南小河沟流域不同措施处理下的水土流失规律

袁 静[1,2], 张 富[1], 李怀有[2], 郜文旺[2]

(1. 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 黄河水土保持西峰治理监督局, 甘肃 庆阳 745000)

摘 要: 以南小河沟流域长期定位试验场为研究对象,研究了 10 种不同措施处理下水土流失规律。结果表明,泥沙流失量与径流量变化规律并不一致。一般坡度越大,侵蚀量的增量越大。由于坡度越大,需要坡长越长才能和坡度较小的的坡面受水面积相等,这时即使因为坡度加大,入渗率减少,但实际入渗水量也有较大增加,即坡面水流的径流量并不会随着坡度的加大而无限的加大,20°为径流量临界坡度;采用水平阶整地的油松沙棘混交林地,植被覆盖度达到 65%,水土流失治理效果显著,平均含沙量 2.377 kg/m^3,比裸地减少了 57.77%以上;平均径流量 0.121 m^3,比裸地减少了 19.74%以上;以生物措施为主进行水土保持治理的杨家沟小流域与原始生态环境下的董庄沟小流域相比较,2012 年侵蚀模数减少了 2 589.95 t/(km^2·a)。

关键词: 径流小区; 水土流失; 径流量; 泥沙量

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2014)03-0039-05 **中图分类号**: S157.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.03.009

Law of Soil and Water Loss Under Different Measures in South Xiaohegou Watershed

YUAN Jing[1,2], ZHANG Fu[1], LI Huai-you[2], GAO Wen-wang[2]

(1. *College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*; 2. *Xifeng Experimental Station of Soil and Water Conservation, Yellow River Conservancy Committee, Qingyang, Gansu* 745000, *China*)

Abstract: A study with 10 treatments was conducted in the long-term observation station of the South Xiaohegou watershed to investigate the law of soil and water loss under different surface treatments. Results show that soil loss was not consistent with runoff processes, but affected by slope. The soil loss incremental rate generally increased with increasing slope degree. However, when slope increased, slope length for collecting the same amount of water as at the smaller slope increased, which could lead to a reduction in water infiltration into soil, but the total infiltration increased. Therefore, runoff amount did not show a proportional increase with slope increase when slope was greater than 20° which was determined as the threshold. The study also shows that a mixed plantation of Chinese pine tree with sea-buckthorn at a coverage of 65% could significantly reduce soil and water loss, with a sediment concentration of 2.377 kg/m^3 which was 57.77% lower than soil loss on the bare land. The averaged runoff of 0.121 m^3 under the plantation was 19.74% lower than the bare land. In 2012, soil erosion index for the Yangjiagou watershed where biological control practices for soil and water conservation had been applied was 2 589.95 t/km^2 lower than the Dongzhuanggou watershed which remained in the natural conditions without any human disturbance.

Keywords: runoff plot; soil and water loss; runoff amount; sediment

黄土高原的水土流失数千年来从没有停止过,现如今已成为其环境问题治理的焦点[1-2]。长期、频繁而严重的水土流失,带来了很多自然、地理、经济、社会等问题,是造成土地生产力下降、荒漠化加速发展、植被恢复困难,干旱缺水,限制大农业及其他行业生产发展和群众生活贫困的主要原因[3-4]。素有"天下黄土第一塬"美誉的董志塬是黄土高原产流产沙区之一,是甘肃省政府部门及相关技术部门高度重视的重点治理区[5-7]。地表产流产沙过程主要与两个因素相关:一是降雨,降雨特征是由降水量、降雨强度及降雨侵蚀力等决定;二是下垫面,下垫面特征是由地形、土壤、地表覆盖等决定的[8-10]。大量研究表明:植被是防止水土流失的根本途径,植被对降雨可以起到林冠层截留降水、枯枝落叶层储蓄降水的作用;植被覆盖

收稿日期:2013-07-12 **修回日期**:2013-07-29

资助项目:甘肃省水利厅项目"甘肃黄土高原侵蚀沟道特征与水沙资源保护利用方向研究"(2012255)

