

# 牡丹江市退耕还林对区域土壤侵蚀的影响研究

高凤杰, 雷国平, 宋戈, 宁静

(东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:**将 GIS 与通用水土流失方程 (USLE) 相结合进行牡丹江市退耕还林前后土壤侵蚀状况分析, 评价退耕还林对区域水土流失的影响。研究结果表明: 轻度侵蚀面积由退耕前的  $1\,600.12\text{ km}^2$  减小到退耕后的  $1\,296.41\text{ km}^2$ , 主要分布在西南部宁安地区; 剧烈侵蚀由退耕前的  $3\,161.52\text{ km}^2$  减少到退耕后的  $672.38\text{ km}^2$ , 主要被极强度侵蚀代替, 且集中分布在海拔较高的穆棱北部及林口南部、低山丘陵地带  $25^\circ$  以下的旱田及林地上。总体而言, 退耕还林工程缓解了区域严峻的水土流失态势, 但仍需采取相关配套措施以期彻底改善区域水土流失状况, 包括修筑梯田、水平等高耕作及深耕翻作业等, 但根本措施在于发展区域经济, 调整农业生产结构, 保护退耕还林成果, 从而实现区域生态经济协调发展。

**关键词:** USLE; GIS; 退耕还林; 土壤侵蚀; 牡丹江;

中图分类号: S157.1; X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0014-05

## Study on the Effects of Returning Farmland to Forest Project on Soil Erosion in Mudanjiang

GAO Feng-jie, LEI Guo-ping, SONG Ge, NING Jing

(School of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** This paper mainly analyzed the soil erosion status before and after the Returning Farmland to Forest Project (RFFP) to evaluate the effects of RFFP on soil erosion with the help of USLE and GIS. The results showed that the mild erosion area decreased from  $1\,600.12\text{ km}^2$  to  $1\,296.41\text{ km}^2$  after the RFFP and mainly distributed in the Ning'an District; the extreme erosion area decreased from  $3\,161.52\text{ km}^2$  and to  $672.38\text{ km}^2$ , which was mainly replaced by the extreme erosion and conceptually distributed in the high altitude regions of Muling north and Linkou south, and  $<25^\circ$  slope region of hilly areas. In a word, although the RFFP relieved the serious soil erosion status, but relative water and soil conservation measures should be still taken to thoroughly improve the worse soil erosion status, including terracing, contour farming and deep tillage and so on. But the fundamental measure was to develop the regional economy and adjust the agricultural production structure. Thus it could protect the achievements of the RFFP and ensure the sustainable development.

**Key words:** USLE; GIS; returning farmland to forest; soil erosion; Mudanjiang

土壤侵蚀是土壤在降水、径流等外营力作用下发生的剥蚀、搬运和堆积的过程。其本质是土壤肥力下降, 生态环境恶化, 是世界上头号的环境问题<sup>[1]</sup>。在影响侵蚀的因子当中, 地形及下垫面状况对侵蚀具有决定性作用, 降雨等外营力通过地形及下垫面状况而起作用<sup>[2]</sup>。因此, 只有通过改变地形或下垫面条件, 才能有效地防止土壤侵蚀。牡丹江市地处张广才岭、老爷岭山脉, 总面积  $4.06\text{ 万 km}^2$ , 山地丘陵占总面积

的 90% 以上, 地形复杂, 降雨集中, 容易发生水蚀, 且长期以来由于人口增长过快, 经济发展不均衡以及人们生态环境意识差等原因, 致使盲目开荒、顺坡垄作、只种不养等现象时有发生, 再加上城市化建设过程中忽视了水土保持工作等原因, 使区域水土流失问题非常严峻。据统计, 全市水土流失面积  $7\,306\text{ km}^2$ , 其中坡耕地流失面积  $4\,515\text{ km}^2$ , 占耕地总面积的 73.8%<sup>[3]</sup>。严重的水土流失造成土壤肥力下降、生态

