

孙俊, 胡泽勇, 荀学义, 等. 黑河中上游不同下垫面反照率特征及其影响因子分析[J]. 高原气象, 2011, 30(3): 607-613

# 黑河中上游不同下垫面反照率特征 及其影响因子分析

孙俊<sup>1-2</sup>, 胡泽勇<sup>1\*</sup>, 荀学义<sup>1</sup>, 彭雯<sup>1</sup>, 吕斌<sup>2</sup>, 徐丽娇<sup>1</sup>

(1. 中国科学院寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室, 中国科学院寒旱区环境与工程研究所,  
甘肃兰州 730000; 2. 四川省遂宁市气象局, 四川遂宁 629000)

**摘要:** 利用黑河中上游6个自动气象站2008年6月—2009年5月的观测资料, 分析了该地区6种典型下垫面反照率变化特征和太阳高度角对反照率的影响, 针对垭口站和花寨子站分别讨论了积雪和土壤湿度对反照率的影响。结果表明, 不同季节太阳高度角对反照率的影响不同, 不同的下垫面影响的程度也不一样。在积雪下垫面, 太阳高度角对反照率的影响最大, 其次为森林; 在牧草和农田站, 夏季植被生长旺盛季, 太阳高度角对反照率的影响要比冬季的大。观测资料分析表明, 表层土壤湿度对反照率的影响非常显著, 零星小雨虽然不能渗透到地表以下, 但仍会引起表层土壤湿度增加, 导致反照率出现短时明显降低。不同的降雨量对反照率的影响也不同。根据年平均反照率得出各种下垫面反照率的相对关系为高寒草甸>荒漠>牧草>农田>稀疏草地>森林。

**关键词:** 黑河中上游; 反照率; 太阳高度角; 积雪; 土壤湿度

文章编号: 1000-0534(2011)03-0607-07 中图分类号: P422.9 文献标识码: A

## 1 引言

我国是世界上干旱较严重的国家之一, 研究干旱、半干旱地区的陆—气相互作用, 对于理解干旱区陆面过程和能量水分循环, 揭示干旱气候和水资源形成机理均有极为重要的意义。为此, 在1988—1992年我国和日本合作进行了“黑河地区地气相互作用观测实验”(HEIFE river basin Field Experiment, 简称 HEIFE), 之后又开展了“内蒙古半干旱草原土壤植被大气相互作用研究 (Inner Mongolia Semi-Arid Grassland Soil—Vegetation—Atmosphere Interaction, 简称 IMGRASS)”和“西北干旱区陆气相互作用观测试验”(Field Experiment on Atmosphere—Land Interaction in Arid Region of Northwest China, 简称 NWC—ALIEX)。在对干旱、半干旱地区地—气相互作用的研究中, 地表反照率是最基础也是最重要的地表参数之一<sup>[1]</sup>。地表反照率定义为地面反射的太阳辐射与到达地面的太

阳辐射之比, 它反映了地面对太阳辐射的反射能力, 地表反照率的确定对研究下垫面的热力性质具有重要意义。地表反照率决定了地表和大气间的辐射能量分配, 进而影响生态系统的物理、生理、生物化学过程(蒸腾、能量平衡、光合作用和呼吸作用等), 从而直接或间接地影响全球及区域气候。而水文循环作为气候系统中的重要成员, 会受到气候系统的制约和影响, 进而强迫产生的气候变化引起降水时空分布、强度和总量的变化, 雨带的迁移, 气温、空气湿度、风速的变化以及太阳辐射强迫的变化都将直接影响蒸发、径流、土壤水含量及分布的变化。反之, 陆面土壤湿度、反照率及植被的变化又影响云、雨的形成。所以在气候模式中, 反照率是一个极其重要的参数<sup>[2-5]</sup>。

近年来, 利用遥感反演地表反照率已经成为一种掌握区域反照率的较为可行的方法, 高分辨率卫星反演反照率的结果较为理想, 但对于低分辨率的卫星反演仍然存在诸多困难<sup>[6]</sup>, 使得反照率反演结

收稿日期: 2010-05-24; 改回日期: 2010-10-11

基金项目: 中国科学院西部行动计划(二期)项目(KZCX2-XB2-09-04); 国家自然科学基金项目(40875005, 40633014); 欧盟第七框架项目(FP7—ENV—2007—1 Grant nr. 212921)共同资助

