

文章编号: 1000-0534(2008)01-0193-09

祁连山海北高寒湿地微气象日变化特征

李英年¹, 王勤学², 杜明远³, 赵新全¹,
赵亮¹, 徐世晓¹, 古松¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 日本国立环境研究所, 日本 筑波 305 - 0053;
3. 日本农业环境技术研究所, 日本 筑波 305 - 8604)

摘 要: 利用 2004 年的观测资料分析了青海海北高寒湿地微气象要素的日变化特征, 结果表明, 辐射、热量平衡各分量日平均变化中, 瞬时最高值出现在中午, 最低在早晨。地面长波有效辐射日最高出现在中午, 日最低出现在下午。地面反射率表现出早晚高白天低的“U”型分布状况, 1 月日最低达 0.68, 而 7 月日最低仅为 0.12。动量通量、垂直风速、水平风速、摩擦速度等均在下午大, 夜间到清晨小。垂直风速除 10 月全天为上升运动外, 其他月份夜间还出现下沉运动, 而且冬季明显。海北高寒湿地夏季热强明显, 冷季热强减弱。因湿地长久积水, 地温日变化平稳, 40 cm 地温 < 0 的维持时间不到 2 个月, 60 cm 地温全年均 > 0, 即季节冻结层浅薄。

关键词: 高寒湿地; 微气象; 日变化特征; 辐射通量

中图分类号: P461⁺.4 **文献标识码:** A

1 引言

下垫面决定了土壤—植被—大气间物质交换和能量流动。近地层物质和能量交换随微气象条件的不同而不同。微气象不仅与地形有关, 而且受制于下垫面性质的影响。因此, 研究者对不同植被类型微气候特征进行了较多的研究^[1-12], 文献^[13]对高寒矮蒿草 (*Kobresia humilis*) 草甸的微气象特征也曾作过研究, 但较少涉及青藏高原高寒湿地植被类型。青藏高原高寒湿地是长期适应高寒气候环境所特有的植被类型, 主要分布在土壤通透性差的河畔、湖滨、盆地, 以及坡麓潜水溢出和高山冰雪下缘等地带, 也多分布在岛状冻土的边缘地带^[14-16]。分布区气候寒冷, 地形平缓, 一般地下有多年冻土发育形成的不透水层。高寒湿地在青藏高原草地畜牧业生产、水土保持、涵养水分, 以及调节气候等具有不可忽视的生态功能。高寒湿地植物多以湿生多年生植物为主, 具有生长期短, 植株低矮, 生产力高, 营养物质丰富等特点^[14]。但因湿地所处的地理环境特殊, 放牧利用率低, 每年有大量植物的枯枝落叶残留于土壤表面; 夏季又因温度条件差,

土壤过湿而透气性差, 有机残体难以分解, 从而发育有很厚的泥炭层。这些泥炭层在全球温暖化过程中势必释放大量的痕量气体, 加强温室气体浓度。为此, 研究高寒湿地近地层微气象特征, 对进一步研究高寒草甸生态系统能量流动和物质循环等提供可靠的科学依据。本文利用 2004 年观测数据, 对高寒湿地的微气象日变化特征予以分析。

2 研究区域及资料选取

2.1 研究区概况

研究在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站)进行。海北站地处青藏高原东北隅, 祁连山北支冷龙岭东段南麓的大通河谷 (37°37' N, 101°19' E, 海拔 3220 m), 具有明显的高原大陆性气候。年均气温为 - 1.7℃, 降水量约为 580 mm。夏季温暖多雨, 最暖的 7 月平均气温为 9.8℃。冬季寒冷干燥, 最冷的 1 月平均气温为 - 14.8℃^[17]。涡度相关法观测塔设在海北站东南 1.5 km 处的高寒湿地实验区, 实验区地势平坦。实验区地表除部分面积极小的岛状草丘外, 大部分被积水长期所覆盖。植物总盖度为 93%。中央区植被高、种类组成

收稿日期: 2006-02-14; 改回日期: 2007-08-25

基金项目: 中国科学院西部行动计划项目 (KZCX2-XB2-06-01); 中日合作“温暖化影响的早期监测网络系统建设”项目共同资助

作者简介: 李英年(1962—), 男, 青海乐都人, 副研究员, 主要从事生物气象研究. E-mail: ynli@nwpb.ac.cn

少,边缘区低,物种丰富。草群高为 10 ~ 35 cm。建群种的优势种有藏嵩草 (*Kobresia tibetica*)、帕米尔苔草 (*Carex Pamirensis*), 次优势种和伴生种有华扁穗草 (*Blysmus sinocompressus*)、黑褐苔草 (*Carex atrofusca*)、黄帚橐吾 (*Ligularia virgaurea*) 等。

2.2 资料及观测仪器

数据取自涡度相关法观测系统和常规气象观测系统。安装在 2.5 m 高度处的三维超声风速温度仪 (CSA T3, Campbell Scientific Ltd, USA), 可直接由测定的三维风速、湿度和温度平均值和瞬时脉动值, 通过测量的协方差得到动量通量 ($\rho w u$)、潜热通量 ($L E$)、显热通量 (H):

$$\rho w u = \overline{w u} - \overline{w} \overline{u}, \quad (1)$$

$$L E = L \overline{w u}, \quad (2)$$

$$H = C_p \overline{w T}, \quad (3)$$

式中 w 为垂直风速, u 为水平风速, L 为水的汽化潜热, E 为垂直方向的水汽通量, q 为比湿, ρ 为空气密度, C_p 为空气的定压比热, T 为空气的温度, “ $\rho w u$ ”表示物理量的瞬时脉动量, “ $\overline{\quad}$ ”表示一定时间

