

# 新疆天池自然保护区草地坡地土壤侵蚀规律研究

王大庆<sup>1,3</sup>, 周宏飞<sup>2,3</sup>, 马健<sup>2,3</sup>, 金发军<sup>4</sup>, 尹湘江<sup>4</sup>

(1. 石河子大学, 新疆 石河子 832000; 2 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011;  
3. 中国科学院 阜康荒漠生态系统观测试验站, 新疆 阜康 831505; 4. 天池管理委员会, 新疆 阜康 831500)

**摘要:** 通过对天山天池自然保护区径流小区的定位观测试验, 采用数据统计分析的方法, 对天山天池自然保护区草地坡地土壤侵蚀规律进行了研究。结果表明, (1) 径流深随降雨量、降雨强度、坡度的增加而增大, 而侵蚀量与降雨强度的关系比较明显; (2) 植被显著地影响着坡地产沙量; (3) 坡面径流深与降雨量、降雨强度、坡度之间的关系可以用多元线性回归函数很好地描述; (4) 侵蚀量与土壤容重、径流深、降雨量、降雨强度之间的关系也可以用多元线性回归函数很好地描述。

**关键词:** 新疆天池; 径流小区; 降雨; 土壤侵蚀规律

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2009)03—0127—03

中图分类号: S157.1

## Soil Erosion Processes on Sloping Grassland in Heaven Lake Nature Reserve of Xinjiang Wei Autonomous Region

WANG Da-qing<sup>1,3</sup>, ZHOU Hong-fei<sup>2,3</sup>, MA Jian<sup>2,3</sup>, JIN Fa-jun<sup>4</sup>, YIN Xiang-jiang<sup>4</sup>

(1. Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

3. Fukang Desert Ecosystem Observation and Experiment Station, Chinese Academy of Sciences, Fukang, Xinjiang 831505, China; 4. Tianchi Management Committee, Fukang, Xinjiang 831500, China)

**Abstract:** Through the located runoff plot observations in the Heaven Lake Nature Reserve of Xinjiang Wei Autonomous Region, soil erosion processes on sloping grassland were investigated. Results show that firstly, runoff depth increases with the increased rainfall amount, rainfall intensity, and gradient. The relationship between sediment and rainfall intensity is apparent. Secondly, grass has great influences on sediment yield on sloping grassland. Thirdly, the relationship among runoff depth, rainfall amount, rainfall intensity, and gradient can be well described by multiple linear regression function. Lastly, the relationship among sediment, soil bulk density, runoff depth, rainfall amount, and rainfall intensity can also be well described by multiple linear regression function.

**Keywords:** the Heaven Lake nature reserve of Xinjiang Wei Autonomous Region; runoff plot; rainfall; soil erosion regularity

土壤侵蚀造成水土严重流失, 土地生产力降低, 且抵御自然灾害的能力减弱, 洪水、泥石流灾害频繁发生, 生态环境恶化。土壤流失量的大小不但与土壤自身的抗侵蚀性质有关<sup>[1-2]</sup>, 而且与降雨特性<sup>[3-4]</sup>、下垫面条件密切相关<sup>[5-8]</sup>。天山天池自然保护区的天然草场, 大部分都处于坡度较陡的坡地上, 加上天山山区一般降雨量较大, 易发生土壤侵蚀。为此, 对天山山区的土壤侵蚀规律展开研究, 就显得尤为重要。本次试验以天山天池自然保护区的山区草地作为研究

对象, 通过 2007 年全年的降雨观测数据来分析天山山区草地发生土壤侵蚀时, 土壤流失量与各影响因子之间的关系。

## 1 研究区概况

天山天池自然保护区, 位于新疆阜康市东南部, 地理坐标: 东经 88°00—88°20, 北纬 43°45—43°59, 面积 248 km<sup>2</sup>, 集冰川积雪、森林草地、高山湖泊于一体, 也是世界上惟一具有完整的山地自然景观