作者简介: 孙俊(1982—), 女, 重庆人, 硕士研究生, 主要从事陆气相互作用研究。E-mail: suen\_116@163.com

\*通讯作者: 胡泽勇。E-mail: zyhu@lzb.ac.cn

果和真实值之间存在一定的差距。由于很少有利用地面观测数据计算多种下垫面的反照率,为了提供更为周密、详实的反照率地面观测分析结果,使遥感反演和气候模式得以更好的改进,利用现有的典型下垫面野外站资料分析反照率就显得尤为重要。

过去在黑河流域以及其他干旱、半干旱地区的反照率研究已经取得了一些重要的研究成果<sup>[7-8]</sup>,王胜等<sup>[9]</sup>通过分析敦煌地区稀疏植被的反照率,得到了稀疏植被下垫面的反照率日变化明显的不对称性;王慧等<sup>[10]</sup>研究了黑河下游鼎新戈壁下垫面反照率的变化特征;沈志宝等<sup>[11]</sup>通过对沙漠和绿洲反照率的分析,得到了沙漠反照率年变化大于绿洲,且二者的反照率冬季比夏季大的结果;邹基玲等<sup>[12]</sup>还对黑河地区夏末晴天和阴天不同下垫面反照率进行了对比。这些研究多集中在绿洲、沙漠和戈壁,但对更多类型下垫面反照率的对比分析尚不多见。

本文对黑河中上游地区的绿洲、荒漠、森林、牧场、稀疏草地和积雪下垫面反照率进行了较为全面的对比分析,从月、季节变化分析中得出不同下垫面反照率的变化特征,针对埡口站和花寨子站分别对积雪和土壤湿度影响反照率的情况做了分析,以期改进该地区陆面过程中的辐射参数化和检验卫星遥感反演结果提供参考依据。

## 2 研究区域、仪器及资料介绍

### 2.1 研究区域介绍

黑河流域是我国西北地区最大的内陆河流域之一,流域南部以祁连山为界,北部与蒙古国接壤,全长 821 km,流域面积  $1.3 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。上游为青海、甘肃祁连山区;中游为甘肃河西走廊绿洲和荒漠区;下游为内蒙古阿拉善盟额济纳及酒泉航天基地<sup>[13]</sup>。2007 年 7 月开始,由中国科学院寒区旱区环境与工程研究所承担的西部行动计划项目“黑河流域遥感—地面观测同步试验与综合模拟平台建设”,依据项目的总体目标和研究内容,在黑河中游地区布设了多个野外观测站。各观测站的地理分布及下垫面情况见表 1。

高寒草甸盈科绿洲农田站(简称“盈科站”)位于黑河中游张掖绿洲南侧的盈科灌区,是一较理想的绿洲农田观测站,观测期间农田有育种玉米,高度在 80 cm 左右;花寨子荒漠站(简称“花寨子站”)位于祁连山大野口与张掖绿洲之间的荒漠戈壁地带,是一较理想的荒漠观测点;大野口关滩森林站(简

表 1 黑河中上游地区各测站地理分布及下垫面概况

Table 1 Underlying surface of various stations in mid- and upper-reaches of HEIFE

观测站	经纬度	海拔/m	下垫面
盈科	100°24'E, 38°51'N	1519.1	农田(玉米)
花寨子	100°19'E, 38°45'N	1725.2	荒漠
关滩	100°15'E, 38°32'N	2835.2	森林
冰沟	100°13'E, 38°04'N	3449.4	稀疏草地
阿柔	100°27'E, 38°02'N	3032.8	牧场
埡口	100°14'E, 38°00'N	4146.8	高寒草甸

称“关滩站”)位于黑河上游大野口子流域关滩阴坡的森林内,林内主要是高约 15~20 m 的青海云杉,地面覆盖有厚约 10 cm 的苔藓,植被生长情况良好;冰沟寒区水文气象站(简称“冰沟站”)位于黑河上游冰沟子流域的河谷谷地内,观测场地表为稀疏草地和河床碎石混合。阿柔冻融观测站(简称“阿柔站”)位于黑河上游支流八宝河南侧的河谷高地上,夏季牧草长势良好,高度可达 40~50 cm;大冬树山埡口积雪观测站(简称“埡口站”)位于黑河上游大冬树山埡口东侧的高寒草甸上,秋末、冬季和初春期间地表常被积雪覆盖,是一个比较理想的积雪观测站。

