

付光祥,何清,王国胜,等.塔克拉玛干沙漠南缘生态过渡区辐射平衡特征[J].中国沙漠,2023,43(5):116-128.

# 塔克拉玛干沙漠南缘生态过渡区辐射平衡特征

付光祥<sup>1,2</sup>,何清<sup>2</sup>,王国胜<sup>1,2</sup>,马明杰<sup>1,2</sup>,  
阴璐璐<sup>1,2</sup>,张乾<sup>3</sup>,田伟<sup>3</sup>

(1.新疆师范大学地理科学与旅游学院,新疆乌鲁木齐830054;2.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所新疆塔克拉玛干沙漠气象国家野外科学观测研究站/中国气象局塔克拉玛干沙漠气象野外科学试验基地/新疆维吾尔自治区沙漠气象与沙尘暴重点实验室,新疆乌鲁木齐830002;3.民丰县气象局,新疆民丰848599)

**摘要:**塔克拉玛干沙漠南缘属于生态过渡区,地表性质时空变化较大,陆面辐射平衡和地表反照率特征均较特别,目前对这方面了解并不充分,所以有必要开展塔克拉玛干沙漠南缘辐射平衡研究。利用青藏高原北侧陆-气相互作用观测站2019年12月至2020年11月地表辐射数据,分析该地区不同时间尺度和不同天气条件下辐射平衡与地表反照率特征。结果表明:(1)不同月份各辐射分量月平均日变化均呈单峰型,但极值及其出现时间有差异。各辐射分量月曝辐量季节变化明显,向下短波辐射表现为春季>秋季>夏季>冬季;向上短波辐射则为春季>夏季>秋季>冬季。(2)向下和向上短波辐射在季节变化上均为春季最大,冬季最小,其余各辐射分量则夏季最大,冬季最小。(3)典型天气除晴天各辐射分量日变化规则外,在多云、降水、浮尘、扬沙、沙尘暴天气下各辐射分量变化不规则,其中降水与沙尘暴对向下短波辐射的影响最为明显。(4)地表反照率各月变化形态不规则,最大和最小月均值出现在3月和5月,分别为0.37和0.29,年均值为0.31。(5)晴天各辐射分量日变化为标准的倒“U”型,降雨和降雪下各辐射分量变化均不规则,其中地表反照率对降雨及降雪响应分别对应为减弱和增强。

**关键词:**塔克拉玛干沙漠;生态过渡区;辐射平衡;典型天气;地表反照率

**文章编号:**1000-694X(2023)05-116-13

**DOI:**10.7522/j.issn.1000-694X.2023.00041

**中图分类号:**P422

**文献标志码:**A

## 0 引言

地表辐射是实现地-气热量循环及太阳能量转换的重要环节,也是气候变化的主要影响因子,对区域以至全球气候变化有着重要影响<sup>[1-3]</sup>。研究地表辐射平衡特征,能为精准预测未来气候变化及其形成机制提供重要科学参考。从1980年开始,国外科学家针对各种不同环境类型的生态系统及气候区进行了一系列大规模野外陆面过程观测实验,而地表辐射是此类实验的重点研究对象<sup>[4-6]</sup>。近年来,国内相继在各个高原地区<sup>[7-9]</sup>、草原地区<sup>[10-12]</sup>、半干旱<sup>[13-14]</sup>及干旱区<sup>[15-16]</sup>开展了大量野外陆面过程观测研究,这些研究在地表辐射平衡方面均取得了重要成果,为了解不同地区陆面过程提供了重大科学依据。

沙漠作为地表下垫面的典型类型,其独特环境

和地表辐射平衡过程不仅在全球气候变化中扮演重要角色,而且对气候变化响应极为明显<sup>[17]</sup>。因此,前人对中国不同沙漠地区的辐射平衡进行了大量研究,对深入理解干旱区气候变化具有重要意义<sup>[18-25]</sup>。针对塔克拉玛干沙漠,许多学者利用不同时间尺度的辐射资料和科学模型分析和模拟了不同地区辐射变化和地表反照率特征。何清等对塔克拉玛干沙漠腹地的湍流特征及辐射平衡进行了重点分析,发现该地区净辐射消耗以感热为主<sup>[26-28]</sup>。Meng等<sup>[29]</sup>使用IUM模型对塔克拉玛干沙漠腹地地表反照率进行模拟,指出该地区地表反照率不仅和土壤湿度有关,还和太阳天顶角有关。张坤等<sup>[30]</sup>基于Noah模型和SMAP卫星产品值模拟分析了塔克拉玛干沙漠腹地的土壤热通量,认为Noah模型模拟

收稿日期:2023-02-22; 改回日期:2023-04-12

资助项目:国家自然科学基金项目(42030612);第三次新疆综合科学考察项目(2021xjkk030501)

作者简介:付光祥(1996—),男,贵州兴义人,硕士研究生,主要从事陆面过程研究。E-mail: 870489167@qq.com

通信作者:何清(E-mail: qinghe@idm.cn)

该地区土壤热通量具有较高精度,SMAP 卫星产品值与该地区土壤热通量吻合度较高。买买提艾力·买买提依明等<sup>[31]</sup>利用 2011 年塔克拉玛干沙漠北缘肖塘站辐射资料初步分析该地区总辐射和紫外辐射变化特征,发现该地区总辐射和紫外辐射年变化位相一致,且两者年曝辐量少于塔克拉玛干沙漠腹地。这些关于塔克拉玛干沙漠腹地和北缘的辐射特征研究进一步丰富了对沙漠地区陆面过程的认识,然而,目前有关塔克拉玛干沙漠南缘的地表辐射平衡分析鲜见报道。

塔克拉玛干沙漠南缘叶亦克位于塔克拉玛干沙漠腹地以南 200 km,属于荒漠-绿洲生态过渡区,具有独特的自然水热特征和近地面性质,所以对该区域的辐射平衡研究不仅能对该地区防治大风、干旱及沙尘暴等灾害具有预测作用,也可能揭示其在地-气物质和能量交换方面的特殊性。因此,本文利用塔克拉玛干沙漠南缘青藏高原北侧陆-气相互作用观测站 2019 年 12 月至 2020 年 11 月地表辐射观测资料分析该地区不同时间尺度及不同天气条件下的地表辐射变化特征,进而对该地区如何科学

预防沙尘暴等灾害问题提供基础资料以及对该地区陆面过程研究提供科学依据。

# 1 数据与方法

## 1.1 研究区概况

青藏高原北侧陆-气相互作用观测站位于和田地区民丰县叶亦克乡,属于塔克拉玛干沙漠南缘地区(图 1),因距海较远,受印度洋和太平洋季风影响小,且受大陆气团持续控制,气候极端干旱,属典型温带荒漠性气候,干旱缺水,沙尘天气频发,是全国沙尘日数之最(280 多天),历史最多沙尘暴 62 d (1985 年)。根据民丰县气象局 2019—2020 年气象资料显示,该地区日照时间长,太阳总辐射量大,蒸发旺盛,全年日照 2 905.4 h,蒸发量 2 612.1 mm,昼夜温差大,年均气温 12.3 ℃,年降水量约 45 mm。该站点下垫面类型为荒漠,植被分布稀疏,以裸果木(*Gymnocarpos przewalskii*)、驼绒藜(*Krascheninikovia ceratoides*)、黄花苍蝇架(*Limonium aureum*)为主,且距此站以北 1 km 处有一片绿洲分布,因此,