带和现代冰川地貌景观的地方<sup>[9]</sup>。该区域冬季寒冷漫长,极端最低气温 - 33.4℃,极端最高气温 30.0℃,年平均温度为 1.9℃以下,日温差 10.3℃,日照时数 2 600 h。保护区内著名的旅游胜地——天池,海拔 1 910 m,水面面积约 5 km<sup>2</sup>,平均水深 60 m,最深处达 105 m,总蓄水量 2.0 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。天山天池自然保护区海拔 2 000 m 左右的山区,是植被覆盖最好、生物多样性最集中的地区,年降雨量在 500 ~ 600 mm,是补给天池的主要水源。

## 2 试验设计与方法

在天山天池上游产流区选择不同坡向,不同坡度的坡地,建立了 3 个径流实验场,共 9 个试验小区,并对 9 个试验小区内下垫面特征进行了调查。植被群落为亚高山草甸,土壤富含腐殖质,土层厚度一般较深,大于 2 m。各试验小区面积、坡度、坡向、植被覆盖度等具体参数详见表 1。其中,土壤容重的测定采用环刀法,植被覆盖度的测定采用人工目估法。

表 1 径流小区特征参数

编号	坡度/ (°)	坡向	面积/ m <sup>2</sup>	植被盖 度/%	土壤容重/ (g · cm <sup>-3</sup> )
1 <sup>#</sup>				70	1.14
2 <sup>#</sup>	26	正东	5 × 3	75	1.08
3 <sup>#</sup>				35	1.32
4 <sup>#</sup>				60	1.15
5 <sup>#</sup>	20	正南	5 × 3	65	1.15
6 <sup>#</sup>				70	1.09
7 <sup>#</sup>				50	1.01
8 <sup>#</sup>	28	正西	5 × 3	55	1.07
9 <sup>#</sup>				50	1.13

径流场由保护带、护埂(由玻璃钢板制成)、承水槽、导水管、集水桶组成。其中,保护带由铁丝网围成,玻璃钢板插入土中 10 cm 左右,上部高于土壤表面 40 cm;承水槽由水泥制成槽形;导水管由玻璃钢制成;集水桶由直径 60 cm,高 1.5 m 的玻璃钢桶制成;每个径流场上部都布设有“人”字形的排水沟。并且每个径流场布设一台由美国 Davis 公司制造的 7852 型自记式雨量器,用来测量降雨量、降雨强度和降雨时间。

径流量和泥沙量采用径流桶收集法采集,每次降雨后测定径流总体积,并取均匀的径流样品,通过静置、沉淀、烘干等步骤测定泥沙量,计算径流量和产沙量。最终,将所测得的数据采用 SPSS 软件进行统计分析。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 降雨量、降雨日数的分布规律

从表 2 可以看出,天山天池自然保护区全年的降雨比较集中,降雨主要集中在 5—8 月,这 4 个月的降雨量占到全年总降雨量的 76%,而这 4 个月的降雨天数占到所测月份总降雨天数的 62%。因此,做好这几个月的水土保持工作更为关键。

表 2 2007 年 5—9 月的降雨量和降雨日数月份

月份	4	5	6	7	8	9
降雨量/mm	72.5	139.5	113.8	146.7	92.7	47.2
降雨天数/d	11	17	13	16	10	7

### 3.2 草地水土流失规律

3.2.1 草地水土流失与降雨因子的关系 在一定的下垫面条件下,降雨能否产生径流,很大程度上取决于降雨强度和降雨历时两个因素;而对于不同强度的降雨,开始发生地面径流的时间是不同的。所以,能引起地面径流的降雨强度标准是一个随降雨历时不同而变化的。

以 2007 年 5—9 月的坡度为 26°,植被覆盖度为 35% 的试验小区的观测资料为例(按照降雨强度大小分成 5 级),草地水土流失规律如表 3 所示。从表 3 可知次降雨侵蚀厚度随着降雨强度的增加而增加,尤其当降雨强度从 2.25 mm/h 增加到 3.26 mm/h 时变化最为明显,这也充分说明了强度大的降雨具有很强的侵蚀力。

