

聚丙烯酰胺(PAM)对黄土溅蚀的影响^{*}

胡霞^{1,2}, 李顺江³, 蔡强国⁴, 蔡崇法⁵, 张光远⁵, 朱远达⁴

(1. 环境演变与自然灾害教育部重点是实验室, 北京师范大学, 北京 100875; 2. 减灾与应急管理研究院, 北京师范大学, 北京 100875; 3. 北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097; 4. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 5. 华中农业大学 资环学院, 武汉 430070)

摘要:采用人工模拟降雨方法,用摩根溅蚀盘测定土壤的溅蚀量,研究聚丙烯酰胺(PAM)对溅蚀的影响。结果表明,使用聚丙烯酰胺(PAM)会改变土壤的溅蚀速率,不同浓度 PAM 溶液对溅蚀速率的影响程度不同,而且随降雨历时的延长结皮对溅蚀速率的影响作用会占主导地位。一般来说,在降雨初期,由于 PAM 的聚合作用,使得土壤团聚体的稳定性增加,土壤溅蚀速率较小,随着时间的延长,溅蚀速率开始上升,但是当土壤表面开始发育结皮时,结皮的形成使土壤表面抗溅蚀的强度增强,土壤溅蚀速率减小。

关键词:聚丙烯酰胺(PAM); 人工模拟降雨; 土壤溅蚀

中图分类号:S157;S156

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)05-0051-04

Impact of Polyacrylamide on Soil Splash Erosion

HU Xia^{1,2}, LI Shun-jiang³, CAI Qiang-guo⁴, CAI Chong-fa⁵, ZHANG Guang-yuan⁵, ZHU Yuan-da⁴

(1. Key Laboratory of Environment Change and Natural Disaster, Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 4. Institute of Geographical Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 5. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract:Through rainfall simulating in laboratory, and observation splash erosion rate on soil surface, this study intended to disclose the impact of Polyacrylamide on soil splash erosion rate. The results showed that PAM could change soil splash erosion rate, and the effect of PAM with different concentration was different. Moreover the effect of crust on splash erosion was predominant with the rainfall continuing. At the beginning of rainfall, PAM could reform soil structure and increase the stabilization of soil aggregates, so soil splash erosion rate was low. With rainfall continuing, erosion rate was increased greatly. But, when soil crust of surface was developed, splash erosion rate was greatly decreased because of the increasing anti-erodibility of soil surface.

Key words: Polyacrylamide; rainfall simulating; soil splash erosion

土壤溅蚀,以雨滴打击为主要动力,引起地表土壤分散、跃移而产生的一种侵蚀方式。它是降雨能量对地面做功的最初表现形式,是土壤侵蚀的重要组成部分之一。溅蚀不仅直接冲击土壤表面使土粒分散、破坏、迁移、破坏土壤结构、降低坡地土壤的入渗率、产生轻度水土流失;而且雨滴打击还直接冲击径流,引起径流紊动,增加径流动能,使径流挟沙能力提高

12 倍。若土壤中含有较多的细颗粒,击溅还会产生表层土壤结皮现象,降低土壤入渗率,增加径流量^[1]。

许多研究表明,聚丙烯酰胺(PAM)能改善土壤表面的结构,提高团聚体的稳定性,阻碍土壤结皮的形成,从而增加土壤的入渗率,减少土壤侵蚀,极大地减少了诱发细沟侵蚀的可能性^[2,4-5]。溅蚀是土壤侵蚀的一部分,PAM 虽然能显著减小土壤侵蚀,但

^{*} 收稿日期:2008-05-12

基金项目:教育部博士点基金“交通对锡林郭勒草原土壤风蚀的影响”(2007002);中国科学院地理科学与资源研究所创新工程项目(CXIOG-A00-05-02)

