

Study on Surface Radiation Balance and Surface Temperature Diurnal Range of Gobi Underlying Surface in Heihe Area

Lingzhi Zhu

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: zhulingzhicuit@outlook.com

Received: Oct. 28th, 2019; accepted: Nov. 11th, 2019; published: Nov. 18th, 2019

Abstract

In this paper, the radiation physical quantity data of the Gobi underlying surface of the Gobi basin from January to December 2013 were used to analyze the surface radiation balance and the daily surface temperature difference of the Gobi underlying surface of the Gobi basin. The main conclusions are as follows: During the day, the surface temperature of the Gobi underlying surface is 30°C, which is 3 times of the temperature of 5 m. However, both temperatures have a regular day and night cycle curve. The average sensible heat flux during the day is much larger than the latent heat flux and the soil heat flux, the ground-gas energy exchange mainly heats the atmosphere in the form of sensible heat, and the opposite state occurs at night. The net long-wave radiation begins to increase, and is converted into the main heat by the latent heat, and the change of latent heat flux in four seasons is summer > spring > autumn > winter.

Keywords

Radiation Balance, Daily Temperature Range, Heihe River Basin

黑河地区戈壁下垫面地表辐射平衡及地表温度日较差的研究

朱灵芝

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都
Email: zhulingzhicuit@outlook.com

摘要

本文利用黑河流域戈壁下垫面的戈壁站所获得的2013年1~12月辐射物理量数据，对黑河流域戈壁下垫面的地表辐射平衡及地表温度日较差进行了分析，得出主要结论如下：一天中戈壁下垫面地表温度日较差为30℃，是5 m气温的3倍，但两者温度均呈现有规律的昼夜循环曲线，白天的感热通量平均值远远大于潜热通量及土壤热通量，地-气能量交换主要是以感热的形式对大气进行加热，夜晚呈现相反的状态，净长波辐射开始增加，转换成主要以潜热的方式对大气加热，并且四季的潜热通量变化为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季。

关键词

辐射平衡，温度日较差，黑河流域

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

温度日较差可以反映整个地球或某个区域的温度变化范围，对生态学意义重大，近几十年来，我国的温度日较差表现出明显减小的趋势[1]，全球的昼间温度日较差也一直在减小，一个普遍现象就是伴随云量增加，地表净长波辐射的输出在减少[2]。同时，云覆盖与昼间温度日较差存在紧密的耦合关系[3]。我国近年对温度日较差做了大量的研究，因为国土面积的40%是由干旱和半干旱地区组成，干旱和半干旱地区的85%分布在我国偏远的西北地区[4]，则大部分研究区域是位于半湿润、湿润、半干旱的下垫面，如内蒙古半干旱草原、塔里木河下游荒漠等典型下垫面的研究，黑河流域也进行了许多研究，关注点大都在黑河流域的中游、上游地区[5]，并且是分析较短时间尺度的资料，针对黑河流域下游地区的研究较少，特别是稀疏植被下垫面，由于我国的黑河下游地区的蒸发量多、降水量小、生态承载力弱，近年来，加上人类活动的普遍性，导致黑河下游地区已经出现了土地退化、恶劣天气加剧等一连串严重的生态问题[6]。

因此，地表温度日较差与地表辐射平衡的问题一直受到气象与气候学家们的广泛关注，极为关注的内容是干旱区不同下垫面的地表热量和辐射平衡的复杂陆面过程，对西北干旱区的研究主要有“HEIFE实验”[7]、“西北干旱区陆-气相互作用实验(NWC-ALIEX)”[8]、“黑河流域生态-水文过程集成研究”[9]重大研究计划以及在“十五”计划时期启动的针对非均匀下垫面开展的三次野外试验(白洋淀、金塔绿洲、南京城市边界层试验)等。张强等[10]选用敦煌试验陆面过程观测资料，对敦煌荒漠土壤的水热特征和地球表面辐射平衡的年变化规律进行了探讨，指出太阳辐射受地表状况和天气过程因素的影响；闫宇平等[11]使用了RAMS模式模拟黑河流域下垫面上的能量及水汽交换过程，重现了不平均地表热力差引起的有趣现象，比如戈壁上的“逆湿”和夏季的“绿洲效应”；在河西走廊民勤进行的野外观测实验结果表明，沙漠和绿洲的地面净辐射存在着明显的差异，这种巨大的热力差异形成了“冷岛效应”[12]。黑河实验证实了绿洲的冷岛效应，也就是说，在夏季白天常常是绿洲传热输送向下的感热，同时临近绿洲

的沙漠输送向下的水汽, 呈现了沙漠和绿洲环境互相作用之下的完整过程[13] [14] [15]。本文利用黑河流域的张掖地区构建的“一横一纵”观测系统, 分析西部戈壁的地表辐射平衡及温度日较差特征, 为黑河戈壁地区的气候研究、经济建设和社会发展提供参考。

