

DOI: 10.5846/stxb201309152278

肖洋, 欧阳志云, 徐卫华, 肖焱, 肖强. 基于 GIS 重庆土壤侵蚀及土壤保持分析. 生态学报, 2015, 35(21): - .

Xiao Y, Ouyang Z Y, Xu Wei H, Xiao Y, Xiao Q. GIS-based Spatial Analysis of Soil Erosion and Soil Conservation in Chongqing, China. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(21): - .

基于 GIS 重庆土壤侵蚀及土壤保持分析

肖 洋^{1, 2}, 欧阳志云^{1, *}, 徐卫华¹, 肖 焱¹, 肖 强¹

1 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院研究生院, 北京 100039

摘要: 土壤侵蚀作为一个重大的全球环境问题, 严重地威胁着区域生态环境质量和社会经济。本文在考虑植被覆盖度与土壤侵蚀关系的前提下, 通过查表法, 构建不同土地覆盖类型和不同植被覆盖度下的 C 值图层, 并基于地理信息技术 (GIS) 和通用土壤侵蚀方程 (USLE) 估算了重庆地区土壤侵蚀量, 土壤保持量和土壤保持价值。结果表明: 重庆地区 2010 年土壤侵蚀量约为 2.23 亿 t/a ; 土壤保持量约为 14.69 亿 t/a 。利用市场价值法, 机会成本法和影子工程法评价了各类生态系统土壤保持的生态价值。研究区 2010 年土壤保持价值相对于 2006 年有所提升, 2010 年生态系统因防止土壤侵蚀而产生的土壤保持总价值约为 6.18×10^5 万元, 其中保持土壤养分的价值为 5.44×10^5 万元; 减少废弃地的价值为 2.65×10^4 万元; 减轻泥沙淤积灾害的价值为 4.78×10^4 万元。各生态系统类型中, 森林生态系统土壤保持价值量最大, 单位面积价值最高。

关键词: 通用土壤流失方程; 土壤侵蚀; 土壤保持; 生态价值

GIS-based Spatial Analysis of Soil Erosion and Soil Conservation in Chongqing, China

XIAO Yang^{1, 2}, OUYANG Zhiyun^{1, *}, XU Weihua¹, XIAO Yi¹, XIAO Qiang¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Abstract: Soil erosion is an important global environmental problem that significantly impacts regional environmental quality and the social economy. Ecosystems protect soil from water and wind erosion and thereby provide “soil erosion control services,” which is one of the most fundamental ecosystem services that safeguard human welfare. Chongqing Region is one of the most important ecological zones in China, and is located on the upper reaches of the Three Gorges Reservoir Area (TGRA), which is the largest dam project worldwide. The status of the ecosystem functions in Chongqing Region directly affects the TGRA. Recently, the ecological environment of this region has rapidly changed because of extensive change in land cover, due to rapid population growth and economic development. In addition to climate change mitigation and adaption, global changes in climate have highlighted the role of ecosystems in soil conservation. Owing to a combination of natural factors and recent human activities, soil erosion in certain parts of the Chongqing Region is becoming increasingly serious. However, few studies have focused on the quantitative estimates of the soil conservation service and its ecological value in the Chongqing Region.

This study aimed to construct the C value layer of different land cover types and different vegetation coverage based on the table lookup method. In addition, soil loss and soil conservation services in Chongqing Region were evaluated by

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40901289); 国家科技支撑计划课题 (2011BAC09B08-02)

收稿日期: 2013-09-15; **网络出版日期:** 2015-04-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyouyang@rcees.ac.cn

geographic information system (GIS) technology and the universal soil loss equation (USLE) with localized parameters. The spatial patterns of the soil conservation service and its ecological value were revealed. The results of the study indicate that, compared to the single land cover assignment method, the improved C value layer containing more spatial information enhances the accuracy of soil erosion results. To verify that this model may be reliability applied, we validated the model results based on observed data and statistical data based on average annual estimates between 2006 and 2010. Simulations of average annual soil erosion rates agreed well with the observation-based data ($R^2 = 0.85$, $P = 0.000$), which indicated that the simulated models may be used to infer soil erosion levels in this study. The results of the models showed that the total amount of soil loss and soil conservation services in Chongqing Region are 2.23×10^8 t/a and 14.69×10^8 t/a, respectively. Furthermore, we found that the soil conservation service improved from 2006 to 2010 as a result of vegetation restoration. Moreover, market valuation, opportunity cost, and shadow engineering methods were used to evaluate the ecological value of the soil conservation service. The total value of the soil conservation service in 2010 was about 6.18×10^9 yuan (RMB) /a, of which, about 5.44×10^9 yuan was of holding nutrients for N, P and K, about 2.65×10^8 yuan was of decreasing soil loss, and about 4.78×10^8 yuan was reducing reservoir silt. In addition, ecosystems located in the counties of Wuxi, Chengkou, and Fengjie (i.e., the east mountain areas), had much better erosion control than ecosystems in the west, and generally displayed much higher ecological value than the west with a capacity of $>2 \times 10^8$ yuan/a. Among all ecosystem types, forests were superior in the total amount and capacity of soil conservation service value. These results provide specific information that is necessary for strengthening public awareness about protecting and restoring ecosystems.

