

基于 GIS 的黑龙省拉林河流域土壤侵蚀空间特征分析

周宁^{1,2}, 李超³, 满秀玲¹

(1. 东北林业大学, 哈尔滨 150040; 2. 黑龙江省水土保持科学研究院, 哈尔滨 150070; 3. 北京林业大学, 北京 100083)

摘 要:以黑龙江省拉林河流域为研究区,利用 USLE 计算土壤侵蚀模数,并建立了基于 GIS 的空间栅格数据库。采用地统计分析方法,进行研究区的土壤侵蚀模数空间特征分析。对比现行两种土壤侵蚀强度分级标准,分析确定适用的土壤侵蚀强度分级标准。采用空间和趋势分析方法,进行研究区的土壤侵蚀强度空间分布特征分析。结果表明:(1)研究区的土壤侵蚀模数分布具有强烈的空间相关性,自西向东、由北至南呈线型增大的分布趋势;(2)《黑土区水土流失防治技术标准》中规定的土壤侵蚀强度分级标准适用性更强;(3)研究区的土壤侵蚀面积占总面积的 94%,强烈、轻度和中度水力侵蚀为主要的侵蚀强度类型;强烈水力侵蚀主要分布于西部的洪积台地,轻度水力侵蚀主要分布于东部的低山丘陵宽谷,中度水力侵蚀主要分布于中部的地貌过渡带,极强烈和剧烈水力侵蚀主要呈零散状分布于东部的低山丘陵沟壑,中部和西部也有零星分布;随植被覆盖度的降低,土壤侵蚀强度等级自东向西呈增大趋势。

关键词:土壤侵蚀; 空间特征; GIS; USLE; 拉林河

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)06-0010-06

Analysis of Spatial Characteristics of Soil Erosion in Lalin River Basin of Heilongjiang Province Based on GIS

ZHOU Ning^{1,2}, LI Chao³, MAN Xiu-ling¹

(1. Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 2. Heilongjiang Soil and Water Conservation Science Institute, Harbin 150070, China; 3. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Soil erosion modulus of Lalin river basin of Heilongjiang province was calculated by USLE and the spatial raster database based on GIS. The spatial characteristics of soil erosion modulus were analysed by geostatistical method. According to classification standard of soil erosion intensity, two current kinds were contrasted to determine which was more applicable. The spatial characteristics of soil erosion intensity were analysed by the space and trend analysis method. The results showed that: (1) distribution of soil erosion modulus in the study area had strong spatial correlation, from west to east, were from north to south which had a linear increase trend; (2) the classification standard of soil erosion intensity in the Techniques Standard for Comprehensive Control of Soil Erosion in the Black Soil Region was more applicable; (3) soil erosion area had accounted for 94% of the study area, strong, mild and moderate water erosion were the major types of erosion intensity. Strong water erosion mainly distributed in the western area which was the diluvial platform, mild water erosion mainly distributed in the eastern area which was the hills and wide valley, moderate water erosion mainly distributed in the central area which was transition zone of landforms, extremely strong and severe water erosion showed a scattered distribution in the hills and gully of eastern area, and had a sporadic distribution in the central and western region. With the decrease of vegetation coverage, classification of soil erosion intensity showed a trend of increase from east to west.

Key words: soil erosion; spatial characteristics; GIS; USLE; Lalin river basin

黑龙江省已成为我国重要商品粮基地中土壤侵蚀最严重的地区之一,正在逐步丧失其作为重要农业生产基地的基础。基于当前黑土区水土流失亟须治理的现状,国内外学者对东北黑土区土壤侵蚀已进行

了大量的研究,特别是将 GIS 引入后,极大的提高和拓展了研究效率及范围。比如,肖军仓^[1]通过模型模拟了抚河流域土壤侵蚀状况;王尧^[2]利用 GIS 对比乌江流域不同时段土地利用的时空特征,探讨了其对

