

文章编号: 10007-0435(2001)01-0058-06

海北高寒草甸植被在生长期辐射能量收支探讨

李英年

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 81001)

摘要: 在晴天, 海北高寒草甸植被辐射的各收支项均有明显的日变化规律, 在中午 13~ 14 h 最大。地表净辐射通量日变化在 $-158 \sim 499 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 8~ 9 h 到 18 h 地表面净得到热量, 地表处于吸热阶段, 18 h~ 翌晨 8 h 区域净损失热量。反射率在早晨与傍晚最高, 13 h 左右最低。植物生长季的 4~ 9 月, 中午反射率约在 0.20~ 0.22, 早晨与傍晚在 0.24~ 0.49, 不同季节的 3 d 日平均反射率为 0.25, 11 h~ 15 h 平均为 0.21。

关键词: 高寒草甸植被; 植物生长期; 辐射能量收支

中图分类号: S812.1 **文献标识码:** A

The Study on the Radiant Energy Budget of Alpine Meadow Vegetation in the Sunny Days During the Plant Growing Season

L I Ying-nian

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

Abstract: There are obvious daily variation patterns of the radiant budget items of Haibei alpine meadow vegetation in the sunny days. The radiant values reach the maximum during 13:00—14:00. The daily net radiant flux of soil surface is varied from $-158 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ to $499 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$. The soil surface is under the condition of absorbing heat from 8:00 or 9:00 to 18:00, whereas the heat is out from soil surface from 18:00 to 8:00 of the next morning. Higher in the morning or the evening, the albedo is the lowest at 13:00 more or less during the whole day, however. The September: They are from 0.197 to 0.215 at noon; and from 0.239 to 0.485 in the morning or the evening; and 0.251 during 3 days in different season and 0.214 from 11:00 to 15:00.

Key words: Alpine meadow vegetation; Plant growing season; Radiant energy budget

地球表面一切物理过程的能量源自太阳辐射, 地球内部向上的热量由于热传导衰减几乎可以忽略。地表能量转换过程都从吸收太阳辐射开始, 并向外部空间以长波辐射而结束。达地面的太阳辐射除被反射一部分外, 其余均被地表吸收, 然后导致近地表层土壤热容量增加, 进而产生向大气输送感热、潜热和长波辐射以及向更深层土壤传送热量。辐射能量的分布既决定了地~ 气环流的不同, 也决定某地的气候状况, 因而也影响该地区植被、土壤类型, 以

及各种自然景观的分布。生态系统各亚系统间能量流动及物质循环的物理过程, 最终归于辐射能量收支差异的分配。为此, 气象学家、生态学家等对辐射能量方面作了诸多研究工作^[1~ 6]。

近年来, 虽然对青藏高原辐射状况的研究报道不少, 但由于受异地植被盖度、层片层次结构, 以及土壤类型、湿度等分布差异, 致使各地净辐射收支差异显著。正是如此, 高原不同地区表现有不同的“冷岛”和“热源”效应, 以及不同植被类型分布和草地生

收稿日期: 1999-12-15; 修回日期: 2000-08-17

* 国家与中科院“九五”重大项目及特别支持项目(1998040800, KZ951-A 1-204, KZ951-A 1-301, KZ95T-04, KZ95T-06)及中国生态系统网络研究监测, 中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站基金项目资助

作者简介: 李英年, 男, 汉族, 1962年9月出生, 副研究员, 主要从事生物气象研究工作, 发表论文 40 余篇



产力的差异。因此讨论不同区域的净辐射能量收支状况, 不仅对研究青藏高原热力状况提供资料, 也将对了解高寒草甸生命与非生命系统间的关系, 揭示系统间能量流动及其物质循环的内在规律, 解释高寒草甸植被类型区气候及水分循环等是极为重要的。本文在定位观测一年辐射及各分量资料的基础上, 对祁连山海北高寒草甸植被在生长期辐射能量收支状况给予初步探讨。

1 材料与方法

1.1 自然概况

按中国生态研究网络的要求, 中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站)于1998年起, 对高寒草甸植被净全辐射及各分量连续的进行测定。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河谷, 37°37'N、101°19'E, 海拔3200m。区域多年平均气温-1.7℃。年均降水量580mm, 主要分布于5~9月, 占年降水量的80%。海北站气候上处于“极锋”活动位置的南侧, 冬夏两季大气环流截然不同。地理上属蒙新荒漠、青藏高原、黄土高原三大自然区系交汇处, 又是北方干旱区嵌套的半湿润区域, 日照时间在我国为相对低值区, 气温低, 降水相对丰富。气候表现出冬季漫长、寒冷而干燥, 夏季短暂、凉爽而湿润^[7]。

