

陕北典型流域退耕后土壤侵蚀及空间分布初步调查研究

吴艳¹, 张晓萍^{1,2}, 陈凤娟¹, 万龙¹, 付艳玲¹, 刘国彬²

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘要:黄土丘陵沟壑区水土流失非常严重。近年来退耕还林政策的实施对土壤侵蚀及水土流失有根本的影响。为了解该区水土流失情况,以陕北安塞县马家沟流域为例,以 2008 年土地利用实地调查及数据为基础,采用水利部颁《土壤侵蚀分类分级标准》(SL 190-96),计算流域土壤侵蚀模数并分析其空间分布。研究结果表明:在 2008 年土地利用和土地覆被条件下,马家沟流域土壤侵蚀模数估算值为 $5\,700\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。各侵蚀级别面积占流域分布比例呈正态分布,中度侵蚀级别占流域面积的 53.65%,然后是强度、轻度级别,为 17.23%、14.64%,极强度、微度和剧烈侵蚀面积较少,为 9.2%、4.16%和 1.12%。流域上、中、下游侵蚀级别的分布格局受流域地形地貌特征影响很大。上中游各侵蚀级别分布格局与全流域非常相似。下游则呈现微度、强度侵蚀集中,轻度、剧烈侵蚀较少的格局。

关键词:土壤侵蚀;空间分布;黄土丘陵区

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)04-0029-05

Preliminary Investigation on Soil Erosion and Spatial Distribution after Returning Farmland in Typical Watershed of Northern Shaanxi Province

WU Yan¹, ZHANG Xiao-ping², CHEN Feng-juan¹, WAN Long¹, FU Yan-ling¹, LIU Guo-bin²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100 China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soil erosion in Loess Plateau is very serious. In recent years, implementation of the policy of returning farmland to forest has a fundamental impact on soil erosion. In order to learn the situation of soil erosion in this area, taking the Majiagou gully which lies in the north part of Shaanxi province, the typical hilly and gully loess region as the example, based on land use filed survey and data in 2008, using Standards for classification and gradtion of soil erosion (SL190-96) from Ministry of Water Resources, this paper calculated soil erosion modulus of watershed and analyzed their spatial distributions. It is shown that soil erosion modulus in Majiagou was $5\,700\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ under the conditions in the land use and land cover. The areas of classification erosion levels present normal distribution. The moderate erosion takes 53.65% area of watershed, the intense and slight levels take 17.23%, 14.64%, respectively. Severe, weak and extreme severe level take less erosion area, for 4.16%, 1.12% and 9.2%. The erosion distributions of upper, middle and downstream area are affected by terrain geomorphology. In upper and middle area, it matches the whole watershed erosion distribution. In downstream area, most area erosion level is weak or intense, gentler and severe levels concentrate less in proportion.

Key words: soil erosion; spatial distribution; hily-gullt region

黄土高原是我国乃至全世界土壤侵蚀最严重的地区之一,恶化的生态环境,严重阻碍了当地社会经济的可持续发展,受到政府及科技界的关注^[1-5]。影响侵蚀发生的因素很多,在黄土高原丘陵沟壑区,不合理的土地利用是导致土壤侵蚀发生的根本症结^[6-8]。目前实施 10 a 之久的退耕还林还草生态建

设工程正是抑制侵蚀、减少水土流失的有效措施。

侵蚀的发生发展规律与土地利用及地表植被变化息息相关^[6-9]。1999 年退耕还林还草生态建设工程实施后侵蚀环境效应的变化究竟如何需要深入研究。本文以黄土高原丘陵沟壑区典型流域马家沟流域为例,以 2008 年流域土地利用数据为基础,结合地

收稿日期:2010-01-14

资助项目:中国科学院西部行动计划(二期)项目“黄土高原退耕还林(草)环境效应与效益评价”(KZCX2-XB2-05-03)

