

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2018.1084

LÜ Ting, WU Shengli, GE Huanhuan, et al. Spatial and temporal variation characteristics of extreme air temperature in Altay Prefecture, Xinjiang, 1962–2013[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2020, 42(3):745–755. [吕婷, 武胜利, 葛欢欢, 等. 1962–2013年新疆阿勒泰极端气温时空变化特征[J]. 冰川冻土, 2020, 42(3):745–755.]

1962–2013年新疆阿勒泰极端气温时空变化特征

吕 婷^{1,2}, 武胜利^{1,2}, 葛欢欢^{1,2}, 李京龙^{1,2}

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆师范大学 新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘 要: 基于新疆阿勒泰地区5个国家气象站的逐日平均气温、最高气温和最低气温气象数据, 利用一元线性回归、9 a滑动平均等方法分析了该地区近52年极端气温的时空变化规律。结果表明: (1)阿勒泰地区平均气温、平均最高气温、平均最低气温均显著上升, 上升速率为 0.40 、 0.29 、 $0.58\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$; 秋、冬季上升幅度最大。(2)极端最高气温、最低气温极高值、暖昼、暖夜以不同的速率上升(增加), 分别为 $0.19\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.58\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $1.45\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $3.37\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。气温日较差以 $-0.29\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率下降; 生长季长度呈上升趋势, 增加速率为 $3.31\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。暖日、暖夜在四季均呈上升趋势。除极端最高气温和生长季长度外, 其他指数均有50%以上的站点呈上升趋势。(3)极端最低气温、最高气温极低值分别以 0.68 、 $0.48\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率上升; 冷昼、冷夜、冰日、霜日均呈下降趋势, 减少速率分别为 -1.57 、 -3.69 、 -1.79 、 $-4.40\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。仅冷夜、霜日两个指数在所有站点显著下降。(4)冷指数的减小幅度大于暖指数的增大幅度, 夜指数的减小幅度大于昼指数的增大幅度。

关键词: 极端气温; 时空变化; 阿勒泰; 新疆

中图分类号: P423.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2020)03-0745-11

0 引言

全球气候正经历一次以变暖为主要特征的显著变化。政府间气候变化委员会(IPCC)第五次评估报告指出, 1880–2012年全球地表的平均温度已升高 $0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[1]。近50年来, 中国大陆的年平均气温上升速率为 $0.20\sim 0.52\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ^[2], 新疆的年平均气温增加趋势为 $0.30\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ^[3]。气温的升高将导致冰川融化、海平面上升、生物多样性改变、极端气候事件(高温干旱、雾霾、暴雨洪涝和风暴潮等)发生的强度、频率增加^[4–6]。极端气候事件突发性、不可预见性的特征, 不仅导致人类热相关疾病和死亡风险的增加, 而且也给区域的农业生产、经济社会可持续发展和生态环境带来很多负面影响^[7–8]。

在全球变暖的背景下, 研究表明, 欧洲^[9]、美国东部^[10]、澳大利亚^[11]、俄罗斯^[12]等众多地区冷夜日数不断减少, 暖夜日数不断增加。中国气温的变化与全球的变化大体相似, 大部分地区的气温呈上升趋势, 但在不同时期、不同地区仍存在差异^[13–18]。1996–2015年, 西北地区极端高温事件出现频率呈“西南部地区多、北部和东部地区少”的变化趋势^[18]。在西北地区由“暖干”向“暖湿”转换的大背景下^[19], 新疆因其独特的地理位置, 脆弱的生态环境, 使其对气候变化反应十分敏感^[20–21], 不同区域内气候变化的趋势和规律大有不同^[22–24]。张延伟等^[22]利用17个极端降水和气温的各种指标研究了北疆极端气候事件, 得出北疆地区在20世纪80年代后极端气候事件呈增加趋势。唐小英等^[24]采用

收稿日期: 2018-07-03; 修订日期: 2018-09-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(41161004); NSFC-新疆联合基金项目(U1138302); 新疆干旱区湖泊环境与资源实验室基金项目(XJDX0909-2012-03; XJDX0909-2014-04)资助

作者简介: 吕婷(1994–), 女, 甘肃平凉人, 2016年在陇东学院获学士学位, 现为新疆师范大学在读硕士研究生, 从事干旱区环境演变与气候变化研究. E-mail: lvting0209@126.com

通信作者: 武胜利, 教授, 从事干旱区环境演变与灾害防治研究. E-mail: wushengli77@126.com.

20个极端气候指标分析了南疆近50年极端事件的变化规律,认为南疆极端气温和降水事件显著增加。虽然有众多的学者对新疆极端气温进行了研究,但大都集中于大尺度范围,对小尺度区域的极端气温研究较少。位于新疆北部的阿勒泰地区不仅是新疆重要的畜牧业和种植业基地,也是新疆春大豆的主产区,受气象灾害(极端事件)影响很大,区内洪水、白灾、暴风雪、高温热浪等气象灾害发生频率高、影响范围广,严重影响着农牧业及粮食生产安全。本文利用基于R编辑器开发的RClimDex软件来计算极端气温指数,在前人研究的基础上,选择更多的指标,将时间和空间结合,综合分析阿勒泰地区极端气温的变化特征,为当地农业合理利用气候资源发展农业经济,政府决策的制定和实施,以及该地区农牧业的防灾减灾提供理论基础。

1 研究区概况

阿勒泰地区地处新疆的最北部,地理位置介于 $85^{\circ}32' \sim 91^{\circ}01' \text{ E}$ 、 $45^{\circ}00' \sim 49^{\circ}11' \text{ N}$ 。北部和东北部为阿尔泰山脉,西南部为萨乌尔山区,南接准噶尔盆地,面积为 $11.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,下辖一市六县。该地区远离海洋,为中温带大陆性气候。由于地形复杂,下垫面多样,气候具有明显的地带性,形成了春季多风、夏季短促、秋季凉爽、冬季漫长多大风的气候特点。该地区年均温为 3.7°C ,年均降水量为 171.5 mm ,冬季积雪深厚,雪灾频繁^[25]。额尔齐斯河和乌伦古河贯穿阿勒泰地区,具有丰富的水资源。除此之外,还有丰富的矿产、草原、森林、渔业资源等,在新疆占有重要的地位。

2 数据与方法

根据数据资料的连续性及其最长时段性等标准,共选取5个符合条件的气象站(图1)。这5个典型气象站包括阿勒泰($47^{\circ}44' \text{ N}$ 、 $88^{\circ}05' \text{ E}$),福海($47^{\circ}07' \text{ N}$ 、 $87^{\circ}28' \text{ E}$),富蕴($46^{\circ}59' \text{ N}$ 、 $89^{\circ}31' \text{ E}$),哈巴河($48^{\circ}03' \text{ N}$ 、 $86^{\circ}24' \text{ E}$),吉木乃($47^{\circ}26' \text{ N}$ 、 $85^{\circ}52' \text{ E}$)。选取1962年1月1日至2013年12月31日的逐日平均气温、最高气温、最低气温等气象资料作为基础数据,按照当地特殊的自然地理环境将季节划分为春季(4–5月)、夏季(6–8月)、秋季(9–10月)、冬季(11月–次年3月)。

