

慕文玲,霍文,何清,等.塔中人工绿地与自然沙面辐射平衡对比研究[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(4):87-94.
doi: 10.3969/j.issn.1002-0799.2016.04.013

塔中人工绿地与自然沙面辐射平衡对比研究

慕文玲^{1,2,3},霍文^{2,3},何清^{2,3*},金莉莉^{2,3},杨兴华^{2,3},杨帆^{2,3}

(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 乌鲁木齐 830002;3.塔克拉玛干沙漠大气环境观测试验站,新疆 塔中 841000)

摘要:使用 2014 年 5—9 月塔克拉玛干沙漠腹地塔中大气环境观测实验站地表辐射观测资料,分析了塔中人工绿地与自然沙面在各种典型天气条件下的辐射分量特征差异。结果表明:人工绿地与自然沙面辐射平衡各分量最小值均出现在夜间,最大值出现在中午前后,总辐射和反射辐射日最大值出现在 12:00;大气长波辐射日变化振幅较小,地面长波辐射日变化呈现不对称分布。晴天,人工绿地与自然沙面总辐射和净辐射变化幅度较小,自然沙面总辐射高于人工绿地;阴天,地面长波辐射略有减小,绿地大气长波辐射略有增加,总辐射和反射辐射减少,净辐射的变化受总辐射的影响,但减弱幅度小于总辐射;沙尘暴天气下,沙尘对辐射各分量影响明显,辐射各分量日变化不规则,人工绿地与自然沙面总辐射被明显削弱,日变化波动大。

关键词:塔克拉玛干沙漠;人工绿地;自然沙面;辐射平衡;塔中

中图分类号:P422

文献标识码:B

文章编号:1002-0799(2016)04-0087-08

太阳辐射是地球表面能量的主要来源,也是气候系统中各种物理过程和生命活动的基本动力^[1]。研究表明,不同下垫面条件下能量输送过程存在着很大差异^[2-4],因此研究不同下垫面能量收支与辐射平衡对全球气候变化有着重要的作用和意义^[5]。近年来,国内外学者对不同下垫面上的能量与辐射平衡做了大量分析研究工作^[6]。国内学者李江风^[7-8]利用塔克拉玛干沙漠腹地满西一井和塔中沙漠气象站等多年观测资料和各种实地观测试验揭示了沙漠地区太阳辐射和热量平衡分布规律。张强和王胜等^[9]对干旱荒漠区地表辐射平衡做了研究,揭示了辐射平衡与气候和环境之间的关系。翁笃鸣^[10]和季国良等^[11]比较全面的研究了中国辐射气候的问题,计算了太阳辐射各分量的数值与地表辐射能量的总收入和总支出的差额即辐射平衡,详细分析了我国太阳

辐射各分量及辐射平衡的时空分布。金莉莉等^[12]分析了塔克拉玛干沙漠腹地辐射平衡和反照率特征季节变化及各种典型天气下日变化的特征,并与其他地区进行对比。李帅等^[13]对塔克拉玛干沙漠地表辐射收支及云和沙尘的影响进行了研究,得出不同天气条件下辐射收支有着很大的差异。傅良等^[14]利用东南极高原熊猫—1 自动气象站 2011 年 2 月—2012 年 1 月观测的辐射资料和相关资料,对辐射分量和辐射平衡的季节变化进行了研究。虽然以往对不同下垫面的辐射平衡有较多的研究,但是沙漠下垫面的性质比较独特,尤其是在沙漠背景下的人工绿地表现更加突出,所以本文主要是在前人的研究基础上,对塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地与自然沙面地表辐射平衡特征进行对比分析,同时分析不同天气条件下地表各辐射分量的变化特征及规律,为研究沙漠区-绿洲区地气之间的相互作用及影响机制提供参考。

1 研究区概况与资料选取

塔克拉玛干沙漠位于塔里木盆地的中部,东西大约长 1000 km,南北宽大约 400 km,面积 337 600 km²,是中国面积最大、气候最干旱、植被最少、沙丘

收稿日期:2016-03-01;修回日期:2016-04-25

基金项目:国家自然科学基金项目(41305107、41375163、41175140)资助。

作者简介:慕文玲(1989-),女,在读硕士研究生,主要从事干旱区环境演变与灾害防治方面的研究。E-mail:mwl15294482390@163.com

通讯作者:何清(1965-),男,研究员,主要从事沙漠气象研究。E-mail:qinghe@idm.cn

类型最复杂、沙丘流动性最大、流动性沙漠面积最大的沙漠^[15],是中国沙尘暴的主要起源地之一^[15-18]。其中,塔中位于塔克拉玛干沙漠腹地,深入沙漠200 km,夏季高温,降水极少,风沙活动频繁。根据塔中气象站观测资料,该地区年平均气温为13.1℃,年降水量仅为22.8 mm,降水时间分配不平衡,其中春夏两季的降水量占全年降水量的90%以上;气候炎热干燥,蒸发量大,年潜在蒸发量高达3 798.5 mm。本文的研究区为塔克拉玛干沙漠大气环境观测实验站塔中本站(38°58'N,83°39'E,1099 m,处于2×2 km²人工绿地的中部)和塔中西站(38°58.858'N、83°38.462'E,1103 m,自然沙面)。数据来源于两个站的地表能量探测系统,观测仪器见表1。借助CR1000

