

# 东北地区土壤侵蚀空间变化特征研究<sup>\*</sup>

焦 剑

(北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

**摘 要:**东北地区日益严重的水土流失已引起人们广泛关注,但现有土壤侵蚀研究多限于局部地区。了解本区土壤侵蚀空间变化特征,为水土保持规划提供进一步支持已迫在眉睫。本文在建立东北地区土壤流失方程的基础上,利用径流小区观测资料、气象资料、地图和遥感资料,计算多年平均土壤侵蚀量并检验计算精度,据此分析土壤侵蚀空间变化特征。结果表明:东北地区水土流失面积达到 63.4 万 km<sup>2</sup>,占全区总面积 50.8%,土壤侵蚀现状不容忽视。土壤侵蚀强度大致呈自东南向西北方向递减的趋势。但地形起伏的影响,使得这一变化趋势更为复杂。本区土壤侵蚀较为严重的地区为辽河干流西侧各支流流域的丘陵地带和流域东部降水丰沛的地区,松花江流域的山前丘陵漫岗区。研究结果对本区水土保持规划具有重要参考意义。

**关键词:**土壤侵蚀;土壤流失方程;空间变化;东北地区

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)03-0001-06

## Study on Spatial Variation of Soil Erosion in Northeastern China

JIAO Jian

(School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Severe soil loss of Northeastern China gives rise to widespread concern about it. But researches in soil erosion are only limited to certain spots now. To give further support to the plan of soil conservation, overall investigation of the temporal variation of soil erosion is urgently needed. To calculate soil loss amount, this paper established soil loss equation of Northeastern China by using precipitation records of climate stations, runoff and sediment yields data from plots and sense remote data. Then the application of the soil loss equation was validated and the temporal variation of soil erosion was analyzed. The results showed that the area of soil erosion was  $6.34 \times 10^5$  km<sup>2</sup> in the Northeastern China, which was 50.8% of the total area. The intensity of soil erosion increased from the northwest to southeast, while landforms made the trend became more complex. Severe soil erosion happened in the hilly regions of the Songhua river basin and the western part of the Liao river basin, and the region with rich precipitation in the eastern part of the Liao river basin. This analysis will make important suggestion for the plan of soil conservation in this region.

**Key words:** soil erosion; soil loss equation; spatial variation; Northeastern China

土壤侵蚀已成为世界性的环境问题,其危害已为人们所普遍认识,很多国家都已开展了土壤侵蚀的防治工作。为了能够向土壤侵蚀防治提供科学依据,土壤侵蚀的定量预报工作早在 20 世纪 30 年代就已开展,以 Cook 等的工作为标志<sup>[1]</sup>。此后,土壤侵蚀的定量预报工作逐步取得了一系列研究成果。20 世纪 50 - 60 年代,通过对全国范围水土流失观测数据的整理和分析,美国开发了第一代土壤侵蚀模型——通用

土壤流失方程(USLE, Universal Soil Loss Equation),以估算多年平均土壤侵蚀量。其由农业部于 1965 年以农业手册 282 号形式发布了第一个官方版<sup>[2]</sup>,1978 年又以农业手册 537 号形式发布了第二版<sup>[3]</sup>。随着计算机技术的不断发展,以及 USLE 在实际应用中遇到的问题,美国从 20 世纪 80 年代开始对 USLE 进行修订,1997 年正式发布了修订通用土壤流失方程 RUSLE<sup>[4]</sup>,并建立了计算机模型,为用户提供技术和

\* 收稿日期:2010-03-26

基金项目:水利部松花江辽河委员会“东北黑土区水土流失综合防治试点工程”

作者简介:焦剑(1983-),男,陕西西安人,博士生,研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail:68283847@qq.com

使用手册,提供了一些主要参数和变量的数据库,增加了模型在土壤侵蚀预报方面的实用性。

由于通用土壤流失方程基本包括了影响坡面水土流失的主要因素,所用资料范围也比较广<sup>[5]</sup>,因而在世界各国的土壤侵蚀预报中得到了广泛应用,一些国家和地区已采用 USLE 或 RUSLE 模型开展了全境范围的土壤侵蚀调查<sup>[6-7]</sup>。近年来,世界许多国家相继研制了自己的土壤侵蚀模型,尤其是基于土壤侵蚀机理的物理模型的出现,开辟了土壤侵蚀定量研究的新纪元。但是这些物理模型多处于研究阶段,与实际应用尚有一定距离。