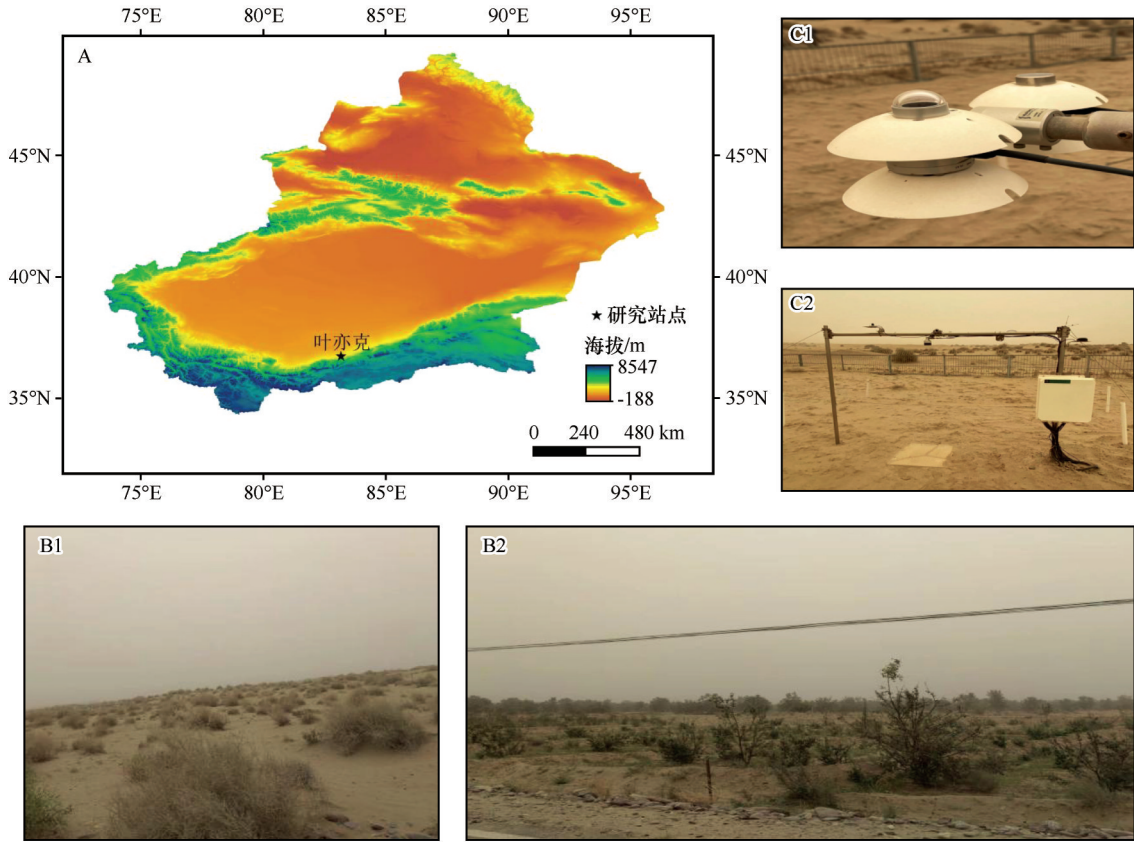


图 1 观测站点位置(A)、周边环境(B)及观测仪器(C)

Fig.1 Geographical location of the observation site (A), surrounding environment (B) and pictures of observation instruments (C)

该站点及其周围地区属于荒漠-绿洲生态过渡区。

## 1.2 数据处理

本文数据来自于中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,由和田地区民丰县气象局青藏高原北侧

陆-气相互作用观测站(36°44′21″N、83°11′17″E,海拔2 275 m)观测所得。辐射观测仪器为NR-01净辐射传感器,数据采集时间为地方时,与北京时间相差2 h 28 min;天气现象资料由民丰县气象局提供。仪器具体参数见表1。

表1 仪器及参数

Table 1 The instruments and parameters

传感器	观测项目	测量范围	测量精度
NR-01 净辐射传感器 (安装高度:1.5 m;型号:CR-1000X)	短波辐射	285~3 000 nm	<1.8%
	长波辐射	4 500~40 000 nm	<7%
称重式降水传感器	降水(固态、液态、混合)	-40~60 °C	<1 g

因2020年8月仪器故障,该月四辐射分量数据及分析缺失,考虑到分析的真实性和可靠性,本文对所缺月份没有作任何插补处理,且在对2019年12月至2020年11月逐30 min辐射四分量数据进行处理的过程中,剔除了观测过程中的明显异常值。有关时间尺度上的分析,均采用对应时间范围内各辐射分量逐30 min的数据作平均处理。地表净辐射及地表反照率由式(1)和式(2)计算所得;而典型天气具有代表性,所以相关数据均采用晴空指数进行区分,晴空指数 $k_t$ 由式(3)计算所得。公式如下<sup>[32-33]</sup>:

$$R_{\text{net}} = SW_{\text{net}} + LW_{\text{net}} = SW\downarrow - SW\uparrow + LW\downarrow - LW\uparrow \quad (1)$$

$$\alpha = SW\uparrow / SW\downarrow \quad (2)$$

式中: $R_{\text{net}}$ 为净辐射; $SW_{\text{net}}$ 为地表吸收太阳辐射; $LW_{\text{net}}$ 为地面有效辐射; $SW\downarrow$ 、 $SW\uparrow$ 、 $LW\downarrow$ 、 $LW\uparrow$ 分别为向下短波辐射、向上短波辐射、向下长波辐射、向上长波辐射; $\alpha$ 为地表反照率。辐射通量单位均为 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

$$k_t = SW\uparrow / S_e\downarrow \quad (3)$$

$$S_e\downarrow = S_{\text{sc}}[1 + 0.33\cos(360t_d/365)]\sin\beta \quad (4)$$

式中: $S_e$ 为天文辐射; $S_{\text{sc}}$ 为太阳常数( $1\,367\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ); $t_d$ 为日序数; $\beta$ 为太阳高度角。晴空指数表征太阳辐射对云量变化和大气透明度的响应。即 $k_t$ 越接近于0云层越厚,太阳辐射越弱,大气透明度越低; $k_t$ 值越接近于1则太阳辐射越强,大气透明度越高。因此本文利用晴空指数区分不同天气状况,即 $k_t > 0.7$ 代表晴天, $0.3 \leq k_t \leq 0.7$ 代表多云, $k_t < 0.3$ 则代表阴天。

## 2 结果与分析

### 2.1 地表辐射平衡变化特征

#### 2.1.1 地表辐射平衡月平均日变化

受天气状况影响,该地区向下短波辐射各月月

平均日变化明显,但仍呈单峰型(图2),即4—9月处于较高水平,10—12月依次递减,1—3月则依次递增;向下短波辐射受太阳高度角影响大,在正午达到最大,故各月日峰值多出现在11:30—12:30,在6月23日出现一年中的极大瞬时值,为 $1\,374\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,超出了太阳常数。月均最大和最小日峰值均在4月和12月,分别为 $887.4\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $513.6\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,月均值 $326.1\sim 519.9\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。此外,此辐射在3月与4月的日峰值差异明显,对应为 $666.4\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $887.4\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,主要因为3月是冬、春过渡期,气温较低、尚存在降雪、积雪现象;而4月气温回升,晴天较多,大气透明度高。向上短波辐射变化大小取决于地表吸收的太阳辐射,故此辐射各月日峰值出现时间及变化趋势与向下短波辐射一致,峰值集中在11:30—12:30,月平均最大与最小日峰值均在4月和12月,分别为 $280.9\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $162.7\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,月均值 $326.1\sim 519.9\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,各月变化趋势为4—9月处于较高水平,10—12月依次递减,1—3月则依次递增。

向下长波辐射和向上长波辐射各月月平均日变化曲线相似,但前者变幅远低于后者。二者均呈4—7月处在较高水平,9—12月依次递减,次年1—3月又依次递增的变化趋势,但是二者峰值出现时间不同,分别集中在13:00—14:00与12:00—13:00,月平均最大日峰值均在7月,分别为 $447.4\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $560\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,月平均最小日峰值均在1月,对应为 $231.4\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $347.6\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,月均值分别为 $213.4\sim 413.2\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $285.1\sim 443.9\,\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

净辐射在白天变幅比夜间明显,其共同受辐射四分量影响,与各辐射分量变化较一致,表现为4—9月处在较高水平,10—12月依次递减,1—3月依次递增的特征。其各月日峰值多在11:30—12:30集中,均在4月和12月出现最大及最小日峰



