

文章编号:1000-0240(2007)01-0137-07

高寒湿地太阳辐射和地表反射率变化的统计学特征

李英年¹, 赵 亮¹, 周华坤¹, 徐世晓¹, 张法伟^{1,2}

(中国科学院 西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要: 依据祁连山海北高寒湿地植物生长期观测的太阳总辐射(E_g)和反射辐射(E_r)资料, 分析了高寒湿地 E_g 和地表反射率(A)的日及季节变化特征. 结果表明: 祁连山海北高寒湿地, 有较强的 E_g , 但 A 较低. 年内 1~12 月 E_g 的平均日总量达 $17.3 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中植物生长期的 5~9 月平均日总量为 $20.0 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 表现出 4~7 月高, 冷季低的变化特征. A 的日、季节变化均表现“U”型变化过程. 2004 年 1~12 月 A 的年平均值为 0.32, 植物生长季的 5~9 月平均值为 0.18, 植物非生长季的 10 月~翌年 4 月平均值为 0.43. 其中 1 月最高(0.70), 7 月最低(0.16).

关键词: 植物生长期; 高寒湿地; 太阳辐射; 反射率

中图分类号: P422.1 **文献标识码:** A

生态系统中太阳辐射能是生命活动的根本能源, 它通过对植物的生理生化作用过程, 直接或间接影响地球植物群落结构和分布以及植被生产力的形成, 是生态系统结构、功能基本外源驱动力. 而地面反射率(A)既反映了下垫面对太阳总辐射(E_g)反射了多少, 又因下垫面性质的不同而有巨大的变异性, 是地表参数化过程中最为基本的物理参数, 在地面辐射平衡过程起到极为重要的作用. 对此, 生态学家、气候物理学家、微气象学家的研究者对于 E_g 和 A 的气候变化特征给予了极大的关注^[1-6].

通常照射到植被冠层表面的太阳辐射一部分将反射回太空, 其余部分进入植物生态系统中进行转化和交换, 但对太阳辐射的反射强度因下垫面性质差异而不同. 下垫面的差异不仅因植被类型、地形分布有所不同, 就是同类型植被因植物生长过程的不同时期也有差异, 进而导致 A 有随季节变化的特征. 因此, 研究 A 也就成为对不同植被类型能量分配的最基本参数. 然而, 对于下垫面 A 的研究常见于森林、草地、农田等^[1-6], 较少涉及青藏高原高寒湿地(沼泽植被)类型. 本文利用祁连山海北高寒

湿地草甸辐射长期观测结果, 分析其 A 基本特征. 不仅可认识生态系统的能量流动及其物质循环过程其能量的分配过程, 而且也将对了解高寒草甸生态系统中生命与非生命系统间的关系, 找出局地小气候的形成机制及其分布规律, 揭示系统间相互作用规律等具有重要的意义.

1 材料与方法

1.1 自然概况

本研究在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站)高寒湿地进行. 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, 地理坐标为 $101^{\circ}19' \text{ E}$ 、 $37^{\circ}37' \text{ N}$, 海拔 3 240 m. 据海北站气象观测资料^[8], 区域近 20 a 来多年平均气温为 -1.6°C , 降水量约 560.0 mm, 年日照时间可达 2 467.7 h, 年平均风速为 $1.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. 表现出该地区空气稀薄, 气温较低, 风速较小, 无霜期极短, 降水量丰富, 日照充足, 暖季湿润、短暂、凉爽, 而冷季干燥、漫长、寒冷. 观测点中央部植被以寒冷湿生、多年生地下芽草本植物帕米尔苔草

收稿日期: 2006-08-11; 修订日期: 2006-10-24

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-01-01A); 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB412501); 中日合作“21 世纪亚洲陆地生态系统碳管理为目标的综合碳收支研究”和“亚太地区环境创新战略计划项目(APEIS)”资助

作者简介: 李英年(1962—), 男, 青海乐都人, 高级工程师, 1987 年毕业于北京气象学院, 主要从事生物气象研究工作.