### 2.2 观测仪器及资料介绍

观测所用风速传感器型号 010C-1(MetOne, 美国,精度:  $\pm 0.11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),雪深传感器型号 SR50(Campbell, 美国,精度: 10 mm),短波辐射仪的传感器型号除了阿柔站是 PSP(EPPLY, 美国,精度:  $\pm 5\%$ )和冰沟站是 MS102(EKO, 日本,精度:  $\pm 5\%$ )以外,其余测站都是 CM3(Kipp & Zonen Co, 美国,精度:  $\pm 10\%$ )。

考虑到各站建站时间和获取数据的连续性,选取各站 2008 年 6 月—2009 年 5 月一年的 10 min 连续观测资料进行对比分析。鉴于清晨和傍晚总辐射较小,观测误差相对较大,会影响到地表反照率的计算精度,选取总辐射  $> 50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  的时间段资料。经统计,冬、春、秋季 08:00~18:00 时段和夏季 06:00~20:00 时段的资料满足上述要求。

### 2.3 反照率计算方法

为了区别太阳高度角对日平均反照率的影响程度,本文在计算各观测时次反照率  $A$  的基础上,还分别计算了日平均反照率  $\bar{A}$  和正午前后平均反照率  $A_0$ :

$$A = \frac{R_s \uparrow}{R_s \downarrow}, \quad (1)$$

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A (R_s \downarrow > 50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}), \quad (2)$$

$$A_0 = \frac{1}{7} \sum_{t_0-30 \text{ min}}^{t_0+30 \text{ min}} A, \quad (3)$$

其中:  $R_s \downarrow$  和  $R_s \uparrow$  分别为总辐射和反射辐射(单位:  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ );  $t_0$  为正午时刻。

### 3 地表反照率变化特征

#### 3.1 反照率逐月变化

反照率由于受地面状况(植被、土壤湿度和土壤颜色等)和降水的影响,不同月份的反照率表现出不同的特征。图 1 分别给出了用两种方法计算的月平均反照率和二者的差值。由图 1 可以看出,花寨子站和埡口站的月平均反照率总体上要比其余各站大。除埡口站外,其余各站在 6~9 月植被生长季内反照率变化幅度都不大。

盈科站 2008 年 12 月和 2009 年 1 月反照率较大,其余月份反照率在 0.18~0.24 之间(图 1a)。2~5 月的反照率比 6~11 月的大,6~11 月反照率  $\leq 0.2$ 。这是由于盈科站是绿洲农田,从 4 月份开始种植庄稼,所以在农作物生长季节内,反照率都

维持在 0.2 左右。这与刘辉志等<sup>[14]</sup>对农田下垫面反照率的研究结果一致。花寨子站 6~10 月的反照率都维持在 0.2~0.3 之间,夏季平均反照率为 0.26(图 1b),比沙漠要小<sup>[15]</sup>。2009 年 1 月反照率上升明显,最高值将近达到 0.7。盈科站月平均最高值也出现在 1 月,从地域上看,花寨子站和盈科站相隔较近,所以反照率的增大应该是由 1 月的降雪天气造成的。花寨子站冬季下垫面为荒漠,无植被覆盖,这也会造成反照率上升明显。冰沟站月平均反照率在 0.16~0.32,2008 年 6~9 月反照率变化不大,从 10 月开始月平均反照率变化较明显(图 1c)。关滩站由于下垫面植被的类型和颜色全年变化不大,所以月平均反照率变化不明显,反照率为 0.08~0.17(图 1d)。关滩站夏季反照率在 0.10 左右。这与黑河流域 6 月实测森林下垫面平均反照率吻合<sup>[16]</sup>。阿柔站反照率较为均一,月平均反照率维持在 0.2~0.28 之间(图 1e)。由于阿柔站下垫面为牧草,所以春、夏、秋季植被类型变化不大,加之阿柔站又位于西北干旱区,降水量偏少,夏季降水对反照率的影响也不显著。埡口站因为海拔较高,全年几乎都会受到降雪的影响,所以月平均反照率较大,且起伏较明显;7 月平均反照率达

