

# 我国西北典型干旱区和高原地区地表 辐射能量收支特征的比较

朱德琴<sup>1,2</sup> 陈文<sup>1</sup> 刘辉志<sup>1</sup> 黄荣辉<sup>1</sup>

1 中国科学院大气物理研究所, 北京 100080

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

**摘要** 利用“中国西北干旱区陆气相互作用观测试验(NWC-LAIEX)”所获取一年的地面辐射观测资料(2000年5月~2001年4月),比较分析了我国典型干旱区敦煌戈壁、临泽沙漠和藏北高原五道梁地区地表辐射能量的收支特征。结果表明:3个地区各辐射分量季节变化明显,春季一般为跳跃式增加,而秋季则急剧减小,敦煌和临泽地区总辐射月总量几乎全年都小于藏北高原的五道梁地区,冬季最为明显。五道梁和临泽地区的地表反照率有较明显的季节变化和日变化,季节变化是夏季较小,冬季大;而敦煌戈壁地区的反照率不论是季节变化还是日变化,都比较平缓;3个地区相比,临泽沙漠地区的反照率最大,五道梁地区次之,敦煌戈壁地区最小。敦煌戈壁和临泽沙漠地区的地面向上长波辐射和大气逆辐射都比藏北高原的五道梁地区大。地面有效辐射在敦煌戈壁和临泽沙漠地区是夏季大,冬季小;而在藏北高原的五道梁地区则是春秋季节大,冬夏季小。地面有效辐射与地面吸收辐射之比敦煌戈壁和临泽沙漠地区量值相近,藏北高原的五道梁地区较小,夏季尤为突出。在夏季,五道梁的地表净辐射要远远大于其他两个地区,冬季3个地区量值相当。与地表净辐射相对应,五道梁地区的地面热源强度在夏季大于敦煌戈壁地区,在冬季相差不大。

**关键词** 中国西北 青藏高原 地表辐射能量

**文章编号** 1006-9585 (2006) 06-0683-08 **中图分类号** P422 **文献标识码** A

## The Comparison of Surface Radiation Budget between Typical Arid Region in Northwest China and Plateau Region

ZHU De-Qin, CHEN Wen, LIU Hui-Zhi, and HUANG Rong-Hui

1 *Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*

2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

**Abstract** Based on “NWC-LAIEX” (Field Experiment on Interaction between Land and Atmosphere over Arid Region in Northwest China) observation data over three different sites from May 2000 to April 2001, the surface radiation budget characteristics of typical underlying surfaces that are Gobi without vegetation cover in Dunhuang and desert with dotted grass in Linze and Gobi with some sparse grass in Wudaoliang of the Northern Tibetan Plateau are analyzed and compared. The results are as follows: the seasonal variations of aforementioned three different regions are quite obvious, in generally, which increase jumpily and decrease rapidly. The monthly grosses of total solar radiation of Gobi in Dunhuang and desert in Linze are less than that of Wudaoliang region almost during the whole year, especially in winter. The seasonal and diurnal variations of surface albedo of desert in Linze and Wu-

**收稿日期** 2005-08-18 收到, 2006-09-02 收到修定稿

**资助项目** 国家自然科学基金资助项目 40375021 和 40231005

**作者简介** 朱德琴, 女, 1979 年出生, 博士研究生, 主要从事陆气相互作用及其数值模拟研究。E-mail: deqinzh@mail.iap.ac.cn

daoliang regions are obvious and greater than that of in Gobi of Dunhuang. The surface upward longwave radiations of Gobi and desert in Northwest China are larger than that of in Wudaoliang, but the seasonal variations in three sites are obvious. The net longwave radiations of Gobi in Dunhuang and desert in Linze are large in summer, and small in winter, but it is reverse in Wudaoliang. The surface net radiations are much less over Gobi in Dunhuang and desert in Linze than in Wudaoliang in summer, but almost same in winter. Corresponding to net radiation, the surface heating field is much larger in Wudaoliang than in Dunhuang Gobi region in summer, but almost no difference in winter.

**Key words** Northwest China, Tibet, surface radiation

## 1 引言

陆地下垫面状况对气候的影响在 20 世纪 60 年代以前就引起了气候学家的重视。从 70 年代末开始, 已有许多工作利用不同的大气环流模式 (AGCM) 模拟了陆面过程在气候变化中的作用<sup>[1~4]</sup>, 指出下垫面状况在很大程度上决定了陆地表面的能量和水分平衡, 从而深刻地影响着局地、区域乃至全球大气环流和气候的基本特征。为了提高全球或区域性气候模式的模拟能力, 深入了解气候变化的物理机制, 使大气环流模式能真实地反映地球物理与生物化学过程, 有必要对典型下垫面上的陆气相互作用过程进行深入研究<sup>[5]</sup>。

