

典型黑土区不同尺度观测场地融雪径流

王平¹, 李浩², 陈强², 陈帅², 徐金忠¹, 宋春雨², 张兴义²

(1. 黑龙江省水土保持科学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070;

2. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 黑土生态重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150081)

摘要:通过对典型黑土区坡面、微型小流域和小流域 3 个尺度观测场地连续 4 a 的融雪监测,比较分析了融雪径流发生特征及其所占的比例。结果表明,该区融雪发生和持续时间取决于日最高气温和冬季总降雪量。降雪径流系数远大于降雨径流系数,部分年融雪径流量多于降雨径流量,坡面尺度的径流系数高于小流域尺度的径流系数。小流域的融雪径流最能代表汇入河流中的雪水量。降雪径流系数年际波动大,范围为 3%~83.6%,融雪径流量占全年降水径流量的 59.3%,在径流观测中不容忽视。

关键词:融雪; 径流; 观测场地尺度; 黑土区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)05-0244-04

中图分类号: S157.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.051

Different Scale Observation Sites of Snow Melt Runoff in Typical Black Soil Area

WANG Ping¹, LI Hao², CHEN Qiang², CHEN Shuai², XUN Jin-zhong¹, SONG Chun-yu², ZHANG Xing-yi²

(1. Heilongjiang Institute of Soil and Water Conservation Science, Harbin, Heilongjiang 150070, China; 2. Key Laboratory of Mollisols Agroecology, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin, Heilongjiang 150081, China)

Abstract: The snow melt runoff in different scale observation sites of slope, mini watershed and small watershed were monitored during past four years in the typical black soil area of Northeast China. The results showed that the beginning and duration of snow melt runoff was determined by the daily maximum temperature and the amount of snowfall in the winter. The runoff coefficient of snowfall was much larger than that of rainfall, and the annual amount of snow melt runoff was even more than that of rainfall in some years. The runoff coefficient in slope scale was larger than that in watersheds. The amount of snow melt runoff in small watershed could figure out the amount of snow melt into river. The runoff coefficient of snow had a large fluctuation, from 3 percent to 83.6 percent during the past four years, and annual mean runoff of snow melt was 59.3 percent of runoff of precipitation. Hence, the snow melt runoff can not be neglected in runoff monitoring.

Keywords: snow melt; runoff; scale of observation sites; black soil area

东北黑土区是中国 8 大水土流失区之一,同时作为中国目前最大的商品粮产区,受到水土流失严重威胁^[1]。东北黑土区冬季寒冷漫长,尽管降雪量仅占全年降水的百分之十几,但一年中持续 5 个月以上,春季融雪时间短,下垫面封冻,融雪在坡地极易形成地表径流,汇入河流,成为春季“桃花水”的主要来源^[2]。当前对东北黑土区融雪径流的定量化研究仅限于江河春季融雪期水文监测和部分林地融雪径流的观测^[3-4]。融雪侵蚀和冻融侵蚀是东北除降雨和风力侵蚀外的两个重要侵蚀特征,此外目前无论是全国还是

东北区域乃至省区的水土流失动态监测与公告仅是基于降雨径流的数据,尚未包括融雪径流。本文通过对典型黑土区坡面、微型小流域和小流域 3 个尺度连续 4 a 的融雪监测,定量化揭示融雪径流在全年所占份额及其尺度效应,以期能为融雪侵蚀研究、水分平衡和生态环境评价等提供数据支撑。

1 试验设计及研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于黑龙江省海伦市的中国科学院东北地

收稿日期:2014-01-09

修回日期:2014-02-11

资助项目:国家自然科学基金资助项目“土壤侵蚀坡长指数及影响因素研究”(41171230),“影响作物产量的土壤有机质阈值研究”(41071201)

作者简介:王平(1965—),女(汉族),黑龙江省哈尔滨市人,学士,高级工程师,主要从事土壤侵蚀机理及水土流失监测技术方面研究。E-mail:wp626588@163.com。

