

# 黑土坡耕地不同水土保持措施的土壤水蚀特征研究

齐智娟, 张忠学, 杨爱峥

(东北农业大学 水利与建筑学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:** 针对北方干旱地区坡耕地严重的水土流失问题, 采取垄向区田、深松、横坡种植、免耕播种等水土保持耕作措施, 于 2010 年, 以黑龙江省齐齐哈尔市东兴村 5° 坡耕地径流场为研究对象, 研究了不同耕作措施对地表径流、土壤侵蚀和降雨入渗的影响。结果表明, 这几种水土保持耕作措施均有不同程度的减流减沙作用, 其中横坡种植效果最为明显, 地表径流量和土壤流失量较常规耕作分别减少了 92% 和 90%, 稳定入渗率较常规耕作提高了 41.2%。不同耕作措施的径流系数过程线的变化、径流含沙率变化以及产流量、产沙量的变化均符合横坡免耕 > 横坡种植 > 深松 + 区田 > 垄向区田 > 少耕深松 > 免耕 > 常规耕作 > 裸地这一变化规律。

**关键词:** 径流; 侵蚀; 入渗; 水土保持

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)01-0089-04

中图分类号: S157.1

## Characteristics of Soil Erosion by Water Under Different Soil and Water Conservation Measures on Sloping Farmland of Black Soils

QI Zhi-juan, ZHANG Zhong-xue, YANG Ai-zheng

(Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

**Abstract:** Different tillage measures of soil and water conservation, such as ridge tillage, subsoiling, cross-slope cultivation, and no-tillage seeding, are taken to control serious soil erosion on sloping farmland in the arid areas of Northern China. In 2010, the effects of different conservation tillage measures on surface runoff, soil erosion, and rainfall infiltration were studied on a 5° farmland in Dongxing Village, Qiqihar City, Heilongjiang Province. Results showed that all the conservation tillage measures had a certain effect on the reduction in runoff and soil erosion. Cross-slope tillage had the most obvious effect, with which surface runoff and soil erosion were reduced by 92% and 90%, respectively, and stable infiltration rate was increased by 41.2% as contrasted with conventional tillage. Changes in runoff coefficient, sediment concentration in runoff, runoff generation, and sediment yield under the different conservation tillage measures were all consistent with the order of cross-slope no-tillage > cross-slope cultivation > subsoiling and ridge tillage > ridge tillage > less tillage and subsoiling > no-tillage > conventional tillage > bare land.

**Keywords:** runoff; soil erosion; infiltration; soil and water conservation

水土流失是目前我国主要的生态问题之一, 治理水土流失已经成为社会关注的焦点, 而治理水土流失的重中之重是坡耕地土壤侵蚀的治理<sup>[1]</sup>。我国在土壤侵蚀方面的研究始于 20 世纪 20 年代金陵大学的土壤流失调查及径流观测, 50 年代得到大规模的开展。随着土壤侵蚀研究的深入和小流域水土流失治理经验的积累, 逐渐在侵蚀过程研究等方面取得一些研究成果<sup>[2-6]</sup>。降雨和径流是水蚀区坡面产流产沙的

动力条件, 在雨滴动能和薄层水流作用下, 肥力状况较好的表土被剥离和搬运, 降雨、径流和泥沙之间存在紧密关系<sup>[7-8]</sup>。如何增加水分入渗和存储、减少坡面径流量和侵蚀量成为区域水土保持的主要任务。

黑龙江省水土流失严重, 治理水土流失是一项长期的工作。本文针对黑龙江省西部黑土坡耕地的土壤侵蚀问题, 因地制宜地选择了垄向区田、深松、横坡种植、免耕播种 6 种水土保持耕作措施, 结合现有数

收稿日期: 2011-03-30

修回日期: 2011-05-10

资助项目: 国家科技支撑计划“松嫩平原侵蚀黑土农田保水保肥及修复关键技术集成与示范”(2009BADB3B04)

作者简介: 齐智娟(1987—), 女(汉族), 黑龙江省大庆市人, 硕士研究生, 研究方向为农业节水技术应用。E-mail: qzj8866@sina.com。

通信作者: 张忠学(1967—), 男(汉族), 黑龙江省呼兰县人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为农业节水与水资源高效利用。E-mail: zhang-zhongxue@163.com。

