

大伙房水库控制流域土壤侵蚀评价及其影响因素分析

刘瑞民, 王嘉薇, 张培培, 陈亚新

(北京师范大学环境学院 环境模拟与污染控制国家重点实验室, 北京 100875)

摘要:以大伙房水库控制流域为研究区域,采用修正的通用土壤流失方程(RUSLE)为评价模型,以地理信息系统软件 Arcview 3.3 为分析平台,通过数字高程模型、土地利用类型和土壤类型等空间数据与属性数据,获取基于栅格数据的小流域土壤侵蚀量和侵蚀强度,对大伙房水库控制流域的土壤流失量进行了量化分析;采用土壤侵蚀综合指数评价了研究区土地利用、坡度及土壤类型对区域土壤流失的影响程度。结果表明:大伙房水库控制流域大部分地区土壤侵蚀模数小于 $50 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,总体上水土保持良好;不同用地类型上,旱地的土壤侵蚀最为严重,水田次之;不同坡度等级中, $0^\circ \sim 3^\circ$ 的土壤侵蚀强度最强, 25° 以上的土壤侵蚀强度最弱;各种土壤类型中,水稻土的侵蚀强度最重,暗棕壤最轻。

关键词:修正的通用土壤流失方程(RUSLE);地理信息系统;土壤侵蚀;大伙房水库控制流域

中图分类号:X522 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2013)08-1597-05 doi:10.11654/jaes.2013.08.016

Evaluation of Soil Erosion Based on GIS in the Drainage Basin of Dahuofang Reservoir and Its Influencing Factors

LIU Rui-min, WANG Jia-wei, ZHANG Pei-pei, CHEN Ya-xin

(State Key Lab. of Environ. Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Recently, increasing nutrient concentrations have been observed in many surface waters in China and soil erosion is the main contributor to water pollution. The socio-economic and physical factors which cause soil erosion therefore need to be addressed. Based on the platform of Arcview 3.3, soil erosion in the drainage basin of Dahuofang Reservoir was evaluated using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). The factors related to soil erosion are input to Arcview in raster, which include DEM, landuse types and soil types. Then cells based on soil loss and erosion intensity were calculated based on map algebra. The results indicate that: a) soil loss in most areas was less than $50 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ in 2000, meaning that there was proper soil and water conservation in the studied areas; b) the order of the descending degrees of soil erosion in different landuse types was dryland, wetland, and middle coverage grassland. In general, erosion on dryland was more serious than on any others; among various soil types, erosion on paddy soil was the worst while Dark-Brown soil was the slightest; in the case of different slope gradients, soil erosion at the grade of $0 \sim 3$ degrees was the worst while soil erosion at the grade of more than 25 degrees was the slightest; and c) the worst soil erosion areas were the agricultural fields. The socio-economic factors were the key factors which influenced the problems of runoff and erosion.

Keywords: RUSLE; GIS; soil erosion; drainage basin of Dahuofang Reservoir

近年来,非点源污染问题越来越受到包括发展中国家在内的许多国家和地区的普遍重视^[1],而土壤侵蚀是规模最大、危害程度最为严重的一类非点源污染^[2]。因此,土壤侵蚀研究在非点源污染研究过程中具有重要的地位^[3]。

土壤侵蚀是水土保持和荒漠化防治学科的基础和组成部分,它关系着山区、丘陵区及风沙区水土资源的开发、利用和保护,关系着江河、湖泊的利用和整治,涉及整个区域生态环境、经济持续发展和社会稳定。坡面土壤侵蚀模型是进行水土资源管理、定量评价水土保持措施和进行土壤侵蚀灾害评价的技术工具。目前,国内外应用最为广泛的是通用土壤流失方程(Universal Soil Loss Equation, USLE)。该方程较为全面地考虑了土壤侵蚀的影响因素,现已被众多国家所采用。修正的通用土壤流失方程(Revised Universal

收稿日期:2013-04-20

基金项目:国家自然科学基金(41001352);中央高校基本科研业务费专项资金;珠江水利委员会珠江水利科学研究院开放研究基金资助课题([2010]KJ01)

作者简介:刘瑞民(1975—),男,副教授,主要从事环境信息系统、遥感和GIS应用、水环境模型等研究。E-mail:liurm@bnu.edu.cn

Soil Loss Equation, RUSLE) 是 USLE 的修正方程, RUSLE 从技术性和因子的算法两方面进行了改进, 使 RUSLE 具有更广泛的应用范围和更高的精度。目前 USLE 及其 RUSLE 在国内得到广泛应用^[3-9]。

