

李艳春, 杨建玲, 苏占胜, 等. 近50 a 河套地区东部 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的演变特征及成因分析[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 511-516, doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-03-0511

近50 a 河套地区东部 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的演变特征及成因分析

李艳春^{1,2}, 杨建玲², 苏占胜¹, 李欣润³

(1. 宁夏气象台, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002;
3. 南京信息工程大学滨江学院, 江苏 南京 210044)

摘要:利用河套地区东部宁夏22个气象台站4~10月逐日平均气温资料, 统计分析了该区域 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的时空演变及初日、终日变化特征, 采用复 Morlet 小波分析方法和 Mann-Kendall 突变检测方法, 揭示了河套地区东部不同区域 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的周期及突变特征, 并初步探讨了演变成因。结果表明: 近50 a 河套地区东部 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温均呈增加趋势, 初终日间隔明显延长; $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温在1997年出现由少到多的突变, 在周期上存在3 a 和9 a 左右的长周期, 主要原因是气候变暖前后大气环流在1997年前后出现了明显的长周期调整。1997年前, 500 hPa 高度场上中高纬度地区, 特别是巴尔喀什湖附近易形成低槽, 有利于极地冷空气南下影响河套地区东部, 造成气温偏低, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温偏小; 1997年后, 500 hPa 环流场发生了显著变化, 中高纬度地区经向环流减弱, 纬向环流增强, 不利于槽区的形成和发展, 极地南下冷空气活动次数减少, 下游大范围区域内的气温升高, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温增加。

关键词:河套地区东部; 10°C 积温; 演变特征; 成因分析

文章编号:1006-7639(2013)-03-0511-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-03-0511

中图分类号:P468.0⁺²

文献标识码:A

引言

IPCC 第4次评估报告指出, 最近100 a(1906~2005年)全球平均气温上升了 $0.74 \pm 0.18^\circ\text{C}$ ^[1], 其中过去50 a 升温率几乎是过去100 a 的2倍, 中国增温尤其明显, 其中北方增温比其它地区更为显著^[2-4]。积温是一个反映热量资源的重要指标, 10°C 积温反映喜温作物生长所需热量资源多寡, 直接决定着该地区适宜种植作物的品种, 是进行农业气候区划的重要依据。许多学者对宁夏 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温开展过研究^[5-8], 但研究结果大多建立在2000年以前的气象资料基础上。近10 a 来, 随着全球气候变暖程度的加剧, 极端天气气候事件频发, 对指导农业生产有重要意义的热量资源也有了明显的改变^[9-12], 迫切需要运用最新气象资料对前期的研究结论进行修正。因此, 本文利用河套地区东部22个常规气象站近50 a(1961~2010年)资料对该区域

10°C 积温及初日、终日等的变化特征进行诊断分析, 以期对河套地区东部各地充分利用气候资源指导农业生产、调整农业结构、开展精细化种植区划提供决策依据。

1 资料与方法

选取河套地区东部宁夏22个代表气象台站1961~2010年4~10月逐日平均气温资料, 统计计算各站稳定通过 10°C 的初终日和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温, 采用复 Morlet 小波分析方法及 Mann-Kendall 突变检测方法^[13], 分析 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的突变规律和周期变化, 并进一步探讨了造成 10°C 积温演变特征的大气环流成因。

(1) 小波分析

小波分析是近年来比较流行的时间序列诊断分析技术, 广泛应用于气候变化研究领域。利用小波分析技术, 可确定时间序列在不同时段内的周期变

收稿日期: 2013-05-10; 改回日期: 2013-06-10

基金项目: 国家公益性行业专项(GYHY201306027)、国家自然科学基金项目(41075069, 41065005)及宁夏自然科学基金项目(NZ12277)共同资助