作者简介:袁静(1985—),女(汉族),甘肃省庆阳市人,硕士研究生,助理工程师,研究方向为水土保持。E-mail:wangkezhuang1017@126.com。

通信作者:张富(1961—),男(汉族),甘肃省定西市人,博士,研究员,主要从事小流域水土保持防治措施对位配置研究。E-mail:fuzhang001@126.com。

度与土壤侵蚀量之间存在负相关关系，即随着植被覆盖度的增加，坡面土壤侵蚀量将减少[11-13]。但是针对不同水土流失因子研究水土流失形成过程相对较少。本文根据南小河沟水土保持试验站多年的观测资料，通过分析不同降雨、坡度、植被等条件下径流小区内产生的径流量和侵蚀量的变化规律，揭示在不同措施下坡面水土流失规律。这对于采取相应措施调控坡面径流形成过程及如何在坡耕地上结合水土保持措施配置，深入研究不同措施下水土流失的形成机理有重大突破；对黄土高原合理利用土地资源，恢复生态系统和发展区域经济有着重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区设在甘肃省庆阳市西峰区后官寨乡南小河沟试验场，位于甘肃省东部董志塬上，距庆阳市区以西13.0 km。试验场主沟道长度2.9 km，东西长2.1 km，南北宽2.3 km，面积4.8 km^2。有竹儿沟、下马沟、塔山沟、范家沟、岘子沟、湫沟、杨家沟、瓜子沟、董庄沟9条支毛沟，涉及12道梁咀。该区属大陆性季风气候，四季分明，冬春干旱少雨，夏秋雨量适中。年平均降水量为556.5 mm，年降水最大值805.2 mm、最小值319.8 mm，年内降水分布极不均匀，7—9月降水占全年降水的67.3%以上，时空分布差异较大；平均无霜期155 d，年平均气温9.3 ℃，最高温度39.6 ℃，最低气温－22.6 ℃，最大日温差为23.7 ℃，多年平均水面蒸发量1 491.0 mm。最大24 h降水量为63 mm，20年一遇频率时为133.2 mm；200年一遇频率时为220.8 mm。流域属黄土高原高原沟壑区，除水库外其他均为水土流失面积，属强度侵蚀区。水力侵蚀、重力侵蚀是主要侵蚀形式，流域年径流模数为8 894 $m^3/(km^2 \cdot a)$，侵蚀模数为4 350 $t/(km^2 \cdot a)$，水土流失的危害主要表现为：蚕蚀塬面，减少农田，毁坏道路，损坏庄园，恶化坡面开发利用条件，加重防治难度，加大治理投入，延长治理时限，影响当地生态环境与经济社会可持续发展，给下游带来河道、水利设施冲淤、毁坏等严重危害，阻碍国民经济与生态环境建设发展。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 为研究黄土高原沟壑区不同类型暴雨情况下，对不同坡度、不同地形部位、不同土地利用类型、不同下垫面条件下的径流泥沙来源、数量及所占比例等因素，在南小河沟流域设计影响水土流失的单因子径流场和影响水土保持措施效益的单因子及复合因子组合径流场共计16个。坡长均为20 m，宽度5 m，投影面积均为100 m^2，坡度分别为5°，10°，15°，20°，25°，30°，35°这7个坡度级。

设计2个径流站，分别为杨家沟和董庄沟径流站。杨家沟是为以生物措施为主进行水土保持治理的小流域，径流站布设目的主要是为了研究支沟的治理措施和方法，并了解支毛沟内以生物措施为主的治理效益；董庄沟径流站设在原始生态环境下的董庄沟沟口，与杨家沟形成对比，布设目的主要进行小流域土壤侵蚀类型与特征等方面的试验研究。

