

西大滩地区积雪对地表反照率及浅层地温的影响

孙琳婵^{1,2,3}, 赵林^{1,2,3}, 李韧^{1,2,3}, 姚济敏^{1,2,3}, 肖瑶^{1,2,3}, 刘广岳^{1,2,3}

(1. 中国科学院青藏高原冰冻圈研究站, 甘肃 兰州 730000 2. 冰冻圈科学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000

3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 甘肃 兰州 730000)

摘要: 利用西大滩 2007年气象和辐射观测数据研究了积雪对地表反照率和浅层地温的影响。结果显示: 相对积雪日数和气温与反照率相关性显著, 反照率随相对积雪日数的增大而增大, 随气温的增大而减小。冷暖季降雪对地温的变化具有阻隔作用, 冷季地温和气温都在 -10°C 左右时, $<10\text{ cm}$ 厚的积雪对地温变化的影响不明显, 地温和气温的变化趋势一致, 地温的变幅不是很大; 在暖季积雪厚度 $>10\text{ cm}$ 而且积雪持续时间达 10 d 时, 与气温相比积雪对地温变化的隔热绝缘作用较明显; 雪深与积雪持续的时间均与地温呈反向变化。

关键词: 西大滩地区; 雪深; 相对积雪日数; 地表反照率; 地温

中图分类号: P426.63

文献标识码: A

季节性积雪是影响多年冻土发育的重要因素, 积雪的季节变化特征以及降雪的积累和消融导致地表的水热状况发生变化, 而这些变化又会对位于多年冻土之上的活动层产生重要影响。季节性积雪对多年冻土的影响依赖于积雪的时间, 持续时间, 累积和消融的过程, 而多年冻土的变化会对地气之间碳循环和寒区寒季的水循环产生重要的影响^[1]。积雪作为一种特殊的下垫面增强了地表的反照率, 减少了地表对向下的太阳短波辐射的吸收, 从而造成了近地层的冷却, 这一部分能量的损失对冬季高原地区是一个相当重要的部分, 在某种程度上可以认为积雪的多寡是决定净辐射大小的关键^[2,3], 更重要的是较厚的持续长时间积雪大大减少了地表的长波辐射冷却^[4], 同时积雪可能抑制和减小土壤层向大气释放能量, 从而使得积雪多的年份地面热源强度减小, 甚至出现负值, 相关的研究表明, 地面积雪时间的长(短)是高原地表出现冷(热)源的关键因

子^[5]。因之, 高原地区积雪特征及其变化机制的研究, 成为寒区陆面过程研究的重点问题之一, 成为学者们关注的焦点。以实际观测资料为基础, 沈志宝^[3,6]曾建立了冬季青藏高原雪后地面反射率与降雪量的关系, 以及地面无(有)积雪时计算地面净辐射的公式, 这个统计关系以观测事实为依据并具有一定的物理基础, 但此经验公式适用性仍受到时间和空间的限制, 对连阴雪过程以及气温和地温偏高的情况并不适用。马虹等^[7]做了地表有无积雪覆盖对冻土热状况影响的对比研究, 指出季节性积雪对其下覆冻土的热状况有显著影响。高荣等^[8]研究指出高原积雪对季节冻土有较大的影响, 在积雪达到一定厚度以后, 积雪的保温作用会影响冻结深度的变化, 积雪越浅, 保温作用越弱, 积雪越厚, 保温作用越强, 当积雪小于某一厚度时其主要起降温作用。张廷军^[1]分析了积雪影响地面的热机制以及综述了季节性积雪对不同类型冻土的影响, 已有的

收稿日期(Received date): 2009-04-28; 改回日期(Accepted): 2009-12-12.

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2007CB411504, 2005CB422003)、国家自然科学基金项目(40871037, 40830533)、中科院方向性项目(KZCX3-SW-345)、中国科学院青藏高原冰冻圈观测试验研究站。[National Basic Research Program of China(973 Program) No. 2007CB411504(2007~2010), 2005CB422003(2005~2007); National Natural Sciences Found of China NO40871037(2009~2011), NO40830533(2009~2012); the Innovation Project of the Chinese Academy of Science(2005~2007); Cryosphere Research Station on Qinghai-Xizang Plateau Chinese Academy of Sciences]

作者简介(Biography): 孙琳婵(1984-)女(汉族)甘肃庆阳人, 现为中科院寒区旱区环境与工程研究所硕士研究生, 主要从事冻土及环境变化方面的研究。[Sun Linchan(1984-), Female Born in Gansu Province undertaking the research work on the change between permafrost and environment.] E-mail: sunlinchan@zb.ac.cn

