

巴丹吉林沙漠湖泊—沙山地貌格局对局地小气候的影响

张克存¹, 奥银焕², 屈建军¹, 安志山¹, 俎瑞平¹, 韩庆杰¹

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 敦煌戈壁荒漠研究站, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院 陆面过程与气候变化重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 通过对巴丹吉林沙漠腹地湖泊和沙山两测点不同气象要素的同期观测, 对比分析了湖泊和沙漠区地表辐射特征、能量平衡、地表反照率、散度场和风沙环境等差异。结果表明, 湖泊区的气压要比沙漠区高, 在观测期内, 平均高出约 243 hPa; 沙山处摩擦速度的平均值为 0.31 m/s, 而同期湖泊处为 0.24 m/s; 散度场(D)与湖泊中心的垂直速度场具有很好的相关性, 夜晚, $D > 0$ 时, 湖泊中心有下沉气流, 垂直风速为负值; 而白天, $D < 0$ 时, 湖泊中心气流上升, 垂直风速为正值, 存在一定的局地环流。

关键词: 巴丹吉林沙漠; 湖泊—沙山格局; 辐射特征; 能量平衡; 局地环流

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)05-0104-05

中图分类号: P463.21

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.026

Influences of Lake—Sand Dune Landscape on Local Microclimate in Badain Jaran Desert

ZHANG Ke-cun¹, AO ying-huan², QU Jian-jun¹, AN Zhi-shan¹, ZU Rui-ping¹, HAN Qing-jie¹

(1. Dunhuang Gobi and Desert Ecology and Environment Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 733000, China; 2. Key Laboratory of Land Surface Process and Climate Change in Cold and Arid Region, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 733000, China)

Abstract: By observing meteorological elements of lakes and sand dunes in Badan Jaran Desert hinterland over the same period, authores made comparative analysis on radiation characteristics, energy balance, albedo, divergence and sand environment differences between the lake and desert surface. The results showed that the air pressure of lake surface was higher than that of the desert area, with an average of about 2.43 kPa. The drag velocity was 0.31 m/s on dune surface, while it was 0.24 m/s on lakes. The divergence field(D) had a good correlation with the vertical velocity at lake center. In the evening, when D was greater than zero, the center of the lake airflow was sinking, and the vertical velocity was negative; while in the daytime, when D was less than 0, the center of the lake flow was rising, and vertical wind speed was positive, indicating that there was a certain amount of local circulation.

Keywords: Badain Jaran Desert; lake—sand dune landscape patterns; weather radiation characteristics; energy balance; local circulation

小气候是指因局地下垫面影响而形成的与大气气候不同的贴地层和土壤的上层气候^[1], 是影响生物生长发育重要的因子, 不同的植物群落与地形往往会形成不同的小气候环境^[2]。目前, 国内外学者对沙漠^[3]、戈壁^[4]、绿洲^[5]、过渡带^[6-7]等小气候进行了大量研究, 在辐射特征、热量和水汽交换、绿洲“冷岛效应”等诸多研究方向取得了较多研究成果^[8-11], 并为后期大气环流、边界层特征等气候数值模拟研究奠定了良好基础^[12]。作为干旱区独特的地域单元, 高大沙山与湖泊交错发育的地貌景观, 其形成和发育长期

以来备受地质地理学家的关注^[13], 研究成果颇多。但关于高大沙丘和湖泊之间的局地小气候研究较少。鉴于此, 本文以巴丹吉林沙漠中伊和吉格德为研究区域, 探讨湖泊—沙山地貌格局对局地小气候的影响。

1 研究区概况

巴丹吉林沙漠分布于阿拉善高原中心, 面积为 $4.92 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是我国第二大流动性沙漠。高大沙山密集分布, 约占沙漠总面积的 61%, 一般高 200~300 m, 最高可达 500 m 以上。高大沙山之间的丘间

收稿日期: 2013-08-08

修回日期: 2013-09-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“沙山—湖泊局地环流及其对风沙输移的影响”(41071009), “巴丹吉林沙漠陆—气相互作用及其对区域气候的影响”(40975007); 中国科学院“西部之光”项目“鸣沙山移动规律及其对月牙泉的影响”(29Y128841)