型数据采集器分别获取了10 s,1 min,30 min 和1 h 频率的平均辐射观测数据,本文使用的数据时间为2014年5—9月。

观测项目	仪器型号	生产厂家	采样频率/s	输出数据时间
总辐射	CM21	荷兰 Kipp&Zonen 公司	10	10 s,1min,1 h
反射辐射	CM21	荷兰 Kipp&Zonen 公司	10	10 s,1min,1 h
大气长波辐射	CG4	荷兰 Kipp&Zonen 公司	10	10 s,1 min,1 h
地面长波辐射	CG4	荷兰 Kipp&Zonen 公司	10	10 s,1 min,1 h

2 人工绿地与自然沙面辐射分量的日变化

图1显示2014年5—9月塔克拉玛干沙漠生长季人工绿地与自然沙面平均地表辐射平衡各分量的

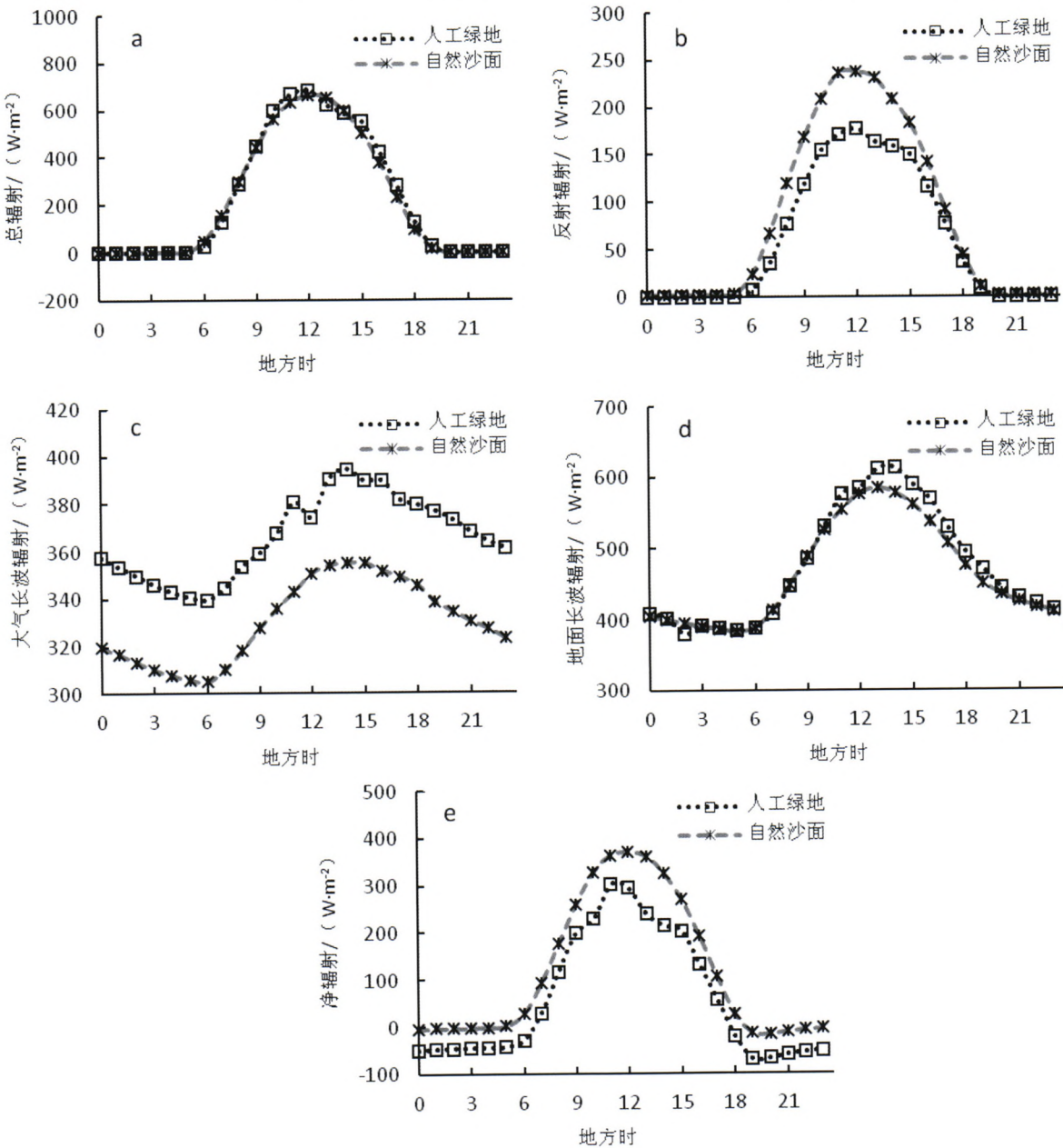


图1 塔中人工绿地与自然沙地辐射平衡各分量平均日变化

日变化特征,从图 1 可以看出,塔中人工绿地与自然沙面辐射平衡各分量日变化特征差异明显。

总辐射是水平表面接受到的太阳直接辐射和散射辐射之和,它的大小受太阳高度角、大气透明条件、云状、云量和大气沙尘等多因子的共同影响。从图 1a 可以看出,塔中绿地与自然沙面总辐射呈现出典型的单峰对称日变化特征,日平均最大值分别为 685.5 、 $664.5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,12:00 出现最大值,且人工绿地和自然沙面日平均总量分别为 54.60 、 $52.65 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 。日出后人工绿地与自然沙面总辐射快速上升,且增幅较大,夜间降低为零,10:00 人工绿地的总辐射为 $597.9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,自然沙面为 $563.8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,随着时间的增加,到下午 19:00 之前,人工绿地总辐射都高于自然沙面,所以,两者相比较,大多数时间段人工绿地的总辐射要大于自然沙面,主要是由于人工绿地上空大气浑浊度比自然沙面地区小,从而对太阳辐射的削减较小。

反射辐射日变化规律与总辐射相同,白天其值随着太阳高度角的增大(减小)而增大(减少),从图 1b 可以看出,人工绿地与自然沙面最大值分别为 176.4 、 $236.6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,出现在 12:00,且自然沙面和人工绿地的反射辐射日平均总量分别为 19.85 、 $14.45 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$,自然沙面大于人工绿地,主要是由于自然沙面的地表反照率高于人工绿地,总体而言,反射辐射的差异主要与下垫面地表覆盖度的关系较为密切,且地表反照率与太阳高度角之间呈负相关关系,即中午低日出日落高的特征,太阳高度角较低时,反照率变化大,随着高度角增大反照率减小并趋于稳定。

