

祁连山区近 40 年气候变化特征

张存杰 郭 妮

(兰州干旱气象研究所,兰州 730020)

提 要

利用祁连山附近 30 个测站 1960~2000 年的气温和降水资料,采用 EOF 和 REOF 等方法,分析了近 40 年来祁连山附近气温和降水的时空分布特征。结果表明:祁连山附近气温在空间上具有很好的一致性,年平均气温的第一主成分的方差贡献可占总方差的 75% 左右。夏季气温的一致性较其它季节略差。根据 REOF 分析,四季及年平均气温可分为河西走廊区、祁连高原区和祁连山东端区。除祁连山东端气温变暖从 90 年代后期开始外,其它地区与全国大部分地区一样,都是从 80 年代中期开始,特别是 90 年代后期增温明显。祁连山附近降水的一致性比气温差,占总方差的 30% 左右,春季和秋季好于其它季节,占总方差的 50% 左右。通过 REOF 分析,可将祁连山附近年降水变化分为河西走廊西部区、祁连山东部区和祁连走廊中部区,每个季节的降水分区有所不同。与西北地区东部不同,祁连山附近大部分地区的年降水 80 年代和 90 年代都有不同程度的上升,夏季降水增多趋势最为明显,而秋季降水 80 年代和 90 年代一直处于下降阶段。

关键词: 祁连山 气温 降水 时空特征

引 言

祁连山是青藏高原东北部边缘山系,呈西北~东南走向,平均海拔 4000~4500m,许多山峰超过 5000m,具有高山、积雪、冰川、山谷、盆地等较复杂的地形地貌。海拔 4100m 以上的山区终年积雪,发育着现代冰川,具有“天然白色水库”之称,许多河流发源于此。

祁连山区气候属高山高原气候类型,区内气候寒冷,冬季较长,春秋季节较短,无气候上的夏季。年平均气温低于 4℃,年平均降水量在 100~600mm 之间。区内气候与海拔高度密切相关,高海拔处气温较低,降水较多。水平分布表现为祁连山东段湿度大,降水多;西部气候干燥,降水少。由于祁连山处在高原季风气候区中,盛行风向的相反性年变化,使得夏半年(4~10 月)东坡或南坡的雨水较多,冬半年(11~3 月)则相反^[1,2]。

祁连山区植被较好,有许多天然牧场。自海拔 2000m 向上,植被垂直带分别为荒漠草原带(海拔 2000~2300m)、草原带(2300~2600m)、森林草原带(2600~3200m)、灌丛草原带(3200~3700m)、草甸草原带(3700~4100m)和冰雪带(>4100m)。其中森林草原带和灌丛草原带是祁连山的水源涵养林,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。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。本文重点分析 1961~2000 年近 40 年祁连山区及其附近地区气温和降水的时空变化特征。

1 气温的变化特征

1.1 气温变化的空间分布特征

祁连山区年平均气温都在 4℃ 以下,随着高度的升高气温逐渐降低,山顶的温度一

般低于 0°C ,常年都有积雪。最冷的1月平均气温低于 -11°C ,最热的7月平均气温低于 15°C ,12月至次年3月,祁连山区大部分地区气温都在 0°C 以下,4~10月最高气温在 $4\sim 15^{\circ}\text{C}$ 之间。祁连山区平均气温的空间分布形势比较稳定,年际变化很小,气温最低中心常年位于西段海拔较高的托勒山附近,气温的等值线走向与地形廓线基本一致(如图1),这说明影响祁连山附近气温分布的主要因素是地形(即海拔高度),地理纬度的影响

