

多年冻土区与季节冻土区地表反照率 对比观测研究^{*1}

姚济敏¹ 谷良雷² 赵林¹ 胡泽勇²
YAO Jimin¹ GU Lianglei² ZHAO Lin¹ HU Zeyong²

1. 青藏高原冰冻圈观测试验研究站/冰冻圈科学国家重点实验室,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,兰州,730000
2. 中国科学院那曲高寒气候环境观测研究站/寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,兰州,730000

1. *Cryosphere Research Station on Qinghai-Xizang Plateau / State Key Laboratory of Cryospheric Science, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China*
2. *Naqu Observatory for High and Cold Climate and Environment / Key Laboratory of Land Surface Process and Climate Change in Cold and Arid Regions, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China*

2012-02-28 收稿,2012-06-07 改回.

姚济敏,谷良雷,赵林,胡泽勇. 2013. 多年冻土区与季节冻土区地表反照率对比观测研究. 气象学报,71(1): 176-184

Yao Jimin, Gu Lianglei, Zhao Lin, Hu Zeyong. 2013. Comparatively observational study of the surface albedo between the permafrost region and the seasonally frozen soil region. *Acta Meteorologica Sinica*, 71(1): 176-184

Abstract Albedo is an important parameter in the study of land surface process. The data of radiation, soil moisture content, snowdepth, and so on, at the Tanggula meteorological site (TGLMS) and the Bijie site (BJMS) in 2008 were used. The albedoes in the permafrost region and seasonally frozen soil region were analyzed. The albedoes of the two sites were bigger in spring and winter but smaller in summer and autumn. The albedo extreme values were caused by snow cover with the maximum extreme value close to 0.9. The albedo at TGLMS was greater than the one at BJMS, and the yearly averaged albedo were 0.38 and 0.31 in these two sites, respectively. The monthly albedo difference (the difference between the daily maximum value and the daily minimum value in every month) at BJMS was bigger than that at TGLMS in winter, but it was inverse in summer and autumn. In typical clear days, the diurnal variations of albedo took an “U” shape, and it indicated that the albedo was bigger in morning and evening but smaller at noon. The daily average albedo on the typical clear days of spring, summer, autumn and winter were respectively 0.23, 0.20, 0.20 and 0.25 at TGLMS, and the ones at BJMS were 0.26, 0.21, 0.22 and 0.29, respectively. Moreover, the relationships between the albedo and solar altitude angle and soil moisture content were discussed. The albedo exponentially decreased with the increasing solar altitude angle. The albedo negatively correlated to the soil moisture content and was greatly influenced by the precipitation.

Key words Snow cover, Solar altitude angle, Soil moisture, Precipitation

摘要 利用多年冻土区唐古拉气象站与季节冻土区那曲毕节气象站 2008 年辐射、土壤未冻水含量及积雪等数据,对两种冻土类型下垫面上的地表反照率进行分析研究,得出两站地表反照率均呈现冬春季较大,夏秋季较小的规律,并且,积雪使地表反照率形成极大值,最大极值接近 0.9。唐古拉站的地表反照率整体上比毕节站大,年平均地表反照率分别为 0.38 和 0.31。地表反

* 资助课题:国家重点基础研究发展计划 973 项目(2010CB951701-2)、国家自然科学基金重点项目(40830533)、国家自然科学基金项目(41105004、40906096)、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰冻圈科学国家重点实验室开放基金项目(SKLCs 2011-07)和教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(Y0GQ031001)。

作者简介:姚济敏,主要从事寒区陆面过程研究。E-mail: yjm@lzb.ac.cn

照率月较差(每月日平均地表反照率最大值与最小值的差值)冬季毕节站高于唐古拉站,而夏秋季节则相反。晴天,两站地表反照率均呈现“U”形,表现出早晚大、中午小,春、夏、秋、冬各季节典型晴天的地表反照率日平均值唐古拉站分别为0.23、0.20、0.20和0.25,毕节站为0.26、0.21、0.22和0.29。此外,讨论了两站太阳高度角和土壤湿度对地表反照率的影响,得出两站地表反照率随太阳高度角的增大均呈现e指数衰减趋势,土壤湿度与地表反照率呈负相关关系,且降雨对地表反照率的变化影响较大。

关键词 积雪, 太阳高度角, 土壤湿度, 降水

中图法分类号 P404

1 引言

地表反照率反映了地球表面对太阳辐射的反射能力,定义为地面反射的太阳辐射与到达地面的太阳辐射之比,主要与太阳高度角、下垫面状况、土壤湿度以及气象条件等因素有关(肖登攀等,2011)。地表反照率的大小会影响整个地-气系统的能量收支(Wang, et al, 2007; Yang, et al, 2008),进而影响大气环流,引起局地乃至全球气候变化(沈志宝等,1993;王鸽等,2010)。在大气和陆面模式研究中,地表反照率是很重要的参数(鲍艳等,2007;Wang, et al, 2005)。

