

祁连山近 45 a 5~9 月日降水气候特征

魏 锋^{1,2}, 王劲松¹, 李宝梓³, 杨金虎⁴, 张小明⁴

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省嘉峪关市气象局, 甘肃 嘉峪关 735100; 3. 甘肃省人工影响天气办公室, 甘肃 兰州 730020; 4. 甘肃省定西市气象局, 甘肃 定西 743000)

摘 要:应用祁连山地区 17 个测站 1960~2004 年 5~9 月逐日降水资料, 统计逐年 5~9 月不同量级的雨日数及对应的降水量, 进而得到各站小雨和中雨以上日降水雨强, 用区域平均值来代表祁连山地区整体的不同降水量级雨日数和雨强, 用线性趋势系数及 5 阶主值函数分析不同量级降水日数和雨强的变化趋势。用墨西哥帽状连续小波变换方法分析其周期变化情况。结果表明: 祁连山地区 5~9 月降水量与不同量级的雨日数的气候平均分布具有地理分布上的相似性, 无论年降水量还是不同量级的雨日数, 同纬度地区西侧明显多于东侧, 祁连山东段多于西段, 等值线呈西北—东南走向。近 45 a, 祁连山地区小雨日数呈下降趋势, 中雨以上降水日数则呈上升趋势, 而小雨雨强与中雨以上降水的雨强均呈增强态势, 不同量级降水日数与雨强的共同作用使得 5~9 月降水量与总雨日数呈相反变化趋势, 即 5~9 月降水量呈上升趋势, 而总雨日数呈微弱下降趋势。小波分析发现, 祁连山地区小雨日数有 5 a 左右的变化周期, 而中雨以上降水日数的周期变化较小雨日数周期变化明显复杂。

关键词:祁连山区; 降水日数; 变化趋势; 小波分析

中图分类号: P468.0⁺24

文献标识码: A

引 言

祁连山是我国著名的高大山系之一, 山体呈西北—东南走向, 是青藏高原与内蒙古高原和黄土高原的分界线, 区内具有森林、草原、河流、冰川、荒漠等多样景观, 位于海拔 3 500 m 以上的现代冰川, 被称为“天然白色水库”, 孕育了大通河、石羊河、黑河等河流, 是河西走廊绿洲的主要水源。在自然气候分区上, 祁连山又处于我国西北干旱区、东部湿润区和青藏高原高寒区的过渡带, 是气候变化的敏感区。李栋梁等^[1]利用祁连山区 8 个气象站自建站至 2003 年观测的月降水、气温资料, 分析了黑河流量与祁连山区降水、气温的年代际变化, 发现黑河流量的增加取决于 2 个方面的原因: 祁连山区夏季降水量的增加及山区冬、春季气温的升高。蓝永超等^[2]等对甘肃河西内陆河流域出山径流变化过程与趋势的研究表明, 从 20 世纪 80 年代中后期开始, 受西风环流降水的影响, 祁连山区中、西部的黑河、疏勒河流域的气候环境出现了由增温变干转为变湿的讯

号, 具体表现为随着山区气温升高, 降水量增加, 出山径流相应增大。由此可见, 祁连山大气降水的变化, 最终会影响祁连山周边地区水资源的变化。关于祁连山气候特征的研究还有很多^[3-6], 但主要集中在年、季降水总量等方面。实际上, 一个地区的降水总量是降水场次与降水强度综合作用的结果, 只有在正确认识降水量以及降水日数特征的基础上, 才能合理利用自然降水, 充分开发空中水资源, 提高防旱抗旱能力。近年来, 降水日数的气候变化引起了气象工作者的高度重视, 白虎志等^[7]通过 EOF 和 REOF 等分析方法, 研究了西北地区东部夏季降水日数时空分布的异常特征。顾骏强等^[8]用 1961~1999 年浙江省 36 站的资料, 研究了浙江省年、季、月降水总量与雨日数的气候变化。向毓意^[9]分析了拉萨 5 mm 以上降水日数与旱涝的关系。但这些工作大都针对总雨日数进行分析, 缺乏不同量级降水日数及其强度的长期气候变化特征研究。本文选用祁连山附近 17 个测站 1960~2004 年 5~9 月逐日降水资料, 分析近 45 a 祁连山区不同量级降水日

