

土壤前期含水量对弃渣坡面侵蚀特性影响的模拟试验^{*}

安晓奇¹, 郭成久¹, 苏芳莉¹, 郎连山², 洪运亮¹

(1. 沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110161; 2. 辽宁省建昌县水利局, 辽宁 建昌 125300)

摘要: 利用室内人工模拟降雨试验, 研究弃渣前期含水量在不同降雨强度条件下对土壤坡面入渗、产流和产沙特性的影响。结果表明: 弃渣坡面入渗率随时间呈幂函数变化。在雨强较小(0.64 mm/min)的情况下, 含沙率在产流初期会出现峰值, 之后随时间递减, 前期含水量越高, 峰值出现的越早, 土壤前期含水量对土壤侵蚀量的影响符合幂函数变化规律。在1.05 mm/min降雨强度条件下, 含沙率变化呈波动性增长趋势, 无明显峰值。土壤前期含水量对土壤侵蚀量影响呈二次多项式关系, 计算得出土壤流失量最少的最优前期含水量为9.65%。

关键词: 土壤前期含水量; 入渗; 弃渣场; 土壤侵蚀

中图分类号: S157.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0116-04

Simulation Experiment of Effect of Antecedent Soil Moisture Content on Characteristics of Soil Erosion from Dumping Soil Land

AN Xiao-qi¹, GUO Cheng-jiu¹, SU Fang-li¹, LANG Lian-shan², HONG Yun-liang¹

(1. College of Water Resources, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110161, China; 2. Water Department of Jianchang Country, Jianchang, Liaoning 125300, China)

Abstract: The effect of antecedent soil moisture content on characteristics of infiltration, runoff and sediment was investigated by rainfall simulation experiment of dumping soil. The results showed that: infiltration rate spoil slope power function with time changes, the higher the initial moisture content, the faster the runoff. However, under different rainfall conditions the laws well change. Rainfall intensity under 0.64 mm/min conditions, the rate of sediment runoff will peak early, diminishing with time, antecedent soil moisture content the higher, the earlier of peak. Rainfall intensity under 1.05 mm/min conditions, changes in sediment was the volatility of the rate of growth, no significant peak. The optimal antecedent soil moisture content values for minimization of soil losses is determined by the approximately parabola relations of soil losses and antecedent soil moisture content, which is 9.65%.

Key words: antecedent soil moisture content; infiltration; dumping pile; soil erosion

由于我国经济快速发展, 开发建设项目如雨后春笋, 据调查统计, 以“十五”期间建设项目为例, 我国共有开发建设项目76 810个, 占地面积552.8万 hm^2 ^[1], 加剧了土壤侵蚀。开发建设项目导致的土壤侵蚀, 是以人类生产建设活动为主要外营力, 形成的特殊土壤侵蚀类型, 是人为扰动地表和地下岩土层、堆置废弃物、构筑人工边坡和排放有毒有害物质, 造成的水土资源和土地生产力破坏与损失的典型人为加速侵蚀^[2]。在侵蚀地貌单元中, 以弃土弃

渣堆积物的水土流失程度和强度最大, 主要的水土流失形式有溅蚀、砂砾化面蚀、细沟侵蚀、浅沟侵蚀。但由于其自身的特殊性, 对其发生发展规律的研究已受到越来越多学者的关注^[3-6]。

降雨前期土壤含水量作为影响降雨入渗、产流和产沙的重要因子被诸多研究所证实^[7-9]。在雨滴对土壤颗粒产生击溅作用和表土夯实作用下, 表层土壤的物理性状发生不同程度的改变, 因而坡面土壤入渗能力、产流和产沙与前期土壤含水量的关系

* 收稿日期: 2009-05-31

基金项目: 辽宁省教育厅基金(2008Z213)

作者简介: 安晓奇(1985-), 女, 辽宁抚顺市人, 硕士研究生, 主要从事水土保持与土壤侵蚀规律模拟研究。E-mail: anxiaoqi920@yahoo.com.cn

