

长江黄河源区覆被变化下降水的产流产沙效应研究

李元寿^{1,2}, 王根绪^{1,2}, 王 一博³, 王军德³, 贾晓红¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 寒旱区流域水文及应用生态实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3. 兰州大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 在长江和黄河源区的左贡西孔曲和纳通河、垮热洼尔玛河流域的不同植被覆盖下建立了天然径流观测场, 利用观测天然降水和人工模拟降水, 初步研究了江河源区不同植被覆盖下降水的产流产沙效应。结果表明, 长江黄河源区的3个小流域内, 在典型高寒草甸草地30°坡面上, 退化较为严重的30%覆盖度以下的场地内, 地表径流产出量明显大于覆盖度较好的95%、92%和68%场地, 同时产沙量显著高于这3个场地, 其平均单次降水形成的泥沙量是这三种盖度的2~4倍, 由此造成地表侵蚀量平均为这3种盖度的3~10倍。通过对几次典型的降水形态的分析, 在长江黄河源区高寒草甸草地的坡面上, 不但降水量影响着产流产沙量, 降水形态也影响着产流产沙量, 降雨仍是引起水土流失的主要降水形态, 在降水量相同的条件下, 降雪可比降雨和雨加雪增加产流量2.1~3.5倍, 可比降雨减少泥沙侵蚀45.4%~80.3%。人工模拟结果表明: 对于覆盖度为5%和30%的强度退化草地, 次降水量在3.5 mm时, 就形成了较为明显的径流和产沙效应, 当次降雨量达到7 mm, 降雨持续时间15 min, 5 m²场地内就会形成1400 mL以上的径流量; 在地表土壤含水量(FDR测0~5 cm平均含水量为36.7%)较高的情况下, 次降雨量达4 mm, 降雨强度超过0.4 mm/min, 在5 m²场地内历时5 min就能形成1060 mL的地表径流, 每100 mL径流中含泥沙高达1.6 g。这一试验结果在长江黄河源区3个不同的河源小流域是一致的。

关键词: 高寒草甸; 植被覆盖; 产流; 产沙; 长江黄河源区

中图分类号: P334.91 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2006)05-0616-08

长江黄河源区位于青藏高原腹地, 地理位置在东经89°24′~102°41′, 北纬31°39′~36°16′, 主要由昆仑山及其支脉巴颜喀拉山、阿尼玛卿山和唐古拉山组成, 总面积31.819万km²^[1]。江河源区是我国主要河流——长江、黄河、澜沧江等大江大河的发源地, 素有“中华水塔”之称^[1~3], 是生态环境最为复杂、生物多样性最集中的地区, 也是高海拔地区湿地面积最大、河流最多的地区。该区域具有自身生态环境的深远影响和作用, 并具有“生态源”的重要地位^[3]。然而, 由于目前各种自然因素和人为活动的影响, 已导致区域范围内出现了包括草地退化并导致草地生态功能的减弱、湖泊湿地严重萎缩和水源涵养能力下降、土地沙漠化程度不断加剧、生物多样性遭受破坏等一系列的生态环境问题, 整体生态环境呈现出退化的趋势^[4], 生态环境的变化又怎样影响着长江黄河源区水文过程的变化, 是该区域又一个广为关注的科学问题。

土地覆盖变化对流域水平衡的影响是流域水文学和生态水文学研究的关键问题之一^[5], 研究江河源区高寒草地不同植被覆盖下降水的产流产沙规律, 将有助于解决高寒草甸群落植被覆盖变化对土壤水分状况以及养分状况的影响特征, 并由此回答区域植被退化对流域径流过程的可能影响。流域的径流过程的影响受降雨过程和下垫面变化的影响^[6], 弄清下垫面变化对水文循环的影响是研究水文循环机理的基础, 基于冻土层水文变化规律, 揭示不同覆被变化下降雨以及下垫面对径流的产流产沙过程的影响, 不仅对认识江河源区生态系统的水源涵养功能变化具有重要的理论意义, 为今后的径流过程的研究提供科学依据, 而且对于长江黄河源区流域的生态保护和生态恢复, 也有重要的参考价值。目前, 在小尺度范围内, 下垫面变化对降水产流产沙和水土流失的

收稿日期: 2005-04-26; 修订日期: 2005-12-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30270255, 90511003); 中国科学院2004年“百人计划”项目(2004006); 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室开放基金(SKLFSE200501)共同资助

作者简介: 李元寿(1972-), 男, 甘肃民乐人, 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所博士研究生, 主要从事寒旱区水资源及生态水文过程研究。E-mail: yshli@lzb.ac.cn