土壤侵蚀的影响;程琳等^[3]利用 CSLE 模型,基于 GIS 对陕西省土壤侵蚀进行了定量评估;王超^[4]基于 GIS 建立了渭河流域土壤侵蚀因子空间数据库并做出了相应土壤侵蚀评价;余瞰等^[5]运用遥感与 GIS 开展了土壤侵蚀强度快速评价方法的研究;周俊菊等^[6]结合 GIS 和数学模型分析了不同因子对陇南市土壤侵蚀敏感性的影响;张淑花等^[7]在 GIS 支持下基于 RUSLE 对绥化市进行了土壤侵蚀的评估;路炳军等^[8]基于 GIS 计算了北京市土壤侵蚀量并分析了其土壤侵蚀规律;何耀帮等^[9]基于 RS 和 GIS 对伊河流域土壤侵蚀强度进行了评价。而针对黑龙江省黑土区土壤侵蚀的空间分布特征的研究却鲜有报道,与以往同类研究相比,本文在运用 GIS 的数据处理与转换功能基础上,着重运用其空间分析功能,对黑龙江省拉林河流域的土壤侵蚀模数和土壤侵蚀强度空间分布特征进行分析,本研究结果将增加研究区水土保持防治措施布设的目的性和合理性,对实现水土保持工作的信息化管理和科学性决策具有实践意义,对加强黑土保护与修复、保障粮食生产安全和社会经济发展具有积极意义。

1 研究区概况

黑龙江省拉林河流域的地理位置、水文、气象、土壤、植被、地形以及地貌等自然概况,与之前研究^[10]相同,此处不再赘述。

2 数据处理

2.1 土壤类型数据

根据中国土壤数据库公布的 1:100 万土壤空间数据库,在 ArcGIS 上裁剪出黑龙江省拉林河流域土壤矢量数据。主要有草甸土、暗棕壤、黑土、白浆土、黑钙土、水稻土、棕色针叶林土、沼泽土和泥炭土等 9 个土类,包括碱化草甸土、石灰性草甸土、白浆化草甸土、草甸土、暗棕壤性土、暗棕壤、白浆化暗棕壤、草甸暗棕壤、灰化暗棕壤、草甸黑土、白浆化黑土、黑土、白浆土、草甸白浆土、草甸黑钙土、淹育水稻土、潜育水稻土、棕色针叶林土、表潜棕色针叶林土、草甸沼泽土、泥炭沼泽土、中位泥炭土和低位泥炭土等 23 个亚类。按土壤类型分布,占拉林河流域面积比例大小依次为草甸土、暗棕壤、黑土、白浆土和黑钙土,达到拉林河流域面积的 90% 以上,其它土壤分布零散且面积较小。

2.2 土地利用数据

采用黑龙江省拉林河流域假彩色合成数字卫星影像(TM)数据,用 ERDAS IMAGINE 软件进行监督分类,参考黑龙江省第二次土壤侵蚀调查中对土地

利用的分级标准,人工解译得到土地利用信息,进行拼接和裁剪后得到拉林河流域的土地利用矢量数据。黑龙江省拉林河流域土地利用类型主要有耕地、林地、草地、水域、未利用土地和城乡、工矿、居民用地等 6 个一级分类类型,包括有林地、灌木林地、疏林地、其他林地、高覆盖草地、中覆盖草地、河渠、湖泊、水库、滩地、城镇用地、工交建设用地、沼泽地、裸土地、丘陵区水田、平原区水田、山区旱地、丘陵区旱地和平原区旱地等 19 个二级分类类型。

2.3 数字高程模型数据

采用黑龙江省拉林河流域 1:10 万的地形图,经扫描、配准及矢量化后生成等高线数据,由等高线数据建立三角数字地面模型 TIN(Triangulated Irregular Network),再由 TIN 内插成规则格网的数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM),栅格大小为 250 m×250 m,见图 1。