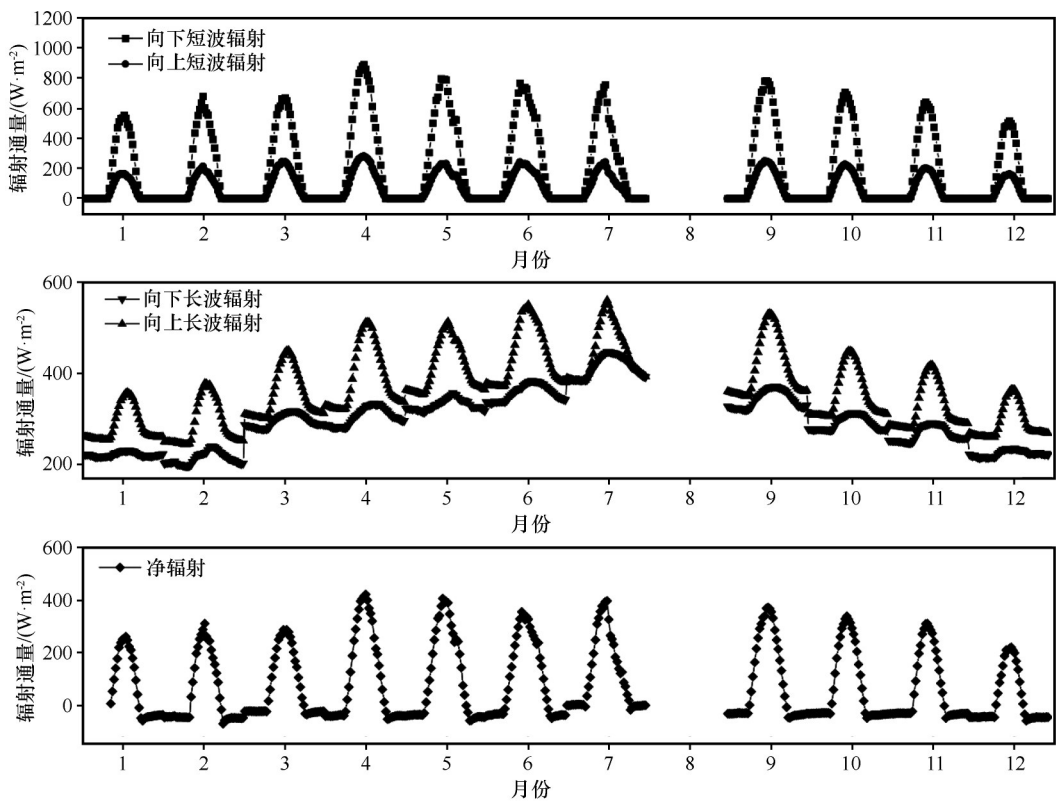


图2 地表辐射月平均日变化

Fig.2 Monthly average daily variation of surface radiation

值,对应为 $422.4\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $220.1\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,月均值 $17.1\sim 110.7\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

2.1.2 地表辐射月曝辐量

曝辐量为单位面积一段时间内接收的辐射能量,受纬度、海拔、大气透明度以及下垫面等自然因素的共同影响。图3是塔克拉玛干沙漠南缘叶亦克各辐射分量月平均曝辐量,该地全年向下短波辐射总曝辐量为 $8\,184.4\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,月均曝辐量为 $682.1$

$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ;其分别在4月与12月出现最大、最小值,对应为 $948.1\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $531.1\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ;该辐射月曝辐量四季变化明显,为春季>秋季>夏季>冬季。

全年向上短波辐射总曝辐量为 $1\,277.2\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,月均曝辐量为 $106.3\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ;此辐射月曝辐量分别在4月和12月出现最大、最小值,对应为 $158.2\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $69.8\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,季节变化为春季>夏季>秋季>冬季。

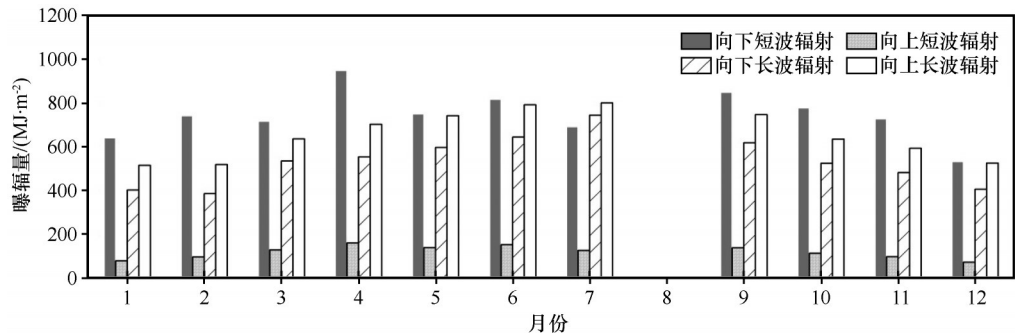


图3 地表辐射月曝辐量变化

Fig.3 Change of monthly surface radiation exposure

全年向下和向上长波辐射总曝辐量为 $5\,879.5\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $7\,195.2\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,二者月均曝辐量为 $489.5\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $598.7\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,均分别在7月和1月出现最

大、最小值,二者最大值对应为 $743.7\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $799.4\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,最小值则对应为 $400.5\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $513.2\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,受太阳活动及地球活动影响,二者在

季节变化上均为夏季最大,冬季最小,春、秋季介于夏、冬季之间。

### 2.1.3 各季节地表辐射平衡平均日变化

选取1、4、7月和10月分别代表冬、春、夏和秋季,以此分析塔克拉玛干沙漠南缘叶亦克各季节辐射平均日变化(图4)。可以看出,向下短波辐射夏季变幅大于其他季节,但各季节向下短波辐射仍呈

单峰型,日峰值对应为887.4、752.7、703.8、552.3  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,春、夏季峰值均在12:00,秋季在11:30,冬季则在12:30。四季均值分别为519.9、387.3、430.6、347.9  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,表现为春季>秋季>夏季>冬季。由于该地区夏季沙尘天气频繁,阻碍了地表吸收太阳辐射,使得该地区向下短波辐射春、秋季大于夏季。

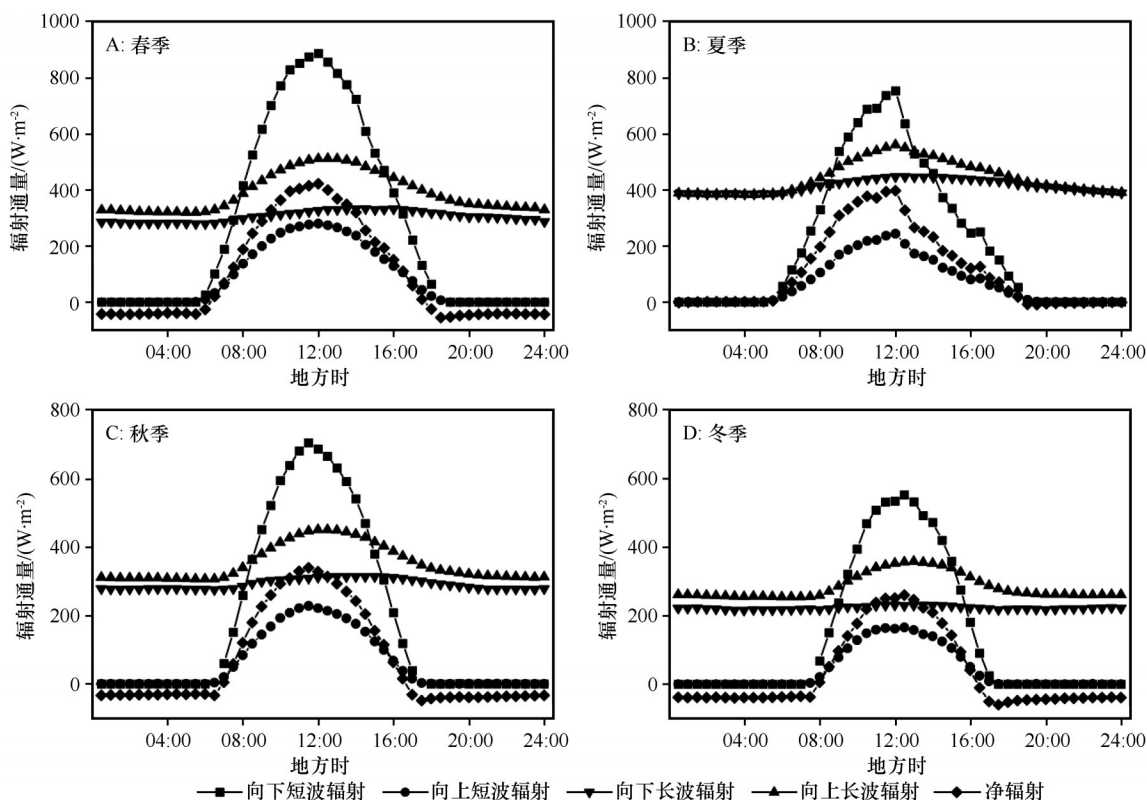


图4 四季辐射平均日变化

Fig.4 Average daily variation of radiation in four seasons

向上短波辐射在各季节相较于向下短波辐射变幅明显减小,但二者四季日平均变化曲线相似。向上短波辐射日峰值春、夏季在12:00,秋季在11:30,冬季则在12:30,与向下短波辐射一致,分别为280.9、242.8、227.5、165.4  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。春、夏、秋、冬各季均值对应为88.4、68.3、61.3、42.3  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,表现为春季>夏季>秋季>冬季。

