

安徽省土壤侵蚀的经济损失评估^{*}

余 芬, 程先富

(安徽师范大学 国旅学院, 安徽 芜湖 241003)

摘 要: 在利用 RUSLE 模型估算安徽省土壤侵蚀量的基础上, 利用环境经济学基本原理和方法, 选取 N、P、K 及有机质等养分, 水分损失, 泥沙滞留、泥沙淤积等实物型损失作为衡量土壤侵蚀经济损失的指标, 采用替代价格法、影子工程法和机会成本法估算出安徽省土壤侵蚀的经济损失的货币化结果。结果显示: 2000 年安徽省土壤侵蚀经济损失总量达到 173 081. 97 万元, 其中养分流失引起的损失是安徽省水土流失经济损失的主要形式, 达到了 90. 41%; 安徽省土壤侵蚀经济损失在空间上呈现南高北低的趋势。

关键词: 土壤侵蚀; 经济损失; 安徽省

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)02-0015-05

Estimated on Economic Costs of Soil Erosion in Anhui Province

YU Fen, CHEN G Xian-fu

(College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241003, China)

Abstract: Based on RUSLE model and GIS (geographical information system) technology, the losses of soil erosion of Anhui province was estimated. Then based on the present situation of soil erosion and basic principles and methods of environmental economics, five kinds of material loss brought by soil erosion including the nutrition (the amount of N, P, K and organic matter), water loss, soil detained and deposited were chosen as the index for assessment economic costs. By using the methods of superseded expenditure, shadow engineering works and opportunity cost, the monetized value of soil erosion of Anhui province was estimated. The results showed that the total economic loss value of soil erosion of Anhui was 1 730. 819 7 million Yuan in 2000. The value of nutrition loss reached 90. 41%, is the main pattern. We also included that the economic loss of Anhui was lower at north area and high at south area.

Key words: soil erosion; economic loss; Anhui province

土壤侵蚀已成为全球性的环境问题, 严重威胁着人类的生存和发展。土壤侵蚀对全球食物安全、环境质量及人畜健康的负面影响成为日益严重的现实, 对水土流失的经济损失评估和货币化计量, 是生态环境建设和绿色 GDP 核算的现实问题, 也是实现可持续发展的重要保证和基础性研究^[1], 目前国内已有众多学者对此进行了研究, 杨子生、谢应齐^[2]较早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, 近年已有学者陆续对湖南省、贵州省、山东省^[3-5]以及一些市县^[6]和流域山地区域进行了水土流失的经济损失的估算, 大多运

用环境经济学方法对土壤侵蚀经济损失进行估算, 形象而直观地将土壤侵蚀所造成的巨大损失公布于众, 从而提高民众的土壤侵蚀防治意识, 并为环境管理决策者提供宏观的科学依据。本文以安徽省为例, 运用环境经济学理论和方法, 应用 GIS 软件技术估算了安徽省土壤侵蚀的经济损失, 为该区域水土流失防治提供一定的科学依据。

1 研究区概况

安徽省位于东经 114°54′ - 119°37′, 北纬 29°41′ - 34°38′, 地处长江下游, 是中国南北之间和东西之

* 收稿日期: 2009-05-15

基金项目: 安徽省自然科学基金“3S 技术支持下安徽沿江地区洪涝灾害风险评价及驱动机制研究”(090415212); 安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室建设基金资助, 安徽省自然地理重点学科(AH021)

作者简介: 余芬(1984-), 女, 硕士, 主要从事水土流失防治研究工作。E-mail: yufen678@126.com

通信作者: 程先富(1967-), 男, 博士, 教授, 主要从事遥感与土地利用方面的研究。E-mail: xianfucheng@sina.com

间的过渡地带。气候属暖温带与亚热带过渡地带,以淮河为界,淮河以北为暖温带半湿润季风气候,淮河以南为亚热带湿润季风气候,其主要特征是四季分明、气候温和、年均降雨量 700~ 2 400 mm,但时空分布不均,主要集中于夏季,以暴雨形式降落较多,其中皖南山区和大别山区是安徽省的两大暴雨中心。安徽地形地貌复杂多样,平原、丘陵、山地相间排列,山区丘陵较多,地形起伏大,坡度陡,依据地形地貌特征安徽省划分为 5 个自然区,自北向南依次为淮中游平原区、江淮丘陵台地区、皖西丘陵山区、沿江平原区、皖南丘陵山区。此外抗蚀性弱的母岩和土壤广为分布,山区成土母质多为花岗岩和花岗岩片麻岩风化的沙壤土和黄壤土,土壤疏松,地形破碎,加上水土保持不力,原生植被遭到了破坏致使安徽省极易发生土壤侵蚀。