工作大多关注厚度较大且持续时间长达几个月的积雪特征研究, 针对青藏高原北部暖季降水形式多变, 冷季降水比较少积雪比较薄的特点需要进一步的研究。

气候的变化引起冻土分布范围和温度状态的变化^[9]。伴随着气温的升高, 多年冻土的退化首先发生在多年冻土边界岛状冻土区, 在大片连续多年冻土区腹地主要表现为地温的升高^[9-12]。程国栋等^[13]统计了 1974 ~ 1989 年冻土地温资料, 表明此 15 a 内青藏高原多年冻土北界附近的部分多年冻土已经消失, 冻土区 20 m 深处的地温上升 0.2 ~ 0.3℃。在多年冻土区边缘地带其对气候变化的响应更为敏感, 因而, 本工作选取了地处多年冻土北界的西大滩, 分析积雪的变化对多年冻土区北界浅层土壤温度的影响, 本研究有助于进一步理解高海拔多年冻土区积雪对冻土作用的机理。

1 研究区域和数据

本工作以青藏高原连续多年冻土北界的西大滩地区(海拔 4 538 m)为研究区域, 该地为岛状多年冻土地区, 其冻土具有厚度薄, 地温高, 融深大等特点。2007 年西大滩年内积雪日数达 76 d 年平均气温 -3.8℃, 最高气温 9.9℃, 最低气温 -21.1℃。本研究选取数据为西大滩综合观测场 2007-01-01 ~ 12-31 的实测辐射资料, 降水和雪深, 2 m 的气温, 2 cm 土壤地温数据, 所用观测仪器如表 1 所示, 所有仪器均接入 CR100 数据采集器, 数据采集频率为 0.5 h 一次, 所选数据序列完整。

本研究选取了一年中降雪前一天直到地表覆盖的积雪完全融化的几个时期, 分析了不同的降雪时间, 不同的雪深, 不同的积雪覆盖时间对地温的影响, 为了文中描述的方便分别用 A B C D E 代表 5

个研究时段, 表 2 给出了不同时段的起至日期, 平均雪深, 积雪在地表覆盖时间以及各时段的平均气温和 2 cm 地温列入表 2 中。

表 1 观测参数和仪器概况

Table1 Parameters of observation and instruments

测量参数	仪器型号	安装高度
空气温湿	HMP45C-L/Vaisala 温湿探头	2 m 5 m 10 m
降水	T-200B	1.5 m
雪深	SR50	2 m
辐射	CNR-1/Kipp&Zonen 辐射仪	2 m

2 结果分析

2.1 积雪对地表反照率的影响

地表反射率对地面和地气系统的能量收支起着重要的作用, 是气候和陆面过程中的一个主要的影响因子^[13]。当地表存在积雪时, 积雪的高反照率可以引起地表反照率的明显增大, 而融雪可使地表反照率迅速减小^[4-14], 积雪完全消融后土壤湿度增大会减小地表反照率。地表反照率的变化与季节有密切关系, 而季节的变化可以用地面气温来简单表示^[14], 这表明地面反射率与地面气温也有一定关系^[15]。可见, 地表反照率可用积雪及温度因子来描述, 鉴于此, 本文构造了如下函数关系

$$\alpha = f(\frac{n}{N}, T_a)$$

式中 n 为某月上, 中, 下旬的积雪日数, N 为该月上中下旬的实际日数, n/N 相对旬积雪日数, 通过多元回归分析得到的回归方程为

$$\alpha = 0.408(\frac{n}{N}) - 0.003T_a + 0.221 \tag{1}$$

表 2 5 个研究时段的平均雪深、积雪持续日数、平均气温、地温
Table 2 The average snow depth, snowcover duration, average air and soil temperature in five periods

选取时段	平均雪深 (cm)	积雪持续时间 (d)	平均气温 (℃)	平均地温 (℃)
2月 14 ~ 23 日 (A)	2	9	-15.7	-9.4
3月 1 ~ 21 日 (B)	5	20	-10.1	-8
6月 6 ~ 9 日 (C)	4	3	2.6	2.7
6月 14 ~ 25 日 (D)	7	11	0.5	1.2
10月 16 ~ 26 日 (E)	2	10	-7.4	-0.8

回归方程 (1) 的复相关系数为 0.965 拟合优度为 0.932 总体回归方程通过 F 检验显著, 各因子的回归系数通过了 0.01 的 t 检验高度显著, 反照率与相对积雪日数、气温的偏相关系数分别为 0.961, -0.542 可见地表反照率与积雪及气温的相关性显著。

图 1(a) 为西大滩地表反照率的实测值和 (1) 式的计算值, 绝对误差 0.08 平均相对误差 1%。从 (a) 图中看出 4~5 月地表反照率的观测值和计算值吻合的不是很好。这主要由于 4~5 月积雪日数几乎为零, 这样在无积雪的季节, 地表反照率主要取决于地面植被覆盖情况和土壤湿润程度^[4]。图 2 为地表反照率与 5 cm 土壤含水量的关系, 当地表反照率处于高值时 (>0.4) 这是由于降雪的缘故, 当