E-mail: ynli@nwipb.ac.cn

(*Carex pamirensis* Marsh) 为建群种, 湿地边缘以藏蒿草 (*Kobresia tibetica*) 草甸为建群种的典型高寒湿地。地势平坦, 植物群落生长茂盛, 植被分布均匀, 外貌整齐, 伴生种较少, 总盖度达 98% 左右^[9]。长期的生物气候综合影响下, 发育着典型的沼泽土, 泥炭层厚度在 0.2~2.0 m。

1.2 研究材料

辐射及分光辐射观测由中国通量网 (ChinaFlux) 建设, 辐射表 (CM11, Kipp & Zonen, USA) 安装高度离植被冠面上方 1.5 m 处。本文所采用的研究资料为 2004 年度。观测时间采用北京时间, 以 0:00 划分日界。数据系自动采集 (采集频率为 10 Hz), 输出 30 min 平均值。

2 结果与分析

2.1 海北高寒湿地植物群落、季节景观和放牧利用特征

高寒湿地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^[7,9]。分布区气候寒冷, 一般地下有多年冻土发育形成的不透水层。因海北站附近的高寒湿地所处区域地表除部分面积积极小的岛状草丘外, 大部分区域被积水长期所覆盖。湿地西部边缘有一条流量大约 $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的小溪, 中央和东部边缘各有一条很小的溪水, 积水向下游有缓慢流动, 但流速 $< 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这些水流及地表积水的存在使土壤水常呈饱和或过饱和状态。

对实验区群落调查表明^[10], 中央区植被高、种类组成少; 边缘区植被低, 物种比中央带丰富。群落主要有 25 种植物组成, 草群高为 10~35 cm 不等。除建群种的优势种为帕米尔苔草、藏蒿草, 次优势种有华扁穗草 (*Blysmus sinocompressus*), 黑

褐苔草 (*Carex atrofusca*) 等。在边缘带还有大量的星状风毛菊 (*Saussurea stilla*)、青藏苔草 (*C. moorcroft*), 约 300 m 外为矮蒿草 (*Kobresia humilis*) 草甸植被类型。

受气候季节变化, 海北高寒湿地在不同季节景观截然不同。春季 (4~5 月) 冰雪融化后, 消融水及时流走, 外来水因上游土壤仍处在冻结状态不能及时补给, 致使湿地地表处于全年最干燥时期。该时期植物进入萌动发芽初期, 地表经冬季封冻影响, 残留的枯黄植被较多, 在枯黄植被下面才能见到刚返青的绿色幼苗, 牲畜涉入后觅食鲜嫩的植物幼苗。夏季到秋季阶段, 上游水补给充分, 湿地地表长久积水, 植物生长繁茂, 但积水多, 牲畜难以涉进, 湿地基本处于不放牧时期, 有也则是边缘地带, 放牧利用率低。秋季后期到冬季阶段, 湿地地表水结冰, 并随时间的推移而加厚, 部分地区甚至厚达 50 cm。秋季中后期为全年放牧最重(多)时期, 放牧主要以马和牦牛为主, 但植物粗纤维高, 适口性差, 被采食的植物量有限, 终久还有大量的枯黄牧草留存于地表并保持到次年夏季。就是夏季来临植物掉落物仍大量残留于地表。

2.2 高寒湿地 E_g 的日、月变化

图 1 给出了 E_g 在 2004 年 1~12 月各月平均日变化。可看到, 在植物生长季的 5~9 月 (实际上植物生长季约在 4 月 25 日到 9 月末) 虽然集中了年降水量的 80%, 约达 470 mm^[8], 但因太阳高度角高, E_g 较高。7 月日平均最高达 $821.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 6 月日平均最高仅次于 7 月, 为 $778.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。相比之下, 在植物非生长季、太阳高度角低的 12 月日平均最高为 $514.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。表现出自 1 月开始到 7 月日平均最高逐渐增大, 7 月以后下降。因海北站所处的地理位置与北京时间相差 1h15min, 即海北

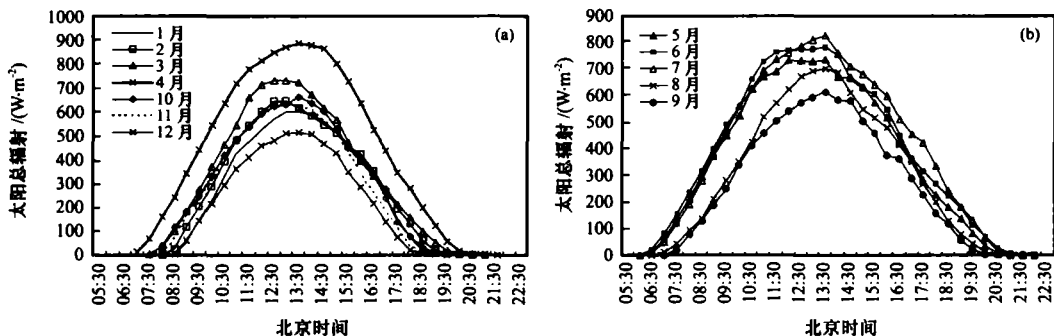


图 1 海北高寒湿地太阳总辐射 1~12 月月平均日变化

Fig. 1 Monthly mean diurnal variations of global solar radiation in Haibei alpine swamp meadow