收稿日期: 2010-03-17

资助项目: 国家科技支撑计划课题 (2007BAD87B03); 国家自然科学基金项目 (40901267); 黑龙江省教育厅 2009 年度青年学术骨干项目 (1154G45); 东北农业大学资源与环境学院青年基金项目 (ZHQJ-02)

作者简介: 高凤杰 (1981-), 女, 河北迁西人, 博士生, 讲师, 主要从事遥感与地理信息系统应用研究。E-mail: gaojiecumt@126.com

通信作者: 雷国平 (1963-), 男, 教授, 博导, 主要从事 3S 技术应用研究。E-mail: guopinglei@126.com

环境恶化。为此,该市于 1999 年于黑龙江省率先实行退耕还林工程。截止到目前,退耕还林工程已实施 12 a,林地面积的增加使林草植被覆盖度增加。林草植被通过林冠截流、林下草灌和枯枝落叶层的拦蓄以及植物根系对土壤的固结作用而保持水土、涵养水源、改善土壤肥力<sup>[4]</sup>,从而改善区域的生态环境。科学判定退耕还林对区域水土流失的影响,对巩固退耕还林成果,合理规划区域土地利用,促进区域生态环境与经济协调发展具有重要意义。

## 1 研究区概况

牡丹江市位于黑龙江省东南部(128°02′—131°18′E,43°24′—45°59′N),南邻吉林省的敦化市和汪清县,东部与俄罗斯接壤。地形以山地和丘陵为主,山地总面积占 86.3%(其中中山占 13.4%,低山占 72.9%),丘陵占 8.6%,平原(包括内陆水域)占 5.5%<sup>[5]</sup>。气候属半湿润中温带大陆性季风气候,年平均气温 4.9~6.1℃,年降水量 500~600 mm,无霜期 115~152 d。土壤类型主要有暗棕壤、白浆土、草甸土、沼泽土和泥炭土以及水稻土 6 个土类,其中以暗棕壤分布最广。主要自然植物属于长白山植物区系,地带性植被为针阔混交林,主要分布在海拔 500~900 m 的山地和局部丘陵的顶部;落叶阔叶林分布较广,主要分布在 200~700 m 的低山丘陵地带。

## 2 研究方法

### 2.1 数据收集与处理

搜集研究区 1953—2008 年逐月降水资料、1:10 万地形图、1:100 万土壤图、退耕还林前后 2000 年及 2008 年两期覆盖研究区作物生长季 6—9 月 Landsat TM 影像共 12 景、2000 年 6 月 25 日及 2008 年 6 月 25 日研究区 MODIS 影像各 1 景以及相关水土保持研究成果资料,综合利用 3S 技术并结合野外实地调查,完成研究区土地利用分布图及植被覆盖图。GPS 点属性校验结果表明,土地利用类型判别的准确率达到 95%以上。将所得数据在 GIS 软件 Arc/Info 环境下进行编辑和修改,得到研究区 2 期土地利用数据。参照国家通用的土地利用分类系统<sup>[6]</sup>,根据土地的利用方式属性及研究区实际情况,将其分为:旱田、水田、林地、草地、水域、建设用地(包括城镇用地、农村居民点用地及其他建设用地)、未利用地(沼泽、裸岩、裸土)等 7 种类型。依据通用水土流失方程<sup>[7]</sup>及国内外众多学者提出的修正意见<sup>[8-12]</sup>,建立研究区土壤流失方程;在 ArcGIS 下通过栅格运算对侵蚀结果进行分级,揭示退耕还林前后水土流失

的空间演变特征。

### 2.2 水土流失预报模型

Wischmeier 于 20 世纪 60 年代提出通用土壤流失方程 USLE(Universal Soil Loss Equation)<sup>[7]</sup>,由于该方程的经典性和因子的解释具有物理意义,是目前预测土壤侵蚀最为广泛使用的方法。修正的水土流失方程 RUSLE 根据 USLE 方程中各因子的意义和常用计算方法,结合研究地区的实际情况,确定各因子计算方法,并进行本地化赋值。其计算式如式(1)。

