

黄土高原向阳沟流域水土保持措施效益分析

同新奇^{1,2}, 胥彦玲¹, 李怀恩¹, 员学锋³

(1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 陕西省水土保持局, 陕西 西安 710004; 3. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 在 ArcGIS 软件的辅助下, 根据不同坡度的土地利用对土壤侵蚀的影响, 将向阳沟流域划分了 5 个坡度等级单元, 利用通用土壤流失方程 (USLE) 对流域现有水土保持措施下不同坡度等级单元侵蚀量进行了估算, 并与治理前土壤侵蚀量进行对比分析。结果表明, 实施水土保持措施后, 水土流失有了极大的改善, 水保效益较为可观, 但区域仍属中度侵蚀, 25°~35° 坡度等级单元对流域土壤侵蚀量的贡献最大, 其次为 15°~25° 和 >35° 等级单元。根据不同坡度等级单元的水土流失侵蚀模数估算结果分析, 结合现有水土保持措施, 提出了今后进一步治理的的几点建议。

关键词: ULSE; 土壤侵蚀量; 水土保持措施; 向阳沟流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)05-0086-03

中图分类号: X43, S157

Effect of Soil and Water Conservation Measurements in the Xiangyanggou Watershed

Tong Xin-qi^{1,2}, XU Yan-ling¹, LI Huai-en¹, YUN Xue-feng²

(1. Northwest Water Resources and Environmental Ecology laboratory, Key

Lab of Education at Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, Shaanxi Province,

China; 2. Shaanxi Soil and Water Conservation Bureau, Xi'an 710004, Shaanxi Province, China;

3. School of Earth Science and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi Province, China)

Abstract: In terms of the impact of different land uses on soil erosion, the Xiangyanggou watershed was divided into five slope grade units with the aid of ArcGIS. Soil erosion in the units under the conditions of existed soil and water conservation measures was estimated using the universal soil loss equation, and was then contrasted to the case before adopting the measures. Results show that soil and water loss has been greatly controlled, and soil and water conservation measures have evidently plaid a relatively great role. However, the watershed is still suffering from medium erosion, and the 25°~35° slope grade unit contributes most of soil loss, followed by the 15°~25° and >35° slope grade units. Based on the analysis of estimated modulus for different slope grade units, suggestions for further soil erosion control are presented in combination with existed soil and water conservation measures.

Keywords: universal soil loss equation; soil erosion; soil and water conservation measures; Xiangyanggou watershed

向阳沟流域位于延安市城南 12 km 处, 属延河三级支流。该流域面积 3.646 km², 处于东经 109°18'45"—109°26'15", 北纬 36°32'30"—36°35'00", 是黄土高原一小流域。由于地质、地貌、气候及人类活动的影响, 流域水土流失严重, 流失面积 3.64 km², 占流域面积的 100%, 侵蚀方式以水蚀为主, 重力侵蚀次之。近年来, 由于水保措施的实施, 使该流域水土流失得到了极大的改善, 但仍存在较严重的土壤侵蚀现

象, 流域生态环境继续遭到破坏。为了进一步实施水土保持措施, 较好地改善流域自然环境, 有必要进行现有水保措施的效益分析, 针对现有水保措施的不足提出进一步治理的建议。

1 流域水土保持概况

向阳沟流域于 1996 年开始布设小区措施。用材林小区 4 月上旬布设, 栽植了刺槐 (一年生苗), 株行

收稿日期: 2005-11-21

修稿日期: 2006-06-30

资助项目: 陕西省教育厅省级重点实验室重点科研项目 (05JS35); 国家自然科学基金委员会与黄河水利委员会联合资助基金项目 (50479067)

通讯作者: 员学锋 (1977—), 男 (汉族), 陕西延安人, 博士, 主要从事土地资源评价与管理工作。E-mail: yunxuefeng2000@163.com。

距 1 m×2 m;牧草小区 4 月中旬布设,种植了沙打旺;坡耕地小区 4 月下旬布设,水平沟种植谷子,10 月中旬收割;经济林区在 4 月上旬布设,栽植苹果,株行距 3 m×4 m;梯田小区 4 月上旬布设,栽植苹果,株行距 3 m×4 m。水土保持措施到 1998 年实施流域治理有了新的飞跃,各项治理措施结构合理且稳步发展。

2 流域土壤侵蚀估算与分析

2.1 土壤侵蚀模型

Wisckmeier 于 20 世纪 50 年代提出通用土壤流失方程,是估算高地侵蚀造成的土壤流失最普遍的估算式^[1]。本文采用该方程进行土壤侵蚀计算。该方程全面考虑了影响土壤侵蚀的自然因素,并通过降雨侵蚀力、土壤可蚀性、坡度、坡长、植被覆盖和水土保持措施 5 个因子进行定量计算,其表达式为:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

