

秸秆覆盖对三峡库区坡面侵蚀的影响

严 坤^{1,2}, 王玉宽¹, 徐 佩¹, 王 丰^{1,2}, 刘 勤¹

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: [目的] 分析农作物秸秆不同覆盖处理对坡面产流、产沙影响, 为三峡库区坡耕地水土保持措施优化提供技术支持。[方法] 利用人工模拟降雨技术, 分析了 5 种不同雨强下不同秸秆覆盖处理的径流、泥沙过程。[结果] 坡面覆盖秸秆能推迟坡面初始产流。在小雨强时, 秸秆覆盖推迟初始产流显著, 但随着雨强的增加, 推迟初始产流的作用降低。在坡面下坡段覆盖秸秆推迟初始产流效果优于在坡面上坡段覆盖秸秆。对于产流产沙而言, 在坡面上坡段覆盖秸秆与无覆盖差异不显著, 但在坡面下坡段覆盖秸秆时径流模数和侵蚀模数为无覆盖的 61.57%~69.1% 和 14.54%~18.31%, 且减少地表径流和泥沙流失效果优于在坡面上坡段覆盖。秸秆覆盖后土壤流失比(SLR)介于 0.022~0.611 之间, 且随着覆盖率的增加而降低, 在坡面下坡段覆盖秸秆 SLR 值在上坡段的 1/4。[结论] 合理选择农作物秸秆在坡面覆盖的坡位及覆盖度, 能有效降低坡面产流与侵蚀产沙, 产生较好的水土保持效应。

关键词: 三峡库区; 秸秆覆盖; 土壤流失比; 产流产沙过程; 模拟降雨

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)01-0006-05

中图分类号: S157.3

文献参数: 严坤, 王玉宽, 徐佩, 等. 秸秆覆盖对三峡库区坡面侵蚀的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 6-10. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.002

Effects of Mulch Cover on Slope Erosion in Three Gorges Reservoir Area

YAN Kun^{1,2}, WANG Yukuan¹, XU Pei¹, WANG Feng^{1,2}, Liu Qin¹

(1. Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to analyze the effects of different straw mulching treatments on slope runoff and sediment yield in order to provide technical support for soil and water conservation measures in sloping land. [Methods] Simulated rainfall was conducted to assess the effects of straw mulching on slope runoff and sediment yield under different rainfall intensity. [Results] Straw mulch could delay the initial runoff-yielding time, especially under lower rainfall intensity. As the rainfall intensity increased, the differences among all treatments decreased. The initial runoff-yielding time in the lower slope was longer than that in the upper slope. The mean runoff modulus and erosion modulus in the lower slope accounts for 61.57%~69.1% and 14.54%~18.31% of that in the bare land, respectively. The soil loss ratio(SLR) value ranged from 0.022 to 0.611, and in lower slope it accounted for 25% of that in the upper slope. The soil loss ratio decreased with the increase of straw mulching coverage. [Conclusion] Choosing the optimal straw mulching position and coverage can effectively reduce surface runoff and sediment yield, and it is of great importance for soil and water conservation in the Three Gorges reservoir area.

Keywords: Three Gorges Reservoir area; straw mulching; soil loss ratio(SLR); process of runoff and sediment yeild; simulated rainfall

三峡库区自然条件复杂,耕地资源紧张,人地矛盾突出,作为库区主要坡地土壤资源的紫色土,质地松软,易于风化,抗蚀性较差,加之库区山高坡陡、降雨集中且强度大^[1],水力侵蚀强烈,极易形成水土流

失,导致土地生产力持续降低^[2-3]。而坡面径流是表土产生位移和搬运的主要侵蚀动力,控制水土流失的关键是调控坡面径流^[4]。三峡库区农作物秸秆利用率低,年秸秆还田率仅 8.8%^[5],大量秸秆被焚烧或

收稿日期:2014-11-06

修回日期:2014-12-23

资助项目:国家自然科学基金项目“三峡库区农户生计与生态系统服务耦合关系与调控机制研究”(41371539)

第一作者:严坤(1983—),男(汉族),四川省南部县人,博士研究生,研究方向为土壤侵蚀和水土保持研究。E-mail:yankun@imde.ac.cn.

通讯作者:王玉宽(1963—),男(汉族),陕西省府谷县人,博士,研究员,主要从事土壤侵蚀与生态系统功能研究。E-mail:wangyukuan@imde.ac.cn.

