

祁连山近 45 a 年降水异常的气候特征

张小明^{1,2}, 魏 锋², 陆 燕³

(1. 中国气象局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, 甘肃 兰州 730020;

2. 甘肃省定西市气象局, 甘肃 定西 743000; 3. 山西省运城市陆县气象局, 山西 平陆 044300)

摘要:利用祁连山地区 17 个测站 1960~2004 逐日降水资料, 统计逐年不同量级的雨日数及年降水量, 对年总降水量标准化后进行经验正交展开(EOF)和旋转经验正交展开(EOF), 研究其异常的空间结构及时间演变规律。结果表明, 祁连山地区年降水与不同量级雨日数的气候平均分布具有地理分布上的相似性。无论年降水还是不同量级的雨日数, 同纬度地区西侧明显多于东侧, 祁连山东段多于西段, 等值线呈西北—东南走向。年降水异常在空间上主要表现为整体一致的变化特点, 其次表现为东西相反的变化趋势。旋转载荷向量场(RLV)反映出 4 个异常型, 即祁连山西段北坡区、祁连山东段区、祁连山中西段南坡区, 祁连山中段北坡区。近 45 a, 祁连山西段北坡区年代际变化幅度明显, 其他各区年代际变化幅度相对较小。小波分析发现, 各区年降水周期变化并不一致, 体现出祁连山地区年总降水的复杂性。

关键词:祁连山; 年降水; 气候特征; 旋转经验正交函数

中图分类号: P463.1

文献标识码: A

引 言

祁连山横跨甘肃、青海两省, 长达千余公里, 东起乌鞘岭的松山, 西至玉门石油河, 北临河西走廊, 南靠柴达木盆地。祁连山是由一系列平行排列的山岭和谷地组成, 这一呈西北—东南走向的高大山体, 是青藏高原与内蒙古高原和黄土高原的分界线, 在自然气候分区上起着非常重要的作用。同时, 海拔 3 500 m 以上的山体终年积雪, 分布着现代冰川, 具有“天然白色水库”之称, 大通河、石羊河、黑河等河流发源于此, 是河西走廊绿洲的主要水源。这些河流域由于具有优越的水土资源, 自古以来就成为历代君王屯垦发展农业的理想场所, 如今更是甘肃省最大的商品粮基地和农业综合开发的重点区域。然而, 由于气候变暖 and 资源的过度开发利用, 生态环境日趋恶化, 不仅给甘肃经济和社会的可持续发展带来了极大危害, 而且还威胁到其他省区经济和社会的可持续发展。祁连山区的气候变化会直接影响其周围植被的好坏, 从而影响当地经济的发展^[1]。蓝永超^[2]等对甘肃河西内陆河流域出山径流变化过程与趋势的研究表明, 从 20 世纪 80 年代中后期

开始, 受西风环流降水的影响, 祁连山区中、西部的黑河、疏勒河流域的气候环境发出了由增温变干转为变湿的信号, 具体表现为随着山区气温升高, 降水量增加, 出山径流相应增大。曹玲^[3]等分析了近 40 a 黑河流域内以气温和降水为主的气候要素变化, 得出黑河流域发生了以“增暖”为主要特征的气候变化。流域生态环境受气候变暖的影响明显, 在灾害性天气强度、森林面积、土地荒漠化、湖泊萎缩、草原退化等方面日趋恶化。并就如何保护黑河流域生态环境提出了建议。张杰^[4]等利用祁连山及其周围 42 个气象站 1960~2000 年的降水资料, 分析了祁连山区年降雨量的空间变化趋势, 并将其分为 3 个部分, 进而采用网格分析法和 GIS 技术结合的方法, 针对黑河流域所在的祁连山中东部的降水分布, 进行年降雨量分布的拟合研究, 着重分析了模拟雨量场在空间上的复杂变化。但利用最新降水资料, 将祁连山作为一个整体来研究这一地区年降水时空分布特征的工作还较少。本文分析近 45 a 祁连山区及其附近地区年降水的时空变化特征, 以期了解掌握祁连山区干旱气候特征, 为防灾减灾、合理利用

收稿日期: 2006-04-30; 改回日期: 2006-05-20

基金项目: 国家科技攻关计划“西部开发科技行动”重大项目“祁连山空中云水资源开发利用研究”(2004BA901A16-02-02)资助

作者简介: 张小明(1969-), 男, 甘肃岷县人, 工程师, 主要从事天气气候研究及业务工作。E-mail: qxjZXM@SINA.com.

