

雪盖影响下季节性冻土消融期的土壤温度特征分析

胡 铭^{1,2}, 刘志辉^{1,2,3,4}, 陈 凯^{1,5}, 王荣军^{1,2}, 张文娜^{1,2}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046; 3. 新疆大学 干旱生态环境研究所, 乌鲁木齐 830046; 4. 干旱半干旱地区可持续发展国际研究中心, 乌鲁木齐 830046; 5. 武汉市花木公司, 武汉 430014)

摘 要: 土壤温度的变化直接影响到季节性冻土的冻融过程, 进而影响融雪径流的产流机制, 且往往是春洪发生的关键之所在, 故深入研究土壤温度的时空变化特征具有重要的现实意义。以天山北坡军塘河流域为研究区, 采用定点对比连续观测的方法, 利用 2010 年 3 月 13 日至 4 月 1 日融雪期观测到的雪盖和裸地两种不同下垫面的浅层(5, 10, 20, 30, 40 cm)土壤温度气温资料, 对比分析各层深度的土温变化情况、雪盖对其产生的影响及其与近地面气温之间的关系。结果表明: 雪盖对浅层土壤具有明显的绝热保温作用, 由浅到深各层土温变化具有传递和延迟现象; 土壤日温差也会随土层深度的增加而减小; 近地面气温与土壤温度存在较高的相关关系, 土壤温度日变化表现为单峰单谷型波动。

关键词: 雪盖; 土壤温度; 融雪期

中图分类号: P463. 25

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)03-0039-05

Characteristics of Soil Temperature Analysis Under the Influence of Snow Cover in the Ablation Period of Seasonal Frozen Soil

HU Ming^{1,2}, LIU Zhi-hui^{1,2,3,4}, CHEN Kai^{1,5}, WANG Rong-jun^{1,2}, Zhang Wen-na^{1,2}

(1. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. Oasis Ecology Key Lab of Ministry of Education, Urumqi 830046, China; 3. Institute of Arid Environment of Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 4. International Center for Desert Affairs-Study on Sustainable Development in Arid and Semi-arid Lands, Urumqi 830046, China; 5. Wuhan Huamu Company, Wuhan 430014, China)

Abstract: Changes in soil temperature directly affect the process of freezing and thawing of seasonal frozen soil, while frozen soil is an important underlying surface of influencing snowmelt runoff and runoff yield mechanism, and is often the key to the occurrence of flood in spring. Therefore, deeply researching the temporal and spatial characteristics of soil temperature has important practical significance. Taking Juntang River watershed of the north slope of Tianshan as studying area, and applying the method of fixed-point comparison and continuous observation, making use of temperature data of shallow surface (0, 10, 20, 30, 40 cm) soil temperature of two different underlying surface, the snow-cover and bare ground, melting snow period from March 12th to April 1st, 2010, the relationship of the depth of each layer changes in soil temperature, snow cover's impact and the relationship between near-surface air temperature were comparatively analyzed. The results showed that snow cover had the significant impact of insulation capacity on shallow soil temperature; from shallow to deep, soil temperature changes of every layer showed the phenomenon of delivery and delays; soil diurnal temperature also decreased with the increasing depth of the soil layer; near surface air temperature and soil temperature had the high correlation, diurnal variation of soil temperature showed a single peak single-valley fluctuations.

Key words: snow cover; soil temperature; snow melting period

收稿日期: 2012-10-28

修回日期: 2012-11-30

资助项目: 国家自然科学基金项目“天山北坡典型流域积雪—冻土—水热耦合中融水产汇流机制研究”(41171023); 水利部公益性行业科研专项经费项目“内陆干旱区实施最严格水资源管理关键技术”(201301103)