研究已经比较多^[6~11]，但在江河源区降水与径流过程的研究多集中在水文环境等方面的大尺度上^[12~14]，且没有涉及下垫面性质，所有对水文现象和水文过程认识的进展，几乎无不来源于以水文观测和水文实验为基础的工作上^[6,8,9]。本研究，旨在长江黄河源区不同植被覆盖的典型流域内，通过径流场集水面的径流观测，和小流域径流观测，确定几种不同植被盖度下降水的产流产沙的效果，为进一步研究青藏高原产流机制和保护江河源生态环境提供科学依据。

1 实验区概况

长江黄河源区地势高亢，气候寒冷，大部分地区年均气温低于 0℃^[14]。长江源实验区位于北麓河上游的风火山敦宰加陇小流域。实验区年平均气温为- 5.2℃，年平均降雨量 290.9 mm，年平均蒸发量 1 316.9 mm，相对湿度平均为 57%，最大积雪厚度 14 cm。黄河源试验区选在青海省达日县境内的纳通河、垮热洼尔玛河两个小流域。该区为山原区，山体大，坡度缓，山顶浑圆，沟谷开阔，地势呈现南高北低、西高东低的格局，海拔 4 000~ 5 260 m。年降水量 536.6 mm，降水量 70% 以上集中于 6~ 9 月份，且降水多为短时高强度降水。

在长江黄河源区选择的 3 个典型小流域：左冒西孔曲、纳通河、垮热洼尔玛河内建立试验研究场地，并对 3 个小流域径流场内本底自然状况进行了调查，小流域面积分别为 17.93 km²、13.98 km²、19.54 km²^[4,5]；场地的海拔高度分别为 4 723 m、4 106 m、4 032 m。敦宰加陇所选 3 个径流场的坡度均为 30°，中山坡地，坡向为半阴坡，植被群落类型为高寒嵩草草甸，盖度分别为 92%、68%、30%，两个高盖度的场地内优势建群种为矮嵩草(*Kobresia humilis*)，30% 盖度场地内属退化型草地，退化后优势种为青茅、早熟禾(*Poa spp.*)、矮嵩草(*Kobresia humilis*)；土壤为高山草原沙壤土，土层厚度为 30~ 80 cm，在剖面土层里边夹有较大的石块。纳通河径流场场地坡度为 22°，中山坡地，坡向为半阴坡，植被群落类型为小嵩草草甸草原严重退化的“黑土滩”地，盖度为 5%，退化后优势种为白蒿筋骨草(*Ajuga lupulina*)、囊吾(*Ligularia virgaurea*)，草地景观呈现典型的“黑土滩”或“砾石滩”，草地的退化发生了质变，已完全失去了原有的草甸景观，土壤为高山草甸土，土层厚度为 40~ 50 cm，在垂直剖面上 0~ 15 cm 为砂粘土，颜色为灰黑色，土质疏松。垮热洼尔玛河径流场场地坡度为 30°，中山坡地，坡向为半阴坡，植被群落类型为高寒灌丛草甸，优势建群种为高山柳(*Silix apularis*)、金鹿梅(*Potentilla fruticosa*)、小嵩草(*Kobresia pygmaea*)，植被总盖度为 95% 左右。灌丛平均高度 17~ 106 cm。土壤为高山灌丛草甸土，土层厚度 30~ 60 cm，在垂直剖面上 0~ 15 cm 为黑黏土，土质致密。由表 1 土壤性质可以看出，土壤养分和水分都是黄河源的高于长江源的。

表 1 试验场地内土壤剖面理化特性

Table 1 Soil sectional physical and chemical characteristics in the experimental field

位置	覆盖度/ %	深度/ cm	容重 / (g·cm ⁻³)	土壤重量 含水量/ %	有机质 / %	全 N/ %	全 P/ %	全 K/ %
长 江 源 左 冒 西 孔 曲	30	0~ 10	1.2	29.6	0.66	0.17	0.056	1.83
		10~ 20	1.5	17.3	0.25	0.13	0.064	1.74
		20~ 40	1.4	15.4	1.43	0.04	0.055	1.85
	68	0~ 10	1.0	36.1	1.70	0.32	0.056	1.78
		10~ 20	1.1	31.0	0.80	0.19	0.057	1.82
		20~ 40	1.2	26.8	0.77	0.13	0.059	1.94
	92	0~ 10	0.8	40.5	1.10	0.26	0.065	1.81
		10~ 20	1.2	29.5	1.63	0.25	0.050	1.74
		20~ 40	1.3	27.2	1.38	0.17	0.058	1.71
黄 河 源	纳通河	0~ 10	1.1	32.8	1.16	0.30	0.097	2.29
		10~ 20	1.3	31.5	0.87	0.24	0.091	2.35
		20~ 40	1.4	29.6	0.72	0.14	0.072	2.44
	垮热洼 尔玛河	0~ 10	1.0	41.0	1.51	0.45	0.077	2.03
		10~ 20	1.2	39.6	0.93	0.41	0.076	2.01
		20~ 40	1.2	40.2	0.56	0.28	0.073	2.12

