

文章编号 1000-0534(2000)04-0512-08

# 祁连山海北高寒草甸地区微气候特征的观测研究

李英年 师生波 曹广民  
杨勇刚 沈振西

(中国科学院西北高原生物研究所 青海省西宁市 810001)

**摘要** 对祁连山海北高寒草甸地区近夏至日微气象观测分析表明:(1) 14:00(北京时,下同)太阳总辐射瞬时值最高可达  $1\ 061\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,净辐射、反射辐射、光合有效辐射和紫外辐射分别为 670、218、380 和  $168\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,分别约为太阳总辐射的 58%、20%、36%和 14%,6月下旬日平均反射率约为 0.22;(2) 土壤热通量、感热通量和潜热通量瞬时值最大分别为 91、274 和  $362\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,相应占净辐射的比例为 20%、38%和 42%;(3) 地—气温度在一定范围的水平和垂直方向变化较为剧烈,大气逆温约出现于 20:00 至次日 11:00,午夜 01:00 最强;(4) 风速阵性强,有显著日变化的时间性分布。

**关键词** 祁连山 高寒草甸植被 微气候特征 观测研究

**中图分类号** P463.2 **文献标识码** A

## 1 引言

关于农田、荒漠及草原等下垫面微气候特征已有不少的观测研究报告<sup>[1-4]</sup>,但较少涉及青藏高原高寒草甸地区。高寒草甸是植物长期适应青藏高原高寒气候环境下所形成的特有的植被类型,具有植物生长期短、植株低矮、生物生产力低及营养物质丰富等特点。研究该类植被区近地层微气候特征,对进一步探讨高寒草甸生态系统的能量流动和物质循环规律与机理将提供可靠的科学依据。

## 2 自然植被、资料观测及计算方案

中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站)依中国生态研究网络长期监测项目的要求,于 1998 年开始进行了近地层微气象观测。该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地,位于  $101\ 19\ \text{E}$ ,  $37\ 37\ \text{N}$ ,海拔  $3\ 200\ \text{m}$ 。植被以寒冷中生多年生地下芽草本植物矮嵩草为建群种的典型的高寒草甸,主要伴生种有异针茅、

收稿日期:1999-01-29;改回日期:1999-08-10

本研究得到中科院“九五”重大、特别支持项目(KZ951-A1-204、KZ951-A1-301、KZ951-F04、KZ951-F06)及中科院海北高寒草甸生态系统定位站、中国生态研究网络长期监测项目基金资助

第一作者简介:李英年,男,1962年9月出生,高级工程师,主要从事生物气象研究

羊茅及垂穗披碱草等三十余种。地势平坦, 植被分布均匀, 群落总盖度在 80% 以上, 植株平均高 0.15 m 左右。土壤为高山草甸土, 发育年青, 土层浅薄, 有机质含量丰富, 土壤含水量约为 38% ~ 45%。

观测项目有: (1) 离地面 0.5、1.0、2.0 和 4.0 m 高度的气温、空气湿度(本文未作湿度分析)和风速; (2) 10 m 高度处的风向风速; (3) 0.05、0.10、0.15、0.20、0.40、0.60 和 1.00 m 深度地温(另有气象站 1.60 和 3.20 m 的观测值); (4) 地表温度; (5) 太阳总辐射( $E_g$ )、净辐射( $R_n$ )、反射辐射( $E_r$ )、光合有效辐射(PAR)、紫外辐射(UV)等, 测定高度在植被上方 1.5 m 处; (6) 地表下 0.01 m 处土壤热通量( $G$ )。

观测采用北京时间, 日界按国家气象站为标准。数据系每一小时正点前后 5 min 自动采集并输出其 10 min 平均值(辐射还输出小时累积值)。仪器由机械工业部长春气象仪器研究所提供。

