

# 青藏高原西部冬季地表净辐射 与中国降水的关系<sup>1)</sup>

季国良 徐荣星<sup>2)</sup>

(中国科学院兰州高原大气物理研究所)

## 提 要

本文利用1982年8月~1983年7月在青藏高原地区进行的辐射平衡观测资料,计算了高原西部地区历年冬季(11~2月)的地表净辐射。通过对高原西部冬季地表净辐射的分析,阐明了高原西部地表加热场的特征,并讨论了它与我国的西南秋雨、长江流域伏旱以及黄河上游雨季降水等的关系。

**关键词** 地表净辐射 地表加热场 西南秋雨 伏旱

青藏高原地表加热场对我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,为此多年来我国气象工作者进行了多方面的研究<sup>(1~4)</sup>。为了探索这种影响,人们以雪盖、雪线、冻土层或气温的变化等作为青藏高原地表面加热场的指标,作者之一曾以高原地表净辐射作为地表加热场强度,研究了它与气候年际变化的关系<sup>(5)</sup>。本文基于同样的考虑,利用1982年8月~1983年7月青藏高原热源野外考察期间所获得的资料,推算了高原西部历年冬季11~2月的地表净辐射距平值,研究高原西部地表净辐射的年际变化规律,并讨论高原西部地表加热作用对我国降水的影响。

## 1、高原西部地表净辐射的年际变化特征

由于高原地区辐射台站稀少,没有现成的地表净辐射实测资料,为此,我们利用1982年8月~1983年7月在青藏高原西部改则所取得的地表净辐射资料,拟合得到了高原西部地表净辐射距平与常规气象资料间的经验关系式

$$B = b_1 S_0 + b_2 (\sqrt{e}) + b_3 (T_0 - T) \quad (1)$$

其中

$$B' = B_i - \bar{B} = \Delta B, \quad S_0' = S_{0i} - \bar{S}_0, \quad (\sqrt{e})' = (\sqrt{e_i}) - (\sqrt{e}), \\ (T_0 - T)' = (T_{0i} - T_i) - (\bar{T}_0 - \bar{T})$$

式中  $B'$  即为所要求的旬平均地表净辐射日总量距平,单位为  $\text{MJ}/\text{m}^2$ ;  $S_0'$  为大气上界

<sup>1)</sup> 1989年1月25日收到,4月15日收到修改稿。

<sup>2)</sup> 现在在中国民航首都国际机场气象台预报室工作。

太阳辐射的日总量距平, 单位为  $\text{MJ}/\text{m}^2$ ;  $e$  为近地层实际水汽压, 单位为  $\text{hPa}$ ;  $T_0$  和  $T$  分别为地面零厘米和百叶箱的温度, 单位  $^{\circ}\text{C}$ ; 下标  $i$  表示计算的年份;  $b_1, b_2, b_3$  分别为经验系数。式中既考虑了地-气温差(与地面加热场的计算式<sup>(6)</sup>相似), 又考虑了湿度的影响。经计算比较: (1)式右端的各项均为同一量级。(1)式的复相关系数为 0.98, 置信度超过了 0.05。

为延长资料序列, 对于改则无资料的年代, 文中利用了与改则地理位置相近, 海拔高度相差不大, 同属荒漠地带且气候条件大致相同的狮泉河站资料进行订正。分析表明两站有关气象要素的相关系数在 0.70 以上, 置信度超过了 0.001, 因此可以认为这样的订正是合理的。

利用(1)式计算得到了高原西部地区 1962~1981 年历年冬季 11~2 月地表净辐射距平累加值的年际变化曲线(见图 1)。

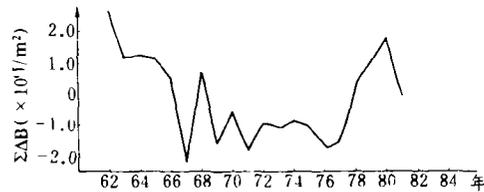


图 1 高原西部地区 1962—1981 年历年 11—2 月地表净辐射距平累加值变化曲线

Fig. 1 Variation curves for the accumulation of anomalies of surface net radiation in the western Plateau during the period from Nov. to Feb. of 1962 to 1981.