Key Words: USLE; Soil erosion; Soil conservation service; Ecological value

土壤侵蚀被认为是当今全球土壤退化的主要形式之一,也是中国面临的主要环境问题之一^[1],它不仅破坏土地资源,引起土地生产力下降,而且造成泥沙淤积于河湖塘库中,加剧流域洪涝和干旱等灾害的发生,严重地威胁着人类的生存和发展。针对土壤侵蚀区域,土壤保持定量研究为区域生态系统的科学管理和减缓区域土壤侵蚀提供科学支持。随着土壤侵蚀研究方法和技术的成熟^[2-4],生态系统土壤保持功能的评估也越来越精确,目前已成为生态学研究热点。

根据遥感调查,我国现有土壤侵蚀面积为 360 万 km^2 , 占国土面积的 37%, 每年土壤侵蚀量可达 50 亿 t^[5]。由于我国西部地区地貌类型多样,地质构造复杂,山地丘陵较多,大部地区植被稀少,土壤侵蚀严重且形式多样,已成为我国土壤侵蚀的主要集中区域^[6]。重庆市位于我国西部地区的腹心地带,三峡库区上游,是长江流域重要的生态屏障和全国水资源战略储备中心,地理位置十分重要,其水土流失状况不仅影响三峡水利枢纽工程的安全运行,而且对整个长江流域生态安全起着举足轻重的作用。

近些年来随着经济高速发展,土地覆盖类型和植被生长状况发生着巨大的变化。这些变化必然会影响重庆市的土壤侵蚀和土壤保持状况,进而影响了重庆市经济和环境的可持续发展。因此,定量分析重庆地区土壤侵蚀量和土壤保持,客观认识重庆市生态系统的土壤保持功能,确定重点水土保护区域以及减缓下游的三峡水库潜在威胁,实现重庆市的可持续发展具有重要现实意义。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

重庆市位于我国内陆西南部,长江上游,四川盆地东南部,地跨东经 $105^\circ 11'$ — $110^\circ 11'$ 、北纬 $28^\circ 10'$ — $32^\circ 13'$ 之间。东西长 470 km,南北宽 450 km,幅员面积 8.24 万 km^2 。地形以丘陵和山地为主,山地(中山和低山)面积 6.24 万 km^2 ,占幅员面积的 75.8%,丘陵面积为 1.49 万 km^2 ,占幅员面积的 18.2%^[7]。重庆地区属亚热带季风性湿润气候,年均气温在 18°C 左右,年日照总时数 1000—1200 h,雨量充沛,常年降雨量为 1000—1450 mm,年内降水分配不均,但雨热同步。区域植被丰富多样,植被自然分区特征表现为常绿阔叶林、暖性针叶

林、竹林和常绿阔叶灌丛等类型,以亚热带常绿阔叶林表现特征最为明显。重庆土壤类型多样,包括水稻土、新积土、紫色土、黄壤、黄棕壤、石灰岩土、红壤、山地草甸土 8 个土类,其中黄壤是地带性土壤,占重庆总土地面积的 24.2%。由于山地多、坡度大,再加之降水季节分配不均,土类空间差异,导致区域土壤侵蚀较为强烈。

1.2 数据来源

研究使用的遥感影像选用 Landsat5/TM,包括 2006 和 2010 两个时期,获取时间为 6 月至 9 月,通常为研究区植被生长的最佳季节。影像的预处理流程包括几何纠正、辐射定标、大气校正、地形校正四部分。土地覆盖类型数据通过 TM 影像目视解译得到,分类精度达到 80%以上。土壤数据来源于中科院南京土壤研究所提供的 1:25 万数字化土壤图。降雨资料是收集重庆及其周边 15 个气象站 1980—2005 年的逐月降水资料。数字高程模型 DEM,空间分辨率为 30 m,来源于国际科学数据服务平台。植被覆盖度数据是基于像元二分模型^[8-9]通过 TM 影像反演得到。

2 研究方法

基于“地表覆被替换假设”研究模式,即运用修正的通用土壤侵蚀方程(USLE)来估算潜在土壤侵蚀量和现实土壤侵蚀量,两者之差即为生态系统土壤保持量^[4, 10]。现实土壤侵蚀量指当前地表覆盖和水土保持因素下的土壤侵蚀量,潜在土壤侵蚀量则是生态系统在没有植被覆盖和水土保持措施情况下可能产生的土壤侵蚀量($C=1, P=1$),土壤保持量即为:

$$Ac = R \times K \times LS \times (1 - C \times P)$$

式中, Ac 为土壤保持量($t \text{ hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$); R 为降雨侵蚀力指标; K 为土壤可蚀性因子; LS 为坡长坡度因子; C 为地表植被覆盖因子; P 为土壤保持措施因子。

2.1 R 因子估算

降雨侵蚀力因子(R)反映了降雨因素对土壤的潜在侵蚀作用,是导致土壤侵蚀的主要动力因素。本文采用史东梅、卢喜平等基于人工模拟降雨的手段建立的重庆地区降雨侵蚀力计算的月雨量模型^[11]:

$$R_{\text{year}} = 5.249 \times F^{1.205}$$

$$F = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{P_i}{p} \right) \times p_i$$

