

江淮丘陵区土壤侵蚀分布与环境因子的关系

刘晓华¹, 刘潘伟¹, 胡续礼², 张荣华¹, 张光灿¹, 杨锐¹, 吴畏²

(1. 山东农业大学 林学院, 山东省土壤侵蚀与生态修复重点实验室,
山东 泰安 271018; 2. 水利部 淮河水利委员会, 安徽 蚌埠 233001)

摘要: [目的] 掌握江淮丘陵区土壤侵蚀分布及其与土地利用类型、坡度、植被、土壤类型等环境因子的关系, 为确定水土保持重点区域, 开展水土保持规划、制定有针对性的水土流失防治措施提供依据。[方法] 以淮河流域江淮丘陵区为研究区, 以 2015 年 15 m 分辨率的 Landsat 8 影像为基础信息源, 基于“3S”技术平台, 采用综合评判法和实地调查验证相结合的研究方法, 开展土壤侵蚀空间分布及其与土地利用类型、植被、坡度、土壤类型等环境因子关系的研究。[结果] ①江淮丘陵区水土流失面积为 1 409.60 km², 约占总面积的 10.20%, 侵蚀强度以轻度侵蚀为主, 局部以中度侵蚀为主。②不同土地利用类型下, 土壤侵蚀主要发生在下垫面起伏度较大、条件较为恶劣的坡耕地, 以及坡度相对较大、植被盖度较差的林地和荒草坡中; 不同坡度下, 主要发生在 5°~15°的山区与平原的交界带; 不同植被覆盖度下, 主要发生在 45%~75%的地区; 不同土壤类型下, 主要发生在暗色土、水稻土以及黄棕壤等土壤类型中。[结论] 土地利用类型、坡度、植被、土壤类型等环境因子与淮河流域江淮丘陵区土壤侵蚀分布关系紧密, 坡耕地、坡度起伏较大、植被覆盖较低、土壤抗蚀性较差等下垫面更容易发生土壤侵蚀。

关键词: 土壤侵蚀; 空间分布; 环境因子; 江淮丘陵区; 淮河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)01-0281-06

中图分类号: S157.1

文献参数: 刘晓华, 刘潘伟, 胡续礼, 等. 江淮丘陵区土壤侵蚀分布与环境因子的关系[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 281-286. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20180103.001. Liu Xiaohua, Liu Panwei, Hu Xuli, et al. Relationships between soil erosion distribution and environmental factors in Jianghuai hilly region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 281-286.

Relationships Between Soil Erosion Distribution and Environmental Factors in Jianghuai Hilly Region

LIU Xiaohua¹, LIU Panwei¹, HU Xuli²,

ZHANG Ronghua¹, ZHANG Guangcan¹, YANG Rui¹, WU Wei²

(1. College of Forestry, Shandong Agricultural University, The Key Laboratory of Soil

Erosion and Ecological Restoration of Shandong Province, Tai'an, Shandong 271018, China;

2. Huaihe Water Conservancy Commission, Ministry of Water Resources, Bengbu, Anhui 233001, China)

Abstract: [Objective] To provide support for selecting priority areas and making plans for soil and water conservation and developing the targeted soil erosion measures, this study analyzed the spatial distribution of the soil erosion in the Jianghuai hilly region, and explained the relationship between soil erosion and environmental factors such as land use type, slope, vegetation and soil type. [Methods] Based on the Landsat 8 image with 15 m resolution in 2015 and the “3S” technology platform, this study used the comprehensive evaluation method and the field investigation verification method to analyze the soil erosion distribution and its relationship with the environmental factors. [Results] ① The soil erosion area in Jianghuai hilly region was 1 409.60 km², accounting for 10.20% of the total area. And the erosion intensity was characterized with light erosion and moderate erosion in some areas. ② Under different land use types, the soil erosion occurred