通信作者: 郭成久(1964-), 男, 辽宁省沈阳市人, 教授, 主要从事土壤侵蚀及其治理研究。E-mail: chengjiuguo11@163.com

变得更为复杂。在不同降雨条件下,观测不同前期土壤含水量弃渣坡面降雨入渗、产流产沙的特征,旨在探寻弃渣边坡土壤流失量最小的最优含水量,为开发建设项目水土流失预测和管理提供理论依据和数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验设备

试验在沈阳农业大学水利学院综合试验基地的人工模拟降雨试验大厅内进行。降雨装置为下喷式,主要由两部分组成:下喷式模拟降雨装置和双土槽径流试验小区。本装置降雨强度可在 0.34~1.5 mm/min 之间调节,降雨均匀度达到 80% 以上,喷头可覆盖的降雨面积为 5 m×5 m,直立管道高 9.5 m,向下的喷头连接于水平延伸管上,水平延伸管长 2.0 m,其离试验土槽顶端的高度为 7.8 m,降雨高度能够满足试验要求。试验所用土槽为双土槽径流试验小区,每个土槽尺寸规格为:长×宽×高=3 m×1.5 m×0.8 m,土槽底部留有直径 5 mm 小孔,用以排出径流。坡度可在 0~45° 之间任意调节,本次试验选取 32° 作为试验坡度(模拟原弃渣场)。实验土料采自沈阳市棕壤区弃渣场,分别取 0~10 cm、10~20 cm 表层。除去植物根系、较大石块等杂物,以备实验使用。

1.2 试验方法

在试验中弃渣质量含水量分别设定为 5%、10%、15%、20%、25% 五个水平。为了获得试验设计的不同前期土壤含水量的土料,在试验前期测定供试土料初始含水量,根据土料的初始含水量和所要求控制的含水量,计算所需补水量;然后,将土料均匀摊开,用喷雾器将一定补充水量均匀喷洒在土料上,充分搅拌后,装入塑料大桶中,密封存放,静置

24 h 以获得含水量分布均匀、含水量值达到控制要求的土料。另外,为了控制试验坡面物理状况一致性,采用每 5 cm 厚度分层填装配制好的弃渣,共填装 20 cm,并分别控制容重为 1.28 g/cm³(模拟原弃渣场容重),使土层表面与收集径流的水槽在同一水平位置,层间接触面打毛,防止出现分层现象。最后,用塑料薄膜覆盖土壤表面,以防止模拟降雨前期表层土壤含水量因蒸散而改变。模拟降雨前初始含水量即前期土壤含水量分别为:5.12%、9.73%、15.21%、20.70%、25.10%。根据辽宁省降雨特点,降雨强度分别设计为 0.64 mm/min、1.05 mm/min。降雨历时设为 60 min,降雨雨滴打击到地表后开始计时,坡面产流后记录下产流时间,为准确反映试验过程中的侵蚀产沙变化,每隔 1 min 用塑料桶采集 1 min 内全部径流样,量测浑水量即每分钟径流量,求和得到径流总量,将径流样搅拌均匀用烧杯取一定体积的径流样,烘干称重后用置换法算出每分钟泥沙量和泥沙总量。每个试验处理均进行 2 个独立重复试验,以下结果和分析内容所采用的数据值均为重复降雨试验所获数据的算术平均值。

2 结果与分析

2.1 弃渣质地分析

由于人为扰动而形成的弃渣,在扰动过程中混合了下层的基岩及其未风化的砾石等大粒径颗粒,由表 1 可看出,弃渣中粒径>2 mm 弃渣颗粒所占比例为 37.22%,而且由于试验要求剔除了粒径较大的石块,因此,弃渣中大颗粒成份远大于 37.22%。可看出,经过人为扰动后的弃渣从大颗粒到细粒成份所占比例逐渐减少,黏粒含量较低,土壤颗粒分散不易形成团聚体,细粒容易在降雨和水流冲刷下发生侵蚀。

