

西北地区热量资源对气候变化的响应特征

孙兰东^{1,2}, 刘德祥²

(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, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 兰州区域气候中心, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 基于西北 5 省(区) 150 个测站 1961~2003 年历年日平均气温, 引入气候趋势系数和气候倾向率, 对 <0 负积温、 >0 和 >10 积温对气候变化的响应特征进行分析。采用 EOF 分解后的时间系数, 利用小波和 M-K 分析方法, 对 <0 负积温、 >0 和 >10 积温的时间演变特征进行分析。结果表明: 西北地区 <0 负积温表现为全区一致增加趋势, 平均气候倾向率为 52.9 /10 a, 增长最快; >0 积温的平均气候倾向率为 50.7 /10 a, 西北地区 >10 积温的平均气候倾向率为 49.3 /10 a, 增长最慢。 <0 负积温、 >0 和 >10 积温均从 1986 年开始增加, 在 1995 年后增加趋势更加明显。1987 年是负积温显著增温的突变年份, >0 积温在 1996 年前后发生突变, >10 积温在 1995 年前后发生突变。小波分析结果呈现出 <0 负积温存在准 6 a 和准 9 a 的振荡周期; >0 和 >10 积温存在准 8 a 变化周期。

关键词: 西北地区; 积温; 小波分析; 气候倾向率

中图分类号: P468.0⁺21

文献标识码: A

引言

IPCC 第 4 次评估报告显示, 近 100 a 全球地表平均气温升高 0.74 [1]。近百年的气温呈显著上升趋势, 中国已连续经历了 21 个暖冬。中国西北地区气温持续攀升, 2006 年是西北区气候异常偏暖的一年, 年平均气温比常年同期偏高 1.6 , 突破历史记录, 是自有气象记录以来最暖的年份。许多学者对西北地区的气候变化进行了研究分析, 涉及西北气候由暖干向暖湿转型的信号 [2]、西北地区的气候变化与全球气候变化基本一致 [3-4]、中国西北现代气候变化事实与特征 [5-7]、气候变暖对西北地区农业影响 [8-10]、极端气温的变化特征 [11] 等。 <0 期间的负积温、 >0 、 >10 期间的积温是农作物的重要热量资源指标 [12-13], 日平均气温稳定通过 0 持续期为农作期或广义的植物生长期。稳定通过 0 期间的积温是鉴定一个地区总的热量指标, 在农业生产上有着重要意义。日平均气温稳定通过 0 时, 在春季, 土壤开始解冻, 草木萌动, 在秋后季,

土壤开始冻结, 越冬作物停止生长, 0 积温可以反映供作物利用的总的热量状况。10 时, 在春季, 冬小麦和早春作物进入旺盛生长期, 在秋季, 喜凉作物光合作用显著减弱, 喜温作物停止生长。因此, 对积温变化的研究在农业生产上有指导意义。它们对全球气候变暖有何响应是本文研究的问题。通过分析西北各地各界限温度的积温变化情况, 对农业气象分析与评价、现代化农业布局等方面提供了较为客观的农业热量资源根据, 为地方农业产业结构调整提供参考依据。

1 资料和研究方法

选取西北 5 省(区) 150 个地面测站 1961~2003 年日平均气温资料, 计算了历年日平均气温 <0 期间负积温、 >0 和 >10 期间积温。引入气候趋势系数和气候倾向率 [13], 对西北地区 1961~2003 年积温变化趋势的特征指数进行了计算, 并对其趋势变化的空间特征进行了分析, 分析了各种积温的空间变化特征和对气候变暖的区域响应差异。用各

收稿日期: 2007 - 10 - 29; 改回日期: 2008 - 01 - 04

基金项目: 中国气象局气候变化专项“气候变化对祁连山区冰雪水资源影响的研究”(CCSF2007 - 26)和中国气象局业务轨道建设项目“气象灾害风险区划 - 沙尘暴区划”共同资助

作者简介: 孙兰东 (1968 -), 女, 河南叶县人, 高级工程师, 从事气候变化及影响评估工作。E-mail: sldlydia@yahoo.com.cn

种积温的距平值,运用连续小波分析方法,小波基(母波)采用 Morlet 小波^[14-16],分析周期演变特征;使用 M - K 方法判断其突变年份。

1.1 气候趋势系数

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}} \quad (1)$$

式中, r_{xt} 为 n 个时刻(年)的要素序列与自然数列 1, 2, 3, ..., n 的相关系数。其中 n 为年数, x_i 为第 i 年要素值, \bar{x} 为其样本均值; $\bar{t} = (n + 1) / 2$ 。 r_{xt} 为正(负)是表示该要素在所计算的 n 年内有线性增(降)的趋势。

