

松花江流域哈尔滨城区段土壤侵蚀 时空格局及动态变化研究

龚文峰¹, 蔡体久², 范文义²

(1. 黑龙江大学 水利水电学院, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 东北林业大学 林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 以松花江流域哈尔滨城区段为研究区域, 以 ArcGIS 为分析平台, 对 1995—2005 年土壤侵蚀时空格局及其动态变化进行了研究。在 DEM 基础上, 分析土壤侵蚀时空变化地貌特征的空间分布。结果表明, 水力侵蚀是松花江流域土壤侵蚀的主要形式, 以微度侵蚀为主; 在 0—400 m 高程范围内, 微度—轻度、轻度—微度、轻度—中度和中度—强度侵蚀相互转换剧烈; 土壤侵蚀变化随着坡度的增加而减少且变化主要集中在坡度小于 25° 的区域上, 0°~6° 的区域, 土壤侵蚀主要集中在 0.5°~5° 的坡耕地, 6°~15° 区域, 微度—轻度和轻度—微度侵蚀相互交换相对剧烈; 土壤侵蚀变化的坡向特征呈现双峰现象, 各种强度水力侵蚀的变化主要集中在阴坡(东北)与阳坡(西南)两个坡向, 微度侵蚀变化量在平地的面积比重较大。

关键词: 土壤侵蚀; 时空格局; 地形因子; 空间分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)05-0056-05

中图分类号: S157, TP79

Spatiotemporal Pattern and Dynamic Changes of Soil Erosion in Harbin Region of Songhuajiang Watershed

GONG Wen-feng¹, CAI Ti-jiu², FAN Wen-yi²

(1. College of Hydropower, Heilongjiang University, Harbin, Heilongjiang 150086, China;

2. College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China)

Abstract: Taking Harbin region for an example, the spatiotemporal pattern and dynamic changes of soil erosion in Songhuajiang watershed from 1995 to 2005 are studied by using the ArcGIS and DEM. The topographic characteristics of spatial distribution of soil erosion is analyzed based on the DEM. Results show that water erosion is the main form of soil erosion in the watershed. Weak erosion mainly occurs at the altitude between 0 and 400 m where the transformation of weak—slight erosion, slight erosion—weak erosion, slight—moderate erosion, and moderate—intensive erosion in the area are intensive. Erosion changes mainly occur in the area less than 25° where erosion changes decrease firstly and then increase with the increase in slope degree. In the 0°~6° area, soil erosion mainly occurs on the 0.5°~5° cropland. In the 6°~15° area, the transformation of weak—slight erosion and slight—weak erosion is relatively strong. Slope aspect in erosion change is characterized by a double-peak structure, while strong water erosion change occurs in northeast and southwest aspects. The proportion of weak erosion change in the flat area is greater.

Keywords: soil erosion; spatiotemporal pattern; terrain factor; spatial analysis

土壤侵蚀是在水力、风力、重力、冻融等应力作用下, 土壤、土壤母质及其它地面组成物质被破坏、剥蚀、搬运和沉积的过程^[1], 是地形、土壤、植被、降雨、土地利用等多因素综合作用的结果^[2-5], 土壤侵蚀是导致土地退化及其生态环境恶化的重要原因之一^[6]。地形因

子地形地貌决定着地面物质与能量的形成和再分配, 是影响水土流失的重要因素之一^[7-8], 地形因子是以基于 DEM 的数字地形分析为基础的, 它记录了精确的空间三维定位信息并由此可以自动派生描述地表起伏形态的各种地面特性^[9], 是定量描述地貌结构、水文过

程、生物分布等空间变化的基础数据^[10]。在已有的研究中,对土壤侵蚀的研究主要侧重于时空变化以及其侵蚀量在地形因子上分布,但基于数字高程模型(DEM)来研究自然因子与土壤侵蚀时空格局相互关系的工作还相对较少,关于土壤侵蚀时空格局动态变化与地形因子间相互关系的研究则相对更少。目前,关于该区域土地利用和土壤侵蚀方面的深入研究很少。