为了便于分析, 我们把 1982~1983 年高原热源观测得到的同时期地表净辐射的距平累加值也点入图 1 中。由图 1 看到, 1962 年冬季(即 1961 年 11, 12 月和 1962 年 1, 2 月, 下同)及 1964, 1968, 1970, 1980, 1983 年冬季青藏高原西部是较明显的净辐射距平累加值的大值年, 而 1963, 1967, 1969, 1971, 1976, 1977 和 1981 年则是小值年。比较发现, 高原西部地表净辐射的大值年恰好对应着高原主体的“多雪年”<sup>(7)</sup>和“低温年”<sup>(7)</sup>(同号率为  $5/6=83\%$ ); 小值年则与高原主体的“少雪年”和“暖年”相对应(同号率为  $6/7=86\%$ )。

由于高原西部气象台站稀少, 因此在陈烈庭<sup>(7)</sup>和郑世京、黄福均<sup>1</sup>的分析中, 所谓高原多雪年和低温年均是指高原东部和中部。而本文计算得到的是高原西部 11~2 月地表净辐射的距平累加值序列, 与郑世京等 12~5 月那曲等 8 站<sup>1</sup>的气温距平累积值及 12~5 月拉萨气温距平累积值比较, 均为负相关, 相关系数分别达 -0.77 和 -0.71。另外以 1983 年为例, 实际测得 1982~1983 年冬季高原西部地表净辐射为非常显著的高值年, 而同期在高原中、东部则是雪盖时间异常长的一年<sup>(8)</sup>; 那曲等 8 站及拉萨、成都

①郑世京、黄福均, 青藏高原热状况对南亚高压及其对长江上游雨季旱涝的影响, 成都中心气象台, 气象科学技术报告, 第 6 号, 1985 年。

各月的温度距平连续呈现负距平, 累积距平达到 $-7.9^{\circ}\text{C}$ ①。从而揭示了这样一个事实: 高原西部地面加热场与高原其它地区似有相反的变化趋势。进一步的分析表明: 高原西部冬季地表净辐射与降水呈正相关。这说明冬季高原西部由于降雪量很少, 很难形成稳定的雪盖或雪盖时间较短, 积雪区域很小, 使得因降水造成的地表反射率的增大不明显; 另一方面, 由于降水天气天空云量多, 有效辐射较小, 从而造成地面净辐射随降水的增加而有增大的趋势。在高原其它地区则由于冬季降雪造成地面积雪范围较大, 积雪时间较长, 使得雪面反射率很大, 从而造成地表净辐射迅速减小。姚兰昌<sup>(9)</sup>的计算也表明, 就1961~1970年10年平均而言, 高原西部和印度斯利那加10~5月大气加热场为热源, 与高原其它部分正好相反。

表 1 高原西部冬季地表净辐射距平与 100 hPa 青藏高压上高原日期

Table 1. The anomalies of surface net radiation in the Western Plateau in winter and the dates of the 100 hPa Qing-Zang High moving into the Plateau.

年 份	改则 11~2 月 $\Sigma B(\text{MJ}/\text{m}^2)$	青藏高压上高 原时间 <sup>(10, 11)</sup>	与平均日期 (10/6)比较
1967	-2.02	5/6	早
1971	-1.75	4/6	早
1976	-1.70	25/5	早
1969	-1.59	26/5	早
1977	-1.47	21/6	晚
1973	-1.14	8/6	早
1975	-1.08	10/6	早
1972	-0.91	10/6	早
1974	-0.89	31/5	早
1970	-0.61	10/6	早
1981	-0.04	10/6	早
1978	0.39	3/6	早
1966	0.45	15/6	晚
1968	0.70	2/6	早
1979	1.04	17/6	晚
1963	1.18	(1/6)	早
1980	1.83	21/6	晚
1965	1.88	13/6	晚
1964	1.96	(1/6)	早
1983	2.17	29/6	晚
1962	2.67	14/6	晚

① 郑世京、黄福均, 1983年青藏高原热状况及其环流和我国天气气候特征, 国家气象科学研究院, 气象科学技术报告, 第148号, 1984年。

另外, 将本文计算的高原西部地表净辐射距平累加值序列与文献[5]中计算的 5~8 月高原西部地表净辐射距平累加值序列相比较, 发现两者有较好的负相关, 相关系数为  $-0.47$ , 置信度可达  $0.05$ 。这说明, 就高原西部而言, 冬夏季的地表净辐射也呈现相反的变化, 冬季地表净辐射异常偏高时, 夏季地表净辐射就较低。对于高原中、东部, 过去的研究<sup>[7]</sup>已经表明, 其冬夏变化趋势是一致的。

由此可见, 高原西部地表净辐射距平场有两个极为明显的特征: 一是高原西部冬季地表加热距平场与高原中、东部的加热距平场呈相反的变化趋势; 二是冬季加热距平场与夏季加热距平场反向。

## 2、高原西部地表净辐射与东亚环流

### 2.1、对 100 hPa 青藏高压的影响

表 2 高原西部 2 月地表净辐射距平与青藏高压脊线及西南季风开始日期

Table 2 The anomalies of surface net radiation in the Western Plateau in Feb., the positions of the axes of ridges of Qing-Zang High and the onset dates of the South-West Monsoon.