1.2 研究材料

辐射为离地表1.5m处的观测值, 包括太阳总辐射、地表反射辐射、光合有效辐射、净辐射等; 地表温度指裸露状况下的测定值。所用仪器均由长春气象仪器研究所提供。观测均采用北京时间。日界以国家气象站为标准, 自动采集每1h输出正点前后5min内的平均值及小时内的累积值。本文选择以高寒草甸植物生长期关键期的晴天为例, 分别取植物发芽(返青)期(4月27日)、旺盛生长期(6月18日)和枯黄初期(9月5日)。

1.3 地表辐射收支的描述及计算方案

1.3.1 太阳总辐射、地表反射辐射、大气逆辐射和地表(包括植被冠层和地表面)长波辐射等决定了植被表层的净辐射收支状况, 从而决定地区辐射能量的多少。对某地地面收支的净辐射通量为:

$$F^* = F_{sw} - F_{sw} + F_{lw} - F_{lw} \quad (1)$$

式中: F^* 为地表收支的净辐射通量(辐射收支), F_{sw} 为从空气到下垫面向下入射的太阳短波辐射通量, F_{sw} 为从下垫面到空气中向上射出的太阳短波辐射通量, F_{lw} 为向下的长波辐射通量(或称为大气逆辐射), F_{lw} 为向上的长波辐射通量。单位均取 W/m^2 。

1.3.2 入射太阳短波辐射是太阳直接辐射与漫射太阳辐射之和(太阳总辐射), 具有显著的日和季节变化, 并受云状云量的影响。射出太阳短波辐射是被地面反射的太阳辐射:

$$F_{sw} = A F_{sw} \quad (2)$$

式中A为植被(包括地表面)的反射率。

1.3.3 植被表面的入射长波辐射 F_{lw} 来自大气, 取决于大气温度的垂直分布。一般由两部分组成, 即来自大气本身的热辐射(如低层大气水汽和 CO_2 等贡献)及云的附加加热辐射。对昆仑山地区的入射长波辐射与地面长波辐射间的研究表明, 二者回归关系显著, 可由下列经验式估算^[8]:

$$F_{lw} = 0.68(F_{lw} + 0.1)/S \quad (3)$$

射出长波辐射 F_{lw} 是地表温度高低变化所引起的能量支出。可由斯蒂芬—玻尔兹曼(Stefan-Boltzmann)定律确定^[8]:

$$F_{lw} = S\sigma\theta^4 \quad (4)$$

S为下垫面的相对辐射系数(或称灰体系数), 通常取0.90~0.95。本文为0.95, σ 为斯蒂芬—玻尔兹曼常数, 取 $5.6701 \times 10^{-8} W/m^2/K^{-4}$ ^[9]。 θ 为以绝对温度表示的下垫面温度。

因此, 某地地面的净辐射通量收支为:

$$F^* = (1 - A)F_{sw} - S\sigma\theta^4 + 0.68(F_{lw} + 0.1)/0.95 \quad (5)$$

2 结果与分析

2.1 太阳总辐射季节日变化

太阳总辐射通过大气层时, 将受到大气中的气体、气溶胶、云等的吸收、散射和反射, 一达地表面的部分太阳辐射还存在地球表面(包括植被、水、岩石、冰雪等)所产生的吸收、反射。从而异地由于受下垫面性质的差异, 所接受的太阳辐射差异性显著, 不仅

呈现明显的日变化,而且季节变化也很明显。(图1)总辐射在一日中最大值出现于13h左右,如4月27日、6月18日和9月5日13h分别为909、1037和918 $W \cdot m^{-2}$,6月18日13h太阳总辐射仅比常数(约1360 $W \cdot m^{-2}$)低323 $W \cdot m^{-2}$ 。日间受太阳高度变化,总辐射变化剧烈,从7h到12h,总辐射在5h内约急升840 $W \cdot m^{-2}$ 左右,自16h~20h,4h内急减810 $W \cdot m^{-2}$ 左右,而在中午14h左右的4h

内变化相对平稳,变动幅度约为100 $W \cdot m^{-2}$ 。以上3日对应的日总量分别为25.924、31.690和25.481 $MJ \cdot m^{-2}$,三日平均为27.698 $MJ \cdot m^{-2}$ 。可见高寒草甸植物生长期间,太阳总辐射较高。此外,太阳总辐射在夏至日前后高,其它季节相对低。主要受太阳高度季节变化的影响。实际天气中受云、降水、空气混浊(大气气溶胶)和水汽等因素的影响,有着较大的差异。