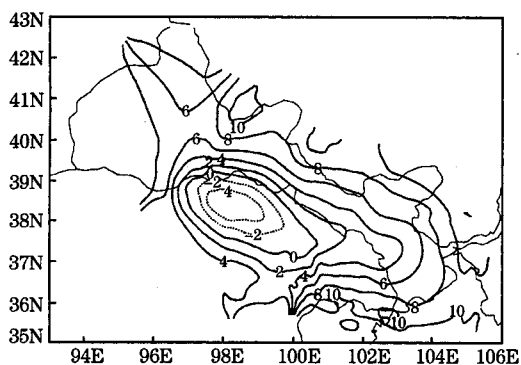


图1 祁连山附近年平均气温分布

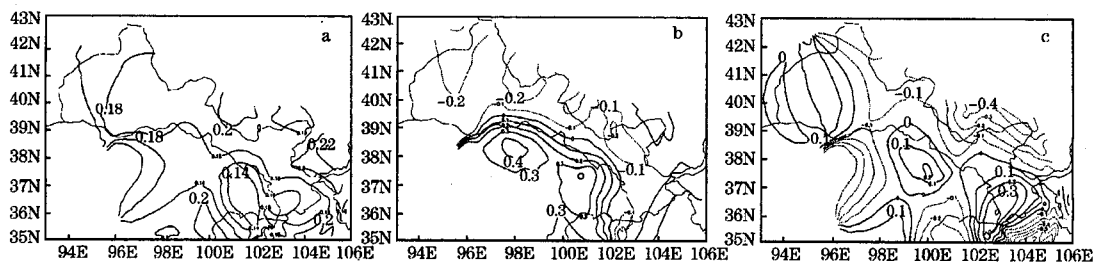


图2 祁连山附近年平均气温的第一(a)、第二(b)和第三(c)载荷向量场

由于载荷向量场反映的是整个区域的总体特征,为了反映祁连山区气温的局部特征,取前10个主成分进行旋转。表1给出了旋转前后PC和RPC对总方差的贡献率。通过REOF分析可以将祁连山附近气温变化分为3个主要区域:河西走廊区,祁连高原区和祁连山东端区。河西走廊主要是沙漠和戈壁,地形较低,主要受西风带系统的影响,气流往往沿着高原边缘由西北吹向东南,气温变化较快,冬季干冷,夏季干热,年际变化较

次之。

对近40年祁连山附近30个站的年平均气温进行EOF展开得到主要的3种空间分布特征(如图2)。第一载荷向量场(图2a)给出祁连山附近大部分区域为一致的正值区,而且变化不大,都在0.18左右,没有大值中心,祁连山区值略低。这一空间分布特征占总体方差的75.8%,这是祁连山附近气温变化的主要形势,即主体一致型。这说明祁连山区附近虽然地形较复杂,但是年平均气温的变化还是相当一致的,祁连山区值略低说明山区地形有影响,但是不明显。第二载荷向量场(图2b)给出祁连山区为正值区,河西走廊为负值区,零等值线的走向与祁连山地形高度廓线走向一致。这种空间分布特征占总体方差的8.9%,反映了青藏高原地形对气温分布的影响,高原气温与周围平原气温有一种相反变化的特征。第三载荷向量场(图2c)占总体方差的4.6%左右,反映了祁连山区气温与周围气温的不一致性,值较小说明差异不是太大。

大。祁连山高原地区由于地形较高,冷空气受阻挡,不容易影响到山区,气温变化缓慢,冬季寒冷,夏季凉爽,年际变化不大。祁连山东端由于受到东南暖湿气流的影响,气温变化不同于河西走廊和高原山区,冬季干冷,夏季暖湿。