作者简介: 张克存(1978—), 男(汉族), 甘肃省民勤县人, 博士, 研究员, 主要从事风沙工程与风沙灾害研究。E-mail: kecunzh@lzb.ac.cn。

地分布众多湖泊,共计 144 个之多。湖泊群与高大沙山主要集中在沙漠东南部。其中,面积超过 1.0 km^2 的湖泊有 5 个,最大的是诺尔图湖,湖水面积 1.5 km^2 ,水深 16 m。由于受蒙古高压的控制,巴丹吉林沙漠呈现典型的大陆性气候。冬季干燥寒冷,夏季酷热;年降雨量在 $40\sim 120 \text{ mm}$,主要集中在 7,8 月;终年盛行西北风和西风,年均风速在 $3.0\sim 4.5 \text{ m/s}$ 。

试验研究区位于阿拉善右旗东北缘的伊和吉格德,俗称大沙枣海子,其地理坐标为 $39^\circ 46' 6'' \text{ N}$, $102^\circ 8' 55'' \text{ E}$,海拔为 1 158 m,湖泊水域面积约 1.4 km^2 ,东西最大距离 1.6 km,南北最宽处约 1.1 km。观测区深入沙漠腹地约 43 km,距阿拉善右旗直线距离达 75 km。区域内的湖泊—沙山交错分布,沙山相对高度约 200 m,是研究沙山—湖泊陆地过程和局地小气

候特征的理想场所。本次观测时段选择湖泊与沙山地表反射、气温和局地环流等热力参数反差较为剧烈的夏季。分别在湖泊中心及其四周架设了自动气象观测站,湖泊周围植被为零星的沙生芦苇,高度约 0.6 m。沙山测点位于湖泊的东南侧,距离湖泊中心测点位置约 38 km,与湖泊相对高差为 260 m。两测点观测内容包括空气温度、风速、风向、潜热、感热、土壤热通量、净辐射、长波辐射、短波辐射、不同深度的土壤温湿度等。另外,为了研究湖泊与沙山之间的局地环流,在湖泊四周架设了 4 个小型自动气象站,主要用于观测风速、风向和空气温湿度,传感器架设高度统一距地表 2.0 m,数据采集时间步长为 15 min,观测时间为 2009 年 7—9 月,主要观测仪器型号、架设高度及技术指标见表 1。

表 1 主要观测仪器型号、架设高度及技术指标

观测项目	仪器型号	生产厂家	探头高度/m	技术指标
超声风速仪	CSAT 3	Campbell(美国)	2.0	测量范围: $+(-) 65 \text{ m/s}$;分辨率: U_x, U_y 为 1 mm/sRMS , U_z 为 0.5 mm/sRMS
空气湿度仪	HMP 155	Vaisala(芬兰)	2.0	测量范围: $-80\sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$ (气温); $0\sim 100\%$ (相对湿度);精度: $-0.17\sim 0.12 \text{ }^\circ\text{C}$, $-1.7\%\sim 1.7\%$
辐射	CNR 1(2009)	Kipp&Zonen(荷兰)	1.5	测量范围: $0.3\sim 2.8 \mu\text{m}$ (CMP3), $5\sim 42 \mu\text{m}$ (CGR3),工作温度: $-40\sim 80 \text{ }^\circ\text{C}$
土壤热通量	HFP 01	Hukseflux	$-0.05, -0.2$	测量范围: $-2\ 000\sim 2\ 000$;分辨率: $50 \mu\text{V}/(\text{W}\cdot\text{m}^2)$;精度: $-15\%\sim 5\%$

2 结果分析

大气中,云、沙尘和气溶胶等直接影响太阳辐射,增大散射辐射通量,进而影响地表能量收支。沙漠地区地表裸露、植被稀少、反照率高,水汽含量低,而且常伴有浮尘、扬沙等风沙环境,导致地表能量平衡和收支差异,形成特有的沙漠小气候。

