近45年青海省夏季降水异常特征分析

王黎俊¹,刘彩红^{1,2,3},孙安平¹,伏 洋¹,朱西德¹

(1.青海省气象局,青海 西宁 810001; 2.中国科学院大气物理研究所,北京 100029;

3. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044)

摘 要:利用青海省 41 个测站,1961~2005 年 6~8 月降水量资料,采用 REOF、小波分析及突变分析等方法, 对青海省夏季降水量的空间异常特征和时间变化规律进行了诊断研究。结果表明:旋转后的前 3 个载荷向量可较 好地代表青海夏季降水的 3 个主要异常敏感区:青海东部区、西部区和南部区。近 45 a来,各区夏季降水趋势分别 表现为无显著变化(东部区)、增加(西部区)和减少(南部区)。除具有 4 a 和 10~12 a 左右的振荡周期外,各异常区 还具有各自不同的振荡周期。青海省夏季降水突变的时间约发生在 1970 和 1999 年。

关键词: 夏季降水;异常特征;REOF;小波分析;青海省

中图分类号: S161.6⁺¹ 文献标识码: A 文章编号: 1000-7601(2008)02-0225-06

青海省是长江、黄河、澜沧江的发源地,素有"江 河源头"和"中华水塔"之称,是全国主要的水源地之 一,区域涵养水源功能显著,是全国生态环境系统的 天然屏障^[1]。随着全球气候变暖,各地异常气候事 件频繁发生,青海省也不例外。由于青海省降水主 要集中在夏季,约占全年的 60%以上,夏季气温升 高、降水减少,夏旱发生的频次将增加;如果夏季降 水增加则会加重病虫害对农牧业生产的危害程 度^[2],将严重影响农牧业经济的增收。夏季降水异 常还会影响草地、湖泊等自身的生态环境效应。

关于青海省夏季降水异常的问题,已经有了一些初步的研究,时兴合^[3]等在相关普查及分析各因 子物理意义的基础上,建立了青海省夏季降水的概 念模型和预测模型;黄玉霞^[4]等分析表明,青海高 原夏季降水的年代际变化总体呈先增后减的抛物线 型变化,20世纪80年代中期以前没有明显的变化 周期,80年代末以后存在较稳定的3 a 周期;汪青春 等^[5]认为:青海高原近40年来年夏半年降水量呈减 少趋势,夏半年降水量和雨日虽在减少,但降水强度 在增大。朱西德^[6]等用青藏高原的80个气象站台 近34年来年降水量资料,采用EOF、REOF、气候趋 势线性趋势分析及累积距平等方法对青藏高原年降 水量的时空分布特征及其异常进行了分析。

在参考有关青海省夏季降水变化的有关文献基础上,采用 REOF、小波分析及突变分析等方法,对 青海省夏季降水量的空间分布特征和时间演变规律 进行了诊断研究,不仅有助于加深对省内降水气候 特征的认识,对研究青海省各异常区降水成因和研制预测方法提供基础,还可为防御异常气候引发的 气象灾害提供依据,并可深层次研究青海省"三江 源"、"环青海湖"和"柴达木盆地"等典型生态区域在 夏季的人工增雨潜力,增加黄河水量,起到"三江源" 等地区生态恢复和建设的作用,并对当地的农业生 产和经济建设提供更好的气象服务依据。

1 资料和方法

降水资料选用青海省 41 个台站 1961~2005 年 6~8 月的月总降水量。为消除地理位置、地形及月 际变化的影响,在采用 REOF 和对其分区时,对资 料进行了距平标准化处理。

小波分析在时域和频域上同时具有良好的局部 性质,可以分析出时间序列周期变化的局部特征,能 更清楚地看到各周期随时间的变化情况,从而在气 候分析中得到广泛应用,这里选取的小波变换为 Morlet 小波,其形式为:

 $\psi(t) = \exp(i2\pi t)\exp(-t^2/2)$

在对青海省夏季降水做突变分析时,采用了 Mann-Kendall 方法,特点是能够较为准确地确定符 合统计检验的突变时间,避免人为因素的影响。

2 青海省夏季降水的空间异常特征

对青海省 41 个台站夏季降水利用旋转主成分 进行分析,其旋转载荷量能够较好地反映降水场的 空间异常特征。同时将空间相关的地区减少到少数

收稿日期:2007-07-02

基金项目:国家自然科学基金项目(40533015)

作者简介:王黎俊(1975一),男,青海民和人,工程师,主要从事人工影响天气方面的工作。

⁽C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

几个,客观地识别空间型,以进行客观分区。表1给 出了前5个主分量旋转前(PC)和旋转后(RPC)的 方差贡献。从旋转前后 PC 和 RPC 占总体方差贡 献的数值看,旋转后方差贡献比旋转前降低4%,是 由于旋转后旋转载荷量值增大,即局地方差增大,突 出了高原降水所特有的异常性质。