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

式中: $A$ ——单位面积年平均水土流失量[t/(hm<sup>2</sup>·a)]; $R$ ——降雨侵蚀力(MJ·mm/hm<sup>2</sup>·h·a); $K$ ——土壤可蚀性因子(t·h/MJ·mm); $L$ ——坡长因子,无量纲; $S$ ——坡度因子,无量纲; $C$ ——植被与管理因子,无量纲; $P$ ——水土保持措施,无量纲。

2.2.1 降雨侵蚀力  $R$  降雨侵蚀力是降雨引起土壤侵蚀的潜在能力,是土壤侵蚀最重要的外营力之一,在 USLE 中表现为降雨动能及降雨强度的函数。由于各地气象资料很少有降雨动能的记录,因此,需对方程中  $R$  进行简易计算。本文采用文献[8]中的方法,通过修订 Fournier 指数求算  $R$ 。该方法既考虑年降水总量,又考虑降水的年内分布,数据也容易获取,其公式如式(2)。

$$F=\sum_{i=1}^{12}P_i^2/P \quad (2)$$

式中: $i$ ——月份; $P_i$ ——月降雨量(mm); $P$ ——年降雨量(mm)。

利用张宪奎<sup>[9]</sup>计算的 1953—1989 年黑龙江一些气象站点多年平均降雨侵蚀力  $R$  值,将其与该时段的  $F$  值进行回归分析,得到回归系数  $a=2.54$ ,  $b=130.49$ ,进而得到  $R$  的计算公式如式(3)。

$$R=2.54\times F-130.49 \quad (3)$$

选择研究区内各市县气象站点退耕还林前后 2000 年及 2008 年逐月降水数据,通过公式(3)计算其降雨侵蚀力  $R$  值,并在 ArcGIS 中通过空间插值得到 2 期降雨侵蚀力  $R$  空间分布。

2.2.2 土壤可蚀性  $K$  土壤可蚀性是标准径流区单位降雨侵蚀力的土壤流失量,它是指在长时间段内土壤及土壤剖面对降雨侵蚀力抗蚀程度的平均反映。根据土壤各因子指标值查诺谟图,并参照我国学者总结出主要土壤类型的  $K$  值<sup>[13-14]</sup>,得到各土壤类型的  $K$  值。

2.2.3 坡长因子  $L$  采用通用方程 USLE 中的坡长计算公式如式(4)。

$$L=(\lambda/22.1)^m \tag{4}$$

式中:22.1——标准小区坡长(m); $\lambda$ ——水平投影坡长; $m$ ——可变坡长指数,与细沟侵蚀(由水流引起)和细沟间侵蚀(主要由雨滴打击引起)的比值有关。由下式计算<sup>[15]</sup>:

$$m=\beta/(1+\beta) \tag{5}$$

$$\beta=\sin\theta/[0.0896\times(3\times\sin^{0.8}\theta+0.56)] \tag{6}$$

式中: $\theta$ ——角度。在 ArcGIS 的水文分析模块支持下,先通过 DEM 求出负地形,再求出负地形的水流方向、水流长度,也就是求出了正地形的山脊线,与山脊线的垂直距离即为坡长。

2.2.4 坡度因子  $S$  研究区地形以山地为主,坡度较大,因此,USLE 中的  $S$  不太适合研究区。本文采用刘宝元<sup>[12]</sup>的坡度公式:

$$S=\begin{cases} 10.8\sin\theta+0.03 & \theta\leq5^{\circ} \\ 16.8\sin\theta-0.5 & 5^{\circ}<\theta\leq10^{\circ} \\ 21.9\sin\theta-0.96 & \theta>10^{\circ} \end{cases} \tag{7}$$

式中: $S$ ——坡度因子; $\theta$ ——坡度( $^{\circ}$ )。利用 DEM 数据生成坡度图,利用公式(7)得到  $S$  空间分布。

2.2.5 植被与管理因子  $C$   $C$  是指一定条件下,耕作农地上土壤流失量与同等条件下适时翻耕的连续休闲地上的土壤流失量之比。土壤抗蚀性随植被覆盖度的增加而增加,因此,国内许多学者在求  $C$  因子过程中大