作者简介:吴艳(1983—),女,甘肃张掖人,硕士研究生,从事 GIS/RS 在水土保持中的应用方向研究。E-mail:yan_840216@163.com

通信作者:张晓萍(1971—),女,博士,研究员,从事土地利用/覆被变化环境效应研究。E-mail: zhangxp@ms.iswc.ac.cn

形地貌等要素,依据水利部部颁《土壤侵蚀分类标准》(SL 190—96)^[10]规程中侵蚀估算法,估算流域土壤侵蚀量,分析其空间分布特征,为流域相关部门进行生态环境建设提供决策依据。

1 流域概况

马家沟流域位于陕北延安市安塞县境内,是延河流域的一级支流,黄土丘陵沟壑区典型流域。流域面积 73.82 km²,主沟道长 17.5 km,沟道平均比降 6.5‰,沟壑密度 4.5 km/km²^[11]。该区气候属于中温带大陆性半干旱季风气候,光照充足,昼夜温差较大,多年平均降雨量为 500 mm,集中在 6—9 月,多年平均气温 8.8℃,蒸发能力大于 1 000 mm^[4]。主要自然灾害有:干旱、大风、冰雹、霜冻等,尤以干旱最为严重。成土母质为第四纪黄土,以黄绵土为主要土类,土层深厚,但土质疏松,抗侵蚀性差^[4,11],第三纪红土在流域沟谷坡脚零星出露。

属于森林草原植被地带,森林和草原镶嵌分布,在广大梁峁坡顶部及阳坡等显域环境分布着以草被

植物为主植被,而在阴坡、沟坡底部水分比较集中的地方分布着以乔木或灌木为主的植被。地下储藏大量的石油、天然气等资源。

马家沟流域包含 5 个行政村 22 个自然村,总人口 4 294 人,其中农业人口 3 521 人,人口密度 58 人/km²,人口自然增长率 13.0‰。据调查,2008 年农民年人均纯收入 4 000 元^[12]。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

马家沟流域 2008 年土地覆被数据是在 1990 年土地利用图基础上,经过 2008 年 12 月实地调查,订正 1990 年变更的图斑界线及属性而获得,如附图 2 所示,各利用类型面积及占流域比例见表 1。1990 年土地利用图由安塞县土地局提供,属全国第一次土地利用调查成果。结合 1:1 万地形图生成的流域地形高程模型 DEM 数据(分辨率 25 m),来分析流域侵蚀现状及空间分布特征。

表 1 马家沟流域 2008 年土地利用结构统计

一级类	面积/km ²	占流域比例/%	二级类	面积/km ²	占地类比例/%	占流域比例/%
农耕地类	11.26	15.25	坡耕地	4.77	42.4	6.5
			梯田	5.05	44.8	6.8
			川台地	0.714	6.3	0.97
			川地	0.482	4.2	0.65
			水浇地	0.26	2.3	0.35
园地利	4.45	6.03	苹果园用地	4.28	96.2	5.8
			其它园地用地	0.17	3.8	0.23
林地类	14.49	19.6	有林地	7.64	52.7	10.3
			灌木林地	1.76	12.2	2.4
			疏林地	5.09	35.1	6.9
草地类	41.91	56.77	天然草地	31.3	74.7	42.4
			人工草地	0.11	0.24	0.14
			荒草地	0.02	0.05	0.03
			未成林造林地	10.48	25.01	14.2
居民点及工矿用地	1.04	1.41	农村居民点	0.993	95.48	1.34
			独立工矿用地类	0.04	3.85	0.06
			特殊用地类	0.007	0.67	0.01
水域用地类	0.59	0.80	河流水面	0.28	47.5	0.38
			水库水面	0.08	13.6	0.11
			滩涂	0.23	38.9	0.31
未利用地类	0.08	0.12	裸岩石砾地	0.08	100	0.12

2.2 研究方法

中华人民共和国水利部 1997 年实施的《土壤侵蚀分类分级标准》SL—190—196^[4],是对全国土壤侵蚀区的侵蚀强度规定和采用的半定性半定量的判别方法。其过程是通过确定评价单元的坡度和植被覆