表 3 坡地次降雨条件下的土壤侵蚀规律

平均降雨强度 <i>i</i> 分级/(mm · h <sup>-1</sup> )	降雨强度/ (mm · h <sup>-1</sup> )	径流深/ mm	侵蚀厚度/ mm
<i>i</i> > 3	3.26	10.28	0.048
3 > <i>i</i> > 2	2.25	2.38	0.009
2 > <i>i</i> > 1	1.80	1.07	0.005
1 > <i>i</i> > 0.5	0.76	1.43	0.002
0.5 > <i>i</i>	0.44	0	0

3.2.2 植物覆盖度与水土流失的关系 植被是控制水土流失发生的主要因素之一,它可以通过枝叶对降雨进行截留,消减雨滴动能,减缓和过滤地表径流,增加土壤入渗,固持和改良土壤等方面来控制土壤侵蚀,降低水土流失所造成的危害<sup>[10-11]</sup>。

为了测量天然植被覆盖度条件下降雨的侵蚀作用,故 3 个试验站均没有布设覆盖度对比试验小区,故从以植被覆盖度差异为主要影响因子的降雨资料中按照降雨量、降雨强度不同抽取一些场次降雨来分

析,(如表4所示)。2007年6月19日的降雨中,因植被覆盖度的差异,植被覆盖度35%的径流小区的

侵蚀量为覆盖度75%小区的12倍。可见,植被覆盖度显著地影响着坡面产沙量。

表4 2007年6月19日测得的植被覆盖度与侵蚀模数的关系

小区编号	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>	6 <sup>#</sup>	7 <sup>#</sup>	8 <sup>#</sup>	9 <sup>#</sup>
覆盖度/%	70	75	35	60	65	70	50	55	50
侵蚀模数/(g·m <sup>-2</sup> )	10.52	5.46	63.77	31.15	28.60	24.75	14.76	10.58	6.58

注:2007年6月19日测得的次降雨量为49.6mm,平均降雨强度为3.26mm/h。

### 3.3 产流量与各影响因子之间的关系

用SPSS统计分析软件的逐步回归分析,可以得到径流深与降雨量、降雨强度、坡度之间的关系为多元线性函数关系,关系如下:

$$y = -2.105 + 0.022x_1 + 0.588x_2 + 0.055x_3 \quad (1)$$

式中:  $y$ ——径流深(mm);  $x_1$ ——降雨量(mm);  $x_2$ ——降雨强度(mm/h);  $x_3$ ——坡度。

从回归结果可以看出,模型的相关系数  $R$  为0.713;回归模型的  $F$  值为42.058,相伴概率  $P = 0.000 < 0.001$ ;回归模型的系数的  $t$  检验也比较符合,降雨量、降雨强度的相伴概率值  $P = 0.000 < 0.001$ ,坡度的相伴概率值  $P = 0.005 < 0.01$ 。可见,回归模型是有统计学意义的。

从(1)式可以看出,径流深与降雨量、降雨强度、坡度呈正相关关系,即降雨量、降雨强度、坡度越大,径流深也越大。

### 3.4 土壤侵蚀量与各影响因子之间的关系

用SPSS统计分析软件的逐步回归分析,可以得到侵蚀量与各影响因子之间的函数关系为多元线性函数关系,关系式如下:

$$y = -33.414 + 28.731x_1 + 4.770x_2 - 0.151x_3 + 2.363x_4 \quad (2)$$

式中:  $y$ ——侵蚀量(g/m<sup>2</sup>);  $x_1$ ——土壤容重(g/cm<sup>3</sup>);  $x_2$ ——径流深(mm);  $x_3$ ——降雨量(mm);  $x_4$ ——降雨强度(mm/h)。

