

# 西藏地区气温、降水及相对湿度的趋势分析

徐宗学<sup>1</sup> 张 玲<sup>1</sup> 黄俊雄<sup>1</sup> 巩同梁<sup>1,2</sup>

(1. 北京师范大学水科学研究院,水沙科学教育部重点实验室,北京 100875;  
2. 西藏自治区水利规划勘测设计研究院)

**提 要:** 采用非参数统计检验方法(Mann-Kendall 法)对西藏地区 25 个气象站 1960—2001 年的气温、降水和相对湿度 3 个气候要素的长期变化趋势进行了分析。结果表明:近 42 年来西藏地区气候表现出向暖湿型发展的趋势,即有气温逐渐升高、降雨量和相对湿度逐渐增加的趋势;西藏地区的暖湿现象主要发生在秋季,春季增幅小于秋季,夏季表现出一定的暖干趋势;冬季为明显增温,但湿度变化不明显。42 年来西藏地区年平均气温、降水和相对湿度的 Kendall 倾斜度值分别为  $0.31^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.96\text{mm}/\text{a}$  和  $0.3\%/10\text{a}$ 。通过非参数检验分析可知,秋、冬两季气温的上升趋势相对较强,尤其是冬季增温最为显著;夏季降水呈减少趋势,其余季节均表现出不同程度的上升趋势;夏季存在减湿现象,而春、秋两季则表现出较明显的增湿现象。

**关键词:** 气温 降水量 相对湿度 趋势

## Long-term Trend of Temperature, Precipitation and Relative Humidity in the Tibetan Region

Xu Zongxue<sup>1</sup> Zhang Ling<sup>1</sup> Huang Junxiong<sup>1</sup> Gong Tongliang<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, 2. Institute of Water Conservancy Planning and Design Research, Tibetan Autonomous Region)

**Abstract:** The Tibetan Plateau is one of the best places to investigate global climate changes. Aridity or humidity of land surface has been paid more and more attention by scientists and publics. On the basis of the mean annual air temperature, precipitation and relative humidity from 25 meteorological stations in the Tibetan Region from 1960 to 2001, the long-term trend of major climatic variables was analyzed by using Mann-Kendall test method. The results showed that the air temperature, precipitation and relative humidity all exhibited an increasing tendency, and the Mann-Kendall slopes are  $0.31^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,  $0.96\text{mm}/\text{a}$  and  $0.3\%/10\text{a}$ , respectively during the past 42 years. Over the Tibetan Region, the increases in temperature and humidity occur mainly in

本文得到国家科技攻关计划项目(2005BA901A11)和北京师范大学“京师学者”特聘教授启动经费资助。

收稿日期:2007 年 1 月 15 日; 修定稿日期:2007 年 3 月 31 日

autumn, also occurring in spring; increase of temperature and a little decreasing humidity happen in summer. The increase of temperature is remarkable but relative humidity shows no increasing tendency in winter. The Mann-Kendall test results showed that the air temperature exhibited an increasing trend in four seasons, especially in winter. Summer contributed the most for the decreasing trend of annual precipitation. Precipitation in summer exhibited a decreasing tendency. Relative humidity showed a declining trend in summer as well.