段内的平均。

架设在离地高度 1.5 m 处的净辐射通量 (R_n), 分 4 个向上向下短波辐射和长波辐射表 (CM11, Kipp & Zonen, USA) 独立测得太阳总辐射 (DR)、地表反射辐射 (UR)、地面长波辐射 (ULR) 和大气逆辐射 (DLR) 计算给出; 光合有效辐射 (PAR , LI-190Sb, Li-Cor Inc, USA) 在同一高度, 单位为 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。土壤温度 (105T, Campbell, USA) 自上而下在 5, 10, 20, 40 和 60 cm 深处观测, 在地面以上 1.5 m 和 2.5 m 处分别架设空气温度和湿度 (HUMP45C, Vaisala, Helsinki, Finland)、风速和风向 (014A & 034a-L, CSI, USA) 等。原始数据采样频率为 10 Hz, 所有变量经系统处理后输出 30 min 平均值。文中均采用北京时。因湿地下垫面多有积水且流动性大, 故未作土壤及水的热流观测。对于极少部分因停电等原因造成缺测数据, 采用线性内插法查补订正。

3 结果分析

3.1 高寒湿地 DR 、反射率 (A)、 PAR 的日变化特征

图 1 给出了 2004 年 1 月 (冬季)、4 月 (春季)、

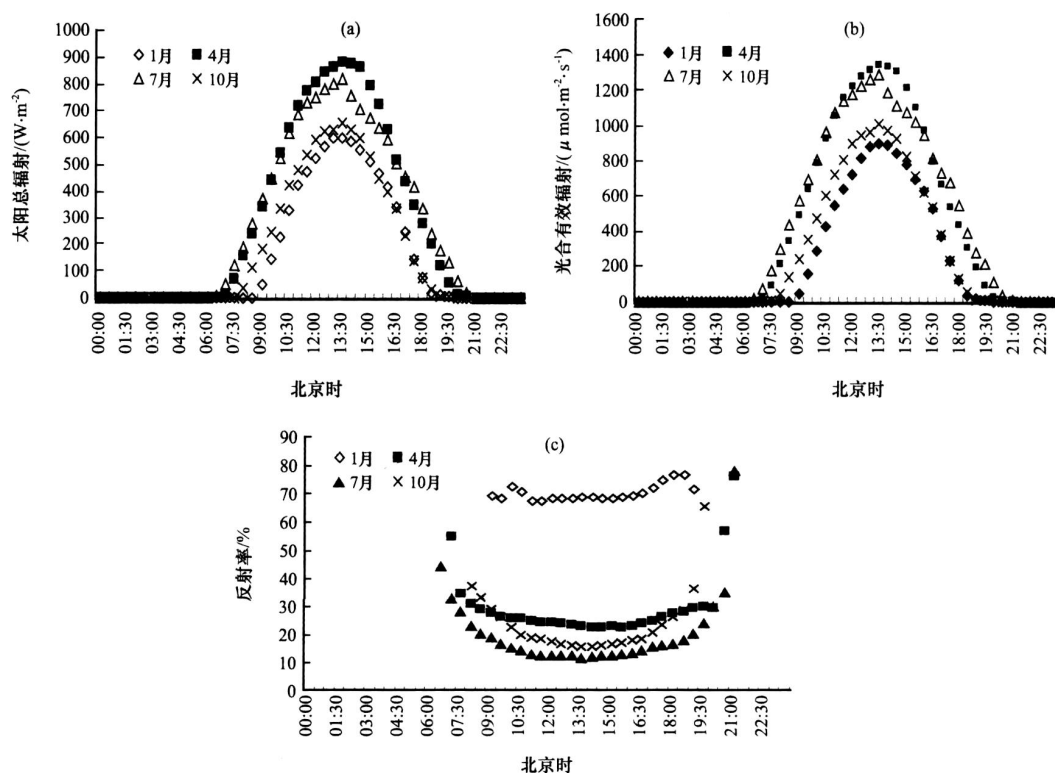


图 1 海北高寒湿地太阳总辐射 (a)、光合有效辐射 (b) 和地表反射率 (c) 在不同季节月平均日变化

Fig. 1 The average diurnal variations of solar total radiation (a), photosynthetic effective radiation (b) and surface albedo (c) in Haibei alpine wetland in different seasons

7月(夏季)和10月(秋季) DR 、 PAR 、 A 的月平均日变化状况。由图 1a 看到, 上述 4 个月 DR 月平均日变化中, 早晨 $>0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 分别出现在 06:00, 07:00, 07:30 和 08:30。 DR 日平均最高瞬时值出现在中午 13:30, 最大值按 4 月、7 月、10 月和 1 月依次降低, 分别为 850, 785, 625 和 $603 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。傍晚 4 个月月平均日辐射量从正值转入零的时间分别出现在 20:00, 21:00, 21:00 和 20:00。在夏季晴天或少云的天气状况下, DR 日最高值常在 $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上。如 6 月 5 日 13:00 和 7 月 2 日 13:30 分别出现 1164 和 $1140 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的日最高瞬时值, 说明海北高寒湿地地区具有很高的 DR 。