年 份	改则 2 月净辐射距平	次年 7 月 100 hPa 脊线 在 90° E 的平均位置	与多年平均 (32.8°) 比较	当年西南季风在 孟买的开始日期	与多年平均 (12/6) 的比较
1974	-0.70	32.1	南	24/6	晚
1975	-0.66			18/6	晚
1977	-0.57			21/6	晚
1967	-0.48	32.4	南	15/6	晚
1978	-0.31			22/6	晚
1969	-0.25	32.4	南	5/6	早
1961	-0.17	32.2	南	10/6	早
1973	-0.12	31.6	南	8/6	早
1972	-0.12	32.7	南	21/6	晚
1971	-0.07	32.0	南	29/5	早
1976	0.04			5/6	早
1968	0.07	32.5	南	14/6	晚
1970	0.11	34.4	北	2/6	早
1966	0.31	33.5	北	12/6	早
1979	0.34			19/6	晚
1963	0.41	32.7	南	6/6	早
1964	0.45	31.4	南	12/6	早
1965	0.56	32.1	南	15/6	晚
1962	0.91	35.6	北	29/5	早

图 1 中我们将地表净辐射距平累加值的峰值年 1962, 1968, 1980, 1983 称为高原西部地表净辐射的高值年, 1964 年虽不为峰值, 但其距平累加值也较前后几年的值为

大,故本文也将1964年列为地表净辐射的高值年;将曲线的低谷年份1963,1967,1969,1971,1976年称为高原西部地表净辐射的低值年。分析高值年和低值年5,6月份100 hPa平均图发现,在高值年,5月1660位势什米线所围面积比低值年要小得多,说明青藏高压强度较弱,且高压脊线位置偏南约6个纬距,因此东风带的位置在高值年比低值年偏南。6月也出现类似的情况。

同时,由上面讨论可知,在高原西部冬季地表净辐射的高值年,高原主体夏季的地表加热场较弱,从而使反向的温度梯度在高原南部迟迟不能建立,西风带北撤迟缓,东风难以上高原,当年夏季100 hPa青藏高压位置偏南,且上高原的时间偏晚。反之,在高原西部冬季地表净辐射的低值年,当年初夏100 hPa青藏高压上高原的时间就早(见表1)。由表1可见,当高原西部冬季地表净辐射的距平累加值 $\overline{\Sigma\Delta B} > 1.47 \text{ MJ/m}^2$ 时,夏季青藏高压上高原的日期就晚,反之上高原的时间则早,同号率可达 $17/21=81\%$ 。

另外,高原西部冬季加热场与青藏高压还有更长的响应周期,当西部2月地表净辐射偏低时,次年7月100 hPa青藏高压脊线在 $90^\circ \text{ E}$ 的平均位置 $\uparrow$ 偏南(见表2),反之则偏北(同号率为 $11/14=79\%$ )。

## 2.2、与西南季风的关系

分析19年高原西部冬季地表净辐射与西南季风在孟买的爆发日期 $\uparrow$ 发现,高原西部冬季地表净辐射与西南季风爆发日期有较好的负相关,相关系数为 $-0.50$ ,置信度超过 $0.05$ 。即在高原西部冬季地表净辐射偏低的年份,高原中,东部冬季地面加热场较强,夏季100 hPa青藏高压强,近地层热低压发展,西南季风在孟买的爆发日期偏晚(见表2);反之则西南季风的爆发日期偏早。这与文献[13]的结论是一致的。由表2可知当高原西部2月地表净辐射的距平 $\overline{\Delta B} < -0.29 \text{ MJ/m}^2$ 时,当年西南季风在孟买的爆发日期晚于多年平均日期,反之西南季风爆发日期就早(同号率可达 $15/19=79\%$ )。

## 3、高原西部地表净辐射与降水的关系

以上讨论表明,青藏高原地面加热场影响着我国及东亚的大气环流,因此高原的加热作用亦应对我国夏季雨带的移动产生一定的影响<sup>[14]</sup>。

### 3.1、高原西部加热场与西南秋雨

对于我国西南地区来说,虽然其最多降水的月份出现在7,8月,但到了秋季,由于季风撤退较迟,秋雨绵绵,使得10月份的降水仅次于7,8月,成为我国秋季多雨的中心<sup>[15]</sup>。

