

# 祁连山中段人工增雨(雪)的气候分析及其有利天气

李宗义, 杨建才, 李荣庆, 程 瑛

(兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

**摘 要** 重点分析了祁连山下肃南的天气气候特点, 探讨在祁连山区中段进行人工增雨(雪)的有利天气条件及其日数。结果表明, 祁连山区中段的降水量远远大于河西盆地, 降水量随海拔高度增加而增大, 有利人工增雨(雪)的年平均日数有 146.4 d, 一年中 3~10 月每月有雨(雪)日在 10 d 以上, 5~8 月以对流性降雨为主。

**关键词** 祁连山 增雨; 气候分析; 有利日数

中图分类号 P481

文献标识码 A

## 引 言

我国西北内陆干旱区, 面积约  $3.06 \times 10^6 \text{ km}^2$ , 占国土面积的 32%<sup>[1]</sup>。祁连山位于蒙古、青藏、黄土 3 大高原交汇处, 绵延长达 1 000 km。海拔高度在 2 000~4 000 m 之间, 主峰达 5 564 m, 是西北干旱区最重要的山脉, 也是西北干旱区重要的水源涵养地之一。河西走廊的石羊河流域、黑河流域、疏勒河流域等 26 条较大河流与 80 多条较小支流, 每年为河西走廊提供的水资源达 73 亿  $\text{m}^3$ <sup>[2]</sup>。由于受地形抬升和地理位置的影响, 高山降水多于平原, 所以, 高山是干旱区的“湿岛”, 在高山地区形成多降水中心, 成为河流的发源地。以 1981~1986 年西北内陆上空的水汽输送平均计算, 得出水汽输入 4 489.7  $\text{km}^3$ , 而输出为 4 348.7  $\text{km}^3$ <sup>[3]</sup>。可以看出, 西北内陆上空虽有大量水汽输入, 但受地理环境和气象条件的限制, 自然降水量很少, 大部分水汽输出。张掖地区春小麦单产与黑河流量关系密切, 即春季流量越大, 气候产量越高<sup>[4]</sup>。石羊河流域气候干旱, 降水稀少, 人均占有水资源不足 600  $\text{m}^3$ , 是全国严重的干旱缺水地区之一<sup>[5]</sup>。

为了充分利用和开发空中水资源, 进行人工增雨(雪)是增加降水量, 解决河西及内蒙中西部干旱少雨, 保护生态环境, 控制土地沙漠化的有效途径。甘肃省从 1991~2003 年在张掖以东进行的飞机人

工增雨中, 是以河西走廊的盆地为主, 由于受气象条件限制, 可供增雨的天气较少, 因此, 要增加河西的降水, 必须在祁连山区进行人工增雨。本文以祁连山区中段的肃南 1981~2000 年气象资料为主, 分析在祁连山区进行人工增雨(雪)的有利天气气候条件和可供作业的日数。

## 1 资料的使用和处理

经分析甘肃省年降水量 20 世纪 50 年代偏少, 60~70 年代偏多, 80~90 年代偏少, 其中 90 年代最少。为分析在少雨年祁连山中段人工增雨(雪)的有利天气, 本文选用降水偏少的 1981~2000 年祁连山下的肃南和同纬度的山丹、民勤 3 站年、月降水量, 日降水量  $\geq 0.1 \text{ mm}$  的降水日数, 肃南  $\geq 0.0 \text{ mm}$  的有雨日; 对比分析年、月变化和有利增雨的天气日数。用肃南 1991 少雨年和 1998 多雨年的降水量、有雨日、20 时的总、低云量对比分析。用 2003 年的有雨日、阵性雨日、云状, 分析祁连山区夏季对流云的发展情况。

## 2 降水量分析

### 2.1 降水量随高度变化

在同纬度的民勤(海拔高度 1 368.5 m)年平均降水量 107.9 mm、山丹(海拔高度 1 765.9 m)195.4 mm、肃南(海拔高度 2 311.3 m)260.1 mm, 3 站随海

拔高度的增加及距祁连山距离的减小,年平均降水量递增 44.8% 和 24.9%。在祁连山区青海省的祁连(海拔高度 2 788 m)和托勒(海拔高度 3 362 m)站 20 世纪 80 年代年平均雨量 422.7 mm,90 年代 410.8 mm<sup>[6]</sup>。定位站寺大隆(海拔高度 2 600 m)年平均降水量 433.5 mm,实验区内降水量随海拔高度升高呈上升趋势,总的变化特征是海拔高度每升高 100 m,年降水量平均递增 4.55%。当海拔高度超过 3 650 m 时,降水量则出现下降趋势。在 3 650 m,年降水量为 630 mm<sup>[7]</sup>。可见祁连山区降水量远远大于走廊盆地。