**Key Words:** Tibetan Region air temperature precipitation relative humidity trend

## 引 言

全球气候变化已成为当今各国政府和科学界乃至普通民众广泛关注的热点问题。众多的科学家一直关注气温和降水的变化,力求从过去和现在的变化中把握未来的变化趋势。气温变化是首要问题,而越来越多的科学家正在关注地球表层的水分状况的变化<sup>[1-3]</sup>,即区域的干湿状况问题。青藏高原是全球海拔最高的一个巨型地貌构造单元,具有独特的自然地理和空间分布规律。因受大气环流和高原地势格局的制约,形成了独特的水热状况地域组合,故其气候变化特征一直倍受关注。已有研究得出高原温度变化较我国东部地区早,是中国乃至世界气候变化的敏感区和启动区<sup>[4]</sup>;高原降水的空间分布特征主要是北部和南部呈反相关关系<sup>[5]</sup>;最近几十年内青藏高原地区气温变化的总趋势是上升的,降水变化的趋势及影响因素还存在争议<sup>[6-10]</sup>;青藏高原全区、东部和西南部都以增湿为特点,高原总体增湿现象从1980年代中后期开始非常显著<sup>[11]</sup>。比较来看,关于西藏地区气候变化趋势的研究还相对较多采用线性趋势分析方法,对于非参数统计方法有待于进一步研究和探讨。本文采用西藏地区常规气象观测资料,包括温度、降水和相对湿度3个要素,对西藏全区气候变化特征进行分析,从而对近42年来西藏地区的气候变化特征有一个全面的认识。

## 1 数据和分析方法

西藏地处青藏高原西南部,是青藏高原的主体,其气候特征自东南向西北依次分为:热带山地季风湿润气候—亚热带山地季风湿润气候—高原温带季风半湿润、半干旱气候—高原亚寒带季风半湿润、半干旱和干旱气候—高原寒带季风干旱气候等各种气候类型。

本文所用气象资料由西藏自治区水文水资源勘测局提供,考虑到资料的可靠性和完整性,选取了西藏地区25个常规气象站42年(1960—2001年)月平均气温、月降水量和月平均相对湿度的观测资料。对于个别缺乏数据的年份,采用邻近站点空间内插法补齐。从统计意义上看,这样长的时间序列足够获得比较可信的趋势分析结果。

为突出长期变化趋势,对西藏地区各气候要素的年序列作5年滑动平均,序列两端的5年滑动平均值是通过在两端分别添加2个序列平均值进行延长得到的,经过上述数据处理,得到5年滑动平均的各气候要素序列。文中分析所用距平序列是相对于1960—2001年的距平。

研究区域气候变化总趋势分析采用了Mann-Kendall非参数趋势检验法<sup>[12-13]</sup>。非参数检验方法不需要样本遵从一定的分布,因此在趋势分析中得到了广泛的应用<sup>[14-15]</sup>。本文对西藏地区25个气象台站42年的降水序列在95%的置信水平上进行趋势检验,同

时将所有台站年气温、降水量及相对湿度的变化幅度(即 Kendall 倾斜度  $\beta$  值)进行内插,得到西藏地区的年变化趋势空间分布情况。

## 2 气温、降水量和相对湿度的趋势分析

### 2.1 时间分布特点

西藏气温、降水量及相对湿度的多年平均变化趋势及其距平序列见图 1,为了评价时间尺度的随机性,在距平图中同时给出 5 年滑动平均过程线。

从图 1(a)西藏地区气温的多年平均变化趋势图可以看出,42 年来,西藏地区年平

均气温呈逐渐上升的趋势。年平均气温在  $2 \sim 5^{\circ}\text{C}$  之间波动。通过距平及 5 年滑动平均序列图可以发现,整个气温变化过程可明显地分为两个阶段:1985 年以前以负距平为主,而 1985 年以后则以正距平为主;气温的年际变化特征为:1960 年代是一个相对低温阶段,1970 年代温度开始回升,1980 年代中后期进入一个相对高温阶段,1990 年代升温更明显,为近 50 年来最温暖的 10 年。气温逐年上升为暖期,中间虽然有波动,但总体上为上升趋势,尤其在进入 1980 年代后增温趋势更加显著,1960—1984 年年平均气温为  $3.26^{\circ}\text{C}$ ,1985—2001 年年平均气温为  $3.88^{\circ}\text{C}$ ,升温幅度较大。这一结论与文献[8, 16]中的研究结论基本一致。

