

# 祁连山区空中水资源研究

张 良<sup>1,2</sup>, 王式功<sup>1,2</sup>, 尚可政<sup>1,2</sup>, 杨德保<sup>1,2</sup>

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020)

**摘 要:**利用祁连山地区 8 个气象观测站 1960~2002 年逐日气象观测资料和 1970~1997 年 NCEP/NCAR 再分析资料(2.5°×2.5°格距),分析了祁连山地区的空中水资源状况。结果表明:该区大气水汽含量从春季到夏季逐渐升高,之后又逐渐减少,对应全年降水主要集中在 5~9 月,占年降水量的 86.8%;从 1987 年西北地区气候转型前后 2 个时期的比较来看,1987 年后比 1987 年之前平均年降水量增加了 22.7 mm(约 8.1%),而且主要是春、夏季降水增加了,这将有损于该地区生态环境的改善。从空间分布来看,祁连山地区中部的年降水量大,东部和西部降水较少,其中西部最少。祁连山地区平均每年水汽输入量约为 885.4 亿 m<sup>3</sup>,水汽输入主要在 600 hPa 以下层,高层全年多数时间整体表现为辐散,且水汽主要来源于经向输送。

**关键词:**祁连山区;水汽含量;水汽通量;水汽通量散度;水汽收支

**中图分类号:**P339

**文献标识码:**A

祁连山是我国著名的高大山系之一,位于欧亚大陆中心,地处青藏、蒙新、黄土 3 大高原交汇地带,地理位置 36°30'~39°30' N, 93°30'~103°E,东起乌鞘岭,西止当金山口,由 7 条大致平行的高山和谷地组成,长约 1 000 km,宽 250~300 km,海拔高度大多在 3 500 m 以上,山峰多在 5 000 m 以上。具有高山、积雪、冰川、山谷、盆地等较复杂的地形地貌。海拔 4 100 m 以上的山区终年积雪,发育着现代冰川,有“天然白色水库”之称,许多河流发源于此。

祁连山气候受大陆性气候和青藏高原气候的综合影响,属温带半干旱区,作为重要的地理气候分界线,祁连山在我国自然地理上占有非常重要的地位。

水汽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,水汽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<sup>[1]</sup>,水汽作为大气中与 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 同样重要的“自然”温室气体,对全球增温的贡献也引起了人们的注意<sup>[1-2]</sup>。以往对于我国及西北地区大气中的水汽状况,王秀荣等<sup>[3]</sup>、俞亚勋等<sup>[4]</sup>做了大量

的研究工作<sup>[5-10]</sup>。对于祁连山地区的水资源研究,大多集中在祁连山的气候变化对河流径流、积雪深度、植物生长和生态环境的相互影响上<sup>[11-26]</sup>,而系统研究祁连山空中水汽的较少,由于祁连山冰川融水是河西干旱区用水的主要来源,而冰川的形成又依赖大气降水,所以研究该地区空中水资源对于河西干旱区的农业发展和人民生活具有一定意义。鉴于此,本文结合地面观测资料和 NCEP/NCAR 再分析资料,较为系统地研究了祁连山地区空中水汽的时空分布特征,揭示了其环流背景,试图从降水效率的角度分析其降水发生变化的原因,以期为该地区空中水资源的合理开发利用提供参考依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

利用地面台站常规观测资料,选取祁连山所在范围内(36°30'~39°30' N, 93°30'~103°E)共 8 个站 1960~2002 年的逐日平均观测资料,台站选取如图 1 所示。

收稿日期:2006-02-27;改回日期:2006-09-07

基金项目:科技部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)”、国家自然科学基金项目(40375015)和博士学科点专项科研基金(200307300019)共同资助

作者简介:张良(1980-),男,陕西渭南人,硕士研究生,主要从事干旱气候及水资源开发利用研究。

NCEP/NCAR 再分析气象资料:1970~1997 年逐月平均各等压面层资料,格点距离为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

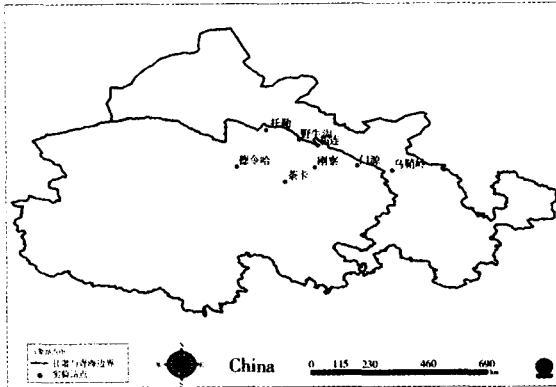


图 1 祁连山地区地面气象观测台站分布

Fig. 1 The distribution of meteorological observation stations in the area of the Qilian Mountain