太阳辐射是驱动地气相互作用的原动力, 是影响其他分量变化的基本特征因子, 陆面过程中地气之间的能量交换包括了发生在土壤—植被—大气之间的辐射过程 (短波直射、短波散射、反射辐射、透射和长波辐射), 所以在研究陆气相互作用中的水、能平衡之前, 对地表辐射能量的收支特征进行深入分析非常必要。我国西北干旱区戈壁和沙漠及高原地区荒漠草原均为特殊下垫面的典型代表。目前已有许多工作对西北干旱区戈壁、沙漠及高原地区地表辐射收支分别进行了大量的研究<sup>[6~17]</sup>, 并逐渐对这些地区的地表辐射收支特征有了深刻的认识。

为了研究我国西北干旱、半干旱区对我国灾害气候, 特别是干旱的形成作用, 进一步提出我国西北干旱区具有代表性的陆面过程参数, 研究区域尺度的陆面过程特征, 以及比较干旱区、半干旱区和高原地区陆气相互作用的特征, 继“黑河试验” (HEIFE)<sup>[18]</sup>以后, 从 2000 年开始, 在国家重点基础研究发展规划项目 (973) 的支持

下, “中国西北干旱区陆气相互作用观测试验” (简称“NWC-LAEX”) 在我国典型干旱区塔里木盆地的下风口——敦煌双墩子戈壁、巴丹吉林沙漠临泽和青藏高原五道梁地区 3 个观测试验站进行了野外观测试验。到目前为止, 该试验已持续了 5 年。本文利用 3 个观测站 2000 年 5 月~2001 年 4 月的实测数据和有关资料, 对它们的地面总辐射、反照率、地面有效辐射、净辐射和热源强度等的变化特征进行了分析和比较研究, 以便深入了解我国干旱、半干旱和高原地区荒漠戈壁下垫面的辐射能量收支特征, 并为进一步探索我国干旱、半干旱和高原地区陆气相互作用的物理过程和气候变化提供依据。

## 2 观测场地、资料及仪器

敦煌双墩子戈壁微气象站 (40°10'N, 94°31'E) 距敦煌绿洲边缘的最近距离大约为 7 km, 海拔高度为 1 150 m, 近地面年平均气压为 873 hPa, 年平均降水约为 40 mm, 年蒸发潜力却高达 3 400 mm。试验场地的下垫面为平坦的沙石戈壁, 表面有较多的石子, 下面则以细沙为主, 是西北典型极端干旱区戈壁下垫面的代表。该站观测的辐射分量包括太阳直接辐射、总辐射、地表反射辐射、大气逆辐射和地表向上长波辐射。巴丹吉林沙漠临泽站 (39°26'N, 100°12'E) 位于绿洲和沙漠的过度带, 下垫面为沙丘, 分布着零星的骆驼草, 南边有农田和杨树林防风带, 是干旱区沙漠下垫面的典型代表。该站的辐射观测项目包括太阳总辐射、反射辐射、大气逆辐射、地面向上长波辐射和净辐射。藏北高原五道梁站 (35°13'N, 93°5'E) 在青藏高原北部, 昆仑山与唐古拉山之间, 海拔 4 612 m, 属于高原亚寒带半干旱气候区, 下垫面为荒漠草原, 近地面年平均气压为 578 hPa, 观测场

地四周开阔,地面为沙土,夏季有稀草,是高原半干旱地区戈壁下垫面的典型代表。该站观测的辐射分量有太阳直接辐射、太阳总辐射、反射辐射、反照率、天空长波辐射、地面长波辐射、紫外辐射等。3个观测站使用相同的观测仪器,其中有日本EKO公司的型号为MR-21的短波辐射计和型号为CN-11的净辐射计,美国Eppley公司的型号为PR的红外辐射计。所有辐射表的鉴定和比对都经过中国气象局计量所统一标定,安装在1.5 m高的架子上,观测精度在5%以内。有关仪器的详细介绍参看文献[19]。

### 3 地面辐射收支的变化特征

太阳辐射是陆面过程研究中有关地表辐射平衡的主要分量,是影响其他分量变化的基本特征因子。以下对我国西北典型干旱区戈壁、沙漠地区和藏北高原五道梁地区的太阳辐射能收支各分量的变化特征作比较分析。

#### 3.1 太阳总辐射

太阳总辐射的变化特征主要取决于当地的太阳高度。如果大气完全透明,北半球的总辐射在一年之内最大值应该出现在6月,而最小值应该出现在12月;一日之内,在中午最强,越接近日出或日没越小,夜间为0<sup>[20]</sup>。但是,实际上由于各地的海拔高度、大气透明度及云量等因素的不同,太阳总辐射也存在一定的差异。由图1可以看出,3个地区的总辐射季节变化都比较明显,

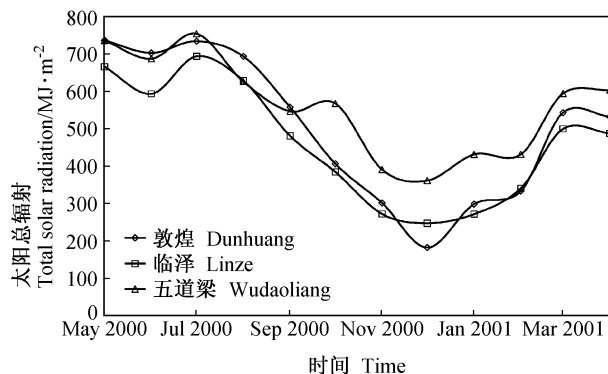


图1 敦煌戈壁、临泽沙漠和五道梁地区太阳总辐射月总量的年变化

Fig.1 Annual variations of monthly total solar radiation in Dunhuang, Linze and Wudaoliang