水资源、改善生态环境、发展生产提供科学依据。

1 资料和方法

选取祁连山附近 17 个测站 1960~2004 年历年逐日降水资料,统计出历年各站年降水量及 ≥ 0.1 mm, ≥ 5.0 mm, ≥ 10.0 mm, ≥ 25.0 mm, ≥ 50.0 mm 不同量级的年降水日数。得到祁连山地区年降水的平均气候状况。用 EOF^[5] 对年降水的标准化资料进行展开,得到空间载荷向量(LV)阵及主成分(PC),在此基础上,进行 REOF^[6] 展开,得到旋转载荷向量(RLV)和对应的旋转主成分(RPC),利用前 4 个旋转载荷向量(RLV)对祁连山地区年降水量进行分区,并选出各区代表站。用 4 阶主值函数 $Y(t)$ 表示各代表站时间序列的变化趋势。用墨西哥帽状

连续小波变换^[7]方法分析各代表站年降水的周期情况。

2 祁连山区近 45 a 平均年降水量及平均降水日数的空间分布特征

由图 1a 看出,祁连山年平均降水量总的分布特点是同纬度地区西侧降水明显多于东侧,东南段降水多于西北段,年降水量等值线呈西北—东南走向。位于青海境内处于祁连山西侧的大部分站降水 > 400 mm,其中位于祁连山西南侧的互助、门源 2 站降水为 532 mm,537 mm,而位于祁连山东北侧的高台、张掖 2 站年降水仅为 106 mm,131 mm。

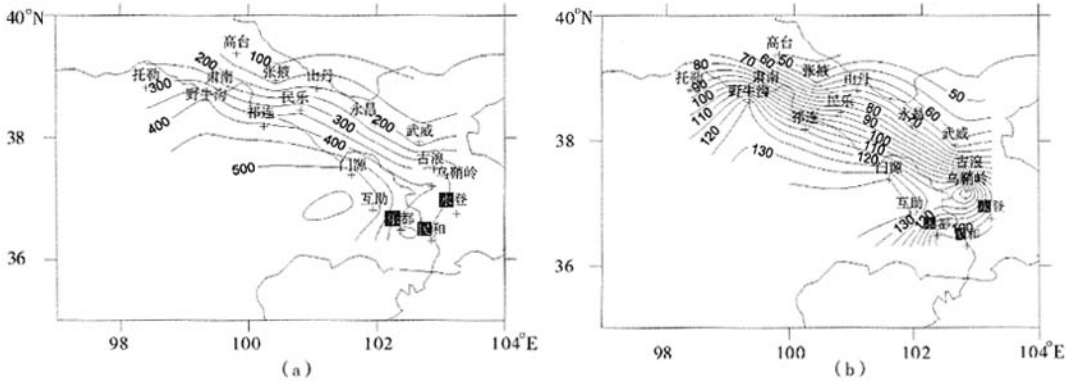


图 1 祁连山区多年平均年降水(a)和年降水日数(b)分布(单位:mm;d)

Fig. 1 Distribution of yearly mean precipitation (a) and rainy days (b) in the Qilian Mountain area