因此,本文通过分析 1995—2005 年松花江流域土壤侵蚀的时空变化与基于 DEM 提取的高程、坡度以及坡向的关系,运用 GIS 空间分析等手段进行叠加和统计分析,得出土壤侵蚀在地形上的空间分布和变化特征,探讨土壤侵蚀的地形时空演变特征,揭示土壤侵蚀时空格局动态变化及其与地形因子的相互关系,有助于开展流域水土流失治理和生态安全保护。因此,研究土壤侵蚀时空格局及动态变化的地貌特征^[11-14],对于流域水土保持规划与区域水土流失治理以及东北黑土区农地水土流失的防治规划都具有十分重要意义。

1 研究区域及研究方法

1.1 研究区域概况

松花江流域(哈尔滨段)位于黑龙江省中南部(附图 1),地处东经 $125^{\circ} 40' 17''$ — $129^{\circ} 33' 2''$,北纬 $45^{\circ} 12' 6''$ — $49^{\circ} 40' 18''$,研究区域地貌为东部中低山丘陵和西部平原特征,地形和地势总趋势是东高西低,年平均气温 2.5°C ~ 4.0°C ,年平均无霜期在 110~150 d,年降水量 400~600 mm,年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温在 $2\ 500^{\circ}\text{C}$ ~ $3\ 100^{\circ}\text{C}$,土地肥沃,地域辽阔,人口相对较少,适宜发展农业生产,是重要的粮食生产基地。

1.2 研究方法

1.2.1 基于 DEM 的高程、坡度和坡向分级 基于

DEM 的高程、坡度和坡向分级,建立在它们和土壤侵蚀关系基础之上,以既能体现研究区域的地形特征,又能符合经济规律和自然规律为依据。

(1) 高程分级。高程分级是地理信息系统对 DEM 数据进行分级的一种地形分析方法,其基本原则是分级的间隔数据相等^[15]。从研究区域的 DEM 数据分析,并且按照 200 m 的间隔可分为 7 级(详见表 1)。

(2) 坡度分级。坡度对土地利用有着重要的影响^[16]:小于 6° 的坡地,可以作为农用旱地或牧草地;大于 6° 的坡地,易产生强烈的侵蚀,采用水保耕作法等水保措施; 25° 是退耕还林还牧界限;沟坡地的地面坡度大部分在 35° 以上,该类土地应以种草造林为主要利用方式,以保护边坡的稳定性; 45° 是植树造林的上限。本研究中坡度分为平缓坡、缓地、斜坡、缓陡坡和陡坡 5 级(见表 2)。

(3) 坡向分级。对于地面任何一点来说,坡向表征了该点高程值改变量的最大变化方向。在输出的坡向数据中,坡向值有如下规定:正北方向为 0° ,顺时针方向计算,取值范围为 0° ~ 360° 。本研究将坡向分为平缓坡、阳坡、半阳坡、阴坡、半阴坡 5 级(见表 3)。

1.2.2 土壤侵蚀分类 水力侵蚀是研究区域主要的侵蚀类型,利用 ArcGIS 9.2 平台,以 1995 年和 2005 年 2 期 Landsat TM 遥感数据作为主要数据源,利用流域降雨数据、土地利用、植被盖度、土壤类型及地形图等专题图件,依据修正的通用土壤侵蚀方程,获得研究区域的平均土壤侵蚀量强度图,以水利部第三次全国土壤侵蚀遥感调查和黑龙江省水土保持研究所提供的水力侵蚀强度分级标准为依据,将土壤侵蚀结果划分为 4 级:微度侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀和强度侵蚀。

表 1 研究区域高程分级

级别	第一级	第二级	第三级	第四级	第五级	第六级	第七级
高程	< 200	200~ 400	400~ 600	600~ 800	800~ 1 000	1 000~ 1 200	> 1 200

1.2.3 数据来源和处理 以 1:5 万地形图为基础地理数据源,将其进行扫描、几何纠正、影像二值处理与细化、等高线矢量化、数据接边、构建不规则三角网(TIN)和生成 DEM(GRID 格式)等处理,生成研究区域 DEM 模型。在 ArcGIS 平台下,以 DEM 为基础,分别提取高程、坡度、坡向地形因子并生成相关的专题图,将土壤侵蚀时空变化数据与各种专题图进行叠加和统计分析,进而得到研究区域土壤侵蚀空间变化的地貌特征空间分布。