收稿日期: 2010-02-26; 改回日期: 2010-06-01

基金项目: 国家科技攻关计划“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”(2004BA901A16-02-02)资助

作者简介: 魏锋(1967-), 男, 甘肃通渭人, 硕士, 高级工程师, 主要从事天气气候研究及业务工作. E-mail: dxweifeng@126.com

数及其相应降水强度的变化特征,以期了解掌握祁连山地区降水量变化的基本特征,为防灾减灾、合理利用水资源、改善生态环境、发展生产提供科学依据。

1 资料和方法

按照中国气象局日降水量等级标准,日降水量 R 主要划分为小雨 $0.1 \leq R < 10.0$ mm、中雨 $10.0 \leq R < 25.0$ mm、大雨 $25.0 \leq R < 50.0$ mm、暴雨 $50.0 \leq R < 100.0$ mm、大暴雨 $R \geq 100.0$ mm 5 个级别,由于祁连山地处内陆腹地,以干旱、半干旱气候为主,降水主要集中在 5~9 月,且日雨量在 25 mm 以上的日数极少,因此本文选取祁连山附近 17 个测站的 1960~2004 年历年 5~9 月逐日 20:00~20:00 的降水资料,分别统计出历年各站 5~9 月小雨、中雨以上降水日数及其对应的降水量,进而得到各站小雨和中雨以上降水的雨强。用区域平均值来代表祁连山地区整体不同量级降水的雨日数和雨强。用线性趋势系数及 5 阶主值函数表示不同量级降水日数和雨强的变化趋势。用墨西哥帽状连续小波变换方法分析不同量级雨日数的周期变化情况。表 1 为祁连山附近 17 站的地理位置,具体经纬度及海拔高度。

表 1 祁连山附近 17 站详细地理位置及海拔高度

Tab. 1 The position and elevation of meteorological stations in the study area

站名	站号	经度/ $^{\circ}$ E	纬度/ $^{\circ}$ N	海拔高度/m
高台	52546	99.8	39.4	1 332.9
肃南	52643	99.6	38.8	2 311.3
张掖	52652	100.4	38.9	1 483.7
民乐	52656	100.8	38.5	2 271.5
山丹	52661	101.1	38.8	1 765.9
武威	52679	102.7	37.9	1 531.9
古浪	52784	102.9	37.5	2 073.2
乌鞘岭	52787	102.9	37.2	3 043.9
永昌	52674	102.0	38.2	1 976.5
永登	52885	103.3	36.8	2 118.8
托勒	52633	98.2	38.5	3 368.3
野牛沟	52645	99.2	38.4	3 320.0
祁连	52657	100.2	38.1	2 788.0
门源	52765	101.4	37.3	2 851.0
互助	52863	102.1	37.1	2 480.0
乐都	52874	102.2	36.3	1 981.9
民和	52876	102.6	36.4	1 814.8

2 祁连山地区 5~9 月降水的平均气候特点

图 1 为祁连山近 45 a 年降水量及 5~9 月降水量历史演变曲线。可以看出,祁连山 5~9 月降水量与年总降水量基本呈一致的同位相变化。就祁连山整体而言,45 a 平均 5~9 月降水量达 261 mm,占年均降水量的 82%,因此 5~9 月降水量异常是导致年总降水量异常的关键因素。近 45 a,5~9 月降水量以 4.9 mm/10 a 的速度递增,年总降水量则以 4.1 mm/10 a 的速度增加,增加幅度略小于 5~9 月。

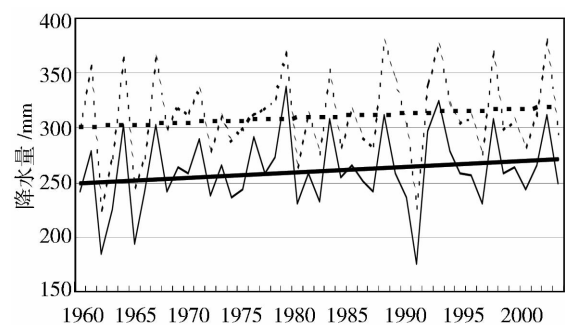


图 1 祁连山区域平均年降水量(虚线)及 5~9 月降水量(实线)历史演变曲线

Fig. 1 The regional mean annual (dashed line) and May - September (solid line) precipitation in the period of 1960 - 2004 in Qilian Mountain area