春季增加,敦煌戈壁地区从秋季的9月到冬季12月总辐射都是急剧减小,临泽沙漠地区则是在秋季的9~11月急剧减小,而高原的五道梁地区从8月开始就急剧减小,但在10月变率较小,11月又急剧减小;在冬、夏季3个地区的变化都比较缓慢。上述总辐射的增加和急剧减小必然会引起地面热状况的突变,从而影响行星边界层内平均气压系统的季节性转换。

另外,由于敦煌戈壁和临泽沙漠地区所处纬度高于五道梁地区,海拔低,大气透明度小,它们的总辐射在全年几乎都小于五道梁地区,冬季最为明显。敦煌地区太阳总辐射月总量的最大值出现在5月,为 $735.92 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ,而临泽和五道梁地区均出现在7月,分别为 $693.13$ 和 $753.68 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ,最小值均出现在12月。敦煌地区总辐射月总量的年较差(5~12月)在3个站中是最大的,为 $553.71 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ,临泽地区年较差(7~12月)为 $445.86 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ,而五道梁地区年较差(7~12月)最小,为 $392.46 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ,3个地区总辐射年较差的这种差异,也必然会导致地表温度及空气温度年较差的差异。

#### 3.2 地表反照率

地表反照率反映了下垫面对太阳辐射的反射能力,它在地表辐射平衡中起非常重要的作用,其量值的确定对于研究下垫面的热力性质具有重要的意义。一个地区的实际反照率由该地区的土壤成分、覆盖物类型及它们的颜色、干湿状况和地表的粗糙程度来综合体现<sup>[21]</sup>。本文利用观测的反射辐射除以总辐射计算得到敦煌戈壁、临泽沙漠和五道梁地区的反照率,但当太阳辐射大于 $150 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,才进行计算,结果见图2和图3。

从图3可以看出,3个地区的地表反照率有比较明显的差别。对于年平均的日变化(见图2),临泽地区和五道梁地区都呈U型,在日出和日落太阳高度角较小时,地表反照率出现最大峰值;而敦煌戈壁地区的反照率平均日变化比较平缓。对于年变化(见图3),敦煌戈壁地区反照率在一年内变化也不大,这是因为对于敦煌荒漠戈壁而言,地表没有植被,土壤颜色和粗糙度长度基本不变,对其反照率起作用的主要因子是太阳高度角和土壤湿度,所以其变化幅度很小。临泽沙漠地区和高原的五道梁地区在夏季下垫面有稀疏的

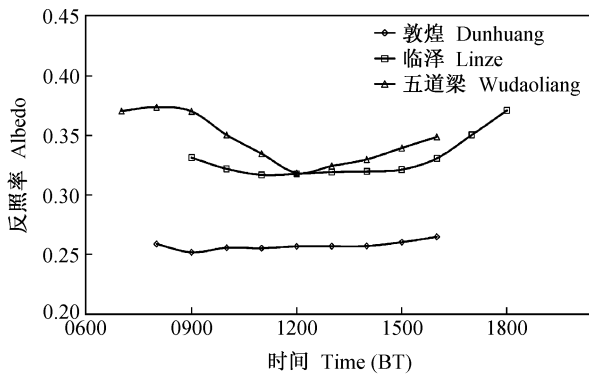


图2 敦煌戈壁、临泽沙漠和五道梁地区地表反照率的年平均日变化

Fig. 2 Annual mean diurnal variation of albedo in Dunhuang, Linze and Wudaoliang

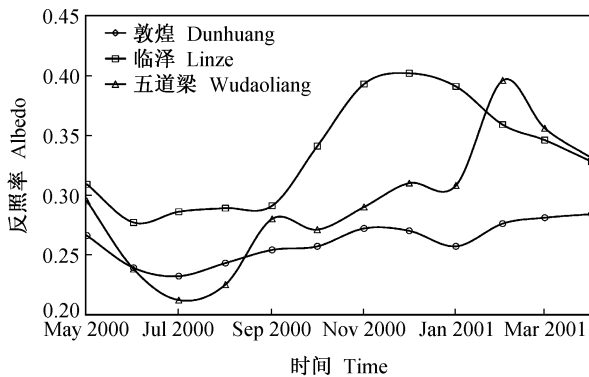


图3 敦煌戈壁、临泽沙漠和五道梁地区地表反照率的年变化

Fig. 3 The monthly variation of albedo in Dunhuang, Linze and Wudaoliang

植被生长, 冬季会有积雪, 所以其反照率的年变化和平均日变化幅度都较大。临泽沙漠地区在夏季的6月反照率值最小, 为0.28; 敦煌戈壁和五道梁戈壁地区在7月出现最小, 分别为0.23和0.21; 临泽沙漠地区的反照率在冬季的12月份达到最大, 为0.4; 五道梁在2月达到最大(下垫面有雪造成), 为0.39; 而敦煌则是在4月达到最大, 为0.28。就年平均来说, 临泽沙漠地区的最大, 为0.33; 敦煌戈壁地区的最小, 为0.26。