≥ 0.1 mm 的年降水日数(图 1b)的地理分布与年平均降水量的地理分布基本相同,年降水日数等值线也呈西北—东南走向,同纬度地区西侧降水日数明显多于东侧,祁连山东南段降水日数多于西北段,如西侧托勒站年降水日数为 89.2 d,与其基本处于同一纬度且位于祁连山东侧的张掖站年降水日数仅为 54.2 d。此外在乌鞘岭出现 ≥ 0.1 mm 降水日数的极大中心,中心值 137 d。 ≥ 5.0 mm, ≥ 10.0 mm, ≥ 25.0 mm 的年平均雨日数(图略)的地理分布基本类似,但大量级降水日数迅速减少,且降水较少地区减少幅度大于降水较多地区,例如,降水较多的互助站,在 135 次 ≥ 0.1 mm 的降水日数中, ≥ 5.0 mm 的降水次数占 26.4%, ≥ 10.0 mm 的降水次数占 11%, ≥ 25.0 mm 的降水次数占 1.3%。而降水较少的高台站在 45 次 ≥ 0.1 mm 的降水日数中, \geq

5.0 mm 的降水次数占 13%, ≥ 10.0 mm 的降水次数占 4%, ≥ 25.0 mm 的降水次数仅占 0.4%。分析祁连山各站近 45 a 日降水 ≥ 50.0 mm(图略)的累计次数,可以看出位于祁连山西北侧的高台、肃南、张掖 45 a 中仅出现 1 次暴雨,而位于祁连山东段南侧的民和站 45 a 中暴雨次数达 19 次之多。

显然,祁连山区年降水及各类雨日数的这种分布与祁连山区独特的地形地貌有关,祁连山西段主要受西风带环流系统影响,大气携带的水汽相对较少,祁连山东段年降水量主要为西南暖湿气流所致,而西南暖湿气流在西侧迎风坡上随着气流的抬升形成降水,在背风坡一侧由于山体遮挡水汽不能越过或者水汽翻越山体而在背风坡形成焚风导致水汽锐减,使得祁连山区同纬度地区西侧降水日数和降水量明显多于东侧,祁连山东南段多于西北段。

图 2 为祁连山年降水相对变率分布图。降水平均相对变率的大小表征了降水的稳定性,变率越小年降水量越稳定少变。祁连山区年降水量相对变率普遍较小,等值线走向与降水量等值线走向基本一致,但高低中心相反,祁连山西段区主要受西风带系统的影响,降水较少,变率较大,如高台和民乐 2 站,降水相对变率分别为 21%,23%,是祁连山区降水相对变率最大的地方。而祁连山东部区主要受西南或东南暖湿气流的影响,降水量比较大,降水相对变率较小。

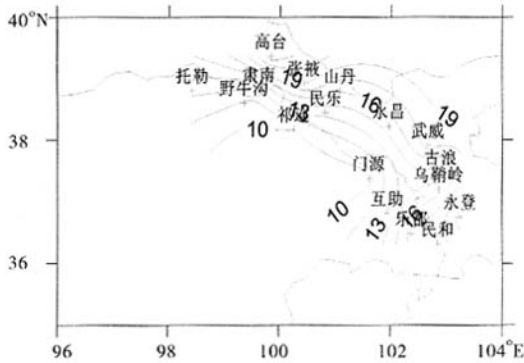


图 2 祁连山年降水相对变率分布(单位:%)
Fig. 2 Distribution of relative variability of yearly precipitation in the Qilian Mountain area

3 祁连山区近 45 a 年降水量的时空演变特征

3.1 空间变化特征

利用经验正交函数分解方法(EOF)对祁连山区 17 个测站近 45 a 年降水进行分析,前 2 个载荷向量场所占方差分别为 42.2%,19.0%,前 10 个载荷向量场所占总方差的累积为 93.8%,第 1 载荷向量场(图 3a)占总方差的比例最大,其载荷向量呈一致的正值区,在 0.15~0.29 之间变化,其中最大正值中心在民乐,反映了祁连山区受大尺度气候异常的影响,表现为一致的有雨或无雨。第 2 载荷向量场(图 3b)表现为东西相反分布形式,西部为负,东部为正,0 值线在永昌到门源一带,正值区主要受西南或东南暖湿气流的影响,降水量比较大;而负值区主要受西风带系统影响。