收稿日期: 2017-08-09

修回日期: 2017-09-03

资助项目: 水利部淮河水利委员会水土保持管理科技项目“淮河流域江淮丘陵区水土流失问题与综合治理技术调查”(HWSBC2016001); 山东省自然科学基金(BS2015DX014)

第一作者: 刘晓华(1992—), 女(汉族), 山东省滨州市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持监测。E-mail: qqlxh52@126.com。

通讯作者: 张荣华(1984—), 女(汉族), 山东省威海市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事水土保持监测与评价等方面的研究。E-mail: zrhua5766@163.com。

mainly in the sloping farmland with larger topographic relief and relatively poor condition, as well as in woodland and grassland with relatively steep slopes and low vegetation coverage. The soil erosion was mainly occurred in the slope of $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ in the boundary belt between mountains and plains. In terms of coverage, the soil erosion mainly occurred in areas with vegetation coverage of $45\%\sim 75\%$. Under different soil types, soil erosion easily occurred in dark soil, paddy soil and yellow brown soil because of low viscosity of soil layer, low organic matter content and low erosion resistance. [Conclusion] There is a close relationship between the soil erosion and the environmental factors such as land use type, slope, vegetation, soil type in the Jianghuai hilly region in the Huaihe River basin. And the area with sloping farmland, steep slope, low vegetation coverage, poor soil anti-erodibility is prone to soil erosion.

Keywords: soil erosion; spatial distribution; environmental factors; Jianghuai hilly region; Huaihe River basin

淮河流域存在“三山、二丘、一区、一带”^[1]综合防护体系的水土保持格局,目前学者已经针对桐柏大别山区、伏牛山区、沂蒙山区等三大山区的土壤侵蚀以及治理技术等开展了重点研究^[2-4],但对“两丘”区中的江淮丘陵区缺乏相应的系统研究。由于江淮丘陵区地处淮河流域与长江流域交界处,拥有特殊的地理与气候等条件,在全国水土保持工作新形势下,研究江淮丘陵区土壤侵蚀的影响因子对全面了解该区域土壤侵蚀状况以及对区域生态安全和社会经济可持续发展有着重要意义。对于影响因子的研究^[5-8],大部分只停留在简单的观测资料的定性分析,而关于各环境因子对土壤侵蚀空间分布影响的深入研究较少。

为了解江淮丘陵区土壤侵蚀空间分布,探讨土壤侵蚀与土地利用类型^[6-10]、坡度^[5-7,9-11]、植被^[8,12]、土壤类型^[2,7]等环境因子的关系,对土壤侵蚀的影响因子进行定量研究。本文拟以 2015 年 15 m 分辨率的 Landsat 8 影像为基础信息源,基于“3S”技术平台^[12],采用综合评判法和实地调查验证^[12]相结合方法,对土壤侵蚀空间分布与各环境因子进行空间叠加分析。以期其结果可对确定水土保持重点区域,为开展水土保持规划以及制定有针对性的水土流失防治措施提供参考和依据。

1 研究区概况

淮河流域江淮丘陵区位于淮河流域与长江流域交界处, $116^{\circ}49'\sim 119^{\circ}33'E$ 与 $31^{\circ}54'\sim 33^{\circ}24'N$, 西临桐柏大别山山前平原区,北接淮北平原区,东临江淮下游河网平原区,土地总面积 $1.38\times 10^4\text{ km}^2$,其中丘陵地面积占总面积的 30.70%。属北亚热带气候,多年平均降水量 $800\sim 1\ 000\text{ mm}$,年内、年际、区间分布差异较大,降雨时空分布不均,导致地表径流量具有明显的季节性,易形成交替出现的洪涝和干旱灾害;地表岩性有红色砂页岩、片麻岩、玄武岩等,海拔 $40\sim 300\text{ m}$,相对高差小;土壤主要为黄棕壤、潮土和暗色土,较为粘重;地带性植被为落叶阔叶混交林