PAR 的月平均日变化(图 1b)与 DR 变化一致, 4 个月日平均最高值出现在 13:30, 日平均最高按 4 月 $> 7 月 > 10 月 > 1 月$, 分别为 1345, 1282, 1003 和 $895 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。5~8 月 PAR 日最高常达 $1600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上, 如晴天在 5 月 18 日和 7 月 2 日 13:30 分别为 1680 和 $1778 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 相当于 365 和 $387 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

A 的日变化在不同时期所表现的趋势一致(图 1c), 早晚高, 中午前后低, 日间表现为一“U”型分

布。这种分布与太阳高度角的变化有关^[18]。同时与下垫面性质不同有很大关系。一般湿地植被生长茂密, 地表积水多, DR 易被植被、水体吸收, 结果使 UR 降低, 影响到 A 的提高。当然, 日间表现的“U”型分布, 早晚还受到因湿地植被表面易结露, 部分寒冷的早晨发生霜冻而形成一定的“水镜面”的影响。如气候寒冷的 1 月和气候干燥的 4 月, 早晚高的趋势明显小于 7 月和 10 月。在冷季, 因湿地表面结冰和积雪影响, UR 增大迫使 A 有较高的量值, 1 月的中午最低也可达 0.68, 而 7 月的日最低值仅为 0.12。

3.2 高寒湿地地—气 DLR 、 ULR 、地面长波有效辐射(ELR)的日变化特征

由图 2a 看到, ULR 在日出前后最低, 日出后上升迅速, 午后 14:30 达最高, 15:00 以后逐渐下降, 下降速率低于上午的上升速率。但因季节不同下垫面性质的改变, 日变化在不同季节差异较大。如 7 月日平均最高值为 $410 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 而 1 月最高值仅为 $293 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 相差达 $117 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。4 月和 10 月变化一致。

海北站地区阵性降水多, 早晚易结露(霜), 导

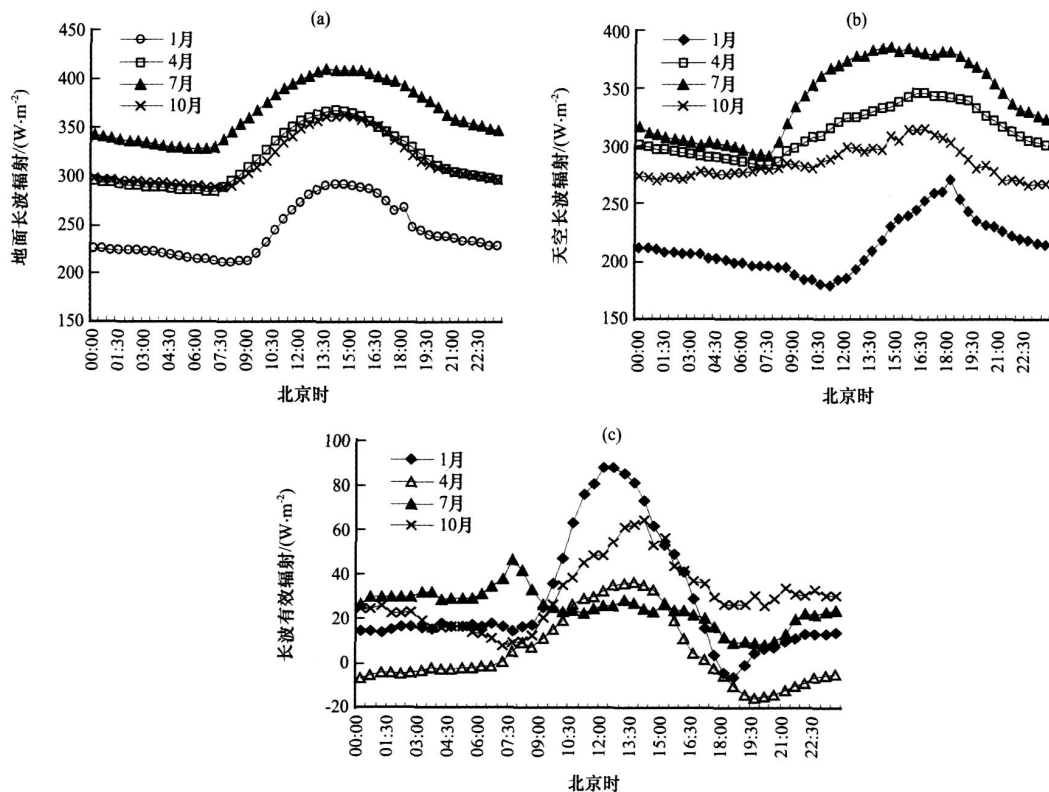


图 2 海北高寒湿地地面长波辐射(a)、大气逆辐射(b)和地面长波有效辐射(c)在不同季节月平均日变化

Fig. 2 The average diurnal variations of the surface long-wave radiation(a), the atmospheric inversion radiation(b) and surface long-wave effective radiation(c) in Haibei alpine wetland in different seasons

致大气水汽的物理运动复杂,使 DLR 波动变化明显。就各月日平均变化来看(图 2b),不同季节地表加热大气时间和强度以及滞后性不同, DLR 日最低值和最高值出现时间稍有差异。1月日平均最低值出现在上午 11:00(为 $180 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$),最高值出现在下午的 18:00($272 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)。4月和7月日平均最低值出现在日出前后的 07:30,分别为 280 和 $291 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,而最高值出现在 16:00 和 14:00,分别为 386 和 $346 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。10月日平均最高值在 15:30,日最低值出现在夜间 01:00 左右,日最高值又比 7月滞后,但日最低值明显提前。

