

延安极端降雨特性分析及对梯田侵蚀灾害影响

李慧娟^{1,3}, 高建恩^{1,2,3}, 张元星^{2,4}, 白先发^{1,3}, 孙彭成², 张英英⁵

(1. 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 湖南省水利厅, 长沙 410000; 5. 安塞县气象局, 陕西 安塞 717400)

摘要: 针对以增暖为主要标志的全球变化导致气候变率增大, 极端天气气候事件和灾害发生更为频繁, 造成人口、农业经济生产、基础设施风险扩大的现实, 以 2013 年造成延安多地严重受灾极端降雨特性及其对梯田侵蚀影响严重为例, 基于延安站多年逐日降雨资料和梯田侵蚀实地测量资料, 分析了该极端降雨的特征并探讨了其对梯田侵蚀灾害的影响。结果表明: (1) 延安 2013 年降雨总量达到 959 mm, 比 1951—2012 多年平均降雨量高出 448.8 mm, 其中 7—9 月降雨量达到 761 mm, 占全年降雨量的 79.4%, 最大月降雨 7 月为 568 mm, 达到万年一遇标准; (2) 延安 2013 年极端降雨侵蚀性降雨和暴雨次数多, 暴雨总量大, 同时降雨出现短历时中强度、中历时高强度、长历时强侵蚀弱输沙的新变化; (3) 延安 2013 年极端降雨下连片梯田侵蚀剧烈, 侵蚀模数和相对高差与汇水面积之间存在显著关系, 梯田中下部侵蚀严重, 最大土壤侵蚀模数达到 54 049.50 t/km², 该研究可为水土保持农业梯田工程设计提供依据, 同时将为气候变化条件下有效应对该类极端降雨采取永久措施和临时措施及适应性调控提供科技支撑。

关键词: 延安; 极端降雨; 梯田; 剧烈侵蚀

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2016)06-0079-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbxb.2016.06.014

Analysis of Yan'an Extreme Rainfall Characteristics and Impacts of Erosion Disasters on Terraces

LI Huijuan^{1,3}, GAO Jianen^{1,2,3}, ZHANG Yuanxing^{2,4},
BAI Xianfa^{1,3}, SUN Pengcheng², ZHANG Yingying⁵

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 4. Hunan Provincial Water Resources Department, Changsha 410000; 5. Ansai County Meteorological Bureau, Ansai, Shaanxi 717400)

Abstract: In view of the fact that the global change which was mainly marked by warming resulted in that the climate change rate increased, the extreme weather and climate events and disasters were more frequent, and the risk of population, agricultural economic production and infrastructure were enlarged. A case on the characteristics of extreme rainfall in Yan'an of 2013 and its severe erosion on the terraces was analyzed which was based on years of daily rainfall data of Yan'an station and terraces erosion field measuring data. The results were showed as bellows: (1) The total extreme rainfall of Yan'an in 2013 reached 959 mm, 448.8 mm higher than the mean annual rainfall (1951—2012). Rainfall from July to September reached 761 mm, which accounted for 79.4 % of the whole year and among which the maximum monthly rainfall happened in July (568 mm), reaching the standard of million years; (2) The number of erosive rainfall and rainstorm was much more than before and the total amount of rainstorm was large. Meanwhile, the extreme rainfall showed new changes of short duration and moderate intensity, moderate duration and high intensity, long duration, strong erosion and weak sediment transport; (3) The contiguous terraces were eroded seriously in the extreme rainfall. The soil erosion modulus of terrace had significant correlations with relative elevation and catchment area. The erosion of the moderate and lower terraces was serious and the maximum soil erosion

收稿日期: 2016-05-27

资助项目: 造地工程水系平衡与生态保育技术研究项目(2016ZDJC-20); 陕西省科技统筹创新工程项目(2013KTDZ03-03-01); 国家自然科学基金项目(41371276, 51309194)

第一作者: 李慧娟(1992—), 女, 硕士研究生, 主要从事流域水沙调控研究。E-mail: lihuijuan2014@163.com

通信作者: 高建恩(1962—), 男, 研究员, 主要从事流域水沙调控研究。E-mail: gaojianen@126.com

modulus reached 54 049.50 t/km². This study would provide the basis for the design of agricultural soil and water conservation terrace engineering, and also provide support to take permanent and temporary measures to prevent the extreme rainfall under climate change conditions.