地表反照率处于低值时 (<0.4) 随着土壤含水量的增加, 地表反照率略有减小。此外, 日间湿度较高, 夜间有回冻现象, 活动层表层日夜冻融循环, 土壤湿度变化, 加之地表植被等因素的综合影响是地表反照率计算误差较大的可能原因。利用 (1) 式计算地表反照率的月平均值, 此时 n/N 用于月相对积雪日数, 观测值和计算值如图 1(b) 所示, 图中观测值与估算值符合的较好, 其最大绝对误差为 0.07 平均相对误差 10%, 可见此回归方程对西大滩多年冻土北界区应用积雪相对日数和气温估算月平均地表反照率是可行的。

2.2 积雪对地温的影响

积雪的存在会显著改变冻土层的边界条件, 从而改变冻土和积雪能量交换过程^[16]。由于雪的高反照率减少了地表净辐射降低地表温度, 但雪的低导热率和比较大的热容量阻隔了地中热能的向外散失, 从而起到了保持和提高地温的作用^[7]。积雪对土壤温度的影响, 是由它对土壤表面各种热交换过程的影响组成, 降雪对地温有重要影响, 阻隔了地面受气温变化的影响^[8]。积雪对地温的影响研究, 根据 B. A. 库德里亚夫采夫^[17]描述的积雪对土壤热状况影响的缩略图, 新降的积雪对地温起到降温作用, 当积雪达到一定厚度时对地温起到保温作用, 融雪的持续时间对地温又起到降温作用。但这些只是定性的分析了积雪对地温的影响, 积雪对地温定量的研究还很少。金会军等^[18]研究指出, 在青藏高原东部、南部和腹地的高山区, 冷季降雪多, 很多地段为稳定积雪区, 雪盖厚, 持续时间长, 对浅层地温起保温作用; 而高原腹部的高平原、河谷和盆地冷季降雪较少, 雪盖薄, 持续时间较短, 一般保温作用

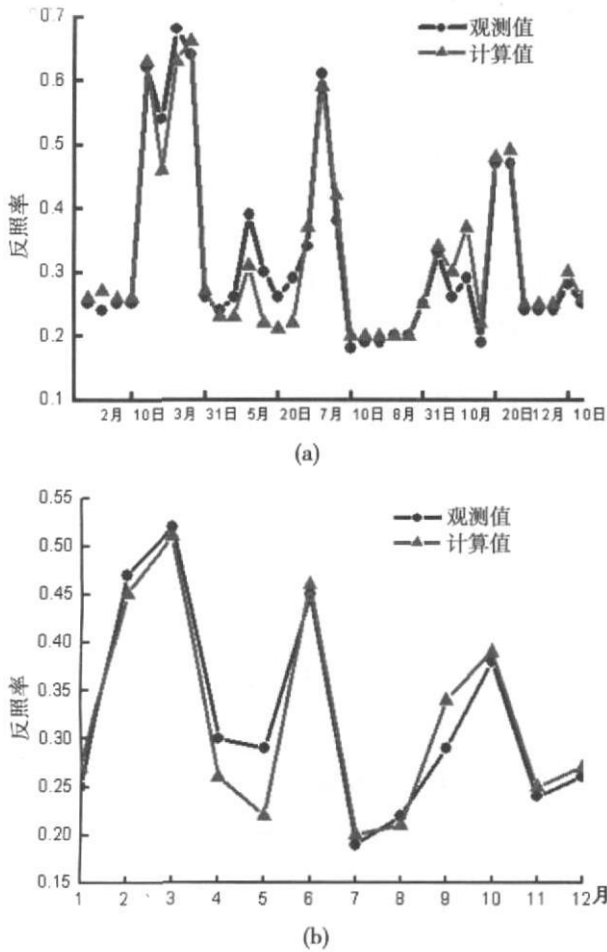


图 1 地表反照率观测值与估算值的对比
(a) 为旬地表反照率 (b) 为月地表反照率

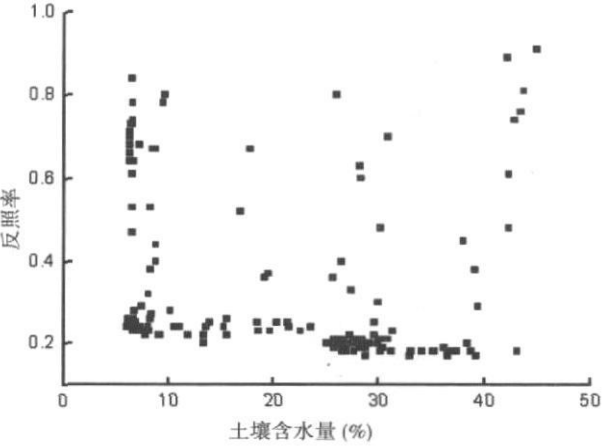


图 2 地表反照率与土壤含水量的关系

微弱。当雪盖厚度超过 20 cm 时, 保温作用即开始增强; 在暖季因积雪存在时间短, 雪盖薄, 短期内对浅层土壤起冷却作用, 而对于多年冻土区北界的西大滩, 此区最大雪深也不足 20 cm 对于这一特殊地区积雪对活动层起何种作用, 还需要进一步的研究。