据和国内外相关研究<sup>[9-14]</sup>,对坡耕地不同水土保持耕作措施下水分入渗—径流—产沙关系进行了研究,确定不同耕作措施对延长坡面产流历时,增加土壤水分入渗,减少坡面径流量、侵蚀量的作用,深入认识不同水土保持耕作措施的产流产沙水分入渗特征,为区域作物蓄水保土耕作方式的确定提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区自然条件

试验于 2010 年在黑龙江省甘南县兴隆乡坡耕地径流场进行,供试土壤为黑钙土,径流场平均坡度为 5°。当地属于温带半干旱季风气候,四季冷暖干湿分明,年平均气温 2.6℃,年平均降水量 450 mm,年平均蒸发量 1 499.8 mm,降雨季节分配不均,雨量集中在 7—9 月份。试验作物选用当地良种玉米海玉 4 号。

### 1.2 试验设计

试验共设 8 个处理,每个处理有 2 个小区作为重复,分别为:裸地(LD)、常规耕作(CK)、免耕(MG)、少耕深松(SGS)、垄向区田(LQ)、深松+区田(SQ)、横坡种植(HP)、横坡免耕(HM)。其中深松于 2010 年 7 月初进行,垄向区田于 7 月中旬筑挡,免耕持续时间为 2 a,以常规耕作作为参照。小区规格为 5 m×20 m。

试验选取 4 场典型天然降雨进行分析,A 场降雨历时较长、雨强小、降雨量小;B 场降雨历时短、雨强较小、降雨量小;C 场降雨历时长、雨强小,降雨量大;D 场降雨历时较长、雨强大,降雨量较大。各场降雨

前期土壤含水量及降雨特征如表 1 所示。产流开始时进行观测,每 5 min 收集 1 次径流,直至产流结束。试验针对区田筑挡前后及不同降雨条件下不同耕作措施的产流、产沙、水分入渗特征进行研究,对比分析不同耕作措施的蓄水保土效果。

表 1 各场降雨情况

日期	场次	前期土壤含水量/%	降雨量/mm	最大雨强/(mm·h <sup>-1</sup> )	降雨历时/min
20100613	A	19.6	62	58	115
20100716	B	22.0	47	60	85
20100809	C	20.4	164	56	380
20100814	D	24.1	78	76	135

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同耕作措施的坡面径流产沙特征分析

表 2 列出了 4 场降雨不同耕作措施的累积径流量、侵蚀量、产流时间及稳定入渗率,其中 A 场降雨时区田没有筑挡。研究发现,横坡种植蓄水保土效果最优;垄向区田筑挡后可以较大程度拦蓄径流,减少土壤水蚀,增加入渗,延长产流起始时间;免耕与少耕深松相比,对入渗的影响相差不大,但在土壤侵蚀方面则表现出明显的优势,产沙量较少,起到显著的水土保持效果。深松与垄向区田结合的处理保水保土效果明显,仅次于横坡种植和横坡免耕。在降雨过程中,不同水土保持耕作措施的坡面径流、产沙、入渗过程均存在一定的波动,其程度不一。

表 2 不同耕作措施降雨侵蚀计算

降雨	耕作措施	LD	CK	MG	SGS	LQ	SQ	HP	HM
A	径流量/mm	31.24	21.88	16.24	15.63	21.54	1.94	0	0
	侵蚀量/(t·hm <sup>-2</sup> )	0.48	0.15	0.06	0.09	0.14	0.03	0	0
	产流时间/min	20	20	25	25	20	30	—	—
	稳定入渗率/(mm·min <sup>-1</sup> )	0.39	0.43	0.47	0.48	0.63	0.64	0.71	0.73
B	径流量/mm	19.45	14.33	10.74	10.25	1.74	0	0	0
	侵蚀量/(t·hm <sup>-2</sup> )	0.16	0.09	0.03	0.06	0.01	0	0	0
	产流时间/min	12	15	20	20	55	—	—	—
	稳定入渗率/(mm·min <sup>-1</sup> )	0.39	0.43	0.45	0.47	0.64	0.66	0.71	0.73
C	径流量/mm	94.69	66.35	52.59	49.06	10.78	4.94	2.64	0
	侵蚀量/(t·hm <sup>-2</sup> )	9.68	3.86	1.36	1.83	0.68	0.44	0.20	0
	产流时间/min	50	55	70	70	140	150	175	—
	稳定入渗率/(mm·min <sup>-1</sup> )	0.38	0.41	0.45	0.47	0.62	0.64	0.69	0.72
D	径流量/mm	47.18	36.80	30.83	27.11	7.81	3.43	2.11	0
	侵蚀量/(t·hm <sup>-2</sup> )	5.89	2.62	0.69	1.00	0.35	0.12	0.04	0
	产流时间/min	15	20	20	20	45	55	65	—
	稳定入渗率/(mm·min <sup>-1</sup> )	0.39	0.42	0.44	0.44	0.64	0.66	0.70	0.73