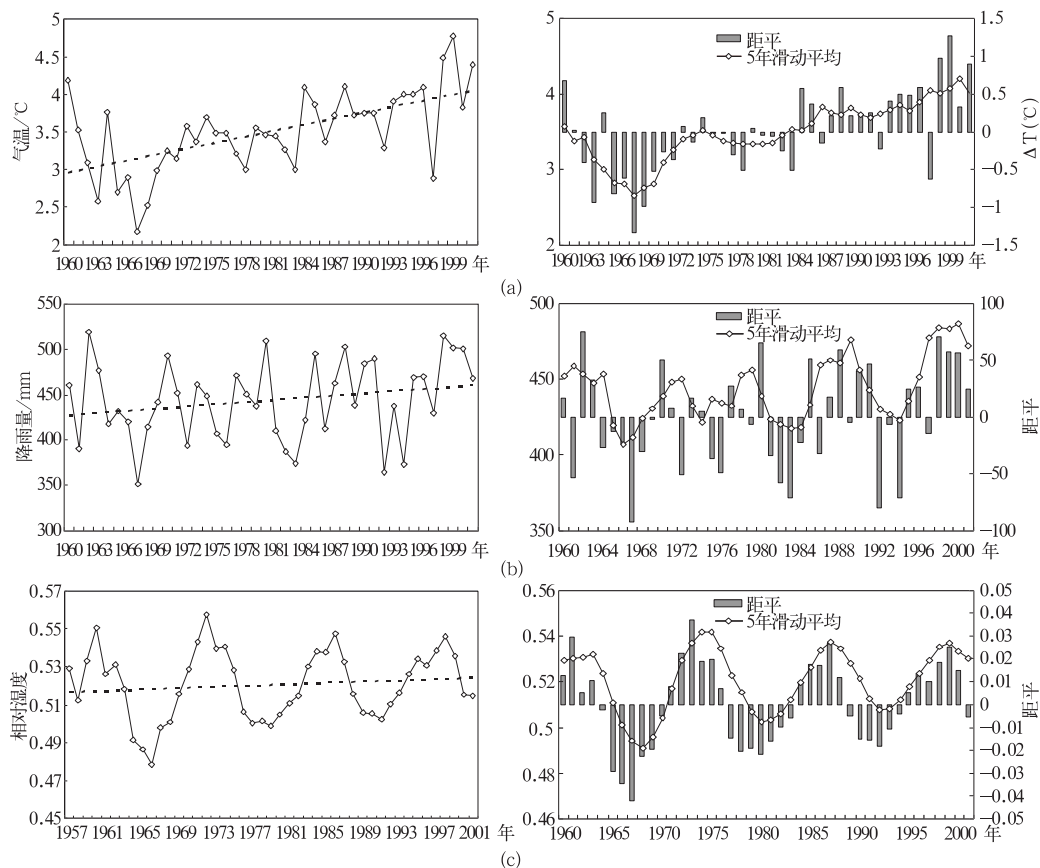


图 1 西藏气温、降水量及相对湿度多年变化趋势图及其距平和 5 年滑动平均序列图

(a) 气温, (b) 降水量, (c) 相对湿度

西藏地区降水量的变化相对较复杂,降水的波动频率较大(见图 1b)。全区多年平均降水量为 444.2mm,1960 年代中期处于少雨期,1968 年后降水开始增多,1980 年代降水量偏少,1990 年代降水明显增多;偏旱的年份大多出现在 1980、1990 年代初期,偏涝的年份大多出现在 1980、1990 年代的中后期。近 42 年来,全区多年平均降水呈现出从偏少到偏多的周期性波动特征,1980 年代是降水量由多到少和由少到多的转折点。这一特征在 5 年滑动平均序列图上反映更清楚:从 1970 年代初开始,曲线一直呈上升趋势。从距平图上可以看出,正距平逐年增加,尤其是 1990 年代中后期。可见,近几十年来西藏地区的年平均降水量总体上趋于增多。

图 1(c)为西藏相对湿度的多年平均变化趋势,由图可知,从 1960—2001 年,西藏的相对湿度总体上随时间呈现出上升的趋势,但上升幅度较小。从西藏相对湿度距平变化趋势可以看出,近 42 年来,西藏地区平均相对湿度的最大值与最小值相差达 8%;相对

