

文章编号 :1000 - 3037(2001)03 - 0211 - 05

# 华北农牧交错带夏季降水变率及其与前期下垫面热力状况的关系

龚道溢 史培军

(北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室 资源科学研究所 北京 100875)

**摘要** 华北农牧交错带夏季降水有很大的变率,频繁的干旱对农牧业生产有严重影响。论文分析了 1880 年以来的夏季降水变化特征,近百年来农牧交错带夏季降水有明显的阶段性。功率谱分析显示有 35 年左右的周期。年代际尺度的波动是干湿变化的重要背景。以 250mm 等雨量线表示的农牧交错带南北位置也有明显的年际和年代际的变化,在 1978 年以前和以后的两段时期,平均位置有显著的差别,前后平均有大约 1.5 个纬度的变化。农牧交错带夏季降水与前期春季亚欧地区大范围的温度异常有较好的关系。印度和巴基斯坦及相邻印度洋地区是显著的正相关区;亚洲西部的内陆地区是显著的负相关区。这两个地区春季的温度能解释农牧交错带夏季降水方差的 15% 左右。

**关键词** 华北;农牧交错带;夏季降水;下垫面

中图分类号 P426.6 文献标识码 A

## 1 前 言

华北农牧交错带处于干旱和半干旱地区的过渡地带,这一地区也是环境变化的敏感和脆弱地区。近几十年来,干旱频繁发生,给农牧业生产造成很大影响,如一些研究都发现 1950 年代以来华北地区有干旱化的趋势。而华北降水与夏季风的变化密切相关,以往的研究表明,我国华北地区夏季降水与夏季风的变化关系比较好。夏季风强时华北地区易出现洪涝,夏季风弱的时候容易出现干旱<sup>[1]</sup>。华北地区降水与印度降水有较高的正相关<sup>[2]</sup>。当然西南季风只是影响我国的亚洲季风的一个部分,来自太平洋的季风气流可能有更重要的作用。黄荣辉等<sup>[3]</sup>指出南亚季风和东亚季风的水汽输送特征是有差别的。不过从整个东亚季风系统的成因看,主要还是亚欧大陆与海洋之间的热力差异的对比造成的。最近几十年全球近地面温度变暖趋势明显,而其中欧亚大陆冬季和春季的变暖最为显著<sup>[4]</sup>,这也必然影响亚洲季风的波动<sup>[5]</sup>。

因此,本文的研究目的有两个,一是根据近百年来资料分析北方农牧交错带夏季降水的变化特征,二是研究前期亚欧大陆下垫面热力状况与随后夏季华北北方降水的关系。研究这一地区的夏季降水变化规律对理解东亚气候系统的变率有重要意义,而且研究前期下垫面热力状况与夏季降水的关系,还有一定的预测应用价值。

## 2 夏季降水变率分析

### 2.1 降水量序列

研究区域选择的是季风影响的北部边界区,年降水量处于 200 ~ 600mm 之间,即通常所说的季风尾间

收稿日期:2000 - 08 - 28;修订日期:2000 - 11 - 20。

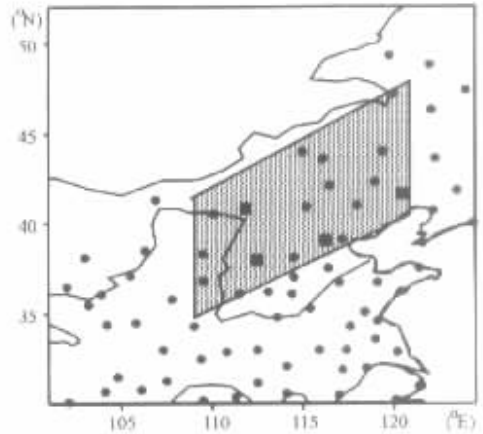
基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(G1999043404)与北京师范大学青年科学基金资助。

第一作者简介:龚道溢(1969-),男,湖南石门人,理学博士,发表论文 50 余篇,E-mail:gdyl@irs.bnu.edu.cn,网址 <http://www.irs.bnu.edu.cn>。