季节性积雪在地—气交换过程中的作用随气温, 降雪和积雪持续时间以及雪本身热物理的特征差异而变化^[18], 积雪对地温的影响取决于降雪时间, 积雪持续时间, 堆积部位, 融化时段及融化速度, 并与积雪厚度, 密度, 结构以及为气候和微地形均有相互密切关系^[1]。

由图 3 可以看出, 不同时段, 积雪厚度不同, 其中 D 时段积雪厚度较大, A E 时段积雪厚度较小, 不同时段积雪厚度的差异与西大滩降水的年内分配及气温变化有关。从选取的时期看, A B E 时期可代表冷季, C D 代表暖季, 则看出冷季雪深不是很大, 积雪持续的时间比较长, 暖季雪深大, 相对于积雪持续时间短, 这主要是由于高原降水多集中在暖季, 冷季的降水相对较少, 但冷季气温比较低积雪消融的很慢导致积雪持续时间比较久。

2.2.1 积雪对逐时地温的影响

降雪前地表无积雪时, 尽管地温变化相对气温有滞后现象, 但地温和气温变化的总体趋势一致, 当地表有积雪覆盖时, 地温和气温在各个时段呈现出了不同的变化趋势(图 4)。降雪前后地温和气温的相关系数如表 3 所示, 显著性检验结果显示, 各相关系数均通过了 0.01 的显著性水平的双尾检验, 表明积雪前后, 地气温之间存在显著正相关。另外从表中的相关系数看出, 在地表无积雪覆盖时, 地温和气温的相关系数都很高, 但是当地表有雪覆盖时各相关系数在降雪前后有差异, 均有减小趋势。在 A 时段, 地温气温平均都在 -10°C 附近, 积雪持续了 9 d 由于雪深最厚达到 5 cm 左右, 地气温的相关性在降雪前后相差很大, 这可能是由于地表有积雪时地温的变化幅度不是很明显, 气温的逐时最大变幅为 4.5°C , 地温最大变幅为 0.4°C , 从雪深图中看到当积雪明显消融时, 地温和气温逐时的变化趋势不一致, 这主要由于积雪消融时需要吸收热量, 从而会抑制地温升高, 可能导致了地温、气温变化步调的不一致性。B 时段积雪在地表持续的时间长达 20 d 相对 A 时段比较久, B 时段地气温在降雪前后相关系数变化相差不是很大, 地温和气温变化趋势一致。C D 时段的地温和气温均在 0°C 以上, 从表 3 降雪