2 研究方法

土壤侵蚀经济损失评估是一个从土壤侵蚀现状分析出发,到最终采用一系列货币估值技术将其造成的各种实物型损失货币化的过程。在 GIS 支持下运用 RUSLE 模型估算安徽省土壤侵蚀数据库的基础上,利用环境经济学的基本原理和方法,如替代花费法、影子工程法、机会成本法等,以县市为评价单元,从土壤侵蚀造成的众多损失中选择 N、P、K 及泥沙滞留、泥沙淤积等实物型损失作为衡量土壤侵蚀经济损失的主要指标,估算安徽省土壤侵蚀经济损失的货币化结果。

2.1 土壤侵蚀量估算

运用 RUSLE 模型估算安徽省土壤侵蚀量,建立安徽省土壤侵蚀数据库,RUSLE 表达式如式(1)。

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

式中: A ——年土壤流失量; R ——降雨和径流因子; K ——土壤可蚀性因子; L ——坡长因子; S ——坡度因子; C ——植被与经营管理因子; P ——水土保持因子。

(1) R 因子。降雨量的多少以及降水的形式与土壤侵蚀有着密切的关系,降雨因子 R 值是降雨动

力和强度的函数。研究区 R 值的计算采用周伏建^[7]的简便算式。

$$R = \sum_{i=1}^{12} (-2.6398 + 0.3046P_i) \quad (2)$$

式中: P_i ——月降雨量(mm); R ——降雨侵蚀力[J·cm/(m²·h)]。根据安徽省气象部门提供的 37 a 连续降雨资料,计算出全省各气象台站的 R 值,应用 GIS 软件进行插值并生成降雨侵蚀力分布图。

(2) K 因子。反映了土壤对侵蚀的敏感性及降水所产生的径流量与径流速率的大小。影响 K 因子的因素是多方面的。本研究 K 值是运用 Williams 等在 EPIC 模型中的方法,利用土壤有机质和颗粒组成资料进行估算得到的。运用 GIS 空间分析技术,生成 K 值分布图。

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256S_d(1 - S_i/100)]\} \times [S_i/(C_i + S_i)] \times 0.3 \times \{1.0 - 0.25C/[C + \exp(3.72 - 2.95C)]\} \times [1.0 - 0.7(1 - S_d/100)] / \{1 - S_d/100 + \exp[-5.51 + 22.9(1 - S_d/100)]\} \quad (3)$$

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。

(3) 坡长坡度因子(LS)。LS 因子是反映地形地貌特征对土壤侵蚀的影响。对于大尺度的分析,坡长坡度因子(LS)是很难计算的,因此采用地形起伏度这一指标来评价地形因子对土壤侵蚀的影响^[8]。本文以安徽省 1: 25 万数字高程模型(100 m × 100 m)作为数据源,采用 Focal 函数分别计算 3 × 3 窗口的最大高程值和最小高程值,再将两者进行差值运算就实现了地形起伏度数据的提取,得到研究区各像元的 LS 因子值和 LS 图层。

(4) 地表覆盖因子 C。又称作物经营管理因子,是指在相同的土壤、坡度和降雨条件下,某一特定作物或植被情况时的土壤流失量与耕种过后连续休闲地的土壤流失量的比值。根据安徽省土地利用及农田经营情况实际调查并结合已有研究结果^[9]确定研究区 C 值,对地表覆盖因子 C 赋值(表 1)。没有土壤侵蚀的地区 C 赋值为 0,最易受到侵蚀的区域 C 赋值为 1。

表 1 安徽省不同土地利用类型 C 因子和 P 因子值

| 土地利用类型 | 水田 | 旱地 | 林地 | 疏林地 | 草地 | 水域 | 居民用地 | 裸岩 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|----|------|----|
| C 因子值 | 0.180 | 0.310 | 0.006 | 0.017 | 0.060 | 0 | 0.2 | 0 |
| P 因子值 | 0.15 | 0.35 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0 | 0 |

(5) 侵蚀防治措施因子 P。是指采用专门措施后的土壤流失量与顺坡耕作时的土壤流失量的比值。参考以往研究资料以自然植被和坡耕地 P 因子值为 1,水田的 P 因子值为 0.15,结合安徽省土地

