

基于 RUSLE 的松花江流域不同侵蚀类型区 泥沙输移比估算

王志杰¹, 简金世², 焦菊英^{1,3}, 苏 媛⁴

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 常德市水利水电勘测设计院, 湖南 常德 415000;
3. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:为摸清东北黑土区土壤侵蚀与泥沙输移特征,以松花江流域为研究对象,选取不同侵蚀类型区 8 个水文站控制区,利用 RUSLE 模型,结合水文站实测输沙数据,分析了不同侵蚀类型区泥沙输移比的时空变化特征。结果表明:(1) 松花江流域各侵蚀类型区均以微度侵蚀和轻度侵蚀为主,而草地、旱地和裸地侵蚀模数均呈现依次增大趋势,且大于该区容许土壤流失量,特别是松岭站、碾子山站、大石寨站和大山咀子站水文站控制区裸地土壤侵蚀模数均大于 20 000 t/(km²·a),达到剧烈侵蚀程度。不同侵蚀类型区之间侵蚀模数表现为丘陵沟壑区 I>丘陵沟壑区 II>天然林区>漫川漫岗区。(2) 松花江流域不同侵蚀类型区泥沙输移比总体上表现为漫川漫岗区>丘陵沟壑区 II>丘陵沟壑区 I>天然林区。(3) 同一侵蚀类型区不同年际间泥沙输移比波动起伏,而从 20 世纪 60 年代到 80 年代,人类活动影响较小的天然林区和丘陵沟壑区 II 不同时期平均泥沙输移比相差不大,人类活动剧烈的漫川漫岗区和丘陵沟壑区 I 平均泥沙输移比则表现为波动式递增。研究结果对于了解东北黑土区土壤侵蚀和泥沙输移规律,明确该区域土壤侵蚀机理和治理目标具有指导意义。

关键词:RUSLE; 土壤侵蚀; 河流输沙; 泥沙输移比; 松花江流域

中图分类号:S157.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)05-0050-07

Estimation of Sediment Delivery Ratio in Different Soil Erosion Regions in the Songhua River Basin Based on RUSLE

WANG Zhi-jie¹, JIAN Jin-shi², JIAO Ju-ying^{1,3}, SU Yuan⁴

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Design Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power of Changde City, Changde, Hunan 415000, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract:In order to understand the soil erosion and sediment delivery characteristics of black soil zone in northeast of China, the spatial and temporal variation characteristics of sediment delivery ratio (SDR) of the different soil erosion regions in the Songhua River basin was analyzed by choosing the 8 hydrological control zone in the different erosion regions, using the RUSLE model, and combining with the sediment hydrological data. The results showed: (1) the main soil erosion intensity of different soil erosion regions in Songhua River basin was slight erosion and mild erosion, the soil erosion modulus of different soil erosion regions was as an order of hilly-gully region I>hilly-gully region II>natural forest region>rolling hills region; (2) the average SDR of different soil erosion regions in Songhua River basin was sorted as rolling hills region>hilly-gully region II>hilly-gully region I>natural forest region; (3) the different interannual SDR of same soil erosion region fluctuation was caused by the influence of rainfall. However, from 1960s to 1980s, the average SDR in different periods was not obviously changed in the natural forest region and hilly-gully erosion

收稿日期:2012-12-12

修回日期:2013-03-12

资助项目:国家重点基础发展规划项目(973)(2007CB407203)

作者简介:王志杰(1986—),男,甘肃会宁人,博士研究生,主要从事土壤侵蚀研究。E-mail:wzhijie86@gmail.com

通信作者:焦菊英(1965—),女,陕西宝鸡人,研究员,主要从事流域侵蚀产沙、土壤侵蚀与植被关系及水土保持效益评价。E-mail:jjyiao@ms.iswc.ac.cn

II, and fluctuation increased in the rolling hills region and hilly-gully region I due to the influence of human activity. The study would have the guiding significance to understand the soil erosion and sediment delivery characteristics of the black soil zone in northeast of China, and to clarify the soil erosion mechanism and management object of this region.

Key words: RUSLE; soil erosion; suspended sediment; sediment delivery ratio; Songhua River basin