长波辐射包括大气向下的长波辐射和地面向上的长波辐射,地面长波辐射主要受温度的控制,大气长波辐射则与大气温度、空气中的水汽含量及尘埃粒子密度等密切相关^[1]。从图 1c 和图 1d 可以看出,人工绿地与自然沙面大气长波辐射日平均最大值分别为 394.5 、 $355.1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,出现在 14:00,相较于短波辐射,长波辐射的最大值出现时间相对比较滞后,这是因为地表先吸收太阳短波辐射使自身温度升高,再放出长波辐射,且其变化幅度较小,平均日总量分别为 87.77 、 $79.27 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$,人工绿地高于自然沙面。人工绿地与自然沙面的地面长波辐射日平均最大值分别为 612.8 、 $583.9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,出现时间为 14:00,平均日总量分别为 11.36 、 $11.14 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$,人工绿地高于自然沙面。与地面长波辐射相比较,大气长波辐射振幅比较小,日出之后,大气长波辐射增加缓慢,到 14:00 达到最大值,然后缓慢减小到日出前的最低值。

净辐射是地面收入辐射能和支出辐射能的差值,主要以感热和潜热的形式对大气进行加热,是表示地气系统辐射热交换的特征量。当收入的辐射能大于支出的辐射能时,净辐射为正值,反之,为负值。所以净辐射的日变化规律是:白天由大气向地下传输热量,为正值;夜晚由地下向大气传输热量,为负值。从图 1e 可以看出,人工绿地与自然沙面净辐射日平均最大值分别为 301.1 、 $368.2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,出现在 12:00,最小值分别为 -71.2 、 $-16.9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,日平均总量分别为 13.59 、 $28.10 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$,两者相比较,人工绿地小于自然沙面,白天为正值,变化特征几乎与总辐射基本一致,夜间为负值,特征与大气向下长波辐射特征相近,且净辐射的大小和变化受太阳高度角、云量、大气透明度和地表状况等因素的共同制约,不同的下垫面地表反射率和地面有效辐射有显著差异,所以人工绿地与自然沙面地表净辐射有明显的不同。

3 不同天气条件下的辐射分量日变化

本文从 2014 年 5—9 月中分别选取了晴天、阴天和沙尘暴这三种典型天气代表塔中特殊天气条件下的天气类型。从中选取 7 月 20 日、7 月 21 日、8 月 5 日、8 月 10 日、8 月 15 日代表晴天,选取 6 月 2 日、6 月 21 日、6 月 22 日、7 月 5 日、7 月 18 日代表阴天,选取 6 月 1 日、6 月 3 日、7 月 13 日、7 月 16 日、8 月 2 日代表沙尘暴天气,由图 2 至图 4 可以看出,除大气长波辐射之外,地表辐射各个分量有明显的日变化特征,波动较大。