被度,来确定单元的侵蚀强度,在目前国内土壤侵蚀强度评价还缺少标准性、规范性定量方法条件下,该方法仍不失为一个简便、实用的好办法^[13]。文章主要采用该方法中对水蚀中面蚀的判定准则,如表 2 所示。土壤侵蚀强度分级标准见表 3 所示。

表 2 水利部 1997 年部颁水蚀(面蚀)评价标准

地面坡度		5° ~8°	8° ~15°	15° ~25°	25° ~35°	>35°
地类						
非耕地 林草 覆盖度/ %	60~75	轻	度			强度
	45~60					
	30~45					
	<30		中	度	强度	极强度
坡耕地		轻度	中度	强度	极强度	强烈

表 3 水利部 1997 年部颁水蚀(面蚀)土壤侵蚀强度分级标准表

级别	平均侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	平均流失厚度/ (mm·a ⁻¹)
微度	<200,500,1000	<0.15,0.37,0.74
轻度	200,500,1000~2500	0.15,0.37,0.74~1.9
中度	2500~5000	1.9~3.7
强度	5000~8000	3.7~5.9
极强度	8000~15000	5.9~11.1
剧烈	>15000	>11.1

在 ArcGIS 软件支持下将 2008 年土地利用图转化为 5 m×5 m 网格的栅格图,与流域地形高程模型保持一致。估计不同覆被条件下的覆盖度,并经过实地调查验证,结果如表 4 所示。

表 4 马家沟流域不同土地覆被类型下郁闭度估算

地类	估算覆盖度
有林地	0.5
灌木林地	0.6
疏林地	0.4
造林地	0.4
天然草地	0.7
人工草地	0.8
荒草地	0.4

注:由于未成林造林地树木矮小,成活率不高,归为荒草地。

作为特殊用地类型,居民点和工矿用地按中度侵蚀考虑,水域按微度侵蚀考虑。沟道分布的川地、川台地作为农民的基本口粮田,按微度侵蚀考虑。梯旱地按照所在坡度判断侵蚀级别,考虑到经过小地形改造,实际确定侵蚀级别较判断级别小一级。坡旱地按照表 2 判断。果园按照估计的郁闭度按林地判断侵蚀级别。

3 结果与分析

3.1 流域年均土壤侵蚀量估算

依据上述研究方法,在 2008 年土地利用基础上,经过 ArcGIS 编程计算,估算马家沟流域年均土壤侵蚀模数为 5 700 t/(km²·a),流域上中下游的土壤侵蚀模数分别为:5 720 t/(km²·a)、5 350 t/(km²·a)、6 240 t/(km²·a)。流域土壤侵蚀分布如附图 3 所示,侵蚀级别分布如图 1 所示。

从图 1 可知,马家沟流域各侵蚀级别在流域中所

占面积呈正态分布,以中度侵蚀面积最广,占流域面积的 53.65%,其次是强度和轻度侵蚀,分别占流域面积的 17.23%和 14.64%,然后是极强度、微度和剧烈,占流域面积分别是 9.2%、4.16%和 1.12%。

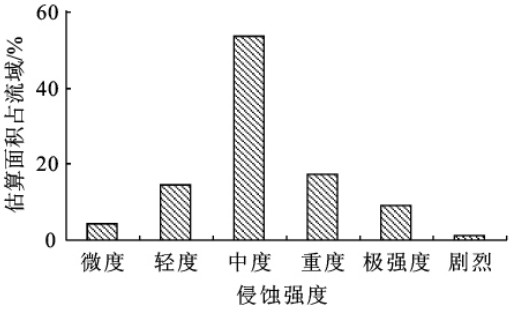


图 1 马家沟流域年均土壤侵蚀量级别分布

微度侵蚀以流域沟道川地、川坝地为主,坡度为零或很小,作为农业的基本农田用地,以玉米或大棚蔬菜种植为主,如附图 3 所示。轻度侵蚀发生地类以地表林草覆盖度在 0.5~0.6 以上的有林地、灌木林地及地表草被覆盖较好的疏林地,以及坡度较小的缓坡塌地为主。地表良好的覆盖有减缓降雨动能,增大降雨截留量、增加降雨入渗量、延缓地表径流发生时间及减少地表径流发生量的功能^[14-15],因而极大地减少了侵蚀的发生几率,将侵蚀模数控制在 2 000 t/(km²·a)左右。梁卯坡顶在坡度<15°、林草有效盖度 0.4 以上时,也能有效增加径流入渗,减少径流产生量及动能,因而侵蚀几率也较小。