利用及农事活动情况,P 因子的估算值如表 1 所示。

运用 GIS 空间叠加分析得到安徽省土壤侵蚀空间分布图(图 1)。根据得到的安徽省土壤侵蚀强度数据,在 GIS 软件支持下统计出各县市不同强度等

级的土壤侵蚀量,再乘以相应的县市面积即可得到各县市的年土壤侵蚀总量 Z (万 t/a) (图 2)。

2.2 养分和有机质流失损失的计算方法

土壤是具有肥力的自然综合体,水土流失必然造成土壤中营养成分的流失。土壤养分大致分为土壤有机质和土壤营养元素两类,其中营养元素主要指 N、P、K 元素。土壤养分的计算方法主要选用替代价格法,计算公式如式(4)、(5)。

$$E_i = Z_i \times S_i \times P_i \tag{4}$$

$$Z_i = Z \times C_i \tag{5}$$

式中: E_i ——N、P、K 养分流失所损失的价值(元); i ——N、P、K 三种元素; Z ——研究区土壤年度侵蚀的土壤总量(t); C_i ——N、P、K 在研究区各县市土壤中的平均含量; S_i ——N、P、K 分别折算为碳酸氢铵、过磷酸钙和氯化钾的系数(分别为 5.64、5.13 和 1.92); P_i ——碳酸氢铵、过磷酸钙和氯化钾肥料的价格(元/ t)。根据安徽农业生产资料公司的数据,2000 年安徽省碳酸氢铵、过磷酸钙和氯化钾的市场价格分别为 410 元/ t 、450 元/ t 和 1 170 元/ t 。

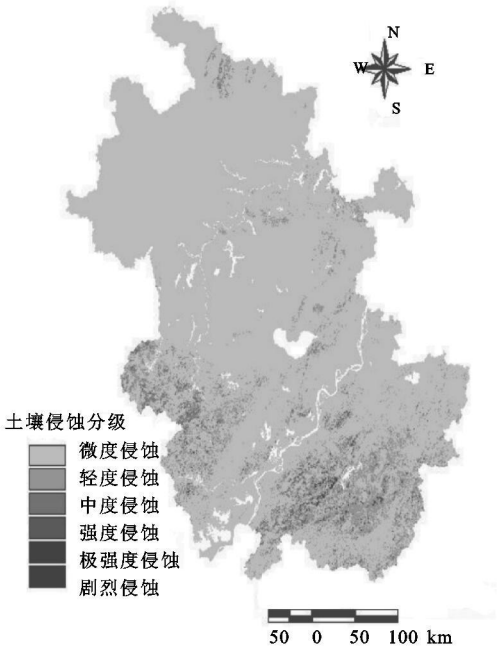


图 1 安徽省土壤侵蚀空间分布图

土壤有机质主要来源于植被枯枝落叶,有机质的缺乏可通过增加秸秆还田或增施人畜粪给予补充,这意味着增加了农村薪材负担,所以土壤流失有机质的价值损失可先折算成相当量的薪材,然后再按薪材的市场价格进行估算^[9-10]。薪材转化成土壤有机质的比例一般为 2:1^[11],薪材的机会成本价格为 55.4 元/ t 。有机质流失经济损失估算公式为:

$$N_o = Z_o \times E_o \tag{6}$$

$$Z_o = Z \times C_o \tag{7}$$

式中: N_o ——土壤有机质流失经济损失; Z_o ——有机质流失量; E_o ——有机质的市场平均价格; C_o ——研究区各县市土壤有机质的平均含量。

2.3 水分流失损失价值的计算方法

土壤侵蚀所流失的土壤水分带来的经济损失可以选用“影子工程法”来计算。应用影子工程法来计算土壤水分流失的经济损失,就是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,可用农用水库工程作为替代物。计算公式为:

$$W = (Z_w / B_D) \times E_w \tag{8}$$

$$Z_w = Z \times Q_w \tag{9}$$

式中: W ——水分流失经济损失; Z_w ——伴随土壤流失的土壤水分流失量; E_w ——修建 1 m^3 农用水库投资费用(1.3 元/ m^3); B_D ——研究区各县市平均土壤容重(t/m^3); Q_w ——研究区土壤平均含水量(30.46%)。