对冬季、春季、夏季和秋季的平均气温分别进行EOF展开,每个季节前三个载荷向量场的空间分布形势与年平均气温的基本相似,第一个为主体一致型,第二个为高原走廊

差异型,第三个为东西差异型,其中主体一致型所占方差最大,冬季为 77.87%、春季为 79.44%、夏季为 66.61%、秋季为 73.97%。

计算每个季节前三个载荷向量场所占的总体方差分别为 90.8%、90.7%、85.4% 和 85.5%。

表 1 气温旋转前后前 10 个主成分占总方差的百分比

主成分	年		冬季		春季		夏季		秋季	
	PC	RPC	PC	RPC	PC	RPC	PC	RPC	PC	RPC
1	75.85	49.08	77.87	47.11	79.44	46.31	66.61	46.91	73.97	38.81
2	8.92	29.43	9.81	30.13	7.81	29.25	11.67	22.63	8.48	31.07
3	4.62	7.76	3.12	7.66	3.44	11.65	7.13	12.66	3.01	10.01
4	2.29	4.48	2.33	9.06	2.23	1.58	2.91	4.06	2.53	4.59
5	1.68	3.09	1.26	1.29	1.27	4.70	2.19	4.64	2.16	5.80
6	1.24	2.05	1.01	1.12	1.10	2.82	1.84	3.59	1.91	2.54
7	0.94	1.23	0.91	1.20	0.79	1.05	1.52	1.27	1.59	1.98
8	0.86	1.36	0.67	0.97	0.67	1.10	1.08	1.42	1.03	1.02
9	0.63	0.82	0.53	0.97	0.52	1.02	0.85	1.77	0.91	2.48
10	0.51	0.70	0.43	0.50	0.43	0.51	0.63	1.03	0.86	1.70

主体一致型在冬、春季表现最为突出,夏、秋季有所减弱。这是由于冬、春季祁连山和周围地区气温主要受西风带大尺度系统的影响,变化比较一致,夏、秋季不但受西风带系统影响,而且受高原系统和东南季风的影响,气温变化较冬春季要复杂。夏秋季在祁连山东部有一低值区,特别是夏季最为明显,致使所占方差较小。

高原走廊差异型每个季节所占的方差分别为:冬季 9.81%、春季 7.81%、夏季 11.67%、秋季 8.48%。夏季最大,这说明夏季祁连山区与河西走廊的气温差异较大,而春季较小,如处于河西走廊的金塔站与处于祁连山区的托勒站相比,4 月份平均气温相差 11.8℃,而 7 月份相差 13.2℃。随着海拔高度的升高,气温的差异也逐渐增大,最大中心位于祁连山西部海拔较高的山区。

东西差异型每个季节所占的方差分别为:冬季 3.12%、春季 3.44%、夏季 7.13%、秋季 3.01%。夏季最大,说明东亚夏季风对祁连山东端气温的影响较大。虽然冬季、春季和秋季此型所占方差接近,但是空间分布形势不完全相同。冬季祁连山东西部气温差异不大,但与黄河以东地区差异较大;春季和

秋季东端气温变化较为明显,可以看到西南暖湿气流穿越青藏高原东部影响祁连山东端;夏季祁连山东西部气温差异较大,祁连山东端的气温不但受到西南气流的影响,而且受到东南气流的影响。

对春、夏、秋、冬四个季节气温 EOF 分析的前 10 个主成分分别进行旋转,研究每个季节气温分布的局地特征。通过 REOF 分析,每个季节的前三个旋转载荷向量场基本相似,与年平均气温基本相同,分为河西走廊区、祁连高原区和祁连山东端区。前三个旋转载荷向量场所占的方差分别为:冬季 84.9%、春季 87.21%、夏季 82.2%、秋季 79.89%,说明 3 个分区可以描述祁连山区附近气温分布的主要特征。值得注意的是祁连山东端区由于受到季风的影响,夏秋季范围较大,而冬春季范围较小。河西走廊区与祁连高原区的分界线各季变化不大,稳定在高原与走廊的交界处。

1.2 气温变化的时间特征

根据前面分析的结果,在每个分区中选取一个代表站,分析其气温随时间的变化特征。选取酒泉站代表河西走廊区,托勒站代表祁连山中西部山区,门源站代表祁连山东

部山区,永登站代表祁连山东端。

河西走廊(图3)的气温变化趋势与我国东部大部分地区基本一致^[3],从60年代中期开始气温下降,一直到80年代中期,有一个明显的转折,之后气温开始升高,特别进入90年代中后期,变暖的趋势更加明显。每个季节的变化情况不同,冬季和秋季气温自70年代中期就开始变暖,而春季和夏季气温一直到90年代中期才开始升高。