2. 资料与方法

2.1. 资料

本文使用资料主要包括: 戈壁站 2013 年的低空空气温度与辐射(向下短波辐射 DR、向上短波辐射 UR、向下长波辐射 DLR、向上长波辐射 ULR、净辐射 Rn)等数据。

2.2. 方法

利用黑河流域的戈壁站所获取的资料, 对每月每天的同一时刻做平均计算, 用 Fortran 计算、NCL 画图, 绘制出辐射平衡各分量(潜热、感热、土壤热通量等)的 24 小时变化曲线图, 分析各辐射量的日变化及季节变化规律。接着研究戈壁下垫面温度日较差与 24 小时净长波辐射的相关性, 具体研究方法如下: 已知白天的温度范围与 24 小时平均长波辐射通量 LW_{net24} 和相关的辐射温度标度 ΔT_R 有关, 定义为:

$$\Delta T_R = -\lambda_0 LW_{net24} \quad (1)$$

计算和温度日较差这两个物理量的斜率及相关系数, 同时进行显著性检验, 这是需要研究的第一个平衡方程。其中 $\lambda_0 = 1/(4\sigma T^3)$ 是来自斯蒂芬-玻尔兹曼定律微分的辐射灵敏度参数, $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ 是斯蒂芬-玻尔兹曼常数。

通过定义 24 小时平均温度的标度温度 T_5 的扰动来定义温度的日循环, 所需用到的公式为

$$T_{sc} = (T_5 - T_{24}) / \Delta T_R \quad (2)$$

计算出四季的 T_{sc} 、 T_{maxsc} 、 T_{minsc} , 为了方便探究第四章温度尺度化后的日较差的振幅(DTR_{sc})及夜间边界层强度(ΔT_{Nsc})对夜间边界层生长时间的依赖性和摩擦速度的依赖性做好了铺垫。

然后分析戈壁下垫面的地表能量平衡特征, 根据地表能量平衡方程:

$$SW_{net} + LW_{net} = \lambda E + H + G \quad (3)$$

将能量平衡中的潜热通量(LE)、感热通量(Hs)、土壤热通量(Gs)叠加到一张图上, 净辐射(Rn)、净短波辐射(RW)、净长波辐射(LW)叠加到一张图上, 对比这两张图, 研究地表能量平衡方程的不平衡性, 这是需要研究的第二个平衡方程。其中, SW_{net} 、 λE 和 G 分别为地表净短波辐射通量、潜热通量和地表热通量。

研究发现, 对于夜间边界层, 当 $H < 0$, 并且两者都很小时, $SW_{net} \approx \lambda E$ 。这就有了近似的夜间边界层辐射平衡方程, 均按 LW_{net24} 缩放得出

$$H_{Nsc} + G_{Nsc} \approx LW_{netN} / LW_{net24} \quad (4)$$

而后主要深入夜间边界层时期的各物理量的变化, 探究 DTR_{sc} 及 ΔT_{Nsc} 对夜间边界层生长时间的依赖性和摩擦速度的依赖性。

3. 研究结果

3.1. 不同季节温度日平均变化

图 1 为黑河流域戈壁下垫面 5 m 温度和 0 m 地表温度的日平均变化图。由黑河流域的戈壁下垫面一年四季中 5 m 温度(T_5)的日平均温度变化图(图 1(a))和 0 m 地表温度(图 1(b))的日平均变化图可见, 气温

及地表均呈现出相同规律、幅度各不相同的昼夜温度循环曲线，并且地表温度明显大于 5 m 气温，可从地表温度日变化的夏季最高温度达至 46℃，5 m 气温夏季最高只有 25℃ 中看出。对于黑河流域的戈壁地区来说，该下垫面温度本身很高，对地表温度变化影响较大的就是太阳输出的短波辐射，一天中，春、夏季戈壁日出的时间大约为 7 时(秋季晚一个小时，冬季稍稍推迟 2 个小时)。