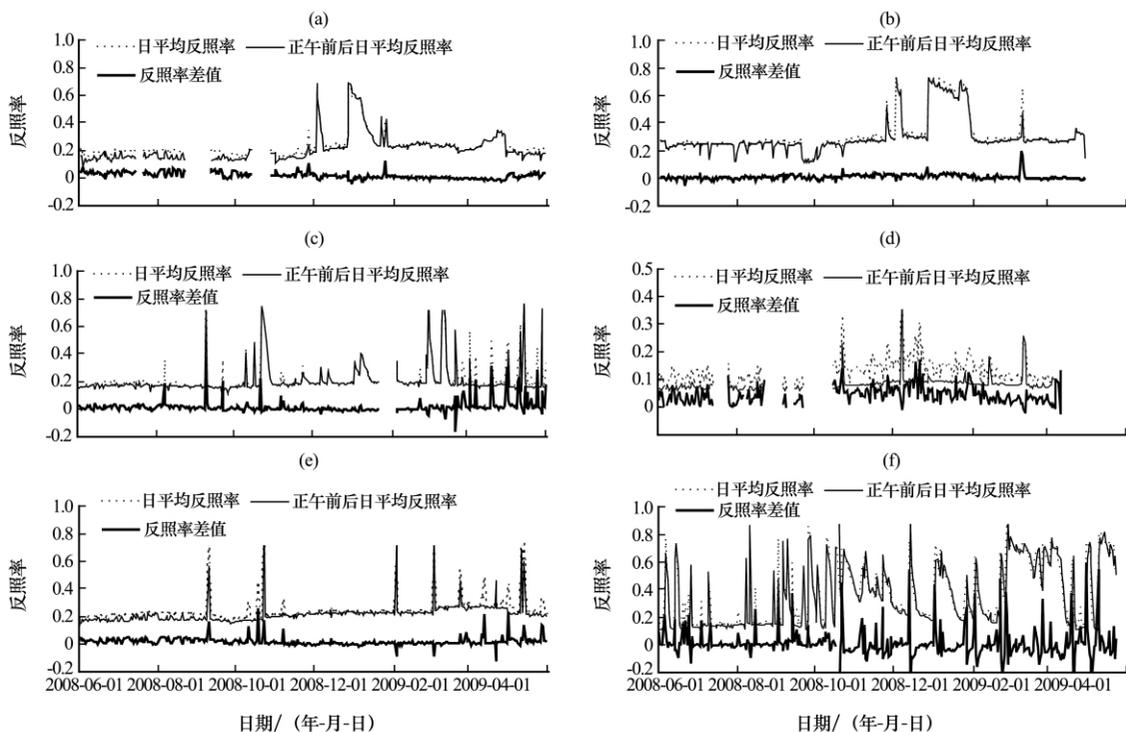


图 1 黑河中上游地区各站的地表反照率

(a) 盈科站, (b) 花寨子站, (c) 冰沟站, (d) 关滩站, (e) 阿柔站, (f) 埡口站

Fig. 1 Surface albedos at various stations in mid- and upper-reaches of HEIFE. (a) Yingke station, (b) Huazhaizi station, (c) Binggou station, (d) Guantan station, (e) Arou station, (f) Yakou station

0.18, 为全年最低(图 1f)。这与李英年等<sup>[17]</sup>对祁连山海北地区高寒草甸反照率的研究结果吻合。垭口站地表面由高寒草甸和块石构成, 7 月积雪消融后地面由草甸覆盖, 此时的反照率接近阿柔牧场站, 但偏低 0.04。7 月垭口站 10 cm 平均土壤含水量为 0.243, 而阿柔站为 0.377, 所以影响反照率偏低的主要原因不是土壤湿度, 而是积雪消融使得地表面容易有积水, 致使反照率比阿柔站略低。

从上述两种方法分别计算的反照率可以看到, 几乎都是日平均反照率偏大, 说明早晚太阳高度角高时反照率也大<sup>[18]</sup>。关滩站用两种方法计算的反照率月平均值差异最大, 表明太阳高度角对关滩站影响最为显著, 这可能与森林复杂的下垫面特征有关。盈科站和阿柔站夏、秋季和晚春用两种方法计算的反照率差异较大, 这一时段两站下垫面都有植被覆盖, 且长势良好, 早晚太阳高度角较高时植被对太阳光的反射会对反照率造成直接的影响。较之于盈科站和阿柔站, 花寨子站和冰沟站下垫面植被稀疏, 所以太阳高度角对早晚反照率的影响也不是很明显。而盈科站和阿柔站冬季日平均反照率和正午前后日平均反照率的差异很小, 说明下垫面状况

能影响太阳高度角对反照率的作用大小。森林下垫面太阳高度角对地表反照率的影响较大, 植被生长旺盛的下垫面比稀疏植被的下垫面太阳高度角影响要大。但是在反照率明显升高的时候, 用两种方法计算的反照率差值较大, 说明各站在有降雪的情况下, 用两种方法计算的地表反照率差异最大。这是由于早晨和傍晚太阳高度角较高, 积雪表面有更强的镜面反射效应, 造成全天和正午时刻的反照率差异最大, 说明积雪表面太阳高度角对反照率的影响显著。

