

北京郊区近 13 年来水土流失变化监测分析 ——以房山区为例

葛忠强^{1,2}, 赵春江², 鲁绍伟¹, 刘良云², 王纪华², 潘瑜春²

(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089)

摘要:以 Land - sat TM5 在 1992 年、2001 年、2004 年的三期遥感影像为数据源, 采用美国农业部通用土壤流失方程 RUSLE 计算和分析了北京郊区房山区 1990 年以来的水土流失量和水土流失面积变化, 并在此基础上利用主成分分析法进一步分析比较了土地利用变化对水土流失的影响。分析结果认为, 研究区三年间均以轻度水土流失为主, 但三年间总体水土流失以 2004 年最严重, 2001 年最轻。不同的土地利用类型对三年的水土流失影响不同, 未利用地水土流失严重程度 2004 年 > 1992 年 > 2001 年, 农田 1992 年 > 2004 年 > 2001 年, 草地 2001 年 > 1992 年 > 2004 年, 林地 2004 年 > 1992 年 > 2001 年。研究区历年总体水土流失变化与林地水土流失变化一致, 反映了林地水土流失对研究区内的水土流失起主导作用, 揭示了保护和绿化好林地, 降低林地水土流失程度对减缓和降低研究区的水土流失具有重要作用。

关键词:水土流失变化; 土地利用变化; 遥感; 主成分分析; 北京郊区

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)05-0288-04

Monitoring and Analyzing the Soil Erosion Changes in Beijing Suburb During the Latest Thirteen Years ——A Case Study of Fangshan County of Beijing Suburb

GE Zhong-qiang^{1,2}, ZHAO Chur-jiang², LU Shao-wei¹,
LIU Liang-yun², WANG Ji-hua², PAN Yu-chun²

(1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. National Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100089, China)

Abstract: Based on three times RS images of Landsat TM5 in 1992, 2001 and 2004, the area and quantity changes of soil erosion in Fangshan county, which was selected as one case of soil erosion area in Beijing suburb, were derived using RUSLE equation from USDA. And the effect on soil erosion from LUCC since 1990s was researched and compared using principle component analyses. As the result showed, the research results by using the different parameters of soil erosion quantity and soil erosion area, were consistent. During the three years, light level of soil erosion was always dominant on the whole area erosion. The soil erosion in 2004 was the most severe, just the opposite, the soil erosion in 2001 was the most light. The effect of different LUCC types on soil erosion was also different. On naked land, the soil erosions were severe by the following sequence that one of 2004 > one of 1992 > one of 2001. Otherwise on field land, it was the sequence of one of 1992 > one of 2004 > one of 2001, and on the grassland, it was one of 2001 > one of 1992 > one of 2004, while on forestry land, it was one of 2004 > one of 1992 > one of 2001. Based on the consistent changes of soil erosion in different years and that on forestry land in different years, it is showed out that the soil erosion on forestry land is dominant on that of the research area. So it is very important to relieve the soil erosion by protecting and foresting the forestry land in the research area.

Key words: changes of soil erosion; LUCC; remote sensing; principle component analyses; suburb of Beijing

随着人口的增多和经济的发展, 水土流失越来越成为我国生态环境的主要破坏因素之一。水土流失对北京市的生态环境破坏十分严重。建国初期, 北京市土壤侵蚀面积 6 640 km²; 根据全国第三次土壤侵蚀遥感调查, 2000 年北京市水土流失面积 4 089 km²^[1], 水土流失成为影响北京生态环境质量诸多因子中最为关键的制约因子。

水土流失监测是水土流失治理的先期工作。水土流失监测手段包括常规地面调查法和定性遥感法^[2], 而定性遥感法以其快速、简单、宏观等特点而在国内外得到广泛应用, 并建立了众多的遥感侵蚀监测模型^[3]。其中, 从数据适用性和应用范围而言, 以美国农业部建立的通用土壤流失方程 (RULE) 及其后续的修正方程 RUSLE 应用为佳。以 RU-

