

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.03.006

中北亚地区气候纬向变化特征

唐志坚^{1,2}, 夏自强¹, 郭利丹², 王 霞²

(1.河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098 ;
2.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘要 :利用中北亚不同纬度的 5 个气象站(从低纬度到高纬度分别为 :库什卡、阿拉木图、托木斯克、图拉、哈坦加)20 世纪的气温和降水资料,采用气候倾向率法、Mann-Kendall 法和移动 t 法对这 5 个站的长期气候变化特征、趋势显著性及突变点进行分析.结果表明 :在研究的 5 个站中,20 世纪气温的变化与纬度有一定的关系,纬度较低的站升温现象比纬度较高的站明显,而降水量的变化与纬度关系不大.纬度最低的库什卡站气温倾向率为 $0.018^{\circ}\text{C}/\text{a}$,其他 4 站均小于 $0.01^{\circ}\text{C}/\text{a}$.纬度相对较低的库什卡、阿拉木图、托木斯克 3 站的升温趋势显著,且在 20 世纪 70 ~ 80 年代发生突变升温 ; 年最低气温比年最高气温的升高现象明显,且纬度最低的库什卡站的升温现象最显著.5 个站的降水量倾向率约 $0.09\%/\text{a}$,但增湿的趋势不显著.

关键词 :气候变化 ;气温 ;降水量 ;中北亚地区

中图分类号 :P339 ;P461⁺.3 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2009)03-0271-05

政府间气候变化小组(IPCC)第 3 次气候变化评估报告指出,过去 140 a 全球气温升高了 $0.4 \sim 0.8^{\circ}\text{C}$ ^[1]. 气温升高最直接的效应是水文循环强度加大,进而导致降水量发生变化^[2]. 尽管这种变化具有普遍性,但不同纬度地区间亦有差异.本文主要探讨全球气候变暖大背景下中北亚地区气候的纬向变化特征,旨在对比分析中北亚不同纬度地区气候变化的差异,为研究不同纬度地区的水资源合理开发利用提供气候变化背景.

1 研究资料和研究方法

1.1 研究区概况

本文选取中北亚地区不同纬度的库什卡(КУШКА)、阿拉木图(АЛМА-АТА)、托木斯克(ТОМСК)、图拉(ТУРА)、哈坦加(ХАТАНГА)等 5 个气象站(以下分别简称库站、阿站、托站、图站、哈站)作为研究对象,分析 20 世纪气候变化特性.

库站位于中亚最南端、土库曼斯坦南部的库什卡市,地处干旱沙漠区,属于亚热带气候.阿站位于哈萨克斯坦东南部的阿拉木图市,属于大陆性气候.托站在俄罗斯南部,属于大陆性气候.图站位于中俄罗斯丘陵北部的图拉市,属于温带大陆性气候.哈站位于俄罗斯北部的哈坦加小镇,在哈坦加河的东岸,属极地长寒气候.

1.2 数据

本文收集了库、阿、托、图、哈 5 个气象站在 20 世纪的逐日平均气温、逐日最高气温、逐日最低气温、逐日降水量等资料,各站的具体位置和资料系列年限见表 1.

1.3 研究方法

采用气候倾向率法^[3-8]分析各站年平均气温、年极端气温和年降水量的变化趋势 ;采用非参数

表 1 5 个气象站的基本情况

Table 1 Basic information about five meteorological stations

站名	经度(东经)/ ($^{\circ}$)	纬度(北纬)/ ($^{\circ}$)	资料系列年限
库站	62.4	35.3	1927 ~ 1995 年
阿站	76.9	43.2	1921 ~ 1995 年
托站	85.0	56.4	1881 ~ 1995 年
图站	100.2	63.4	1934 ~ 1995 年
哈站	100.5	72.0	1947 ~ 1995 年

收稿日期 :2008-05-06

基金项目 :国家自然科学基金(50379007 ;30490235)

作者简介 :唐志坚(1984 —),女,广西藤县人,硕士研究生,主要从事水文水资源及生态水文研究.

Mann-Kendall 法^[9-10](以下简称 M-K 法)检验气候变化趋势的显著性;采用 M-K 法和滑动 t 检验法^[11-14]对比检验气候突变发生的年份.

