

文章编号:1000-694X(2008)03-0519-07

新疆大气可降水量的气候特征及其变化

史玉光^{1,2}, 孙照渤¹

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2. 新疆气象局, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要: 利用 1961—2000 年 NCEP/NCAR 再分析逐日资料, 分析了新疆地区不同季节大气可降水量(APW)的气候分布特征和变化趋势。结果表明: 新疆夏季 APW 小于季风区界限 25 mm, 从该角度表明新疆为非季风区。APW 空间分布呈塔里木盆地和准格尔盆地高值区, 海拔高的阿勒泰山、天山和昆仑山为低值区。APW 夏季最大, 但小于同纬度东部季风区, 春、秋次之, 冬季最少, 春、秋和冬季 APW 与同纬度东部季风接近。APW 的地理分布与实际降水量分布相反, 其最大(最小)区域却为降水量最小(最大)区, 受西风带影响, 新疆 APW 模态主要表现全疆一致变化, 分布稳定, 与降水模态分布差异性大有显著不同, 且近 40 a 来无显著变化趋势, 表明决定新疆降水差异的根本原因不在于水汽的多少, 而是由降水产生的动力条件、水汽辐合和其他因素差异决定的。

关键词: 新疆; 大气可降水量; 气候特征; 气候变化

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

新疆处于干旱、半干旱地区, 区域内覆盖了高山、湖泊、冰川冻土、森林植被和沙漠, 为西风带气候特征, 气候不受季风系统的直接影响^[1-2], 天山将新疆分为北疆和南疆, 南、北疆气候具有显著差异, 北疆平原地区年降水量约为 277.3 mm, 南疆年降水量仅为 66.2 mm 左右, 降水主要集中于夏季(6—8月), 其次是春季, 降水变率比较大, 水资源十分匮乏, 严重制约着经济社会发展和生态环境的保护。20 世纪末期以来, 全球气候变暖幅度加大, 尤其是中高纬度地区最为明显, 对全球变暖的研究更加迫切需要了解空中水汽在气候系统中的作用。水汽是大气中活跃多变的成分, 它是产生降水的物质基础, 直接关系到各地的降水天气及气候特征; 其次, 水汽还通过平流和垂直输送及蒸发凝结过程, 明显地影响地面和大气中的水分循环及能量平衡^[3]; 水汽作为大气中比 CO₂ 和 CH₄ 都重要的“自然”温室气体, 它对全球增暖也引起了人们的注意^[3-4]。

国内外的许多气象学家都对水汽的变化进行了诸多的研究, 徐淑英^[5] 讨论了我国的水汽输送和平衡, 谢义炳等^[6] 分析了黄淮地区降水过程的水汽输送, 邹进上等^[7]、陆渝蓉等^[8]、翟盘茂等^[9] 及俞亚勋等^[10] 先后讨论了我国的平均水汽场及影响因子。近年一些作者^[11-16] 研究了中国西部地区大气水汽区域特征及其变化, 表明西部地区大气水汽区域差异很大, 并且着重探讨了夏季和西北地区东部季风

区以及青藏高原地区大气水汽特征。张强等^[17] 将卫星遥感资料与探空资料和地面观测降水资料相结合, 分析了祁连山山区空中水汽含量和云迹风的空间分布特征, 这些都加深了对我国西部地区降水天气气候过程的理解。但是, 上述研究大多数针对季风影响区或春、夏季对我国的西北部地区尤其是新疆的研究还比较少, 另外, 过去的一些研究受到资料 and 计算条件等的限制, 使用的资料年代短, 且资料来源主要靠单站的探空资料, 所以存在站点分布不均匀、台站变迁以及观测规范、时次、仪器变更等多种因素的影响, 使得探空资料温度、湿度序列中存在明显的不均一性, 此外, 新疆地区的降水特征与西北地区东部的季风区有很大差异, 近 40 a 来, 新疆地区降水明显增多^[18], 究竟是什么原因? 是许多科学家探讨的重点问题。这里我们使用序列更长、更新、更密的资料, 针对新疆区域, 从春、夏、秋、冬四季空中水汽分布特征、模态及其变化趋势这一角度进行研究讨论, 从而使新疆气候由暖干向暖湿转型的信号评估由地表水、地下水扩展到空中水汽, 丰富对新疆地区水资源状况的认识。

1 资料和方法

用美国 NCEP/NCAR 公布的 1961—2000 年再分析一日四次的逐日格点资料, 研究新疆地区大气可降水量的气候特征, 要素包括比湿 q 和地面气压

收稿日期: 2007-10-20; 改回日期: 2007-11-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(40775056); 中国气象局气候变化研究专项(CCSF2008-8)共同资助

