

黄土丘陵沟壑区林草植被恢复的减沙效益研究

连振龙¹, 刘普灵¹, 陈翠红², 琚彤军¹, 申震洲¹

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 延安市宝塔区延河流域项目办, 陕西 延安 716000)

摘要: 分析了延安燕沟流域近年来的降雨观测资料以及野外人工降雨试验数据, 结果表明, 燕沟流域年均输沙量比治理前的 1997 年减少了 80% 以上。在造成输沙量减少的原因中, 降雨因素影响约占 30%, 而以植被建设为主的水土保持措施影响约占 70%, 证明植被恢复在流域综合治理中占有重要地位。

关键词: 黄土丘陵区; 植被恢复; 降雨; 减沙效益

文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2008)01-0010-04 **中图分类号:** X171.4, P333.4

Effects of Sediment Reduction by Vegetation Restoration on the Loess Plateau

LIAN Zhen-long¹, LIU Pu-ling¹, CHEN Cui-hong², JU Tong-jun¹, SHEN Zhen-zhou¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China; 2. The Management Project Office of Yanhe Basin in Yan'an City, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

Abstract: Through the analysis of observed data of natural and simulated rainfalls in recent years in Yan'gou watershed, Yan'an City, it is concluded that annually averaged sediment yield decreases by more than 80% in comparison with the case before control. Among the factors causing decreased sediment yield, the contribution by rainfall makes up about 30%, while the contribution by the soil and water conservation measures dominated by vegetation construction, about 70%. The result proves the importance of vegetation restoration in comprehensive watershed management measures.

Keywords: the Loess Plateau; vegetation restoration; rainfall; effect of sediment reduction

黄土高原是我国水土流失最严重的地区, 因此国家近些年来在西部大开发的过程中特别重视黄土高原水土流失的治理。随着治理力度的加大以及治理过程的推进, 黄土高原的水土保持工作取得了很大的成就。近年来退耕还林还草植被建设后的黄土高原对黄河的输沙贡献量也在逐年减少^[1-2]。黄河中游地区经过多年的连续治理, 每年减少入黄河泥沙 3.00×10^8 t, 在过去 50 a 中通过水土保持措施累计保土 4.26×10^{10} t^[3]。延河流域各水文站以及不同小流域的监测结果表明, 自 1998 年以来土壤侵蚀模数在大幅度降低, 特别是 2003 年, 在年降雨量近 600 mm 情况下燕沟流域土壤侵蚀模数降到 $200 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以下, 达到历史监测最低值。然而有关流域输沙量减少的原因是以降雨因素影响起主导作用还是水土流失综合治理起主导作用, 或是二者兼而有之, 各自影响程度为多少, 目前仍存在较大争议^[4-6]。由于这方面涉及问题很多, 我们仅以燕沟流域为例, 利用

人工模拟降雨试验及野外定位观测资料, 分析研究黄土丘陵沟壑区林草植被包括实施退耕还林还草政策在内的水土保持措施的减沙效益。通过对燕沟流域以植被建设为主的水保措施引起的输沙量的变化进行研究, 对比分析各个治理期间流域输沙量的变化, 以及由于降雨因素影响和植被恢复建设的影响在减沙量中的作用, 以期为科学地评价流域以还林还草为主的水土保持措施的减沙效益分析提供科学依据。

1 流域自然条件与重建背景

1.1 流域自然条件

燕沟流域位于延安市南 3 km 处, 属黄土高原丘陵沟壑区第二副区。主沟长 8.6 km, 流域面积 46.88 km², 属典型干旱半干旱地区。气候特点为冬春干旱少雨, 秋夏多大雨、暴雨, 沟内水网密度小, 水资源贫乏。流域内地形复杂, 沟壑纵横, 沟壑密度为 4.8 km/km², 主沟纵比降为 2.41‰。地表有林地面积

收稿日期: 2007-05-31 修回日期: 2007-09-28

资助项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAD09B05); 国家重点基础研究发展计划 (2007CB407205); 国家基金委重点课题 (90502007)