我国土壤侵蚀问题十分严重。自 1944 年在甘肃天水建立第一个水土保持实验站以来<sup>[8]</sup>,我国对土壤侵蚀进行了大量观测和研究,并建立了许多区域性的土壤侵蚀定量模型<sup>[9]</sup>。20 世纪 80 年代起,在开始引进美国通用土壤流失方程的同时,许多学者结合我国土壤侵蚀的特点,着力开发适用于中国水土流失特征的、应用范围较广的土壤侵蚀预报模型。但我国现有的水土流失定量预报主要是在土壤侵蚀最为严重的黄土高原展开,在土壤侵蚀日益严重的东北地区<sup>[10-11]</sup>,土壤侵蚀定量预报工作还处于初始阶段。张宪奎等<sup>[12]</sup>和林素兰等<sup>[13]</sup>分别将 USLE 模型应用于黑龙江省和辽北低山丘陵区坡耕地侵蚀研究;刘森等<sup>[14]</sup>和 YANG 等<sup>[15]</sup>分别将 RUSLE 模型应用于大兴安岭呼中林区和吉林黑土区土壤侵蚀研究。但上述模型在应用时,大多未对其精度进行检验或评估,其在实际应用中的可靠性尚存疑问。同时上述模型应用尺度较小,尚不足以为区域土壤侵蚀评价提供足够依据。因此,东北地区的土壤侵蚀预报还需要进一步收集水土流失观测数据,深入研究土壤侵蚀机理,在此基础上建立土壤侵蚀预报模型,并验证其适用性,进而开发出适用本区的土壤侵蚀预报模型。本文拟在建立并检验土壤侵蚀预报模型的基础上,利用径流小区侵蚀观测资料、气象资料、地图资料、遥感资料等估算东北地区土壤流失量,据此分析本区土壤侵蚀空间差异,进而为水土保持规划提供支持。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料收集

研究区包括东北三省及内蒙古东部地区(赤峰市、通辽市、兴安盟和呼伦贝尔市)。收集位于辽宁省阜新市二道岭小流域、吉林省梅河口市吉兴小流域、黑龙江省宾县三岔河小流域、黑龙江省九三农场鹤北小流域等 4 个流域内径流小区 2004 - 2006 年的产流泥沙监测资料,以及 234 个气象站点 1961 -

1990 年多年平均降水资料,并利用东北地区 1 : 100 万土壤类型图和土地利用图<sup>[16]</sup>、美国航天飞机雷达拓扑测绘数据(分辨率 90 m × 90 m)等地图与遥感资料,在建立东北地区土壤流失方程的基础上,计算多年平均土壤侵蚀量并检验其计算精度,据此分析本区的土壤侵蚀空间分布特征。

### 1.2 东北地区土壤流失方程的建立

利用 Liu 等<sup>[17]</sup>提出的中国土壤流失预报方程(Chinese Soil Loss Equation, CSL E),计算本区多年平均土壤流失量:

$$A = R_T K L S B E T \quad (1)$$

式中:  $A$  ——多年平均年土壤流失量 [ $t / (hm^2 \cdot a)$ ];  $R_T$  ——降雨 - 径流侵蚀力 [ $(MJ \cdot mm / (hm^2 \cdot h \cdot a))$ ]; 考虑到东北地区融雪侵蚀十分显著<sup>[18-19]</sup>,进行土壤侵蚀预报时,也要求推算融雪径流侵蚀力。故其为降雨侵蚀力和融雪径流侵蚀力之和,以表征降雨及其径流以及融雪径流的潜在侵蚀能力<sup>[20]</sup>;  $K$  ——土壤可蚀性 [ $(t \cdot hm^2 \cdot h) / (hm^2 \cdot MJ \cdot mm)$ ],表示标准小区上单位降雨侵蚀力下的土壤流失量;  $L$  ——坡长因子(无量纲),表示实际坡长下(其它条件与标准小区相同)的土壤流失量与标准小区土壤流失量的比值;  $S$  ——坡度因子(无量纲),表示实际坡度下(其它条件与标准小区相同)的土壤流失量与标准小区土壤流失量的比值;  $B$ ,  $E$  和  $T$  ——分别为生物措施因子、工程措施因子和耕作措施因子(均无量纲),分别表示实际生物措施、工程措施和耕作措施下(其它条件与标准小区相同)的土壤流失量与标准小区土壤流失量的比值。

### 1.3 多年平均土壤侵蚀量计算与精度检验

根据已建立的东北地区土壤流失方程,利用网格法计算多年平均土壤流失量。各个因子的确定方法为:

$R_T$ : 多年平均降雨 - 径流侵蚀力因子。由 234 个气象站点计算的多年平均降雨 - 径流侵蚀力线性内插求得<sup>[20]</sup>。计算公式为

$$R_T = 0.0668 P^{1.6266} \quad (2)$$

式中:  $P$  ——多年平均年降水量 (mm);  $K$  ——土壤可蚀性因子<sup>[20]</sup>。土壤类型依据中国科学院南京土壤研究所与中国农业部土壤环境处合作,于 2002 年共同编制的全国 1 : 1 000 000 数字化土壤类型图确定。由于东北地区大多数土壤可蚀性因子没有测量值,研究依据《中国土种志》中的有机质、质地、土壤结构数据,利用三次样条法<sup>[21-22]</sup>计算主要土壤类型的可蚀性因子;  $L$ ,  $S$  ——坡长因子和坡度因子。坡度利用美国航天飞机雷达拓扑测绘 (SR TM, Shuttle Radar Topography Mission, 分辨率 90 m × 90 m) 数

据,在研究区采样获得。 $S$  因子依据 RUSLE<sup>[4]</sup> 和 Liu 等<sup>[23]</sup> 提出的方法计算:

$$\begin{aligned} S &= 10.8 \sin + 0.03 < 5^\circ \\ S &= 16.8 \sin - 0.5 \quad 5^\circ \quad 10^\circ \\ S &= 21.9 \sin - 0.96 > 10^\circ \end{aligned} \quad (3)$$