作者简介: 史玉光(1961—), 男, 山西人, 在读博士, 正研级高级工程师, 主要从事天气动力学和气候环境领域研究。

Email: shiyg2517@sina.com

p_s , 水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$; 垂直层次为 1 000 hPa、925 hPa、850 hPa、700 hPa、600 hPa、500 hPa、400 hPa、300 hPa, 先由一日四次的资料得到各层日平均湿度场, 然后得到它们的月平均值, 其中包含了瞬变扰动的贡献。对该资料是否适用于西北地区气候的长期变率研究已有人用观测站探空资料作过检验^[19], 发现这两种资料变化趋势基本吻合。苏志侠等^[20]也对该资料集在青藏高原及其邻近地区做了比较全面的检验, 认为该资料集与实际观测值比较一致。因此我们可以确信该资料的真实性和可靠性, 同时用的比湿和地面气压都属于 NCEP/NCAR 再分析资料的一类资料, 国际上公认一类资料可信, 能比较真实地反应大气的状况, 本文用该资料可以进行新疆地区气候特征的长期变率研究。利用合成分析和经验正交分解 (EOF) 等诊断方法。利用以下公式计算春季 (3—5 月)、夏季 (6—8 月)、秋季 (9—11 月) 和冬季 (12—2 月) 的大气可降水量 APW:

$$APW = -\frac{1}{g} \int_{p_s}^{p_t} q(p) dp$$

式中: APW 为某地单位面积上空整层大气的总水汽含量; $q(p)$ 为各层的比湿; p_s 、 p_t 分别为地面气压和大气顶气压, 考虑到高层水汽少, 水汽资料也不很精确, 取 300 hPa 为顶层。

2 气候特征及其变化

2.1 春、秋季的气候特征、模态及变化

图 1 为春、秋季新疆地区 40 a 平均的整层大气可降水量的空间分布, 从图中可以看到, 春季塔里木盆地和准格尔盆地大气可降水量两个高值区, 阿勒泰山、天山和昆仑山为低值区, 塔里木盆地最大中

心位于盆地东北部值达 16 mm, 大气含水量最大区域却为降水量最小区, 表明降水最少区域的空中水汽并不缺乏, 而是由决定降水产生的其他因素决定的。准格尔盆地最大值达 10 mm, 可降水量等值线大体沿纬圈分布。地理纬度、地形高度和大气环流是决定大气含水量的基本因素, 盆地上空气柱长, 高山上空气柱短, 南、北疆均处于西风带控制下, 因此地理纬度和地形高度决定了大气含水量的分布, 纬度偏南、地势高度低使得南疆盆地大气含水量最大。由于地理纬度和地形高度几乎不变, 对降水而言大气环流是决定因子, 北疆降水量远大于南疆, 山区远大于盆地, 可见新疆地区空中水汽分布与降水量地理分布是相反的, 表明降水多少的根本原因不在于水汽的多少, 而在于促成降水的动力条件、水汽辐合和其他条件的差异。春、秋季是冬、夏季间的过渡季节, 两者的大气可降水量空间和量值分布特征十分相似 (图 1), 但春季降水量大于秋季, 这是由于大气环流所决定的。已有研究指出西北地区春季更多降水扰动系统, 上升气流也相对强些^[13], 有利于降水产生。而秋季新疆地区秋高气爽, 新疆脊和中西伯利亚脊稳定^[14], 高压脊控制下不利于降水产生。新疆地区春、秋季大气可降水量与同纬度的华北、东北接近, 但比黄河以南地区偏少 1~3 倍。

为了了解春季新疆地区大气可降水量主要变化模态, 对其进行经验正交函数 (EOF) 分析 (图 2), 计算区域为 70°E — 97.5°E , 32.5°N — 50°N , 第一模态占总方差的 20.9%, 空间分布为全疆一致变化, 南疆盆地大值区变化比其他区域大, 对应的时间序列表明这种模态具有减弱趋势。第二模态占总方差的 14.6%, 表征了 40°N 南北的相反变化趋势, 基本表征了春季大气环流的季节变化, 即不同地理纬度随季节的推移温度的变化趋势, 40°N 以南升温幅度大

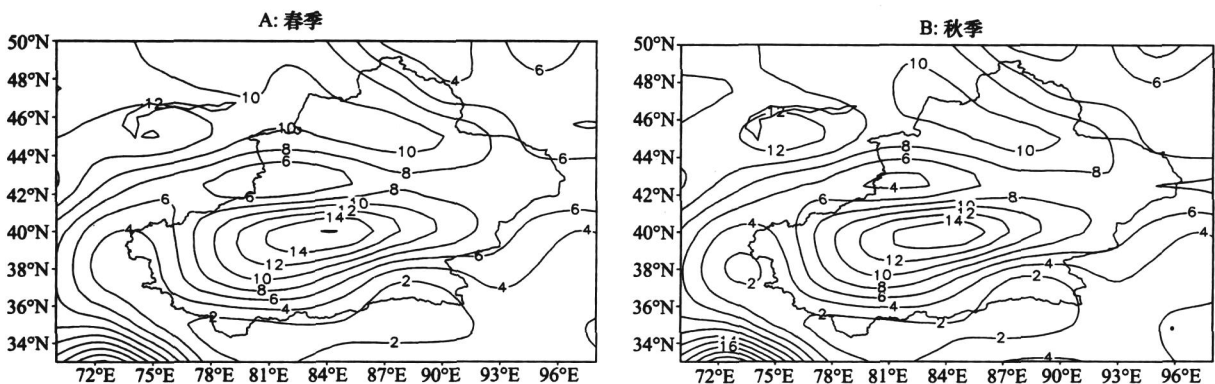


图 1 新疆地区多年平均 (1961—2000 年) 大气可降水量分布 (单位: mm)