2 气候要素时间序列分析结果

2.1 气候要素时间序列变化特征分析

2.1.1 年平均气温及年降水量变化特征分析

从表 2 可以看出,所选 5 个气象站的多年平均温度从最南部库站的 14.77℃ 逐渐下降到最北部哈站的 -13.15℃.5 个站的气温倾向率均为正值,说明各站的年平均温度都呈上升趋势,但变化程度不尽相同.升温幅度最大的是库站,气温倾向率为 0.018℃/a,最小的是图站,气温倾向率为 0.005℃/a.除库站外,其他 4 个站的气温倾向率均小于 0.01℃/a.可见,最南端库站的升温趋势明显高于其他 4 个站,这可能是因为库站地处干旱沙漠地带,年蒸发量大而降雨量少所致.

多年平均降水量与各站所在地区的气候相关.由于最南部的库站处于中亚干旱沙漠带,多年平均降水量非常少,仅为 287.93 mm.北部的哈站属于极地长寒气候区,多年平均降水量也极少,只有 255.61 mm.位于俄罗斯中部平原地区的图站,属于温带大陆性气候,降水量也不多,为 338.68 mm.而均属于大陆性气候区的阿站和托站的降水量较充沛,分别为 604.38 mm 和 515.53 mm.各站的降水量倾向率均为正值,最小的是托站,为 0.09%/a.托站与其他 4 个站降水量倾向率存在很大差异,可能是因为托站气候时间序列长度达到 115 a,远较其他 4 站长,代表性较好,变化趋势更清晰,故以下对托站作单独分析.

托站 1886~1895 年的年平均气温为 -0.83℃,而 1986~1995 年的年平均气温为 1.13℃,上升了 1.96℃.在 1881~1995 年期间,平均每 10 a 温度升高 0.093℃.托站 1881~1995 年的 115 a 中最暖的 10 个年份有 8 个年份出现在 1980 年以后,其中 1990~1995 年竟占了 5 个年份之多,最暖的年份是 1995 年,可见托站的升温现象非常明显.图 1 为托站的年平均气温变化曲线,从图中的线性趋势线看,托站年平均气温呈上升趋势.从 10 年移动平均趋势看,19 世纪 80 年代~20 世纪 70 年代中期,托站年平均气温在平均值附近波动,且基本偏低.20 世纪 70 年代末~90 年代中期,年平均气温基本高于多年平均水平,并呈较为明显的升温趋势,该站的气候向较暖的方向发展.

图 2 为托站的年降水量变化曲线,从图中的年降水量变化曲线可以看出,托站在 19 世纪 80 年代降水量非常少,19 世纪 90 年代~20 世纪 10 年代雨水较充沛,20 世纪 20~60 年代基本处于少雨期,70~90 年代中期则出现一段时间的丰水期.

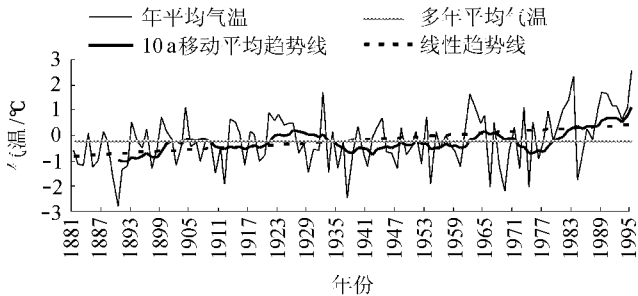


图 1 托站年平均气温变化及趋势拟合

Fig. 1 Evolution trend and fitting of annual mean temperature at Tomsk station

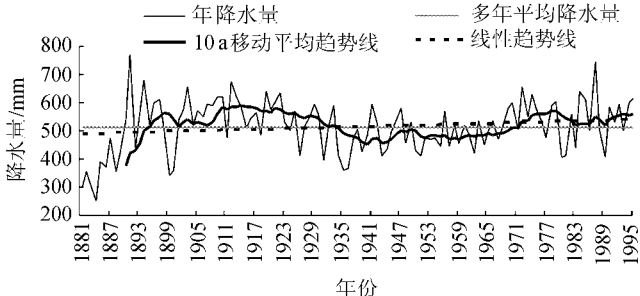


图 2 托站年降水量变化及趋势拟合

Fig. 2 Evolution trend and fitting of annual precipitation at Tomsk station

分析库、阿、图、哈 4 个站的年平均气温和年降水量(图略),并与托站进行对比分析,得出(a)库站和阿站在 20 世纪 20~70 年代中期年平均气温低于多年平均水平,70 年代末~90 年代中期年平均气温高于多年平均水平,和托站的变化趋势类似.而图站和哈站在 20 世纪 40 年代年平均气温较高,50~80 年代中期年平