## 2.2 降水量及降水日的年变化特征

### 2.2.1 降水量年变化特征

据统计,1971~2000 年甘肃省河西地区平均降水量仅有 160 mm,平均蒸发量高达 2 203 mm<sup>[8]</sup>。分析民勤、山丹、肃南 3 站年降水量演变(图 1),民勤年降水量在 52.0~202.0 mm。多数年降水量在 100 mm 左右,最少的 1982 年,只有 52.0 mm,同年最小蒸发量 1 月 55.6 mm,月平均蒸发量 240.1 mm,一年降水量少于最小月蒸发量。降水量最多的 1994 年降水量 202.0 mm,同年月平均蒸发量 218.1 mm,一年的降水量仅相当于平均一个月的蒸发量。在这样气候条件下的民勤,靠自然降水植物是不可能生存的。山丹年降水量 97.8~301.2 mm。肃南年降水量 156.2~372.0 mm,多数年份在 250 mm 以上。这就证明,祁连山区的降水量要比盆地大得多。

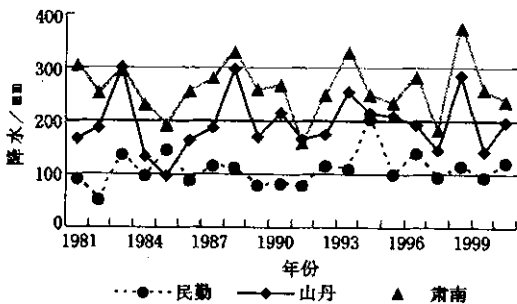


图 1 1981~2000 年降水量变化曲线

Fig. 1 The annual variation of rainfall in 3 stations of Gansu province from 1981 to 2000

### 2.2.2 降水日年变化特征

开发空中水资源,实施人工增雨(雪),最重要的是要有有利降水的天气条件。在祁连山下的肃南年降水量为 156.2~372.0 mm,多数年份在 250 mm 以上,这表明在祁连山区具备增雨的有利天气。为

了分析这种有利天气的日数,选用肃南降水量  $\geq 0.1$  mm 的降水日数进行分析(图 2)。

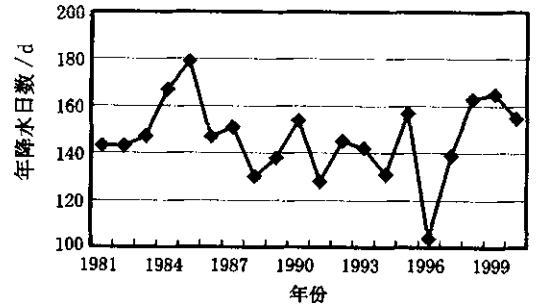


图 2 1981~2000 年肃南  $\geq 0.1$  mm 年降水日数

Fig. 2 The annual variation of rainfall days ( $R \geq 0.1$  mm) in Suanan station of Gansu province from 1981 to 2000

图中表明,降水量  $\geq 0.1$  mm 的降水日数最多的 1985 年有 180 d,最少的 1996 年也有 104 d,其余都在 130 d 以上。说明正常年份一年中有 36% 的天数可以进行人工增雨(雪)。

### 2.2.3 降水日季变化特征

降水日数是反映一个地区气候的重要特征之一。在年降水日数变化特征分析中得出,祁连山下的肃南在正常年份一年中有 36% 的降水日数。为了分析这 36% 的降水日数在一年中的分布特征,我们主要分析肃南春夏秋冬 4 季的降水日数分布(图 3)。在春季(图 3a),降水日数最多的 1988 和 1993 年有 25 d。最少的 1999 年只有 7 d,75% 的年份降水日数在 10 d 以上,占春季日数的 11%。夏季(图 3b)降水日数均在 30 d 以上,占夏季日数的 33%,有 90% 的年份在 35 d 以上。秋季(图 3c),最多的 1995 年为 24 d,最少的 1997 年只 3 d,有 75% 的年份在 10 d 以上,占秋季日数的 16%。冬季(图 3d),有 80% 的年份在 10 d 以上,占冬季日数的 8%。分析表明,要开展人工增雨(雪),选每年 3~10 月比较适合。