丢弃,既浪费资源,又污染环境,而秸秆覆盖作为一种重要的水土保持措施,在降低水土流失方面具有显著的作用^[6],在其他区域广泛应用。它能够有效降低雨滴对土壤表层的直接击溅,减少土壤颗粒分离和扩散,防止地表结皮^[7]。同时能够增加土壤有机质^[8],改善土壤结构,增加入渗^[9],减少地表径流和土壤流失量。Doring T F等^[10]通过模拟降雨发现20%的秸秆覆盖能降低97%的土壤侵蚀量,耕地秸秆的减少将使风蚀与水蚀量增加^[11]。Edwards L.等^[12]发现秸秆覆盖可以减少50%土壤流失量,20%秸秆覆盖比5%覆盖土壤侵蚀量少56%^[13];林超文等^[7]在四川紫色土丘陵区试验发现,秸秆覆盖能显著减少地表径流和侵蚀泥沙,减幅达73.9%~86.2%和96.5%~98.1%。唐涛等^[14]认为覆盖率大于40%条件能有效地控制水土流失,但当覆盖度低于40%时对控制水土流失的作用不明显。但由于区域差异,最适宜的秸秆覆盖率难以形成统一的标准,现在基本认同秸秆覆盖率越高,其对坡面的保护作用越好,降低降雨对土壤的冲刷作用越强^[15],产生的土壤侵蚀量越低。尽管秸秆覆盖与施用量对土壤侵蚀影响的研究一直受到关注,但对秸秆在坡面覆盖部位对土壤侵蚀影响的研究还较少。因此,本文拟通过人工模拟降雨试验,研究不同秸秆覆盖处理对地表初始产流、地表径流和土壤流失的影响,探索秸秆在坡面水土流失防控中的资源化利用,以期对预防和减少坡面水土流失提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验位于中国科学院成都山地所万州典型区生态环境监测重点站(30°46′13″N, 108°29′24″E, 海拔265 m)内,该站地处三峡库区腹地,地貌以丘陵、低山为主,岩层为侏罗系沙溪庙组紫色砂泥岩地层。气候属亚热带湿润季风气候,年均气温14~19℃,年均降水量1 100~1 350 mm,季节分配不均,主要集中在5—10月。土壤为灰棕紫泥和棕紫泥,保水抗旱抗蚀能力较弱,主要种植作物为水稻、玉米、小麦、油菜、红薯等,种植制度水田以水稻—油菜为主,旱坡地以小麦—玉米/红薯为主。

1.2 试验设计

模拟降雨装置采用北京理工大学研制的下喷式降雨机,降雨强度可调。试验土槽采用自制的可任意调节坡度土槽[1 m(宽)×1.5 m(长)×0.3 m(高)],土槽下端设置地表径流和壤中流装置,用以收集地表径流、壤中流和径流泥沙样品。在距离土槽内侧底部

铺设均匀开孔的铁板,以确保试验用土的透水状态接近天然坡面,再在其上按照原状土容重分层填去杂、过筛的紫色土(pH:6.91;土壤容重:1.375 g/cm³;土壤有机质:6.63 g/kg;全氮:0.452 g/kg;全磷:0.542 g/kg;全钾:17.19 g/kg),并自然沉降1个月,然后将小麦秸秆均匀覆盖在不同坡位。试验处理如下:①对照无覆盖;②上部覆盖;③下部覆盖;④全覆盖,秸秆覆盖量为14 700 kg/hm²。试验坡度15°(三峡库区较为典型的坡耕地坡度),通过万州典型区生态环境监测重点站气象站长期降水资料分析,选择5种雨强($R_1 = 20$ mm/h; $R_2 = 33$ mm/h; $R_3 = 45$ mm/h; $R_4 = 81$ mm/h; $R_5 = 110$ mm/h),降雨时间控制在40~60 min左右,待产流稳定后停止降雨。试验开始前,确保土槽土壤前期含水量一致,产流后记录初始产流时间,并每隔2~3 min采集1次径流水样,记录采样历时和体积,所有径流样均汇集在塑料大桶中。待试验结束后,记录安装在土槽四角的雨量筒读数,使用烘干法测定的泥沙含量,利用公式(1)、(2)计算总径流量和总泥沙量。

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i + Q' \quad (1)$$

$$S = \sum_{i=1}^n S_i + S' \quad (2)$$

式中: Q, S ——次降雨总径流量(L)和总侵蚀量(g); Q', S' ——塑料大桶中径流量(L)和泥沙量(g); Q_i, S_i ——第*i*个过程样径流体积(L)和泥沙量(g)。