作者简介: 胡铭(1986—), 女, 新疆乌鲁木齐人, 硕士研究生, 主要研究方向: 资源信息与决策支持。E-mail: 79412268@qq.com

通信作者: 刘志辉(1957—), 男, 新疆河间人, 博士生导师, 教授, 主要研究方向: 水资源、GIS 等。E-mail: lzh@xju.edu.cn

土壤温度作为地表主要物理参量之一,在季节性冻土消融期影响着土壤湿度、土壤的形成及地表植被生长状况,地表能量和水分的再分配等。新疆北疆绿洲地带的季节性积雪或冰川融化产生的径流对春季洪水的形成、灌溉、水库水量调度、工矿城市取水等都具有重要意义。在融雪期,冻土是影响融雪径流产流机制的一个非常重要且特殊的下垫面,而土壤温度是冻土冻融交替过程中的直接倡导者,故深入研究土壤温度的时空变化特征具有重要的现实意义。已有研究表明,雪层中的水分下渗至土壤表层,使得表层土壤含水量可以长期维持在饱和状态,一旦雪层融化就可以迅速形成径流^[1],在气温骤然升高时,往往容易形成洪水。由于雪的导热性很低,白天太阳辐射热量不易传入土壤中,而夜间土壤中的热量也不易散失,因而减小了土壤的温度波动效应^[2]。黄承标等^[3]在对草坪绿地对土壤温度的调节作用研究中得出 0—20 cm 土层的温度日较差,草坪绿地比空旷裸地低 0.7~3.2℃,并随土层深度的增加这一差值逐渐减少。不同天气条件下的土温日变化,晴天比阴雨天变化剧烈;草坪绿地在晴天情况下对土温日变化效应比空旷裸地缓和得多。在高温期间,地表土壤温度显著高于下层土壤温度,而在低温期间,下层土壤温度略高于上层,显示出上下层土壤温度交替变化的特征,并且表层土壤温度的变率比下层土壤温度大得多^[4]。杨雪梅等^[5]在研究藏北高原土壤温度异常变化及其与雪灾关系中发现:藏北高原 1997—1998 年冬半年土壤日温差的分布存在明显的异常现象,这种异常现象的发生可能与藏北高原 1997 年冬天的特大雪灾有关。张保军等^[6]研究得出地膜小麦和露地小麦的土壤温度随生育阶段推后均呈增加趋势,拔节之后增加最快,与露地小麦相比,地膜小麦增温最明显的阶段是在出苗到拔节阶段,之后增温减慢。张小磊等^[7]、任喜珍等^[8]研究表明,融雪速率与气温有密切关系,积雪区土壤温度变幅明显高于无积雪区。高会议等^[9]监测了裸地土壤呼吸日变化、季节变化以及 0—60 cm 土层的温度和含水量,研究了裸地土壤呼吸的日变化、季节变化特征及其与土壤温度和含水量之间的关系^[9]。基于季节性冻土影响下的融雪径流模型产流和汇流机制的复杂多变性,本研究对冻土冻融过程起直接控制作用的土壤温度特征进行分析,通过实验对比,分析有、无雪盖影响的融雪期土壤温度特征的变化规律,探讨分析雪盖对土壤温度变化特征的影响程度,从而为建立在一定融雪模型下的融雪洪水预警工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

军塘河流域位于新疆呼图壁县境内(86°31'E, 43°58'N),属呼图壁河流域的一支独立水系,发源于塔西河与呼图壁河之间的中山带,流域内山势平缓,河网在低山带的纳扎尔汇合后流经呼图壁县西部的前山丘陵后进入平原,在出山口汇入红山水库,军塘河从源头至红山水库河长约 45.20 km,红山水库以上集水面源 833.57 km²,流域平均海拔 1 503 m,具有明显的干旱区河流水文特征,土壤类型有山地栗钙土、棕钙土、灌溉棕钙土和灰钙土等。

1.2 资料和方法

使用 CR23X 小型气候仪和 DL2E 采集器,采用定点连续对比观测进行数据采集,观测期为 2010 年 3 月 13 日至 3 月 31 日,测点位置为(86°28'38"E, 43°51'47"N)。为了进行对比实验,将埋设 DL2E 采集器的土壤温度传感器的地表雪盖人为去除,以消除雪盖对该点土壤温度的影响。测点位于河流中上游汇流区内,距河谷 200 m,坡度小于 5°。数据进行自动采集,时间间隔为 1 h。观测初期积雪目视盖度约为 98%,观测结束时目视盖度为 30% 以下。土壤温度采用 CR23X 所带 CS-615 探头和 DL2E 采集器所带的 TS-LM35 探头观测所得的资料,探头埋深分别为 0, 10, 20, 30, 40 cm。