地四周高山,地形闭塞,越山后的气流多为干燥空气

且下沉作用明显,因而年降水量很少。其中冷湖是

青海省降水量最少的地区,夏季平均降水量仅为

玉树地区,中心值最大值为一0.71。由于青海高原

的南部离青海省主要的水汽源地-孟加拉湾较近,

受西南季风影响较显著,同时由于青藏高原本身的

热力、抬升等作用,造成这一带低涡和切变活动比较

频繁,有利于对气流的抬升作用,因而使这一带年降

C区,南部区(图 lc)。旋转载荷量大值区位于

表 1 前 5 个 PC 和 RPC 对总方差的贡献率(%)

Table 1 The variance contribution of	f the first	5 PC and RPC
--------------------------------------	-------------	--------------

序号 Serial number	1	2	3	4	5
PC 贡献率 Contribution of PC	35.68	14.35	8.46	7.45	3.75
RPC 贡献率 Contribution of RPC	30.74	13.75	9.68	5.97	5.32

12.3mm

水量较多[16]。

为了进一步说明青海省降水各地域的气候特点,按 North^[19]判别准则,取前5个载荷向量及对应的主成分参加旋转,由前3个旋转荷载量场得到青海夏季降水的3个空间异常气候区(图1)。

A 区,东部区(图 la)。旋转载荷量大值区位于 西宁、海东地区,这里是青海雨季较长、雨量较大的 地方,中心值达^{+0.84},此异常区覆盖东部 ²⁰ 个台 站。

B区,西部区(图 lb)。夏季降水的另一异常敏 感区在沙漠盆地,第二旋转载荷量大值区在格尔木、 德令哈一带,中心最大值为+0.77。由于柴达木盆



Fig. 1 Spatial patterns of 3 leading REOF modes of summer rainfall of Qinghai $(a \sim c)$ and the plot of divisions(d)

(the shadow is the center area of energy contribution)

以上分析表明, REOF 分解所得主要模态空间 分布结构清晰, 能够较好地反映青海降水的区域特 征。并且高载荷区覆盖了青海绝大部分地区, 且相 邻区域几乎没有重叠, 分区较为客观。

3 青海省夏季降水的时间演变特征

3.1 各异常区降水的长期趋势及突变分析

研究青海省各异常区降水长期趋势,对未来的 预报服务有重要的指导意义。图2是各异常区夏季 降水的时间系数和实际降水量演变图(a~c)。夏季 降水经 REOF 展开后,其时间系数表征了逐年降水 量的变化,也代表了相应旋转荷载量场逐年所占的 权重,各时间系数与实际降水量对比可看出两者的 一致性。由图2可知,近45a,A区夏季降水总趋势 无显著变化,有微弱的下降,为一1.97 mm/45a,区 域平均降水量达到237.3 mm。B区降水量整体有 显著的上升趋势,增长率为24.5%/45a,平均降水 102.6 mm,增幅25.2 mm/45a,近年有变湿的倾向。 C区因地形影响比较显著,第三时间系数与降水的 一致性较差,但总体趋势都表现为较明显的下降趋 势,下降幅度为17.6 mm/45a,区域平均降水量为 291 mm。



图 2 1961~2005 年青海各异常区(a~c)降水时间序列及趋势



目前对气候突变的检测比较客观、准确的方法 是 Mann⁻⁻Kendall 方法(简称 M⁻⁻K 法),但也只能 对均值突变的检测有把握,下面我们将用 M⁻⁻K 法 对夏季降水异常区 45a 来是否存在气候突变进行分 析。

图 ³ 中 c¹ 为降水的顺序统计曲线, c² 为降水的 逆序统计曲线,并给定显著性水平: α=0.05,临界 线为 ^{1.96}(两条直线)。若 c¹ 或 c² 的值大于 0,则 表明序列呈上升趋势,小于 0则表明呈下降趋势。 当它们超过临界线时,表明上升或下降趋势明显。 如果统计曲线在临界线之间出现交点,则交点对应 的时刻便是突变开始的时间。由图 3 可以看出,A 区(图 3a)突变发生在 1969 年,降水有弱回升趋势; 在 1999 年左右存在一次突变,降水有较弱的下降趋 势。B 区(图 3b)历年来只在 1970 年有一次突变, 降水量开始增加。C 区(图 3c)分别在 1965、1979、 1984 年存在突变,降水呈小~大~小的变化趋势。 图 3d 为整个青海省夏季降水发生突变的时间,约为 1970、1999 年。