由图 2c 看到,高寒湿地 ELR 在 1月、4月、10月日平均最高值分别为 88, 37 和 $65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,分别出现在中午前后的 12:00, 13:30 和 14:00。1月、4月日最低值分别出现在日落后的 18:30 和 19:30,分别为 -6 和 $-15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,负值保持时间分别在 18:30 和 17:30 至次日 07:00 之间。10月日平均最低值出现在早晨的 07:00,为 $8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。7月地—气温差缩小, ELR 有一定的日变化,但显得凌乱,波动较大,从目前得出的观测结果来看,日最高值出现在早晨的 07:30,为 $47 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,日平均最低值出现在下午 20:00 左右,为 $9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

3.3 高寒湿地 R_n 、 H 、 LE 、水平风速、垂直风速及地面加热强度的日变化特征

海北高寒湿地 R_n 日变化明显(图 3a),且春、夏季大于秋季,秋季大于冬季,这些变化与 DR 、 UR 、 DLR 和 ULR 的分布有关。 R_n 在日变化过程中从零值上升到最高,以及下降过程及转为零,与 DR 的转折基本一致。1月、4月、7月和 10月月平均从零转为正值在 09:30, 07:30, 07:30, 08:30,月平均日最高值分别出现在 14:30, 13:30, 13:30 和 13:30,分别为 112, 647, 699 和 $494 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。从正转为负值通过零的时间分别为 19:00、次日 03:30, 20:30, 18:30, 4 个月夜间保持负值时间分别达 14.5, 3.5, 9.5, 13.5 h,其最低值分别出现在 08:30, 06:30, 06:00, 21:00,月平均日最低值分别为 -20, -1, -34 和 $-36 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

由图 3b 看到,海北高寒湿地近地面层 H 白天大部分时间为正值。1月、4月、7月和 10月从负转为正值出现在早晨的 10:30, 06:30, 07:30 和深夜 01:30 左右。13:30 达最高,月平均日最高值分别为 16, 102, 101 和 $147 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。自 1月开始到 10月,日平均最高值逐渐增大。实际上在该地区, H 在年内变化出现 2 个高值区,分别在 4~5 月和

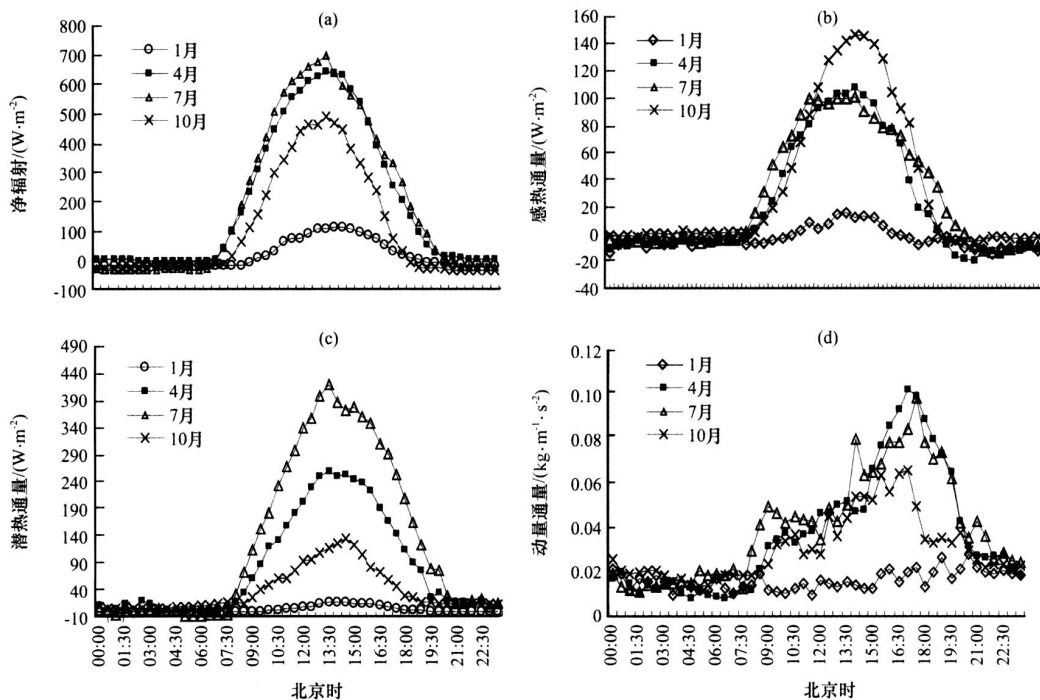


图 3 海北高寒湿地净辐射(a)、感热通量(b)、潜热通量(c)和动量通量(d)在不同季节月平均日变化

Fig. 3 The average diurnal variations of the net radiation(a), sensible heat flux (b), latent heat flux(c) and momentum flux(d) in Haibei alpine wetland in different seasons

9~10月。6~8月相对较低时期与植被生长旺盛、有强蒸散时发生耗热而造成活动面温度相对下降有关。1月、4月、7月和10月分别在16:00, 18:30, 19:30和18:30从正值转为负值, 负值维持时间与 R_n 基本相同。日平均最低值分别为 -15 , -15 , -13 和 $-6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 出现时间多在日落后的20:00~21:00之间。季节变化中, H 在10月最大, 4月和7月基本相同, 1月 H 表现最低, 而且日变化平稳。