2 结果与分析

土壤温度的波动随土层深度的增大而减小,尤其是土壤日温差的变化,随深度的增大而减小得更快^[10],因此,我们主要分析浅层(5, 10, 20, 30, 40 cm)土壤温度在整个观测期的连续变化值、日最高值、日最低值和日温差在雪盖影响下的时空变化特征及其与气温之间的关系。

积雪消融期间的近地面空气温度变化无常,是影响土壤温度(尤其是浅层)的主要因子。由图 1 可知,在整个融雪观测期,近地面气温整体处于缓慢回升状态,有明显的以天为周期的昼夜波动现象,但也存在较大的短期波动(8 d 左右)现象,这主要受降雪降温的影响。整个融雪期内,分别在 3 月 18 日和 27 日有两次降雪,降雪后伴随着较强降温导致图中 18 日和 27 日之后均有明显的不同程度的降温趋势。

2.1 不同地表状态下的土温特征对比

(1) 5 cm 土壤温度。通过在融雪期对有无雪盖的地表土温进行持续观测可知(图 2a),在整个观测期间,有无雪盖下的土壤温度总的变化趋势大致相同,在融雪期前期,气温较低且昼夜温差较大,该层土

壤温度呈现明显的规律性波动,但无雪盖的裸地土壤温度波动幅度明显较大($-3.17\sim-0.14$),有雪盖的土壤温度波动较小($-2.54\sim0.103$)。此外,图 2a 还表明,二者土壤温度有明显的昼夜波动规律,尤其是在前期昼夜温差较大时更明显,随着气温的变化,白天土壤温度随气温的上升而升高尤其是裸地对气温的响应速度很快,有积雪覆盖的由于积雪的影响对气温的响应速度相对较慢。夜间裸地土温也随气温的下降而降低,但有雪盖下的土温由于受土壤积温的影响波动明显滞后于裸地。随着气温的缓慢回升,自 3 月 16 日开始,土壤温度明显升高,且之后一直保持在 0°C 左右,但有雪盖的表层土壤温度始终高于裸地。在融雪期后期,虽然气温存在较大幅度的变化,但地表的温度均较平稳,只存在微量的波动。这很可能是由融雪后期融雪水不断下渗导致的,雪水温度导致土温基本保持恒定。

(2) 10 cm 土壤温度。由图 2b 得知,从整体来看,随着融雪期气温的缓慢回升,10 cm 处土壤温度总趋势线与 5 cm 类似,但有明显的滞后效应,且 10

cm 深处的土壤温度是 3 月 16 日至 3 月 19 日缓慢升至 0°C 左右。可能是由于雪盖影响,10 cm 深处的土壤温度不易受空气温度的影响,故有雪盖的 10 cm 土温的起始温度保持较低,但随着气温的回升,有雪盖的土温也缓慢回升,但观测无雪盖时的土温变化曲线可知,裸地的 10 cm 深度的土壤温度有明显的昼夜波动效应,且摆动幅度较大,有陡涨陡落现象,受气温昼夜变化影响明显,但到了融雪后期,二者都比较平稳,且土壤温度都保持在 0°C 左右,但有雪盖的 10 cm 深处土壤温度总体稍高于裸地。这是因为在气温较高的情况下,雪盖成为了隔热层,阻碍了土温的上升。