图2为青藏高原西部冬季地表净辐射与西南地区次年10月份降水的相关分布图。由图可见,青藏高原西部冬季地表净辐射与西南地区次年10月份的降水存在大面积的正相关区,其中昆明等7站相关系数超过 $0.56$ ,置信度超过 $0.01$ ,最大相关区在川南和滇北,宜宾、西昌和会理的相关系数也均超过了 $0.69$ ,置信度均达 $0.001$ 。图3a给出了西南8站(成都、宜昌、西昌、会理、昭通、会泽、蒙自、昆明)历年10月降水距平百分率的平均变化曲线。由图可见此曲线与高原西部冬季地表净辐射的距平变化曲线

<sup>1</sup>中国科学院兰州高原大气物理研究所,夏季100毫巴青藏高压与我国旱涝的关系,1976年。

(3b)很吻合, 而位相落后近 2 年, 说明高原西部冬季的地表净辐射可能与次年 10 月西南的降水有一定的正相关。其影响机理有待进一步探索。

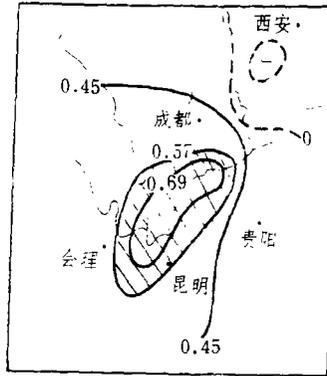


图 2 高原西部冬季地表净辐射与次年 10 月西南降水的相关分布

Fig. 2 Correlative distribution between the wintertime surface net radiation in the Western Plateau and the precipitation in the South-Western China next October.

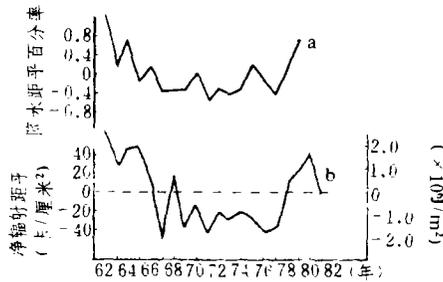


图 3 高原西部冬季地表净辐射与西南降水的变化曲线

a. 西南 8 站 10 月降水, b. 高原西部冬季地表净辐射距平累加值曲线

Fig. 3 Variation curves for accumulated anomalies of the wintertime surface net radiation in the Western Plateau and the precipitation in the South-Western China.

a. The precipitation at the 8 stations of the South-Western China in October. b. Accumulation curves of anomalies of surface net radiation in the Western Plateau during winter.

分析表明, 高原西部冬季地表净辐射与当年 11 月西南的降水呈明显的负相关, 亦即高原西部地表净辐射的高值年, 当年秋末 11 月西南地区降水少, 反之, 西南地区秋末降水多。这可能由于在高原西部冬季地表净辐射的高值年, 夏季高原主体加热作用较弱, 500 hPa 西太平洋副热带高压偏北<sup>(5)</sup>, 105° E 上亚州南部急流建立早, 从而造成秋雨结束日期较早<sup>(16)</sup>的缘故。

### 3.2、高原西部地表净辐射与长江流域伏旱

通过对高原西部整个冬季地表净辐射与我国南部(以西安~郑州~济南一线为界)5~8月降水量的相关计算发现,长江中下游与川东地区的降水与高原西部冬季的热状况有较密切的关系。

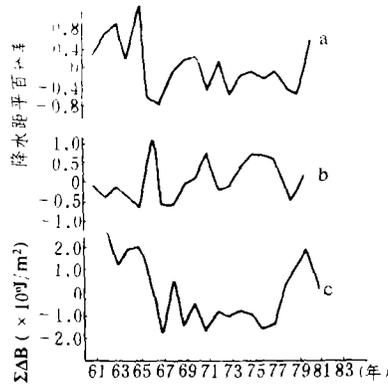


图 4 高原西部冬季地表净辐射与长江下游降水变化曲线

a. 长江下游 8 月降水, b. 长江下游梅雨期降水, c. 高原西部冬季地表净辐射距平累加值

Fig. 4 Variation curves for the wintertime surface net radiation in the Western Plateau and the precipitation in the valley of Yangtze River. a. The precipitation in the lower reaches of Yangtze River in August. b. The precipitation in the lower reaches of Yangtze River during the 'Meiyu' period. c. Accumulation values of anomalies of wintertime surface net radiation in the Western Plateau.