根据当地实际情况,选用世界气象组织

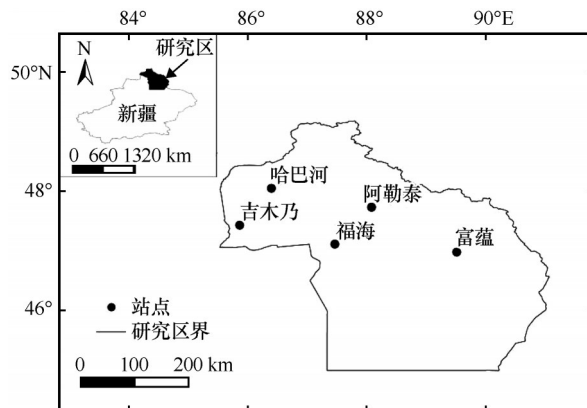


图1 阿勒泰地区气象站点分布
Fig. 1 Distribution of meteorological stations in Altay Prefecture

(WMO)发布的20多种极端气温指数^[26]中的12个极端气温指数,利用RClimDex软件计算阿勒泰地区12个极端气温指数(表1)。在计算极端气温指数之前,对所获取的气象数据资料进行严格的质量控制,包括对缺测值、异常值和错误值(如日最低气温是否大于日最高气温等)进行处理和筛选,并对日最高气温和日最低气温(特征值为 $32\ 766$ 和 $-32\ 766$)的日值数据统一认为缺测。经过统计,共缺测6个气温日值。在利用RClimDex软件进行计算时,根据软件要求,将缺测值统一设为 -99.9 ,以保证计算结果的可靠性。将12个极端气温指数分为极端气温暖指数和极端气温冷指数两类,采用一元线性回归法和9 a滑动平均来分析阿勒泰地区极端气温指数的变化趋势。

3 结果与分析

3.1 气温变化趋势

1962–2013年阿勒泰地区平均气温、平均最高气温、平均最低气温均呈现显著上升趋势(图2),上升速率分别为 0.40 、 0.29 、 $0.58^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,均通过显著性检验($P < 0.05$),且平均最低气温的上升幅度大于前二者,平均最低气温的上升对阿勒泰气温的上升贡献很大。平均气温在20世纪60年代中期至90年代呈波动上升趋势,但阿勒泰地区近15年(1999–2013年)平均气温以 $-0.05^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的速率呈下降趋势,这种现象在全球及中国的其他地方也有发生^[27–28]。对此,有两种解释^[29]:一种解释认为是平流层水汽减少,平流层及对流层气溶胶增加以及太阳活动11年周期在2009年达到低点,使得辐射强迫下降;另一种解释认为变暖停滞至少部

表 1 极端气温指数定义
Table 1 Definition of extreme air temperature indices

分类	指标	定义
极值	极端最高气温(TX _x)/℃	年内各月日最高气温的极大值
	最高气温极低值(TX _n)/℃	年内各月日最高气温的极小值
	极端最低气温(TN _n)/℃	年内各月日最低气温的极小值
	最低气温极高值(TN _x)/℃	年内各月日最低气温的极大值
绝对指数	结冰日数(ID0)/d	年内日最高气温低于 0℃ 的天数
	霜冻日数(FD0)/d	年内日最低气温低于 0℃ 的天数
	气温日较差(DTR)/℃	年内日最高气温与最低气温之差
	生长季长度(GSL)/d	至少连续 6 天气温高于 5℃ 的天数
相对指数	冷夜日数(TN10p)/d	最低气温小于 10% 分位值的天数
	暖夜日数(TN90p)/d	最低气温大于 90% 分位值的天数
	冷昼日数(TX10p)/d	最高气温小于 10% 分位值的天数
	暖昼日数(TX90p)/d	最高气温大于 90% 分位值的天数

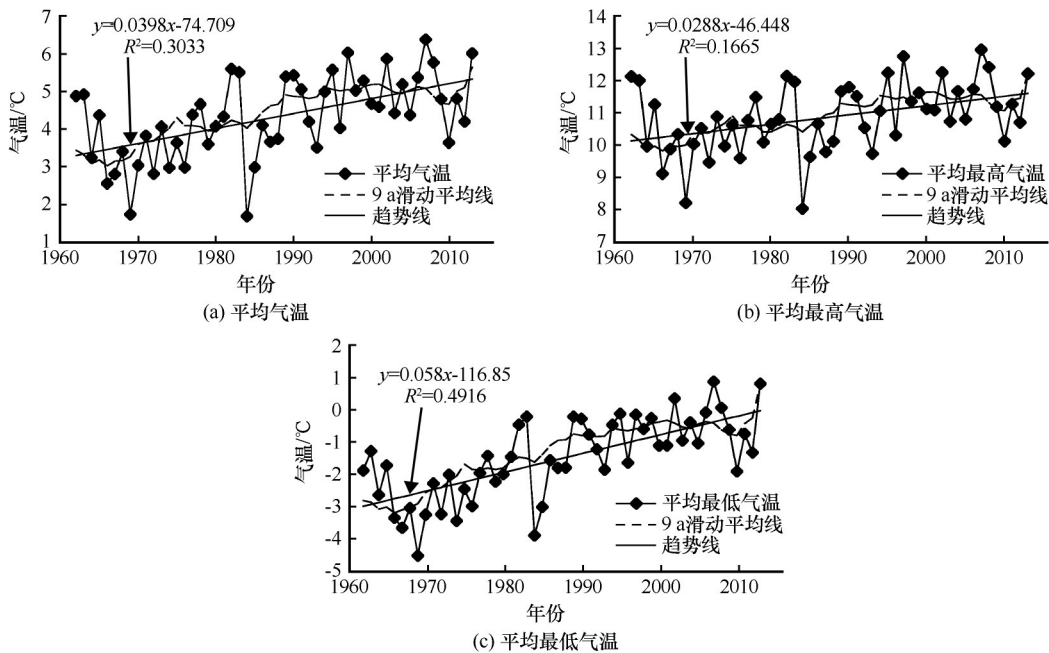


图 2 1962 – 2013 年阿勒泰地区平均气温、平均最高气温、平均最低气温的年际变化
Fig. 2 Variations of annual mean air temperature (a), maximum air temperature (b) and minimum air temperature (c) in Altay Prefecture during 1962 – 2013

分是自然影响，特别是由热带太平洋类似 La Niña 状态的冷却造成的。对于阿勒泰地区近 15 年平均气温下降的原因，需进一步研究。平均最高气温在 20 世纪 60 – 90 年代波动上升，进入 21 世纪后呈下降趋势。平均最低气温与平均最高气温的变化趋势一致。

近 52 年阿勒泰地区平均气温呈波动上升趋势（表 2），春、夏、秋、冬四季平均气温的上升速率分别为 0.35、0.23、0.45、0.54℃·(10a)⁻¹，均通过显著性检验 ($P<0.05$)。冬季气温的上升速率高于其

