

# PAM 特性对花岗岩崩岗崩积体径流及产沙的影响

张兆福, 黄炎和, 林金石, 蒋芳市, 朱高立, 林直鸿, 曾昌碧, 何恺文

(福建农林大学 资源与环境学院, 福州 350002)

**摘 要:**研究利用人工模拟降雨,研究不同分子量(800 万、1 200 万和 1 500 万),不同水解度(10%, 20%, 30%)聚丙烯酰胺(PAM)对崩岗崩积体土壤侵蚀和径流的影响。结果表明:3 种分子量和水解度的 PAM 都能够减少土壤侵蚀量,1 200 万分子量 PAM 处理土壤侵蚀的效果最好,PAM 的水解度对抗侵蚀影响差异不明显;各种 PAM 处理均使径流量增加,随着分子量的变大,径流量也在增加,而同一分子量的 PAM,其水解度对径流量和侵蚀量的影响大致成反比关系;PAM 处理下侵蚀土壤中不同粒径颗粒的含量会发生变化,砂粒的含量会有所增加,粉粒和黏粒的含量会减少。综合价格和抗侵蚀效果来看,1 200 万 10%水解度的 PAM 更适合于崩岗崩积体侵蚀治理。

**关键词:**PAM; 分子量; 水解度; 崩积体; 侵蚀; 径流

**中图分类号:**S157.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)03-0001-05

## Effects of PAM Characteristics on Runoff and Erosion of Colluvial Deposits in Benggang

ZHANG Zhao-fu, HUANG Yan-he, LIN Jin-shi,

JIANG Fang-shi, ZHU Gao-li, LIN Zhi-hong, ZENG Chang-bi, HE Kai-wen

(College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** Effects of PAMs with different molecular weights(MW) ( $8 \times 10^6$ ,  $1.2 \times 10^7$ ,  $1.5 \times 10^7$  Da) and hydrolysis degrees (10%, 20%, 30%) on soil erosion and runoff were investigated through artificial simulation rainfall experiment. The results showed that all the three PAMs decreased soil erosion separately compared with the control, the molecular weight of  $1.2 \times 10^7$  Da was more effective than the other two, the hydrolysis degree did not show much difference in affecting soil erosion. PAMs different in molecular weights and degrees of hydrolysis, increased runoff, the higher the molecular weight was, the more the runoff increased, meanwhile, the degree of hydrolysis influenced the runoff and the erosion in an inverse relation. All the PAMs affected the content of eroded sediment particles, the percentage of sand-sized particles increased, whereas the fraction of silt-sized and clay-sized particles decreased. Considering the costs of PAMs and the effect of erosion resistance, the PAM with hydrolysis of 10% and molecular weight of  $1.2 \times 10^7$  Da was more suitable for application to colluvial deposits of Benggang.

**Key words:** PAM; molecular weight; hydrolysis; colluvial deposits; erosion; runoff

崩岗是我国南方红壤水土流失区最严重的一种土壤侵蚀类型<sup>[1-4]</sup>。崩积体是崩岗侵蚀中重要的组成部分,其坡度大、土质疏松、结构性差,抗侵蚀力弱,容易发生再次侵蚀,是崩岗侵蚀泥沙的主要来源。水土保持工作者在大量研究的基础上提出种草造林、种经济林(竹)或种农经作物等方法以稳定崩积体<sup>[5-7]</sup>,但在治理初期由于表土翻动,在强降雨天气下土壤流失量巨大,严重影响各种防治措施的效益,因此,找到一种快速稳固崩积体地表和减少水土流失的方法具有重要意义。

聚丙烯酰胺(PAM)是丙烯酰胺(AMD)及其衍生物均聚或与其它单体共聚形成的一种线性水溶性高分子物的统称,其分子量从 10 万至 1 800 万,每一种分子量又有不同的水解度,常见的有 10%, 20%, 30% 三种,分别被认为是低、中、高水解度。PAM 有阳离子型、阴离子型和非离子型,国内外众多学者<sup>[8-10]</sup>研究表明,阴离子型 PAM 更适合被用作土壤调理剂使用。PAM 有很多能改良土壤性质的优点,如减少土壤表面径流、增加土壤水分入渗、控制土壤