式中: A——年土壤流失量; R——降雨和径流因子; K——土壤可蚀性因子; LS——坡度、坡长因子; C——经营管理因子; P——水土保持因子。

2.2 坡度等级的划分

根据不同坡度的土地利用及对土壤侵蚀的影响,利用向阳沟流域 1:10 000 的 DEM 在 ARC/GIS 软件的支持下进行坡度提取,并将坡度划分为 <5°, 5°~15°, 15°~25°, 25°~35° 和 >35° 这 5 个坡度等级。

2.3 USLE 各因子图的确定和因子图的生成

2.3.1 降雨径流因子 R 值的估算 降雨侵蚀因子 R 值与降雨量、降雨强度、降雨历时、雨滴的大小以及雨滴下降速度有关,它反映了降雨对土壤的潜在侵蚀能力。降雨侵蚀力难以直接测定,本研究采用 Wisckmeier 提出的利用多年各月平均降雨量推求 R 值的经验公式:

$$R = \sum_i^{12} [1.735 \times 10 (1.5 \times \lg P_i^2 - 0.8188)] \quad (1)$$

向阳沟流域降雨集中在 5—10 月,根据向阳沟流域 1996—2002 年 7 a 的年(P)和月(P_i)平均降雨量监测资料计算出 R 值为 93.58。由于向阳沟流域面积较小,故认为该研究区雨量因子均一。

2.3.2 土壤可蚀性因子(K)的确定 K 值的大小与土壤质地、土壤有机质含量有较高的相关性^[2]。Williams 等在 EPIC 模型中,发展了土壤可蚀性因子 K 的估算方法,使其使用更简便^[8];只要具有土壤有机碳和土壤颗粒组成资料,即可估算 K 值。

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 S_d(1 - S_i/100)]\} \{S_i / (Cl + S_i)\}^{0.3} \{1.0 - 0.25 C / [C + \exp(3.72 - 2.95C)]\}$$

$$\{1.0 - 0.7(1 - S_d)/100\} \{(1 - S_d)/100 + \exp[-5.51 + 22.9(1 - S_d)/100]\} \quad (2)$$

式中: S_d——砂粒含量(%); S_i——粉粒含量(%); Cl——黏粒含量(%); C——有机碳含量(%)。向阳沟流域土壤以黄绵土为主,有少量的红胶土,根据陕西省第 2 次土壤普查数据集查得土壤机械组成和有机质含量,利用(2)式可计算出 K 值为 0.4473。

2.3.3 坡度坡长因子(LS)的获取 利用向阳沟流域 1:10 000 的数字高程模型(DEM),在 ArcGIS 辅助下进行地形特征分析,提取坡度坡长图。利用通用土壤流失方程中的坡度坡长因子的计算方法进行 LS 的计算^[2-3],计算公式如下:

$$LS = (\lambda/22.13)^m (65.4 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065)$$

式中: λ——坡长(m); θ——倾斜角; S——坡度百分比; m——坡长指数,由于向阳沟流域坡度较大,其坡度百分比几乎都大于 5%,因此参考文献 3,根据 m 的经验取值为 0.5。

2.3.4 水土保持措施因子(P)值的确定 水土保持措施因子 P 是采用专门措施后的土壤流失量与顺坡种植时的土壤流失量的比值,通常的侵蚀控制措施有等高耕作、修梯田等。根据向阳沟流域水土保持措施图及流域土地利用现状,参考相关的文献进行 P 值的确定^[3-5](见表 1)。

表 1 向阳沟流域 P 因子的确定

用地类型	P 值	用地类型	P 值
坡地	1.00	梯田	0.35
乔木林地	1.00	荒地	1.00
混交林	0.20	监测用地	1.00
经济林	0.69	居民地	1.00
人工草地	0.20		

2.3.5 经营管理因子(C)值的确定 C 因子反映的是所有有关覆盖和变化对土壤侵蚀的综合作用,其值大小取决于具体的作物覆盖、轮作顺序及管理措施的综合作用等。也就是说 C 值的取值主要与植被覆盖和土地利用类型有关。根据向阳沟流域水保措施、土地利用现状及实施水保措施后植被覆盖度的调查结果,参考文献 4 中 C 因子的计算式来确定 C 值,计算式如下:

$$\begin{cases} C = 1 & c = 0 \\ C = 0.6508 - 0.3436 \lg c & 0 < c < 78.3\% \\ C = 0 & c > 78.3\% \end{cases}$$

式中: C——经营管理因子; c——植被覆盖度。计算的 C 因子的结果见表 2,并在水保措施图的基础上生成经营管理因子图。

表 2 植被覆盖度 c 与经营管理因子 C 值的确定

土地利用类型	植被覆盖度 c /%	经营管理因子 C
坡地	10	0.99
乔木林地	30	0.83
混交林	30	0.83
经济林	20	0.89
人工草地	50	0.75
梯田	20	0.89
荒地	80	0.68
监测用地	20	0.89
居民地	20	0.89