由 LE 的日平均变化看到(图3c), 1月、4月和7月早晨从负值转为正值时间分别为09:30, 07:30和07:30, 10月日平均保持 $0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上, 只是在04:00~05:30期间稍低, 日平均最低值在 $8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 左右。1月、4月、7月和10月日平均最高值分别达16, 244, 420和135 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, 出现时间在14:00, 13:30, 13:30和14:30, 表现出愈接近夏季日平均最高值就愈接近当地正午, 即北京时间的13:30。但愈靠近冬季, 日平均最高值出现时间比正午时间推迟。1月、4月、7月从正值转为负值, 分别出现在19:30, 20:00和00:30。1月负值维持

时间长, 4月次之, 7月更短, 仅为7 h左右, 10月根本未出现。4个月中日平均最低值一般在 $-7 \sim -8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间, 且 LE 在夜间变化较为平稳。

在风速较大的下午大, 风速小的夜间和清晨小(图3d)。1月日极端最高温度常在 0 以下, 下垫面为冰(雪)所覆盖, 白天地表反射率大, 投入冰面融化的热量有限, 冰面又是光滑的, 故 LE 的日平均变化相对平稳, 只在下午19:00前后因地面风速大, 近地表层风速切应力大, 其日平均最高值为 $0.030 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$, 出现在20:30。4月、7月和10月自00:00开始缓慢下降, 早晨达最低, 这3个月各月日平均最低值分别为 0.009 , 0.012 和 $0.014 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$, 分别出现在06:30, 01:30和05:00。日出后地表温度升高, 风速逐渐增大, 相应出现增大, 到下午风速最大的17:00左右达最大, 4月、7月和10月日最高分别达 0.100 , 0.083 和 $0.065 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ 。同时春季>夏季>秋季>冬季, 这是因为春季风速最大, 而冬季因高空西风带南压到青藏高原南部, 与上下引导风减弱有关。

海北高寒湿地风速除受青藏高原大地形影响

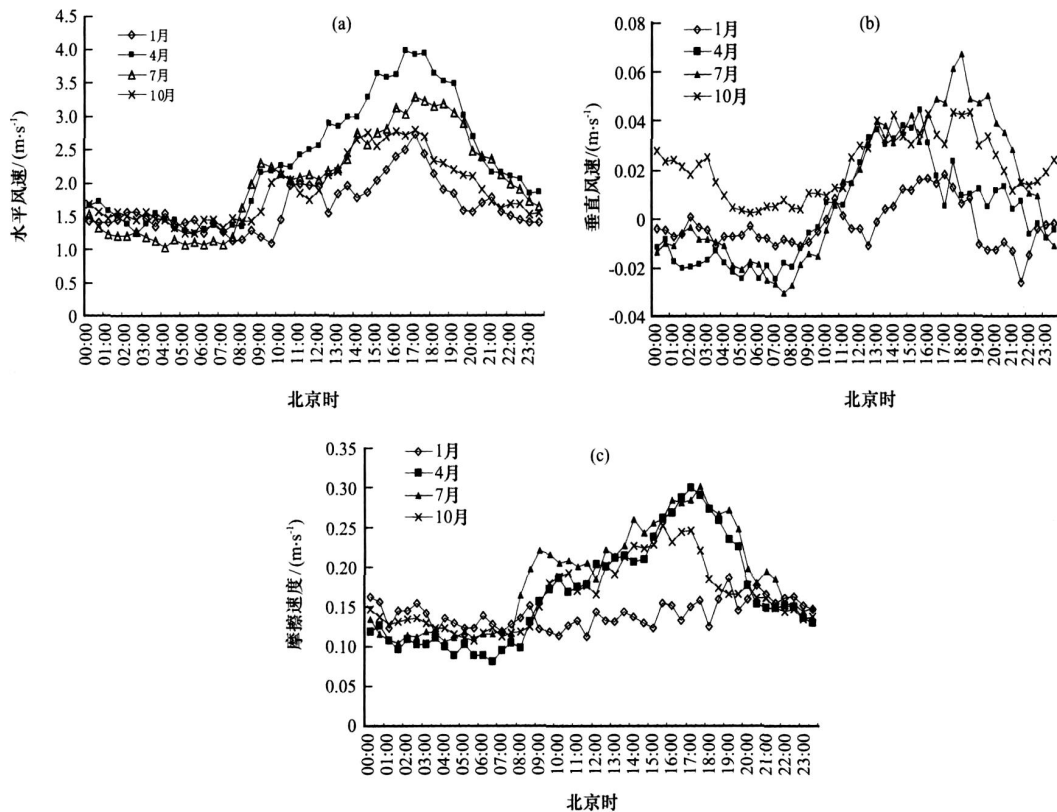


图4 海北高寒湿地2.5 m处测到的水平风速(a)、垂直风速(b)和摩擦速度(c)在不同季节月平均日变化

Fig. 4 The average diurnal variations of the horizontal wind speed (a), vertical wind speed (b) and friction velocity at the heights of 2.5 m in Haibei alpine wetland in different seasons

外,还明显受祁连山地形的影响,在这种大地形叠加小地形的背景条件下,风场复杂。其总的趋势是夏季风易顺大通河谷溯源而上,多以东南风为主,冬半年以偏西北风为多。图4绘出了海北高寒湿地2.5 m处观测到的水平风速、近地垂直风速和摩擦速度的月平均日变化情况。