## 2.3 降水量及降水日的月变化

分析肃南降水量及降水日的月变化(表 1),月平均降水量为 1.5~66.7 mm,降水量最多的 7 月,平均降水量 66.7 mm,最多 111.0 mm。月降水日在 3.2~15.2 d,7 月平均 15.2 d,最多 20 d,最少 9 d。

降水量在雨季的 5~9 月为 226.7 mm,占年雨量的 87.2%,而冬季 10~4 月只有 34.9 mm,占 13.4%。降水日 5~9 月 58.8 d,占年降水日的 64.9%,10~4 月 32.3 d,占 35.7%。

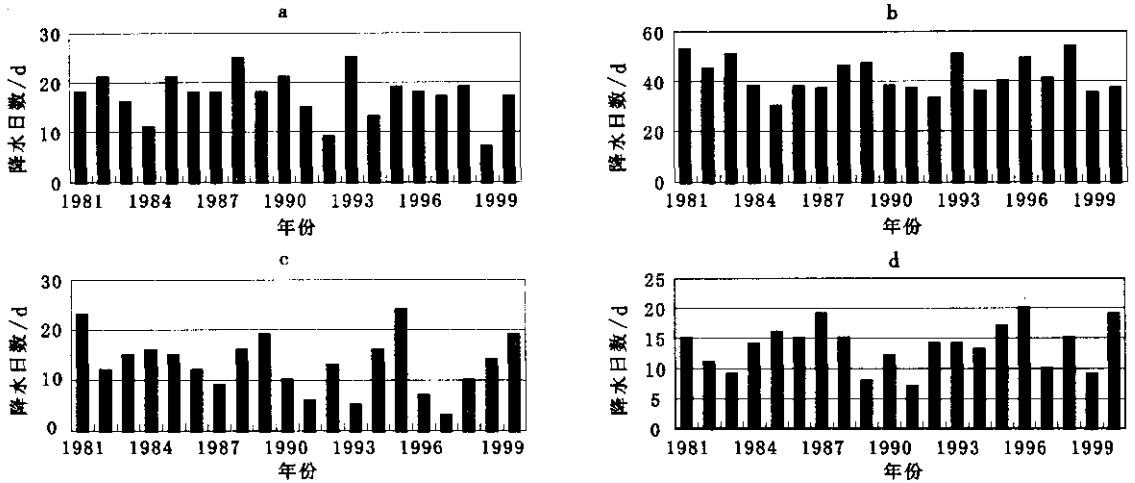


图3 1981~2000年肃南各季降水 $\geq 0.1$  mm 日数

a.春季(3~5月) b.夏季(6~8月) c.秋季(9~10月) d.冬季(11~12月)

Fig.3 The seasonal variation of rainfall days( $R \geq 0.1$  mm) in Suñan station of Gansu province

from 1981 to 2000 ( a for spring( 3 ~ 5 ) b for summer( 6 ~ 8 ) c for autumn( 9 ~ 10 ) d for winter( 11 ~ 12 )

表1 肃南月平均降水量及降水量 $\geq 0.1$  mm 雨日

Tab.1 Monthly mean precipitation and rainfall days( $R \geq 0.1$  mm) in Suñan station

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
降水量/mm	1.8	2.2	6.9	11.4	27.6	50.7	66.7	56.9	24.8	8.8	2.3	1.5	260.1
占年百分比/%	0.69	0.85	2.65	4.38	10.61	19.49	25.64	21.88	9.53	3.38	0.88	0.58	100
变化范围	0.0~	0.1~	0.3~	0.0~	0.4~	18.9~	20.3~	19.4~	1.2~	1.1~	0.0~	0.0~	156.2
	4.2	4.9	26.8	31.4	52.1	112.7	111.0	111.8	52.8	18.5	8.9	4.5	372.0
降水日数	3.6	4.1	6.7	6.6	9.0	12.5	15.2	14.2	7.9	5.3	2.8	3.2	90.6
变化范围	0~8	1~7	1~13	0~11	1~17	5~18	9~20	6~25	1~16	1~10	0~7	0~6	75~112