式中, R 为年降雨侵蚀力($\text{MJ mm hm}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ a}^{-1}$); P 为年降雨量(mm), P_i 为第 i 月降雨量(mm)。

2.2 K 因子估算

土壤可蚀性因子(K)反映了不同类型土壤所具有的不同侵蚀速度。 K 因子计算如下^[12]:

$$\begin{aligned} K_{\text{EPIC}} &= \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 m_s (1 - m_{\text{silt}}/100)]\} \times [m_{\text{silt}}/(m_c + m_{\text{silt}})]^{0.3} \\ &\times \{1 - 0.25 \text{orgC}/[\text{orgC} + \exp(3.72 - 2.95 \text{orgC})]\} \\ &\times \{1 - 0.7(1 - m_s/100)/\{(1 - m_s/100) + \exp[-5.51 + 22.9(1 - m_s/100)]\}\} \\ K &= (-0.01383 + 0.51575 K_{\text{EPIC}}) \times 0.1317 \end{aligned}$$

式中, K 为土壤可蚀性因子($t \text{ hm}^2 \text{ h MJ}^{-1} \text{ hm}^{-2} \text{ mm}^{-1}$), m_s 为砂粒含量, m_{silt} 为粉粒含量, m_c 为粘粒含量, orgC 为有机质含量。

2.3 LS 因子估算

坡长坡度因子(LS)反映了地形地貌特征(坡长和坡度)对土壤侵蚀的影响,到目前为止的关系仍不确定。然而,在一定范围内,坡长越长流量积累越大和坡度越陡径流速度越快,然而当坡度达到一定阈值时土壤侵蚀速率将停止增加。本文基于 Hickey 和 Van Remortel^[13]的方法通过 Arc Macro Language(AML)脚本语言, ArcInfo Workstation9.3 软件计算得到。

LS 公式如下^[14]:

$$L = (\lambda/22.13)^m$$

$$m = \beta / (1 + \beta) \quad \beta = (\sin\theta / 0.089) / [3.0 \times (\sin\theta)^{0.8} + 0.56]$$

$$S = \begin{cases} 10.8\sin\theta + 0.03 & \theta < 5.14^\circ \\ 16.8\sin\theta - 0.5 & 5.14^\circ \leq \theta < 10.20^\circ \\ 21.91\sin\theta - 0.96 & 10.20^\circ \leq \theta < 28.81^\circ \\ 9.5988 & \theta > 28.81^\circ \end{cases}$$

式中, 22.13 是 USLE 标准小区的坡长 (m), S 为坡度因子, θ 为坡度, L 为坡长因子, λ 为像元坡长, m 为坡长指数, 水平方向坡长 λ 的计算式如下:

$$\lambda i = Di / \cos\theta i$$

式中, Di 为沿径流方向每像元坡长的水平投影距 (在栅格图像中为两相邻像元中心距, 随方向而异), θi 为每个像元的坡度 ($^\circ$), i 为自山脊像元至待求像元个数。

2.4 C 因子估算

植被覆盖因子 (C) 反映了不同地面植被覆盖状况对土壤侵蚀的影响。本文基于遥感反演的植被覆盖度和土地覆盖类型图, 通过查询 USLE 中 C 值表^[15-16], 将结果 C 值赋给对应类型的像元。

表 1 不同土地覆盖类型和植被覆盖度对应的 C 值

Table1 The C value in different land cover types and vegetation coverage

植被覆盖度 (%) Vegetation coverage (%)	0	20	40	60	80	100
草地 Grass	0.45	0.24	0.15	0.09	0.043	0.011
灌丛 Shrub	0.331	0.189	0.126	0.08	0.041	0.011
林地 Forest	0.011	0.009	0.004	0.003	0.002	0.001
农田 Agriculture	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
裸地 Barren land	1	1	1	1	1	1
城镇 Built up	0	0	0	0	0	0
水域 Water	0	0	0	0	0	0

2.5 P 因子估算

土壤保持措施因子 (P) 是指特定保持措施下的土壤流失量与未实施保持措施之前相应地块顺坡耕作时的土壤流失量之比。本研究由于缺少相关数据, 不考虑 P 因子影响, P 值为 1。

2.6 生态系统土壤保持价值估算

运用市场价值法、机会成本法和影子工程法从保护土壤养分、减少土地废弃和减轻泥沙淤积 3 个方面来评价生态系统土壤保持价值。

土壤养分保持价值估算: 土壤侵蚀致使大量的土壤营养物质流失, 主要是土壤中 N、P、K。不同类型土壤中的 N、P、K 含量不同, 运用 GIS 技术计算重庆不同生态系统类型 N、P、K 的平均含量, 再依据下式估算保持土壤养分的经济价值。

$$Va = Ac \times \sum_i Ci \times Ti \times Pi$$

式中, Va 为保持土壤养分价值 (元/a), i 为土壤中养分种类氮、磷、钾 (N, P, K), Ci 为土壤中 N, P, K 纯含量 (%); Ti 为某种养分纯量换算成化肥量的系数, 这里碳酸氢铵取 5.882, 过磷酸钙取 3.373, 氯化钾 1.667^[17]; Pi 为某种化肥的市场价格, 2010 年 3 种化肥的市场价格分别为每吨 820.45, 612.60 和 3100 元。