由图4a看出,年内风速日变化一般在清晨04:00~08:00小,日出后逐渐增大,下午17:00左右达最大,如1月、4月、7月和10月日平均最大风速分别为2.6,4.3,3.5和2.7 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。因海北站所处区域地势高亢,南有达板山,北有冷龙岭作屏障,风速既受到高空强劲西风动量下传的影响,又受到河谷、湿地、地形等综合影响,是风速较大的地方之一。4月,随西风急流带北抬,下垫面热力不均,局地对流旺盛,地形风明显,风速较大。冬季高空西风急流位于高原中南部,动量下传对海北地区影响微弱,加之海北地区在冬季地面受西伯利亚冷高压控制的反气旋环流中,高空多为下沉气流,近地面辐散,风速较小。

垂直运动是引起水汽、热量、动量,包括痕量气体等物质和能量垂直输送的动力。由图4b看到,海北高寒湿地1月因下垫面为平滑冰面,水平风速小,垂直速度日变化比4月、7月和10月小而平稳,傍晚19:00到次日13:00垂直风速大多处于负值(气流下沉),只有极个别的时间为正值,负向最大绝对值出现在21:30,为0.026 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,日间13:30~18:30为正向垂直速度(气流上升),最高值出现在午后17:00,为0.018。4月从09:30~21:30为正垂直风速,15:30达最大,为0.044 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,22:00~翌日09:00为负向,负向最高为0.024 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,出现在早晨的07:00。7月从10:30~22:30为正垂直风速,18:00达最大,为0.067 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,23:00~翌日10:00为负向,负向最高为0.0304 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,出现在早晨的07:30。10月因土壤温度比任何季节高,下垫面温度高于大气,热力梯度作用,大气垂直运动总是向上,但日变化较4月和7月平稳,最高值出现在下午的17:30左右,约在0.043 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,最低值出现在早晨的05:30,为0.003 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

摩擦速度具有速度量纲的因次(单位),表征了近地层风速切应力的的大小。摩擦速度与动量通量具有密切的联系。由图4c看到,年内摩擦速度自00:00开始缓慢降低,早晨06:00达最低,以后随日间风速的增大而逐渐增大,17:00达最高,1月、4

月、7月和10月月平均日最高值分别达0.186,0.299,0.302和0.247 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,18:00以后下降明显。寒冷的1月因地面风速小(图4a),下垫面为光滑的冰雪面,摩擦速度日变化平稳,而4月、7月和10月变化明显,其中4月因风速大、气候干燥、湿地积水为最少时期,导致摩擦速度在年内日变化幅度最大。

通常地面加热强度用 $R_n - G$ 或 $H + LE$ 来表示,由于该实验地积水多而未进行土壤热通量的观测,但可从 $H + LE$ 的日变化分析海北高寒湿地下垫面对大气的加热效应。图5为1月和7月海北高寒湿地下垫面热源强度的平均日变化。由图5可见,夏季7月08:00~22:30之间为热源,特别是白天08:00~20:00为强热源时间,在中午前后12:00~15:00其热源强度达400 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上。冷季1月10:00~16:30有 $<30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的热强外,其它时间均为“冷源”效应,其强度的绝对值最大达15 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

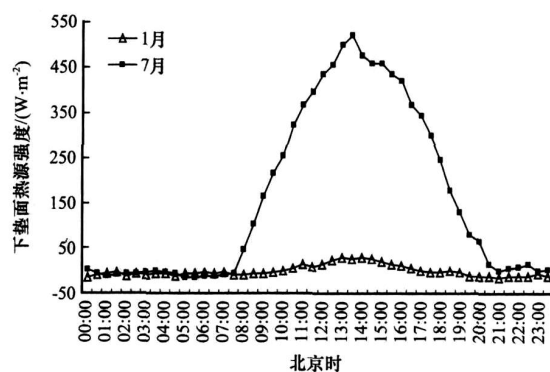


图5 海北高寒湿地下垫面热源强度在1月和7月的平均日变化

Fig. 5 The average diurnal variations of the heat source intensity of underlying surface in Haibei alpine wetland in January and July

3.4 高寒湿地地温、气温和空气湿度日变化特征

图6给出了海北高寒湿地地—气温度和空气湿度的日平均变化情况。因湿地环境决定了土壤达饱和或过饱和状况,故未进行湿地土壤湿度的观测。由图6a看出,高寒湿地近地大气温度日变化明显,日出前后最低,1月、4月、7月和10月日平均最低值分别为-27.6,-6.7,2.3和-6.1,分别出现在早晨08:00,07:00,06:30和07:00,午后最大,4个月日平均最高值分别为-4.7,9.1,16.4和6.8,出现在正午后15:00~16:00之间,最高值时间较中午推后2~3h是因下垫面为潮湿的草