均气温较低,80 年代末~90 年代的年均气温则普遍高于多年平均值.可见,年平均气温的变化显然和纬度的高低有关,纬度相对较低的库、阿、托 3 站的年平均气温变化过程类似,可用托站代表这 3 个站的气温变化;纬度相对较高的图、哈 2 站的年平均气温变化过程类似.(b)库、阿 2 站 20 世纪 20~60 年代及图、哈 2 站 40~60 年代的年降水量低于多年平均水平,属于干旱时期,这 4 个站在 70~90 年代中期年降水量高于多年平均水平,进入较湿润时期.可见库、阿 2 站与托站在 20~90 年代中期的年降水量变化过程非常相似,图、哈 2 站在 40~90 年代中期的年降水量变化过程非常相似.由于 20 世纪 40 年代以前的人类活动对气候变化的影响比 40 年代后要小,而且 5 个站的降水量在 20(或 40)~90 年代具有相似的变化特点,据此,本文推测库、阿、图、哈 4 站在 19 世纪 80 年代~20 世纪 10(或 30)年代的降水量变化过程也可能与托站的降水量变化过程相似,故用托站代表这 5 个站的降水量变化.也就是说,5 个站的降水量变化过程应为:干旱(19 世纪 80 年代)—湿润(19 世纪 90 年代~20 世纪 10 年代)—干旱(20 世纪 20~60 年代)—湿润(20 世纪 70~90 年代中期).19 世纪 80 年代~20 世纪 90 年代,5 个站的降水量倾向率约为 0.09%/a.

2.1.2 极端气温变化特征分析

表 3 列出了 5 个站的极端气温的倾向率.可见,年最低气温变化趋势较年最高气温变化趋势明显.年最低气温除了哈站平均每年下降 0.015℃外,其他 4 站平均每年升高 0.045~0.085℃,其中阿站变化最大,为 0.085℃.而阿站的年最高气温倾向率是负值,平均每年降低 0.003℃.库、托、图 3 站的年最高气温倾向率分别为 0.021℃/a,0.013℃/a 和 0.018℃/a,均是上升的趋势.哈站年最高气温倾向率为零,无变化趋势.

2.2 气候要素时间序列的趋势显著性检验

用 M-K 法对 5 个气象站气候要素时间序列变化趋势的显著性进行检验,结果见表 4.

表 3 5 个气象站的极端气温倾向率

Table 3 Trend rates of extreme temperature at five stations ℃/a		
站名	年最高气温倾向率	年最低气温倾向率
库站	0.021	0.061
阿站	-0.003	0.085
托站	0.013	0.045
图站	0.018	0.046
哈站	0.000	-0.015

表 4 5 个气象站气候要素时间序列的 M-K 法检验

Table 4 M-K tests on climate factors at five stations								
站点	年平均气温		年降水量		极端气温			
					年最高气温		年最低气温	
	U	趋势显著性	U	趋势显著性	U	趋势显著性	U	趋势显著性
库站	3.45	显著	3.22	显著	2.56	显著	2.50	显著
阿站	2.26	显著	2.98	显著	0.30	不显著	3.37	显著
托站	3.50	显著	1.17	不显著	0.65	不显著	3.20	显著
图站	0.50	不显著	3.36	显著	0.30	不显著	2.16	显著
哈站	-0.14	不显著	3.19	显著	-0.02	不显著	-0.55	不显著

注:U 为 M-K 法检验的基础统计量,2.58>|U|≥1.96 时显著水平为 0.05,|U|≥2.58 时显著水平为 0.01.

由表 4 可见,年平均气温上升趋势显著的站是纬度相对较低的库、阿、托 3 站,升温趋势不显著的站是纬度相对较高的图、哈 2 站.

年降水量趋势检验结果表明,库、阿、图、哈 4 站年降水量呈显著上升趋势.另外对托站 1921~1995 年较短序列的降水量做显著性检验,结果呈显著上升趋势,但该站 1881~1995 年长系列年降水量的上升趋势不显著.由于托站具有一定的代表性,故认为库、阿、图、哈 4 站的降水量也可能具有托站的特点,即这 5 个站在 19 世纪末~20 世纪末的时间段内,降水量虽呈上升趋势但不显著,在 20 世纪 20~90 年代中期的时间段内,降水量则显著增加.