减少土地废弃价值估算: 依据土壤保持量除以土壤表层平均厚度来推算因土壤侵蚀而造成的废弃土地面积, 再用机会成本法计算因土地废弃而失去的年经济价值:

$$Vb = Ac \times B / (\rho \times h \times 10000)$$

式中, Vb 为减少土地废弃的经济价值 (元/a), B 为林业年均收益, 约 1500 元/hm², ρ 为土壤容重, 约

1.25 g/cm^3 , h 为土壤表层厚度,取 0.6 m [18]。

减轻泥沙淤积价值估算:按照我国主要流域的泥沙运动规律,全国土壤侵蚀流失的泥沙有 24% 淤积于水库、江河、湖泊,造成水库、江河、湖泊蓄水量下降 [19-20]。根据蓄水成本来计算生态系统减轻泥沙淤积灾害的经济效益,公式如下:

$$V_c = (A_c / \rho) \times 24\% \times C_c$$

式中: C_c 为单位库容造价 (元/ m^3),取 1.88 元/m^3 。

3 结果与分析

3.1 土壤侵蚀估算

以往的研究多是基于植被类型的最大盖度计算 C 值,进而核算生态系统的土壤保持价值时,就导致土壤保持量偏大,进而可能高估生态系统土壤保持价值。本文基于植被覆盖度和土地覆盖类型图,通过查表法,构建每个像元在不同土地覆盖类型和不同植被覆盖度下的 C 值图层。与单一的用土地覆盖类型图赋 C 值法相比较,本文选用的方法充分考虑了植被覆盖密度对土壤侵蚀的影响,更接近实际。如图 1 所示,最左边为 TM (R:5, G:4, B:3) 假彩色合成图像,中间为土地覆盖类型图,最右边为相应的植被覆盖度图。通过对比分析各图,发现各土地覆盖类型的实际植被覆盖状况并不是均一的,而是随空间和时间而变化。森林类型的植被覆盖度明显存在空间上的异质性,山区的森林类型的覆盖状况明显优于地势平坦区域的森林类型。山区的森林类型郁闭度大,林下枯落物和杂草丰厚,具有一定的截持降雨能力,大气降雨的雨滴不能直接掉落到裸土表面,从而避免了雨滴直接击溅土壤,并且根系发达使其具有更好的保土性能。因此通过结合植被覆盖图计算 C 值,能反映出更多的细节,使土壤侵蚀结果更加精确。

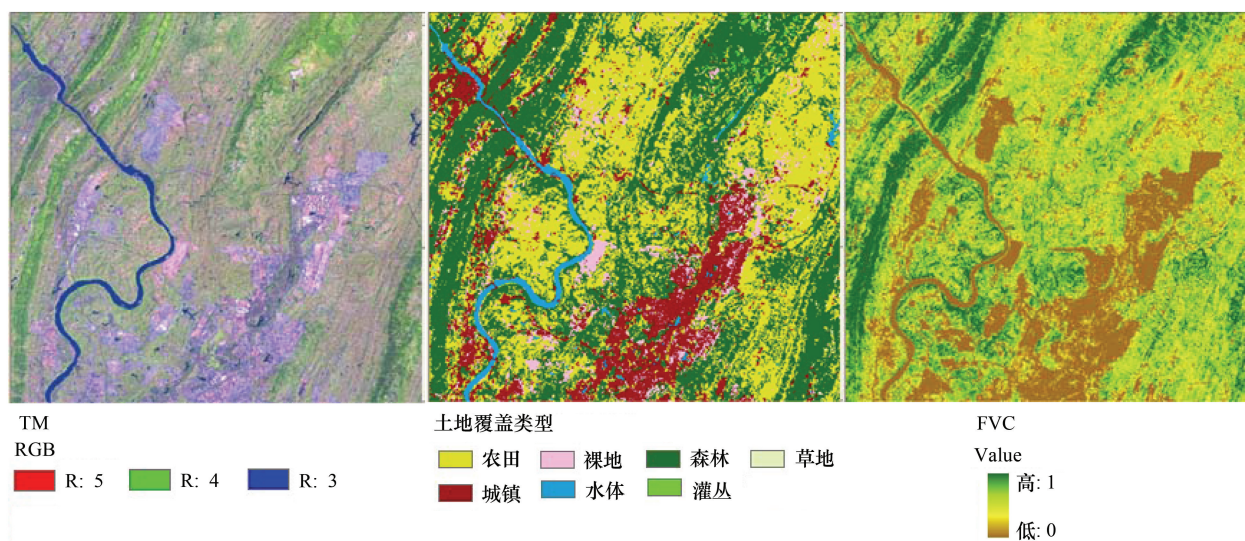


图 1 植被覆盖度与土地覆盖类型对照图

Fig. 1 Sub-image of the TM showing (left) the resulting land-cover map (middle) and (right) vegetation cover