2 研究方法

本研究采用坡面径流小区试验法, 用 100 m^2 的径流集水小区控制坡面径流, 其长度为 20 m , 宽度为 5 m , 坡面选择较为平整的直型坡^[5, 15~18]。在 2004 年 7~8 月间, 经过考察研究所选定的 3 个典型小流域内, 建立径流场。长江源区选择左冒西孔曲, 植被盖度分别为 30%、68%、92%, 每个场下部正中间位置放置一个直径为 60 cm , 高度为 95 cm 的有盖集水桶。黄河源区选择两个小流域: 纳通河流域为高寒草甸严重退化的“黑土滩”, 径流场下部修建了面积为 1.4 m^2 , 深度为 1 m 的集水池; 垮热洼尔玛河选择高寒灌丛草甸退化的高寒草甸, 盖度达 95% 以上, 径流场下部修建 1.6 m^2 , 深度为 1 m 的集水池。径流场的四周开挖沟槽, 竖立埋入 90 cm 宽的玻璃钢瓦, 以阻止坡面和土内径流侧流。每次降水后, 若形成径流, 测得径流集水桶(池)的水深, 计算出径流量, 集水池无盖, 则减去池内的降水量。每次将桶和池内的水搅匀取一定量的水样, 带回室内, 沉淀, 烘干, 称重, 测得其泥沙含量。

为进一步揭示高寒草甸在不同降水强度下的产流产沙效应, 结合天然降水观测的同时进行人工模拟降水观测, 每种植被盖度下重复做人工模拟降水 3 次, 每次在 $1\text{ m} \times 5\text{ m}$ 的小区域面积内, 将产生的所有径流量收集到集水瓶中, 带回室内分析产流产沙效果。降水量用带刻度线的喷壶均匀喷洒, 同时在 5 m^2 的场地内均匀放入 5 个小铝盒收集降雨量, 模拟降雨后, 将铝盒中收集到的水全部倒入雨量桶测量, 求得平均值即为模拟降雨量。

3 结果分析

3.1 左冒西孔曲不同覆盖度下的产流结果

在长江源左冒西孔曲地形、土壤、降水因子相同的条件下, 30° 坡面上不同覆盖度的径流场内所产生的径流量差别较大, 8 次不同的天然降水, 在 30%、68%、92% 3 个盖度的场地内合计产生的径流量分别是 0.3038 m^3 、 0.1605 m^3 、 0.1656 m^3 。低覆盖度 30% 退化草地的径流场内的径流总量将近是 68% 和 92% 两种盖度场地内径流量的 2 倍, 而 68% 和 92% 两种盖度的场地内所产生的径流总量相比较, 差别不大, 但高盖度 92% 场地内产生的径流量大于低盖度 68% 的。

从图 1 中也可以看出, 在 8 次降雨产生的径流量中, 30% 盖度场地的径流量都大于另外两个盖度场地的, 而 92% 盖度径流场产生的径流量有 6 次大于 68% 盖度的。该结果表明, 在高寒草甸退化地表植被覆盖度低于 68% 后产流量将增加, 但在高寒草甸高于 68% 时出现坡面产流随覆盖度增加而增大的趋势, 这一产流结果与其它地区的林地和草地的产流状况相反^[5, 18]。结合观测前的表层土壤含水量, 初步认为高覆盖度较高的草甸草地的土壤含水量较高, 降水后容易达到饱和而产流, 以饱和产流为主, 表明高覆盖度的草甸草地有较好的涵养水源的作用。

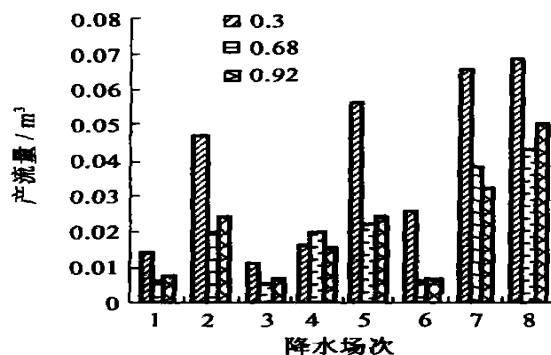


图 1 长江源不同降水下的产流状况

Fig. 1 Runoff under the different precipitation in headwaters of the Yangtze River