1.2.2 试验处理

(1) 径流小区。试验共设10个处理(详见表1)。

(2) 径流站。杨家沟径流站集水面积0.87 km^2，观测断面三角量水堰设在沟口，槽长20 m，边坡1∶1.5，底坡2%，引水槽为土质，槽身为1∶3水泥沙浆敷面，率定计算公式为：

$$Q=0.49-2.68H+7.09H^2 \quad (1)$$

式中：Q——径流量(m^3)；H——过水高度(m)。下同。

董庄沟径流站集水面积1.15 km^2，观测断面三角量水堰董庄沟沟口，槽长20 m，边坡1∶1.5，底坡2%，引水槽为土质，槽身为1∶3水泥沙浆敷面，率定计算公式为：

$$Q=1.078-4.54H+7.96H^2 \quad (2)$$

1.2.3 测定方法 南小河沟小流域水土流失监测是西峰水土保持站长期坚持的重点工作。监测设施主要包括：坡面径流场、沟道量水堰(主要监测汛期降雨径流)、气象园和降水指标观测。

(1) 降水量测定。为了保证观测质量和遥测系统的正常运行，全年观测雨量站同时配备普通雨量计、自记雨量计、遥测雨量计(翻斗式)。普通雨量计进行全年观测，观测年逐次降水总量，自记雨量计、遥测雨量计进行汛期降雨过程观测。

(2) 径流量、泥沙量测定。采用集流桶收集径流泥沙，并且根据小区面积和50 a一遇暴雨标准，设计不同的分流级数及各分流桶分流孔数，其中分流桶分流孔高度距分流桶底距离为60 cm，一次降雨结束后，采用人工方法分别采集集流桶和分流桶中的浑水样。

取样数据采用比重瓶法(也称置换法)进行计算。具体步骤为：首先量出浑水温度，称出比重瓶加浑水总重量，然后根据不同温度瓶加清水的重量计算沙重。其计算公式为：

$$W_{沙}=K(W_{浑}-W_{清}) \quad (3)$$

式中：$W_{沙}$——泥沙重量(kg)；$W_{浑}$——瓶加浑水重(kg)；$W_{清}$——同温度下瓶加清水重(kg)；K——经验系数($K=1.59$)。

表 1　径流小区基本情况

小区编号	径流场编号	径流场类型	坡度/(°)	坡长/m	坡宽/m	面积/m^2	微地形特征
1	LD_{11}	裸地	5	20	5	100	人工整修
	LD_{12}	裸地	5	20	5	100	人工整修
2	LD_{21}	裸地	10	20	5	100	人工整修
	LD_{22}	裸地	10	20	5	100	人工整修
3	LD_{31}	裸地	15	20	5	100	人工整修
	LD_{32}	裸地	15	20	5	100	人工整修
4	LD_{41}	裸地	20	20	5	100	人工整修
	LD_{42}	裸地	20	20	5	100	人工整修
5	LD_{51}	裸地	25	20	5	100	人工整修
	LD_{52}	裸地	25	20	5	100	人工整修
6	LD_{61}	裸地	30	20	5	100	人工整修
	LD_{62}	裸地	30	20	5	100	人工整修
7	LD_{71}	裸地	35	20	5	100	人工整修
	LD_{72}	裸地	35	20	5	100	人工整修
8	HJ_{11}	油松沙棘混交林	—	20	5	100	水平阶整地
	HJ_{12}	油松沙棘混交林	—	20	5	100	水平阶整地
9	刺 1	刺槐林	35	20	5	100	直形凹坡
	刺 2	刺槐林	35	20	5	100	直形坡地
10	荒 1	荒坡	25	20	5	100	直形斜坡
	荒 2	荒坡	25	20	5	100	直形斜坡

注:面积为水平投影面积。

根据得到的泥沙重量和取样瓶体积,分别计算集流桶和分流桶的泥沙含量,再根据观测到的集流桶和分流桶水深、分流桶孔数,计算单个小区一次降雨的产流量、侵蚀量、侵蚀模数、径流深、径流系数等指标。