青藏高原(以下简称高原)平均海拔4000 m以上,总面积约占中国陆地面积的四分之一,是一独特的自然地理单元,一直为科学界所瞩目(钟祥浩,2005)。冻土是高原下垫面的重要组成,是指温度在 0°C 或 0°C 以下并含有冰的各种岩土和土壤(郭东信等,1988),其地表反照率的观测研究对高原陆面过程的准确认识很重要。以往的研究表明多年冻土区裸地地表反照率有明显的季节特征,冬半年反照率明显高于夏半年(李英等,2006;肖瑶等,2010),晴天受太阳高度角影响,高原地表反照率的日变化大致呈“U”形(李英等,2006;肖瑶等,2010;Liu, et al, 2008)。地表积雪使冻土地区的平均反照率较高(蒋熹等,2007;Wang, et al, 2008),相对积雪日数与地表反照率呈现正相关关系(孙琳婵等,2010),地面积雪的深度与密度均影响地表反照率变化(沈志宝,1996)。目前地表反照率参数化方案主要涉及因子包括太阳高度角、土壤含水量、叶面积指数及植被覆盖度等,依据观测点自然条件,赋权重综合考虑各因子能明显提高地表反照率的模拟精度(蔡福等,2011)。对于高原冻土区,地表土壤由于冬季冻结夏季融化存在冰水相变,冰与水的反照率差别较大,加之积雪事件影响,使冻土区上的地表反照率特征比

其他下垫面复杂。

多年冻土与季节冻土是高原冻土区两种重要的下垫面,其中,多年冻土面积约占高原面积的54.3%(程国栋等,2000),而季节冻土分布区面积超过 $1.1 \times 10^6 \text{ km}^2$ (周幼吾等,2000)。两种不同类型的冻土拥有不同的水热特性和物理过程(林朝辉等,2001),地表反照率是陆面过程最重要的特性之一(王胜等,2008),基于此,本文进行多年冻土区与季节冻土区地表反照率特征的对比研究,以期对进一步认识高原多年冻土区陆面过程提供参考依据。

2 站点概况、观测仪器和数据处理

多年冻土区研究的站点选取唐古拉气象站(TGLMS),位于($33^{\circ}04' \text{N}$, $91^{\circ}56' \text{E}$),海拔5100 m。该站始建于2004年,设置在邻近青藏公路一个平缓的坡地上,坡度大约 4° — 5° ,西北朝向。观测场地四周开阔,植被为高山草原,呈团簇状分布,一年中最高高度大约为10 cm,植被覆盖度约为40%—50%。下垫面为低温多年冻土,地温变化呈现:1—3月土壤处于冻结状态,从4月底开始活动层由上至下融化,约9月末至10月初达到最大融化深度,超过3 m,之后先开始由下向上单向冻结,10多天后,再开始由地表向下的冻结,呈双向冻结状态(Zhao, et al, 2000),至11、12月土壤再次处于完全冻结状态,(图1a)。

季节冻土区研究站点选取那曲毕节站,位于($31^{\circ}22' \text{N}$, $91^{\circ}54' \text{E}$),海拔4509 m。该站始建于2007年,占地面积 8000 m^2 ,场地平坦,四周开阔,地表主要为砂土,有稀疏的细石块分布,夏天不均匀的生长着高度为10—20 cm的高寒草甸。地温变化呈现:1—2月浅层土壤处于冻结状态,从3月底开始土壤由上至下融化,至5月土壤呈完全融化状态,并一直持续到11月初,之后土壤再次开始季节性冻结,最大冻结深度约1.5 m(图1b)。

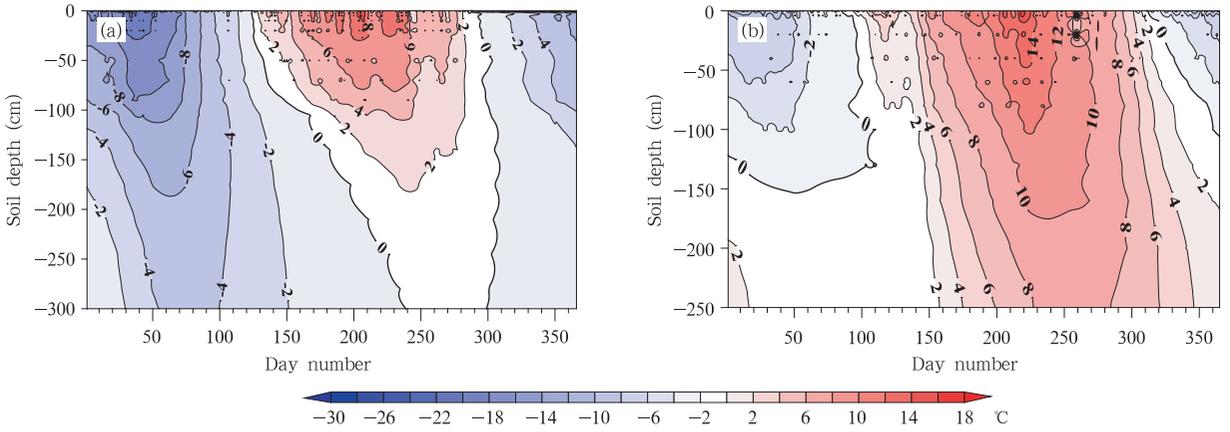


图 1 2008 年唐古拉站(a)和毕节站(b)土壤温度年内变化状况对比

Fig. 1 Comparison of the soil temperatures between TGLMS (a) and BJMS (b) in 2008