2.1 地表辐射特征

沙漠与湖泊夏季小气候特征与局地下垫面状况、地表反照率和土壤温湿度有很大关系。沙漠区和湖泊区两测点直线距离约为 37 km,距离较小,故可忽略纬度对两地太阳总辐射的影响。图 1 给出了沙漠与湖泊地表辐射特征。可以看出,两地太阳总辐射相差较小,沙漠与湖泊地表各辐射分量呈现明显的日变化特征,且变化趋势基本一致:从日出开始,太阳总辐射逐渐增大,约在中午 13 点左右达到峰值,之后减小。白天,沙漠地表反射辐射略高于湖泊区。其主要原因在于:沙漠土壤含水量小,反照率大;而湖泊区土壤含水量高,有零星的芦苇分布,地表相对粗糙,反照率小。观测期内,由于湖泊处地势低洼,气流受到周边沙山影响,风速较小,温度较高,且湖泊上层空气水

分含量较沙漠地区高,故其湖泊区大气长波辐射和地表长波辐射均高于沙漠地区。

2.2 地表能量平衡

无论是沙漠或湖泊地区,净辐射的日变化规律很明显:白天为正,夜间为负。日出后开始增大,至当地时间中午达到最大值,随后开始减弱,到午夜减小至最小值。沙漠与湖泊地区净辐射日均值为 106.56 和 91.30 W/m^2 ;峰值分别为 484.90 和 446.8 W/m^2 。感热随净辐射的增加而增大,一般午后 14 点左右达到峰值。沙漠与湖泊区感热通量峰值分别为 258.48 和 167.31 W/m^2 。沙漠地区感热通量明显高于湖泊区,二者日平均相差约 40 W/m^2 。湖泊地区潜热通量高于沙漠地区,主要由于湖泊地区地表湿度大,水域蒸发和植被蒸腾强烈,周边空气水分含量较沙漠地区大,湖泊地区潜热释放显著多于感热输送。

2.3 地表反照率

地表反照率是反射辐射通量与入射辐射通量之比,一般由地表土壤颜色、粗糙度、土壤湿度和太阳高度角等决定。从理论上讲,晴天地表反照率日变化是一光滑的抛物线,随太阳高度角的增大而减小。图 2