2.4 不同坡度分级单元土壤侵蚀计算与分析

在 ArcGIS 软件的支持下,将提取的不同坡度所对应的各因子进行连乘,得到不同坡度等级单元的土壤侵蚀量,结果见表 3。计算结果表明,向阳沟流域年平均侵蚀模数为 $4\ 190.11\ \text{t}/\text{km}^2$ 。据延安向阳沟延河水沙监测站对 1998 年流域水保措施稳步发展后的监测结果年侵蚀模数为 $4\ 420\ \text{t}/\text{km}^2$,二者相对误差为 5.2%,误差较小,这说明本研究的因子选取较为合理,计算结果可信度较高。

从表 3 可以看出,在现有水保措施下,流域仍属中度侵蚀区,坡度越大,侵蚀模数也越大,占流域面积 36.07% 的 $25^\circ\sim 35^\circ$ 坡度等级单元属强度侵蚀区[侵蚀模数 $>5\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$],对流域土壤侵蚀量的贡献最大(贡献率为 47.61%),有 24.71% 的土壤侵蚀量来自于占流域面积 35.85% 的 $15^\circ\sim 25^\circ$ 坡度等级单元[中度侵蚀区,侵蚀模数 $<5\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$],而流域 24.67% 的土壤侵蚀量来自于仅占流域面积 12.61% 的 $>35^\circ$ 坡度等级单元[极强度侵蚀区,侵蚀模数 $>8\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$]的区域。因此,这几个坡度等级单元是水土流失治理的关键区域。

表 3 不同坡度等级单元的土壤侵蚀量

坡度	面积/ km^2	占总面积的 百分比/%	侵蚀模数/ $(\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1})$	对流域的 贡献率/%
$<5^\circ$	0.034	0.93	208.971	0.05
$5^\circ\sim 15^\circ$	0.530	14.54	854.726	2.96
$15^\circ\sim 25^\circ$	1.307	35.85	2 888.931	24.71
$25^\circ\sim 35^\circ$	1.315	36.07	5 531.564	47.61
$>35^\circ$	0.460	12.61	8 199.650	24.67

3 水土保持措施效益分析

上述计算分析可知,实施水保措施后,流域年均侵蚀模数为 $4\ 190.11\ \text{t}/\text{km}^2$,与治理前年侵蚀模数 $9\ 000\ \text{t}/\text{km}^2$ 相比有很大的改善,其水土保持效益是

可观的,水保措施比较有效。为了进一步提出治理水土流失的有效措施,本研究将提取的坡度等级图与水土保持措施图叠加获得不同坡度等级的水保措施效益统计(见表 4),并与治理前的土地利用状况(见表 5)进行比较来分析水保措施的有效性。

表 4 实施水保措施后不同坡度等级水保效益统计

坡度等级	$15^\circ\sim 25^\circ$	$25^\circ\sim 35^\circ$	$>35^\circ$
坡地百分比/%	18.88	10.65	5.72
林地(乔木、经济、混交林)百分比/%	46.43	49.41	47.49
人工草地百分比/%	4.77	11.68	10.19
梯田百分比/%	19.84	11.34	4.67
荒地百分比/%	8.50	15.55	30.89
其它/%	1.58	1.37	1.04

表 5 治理前土地利用现状

坡度等级	$15^\circ\sim 25^\circ$	$25^\circ\sim 35^\circ$	$>35^\circ$
坡地百分比/%	76.12	15.59	0
林地(乔木、经济、混交林)百分比/%	19.12	29.37	0
人工草地百分比/%	0	0	0
梯田百分比/%	0	0	0
荒地百分比/%	0	55.04	100
非生产用地/%	4.76	0	0

表 4 与表 5 对比分析可知,在实施水保措施后,不同坡度等级单元林地比例均有很大程度的增加,并且林地所占比例均在 46% 以上,坡度等级单元的坡耕地明显减少,梯田有所增加,人工草地也占有一定的比例,荒地比例减少。这些都说明该水保措施中退耕还林还草、坡改梯、荒地治理的力度均较大,治理效果明显,治理措施合理有效。但由于流域坡度大, 15° 以上的坡度等级单元中坡耕地和荒地仍占有一定的比例,尤其是占流域最大面积的 $>25^\circ$ 的坡度等级单元仍属于强侵蚀或极强侵蚀区,使得现有水保措施实施后流域仍属中度侵蚀区。因此,今后应进一步加强实施流域的水土保持治理措施,合理规划土地,尤其对 $>25^\circ$ 的坡度等级单元,才能最大限度地减少流域的土壤侵蚀量。