* 收稿日期: 2006-05-15

基金项目: 北京自然科学基金项目 (4061002) 资助

作者简介: 葛忠强 (1968 -) 男, 博士研究生, 主要从事“3S”技术在资源环境监测中的应用; 通讯作者: 赵春江, 研究员, 博士生导师, 国家农业信息化工程技术研究中心。

SLE 方程为监测模型,国内外做了大量的水土流失研究,包括对方程中各因子的计算和各因子参数的本地化^[4-12],使该方程的适用范围和监测精度得到进一步提高。因此,本文选择美国 RUSLE 方程监测和比较了北京市郊区(选定房山区为研究代表区域)近十几年来水土流失的变化,并分析了土地利用变化对水土流失的影响。

1 数据及预处理

遥感影像选择 Landsat TM5 为数据源,选用 1992 年 9 月 7 日、2001 年 8 月 31 日、2004 年 9 月 8 日的 12332、12333 轨道三期影像,对遥感影像采用线性回归法^[13]进行了相对辐射校正,并统一进行了几何校正、图像的镶嵌和边界切割等处理。然后在监督分类与人机交互相结合分类法的基础上,对遥感影像采用分区、逐步掩模的多步骤分类法^[14],把研究区域分为六种土地利用类型,即:林地、草地、农田、水域、居民点及建设用地、未利用地。利用 TM3、TM4 波段计算了研究区的植被指数 NDVI,并利用 NDVI 采用像元二分模型法^[15]提取了研究区的植被覆盖度。土壤数据来自中国科学院网络数据共享组提供的北京市第五次土壤普查数据,并经 Kriging 法空间插值成 30 m ×30 m 的空间数据;气象数据来自北京市气象局有关房山区的多年气象资料。其他辅助数据还包括房山区数字高程模型(DEM)、房山区 1990 年、2000 年土地利用图。以上空间数据均统一成北京 54 坐标系统,空间分辨率 30 m ×30 m。

2 水土流失监测方法

本次试验采用美国农业部水土流失通用方程(RUSLE)公式^[7](1) 进行分析:

$$A = f \cdot R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P \tag{1}$$

式中: A ——土壤年流失量($t/(km^2 \cdot a)$); $f=224.2$,是单位转换系数; R ——降雨侵蚀力因子; K ——土壤可蚀性因子; S ——坡度因子,无量纲单位; L ——坡长因子,无量纲单位; $S \cdot L$ 合称为地形因子; C ——植被因子,无量纲单位,最小值为 0,最大值为 1; P ——保土因子,无量纲单位,最小值为 0,最大值为 1。

模型中的 R 因子和 K 因子是在 ARCGIS 中由两个因子的矢量图转化成栅格图,其他四个因子分别在遥感图像处理软件 ENVI 中生成相应的图层,转化成 geotiff 格式,利用 ARCGIS 进行栅格图层运算,最终计算出研究区的水土流失量。

2.1 R 因子的计算

R 因子的计算采用马志尊^[16]应用于海河流域太行山区的计算公式(2):

$$R = \prod_{i=1}^{12} 1.2157 \cdot 10^{1.5 \cdot \lg \frac{p_i}{p}} \cdot 0.8188 \tag{2}$$

式中: p_i ——各月平均降雨量(mm); p ——年平均降雨量(mm)。

由于只有房山区气象站的一个站点资料,因此根据该气象站的降雨量资料,整个研究区每年的 R 值只有一个,即 $R_{1992}=91.562$, $R_{2001}=86.95$, $R_{2004}=114.33$ 。

2.2 土壤可蚀性因子(K)的计算

土壤可蚀性因子是雨滴和地表径流水对土壤表层剥离的难以程度,反映了土壤本身抗水蚀的能力。 K 值的大小主要受土壤机械组成和土壤有机质含量两个因子决定。本研究采用 Sharpley 等人^[17]提出的 EPIC(Erosion - Productivity Impact Calculator)模型(3),计算公式为:

$$K = \{0.2 + 0.3 \cdot \exp[-0.0256 \cdot SAN \cdot (1 - SIL/100)]\} \cdot \left(\frac{SIL}{SLA + SIL}\right)^{0.3} \cdot \left[1.0 - \frac{0.25 \cdot C}{C + \exp(3.72 - 2.59 \cdot C)}\right] \cdot \left[1.0 - \frac{0.7 \cdot SN}{SN + \exp(-5.51 + 2.95 \cdot SN)}\right] \tag{3}$$