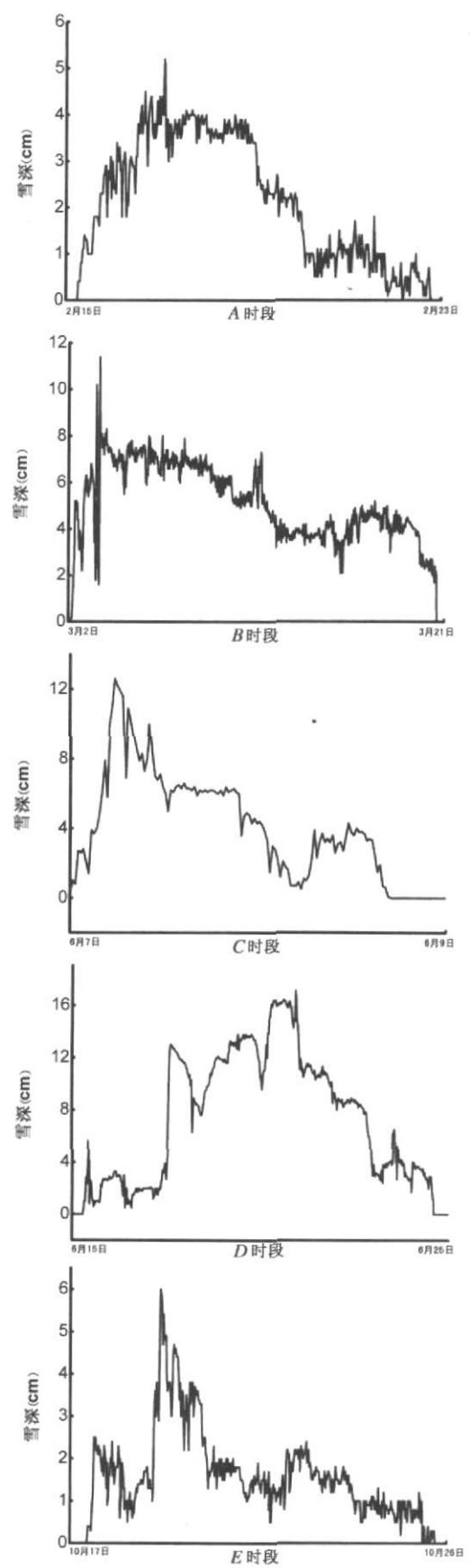


图 3 5 个研究时段的雪深变化状况

Fig 3 The variation of snowdepth in five periods

前后地、气温的相关系数和图 3 曲线变化趋势可以看出,降雪后地温和气温的变化趋势略有不同,气温的波动比较明显,C时段雪深厚至 12 cm左右,由于气温比较高积雪持续的时间比较短仅 2 d D时期内随着雪深的加厚最厚达到 16 cm 积雪覆盖时间长达 10 d 地表有积雪时气温最大变幅为 4℃,此时地温维持在 0℃左右,最大变幅为 0.2℃,地温、气温变化趋势不一致,这期间积雪层阻碍了表层土壤热量的散失,起到了一个绝缘保温的作用,随着气温的升高,积雪消融变薄,地温逐渐回升,直至等到完全消融结束,地温迅速升高。C D两时期相比降雪时间相差不多,雪厚均达到 10 cm以上,但由于积雪的持续时间相差很大,地温与气温的变化趋势相比 D时期积雪对地温起到保温作用,但将有积雪覆盖时的地温与降雪前和积雪消融后地温相比较,C D时期积雪对地表均具有冷却作用。E时期的积雪厚度比较薄,尽管最大雪深达 6 cm 但从雪深图 2 中看出积雪很快就消融,该时段地表覆盖的积雪厚度较薄,积雪对地表起了冷却的作用,气温和地温均在降低,相比地温的变化不是很明显,地温最大变幅 0.3℃,当地表积雪消融至 2 cm左右时地温和气温的变化趋势比较一致,但此时的地温已经由零上变为零下了,土壤开始冻结。

表 3 5个研究时段降雪前后气温与地温的相关系数对比
Table 3 Comparison of the correlation coefficient between air and soil temperature before and after snow

研究时段	相关系数 R				
	A	B	C	D	E
降雪前	0.825	0.806	0.873	0.895	0.744
地表有积雪	0.431	0.731	0.651	0.532	0.286

A B与 C D相比, A B时段气温和地温均在一10℃左右,积雪对逐时地温的影响不是很明显,C D时期地温和气温均在 0℃以上的,积雪对地温的影响比较明显,当积雪厚度在 10 cm以上且积雪持续 10 d 积雪对地表起到了绝缘作用,积雪持续时间比较短时积雪对地温降温冷却的作用。总体上看,不管是冷季还是暖季降雪对地温均有绝缘阻隔作用,但由于降雪的时间,雪深的厚度,以及积雪的持续时间的差异,其对地温产生的影响程度不同。冷季当地温和气温都在 -10℃左右时,不足 10 cm厚的积雪对逐时的地温影响不是很明显,地温和气

温的变化趋势几乎一致;在暖季当积雪的厚度 10 cm以上而且积雪持续时间 10 d与气温相比积雪对逐时地温变化的隔热绝缘作用较明显,影响土壤热通量的变化保持地温。

2.2.2 积雪对日地温的影响

图 5为选取的 5个时段的日均气温和地温的变化曲线,从图 5中曲线的变化趋势可知 A E时期,地表有积雪覆盖时气温波动比较明显,地温的变化并不明显,但二者的变化趋势基本一致。B时期的气温和地温整体变化趋势比较一致,地温相对于气温的变幅不是很明显,当积雪消融结束时地温迅速升高。由于 C时段积雪持续的时间只有 2 d 地温和气温在有积雪时温度降低,消融结束后又回升。D时期地温在降雪后,地温降低到 0℃附近几乎保持不变,积雪对地温起到了绝缘作用。总之,冷暖季降雪对地温的变化具有阻隔作用,冷季地温和气温都在 -10℃左右时,不足 10 cm厚的积雪对地温变化的影响不明显,地温和气温的变化趋势一致,在暖季积雪厚度超过 10 cm而且积雪持续时间达 10 d时,与气温相比积雪对地温变化的隔热绝缘作用较明显。

地表有积雪时,地温受降雪的时间,积雪的厚度和积雪在地表持续的时间等影响,冷暖季的不同用气温做替代指标,积雪在地表持续时间以小时为单位,建立如下函数关系

$T_s=f(T_a, D, S)$

式中 T_{si} , T_{ai} 分别为第 i时的地温和气温, D_i 表示为从地表开始有积雪覆盖至地表有积雪覆盖的第 i小时(无积雪覆盖时 $i=0$ $D_i=0$), S_i 表示为第 i时刻的雪深(cm),式中的时间均以 0.5 h为单位。对西大滩地表土壤温度与相应影响因子的回归分析发现,气温,积雪持续时间,雪深的偏相关系数分别为 0.805 -0.487 -0.161 复相减系数达 0.839 通过了 0.01的 F检验,表明三个影响因子与地表土温的相关性比较显著,所得回归方程如下

$T_{si}=1.043+0.474 \cdot T_{ai}-0.011 \cdot D_i-0.122 \cdot S_i$ (2)

