

临洮县生产建设项目弃渣场土壤流失特征

——以肖家河水电站二期工程为例

王大为¹, 王立¹, 王小平², 曲富荣²

(1. 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省定西市水土保持研究所, 甘肃 定西 743000)

摘要: [目的] 探讨水电类生产建设项目弃渣场坡面水土流失特性, 为黄土丘陵区生产建设项目水土保持综合治理提供科学的理论依据。[方法] 以甘肃省定西市临洮县 2013 年降雨数据为依托, 通过肖家河水电站二期工程径流小区对不同处理下的水土流失特征进行研究。[结果] (1) 临洮县 2013 年降水量为 580.2 mm, 定义为平雨年; (2) 研究区降雨量和平均降雨强度的乘积与土壤侵蚀量呈线性正相关关系(相关系数大于 0.85); (3) 不同植被类型对弃渣场水土流失有影响, 其中油松与苜蓿混播能有效降低土壤侵蚀量和径流量; (4) 表层土前期含水量对弃渣场土壤流失量有显著影响, 下层土前期含水量对弃渣场土壤流失量无显著影响。[结论] 水电类生产建设项目弃渣场土壤流失受降雨量和降雨时间乘积、植被类型和表层土前期土壤含水量的影响。

关键词: 生产建设项目; 弃渣场; 土壤流失; 降雨前土壤含水量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)04-0051-05

中图分类号: S157.1

文献参数: 王大为, 王立, 王小平, 等. 临洮县生产建设项目弃渣场土壤流失特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 51-55. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.04.010

Characteristics of Soil Loss in Abandoned Dreg Field of Production and Construction Project in Lintao County

—Taking Xiaojiahe Hydropower Station II Project as an Example

WANG Dawei¹, WANG Li¹, WANG Xiaoping², QU Furong²

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Dingxi Institute of Soil and Water Conservation, Dingxi, Gansu 743000, China)

Abstract: [Objective] The research studied the characteristics of soil and water loss on slopping land of abandoned dreg field of hydropower production and construction projects, which was expected to help us to harness comprehensively the loss of soil and water in loess hilly region. [Methods] The experiment was conducted in 2013 and the corresponding precipitation data were collected in the same year in Linzhao County, Dingxi City of Gansu Province. The loss characteristics of soil and water were demonstrated in runoff plots at Xiaojiahe Hydropower Station II project with different treatments. [Results] (1) In 2013, Lintao County had a normal precipitation of 580.2 mm. (2) The product of precipitation and mean rainfall density can be well fitted with the amount of soil erosion with a coefficient greater than 0.85. (3) Different vegetation pattern could affect soil and water loss of abandoned dreg field. The mixed pattern of *Pinus tabuli formis* and alfalfa effectively reduced the soil erosion and runoff. (4) The initial soil moisture of topsoil had a significant impact on soil and water loss, and the initial subsoil moisture had no significant influence on them. [Conclusion] Soil loss of abandoned dreg field of hydropower production and construction projects were influenced by the product of precipitation and rainfall times, vegetation pattern and initial soil moisture status of topsoil.

Keywords: production and construction project; abandoned dreg field; soil loss; initial soil moisture

收稿日期: 2015-09-13

修回日期: 2015-10-26

资助项目: 甘肃省科技支撑计划项目“定西市开发建设项目水土流失研究”(2010GS03890)

第一作者: 王大为(1987—), 女(汉族), 吉林省榆树市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持。E-mail: dawei_wz@163.com。

通讯作者: 王立(1963—), 男(汉族), 甘肃省甘谷市人, 博士, 副教授, 主要从事水土保持、荒漠化防治等方向的研究。E-mail: wangli@gsau.edu.cn。