表 2 研究区域坡度分级

分级	平缓坡	缓坡	斜坡	缓陡坡	陡坡
坡度	0° ~ 6°	6° ~ 15°	15° ~ 25°	25° ~ 35°	35° ~ 90°

2 结果与讨论

2.1 土壤侵蚀动态变化及空间分布规律

研究区域 1995—2005 年两个时相土壤侵蚀遥感监测结果(如附图 2 所示),结合表 4、5 的统计结果来

分析土壤侵蚀现状及空间分布特征。1995 年, 研究区域微度侵蚀占据优势地位, 其面积所占比例为 68.98%, 其次是轻度侵蚀、中度侵蚀和强度侵蚀, 所占的比例分别为 22%, 8.32% 和 0.7%, 强度侵蚀所占的比例较小, 处于劣势地位。2005 年, 微度侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀和强度侵蚀所占的比例分别为 68.32%, 19.78%, 8.90% 和 3.00%, 微度侵蚀占据较大比例, 同样处于优势地位, 同 1995 年相比, 面积减少了 190.8 km², 减少率为 0.96%, 在土壤侵蚀转移过程中, 其保留率最大, 达到 90.55%, 转入到强度

侵蚀的概率最小, 仅为 0.57%。强度侵蚀在各高程分段中都占据较小的比例, 但就该侵蚀类型而言, 2005 年比 1995 年面积增加了 662.998 km², 面积增加的最多, 增长率达到 326.46%, 说明现阶段研究区域土壤水蚀强度大, 面积广, 水土流失情况较为严重。在土壤侵蚀转移过程中, 其保留率最小, 而转出概率最大, 有 57.087% 转入到微度侵蚀中, 呈现一定的逆转移, 反映出该土壤侵蚀类型变化较为剧烈。总体而言, 就研究区域的整体侵蚀状况而言, 微度和轻度侵蚀占据较大比例, 总体上水土保持良好。

表 3 研究区域坡向分级

分级	平地	阳坡	半阳坡	阴坡	半阴坡
坡度	- f	157.5° ~ 247.5°	112.5° ~ 157.5° 247.5° ~ 292.5°	0° ~ 67.5° 337.5° ~ 360°	67.5° ~ 112.5° 292.5° ~ 337.5°

表 4 土壤侵蚀动态总体变化

土壤侵蚀类型	1995 年/km ²	百分比/%	2005 年/km ²	百分比/%	变化量	变化率/%
微度侵蚀	19 910.40	68.98	19 719.600	68.32	- 190.800	0.96
轻度侵蚀	6 349.08	22.00	5 708.778	19.78	- 640.302	10.08
中度侵蚀	2 402.66	8.32	2 570.756	8.90	168.096	7.00
强度侵蚀	203.09	0.70	866.088	3.00	662.998	326.46

2.2 基于地形因子的动态分析

2.2.1 基于高程分级的土壤侵蚀变化分析 将高程分级叠合土壤侵蚀变化图进行统计分析可发现(表 6), 1995—2005 研究区域土壤侵蚀变化主要集中在 0~200 m 高程级别上, 该高程级别的土壤侵蚀变化量占总变化量的 77.405%, 其次是 200~400 m 高程, 占总变化量的 21.332%, 最小的是 >1 200 m 高程级别, 土壤侵蚀变化量仅占 0.03%。在 0~200 m 高程级别范围内变化最显著的是微度侵蚀, 1 106.26 km² 转化为轻度侵蚀, 占区域总变化量的 21.506%, 其次是轻度侵蚀, 其中 963 km² 转化为微度侵蚀, 占总变化量的 18.721%, 再次是中度侵蚀, 占总变化量的 13.251%。可见, 微度—轻度侵蚀和轻度—中度侵蚀相互转换最为剧烈, 共有 143.26 km² 转换为轻度侵蚀和 566.50 km² 转化为中度侵蚀, 说明该区域轻度和中度侵蚀面积不断扩张, 侵蚀强度增大, 区域生态环境有所恶化, 该高程级别是人类活动的主要区域, 也是水土流失的集中区, 土壤侵蚀强度的增大除了受到一定地形因素影响外, 更主要是与人类强烈的干扰活动有直接关系。因此, 对于该区域而言, 要在发展当地经济的同时, 做到对土地的合理利用和加强土地利用格局的优化配置, 建立合理利用的黑土地生态系统。200~400 m 高程级别范围内主要以微度—轻度、轻