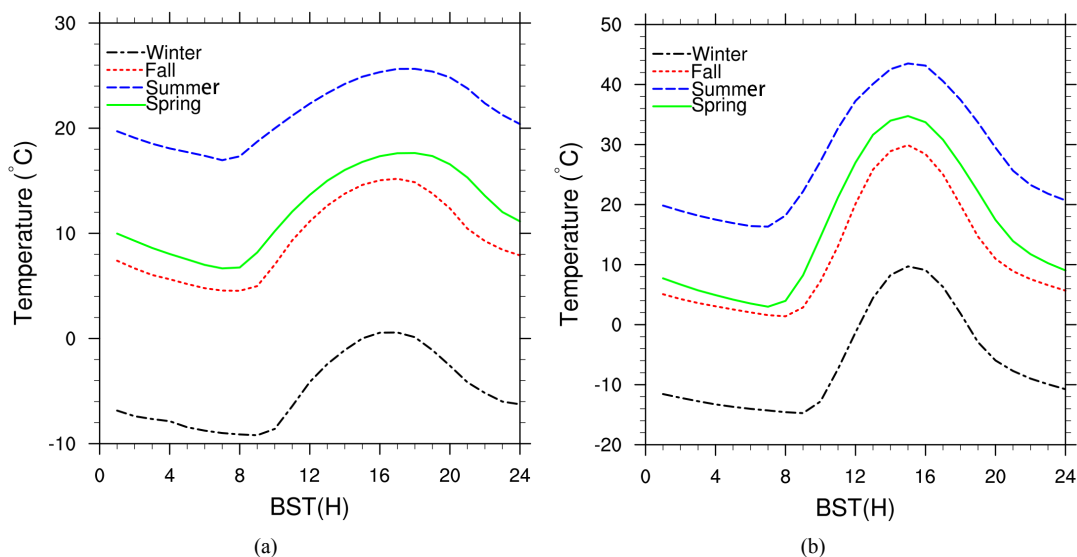
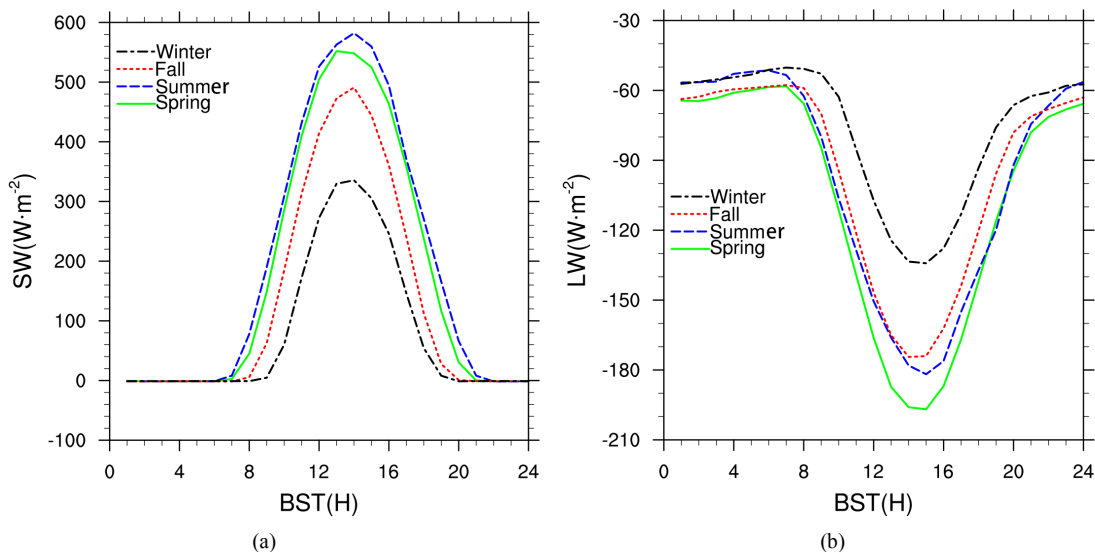


Figure 1. Diurnal average variation of the underlying surface temperature (a) 5 m and surface temperature (b) 0 m in the Gobi basin of Heihe river

图 1. 黑河流域戈壁下垫面(a) 5 m 温度和(b) 0 m 地表温度的日平均变化图

3.2. 不同季节辐射日平均变化

对于黑河流域的戈壁地区来说，该下垫面温度较高，对地表温度变化影响较大主要为短波辐射，一天中，春、夏季戈壁日出的时间大约为 7 时(秋季晚一个小时，冬季稍稍推迟 2 个小时)，短波辐射日变化如图 2 所示可解释该现象，根据斯蒂芬 - 玻尔兹曼定律，温度的增加和地表吸收的辐射成正比关系，可看出春、夏季的短波辐射从 7 时开始接收，冬季则是 9 时才有净短波辐射的接收。