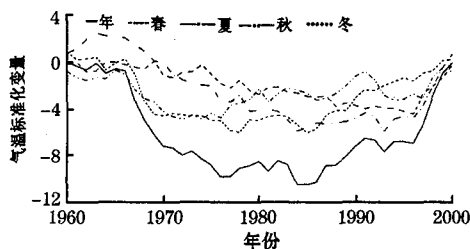


图3 酒泉站气温标准化变量累积曲线

祁连山中西部(图略)的年平均气温变化与河西走廊基本一致,80年代中期也是一个转折点,前期变冷,后期变暖。不同的是祁连山中西部从60年代初就开始变冷。每个季节的变化情况是,冬季和秋季气温自80年代初开始变暖,而春季和夏季气温从90年代初开始增高。

祁连山东部(图略)气温变化与中西部不同,自60年代初到60年代后期为下降时期,70年代前期为上升时期,70年代中期开始气温又下降,一直到80年代中期又开始上升,90年代后期变暖很明显。每个季节的变化趋势与年平均气温的基本一致,春季略有差异,其后期的变暖从90年代初开始。

永登站(图略)代表了祁连山东端受东南季风影响最大的地区,其气温变化趋势与其它地区不同。从60年代初气温开始升高,80年代初是一个明显的转折点,气温开始下降,直到90年代中期,气温又开始升高。这一地区的气温与祁连山,甚至我国东部大部分地区的气温明显不同,除90年代后期外,有一种反位相的关系。夏季和春季变化趋势与年

平均气温一致,秋季气温比较稳定,冬季气温与其它地区基本一致,80年代中期是一个转折点,前期变冷,后期变暖。

2 降水的变化特征

2.1 降水变化的空间分布特征

祁连山区的降水特征与气温不同,不但受海拔高度的影响,而且受所处的纬度、经度,以及地形的坡向和坡度的影响。祁连山东侧由于受夏季风的影响降水量最多,如门源站年降水量为519mm,向西北方向逐渐减少,肃北站年降水量只有150mm左右。祁连山区比周围地形较低的地区降水量要多,如托勒站与酒泉站相距不到100km,但年降水相差200mm。降水量随着高度的递增呈现出“S”型曲线变化的趋势,有一个降水量的“极大高度”和“极小高度”,“极大高度”在1800~2800m之间,“极小高度”在2200~3600m之间,一般是祁连山东南部高度较低,向西北逐渐升高^[2]。

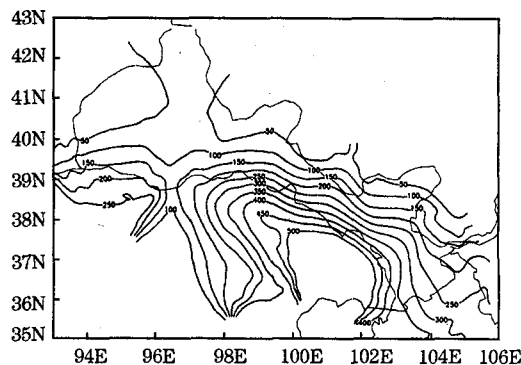


图4 祁连山附近年降水量分布

由于祁连山地处内陆腹地,不但受东南季风输送来的暖湿气流影响,而且还受西风环流带来的大西洋冷湿气流的影响,在盛夏期间一定程度上还受到翻越青藏高原的印度洋暖湿气团的影响,水汽来源较为复杂,加上山区夏季对流性降水的影响,使得祁连山降水的年际变化较大^[4,5]。冬季(12月~2月)降水量较少,月降水量不超过5mm,7月和8月降水量最多,东段月降水量最多可达

110mm。

对近40年祁连山附近30个站的年降水量进行EOF展开得到主要的3种空间分布特征。第一载荷向量场(图5a)给出祁连山附近大部分区域为一致的正值区,变化在0.1~0.2之间,河西走廊比祁连山区的值略高。这一空间分布特征占总体方差的33.28%,描述了祁连山附近降水变化的主要特征,即主体一致型。与气温的第一载荷向量场相比,方差减少了一半多,说明祁连山区

