

西北东部夏季干湿演变及环流特征

杨金虎^{1,2,3} 杨启国¹ 姚玉璧³ 单红洮³

(1. 兰州干旱气象研究所甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 兰州 730020;
2. 南京信息工程大学大气科学系 3. 甘肃省定西市气象局)

提 要: 选取中国西北东部 1960—2004 年 33 个台站夏季 (6—8 月) 逐日降水资料 and 北半球 NECP/NCAR500hPa 高度场再分析资料, 首先统计了中国西北东部逐年夏季总降水量和无雨日数, 并根据它们呈显著负相关的特点, 定义了无雨日数-降水均一化干湿指数, 然后对干湿指数场进行了 EOF 分解, 探讨了西北东部夏季干湿异常的演变特征, 同时对于干湿异常年份进行了 500hPa 高度距平场合成分析。结果发现: 一致性异常特征是西北东部夏季干湿指数的最主要的空间异常模态; 西北东部近 45 年来的变干趋势是明显的; 新疆脊偏弱、东亚大槽偏浅是西北东部夏季湿年同期 500hPa 高度场特征, 而新疆脊偏强、东亚大槽偏深是干年同期 500hPa 高度场特征; 乌拉尔山脊线偏西、东亚大槽偏浅是湿年前期 12 月高度场特征; 乌拉尔山脊线偏东、东亚大槽偏深是干年前期 12 月高度场特征。冬季 12 月 500hPa 高度场环流特征是预测下年夏季干湿特征不容忽视的指标。

关键词: 干湿特征 降水量 无雨日数 EOF 分解

Analysis of Drought and Moist Evolution and Circulation Features over the East of Northwest China in Summer

Yang Jinhui^{1,2,3} Yang Qiguo¹ Yao Yubi³ Shan Hongtao³

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020;

2. Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology;

3. Dingxi Meteorological Office, Gansu Province)

Abstract: By using the daily summer (JJA) precipitation data from 33 observational stations in the east of Northwest China from 1960 to 2004, and the reanalysis data of 500hPa height field from NCEP/NACAR, the total precipitation and rainless days are first calculated. According to their features of significant negative correlation, a homogeneous dry-moist index is defined, and then by EOF analysis, the anomaly evolution feature of drought-moist index fields is studied. In addition, the 500hPa height anomaly field compound analysis in drought and moist anomaly is conducted, and the results show that consistent anomaly feature is the main pattern of summer drought-moist index in the east of Northwest China. Drying tendency is significant in the east of Northwest China in recent 45a. In moist years, the main feature of synchroized 500hPa height field is that Xinjiang ridge is weak and East Asia trough is shallow, but in drought years its feature is reverse. The main feature of prophase (December) 500hPa height field is that Ural ridge line is lean to west and East Asia trough is shallow in moist years, it is also reverse in drought years. The prophase (December) 500hPa height field feature cannot be neglected to forecast drought and moist features of next summer in the east of Northwest China.

Key Words: drought and moist feature precipitation rainless days EOF

引 言

中国西北地区北临蒙古高原,南接西藏高原和四川盆地,西靠帕米尔高原及哈萨克斯坦,东连山西高原及豫西山,深居欧亚大陆腹地,远离海洋使得水分来源从数量上受到很大的限制,因而干旱是西北气候的基本特点,干旱也是最主要的自然灾害。

已有的研究表明^[1],西北东西部的干旱趋势呈反向变化,具体来说西北西部逐渐变湿,西北东部逐渐变干。而过去大多数专家主要将西北看作一个整体进行研究^[2-4],事实上西北东部是西北主要的雨养农业区,生态环境非常脆弱,专门详细地研究其干旱特征具有重要的意义。

由于干旱成因及其影响的复杂性,在干旱研究中很难找到一种普遍适用于各种用途的干旱指标,因此应用于不同需求的各种干旱指标得到了发展^[6-9]。而对于西北地区的干旱特征过去主要是通过降水量^[2-5]单一要

素进行研究,事实上干旱的成因除了一段时期内降水偏少外,长期无雨导致蒸发加快也能够加深干旱程度,所以同时考虑这两个方面去研究西北干旱更接近事实,基于以上理由本文通过降水量和无雨日数两个要素定义了干湿指数进而对西北东部夏季的干旱特征进行研究。