地表反照率 α 由向上短波辐射 S_u 与向下短波辐射 S_d 求得

$$\alpha = S_u/S_d \quad (1)$$

需要指出的是,在计算过程中对太阳短波辐射进行了校正,将太阳高度角小于 5° 的向上短波辐射 S_u 和向下短波辐射 S_d 订正为 0。太阳高度角 h 由地理

纬度 φ , 太阳赤纬 δ 和时角 ω 确定(尹宏,1993)

$$\sin h = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega \quad (2)$$

唐古拉站和毕节站各观测项目仪器信息详见表 1。本文研究时段为 2008 年 1 月 1 日—12 月 31 日。

表 1 气象站仪器信息

Table 1 Specification of the observational instruments used at TGLMS and BJMS

	观测项目	仪器	生产厂家	精度	观测高度
唐古拉	向上短波辐射	CM3	Kipp&Zonen	$\pm 10\%$	2 m
	向下短波辐射	CM3	Kipp&Zonen	$\pm 10\%$	2 m
	土壤温度	105T	Campbell	$\pm 3\%$	2, 5, 10, 20, 50, 70, 90, 105, 140, 175, 210, 245, 280, 300 cm
	雪深	SR50	Campbell	$\pm 1\text{cm}$	2 m
	土壤未冻水含量	CS616	Campbell	$\pm 2.5\%$	5 cm
	降水	T-200B	Geonor	$\pm 0.1\text{mm}$	1 m
毕节	向上短波辐射	CM21	Kipp&Zonen	$\pm 10\%$	1.5 m
	向下短波辐射	CM21	Kipp&Zonen	$\pm 10\%$	1.5 m
	土壤温度	TS-301(Pt100)	Okazaki	$\pm 3\%$	4, 20, 40, 60, 80, 100, 130, 160, 200, 250 cm
	雪深	SR50	Campbell	$\pm 1\text{cm}$	3 m
	土壤未冻水含量	Trime EZ	IMKO	$\pm 1\%$	4 cm
	降水	NOAH-II	ETI	$\pm 0.1\text{mm}$	1 m

3 结果与分析

3.1 季节变化对比

从 2008 年唐古拉站和毕节站地表反照率的逐日变化(图 2)可以看出,两站地表反照率均有明显的季节特征,整体上都呈现冬季较大,夏季较小的特征,这是由于冬季两地土壤均呈冻结状态,土壤未冻水含量很低(图 3),唐古拉站 5 cm 和毕节站 4 cm

处的土壤未冻水含量均仅约为 6%,甚至更低,且土壤中含有冰,冰的反照率很大,很大程度上增强了地表反照率,同时植被枯死使地表粗糙度减小,加之冬季的太阳高度角比夏季小,这些环境因素共同造成冬季唐古拉站和毕节站地表反照率较大;到夏季,两地浅层土壤均已先后融化,同时由于季风,雨季来临,两地地表含水量增大(图 3),水的反照率较小,使地表反照率下降,同时植被生长茂盛,地表粗糙度

变大,太阳高度角也达到高值,因此,地表反照率较小。此外除夏季6—8月外,两站地表反照率在其他季节均出现极值,这是降雪事件造成的,且两站均在冬季极值的数值最高,均接近0.9。从2008年两站的积雪状况(图4)可以看出,两地受相同的高原天气系统影响,积雪均主要发生在1—3月和10—12月。结合图2和4可以看出,两地地表反照率受积雪影响很大,在地面有雪的时候,地表反照率迅速增大,达到较高的值。当降雪量较大,积雪时间较长,反照率在达到极大值后,随积雪的消融,地表反照率缓慢减小;当降雪量较小,地表反照率在达到极大值后,随着新雪的消融消失迅速减小(肖瑶等,2010)。根据气象观测规范规定:在观测时间,当积雪深度超过0.5 cm时记为积雪日(董安祥等,2004),统计结果显示两地2008年的积雪日数分别为114天和124天,唐古拉站积雪日主要集中在1—4月和10—12月,毕节站积雪日数集中在1—3月和11—12月,与之对应的月均地表反照率较大(表2)。两站在10月底至11月初有强降雪(图4),唐古拉站最大积雪深度超过20 cm,毕节站最大积

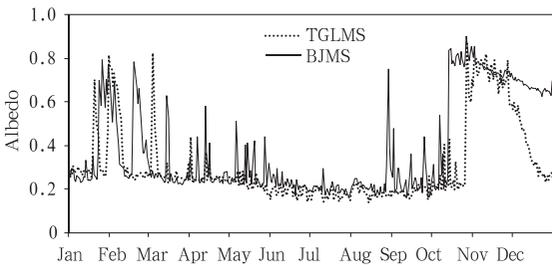


图2 2008年唐古拉站和毕节站地表反照率逐日变化

Fig. 2 Daily variations of albedo at TGLMS and BJMS in 2008

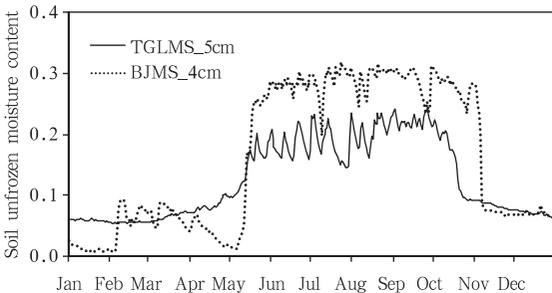


图3 2008年唐古拉站与毕节站土壤未冻水含量日均值变化

Fig. 3 Variations of the daily mean soil moisture content at TGLMS and BJMS in 2008