近年来,随着国家经济的不断发展,特别是西部大开发战略的实施,西北地区投资了大量的基础设施,出现了大批生产建设项目,同时,也带来了许多环境问题。例如,在水电类生产建设项目中,建设过程对地表扰动大,造成了严重的水土流失现象。而在生产建设项目中,弃渣场往往是水土流失最为严重的区域^[1]。目前,已经有很多学者对生产建设项目弃渣场进行研究。例如,储小院等^[2]对沪蓉高速公路不同弃土场土壤流失特征进行研究,发现降雨、工程防护措施及生物措施综合防治、弃土场表土物质组成对土壤流失量有影响;何凡等^[3]对青海省平阿高速公路弃土场进行天然降雨试验研究,发现在 40°左右的坡度条件下,坡度变化对土壤侵蚀量的影响很大,坡度稍有增加,水土流失就会大幅增加;陈宗伟等^[4]得出弃土场坡面土壤流失量与降雨量、平均降雨强度和径流深有显著相关性;但是大多数研究^[5-9]主要集中在水土流失发生时间、部位、水土保持措施布设、水土流失发生规律等方面,且对于高速公路弃土场研究较多^[10-12],而关于水电站生产建设项目的研究较少^[13],针对黄土丘陵区生产建设项目中弃渣场土壤流失特征研究更少。基于此,本研究对甘肃省定西市临洮县肖家河水电站二期工程布设的弃渣场恢复期土壤流失状况进行研究,探讨不同降雨条件、防护措施、土壤含水量对弃渣场土壤流失的影响,通过 1 a 的监测,对天然降雨在弃渣场土壤流失特征及产流产沙规律进行研究,为黄土丘陵区生产建设项目水土保持综合治理提供科学的理论依据。

1 研究区概况

工程区位于临洮县城南部,气候类型为温带半湿润区,多年平均气温 7.0℃,极端最高气温 34.6℃,极端最低气温 -29.6℃,最大积雪深度 14 cm,最大冻土深度 82 cm,年降水量为 565.2 mm,年蒸发量为 1 259.3 mm,年日照时数 2 437.9 h,最大风速 15 m/s。

属黄土丘陵沟壑第四副区,侵蚀类型有水力侵蚀和风力侵蚀,以水力侵蚀为主。雨季出现在 5—9 月,降雨主要集中在这一时期,多为大雨或暴雨,雨季平均降雨量 487.23 mm,是水力侵蚀的主要来源。项目区范围沿洮河左右岸零星分布有杨树和柳树,并分布有以柳、沙棘为主的落叶阔叶灌丛,作物主要以小麦、玉米、油菜为主,经济作物有胡麻、土豆和蔬菜。分布的草类主要为扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)、野苜蓿(*Medicago falcata*)和紫花苜蓿(*Medicago sativa*)。建群种以地面芽及一年生植物为主,有贝加尔针茅(*Stipa Baicalensis*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、百里香(*Thymus mongolicus*)。伴生种较丰富,有虎尾草(*Chloris virgata*)、黄花苜蓿(*Medicago falcata*)、野决明(*Thermopsis lupinoides*)等,植被覆盖度 50%左右。

肖家河水电站 2 期是洮河干流的一个梯级电站,位于定西市临洮县衙下镇肖家河村境内的洮河左岸,采用无坝引水开发方式,进水口设在肖家河水电站 1 期尾水入洮河处,尾水设在洮河姬家河桥上游 100 m 处入洮河。上游电站设计引水流量 45 m³/s,平均水头 3.8 m,安装 4 台轴流式机组,装机容量 1 450 kW。工程设计规划弃渣场两处,分别位于洮河左岸渠首下游约 0.6 km 和电站厂房下游 1.1 km,均为河漫滩地,此处河道较宽阔,背靠农田面向洮河。弃渣在堆放时要求远离主行洪河道,弃渣场防护设计考虑河道洪水对弃渣场的影响。选择 2[#]弃渣场为研究对象,2[#]弃渣场位于渠首下游 1.1 km 处,弃渣来源主要为厂房、动力渠弃渣,弃渣理化性状相似。弃渣场位于水电站厂房下游左岸 0.16 km 处,现为河滩地,渣土沿河滩顺坡堆放,弃渣场长约为 40 m,宽约为 240 m,总面积为 0.93 hm²,弃渣量约为 40 050 m³弃渣场进行平坡处理,坡度约为 15°,设置挡渣墙进行防护,挡渣墙地面墙高 2.4 m,坡面覆土,进行不同人工植被恢复处理,不同植被类型具体立地条件详见表 1。

