

文章编号: 0455-2059(2008)03-0033-06

黄土高原半干旱区地表辐射特征

闭建荣, 黄建平, 刘玉芝, 张武, 史晋森, 黄忠伟

(兰州大学大气科学学院, 甘肃兰州 730000)

摘要: 利用兰州大学半干旱气候与环境观测站地表辐射资料, 分析了黄土高原半干旱区地表辐射的变化规律, 并对该区地表辐射特征、地表反照率的年季变化及其影响机制进行了研究. 结果表明: 该区全年太阳总辐射较强, 年平均值为 204.2 W/m^2 , 受地表状况和天气过程等因素影响, 年变化表现出不规则或区域性特征. 大气和地表对太阳辐射加热的响应需2个月, 它们对地表辐射年变化的相对变幅达44.6%和38.9%, 比干旱区的(100%)小, 这说明该区云量年变化比干旱区的小, 且大气和土壤对地表辐射变化的“缓冲”作用更强. 反照率的年平均值为0.2432, 比荒漠区小; 其高值正好对应降雪过程和偏干旱时段, 而低值则与降水、连绵阴雨的天气吻合.

关键词: 黄土高原; 半干旱区; 辐射平衡; 地表反照率

中图分类号: P422

文献标识码: A

Characteristics of surface radiation over semi-arid region of the Loess Plateau

BI Jian-rong, HUANG Jian-ping, LIU Yu-zhi, ZHANG Wu, SHI Jin-sen, HUANG Zhong-wei

(School of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Using the land-surface radiation data observed at the Semi-Arid Climate and Environment Observatory of Lanzhou University, the variation rule of land-surface radiation over the semi-arid region of the Loess Plateau was preliminarily analyzed, and the monthly averages of surface radiation balance, surface albedo and influence mechanism were completely studied. The result showed that the annual average radiant intensity was comparatively strong in this region. Upon the influence of land-surface conditions and synoptic conditions, the monthly averages of surface radiation take on irregular or territorial characteristics. Atmosphere and land-surface need about two months to respond to the heat of radiation in the variation of annually mean radiation. The whole-year variation ranges of atmosphere and land-surface radiation in the semi-arid region are 44.6% and 38.9%, respectively, which are much smaller than that in arid or deserted region (about 100%). The annual average cloud in the semi-arid region is much more than that in the arid region. The annual average of surface albedo in the semi-arid region of the Loess Plateau is 0.2432, which is smaller than that in the arid region. Large values of surface albedo is consistent with the appearance of droughty weather and snowfall synoptic, whereas the small values of surface albedo correspond to the emergence of cloudy sky and rainfall.

Key words: Loess Plateau; semi-arid region; radiation balance; surface albedo

收稿日期: 2007-09-07; 修回日期: 2008-03-07.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目资助(40575036).

作者简介: 闭建荣(1984-), 男, 广西大新人, 硕士研究生, 研究方向为气溶胶、云与气候变化作用, e-mail: bijr06@lzu.cn.

张武(1960-), 男, 新疆乌鲁木齐人, 教授, 博士, 研究方向为大气辐射与遥感, 通讯联系人,

e-mail: wzhang@lzu.edu.cn.

太阳辐射是地—气系统中最主要的能量来源,受地理位置、云、气溶胶分布和下垫面状况等因素影响,不同地区所接收到的太阳辐射很不均匀,并最终对天气、气候的形成和发展产生重要影响.正因为如此,几十年来,国内对北方地区的地表辐射特征进行了大量的野外观测实验,并取得了许多重要的研究成果,例如“黑河试验”^[1]和“中国西北干旱区陆—气相互作用观测试验”^[2]等.但以往研究的区域主要集中在干旱、极端干旱的荒漠戈壁^[3-9]和青藏高原^[10-14]等地区,而对黄土高原的关注很少.

陇中黄土高原占中国黄土高原面积的18%^[15].该地区下垫面属于典型的丘陵沟壑区,植被稀疏,水土流失十分严重,生态环境很脆弱,是中国干旱和湿润气候之间一个重要的过渡带,同时也是全球天气、气候变化非常敏感的一个关键区域^[16].因此,对该区地表辐射、能量收支等方面的研究就显得更加迫切.

