

融雪与降雨侵蚀条件下水土保持措施因子值对比研究

谭娟, 范昊明, 许秀泉, 贾燕锋, 武敏

(沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110866)

摘要: 东北地区融雪条件下水土保持措施因子缺乏针对性研究。选择吉林梅河口吉兴径流小区 2015 年、2016 年春季融雪侵蚀观测结果和已有降雨侵蚀数据, 对比融雪与降雨条件下水土保持措施因子值、产流产沙次数、径流深、侵蚀模数, 探讨了不同水土保持措施对降雨侵蚀和融雪侵蚀的防控效果。结果表明: 融雪条件下 P 值范围为 0.001~0.46, 其中生态修复措施对于融雪侵蚀的防控效果最好, 在融雪时期表现出周期短, 融水量少的特点; 水平坑措施对融雪侵蚀的影响主要体现在对融水的拦控上; 融雪条件下耕作措施中地埂植物带侵蚀模数及径流深大于横垄。融雪侵蚀地区(尤其是坡耕地)在进行水土保持措施规划设计时, 应兼顾降雨和融雪两种侵蚀类型。

关键词: 融雪侵蚀; 降雨侵蚀; 水土保持措施因子; 东北低山区

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)03-0029-04

Comparison of Practice Values of Soil and Water Conservation Measures Under the Condition of Snow Melting and Rainfall Erosion

TAN Juan, FAN Haoming, XU Xiuquan, JIA Yanfeng, WU Min

(College of Water Conservancy, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110866, China)

Abstract: The pertinence of research on the practice values of soil and water conservation is rarely studied under the condition of snow melting in Northeast China. Based on the observation results of Jilin Meihoukou Jixing runoff plot snowmelt erosion in spring in 2015 and 2016, the snowmelt and rainfall factor, practice values of soil and water conservation, the number of the runoff and sediment, the depth of runoff and erosion modulus between snowmelt and rainfall conditions were compared to investigate the effects of different the soil and water conservation measures on snowmelt and rainfall erosion. The results showed that the values of P ranged from 0.001 to 0.46, and the best measure for the prevention was the natural ecosystem rehabilitation, which showed the characteristics of short period, less amount of melt water. The effect of engineering-control factor for cut-off drain on snowmelt erosion was mainly reflected on control of melt water. The erosion modulus and runoff depth of tillage factor for counter ridge combing with vegetation stripes were greater than those of the contour tillage under the snowmelt condition. The two types of erosion (snowmelt and rainfall) should be taken into account in the planning and design of soil and water conservation measurements in the snow melting erosion area (especially the farmland).

Keywords: snow melting erosion; rainfall erosion; practice values of soil and water conservation; the low mountainous region in northeast China

我国东北地区积雪量较多, 春季融雪期气温迅速升高, 融雪径流量较大, 积雪融化形成的径流对土体冲刷产生侵蚀, 同时冻融作用对土壤性质造成一定的影响, 表层土壤解冻不完全, 水分入渗较差; 且融雪期植被覆盖较差, 融雪侵蚀不容忽视^[1], 局部地区水土流失甚至比汛期还要严重^[2]。随着全球气候变暖, 冬季气温回升, 土壤冻融过程受到气温、积雪等变化的

影响, 冻融过程与融雪径流等共同作用下土壤侵蚀更为严重^[3]。以往关于东北地区水土保持措施研究通常是以降雨侵蚀为背景的, 主要体现在不同类型措施适宜性^[4]、措施减沙效益^[5]、水土保持效应^[6-7]、土壤性质^[8]以及措施因子值^[9]等方面, 而不同水土保持措施对融雪侵蚀的防控方面还少见针对性探讨, 对于融雪条件下措施因子的研究则更为少见。虽然在

USLE (Universal Soil Loss Equation) 和 RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) 土壤水蚀模型中已有对融雪侵蚀做了一定的考虑,但都体现在对 R 值和 K 值的修正上^[10],而结合融雪侵蚀对措施因子 P 值的研究较少。刘宝元等^[11]提出的中国土壤流失预报方程 CSLE (Chinese Soil Loss Equation) 中也未体现对融雪条件下各措施因子值的考虑。