作者简介:胡霞(1978-),女,江苏淮安人,主要从事土壤水蚀以及风蚀研究。E-mail:hx9210@ires.cn

是其对土壤溅蚀的影响人们还不清楚,本文拟采用人工模拟降雨方法研究聚丙烯酰胺(PAM)对土壤溅蚀的影响。

1 实验材料与方法

1.1 实验装置

实验在中国科学院地理科学与资源研究所坡地室人工模拟降雨大厅中进行。模拟降雨装置是由一套直立管道、调压器、压力表、向下的喷嘴装置构成,其装置:如图 1,直立管道高 4.75 m,水平延伸管长 0.9 m,向下的喷头连结于水平延伸管上,喷嘴型号是美国 Spraco,其离地高度 4.75 m。

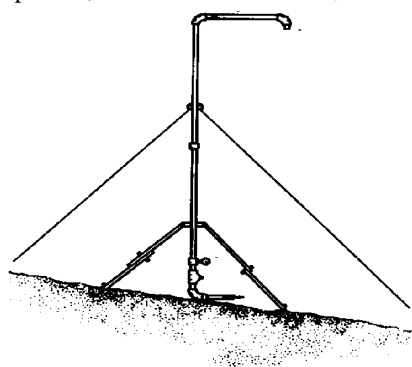


图 1 人工模拟降雨装置示意图

实验用溅蚀盘为直径 30 cm、高 10 cm 的圆型盘,盘中心是一直径 10 cm、高 3 cm 的圆型活动装土盘,盘底部打上小孔。外环是用来收集表面水流冲刷的泥沙,使之不与溅蚀土粒混杂。此装置是在 Morgan 溅蚀盘的基础上,对盛实验用土的内圆盘外加宽 1 cm 改进而成^[7]。

1.2 实验样品与实验设计

供试土样为马兰黄土,采自河北省官厅水库附近挖开的公路旁,采样深度 0 - 10 cm,在野外直接挖取、装袋。实验前将土壤样品风干并过直径 2 mm 的土壤分析筛,土样容重控制在 1.30 g/cm^3 ,置于改进的摩根溅蚀盘中。

试验试剂是聚丙烯酰胺 PAM,是丙烯酰胺(acrylamide, PAM)及其衍生物的均聚物和共聚物的统称,也是一种线形水溶性高分子化合物,具有很强的黏聚作用。

配浓度为 30 1 000 (简称 A 处理) 和 60 1 000 (简称 B 处理) 的 PAM 溶液,其中溶液的浓度是 PAM 溶液与水的体积比,将试剂均匀喷洒在供试土壤表面,然后进行人工模拟降雨溅蚀实验,降雨强度为 1.20 mm/min ,历时分别为 5, 10, 15, 20, 25, 30 min。通过称重法(把溅蚀盘自然风干,用毛刷将溅在溅蚀盘中的土粒收集称重)测定土壤的溅蚀量,

同时用标准贯入仪测量贯入深度随降雨历时的变化。每个处理采用 5 个重复,同时设置对照土壤(土壤表面喷水)。

2 结果与分析

2.1 PAM 对土壤溅蚀速率的影响

图 2 为 A、B 处理土样以及对照土样溅蚀速率随降雨历时的变化。分析图 2,可以看出:在 $T = 5 \text{ min}$,即降雨初期,A 处理土壤溅蚀速率较小,这是因为 PAM 的使用提高了土壤团聚体稳定性,因此土壤颗粒不容易被溅散;从照片 1 也可以看出, $T = 5 \text{ min}$ 时,土壤表面几乎没有被破坏,土壤表面很光滑,因此溅蚀速率较小;随着降雨历时的延长,土壤表面的大团聚体开始被分散,且 PAM 的聚合作用也逐渐破坏,雨滴溅散的颗粒逐渐增加,因此 A 处理土壤溅蚀速率一直呈现增大趋势;当 T 为 20 min 时,溅蚀速率达到峰值,其后,溅蚀速率快速下降,这是因为在 20 min 前土壤表面主要以雨滴打击分散土壤颗粒为主,20 min 后土壤表面结皮的形成占主导地位。从照片 2 也可以看出:在 20 min 后,土壤表面比较粗糙,在雨滴打击作用下出现明显的溅蚀坑,表面颗粒主要以溅散为主;20 min 后土壤表面开始发育结皮,结皮的形成增加了土壤的抗溅蚀强度,使土壤的溅蚀速率快速降低。B 处理的土壤溅蚀速率曲线与前者基本相同。对照土样 15 min 前溅蚀曲线与 A、B 相同,但是在 $T = 15 \text{ min}$ 时溅蚀速率开始降低,这是因为此时土样表面已经有结皮发育,结皮的快速发育增加了土壤表面抗溅蚀能力; $T = 20 \text{ min}$ 时,从照片 3 看出,此时土壤结皮发育逐渐完整,土壤表面抗溅蚀能力达到最大,土壤溅蚀速率达到最小值。