都采用植被覆盖度单因子求解  $C$  值,并已取得一定成果。本文采用蔡崇法等<sup>[10]</sup>提出的  $C$  值计算方法:

$$C=\begin{cases} 1 & c=0 \\ 0.6805-0.3436\lg c & 0<c\leq78.3\% \\ 0 & c>78.3\% \end{cases} \tag{8}$$

式中: $C$ ——植被与管理因子; $c$ ——植被覆盖度。在 Erdas 下利用 MODIS 数据生成研究区退耕还林前后两期植被覆盖度  $c$ ,根据公式(8)得到 2 期  $C$  因子空间分布。

2.2.6 水土保持措施因子  $P$  土壤保持措施因子  $P$  是指特定水保措施下的土壤流失量与相应未实施水保措施的顺坡耕作地块的土壤流失量之比。据实地野外考察,研究区水田多为水平梯田,旱田多为坡耕地,因此,参照国内相关研究文献<sup>[9,10,16]</sup>,得到各土地利用类型  $P$  值:水田及沼泽 0.01,旱田 0.35,水域 0,灌木林 0.2,其他用地类型 1。

3 结果分析

3.1 退耕还林前后土壤侵蚀强度变化对比分析  
在 ArcGIS 中利用栅格计算器对各因子进行连乘,得到退耕还林前后两期土壤侵蚀量。根据水利部颁布的侵蚀强度标准,进行再分类,得出研究区土壤侵蚀面积变化(表 1)。

表 1 退耕还林前后土壤侵蚀强度面积变化

年 份	侵蚀强度	侵蚀模数/(t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	像元个数/个	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
2000	微度 I	<200	35651467	32086.32	82.61
	轻度 II	200~2500	1777907	1600.12	4.12
	中度 III	2500~5000	848487	763.64	1.97
	强度 IV	5000~8000	596837	537.15	1.38
	极强度 V	8000~15000	768135	691.32	1.78
	剧烈 VI	>15000	3512802	3161.52	8.14
2008	微度 I	<200	36604340	32943.91	84.82
	轻度 II	200~2500	1440460	1296.41	3.34
	中度 III	2500~5000	696006	626.41	1.61
	强度 IV	5000~8000	531385	478.25	1.23
	极强度 V	8000~15000	3136357	2822.72	7.27
	剧烈 VI	>15000	747087	672.38	1.73

由表 1 可以看出,退耕前研究区侵蚀以微度、剧烈及轻度侵蚀为主,其面积比例分别为 82.61%、8.14%、4.12%;退耕后侵蚀以微度、极强度及轻度侵蚀为主,其面积比例分别为 84.82%、7.27% 及 3.34%。退耕前,剧烈侵蚀主要分布在穆棱北部、林口大部及海林东北部,但退耕后其面积比例由 8.14% 减少到 1.73%;退耕前,极强度侵蚀只在牡丹江沿岸有少量分布,其面积比例只有 1.78%,但退耕后,其面积比例已增加至 7.27%,且主要分布在穆棱北部

及林口南部,呈连接成片的态势;退耕前,微度侵蚀主要分布在宁安及牡丹江市区,林口也有较多分布,其面积比例为 4.12%,但退耕后,其面积比例下降到 3.34%,特别是在宁安地区,其减弱的态势最为明显,但在东宁地区,其面积呈增加态势。造成这一现象的主要原因是牡丹江市区极其南部宁安地区地势较低,312 国道、201 国道及在建的哈绥高速公路均通过此区域,交通十分便利,交通发达带动经济发展,使当地农民对耕地不过分依赖,退耕还林容易实施且受政府