度—中度和中度—强度侵蚀相互转换为主; 600 m 以上高程级别范围内主要以中度—微度转换为主, 其变化量较小, 说明这些高程带区域的生态环境有所好转, 600~800 m 高程区域是人类活动干扰的一个临界区, 人类活动的减少促使自然环境条件的改善。

表 5 1995—2005 土壤侵蚀转移概率矩阵 %

1995 年	2005 年			
	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀
微度侵蚀	90.55	7.15	1.73	0.57
轻度侵蚀	20.85	64.78	11.15	3.22
中度侵蚀	10.45	6.44	63.00	20.11
强度侵蚀	57.08	8.78	1.68	32.46

2.2.2 基于坡度分级的土壤侵蚀变化分析 应用 GIS 的空间分析功能, 结合坡度分级和土壤侵蚀变化数据(表 7), 可得知 1995—2005 年研究区域的土壤侵蚀变化随着坡度的增加而减少, 变化主要集中在坡度 0~25° 的区域上, 其土壤侵蚀变化量为 5 138.51 km², 占总变化量的 99.892%, 处于绝对的优势地位, 其中, 平坡上(<60) 土壤侵蚀变化量最多, 变化面积为 4 434.59 km², 占该研究区域总变化面积的 86.208%, 缓坡和斜坡次之, 变化面积分别为 594.62

km² 和 109.3 km², 占总变化面积的 11.559% 和 2.125%。对于平坡区域而言, 土壤侵蚀变化主要集中在微度—轻度侵蚀、轻度—微度侵蚀、轻度—中度侵蚀和中度—强度侵蚀, 其中微度—轻度侵蚀的变化量最大, 说明该区域土壤侵蚀强度增加, 侵蚀面积在扩大, 该区域的土地多为坡耕地, 土壤侵蚀主要集中在 0.5°~5° 的坡耕地上, 且这部分耕地占黑土区耕地总面积的 56%^[17], 应是今后治理的重点。根据过去 50 a 的治理经验, 3° 以下的坡耕地主要采取改垄措施, 将顺坡垄与斜坡垄改为横垄, 顺坡耕作改为等高耕作^[17]。坡度在 6°~15° 区域, 微度—轻度侵蚀和轻

度—微度侵蚀相互交换相对剧烈, 坡耕地在该区域占据较大的比例, 分别为 13.11% 和 13.06%。因此, 对该区域的坡耕地而言, 把坡度在 6°~8° 的坡耕地通过修建梯田和地埂植物带控制水土流失, 建设基本农田; 把 8°~15° 以上的坡耕地通过坡面工程整地后退耕还林, 因地制宜营造水土保持林、用材林、经济林等^[17]。对于坡度大于 25° 的区域, 主要进行轻度—微度侵蚀的转换, 说明该区域生态环境有所改善, 主要归功于退耕还林和退耕还草, 因此要继续推行积极的农业政策和生态恢复重建工作, 进而形成相对稳定的生态结构和生态功能。

表 6 1995—2005 年不同高程土壤侵蚀面积变化统计

km²

项目	高程分级/ m						
	< 200	200~ 400	400~ 600	600~ 800	800~ 1 000	1 000~ 1 200	> 1 200
微度—轻度	1 106.26	306.79	10.24	0.22	0.00	0.00	0.00
微度—中度	249.07	96.06	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00
微度—强度	39.67	72.63	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00
轻度—微度	963.00	315.17	43.91	1.59	0.15	0.05	0.00
轻度—中度	681.33	26.51	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
轻度—强度	170.17	34.07	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
中度—微度	205.20	41.63	1.13	1.72	0.75	0.45	0.14
中度—轻度	114.93	39.54	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
中度—强度	364.50	118.02	0.23	0.34	0.00	0.00	0.00
强度—微度	69.47	43.78	2.67	0.00	0.00	0.00	0.00
强度—轻度	14.72	3.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
强度—中度	3.40	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
总计	3 981.72	1 097.30	59.62	3.86	0.89	0.50	0.14