他三季，且以 20 世纪 80 年代中后期为界，呈先上升后下降的趋势。夏季气温在 1966 – 1974 年快速上升，1974 – 1985 年缓慢下降，1985 – 1999 年快速上升，此后呈下降趋势。春秋两季呈持续小幅波动上升趋势。平均最高气温在春、夏、秋和冬季的上升速率分别为 0.26、0.12、0.37 和 0.40℃·(10a)⁻¹，仅秋、冬季通过显著性检验 ($P<0.05$)。平均最低气温在春、夏、秋和冬季的上升速率分别为 0.56、0.46、0.60 和 0.68℃·(10a)⁻¹，均通过显著性检验 ($P<0.05$)。

表2 1962–2013年阿勒泰地区极端气温指数的变化幅度
Table 2 Variation amplitudes of extreme air temperature indices in Altay Prefecture, 1962–2013

极端气温指数	年	春季	夏季	秋季	冬季
TXx/℃	0.19	0.38*	0.12	0.37*	0.32*
TNx/℃	0.58*	0.59*	0.49*	0.69*	0.49*
TX90p/d	1.45*	2.57	0.96	0.88	1.52
TN90p/d	3.37*	4.69*	4.19*	3.20*	2.41*
TNn/℃	0.68	0.45*	0.62*	0.61*	0.73*
TXn/℃	0.48	0.24	0.05	0.47*	0.43
TX10p/d	−1.57*	−0.69	−1.06	−2.50*	−1.87
TN10p/d	−3.69*	−3.24*	−4.27*	−5.12*	−2.97*
平均气温/℃	0.40*	0.35*	0.23*	0.45*	0.54*
平均最高气温/℃	0.29*	0.26	0.12	0.37*	0.40*
平均最低气温/℃	0.58*	0.56*	0.46*	0.60*	0.68*

注：*表示通过0.05水平显著性检验。

在空间尺度上,由图3可知,阿勒泰地区1962–2013年各个站点平均气温、平均最高气温、平均最低气温均呈显著上升趋势,且5个站点均通过显著性检验($P<0.05$)。各站的平均气温上升速率均值为 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,其中福海站上升幅度最大,阿勒泰站最小。平均最高气温的上升速率均值为 $0.028\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,其中富蕴站上升幅度最大。平均最低气温的上升速率均值为 $0.056\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,富蕴站上升幅度最大,阿勒泰站上升幅度最小。

综上所述,1962–2013年阿勒泰地区平均气温、平均最高气温、平均最低气温均呈现显著的上升趋势,平均最低气温的上升速率远高于平均气温和平均最高气温的上升速率,这与中国大多数地区最低气温上升速率最大的特征是一致的。就季节变化而言,冬季气温上升速率最大,表明阿勒泰地区出现暖冬的趋势。

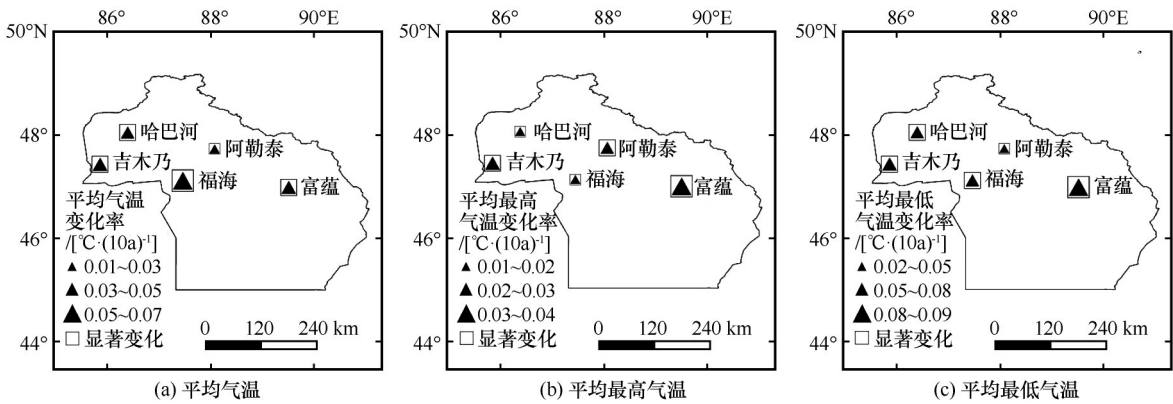


图3 1962–2013年阿勒泰地区平均气温、平均最高气温、平均最低气温的空间变化
Fig. 3 Spatial variations of annual mean air temperature (a), maximum air temperature (b) and minimum air temperature (c) in Altay Prefecture, 1962–2013

3.2 极端气温暖指数

1962–2013年阿勒泰地区TXx、TNx、TX90p、TN90p的年均值分别为35.83℃、21.72℃、17.21d、17.05d(图4),除了TXx之外,其余的指数均通过了显著性检验($P<0.05$)。TXx总体呈小幅波动上升,上升速率为 $0.19\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,20世纪60–90年代中后期缓慢上升,90年代末期至21世纪呈小幅波动下降。TNx以 $0.58\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率呈小幅持续上升,在20世纪90年代末呈大幅下降趋势。TX90p的上升速率为 $1.45\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$,在20世纪60–90年代中期呈波动上升趋势,90年代末期呈下降趋势。TN90p总体呈大幅波动上升趋势,上升速率为 $3.37\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。阿勒泰地区1962–2013年DTR的均值为 $12.35\text{ }^{\circ}\text{C}$,且以 $-0.29\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率呈

波动下降趋势,20世纪80年代中期之前持续下降,在此之后呈小幅波动下降趋势。GSL总体呈持续波动上升趋势,上升速率为 $3.31\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。

在季节尺度上,TXx在春、夏、秋和冬季均呈上升趋势,上升速率分别为0.38、0.12、0.37和 $0.32\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,仅夏季未通过显著性检验($P<0.05$)。TNx在春、夏、秋和冬季的上升速率分别为0.59、0.49、0.69和 $0.49\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,均通过显著性检验($P<0.05$)。春、夏、秋三季气温均缓慢上升,冬季呈先上升后下降的趋势。TX90p在四季均呈上升趋势,春、夏、秋和冬季的上升速率分别为2.57、0.96、0.88和 $1.52\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。夏季的波动性较大,在20世纪60–80年代末期波动下降,80年代末至90年代中期快速上升,进入21世纪后缓