式中: SAN ——土壤砂粒含量,%; SIL ——土壤粉砂含量,%; SLA ——土壤黏粒含量,%; C ——土壤有机质含量,%; $SN=1-SAN/100$ 。

研究中的土壤数据来自中国科学院网络数据共享组提供的北京市 1:100 万第五次土壤普查数据库。在 ARCGIS 中通过矢量属性表进行运算,生成 1:100 万的 K 因子图,然后进行空间内插生成 30 m ×30 m 的 K 因子图。

2.3 地形因子 S ×L 的计算

地形因子 $S \times L$ 反映了地形地貌对土壤侵蚀的影响。坡长因子 S 计算:

本研究利用 Wischmeier 和 Smith^[18] 提出的坡长为 (m) 坡地上的平均侵蚀量计算公式(4)进行计算:

$$L = (22.13)^m \tag{4}$$

式中: L ——坡长因子,——坡长, m ——坡长指数,22.13 是 RUSLE 采用的标准小区坡长(m)。坡长指数 m 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)的比率有关, m 值由下式(5)计算^[19]:

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

$$\text{值由下式(6)计算}^{[20]}: \\ = (\sin / 0.0896) / [3.0 \cdot (\sin)^{0.8} + 0.56] \tag{6}$$

$$= D / \cos \tag{7}$$

式中,——坡度角,(°); D ——像元尺度坡长。值是按照水流方向确定的,在 ARCGIS 中利用研究区的 DEM 确定水流方向,当水流方向为 1、4、16、64 时, $D=d$, 水流方向为 2、8、32、128 时, $D=2d$ 。

坡度因子的计算: 本文采用公式(8)、(9)、(10)计算坡度因子 S :

$$S = 10.8 \sin + 0.03 < 5.14^\circ \tag{8}$$

$$S = 16.8 \sin - 0.50 \quad 5.14^\circ \sim 10^\circ \tag{9}$$

$$S = 21.91 \cdot \sin - 0.96 > 10^\circ \tag{10}$$

式中:——坡长(m);——坡度角(°)。利用公式 3、7、8、9、10 分别计算了研究区的坡度因子 S 、坡长因子 L 后,把二者相乘得到研究区的地形因子 $S \times L$ 。

2.4 C 因子的估算

本文 C 因子计算采用卜兆宏等^[21]根据土壤年流失量及有关参数资料反演出的基于植被覆盖度的自然植被区 C 因子算式(11):

$$C = 0.4149 - 0.0052c, C = 0.4399 - 0.0058c, C = 0.4500 - 0.0079c \tag{11}$$

式中: C ——水土保持 C 因子, c ——分别是 7 月份、8 月份、全年平均的植被覆盖度。遥感植被指数换算成植被覆盖度,代入上式直接计算出自然植被区的 C 因子值。对研究区非自然植被的坡耕地,则通过查表法确定。在本研究中,利用 8 月底和 9 月初的 TM 遥感影像,提取植被覆盖度,通过上式计算自然植被区和裸地的植被覆盖因子。对研究区的农耕地,通过 2004 年 9 月份的野外调查可知,丘陵平原区一般以小麦玉米连作为主,山区一般以小麦、玉米、谷子、黄豆的单作种植方式为主。在 TM 影像中,所能获取的只是地表农耕地的植被覆盖度,而对于农耕地具体的作物种类则无法获知,鉴于此,本研究对农耕地的 C 因子做了简化处理,海拔高度在 500 m 以下的丘陵、台地和平原地区, C 因子取小麦 - 玉米连作方式下的 C 因子值,即 $C=0.28$,而在海拔高度位于 500 m 以上的山区农耕地, C 因子取四种作物小麦、玉米、谷子、黄豆在单作种植下的 C 因子平均值,即 $C=0.435$ 。