表 1 不同植被类型立地条件

立地类型	堆渣时间/a	径流场/m ²	地表情况
荒地(PA1)	6	5×10	地表未扰动,冰草等野生草种,植被覆盖度 50%
紫花苜蓿(PA2)	6	5×10	采用传统耕作方式,每年进行补播,植被覆盖度 90%
沙棘(PA3)	6	10×10	林龄为 5 a,郁闭度 60%,林下草地覆盖度 20%
油松(PA4)	6	10×10	林龄为 5 a,郁闭度 50%,林下草地覆盖度 30%
沙棘+紫花苜蓿(PA5)	6	10×10	林龄为 5 a,郁闭度 55%,林下紫花苜蓿覆盖度 80%
油松+紫花苜蓿(PA6)	6	10×10	林龄为 5 a,郁闭度 50%,林下紫花苜蓿覆盖度 85%

2 研究方法

2.1 试验设计

共设6个处理,各处理设一个径流小区。每个小区都配备了自记雨量计,主要目的是记录降雨时的降雨量,并记录降雨发生的过程和时间。每个小区下部都设V形集流槽,集流槽连接径流收集池,径流收集池内放置集流桶,用以收集每次降雨的径流和泥沙。小区设计为中型小区,根据土地利用方式进行小区的设立,其中荒地(waste land)、紫花苜蓿的面积为 $5\text{ m} \times 10\text{ m}$,沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、沙棘+紫花苜蓿、油松+紫花苜蓿为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 。

2.2 测定项目与方法

2.2.1 降雨观测 降雨观测主要采用自记雨量计。观测记录2013年5—9月的降雨量和降雨强度。

2.2.2 土壤侵蚀量测量方法 尽量减少破坏地表的情况下,对土壤侵蚀量和径流量进行测量,在产流开始后,每次间隔5 min测量一次径流,并静置径流样24 h,之后除去清水部分,用滤纸过滤得到泥沙,烘干8 h后称重,测定径流样泥沙含量。

径流产生后,每隔5 min在集流桶中用体积法求得浑水总量(ml),同时采集混合水样500 ml,过滤后烘干称重,计算水样的泥沙含量,进一步计算侵蚀量。侵蚀量(kg/hm^2)=浑水总量(ml) \times

$$\text{样品泥沙含量}(\text{g}/\text{ml}) \times 10^{-3} / (2 \times 10^{-4})$$

$$\text{径流量}(\text{m}^3/\text{hm}^2) = [\text{浑水总量}(\text{ml}) - \text{侵蚀量}(\text{g}) /$$

$$\text{坡面土壤比重}] \times 10^{-6} / (2 \times 10^{-4})$$

2.2.3 土壤含水量测量方法 提前关注天气预报并时刻注意天气,对雨前土壤水分进行测量,取土样方法主要采用土钻法。每隔20 cm取一个土样,分5个层次,共取1 m。每个层次3个重复,每次降雨后将取样部位填平,尽量避免对样地水土流失影响过大。

3 结果与分析

3.1 降雨对弃渣场土壤流失量的影响

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]。监测区2013年降水量为580.2 mm,较临洮县平均降水量相差不多,定义为平雨年;研究区全年降雨集中在5—9月,这一时期降水量达到515.5 mm,占全年降水量的88.85%,通常把这一时期称为汛期。本试验测量数据主要集中在这一时期。在所有降雨中,只有部分降雨产生径流,从而引发土壤侵蚀,发生真正意义上的土壤流失,这部分降

雨称为侵蚀性降雨^[15],一般在黄土丘陵区把日降雨量大于12 mm的降雨定义为侵蚀性降雨^[16]。从表2中可以看出,2013年侵蚀性降雨有9次,侵蚀性降雨量为179.5 mm,占全年降水量的30.94%,平均降雨强度为10.53 mm/h。

针对2013年5—9月9次侵蚀性降雨进行分析,测量并计算出每次降雨的降雨量、降雨强度和侵蚀量。降雨侵蚀力因子是影响土壤流失的重要原因,其主要受降雨量和降雨强度的联合作用^[2];因此,以每次侵蚀性降雨的土壤侵蚀量(E)为因变量,降雨量和平均降雨强度的乘积(PI)为自变量,采用一次线性回归分析,得到降雨量和平均降雨强度乘积与次降雨土壤侵蚀量的线性关系。

表2 研究区2013年侵蚀性降雨特征

时间	历时/min	降雨量/mm	平均雨强/ ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)
20130514	1 320	22.3	1.013 6
20130620	1 300	14.5	0.613 0
20130704	420	21.8	3.157 1
20130709	330	23.3	4.254 5
20130730	40	12.6	18.732 0
20130807	150	13.1	4.340 0
20130824	54	46.5	51.666 7
20130903	290	12.5	2.334 4
20130916	85	12.9	8.641 1