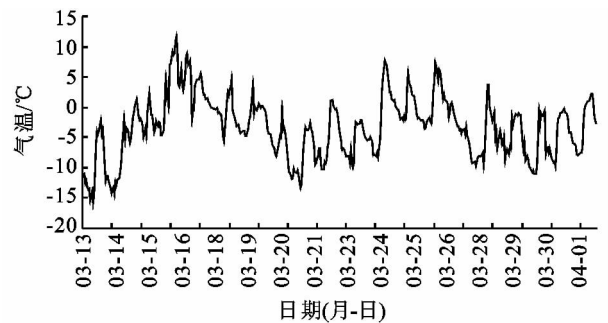


图 1 距地面 20 cm 处空气温度变化

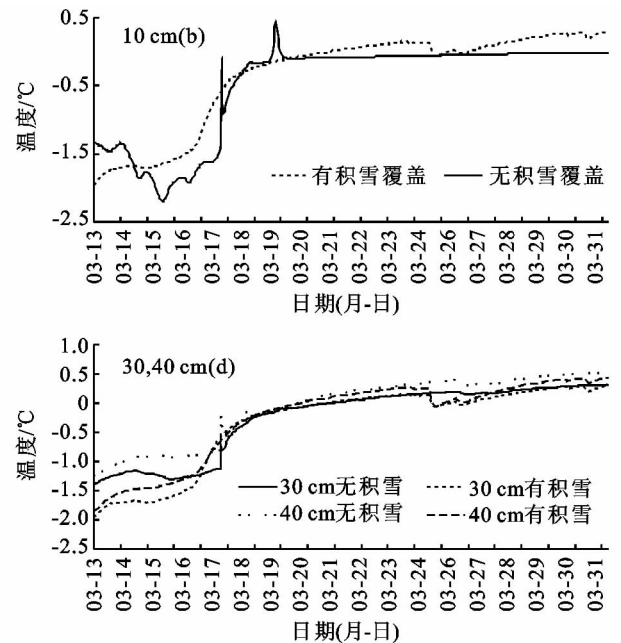
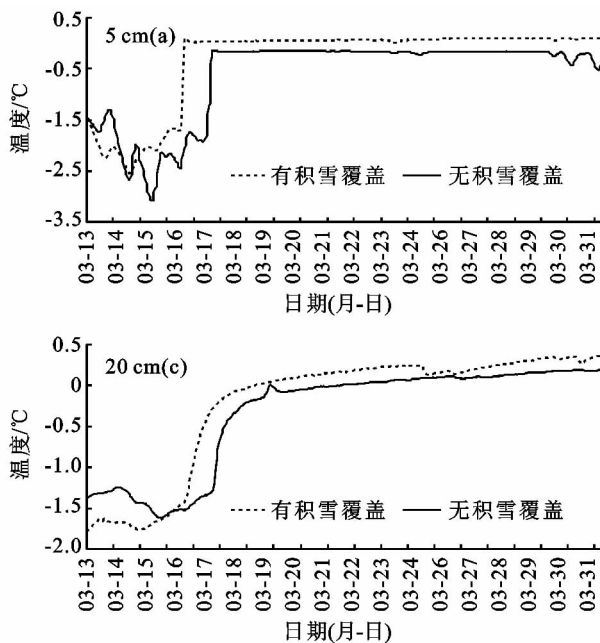


图 2 有积雪影响的各层土壤温度对比

(3) 20 cm 土壤温度。由图 2c 可知,20 cm 深处的土壤温度在有无雪盖影响下的变化趋势与 10 cm 深处的土壤温度变化趋势很相似,但 20 cm 深处的土壤温度回升速率滞后于 10 cm 约 1 d,而且在裸地 20 cm 深处的土壤温度波动较上层明显减小,没有明显的昼夜波动现象,这说明该深度土壤温度受气温影响已经很微弱。且有、无积雪处该层土壤温度分别在 3 月 19 日 7 时及 3 月 22 日 11 时开始达到零上,且没

有再低于 0°C ,即该冻土层已完全解冻。在融雪期后期,该层土壤温度有雪盖的始终比裸地的高 0.2°C 左右。这说明雪盖的隔热保温作用在该层还是得到了微量体现。同时也可能因融雪水下渗严重导致该层土温较裸地高。

(4) 30 cm 和 40 cm 土壤温度。由图 2d 可知,30 cm 和 40 cm 处的土壤温度变化特征很相似。土壤温度对气温缓慢回升的响应还是很明显,但越到下层其