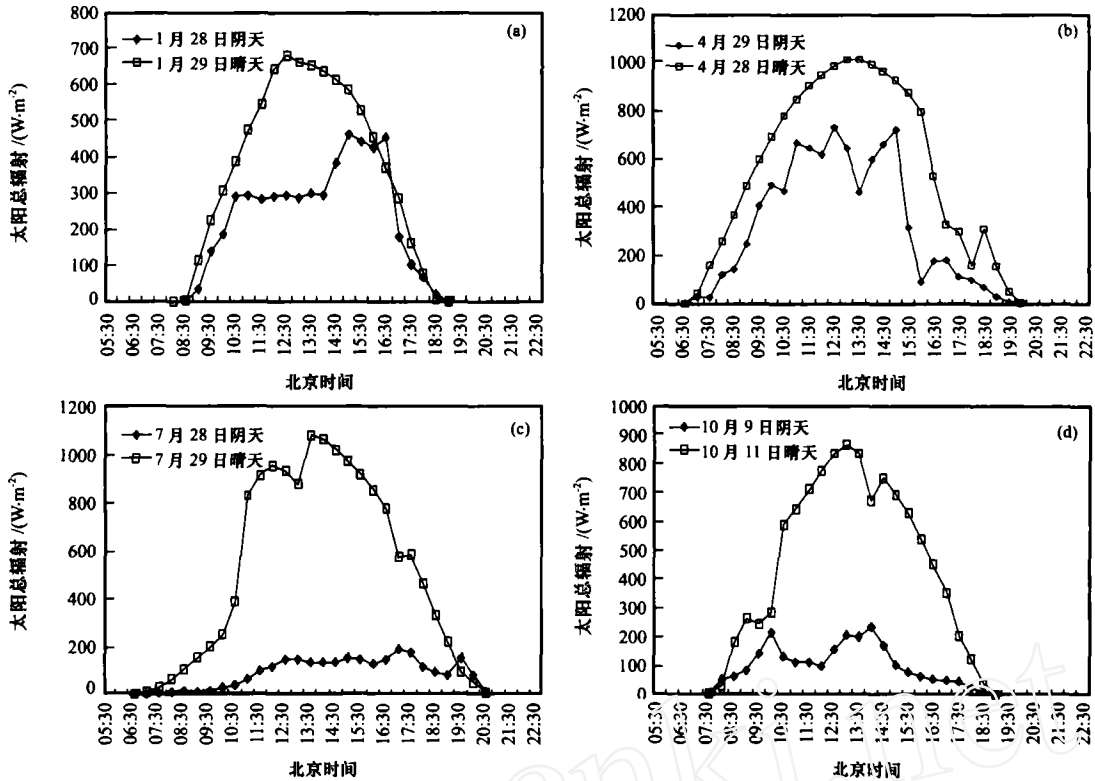


图2 海北高寒湿地1、4、7、10月晴天和阴天状况下太阳总辐射的日变化

Fig. 2 Typical diurnal variations of global solar radiation of fine and cloudy days in Haibei alpine swamp meadow

站当地正午是北京时间的 13:15. 而数据采集又是 30 min 平均值, 因而, 日最高均出现在午间的 13: 30 前后.

由图 1 还看到, 各月平均日变化光滑, 早晨日出后增加, 13:15 达最大, 以后下降, 直至日落. 当然因季节不同, 日出日落时间不一致, 造成 E_g 从 0 到正值转换时间各异, 在 6 月和 7 月出现在北京时间 6:00, 结束在 22:00; 春季出现在 7:00, 结束在 21:30; 秋季 9 月则分别为 7:00 和 21:00; 太阳高度角最低的 12 月 0 值到正值出现时间在 8:30, 结束在 20:00. 为了比较, 以 1 月 (冬季)、4 月 (春季)、7 月 (夏季) 和 10 月 (秋季), 以及选择这 4 个月中日期相近的阴天 (日平均云量 (80 %))、晴天 (日平均云量 (20 %)) 状况分析其 E_g 的日变化情况 (图 2).