为晴天沙山与湖泊处地表反照率对比情况。可以看出,沙山测点处地表反照率明显高于湖泊处。由于地

表下垫面性质的不同,观测期内,沙山处平均反照率为 0.30,而同期湖泊测点处只有 0.25。

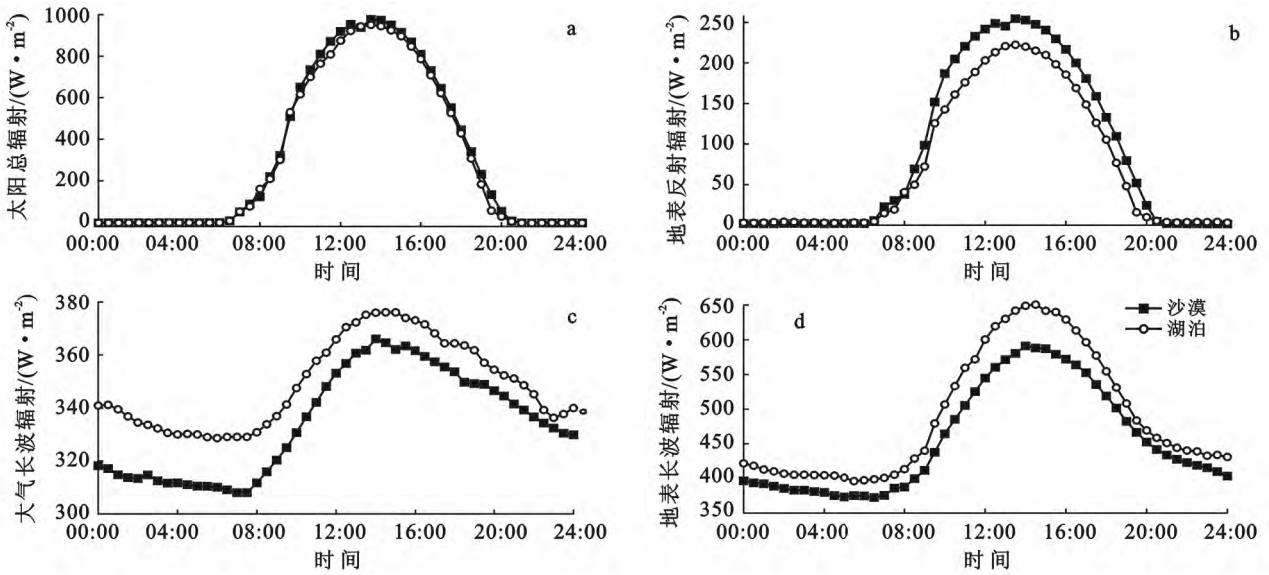


图 1 沙漠与湖泊区辐射各分量的日变化

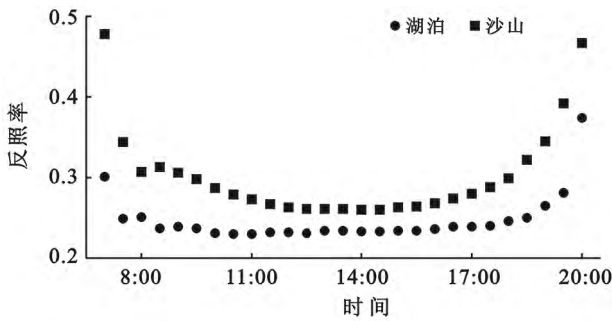


图 2 沙山与湖泊处地表反照率对比

2.4 气压和气温

由于沙漠地表和湖泊下垫面状况不同,加之湖泊水域反照率和水体热力性质与沙漠流沙地区有很大差异,最终导致沙漠与湖泊区气温和气压的区域差异。沙漠与湖泊处气温和气压总体变化趋势一致,相关性比较显著。但湖泊处气压要比沙漠区高,观测期内,平均高约 243 hPa。气压日变化规律也很明显,中午 12 点前后达到峰值,下午 7 点左右气压最低。沙漠与湖泊区域气温变化趋势基本一致,但湖泊区同期气温较沙漠区高,相差约 3℃。从气温日变化图来看,二者气温峰值出现在下午 17:30,极小值出现在凌晨 5:30 左右。

2.5 土壤热通量

土壤热通量是地表能量平衡中重要的组成部分,也是土壤层与外界环境热交换状况的反映^[14-15]。土壤热通量的大小以及正负转变直接影响到土壤热量的收支,研究土壤热通量变化特征对分析局地气候特

征和能量交换过程具有重要意义^[16]。图 3 是距地表 5.0 cm 处沙山与湖泊处土壤热通量的对比情况。可以看出,土壤热通量的日变化特征十分显著。白天,土壤热通量为正值,地表吸收太阳辐射,获取热量,土壤温度升高,下午 3 点左右,土壤热通量达到峰值;黑夜,土壤热通量为负值,释放热量,土壤温度降低,至凌晨 7 点左右,土壤热通量最小。白天,湖泊测点处土壤热通量较沙漠区高,尤其是午后,二者较差最大,湖泊区域土壤热通量约为沙漠区域的 2 倍。清晨日出后,湖泊区土壤热通量增幅较沙漠地表大,地表吸热过程较沙漠区提前 2 h 左右;而日落后,沙漠区土壤层热量释放过程较湖泊区晚,一般滞后约 3 h。