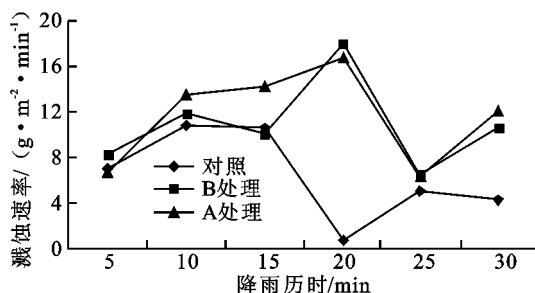


图 2 表面喷洒不同浓度 PAM 的黄土溅蚀速率

从图 2 还可以看出,在 $T = 5 \text{ min}$ 时,A 处理土样溅蚀速率明显小于 B 处理,这是因为降雨前浓度较大的 PAM 溶液对土壤表面固结的比较完整,大大增强土壤团聚体的稳定性,土壤颗粒不容易被打击分散,从照片 1 和 2 也可以看出:5 min 时,照片 1 中土壤表面几乎没有被破坏,表面很光滑,而照片 2

中土壤表面稍有破坏,较粗糙,因此 A 处理的土样溅蚀速率明显小于 B 处理的; $T=15\text{ min}$ 时, A 处理土样溅蚀速率比 B 处理大,这是因为 B 处理土样在 15 min 时表面有不稳定的结皮发育,如照片 2 显示: 15 min 时土壤表面开始形成不完整的结皮,结皮的发育增加了土壤表面抗溅蚀强度,因此 B 处理土样溅蚀速率小于 A 处理的; $T=20\text{ min}$ 时, A 处理土样的溅蚀速率小于 B 处理土样的溅蚀速率,由照片 1 可以看出,当土壤表面开始发育结皮时, A 处理土壤表面残留的 PAM 固结大颗粒清晰可见,因此,此时土壤表面的颗粒仍然不容易被溅散,导致溅蚀速率较小。

对照土样与 A、B 处理土样相比较:在 5 min 时,对照土样的溅蚀速率与 A、B 处理土样的相差不大;但是随着降雨历时的延长,对照土样的溅蚀速率远小于 A、B 处理的,从照片 3 可以看出:对照土壤结皮形成过程是一个渐进的过程,在 $5\sim 10\text{ min}$ 时,土壤表面较粗糙; 15 min 时,上层出现孔隙度降低的致密层,致密层以下大孔隙清晰可见,表面开始发育不稳定的结皮;在 15 min 后土壤表面开始逐渐形成完整的结皮,表面有一层薄颗粒紧实的致密层,下层大孔隙更加明显。而 A、B 处理的土样形成结皮的时间相对较晚: A 处理的土样在 20 min 后开始发育结皮, B 处理土样在 15 min 后开始形成结皮。因此对照土样在 15 min 后土壤表面的抗溅散的能力就开始增加,相对于 A、B 处理的土壤溅蚀速率较小。