### 3.2 黑河流域反照率对比分析

由表 2 可看出, 年平均反照率, 高寒草甸(垭口站) > 荒漠(花寨子站) > 沙漠(临泽一工程站) > 戈壁(鼎新站) > 牧草(阿柔站) > 农田玉米(盈科绿洲站) > 稀疏草地(冰沟站) > 农田小麦(张掖绿洲站) > 森林(关滩站)。其中, 荒漠和张掖绿洲站的反照率资料取自 1990—1992 年黑河地区的野外观测试验。高寒草甸站由于积雪影响, 使得反照率最大; 荒漠站和沙漠站次之, 该类地表主要覆盖为沙砾, 由于下垫面性质相似, 故荒漠站和沙漠站的反照率也极为接近, 其反照率要高于其他牧草和农田站。

表 2 黑河中上游地区反照率对比分析

Table 2 Comparative analysis of albedo in mid- and upper-reaches of HEIFE

时间	观测站								
	鼎新 <sup>[10]</sup> (戈壁)	临泽一工程 <sup>[15]</sup> (沙漠)	张掖绿洲 <sup>[15]</sup> (农田小麦)	盈科绿洲 (农田玉米)	花寨子 (荒漠)	关滩 (森林)	冰沟 (稀疏草地)	阿柔 (草场)	垭口 (高寒草甸)
6 月	0.22	0.26	0.16	0.18	0.26	0.10	0.17	0.20	0.29
7 月	0.18	0.26	0.14	0.20	0.25	0.10	0.18	0.21	0.18
8 月	0.19	0.26	0.13	0.20	0.26	0.10	0.18	0.22	0.24
夏季平均	0.197	0.26	0.143	0.193	0.257	0.10	0.176	0.21	0.206
9 月	0.20	0.28	0.18	0.18	0.23	0.09	0.20	0.21	0.38
10 月	0.24	0.30	0.18	0.19	0.26	0.15	0.28	0.23	0.45
11 月	0.27	0.33	0.15	0.18	0.32	0.14	0.19	0.21	0.44
秋季平均	0.24	0.303	0.17	0.183	0.27	0.127	0.223	0.22	0.423
12 月	0.29	0.37	0.28	0.32	0.44	0.18	0.19	0.23	0.30
1 月	0.30	0.34	0.30	0.38	0.66	0.15	0.25	0.23	0.39
2 月	0.26	0.31	—	0.24	0.29	0.13	0.21	0.25	0.37
冬季平均	0.283	0.34	0.29	0.313	0.463	0.153	0.217	0.237	0.353
3 月	0.26	0.29	0.19	0.23	0.31	0.12	0.32	0.29	0.66
4 月	0.27	0.27	0.16	0.26	0.29	0.10	0.23	0.29	0.41
5 月	0.22	0.27	0.17	0.20	—	—	0.27	0.28	0.60
春季平均	0.25	0.277	0.173	0.23	0.30	0.11	0.273	0.287	0.557
年平均	0.24	0.30	0.19	0.23	0.32	0.12	0.22	0.24	0.39

植被生长越高、树冠越大，地表反照率越低，故森林站的反照率为所有站中最低。张掖绿洲站和盈科绿洲站虽然同属绿洲站，但二者的反照率在春季和夏季差异却较大，这是由于两者下垫面农作物种类不同的缘故<sup>[22]</sup>。张掖绿洲站春、夏季种植小麦，植被覆盖度要大于种植玉米的盈科站，所以春、夏季张掖绿洲站的反照率低于盈科绿洲站。

除盈科站，其余各站反照率的最低值都出现在夏季。这是因为夏季下垫面植被长势良好，全年降水主要集中在在这个季节内，表层土壤湿度较大，所以反照率为全年最低。盈科农田站秋季正属于作物成熟期，地表粗糙度大，加之农田灌溉，表层土壤湿度增加，所以在这时节反照率是全年最低。关滩等 5 站反照率的最高值显示出不同特征：关滩以北的站冬季反照率为全年最高。这是由于冬季各站基本无植被覆盖，加之降雪的影响，所以反照率高。关滩以南的站春季反照率最高。一般分析结果认为冬季因积雪和下垫面裸露的影响，反照率应是全年最高。黑河中上游地区阿柔站、冰沟站和哑口站反照率春季大于冬季，异于通常结论<sup>[19]</sup>。产生这一现象的原因是 2009 年春季积雪大于 2008 年冬季；关滩森林站全年下垫面性质均一，反照率四季变化不大，冬季较夏季反照率略有偏高。这可能是因为夏季树叶上吸收较多辐射进行光合作用，而冬季光合作用较弱，吸收太阳辐射较少的缘故。