选用经过 EOF 分解的前 10 个载荷向量进行正交旋转变换(ROEF),取旋转特征向量绝对值 0.4 为临界值,对祁连山近 45 a 年降水的空间变化进行分

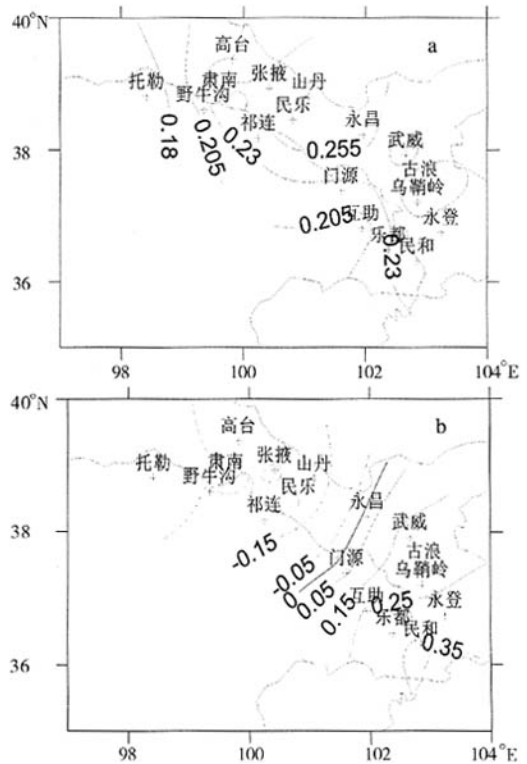


图 3 祁连山区年降水主成分分解的
第 1 载荷向量(a)、第 2 载荷向量(b)

Fig. 3 The first (a) and the second (b) loading vectors of yearly precipitation in the Qilian Mountain area

区,共分了 4 个气候区(图 4),每个区选取 1 个代表站。

第 I 区:祁连山西段北坡区,包括高台、肃南、张掖、山丹、民乐 5 站,主要受西风带天气系统影响,降水量相对较少。旋转载荷向量的大值区在张掖,中心值达 0.88,代表站为张掖。

第 II 区:祁连山东段区,包括门源、古浪、互助、乌鞘岭、乐都、民和、永登 7 站。这里处于东南季风影响区的边缘,既可受东南季风影响又可受高原季风影响,因而降水量相对较多。旋转载荷向量的大值区在青海乐都站,中心值达 0.92,代表站为乐都。

第 III 区:祁连山中段南坡区,包括托勒、野牛沟、祁连 3 站,主要受高原季风和西风槽的影响。旋转载荷向量的大值区在青海祁连,中心值达 -0.88,代表站为祁连。

第 IV 区:祁连山中段北坡区,由于高原季风受祁连山阻挡,而东南季风难以影响到这里,因而降水相

对较少。旋转载荷向量的大值区在甘肃武威,中心值达 -0.88,代表站为武威。

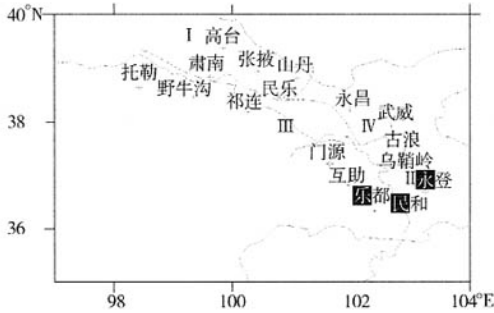


图4 祁连山地区年降水的4个主要空间异常区
Fig.4 Four abnormal areas of yearly precipitation in the Qilian Mountain area

3.2 时间变化特征

利用经 EOF 分解的第 1 时间系数序列和各区代表站标准化后的年降水量的演变,分析祁连山区年降水的时间变化规律。由第 1 时间系数演变曲线(图 5)可见,祁连山区降水的第 1 分布型具有明显的年际振荡变化。用 4 阶多项式拟合曲线和线性变化曲线分析其年代际和线性变化趋势,可以看出祁连山年降水整体上呈现出波动式上升趋势。以第 1 时间系数 ± 3.0 为标准来划分祁连山区整体年降水的多少,则祁连山区整体偏多的典型年有 1964, 1967, 1979, 1983, 1988, 1993, 1998, 2003 年共 8 a; 整体偏少的典型年份有 1962, 1965, 1991 年共 3 a。