### 3.3 地面有效辐射

#### 3.3.1 地面长波辐射和大气逆辐射

地面长波辐射是地面辐射平衡中一个极为重要的组成部分, 较为详细地研究干旱、半干旱和高原地区的长波辐射特征, 可以为研究这些地区陆气相互作用的物理过程和气候变化提供一定的

依据。地面长波辐射可以用下式表示:

$$U = \epsilon \sigma T_0^4,$$

其中,  $\epsilon$  为比辐射率,  $\sigma$  为斯蒂芬-波尔兹曼常数,  $T_0$  为地表温度。从上式可看出, 地面向上长波辐射与地表温度的变化一致, 所以地表温度的大小决定了地面向上长波辐射的大小。

图4给出了3个地区地面向上长波辐射的变化分布, 由图可见, 各地区地面向上长波辐射都有明显的季节变化。敦煌戈壁地区地面向上长波辐射全年都大于其他两个地区, 夏季的5~8月最为突出, 而且月际变率也最明显; 五道梁地区则全年均为最小(冬季临泽地区和五道梁地区相当), 变化幅度也小。这说明敦煌戈壁地区地表温度及其变化幅度在这3种下垫面中为最大, 五道梁地区为最小。3个地区的地面向上长波辐射的月总量均在7月达到最大, 分别为敦煌  $1342.52 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 、临泽  $1164.93 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 、五道梁  $1006.79 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ; 敦煌戈壁地区在1月出现最小值, 为  $741.94 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ , 而临泽和五道梁地区均在2月出现最小值, 分别为  $652.28$  和  $638.86 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。值得注意的是, 敦煌地区月总量全年中有6个月都在  $1000 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  以上, 远大于总辐射的量值, 并且其值的年振幅最大, 为  $600 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ , 而临泽地区为  $512.65 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ , 五道梁为  $367.93 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。季国良等<sup>[10]</sup>对青藏高原的长波辐射特征研究认为, 高原地区因为地面温度的年振幅较大, 所以地面长波辐射年振幅比一

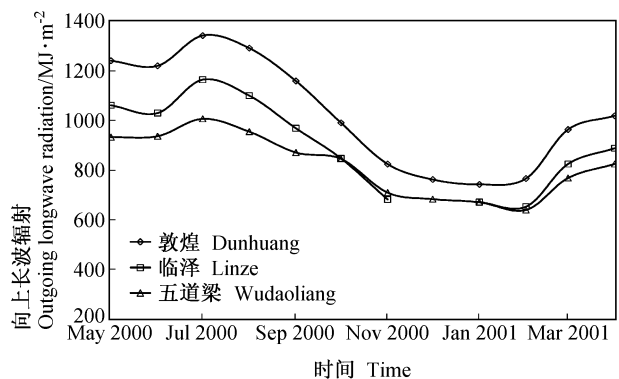


图4 敦煌戈壁、临泽沙漠和五道梁地区地面向上长波辐射(资料连续观测小于20天的月份统计为缺测, 见图中断线处, 下同)

Fig. 4 The same as Fig. 1 but for surface upward longwave radiation (if the observation days less than 20, there no value in that month, the following figures are the same)

般的平原地区要大。而在本文的研究中发现，由于敦煌戈壁地区和临泽沙漠地区地表温度的年较差非常大（敦煌戈壁地区可达 39.56℃），所以敦煌和临泽地区的地面向上长波辐射的年振幅比高原地区的还要大。

已有的研究表明<sup>[22,23]</sup>大气逆辐射的变化主要受气温、天空云以及空气中的水汽、CO<sub>2</sub>、气溶胶的含量等因素决定。从图 5 可看出，大气逆辐射季节变化明显，春季急剧增加，秋季则是急剧减小。与地面向上长波辐射相同，敦煌戈壁地区的大气逆辐射全年都为最大，临泽沙漠地区次之，高原五道梁地区最小。究其原因，可能是因为敦煌戈壁地区海拔高度低，空气温度高，且大气中沙尘含量高，从而使得此地区的大气逆辐射较大；而五道梁地区正好相反，因为地处纬度低，高海拔，空气洁净，致使大气逆辐射较小；临泽地区则介于中间。3 个地区的月总量也是在 7 月达到最大值，敦煌戈壁地区在 1 月月总量的值最小，而