大伙房水库是我国第一个五年计划中的第一个大型水库, 现为沈阳、抚顺两大城市居民饮用水的重要水源地^[10]。本文以大伙房水库控制流域为例, 采用 RUSLE 为评价模型, 以地理信息系统软件 Arcview 3.3 为分析平台获取研究区的土壤侵蚀状况, 在此基础上进一步分析土壤侵蚀与土地利用类型、坡度、土壤类型等因素的空间分布特征, 旨在为大伙房水库以及大辽河流域水土保持管理和决策部门提供相关科学依据。

1 材料与方法

大伙房水库位于大辽河支流浑河的中上游, 水库及其上游流域全部在抚顺地区内, 包括清原、新宾、抚顺3个县(图1)。大伙房水库是由浑河及其支流苏子河、社河汇流而成, 流域控制面积 5437 km², 多年平均入库流量 52.3 m³·s⁻¹。大伙房水库控制流域地处长白山低山丘陵区, 土壤为棕色森林土, 植被条件较好。水库及其上游流域多受东亚季风影响, 属温带半湿润和半干旱的季风气候, 大陆气候明显, 年平均气温在 5~7℃之间, 多年平均降雨量为 812 mm。对照国家地表(湖泊)水环境质量标准(GB 3838—2002), 1997—2003 年大伙房水库理化指标的监测表明, 入库和库区水体总氮、总磷含量多年平均分别为 1.61、0.036 mg·L⁻¹ 和 1.23、0.036 mg·L⁻¹, 均超过国家地表入库Ⅲ类和库区Ⅱ类水质标准。

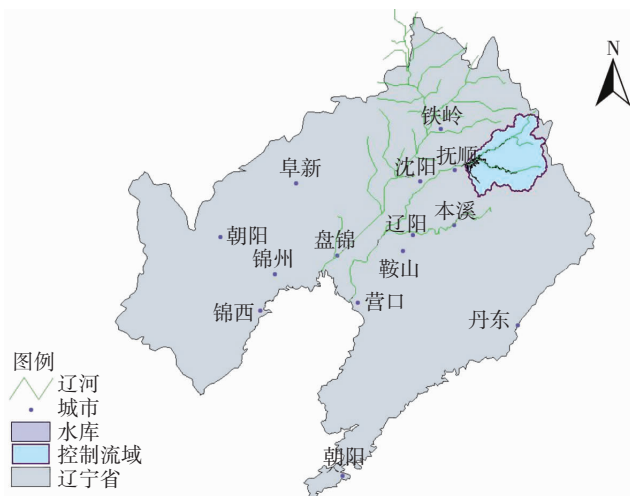


图1 大伙房水库控制流域示意图

Figure 1 Site of drainage basin of Dahuofang Reservoir

本研究采用修正的土壤流失方程(RUSLE)为评价模型^[4], 其形式为:

$$A=R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

式中: A 为年均土壤侵蚀模数, $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$; R 为降雨侵蚀力因子; K 为土壤可蚀性因子; LS 为地形因子, 其中 L 为坡长因子, S 为坡度因子; C 为地表覆盖因子; P 为水土保持措施因子。

在前面计算的基础上, 进一步分析不同土地利用类型、坡度、土壤类型影响下的土壤侵蚀空间分布情况。为了反映不同因素对土壤侵蚀的影响程度, 根据杨存建提出的土壤侵蚀综合指数($INDEX$)^[11], 采用下式进行计算分析:

$$INDEX = \sum_{i=1}^n W_i A_i \quad (2)$$

式中: W_i 代表水力侵蚀中第 i 级的土壤侵蚀强度的分级值; A_i 代表第 i 级的土壤侵蚀强度的面积比重。水力侵蚀中的微度、轻度、中度、强度、极强和剧烈的分级值分别为 0、2、4、6、8、10, 分级值越大表示对土壤侵蚀的综合指数的贡献越大。

研究中的数据源主要包括: 2000 年的 1:10 万的土地利用现状图, 1:25 万的数字高程图, 1:100 万的土壤图, 大伙房水库控制流域周围 9 个气象站点的 1980—2000 年的月降雨量和年降雨量。