型,林草地面积占总面积的 17.49%,人口密度为 $507.55\text{ 人}/\text{km}^2$,人均耕地面积 0.13 hm^2 。

2 研究方法

土壤侵蚀主要受气候、土壤、地质、地形、植被和人为 6 大因素的综合影响^[5-11],这 6 大因素又可再分为诸多次级影响因子,其中在气候条件一定的情况下,土地利用类型、地面坡度和植被盖度的作用尤为显著,不同的组合方式导致不同的土壤侵蚀强度^[10]。本文以江淮丘陵区的遥感影像为基本信息源,结合其他图件资料,基于“3S”技术平台^[12],采用综合评判法与实地调查验证^[12]相结合的研究方法,探讨江淮丘陵区的土壤侵蚀的影响因子。

2.1 遥感解译

2.1.1 数据源 以江淮丘陵区 2015 年 15 m 分辨率的 Landsat8 影像为基础信息源,同时收集该区域自然(如气候、地形地貌、土壤、岩性、植被等)、社会经济(人口数量、土地利用类型等)以及水土流失与水土保持治理措施等方面的资料。

2.1.2 数据处理 在 ENVI 5.1^[13]支持下,利用地形图对影像进行几何精校正、辐射定标和大气校正。校正中采用 WGS-1984 坐标系,UTM 投影。依据遥感影像的色、形、位等特点和区域实际特点,参照国家标准^[14-15],结合研究目的和区域概况,建立土地利用分类系统及解译标志,确定土地利用分为耕地、园地、林地、草地、城镇村及工矿用地、交通运输用地、水域及水利设施用地和其他未利用土地 8 类。采用人机交互解译方法,提取土地利用数据^[13]。根据野外实地调查,验证与完善土地利用数据,获得各土地利用类型面积及空间分布。

在 ArcGIS 支持下,将研究区 1:5 万地形图通过地理配准、几何校正和投影变化完成矢量化,利用 ArcGIS 10.2 软件中 3D analyst 模块,进行等高线插值,创建 TIN,然后生成研究区分辨率为 30 m 的数字高程模型(digital elevation model, DEM)。在提

取的 DEM 基础上,利用 ArcGIS 10.2 软件中的 spatial analyst 模块,提取研究区的坡度信息,生成坡度分布图。据水利部颁布的临界坡度分级方案,结合研究区的实际情况,将坡度分为平缓坡、中等坡、斜坡、陡坡、急坡和急陡坡 6 级^[16]。

在 ArcGIS 10.2 软件中将收集到的研究区土壤类型分布进行矢量化,得到该区域土壤类型分布图。植被覆盖度(fractional vegetation cover, FVC)^[17]采用归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)计算。借助遥感影像处理软件 ENVI 5.1,提取 NDVI,计算 FVC。利用 GPS 确定野外调查样区,采集该样区的植被覆盖度,建立样区的植被覆盖度与遥感计算植被盖度之间的关系,获得研究区植被盖度因子。根据植被盖度分级编码标准^[16]进行分级。

$FVC = [(NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})]^k$
式中:FVC——植被覆盖度(%); NDVI——所求像元的归一化植被指数; $NDVI_{min}$, $NDVI_{max}$ ——研究区内 NDVI 的最小值、最大值; K——经验系数。

运用 ArcGIS 空间叠加分析功能,可以得到该区域的土壤侵蚀空间分布。然后将土壤侵蚀空间分布分别与各环境影响因子叠加分析,得到相关关系。

2.2 野外调查验证

野外调查验证^[12]是决定土地利用和植被覆盖分类是否准确的关键,直接影响到土壤侵蚀判读结果的准确性、可靠性和精度。本次野外实地调查时间为 2016 年 8 月,选取有代表性的典型地段、特殊地物及在解译中图像不清晰之处共 423 个野外调查与实地验证点。通过计算 Kappa 系数,用户精度、生产精度均在 60.00% 以上,总体解译精度为 78.49%,符合土地利用解译精度要求。