1 资料及方法

本文选取中国西北东部(陕西、甘肃河东及宁夏)1960—2004年夏季(6—8月)33个台站的逐日降水资料及相应时段北半球NCEP/NCAR 500hPa高度场(2.5°×2.5°)再分析资料。

首先统计了各站逐年夏季的总降水量和无雨日数(日降水量小于0.1mm)。为了定义一个较为合理,并能反映出中国西北东部夏季干旱特征的干湿指数,通过计算1960—2004年西北东部33个台站夏季降水量同无雨日数的相关系数,从其空间分布

(图 1) 我们发现相关系数均为负值, 而且绝对值普遍偏大, 其中绝对值最小的为 0.41, 所有站都通过 99% 的信度检验, 这说明西北部夏季降水量同无雨日数呈显著的负相关。因此我们通过无雨日数与降水量的标准化距平之差定义的如下干湿指数 (简称无雨日数-降水均一化干湿指数) 比较适合研究西北部夏季的干湿特征。

$$I = \frac{\Delta N}{\sigma_N} - \frac{\Delta R}{\sigma_R} \quad (1)$$

其中 I 为干湿指数, ΔN 、 ΔR 、 σ_N 、 σ_R 分别为无雨日数、降水量的距平和均方差。

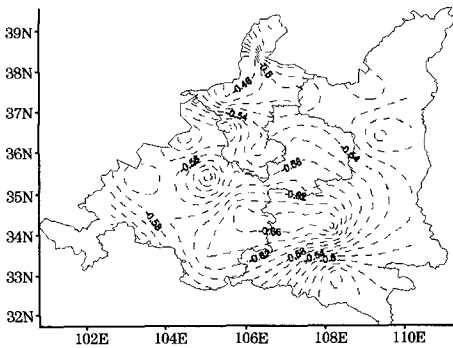


图 1 西北部夏季降水量同无雨日数的相关系数分布图

式 (1) 定义的干湿指数绝对值大的正负值分别对应于干旱与湿润两种异常状态, 尽管它是建立在降水量与无雨日数呈显著负相关的基础上的, 但它们决不能互相代替, 它包含的应用信息, 比无雨日数或降水量更丰富。

定义了干湿指数以后建立了西北部夏季干湿指数场, 并对其进行了经验正交函数 (EOF)^[10] 展开, 研究了西北部夏季干湿异常的演变特征, 并探讨了其同东亚夏季风的关系, 同时根据第一特征向量的时间系数确定了干湿异常年份, 并通过合成分析等统计方法分析了干湿异常年同期和前期 500hPa 大气环流背景场。

2 西北部夏季干湿异常的演变

通过对西北部夏季干湿指数场进行 EOF 分析, 其第 h 个特征向量的方差拟合率 ρ_h 及前 h 个特征向量的方差拟合率 P_h 见表 1。由表可见, 前两个特征向量拟合了夏季干湿指数总方差的 64.06%; 而自第三个特征向量起方差拟合率明显减少。因此, 可以认为, 在构成西北部夏季干湿气候异常中, 前两个特征向量的作用最为重要。

表 1 EOF 分析的第 h 个及前 h 个特征向量的方差拟合率 (%)

h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ρ_h	46.05	18.01	6.06	4.64	3.38	2.79	2.38	2.00	1.75	1.49
P_h	46.05	64.06	70.12	74.76	78.14	80.93	83.31	85.31	87.06	88.55

图 2 是西北部夏季干湿指数场两个最主要模态的空间分布及各自时间系数演变图, 第一个模态 (图 2a) 拟合了总方差的 46.05%, 其特点是量值均为正数, 这表明西北部夏季干湿异常具有同步性, 相比较高值集中在甘肃中东部、宁夏南部及陕西北部部分区域, 表明该区域夏季干湿特征年际

振荡最明显, 而陕西南部为最小值区, 表明该地区夏季干湿特征的年际振荡较弱, 或与高值区年际振荡频域特征存在差异。从第一模态时间系数演变曲线 (图 2c) 我们可以看出, 西北部夏季干湿指数表现为反抛物线状变化, 1976 年之前表现为变湿趋势, 而 1976 年之后表现为变干趋势, 特别是近