2.4 泥沙流失损失的计算方法

土壤流失后一部分滞留在山前、坡脚、沟口、库坝入口处,一部分淤积于河道、水库、湖泊等处,一部分最终流入海洋。根据中国土壤流失研究的最新研究,我国土壤侵蚀总量中滞留泥沙、淤积泥沙和入海泥沙量分别约占 33%,24%,37%^[12],依据这一比例大致可以推算出泥沙滞留部分及淤积部分的流失量。根据影子工程法来计算滞留和淤积的经济损失。滞留损失:

$$S_R = (Z_R / B_D) \times E_R \tag{10}$$

$$Z_R = 33\% \times Z \tag{11}$$

式中: S_R ——土壤侵蚀中泥沙滞留部分经济损失; Z_R ——土壤泥沙滞留量; E_R ——清除泥沙的成本(7.7 元/ m^3); B_D ——研究区各县市平均土壤容重(t/m^3)。

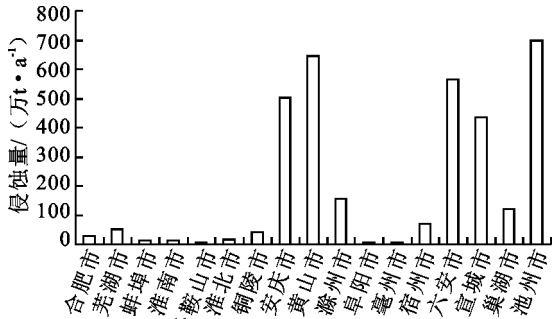


图 2 安徽省年土壤侵蚀量

淤积损失: $S_F = (Z_F / B_D) \times E_F \tag{12}$

$$Z_F = 24\% \times Z \tag{13}$$

式中: S_F ——泥沙淤积部分经济损失; Z_F ——泥沙淤积流失量; E_F ——修建拦截 1 m^3 泥沙工程的投资费用(13.50 元/ m^3); Z 同上; B_D ——研究区各县市平均土壤容重(t/m^3)。

3 结果与分析

根据第二次土壤普查的数据,建立了土壤数据库,对 218 个剖面样点进行采样分析,得到安徽省 N、P、K、有机质及土壤容重的分布图,在 GIS 软件

支持下进行叠加分析得到安徽省各县市的 N、P、K、有机质及土壤容重的平均值,运用以上公式进行计算,得到研究区各个县市土壤侵蚀实物型损失量,进一步计算统计得到研究区县市的土壤侵蚀经济损失价值(表 2)。

表 2 2000 年安徽省土壤侵蚀货币型损失量 万元

| 区域 | 养分损失 | | | | | 水分损失 | 泥沙损失 | | | 直接损失 |
|------|----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| | N | P | K | 有机质 | 小计 | | 滞留损失 | 淤积损失 | 小计 | |
| 合肥市 | 157.37 | 19.72 | 1071.95 | 29.97 | 1279.02 | 8.81 | 56.51 | 72.06 | 128.57 | 1416.40 |
| 芜湖市 | 222.10 | 54.90 | 2026.14 | 87.54 | 2390.67 | 16.45 | 105.53 | 134.57 | 240.10 | 2647.22 |
| 蚌埠市 | 25.27 | 16.20 | 548.87 | 9.24 | 599.58 | 4.27 | 27.38 | 34.91 | 62.28 | 666.13 |
| 淮南市 | 25.39 | 8.96 | 380.57 | 7.68 | 422.59 | 3.04 | 19.52 | 24.89 | 44.40 | 470.03 |
| 马鞍山市 | 21.80 | 7.07 | 295.28 | 9.85 | 334.00 | 2.23 | 14.28 | 18.21 | 32.49 | 368.72 |
| 淮北市 | 38.41 | 28.52 | 753.61 | 14.26 | 834.81 | 5.47 | 35.09 | 44.75 | 79.84 | 920.11 |
| 铜陵市 | 130.75 | 43.90 | 1406.86 | 57.24 | 1638.75 | 12.01 | 77.04 | 98.23 | 175.27 | 1826.03 |
| 安庆市 | 1943.48 | 599.49 | 18474.29 | 1178.51 | 22195.78 | 158.52 | 1017.20 | 1297.02 | 2314.22 | 24668.51 |
| 黄山市 | 2483.89 | 610.15 | 27538.20 | 1302.80 | 31935.04 | 204.73 | 1313.75 | 1675.14 | 2988.89 | 35128.66 |
| 滁州市 | 555.53 | 144.31 | 5809.25 | 175.26 | 6684.35 | 47.47 | 304.63 | 388.43 | 693.05 | 7424.87 |
| 阜阳市 | 13.68 | 8.26 | 240.24 | 4.00 | 266.18 | 1.73 | 11.12 | 14.18 | 25.31 | 293.22 |
| 亳州市 | 9.12 | 7.95 | 189.52 | 2.93 | 209.52 | 1.48 | 9.52 | 12.14 | 21.66 | 232.67 |
| 宿州市 | 143.27 | 107.22 | 2841.94 | 52.59 | 3145.03 | 20.45 | 131.22 | 167.32 | 298.55 | 3464.03 |
| 六安市 | 2473.35 | 896.81 | 20406.61 | 1355.39 | 25132.16 | 179.38 | 1151.05 | 1467.69 | 2618.74 | 27930.27 |
| 宣城市 | 1699.39 | 512.52 | 17648.26 | 859.60 | 20719.77 | 138.08 | 886.03 | 1129.77 | 2015.80 | 22873.65 |
| 巢湖市 | 603.34 | 113.02 | 4553.28 | 165.73 | 5435.37 | 38.15 | 244.78 | 312.12 | 556.90 | 6030.41 |
| 池州市 | 3003.98 | 720.61 | 28039.65 | 1501.32 | 33265.57 | 221.52 | 1421.47 | 1812.50 | 3233.96 | 36721.05 |
| 合 计 | 13550.12 | 3899.61 | 132224.54 | 6813.91 | 156488.18 | 1063.76 | 6826.12 | 8703.91 | 15530.04 | 173081.97 |
| 比例/% | 7.83 | 2.25 | 76.39 | 3.94 | 90.41 | 0.61 | 3.94 | 5.03 | 8.97 | 100.00 |