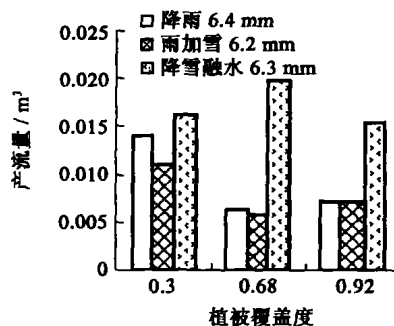


图 2 长江源不同降水形态下的产流量

Fig. 2 Runoff under different precipitation forms in headwaters area of the Yangtze River

由降雨 6.4 mm、雨夹雪 6.2 mm、降雪 6.3 mm(80% 边降边消融) 3 次降水量相近, 但降水形态不同的产流结果分析比较, 从图 2 清楚的看出, 无论在何种植被盖度下, 降雪融水的产流量都大于另两种降水形态的产流量。降雨和雨夹雪两种降水形态下, 30% 盖度的场地内的产流量大于另两个高盖度的, 68% 和 92% 场地的两次产流量相近, 由表 2 也可知, 68% 和 92% 两场地内的降雪融水的产流量分别是前两种降水的 3.2、3.5 倍和 2.1、2.2 倍。

由上述结果, 在青藏高原高寒草甸草地植被退化的低覆盖坡面上, 降水量与降水形态相比, 降水量是影响产流量的主要因子, 但在覆盖度较高的坡面上, 降水形态也对产流过程具有显著影响, 在降水量相同的情况下, 降雪融水径流量大于降雨和雨夹雪形成的径流量。

3.2 风火山不同覆盖度下产沙结果

选择 4 次天然降水过程, 分析不同覆盖草地的产沙侵蚀量, 从表 2 可以看出, 30% 盖度的场地内产生的平均泥沙含量是 68% 盖度和 92% 盖度的 2.4 倍和 3.2 倍。68% 盖度的场地内产生的平均泥沙含量是 92% 盖度的 1.4 倍。由泥沙总量和泥沙冲刷量分析可知, 低覆盖度 30% 退化草地的泥沙总量和泥沙冲刷量是 68% 和 92% 两种盖度场地内的 4 倍和 4.3 倍; 从图 3 也可以看出, 不同覆盖度下次降水侵蚀冲刷量和总侵蚀冲刷量的大小次序为: 30% 覆盖度下的侵蚀量> 68% 覆盖度下的侵蚀量> 92% 覆盖度下的侵蚀量。

表 2 2004 年 8 月份左冒西孔曲径流场不同降水的产流产沙状况
Table 2 Runoff and sediment yield in different precipitation in Zuomaoxikongqu station in August 2004

产沙状况	植被覆盖度 / %	降水状况								合 计	
		降雨 6.4 /mm		降雨 21.8 /mm		雨夹雪 6.2 /mm		雪融水 6.3 /mm		40 7 /mm	
		量	倍数	量	倍数	量	倍数	量	倍数	总量	倍数
产流量 /m ³	30	0.0141	1.93	0.0466	1.94	0.0110	1.55	0.0164	1.06	0.0882	1.63
	68	0.0062	0.85	0.0198	0.83	0.0057	0.80	0.0198	1.28	0.0514	0.95
	92	0.0073	1.00	0.0240	1.00	0.0071	1.00	0.0155	1.00	0.0540	1.00
平均含沙量 / (kg·m ⁻³)	30	5.81	2.11	3.01	1.43	6.94	9.91	2.51	12.55	4.57*	3.17
	68	3.51	1.27	2.29	1.09	1.21	1.73	0.70	3.50	1.93*	1.34
	92	2.76	1.00	2.10	1.00	0.70	1.00	0.20	1.00	1.44*	1.00
100 m ² 场地中的泥沙总量 / g	30	82.10		140.35		76.49		39.01		337.95	
	68	21.85		45.30		6.84		11.47		85.47	
	92	20.28		50.44		4.95		3.96		79.63	
冲刷量 / (kg·hm ⁻²)	30	8.21	4.04	14.04	2.79	7.65	15.61	3.90	9.75	33.79	4.25
	68	2.19	1.08	4.53	0.90	0.68	1.39	1.15	2.88	8.55	1.07
	92	2.03	1.00	5.04	1.00	0.49	1.00	0.40	1.00	7.96	1.00