## 1.2 计算方法

### 1.2.1 水汽含量

任一单位截面积大气柱中所含的水汽质量称为该气柱的水汽含量,如果完全凝结并降至地面则称之为可降水量,单位为  $g \cdot cm^{-2}$  或  $cm$ 。它的含义是,如果气柱内的水汽全部凝结降落后,在地面所形成的水层深度。计算公式:

$$W = g^{-1} \int_{p_s}^{p_a} q dp \quad (1)$$

### 1.2.2 水汽通量

表示单位时间流经某一单位截面积的水汽质量。计算公式为:

$$\begin{aligned} F_u &= -\frac{1}{g} \int_{p_s}^p q u dp, \\ F_v &= -\frac{1}{g} \int_{p_s}^p q v dp, \\ F &= F_u + F_v \end{aligned} \quad (2)$$

### 1.2.3 水汽通量散度

反映一个地区的水汽辐合辐散情况。计算公式为:

$$\begin{aligned} F_{div} &= -\frac{1}{g} \int_{p_s}^{p_a} \nabla \cdot (\vec{V}q) dp \\ &= -\frac{1}{g} \int_{p_s}^{p_a} \vec{V} \cdot \nabla q dp - \frac{1}{g} \int_{p_s}^{p_a} q (\nabla \cdot \vec{V}) dp \end{aligned} \quad (3)$$

式中  $p_a$  为地面气压,  $p_s$  为大气上界气压,  $q$  为比湿,  $u, v$  为纬向和经向风速,  $g$  为重力加速度。

在实际大气中,由于 300 hPa 以上大气中的水汽含量很少,故在所讨论的问题中可以忽略不计,所以在计算中上界取 300 hPa 层,因为视 300 hPa 以上  $q=0$ ,且在地—气交接面上  $W$  趋于 0,所以对整个气柱而言垂直输送水汽通量散度近似为 0。

### 1.2.4 泰森多边形方法

泰森多边形方法是一种典型的非规则网格构建法,也是实际运用中很常用的面积加权平均法,该方法的控制面积是由各相邻 2 站间连线的中垂线构成的多边形面积,如图 2 所示。

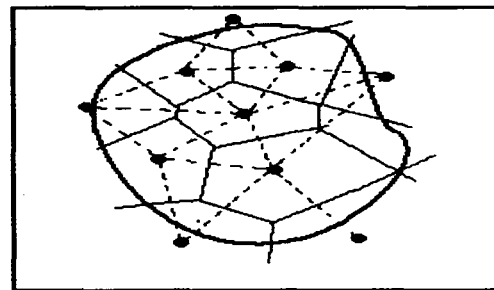


图 2 泰森多边形示意图

Fig. 2 The illustration of Taisen polygon method

计算公式为:

$$\bar{A} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n S_i A_i \quad (4)$$

其中:  $S = \sum_{i=1}^n S_i$

$S_i$  为第  $i$  个测站的控制面积。

### 1.2.5 降水效率

降水效率表示区域上空水汽转化为降水的效率,也称水汽利用效率<sup>[27]</sup>,定义为单位大气柱内降水量与水汽含量之比,即为

$$\eta = P/W \quad (5)$$

## 2 祁连山地区多年平均各月降水量分布情况

施雅风等<sup>[28]</sup>研究指出,中国西北从 1987 年起以新疆天山西部为主要地区出现了气候由暖干向暖湿转型的强劲信号,即降水量、冰川消融量和河流径流

量连续多年增加,湖泊水位显著上升,植被改善,沙尘暴减少。新疆其他地区的降水也有增加趋势。对于祁连山地区,我们仍以 1987 年为界,来分析比较祁连山区 1987 年前后的降雨量变化情况。本文由泰森多边形方法计算得到祁连山地区 1960~2002 年多年月平均及每年降雨量,结果见表 1 和图 3。

表 1 1960~2002 年多年平均月降水量及 1987 年前后时期的比较

Tab. 1 The monthly mean precipitation during 1960~2002 and the comparison between the precipitation during 1960~1986 and 1988~2002

月份	1960~1986 /mm	1988~2002 /mm	增加量 /mm	多年平均 /mm	占全年降 水比例/%
1	1.5	3.6	2.1	2.6	0.9
2	2.4	2.6	0.2	2.5	0.8
3	5.2	8.0	2.8	6.6	2.3
4	11.8	13.3	1.5	12.6	4.3
5	33.4	33.9	0.5	33.7	11.6
6	51.1	57.0	5.9	54.1	18.6
7	63.5	72.4	8.9	68.0	23.4
8	58.3	60.2	1.9	59.3	20.3
9	37.8	37.2	-0.6	37.5	12.9
10	11.4	10.7	-0.7	11.1	3.8
11	2.1	2.0	-0.1	2.1	0.7
12	1.1	1.4	0.3	1.3	0.4
累计	279.6	302.3	22.7	291.0	100