从回归结果可以看出,模型的相关系数  $R$  为0.690;回归模型的  $F$  值为27.443,相伴概率  $P = 0.000 < 0.001$ ;回归模型的系数的  $t$  检验也比较符合,土壤容重、径流深、降雨量的各相伴概率值  $P = 0.000 < 0.001$ ,降雨强度的相伴概率值  $P = 0.007 < 0.01$ 。可见,回归模型也是有统计学意义的。

另外,从(2)式可以看出,降雨量变化1个单位,土壤侵蚀量变化0.151个单位;降雨强度变化1个单位,土壤侵蚀量变化2.363个单位。可见,相对于降雨量来说,降雨强度对于土壤侵蚀量的影响比较显著<sup>[12-13]</sup>。

## 4 讨论

从方程式(2)中可知,侵蚀量与降雨量呈反比关系,即降雨量越大,侵蚀量越小,这与常理相反。这主要是因为径流深相对于降雨量和降雨强度来说,并不是一个单因子变量,径流深也是一个由降雨量和降雨强度共同作用的因变量。将(1)式代入(2)式,可得:

$$y = -43.455 - 0.046x_1 + 5.168x_2 + 0.262x_3 + 28.731x_4 \quad (3)$$

式中:  $y$ ——侵蚀量(g/m<sup>2</sup>);  $x_1$ ——降雨量(mm);  $x_2$ ——降雨强度(mm/h);  $x_3$ ——坡度;  $x_4$ ——土壤容重(g/cm<sup>3</sup>)。

从式(3)可以看出,土壤侵蚀量与降雨强度成正相关,而与降雨量仍呈负相关。一方面,这是由于我们每次雨后所测量的降雨量,并不是一次的降雨量,而可能是几次降雨量的叠加。另一方面,每次我们测量所得到的径流量、侵蚀量并不是一场降雨所造成的,而可能是几场降雨产生的径流量、侵蚀量的累加值。因此,并不能简单地得出侵蚀量与降雨量成反比关系,这也是回归方程(2)仍需改进的地方。

另外,植被覆盖度并不能完全反映植被对土壤侵蚀的影响。植被在不同生长阶段的覆盖度并不是一个定值,况且人工目估植被覆盖度,本身就存在一定的误差。

## 5 结论

(1) 新疆天池自然保护区山区的降雨量主要集中在5—8月这4个月,因此做好这几个月的水土保持防治工作尤为关键。

(2) 径流深随降雨量、降雨强度、坡度的增加而增大,而侵蚀量与降雨量的相关性却不明显,这主要是与降雨的雨强有关。

(3) 径流深与降雨量、降雨强度、坡度之间的关系可以用多元线性关系式  $y = -2.105 + 0.022x_1 + 0.588x_2 + 0.055x_3$  很好地描述。

(下转第158页)

- 2003,19 (6) :281-284.
- [6] 黄金良,洪华生,杜鹏飞,等. AnnAGNPS 模型在九龙江典型小流域的适用性检验 [J]. 环境科学学报, 2005,25(8) : 1135-1142.
- [7] 贾宁凤,段建南,李保国,等. 基于 AnnAGNPS 模型的黄土高原小流域土壤侵蚀定量评价 [J]. 农业工程学报, 2006,22 (12) :23-27.
- [8] 花利忠,贺秀斌,颜昌宙,等. 三峡库区大宁河流域 AnnAGNPS 模型参数评价 [J]. 水土保持学报, 2008, 22(4) : 65-69.
- [9] Feike J L, William J A, Martinus T G, et al. The UNSODA Unsaturated Soil Hydraulic Database User's Manual Version 1.0 [M]// USEPA, Cincinnati, 1996.
- [10] Saxton K E, Rawls W. Soil texture triangle hydraulic properties calculator [OL]. [2008-06-10] <http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index.htm>.
- [11] 四川省农牧厅,四川省土壤普查办公室. 四川土壤 [M]. 成都:四川科学技术出版社,1995.
- [12] Sharply A N, Williams J R. EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation [C]// USDA Technical Bulletin, No. 1768. Washington D C: USDA, 1990.
- [13] 章文波,付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力 [J]. 资源科学, 2003,25 (1) :35-41.
- [14] Renard K G, Forest G R, Weesies G A, et al. RULSE: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation [C]// USDA Agricultural Handbook, No. 703. Washington D C: USDA, 1997.
- [15] 刘宝元,谢云,张科利. 土壤侵蚀预报模型 [M]. 北京:中国科学技术出版社, 2001:144-162.
- [16] 花利忠,贺秀斌,朱波. 川中丘陵区小流域土壤侵蚀空间分异评价研究 [J]. 水土保持通报, 2007,27 (3) : 111-115.
- [17] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究 [M]. 北京:中国科学院出版社, 1996.
- [18] 范丽丽,沈珍瑶,刘瑞民,等. 基于 SWAT 模型的大宁河流域非点源污染空间特性研究 [J]. 水土保持通报, 2008,28(4) :132-137.
- [19] 张信宝. 长江上游水土流失治理的思考:与黄河中游的对比 [J]. 水土保持科技情报, 1996(4) : 7-9.
- [20] 史德明,杨艳生. 三峡库周边地区土壤侵蚀对库区泥沙来源的影响及其对策 [C]// 中国科学院三峡工程生态与环境科研项目领导小组. 长江三峡工程对生态环境影响及其对策研究论文集. 北京:科学出版社, 1987:498-521.