3.1 晴天

从图 2 和表 2 可以看出,在晴天天气条件下,人工绿地与自然沙面总辐射日平均最大值分别为 506.4 、 $790.1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$;反射辐射日平均最大值分别为 134.6 、 $188.6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$;大气长波辐射日平均最大值分别为 417.3 、 $424.5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,日平均最小值分别为 356.3 、 $364.2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$;地面长波辐射日平均最大值分别为 640.7 、 $632.2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 日平均最小值分别为 398.6 、 $400.5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$;净辐射日平均最大值分别为 195.9 、 $392.4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。所以在晴天时,大气长波辐射全天波动不明显,其他辐射各分量有明显的波动,人工绿地与自然沙面总辐射和净辐射变化幅度较小,自然沙面净辐射高于人工绿地,主要是由于净辐射的大小及其变化特征受短波辐射和长波辐射的影响,晴天条件下由于人工绿地的蒸发作用,空气中的水汽分子较多,太阳短波辐射减少,自然沙面情况相

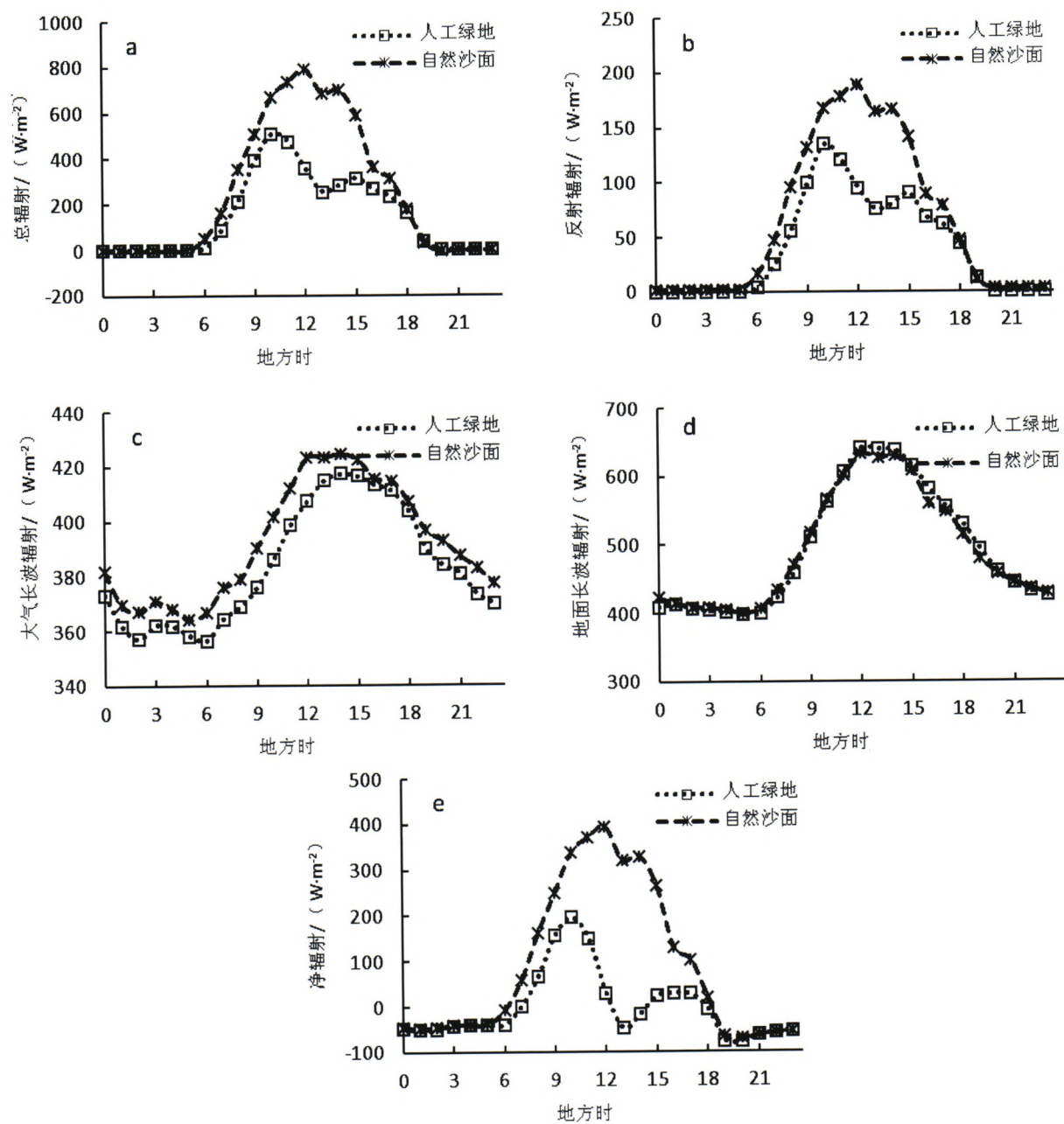


图 2 塔中晴天人工绿地与自然沙面辐射各分量平均日变化

反,所以一般而言,晴天自然沙面净辐射高于人工绿地。自然沙面总辐射高于人工绿地,因为总辐射主要受太阳高度角、大气分子、云和气溶胶的影响,此外,人工绿地的日均最大值会比自然沙面提前 2 h,主要是由于太阳升高后,人工绿地的地表和土壤以及植被的蒸腾作用,导致空气中水汽分子增多的影响,所以在晴天条件下,人工绿地由于蒸发作用使上空的水汽分子增多,而自然沙面相对较小,所以总体而言自然沙面总辐射高于人工绿地。

3.2 阴天

由图 3 和表 2 可以看出,在阴天天气条件下,人

表 2 不同天气条件下的辐射各分量日平均极大值及其出现时间

天气	地表	辐射分量(W·m ⁻²)及出现时间(北京时间)				
		总辐射	反射辐射	大气长波辐射	地面长波辐射	净辐射