Keywords: Yan'an; extreme rainfall; terrace; serious erosion

自 1998 年 IPCC(政府间气候变化专门委员会) 成立后,IPCC 4 次评估报告显示,第 4 次评估报告相比第 3 次全球地表温度升高了约 0.14℃,第 3 次相比第 2 次高出 0.15℃,由于地表温度不断升高带来的全球变暖是目前全球气候发展的一个趋势。在全球气候变化的背景下,黄土高原气候在近 100 年来发生了巨大的变化,极端气候事件频发,降水时空分布极不均匀,汛期降雨通常占全年降雨总量的 75%~85%^[1],总体上表现为降水减少,气温升高,暖干化气候趋势使得该区干旱缺水和水土流失严重^[2]。严重的干旱缺水与水土流失已经成为限制黄土高原高效农业发展的主要因素^[3]。李振朝等^[4]对 1951—2000 年黄土高原地区 55 个气象站气温和降水逐日资料进行分析发现该区多年平均降水量和气温自东南往西北递减,降水总体上逐渐减少,气温总体上逐渐上升;卫伟等^[5]分析了半干旱黄土丘陵沟壑区 1986—2004 年野外实测径流小区降雨与径流泥沙数据,结果表明降雨量和雨强高的极端事件破坏性最强,高历时低雨强的极端事件造成破坏也较大,极端事件的径流系数和侵蚀模数均比多年平均值高;邱临静等^[6]系统分析了 1952—2008 年延河流域降水和径流变化特征,显示 20 世纪中后期径流和降水变化过程一致,21 世纪初期降水量先升后降而径流量呈下降趋势;Wan 等^[7]对黄土高原 1957—2009 年的年降雨量及极端事件进行了时空分析,结果表明年降雨量及极端降雨量均呈现下降趋势;Li 等^[8]定量分析了 1961—2007 年黄土高原的极端气候事件,发现极端降雨事件变化不明显,极端温度事件变化频繁剧烈。近年来,全球极端气候频发,造成人员经济损失巨大,成为不得不关注的常态。

自上世纪 70 年代以来,梯田在黄土高原地区得到了快速发展。但是由于黄土高原降水时空分布不均的特点^[3],加之极端气候频发,导致侵蚀性降雨、极端降雨频发,当面临百年不遇特大暴雨时,极易产生较大降雨径流,对梯田造成严重的冲刷,产生水土资源及养分流失等问题,最终使得梯田被毁,农作物减产甚至绝收,严重威胁人民群众的生命与财产安全。

尽管许多学者已经对各地区降雨特性以及对侵蚀的影响等做了大量研究,但对梯田的研究集中于梯田的蓄水保土效益方面,对梯田侵蚀的研究尚少,尤其对地区极端降雨及梯田侵蚀等的研究仍有不

足。本研究以延安为例,基于延安站 1951—2013 年逐日降水资料,采用描述性统计分析的方法对其 2013 年极端降雨特征进行了分析,研究极端降雨变化规律以及其对梯田侵蚀状况的影响,以期对该地区应对极端气候发生及农业可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

延安市地处西北内陆黄土高原腹地,位于 107°41′—110°31′E,35°21′—37°31′N,为典型的黄土高原丘陵沟壑区,属中温带大陆性半干旱季风气候,年平均气温为 8.5~9.5℃,多年平均活动积温在 3 100~3 300℃,最冷月为 1 月,平均气温为(−6.3)~(−7.2)℃,最热月为 7 月,平均气温为 22.7~23.2℃。多年平均降水量为 510~550 mm,年内与年际间降水分配不均匀,汛期降水占全年降水量的 55%~58%,多以大雨或暴雨的形式出现。土壤主要为在黄土母质上发育起来的黄绵土,质地较轻,肥力低,通透性较好,总孔隙度较高。