### 3 云雨日分析

祁连山区海拔高度在 2 000 ~ 4 000 m ,降水量明显大于河西盆地。所以高山是干旱区的“ 湿岛 ” ,在高山地区形成多降水中心 ,成为河流的发源地。

尽管山地面积仅占 1/3 ,但平均每年降落在山区的降水量估算有 400 km<sup>3</sup>[9]。分析降水量 $\geq 0.0$  mm 的有雨日得出 ,肃南年平均有雨日 146.4 d ,3 ~ 10 月每月有雨日在 10 d 以上(图 4)。分析日平均总云量 $\geq 8$  成的日数 3 ~ 10 月在 8.8 d 以上(图 5)。

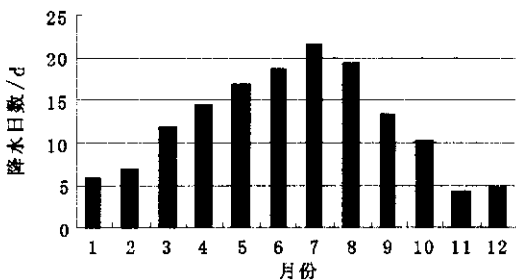


图4 肃南月平均降水量 $\geq 0.0$  mm 日数

Fig.4 Monthly mean rainfall days( $R \geq 0.0$  mm) in Suñan station

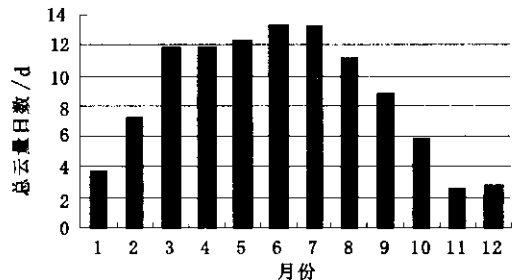


图5 肃南月平均总云量 $\geq 8$  成日数

Fig.5 Monthly mean days with amount of cloud over 80% in Suñan station

## 4 降水性质分析

为分析祁连山区的降水性质,统计分析了2003年肃南降水性质和云状(表2)。从表2看出,在157 d降水日中,阵性降水为103 d,占年降水日的65.61%,在4~9月就占58.60%,特别是7~8月的51 d降水中阵性降水多达49 d,占96.8%。一年中114 d出现对流云,冬季也有对流云形成。可见,山区降水以对流性为主。

表2 肃南2003年降水性质和云状

Tab.2 Different kinds of rainfall days in Su'nan station in 2003

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
阵性降水日	1	2	4	6	13	15	26	23	9	3	1	0	103
稳定性降水日	4	7	5	7	3	4	1	1	4	3	9	6	54
对流云Cb日	1	1	2	9	19	18	25	19	13	6	1	0	114

## 5 多雨年与少雨年对比分析

多雨的1998年,肃南年降水量372.0 mm,而少雨的1991年降水量只有156.2 mm。

表3 肃南1998与1991年降水、云量

Tab.3 Monthly mean precipitation and rainfall days ( $R \geq 0.1$  mm) and total cloud cover in Su'nan station in 1991 and 1998

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计	少雨占多雨%
1998月降水	1.4	2.2	9.0	15.9	49.7	55.2	111.0	77.9	39.3	7.3	0.1	3.0	372.0	
1991月降水	1.0	0.2	6.3	10.4	8.9	32.6	20.3	59.0	5.6	9.8	0.0	2.1	156.2	41.99
1998降水日数	5	8	14	10	22	20	26	21	13	9	1	8	157	
1991降水日数	4	6	10	14	18	20	18	17	7	9	2	5	130	82.80
1998年20时总云量	6	22	28	22	27	22	23	23	18	9	10	10	222	
1991年20时总云量	13	17	23	22	24	23	26	21	15	14	4	12	214	96.04
1998年20时低云量	0	3	14	16	21	19	21	17	11	3	0	3	128	
1991年20时低云量	0	1	5	11	16	15	14	15	9	5	0	3	94	73.44

从表3可以看出,少雨年的年降水量只占多雨年的41.99%,5~9月多雨年雨量333.5 mm,少雨年只有126.4 mm,占多雨年的37.90%,10~4月多雨年雨量38.9 mm,少雨年只有29.8 mm,占多雨年的76.61%,降水日数占82.80%,20时总云量占96.04%,20时低云量占73.44%。以上分析表明,少雨年降水日数、总云量、低云量和多雨年相差不多,而降雨量特少主要是由于过程降雨量太小造成的。

