

1997/1998 年青藏高原西部地区 辐射平衡各分量变化特征^{*}

巩远发

(南京信息工程大学, 南京, 210044; 成都信息工程学院, 成都, 610041)

段廷扬

陈隆勋

(成都信息工程学院, 成都, 610041) (中国气象科学研究院, 北京, 100081)

何金海

(南京信息工程大学, 南京, 210044)

摘 要

利用中日亚洲季风机制研究计划 1997 年 9 月~1998 年 10 月在青藏高原西部改则和狮泉河 2 个站点自动气象站辐射平衡的观测资料, 分析了高原西部 2 个地区辐射平衡各分量在不同季节的季节平均日变化和年变化特征, 并且还与 1979 年 5~8 月第一次青藏高原气象科学实验的辐射观测资料和 1982, 1983 年青藏高原辐射平衡观测实验的结果进行了比较分析。结果发现: 高原西部辐射平衡各分量的变化不仅有季节之间和年际的差异, 高原西部的不同地区之间的变化也有较大的差异: (1) 总辐射在春夏两季相差很小, 改则春季(3~5 月平均)日变化的极大值甚至比夏季(6~8 月平均)还大; (2) 地表反照率的年际变化及两地之间的差异均可能较大; (3) 大气逆辐射日变化、年变化特征与其他辐射分量明显不同, 其日变化、年变化的位相均晚于其他分量; (4) 两地之间地面辐射平衡的年变化似乎有一个位相差, 改则的月平均最大值和最小值均较狮泉河晚了约 1 个月, 因此从冬季到夏季的大部分时间里, 改则的地面辐射平衡是小于狮泉河的, 而在从夏季到冬季的大部分时间里, 改则是大于狮泉河的。

关键词: 高原西部, 辐射平衡, 日变化, 年变化。

1 引 言

青藏高原约占中国陆地面积的四分之一, 平均海拔在 4000 m 以上, 是世界上最高、地形最复杂的高原, 被称之为地球上的“第三极”。多年来的研究表明, 青藏高原热状况的变化对中国、亚洲以及全球大气环流和天气气候的变化有重要影响。但由于高原上气象台站稀少, 取得的关于高原热状况和天气气候的资料很有限, 详细分析关于高原上气候变化的特征比较困难。为此, 从 20 世纪 70 年代末期开始, 中外气象科学家在高原上进行了一系列的科学考察试验, 如 1979 年的第一次青藏高原气象科学考

察试验(QXPME), 1982~1983 年中国科学院兰州高原大气物理研究所的青藏高原地面辐射平衡和热量平衡观测实验, 1985 年的中美青藏高原科学考察试验, 1993~1999 年的中日亚洲季风机制研究计划青藏高原热量和水分平衡观测研究, 1998 年的第 2 次青藏高原气象科学考察试验(TIPEX)等。在这些实验的基础上, 叶笃正^[1]、章基嘉^[2]对青藏高原的热状况和天气气候进行了系统的研究和总结; 陈隆勋^[3]、赵平^[4,5]计算了高原热源的气候特征及其与东亚气候的关系; 还有其他的一些研究工作^[6~10]分析了高原热源、高原积雪分布和异常与东亚大气环流的关系等。这些研究均表明, 青藏高原地表面加热

* 初稿时间: 2004 年 1 月 19 日; 修改稿时间: 2004 年 7 月 25 日。

资助课题: 国家自然科学基金(40275029)和国家重点基础研究发展规划项目(2004CB418302)。

作者简介: 巩远发, 1963 年生, 男, 四川绵竹人, 在读博士, 教授, 主要从事短期气候异常变化的诊断及模拟研究。

场对中国及东亚地区的大气环流、天气气候以及大范围的旱涝等有着重要的影响。

太阳辐射是地球大气中各种现象和所有物理过程的基本源动力,也是地面热源(汇)的一个重要分量,高国栋^[11]、翁笃鸣^[12]比较全面地研究了中国辐射气候的问题,季国良^[13,14]、袁福茂^[15]、卞林根等^[16]也对高原的辐射平衡的各个分量的变化特征作了一些仔细的分析和研究,但这些研究大多限于一年中夏季的5~9月。我们利用中日亚洲季风机制研究计划青藏高原热量和水分平衡观测研究中1997~1998年的辐射平衡资料,分析了高原西部地区太阳及大气辐射日变化和年变化的一些基本特征。

2 资料简介

中日亚洲季风机制研究计划青藏高原热量和水分平衡的观测研究进行了近6 a,观测研究的前期在高原东部的拉萨、日喀则、那曲和林芝设置了4个自动气象站进行观测;自1997年9月开始,又在高原西部的狮泉河和改则设置了2个自动气象站进行观测,获得了大量的观测资料。观测研究的时间长度、观测的要素量和要素取样的时间间隔均是其他观测实验所不及的^[17]。

研究中使用的资料是1997年9月~1998年12月在高原西部地区2个站的辐射平衡各分量资料,其中包括总辐射、反射辐射、地面长波辐射和大气逆(向下长波)辐射,自动气象站的观测资料是1 min采一次样,1 h获得一个平均值。狮泉河站位于

32°30'N,80°05'E,海拔4278.0 m,改则站位于32°13'N,84°48'E,海拔4414.9 m,两站的环境相差不大,下垫面都是荒漠沙性土层,雨季有几个厘米高的稀疏针叶芽草,其他季节几乎没有植被。用这些资料,较系统地分析和研究了高原西部地区一年的辐射平衡及其各分量变化的一些基本特征,为进一步研究高原的加热作用及其影响提供了一些参考。文中用的时间是90°E的地方时,比北京时晚2 h。

3 总辐射

总辐射是到达地面的太阳直接辐射和天空散射辐射之和,是地球大气中各种天气现象和一切物理过程的基本源动力,其变化对天气和气候的影响非常重要。太阳辐射强是高原西部辐射气候的显著特征,下面的结果也进一步证实了这一点。

3.1 总辐射的季节平均日变化

图1是改则和狮泉河的总辐射在冬季(12月~次年2月)、春季(3~5月)、夏季(6~8月)以及秋季(9~11月)的季节平均日变化。从图中可以看到,两地冬季总辐射平均日变化的极值不到650 W/m²;在春和夏季,两地总辐射平均日变化极值都超过了900 W/m²,狮泉河在夏季则达到了980 W/m²以上;秋季的总辐射仅比冬季稍大,平均日变化极大值只有700 W/m²。从图中还可以看到,春季的日变化与夏季的日变化差异不大,在改则地区,春季的日极值是930 W/m²,甚至比夏季的908 W/m²还大,这是值得分析和研究的现象。两地各个季节总辐射平均日变化的极值都出现在12~13时。