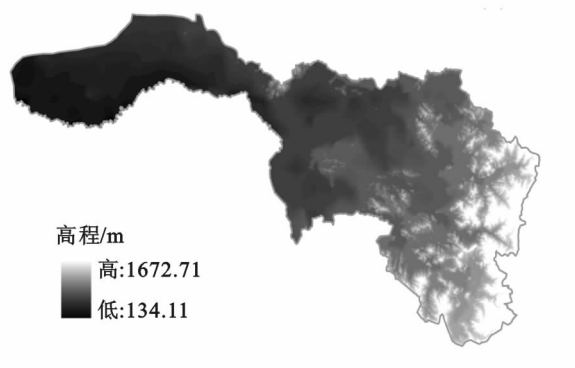


图 1 黑龙江省拉林河流域 DEM

2.4 标准化植被指数和坡度的提取

利用 1992 年、2002 年和 2012 年遥感影像(TM)数据,选取 8 月且云量小于 10% 的遥感影像,在 ERDAS 上按年分别提取标准化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI),取平均值后形成栅格数据,栅格大小为 250 m×250 m,如图 2 所示,0 表示存在裸土、水面或岩石等,NDVI 值随植被覆盖度增大而增大。利用 DEM 数据,在 ArcGIS 上可分别提取坡度的栅格数据(图 3),栅格大小为 250 m×250 m。

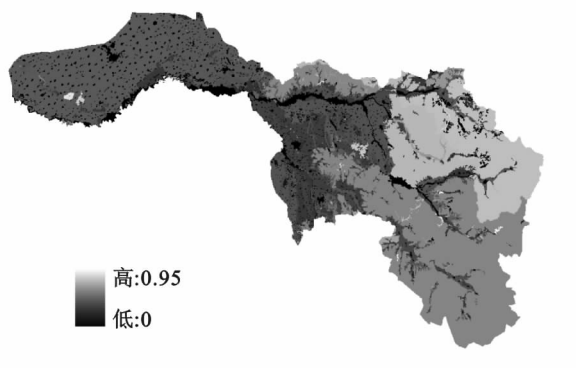


图 2 黑龙江省拉林河流域 NDVI 分布

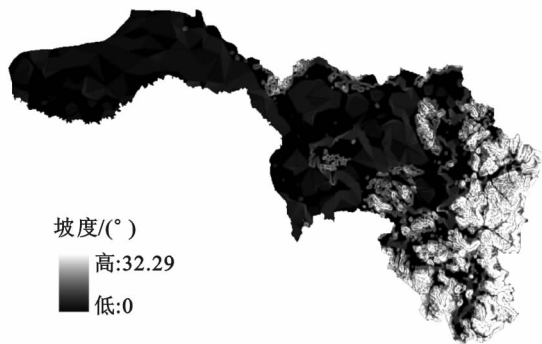


图 3 黑龙江省拉林河流域坡度分布

2.5 降雨量数据

中国气象科学数据共享服务网公布的中国地面气候资料日值数据集收录了黑龙江省自 1951 年以来的基本、基准地面气象观测站及自动站日值数据集,其原始数据文件经过较严格的质量控制和检查,并对 1971—2000 年的部分统计值进行了极值检验和时间一致性检验,并对已查出的错误记录进行更改。本文选取地面气候资料日值数据集中黑龙江省全部 32 个气象站日降雨量数据,通过初步统计,1972 年以后数据序列较为完整,同时保证数据分析的时段性及及时性,选取 1972—2011 年 32 个气象站的日降水量(20—20 时)数据,除肇州气象数据时限为 1988 年 1 月 1 日—2011 年 12 月 31 日、鹤岗气象数据时限为 1972 年 1 月 1 日—2008 年 12 月 31 日外,其余各气象站数据时限为 1972 年 1 月 1 日—2011 年 12 月 31 日。利用 excle 进行数据筛选和统计,先筛选剔除雪、雾、露和霜等形式的降水量数据,保留降雨量数据。

3 研究方法

3.1 土壤侵蚀模数的计算

利用通用土壤流失方程(Universal Soil-Loss Equation, USLE)计算土壤侵蚀模数。先分别求得方程中的各计算因子并建立对应栅格数据库,进而在 ArcGIS 上计算得出土壤流失量的栅格数据,最终经单位转化得到黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀模数的栅格数据库。USLE 计算公式为:

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

式中: A ——单位时间单位面积上的土壤流失量 [$t/(hm^2 \cdot a)$]; R ——降雨侵蚀力因子 [$(MJ \cdot mm)/(hm^2 \cdot h \cdot a)$]; K ——土壤可蚀性因子 [$(t \cdot hm^2 \cdot h)/(hm^2 \cdot MJ \cdot mm)$]; L, S ——坡长和坡度因子,合称地形因子; C ——作物与覆盖因子; P ——水土保持措施因子; L, S, C, P 均为无量纲因子。计算得到 A 后,经数量级换算得到土壤侵蚀模数,单位为 $t/(km^2 \cdot a)$ 。