注: 带* 的为平均值。

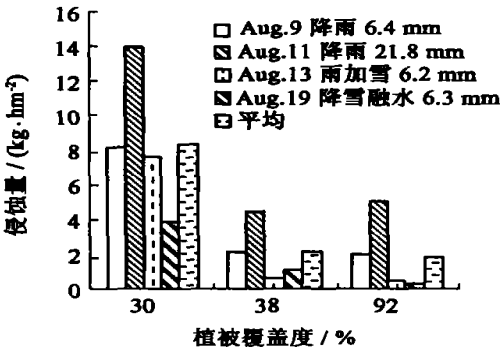


图 3 长江源不同盖度下的侵蚀量

Fig. 3 Erosion amount under the degree different overlay of headwaters area of the Yangtze River

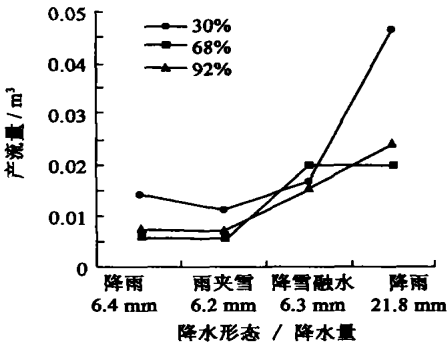


图 4 长江源不同降水的产流状况

Fig. 4 Runoff in the different precipitation in headwaters area of the Yangtze River

由表 2 和图 3 可知, 在 3 次降水量相近降水形态不同各径流场的产沙量也不同。从 3 个径流场的平均泥沙含量和冲刷量分析得出, 降雪产沙量 < 雨夹雪夹加冰雹产沙量 < 降雨产沙量, 通过冲刷量来分析 30%、68%、92% 盖度下, 降雨的泥沙冲刷量分别为降雪的 2.1 倍、1.9 倍和 5.1 倍; 单次降水条件下 30% 盖度的场地内的泥沙冲刷量是 68%、92% 盖度的 3.39 倍~ 4.04 倍; 即 68% 与 92% 两种高覆盖度的高寒草甸草地比 30% 以下低覆盖度的退化草地减少泥沙侵蚀 70.5% 和 89.7%; 降水量达到 21.8 mm 时, 30% 盖度的场地内能造成 14.04 kg/hm² 的冲刷侵蚀量, 综合分析降水量越大, 产生的泥沙冲刷量也大。上述结果表明, 青藏高原高寒草甸植被退化后, 降水引起的径流的泥沙冲刷量加大, 即土壤侵蚀量加剧。在各种降水形态下, 降雨仍然是造成侵蚀的主要因子, 降雪融水的条件下侵蚀冲刷量较小。

3.3 垮热洼尔玛河和纳通河不同天然降水下的产流产沙特性

在黄河源两个小流域内的 7 次降雨产生的径流量中, 从图 6、图 7 中的总趋势可以看出: 两个径流场所产生的径流量和产沙侵蚀量都随着降雨量的增大而呈增大趋势; 在降雨量小于 9.2 mm 的降水中, 纳通河径流场的产流量都小于垮热洼尔玛河的, 但产沙量纳通河径流场的都高于垮热洼尔玛河的; 两个小流域径流场产流量和产沙量呈正相关关系, 即产沙量随产流量的增大呈增大趋势。该试验结果表明, 在降水量相同的情况下, 坡度较大的(垮热洼尔玛河)坡面上的产流量比坡度较小的(纳通河)坡面上的产流量大; 植被覆盖度高的(垮热洼尔玛河)坡面上产生的泥沙量比植被严重退化的(纳通河)坡面上的低。垮热洼尔玛河试验区尽管坡度大, 但植被盖度较高, 在降水量与降水强度一定的条件下, 高植被覆盖度能有效的减小泥沙的产生。

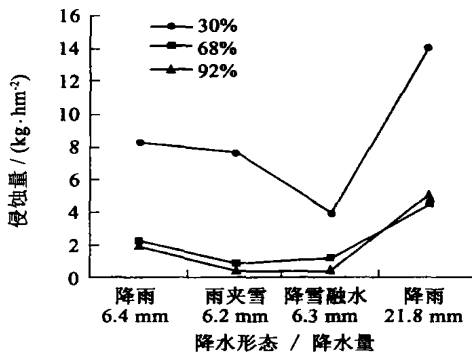


图 5 长江源不同降水下的侵蚀状况

Fig. 5 Erosions caused for differentl precipitations in headwaters area of the Yangtze River