2 结果与讨论

2.1 空间分布特征

在地理信息系统的支持下, 利用流域气象、土地利用、土壤及地形图等数据, 获取修正的通用土壤侵蚀方程相关因子, 进而得到土壤侵蚀等级图(图2)。



图2 侵蚀等级空间分布图

Figure 2 Spatial distribution of annual soil erosion intensity

统计结果见表 1。

结果表明,大伙房水库控制流域的平均土壤侵蚀模数为 $110.21 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,年水土流失量为 630 758.02 t。侵蚀面积所占比例依次为微度侵蚀>轻度侵蚀>中度侵蚀>强度侵蚀>极强度侵蚀>剧烈侵蚀,研究流域将近 90%的地区侵蚀模数小于 $50 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,低于水利部1992 年颁布的土壤侵蚀容许量标准($500 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$),总体上水土保持良好。

2.2 影响因素分析

不同土地利用类型下的土壤侵蚀综合指数如表 2 所示。将土壤侵蚀综合指数由大到小排序,前 10 位依次是旱地>水田>中度覆盖草地>高覆盖度草地>其他建设用地>滩地>农村居民点>其他林地>疏林地>灌木林。总体上来说,旱地的土壤侵蚀较草地严重,而草地又较林地严重。这种现象与植被覆盖度有很大关系^[12-13]。

不同土壤类型的土壤侵蚀综合指数如表 3 所示。计算结果表明,土壤侵蚀指数最高的是水稻土和草甸土,分别是 26.94 和 23.69,远远高于其他土壤类型,

说明这两类土壤类型的侵蚀最为严重;接下来依次为棕壤性土>棕壤>暗棕壤。

参照水利部颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL 190—1996),将坡度值重新分类: $0^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 为 1 级, $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 为 2 级, $5^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 为 3 级, $8^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 为 4 级, $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 为 5 级, $>25^{\circ}$ 为 6 级。进而可以计算出各个坡度等级上的土壤侵蚀综合指数(表 4)。根据坡度等级所计算的土壤侵蚀综合指数由大到小的顺序依次是 1 级坡度>2 级坡度>3 级坡度>4 级坡度>5 级坡度>6 级坡度。反映出研究区的土壤侵蚀在 1 级坡度上最大,6 级坡度上最小。

综上所述,土壤侵蚀是各种自然因素和人类活动综合作用的结果,在诸多影响因素中有些是人为不可调控的,而有些则是可以调控的^[14]。对于土地利用类型之类的人为可调控因素,通过将侵蚀严重的用地类型转变为侵蚀较微弱的用地类型来减少侵蚀;而对于坡度、土壤类型等本身不可调控的侵蚀影响因素,则可以通过相应区域上用地类型调整、植被类型调整和植被盖度的提高等措施来减少土壤侵蚀。

表 1 大伙房水库控制流域土壤侵蚀量

Table 1 The annual soil erosion of Drainage Basin of Dahuofang Reservoir

侵蚀等级	侵蚀模数/ $\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$	侵蚀面积/ km^2	年均土壤侵蚀量/ $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	年侵蚀总量/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	面积比例/%	侵蚀量比例/%
微度侵蚀	0~500	5 498.50	15.63	85 958.58	96.08	13.63
轻度侵蚀	500~2500	180.05	1 010.39	181 925.59	3.15	28.84
中度侵蚀	2500~5000	21.50	3 518.82	75 645.51	0.38	11.99
强度侵蚀	5000~8000	10.53	6 293.63	66 271.96	0.18	10.51
极强度侵蚀	8000~15 000	8.07	10 614.04	85 629.87	0.14	13.58
剧烈侵蚀	>15 000	4.41	30 711.35	135 326.51	0.08	21.45

表 2 各类用地中各类侵蚀面积比重及侵蚀综合指数

Table 2 Soil erosion proportions and erosion synthesized indexes of different land use types

土地类型	微度侵蚀/%	轻度侵蚀/%	中度侵蚀/%	强度侵蚀/%	极强度侵蚀/%	剧烈侵蚀/%	侵蚀综合指数
有林地	99.63	0.31	0.04	0.01	0.01	0.00	0.95
城镇用地	99.07	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	1.86
灌木林	99.24	0.66	0.05	0.02	0.02	0.01	1.92
疏林地	99.13	0.70	0.10	0.05	0.02	0.01	2.30
其他林地	98.25	1.17	0.58	0.00	0.00	0.00	4.66
农村居民点	97.69	1.75	0.22	0.06	0.18	0.10	7.18
滩地	97.45	2.01	0.29	0.05	0.05	0.15	7.35
其他建设用地	94.34	5.66	0.00	0.00	0.00	0.00	11.32
高覆盖度草地	94.07	5.04	0.30	0.59	0.00	0.00	14.81
中覆盖度草地	93.91	5.04	0.63	0.20	0.08	0.16	15.94
水田	91.07	6.90	1.11	0.60	0.27	0.05	24.51
旱地	75.90	19.27	2.26	1.14	0.91	0.52	66.89