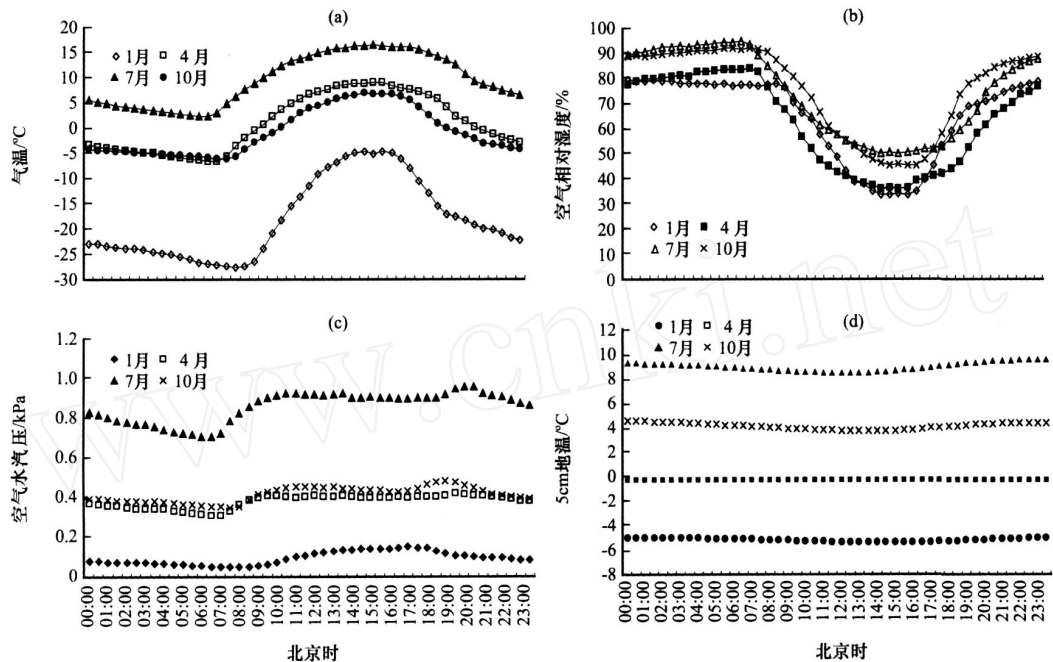


图 6 海北高寒湿地气温(a)、空气相对湿度(b)、水汽压(c)和土壤 5 cm 地温(d)在不同季节月平均日变化

Fig. 6 The average diurnal variations of the air temperature (a), air relative humidity (b), vapor pressure(c), and soil temperature at the depths of 5 cm (d) in Haibei alpine wetland in different seasons

甸植物和地表积水, 加大了近地表的热容量。同时可看到, 在地表非结冻期气温日变化幅度明显 < 1 月, 即冬季气温日较差大, 夏季较小, 春秋季节介于二者之间。

空气相对湿度的月平均日变化似乎表现出一个“U”结构(图 6b)。早晚及夜间由于湿地地表长久积水, 风速小, 导致早晚和夜间的相对湿度很高, 特别是 7 月和 10 月, 也正是该地区的湿润季节, 月平均日变化中早晚相对湿度在 85% 以上, 即使在区域处在干旱的 4 月和寒冷的 1 月, 早晚相对湿度也在 75% 以上。日出后, 相对湿度逐渐下降, 中午前后达最低。当然日平均最低值冬春季明显低于夏秋季, 1 月日最低平均在 33% 左右。

7 月水汽压最大(图 6c), 且日变化平稳, 早晨 06:30 左右为最低(7.0 hPa), 07:00 ~ 09:30 之间迅速上升, 10:00 到下午 20:00 保持较为平稳。1 月日平均最低值在早晨 09:00, 仅为 0.5 hPa, 午后 17:00 为最高。4 月和 10 月因均处在季节转换时期, 水汽压变化一致, 日平均最低值在早上 07:30 左右, 分别为 3.1 hPa 和 3.5 hPa 左右, 日落后缓慢下降。

湿地土壤温度变化因受地表积水的影响, 日变化平稳, 就是在土壤上层 5 cm 地温(图 6d) 1 月、4 月、7 月和 10 月其日平均变化幅度分别保持在 0.5, 0.0, 1.2 和 0.8。20 cm 更趋平稳(图略), 20 cm 日变化幅度最大的 7 月不足 0.2。海北高寒湿地受地表面的植被、积水等影响, 土壤温度不高, 最高的 9 月 20 cm 土层日平均最高值也在 10 以下。从资料分析来看, 由于湿地冬季冻结, 并在冻结的冰面上不断积水和降雪, 冰雪层的保暖作用维持了较高的土壤温度, 致使一定层次范围土壤不冻结, 如从 40 cm 和 60 cm 资料分析看出, 40 cm 地温 < 0 的初日约在 3 月 8 日, 到 4 月 24 日结束, 而且最低温度也只有 -1 以上, 60 cm 的地温全年均 > 0 。这说明湿地一定的较深层上部存在非冻结层, 而更深层可能存在永冻层。

4 小结

(1) 通过对 2004 年海北高寒湿地各类微气象要素观测分析, 表明海北高寒湿地各类微气象要素均有明显的日变化特征。DR 月平均日瞬时最高在 $600 \text{ W} \cdot \text{m}^2$ 以上, PAR 日瞬时最高在 895 ~ 1345

$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间。 DLR 、 ULR 日变化比 DR 和 PAR 平稳,日出前后低,午后14:15最高。年内 DLR 和 ULR 日平均振幅在 $150 \sim 420 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间,且 $ULR(DLR)$ 日平均最高值一般在中午,最低多出现在日落前后,1月日变化明显,7月波动性大。不论何季 A 的日变化基本相同,即早晚高,中午前后低,日间表现为一“U”型分布状况。冷季因湿地表面结冰和积雪影响, A 较高,1月中午最低值可达0.68,而7月日最低值仅为0.12。

(2) R_n 月平均日变化中日平均瞬时最高表现出春、夏季大于秋季,秋季明显大于冬季,在7月达 $647 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,1月降低到 $112 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。近地层 H 白天大部分时间为正值,1月、4月、7月、10月月平均日瞬时最高分别为16,102,101和 $147 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,表现出自1月开始到10月日平均最高值逐渐增大。 LE 日平均变化中,1月、4月、7月和10月日平均最高瞬时值分别达16,244,420和 $135 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,夏季高而冬季低。及摩擦速度在风速较大的下午大,风速小的夜间小。