区(图1)。该地区的降水应该说是夏季风的变化比较敏感的一个指标。夏季降水量占年总降水量的60%左右。在研究区内选择18个观测站,降水资料从1951年开始。另外,该区内还有4个站有1880年以来的降水资料,包括北京、朝阳、呼和浩特和太原,资料取自文献6。图2中给出了18个站和4个站平均夏季降水量距平,距平取对1961~1990年。由于计算的站点数不同,两者之间的标准差有明显的区别,1961~1990年的30年期间,18站平均序列标准差为47.0mm,而4站平均序列则为74.2mm。但二者的变化特征非常一致,在1951~1999年共49年期间,18站平均和4站平均序列之间的相关系数达到了0.94,可见关系非常好,因此,用4站平均也能很好代表整个研究区的情况。

### 2.2 夏季降水量的变化特征

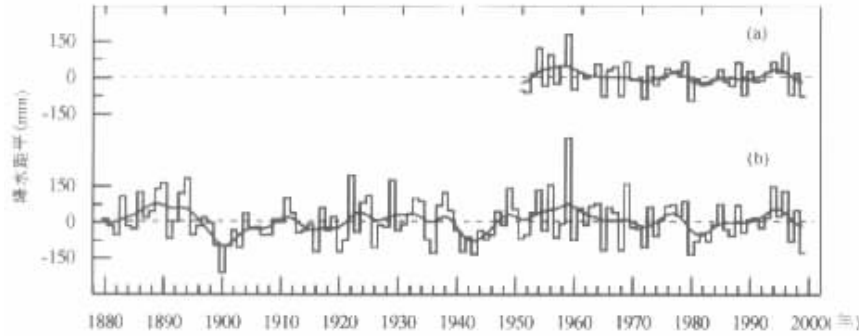
根据图2可以看到,农牧交错带夏季降水量1950年代以来呈下降趋势。如果将其变化阶段划分得更详细一些,则可以再分出两段:从1950年代到1970年代后期,是显著的下降趋势,而从1980年代初以来,则有增加的趋势。从长期变化来看,有明显的低频波动。在1880到1890年代中期、1920~1930年代、1950年



注:平行四边形所围区域为研究区,圆点站资料1951年开始,4个站(方块表示站点)资料从1880年开始

图1 研究区范围

Fig.1 The geographical location of target region (shaded). Black dots are stations since 1951, four stations in square began in 1880



注:(a)为18个站平均,(b)为4个站平均(距平参考时期为1961~1990年)

图2 研究区平均夏季降水距平序列

Fig.2 Summer rainfall anomalies for (a) means of eighteen stations and (b) means of four stations. Reference period is 1961~1990

35年周期。需要特别注意的是年代际尺度的变化,因为其对于降水长期的偏干与偏湿背景特征有重要的影响。其它许多研究都曾指出过这个问题,如黄嘉佑<sup>[7]</sup>发现北京夏季的旱涝状况存在2.5、3.5、7.5、30和60年的变化周期,而年的旱涝状况有3.7、7.8和35年周期。Liang等<sup>[8]</sup>也曾指出北方旱涝存在30~40多年的周期。因此,农牧交错带降水存在长时间尺度的变化是客观存在的事实。

根据近年来的年代际变化特征看,1990年代以来的一段时期应该是处于降水偏多的背景下,但严重的干旱仍然频繁发生,一方面可能是降水强烈年际变化的影响,也可能与人类活动的加强有关。

### 2.3 农牧交错带界面的波动

农牧交错带的位置受农牧业生产活动、气候变化等因素的影响。但是降水量的变化是造成农牧交错带

代,以及1990年代中期,降水都是处于偏多的时期;而在1900到1910年代、1940年代、1970到1980年代则是偏干的时期。为了更清楚地显示农牧交错带夏季降水的变化特征,这里进行了功率谱分析,结果见图3。可见突出的降水周期主要体现在两种时间尺度上,一是年际尺度,包括2.5年和5.0年,另外是年代际尺度的

位置波动的一个重要自然因子。本文只是从降水变化的角度来分析农牧交错带的可能变化。研究区内平均夏季降水为 292mm。这里定义一个指标来表示农牧

交错带的纬度位置,即  $\theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_i$  ,表

示研究区 250mm 等雨量线的平均纬度位置,这里  $\theta_i$  是各经度上 250mm 年降水量出现的纬度,  $n$  是所选的经度,这里取 112.5°E、115°E、117.5°E 和 120°E 共 4 个经度 ( $n = 4$ ) ,  $\theta$  是整个研究区的 250mm 夏季降水量线出现的平均纬度。