通信作者:张兴义(1966—),男(民族),黑龙江省密山市人,博士,研究员,主要从事黑土侵蚀和保护研究。E-mail:zhangxy@iga.ac.cn。

理与农业生态研究所海伦水土保持监测研究站(全国水土流失监测网络站点),地理位置北纬 $47^{\circ}19'22''$ — $47^{\circ}23'10''$,东经 $126^{\circ}47'15''$ — $126^{\circ}52'23''$,行政隶属前进乡,属漫川漫岗地貌类型,海拔最高点 244.0 m,地势北高南低,东西向倾斜,地形变化复杂,起伏较大。垦殖率 80% 以上,全部为坡耕地。土壤为典型黑土,成土母质为黄土状亚黏土,母岩是风化的泥质页岩,表层 0—20 cm 土壤有机质含量在 4% 左右,黏粒 (<0.002 mm) 含量为 38%。气候属中温带大陆性季风气候区,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,雨热同季。年平均气温 1.5°C ,极端最高气温 37°C ,极端最低气温 -39.5°C ,近 50 a 平均降雨 530 mm,其中降雪 42 mm,降雪最早起始于 9 月末,最晚结束于 5 月初,融雪多发生于 4 月初。

1.2 观测场地

本研究观测场地包括坡面 A、微型小流域 B 和小流域 C。C 中包含 A 和 B, B 中包含 A。

(1) 坡面 A。位于微型小流域 B 和小流域 C 的上端中部,为坡面观测场中的标准径流小区,长 20 m,宽 5 m,坡度为 5° ,秋收后旋松顺坡起垄,垄距 70 cm,垄台高约 20 cm。

(2) 微型小流域 B。位于小流域 C 的上端中部,面积 13.1 hm^2 ,全部为农田,平均坡度 4.2° ,一条平均宽度约为 2 m,深度为 1 m 的侵蚀沟道由北向南由中部贯穿流域,呈“V”字形,中部低,东西两侧高。

(3) 小流域 C。面积 186.1 hm^2 ,由约占 75% 的农田、12% 的林地和 13% 的建筑用地组成,平均坡度 2.6° ,一条西北至东南向的侵蚀沟道横穿中部,侵蚀沟宽 5~10 m,深 1~5 m,沟岸两侧多已栽植杨树。

1.3 研究方法

2010—2013 年,对坡面 A、微型小流域 B 和小流域 C 的春季融雪和降雨径流进行全过程监测。坡面

A 采用标准径流小区的分流桶和集流桶对每次径流总量进行观测。微型小流域 B 在末端建有高为 1.5 m 的倒直角三角形堰的把口站,小流域 C 在末端出水口建有由高 0.3 m 的倒直角三角形堰和高 1.2 m,宽 2 m 的矩形堰组成的复合把口站。依照全国水土流失动态监测与公告项目监测要求,起始 1 h 内每 15 min 监测 1 次,1 h 后每 30 min/h 监测 1 次,水流稳定后每 1 h 监测 1 次,每次监测采集 1 000 ml 径流样品,记录水位高度和径流流速,记录产流的起始和结束时间。

气象数据由建在研究区微型小流域 B 内坡面 A 旁的气象站获取,包括日降雨、降雪、平均气温和最高气温。

降雪径流系数 = 春季融雪径流深 / 前一冬季的降雪量 $\times 100\%$

降雨径流系数 = 年降雨径流深 / 年降雨量 $\times 100\%$

降水径流系数 = 年总径流深 / 年降水量 $\times 100\%$

2 结果与分析

2.1 融雪径流

2010—2013 年连续 4 a 的监测结果表明,无论是在坡面还是微型小流域和小流域尺度,降雪径流系数远大于降雨和降水径流系数(表 1—2)。径流系数反映的是降落于地表的雨或雪,以地表径流形式流走的量占总降雨或雪量的比例,系数越大,表明易流失,造成的危害可能也大。降雪、降雨和降水三者的径流系数结果表明,在研究区,降雪流失量最大,即流出流域进入江河的比例最大,而降雨最小,不足 10%,说明在研究区,同降雨相比,降雪更容易形成地表径流。主要是由于降雪发生于冬季,冬季乃至融雪时的初春土壤冻结,融化的雪水难以入渗,以地表蒸发和径流的方式迁移,故降雪径流系数大。