2 结果与分析

2.1 覆盖模式对初始产流时间的影响

在坡面坡度、初始土壤含水量等初始条件相对一致的情况下,不同处理初始降雨产流时间如图1所示。在小雨强(以 $R_1 = 20$ mm/h为例)时,对照初始产流时间为231 s,上部覆盖初始产流时间为263 s,下部覆盖初始产流时间为345 s,全覆盖初始产流时间为406 s。可以看出,相同雨强下随着覆盖度的增加初始产流时间延长,在坡面下部覆盖秸秆初始产流时间较上部覆盖延长。在中、大雨强下表现出相同的规律,但初始产流延长随着雨强增大先增加后减小,在中等雨强(以 $R_3 = 45$ mm/h为例)下,延迟初始产流时间的效果最好。一方面,在较小降雨强度下,秸秆充分吸水会延长初始产流时间,另一方面,由于秸秆覆盖增加,土壤地表径流速度和曼宁系数减小^[7,16],延长了径流与土壤界面作用的时间导致初始产流时间延后。由于初始产流时间延后,实际上增加了坡面水分入渗时间,对于短时间低强度降水,秸秆覆盖能够有效的提高土壤水分含量。

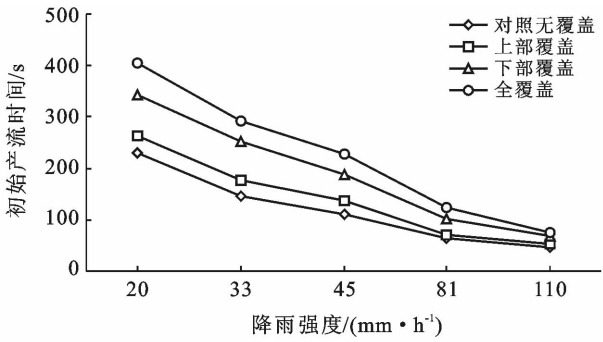


图 1 不同秸秆覆盖处理坡面初始产流时间

2.2 覆盖模式对坡面产流产沙的影响

坡面地表径流主要由坡面承雨量和入渗速率来决定^[17], 秸秆覆盖削弱降雨直接击溅地表, 增加地表粗糙度, 降低流速, 同时增加就地入渗, 减少地表径流

和径流携带的泥沙。图 2 为不同雨强下产流、产沙随时间的变化。无论是大雨强还是中小雨强, 无覆盖与坡面上部覆盖秸秆时地表产流过程差异较小, 而坡面下部覆盖秸秆与全覆盖是地表产沙过程差异不明显。产流速率、产沙速率先随着降雨历时的增加先增大, 而后趋于基本稳定, 总体上随覆盖的不同维持在不同的水平上, 覆盖越高, 产流、产沙稳定速率越低。

总的来说, 不同覆盖处理产流、产沙速率关系为: 全覆盖<下部覆盖<上部覆盖<无覆盖。对于坡面下部覆盖秸秆来说, 地表径流从坡面上部向下汇流, 当遇下部覆盖的秸秆拦截后, 径流速率降低, 径流携带的泥沙在秸秆处淤积形成泥坎后, 上部坡面地表径流遇泥坎流速降低, 导致整个坡面产流速率和产沙速率减小。