表 1 不同土地利用类型与土壤侵蚀强度的关系

侵蚀强度	面积/km ²							其他
	耕地	园地	林地	草地	城镇村与工矿用地	交通运输用地	水域及水利设施	
微度侵蚀	6 220.93	1 075.50	1 439.42	208.48	1 171.57	364.58	1 902.95	26.84
轻度侵蚀	475.10	37.56	302.82	346.78	0	0	0	0
中度侵蚀	101.67	20.89	95.49	22.22	0	0	0	0
强烈侵蚀	2.99	0.52	0.32	2.21	0	0	0	0
极强烈侵蚀	0.50	0.06	0.41	0.04	0	0	0	0
总计	6 801.20	1 134.54	1 838.46	579.73	1 171.57	364.58	1 902.95	26.84
侵蚀占各类型总面积比例/%	8.53	5.20	21.71	64.04	0	0	0	0

3.2.2 土壤侵蚀分布与坡度的关系 地形地貌决定着地面物质与能量的形成和再分配,是影响水力侵蚀的重要因素之一。地面的坡度、坡长等对土壤侵蚀有很大的影响^[5-7,9-11]。一般情况下,坡度越大,坡长越

3 结果与分析

3.1 土壤侵蚀状况

江淮丘陵区 2015 年水土流失面积为 1 409.60 km²,约占该区总面积的 10.20%,侵蚀强度以轻度侵蚀为主,面积为 1 162.27 km²,占水土流失总面积的 82.45%;局部以中度侵蚀为主,占水土流失总面积的 17.04%;强烈侵蚀与剧烈侵蚀所占比例很小,该区无剧烈侵蚀。

3.2 土壤侵蚀分布与影响因子的关系

3.2.1 土壤侵蚀分布与土地利用类型的关系 不同数量、结构、质量、方式的土地利用能够引起坡度、植被覆盖度的变化,进而影响水土流失^[2,7-11]。江淮丘陵区耕地面积为 6 788.77 km²,约占总面积的 49.21%,其中:绝大部分是坡耕地;园地、林地、草地分别占 8.21%,13.30%,4.19%。从表 1 可以看出,在不同土地利用类型中,土壤侵蚀主要来源于耕地、园地、林地和草地,各类型侵蚀面积分别占水土流失总面积的 41.17%,4.19%,28.31%,26.34%。其中耕地侵蚀面积最大,林地、草地侵蚀面积次之;从侵蚀发生的空间位置来看,耕地的侵蚀主要受坡度影响,因此主要发生在下垫面起伏度较大,条件较为恶劣的坡耕地,主要以轻度侵蚀、中度侵蚀和强烈侵蚀为主。林地及园地侵蚀不仅受坡度侵蚀的影响,还受到植被盖度的影响,主要发生在坡度相对较大,植被盖度较差的疏林地和坡式经济林中,侵蚀类型主要以轻度侵蚀和中度侵蚀为主。研究区的草地多分布在荒坡和坡脚地带,草类多以马尾草、狗尾草、硬尾草等,这些杂草地表覆盖程度较低,在荒坡上又容易受到强降雨的影响,侵蚀类型主要以轻度侵蚀和中度侵蚀为主。

长,径流速度就越大。地面坡度越陡,地表径流的流速越快,对土壤的冲刷侵蚀力就会越强。坡面长度越长,汇集地表径流量越多,冲刷力也会增大。从图 1 中得出,研究区坡度主要集中在 0~15°之间,坡度>8°的区