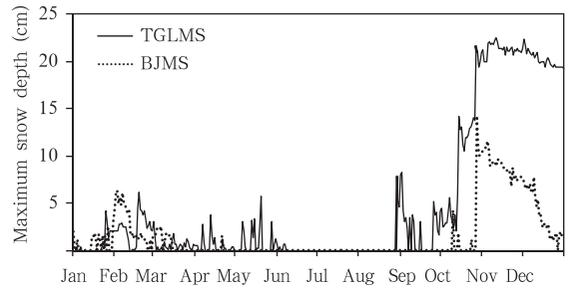


图4 2008年唐古拉站和毕节站日最大积雪深度季节变化

Fig. 4 Variations of the daily maximum snow depth at TGLMS and BJMS in 2008

雪深度超过10 cm。隆冬季节高原上气温和地温均很低,积雪日数很大程度上由降雪量控制(Wang, et al, 2008),此次强降雪使两站11月整月都为积雪日,加之新雪的反照率很高,因此,两站最大月均地表反照率均出现在11月(表2)。

表2 2008年唐古拉站和毕节站地表反照率各月统计状况

Table 2 The statistics of the albedoes at TGLMS and BJMS in 2008

月份	唐古拉站			毕节站		
	月平均值	月最大瞬时值	月最小瞬时值	月平均值	月最大瞬时值	月最小瞬时值
1	0.37	0.95	0.21	0.34	0.86	0.06
2	0.46	0.97	0.21	0.40	0.92	0.17
3	0.27	0.97	0.19	0.30	0.95	0.04
4	0.28	0.97	0.19	0.26	0.82	0.04
5	0.28	0.97	0.14	0.23	0.91	0.02
6	0.22	0.97	0.01	0.19	0.37	0.01
7	0.20	0.90	0.01	0.18	0.39	0.01
8	0.24	0.98	0.11	0.18	0.53	0.01
9	0.24	0.97	0.08	0.19	0.85	0.04
10	0.58	0.98	0.13	0.31	0.91	0.06
11	0.75	0.97	0.53	0.73	0.96	0.22
12	0.67	0.96	0.59	0.37	0.78	0.05

唐古拉站和毕节站地表反照率变化也有不同点:首先,地表反照率2008年平均值唐古拉站和毕节站分别为0.38和0.31,而且各月均值也基本都是唐古拉站较大(表2),这是由于:(1)冬春季唐古拉多年冻土区的积雪日数更多,降雪量更大,积雪厚度更厚,这些因素均会造成雪面反照率更大(孙琳婵等,2010;沈志宝,1996);(2)冬季多年冻土活动层在冻结程度上要强于季节冻土,地表温度更低,土壤冻结速率高,土壤水分向冻结锋面的迁移量较大

(Fukuda, et al, 1980), 总体向上 (Zhao, et al, 2000), 且地表冻结时间较长, 这些因素会使地表含冰量较高且含冰时间长, 从而影响地表反照率; (3) 观测表明夏秋季节唐古拉站表层土壤湿度小于毕节站, 除降水事件和地表蒸发作用影响外, 也部分缘于多年冻土与季节冻土水热特性的差异, 夏季多年冻土活动层融化锋面的存在使得唐古拉站地表水分向下迁移很多 (Zhao, et al, 2000), 减少地表含水量而影响地表反照率, 季节冻土区的毕节站夏季不存在融化锋面, 因此, 不存在上述影响过程; (4) 夏秋季节唐古拉站的地表植被没有毕节站长势好, 地表粗糙度较小, 使反照率较大。其次, 地表反照率月较差 (每月日平均地表反照率最大值与最小值的差值) 冬季毕节站总体高于唐古拉站, 而夏秋季节则相反 (图 5)。这主要由于冬季两地最大地表反照率均为新雪面反照率, 相差不大, 而唐古拉站地表温度更低, 土壤冻结能力和速率都更强, 影响地表含冰量, 使最低地表反照率大于毕节站的值, 因此, 地表反照率的月较差要比毕节站小; 而夏季地表反照率的极小值与降雨事件密切相关 (沈志宝等, 1993)。此外, 唐古拉站地表反照率的极大值点多于毕节站, 这是由于两地降雪事件发生的频率不同造成。

与其他生态系统相比, 黑河试验沙漠区地表反照率的年平均值为 0.282, 张掖绿洲的年平均值为 0.176 (季国良等, 1994); 安多站的年平均反照率为 0.253 (钱泽雨, 2003); 均小于毕节站和唐古拉站 2008 年地表反照率年平均值, 这与高原冻土下垫面含冰的特殊性质和积雪事件的影响有关。

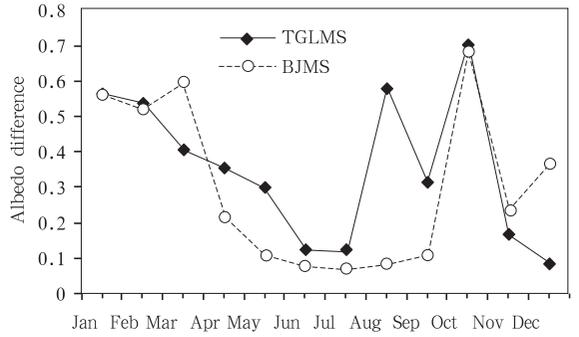


图 5 2008 年唐古拉站与毕节站地表反照率月较差

Fig. 5 Monthly differences of albedo at TGLMS and BJMS in 2008

3.2 日变化对比

唐古拉站和毕节站各季节典型晴天日 (表 3) 地表反照率的变化 (图 6) 均呈现“U”形, 受太阳高度角影响, 表现出早晚大、中午小的特点, 且地表反照率相对地方正午时刻 (14 时, 北京时, 下同) 呈现不对称。春、夏、秋、冬各典型晴天日的地表反照率日平均值唐古拉站分别为 0.23、0.20、0.20 和 0.25, 毕节站分别为 0.26、0.21、0.22 和 0.29, 也反应出地表反照率冬春季节高于夏秋季节的特征。