晴天	人工绿地	506.4(10:00)	134.6(10:00)	417.3(14:00)	640.7(12:00)	195.9(10:00)
	自然沙面	790.1(12:00)	188.6(12:00)	424.5(14:00)	632.2(12:00)	392.4(12:00)
阴天	人工绿地	530.8(12:00)	165.2(12:00)	413.5(15:00)	563.2(13:00)	215.4(12:00)
	自然沙面	391.2(13:00)	392.8(11:00)	332.5(14:00)	508.2(13:00)	371.4(11:00)
沙尘暴	人工绿地	761.0(11:00)	194.2(11:00)	436.6(14:00)	599.4(12:00)	384.3(11:00)
	自然沙面	763.5(11:00)	193.8(11:00)	423.9(14:00)	599.8(12:00)	372.8(11:00)

工绿地的总辐射、反射辐射、大气长波辐射、地面长波辐射、净辐射日平均最大值分别为 530.8、165.2、413.5、563.2、215.4 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, 自然沙面总辐射、反射辐射、大气长波辐射、地面长波辐射、净辐射日平均最大值分别为 391.2、392.8、332.5、508.2、371.4 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。所以,在阴天,人工绿地与自然沙面辐射各分量有明显的差异,日变化不规则,人工绿地总辐射、大气长波辐射、地面长波辐射,高于自然沙面,而反射辐射和净辐射低于自然沙面,且自然沙面总辐射日均值比人工绿地推迟 1 h,主要是由于自然沙面上空大气透明条件和大气中沙尘等因子的影响。阴天的辐射各分量与 2014 年 5—9 月平均日变化相比较,短

波辐射和净辐射明显减弱,地面长波辐射略有减小,人工绿地的大气长波辐射略有增加,这主要是由于阴天时,云对短波辐射的吸收和散射,因此总辐射和反射辐射减少,净辐射的变化受总辐射的影响,但减弱幅度小于总辐射。

3.3 沙尘暴

由图 4 和表 2 可以看出,沙尘暴条件下,人工绿地与自然沙面除大气长波辐射外辐射各分量波动最大,达到最大值时间比中午 12:00 略有提前,其中总辐射、反射辐射、地面长波辐射、净辐射被削弱很大,自然沙面总辐射、反射辐射、净辐射日平均总量分别为 49.23、13.05、16.28 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, 人工绿地总辐射、反