滞后时间也要稍长一些,由图 2c 与图 2d 可知,30 cm 深处的土壤温度回升速率较 20 cm 处延滞 1 d 左右,且 40 cm 处的土温相对 30 cm 处的土壤温度没有明显的滞后现象,这说明越往下层土壤延迟效应越弱。30,40 cm 两层与 10,20 cm 层明显不同的是,无论在融雪前期还是融雪后期,无雪盖的土壤温度总是高于有雪盖的土壤温度。这是因为雪盖的隔热层效应,阻碍了表层土温随气温的回升而升高,间接导致了下层土温的偏低。

2.2 不同地表状态下土温日极值对比分析

由土壤温度最高值可知,所有各层土壤温度的变化特征都是对气温变化的一种响应,且与气温整体变化曲线基本相同,只是响应速率,响应程度可能有所不同。图 3 表明,同一深度的土壤温度最高值变化曲线均非常类似,但有雪盖和裸露地又存在明显的区别。例如,两条 5 cm 处土壤温度日最高值曲线形状基本类似,但在大部分时段内,有雪盖处的土壤温度始终较裸地高出 0.3℃ 左右,充分说明了在融雪期气温较低的情况下,雪盖对土壤的保温效应。10 cm,20 cm 深处的土壤温度最高值变化曲线两两相似,且到融雪后期,有雪盖的土壤温度都较裸地高 0.1℃ 左右。而在 30 cm 和 40 cm 深处的土壤温度最高值变化趋势基本一致,但这两层的无雪盖的土壤温度日最高值均比有雪盖的土壤温度日最高值要高。

由图 3 中各层土壤日最低值可知,有无雪盖影响下的日最低温度值变化也很有规律,且同层土壤温度最低值变化曲线基本类似,但根据原始观测数据及图表显示,在 0,10 cm 和 20 cm 处有雪盖影响的土壤日最低温度明显高于裸露地表相应层的土壤温度,而在 30 cm 和 40 cm 两层中,有雪盖影响的土壤日最低温又明显低于裸露地表相应层的土壤温度。这也说明越深层的土壤温度受雪盖的影响越微弱,可能更容易受地温等其他影响因子的影响。

2.3 不同地表状态下的土温日温差对比分析

由图 4 可知,在整个融雪前期,昼夜温差较大,从而导致前期日温差均比较大,其中地表层 5 cm 处的土壤日温差最大,且裸地的日温差大部分时期明显高于有雪盖的土壤表层日温差;在整个融雪期平均温差裸地约高于有积雪覆盖的土壤日温差 0.1℃,但可能由于积温的原因,个别土壤温度日温差出现了相反的情况。10,20 cm 处的土壤温度日温差也表现出类似的特点,只是其变化幅度相对较小;而在 30,40 cm 深处的土壤温度日温差没有明显的规律,前期都较高,互相交错在 0~0.7℃ 以内,在后期相对前期都比较平稳,但在后期也有两个明显的小波峰,由在有雪盖情况

下 10,20,30,40 cm 土壤温度日温差变化造成的,根据 3 月 24—27 日期间的天气情况可知,26 日雪盖融化的所剩无几,从而导致日温差突然增大,而在 27—28 日又突遇大雪降温天气,随后气温较快回升是造成两次小波动的主要原因。