监督力度较高;而北部的林口及穆棱地区以及东南部的东宁地区,由于海拔较高,交通不便,乡镇之间的连通道路经常会被大雨或大雪所切断,落后的经济生产方式及退耕还林后耕地面积的大量减少使当地农民加大耕地的垦殖力度,因此,退耕还林后水土流失态势尽管有所缓和,但形势依然严峻。因此,引导并改善落后的农业经济生产方式,是治理这一区域水土流失的根本措施。

表 2 不同地貌类型土壤侵蚀面积对比

年份	侵蚀强度	平原		丘陵		低山		中山	
		面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
2000	微度Ⅰ	473.04	1.22	7320.71	18.85	23814.28	61.31	478.30	1.23
	轻度Ⅱ	109.47	0.28	1226.44	3.16	260.56	0.67	3.65	0.01
	中度Ⅲ	31.97	0.08	561.40	1.45	165.29	0.43	4.97	0.01
	强度Ⅳ	19.62	0.05	376.04	0.97	136.04	0.35	5.46	0.01
	极强度Ⅴ	22.62	0.06	440.29	1.13	216.68	0.56	11.74	0.03
	剧烈Ⅵ	48.92	0.13	1174.50	3.02	1738.44	4.48	199.66	0.51
2008	微度Ⅰ	422.19	1.09	7485.25	19.27	24342.44	62.67	694.02	1.79
	轻度Ⅱ	123.76	0.32	919.86	2.37	252.59	0.65	0.20	0
	中度Ⅲ	38.56	0.10	414.12	1.07	173.46	0.45	0.27	0
	强度Ⅳ	23.86	0.06	307.56	0.79	146.48	0.38	0.36	0
	极强度Ⅴ	80.31	0.21	1574.48	4.05	1162.60	2.99	5.34	0.01
	剧烈Ⅵ	16.96	0.04	398.10	1.02	253.72	0.65	3.60	0.01

由表 2 可以看出,微度侵蚀在各个地貌类型上均有分布,其中以丘陵及低山分布面积最大,其面积比重分别为 18.85%和 61.31%;退耕后,除平原面积比例稍有降低外,由原来的 1.22%降低至 1.09%,其他地貌类型上的面积比例均有小幅度增加,分别由退耕前的 18.85%、61.31%和 1.23%增加至退耕后的 19.27%、62.67%和 1.79%。轻度侵蚀主要分布在丘陵地带,且退耕后面积比例由 3.16%下降至 2.37%。中度侵及强度侵蚀面积比例过小,退耕还林

3.2 不同地貌类型及坡度等级上土壤侵蚀强度对比分析

将研究区地貌按海拔高度分为 4 种类型:平原(≤200 m)、丘陵(200~500 m)、低山(500~1 000 m)及中山(1 000~3 500 m);将研究区坡度分为 5 个等级:<8°、8°~15°、15°~25°、25°~35°及>35°。将两期土壤侵蚀强度图分别与地貌图及坡度图叠加,得到不同地貌类型及坡度等级上土壤侵蚀强度变化(表 2,3)。

前后的变化不明显;极强侵蚀退耕前在各地貌类型上的面积比例很小,但退耕后面积比例增加迅速,平原、丘陵、低山上的面积比例分别由退耕前的 0.06%、1.13%和 0.56%增加至 0.21%、4.05%%和 2.99%。剧烈侵蚀在各地貌类型上的面积比例呈下降趋势,分别由退耕前的 0.13%、3.02%、4.48%和 0.51%减少至退耕后的 0.04%、1.02%、0.65%和 0.01%。以上分析表明,退耕还林工程使研究区水土流失由剧烈逐步转变成强度,在一定程度上改善了水土流失状况。

