

安徽省大别山区土壤侵蚀及其经济损失评估

杨翔^{1,2}, 程先富^{1,2}

(1. 安徽师范大学 国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241003; 2. 安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室, 安徽 芜湖 241003)

摘要: 基于通用土壤流失方程(USLE 模型)和 GIS 空间分析技术,对安徽省大别山区土壤侵蚀量进行了估算。选取土壤养分、水分及泥沙滞留、淤积、土地废弃损失作为土壤侵蚀经济损失的指标,采用替代花费法、恢复费用法、影子工程法等方法,评估了安徽省大别山区土壤侵蚀的经济损失。结果表明,安徽省大别山区 2007 年平均土壤侵蚀模数为 2 443.4 t/(km²·a),土壤侵蚀总量为 2.29×10⁷ t/a,其中金寨县和岳西县土壤侵蚀总量最高,分别为 7.62×10⁶ t/a 和 5.42×10⁶ t/a。从空间分布上看,较强的侵蚀主要集中在西部地区,东北部以及南部地区侵蚀量相对较小;土壤侵蚀造成的总经济损失为 92 052.8 万元,其中土壤养分价值损失最大,为 82 557.8 万元,占土壤侵蚀经济总损失的 89.7%,其次是泥沙损失,达 4 734.2 万元,占经济总损失的 5.1%。金寨县经济损失量最大,为 37 266.3 万元,占大别山区土壤侵蚀总经济损失的 40.18%。其次为岳西县,约占 23.54%。经济损失量最小的为舒城县和桐城市。

关键词: 土壤侵蚀; 经济损失评估; 安徽省大别山区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)06-0136-05

中图分类号: S157.1

Soil Erosion and Its Economic Loss Assessment in Dabie Mountain Area in Anhui Province

YANG Xiang^{1,2}, CHENG Xian-fu^{1,2}

(1. College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241003, China;

2. Anhui Key Laboratory of Natural Disaster Process and Prevention, Wuhu, Anhui 241003, China)

Abstract: With the intensification of global climate change and human activity, soil erosion is more serious and has become one of the biggest obstacles to regional sustainable development. Based on USLE model and GIS spatial analysis technology, the quantity of soil erosion was estimated in Dabie mountain area in Anhui Province. Selecting soil nutrients, soil water, sediment retention-siltation and the deserted land loss as the index of economic losses, the economic loss of soil erosion in Dabie mountain area of Anhui Province was assessed using the methods of replacement cost, recovery cost, shadow engineering and so on. The results indicated that the modulus of the average soil erosion in Dabie mountain area in Anhui Province was 2 443.4 t/(km²·a) in 2007, and the total amount of soil erosion was 2.29×10⁷ t/a. The highest soil erosion were Jinzhai County and Yuexi County, having 7.62×10⁶ t/a and 5.42×10⁶ t/a, respectively. Seeing from the spatial distribution, the more serious soil erosion was mainly concentrated in the western region while slight soil erosion was in the northeast and southern. The total amount of economic loss of soil erosion was 920.528 million yuan in Dabie mountain area in Anhui Province. The value of nutrition loss was the biggest with 825.578 million yuan, accounting for 89.7% of the total soil erosion economic loss. Sediment loss was 47.342 million yuan, accounting for 5.1%. Economic loss of Jinzhai County was the biggest with 372.663 million yuan, having 40.18% of the total economic losses. Then it was Yuexi County, accounting for 23.54%. The smallest is Shucheng County and Tongcheng City.

Keywords: soil erosion; economic loss assessment; Dabie mountain area in Anhui Province

收稿日期: 2012-10-25

修回日期: 2013-03-26

资助项目: 国家自然科学基金项目“流域尺度洪涝灾害风险评估方法研究: 以巢湖流域为例”(41271516); 教育部人文社会科学研究规划基金项目(12YJA790016); 高等学校博士学科点专项科研基金(20113424110002)

作者简介: 杨翔(1987—), 女(汉族), 安徽省合肥市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持环境效益评价。E-mail: yangx20070218@sina.com。
通信作者: 程先富(1967—), 男(汉族), 安徽省合肥市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事资源利用与环境效应研究。E-mail: xianfucheng@sina.com。