湿度呈现出 6 年的周期性变化特征,且 5 年滑动平均序列变化与距平序列的变化有较好的一致性。从图中还可以发现,负距平随时间有逐渐减小的趋势,相对湿度呈逐渐增高趋势;1964—1969 年 6 年的平均相对湿度最小,为 49.51%,1970—1975 年 6 年的平均相对湿度最大,为 53.95%。

利用 Mann-Kendall 非参数方法对西藏地区 25 个气象观测站的数据资料在 95% 的置信水平上进行了趋势检验,结果如表 1。由表 1 可知,平均气温的单调趋势检验拒绝零假设,即存在统计意义上的单调趋势,其余各气候要素都接受零假设,即不存在统计意义上的单调趋势;相对湿度、平均气温及降水量的 Kendall 倾斜度( $\beta$ )均为正,说明近 42 年来西藏地区这些气候要素总体上呈上升趋势。

表 1 西藏地区各气候要素年平均值趋势检验

| 要素              |         | 相对湿度   | 平均气温  | 降水量    |
|-----------------|---------|--------|-------|--------|
| Mann-Kendall 检验 | $Z_c$   | 1.2246 | 4.129 | 1.3655 |
|                 | $\beta$ | 0.0003 | 0.031 | 0.962  |
|                 | $H_0$   | A      | R     | A      |

表 2 气候要素各月变化趋势 Kendall 倾斜度平均值

| 要素                                  | 月份    |      |      |       |       |       |      |      |      |      |      |       |
|-------------------------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|
|                                     | 3     | 4    | 5    | 6     | 7     | 8     | 9    | 10   | 11   | 12   | 1    | 2     |
| 温度( $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ) | 0.52  | 0.05 | 0.45 | 0.23  | 0.23  | 0.07  | 0.35 | 0.41 | 0.52 | 0.38 | 0.86 | 0.45  |
| 降水(mm/a)                            | 0.29  | 0.33 | 0.21 | -0.17 | -0.29 | -0.23 | 0.18 | 0.20 | 0.02 | 0.03 | 0.07 | 0.13  |
| 相对湿度( $\%/a$ )                      | -0.07 | 0.14 | 0.39 | 0.09  | -0.98 | -1.92 | 0.36 | 0.25 | 0.06 | 0.01 | 0.00 | -0.08 |

本文设定研究区域的四季分别是 3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月至次年 2 月为冬季。表 2 统计了西藏地区各月气温、降水及相对湿度的 Kendall 倾斜度平均值,从表 2 中可以看出:(1)12 个月气温的倾斜度均为正值,表明 42 年来气温一直呈上升趋势;气温变化趋势的季节差异显著。秋、冬两季气温的上升趋势相对较强,尤其是冬季的增温趋势最显著,春季增温趋势相对较弱;(2)降水除夏季 Kendall 倾斜度

为负值外,其余季节均为正值。也就是说 42 年来,降水量除夏季呈减少趋势外,其余季节均表现出不同程度的上升趋势;(3)相对湿度夏季 Kendall 倾斜度以负值居多,说明西藏地区夏季趋向于减湿,这可能与夏季降水量略有减少有关;而秋季则表现出显著的增湿现象,春季次之。(4)对比各月降水和相对湿度的 Kendall 倾斜度平均值,可以发现降水增多的月份其相对湿度也主要表现出增加趋势,进一步说明降水和相对湿度存在一定的