本研究选取安塞县马家沟流域(109°08′—109°22′E, 36°45′—36°58′N)内一处连片梯田进行了土壤侵蚀监测,该流域总面积 73.7 km²,水土流失面积 72.3 km²。流域地形陡峭,沟壑纵横,水土流失严重,沟壑密度为 4.5 km/km²,土壤侵蚀模数为 14 000 t/(km²·a)。流域内所选连片梯田位于 109°13′E,36°53′N,共 8 级梯田,平均田埂高度为 15 cm,边坡裸露,梯田内主要种植作物为玉米(*Zea mays*)、马铃薯(*Solanum tuberosum*)、白菜(*Brassica pekinensis*)、谷物(*Setaria italica*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 降雨资料获取与处理 采用中国气象科学数据共享服务网(<http://www.esi.cn/metadata/page/index.html>)提供的延安气象站 1951—2013 年的逐日降雨资料对降雨频率进行分析。对于数据处理过程中由于微量、缺测等出现异常的部分降雨数据,一般可忽略其对长序列降雨数据影响,均按无降雨处理。

1.2.2 侵蚀资料获取与处理 本研究在 2013 年 5 月份雨季到来之前采用 Leica TCRA 1202 全站仪、Unistrong MG 838 手持 GPS 等测量设备对梯田地形进行了实地测量,极端降雨结束后的 9、11 月份分别对梯田侵蚀破坏情况进行重复测量,测量结束后在室内利用南方 CASS 7.0 软件将所得数据绘制成

CAD 图,最终通过 ArcGIS 9.3 软件求得各个梯田断面的汇水面积、侵蚀量、侵蚀面积等。

2 结果与分析

2.1 降雨频率分析

根据延安气象站 1951—2012 年降雨统计资料,延安站多年平均降雨量为 510.2 mm,其中降雨最少的年份在 1974 年,为 296.4 mm,降雨最多的年份在 1964 年,为 817.9 mm。根据延安站多年降雨量变化趋势,1951—2012 年多年降雨量处于不断波动过程中,无明显增加或减小趋势,2013 年降雨量急剧增加,达 959.1 mm,高出降雨最多年份 1964 年 17.3%,是多年平均降雨量的 1.9 倍。按照日降雨量大于 0 mm 天数计算年降雨天数,绘制降雨天数变化趋势曲线(图 1),其多年降雨天数在 80 天左右,2013 年延安全年降雨天数为 83 天,与多年平均值差别不大。

根据多年降雨量统计(图 2),延安地区降雨年内分布不均匀,对 1951—2012 年降雨分析得知,全年降雨集中分布在汛期(6—9 月),汛期多年平均降雨量为 373.27 mm,占全年降雨量的 73.2%,而非汛期(1,2,11,12 月)多年平均降雨量为 17.88 mm,其降雨量仅占到全年降雨量的 3.5%。延安站 2013 年汛期(6—9 月)降雨量为 822.8 mm,占 2013 年全年降雨量的 85.8%,是汛期多年平均降雨量的 2.2 倍,非汛期(1,2,11,12 月)降雨量仅为 19 mm,和非汛期多年平均值相差不大。2013 年汛期降雨量高出非汛期降雨量 42 倍,降雨年内处于极度不均匀状态,最大 3 月(7—9 月)降雨量达到 761.3 mm,占全年降雨量的 79%。

从图 2 还可看出,2013 年降雨过程主要发生在 7 月份,7 月降雨量为 568 mm,仅 7 月 1 个月的降雨量超出 1951—2012 年多年平均年降雨量 57.8 mm,占 2013 年全年降雨量的 59.2%,是多年 7 月平均降雨量的 5 倍左右。7 月长历时连续降雨是造成 2013 年年内降雨分布极不均匀的主要原因,也是造成 2013