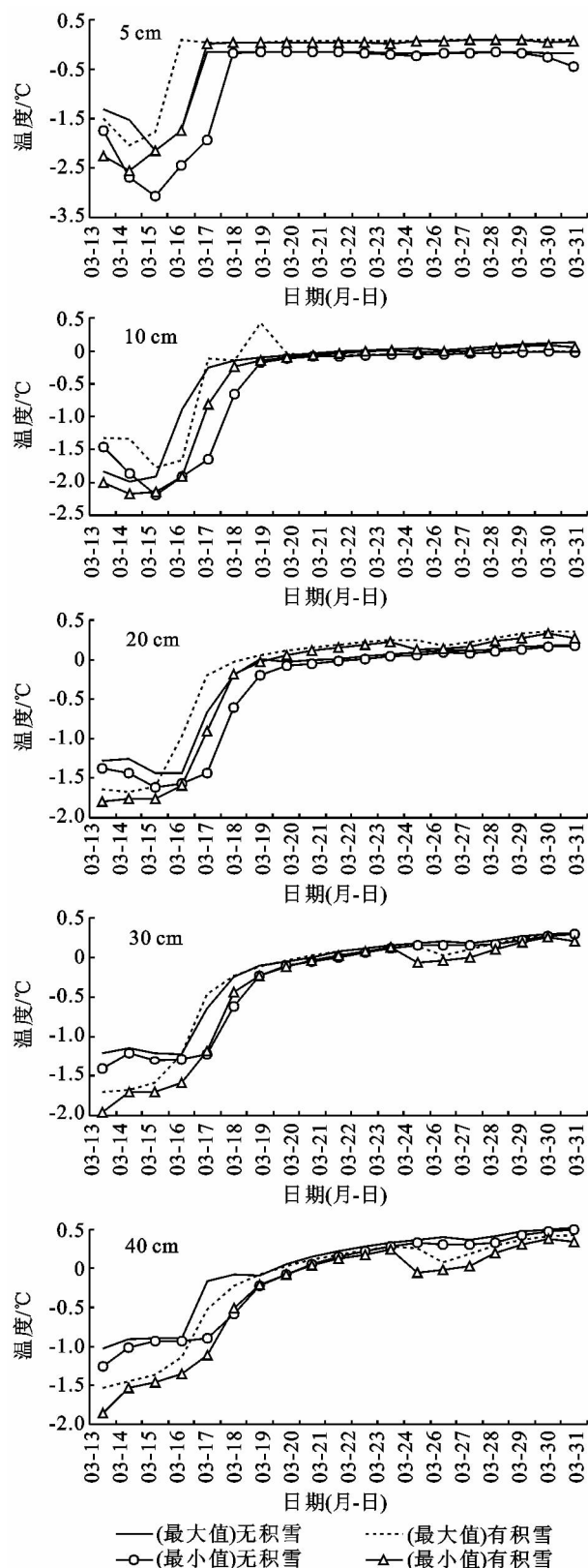


图3 有无雪盖影响下各层土温日极值变化

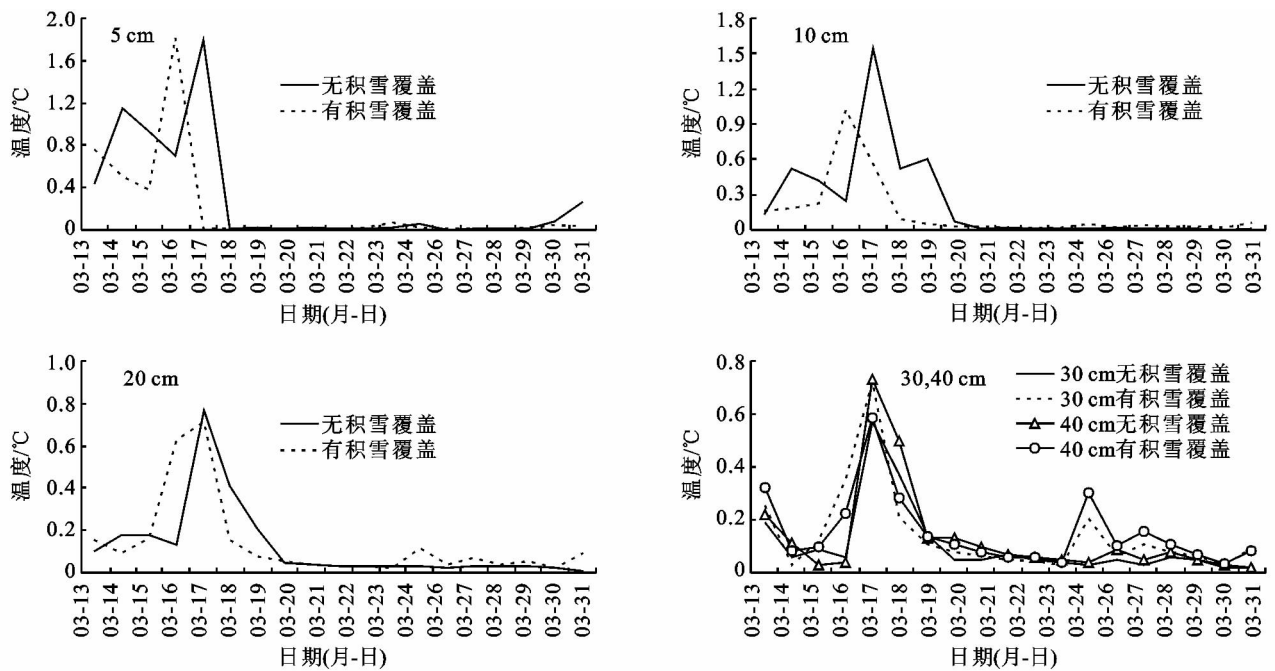


图4 有无雪盖覆盖各层土壤日温差

3 结论与讨论

土壤温度是影响冻土的重要因子之一,当有一定的土壤水分,在一定的温度条件下,土壤就开始冻结,形成干旱半干旱地区的季节性冻土,季节性冻土在未解冻之前可当作是不透水层,所以在经常发生融雪型洪水的天山北坡各流域,实时掌握好季节性冻土的状态对于水文预报工作,尤其是天山北坡的融雪型洪水的预警工作具有举足轻重的作用。通过对天山北坡军塘河流域积雪消融期的雪盖影响下土壤温度的特征的对比分析,得到以下结论:

(1) 在积雪消融期,积雪对其下层土壤的绝热保温作用主要表现在 5, 10, 20 cm 的土层中。而在 30, 40 cm 的土层中,雪盖起到的却不是绝热保温作用,相反阻隔滞后土壤温度的升高。浅层土壤温度对气温的响应因有雪盖的作用而由浅至深逐渐延迟,在 0—30 cm 土层中,大概每 10 cm 延迟 1 d 左右。在 30, 40 cm 土层中的延迟效应变弱,甚至无延迟。

(2) 积雪的地表反照率大,雪的导热性差,较厚的积雪使白天太阳辐射(能)不易传入土壤中,夜间土壤中的热量也不易向外扩散,因而使土壤日温差减小。积雪的这种绝热保温的作用在浅层土壤温度中表现尤为明显。5 cm 处土壤温度日温差最大,越往深层越小,至一定深度后,日温差可降为零。在积雪消融期后期,由于气温的缓慢回升,融雪水的下渗以及地温等因素的影响,各层土温日较差低且较平稳,