图 4 是计算得到的平均位置的变化序列。很明显,其年际波动非常大,有时比正常位置偏北达 3 个纬度,而有时则偏南超过 4 个纬度。这种雨带位置的强烈波动与降水量本身的高变率一起,必然对农牧交错带的生态环境及农业生产产生重要影响。另外,还可以看到,除了强烈的年际变化外,雨带位置还有明显的年代际差别,在 1970 年代后期以前和以后的两段时期,平均位置有显著的差别,前后平均有大约 1.5 个纬度的变化。图 5 中给出了 1951~1959 年平均以及 1980~1989 年两段时期的 250mm 等雨量线的分布情况,很明显,1980 年代的位置比 1950 年代显著南移。

### 3 前期下垫面热力状况的影响

一些研究曾分析过全球变暖与华北降水的可能联系<sup>[9,10]</sup>,不过最近几十年来近地面温度变化最显著的是发生在冬季和春季。而下垫面热力状况的改变必然会影 响大气环流,进而影响降水。这里我们只分析春季的地面温度与随后农牧交错带夏季降水的关系。所分析的范围如图 6 所示。

图 6 是农牧交错带夏季降水与春季地面温度的相关系数(1951~1999 年,阴影区达 95% 信度)。可见与夏季降

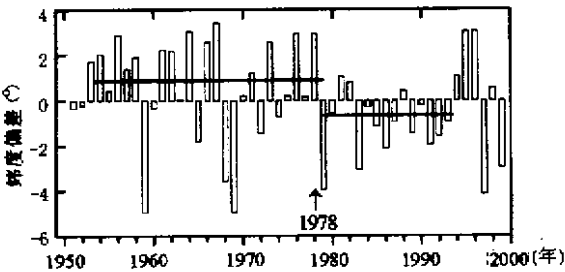
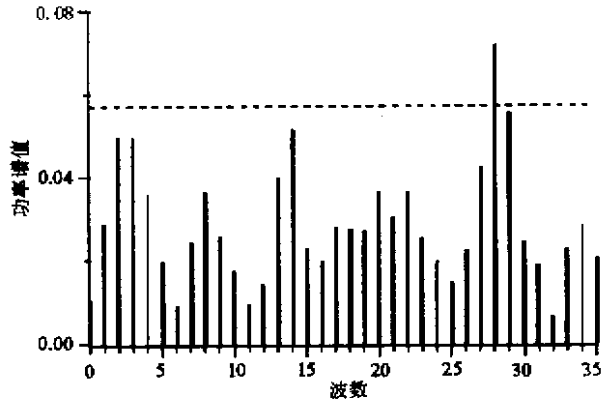


图 4 夏季 250mm 等雨量线平均位置的变化  
Fig.4 Averaged locations of the 250-mm isohyet in target region



注:图中标出的数字为突出周期年数,虚线为 95% 信度水平

图 3 夏季降水的功率谱分析

Fig.3 Power spectra of the summer rainfall series. Peaks of periods shown in the figure are outstanding number of years and dashed lines are 95% confidence level

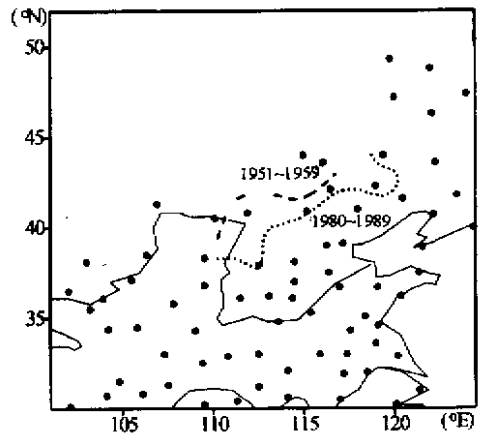


图 5 1950 年代和 1980 年代夏季 250mm 等雨量线的位置

Fig.5 Locations of the 250-mm isohyet for summer in the 1950s and the 1980s

水密切相关的地区有两个：一是印度和巴基斯坦及相邻印度洋地区，此外还有亚洲西部的内陆地区。前者是显著的正相关，而后者是显著的负相关。这说明当春季在南亚地区温度高时，有利于印度低压的建立和加强，因此，印度夏季风强，能迅速推进到我国华北地区，华北降水偏多。而春季内陆地区温度偏高时则不利于夏季华北降水，原因可能是大气环流的异常，具体的机制还需要进一步的分析。

