30 m 半月植被覆盖度反演

为提高 MODIS NDVI 产品的空间分辨率,将 1:10 万土地利用数据和 MODIS NDVI 数据配准后,转换成 30 m 栅格。在 MODIS NDVI 数据上选取多个像元,根据像元分解模型(式 1),利用最小二乘拟合方法,得到各地类 30 m 半月 NDVI。

$$L = \sum_{j=1}^n f_j L_j + \epsilon \quad 0 \leq \sum_{j=1}^n f_j \leq 1 \quad (1)$$

式中:  $L$ ——混合像元的 NDVI 值;  $f_j$ ——第  $j$  个像元内各地类的面积占像元总面积的百分比;  $n$ ——选取像元个数;  $L_j$ ——对应  $f_j$  百分比地类的 NDVI 值;  $\epsilon$ ——误差。

利用式(2)计算得到 30 m 半月植被覆盖度。

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI} \quad (2)$$

式中:  $FVC$ ——植被覆盖度;  $NDVI$ ——像元 NDVI 值;  $NDVI_{\max}$ ,  $NDVI_{\min}$ ——像元所在地类代表纯植被和纯裸土的 NDVI 最大和最小值。

### 2.4 侵蚀性降雨季植被覆盖度计算

从植物措施因子的定义可知,植物措施发挥水土保持作用与降雨侵蚀力密切相关,植被覆盖度仅决定土壤流失比率,即植物措施因子体现的是在降雨期间植被的水土保持作用大小。无侵蚀性降雨时,植物措施因子值为 1。

根据黄土高原坡面侵蚀的侵蚀性降雨量标准<sup>[9-10]</sup>,在 ENVI IDL 平台下编写程序,从 95 个气象、水文站点的日雨量数据中剔除  $<12$  mm 的无侵蚀性降雨数据,应用式(3)<sup>[11]</sup> 计算各站点多年平均半月降雨侵蚀力。

$$M_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \alpha \sum_{j=1}^k (D_j)^\beta \right) \quad (3)$$

式中:  $M_i$ ——第  $i$  个半月时段的侵蚀力值 [ $(\text{MJ} \cdot \text{mm}) / (\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ ];  $N$ ——降雨量数据的时间序列(年);  $k$ ——该半月时段内的天数;  $D_j$ ——半月时段内第  $j$  天的日雨量 ( $\geq 12$  mm);  $\alpha, \beta$ ——模型参数,反

映了区域降雨特征,使用公式(4)和公式(5)计算得到。

$$\beta = 0.8363 + \frac{18.144}{P_{d12}} + \frac{24.455}{P_{y12}} \quad (4)$$

$$\alpha = 21.586\beta^{-7.1891} \quad (5)$$

式中:  $P_{(d12)}$ ——日雨量  $\geq 12$  mm 的多年平均日雨量;  
 $P_{(y12)}$ ——日雨量  $\geq 12$  mm 的多年年平均雨量。

按月进行统计的结果表明,降雨侵蚀力主要集中在 6—9 月,占到年降雨侵蚀力的 85.8%,尤以 7—8 月最为集中,占到年降雨侵蚀力的 60.98%。11 月一次年 3 月的降雨侵蚀力最小,5 个月合计降雨侵蚀力仅占年降雨侵蚀力的 1.76%。半月降雨侵蚀力占年降雨侵蚀力的累积图见图 2。以 7 月、8 月为主要侵蚀性降雨季,取 30 m 半月植被覆盖度(共 4 期)的平均值作为侵蚀性降雨季植被覆盖度。

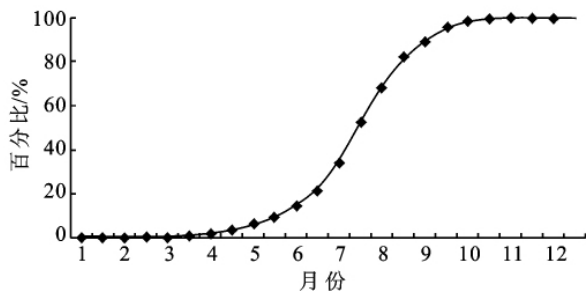


图 2 半月降雨侵蚀力占年降雨侵蚀力的累积曲线

## 2.5 区域 B 因子计算

(1) 土地利用归并。1:10 万土地利用数据采用的是中国遥感调查土地利用分类体系。为了应用已有研究成果,按土地利用计算 B 因子,对分类体系进行归并(表 1),将归并后的土地利用数据按归并后代码属性转换成 30 m 栅格。