1.2 气候倾向率

将气象要素的趋势变化用一次线性方程表示,即

$$x_t = a_0 + a_1 t \quad t = 1, 2, \dots, n$$

式中, x_t 为气象要素的拟合值; $a_1 \cdot 10$ 称为气候倾向率,表示气象要素每 10 a 的变化率。

对 150 个站分别计算各种积温的气候趋势系数和气候倾向率。

2 热量资源的气候倾向率分析

计算西北 5 省(区) 150 个测站的日平均气温 < 0 期间负积温、> 0 和 > 10 期间积温的气候倾向率,见图 1。

2.1 < 0 负积温的气候倾向率分析

西北地区 < 0 负积温表现为全区一致增加趋势(图 1a),气候倾向率均为正值,平均气候倾向率为 52.9 /10 a, < 0 负积温的气候倾向率 > 100 /10 a 的区域位于新疆和青海 2 省(区)交界处、北疆、青海北部的德令哈以及甘肃河西走廊东部,其中最大中心在青海的茫崖,每 10 a < 0 负积温增加了 152.0。西北地区其他地方 < 0 负积温的气候倾向率在 3.3 ~ 99 /10 a 之间变化。

对气候倾向率进行显著性分析,大部分地区通过信度检验,只有北疆中部、青海南部、陕西南部 < 0 负积温的增加趋势不显著,其余地区增温趋势非常显著。

2.2 > 0 积温的气候倾向率分析

由图 1b 看出,西北地区 > 0 积温的平均气候倾向率为 50.7 /10 a,略小于 < 0 负积温。与 < 0 负积温不同, > 0 积温的平均气候倾向率有正有负,负值区域主要位于新疆的库车、阿拉尔、于田、乌鲁木齐,青海的河南州、甘肃永登等地,其中乌

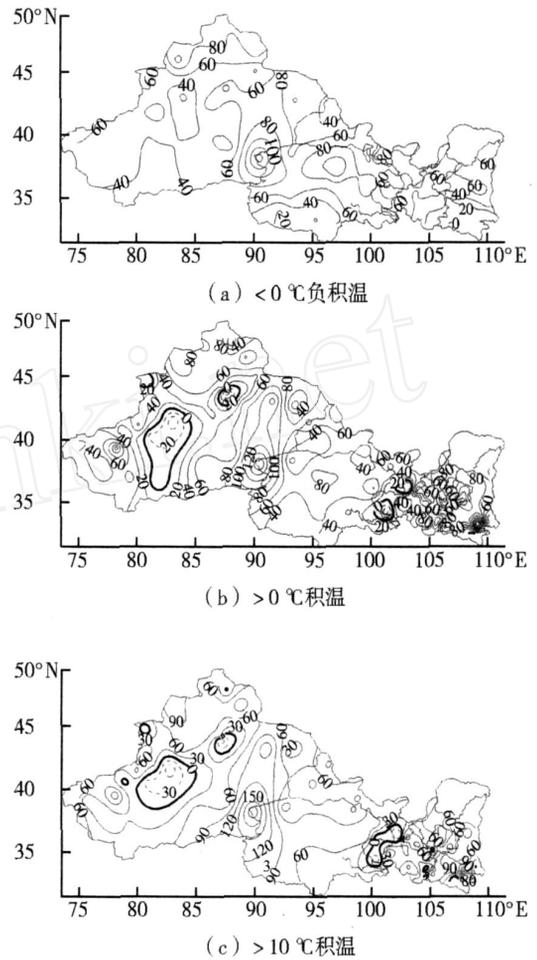


图 1 西北地区各种积温的气候倾向率分布
Fig 1 The distribution of three kinds of accumulated temperature climatic tendency ratio
(a) for < 0, (b) for > 0 and (c) for > 10

鲁木齐的气候倾向率最小,为 - 80.1 /10 a。 > 0 积温的平均气候倾向率 > 100 /10 a 的区域主要位于新疆东部、青海西部及甘肃中部和陕西南部的部分地方,其中青海茫崖和陕南的镇安值最大,分别达到 184.2 /10 a 和 259.3 /10 a。

对气候倾向率进行显著性分析,大部分地区通过信度检验,只有南疆西部、北疆中部、青海南部、陕西南部 > 0 积温的增、减趋势不显著,其余地区积温变化趋势非常显著,而且气候倾向率呈现负值的区域,除库车、阿拉尔的积温减少显著外,其余区域积温减少都不显著。