1 月除 9 日和 28 日因阴有小雪, E_g 较低外, 其它以晴间少云为主, 日最高在 $540 \sim 680 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$; E_g 在阴雪天的 28 日为 $462.4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 出现在下午的 15:00, 日最高出现时间大部分在 12:30 ~ 13:30. 在 4 月, 29 日为当月云量最多的一天, 但 E_g 最高仍达 $729.7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (12:30), 即冬春季一般云层

较薄. 4 月晴间少云天气状况下, 日最高可达 $1020 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上, 该月日最高值超过 $900 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上的有 29 d. 7 月是海北高寒湿地 E_g 最为强盛的时期之一, 7 月 2 日的 13:30 最高达到 $1140.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 该月日最高大于 $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的达 20 d, 8 日、28 日受降水影响, 天空阴云, 日最高仅在 $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 左右, 如 28 日为 $191.4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (17:00), 8 日为 $207.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (14:30). 阴雨天气状况下日间云层变化随时间不均一, 导致日最高出现时间不稳定. 10 月日最高在 $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上只有 7 d, 最高的 6 日为 $885.8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 11 日为 $864.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 出现时间均在 13:00. 4、9、15 日 3 个阴雨天气日平均最高在 $232.9 \sim 346.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间, 9 日最低, 日最高为 $232.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (14:00). 以上分析表明, 大多数晴天或少云天气状况下, E_g 其日变化依日间太阳高度角的变化而变化, 但在完全为阴天的状况下视云层厚薄不同日平均最高出现不一致.

分析发现, 5 月 17 日、6 月 5 日和 7 日、7 月 2 日的 30 min 日平均最高值分别达 $1140.4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $1164.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $1146.8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $1140.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 6 月 5 日的 30 min 平均最高仅

比太阳常数 ($1\ 360\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)^[11] 小 $196\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$. 值得提到的是海北湿地地区, 我们观测到的 E_g 是 30 min 平均值, 如果是瞬时值可能还要高.

统计 E_g 在 2004 年 1~12 月各月平均日总量变化表明(图 3), E_g 在 4 月日平均最高, 为 $23.9\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 6 月和 7 月次高, 分别为 $23.3\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $22.3\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 4~7 月是年内最高的 4 个月, 日均在 $21.3\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上. 12 月最低, 日平均为 $10.7\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$. 2004 年全年来看, 年总量为 $6\ 348.5\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 日均 $17.3\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中植物生长期的 5~9 月为 $3\ 058.8\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 日均为 $20.0\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$.

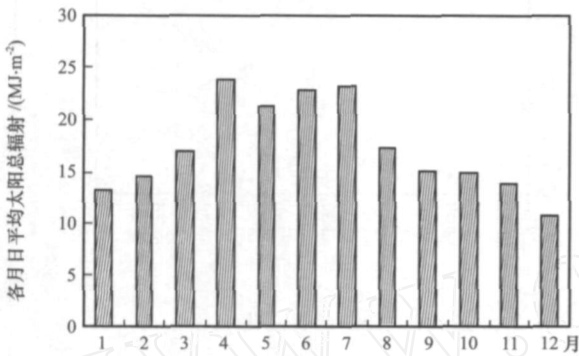


图 3 海北高寒湿地 1~12 月太阳总辐射各月平均日总量变化

Fig. 3 Monthly mean global solar radiations in Haibei alpine swamp meadow

2.3 高寒湿地植被 A 的日、季节变化

地表反射率 A 的日变化在不同时期所表现的趋势似乎一致, 一般在早晚高, 中午前后低. 日间表现为一“U”型分布状况. 这种分布主要与太阳高度角的变化有关, 太阳高度角的改变, 可使太阳光线的入射角和辐射光谱成分发生变化. 首先, 到达地表面的太阳光光谱组成由于在地球大气所通过的

路线长短发生变化. 另外, 太阳光线在不同时间其入射角发生变化. 也就是说, 当太阳高度角低时, 太阳辐射光谱中长波部分占有较大的比重, 而地表对长波(红外)辐射部分的反射能力总是很强; 当太阳高度角低时, 意味着到达地表的入射角小, 而任何表面对入射角小的光线其反射能力就强, 即在太阳高度角低的早晚 A 大. 反之, 随太阳高度角的增加, 太阳辐射中短波的波长部分所占的比重增大, 入射角增大, 导致 A 减小, 这种影响在太阳高度角低时更为显著^[3].

A 的变化不仅与太阳高度角有关, 而且与下垫面性质具有很大关联. 海北高寒湿地因植被生长茂密, 加之地表积水, 对 E_g 吸收能力增强, 将导致 E_g 的降低, 影响到 A 的提高. 图 4 给出了海北高寒湿地 1~12 月 A 的日平均变化情况. 图 4 看出, 不同季节日变化略有差异, 植物生长季日变化“U”型变化明显, 中午可降到 0.15 以下. 这是因为, 在 5~9 月植物在有利的的光合及水热条件下生长发育后, 植被生长良好, 覆盖均匀, 且下垫面多为积水, 反射能力均一.