作者简介: 李艳春(1965-), 女, 宁夏中宁县人, 高级工程师, 主要从事气候分析及研究。E-mail: nxlyc@163.com

化特征,其中利用复 Morlet 小波系数的模值可确定序列中不同时段的主控周期,利用实小波变换系数可确定主控周期在不同时段的变化位相。

对某要素的一维时间序列及一组由参数 a, b 构成的母小波函数:

$$\Psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

式(1)中,母小波函数 $\Psi_{ab}(t)$ 可以取不同的形式,本文取常用的墨西哥帽函数形式:

$$\Psi_{ab}(t) = (1-t^2) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} \quad (2)$$

由 $x(t)$ 与 $\Psi_{ab}^*(t)$ 的卷积构成小波变换,即:

$$\begin{aligned} W_{(a,b)} &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \Psi_{ab}^* dt \\ &= \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \Psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \end{aligned} \quad (3)$$

其中, $W_{(a,b)}$ 是小波变换系数, a 是尺度参数, b 是位置平移参数, $\Psi_{ab}^*(t)$ 是母小波函数的共轭函数。

(2) 突变检测

Mann-kendall 突变检测是一种非参数统计检验方法,它可以明确突变开始的时间,并指出突变区域及突变前后的趋势等。

对于具有 n 个样本量的时间序列 x , 构造一秩序列:

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i, k = 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

$$r_i = \begin{cases} +1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leq x_j \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, i$$

可见,秩序列 S_k 是第 i 时刻数值大于 j 时刻数值个数的累计数。

在时间序列随机独立的假定下,定义统计量:

$$UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{\text{var}(S_k)}}, k = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$\begin{aligned} UB_k &= -UF_k (k = n, n-1, \dots, 1), \\ UB_1 &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

如果 UF 与 UB 在临界值 ± 1.96 ($\alpha = 0.05$) 之间有一个显著的交点,且 UF 上升超过 $+1.96$ 或下降低于 -1.96 ,则可以认为序列产生了突变,前者表示从低向高突变,后者表示从高向低突变,并且这个交点就是突变的开端。反之,则认为没有突变产生。

2 10 °C 积温及初终止日的演变特征

经统计,河套地区东部全区日平均气温稳定通过 10 °C 的积温近 50 a 平均值为 3 016.6 °C,其中北部引黄灌区平均为 3 392.4 °C,中部旱区平均为 2 873.9 °C,南部山区平均只有 2 117.3 °C。可见, ≥ 10 °C 积温自北向南逐渐降低;近 50 a,除中部干旱带外,其余各区 1970 年代 ≥ 10 °C 积温均有一个小的回落(表 1),但各地 ≥ 10 °C 积温整体上均呈显著增加趋势,特别是近 10 a(2001 ~ 2010 年)增加速度最快,全区平均增加 76.2 °C/10 a。其中,北部引黄灌区增加最快,气候倾向率为 83.2 °C/10 a,其次是中部干旱带,为 81.7 °C/10 a,南部山区最慢,为 63.7 °C/10 a,3 个区域的气候倾向率均通过 0.001 的信度检验(图 1)。