作者简介: 连振龙 (1982—), 男 (汉族), 山东省聊城市人, 硕士研究生, 主要从事植被恢复和土壤侵蚀关系方面研究。E-mail: lianzhenlong05@mails.gucas.ac.cn。

通讯作者: 刘普灵 (1954—), 男 (汉族), 陕西省蒲城县人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀新技术、新方法研究。E-mail: pliu@ms.iswc.ac.cn。

为 1 518.7 hm², 占 32.38%。荒坡地和坡耕地 2 636.83 hm², 占 56.22%, 流域现有水土流失面积 42.55 km², 占总面积的 90.72%。属于强度水土流失类型区。

1.2 生态恢复重建背景

随着国家经济发展战略向中西部的转移和西部大开发的启动, 大规模的退耕还林还草政策开始实施, 该地区生态环境发生了显著变化。燕沟流域 2001 年已基本完成全部坡耕地的退耕任务, 完成高标准机修梯田 487.2 hm², 完成新增果园、造林种草面积 2 341.8 hm², 水土流失面积由 1997 年的 1 617.6 hm² 减少到 2001 年的 130.7 hm², 基本做到

坡耕地的全面退耕, 退耕面积达到了总坡耕地面积的 91.92%。

2 试验方法

2.1 模拟降雨试验

为了克服野外径流小区观测耗时耗力的缺点, 缩短试验周期以及作为天然降雨的补充, 加快试验研究进程, 试验采用人工模拟降雨, 研究不同土地利用类型对侵蚀产沙的影响, 模拟降雨径流小区基本情况见表 1。试验设大、中、小 3 种降雨强度, 平均雨强为 0.87~3.09 mm/min, 降雨历时为 20~40 min, 共进行 18 次人工降雨。

表 1 模拟降雨径流小区基本情况

小区类型	面积/m ²	坡向	坡度/(°)	小区描述	盖度	植被类型
林地小区	1 × 5	北(阴坡)	28.5	林灌	60%	刺槐、绣线菊、灰甸子等
荒坡地小区	1 × 5	北(阴坡)	26.5	封禁草灌	55%	铁杆蒿、短花针茅
坡耕地	1 × 5	北(阴坡)	25.8	果树间农地	—	—

2.2 天然降雨产沙观测

在野外人工模拟降雨的同时, 在燕沟布设了 10 个雨量观测点和一个自计雨量观测点。在燕沟流域沟口建成径流泥沙观测站, 观测流域次产流降雨的径流、输沙总量和过程含沙率。选择了具有代表性的灌木林、退耕荒坡以及坡耕地 3 种类型, 分别建成面积、坡度基本一致的径流小区 3 个, 观测天然降雨量及径流泥沙含量。

3 影响因子分析

3.1 流域治理前侵蚀模数的确定

由于燕沟流域的水文观测与流域水土保持治理基本同步, 1997 年以前没有实测资料, 根据燕沟流域的坡度分级和土壤侵蚀特征及水利部土壤侵蚀强度分级标准, 参照延安地区水文手册数据, 利用燕沟周边流域的观测结果, 确定燕沟流域治理前的侵蚀模数为 6 000 t/(km²·a)。

3.2 流域各项治理措施实施面积统计分析

根据土地利用课题组提供数据以及本课题组的核实调查, 土地利用变化情况如图 1。2003 年, 已基本完成全部坡耕地的退耕任务, 完成高标准机修梯田 487.2 hm², 完成新增果园、造林种草面积 2 341.8 hm², 较 1997 年林草植被面积增加 73.77%。最易发生水土流失坡耕地面积由 1997 年的 1 617.6 hm² 减少到 2003 年的 130.7 hm², 基本做到坡耕地的全面退耕。2003 年以后流域土地利用状况基本稳定。