表 3 选取的 2008 年唐古拉站和毕节站各季节典型晴天日日期

Table 3 The dates of the selected typical clear days at TGLMS and BJMS for the four seasons in 2008

	冬	春	夏	秋
唐古拉	1月2日	4月21日	8月8日	10月5日
毕节	1月16日	4月21日	7月17日	9月20日

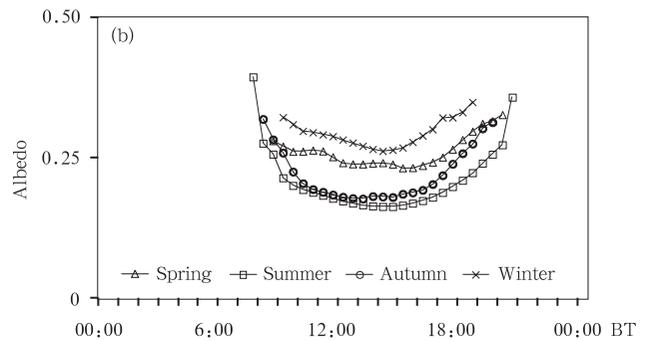
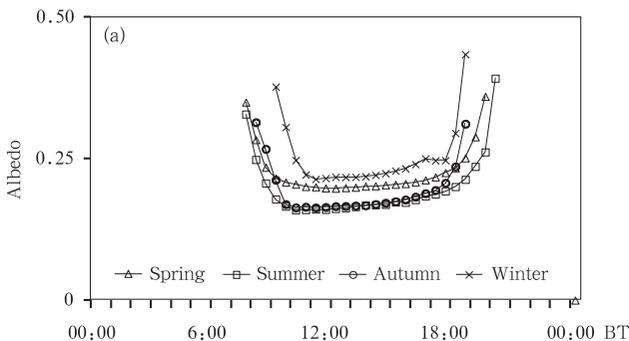


图 6 2008 年唐古拉站 (a) 和毕节站 (b) 各季节典型晴天日地表反照率日变化

Fig. 6 Diurnal variations of albedo in typical clear days at TGLMS (a) and BJMS (b) for the four seasons in 2008

4 影响因子分析

地表反照率的影响因素很多,土壤颜色、粗糙度长度、土壤湿度和太阳高度角等均对其有影响(张强等,2003),另外还有降雨、降雪等随机事件的影响(沈志宝等,1993),在冻土区地表含冰量对反照率的影响也很大。本文是定点研究,且研究站点植被低矮,所以,一年中土壤颜色和地表粗糙度长度的变化很小,此外,冻土地表含冰量难以准确确定,并且,按理论模式,雪面反照率取决于积雪覆盖地面的类型、雪的粒径、积雪密度和含水量、污化度、积雪的深度及时间等因子(沈志宝,1996;蒋熹,2006),过程复杂,尚待深化研究,因此,本文主要讨论对比两站太阳高度角、土壤未冻水含量对地表反照率的影响。

4.1 太阳高度角影响

地表反照率与太阳分光辐射比例相关(蒋熹等,2007),因此,受太阳高度角的影响。Paltridge等(1976)给出地表反照率与太阳高度角满足 e 指数变化

$$\alpha = \alpha_0 + (1 + \alpha_0) \exp(-kh) \quad (3)$$

其中, α 为地表反照率, h 为太阳高度角, α_0 为对应于高太阳天顶角时的地表反照率, k 为拟合系数。但是在一些实验研究中,这种拟合方法并不适用(张强等,2003;吴艾笙等,1993)。本文选取资料状况较

好的时段(无降雨,数据连续且奇异点少)进行地表反照率与太阳高度角 h 的关系研究,唐古拉站选用 2008 年 7 月 4—7 日数据,毕节站选用 6 月 14—17 日数据。根据图 2 可知,2008 年 6—8 月唐古拉站与毕节站地表融化且无积雪,因此,所选时段数据不受地表含冰量与积雪影响。

图 7 显示两站地表反照率与太阳高度角的变化均呈现明显的指数衰减趋势,说明当太阳高度角增加,地表反照率呈 e 指数下降,这是晴天地表反照率日变化呈“U”型的主要原因。通过两站结果的对比可以看出,由于综合环境特征差异,如土壤湿度、地表粗糙度及研究时段等,两地地表反照率随太阳高度角变化的拟合公式系数有差别。当设置太阳高度角为 0,可得唐古拉站地表反照率约为 0.36,而毕节站约为 0.27,说明在高太阳天顶角时,唐古拉站的地表反照率大于毕节站,这主要因为毕节站 6—9 月表层土壤更加湿润(图 3)。此外还可以看出,唐古拉站地表反照率在低太阳高度角时随 e 指数变化的更快,在高太阳高度角时,地表反照率变化较毕节站慢,这与上述的日变化结果对应。但是,由于所得拟合关系式为统计结果,并不是按照严格的物理理论模式推导得出,因此,在对比描述两地地表反照率的物理过程方面有局限性。