### 4 积雪和土壤湿度对反照率的影响

#### 4.1 积雪对反照率的影响

哑口站雪深曲线的每一个峰值都代表一次降雪过程(图 2)，可以看到，哑口站反照率受降雪影响显著。每一次降雪过程都引起反照率的明显增加，同时还可以看到，5 cm 土壤含水量在 2008 年 6~9 月处于一个较高的状态，说明此时土壤湿度较大。6~9 月随着气温升高，积雪开始消融，导致土壤湿度总体上增加。哑口站海拔在 4 000 m 以上，夏季仍会出现降雪天气，反照率受降雪影响在 6~9 月出现多个峰值。

夏季降雪在气温较高的情况下消融快，水分极易透过土壤表层向下渗透，致使土壤含水量随雪的融化而升高，而土壤湿度的增加又直接导致反照率的降低，所以降雪天的高反照率很快就降到 0.2 以下。日反照率和雪深有很好的对应关系，积雪深度大时反照率高<sup>[20]</sup>。2008 年 10~12 月和 2009 年 3~4 月积雪深度大，反照率也高。2009 年 3~4 月

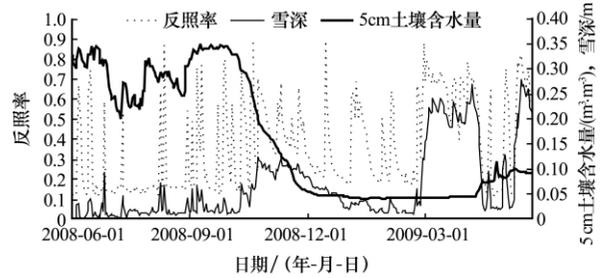


图 2 哑口站反照率、5 cm 土壤含水量和雪深分布  
Fig. 2 Distributions of albedo, 5 cm soil water content and snow depth at Yakou station

的积雪厚度明显高于 2008 年冬季，所以 2009 年春季反照率要比 2008 年冬季高。秋、冬、春季反照率虽然同夏季一样在每一次降雪天气时都会增加，但反照率从增加到下降的过程却比夏季缓慢。这是由于此时气温较低积雪不易消融，每次降的新雪都会附着在旧雪之上，当气温升高表层雪开始融化时，使得环境温度变低，融化的液态水又会结冰，冰的反照率虽然小于新雪但仍然较高。新雪反照率的变化范围为 0.45~0.95，旧雪反照率的变化范围为 0.4~0.7。2009 年 3~5 月积雪厚度在 0.16 m 以上，反照率的变化范围为 0.4~0.88，与文献<sup>[21]</sup>相符。从 2008 年 12 月开始积雪深度缓慢下降，2009 年 1~2 月积雪深度降到 0.027 m，3 月积雪增加。2009 年 1~2 月哑口站的气温基本都低于 0℃，所以积雪深度减小不可能是由气温引起的。从 2 m 风速的最大值可看到(图 3)，2008 年 12 月—2009 年 3 月的风速明显大于其余月份，在降雪较少、风速较大的情况下雪容易被风吹走，难以堆积。由于受到积雪的影响较小，所以 2009 年 1~2 月的反照率变化范围明显大于有较深积雪的月份。

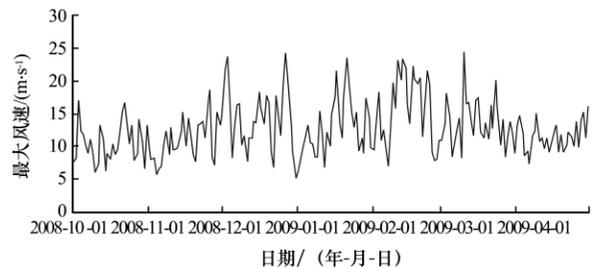


图 3 2008 年 10 月—2009 年 4 月哑口站 2 m 日平均最大风速

Fig. 3 The daily average maximum wind speed at 2 m height at Yakou station from October 2008 to April 2009