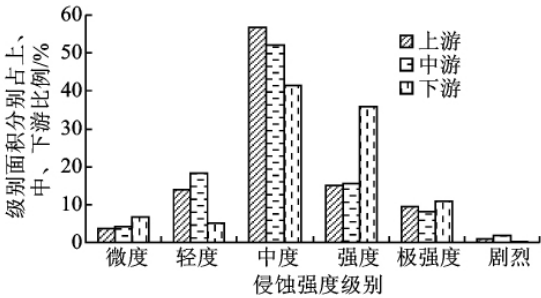


图 2 马家沟流域侵蚀强度级别估算面积占不同区域比例

马家沟流域中度侵蚀发生在坡度 15°以上,地表覆盖度 0.5 以下的荒草地,包括部分疏林地、造林地。由于坡度陡,荒草地表覆盖度不高,产生侵蚀几率增大。疏林地地表虽有乔木生长,但林冠稀疏,林下层

次单调,土层较薄,草地覆盖度在 0.4 左右;造林地树苗幼小,成活率不高,以等高排列、整齐规范的鱼鳞坑为主要辨识特征。0.5 以下的地表覆盖度,在 $>15^{\circ}$ 以及更大坡度上,暴雨条件下非常容易产生 $4\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 左右的侵蚀量。

沟坡坡度 25° 以上,林草盖度差且土层薄,承接上方来水后地表径流量及其动能急剧增加,不易发生径流入渗,在细沟、切沟等流路基础上,容易发生强度以上侵蚀,暴雨和大暴雨时,非常容易发生极强度和剧

烈侵蚀。侵蚀模数在 $6\,000\sim8\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,甚至在 $10\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 以上。在 2008 年土地利用和林草覆盖条件下,马家沟流域有 27.58%的面积属于这样的地类。

3.2 侵蚀空间分布特征

如附图 2 所示,将流域按照水系流路大致分为上、中、下游,占全流域面积比例大约为 54%、36%和 10%。2008 年土地覆盖情况下侵蚀级别分布面积在全流域的分布特征如表 5 所示。

表 5 马家沟流域上中下游侵蚀分布

侵蚀级别	上游		中游		下游	
	面积/ km^2	占流域比例/%	面积/ km^2	占流域比例/%	面积/ km^2	占流域比例/%
微度	1.47	1.99	1.13	1.53	0.47	0.64
轻度	5.49	7.44	4.95	6.71	0.36	0.49
中度	22.59	30.58	14.06	19.05	2.95	4.00
强度	5.99	8.11	4.17	5.65	2.56	3.47
极强度	3.82	5.17	2.20	2.98	0.77	1.04
剧烈	0.37	0.50	0.47	0.64	0.01	0.01
总计	39.73	53.79	26.98	36.56	7.11	9.65

流域上中下游各侵蚀级别的面积占全流域的分布比例非常相似,均呈正态分布形式,如表 5 所示,中度侵蚀级别的估算面积最大,然后是强度/轻度级别、极强度/微度级别和剧烈侵蚀级别。这种分布状况是全流域实施退耕还林所表现出来的环境效应,与林地尤其是草地面积增加,侵蚀级别降低关系非常密切。受流域上中下游划分的影响,总体上,流域各侵蚀级别的面积在上游比较集中,其次是中游,然后是下游。

在不同空间内,上、中游几乎一半左右的面积(56.86%、52.11%)为中度侵蚀,下游也高达 41.43%,如图 2 所示。强度侵蚀在流域上、中游比例几乎相同,分别为 15.08%和 15.46%,而流域下游则分布面积较大,比例为 35.96%。类似地,极强度侵蚀的分布在上中游比例近似,分别为 9.61%和 8.15%,而下游分布面积则较大,为 10.81%。剧烈侵蚀的面积在上中游所占比例要大于下游。轻度侵蚀面积所占比例上中游较下游大,而微度侵蚀则以下游居多。