2　结果与讨论

2.1　流域降雨特征

将高于平均降水量 20%的年份定为丰水年,低于平均降水量 20%的年份定为枯水年,降水量为二者之间定为平雨年[14-15]。南小河沟流域年平均降水量为 556.5 mm,2012 年南小河沟流域出口站十八亩台测站年降水总量为 487.3 mm,定义为平水年;汛期(5—9 月)降水量为 407.3 mm,占全年降水量的 83.6%(见图 1);要分析侵蚀性降水量的年际变化,首先要确定侵蚀性降雨标准,对于日降雨资料,把日降水量12.0 mm 作为侵蚀性降雨标准。一般认为只有日降水量达到 12.0 mm 的降雨才会出现土壤侵蚀[16]。根据降水观测结果显示,该流域内 2012 年侵蚀性降水量为95.3 mm,平均降雨强度为 14.5 mm/h(图 2)。

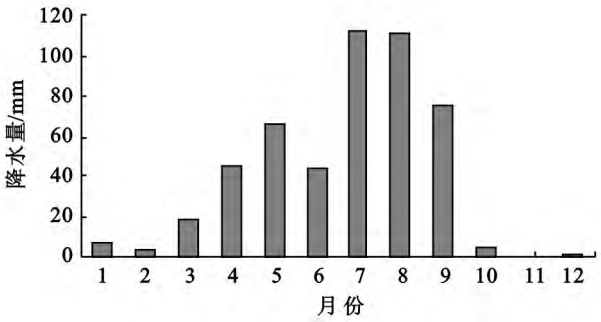

图 1　2012 年南小河沟流域降水量月变化

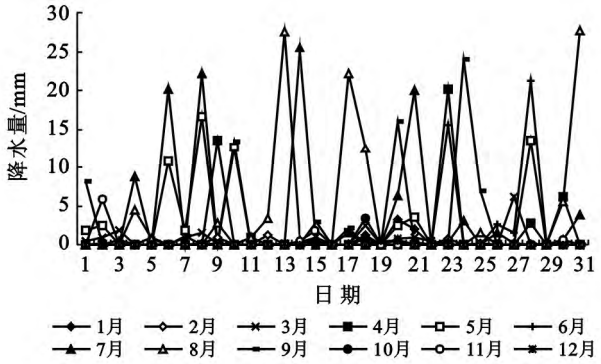

图 2　2012 年南小河沟流域降水量日变化

2.2 不同坡度裸地径流及泥沙流失分析

坡面径流小区1—7，每个小区平均产流3次（分别为5月9日，降雨量40.9 mm，降雨强度52.1 mm/h；7月21日，降雨量21.4 mm，降雨强度3.5 mm/h；8月14日，降雨量28.8 mm，降雨强度5.0 mm/h，平均含沙量44.737 kg/m³，平均径流量0.522 m³（图3—4）。

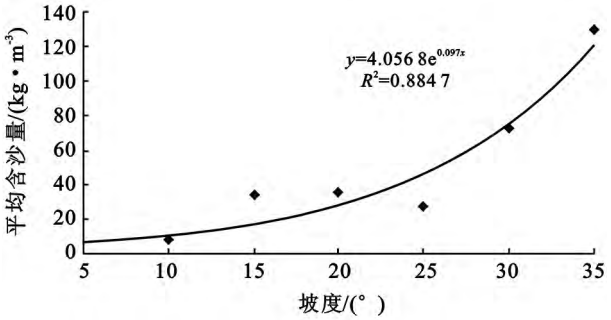

图3 不同径流小区2012年平均含沙量随坡度的变化

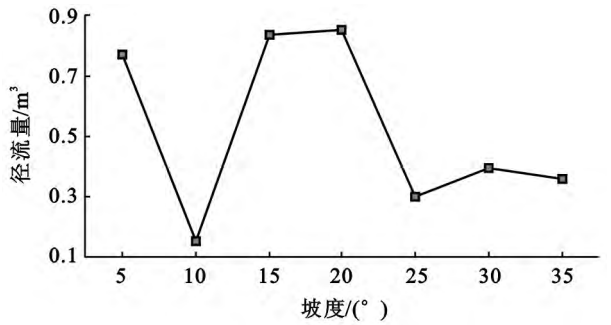

图4 不同径流小区2012年径流量随坡度的变化

由图3可以看出，随着坡度的增加，平均含沙量呈指数性增长，关系式为 $y=4.056\ 8e^{0.097x}$（$R^2=0.884\ 7$）。即径流小区的坡度越大，侵蚀量的增量也越大。