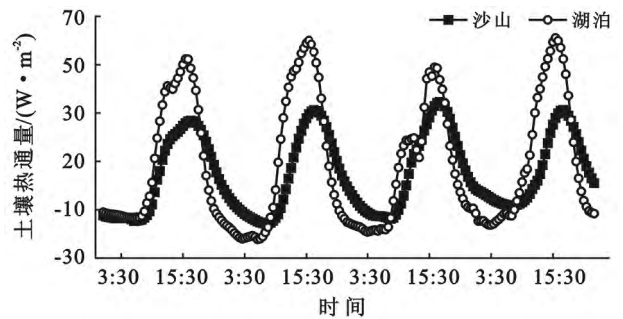


图 3 沙山与湖泊处土壤热通量

2.6 摩阻速度与风速

摩阻速度主要受下垫面性质的影响,与地表物质组成、粒度分布、植被盖度等有关。摩阻速度可以反映地表沙粒起动的难易程度,除与自由风速有关外,还受地表粗糙程度的影响。观测期内,沙山处近地表摩阻速度和水平风速明显高于湖泊处(图 4)。沙山

处摩阻速度的平均值为 0.31 m/s,而同期湖泊处为 0.24 m/s。另外,摩阻速度日变化趋势也很明显。从午夜零点至凌晨 7 点之前,摩阻速度相对较小,变化

比较平稳。日出以后,由于近地表气温回升,陆—气界面温差增大,导致近地表风速增大,故摩阻速度随地表水平风速的增加而增大。

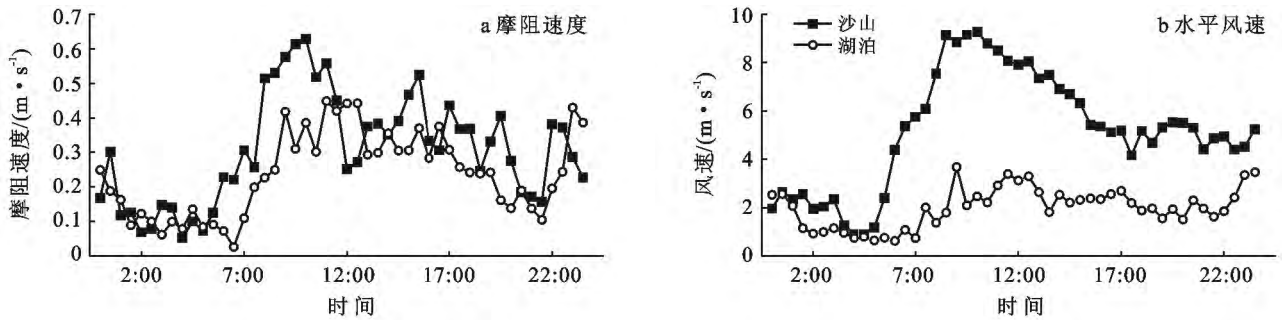


图 4 沙山与湖泊处摩阻速度与水平风速

2.7 风动力环境

巴丹吉林沙漠腹地沙山与湖泊所处的地形、植被条件和下垫面状况不同,致使区域内风动力环境差异显著。起沙风是衡量区域风动力环境的一个重要的指标,也是研究风沙运动规律和解决风沙工程问题的关键。表 2 反映了湖泊与沙山处起沙风次数对比情况。8 月沙山测点处各方位起沙风次数总和为 556

次,而湖泊处仅有 28 次。湖泊处起沙风次数偏少,一是由于其所处的地域环境,湖泊外围一般为高大沙山,在一定程度上对湖泊起屏障和庇护作用。另外,还与下垫面性质有关。湖泊水域表面反射率和热力特性与沙漠地表不同,湖泊上空气温相对于沙漠地表昼夜变化较小。

表 2 沙山与湖泊 8 月起沙风次数统计

地点	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
沙山	8	11	9	4	8	131	163	86	12	13	5	24	19	22	10	31
湖泊	0	8	9	1	0	1	0	0	0	1	7	1	0	0	0	0

注:N 指北; S 指南; W 指西; N 指北;其他均为组合方位。下同。

从起沙风玫瑰分布来看,沙山与湖泊处起沙风主导方向受局地地形和下垫面的影响很大。8 月沙山测点处盛行风向以 ESE,SE 和 SSE 为主,分别占总量的 23.56%,29.31%和 15.48%。湖泊处主导风向有两组,一组以 NNE 和 NE 为主,二者占总量的 60.71%;另一组为 SW,占总量的 25%。湖泊处两组主导风向的差异,主要受其所处地形的影响,山风和谷风的交替和局地环流作用。另外,还与湖泊独特的水域调节作用有关。