域主要是分布在凤阳县、定远县、明光市和盱眙县,而这 4 个县恰是该区域水土流失发生较为严重的地方。表 2 中显示,无论区域内土地利用和植被覆盖是何种类型, $<5^\circ$ 的区域基本上不产生土壤侵蚀;随着坡度的增加,土壤侵蚀也随之增加,等达到一定坡度值后,土壤侵蚀开始呈下降趋势。该区土壤侵蚀主要发生在 $5^\circ\sim 15^\circ$ 之间的山区与平原交界带,此处人类活动频繁,存在大面积的坡耕地,而林地、园地和草地等人为破坏严重,导致土壤侵蚀分布集中,约占水土流失总面积的 95.46%; $15^\circ\sim 25^\circ$ 之间产生的土壤侵蚀是由坡度、径流速度和沟道共同影响的。因此,在低丘缓坡地带,注意进行坡耕地、“四荒”地等的改造,如完善田间水利设施配套、坡改梯工程等,稳定基本农田;

对于 $>25^\circ$ 的区域,退耕还林还草、进行封禁保护,注重发挥大自然的自我调节和自我修复能力。

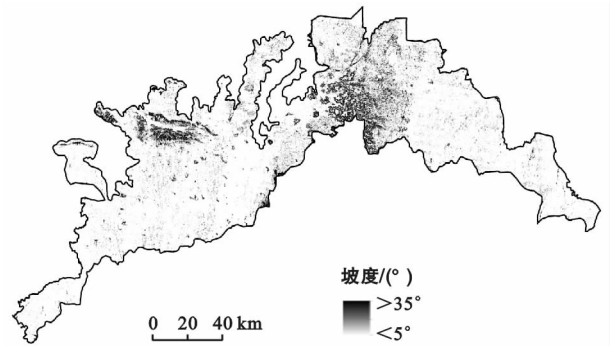


图 1 江淮丘陵区坡度分布

表 2 不同坡度与土壤侵蚀强度条件下的土地面积

侵蚀强度	坡度/ $^\circ$						总计
	0~5	5~8	8~15	15~25	25~35	>35	
微度侵蚀	12 087.46	142.79	109.94	58.72	8.95	2.41	12 410.27
轻度侵蚀	0	756.68	368.81	36.16	0.49	0.12	1 162.27
中度侵蚀	0	105.58	114.49	18.99	1.16	0.05	240.27
强烈侵蚀	0	0	0	5.39	0.58	0.08	6.05
极强烈侵蚀	0	0	0	0	0.72	0.29	1.01
总计	12 087.46	1 005.05	593.24	119.27	11.90	2.95	13 819.87

3.2.3 土壤侵蚀分布与植被覆盖度的关系 植被在水土流失的诸多影响因素中是十分重要的因子。一切形式的植被覆盖,均可不同程度地抑制水土流失的发生^[8,11]。林冠层、枯枝落叶层及林下灌草植被能够减弱降雨动能,防止地面击溅侵蚀;截留降雨,增加水分入渗及滞留贮存等。减少了地表径流,降低径流的冲蚀力,同时增加了地表粗糙度、改变局部坡度,降低了径流速度;改良土壤,提高土壤的抗蚀性和抗冲性。同时,植被覆盖度高的地方,土壤有良好的水分渗透性能,根系有强大的固土功能,可有效地控制土壤侵蚀的发生和发展^[11]。由图 2,表 3 可以得出,该区域植被覆盖度为 $15\%\sim 30\%$ 时,土壤侵蚀强度以中度侵蚀为主;植被覆盖度为 $30\%\sim 75\%$ 时,土壤侵蚀以轻度侵蚀为主;当植被覆盖度 $<15\%$,侵蚀面积很小,主要原因是该植被覆盖度下的土地利用类型以城镇村及工矿用地、交通运输用地、水域及水利设施用地为

主。区域植被多为“小老树”,林草地占总面积的 17.50%,其中疏幼林占林草地总面积 34.42%。因此该区要保护现有植被,适宜地区适当改造“小老树”,建立乔灌草相结合的林草防护体系,坚持封育保护与营造水保林、农田防护林、人工种草相结合,扩大植被覆盖率。