对地温的观测值和回归方程(2)的计算值作对比,结果如图 6所示,由图中数据点的离散度可以看出此,地温的观测值和计算值与 $y=x$ 直线偏离较多,这表明地表有积雪覆盖时其他的影响因素(如雪的新旧程度、干湿情况、粒径、密度等参数)需要考虑,可见积雪对浅层地温影响的物理机制还需要

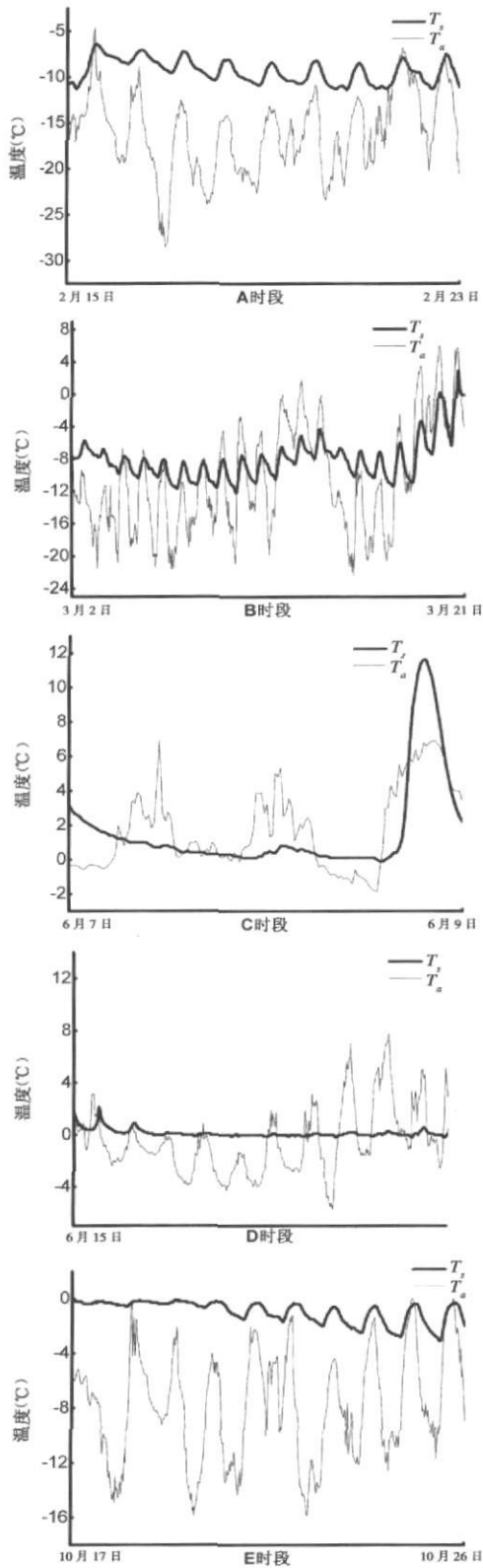


图 4 5 个研究时段逐时气温和地温的变化趋势 (T_a 为气温, T_s 为地温)

Fig. 4 The variation of hourly air and soil temperature (T_a is air temperature, T_s is soil temperature)

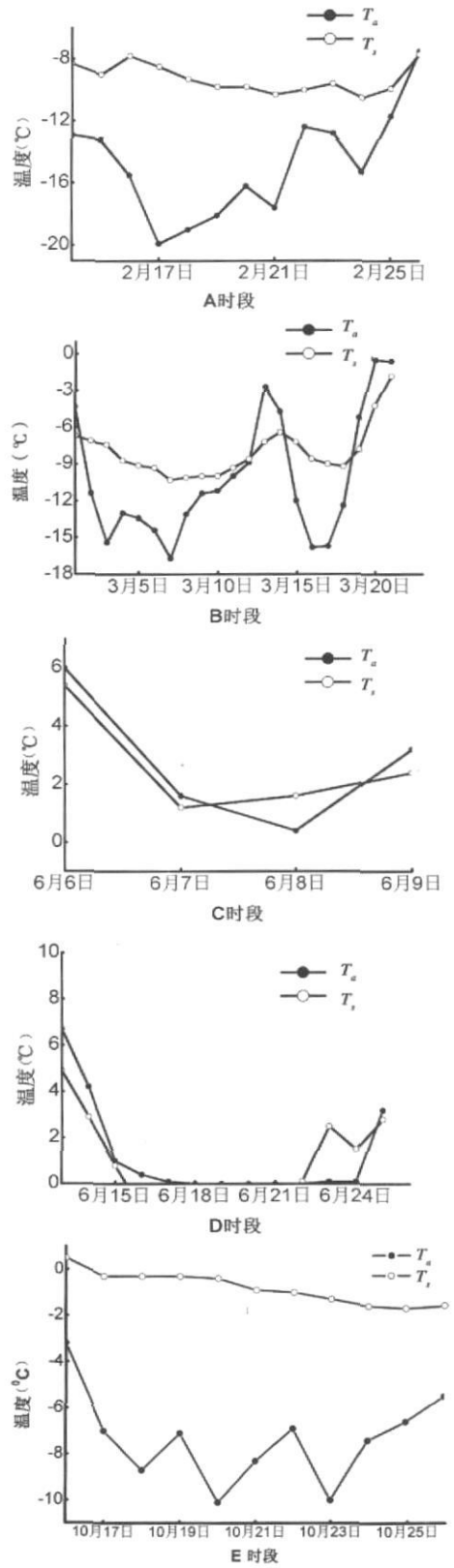


图 5 5 个研究时段日气温和地温的变化趋势 (T_a 为气温, T_s 为地温)