土壤侵蚀是当今世界各国普遍面临的环境问题之一,严重的土壤侵蚀给经济社会的可持续发展和人民群众的生产生活造成了多方面的严重危害。近年来,随着生态经济学和环境经济学发展,土壤侵蚀经济损失评估得到众多学者关注。Crosson 和 Clark 等^[1]估算土壤侵蚀对农业造成的年经济损失约为 5.25~5.88 亿美元,估算美国每年因土壤侵蚀造成的非农业损失为农业损失的 2 倍。20 世纪 80 年代,我国关于生态资源破坏和环境经济损失的研究中就涉及了全国土壤侵蚀经济损失计量的内容,杨子生^[2]采用市场价值法和影子工程法对云南省水土流失直接经济损失进行了研究;近年来也有学者陆续对山东、贵州、湖南省^[3-5]以及一些流域^[6-7]和市县^[8-9]进行土壤侵蚀经济损失评估。目前,我国对多种尺度的土壤侵蚀造成的损失研究均有涉及,既有全国尺度的^[10],也有涉及到一些省份^[2-6]甚至各个流域尺度的研究^[6-9]。由于各种数据的可获取性的差异,导致土壤侵蚀经济损失估算的方法在不同的研究区各有特色,选取的指标也不尽相同。

安徽省大别山区地形起伏较大,降雨多且强度大,易风化的软弱岩层出露面积广,加之不合理地利用水土资源,导致土壤侵蚀愈发严重。本研究以安徽省土壤侵蚀量较大的大别山区为研究对象,在 GIS 技术支持下,基于土壤侵蚀通用方程(USLE),估算了安徽省大别山区土壤的侵蚀量,揭示土壤侵蚀经济损失的空间分布特征,在选择适宜评价指标和方法的基础上,对安徽省大别山区土壤侵蚀的经济损失进行评估,旨在为该区土壤侵蚀的防治和制定生态恢复政策提供科学依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

安徽省大别山区位于北纬 30°10′—32°30′,东经 112°40′—117°10′。主要包括金寨县、霍山县、舒城县、岳西县、桐城市、潜山县、太湖县、宿松县等 8 个县市。安徽省大别山中山面积约占全部山区面积的 15%,其余多为低山丘陵。山间谷地宽广开阔,并有河漫滩和阶地平原,是主要农耕地区。山地多深谷陡坡,地形复杂,坡向多变,坡度多在 25°~50°。气候属于北亚热带湿润季风气候区,年平均降水量 1 832.8 mm,总人口约 280 万,总面积 12 955 km²,占安徽省总面积的 9.4%。该地区集山区、革命老区和贫困区于一体,经济较落后。

1.2 数据来源

降雨资料来源于安徽省各气象站点 37 a 的实测

数据;安徽省土壤类型图(1:500 000)来源于安徽省土壤普查办公室编制的图件;遥感影像为 2007 年 7 月 Landsat 卫星的 TM 影像;DEM 数据由 1:100 000 的大别山区地形图制作;土地利用图由 TM 影像解译获得;其它数据采集于安徽省及各县市统计年鉴和安徽省土壤和土种。

2 土壤侵蚀量估算

运用 Wischmeier 提出的 USLE 模型估算安徽省土壤侵蚀量,其基本形式为:

$$A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

式中:A——年土壤流失量;R——降雨侵蚀力因子;K——土壤可蚀性因子;L——坡长因子;S——坡度因子;C——作物覆盖与管理因子;P——水土保持措施因子。

2.1 土壤侵蚀通用方程中各因子的确定

2.1.1 降雨侵蚀力因子 R 采用吴素业针对安徽省大别山区所提出的算法^[11]:

$$R=\sum_{i=1}^{12} 0.179 P_i^{1.568 2}$$

式中:R——年侵蚀力 (J·cm)/hm²;P_i——月降雨量(mm)。

基于各个县市的气象站点的降雨量资料和 GIS 空间分析技术,利用克里格插值法,生成安徽省大别山区的降雨侵蚀力 R 值分布图。

2.1.2 土壤可蚀性因子 K 运用 Williams 等提出的估算公式:

$$K=\{0.2+0.3 \exp \{-0.025 6 S_d(1-S_i/100)\}\} \times \{S_i/(C_i+S_i)\} \times \{1.0-0.25c/(c+\exp(3.72-2.95c))\} \times \{1.0-0.7(1-S_d/100)\} / \{1-S_d/100+\exp\{-5.51+22.9(1-S_d/100)\}\}$$