Fig. 1 Distribution of multi-year atmospheric precipitable water during 1961—2000 over Xinjiang

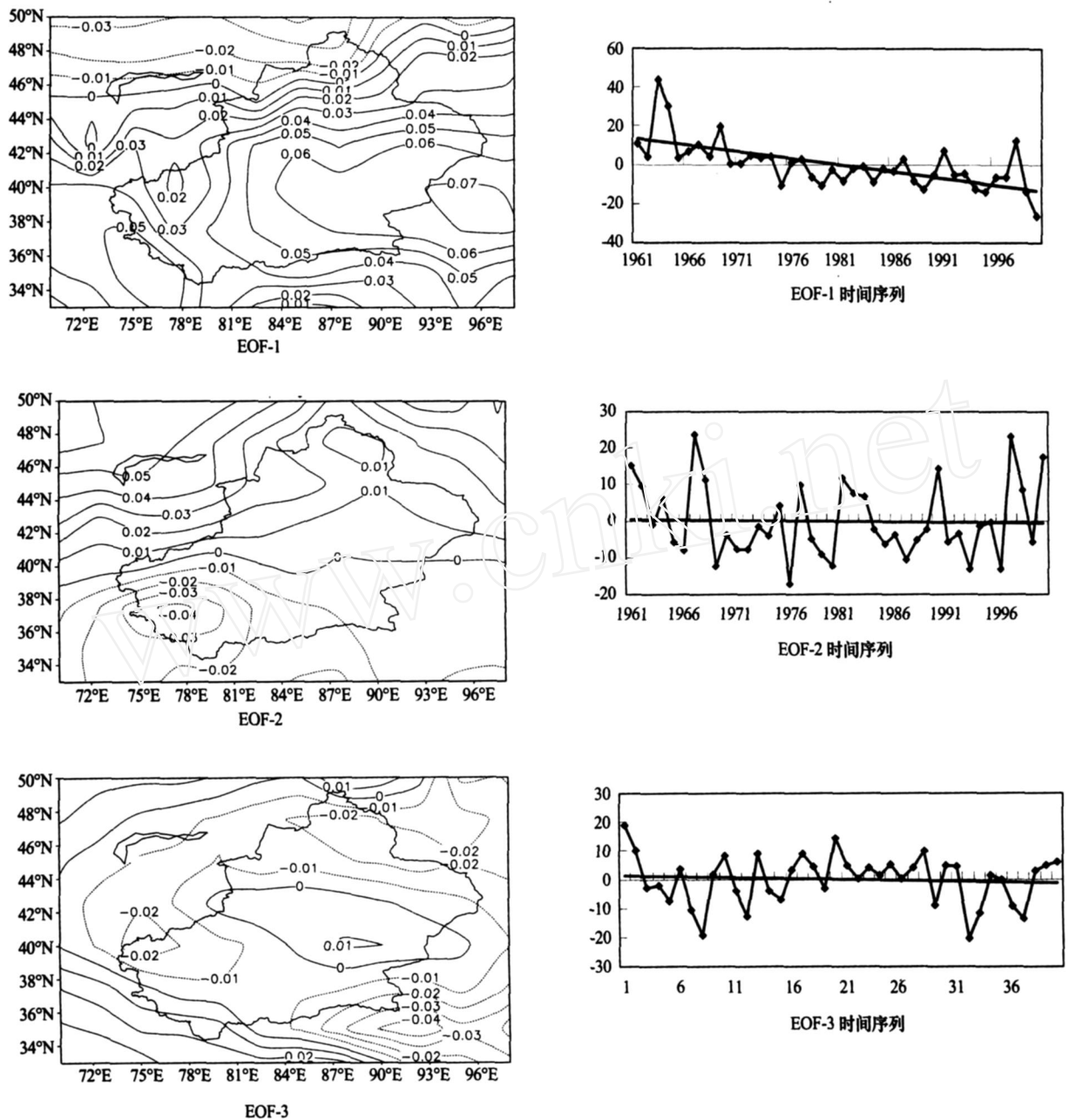


图 2 春季新疆大气可降水量 EOF 分解前 3 个方差最大的特征模态及对应的主分量时间序列

Fig. 2 The largest characteristic modes of the first three variances in EOF analysis and the corresponding main weight time series for spring atmospheric precipitable water in Xinjiang