8 年来只有 2003 年偏湿，其余 7 年都偏干，这说明西北东部 1970 年代中期以后的变干

趋势是比较明显的。

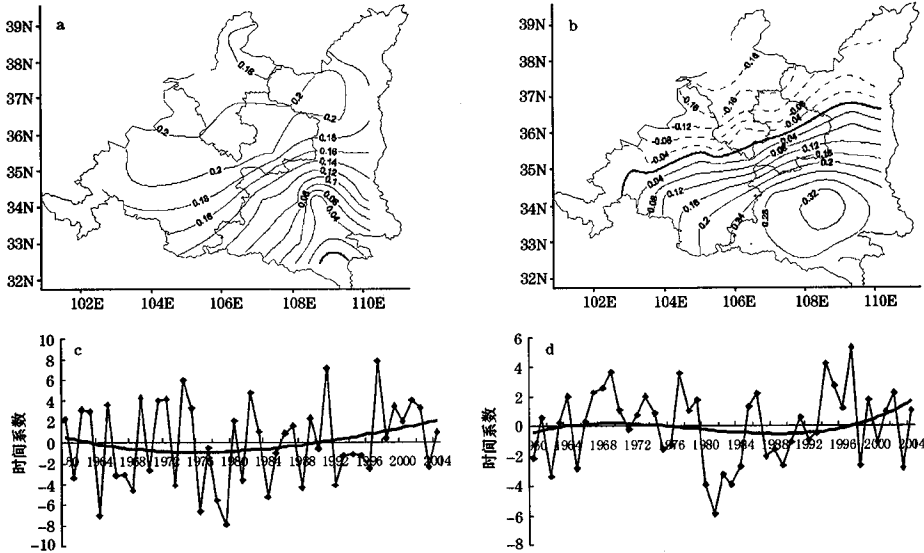


图 2 EOF 前两个模态的空间分布及各自时间系数演变图
 a. 第一模态空间分布；b. 第二模态空间分布；
 c. 第一模态时间系数演变；d. 第二模态时间系数演变

第二模态（图 2b）拟合了总方差的 18.01%，其特征为西北部与东南部呈反向变化，陕西北部、宁夏及甘肃中部为负值，甘肃陇东、陇南及陕西南部为正值。从第二模态时间系数演变曲线（图 2d）可以看出，该模态存在明显的年代际振荡特征，1960 年代中期到 1970 年代中期为正系数，即西北部干东南部湿，1980 年代到 1990 年代中期为负系数，即西北部湿东南部干，1990 年代中期以来又表现为正系数，值得一提的是自 1990 年代以来，该模态表现为明显的增长趋势，也就是说西北东南部的变干趋势是明显的。

3 西北东部夏季干湿特征的年代际变化

从表 1 可以看出，西北东部夏季干湿指

数场 EOF 第一模态的方差贡献较大，表明该模态基本可以反映出西北东部的干湿异常特征。因此下面通过第一模态时间系数来分析西北东部夏季干湿特征的年代际变化。图 3 给出了第一模态时间系数经低通滤波后（滤掉 7 年以下振荡）的时间变化曲线，从中可以看出，1960 年代、1970 年代中期到 1980 年代中期西北东部偏湿，1970 年代前

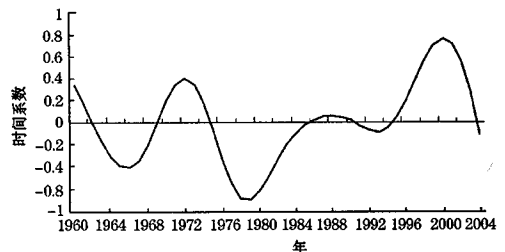


图 3 EOF 第一模态时间系数年代际变化曲线

期及 1990 年代中期以后偏干, 而 1980 年代中期到 1990 年代中期干湿特征不太明显。另外从图中也可以清楚地看出, 自 1970 年代后期以来, 西北东部变干的趋势是相当明显的。

4 西北东部夏季干湿特征同东亚夏季风的关系

西北东部位于东亚季风边缘区, 所以东亚季风的强弱对西北东部的干湿特征有着一定的影响^[11]。为了进一步分析西北东部夏季干湿特征同东亚夏季风之间的关系, 文中首先引进李建平东亚夏季风指数 (来自 web.lasg.ac.cn/staff/ljp/index.html 网站), 进而从年际和年代际尺度上分别探讨其间的关系。图 4 给出了西北东部干湿指数

