

# 植被盖度在土壤侵蚀模数计算中的应用

孙禹<sup>1</sup>, 哈斯·额尔敦<sup>1</sup>, 杜会石<sup>2</sup>

(1. 北京师范大学 资源学院, 北京 100875; 2. 吉林师范大学 旅游与地理科学学院, 吉林 四平 13600)

**摘要:** 中国东北黑土区是重要商品粮基地, 长期的自然侵蚀和过度人为开垦, 引起的黑土退化、水土流失日趋严重, 限制了粮食产量的提高。植被具有截留降水, 增强土壤抗蚀性, 抗击减流等作用, 能够有效控制水土流失。植被盖度也对水土流失的强度产生直接影响。采用遥感与 GIS 技术结合的方法, 通过高分辨率影像 WorldView 提取植被盖度, 用以计算中国土壤侵蚀方程(CSLE)中生物措施因子  $B$  值的范围, 并将其应用于黑龙江省克山县古城小流域土壤侵蚀量的估算中, 对该小流域的土壤侵蚀状况进行了定性和定量分析。结果显示, 土壤侵蚀状况与植被盖度关系密切, 说明植被在治理土壤侵蚀中有巨大作用, 同时体现出该方法精度高, 可信度大, 在同类研究中具有适用性。

**关键词:** 土壤侵蚀; 植被盖度; CSLE 模型; GIS

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)05-0185-05

中图分类号: S157

## Application of Vegetation Cover in Soil Erosion Modulus Calculation

YU Sun<sup>1</sup>, Hasi EERDUN<sup>1</sup>, DU Hui-shi<sup>2</sup>

(1. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. College of Tourism and Geographical Sciences, Jilin Normal University, Siping, Jilin 136000, China)

**Abstract:** The phaeozem region of Northeast China is an important commodity grain base. The phaeozem degradation and soil erosion caused by long-term natural erosion and overexploitation limit the increasing of production. Vegetation not only plays an important role in controlling soil erosion, intercepting precipitation and improving soil erosion resistance, but also has a direct effect on erosion degree. The amount of soil erosion in Gucheng watershed of Keshan County, Heilongjiang Province is estimated using biological-control factor method by which vegetation coverage is extracted from high-resolution remote sensing images with RS and GIS technology and makes qualitative and quantitative analysis. Results show that soil erosion has a close relation with vegetation coverage, which means that vegetation plays an important role in controlling soil erosion and demonstrates that the method used in the study is applicable in similar studies, depending on its accuracy and credibility

**Keywords:** soil erosion; vegetation coverage; CSLE; GIS

东北黑土区是中国重要的粮食生产基地, 由于自然和人为等原因, 黑土区土壤侵蚀和土地退化等现象十分普遍, 已成为东北黑土区生态环境及农业、经济的可持续发展的主要限制因素之一。因此, 土壤侵蚀越来越成为人们普遍关注的生态环境问题之一, 土壤侵蚀模型是预报及监测土壤侵蚀的重要工具, 也是评价水土保持措施效益的有效手段。

目前的土壤侵蚀模型主要有经验模型、物理过

程模型和分布式模型。自 20 世纪 80 年代初以来, 随着美国通用土壤流失方程 USLE(universal soil loss equation)的问世和不断应用及研究, 也越来越显现其缺陷和局限性, 因此, 许多学者根据所研究的问题对其做了改进, 如 USLE 的另一种修正方程 MUSLE(modified universal soil loss equation)为代表, 此外, 还产生了很多适应于不同情况的土壤侵蚀方程, 主要有美国 WEEP(water erosion prediction project)、欧

收稿日期: 2012-11-26

修回日期: 2012-12-27

资助项目: 国家“十二五”科技支撑项目“荒漠化综合治理与修复技术研究与示范”(2012BAD16B02); 国家自然科学基金项目“抛物线沙丘的动态变化研究”(41171002)

作者简介: 孙禹(1987—), 男(汉族), 吉林省长春市人, 博士研究生, 研究方向为干旱区地貌与环境。E-mail: sunyu0611208@126.com。

通信作者: 哈斯·额尔敦(1964—), 男(蒙古族), 内蒙古自治区科左中旗人, 教授, 博士, 主要从事干旱区地貌与环境研究。E-mail: hasi@bnu.edu.cn。