由表 1 可以看出,该地区降水从 1 月开始逐渐增加,到 7 月达到最大值,之后又逐渐减少。该地区降水主要集中在 5~9 月,这 5 个月的降水量占全年降水总量的 86.8%。而 1~4 月、10~12 月降水量则很少,这 7 个月降水总量仅占全年降水总量的 13.2%。此外,从 1987 年气候转型前后 2 个时期的比较来看,1987 年后比 1987 年之前平均年降水量增加了 22.7 mm,而且主要是春、夏季节降水增加了,特别是 6、7 月增加最多,分别为 5.9 和 8.9 mm。秋季(9、10、11 月)的降水量却减少了。可见,气候转型引起的降水增加的这样一种季节分布状况,对生态环境状况的改善是有利的。

祁连山地区 1960~2002 年 43 a 平均年降水量约为 291.0 mm。其中 1987 年以前的平均年降水量为 279.6 mm,1987 年以后的平均年降水量为 302.3 mm,1987 年之后该地区平均年降水量比之前增加了约 8.1%。从整个西北地区来看,这个增加幅度虽然比西北西部地区<sup>[9]</sup>增加 10% 以上要小,但却与

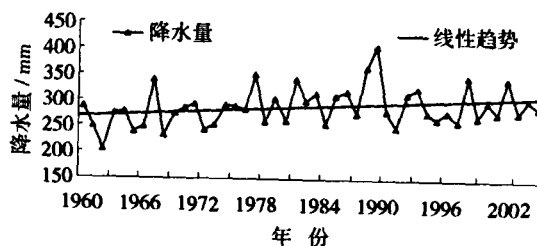


图 3 祁连山地区 1960~2002 年逐年降水量的年际变化  
Fig. 3 The variation of annual precipitation in the area of the Qilian Mountain during 1960~2002

西北地区东部的 -5% ~ -15% 的明显减少形成鲜明对照。

以上是对于整个祁连山地区不同时间尺度降水量的计算,但是该地区的降水状况在空间上分布如何呢?为此选取位于祁连山西部的托勒,中部的祁连、野牛沟,东部的门源、乌鞘岭共 5 个站作为代表站,研究其在 1987 年前后 2 个时期的降水量变化,结果如表 2 所示。

表 2 祁连山地区各代表站前期(1960~1986)平均与后期(1988~2002)平均年降水量比较

Tab. 2 The comparison between annual mean precipitation during 1960~1986 and 1988~2002 at some representative stations

站名	多年	前期年	后期年	增长
	平均/mm	平均/mm	平均/mm	比例/%
托勒	284.1	285.2	287.6	0.9
祁连	400.5	394.7	415.1	5.2
野牛沟	400.9	401.2	404.3	0.8
门源	522.3	518.3	525.8	1.4
乌鞘岭	393.3	389.4	400.3	2.8
平均值	400.2	397.8	406.6	2.2

从表 2 中可以看出,位于中部的祁连站增加约 5.2%,野牛沟站仅增加 0.8%,各站平均增加 2.2%,但是没有降水减少的站点,祁连山地区在 1987 年之后年降水量处于增加趋势,与上述所求得整个地区的降水量变化一致。并且进一步说明祁连山地区在 1987 年后降水量增加的空间分布是不均匀的,即祁连山地区中部和东部降水较多,平均年降水量 > 380 mm;西部降水较少,为 200~300 mm。由图 3 和表 2 中还可以看出,祁连山各代表站在 1987 年之后的降水增加幅度比整个区域的增加幅度要

小,这是由于位于所选区域最西端、占面积权重较大的德令哈站在1987年之后年降雨量增加幅度较大(27%)造成的,此外,茶卡站也增加了9.7%。

### 3 水汽特征量分析

为了研究祁连山地区的水汽状况,图4给出了该地区水汽随高度的分布状况,从图中可以看出,水汽随高度呈e指数规律递减,减小很快,大气中的绝大部分水汽都集中在300 hPa层以下,所以下面的内容主要讨论该层以下的状况。

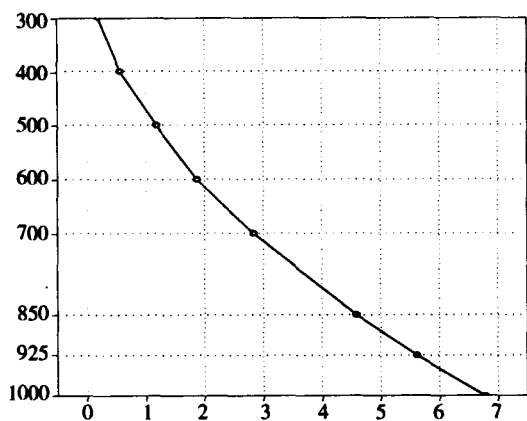
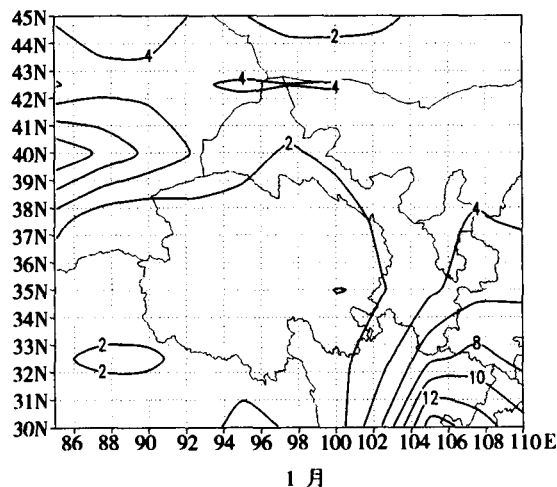