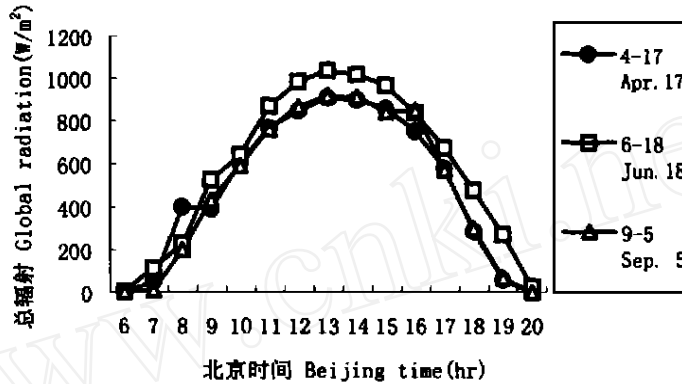


图1 在生长期太阳总辐射日变化

Fig. 1 The daily variation of the total sun radiation ($W \cdot m^{-2}$) in different plant growing season at Haibei research station area

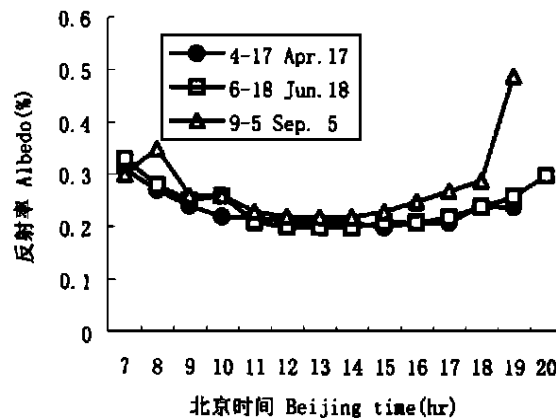


图2 在生长期反射率日变化(%)

Fig. 2 The daily variation of albedo (%) in different plant growing season at Haibei research station area

2.2 短波反射辐射及反射率季节日变化

地表反射辐射表征了地表对太阳总辐射反射状况的大小,反射辐射及其反射率是能量平衡中一个非常重要的因子。虽然反射辐射的量值较小,但它是影响地表能量收支和陆面过程的重要组成部分。绿色植被具有强烈反射近红外辐射的能力,植被演替变化,气候变暖等过程无一不反映在反射辐射及反射率的变化。

2.2.1 海北站反射辐射日变化明显,一般在中午13~14h最大,如4月27日13h和14h分别为192和187 $W \cdot m^{-2}$ 、6月18日13h和14h为207和204 $W \cdot m^{-2}$ 、9月5日13h和14h为197和199 $W \cdot m^{-2}$ 。反射辐射日总量在植物的不同生长期有着明显的差异,其中4月27日日总量为5.695 $MJ \cdot m^{-2}$ 、6月18日为6.954 $MJ \cdot m^{-2}$ 、9月5日为6.25 $MJ \cdot m^{-2}$ 。随夏至日的逼近,太阳高度角加大,

反射辐射随着太阳总辐射的增加而增加。此外也受下垫面性质及云雨天气的改变而发生变化,如9月5日,牧草进入成熟和枯黄初期,植被表面颜色变淡(浅),降水较6~8月减少,土壤水分在年内达最低时期,相对干燥,虽然该期太阳高度与4月24日相差不大,但4月受土壤冻融作用,地下水迁移使地表潮湿。结果9月初反射辐射大于4月,次于6月。

2.2.2 高寒草甸地区植被表面反射率呈明显的日变化(图2),但随着季节的不同日变化略有不同。特别是早晨与傍晚,不同季节变化差异较大,而在中午前后变化趋势较为平稳,差异较小。反射率均在早晨和傍晚大(特别是6~7月),日间相对小些,表现出一浅的“U”型结构分布。表明反射率的大小与太阳高度角、入射的波长关系密切。由于太阳辐射在早晨与傍晚光线到达地表面,需通过较长的路径后,太阳光谱组成及入射角发生变化。表现有太阳高度角低,意味着入射角大,光谱中以长波辐射占较大的比例。同时河北高寒草甸地区的早晚反射率较昆仑山石质沙土高^[8],由于地区植物生长相对茂盛,盖度大,气候相对湿润,较厚植被的存在,在早晚受辐射冷却后,植被表面形成有露水、霜冻等有较高反射率的水面和冰面影响。