表 1 2010—2013 年 3 个尺度观测场地融雪和降雨径流监测结果

年份	地表径流	坡面 A		微型小流域 B		小流域 C		降雪量/ mm	降雨量/ mm
		融雪	降雨	融雪	降雨	融雪	降雨		
2010	径流量/ m^3	2.6	0.6	4 184.1	937.1	42 177.2	5 394.5	48.6	430.5
	径流深/mm	28.5	6.9	31.9	7.2	22.6	2.9		
2011	径流量/ m^3	0.6	3.8	47.3	2 121.6	36 178.4	22 905.4	32.9	540.4
	径流深/mm	6.4	41.9	0.4	16.2	19.3	12.2		
2012	径流量/ m^3	0	0.8	9.4	176.4	1 552.7	19 091.5	27.7	612.7
	径流深/mm	0	8.8	0.1	1.3	0.8	10.2		
2013	径流量/ m^3	4.7	12.6	3 322.2	5 617.5	98 543.8	7 5121.5	63.0	891.1
	径流深/mm	52.5	140.0	25.4	42.9	52.7	40.2		
平均	径流量/ m^3	2.0	4.4	1 890.8	2 213.1	44 613.0	30 628.2	43.1	618.7
	径流深/mm	21.9	49.4	14.4	16.9	23.9	16.4		

表 2 2010—2013 年 3 个尺度融雪、降雨和降水径流系数

%

年份	坡面 A 径流系数			微型小流域 B 径流系数			小流域 C 径流系数		
	降雪	降雨	降水	降雪	降雨	降水	降雪	降雨	降水
2010	58.7	1.7	8.2	65.7	1.8	9.1	46.4	0.7	6.2
2011	19.5	7.9	8.9	1.1	3.1	3.1	58.8	2.3	6.1
2012	0.0	1.5	1.4	0.3	0.2	0.2	3.0	1.7	1.9
2013	83.4	16.1	21.6	40.3	4.9	7.7	83.6	4.6	10.9
平均	40.4	6.8	10.0	26.8	2.5	5.0	48.0	2.3	6.3

径流量较径流系数更能反映水土流失及其危害。就融雪径流量而言,坡面和微型小流域尺度,4 a 中只有 2010 年的高于降雨径流量,主要是由于融雪径流量主要决定于冬季的降雪量^[5-6],而降雨径流量是取决于当年的降雨量、雨强及其分布^[7-8]。年际降雨的差异也显著影响降雨径流量,总体而言,降雨量越大,降雨越集中,降雨径流量愈大(表 1,图 1)。4 a 平均,坡面和微型小流域尺度融雪径流量分别为降雨径流量的 44.3%和 85.2%,说明如仅以降雨径流代表年地表径流流失量,则在东北黑土区坡面和微型小流域尺度分别低估了 30.7%和 46.0%。本研究中小流域 C 最能代表实际的汇入河流中的径流情况,因小流域 C 修建于仅距海伦河 100 m,小流域内涵盖坡耕地、林地、草地、道路和村屯居住用地等,且 75%为农田,基本代表了典型黑土区的土地利用现状。4 a 中有 2 a 融雪径流大于降雨径流,且 4 a 平均融雪径流深也大于降雨径流深,为后者的 1.46 倍,融雪径流占全年降水径流的 59.3%,远大于焦俭等^[9]用东北气象和水文资料计算得出的 13.3%~24.9%的值,表明如仅以降雨径流代表年地表径流流失量,则在东北黑土区被低估了约 60%,可见在监测东北典型黑土区的径流系数融雪径流是不容忽视的,尤其是在水土流失动态监测与公告中应纳入融雪径流内容。

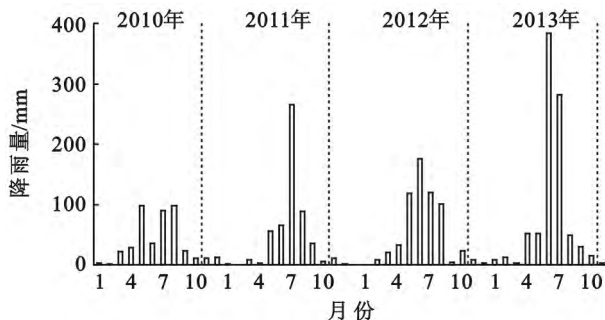


图 1 2010—2013 年降雨量及其时间分布

水土流失中水的流失量多以地表径流系数来衡量,即地表径流量占同时段的总降水量的百分数,在东北黑土区包括降雪径流系数、降雨径流系数和降水径流系数。现水土流失监测多侧重于降雨径流系数。