降水的影响因素比较复杂,变率较大。第二载荷向量场(图5b)给出祁连山区东部为正值区,西部为负值区,零线位于祁连山中部。这种空间分布特征占总体方差的16.59%,反映了祁连山区附近降水的东西部差异,也可以看出东南季风的影响范围。第三载荷向量场(图5c)给出祁连山区和走廊中部为正值区,走廊西部和东部为负值区。它占总体方差的11.53%,反映了祁连山区降水与周围降水的不一致性。

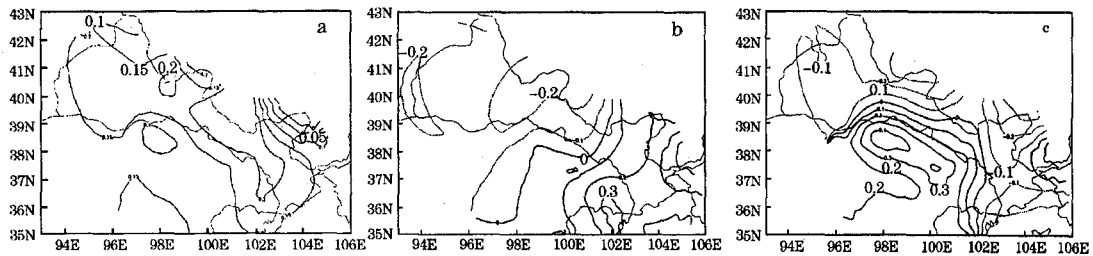


图5 祁连山附近年降水量的第一(a)、第二(b)和第三(c)载荷向量场

对年降水量的前10个主成分进行旋转,分析降水分布的局部特征。表2给出了降水量旋转前后PC和RPC对总方差的贡献率。通过REOF分析可以将祁连山附近降水变化分为3个主要区域:河西走廊西部区、祁连山东部区和祁连走廊中部区。此三种类型分别占旋转后总方差的21.95%、16.59%和

15.73%。河西走廊西部区主要受西风带系统的影响,降水较少,变率较大。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,变率较小。祁连走廊中部区由于高山的阻挡,西风带系统和东南暖湿气流的影响减小,形成不同于其它区的降水特征。

表2 降水量旋转前后前10个主成分占总方差的百分比

主成分	年		冬季		春季		夏季		秋季	
	PC	RPC	PC	RPC	PC	RPC	PC	RPC	PC	RPC
1	33.28	21.95	31.47	23.47	51.62	23.47	30.23	17.94	49.28	19.77
2	16.59	22.56	16.16	18.21	10.52	15.29	18.11	22.78	11.54	17.72
3	11.53	15.73	9.43	11.99	7.50	7.41	11.56	8.37	6.69	11.52
4	6.37	8.96	6.29	6.56	5.29	13.44	7.07	19.49	5.01	6.61
5	4.10	7.13	5.99	10.86	3.53	15.13	4.95	6.58	4.19	4.95
6	3.63	6.74	3.86	5.71	3.24	6.57	3.75	5.83	3.13	7.22
7	3.22	4.98	3.48	6.78	2.47	4.67	2.96	6.42	2.79	9.81
8	2.96	3.75	3.14	8.36	2.30	4.20	2.60	4.67	2.45	7.96
9	2.41	5.08	2.86	4.47	2.10	6.30	2.39	3.13	2.08	3.73
10	2.09	3.12	2.51	3.59	1.57	3.51	2.27	4.79	2.02	10.70

对每个季节的降水量进行EOF分析,前3个载荷向量场所占的总方差分别为:冬季

57.06%、春季69.64%、夏季59.9%、秋季67.51%。每个季节的第一载荷向量场基本

相似,为主体一致型,其它载荷向量场不大相同。

第一载荷向量场即主体一致型在春季和秋季表现较突出,占总方差的50%左右,冬季和夏季相对较弱,占30%左右。这是由于西风带环流系统和东南夏季风在春季和秋季活动较弱,处于过渡时期,使得祁连山区降水较为一致。而冬季西风带系统活动较为频繁,夏季东南季风活动较为频繁,使得祁连山区降水一致性降低。