(3) 高寒湿地近地大气温度、湿度日变化与其他地区一样,具有相同的变化规律。只是因湿地积水面积大,冬季又被冰雪面覆盖,导致与距离相近的其他植被类型区湿度更大,冬季气温更低的特征。其湿地在夏季具有强的热源功能,特别是夏季白天热强明显。受表面性质的影响,地温日变化平稳,就是在土壤5 cm和20 cm地温日平均变化幅度分别保持在1.2和0.2以内,40 cm地温 < 0 的天数只有50天左右,60 cm土壤温度全年均 > 0 ,表明50 cm以下的一定层次范围土壤不冻结。

参考文献

- [1] 钱泽雨,胡泽勇,杜萍,等. 青藏高原北麓河地区近地层能量输送与微气象特征[J]. 高原气象,2005,24(1): 43-48
- [2] 张强,胡隐樵,王喜红,等. 黑河地区绿洲的微气候特征[J]. 高原气象,1992,11(4): 361-370
- [3] 李胜功,原园芳信,何宗颖,等. 内蒙古奈曼麦田和沙丘微气候特性研究[J]. 高原气象,1993,12(4): 400-408
- [4] 张强,赵鸣,刘志权,等. 河西戈壁地区不同天气微气象状况的初步分析[J]. 南京大学学报(自然科学版),1997,33(1): 112-121
- [5] 马伟强,马耀明,胡泽勇,等. 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
- [6] 余锦华,刘晶森,丁裕国. 青藏高原西部地表通量的年、日变化特征[J]. 高原气象,2004,23(3): 354-359
- [7] 马耀明,塚本修,吴晓鸣,等. 藏北高原草甸下垫面近地层能量输送及微气象特征[J]. 大气科学,2000,24(5): 715-722
- [8] 常杰,潘晓东,葛滢,等. 青岗常绿阔叶林内的小气候特征[J]. 生态学报,1999,19(1): 68-75
- [9] 张强,王胜. 绿洲与荒漠背景夏季近地层大气特征的对比分析[J]. 冰川冻土,2005,27(2): 290-296
- [10] 张宇,吕世华,陈世强,等. 绿洲边缘夏季小气候特征及地表辐射与能量平衡特征分析[J]. 高原气象,2005,24(4): 527-533
- [11] 左洪超,胡隐樵. 黑河地区绿洲和戈壁小气候特征的季节变化及其对比分析[J]. 高原气象,1994,13(3): 246-256
- [12] 王慧,胡泽勇,谷良雷,等. 黑河下游鼎新戈壁近地层能量输送及微气象特征[J]. 高原气象,2007,26(5): 938-945
- [13] 李英年,师生波,曹广民,等. 祁连山北高寒草甸地区微气候特征的观测研究[J]. 高原气象,2000,19(4): 512-519
- [14] 王启基,周兴民,沈振西,等. 高寒藏嵩草沼泽化草甸植物群落结构及其利用[C]. 高寒草甸生态系统(第4集). 北京: 科学出版社,1995: 91-100
- [15] 殷康前,倪晋仁. 湿地研究综述[J]. 生态学报,1998,18(5): 539-546
- [16] 陈桂琛,黄志伟,卢学峰,等. 青海高原湿地特征及其保护[J]. 冰川冻土,2002,24(3): 254-259
- [17] 李英年,赵新全,曹广民,等. 海北高寒草甸生态系统定位站气候、植被生产力背景的分析[J]. 高原气象,2004,23(4): 558-567
- [18] 沈志宝,左洪超. 青藏高原地区反射率变化的研究[J]. 高原气象,1993,12(3): 294-301

Diurnal Changes of Micro-Climate in Haibei Alpine Wetland in the Qilian Mountains

LI Ying-nian¹, WANG Qin-xue², DU Ming-yuan³, ZHAO Xin-quan¹,
ZHAO Liang¹, XU Shi-xiao¹, GU Song¹

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China;

2. National Institute for Environmental Studies, 305 - 0053, Japan;

3. National Institute for Advanced Environmental Science, 305 - 8604, Japan)

Abstract : Based on the measured data, diurnal changes of micro-meteorology in Haibei alpine wetland in 2004 were analyzed in this paper. The results were as follows: The maximum and minimum instantaneous values of diurnal averaged variations of radiation and the components of heat energy balance were observed at the noon and sunrise, respectively. The maximum and minimum values of the surface long-wave effective radiation were observed at the noon and sunset in a day, respectively. The surface surface albedo showed the variations of the "U" type in a day, which was lower in daytime than in morning and evening. Its diurnal minimum values in January and July were 0.68 and 0.12, respectively. The other parameters of micro-meteorology, such as moment flux, vertical wind speed, horizontal wind speed, friction velocity, were high in the afternoon and low from night to morning in a day. The vertical wind speed ascended in a whole day in October, while descended in nighttime in other months, especially in winter. The Haibei alpine wetland had the strong heat source in summer, while became weak in the cold season. The soil temperatures of Haibei alpine wetland smoothly varied because its surface was covered by water for a long time. The period of soil temperature below 0 °C at the depths of 40 cm was less than two months, and that of 60 cm above 0 °C was all the year, which meant the seasonal frozen layer was thin.

Key words : Alpine wetland; Micro-meteorology; Diurnal changes; Radiation flux