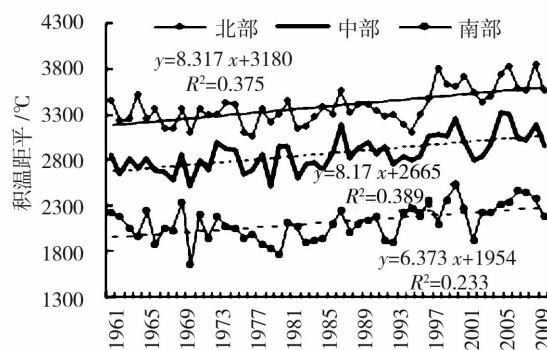


图 1 宁夏 3 个区域 10 °C 积温距平逐年变化

Fig. 1 Annual changes of ≥ 10 °C accumulated temperature in 3 regions of Ningxia

近 50 a 全区平均气温稳定通过 10 °C 的初日在 4 月 25 日,引黄灌区最早,在 4 月 17 日,中部干旱带在 4 月 29 日,南部山区最晚,在 5 月 12 日,从北到南相差 25 d; ≥ 10 °C 积温的终日全区平均在 10 月 3 日,南部山区最早,在 9 月 21 日,其次是中部干旱带,在 10 月 1 日,引黄灌区最晚,在 10 月 8 日,南北相差 17 d。可见,宁夏地区自北向南 ≥ 10 °C 积温的初终日的间隔明显缩短。气候变暖背景下,由于各地 ≥ 10 °C 积温初日提早,终日推迟,期间持续时间明显延长,特别是近 10 a 来(2001 ~ 2010 年),全区平均延长 7 d,其中引黄灌区延长 9 d,中部干旱带延长 5 d,南部山区延长 10 d(表 1)。

表1 宁夏 ≥ 10 °C积温及开始、结束日期统计
Tab.1 Statistics of ≥ 10 °C accumulated temperature, the start and end date for ≥ 10 °C accumulated temperature

	全区		引黄灌区		中部干旱带		南部山区	
	积温/°C	距平/°C	积温/°C	距平/°C	积温/°C	距平/°C	积温/°C	距平/°C
1960年代	2 894.5	-88.8	3 281.3	-91.9	2 717.6	-104.2	2 060.8	-53.6
1970年代	2 876.1	-107.2	3 263.7	-109.6	2 736.6	-85.2	1 984.7	-129.8
1980年代	2 933.6	-49.7	3 317.7	-55.6	2 794.8	-26.9	2 051.0	-63.4
1990年代	3 017.5	34.2	3 374.4	1.2	2 885.6	63.8	2 201.1	86.7
2000年代	3 194.5	211.2	3 629.1	255.9	2 974.2	152.5	2 274.6	160.2
	开始日期	距平/d	开始日期	距平/d	开始日期	距平/d	开始日期	距平/d
1960年代	4月24日	-1	4月15日	-2	4月29日	-1	5月13日	1
1970年代	4月27日	2	4月20日	3	5月1日	1	5月13日	1
1980年代	4月27日	2	4月18日	1	5月2日	2	5月15日	3
1990年代	4月25日	0	4月18日	1	4月28日	-2	5月9日	-3
2000年代	4月23日	-2	4月15日	-2	4月28日	-2	5月10日	-2
1960-2010	4月25日		4月17日		4月29日		5月12日	
	结束日期	距平/d	结束日期	距平/d	结束日期	距平/d	结束日期	距平/d
1960年代	9月28日	-5	10月1日	-7	9月27日	-4	9月20日	-1
1970年代	10月1日	-2	10月8日	0	9月30日	-1	9月15日	-6
1980年代	10月4日	1	10月8日	0	10月3日	2	9月24日	3
1990年代	10月2日	-1	10月6日	-2	10月1日	0	9月23日	2
2000年代	10月8日	5	10月15日	7	10月4日	3	9月25日	4
1960-2010	10月3日		10月8日		10月1日		9月21日	

3 ≥ 10 °C积温的突变特征

通过 Mann - Kendall 突变检测 ($\alpha = 0.05$), 河套地区东部宁夏全区 ≥ 10 °C积温值在1997年出现由少到多的突变。其中,引黄灌区及南部山区的突变年份与全区一致,而中部干旱区突变年份为1994年,且也呈现出由少到多的突变(图2)。

4 ≥ 10 °C积温的周期变化特征

事实上,宁夏各地 ≥ 10 °C积温的年变化并非单调递减或递增,常在线性增、减基础上叠加了不同周期的波动变化。为此,采用小波分析方法研究 ≥ 10 °C积温变化的周期性特征,确定日平均气温稳定通过 10 °C积温序列在不同时段的主控周期,从而能够突出积温时间序列及频率域局部特征。1960年代至1990年代之前,全区 ≥ 10 °C积温存在显著的3 a周期和8~9 a及13 a左右的长周期,其中3 a周期信号相对较强,1990年代达到最强;1990年代之后存在9 a左右的显著周期,特别是2000年左右9 a周期信号达到最强(图3)。