研究区的降雨量和平均降雨强度的乘积与土壤侵蚀量可以很好地拟合。由表3可以看出,各处理间均呈一元线性正相关关系,相关系数大于0.85,表明二者拟合性良好,随着降雨量和平均降雨强度乘积的增加,土壤流失量也增大。由表2可以看出,9次侵蚀性降雨中有7次出现在7—9月中,而对于黄土丘陵区来说,这一时期正是项目施工的最佳时期,势必出现弃渣堆放量、防护措施薄弱的现象,可能发生大规模的土壤侵蚀。建议项目施工方尽力避开这一时期,并采取紧急有效的水土保持措施。

表3 土壤流失量与降雨量和平均降雨强度间的关系

处理编号	拟合方程	R值	sig.值
PA1	$E_1 = 0.165PI + 3.534$	0.902**	0.000
PA2	$E_2 = 0.995PI + 16.45$	0.998*	0.035
PA3	$E_3 = 0.082PI + 0.561$	0.875**	0.000
PA4	$E_4 = 0.075PI + 0.704$	0.976**	0.000
PA5	$E_5 = 0.023PI - 0.644$	0.895**	0.000
PA6	$E_6 = 0.017PI - 0.449$	0.878**	0.000

注:*表示在0.05水平上差异显著;**表示在0.01水平上差异显著。下同。

3.2 不同防护措施对弃渣场土壤流失量的影响

3.2.1 不同防护措施对径流的影响 在2013年9

次侵蚀性降雨中选取 1 次典型天然降雨进行分析(2013 年 8 月 24 日),按国家气象部门规定,大雨为降雨强度 12 h 内降雨量达到 15~29.9 mm,或 24 h 内降雨量达到 25~49.9 mm 的降雨,及试验地降雨土壤侵蚀发生程度来确定。本次降雨降雨量为 46.5 mm,降雨时间 54 min,平均降雨强度为 51.7 mm/h,属于典型大雨,在监测区产生明显降雨性土壤侵蚀,具有较好代表性。在降雨开始的 5 min 里,各处理均没有产生径流。随着降雨时间的增长,土层渐渐湿润,土壤表层入渗率减少。随着降雨强度的持续增大,未入渗的雨水在地表形成径流。如图 1 所示,荒地产流时间最早,为 6.3 min,紧接着紫花苜蓿开始产流,为 6.5 min,最晚产流的是油松+紫花苜蓿,为 7.8 min。各处理间所用产流时间顺序为:油松+紫花苜蓿>沙棘+紫花苜蓿>油松>沙棘>紫花苜蓿>荒地。不同处理产流过程都包括了产流、峰值、稳定和消减 4 个表征时刻。处理间径流量差异显著,紫花苜蓿径流量最大;油松+紫花苜蓿径流量最小。径流量由大到小顺序为:紫花苜蓿>荒地>油松>沙棘>沙棘+紫花苜蓿>油松+紫花苜蓿。