由地表辐射平衡方程、感热通量( $H$ )和潜热通量( $E$ )的垂直输送方程, 引用波文比概念, 可得

$$H = (R_n - G) \cdot \frac{1}{1 + \beta}, \quad (1)$$

$$E = (R_n - G) / (1 + \beta), \quad (2)$$

波文比  $\beta$  可由空气温度及湿度的梯度来计算

$$\beta = H / E = C_p \cdot P / (L \cdot \rho \cdot \partial / \partial e), \quad (3)$$

$C_p$  为空气的定压比热( $1.004 \text{ J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$ ),  $L$  为水的汽化潜热( $2.5 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),  $\rho$  为水汽分子与干空气分子的重量比( $M_w/M_a = 0.622$ ),  $P$  为气压(hPa)。

本文仅考虑近夏至日的 1998 年 6 月 18 ~ 20 日作个例分析。这 3 d 基本为晴天, 其中 19 日下午 16:00 开始, 西北方天空有积雨云发展, 20:00 云量增至 8 成。3 d 日平均云量分别为 1.0、3.0 和 1.3 成。

### 3 观测结果分析

#### 3.1 $E_g$ 、UV、 $E_r$ 、PAR 和 $R_n$ 的日变化

海北高寒草甸地区大气透明度高,  $E_g$  在中午 13:00 ~ 15:00 瞬时值超过  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  (图 1)。近夏至日观测的 3 d 中, 14:00 最大瞬时值分别为 1019、1036 和 1061  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 比海拔 4612 m 的五道梁地区瞬时最大值( $1228 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ )小 190  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$  左右<sup>[5]</sup>。日总量较高, 如 20 日达 32.71  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

UV 在  $E_g$  值所占的比例虽然很低, 但对植物生长的影响极为重要。UV 除受太阳高度角变化的影响外, 还受云、水汽、尘埃等因素的影响。UV 的日变化与  $E_g$  日变化位相相同, 趋势一致(图 1), 表现出早、晚低, 中午前后高。晴天状况下的 3 d 中, 瞬时最大值分别为 151、168 和 153  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 均出现在 14:00。日总量平均为 4.01  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ , 占  $E_g$  的 14%。这比五道梁地区略低<sup>[5]</sup>, 与拉萨地区基本接近<sup>[6]</sup>。与全国大多地区相比, 海北站地区 UV 占  $E_g$  的比例明显偏高, 此原因除与测定的分光波段不同, 所处的地理位置及