2.3 > 10 积温的气候倾向率分析

由图 1c 看出,西北地区 > 10 积温的平均气候倾向率为 49.3 /10 a,略小于 < 0 负积温和 > 0 积温的增加值。与 > 0 积温相似, > 10 积

温的平均气候倾向率有正有负,而且正、负值区域分布也类似。平均气候倾向率为负值的是位于新疆的库车、乌鲁木齐、青海高原南部、甘肃中部、陕西南部的 19 个气象观测站,占全部观测站点的 13%,而且只有于田、库车、乌鲁木齐、阿拉尔、青海的河南州、甘肃的永登 6 个站的气候倾向率通过了信度为 95% 的显著性检验,表明这些地方的积温减少显著。于田 > 10 积温的气候倾向率最小,为 $-128.1 / 10 a$ 。 > 10 积温的平均气候倾向率 $> 100 / 10 a$ 的区域主要位于北疆的富蕴、塔城、托里、十三间房,南疆西部的巴楚,青海西部的茫崖,甘肃中部的兰州、会宁,陇东的环县、镇原,陇南的宕昌和陕西的延安、略阳、镇安等 14 个县(市),且这些站的气候倾向率全部通过了信度为 95% 的显著性检验,表明这些地方的积温增加非常显著。青海茫崖 > 10 积温的气候倾向率最大,达到 $240.2 / 10 a$ 。

对气候倾向率进行显著性分析,新疆东部、北部的部分地方和青海、甘肃、宁夏、陕西的大部分地区通过信度检验,只有南疆西部、北疆中部、青海南部、陕西南部 > 10 积温的增、减趋势不显著,其余地区积温变化趋势非常显著,而且气候倾向率呈现负值的区域,除库车、阿拉尔等地的积温减少显著外,其余区域积温减少都不显著。

3 热量资源的时间异常演变特征

< 0 负积温的 EOF 第 1 特征向量时间系数,小波分析结果表现出在 20 世纪 60~80 年代中期, < 0 负积温呈现出准 6~7 a 的变化周期(图 2a); 1961~2003 年共 43 a 中,负积温存在准 6 a 和准 9 a 的振荡周期。0 等值线基本在 1987 年附近,1987 年前后数值符号截然不同,1987 年之前以正值为主,之后转为负值,可见负积温演变的年代际尺度上在 1987 年附近存在明显转折,1987 年是负积温显著增温的突变年份。图 3a 的 M-K 曲线也充分说明西北地区负积温在 1987 年前后发生突变。

> 0 积温 EOF 第 1 特征向量时间系数,小波分析结果表现出在 20 世纪 60 年代中期到 90 年代中期, > 0 积温呈现出准 8 a 的变化周期(图 2b)。0 等值线基本在 1996 年附近,1996 年前后数值符号截然不同,1996 年之前以负值为主,之后转为正值,可见 > 0 积温演变的年代际尺度上在 1996 年附近存在明显转折,1996 年是 > 0 积温显著增温的突变年份。图 3b 的 M-K 曲线也充分说明西北地区 > 0 积温在 1996 年前后发生突变。