式中:S_d——砂粒含量;S_i——粉粒含量;C_i——黏粒含量;c——有机质含量。

根据全国第二次土壤普查资料及安徽土壤调查资料^[12],结合安徽省土种和安徽省土壤类型图,进行 K 值计算。运用 ArcGIS 空间分析技术,生成 K 值分布图。

2.1.3 坡度坡长因子 LS 计算公式^[13]为:

$$LS=(\lambda/22.1)^m(65.4 \sin^2 \theta+4.56 \sin \theta+0.065 4)$$

式中:λ——坡长;θ——坡度度数(°);S——坡度(%)

该因子指数的计算值为:

$$m=\begin{cases} 0.2 & (\theta \leq 0.5^\circ) \\ 0.3 & (0.5^\circ < \theta \leq 1.5^\circ) \\ 0.4 & (1.5^\circ < \theta \leq 2.5^\circ) \\ 0.5 & (\theta > 2.5^\circ) \end{cases}$$

以安徽省大别山区数字高程数据为数据源,利用上述公式,在 ArcGIS 平台下生成坡度坡长因子图。

2.1.4 作物覆盖与管理因子 C 作物覆盖与管理因子采用蔡崇法^[14]提出的植被覆盖度与 C 因子的方程,其方程为:

$$C = \begin{cases} 1 & (c=0) \\ 0.6508 - 0.343611gc & (0 < c \leq 78.3\%) \\ 0 & (c > 78.3\%) \end{cases}$$

式中: C ——作物覆盖与管理因子; c ——植被覆盖度。

2.1.5 水土保持措施因子 P 水土保持措施因子 P 取值在 $0 \sim 1$, 0 表示水土保持措施得当的地区,基本没有土壤侵蚀发生; 1 表示未采取任何水土保持措施的地区。结合安徽省土地利用及农事活动情况的实际调查并结合已有研究结果^[14]确定研究区 P 值。其中水田,旱地,城镇用地的 P 值分别为 $0.15, 0.35$ 和 0.40 。

2.2 安徽省大别山区土壤侵蚀空间分布特征

在 ArcGIS 9.3 软件的支持下,运用 Spatial Analyst 和 3D Analyst 模块,将各因子进行连乘复合运算,估算安徽省大别山区土壤侵蚀量;参照水利部颁发的土壤侵蚀强度分类分级标准,制得安徽省大别山区土壤侵蚀空间分布图。

由研究区各县侵蚀量分布情况(图 1)可以看出,安徽省大别山区的土壤侵蚀状况主要为无侵蚀和微度侵蚀,其中微度侵蚀面积最大,为 $4\,777.80 \text{ km}^2$,占侵蚀总面积的 51% ,其次是无侵蚀,面积为 $4\,527.38 \text{ km}^2$,占 48% ,两者总和占 97% ,轻度及以上等级侵蚀面积占总侵蚀面积的 2% 。从侵蚀量上看,安徽省大别山区年总土壤侵蚀量达到了 $2.29 \times 10^7 \text{ t/a}$,并主要集中在微度和轻度上,3 者总计占到总侵蚀量的 94% ,其中,微度侵蚀量达到 $1.50 \times 10^7 \text{ t/a}$,其比例占总侵蚀量的 65% ,剧烈侵蚀量较少,仅占总侵蚀量的 0.4% 。从空间分布上看,较强侵蚀主要集中在西部地区,东北部以及南部地区相对侵蚀量较小。

图 1 表明,金寨县土壤侵蚀状况最为严重,土壤侵蚀总量达到 $7.62 \times 10^6 \text{ t/a}$,年平均土壤侵蚀模数达 $4\,083 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。其次是岳西县,土壤侵蚀量为 $5.42 \times 10^6 \text{ t/a}$ 。这两个县处于大别山区中心,人口较多,加之人为不合理的利用土地以及对森林的破坏,造成此地土壤侵蚀较严重,占研究区侵蚀总量的 57% 。桐城和舒城县因处于大别山区的外围,年均侵蚀量较小,两县仅占侵蚀总量的 4.8% 。由此可以看出,安徽省大别山区土壤侵蚀量各县差距较大,越靠近大别山区中心区的年均侵蚀量越大,并依次向四周呈递减趋势。