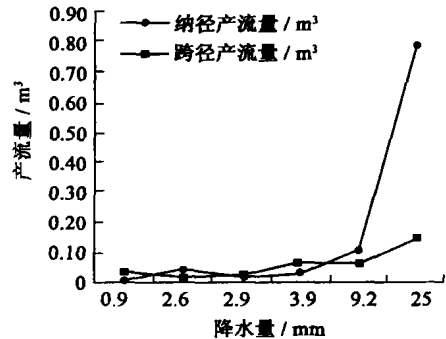


图 6 黄河源不同降水下的产流产沙

Fig. 6 Runoff and sediment in the different precipitation in headwaters area of the Yellow River

结合图 4、图 5、图 6、图 7 比较并综合以上产流产沙的特点, 长江黄河源区高寒草甸植被盖度对坡面径流量和侵蚀量都有影响, 因降水形态和降水量而变化, 总体上植被覆盖度越大产沙侵蚀量越小, 产流量在覆盖度低于 60% 的坡面明显大于覆盖度高的, 但覆盖度高于 60% 的坡面产流量随覆盖度高的大于覆盖度低的。产流量和产沙量都随降水量的增大而增大, 但在降水量相同的情况下, 降雪融水形成的径流量最大, 产沙量最小。

3.4 径流系数

根据几次天然降水的降水量和产生的径流量初步计算出长江黄河源区 4 种不同植被覆盖度下径流场的径流

系数。

$$r = \frac{R_n}{P \times 10^{-3} A_n} \quad (1)$$

式中 r 为地表径流系数; P 为降水量, mm; A_n 为径流场面积, 100 m²; R_n 为径流量即 100 m² 径流场内的产流量, m³。将几次降雨量和对应的产流量代入式(1), 求其算术平均值得出, 在北麓河和 30° 坡面上总体覆盖度为 30%、68% 和 92% 的径流场的径流系数分别为 0.0224、0.0147 和 0.0147; 在纳通河 22° 坡上总体盖度为 5% 的坡面上的径流系数为 0.241; 垮热洼尔玛河 30° 坡上总体覆盖度为 90% 的坡面上的径流系数为 1.39%。通过

求出的径流系数和图 8 可以看出，江河源区高寒草甸区 30° 坡面上的径流系数不大，在坡度相同的坡面上覆盖度低的径流系数大于覆盖度高的，覆盖度较高的 3 个场地的径流系数相近；纳通河 22° 坡面上，尽管坡度较小，但由于覆盖度较低坡面径流系数较大。

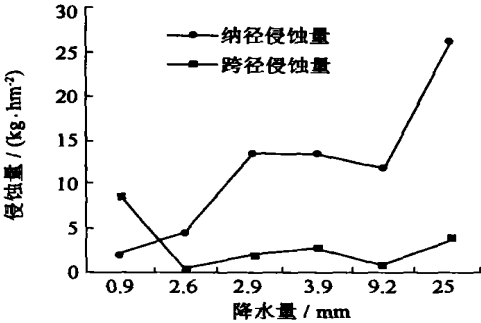


图 7 黄河源不同降水下的侵蚀

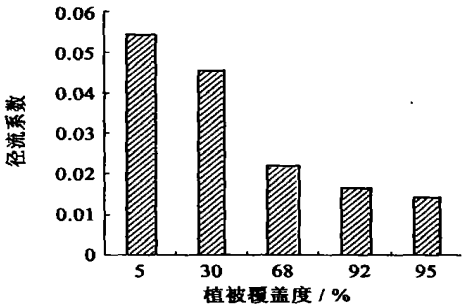


图 8 不同覆盖度下的径流系数

Fig. 7 Runoff and sediment in the differently precipitations in headwaters area of the Yellow River

Fig. 8 Runoff coefficients in the different vegetation coverages

3.5 人工模拟降水产流产沙效果

为更好的揭示不同降水强度下的产流产沙效应，本次研究开展了人工模拟降水观测试验。结果表明，在相同降水条件下，退化较为严重的 5% 和 30% 覆盖度的场地内，地表径流出量明显大于覆盖度较好的 68%、92% 和 95% 场地内，同时产沙量也显著高于后两者，平均单次降水形成的泥沙量是后两种情形的 2~ 4 倍，由此造成地表侵蚀量平均为后两种情形的 3~ 10 倍。对于覆盖度较小的中、强度退化草地，次降水量在 3.5 mm 时，就形成了较为明显的径流和产沙效应，当次降雨量达到 7 mm，降雨持续时间 15 min，5 m² 场地内就会形成 1 400 mL 以上的径流量；覆盖度小于 30% 的退化草地泥沙含量明显高于高覆盖度的，相同降水形成的平均泥沙含量高达 2~ 7 倍；在退化较为严重的低覆盖不同坡面上，在地表土壤含水量(频域反射仪 FDR 测 0~ 5 cm 平均含水量为 36.7%) 较高的情况下，次降雨量达 2 mm，降雨强度超过 0.4 mm/min，在 5 m² 场地内历时 5 min 就能形成 1 060 mL 的地表径流，每 100 mL 径流中含泥沙高达 1.6 g。结合天然降水的观测结果，得出如下初步结论。