表 1 1:10 万土地利用数据分类归并方法

遥感调查编码	原类型	归并后编码	归并后类型
11	水田	1	水田
12	旱地	2	旱地
21/22/23	有林地/灌木林地/疏林地	3	林地
24	其他林地	4	其他林地
31/32/33	草地	5	草地
其他	其他类别	6	其他

(2) 区域 B 因子计算。按照 30 m 土地利用栅格值进行 B 因子赋值。水田是指有水源保证和灌溉设施的地类,包括山区水田、丘陵水田和平水田,其他类型包括水域、城乡、工矿、居民、沙地、裸地、戈壁等,无植物措施 B 因子统一取值为 1。农地 B 因子取值 0.61,草地、林地 B 因子分别应用公式(6),(7)计算<sup>[12]</sup>。

$$B = \begin{cases} 1 & V \leq 5\% \\ e^{0.0413(V-5)} & V > 5\% \end{cases} \quad (6)$$

$$B = \begin{cases} 1 & V \leq 5\% \\ e^{-0.0035(V-5)^{1.5}} & V > 5\% \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $V$ ——草地(林地)植被覆盖度,取值范围 0~100。

其他林地是指未成林造林地、迹地、苗圃及各类园地(果园、桑园、茶园、热作林园等),人为干扰强,地表覆盖度一般很低。参考已有研究成果,取地表覆盖度为 0 时的林地 B 因子值,不同植被覆盖度的其他林地赋值见表 2。

表 2 其他林地 B 因子值

地表覆盖度/%	B 值	地表覆盖度/%	B 值
0~10	0.47	50~60	0.38
10~20	0.44	60~70	0.37
20~30	0.41	70~80	0.36
30~40	0.40	80~90	0.35
40~50	0.39	90~100	0.34

## 3 结果与分析

### 3.1 B 因子计算结果

以土地利用和植被覆盖度数据为基础,通过小区监测建立的回归方程计算得到区域 B 因子图(图 3)。

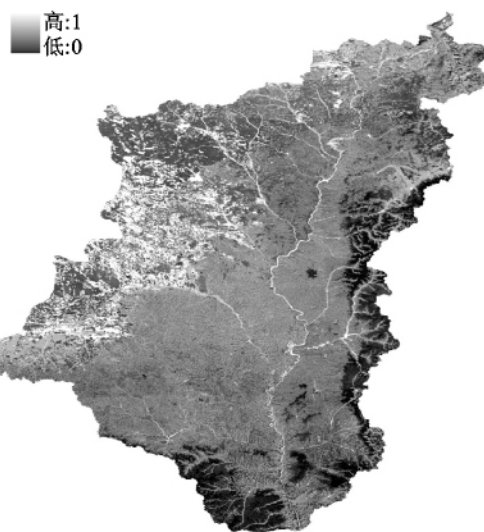


图 3 区域 B 因子计算结果

### 3.2 精度检验

主要利用土地利用和植被覆盖度数据的精度进行区域 B 因子精度的间接检验。通过野外调查,在全国抽检 27 565 个土地利用图斑,总体准确率 97.15%,耕地动态准确率 98.94%,其他地类准确率均在 95% 以上<sup>[13]</sup>。

利用 24 期野外实测的植被覆盖度数据,按土地利用类型建立植被覆盖度季节变化曲线,与 MODIS NDVI 产品反演的植被覆盖度数据进行对比,检验反演植被覆盖度的结果。

(1) 植被覆盖度监测。选择研究区及其周边的陕西省绥德县桥沟(含辛店沟、王茂沟)、安塞县纸坊沟(安塞试验站)、山西省离石区王家沟、宁夏彭阳县杨寨、甘肃省安定区沟、天水市秦城区罗玉沟(含桥子沟)、庆阳市西峰区南小河沟 7 个小流域,在每个小流域按农地(旱地)、林地(灌木林地)、其他林地(果园)等 3 种类型共选择 12 个地块进行观测。从 2010 年 5 月开始,每半个月(即上半月的 10—15 号期间,下

半月的 25—31 号期间),采用数码照片结合多人目估平均值的方法,对选定的全部地块进行一次植被覆盖度测量,至 2011 年 4 月底,共测量 24 次。

(2) 植被覆盖度精度检验。按照土地利用类型,分别利用监测平均植被覆盖度和对应时间、区域的反演平均植被覆盖度绘制植被覆盖度季节变化曲线,见图 4。反演与实测的变化趋势、值域范围基本一致,说明反演的植被覆盖度总体精度较好(图 4)。