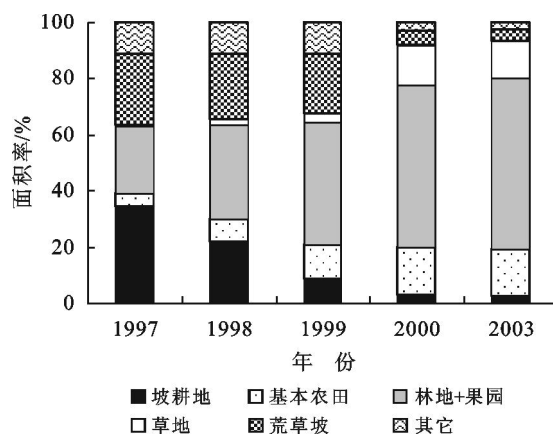


图 1 流域不同典型年份土地利用变化情况

3.3 燕沟流域降雨径流产沙特性分析

燕沟流域降雨年内分布极为不均, 主要集中在汛期, 一般汛期降雨量占全年降雨量的 70% 以上, 最大达到 85%, 年内各月份降雨量的地理分布趋势基本一致。

径流主要来源于降水补给, 二者有明显的对应关系, 但径流集中程度略缓于降雨。燕沟流域年径流量与年输沙量的变化规律基本一致, 主要是汛期的多暴雨洪水对地表土壤的侵蚀, 产生强烈的冲刷引起的。根据燕沟流域 1997—2003 年的观测资料, 该流域每年造成的水土流失, 主要是由几场暴雨引起的, 其中, 最大一次侵蚀量可占年侵蚀总量的 89.75%。流域产沙的年内分配高度集中, 且与降雨径流关系密切,

集中在 6—9 月份。图 2 为燕沟流域 1997 年以来历年降雨输沙年际变化图,其中燕沟流域的年输沙模数由 1997 年的 6 000 t/(km²·a) 下降到 2003 年的 79 t/(km²·a),治理后的年均产沙量较治理前减少了 83.37%。

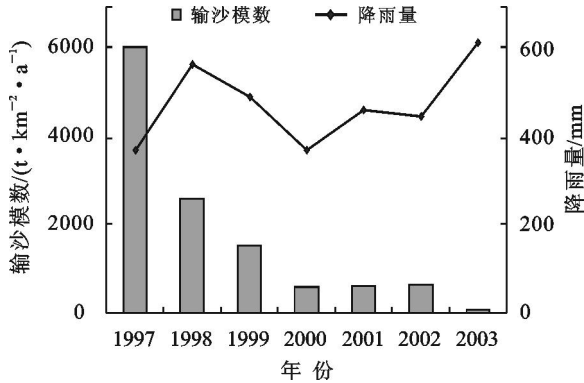


图 2 流域治理后降雨输沙年际变化

3.4 燕沟流域 1997 年以来降雨水文年型分析

流域的产水产沙取决于流域的降雨及治理措施因素,因降水量和水土保持措施的时序变化,使得流域沟道的水沙条件也发生相应的变化。

由于燕沟流域治理前没有观测资料,遵循地区一致性原则,利用距流域 6 km 的同一类型区延安气象站降雨资料(设在气象局内),以便延长资料系列。对 1951—2002 年 51 a 的多年降雨资料进行不同水文年型年降雨量的频率分析,把燕沟流域历年年降雨量同延安地区不同水文年型年降雨量对比分析,来说明燕沟降雨的代表性问题。

4 结果与分析

4.1 梯田产沙指标的确定

在水土保持措施中,目前对梯田、坝地等工程措施的减沙效益,前人已经做了大量的试验研究工作^[7-9],都比较肯定,认识基本一致。根据燕沟流域所修梯田的规格标准(为高标准的机修硬埂梯田),其拦沙指标,在燕沟流域近年的平水水文特性条件下,可定为 100%,因此梯田产沙指标为 0。