吉林省梅河口市属东北典型低山区,春季融雪期土壤侵蚀较为突出,本文采用该地吉兴小流域径流小区的 2015 年、2016 年融雪侵蚀数据,结合已有降雨侵蚀资料,初步确定融雪条件下几种措施的因子值,并将其与降雨条件下的结果进行对比,分析同一水土保持措施在降雨和融雪条件下防治水土流失效果的差异,以期对融雪侵蚀防治提供参考依据。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

吉兴小流域位于吉林省梅河口市吉乐乡(东经 125°28′13″—125°31′34″,北纬 42°10′26″—42°14′32″),属于辉发河水系,为典型低山区。吉兴小流域属典型大陆性季风气候,多年平均降水量为 709 mm,70% 降水量集中在 6—8 月。该地区多年平均降雪量为 77 mm,远高于东北地区多年平均降雪量 40.65 mm,1956 年降雪量甚至达到 160 mm,春季解冻期融雪侵蚀问题较突出。观测场建于 2004 年,7 个径流小区内土壤类型为白浆化暗棕壤,坡度均为 7°。小区长 30 m,宽 5 m。小区水土保持措施配置见表 1。

表 1 小区措施配置情况

类型	名称	配置
生物措施	生态修复	杂草、青蒿 (<i>Artemisia carvifolia</i>)、胡枝子 (<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz), 植被覆盖 98%
	灌木埂	地埂断面为梯形,埂顶宽 0.5 m,埂底宽 1 m,埂高 0.5 m
		埂上种植紫穗槐 (<i>Amorpha fruticosa</i> Linn) (株高 3.25 m,冠幅 1.1 m×1.1 m,株间距 0.5 m) 埂间距 11 m,埂间种植玉米 (<i>Zea mays</i> L),株行距 0.45 m×0.3 m
工程措施	水平坑	池长宽尺寸 2.5 m×2.5 m,池埂高 0.15 m,池数 24
		池内植物株行距 3 m×3 m,种植李子 (<i>Prunus salicina</i> Lindl) (株高 3 m,冠幅 2.4 m×2.4 m)、梨 (<i>Pyrus spp</i>) (株高 2 m,冠幅 1.4 m×1.4 m)、樱桃 (<i>Cerasus pseudocerasus</i> G. Don) (株高 1.9 m,冠幅 3.3 m×3.3 m)、苹果 (<i>Pyrus malus</i> L) (株高 3.3 m,冠幅 1.8 m×1.8 m)、榛子 (<i>Corylus</i>) (株高 1 m,冠幅 0.23 m×0.25 m)
耕作措施	地埂植物带	地埂断面为梯形,埂顶宽 0.5 m,埂底宽 1 m,埂高 0.5 m 埂上种植黄花草 (<i>Helianthus annuus</i> L) (株高 1.2 m,冠幅 0.9 m×0.9 m,株行距 0.4 m×0.3 m) 埂间距 11 m,埂间种植玉米 (<i>Zea mays</i> L),株行距 0.45 m×0.3 m
	横垄	玉米,株行距 0.5 m×0.3 m,留茬高度 0.15 m
	顺垄	玉米,株行距 0.45 m×0.3 m,留茬高度 0.15 m
	裸地	保持地表裸露,不种植任何作物,保持草被覆盖度不超过 5%

1.2 数据来源

本研究融雪侵蚀数据由 2015 年和 2016 年融雪期融雪径流泥沙观测获取,降雨侵蚀数据通过收集相关文献资料获取(表 2)。分别在 2015 年和 2016 年对小区坡面全部融雪径流泥沙进行观测,各小区地表融水径流量,通过每日融水产流结束时观测记录各小区集流装置中径流深度得到,径流泥沙数据通过每日产流结束后清理各小区集流装置中的径流泥沙得到,每日产流结束后将集流装置中的水沙充分拌匀,取三次中层水沙样品,每次 1 L,将水沙混合样沉淀 24 h 后倒掉上清液,用烘干称重法获得各小区侵蚀产沙量。

1.3 数据处理

利用 2015 年和 2016 年融雪期融雪径流泥沙观测数据计算得到融雪条件下水土保持措施因子值(P 值)、产流产沙次数、径流深、侵蚀模数,降雨条件下各指标通过利用相关文献资料计算获取。同时将降雨