表 1 试验土壤粒径组成

粒径/mm	> 2	2~ 1	1~ 0.5	0.5~ 0.25	0.25~ 0.1	0.1~ 0.075	< 0.075
百分比/%	37.22	15.79	19.07	13.09	5.93	3.22	4.87

2.2 土壤前期含水量对坡面产流时刻的影响

前期土壤含水量对坡地降雨-入渗-产流过程有着重要的影响,裸地土壤产流时刻随前期土壤含水量的变化反映最为明显^[10]。由表 2 可看出,在其他因素控制一致条件下,随着前期土壤含水量的变化,产流时刻发生变化,产流时间随含水量的提高而减少。在两种降雨强度条件下均表现出这种规律,特别是在 0.64 mm/min 降雨强度条件下土壤前期含水量为 5% 时,产流时间为 52.28 min,而当土壤前期含水量达到 25% 时,产流时间缩短为 1.5 min,差值达到 50.78 min。表明前期含水量对产流时间

影响十分显著。

表 2 不同降雨强度前期含水量条件下产流时间 min

含水量/%	0.64mm/min	1.05mm/min
5	52.28	26.25
10	23.42	22.08
15	15.35	3.25
20	9.08	1.08
25	1.50	0.62

2.3 土壤前期含水量对坡面土壤入渗率的影响
土壤初始含水量是影响土壤水及溶质运移的一

个重要物理量,它影响土壤入渗能力,因而也影响土壤溶质随径流迁移的全过程。利用(1)和式(2)^[11]计算了单位时间单位面积径流深度和坡面平均入渗率的动态变化过程。

$$H=10R/tS$$

(1)

式中: H ——径流深度(mm); R ——在 t 时间内产生的径流量(ml); S ——坡面实际承雨面积(cm^2); t ——降雨时间(min)。

$$i_a=(Pt\cos a-10R/S)/t$$

(2)

式中: i_a ——坡面平均入渗率(mm/min); R ——在 t 时间内产生的径流量(ml); S ——坡面实际承雨面积(cm^2); P ——降雨强度(mm/min); a ——地表坡度($^\circ$); t ——降雨时间(min)。

由图1、图2中可以看出,坡面入渗率随时间呈幂函数变化,初始含水量越高,产流越快,平均入渗

率越小,趋于稳定入渗阶段的时间也越短。分析认为试验小区坡面土壤粗颗粒含量较大,导致土壤孔隙度增大,提高了降雨的入渗速率。但在不同降雨强度条件下,入渗率的变化不同。0.64 mm/min 降雨强度条件下,入渗率和径流深度变化较平缓。分析认为,在小降雨强度条件下,雨滴对土壤尤其是含有粗颗粒较多的弃渣的击溅作用较弱,形成结皮速度较慢,径流量缓慢增加。在1.05 mm/min 降雨强度条件下,前期含水量为5%和10%时,径流深度呈S型曲线,而前期含水量为15%、20%、25%时,径流深度服从对数函数变化规律。分析认为,在降雨强度(1.05 mm/min)和坡度(32°)都较大的情况下,当土壤含水量较低时,土壤颗粒在雨滴打击作用下容易分散,细颗粒随着雨水流动、入渗,堵塞土壤孔隙,快速形成结皮,导致入渗率快速降低,径流量迅速增大。