由于从土壤侵蚀量到输沙量,中间要经过冲刷、输移、沉积、再搬运等复杂的过程,泥沙无论在数量上还是物理特性上都发生了很大的变化,二者之间存在着转换系数,即泥沙输移比^[1]。泥沙输移比是1950年布朗在估计美国入河入海的泥沙数量时提出的,之后各国学者开展了一系列的研究,取得了一定成果^[2]。美国泥沙工程手册中的定义为:泥沙输移比是对由于沉积作用所导致某一处产生的侵蚀物质在到达下游所减少程度的量度^[3];景可^[4]在考虑界定泥沙输移比的三个条件即泥沙粒径、时间系列及空间范围的前提下,给出了比较完整的定义为:一定时间和空间范围内,流域某一断面输出小于某一粒级的泥沙量与断面以上侵蚀物同粒级的沙量之比。虽然不同的学者对泥沙输移比的说法不尽相同,但其基本表达式是一致的,即 $SDR=Y/T$ [式中:SDR 为泥沙输移比,无量纲;Y 为流域出口控制断面实测泥沙量, $t/(km^2 \cdot a)$ 或者 t ; T 为控制断面以上流域总侵蚀量, $t/(km^2 \cdot a)$ 或者 t]。泥沙输移比是研究流域侵蚀产沙关系的重要数据,泥沙输移比的大小可直接反映侵蚀泥沙入河量的多少,以及对下游河道安危、水库使用年限的影响程度;反过来,还可揭示流域土壤侵蚀的实际情况,加强对流域土壤侵蚀程度和危害的认识。可见,泥沙输移比的精确估算对于流域泥沙的控制、自然资源可持续利用及环境保护都是非常重要的。

然而,我国土壤侵蚀和泥沙输移研究的大部分成果都集中在黄河流域和长江流域^[5]。黑土区是中国的粮仓,气候、土壤等条件都比较优越,在自然状态下土壤侵蚀是很微弱的。因而对黑土区土壤侵蚀问题重视不够,相关研究开展的较晚,且主要集中在中小空间尺度上;另外,虽然黑土区河流输沙量的监测比较完善。但由于本区坡缓坡长,输入河流的泥沙量较小,致使河流输沙量不能真正反映该区的土壤侵蚀特征,在很大程度上掩盖了黑土区水土流失的严重性和潜在危险性。事实上,经过过去几十年大规模的人工开垦以后,黑土区的水土流失情况已十分严重。根据《中国水土流失与生态安全综合考察报告——东北黑

土区卷》调查^[6],松花江流域土壤侵蚀面积由建国初期的 8.82 万 km^2 增加到现在的 18.30 万 km^2 ,平均土层厚度由 20 世纪 50 年代开垦前的 60~70 cm 下降到现在的 20~30 cm,黑土坡面的土壤流失量可高达 5 000 $t/(km^2 \cdot a)$,而松花江流域各区段输沙模数仅变化在 6.72~44.9 $t/(km^2 \cdot a)$ 之间[1955—2005 年平均值,其中大赉以上段最小,为 6.72 $t/(km^2 \cdot a)$,哈尔滨—佳木斯段最大,为 44.9 $t/(km^2 \cdot a)$]。因此,基于黑土区在我国的重要地位,加强黑土区的土壤侵蚀和泥沙输移的研究十分必要。

目前,计算泥沙输移比的方法主要有定性判别法^[7-8]、直接计算法^[9-12]、模型计算法^[13-17]、侵蚀单元法^[18-20]和沙量平衡法^[21-23]等。直接计算法利用已经建立的土壤侵蚀模型(如 USLE、RUSLE 模型等),通过获取侵蚀模型中各因子的参数值,计算得到土壤侵蚀量^[12,24],再结合实测输沙量数据计算泥沙输移比。RUSLE 模型应用最为广泛,被认为非常适用于中国东北黑土区长坡长、缓坡度地形的土壤侵蚀研究^[25-27]。基于此,结合黑土区土壤侵蚀观测资料,本研究基于 RUSLE 模型来估算松花江流域不同侵蚀类型区年泥沙输移比,分析泥沙输移比的时空变化规律,进而摸清该流域土壤被侵蚀后的输移规律,以期制定该地区的水土保持政策和配置水土保持措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 水文站控制区选择

依据《中国水土流失与生态安全综合考察报告》中东北黑土区的水土流失防治分区^[6],结合松花江流域水文站输沙资料的监测情况,本研究选择松花江流域天然林区(大兴安岭)的松岭站控制区,丘陵沟壑区 I 的碾子山和大石寨站控制区,丘陵沟壑区 II 的秦家岗、延寿和大山咀子站控制区,及漫川漫岗区的蔡五大和农新站控制区共 8 个水文站控制区进行分析(附图 8)^[28]。

1.2 数据来源

本研究所用的各类数据来源见表 1,水文站控制区研究时段内输沙观测、雨量站资料见表 2。

表 1 各类数据来源

数据	数据描述	数据来源
土壤	土壤理化性质 土壤类型分布	全国第 2 次土壤普查结果(《中国土种志》第 2 卷和第 4 卷) 中科院南京土壤所绘制的 1∶100 万全国土壤数据
DEM	SRTM 数据(分辨率 90 m×90 m)	http://glcf. umiacs. umd. edu/data/
遥感影像	MSS 数据(分辨率 57 m×57 m)、TM 数据(分辨率 28.5 m×28.5 m)	http://glcf. umiacs. umd. edu/data/
降雨资料	基准地面气象观测站及自动站观测的逐日降水资料	国家气象局
水文数据	日输沙量和径流量	《松辽委水文年鉴》