和融雪条件下各指标进行比较,用以进一步分析不同水土保持措施对融雪侵蚀的防控效果。

采用刘宝元等^[11]对水土保持措施的分类方法,将 6 种水土保持措施划分为生物措施(生态修复、灌木埂)、工程措施(水平坑)和耕作措施(横垄、地埂植物带、顺垄)。融雪与降雨条件下 P 值计算方法如下:生物措施因子(B 因子)为对应措施径流小区土壤流失量与同等条件下裸地小区土壤流失量之比;工程措施(E 因子)、耕作措施因子(T 因子)为对应措施径流小区土壤流失量与同等条件下顺垄种植小区土壤流失量之比;顺垄因子值等于其土壤流失量与裸地土壤流失量之比。

2 结果与分析

2.1 融雪与降雨条件下各措施因子值

融雪条件下各措施因子值的计算结果反映了各

项措施对融雪侵蚀的防控作用,2015 年融雪条件下水土保持措施因子值为 0.001~0.46,2016 年因子值为 0.002~0.38。对比降雨和融雪条件下 P 值(表 3),得到以下主要差异:按不同类型水土保持措施分,融雪条件下耕作措施因子均值最大,达到 0.26;其次为工程措施因子值 0.054;生物措施因子值最小,为

0.01,可知融雪条件下生物措施的水土保持效果最为显著,其次为工程措施。在降雨条件下,耕作措施因子值最大,为 0.38,其次为生物措施,对降雨侵蚀防治效果最好的为工程措施,这与融雪条件下各措施起到的效果有一定差异。按不同垄作方式分,融雪条件下横垄措施因子值大于顺垄,而降雨条件下则相反。

表 2 融雪、降雨侵蚀资料简介

编号	时间	措施	数据	数据来源
1	2004 年、2007 年	全部	径流深、降雨侵蚀模数	张玉斌,等 ^[8]
2	2005 年	全部	降雨侵蚀模数	陈光,等 ^[5]
3	2005—2006 年	生态修复、灌木埂	水土保持措施因子值(降雨)	范建荣,等 ^[9]
4	2015 年、2016 年	全部	水土保持措施因子值(融雪)、 融雪侵蚀模数、融雪径流深	2015 年、2016 年实测数据

表 3 融雪与降雨条件下水土保持措施因子

水土保持措施因子	水土保持措施	2004 年(降雨)	2005 年(降雨)	2007 年(降雨)	2015 年(融雪)	2016 年(融雪)
B 因子	生态修复	0.0277	0.0338	0.0001	0.0009	0.0023
	灌木埂	0.1958	0.1177	0.3197	0.0252	0.0218
E 因子	水平坑	0.0003	0	0.0001	0.0693	0.0384
	横垄	0.2091	0.301	0	0.2478	0.3175
T 因子	地埂植物带	0.0987	0.0143	0.1271	0.4592	0.3735
	顺垄	0.9798	0.6428	1.0912	0.0724	0.0769

2.2 融雪与降雨条件下各措施因子值对比分析

2.2.1 融雪较降雨条件下因子值减小的措施 融雪条件下水土保持措施因子值小于降雨条件的措施包括生物措施(生态修复、灌木埂)和顺垄,其对照小区均为裸地小区。融雪条件下裸地侵蚀模数远大于其他措施,2016 年裸地小区融雪侵蚀模数约为 30.64 $t/(km^2 \cdot a)$,2015 年裸地小区融雪侵蚀模数约为 26.34 $t/(km^2 \cdot a)$,其余措施小区融雪侵蚀模数不超过 2.5 $t/(km^2 \cdot a)$ (图 1),而在降雨条件下和有关水土保持措施小区的土壤侵蚀模数并没有如此悬殊,这是生物措施和顺垄 P 值计算结果较小的重要原因。

侵蚀量大小与径流特性关系密切,生态修复措施径流深较小(图 2),且仅有 2 次侵蚀性产流过程(表 4),侵蚀模数最小,措施因子值也最小,说明生态修复措施对于防治融雪侵蚀效果最好;这与降雨侵蚀结果有所区别,该措施在融雪时期表现出融雪周期短,融水量少的特点,这与周宏飞等^[12]的研究结果相同。融雪条件下生物措施的植被覆盖条件相对较好,凋萎杂草覆盖较厚,融雪期水土保持效应最优;灌木埂措施融雪期一方面通过土埂对融雪径流的横向拦截来增加径流入渗时间,从而控制土壤侵蚀,同时融雪期土埂周围有较厚的枯枝落叶层,其对土壤主要起隔热作用,增加融水入渗时间,减少该时期因径流冲刷引起的土壤损失。顺垄耕作主要通过种植作物降低径流冲刷能力^[13],降雨条件下,径流量较大,顺垄的垄