杨兴国等^[17-19]研究了陇中黄土高原地区冬、夏季地表辐射和能量平衡的特征,并指出半干旱区夏季晴天辐射较强,总辐射最大瞬时值超过1000 W/m²,且云的分布和降水天气过程对地表辐射的影响比较大.前人的研究主要注重对半干旱区冬、夏季典型天气条件下地表辐射的分析,而对该区地表辐射的年变化规律、季节差异及其影响机制的系统分析,还很欠缺.

1 观测站点介绍

兰州大学半干旱气候与环境观测站(Semi-Arid Climate and Environment Observatory of Lanzhou University, SACOL站),坐落于兰州大学榆中校区海拔约1960 m的翠英山顶(35°56.73'N, 104°08.20'E),它地处兰州市东南方向,距市区约47 km.本站的下垫面属于典型的黄土高原地貌,塬面梁峁基本为原生植被,属于温带半干旱半湿润气候.山顶的环境基本属于自然状态,受人类活动的影响很小.因此,SACOL站的气候状况可代表方圆几百公里黄土高原半干旱区平均的气候状况.

2 数据资料及计算方法

2.1 仪器的介绍

本文使用的仪器是由荷兰Kipp & Zone公司生产的日总辐射计(CM21, Pyranometer)和长波辐射计(CG4, Pyrgeometer),可分别用于测量太阳总辐射、反射辐射、向上和向下的长波辐射等量,观测光谱范围为0.305~2.80 μm.数据采集使用美

国Campbellsci公司生产的CR23X采集器,每2 s记录一次数据,每30 min输出一个平均值.仪器进行常年连续观测,日出前(一般为07:30)对仪器镜头进行清洁维护,每2~3天进行一次.因此,能保证获取较高质量的数据.

2.2 处理方法

地表净辐射作为地表能量收支的一个重要组成部分,它是驱动大气运动的主要能量来源,同时控制着与大气进行交换的感、潜热通量.地面吸收的净辐射能(R_n)可表示为

$$R_n = (R_{SW}^{\downarrow} - R_{SW}^{\uparrow}) + (R_{LW}^{\downarrow} - R_{LW}^{\uparrow}). \quad (1)$$

其中: R_{SW}^{\downarrow} 为太阳总辐射(或向下短波辐射),与当地的经、纬度,海拔高度,日照时数,天空云状况及气溶胶粒子分布等因素有关; R_{SW}^{\uparrow} 为反射辐射,主要由下垫面的植被状况及土壤湿度决定; R_{LW}^{\downarrow} 为大气向下长波辐射,它是大气温度、湿度廓线和云状况的函数; R_{LW}^{\uparrow} 为地面向上长波辐射,主要受地表温度的控制.(1)式右边第一项表示短波净辐射(R_{nS}),第二项是长波净辐射(R_{nL}).

3 结果分析

3.1 地表辐射分量间的关系

由图1看出,2007年6月29日,除向下长波辐射(R_{LW}^{\downarrow})的变化很小外,其余辐射量均表现出典型的日变化特征,且当地正午时刻均出现极值.向下和向上的长波辐射值比较接近,这是由于大气和地表面温度差异较小所致.此外,长波净辐射(R_{nL})相对短波净辐射(R_{nS})来说是一个小量(其绝对值不到后者的1/4),所以,由(1)式可知,地面吸收的净辐射主要由短波净辐射提供.

