

不同生态脆弱区土壤侵蚀对土地生产力影响对比研究

陈奇伯¹, 王克勤¹, 齐实², 李金洪³, 吴晓伟⁴

(1. 西南林学院 环境科学系, 云南 昆明 650224; 2. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083;
3. 云南省元谋县水保办, 云南 元谋 675000; 4. 宁夏西吉县农田建设办公室, 宁夏 西吉 756200)

摘要: 通过外业调查、实验测试、大田模拟试验等方法, 在土壤侵蚀特征分析基础上, 对黄土丘陵和金沙江干热河谷 2 个生态脆弱区由于土壤侵蚀导致的坡耕地土地生产力衰退进行了对比研究。结果显示, 不同生态脆弱区无任何水土保持措施的坡耕地土壤侵蚀, 在导致可耕作土层变薄的同时, 都造成了不同程度的土壤物理性能和入渗能力下降, 土壤养分流失以及土地生物生产能力的衰退。相同强度土壤侵蚀对坡耕地土地生产力的影响, 干热河谷区大于黄土丘陵区, 是黄土丘陵区的 2.1~2.9 倍。

关键词: 黄土丘陵; 干热河谷; 坡耕地; 土壤侵蚀; 土地生产力

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)03-0029-04

中图分类号: S157; F301.24

Soil Erosion and Its Relations to Slope Field Productivity in Hilly Gully Area of Loess Plateau and Dry-hot Valley of Jinshajiang River

CHEN Qi-bo¹, WANG Ke-qin¹, QI Shi², LI Jin-hong³, WU Xiao-wei⁴

(1. Environmental Science Department of Southwest Forestry College, Kunming 650224, Yunnan Province, China;

2. Beijing Soil and Water Conservation College of Forestry University, Beijing 100083, China;

3. Soil and Water Conservation Office of Yuanmou County, Yuanmou 675000, Yunnan Province, China;

4. Agricultural Construction Office of Xiji County, Xiji 756200, Ningxia Hui Autonomous Region, China)

Abstract: Soil erosion properties are analyzed to determine the impacts of soil erosion on land productivity in the Loess Plateau and the Dry-hot Valley of Jinsha River. Analysis methods used include field survey, laboratory experiments and simulation tests. Results show that soil erosion on sloping fields not only causes soil nutrient loss, but also causes degradation of soil physical properties and diminished soil infiltration capability. The consequence of these changes brought by soil erosion is a reduction in land productivity. The impacts of similar soil erosion on the productivity of land in the Dry-hot Valley are more severe than those in the Loess Plateau, averaging 2.1 to 2.9 times more serious.

Keywords: hilly gully area of the Loess Plateau; Dry-Hot Valley; sloping field; soil erosion; land productivity

西南干热河谷与西北黄土高原分别是我国生态环境最脆弱的地区之一。《全国生态环境规划》中, 长江上游地区金沙江流域和黄河中上游地区黄土高原的水土流失分别被列为全国生态环境最突出的问题, 并规划为优先实施的重点区域和重点工程。这些地域的生态脆弱性与严重的土壤侵蚀存在紧密联系, 特别是大面积分布的坡耕地是长江和黄河泥沙的主要策源地, 坡面坡度陡, 雨季地表裸露时间长, 人为活动频繁, 结果造成了土壤养分流失, 地表熟化土层变薄, 土壤物理性能和水分入渗能力下降, 最终导致了土地生产力的降低, 区域生态功能和环境调控能力下降甚至丧失, 从而造成了生态环境恢复和重建的困难。因此, 研究生态脆弱区土壤侵蚀与土地生产力的关系,

对区域水土流失防治和生态环境建设具有重要的指导意义。

1 研究区自然环境条件对比

黄土丘陵区选择宁夏西吉县黄土丘陵沟壑区第五副区为研究区。该区属暖温带与温带交错的干旱、半干旱地区, 大陆性季风气候显著。多年平均降水量在 300~500 mm 之间, 其中 7—9 月占全年降水量的 60% 以上, 潜在蒸发量 1504 mm, 年均气温 5.6℃, ≥10℃积温 2400℃, 海拔 1600 m 左右, 地带性土壤以黑垆土面积最大, 其中又以绵黄土分布最广。灾害性天气以旱灾最为突出。自然植被类型为森林草原向干旱草原过渡的灌丛草原类型。

收稿日期: 2004-07-20

资助项目: 云南省教育基金项目(02ZY059); 云南省自然科学基金重点项目(2001D00082Z); 国家“九五”科技攻关项目(96-004-05-10)