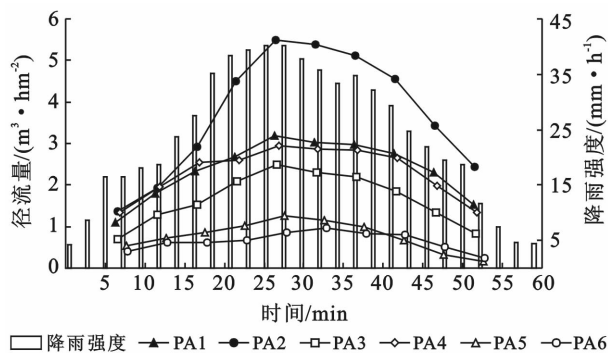


图 1 研究区不同处理径流过程

3.2.2 不同防护措施对土壤侵蚀量的影响 在次降雨条件下,不同处理的侵蚀量差异显著,由图 2 可以看出,紫花苜蓿的侵蚀量最大,为 2 943.962 kg/hm²;油松+紫花苜蓿的侵蚀量最小,为 50.707 9 kg/hm²。各处理土壤侵蚀量由大到小分别为:紫花苜蓿>荒地>油松>沙棘>沙棘+紫花苜蓿>油松+紫花苜蓿。由图 1—2 可以看出,侵蚀量和径流量最大峰值并不一致。这与降雨前土壤含水量有直接关系。袁东海等^[17]研究表明,在降雨初期,地表含水量极低,雨滴落到地面发生击溅侵蚀,溅起表层干燥土壤,雨滴的溅蚀作用明显,所以在径流峰值出现之前侵蚀量达到了峰值。随着降雨时间的推移,地表形成结皮,侵蚀量出现消减。本研究中,单独种植紫花苜蓿的土壤流失量远大于荒地的土壤流失量,说明在生产建设项目弃渣场的恢复中,单纯的进行人工耕作会加大水土

流失,而沙棘+紫花苜蓿、油松+紫花苜蓿的恢复方式能起到良好的水土保持效果,因此,在生产建设项目弃渣场植被恢复过程中,应采用多年生草本与灌木或乔木混播的方式,并注意及时补播、补植。

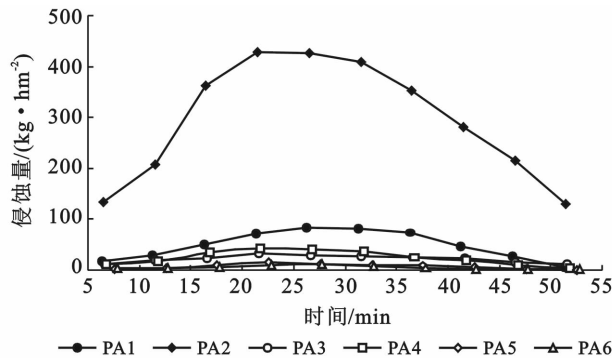


图 2 研究区不同处理间侵蚀量

3.3 不同土层前期土壤水分状况对土壤流失量的影响

研究不同层次前期土壤水分状况,也应该成为探讨水土流失成因的一个重要方面^[18]。由于不同土层土壤水分具有自相关关系,偏相关分析可以消除其他要素对研究中的两要素的影响,偏相关系数可以说明两要素间的密切程度。本研究对不同土层水分状况和径流量与侵蚀量的关系采用偏相关分析的方法。由表 4 可以看出,降雨前土壤含水量与径流量偏相关系数为 0.402,与侵蚀量偏相关系数为 0.379。径流量和侵蚀量在 0—20 cm 土层与土壤水分呈现显著相关关系,说明这一土层含水量对土壤流失量有显著影响($p=0.01$ 水平)。径流量在 20—40 cm 土层与土壤水分相关关系显著,20—40 cm 土层对土壤径流量有显著影响($p=0.01$ 水平)。而与侵蚀量偏相关系数为显著($p=0.05$ 水平),说明 20—40 cm 土层虽然能促进产流,但是对土壤侵蚀量的影响不明显。其他土层无相关关系。由此可以说明,表土层含水量对土壤侵蚀有一定影响,表层土受到降雨作用时,土壤含水量大的,达到饱和速度更快,受到的降雨作用时间也更长,更容易产生径流。由于含水量高更有利于土壤稳定,在一定程度上降低了这一作用,但是随着降雨强度增大,这一作用却更加明显。深层土壤含水量对土壤侵蚀无影响。

表 4 不同土层水分和水土流失量的偏相关分析

不同土层/cm	与径流量偏相关系数	与侵蚀量偏相关系数
0—20	0.402**	0.379**
20—40	-0.176**	-0.094*
40—60	0.057	-0.032
60—80	0.065	-0.042
80—100	0.054	0.051

4 结论

(1) 试验地的土壤流失量与降雨量和平均降雨强度的乘积呈一元线性正相关关系,能够很好地拟合。在不考虑影响该试验地水土流失的其他因素的前提下,黄土丘陵区的降雨量和平均降雨强度的乘积越大,土壤流失量越大。

(2) 不同植被防护措施径流量和侵蚀量由大到小为:紫花苜蓿>荒地>油松>沙棘>沙棘+紫花苜蓿>油松+紫花苜蓿。较之人工种植紫花苜蓿,荒地土壤流失量比人工种植紫花苜蓿土壤流失量更少。建议在生产建设项目弃渣场的恢复过程中,应采用人工种植牧草和灌木或乔木混播的方式。