收稿日期:2014-01-08

修回日期:2014-02-19

资助项目:国家自然科学基金资助项目(41001169, 40671113);国家科技支撑项目(2014BAD15B03)

作者简介:张兆福(1987—),男,福建武夷山人,硕士生,研究方向:土壤侵蚀与治理。E-mail:ffairaul@163.com

通信作者:黄炎和(1962—),男,广东饶平人,博士,教授,研究方向:土壤侵蚀。E-mail:yanhehuang@163.com

侵蚀、抑制土壤表面结皮的形成以及改善土壤结构等<sup>[11-12]</sup>。Green等<sup>[13]</sup>认为,分子量和水解度是PAM的主要特性,会影响土壤入渗和侵蚀。Stutzmann等<sup>[14]</sup>认为PAM的电荷类型决定了PAM的吸附性能,而电荷密度由水解度和pH决定。于健等<sup>[15]</sup>对砂壤土施用PAM研究表明,中分子量PAM对减少侵蚀和增加入渗的效果好于低高分子量,中水解度的PAM入渗效果好于低高水解度,PAM水解度对侵蚀量无明显影响。Lentz等<sup>[16]</sup>的研究结果表明,结构好的土壤,施用PAM后可以提高入渗率,减少径流和侵蚀,而砂土等结构差的土壤施用后反而会增加径流,但可以减少侵蚀。因此,土壤结构和应用目的是决定PAM施用效果的关键因素。

当前崩积体的治理以种草等生物措施为主,存在周期长或见效慢等缺点,施用PAM等土壤改良剂对崩积体侵蚀的防治研究目前还没有。为了更好地了解PAM及其特性对防治崩积体土壤侵蚀的作用关系,本研究分析不同分子量和水解度的PAM对径流和侵蚀的影响,揭示PAM特性防治崩岗土壤水土流失的效果及过程机理,并筛选出最适合崩积体侵蚀防治的PAM类型,可为施用PAM治理崩岗侵蚀提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于福建省安溪县龙门镇,为河谷小盆地,丘陵地带,属于亚热带气候区,气温温和,年平均温度18℃,雨量充沛,年平均降水量1800 mm,但雨季分布不均,主要集中在3—9月,暴雨和台风等强降雨天气容易引起崩岗侵蚀的发生。龙门镇崩岗侵蚀面积264.77 hm<sup>2</sup>,约为总土地面积的2%,崩岗侵蚀剧烈,是安溪县崩岗分布最多的乡镇之一,不同时期和类型的崩岗在该地区均有分布,是南方花岗岩崩岗发育的典型区域。

### 1.2 试验材料

试验土壤取自福建省安溪县龙门镇洋坑村,为花岗岩发育的崩岗崩积土,属于扰动土,土体疏松,无大团粒结构,>0.25 mm团聚体含量低(11.2%),结构性差,有机质含量低(1.12 g/kg),砾石和砂粒含量高,黏粒含量低,其中砾石(>2 mm)、砂砾(2~0.05 mm)、粉粒(0.05~0.002 mm)和黏粒(<0.002 mm)的比例分别为39.36%,32.54%,25.41%,2.69%。