由图4可以看出，5°～10°小区径流量随着坡度的增加而减小；10°～20°小区径流量随着坡度的增加而增加；20°～35°小区径流量随着坡度的增加而减少。其原因为：10°以内坡度较缓，随着坡度的增加，实际坡面长度相应增加，即水流的流程增加，水流的渗透量与能量消耗增加，结果使水流流量与流速相应减少；10°～20°小区径流量随着坡度的增加而增加，为黄土高原坡度影响的基本规律；20°为南小河沟流域临界坡度。因为坡面水流的径流量并不会随着坡度的加大而无限的加大：坡度越大的坡面，需要斜面坡长越长才能和坡度较小的坡面受水面积相等，这时即使因为坡度加陡，入渗率减少，但实际入渗水量也有较大增加。所以，随坡度增加，坡面径流量存在一个由大变小的临界坡度，20°为南小河沟流域临界坡度。

2.3 林地措施径流及泥沙流失分析

坡面径流小区8，小区平均产流2次，其中 HJ_{11} 在5月9日起径流，HJ_{12} 在5月9日和7月21日起径流，8月14日未起径流，小区平均含沙量2.377 kg/m³，平均径流量0.121 m³。与坡面径流小区1—7相比，发现小区8平均含沙量低于小区1—7中最低值5.628 kg/m³；平均径流量低于小区1—7中最低值0.151 m³。说明无论是降水量大、降雨强度也大，或者是降水量不大、降雨强度较小的情况下，林地径流小区拦截径流、蓄水拦沙效果显著，林地径流小区平均含沙量比裸地径流小区含沙量最低值减少57.77%，平均径流量比裸地径流小区径流量最低值减少19.74%。

2.4 小流域径流及泥沙流失影响因素分析

（1）董庄沟。该沟为非治理沟，尚有完整的天然植被群落，阳坡主要有白草（*P. flaccidum*）、茭蒿（*Artemisia giraldii*）、油蒿（*Artemisia ordosica*）；阴坡主要有白草、小芦苇（*Phragmites australis*）；沟底多生长喜温喜水性植物，常见的有野青茅（*Deveuxia pyramidalis*）、穗发草（*Deschampsia koelerioides*）、大籽蒿（*Artemisia sieversiana*）、冰草（*Agropyron cristatum*）、鹅观草（*Roegneria kamoji*）、野棉花（*Anemone vitifolia*）等，面积79.47 hm²，沟道长度1 450 m，沟道比降9.66%，相对高差140 m。

（2）杨家沟。该沟为以生物措施为主进行水土保持治理的小流域，根据试验研究与生产、示范的需要，陆续修建了高标准梯田果园、现代化梯田苗圃、油松、侧柏（*Platycladus orientalis*）、刺槐（*Robinia pseudoacacia*）、毛白杨（*Populus tomentosa*）、旱柳（*Salix matsudana*）、沙棘、狼牙刺（*Sophora viciifolia* Hance）、杜仲（*Eucommia ulmoides*）、银杏（*Gilkgo biloba*）、山杏（*Armeniaca sibirica*）等片林，基本形成了以人工林为主体的植被群落。该沟面积62.05 hm²，沟道长度1 550 m，沟道比降9.67%，相对高差200 m。与董庄沟对比，分析不同措施下小流域径流及泥沙量（表2）。

由表2可以看出，以生物措施为主进行水土保持治理的杨家沟流域在年降水量、侵蚀性降水量基本相同情况下，与对比沟董庄沟流域相比，年径流量减少14 345.43 m³，输沙量减少2 017.33 t，侵蚀模数减少1 589.95 t/(km²·a)。

表 2　2012 年南小河沟试验小流域水土流失监测结果

项 目	董庄沟	杨家沟	增减
年降水量/mm	508.90	501.70	7.20
年侵蚀性降水量/mm	158.70	162.80	−4.10
年径流总量/m^3	34 338.03	19 992.60	14 345.43
年径流深/mm	29.86	22.98	6.88
年径流系数/%	5.87	4.58	1.29
径流模数/($mm \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)	29.86	22.98	6.88
输沙量/t	2 604.23	586.90	2 017.33
侵蚀模数/($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)	2 264.55	674.60	1 589.95