(3) 降雨前土壤含水量对土壤流失有影响。在0—20 cm 土层土壤水分与土壤径流量和土壤侵蚀量具有显著相关关系,径流量在20—40 cm 土层与土壤水分相关关系显著,侵蚀量在20—40 cm 土层有微弱相关关系,与其他土层无相关关系。

[参 考 文 献]

- [1] 苏芳莉,范昊明,安晓奇,等. 辽宁棕壤区开发建设项目弃土流失特征研究[J]. 水土保持学报,2011,25(2):63-66.
- [2] 储小院,张洪江,王玉杰,等. 高速公路建设中不同类型弃土场的土壤流失特征[J]. 中国水土保持科学,2007,5(2):102-106.
- [3] 何凡,尹婧,陈宗伟,等. 青海省公路弃土场土壤侵蚀规律天然降雨试验研究[J]. 水土保持通报,2008,28(2):131-134.
- [4] 陈宗伟,江玉林,张洪江,等. 青藏高原高速公路建设中弃土场土壤流失特征:以青海平阿高速公路为例[J]. 水土保持研究,2006,13(6):4-6.

- [5] 奚成刚,杨成永. 铁路工程施工工期路堑边坡面产流产沙规律研究[J]. 中国环境科学,2002,22(2):174-178.
- [6] 高旭彪,黄成志,刘朝晖. 开发建设项目水土流失防治模式[J]. 中国水土保持科学,2007,5(6):93-97.
- [7] 卓慕宁,李定强,郑煜基. 高速公路弃土场堆积边坡的生态防护试验[J]. 生态学杂志,2007,26(6):912-916.
- [8] 李忠武,蔡强国,吴淑安,等. 内昆铁路施工期不同下垫面土壤侵蚀模拟研究[J]. 水土保持学报,2001,15(2):5-8.
- [9] 刘建伟,史东梅,马晓刚,等. 弃渣场边坡稳定性特征分析[J]. 水土保持学报,2007,21(5):192-195.
- [10] 董建志,张科利,王颖,等. 黄土高原公路弃土场侵蚀规律及其模拟研究[J]. 水土保持学报,2011,25(2):67-71.
- [11] 史东梅. 高速公路建设中侵蚀环境及水土流失特征的研究[J]. 水土保持学报,2006,20(2):5-9.
- [12] 周连兄,赵方莹,祝小明. 北京山区公路建设生态环境保护及水土流失防治对策[J]. 中国水土保持,2007(6):46-47.
- [13] 黎建强,陈奇伯,王克勤,等. 水电站建设项目弃渣场岩土侵蚀研究[J]. 水土保持研究,2007,14(6):41-43.
- [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] 王万忠. 黄土地区降雨特性与土壤流失关系的研究(Ⅲ):关于侵蚀性降雨的标准问题[J]. 水土保持通报,1984,4(2):58-63.
- [16] 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):6-11.
- [17] 袁东海,王兆骞,陈欣,等. 不同农作措施红壤坡耕地水土流失特征的研究[J]. 水土保持学报,2001,15(4):66-69.
- [18] 卫伟,陈利顶,傅伯杰,等. 半干旱黄土丘陵沟壑区降水特征值和下垫面因子影响下的水土流失规律[J]. 生态学报,2006,26(11):3847-3853.

(上接第50页)

- [14] Erlichson H. A mass-change model for the estimation of debris-flow runout, a second discussion: Conditions for the application of the rocket equation[J]. Journal of Geology, 1991,99(4):633-634.
- [15] 高克昌,韦方强,崔鹏. 降水空间特征与泥石流沟分布的关系[J]. 北京林业大学学报,2007,29(1):85-89.
- [16] 黄润秋,许向宁,唐川. 地质环境评价与地质灾害管理[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [17] 张茂省,唐亚明. 地质灾害风险调查的方法与实践[J].

地质通报,2008,27(8):1205-1216.

- [18] 唐川. 汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J]. 山地学报,2010,28(3):341-349.
- [19] 崔鹏,庄建琦,陈兴长,等. 汶川地震区震后泥石流活动特征与防治对策[J]. 四川大学学报:工程科学版,2010,42(5):10-19.
- [20] Gray J M, Hutter K. Gravity-driven free surface flow of granular avalanches over complex basal topography [J]. Proceedings of the Royal Society of London, 1999, 455(1985):1841-1874.