表 7 1995—2005 年不同坡度土壤侵蚀面积变化统计

km²

项目	坡度分级				
	< 6°	6°~ 15°	15°~ 25°	25°~ 35°	35°~ 90°
微度—轻度	1 238.86	158.62	25.06	0.96	0.004
微度—中度	310.69	29.85	4.67	0.18	0.01
微度—强度	84.70	23.53	4.11	0.31	0.05
轻度—微度	1 051.27	213.18	56.43	2.85	0.13
轻度—中度	676.79	30.15	1.17	0.05	0.00
轻度—强度	185.32	17.18	1.76	0.12	0.01
中度—微度	219.29	26.49	4.96	0.27	0.01
中度—轻度	138.55	14.19	1.99	0.07	0.00
中度—强度	419.74	57.85	5.15	0.34	0.01
强度—微度	88.47	23.26	3.99	0.19	0.004
强度—轻度	17.58	0.24	0.01	0.00	0.00
强度—中度	3.33	0.08	0.00	0.00	0.00
总计	4 434.59	594.62	109.3	5.34	0.228

2.2.3 基于坡向分级的土壤侵蚀分析 在 ArcGIS 的支持下,将研究区域的土壤侵蚀时空变化图与坡向专题图进行叠加分析可知(表 8),土壤侵蚀时空变化的空间分布坡向特征呈现双峰现象,各种强度水力侵蚀的变化主要集中在阴坡(东北)与阳坡(西南)两个坡向,其土壤侵蚀变化量占总变化量的百分比分别为 23.77% 和 22.56%,微度侵蚀变化量在平地的面积比重较大,占总变化量的 16.10%。就阴坡(东北)与阳坡(西南)两个坡向而言,土壤侵蚀变化主要集中在微度—轻度、轻度—微度、轻度—中度和中度—强度,微度、轻度土壤侵蚀变化主要集中在阳坡(西南),中度、强度土壤侵蚀主要集中在阴坡(东北坡),其原因主要有:(1)东北与西南坡向是松花江河流域的优势坡向,所占面积比重较大,因而水土流失面积相对集中;(2)阳坡主要受太阳辐射能量的分配和土壤水分的再分布不同,水热条件较好,林草植被覆盖度高,水土流失相对较轻。东北坡向为阴坡,植被覆盖度较差,水土流失强度相对较高。

表 8 1995—2005 年不同坡向土壤侵蚀面积变化统计

km²

项目	坡向分级				
	平地	阳坡	半阳坡	阴坡	半阴坡
微度—轻度	322.71	291.59	295.39	272.10	241.71
微度—中度	4.50	84.86	71.26	121.80	62.98
微度—强度	7.72	34.04	18.79	37.00	15.14
轻度—微度	278.26	274.05	257.57	271.10	242.89
轻度—中度	93.72	161.26	141.19	193.14	118.87
轻度—强度	27.37	43.95	43.24	48.23	41.59
中度—微度	59.17	53.62	47.85	55.51	34.87
中度—轻度	8.83	39.99	32.57	41.20	32.19
中度—强度	6.31	139.19	94.96	144.19	98.42
强度—微度	19.32	32.40	21.27	30.10	12.82
强度—轻度	0.11	4.69	2.66	7.40	2.98
强度—中度	0.27	0.98	0.68	0.96	0.53
总计	828.29	1160.62	1027.43	1222.73	904.99

3 结论

本文基于 DEM 分析了 1995—2005 年研究区域土壤侵蚀变化在高程、坡度和坡向三方面的变化结果。可得出以下结论:(1)水力侵蚀是松花江流域土壤侵蚀的主要形式,轻度以下的侵蚀所占比例分别为 88.98% 和 88.10%,表明现阶段松花江流域土壤侵蚀强度减缓,侵蚀面积减少,水土流失情况有所缓解,区域生态环境有所改善。

(2)土壤侵蚀变化主要集中在 0~200 m 高程级别上,土壤侵蚀变化量占总变化量的 77.405%,其次

是 200~400 m 高程区域,占总变化量的 21.332%,在 0~400 m 高程级别范围内,微度—轻度、轻度—微度、轻度—中度和中度—强度侵蚀相互转换剧烈。

(3)土壤侵蚀变化随着坡度的增加而减少,变化主要集中在坡度 0°~25° 的区域上,土壤侵蚀变化量占总变化量的 99.892%,处于绝对的优势地位;6°~15° 区域,微度—轻度和轻度—微度侵蚀相互交换相对剧烈,6°~8° 区域,通过修建梯田和地埂植物带控制水土流失,建设基本农田;8°~15° 区域,通过坡面工程整地后退耕还林,因地制宜营造水土保持林、用材林、经济林等;坡度大于 25° 的区域,以轻度—微度侵蚀转换为主。