各季节向下长波辐射因受大气状况影响表现为夏季>春季>秋季>冬季,大小差异明显,均值分别为305.4、413.1、290.5、222.4  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。不同的是,该地区夏季沙尘天气频发,沙尘颗粒物对太阳辐射的散射作用增强,导致向下长波辐射在夏季最大。向下长波辐射各季节日峰值分别为334.1、447.4、313.6、231.5  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,到达峰值时间分别在14:30、

12:30、13:30、13:30。

各季节向上长波辐射白天较夜间变化明显。因为白天太阳辐射随太阳高度角的增加而增加,地表温度上升,而地表温度决定向上长波辐射变化,故该辐射在白天随温度增长明显;夜间地面降温迅速,该辐射夜间变化波动小,基本无明显变化。向上长波辐射表现为夏季>春季>秋季>冬季,均值对应为443.8、390.6、352.2、285.1  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,分别在12:30、12:00、12:00和13:00出现日峰值,对应为512.3、560.1、449.2、358.1  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

净辐射四季变化在夜间均为负值,白天为正值。因为在夜间,地表温度迅速降低,该站点地表形成一个冷高压,大气则为热低压,故能量从地表向大气中传输;白天太阳辐射和地表温度逐渐上

升,地表形成一个热低压,大气对应为冷高压,能量从大气向地表传输。净辐射在各个季节的变化趋势与向下短波辐射一致,均值对应为97.3、110.7、68.3、58.4  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,表现为夏季>春季>秋季>冬季;峰值出现时间分别在12:00、12:00、11:30、12:30,分别为422.4、396.7、339.2、260.4  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

#### 2.1.4 典型天气辐射平衡日变化

基于民丰县气象局天气现象资料,在2020年3—7月选取晴天、多云、降水、浮尘、扬沙和沙尘暴6种典型天气,对塔克拉玛干沙漠南缘叶亦克典型天气下的地表辐射平衡状况进行分析(考虑到可靠性和代表性,各典型天气分别选择了3 d数据作平均

处理)。

地表各辐射分量在晴天天气(图5A)日变化曲线规则、平滑。向下短波辐射、向上短波辐射及净辐射日变化曲线相似,三者峰值均在12:00,对应为1074.1、320.8、444.3  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ;向下长波辐射全天无明显波动,因为晴天大气透明度高、云量少,不利于向下长波辐射发展,最大值出现在16:00,为343.9  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ;晴天地表温度升高,向上长波辐射随之增加,在白天变化明显,日峰值在12:30,为643.6  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

多云天气(图5B)向下长波辐射较各辐射分量日变化平缓,其余辐射分量日变化均不规则,因为云量较大,阻碍了地表吸收太阳辐射。与晴天相

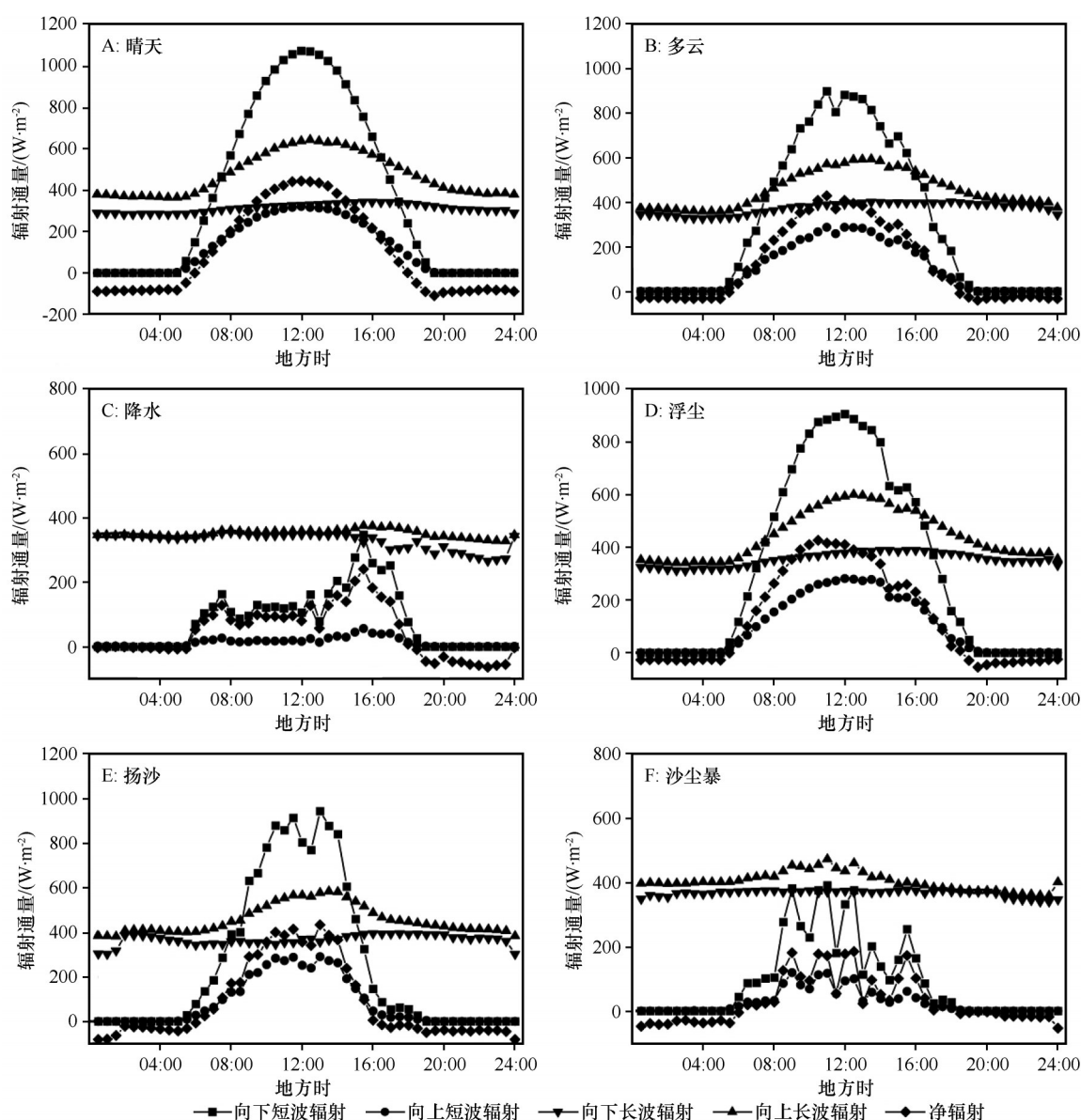


图5 典型天气辐射平衡日变化

Fig.5 Daily variation of radiation balance of typical weather

比,向下短波辐射、向上短波辐射和净辐射日峰值分别减少16%、10%和3%,三者变化趋势一致,日峰值均在11:00,分别为899.1、288.4、429.2  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ;不同的是,在多云天气下,由于云量的增加导致向下长波辐射有所增加,最大值为401.9  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,比晴天增加16%;云量对地表温度亦有一定削弱作用,向上长波辐射最大值为592.9  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,在13:30出现,比晴天减少7%。

降水天气(图5C),大气中云量和水汽增加,各辐射分量相较于晴天发生了明显变化。向下短波辐射、向上短波辐射和净辐射在降雨下遭到大幅削弱,相较于晴天明显减小,三者日峰值均在15:30,分别为347.4、56.1、241.4  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,比晴天分别减少67%、83%和45%;降水天气,水汽和云量导致向下长波辐射增强,最大值出现时间在08:00,为354.2  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,比晴天增加2%;地表温度决定向上长波辐射变化,降水时地表温度有所下降,与晴天和多云天气相比,峰值相对滞后,在17:00达到最大值,为372.8  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,比晴天减少42%。

相较于云量及水汽,沙尘也会导致各辐射分量发生明显变化。浮尘天气(图5D)各辐射分量变幅较小、日变化形态不规则。向下短波辐射和向上短波辐射变化曲线相似,日峰值均在12:00,分别为906.5  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 和281.4  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,二者比晴天分别减少15%和12%;浮尘天气向下长波辐射得到增强,主要是因为空中沙尘颗粒物增多,大气散射能力增强所致。其日峰值出现在15:30,为390.2  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,相较于晴天增加了13%;向上长波辐射日峰值在12:30,为600.6  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,比晴天减少6%;浮尘天气净辐射日变化曲线与向下短波辐射相似,但峰值出现时间有差异,相较于向下短波辐射有所提前,日峰值在10:30,为427.5  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,比晴天减少4%。