连续 4 a 的监测结果表明,仅就径流系数而言,融雪要远大于降雨和降水,坡面、微型小流域和小流域尺度融雪平均径流系数分别为 40.4%、26.8%和 48.0%,而降雨平均径流系数最高不到 7%,降水径流系数最高仅为 10%,有 6.3%的降水流出小流域 C,进入海伦河,表明在漫川漫岗黑土区,降水多进入土壤,被植物利用,向江河中供水有限。坡面尺度的径流系数较微型小流域和小流域尺度偏高,不能代表某一区域的径流状况,但可作为多年地表径流差异值。

2.2 融雪径流的影响因素

雪降到地面后的去向主要有 3 个:一是蒸发到大气中,雪蒸发一直持续到雪融化后;二是融化时渗入土壤,初雪降到地面后多融化入渗到土中,春季融雪时,随着土壤解冻少部分也渗入土壤中;三是随地表径流流走,多发生于春季融雪,此时下层土壤呈冻结状态,入渗率低,融雪形成径流,沿地势流淌^[10],这是融雪径流与降雨径流的主要区别,也是融雪径流系数显著高于降雨径流系数的主要原因。

融雪径流发生的起始时间、持续时间和径流量主要取决于冬季的降雪量、降雪期的气温和融雪期升温幅度及持续时间^[11]。监测结果表明,坡面 A 雪先融化产流,延迟 1~2 d 后,微型小流域 B 产流,小流域 C 较坡面 A 晚产流 3~4 d,但产流结束日期滞后 3~10 d,主要是流域中尤其是沟道中堆积了大量雪,低洼冷凉,融化慢所致^[12]。融雪径流的发生主要取决于最高日气温,必须达到 0℃以上,但日平均气温可以为零下。但日最高气温达到 0℃以上雪开始融化,但未必产流,例如 2010 年 3 月 30 日最高气温达到了 2.6℃,但未产生融雪径流,当 4 月 5 日最高气温再次回到零度以上的 0.5℃才开始产流(图 2)。在研究区黑龙江省海伦市坡面融雪最早发生于 2012 年的 3 月 15 日,最晚结束于 2013 年的 4 月 15 日。坡面融雪并产流持续 5~10 d,小流域融雪产流持续 10~20 d。

雪不同于雨,即使降落到地表是均匀的,在风力的作用下发生再分配,迎风坡少,背风坡和低洼处多,监测的坡面 A 为西东向的阳坡面,接受的阳光多,蒸发量也大,表土的积雪更易融化。2012 年未形成融

雪径流,原因除冬季降雪量少,气温相对较高,雪表蒸发散失了一部分外,春季融雪时地表雪层厚度仅剩 10 cm 左右,融雪过程中,雪水伴随着蒸发和土壤入渗散失掉,未形成地表径流。而在降雪量大且气温低的 2012—2013 年冬季,坡面尺度降雪径流系数高达

83.4%,且小流域尺度降雪径流系数也高达 83.6%,说明降雪量大的年份,融雪径流也大,这对春季快速排出雪水,提高土壤温度,对农业生产是有利的,但另一方面长时间大流量的雪水径流,会加重融雪侵蚀,尤其是加重沟蚀,对生态造成破坏^[13]。