临泽和五道梁地区在 2 月为最小。

3.3.2 地面有效辐射

地面有效辐射（净长波辐射）的变化较为复杂，它是地面向上长波辐射与大气逆辐射之差，因而受天空云、水汽、气溶胶以及地面温度等的影响较大。从图 6 可见，敦煌戈壁地区地面有效辐射在夏季的 8 月达到最大，为 325.53 MJ·m<sup>-2</sup>，在冬季的 12 月最小，为 97.65 MJ·m<sup>-2</sup>；临泽沙漠地区在 5 月值最大，为 303.23 MJ·m<sup>-2</sup>；而五道梁地区虽然全年变化比较平缓，但与其他两个地区相比，出现了相反的变化趋势，春、秋季较大，冬、夏季较小，这与季国良等<sup>[11]</sup>对藏北高原有效辐射能的统计结果相似，并且其值在秋季的 10 月达到最大值，为 276.22 MJ·m<sup>-2</sup>，而在夏季的 8 月最小，为 190 MJ·m<sup>-2</sup>。

表 1 给出了地表有效辐射（F）与地表吸收辐射（Q<sub>n</sub>）（太阳总辐射与反射辐射之差）之比。可见，敦煌戈壁和临泽沙漠地区净长波辐射与短波吸收辐射之比几乎全年各月都大于高原五道梁地区。敦煌戈壁地区夏季为 53%~62%，冬季达到 80%以上；临泽沙漠地区夏季为 52%~63%，与敦煌戈壁地区接近，但在 11 月可达到 98%；高原五道梁地区夏季为 34%~40%，冬季 77%~94%。可见，3 个地区的比值都是夏季最小，冬季最大，季节变化十分明显。与江灏等<sup>[9]</sup>对黑河绿

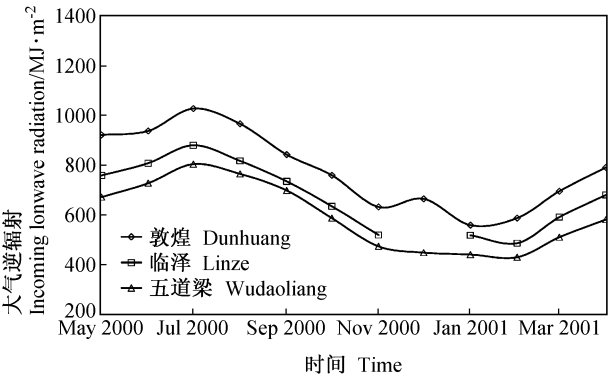


图 5 敦煌戈壁、临泽沙漠和五道梁地区大气逆辐射  
Fig. 5 The same as Fig. 1 but for downward longwave radiation

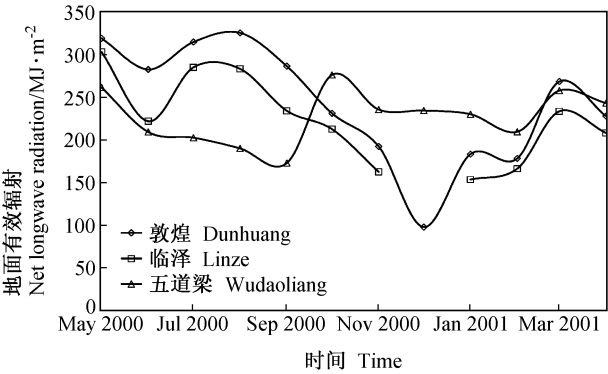


图 6 地面有效辐射（其余同图 1）  
Fig. 6 The same as Fig. 1 but for net longwave radiation

表 1 敦煌戈壁、临泽沙漠和五道梁地面有效辐射与短波吸收辐射之比（F/Q<sub>n</sub>）的年变化

Table 1 Monthly sum of F/Q<sub>n</sub> in Dunhuang, Linze and Wudaoliang

| 年份<br>Year | 月份<br>Month | F/Q <sub>n</sub> |             |                   |
|------------|-------------|------------------|-------------|-------------------|
|            |             | 敦煌<br>Dunhuang   | 临泽<br>Linze | 五道梁<br>Wudaoliang |
| 2000       | 5           | 0.59             | 0.66        | 0.50              |
|            | 6           | 0.53             | 0.52        | 0.40              |
|            | 7           | 0.56             | 0.58        | 0.34              |
|            | 8           | 0.62             | 0.63        | 0.39              |
|            | 9           | 0.69             | 0.69        | 0.44              |
|            | 10          | 0.77             | 0.84        | 0.67              |
|            | 11          | 0.88             | 0.98        | 0.85              |
|            | 12          | /                | /           | 0.94              |
| 2001       | 1           | 0.83             | 0.93        | 0.77              |
|            | 2           | 0.74             | 0.76        | 0.8               |
|            | 3           | 0.65             | 0.72        | 0.67              |
|            | 4           | 0.60             | 0.64        | 0.6               |

洲地区的计算结果（黑河绿洲夏季大约为 20%~30%，冬季为 50%~60%）相比，敦煌戈壁、临泽沙漠和藏北高原地区各月地表净长波辐射占地表短波吸收辐射的比值远大于黑河绿洲地区。较早的研究<sup>[10]</sup>表明高原地区的地表有效辐射在地表辐射平衡中的权重比一般的平原地区要大很多，并认为是青藏高原地表有效辐射的独特特征。本文的分析研究则说明对于中国西北典型干旱区荒漠戈壁和沙漠下垫面，地表辐射平衡中长波辐射的变化非常重要。