则含湿能力强,40°N 以北升温幅度小则含湿能力弱,表现在大气含水量呈不同变化。同时,该模态近 40°N 没有明显变化趋势。第三模态占总方差的 10.4%,表示天山山区及其南侧与北疆地区、南疆西部的相反变化,这种模态也无明显变化趋势,前 3 个模态占总方差的 45.9%。

虽然秋季与春季大气可降水量空间分布和量值十分一致,但它们空间分布模态却有较大差异,图 3 为秋季大气可降水量 EOF 分析模态分布,第一模态占总方差的 15.8%,表现为全疆一致变化,第二、三

模态也表现为全疆一致变化(图略),只是变化大的区域有所差异,分别占总方差的 14.7%和 11.6%,第四模态占总方差的 7.3%,表现为南疆南部和东部与其他区域的相反变化,这几个模态没有显著变化趋势。

2.2 夏季的气候特征、模态及变化

夏季整层大气可降水量的空间分布见图 4,夏季与春、秋季大气可降水量的空间分布特征一致,但是夏季各地的平均可降水量均比春、秋季有明显增加,是全年水汽含量最多的季节,北疆盆地中心值达 20 mm,

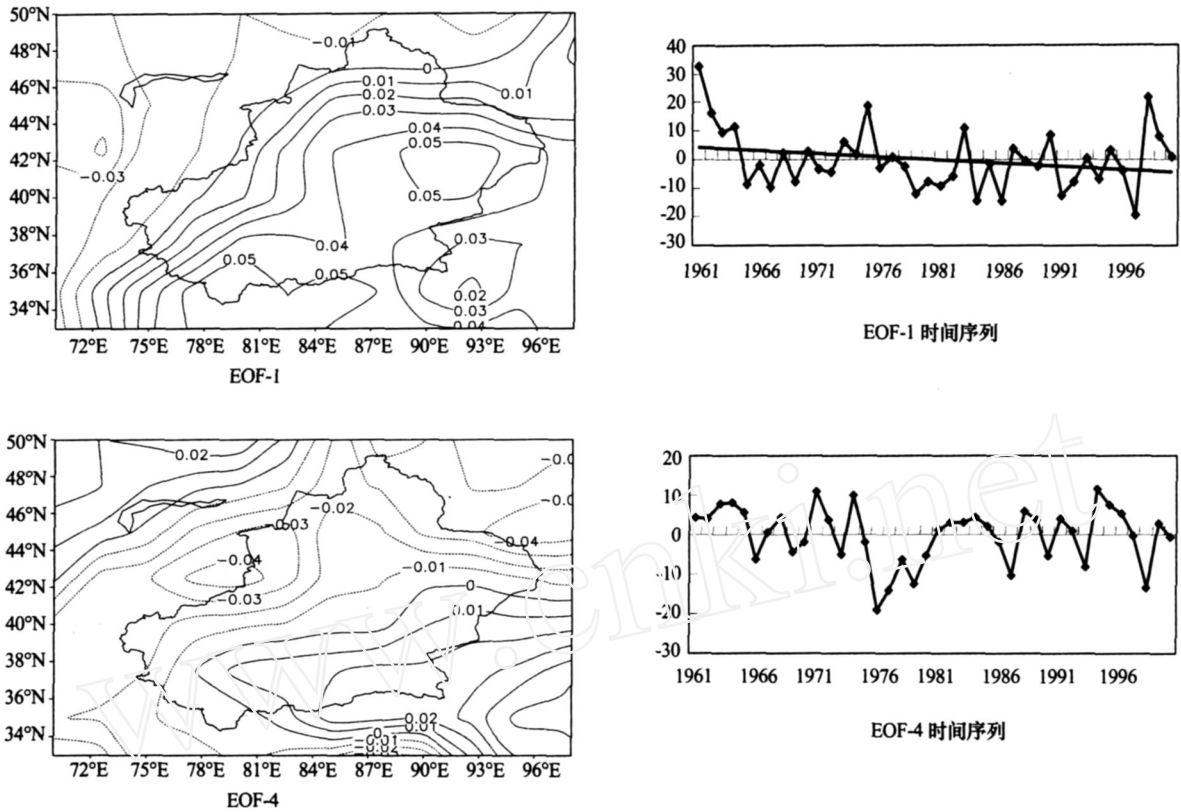


图3 秋季新疆大气可降水量 EOF 分解第 1、4 特征模态及对应的主分量时间序列

Fig.3 The first and the fourth characteristic modes in EOF analysis and the corresponding main weight time series for autumn atmospheric precipitable water in Xinjiang