在植物非生长季的 10 月至翌年 4 月, 天气条件恶劣, A 的日变化差异较为明显. 在这 7 个月中, 可有 3 个明显的不同阶段: 4、10 和 11 月因下垫面被枯黄植被所覆盖(10 月还有少量的绿色植被), 地表积水有时在较冷的早晨产生结冰, 使 A 比植物生长季高, 日间中午在 0.16~0.23 之间, “U”型结构比较明显. 3 和 12 月的 A 比 4、10 和 11 月提高, 12 月高寒湿地在寒冷的气候条件下逐渐结冰, 但当年生长发育的植物上部可露在结冰面以上, 虽冰面可提高 A 值, 但暴露出的枯黄植被又削弱了 A 的提高, 3 月处在冰雪融化时期, 下垫面冰雪自上向下融化过程中, 冬季被封冻的植被渐渐露出表面, 致使 3 月的 A 值比严冬降低, 3 和 12 月日间中

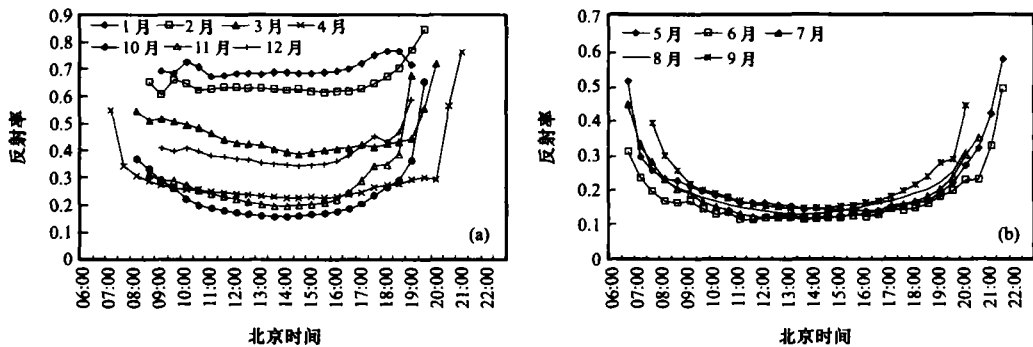


图 4 海北高寒湿地 1~12 月地表反射率月平均日变化

Fig. 4 Monthly mean diurnal variations of albedo from Haibei alpine swamp meadow

午的 A 值分别为 0.39 和 0.35. 表现的日变化“U”型结构比 4、10 和 11 月更差. 1 和 2 月日变化的“U”型结构似乎消失, 日间除傍晚有所增加外, 其它时间表现均匀. 由于 1 月和 2 月高寒湿地整个下垫面被逐渐加厚的冰雪覆盖, 冰雪面光滑而平整, 导致该时期 A 比年内任何时期高, 中午日平均 A 分别仍达 0.69 和 0.62. 表现出高寒湿地植物生长过程及自然景观不同, 受下垫面性质过程的影响 A 差异明显. 当然早晚高还受到因湿地空气湿润, 日出(落)前后, 植被表面易结露, 部分寒冷的早晨还伴生霜冻, 植物表面形成一定的“水镜面”等影响.

在日变化过程中, “U”型分布状况在不同的天气条件下略有不同, 一般晴天状况下和阴天下的 A 的日变化曲线各月大同小异. 1 月 2 类天气条件下 A 均很高, 阴天下 A 的日变化比晴天状况平稳, 且较低, 傍晚差异明显加大. 4 月晴天和阴天状况下变化趋势一致, 二者差异不明显, 变化也比较平稳, 只是在阴天的傍晚因降雪地表面有积雪导致 A 急剧升高, 从 19:30 的 0.23 到 20:00 上升到 0.93. 7 月阴天与晴天状况差异较大, 阴天状况下的早晨, 因降水增加了植物表面的“水镜面”, 明显提高了 A . 日间的 9:00 到 18:30 之间变化平稳, 而晴天状况下的日间“U”结构明显, 早晚 A 变化与整个 7 月的日平均变化(图 4b)略有一定的差异, 8:30 前阴天下的 A 明显大于晴天状况, 9:00~11:00 晴天状况下的 A 大于阴天状况, 日间 11:30~17:00 阴天下的 A 明显高于晴天, 傍晚与早晨截然不同表现出晴天状况大于阴天状况. 当然这与晴天早晚均有少量的云系存在也有很大的关系. 10 月不论是晴天状况还是阴天状况, 其“U”变化结构比上述 3 个类型明显, 只是在早晨与傍晚晴天状况下的 A 明显大于阴天的.