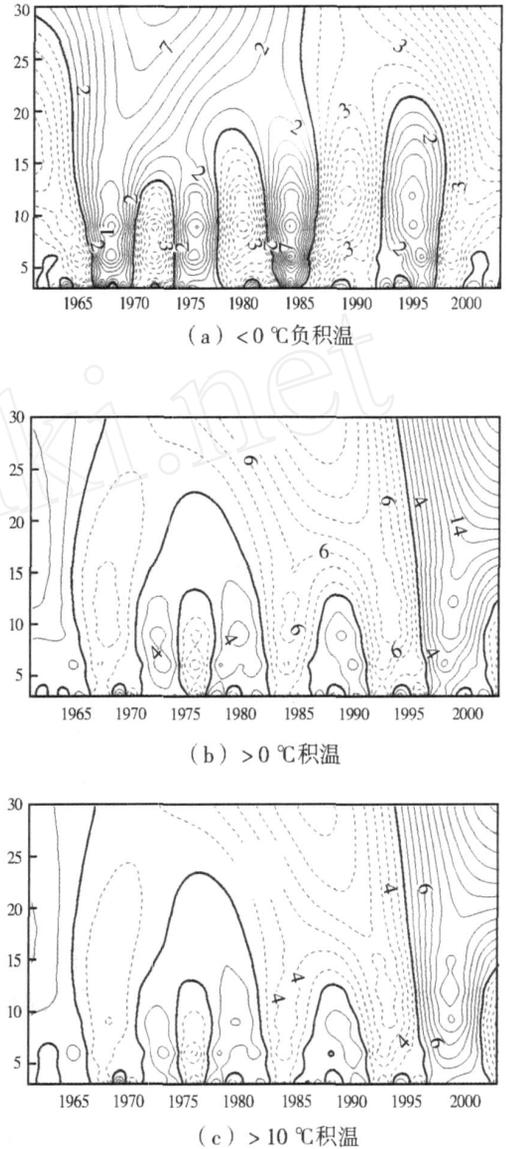


图 2 西北地区各种积温时间系数的小波分析
 Fig 2 The wavelet analysis of time coefficient for three kinds of accumulated temperature
 (a) for < 0 , (b) for > 0 and (c) for > 10

> 10 积温 EOF 第 1 特征向量时间系数,小波分析结果表现出在 20 世纪 60 年代中期到 90 年代, > 10 积温呈现出准 6 a 的变化周期(图 2c)。1990 年代到 21 世纪, > 10 积温呈现出准 8~9 a 的变化周期,0 等值线基本在 1995 年附近,1995 年前后数值符号截然不同,1995 年之前以负值为主,之后转为正值,可见 > 10 积温演变的年代际尺度上在 1995 年附近存在明显转折,1995 年是 > 10 积温显著增温的突变年份。图 3c 的 M-K 曲线也充分说明西北地区 > 0 积温在 1995 年附近发生突变。

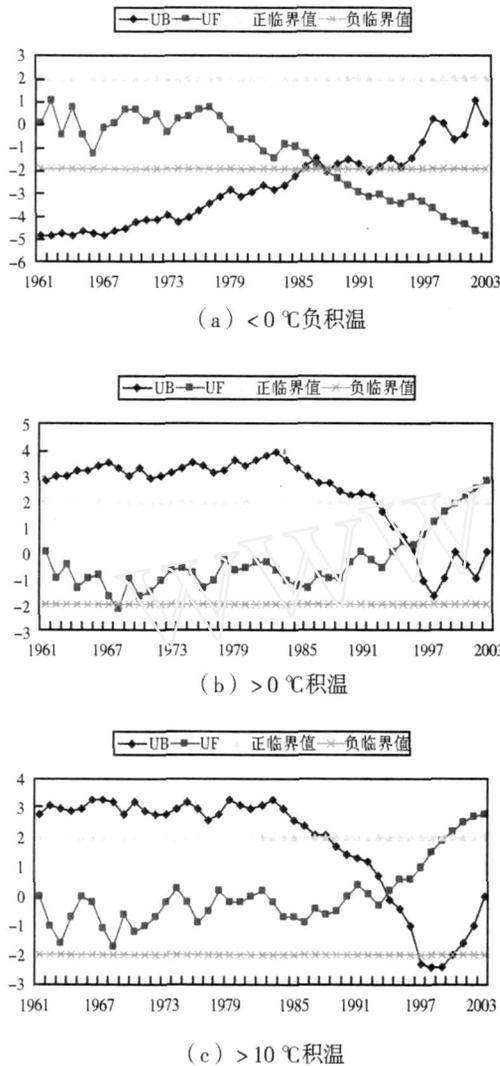


图 3 西北地区各种积温 EOF 第 1 特征向量时间系数 Mann - Kendall 统计量曲线 (直线为 $\alpha = 0.05$ 显著性水平临界值)

Fig 3 The Mann - Kendall curves of the time coefficient of the first characteristic vector from EOF for three kinds of accumulated temperature (lines for the threshold of $\alpha = 0.05$)

4 小 结

(1)西北地区 $< 0^{\circ}\text{C}$ 负积温表现为全区一致增加趋势,平均气候倾向率为 $52.9^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $> 0^{\circ}\text{C}$ 积温的平均气候倾向率为 $50.7^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $> 10^{\circ}\text{C}$ 积温

的平均气候倾向率为 $49.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。

(2) $< 0^{\circ}\text{C}$ 负积温、 $> 0^{\circ}\text{C}$ 和 $> 10^{\circ}\text{C}$ 积温均从 1986 年开始增加,在 1995 年后增加趋势更加明显。

(3) $> 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 1996 年前后发生突变, $> 10^{\circ}\text{C}$ 积温在 1995 年前后发生突变。