第二载荷向量场冬季、春季和秋季形势较为相似,为祁连山河西走廊南北型,不同的是冬季和春季山区为负值,走廊为正值,而秋季相反。夏季的第二载荷向量场表现为祁连山东西差异型。由于冬春季西风带系统活动较强,往往使处在祁连山西段迎风面的走廊一带降水较多。秋季西风带活动较弱,而东南季风相对较强,使得山区降水多于走廊。夏季由于东南季风活动较强,使得祁连山东部降水往往多于西部。

第三载荷向量场四个季节各不相同。冬季为祁连山东西型,春季为祁连山高原型,夏季为祁连山河西走廊型,秋季为祁连山南北型,这都是由于不同的季节影响系统的不同造成的。

对春、夏、秋、冬四个季节降水量 EOF 分析的前10个主成分分别进行旋转,研究每个季节降水分布的局地特征。通过 REOF 分析,给出每个季节的降水分区情况。冬季降水可分为3个区,即河西走廊区、祁连山中西部区和祁连山东部区,占总方差的53.67%。春季降水可分为4个区,即祁连山东南区、河西中西部区、河西东部区和祁连山中西部区,占总方差的67.33%。夏季降水可分为3个区,即河西西部区、祁连山东部区和祁连山河西中部区,占总方差的60.21%。秋季降水

可分为4个区,即祁连山东南区、河西西部区、河西东部区和祁连山中西部区,占总方差的59.71%。

2.2 降水变化的时间特征

祁连山附近降水的变化情况比气温复杂,不同的地区情况各不相同,降水的季节、年际变化都比较大,这主要是由于降水的影响因素较为复杂造成的。根据前面分析的结果,选取4个代表站,敦煌站代表河西西部区,武威站代表河西东部区,野牛沟站代表祁连山中西部区,永登站代表祁连山东南区。

河西西部(图6)降水变化趋势,60年代为下降时期,60年代后期开始增多,到80年代初又开始减少,90年代前期为增多时期,90年代后期又处于下降时期。夏季降水的年代际变化趋势较为明显,与年降水量基本一致,而其它季节的年代际变化趋势不太明显。

河西东部(图6)降水与西部有所不同,60年代前期为下降时期,后期为增多时期,70年代初至90年代前期为下降时期,90年代中后期为上升时期。秋季的降水变化与其它季节不同,80年代初以前为增多时期,以后为减少时期。冬季、春季和夏季变化趋势与年降水基本一致。

祁连山中西部(图6)的降水,70年代初以前为下降时期,以后为上升时期。每个季节的变化各不相同,夏季和冬季的降水变化与年降水的基本相同,秋季降水70年代中期以前为增多趋势,以后为下降趋势,春季降水60年代为增多时期,70年代和80年代前期为减少期,80年代中期以后为增多时期。

祁连山东南部(图6)的降水,80年代前期以前为下降时期,以后为上升时期,特别90年代中后期降水增加明显。夏季和冬季的降水变化与年降水的基本相同,秋季降水

80年代以前为增多时期,80年代及以后为下降时期,春季降水60年代和70年代初略有上升,70年代后期和80年代前期减少,80年代中期以后逐渐增多。

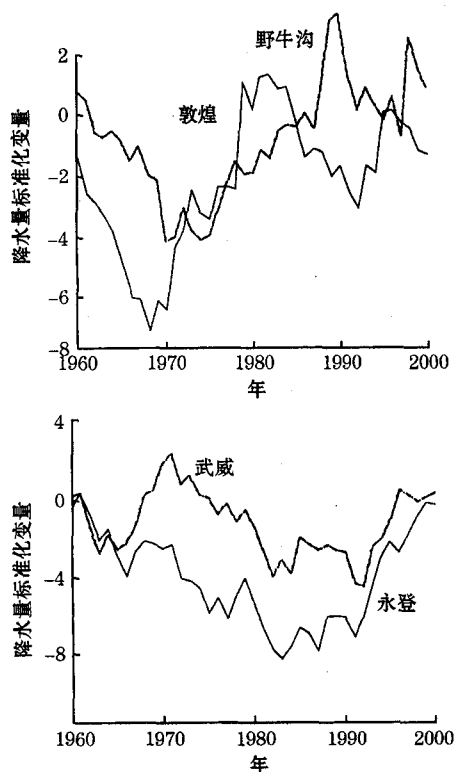


图6 祁连山附近不同区域代表站降水量标准化变量累积曲线

(a)敦煌,(b)武威,(c)野牛沟,(d)永登

总之,祁连山附近大部分地区的年降水80年代或90年代处于相对的增多时期,这与西北地区东部完全不同^[6]。夏季降水增多趋势最为明显,而秋季降水80年代和90年代则一直为减少时期。