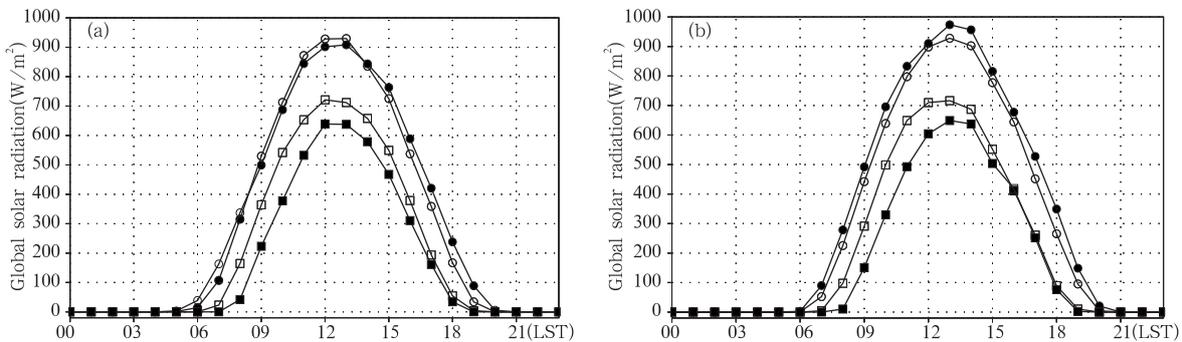


图1 改则(a)和狮泉河(b)地区总辐射在不同季节的平均日变化

(—■—,冬季,—○—,春季,—●—,夏季,—□—,秋季)

Fig.1 The season mean daily circles of global solar radiation in Gaize(a) and Shiquanhe(b) of the Tibet(—■—, winter,—○—, spring,—●—, summer,—□—, autumn)

3.2 总辐射的年变化

表 1 是改则和狮泉河 2 个站 1997/1998 年逐月平均的总辐射和狮泉河 1979 年夏季逐月平均的总辐射。从表中可以看出,1997 年 9 月,改则的平均总辐射约为 247.6 W/m^2 ,狮泉河的平均总辐射约为 251.0 W/m^2 。到冬季时,月平均总辐射逐渐减少,在 12 月份达到最低值,改则的平均总辐射约为 152.5 W/m^2 ,狮泉河的平均总辐射只有 140.4 W/m^2 ,比改则小。春季,月平均总辐射很快增

加,大约在 5 月份就达到或接近年最大值(改则约为 348.5 W/m^2 ,狮泉河约为 346.0 W/m^2),约是冬季的 2.5 倍。之后,从 7 月份开始平均总辐射又逐渐减弱,特别是到 8 月份有非常明显的减少,与 7 月份比改则减少了约 56 W/m^2 、狮泉河则减少了约 50 W/m^2 ,这一点与 1979 年有所不同,如表 1 所示,表中可以看到 1979 年 8 月相对于 7 月是有所增加的。1982/1983 年的结果^[14]也是 8 月相对于 7 月的值是有较大减小的,这和我们的结果是一致的。

表 1 改则和狮泉河两个站 1997/1998 年和狮泉河 1979 年夏季逐月平均的总辐射(W/m^2)

Table 1 The monthly mean global solar radiation of Gaize and Shiquanhe in 1997/1998 and summer of 1979(W/m^2)

	1997/9	10	11	12	1998/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
改则	247.62	204.08	175.81	152.51	154.24	196.82	236.92	302.54	344.36	348.47	312.84	256.56	249.76	212.27
狮泉河	251.02	202.11	175.20	140.37	174.21	204.41	252.24	292.09	346.00	345.63	338.27	288.33	241.98	196.60
狮泉河(1979)										348.62	312.79	320.06		

注:表中狮泉河 1979 年的值取自文献[13]。文献[13]的单位是 $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{d}$,引用时转换为现在通用的国际标准单位,下列各表相同。

4 反射辐射和地表反射率

4.1 反射辐射的季节平均日变化

图 2 给出了高原上改则和狮泉河两地反射辐射在不同季节的平均日变化。从图中可以看到,反射辐射的季节平均日变化趋势在各个季节都与总辐射基本一致,在中午 12~13 时达到最大值。但量值的季节差与总辐射相比则有很大的不同。在改则,各个季节的平均日变化极值相差较小为 $227 \sim 252 \text{ W/m}^2$,相对变化仅 11%;春季日变化极值最大,约 251.8 W/m^2 ;秋季日变化极值最小,约 227.3 W/m^2 ;

冬季还略大于夏季,分别为 235.7 和 231.9 W/m^2 。狮泉河与改则明显不同的是在冬季的 12~14 时,反射辐射的值比其他各季节都大,极值为 250 W/m^2 ,春和夏季的日极值分别为 222.7 和 217.8 W/m^2 ,秋季的日极值最小,仅 166.6 W/m^2 。改则和狮泉河两个地区冬春反射辐射较大的这些现象可能和 1997/1998 冬季高原积雪的异常多^[7~9]有很大的关系。从图上还可以看到,两地夏季反射辐射为零值的时间在早上要比冬季早近 2 h,而在下午要比冬季晚近 2 h,这是说明夏季的日照时间要比冬季长得多。

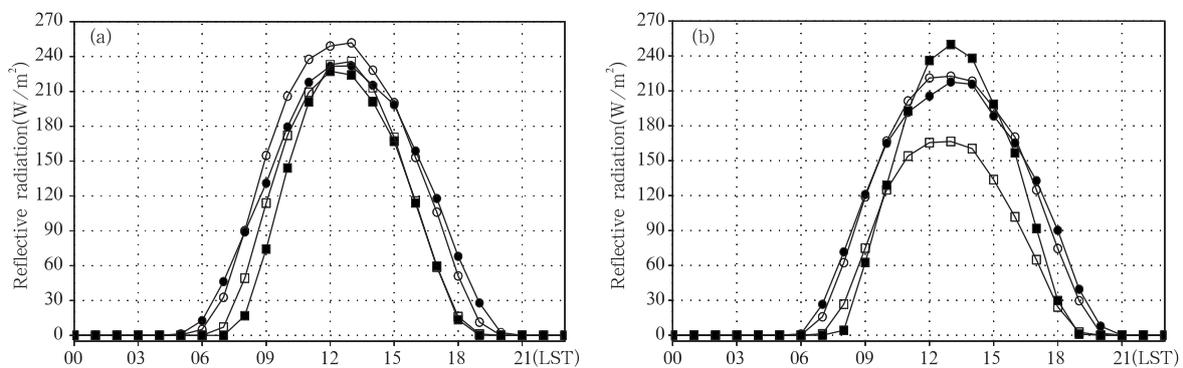


图 2 改则(a)和狮泉河(b)地区反射辐射在不同季节的平均日变化

(—■—,冬季,—○—,春季,—●—,夏季,—□—,秋季)