试验所用的PAM产自河南元亨净水材料厂,为阴离子型。按其分子量的不同分为低、中、高三种,分子量分别为800万、1500万和1800万。每一种分

子量的PAM又选取低、中、高三种水解度,其水解度分别为10%,20%和30%。

### 1.3 试验方法

将从野外取回的土样风干后过10 mm筛,然后装入长100 cm、宽50 cm、高30 cm的小型土槽中,填土厚度为20 cm。在装填土之前,先在土槽底部填2 cm厚的小碎石,并铺上透水纱布,以保持试验土层的透水状况接近天然坡面。土槽土壤容重控制在1.35 g/cm<sup>3</sup>左右,接近自然状态下崩积体土壤容重。土槽填土完成之后,用水分测定仪测定土槽中土体的含水量,对比野外条件下崩积体土体的含水量(10%~15%),换算出需要浇水的量。用透水纱布盖住土槽表面浇适量的水,静置相同时间(1 h)待其含水量稳定之后,将事先配好的PAM溶液均匀地喷洒在供试土壤表面,待其充分风干之后进行降雨模拟试验。PAM溶液的浓度设定为0.5 g/L,喷洒量相当于2 g/m<sup>2</sup>。将未施PAM的土壤作为对照处理(CK)。试验采用人工模拟降雨装置,降雨高度为3 m,喷嘴为实心方形,可控降雨有效面积为2.0 m×2.0 m,降雨均匀系数89.4%,雨滴的平均直径为(2.12±0.06) mm,试验采用的降雨强度为87 mm/h,试验过程中土槽的坡度为30°(野外条件下崩积体的平均坡度),尾部放置集水器用来收集坡面产流和泥沙。每次试验降雨历时30 min,每分钟收集径流泥沙30 s,再换算成一分钟的数据测其径流量和侵蚀量,同时记录从开始降雨到开始产流的时间,收集的泥沙烘干后称重并过筛,测定不同粒径的颗粒含量情况。每个实验设2个重复,最后取平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同分子量和水解度PAM对径流的影响

图1(A,B,C)为不同分子量和水解度PAM处理的坡面径流过程。相比对照,各处理下径流过程有一定的波动,但总体上都在增加。800万分子量PAM中,10%,20%,30%水解度处理径流过程相似,都存在一定的波动,10%水解度处理降雨过程径流量最大,后两者和对照相比不明显;1200万分子量PAM中,三种水解度处理下径流过程也有一定的波动,但也都在增加,10%水解度处理径流量在降雨前期最大到后期有所减少,20%水解度处理径流过程比较平稳,径流量低于其他两种水解度处理,30%水解度处理径流过程介于前两者之间,在降雨后期有明显增加;1500万分子量PAM中,相比对照,10%,20%,30%水解度处理径流增加明显,但三者之间的径流过程相似,在降雨后期,30%水解度处理径流量有明显降低。