由图 2 可以看出,祁连山近 45 a 5~9 月平均降水量总的分布特点是同纬度地区西侧降水明显多于东侧,祁连山东南段降水多于西北段,降水量等值线呈西北—东南走向。位于青海境内处于祁连山南侧的大部分站降水 > 250 mm,其中位于祁连山西南侧的互助、门源站 5~9 月降水最多,分别达 428 mm、434 mm,而位于祁连山北侧海拔低于 2 000 m 的高台、张掖、山丹、永昌、武威站 5~9 月降水量不足 170 mm,其中高台站 5~9 月降水量最少,仅为 87 mm。分析祁连山近 45 a 5~9 月降水日数,可以看出降水日数的地理分布基本相似于 5~9 月降水量的分布,海拔较低的高台、张掖、山丹、永昌、武威站 5~9 月降水日数不到 47 d,其中高台最少,仅为 30 d,海拔相对较高,且处于祁连山南侧的野牛沟、祁连、门源、互助降水日数在 80 d 以上,其中门源最多,达 89 d。乌鞘岭降水日数达 80 d,较东西两侧明显偏多。

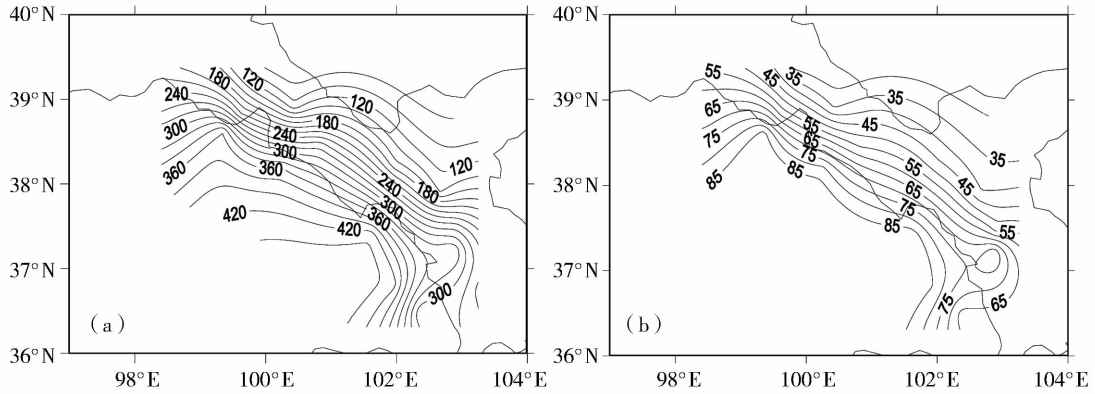


图 2 祁连山近 45 a 5~9 月平均降水量(单位:0.1 mm/a) (a)及雨日数空间分布(单位:d) (b)
 Fig. 2 Distribution of mean precipitation (a) and rain days (b) in Qilian Mountain from May to September in recent 45 years

图 3 为祁连山近 45 a 5~9 月小雨日数及小雨降水占同期总降水的百分比分布图,由图可见,祁连山小雨日数分布与总降水日数分布较为相似,各站小雨日数占总雨日数的 80% 以上,祁连山中西段北坡的高台、张掖、武威、永昌等站小雨日数占总雨日

数的 91%~94%。从小雨降水占总降水的百分比来看,祁连山西段小雨占总降水的比重较大,达 60% 以上,而祁连山东段在 50% 左右,在民乐为一 <44% 相对极小值中心,而乌鞘岭则为一较周围值相对偏大的极大值中心。