洲 EUROSEM (European soil erosion model) 和 LISEM (Limburg soil erosion model)。国内学者在相关的理论研究基础之上,建立了针对中国侵蚀环境的多尺度的土壤侵蚀模型<sup>[1-6]</sup>。植被在抑制和减缓土壤侵蚀进程方面发挥着至关重要的作用,植被盖度是控制土壤侵蚀的一个重要指标。本文在 GIS 技术的支持下,通过对植被盖度的反演,初步估算出东北黑土区土壤侵蚀模数计算中 B 值的范围,应用 CSLE 模型,将其应用于古城小流域土壤侵蚀量的估算中,在实际应用中具有适用性与实用性。

## 1 研究区概况

克山县位于黑龙江省西部、齐齐哈尔市东北部,地处世界三大黑土带之一的腹地,该区属温带大陆性季风气候,冬季干冷多风、夏季温和多雨,年均温 1.0℃,1 月均温 -22.7℃,7 月均温 21.3℃,年均降水 510 mm,其中 80% 的降水集中在 6—9 月。古城小流域位于黑龙江省克山县中部,是小兴安岭与松嫩平原过渡地带的典型黑土区,属嫩江一级支流乌裕尔河水系,地理坐标 125°37′52″—126°03′19″E,47°59′11″—48°09′28″N。该区土壤类型主要为黑土,局部地区有草甸黑土和草甸土。黑土表层孔隙度高,因此适合旱地耕种,但黑土土质比较疏松,内聚力差,底土持水性强,透水缓慢,表土含水量接近饱和时易受冲刷,土壤侵蚀严重,空间分布广泛。

## 2 研究方法

### 2.1 土壤侵蚀模型的选择

目前,应用最为广泛的经验模型是 RUSLE 模型,即修正的通用土壤流失方程,是美国农业部自然资源保护局 (NRCS) 于 1997 年正式决定实施的,并在世界范围推广应用<sup>[7]</sup>。它是在通用土壤侵蚀方程 USLE<sup>[8]</sup>的基础上进行修正形成的。这两种模型都是针对缓坡的侵蚀预报模型,另外 USLE 是基于年降雨的侵蚀产沙模型,这对于在以高强度次降雨居于侵蚀主导地位的地区的运用有限制,而 RUSLE 是在分析全美各地径流泥沙观测资料的基础上提出的经验模型。由于各国各地区的自然条件存在差异,直接应用上述模型难以保证计算精度,因此应该选取适合本研究区的土壤侵蚀模型。

本文采用的是中国土壤侵蚀模型 (Chinese Soil Loss Equation, CSLE),是刘宝元等<sup>[9]</sup>参考 USLE 和 RUSLE,针对中国实际提出的,更能体现中国土壤侵蚀的实际情况,表达式为:

$$A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot B \cdot E \cdot T \quad (1)$$

式中:A——土壤流失量 $[(t)/(hm^2 \cdot a)]$ ;R——降雨侵蚀力因子 $[(MJ \cdot mm)/(hm^2 h \cdot a)]$ ;K——土壤可蚀性因子 $[(t \cdot hm^2 \cdot h)/(hm^2 \cdot MJ \cdot mm)]$ ;L——坡长因子;S——坡度因子;B——生物措施因子,反映地表覆盖对土壤侵蚀的作用;E——工程措施因子,指通过改变小地形(如坡改梯、引水拉沙等)来改善农业生产条件,以减少或防止土壤侵蚀而采取的措施;T——耕作措施因子,指以犁、锄、耙等为耕(整)地农具所采取的措施,以达到保水保土保肥的目的。

### 2.2 植被盖度与 B 因子的研究

2.2.1 植被盖度 植被盖率指植物群落总体或各个体的地上部份的垂直投影面积与样方面积之比的百分数。一切形式的植被覆盖,均可不同程度地抑制水土流失<sup>[10]</sup>。研究表明,就单株而言,植被对水土流失的影响包括冠层或叶面抵抗雨滴击溅作用和截留作用<sup>[11]</sup>,根系的固土及改善土壤物理性能作用(增强土壤抗冲性)<sup>[12]</sup>,枯落物层的抗击减流作用,此外,还包括茎干的阻流调流,降低风速,林草地结皮抗冲刷等作用。

植被盖度的测量可分为地表实测和遥感监测两种方法。局部的植被盖度可通过地表实测直接获取,按原理可将地表实测的方法分为三类,即采样法、仪器法和目视估测法,对于大面积的测量来说,不但耗时,而且效率低。遥感测量方法对于大范围测量更具优势,其不仅覆盖范围广、重复周期短,而且快捷、经济。目前常用的植被盖度的遥感估算方法有经验模型法、植被指数法和像元分解法。