作者简介: 陈奇伯(1965—), 男(汉族), 甘肃省通渭县人, 博士, 副教授。研究方向为流域管理与土壤侵蚀。电话(0871)3862778, E-mail: sw ecqb@21cn.com。

金沙江干热河谷区选择地处金沙江下游南岸的云南元谋县为试验区,该区是金沙江干热河谷的典型地段,其气候特点是全年干湿季明显、热量充足、气温年较差小、降雨少而集中、潜在蒸发量大。多年平均降水量 550~614 mm,其中 6—10 月占 90%,年均潜在蒸发量为 3 911 mm,年均温度 22℃,≥10℃积温 8 003℃,海拔 1 300 m 左右,由紫色砂页岩、砾岩及少量花岗岩、花岗片麻岩和石英岩风化形成的燥红土分布广泛,燥红土土层薄,石砾含量较高,保水性差,有效养分缺乏。自然植被主要为南亚热带中山峡谷稀树灌丛和灌草丛。

降水少而集中、潜在蒸发量大、自然分布的乔灌木树种少、水土流失严重、生态环境脆弱是 2 个研究区生态环境建设的共同障碍因素。

2 试验区范围与研究方法

干热河谷研究区选择在距云南省元谋县城以北 6 km 的“长江上游水土流失重点治理项目”区,该项目区是金沙江干热河谷中山宽谷地貌的典型区域,项目区范围 1 081 km²。黄土丘陵研究区选择在距宁夏西吉县城以北 33 km 的国家“九五”科技攻关项目示范区黄家二岔小流域,小流域面积 9 km²,该示范区是黄土丘陵沟壑区第五副区的典型类型区,代表面积 26 450 km²。

本研究采用传统的模拟铲土试验方法,对不同强度土壤侵蚀造成的土地生产力下降进行综合研究,具体试验研究方法如下:

(1) 土壤容重、孔隙度测定:环刀法。(2) 土壤入渗试验:双环法。(3) 土壤养分含量测定:全 N 采用重铬酸钾—硫酸消化法;水解性 N 采用碱解蒸馏法;全 P 采用酸溶—抗坏血酸还原比色法;速效 P 用 0.003 N NH₄F—0.1 N HCL 浸提、钼蓝比色法;有机质的测定用重铬酸钾—外加热法。(4) 土壤侵蚀对作物生物产量影响模拟试验:选择代表性坡度的坡耕地,模拟不同的土壤侵蚀强度,分别设铲去表土 5 cm (S-5)、10 cm (S-10)、表土不扰动(S₀) 3 种处理小区,同一生长季同一处理小区播种同一选定的不同作物进行相同重复试验,观测其生长过程和生物产量。干热河谷区选择坡耕地代表作物“液丹 3638”玉米、“元引 5 号”玉米、豌豆为指示作物;黄土丘陵区选择马铃薯、胡麻、豌豆和春小麦为指示作物。为了消除土壤水分差异对作物生物产量的影响,于上一年秋季进行小区铲土整地,田间管理措施相同。由于坡度相同,认为各小区之间不存在产流差异。小区水平投影面积 8 m × 4 m。

3 研究结果分析

3.1 土壤侵蚀特征

元谋县坡耕地面积占全县耕地总面积的 51.79%,据推算^[6],包括元谋县在内的“长防林”一期工程的建设区,坡耕地土壤流失量占全区土壤流失量的 92% 左右,坡耕地的坡度分布范围主要在 10°~15°和 15°~25°段,占坡耕地面积的 60% 以上。10°,15°和 20°坡耕地的土壤流失相当于每年流失表土 4.5,9.0 和 15.0 mm^[7]。全县土壤侵蚀面积占土地总面积的 74.4%,其中中度以上土壤侵蚀面积占 52.2%,平均土壤侵蚀模数 3 778 t/(km²·a)。宁夏西吉县坡耕地面积占耕地总面积的 70.5%,根据多年小区观测资料^[8],黄土丘陵区坡度为 10°,15°和 20°坡耕地的土壤流失相当于每年流失表土 3.5,6.7 和 10.6 mm。全县平均土壤侵蚀模数 4 865 t/(km²·a)。根据水利部颁布的土壤侵蚀分级标准衡量,2 个试验区坡度在 10°~20°之间坡耕地的土壤侵蚀已属强度侵蚀,20°以上坡耕地已达剧烈侵蚀标准。