图4 祁连山地区多年平均比湿垂直廓线(单位:g/kg)  
Fig.4 The annual mean profile of specific humidity averaged from 1970 to 1997 (Unit: g/kg)

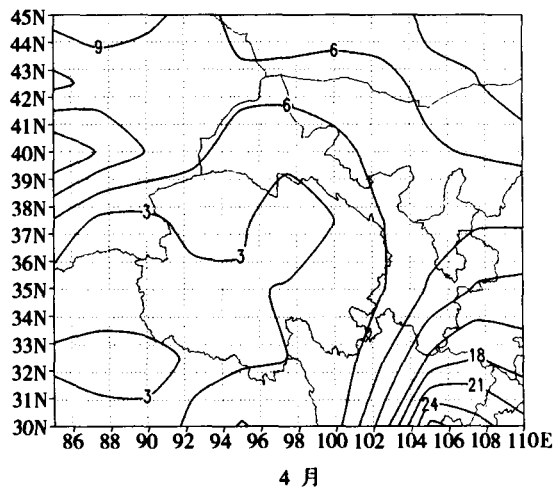
在研究祁连山地区的水汽含量时,选取1月、4



月、7月和10月作为各季节的代表月份。由图5可以看出,从冬季到夏季,水汽含量逐渐增加,从夏季到秋季大气中的水汽含量又逐渐减少,夏季水汽含量最大,冬季水汽含量最小,祁连山地区与全国其他地区相比,常年水汽含量值较小,这是由于其深居内陆、远离海洋,处于西北干旱半干旱地区的缘故。

由各月水汽通量来看,由于祁连山地处中高纬度,并且西部没有高大山脉的阻挡,各季节都受到西风带的影响,但是途经黑海、里海,距离较远,所以到达祁连山时水汽含量较少,从水汽通量图上可以看出其值较小。从7月水汽通量图中可以看出,夏季由于西南季风的影响,孟加拉湾有较强的水汽向北输送,而且夏季是祁连山地区降水最多的季节,为了更清楚地分析其水汽输送,下面研究7月份经向和纬向的水汽输送及500 hPa风场。

由图6、图7可以看出,夏季在经向和纬向图上,孟加拉湾有一水汽通量高值区,结合600hPa风场(图8)可以看出,西南季风气流携带丰富水汽北上,在高原东南部分为2支,一支汇入高原切变线,另一支在30°~35°N折向东输送而无法到达祁连山地区。从经向水汽通量图中还可以看出,在副高的西南侧,有一水汽输送高值区,也许与印度低压有一定联系;在副高北抬的过程中,是否会在水汽带入祁连山地区以及西南气流是否将水汽输送到祁连山地区,在什么样的天气形势下如何影响,还有待进一步的研究。



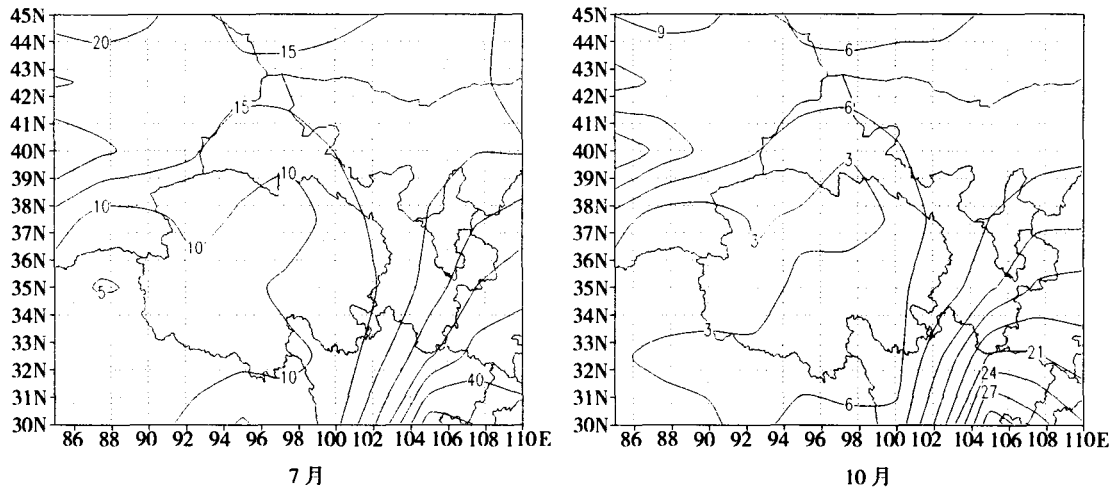


图5 地面至 300 hPa 各季节水汽状况(单位:kg/m<sup>2</sup>或 mm)  
 Fig.5 The distribution of water vapor in atmosphere in different seasons  
 from surface to 300 hPa during 1970 - 1997 (Unit: kg · m<sup>-2</sup> or mm)