Fig. 2 Same as Fig. 1, but the reflective radiation(—■—,winter,—○—,spring,—●—,summer,—□—,autumn)

4.2 反射辐射和地表反射率的年变化

由于高原上下垫面性状(包括土壤的湿润程度、

积雪、植被等)等因素在一年中的季节变化比较大,反射辐射的季节变化也很复杂。图 3 是改则和狮泉

河地区从 1997 年 9 月~1998 年 10 月的月平均反射辐射变化曲线。从图上可以看到,高原西部地区反射辐射的季节变化比较复杂:在一年中,反射辐射也在 5,6 月份有最大值,然后随着雨季的到来,土壤湿度的增加,反射辐射的值在 7,8 月份很快减少,冬季的 11 月份达最小值;在 1997 年 12 月份,高原上积雪异常地多^[7~9],反射辐射也异常地大,在狮泉河的月平均值甚至达到了 80.9 W/m²,仅比次年初夏 5 月的月平均年极大值 87.1 W/m² 少 6 W/m²;冰雪消融后,反射辐射又很快减小,改则和狮泉河分别在 1998 年 1,2 月又达最小;春季后,随总辐射的增加和下垫面的影响,反射辐射迅速增加,在 5,6 月达最大值。可能是地表状况的差异,改则和狮泉河的反射辐射变化也有一些差异,如在秋季的 9~10 月期间改则的反射辐射并不像狮泉河那样呈减小趋势,反而还有所增加。

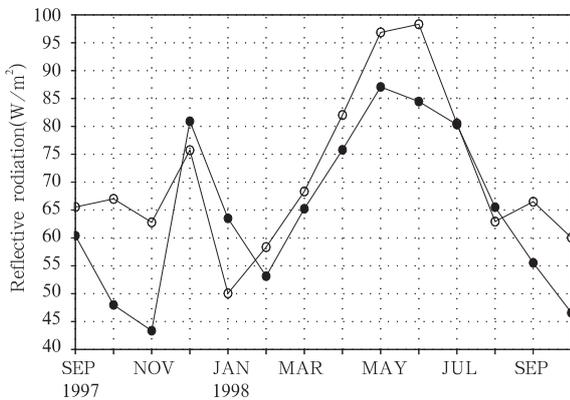


图 3 高原西部两个地区月平均的反射辐射变化 (改则(—○—),狮泉河(—●—))
Fig. 3 The monthly mean reflective radiation Gaize(—○—), Shiquanhe(—●—)

地表反射率是反射辐射与总辐射的比值,其变化和两者都有关系。图 4 是改则和狮泉河地区 1997 年 9 月~1998 年 10 月的月平均地表反射率。从图中可以看到,在 1997/1998 冬季,高原西部地区的地表反射率非常大,12 月份的值达 0.50 以上,狮

泉河的值是 0.58;在其余月份,地表反射率变化反映了下垫面的植被、土壤湿度等特征随季节变化的情况,即春季地表干燥,地表反射率较大,夏季雨季到来后,土壤湿度、植被覆盖增加,地表反射率减小,8 月达到最小,改则和狮泉河的值分别是 0.25 和 0.23。在图 4 中我们还可以发现改则和狮泉河的地表反射率在一年中均有很大的差异,除 1997/1998 冬季的 12,1 月狮泉河的反射率较改则大外,这可能是在这个冬季狮泉河的积雪相对改则要多一些;在其他的月份,均是改则的反射率比狮泉河要大,其年平均值相差约 0.026,这也许是由于高原西部地区下垫面的性质的差异造成的。

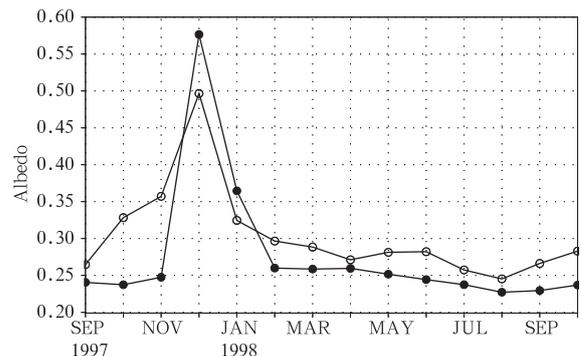


图 4 高原西部两个地区月平均的地表反射率变化 (改则(—○—),狮泉河(—●—))
Fig. 4 Same as Fig. 3, but the Albedo in two area of the western Tibet. Gaize(—○—), Shiquanhe(—●—)

在和 1979 年第一次青藏科学考察实验的观测结果比较时发现,1979 年 7 月的高原西部的反射率是 0.24,为当年夏季的最小值(当然这个值可能就是 1979 年全年的最小值),8 月份的反射率增加到了 0.27,比 5~7 月均大(表 2)。这和 1998 年的情况差别较大,这可能是这两年夏季高原西部雨季结束时间差异较大,1979 年高原西部雨季可能在 7 月份就结束了,1998 年高原西部雨季在 8 月份以后才结束,当然这种差异也可能是其他因素造成的,这也是需要进一步分析的。

表 2 改则和狮泉河两个站 1997/1998 年、改则 1982/1983 年和狮泉河 1979 年夏季逐月平均的地表反射率
Table 2 The monthly mean Albedo of Gaize and Shiquanhe in 1997/1998, 1982/1983 and summer of 1979

	1997/9	10	11	12	1998/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
改则	0.26	0.33	0.36	0.50	0.32	0.30	0.29	0.27	0.28	0.28	0.26	0.25	0.27	0.28
狮泉河	0.24	0.24	0.25	0.58	0.36	0.26	0.26	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.24
狮泉河(1979)									0.25	0.26	0.24	0.27		
改则(1982/1983)	0.254	0.271	0.284	0.300	0.301	0.300	0.328	0.260	0.253	0.244	0.238	0.246		

注:表中狮泉河 1979 年的值取自文献[13],改则 1982/1983 年的值取自文献[15],下列各表相同。

5 长波辐射

长波辐射包括地面放出的长波辐射和大气逆辐射两个分量,是地面辐射平衡和地面热源(汇)两个重要的分量。这里我们就 1997/1998 年的观测结果也进行了分析,并将其同过去的结果进行了比较。