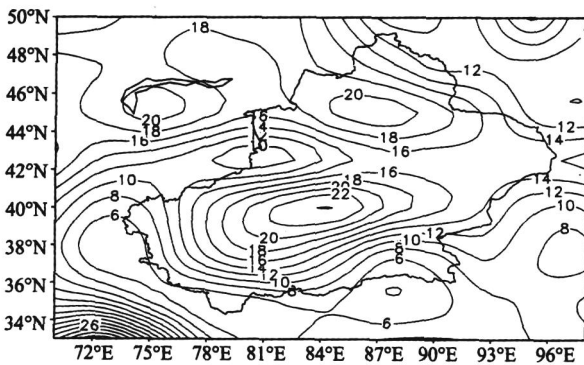


图4 新疆地区夏季多年平均(1961—2000年)大气可降水量分布(单位:mm)

Fig.4 Distribution of summer multi-year atmospheric precipitable water during 1961—2000 over Xinjiang

比春季增加 1 倍,天山山区值达 16 mm,比春季增加 10 mm,南疆盆地达 24 mm,大气含水量最大区域仍然为降水量最小区域,表明夏季降水最少区域的空中水汽并不缺乏,南疆降水少于北疆的根本原因不在于水汽的多少,而是由降水产生的动力条件、水汽辐合和其他因素差异决定的。随着季节推移,气温在夏季达最高,含湿能力强,故夏季的可降水量也

最高。已有研究^[13]指出从夏季平均可降水量角度来分析,可粗略地把夏季 25 mm 可降水量线视为东亚及南亚夏季风推进的北界,夏季我国季风影响区可降水量为 25 ~ 60 mm,新疆夏季可降水量最大为 24 mm,可见从该角度也表明新疆地区不受东亚及南亚夏季风的直接影响,为非季风气候,从大气含水量角度新疆为干旱、半干旱区。

夏季大气可降水量 EOF 分析模态分布见图 5,第一模态占总方差的 18.3%,表现为全疆一致变化,变化最大区域为北疆沿天山一带、北疆东部和东疆地区,该模态无明显变化趋势;第二模态占总方差的 14.9%,也表现为全疆一致变化(图略),变化最大区域为南疆盆地大值区,该模态近 40 a 有弱的增强趋势;第三模态占总方差的 10.2%,也表现为全疆一致变化(图略),变化最大区域为北疆西部、乌鲁木齐以西的北疆沿天山一带、南疆西部和阿克苏地区,该模态表现的增强趋势与这些区域夏季降水增多趋势一致;第四模态占总方差的 7.5%,表现为南疆东部与其他区域的相反变化,及新疆大气含水量最大值中心与其他区域的相反变化,该模态近 40 a 有增强趋势。