3.2 土壤侵蚀造成的土壤物理性能下降比较

由于耕作、施肥、田间管理、作物根系固结等人为作用的影响,坡耕地表土层比较疏松,团粒含量较多,蓄水能力较强。表 1 是 2 个试验区不同土层的土壤物理性能测定结果。总孔隙反映土壤的总贮水能力,非毛管孔隙是土壤的快速贮水场所,而植物吸收利用和地表蒸发的水分运动通过毛管孔隙来实现。

表 1 两试验区坡耕地不同土层土壤物理性能

试验区	土层/ cm	容重/ (g·cm ⁻³)	总孔隙/ %	毛管孔 隙/ %	非毛管 孔隙/ %
干热河谷区	0—30	1.38	61.38	58.84	2.54
	30—50	1.55	58.03	54.19	3.85
黄土丘陵区	0—30	0.97	56.84	55.32	1.52
	30—50	1.04	54.51	53.33	1.18

从测定的土壤物理性能指标看,干热河谷区的土壤物理性状均略好于黄土丘陵区,但不同土层的变化均一致地表现为,表层 1—30 cm 耕作土层的土壤物理性能好于下层土壤。表 1 表明,干热河谷区的表土耕作层的土壤容重比下层 30—50 cm 土层低 11.0%,总孔隙度和毛管孔隙度分别比下层土壤高 5.8%,8.6%;黄土丘陵区土壤容重比下层土壤低 6.7%,毛管孔隙度和总孔隙度分别比下层土壤高 4.3% 和 3.7%。非毛管孔隙度都比较弱。裸露坡耕地遭暴雨雨滴打击和径流冲刷后,表层土壤发生板结,土壤孔隙堵塞,细颗粒土壤被冲走,粗颗粒泥沙留在土壤表

层, 土壤结构衰退; 下层土壤结构本身比较紧实, 一旦表层熟化土大量流失, 下层土壤还要经过不断耕作、改良更新, 土壤结构才能逐渐得到改善。

3.3 土壤侵蚀造成的土壤养分流失对比

由降雨、地表径流引起的土壤侵蚀是导致土壤养分流失的主要原因。降雨雨滴与土壤表面作用, 分散土壤颗粒, 地表产流后, 径流冲刷土壤, 土壤固相土粒和可溶性营养元素进入到径流中。土壤养分流失主要呈现 2 种主要形式, 一种形式是表层土壤养分随着土壤固相颗粒被径流搬运, 从原地迁移出去, 从而发生流失, 这些随土壤固相流失的养分中, 一部分是土壤颗粒中所包含的营养元素, 另一部分是吸附在土壤颗粒表面的养分; 另一种形式是土壤中可溶性营养元素或有机成分以溶解质的形式随径流而流失。土壤养分流失的形式和数量与径流和泥沙的特性有密切关系。但根据已有的研究成果, 对土壤养分总量来说, 随地表径流流失的可溶性养分数量很小^[9], 特别是对长期土地生产力影响不大, 因此, 本研究只考虑养分随流失土壤的流失。

坡耕地表土层由于人为管理影响, 土壤养分一般高于下层土壤。据有关资料^[7, 10], 干热河谷区燥红土的耕地养分含量略高于黄土丘陵区黄绵土, 但不同坡度坡耕地, 由于侵蚀强度不同, 开垦时间长短不一, 土地经营水平存在差异, 因此土壤养分状况与平均水平有一定偏差。研究区各试验小区不同土层土壤养分含量如表 2。表明, 两区不同土层养分含量均表现出耕作层高于下层土壤的情况, 其中干热河谷区燥红土有机质高 9.4%, 全 N 高 15.6%, 水解性 N 高

5.2%, 速效 P 高 14.8%; 黄土丘陵区黄绵土的耕作层土壤有机质高 2.4%, 全 N 高 4.4%, 水解性 N 高 44.0%, 全 P 高 15.7% 和速效 P 高 15.1%。说明, 表层土壤流失后, 留存下来的下层土壤肥力状况变差。另外, 流失土壤中一般都相对地富集了较细的土壤颗粒, 它吸附了更多的营养元素。这种富集现象更进一步说明, 表层土壤流失发生后, 下层土壤更加贫瘠化。

表 2 研究区不同土层土壤养分含量测定结果

研究区	土层深/ cm	有机 质/ %	全 N/ % (mg·kg ⁻¹)	水解性 N/ (mg·kg ⁻¹)	全 P/ %	速效 P/ (mg·kg ⁻¹)
干热河谷	0—30	0.35	0.052	11.97	0.030	1.32
	30—50	0.32	0.045	11.38	0.052	1.15
黄土丘陵	0—30	1.70	0.071	31.10	0.081	8.40
	30—50	1.66	0.068	21.60	0.070	7.30