5 积温演变的成因

通过对气温突变前后500 hPa高度距平场、位势高度差值场等的分析发现:夏季500 hPa高度距平场上,突变前在东半球的极为正距平区(图4a),中高纬度(60°N 纬圈)附近有4个正负距平中心,依次为+ - + -排列,其中2个负距平中心的强度分别达到-12 gpm和-15 gpm,而2个正距平中心的强度只有0 gpm和3 gpm,意味着巴尔喀什湖附近经常有低槽维持,有利于极区冷空气南下,造成下游大范围区域内的气温偏低,对应的 10 °C积温偏少。

突变后正负距平中心位置与变暖前几乎重合,但位相完全相反(图4b)。这说明气温突变后500 hPa环流场确实发生了显著变化。特别是突变前的2个负距平中心所在区域的高度场发生了显著变化,分别比突变前上升35 gpm和28 gpm,造成该纬度带范围内的经向环流明显减弱,纬向环流增强,极地南下冷空气活动次数减少,下游大范围区域内的气温升高,对应的 ≥ 10 °C积温增加。

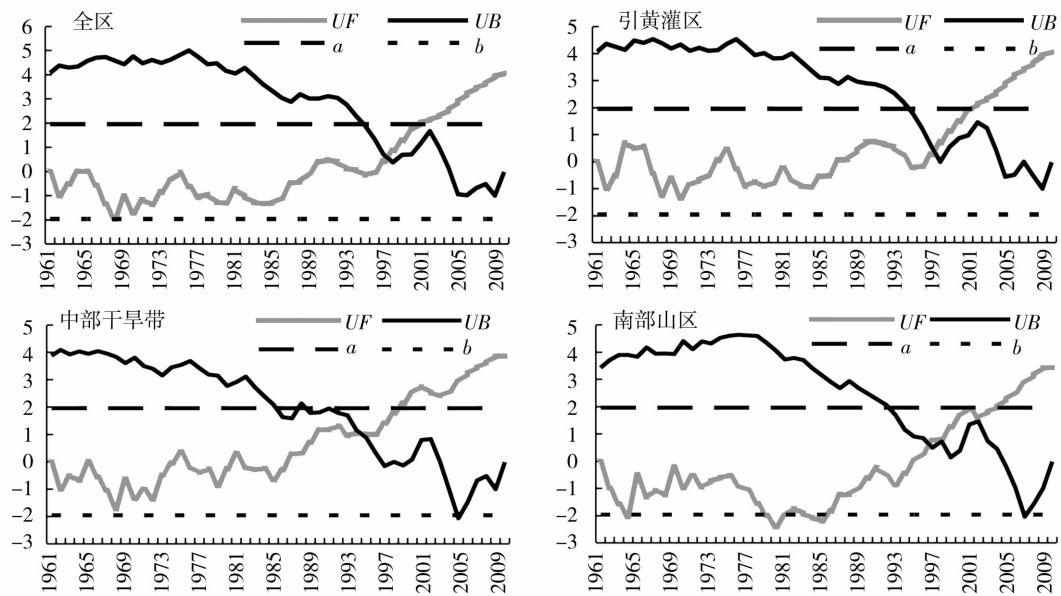


图2 宁夏全区及不同地区 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温的突变分析
 Fig.2 The Mann - Kendall test of $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature in the whole area and different regions of Ningxia