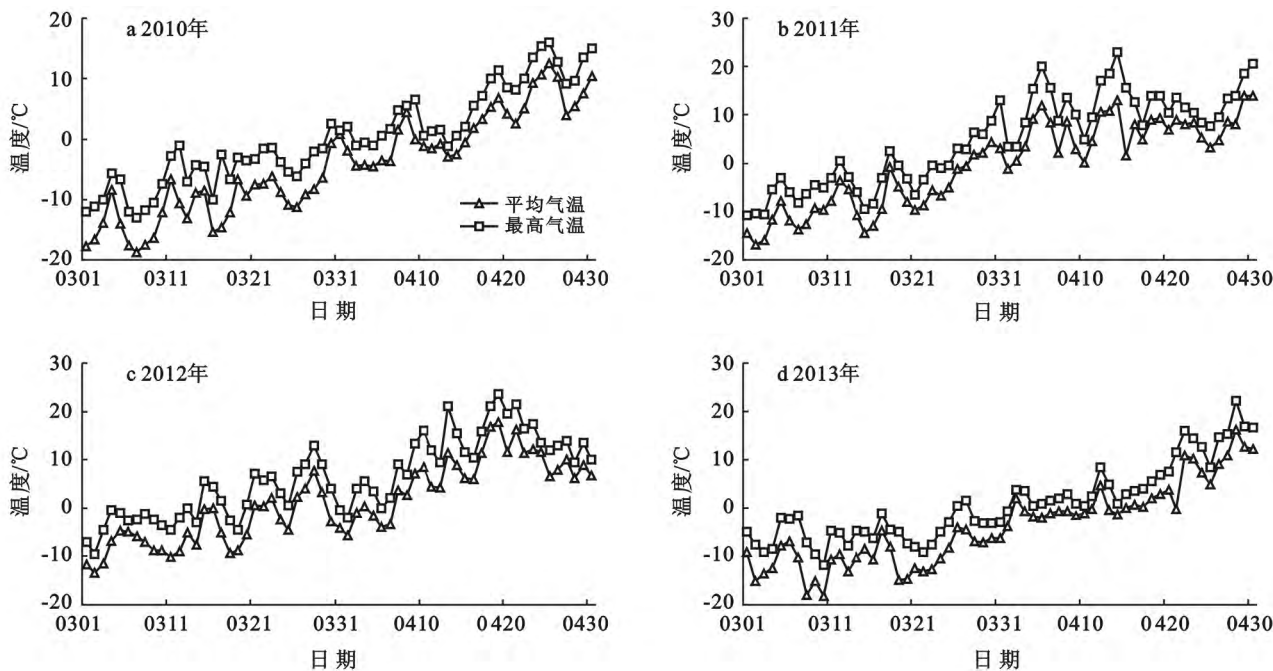


图 2 坡面融雪期与日最高气温和平均气温关系

3 结论

(1) 年均降雪径流量大于降雨径流量,在典型黑土区地表径流监测中不应被忽视,应纳入区域水土流失动态监测与公告中。连续 4 a 的监测结果显示有 3 a 的融雪径流量大于降雨径流量,4 a 平均,融雪径流量为降雨径流量的 1.46 倍,只有将融雪径流量纳入地表径流中,才能真实反映该区域的地表径流情况,客观评价流域对江河水量的供给,才能真实剖析流域的水平衡。现在多采用的坡面径流小区的融雪径流量监测结果偏高,最好选取与河道相连的包含侵蚀沟道和各种土地利用的小流域开展融雪监测。

(2) 冬季降雪量决定融雪径流量和降雪径流系数。以最具代表的小流域尺度为例,年最小的融雪径流系数仅为 3%,而最大的融雪径流系数高达 83.6%,说明不同降雪年份,降雪的分配和去向是不同的。降雪少的年份,很少形成融雪径流,对土壤保墒是有利的,而降雪大的年份,融化的雪水通过地表径流大量排出,对农业生产是有利的。

(3) 春季的日最高气温决定融雪径流发生的时间和持续时间。日最高气温超过 0 °C 是融雪的必要

条件,但不是绝对条件。在年平均气温为 1.5 °C 的黑龙省海伦市,融雪径流主要发生在 3 月末和 4 月初,持续时间在 10 d 左右。

本文只对融雪径流进行了讨论,并未涉及融雪输沙和融雪侵蚀。野外监测发现坡面和微型小流域融雪径流清澈,泥沙含量极低,故基本无土壤侵蚀。而在小流域尺度,前期水清,中后期变为浑浊,调查发现该阶段发生了沟道侵蚀,在沟头上部水清澈,沟头下水立即变为浑浊,侵蚀发生的主要形式为沟头跌水侵蚀,今后应进一步开展融雪沟道侵蚀。

[参 考 文 献]

- [1] 水利部,中国科学院,中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全:东北黑土区卷[M]. 北京:科学出版社,2010:67-72.
- [2] 周琳. 中国气候丛书:东北气候[M]. 北京:气象出版社,1991:55.
- [3] 刘海亮,蔡体久,满秀玲,等. 小兴安岭主要森林类型对降雪、积雪和融雪过程的影响[J]. 北京林业大学学报,2012,34(2):20-25.
- [4] 李华,蔡体久,盛厚才,等. 凉水自然保护区雪化学特征分析[J]. 水土保持学报,2008,22(4):107-110.