环境条件影响有关外,也可能与仪器本身性能有关。更为详实的情况有待于进一步观测验证。

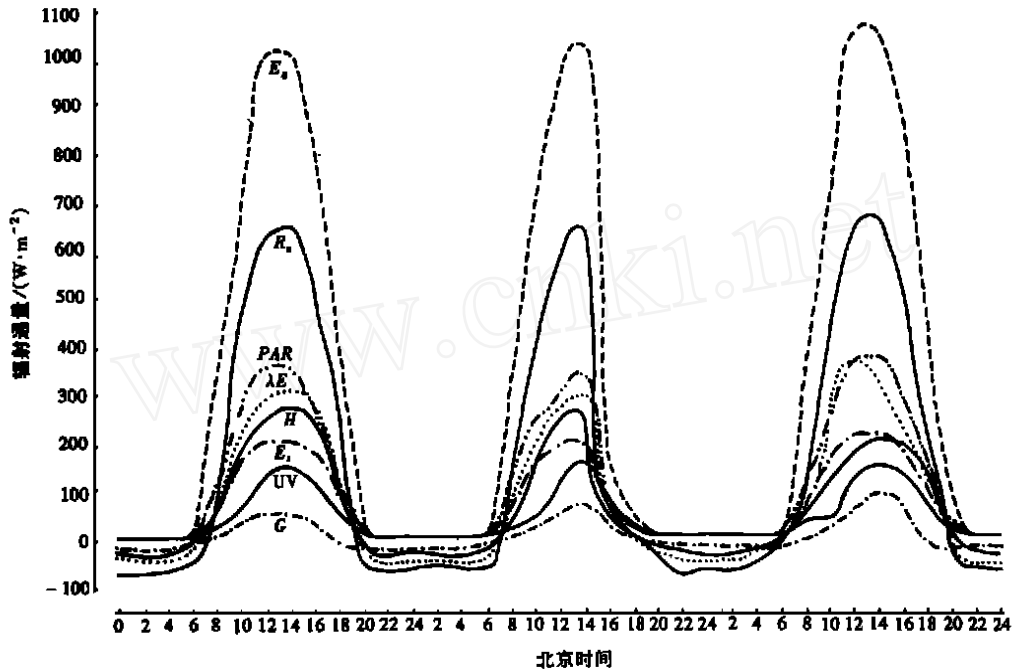


图1 海北站  $E_g$ 、UV、 $E_r$ 、PAR、 $R_n$ 、G、H及E的日变化(1998年6月18~20日)

Fig. 1 The diurnal variations of  $E_g$ , UV,  $E_r$ , PAR,  $R_n$ , G, H and E in Haibei Research Station (on 18~20 June 1998)

地表反射率早、晚大,中午低,呈“U”型分布。3 d 平均反射率约为 0.22。6月下旬,正是牧草旺盛生长发育的关键时期,植被盖度大,降水丰富。由此估计,6月以前日平均反射率可能略大于 0.22。而6月以后将小于 0.22,但波动范围不会太大,直至牧草进入开花、成熟及枯黄等过程后反射率逐渐加大。相比而言,海北地区地表反射率比五道梁等地区 6~8月期间平均反射率(0.19)略高<sup>[5,6]</sup>,这可能与该地区纬度偏北,太阳高度角小等有关。

中午 14:00 的 PAR 瞬时值在 3 d 中分别为 360、355 和 380  $W \cdot m^{-2}$ 。日总量平均约为 11.71  $MJ \cdot m^{-2}$ ,是  $E_g$  的 36%。这种分布与西藏的那曲地区基本相似或略低<sup>[7]</sup>,比张掖地区低 6 个百分点<sup>[8]</sup>。表现出 PAR 占  $E_g$  的比例与海拔高度无关,而与该地区的空气、水汽、天空云状云量、尘埃物等影响有关。

日间  $R_n$  变化较大,3 d 中瞬时值最大分别为 637、662 和 670  $W \cdot m^{-2}$ ,且均出现于 14:00,夜间  $R_n$  为负值,变化较为平稳。日总量较大,如 20 日正向  $R_n$  为 18.86  $MJ \cdot m^{-2}$ ,占  $E_g$  的 58%(瞬时值最大约占  $E_g$  的 63%);  $R_n$  通过零点的时间在日出后的 07:00 左右和日落前的 19:00~20:00 之间。

### 3.2 G、H 及 E 分布状况

地表层(0.01 m) G 变化较小,一般在 08:00 开始为正值,热量由地表向土壤深层输

送，14:00 达最大，3 d 平均为  $88 \text{ W m}^{-2}$ ，约占  $R_n$  的 9%；下午 19:00 到次日 08:00 为负值，地下向地表释放热量，所占  $R_n$  的比例约为 34% (图 1)。G 在白天变化较夜间幅度大，日间 08:00~18:00，变化幅度差为  $79 \text{ W m}^{-2}$ 。 $R_n$  用于土壤热交换的日平均能量约为 1/5 (20%)。