注:LD 为裸地;CK 为常规耕作;MG 为免耕;SGS 为少耕深松;LQ 为垄向区田;SQ 为深松+区田;HP 为横坡种植;HM 为横坡免耕。下同。

总体来说,对比不同耕作措施对土壤水蚀的影响,横坡种植、深松区田、垄向区田、深松、免耕及裸地的次降雨径流量分别为常规耕作的 4.5%,8.2%,18.3%,73.9%,79.2%,136.7%;侵蚀量分别为常规耕作的 3.36%,11.96%,34.94%,53.04%,33.7%,243.31%;稳定入渗率分别为常规耕作的 167.05%,154.88%,149.52%,110.22%,107.79%,91.81%;横坡免耕效果最优,没有观测到径流,其稳定入渗率为常规耕作的 174%。

对不同耕作措施的坡面径流、产沙特征进行分析,不难看出,裸地径流量和产沙量最大;常规耕作次之;免耕由于避免了耕作带来的压实,改善了土壤的内部结构,一定程度上增加了土壤的入渗,减小了坡面径流,减轻了土壤水蚀;深松的产流量、产沙量略低于免耕处理,这主要是因为深松后土壤孔隙率增加,改善了土壤性状,增大了耕层土壤的蓄水能力;垄向区田筑挡后通过土垡的拦蓄作用,对降雨进行调蓄,较大程度地减少了坡面径流量和产沙量;深松与垄向区田的结合效果明显优于前几种耕作措施,在强化入渗的基础上,有效拦蓄了降雨,减少了径流量、产沙量;横坡耕作的径流量、产沙量最少,主要因为降雨时垄沟拦蓄雨水,使没有来得及入渗的雨水能够得到存蓄,雨强大时,垄沟中水层还可以保护土壤结构,避免雨滴对土壤的打击,起到最优的蓄水保土效果。

2.2 不同耕作措施的坡面入渗特征分析

不同耕作措施对降雨入渗的影响程度不同,降雨前期土壤含水率是决定土壤水分入渗和产流的重要因素,初始含水率越大,土壤水分入渗速率越小,径流量越大(图 1)。

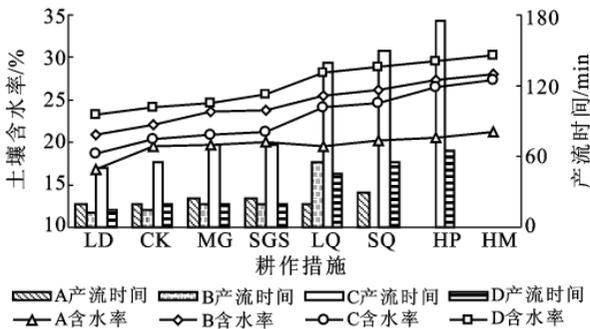


图 1 不同耕作措施的降雨前期土壤含水量及产流起始时间

图 2 反映了不同耕作措施的降雨入渗特征。总体来看,相比常规耕作,横坡免耕的入渗量、稳定入渗率最大,其次是横坡耕作、深松区田、垄向区田、深松和免耕处理。对于横坡耕作,降雨期间在垄沟中形成

积水,可以最大限度地拦蓄降雨,雨强越大或前期土壤含水率越高时,短时间内积聚的降雨越多,由于积水压力的作用进一步增加入渗;区田的作用与横坡类似,是将雨水拦蓄在土垡中,减少径流,增加入渗时间;免耕耕作,稍低于深松处理,但明显高于常规耕作,因为其保持土壤的原始结构,入渗效果较好;裸地的入渗量、稳定入渗率最低,主要由于裸地地表没有植被覆盖,耕层土壤致密,雨水难以入渗,以致产生大量径流。