(4)土壤侵蚀变化的坡向特征呈现双峰现象,各种强度水力侵蚀的变化主要集中在阴坡(东北)与阳坡(西南)两个坡向;微度侵蚀变化量在平地的面积比重较大。

(5)流域土壤侵蚀变化的地形因子特征是流域水土流失特征的重要反映,体现了人类活动与自然环境相互作用,相互影响的耦合机制^[18]。东北黑土地作为我国粮食生产的主产区,有其自身特殊的土壤侵蚀特点。本研究主要针对于松花江流域土壤侵蚀时空转变的初步研究,还需要对东北地区水土流失、土地退化问题和土壤侵蚀规律的深入研究,因此除了加强农地水土流失监测,还要加强林草地水土流失监测,获得长期准确的科学数据,为水土保持工作提供科学依据。

[参 考 文 献]

- [1] 王礼先.水土保持学[M].北京:中国林业出版社,2005.
- [2] Fu B J. Soil erosion and its control in the loess plateau of china[J]. Soil Use and Management, 1989, 5(2): 76-81.
- [3] Shi H, Shao M A. Soil and water loss from the loess plateau in China[J]. Journal of Arid Environments, 2000, 45: 9-20.
- [4] 尹忠东,周心澄,朱金兆.影响水土流失的主要因素研究概述[J].世界林业研究,2003,16(3): 32-36.
- [5] 马晓薇,杨勤科.基于 GIS 的中国潜在水土流失评价指标研究[J].水土保持通报,2001,21(2): 41-44.
- [6] 史志华,蔡崇法,丁树文,等.基于 GIS 和 RUSLE 的小流域农地水土保持规划研究[J].农业工程学报,2002,18(4): 172-175.
- [7] 刘新华.区域水土流失地形因子分析与提取研究[D].陕西 杨凌:中国科学院水利部水土保持研究所,2001.
- [8] 刘新华,张晓萍,杨勤科,等.不同尺度影响水土流失地形因子指标的分析与提取[J].西北农林科技大学学报,2004,32(6): 107-111.

(下转第 84 页)

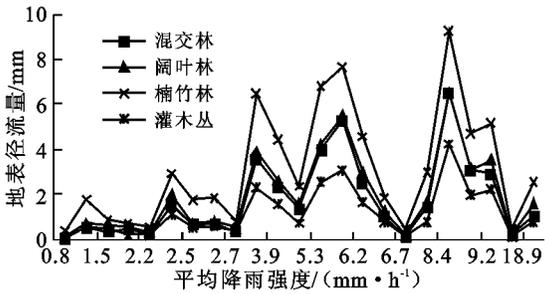


图 3 不同林分地表径流与降雨强度的关系

4 结论

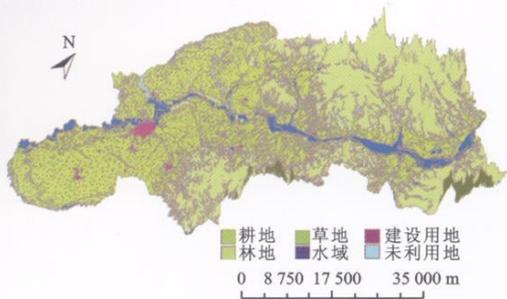
(1) 从地表径流量来看,混交林、阔叶林、灌木丛所产生的地表径流量均小于楠竹林的地表径流量,且混交林、阔叶林、灌木丛之间不存在显著性差异。可见从涵养水源,减少地表土壤侵蚀量的角度看,林地配置以阔叶林、混交林、灌木林较好,尤其是灌木林最佳。

(2) 不同林分地表径流量与降雨量均存在显著关系,表现为一元二次方程关系。对于 4 种不同林分来说,降雨量小于 30 mm 时,地表径流量增加速度较慢;降雨量大于 30 mm 后,地表径流量增加速度较快。(3) 不同林分地表径流量与降雨强度并不存在显著关系,当降雨强度小于 3 mm/h 时,所有林地地表径流量变化较慢;而在降雨强度大于 3 mm/h 时,地表径流量有增大的可能,但是受到降雨量的影响,也会有减小的可能。