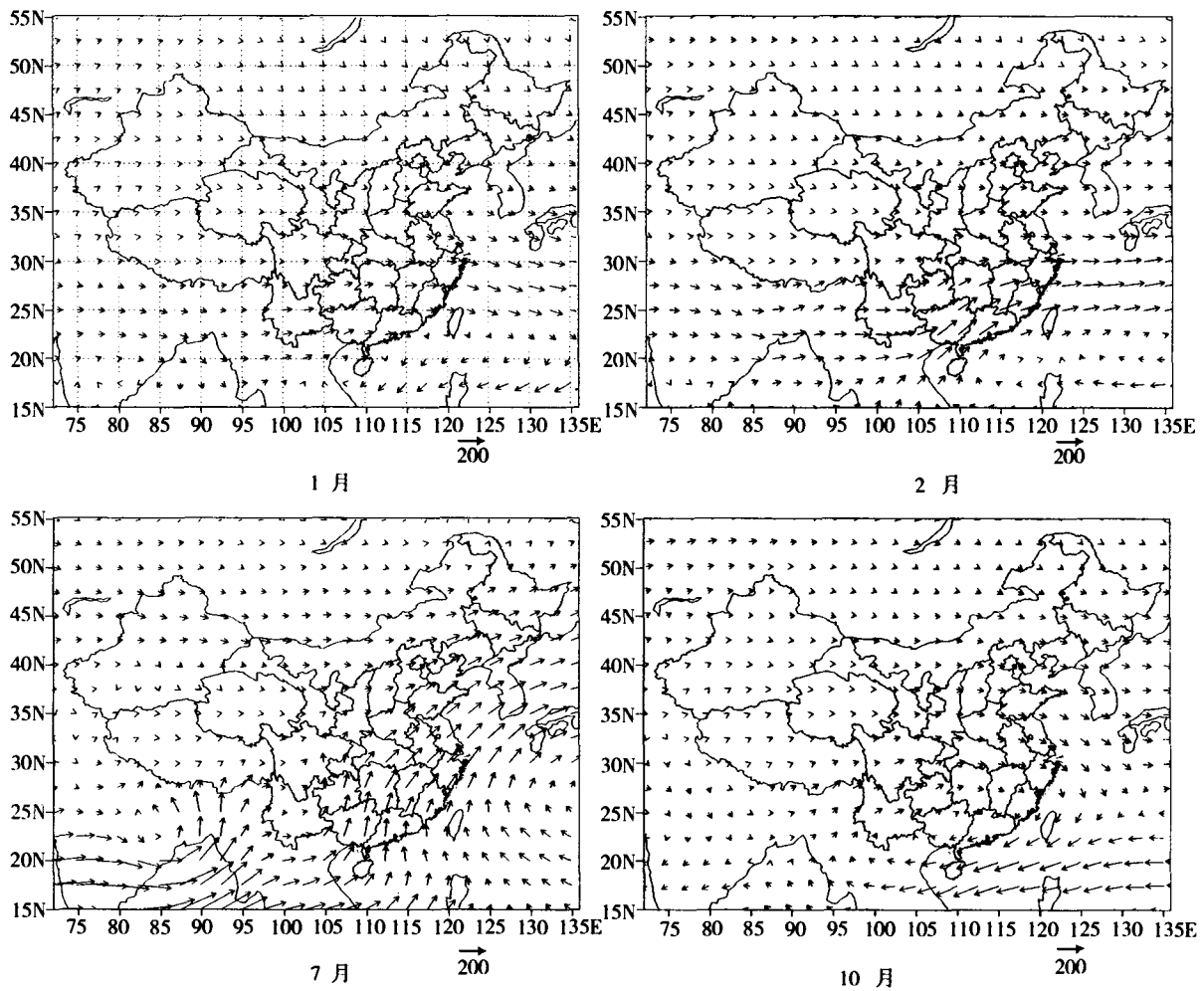


图6 祁连山地区 1970 ~ 1997 年整层水汽通量月平均矢量分布(单位:kg/m · s)  
 Fig.6 The vector distribution of mean water vapor flux in different months  
 from surface to 300 hPa during 1970 - 1997 (Unit:kg/m · s)