表 2 松花江流域 10 个水文站控制区研究时段内输沙观测、雨量站资料^[28]

侵蚀类型区	水文控制站	面积/km ²	河流	输沙资料时段	R 值插值所用的雨量站
天然林区	松岭	3094	多布库尔河 (嫩江)	1977—1986 年	额尔古纳右旗、图里河、小二沟、博克图、漠河、塔河、呼玛、黑河、嫩江、孙吴
丘陵沟壑区 I	大石寨	7656	洮儿河 (嫩江)	1963—1989 年	白城、通榆、新巴尔虎左旗、扎兰屯、阿尔山、索伦、乌兰浩特、东乌珠穆沁旗、西乌珠穆沁旗、扎鲁特旗、巴林左旗、泰来
	碾子山	13567	雅鲁河 (嫩江)	1972—1989 年	额尔古纳、图里河、海拉尔、小二沟、新巴尔虎、博克图、扎兰屯、阿尔山、索伦、乌兰浩特、富裕、齐齐哈尔、泰来
	秦家岗	9809	呼兰河 (松干)	1972—1989 年	北安、海伦、明水、伊春、鹤岗、绥化、安达、铁力、佳木斯、依兰、哈尔滨、通河
丘陵沟壑区 II	延寿	4580	蚂蚁河 (松干)	1975—1979 年 1981—1989 年	三岔河、吉林、蛟河、敦化、绥化、哈尔滨、通河、尚志、鸡西、牡丹江
	大山咀子	8075	牡丹江 (松干)	1959—1960 年 1961—1992 年	三岔河、吉林、蛟河、敦化、桦甸、靖宇、东岗、松江、延吉、尚志、牡丹江、绥芬河
漫川漫岗区	蔡五大 *	7459	拉林河 (松干 *)	蔡家沟:1962—1989 年 五常站:1962—1979 年 大碾子沟:1962—1985 年	前郭尔罗、三岔河、长春、吉林、安达、哈尔滨、尚志、敦化、明水、通河
	农新 *	4396	伊通河 (饮马河—第二松花江)	农安:1971—1987 年 新立成水库:1977—1987 年	乾安、前郭尔罗斯、长岭、三岔河、双辽、四平、长春、烟筒山、吉林、桦甸

* 注:农新为农安水文站至新立成水库水文站区间的简称;蔡五大为蔡家沟水文站至五常水文站与大碾子沟水文站区间的简称,松干为松花江干流的简称,下文皆用此简称。

1.3 数据处理与方法

1.3.1 侵蚀模数 本研究选取 RUSLE 模型计算各水文控制区土壤侵蚀模数,根据输沙资料的年限,收集对应年份的遥感图像(TM 或 MSS)和降雨资料等相关图件、数据,计算资料年限内逐年侵蚀模数。计算中涉及的所有参数均采用栅格数据进行运算,栅格数据空间分辨率按 TM 遥感图像分辨率 28.5 m×28.5 m 在 ArcGIS 中运用反距离权重插值法(IDW)获取。其中:

(1) 降雨侵蚀力(R)采用章文波等日降雨资料 R 值算法^[29-30]。

(2) 土壤可蚀性(K)选用 EPIC 模型中 K 值运算公式来计算水文站控制区的土壤可蚀性 K 值。并将计算结果与前人实测值和计算值进行比较,结果表明本研究计算结果与 RUSLE 模型 K 值基本一致,但比实测值偏小约 11.35%。

(3) 坡度坡长因子(LS)选用 RUSLE 模型中提

供的算法并结合 Liu 等提出的陡坡($\geq 10^{\circ}$)条件下坡度因子计算公式^[31-34]。

(4) 植被覆盖因子(C)利用 TM 和 MSS 遥感影像解译得到各水文站控制区各研究年份土地利用类型分布图,参考 RUSLE 手册、张宪奎等^[25]、刘宝元等^[35]、张树文和李颖^[36]在黑土区的研究,对不同地类的 C 值进行赋值。

(5) 水土保持措施因子(P)采用张宪奎^[25]在黑龙江省的研究,进行 P 值赋值,鉴于资料限制,本文仅考虑遥感影像能明显解译的水平梯田的 P 值,其它水土保持措施忽略不计。

1.3.2 输沙量的获取 输沙模数(量)采用松花江流域 10 个水文控制站研究时段内实测输沙数据。对于水文站输沙缺测年份[五常站(1980—1989)、大碾子沟(1986—1989)、农安站(1988)和新立成站(1988—1989)],根据径流量和相邻水文站的输沙量在 SPSS 下建立线性回归公式,进行插补。