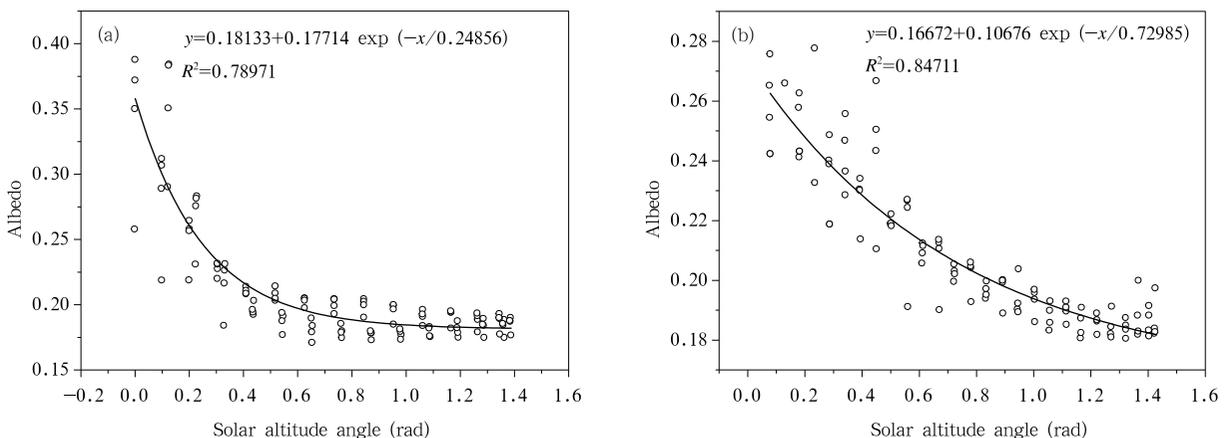


图 7 唐古拉站与毕节站地表反照率与太阳高度角的变化

Fig. 7 Relationship between the albedo and the solar altitude angle at TGLMS (a) and BJMS (b)

用拟合式(4)和(5)计算的地表反照率与实际值的相关系数分别达到 0.90(唐古拉)和 0.88(毕节)。将式(4)和(5)推广到其他相同条件的时段(即 6—8 月,期间无降雨,数据连续性好且奇异点少)进行计

算,所得结果与实际值的相关系数也均在 0.86 以上(图 8),说明无论是唐古拉站还是毕节站,在无降雨等随机事件扰动、地表未冻结且无积雪的状况下,不考虑地表含水量的变化,单纯的由太阳高度角得到

的拟合公式可以较好地模拟出地表反照率。

$$\alpha_{TGLMS} = 0.18133 + 0.17714 \exp(-h/0.24856) \quad (4)$$

$$\alpha_{BJ} = 0.16672 + 0.10676 \exp(-h/0.72958) \quad (5)$$

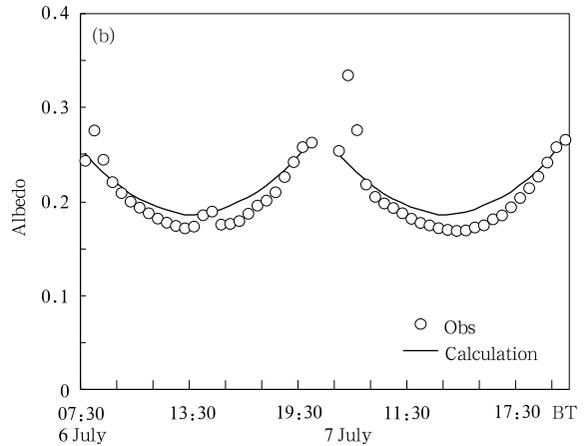
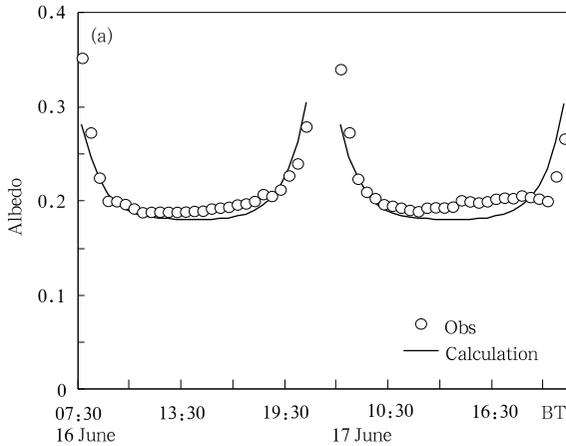


图 8 仅由太阳高度角计算的唐古拉(a)和毕节站(b)地表反照率与实际值的比较

Fig. 8 Comparison between the albedo computed based only on the solar altitude angle and the real albedo