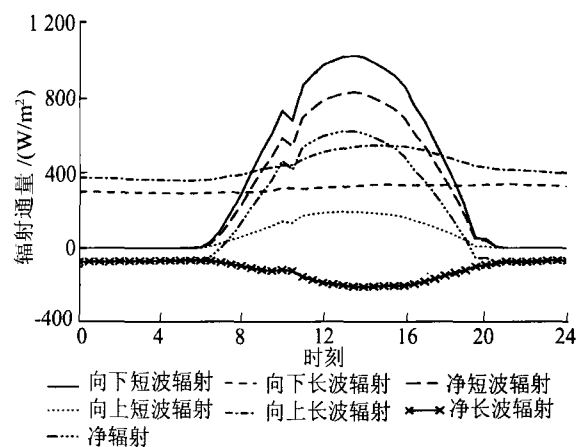


图1 SACOL站夏季某晴天各辐射量的日变化

Fig. 1 Diurnal variation of radiations at SACOL site in a summer day

3.2 平均日变化特征

图 2 表明除向下长波辐射的变化非常小外, 各辐射量的日变化都表现出典型的对称、平滑特征。这说明半干旱区年平均地表辐射受天气过程的影响较小, 它的日循环主要由太阳日活动规律控制, 这一结论与张强等^[20]的研究结果基本一致。在当地正午太阳总辐射、反射辐射和净辐射都达到极大值, 分别为 680.4, 157.9 和 342.7 W/m², 均出现于 13:00 时; 向下长波辐射最大值为 298.3 W/m², 出现于 15:00 时, 向上长波的最大值为 476.7 W/m², 出现于 14:00 时。这表明: 日循环变化中地表对太阳辐射的加热需 1 h 的响应, 而大气则需 2 h。这一结果与杨兴国等^[17]的研究结果一致。向下和向上长波辐射的最小值分别为 281.5 和 332.4 W/m², 均出现于 06:00 时, 这正是辐射冷却最强的时候; 而净辐射的最小值为 -65.1 W/m², 出现于 20:30 时, 刚好是太阳落山的时间。

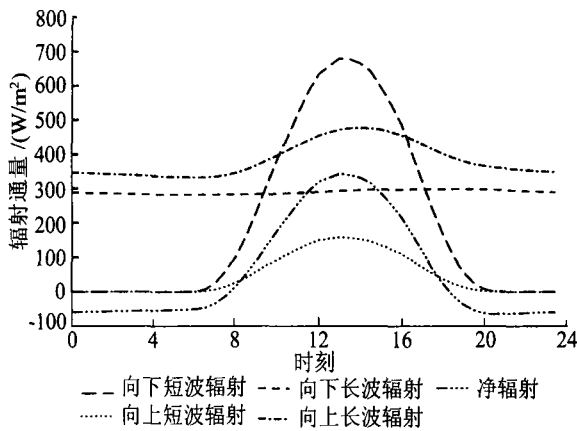


图 2 各辐射分量的平均日变化

Fig. 2 Mean diurnal variation of radiations

太阳总辐射、反射辐射、向下长波、向上长波和净辐射的年平均日积分值分别为 17.65, 4.12, 25.01, 33.20, 5.35 MJ/(m²·d), 总辐射和净辐射的日积分值略大于敦煌荒漠区的(分别大 0.66 和 5.21 MJ/(m²·d))^[20], 而反射辐射、向下和向上长波辐射的日积分值比敦煌荒漠区的小(分别小 0.35, 1.15 和 1.34 MJ/(m²·d))^[20]。该地区的平均净辐射与干旱区的差异最大。这表明: 半干旱区净辐射转换成感、潜热和土壤热通量的能力比干旱区的强。

3.3 冬夏季各辐射量的平均日变化和标准偏差

将 12, 1, 2 月的平均表示冬季, 6, 7, 8 月的平均表示夏季, 则图 3, 4 分别为冬、夏季各辐射量的平均日变化和标准偏差情况。图 3, 4 表明: 总辐射和反射辐射均表现出对称结构, 并在 13:00 时出现极大值, 且反射辐射与总辐射的变化趋势一致。向上长波辐射和总辐射有类似的对称特点, 各辐射

量都出现较大的标准偏差, 这与云和气溶胶粒子的影响有关。冬、夏季, 各地表辐射量的变化特征均与年平均的日循环趋势一致。冬季, 该地区的日照时段为 08:30~18:30, 而夏季为 06:30~20:30,

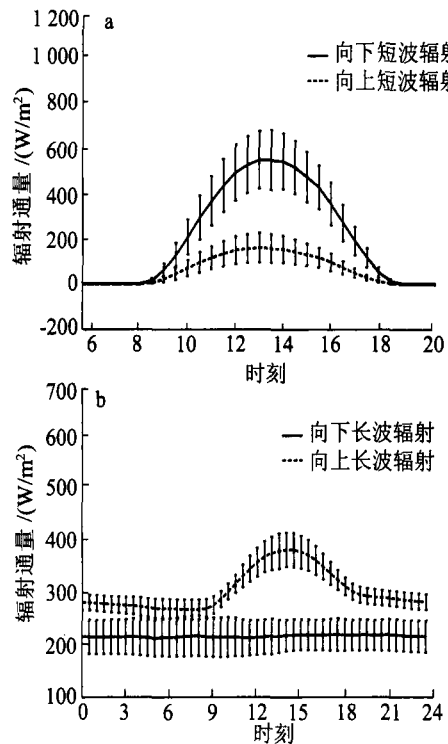


图 3 冬季各辐射分量的平均日变化和标准偏差

Fig. 3 Mean diurnal variation and standard deviation of each radiations in wintertime