式中: ——坡度( $^\circ$ )。

在进行区域土壤侵蚀研究时,覆盖较大区域的高分辨率数据不易具备,即使高分辨率数据能覆盖较大工作区域,也会由于数据量大而使处理速度难以满足土壤侵蚀快速普查和定期公告要求,且经济成本会大量增加。因此,国外在大区域土壤侵蚀特征和规律研究中,往往采用中低分辨率(10~1 000 m)的地形资料<sup>[24]</sup>,由此也造成了地形资料不能精确反映地表起伏变化状况,致使地表坡长不易准确提取。对于这一问题,国外往往在面积较大区域的土壤侵蚀研究中,依据本区地形特征,估算地表坡长<sup>[6-7]</sup>。研究也采用了中低分辨率的地形资料,故采取上述方法确定地表坡长。研究视松花江水系流域地表坡长为 300 m,辽河水系流域地表坡长为 100 m。则  $L$  因子值依据刘宝元等<sup>[25]</sup> 提出的典型黑土区坡长因子公式计算:

$$L = ( / 20)^{0.4} \quad (4)$$

式中: ——坡长(m); $B$ 、 $E$ 和  $T$  ——生物措施因子、工程措施因子和耕作措施因子。依据径流小区土壤侵蚀观测结果,来推算不同土地利用  $B$ 、 $E$ 、 $T$  值。依据东北地区 1 1 000 000 土地利用图对所有土地利用类型斑块赋  $B$ 、 $E$ 、 $T$  值。其中, $B$  值为种植该作物的顺坡小区土壤流失量与同等条件下(即模型中定义的其他因子相同)裸地小区的土壤流失量之比; $E$  值和  $T$  值为采取该措施小区的土壤流失量与同等条件下顺坡小区的土壤流失量之比。需要注意的是,计算  $E$  或  $T$  值时,采取耕作措施的小区与顺坡小区种植的作物必须相同。东北地区各种土地利用类型的水土保持措施因子可通过以下方法获得:

耕地: $B$  为大豆和玉米生物措施因子的平均值; $T$  为横坡和顺坡种植的耕作措施因子的平均值; $E$  值为 1。

有林地: $E = T = 1$ 。考虑其  $B$  因子值一般无法通过径流小区观测资料获得,研究采用刘秉正等<sup>[26]</sup> 提出的经验公式推算:

$$\begin{aligned} B &= 1 & c &= 0 \\ B &= 0.6665 - 0.3436 \lg(c \times 100) & 0 < c < 87\% & \quad (5) \\ B &= 0 & c &> 87\% \end{aligned}$$

式中: $c$  ——植被覆盖度(%)。根据 2007 年对黑龙江宾县的水土流失抽样调查<sup>[27]</sup>,有林地的植被覆盖

度为 70%~80%,故研究视有林地植被覆盖度为 75%,依据式(5)计算得其  $B$  因子值为 0.022。

疏林地、园地、草地: $B$  因子值依据荒山灌木梗小区观测值确定, $E = T = 1$ 。

水域、居民点、独立工矿地和交通用地: $C$  因子值为 0。

在确定上述各因子基础上,多年平均土壤流失量由 ArcInfo Grid 模块中进行图层叠加运算获得。在建立土壤流失方程各因子图层时,网格大小均插值到 90 m  $\times$  90 m。

为了检验网格土壤流失量估算精度,根据东北地区利用<sup>137</sup>Cs 方法研究土壤流失量的结果(表 1),在相应研究地点,将网格计算值  $A$  与<sup>137</sup>Cs 示踪法的计算值  $A_0$  进行比较,估计其相对误差  $E$ 。

$$E = 100\% \times (A - A_0) / A_0 \quad (6)$$

表 1 研究区土壤流失量<sup>137</sup>Cs 监测数据<sup>[25,28-29]</sup>

采样地点	坡度/ ( $^\circ$ )	耕作 状态	采样 时间	土壤流失量/ ( $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ )
德惠市八 家庙村	3	顺坡耕作	2003	4013.2
	5			5369.2
德惠市松 花江镇	4	顺坡耕作	2002	4937.4
	2.6			1211.0
九三试验站	3.5	斜坡耕作	2004	3356.0
	2.2			2167.0
鹤北 1 号 流域	2.8	多点平均	2005	2160.0
	0.5			1260.0
九三试验站	1.5	斜坡耕作	2004	1200.0
	2.5			2388.0
鹤北 8 号 流域	2.5	多点平均	2005	2388.0
	3.5			3192.0

### 1.4 土壤侵蚀空间分布特征分析

依据水利部颁布的东北黑土区土壤侵蚀强度分级标准(表 2)<sup>[30]</sup>,绘制本区土壤侵蚀强度图,据此分析东北地区土壤侵蚀的空间差异及其影响因素。

表 2 水利部颁布的土壤侵蚀强度分级标准(东北黑土区)

级别	微度	轻度	中度	强度	极强	剧烈
平均侵蚀模数 ( $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ )	< 200	200 ~ 2500	2500 ~ 5000	5000 ~ 8000	8000 ~ 15000	> 15000