输沙势是衡量区域风沙活动强度及风沙地貌演变的重要指标^[17]。本文在计算输沙势时,采用 Fryberger^[18]提出的计算方法。表 3 统计了沙山与湖泊两测点在观测期内不同方位输沙势对比情况。由于沙山处受其独特的沙漠环境影响,起沙风等级和作用时间相对较高;而湖泊测点处,受外围沙山的庇护作用和湖泊水域下垫面的调节作用,起沙风次数较少,所以沙山处各方位输沙势相对湖泊处大。从各方位输沙势累计分布来看,沙山测点处属于较高的风能环境,而湖泊处风动力环境较弱,尤其是 8 月,输沙势仅为 3.42 UV。

表 3 沙山与湖泊处各方位输沙势(UV)统计

方位	沙山			湖泊		
	7 月	8 月	9 月	7 月	8 月	9 月
N	20.11	3.73	0.11	0.00	0.00	0.00
NNE	11.72	2.16	5.08	1.77	0.60	5.20
NE	1.79	6.15	6.60	25.27	1.77	15.38
ENE	0	2.33	0.34	1.37	0.07	18.02
E	1.14	3.79	13.41	0.00	0.00	0.00
ESE	30.08	56.34	86.73	0.00	0.07	0.00
SE	87.24	64.49	34.07	0.00	0.00	0.00
SSE	31.43	59.16	6.30	0.00	0.00	0.00
S	1.11	6.91	0.00	0.00	0.00	0.00
SSW	7.06	8.46	0.00	0.44	0.07	0.00
SW	5.06	2.71	0.11	0.44	0.76	0.00
WSW	3.45	8.81	3.24	0.00	0.07	0.00
W	26.02	20.64	5.01	0.00	0.00	0.00
WNW	27.49	11.54	1.72	0.00	0.00	0.00
NW	12.56	10.24	62.45	0.00	0.00	0.00
NNW	41.21	16.10	31.69	0.00	0.00	5.36
Σ	307.49	283.57	256.85	29.29	3.42	43.96

2.8 局地环流

由于沙漠和水体表面反射率、比热容相差很大,导致湖泊和沙山局地热力状况不同。在相同的外界条件下,湖面和沙面气温相差很大,致使湖泊和沙丘表面在相同高度上产生气压差,导致气压场的空间分异,引起局地环流。另外,沙山和湖泊由于所处地势差异以及湖泊的“冷暖湖效应”,也会加强或者减弱局地环流,形成昼夜风向相反的“山风”和“谷风”。为了验证沙漠与湖泊之间局地环流的存在,根据湖泊外围 4 个站点的风况资料计算散度。散度是由于水平风速不均匀所引起的气块水平面积的变化率。

$$D = \partial u / \partial x + \partial v / \partial y$$

式中: D ——散度。 $D > 0$ 时,空气辐散; $D < 0$ 时,空气辐合。 u, v —— x 和 y 方向的风速(m/s)。

将计算的散度与湖泊中心观测的垂直风速对比分析,观测区域的散度场与湖泊中心的垂直速度场具有很好的相关性。夜晚, $D > 0$ 时,区域盛行辐散风,湖泊中心有下沉气流,垂直风速为负值;白天,当 $D < 0$ 时,区域盛行辐合风,湖泊中心气流上升,垂直风速为正值(图 5)。