4 结论与讨论

(1) 长江黄河源区高寒灌丛草甸草地和高寒草甸草地的蓄水减沙效果显著。在坡度相同，次降水量相同的条件下，产沙量是随覆盖度的增加而减少，68% 以上的高覆盖度的平均土壤流失量分别比 30% 以下盖度的径流场减少 74.7%。径流场的试验观测和模拟降水表明，产流量在低覆盖度的情况下，随着覆盖度的降低产流量增大；但覆盖度大于 68% 时，即覆盖度高的场地内产生的径流量比覆盖度低的高；在高寒草甸草地 68% 以上盖度的径流系数小于或等于 0.0147，30% 以下盖度的径流系数大于 0.022 4，表明长江黄河源区高寒草甸草地具有较强的保持水土作用。

(2) 通过对几次典型的降水形态的分析可以看出，在长江黄河源区高寒草甸草地植被退化的低覆盖坡面上，降水量与降水形态相比，降水量是影响产流量的主要因子，降水形态对产流量的影响不大。但在覆盖度较高的坡面上，不但降水量影响着产流产沙量，降水形态也对产流产沙量影响较大。从侵蚀产沙量来看，降雨仍是引起水土流失的主要降水形态。在降水量相同的条件下，降雪明显的增加了产流量，可比降雨和雨夹雪增加产流量 2.1~ 3.5 倍，却减少了产沙和侵蚀冲刷量，可比降雨减少泥沙侵蚀 45.4%~ 80.3%。就单次降雪来看，68% 与 92% 两种高覆盖度的比 30% 以下低覆盖度的减少泥沙侵蚀 70.5% 和 89.7%。初步表明在长江黄河源区的高寒草甸区，7~ 9 月份的降雪能形成较高的径流量，且侵蚀冲刷量较小。高植被覆盖度能有效地减少降水径流对地表的侵蚀，具有较强的涵养水源和保持水土的效应。

参考文献:

- [1] 王根绪, 程国栋, 沈永平, 等. 江河源区的生态环境变化及其综合保护研究[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2001. 1- 117.
- [2] 冯永忠, 杨改河, 杨世琦, 等. 江河源区地域界定研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(1): 11- 14.
- [3] 胥鹏海, 冯永忠, 杨改河, 等. 江河源区水环境变化规律及其影响因素分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(3): 10- 14.
- [4] 沈永平, 王根绪, 吴青柏, 等. 长江黄河源区未来气候情景下的生态环境变化[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 308- 314.
- [5] 王根绪, 沈永平, 钱 鞠, 等. 高寒草地植被覆盖变化对土壤水分循环影响研究[J]. 冰川冻土, 2003, 25(6): 653- 659.
- [6] 张士锋, 刘昌明, 夏 军, 等. 降雨径流过程驱动因子的室内模拟试验研究[J]. 中国科学, D 辑, 2004, 34(3): 280- 289.
- [7] 吴钦孝, 赵鸿雁, 汪有科. 黄土高原油松林地产生流沙及其过程研究[J]. 生态学报, 1998, 18(2): 150- 157.
- [8] 沈 晋, 王文焰, 沈 冰. 动力水文试验研究[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1991. 1- 5.
- [9] Eagleson P S. Dynamic Hydrology[M]. New York: McGraw-Hill, 1970. 1- 462.
- [10] 杨文治, 邵明安, 彭新德, 等. 黄土高原环境旱化与黄土中的水分关系[J]. 中国科学, D 辑, 1998, 28(4): 357- 365.
- [11] Rogers W F. A practical model for linear and nonlinear runoff[J]. Journal of Hydrology, 1980, 46(1): 51- 78.
- [12] 王根绪, 沈永平, 刘时银. 黄河源区降水与径流过程对 ENSO 事件的响应特征[J]. 冰川冻土, 2001, 23(1): 17- 21.
- [13] 丁永建, 叶伯生, 刘时银, 等. 青藏高原大尺度冻土水文监测研究[J]. 科学通报, 2000, 45(2): 208- 214.
- [14] 谢昌卫, 丁永建, 刘时银, 等. 长江- 黄河源寒区径流时空变化特征对比[J]. 冰川冻土, 2003, 25(4): 414- 422.
- [15] 张增哲. 流域水文学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992. 123- 156.
- [16] 唐克丽, 郑粉莉, 张科利, 等. 子午岭林区土壤侵蚀与生态环境关系的研究内容和方法[A]. 中国科学院, 水利部西北水土保持研究所集刊(第 17 集)[C]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1993, 3- 10.
- [17] 张清春, 刘宝元, 翟 刚. 植被与水土流失研究综述[J]. 水土保持研究, 2002, 9(4): 96- 101.
- [18] 郝芳华, 陈利群, 刘昌明, 等. 土地利用变化对产流和产沙的影响分析[J]. 水土保持学报, 2004, 16(3): 5- 8.