## 2 结果分析

### 2.1 多年平均土壤侵蚀量计算

2.1.1 降雨 - 径流侵蚀力因子 利用式(2)计算东北地区的多年平均年降雨 - 径流侵蚀力,绘制全区降雨 - 径流侵蚀力等值线图(图 1)。由此可见,本区多年平均年降雨 - 径流侵蚀力的空间分布特征与年降水量的分布规律十分相似,大致从西北向东南递增;为 1 000~4 000 ( $MJ \cdot mm$ )/( $hm^2 \cdot h \cdot a$ )。  $R_r$

值不足  $1\,000\text{ (MJ} \cdot \text{mm) / (hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a)}$  的地区主要位于呼伦贝尔高原和科尔沁沙地;  $R_T$  值大于  $4\,000\text{ (MJ} \cdot \text{mm) / (hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a)}$  的地区范围也较小, 主要位于辽宁省东南部和吉林天池附近。大兴安岭山前的丘陵漫岗区  $R_T$  值多为  $1\,500\text{ (MJ} \cdot \text{mm) / (hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a)}$  左右。小兴安岭山前丘陵漫岗区  $R_T$  值多为  $2\,000\text{ (MJ} \cdot \text{mm) / (hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a)}$  左右; 这些地区是东北主要的土壤侵蚀区, 也是黑土的主要分布地区, 其降雨 - 径流侵蚀力明显高于同纬度平原地区。

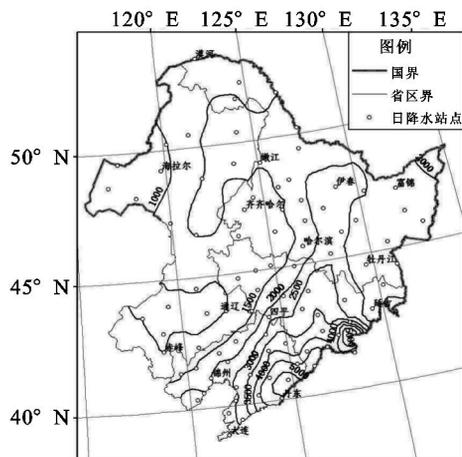


图 1 东北地区多年平均年降雨 - 径流侵蚀力等值线图

2.1.2 土壤可蚀性因子 东北地区各类土壤可蚀性因子  $K$  值为  $0.015\,3 \sim 0.047\,8\text{ (t} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h) /}$

$(\text{hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})$ , 平均  $0.033\,9\text{ (t} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h) / (hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm)}$  (表 3)。从空间分布看(附图 1), 山区  $K$  值多在  $0.03\text{ (t} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h) / (hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm)}$  以下, 低于丘陵漫岗和平原地区。辽西丘陵区土壤可蚀性最高, 其值多在  $0.04\text{ (t} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h) / (hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm)}$  以上。

表 3 东北地区各类土壤可蚀性因子  $K$  值

$(\text{t} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h) / (hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm)}$			
土类	$K$	土类	$K$
山地草甸	0.0197	盐土	0.0443
新积土	0.0460	灰色森林土	0.0171
暗棕壤	0.0256	石质土	0.0362
栗褐土	0.0423	白浆土	0.0337
栗钙土	0.0357	碱土	0.0478
棕壤	0.0331	粗骨土	0.0235
棕色针叶土	0.0178	紫色土	0.0425
水稻土	0.0363	红黏土	0.0425
沼泽土	0.0359	草甸土	0.0335
泥炭土	0.0153	褐土	0.0414
滨海盐土	0.0478	风沙土	0.0292
滨海盐田	0.0478	黑土	0.0349
潮土	0.0393	黑毡土	0.0343
火山灰土	0.0205	黑钙土	0.0336
灰褐土	0.0258		

2.1.3 水土保持措施因子 计算东北地区主要生物措施、工程措施和耕作措施因子值 ( $B$ 、 $E$  和  $T$ ) 所采用资料及计算结果如表 4 所示。

表 4 主要水土保持措施因子值

措施	采用的小区资料	资料时间	小区相应产流次数	计算结果	
生态修复	梅河口吉兴生态修复	2005 - 2006	24	0.363	
	阜新二道岭生态修复	2005 - 2006	13		
荒山灌木梗	宾县三岔河荒山灌木梗	2004 - 2006	15	0.054	
	梅河口吉兴荒山灌木梗	2005 - 2006	20		
$B$ 因子	大豆	鹤山顺坡春起垄和秋起垄	2003 - 2004, 2006	40	
		宾县三岔河顺坡	2004 - 2006	42	
	玉米	阜新二道岭顺坡	2005 - 2006	13	0.566
		克山县顺垄	1985 - 1990	-	
		西丰县泉河顺垄 ( $6^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ )	1980 - 1990	-	
		克山县顺垄	1985 - 1990	-	
玉米	西丰县泉河顺垄 ( $6^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ )	1980 - 1990	-	0.357	
$E$ 因子	水平台田	宾县三岔河水平台田	2004 - 2006	11	0.014
	水平坑	阜新二道岭水平坑	2005 - 2006	13	0.050
$T$ 因子	横坡种植	鹤山横坡春起垄和秋起垄	2003 - 2004, 2006	1	0.360
		梅河口吉兴横坡	2005 - 2006	20	
		阜新二道岭横坡	2005 - 2006	13	
		宾县三岔河横坡	2004 - 2006	11	
		克山、拜泉、青冈、海伦、北安横垄	1985 - 1990	-	
		西丰县泉河横垄 ( $6^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ )	1980 - 1990	-	
地梗植物带	宾县三岔河地梗植物带	2004 - 2006	12	0.137	