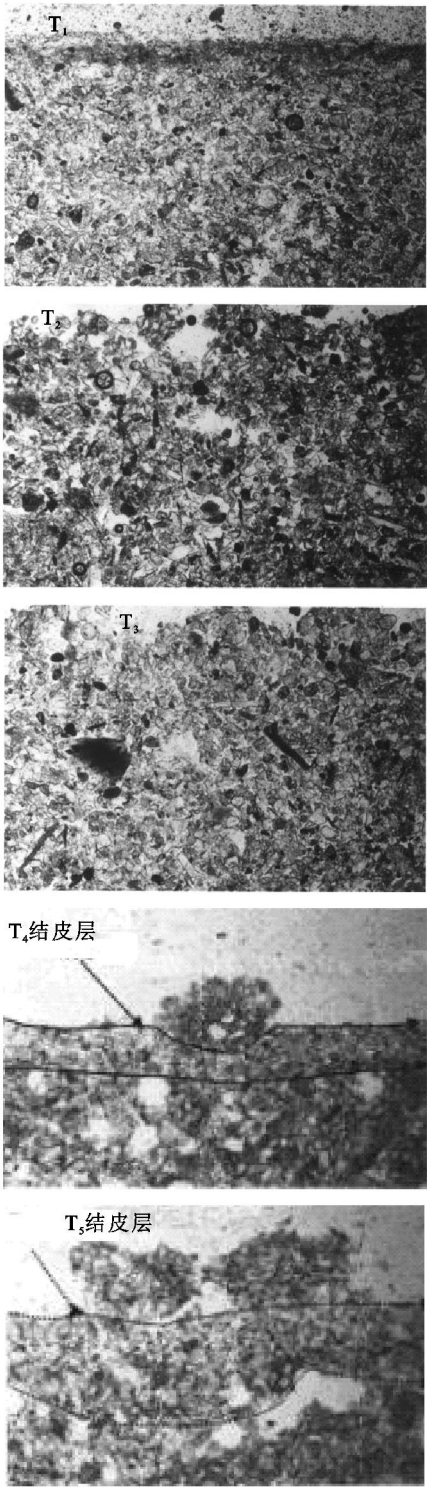
通过以上分析发现,使用聚丙烯酰胺(PAM)会增加土壤的溅蚀速率,不同浓度 PAM 溶液对溅蚀速率的影响程度不同,而且随降雨历时的延长结皮对溅蚀速率的影响作用会占主导地位。一般来说,在降雨初期,由于 PAM 的聚合作用,使得土壤团聚体的稳定性增加,土壤溅蚀速率较小,随着时间的延长,溅蚀速率开始上升,但是当土壤表面开始发育结皮时,结皮的形成使土壤表面抗溅蚀的强度增强,土壤溅蚀速率减小;在降雨初期,浓度较大 PAM 减少溅蚀量的效果较明显,但是,随着降雨历时的延长,这种效果就会消失。