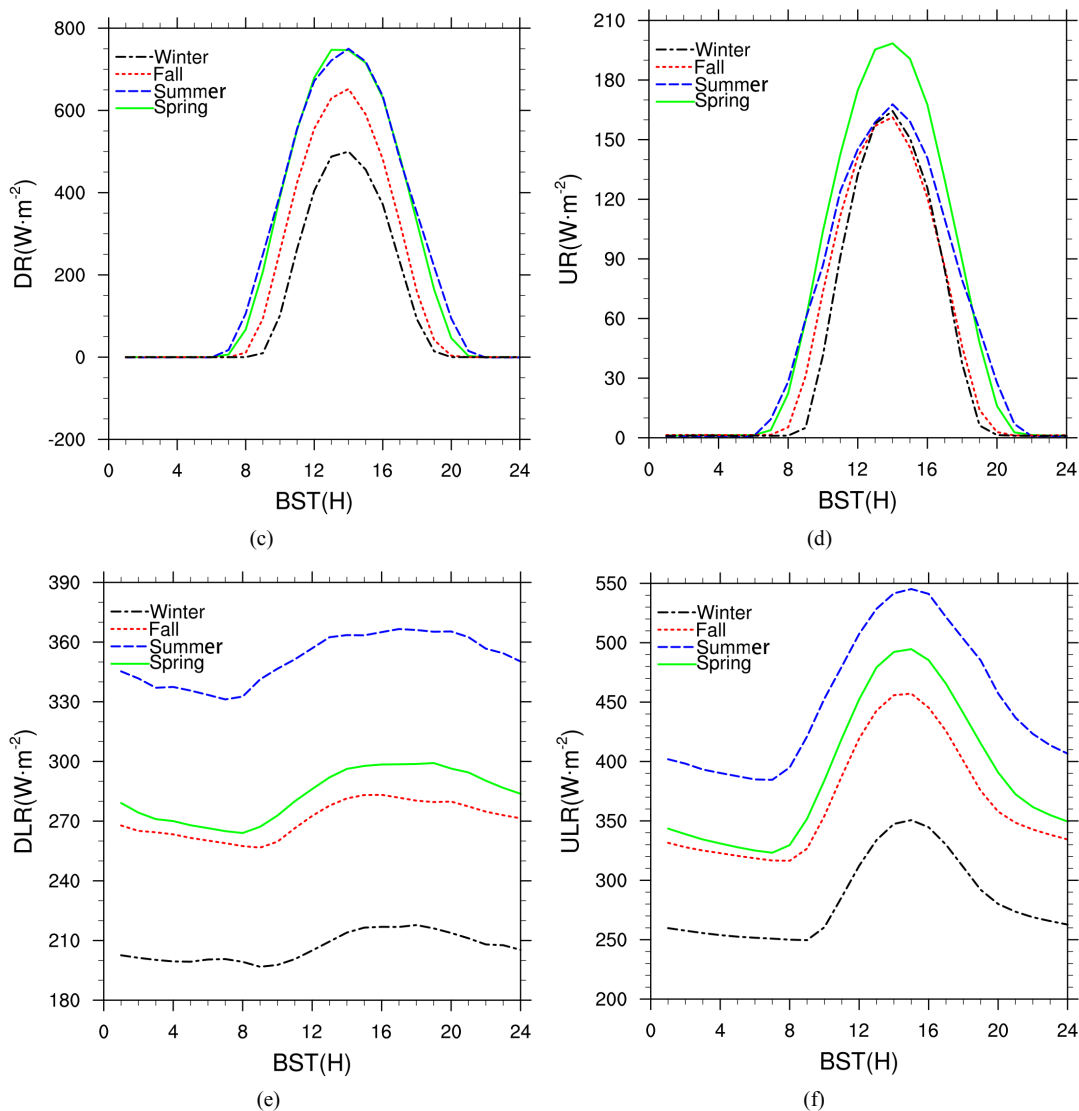


Figure 2. The diurnal mean periodic curves of (a) net long-wave radiation, (b) net short-wave radiation (c) downward short-wave radiation (d) upward long-wave radiation (e) downward long-wave radiation and (f) upward long-wave radiation from the Gobi underlying surface of the Heihe river basin

图 2. 黑河流域戈壁下垫面(a) 净长波辐射、(b) 净短波辐射、(c) 向下的短波辐射、(d) 向上的短波辐射、(e) 向下的长波辐射、(f) 向上的长波辐射的日平均周期曲线图

3.3. 不同季节热通量日平均变化

午后随接收净短波辐射能力不断增强, 地表及空气温度一直是上升的状态, 约 14 时是净短波辐射一天中最大值, 此时的潜热、感热、土壤热通量、地表温度也是达到了一天中的最大值, 而后净短波辐射通量的值开始下降, 转换成其他形式的能量也随之减少, 地表温度也随之下降, 但向下的长波辐射变化不大, 向上的长波辐射在不断减小, 则净长波辐射在增加, 与净短波辐射呈现恰恰相反走向, 说明到了夜晚是长波辐射处于主导地位。虽然净短波辐射开始减少, 但是净辐射在此后的 2 小时可以始终维持大于 0, 空气在这一时间段内还是在被加热, 直至进入日落, 5 m 空气温度日变化图可看出春、夏季日落时间约为 18 时(秋、冬季时间有所提前两个小时), 是因为秋、冬季的净短波辐射小于春、夏季, 5 m 气温从日落开始出现下降的趋势, 此时大气中水汽少、雨量少, 限制了向下的长波辐射, 有利于输出更大