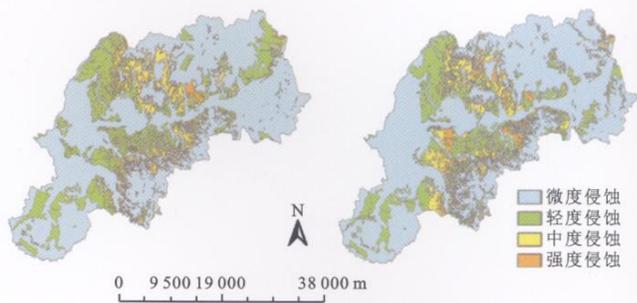
[参 考 文 献]

- [1] 余作岳,周国逸,彭少麟.小良试验站三种地表径流效应的对比研究[J].植物生态学报,1996,20(4):355-326.
- [2] 满开言,林卓英.坡面植被对坡面径流和入渗的影响[J].地理研究,1989,8(4):78-85.
- [3] 孙阁.林地地表径流的研究[J].水土保持学报,1989,3(2):52-55.
- [4] 阮伏水,周伏建.花岗岩不同土地利用类型坡地产流和入渗特征[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(3):1-7.
- [5] 周国逸,闫俊华,申卫军,等.马占相思人工林和果园地表径流规律的对比研究[J].植物生态学报,2000,24(4):451-458.
- [6] 张喜,薛建辉,许效天,等.黔中喀斯特山地不同森林类型的地表径流及影响因素[J].热带亚热带植物学报,2007,15(6):527-537.
- [7] 李香云,王玉杰.缙云山两种植被类型对坡面产流的影响[J].北京林业大学学报,2003,25(5):81-84.
- [8] 祁生林,张洪江,何凡,等.重庆四面山植被类型对坡面产流的影响[J].中国水土保持科学,2006,4(4):33-38.
- [9] 肖文发,雷静品.三峡库区森林植被恢复与可持续经营研究[J].长江流域资源与环境,2004,13(2):138-144.
- [10] 王云琦,王玉杰,朱金兆,等.重庆缙云山不同土地利用类型坡面产流对暴雨的响应[J].中国水土保持科学,2005,3(4):19-26.
- [11] 储小院,王玉杰,王云琦,等.重庆缙云山典型林分 3 种时间尺度下产流特征研究[J].北京林业大学学报,2008,30(4):103-107.
- [9] 洪义,东野光亮. DEMI 在区域土壤侵蚀中的应用研究[J].吉林农业大学学报,2004,26(1):73-76.
- [10] 邬伦,刘瑜,张晶,等.地理信息系统——原理、方法和应用[M].北京:科学出版社,2001.
- [11] 杨存建,刘纪远,张增祥.重庆市土壤侵蚀与其背景的空间分析[J].水土保持学报,2000,14(3):84-87.
- [12] 姚华荣,杨志峰,崔保山. GIS 支持下的澜沧江流域云南段土壤侵蚀空间分析[J].地理研究,2006,25(3):421-429.
- [13] 范丽丽,沈珍瑶,刘瑞民.基于 GIS 的大宁河流域土壤侵蚀评价及其空间特征研究[J].北京师范大学学报:自然科学版,2007,43(5):563-566.
- [14] 彭建,李丹丹,张玉清.基于 GIS 和 RUSLE 的滇西北山区土壤侵蚀空间特征分析[J].山地学报,2007,25(5):548-556.
- [15] 党安荣,王晓栋,陈晓峰,等. ERDAS IMAGINE 遥感图像处理方法[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [16] 黎景良,后斌,危双峰,等.基于 DEM 的广东省山区土地利用变化分析[J].测绘通报,2007,6,53-57.
- [17] 刘宝元,阎百兴,沈波,等.东北黑土区农地水土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.
- [18] 沈中原,李占斌,杜中,等.大理河流域土壤侵蚀空间分布的地貌特征研究[J].水土保持学报,2008,22(5):78-81.