Impacts of land cover change on runoff and sediment yields in the headwater areas of the Yangtze River and the Yellow River, China^{*}

LI Yuan shou¹, WANG Gen xu^{1,2}, WANG Yi bo³, WANG Jun de³, JIA Xiao hong¹

(1. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering & Laboratory of Watershed Hydrology and Ecology, CAREERI, CAS, Lanzhou 730000, China;

2. Institute of Mountain Hazard and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China;

3. College of Resources & Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The small Natong and Kuarewama Rivers in the headwater areas of the Yellow River and the Fenuoshan River in the headwater area of the Yangtze River, where vegetation is simple and dominated by the alpine cold meadows and the alpine grassland meadows, are selected as typical catchments to study contrastive the impacts of the alpine land cover change on the rainfall-runoff processes and the soil erosion. Based on the studies of the plots, the effects of runoff and sediment yield at the same gradient from July to August are tested in terms of three vegetation coverages of 30%, 68% and over 92%. The results indicate that on the 30° slope in the alpine meadow zone and under the condition of the same precipitation, the runoff in the meadow zone that holds 30% of land cover is apparently larger than that in the meadow zone that holds 95% and 68% land cover; furthermore, the sediment yield is also larger than that of the later two, and the average sediment yield caused by one precipitation event is 2- 4 times as larger as that of them. The results support the concept of vegetation as a major control upon

^{*} The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China(No. 30270255, 90511003); and the “One Hundred Talents Program” of Chinese Academy of Sciences (No. 2004006).

runoff and sediment production. Moreover, the simulative results indicate that for the moderately degraded alpine meadow land with a coverage less than 68%, the apparent effects of runoff and sediment yield happen when the secondary precipitation is 3.5 mm, and 1400mL runoff produce in the 5 m² field when the precipitation reaches 7 mm and lasts 15 minutes. The sediment content, runoff and its formation frequency in the seriously degraded alpine meadow land with coverage below 30% are apparently higher than those of the alpine meadow land holding a higher land cover, on average, 2–7 times as larger as that of the later than those of the alpine meadow land holding a higher land cover on the about 2–4 times as large as that of the latter. In the headwaters area of the Yangtze and the Yellow Rivers, the alpine meadow coverage, topographic gradient and precipitation characteristics (time, intensity) all influence the runoff and sediment yield apparently.

Key words: alpine meadow; land cover; runoff yield; sediment yield; headwaters area of the Yangtze River and the Yellow River

《中国学术期刊文摘》中文版和英文版 2007 年征订启事

《中国学术期刊文摘》分中文版(简称 CSAC)和英文版(简称 CSAE)两种,各自收录了我国高水平学术期刊中基础科学、医学、农业科学和工程技术领域约 40 个学科的论文文摘,全景展现我国的科研成果与进展。

作为综合性科技类检索刊物,《中国学术期刊文摘》致力于将我国科学技术各领域的原创性学术成果全面、快速地向科技工作者交流、传播,其中 CSAE 是我国第一份综合性英文版科技类学术检索刊物。

《中国学术期刊文摘》由中国科学技术协会主管,科技导报社主办并负责编辑、出版、发行,对科研单位、高等院校、图书馆以及广大科技工作者检索和了解我国的科技研究成果、学术研究动向具有重要的参考价值。

《中国学术期刊文摘(中文版)》刊号为 CN 11-3501/N, ISSN 1005 8923, 2007 年为半月刊,大 16 开,国内定价 38.00 元/册,全年定价 912 元,邮发代号: 82-707。

《中国学术期刊文摘(英文版)》刊号为 CN 11-5411/N, ISSN 1673 4084, 2007 年改为月刊,大 16 开,国内定价 15.00 元/册,全年定价 180 元,邮发代号: 80-487。

欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆订阅。

通讯地址: 北京市海淀区学院南路 86 号科技导报社(邮编 100081)

联系电话: 010- 62103122

联系人: 姚玉琴

征订信箱: wzhjb@ cast. org. cn

单位主页: [http:// www. csac. org. cn](http://www.csac.org.cn)

户 名: 科技导报社

账 号: 0200001409089017271

开户银行: 工商银行百万庄支行