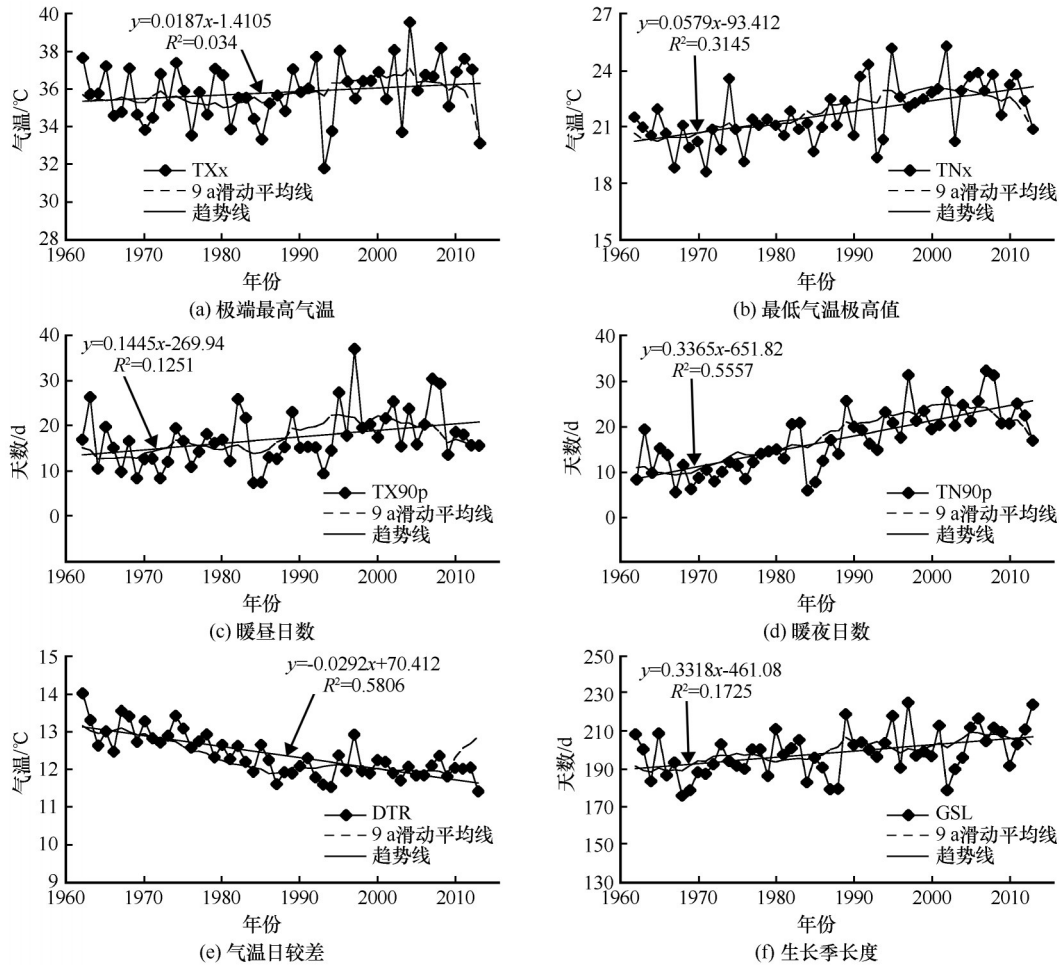


图4 1962—2013年阿勒泰地区极端气温暖指数变化

Fig. 4 Annual variations of extreme maximum air temperature (a), the yearly maximum value of daily minimum air temperature (b), warm day days (c), warm night days (d), daily temperature range (e) and growing season length (f) in Altay Prefecture, 1962–2013

慢下降。春、秋季小幅波动上升, 冬季呈先波动上升后下降的趋势。TN90p在春、夏、秋和冬季的上升速率分别为4.69、4.19、3.20和2.41 d·(10a)⁻¹, 均通过显著性检验($P<0.05$), 春、夏和秋季均呈持续大幅波动上升趋势, 冬季以20世纪80年代中期为界, 之前大幅波动上升, 之后持续下降。

在空间尺度上, 从图5看出, TXx仅在富蕴站呈显著上升趋势, 上升站点的平均速率为0.02 °C·(10a)⁻¹。TNx除在阿勒泰站呈下降趋势外, 其余站点均呈显著上升趋势, 上升站点的平均速率为0.058 °C·(10a)⁻¹。TX90p在阿勒泰站、富蕴站和吉木乃站显著上升, 上升站点的平均速率为0.146 d·(10a)⁻¹。TN90p除在阿勒泰站外, 其余站点均显著上升, 上升站点的平均速率为0.336 d·(10a)⁻¹。

3.3 极端气温冷指数

由图6可知, 1962—2013年阿勒泰地区极端气

温冷指数除TNn和TXn上升, 其余指数均下降。TNn总体呈小幅波动上升趋势, 上升速率为0.68 °C·(10a)⁻¹, 20世纪60年代中期至80年代中期波动上升, 此后呈下降趋势, 21世纪有所回升。TXn以0.48 °C·(10a)⁻¹的速率波动上升, 与TNn的变化规律一致。TX10p、TN10p、ID0和FD0均呈持续波动下降趋势, 下降的速率分别为-1.57、-3.69、-1.79和-4.40 d·(10a)⁻¹。

在季节尺度上, TNn在春、夏、秋和冬季均呈上升趋势, 上升速率分别为0.45、0.62、0.61和0.73 °C·(10a)⁻¹, 四季均通过显著性检验($P<0.05$)。春和夏季呈持续上升趋势, 秋季在20世纪60年代中期至70年代中期快速上升, 此后至21世纪初呈缓慢上升趋势, 冬季气温呈波动上升趋势。TXn在春、夏、秋和冬季分别以0.24、0.05、0.47和0.43 °C·(10a)⁻¹的速率呈上升趋势, 仅秋季通过