的净长波辐射,地表放出净长波辐射,净辐射小于0,空气不再被加热,气温下降,净短波辐射通量为0,根据能量守恒定律,感热、潜热、土壤热通量从正值转变为负值(图3),其中对感热的解释可能是由于特殊的干旱下垫面所导致,在夜间多为下沉气流,且随之产生逆温层,所以在夜间会出现负的感热,地面辐射冷却,层结由不稳定趋于稳定,持续到次日日出,如此循环往复形成气温及各物理量的日变化规律。

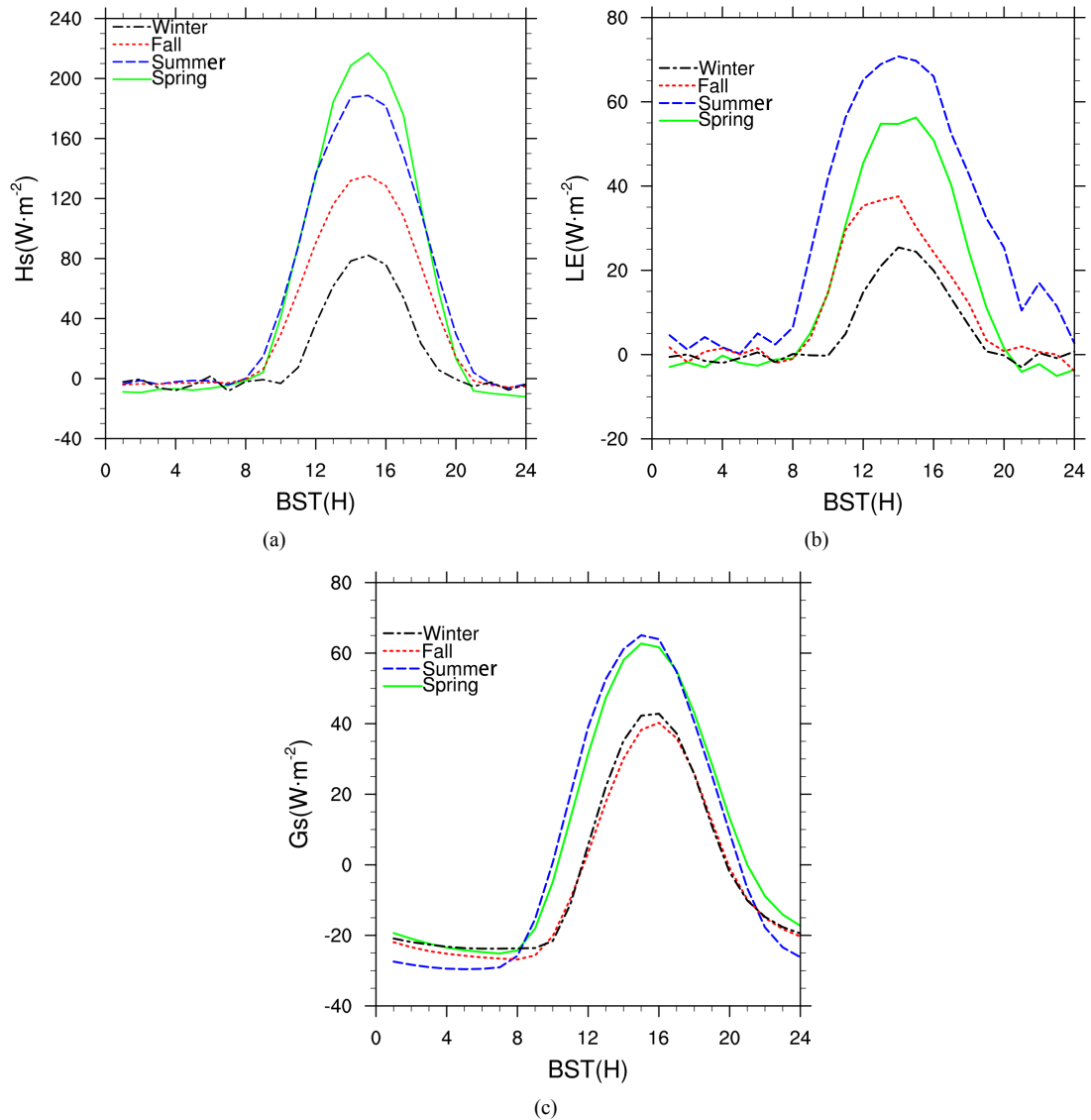


Figure 3. The average daily cycle of sensible heat flux (a), latent heat flux (b) and soil heat flux (c) on the underlying surface of Gobi basin in Heihe river basin