4.2 坡耕地、林草地产沙指标的确定

为了确定燕沟流域坡耕地、林草地产沙指标,利用模拟降雨试验(表 2)和野外径流小区观测结果,提出了单位面积单位径流深的冲刷量这一指标。可反映土壤抗冲强度。减沙效益基本算式为

$$P = \frac{W_{未} - W}{W_{未}} \times 100\% \quad (1)$$

$$W = (M_i \times d_i \times i) \quad (2)$$

式中: P ——减沙效益; $W_{未}$ ——未治理前年输沙量(t); W ——治理后历年年输沙量平均值(t); d_i ——某一地类年洪水径流深(mm); i ——某种地类冲刷强度[kg/(mm·m²)]; M_i ——各地类总的保存面积(hm²)。

4.3 燕沟流域产沙量计算

利用模拟降雨试验所得不同土地利用类型径流强度的比值,由燕沟流域不同年份的土地利用面积和不同冲刷指标,即可求出燕沟流域经治理后历年的年产沙量。计算结果见表 3。

表 2 不同土地利用类型冲刷指标

土地利用类型	重复/次	平均降雨量/mm	平均雨强/(mm·min ⁻¹)	平均径流深/mm	平均冲刷量强度/(kg·mm ⁻¹ ·m ⁻²)
林地	6	53.67	2.04	7.872	0.012 0
封禁荒坡灌丛	6	62.36	2.10	8.319	0.009 8
坡耕地	6	40.78	1.78	21.844	0.198 3

表 3 燕沟流域典型年份输沙模数计算结果

年份	产沙量/t			年输沙模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)	实测值/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)
	坡耕地	林地	草地		
1998	81 402	563	44	2 159	2 580
2003	1 265	128	45	37	79

从表 1 中可以看出,计算值与实测值相比,结果偏小,这可能与没有考虑各居民点侵蚀产沙等因素有关,但与实测结果接近,证明燕沟流域减沙效益的计

算比较切合实际,并进一步说明燕沟流域的综合治理具有明显的减沙效益。计算结果与实测值进行比较,经平差后得出典型年各地类最终产沙结果如表 4。

表 4 燕沟流域典型年份输沙模数修正后计算结果

年份	土地利用类型/t			年输沙模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)
	坡耕地	林地	草地	
1998	97 276	672	52	2 580
2003	2 626	266	94	79

计算主要侧重于说明林草措施的减沙效益,其它如滑坡等偶然因素、道路侵蚀以及沟间地与沟谷地的坡度变化等未予考虑。以道路侵蚀为例,燕沟流域 1997 年以前的道路密度仅为 1.5 km/km^2 ,道路一般为简易路,无任何防护措施,其水土流失量一般是治理前流域产沙模数的 2~3 倍,年产沙贡献达 $81 \text{ t/(km}^2 \cdot \text{a)}$,2003 年流域道路密度达到 $4 \sim 5 \text{ km/km}^2$,为比较标准的生产型道路,大部分都修筑防护措施,主要路段筑有蓄水窑窖等工程措施,使其产沙量大为减少。在道路密度增大条件下,流域产沙模数贡献减少到 $36 \text{ t/(km}^2 \cdot \text{a)}$ 。如果考虑道路产沙对流域年输沙模数的贡献,2003 年的流域输沙模数为 $73 \text{ t/(km}^2 \cdot \text{a)}$,这与实测值 $79 \text{ t/(km}^2 \cdot \text{a)}$ 基本一致,从而也证明了燕沟流域的观测结果基本反映了流域水土保持综合治理的进程。

4.4 降雨因素与综合治理减沙效益估算

在确定各因素对流域泥沙减少的影响比例时,影响计算精度的主要因素是降雨^[10]。所以应当消除降雨因素差异的影响,才能对流域治理减沙作用做出较为确切的定量评价^[11]。考虑到燕沟流域监测资料较少,系列较短,因此通过时间与空间结合,利用相邻未治理流域汛期降雨输沙通量观测资料,采用相似降雨对比法进行对比分析,求算降雨因素和水土保持措施对流域减沙效益的影响。