2.5 P 因子的估算

本研究中,对 P 因子的估算采用了以下方法^[21]:对自然植被区、裸地以及坡度大于等于 25 的坡耕地,取 $P=1$;对于

坡度在 5~25 的坡耕地,则依据坡度的大小取值在 0.02~0.7,对于坡度小于 5 的农耕地,取 $P=0.01$ 。

3 水土流失变化分析

把上述计算得到的各因子代入公式(1)中,即可计算出该区域的水土流失强度。

3.1 年际间水土流失强度变化分析

表 1 研究区不同年份水土流失强度

统计年份	统计特征值比较			区域水土流失总量 ($10^6\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$)
	最小值	最大值	平均值	
1992 年	0.17	73198.65	1477.43	2.66
2001 年	0.16	68625.59	1074.83	1.89
2004 年	0.21	89341.93	1776.90	3.02

注:水土流失区域均不包括水域、居民点及其它建设用地。
在水土流失通用方程中,影响区域水土流失年际间变化的因子主要是降雨因子 R 和植被因子与人工保护措施因子 $C\times P$ 。研究区 3 年间降雨量的变化分别为 535.2 mm、386.7 mm、469.7 mm,降雨侵蚀力因子分别为 91.56、86.95、114.33,而区域内植被覆盖度的平均值分别为 0.717、0.672、0.638, $C\times P$ 因子区域平均值在年际间的变化分别是 0.043、0.036、0.043。3 年间 R 因子与 $C\times P$ 因子的积 $R\times C\times P$ 分别为:3.967、3.092、4.908,由表 1 可以看出,水土流失统计量在 3 个研究年份间的变化均表现为 2004 年>1992 年>2001 年,与年际间的 $R\times C\times P$ 因子变化一致。

3.2 年际间不同等级区域水土流失面积变化评价

根据水利部土壤侵蚀面蚀分级标准,把研究区水土流失状况按水土流失强度分为 6 级,即微度[小于 $200\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$]、轻度[$200\sim2\,500\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$]、中度[$2\,500\sim5\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$]、强度[$5\,000\sim8\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$]、极强度[$8\,000\sim15\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$]和剧烈[大于 $15\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$]。

表 2 研究区年际间水土流失强度各等级面积(%)变化

等级	1992 年	2001 年	2004 年
微度	34.87	38.63	28.35
轻度	43.26	40.72	43.92
中度	5.40	3.94	5.17
强度	2.98	2.08	3.02
极强度	2.30	1.55	2.51
剧烈	1.53	0.87	2.01
轻度以上水土流失总面积比例	55.46	49.16	56.64

注:水土流失总面积中不包括微度流失面积,微度水土流失面积不包括居民点、建设用地和水域面积。

由表 2 可以看出,各研究区水土流失强度等级区域面积随水土流失强度的增强而减小,研究区水土流失以轻度流失为主,占整个研究区域总面积的 43%左右,其中,以 2001 年面积最小,2004 年面积最大。微度流失面积则以 2001 年最大,2004 年最小。在其他水土流失强度等级类型中,除中度级以外各类型水土流失面积均为 2004 年>1992 年>2001 年,在中度级是 1992 年>2004 年>2001 年。轻度级以上的水土流失总面积表现为:2004 年>1992 年>2001 年,由此可以看出,整个研究区域水土流失程度以 2001 年最轻,1992 年次之,2004 年最重。

为了更加客观的看出研究区水土流失变化情况,对 3 年的水土流失面积作了主成分分析(表 3)。

由表 3 可知,第一主成分的贡献率已达 92.977%,其特征根为 5.58,已经大于 1,因此,主成分分析过程中,只提取了第一主成分。由主成分载荷矩阵可知,第一主成分中,6 个级别的水土流失强度分为两组,第一组为微度级的水土流失强度,其他为第二组,微度级与第一主成分成负相关,其他

各级与第一主成分成正相关,由此可以看出,第一主成分反映了研究区水土流失的强烈程度,第一主成分得分越大,说明研究区的水土流失强度越大。通过主成分分析得到的研究区 3 年的第一主成分得分是,Factor11992 = 0.33, Factor12001 = -1.12, actor12004 = 0.79,由 3 年的第一主成分得分可以看出,3 年的水土流失总体严重状况为:2004 年>1992 年>2001 年。