但对突变天气仍有相应的响应。

(3) 影响土壤温度变化的主要因素是土壤本身的物理特性和外界条件。近地面气温与土壤温度存在较高的相关关系,土壤温度日变化表现为单峰单谷型波动。

参考文献:

- [1] 庄一鸽,林三益.水文预报[M].北京:气象出版社,1989.
- [2] 傅抱璞,翁笃鸣,虞静明,等.小气候学[M].北京:气象出版社,1994.
- [3] 黄承标,莫柳艳,黄炳京,等.草坪绿地对土壤温度的调节作用[J].土壤与环境,2002,11(1):29-31.
- [4] 周锁铨,张翠,王小宁,等.多层土壤温度模拟及其检验[J].南京气象学院学报,2004,27(2):200-209.
- [5] 杨雪梅,姚植栋,小池俊雄,等.藏北高原土壤温度异常变化及其与雪灾关系分析[J].自然灾害学报,1999,8(2):88-95.
- [6] 张保军,韩海,朱芬萌,等.地膜小麦土壤温度动态变化研究[J].水土保持研究,2000,7(1):59-62.
- [7] 张小磊,周志民,刘继亮.季节性积雪消融对浅层土壤热状况的影响[J].农业工程学报,2010,26(8):91-95.
- [8] 任喜珍,胡春元,左合君,等.阿尔山地区积雪消融对土壤温度的影响[J].干旱区资源与环境,2010,24(8):122-125.
- [9] 高会议,郭胜利,刘文兆.黄土旱塬裸地土壤呼吸特征及其影响因子[J].生态学报,2009,29(12):6579-6588.
- [10] 杨小利,王劲松.西北地区季节性最大冻土深度的分布和变化特征[J].土壤通报,2008,39(2):238-243.