表 3 各土壤类型上的土壤侵蚀面积比重和土壤侵蚀综合指数

Table 3 Soil erosion proportions and erosion synthesized indexes of different soil types

土壤类型	微度侵蚀/%	轻度侵蚀/%	中度侵蚀/%	强度侵蚀/%	极强度侵蚀/%	剧烈侵蚀/%	侵蚀综合指数
棕壤	96.67	2.67	0.34	0.16	0.12	0.04	9.04
水稻土	90.84	7.02	0.86	0.65	0.36	0.26	26.94
草甸土	91.64	6.70	0.71	0.35	0.34	0.27	23.69
暗棕壤	99.03	0.86	0.07	0.04	0.00	0.00	2.25
棕壤性土	96.17	2.77	0.90	0.16	0.00	0.00	10.09
其他	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 4 各坡度等级中各级侵蚀比重和侵蚀综合指数

Table 4 Soil erosion proportions and erosion synthesized indexes of slope with different gradients

坡度等级	微度侵蚀/%	轻度侵蚀/%	中度侵蚀/%	强度侵蚀/%	极强度侵蚀/%	剧烈侵蚀/%	侵蚀综合指数
1	88.08	9.61	1.11	0.53	0.41	0.26	32.74
2	95.53	3.31	0.53	0.32	0.23	0.08	13.31
3	97.79	1.76	0.22	0.12	0.09	0.02	6.05
4	99.40	0.52	0.05	0.02	0.01	0.00	1.52
5	99.93	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
6	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

3 结论

大伙房水库控制流域的平均土壤侵蚀模数为 $110.21 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 年水土流失量为 $630\,758.02 \text{ t}$ 。研究流域大部分地区土壤侵蚀模数小于 $50 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 总体上水土保持良好。不同用地类型上, 土壤侵蚀强度依次为旱地>水田>中度覆盖草地>高覆盖度草地>其他建设用地>滩地>农村居民点>其他林地>疏林地>灌木林。总体上, 农田的土壤侵蚀较草地严重, 而草地又较林地的严重。不同坡度等级中, $0^\circ \sim 3^\circ$ 的土壤侵蚀强度最强, 25° 以上的土壤侵蚀最弱。各种土壤类型中, 水稻土的侵蚀强度最重, 暗棕壤最轻。

参考文献:

- [1] Corwin D L, Loague K, Ellsworth T R. Advanced information technologies for assessment nonpoint source pollution in the vadose zone; Conference overview[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1999, 28(2): 357-365.
- [2] 董磊, 彭明春, 王崇云, 等. 基于 USLE 和 GIS/RS 的滇池流域土壤侵蚀研究[J]. *水土保持研究*, 2012, 19(2): 11-14.
DONG Lei, PENG Ming-chun, WANG Chong-yun, et al. Research on soil erosion based on the USLE model and RS/GIS in the Dianchi Lake watershed[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2012, 19(2): 11-14.
- [3] 戴露莹, 王飞儿, 俞洁. 基于 GIS 的东苕溪典型小流域土壤侵蚀风险评估[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(9): 1777-1784.
DAI Lu-ying, WANG Fei-er, YU Jie. Assessing soil erosion potential using GIS for a typical watershed in East-Tiaoxi Basin, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(9): 1777-1784.
- [4] 毕小刚, 段淑怀, 李永贵, 等. 北京山区土壤流失方程探讨[J]. *中国水土保持科学*, 2006, 4(4): 6-13.
BI Xiao-gang, DUAN Shu-huai, LI Yong-gui, et al. Study on soil equation in Beijing[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4(4): 6-13.
- [5] 余进祥, 郑博福, 刘娅菲, 等. 鄱阳湖流域泥沙流失及吸附态氮磷输出负荷评估[J]. *生态学报*, 2011, 31(14): 3980-3989.
YU Jin-xiang, ZHENG Bo-fu, LIU Ya-fei, et al. Evaluation of soil loss and transportation load of adsorption N and P in Poyang Lake watershed[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(14): 3980-3989.
- [6] 王文娟, 张树文, 方海燕. 东北典型黑土区坡沟侵蚀耦合关系[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(12): 2113-2122.
WANG Wen-juan, ZHANG Shu-wen, FANG Hai-yan. Coupling mechanism of slope-gully erosion in typical black soil area of Northeast China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(12): 2113-2122.
- [7] Mushtak T J. Application of GIS to estimate soil erosion using RUSLE[J]. *Geo-spatial Information Science(Quarterly)*, 2003, 6(1): 34-38.
- [8] 魏兴萍, 赵纯勇, 杨华. 基于 GIS 的小流域土壤侵蚀评价研究[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2005, 22(4): 62-65.
WEI Xing-ping, ZHAO Chun-yong, YANG Hua. Evaluation of soil erosion based on GIS in a small watershed[J]. *Journal of Chongqing Normal University(Natural Science Edition)*, 2005, 22(4): 62-65.
- [9] 刘森, 胡远满, 徐崇刚. 基于 GIS、RS 和 RUSLE 的林区土壤侵蚀定量研究: 以大兴安岭呼中地区为例[J]. *水土保持研究*, 2004, 11(3): 22-24.
LIU Miao, HU Yuan-man, XU Chong-gang. Quantitative study of forest