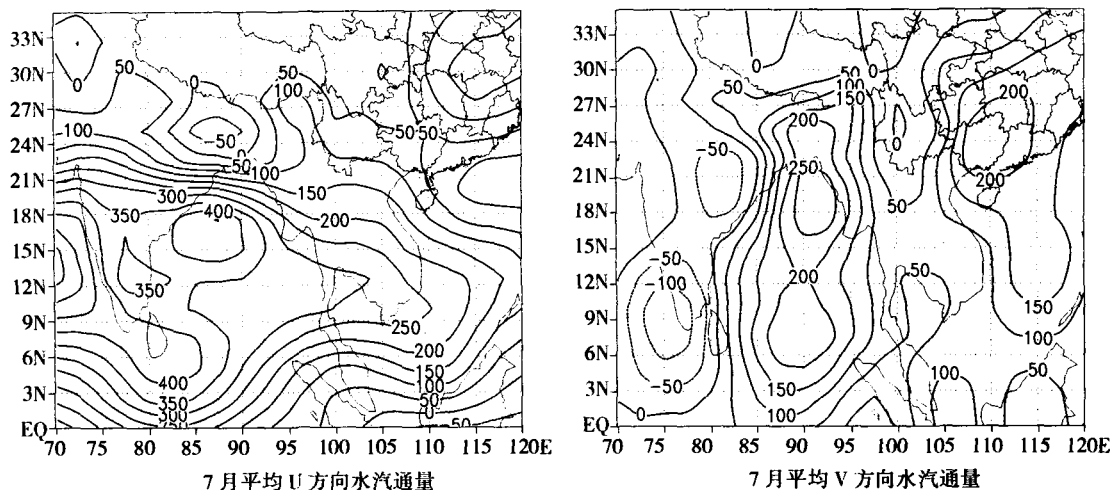


图7 1970~1997年7月份整层平均水汽通量U、V方向的分量(单位:kg/m·s)

Fig.7 The mean water vapor flux from surface to 300 hPa in July during 1970-1997 in U and V directions, respectively (Unit: kg/m·s)

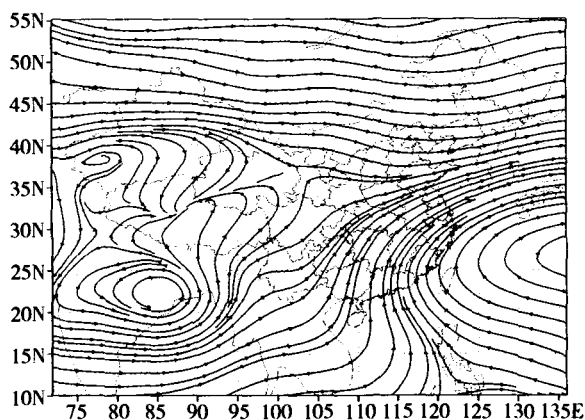


图8 1979~1997年7月份600 hPa平均流场分布

Fig.8 The distribution of mean wind field of 600 hPa in July during 1970-1997

#### 4 水汽收支

水汽收支指一地区某一段时间内水汽流入与流出的差值,反映该地区的空中水汽降落到地面的量。下面计算了1987年前后2个时期祁连山地区的水汽收支状况。

由表3可以看出,1987年前后2个时期比较,后期的经向与纬向水汽收支和净收支都在减小,在所选范围内,年水汽收支约为809亿m<sup>3</sup>/a。又由经、纬向水汽收支可以看出,经向水汽收支为正值,纬向水汽收支为负值,即在祁连山地区,水汽收支主要来自经向输送,纬向对其贡献为负。根据这个结论,可以看出,西风带带来的水汽对于增加祁连山地

区的降水作用很小,甚至可以说将祁连山的一部分水汽由西风输出该区域。

表3 各时期水汽收支(范围:36°30'~39°30'N,95°30'~103°E;单位:亿m<sup>3</sup>/a)

Tab.3 The input and output of water vapor amount in two different periods over the area of the Qilian Mountain (Unit: 10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>/a)

时 期	纬向收支	经向收支	净收支
1970~1986	-2 469	3 491	1 022
1988~1997	-1 872	2 468	596
平均	-2 171	2 980	809

祁连山地区1987年之后的水汽净收支量减小了,但是该地区的降水量却是增加了,经过计算得知,该地区全年的水汽辐合主要集中在600 hPa以下,以上为水汽辐散区域,又由水汽通量图可以看出,该地区上空常年盛行西风,那么是否是由于在1987年之后辐合层的水汽净收支增加的原因呢?经过分析(表略)可以看出,1987年之后辐合与辐散层的水汽净收支量与表3一致,都呈减小趋势。可以推测,该地区的降水效率提高了(表4)。

表4 祁连山地区1987年前后降水效率比较

Tab.4 The comparison of precipitation efficiency in the Qilian Mountain area in two different periods

时 期	可降水量 /mm	降雨量 /mm	平均风速 /m·s <sup>-1</sup>	降水效率
1970~1986	5.22	290.8	4.1	0.27
1988~1997	5.22	302.0	3.2	0.36

从表中可以看出,祁连山地区的可降水量在 1987 年之后没有变化,降雨量增大了,所以该地区的降水效率提高了。此外,还可以看出,平均风速有所增加,结合前面年平均水汽净收支减少的结果,根据水汽通量是由比湿(可以理解为可降水量)与风速决定的,在可降水量没有变化的情况下,可以推断出祁连山地区的水汽净收支在 1987 年之后减少是由于该地区的平均风速减小引起的。平均风速的减小可能与大气环流的变化有一定的关系,有待于进一步的研究。