表 3 不同坡度等级土壤侵蚀变化对比

年份	侵蚀强度	0~8°		8°~15°		15°~25°		25°~35°		>35°	
		面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %
2000	微度Ⅰ	13851.97	35.66	11089.24	28.55	6374.18	16.41	732.68	1.89	38.25	0.10
	轻度Ⅱ	1573.37	4.05	22.15	0.06	4.48	0.01	0.12	0	0	0
	中度Ⅲ	753.00	1.94	8.41	0.02	1.92	0	0.30	0	0.02	0
	强度Ⅳ	507.15	1.31	29.44	0.08	0.34	0	0.19	0	0.04	0
	极强度Ⅴ	542.41	1.40	147.27	0.38	1.54	0	0.10	0	0.01	0
	剧烈Ⅵ	598.78	1.54	1629.11	4.19	829.68	2.14	97.02	0.25	6.93	0.02
2008	微度Ⅰ	14266.66	36.73	11325.32	29.16	6555.62	16.88	758.37	1.95	37.93	0.10
	轻度Ⅱ	1265.89	3.26	26.09	0.07	4.33	0.01	0.11	0	0	0
	中度Ⅲ	616.12	1.59	7.23	0.02	2.66	0.01	0.38	0	0.01	0
	强度Ⅳ	456.17	1.17	21.18	0.05	0.70	0	0.19	0	0.01	0
	极强度Ⅴ	1220.59	3.14	1349.21	3.47	248.42	0.64	4.38	0.01	0.13	0
	剧烈Ⅵ	1.24	0	196.60	0.51	400.40	1.03	66.98	0.17	7.16	0.02

由表 3 可以看出,微度侵蚀主要分布在 0~25°坡度范围内,退耕前,0~8°、8°~15°和 15°~25°坡度范围的面积比例分别为 35.66%、28.55%和 16.41%;退耕后其面积比例均呈增加态势,分别增加至 36.73%、29.16%和 16.88%。轻度侵蚀、中度侵蚀及强度侵蚀主要分布在 0~8°坡度范围内,且其面积比例分别由退耕前的 4.05%、1.94%和 1.31%下降至 3.26%、1.59%和 1.17%。退耕前极强度侵蚀主要分布在 15°以下坡度范围内,且 0~8°和 8°~15°坡度范围内的面积比例分别为 1.40%和 0.38%;但退耕后其分布范围扩张到 25°以下坡度范围,且各坡度范围面积比例增加显著,分别增至 3.14%、3.47%和 0.64%。退耕前剧烈侵蚀在 0~35°范围内分布,其中以 8°~15°及 15°~25°坡度范围分布最广,面积比例

分别为 4.19%和 2.14%;但退耕后,剧烈侵蚀在各坡度范围内的面积已微乎其微。概括分析,退耕后轻度、中度、强度、剧烈侵蚀在各坡度范围内的面积比例均下降;虽然极强度侵蚀在各坡度范围面积比例增加,但其与剧烈侵蚀的面积和比例退耕后在 8°~15°、15°~25°、25°~35°范围内却显著减少,只有在 0~8°范围内增加;微度侵蚀在各坡度范围内面积比例增加。以上分析表明,退耕还林工程在很大程度上缓和了研究区严峻的水土流失态势,可促进生态环境向好的方向转化。

3.3 不同土地利用类型上土壤侵蚀强度变化对比分析

不同的土地利用类型上土壤侵蚀面积如表 4 所示。

表 4 不同土地利用类型上土壤侵蚀面积								km <sup>2</sup>
年 份	侵蚀强度	水田	旱田	林地	草地	建设用地	沼泽	未利用地
2000	微度 I	1177.21	4947.30	24329.44	989.90	91.42	182.44	0.65
	轻度 II	47.10	1294.41	53.65	27.85	173.99	3.11	0.02
	中度 III	2.52	609.92	63.53	15.39	72.16	0.12	0.01
	强度 IV	0.48	408.30	71.41	11.44	45.49	0.02	0.02
	极强度 V	0.17	470.69	151.13	16.05	53.25	0.01	0.02
	剧烈 VI	0.01	711.73	2304.29	62.84	82.45	0	0.19
2008	微度 I	1168.12	4599.68	25535.77	980.96	94.68	188.04	1.79
	轻度 II	63.39	966.94	59.45	41.60	162.50	1.91	0.62
	中度 III	4.33	461.47	63.71	26.96	68.83	0.16	0.95
	强度 IV	0.92	341.58	70.84	20.15	43.86	0.04	0.86
	极强度 VI	0.35	1242.99	1316.28	116.31	145.02	0	1.77
	剧烈 VI	0	22.73	625.71	16.18	7.71	0	0.04