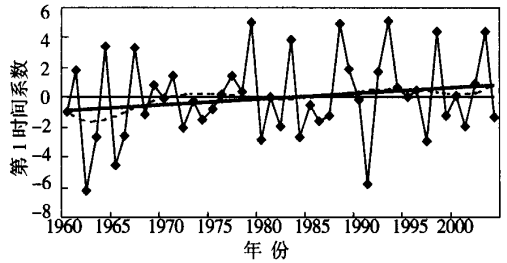


图5 EOF分解的第1时间系数演变曲线(实曲线)、线性倾向趋势线(实直线)和4阶时间趋势(虚线)
Fig.5 The evolution curve of PC time coefficient (solid curve), linear trend (solid line) and 4 order polynomial fit line (dashed line)

为了进一步说明各气候区年降水的年代际变化特点,分析了代表站张掖、乐都、祁连、武威 4 站 1960 ~ 2004 年标准化后的年降水变化曲线(图 6)。

4 阶拟合曲线表明,张掖站年降水呈抛物线型变化,20 世纪 60 年代降水相对偏少,70,80 年代降水偏多,90 年代后降水减少趋势明显。而乐都、祁连、武威 3 站年降水的年代际变化幅度较小。乐都站在 20 世纪 60 年代至 70 年代中期为降水的相对偏少期,70 年代中期至 90 年代初期为降水的相对较多期,90 年代后年降水在平均值周围振荡,无明显的年代际变化趋势。祁连站从 60 年代初到 90 年代中、后期,年降水有缓慢的增长趋势,其后又呈下降趋势。武威站 60 年代年降水增加趋势明显,60 年代后降水以微弱的下降趋势为主。

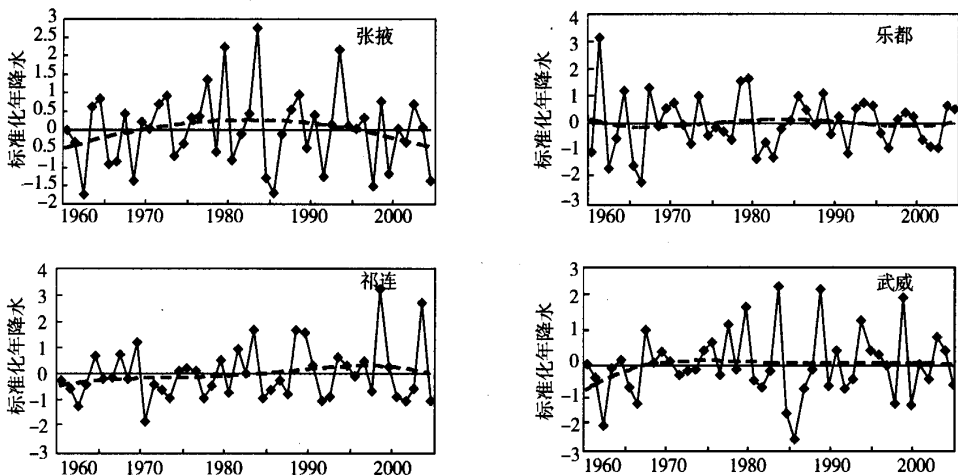


图6 各区代表站标准化年降水的时间演变曲线(实线)和4阶时间趋势(虚线)
Fig.6 The evolution curve of annual precipitation with time series (solid line) and 4 order polynomial fit line (dashed line) of the representative stations in each anomaly area