图 3 青海各异常区(a~c)及青海(d)降水时间序列的 Mann—Kendall 突变检验 Fig. 3 Climate jump of the precipitation by Mann—Kendall method of divisions(a~c) and whole area(d) in Qinghai

3.2 各异常区降水的小波特征

图 4 为各异常区的 Morlet 小波系数时频分析 图,小波系数正值表示处于多雨周期,反之处于少雨 周期。由图可以看出,在不同阶段的同一周期振荡 以及同一阶段的不同周期振荡的强弱程度是不一样 的。A 区(图 4a)经历了 6 个干、湿交替的阶段,近 45 a 来, 除了有明显 9 a 的振荡周期外, 在 20 世纪60~80年代、80年代~本世纪分别存在准3 a 和 5 a的振荡周期,其中3a的周期信号较强。对于10a以上相对较大的时间尺度,17 a 左右的周期较为明 显;B区(图4b)8 a周期突出,在60~70年代,80~ 90年代均存在 2~4 a 的振荡周期。在 17 a 的周期 上也存在能量贡献区;C 区(图 4c)在 80 年代 ~ 90 年代中期,2~3 a 的振荡周期十分明显,4~6 a 的周 期在70年代后开始出现,除此之外,在70年代中期 ~ 90 年代具有 8 ~ 10 a 的振荡周期, 但信号强度较 弱。这与降水时间序列变化存在很好的对应关系。

由分析可知,整个青海各异常区除了具有 2~4 a、8~10 a 的振荡周期外,各代表站还存在不同的振 荡周期,这是由于各站所处的地理位置不同影响降 水的因子不同,或相同的影响因子对它们作用大小 也不尽相同。

文献^[20]的研究结果表明,北半球极涡有^{3~5} a 年发生突变,降水量开始增加。C区分别和^{8~12} a振荡周期,并且与我国的降水场有较好 1984年存在突变,降水呈小[~]大[~]小的的相关关系。

际变化与其上空的大气环流的振荡密切相关。北半 球极涡的变化会影响我国整个上空大气环流的调整 从而影响青海省降水。青海4 a 和 8~10 a 的振荡 周期和极涡 3~5 a 和 8~12 a 振荡周期再一次验证 了这种耦合机制。黄菲等^[21]证实了乌拉尔山阻高 活动对我国夏季降水的预报指示作用,阻高发生的 频数存在明显的年际变化,主要包含 3~4 年和准 8 年的周期振荡,进一步表明,青海夏季降水异常对乌 拉尔山阻高活动也有较强的响应。

4 结论与讨论

1) 青海省夏季降水在空间上可分为 3 个区:青 海东部区、北部区和南部区。近 45 年来,各区夏季 降水分别呈无显著变化(A 区)、增加(B 区)、减少(C 区)的趋势:A 区夏季降水线性趋势呈水平,区域平 均降水量达到 237.3 mm。B 区降水上升趋势显著, 增长率为 24.5%/45a,平均降水 102.6 mm,增幅 25.2 mm/45a,近年有变湿的倾向。C 区总体趋势 表现为较明显的下降趋势,下降幅度为 17.6 mm/ 45a,区域平均降水量为 291 mm。

2) A 区突变发生在 1970年,降水有弱回升趋势, 1999年突变,降水有较弱的下降趋势。B 区只在 1970 年发生突变,降水量开始增加。C 区分别在 1965、1979、 1984年存在突变,降水呈小~大~小的变化趋势。青 海省夏季降水发生突变的时间,约为 1970、1999年;



图 4 各异常区 Morlet 小波系数时~频分析图(a~c) Fig.4 Time~frequency distribution(a~c) of Morlet wavelet transform of divisions over Qinghai

3) 各异常区除具有 4 a 和 10~12 a 左右的振 荡周期外,还具有各自不同的振荡周期:近 45 a,A 区经历了 6 个干、湿交替的阶段,有明显 9 a 的振荡 周期;对于 10 a 以上相对较大的时间尺度,17 a 左 右的周期较为明显;B 区 8 a 周期突出,在 60~70 年 代,80~90 年代均存在 2~4 a 的振荡周期;C 区在 80~90 年代中期,2~3 a 的信号较强,4~6 a 的周 期在 70 年代后开始出现。分析表明,青海各降水异 常区除受到相同的大气因子的影响外,还对其他外 部因子产生响应。

笔者所分析的是青海省有气象观测资料以来的 夏季降水变化特征,虽然结果可信度和定量程度较 高,但资料长度也只能到 45 a,且青海省西北部气象 台站分布稀少,这些地区的气候变化今后仍需深入 研究。青海省降水受到地形、大气环流等多种因素 的影响,究竟何为主导因素及其物理机制,有待于更 深入的研究和探讨。

参考文献:

- [1] 莫申国,张百平,程维明,等,青藏高原的主要环境效应[J].地 理科学进展,2004,24(2):88-96.
- [2] 时兴合,李凤霞,扎西才让,等.海西东部及环青海湖地区 40 多 年的气候变化研究[J].干旱地区农业研究,2005,(2):21-23.
- [3] 时兴合,秦宁生,马元仓,等.1999年夏季青海多雨形势分析
 [J].高原气象,2002,21(2):222-224.
- [4] 黄玉霞,王宝鉴,王鹏祥.青海高原夏季降水异常及其水汽输送特征分析[J].气象,2006,(1):14-17.
- [5] 汪青春,秦宁生,张占峰,等.青海高原近 40a 降水变化特征及 其对生态环境的影响[J].中国沙漠,2007,(1):27-29.
- [6] 朱西德,李 林,秦宁生,等,青藏高原年降水量的气候变化及 其异常类型研究[J].气象科学,2003,(4):9-12.
- [7] IPCC Report Climate Change 2001: The Scientific Basis [R].
 Cambridge: Cambridge University Press, 2001.140-165.
- [8] 叶笃正,高由禧.青藏高原气象学[M].北京:科学出版社, 1979.
- [9] 戴加洗·青藏高原气候[M],北京:气象出版社,1990.
- [10] 白虎志,董文杰,马振锋,青藏高原及邻近地区的气候特征[J],高原气象,2004,23(6):890-897.
- [11] 汤懋苍,李存强,张 建.青藏高原及其四周的近代气候变化 [J].高原气象,1998,7(1):39-49.
- [12] 王绍武·气候预测研究[M]·北京:气象出版社,1996.84-93.
- [13] 朱西德,李 林,秦宁生,等,青藏高原年降水量的气候变化 及其异常类型研究[J].气象科学,2003,22(2):452-459.
- [14] 高 荣, 韦志刚, 董文杰, 等. 20世纪后期青藏高原积雪和冻 土变化及其与气候变化的关系[J]. 高原气象, 2003, 22(2): 191-196.
- [15] 林振耀.青藏高原气温降水变化的空间特征[J].中国科学, 1996,26(4):354-358.
- [16] 王江山,李锡福.青海天气气候[M].北京:气象出版社,2004. 22-27.
- [17] 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 219-226.
- [18] 吴洪宝,吴 蕾.气候变率诊断和预测方法[M].北京:气象出 版社,2005.230-232.
- $\label{eq:constraint} \begin{array}{c} [19] & \mbox{North G R, Bell T L, Cahalan R F \cdot Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions $[J]$. Mon Wea Rev, $\ensuremath{\mathsf{Rev}}$, \en

80~905年代忠期.2~3A 的信号较强,4~6 6 的周 ublishing 1982.110公1699-706. http://www.cnki.net

- [20] 顾思南,杨修群,北半球绕极涡的变异及其与我国气候异常的关系[J].气象科学,2006,26(2):135-142.
- [21] 黄 菲,姜治娜,欧亚大陆阻塞高压的统计特征及其与中国 东部夏季降水的关系[J].青岛海洋大学学报,2002,32(2): 86-192.
- [22] Ye Duzheng, Yan Zhongwei. Climatic jumps in the history [A].

Climatic variability [C] \cdot China Meteorological Press, 1993. 3–14.

[23] Li Xiaodong, Zhu Yafen, Qian Weihong. Spatiotemporal variations of summer rainfall over Eastern China during 1880~1999
 [J]. Advances in Atmospheric sciences, 2002, 19(6): 1055-1068.

Analysis of abnormal characteristics of summer precipitation in Qinghai during the last 45 years

WANG Li-jun¹, LIU Cai-hong^{1, 2, 3}, SUN An-ping¹, FU Yang¹, ZHU Xi-de¹

(1. Meteorological Bureau of Qinghai Province, Xi'ning, Qinghai 810001, China;

2. Institute of Atmospherics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. Nanjing University of Information Science, Nanjing, Jiangsu 210044, China)

Abstract: With REOF. Morlet wavelet, spectral analysis method, the spatial anomaly features and time evolution rule of summer precipitation anomaly in Qinghai are studied by using the precipitation data in June, July and August for the period $1960 \sim 2005$ from 41 observation stations. The results show that the first three rotated loading vector fields represent three principal precipitation anomaly areas: East, West, and South of Qinghai. Summer precipitation tendency of every division presents unchangeableness, increasing and decreasing respectively in the last 45 years. Morlet wavelet analysis indicates that there are different oscillation periods besides 4a and $10 \sim 12$ a periods in every regions. The abrupt change occurred in about 1970 and 1999.

Key words: summer precipitation; abnormal characteristic; rotated empirical orthogonal function; longterm trend wavelet analysis; Qinghai Province