2.2.2 生物措施因子(B 因子) 生物措施因子,是指在相同条件下的一定时间内,长有作物的标准小区与连续撂荒的标准小区上的土壤流失量之比<sup>[13]</sup>。与 USLE 模型中的 C 因子具有相同含义,当地面完全裸露时 C 值为 1.0,如果地面得到良好的保护 C 值为 0.001。

B 因子由人工与天然植被的覆盖度和植被类型决定,在其他条件一定时,侵蚀量与植被盖度成反比关系。由于植被类型不一样,这种关系也是复杂的。当植被盖度 >70% 时,地表的侵蚀量极其微弱;植被盖度 <10% 时,基本没有抗侵蚀作用;植被盖度 10%~70% 植被与侵蚀的关系比较复杂,植被覆盖度的递增率与侵蚀量的递减率不是一个函数关系。

目前计算 B 因子的方法主要有两种,即基于观测资料的估算法和基于植被覆盖因子的遥感数据定量估算方法。

(1) 估算法。B 因子作为侵蚀动力的抑制因子,主要反映有关植被覆盖及其变化对土壤侵蚀的综合

作用,是一个无量纲数,其值变化在 0~1,具有人为可调性。 $B$  因子值受到诸如土地利用状况、植被覆盖度、平均地面坡度、作物种植顺序、栽培措施等因素的影响,这使  $B$  因子值的直接计算难以进行,而在那些缺乏地域季节作物类型数据的地方,确定  $B$  因子值通常的做法是对特定覆盖类型进行估计。

(2) 基于植被盖度的遥感数据定量估算。该方法主要采用像元二分模型与 NDVI 结合的方法。首先,利用遥感影像头文件信息分别得到近红外波段和红波段的反射率,其次计算出归一化植被指数(NDVI),最后利用 NDVI 结合像元二分模型计算出植被覆盖度。

蔡崇法等<sup>[14]</sup>对三峡地区进行土壤侵蚀研究中提出管理因子与植被覆盖度的关系进行  $C$  值的估算:

$$C = 0.6508 - 0.3436lgc \quad (2)$$

$C$  的最小值应为 0,即不产生土壤流失, $C$  的最大值为 1,即为标准状况。当  $c$  大于 78.3% 时, $C$  的值为 0;当  $c$  取值范围在 0~78.3% 时, $C$  按式(1)来计算,当  $c$  等于 0 时, $C$  可取 1。

利用线性混合像元分解方法求植被地表覆盖度简单快速,除局部地区外(如云覆盖区),不需要野外实地采样分析,且能保证较高的精度。

2.2.3 生物措施因子的计算 由于缺乏详细的降雨记录和侵蚀观测资料,模型中植物管理因子的参数化非常困难。所以本文选用基于植被盖度的遥感数据定量估算的方法。

(1) 通过 GIS 的空间分析对遥感影像地物的辐射亮度进行计算:

$$L = X/A + B \quad (3)$$

式中: $L$ ——地物的辐射亮度 [ $W/(m^2 \cdot s \cdot \mu m)$ ]; $X$ ——影像的像元值; $A$ ——辐射校正后图像产品的绝对定标增益值 [ $m^2/(W \cdot s \cdot m)$ ]; $B$ ——代表图像产品的定标偏置 [ $W/(m^2 \cdot s \cdot \mu m)$ ]。

(2) 计算地物反射率。地物的反射率,是太阳天顶角的余角  $\theta$ ,太阳等效辐射照度  $E_0$ ,日地距离因子  $d$  的函数,公式为:

$$\rho = \pi L d^2 / (E_0 \cdot \cos\theta) \quad (4)$$

其中, $E_0, \theta$  的值可在图文件中获得, $E_0$  的单位为  $W/(m^2 \cdot m)$ ,其值在 0.983~1.017,此处可取值为 1。

(3) 归一化植被指数(NDVI)的计算。取值范围  $-1 \leq NDVI \leq 1$ ,负值表示地面覆盖为云、水、雪等,对可见光高反射;0 表示有岩石或裸土等,正值表示有植被覆盖,且随覆盖度增大而增大。NDVI 的计算公式为:

$$NDVI = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \quad (5)$$

式中: $\rho_1$ ——利用近红外波段计算出的地物反射率; $\rho_2$ ——利用红波段计算出的地物反射率。目前,多数研究采用了归一化植被指数,通过建立植被管理因子与该指数的相关经验方程,获得生物措施因子<sup>[15-17]</sup>。