取相关明显的两个中心地区平均，一

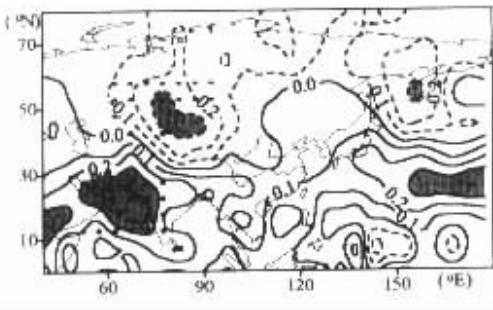


图6 农牧交错带夏季降水与欧亚地区春季地面温度的相关系数分布

Fig.6 Correlation between summer rainfall in northern China and surface temperature in spring. Areas above 95% confidence level are shaded

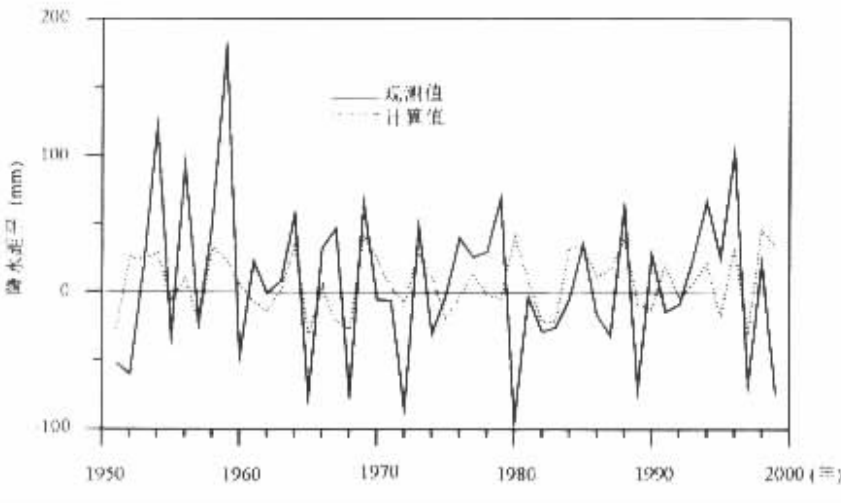


图7 由  $T_1$  和  $T_2$  计算的夏季降水

Fig.7 Calculated summer rainfall using spring temperatures. Model used here is described in Table 1. Solid line is the observations, dashed line is the calculated values

表1 农牧交错带夏季降水与温度的回归分析

Table 1 Summary statistics from the multivariate regression using  $T_1$  and  $T_2$  as the independent variables and summer precipitation as dependent variables (i.e.,  $y = ax_1 + bx_2 + c$ , where  $x_1$  is  $T_1$ ,  $x_2$  is  $T_2$ ,  $c$  is the intercept,  $y$  is the summer rainfall)

	回归系数	误差	t-值	显著性 ( $P >  t $ )
$a$	18.77	7.90	2.38	0.02
$b$	-6.49	6.92	-0.94	0.35
$c = 3.04$				
$R = 0.39$		$F = 4.02 (P > 0.025)$		

是  $50 \sim 80^\circ\text{E}$ ,  $10 \sim 30^\circ\text{N}$  区域，有完整地面温度资料的有 15 格点（平均温度序列用  $T_1$  表示）；二是  $60 \sim 100^\circ\text{E}$ ,  $40 \sim 60^\circ\text{N}$  区域，有 16 格点（平均温度序列用  $T_2$  表示）。 $T_1$  与夏季华北 18 站平均降水序列的相关系数达 +0.38， $T_2$  与夏季华北降水的相关系数为 -0.17（1951~1999 共 49 年，95% 信度水平值为 0.28）。比较而言，南亚地区的影响更大一些。如果用  $T_1$  和  $T_2$  这两个因子来预测农牧交错带夏季降水，能解释方差的比例有多少呢？表 1 中是降水与这两个地区春季温度的多元回归分析的结果，回归模型是显著的， $F$  值达 4.02。图 7 是计算的夏季降水与观测降水的比较（模型见表 1）。此回归模型的结果与观测值之间的复相关系数为 0.39，说明用  $T_1$  和  $T_2$  两个变量能解释夏季农牧交错带降水方差的 15% 左右。