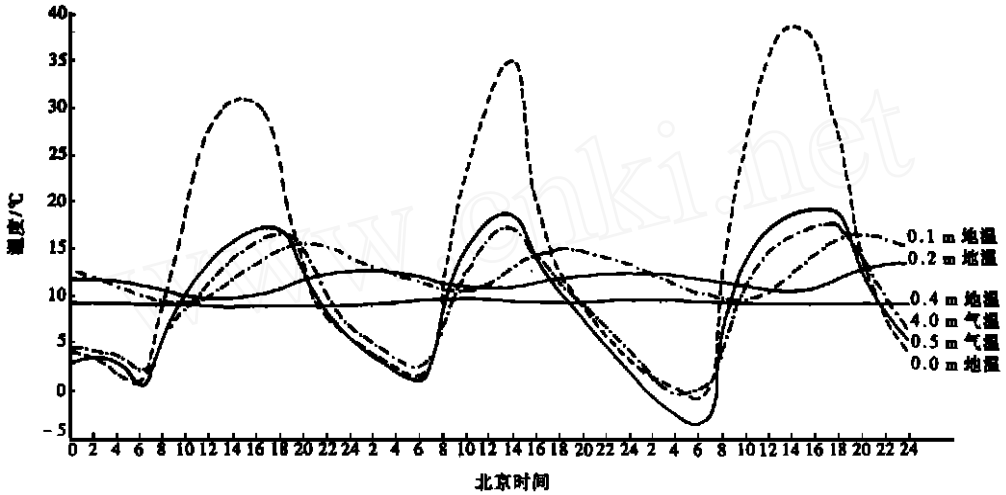


图 2 海北站地—气温度日变化 (1998 年 6 月 18~20 日)  
 Fig. 2 The diurnal variation of soil-air temperature at different levels in Haibei Research Station (on 18~20 June 1998)

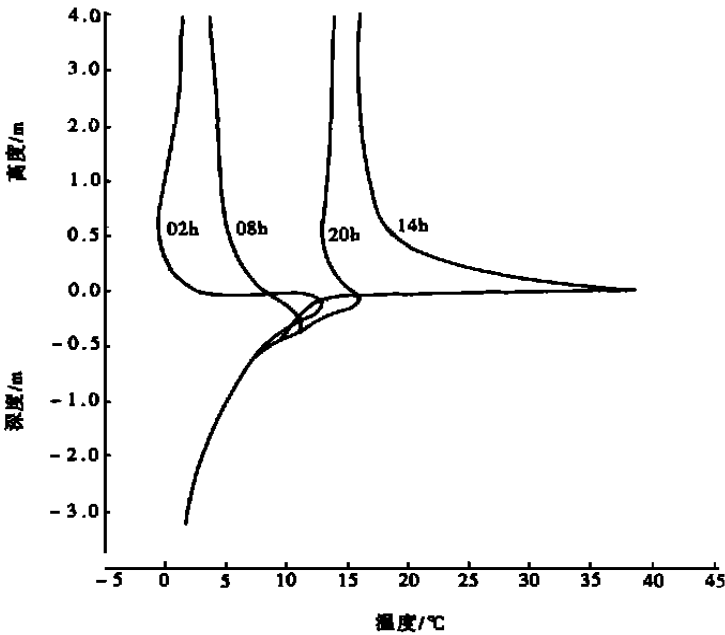


图 3 海北站地—气温度的垂直变化 (1998 年 6 月 20 日)  
 Fig. 3 The vertical variation of soil-air temperature in Haibei Research Station (on 20 June 1998)

计算表明,一日间  $H$  变化在  $-32 \sim 274 \text{ W m}^{-2}$  之间波动。08:00~18:00 3 d 平均向上的  $H$  要占  $R_n$  的 43% 左右,早晨和傍晚所占的比例略高些。如 08:00 3 d 平均为 51%,傍晚 18:00 为 45%,而在 12:00 为 35%。在夜晚的 20:00 到次日 06:00,负  $H$  平均占  $R_n$  的 37%,最高约为 42% (00:00),最低只有 29% (06:00)。就全天平均来看,一日间  $H$  占  $R_n$  的 38%。

从图 1 中可以看到,高寒草甸近地面层  $E$  在白天大部分时间为正值,蒸发潜热所消耗的热量约占  $R_n$  的 50%。 $E$  在夜间的变化较为平稳,约占  $R_n$  的 35%。量值最大是  $30.49 \text{ W m}^{-2}$  (18 日 02:00)。白天与夜间  $E$  的不同分布,表示了海北高寒草甸地区日间 08:00~19:00,植被表层以蒸散为主,而傍晚 20:00 到次日 07:00 左右,土壤—植被表层发生水分凝结现象。就一日来看, $E$  在  $R_n$  中所占的比例约为 42%,比  $H$  对  $R_n$  的比例高出 4% 左右。