将流域上中下游各侵蚀强度所占比例与全流域相应侵蚀强度所占比例的比值称为各侵蚀强度级别的变化指数,以反映侵蚀强度在流域中分布格局的不同,如图 3 所示。值越大,表示该侵蚀级别的分布越集中,值越小,表示分布面积越少,接近于 1,表示与全流域分布格局相似。从图 3 看出,上、中游侵蚀强度级别的分布与全流域比较相似,下游差异较大。

流域侵蚀级别的分布格局与流域的地形地貌特征紧密相关。上中游水力侵蚀十分活跃, $15^{\circ}\sim25^{\circ}$ 及以上沟坡面积占有很大比例,在中游地区,滑塌等重力侵蚀的发生发育了大片缓坡塌地,成为当地群众生活的主要经营对象。在退耕还林还草政策实施背景下,大部分坡耕地甚至梁峁顶梯田流转为草地,但据实地调查,其林草盖度及生长状况并没有发育到能有效控制土壤侵蚀发生的程度,且农耕地中坡耕地仍占 44.8%的面积,因此,在覆盖度 <0.4 , $>35^{\circ}$ 陡坡部位发生极强度甚至剧烈侵蚀。在广大 $25^{\circ}\sim35^{\circ}$ 部位发生强度和中度侵蚀, $15^{\circ}\sim25^{\circ}$ 坡度仍发生着中度—轻度侵蚀。

相对流域下游微度和强度侵蚀比较集中,而轻度和剧烈侵蚀较少。沟口是整个集水区的唯一出口,水流量大且流速很快,下蚀和侧蚀十分强烈,沟道展宽,但是沟坡地形陡峭,水力侵蚀发育。河川地面积比例增大,因而流域下游微度侵蚀面积比例远远大于上中游。虽然流域下游林地分布面积最大,但是在调查中发现,其林相单一,林下层次不丰富,人工生态系统特征突出,虽然一定程度上保护了地表土层,但其功能

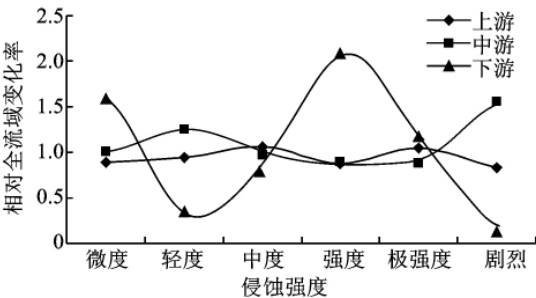


图 3 马家沟流域不同区域侵蚀级别比例相对于全流域侵蚀级别比例的变化

的发挥仍受地形的很大限制,强度和极强度侵蚀发生几率还是很大的。如附图 3 和图 2 所示。

4 结 论

以陕北丘陵沟壑区典型流域马家沟流域为例,在 2008 年流域土地利用数据基础上,结合地形地貌等要素,依据水利部部颁《土壤侵蚀分类标准》(SL 190—96)规程中侵蚀估算法,估算流域土壤侵蚀量,分析其空间分布特征,为相关部门进行生态环境建设提供决策依据。

退耕政策实施后的近 10 年来,马家沟流域土壤侵蚀模数估算值为 5 700 t/(km² · a)。该流域各侵蚀级别的面积占流域的分布比例呈正态分布,以中度侵蚀面积最广,为流域面积的 53.65%,其次是强度、轻度级别,分别为流域面积的 17.23%和 14.64%,然后是极强度、微度级别和剧烈侵蚀级别,占流域面积分别是 9.2%、4.16%和 1.12%。

整体上,侵蚀强度的分布仍受地形发育的影响。在上、中游各侵蚀强度级别的发生面积与全流域的分布非常相似,中游剧烈侵蚀面积稍有增加。而下游则与全流域分布格局差异很大,相对地说,微度和强度侵蚀比较集中,而轻度和剧烈侵蚀面积较少。

参考文献:

[1] 吴发启,赵晓光,刘秉正,等. 黄土高原沟壑区流域土壤侵蚀系统分析[J]. 西北林学院学报,1995,10(1):1-7.
[2] 李锐,上官周平,刘宝元,等. 近 60 年我国土壤侵蚀科学研究进展[J]. 中国水土保持科学,2009,7(5):1-6.