2 结果与分析

2.1 不同侵蚀类型区土壤侵蚀特征

按照水利部土壤侵蚀分类分级标准 (SL190-2007) 将不同侵蚀类型区土壤侵蚀模数分级可以看出 (图 1), 各侵蚀类型区土壤侵蚀强度以轻度侵蚀和微

度侵蚀为主, 二者占有侵蚀强度的 90% 以上。丘陵沟壑 I 和 II 区的中度及中度以上侵蚀比天然林区和漫川漫岗区大, 约是天然林区和漫川漫岗区的 3 倍以上。

各侵蚀类型区水文控制区及不同土地利用类型的土壤侵蚀模数估算结果如表 3 所示。各水文控制区内水田和林地土壤侵蚀模数均在容许土壤流失量 200 t/(km² · a) 范围内; 而草地、旱地和裸地侵蚀模数均呈现依次增大的趋势, 且大于该区容许土壤流失量, 特别是松岭站、碾子山站、大石寨站和大山咀子站水文控制区裸地土壤侵蚀模数均大于 20 000 t/(km² · a), 达到剧烈侵蚀程度, 说明人类不合理活动导致的土地利用结构变化对于土壤侵蚀具有严重的影响。不同侵蚀类型区之间, 由于地形地貌、土壤、气候以及人类活动强度的差异, 土壤侵蚀模数也表现出明显差异, 总

体上表现为丘陵沟壑区 I > 丘陵沟壑区 II > 天然林区 > 漫川漫岗区, 这是因为丘陵沟壑区 I 碾子山站水文控制区内 (1972—1989 年) 旱地占总面积的 21.71%, 林地占 49.09%, 天然林区松岭站水文控制区 (1980—1989 年) 旱地仅占总面积的 1.61%, 林地面积则达到总面积的 65.75%, 因此, 丘陵沟壑区侵蚀模数总体上大于天然林区。另外, 漫川漫岗区虽林地覆盖不及天然林区, 但该区坡度平缓 (平均坡度为 1.15°~1.80°), 而天然林区平均坡度约 7.36°, 约为漫川漫岗区的 7 倍左右, 加之天然林区滥砍滥伐现象导致的裸地土壤侵蚀严重 [侵蚀模数约 22 188.18 t/(km² · a)], 导致天然林区平均侵蚀模数大于漫川漫岗区 (表 2)。

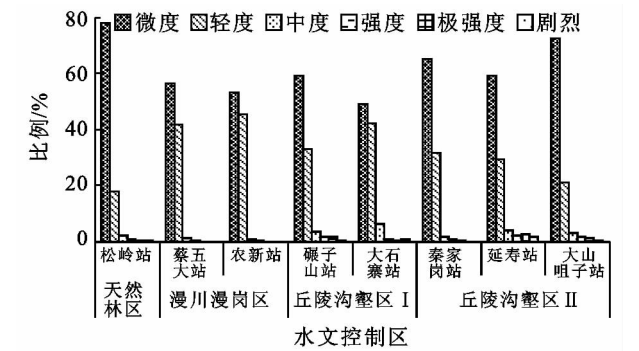


图 1 各侵蚀类型区水文控制区不同侵蚀强度分布

表 3 各侵蚀类型区不同土地利用类型 RUSLE 模型计算值 t/(km ² · a)								
侵蚀类型区	水文控制站	研究时段	水田	林地	草地	旱地	裸地	平均侵蚀模数
天然林区	松岭站	1977—1986	—	48.35	1558.13	582.14	22188.18	477.88
	蔡五大站	1980—1989	7.95	214.50	630.52	433.80	2971.28	419.44
漫川漫岗区	农新站	1980—1989	8.15	145.94	315.93	429.06	1380.26	369.53
	碾子山站	1972—1989	156.86	149.16	780.35	2544.00	43865.00	1778.75
丘陵沟壑区 I	大石寨站	1963—1989	80.85	112.56	1712.22	3366.00	20487.00	1783.35
	秦家岗站	1980—1989	11.26	81.33	905.47	767.00	2321.10	402.03
丘陵沟壑区 II	延寿站	1980—1989	42.19	147.68	1049.79	4018.94	11884.10	1098.56
	大山咀子	1958—1992	11.54	64.22	1302.84	2177.93	21895.00	472.39

2.2 不同侵蚀类型区泥沙输移比

根据 8 个水文站控制区年侵蚀模数和水文站输沙量监测数据, 计算得到各水文站控制区研究时段内年泥沙输移比。天然林区松岭站控制区 1977—1986 年间泥沙输移比 (图 2a) 变化于 0.003 0~0.013 7 之间, 年均泥沙输移比为 0.007 3, 不同年份间起伏波动较大。漫川漫岗区蔡五大站和农新站控制区 1980—1989 年均泥沙输移比接近 (图 2b), 分别为 0.164 3 和 0.187 1。不同时期内泥沙输移比差异明显, 蔡五大站 1980—1985 年平均泥沙输移比为 0.115 6, 年际间波动起伏较小, 而 1986—1989 年为 0.243 4, 约是 1980—1985 年间的 2.11 倍, 且年际间波动起伏较大; 农新站 1980—1984 年平均泥沙输移比为 0.076 9, 年际间波动起伏较平缓, 1985—1989 年为 0.263 4, 是 1980—1984