### 3.3 地—气温度变化特征

近夏至日的 3 d 微气候观测表明,高寒草甸区地—气温度均表现有一高一低的日变化规律(图 2)。为便于比较,图 3 给出了 20 日 02:00、08:00、14:00 和 20:00 地—气温度垂直变化情况,以及 3 d 的地—气温度场分布状况(图 4)。

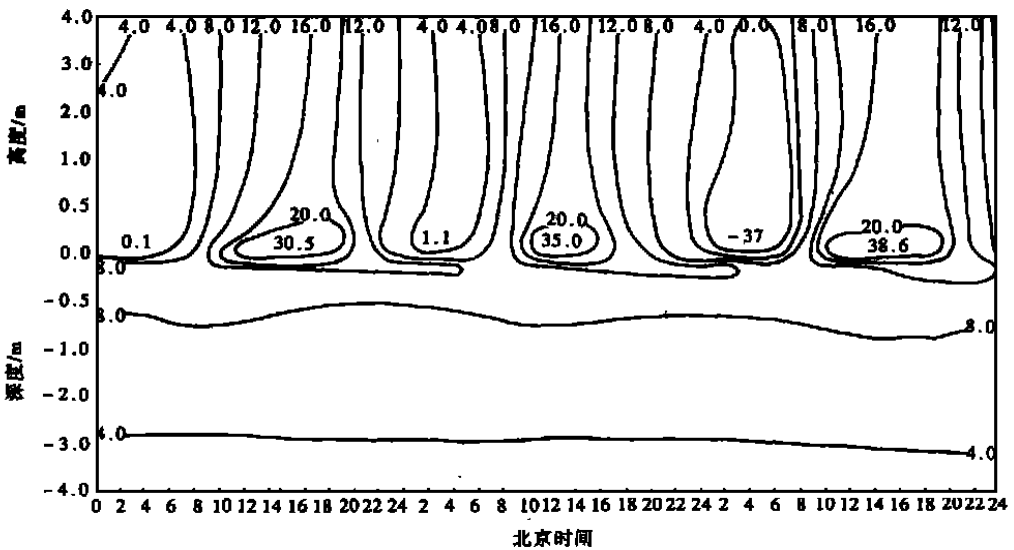


图 4 海北站地—气温度场的时空剖面分布(1998 年 6 月 18~20 日)

Fig. 4 The time and space section distribution of soil-air temperature in Haibei Research Station (on 18~20 June 1998)

由图 2~图 4 可看出,地表面温度日最高出现在 13:00 左右,3 d 最高为 38.6;早晨 06:00 左右达最低,为 -3.7,日较差很大,3 d 平均为 34.9 (20 日达 40.4)。随高(深)度加大(深),温度日较差减小,最高(低)值出现时间略有滞后。如 20 日离地面 0.5、1.0、2.0 和 4.0 m 气温日较差分别为 22.8、20.5、18.9 和 18.5。14:00 气温分别为 18.2、17.2、16.4 和 15.9,自地表到 4.0 m 高处气温最高值出现的位相落后近 4 h,而最低值滞后不甚明显。当日 0.05、0.10、0.15 和 0.20 m 地温平均日较差分别为 8.5、

7.3、4.7 和 3.1, 比地表低 26.4 以上。到 0.40 m 深层日较差降至 0.4, 日变化更趋平稳, 甚至消失。14:00 地温分别为 13.4、12.3、10.9 和 10.4, 较地表温度低 25.5 以上。随深度加深地温不仅降低明显、变化趋于平稳, 而且日最高最低值出现时间明显滞后于气温。这些现象表明, 高寒草甸地区太阳短波辐射及地表长波辐射冷却均强烈, 受光照后地表温度升高迅速, 但由于该地降水丰富, 土壤和空气水汽含量大, 热容量也大, 所以热量传导缓慢。