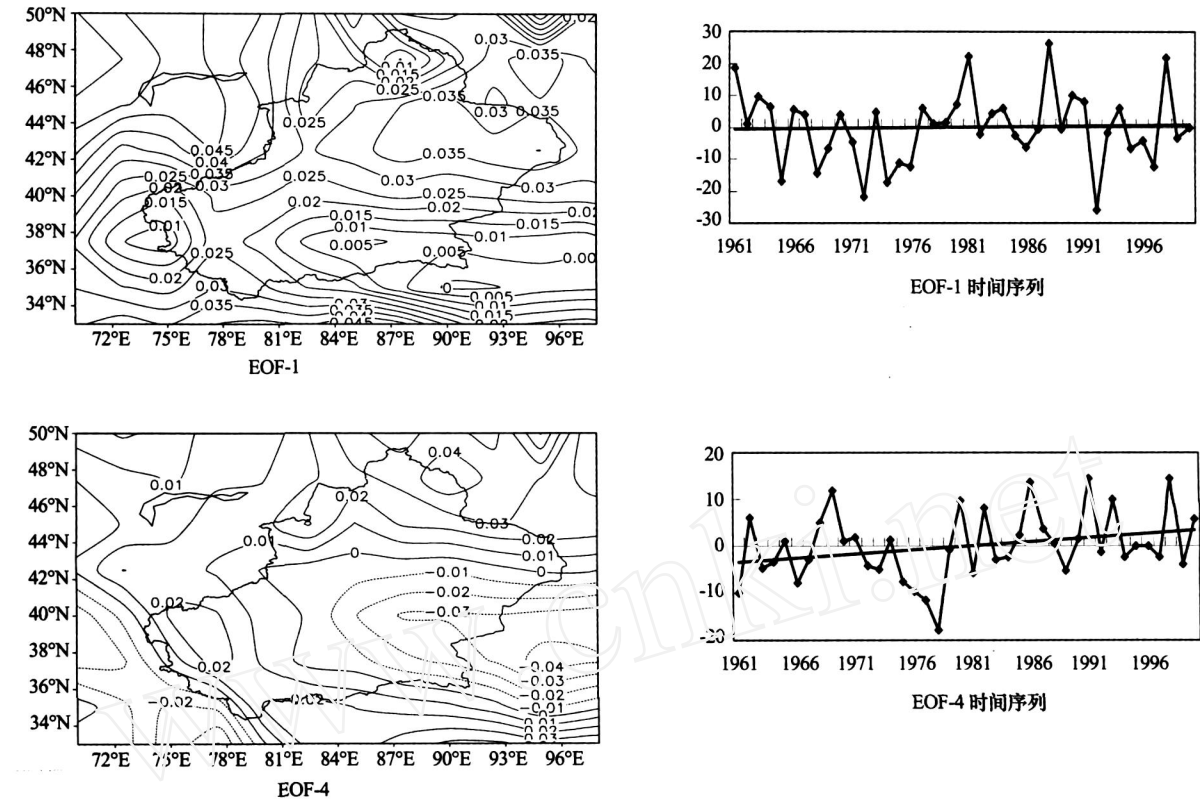


图 5 夏季新疆大气可降水量 EOF 分解第 1、4 特征模态及对应的主分量时间序列

Fig. 5 The first and the fourth characteristic modes in EOF analysis and the corresponding main weight time series for summer atmospheric precipitable water in Xinjiang

2.3 冬季的气候特征、模态及变化

图 6 为冬季大气可降水量的气候平均分布,空间分布仍然为南、北疆盆地为大值区,北部阿勒泰山、中部天山和南部昆仑山为低值区,但水汽含量是一年中最小的,远比夏季小,山区上空的可降水量仅为夏季的 1/8 ~ 1/4,北疆盆地为夏季的 1/5,南疆盆地约为夏季的 45 % 左右,可见,冬季是新疆上空大气可降水量最少的季节,为 2 ~ 10 mm,与同纬度的

西北地区东部和华北地区(为 3 ~ 10 mm)接近^[13]。北疆盆地和阿勒泰山区冬季降水量远大于南疆盆地和同纬度的西北地区东部和华北地区,这是由于大气环流系统的影响差异所决定的。

冬季大气可降水量 EOF 分析模态分布见图 7,第一模态占总方差的 24.6 %,表现为全疆一致变化,只有阿尔金山脉可降水量变化与其他区域不同,该模态呈明显增加趋势,与冬季降水增多趋势一致。第二、三模态也表现为全疆一致变化(图略),只是变化大的区域有所差异,分别占总方差的 13 % 和 10.4 %,可见,冬季新疆地区空中水汽空间分布呈同位相变化,而降水量却是北疆远大于南疆。

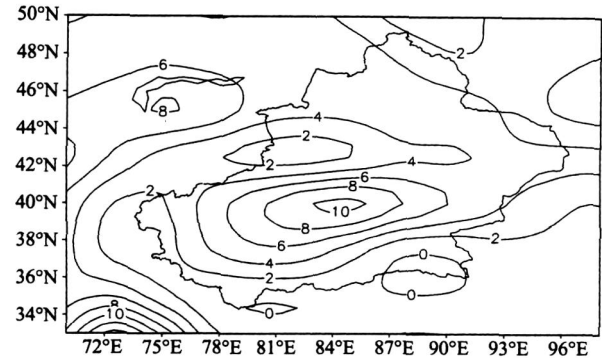


图 6 新疆地区冬季多年平均(1961—2000 年)大气可降水量分布(单位:mm)

Fig. 6 Distribution of winter multi-year atmospheric precipitable water during 1961—2000 over Xinjiang

2.4 新疆年大气含水量的气候特征及变化

新疆年大气含水量的气候分布见图 8,塔里木盆地和准格尔盆地大气可降水量两个高值区,阿勒泰山、天山和昆仑山为低值区,塔里木盆地最大中心位于盆地东北部值达 16 mm,准格尔盆地最大达 12 mm,山区为 4 ~ 10 mm,与春秋季节气候分布特征十分近似。大气含水量分布与降水量分布相反,其最大(最小)区域却为降水量最小(最大)区,表明决

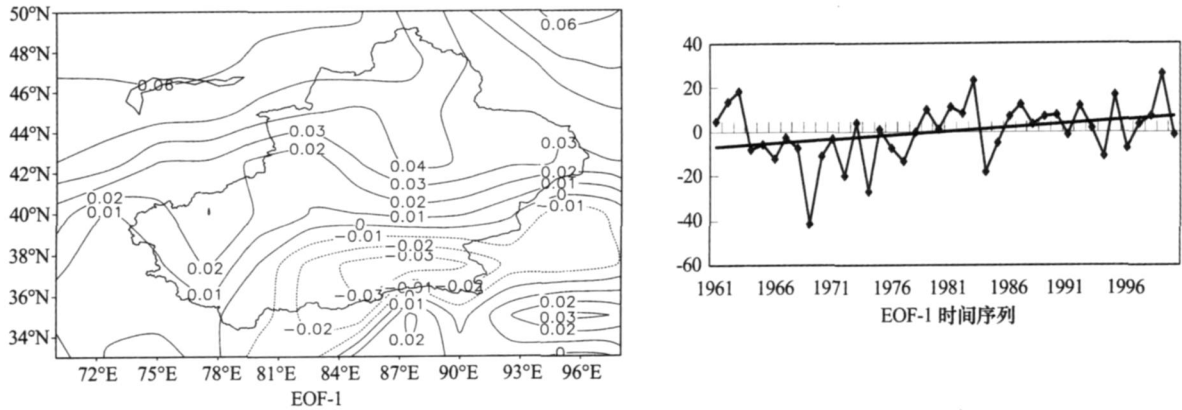


图7 冬季新疆大气可降水量 EOF 分解第1特征模式及对应的主分量时间序列

Fig. 7 The first characteristic mode in EOF analysis and the corresponding main weight time series for winter atmospheric precipitable water in Xinjiang