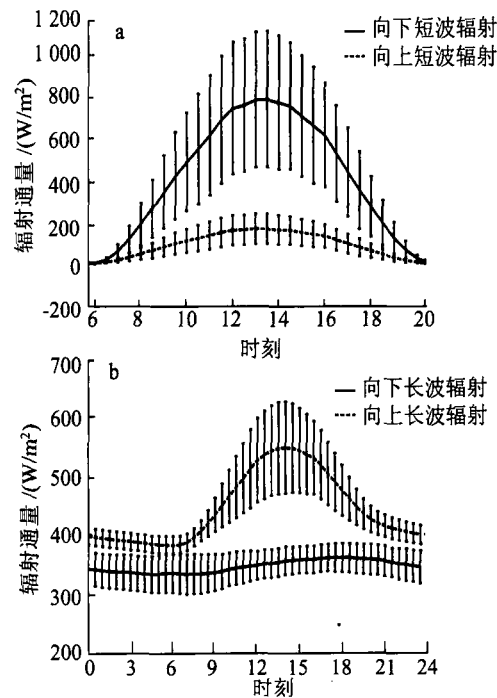


图 4 夏季各辐射分量的平均日变化和标准偏差

Fig. 4 Mean diurnal variation and standard deviation of each radiations in summertime

比冬季的长 4 h 左右。冬季, 总辐射、反射辐射和向上长波辐射的最大值分别为 546.5, 160.6 和 377.4 W/m², 相应的标准偏差为 124.3, 64.7 和 32.1 W/m²。

而夏季的最大值分别为 758.0, 161.5 和 546.7 W/m², 标准偏差为 309.2, 70.4 和 77.0 W/m², 其最大值都为冬季的 1.4 倍左右.

3.4 冬夏季地表辐射的变化特征

由图5(冬季(隆冬))、图6(夏季(盛夏))可知, 冬、夏季太阳总辐射和地面向上长波辐射的月变化不明显, 但由于受天气过程的影响, 尤其在夏季, 太

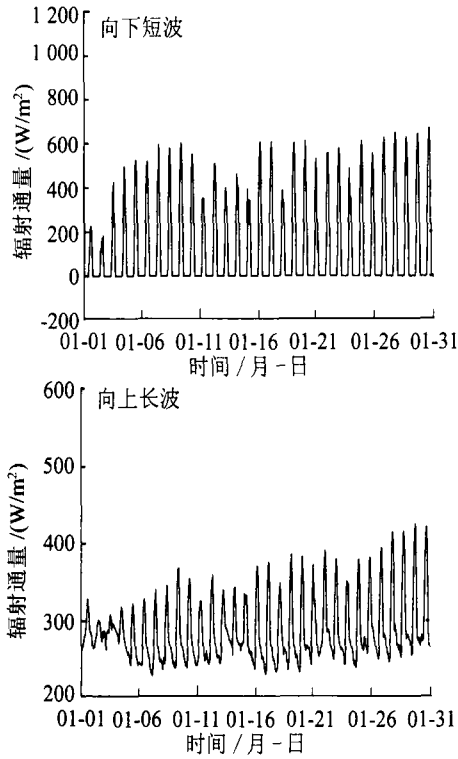


图 5 冬季太阳总辐射和向上长波辐射的变化特征
Fig. 5 Variational characters of total and upward longwave radiations in wintertime