2.2 土壤表面强度指标与土壤溅蚀的关系

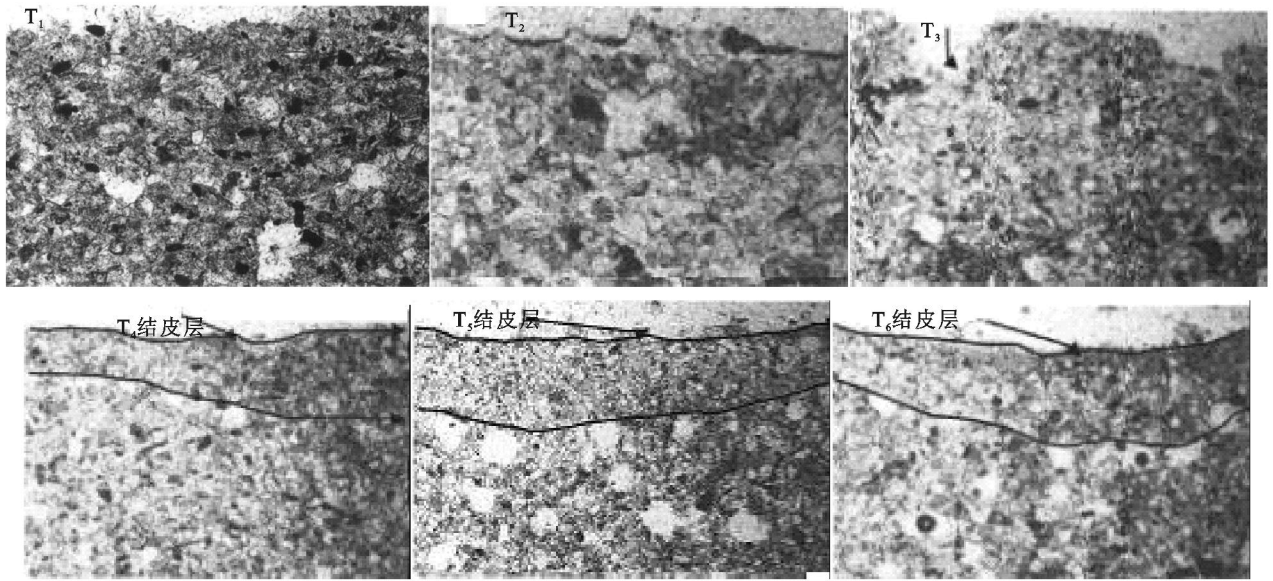
土壤溅蚀速率的大小与土壤表面抗溅蚀能力密切相关,因此根据陆兆熊得出的结论可计算土壤表面强度,他认为土壤表面强度可以用土壤近似强度指标 ($1/P^2$) 来计算的,其中 P 为贯入深^[8]。图 3 是 A 处理土壤表面强度指标、溅蚀速率变化折线。

从图 3 可以看出,土壤表面强度指标与溅蚀速率之间存在明显的负相关,在降雨前 20 min 土壤强

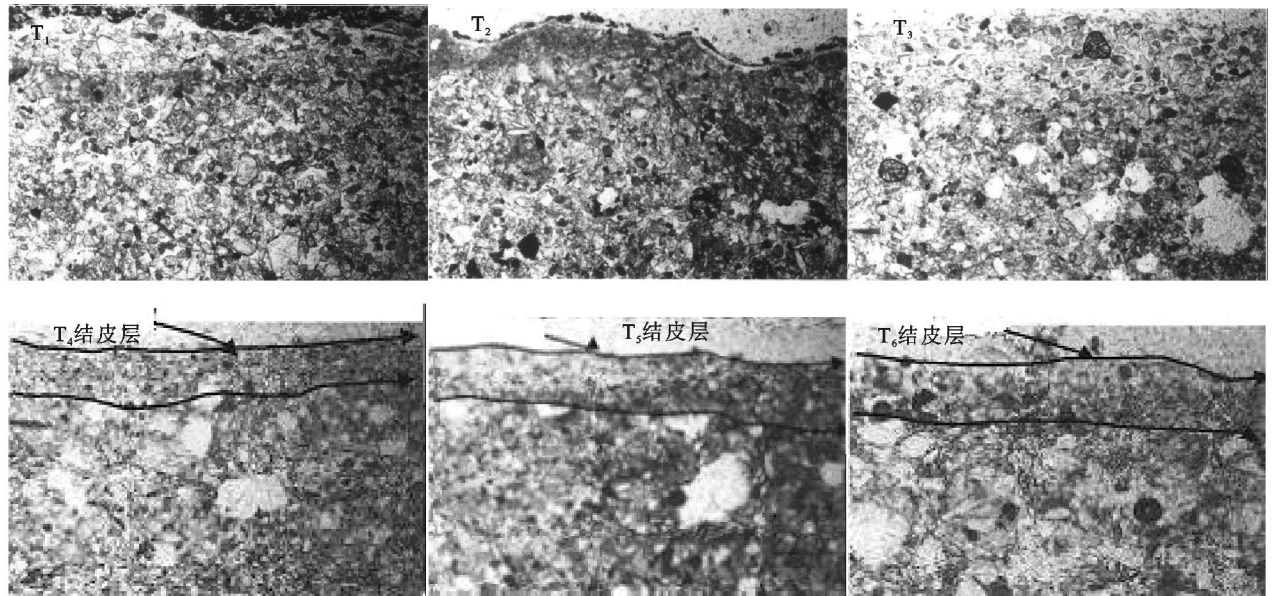
度指标呈现上升趋势,而溅蚀速率却呈缓慢下降趋势;当 $T=20\text{ min}$ 时,土壤强度指标达峰值,此时溅蚀速率出现最低值;随着降雨历时的延长, $T=25\text{ min}$ 时,溅蚀速率出现峰值,而土壤强度指标却出现最低值。这是因为,土壤表面强度越大,土壤表面抗溅散的能力越强,土壤的溅蚀速率越小。所以土壤表面强度指标是土壤可蚀性的一种近似度量。