从表 2 中可以看出安徽省 2000 年土壤侵蚀经济损失总量达到 173 081.97 万元, 占全省 GDP 的 0.57%(安徽省 2000 年 GDP 为 3 038.24 亿元), 且本研究不包括由土壤侵蚀造成的如崩塌、泥石流等对农田、房舍、交通等带来的灾害损失, 其估算结果是安徽省土壤侵蚀经济损失的最低估值, 由此可以看出安徽省土壤侵蚀带来了较严重的经济损失。

安徽省的土壤侵蚀经济损失在空间上大致呈南高北低的趋势, 如皖南山区、皖西丘陵山区的一些县市总体高于淮北平原。一般而言, 土壤侵蚀经济损失主要与土壤侵蚀强度有关, 即主要受降雨、地形地貌、土壤岩性、植被覆盖、人类活动的影响。对比表 1 与表 2 可以看出土壤侵蚀量大的地区一般经济损失也较严重, 影响安徽省土壤侵蚀强度最主要的因素是地形和植被覆盖, 山区、丘陵地区地形起伏度大, 基岩有裸露现象, 植被覆盖度较低, 土壤侵蚀强度较大, 从而由土壤侵蚀引起的经济损失也就较大。地处安徽省的皖西丘陵地区和皖南山区的安庆市、黄山市及池州市等地经济损失较严重, 可以从表 3 看出: 池州市直接损失达到 36 721.05 万元, 占经济

损失总量的 21.22%, 其次是黄山市损失量为 35 128.66 万元, 也达到了 20.30%, 安庆市、六安市和宣城市直接损失量也都达到了 10% 以上, 地处省内北部平原的一些县市由于地势平坦, 小气候影响较小, 土壤侵蚀相对较弱, 从而带来的经济损失也就小得多, 大多在 1% 左右, 亳州市仅占到了 0.13%。

由表 2 看出: 养分价值损失为 156 488.18 万元, 占直接损失总量的 90.41%, 其中钾流失造成损失最大, 达到 132 224.54 万元, 占总量的 76.39%, 接下来依次为氮元素、有机质和磷元素, 分别为 13 550.12、6 813.91 和 3 899.61 万元。说明土壤侵蚀最直接、最严重的经济损失是降低了土地生产力。水分流失带来的经济损失达到 1 063.76 万元, 占 0.61%, 泥沙损失为 15 530.04 万元, 占 8.97%。从计算结果可以看出, 养分流失带来的损失价值最大, 养分中又以 K 元素最大, 其次是泥沙损失和水分损失。可见安徽省土壤侵蚀造成了土壤养分的严重流失, 对农作物的生长和农业产量造成极大损失。水分流失带来的经济损失虽然比重较小, 但由其引起的间接损失可能比直接影响大得多。