### 2.2 多年平均土壤侵蚀量计算的精度检验

收集了东北地区采用<sup>137</sup>Cs 示踪法估算土壤流失量的研究成果(表 1),将网格法计算值 A 与<sup>137</sup>Cs 估算值 A<sub>0</sub> 进行比较,两者回归效果较好,即二者非常接近回归线与 1:1 线。除 2 个点相对误差相对较大(-59.3%和 113.3%)外,其余 9 个点相对误差仅为 -14.7%~7.6%。相对误差较大的两个点中,一个位于鹤北 8 号流域,该流域坡长多为 500~2 000 m。耕地坡长超过 300 m 时,侵蚀量可能仍随着坡长增长而增加<sup>[31]</sup>,而网格法仅考虑 < 305 m 的坡长对土壤侵蚀的影响,致使计算值较<sup>137</sup>Cs 估算值低。另一个点位于坡顶处,侵蚀微弱,<sup>137</sup>Cs 估算值低于计算值。

### 2.3 东北地区土壤侵蚀空间分布特征

从东北地区土壤侵蚀强度(附图 2)看,大部分地区土壤侵蚀为微度和轻度,两类侵蚀分别占全区总面积的 49.2%和 44.1%;发生中度、强度和极强土壤侵蚀的面积相对较少,分别占全区总面积的 3.9%、1.5%和 1.4%(图 2);研究区无剧烈侵蚀。将土壤侵蚀强度在轻度及其以上的地区称为水土流失区,则东北地区水土流失面积达到 63.4 万 km<sup>2</sup>,占全区总面积 50.8%,土壤侵蚀现状不容忽视。总体来看目前的土壤侵蚀强度分级标准低估了东北地区土壤状况,制定符合本区的土壤侵蚀特征的侵蚀强度分级标准迫在眉睫<sup>[25]</sup>。

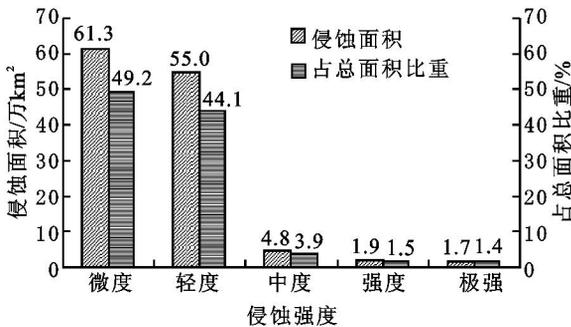


图 2 东北地区土壤侵蚀强度分级统计结果

本区土壤侵蚀强度大致呈自东南向西北方向递减的趋势,与降雨-径流侵蚀力的空间变化较为相似(图 1)。但地形起伏的影响使得这一变化趋势更为复杂。中度及以上侵蚀集中分布在坡缓坡长的丘陵漫岗区 and 地形起伏较为强烈的山区,即大小兴安岭和长白山前丘陵台地,长白山-老爷岭山区和辽东、辽西丘陵区,与研究区坡度图(附图 3)分布较为一致。而松嫩平原、辽河平原、三江平原等地势低平地带,土壤侵蚀强度在中度以下,多为微度或轻度。但在同一地貌类型区内部,降水的多寡对土壤侵蚀

强度的影响仍十分显著。如降水更为丰富的长白山前丘陵台地和辽东丘陵区,土壤侵蚀强度明显高于大小兴安岭山前丘陵漫岗区。自大兴安岭东南迎风坡向西,随着降水的减少,土壤侵蚀强度由中度向轻度、微度递减,主要侵蚀方式由水蚀向风蚀转变。

就不同水系流域而言,本区南部的辽河流域比北部的松花江流域土壤侵蚀更为严重。辽河干流西侧各支流流域内的丘陵地带,由于气候干燥,植被条件差,土壤类型多为易蚀的砂土和黄土,致使水土流失严重,河流泥沙含量高。其中柳河是辽河水系中含沙量最大的河流,素有“小黄河”之称<sup>[32]</sup>;西辽河上游支流老哈河亦属多沙河流,两岸多为黄土覆盖的丘陵山地,植被差,冲沟发育,地貌破碎,水土流失亦十分严重。上述支流携带的泥沙在辽河下游淤积,造成严重的危害。辽河流域东部虽林地广布,但降水十分丰沛,多年平均年降水量为 700~1 000 mm,且多集中在 6-9 月,雨季暴雨径流对地表土壤具有很强的潜在侵蚀能力,加之山地丘陵土层较薄和不合理开发活动,使得水土流失日益严重。例如,营口市东部山区由于超载放牧、放蚕、乱砍滥伐和陡坡耕作,造成大面积土地沙化;严重的水土流失使得宽甸县三属河在 50 a 内淤高约 2 m<sup>[33]</sup>。东北地区现有的土壤侵蚀研究主要集中在北部的典型黑土区,对辽河流域的水土流失状况仅有初步了解<sup>[34]</sup>,应加强辽河流域土壤侵蚀机理和规律的研究,从而为东北全区的水土保持治理提供全面的理论和技术支持。