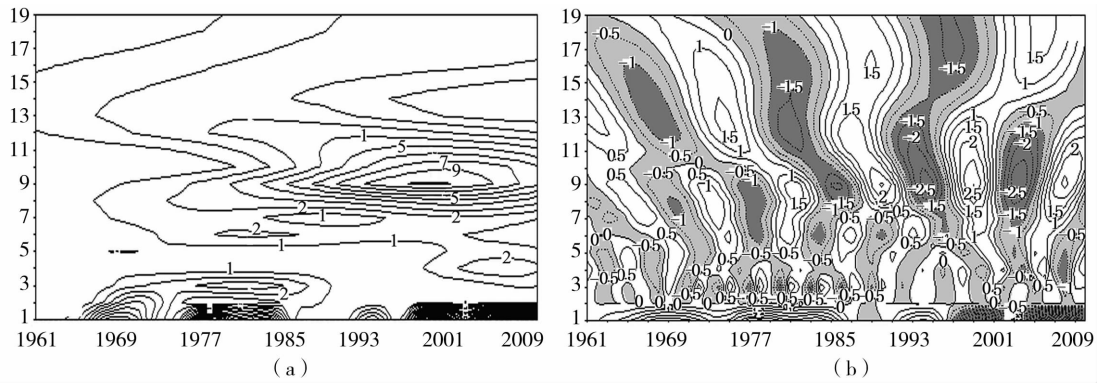


图3 1961 ~ 2010 年宁夏全区 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温的小波分析
 (a)小波变换系数模;(b)小波变换系数实部
 Fig.3 Wavelet analysis of $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature in Ningxia from 1961 to 2010
 (a) Module of wavelet transform coefficients; (b) the real part of wavelet transform coefficients

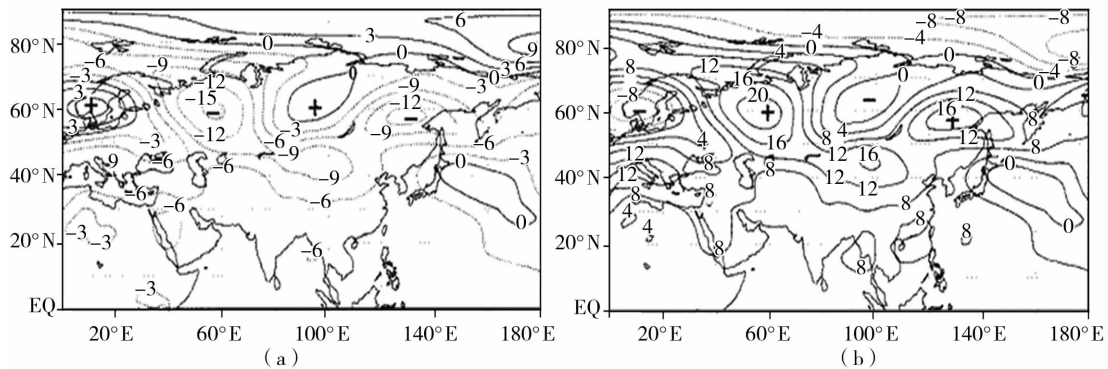


图4 气候变暖前(a)、后(b)夏季 500 hPa 距平场的多年平均
 Fig.4 Multi - year average of 500 hPa height anomaly field in summer before(a) and after(b) climate warming

从大气环流的季节演变看,近几十年来冬季500 hPa高度场经历了几次增加—降低—增加的过程,总体呈现出波动增加的趋势,尤其是1980年代以来,500 hPa高度场显著增加,1990年代中期以来非常明显。中高纬地区500 hPa高度场的增加表明,西风带系统活动减弱,西风槽经向度减小,冷空气活动减弱;夏季西风带系统活动减弱导致副热带高压加强西伸^[14]。以上这些变化均有利于中高纬度地区气温升高,对应 ≥ 10 °C积温增加。

6 结 论

(1)随着全球气候变暖,宁夏地区日平均气温稳定通过10 °C积温的初日提早,终日推迟,间隔时间明显延长。特别是近10 a来(2001~2010年),全区平均延长7 d,其中引黄灌区延长9 d,中部干旱带延长5 d,南部山区延长10 d。