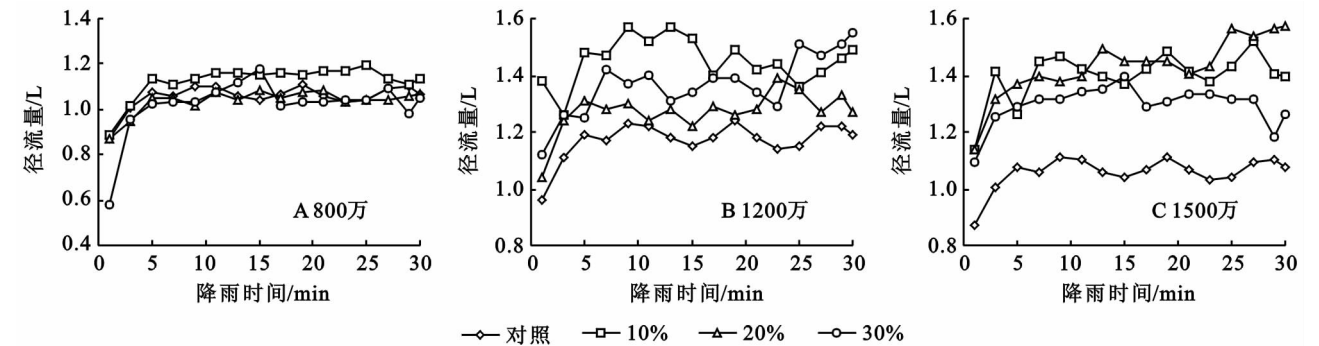


图1 不同分子量和水解度 PAM 处理的径流过程

图2为不同分子量和水解度处理的径流总量,不同分子量和水解度的PAM处理均使径流总量增加。和对照相比,800万分子量的低、中、高三种水解度的PAM处理径流总量分别增加6.13%,2.46%,1.32%,1200万分子量的低、中、高三种水解度的PAM处理径流总量分别增加21.34%,8.13%和15.67%,1500万分子量的低、中、高三种水解度的PAM处理径流总量分别增加32.51%,32.45%,22.26%。总体上,800万分子量的PAM处理径流的增加量小于1200万和1500万的PAM,随着分子量的变大,径流量也在增加。崩积体土壤结构性差,砂粒含量高,可分散的黏粒含量低,降雨过程中PAM的长分子链在黏结土壤颗粒的同时,其长链尾部堵塞了土壤中的传导孔隙,在土壤表面形成结皮,导致土壤入渗降低,径流量增加。同一分子量PAM中,10%水解度处理下径流量大于20%和30%水解度处理,径流量虽有不同,但差异不明显,说明水解度对径流影响不明显。

2.2 不同分子量和水解度 PAM 对产沙量的影响

图3为不同分子量和水解度PAM处理的坡面产沙过程。在整个降雨过程中产沙过程存在一定的波动,但相比对照,各处理下侵蚀量都在减少。800万分子量各水解度处理下产沙过程波动最大,10%水解度处理下产沙过程波动较小且效果最好,20%和

30%水解度处理下产沙过程相似且波动较大,在降雨后期,三种水解度处理产沙量趋于一致;1200万分子量各水解度处理下产沙过程波动较小,10%的水解度处理效果最好,在整个降雨过程中产沙量都远小于对照,20%和30%水解度处理产沙过程相似,在降雨后期趋于一致;1500万分子量中,10%和20%的水解度处理产沙过程相似,但前者的效果略好于后者,30%水解度处理和对照的产沙过程类似,其效果也不明显。此外,在整个产沙过程中各处理存在一定的规律:在降雨初期,产沙量比较小,随着降雨时间的增加,产沙量也有小幅度的增加,这可能是因为:施用PAM后,其絮凝作用将表层土壤颗粒紧紧粘结在一起,不易被降雨和径流破坏,从而减小了侵蚀产沙量。随着降雨时间的增加,在雨滴的击打和径流冲刷等作用下,PAM的粘结力受到一定的削弱,土壤颗粒被分离,径流中的悬浮颗粒逐渐增多,侵蚀产沙量增加。