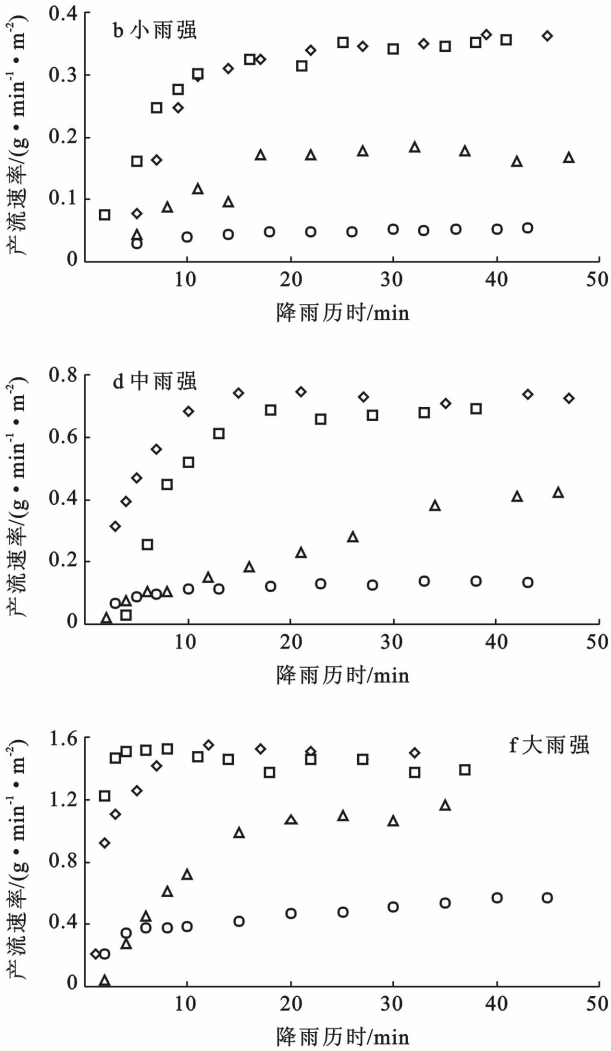
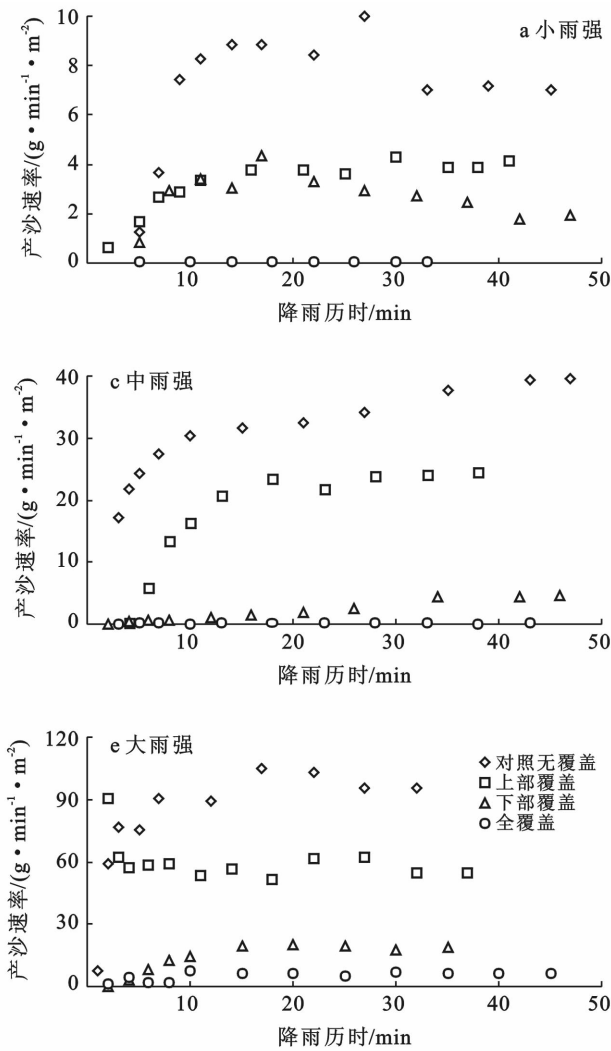


图 2 不同降雨强度各处理的产流、产沙过程对比

径流模数为单位面积单位时间径流总量, 侵蚀模数为单位面积单位时间土壤侵蚀总量^[18], 径流模数与侵蚀模式一定程度反映秸秆的保水保土效益。由

表 1, 2 可以看出, 同一雨强随着覆盖的增加, 径流模数和侵蚀模数不断减小, 小雨强 (以 $R_1 = 20 \text{ mm/h}$ 为例) 时, 对照无覆盖模式径流模数和侵蚀模数为

13.54 L/(m²·h),460.4 g/(m²·h),全覆盖仅为对照的 21.4%和 1.78%,上部覆盖为对照的 85.5%和 58.21%,下部覆盖为对照的 62.9%和 17.84%;中雨强(以 R₃=45 mm/h 为例)时,对照径流模数和侵蚀模数为 31.98 L/(m²·h),1 388.34 g/(m²·h),全覆盖仅为对照的 22.76%和 1.82%,上部覆盖为对照的 96.06%和 67.26%,下部覆盖为裸地的 61.57%和 14.54%;大雨强(R₅=110 mm/h)时,对照径流模数和侵蚀模数为 71.37 L/(m²·h),4 035.48 g/(m²·h),全覆盖仅为对照的 32.4%和 3.94%,上部覆盖为对照的 96.5%和 73.15%,下部覆盖为对照的 69.1%和 18.31%。秸秆覆盖部位不同,径流模数和侵蚀模数差异显著,且侵蚀模数的变幅远大于径流模数变幅,秸秆覆盖在降低径流方面的作用不及减少侵蚀作用明显。秸秆覆盖改变了坡面形态,地表径流和径流携带的泥沙受到秸秆的阻截,径流冲刷力降低,水土作用的时间延长,增加了土壤入渗,从而降低了地表径流和径流携带泥沙。