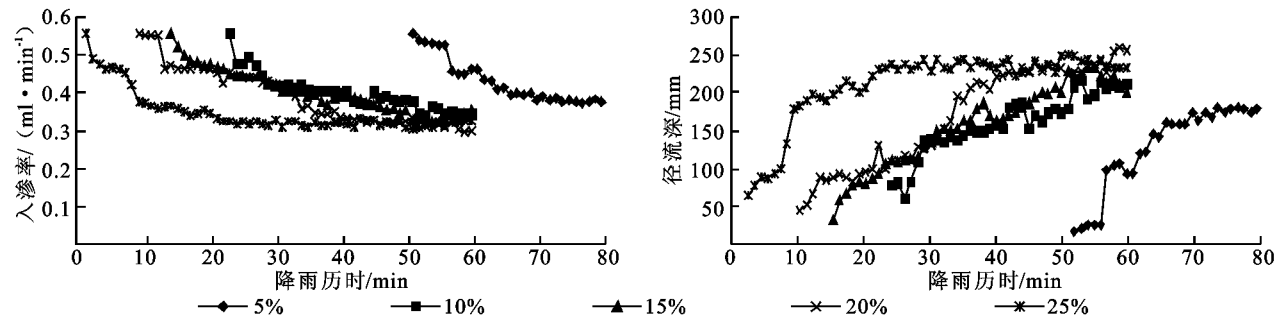


图1 0.64 mm/min降雨强度条件下入渗率和径流深变化过程

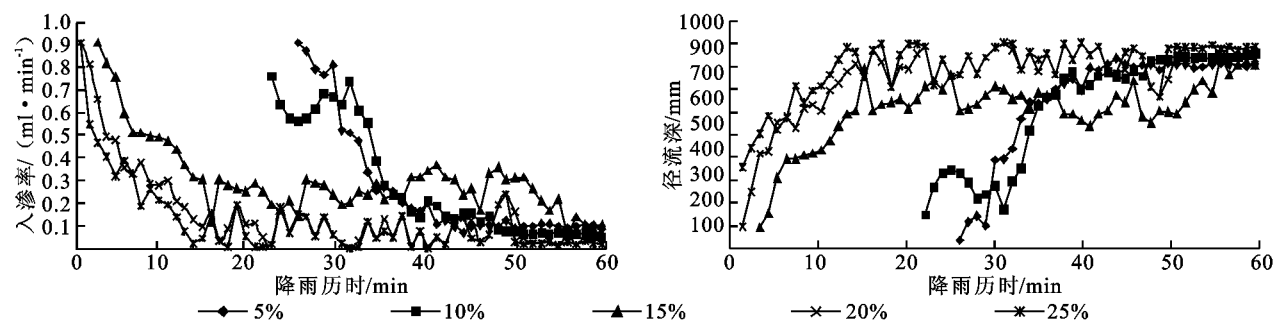


图2 1.05 mm/min降雨强度条件下入渗率和径流深变化过程

2.4 土壤前期含水量对坡面产沙特性的影响

由于前期含水量不同,土壤初始物理状况存在较大差异,雨滴溅蚀作用和坡面冲刷作用使坡面土壤物理性状发生了不同程度的改变,对面蚀和沟蚀的发生发展产生了不同的作用效果,进而改变了产流规律,从而影响了坡面产沙特性。

2.4.1 土壤前期含水量对坡面产沙率的影响 由图3(a)可以看出在0.64 mm/min 降雨强度条件下,含沙率在产流初期会出现峰值,随时间递减,前期含水量越高,峰值出现的越早。分析认为试验土壤表层较大的孔隙度有利于坡面径流的下渗,从而减少了坡面径流量,降低了径流对表层土壤的冲刷力。初期的产流带走了坡面表层中抗蚀性较差的土壤颗粒,使含沙率达到峰值,但随着降雨的继续坡面

土壤表层的砾石含量增大,抗蚀性加强,使径流含沙率降低。另外,由于降雨强度较小,主要对坡面形成面蚀,并未形成侵蚀沟,所以含沙率并未随降雨的增加而显著提高。由图3(b)可以看出在1.05 mm/min 降雨强度条件下,含沙率变化呈波动性增长趋势,5%、10% 前期含水量增长比较迅速,15% 波动性较大,20%、25% 含沙率变化较平缓。在较大雨强(1.05 mm/min)条件下,降雨雨滴落到地面,对前期含水量较小土壤(5%、10%)产生较大击溅作用,击溅作用使土壤结构破坏和土壤颗粒产生位移,为土壤面蚀发生奠定了基础。另外,对于弃土弃渣来说,坡面的泥沙颗粒本身已处在极限平衡状态,土层结构经人为破坏后,团聚状的土体之间均为缝隙或软弱面,在暴雨条件下,坡面产流后会很快汇聚发生细