5.1 地面长波辐射

图 5 是高原西部的改则和狮泉河两个地区地面长波辐射在不同季节的平均日变化。从图中可见,改则和狮泉河的地面长波辐射的日变化和季节变化都很大。就日变化而言:两地各个季节的地面长波

辐射均是上午在日出后增加较快,午后 13~14 时达到日最大值,下午减小相对较慢,傍晚日没后缓慢减小,到次日的日出前的早晨达到最小值,日变化呈不对称分布;两地区的春秋两季的日变化还有一个特征是凌晨到日出前(大约 00~06 时)相差很小,日出后到次日凌晨则是春季较秋季大许多。从图 5a 中还可以看到,地面长波辐射在不同的季节也相差很大,改则夏季季节平均日最高值为 532.6 W/m²,冬季只有 337.1 W/m²;狮泉河则分别为 584.4 和 336.4 W/m²,夏季几乎是冬季的两倍。

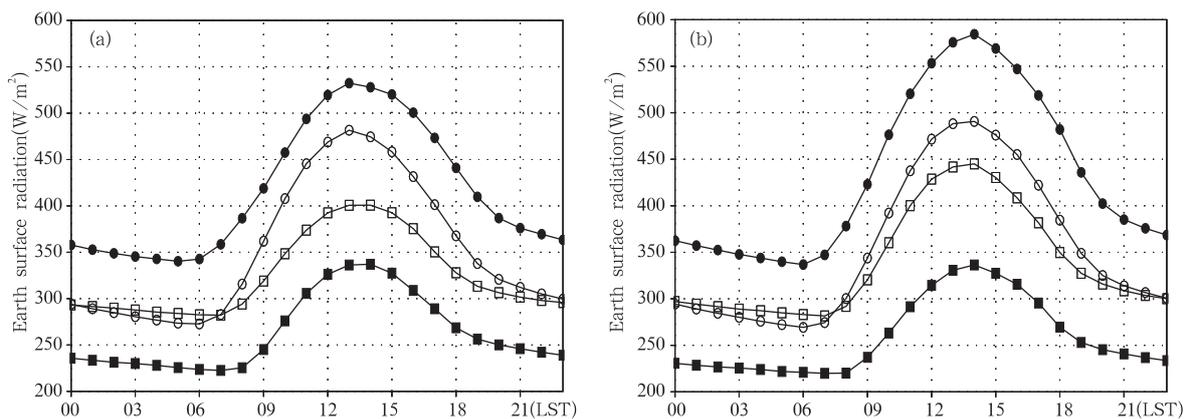


图 5 改则(a)和狮泉河(b)地区的地面长波辐射在不同季节的平均日变化
(—■—:冬季,—○—:春季,—●—:夏季,—□—:秋季)

Fig. 5 Same as Fig. 1, but the earth surface long-wave radiation
(—■—: winter,—○—: spring,—●—: summer,—□—: autumn)

从 1997/1998 年高原西部两个地区逐月平均地面长波辐射(表 3)可见,两地的地面长波辐射月平均值都在冬季的 12 月份处于最低值,然后逐渐增加,到夏季达到最大。改则在 6 月份达到最大值,狮泉河则在 7 月份达到了最大值,这个时间滞后于总辐射的月平均最大值 1~2 月,随后在秋冬季 9~12 月很快减弱到最小值。地面长波辐射在一年中

也呈不对称的变化,从冬到夏增加较慢、从夏到冬减小相对较快,这种变化趋势与总辐射正好相反。另外,与 1979,1982/1983 年的结果比较(表 3)发现:1979 年夏季的值较 1998 年小,但 8 月是夏季的最大值;1982/1983 年中 1~9 月的值都是较 1997/1998 小,最大的在 6 月份小了 48 W/m²;而在 10~12 月较大,12 月份高近 25 W/m²。

表 3 改则和狮泉河两个站 1997/1998 年、改则 1982/1983 年和狮泉河 1979 年夏季逐月平均的地面长波辐射 (W/m²)

Table 3 Same as Table 2, but the monthly mean earth surface long-wave radiation (W/m²)

	1997/9	10	11	12	1998/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
改则	382.58	311.10	280.12	242.00	261.93	287.11	309.27	355.80	390.62	426.12	422.39	397.68	387.12	343.39
狮泉河	397.35	330.46	293.20	238.50	252.35	288.18	313.99	356.96	391.28	416.85	447.63	432.93	407.44	327.57
狮泉河(1979)										404.20	419.66	420.94		
改则(1982/1983)	378.70	324.42	283.68	266.78	260.45	268.28	291.90	326.50	366.55	378.13	405.44	337.15		

注:文献[15]中的单位是 MJ/m²·d,引用时转换为现在通用的国际标准单位,下列各表相同。

5.2 大气逆辐射

大气逆辐射与气温和大气中的水汽含量及云状、云量、云底的温度等因素有密切关系,在晴天条件下,大气主要是空气中的水汽放射的长波辐射。图 6 给出了高原西部的改则和狮泉河 2 个地区大气逆辐射的季节平均日变化。同地面长波辐射相比较,大气逆辐射在各个季节的平均日变化特征有非常大的差别,主要表现为:一是日变化振幅要小得多,约是地面长波辐射的 1/4;二是在白天日变化的趋势与地面长波辐射相差很大,同样都是早晨日出

前是最小值,但日出后大气逆辐射缓慢增加,直到午后的 16~17 时才达到最大值,比地面长波辐射晚了 3~4 h,傍晚前 3~4 h 内很快减小,然后在夜间非常缓慢地减弱到日出前最小;三是大气逆辐射在秋季较春季大,地面长波辐射则是春季较秋季大。此外,夏季和冬季的大气逆辐射相差很大,改则冬季和夏季的季节平均日最高值分别为 196.8 和 300.8 W/m^2 ,狮泉河则分别为 192.4 和 298.7 W/m^2 ;在夏季两地的平均值都比冬季要大近 1 倍。