(4) 植被盖度的计算。植被盖度指植物群落总体或各个体的地上部份的垂直投影面积与样方面积之比的百分数,它反映植被的茂密程度和植物进行光合作用面积的大小。计算公式为:

$$c = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (6)$$

式中: $NDVI_{min}$ ——NDVI 的最小值; $NDVI_{max}$ ——NDVI 的最大值。参数取值及系统误差等对该处的计算结果会产生一定的影响,所以,两个最值分别取累计频率为 5% 和 95% 处值。

(5) 生物措施因子的计算。利用步骤(4)中计算出来的结果及式(2),计算出研究区的生物措施因子。

### 2.3 土壤侵蚀模数

获得  $B$  因子值后,采用 CSLE 模型进行土壤侵蚀模数的计算,其中,坡度坡长因子( $LS$  因子)运用 Python 脚本语言进行编码获取;降雨侵蚀力因子( $R$  因子)运用章文波等<sup>[18]</sup>修正的日雨量模型得出;土壤可蚀性因子( $k$  因子)用建立的利用土壤理化性质推求土壤可蚀性因子  $K$  值的关系方程求算;工程措施因子( $E$  因子)的值根据张奎宪等<sup>[19]</sup>的相关研究来确定;耕作措施因子值( $T$  因子)主要是根据不同坡度条件的耕作对减少水土流失的作用确定<sup>[20]</sup>,在没有耕作措施的地方,将水土保持耕作措施因子值赋为 1。

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤侵蚀模数的计算

本文利用前面计算得出的各个因子,并结合 CSLE 模型通过 GIS 平台得到土壤流失量并制作土壤侵蚀量图(图 1),再根据水利部颁发的《黑土区水土流失综合防治技术标准》(SL446—2009)(表 1),对研究区小流域水土流失量及侵蚀强度等级数据进行评价和统计,编制土壤侵蚀强度图(附图 8)。其中交通运输用地、居民点和水域未参与水力侵蚀面积统计。

### 3.2 结果分析

根据以上各步骤的计算结果,制作该研究区的植被盖度图(图 2)、 $B$  因子图(图 3),并且利用高分辨率 WorldView 遥感影像,对该区域进行土地利用现状解译,并制作土地利用现状图(附图 9)。

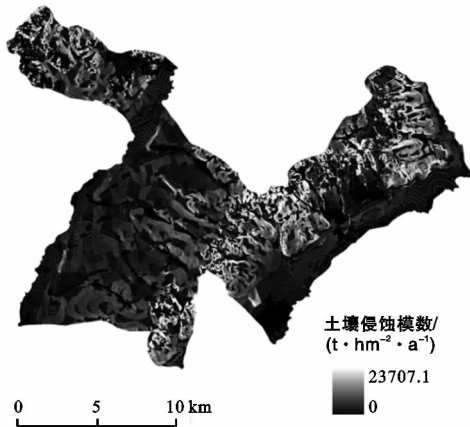


图 1 克山县古城小流域土壤侵蚀量

表 1 《黑土区水土流失综合防治技术标准》(SL446—2009)

级别	平均侵蚀模数/( $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ )
微度	< 200
轻度	200~1 200
中度	1 200~2 400
强烈	2 400~3 600
极强烈	3 600~4 800
剧烈	> 4 800