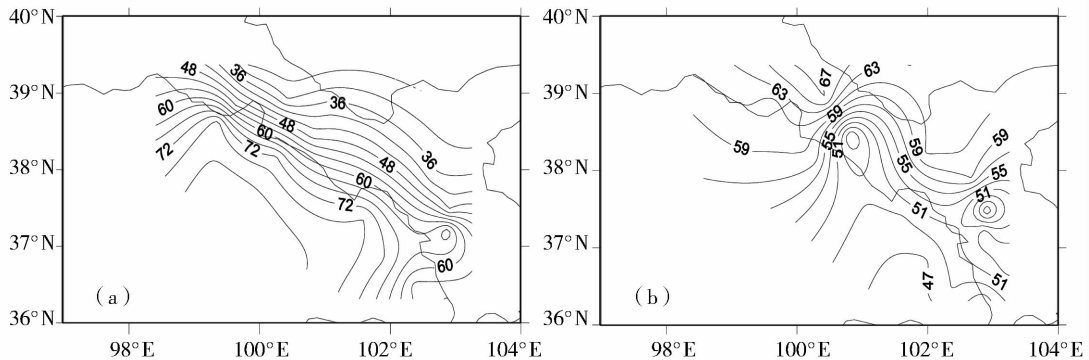


图 3 祁连山近 45 a 5~9 月小雨日数(单位:d) (a)及小雨降水占同期总降水的百分比分布(单位:%) (b)
 Fig. 3 Distribution of rainfall days less than 10 mm from May to September (a) and the percentage of its contribution to total rainfall (Unit:%) (b) in Qilian Mountain in recent 45 years

图 4 给出祁连山 1961~2004 年平均 5~9 月中雨以上降水日数及中雨以上降水占同期总降水的百分比分布图,可以看出,祁连山地区中雨以上降水日数远小于小雨降水日数,仅占总降水日数的 20% 左右。其空间分布仍为西段少、东段多,北坡少、南坡多。位于祁连山西北侧的高台、张掖 5~9 月中雨以上降水日数年均不到 3 次,而东南侧的门源、互助 2 站高达 13 次。从中雨降水占总降水的百分比来看,祁连山西段中雨以上降水占总降水的比重较小,不到 40%,而祁连山东段在 50% 左右。此外,乌鞘岭、民乐站分别为一极小、极大中心。

上述分析表明,受地形和地理位置影响,祁连山地区降水及降水日数的局地性分布很明显。总体来说祁连山西段主要受西风带天气系统影响,降水所需水汽来自西风环流带来的大西洋冷湿气流以及山区对流水汽输送等,而祁连山东段主要受东南季风暖湿气流的影响。祁连山南坡相对高原季风及东南季风来说是迎风坡,随着气流在东南迎风坡的抬升形成降水,而北坡为背风坡,在背风坡一面由于山体遮挡水汽不能越过或者水汽翻越山体而在背风坡形成焚风而水汽锐减所致^[10]。因此,祁连山西段降水及各类雨日数少于东段,南坡多于北坡。

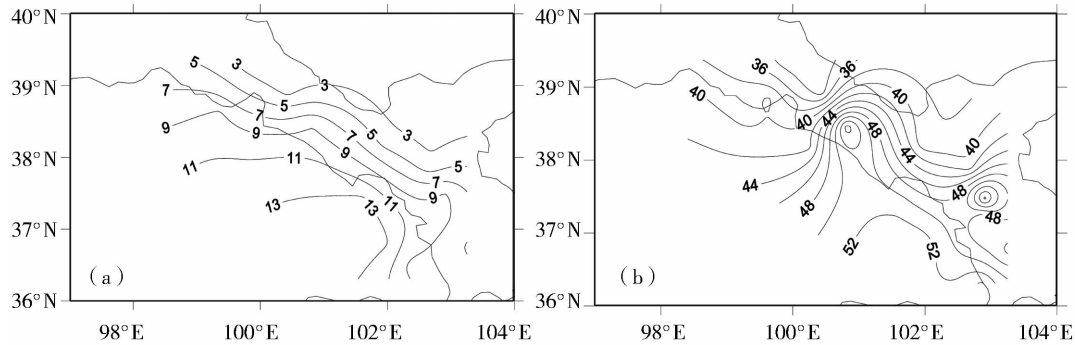


图4 祁连山近 45 a 5~9 月中雨以上降水日数(单位:d)(a)及中雨以上降水占同期总降水的百分比分布(单位:%)(b)

Fig. 4 Distribution of mean number of daily rainfall more than 10 mm from May to September(a) and contribution to total rain (Unit:%)(b) in Qilian Mountain