3.1.1 R 值的计算 采用章文波等^[11]提出的用日

降雨量估算 R 值的模型,公式为:

$$R_i = \alpha \sum_j^n (P_j)^\beta \quad (2)$$

$$\alpha = 21.856\beta^{-7.1891} \quad (3)$$

$$\beta = 0.8363 + \frac{18.177}{P_d} + \frac{24.455}{P_y} \quad (4)$$

式中: R_i ——第 i 个半月的降雨侵蚀力值 [$(MJ \cdot mm)/(hm^2 \cdot h)$]; n ——半月内天数,每月上半月天数均为 15,下半月按实际计取; P_j ——第 i 个半月第 j 日的日侵蚀性降雨量 (mm); α, β ——参数值; P_d ——日侵蚀性降雨量的日平均值 (mm); P_y ——日侵蚀性降雨量的年平均值 (mm)。日侵蚀性降雨量取 ≥ 12 mm 的日降雨量^[12]。计算年内 R_i ,累加后得到年 R 值,逐年计算年 R 值求得期望即为多年平均 R 值。

采用黑龙江省 32 个气象台站近 40 a 的日降雨量数据估算多年平均 R 值,并建立对应的矢量数据库,在 ArcGIS 上通过克里格^[13] (KRIGING)方法进行插值,得到黑龙江省多年平均 R 值^[14]空间分布的栅格数据,经裁剪,得到黑龙江省拉林河流域多年平均 R 值的栅格数据库。

3.1.2 K 值的计算 采用张科利^[15]修正的用土壤颗粒几何平均粒径估算 K 值的方法,公式为:

$$K_s = 7.954 \times \{0.0017 + 0.0494 \exp[-0.5 \left(\frac{\lg(D_g) + 1.675}{0.6986} \right)^2] \} \quad (5)$$

$$K = 0.0091 + 0.5507 K_s \quad (6)$$

公式(5)是 Shirazi^[16]提出建立的,式中 D_g 为土壤颗粒的几何平均粒径 (mm)。公式(6)是张科利进一步修订的, K, K_s 均表示估算的土壤可蚀性因子。采用王彬^[17]修正的方法计算 D_g ,公式为:

$$D_g = 0.075 \times \exp(0.01 \times \sum_{i=1}^n f_i \ln m_i) \quad (7)$$

式中: f_i ——第 i 个粒级占总量的百分比 (%); m_i ——第 i 个粒级上下限差值的期望 (mm); n ——粒径的分级数。

《黑龙江省第二次土壤普查数据手册》中土壤质地分级标准同时采用卡庆斯基制和国际制,考虑到 D_g 的计算不受粒径划分标准的限制,且采用卡庆斯基制作为土壤粒级划分标准的土壤质地数据前溯时间序列更长更具基础性,在计算过程中以卡庆斯基制土壤粒级划分标准为主,无对应分级数据的,采用国际制土壤粒级划分标准。在选择土壤剖面数据时,遵循采样位置与黑龙江省拉林河流域距离最小的原则,并遵循土属、亚类和土类重要性依次递减的原则,同一土壤类型存在多个满足条件的土壤剖面质地数据时,分别计算后对结果取平均值。

利用黑龙江省第二次土壤普查数据中土壤剖面的土壤质地分析数据,分别计算得到黑龙江省拉林河流域不同土壤类型的 K 值,在 ArcGIS 上结合现有的土壤类型矢量数据建立黑龙江省拉林河流域 K 值的栅格数据库。

3.1.3 LS 值的计算 采用张先奎^[18]提出的适用于黑龙江省的 LS 值计算方法,公式为:

$$LS = \left(\frac{L}{20}\right)^{0.18} \times \left(\frac{S}{8.75}\right)^{1.3} = 0.07197 \times L^{0.18} \times \theta^{1.3} \quad (8)$$