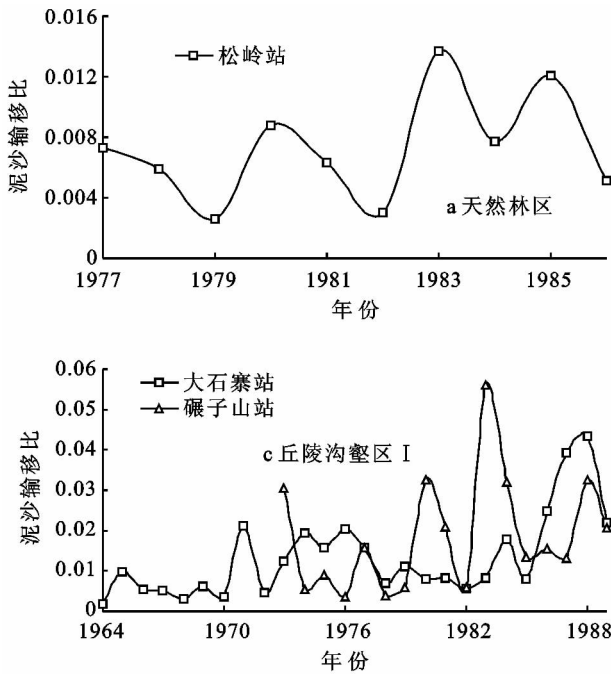
年的 3.43 倍, 且年际间波动较大。

丘陵沟壑区 I (图 2c) 碾子山站控制区 1973—1989 年均泥沙输移比为 0.018 7, 其中 1973—1979 年和 1980—1989 年分别为 0.010 6 和 0.024 3, 后者是前者的 2.29 倍且年际间差异明显; 大石寨站 1964—1989 年均泥沙输移比为 0.013 4, 不同时期差异明显, 1964—1969 年年际间起伏波动较小, 平均泥沙输移比最小, 为 0.005 3, 1970—1979 年和 1980—1989 年平均泥沙输移比突增, 约是 1964—1969 年的 2.49~3.51 倍, 且年际间变化起伏较大。

丘陵沟壑区 II (图 2d) 3 个水文站控制区年均泥沙输移比相近, 其中: 秦家岗站控制区 1980—1989 年均泥沙输移比为 0.057 5, 延寿站控制区 1980—1989 年均泥沙输移比为 0.048 5, 两站年际间泥沙输移比

波动起伏较大,且 1988 年均两站泥沙输移比最大值,分别为 0.182 7 和 0.107 1;大山咀子站控制区 1959—1992 年均泥沙输移比为 0.055 8,不同时期(1959—1969 年,1970—1979 年、1980—1989 年和 1990—1992 年)平均泥沙输移比相近,但 1970—1979 年年际间泥沙输移比变化平缓,而其他时期年际间波动起伏较大。

总之,松花江流域同一侵蚀类型区所选水文站控制区之间泥沙输移比相近,而不同侵蚀类型区之间的泥沙输移比相差较大,表现为漫川漫岗区>丘陵沟壑区Ⅱ>丘陵沟壑区Ⅰ>天然林区。这是因为漫川漫岗区属典型黑土分布区,也是东北黑土区重点产粮区,区内沟壑密度大,土地垦殖率高,森林覆盖率较低,人类活动对于自然环境的影响较大,特别是 1980 年以来,土地以户承包分散经营后,开荒进程加剧,致使侵蚀产生的大量泥沙进入河道,流域输沙量迅速增加,1961—1990 年输沙量增长达 45.1%/10 a^[37-38]。



相比之下,同一时期(1970 年代和 1980 年代),天然林区松岭站 1977—1986 年平均土壤侵蚀模数为 477.88 t/(km²·a),均大于漫川漫岗区两个水文控制站 1980—1989 年平均土壤侵蚀模数[分别为 369.53 t/(km²·a)和 419.44 t/(km²·a)],然而,松岭站同期平均输沙模数[3.53 t/(km²·a)]却仅为漫川漫岗区各站的 1/10~1/20。天然林区虽然坡陡土薄,土壤抗蚀抗冲能力弱,地形起伏大,土壤侵蚀模数较大^[39],但由于森林覆盖率高,人类活动干扰较小的影响,土壤发生侵蚀后泥沙多被拦截,河道内输沙模数较小,从而泥沙输移比表现出在各侵蚀类型区间最小。丘陵沟壑区虽然土壤侵蚀模数较其他侵蚀类型区大,但与漫川漫岗区相比,其森林覆盖率较高,侵蚀后的泥沙拦截能力要大于漫川漫岗区,如丘陵沟壑区Ⅰ碾子山站 1972—1989 年平均输沙量为 30.08 t/(km²·a),仅为漫川漫岗区农新站 1980—1989 年平均输沙量[69.15 t/(km²·a)]的一半。