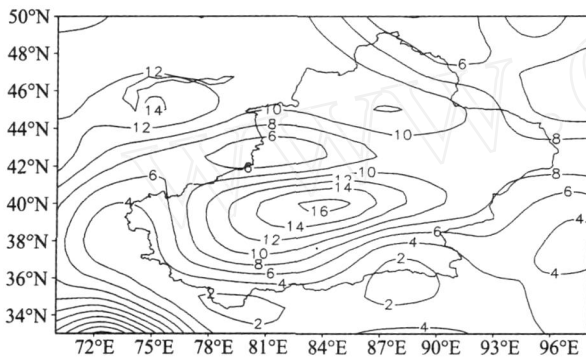


图8 新疆地区年大气可降水量气候分布(单位:mm)

Fig. 8 Distribution of annual atmospheric precipitable water

定新疆降水差异的根本原因不在于水汽的多少,而是由决定降水产生的动力条件、水汽辐合和其他因素差异决定的。

年大气含水量的 EOF 分析表明(图略)前1、3模态均呈全疆一致变化趋势,且未有明显变化趋势,分别占总方差的22.5%和8.6%,第二模态表现为北疆北部、南疆西部与其他区域相反分布型,占总方差的15.6%,该模态近40 a呈增加趋势。

上述研究表明,对处于中纬西风带控制下的新疆地区而言,地理纬度、地形高度和大气环流决定了大气降水量的南疆大于北疆,盆地大于山区的基本分布,且最主要模态表现为全疆的一致变化,而降水恰好呈相反的分布,呈北疆大于南疆,山区大于盆地,大气可降水量最大区降水量最少,最小区则降水量最大,表明新疆降水差异的根本原因不在于水汽的多少,而在于促成降水的动力条件、水汽辐合和其他条件的差异。环流系统和地形作用是影响南疆降水的关键因素,天山山脉海拔约为3 000 m左右,阻挡了北方冷空气进入,西侧帕米尔高原海拔为3 000 m左右,南疆处于天山山脉和帕米尔高原背风坡的下沉气流控制下,该地区产生降水的动力条件

和水汽辐合条件十分不利于降水,虽然空中水汽高于北疆和山区,但降水量却远小于天山北侧地区。在天山北侧地区,其西方没有大尺度的高大山脉阻挡,而北方冷空气和西方、西南方暖湿气流易于长驱直入,并受天山山脉阻挡发生交汇,在天山北侧迎风坡起到了抬升作用,有利于降水的产生。夏季北疆北部、西部和南疆西部空中水汽含量呈增加趋势,冬季除南疆东南部外空中水汽含量呈增加趋势,其他季节空中水汽含量无明显变化趋势。

3 小结

利用 NCEP/NCAR 资料研究了新疆地区四季和年的大气降水量的气候特征和变化,其存在显著季节差异。

1) 夏季25 mm可降水量线视为东亚及南亚夏季风推进的北界,新疆夏季可降水量最大为24 mm,可见从该角度也表明新疆地区不受东亚及南亚夏季风的直接影响,为非季风气候。

2) 新疆四季和年的大气可降水量分布表明新疆地区为干旱、半干旱区,不受季风的直接影响,其空间分布均呈塔里木盆地和准格尔盆地为高值区,塔里木盆地上空水汽含量明显高于准格尔盆地,阿勒泰山、天山和昆仑山为低值区,春、秋季空间分布和量值分布十分近似,冬季空中水汽含量最少,夏季最大,春、秋和冬季大气可降水量与同纬度的西北地区东部、华北和东北地区接近,夏季小于同纬度西北地区东部、华北和东北季风影响区。

3) 大气含水量分布与降水量分布相反,其最大(最小)区域却为降水量最小(最大)区,表明决定新疆降水差异的根本原因不在于水汽的多少,而是由降水产生的动力条件、水汽辐合和其他因素差异决定的。

4) 春季大气可降水量空间分布模态主要有3种

类型,全疆一致变化、40°N 南北的相反变化型和天山山区及其南侧与北疆、南疆西部的相反变化,且第一型近 40 a 呈显著减弱趋势。夏、秋、冬和年大气可降水量空间分布主要模态为全疆一致变化,夏季北疆西部、乌鲁木齐以西的北疆沿天山一带、南疆西部和阿克苏地区空中水汽含量呈明显增加趋势,与这些地区夏季降水增多趋势一致;冬季除南疆东南部外空中水汽含量呈增加趋势,其他季节空中水汽含量无明显变化趋势。