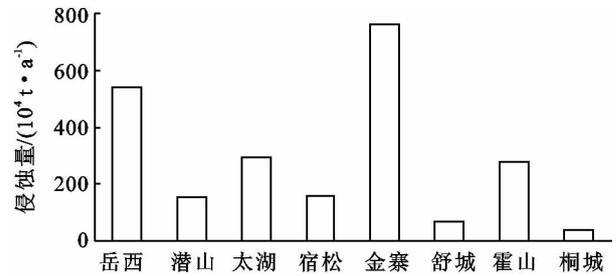


图 1 安徽省大别山区各县市土壤侵蚀量

3 安徽省大别山区土壤侵蚀的经济损失估算

针对安徽省大别山的自然环境与土壤侵蚀状况,选取氮素损失、磷素损失、钾素损失、有机质损失、水分损失、滞留损失、淤积损失、土地废弃损失共 8 个实物型损失指标。

3.1 养分流失的损失计算

采用替代花费法计算养分流失的损失。土壤侵蚀各项养分经济损失计算模式为:

$$M_1 = Z \cdot F_i \cdot P_i \cdot Q_i$$

式中: M_1 ——土壤中氮、磷、钾、有机质流失所损失的价值; Z ——研究区年总侵蚀量; F_i ——研究区全氮、全磷、全钾元素及有机质在土壤中的平均含量,分别为 $1.1, 0.56, 20.3, 19.9 \text{ g/kg}$; P_i ——氮、磷、钾素分别为折算为硫酸铵的系数 (4.81)、过磷酸钙系数 (5.13)和氯化钾系数 (1.82); Q_i ——硫酸铵化肥、过磷酸钙化肥、氯化钾化肥 2010 年的市场平均价格,分别为 $850, 560$ 和 $1\,950 \text{ 元/t}$ 。

根据 Costanza 等人^[15]的研究,薪材转化成土壤有机质的比例一般为 $2:1$,薪材的机会成本价格为 51.3 元/t 。

3.2 水分流失的损失计算

选用影子工程法,即要计算出能替代被流失的土壤水分的补偿工程所需的费用,可用建造一个农用水库工程替代^[16]。

$$M_2 = (Z \cdot F_w / B_d) Q_w$$

式中: M_2 ——土壤中水分流失所损失的价格; F_w ——研究区水分在土壤中的平均含量,为 13% ; B_d ——研究区各县市平均土壤容重,为 1.35 t/m^3 ; Q_w ——修建 1 m^2 农用水库所需要的投资费用,为 10 元/m^3 。

3.3 泥沙流失的损失计算

根据前人研究的成果^[17]和研究区的实际情况,土壤侵蚀总量中滞留泥沙、淤积泥沙和入湖泥沙各分

别约占 33%, 24% 和 37%; 由此可推算出土壤侵蚀总量中滞留部分以及淤积部分的泥沙量。

3.3.1 泥沙滞留的损失估算 对于泥沙滞留的损失采用恢复费用法。即将清除这些滞留泥沙的经济费用作为泥沙滞留于当地, 掩埋农田, 交通设施等造成的经济损失。其估算公式为:

$$M_3 = (Z \times 33\% / B_d) \times Q_r$$

式中: M_3 ——泥沙滞留损失的价格; Q_r ——清除 1 m^2 泥沙的费用, 为 11.54 元/m^3 。

3.3.2 泥沙淤积的损失估算 采用影子工程法来计算泥沙淤积部分的相对经济损失, 即用假设重新修建一个农用水库工程来弥补泥沙淤积造成的水库库容量减少所需要投资的费用作替代物。其估算公式为:

$$M_4 = (Z \times 24\% / B_d) \times Q_f$$

式中: M_4 ——泥沙淤积损失的价格; Q_f ——修建拦

截 1 m^2 泥沙工程的投资费用, 为 10 元/m^3 。

3.3.3 土地废弃损失估算 土地废弃价值指因全部耕层丧失而废弃和因耕层变薄更加贫瘠而废弃两种情况, 因此以土壤流失总体积按平均耕层厚度折算成土地面积来计算, 采用机会成本法估算因土地废弃而失去的经济损失价值^[18]。

$$M_5 = Z \cdot Q_t / (h \cdot B_d \times 100)$$

式中: M_5 ——土地废弃损失的价格; h ——土层厚度, 为 0.3 m ; Q_t ——单位面积农林牧渔业产值, 根据 2007 年安徽省统计年鉴, 取 $14\,828.73 \text{ 元/hm}^2$ 。