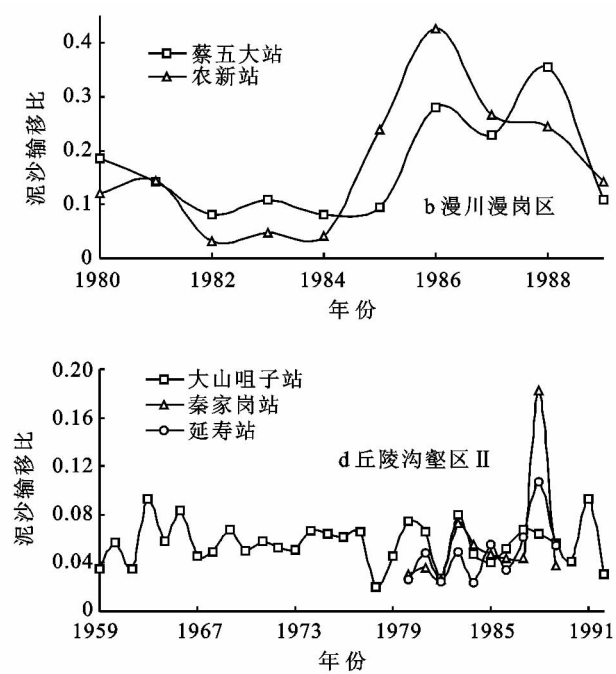


图 2 不同侵蚀类型区不同年份泥沙输移比

3 结论

(1) 松花江流域各侵蚀类型区土壤侵蚀强度总体上以微度侵蚀和轻度侵蚀为主,各水文站控制区内裸地、旱地和草地的土壤侵蚀严重,裸地土壤侵蚀模数甚至可达 20 000 t/(km²·a)以上,表现为丘陵沟壑区Ⅰ>丘陵沟壑区Ⅱ>天然林区>漫川漫岗区。而不同侵蚀类型区泥沙输移比表现为:漫川漫岗区>丘陵沟壑区Ⅱ>丘陵沟壑区Ⅰ>天然林区,各类型区侵蚀量与输沙量之间并未表现出多侵蚀多输沙的简

单侵蚀—输沙过程。

(2) 松花江流域各侵蚀类型区泥沙输移比[0.003 1~0.187 1,最大为 0.355 5(蔡五大站 1988 年)]明显小于同时期黄河流域(0.82~1.31)^[18,39-40]和长江流域(0.50~0.86)^[4,41],但这并不能简单地认为东北黑土区土壤侵蚀、水土流失不严重或不足以引起重视,相反,该区土壤侵蚀严重,土层浅薄,生态脆弱,潜在土壤侵蚀严重,因区内大部分地区特殊的地质地貌特征,侵蚀后的泥沙大部在流域内被拦截,导致泥沙输移比相对较低^[6],加之该区特殊的社会经济

地位,人类活动对其的影响强烈,一旦对生态环境的破坏进一步加剧,将酿成非常严重的土壤侵蚀、水土流失灾害,甚至更为严重的地质灾害。如大兴安岭地区 1955—1986 年 32 a 间仅发生过 8 次灾害性较小的洪水,而 1987 年“5·6”森林大火后,生态环境遭到严重破坏,1987—1991 年的 5 a 中就发生了 3 次灾害性较大的洪水^[42]。

(3) 同一侵蚀类型区不同年际间泥沙输移比波动起伏,而从 20 世纪 60 年代到 80 年代,人类活动影响较小的天然林区和丘陵沟壑区 II 不同时期平均泥沙输移比相差不大,人类活动剧烈的漫川漫岗区 and 丘陵沟壑区 I 平均泥沙输移比则表现为波动式递增。人类活动对于土壤侵蚀、径流产沙以及泥沙输移比具有两面性,大规模的毁林开荒、滥砍滥伐,加剧了土壤侵蚀和水土流失,致使侵蚀产生的大量泥沙进入河道,流域输沙量也迅速增加^[38];而科学、合理的水土保持措施实施(如种树、种草、修建梯田等等),则通过改变下垫面特征和流域中泥沙输移的条件,进而改变产流、侵蚀和产沙过程,使侵蚀产沙量减少,同时使侵蚀产生的泥沙在流域内沉积,使沉积量增加,从而有效减小泥沙输移比^[23]。焦剑等^[38]通过对松花江流域年输沙量(1961—1990 年)的研究也表明,人类活动是输沙量快速增长的重要原因,丘陵漫岗区输沙量在 1961—1990 年呈显著增长趋势,且年输沙量在不同时期的变化存在显著的突变点,出现在 1979—1984 年,在此之后,年输沙量增加趋势十分显著,这与本研究漫川漫岗区泥沙输移比 1980—1989 年的变化趋势相吻合。