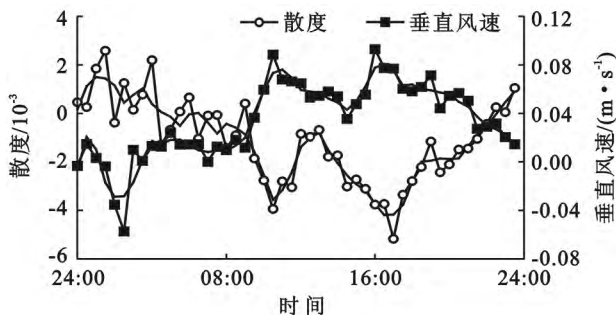


图 5 沙漠腹地湖泊处散度与垂直风速

3 结论

(1) 巴丹吉林沙漠湖泊与沙山区辐射平衡各分量呈明显的日变化特征,沙漠地表反射辐射略高于湖泊区,而湖泊区大气长波辐射和地表长波辐射较沙漠地区大。沙漠地表平均反照率为 0.30,而同期湖泊测点处只有 0.25。沙漠地区感热通量明显高于湖泊区,二者日均相差约 40 W/m^2 。湖泊地区潜热释放要比感热输送显著的多。

(2) 日出后,湖泊区土壤热通量增幅较沙漠地表大,地表吸热过程较沙漠区提前 2 h 左右;而日落后,沙漠区土壤层热量释放过程较湖泊区晚,一般滞后约 3 h。

(3) 沙漠区起沙风等级和作用时间相对较高,沙山与湖泊处起沙风主导方向受局地地形和下垫面的

影响很大,沙漠区属于较高的风能环境,而湖泊区风能环境较弱。

[参 考 文 献]

- [1] 翁笃明,陈万隆,沈觉成,等. 小气候和农田小气候[M]. 北京:农业出版社,1981:1-5.
- [2] 张一平,刘玉洪,马友鑫,等. 热带森林不同生长时期的小气候特征[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2002,26(1):83-87.
- [3] 李建刚,奥银焕,李照国. 夏季不同天气条件下沙漠辐射和能量平衡的对比分析[J]. 地理科学进展,2012,31(11):1443-1451.
- [4] 王慧,胡泽勇,马伟强,等. 鼎鑫戈壁下垫面近地层小气候及地表能量平衡特征季节变化分析[J]. 大气科学,2008,32(6):1458-1470.
- [5] 韦志刚,吕世华,胡泽勇,等. 夏季金塔边界层风、温度和湿度结构特征的初步研究[J]. 高原气象,2006,24(6):846-856.
- [6] 庞营军,雷加强,曾凡江,等. 新疆维吾尔自治区策勒县绿洲沙漠小气候特征研究[J]. 水土保持通报,2011,31(5):240-245.
- [7] 毛东雷,雷加强,李生宇,等. 策勒绿洲沙漠过渡带小气候的空间差异[J]. 中国沙漠,2013,33(5):1501-1510.
- [8] 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.
- [9] 陈世强,文莉娟,吕世华,等. 金塔绿洲不同下垫面辐射特征对比分析[J]. 太阳能学报,2006,27(7):713-718.
- [10] 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.
- [11] 潘竞虎,张伟强. 张掖绿洲冷岛效应时空格局的遥感分析[J]. 干旱区研究,2010,27(4):481-486.
- [12] 文莉娟,吕世华,孟宪红,等. 绿洲内城镇气候效应的数值模拟[J]. 气候与环境研究,2009,14(1):105-112.
- [13] 陈建生,赵霞,盛雪芬,等. 巴丹吉林沙漠湖泊群与沙山形成机理研究[J]. 科学通报,2006,51(23):2789-2796.
- [14] 蒋正德,孙毅,樊月玲,等. 2006—2010 年下辽河平原地温和土壤热通量变化特征[J]. 气象与环境学报,2012,28(3):37-43.
- [15] 李明才,罗天祥,郭军,等. 藏东南高山林线冷杉原始林土壤热通量[J]. 山地学报,2008,26(4):490-495.
- [16] 张宏,胡波,刘广仁,等. 中国土壤热通量的时空分布特征研究[J]. 气候与环境研究,2012,17(5):515-522.
- [17] 张克存,俎瑞平,屈建军,等. 腾格里沙漠东南缘输沙势与最大可能输沙量之比较[J]. 中国沙漠,2008,28(4):605-610.
- [18] Fryberger S G. Dune form and wind regime [C]// McKee E D. A Study of Global Sand Seas. US Geological Survey Professional Paper, 1979,1052:137-169.