2.2.3 反射率在植物不同生长期日变化略有不同,9月5日在0.22~0.49之间变化,日平均为0.27,4月27日在0.21~0.24之间,日平均为0.23,植物旺盛生长季的6月18日在0.20~0.33之间,日平均为0.24;3个代表日的平均为0.25,但在11~16h

平均为0.21,结果与青藏高原广大地区基本一致^[1]。反射率在3个不同时期除早晨和傍晚变化不规则外,牧草枯黄期的9月初>萌动返青的4月末,6~7月,植被反射率较低。表明反射率的季节变化不仅与太阳高度角、入射波长有关,而且与植被覆盖状况、植株高低及土壤干湿程度等因素相关,即地面植被盖度、土壤湿度较大时,反射率较小。同时还受植被的颜色,如开花(色淡),成熟(表层发黄)等因素影响。反射率在植物生长阶段随着时间进程的变化而变化。

2.3 植被、长波辐射、大气逆辐射及地面长波有效辐射季节日变化

2.3.1 海北站地面长波辐射、大气逆辐射、地面有效辐射均较高(表1),如4月27日、6月18日和9月5日,长波辐射随着时间的变化分别在281.5~573.1、299.9~518.7和299.4~526.0W·m⁻²之间,大气逆辐射分别在200.5~410.3、214.6~371.4和214.2~376.9W·m⁻²之间,地面有效辐射分别在79.9~162.9、85.2~147.3和85.0~149.5W·m⁻²之间。三者日最高值均出现于午后14h,分别为539.3、386.2和153.2W·m⁻²,此时地表温度最高,地表辐射最为明显,而日最低值则出现于早晨地表温度最低的4h~6h,三日出现时间略有差异,但日变化与地表温度日变化趋势一致,其日变化幅度表现出长波辐射>大气逆辐射>地面有效辐射。

表1 长波辐射、大气逆辐射及地面有效辐射季节日变化

Table 1 The seasonal daily variation of the long-wave radiation, the atmospheric inversion radiation and the soil surface effective radiation at Haibei research station area

日期 Date		时间(h) Time(h)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4月27日 Apr. 27	F _{lw}	304	293	293	282	324	436	534	573	520	426	348	335	323
	F _{iw}	218	210	210	202	230	312	382	410	372	305	249	240	231
	F _w	86	83	83	80	94	124	152	163	148	121	99	95	92
6月18日 Jun. 18	F _{lw}	309	309	303	300	336	413	474	519	512	457	365	334	318
	F _{iw}	221	221	217	215	241	296	339	372	365	327	261	239	228
	F _w	88	88	86	85	95	117	135	147	145	130	104	95	90
9月5日 Sep. 5	F _{lw}	307	301	299	299	300	351	475	527	518	393	334	311	302
	F _{iw}	220	215	214	214	215	251	340	377	371	282	239	222	216
	F _w	87	86	85	85	85	100	135	150	147	111	95	88	86

注: F_{lw} 为地面长波辐射 The longwave radiation (W·m⁻²) F_{lw} = SσT⁴

F_{iw} 为大气逆辐射 The atmospheric inversion radiation (W·m⁻²) F_{iw} = 0.68(F_{lw} + 0.1)/0.95

F_w 为地面有效辐射 The terrestrial effective radiation (W·m⁻²) F_w = F_{lw} - F_{iw}

2.3.2 海北站地区由于纬度高,太阳高度变化与低纬度地区略有差异,致使地面长波辐射、大气逆辐射及地面有效辐射日变化与拉萨河谷地区有所不同,拉萨地区日最高和最低分别出现于13 h~14 h和清晨4 h,但数值变化与拉萨河谷冬小麦田和五道梁地区基本一致^[10],与黑河沙漠地区相比^[11],稍有偏高,这可能与海拔高、大气透明度高、气溶胶少、空气保温效果差有关。

2.4 地面净辐射收支通量(F^*)的季节日变化及收支状况

表2 植物生长期地面净辐射日变化

Table 2 The daily variations of the soil surface net radiation in different growing season at Haibei research station area

日期 Date	时间(h) Time(h)												
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4月27日 Apr. 27	-143	-130	-146	-121	-17	124	222	215	160	-23	-126	-114	-116
6月18日 Jun. 18	-149	-155	-153	-152	15	279	475	499	373	128	-158	-158	-150
9月5日 Sep. 5	-144	-122	-125	-108	-144	169	328	299	268	-6	-152	134	-140