年延安地区各种自然灾害的重要基础。

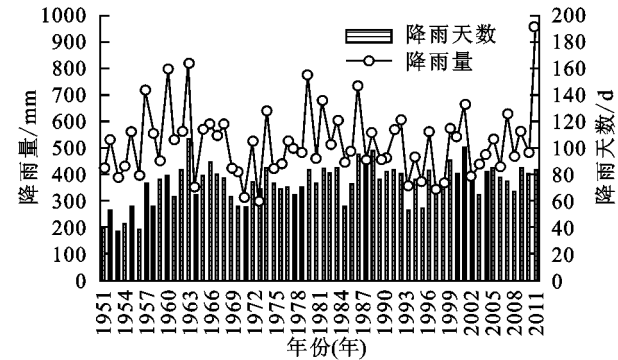


图 1 1951—2013 年年降雨量、降雨天数变化趋势

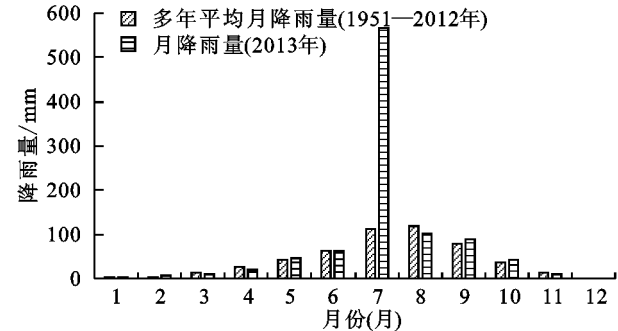


图 2 延安站 2013 年与多年平均降雨量比较

为了更深入地了解 2013 年全年、最大 3 月、最大月(7 月)等降雨量所具有的特性,通过绘制 1951—2012 年相应的降雨量频率曲线(图 3),并对 2013 年延安最大日、最大 3 日、最大 7 日、最大月、最大 3 月、全年的降雨量进行统计,得出 2013 年相应的降雨频率及重现期(表 1)。

表 1 延安站 2013 年降雨频率

2013 年	降雨量/mm	降雨频率/%	重现期/a
最大日降雨	87.8	7.70	10
最大 3 日降雨	141.1	1.52	50
最大 7 日降雨	272.6	0.06	1000
最大月降雨	568.0	<0.01	10000
最大 3 月降雨	761.3	0.06	1000
年降雨	959.1	0.16	500

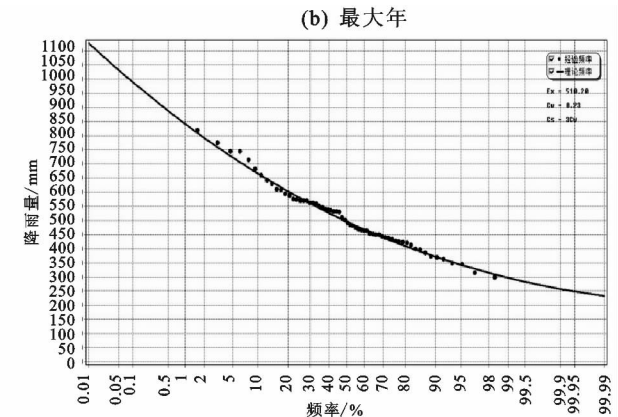
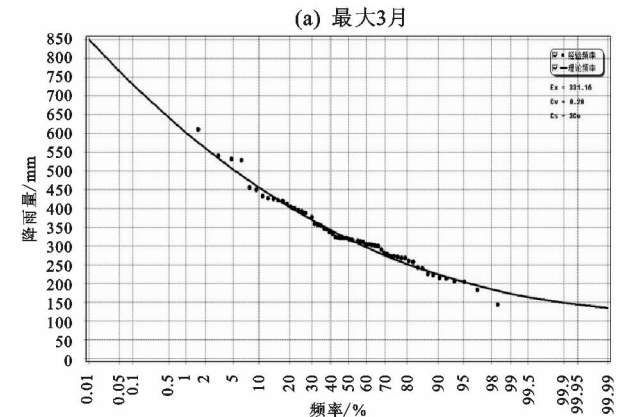


图 3 延安站 1951—2012 年降雨频率

由表 1 可知,2013 年年降雨量、汛期降雨量、最大月降雨量无论从降雨量还是降雨历时上来说都是

有资料统计以来绝无仅有的。世界气象组织(World Meteorological Organization,WMO)明确规定,如果

某些气象要素的年、月、日、时值达到 25 年以上一遇或其对应多年平均值(一般为 30 年左右)的差超过其二倍均方差时,定义该气象要素值为异常气候值,出现异常气候值的事件为极端气候事件,对于降雨异常的事件称为“极端降雨事件”。2013 年延安降雨除最大日降雨外,最大 3 日、最大月、最大 3 月、全年降雨均达到极端条件,尤其是 7 月降雨达到万年一遇标准,更加加剧了 2013 年降雨的极端特点。

2.2 降雨特性分析

2013 年延安全年降雨天数 83 天,汛期降雨天数达到 50 天。7—9 月无降雨的最大间隔日数为 11 天,仅发生 1 次(8 月 13—23 日);间隔日数 6 天发生 1 次;间隔日数 4 天发生 2 次;间隔日数 3 天发生 4 次;间隔日数 2 天发生 4 次;间隔日数 1 天发生 3 次。连续降雨最长 11 天发生 1 次(7 月 8—18 日),降雨量达到 323.7 mm,连续 6 天降雨发生 1 次(9 月 18—23 日),降雨量达到 71.7 mm,2013 年延安汛期降雨分布十分密集,对应降雨量、降雨历时均较大。