(下转第 253 页)

- [11] 周兴东,于胜文,赵长胜.徐州市土地利用/覆盖动态变化分析[J].测绘通报,2008(1):34-35.
- [12] 王永莉.青海省德令哈地区造林绿化节水技术[J].中国城市林业,2012,10(4):50-52.
- [13] 魏生柱.德令哈市草地利用现状及对策[J].青海草业,2010,19(2):15-30.
- [14] 才仁.德令哈市人工草地发展情况调查[J].青海草业,2010,19(2):35-38.
- [15] 王海秀.德令哈市退耕还林发展现状、存在问题及对策[J].防护林科技,2009,91(4):80-81.
- [16] 陈文波,崔丽娟,赵小汎.江西新建县土地利用时空动态特征分析[J].应用生态学报,2006,17(5):873-877.
- [17] 罗格平,周成虎,陈曦.干旱区绿洲土地利用与覆被变化过程[J].地理学报,2003,58(1):63-72.
- [18] 刘淑燕,余新晓,李庆云,等.基于 CA-Markov 模型的黄土丘陵区土地利用变化[J].农业工程学报,2010,26(11):297-303.
- [19] 徐春迪.基于 GIS 和 RS 技术宝鸡市金渭两区土地利用变化及趋势分析[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):242-243.
- [20] 黎治华,高志强,高炜,等.中国 1999—2009 年土地覆盖动态变化的时空特点[J].农业工程学报,2011,27(2):315-316.
- [21] 周秋文,苏维词,陈书卿.基于景观指数和马尔科夫模型的铜梁县土地利用分析[J].长江流域资源与环境,2010,19(7):770-776.
- [22] 白晓娟,赵雨森.基于 RS 与 GIS 的哈尔滨市土地利用格局演变及其预测研究[J].林业资源管理,2010(2):103-106.
- [23] 陈楠,杨武年,韩丽,等.四川省广安市土地利用/覆盖遥感动态变化研究[J].地理空间信息,2011,9(6):96-98.
- [24] 王莉,卫海燕,凤鹏,等.基于遥感影像的西安地区土地利用变化分析[J].资源开发与市场,2010,26(7):589-592.
- [25] 江晓波,孙燕,周万村,等.基于遥感与 GIS 的土地利用动态变化研究[J].长江流域资源与环境,2003,12(2):130-136.
- [26] 赵串串,董旭,辛文荣,等.柴达木盆地土地沙漠化现状分析与治理对策研究[J].水土保持通报,2009,29(1):196-199.
- [27] 张学元.青海高寒地区沙化土地治理途径的研究[J].中南林业调查规划,2006,25(3):11-22.
- [28] 孟新星.德令哈地区生态建设规划与模式探讨[J].中国农业信息,2011(7):101-102.

(上接第 247 页)

- [5] 车涛,李新.1993—2002 年中国积雪水资源时空分布与变化特征[J].冰川冻土,2005,27(1):64-67.
- [6] Waldner P A, Schneebeli M. Effect of snow structure on water flow and solute transport [J]. Hydrological Processes, 2004,18(7):1271-1290.
- [7] 唐克丽,史立人,史德明,等.中国水土保持[M].北京:科学出版社,2004:146-150.
- [8] Martínez-Casasnovas J A, Ramos M C, Ribes-Dasi M. Soil erosion caused by extreme rainfall events: Mapping and quantification in agricultural plots from very detailed digital elevation models [J]. Geoderma, 2002,105(1/2):125-140.
- [9] 焦剑,谢云,林燕,等.东北地区融雪期径流及产沙特征分析[J].地理研究,2009,28(2):233-243.
- [10] Zuzel J F, Allmaras R R, Greenwalt R. Runoff and soil erosion on frozen soils in northeastern Oregon[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1982,37(6):351-354.
- [11] 王鹏,穆振侠. KM 河流域融雪径流与积雪面积—气温关系分析[J].水资源与水工程学报,2013,23(4):28-31.
- [12] 孟令钦,李勇.东北黑土区沟蚀研究与防治[J].中国水土保持,2009(12):40-42.
- [13] 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.