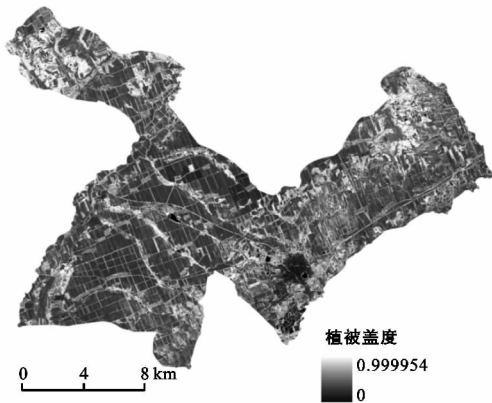


图 2 克山县古城小流域植被盖度

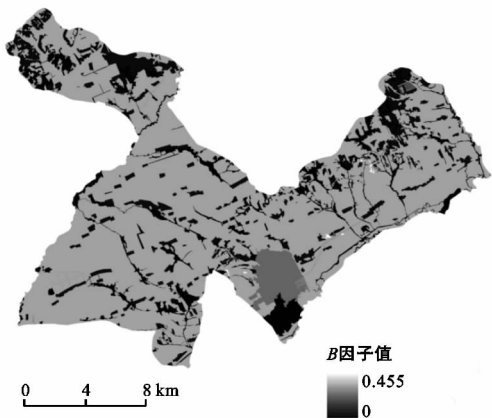


图 3 克山县古城小流域 B 因子

(1) 将图 2 与附图 9 进行对比,可以看出在如城镇居民用地、农村居民用地及水域及水利设施用地所覆盖的区域,其植被盖度值也较低。将图 2 与图 3 进行对比,可以看出在植被盖度值相对高的地区,其 B 因子值较低。例如,在 ArcGIS 9.3 中对水域及水利设施用地这种无植被区域的生物措施因子值进行查看时,发现其值为 0,在有林地、灌木林地、天然牧草地等有植被覆盖区的生物措施因子值大多集中在 0.01~0.03,而旱地的生物措施因子值主要集中在 0.3 左右。所以从整体上看,两图的解译结果较为吻合,证明图 3 中显示的结果精确性高。

(2) 将图 3 与图 1 和附图 8 进行对比,可以看出在 B 因子值较低的地区,土壤侵蚀量和侵蚀强度都比较低,说明通过植被盖度对 B 因子值进行反演,进而计算出的土壤侵蚀量及强度的可信度大。

### 4 结论

(1) 该研究区年侵蚀总量为 136 135.72 t,其中研究区微度水力侵蚀总量为 12 563.10 t,平均侵蚀量为 61.80 t/( $km^2 \cdot a$ );轻度水力侵蚀总量为 62 744.30 t,平均侵蚀量为 672.23 t/( $km^2 \cdot a$ );中度水力侵蚀总量为 39 738.50 t,平均侵蚀量为 1 551.33 t/( $km^2 \cdot a$ );强烈水力侵蚀总量为 10 635.10 t,平均侵蚀量为 2 842.39 t/( $km^2 \cdot a$ );极强烈水力侵蚀总量为 4 995.37 t,平均侵蚀量为 4 118.53 t/( $km^2 \cdot a$ );剧烈水力侵蚀总量为 5 459.35 t,平均侵蚀量为 6 381.47 t/( $km^2 \cdot a$ )。

(2) 该研究区年侵蚀量以轻度、中度水力侵蚀量为主,分别占侵蚀总量的 46.09%和 29.19%;微度、强烈水力侵蚀量相差不大,分别占侵蚀总量的 9.23%和 7.81%;极强烈、剧烈水力侵蚀量较低但差异不明显,分别占侵蚀总量的 3.67%和 4.01%。

(3) 在有林地、灌木林地、天然牧草地等植被覆盖较好的地区,其植被盖度的值也较高,并且相应的 B 因子值较低,因此土壤侵蚀模数也较低,侵蚀程度以轻度和中度为主,由此可见,植被覆盖在减少水土流失,控制及缓解土壤侵蚀方面发挥了巨大的作用。通过植被盖度对 B 因子进行反演,进而利用 CSLE 对土壤侵蚀模数进行估算的方法不仅在结果上能保证一定的精度,而且在实际应用中具有一定的可行性,可为今后类似的研究中提供有效参考。

### [ 参 考 文 献 ]

[1] 张宪奎. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报, 1992, 12(4): 1-9.