在黄土高原地区将次降雨量>10 mm 的降雨称之为侵蚀性降雨^[9]。前人研究结果表明,黄土高原中北部地区年均侵蚀性降雨量为 140~150 mm,平均侵蚀次数 5~7 次^[10-11]。此外,王占礼、王飞等^[12-13]研究表明,黄土高原各地年平均最多的土壤侵蚀次数为 10.56 次,个别站一年当中可达到 15 次。在 2013 年极端降雨事件中,仅 6—9 月汛期降雨过程中侵蚀性降雨次数就高达 20 次,总量达到 737.1 mm,侵蚀性降雨量是多年平均的 5 倍,侵蚀次数达到多年平均的 3 倍左右,此次极端降雨不仅降雨量大,而且侵蚀性较强。

据统计,2013 年暴雨主要发生在汛期共 6 次,降雨总量为 409.3 mm(表 2)。1951—2012 年 62 年间暴雨出现 47 次,降雨总量为 2 988.3 mm,平均年暴雨发生次数为 0.8 次,平均次降雨量为 65.5 mm。多年统计资料显示,仅 1960 年和 1988 年暴雨次数为 3 次,总量分别为 159.1 mm 和 186.6 mm。可以看出,2013 年延安站暴雨过程属于有资料记载以来绝无仅有的,其暴雨出现次数、暴雨降雨总量都远高于以往。暴雨总量占到了汛期降雨量的 54%左右,暴雨次数多,强度大为本次极端降雨的一个显著特点。

2.3 极端降雨对梯田侵蚀灾害影响

诸多研究表明,降雨量、降雨强度尤其是暴雨和大暴雨是影响梯田蓄水保土效益的重要因素之一,也是造成梯田破坏的主导因素^[14-17]。通过对 2013 年延安极端降雨特性分析得知,2013 年极端降雨总量大,降雨次数多,大雨暴雨频发,各种水土保持措施侵蚀灾害严重,尤其是梯田措施。实地调查结果显示

2013 年极端降雨条件下梯田不仅无法拦蓄降雨径流泥沙,而且延安各地梯田自身均受到严重的侵蚀灾害。梯田侵蚀过程中田面形成了侵蚀洞、侵蚀沟等,农作物被冲毁,严重影响农业生产。

表 2 1951—2013 年延安站暴雨情况

年份(年)	暴雨雨出现	暴雨降雨	平均次降雨
	次数/次	总量/mm	总量/mm
1960	3	159.1	53.03
1988	3	186.6	62.20
2013	6	409.3	68.22

本研究以延安市安塞县马家沟流域为例,调查了其梯田在极端降雨情况下的侵蚀破坏情况。选取的梯田为 8 阶连片水平梯田,侵蚀情况见表 3。在 2013 年极端降雨结束后实地调查发现,各梯田侵蚀均以面蚀为主,并伴随有沟蚀,梯田自上而下面蚀、沟蚀所占比重及其侵蚀强度越来越大。在 1~5 阶梯田中,梯田侵蚀主要以面蚀、细沟、浅沟及部分陷穴形式出现,侵蚀量相对较小,梯田田埂保存完整。自第 6 阶梯田起,面蚀、沟蚀加剧,开始出现了大的冲沟,部分田埂被冲毁,尤其是第 8 阶梯田冲毁严重,侵蚀沟沟长达 17 m,宽 10 m,最大沟深 3.3 m。根据王志杰^[18]的研究结果,延河流域在 2013 年极端降雨条件下,各小流域坡沟土壤侵蚀模数均小于 2 500 t/km²,中部侵蚀最为严重,各小流域滑坡、崩塌土壤侵蚀模数为南部最大,达 7357.7 t/km²,中部次之,为 3 706.9 t/km²,北部最小,为 1 678.1 t/km²。本研究所选择马家沟流域位于延河流域的中上部,坡沟侵蚀和滑坡、崩塌侵蚀均属于中等水平。由表 3 可知,在极端降雨条件下,对于该连片梯田,除第 1 阶梯田外,其余梯田土壤侵蚀模数均高于该区坡沟土壤侵蚀的平均水平,自第 3 阶梯田起,该梯田土壤侵蚀模数接近并高于延河流域滑坡、崩塌的最大土壤侵蚀模数。对比发现,在黄土高原地区该类连片梯田在极端降雨条件下由于自身破坏造成的土壤侵蚀强度远高于当地土壤侵蚀的平均水平,亟需对其进行深入研究。