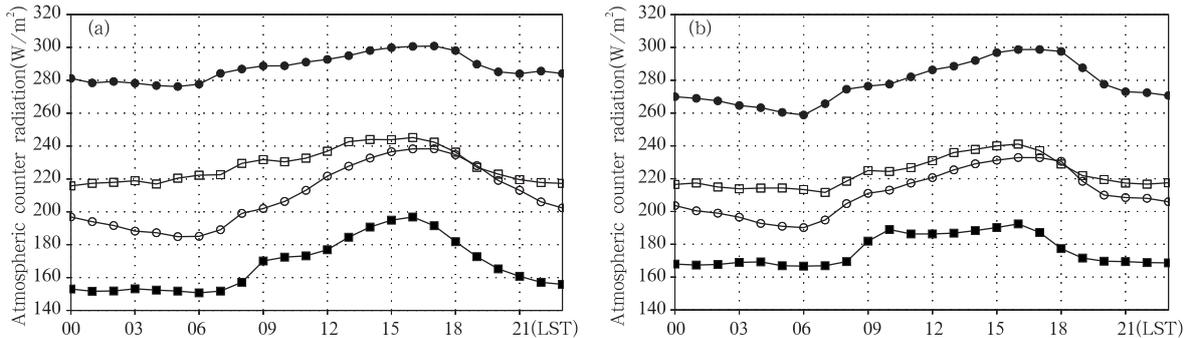


图 6 改则(a)和狮泉河(b)地区的大气逆辐射在不同季节的平均日变化
(—■—,冬季,—○—,春季,—●—,夏季,—□—,秋季)

Fig. 6 Same as Fig. 1, but the atmospheric counter long-wave radiation
(—■—, winter,—○—, spring,—●—, summer,—□—, autumn)

表 4 给出了 1997/1998 年高原西部两个地区逐月平均大气逆辐射。从表中可以看到,在冬季的 1 月份,大气逆辐射处于一年中的最低值,之后的春夏两季中,随着雨季的慢慢到来,空气中水汽也随着增加,大气逆辐射逐渐增强,在夏季末的 8 月份达到最高值,9~11 月迅速减小,到 12 月接近一年中的最低值。将表 4 和 3 比较可以发现,大气逆辐射的年变化趋势基本与地面长波辐射一致,但位相整整晚

了 1 个月;与总辐射相比,大气逆辐射年变化的月平均最大值晚了 2~3 个月,月平均最小值晚 1 个月。

同样,将我们的结果与 1979,1982/1983 年的结果进行了比较,如表 4 所示:1979,1982/1983 年均是在 7 月份是最大值,1982/1983 年在 12 月份是最小值,与地面长波辐射相反,大气逆辐射是 1997/1998 年的 1~6 月较小,7~12 月则是 1982/1983 年较小。导致这些不同年份的差异的原因及其与天气

表 4 改则和狮泉河两个站 1997/1998 年、改则 1982/1983 年和狮泉河 1979 年夏季逐月平均的大气逆辐射 (W/m^2)

Table 4 Same as Table 2, but the monthly mean atmospheric counter long-wave radiation (W/m^2)

	1997/9	10	11	12	1998/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
改则	274.37	226.02	183.71	170.99	160.72	170.86	188.58	213.03	228.02	260.67	293.84	307.29	279.71	241.38
狮泉河	265.06	222.43	185.31	183.04	166.11	179.37	192.36	213.61	227.65	258.39	282.00	292.73	281.19	220.79
狮泉河(1979)										261.27	293.47	277.16		
改则(1982/1983)	246.99	212.62	170.72	167.71	170.26	172.45	189.58	219.56	247.45	266.09	281.72	242.94		

气候变化的联系是值得我们去深入研究和分析的。

变化的共同影响,其表达式是 $F=U-G$,其中 F 表示地面有效辐射, U 为地面长波辐射, G 为大气逆辐射。

6 地面有效辐射

6.1 地面有效辐射的季节平均日变化

地面有效辐射是地面长波辐射与大气逆辐射的差,因此它决定于地面长波辐射和大气逆辐射二者

图 7 是高原西部的改则和狮泉河 2 个地区地面有效辐射的季节平均日变化。在上一节的分析中,

我们可以看到地面长波辐射的量值和季节平均日变化都较大气逆辐射大得多,在图 7 中可以看到地面有效辐射的季节平均日变化的趋势与地面长波辐射的季节平均日变化的趋势很相似,即地面有效辐射的日变化特征主要由地面长波辐射的日变化决定,但白天和晚上的季节差异是不同的,两个地区之间也有很大的差异。具体的讲是:(1)在白天,季节之间的量值差异很大,改则是春季最大,季节平均日最

大值是 253.9 W/m^2 ,夏季小于春季,季节平均日最大值是 237.4 W/m^2 ,秋季稍大于冬季,季节平均日最大值分别是 158.1 和 151.8 W/m^2 ;狮泉河则是夏季最大,季节平均日最大值是 292.4 W/m^2 ,春季次之,季节平均日最大值是 262.8 W/m^2 ,秋季较大,季节平均日最大值分别是 207.2 和 148.1 W/m^2 。(2)在晚上,季节之间的量值差异很小 $50 \sim 100 \text{ W/m}^2$,季节差仅 $30 \sim 40 \text{ W/m}^2$ 。

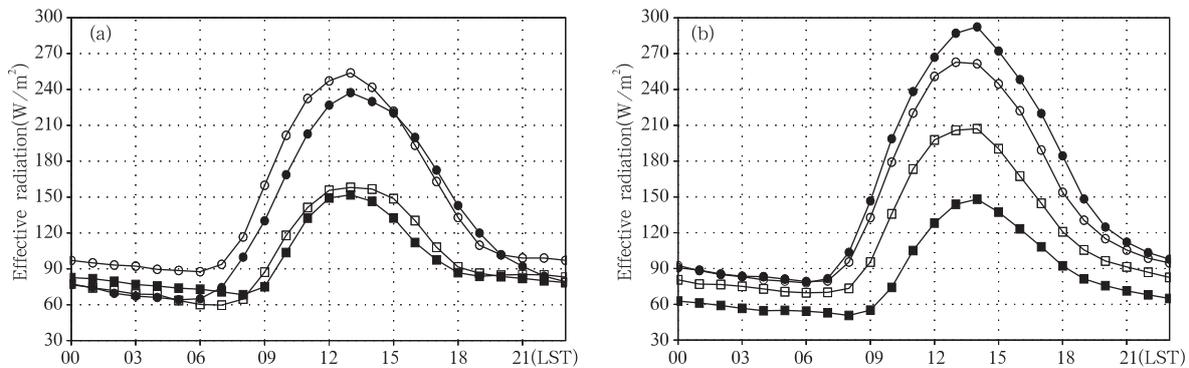


图 7 改则(a)和狮泉河(b)地区的地面有效辐射在不同季节的平均日变化

(—■—,冬季,—○—,春季,—●—,夏季,—□—,秋季)

Fig. 7 Same as Fig. 1, but the earth effective radiation

(—■—, winter,—○—, spring,—●—, summer,—□—, autumn)