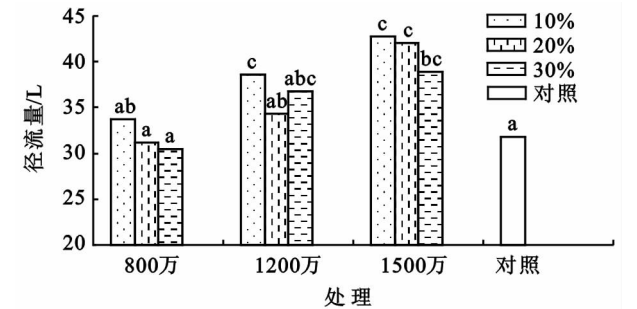


图2 不同分子量和水解度 PAM 处理对径流量的影响

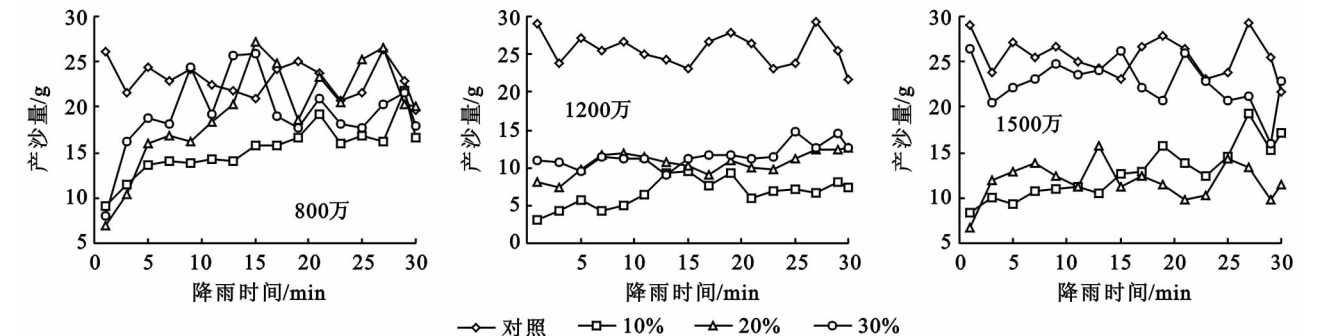


图3 不同分子量和水解度 PAM 处理的产沙过程

图4为不同分子量和水解度PAM处理的累积侵蚀产沙量,不同分子量和水解度的PAM处理均能减少侵蚀量,但其效果不尽相同。与对照相比,800万分子量的低、中、高三种水解度的PAM处理侵蚀量分别减少35.1%,20.09%和20.28%,10%水解度的处理效果稍好于20%和30%,而后两者之间的效果基本没有差别;1200万分子量的低、中、高三种水解度的PAM处理侵蚀量分别减少72.58%,59.73%,56.95%,与800万分子量的PAM相似,10%水解度的处理效果强于20%和30%的,后两者之间的效果差距也很小;1500万分子量的低、中、高三种水解度的PAM处理侵蚀量分别减少56.14%,53.02%,15.04%,同前两者相同,该分子量中10%水解度的处理效果最好,与30%水解度的处理有显著差异,但与20%水解度的处理只有微小差距,总体上,水解度对侵蚀产沙量的影响也不明显。

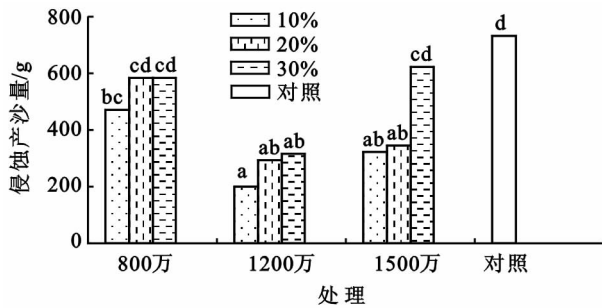


图4 不同分子量和水解度PAM处理对侵蚀产沙量的影响

从总体上看,和对照相比,1200万分子量PAM处理土壤侵蚀的效果好于800万和1500万,而同一分子量PAM中,10%水解度处理产沙侵蚀量最小,各水解度之间虽有不同但没有明显差异,说明PAM水解度对PAM减少土壤侵蚀效果也不明显。这可能主要是因为:低分子量的PAM分子链比较短,相

连的黏粒之间不容易搭接,黏结作用弱,高分子量的PAM的分子链过长,难以穿透土壤颗粒之间的孔隙,中分子量的PAM分子链适中,既可以轻易穿透土壤颗粒之间的孔隙,又能在土壤黏粒之间搭接,产生较好的黏结效果,因而其防治侵蚀的效果较好;PAM水解度的大小代表了其分子链上的电荷密度,水解度越大,电荷密度也越大,吸附作用也越强,与土壤之间的粘结作用也增强;但随着水解度的增大,PAM分子链之间的排斥力也增大,造成土壤孔隙堵塞,不利于PAM自身和水分的入渗。PAM分子量的大小决定了其分子链的长短,分子链的长短又影响其对控制土壤侵蚀的效果,而水解度只要是影响PAM对土壤表面孔隙的堵塞程度。通常情况下,坡面径流量越大,引起的土壤侵蚀量也会增大,而同一分子量的PAM,其水解度对崩积体的作用却是侵蚀量越小,径流量越大,水解度对径流量和侵蚀量的影响大致成反比关系。这可能主要是由于崩岗崩积体土壤结构差,以砾砂粉为主,砂粒含量高,缺少可分散的黏粒,在降雨作用下容易产生结皮。施用PAM处理后会土壤表面形成一层保护膜,形成“人工”结皮,可能再次引起土壤表面封闭,导致土壤入渗降低,径流量增加。但PAM具有很强的粘结作用,能增加土壤的抗蚀性,减少径流所引起的土壤损失,因此其径流量增加而侵蚀量却减少了。施用中分子量PAM对减少崩岗崩积体土壤侵蚀的效果最好。