4.2 土壤未冻水含量影响

图 9 是两站浅层土壤含水量与地表反照率的关系,其中,唐古拉站为 6—8 月 5 cm 未冻水含量,毕节站为 6—9 月 4 cm 未冻水含量。从图中可以看出,整体上反映出负相关关系,即地表反照率随浅层土壤未冻水含量的增加而减小,这一点符合实践经验,因为水的反照率较小,土壤湿度越大则地表反照率越小。从两站的对比可以看出,毕节站的负相关关系更显著,这主要是由于毕节站较唐古拉站土壤湿度大,浅层土壤未冻水含量的变幅也大,使其变化关系更为明显,且所用数据为 4 cm,比 5 cm 的数据敏感性更强。

对于降雨事件,雨滴本身对太阳辐射有散射和

吸收作用,这有利于反照率的增加(王衍明,1993),但是,降雨能很大程度地增加地表未冻水含量,因此,综合作用的结果使地表反照率急剧减小,引起反照率变化异常和不规律(沈志宝等,1993)。观测记录显示毕节站于 2008 年 7 月 10 日早晨出现降雨,降雨过程主要集中在 08—13 时。从当日土壤未冻水含量与地表反照率的变化(图 10)可以看出,当降雨事件发生时,浅层土壤未冻水含量增长迅速,同时地表反照率迅速下降,远小于毕节站 7 月平均地表反照率 0.18,当降水强度趋缓至停止,地表反照率稳定增加,趋于月均值。在其他降雨日也出现此类现象。

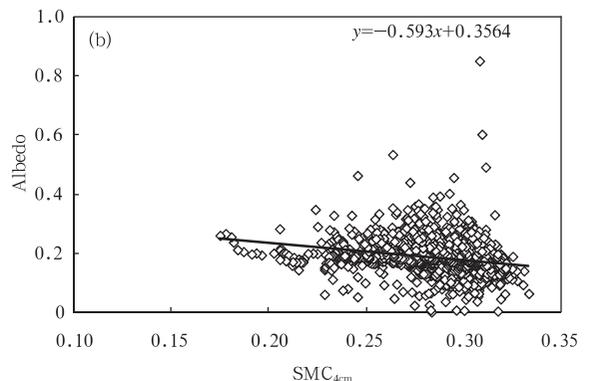
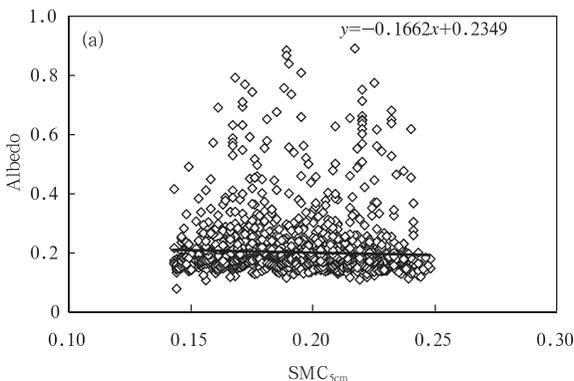


图 9 2008 年 6—8 月唐古拉站(a)与 6—9 月毕节站(b)地表反照率与浅层土壤未冻水含量(SMC)的变化

Fig. 9 Albedo vs. shallow soil moisture content (SMC) from June to August (a) and at BJMS from June to September (b) in 2008

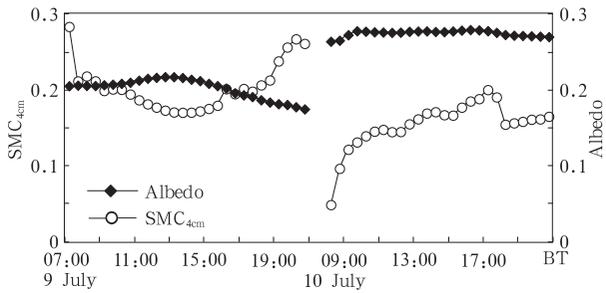


图 10 2008 年 7 月 9—10 日毕节站浅层土壤未冻水含量(4 cm)与地表反照率的变化

Fig. 10 Temporal changes in the shallow soil moisture content (4 cm) and the albedo at BJMS on 9 and 10 July 2008

5 结 论

利用多年冻土区唐古拉站与季节冻土区那曲毕节站辐射、积雪及降水等资料,对比分析了两地地表反照率的季节变化和日变化,并对主要影响因子进行了分析,初步得到以下结论。

(1) 季节变化方面,两地地表反照率冬、春季较大,夏、秋季较小,在地面有积雪的时候,地表反照率明显增加。唐古拉站和毕节站年平均地表反照率分别为 0.38 和 0.31,唐古拉站大于毕节站,且两站各月均值唐古拉站也较大。由于积雪的作用,两站最大月均地表反照率均出现在 11 月。此外,地表反照率月较差冬季毕节站总体高于唐古拉站,而夏秋季则反之。

(2) 日变化方面,唐古拉站和毕节站各季节典型晴天地表反照率的变化曲线均呈“U”形分布,表现出早晚大、中午小的特点。且地表反照率相对地方正午时刻呈现不对称性。春、夏、秋、冬各季节典型晴天的地表反照率日平均值唐古拉站为 0.23、0.20、0.20 和 0.25,毕节站为 0.26、0.21、0.22 和 0.29,也反映出地表反照率冬、春季节高于夏、秋季的特征。

(3) 在无地表含冰量和积雪的状况下,唐古拉站和毕节站地表反照率与太阳高度角的变化均呈现明显的指数衰减趋势,即地表反照率随太阳高度角的增大呈 e 指数下降,但由于环境特征差异,两站拟合公式系数不同;土壤湿度与反照率呈负相关关系,地表反照率随浅层土壤未冻水含量的增加而减小,降