表 1 不同秸秆覆盖处理径流模数 L/(m ² ·h)					
处理	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
无覆盖	13.54	24.13	31.98	46.89	71.37
上部覆盖	11.57	21.34	30.72	44.67	67.42
下部覆盖	8.51	12.70	19.69	33.86	49.33
全覆盖	2.90	4.74	7.27	14.13	23.14

注:R₁~R₅ 代表不同的降雨强度,分别为 20,33,45,81,110 mm/h。下同。

表 2 不同秸秆覆盖处理侵蚀模数 g/(m ² ·h)					
处理	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
无覆盖	460.40	1 054.72	1 388.34	3 367.15	4 035.48
上部覆盖	267.98	573.21	933.79	1 762.09	2 951.95
下部覆盖	82.14	142.45	201.80	443.1	738.97
全覆盖	8.16	14.18	25.28	76.35	158.99

2.3 覆盖模式对土壤流失比的影响

土壤流失比(SLR)是计算作物覆盖因子的关键环节,是一个农作期内耕种农田与清耕休闲地土壤流失总量之比^[19]。SLR 值越小,覆盖保护土壤的能力越强^[20]。从表 3 可以看出,不同处理的土壤流失比率介于 0.022~0.611 之间,通过配对样本 t 检验,不同覆盖处理 SLR 差异显著($p<0.05$),随着覆盖度的增加,坡面土壤流失比率呈显著下降趋势,全覆盖的 SLR 仅为坡面下部覆盖的 14.2%,而相同覆盖的坡面下部覆盖秸秆 SLR 仅为上部覆盖的 1/4,说明秸秆覆盖在坡面下部具有更好的保土作用,这是因为坡面

下部径流和泥沙的累积汇聚效应明显,径流冲刷剧烈,当秸秆覆盖在坡面下部时,能显著降低径流冲刷能力,使径流携沙能力降低。

表 3 不同秸秆覆盖处理土壤流失比(SLR)						
处理	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	均值
无覆盖	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
上部覆盖	0.582	0.543	0.673	0.523	0.731	0.611
下部覆盖	0.178	0.135	0.145	0.132	0.183	0.155
全覆盖	0.018	0.013	0.018	0.023	0.039	0.022

3 结 论

(1) 与裸地相比,秸秆覆盖明显延长了初始产流的时间,且随着雨强的增大,延长初始产流时间减小;秸秆覆盖在坡面下部延缓初始产流效果优于覆盖上部。

(2) 覆盖度越大,坡面产流、产沙速率越小,秸秆覆盖在坡面下部对于降低产流速率和产沙速率效果优于坡面上部,秸秆覆盖在坡面上部对降低坡面产流影响不大,秸秆覆盖在坡面下部能很好的降低产沙速率。秸秆覆盖于坡面下部时径流模数和侵蚀模式为对照的 61.57%~69.1%和 14.54%~18.31%,而秸秆覆盖于坡面上部时径流模数和侵蚀模式为无覆盖的 85.5%~96.5%和 58.21%~73.15%。

(3) 秸秆覆盖度越高,秸秆保护土壤的作用越明显,秸秆覆盖后 SLR 值介于 0.022~0.611,全覆盖时 SLR 值为 0.022;坡面下部覆盖秸秆 SLR 仅为上部覆盖的 1/4。

秸秆覆盖坡面位置对产流、产沙有着明显的影响,因此本试验研究成果对于秸秆在坡面水土流失控制方面是有帮助的。试验覆盖坡位主要位于上部和下部,未考虑中部覆盖秸秆情况,将在下一步试验中完善,以丰富秸秆覆盖在坡面水土流失阻控方面的成果。

[参 考 文 献]

[1] 庞庆,王益谦. 农田生态系统养分平衡及其面源污染研究:以四川省为例[J]. 中国环保产业,2004(6):17-19.

[2] 何毓蓉,等. 中国紫色土,下篇[M]. 北京:科学出版社,2003.

[3] 许峰,蔡强国,吴淑安,等. 三峡库区坡地生态工程控制土壤养分流失研究:以等高植物篱为例[J]. 地理研究,2000,19(3):303-310.