5 个站极端气温变化趋势中,年最低气温较年最高气温的变化趋势显著.5 个站中,只有纬度最低的库站年最高和年最低气温均显著上升;只有纬度最高的哈站年最高和年最低气温呈下降趋势,但不显著.阿、托、图 3 站的年最高气温变化趋势都不明显,但年最低气温升温显著.

2.3 气候要素时间序列的突变检验

由表 5 可以看出,M-K 法和滑动 t 法的检验结果基本一致.(a)年平均气温.库站在 1972 年发生突变升温,阿站在 1982 年之间发生突变升温,托站在 1984 年发生突变升温,图、哈 2 站没有发生突变.可见,库站在

20 世纪 70 年代发生突变升温,阿、托 2 站在 80 年代发生突变升温,而图、哈 2 站一直到 90 年代中期也没有发生突变.总的来说,在研究的 5 个站中,纬度较低站的年平均气温发生突变的时间要早于纬度较高的站.(b)年降水量.库、阿 2 站均在 1955 年发生突变增湿,图、哈 2 站则分别于 1959 年和 1962 年发生突变增湿,托站的长序列(1881~1995 年)没有发生突变,但托站的较短序列(1930~1995 年)则在 1962 年发生突变增湿.鉴于 2.1.1 所述 5 个站降水量变化过程具有相似性,认为在 19 世纪末~20 世纪末,5 个站的年降水量没有发生突变.(c)极端气温.年最高气温只有库站在 1942 年发生突变升温.库、阿 2 站的年最低气温分别在 1979 年和 1974 年发生突变升温,托、图 2 站则分别在 1984 年和 1988 年发生突变升温,哈站没有发生突变.

表 5 5 个气象站气候要素时间序列的突变检验结果

Table 5 Analytic results of abrupt climate change at five stations

站点	年平均气温突变年份		年降水量突变年份		极端气温突变年份			
					年最高气温		年最低气温	
	M-K 法	滑动 t 法	M-K 法	滑动 t 法	M-K 法	滑动 t 法	M-K 法	滑动 t 法
库站	1972 年	1972 年	1954 年	1955 年	1942 年	1942 年	1978 年	1979 年
阿站	1983 年	1982 年	1955 年	1955 年			1976 年	1974 年
托站	1984 年	1984 年					1984 年	1984 年
图站			1959 年	1959 年			1987 年	1988 年
哈站			1962 年	1962 年				

3 结 论

a. 年平均气温变化特征.纬度相对较低的库、阿、托 3 站的年平均气温变化过程相似,纬度相对较高的图、哈 2 站的年平均气温变化过程相似.纬度最低的库站升温速度最快,为 $0.018^{\circ}\text{C}/\text{a}$,而其他 4 站均小于 $0.01^{\circ}\text{C}/\text{a}$,且只有纬度最高的哈站升温不显著.在研究的 5 个站中,纬度较低的站年平均气温发生突变的时间要早于纬度较高的站.尤卫红等^[15]研究表明,近百年来全球气温升温的突变点是 1979 年,与本文得出的库、阿、托站在 20 世纪 70~80 年代发生突变相对应,是一次由冷向暖转变的突变.

b. 年降水量变化特征.5 个站的降水量变化过程为:干旱(19 世纪 80 年代)—湿润(19 世纪 90 年代~20 世纪 10 年代)—干旱(20 世纪 20~60 年代)—湿润(20 世纪 70~90 年代中期).19 世纪 80 年代~20 世纪 90 年代,降水量虽呈上升趋势,但不显著,而 20 世纪 20~90 年代,降水量显著增加,且普遍在 50~60 年代发生突变增湿.20 世纪北半球大陆大部分中高纬地区降水量平均每年增加了 $0.05\% \sim 0.1\%$ ^[16],而本文的 5 个代表站的降水量平均每年约增加了 0.09% .

c. 极端气温变化特征.对于年最高气温,只有纬度最低的库站存在显著升高趋势(倾向率为 $0.021^{\circ}\text{C}/\text{a}$),且在 1942 年发生突变.对于年最低气温,除纬度最高的哈站出现不显著的下降趋势(倾向率为 $-0.015^{\circ}\text{C}/\text{a}$)外,另外 4 站均呈显著升温的趋势(倾向率为 $0.045 \sim 0.085^{\circ}\text{C}/\text{a}$).库、阿、托、图 4 站的年最低气温在 20 世纪 70~80 年代发生突变升温,哈站的年最低气温则没有发生突变.