表 3 水土流失面积主成分分析总方差解释度

主成分	原始特征值			主成分提取结果			主成分载荷	
	特征值	主成分贡献率/%	主成分累计贡献率/%	特征值	主成分贡献率/%	主成分累计贡献率/%	变量	载荷
1	5.58	92.98	92.98	5.58	92.98	92.98	微度	-0.90
2	0.42	7.02	100				轻度	1.00
3	0.0000	4.98E-15	100				中度	0.93
4	0.0000	-1.78E-15	100				强度	0.98
5	0.0000	-3.71E-15	100				极强度	1.00
6	0.0000	-2.15E-14	100				剧烈	0.98

提取方法:主成分分析

3.3 年际间不同等级区域水土流失量变化评价

水土流失程度受水土流失面积和水土流失强度共同影响,因此,由水土流失面积和水土流失强度乘积所得的水土流失量是水土流失程度的更为直接的指标,为了客观的看出研究区水土流失变化情况,对 3 年的水土流失量进行了分析。

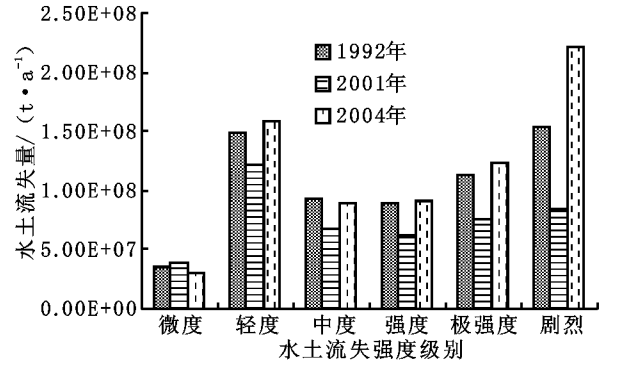


图 1 研究区年际间水土流失量变化分析

由图 1 可以看出,除中度级以外,三年间轻度级以上的水土流失量变化均为 2004 年>1992 年>2001 年,中度级以 2001 年最低,1992 年略大于 2004 年。在微度级是 2001 年>1992 年>2004 年,由此可以直观的判断出三年的水土流失严重程度依次为 2004 年>1992 年>2001 年。

由表 4 可知,第一主成分的贡献率已达 92.68%,其特征根为 5.56,已经大于 1,因此,主成分分析过程中,只提取了第一主成分。由主成分载荷矩阵可知,第一主成分中,六个级别的水土流失强度分为两组,第一组为微度级的水土流失强度,其他为第二组,微度级与第一主成分成负相关,其他各级与第一主成分成正相关,由此可以看出,第一主成分反映了研究区水土流失的强烈程度,第一主成分得分越大,说明研究区的水土流失强度越大。通过主成分分析得到的研究区三年的第一主成分得分分别是,Factor11992 = 0.34, Factor12001 = -1.13, Factor12004 = 0.79,由 3 年的第一主成分得分可以看出,三年的水土流失总体严重状况为:2004 年>1992 年>2001 年。对 3 年各水土流失强度等级的水土流失量进行了主成分分析(表 4)。

3.4 不同土地利用类型对水土流失量的变化影响

不同土地利用类型对水土流失的影响不同,为了探索土地利用类型对水土流失程度的影响,以同一土地利用类型的不同年份间各级水土流失量为原始变量,对水土流失量进行了主成分分析,以评价同一土地利用类型不同年份间的水土

流失变化,进而评价不同土地利用类型对水土流失的影响。主成分分析结果见表 5。

表 4 水土流失量主成分分析总方差解释度

主成分	原始特征值			主成分提取结果			主成分载荷	
	特征值	主成分贡献率/%	主成分累计贡献率/%	特征值	主成分贡献率/%	主成分累计贡献率/%	变量	载荷
1	5.56	92.68	92.68	5.56	92.68	92.68	微度	-0.90
2	0.44	7.31	100.00				轻度	1.00
3	1.41E-15	2.35E-14	100.00				中度	0.92
4	2.09E-16	3.49E-15	100.00				强度	0.98
5	-1.49E-16	-2.49E-15	100.00				极强度	1.00
6	-3.02E-16	-5.03E-15	100.00				剧烈	0.97