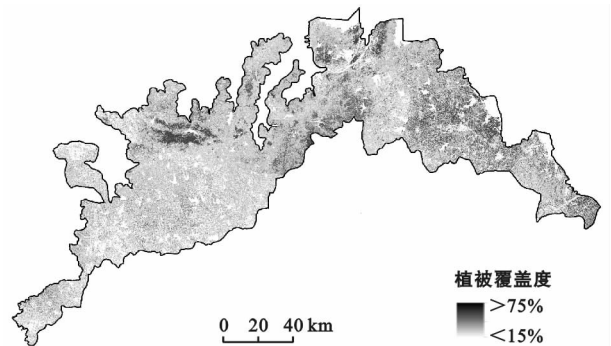


图 2 江淮丘陵区植被覆盖度分布

表 3 不同植被覆盖度与土壤侵蚀强度条件下的土地面积

侵蚀强度	植被覆盖度/ $\%$						总计
	<15	15~30	30~45	45~60	60~75	>75	
微度侵蚀	3 702.79	3 269.97	2 932.45	912.04	1 021.73	571.29	12 410.27
轻度侵蚀	0	0	155.82	407.60	598.85	0	1 162.27
中度侵蚀	0.03	164.22	62.26	12.98	0.78	0	240.27
强烈侵蚀	0.05	5.55	0.36	0.09	0	0	6.05
极强烈侵蚀	0.01	0.42	0.43	0.15	0	0	1.01
总计	3 702.88	3 440.16	3 151.32	1 332.86	1 621.36	571.29	13 819.87

3.2.4 土壤侵蚀分布与土壤类型的关系 不同土壤类型的土层厚度、腐殖质层厚度及含量,土壤水分含量及肥力、质地、结构及石砾含量、酸碱度、盐碱含量,基岩和成土母质的种类与性质等都不相同,这些都会促进或抑制土壤侵蚀的发生发展^[2,7]。

由表 4 可得,该区土壤侵蚀主要发生在黄棕壤、水稻土中的漂白水稻土亚类以及暗色土等,各土壤类型的侵蚀面积分别占侵蚀总面积的 41.59%,

12.03%和 30.63%;从侵蚀强度来看,轻度及中度侵蚀在各个土壤类型都有分布,以发生在黄棕壤、水稻土、紫色土以及暗色土中为主,而强烈与极强烈侵蚀主要发生在白浆黄棕壤和不饱和紫色土中。这些土壤类型多土层浅薄黏重^[6,9],有机质含量少,抗蚀性低,且所处地势较高、坡度及起伏度较大,水流和风力作用强烈,再加之人为活动强烈^[2],导致土壤侵蚀较为严重。

表 4 不同土壤类型与土壤侵蚀强度条件下各土类面积

土壤类型		微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强烈侵蚀	极强烈侵蚀	小计	总计
潮土	淡潮土	183.59	11.28	0.54	0	0	195.41	425.75
	石灰性淡潮土	197.01	21.75	11.58	0	0	230.34	
红色土		57.61	7.91	0	0	0		65.52
黄棕壤	白浆黄棕壤	1 793.03	98.17	16.88	2.35	0.36	1 910.80	5 096.74
	黄棕壤	807.60	165.24	124.45	3.29	0	1 100.57	
	黏盘黄棕壤	1 909.75	167.30	7.91	0.40	0	2 085.36	
潜育土	腐殖质潜育土	4.73	0	0	0	0	4.73	35.58
	泥炭潜育土	30.85	0	0	0	0	30.85	
砂浆黑土		232.76	7.11	7.47	0	0		247.33
石质土	饱和石质土	3.66	16.00	0.00	0	0		19.67
水稻土	漂白水稻土	3 023.22	168.40	1.11	0	0	3 192.73	6 665.99
	潜育水稻土	249.99	0.21	0	0	0	250.20	
	脱潜水稻土	90.48	0	0	0	0	90.48	
	淹育水稻土	117.61	16.56	3.74	0	0	137.89	
	潴育水稻土	2 939.34	47.68	7.67	0	0	2 994.68	
紫色土	饱和紫色土	90.54	40.07	10.20	0	0	140.81	169.11
	不饱和紫色土	16.06	5.24	6.35	0	0.65	28.31	
暗色土		662.44	389.35	42.38	0	0		1 094.17
总 计		12 410.27	1 162.27	240.27	6.05	1.01		13 819.87