照片 1 A 处理土壤: $T_1=5\text{ min}$, $T_2=15\text{ min}$, $T_3=20\text{ min}$, $T_4=25\text{ min}$, $T_5=30\text{ min}$ (单偏光, 4×3.3)



照片 2 B 处理土壤, $T_1 = 5 \text{ min}$, $T_2 = 10 \text{ min}$, $T_3 = 15 \text{ min}$, $T_4 = 20 \text{ min}$, $T_5 = 25 \text{ min}$, $T_6 = 30 \text{ min}$ (单偏光, 4×3.3)



照片 3 对照土壤: $T_1 = 5 \text{ min}$, $T_2 = 10 \text{ min}$, $T_3 = 15 \text{ min}$, $T_4 = 20 \text{ min}$, $T_5 = 25 \text{ min}$, $T_6 = 30 \text{ min}$ (单偏光, 4×3.3)

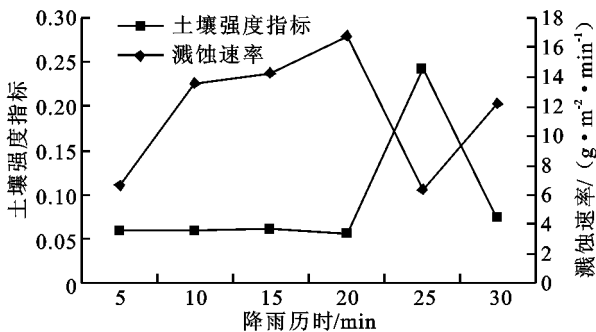


图 3 A 处理土壤表面强度指标、溅蚀速率变化折线

3 结论

本实验揭示了聚丙烯酰胺与土壤溅蚀的关系。

在降雨初期,由于 PAM 的聚合作用,使得土壤团聚体的稳定性增加,土壤溅蚀速率较小,随着时间的延长,溅蚀速率开始上升,但是当土壤表面开始发育结皮时,结皮的形成使土壤表面抗溅蚀的强度增强,土壤溅蚀速率减小。聚丙烯酰胺的使用会显著改变土壤溅蚀量,很大程度上提高土壤的溅蚀速率,但是可以推迟土壤表面结皮的形成,抑制土壤结皮的形成在很大程度上降低了诱发细沟侵蚀的可能,最后使坡面径流系数、累计径流量、侵蚀模数和累积产沙量会比前期有结皮的情况降低数倍至数十倍^[9]。因此聚丙烯酰胺的使用能够一定程度上降低土壤侵蚀量,起到保持水土的作用,对实践有重要的指导意义。

(下转第 59 页)

未利用土地面积在减少,林地面积增加显著,生态环境良好。值得有关部门注意的是村镇以及交通用地面积也因社会经济发展而增长较快。

(2) 随着密云县整体景观的多样性和均匀度的下降,景观优势度得以上升。各景观面积比重差异增大,其中,林地景观类型支配整个景观的能力大大增强,促使密云县景观异质性降低,趋于单一化发展,这主要是由密云县地貌特征及其作为北京市水源地和生态屏障等特点所决定的。

(3) 密云县 14 a 间的土地利用景观格局变化受到区域气候变化、人口结构性变化、产业格局调整 and 环境保护政策等因素的影响,其中由于密云县对北京市供水的重要性,环境政策因素成为该区土地利用景观格局变化的最重要驱动力。