## 6 结论

(1) 在祁连山区实施人工增雨的有利天气平均为146.4 d,主要在3~10月,每月有雨日在10 d以上。

(2) 祁连山区的降水量主要在雨季5~9月,占年雨量的87.2%,而冬季10~4月只占13.4%。

(3) 祁连山区的降水主要出现在下午到夜间,在4~9月以对流性降水为主。

(4) 降水量少是由于过程降雨量小造成的。若

能在祁连山区实施人工增雨,增加降水量,对改善河西及内蒙西部的生态环境会起到很好作用。

### 参考文献:

- [1] 朱震达,陈广庭. 中国土地沙质荒漠化[M]. 北京: 科学出版社, 1994. 195.
- [2] 杨针娘. 祁连山冰川水资源及其在河川径流中的作用[A]. 中国科学院兰州冰川所集刊[C]. 1992. 10-20.
- [3] 崔玉琴. 西北内陆上空水汽输送及其源地[J]. 水利学报, 1994(9): 79-87.
- [4] 冯建英,王劲松,韩永翔. 甘肃省河西内陆河径流量对河西地区春小麦产量的影响[J]. 干旱气象, 2004, 22(1): 17-20.
- [5] 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): 65-68.
- [6] 曹玲,龚永祥,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): 45-49.
- [7] 常学向,赵爱芬,王金叶. 祁连山林区大气降水特征与森林对降水的截留作用[J]. 高原气象, 2002, 21(3): 274-280.
- [8] 宋连春,张强,孙国武,等. 全球变暖对甘肃省经济、社会和生态环境的影响及其对策[J]. 干旱气象, 2004, 22(2): 69-75.
- [9] 高前兆. 河西内陆河流域的水循环特征[J]. 干旱气象, 2003, 21(3): 21-27.

## The Climatic Analysis on Weather Modification in Mid – section of Qilian Mountain and Available Weather Patterns

LI Zong – yi , YANG Jian – cai , LI Rong – qing , CHENG Ying

( Lanzhou Central Meteorological Observatory , Lanzhou 730020 , China )

**Abstract** In this paper , the climate and weather characteristics in Suñan station which is located at the foot of the mid – section of Qilian mountain are analyzed in order to find the available weather patterns and days for weather modification. Results show that the annual precipitation in mid – section of Qilian mountain is much larger than that in Hexi basin , and the precipitation increases with the height above sea level , the annual average days available for weather modification are 146.4 d , the monthly rainy ( snowy ) days are more than 10 d from March to October in a year , it is convective rainfall mainly in May to August.

**Key words** Qilian mountain ; rainfall enhancement ; climatic analysis ; the available days for weather modification

( 上接第 17 页 )

## Analysis on the Climate Change towards Warming – wetting Trend in Shihezi Region in Recent 40 Years

FAN Li – hong<sup>1 2 3</sup> , HE Qing<sup>3</sup> , CUI Yan – jun<sup>4</sup> , PAN Xiao – ling<sup>1 2</sup>

( 1. Resource and Environment Science College , Key Laboratory of Oasis Ecology , Xinjiang University , Urumqi 830046 , China ;

2. International Center for Sustainable Development in Semi – arid and Arid Region , Urumqi 830046 , China ;

3. Institute of Desert Meteorology , CMA , Urumqi 830002 , China ;

4. Academy of Forest Inventory and Planning , Forestry Administration of Xinjiang Corps , Urumqi 830011 , China )

**Abstract** The changing characteristics of temperature , rainfall and aridity index in recent 40 years in Shihezi region were analyzed in this paper. The results show : ( 1 ) The changing trend of temperature there is on the increase of 0.3 °C/10 a , which is consistent with that in the whole region of Xinjiang ; the annual , winter and summer mean temperatures descended from 1960s to 1970s , ascended from 1980s to 1990s , and rose more obviously in winter than that in summer in 1980s but just the reverse in 1990s. ( 2 ) The rainfall increased generally , and the increasing rate is 12.5 mm/10 a , the mean precipitation in 1990s is 20.8% more than that in the past 30 years. ( 3 ) The annual mean aridity index descended generally , but the trend was not obvious , the descending rate is –0.3/10 a. ( 4 ) There were some abrupt changes with different degree in temperature , rainfall and aridity index in different years tested by Mann – Kendall means , all these showed that climate in Shihezi region was becoming warm and wet , and this is in favor of oasis development there.

**Key words** Shihezi region ; temperature ; rainfall ; aridity index ; abrupt change