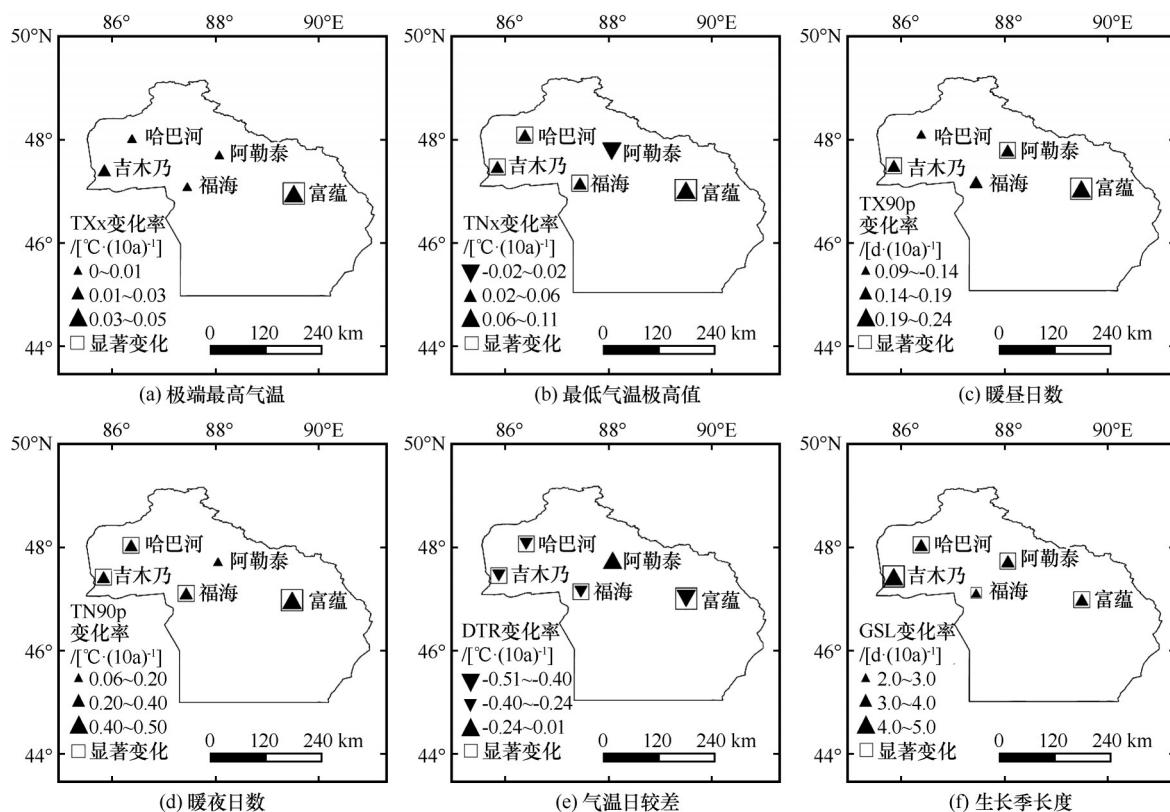


图5 1962–2013年阿勒泰地区极端气温暖指数的空间变化

Fig. 5 Spatial variations of extreme maximum air temperature (a), the yearly maximum value of daily minimum air temperature (b), warm day days (c), warm night days (d), daily temperature range (e) and growing season length (f) in Altay Prefecture, 1962–2013

显著性检验($P < 0.05$)。春、夏季呈缓慢上升趋势,且夏季的变化幅度最小,秋、冬季波动上升。TX10p在四季均呈下降趋势,下降速率分别为 -0.69 、 -1.06 、 -2.50 和 $-1.87 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$,仅秋季通过显著性检验($P < 0.05$)。TN10p在四季分别以 -3.24 、 -4.27 、 -5.12 和 $-2.97 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 速率下降,四季均通过显著性检验($P < 0.05$)。春、夏和秋季均大幅波动下降,冬季呈先下降后上升的趋势。

在空间分布上,图7显示TNn和TXn仅在富蕴站呈显著上升趋势,上升站点的平均速率分别为 $0.068 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 和 $0.048 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。TX10p仅在阿勒泰站、富蕴站和吉木乃站呈显著下降趋势,下降站点的平均速率为 $-0.156 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。TN10p在各站点均显著下降,福海站、富蕴站下降得比较剧烈,下降站点的平均速率为 $-0.37 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。

3.4 极端气温指数变化幅度对比

由表3可知,就TXx和TXn而言,TXn的变化幅度大于TXx,且TXn的变化幅度是TXx的2.53倍,TXx的变化幅度小于TNx。TNn的变化幅度大于TNx,且是TNx的1.17倍。TN10p的变化幅度

大于TN90p,且是TN90p的1.09倍。与TX10p相比,TX90p的变化幅度比TX10p小。通过以上分析,冷指数(TNn、TN10p、TX10p)的减小幅度大于暖指数(TXx、TN90p、TX90p)的增大幅度,夜指数(TN10p、TN90p)的减小幅度大于昼指数(TX10p、TX90p)的增大幅度。

4 讨论

近52年来,阿勒泰地区平均气温、平均最高气温、平均最低气温均呈上升趋势,平均气温的上升速率为 $0.40 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,明显高于新疆 $[0.32 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}]^{[30]}$ 和西北地区 $[0.37 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}]^{[31]}$ 的平均增温速率,表明阿勒泰地区在西北地区是一个较为敏感的地区。极端最高气温、极端最低气温均呈上升趋势,极端最低气温的上升速率高于极端最高气温,极端最低气温上升对气温升高的影响与文献[25]的研究结果相同,但本文极端最低气温和最高气温的上升速率均低于后者研究得出的上升速率,可能是研究时段不同造成的。其次,暖指数增加、冷指数减少,说明阿勒泰地区整体气温呈上升的状

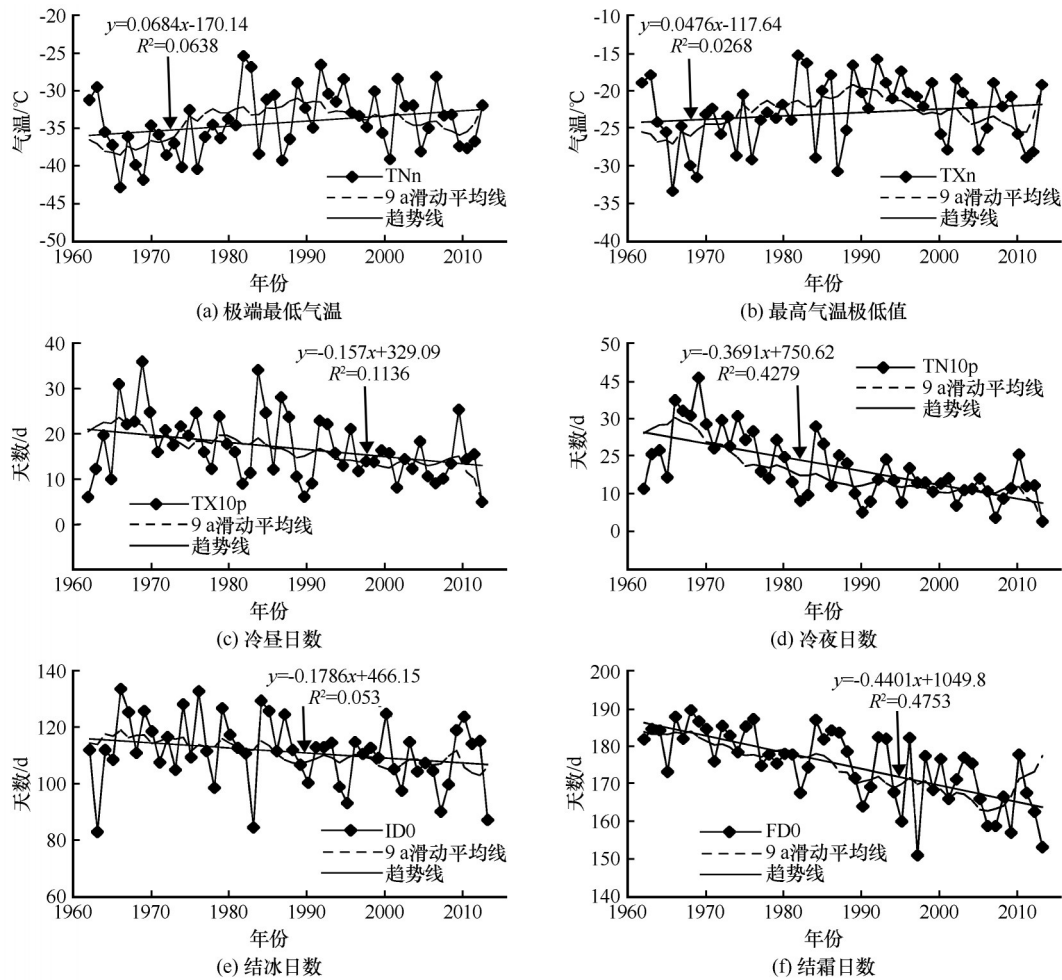


图6 1962—2013年阿勒泰地区极端气温冷指数变化

Fig. 6 Annual variations of extremely minimum air temperature (a), extremely low of the maximum air temperature (b), cold day days (c), cold night days (d), ice days (e) and frost days (f) in Altay Prefecture, 1962–2013