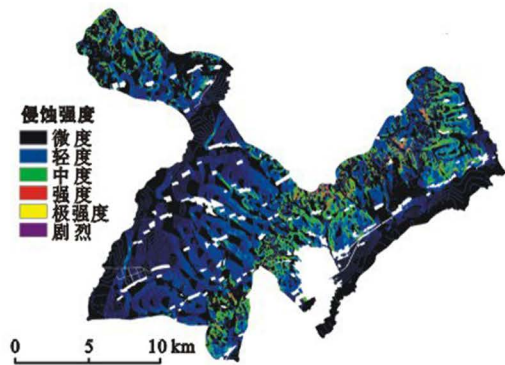
- [2] 周伏建, 陈明华, 等. 福建省土壤流失预报研究[J]. 水土保持学报, 1995, 9(1): 25-30.
- [3] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等. 应用 USLE 模型与 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 19-24.
- [4] 陈法扬, 王志明. 通用土壤流失方程在小良水土保持试验站的应用[J]. 水土保持通报, 1992, 12(1): 34-37.
- [5] 杨勤科, 李锐, 刘咏梅. 区域土壤侵蚀普查方法的初步讨论[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(3): 1-6.
- [6] 符素华, 刘宝元, 路炳军, 等. 官厅水库上游水土保持措施的减水减沙效益[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(2): 18-23.
- [7] Yoder D, Lown J. The future of RUSLE: inside the new revised universal soil loss equation[J]. Journal of soil and water conservation, 1995, 50(5): 484-489.
- [8] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A guide to conservation planning [M]// USDA Agricultural Handbook, 1978, 537: 62.
- [9] Liu Baoyuan, Zhang Keli, Xie Yun. An empirical soil loss equation[C]//Process of Soil Erosion and Its Environment Effectl; Volume II. 12th ISCO, Beijing: Tsinghua Press, 2002: 21-25.
- [10] 蒋定生. 黄土高原水土流失治理模式[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [11] 刘向东. 森林植被垂直截流作用与水土保持[J]. 水土保持研究, 1994, 1(3): 9-13
- [12] 李勇, 朱显谟. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J]. 科学通报, 1991(12): 935-938.
- [13] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation[M]. U. S. Dep. Agric. Handbook, 1965.
- [14] 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): 20-26.
- [15] 马超飞, 马建文, 布和敖斯尔. USLE 模型中植被覆盖因子的遥感数据定量估算[J]. 水土保持通报, 2001, 21(4): 6-9.
- [16] Arwenault E, Bonn F. Evaluation of soil erosion protective cover by crop residues using vegetation indices and spectral mixture analysis of multispectral and hyperspectral data[J]. Catena, 2005, 62(2/3): 157-172.
- [17] Bannarta, Pacheco K, Staenz H, et al. Estimating and mapping crop residues cover on agricultural lands using hyperspectral and IKONOS data[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 104(4): 447-459.
- [18] 章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 37-38.
- [19] 张宪奎, 许靖华, 卢秀琴, 等. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报, 1992, 12(4): 1-9.
- [20] 水利部水土保持监测中心. 西北黄土高原区土壤侵蚀预报模型开发项目研究成果报告[R]. 2006.

(上接第 133 页)

通过对太湖流域水质的预测, 可以看到近几年太湖流域水环境治理工作已初见成效, 但未来的治理任务依旧任重道远, 要想从根本上解决太湖流域水体污染问题, 就要从大局着眼, 控制源头污染, 进行生态清淤, 加快转变沿湖城市经济发展方式, 以期实现太湖流域水环境的整体改善。