3.4 安徽省大别山区土壤侵蚀的经济损失

根据收集的数据, 建立安徽省大别山区土壤数据库, 得到研究区全氮、全磷、全钾和有机质含量栅格图层。运用估算公式, 基于 GIS 空间分析技术得到研究区各县土壤侵蚀的经济损失价值估算结果(表 1)。

表 1 安徽省大别山区土壤侵蚀的经济损失量

万元

区域	养分损失					水分损失	泥沙损失			土地废弃损失	合计
	全氮	全磷	全钾	有机质	小计		滞留量	淤积量	小计		
岳西县	1 090.1	389.9	17 462.2	495.1	19 437.3	233.4	683.7	430.9	1 114.6	887.4	2 1671.8
潜山县	203.5	72.8	3 260.4	92.4	3 629.2	43.6	127.6	80.4	208.1	165.7	4 046.6
太湖县	590.3	211.2	9 456.2	1 268.1	10 525.8	126.4	370.3	233.3	603.6	480.6	11 736.4
宿松县	250.5	89.6	4 012.5	113.7	4 466.4	53.63	157.1	99.01	256.1	203.9	4 980.1
金寨县	1 860.5	665.5	29 804.2	845.1	33 175.3	398.4	1 167.0	735.4	1 902.4	1 514.7	36 990.8
舒城县	28.53	10.1	457.1	12.9	508.8	6.11	17.9	11.3	29.2	23.2	567.3
霍山县	578.3	206.8	9 263.1	262.7	10 310.9	123.81	362.7	228.6	591.3	470.8	11 496.8
桐城市	28.3	10.1	452.8	12.8	504.1	6.1	17.7	11.1	28.9	23.0	562.0
合计	4 629.9	1 656.1	74 168.6	2 103.2	82 557.8	991.4	2 904.0	1 830.2	4 734.2	3 769.4	92 052.8
比例%	5.0	1.8	80.6	2.3	89.7	1.1	3.1	2.0	5.1	4.1	100

表 1 表明, 安徽省大别山区土壤侵蚀总经济损失为 92 052.8 万元。从安徽省大别山区土壤侵蚀的经济损失的结构上来看, 土壤侵蚀造成的养分流失是安徽省大别山区土壤侵蚀经济损失的主要形式, 养分流失的价值损失为 82 557.8 万元, 在当地造成的损失占整个土壤侵蚀经济损失的 89.7%, 其中钾流失造成的损失最大, 达到 74 168.6 万元, 占经济损失总量的 80.6%。接下来依次是氮元素、有机质、磷元素, 说明土壤侵蚀中最严重、最直接的后果是土地生产能力的降低。其次是泥沙流失造成的损失为 4 734.2 万元, 约占总侵蚀量的 5.1%。其中, 泥沙滞留量为 2 904.0 万元, 泥沙淤积量为 1 830.2 万元。泥沙滞留和淤积在水库、河道、河床等地, 使水库淤积、容量减小、河道阻塞、航运受阻、洪涝灾害频发, 影响农业生产。土地废弃损失占总损失量的 4.1%。其中以金寨县居多。土地废弃可能会导致本研究区农林牧副渔业减产, 影响当地居民的生活水平。虽然土壤水分

损失造成的经济损失最少, 只占总侵蚀量的 1.1%, 但由其引起的间接损失可能比直接影响大的多。土壤侵蚀会降低土壤有效水分的含量, 进而影响土壤养分的扩散, 不利于农作物的生长和产量的提高, 导致当地居民收入受损。

安徽省大别山区各个县的土壤侵蚀造成的经济损失量也有较大的差异, 经济损失最大的为金寨县, 其损失量达到 37 266.3 万元, 占大别山区土壤侵蚀总经济损失的 40.18%。其次为岳西县, 约占 23.54%。最小的为舒城县和桐城市, 分别占总经济损失的 0.62% 和 0.61%。由此可以看出, 虽然各县的经济损失量差距明显, 但依旧呈现出相关性, 即越处于大别山区内部, 由于种种自然和人为因素, 造成土壤侵蚀量大于外围地区, 进而导致其经济损失量有内向外呈递减趋势。因此大别山区开展水土保持工作, 要以金寨县和岳西县为重点, 采取相应的措施, 减少土壤侵蚀造成的经济损失。