总的来讲, 不同天气所表现的“U”型结构各有差异. 晴天日出后和日落前的 A 比中午前后的值高很多, 日变化曲线明显. 阴雨天日变化曲线变化略复杂, 日出后和日落前的 A 比晴天的低, 但也有因阴雨天时造成降雪后地表积雪存在明显增大了 A . 普查整个 2004 年资料发现, 大多数情况下在日间的 10:00 到 16:30 之间, A 表现阴天 > 阴天 > 晴天, 但在日出后的 9:00 以前和日落前 17:00 以后 A 表现出晴天 > 阴天 > 阴天. 同时还表明, 阴天状况下, A 的日变化波动性大于阴天和晴天.

2.4 植物生长期高寒湿地植被反射辐射率(A)的月变化

图 5 给出了高寒湿地 1~12 月 A 的月变化情况. 可以看出, 寒冷的冬季植被枯黄, 地表结冰 A 明显增大, 特别是 1 月和 2 月, 结冰深厚, 下垫面为充冰雪面, 加之太阳高度角较低, 导致该 2 个月的 A 分别在 0.70 和 0.65. 3 月和 4 月冰雪开始自上而下融化, 融化可导致冰面粗糙, 表面出现多孔, 前期被封冻的枯黄植物逐渐露出, 致使 A 值下降. 到 4 月冰雪面完全融化, 并在 4 月下旬在枯黄植被下开始植物的萌动发芽, 枯黄植被因结冰等污染, 枯黄度低, 使 A 值下降明显. 从植物生长的 5 月开始植物返青并逐渐长高, 植被盖度逐渐增大, 最大时 8 月可在 90% 以上, 加之湿地积水明显, 使 A 再度下降明显. 在 7 月叶面积指数最大, 据 2005 年测定为 $3.2 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, 植物又正处在强度生长期, 多呈深绿色, 8 月下旬以后才进入成熟而出现颜色浅鲜的花朵或果实, 从而在 7 月 A 在年内最低, 7 月月平均为 0.16. 11 月以后受低温环境影响, 植物枯黄, 植物冠面颜色较浅, A 增大. 12 月中下旬开始稳定的结冰出现, 结冰从地表向上在一定时间段内以层层覆盖的形式叠加, 结冰初期湿地植物较高, 仍露出冰面, 故 A 随时间进程逐渐增大, 12 月末结冰达到一定厚度并完全覆盖植物后使 A 增大明显.

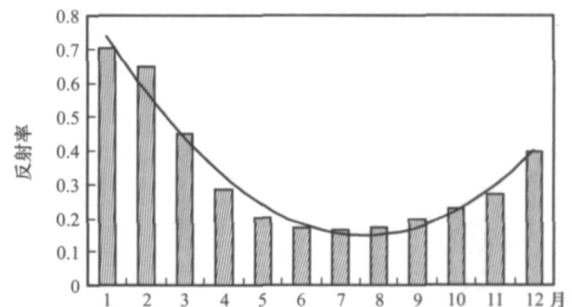


图 5 海北高寒湿地 1~12 月地表反射率月变化

Fig. 5 Monthly variation of albedo from Haibei alpine swamp meadow

全年而言, A 的年平均为 0.32, 植物生长季的 5~9 月平均为 0.18, 植物非生长季的 10 月~翌年 4 月平均为 0.43, 植物非生长季(冷季)明显大于植物生长季(暖季).

3 结语

祁连山海北高寒草甸地区, E_g 具有较高的水平

值, 日间 30 min 平均最大可达 $1\ 000\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上. 年 E_g 达 $6348.5\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中植物生长期的 5~9 月为 $3058.8\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$.

E_g 的季节变化一方面受太阳高度角影响, 另一方面受天气气候影响, 表现出太阳高度角高或气候干燥时的 4~7 月 E_g 较大, 冬季的 12 月和 1 月低.

A 的日变化和年变化均表现为“U”型变化结构, 日间在日出(落)时较高, 中午较低. 寒冷的冬季高, 植物生长季低. A 的年平均为 0.32, 植物生长季的 5~9 月平均为 0.18, 植物非生长季的 10 月至翌年 4 月平均为 0.43.