同东亚夏季风年际、年代际空间相关图, 其中年代际相关是干湿指数同东亚夏季风指数均经低通滤波 (滤掉 7 年以下) 后所求。从图 4a 可以看出, 除了陕南小部分地区外, 其余区域为一致的负值, 这说明东亚夏季风同西北东部干湿特征存在正相关, 这同文献 [12] 的结论完全一致, 但这种相关不太显著, 除个别站外, 其余站均未通过 0.05 的显著性检验。从图 4b 可以看出, 西北东部干湿特征同东亚夏季风在年代际尺度上的正相关比年际尺度显著, 其中 1/4 站相关系数通过了 0.01 的显著性检验。从以上的分析可以看出, 除了陕南小部分地区外, 西北东部其余区域干湿特征同东亚夏季风存在正相关, 即东亚夏季风越强, 西北东部越湿, 反之亦然, 并且年代际相关程度比年际尺度显著。

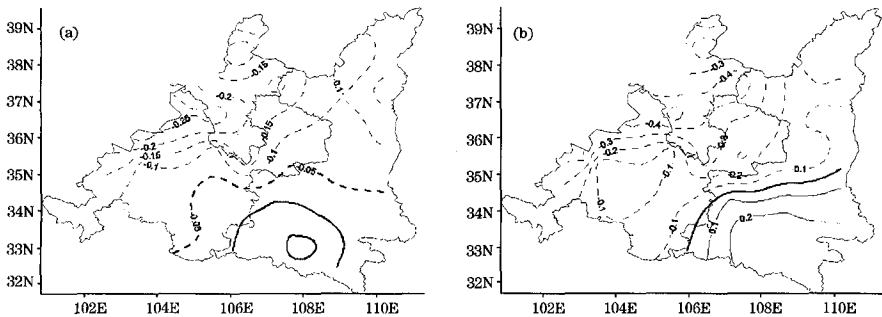


图 4 干湿指数同东亚夏季风指数年际 (a)、年代际 (b) 空间相关图

5 西北东部夏季干湿异常年份的确定及高度场特征

5.1 干湿异常年份的确定

根据世界气象组织 (WMO) 和一些国家的规定, 把距平达到两倍标准差 (2σ) 的事件称为异常。距平达到 1.3σ 的, 称为严重事件。表 2 给出了 1960—2004 年西北东

部干湿指数最小 (大) 的前 8 位的标准化距平值 (所有站的平均值) 及其相应年第一特征向量的时间系数。由表 2 可见, 按 WMO 的标准, 近 45 年中, 达到异常湿的年份只有 1979 年, 达到严重湿的年份有 5 年, 并且标准化距平最小的 8 个年份都出现在 1980 年代及以前; 达到异常干的年份只有 1997 年, 达到严重干的年份有 3 年, 并且标准化距平最大的 8 个年份都出现在 1970 年及以后, 其中有 4 年在 90 年代及以后。这

也从一个侧面反映近 45 年来西北东部有变干的趋势。为能够进行合成和对比分析，本文分别选取标准化距平最大和最小的 5 年分别作为干和湿的异常年份。据此，我们将 1979、1964、1976、1978、1984 年作为湿异常年份，1997、1991、1974、1982、1969 年作为干旱异常年份。

表 2 西北东部夏季干湿指数异常年份

年份	干湿指数最小		干湿指数最大		
	标准化距平	第一特征向量时间系数	年份	标准化距平	第一特征向量时间系数
1979	-2.0	-7.9	1997	2.0	7.8
1964	-1.8	-7.0	1991	1.8	7.1
1976	-1.7	-6.6	1974	1.5	6.0
1978	-1.4	-5.5	1982	1.2	4.8
1984	-1.3	-5.2	1969	1.1	4.3
1968	-1.2	-4.6	2001	1.0	4.1
1988	-1.1	-4.4	1971	1.0	4.0
1973	-1.0	-4.1	1999	0.9	3.5

5.2 干湿异常年同期 500hPa 高度场特征

为了分析西北东部夏季湿年高空环流形势的特征，本文用对应年 6—8 月的 500hPa 高度平均距平场表征同期高度场，据此给出了对应年份合成位势高度距平场（图 5）。