4 结论

(1) 根据研究区的具体情况,结合前人的研究成果,对安徽省大别山区土壤侵蚀通用方程的各因子进行了深入分析。

(2) 基于 GIS 技术和 LUSE 模型,定量估算了安徽省大别山区土壤侵蚀量。总土壤侵蚀量达到了 2.29×10^7 t/a,各县土壤侵蚀强度分布强度不一,其中以岳西县和金寨县最高,约占总侵蚀量的 56.82%。其中靠近大别山中心地区的年均侵蚀量较大。

(3) 针对安徽省大别山的自然环境与土壤侵蚀状况,选取的氮素损失、磷素损失、钾素损失、有机质损失、水分损失、滞留损失、淤积损失、土地废弃损失 8 个实物型损失指标,详细给出了其估算公式并核定了各因子的计算值。

(4) 研究区由土壤侵蚀带来的经济损失较大。其总量达到 92 052.8 万元。从土壤侵蚀经济损失的结构特征看,养分流失的价值损失最高为 82 557.8 万元,占整个土壤侵蚀经济损失的 89.7%。其空间上呈现有大别山中心地区向四周递减的趋势。

(5) 研究主要针对安徽省大别山区,因此在选定各个因子的计算方法时,具有较强的针对性。但在计算经济损失时没有考虑土壤侵蚀造成的其它损失如旱涝灾害频发损失,面源污染加重损失,生态系统恶化损失等,需进一步加强研究。

[参 考 文 献]

- [1] 杨爱民,庞有祝,李铁铮,等. 土壤侵蚀经济损失计量研究评述[J]. 中国水土保持科学, 2003,1(1):108-110.
- [2] 杨子生,谢应齐. 云南省土壤侵蚀直接经济损失的计算方法与区域特征[J]. 云南大学学报:自然科学版,1994,16(S):99-106.
- [3] 赵善伦,尹民,孙希华. 山东省土壤侵蚀经济损失与生态价值损失评估[J]. 经济地理,2002,22(5):616-619.
- [4] 邓培雁,屠玉麟,陈桂珠. 贵州省土壤侵蚀土壤侵蚀经济损失估值[J]. 农村生态环境,2003,19(2):1-5.
- [5] 田亚平,李虹,邓运员. 湖南省水土流失的经济损失评估[J]. 水土保持学报,2008,22(4):42-46.
- [6] 李云辉,贺一梅,杨子生. 云南金沙江流域土壤侵蚀直接经济损失测算方法与区域特征分析[J]. 山地学报,2002,20(S):36-42.
- [7] 许月卿,蔡运龙. 土壤侵蚀经济损失分析及价值估算:以贵州省猫跳河流域为例[J]. 长江流域资源与环境,2006,15(4):470-474.
- [8] 杨志新,郑大玮,李永贵. 北京市土壤侵蚀经济损失分析及价值估算[J]. 水土保持学报,2004,18(3):175-178.
- [9] 夏明友,吴智佳. 南充市土壤侵蚀的经济损失估值[J]. 中国水土保持科学,2008,6(S):79-81.
- [10] 朱高洪,毛志锋. 我国水土流失的经济影响评估[J]. 中国水土保持科学,2008,6(1):63-66.
- [11] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力简化算法与时空分布规律研究[J]. 中国水土保持,1994(4):12-13.
- [12] 安徽省土壤普查办公室. 安徽土壤[M]. 北京:科学出版社,1994:46-90.
- [13] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosionlosses: A Guide to Conservation Planting[M]. United States Department of Agriculture. Agriculture Handbook. Washington: United States Department of Agriculture, 1978.
- [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):19-24.
- [15] Costanza R, Groot R. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(15):253-260.
- [16] 崔伟宏. 区域可持续发展决策支持系统研究[M]. 北京:宇航出版社,1995:10-18.
- [17] 侯秀瑞,许云龙,毕绪岱. 河北省山地森林保土生态效益计量研究[J]. 水土保持通报,1998,18(1):17-21.
- [18] 周冰冰,李忠魁. 北京市森林资源价值[M]. 北京:中国林业出版社,1995.