态,符合全球变暖的大背景。但在空间上,各地区的温度变化差异很大,造成这种现象的原因有这几种:①阿勒泰地区地势为北部至东北部高,向西南逐渐降低,到河谷最低,由河谷向西南逐渐升高,全区分布有山脉、丘陵、河谷平原、戈壁沙漠,地形复杂多样。Li等^[32]研究表明地形和海拔与极端气温的变化有密切的关系。在本文的分析中,富蕴站与其他站点相比,各极端气温指数的变化幅度最剧烈,复杂的地形和下垫面影响该地区气温的变化^[33]。②太阳活动和大气涛动也是影响气温变化的原因,在太阳活动活跃期,太阳磁场活动增强,将偏转宇宙射线撞击地球的方向,形成较少云层,从而导致地球温度上升,对地球气温的变暖起到促进作用^[34];北极涛动(AO)在冬季与我国35°N以北地区地表气温异常变化存在显著的同向变化关系,AO指数的升高,使西伯利亚高压减弱,导致了我国

中高纬地区寒潮频次减少^[35],进一步促使该地区冬季暖化。除了上述几个方面(地形、海拔、太阳活动和大气涛动)的影响,城市化^[36]和云量^[37–38]与极端气温的变化也有着密切的关系。

5 结论

(1) 1962—2013年阿勒泰地区平均气温、平均最高气温、平均最低气温均呈上升趋势,平均最低气温的上升速率大于平均气温和平均最高气温,为 $0.58\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。秋、冬季的上升速率最大。

(2) 极端最高气温(TXx)、最低气温极高值(TNx)、暖昼(TX90p)、暖夜(TN90p)分别以 $0.19\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.58\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $1.45\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $3.37\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率上升,且各季节均呈上升趋势。气温日较差(DTR)以 $-0.29\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率下降,生长季长度(GSL)呈上升趋势,上升速率为

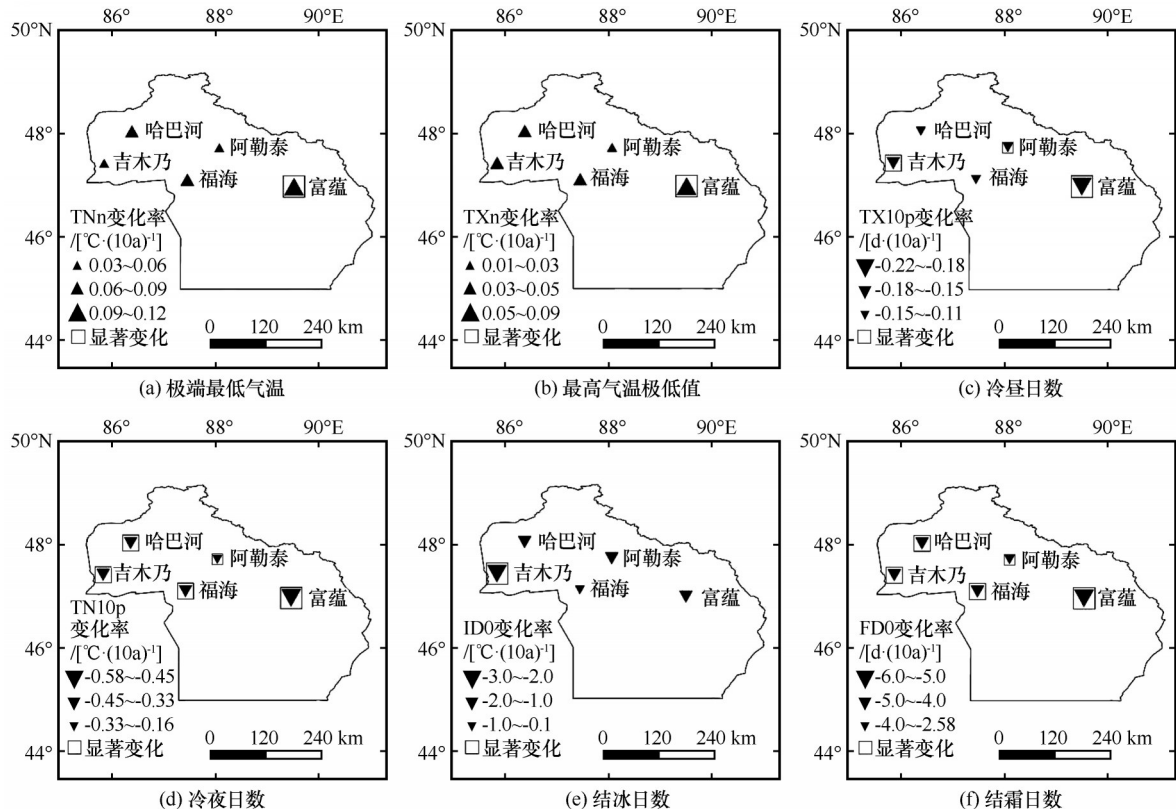


图7 1962–2013年阿勒泰地区极端气温冷指数的空间变化

Fig. 7 Spatial variations of extremely minimum air temperature (a), extremely low of the maximum air temperature (b), cold day days (c), cold night days (d), ice days (e) and frost days (f) in Altay Prefecture, 1962–2013

表3 1962–2013年阿勒泰地区极端气温指数
变化幅度对比

Table 3 Comparison of the variation amplitudes of extreme temperature indices in Altay Prefecture, 1962–2013			
指数对比	对比依据	指数对比	对比依据
TXx < TXn	真实值	TN90p < TN10p	绝对值
TNx < TNn	真实值	TX90p < TN90p	真实值
TXx < TNx	真实值	TX90p < TX10p	绝对值
TXn < TNn	真实值	TX10p < TN10p	绝对值

3.31 d·(10a)⁻¹。阿勒泰地区最低气温极高值(TNx)、暖夜(TN90p)、极端最高气温(TXx)、暖昼(TX90p)在4个、4个、1个、3个站点显著上升,生长季长度(GSL)在5个站点均呈显著上升趋势,气温日较差(DTR)在4个站点呈显著下降趋势。

(3) 极端最低气温(TNn)、最高气温极低值(TXn)分别以0.68、0.48℃·(10a)⁻¹的速率上升,各季节均呈上升趋势。冷昼(TX10p)和冷夜(TN10p)的下降速率分别为-1.57、-3.69 d·(10a)⁻¹,各季节均下降。冰日(ID0)、霜日(FD0)分别以-1.79、-4.40 d·(10a)⁻¹的速率下降。冷夜

(TN10p)、霜日(FD0)、冷昼(TX10p)、冰日(ID0)分别在5个、5个、3个、1个站点呈显著下降趋势。极端最低气温(TNn)、最高气温极低值(TXn)均呈上升趋势。

(4) 冷指数(TNn、TN10p、TX10p)的减小幅度大于暖指数(TXx、TN90p、TX90p)的增大幅度,夜指数(TN10p、TN90p)的减小幅度大于昼指数(TX10p、TX90p)的增大幅度。

参考文献(References):

[1] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis; contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. New York: Cambridge Press, 2013.