#### [ 参 考 文 献 ]

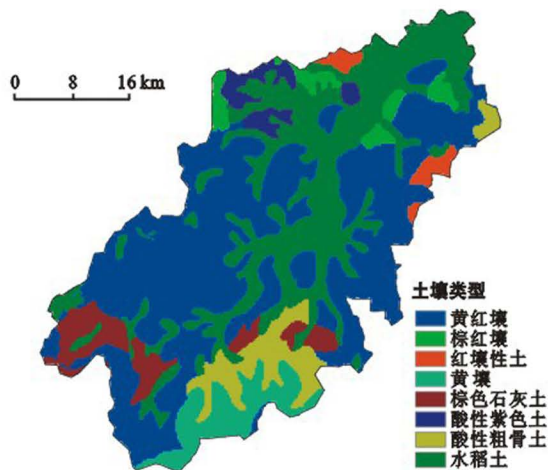
- [1] 邱林, 黄鑫, 李洪良. 基于模糊马尔可夫模型的综合水质预测[J]. 人民长江, 2007, 38(1): 75-77.
- [2] Huang G H, Xia J. Barriers to sustainable water quality management [J]. Journal of Environmental Management, 2001, 61(1): 1-23.
- [3] 李娜, 王腊春, 谢刚, 等. 山东省辖淮河流域河流水质趋势的灰色预测[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(2): 195-199.
- [4] 苏彩虹, 向娜, 陈广义, 等. 基于人工蜂群算法与 BP 神经网络的水质评价模型[J]. 环境工程学报, 2012, 6(2): 699-704.
- [5] 王丙参, 夏鸿鸣, 魏艳华. 基于 GM(1, 1) 模型的渭河水水质预测[J]. 牡丹江大学学报, 2012, 21(3): 123-124.
- [6] 李明然, 田林亚, 洪毅. 改进的灰色马尔可夫模型在大坝变形预测中的应用[J]. 水利与建筑工程学报, 2012, 10(3): 65-66.
- [7] Deng J L. Introduction to grey system theory[J]. Journal of Grey System, 1989, 1(1): 1-24.
- [8] 赵晓梅, 盖美. 基于等维新息灰色马尔可夫模型的大连城市用水量预测[J]. 水文, 2011, 31(1): 66-69.
- [9] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996: 104-105.
- [10] 胡惠方, 吴泽宁. 等维新息 GM(1, 1) 模型在郑州市城市生活需水量预测中的应用[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(1): 17-20.
- [11] 高蔚. 基于 Markov 理论的改进灰色 GM(1, 1) 预测模型研究[J]. 计算机工程与科学, 2011, 33(2): 159-163.
- [12] 卞焕清, 夏乐天. 基于灰色马尔可夫链模型的人口预测[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 127-132.
- [13] 陈润, 钱磊, 申金玉, 等. 2007 年水危机后太湖水质评价[J]. 水电能源科学, 2012, 30(2): 32-34.
- [14] 吕振霖. 太湖水环境综合治理的实践与思考[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2012, 40(2): 123-128.
- [15] 蒲勇平. 长江流域生态修复工程的意义及对策[J]. 水土保持通报, 2002, 22(5): 9-11.
- [16] 杨桂山. 长江水问题基本态势及其形成原因与防控策略[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(7): 821-830.



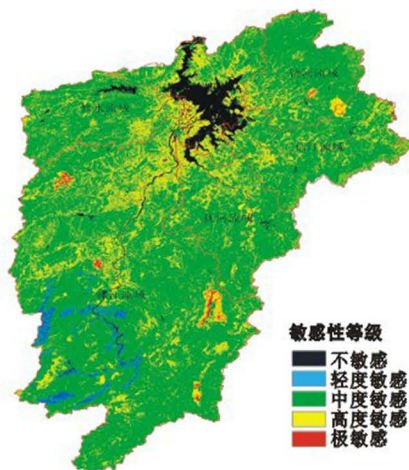
附图8 黑龙江省克山县古城小流域2010年土壤侵蚀强度



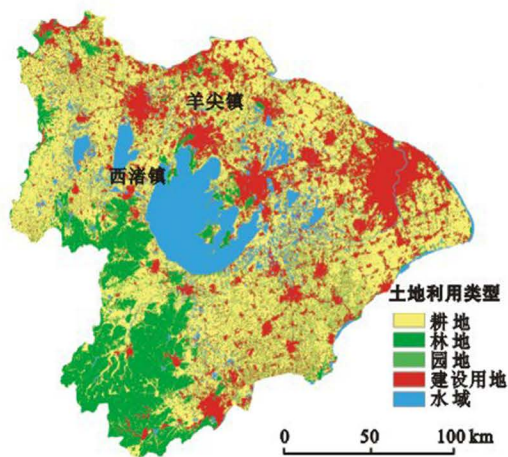
附图9 黑龙江省克山县古城小流域2010年土地利用状况



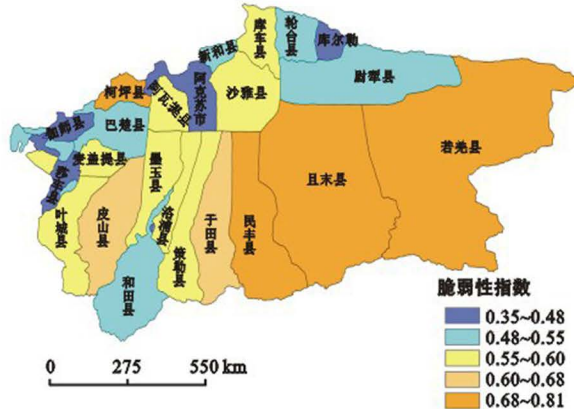
附图10 西苕河流域土壤类型分布



附图11 鄱阳湖流域土壤侵蚀敏感性综合评价



附图12 太湖流域土地利用类型



附图13 2010年塔里木河流域水资源脆弱性指数分布



附图14 1989,1999和2007年四川省甘孜州道孚县甲斯孔林场土壤侵蚀强度分布