4 讨论与结论

(1) 江淮丘陵区水土流失面积为 1 409.60 km², 约占总面积的 10.20%, 侵蚀强度以轻度侵蚀为主, 局部以中度侵蚀为主。

(2) 土地利用类型、植被、坡度、土壤类型等环境因子共同影响土壤侵蚀的分布。暗色土、水稻土以及黄棕壤等土层浅薄粘重, 有机质含量少, 抗蚀性低, 且所处地势较高、坡度及起伏度较大, 水流和风力作用强烈, 植被覆盖较低的地区, 土壤侵蚀容易发生发展。坡度 < 5° 的区域基本上不产生土壤侵蚀, 以微度侵蚀为主, 该区土壤侵蚀主要发生在 5° ~ 25°, 其中 5° ~ 15° 是山区与平原的交界带, 人类活动频繁。耕地的侵蚀主要受坡度影响, 因此主要发生在下垫面起伏度较大, 条件较为恶劣的坡耕地; 林地、园地、草地侵蚀不仅受坡度侵蚀的影响, 还受到植被盖度的影响, 主要发生在坡度相对较大, 植被盖度较差的林地和荒草

坡中。以上研究结果对确定水土保持重点区域, 开展水土保持规划以及制定有针对性的水土流失防治措施提供参考和理论依据。

除了自然环境因子影响土壤侵蚀的格局, 人类活动也是重要的影响因子。坡耕地的开发以及各类生产建设活动对江淮丘陵区的土壤侵蚀产生了重要的影响。由于以往对生产建设项目或活动监督管理薄弱等原因, 在丘陵地分布区形成了较多的矿山废弃地, 区域生态环境系统和水土保持功能受到严重破坏^[1,8,18]。近年来, 随着生态环境维护观念和建设力度的增强, 虽然矿产资源的无序开采活动已被禁止, 多数矿产资源开发区已经封禁保护, 但受损生态环境系统和水土保持功能依然尚未得到有效恢复。目前各流域机构对于水土保持越来越重视, 各项水土保持措施逐渐投入使用, 应当注意其建后管护, 紧握效益发挥的方法, 并且进行定期巡查工作, 及时制止和查处破坏水土保持设施的行为。

[参 考 文 献]