Fig. 5 The variation of daily air and soil temperature

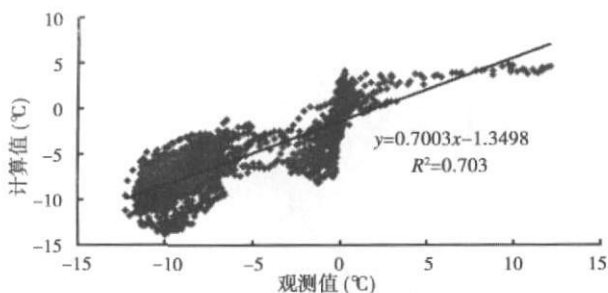


图 6 地表有积雪覆盖时浅层地温观测值与计算值比较

Fig 6 Comparison between observed and calculated soil temperature during snow-covered period

进一步的研究。但回归方程 (2) 表明浅层地温受到积雪在地表持续的时间, 雪深, 降雪时间的影响, 从式中各影响因子前的符号看出, 雪深与积雪持续的时间均与地温呈反向变化, 这就说明积雪对地温总体起到了降温的作用。

3 结论

1. 利用相对旬积雪日数和气温得到计算地表平均反照率的回归方程计算误差小, 则此方程能较好的拟合月平均地表反照率。

2. 冷暖季降雪对地温变化均有阻隔作用, 冷季地温和气温都在 -10°C 左右时, 不足 10 cm 厚的积雪对地温影响不是很明显, 地温和气温的变化趋势几乎一致; 在暖季积雪的厚度超过 10 cm 而且积雪持续时间 10 d 与气温相比积雪对地温变化的隔热绝缘作用比较明显, 影响了土壤热通量的变化保持地温。

3. 地表有积雪时, 地温主要受到降雪时间, 雪深, 积雪持续时间等因素的影响, 对这些因素做回归分析得到的回归方程拟合地表有积雪覆盖时地温的变化不是很理想, 但从式中各影响因子前的符号看出, 雪深与积雪持续的时间均与地温呈反向变化, 这就说明积雪对地温总体起到了降温的作用。

4 讨论

本文在对地表反照率模拟中考虑的主要影响因子为积雪, 而将其其他因子对其的影响全依赖于气温的变化, 而气温的变化不能将各个因子的影响程度完全表现出来; 同时在对积雪日数统计方面未考虑新雪、旧雪、融雪的不同对地表反照率的影响程度。

这均使得在模拟当中有的月份地表反照率误差略偏大的原因。积雪对地温影响本文仅从温度变化方面探讨, 可能还需要从积雪层与浅层土壤间的能量交换方面做一定的分析研究。

致谢: 本工作得到焦克勤老师, 乔永平工程师的帮助以及各位师兄提供的宝贵建议, 在此表示最真挚的谢意!

参考文献

- [1] Zhang Tingjun Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: an overview [J]. Reviews of Geophysics 2005 43 RG4022/2005
- [2] JiGuoliang The relationship between the radiation and climate in Qinghai-Xizang plateau regions during August 1982 to July 1983 [J]. Plateau Meteorology 1985 4(4 suppl): 10~20 [季国良. 1982年 8月—1983年 7月青藏高原地区的辐射和气候 [J]. 高原气象, 1995 4(4 增刊): 10~20]
- [3] Shen Zhibao The Influence of snow on the surface net radiation over Qinghai-Xizang plateau in winter [J]. Plateau Meteorology 1996 15(4): 397~403 [沈志宝. 青藏高原冬季降雪对地面净辐射的影响 [J]. 高原气象, 1996 15(4): 397~403]
- [4] LiGuoping Xiao Jie Diurnal variation of surface albedo and relationship between surface albedo and meteorological factors on the western Qinghai-Tibet Plateau [J]. Scientia Geographica Sinica 2007 27(1): 63~67 [李国平, 肖杰. 青藏高原西部地面反射率的日变化以及若干气象因子的关系 [J]. 地理科学, 2007 27(1): 63~67]
- [5] JiGuoliang, Zou Jiling, Lu Lanzhi The seasonal variation of surface heating field over the northern Qinghai-Xizang plateau [J]. Plateau Meteorology 1979 16(1): 1~9 [季国良, 邹基玲, 吕兰芝. 藏北高原地面加热场的季节变化 [J]. 高原气象, 1979 16(1): 1~9]
- [6] Shen Zhibao The influence of snow fall on the surface albedo in the northern Xizang (Tibet) in winter [J]. Plateau Meteorology 1996 15(2): 165~171 [沈志宝. 藏北地区冬季降雪对地面反射率的影响 [J]. 高原气象, 1996 15(2): 165~171]
- [7] Ma Hong, Hu Ruji Effect of snow cover on the thermal regime of frozen soil [J]. Arid Land Geography 1995 18(4): 23~27 [马虹, 胡汝骥. 积雪对冻土热状况的影响 [J]. 干旱区地理, 1995 18(4): 23~27]
- [8] Gao Rong, Wei Zhigang, Dong Wenjie Analysis of the cause of the differential in interannual variation between snow cover and seasonal frozen soil in the Tibetan Plateau [J]. Journal of Glaciology and Geocryology 2004 26(2): 154~158 [高荣, 韦志刚, 董文杰. 青藏高原冬春积雪和季节冻土年际变化差异的成因分析 [J]. 冰川冻土, 2004 26(2): 154~158]
- [9] Nan Zhuotang, Gao Zeshen, Li Shuxun et al. Permafrost changes in the northern limit of permafrost on the Qinghai-Tibet Plateau in the last 30 years [J]. Acta Geographica Sinica 2003 58(6): 817~823 [南卓铜, 高泽深, 李述训, 等. 近 30 年来青藏高原西大滩