水事件使浅层土壤未冻水含量增长迅速,导致地表反照率迅速下降,出现极小值。

(4) 两站 6—8 月,在无降雨、积雪等随机事件的扰动状况下,可以仅由太阳高度角的拟合公式估算地表反照率。

参考文献

- 鲍艳,吕世华,奥银焕等. 2007. 反照率参数化改进对裸土地表能量和热过程模拟的影响. 太阳能学报, 28(7): 775-782
- 蔡福,周广胜,李荣平等. 2011. 地表反照率动态参数化方案研究: 以玉米农田为例. 自然资源学报, 26(10): 1775-1788
- 程国栋,赵林. 2000. 青藏高原开发中的冻土问题. 第四纪研究, 20(6): 521-531
- 董安祥,郭慧,王丽萍等. 2004. 近 40 年北疆年积雪日数变化的 CEOF 分析. 高原气象, 23(6): 936-940
- 郭东信,刘铁良,张维信等译. 1988. 普通冻土学. 北京: 科学出版社, 318pp
- 季国良,邹基玲. 1994. 干旱地区绿洲和沙漠辐射收支的季节变化. 高原气象, 13(3): 324-329
- 蒋熹. 2006. 冰雪反照率研究进展. 冰川冻土, 28(5): 728-738
- 蒋熹,王宁练,杨胜鹏. 2007. 青藏高原唐古拉山多年冻土区夏、秋季季节总辐射和地表反照率特征分析. 冰川冻土, 29(6): 889-899
- 李英,胡泽勇. 2006. 藏北高原地表反照率的初步研究. 高原气象, 25(6): 1034-1041
- 林朝晖,杨小松,郭裕福. 2001. HUBEX 试验期间淮河流域陆面过程特征的初步分析. 自然科学进展, 11(6): 588-594
- 钱泽雨. 2003. 藏北高原典型草甸(地)下垫面地气相互作用中某些特征参数的确定[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 19-27
- 沈志宝,左洪超. 1993. 青藏高原地面反射率变化的研究. 高原气象, 12(3): 294-301
- 沈志宝. 1996. 藏北地区冬季降雪对地面反射率的影响. 高原气象, 15(2): 165-171
- 孙琳婵,赵林,李韧等. 2010. 西大滩地区积雪对地表反照率及浅层地温的影响. 山地学报, 28(3): 266-273
- 王鸽,韩琳. 2010. 地表反照率研究进展. 高原山地气象研究, 30(2): 79-83
- 王胜,张强,张鸿. 2008. 稀疏植被地表反照率及土壤热传导率特征研究. 中国沙漠, 28(1): 119-124
- 王衍明. 1993. 大气物理学. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 95-97
- 吴艾笙,钟强. 1993. 黑河实验区若干下垫面总辐射、地表反射率与太阳高度角的关系. 高原气象, 12(2): 147-155
- 肖登攀,陶福祿, Moiwo J P. 2011. 全球变化下地表反照率研究进展. 地球科学进展, 26(11): 1217-1224
- 肖瑶,赵林,李韧等. 2010. 藏北高原多年冻土区地表反照率特征分析. 冰川冻土, 32(3): 480-488
- 尹宏. 1993. 大气辐射学基础. 北京: 气象出版社, 122-125
- 张强,王胜,卫国安. 2003. 西北地区戈壁局地面物理参数的研

- 究. 地球物理学报, 46(5): 616-623
- 钟祥浩. 2005. 国内外学术界一直关注的问题: 青藏高原研究-兼作开设“青藏高原研究”栏目启事. 山地学报, 23(3): 257-259
- 周幼吾, 郭东信, 邱国庆等. 2000. 中国冻土. 北京: 科学出版社, 299-360
- Fukuda M, Orhun A, Luthin J N. 1980. Experimental studies of coupled heat and moisture transfer in soils during freezing. *Cold Regi Sci Technol*, 3(2-3): 223-232
- Liu H Z, Wang B M, Fu C B. 2008. Relationships between surface albedo, soil thermal parameters and soil moisture in the semi-arid area of Tongyu, Northeastern China. *Adv Atmos Sci*, 25(5): 757-764
- Paltridge G W, Platt C M R. 1976. *Radiative Processes in Meteorology and Climatology*. New York: Elsevier Scientific Amsterdam-Oxford-Publishing Company, 318pp
- Wang S S, Davidson A. 2007. Impact of climate variations on surface albedo of a temperate grassland. *Agri Forest Meteorol*, 142(2-4): 133-142
- Wang Z, Barlage M, Zeng X B, et al. 2005. The solar zenith angle dependence of desert albedo. *Geophys Res Lett*, 32(5): L05403, doi: 10.1029/2004GL021835
- Wang Z, Zeng X B. 2008. Snow albedo's dependence on solar zenith angle from in situ and MODIS data. *Atmos Ocean Sci Lett*, 1(1): 45-50
- Yang F L, Mitchell K, Hou Y T, et al. 2008. Dependence of land surface albedo on solar zenith angle: Observations and model parameterization. *Bull Amer Meteor Soc*, 47(11): 2963-2982
- Zhao L, Cheng G D, Li S X, et al. 2000. Thawing and freezing processes of active layer in Wudaoliang region of Tibetan Plateau. *Chinese Sci Bull*, 45(23): 1-5