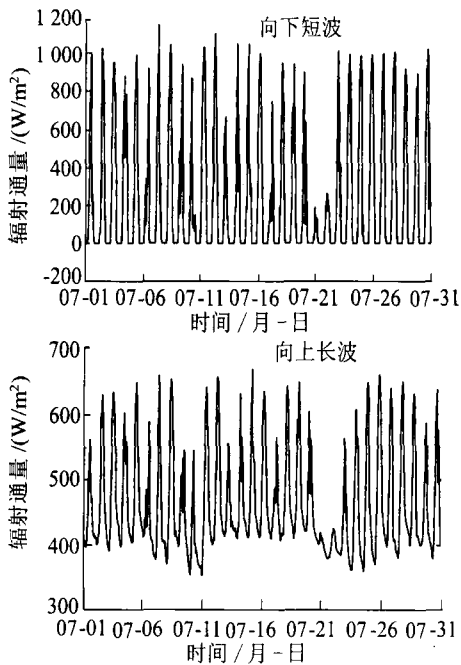


图 6 夏季太阳总辐射和向上长波辐射的变化特征
Fig. 6 Variational characters of total and upward longwave radiations in summertime

阳总辐射迅速降低, 同时也伴随着向上长波辐射的减小, 这可能与阴雨、多云天气的影响有关; 而冬季的月变化相对要平缓一些. 夏季最大的总辐射和向上长波辐射值分别为 1151 和 668.4 W/m², 平均值为 1000 和 600 W/m² 左右, 都是冬季的 2 倍.

3.5 平均月变化特征

对完整一年的辐射资料求月平均, 去掉不合理的野点, 得到如图 7 所示的辐射分量的平均月变化. 总辐射、向下长波、向上长波和净辐射的月变化趋势大体一致. 由于受下垫面地表状况和天气过程等因素的影响, 年变化也表现出了不规则或区域性的特征. 由图 8 可知, 总辐射和反射辐射的极大值都出现在 2006 年 5 月, 而不是在 7 月, 其原因主要是 7 月的降水、阴雨天气比 5 月的多, 晴天较少所致. 向上和向下长波辐射在 2006 年 7 月均出现极大值, 到 2007 年 1 月有极小值, 之后又逐渐增加, 这主要是受太阳活动规律的影响, 年循环变化中大气和地表对太阳辐射加热大约需两个月的响应时间. 净辐射表现出更显著的季节变化特征, 即夏季(6 月)达最大值, 地表储存热量; 冬季(12 月)净辐射很小, 甚至出现负值, 地表损失热量, 与总辐射保持一致的变化趋势, 这说明总辐射是影响净辐射变化的主导因子. 月平均的反射辐射变化不明显, 但在 2006 年 12 月出现一个较大的突变值, 这是受冬季降雪天气的影响, 使地面覆盖的积雪对太阳辐射有较强反射能力.

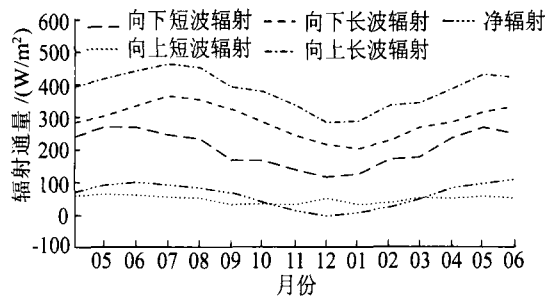


图 7 各辐射分量的平均月变化特征
Fig. 7 Variation of monthly mean radiations

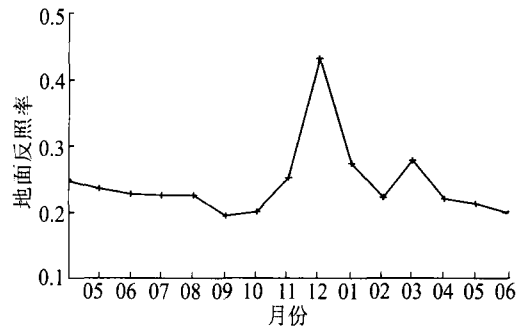


图 8 地表反照率的平均月变化特征
Fig. 8 Variation of monthly mean albedo

由表1可知,净辐射的年平均值为 61.2 W/m^2 ,变化幅度最大,为 111.5 W/m^2 ,相对变幅达102.8%,这一结果比敦煌荒漠区(100%)的^[20]小。总辐射和反射辐射的年平均值分别为 204.2 和 47.8 W/m^2 ,最大变幅分别为 154.6 和 31.8 W/m^2 ,相对变幅达57.2%和50.1%;向上和向下长波辐射的年平均值分别为 288.8 和 384.0 W/m^2 ,最大变幅是 162.6 和 180.4 W/m^2 ,相对变幅为44.6%和38.9%。由此可见,半干旱区各辐射量的年变化中,净辐射最大,总辐射和反射辐射次之,向下长波辐射最小。这从一定程度上说明该区的年平均云量较多,空气也比较湿润,大气和土壤对地表辐射变化的“缓冲”作用较强。