6.2 地面有效辐射的年变化

由表 5 可见,地面有效辐射的年变化同地面长波辐射的年变化基本一样,即在一年中的 12 月份是最小值,6,7 月份是最大值,但在不同的月份两个地区之间的差异有时可以很大,有时差异又是很小,如

冬季的 12,1,2 月改则的值大于狮泉河的值,相差 $10 \sim 15 \text{ W/m}^2$;春季的 3~5 月两个地区相差很小;1998 年的 7,8 月改则的值大大小于狮泉河的值,相差了 $40 \sim 50 \text{ W/m}^2$ 。同 1982/1983 年比较发现,地面有效辐射在 1997/1998 年的 1~7 月比 1982/1983

表 5 改则和狮泉河两个站 1997/1998 年、改则 1982/1983 年和狮泉河 1979 年夏季逐月平均的地面有效辐射 (W/m^2)

Table 5 Same as Table 2, but the monthly mean earth effective radiation

	1997/9	10	11	12	1998/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
改则	108.22	85.09	96.41	71.01	101.21	116.26	120.69	142.77	162.60	165.46	128.55	90.40	107.41	102.02
狮泉河	132.28	108.03	107.8	55.46	86.24	108.81	121.63	143.30	163.60	158.46	165.62	140.21	126.25	106.78
狮泉河(1979)										142.92	126.19	143.78		
改则(1982/1983)	131.71	111.81	112.96	99.07	90.39	95.83	102.31	106.94	119.10	112.04	123.73	94.21		

年要大得多,特别是在 6 月份大了 53 W/m^2 ,8~12 月比 1982/1983 年要小。

7 地面辐射平衡

地面辐射平衡方程为: $B = Q(1 - A) - F = Q - R_k - F$,式中 B 为地表净辐射、 Q 为总辐射、 A 为地表反射率、 R_k 为地表反射辐射、 F 为地面有效辐射。由方程可以看出,决定地面辐射平衡的因素包括作为能量收入部分的总辐射和能量支出部分的

地表反射辐射与地表有效辐射。由于晚上的总辐射和地表反射辐射为零,所以晚上的地面辐射平衡只与地面有效辐射有关,即是地面有效辐射的反号。

7.1 地面辐射平衡的季节平均日变化

由图 8 可见:地面辐射平衡受太阳总辐射、下垫面反射率和地面有效辐射的综合影响,同样有明显的日变化特征。主要表现为:白天由于总辐射远大于其他辐射各分量,它对辐射平衡起着支配作用,辐射平衡的值大部分时间为正,在中午前后 12~13 时

达到最大值,约在日没前的1h左右变为负值;傍晚日没后1~2h内(约20时)为最小值;晚上缓慢增加,到日出时很快增加,日出后的1h左右变为正值。季节平均日变化的季节差异主要表现在白天,两个地区都是春夏最强、夏天稍大,秋季次之、冬季

最弱。两地之间的季节差异很小,如改则和狮泉河夏季的季节平均日最大值分别是443.2和468.9 W/m²,差值仅25 W/m²,相对差只有5%,冬季的季节平均日最大值分别是256.9和255.3 W/m²,相差不到2 W/m²。

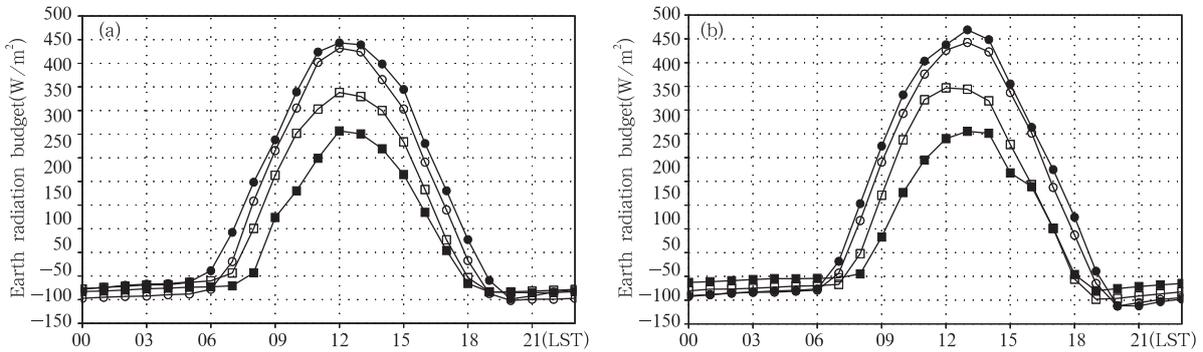


图8 高原西部不同地区的辐射平衡在不同季节的平均日变化

(—■—,冬季,—○—,春季,—●—,夏季,—□—,秋季)

Fig. 8 Same as Fig. 1, but the earth radiation budget(—■—, winter,—○—, spring,—●—, summer,—□—, autumn)

7.2 地面辐射平衡的年变化

表6是1997/1998年高原西部两个地区逐月平均地面辐射平衡。与其各分量比较,地面辐射平衡同样有较大的年变化,但2个地区似乎有一个位相差,狮泉河在12月达年最小值、6月达到年最大值,改则在1和7月才分别达到最小值和最大值,改则比狮泉河晚了1个月;这样导致在从冬季到夏季的

大部分时间里,改则的地面辐射平衡是小于狮泉河的,而在从夏季到冬季的大部分时间里则是相反的,改则是大于狮泉河的。另外,从图中还可以看到,两个地区一年中各月的地面辐射平衡均为正,这也是与1982/1983年的观测结果不同的,1982/1983年11月和12月的结果是负,其值分别为-2.71和-7.02 W/m²。

表6 改则和狮泉河两个站1997/1998年和狮泉河1979年夏季逐月平均的辐射平衡(W/m²)

Table 6 Same as Table 1, but the monthly mean earth radiation budget (W/m²)

	1997/9	10	11	12	1998/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
改则	73.87	51.99	16.61	5.77	2.97	22.20	47.90	77.74	84.90	84.69	103.76	103.22	75.86	50.20
狮泉河	58.34	46.10	23.95	3.99	24.46	42.47	65.37	72.93	95.27	102.71	92.32	82.61	60.20	43.24
狮泉河(1979年)										109.00	107.66	90.31		

8 小结

用1997年9月~1998年10月改则、狮泉河两站一年的资料分析了高原西部辐射平衡各分量在不同季节的日变化和年变化情况,并将所得结果与1979,1982/1983年的观测结果进行了一些简单的比较,揭示了一些关于高原辐射状况的一些新的事实,相对于过去了解的情况更进了一步。