#### 4 结论

农牧交错带夏季降水量有显著的年际和年代际变化。功率谱分析表明年际变化主要有 2.5 年和 5.0 年周期，年代际变化上则有明显的 35 年左右周期。在降水的长期变化中，年代际变化可能有重要影响。

近百年来农牧交错带夏季降水表现出明显的阶段性。在 1880~1890

年代中期,1920~1930年代、1950年代以及1990年代中期,降水都是处于偏多的时期;而在1900~1910年代、1940年代、1970~1980年代则是偏干的时期。

以250mm等雨量线表示的农牧交错带南北位置,也有明显的年际和年代际的变化。在1978年以前和以后的两段时期,平均位置有显著的差别,前后平均有大约1.5个纬度的变化。

农牧交错带夏季降水与春季欧亚地区地面温度的相关,最密切的有两个地区:一是印度和巴基斯坦及相邻印度洋地区,其次是亚洲西部的内陆地区。前者是显著的正相关,而后者是显著的负相关。用这两个地区春季的温度预测农牧交错带夏季降水,能解释方差的15%左右。

### 参考文献:

- [1] 郭其蕴. 东亚夏季风指数及其变化的分析[J]. 地理学报, 1983, 36(2): 207~216.
- [2] 郭其蕴. 中国华北旱涝与印度夏季风降水的遥相关分析[J]. 地理学报, 1992, 47(5): 394~402.
- [3] 黄荣辉, 张振洲, 黄刚, 任保华. 夏季东亚季风区水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送的差别[J]. 大气科学, 1998, 22: 460~469.
- [4] IPCC. Climate Change 1995: the Science of Climate Change[M]. Cambridge U. K.: Cambridge Univ. Press, 1996.
- [5] Kumar K K, Rajagopalan B, Cane M. On the weakening relationship between the Indian Monsoon and ENSO[J]. *Science*, 1999, 284: 2156~2159.
- [6] 王绍武, 龚道溢, 叶瑾琳, 陈振华. 1880年以来我国东部四季降水量系列及其变率[J]. 地理学报, 2000, 55(3): 281~293.
- [7] 黄嘉佑. 北京地区季节旱涝长期变化趋势[J]. 水科学进展, 1992, 3(1): 59~64.
- [8] Liang X Z, Samel A N, Wang W C. Observed and GCM simulated decadal variability of monsoon rainfall in east China[J]. *Climate Dynamics*, 1995, 11(2): 103~114.
- [9] 严中伟. 华北降水年代际振荡及其与全球温度变化的联系[J]. 应用气象学报, 1999, 10(增): 16~22.
- [10] 龚道溢. 气候变暖与我国夏季洪涝灾害风险[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(3): 30~37.

## Variability of summer rainfall over northern China and its association with thermal conditions of early stage underlying surface

GONG Dao-yi, SHI Pei-jun

(Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disasters, Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** The high variability of summer rainfall over northern China has great impacts on environmental and socio-economic system. In this manuscript, the decadal variability is analyzed. Power spectral analysis indicates a 35-yr period dominated by low-frequency variations exists. The locations of 250-mm isohyet also show great annual variations and dramatic decadal changes. The averaged latitudinal location before and after 1978 changed about 1.5 degrees. The relationship between summer rainfall over northern China and spring surface temperature over vast expanse is investigated. There are two regions found connecting to summer rainfall significantly, one is India, Pakistan and their adjacent ocean sectors where positive correlation occurs, and the other is over inner continent in central and West Asia where negative relationships exist. The spring temperature of these two regions can explain 15% of the difference in summer rainfall in northern China.

**Key words:** northern China; summer rainfall; surface thermal condition