2.4.2 区域净损失热量时间约在傍晚18 h~翌晨8 h,量值小但维持时间长,地表放热时间长达14 h左右。植物生长不同时期的3天中,变化趋势基本一致,数值差异较小,而且因时间的变化也较为平稳,无明显低值谷区出现,如20 h~翌日6 h净损失热量为108~158W·m⁻²。有趣的是日间得到热量强烈时,夜间则净损失热量也较大,白天得到热量较少时,夜间则净损失热量也较小,如白天地表得到热量在这3日中依次为6月18日、9月5日和4月27日,而夜间净损失热量的季节顺序对应有关时期。

2.4.3 地表净辐射的日、季节变化是太阳总辐射、地面有效辐射及地表反射辐射三者的综合结合,因而具有明显的日、季节变化。季国良等(1996)^[12]认为,对于青藏高原地区,地表净辐射的季节变化主要是受太阳总辐射的季节变化所控制,但对于半湿润地区的海北站地区而言,因降水较为丰富,气温日差较大,早晚温度时常处于0左右,致使地表常出现凝结水现象,可造成较大的地表反射率,因而对于反射率的影响也是至关重要的因子之一。

2.4.1 海北高寒草甸地区净辐射通量基本在早晨的8~9 h到傍晚的18 h左右为正值,长达9~10 h,表明该阶段地表净得到热量,地表处于吸热阶段,受太阳辐射的影响,随着时间进程变化的剧烈,上午上升与下午下降均很迅速。随着季节的不同地表吸热有所不同,在所讨论的3日中,6月离夏至日较近的18日,白天得到热量最为强烈,最高可达499W·m⁻²(14 h),9月5日较6月18日少,最高在12 h,为328W·m⁻²,而4月27日最低,在12 h仅为222W·m⁻²。

3 结语

3.1 海北站地区晴天状况下太阳总辐射日间最大出现于13 h左右,具有明显的日、季节变化,日总量最高可达31.69MJ·m⁻²。

3.2 地表反射辐射日总量在6月最大,9月次之,4月较低。

3.3 反射率均在早晨和傍晚大,日间小,表现出一浅的“U”型结构分布。反射率的大小与太阳高度角、入射的波长有很大的关系。在植物生长期日平均为0.25。

3.4 海北站地区长波辐射、大气逆辐射、地面有效辐射均较高,日最高均出现于午后约14 h,分别为539.3、386.2和152.2W·m⁻²。而日最低出现于早晨地表温度最低的6 h左右。日变化与地表温度日变化趋势一致,表现出长波辐射>大气逆辐射>地面有效辐射。

3.5 海北高寒草甸地区地表净得到热量在夏至日附近最为强烈,6月18日最高可达499W·m⁻²(14 h);区域净损失热量时间约在傍晚18 h~翌晨8 h,净损失热量108~158W·m⁻²。地表净辐射具

有明显的日、季节变化。地表净辐射的季节变化不仅受太阳总辐射的季节变化所控制, 而且反射率的影响也是至关重要。

参考文献

- [1] 季国良 青藏高原地区辐射能收支的观测研究 见: 中国的气候变化与气候影响研究[M]。北京: 科学出版社, 1997. 124~ 131
- [2] 季国良、江灏、邹基玲等 五道梁地区的地面辐射收支特征 见: 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究学述论文年刊(1995) [M]。北京: 科学出版社, 1996. 211~ 217
- [3] 王可丽、钟强 青藏高原地区大气顶净辐射与地表净辐射的关系[J]。气象学报, 1995, 53(1): 101~ 107
- [4] 季国良、邹基玲 干旱地区绿洲和沙漠辐射收支的季节变化[J]。高原气象, 1994, 13(3): 323~ 329
- [5] 钟强 青藏高原地区地气系统太阳辐射能收支的研究[J]。高原气象, 1989, 8(1): 1~ 11
- [6] 高国栋、陆渝蓉 东亚地区的地表面辐射平衡、热量平衡及冷热源问题的研究[J]。大气科学, 1979, 3(1): 12~ 20
- [7] 李英年 海北高寒草甸生态系统定位站气候概述[J]。资源生态环境网络研究动态, 1998, 9(3): 30~ 33
- [8] 翁笃鸣、陈万隆、沈觉成、高家表 小气候和农田小气候[M]。北京: 农业出版社, 1991
- [9] Jose P. Peixoto H. Oort Abraham (吴国雄、刘辉译). 气候物理学[M]。UXYI 科学出版社, 1995. 72~ 103; 172~ 190
- [10] 张宪洲、王辉民、张谊光 青藏高原冬小麦田辐射能流收支的初步研究[J]。应用气象学报, 1997, 8(2): 236~ 241
- [11] 沈志宝、邹基玲 黑河地区沙漠和绿洲的地面辐射能收支[J]。高原气象, 1994, 13(3): 314~ 322

www.cnki.net