(1) 总辐射的季节平均日变化在两地有一定的差异。在改则,春季(3~5月平均)日变化的极大值甚至比夏季(6~8月平均)还大,狮泉河则是夏季日变化的极值最大。月平均总辐射年变化在两地之间相差不大,

都在5~6月就达到年最大值,约346~348 W/m²,12月~次年1月为年最小值仅140~152 W/m²。

(2) 反射辐射的季节平均日变化在两地也有差异。改则的季节差异很小;狮泉河的季节差异则要大多,在冬季的12~14时3个时次的值最大,均超过了其他3个季节的平均日变化极值,秋季则很小。两地月平均反射辐射同样也有差异,如在1997年12月,狮泉河有非常大的反射辐射,其值仅比次年5月份的年最大值小6 W/m²左右。这可能与1997/1998年冬季高原西部地区积雪异常多有关。

(3) 两地的地表反射率差异很大,改则的年平均反射率比狮泉河要大约0.026。冬季的地表反射

率比夏季大得多,改则、狮泉河 1997 年 12 月的反射率分别达到 0.5 和 0.57;8 月份雨季结束时反射率最小,分别是 0.24 和 0.23。

(4) 地面长波辐射的日变化和年变化都非常大,两地之间的差异也很明显。日变化明显的不对称,日出后增加非常快,约在午后 1 h 达最大,但到次日日出前才达最小;季节平均的日极值差异很大,夏季几乎是冬季的两倍。月平均的地面长波辐射在 12 月最小,同总辐射基本相当;但最大值出现在 6~7 月,比总辐射晚了 1~2 月。

(5) 大气逆辐射日变化、年变化特征与其他辐射分量明显不同。相对来说,大气逆辐射的日变化振幅要小得多,并且其最大值在午后的傍晚前才出现,比地面长波辐射晚了 3~4 h,日出前为最小值。月平均的极大值 8 月份才出现,相对于总辐射晚了 2~3 个月,比地面长波辐射也晚了 1~2 个月,而月平均的最小值出现在 1 月,比其他辐射分量晚 1 个月。

(6) 地面有效辐射的季节平均日变化在白天的季节差异很大,晚上的季节差异却很小,并且两个地区之间也有很大的差异。

(7) 改则与狮泉河之间地面辐射平衡的年变化似乎有一个位相差,改则的月平均最大值和最小值均较狮泉河晚了约 1 个月,因此从冬季到夏季的大部分时间里,改则的地面辐射平衡是小于狮泉河的,而在从夏季到冬季的大部分时间里则是相反的,改则是大于狮泉河的。

总之,本文的结果虽然仅是 1997/1998 年一年的情况,但同过去大多仅用 5~9 月的资料分析得到的结果比较,还是有一些新的及值得注意的事实供我们研究。

参考文献

- [1] 叶笃正,高由禧. 青藏高原气象学. 北京: 科学出版社,1979. 1~250
Ye Duzheng, Gao Youxi. Tibet Plateau Meteorology. Beijing: China Science Press, 1979. 1-250
- [2] 章基嘉,朱抱真,朱福康等. 青藏高原气象学进展. 北京: 科学出版社,1988. 1~250
Zhang Jijia, Zhu Baozhen, Zhu Fukang, et al. Advances in Tibet Plateau Meteorology. Beijing: Science Press, 1988. 1-250
- [3] 陈隆勋,段廷扬,李维亮. 1979 年夏季青藏高原上空大气热源的变化及大气能量收支特性. 气象学报, 1985, 43(1):1~11
Chen Longxun, Duan Tingyang, Li Weiliang. Changes of the atmospheric heat source and budget of the energy over Qinghai-Xizang Plateau in summer of 1979. Acta Meteorological Sinica(in Chinese), 1985,43(1): 1-11
- [4] 赵平. 青藏高原热源状况及其与海气关系的研究: [博士学位论文]中国气象科学研究院. 1999
Zhao Ping. Research of the heating climate features over the Qinghai-Xizang Plateau and its correspondence with Sea-Air: [Doctor dissertation]. Chinese Academy of Meteorological Science. 1999
- [5] 赵平,陈隆勋. 35 年来青藏高原大气热源气候特征及其与中国降水的关系. 中国科学 D 辑, 2001, 31(4):327~332
Zhao Ping, Chen Longxun. Climate features of atmospheric heat source/sink over Qinghai-Xizang Plateau in 35 years and its relation to rainfall in China. Science in China (Series D) (in Chinese), 2001,44(9): 858-864
- [6] 简茂球,罗会邦. 1998 年青藏高原东部及其邻近地区大气热源与南海夏季风建立的关系. 高原气象, 2001, 20(4):381~387
Jian Maoqiu, Luo Huibang. Heat source over Qinghai-Xizang Plateau and surrounding areas and their relationships to onset of SCS summer monsoon in 1998. Plateau Meteorology (in Chinese), 2001,20(4): 381-381
- [7] 陈烈庭. 青藏高原异常雪盖和 ENSO 在 1998 年长江流域洪涝中的作用. 大气科学, 2001, 25(2):184~192
Chen Lieting. The role of the anomalous of snow cover over the Qinghai-Xizang Plateau and ENSO in the great floods of 1998 in the Changjiang river valley. Chinese Journal of Atmospheric Sciences(in Chinese), 2001, 25(2): 184-192
- [8] 张顺利,陶诗言. 青藏高原积雪对亚洲夏季风影响的诊断及数值研究. 大气科学, 2001, 25(5):372~390
Zhang Shunli, Tao Shiyan. Influences of snow cover over the Tibetan Plateau on Asia summer monsoon. Chinese Journal of Atmospheric Sciences(in Chinese), 2001,25(2): 372-390
- [9] Li Guoping, Lu Jinhua, Jin Bingling, et al. The effects of anomalous snow cover of the Tibetan plateau on the surface heating. Advances in Atmospheric Sciences, 2001, 18(6): 1207-1214
- [10] 杨修群,张林娜. 1988~1998 年北半球积雪时空变化特征分析. 大气科学, 2001, 25(6):757~766
Yang Xiuqun, Zhang Linna. An investigation of temporal and spatial variations of 1988-1998 snow cover over the Northern Hemisphere. Chinese Journal of Atmospheric Sciences(in Chinese), 2001,25(6): 757-766
- [11] 高国栋,陆渝蓉. 中国地表面辐射平衡与热量平衡. 北京: 科学出版社,1981. 1~50
Gao Guodong, Lu Yurong. Budgets of the Earth Surface Radiation and Heating in China. Beijing: Science Press, 1981. 1-50
- [12] 翁笃鸣. 中国辐射气候. 北京: 气象出版社,1997. 1~363
Weng Duming. Radiation Climate in China. Beijing: China Mete-