提取方法:主成分分析。

表 5 各土地利用类型不同年份间水土流失量主成分分析比较

土地利用类型	未利用地			农田			草地			林地
主成分	第一主成分	第二主成分	总变量	第一主成分	第一主成分	第二主成分	总变量	总变量	总变量	第一主成分
1992 年	-1.14	-0.18	0.03	0.75	0.19	-1.14	-0.35	-0.12	-0.12	
2001 年	0.72	-0.90	-1.02	-1.14	0.89	0.74	0.83	-0.93	-0.93	
2004 年	0.42	1.08	0.98	0.39	-1.08	0.40	-0.50	1.06	1.06	
微度	1.00	-0.03	0.62	-0.77	0.97	-0.23	0.48	-1.00	-1.00	
因轻度	-0.93	-0.36	-0.73	0.99	0.57	-0.82	0.01	1.00	1.00	
子中度	0.80	0.60	0.73	0.99	0.84	-0.54	0.31	1.00	1.00	
载强度	-0.07	-1.00	-0.39	0.99	1.00	0.01	0.62	1.00	1.00	
荷极强度	0.93	0.38	0.75	1.00	0.74	0.67	0.72	1.00	1.00	
剧烈	0.64	0.77	0.68	1.00	-0.05	1.00	0.33	1.00	1.00	
贡献率/%	63.13	39.87	100.00	92.10	63.91	36.09	100.00	99.86	99.86	

由表 5 可知,未利用地的第一主成分中各级别的水土流失分为两组,第一组是微度级、中度极、极强度级和剧烈级,与第一主成分成正相关,第二组是轻度极和强度级,与第一主成分成负相关,而第一主成分代表微度级、轻度级和极强度级的水土流失量,因此,由第一主成分得分很难判定水土流失变化情况,而第二主成分得分中各级别的水土流失也分为两组,第一组是微度级、轻度级、强度级,与第二主成分成负相关,第二组是中度极、极强度级和剧烈级,与第二主成分成负相关,而第二主成分代表强度级的水土流失量,因此,第二主成分反映了未利用地的水土流失轻微程度,第二主成分得分越高,水土流失越严重。由第二主成分得分高低可以看出三年间未利用地由水土流失量所表现出来的水土流失严重程度依次为 2004 年>1992 年>2001 年。

农田、林地的第一主成分均大于 85%,因此,该两种土地利用类型的第一主成分均可以代表相应年份间水土流失的总体变化。由因子载荷可知,农田和林地的第一主成分与微度级成负相关,而与轻度级以上的水土流失量成正相关,因此,其第一主成分越大,说明轻度度级以上的水土流失量越大,水土流失越严重,相反则水土流失越轻微,因此,农田和林地的第一主成分得分高低可以判定,三年间农田水土流失程度为 1992 年>2004 年>2001 年,林地水土流失程度为 1992 年>2004 年>2001 年。

草地的第一主成分代表了极强度级和剧烈级的水土流失

参考文献:

[1] 北京市水利局. 2003 水土流失监测公报[EB/OL]. <http://www.bjwater.gov.cn/showArticle.asp?ArticleID=2294>.
[2] 卜兆宏, 孙金庄, 等. 水土流失定量遥感方法及其应用的研究[J], 土壤学报, 1997, 34(3): 235 - 245.
[3] M J 柯可比, R P C 摩根. 土壤侵蚀[M]. 王礼先等译. 北京: 水利电力出版社, 1987.
[4] 卜兆宏, 宫世俊, 阮伏水, 等. 降雨侵蚀力因子的算法及其在土壤流失量监测中的选用[J]. 遥感技术与应用, 1992, 7(3): 1 - 10.