沟在某种程度上为径流提供了流路,导致顺垄种植小区侵蚀量大于裸地小区,而在融雪条件下,融雪径流较小,其侵蚀量也较小。

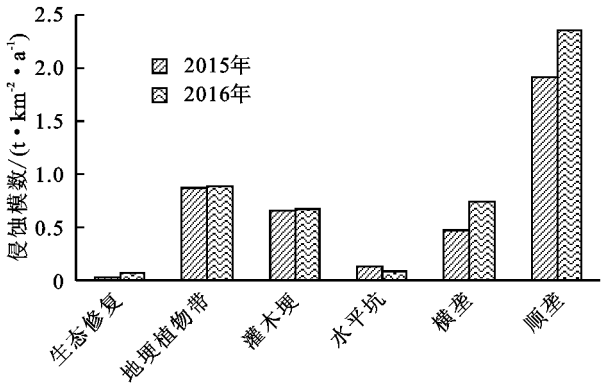


图 1 融雪条件下各措施小区侵蚀模数

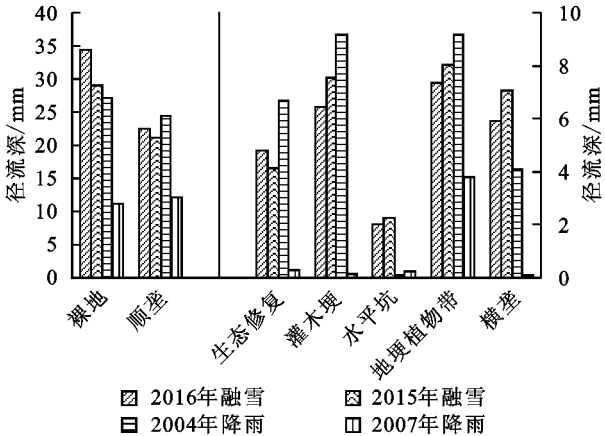


图 2 融雪与降雨条件下各措施径流深

表 4 融雪与降雨条件下产流次数比较

小区	2015 年 产流 (融雪)	2015 年 侵蚀性 产流 (融雪)	2016 年 产流 (融雪)	2016 年 侵蚀性 产流 (融雪)	2007 年 侵蚀性 产流 (降雨)
横垄	5	3	5	4	1
顺垄	7	4	6	5	3
地埂植物带	5	4	5	4	2
荒山灌木埂	5	4	5	4	2
水平坑	4	4	4	2	1
生态修复	4	1	2	1	3
裸地	7	6	6	5	3

2.2.2 融雪较降雨条件下因子值增大的措施 融雪条件下措施因子值比降雨条件增大的措施为水平坑、地埂植物带和横垄。三种措施因子值变大与对照因子为顺垄有关。降雨侵蚀中顺垄耕作侵蚀模数较大,接近裸地侵蚀模数,甚至在 2007 年超过裸地^[8],与之相反,融雪侵蚀中顺垄侵蚀量远小于裸地侵蚀量,进而与其他措施侵蚀量差距缩小,导致两类措施因子值变大。李京图等^[14]研究表明工程措施可以延长径流滞留时间,增加入渗量,减少径流量,同时径流流速降低,径流侵蚀能力减小。陈光等^[5]通过对比指出水平梯田防治水土流失效果最优。由表 3 可知降雨条件下水平坑措施因子值接近于 0,融雪条件下表层土壤冻结减少水分入渗,相对增强了径流侵蚀能力,也会提高水平坑措施因子值。地埂植物带、横垄均为耕作措施。地埂植物带也具有一定径流汇集能力,融雪条件下地埂植物带小区径流深和侵蚀模数均大于横垄小区,这与融雪期植物水土保持效应有限相关,同时土壤高度较小,秋收时人为对土壤的践踏破坏也是影响融雪侵蚀防控效果的因素之一。垄作是东北黑土区传统耕作方式,研究表明横垄受坡度影响较大,适用于坡度比较缓(小于 5°)的耕地。试验小区坡度为 7°,径流汇集能力比缓坡大,具有一定的“渠系效应”,进而加剧耕地土壤侵蚀^[15]。