用小波分析法对以上各代表站近 45 a 年降水的主要变化周期进行分析(图 7),小波指数为正表示处于多雨周期,反之处于少雨周期。图的上半部分等值线相对稀疏,对应较长尺度周期的振荡(低频振荡),而下半部分等值线相对密集,对应较短尺度周期振荡(高频振荡)。分析发现,张掖站 20 世纪 60 年代至 70 年代中期以 6~8 a 周期振荡为主,70 年代中期后则以 12 a 低频周期变化和 2~4 a 高频周期变化为主,且 2~4 a 高频振荡表现尤为明显。乐都站 90 年代中期以前,以 8~10 a 周期变化

为主,其后则转为 6 a 左右的周期振荡,此外,乐都站还存在 20 a 左右的低频周期变化,目前这种低频变化正从少雨期向多雨期转变。祁连站 60 至 70 年代中期无明显的周期变化,70 年代中期后,则以 6~8 a 周期变化为主,此外,从 90 年代初开始,还有 2~4 a 的高频变化周期叠加在 6~8 a 周期变化之上。武威站 80 年代前周期变化不明显,80 年代后有 14 a 左右的长周期变化,在长周期下又存在 4 a 左右的短周期变化,无论长周期还是短周期,武威站目前正处于少雨期。

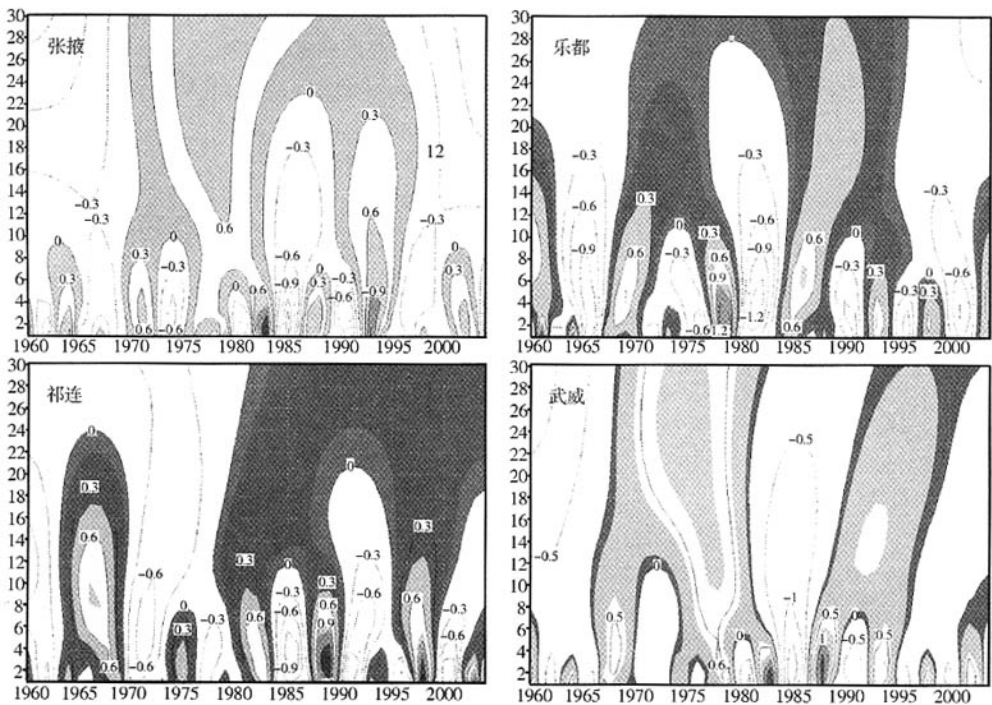


图 7 各气候区代表站年降水的小波指数分布(纵坐标为周期,横坐标为年代)

Fig. 7 The wavelet index of yearly precipitation in representative stations in 4 anomaly areas

4 祁连山区年降水异常对应的夏季 500 hPa 高度场异常

由于祁连山区降水主要集中在夏季,夏季降水量占年降水的 50% 以上,年降水的异常主要是夏季降水异常造成的,而影响夏季降水的最直接因素就是大气环流。利用本文划分的祁连山区 8 个多雨年与 3 个少雨年,通过计算多雨年与少雨年夏季高度