根据各个因子估算公式,运用 GIS 软件得到重庆地区的 R 因子、 K 因子、 LS 因子和 C 因子图层。然后将各因子图层转换成统一的坐标体系,空间分辨率为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 。根据土壤侵蚀方程,将各因子连乘后,估算各个像元的土壤侵蚀量,得到研究区土壤侵蚀量。将模拟土壤侵蚀量与实际土壤侵蚀量做相关性分析,发现 $R^2 = 0.8509$,本文基于 USLE 模拟土壤侵蚀适宜。

重庆地区土壤侵蚀量较低的区域主要分布在地势平坦、植被覆盖高的渝西和渝中地区,多为河谷阶地或缓丘平坝;土壤侵蚀较严重的地区则主要分布在植被稀疏、坡度大、坡长长的山区,如三峡库区、渝东北、渝东南的低山丘陵区。总之,重庆土壤侵蚀呈现由西向东加重的趋势。

根据水利部颁布的土壤侵蚀分级标准,对重庆市土壤侵蚀进行分类,将其分为微度、轻度、中度、强度、极强度和剧烈侵蚀 6 类。结果表明,重庆地区 2010 年土壤侵蚀量为 2.23 亿 t/a,平均土壤侵蚀模数为 $2710.59 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。约有一半以上的面积为微度侵蚀;其次为轻度侵蚀面积,约占 19.11%;中度侵蚀和强度侵蚀面积相当,都在 6.50 左右;极强度侵蚀面积比率较大,约占 8.66%;剧烈侵蚀面积最小,约为 4.06%。极强度侵蚀所占面积比例较大,该区域主要位于东北部和东南部植被覆盖度低或无植被的山区,加上常年多雨气候,土壤侵蚀风险较大。考虑到土壤流失量,约有 11.05% 土壤流失发生在微度和轻度侵蚀区域;约有 60.65% 土壤流失发生在极强度和剧烈侵蚀区域。统计结果说明,管理措施应该主要集中在极强度和剧烈侵蚀区域,提高该区域的植被覆盖度,才能有效减缓土壤侵蚀。

3.2 土壤保持及其动态

重庆 2006 年生态系统土壤保持总量约为 14.36 亿 t/a,土壤保持量较高区域集中在植被覆盖度高的渝东北、渝东南、渝中高山地区。森林生态系统在土壤保持中效果明显,占整个重庆土壤保持总量的 54.62%,灌丛和农田生态系统次之,占总土壤保持比例分别为 24.51% 和 18.57%。单位面积土壤保持量较大的主要生态系统类型为森林,其次为灌丛和草地。森林生态系统土壤保持作用最为突出,是因为森林生态系统能对降水的进行拦截,在一定程度上降低降水的势能。降落到森林中的雨水,首先达到浓密的林冠层,减弱雨滴的动能,缓和降水对森林地表的直接击溅和冲刷^[21]。穿过林冠或从林冠滴下的雨水,与林冠下层植被(灌木、草本和苔藓层)接触而被截留。林地上的枯枝落叶层也具有较大的水分截持能力^[22],能够吸收和截留经由林冠、下层植被截留后落到地表的部分雨水。森林截留能力大小主要受降水特性(降水量、降水强度与降水的时空分布)、树木特征(树种、树龄、枝叶结构和干燥程度)和林型结构(郁闭度和林冠层次)等多种因素的影响。一般而言,植被覆盖度越高的森林生态系统,其截留能力越强。

重庆 2010 年生态系统土壤保持量约为 14.69 亿 t/a。森林、灌丛和农田生态系统的年均土壤保持量较大,占总土壤保持比例分别为 57.59%、24.72% 和 15.32%。近 5 年的时间,重庆土壤保持量由 14.36 亿 t/a 增加到 14.69 亿 t/a,提高了约 0.33 亿 t/a,约为 2006 年的 2%。与 2006 年相比,重庆 2010 年森林生态系统的土壤保持能力与保持总量均有所提高,森林生态系统土壤保持能力增加了 $640.13 \text{ t/(km}^2/\text{a)}$,土壤保持总量提高了 0.59 亿 t/a。研究区森林类型面积由 2006 年的 36.12% 增长到 2010 年的 38.91%,同时植被覆盖度的也呈增长趋势,森林面积与覆盖度的增加导致了森林生态系统土壤保持能力的增强。从 2000 年生态工程的实施,重庆森林覆盖度逐年提高,土壤保持生态效益进一步增强,这对改善和提高重庆整体生态效应具有重要意义。

3.3 土壤保持价值分析

3.3.1 土壤保持量价值估算

依据生态系统土壤保持价值估算方法,计算了重庆各生态系统类型因减缓土壤侵蚀而产生的生态经济价值,包括保持土壤养分、减少废弃地和减轻泥沙淤 3 个方面。重庆生态系统因防止土壤侵蚀而产生的保持土壤养分的价值为 5.44×10^5 万元,其中 N 为 5.26×10^4 万元, P 为 0.87×10^4 万元, K 为 4.83×10^5 万元;减少废弃地的价值为 2.65×10^4 万元;减轻泥沙淤积灾害的价值为 4.78×10^4 万元。重庆 2010 年生态系统土壤保持的总经济价值为三者之和,约为 6.18×10^5 万元,其中森林生态系统为 3.33×10^5 万元,约为总量的 53.93%。假设各公