3.4 土壤侵蚀造成的土壤入渗能力降低比较

不同试验区的土壤入渗过程曲线显示, 土壤入渗速率在开始几分钟内下降幅度都较快, 然后随着时间的延续变化幅度减小, 在一定时间后, 逐渐趋于稳定速率。入渗过程表现为, 表土未扰动小区的土壤水分入渗过程变化较平缓、稳渗速率高, 而铲去不同厚度表土后, 出现了初渗速率虽高、但入渗速度下降更快、稳渗速率低的变化趋势。表土未扰动小区的稳渗速率、初渗速率和不同时段入渗总量均高于铲区不同厚度表土层的小区, 说明表土未扰动小区的土壤入渗性能均好于有不同程度土壤侵蚀的小区。原因在于表层土壤的长期耕作、施肥、管理等经营措施, 明显地改良了土壤的入渗性能。表 3 为 2 个试验区不同处理小区土壤入渗性能测试结果。

表 3 不同处理小区土壤入渗性能

试验区	小区	耕作层 土壤含 水量/ %	稳渗 速率/ (mm·min ⁻¹)	达稳渗 时间/ min	不同时刻的入渗率/ (mm·min ⁻¹)			不同累计时间的入渗量/ mm		
					30 min	60 min	90 min	30 min	60 min	90 min
干热河谷	S ₀	9.6	4.25	75	13.9	7.9	4.1	1 167	1 493	1 600
	S ₋₁₀	19.2	1.70	48	5.3	3.8	1.7	581	706	756
黄土丘陵	S ₀	8.8	2.70	55	3.0	2.7	2.7	139	228	314
	S ₋₁₀	11.0	2.38	50	2.9	2.6	2.3	118	201	274

尽管不同试验区土壤的整体入渗能力不同, 前期土壤含水量不同导致的水分入渗总量不同, 但均表现出了下层土壤水分入渗性能差的同一趋势。干热河谷区的研究结果显示, 表土未扰动小区的土壤稳渗速率分别是铲去表土层 10 cm 小区的 2.5 倍, 90 min 的累计入渗总量是 2.1 倍。黄土丘陵区的研究结果表明, 未扰动表土层的土壤稳渗速率是铲去表土层 10 cm 土层的 1.13 倍, 90 min 的累计入渗总量是 1.15 倍。达到稳渗的时间、其它同一累计时间的入渗总量

及不同时刻的入渗率都有同样的变化趋势。说明坡耕地发生不同程度土壤流失后, 土壤入渗性能降低, 蓄水保水能力下降。由于土壤物理性能的差异, 干热河谷区的下降速度高于黄土丘陵区。

3.5 土壤侵蚀造成的土地生产力下降差异

坡耕地土壤侵蚀的最终结果是导致作物的生物产量和经济产量下降及质量不高。表 4 是不同试验区表土未扰动小区与铲去不同厚度表土小区相比, 供试作物生物产量变化的百分比。

表 4 与未扰动土层相比不同处理小区
作物生物产量变化百分比 %

试验区	供试作物	减产百分比($\times 100\%$)	
		$(S_{-5} - S_0)/S_0$	$(S_{-10} - S_0)/S_0$
干热河谷	液丹 3638 玉米	- 24.40	- 44.40
	元引 5 号玉米	- 11.80	- 52.90
	豌豆	- 25.50	- 51.10
	平均	- 20.60	- 49.50
	马铃薯	- 5.64	- 9.85
黄土丘陵	胡麻	- 8.44	- 10.59
	豌豆	- 9.79	- 26.20
	春小麦	- 15.68	- 22.34
	平均	- 9.89	- 17.25

干热河谷区的试验结果显示, 铲去表土 5 cm 和 10 cm 后, 各供试作物品种的生物产量都有不同程度的降低。3 个供试品种在现有土壤状况基础上, 流失表土 0—10 cm 后, 在流失表土 5 cm 范围内, 每减少 1 cm 表土的生物量下降幅度分别为 4.88%、2.32% 和 5.1%, 平均 4.12%; 而流失表土 10 cm 后, 每流失 1 cm 表土的减产幅度分别为 4.44%、5.29% 和 5.11%, 平均 4.95%。