(2)近50 a来,宁夏全区各地 ≥ 10 °C积温均呈增加的趋势,特别是近10 a增加速度更快,全区平均增加76.2 °C/10 a。其中,北部引黄灌区增加最快,气候为83.2 °C/10 a,南部山区最慢,为63.7 °C/10 a。

(3)全区 ≥ 10 °C积温在1997年出现由少到多的突变。其中,引黄灌区及南部山区的突变年份与全区一致,而中部干旱区突变年份为1994年。

(4)1960~1990年代之前,全区 ≥ 10 °C积温存在显著的3 a周期,且在1990年代达到最强;1990年代之后存在9 a左右的显著周期,特别是2000年左右9 a周期的信号达到最强。

(5)造成区域内 ≥ 10 °C积温增加、持续时间延长的主要原因是:突变前,500 hPa高度场上中高纬度地区特别是巴尔喀什湖附近易形成低槽,有利于极地冷空气南下,造成该区域内的气温偏低;突变后,500 hPa环流场发生了显著变化,2个负距平中

心分别比之前上升了35 gpm和28 gpm,造成该纬度带范围内的经向环流明显减弱,不利于槽区的形成和发展,纬向环流增强,极地南下冷空气活动次数减少,下游大范围区域内的气温升高。

参考文献:

- [1] IPCC. Summary for Policy makers of climate change 2007. The Physical Science Basis[A].//Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, 1-996.
- [2] 李栋梁,魏丽,蔡英,等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 135-142.
- [3] 李艳春,李艳芳. 宁夏近百年来气候变化及突变分析[J]. 高原气象, 2001, 20(1): 100-104.
- [4] 王楠,李栋梁,张杰. 青藏高原气温变化的研究进展[J]. 干旱气象, 2010, 28(3): 265-290.
- [5] 桑建人,刘玉兰,韩世涛,等. 宁夏冬季负积温变化特征[J]. 气象科学, 2007, 27(2): 202-207.
- [6] 桑建人,刘玉兰,韩世涛,等. 宁夏热量资源气候变化的EOF特征[J]. 气象科技, 2007, 35(2): 187-190.
- [7] 李艳春,赵光平,胡文东. 宁夏河东沙地气候变化对全球变暖的响应[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(2): 36-42.
- [8] 孙兰东,刘德祥. 西北地区热量资源对气候变化的响应特征[J]. 干旱气象, 2008, 26(1): 8-12.
- [9] 王发科,祁贵明,郭晓宁,等. 柴达木盆地南缘农业界限温度的气候变化特征[J]. 干旱气象, 2009, 27(3): 227-231.
- [10] 高祺,缪启龙,赵彦厂. 石家庄近53a冬季气温变化特征[J]. 干旱气象, 2009, 27(2): 118-134.
- [11] 宁向玲,董婕,延军平. 陕西省近60a气温时空变化特征[J]. 干旱气象, 2011, 29(4): 455-460.
- [12] 蔡霞,吴占华,梁桂花,等. 近53a山西朔州市农业气候资源变化特征分析[J]. 干旱气象, 2011, 29(1): 88-93.
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社, 2007, 175-181.
- [14] 陈晓光,郑广芬,陈晓娟,等. 气候变暖背景下宁夏暴雨日数的变化[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 85-90.

Analysis on the Variation of ≥ 10 °C Accumulated Temperature and Its Formation Causes in the Eastern Hetao Area in Recent 50 Years