### 3.4 地表净辐射和地面热源强度

地表收入的总辐射能量与支出的总辐射能量之间的差额称为辐射平衡值，即地表净辐射。地表净辐射的大小及其变化特征是由短波辐射差额和长波辐射差额两部分决定，影响这两部分的因素如日照长短、大气透明度、天气条件和下垫面的状况等都同样影响辐射平衡量，因此地表净辐射会有昼夜变化和明显的季节变化。对于地表净辐射（ $B$ ）的年变化，从图 7 可以看出，3 个地区地表净辐射的月总量都在夏季达到最大，说明 3 个地区夏季地表获得的净能量最多，其中敦煌最大值出现在 6 月，为  $254.45 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ；临泽沙漠地区出现在 7 月，为  $213.03 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ；高原五道梁地区出现在 8 月，为  $394.70 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。从图 7 也可以看出，高原的五道梁地区与西北干旱区地表净辐射在冬季量值差别不大，敦煌戈壁稍高于其他两个地区；但在其他季节 3 个地区的量值有较大的差别，五道梁地区为最大，临泽沙漠地区最小，这种差别在夏季最为明显。

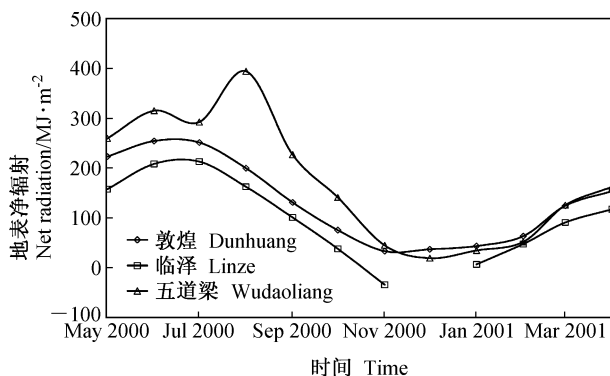


图 7 地表净辐射（其余同图 1）

Fig. 7 The same as Fig. 1 but for surface net radiation

表 2 列出了敦煌戈壁地区和五道梁地区土壤热流量（ $H$ ）月总量的年变化。以进入土壤的热量为正，敦煌戈壁地区从秋季的 10 月开始到次年的 1 月土壤热流量为负，11 月达到最低，为  $-13.17 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ，从 2 月开始，随着地表逐渐被加热，土壤开始从地表吸热，热流量转为正值，到夏季的 7 月份达到最大，为  $24.29 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ；同时可以看出，与敦煌戈壁地区相比，高原五道梁地区土壤热通量年变化振幅很大，从秋季的 10 月开始一直到次年的 3 月土壤热流的月总量一直保持为负值，负值最大出现在 12 月，为  $-25.68 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ，从次年 4 月开始转变为正值，也是在夏季的 7 月达到最大，为  $29.11 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。敦煌和五道梁的土壤热通量都存在全年“正多负少”的情况，出现这种情况的原因可能为：1）从能量平衡的角度看，夏季净辐射强，而冬季弱，有些地区冬季净辐射月总量可出现负值（见图 7，临泽站），但冬季负值没有夏季正值大，而且只出现在个别月份；2）与当地土壤质地有关，可能土壤热流量在水平方向存在“平流”；3）与土壤热流量的测量误差有关。

在文中，我们还计算了敦煌戈壁和五道梁地区的地面热源强度（ $B-H$ ），见图 8。对于敦煌戈壁和五道梁地区，地面加热场全年均为热源，年平均值分别为  $128.42$  和  $172.29 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。地表热源都是夏季强，冬季弱。敦煌戈壁地区春季急剧增加，秋季急剧减小；五道梁地区从春季的 3

表 2 敦煌和五道梁地区土壤热流量（ $H$ ）的年变化

Table 2 Monthly sum of surface heating flux in Dunhuang and Wudaoliang  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$

| 年份<br>Year | 月份<br>Month | $H$                     |                          |
|------------|-------------|-------------------------|--------------------------|
|            |             | 敦煌 (2.5 cm)<br>Dunhuang | 五道梁 (2 cm)<br>Wudaoliang |
| 2000       | 5           | 15.67                   | 27.91                    |
|            | 6           | 14.15                   | 26.98                    |
|            | 7           | 24.29                   | 29.11                    |
|            | 8           | 14.33                   | 13.51                    |
|            | 9           | 0.803                   | 3.43                     |
|            | 10          | -9.13                   | -6.12                    |
|            | 11          | -13.17                  | -23.88                   |
|            | 12          | -12.80                  | -25.68                   |
| 2001       | 1           | -10.26                  | -22.63                   |
|            | 2           | 2.61                    | -11.95                   |
|            | 3           | 9.96                    | -6.46                    |
|            | 4           | 11.64                   | 3.14                     |