扬沙天气(图5E),各辐射分量日变化形态亦不规则,变幅较大。向下短波辐射、向上短波辐射和净辐射相较于晴天稍有减少,三者日变化曲线相似,日峰值均在13:00,分别为943.9  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、291.1  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 和433.6  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,比晴天分别减少12%、9%和2%;扬沙天气下,沙尘颗粒物增多明显,向下长波辐射增强,峰值在16:00为395.6  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,比晴天增加了15%;向上长波辐射日峰值在13:30出现,为583.3  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,比晴天减少9%。

沙尘暴天气(图5F)中,除长波辐射外,各辐射分量相较于晴天大幅减小,波动大,但对向下短波

辐射的影响最为明显。向下短波辐射和向上短波辐射变化趋势相似,二者日峰值比晴天均减少63%,均在11:00达到峰值,分别为390.5  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 和117.6  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ;沙尘暴天气中沙尘颗粒物进一步增多,向下长波辐射亦得到增强,在15:30达到最大,为377.4  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,比晴天增加了10%;向上长波辐射日峰值出现在11:00,为471.1  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,比晴天减少了26%;净辐射日峰值出现在12:30,为184.6  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,较晴天减少了58%。

## 2.2 塔克拉玛干沙漠南缘地表反照率特征

地表反照率是地表反射太阳辐射的能力,是影响地表辐射平衡的重要参量,由向上短波辐射与向下短波辐射比值表示<sup>[34-35]</sup>,受到太阳高度角、下垫面性质(颜色、湿度、植被覆盖等)及天气状况等自然因素的影响。由塔克拉玛干沙漠南缘叶亦克2019年12月至2020年11月月平均地表反照率及月降水量变化特征可知(图6)该地区各月地表反照率变化波动较大,形态不规则。表现为3—11月除5月为早晚高、中午低的“V”型曲线外,其余各月均呈早晚高、中午低的不规则“W”型曲线,12月至次年2月则为早晚低、中午高的不规则“M”型曲线。这主要因为该地区全年沙尘天气较多,地表反照率早、晚增大明显,波动大,变化不规则。塔克拉玛干沙漠南缘叶亦克地表反照率年均值为0.31,地表反照率最大及最小月均值出现在3月和5月,对应为0.37和0.29;因为3月该地区气温较低,有降雪事件发生,地面积雪,导致3月地表反照率达到最大;而该年份5月降水量最多,为15.4 mm,且在此月气温迅速回升,地表冰晶完全融化,加之稀疏植被返青,蒸腾作用增强,土壤湿度增加,地表颜色变深,故地表反照率5月最小。具体表现为:3—5月逐渐减小;5—7月逐渐增加;9月至次年2月变化平稳,但日际波动较大。

## 2.3 降水过程对地表辐射与反照率的影响

降水过程能对地表辐射平衡产生重大影响,具体包括降雨和降雪。为分析塔克拉玛干沙漠南缘不同降水过程对地表辐射及反照率的影响,选取2020年1月8—11日与2020年5月5—8日两个不同时段,分别代表降雪与降雨过程的天气状况。基于民丰县气象局天气现象资料,2020年1月9日为降雪日,5月6、7日为降雨日,天气状况具体可参考表2。



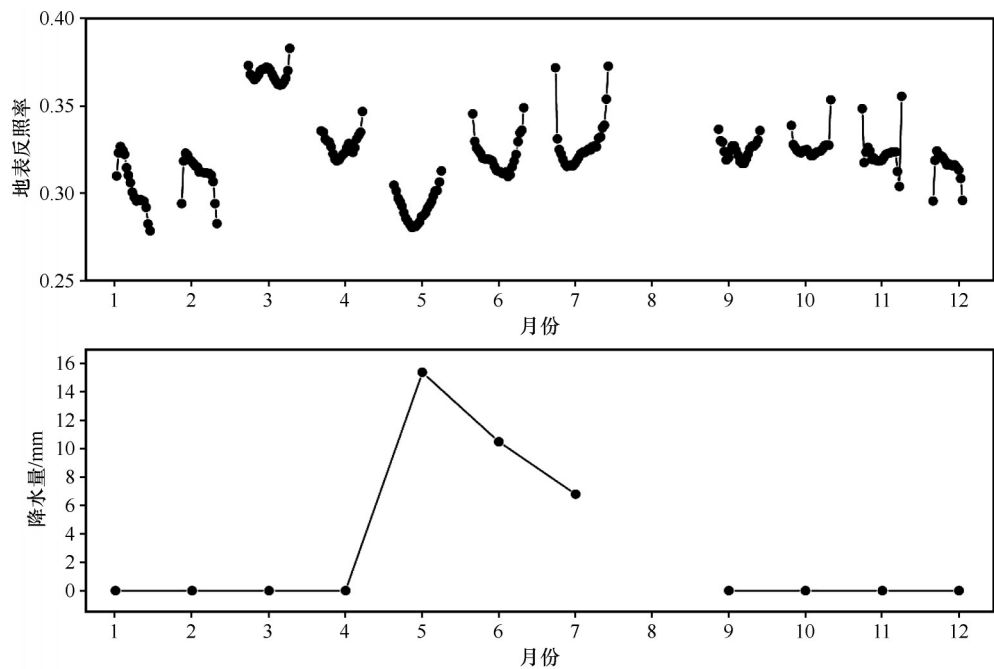


图6 塔克拉玛干沙漠南缘2019—2020年月平均地表反照率及月降水量变化特征

Fig.6 Monthly mean surface albedo and total precipitation changes in the southern margin of the Taklamakan Desert from 2019 to 2020

表 2 不同降水过程天气状况

Table 2 Weather conditions of different precipitation processes							
降水过程	日期	晴空指数	天气状况	降水过程	日期	晴空指数	天气状况
降雪过程	2020-01-08	0.28	阴天	降雨过程	2020-05-05	0.77	晴天
	2020-01-09	0.22	降雪		2020-05-06	0.21	降雨
	2020-01-10	0.72	晴天		2020-05-07	0.32	降雨
	2020-01-11	0.43	多云		2020-05-08	0.76	晴天

图 7~8 为降雨与降雪前后地表辐射与反照率日变化特征。2020 年 5 月 5—8 日为典型降雨过程,这几日向下短波辐射日均值范围为 150.3~633.1  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,降雨出现时间分别在 5 月 6 日 10:00—20:00 与 7 日 08:00—13:00 两个时段,此阶段向下短波辐射急剧下降,而 8 日雨后空气杂质少,大气透明度高,向下短波辐射较强。2020 年 1 月 8—11 日,此过程天气条件相对复杂,1 月 8 日为阴天,9 日为降雪,10 日逐渐变晴,11 日又变为多云,此过程向下短波辐射日均值 224.2~405.9  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,晴天时向下短波辐射为标准的倒“U”型,而在多云、阴天及降雪天气时,其日变化形态均不规则。

向上短波辐射和向下短波辐射日变化曲线在降雨和降雪过程中相似,但晴天时后者远低于前者,特殊天气时,向上短波辐射相较于晴天更低,降雨过程向上短波辐射日均值 13.4~100.2  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ;5 月

6、7 日降雨,土壤湿度增加,地表反照率骤减;而 7、8 日雨后气温逐渐回升,天气转晴,地表反照率有所增加;向上短波辐射在降雪过程中日均值 37.8~62.1  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,1 月 8 日阴天,云量增多阻碍地表吸收向下短波辐射,向上短波辐射随之减少,地表反照率变化平稳;9 日新雪使地表反照率骤增,向上短波辐射受其影响大,随之增加;10 日雪后天气晴朗,大气透明度高,向下短波辐射增加,但地表积雪还未完全融化,导致地表反照率仍处于较高水平;11 日多云天气,地表温度回升,积雪融化,地表反照率回到雪前水平。

向下长波辐射和向上长波辐射在降雨和降雪过程中变化不似短波辐射明显。二者日均值范围在降雨过程下对应为 285.9~347.7  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  和 351.4~436.6  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,在降雪过程下则分别为 206.5~245.3  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  和 269.1~297.9  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ;降雨时水汽和云量增