表1 各辐射量的月平均值

Tab. 1 Monthly averages of each radiations

时间/ 年-月	W/m ²				
	太阳 总辐射 通量	反射 辐射 通量	大气向下 长波辐射 通量	地面向上 长波辐射 通量	净辐射 通量
2006-04	239.7	59.3	283.6	393.5	70.6
2006-05	270.3	63.4	303.9	419.0	91.7
2006-06	268.1	60.8	335.6	442.8	100.2
2006-07	245.2	54.6	364.6	463.2	92.0
2006-08	232.6	51.4	353.3	452.0	82.5
2006-09	167.1	31.9	323.0	391.3	66.9
2006-10	166.0	33.7	283.6	377.6	38.3
2006-11	137.7	31.8	242.7	336.0	12.6
2006-12	115.6	50.6	214.9	282.9	-3.0
2007-01	124.7	31.7	201.9	287.3	7.7
2007-02	170.3	37.6	227.2	335.6	24.4
2007-03	175.9	52.1	267.4	342.9	48.3
2007-04	235.1	50.5	283.5	385.8	82.3
2007-05	267.6	56.7	314.7	430.1	95.5
2007-06	247.3	50.3	332.1	420.7	108.5

3.6 地表反照率的平均月变化特征

地表反照率(albedo, 记为 α)反映了地表对太阳辐射的反射能力,一般将其定义为对某个地表而言的总的反射辐射通量与入射辐射通量之比。根据此定义,地表反照率可表示为

$$\alpha = R_{\text{SW}}^{\uparrow} / R_{\text{SW}}^{\downarrow} \quad (2)$$

将(2)式代入(1)式,则可得到

$$R_n = R_{\text{SW}}^{\downarrow}(1 - \alpha) + (R_{\text{LW}}^{\downarrow} - R_{\text{LW}}^{\uparrow}) \quad (3)$$

(3)式右端第二项表示长波净辐射,它相比第一项的短波净辐射小得多。所以,地面吸收的净辐射部分主要是短波净辐射 $R_{\text{SW}}^{\downarrow}(1 - \alpha)$ 。由此可见,地表反照率是影响地表辐射能量收支的一个重要参数。

图8是由(2)式计算得到的地表反照率的平均月变化。由图8可知,反照率的月变化十分明显,尤其冬季表现出更显著的波动。反照率全年平均值为0.2432,这比张强等^[20]研究的干旱荒漠区的(0.259)小,而比杨兴国等^[17]研究的陇中黄土高原春小麦下垫面下的(0.20)大。反照率最大值为0.432,出现在2006年12月。2006年11月~2007年3月,反照率都保持较大的数值,这是因为2006~2007年冬季的降雪天气过程比较多,地面积雪使地表反照率增加,其中:反照率的几个较大值出现与几次大的降雪过程完全吻合。而反照率的最小值为0.1949,出现在2006年9月,这恰与9月份兰州地区出现的连绵阴雨天气过程对应。春夏季反照率的月变化不明显,其原因主要是2006年4~8月兰州地区普遍偏干旱,降水比常年偏少,严重影响了地表植被状况和土壤湿度等,使平均反照率变化平稳,且大于降雨天气较多的9月份的。

4 结论与讨论

利用SACOL站的地表辐射资料,分析了黄土高原半干旱区地表辐射的变化规律。结果表明:该区地表辐射平均的日变化受天气过程影响较小,其日循环主要由太阳日活动的规律控制。日循环变化中,向上长波辐射变化比太阳辐射滞后1 h,而向下长波辐射则滞后2 h;年循环中向上和向下长波辐射比太阳辐射滞后两个月,这说明地面和大气对太阳辐射加热的响应需一段时间。