总之,影响泥沙输移比的因素众多,学者也对其进行了大量的研究,但研究主要集中在黄河流域和长江流域,东北黑土区的研究目前还比较薄弱,亟待进一步从各因素对泥沙输移比的影响机理机制进行深入的研究。必须要注意的是,在研究泥沙输移比及其影响因素时,须将尺度的概念纳入其中,并考虑到因子间的“耦合效应”,研究尺度不同,影响泥沙输移比的主要因素不同,同一个因素在不同的尺度上也可能贡献不同。另外,关于东北黑土区泥沙输移比的研究鲜有报道,再者现有报道多集中于 20 世纪 90 年代中后期土壤侵蚀、径流和输沙的研究,对于该区土壤侵蚀、泥沙输移在此之前的发展趋势和过程不清,难以真正了解黑土区的土壤侵蚀、泥沙输移的客观规律。本研究采用 20 世纪 60—90 年代间(大山咀子站控制区包括 1990—1992 年)侵蚀模数数据与水文站实测输沙数据计算了松花江流域不同侵蚀类型区泥沙输移比特征,对于了解东北黑土区土壤侵蚀和泥沙输移

规律,明确该区域土壤侵蚀机理和治理目标具有一定的指导意义。但作为后续研究,应综合 20 世纪 90 年代至今相应侵蚀与产沙输沙数据进行长时间序列研究,并根据自然环境、社会经济的发展动态,实时跟踪监测,为东北黑土区土壤侵蚀治理、生态环境恢复与建设,以及水土保持规划提出相应的对策。

参考文献:

- [1] 焦菊英,景可,李林育,等.应用输沙量推演流域侵蚀量的方法探讨[J].泥沙研究,2007(4):1-7.
- [2] 水利学会泥沙专业委员会.泥沙手册[M].北京:中国环境科学出版社,1989.
- [3] Vanoni V A. Sedimentation Engineering [M]. New York: The Society,1975.
- [4] 景可.长江上游泥沙输移比初探[J].泥沙研究,2002(1):53-59.
- [5] 李林育,焦菊英,陈杨.泥沙输移比的研究方法及成果分析[J].中国水土保持科学,2009,7(6):113-122.
- [6] 水利部,中国科学院,中国工程院.中国水土流失与生态安全综合考察报告:东北黑土区卷[M].北京:科学出版社,2010.
- [7] 蔡强国,范昊明.泥沙输移比影响因子及其关系模型研究现状与评述[J].地理科学进展,2004,23(5):1-9.
- [8] 景可.黄土高原的新构造运动对侵蚀影响的研究[J].水土保持通报,1982,2(6):10-15.
- [9] 赵晓光,石辉.黄土塬区坡面及小集水区泥沙输移比变化特征[J].山地学报,2002,20(6):718-722.
- [10] 卜兆宏,刘绍清.土壤流失量及其参数实测的新方法[J].土壤学报,1995,32(2):210-220.
- [11] Maner S B. Factors influencing sediment delivery ratios in the Blackland Prairie land resource area [M]. Fort Worth, Tex: U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service,1962.
- [12] Williams J R, Berndt H D. Sediment yield computed with universal equation[J]. Journal of the Hydraulics Division,1972,98(12):2087-2098.
- [13] Haith D A, Tubbs L J. Watershed loading functions for nonpoint sources[J]. Journal of the Environmental Engineering Division,1981,107(1):121-137.
- [14] Mutchler C K, Bowie A J. Effect of land use on sediment delivery ratios [C] // Proceedings of the Third Federal Inter-Agency Sedimentation Conference. U. S. Water Resources Council, Washington D C, Sedimentation Committee, Denver, Colorado,1975.
- [15] Robert H F, Paul K B, Tomlin C D. SEDMOD: a GIS-based method for estimating distributed sediment delivery ratios[M] // Symposium on Geographic Information Systems and Water Resources, American Water Resources Association, Fort Lauderdale, Florida,1996.

