

# 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

马宁<sup>1,2</sup>, 王乃昂<sup>1\*</sup>, 黄银洲<sup>1</sup>, 李宏宇<sup>3</sup>, 路俊伟<sup>1</sup>

(1. 兰州大学 资源环境学院干旱区气候变化与水循环研究中心, 兰州 730000;  
2. 中国科学院 青藏高原研究所, 北京 100101; 3. 南京大学 大气科学学院, 南京 210000)

**摘要:** 论文以巴丹吉林沙漠腹地陆面和湖面能量平衡系统的定位观测数据为基础, 对比分析了夏季不同天气条件下两种典型下垫面的辐射收支和能量分配之异同, 评价了典型晴天的辐射收支与能量分配对季节平均气候态的代表性。结果显示, 按“晴天—多云—阴天—降水”的顺序, 陆面与湖面的总辐射、反射短波辐射和净辐射之日均值呈逐渐减小趋势, 大气逆辐射则逐渐增大。湖面长波辐射亦随这一天气变化顺序逐渐增大, 暗示地下水携带的热量和局地平流作用对湖水表面温度皆有影响。非降水天气时, 陆面感热通量占净辐射的主要部分。云和降水皆会直接影响陆面的能量分配, 感热通量一般随云量的增加而减小, 潜热通量则逐渐增大。湖面典型晴天的午后存在逆温现象, 然降水天气时, 湖面空气温度降低较快, 破坏了湖面上空的逆温层, 即感热通量皆为正值。湖面的潜热通量主要决定于风速, 故其对天气变化响应不明显。在地下水携带的热量和局地平流共同作用下, 湖面的感热通量和潜热通量之和大于湖面的净辐射。不同天气下陆面和湖面的波文比差异较大。陆面典型晴天的辐射收支和能量分配与季节平均气候态相差不大, 湖面的典型晴天则不具有季节平均气候态的代表性。

**关键词:** 陆面过程; 辐射收支; 能量分配; 湍度相关; 巴丹吉林沙漠

中图分类号: P422

文献标志码: A

文章编号: 1000-3037(2015)05-0796-14

DOI: 10.11849/zrzyxb.2015.05.008

陆-气之间的能量与物质交换决定着全球及区域尺度的气候特征, 亦是气候系统响应外界强迫和调节内部变化的关键环节。另一方面, 作为地球能量来源的“净辐射”, 在湍流通量的分配方面主要受各生态系统的气候特征、下垫面状况、水与生物循环等过程的影响<sup>[1-2]</sup>。近30 a来, 中国陆面过程野外观测实验已取得了诸多进展, 在西北干旱区<sup>[3-5]</sup>、青藏高原<sup>[6-7]</sup>、黄土高原<sup>[8-10]</sup>、内蒙古草原<sup>[11-13]</sup>和东部季风区<sup>[14-15]</sup>等获取了重要成果, 这不仅详细揭示了中国不同生态系统陆-气能量与物质交换特征, 更为不同区域发展陆面过程参数化和改进陆面过程模式提供了重要依据。然而, 由于地球表层下垫面的复杂性, 单独针对某一特征下垫面进行通量观测并不足以全面准确地描述各区域地气相互作用过程。因此, 近年来非均匀下垫面陆面过程的多尺度综合观测成为学界的研究热点。马耀明等<sup>[16-17]</sup>在青藏高原利用丰富的复杂下垫面通量观测资料, 结合遥感卫星数据对整个青藏高原地表的下垫面参数和湍流通量进行了升尺度反演。李新等<sup>[18]</sup>在黑河流域开展了黑河流域生态-水文过程综合遥感观测试验 (HiWATER), 并于2012年5—9月在中游绿洲荒漠区域实施

收稿日期: 2014-05-13; 修订日期: 2014-10-25。

基金项目: 国家自然科学基金(41101187, 41371114); 国家环保公益性行业科研专项(201209034)。

第一作者简介: 马宁(1990-), 男, 安徽蒙城人, 博士研究生, 主要从事地表水热循环观测与模拟研究。E-mail: ma.n2007@aliyun.com

\*通信作者, E-mail: wangna@lzu.edu.cn

了非均匀下垫面地表蒸散发的多尺度观测试验 (HiWATER-MUSOEXE), 取得了国际罕见的矩阵式通量观测试验数据<sup>[19]</sup>, 为进一步探讨复杂下垫面地表参数反演和陆-气相互作用过程提供了可能。