3 祁连山地区 5~9 月降水日数的长期气候变化特点

由于站点较多,本文采用 17 站区域平均的方法研究祁连山近 45 a 雨日数的长期演变特征。图 5 给出近 45 a 祁连山总雨日数及小雨、中雨以上降水

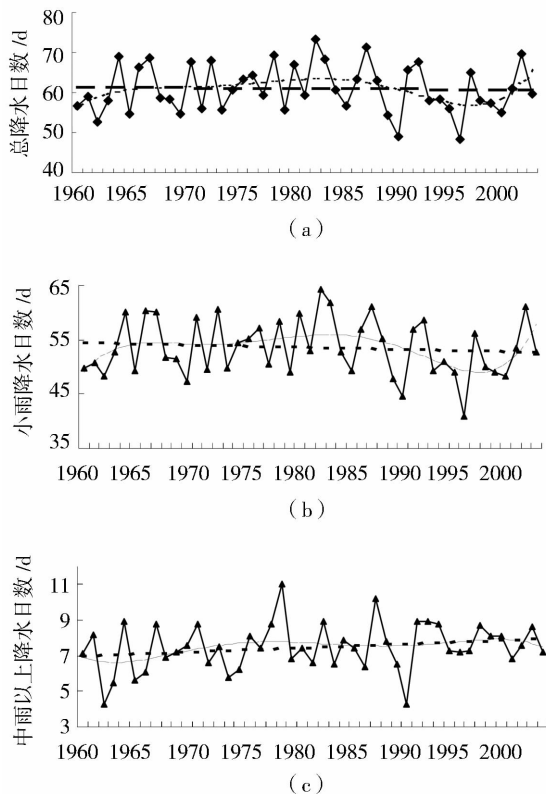


图5 祁连山近 45 a 5~9 月雨日数演变曲线
Fig. 5 Annual total rainfall days(a), rainfall days less than 10 mm(b) and more than 10 mm(c) from May to September in recent 45 years in Qilian Mountain

日数的演变曲线。由图可见,近 45 a,总雨日数总体来说呈微弱的下降趋势,下降幅度为 $0.1 \text{ d}/10 \text{ a}$,这种趋势与 5~9 月总降水量的演变相反。用 5 阶曲线分析总雨日数的年际和年代际变化特征,从 1960 年到 1980 年代中期总降水日数一直呈上升趋势,到 1984 年达到波峰,位于平均值以上;1984 年到 1990 年代末期为一下降趋势,在 1997 年达到波谷,位于平均值以下,进入 21 世纪,年总降水日数为上升趋势。

分析小雨日数变化特征,可以看出,近 45 a 祁连山 5~9 月小雨日数总体呈下降趋势,下降幅度达 $0.4 \text{ d}/10 \text{ a}$,其 5 阶拟合曲线演变趋势与总雨日数的演变趋势极为相似,但振幅较总雨日数明显偏大。而中雨以上降水日数在近 45 a 呈增加趋势,增加幅度为 $0.2 \text{ d}/10 \text{ a}$,5 阶拟合曲线也反映出这一特征。为了详细刻画祁连山地区降水的细微结构,本文计算了小雨和中雨以上降水的区域平均雨强(图 6),可以看出,无论小雨雨强还是中雨以上降水雨强,近 45 a 均呈增加趋势,且中雨雨强增加幅度较小雨雨强大。

以上分析表明,近 45 a 祁连山地区降水增加,主要由中雨以上降水日数的增加和中雨雨强增强所致。施雅风等^[11]指出:“中国西北气候由暖干向暖湿转型,其中祁连山中西段属显著转型区,而祁连山东段属轻度转型区,转型的最基本特征为温度持续攀升,总降水量增加,其中大或极端降水事件的增加更为显著。”本文结果也进一步验证了这一结论。

用小波分析法对祁连山近 45 a 5~9 月不同量级降水日数的主要变化周期进行分析(图 7),其边界效应是通过资料双向对称延伸来消除的^[12]。小波指数为正,表示处于雨日较多时期,反之处于较