## 5 结论

(1) 祁连山地区的降水主要集中在夏半年的 5~9 月,这 5 个月的降水量约占全年降水量的 86.8%;而 1~4 月、10~12 月降水则很少,7 个月降水总量仅占全年降水总量的 13.2%。

(2) 祁连山地区 1960~2002 年平均年降水量为 291.0 mm。以西北地区气候转型的 1987 年为界,之前的多年平均年降水量为 279.6 mm,之后的多年平均年降水量为 302.3 mm,1987 年之后该地区平均年降水量比之前增加了约 8.1%。而且主要是春、夏季节降水增加了,特别是 6、7 月份增加最多,分别为 5.9 mm 和 8.9 mm。从整个西北地区来看,这个增加幅度虽然比西北西部地区增加 10% 以上要小,但却与西北地区东部的 -5%~-15% 的明显减少形成鲜明对照。

(3) 祁连山中部和东部降水较多,平均年降水量 >380 mm;西部降水较少,为 200~300 mm。

(4) 在祁连山地区,水汽输送主要来自经向输送。其水汽来源、辐合主要集中在地面至 600 hPa 层,以上各层全年大多月份为水汽辐散。

(5) 祁连山地区在 1987 年前后可降水量变化很小,水汽净收入减小了,降水效率却提高了。其原因有待于进一步研究。

### 参考文献:

[1] Chahine M T. The hydrological cycle and its influence on climate [J]. *Nature*, 1992(359): 373-380.  
 [2] Zhai Panmao, Robert E Eskridge. Atmospheric water vapor over China [J]. *J Climat*, 1997(10): 2643-2652.  
 [3] 王秀荣,徐祥德,苗秋菊. 西北地区夏季降水与大气水汽含量状况区域性特征 [J]. *气候与环境研究*, 2003, 8(1): 35-41.  
 [4] 俞亚勋,王劲松,李青燕. 西北地区空中水汽时空分布及变化趋势分析 [J]. *冰川冻土*, 2003, 25(2): 149-155.  
 [5] 左洪超,吕世华,胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势

分析 [J]. *高原气象*, 2004, 23(2): 238-244.  
 [6] 王宝鉴,黄玉霞,何金海. 西北地区近 40 年 6—9 月降水的异常特征分析 [J]. *气象*, 2004, 30(6): 28-31.  
 [7] 黄山江,王谦谦,刘星燕. 西北地区春季和夏季降水异常特征分析 [J]. *南京气象学院学报*, 2004, 27(3): 336-346.  
 [8] 伊兰,陶诗言. 东亚季风区天气系统的水平平衡 [J]. *气候与环境研究*, 1996, 1(1): 63-80.  
 [9] 宋连春,张存杰. 20 世纪西北地区降水量变化特征 [J]. *冰川冻土*, 2003, 25(2): 143-147.  
 [10] 林纾,陆登荣. 近 40 年来甘肃省降水的变化特征 [J]. *高原气象*, 2003, 23(6): 898-903.  
 [11] 李栋梁,刘洪兰. 黑河流量对祁连山气候年代际变化的响应 [J]. *中国沙漠*, 2004, 24(4): 385-390.  
 [12] 沈永平,蒲健辰. 祁连山冰川 [J]. *森林与人类*, 2004(4): 20-23.  
 [13] 蓝永超,康尔泗,张济世,等. 近 50 年来 ENSO 与祁连山区气温降水和出山径流的对应关系 [J]. *水科学进展*, 2002, 13(2): 141-145.  
 [14] 蓝永超,丁永建,康尔泗. 近 50 年来黑河山区汇流区温度及降水变化趋势 [J]. *高原气象*, 2004(23(5)): 723-727.  
 [15] 郭妮,杨兰芳,李民轩. 利用气象卫星资料研究祁连山区植被和积雪变化 [J]. *应用气象学报*, 2003, 14(6): 700-707.  
 [16] 蓝永超,仵彦卿,康尔泗,等. 祁连山北麓出山径流对气候变化的响应 [J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2001, 37(4): 125-131.  
 [17] 张虎,温姪丽,马力,等. 祁连山北坡中部气候特征及垂直气候带的划分 [J]. *山地学报*, 2001, 19(6): 497-502.  
 [18] 蓝永超,康尔泗,张济世,等. 祁连山区近 50a 来的气温序列及变化趋势 [J]. *中国沙漠*, 2001, 21(增刊): 53-56.  
 [19] 张杰,韩永翔,万信,等. 祁连山区降水资源网格场的模拟与分析 [J]. *干旱地区农业研究*, 2002, 20(2): 108-118.  
 [20] 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 [J]. *冰川冻土*, 1999, 21(1): 42-48.  
 [21] 陈昌毓. 祁连山区水资源及其对河西走廊生态环境的影响 [J]. *自然资源学报*, 1995, 10(2): 104-113.  
 [22] 刘晓宏,秦大河,邵雪梅,等. 祁连山中部过去近千年温度变化的树轮记录 [J]. *中国科学 D 辑, 地球科学*, 2004, 34(1): 89-95.  
 [23] 王亚军,陈发虎,勾晓华,等. 祁连山中部树木年轮宽度与气候因子的响应关系及气候重建 [J]. *中国沙漠*, 2001, 21(2): 135-139.  
 [24] 蓝永超,康尔泗,仵彦卿,等. 气候变化对河西内陆干旱区出山径流的影响 [J]. *冰川冻土*, 2001, 23(3): 276-281.  
 [25] 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): 1-9.  
 [26] 王可丽,程国栋,江灏,等. 祁连山—黑河流域水循环中的大气过程 [J]. *水科学进展*, 2003, 14(1): 91-96.  
 [27] 刘国纬. 水文循环的大气过程 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 25-55.  
 [28] 施推风,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.