由表 4 可以看出:退耕还林前后,(1)水田以微度侵蚀及轻度侵蚀为主,二者面积比例和占水田总面积的 99%以上,微度侵蚀及剧烈侵蚀面积些许减少,其他侵蚀类型面积均有所增加;(2)旱田极强度侵蚀面积增加显著,由 470.69 km<sup>2</sup> 增加至 1 242.99 km<sup>2</sup>,其他侵蚀类型面积均减小,其中以剧烈侵蚀减小幅度最大,由 711.73 km<sup>2</sup> 减小至 22.73 km<sup>2</sup>;(3)林地侵蚀强度变化与旱田相似,极强度侵蚀面积急剧增加,由 151.13 km<sup>2</sup> 增加至 1 316.28 km<sup>2</sup>,其他侵蚀类型面积均减小,且以剧烈侵蚀减小幅度最明显,由 2 304.29 km<sup>2</sup>减少至 625.71 km<sup>2</sup>;(4)草地微度侵蚀面积变化不大,极强度侵蚀面积剧烈增加,由 16.05 km<sup>2</sup> 增加至 116.31 km<sup>2</sup>,其他侵蚀类型面积均减小,其中剧烈侵蚀由 62.84 km<sup>2</sup> 减少到 16.18 km<sup>2</sup>;(5)建设用地微度侵蚀变化不大,极强度侵蚀面积增加明显,由 53.25 km<sup>2</sup> 增加至 145.02 km<sup>2</sup>,其他侵蚀类型面积均减少,其中剧烈侵蚀由 82.45 km<sup>2</sup> 减少至 7.71 km<sup>2</sup>;(6)沼泽微度侵蚀面积增加,轻度侵蚀面积

减少,其他侵蚀类型面积比例很小,变化不显著;(7)未利用土地除剧烈侵蚀面积减少外,其他侵蚀类型面积均有较大幅度增加。以上分析表明,退耕还林工程使区域剧烈侵蚀及轻度侵蚀面积大量减少,在一定程度上缓解了严峻的水土流失态势;但是,极强度侵蚀面积的大量增加说明,增强水土保持措施仍然必要,如对坡耕地采取修梯田或在水平等高耕作的基础上进行深耕翻作业,增加土壤的蓄水能力并进一步减少地表径流;对退耕还林地实施保护,防止复耕现象发生等。

4 结 论

通过采用通用水土流失方程 USLE 并对方程中各因子进行本地化处理,对比分析牡丹江地区退耕还林前后水土流失状况,并通过 GIS 对分析结果进行空间化处理。结果表明:退耕还林工程使区域剧烈侵蚀及轻度侵蚀面积大量减少,很大程度上缓解了严峻的水土流失态势;但极强度水土流失面积的增加表明,