- soil erosion based on GIS, RS and RUSLE: A case study of Huzhong Deyong, Daxing'anling[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2004, 11(3):22-24.
- [10] 汤洁, 杨巍, 李昭阳, 等. 辽河大伙房水库汇水区农业非点源污染入库模拟[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2012, 42(5):1462-1468.
- TANG Jie, YANG Wei, LI Zhao-yang, et al. Simulation on the inflow of agricultural non-point sources pollution in Dahuofang Reservoir Catchment of Liao River[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2012, 42(5):1462-1468.
- [11] 杨存建, 刘纪远, 张增祥. 重庆市土壤侵蚀及其背景的空间分析[J]. *水土保持学报*, 2000, 14(3):84-87.
- YANG Cun-jian, LIU Ji-yuan, ZHANG Zeng-xiang. Spatial analysis of soil erosion and its background in Chongqing City [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(3):84-87.
- [12] 张雪花, 侯文志, 王宁. 东北黑土区土壤侵蚀模型中植被因子C值的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(3):797-801.
- ZHANG Xue-hua, HOU Wen-zhi, WANG Ning. C-value in the model of soil erosion in black earth area in the Northeastern China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(3):797-801.
- [13] 李斌, 张金屯. 基于GIS的黄土高原不同植被区土壤侵蚀研究[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(1):134-138.
- LI Bin, ZHANG Jin-tun. Study on soil erosion of different vegetation regions in Loess Plateau based on GIS[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(1):134-138.
- [14] 姚华荣, 杨志峰, 崔保山. GIS支持下的澜沧江流域云南段土壤侵蚀空间分析[J]. *地理研究*, 2006, 25(3):421-429.
- YANG Hua-rong, YANG Zhi-feng, CUI Bao-shan. Spatial analysis on soil erosion of Lancang River Watershed in Yunnan Province under the support of GIS[J]. *Geographical Research*, 2006, 25(3):421-429.

化学工业出版社环境专业精品图书推介



垃圾污泥无害化低价高效利用

本书从建设节约型社会的角度出发,以具体的案例阐述了农村与小城镇垃圾制砖焚烧技术、污泥型煤和污泥生物质成型燃料技术、废蛋白质的酸水解法利用技术、电石渣有效利用技术等实现垃圾无害化高效利用的实用技术。

本书适合红砖厂、污水处理厂、油脂厂、制革厂、生物质成型燃料厂及农村和小城镇环保与能源工作者阅读;也可作为大专院校能源、环保专业及职校教学参考书。

书号:9787122164261 定价:30.0 元
开本:16 出版日期:2013 年 7 月



资源循环科学与工程概论

本书全面地论述了资源循环科学与工程的基本概念与基础理论,系统地概述了资源循环利用的现状及其技术的进展,反映了该学科领域发展的最新动态。主要内容有:资源循环科学与工程的学科定义以及相关的基础知识与基本概念;资源循环科学基本原理与工程技术基础;工业原材料与废旧部件产品、工矿业固体废物和水资源以及基于生物质的资源循环利用及其技术;资源循环利用工程与实践、评价与管理等。

书号:9787122167224 定价:85.0 元
开本:16 出版日期:2013 年 7 月

如需更多图书信息,请登录 www.cip.com.cn 服务电话:010-64518888,64518800(销售中心)

网上购书可登录化学工业出版社天猫旗舰店:<http://hxgyebs.tmall.com>

邮购地址:(100011)北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社

如要出版新著,请与编辑联系。联系电话:010-64519525