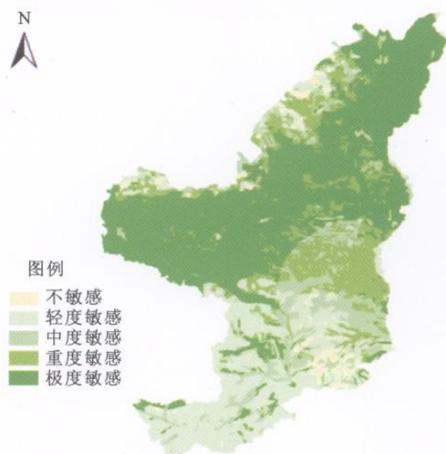
(上接第 60 页)



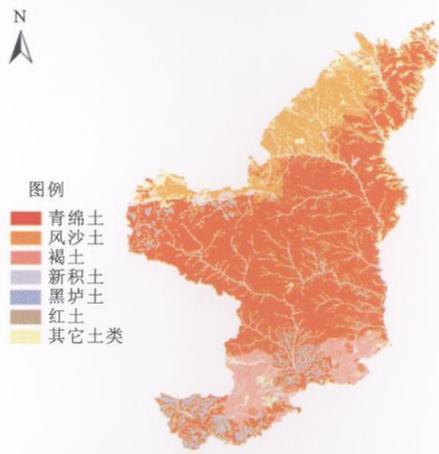
附图1 松花江流域哈尔滨段土地利用与地貌叠加图



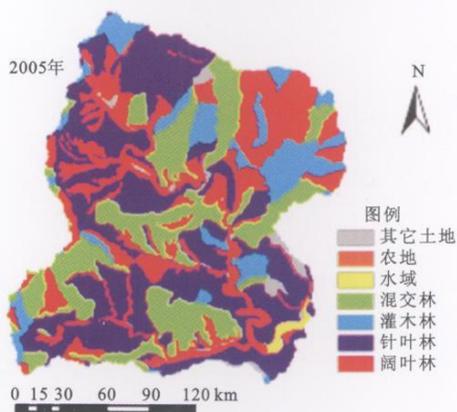
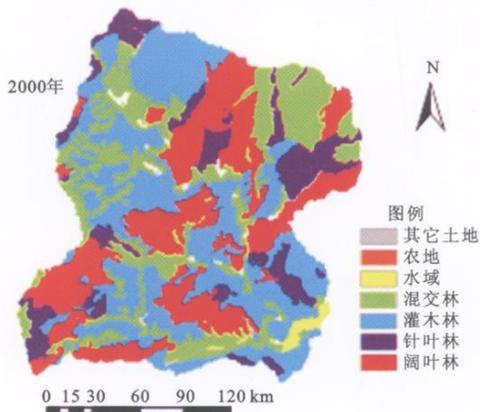
附图2 松花江流域哈尔滨段土壤侵蚀分布图



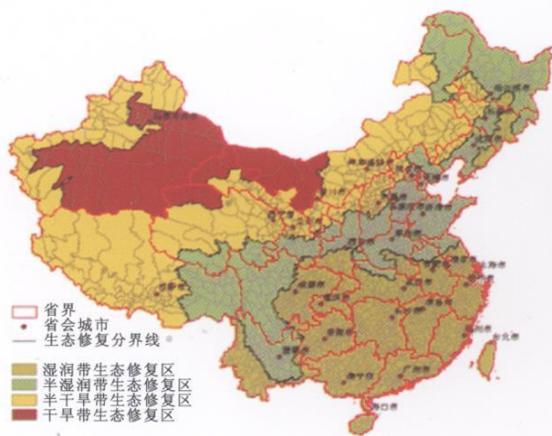
附图3 陕北黄土高原水土流失敏感性分布



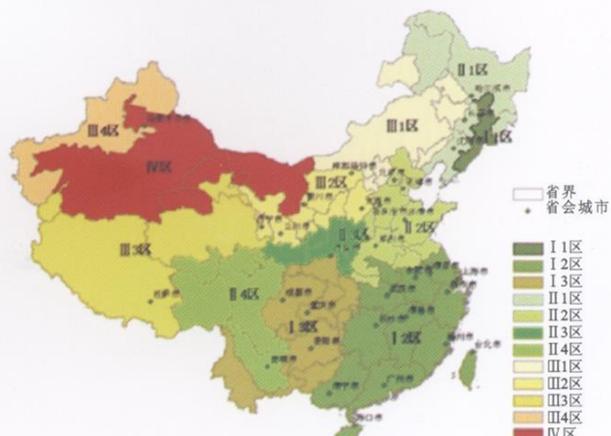
附图4 陕北黄土高原土壤类型分布



附图5 半城子水库流域景观格局图



附图6 全国水土保持生态修复一级分区图



附图7 全国水土保持生态修复二级分区图