[2] Zhao Jun, Shi Yinfang, Wang Dawei, et al. Temporal and spatial changes of extreme temperatures in China during 1961–2008 [J]. Journal of Arid Resources and Environment, 2012, 26(3): 52–56. [赵军, 师银芳, 王大为, 等. 1961–2008年中国大陆极端气温时空变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(3): 52–56.]

[3] Zhang Y W, Wei W S, Jiang F Q, et al. Assessment of change in temperature and precipitation over Xinjiang, China [J]. Natural Hazards and Earth System Science, 2012, 12(5): 1327–1331.

[4] Li Zongxing, He Yuanqing, Xin Huijuan, et al. Spatio-tempo-

- ral variations of temperature and precipitation in Mts. Hengduan region during 1960—2008[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(5): 563—579. [李宗省, 何元庆, 辛惠娟, 等. 我国横断山区 1960—2008 年气温和降水时空变化特征[J]. 地理学报, 2010, 65(5): 563—579.]
- [5] Li Hongmei, Li Lin. Mean and extreme climate change on the Qinghai-Tibetan Plateau with a 2 °C global warming[J]. *Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis*, 2015, 11(3): 157—164. [李红梅, 李林. 2 °C 全球变暖背景下青藏高原平均气候和极端气候事件变化[J]. 气候变化研究进展, 2015, 11(3): 157—164.]
- [6] Pan Jinghu, Zhang Wen, Li Junfeng, et al. Spatial distribution characteristics of air pollutants in major cities in China during the period of wide range haze pollution[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(12): 3423—3431. [潘竞虎, 张文, 李俊峰, 等. 中国大范围雾霾期间主要城市空气污染物分布特征[J]. 生态学杂志, 2014, 33(12): 3423—3431.]
- [7] Wu Shaohong, Yin Yunhe. Impacts of climate extremes on human systems[J]. *Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis*, 2012, 8(2): 99—102. [吴绍洪, 尹云鹤. 极端事件对人类系统的影响[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(2): 99—102.]
- [8] Xie Liyong, Li Yue, Xu Yuxiu, et al. Updated understanding on the impacts of climate change on food production and food security[J]. *Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis*, 2014, 10(4): 235—239. [谢立勇, 李悦, 徐玉秀, 等. 气候变化对农业生产与粮食安全影响的新认知[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(4): 235—239.]
- [9] New M, Hewitson B, Stephenson D B, et al. Evidence of trends in daily climate extremes over southern and west Africa[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111(D14): 3007—3021.
- [10] Easterling D R, Horton B, Jones P D, et al. Maximum and minimum temperature trends for the globe[J]. *Science*, 1997, 277(5324): 364—367.
- [11] Plummer N, Salinger M J, Nicholls N, et al. Change in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century[J]. *Climatic Change*, 1999, 42(1): 183—202.
- [12] Gruza G, Rankova E, Razuvaev V. Indicators of climate change for the Russian Federation[J]. *Climatic Change*, 1999, 42(1): 219—242.
- [13] Zhai Panmao, Pan Xiaohua. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of the 20th century[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003 (Suppl 1): 1—10. [翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报, 2003(增刊 1): 1—10.]
- [14] Wang Tingting, Feng Qi, Li Zongxing, et al. Extreme climate research on Gulang River basin in eastern Qilian Mountains during 1960—2012[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2018, 40(3): 598—606. [王婷婷, 冯起, 李宗省, 等. 1960—2012 年祁连山东段古浪河流域极端气候事件研究[J]. 冰川冻土, 2018, 40(3): 598—606.]
- [15] Zhou Xiaoyu, Zhao Chunyu, Wang Ying, et al. Variation characteristics of extreme temperature events in Liaoning Province, 1961—2012[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2015, 37(4): 876—887. [周晓宇, 赵春雨, 王颖, 等. 1961—2012 年辽宁省极端气温事件气候变化特征[J]. 冰川冻土, 2015, 37(4): 876—887.]
- [16] Yan Xiaoyu, Zhao Chunyu, Wang Ying, et al. Change trend of extreme temperature in Northeast China for the past 50 years[J]. *Journal of Arid Resources and Environment*, 2012, 26(1): 81—87. [严晓瑜, 赵春雨, 王颖, 等. 近 50 年东北地区极端温度变化趋势[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(1): 81—87.]
- [17] Yuan Wende, Zheng Jiangkun. Spatial and temporal variations of extreme temperature events in Southwestern China during 1962—2012[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(7): 1246—1254. [袁文德, 郑江坤. 1962—2012 年西南地区极端温度事件时空变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(7): 1246—1254.]
- [18] Qu Shulin, Tong Jilong, Tang Rui, et al. Changes in the extremely high temperature in Northwest China and its response to the stagnation of global warming[J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2017, 33(4): 78—85. [曲姝霖, 仝纪龙, 唐睿, 等. 西北地区极端高温变化及其对气候变暖停滞的响应[J]. 气象与环境学报, 2017, 33(4): 78—85.]
- [19] Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruji. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(3): 219—226. [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.]
- [20] Zhao Bingke, Cai Chengxia, Yang Lianmei, et al. Atmospheric circulation anomalies during wetting summer over Xinjiang region[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, 28(3): 434—442. [赵兵科, 蔡承侠, 杨莲梅, 等. 新疆夏季变湿的大气环流异常特征[J]. 冰川冻土, 2006, 28(3): 434—442.]
- [21] Hu Ruji, Fan Zili, Wang Yajun, et al. Assessment about the impact of climate change on environment in Xinjiang since recent 50 years[J]. *Arid Land Geography*, 2001, 24(2): 97—103. [胡汝骥, 樊自立, 王亚俊, 等. 近 50 年新疆气候变化对环境影响评估[J]. 干旱区地理, 2001, 24(2): 97—103.]
- [22] Zhang Yanwei, Ge Quansheng, Jiang Fengqing, et al. Evolution characteristic of the extreme high and low temperature event in north Xinjiang in 1961—2010[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(2): 296—302. [张延伟, 葛全胜, 姜逢清, 等. 北疆地区 1961—2010 年极端气温事件变化特征[J]. 地理科学, 2016, 36(2): 296—302.]
- [23] Zubayda Muyibula, Shi Qingdong, Hong Bo, et al. Change trends of extreme temperature events in the Keriya River basin during the period of 1960—2010[J]. *Arid Zone Research*, 2017, 34(1): 144—150. [祖拜达·木依布拉克, 师庆东, 洪波, 等. 1960—2010 年克里雅河流域极端气温事件变化趋势[J]. 干旱区研究, 2017, 34(1): 144—150.]
- [24] Tang Xiaoying, Tang Xiangling. Extreme climatic events in southern Xinjiang in recent 50 years[J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2015, 33(2): 230—238. [唐小英, 唐湘玲. 新疆南疆地区近 50 年来极端气候事件分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2015, 33(2): 230—238.]
- [25] Gulzat Habiken, Zhao Jingbo. Changes of extreme temperature and precipitation in Altay region, Xinjiang in recent 50 years[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(7): 112—116. [古丽扎提·哈布肯, 赵景波. 新疆阿勒泰地区近 50 年来极端气温与降水变化[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(7): 112—116.]
- [26] Karl T R, Nicholls N, Ghazi A. CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extreme: workshop summary[J]. *Climate Change*, 1999, 42: 3—7.
- [27] Wang Shaowu, Luo Yong, Tang Guoli, et al. Does the global warming pause in the last decade: 1999—2008?[J]. *Advances*