夏季欧亚地区主要环流特征是青藏高原北侧贝加尔湖以西为槽，新疆为脊，日本海附近为东亚大槽。从湿年 500hPa 合成高度距平场（图 5a）看，总的特征是包括中国大陆在内的中纬度为一致的负距平，具体来说贝加尔湖以西的槽偏深，新疆脊偏弱，东亚大槽强度较常年略微偏浅，因此整个中纬度基本盛行西风气流，中国西北东部由于受西风带影响，多阴雨天气。图 5b 为干年合成高度距平场图，可以看出巴尔喀什湖与鄂霍次克海之间为正距平，即贝加尔湖以西的槽偏深，新疆脊偏强，东亚大槽也较常年略

微偏深，日本海到北太平洋有一个负距平中心，整个中纬度呈“西高东低”分布，中国西北东部主要受新疆脊前西北气流控制，天气长期晴朗无雨。

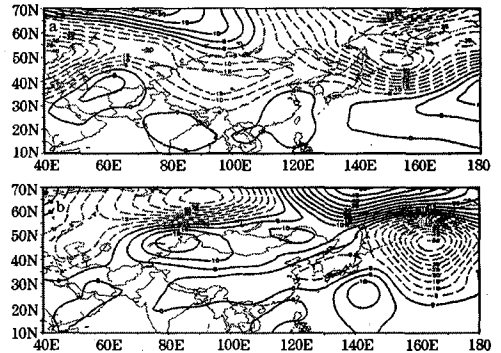


图 5 湿年(a)、干年(b)同期 500hPa 高度距平场

5.3 干湿异常年前期 500hPa 高度场特征

为了进一步寻求西北东部夏季干湿年的前期环流背景场特征，本文计算了前期 500hPa 1~6 个月合成高度场（即 1 月、2 月、3 月、4 月、5 月、及上年 12 月）。并进行了差异显著性检验，计算统计量 t 。

$$t = \frac{\bar{H}_a - \bar{H}}{\sigma_a} \sqrt{n_a - 1} \quad (2)$$

式 (2) 中 \bar{H}_a 和 \bar{H} 分别为气候异常年和多年平均 500hPa 高度场平均值， σ_a 为气候异常年均方差， n_a 为异常年的年数。

表 3 给出了异常年前期 1~6 个月 500hPa 合成高度距平场差异显著性检验信度超过 95% 的格点数占总格点数的百分比。可以看出不管湿年还是干年上年 12 月都是前 1~6 月中异常格点百分比最高的月份，而且其值要明显高于其它月份，同时由于上年 12 月距当年夏季时间较长，所以它所提供的信息对预报当年夏季的干旱更具有非常重要价值，为此本文在分析干和湿年前期 1~6 个月 500hPa 月合成高度距平场特征时

只选择了上年 12 月。

冬季欧亚地区中纬度主要为一槽一脊型,即乌拉尔山附近为脊,日本海附近为东亚大槽,从西北东部湿年前期 12 月 500hPa 合成高度距平场(图 6a)看,乌拉尔山以西和鄂霍次克海各有一正距平中心,贝加尔湖有一负距平中心,而我国大陆为负距平,但相比湿年同期距平值偏小,可见湿年前期 12 月乌拉尔山脊线偏西,东亚大槽比湿年同期高度场更偏浅,我国西北东部上空西北气流较常年偏弱。而千年前期 12 月 500hPa 合成高度距平场(图 6b)在巴尔喀什湖附近有一正距平中心,而日本海附近有一负距平中心,这说明乌拉尔山脊线偏东,而东亚大槽比同期高度场更偏深,我国西北东部上空西北气流较常年偏强。

表 3 西北东部夏季干湿年前期 1~6 个月 500hPa 合成高度距平场差异显著性超过 95% 格点数百分比(单位:%)

	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
湿年	8.55	1.41	0.69	1.74	2.37	4.80
千年	10.29	2.88	0.39	2.07	6.6	35.40