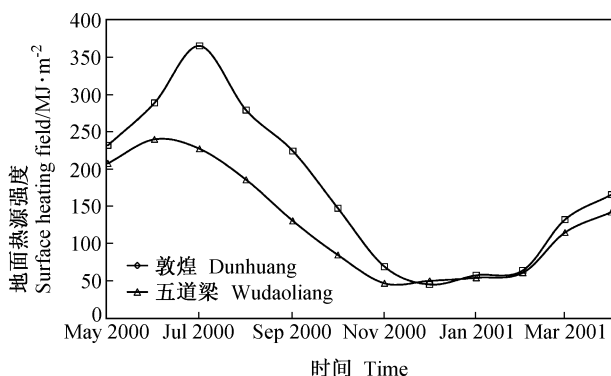


图8 地面热源强度 (其余同图1)

Fig. 8 The same as Fig. 1 but for surface heating field

月到夏季的7月都是急剧增加,8月则突然减小,一直到秋季的11月都是急剧减小,变化振幅比五道梁大。在夏季,藏北高原的五道梁地区远大于敦煌戈壁地区,最大值五道梁为  $365.59 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  (7月),敦煌戈壁地区为  $239.97 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  (6月),两个地区相差  $125.62 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ;在冬季,两个地区的量值相差不大,并且月际变率较小。

## 4 结论

本文利用敦煌戈壁地区、临泽沙漠地区和藏北高原五道梁地区的实测资料,比较分析了3个地区的地表辐射能量收支特征,得出主要结论如下:

(1) 3个地区的总辐射季节变化都比较明显,敦煌戈壁地区从秋季的9月到冬季12月总辐射都急剧减小,临泽沙漠地区则是在秋季的9~11月急剧减小,而高原的五道梁地区从8月开始就急剧减小,但在10月变率较小,11月又急剧减小;在冬、夏季临泽和五道梁地区的变化比较缓慢。另外,由于敦煌戈壁和临泽沙漠地区所处纬度高于五道梁地区,海拔低,大气透明度小,它们的总辐射在全年几乎都小于五道梁地区的值,冬季最为明显。

(2) 藏北高原五道梁和临泽沙漠地区的地表反照率有较明显的季节变化和日变化,季节变化是夏季较小,冬季大,而敦煌戈壁地区的反照率不论是季节变化还是日变化,都比较平缓。3个地区相比,临泽沙漠地区的反照率较大(年平均为0.33),五道梁地区次之(0.29),敦煌戈壁地

区最小(0.26)。

(3) 西北干旱区尤其是敦煌戈壁地区,由于地表温度高,空气中沙尘含量较多,致使地面向上长波辐射和大气逆辐射都比藏北高原的五道梁地区大。地面有效辐射在敦煌戈壁和临泽沙漠地区是夏季大,冬季小;而在藏北高原的五道梁地区则是春秋大,冬夏季小,夏季的8月达到最小。地面有效辐射与地面吸收辐射之比敦煌戈壁和临泽沙漠地区量值相近,藏北高原的五道梁地区较小,夏季尤为突出。

(4) 在夏季,五道梁的地表净辐射要远远大于其他两个地区,冬季3个地区量值相当。3个地区的地面热源强度全年为正。与地表净辐射相对应,高原五道梁地区的地面热源强度在夏季大于敦煌戈壁地区,在冬季则量值相当。