流失,而且第一主成分与强度级以上的水土流失量成正相关,而与中度级以下的水土流失量成负相关,由此可以看出,第一主成分的得分高低反映了水土流失的轻微程度,得分越高,水土流失越严重,相反,得分越低,水土流失越轻微。根据草地的第一主成分得分情况,三年间草地的水土流失严重程度 2001 年>2004 年>1992 年。

表 6 同一土地利用类型不同年份间水土流失量变化对照

土地利用类型	水土流失量
未利用地	2004 年>1992 年>2001 年
农田	1992 年>2004 年>2001 年
草地	2001 年>1992 年>2004 年
林地	2004 年>1992 年>2001 年
总体	2004 年>1992 年>2001 年

通过以上分析结果(表 6)可知,不同土地利用类型在不同年份间水土流失变化不同,但区域内水土流失的总体变化与林地内的变化相一致,这与林地是研究区域主体的用地类型相一致。由此可见,林地水土流失状况主导着整个研究区域的水土流失,建设好林地的植被覆盖,对于改善和控制整个区域的水土流失起着主导作用。

4 结论与讨论

通过对研究区 1992 年、2001 年、2004 年的水土流失变化的计算和分析,可以得到以下几方面的结论:

(1) 研究区三年的水土流失总量分别为 2.66×10^6 t/a、 1.89×10^6 t/a、 3.02×10^6 t/a,三年间的水土流失总体严重程度表现为:2004 年>1992 年>2001 年。

(2) 研究区各水土流失强度等级面积随水土流失强度的增强而减小,各年份内水土流失均以轻度流失为主,轻度流失面积分别占整个研究区域总面积的 43.26%、40.72%、43.92%,轻度级以上的水土流失总面积分别占全区总面积的 55.46%、49.16%、56.64%,在其他水土流失强度等级类型中,除中度级以外水土流失面积均为 2004 年>1992 年>2001 年,在中度级是 1992 年>2004 年>2001 年。根据三年间水土流失面积主成分分析评价结果,研究区三年间水土流失程度由强到弱的变化是 2004 年>1992 年>2001 年。

(3) 3 年间各水土流失等级区域内的水土流失量变化表现为:微度流失区 2001 年>1992 年>2004 年,中度流失区 1992 年>2004 年>2001 年,其他流失区均为 2004 年>1992 年>2001 年。根据 3 年间水土流失量主成分分析评价结果,研究区 3 年间水土流失程度由强到弱的变化是 2004 年>1992 年>2001 年。

(4) 各土地利用类型的水土流失程度在不同年份间的变化表现不一,但区域内总体的水土流失程度由强到弱的变化是 2004 年>1992 年>2001 年,与林地水土流失程度变化状况相同,说明林地水土流失在研究区域的水土流失中占据着主导地位。

(5) 本试验的目的是为了比较不同年份间的水土流失相对变化,土壤和 DEM 等基础数据及模型参数计算方法对不同年份水土流失监测结果的影响具有一致性,对多年间的水土流失变化比较结果影响很小。