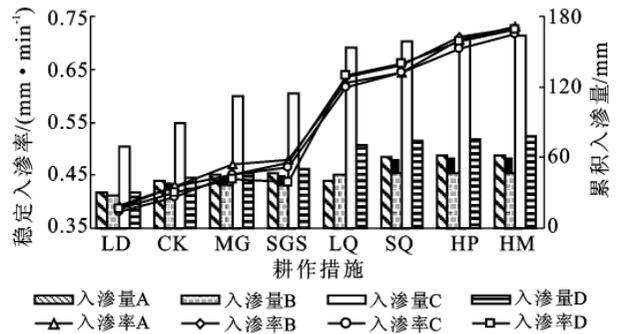


图 2 不同耕作措施降雨入渗特征

对图 2 进一步分析可以看出:(1)对常规耕作、免耕、深松处理来说,稳定入渗率随雨强的增加而降低。因为雨强大时,降雨对土壤的破坏作用强,水蚀产生的泥沙可堵塞地表孔隙,影响雨水的下渗,土壤稳定入渗率较小。(2)对横坡耕作和区田处理来说,其稳定入渗率随着雨强的增加而升高,因为雨强大时,横坡的垄沟和区田的土垡中很快积聚大量雨水,水层在浅穴中形成水压力,强化入渗。

2.3 不同耕作措施的径流系数变化曲线分析

其他条件没有差异时,相同时段内坡面径流过程不会因为降雨历时的延长而改变,但是,随着历时的增加,在不考虑降雨的退水过程的前提下,由图 3 可见,各场降雨的径流系数逐渐增加,变化趋势逐渐变缓,变化速率越来越慢,直至趋于稳定。

当坡面耕作措施改变时,降雨入渗性能随之改变,径流系数发生变化,对坡面土壤起到不同的蓄水保土作用。耕作措施对径流系数的调控作用顺序依次为:横坡免耕>横坡种植>深松区田>垄向区田>深松>免耕>常规耕作>裸地。当降雨情况改变时,在一定的坡面土壤下垫面条件下,地表径流量与雨强正相关,历时越长,雨强越小,土壤对雨水的下渗和保蓄作用越强,径流系数越小且变化平稳,反之,雨强变化较大时,随降雨历时的延续,径流系数发生波动,变化范围较大。