#### 4.2 土壤湿度对反照率的影响

为了分析土壤湿度对反照率的影响，选取植被

最稀疏的花寨子站进行分析,以减少植被对反照率的影响。在西北干旱区的荒漠地带,降水过程对反照率的影响很明显,并且不同降雨量对反照率的影响也不同;表层土壤湿度对反照率的影响显著,表层土壤湿度大时反照率低。花寨子站7月27~31日共有4次降雨过程。从图4中可看到,27、28日5cm土壤湿度在降雨量 $<0.5$ mm几乎没有变化,但对应时间段反照率降低,最低达到0.17。花寨子站由于地处荒漠,土壤湿度极低,7月气温较高的情况下零星小雨降到地表面很快就蒸发掉,所以5cm土壤湿度几乎没有变化。这两次降雨停留在表层,使得表层土壤湿度改变,导致反照率明显降低,但由于蒸发较快,所以反照率迅速回升。29~30日降雨量为23mm,该时间段的降雨量较大,且5cm土壤湿度明显上升,反照率最低值更是降到0.1以下,与27、28日相比明显偏低。在降雨量较小时,反照率由降低到回升的过程较快;而降雨量较大时,反照率能在较长时间内保持一个较低值,说明土壤湿度对地表反照率的影响受到了降雨量制约。对于29日午后到30日午后的持续性降雨过程,不同时段反照率的变化却有不同特征。29日午后随着降雨量的增加,表层土壤湿度明显增大,致使反照率从0.17迅速降到0.07。30日在持续降雨的影响下,表层土壤增湿已不明显,所以反照率变化范围不大,维持在0.12~0.17。这一现象说明反照率的变化与表层土壤湿度的饱和度密切相关。

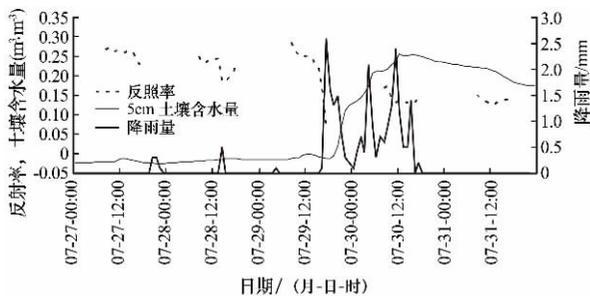


图4 2008年7月27~31日花寨子站反照率、5cm土壤含水量和降雨量分布

Fig. 4 Distributions of albedo, 5 cm soil water content of and rainfall at Huazhaizi station from 27 to 31 July 2008

## 5 结论

通过上述分析,得到以下结论:

(1) 下垫面性质和植被的季节变化都会引起反照率的变化。不同下垫面即使在同一季节反照率

也不相同;植被状态变化不大的情况下,反照率变化也不大。通过分析得到黑河流域反照率的相对大小为高寒草甸(垭口站) $>$ 荒漠(花寨子站) $>$ 沙漠 $>$ 戈壁(鼎新站) $>$ 牧草(阿柔站) $>$ 农田(盈科站) $>$ 稀疏草地(冰沟站) $>$ 绿洲(张掖) $>$ 森林(关滩站)。春、冬季反照率普遍高于夏季和秋季,在夏、秋季植被状态变化不大的情况下反照率变化也不大。

(2) 太阳高度角对反照率的影响在很大程度上取决于下垫面状况。例如,在森林下垫面,植被长势良好或下雪天时太阳高度角对反照率的影响较大。

(3) 积雪对反照率造成的影响明显,下雪天反照率高。反照率在夏季降雪以后会迅速回落到夏季平均值,冬季回落速度较慢。风吹雪可能使得反照率变得较低。

(4) 在西北干旱区的荒漠地带,表层土壤湿度对反照率的影响非常显著,零星小雨虽然不能渗透到地表以下,但仍会引起表层土壤湿度的变化,进而影响反照率的短时明显降低。不同的降雨量对于反照率的影响也不同。