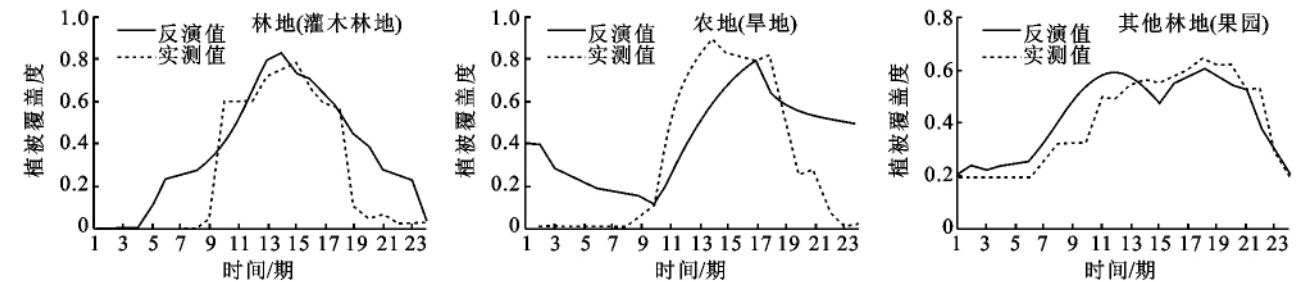


图 4 不同土地利用类型的反演与实测植被覆盖度结果比较

3.3 空间分布特征

全区主要侵蚀性降雨季植被覆盖度达到 57.23%,总体上呈现由南向北逐渐降低的趋势,从南部的 90%以上逐渐降低至北部的 40%以下。 $B$  因子平均值为 0.345,按值域范围可分为 3 个区域,与文献<sup>[14]</sup>中地貌分区基本对应。低  $B$  值区包括基岩山地区和陕西省黄龙县,宜川县、宝塔区南部,平均  $B$  值低于 0.01;高  $B$  值区与草原风沙区相对应,平均  $B$  值接近于 1;剩余区域为中  $B$  值区, $B$  值大致为 0.01~0.61。

按县份( $>500\text{ km}^2$ )统计,植被覆盖度最低值、 $B$  因子最大值位于东北部托克托旗,分别为 35.30%和 0.566。植被覆盖度最高值、 $B$  因子最小值位于南部

黄龙县,分别为 96.36%和 0.056。按省份统计,植被覆盖度从高到低依次为山西、内蒙古、陕西,分别为 66.20%,58.49%,42.56%。 $B$  值从小到大依次为山西省、陕西省、内蒙古,分别为 0.262,0.368,0.406。内蒙古植被覆盖度较高但  $B$  值偏大,原因是草原风沙区主要集中在内蒙古区内,土地利用以沙地为主,沙地的  $B$  因子统一按 1 赋值,导致  $B$  因子平均值偏大。

3.4 与降雨量的关系

统计 95 个气象、水文站点的多年平均降雨量,在 ArcGIS 中,应用 IDW(反距离加权)插值后,按 50 m 等值距生成降雨等值线,按等值线范围分别统计植被覆盖度与  $B$  因子的平均值,见表 3。

表 3 50 m 降雨等值线植被覆盖度、 $B$  因子统计

年降雨量/mm	植被覆盖度/%	$B$ 因子	年降雨量/mm	植被覆盖度/%	$B$ 因子
$>300$	86.6	0.152	200~250	48.5	0.407
250~300	67.6	0.283	$<200$	42.4	0.429

结果表明,年均降雨量越高,植被生长状况越好,年均降雨量与植被覆盖度成正比关系;植被覆盖度越高,水土保持效果越好, $B$  因子值越小,植被覆盖度与  $B$  因子成反比关系。当年均降雨量为 200~250 mm 时, $B$  因子平均值为 0.407,年均降雨量 $<200$  mm 时, $B$  因子平均值为 0.429。分析其原因,西部的草原风沙区主要集中在该区,土地利用以沙地为主,沙地的  $B$  因子统一按 1 赋值,导致  $B$  因子平均值偏大。

4 结论

本文以河龙区间为研究区,应用 MODIS NDVI 产品反演了半月植被覆盖度,通过计算半月降雨侵蚀力确定了侵蚀性降雨季,得到了侵蚀性降雨季植被覆

盖度。根据已有研究成果,结合土地利用,计算了区域  $B$  因子,应用小区观测数据对植被覆盖度反演结果进行了验证。得到的主要结论如下:

(1) 侵蚀性降雨主要集中在 6—9 月,占到年降雨侵蚀力的 85.8%,尤以 7—8 月最为集中,占到年降雨侵蚀力的 60.98%。11 月至次年 3 月的降雨侵蚀力最小,5 个月合计降雨侵蚀力仅占年降雨侵蚀力的 1.76%。可将 7—8 月作为主要侵蚀性降雨季。