焦菊英等^[19]研究认为黄土高原的允许土壤流失量为 1 000 t/km²,可以作为黄土高原无明显侵蚀的界限。由表 3 可知,仅第 1 阶梯田土壤侵蚀模数在 1 000 t/km² 以下,为微度侵蚀,自第 2 阶梯田起土壤侵蚀模数均在 1 000 t/km² 以上,侵蚀强度瞬间增大,侵蚀级别达到中度侵蚀以上标准。随着梯田相对高差的增大,梯田土壤侵蚀模数越来越大。通过建立侵蚀模数与相对高差之间的回归关系(图 4),得到侵蚀模数与相对高差之间的经验关系式:

$$M_s=210.023H^{1.525},R^2=0.940 \tag{1}$$

式中: M_s 为土壤侵蚀模数(t/km²); H 为相对高差(m)。

由图4可知,梯田土壤侵蚀模数与相对高差呈显著的幂函数关系,自梯田顶部到底部,随着相对高差越来越大,土壤侵蚀程度不断加重,而且越靠近底部增加的速率越快。

表3 马家沟流域梯田面积、侵蚀量及侵蚀模数统计

项目	梯田编号							
	1	2	3	4	5	6	7	8
梯田面积/m ²	3499.30	1979.50	2496.70	6550.40	2816.20	6238.70	4259.80	5814.30
汇水面积/m ²	3499.30	5478.80	7975.50	14525.90	17342.10	23580.80	27840.60	33654.90
田坎高度/m	2.30	4.40	4.60	3.90	2.70	4.50	7.80	3.80
相对高差/m	2.30	6.70	11.30	15.20	17.90	22.40	30.20	34.00
侵蚀量/t	2.96	7.53	28.11	40.10	41.87	168.96	201.25	314.26
侵蚀模数/(t·km ⁻²)	845.88	3803.99	11258.86	6121.76	14867.55	27082.57	47244.00	54049.50
侵蚀级别	微度侵蚀	中度侵蚀	极强度侵蚀	强度侵蚀	极强度侵蚀	剧烈侵蚀	剧烈侵蚀	剧烈侵蚀

注:梯田编号自上而下依次排列,共8阶梯田,其中第3阶梯田为裸地,相对高差以第一阶梯田田面为基准。侵蚀级别根据《中华人民共和国行业标准土壤侵蚀分类分级标准:SL 190—2007》划分。

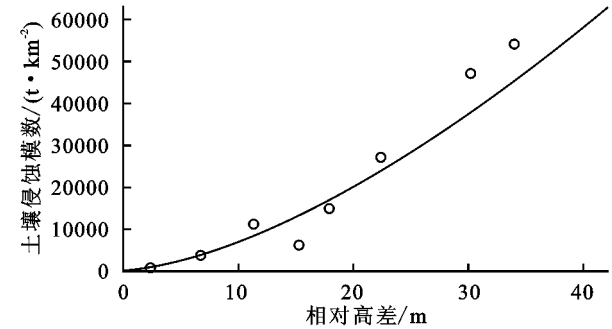


图4 土壤侵蚀模数与相对高差关系

除相对高差外,梯田汇水面积也是影响其侵蚀的一个重要因素,图5反映了梯田土壤侵蚀模数和汇水面积的关系,回归得到侵蚀模数和汇水面积之间的经验关系式:

$$M_s=0.003S^{1.606},R^2=0.879 \tag{2}$$

式中: M_s 为土壤侵蚀模数(t/km^2); S 为汇水面积(m^2)。

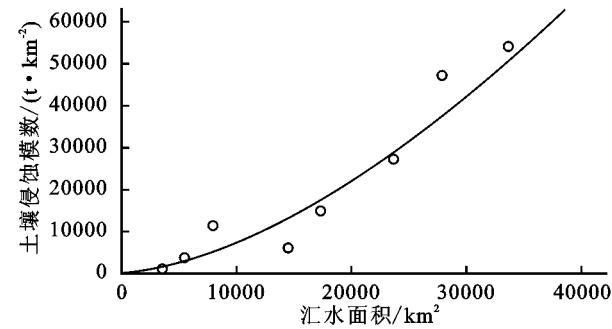


图5 土壤侵蚀模数和汇水面积关系

由图5可知,梯田土壤侵蚀模数与汇水面积呈显著的幂函数关系,梯田自顶部到底部,其控制面积越来越大,所对应的汇水面积增大,随着汇水面积的增大,梯田土壤侵蚀模数增加速率越来越快。根据水文计算中地表径流量计算公式 $W=K\times P\times F$ (式中: W 为径流量; K 为径流系数; P 为降雨量; F 为汇水面积)可知,汇水面积是影响地表径流量的一个重要因素,汇水面积的增大必然带来地表径流量的增大。黄土高原多年土壤侵蚀试验研究表明,地表径流量和土

壤侵蚀量关系密切,它们之间呈现显著的幂函数关系,与本研究的研究结果是一致的^[20]。

3 讨论

3.1 2013年延安极端降雨特性

2013年延安极端降雨总量高达959.1mm,达到500年一遇标准,极端降雨主要发生在7—9月,最大月降水7月为568mm,达到万年一遇标准。2013年极端降雨情况中,侵蚀性降雨和暴雨频发,侵蚀性降雨和暴雨发生次数均远超过多年平均出现次数。2013年极端降雨具有典型性,破坏性大且强,黄土高原地区往往一年中少数几次暴雨过程将会带来极其严重的水土流失^[21],此次极端降雨中侵蚀性降雨、暴雨集中且高频次必将给生态脆弱黄土高原地区带来更加严重的破坏。

3.2 极端降雨对梯田侵蚀影响

2013年极端降雨过程中随着梯田相对高差和汇水面积的不断增大,其中下部土壤侵蚀模数不断增大,侵蚀严重。这可能是因为随着梯田相对高差的增大,水流下垫面坡降不断增大,水流自高处往低处流动的过程中,势能不断转化为动能,水流流速越来越大,水流对土壤的冲刷能力不断增强,使得更多的土壤颗粒脱离土体,同时水流流速的增加使水流的挟沙能力不断增加,含沙量不断升高,有研究表明,高含沙水流作为侵蚀的产物,具有强大的侵蚀和搬运能力,高含沙水流一旦形成,能耗减小,挟沙能力增大,坡面侵蚀将迅速由片状侵蚀、细沟侵蚀发展到冲沟侵蚀阶段^[22]。汇水面积对土壤侵蚀模数的影响可能主要是通过增加地表径流量来实现的,这与贾立志等^[23]的研究结果相一致。刘晓燕等^[24]的研究也表明,当梯田上方汇水面积大于下方梯田面积的3倍左右时,梯田将很难完全容纳上方来水,极可能出现田埂或边壁破坏现象。在极端降雨条件下,梯田自上部至底部无

论是相对高差还是汇水面积,都使得梯田水流能量急剧增加,从而造成梯田中下部侵蚀剧烈。因此,在黄土高原地区大雨、暴雨情况下,采用统一标准修建的连片梯田下部较其他梯田而言难以抵御数倍于上部梯田的强烈水流冲击,对于连片梯田,随着高差、汇流面积增大,应不断提高下一级梯田的设计标准,增加下部梯田高度及田埂强度,充分考虑暴雨情况下上部无法拦蓄径流对下部梯田产生的巨大冲击。

4 结论

通过收集延安站降雨资料,对 2013 年极端降雨频率、降雨特性进行了分析,并探讨了其对流域梯田侵蚀灾害影响,得到结论为:

(1)2013 年延安极端降水发生于 7—9 月,降水量达到 761.3 mm;最大月降水发生于 7 月,达 568 mm,全年降水量达 959.1 mm,均为有气象记录以来的最大值。最大月、最大 3 月、全年降水量分别对应 10 000 年一遇标准、1 000 年一遇标准和 500 年一遇标准。同时,2013 年极端降雨中侵蚀性降雨、暴雨频发,侵蚀性降雨和暴雨发生次数远超过多年平均水平。