参考文献(References):

- [1] 张存杰,谢金南,李栋梁. 东亚季风对西北地区干旱气候的影响[J]. 高原气象,2002,21(2):193-198.
- [2] 王宝鉴,黄玉霞,何金海,等. 东亚夏季风期间水汽输送与西北干旱的关系[J]. 高原气象,2004,23(6):912-918.
- [3] Chahine M T. The hydrological cycle and its influence on climate[J]. Nature,1992,359(6394):373-380.
- [4] Zhai Panmao, Eskridge R E. Atmospheric water vapor over China[J]. J Climate,1997,10:2643-2652.
- [5] 徐淑英. 我国的水汽输送和水分平衡[J]. 气象学报,1958,29(1):33-43.
- [6] 谢义炳,戴武杰. 中国东部地区夏季水汽输送个例计算[J]. 气象学报,1959,30(2):173-185.
- [7] 邹进上,刘惠兰. 我国平均水汽含量分布的基本特点及其控制因子[J]. 地理学报,1981,36(4):377-391.
- [8] 陆渝蓉,高国栋. 中国水汽气候图集[Z]. 北京:气象出版社,1984:1-183.
- [9] 翟盘茂,周琴芳. 中国大气水分气候变化研究[J]. 应用气象学报,1997,8(3):342-351.
- [10] 俞亚勋,王宝灵,董安祥. 西北地区大气水分和水汽平均输送特征[M]. 中国西北干旱气候变化与预测研究(一). 北京:气象出版社,2000:219-227.
- [11] 李霞,张广兴. 天山可降水量和降水转化率的研究[J]. 中国沙漠,2003,23(5):509-513.
- [12] 张建新,廖飞佳,王文新,等. 中天山区大气总水汽量和云液水量的遥感研究[J]. 中国沙漠,2003,23(5):565-568.
- [13] 高子毅,张建新,廖飞佳. 新疆中天山北坡 40 a 夏季降水量变化[J]. 中国沙漠,2003,23(5):581-585.
- [14] 南庆红,杨舵,杨青. 应用 EOF 方法分析新疆降水变化特征[J]. 中国沙漠,2003,23(5):554-559.
- [15] 辛渝,张广兴,杨修群,等. 新疆博州地区降水时空分布特征及典型旱涝年[J]. 中国沙漠,2007,27(4):656-662.
- [16] 蔡英,钱正安,吴统文,等. 青藏高原及周围地区大气可降水量的分布、变化与各地多变的降水气候[J]. 高原气象,2004,23(1):1-10.
- [17] 张强,张杰,孙国武. 祁连山山区空中水汽分布特征研究[J]. 气象学报,2007,65(4):633-643.
- [18] 张家宝,史玉光. 新疆气候变化及短期气候预测研究[M]. 北京:气象出版社,2002:37-62.
- [19] Yu Yaxun, Wu Guoxiong. Water vapor content and its mean transfer in the atmosphere over Northwest China [J]. Acta Meteorologica Sinica,2001,15(2):191-204.
- [20] 苏志侠,吕世华,罗四维. 美国 NCEP/ NCAR 全球再分析资料及其初步分析[J]. 高原气象,1999,18(2):209-218.

Climate Characteristics of Atmospheric Precipitable Water over Xinjiang and Its Variation

SHI Yu-guang^{1,2}, SUN Zhao-bo¹

(1. Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Xinjiang Meteorological Bureau, Urumqi 830002, China)

Abstract: Using the daily NCEP/ NCAR reanalysis data from 1961 to 2000, the features and variation trends of seasonal atmospheric precipitable water (APW) over Xinjiang region are analyzed. The results show that in summer the APW over Xinjiang is less than 25 mm—the APW limit of monsoon areas, indicating that Xinjiang is not in monsoon area. Over Tarim Basin and Junggar Basin there are the high APW, the low APW over high altitude Altay Mountains, Tianshan Mountains and Karakorum Mountains. The APW in summer is the maximum but less than the APW of eastern monsoon areas in the same latitude, that in spring and autumn is the second and that in winter is the minimum, and close to the APW of eastern monsoon areas in the same latitude. The APW distribution is opposite with the distribution of rainfall, the maximal (minimal) APW regions correspond to the minimal (maximal) rainfall regions. Influenced by westerly circulation the APW modes present accordant variations and steady distribution over whole Xinjiang area, showing prominent different from rainfall modes. The APW in Xinjiang had not obvious change trend in the last 40 years, indicating that the rainfall difference in Xinjiang is not mainly caused by the diversity of water vapor content, but by the diversity of dynamics condition, water vapor convergence and other factors.

Keywords: Xinjiang; atmospheric precipitable water; climate characteristics; climate change