- plots[J]. Plant and Soil, 1989, 114: 13-18.
- [7] 白文忠, 王克勤. 抚仙湖典型小流域烤烟坡地产流产沙及氮磷流失特征[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(3): 46-51.
- [8] 宋泽芬, 王克勤, 杨云华, 等. 澄江尖山河小流域不同土地利用类型面源污染输出特征[J]. 水土保持学报, 2008, 22(2): 98-101.
- [9] 王克勤, 宋泽芬, 李太兴, 等. 抚仙湖一级支流尖山河小流域的面源污染物贡献特征[J]. 环境科学学报, 2009, 29(6): 1321-1328.
- [10] 司友斌, 王慎强, 陈怀满. 农田氮磷的流失与水体富营养化[J]. 土壤, 2000(4): 188-193.
- [11] 高效江, 胡雪峰, 王少平, 等. 淹水稻田中氮素损失及其对水环境影响的试验研究[J]. 农业环境保护, 2001, 20(4): 196-198.
- [12] 袁东海, 王兆骞, 陈欣, 等. 红壤小流域不同利用方式氮磷流失特征研究[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 189-198.
- [13] 李定强, 王继增, 万洪富, 等. 广东省东江流域典型小流域非点源污染物流失规律研究[J]. 水土保持学报, 1998, 12(3): 12-18.
- [14] 刘忠翰, 彭江燕. 化肥氮素在水稻田中迁移与淋失模拟研究[J]. 农村生态环境, 2000, 16(2): 9-13.
- [15] 袁东海, 王兆骞, 陈欣, 等. 红壤小流域不同利用方式氮磷流失特征研究[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 189-198.
- [16] 梁新强, 田光明, 李华, 等. 天然降雨条件下水稻田氮磷径流流失特征研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 59-63.
- [17] 郝瑞卿, 孙彦君, 王继红. 自然降雨对黑土地表氮素养分流失的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 59-63.
- [18] 谢云, 刘宝元, 章文波. 侵蚀性降雨标准研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 6-11.
- [19] 魏林宏, 张斌, 程训强. 水文过程对农业小流域氮素迁移的影响[J]. 水利学报, 2007, 38(9): 1145-1150.
- [20] 徐泰平, 朱波, 汪涛, 等. 不同降雨侵蚀力条件下紫色土坡耕地的养分流失[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 139-144.
- [21] 高扬, 朱波, 王玉宽, 等. 自然和人工模拟降雨条件下紫色土坡地的磷素迁移[J]. 水土保持学报, 2006, 20(5): 34-37.
- [22] 吴希媛, 张丽萍, 张妙仙, 等. 不同雨强下坡地氮流失特征[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4576-4582.

(上接第 18 页)

需采取相关配套措施以期彻底改善区域水土流失状况, 包括修筑梯田、保护退耕还林地防止复耕等, 但根本措施在于发展区域经济, 调整农业生产结构, 减弱贫穷落后区域农民对耕地的过分依赖。此外, 论文只是从水土流失状况角度评价退耕还林对区域水土流失的影响, 有关退耕后水土流失状态是否稳定、区域水土流失的驱动因素及驱动机制等还需要进一步深入探讨。

#### 参考文献:

- [1] 王占礼. 中国土壤侵蚀影响因素及其危害分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 32-36.
- [2] Stednick J D. Monitoring the effect of timber harvest on annual water yield[J]. Hydrology, 1996, 176: 79-95.
- [3] 解培君, 李立新, 陈英智. 牡丹江市水土保持生态环境建设问题浅析[J]. 水土保持情报, 2009(3): 29-31.
- [4] 刘斌, 罗全华, 常文哲, 等. 不同林草植被覆盖度的水土保持效益及适宜植被覆盖度[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(6): 68-73.
- [5] 戚伯华. 调整土地利用结构, 构建“大牡丹江”生态框架[J]. 国土与自然资源, 2009(3): 40-41.
- [6] 刘纪远. 国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[J]. 遥感学报, 1997, 1(3): 225-230.
- [7] Wischmeier W H. A soil erodibility nomograph farm land and Construction sites[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1971, 26: 189-193.
- [8] Arnoldus H M J. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet-and rill erosion in Morocco[J]. FAO Soil Bulletin, 1977, 34: 39-51.
- [9] 张宪奎, 许靖华, 卢秀芹, 等. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报, 1992, 12(4): 1-10.
- [10] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等. 应用 USLE 和地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 19-24.
- [11] McCool D K, Foster G R, Mutchler C K, et al. Revise slope length factor for the universal soil loss equation [J]. Transactions of ASAE, 1989, 32: 1571-1576.
- [12] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37: 1835-1840.
- [13] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1-20.
- [14] 符素华, 张卫国, 刘宝元. 北京山区小流域土壤侵蚀模型[J]. 水土保持研究, 2001, 8(4): 114-120.
- [15] Moore I D, Wilson J P. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1992, 47: 423-428.
- [16] 黄金良, 洪华生, 张珞平, 等. 基于 GIS 和 USIE 的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 750-79.