晴天、曇天和阴天的 A 的日变化曲线有一定的差异, 晴天时日出后和日落前的 A 比中午前后的值高很多, 日变化曲线明显. 曇天和阴天的日变化曲线变化复杂, 日出后和日落前的 A 比晴天的低. 在日间的 10:00 到 16:30 之间, A 表现出阴天(曇天(晴天, 但在日出后的 9:00 以前、日落前 17:00 以后 A 表现出晴天 > 曇天 > 阴天).

参考文献(References):

- [1] Wu Aisheng, Zhong Qiang. Relationships between global radiation, surface albedo and solar elevation angle for several underlying surfaces in the HEIHE experimental[J]. Plateau Meteorology, 1993, 12(2): 147 - 154. [吴艾生, 钟强. 黑河实验区若干下垫面总辐射、地表反射率与太阳高度角的关系[J]. 高原气象, 1993, 12(2): 147 - 154.]
- [2] Shen Zhibao, Zuo Hongchao. The study the variation of the surface albedo over the Qinghai-Xizang Plateau [J]. Plateau Meteorology, 1993, 12(3): 294 - 301. [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.]
- [3] Bian Linggen, Lu Longhua, Lu Changgui, et al. The characteristics of radiation balance components of the Tibetan plateau in the summer of 1998[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2001, 25(5): 578 - 588. [卞林根, 陆龙骅, 逮昌贵, 等. 1998 年夏季青藏高原辐射平衡分量特征[J]. 大气科学, 2001, 25(5): 578 - 588.]
- [4] Guan Dexin, Jin Mingshu, Xu Hao. Reflectivity of broad-leaved Korean pine forest in growing season on Changbai Mountain[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(12): 1544 - 1546. [关德新, 金明淑, 徐浩. 长白山阔叶红松林生长季反射率特征[J]. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1544 - 1546.]
- [5] Qian Zeyu, Hu Zeyong, Du Ping, et al. Comparison and analysis of the climatological features of radiation balance between the grassy marshland surface of north of the Tibetan plateau and the desert in HEIHE[J]. Acta Energeiae Solaris Sinica, 2003, 24(4): 453 - 459. [钱泽雨, 胡泽勇, 杜萍, 等. 藏北高原典型草甸下垫面与 HEIHE 沙漠区辐射平衡气候学特征对比分析[J]. 太阳能学报, 2003, 24(4): 453 - 459.]
- [6] Ji Guoliang, Hou Xuhong, L ÜLanzhi, et al. Characteristics of radiation budget on different underlying surfaces in the arid region[J]. Acta Energeiae Solaris Sinica, 2004, 25(1): 37 - 40. [季国良, 侯旭宏, 吕兰芝, 等. 干旱地区不同下垫面的辐射收支. 太阳能学报, 2004, 25(1): 37 - 40.]
- [7] Li Yingnian, Zhao Xinquan, Cao Guangmin, et al. Analysis of climate, vegetational productivity background and their correlation of Haibei alpine Meadow ecosystem research station[J]. Plateau Meteorology, 2004, 23(4): 558 - 567. [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.]
- [8] Wang Qiji, Zhou Xingmin, Shen Zhenxi, et al. The structure of plant community and utilization in alpine Kobresia tibetica swamp meadow [C]// Alpine Meadow Ecosystem, Vol. 4. Beijing: Science Press, 1995: 91 - 100. [王启基, 周兴民, 沈振西, 等. 1995. 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(4). 北京: 科学出版社, 1995: 91 - 100.]
- [9] Chen Guichen, Huang Zhiwei, Lu Xuefeng, et al. Characteristics of wetland and its conservation in the Qinghai Plateau [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(3): 254 - 259. [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.]
- [10] Li Yingnian, Zhao Liang, Xu Shixiao, et al. Plant community structure and ecological characteristics of alpine wetland at north area of Qinghai among Qilian Mountain[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, 28(1): 76 - 84. [李英年, 赵亮, 徐世晓, 等. 祁连山海北高寒湿地植物群落结构及生态特征[J]. 冰川冻土, 2006, 28(1): 76 - 84.]
- [11] Peixoto J P, Oort A H. Physics of Climate[M]. Beijing: Science Press, 1995: 72 - 103; 172 - 190. [Peixoto J P, Oort A H. (吴国雄、刘辉译). 气候物理学[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 72 - 103; 172 - 190.]