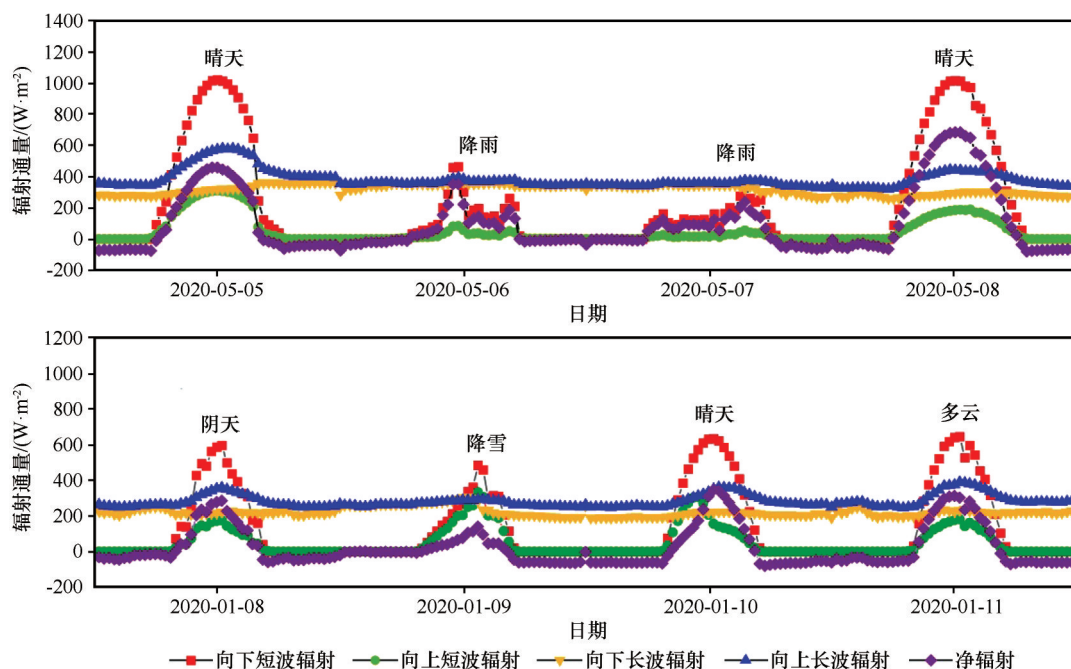


图7 不同降水过程地表辐射平衡日变化

Fig.7 Daily variation of surface radiation balance in different precipitation processes

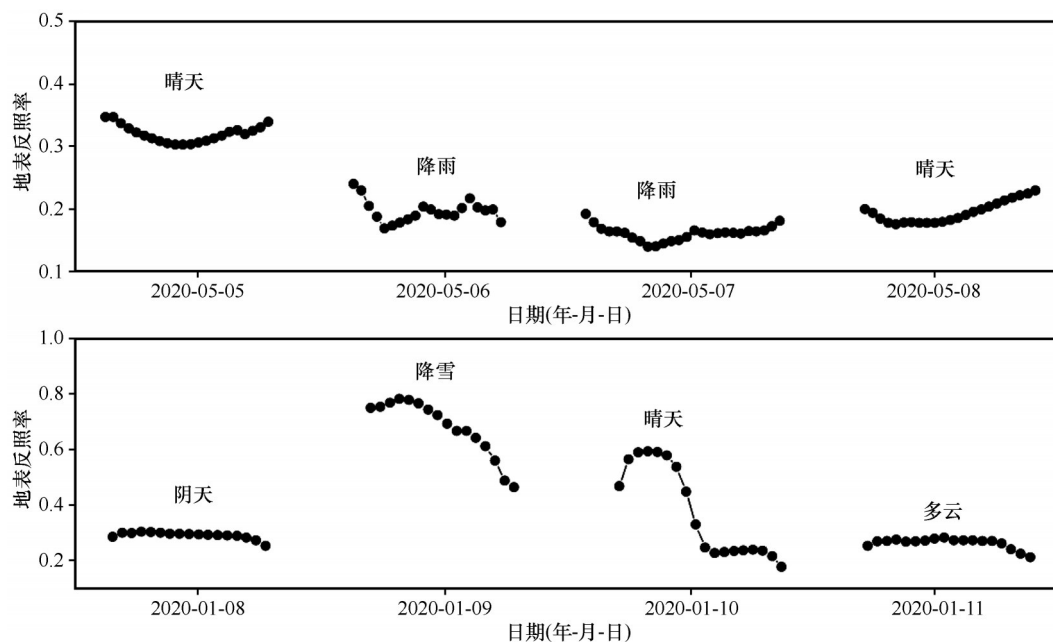


图8 不同降水过程地表反照率日变化

Fig.8 Daily variation of surface albedo in different precipitation processes

强,地表温度下降,向下长波辐射增加明显,向上长波辐射则减弱;降雪时地表温度低,其吸收的太阳辐射主要用于积雪融化和水分蒸发,向上长波辐射变化减少,而向下长波辐射变化较明显,有所增加。净辐射日变化在降雨和降雪过程中均与向下短波辐射变化相似,其日均值范围在两个过程中对应为  $45.2 \sim 188.4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  与  $3.1 \sim 36.4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 差异明显,原因是降雪发生在冬季,此季节太阳高度角小,辐射

弱,日照时间短,气温低,使向下短波辐射和向上长波辐射大幅减少,净辐射也随之减少。

### 3 讨论

塔克拉玛干沙漠南缘叶亦克与其他地区均存在向下短波辐射超出太阳常数的现象(6月23日,  $1374 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ )<sup>[36-37]</sup>。叶亦克与羌塘高原申扎湿地<sup>[38]</sup>向下短波辐射季节变化均表现出春季大于夏季的

特征。与其他地区相比,叶亦克向下短波辐射(4月,887 W·m<sup>-2</sup>)最大日峰值高于张掖绿洲(7月,737 W·m<sup>-2</sup>)<sup>[5]</sup>和巴丹吉林沙漠(5月,858 W·m<sup>-2</sup>)<sup>[39]</sup>,但低于古尔班通古特沙漠腹地(5月,905 W·m<sup>-2</sup>)<sup>[40]</sup>、中天山草地(6月,920 W·m<sup>-2</sup>)<sup>[41]</sup>以及青藏高原改则(5月,900 W·m<sup>-2</sup>)和狮泉河(6月,980 W·m<sup>-2</sup>)<sup>[42]</sup>,这主要与各个地区的地理位置和气候状况有关。此外,向下短波辐射还受到太阳高度角、纬度、海拔、地形和下垫面状况等因素的影响。叶亦克向上短波辐射最大日峰值(4月,280.9 W·m<sup>-2</sup>)高于张掖绿洲、巴丹吉林沙漠(5月,249 W·m<sup>-2</sup>)、青藏高原改则(4月,251.8 W·m<sup>-2</sup>)和狮泉河(12月,250 W·m<sup>-2</sup>),但远低于中天山草地(2月,520.6 W·m<sup>-2</sup>)和古尔班通古特沙漠腹地(3月,416 W·m<sup>-2</sup>),这是因为中天山草地和古尔班通古特沙漠腹地2、3月份尚有积雪,地表反照率高,导致二者向上短波辐射季节变化的日峰值高于其他地区。

塔克拉玛干沙漠南缘叶亦克向下短波辐射最大月曝辐量(4月,948.1 MJ·m<sup>-2</sup>)及最小月曝辐量(12月,531.1 MJ·m<sup>-2</sup>)均高于巴丹吉林沙漠(最大5月,792 MJ·m<sup>-2</sup>;最小12月,241 MJ·m<sup>-2</sup>)和古尔班通古特沙漠腹地(最大7月,842 MJ·m<sup>-2</sup>;最小3月,312 MJ·m<sup>-2</sup>),但低于中国青藏高原羊八井地区(最大6月,1 025.1 MJ·m<sup>-2</sup>;最小12月,551.7 MJ·m<sup>-2</sup>)<sup>[39-40,43]</sup>,

这主要是因为羊八井地区纬度偏低,海拔高,空气稀薄,使该地区地表全年吸收的向下短波辐射月曝辐量高于其他地区。向上短波辐射最大月曝辐量(4月,158.2 MJ·m<sup>-2</sup>)均比巴丹吉林沙漠(5月,236.1 MJ·m<sup>-2</sup>)、古尔班通古特沙漠腹地(3月,312 MJ·m<sup>-2</sup>)和羊八井地区(6月,199.8 MJ·m<sup>-2</sup>)低,最小月曝辐量(12月,69.8 MJ·m<sup>-2</sup>)低于巴丹吉林沙漠(11月,85.11 MJ·m<sup>-2</sup>)和羊八井地区(12月,127.9 MJ·m<sup>-2</sup>),但高于古尔班通古特沙漠腹地(12月,54.8 MJ·m<sup>-2</sup>),这主要受各个地区下垫面状况和气候条件的影响。