太阳总辐射、反射辐射、向下长波、向上长波和净辐射年平均的日积分值分别为17.65, 4.12, 25.01, 33.20, 5.35 MJ/(m²·d)^[20],总辐射和净辐射的值比敦煌荒漠区的分别大0.66和5.21 MJ/(m²·d)^[20],而反射辐射、向下和向上长波辐射比荒漠区的分别小0.35, 1.15和1.34 MJ/(m²·d)^[21]。较小的反射辐射和向上长波辐射造成该地区净辐射值比邻近的干旱区的大。受下垫面状况和天气过程等因素影响,年变化表现出不规则或区域性特征。半干旱区地表反照率全年最大值为0.432,最小值为0.1949。年平均反照率为0.2432,这比干旱区的(0.259)小,而比定西试验站春小麦下垫面下的(0.20)大。反照率的高值正好对应降雪天气过程较多和偏干旱时段,其低值则与降水过程、连绵阴雨的天气吻合,波动变化与降雨、降雪过程对应得较好。

SACOL站作为全球协同加强观测的基准站之一,其观测结果不仅可用来验证目前天气和气候

模式中的各种参数化方案,而且它可用于检验和校准卫星资料反演结果的好坏,可以较好地改进预报模式和卫星反演的算法,提高模式预报与卫星反演结果的精度。

参 考 文 献

- [1] 胡隐樵,高由禧.黑河实验(HEIFE)——对陆面过程的一些新认识[J].气象学报,1994,52(3):285-296.
- [2] 张强,黄荣辉,王胜,等.西北干旱区陆—气相互作用试验(NWC-ALIEX)及其研究进展[J].地球科学进展,2005,20(4):427-441.
- [3] 范丽军,韦志刚,董文杰,等.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.
- [4] 张强,曹晓彦.敦煌地区荒漠戈壁地表热量和辐射平衡特征的研究[J].大气科学,2003,27(2):245-254.
- [5] 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.
- [6] 江灏,季国良.五道梁地区的辐射平衡特征[J].高原气象,1988,7(2):145-155.
- [7] 季国良,侯旭宏,吕兰芝,等.干旱地区不同下垫面的辐射收支[J].太阳能学报,2004,25(1):37-40.
- [8] 刘辉志,董文杰,符淙斌,等.半干旱地区吉林通榆“干旱化和有序人类活动”长期观测实验[J].气候与环境研究,2004,9(2):378-389.
- [9] 张志富,王澄海,邱崇践.荒漠化扩展对我国区域气候变化影响的数值模拟[J].兰州大学学报:自然科学版,2006,42(6):22-26.
- [10] 季国良,江灏,吕兰芝,等.青藏高原的长波辐射特征[J].高原气象,1995,14(4):451-458.
- [11] 季国良,吕兰芝,邹基玲.藏北高原太阳辐射能收支的季节变化[J].太阳能学报,1995,16(4):340-346.
- [12] 季国良,顾本文,吕兰芝.青藏高原北部的大气加热场特征[J].高原气象,2002,21(3):238-242.
- [13] 卞林根,陆龙骅,逮昌贵,等.1998年夏季青藏高原辐射平衡分量特征[J].大气科学,2001,25(5):577-588.
- [14] 尚可政,韩晶晶,杨德保,等.西藏西北高原气候变化趋势及预测[J].兰州大学学报:自然科学版,2006,42(6):27-32.
- [15] 中共甘肃省委研究室.甘肃省情:第1部[M].兰州:甘肃人民出版社,1988.
- [16] 中共甘肃省委研究室.甘肃省情:第2部[M].兰州:甘肃人民出版社,1989.
- [17] 韦志刚,文军,吕世华,等.黄土高原陆—气相互作用预试验及其晴天地表能量特征分析[J].高原气象,2005,24(4):545-555.
- [18] 杨兴国,马鹏里,王润元,等.陇中黄土高原夏季地表辐射特征分析[J].中国沙漠,2005,25(1):55-62.
- [19] 杨启国,杨兴国,马鹏里,等.陇中黄土高原冬季地表辐射和能量平衡特征[J].地球科学进展,2005,20(9):1012-1021.
- [20] 杨兴国,马鹏里,张强,等.陇中黄土高原夏季地表能量平衡观测研究[J].高原气象,2004,23(6):828-834.
- [21] 张强,王胜.干旱荒漠区土壤水热特征和地表辐射平衡年变化规律研究[J].自然科学进展,2007,17(1):211-216.