松花江流域林地分布较广,土壤侵蚀程度虽相对辽河流域较轻。但林草植被分布不均匀,特别是农耕区,植被覆盖率很低,这就使得耕地集中分布的山前丘陵漫岗区近年来水土流失明显加剧,尤以典型黑土区为甚<sup>[11]</sup>。此外,长白山-老爷岭山前的部分丘陵台地区,由于其地形复杂多样,毁草开荒,人为破坏使森林面积减少,因而荒山凸岭较多,水土流失严重<sup>[35]</sup>。

## 3 结论

(1) 利用建立的东北地区土壤流失方程计算多年平均土壤流失量,将计算结果与<sup>137</sup>Cs 方法监测的土壤流失量对比,结果表明,本文建立的东北地区土壤流失方程计算精度较高,可用于预报本区多年平均土壤流失量。

(2) 就东北地区土壤侵蚀强度而言,大部分地区侵蚀强度为微度和轻度,两类侵蚀分别占全区总面积的 49.2%和 44.1%;中度以上侵蚀集中在山前丘陵漫岗区和地形起伏较为强烈的山区,无剧烈侵蚀。

本区水土流失面积达到 63.4 万 km<sup>2</sup>, 占全区总面积 50.8%, 土壤侵蚀现状不容忽视。

(3) 东北地区土壤侵蚀强度大致呈自东南向西北方向递减的趋势。但是, 地形起伏的影响, 使得这一变化趋势更为复杂。本区南部的辽河流域比北部的松花江流域土壤侵蚀更为严重。其中, 辽河干流西侧各支流流域的丘陵地带和辽河流域东部降水丰沛的地区水土流失较为严重; 松花江流域土壤侵蚀较为严重的地区位于耕地集中分布的山前丘陵漫岗区。

本区的土壤侵蚀类型主要为水蚀和风蚀两大类, 由于所采用的土壤流失方程为水蚀预报方程, 本文所计算土壤流失量为多年平均水蚀量。东北地区西部冬春季风速较大, 降水稀少, 与此同期, 地表植被覆盖度极低, 春播时土质疏松, 易导致强烈风蚀的发生<sup>[10]</sup>。今后应加强本区土壤风蚀发生机理和预报研究, 从而为本区土壤侵蚀预报和水土保持规划进一步提供技术支持。

参考文献

[1] 刘宝元, 谢云, 张科利. 土壤侵蚀预报模型[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001.

[2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation[M]. Washington DC: US Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 282, 1965.

[3] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning [M]. Washington D C: US Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537, 1978.

[4] Renard K G, Forster G R, Weesies G A, et al. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE) [M]. Washington D C: US Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, 1997.

[5] 符素华, 刘宝元. 土壤侵蚀量预报模型研究进展[J]. 地球科学进展, 2002, 17(1): 78-84.

[6] Van der Kinnf J M, Jones R J A, Montanarella L. Soil erosion risk assessment in Europe[R]. European Commission, Directorate General JRC, Joint Research Centre, Space Application Institute, European Soil Bureau, 2000.

[7] Lu H, Gallant J, Prosser I P, et al. Prediction of sheet and rill erosion over the Australian Continent, incorporating monthly soil loss distribution[R]. CSIRO Land and Water Technical Report 13/01, 2001.

[8] 许国华. 罗德民博士与中国的水土保持事业[J]. 中国水土保持, 1984(1): 39-42.

[9] 谢云, 林燕, 张岩. 通用土壤流失方程的发展与应用[J]. 地理科学进展, 2003, 22(3): 279-287.

[10] 王玉玺, 解运杰, 王萍. 东北黑土区水土流失成因分析[J]. 水土保持科技情报, 2002(3): 27-29.

[11] 范昊明, 蔡强国, 王红闪. 中国东北黑土区土壤侵蚀环境[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 66-70.

[12] 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.

[13] 林素兰, 黄毅, 聂振刚, 等. 辽北低山丘陵区坡耕地土壤流失方程的建立[J]. 土壤通报, 1997, 28(6): 251-253.

[14] 刘淼, 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): 21-24.

[15] Yang X M, Zhang X P, Deng W, et al. Black soil degradation by rainfall erosion in Jilin, China [J]. Land Degradation Development, 2003, 14: 409-420.

[16] 1 1000000 中国土地利用图编辑委员会. 1 1000 000 中国土地利用图 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.

[17] Liu B Y, Zhang K L, Xie Y. An Empirical Soil Loss Equation [C]// Proceedings of 12th ISCO conference, Vol. II Process of soil Erosion and Its Environment Effect. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.

[18] 林燕, 谢云, 王晓岚. 土壤水蚀模型中的融雪侵蚀模拟研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 16-20.

[19] 焦剑, 谢云, 林燕, 等. 东北地区融雪期径流及产沙特征分析[J]. 地理研究, 2009, 28(2): 333-344.

[20] 焦剑, 谢云, 林燕, 等. 东北地区降雨 - 径流侵蚀力研究[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(3): 6-11.

[21] 蔡永明, 张科利, 李双才. 不同粒径之间土壤质地资料的转换问题研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 511-517.