沙漠地区因极端干旱气候和特殊的下垫面条件而使其地表辐射收支和能量分配过程与其他生态系统存在明显差异, 探索沙漠地区的辐射收支与能量分配对理解干旱区气候变化有重要意义。前人对中国塔克拉玛干沙漠<sup>[20-21]</sup>、古尔班通古特沙漠<sup>[22-23]</sup>、科尔沁沙地<sup>[24-25]</sup>等的辐射收支和能量分配开展了大量工作, 丰富了学界对荒漠地区陆面过程特征的认识。位于中国北方沙区东西交界处的巴丹吉林沙漠, 因腹地广泛分布高大沙山和众多湖泊而引起了各界学者的重点关注<sup>[26-28]</sup>。马迪等<sup>[29]</sup>选取该沙漠腹地典型沙丘和典型湖泊, 分别开展了典型晴天下辐射与能量平衡研究, 发现二者能量分配特征存在较大差别。李建刚等<sup>[30]</sup>基于相同实验观测, 比较了晴天和阴天时沙丘下垫面辐射与能量分配的差异。本文基于上述研究人员的工作基础进一步提出: 在沙漠极端干旱的环境背景下, 沙丘与湖泊辐射收支与能量分配在降水日和非降水日有何种差异? 湖泊能量平衡是否会受到沙丘局地平流作用影响? 湖泊能量分配 (特别是潜热通量) 是否与沙丘一样在不同天气条件下有明显差异? 笔者以该沙漠腹地的典型沙丘和典型湖泊的能量平衡系统的定位观测数据为基础, 选取夏季4种不同天气为背景, 对比不同天气下沙漠腹地陆面与湖面的辐射收支与能量分配之差异, 评价不同下垫面典型晴天对季节平均态的代表性, 为揭示巴丹吉林沙漠沙丘和湖泊下垫面的水热循环特征提供基础数据, 对探讨极端干旱的荒漠地区气候变化与水循环机制有重要价值。

## 1 数据与资料

### 1.1 研究区概况与观测试验

巴丹吉林沙漠 (图1) 位于中国内蒙古阿拉善高原西部, 其范围大致为合黎山、北大山以北, 拐子湖、古居延泽之南, 雅布赖山之西北, 黑河正义峡出山口、弱水东岸至古日乃湖以东, 东西长约442 km, 南北约宽354 km, 面积约 $5.21 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 系中国第二大沙漠<sup>[31]</sup>。该区夏季平均气温 $25.3 \text{ }^\circ\text{C}$ , 冬季平均气温 $-9.1 \text{ }^\circ\text{C}$ , 平均气温年较差达 $34.4 \text{ }^\circ\text{C}$ 。沙漠南缘年降水量约 $90.1 \sim 115.4 \text{ mm}$ , 北缘仅 $35.2 \sim 42.9 \text{ mm}$ , 区域多年平均约 $76.9 \text{ mm}$ <sup>[32-33]</sup>。本研究中陆面能量平衡系统位于苏木吉林东部高大沙山的中下部 (图1, 以下简称陆面站), 观测点地形整体较为平坦, 其中涡度相关 (Eddy Covariance, 简称EC) 系统的 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 分析仪 (Li-Cor, LI-7500A型) 和三维超声风速仪 (GILL, R3-50型) 安装于距地面2.5 m高处; 空气温湿传感器 (Vaisala, HMP155型) 安装于2 m高处, 四分量辐射表 (Hukseflux, NR01型) 安装于1.5 m高处, 自校准型土壤热通量板 (Hukseflux, HFP01SC型) 安装于15 cm深处, 土壤温度传感器 (Campbell Scientific, ST-100型) 安装于2 cm和15 cm深处 (用以估算0~15 cm的土壤热通量); 沙丘表面温度传感器 (Apogee, SI-111型) 安装于1.5 m高处; 翻斗式雨量筒 (Onset, HOBO R3-GM型) 安装于1.5 m高处。湖泊能量平衡系统 (以下简称湖面站) 位于沙漠腹地的音德尔图湖 (湖泊面积约 $1 \text{ km}^2$ ) 中央小岛 (小岛面积约 $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ ) 上, 小岛距湖泊岸边最近距离250 m (图1), 其中EC系统的 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 分析仪 (Li-Cor, LI-7500A型) 和三维超声风速仪 (GILL, R3-50型) 安装于2 m高处; 温湿传感器 (Vaisala, HMP155型) 安装于2 m高