- orological Press, 1997. 1-363
- [13] 季国良,袁福茂,水登朝. 高原西部的辐射状况. 见:青藏高原气象科学实验文集(一). 北京:科学出版社,1984. 10~22
Ji Guoliang, Yuan Fumao, Shui Dengchao. Radiation conditions in the Western Tibet. In: The Collectives of the Qinghai-Xizang Plateau Meteorological Experiment (1). Beijing: Science Press, 1984. 10-22
- [14] 季国良,江灏,吕兰芝. 青藏高原的长波辐射特征. 高原气象, 1995,14(4):451~458
Ji Guoliang, Jiang Hao, Lu Lanzhi. Characteristics of long wave radiation over the Qinghai-Xizang Plateau. Plateau Meteorology(in Chinese), 1995,14(4):451-458
- [15] 袁福茂. 青藏高原改则地区辐射特征. 高原气象,1885,4(增刊):36~49
Yuan Fumao. Characteristics of the radiation over the Gaize region in the Qinghai-Xizang Plateau. Plateau Meteorology (in Chinese), 1985, 4(Suppl.):36-49
- [16] 卞林根,陆龙骅,遂昌贵等. 1998年夏季青藏高原辐射平衡分量特征. 大气科学,2001,25(5):577~588
Bian Lingen, Lu Longhua, Lu Changgui, et al. Characteristics of radiation balance components of the Tibetan Plateau in the summer of 1998. Chinese Journal of Atmospheric Sciences(in Chinese), 2001,25(5): 577-588
- [17] 巩远发,段廷扬,陈隆勋等. 中日亚洲季风机制合作研究计划青藏高原观测研究概况. 成都气象学院学报,1997, 12(1): 18~27
Gong Yuanfa, Duan Tingyang, Chen Longxun, et al. Outline of observational study of PRC-Japan cooperative program on Asian monsoon over Tibetan Plateau. Journal of Chengdu Institute of Meteorology(in Chinese), 1997,12(1): 18-27

THE VARIATION CHARACTERISTICS OF RADIATION BUDGET COMPONENTS OF THE WESTERN TIBETAN PLATEAU IN 1997/1998

Gong Yuanfa

(*Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044;*
Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610041)

Duan Tingyang

(*Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610041*)

Chen Longxun

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

He Jinhai

(*Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044*)

Abstract

Based on the Automatic Weather Station (AWS) radiation budget observation data of China-Japan Asia Monsoon Mechanism Project on the western Tibetan Plateau in September 1997 and October 1998, the season-mean diurnal variation and annual variation features of the radiation budget components were analyzed on the Gaize and Shiquanhe stations of the west plateau. The results were compared to the Qinghai-Xizang Plateau Meteorological Experiment (QXPME) in 1979 and the Plateau heat-source experiment in 1982 and 1983. It shows that the radiation budget components of the western plateau are found except the differences of its seasonal and annual changes, the differences between the regions are probably very important too. For example, (1) the global solar radiation difference between the spring (average from March to May) and summer (average from June to August) were very small, the spring mean diurnal variation maximum was larger than that of the summer at Gaize station; (2) due to the influence of the earth surface

condition, the differences of surface albedo were very large in different areas or different years. In December 1997, the values of albedo were as much as 0.5 and 0.57 at Gaize and Shiquanhe, respectively. Their values were 0.24 and 0.23 in August, they were the minimum in annual variation. But in 1979, the albedo was the smallest in July, the value was 0.24, it increased to 0.27 in August. The albedo values of two stations were different, the annual-mean albedo at Gaize station was 0.02 more than that of Shiquanhe; (3) the diurnal and annual variation of the atmospheric counter radiation were different with other components, the phases of the diurnal maximum was 3-4 hours late than global solar radiation and earth surface radiation, the month-mean maximum was 1-2 or 2-3 months late than global solar radiation and earth surface radiation, respectively; (4) the month-mean maximum and minimum of Gaize station were about 1 month late than Shiquanhe, therefore, the radiation budget at Gaize were almost less than Shiquanhe from winter to summer, but they were reverse from summer to winter.

Key words: Western Tibetan Plateau, Radiation budget, Daily circle, Annual circle.

《气候变化研究进展》创刊启事

由中国气象局国家气候中心主办的综合性学术刊物《气候变化研究进展》(双月刊),已于 2005 年 3 月 1 日经新闻出版总署正式批准创刊,创刊号将于 2005 年 5 月底正式出版。

《气候变化研究进展》办刊宗旨是:刊登与气候变化相关的跨学科的研究进展,介绍国内外有关气候变化重大活动信息,促进气候变化研究的学科发展,并推动研究成果在社会经济可持续发展、适应和减缓气候变化措施制定、气候政策与环境外交谈判、生态环境改善、资源保护和高效利用等方面的应用。

《气候变化研究进展》主要发表国内外气候变化研究的最新成果与进展,以及与气候变化有关的交叉学科,如地球科学、生态、环境科学、人文、社会科学等方面的最新研究论文;报道全球变化最新的观测事实、重要信息及应对全球气候变化的适应、减缓措施和技术研究成果等;及时反映与气候变化相关的各类国际、国内重大活动、重大科技计划及国际环境外交谈判的信息。主要栏目有:“科学论文”、“研究短论”、“动态快讯”、“学术争鸣”、“对策建议”、“科学知识”和“书评”等。

《气候变化研究进展》适宜相关政府工作人员、气候变化及其相关领域的科研、业务人员以及大专院校师生阅读,关注气候变化的公众也可从中获取有用的信息及知识。

2005 年将出版 4 期(5 月、7 月、9 月、11 月),每期定价 12 元,2005 年全年 48 元。期刊开本大 16 开,每期 48 页,铜版纸印刷,气象出版社出版,国内外公开发行。它将以丰富的科学内容,严谨的科学作风和多彩的办刊风格呈现在读者面前,并竭诚为广大读者服务。

欢迎投稿,期刊接受邮寄或 E-mail 电子文件投稿!

欢迎订阅!随时订阅,随时寄送!

订阅方式:邮局汇款或到编辑部订阅,由财务部门开具发票

联系地址:北京市海淀区中关村南大街 46 号国家气候中心《气候变化研究进展》编辑部

邮 编:100081

联系人:苗秋菊

电话:010-58995171

E-mail: accr@cma.gov.cn