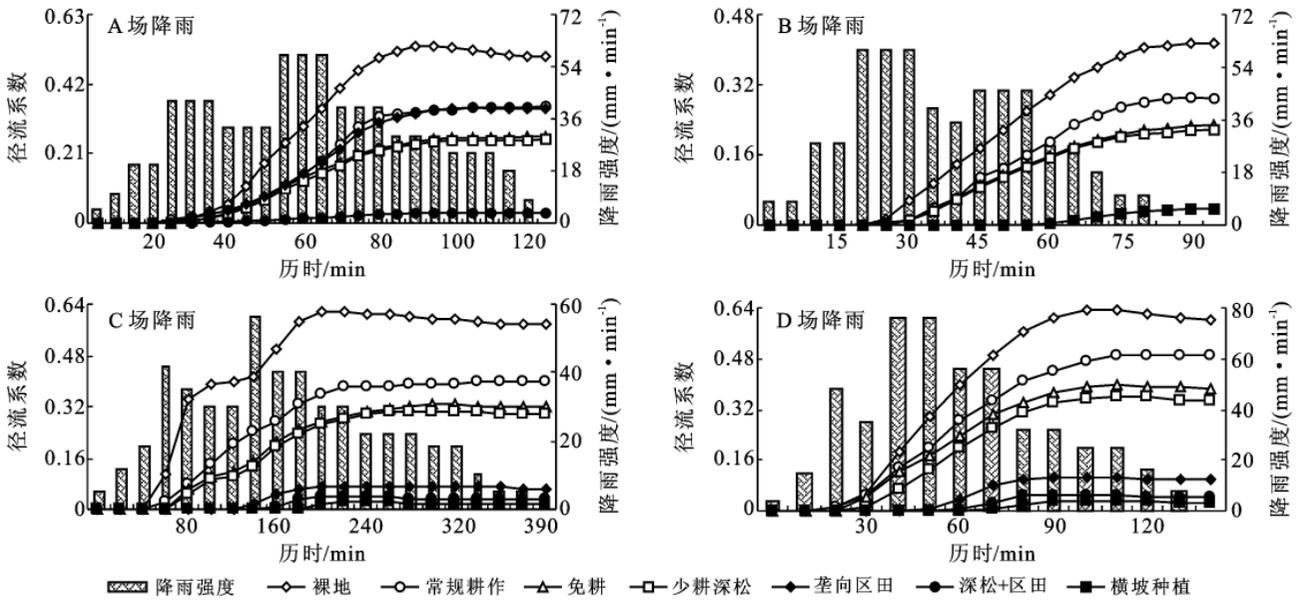


图 3 不同耕作措施下各场降雨的径流系数随时间的变化趋势

2.4 不同耕作措施的坡面径流含沙率的变化规律

图 4 表明,区田筑挡完成后,各场降雨各耕作措施下径流含沙率变化规律基本一致,但变幅略有区别,与前面分析得出的径流、产沙规律相符。横坡、横坡免耕效果最优,没有监测到径流,说明其可有效地拦蓄水土,增加入渗,功效极为显著。免耕与少耕深松 2 种耕作措施如前面所说,径流过程相近,但在产沙方面少耕深松所产生的泥沙量明显多于免耕处理,其径流含沙率远大于免耕处理。垄向区田在区田筑挡前后效果有较大差异,筑挡后凭借连续的土挡拦蓄径流,很好地增加了入渗效果,减少了土壤水蚀。

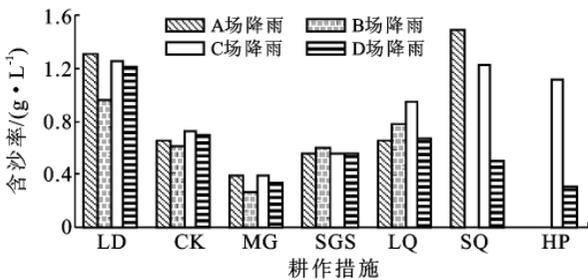


图 4 不同耕作措施径流含沙率变化规律

A 场降雨时区田尚未筑挡,与常规耕作措施含沙率相近,而深松处理可以强化入渗作用减少径流量,但由于深松扰动表层土体,增加了土壤孔隙,增大了坡面侵蚀量,其径流含沙率较高;B 场降雨因为历时短、雨强小,深松+区田、横坡均没有产生径流;而 C 场降雨历时较长,虽雨强较小,但降雨量大,土壤含水量达到饱和后,即产生径流,并持续增长;相比来看, D 场降雨,雨强大历时短,降雨对土壤的破坏作用大,改变坡面地表土壤结构,造成颗粒瓦解,产生的径流

携带泥沙颗粒运移,阻塞土壤孔隙,降低降雨的入渗速率,产流产沙显著。

3 结论

(1) 不同耕作措施的水土保持效果不同,横坡免耕处理效果最优,具有蓄水减沙的功能,其次按效果优劣依次为:横坡种植>深松+区田>垄向区田>少耕深松>免耕>常规耕作>裸地。

(2) 不同降雨情况下,雨强大则产流时间早,入渗率低,反之,在雨量均衡的情况下,入渗曲线变化较平稳,随着历时的增加径流系数逐渐增大。

(3) 同一耕作措施下,降雨历时长、强度小,其入渗率较大,稳定入渗点出现较早,曲线变化趋势平稳。反之,雨强较大,历时较短时,雨水来不及入渗,径流量较大,雨滴对坡面土壤的击溅作用强烈,径流含沙率相对增加。

研究表明,坡面产流、产沙及水分入渗特征与耕作措施密切相关,适宜的水土保持耕作措施可以大幅度地增加降雨入渗能力,有效控制水土流失。在实际应用中,应针对不同地区的降雨特性、地形特征进行合理选择,以期取得较好的水土保持效果。本试验由于年限所限,无法全面地综合各类型降雨情况下不同耕作措施的蓄水保土效果,仍需多年试验进行完善,以便得到更加精确的数据。

[ 参 考 文 献 ]

[1] 唐克丽. 土壤侵蚀环境演变与全球变化及防灾减灾的机制[J]. 土壤与环境, 1999, 8(2): 81-86.

(下转第 97 页)