## 参考文献 (References)

- [1] Charney J G, Quirk W K, Chow S H, et al. A comparative study of the effects of albedo changes on drought in semi-arid regions. *J. Atmos. Sci.*, 1977, **34**: 1366~1385
- [2] Yeh T C, Wetherald R T, Manabe S. The effect of soil moisture on the short-term climate and hydrologic change: A numerical experiment. *Mon. Wea. Rev.*, 1984, **112**: 474~490
- [3] Shukla J, Mintz Y. Influence of land-surface evapotranspiration on the earth's climate. *Science*, 1982, **215**: 1498~1501
- [4] Sud Y C, Shukla J, Mintz Y. Influence of land-surface roughness on atmospheric circulation and rainfall: A sensitivity experiment with a General Circulation Model. *J. Appl. Meteor.*, 1988, **27** (9): 1036~1054
- [5] 孙岚, 吴国雄, 孙菽芬. 陆面过程对气候影响的数值模拟: SSiB与IAP/LASGL9R15AGCM耦合及其模式性能. *气象学报*, 2000, **58** (2): 179~193  
Sun Lan, Wu Guoxiong, Sun Shufen. Numerical simulations of effects of land surface processes on climate: implementing of SSiB in IAP/LASG AGCM L9R15 and its performance. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2000, **58** (2): 179~193
- [6] 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. *高原气象*, 2002, **21** (3): 309~314  
Fan Lijun, Wei Zhigang, Dong Wenjie, et al. Preliminary study on surface radiation properties in arid region of north-west China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2002, **21** (3): 309~314
- [7] 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. 大气科学, 2003, **27** (2): 245~254  
Zhang Qiang, Cao Xiaoyan. The influence of synoptic conditions on the averaged surface heat and radiation budget energy over desert or Gobi. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (2): 245~254
- [8] 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. 干旱气象, 2003, **21** (3): 29~33  
Ji Guoliang, Ma Xiaoyan, Zou Jiling, et al. Characteristics of the radiation budget over Oases in arid region. *Arid Meteorology* (in Chinese), 2003, **21** (3): 29~33
- [9] 江灏, 季国良. 五道梁地区的辐射平衡特征. 高原气象, 1988, **7** (2): 145~155  
Jiang Hao, Ji Guoliang. Characteristics of radiation at Wudaoliang region. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1988, **7** (2): 145~155
- [10] 季国良, 江灏, 吕兰芝. 青藏高原的长波辐射特征. 高原气象, 1995, **14** (4): 451~458  
Ji Guoliang, Jiang Hao, Lü Lanzhi. Characteristics of longwaves radiation over the Qinghai-Xizang plateau. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 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. 太阳能学报, 1995, **16** (4): 340~346  
Ji Guoliang, Lü Lanzhi, Zou Jiling. The seasonal variation of surface radiation energy budget over the northern Tibetan plateau. *Acta Energiæ Solaris Sinica* (in Chinese), 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. 高原气象, 2002, **21** (3): 238~242  
Ji Guoliang, Gu Benwen, Lü Lanzhi. Characteristics of atmospheric heating field over northern Qinghai-Xizang plateau. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 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. 大气科学, 2001, **25** (5): 577~588  
Bian Linggen, Lu Longhua, Lu Changgui, et al. The characteristics of radiation balance components of the Tibetan plateau in the summer of 1998. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2001, **25** (5): 577~588
- [14] 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. 太阳能学报, 2003, **24** (4): 453~460  
Qian Zeyu, Hu Zeyong, Du Ping, et al. Comparison and analysis of the climatological features of radiation balance between the grassy marshland surface of north of the Tibetan plateau and the desert in HEIFE. *Acta Energiæ Solaris Sinica* (in Chinese), 2003, **24** (4): 453~460
- [15] 季国良, 侯旭宏, 吕兰芝, 等. 干旱地区不同下垫面的辐射收支. 太阳能学报, 2004, **25** (1): 37~40  
Ji Guoliang, Hou Xuhong, Lü Lanzhi, et al. Characteristics radiation budget on different underlying surfaces in the arid region. *Acta Energiæ Solaris Sinica* (in Chinese), 2004, **25** (1): 37~40
- [16] 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. 气候与环境研究, 2004, **9** (2): 378~389  
Liu Huizhi, Dong Wenjie, Fu Congbin, et al. The long-term field experiment on aridification and the ordered human activity in semi-arid area, at Tongyu, Northeast China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9** (2): 378~389
- [17] 刘少锋, 林朝晖. 通用陆面模式 CLM 在东亚不同典型下垫面的验证试验. 气候与环境研究, 2005, **10** (3): 684~699  
Liu Shaofeng, Lin Zhaohui. Validation of common land model using field experiment data over typical land cover types in East Asia. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (3): 684~699
- [18] 胡隐樵, 高由禧. 黑河实验 (HEIFE) ——对陆面过程的一些新认识. 气象学报, 1994, **52** (3): 285~296  
Hu Yinqiao, Gao Youxi. Some new understandings of progresses at the land surface in arid area. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1994, **52** (3): 285~296
- [19] 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. 地球科学进展, 2005, **20** (4): 427~441  
Zhang Qiang, Huang Ronghui, Wang Sheng, et al. NWC-ALIEX and its research advances. *Advance in Earth Science* (in Chinese), 2005, **20** (4): 427~441
- [20] 陆渝荣, 高国栋. 物理气候学. 北京: 气象出版社, 1987. 144~152  
Lu Yurong, Gao Guodong. *Physical Climatology* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1987. 144~152
- [21] 左大康, 周允华, 项月琴, 等. 地球表层辐射研究. 北京: 科学出版社, 1991. 37~39  
Zuo Dakang, Zhou Yunhua, Xiang Yunqin, et al. *Radiation Study on the Earth Surface* (in Chinese). Beijing: China Science Press, 1991. 37~39
- [22] 季国良, 江灏, 查树芳. 青藏高原地区有效辐射的计算及其分布特征. 高原气象, 1987, **6** (2): 141~149  
Ji Guoliang, Jiang Hao, Zha Shufang. The computation and some distribution characteristics of effective radiation over the Qinghai-Xizang plateau and its adjacent areas. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1987, **6** (2): 141~149
- [23] 周允华, 项月琴. 热流板测量精度分析. 见中国科学院北京农业生态系统实验站主编, 农业生态环境研究. 北京: 气象出版社, 1989. 233~244  
Zhou Yunhua, Xiang Yueqin. The analysis of measurement precision of thermal flow board. In: *Research on Agro-Ecosystem* (in Chinese), Experimental Station of Agro-Ecosystem of Chinese Academy of Sciences, Ed. Beijing: China Meteorological Press, 1989. 233~244