塔克拉玛干沙漠南缘叶亦克地表反照率(表3)与相似下垫面相比,其年均值高于塔克拉玛干沙漠北缘<sup>[44]</sup>和塔克拉玛干沙漠腹地<sup>[39]</sup>,但低于古尔班通古特沙漠腹地。主要因为该地区全年沙尘天气较多,导致地表反照率早、晚增大明显,波动大,使其处于较高水平,故该地区地表反照率要稍高于塔克拉玛干沙漠北缘和腹地;而古尔班通古特沙漠冬季和初春地表积雪较多,使得地表反照率骤增,导致该地区地表反照率年均值高于其他沙漠地区。与其他下垫面相比,叶亦克地表反照率年均值远高于羌塘高原申扎湿地和张掖绿洲,但低于中天山草地。产生这一差异的主要原因是羌塘高原申扎湿地和张掖绿洲全年土壤湿度远大于叶亦克,另外二

表3 不同地区月平均地表反照率

Table 3 Monthly Average Surface Albedo in Different Desert Areas

月份	塔克拉玛干沙漠 南缘叶亦克 (2019—2020年)	塔克拉玛干 沙漠北缘 (2009年) <sup>[44]</sup>	塔克拉玛干 沙漠腹地 (2013年) <sup>[39]</sup>	古尔班通古特 沙漠腹地 (2017年) <sup>[40]</sup>	中天山草地 (2018— 2019年) <sup>[41]</sup>	羌塘高原申扎 湿地(2018— 2020年) <sup>[38]</sup>	张掖绿洲 (1991年) <sup>[5]</sup>
1	0.30	0.31	0.32	0.766	0.712	0.27	0.299
2	0.31	0.28	0.30	0.746	0.732	0.26	—
3	0.37	0.27	0.30	0.574	0.218	0.26	0.185
4	0.32	0.27	0.28	0.233	0.248	0.24	0.162
5	0.29	0.26	0.26	0.249	0.275	0.23	0.174
6	0.31	0.25	0.26	0.247	0.224	0.21	0.163
7	0.32	0.26	0.25	0.251	0.224	0.18	0.144
8	—	0.26	0.26	0.251	0.217	0.18	0.133
9	0.31	0.26	0.27	0.261	0.254	0.18	0.182
10	0.32	0.27	0.29	0.259	0.329	0.21	0.175
11	0.31	0.27	0.31	0.248	0.517	0.25	0.150
12	0.30	0.29	0.32	0.317	0.760	0.28	0.277
平均	0.31	0.27	0.28	0.367	0.393	0.23	0.185

者的下垫面状况较叶亦克更为复杂,植被覆盖度较高,导致二者地表反照率偏低;而积雪是中天山草地地表反照率年均值高于其他地区的主要原因。总体而言,各个地区地表反照率均受到天气状况、土壤湿度和下垫面性质等因素的影响,具体表现为中天山草地>古尔班通古特沙漠腹地>塔克拉玛干沙漠南缘叶亦克>塔克拉玛干沙漠腹地>塔克拉玛干沙漠北缘>羌塘高原申扎湿地>张掖绿洲。

另外,近几十年来西北气候暖湿化趋势逐渐加剧<sup>[45-46]</sup>,其增温增湿的特征很有可能影响新疆各地区地表辐射平衡变化。在这一气候背景影响下,塔克拉玛干沙漠南缘叶亦克地区气温及降水量相较于百年前可能明显上升,表明该地区地表吸收的太阳辐射较之前可能就愈多,而地表反照率受降水量影响波动就愈大。因此,西北气候暖湿化趋势可能对该地区的地表辐射平衡具有重要影响。但研究表明<sup>[47-48]</sup>,这一趋势具有明显的波动性和不确定性,即使在变暖变湿的趋势中也会有少雨干旱或低温寒冷的年份,所以这一趋势对新疆各地区地表辐射平衡的影响能持续多久和维持在什么样的范围也很难下定论。

## 4 结论

塔克拉玛干沙漠南缘叶亦克各辐射分量各月月平均日变化均呈单峰型,峰值出现时间及大小有差异。向下和向上短波辐射及净辐射日峰值均在4月,分别为887.4、280.9、422.4  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ;向下和向上长波辐射均在7月,为447.4  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 和560.1  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。各辐射分量月曝辐量季节变化明显:向下短波辐射表现为春季>秋季>夏季>冬季;向上短波辐射则为春季>夏季>秋季>冬季。向下和向上短波辐射年曝辐量总量分别为8 184.4  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 和1 277.2  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

向下和向上短波辐射在季节变化上均为春季最大,冬季最小,其余各辐射分量则夏季最大,冬季最小。典型天气除晴天各辐射分量日变化规则外,其余典型天气各辐射分量变化不规则,向下短波辐射日峰值在各典型天气(晴天、多云、降水、浮尘、扬沙、沙尘暴)对应为1 074.1、899.1、347.4、906.5、943.9、390.5  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,表明在典型天气中,降水与沙尘暴对向下短波辐射的影响最为明显。晴天各辐射分量日变化为标准的倒“U”型,降雨和降雪下各辐射分量变化均不规则,其中地表反照率对降雨及降雪的影响分别对应为减弱和增强。

塔克拉玛干沙漠南缘叶亦克各月地表反照率变化形态不规则,最大和最小月均值出现在3月和5月,分别为0.37和0.29,年均值为0.31。

需要指出,尽管本文所用辐射资料皆源于目标下垫面,且观测仪器精度较高,但该站点长期无人值守,仪器可能会因为天气影响发生故障或系统误差,本文所选年份8月数据及分析缺失,因此得出的相关结论存在一定的局限性。另一方面,塔克拉玛干沙漠南缘叶亦克属于生态过渡区,地表性质时空变化较大,而本文仅仅是对下垫面分布较广泛的荒漠下垫面的地表辐射平衡过程进行了分析,而不同下垫面如绿洲、戈壁、河滩等的地表辐射平衡特征及其变量之间的相关关系如何,则需进一步研究。未来研究中,还需要对该地区周边的气象观测站点及其影响进行比较分析。

## 参考文献:

- [1] 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(2):211-216.
- [2] Mamtimin A, Wang Y, Sayit H, et al. Seasonal variations of the near-surface atmospheric boundary layer structure in China's Gurbantünggüt Desert[J]. Advances in Meteorology, 2020(4): 1-13.
- [3] Zhang X, Gu S, Zhao X, et al. Radiation partitioning and its relation to environmental factors above a meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Journal of Geophysical Research, 2010, 115(D10): D10106.
- [4] 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(4):453-460.
- [5] 季国良,邹基玲.干旱地区绿洲和沙漠辐射收支的季节变化[J].高原气象,1994,13(3):100-106.
- [6] 吕达仁,陈佐忠,陈家宜,等.内蒙古半干旱草原土壤-植被-大气相互作用综合研究[J].气象学报,2005(5):571-593.
- [7] 马伟强,马耀明,胡泽勇.藏北高原地面辐射收支的初步分析[J].高原气象,2004,23(3):348-352.
- [8] 杨兴国,马鹏里,王润元.陇中黄土高原夏季地表辐射特征分析[J].中国沙漠,2005,25(1):57-64.
- [9] 李宏宇,张强,王胜.陇中黄土高原夏季陆面辐射和热量特征研究[J].地球科学进展,2010,25(10):1070-1081.
- [10] 杨帆,邵全琴,李愈哲,等.北方典型农牧交错带草地开垦对地表辐射收支与水热平衡的影响[J].生态学报,2016,36(17):5440-5451.
- [11] 顾润源,武荣盛,吴菊秀,等.内蒙古半干旱草原下垫面地表辐射特征[J].干旱区地理,2013,36(5):854-864.
- [12] 李宏毅,肖子牛,朱玉祥.藏东南地区草地下垫面湍流通量和辐射平衡各分量的变化特征[J].高原气象,2018,37(4):923-935.