式中: L ——坡长(m); S ——坡度(%); θ ——坡度(°)。

在计算过程中对水流流向路径上的坡长进行距离修正^[19],公式为:

$$L(i,j) = 0.96194 \sum_{k=1}^m s_1(k) + 1.36039 \sum_{l=1}^n s_2 \quad (9)$$

式中: s_1 ——坐标轴方向栅格内坡长; s_2 ——对角线方向栅格内部坡长; m ——坐标轴方向栅格数; n ——对角线方向栅格数。

坡度采用已提取的结果,坡长、 LS 值的计算均在 ArcGIS 上通过栅格计算器完成,经计算得到黑龙江省拉林河流域 LS 值的栅格数据库。

3.1.4 C 值的计算 采用马超飞等^[20]估算出 C 值的方法,公式为:

$$C = 0.6508 - 0.34361 \lg F_c \quad (10)$$

$$F_c = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (11)$$

式中: C ——作物与覆盖因子; F_c ——植被盖度(%); $NDVI$ ——在遥感影像上提取的标准化植被指数; $NDVI_{\max}$ 、 $NDVI_{\min}$ ——标准化植被指数最大值和最小值。 $F_c = 78.3\%$ 时, $C = 0$, $F_c > 78.3\%$ 时,发生土壤侵蚀的程度微弱; $F_c = 0.1\%$ 时, $C = 1$, $F_c < 0.1\%$ 时,降低土壤侵蚀的程度微弱。

在 ArcGIS 上进行 C 值的计算,建立黑龙江省拉林河流域 C 值的栅格数据库。

3.1.5 P 值的计算 黑龙江省水土保持科学研究所实测了黑龙江省 4 种应用广泛的水土保持措施 P 值,分别为:水平梯田 0.029,地埂 0.145,等高垄作 0.352,生物防冲带 0.372;范建荣等^[21]通过对典型小流域径流小区的产流产沙观测资料进行统计和计算,得到了东北黑土区 7 种主要水土保持措施的 P 值,分别为:水平台田 0.020,水平坑 0.060 1,灌木梗 0.054,封禁 0.363,顺坡起垄种植 0.624,横坡起垄种植 0.257,地埂植物带 0.186。查阅《黑龙江省水利建设统计资料》(1986—2011 年),统计多年来黑龙江省拉林河流域水土保持治理措施的类型和数量为基础,通过咨询相关水行政主管部门,了解掌握水土保持措施布局现状,在地图上标记出水土保持措施的布局情

况。黑龙江省拉林河流域的水土保持措施包括水平梯田、坡式梯田、地埂植物带、等高垄作、地埂、封禁治理、水土保持林、经果林、种草,和谷坊、跌水、沟头防护、过水路面、截流沟等小型水利水保工程等。

分别对不同水土保持措施进行赋值,对无实测 P 值数据和水土保持措施的区域,结合不同土地利用类型进行赋值^[22],其中河渠、湖泊、水库、坑塘 P 值为 0,裸土地、城镇用地、农村居民点用地、工交建设用地、沼泽地 P 值为 1。在 ArcGIS 上建立黑龙江省拉林河流域 P 值的栅格数据。

3.2 土壤侵蚀模数的空间相关性分析

利用 ArcGIS 的地统计模块^[23],对黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀模数进行空间相关性^[24]和空间分布趋势^[25]分析。半变异函数可以反映数据空间相关关系,半变异值 $r(h)$ 随着距离(h)的增大而增大,半变异曲线反映一个数据样本与其相邻数据样本的空间关系,其存在两个关键点,即间隔为 0 时的极值点和半变异函数趋近平稳时的拐点,对应这两个关键点有 4 个参数,分别是块金值(Nugget)、变程(Range)、基台值(Sill)、偏基台值(Partial Sill)。块金值与基台值的比值表示空间相关度,描述可量空间自相关的变异的大小,描述系统变量的空间相关性的程度,即:比值 $< 25\%$,表明系统具有强烈的空间相关性;比值介于 $25\% \sim 75\%$ 之间,表明系统具有中等的空间相关性;比值 $> 75\%$,表明系统空间相关性很弱。

3.3 土壤侵蚀强度分级

分别采用《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—2007)和《黑土区水土流失综合防治技术标准》(SL446—2009)中规定的土壤侵蚀强度分级标准(表 1),对黑龙江省拉林河流域进行土壤侵蚀强度分级,通过对比分析,确定适用于黑龙江省拉林河流域的土壤侵蚀强度分级标准。