### 2.3 不同分子量和水解度PAM对颗粒含量的影响

图5为不同分子量和水解度处理下侵蚀土壤中不同粒径颗粒的含量变化,与未施用PAM的对照相比,侵蚀土壤中的粗砂(2~0.25 mm)、细砂(0.25~0.05 mm)、粗粉粒(0.05~0.02 mm)、细粉粒(0.02~0.002 mm)和黏粒含量都发生了变化,其趋势不尽一致,但都表现出一定的规律性。

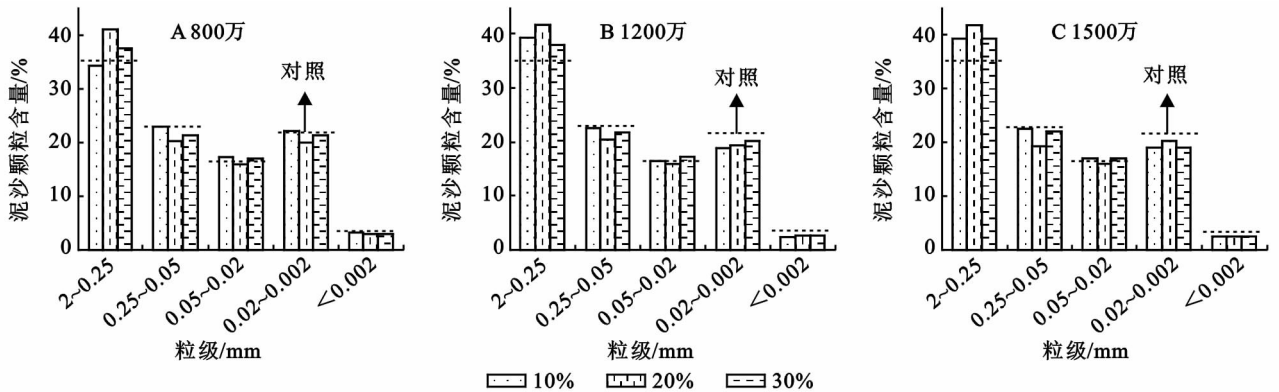


图5 不同分子量和水解度PAM处理下不同粒径颗粒含量变化对比

粗砂的含量除800万分子量的10%水解度处理下减少外都在增加,1200分子量处理下粗砂粒含量

的增加量高于800万和1500万,该变化与径流量的变化相似;细砂和粗粉粒的变化类似,二者的含量在

不同分子量和水解度 PAM 处理下有一定的波动,但总体上也在减少,不同分子量之间差异很小,同一分子量中,20%水解度处理效果最好;细粉粒和黏粒含量在各处理下也都在减少,其含量在不同分子量和水解度 PAM 处理之间有一定的差异,相比较而言,1 200万 10%水解度的 PAM 处理下,侵蚀土壤中粉粒含量和黏粒含量最少。在不同分子量和水解度 PAM 处理下,各粒径土壤颗粒中,黏粒含量的减少量最大。试验结果表明 PAM 主要对粉粒和黏粒起粘结作用,尤其是能够有效的减少黏粒的流失。而砂粒之所以增加可能有两方面的原因,一方面是 PAM 对其粘结作用弱,另一方面与径流量增加有关,因为崩积体土体结构性差,施用 PAM 后堵塞土壤表面孔隙,形成“人工”结皮,降低了土壤入渗,径流量增加,砂粒流失量变大。