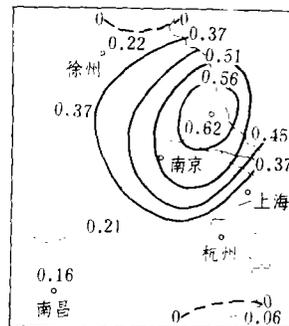


图 5 高原西部冬季地表净辐射距平累加值与当年 8 月长江下游降水的相关分布

Fig. 5 Correlative distribution between the accumulation values of anomalies of wintertime surface net radiation and the precipitation in the lower reaches of Yangtze River during August of the year.

研究发现,高原西部冬季地表加热场与长江下游的梅雨期降水有较好的相关(见图 4)。高原西部冬季地表净辐射与当年梅雨期降水量的相关系数为 $-0.57$ ,置信度超过 $0.025$ ,当高原西部冬季地表净辐射异常偏低时,当年梅雨期降水量为正距平,反之则为负距平。若以 $\overline{\Sigma\Delta B} = -0.60 \text{ MJ/m}^2$ 为界,同号率为 $17/21 = 81\%$ 。

从高原西部冬季地表净辐射距平累加值与当年长江下游 8 月降水的相关分布(图 5)中可以看到, 两者有极为显著的正相关, 江苏东台站的相关系数竟达 0.62, 置信度超过了 0.01。芜湖、南京、东台和靖江四站逐年 8 月降水距平百分率平均值与高原西部冬季地表净辐射的距平累加值变化基本一致, 特别象 1966, 1967, 1971, 1979 年等严重伏旱年, 高原西部冬季地表净辐射距平累加值都较偏低。对这样一种现象, 利用青藏高原高压东西振荡过程<sup>(2)</sup>可以作出较好的解释: 在高原西部冬季地表净辐射较低的年份, 高原主体夏季加热作用较强, 青藏高压盛行西部型, 长江流域梅雨出现正距平, 一旦东部梅雨期所积累的潜热能超过高原总热量时, 青藏高压中心就移到东部上空<sup>(2)</sup>, 从此长江流域又会出现严重的伏旱。

另外, 高原西部冬季地表净辐射与川东当年 8 月的降水分布也有明显的正相关(见图 6), 整个川东的相关系数均在 0.44 以上, 而且存在一条由西南向东北的最大相关带。带中南充的相关系数达 0.75, 置信度超过了 0.001, 而且南充、巴中、汉中和安康四站逐年 8 月降水距平百分率的变化与高原西部冬季地表净辐射的变化趋势一致。

### 3.3、冬季地表净辐射与黄河上游雨季降水

对高原西部冬季地表净辐射与黄河上游雨季的降水进行分析发现: 高原西部冬季地表净辐射距平累加值与银川、兰州次年 8 月的降水为显著的负相关。银川相关系数为 -0.70, 置信度达 0.001, 兰州、靖远的相关系数达 0.40, 置信度超过 0.10。另外, 由银川历年 8 月降水距平百分率的变化看, 在银川的几个洪涝年(8 月降水比常年偏多 40% 以上), 其前一年冬季高原西部地表净辐射的距平累加值均低于  $-0.84 \text{ MJ/m}^2$ , 同号率竟为  $6/6=100\%$ 。

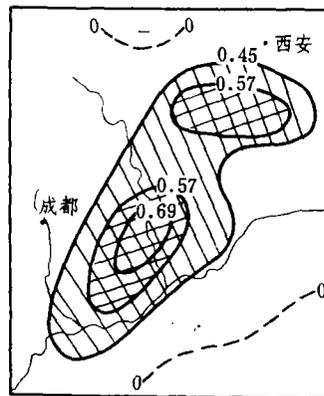


图 6 高原西部冬季地表净辐射与当年 8 月川东的降水相关分布

Fig. 6 Correlative distribution between the accumulation values of anomalies of wintertime surface net radiation and the precipitation in the Eastern Sichuan in August of the year.