- in Climate Change Research, 2010, 6(2): 95 – 99. [王绍武, 罗勇, 唐国利, 等. 近 10 年全球变暖停滞了吗? [J]. 气候变化研究进展, 2010, 6(2): 95 – 99.]
- [28] Kell R A. What happened to global warming? Scientists say just wait a bit [J]. Science, 2009, 326(5949): 28 – 29.
- [29] Wang Shaowu, Luo Yong, Zhao Zongci, et al. The fifth IPCC assessment report hits the streets [J]. Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis, 2013, 9(6): 436 – 439. [王绍武, 罗勇, 赵宗慈, 等. IPCC 第 5 次评估报告问世 [J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(6): 436 – 439.]
- [30] Kang Lijuan, Batur Bake, Luo Nana, et al. Spatial-temporal variations of temperature and precipitation in Xinjiang from 1961 to 2013 [J]. Xinjiang Agricultural Science, 2018, 55(1): 123 – 133. [康丽娟, 巴特尔·巴克, 罗那那, 等. 1961 – 2013 年新疆气温和降水的时空变化特征分析 [J]. 新疆农业科学, 2018, 55(1): 123 – 133.]
- [31] Wang Jingsong, Fei Xiaoling, Wei Feng. Further study of temperature change in Northwest China in recent 50 years [J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(4): 724 – 732. [王劲松, 费晓玲, 魏锋. 中国西北近 50 a 来气温变化特征的进一步研究 [J]. 中国沙漠, 2008, 28(4): 724 – 732.]
- [32] Li Z X, He Y Q, Wang P Y, et al. Change of daily climate extremes in southwestern China during 1961 – 2008 [J]. Global and Planetary Change, 2012, 80/81: 255 – 272.
- [33] Qi Guiying, Pan Xuemei. Comparative analysis of circulation characteristics and variations of high-temperature between Fuhai and Fuyun [J]. Desert and Oasis Meteorology, 2011, 5(5): 52 – 54. [齐贵英, 潘雪梅. 福海、富蕴高温天气气候特征及环流对比分析 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2011, 5(5): 52 – 54.]
- [34] Chen Xingrong, Zhang Zhihua, Cai Yi. Review of the climate change in recently one hundred years and the potential natural factors affected [J]. Marine Forecasts, 2013, 30(1): 78 – 85. [陈幸荣, 张志华, 蔡怡. 近百年气候变化及可能的自然影响因素研究进展 [J]. 海洋预报, 2013, 30(1): 78 – 85.]
- [35] Qian Weihong, Zhang Weiwei. Changes in cold wave events and warm winter in China during the last 46 years [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2007, 31(6): 1266 – 1277. [钱维宏, 张玮玮. 我国近 46 年来的寒潮时空变化与冬季增暖 [J]. 大气科学, 2007, 31(6): 1266 – 1277.]
- [36] Zhou Yaqing, Ren Guoyu. Urbanization effect on long-term trends of extreme temperature events in North China [J]. Plateau Meteorology, 2014, 33(6): 1589 – 1598. [周雅清, 任国玉. 城市化对华北地区极端气温事件频率的影响 [J]. 高原气象, 2014, 33(6): 1589 – 1598.]
- [37] Qi Guiying. Analysis on variation characteristics of the cloudiness in recent 47 years in Aletai area [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2010, 16(18): 153 – 155. [齐贵英. 近 47 年阿勒泰地区云量气候变化特征分析 [J]. 安徽农学通报, 2010, 16(18): 153 – 155.]
- [38] Pi Yuanyue. Extreme climate change and its relationship with atmospheric circulation and sea surface temperature in the arid area of Northwest China [D]. Urumqi: Xinjiang University, 2017. [皮原月. 西北干旱区极端气候变化及其与大气环流和海表温度的联系 [D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2017.]

Spatial and temporal variation characteristics of extreme air temperature in Altay Prefecture, Xinjiang, 1962 – 2013

LÜ Ting^{1,2}, WU Shengli^{1,2}, GE Huanhuan^{1,2}, LI Jinglong^{1,2}

(1. College of Geographical Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2. Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: The meteorological data from five meteorological stations in Altay Prefecture were analyzed by means of liner regression method, 9-year moving average analysis method to get spatial and temporal variations of air temperature in the prefecture, from 1962 to 2013. The results show that: (1) Annual mean air temperature, mean maximum and mean minimum air temperature had increased significantly with the rate of 0.40, 0.29, 0.58 $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, and the maximum ones happened in winter and autumn. (2) The extreme maximum air temperature, the yearly maximum value of daily minimum air temperature, warm day and warm night had risen with the rate of 0.19 $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 0.58 $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 1.45 $\text{d} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 3.37 $\text{d} \cdot (10\text{a})^{-1}$; diurnal temperature range had decreased with a rate of $-0.29^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$; the growing season length had increased with a rate of 3.31 $\text{d} \cdot (10\text{a})^{-1}$. Warm day and warm night had increased in every season at more than 50% stations; in the rest stations, all indices had increased, except for the maximum air temperature and the growing season length. (3) The extreme minimum air temperature and the yearly minimum value of daily maximum air temperature had increased with the rate of 0.68, 0.48 $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$. Cold days, cold nights, freezing days, frost days had decreased with the rate of -1.57 , -3.69 , -1.79 and $-4.40 \text{d} \cdot (10\text{a})^{-1}$; cold night and frost day at all stations had significantly decreased. (4) The decrease of cold indices was larger than the increase of warm indices, and the decrease of night indices was larger than the increase of day indices. These results would provide theoretical basis for the sustainable development of local agriculture and prevent meteorological disasters in Altay Prefecture.

Key words: extreme air temperature; spatial and temporal variation; Altay Prefecture; Xinjiang

(责任编辑: 周成林; 编辑: 武俊杰)