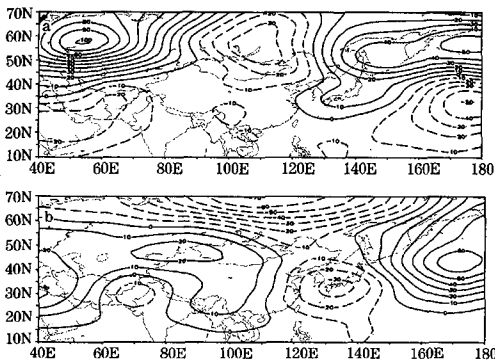


图 6 湿年(a)和千年(b)前期 12 月 500hPa 高度距平场

从以上的分析我们可以发现夏季干湿年同期与前期 12 月 500hPa 高度场特征比较相

似,即千年前期和同期西北东部上空 500hPa 高度场西北气流均较常年偏强,而湿年西北东部上空西北气流较常年偏弱,也就是说从冬到夏环流特征具有持续性特点,这同朱炳瑗^[13]等结论基本一致,所以冬季 12 月高度场特征是预测下年夏季干湿特征不容忽视的指标。

6 结 论

(1) 由于西北东部夏季无雨日数与降水量间存在显著的负相关,所以由标准化无雨日数距平减标准化降水量距平构成的干湿指数比较适合于西北东部夏季,而且它包含的应用信息,比无雨日数或降水量更丰富。

(2) 一致性异常特征是西北东部夏季干湿指数场的最主要的空间异常模态,而西北部同东南部呈反向变化的分布模态也是比较重要的,另外西北东部近 45 年来的变干趋势是明显的。

(3) 除了陕南小部分地区外,西北东部其余区域干湿特征同东亚夏季风存在正相关,即东亚夏季风越强,西北东部越湿,反之亦然,并且年代际相关程度比年际尺度显著。

(4) 西北东部夏季湿年同期 500hPa 高度场特征为贝加尔湖以西的槽偏深,新疆脊偏弱,东亚大槽也比常年略微偏浅;而千年贝加尔湖以西的槽偏深,新疆脊偏强,东亚大槽比常年略微偏深。

(5) 西北东部夏季湿年前期 12 月 500hPa 高度场特征为乌拉尔山脊线偏西,东亚大槽偏浅;千年乌拉尔山脊线偏东,东亚大槽偏深。同时这也是预测下年夏季干湿特征不容忽视的指标。

参考文献

- 1 Zhai Panmao, Sun Anjian, Ren Fumin et al. Changes

- of climate extremes in China [J]. Climatic change, 1999, 42: 203-218.
- 2 李栋梁, 谢金南, 王文. 中国西北夏季降水特征及其异常分析 [J]. 大气科学, 1997, 21 (3): 331-340.
 - 3 杨金虎, 江志红, 杨启国等. 中国西北近 41a 来年中雨及以上级别降水次数的时空分布特征 [J]. 地球科学进展, 2005, 20 (增): 138-145.
 - 4 王宝鉴, 黄玉霞, 何金海等. 西北地区近 40 年 6—9 月降水的异常特征分析 [J]. 气象, 2005, 30 (6): 28-31.
 - 5 杨金虎, 姚玉璧, 吴胜安. 甘肃省河东春小麦全生育期降水异常特征分析 [J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24 (1): 174-178.
 - 6 邹旭凯, 张强, 王有民等. 干旱指标研究进展及中美两国国家及干旱监测 [J]. 气象, 2005, 31 (7): 6-9.
 - 7 官德吉, 干旱监测预警指数研究 [J]. 气象, 1998, 24 (8): 14-18.
 - 8 庞万才, 周晋隆, 王桂之. 关于干旱监测评估指标的一种新探讨 [J]. 气象, 2005, 31 (10): 32-34.
 - 9 王劲松, 冯建英, 吴伟, 径流量干旱指数在河西走廊灌区的应用 [J]. 气象, 2005, 31 (11): 11-14.
 - 10 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2002, 120-122、143-146.
 - 11 张存杰, 谢金南, 李栋梁等. 东亚季风对西北干旱气候的影响 [J]. 高原气象, 2002, 21 (2): 193-198.
 - 12 王宝鉴, 李栋梁, 黄玉霞等. 东亚夏季风异常同西北东部汛期降水的关系分析 [J]. 冰川冻土, 2004, 26 (5): 563-568.
 - 13 朱炳瑗, 李栋梁. 500hPa 高度场、海温、高原加热场与甘肃省春末夏初降水的关系 [J]. 气象, 1992, 18 (5): 32-36.