- 多年冻土变化[J]. 地理学报, 2003, 58(6): 817~823]
- [10] A A O I S N, E N F. Effects of global warming on permafrost and active layer thickness: results from transient general circulation models[J]. Global and Planetary Change, 1997, 15: 61~77
- [11] S H. Permafrost distribution, zonation and stability along the eastern ranges of the cordillera of North America[J]. Arctic, 1986, 39: 29~38
- [12] D C G M H X, C K X. Recent permafrost degradation along the Qinghai-Tibet Highway[J]. Proceedings of the Sixth International Conference on permafrost, 1993, 2: 1010~1013
- [13] Shen Zhibao, Zuo Hongzhao. The study on the variation of the surface albedo over the Qinghai-Xizang plateau[J]. Plateau Meteorology, 1993, 12(3): 294~301[沈志宝, 左洪超. 青藏高原地面反射率变化的研究[J]. 高原气象, 1993, 12(3): 294~301]
- [14] Chen Xianghong. Relationship between surface albedo and some meteorological factors[J]. Journal of Chengdu Institute of Meteorology, 1999, 14(3): 233~238[陈向红. 地面反射率与若干气象因子关系的初步分析[J]. 成都气象学院学报, 1999, 14(3): 233~238]
- [15] Zhou Mingyu. The Study on the Observation and Dynamics of the Atmospheric Boundary Layer[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2000[周明煜. 青藏高原大气边界层观测分析与动力学研究[J]. 北京: 气象出版社, 2000]
- [16] Wei Dan, Chen Xiaofei, Wang Tieliang et al. The soil freeze and water movement law under the different snow cover condition[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(12): 3570~3572[魏丹, 陈晓飞, 王铁良, 等. 不同积雪覆盖条件下土壤冻结状况及水分的迁移规律[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(12): 3570~3572]
- [17] Qiu Guoqing, Liu Jinren, Liu Hongxu. Geocryological Glossary[M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1994[邱国庆, 刘经仁, 刘鸿绪. 冻土学词典(汉英俄对照)[M]. 兰州: 甘肃科技出版社, 1994]
- [18] Jin Huijun, Sun Liping, Wang Shaoling et al. Dual influences of local environmental variables on ground temperatures on the Interior-Eastern Qinghai-Tibet Plateau(I): vegetation and snow cover[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2008, 30(4): 535~545[金会军, 孙立平, 王绍令, 等. 青藏高原中、东部局地因素对地温的双重影响(I): 植被和雪盖[J]. 冰川冻土, 2008, 30(4): 535~545]

The Influence of Snow Cover on the Surface Albedo and Ground Temperature

SUN Linchan, ZHAO Lin, LI Ren, YAO Jimin, XIAO Yao, LIU Guangyue

(1. Cryosphere Research Station on Qinghai-Xizang Plateau, CAREERI, CAS, Lanzhou 730000, China)

2. State Key Laboratory of Cryosphere Science, CAREERI, CAS, Lanzhou 730000, China

3. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: By using the observation meteorological data and observation solar spectral radiation to study the influence of snow cover on the surface albedo and ground temperature at XDT field observation in 2007. It shows surface albedo increases along with the increase of relative snow cover duration and decrease with the increase of air temperature. Snow cover has the insulating impact on the ground temperature variation in the cold and warm season. In cold season snow cover has no obvious effect on the ground temperature and the amplitude of ground temperature when air and ground temperature fluctuate around -10°C and the snow thickness is less than 10 cm, and snow cover has insulating effect on the ground temperature in warm season when snow thickness is more than 10 cm and snow duration is about 10 days. Snow thickness and duration have the negative relationship with the ground temperature.

Key words: XDT region; snow depth; relative snow cover duration; surface albedo; ground temperature