4 结论

综合以上对比分析可知,向阳沟流域坡度大、坡耕地和荒地面积比例大、林地草地比例少是水土流失易发生的主要原因,针对现有水保措施及不同坡度等级单元的水土流失侵蚀模数估算结果分析,对今后的进一步治理提出以下建议。

(下转第 93 页)

- and Biodiversity in Mediterranean Type Ecosystems [C]. Springer, 1998. 55—61.
- [3] Cullen W R, Wheat C P, Dunleavy P J. Establishment of species-rich vegetation on reclaimed limestone quarry faces in Derbyshire [J]. U K. Biological Conservation, 1998, 84:25—33.
- [4] 袁剑刚,等.采石厂悬崖生态系统自然演替初期土壤和植被特征[J].生态学报,2005(6):1518—1522.
- [5] 束文圣,蓝崇钰,黄铭洪,等.采石场废弃地的早期植被与土壤种子库[J].生态学报,2003,23(7):1305—1312.
- [6] 陈法扬.城市化过程中的废弃采石场治理技术探讨[J].中国水土保持,2002(5):39—40.
- [7] 夏汉平,蔡锡安.采矿地的生态恢复技术[J].应用生态学报,2002,13(11):1471—1477.
- [8] 陈波,包志毅.国外采石场的生态和景观恢复[J].水土保持学报,2003,17(5):72—74.
- [9] 陈文波,肖笃宁,李秀珍.景观空间分析的特征和主要内容[J].生态学报,2002,22(7):1135—1142.
- [10] 安保昭,周庆桐.坡面绿化施工法[M].北京:人民交通出版社,1988.134—142.
- [11] 潘树林,王丽.论边坡的生态恢复[J].生态学杂志,2005,24(2):217—221.

(上接第85页)

- [7] 王春裕,武志杰,石元亮.中国东北地区的盐渍土资源[J].土壤通报,2004,35(5):643—647.
- [8] 宋国利,陈文,臧淑英.黑龙江省生态环境中存在的主要问题及对策[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2004,20(5):100—105.
- [9] 秦秀忱,范国儒,金志刚,等.辽宁省沙漠化土地现状及治理对策[J].辽宁林业科技.2004(3):22—24.
- [10] 谢安,孙永罡,白人海.中国东北区近50年干旱的发展及对全球气候变暖的响应[J].地理学报,2003,58(增刊):75—82.
- [11] 汤惟.软件工程基础[M].西安:西安交通大学出版社,2001.21—132.
- [12] 陆惠恩,陆培恩.软件工程(第二版)[M].北京:电子工业出版社,2002.23—105.
- [13] 陈建春.Visual C++开发GIS系统——开发实例剖析[M].北京:电子工业出版社,2000.158—251.
- [14] Taruna Goel Rachna Chaudhary.王晓娟,陈代川译.VBA专业项目实例开发[M].北京:中国水利水电出版社,2003.25—165.
- [15] Ryan K. Stephens, Ronald R. Plew.何玉洁,武欣,邓一凡等译.数据库设计[M].北京:机械工业出版社,2001.53—116.
- [16] Microsoft Corporation. Microsoft SQL Server 2000 构架解析[M].北京:科学出版社,2001.69—165.
- [17] 隆华软件工作室. Microsoft SQL Server 2000 程序设计[M].北京:清华大学出版社,2001.11—300.

(上接第87页)

(1) 15°~25°坡度等级单元占流域面积较大,为了确保该区生态经济协调发展,可考虑将坡地全部退耕,改为梯田或经济林,改变坡度、坡长因子(*LS*)和管理因子(*C*),从而减少该区的土壤流失量。该区的荒地应合理利用,如作为经济林或牧草地。

(2) 25°~35°坡度等级单元占流域面积最大,又是强侵蚀区,不宜耕作扰动,应全部退耕还林(乔木、经济、混交林)还草(考虑到经济价值,可种植牧草)。荒地也应纳入治理规划范围内,种草造林。梯田应逐渐退耕还林还草。

(3) >35°坡度等级单元坡度大,属极强侵蚀区,该区应全部恢复灌木林及牧草地,长期采取生物工程措施相结合的综合治理方针,增加植被覆盖度,使水土流失逐步得以控制。

[参 考 文 献]

- [1] Wisckmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains [M]. Agric Handbook, Washington, D C, USDA, 1965. 282.
- [2] Wisckmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses - a guide to conservation planning [M]. Agricultural Handbook, Science and Education Administration, U S Department of Agriculture, Washington, D C, USDA, 1978. 537.
- [3] 王晓燕.非点源污染及其管理[M].北京:海洋出版社,2003.69—70.
- [4] 黄金良,洪华生,张珞平,等.基于GIS和USLE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):75—79.
- [5] 蔡崇法,丁树文,史志华,等.应用USLE模型与地理信息系统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—22.