该研究区域的地形开阔, 故大气逆温层微弱。从 18~19 日的气温资料来看, 18 日 20:00 4.0 m 处气温(14.2)比 0.5 m 处(11.9)高, 19 日 11:00 4.0 m 处气温(10.9)比 0.5 m(11.1)低。表明约在傍晚 20:00 到次日 11:00 之间有逆温层产生。而在午夜 01:00 左右逆温现象最严重, 温差达 3 左右。

地表温度及不同高度的气温, 在日变化的过程中, 还表现出早晨 06:00 以后, 温度的上升较午后下降来得缓慢。如 18 日地表温度, 从最低 0.1 (06:00)到最高 30.5 (14:00), 8 h 内增加 30.4, 温度上升率达  $3.80 \text{ h}^{-1}$ , 而从最高到次日 06:00(1.1), 17 h 内降温 29.4, 降温率仅为  $1.73 \text{ h}^{-1}$ 。

就地—气温度场分布来看(图 4), 近夏至日的 3 d 中, 14:00~16:00 在地表出现一热中心, 3 d 分别为 30.5、35.0 和 38.6; 而在清晨 06:00 左右为冷中心, 3 d 分别为 0.1、1.1 和 -3.7, 其它时间为过渡区。午后 0.05~0.20 m 的土层间, 等值线形成一狭长后延的分布趋势, 表明该土层内地温维持时间长, 滞后明显。一定高(深)度以上(下)(约 0.5 m), 气温的水平梯度小而均匀, 表明气温变化平稳。

### 3.4 风速日变化及垂直变化特征

海北站风速除受青藏高原大地形影响外, 还明显受祁连山地形的影响, 风场复杂<sup>[10]</sup>。其总的趋势是夏季风易于大通河河谷溯源而上, 多以东南风为主, 冬半年以偏西风为多。风速在春、夏季的 4~7 月较秋、冬季大。风速在 02:00~12:00 较小, 20:00 左右达最大。

由图 5 看出, 风速的垂直分布随时间的不同有明显变化。夜间(02:00 到早晨 08:00)从低层到 10 m 高处, 风速的垂直变化不明显, 02:00 甚至表现出随高度加大而降低的趋势, 这可能与近地层地面辐射冷却有关。从 12:00 左右到 20:00, 自地表到高处, 风速随高度加大, 垂直分布明显, 如 20 日 20:00 0.5 m 处风速仅为  $3.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 4.0 m 处为  $4.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 到 10.0 m 高处风速达到  $7.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 9.5 m 高差内风速增加  $5.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 高层比低层高 140%。表明午后风速的垂直切变大, 有利于湍流发展, 热量交换旺盛。日落后风速的垂直变化又趋平稳。

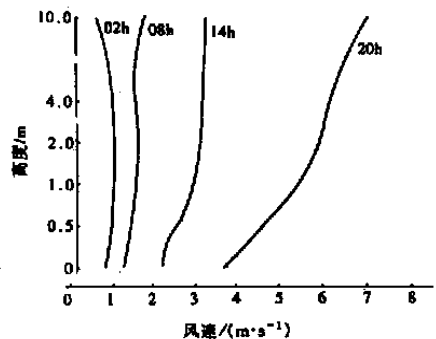


图 5 海北站风速垂直变化  
(1998 年 6 月 20 日)

Fig. 5 The vertical variation of wind velocity in Haibei Research Station  
(on 20 June 1998)

## 4 结 论

对海北地区微气候个例观测表明:

(1)  $E_g$ 、 $R_n$ 、 $E_r$ 、PAR 和 UV 一日间均表现有一高一低的变化规律,趋势一致,最高出现于中午 14:00。 $R_n$ 、 $E_r$ 、PAR 和 UV 对  $E_g$  所占的比例分别为 58%、20%、36% 和 14%。