综上所述,就本文所研究的中北亚地区的 5 个站而言,20 世纪气温变化与纬度高低有一定的关系,纬度较低的站的升温现象比纬度较高的站明显,但降水量的变化与纬度高低关系不大.

参考文献:

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007[R]. Paris : IPCC 2007.

[2] 汤奇诚,曲耀光,周聿超.中国干旱区水文及水资源利用[M].北京:科学出版社,1992:1-50.

[3] 丁一汇,张锦,徐影,等.气候系统的演变及其预测[M].北京:气象出版社,2003:51-64.

[4] 郭利丹,夏自强,李捷,等.巴尔喀什湖流域的气候变化特征分析[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(3):316-321.

[5] 李捷,夏自强,郭利丹,等.额尔齐斯河流域气候特征及变化趋势分析[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(3):311-315.

[6] 曹丽青,余锦华,葛朝霞.华北地区大气水分气候变化及其对水资源的影响[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(5):504-507.

[7] 胡彩虹,郭慕平,任健美,等.近 50 年汾河流域气候变化特征分析[J].水利水电科技进步,2006,26(增刊 1):1-6.

[8] 刘锦绣 , 顾骏强 , 施能 , 等 . 1948 ~ 2003 年全球陆地年降水量变化特征 [J]. 水利水电科技进展 , 2006 , 26 (3) : 28-31 .
[9] MANN H B . Non-parametric tests against trend [J]. Econometrica , 1945 , 13 (3) : 245-259 .
[10] 马振梅 . 气候变化及人类活动对石羊河流域出山径流影响的研究 [D]. 北京 : 中国农业大学 , 2008 : 17-24 .
[11] CHENG Hai . Abrupt climate change debate or action [J]. Chinese Science Bulletin , 2004 , 49 (18) : 1997-2002 .
[12] 符淙斌 , 王强 . 气候突变的定义和检测方法 [J]. 大气科学 , 1992 , 16 (4) : 482-493 .
[13] 张丕远 , 葛全胜 . 气候突变 : 有关概念的介绍及一例分析——我国旱涝灾情的突变 [J]. 地理研究 , 1990 , 9 (2) : 92-100 .
[14] 唐启义 , 冯明光 . DPS 数据处理系统 [M]. 北京 : 科学出版社 , 2007 : 951-958 .
[15] 尤卫红 , 段旭 , 邓自旺 , 等 . 全球、中国及云南近百年气温变化的层次结构和突变特征 [J]. 热带气象学报 , 1998 , 14 (2) : 173-180 .
[16] 政府间气候变化专门委员会 (IPCC). 气候变化 2001 [EB/OL]. [2008-04-08]. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/vol4/chinese/076.htm .

Characteristics of latitudinal climate change in Central-North Asia

TANG Zhi-jian^{1 2} , XIA Zi-qiang^{1 2} , GUO Li-dan² , WANG Xia²

(1 . State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;

2 . College of Hydrology and Water Resources , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : Based on the temperature and precipitation data of five meteorological stations (Kushka , Almaty , Tomsk , Tula and Hantangea , from low to high latitude) at different latitudes in Central-North Asia over the 20th century , the long-term climate change characteristics , the trend significance and the abrupt change points were analyzed using the climate trend rate method , the Mann-Kendall test method and the sliding *t*-check method . The test results show that the temperature change of the five stations over the 20th century has some relation with the latitude , and the warming phenomenon is more obvious at the stations at lower latitudes . However , the precipitation change has little relation with the latitude . The temperature trend rate at Kushka station , which has the lowest latitude , is 0.018 °C/a , and that at the other four stations is less than 0.01 °C/a . The warming trend at Kushka , Almaty , and Tomsk stations , which are at relatively low latitudes , is significant , and it changed abruptly during the period from the 1970s to the 1980s . The rise of the minimum temperature is more obvious than that of the maximum temperature , and the warming phenomenon at Kushka station is the most significant . The precipitation trend rate at the five stations is about 0.09% per year , and the trend is not significant .

Key words : climate change ; temperature ; precipitation ; Central-North Asia