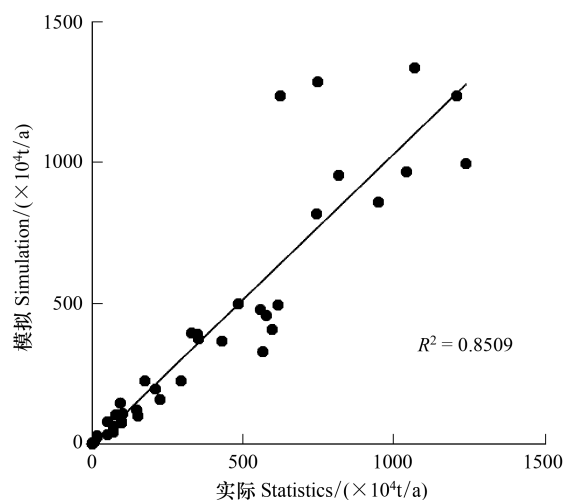


图 2 土壤侵蚀模拟结果验证
Fig. 2 Validation of soil erosion

式价格指数不变,与 2006 年相比,2010 年生态系统土壤保持的总经济价值增长了近 3.66×10^4 万元。

随着生态系统类型和植被覆盖度的不同,各类生态系统类型对土壤保持价值的差别很大。由结果分析可见:重庆 2010 年森林生态系统单位面积土壤保持价值最高,为 1097.44 元/(hm^2/a),其次为灌丛生态系统、草地生态系统和农田生态系统,分别为 1079.16 元/(hm^2/a)、976.10 元/(hm^2/a)和 347.26 元/(hm^2/a)。结果表明在重庆独有的地形条件和自然气候下,森林生态系统对区域土壤保持有着巨大的经济价值,应进行科学的管理和保护。相对于 2006 年,重庆 2010 年森林生态系统土壤保持总价值和单位面积价值均有所提高,分别增长了 2.21×10^4 万元和 7.42 元/(hm^2/a),说明重庆 2010 年森林面积和覆盖度增长迅速,植被生长状况良好,土壤保持的经济效益得到增强。

3.32 土壤保持量价值空间格局

通过对重庆地区生态系统土壤保持价值的定量评估,基本勾勒了该区域 2010 年生态系统土壤保持价值的空间格局和大致数量(图 3),这对充分认识生态系统生态服务功能以及科学管理都是极为重要的。由于生态系统类型和植被覆盖度的空间差异,重庆地区生态系统保持土壤养分、减少废弃地和减轻泥沙淤积总价值也呈现出地区差异。如图 4 所示,土壤保持总价值大于 2×10^4 万元的市县为巫溪县、城口县、奉节县、酉阳县、开县、云阳县、巫山县、彭水县、石柱县、万州区、武隆县、黔江区、丰都县,其价值分别为 6.17×10^4 万元、 5.49×10^4 万元、 4.43×10^4 万元、 4.27×10^4 万元、 3.78×10^4 万元、 3.44×10^4 万元、 3.32×10^4 万元、 3.11×10^4 万元、 3.09×10^4 万元、 3.00×10^4 万元、 2.38×10^4 万元、 2.16×10^4 万元、 2.01×10^4 万元,价值之和约占整个重庆土壤保持总价值的 75.70%。该区域土壤保持价值之所以较高,主要是因为这些市县多为自然保护区集中地,植被覆盖状况较好,森林生态系统类型所占面积比例较大,对土壤保持的贡献率也较高。由此可见,森林生态系统土壤保持对本区社会和经济有着重要作用。