(2) 应用 MODIS NDVI(MOD13Q1)产品,结合土地利用,可反演植被覆盖度,提高反演精度。反演与实测的植被覆盖度季节变化曲线趋势、值域范围基本一致。

(3) 侵蚀性降雨季平均植被覆盖度达到

57.23%,总体上呈现由南向北逐渐降低的趋势,从南部的 90%以上逐渐降低到北部的 40%以下。

(4)  $B$  因子平均值为 0.345,按值域范围可分为 3 个区域,低  $B$  值区主要包括基岩山地区和陕西省黄龙县、宜川县、宝塔区南部,平均  $B$  值低于 0.01;高  $B$  值区主要为草原风沙区,平均  $B$  值接近于 1;剩余区域为中  $B$  值区, $B$  值大致为 0.01~0.61。

(5)  $B$  因子与年均降雨量、植被覆盖度关系密切。年均降雨量与植被覆盖度成正比关系,与  $B$  因子成反比关系。

#### 参考文献:

- [1] Liu Bao-yuan, Zhang Ke-li, Xie Yun. An empirical Soil Loss Equation. Proceedings 12th International Soil Conservation Organization Conference, Vol. II: Process of Soil Erosion and Its Environment Effect[M]. Beijing: China: Qinghua University Press, 2002.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning[M]. Agriculture Handbook, No. 537. USDA, 1978.
- [3] 张岩,袁建平,刘宝元. 土壤侵蚀预报模型中的植被覆盖与管理因子研究进展[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 1033-1036.
- [4] Renard K G, Foster G R, Weeies G A. Predicting Soil Erosion by Water: A guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)[M]. Agriculture Handbook, No. 703. USDA, 1997.
- [5] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(1): 1-9.
- [6] 于东升,史学正,吕喜玺. 低丘红壤区不同土地利用方式的  $C$  值及可持续性评价[J]. 水土保持学报, 1998, 12(1): 71-76.
- [7] 张岩,刘宝元,史培军,等. 黄土高原土壤侵蚀作物覆盖因子计算[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1050-1056.
- [8] 蔡崇法,丁树文,史志华,等. 应用 USLE 和地理信息系统 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.
- [9] 全国土地利用数据库 2010 年更新规范修订组. 全国土地利用数据库 2010 年更新实施方案与技术标准[S]. 北京, 2007.
- [10] 谢云,刘宝元. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 6-11.
- [11] 王占礼. 中国土壤侵蚀影响因素及其危害分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 32-36.
- [12] 江忠善,王志强,刘志. 黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 10(1): 1-9.
- [13] 全国耕地资源动态遥感监测验收报告[R]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2011.
- [14] 韩鹏,倪晋仁. 水土保持对黄河中游泥沙粒径影响的统计分析[J]. 水利学报, 2001(8): 69-74.
- [15] 吴小玲. 喀斯特地区土壤微生物量效应研究[J]. 湖南农业科学, 2011(15): 79-82.
- [16] 崔晓晓,王圳,王纪杰,等. 喀斯特峡谷区植被恢复过程中土壤性质变化[J]. 福建林学院学报, 2011, 31(2): 165-170.
- [17] 朴河春,洪业汤,袁芷云,等. 贵州喀斯特地区土壤中微生物量碳的季节性变化[J]. 环境科学学报, 2000, 20(1): 106-110.
- [18] 申宏岗,曹建华,潘根兴. 岩溶生态系统中土壤微生物量氮含量及其变化规律[J]. 生态环境, 2007, 16(6): 1728-1732.
- [19] 王新洲,胡忠良,杜有新. 喀斯特生态系统中乔木和灌木林根际土壤微生物生物量及其多样性的比较[J]. 土壤, 2010, 42(2): 224-229.
- [20] 魏媛,张金池,俞元春. 贵州高原退化喀斯特森林恢复过程中土壤微生物生物量碳、微生物熵的变化[J]. 农业现代化研究, 2009, 30(4): 487-490.
- [21] 贵州省地质矿产局. 贵州省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1982: 404-440.
- [22] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 229-291.
- [24] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 274-339.
- [25] 吴金水,林启美,黄巧云,等. 土壤微生物生物量测定方法及应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 65-84.
- [26] 王世杰,卢红梅,周运超,等. 茂兰喀斯特原始森林土壤有机碳的空间变异性与代表性土样采集方法[J]. 土壤学报, 2007, 44(3): 475-483.
- [27] Paz Jimenez M D, Horra A M, Peuzzo L, et al. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(4): 302-306.

(上接第 95 页)