[22] 刘建立, 徐绍辉, 刘慧. 几种土壤累积粒径分布模型的对比研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(5): 588-592.

[23] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes [J]. Trans. ASAE, 1994, 37(6): 1835-1840.

[24] 杨勤科, 李锐, 曹明明. 区域土壤侵蚀定量研究的国内外进展[J]. 地球科学进展, 2006, 21(8): 849-856.

[25] 刘宝元, 阎百兴, 沈波, 等. 东北黑土区农地土壤流失现状与综合治理对策[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(1): 1-8.

[26] 刘秉正, 刘世海. 作物植被的保土作用及作用系数[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 32-36, 113.

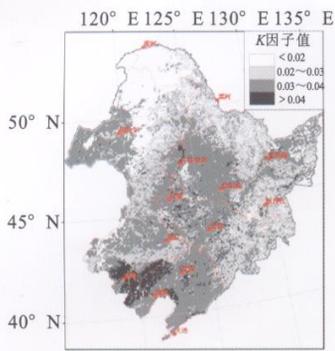
[27] 曾宪勤. 区域水土流失规律定量研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2008.

[28] 阎百兴, 汤洁. 黑土侵蚀速率及其对土壤质量的影响[J]. 地理研究, 2005, 24(4): 499-506.

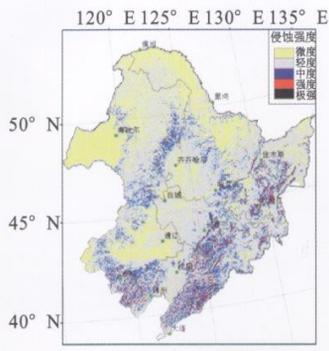
征变化对整个流域空间格局动态起决定性作用。植被覆盖分布及其空间格局动态变化与相关环境要素之间的响应,以及对流域生态水文过程影响需要进一步深入研究。如何利用长时间序列及年内时间变化遥感数据,分析 NDVI 时空变化特征与降水、温度、径流等的相关性,即研究流域植被覆盖变化所引起的水文、气候及其生态环境效应,将对连江流域水资源管理及其石漠化治理具有重要的现实意义。

#### 参考文献:

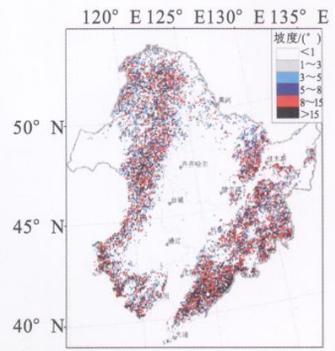
- [1] Hansen M C, Defries R S, Townshend J R G, et al. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21 (6/7): 1331-1364.
- [2] Boles S H, Xiao X, Liu J, et al. Land cover characterization of temperate East Asia using multi-temporal VEGETATION sensor data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 90(4): 477-489.
- [3] 朴世龙,方精云.最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化[J]. *第四纪研究*, 2001, 21(4): 294-302.
- [4] 徐永明,刘勇洪,魏鸣,等.基于 MODIS 数据的长江三角洲地区土地覆盖分类[J]. *地理学报*, 2007, 62(6): 640-648.
- [5] 杨胜天,刘昌明,孙睿.近 20 年来黄河流域植被覆盖变化分析[J]. *地理学报*, 2002, 57(6): 679-684.
- [6] 王兆礼,陈晓宏,李艳.珠江流域植被覆盖时空变化分析[J]. *生态科学*, 2006, 25(4): 303-307.
- [7] Wardlow B D, Egbert S L, Kastens J H. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U S Central Great Plains[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 108: 290-310.
- [8] Zhan X, Sohlberg R A, Townshend J R G, et al. Detection of land cover changes using MODIS 250 m data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83: 336-350.
- [9] Cihlar J, Ly H, Xiao Q. Land cover classification with AVHRR multi-channel composites in northern environments[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1996, 58(1): 36-51.
- [10] Price J C. Comparing MODIS and ETM+ data for regional and global classification[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86(4): 1835-1852.
- [11] 王秀春,黄秋昊,蔡运龙.贵州省乌江流域植被覆盖动态变化分析[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(5): 15-17.
- [12] 邹鸣.连江流域水文特性分析[J]. *广东水利水电*, 2005(6): 74-75.
- [13] Deferis R S, Townshend J R G. NDVI-derived land cover classification at a global scale[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15: 3567-3586.
- [14] Huete A, Justice C, Leeuwen W V. Modis Vegetation Index (MOD13) Version 3. Algorithm Theoretical Basis Document, [Http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod13.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf), 1999.
- [15] 刘庾,毕如田,褚雅红.基于 MODIS 影像的山西省植被指数分析[J]. *测绘与空间地理信息*, 2008, 31(1): 43-45.
- [16] 曾加芹,欧阳华,牛树奎,等.1985 - 2000 年西藏地区景观格局变化及影响因子分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(1): 137-143.
- (上接第 6 页)
- [29] 方华军,杨学明,张晓平,等.<sup>137</sup>Cs 示踪技术研究坡耕地黑土侵蚀和沉积特征[J]. *生态学报*, 2005, 25(6): 1376-1382.
- [30] 中华人民共和国水利部.中华人民共和国行业标准:土壤侵蚀分类分级标准(SL190-96)[S]. 1997:9-12.
- [31] 魏欣.东北黑土区小流域土壤侵蚀空间分异规律研究[D].北京:北京师范大学,2007:100-109.
- [32] 郭福厚,杨玉和.柳河流域输沙能力分析[J]. *辽宁工程技术大学学报*, 2005, 24(3): 444-446.
- [33] 国家环境保护总局.全国生态现状调查与评估:东北卷[M].北京:中国环境科学出版社,2005:241-245.
- [34] 王振颖,寿祝邦.辽宁土壤侵蚀状况分区与防治重点[J]. *水土保持研究*, 1997, 4(4): 32-39.
- [35] 张学俭,武龙甫.东北黑土地水土流失修复[M].北京:中国水利水电出版社,2007.