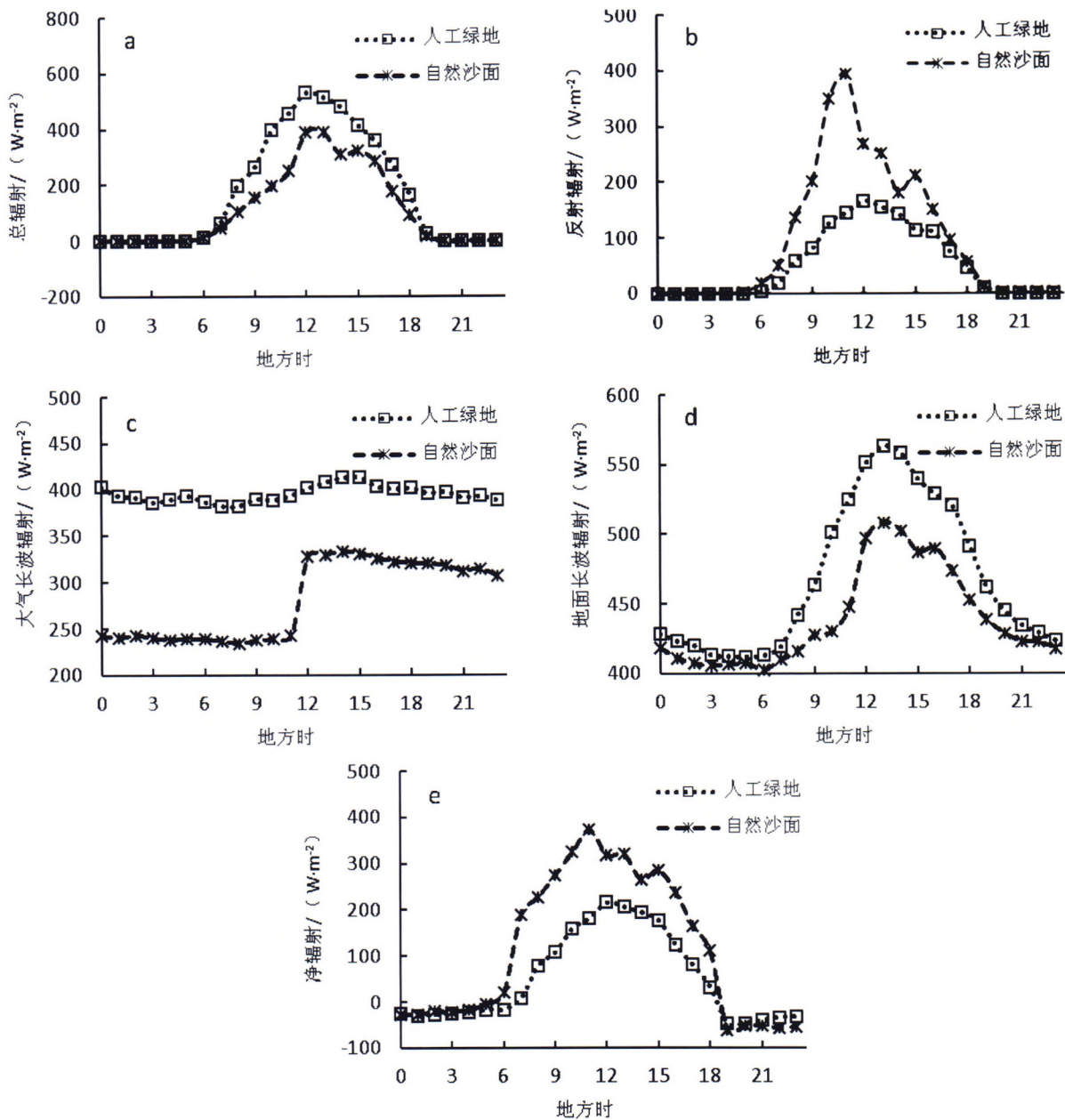


图 3 塔中阴天人工绿地与自然沙面辐射各分量平均日变化

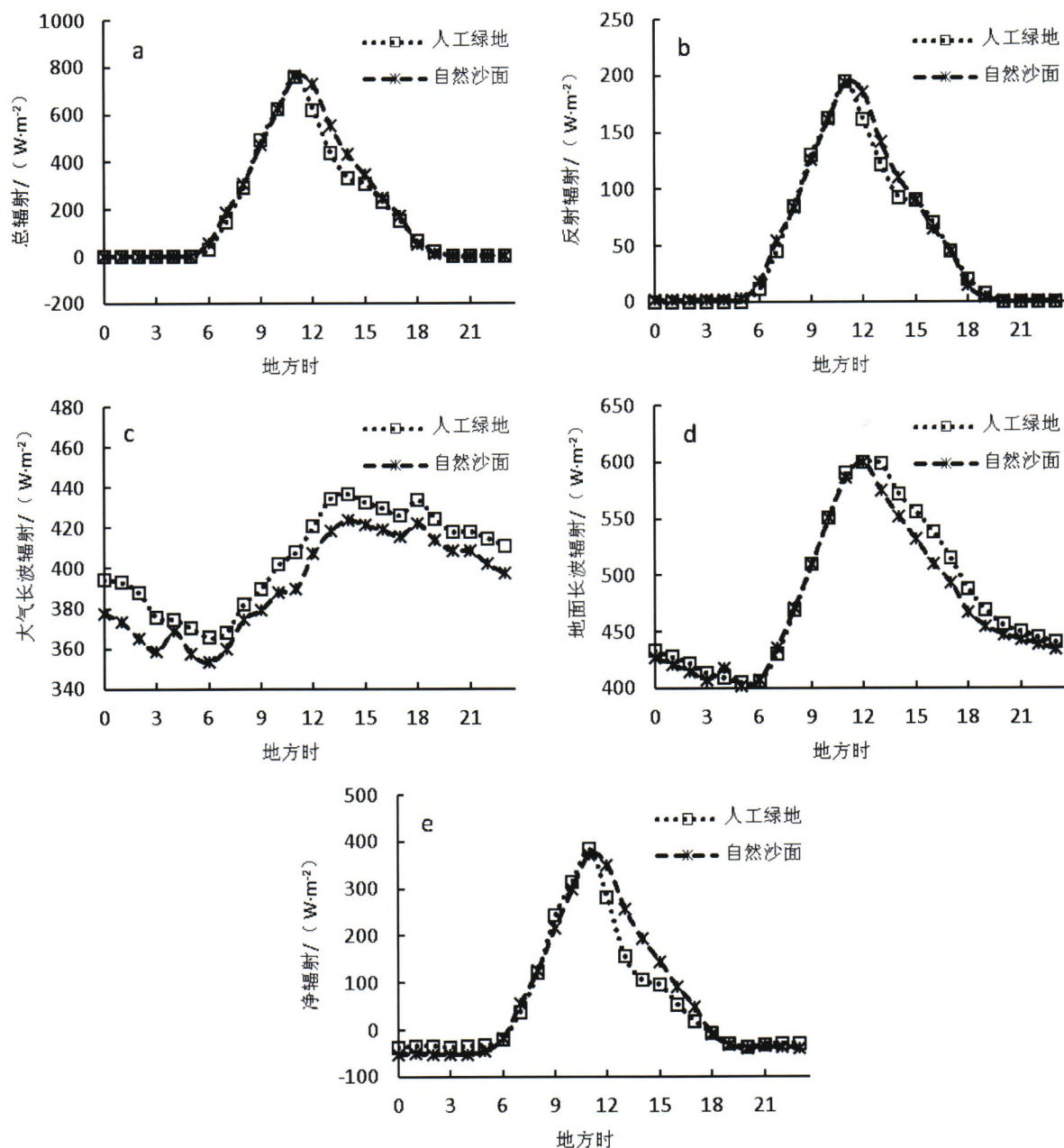


图4 塔中沙尘暴人工绿地与自然沙面辐射各分量平均日变化

射辐射、净辐射日平均总量分别为 45.17、12.32、14.09 $MJ \cdot m^{-2}$,所以自然沙面总辐射、反射辐射、净辐射高于人工绿地。这主要是因为沙尘暴天气条件下,空中悬浮的沙尘颗粒物较多,总辐射由于沙尘颗粒物的影响,明显削弱,到达地面的太阳辐射减小,所以地面辐射减小。人工绿地下垫面由于植被覆盖,空气中的沙尘颗粒物相对于自然沙面较少,因此自然沙面总辐射总量高于人工绿地。总辐射受多种因素的影响,在塔中复杂的环境条件下,其影响因子呈现出稳定性。但是空气中沙尘颗粒较多,由于沙尘对辐射的散射作用,所以大气逆辐射增加,因此无论是人工绿地还是自然沙面,辐射各分量的日变化曲

线不同于晴天,变化幅度较大。但是,人工绿地与自然沙面的各辐射分量的最大值和出现时间总体差异很小,出现时间与人工绿地一致。

4 结论

本文对塔克拉玛干沙漠生长季人工绿地与自然沙面辐射各分量特征进行对比分析,得出以下几点结论:

(1)塔中 2014 年 5—9 月生长季人工绿地与自然沙面辐射各分量日变化特征差异明显,总辐射呈现出典型的单峰对称日变化特征,日出后总辐射快速上升,且增幅较大,夜间其值为零;反射辐射与下

垫面地表差异相关,自然沙面和人工绿地的反射辐射日平均总量分别为 19.86、14.46 MJ·m⁻²,自然沙面大于人工绿地;地面长波辐射人工绿地高于自然沙面,与其相比,大气长波辐射变化较小;人工绿地与自然沙面净辐射日平均最大值分别为 301.1、368.2 W·m⁻²,两者相比较,人工绿地小于自然沙面,白天为正值,夜间为负值,变化特征几乎与总辐射基本一致,不同的下垫面地表反射率和地面有效辐射有显著差异,因此人工绿地与自然沙面地表净辐射有明显的不同。

(2) 不同天气条件下除大气长波辐射外各辐射分量变化明显。晴天,总辐射最大值出现的时间基本上在正午,人工绿地与自然沙面总辐射日平均最大值分别为 506.4 W·m⁻²、790.1 W·m⁻²,自然沙面高于人工绿地,相差较大。阴天,由于云的吸收与散射作用,人工绿地与自然沙面总辐射和反射辐射减少,辐射各分量变化不规则,净辐射受总辐射的影响,减弱幅度小于总辐射,地面长波辐射略有减小,人工绿地的大气长波辐射略有增加。