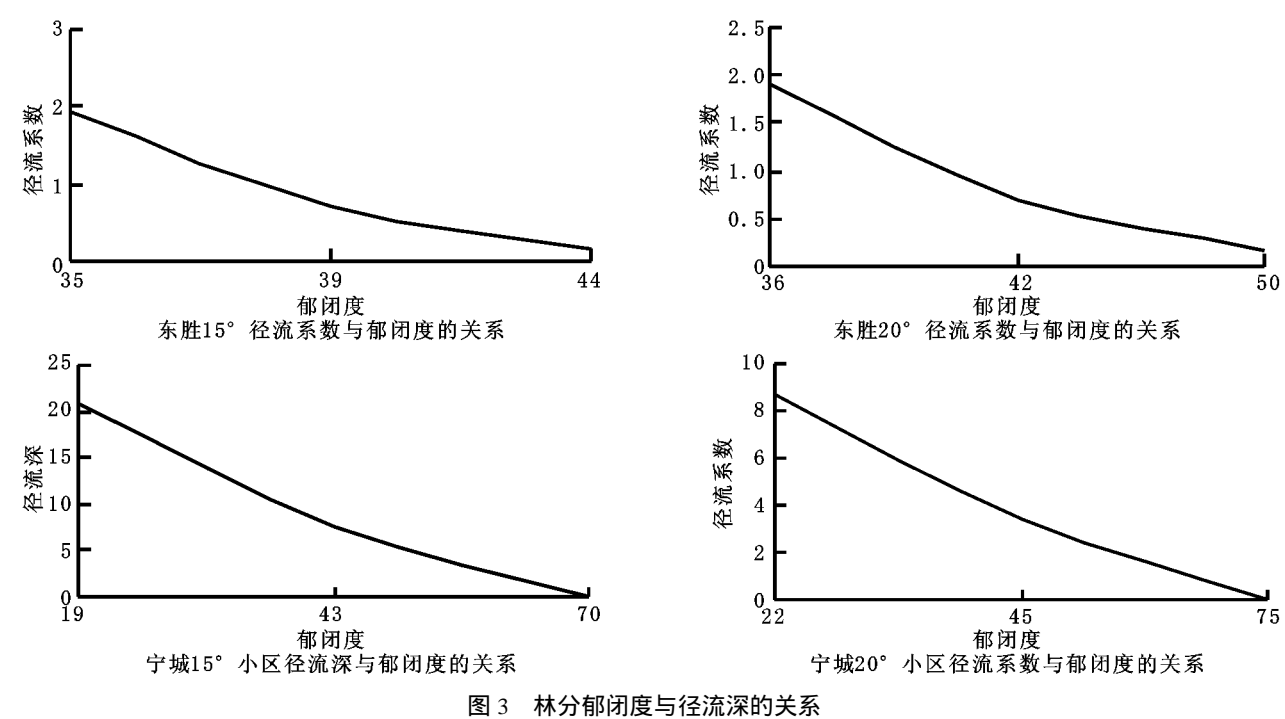


图 3 林分郁闭度与径流深的关系

(下转第 298 页)

(上接第 291 页)

[5] 卜兆宏,唐万龙,等.像元坡度新算法的初步研究[J].遥感技术与应用,1993,8(1):1-6.

[6] 赵富梅,赵宏夫.应用新算法编制永定河上游张家口地区R值图的研究[J].海河水利,1994,(2):47-51.

[7] 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.

[8] 叶芝菡,刘宝元,章文波,等.北京市降雨侵蚀力及其空间分布[J].中国水土保持科学,2003,1(1):16-20.

[9] Wischmeier W H. Rainfall erosion potential: geographic and location differences of distribution[J]. Agricultural engineering, 1962, 43 :212 - 215.

[10] Hession, W C, et al. A geographic information system for targeting nonpoint-source agricultural pollution[J]. Soil and Water Conservation, 1988, 43(3): 264 - 266.

[11] Renard K G, Freimund J R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the Revised USLE[J].Journal of Hydrology, 1994, 157: 287 - 306.

[12] Yu B, Rosewell C J. An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales[J]. Australian Journal of Soil Research, 1996, 34: 139 - 152.

[13] Elvidge C D, Yuan D, Weerackoon R D, et al. Relative radiometric normalization of Landsat Multispectral Scanner (MSS) data using an automatic scatter gram - controlled regression[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1995, 61(10): 1 255 - 1 260.

[14] 许榕峰,徐涵秋.多步骤分类法在土地利用/覆盖专题提取中的应用[J].福州大学学报(自然科学版),2003,31(4):408-412.

[15] 李苗苗,吴炳方,延长珍.密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J].资源科学,2004,26(4):153-159.

[16] 马志尊.应用卫星影像估算通用土壤流失方程各因子值方法的探讨[J].中国水土保持,1989,(3):24-27.

[17] Sharpley, A N, J R Williams. EPIC - Erosion/ Productivity Impact Calculator: 1. Model documentation[M]. USDA Tech. Bull. No. 1768.1990.

[18] Wischmeier W H, D D Smith. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. U. S. Department of Agriculture[M]. Agricultural Handbook No. 537. Science and Education Administration, United States Department of Agriculture, 1978.

[19] Foster, G R, L D Meyer, C A Onstad. A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates[J]. Trans. ASAE 20:683 - 687.

[20] McCool, D K, G R Foster, C K Mutchler, et al, Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation[J]. Trans. ASAE, 1989, 32:1 571 - 1 576.

[21] McCool, D K, L C Brown, G. R Foster, et al, Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation[J]. Trans. ASAE, 1987, 30:1 387 - 1 396.