相关性。(5)西藏地区秋季表现出较显著的增温和增湿趋势;春季亦增温、增湿,但增幅小于秋季;夏季出现增温和略减湿现象;冬季为明显增温,但湿度变化不明显。

## 2.2 空间分布特点

### 2.2.1 气 温

西藏地区年平均气温总的分布趋势与地形大致吻合,由东南向西北递减,东南部海拔较低地区气温高,西部及北部气温偏低。根据西藏多年平均气温等值线图(图 2a),可把西藏分成 3 个区域:年平均气温低于  $0^{\circ}\text{C}$  为第 I 区,主要包括藏北地区,代表站有安多、那曲、班戈、改则;年平均气温介于  $0^{\circ}\text{C}$  与  $5^{\circ}\text{C}$  之间为 II 区,主要包括西部和南部边缘地区,代表站有狮泉河、申扎、嘉黎、索县、丁青、当雄、定日、普兰、聂拉木、帕里、错那、隆子;年平均气温大于  $5^{\circ}\text{C}$  为 III 区,包括雅鲁藏布江峡谷地带和东南部,代表站有拉萨、泽当、日喀则、尼木、林芝、昌都、波密、江孜、察隅。东南端的察隅站年平均气温最高,为  $11.87^{\circ}\text{C}$ ,北边的安多站最低,为  $-2.85^{\circ}\text{C}$ ,南北最大相差  $14.72^{\circ}\text{C}$ ,并表现出南北反相趋势。

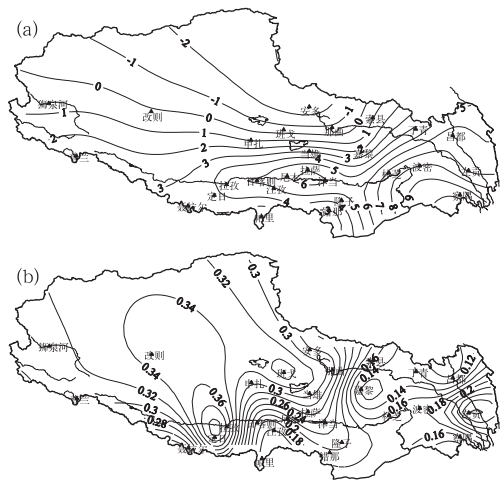


图 2 (a) 西藏地区年平均气温等值线图( $^{\circ}\text{C}$ )

(b) 西藏地区年平均气温 Kendall 倾斜度等值线图( $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ )

年平均气温变化在一定程度上代表全年的气温趋势,全区 96.3% 的站点年平均气温有上升的趋势,只有嘉黎站表现出不显著的降温趋势。年平均气温的 Kendall 倾斜度值为  $0.31^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,其增温趋势与文献[6-7]的研究结果一致。从图 3(b)中可以看出,全区形成定日、左贡两个趋势增强中心,其中,定日站年平均气温变化趋势最大,该站年平均气温由 1959 年的  $1.66^{\circ}\text{C}$  上升到 2001 年的  $3.84^{\circ}\text{C}$ ,平均上升幅度为  $0.51^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。

### 2.2.2 降水量

西藏地区多年平均降水量具有东西部相对独立、南北相差较大的空间分布特点。从图 3(a)来看,西藏地区多年平均降水量呈现出明显的东多西少的空间分布。东部年平均降水量多在  $500\sim 800\text{mm}$  之间,且降水空间分布与海拔表现出一定的负相关性,即海拔越低,降水量相对越大。在波密和察隅一带,海拔高度为  $2500\text{m}$  左右,是整个西藏地区海拔最低的地方,但年平均降水量却在  $800\text{mm}$  以上,为全区最高。西部年平均降水量则只有  $100\sim 400\text{mm}$ ,且呈现出一致的渐变趋势,从日喀则至狮泉河,年平均降水量从  $400\text{mm}$  递减至  $100\text{mm}$ 。