少时期。分析发现,小雨日数(图 7a)的 5 a 左右周期振荡在各个年代均有表现,特别是从 1970 年代后期开始,这种 5 a 左右周期变化表现尤为明显,而其它周期变化并不明显。中雨日数(图 7b)在 1980 年以前有 8 a 左右的周期变化,1980 年后,则以 4 a 左右的周期变化为主,此外 1960~1970 年代初,还存在 2~3 a 的高频振荡。

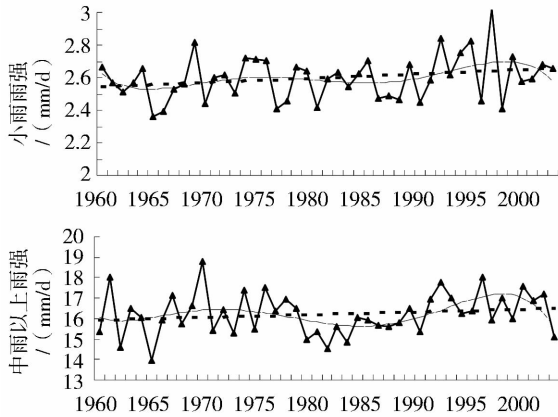


图 6 祁连山近 45 a 5~9 月不同量级日降水雨强演变曲线

Fig. 6 Precipitation intensity with different daily rainfall from May to September in Qilian Mountain

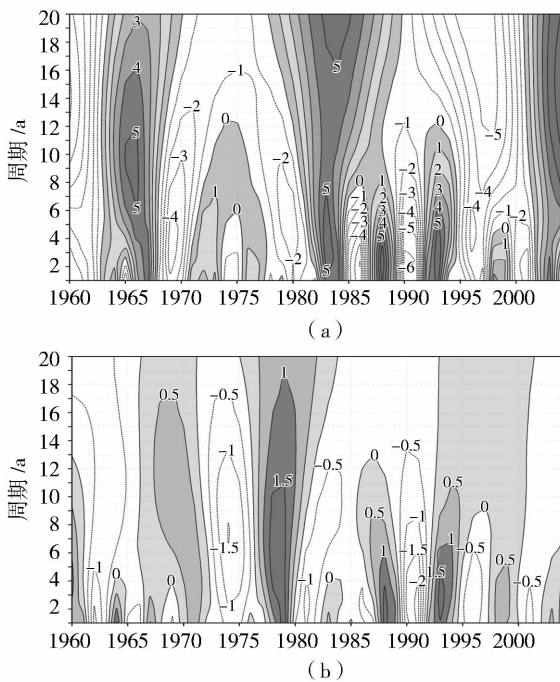


图 7 祁连山近 45 a 5~9 月不同量级降水日数变化的小波分析

Fig. 7 The wavelet index with different daily rainfall from May to September in Qilian Mountain

4 结 论

(1) 祁连山地区 5~9 月降水量占全年降水的 80% 以上,5~9 月降水量异常是年总降水量异常的关键因素。

(2) 受地形和地理位置影响,祁连山近 45 a 5~9 月平均降水量及不同量级雨日数的地理分布极为相似,即无论降水量还是不同量级雨日数同纬度地区西侧明显多于东侧,祁连山东段多于西段,等值线呈西北—东南走向。

(3) 降水量较少的祁连山西段小雨量级降水占总降水的比重较大,达 60% 以上,而降水较多的祁连山东段小雨量级降水仅占总降水的 50% 左右。中雨以上量级降水所占比重与小雨降水所占比重相反。

(4) 近 45 a,祁连山地区小雨日数呈下降趋势,中雨以上降水日数则呈上升趋势,而小雨雨强与中雨以上量级降水的雨强均呈增强态势,不同量级降水日数与雨强的共同作用使得 5~9 月降水量与雨日数呈相反变化趋势,即 5~9 月降水量呈上升趋势,而雨日数呈微弱下降趋势。

(5) 小波分析法对祁连山近 45 a 5~9 月不同量级降水日数的主要变化周期分析表明,祁连山地区小雨日数有 5 a 左右的变化周期,而中雨以上降水日数的周期变化较小雨日数周期变化明显复杂。

参考文献:

[1] 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):385-192.
 [2] 蓝永超,丁永建,沈永平. 河西内陆河流域出山径流对气候转型的响应[J]. 冰川冻土,2003,25(2):188-193.
 [3] 曹玲,窦永祥,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):15-50.
 [4] 陈乾,张久林,陈添宇. 祁连山区 2006 年夏季降水过程的天气分析[J]. 干旱气象,2008,26(4):15-50.
 [5] 陈乾,陈添宇,肖宏斌. 祁连山区夏季各类降水过程的典型个例分析[J]. 干旱气象,2008,26(3):1-7.
 [6] 张良,王式功,尚可政,杨德保. 祁连山区空中水资源研究[J]. 干旱气象,2008,25(1):1-7.
 [7] 白虎志,李栋梁,陆登荣,等. 西北地区东部夏季降水日数的变化趋势及其气候特征[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(5):133-140.
 [8] 顾骏强,施能,薛根元. 近 40 年浙江省降水量、雨日的气候变化[J]. 应用气象学报,2002,13(3):322-329.
 [9] 向毓宽,许燕. 拉萨 5 mm 以上降水日数与旱涝的关系[J]. 气象,1995,24(5).
 [10] 张杰,李栋梁. 祁连山及黑河流域降雨量的分布特征分析[J].

高原气象,2004,23(1):81-89.

[12] 林振山,邓自旺. 子波气候诊断技术的研究[M]. 北京:气象出版社,1999. 1-38.

[11] 施雅风,沈永平,李栋梁. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究,2003,23(2):151-163.

Climatic Characteristics of Daily Precipitation from May to September in Recent 45 Years in Qilian Mountains

WEI Feng^{1,2}, WANG Jinsong¹, LI Baozi³, YANG Jinhui⁴, ZHANG Xiaoming⁴

(1. Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 2. Jiayuguan Meteorological Bureau of Gansu Province, Jiayuguan 735100, China; 3. Weather Modification Office of Gansu Province, Lanzhou 760020, China; 4. Dingxi Meteorological Bureau of Gansu Province, Dingxi 743000, China)

Abstract:The different level rainy days and its homologous precipitation quantity are obtained by using the daily precipitation data from May to September (1960-2004) of 17 stations in the Qilian Mountain area, thus, we know the daily precipitation intensity of light rainfall and moderate rainfall (and more) at each station. Based on regional mean value of the different level rainy days and rainfall intensity in Qilian Mountain area, the tendency of the different level rainy days and rainfall intensity was analyzed using linear trend coefficient and 5 levels main value function. The results show that both precipitation and different level rainy days from May to September in Qilian Mountain area presented more in the west side and less in the east side in the same latitude area, and more in the east and less in the west part of Qilian Mountain. In recent 45 years, the light rainfall days was descending, but the moderate rainfall days was ascending. The precipitation intensity of light rainfall and moderate rainfall (and more) presented ascending trend too from May to September in Qilian Mountain area. The morlet wave analysis show that the light rainfall days had a period of five years, but the period of the moderate rainfall (and more) days was more complex.

Key words: Qilian Mountain area; rainy days; trend; wave analysis

===== (上接第 269 页)

Research Advance of Surface Temperature Change over Tibetan Plateau

WANG Nan, LI Dongliang, ZHANG Jie

(College of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract:Tibetan Plateau is an important part of the global climate system, its dynamic effect, heat effect and climatic factors have profound impacts on the global climate system change. This article reviewed and summarized the researches on different interdecadal changes of plateau surface air temperature, and its relationship with temperature change in the same period of other regions in China. Analysis shows that the plateau temperature changed with apparent interdecadal characteristics. The plateau temperature over the past century could be divided into two cold periods and two warm periods, and there were three abrupt changes. The time of three temperature's abrupt change over Tibetan Plateau was ahead of other regions in China. The warming rate of daily minimum temperature was 1 to 3 times of the daily maximum temperature in most regions of the plateau, and the daily temperature range was becoming smaller, and temperature increase in winter was most obvious. Because of vast and varied topography, there were regional differences in temperature change over Tibetan Plateau. Existing research results indicated that plateau temperature change first appeared in the south-east region and higher elevation region.

Key words: Tibetan Plateau; abrupt change of temperature; characteristics; regional difference