对于东北地区坡度为 3°~8°的基本农田建设(试验小区坡度为 7°),范建荣等^[9]推荐采用水平梯田和地埂植物带控制水土流失,这两种措施在降雨条件下减沙效果较好,但根据试验结果融雪条件下地埂植物带和水平坑因子值高于降雨条件,结合生物措施考虑,措施配置建议同时采用不同形式地表覆盖处理,兼顾融雪侵蚀防治。

2.2.3 融雪与降雨侵蚀特征对比分析 对比融雪与降雨条件下措施因子值结果,可知不同水土保持措施对降雨侵蚀和融雪侵蚀的防控效果有所差异,造成这样的原因与融雪和降雨侵蚀特征有关。对比降雨侵蚀与融雪侵蚀,可知融雪侵蚀模数远小于降雨侵蚀模数,这与径流小区有

很大关系,小区内侵蚀形式主要以面蚀为主,同时两种条件下侵蚀量均随径流量增加而增大(图 3)。

融雪与降雨侵蚀条件下 P 值差异还与降水性质有关。降雨量远大于降雪量,但降雨次数较多,侵蚀性产流次数较少,因此一般取大于 12 mm 的次降雨为侵蚀性降雨,也存在由于前期含水率较高等原因低于 12 mm 的降雨产流,另外,降雨侵蚀中雨滴对地表的击溅作用加剧了土壤流失。降雪量虽然较小,并且积雪也因风、蒸发等因素有所损失,但融雪期产流相对集中。尽管融雪期地表覆被较差,土壤抗侵蚀能力较弱,但受积雪影响,一部分融雪径流未与表层土壤接触,或者表层土壤处于冻结状态,并不直接引起土壤侵蚀(表 4)。另外有研究表明上坡融水是影响融雪径流的重要因素^[16],径流小区长度较小,不能完全反映上坡融水对侵蚀影响,因此融雪侵蚀尺度效应还需进一步研究。

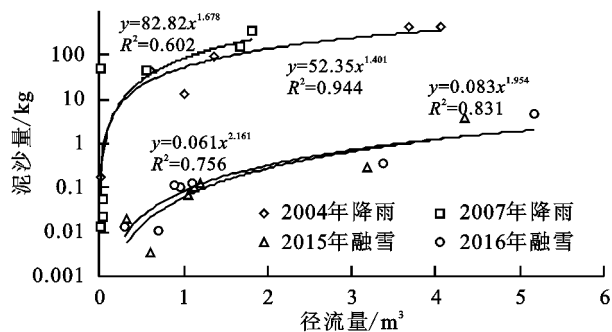


图 3 径流量与泥沙量关系(半对数坐标点)比较

3 结论

(1) 各措施对融雪侵蚀的防控程度表现为生物措施>工程措施>耕作措施。融雪侵蚀下生物措施中生态修复措施减沙效果最好,这是因为其融雪周期短,融水量少,融雪期植被覆盖条件较好。

(2) 工程措施对于融雪期的水土保持作用主要体现在对融水的拦截上,降雨条件下水平坑措施因子值最小,而融雪条件下,该措施径流深较其他措施最小,但侵蚀模数较生态修复措施高。

(3) 融雪条件下耕作措施中地埂植物带侵蚀模数及径流深度大于横垄,融雪期植被覆盖较低,且秋收人为对土壤的破坏使得其高度降低,使得对融雪径流拦截作用减弱。

(4) 存在融雪侵蚀的东北地区,水土保持措施规划设计应兼顾降雨和融雪两种侵蚀类型。另外,鉴于融雪期较为特殊的下垫面状况,对于融雪侵蚀下水土保持效益分析的方法还需优化,相关问题的探讨还需进一步的数据积累。

参考文献:

- [1] Miller M F. Waste through soil erosion[J]. Journal Am. Soc. Agron., 1926(18):153-160.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning[M]. Agriculture Handbook, USDA, 1978:537.
- [3] 汪亚峰,傅伯杰,陈利顶,等. 黄土丘陵小流域土地利用变化的土壤侵蚀效应:基于¹³⁷Cs示踪的定量评价[J]. 应用生态学报, 2009, 20(7):1571.
- [4] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning [M]. U. S. Dep. Agric., Handb. 1978.
- [5] 张坤,洪伟,吴承祯,等. 福建省降雨侵蚀力 R 值预测预报方法研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3):23-25, 48.
- [6] 曹佳云,杨勤科,王程,等. 县域 LS 因子提取与分析:以陕西长武县为例[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2):7-10.
- [7] 赵辉,郝志敏,齐实,等. 南方丘陵紫色页岩地区土壤可蚀性因子 K 值的确定:以湖南衡阳为例[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6):41-43.
- [8] 陈升琪. 重庆地理[M]. 重庆:西南师范大学出版社, 2003.
- [9] 重庆统计局,国家统计局重庆调查总队. 重庆统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2015.
- [10] 卜兆宏,董勤瑞,周伏建,等. 降雨侵蚀力因子新算法的初步研究[J]. 土壤学报, 1992, 29(4):408-418.
- [11] 刘秉正. 渭北地区 R 的估算及分布[J]. 西北林学院学报, 1993, 8(2):21-29.
- [12] 高克昌,赵纯勇. 重庆市主城区降雨侵蚀力计算方法与特征研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(6):13-16.
- [13] 吴昌广,曾毅,周志翔,等. 三峡库区土壤可蚀性 K 值研究[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(3):8-12.
- [14] 郭宏忠,才业锦,陈琳,等. 基于 USLE 模型的重庆仙鱼小流域土壤流失减少比例评价[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2011, 33(1):79-84.
- [15] Liu B Y, Nearing M A, Shi P J, et al. Slope Length Effect on Soil Loss for Steep Slopes [J]. Soil Sci., 2000, 64(5):1759-1763.
- [16] 蔡崇法,丁树文,史志华,等. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2):19-24.
- [17] 高凤杰,雷国平,宋戈,等. 牡丹江市退耕还林对区域土壤侵蚀的影响研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4):14-18.
- [18] 中华人民共和国水利部. SL190—2007 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2007.
- [19] 中华人民共和国水利部. 关于划分国家级水土流失重点防治区的公告[EB/OL]. http://zwgk.mwr.gov.cn/zfxgkml/201212/t20121217_335204.html, 2016-05-02.

(上接第 32 页)

参考文献:

- [1] 范昊明,武敏,周丽丽,等. 融雪侵蚀研究进展[J]. 水科学进展, 2013, 24(1):146-152.
- [2] 韩富伟,张柏,王宗明,等. 吉林省低山丘陵区水土保持措施减蚀效应研究[J]. 吉林农业大学学报, 2007, 29(6):668-672.
- [3] Henry H A L. Climate change and soil freezing dynamics: historical trends and projected changes[J]. Climatic Change, 2008, 87(3/4):421-434.
- [4] 陈雪,蔡强国,王学强. 典型黑土区坡耕地水土保持措施适宜性分析[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(5):44-49.
- [5] 陈光,范海峰,陈浩生,等. 东北黑土区水土保持措施减沙效益监测[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(6):13-17.
- [6] 吕刚,班小峰,雷泽勇,等. 东北黑土区坡耕地治理过程中的水土保持效应[J]. 水土保持研究, 2009, 16(6):51-55.
- [7] 张少良,张兴义,刘晓冰,等. 典型黑土侵蚀区不同耕作措施的水土保持功效研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(3):11-15.
- [8] 张玉斌,曹宁,苏晓光,许等. 吉林省低山丘陵区水土保持措施对土壤性质的影响[J]. 水土保持通报, 2009, 29(5):224-229.
- [9] 范建荣,王念忠,陈光,等. 东北地区水土保持措施因子研究[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(3):75-78.
- [10] 林燕,谢云,王晓岚. 土壤水蚀模型中的融雪侵蚀模拟研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3):16-20.
- [11] Liu B Y, Zhang K L, Xie Y. An Empirical Soil Loss Equation: Proceedings of 12th ISCO conference [M] // Process of soil Erosion and Its Environment Effect. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [12] 周宏飞,王大庆. 新疆天池自然保护区春季融雪产流特征分析[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4):68-71.
- [13] 边锋,郑粉莉,徐锡蒙,等. 东北黑土区顺坡垄作和无垄作坡面侵蚀过程对比[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1):11-16.
- [14] 李京图,张宝林. 水平槽造林整地工程及效果[J]. 中国水土保持, 1994, 0(6):24-25.
- [15] 孟令钦,李勇. 东北黑土区坡耕地侵蚀沟发育机理初探[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1):7-11, 44.
- [16] 邱璧迎,范昊明,武敏,等. 上坡融雪径流对下坡融雪影响的模拟试验[J]. 中国水土保持科学, 2014, 12(5):72-76.