(4)小波分析结果呈现出 $< 0^{\circ}\text{C}$ 负积温存在准 6 a 和准 9 a 的振荡周期; $> 0^{\circ}\text{C}$ 和 $> 10^{\circ}\text{C}$ 积温存在准 8 a 变化周期。

参考文献:

- [1] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨 [J]. 冰川冻土, 2002, 24 (3): 219 - 226.
- [3] 王绍武,董光荣. 中国西部环境评估 [A]. 见:秦大河总主编. 中国西部环境特征及其演变 (第一卷) [M]. 北京:科学出版社, 2002. 71 - 145.
- [4] 丁一汇,王守荣. 中国西北地区气候与生态环境概论 [M]. 北京:气象出版社, 2001. 77 - 154.
- [5] 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.
- [6] 宋连春,张存杰. 20 世纪西北地区降水变化特征 [J]. 冰川冻土, 2003, 25 (2): 143 - 148.
- [7] 张存杰,高学杰,赵红岩. 全球气候变暖对西北地区秋季降水的影响 [J]. 冰川冻土, 2003, 25 (2): 157 - 164.
- [8] 刘德祥,董安祥,邓振镛. 中国西北地区气候变暖及其对农业影响的研究 [J]. 自然资源学报, 2005, 20 (1): 1 - 7.
- [9] 刘德祥,董安祥,陆登荣. 中国西北地区近 43 年气候变化及其对农业生产的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23 (2): 195 - 200.
- [10] 孙兰东,刘德祥. 西北地区热量资源变化及其对农业种植结构的影响 [J]. 地球科学进展, 2007, 22 (特刊): 61 - 67.
- [11] 孙兰东,岳立,刘新伟,等. 甘肃省极端最高气温的气候特征分析 [J]. 应用气象学报, 2006, 17 (增刊): 110 - 117.
- [12] 邓振镛,尹东,张毅. 甘肃省小麦生态气候适生种植区的研究 [A]. 邓振镛. 干旱地区农业气象研究 [M]. 北京:气象出版社, 1999. 115 - 119.
- [13] 邓振镛,尹东,张毅. 甘肃省秋粮作物生态气候适生种植区的研究 [A]. 邓振镛. 干旱地区农业气象研究 [M]. 北京:气象出版社, 1999. 121 - 122.

Characteristics of Heat Resources in Response to Climate Change in Northwest China

SUN Landong^{1,2}, LIU Dexiang^{1,2}

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA; Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province; Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou 730020, China;
2. Lanzhou Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Based on the daily average temperature of 150 weather stations in northwest China from 1961 to 2003, the characteristics of the <0 , >0 and >10 accumulated temperature in response to climate change have been analyzed by using climatic tendency coefficient and climatic tendency quotiety. The interannual change of <0 , >0 and >10 accumulated temperature have been analyzed based on the time coefficient from EOF by means of wavelet analysis and Mann-Kendall method. The results show that <0 , >0 and >10 accumulated temperature presented increasing trend in Northwestern China, and the mean climatic tendency quotieties of <0 negative accumulated temperature, >0 and >10 accumulated temperature are 52.9 /10 a, 50.7 /10 a, 49.3 /10 a, respectively.

Key words: Northwest China; accumulated temperature; wavelet analysis; climatic tendency quotiety

2007年度优秀论文评选揭晓

为激励中青年气象科技人员不断创新、发表更多高水平的学术论文以及进一步提高《干旱气象》的载文质量,促进学术交流,本刊自2007年起建立年度优秀论文评选制度,并对优秀论文作者进行奖励。

2007年度优秀论文评选工作已经结束,经过编委推荐和编委会评审,从2007年发表的64篇学术论文中评选出4篇作为该年度的优秀论文,希望获得优秀论文奖的作者再接再厉,踊跃投稿,同时欢迎广大气象科技工作者积极投稿,共同把《干旱气象》办得更好。

优秀论文名单(排名不分先后):

“天津市及周围地区近500年旱涝变化分析”

作者:苏同卫,李可军,李启秀,穆军,高朋鑫

第一作者单位:中国科学院国家天文台/云南天文台

“青海高原地区近250a来年平均气温变化及突变分析”

作者:乜国妍,秦宁生,汪青春,刘青春,时兴合

第一作者单位:青海省气象科技创新基地

“中国北方沙尘传输的数值模拟”

作者:王雁鹏,陈岩,殷惠民,李玉武

第一作者单位:国家环境分析测试中心

“青藏高原东北侧局地冰雹统计特征及对特殊雹云单体的讨论”

作者:刘治国,王鹏祥,杨建才,闫红霞,毛玉琴,程鹏

第一作者单位:兰州中心气象台