从 Mann-Kendall 检验的结果来看(图 4b),25 个站中只有 3 个站呈下降趋势,分别是改则、普兰和察隅,其余均呈上升趋势。西藏地区年平均降水的 Kendall 倾斜度值为  $0.96\text{mm}/\text{a}$ ,中部年降水总量变率基本稳定在  $1\sim 1.5\text{mm}/\text{a}$ 。东部地区降水变率相对较大,最大变率值位于波密地区,达  $9.8\text{mm}/\text{a}$ ,其后上升幅度向周围地区逐渐变小,最小变率值位于索县以北,约为  $0.5\text{mm}/\text{a}$ ,整个东部地区平均变率值约为  $4\text{mm}/\text{a}$ 。西藏西部降水变率平均为  $0.5\text{mm}/\text{a}$ ,且变率空间分布不均,藏西北部相对平缓,藏西南部相对剧烈,最大变率位于拉孜,达  $7.2\text{mm}/\text{a}$ ,最小变率位于普兰,为  $-2.7\text{mm}/\text{a}$ 。

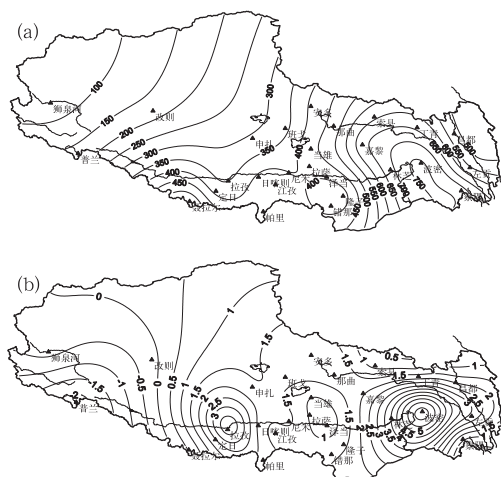


图3 西藏地区多年平均降水量(a,单位:mm)和 Kendall 倾斜度等值线(b,单位:mm/a)

### 2.2.3 相对湿度

西藏气候西北严寒干燥、东南温暖湿润。西藏地区年平均相对湿度等值线图进一步说明了这点。由图4a可明显地看出,西藏的相对湿度自西北向东南方向逐渐增加。相对湿度较小的地区位于西北部的狮泉河和改则一带,相对湿度分别为33%和33.6%;向东南延伸方向的地区相对湿度逐渐增加,其中藏东南的错那相对湿度最大,高达74.5%。

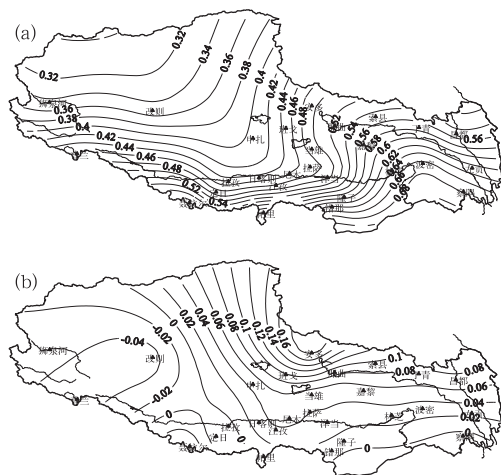


图4 西藏地区年平均相对湿度(a)和 Kendall 倾斜度(b,单位:0.01/10a)等值线图

图4b为年平均相对湿度变化非线性趋势倾斜度等值线图。从图中可以看出,等值线分布较均匀,且大致沿西北向东南方向延伸。年平均相对湿度的 Kendall 倾斜度值为0.3%/10a。在西藏由南向北相对湿度形成一个上升中心,上升幅度最大的地区为安多(12.5%/10a);而在西藏的西南部存在一个下降中心,下降幅度最大的地区为改则(0.6%/10a)。

## 3 结论

通过对西藏地区1960—2001年平均气温、降水量及相对湿度资料的分析,得出以下结论。

(1) 平均气温:西藏地区年平均气温的 Kendall 倾斜度值为0.31℃/10a。气温的年际变化特征为,1960年代为低温期,1970年代至今基本进入持续增温阶段,尤其1980年代后增温趋势更加显著。西藏地区气温空间分布趋势与地形大致吻合,由东南向西北递减。年平均气温除嘉黎站表现出不显著的降温趋势外,其余站点均呈升温趋势。通过非参数检验可以发现,西藏地区每个月的气温都呈不同程度的上升趋势,尤其冬季的增温趋势最为显著。