图3. 黑河流域戈壁下垫面(a) 感热通量、(b) 潜热通量和(c) 土壤热通量的日平均周期

3.4. 不同月份气温和辐射日平均变化

从气温来看,图4为逐月的温度日变化图。由图可见,春、秋、冬季的每月气温变化相差较大,春季的日变化温度随着月份升高逐渐升高。秋季是按照月份递增逐渐降低,总体温度下降与春季温度上升为相反趋势,并且秋季是各月差异最大的一个季节,温度的变化幅度很大。冬季的温度曲线为一月、十二月、二月逐月递增。夏季显然是温度相差最小的季节,其各月最高温度值与最低气温的春、秋、冬季

的温度日较差均为 10℃左右。夏季接近 10℃但数值上稍微小于其他三个季节,其中七月最高与最低温度相差最小、六月最大,并且日变化温度 7 月始终高于 6 月和 8 月,说明 7 月是戈壁一年四季中最炎热的月份。而地表温度的昼夜温度范围约为 30℃,是 5 m 气温温度日较差的 3 倍。

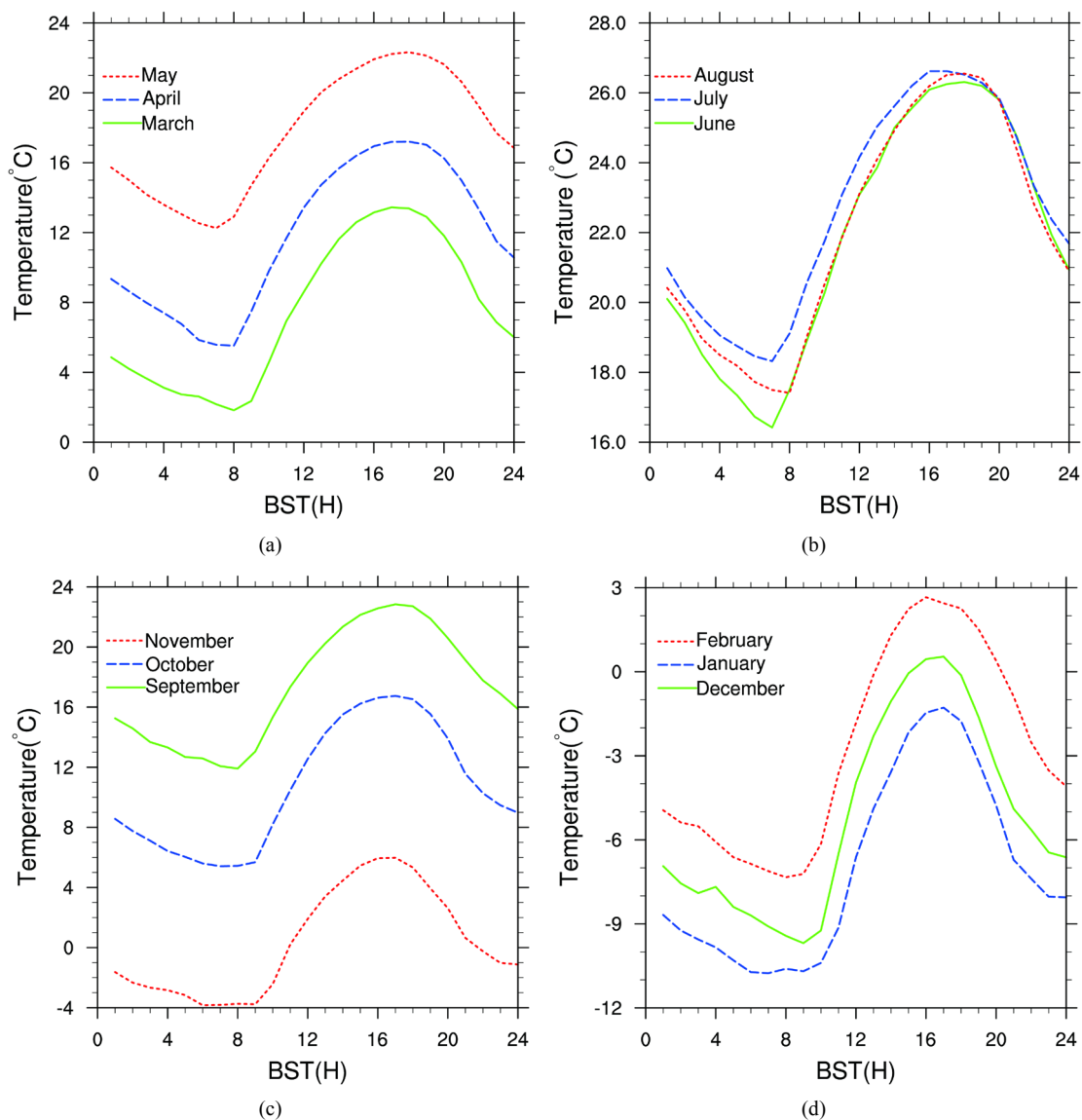


Figure 4. The diurnal mean variation of 5 m air temperature (a) in spring, (b) in summer, (c) in autumn and (d) in winter on the underlying surface of Gobi in Heihe river basin