(2)  $G$ 、 $H$  及  $E$  对  $R_n$  所占的比例分别为 20%、38% 和 42%。 $G$  于白天变化幅度较夜间大。近夏至日通过零点的时间分别约在 07:00~08:00 和 17:00~18:00。表明 6 月下旬日间 07:00(08:00)~17:00(18:00) 时,热量自地表向土壤深层输送,其它时间则由地向下向地表释放热量。

(3) 地—气温度在地下 0.20 m 到地表上 0.50 m 以内的区域内,水平和垂直方向变化极为剧烈,日较差大,梯度明显。一定高度以上或一定深层以下,地—气温度变化较为平稳。大气逆温约出现于 20:00 至次日 11:00,午夜 01:00 最大。

(4) 该地区受地方性风影响明显,夏半年多以东南风为主,冬半年多以西北风为主。风速在 4~7 月较大,秋、冬季较小,而且阵性强,风速于午后增大,20:00 左右达较高的水平,日变化明显。同时在垂直方向上表现有明显的时间性分布,表现出夜间及上午垂直梯度小,下午至前夜风速梯度大,湍流交换旺盛。

## 参考文献

- 1 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
- 2 刘树华,辛国君,冯金朝等. 沙坡头人工植被和流沙丘的微气候特征观测研究[C]. 中国科学院沙坡头沙漠实验研究站年报. 兰州:甘肃科学技术出版社, 1993. 172~182
- 3 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
- 4 Norman, J. Rosenberg(何章起,施鲁怀译). 微气候—生物环境[M]. 北京:科学出版社, 1982. 172~223
- 5 江灏,季国良. 五道梁地区的辐射特征[J]. 高原气象, 1988, 7(2): 145~155
- 6 季国良. 1982年8月~1983年7月青藏高原地区的辐射与气候[J]. 高原气象, 1985, 4(4): 10~19
- 7 季国良,江灏,吕兰芝. 青藏高原的长波辐射特征[J]. 高原气象, 1995, 14(4): 451~458
- 8 季国良,马晓燕,邹基玲等. 张掖地区的光合有效辐射[J]. 高原气象, 1993, 12(2): 141~146
- 9 汤懋苍,许曼春. 祁连山的风系[C]. 山地气候文集. 北京:气象出版社, 1984. 102~105

## THE OBSERVATIONAL STUDIES ON CHARACTERISTICS OF MICROCLIMATE IN HAIBEI ALPINE MEADOW REGIONS OF QILIAN MOUNTAIN

LI Ying-nian      SHI Sheng-bo      CAO Guang-min  
YANG Yong-gang      SHEN Zhen-xi

(Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai 810001)

**Abstract** The gradient observation data of microclimate measurement in a shorter period were analysed. The results are as follows: (1) The total solar radiation, net radiation, reflected global radiation, PAR and UV radiation have diurnal variation with high and low values, and the highest values have appeared at 14:00. All radiation have the same trends. The ratio of net radiation, PAR, UV radiation to total solar radiation are 58%, 20%, 36%, and 14%, respectively. (2) The variation of heat flux in soil is lower, the variation in daytime is higher than that in the night. At the time from 07:00 to 17:00, the thermal energy is transferred from soil surface to deeper soil, and it is transferred from deeper soil to surface soil at the other times. The variations of  $G$ ,  $H$  and  $E$  is relative stable, they are about 20%, 38%, 42%, respectively. (3) In Haibei alpine meadow regions at Qilian mountain, the soil-air temperature varied very extremely in horizontal and vertical directions at the exact range; but at the another levels, the variation is relative stable. The inversion layer of atmosphere usually occurred from 20:00 to next day 11:00. (4) The wind velocity has a stronger diurnal variation and short-term change. At the vertical direction, the wind velocity has an obvious time distribution.

**Key words** Qi-lian mountain    Alpine meadow plants    Characteristics of microclimate    Observation research