## 参考文献:

- [1] 刘德祥,朱炳媛,杨明芳,等. 甘肃省 1998 年 9 月至 1999 年 4 月干旱特征分析[J]. 甘肃气象,1999, 17(4):17-19.
- [2] 殷雪莲,张德玉. 2001 年张掖市异常干旱分析及防御对策[J]. 干旱气象,2004, 22(3):38-41.
- [3] 李维京,赵振国,李想,等. 中国北方干旱的气候特征及其成因的初步研究[J]. 干旱气象,2003,21(4):1-5.
- [4] 李新周,马柱国,刘晓东. 中国北方干旱化年代际特征与大气环流的关系[J]. 大气科学,2006,30(2):277-280.
- [5] 王小平,郭妮. 遥感监测干旱的方法及研究进展[J]. 干旱气象,2003, 12(4):76-81.
- [6] 肖乾广,陈维英,盛永伟,等. 用气象卫星监测土壤水分的实验研究[J]. 应用气象学报,1994, 5(3):312-315.
- [7] 郭妮,陈添宇,雷建勤,等. 用 NOAA 卫星可见光和红外资料估算甘肃省东部农田区土壤湿度[J]. 应用气象学报,1997,8(2):212-218.
- [8] 张树誉,赵杰明,袁亚社,等. NOAA/AVHRR 资料在陕西干旱动态监测中的应用[J]. 中国农业气象,1998,19(5):26-32.
- [9] 姬菊枝,安晓存,魏松林. 利用卫星遥感技术进行干旱监测[J]. 自然灾害学报,2005,14(3):61-65.
- [10] 刘玉洁,杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京:科学出版社,2001. 1-3.
- [11] 董超华,章国材,邢福源,等. 气象卫星业务产品适用手册[M]. 北京:气象出版社,1999. 155-159.
- [12] 刘丽,刘清,周颖,等. 卫星遥感信息在贵州干旱监测中的应用[J]. 中国农业气象,1999,20(3):43-47.

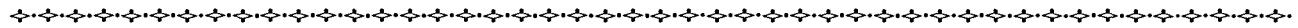
## Monitoring Soil Humidity by Using EOS/MODIS VSWI Product in Qingyang

LIANG Yun<sup>1</sup>, ZHANG Feng<sup>2</sup>, HAN Tao<sup>1</sup>

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 2. Qingyang Meteorological Bureau of Gansu Province, Qingyang 745000, China)

**Abstract:** Based on the MODIS data and observed soil humidity in Qingyang region, the linearity relation has been found between VSWI and soil humidity through statistic regression analysis. The soil humidity provided by MODIS VSWI was validated by the actual soil humidity through dynamic monitoring in 2005 in Qingyang region, thus it is feasible to monitor soil humidity by VSWI product.

**Key words:** EOS/MODIS; VSWI; soil humidity



(上接第 20 页)

## Research on Vapor and Precipitation Resources over the Qilian Mountain Area

ZHANG Liang<sup>1,2</sup>, WANG Shigong<sup>1,2</sup>, SHANG Kezheng<sup>1,2</sup>, YANG Debao<sup>1,2</sup>

(1. College of Atmosphere Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China ;  
2. Key Laboratory of Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China )

**Abstract:** The cloud-water resources of the Qilian Mountain were analyzed by using the observed data of eight meteorological stations from 1960 to 2002 and the NCEP/NCAR data ( $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ) for the period of 1970-1997. Results show that the water vapor amount gradually increased from spring to summer, and then decreased; the precipitation there was concentrated in May to September which was in the proportion of 86.8% to annual precipitation. Comparing the preceding period (1970-1986) with the succeeding period (1988-1997) of climatic change in Northwest China, the annual mean precipitation there increased more than 8.1% in the succeeding period (mainly in spring and summer), which was beneficial to the ecological improvement there. The precipitation in the middle part of the Qilian Mountain was much more than that in eastern and western part. The annual water vapor input was  $885.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ , which mostly came from the levels under 600 hPa, and it divergenced over 600 hPa at most time of a year. The water vapor mainly came from longitudinal input.

**Key words:** the Qilian Mountain; water vapor amount; water vapor flux; vapor flux divergence; water vapor budget