3.4 土壤侵蚀强度空间分布特征

采用空间和趋势分析方法,分析黑龙江省拉林河流域的土壤侵蚀强度空间分布特征。

表 1 土壤侵蚀强度分级标准

平均侵蚀模数/ ($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)	《土壤侵蚀分类分级标准》	平均侵蚀模数/ ($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)	《黑土区水土流失综合防治技术标准》
> 15000	剧烈	> 4800	剧烈
8000~15000	极强烈	3600~4800	极强烈
5000~8000	强烈	2400~3600	强烈
2500~5000	中度	1200~2400	中度
200,500,1000~2500	轻度	200~1200	轻度
< 200	微度	≤ 200	微度

4 结果与分析

4.1 土壤侵蚀模数及其空间分布特征

经计算,在 ArcGIS 得到土壤流失量 A 的栅格数据库,经数量级换算得到黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀模数栅格数据库,栅格大小为 250 m×250 m。黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀模数范围 0~6 763.95 t/(km²·a),其中河渠、湖泊、水库和坑塘土壤侵蚀模数为 0,见图 4。

分别计算块金值和基台值,块金值为 189 360,基台值为 825 950,块金效应为 22.93%,小于 25%,表明黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀模数具有强烈的空间相关性。此外,半变异函数云图也表明半变异值随着距离的增大而增大,无块金效应,空间相关性很好。对黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀模数进行空间分布趋势分析,表明土壤侵蚀模数自西向东、由北至南呈线型增大的分布趋势。

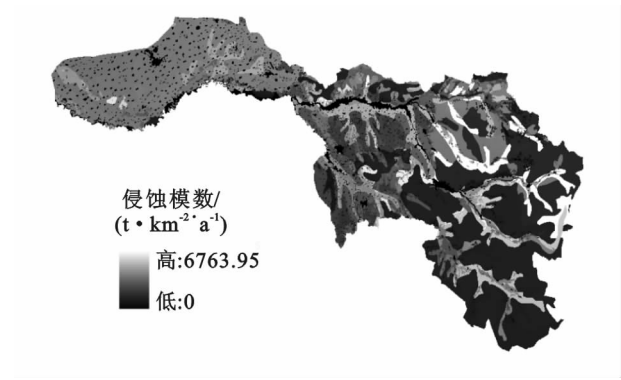


图 4 黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀模数空间分布

4.2 土壤侵蚀强度分级标准适用性分析

《土壤侵蚀分类分级标准》和《黑土区水土流失综合防治技术标准标准》中规定的土壤侵蚀强度分级标准均以土壤侵蚀模数为量度,分别对不同土壤侵蚀强度做出了级别划分,且都划分为 6 个级别。前者各级别土壤侵蚀模数阈值上限与下限之差较大,级别阈值从下限 200,500,1 000 t/(km²·a)到上限 15 000 t/(km²·a),对土壤侵蚀级别的划分尺度较大,相比之下,后者在以土壤侵蚀模数作为阈值进行级别划分上更细致,土壤侵蚀模数阈值上限与下限差距更小,级别阈值从下限 200 t/(km²·a)到上限 4 800 t/(km²·a),界定发生不同强度土壤侵蚀的量化指标更低,对土壤侵蚀强度的判别标准要求更严格。

采用以上两个标准,进行黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀强度分级,并按照《水利水电工程制图标准—水土保持图》^[26]中规定的土壤侵蚀强度色标表制图。在 ArcGIS 上完成制图,如图 5、6 所示,分别为按照

《土壤侵蚀分类分级标准》和《黑土区水土流失综合防治技术标准标准》规定的土壤侵蚀强度分级标准制作的黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀强度分布图,通过对比,采用前一标准制作的土壤侵蚀强度分布图,对轻度以上土壤侵蚀占总面积的比例低估了 18%,没有体现极强烈和剧烈土壤侵蚀的分布情况。结合黑龙江省拉林河流域的地形和土地利用条件综合分析,采用前一标准制作的土壤侵蚀强度分布图,忽略了高级别土壤侵蚀强度在丘陵沟壑中的存在和发生,降低了疏林地、丘陵区水田、山区旱地、丘陵区旱地和平原区旱地的土壤侵蚀强度等级。综上所述,《黑土区水土流失综合防治技术标准标准》中规定的土壤侵蚀强度分级标准适用性更强。