图 4. 黑河流域戈壁下垫面 5 m 气温(a) 春季、(b) 夏季、(c) 秋季和(d) 冬季的日平均变化图

能量转化中重要的一部分包含潜热,从图 5 可知,春季的三月份潜热最大,最高峰值达 100 W/m²,可能是由于降水偏多、蒸发量大,其次总体来看潜热通量三月 > 五月 > 四月,与感热通量一致的是该循环曲线夜晚同样出现负值,有正负交替的规律。夏季潜热通量属七月最大,从大到小依次排列是七月、六月、八月,该地区潜热最大值为 95 W/m²,出现在气温高、降水多的 7 月,8 月份的潜热最小,最大值为 45 W/m²。秋季潜热峰值月份是在 11 月,另外两个月份潜热值相比较小。冬季总体来看潜热是一年中最小的季节,该地区潜热最大值仅为 27 W/m²,值最大的一月潜热平均值也仅为 5.5 W/m²,在能量平衡

方程中冬季的潜热几乎可忽略不计,但同样遵循日出前负值转正值,日落后正值转负值的潜热变化特征。四个季节相比较,戈壁下垫面四季的潜热变化是夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季。

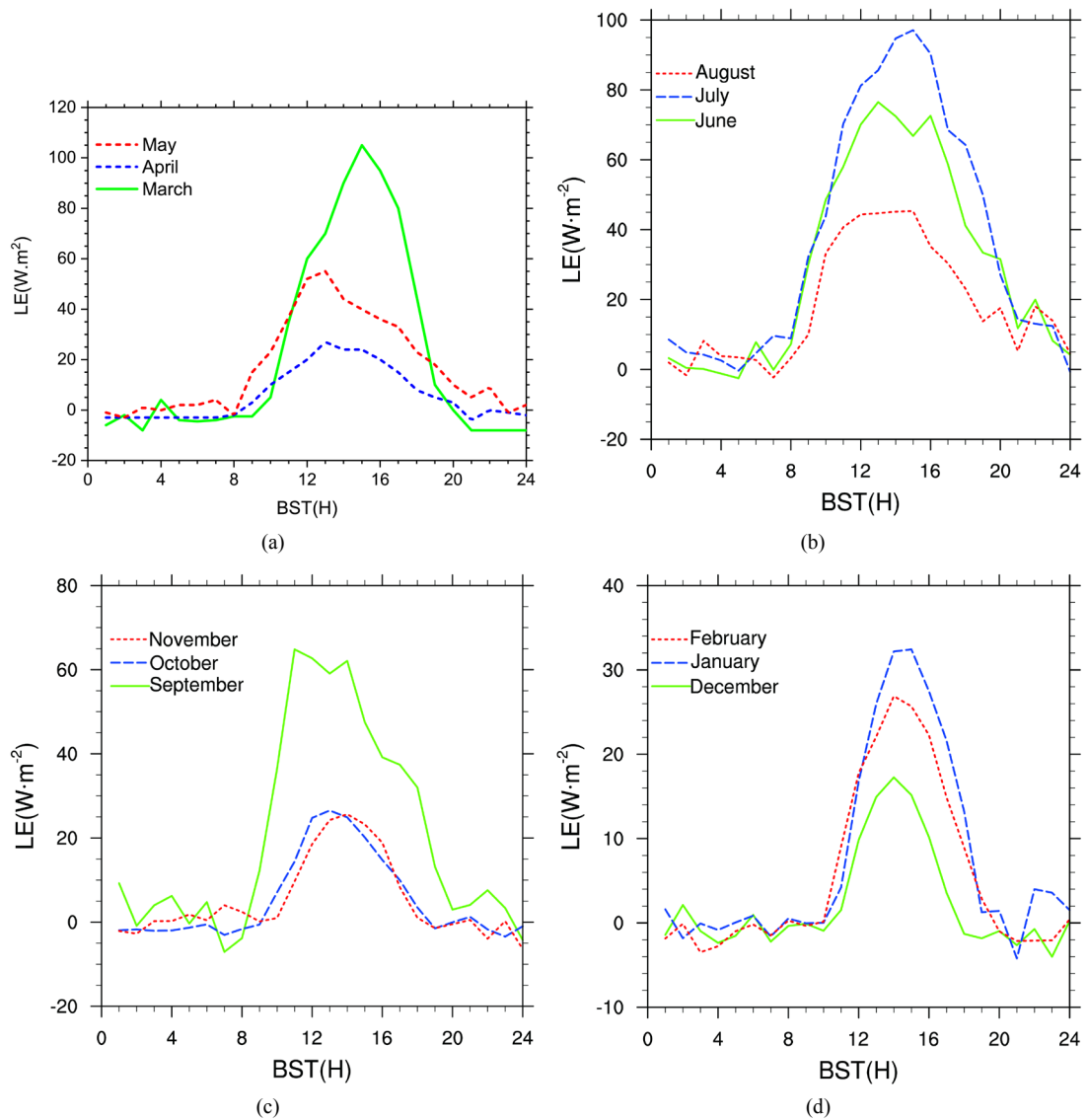


Figure 5. The variation of latent heat flux (a) in the Gobi in Heihe river basin underlying surface in (a) spring, (b) in summer, (c) in autumn and (d) in winter