(3) 沙尘暴天气条件下,各辐射分量变化最大,达到最大值的时间略有提前。由于总辐射受太阳高度角、大气分子、云和气溶胶等多种因素的影响,沙尘天气下,自然沙面空气中沙尘颗粒物相对于人工绿地而言较多,受其影响,地面辐射减少,大气逆辐射增加,且自然沙面总辐射、反射辐射、净辐射高于人工绿地。

本文仅对 2014 年 5—9 月塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地与自然沙面一个生长季的辐射各分量进行了对比分析,揭示了一些特征,而对塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地和自然沙面辐射各分量的研究还需要长时间的观测和深入分析,为今后研究沙漠—绿洲区地气之间的相互作用及影响机制提供重要参考。

参考文献:

[1] 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.
[2] 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.

[3] 张强,卫国安,黄荣辉.西北干旱区荒漠戈壁动量和感热总体输送系数[J].中国科学(D 辑),2001,31(9):783-792.
[4] Wagon P,Sicart J E,Berthier E,et al. Winter time high altitude surface energy balance of a Bolivian glacier, Illimani,6340 m above sea level [J].J Geophys Res, 2003,108(D6):4177-4190.
[5] 陈世强,文莉娟,吕世华,等.夏季不同天气背景条件下黑河中游不同下垫面的辐射特征 [J]. 中国沙漠,2008,28(3):514-518.
[6] 李振朝,卫志刚,文军,等.黄土高原典型塬区冬小麦田地 表辐射平衡各分量特征分析 [J]. 太阳能学报,2009,30(1):12-18.
[7] 李江风.塔克拉玛干沙漠和周边山区天气气候[M].北京: 科学出版社,2003.
[8] 李江风.沙漠气候[M].北京:气象出版社,2002.
[9] 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.
[10] 翁笃鸣.中国辐射气候[M].北京:气象出版社,1997:1- 36.
[11] 季国良,吕兰芝.青藏高原的长波辐射特征[J].高原气 象,1995,14(4):451-458.
[12] 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.
[13] 李帅,胡列群,何清,等.塔克拉玛干沙漠腹地地表辐射 收支特征研究[J].中国沙漠,2012,32(4):1035-1044.
[14] 傅良,卞林根,效存德,等.2011 年 2 月—2012 年 1 月东 南极高原辐射平衡观测研究[J].气象学报,2015,73(1): 211-219.
[15] 杜鹤强,韩致文,王涛,等.新月形沙丘表面风速廓线与 风沙流结构变异研究[J].中国沙漠,2012,32(1):9-16.
[16] 丁国栋,赵延宁,马玉明.沙漠学概论[M].北京:中国林 业出版社,2002:119-123.
[17] He Q, Zhao J F,Nagashima Hideki. The distribution of sandstorms in Taklimakan Dsert [J]. Journal of Arid Land Studies,1996,5:185-193.
[18] 王超,韦志刚,李振朝,等.敦煌戈壁地区净辐射变化特 征[J].干旱区研究,2012,29(2):251-256.

Comparison and Research of the Land Surface Radiation Balance in the Artificial Vegetation and Nature Desert in the Taklimakan Desert

MU Wenling^{1,2,3},HUO Wen^{2,3},HE Qing^{2,3},JIN Lili^{2,3},YANG Xinghua^{2,3},YANG Fan^{2,3}

(1.Institute of Geography Science and Tourism,Xinjiang Normal University,Urumqi,830054,China;
2. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration,Urumqi 830002,China;
3. Taklimakan Desert Atmosphere and Environment Observation Experiment Station,
Tazhong 841000,China)

Abstract In this paper, the characteristics of the land surface radiation balance under different weather conditions in the artificial vegetation and nature desert are analyzed based on the observation data obtained from the Taklimakan Desert hinterland between May 2014 and September 2014. The results showed that the land surface radiation balance components of artificial vegetation and nature desert in Tazhong are in different time. The minimum value is in nighttime, the maximum value of global radiation and reflect radiation appeared at 12:00 am. The diurnal fluctuation of atmosphere long-wave radiation had some difference, and the ground long-wave radiation is asymmetric distributed. When the day is fine, the variations of global radiation and net radiation in artificial vegetation and nature desert have some difference, and the global radiation in artificial vegetation is smaller than in nature desert. In cloudy day, the ground long-wave radiation was slightly decreased, when the atmospheric long-wave radiation is slightly increased in artificial vegetation, The global radiation and reflect radiation is decreased. The variation pattern of net radiation was consistent with the global radiation, and the decrease range of net radiation is less than the global radiation. In sandstorm, the diurnal variation of land surface radiation balance components are irregular, and they are obviously weakened both in artificial vegetation and nature desert.

Key words Taklimakan desert;artificial vegetation;nature desert;radiation balance;Tazhong