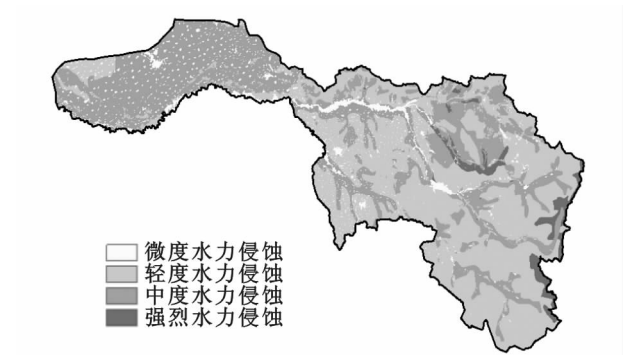


图 5 黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀强度分布(《土壤侵蚀分类分级标准》)

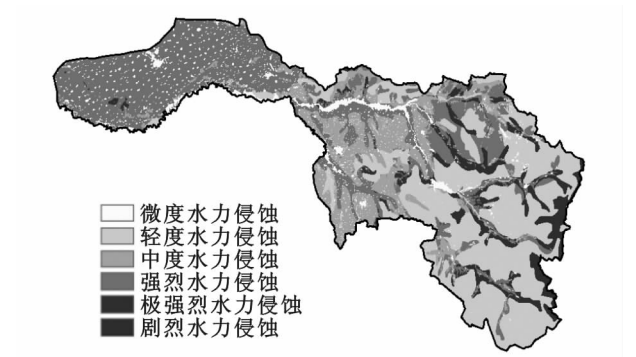


图 6 黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀强度分布(《黑土区水土流失综合防治技术标准》)

4.3 土壤侵蚀空间分布特征

如图 6 所示,黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀类型全部为水力侵蚀,经分析,土壤侵蚀面积占总面积的 94%,以土壤侵蚀强度划分,所占总面积的比例大小依次为:强烈水力侵蚀>轻度水力侵蚀>中度水力侵蚀>极强烈水力侵蚀>剧烈水力侵蚀,其中强烈、轻度和中度水力侵蚀面积占总面积的 85%、土壤侵蚀面积的 90%,为主要的侵蚀强度类型;在空间分布和地形上,强烈水力侵蚀主要分布于西部的洪积台地,轻度水力侵蚀主要分布于东部的低山丘陵宽谷,中度

水力侵蚀主要分布于中部的地貌过渡带,极强烈和剧烈水力侵蚀主要呈零散状分布于东部的低山丘陵沟壑,中部和西部也有零星分布;结合植被覆盖分布情况,在不考虑零散分布的极强烈和剧烈水力侵蚀情况下,土壤侵蚀强度与植被覆盖的分布趋势呈负相关关系,即自东向西随植被覆盖度的降低,土壤侵蚀强度等级呈增大趋势。

5 结论

(1) 黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀模数范围 0~6 763.95 t/(km²·a),其具有强烈的空间相关性,自西向东、由北至南呈线型增大的分布趋势。

(2) 《黑土区水土流失综合防治技术标准标准》中规定的土壤侵蚀强度分级标准,界定发生不同强度土壤侵蚀的量化指标更低,对土壤侵蚀强度的判别标准要求更严格,对评价黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀强度分布情况适用性更强。

(3) 黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀类型全部为水力侵蚀,土壤侵蚀面积占总面积的 94%,强烈、轻度和中度水力侵蚀为主要的侵蚀强度类型;强烈水力侵蚀主要分布于西部的洪积台地,轻度水力侵蚀主要分布于东部的低山丘陵宽谷,中度水力侵蚀主要分布于中部的地貌过渡带,极强烈和剧烈水力侵蚀主要呈零散状分布于东部的低山丘陵沟壑,中部和西部也有零星分布;随植被覆盖度的降低,土壤侵蚀强度等级自东向西呈增大趋势。

(4) 黑龙江省拉林河流域是黑龙江省大米、大豆等商品粮的主要产区,对其进行土壤侵蚀的空间评价,有助于增加该流域水土保持防治措施布设的目的性和合理性,并对实现水土保持工作的信息化管理和科学性决策具有实践意义,对加强黑土保护与修复、保障粮食生产安全和社会经济发展具有积极意义。

参考文献:

[1] 肖军仓,罗定贵,王忠忠. 基于 SWAT 模型的抚河流域土壤侵蚀模拟[J]. 水土保持研究,2013,20(1):14-18.