(4) 密云县合理的环境保护、产业发展政策使得其在保持经济高速发展的同时,整体生态状况也得到了稳步改善,成为了生态保护与经济和谐发展的典范。但是由于区域气候变化的影响,降雨量的减少引起了密云水库水体面积的显著减少,其供水能力减弱,密云县水域景观面积明显缩减,因此水域景观亟待加强保护和治理。

参考文献:

[1] 颉耀文,袁春霞,史建尧. 近 15 年甘肃民勒湖区景观格局动态变化分析[J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2008,44(1):11-16.

[2] 蒙古军,吴秀芹,李正国. 河西走廊土地利用/覆盖变化的景观生态效应:以肃州绿洲为例[J]. 生态学报,

2004,24(11):2535-2541.

[3] 李宏,邓良基,吴金涛. 成都平原县域景观格局时空变异与驱动因子分析:以成都市双流县为例[J]. 资源科学,2005,27(2):147-153.

[4] 黎聪,李晓文,郑钰,等. 衡水湖国家级自然保护区湿地景观格局演变分析[J]. 资源科学,2008,30(10):1571-1578.

[5] 尹昌应,罗格平,鲁蕾,等. 内陆干旱区土地利用变化的景观格局特征分析:以新疆白杨河流域为例[J]. 干旱区地理,2008,31(1):67-74.

[6] Wang X H, Zheng D, Shen Y C. Land use change and its driving forces on the Tibetan Plateau during 1990 - 2000[J]. Catena,2008,72(1):56-66.

[7] 邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M]. 北京:高等教育出版社,2000:99-100.

[8] O'Neill R V, Krummel J R, Gardner R H, et al. Indices of landscape pattern [J]. Landscape Ecology, 1988,1(3):153-162.

[9] 左春刚,黄诗峰,杨海波,等. 密云水库水源地多时相遥感监测与分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2007,5(3):201-205.

[10] 欧维新,杨佳山,李恒鹏,等. 苏北盐城海岸带景观格局时空变化及驱动力分析[J]. 地理学报,2004,24(5):610-615.

[11] 王佑汉,赵宏达,任茜. 成都平原土地利用景观格局变化及驱动因素分析:以成都市龙泉驿区为例[J]. 水土保持研究,2007,14(6):204-207.

[12] 林道辉,杨志峰. 密云水库水环境保护与库区社会经济可持续发展研究[J]. 水科学进展,2000,11(1):38-42.

(上接第 54 页)

参考文献:

[1] 蔡强国,王贵平,陈永宗. 黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟[M]. 北京:科学出版社,1998.

[2] 唐泽军,雷廷武. 降雨及聚丙烯酰胺(PAM)作用下土壤的封闭过程和结皮的形成[J]. 生态学报,2002,22(5):674-681.

[3] Ellison W D. Soil Erosion Studies-Part I[J]. Agri. Eng., 1947,28:145-146.

[4] 唐泽军,雷廷武,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:入渗[J]. 土壤学报, 2003,40(2):178-185.

[5] 唐泽军,雷廷武,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:侵蚀[J]. 土壤学报, 2003,40(3):401-405.

[6] 侵蚀地貌组. 黄河粗泥沙来源及侵蚀产沙极力研究文集[C]. 北京:气象出版社,1988:136-139.

[7] 吴淑安,蔡强国. 王家沟流域不同土壤的抗蚀性研究[C]// 晋西黄土高原土壤侵蚀管理与地力信息系统应用研究. 北京:科学出版社,1992:45-47.

[8] 陆兆熊,蔡强国. 黄土的表土结皮强度和溅蚀试验研究[C]// 晋西黄土高原土壤侵蚀规律实验研究文集. 北京:水利电力出版社,1990:58-67.

[9] Onofriok O, Singer M J. Scanning electron microscope studies of surface crusts formed by simulated rainfall. Soil Sci. Soc. Am., 1984,48:1137-1143.