3　结 论

筛选、示范和推广具有水土保持作用的农作措施是减轻水土流失,改善农业生态环境的重要措施。本研究对影响水土流失因子中的降雨、坡度及植被覆盖度等进行了比较。

(1) 7 种不同坡度土地利用方式下年均产沙量大小顺序为:35°>30°>25°>20°>15°>10°>5°,年均径流量大小顺序为:20°>15°>5°>30°>35°>25°>10°。年均泥沙流失量与径流量规律并不一致:坡度越大,侵蚀量的增量也越大,而 20°产生径流量最大,为该流域径流量临界坡度。

(2) 从水土保持措施角度出发,坡地采用水平阶整地,油松沙棘混交林,植被覆盖度达到 65%,水土流失治理效果显著,平均含沙量 2.377 kg/m^3,比裸地最低值减少 57.77%以上;平均径流量 0.121 m^3,比裸地最低值减少 19.74%以上。

(3) 从流域治理措施角度出发,杨家沟小流域以生物措施为主进行水土保持治理与原始生态环境下的董庄沟相比较,2012 年侵蚀模数减少 2 589.95 $t/(km^2 \cdot a)$,水土保持效果显著。

[参 考 文 献]

[1] 王万忠,焦菊英,马丽梅,等. 黄土高原不同侵蚀类型区侵蚀产沙强度变化及其治理目标[J]. 水土保持通报,2012,32(5):1-7.

[2] 王兵,刘国彬,张光辉,等. 基于 DPSIR 概念模型的黄土丘陵区退耕还林(草)生态环境效应评估[J]. 水利学报,2013,44(2):143-153.

[3] 王晗生. 旱区经营人工植被对土壤干化过程的调控[J]. 自然资源学报,2011,24(4):562-577.

[4] 赵其国. 我国南方当前水土流失与生态安全中值得重视的问题[J]. 水土保持通报,2006,26(2):1-8.

[5] 高光耀,傅伯杰,吕一河,等. 干旱半干旱区坡面覆被格局的水土流失效应研究进展[J]. 生态学报,2013,33(1):12-22.

[6] 张建香,张勃,马中华,等. 基于遥感的植被覆盖变化分区研究:以黄土高原马莲河流域为例[J]. 遥感技术与应用,2013,28(1):137-143.

[7] 陈绍宇,许建民,王文龙,等. 黄土高塬沟壑区董志塬沟头溯源侵蚀特征及其防治途径[J]. 水土保持通报,2009,29(4):37-41.

[8] 秦永胜,刘松,余新晓,等. 华北土石山区水源保护林小流域土壤侵蚀过程的模拟研究[J]. 土壤学报,2004,41(6):864-869.

[9] 吴昌广,林德生,肖文发,等. 三峡库区降雨侵蚀力时空分布特征[J]. 应用生态学报,2011,22(1):151-158.

[10] 付智勇,李朝霞,蔡崇法,等. 不同起始条件下坡面薄层紫色土水分和壤中流响应[J]. 水利学报,2011,42(8):899-907.

[11] 周毅,魏天兴,解建强,等. 黄土高原不同林地类型水土保持效益分析[J]. 水土保持学报,2011,25(3):12-16.

[12] 王万忠,焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报,1996,16(5):1-20.

[13] 郭忠升,邵明安. 人工柠条林地土壤水分补给和消耗动态变化规律[J]. 水土保持学报,2007,21(2):119-123.

[14] 殷健,梁珊珊. 城市化对上海市区域降水的影响[J]. 水文,2010,30(2):66-72.

[15] 万龙,马芹,张建军,等. 黄土高原降雨量空间插值精度比较:KRIGING 与 TPS 法[J]. 中国水土保持科学,2011,9(3):79-87.

[16] 王改玲,王青杵,石生新. 晋北黄土区降雨特征及其对坡地土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报,2013,27(1):1-5.