沟侵蚀, 由于坡面径流起动松散泥沙所消耗的能量较少, 因而将大部分能量用于搬运输移泥沙。而迅速形成侵蚀沟, 由面蚀快速发展成沟蚀, 前期含水量

越低沟蚀发展速度越快。含沙率快速增加。沟蚀的发展和产沙过程受诸多因素影响, 所以含沙呈波动变化。

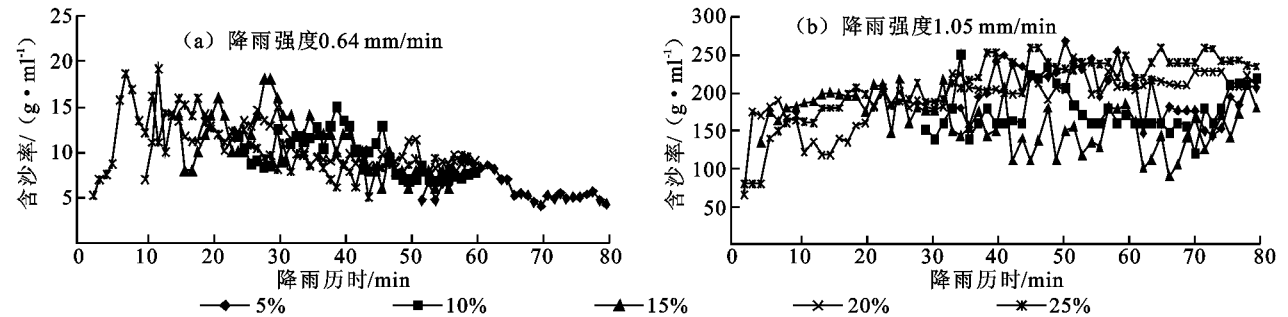


图 3 不同含水量条件下含沙率变化过程

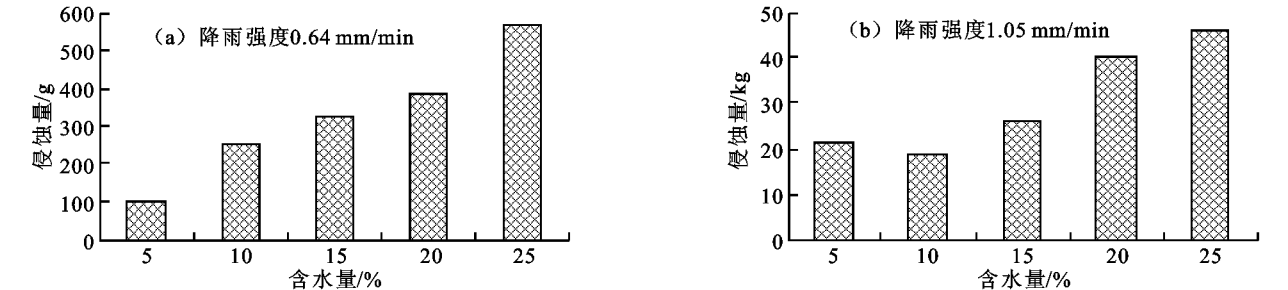


图 4 前期不同含水量条件下土壤流失量

2.4.2 土壤前期含水量对坡面产沙量的影响 由于前期含水量的不同, 在不同降雨强度条件下, 土壤侵蚀量也呈现了不同的变化规律。由图 4 可以看出, 在 0.64 mm/min 降雨条件下, 侵蚀量随前期含水量的提高呈增大趋势, 前期含水量为 5% 土壤侵蚀量最小, 前期含水量为 25% 时土壤侵蚀量最大。在 1.05 mm/min 降雨条件下, 侵蚀量随前期含水量的提高呈近似抛物线变化, 前期含水量为 10% 土壤侵蚀量最小, 前期含水量为 25% 时土壤侵蚀量最大。采用一元二次方程对 1.05 mm/min 降雨强度条件下不同前期土壤含水量和侵蚀量的关系拟合, 得出土壤流失量最少的最优前期含水量为 9.65%。由此可知, 在小降雨强度条件下, 土壤前期含水量对土壤侵蚀的影响显著, 符合幂函数变化规律。而在暴雨条件下, 侵蚀量随前期含水量变化成近似抛物线趋势变化, 弃渣场坡面土壤含水量过低或太高都会造成土壤大量流失, 尤其在雨季刚刚来临前, 经过春季的风吹日晒, 土壤较干燥, 当雨季来临时, 暴雨所造成的土壤流失是非常严重的。所以通过植被覆盖等水土保持措施维持土壤适当的含水量, 对弃渣场水土流失防治是十分必要的。

3 结论

采用室内模拟试验的方法, 分别在 0.64 mm/min 和 1.05 mm/min 两种降雨强度条件下, 研究了

不同前期含水量(5%、10%、15%、20% 和 25%) 对弃渣的坡面降雨入渗和产流产沙特性的影响, 得到以下结论:

(1) 经过人为扰动后的弃渣大颗粒所占比例较大, 黏粒含量较低, 土壤颗粒分散不易形成团聚体, 孔隙度大。坡面入渗率随时间呈幂函数变化, 初始含水率越高, 产流越快, 平均入渗率越小, 趋于稳定入渗阶段的时间也越短。