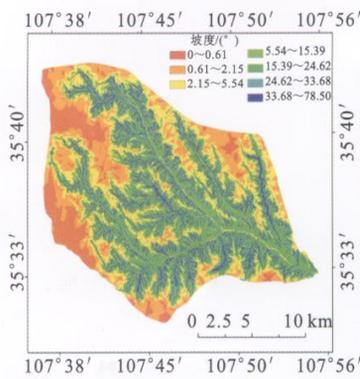
附图1 东北地区土壤可蚀性空间分布



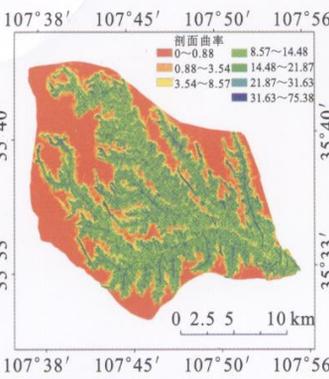
附图2 东北地区土壤侵蚀强度空间分布



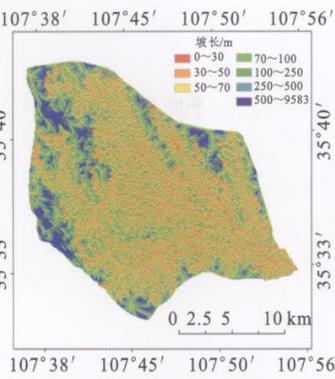
附图3 东北地区地表坡度



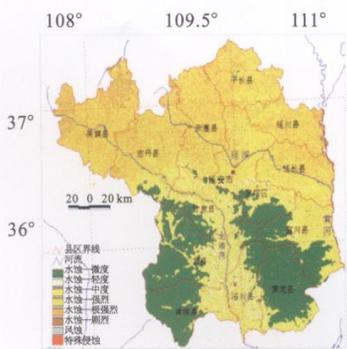
附图4 砚瓦川流域坡度图



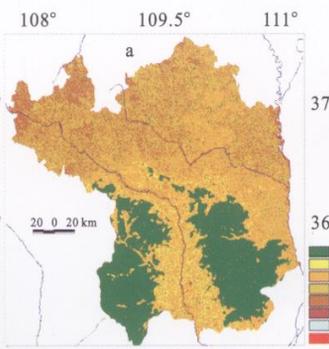
附图5 砚瓦川流域剖面曲率图



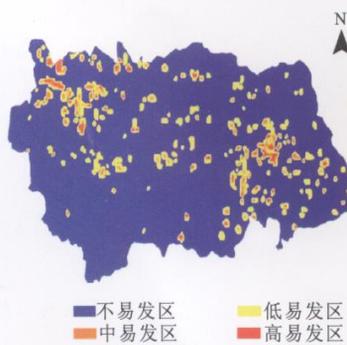
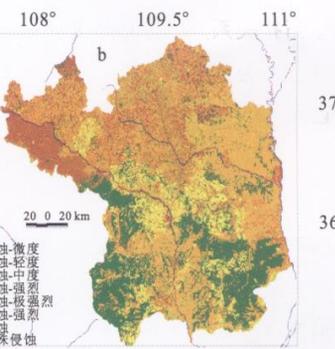
附图6 砚瓦川流域坡长图



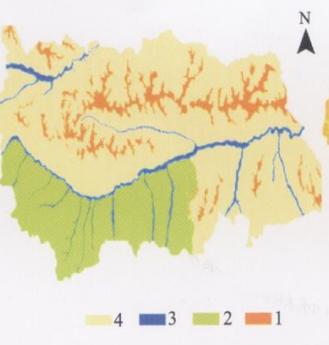
附图7 延安市土壤侵蚀强度等级图



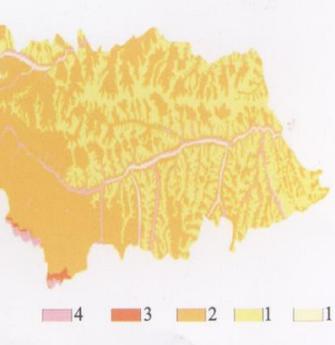
附图8 本研究(a)与第三次全国土壤侵蚀强度等级普查(b)对比



附图9 灵台县初步地质灾害易发性区划图



附图10 灵台县地貌类型对地质灾害影响分区图



附图11 灵台县地层岩性对地质灾害影响分区图