[2] 王尧,蔡运龙,潘懋. 贵州省乌江流域土地利用与土壤侵蚀关系研究[J]. 水土保持研究,2013,20(3):11-18.

[3] 程琳,杨勤科,谢红霞,等. 基于 GIS 和 CSLE 的陕西省土壤侵蚀定量评价方法研究[J]. 水土保持学报,2009,23(5):61-66.

[4] 王超. 基于 RS/GIS 的渭河流域土壤侵蚀评价研究[D]. 西安:西北大学,2010.

[5] 余瞰,柯长青. 遥感与 GIS 支持下的土壤侵蚀强度快速评价方法研究[J]. 国土资源遥感,2007,19(3):82-84.

[6] 周俊菊,石培基,师玮,等. 基于 GIS 的陇南市土壤侵蚀

敏感性评价及其空间分异特征[J]. 土壤通报,2011,42(5):1076-1080.

[7] 张淑花,周利军,张雪萍. 基于 RUSLE 和 GIS 的绥化市土壤侵蚀评估[J]. 土壤通报,2012,42(6):1472-1475.

[8] 路炳军,刘洪鹤,张波,等. 基于 GIS 的北京市土壤侵蚀量计算[J]. 中国水土保持科学,2011,9(2):24-27.

[9] 何耀帮,赵永兰,田国行,等. 基于 RS 和 GIS 的伊河流域土壤侵蚀研究[J]. 中国农学通报,2012,28(20):237-242.

[10] 周宁,满秀玲,李超. 黑龙江省黑土区拉林河流域土壤侵蚀强度评价方法比较[J]. 中国水土保持科学,2013,11(3):73-77.

[11] 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.

[12] 谢云,刘宝元. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报,2000,14(4):6-11.

[13] 万龙,马芹,张建军,等. 黄土高原降雨量空间插值精度比较:KRIGING 与 TPS 法[J]. 中国水土保持科学,2011,9(3):79-87.

[14] 周宁. 黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀强度评价模型构建 [D]. 哈尔滨:东北林业大学,2014.

[15] 张科利,彭文英,杨红丽. 中国土壤可蚀性值及其估算[J]. 土壤学报,2007,44(1):7-13.

[16] Shirazi M A, Boersma L. A unifying quantitative analysis of soil texture[J]. Soil Science Society of America Journal, 1984, 48(1): 142-147.

[17] 王彬. 土壤可蚀性动态变化机制与土壤可蚀性估算模型[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2013.

[18] 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.

[19] Akmal Butt M, Maragos P. Optimum design of chamfer distance transforms[J]. Image Processing, IEEE Transactions on, 1998, 7(10): 1477-1484.

[20] 马超飞,马建文. USLE 模型中植被覆盖因子的遥感数据定量估算[J]. 水土保持通报,2001,21(4):6-9.

[21] 范建荣,王念忠,陈光,等. 东北地区水土保持措施因子研究[J]. 中国水土保持科学,2011,9(3):75-78.

[22] 黄金良,洪华生,张路平,等. 基于 GIS 和 USLE 的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究[J]. 水土保持学报,2005,18(5):75-79.

[23] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社,2006.

[24] 王绍强,朱松丽,周成虎. 中国土壤土层厚度的空间变异性特征[J]. 地理研究,2001,20(2):161-169.

[25] 邓敏,刘启亮,王佳缪,等. 时空聚类分析的普适性方法[J]. 中国科学:信息科学,2012,42(1):111-124.

[26] 中华人民共和国水利部. SL73. 6—2001 水利水电工程制图标准:水土保持图[S]. 北京:中国水利水电出版社,2001.