Changes in Reflected Radiation and Reflectivity for Growing Season of Alpine Swamp in the Northern Qinghai

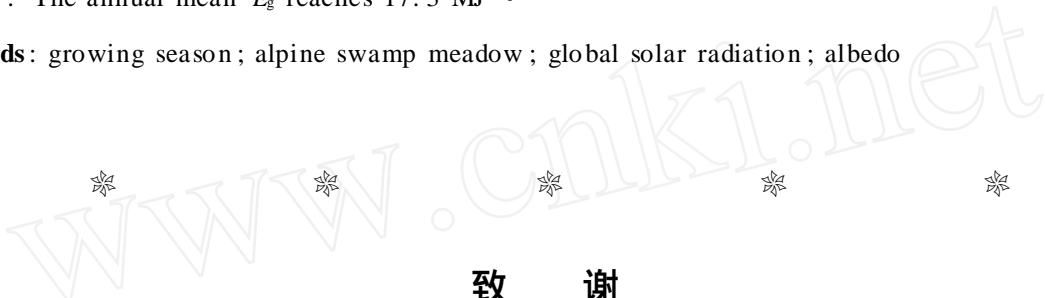
LI Ying-nian¹, ZHAO Liang¹, ZHOU Hua-kun¹, XU Shi-xiao¹, ZHANG Fa-wei^{1,2}

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining Qinghai 810008, China;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In this paper, terrestrial reflected radiation and reflectivity changing characteristics are analyzed, based on long-term observations of total global solar radiation and albedo in the alpine swamp in Haibei area of the Qilian Mountains. It is found that there are higher total global solar radiation (E_g) and lower terrestrial reflected radiation (A). The annual mean E_g reaches $17.3 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ and the E_g averaged over growing season (from May to September) reaches $20.0 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. The changing pattern of albedo (A), diurnal or seasonal, has a "U" shape. The mean albedo (A) is 0.32 over a year and 0.18 over the growing season, respectively, with a minimum (0.16) in July and a maximum (0.70) in January.

Key words: growing season; alpine swamp meadow; global solar radiation; albedo



致 谢

下列专家和学者在 2006 年,对投寄本刊论文稿件参与了评审,为本刊稿件的质量提高付出了辛勤的劳动,特致衷心的感谢!

专家名单(以姓氏笔画为序)

- 丁一汇 丁永建 丁良福 马 巍 马晓波 马耀明 文 军 王 建 王 婷 王乃昂 上官冬辉
- 王可丽 王宁练 王苏民 王劲松 王绍令 王绍武 王庚辰 王宝鉴 王建华 王建辉 王顺德
- 王根绪 王新平 王澄海 邓友生 毛炜峰 韦志刚 牛富俊 车 涛 卞林根 冯 起 冯虎元
- 田立德 史雅娟 任福民 任贾文 叶佰生 龙爱华 卢 玲 延 昊 刘光耀 刘时银 刘建坤
- 刘耕年 刘晓宏 刘景时 刘晶森 刘潮海 刘德祥 朱元林 朱岗昆 齐吉琳 孙俊英 安黎哲
- 左洪超 李 新 李 震 李 林 李广军 李心清 李东庆 李孝泽 李吉均 李志军 李述训
- 李英年 李忠勤 李洪升 李海涛 李栋梁 祁 元 吉力力 陈 拓 陈仁升 陈亚宁 陈发虎
- 邵明安 邵雪梅 张 宇 张 钊 张 杰 张 强 张小由 张广兴 张万昌 张世强 张平中
- 张存杰 张志强 张建明 张济世 张景光 张耀南 吴亚平 吴青柏 吴素芬 吴锦奎 汪仁和
- 苏 珍 苏永中 苏宏超 苏培玺 何 平 何 勇 何元庆 沈永平 肖生春 肖洪浪 宋克超
- 汤懋苍 周广胜 周石砾 周尚哲 杨成松 杨国靖 杨建平 杨莲梅 杨梅学 郑本兴 苗天德
- 尚松浩 金会军 易朝露 柳峰松 赵 林 赵文智 赵传燕 赵景波 侯书贵 胡兴林 胡泽勇
- 俞祁浩 段克勤 郝振纯 施雅风 南卓铜 效存德 徐中民 徐世健 徐培祖 钱正安 钱 鞠
- 钱亦兵 唐述林 唐国利 高前兆 郭 锐 晋 锐 喻文兵 袁玉江 曹广民 崔广心 崔建垣
- 盛 煜 章新平 黄茂桓 黄荣辉 黄嘉佑 康尔泗 康世昌 康兴成 董文杰 董光荣 董安祥
- 董治宝 董长江 董伯良 彭 敏 谢正辉 谢自楚 韩添丁 蓝永超 雷志栋 赖远明 蒲健辰
- 奚明健 靳立亚 靳鹤龄 翟盘茂