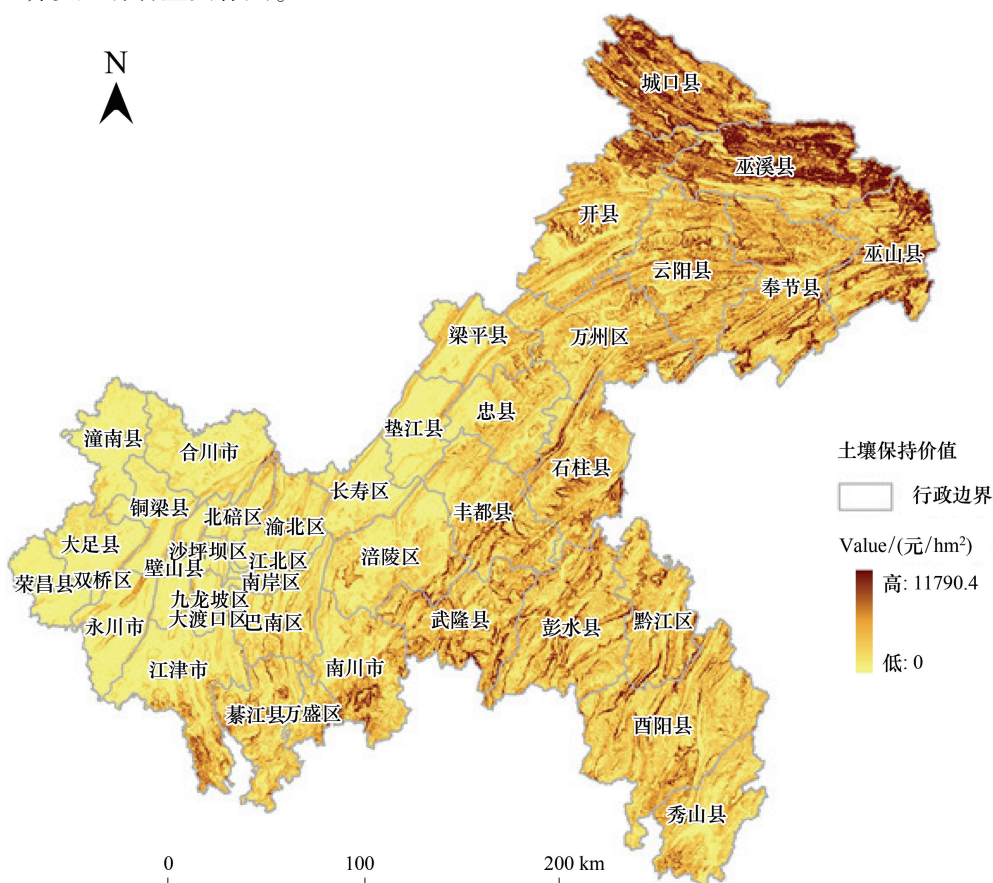


图 3 重庆 2010 年土壤保持价值空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution map of the value of the soil conservation in Chongqing in 2010

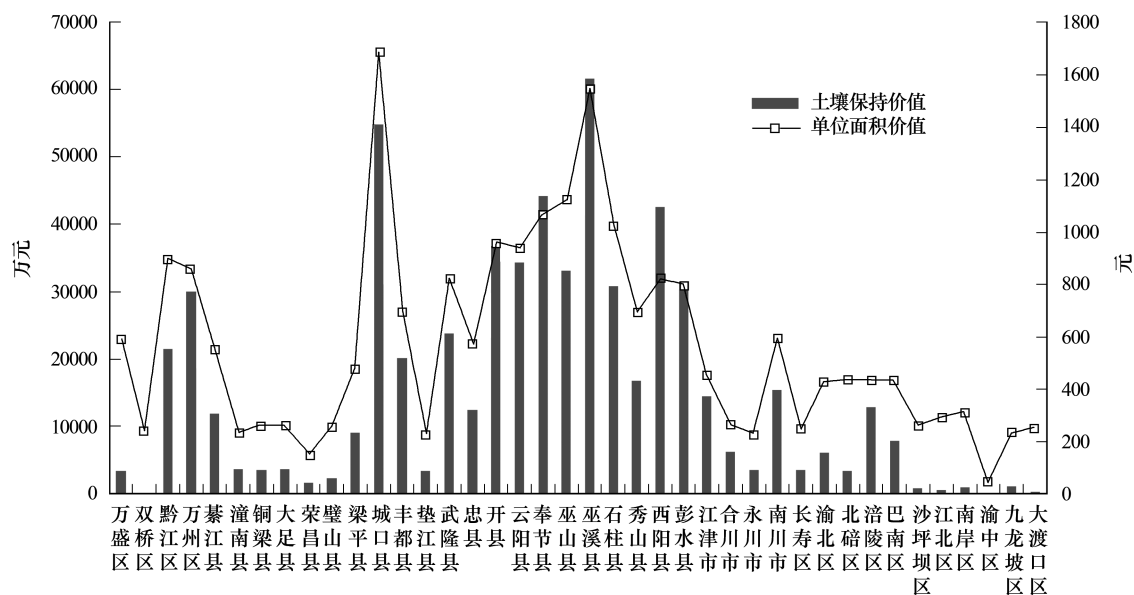


图4 重庆各市县2010年土壤保持价值

Fig. 4 The value of the soil conservation service located in different regions of Chongqing

4 结论

1) 通用土壤侵蚀方程作为经验模型被广泛的用于区域土壤侵蚀定量研究,但是本研究区域地形复杂和植被覆盖密度空间差异较大,简单的用 USLE 不能充分考虑了植被覆盖密度对土壤侵蚀的影响。本文基于植被覆盖度和土地覆盖类型图,通过查表法,构建像元在不同土地覆盖类型和不同植被覆盖度下的 C 值图层。改进的 C 因子包含更多的数据信息,能够使土壤侵蚀结果更加精确。

2) 通过改进的 USLE 估算重庆地区 2010 年土壤侵蚀量,约为 2.23 亿 t/a ,平均土壤侵蚀模数为 2710.59 $t/(km^2/a)$ 。空间分布上,土壤侵蚀强度呈现由西向东加重的趋势。极强度和剧烈侵蚀面积所占比重不大,但其土壤流失量所占比重较大,约为 60.65%。说明管理措施应该主要集中在极强度和剧烈侵蚀区域,提高该区域的植被覆盖度,才能有效减缓土壤侵蚀。