(2)2013 年延安极端降雨不仅造成严重地质灾害,还造成了严重梯田侵蚀灾害,梯田田埂破坏,发生塌陷和滑坡,引发剧烈侵蚀。梯田侵蚀模数与高差及汇水面积呈现正相关关系,梯田中下部侵蚀严重,建议连片梯田修建尽量控制在 5 阶以内,同时不断提高下一级梯田田埂设计标准,增加边埂下部压实程度及田埂高度和强度,推荐采用便于就地取材的新型固化剂材料对其进行加固,实地考察发现安塞地区部分边坡上白茅草长势较好,覆盖度可达 80%以上,建议可用于梯壁植草。

参考文献:

- [1] 吴普特,高建恩.黄土高原水土保持新论[M].郑州:黄河水利出版社,2006:5.
- [2] 周晓红,赵景波.黄土高原气候变化与植被恢复[J].干旱区研究,2005,22(1):116-119.
- [3] 白先发,高建恩.具有水窖设施的梯田苹果地扛暴雨侵蚀研究[J].水土保持研究,2015,22(4):247-252.
- [4] 李振朝,韦志刚,文军,等.近 50 年黄土高原气候变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2008,22(3):57-62.
- [5] 卫伟,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵沟壑区极端降雨事件及其对径流泥沙的影响[J].干旱区地理,2007,30(6):896-901.
- [6] 邱临静,郑粉莉,尹润生.1952—2008 年延河流域降水

- 与径流的变化趋势分析[J].水土保持学报,2011,25(3):49-53.
- [7] Wan L,Zhang X P,Ma Q,et al. Spatiotemporal characteristics of precipitation and extreme events on the Loess Plateau of China between 1957 and 2009[J]. Hydrological Processes,2014,28(18):4971-4983.
- [8] Li Z,Zheng F,Liu W,et al. Spatial distribution and temporal trends of extreme temperature and precipitation events on the Loess Plateau of China during 1961—2007[J]. Quaternary International,2010,226(1):92-100.
- [9] 谢云,刘宝元,章文波.侵蚀性降雨标准研究[J].水土保持学报,2000,14(4):6-10.
- [10] 穆兴民,戴海伦,高鹏,等.陕北黄土高原降雨侵蚀力时空变化研究[J].干旱区资源与环境,2010,24(03):37-43.
- [11] 殷水清,谢云.黄土高原降雨侵蚀力时空分布[J].水土保持通报,2005,25(4):29-33.
- [12] 王占礼,邵明安.黄土高原典型地区土壤侵蚀共性与特点[J].山地学报,2001,19(1):87-91.
- [13] 王飞,李锐,杨勤科.黄土高原土壤侵蚀的人为影响程度研究综述[J].泥沙研究,2003(5):74-80.
- [14] 冉大川,赵力仪,王宏,等.黄河中游地区梯田减洪减沙作用分析[J].人民黄河,2005,27(1):51-53.
- [15] 吴发启,张玉斌,王健.黄土高原水平梯田的蓄水保土效益分析[J].中国水土保持科学,2004,2(1):34-37.
- [16] 刘世梁,王聪,张希来,等.土地整理中不同梯田空间配置的水土保持效应[J].水土保持学报,2011,25(4):59-62.
- [17] 刘晓燕,杨胜天,王富贵,等.黄土高原现状梯田和林草植被的减沙作用分析[J].水利学报,2014,45(11):1293-1300.
- [18] 王志杰.延河流域植被与侵蚀产沙特征研究[D].北京:中国科学院大学,2014:84-103.
- [19] 焦菊英,贾燕锋,景可,等.自然侵蚀量和容许土壤流失量与水土流失治理标准[J].中国水土保持科学,2008(4):77-84.
- [20] 付兴涛,张丽萍,王文艳.不同土地利用方式坡面径流侵蚀强度模拟试验[J].水土保持学报,2013,27(2):42-46.
- [21] 张元星.流域水沙变化对水土保持梯田措施的响应研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2014:37.
- [22] 许炯心.黄土高原丘陵沟壑区坡面—沟道系统中的高含沙水流(I):地貌因素与重力侵蚀的影响[J].自然灾害学报,2004,13(1):55-60.
- [23] 贾立志,高建恩,张元星,等.黄土丘陵沟壑区梯田暴雨侵蚀状况及规律分析[J].水土保持研究,2014,21(4):7-11.
- [24] 刘晓燕,王富贵,杨胜天,等.黄土丘陵沟壑区水平梯田减沙作用研究[J].水利学报,2014,45(7):793-800.