(2) 在 0.64 mm/min 降雨强度条件下, 含沙率在产流初期会出现峰值, 随着时间递减, 前期含水量越高, 峰值出现的越早。在 1.05 mm/min 降雨强度条件下, 含沙率变化呈波动性增长趋势, 5%、10% 前期含水量增长较迅速, 15% 波动性较大, 20%、25% 含沙率变化较平缓。前期含水量对含沙率的影响比较显著。

(3) 根据不同前期土壤含水量和侵蚀量的关系, 得出在小降雨强度(0.64 mm/min) 条件下, 土壤前期含水量对土壤侵蚀量的影响符合幂函数变化规律。而暴雨强度(1.05 mm/min) 条件下, 土壤前期含水量对土壤侵蚀量影响呈抛物线变化, 计算得出土壤流失量最少的最优前期含水量为 9.65%。

由此可知, 土壤前期含水量对土壤侵蚀量影响显著, 特别是在暴雨条件下, 弃渣场坡面土壤含水量过低或太高都会造成土壤大量流失。这一结果为弃渣场水土流失预测和防治提供了基础理论依据。

(下转第 124 页)

壤对于 HCO_3^- 的吸附能力较强,在整个过程中,除地表水中 Na^+ 含量较高外,大气降水、穿透雨、树干径流、苔藓和土壤中 Na^+ 的变化趋势都很小。

(3)通过对 N/P 比值分析得出,贡嘎山森林生态系统植物生长的限制因子是 P; N、P 在大气降水、穿透雨、树干径流、苔藓、土壤、地表水中的变化曲线很相似,都是表现出单峰的特点,并且苔藓层 N、P 含量最高。

(4)森林生态系统的苔藓层和土壤层能淋溶和吸附大量的营养元素,起到净化水质、涵养水源、促进植物生长的作用。总体上说,贡嘎山森林生态系统对于贡嘎山水生态环境稳定具有积极作用,减少人类活动干扰是实现森林水生态系统环境可持续发展的最有力手段。

参考文献:

[1] 程根伟,余新晓,赵玉涛.山地森林生态系统水文循环与数学模拟[M].北京:科学出版社,2004:57-58.

[2] Warfvinge P, Lofgren S, Lundstrom U. Implications of natural acidification for mitigation strategies in northern Sweden[J]. Water Air Soil Poll, 1995, 2: 499-504.

[3] 谭芳林,雷瑞德,王志洁.锐齿林生态系统对水质影响的研究[J].福建林业科技,1999,26(2):1-5.