LI Yanchun^{1,2}, YANG Jianling², SU Zhansheng¹, LI Xinrun³

(1. Ningxia Meteorological Observatory, Yinchuan 750002, China; 2. Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing in Ningxia, Yinchuan 750002, China; 3. Binjiang College, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: By using daily mean air temperature data of 22 meteorological observation stations located in the eastern Hetao area from April to October, the temporal and spatial evolution of ≥ 10 °C accumulated temperature and its beginning and ending date were statistically analyzed. Then, the cycle and abrupt change of ≥ 10 °C accumulated temperature were revealed by Morlet wavelet analysis and Mann – Kendall test, respectively. Combined the atmospheric circulation fields before and after climate shift, the reasons leading to the changes were also primarily discussed via contrastive analysis. The results show that the ≥ 10 °C accumulated temperature in the eastern Hetao area gradually reduced from north to south. The ≥ 10 °C accumulated temperature of the whole area had been increasing during the past 50 years, especially in recent 10 years the increasing rate with 76.2 °C/10 a was faster and the rate of increase of irrigation district in northern was the highest, while the mountain area in southern was the lowest. With climate warming, the beginning date of ≥ 10 °C accumulated temperature was earlier, yet the ending date was later, so its interval has obviously prolonged, especially in the latest 10 years there was 7 days prolonging averaged in Ningxia. The ≥ 10 °C accumulated temperature of three regions of Ningxia happened abrupt change, the whole area and that in the irrigation district of the north and the mountain area of the south appeared in 1997 while the arid region of the middle in 1994. There were about 3 a, 8 – 9 a and 13 a cycles during 1961 – 1990, among which the 3 a period was relatively stronger and became the strongest in the 1990s. After the 1990s, there was a period of 9 a with its signal becoming more and more strong especially in the 2000s.

The main reasons causing increasing trend and prolonging duration of the ≥ 10 °C accumulated temperature were the significant adjustment of atmospheric circulation before and after climate warming. Before climate warming, the low trough was easily formed in the high – mid latitude region on 500 hPa height, especially nearby the Balkhash Lake, which was beneficial for the cold air moving southward from the polar for cooling. While after climate warming, the atmospheric circulation on 500 hPa changed significantly, and the intensity of the two negative anomaly centres increased compared with before. Therefore, the meridional circulation weakened obviously, while the zonal circulation strengthened, which wasn't helpful for the forming and developing of low trough, thus the activity of cold air moving southward from the polar reduced and the temperature rised in the large – scale area of downstream.

Key words: eastern Hetao; ≥ 10 °C accumulated temperature; the spatial and temporal evolution; causes analysis

(上接第 510 页)

Climatic Characteristics of Winter Low – temperature Days in Altay Region of Xinjiang

LI Haihua, LIU Dafeng

(Altay Meteorological Bureau of Xinjiang, Altay 836500, China)

Abstract: Based on daily low temperature data which was below -20 °C from December to February during 1961 – 2012 at 7 meteorological stations in Altay region of Xinjiang, the spatial – temporal variations of low temperature days were analyzed by using linear regression, empirical orthogonal function, Mann – Kendall mutation detection and R/S analysis. The result is as follows: The monthly low temperature days in winter decreased gradually from southeast to northwest with the maximum in January while the minimum in February. The average winter low temperature days of Qinghe and Fuyun county in the eastern Altay were the most, which were 75.0 d and 65.9 d, respectively, while it was the least in Jimunai in the west of Altay, which was only 21.6 d. The spatial distribution of extreme value of winter low temperature days was in accordance with the average value, but the maximum mostly appeared in the middle 1960s to the middle 1970s, while the minimum occurred consistently in 2006. Among them, the maximum and minimum value ranged from 64 d to 86 d and from 0 d to 46 d, respectively. The climatic tendency rate of winter low temperature days at all stations was from -1.71 to -4.24 d/10 a in recent 51 years, which showed a trend of decrease. Though the monthly tendency rate of all stations was also negative except for Jimunai in January, the value was smaller than that in winter. The first characteristic vector field displayed that winter low temperature days existed good consistency on the space with the center of high value 0.455 in Altay and Habahe. There was no mutation in Habahe, Jimunai and Buerjin in the west and the central of Altay, while for Fuhai, Fuyun and Qinghe in the southern and eastern Altay a mutation with downward trend occurred in the 1980s. H index of low temperature days in winter at all stations from R/S analysis was more than 1/2, which meant that the trend of winter low temperature days in future would still decrease compared with that in the past.

Key words: low – temperature days; climatic characteristics; winter; Altay