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张清春,刘宝元,翟刚. 植被与水土流失研究综述[J]. 水土保持研究,2002,9(4):96-101.
- [2] 章文波,刘宝元,吴敬东. 小区植被覆盖度动态快速测量方法研究[J]. 水土保持通报,2001,21(6):60-63.
- [3] 杨胜天,刘昌明,杨志峰,等. 南水北调西线调水工程区的自然生态环境评价[J]. 地理学报,2002,57(1):11-18.
- [4] Mohammad A, Shi Z, Ahmad Y, et al. Application of GIS and remote sensing in soil degradation assessments in the Syrian coast[J]. Journal of Zhejiang University: Agric. & Life Sci., 2002,26(2):191-196.
- [5] Gitelson A A, Kaufman Y J, Robert S, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction [J]. Remote Sensing of Environment, 2002,80(1):76-87.
- [6] 池宏康. 沙地油蒿群落覆盖度的遥感定量研究[J]. 植物生态学报,2000,24(4):494-497.
- [7] 查勇. 草地植被变化遥感监测方法研究:以环青海湖地区为例[D]. 南京:南京师范大学,2003.
- [8] Purevdorj T, Tateishi R, Ishiyama T, et al. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices [ J ]. International Journal of Remote Sensing, 1998,19(18):3519-3535.
- [9] 马超飞,马建文,布和敖斯尔. USLE 模型中植被覆盖因子的遥感数据定量估算[J]. 水土保持通报,2001,21(4):6-9.
- [10] 孙久虎,刘晓萌,李佑钢,等. 北运河地区植被覆盖的遥感估算及变化分析[J]. 水土保持研究,2006,13(6):97-99.
- [11] Qi J, Marsett R C, Moran M S, et al. Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro River basin area [ J ]. Agricultural and Forest Meteorology, 2000,105(1/3):55-68.
- [12] 牛宝茹,刘俊荣,王政伟. 干旱区植被覆盖度提取模型的建立[J]. 地球信息科学,2005,7(1):84-86,97-98.
- [13] 杨胜天,李茜,刘昌明,等. 应用“北京一号”遥感数据计算官厅水库库滨带植被覆盖度[J]. 地理研究,2006,25(4):570-578.
- [14] 丁艳梅,张继贤,王坚,等. 基于 TM 数据的植被覆盖度反演[J]. 测绘科学,2006,31(1):43-45.
- [15] 陈晋,陈云浩,何春阳,等. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用[J]. 遥感学报,2001,5(6):416-422.
- [16] 李晓琴,孙丹峰,张凤荣. 基于遥感的北京山区植被覆盖景观格局动态分析[J]. 山地学报,2003,21(3):272-280.
- [17] 张杰,赵冰,杨伟,等. 基于 ArcGIS 的淮河流域大别山区土壤侵蚀特征研究[J]. 水土保持通报,2009,29(1):110-112.
- [18] 李爽,冯文峰,钱乐祥. 北京一号卫星影像的数据融合研究[J]. 地域研究与开发,2008,27(3):121-124.
- [19] Bradley C R. The influence of canopy green vegetation fraction on spectral measurements over native tall grass prairie[J]. Remote Sensing of Environment, 2002,81(1):129-135.
- [20] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学,2004,26(4):153-159.

(上接第 92 页)

- [2] 崔灵周,李占斌,朱永清,等. 流域侵蚀强度空间分异及动态变化模拟研究[J]. 农业工程学报,2006,22(12):17-22.
- [3] 潘成忠,上官周平. 不同坡度草地含沙水流水力学特性及其拦沙机理[J]. 水科学进展,2007,18(4):490-495.
- [4] 蔡强国,朱远达,王石英. 几种土壤的细沟侵蚀过程及其影响因素[J]. 水科学进展,2004,15(1):11-18.
- [5] 王文龙,雷阿林,李占斌,等. 黄土丘陵区土壤侵蚀链垂直带水沙流空间分布[J]. 水科学进展,2004,15(1):24-28.
- [6] 许炯心,孙季. 无定河水土保持措施减沙效益的临界现象及其意义[J]. 水科学进展,2006,17(5):610-615.
- [7] 柯克比 M J, 摩根 R P C. 土壤侵蚀[M]. 王礼先,吴斌,洪惜英,译. 北京:水利电力出版社,1987.
- [8] 陈奇伯. 花岗岩坡面降雨产流产沙相互关系的研究[J]. 水土保持科技情报,1997(4):34-36.
- [9] 于国强,李占斌,张霞,等. 野外模拟降雨条件下径流侵蚀产沙试验研究[J]. 水土保持学报,2009,23(4):10-14.
- [10] 邵晓梅,严昌荣. 黄河流域半湿润偏旱区土壤水分动态变化规律研究[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(2):91-95.
- [11] 郑子成,何淑勤,吴发启. 侵蚀过程中地表糙度变化特征的研究[J]. 水土保持学报,2003,17(5):165-168.
- [12] 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.
- [13] Ben-Hur M, Lado M. Effect of soil wetting conditions on seal formation, runoff and soil loss in arid and semi-arid soils: a review [J]. Australian Journal of Soil Research, 2008,46(3):191-202.
- [14] Bissonnais Y L, Cerdan O, Lecomte V, et al. Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interrill erosion [J]. Catena, 2005,62(2):111-124.