- [16] 张光科,刘东,方铎. 山区流域泥沙输移比计算公式[J]. 成都科技大学学报,1996,16(6):85-90.
- [17] 张光科,刘东,方铎. 山区流域坡面径流侵蚀和泥沙输移分析[J]. 四川联合大学学报:工程科学版,1997,1(6):12-20.
- [18] 牟金泽,孟庆枚. 论流域产沙量计算中的泥沙输移比[J]. 泥沙研究,1982(2):60-65.
- [19] 刘纪根,蔡强国,张平仓. 岔巴沟流域泥沙输移比时空分异特征及影响因素[J]. 水土保持通报,2007,27(5):6-10.
- [20] 曹文洪,张启舜,姜乃森. 黄土地区一次暴雨产沙数学模型的研究[J]. 泥沙研究,1993(1):1-13.
- [21] Leopold L B. Channel and hill slope processes in semi-arid area[J]. New Mexico: Unite states geological survey professional paper,1966,352G:193-253.
- [22] Trimble S W. A sediment budget for Coon Creek Basin in the Driftless area, Wisconsin, 1853—1977 [J]. American Journal of Science,1985,283(5):454-474.
- [23] 许炯心,孙季. 水土保持措施对流域泥沙输移比的影响[J]. 水科学进展,2004,15(1):29-34.
- [24] 花利忠. 基于 AnnAGNPS 模型的流域侵蚀产沙评价:以三峡库区大宁河流域为例[D]. 成都:中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所,2007.
- [25] 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.
- [26] 杨晓晖,吴波. 大兴安岭东部林区森林水土保持功能初步评价[J]. 中国水土保持科学,2004,2(4):11-16.
- [27] 王禹,杨明义,刘普灵. 东北黑土区坡耕地水蚀与风蚀速率的定量区分[J]. 核农学报,2010,24(4):790-795.
- [28] 简金世. 松花江流域不同侵蚀类型区泥沙输移比的估算[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2011.
- [29] 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):35-41.
- [30] 章文波,谢云,刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J]. 地理科学,2002,22(6):705-711.
- [31] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A guide to conservation planning[C]. U. S. Dep. Agric. Agric. Handb.,1978,No. 537.
- [32] Foster G R, Meyer L D, Onstad C A. A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates[J]. Transactions of ASAE,1977,20(4):683-687.
- [33] McCool D K, Brown L C, Foster G R. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation [J]. Transactions of the ASAE,1987,30(5):1387-1396.
- [34] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transaction of American Society of Agriculture Engineers,1994,37(6):1835-1840.
- [35] 刘宝元,谢云,张科利. 土壤侵蚀预报模型[M]. 北京:中国科学出版社,2001.
- [36] 张树文,李颖. 东北地区土地利用/覆被时空特征分析[M]. 北京:北京科学出版社,2006.
- [37] 沈波,杨海军. 松辽流域水土流失及其防治对策[J]. 水土保持通报,1993,13(2):28-32.
- [38] 焦剑,赵登峰. 松花江流域侵蚀产沙演变特征分析[J]. 水土保持通报,2010,30(2):87-91.
- [39] 龚时旻,熊贵枢. 黄河泥沙来源和地区分布[J]. 人民黄河,1979,1(1):7-17.
- [40] 景可. 黄土高原泥沙输移比的研究[C]//黄河粗泥沙来源及侵蚀产沙机理研究文集. 北京:气象出版社,1989.
- [41] 许炯心. 三峡水库修建前长江宜昌—武汉段泥沙输移比及其影响因子[J]. 山地学报,2008,26(1):15-21.
- [42] 刘运河,陈礼耕,石长金,等. 大兴安岭地区的水土流失及其防治[J]. 中国水土保持,1992(10):1-3.

(上接第49页)

- [10] 谢媛媛. SWAT 模型在黄土丘陵区参数敏感度分析及率正研究[J]. 水土保持研究,2012,19(4):204-206.
- [11] 黄明,张学霞,张建军,等. 基于 CLUE-S 模型的罗玉沟流域多尺度土地利用变化模拟[J]. 资源科学,2012,34(4):769-776.
- [12] 廖凯华,徐绍辉,程桂福. 大沽河流域土壤饱和导水率空间变异特征[J]. 土壤,2009,41(1):147-151.
- [13] 邱洋,傅伯杰,王军,等. 黄土丘陵小流域土壤物理性质空间变异[J]. 地理学报,2002,57(5):588-594.
- [14] 丁新新,洪伟,陈建忠,等. 不同经营模式下毛竹土壤水分物理性质比较[J]. 水土保持研究,2009,16(3):74-83.
- [15] 王丽,梦丽,张金池,等. 不同植被恢复模式下矿区废弃地土壤水分物理性质研究[J]. 中国水土保持科学,2010,8(3):54-57.
- [16] 纳磊,张建军,朱金兆. 晋西黄土区不同土地利用类型坡面土壤饱和导水率研究[J]. 水土保持研究,2008,15(3):69-73.
- [17] 林代杰,郑子成,张锡洲,等. 不同土地利用方式下土壤入渗特征及其影响因素[J]. 水土保持学报,2010,24(1):33-36.
- [18] Liu Binhui, Xu Ming, Henderson M, et al. Taking China temperature daily range warming trends and regional variations[J]. Journal of Climate,2004,17:4453-4462.
- [19] 张希彪,上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响[J]. 生态学报,2006,26(11):3685-3695.