(上接第 129 页)

(4) 植被覆盖度显著地影响着坡面产沙量。侵蚀量与土壤容重、径流深、降雨量、降雨强度之间的关系可以用  $y = -33.414 + 28.731x_1 + 4.770x_2 - 0.151x_3 + 2.363x_4$  很好地描述。相对降雨量而言,降雨强度对侵蚀量的影响要大一些。

#### [参 考 文 献]

- [1] 李朝霞,王天巍,史志华,等. 降雨过程中红壤表土结构变化与侵蚀产沙关系 [J]. 水土保持学报, 2005,19(1) :1-4.
- [2] Abdu Abdelkadir, Richard C Schultz. Water harvesting in a "runoff-catchment" agroforestry system in the dry lands of Ethiopia [J]. Agroforestry Forum, 2005, (63) : 291-298.
- [3] 陈浩. 降雨特征和上坡来水对产沙的综合影响 [J]. 水土保持学报, 1992,6(2) :17-23.
- [4] 王占礼,邵明安,常庆瑞. 黄土高原降雨因素对土壤侵蚀的影响 [J]. 西北农业大学学报, 1998,26(4) :101-105.
- [5] 卢金发,黄秀华. 黄河中游地区流域产沙中的地貌临界现象 [J]. 山地学报, 2004,22(2) :147-153.
- [6] 郭忠升. 水土保持林有效覆盖率及其确定方法的研究 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996,2(3) :67-72.
- [7] 胡孟春,王周龙. 土壤侵蚀的自然—社会复合系统动态过程模拟研究 [J]. 科学通报, 1994,39(12) :1118-1121.
- [8] 许志信,赵萌莉. 过度放牧对草原土壤侵蚀的影响 [J]. 中国草地, 2001,23(6) :59-63.
- [9] 田万荣. 新疆天池“96·7”暴雨洪水分析 [J]. 水文, 2001,21(6) :63-65.
- [10] 刘卉芳,朱清科,孙中峰,等. 黄土坡面不同土地利用与覆盖方式的产流产沙效应 [J]. 干旱地区农业研究, 2005,23(2) :137-141.
- [11] 申震洲,刘普灵,谢永生,等. 不同下垫面径流小区土壤水蚀特征试验研究 [J]. 水土保持通报, 2006,26(3) : 6-10.
- [12] 何丙辉,缪驰远,吴咏. 遂宁组紫色土坡耕地土壤侵蚀规律研究 [J]. 水土保持学报, 2004,18(3) :9-12.
- [13] 孙飞达,王立,龙瑞军,等. 黄土丘陵区不同降雨强度对农地土壤侵蚀的影响 [J]. 水土保持研究, 2007,14(2) : 16-18.