- [13] 陈星,余晔,陈晋北,等.黄土高原半干旱区雨养农田地表辐射和能量通量的季节变化[J].高原气象,2016,35(2):351-362.
- [14] 孙昭萱,张强.黄土高原半干旱区陆面温度和能量的气候特征分析[J].中国沙漠,2011,31(5):1302-1308.
- [15] 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(2):245-254.
- [16] 王胜,张强,卫国安.敦煌绿洲-戈壁过渡带地表辐射与能量特征分析[J].高原气象,2005,24(4):556-562.
- [17] Yang T, Wang X, Zhao C, et al. Changes of climate extremes in a typical arid zone: observations and multimodel ensemble projections[J]. Journal of Geophysical Research, 2011, 116(D19): 106-124.
- [18] 魏文寿,董光荣.古尔班通古特沙漠的辐射热量交换分析[J].中国沙漠,1997,17(4):3-9.
- [19] 塔依尔,吕新,杨利勇.石河子垦区沙漠和绿洲下垫面生态条件下能量交换特征[J].中国沙漠,2007,27(3):478-482.
- [20] 王慧,胡泽勇,李栋梁,等.黑河地区鼎新戈壁与绿洲和沙漠下垫面地表辐射平衡气候学特征的对比分析[J].冰川冻土,2009,31(3):464-473.
- [21] 张强,周毅.敦煌绿洲夏季典型晴天地表辐射和能量平衡及小气候特征[J].植物生态学报,2002(6):717-723.
- [22] 马宁,王乃昂,黄银洲,等.巴丹吉林沙漠腹地夏季不同天气条件下陆-湖面辐射收支与能量分配特征对比[J].自然资源学报,2015,30(5):796-809.
- [23] 马迪,吕世华,奥银焕,等.巴丹吉林沙漠不同下垫面辐射特征和地表能量收支分析[J].高原气象,2012,31(3):615-621.
- [24] 王凯,张宏升,刘辉志,等.科尔沁沙地流动沙丘与玉米地辐射特性比较分析[J].应用气象学报,2005(2):174-180.
- [25] 刘辉志,洪钟祥,张宏升,等.内蒙古奈曼流动沙丘下垫面湍流输送特征初步研究[J].大气科学,2003(3):389-398.
- [26] 何清,缪启龙,李帅,等.塔克拉玛干沙漠腹地总辐射变化特征及影响因子分析[J].中国沙漠,2008,28(5):896-902.
- [27] 金莉莉,何清,买买提艾力·买买提依明,等.塔克拉玛干沙漠腹地辐射平衡和反照率变化特征[J].中国沙漠,2014,34(1):215-224.
- [28] 赵佳伟,何清,金莉莉,等.塔克拉玛干沙漠腹地起伏地形近地层微气象特征[J].中国沙漠,2020,40(2):144-155.
- [29] Meng C, Li H. Solar radiation partitioning and surface albedo parameterization in the hinterland of Taklimakan Desert[J]. Advances in Meteorology, 2019, 10: 9098576.
- [30] 张坤,刘永强,阿依尼格尔·亚力坤,等.塔克拉玛干沙漠腹地土壤热通量的陆面过程与卫星遥感研究[J].江苏农业科学,2020,48(20):256-264.
- [31] 买买提艾力·买买提依明,缪启龙,何清,等.塔克拉玛干沙漠北缘过渡带紫外辐射和总辐射特征[J].中国沙漠,2013,33(6):1816-1823.
- [32] Loeb N G, Wang H L, Allan R P, et al. New generation of climate models track recent unprecedented changes in earth's radiation budget observed by CERES[J]. Geophysical Research Letters, 2020, 47(5): e2019GL086705.
- [33] 买买提艾力·买买提依明,金莉莉,何清,等.2007-2011年塔克拉玛干沙漠腹地太阳辐射观测研究[J].气候变化研究进展,2014,10(2):87-94.
- [34] Betts A K, Ball J H. Albedo over the boreal forest[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(D24): 28901-28909.
- [35] McCaughey J H, Lafleur P M, Joinner 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]. Journal Of Geophysical Research-atmospheres, 1997, 102(D24): 28997-29007.
- [36] 卞林根,陆龙骅,逯昌贵,等.1998年夏季青藏高原辐射平衡分量特征[J].大气科学,2001(5):577-588.
- [37] 岳平,张强,邓振镛,等.草原生长期地表辐射和能量通量月平均日变化特征[J].冰川冻土,2010,32(5):941-947.
- [38] 强耀辉,王坤鑫,马宁,等.羌塘高原申扎高寒湿地辐射平衡和地表反照率特征[J].干旱区研究,2021,38(5):1207-1215.
- [39] 杨阳,杨帆,买买提艾力·买买提依明,等.塔克拉玛干沙漠塔中巴丹吉林沙漠拐子湖地表辐射特征对比[J].中国沙漠,2018,38(5):1068-1077.
- [40] 高佳程,王豫,阿吉古丽·沙依提,等.古尔班通古特沙漠地表辐射收支特征[J].中国沙漠,2021,41(1):47-58.
- [41] 肖婉秋,买买提艾力·买买提依明,刘永强,等.中天山地区草地地表辐射收支演变规律[J].生态学报,2022,42(11):4550-4560.
- [42] 巩远发,段廷扬,陈隆勋,等.1997/1998年青藏高原西部地区辐射平衡各分量变化特征[J].气象学报,2005(2):225-235.
- [43] 次仁尼玛,单增罗布,宣越健,等.青藏高原羊八井地区地表辐射的季节变化特征[J].高原气象,2013,32(5):1253-1260.
- [44] 周洒洒,何清,金莉莉,等.塔克拉玛干沙漠北缘绿洲-荒漠过渡带辐射特征:以肖塘为例[J].中国沙漠,2020,40(4):43-51.
- [45] 姚旭阳,张明军,张宇,等.中国西北地区气候转型的新认识[J].干旱区地理,2022,45(3):671-683.
- [46] 赵传成,王雁,丁永建,等.西北地区近50年气温及降水的时空变化[J].高原气象,2011,30(2):385-390.
- [47] 张强,朱飙,杨金虎,等.西北地区气候湿化趋势的新特征[J].科学通报,2021,66(增刊2):3757-3771.
- [48] 施雅风,沈永平.西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初探[J].科技导报,2003(2):54-57.

## Radiation balance characteristics of the ecological transition zone in the southern margin of the Taklamakan Desert

Fu Guangxiang<sup>1,2</sup>, He Qing<sup>2</sup>, Wang Guosheng<sup>1,2</sup>, Ma Mingjie<sup>1,2</sup>, Yin Lulu<sup>1,2</sup>, Zhang Qian<sup>3</sup>, Tian Wei<sup>3</sup>

(1. College of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2. National Observation and Research Station of Taklamakan Desert Meteorology of Xinjiang / Taklimakan Desert Meteorology Field Experiment Station of China Meteorological Administration / Xinjiang Key Laboratory of Desert Meteorology and Sandstorm, Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China; 3. Minfeng County Meteorological Bureau, Minfeng 848599, Xinjiang, China)

**Abstract:** The southern edge of the Taklamakan Desert belongs to the ecological transition zone area, the surface properties vary greatly in time and space, and the land surface radiation balance and surface albedo characteristics are special, and the current understanding of this aspect is not sufficient, so it is necessary to carry out the study of the radiation balance of the southern margin of the Taklamakan Desert. This paper analyzes the radiation balance and surface albedo characteristics of the region at different time scales and under different weather conditions by using the surface radiation data from December 2019 to November 2020 from the land-gas interaction observatory on the northern side of the Qinghai-Tibet Plateau. The results showed that: (1) The monthly mean daily variation of each radiation component in different months was unimodal type, but the extreme value size and occurrence time were different. The seasonal variation of the monthly exposure of each radiation component was obvious, and the downward shortwave radiation was manifested as spring > autumn > summer > winter. Upward shortwave radiation is spring > summer > autumn > winter. (2) The downward and upward short-wave radiation is the largest in spring and the smallest in winter in terms of seasonal variation, and the remaining radiation components are the largest in summer and the smallest in winter. (3) In typical weather, except for the smooth daily variation curve of each radiation component on sunny days, the radiation components change irregularly in cloudy, precipitation, floating dust, sand and sandstorm weather, among which precipitation and sandstorms have the most obvious influence on downward short-wave radiation. (4) The monthly changes of surface albedo were irregular, and the maximum and minimum monthly averages occurred in March and May, respectively, 0.37 and 0.29, and the annual average was 0.31. (5) Under different precipitation processes, the daily change of each radiation component on a sunny day is a standard inverted "U" shape, and the change of each radiation component under rainfall and snowfall is irregular, and the response of surface albedo to rainfall and snowfall corresponds to weakening and strengthening, respectively.

**Key words:** Taklamakan Desert; ecological transition zones; radiation balance; typical weather; surface albedo