3 小结

(1)祁连山区平均气温的空间分布形势比较稳定,年际变化很小,气温的等值线走向与地形廓线基本一致,地形是影响祁连山附近气温分布的主要因素。祁连山附近气温的变化在空间上具有很好的一致性,年平均气

温的第一主成分的方差贡献可占总方差的75%左右。

(2)根据REOF分析,四季及年平均气温可分为河西走廊区、祁连高原区和祁连山东端区。

(3)与我国东部大部分地区一样,祁连山区气温自80年代中期开始升高,特别是进入90年代后期增温明显,祁连山东端气温变暖从90年代后期开始。

(4)由于祁连山附近降水的影响因素较为复杂,其一致性比气温差,占总方差的30%左右,春季和秋季好于其它季节,占总方差的50%左右。

(5)通过REOF分析,可将祁连山附近年降水变化分为河西走廊西部区、祁连山东部区和祁连走廊中部区,每个季节的降水分区有所不同,冬季和夏季分为3个区,春季和秋季分为4个区。

(6)与西北地区东部不同,祁连山附近大部分地区的年降水80年代或90年代处于相对增多时期,夏季降水增多趋势最为明显,而秋季降水80年代和90年代一直处于减少时期。

参考文献

- 1 汤懋苍,许曼春.祁连山区的气候变化.高原气象,1984,3(4),21~33.
- 2 汤懋苍.祁连山区降水的地理分布特征.地理学报,1985,40(4),323~332.
- 3 宋连春.近40年我国气温变化时空特征.应用气象学报,1994,5(1),119~124.
- 4 丁永建,叶伯生,周文娟.黑河流域过去40a来降水时空分布特征.冰川冻土,1999,21(1),42~48.
- 5 李栋梁,陈丽萍.河西走廊黑河流域流量的气候特征及其预报.应用气象学报,1991,2(3),319~324.
- 6 李栋梁,谢金南,王文.中国夏季降水特征及其异常研究.大气科学,1995,21(3),331~340.

(下转第46页)

Climatic Variation Characteristics over Qilian Mountain Area during the Last 40 Years

Zhang Cunjie Guo Ni

(Lanzhou Arid Meteorological Institute, Gansu Lanzhou, 730020)

Abstract

Using the temperature and precipitation data of 30 meteorological stations in the period 1960—2000 over Qilian mountain area, the temporal and spatial variational characteristics of temperature and precipitation are analyzed with EOF and REOF methods. The results show temperature spatial variations have high consistency, the variance ratio contribution of the first principal component is about 75%. The consistency in summer is lower than other seasons. The first three rotated loading vector fields represent the principal characteristic of temperature variations: Hexi corridor, Qilian mountain and plateau, east of Qilian mountain. It is obvious that the temperature is getting warming from the middle of 1980's over Qilian mountain, same as over the majority region of China, except east of Qilian mountain warming from later of 1990's. The consistency of precipitation is not better than temperature, the variance ratio contribution of the first is about 30%, and higher than other seasons in the spring and autumn, about 50%. The precipitation spatial characteristic is divided into three parts: west of Hexi corridor, east of Qilian mountain, middle of Qilian mountain and Hexi corridor. The sectors are distinct in different seasons. The annual precipitation increased in 1980's and 1990's over the majority region of Qilian mountain, which is different from east of Northwest China, the increasement was obvious in summer. The trend was reserved in autumn.

Key Words: Qilian mountain temperature Precipitation temporal and spatial variational characteristic