黄土丘陵区的试验结果表明, 铲去表土 5 cm 和 10 cm 后, 各种供试作物的生物产量随表土层铲去厚度的增加, 减少幅度上升。其中, 铲去表土 5 cm 时, 每减少 1 cm 表土的生物产量下降幅度平均为 1.98%, 而铲去表土 10 cm 后, 每减少 1 cm 表土的减产幅度有所减低, 平均为 1.73%。

说明, 在坡耕地相同的土壤侵蚀强度下, 干热河谷区土壤侵蚀造成的土地生产力下降幅度比黄土丘陵区大, 是黄土丘陵区的 2.1~2.9 倍。

4 结 论

(1) 坡耕地土壤侵蚀造成土壤物理性能下降: 干热河谷区和黄土丘陵区表土耕作层的土壤容重分别比下层低 11.0% 和 6.7%, 总孔隙度比下层高 5.8% 和 3.7%。说明, 坡耕地表层熟化土大量流失后, 下层土壤还要经过不断耕作、改良更新, 土壤结构才能逐渐得到改善。

(2) 坡耕地土壤侵蚀造成表土层土壤养分流失: 干热河谷区燥红土和黄土丘陵区黄棉土耕作层土壤肥力都明显高于下层土壤, 其中有机质含量分别高 9.4% 和 2.4%, 全 N 高 15.6% 和 4.4%, 碱解 N 高 5.2% 和 44.0%。说明, 表层土壤流失后, 留存下来的下层土壤肥力状况变差。

(3) 坡耕地土壤侵蚀造成土壤水分下渗能力的降低。干热河谷区和黄土丘陵区表土未扰动小区的

土壤稳渗速率分别是铲区表土层 10 cm 小区的 2.5 倍和 1.13 倍, 90 min 的累计入渗总量是 2.1 倍和 1.15 倍。说明坡耕地发生不同程度土壤流失后, 土壤入渗性能降低, 蓄水保水能力下降。

(4) 坡耕地土壤侵蚀造成土地生产力下降: 干热河谷区和黄土丘陵区流失表土 5 cm 内, 每减少 1 cm 表土的生物量下降幅度平均分别为 4.12% 和 1.98%, 流失表土 10 cm 后, 每流失 1 cm 表土的减产幅度平均为 4.95% 和 1.73%。说明, 在坡耕地相同的土壤侵蚀强度下, 干热河谷区土壤侵蚀造成的土地生产力下降幅度比黄土丘陵区大, 是黄土丘陵区的 2.1~2.9 倍。

[参 考 文 献]

- [1] 陈奇伯, 齐实, 孙立达. 土壤容许流失量研究的进展与趋势[J]. 水土保持通报, 2000, 20(1): 12—17.
- [2] Larson W E, Pierce F J, Dowdy R H. The threat of soil erosion to long-term crop production. *Science*, 1983, 219(2): 458—465.
- [3] Williams J R, Renard K G, Dyke P T. EPIC—a new method for assessing erosions effect on soil productivity[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1983, 38(6): 381—383.
- [4] 邵颂东, 王礼先, 周金星. 国外土壤侵蚀研究的新进展[J]. 水土保持科技情报, 2000(1): 32—36.
- [5] McDaniel T A, Hajek B F. Soil erosion effects crop productivity and soil properties in Alabama. In: *Proceedings of the national symposium on erosion and soil productivity. Erosion and Productivity. Published by American Society of Agricultural Engineers*. 1984: 185—191.
- [6] 杨子生. 滇东北山区坡耕地水土流失状况及其危害[J]. *山地学报*, 1999, 17: 25—31.
- [7] 云南土壤普查办公室, 云南土壤肥料工作站. 云南土壤[M]. 云南: 云南科技出版社, 1996. 395—418.
- [8] 孙立达, 孙保平. 西吉县黄土丘陵沟壑区小流域土壤流失量预报方程[J]. *自然资源学报*, 1988, 3(2): 141—153.
- [9] 陈奇伯, 齐实, 孙立达, 等. 半干旱黄土丘陵区坡耕地径流损失对土地生产力影响研究[J]. *水土保持通报*, 2001, 21(6): 18—21.
- [10] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区资源环境社会经济数据集[M]. 北京: 中国经济出版社, 1992. 83—93.
- [11] Pierce F J, Dowdy R H, Larson W E, Graham W A P. Soil productivity in the Corn Belt: An assessment of erosion's long-term effects[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1984, 39(2): 131—135.
- [12] 孟庆枚主编. 黄土高原水土保持[M]. 郑州: 黄河水利出版社. 1996. 171—180.