## 参考文献

- [1] 范丽军,董文杰.西北干旱区地表辐射特性的初步研究[J].高原气象,2002,21(3):309-314.
- [2] Betts A K, Ball J H. Albedo over the boreal forest[J]. J Geophys Res, 1997, 102(D24): 28901-28909.
- [3] Dickinson R E. Changes in land use[M]//Trenberth K E, ed. Climate System Modeling. Cambridge: Cambridge University Press, 1992: 149-172.
- [4] Mccaughey J H, Laffleur P M, Joiner D W, et al. Magnitudes and seasonal patterns of energy, water, and carbon exchanges at a boreal young jack pine forest in the BOREAS northern study area[J]. J Geophys Res, 1997, 102(D24): 28997-29008.
- [5] Stull R B. An introduction to boundary layer meteorology [M]. Kluwer Academic, 1999.
- [6] 王介民,高峰.关于地表反照率遥感反演的几个问题[J].遥感技术与应用,2004,19(5):295-300.
- [7] 张强,胡隐樵.黑河地区绿洲内农田微气象特征[J].高原气象,1992,11(4):391-370.
- [8] 文军,季国良,吕兰芝.黑河实验地区大气浑浊度的初步分析[J].高原气象,1994,13(3):339-345.
- [9] 王胜,张强,张鸿.稀疏植被地表反照率及土壤热传导率特征研究[J].中国沙漠,2008,28(1):119-124.
- [10] 王慧,胡泽勇,谷良雷,等.黑河下游鼎新戈壁近地层能量输送及微气象特征[J].高原气象,2007,26(5):938-945.
- [11] 沈志宝,邹基玲.黑河地区沙漠和绿洲的地面辐射能收支[J].高原气象,1994,13(3):314-322.

- [12] 邹基玲, 侯旭宏. 黑河地区夏末太阳辐射特征的初步分析[J]. 高原气象, 1992, 1(4): 381—388.
- [13] 王慧. 黑河下游鼎新下垫面近地层能量输送及微气象特征研究[D]. 兰州: 中国科学院寒区与旱区环境与工程研究所, 2004: 1—55.
- [14] 刘辉志, 涂钢, 董文杰. 半干旱区不同下垫面地表反照率变化特征[J]. 科学通报, 2008, 53(10): 1220—1227.
- [15] 季国良, 马晓燕, 邹基玲, 等. 黑河地区绿洲和沙漠地面辐射收支的若干特征[J]. 干旱气象, 2003, 21(3): 29—33.
- [16] 刘三超, 张万昌, 蒋建军, 等. 用 TM 影像和 DEM 获取黑河流域地表反射率和反照率[J]. 地理科学, 2003, 23(5): 585—591.
- [17] 李英年, 赵新全. 海北高寒草甸地区太阳总辐射、植被反射辐射的有关特征[J]. 草地学报, 2002, 10(1): 33—39.
- [18] 李小文, Strahler A, 朱启疆, 等. 地物二向性反射几何光学模型和观测的进展[J]. 国土资源遥感, 1991, (1): 9—19.
- [19] 李英, 胡泽勇. 藏北高原地表反照率的初步研究[J]. 高原气象, 2006, 25(6): 1034—1041.
- [20] 蒋熹. 冰雪反照率研究进展[J]. 冰川冻土, 2006, 28(5): 728—738.
- [21] 徐兴奎, 田国良. 中国地表积雪动态分布及反照率的变化[J]. 遥感学报, 2000, 4(3): 178—182.
- [22] Arya Pal S. Introduction to Micrometeorology[M]. Academic Press, 1988: 25.

## Albedo Characteristics in Different Underlying Surfaces in Mid- and Upper-Reaches of HEIFE and Its Impact Factor Analysis

SUN Jun<sup>1-2</sup>, HU Ze-yong<sup>1</sup>, XUN Xue-yi<sup>1</sup>, PENG Wen<sup>1</sup>, LÜ Bin<sup>2</sup>, XU Li-jiao<sup>1</sup>

(1. 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 730000, China;

2. Bureau of Meteorology of Suining City, Suining 629000, China)

**Abstract:** Using the observed data at six automatic stations in the mid- and upper-reaches of HEIFE from June 2008 to May 2009, the seasonal variations of albedo on different underlying surfaces are analyzed. The influences of solar elevation angle, soil moisture, and precipitation on albedo are also studied in this paper. The impact of snow cover on the albedo at Yakou station is discussed. Meanwhile, the soil moisture data are also related to albedo to discuss its influence at Huazhaizi station. The results show that the solar elevation angle in different seasons has different effect on albedo, while its impact is also different on different underlying surfaces. Solar elevation angle on snow surface has the greatest impact on albedo, and the second is the forest land cover. At herbage and farmland stations, the solar elevation angle has greater impact on albedo in summer than that in winter. By analyzing the observed data, the surface soil moisture has a significant impact on albedo. Although sporadic rain can not infiltrate into the ground, it can still cause albedo decrease in a short time because of increasing the surface soil moisture. The different intensity of precipitation has different effect on albedo. According to the average annual albedo, the sequence of albedo at six stations are alpine meadow > desert > herbage > farmland > thin grass > forest, respectively.

**Key words:** Mid- and upper-reaches of HEIFE; Albedo; Solar altitude angle; Snow cover; Soil moisture