(2) 降水:降水变化相对较复杂,1960年代中期处于少雨期,1968年后降水开始增多。近42年来西藏地区的年平均降水的 Kendall 倾斜度值为0.96mm/a,年平均降水量有增加的趋势。降水趋势变率空间分布上的基本规律是:降水量由东往西逐渐减小,藏中和藏东为正变率,表现为上升趋势;藏西为负变率,表现为下降趋势。由非参数检验结果可知,降水除夏季 Kendall 倾斜度为负值外,其余月份均为正值。即42年来,除夏季降水呈减少趋势外,其余季节均表现出不同

程度的上升趋势;尤其是春季的趋势最显著。

(3) 相对湿度:西藏地区的相对湿度总体上随时间呈微弱上升的趋势,自西北到东南方向逐渐增加。全区平均相对湿度的 Kendall 倾斜度值为  $0.3\%/10a$ 。各月非参数检验结果表明,相对湿度夏季 Kendall 倾斜度以负值居多,说明夏季存在减湿现象,这可能与夏季降水量略有减少有关;而秋季则表现出显著的增湿现象,春季次之。

综上所述,近 42 年来西藏地区气候表现出向暖湿型发展的趋势,即有气温逐渐升高、降水量和相对湿度逐渐增加的趋势;西藏地区的暖湿现象主要发生在秋季,春季增幅小于秋季,夏季表现一定的暖干趋势;冬季为明显增温,但湿度变化不明显。

## 参考文献

- [1] 施雅风. 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估[M]. 北京:气象出版社, 2003: 17-25.
- [2] 丁一汇, 张锦, 宋亚芳. 天气和气候极端事件的变化及其与全球变暖的联系[J]. 气象, 2002, 28(3): 3-7.
- [3] 罗勇. 美国全球变化研究现状[J]. 气象, 1999, 25(1): 3-8.
- [4] 汤懋苍, 李存强, 张建. 青藏高原及其四周的近代气候变化[J]. 高原气象, 1988, 7(1): 39-46.
- [5] 姚檀栋, 刘晓东, 王宁练. 青藏高原地区的气候变化幅度问题[J]. 科学通报, 2000, 45(1): 98-106.
- [6] 杜军. 青藏高原近 40 年的气温变化[J]. 地理学报, 2001, 56(6): 682-690.
- [7] 韦志刚, 黄荣辉, 董文杰. 青藏高原气温和降水的年际和年代际变化[J]. 大气科学, 2003, 27(2): 157-170.
- [8] 王堰, 李雄, 缪启龙. 青藏高原近 50 年来气温变化特征的研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(1): 41-46.
- [9] 林学椿. 近四十年我国气候趋势[J]. 气象, 1990, 16(2): 16-21.
- [10] 杜军, 马玉才. 青藏高原降水变化趋势的气候分析. 地理学报, 2004, 59(3): 375-382.
- [11] 牛涛, 刘洪利, 宋燕, 等. 青藏高原气候由暖干到暖湿时期的年代际变化特征研究[J]. 应用气象学报, 2005, 16(6): 763-771.
- [12] Z. X. Xu, K. Takeuchi, H. Ishidaira. Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation[J]. Journal of Hydrology, 2003, 279: 144-150.
- [13] Z. X. Xu, K. Takeuchi, H. Ishidaira. Long-term trends of annual temperature and precipitation time series in Japan[J]. Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering, 2002, 20(2): 11-26.
- [14] 徐宗学, 隋彩虹. 黄河流域平均气温变化趋势分析[J]. 气象, 2005, 31(11): 7-10.
- [15] 孙石石, 王昊. 扎龙湿地周边区域极端气温不对称变化分析[J]. 气象, 2006, 32(5): 22-28.
- [16] 蔡英, 李栋梁, 汤懋苍, 等. 青藏高原近 50 年来气温的年代际变化[J]. 高原气象, 2003, 22(5): 464-470.