场合成差值的方法,分析祁连山区年降水异常对夏季亚欧 500 hPa 高度场异常的响应。在 500 hPa 高度场差值图上(图 8),高纬度地区在乌拉尔山西部、贝加尔湖东北部各有一正值中心,白令海北部为一负值中心,中心值分别达到 40, 25, -20 gpm。中纬度地区蒙古高原、北太平洋分别有 -15, +25 gpm 的极大值中心。因此,典型祁连山区整体多雨年的 500 hPa 高度场差值的分布特点为在亚欧大陆自西

北向东南的+、-分布。由此可见,祁连山地区降水不同于西北地区东部,西北地区东部降水异常与副热带系统有很大的关系,而祁连山区多雨年份,一般伴有乌拉尔山高压脊向东北方向扩展,促使脊前低槽加深,在贝加尔湖—巴尔喀什湖之间形成宽广倾斜的低槽,一方面有利于北方冷空气的不断南下,另一方面又有利于高原南支槽发展并将水汽输送到该区域。

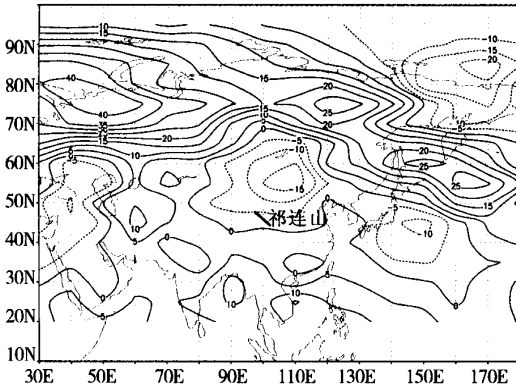


图8 祁连山整体多、少雨年的夏季500 hPa平均高度场差值

Fig. 8 500 hPa mean height difference in summer in more and less precipitation years over the Qilian Mountain

5 结论

(1) 多年平均年降水与不同量级雨日数的地理分布基本相似,同纬度地区西侧明显多于东侧,祁连山东南段多于西北段,等值线呈西北—东南走向,但大量级降水日数迅速减少,且降水较少地区减少幅度大于降水较多地区。

(2) 祁连山降水较多地区相对变率较小,而干旱地区降水相对变率较大。

(3) EOF前2个载荷向量的空间分布反映出年降水的2种基本变化型,即祁连山整体一致变化型和东西相反变化型。

(4) 祁连山降水的异常区可划分为祁连山西段北坡区、祁连山东段区、祁连山中西段南坡区,祁连

山中段北坡区4个关键区。

(5) EOF第1时间系数演变曲线反映出,祁连山区降水的第1分布型具有明显的年际振荡变化。4阶多项式拟合曲线表明祁连山年降水整体上呈现出波动式上升趋势。

(6) 各异常区代表站年降水的时间演变特征为:总体来说祁连山西段北坡区的张掖站年降水的年代际变化幅度较大,而其他各区代表站年降水的年代际变化幅度较小,以年际振荡为主。小波变换法分析周期变化,发现各站在不同年代存在6~8 a和2~4 a高频振荡,但步调并不一致,此外祁连、乐都、武威还存在10 a以上的低频变化。

(7) 分析祁连山整体年降水异常对夏季亚欧500 hPa高度场异常的响应,发现祁连山整体多雨年份,一般伴有乌拉尔山高压脊向东北方向扩展,促使脊前低槽加深,在贝加尔湖—巴尔喀什湖之间形成宽广倾斜的低槽,一方面有利于北方冷空气的不断南下,另一方面又有利于高原南支槽发展并将水汽输送到该区域。有关研究表明,祁连山东南段水汽主要来自西南气流,而西北段水汽主要来自西风带,由于祁连山区降水效率高^[8-9],所以形成相对大的降水中心。

参考文献:

- [1] 杨兴国,张存杰,叶谦,等. 甘肃省河西地区环境蠕变的若干事实[J]. 干旱气象,2004,22(1):65-69.
- [2] 蓝永超,丁永建,沈永平. 河西内陆河流域出山径流对气候转型的响应[J]. 冰川冻土,2003,25(2):188-193.
- [3] 曹玲,窦永祥,张德玉. 气候变化对黑河流域生态环境的影响[J]. 干旱气象,2003,21(4):15-50.
- [4] 张杰,李栋梁. 祁连山及黑河流域降雨量的分布特征分析[J]. 高原气象,2004,23(1):81-89.
- [5] 李跃清. 相空间 EOF 方法极其在气候诊断中的应用[J]. 高原气象,2001,20(1):88-93.
- [6] 吴洪宝,李栋梁,章基嘉. 中国冬季月平均气温异常的旋转 EOF 分析[J]. 南京气象学院学报,1995,18(3):349-354.
- [7] 林振山,邓自旺. 子波气候诊断技术的研究[M]. 北京:气象出版社,1999. 1-38.
- [8] 张存杰,郭妮. 祁连山区近40年气候变化特征[J]. 气象,2003,28(12):33-46.
- [9] 何金海,刘芸芸,常越. 西北地区夏季降水异常及其水汽输送和环流特征分析[J]. 干旱气象,2005,23(1):10-17.

Climatic Characteristics of Annual Precipitation in Recent 45 Years in Qilian Mountain

ZHANG Xiao - ming^{1,2}, WEI Feng², LU Yan³

- (1. Institute of Arid Meteorology, CMA; Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China;
2. Dingxi Meteorological Bureau of Gansu Province, Dingxi 743000, China;
3. Pinglu Meteorological Bureau of Shanxi Province, Pinglu 044300, China)

Abstract: The yearly rainy days with different rainfall level and annual precipitation were obtained by using the daily precipitation data (1960 - 2004) of 17 stations in the Qilian Mountain. By means of EOF and REOF analysis on normalized annual precipitation, the abnormal spatial distribution and the time evolution of annual precipitation there were investigated. Results show that the climate average distributions of annual precipitation and different level rainy days were similarity in geographical distribution. Both the annual precipitation and the different level rainy days were evidently more in the west side than that in the east side of the same latitude area, and more in the east section than that in the west section of the Qilian Mountain, and the isoline presented the direction of northwest to southeast. The spatial anomaly of the annual precipitation characterized the coincident variability in the whole area at first, and then the adverse trends in the east and the west part. The rotated loading vectors reflected 4 anomaly modes of the north slope of the west section, the east section, the south slope of the west and middle section, and the north slope of the middle section of the Qilian Mountain. In recent 45 years, the decadal change in precipitation was obvious in the north slope of the west section and relatively small in the other three areas. Wavelet analysis shows that the precipitation period changes were different in four areas, and that means the complexity of the annual total precipitation over the Qilian Mountain.

Key words: the Qilian Mountain; annual precipitation; climatic characteristics; REOF

(上接第 34 页)

Analysis on 0 °C Level Height Change in Summer over Northeast Side of Qilian Mountain

LI Guo - chang¹, LIU Shi - xiang^{2,3}, ZHANG Cun - jie², ZU Yong - an³,
PU Su³, WANG You - sheng³

- (1. Weather Modification Office of Gansu Province, Lanzhou 730020, China;
2. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China;
3. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

Abstract: The change of the 0 °C level height in summer over the northeast side of the Qilian Mountain was analyzed, and the relationship between the 0 °C level height and surface temperature, precipitation, water vapor content in atmosphere and stream flow of inland rivers were discussed. Results show : (1) The 0 °C level height was obviously higher than normal in the late 1950s and the 1960s, and lower in the 1980s. It presented downward trend from the late 1960s to 1970s, and upward trend in the 1980s and 1990s, and it downward again in the first 4 years of the 21st century; (2) From May to September, the positive correlation was found between the 0 °C level height and surface temperature, water vapor content in atmosphere, and it was negatively correlated with precipitation, and there was low correlation between the 0 °C level height and the stream flow of inland rivers.

Key words: the Qilian Mountain; the 0 °C level height; trend; correlation