### 3 结论

试验所用的 3 种分子量和水解度的 PAM 都能够减少崩积体土壤侵蚀产沙量,水解度对土壤侵蚀量影响没有明显差异,1 200 万 10%水解度的 PAM 处理减少土壤侵蚀效果最好;不同分子量和水解度的 PAM 处理均使径流量增加,随着分子量的变大,径流量也在增加,水解度对径流量的影响也不明显;PAM 主要对崩积体土壤中粉粒和黏粒起粘结作用,能有效减少黏粒的侵蚀量,径流量的增加导致砂粒的含量增加。

崩岗崩积体治理的主要目的是减少泥沙向下游迁移,而 1 200 万 10%水解度 PAM 在减少土壤侵蚀方面效果最好,同时,分子量越大,水解度越高,PAM 的价格也越贵,因此建议施用 1 200 万分子量,水解度为 10%的 PAM 来治理崩岗崩积体侵蚀。本实验只研究了 PAM 特性对崩积体产沙及径流的影响,而施用 PAM 对崩积体土体理化性质的影响及其与生物措施相结合的侵蚀防治研究值得关注。

#### 参考文献:

[1] 王礼先,孙保平,余新晓,等.中国水利百科全书:水土保

持分册[M].北京:中国水利水电出版社,2004:48-49.

- [2] 吴志峰,钟伟青.崩岗灾害地貌及其环境效应[J].生态科学,1997,16(2):91-96.
- [3] 张萍,查轩.崩岗侵蚀研究进展[J].水土保持研究,2007,14(1):170-176.
- [4] 吴志峰,李定强,丘世均.华南水土流失区崩岗侵蚀地貌系统分析[J].水土保持通报,1999,19(5):24-26.
- [5] 丁光敏.福建崩岗侵蚀成因及治理模式研究[J].水土保持通报,2001,21(5):25-27.
- [6] 李旭义,查轩,刘先尧.南方红壤区崩岗侵蚀治理模式探讨[J].太原师范学院学报:自然科学版,2008,7(3):106-110.
- [7] 阮伏水.福建省崩岗侵蚀与治理模式探讨[J].山地学报,2003,21(6):675-680.
- [8] 夏海江,杜尧东,孟维忠.聚丙烯酰胺防治坡地土壤侵蚀的室内模拟试[J].水土保持学报,2000,14(3):14-17.
- [9] 杜尧东,夏海江,刘作新,等.聚丙烯酰胺防治坡地水土流失田间试验研究[J].水土保持学报,2000,14(3):10-13.
- [10] 雷廷武,唐泽军,于剑.坡面土壤侵蚀动力过程与化学调控技术[M].北京:科学出版社,2009.
- [11] 员学锋,汪有科,吴普特.聚丙烯酰胺对土壤物理性状影响的实验研究及机理研究[J].水土保持学报,2005,19(2):37-40.
- [12] 雷廷武,唐泽军,张晴雯,等.聚丙烯酰胺增加土壤降雨入渗减少侵蚀的模拟试验研究[J].土壤学报,2003,40(3):401-406.
- [13] Green V S, Stott D E, Norton L D, et al. Polyacrylamide molecular weight and charge effects on infiltration under simulated rainfall[J]. Soil Science Society of America Journal,2000,64(5):1786-1791.
- [14] Stutzmann T, Siffert B. Contribution to the adsorption mechanism of acetamide and polyacrylamide on to clays [J]. Clays and Clay Minerals,1977,25(6):392-406.
- [15] 于健,雷廷武,Shainberg I,等.PAM特性对砂壤土入渗及土壤侵蚀的影响[J].土壤学报,2011,48(1):21-27.
- [16] Lentz R D. Inhibiting water infiltration with polyacrylamide and surfactants: Applications for irrigated agriculture[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003,58(5):290-300.