[3] 郑粉莉. 浅谈我国土壤侵蚀学科亟待加强的研究领域[J]. 水土保持研究,1999,6(2):26-31.
[4] 秦伟,朱清科,张岩. 基于 GIS 和 RUSLE 的黄土高原小流域土壤侵蚀评估[J]. 农业工程学报,2009,25(8):157-163.
[5] 张翼. 黄土高原丘陵沟壑区土壤侵蚀研究进展[J]. 水土保持学报,2001,15(2):121-124,128.
[6] 雷会珠,杨勤科,焦峰. 黄土高原丘陵沟壑区的土壤侵蚀与土地利用[J]. 水土保持研究,2000,7(2):48-51.
[7] 张鲁,周跃,张丽彤. 国内外土地利用与土壤侵蚀关系的研究现状与展望[J]. 水土保持研究,2008,15(3):43-48.
[8] 王思远,刘纪远,张增祥,等. 不同土地利用背景下土壤侵蚀空间分布规律研究[J]. 水土保持学报,2001,15(3):48-51.
[9] 李秀霞,倪晋仁. 土壤侵蚀及其影响因素空间相关性分析[J]. 地理科学进展,2009,28(2):161-166.
[10] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京:中国水利水电出版社,1997.
[11] 李勇,张建辉,杨俊诚,等. 陕北黄土高原陡坡耕地土壤侵蚀变异的格局[J]. 水土保持学报,2000,14(4):17-21.
[12] 申圆圆,高苗苗. 陕北地区退耕还林之后知识援助的必要性研究:以安塞县为例[J]. 延安大学学报:社会科学版,2009,31(3):106-109.
[13] 姚鹤龄,史学建,王昌高,等. 基于 RS 与 GIS 的土壤侵蚀评价方法[J]. 中国水土保持,2005(5):42-43.
[14] 王占礼. 中国土壤侵蚀影响因素及其危害分析[J]. 山西水土保持科技,2000(2):14-16.
[15] 张晓萍,焦峰,李锐. 天山北麓中段土壤侵蚀影响因素及特征分析[J]. 西北农业大学学报,2000,28(5):42-48.

(上接第 28 页)

[5] Goovaerts P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives [J]. Geoderma,1999,89:1-45.
[6] Fethi B J. Multivariate geostatistical design of groundwater monitoring networks[J]. J. Water Resources Planning and Management,1994,120(4):505.
[7] Chepil W S, Woodruff N P, Siddoway F H, et al. Vegetation and nonvegetative materials to control wind and water erosion [J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1963, 27(1):86-89.
[8] Stephen A W, Nickling W G. The protective role of sparse vegetation in wind erosion [J]. Progress in Physical Geography,1993,17(1):50-68.
[9] 贺大良,申建友. 降水对起沙风速的影响[J]. 中国沙漠,1988,8(4):18-26.
[10] Li Habin. Theory and methodology of spatial heterogeneity quantification [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,1998,9(6):651-657.
[11] 苏里坦,宋郁东,张展羽. 新疆渭干河流域地下水含盐量的时空变异特征[J]. 地理学报,2003,58(6):854-860.
[12] Hodgson D I F. The use of multiple linear regressions in simulating ground-water level responses[J]. Ground Water,1978:1694-1699.
[13] 侯景儒,尹镇南,李维朋,等. 实用地质统计学[M]. 北京:地质出版社,1998.
[14] 秦耀东. 土壤空间变异研究中的半方差问题[J]. 农业工程学报,1998,12(4):42-47.