图 5. 黑河流域戈壁下垫面潜热通量(a) 春季、(b) 夏季、(c) 秋季、(d) 冬季的日平均周期变化

4. 结论

本文利用戈壁站 2013 年的辐射物理量数据分析了黑河流域戈壁下垫面的辐射平衡及地表温度日较差的情况,得出如下结论:

1) 一天中,戈壁下垫面地表温度日较差为 30°C , 5 m 气温的温度日较差为 10°C 。地表温度的季平均值远远大于 5 m 气温,两者均呈现出相同规律的昼夜温度循环曲线。日出开始接收短波辐射,净短波辐射显著增加,地表温度升高,净辐射会转化成感热、潜热和土壤热通量。日落以后,长波辐射处于主导地位,感热、潜热、土壤热通量由正值转负值,持续到次日日出,循环往复,就是温度的日变化规律。

2) 四季的各辐射物理量存在明显季节变化。温度有着明显的季节特征,而夏季是各月份温度最接近的季节,净短波辐射通量与温度变化相同,表现为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季,得出潜热通量大小关系为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季,感热通量与潜热变化一致,土壤热通量大小关系为春季 > 夏季 > 冬季 > 秋季,与净长波辐射变化吻合。

基金项目

成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007, BKJX2019013, BKJX2019042, BKJX2019056, BKJX2019062, BKJX2019081, BKJX2019089, BKJX2019120 和 JY2018012)支持。

参考文献

- [1] 齐庆华, 蔡榕硕, 郭海峡. 中国东部气温极端特性及其气候特征[J]. 地理科学, 2019, 39(8): 1340-1350.
- [2] 刘昌波, 纪潇潇, 许吟隆, 等. SRES A1B 情景下中国区域 21 世纪最高、最低气温及日较差变化的模拟分析[J]. 气候与环境研究, 2015, 20(1): 89-96.
- [3] 刘伟东, 尤焕苓, 孙丹. 1961-2010 年京津冀及其周边区域温度日较差变化特征[J]. 气候与环境研究, 2016, 21(2): 167-174.
- [4] 李屹凯, 张莉, 叶瑜, 等. 1876-1878 年西北地区中西部干旱事件研究[J]. 地理科学, 2018, 38(5): 780-789.
- [5] 吴斌, 王赛, 王文祥, 等. 基于地表水-地下水耦合模型的未来气候变化对西北干旱区水资源影响研究——以黑河中游为例[J]. 中国地质, 2019, 46(2): 369-380.
- [6] 潘小多, 马瀚青. 2000-2016 年基于 WRF 模式的 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 黑河流域近地表大气驱动数据[J]. 高原气象, 2019, 38(1): 206-216.
- [7] 钱泽雨, 胡泽勇, 杜萍, 等. 藏北高原典型草甸下垫面与 HEIFE 沙漠区辐射平衡气候学特征对比分析[J]. 太阳能学报, 2003, 24(4): 453-460.
- [8] 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.
- [9] 吴胜标, 闻建光, 刘强, 等. 黑河流域地表反照率估算及其时空特征分析[J]. 地球科学进展, 2015, 30(6): 680-690.
- [10] 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(2): 211-216.
- [11] 阎宇平, 王介民. 黑河实验区非均匀地表能量通量的数值模拟[J]. 高原气象, 2001, 20(2): 132-139.
- [12] 苏从先, 胡隐樵, 张永丰. 河西地区绿洲的小气候特征和冷岛效应[J]. 大气科学, 1987, 11(4): 390-396.
- [13] 毛东雷, 蔡富艳, 李新国, 等. 塔克拉玛干沙漠南缘策勒流沙前缘与绿洲内部近地面逆温逆湿特征研究[J]. 干旱区地理, 2019, 42(5): 976-985.
- [14] 毛东雷, 蔡富艳, 杨雪峰, 等. 新疆策勒绿洲——沙漠过渡带不同下垫面风场特征[J]. 干旱区研究, 2019, 36(5): 1117-1126.
- [15] 高瑜莲, 柳锦宝, 柳维扬, 等. 近 14a 新疆南疆绿洲地区地表蒸散与干旱的时空变化特征研究[J]. 干旱区地理, 2019, 42(4): 830-837.