分析还表明, 高原西部冬季地表净辐射异常偏低时, 同年 8 月共和、玛多的降水异常偏多, 反之亦然。其相关系数为 -0.52, 置信度达 0.025。

## 4、几点结论

通过以上分析研究,得到以下几点初步的结论:

(1)青藏高原西部地面加热场有两大特征:一是高原西部冬季地面加热距平场与高原主体(中、东部)呈现相反的变化趋势;二是冬季地面加热距平场与夏季加热距平场反向。

(2)高原西部冬季地表净辐射的高值年,当年夏季 100 hPa 青藏高压面积小,强度弱,高压脊线偏南,且青藏高压初次上高原的时间迟。

高原西部 2 月份地表净辐射距平值较小(小于 $-0.29 \text{ MJ}/\text{m}^2$ )的年份,当年西南季风在孟买的爆发时间晚,反之则早。

(3)高原西部冬季地表净辐射与次年 10 月西南地区秋雨为大面积的正相关,而与当年秋末的降水为很好的负相关。

高原西部冬季地表净辐射异常低的年份,同年 8 月长江下游伏旱严重,当年梅雨期的降水则为正距平。

高原西部冬季地表净辐射与当年 8 月川东降水为较好的正相关,与黄河上游雨季降水则为显著的负相关。

本文仅从统计事实出发对高原西部冬季加热场与我国降水的关系作了初步分析,其影响机制有待进一步研究。

## 参 考 文 献

- (1) 叶笃正、高由禧等,青藏高原气象学,北京:科学出版社,1979年,1~9页。
- (2) 朱福康等,南亚高压,北京:科学出版社,1980年,38~46页。
- (3) 黄忠恕,青藏高原热状况与大气超长波的关系,地理研究,第5卷第1期,1986,32~41页。
- (4) 黄荣辉,青藏高原上空热源异常对北半球大气环流异常的作用,气象学报,第43卷第2期,1985,208~220页。
- (5) 季国良,青藏高原西部地表净辐射与气候年际变化的相关分析,青藏高原气象科学实验文集(二),北京:科学出版社,1984,53~59页。
- (6) 季国良等,1982年冬季青藏高原地面和大气加热场特征,中国科学(B辑),1986年,第2期,214~224页。
- (7) 陈烈庭等,青藏高原冬春异常雪盖影响初夏季风的统计分析,青藏高原气象会议文集(1977~1978),北京:科学出版社,1981,151~161页。
- (8) 季国良,1982年8月~1983年7月青藏高原地区的辐射与气候,高原气象,第4卷第4期(增刊),1985,10~20页。
- (9) 姚兰昌等,亚州地区月平均大气加热场及其年变特征,高原气象,第1卷第3期,1982,1~11页。
- (10) 孙国武等,南亚高压季节性变化的研究,青藏高原气象科学实验文集(二),北京:科学出版社,1984,152~158页。
- (11) 孙国武等,大尺度环境场对青藏高原低涡发展东移的动力作用,高原气象,第6卷第3期,1987,225~233页。
- (12) Rao Y. P., Southwest Monsoon, Indian Met Dep., 1976, P. 1~367.
- (13) Wada, H., Characteristics features of general circulation in the atmosphere and their relation to the anomalies of summer precipitation in monsoon Asia, Water Balance of Mosoon Asia, University of Hawaii

---

Press, 1971, P. 111~130.

- (14) 叶笃正、张捷迁等，青藏高原加热作用对夏季东亚大气环流影响的初步模拟试验，中国科学，1974，301~320 页。
- (15) 张家诚、林之光，中国气候，上海科学技术出版社，1983，131~222 页。
- (16) 盛承禹等，中国气候总论，北京：科学出版社，1986，211~213 页。

## RELATIONSHIP BETWEEN THE SURFACE NET RADIATION IN THE WESTERN QINGHAI-XIZANG PLATEAU AND THE PRECIPITATION IN CHINA

Ji Guoliang    Xu Rongxing<sup>①</sup>

(Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Academia Sinica)

### Abstract

In this paper were estimated the surface net radiations over western Qinghai-Xizang Plateau in winter (from Nov. to Feb.) of 1961~1981 using the observed data of surface radiation balance over the Qinghai-Xizang Plateau in the period from August 1982 to July 1983. Base on the analyse for the surface net radiation during the winter of the year, the paper expounds the characteristics of surface heating fields in the western Plateau and discusses the relationship between the wintertime surface net radiation over the Western Plateau and precipitation in the Southwestern China in Autumn, Mid-Summer drought along the Yangtze River basin as well as the precipitation in the upper reaches of the Yellow River during the rainy season.

**Key words:** Surface net radiation; Surface heating fields; Precipitation in the South-western China in Autumn; Mid-Summer drought.

---

<sup>①</sup>Present affiliation: Weather forecast division of Meteorological observatory, Beijing International Air Port.