由于杨家沟小流域距燕沟流域较近(5 km),沟坡地貌条件类似,且具有完整的时段降雨产沙资料,所以可由该流域的未治理前的产沙模数计算燕沟流域未治理前的年产沙量,并由该结果绘制燕沟流域治理前降雨(R_b)—产沙(S_b)关系曲线(图 3)。

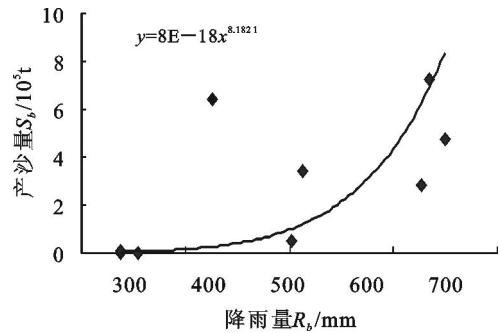


图 3 燕沟流域治理前产沙量 S_b —降雨量 R_b 关系曲线

在图 3 中查得治理后各年降雨量(R_a)相对应的产沙量计算值(表 5) S_{ab} ,它是治理后各年的汛期降雨量,在未治理条件下应有的流域产沙量(计算值),它与实测流域输沙量(S_a)之间的差值,是由于人类活动(水利与水土保持措施)的减沙作用(S_h)造成的。从而

$$S_a = S_{ab} - S_h \quad (3)$$

由于

$$S_r = S_t - S_h \quad (4)$$

而

$$S_t = S_b - S_a = S_b - (S_{ab} - S_h)$$

带入式(4)得

$$S_r = S_b - S_{ab} \quad (5)$$

代入数据求得:

$$S_r = 70\ 077 \text{ t}, \quad S_t = 240\ 679 \text{ t},$$

$$S_r / S_t \times 100\% = 29.12\%$$

分析结果表明,在造成近年来实测流域输沙量减少的两大因素中,降雨变化影响减沙约占 30%,综合治理作用约占 70%。

表 5 燕沟流域治理后实测降雨量与计算产沙量

年份	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	合计	平均
R_a/mm	567.8	494.6	367.0	551.2	496.7	657.8	411.5	475.4	4 394.1	488.2
S_{ab}/t	274 279	88 664	7 717	215 157	91 791	914 146	19 684	64 129	1 675 568	209 446

注: R_b 为治理后各年降雨量, S_{ab} 为相应产沙量计算值。

[参 考 文 献]

[1] 尹国康. 黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因分析[J]. 地理学报, 1998, (53) 2: 174—183.
 [2] 徐乾坤. 黄土高原坡耕地退耕还草效益分析: 以安塞县为例[J]. 矿业科学技术, 2005, (2): 31—34.
 [3] 陈雷. 中国的水土保持[J]. 中国水土保持, 2002(7): 4—6.
 [4] 刘德夫, 于一鸣. 80 年代黄河泥沙减少原因分析[J]. 中国水土保持, 1994(1): 15—17.
 [5] 熊贵枢, 支俊峰. 1919—1989 年黄河的水沙变化分析[J]. 水土保持学报, 1992, 2(6): 1—6.
 [6] 彭梅香, 赵莹莉. 近十年气候变化对黄河中上游水沙影响分析[J]. 人民黄河, 1997(7): 28—31.
 [7] 吴钦孝, 赵鸿雁, 韩冰. 黄土丘陵区草灌植被的减沙效益及其特征[J]. 草地学报, 2003(11): 23—26.
 [8] 袁希平, 雷廷武. 水土保持措施及其减水减沙效益分析[J]. 农业工程学报, 2004(20): 296—300.
 [9] 据彤军, 刘普灵, 郑世清, 等. 黄土丘陵区生态恢复重建过程中流域降雨及其水沙变化特征研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 57—60.
 [10] 刘万铨. 水土保持减沙效益分析计算方法的研究[J]. 人民黄河, 1989, 11(3): 46—50.
 [11] 江忠善, 郑粉莉. 纸坊沟流域水土流失综合治理减沙效益评价[J]. 泥沙研究, 2004(2): 56—61.