[4] 唐佐芯,王克勤. 草带措施对坡耕地产流产沙和氮磷迁移的控制作用[J]. 水土保持学报,2012,26(4):17-22.

[5] 许书军. 三峡库区农业非点源污染源调查分析及过程评

- 价[D]. 重庆:西南农业大学,2004.
- [6] 王育红,姚宇卿. 残茬和秸秆覆盖对黄土坡耕地水土流失的影响[J]. 干旱地区农业研究,2002,20(4):109-11.
- [7] 林超文,罗春燕,庞良玉,等. 不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响[J]. 生态学报,2010,30(22):6091-6101.
- [8] 向达兵,雍太文,杨文钰,等. 不同种植模式对西南坡地水土保持及作物产值的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(6):1461-1467.
- [9] 刘立晶,高焕文,李洪文. 秸秆覆盖对降雨入渗影响的试验研究[J]. 中国农业大学学报,2004,9(5):12-15.
- [10] Doring T F, Brandt M, He β J, et al. Effects of straw mulch on soil nitrate dynamics, weeds, yield and soil erosion in organically grown potatoes[J]. Field Crops Research, 2005,94(2/3):238-249.
- [11] Holt R,卫中平. 作物秸秆土壤侵蚀与植物养分之间的关系[J]. 水土保持科技情报,1991(1):33-36.
- [12] Edwards L, Burney J R, Richter G, et al. Evaluation of compost and straw mulching on soil-loss characteristics in erosion plots of potatoes in Prince Edward Island, Canada[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2000,81(3):217-22.
- [13] Edwards L M, Volk A, Burney J R. Mulching potatoes: Aspects of mulch management systems and soil erosion[J]. American journal of potato research, 2000,77(4):225-232.
- [14] 唐涛,郝明德,单凤霞. 人工降雨条件下秸秆覆盖减少水土流失的效应研究[J]. 水土保持研究,2008,15(1):9-11.
- [15] 张展. 用作物秸秆减小涌灌对土壤的侵蚀[J]. 水利科技与经济,1996,2(3):147-151.
- [16] 郑子成,吴发启,何淑勤,等. 地表糙度对径流和产沙影响的室内试验研究[J]. 农业工程学报,2007,23(10):19-24.
- [17] 代数,蒋光毅,夏清,等. 坡度和雨强对重庆市黄壤旱坡地产流产沙特征的影响[J]. 水土保持学报,2011,25(4):1-5.
- [18] 杨晓芬,吴发启,马波,等. 黄土坡耕地玉米作物的防蚀作用研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(10):97-102.
- [19] 张岩,刘宝元,史培军,等. 黄土高原土壤侵蚀作物覆盖因子计算[J]. 生态学报,2011,21(7):1050-1056.
- [20] Renschler C S, Mannaerts C, Diekkrüger B. Evaluating spatial and temporal variability in soil erosion risk-rainfall erosivity and soil loss ratios in Andalusia, Spain[J]. Catena, 1999,34(3/4):209-225.

(上接第 5 页)

- [17] 茅宇豪,刘树华,李婧. 不同下垫面空气动力学参数的研究[J]. 气象学报,2006,64(3):325-334.
- [18] Counihan J. Wind tunnel determination of the roughness length as a function of the fetch and the roughness density of three-dimensional roughness elements[J]. Atmospheric Environment, 1971,5(8):637-642.
- [19] 夏建新,石雪峰,吉祖稳,等. 植被条件对下垫面空气动力学粗糙度影响试验研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2007,15(1):23-31.
- [20] Jasinski M F, Crago R D. Estimation of vegetation aerodynamic roughness of natural regions using frontal area density determined from satellite imagery[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1999,94(1):65-77.
- [21] Lloyd C R, Gash J H C, Sivakumar M V K. Derivation of the aerodynamic roughness parameters for a Sahelian savannah site using the eddy correlation technique[J]. Boundary-Layer Meteorology, 1992,58(3):261-271.
- [22] Kenneth L D, William A W R. Aerodynamic roughness parameters for semi-arid natural shrub communities of Wyoming. USA[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1997,88(1):1-14.
- [23] Ishizuka M, Mikami M, Yamada Y, et al. Threshold Friction Velocities of Saltation Sand Particles for Different Soil Moisture Conditions in the Taklimakan Desert[J]. Sola, 2009(5):184-187.
- [24] Toure A A, Rajot J L, Garba Z, et al. Impact of very low crop residues cover on wind erosion in the Sahel[J]. Catena, 2001,85(3):205-214.