3) 重庆地区 2010 年土壤保持量由 2006 年的 14.36 亿 t/a 增加到 14.69 亿 t/a 。其中森林生态系统在土壤保持效果最为明显,土壤保持总量和单位面积土壤保持量均大于其他生态系统类型。近年来重庆地区土壤保持能力的持续增强,主要是因为森林生态系统面积的增长和植被生长状况的转好。

4) 生态系统在土壤保持中发挥了巨大的作用,2010 年重庆地区生态系统土壤保持的总经济价值约为 6.18×10^5 万元,其中森林生态系统土壤保持价值量最大,约占总量的 53.93%。相对于 2006 年,森林生态系统土壤保持总价值和单位面积价值均有所提高,进一步表明研究区森林面积和覆盖度增长迅速,植被生长状况良好,土壤保持的经济效益得到增强。土壤保持单位价值量较高且具有明显的空间差异,高值区主要分布在研究区的东部山区(城口县—秀山县),主要是由于地区的人口密度低,森林覆盖率高;低值区主要分布在研究区的西部平原区,主要是由农田和建设用地分布广泛,自然生境破碎化较严重造成。

参考文献 (References):

- [1] Oldeman L R. The global extent of soil degradation // Greenland D J, Szabolcs I. Soil Resilience and Sustainable Land Use. Wallingford: CAB International, 1994.
- [2] 孙立达, 孙保平, 陈禹, 许洋. 西吉县黄土丘陵沟壑区小流域土壤流失量预报方程. 自然资源学报, 1988, 3(2): 141-153.
- [3] 高丽倩, 赵允格, 秦宁强, 张国秀. 黄土丘陵区生物结皮对土壤可蚀性的影响. 应用生态学报, 2013, 24(1): 105-112.
- [4] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 王效科, 韩艺师. 海南岛生态系统土壤保持空间分布特征及生态经济价值评估. 生态学报, 2000, 20(4):

552-558.

- [5] Liu Z. Soil and conservation in China. Paper presented on the ninth international symposium on river sedimentation. Yichang, China, 18-21 October 2004.
- [6] 赵晓丽, 张增祥, 谭文彬, 刘斌. 西部地区土壤侵蚀特征及其危害分析. 水土保持通报, 2002, 22(3): 15-19.
- [7] 张建国, 范建容, 王玉宽, 刘淑珍. 重庆市降雨侵蚀力(R 值)的时空分布特征. 水土保持研究, 2004, 11(1): 56-59.
- [8] Leprieur C, Verstraete M M, Pinty B. Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve vegetation cover from AVHRR Data. Remote Sensing Review, 1994, 10(4): 265-284.
- [9] Zribi M, Le Hégarat-Masclé S, Taconet O, Ciarletti V, Vidal-Madjar D, Boussema M R. Derivation of wild vegetation cover density in Semi-Arid Regions: ERS2/SAR Evaluation. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(6): 1335-1352.
- [10] 李士美, 谢高地, 张彩霞, 祁悦. 森林生态系统土壤保持价值的年内动态. 生态学报, 2010, 30(13): 3482-3490.
- [11] 史东梅, 江东, 卢喜平, 蒋光毅. 重庆涪陵区降雨侵蚀力时间分布特征. 农业工程学报, 2008, 24(9): 16-21.
- [12] Williams J R, Arnold J G. A system of erosion—sediment yield models. Soil Technology, 1997, 11(1): 43-55.
- [13] Hickey R. Slope angle and slope length solutions for GIS. Cartography, 2000, 29(1): 1-8.
- [14] 杨洁, 郭晓敏, 宋月君, 肖胜生, 牛德奎. 江西红壤坡地柑橘园生态水文特征及水土保持效益. 应用生态学报, 2012, 23(2): 468-474.
- [15] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, McCool D K, Yoder D C. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). // U.S. Department of Agriculture Agriculture Handbook No. 703, 1997.(请核对本条文献信息)
- [16] U.S. Soil Conservation Service Engineering Division. Procedure for computing sheet and rill erosion on project areas. // U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division, 1975.(请核对本条文献信息)
- [17] 高江波, 周巧富, 常青, 李双成. 基于 GIS 和土壤侵蚀方程的农业生态系统土壤保持价值评估——以京津冀地区为例. 北京大学学报: 自然科学版, 2009, 45(1): 151-157.
- [18] 薛达元, 包浩生, 李文华. 长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估. 中国环境科学, 1999, 19(3): 247-252.
- [19] 李智琦, 欧阳志云, 曾慧卿. 基于物种的大尺度生物多样性热点研究方法. 生态学报, 2010, 30(6): 1586-1593.
- [20] 夏江宝, 杨吉华, 李红云, 鲍玉海, 吕爱霞. 山地森林保育土壤的生态功能及其经济价值研究——以山东省济南市南部山区为例. 水土保持学报, 2004, 18(2): 97-100.
- [21] 万师强, 陈灵芝. 暖温带落叶阔叶林冠层对降水的分配作用. 植物生态学报, 1999, 23(6): 557-561.
- [22] 赵玉涛, 张志强, 余新晓. 森林流域界面水分传输规律研究述评. 水土保持学报, 2002, 16(1): 92-95.