[4] 樊后保.杉木林截留对降水化学的影响[J].林业科学,2000,36(4):2-8.

[5] 田大伦,项文化,杨晚华.第2代杉木幼林生态系统水化学特征[J].生态学报,2002,22(6):859-865.

[6] 陈步峰,林明献,曾庆波,等.尖峰岭热带林集水区一组水质背景值及水质生态效应[J].林业科学研究,1998,11(3):231-236.

[7] Redfield A C, Ketchum B H, Richard F A. The Influence of Organisms on the Composition of Seawater [M]. New York: Wiley Press, 1963: 26-77.

[8] Boxman P, Blanck K, Brandrud T E, et al. Vegetation and soil biota response to experimentally- changed nitrogen inputs in coniferous forest ecosystems of the NITREX project[J]. For Ecol Management, 1998, 101 (1/3): 65-79.

[9] 鲁如坤,史陶钧.金华地区降雨中养分含量的初步研究[J].土壤学报,1979,16(3):81-84.

[10] 牟浦,王庆成, Hershey A E, 等.土地利用、溪流级别与溪流河水理化性质的关系[J].生态学报,2004,4(7):1486-1492.

[11] 满秀玲,范金凤,谭晓京,等.森林和沼泽对溪流水化学特征的影响[J].应用生态学报,2006,17(6):992-996.

[12] 刘菊秀,张德强,周国逸,等.鼎湖山酸沉降背景下主要森林类型水化学特征初步研究[J].应用生态学报,2003,14(8):1223-1228.

[13] 吕玉香,王根绪.贡嘎山东坡不同流域河川径流特征对比分析[J].山地学报,2008,26(2):196-204.

[14] 潘继花,何岩,邓伟,等.湿地对水中磷素净化作用的研究进展[J].生态环境,2004,13(1):102-104.

[15] 王琳,欧阳华,周才平,等.贡嘎山东坡土壤有机质及氮素分布特征[J].地理学报,2004,59(6):1012-1019.

[16] 刘世海,余新晓,于志民.北京密云水库集水区板栗林水化学元素性质研究[J].北京林业大学学报,2001,23(2):12-15.

[17] 石福臣,李凤英,蔡体久,等.不同森林群落类型溪流水化学特征的季节动态[J].应用生态学报,2008,19(4):717-722.

(上接第119页)

参考文献:

[1] 胡续礼,杨树江.我国开发建设项目水土流失监测技术进展[J].中国水土保持科学,2007,5(3):122-126.

[2] 蔺明华.开发建设项目新增水土流失研究[M].郑州:黄河水利出版社,2008:11-13.

[3] 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.

[4] 孙虎,唐克丽.城镇建设中人为弃土降雨侵蚀试验研究[J].土壤侵蚀与水保持学报,1998,4(2):29-35.

[5] 陈宗伟,江玉林,张洪江.青藏高原高速公路建设中弃土场土壤流失量特性:以青海平阿高速公路为例[J].水土保持研究,2006,13(6):4-6.

[6] 刘建伟,史东梅,马晓刚.弃渣场边坡稳定性特征分析

[J].水土保持学报,2007,21(5):192-195.

[7] 贾志军,王贵平,李俊义,等.前期土壤含水率对坡耕地产流入渗影响的研究[J].中国水土保持,1987(9):25-27.

[8] 陈洪松,邵明安,王克林.土壤初始含水率对坡面降雨入渗及土壤水分再分布的影响[J].农业工程学报,2006,22(1):44-47.

[9] 王辉,王全九,邵明安.前期土壤含水量对坡面产流产沙特性影响的模拟试验[J].农业工程学报,2008,24(5):65-68.

[10] 袁建平,将定生,甘淑.影响坡地降雨产流历时的因子分析[J].山地学报,1999,17(3):259-264.

[11] 张志玲,范昊明,郭成久,等.模拟降雨条件下坡面水流流速与径流输出特征研究[J].水土保持研究,2008,15(6):32-34.