- [1] 姚孝友,肖幼,顾洪,等.淮河流域水土保持生态修复机理与技术[M].北京:中国水利水电出版社,2011:16-30.
- [2] 张荣华,刘霞,姚孝友,等.桐柏大别山区土壤侵蚀特征分析[J].水土保持研究,2010,17(1):24-30.
- [3] 王延平,刘霞,姚孝友,等.淮河流域沂蒙山区水土保持生态脆弱性的 AHP 分析[J].中国水土保持科学,2010,8(3):20-27.
- [4] 徐志强,张光灿,刘霞,等.淮河流域伏牛山区水土保持生态自然修复适宜性评价与分区[J].中国水土保持科学,2013,11(3):17-23.
- [5] 刘瑞娟,张万昌,裴洪芹.淮河流域土壤侵蚀与影响因子关系分析[J].中国水土保持,2010(5):29-32,68.
- [6] 陈盼盼,胡利利,李亦秋,等.龙门山地区水土流失敏感性评价及其空间分异[J].水土保持通报,2017,37(3):237-241.
- [7] 程先富,余芬.安徽省土壤侵蚀空间分布及其与环境因子的关系[J].地理研究,2010,29(8):1461-1470.
- [8] 黄淑玲,方刚,袁新田,等.水土流失成因分析与治理措施:以安徽江淮丘陵地区为例[J].广东农业科学,2010(1):147-149,153.
- [9] 林琳.区域土地利用/覆被变化对水土流失的影响研究[D].福州:福建农林大学,2008.
- [10] 黄志霖,傅伯杰,陈利顶.黄土丘陵区不同坡度、土地利用类型与降水变化的水土流失分异[J].中国水土保持科学,2005,3(4):11-18,26.
- [11] 栗清林.试论不同坡度、坡长、植被与水土流失的关系[J].中国水土保持,1982(2):32-34.
- [12] 水利部水土保持监测中心.水土流失动态监测方法研究[M].北京:中国水利水电出版社,2011.
- [13] 邓书斌,陈秋锦,杜会建,等. ENVI 遥感图像处理方法[M].北京:高等教育出版社,2014:132-154.
- [14] 中华人民共和国国家标准. GB/T15772-2008 水土保持综合治理规划通则[S].北京:中国标准出版社,2009:19-23.
- [15] 中华人民共和国国家标准. GB/T21010-2007 土地利用现状分类[S].北京:中国标准出版社,2007:2-5.
- [16] 中华人民共和国水利部. SL665-2014 北方土石山区水土流失综合治理技术标准[S].北京:中国水利水电出版社,2014:3-4.
- [17] 王小花.利用 ENVI 提取植被覆盖度[J].环境与发展,2014,26(7):71-72.
- [18] 孙厚才,袁普金.开发建设项目水土保持监测现状及发展方向[J].中国水土保持,2010(1):36-38.

(上接第 280 页)

[参 考 文 献]

- [1] 韩忠军,陈寿刚,钟喜华.对拜泉县生态农业建设与可持续发展的思考[J].黑龙江环境通报,2011,35(1):9-11.
- [2] 王树清,苏继昌.拜泉县生态农业发展战略的提出、实施及其它[J].农业环境与发展,1995(1):5-8.
- [3] 于立河,曲长祥,曹茹,等.拜泉县发展生态农业的调查[J].农业系统科学与综合研究,2003,19(2):120-123.
- [4] 孙媛媛.生态农业是实现农业可持续发展的最佳模式:拜泉县发展生态农业的启示[J].理论观察,2002(1):64-66.
- [5] 周宁,张春山.拜泉县水土保持生态文明建设的成效与经验[J].中国水土保持,2014(1):55-57.
- [6] 中华人民共和国水利部.中国水土流失防治与生态安全(东北黑土区卷)[M].北京:科学出版社,2010:64-66.
- [7] 陈宁强,戴锦芳.人机交互式土地资源遥感解译方法研究[J].遥感技术与应用,1998,13(2):15-20.
- [8] 阎守邕,王涛,刘亚岚,等.遥感影像人机交互判读系统及其技术特点[J].遥感学报,2002,6(3):198-204.
- [9] 国务院第一次全国水利普查领导小组办公室.第一次全国水利普查培训教材之六:水土保持情况普查[M].北京:中国水利水电出版社,2010:5-9.
- [10] Liu Baoyuan, Zhang Keli, Xie Yun. An Empirical Soil Loss Equation [M]//Proceedings-Process of Soil Erosion and Its Environment Effect(II): 12th International Soil Conservation Organization Conference, 2002: 21-25.
- [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] 张雪花,侯文志,王宁.东北黑土区土壤侵蚀模型中植被因子 C 值的研究[J].农业环境科学学报,2006,25(3):797-801.
- [13] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning [M]. USDA: Agriculture Handbook, 1978.
- [14] 王洪岩,牟向东,张春山.拜泉县实施黑土区水土流失综合防治试点工程的做法与成效[J].黑龙江水利科技,2007,35(4):186-187.