4 结 论

运用环境经济学相关理论和 GIS 软件对安徽省 2000 年土壤侵蚀的经济损失进行了估算, 可以得出以下结论:

(1) 全省由土壤侵蚀带来的经济损失巨大。安徽省 2000 年土壤侵蚀经济损失总量达到 173 081. 97 万元。

(2) 安徽省土壤侵蚀经济损失在空间上显现南高北低的趋势, 主要原因为南部多为山区丘陵, 地形起伏较大, 北部多为平原地势平坦, 地形起主导作用。

(3) 从土壤侵蚀经济损失的结构特征上看, 养分流失引起的损失是安徽省水土流失经济损失的主要形式, 达到了 90. 41%。

5 讨 论

本研究计算出的安徽省 2000 年土壤侵蚀经济损失仅涉及到养分损失、水分流失损失和泥沙滞留淤积损失等 3 个最主要的方面, 未包括因土壤侵蚀而引起的滑坡、水体污染、生物多样性减少等带来的损失, 因此计算结果只能代表损失的最低价值, 由于部分数据难以获取以及目前的研究方法局限, 研究区场内和场外的部分损失目前还很难进行定量计算, 从而估算的结果不能完全代表安徽省土壤侵蚀的全部价值。本文主要借鉴相关思路对土壤侵蚀经济损失进行了初步探讨, 对土壤侵蚀带来的经济损失的方法和模型的研究仍需要进一步完善。

参考文献:

[1] 杨爱民, 庞有祝, 李铁铮, 等. 水土流失经济损失计量研究评述[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(1): 108-11.

[2] Gunatilake H M, vieth G R. 侵蚀区内土壤侵蚀经济损失的估算[J]. 水土保持科技情报, 2001(2): 23-26.

[3] 杨子生, 谢应齐. 云南省水土流失直接经济损失的计算方法与区域特征[J]. 云南大学学报: 自然科学学报, 1994, 16(增刊): 99-106.

[4] 邓培雁, 屠玉麟, 陈桂珠. 贵州省水土流失中土壤侵蚀经济损失估值[J]. 农业生态环境, 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] 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.

[7] 周伏建, 陈明华, 林福兴. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. 水土保持学报, 1995, 1(1): 27-33.

[8] 刘新华, 杨勤科, 汤国安. 中国地形起伏度的提取及在土壤侵蚀评价中的应用[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 57-62.

[9] 许月卿, 蔡运龙, 彭建. 土地利用变化的土壤侵蚀效应评价: 西南喀斯特山区的一个研究案例[M]. 北京: 科学出版社, 2008.

[10] 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.

[11] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.

[12] 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.

(上接第 14 页)

参考文献:

[1] 包浩生. 自然资源简明词典[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.

[2] 刘立诚. 新疆土地类型结构及其合理利用[J]. 新疆大学学报, 1994, 11(1): 91-96.

[3] Zhou Yong, Wang Shan-qin, DONG Yuan-hua, et al. Design and applications of land resources and ecological environment information system: A Case Study of Zigui County in the Three Gorges Area of China[J]. Pedosphere, 2002, 12(4): 373-381.

[4] 陈军伟, 孔祥斌, 张凤荣, 等. 基于空间洛伦茨曲线的北京山区土地利用结构变化[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(4): 71-74.

[5] 陈利顶, 傅伯杰, 王军. 黄土丘陵区典型小流域土地利用变化研究: 以陕西延安地区大南沟流域为例[J]. 地理科学, 2001, 21(1): 46-51.

[6] 崔晓奇, 郭长江, 张爱国. 黄土高原丘陵区土地利用变化与土地关系演变研究: 以临汾市为例[J]. 山西师范大学学报: 自然科学版, 2006, 20(3): 73-77.

[7] 张晓明, 余新晓, 武思宏, 等. 黄土丘陵沟壑区典型流域土地利用/ 土地覆被变化水文动态响应[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 414-423.

[8] 王夏琰, 刘学录. 甘肃省土地利用结构变化及其驱动力分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2007, 8(4): 97-102.

[9] 龚洁. 九龙江流域土地利用与水土保持[J]. 福建水土保持, 2002, 14(1): 18-20.

[10] 亓兴兰, 李宝银, 刘健. 基于 RS 闽江流域土地利用结构变化及其驱动力分析[J]. 林业勘察设计, 2007(2): 12-17.

[11] 邓红兵, 王英明, 张巧显. 江西省土地利用变化及其驱动力定量研究[J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(6): 933-938.