

管延龙,王让会,李成,等. 天山北麓 1963~2010 年 0 cm 最高与最低地表温度变化特征[J]. 干旱气象, 2015, 33(4): 587-594, [GUAN Yanlong, WANG Ranghui, LI Cheng, et al. Variation Characteristics of Ground Surface Temperature in Northern Piedmont of Tianshan Mountains During 1963-2010[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(4): 587-594], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-04-0587

天山北麓 1963~2010 年 0 cm 最高 与最低地表温度变化特征

管延龙,王让会,李成,姚健

(南京信息工程大学环境科学与工程学院,江苏 南京 210044)

摘要:基于天山北麓 7 个气象站 1963~2010 年逐月 0 cm 最高、最低地温资料,采用线性趋势分析、Mann-Kendall 检验、Morlet 小波等方法,分析了天山北麓地温变化特征。结果表明:(1)近 48 a 来,天山北麓 0 cm 最高地温以精河为高值中心,总体上呈西高东低的特征,最低地温以乌苏、乌鲁木齐为高值中心的中西部地区普遍较高;(2)0 cm 地温呈显著上升趋势,最低地温增幅尤为显著,达 0.87 °C/10 a;(3)0 cm 最低地温在 2002 年发生突变,而最高地温未出现突变;(4)0 cm 地温异常年份主要发生在 2006 年之后,以偏暖为主。

关键词:气候变化;0 cm 地表温度;天山北麓

文章编号:1006-7639(2015)-04-0587-08 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-04-0587

中图分类号:P467

文献标识码:A

引言

地温是衡量地表土壤热能的物理量,作为陆面系统的重要组成部分,其变化是引起不同尺度气候和环境变化的重要成因^[1]。近 50 a 来,我国西北地区气候呈现出由暖干向暖湿演变特征,尤其是北疆及天山一带暖湿化趋势尤为明显^[2-3],而地温具有明显的滞后性^[4],从而使得干旱区地温的成因、时空分布特征及演变规律等备受关注。相关研究表明^[5-6]:地温变化通过影响陆—气系统之间物质与能量的收支平衡而引起下垫面发生变化,进而对区域生态系统的结构与功能产生重要影响。

目前,我国学者对地温变化进行了大量研究。陆晓波等^[7]对全国平均地温的年代际特征进行了较为全面的研究,指出我国地温变化大致经历下降、相对气候冷期及 1990 年代末的升温阶段。周晋红等^[8]指出,山西冬季平均 0 cm 地温呈显著的升温趋势,其中地温在 1993 年发生突变,进入增暖期。李帅等^[9]指出,黑龙江春季地温存在较大的年际波动特征,并有

效构建了春季浅层地温预报模型。刘明春等^[10]分析了 47 a 来石羊河流域年均地温增温趋势,并指出流域地温变化特征与本地干旱指数之间具有很好的对应关系。相关研究成果表明^[11-13],在气候变暖背景下,近几十年来地温变化总体上呈较为明显的升温趋势,同时与区域气温、降水等气象要素之间存在显著联系,能够有效地表征区域气候的演变趋势。

新疆地处欧亚大陆腹地,天山北麓地区作为全疆社会经济核心地带,生态环境脆弱^[14-16],气候变化敏感。该区域诸多气候变化研究多以气温与降水为核心^[17-21],涉及区域地温变化的相关研究尚不多见。为此,基于 1963~2010 年天山北麓 0 cm 最高与最低地温资料,分析 48 a 来研究区 0 cm 地温的变化特征,有助于深入认识和把握区域地温的变化趋势,同时也为正确评估气候变化对天山北麓生态环境影响提供科学依据。

1 研究区概况

天山北麓地处亚欧大陆腹地,新疆准噶尔盆地

收稿日期:2014-10-13;改回日期:2014-11-29

基金项目:国家科技支撑计划(2012BAC23B01,2012BAD16B0305)、中国沙漠气象科学研究基金(sqj2012006)、中国清洁发展机制基金、江苏省研究生培养创新工程基金(SJLX_0389)共同资助

作者简介:管延龙(1988-),男,硕士研究生,研究方向为环境监测. E-mail:guanyanlong2012@163.com

通讯作者:王让会,博导,陕西人,主要从事景观生态、3S 集成应用、生态系统耦合等领域的研究. E-mail:rhwang@nuist.edu.cn

南缘,天山山脉中段博格达山、依连哈比尔尕山和婆罗科努山分水岭以北广阔地区,包括昌吉州的阜康市、吉木萨尔、奇台、木垒哈萨克等州县,总面积约 $9.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,地理位置位于 $43^\circ 03' \text{N} \sim 46^\circ 24' \text{N}$, $83^\circ 40' \text{E} \sim 89^\circ 40' \text{E}$ (图 1)。研究区地势南高北低、东高西低,属典型的温带大陆性气候,降水稀少、蒸发强烈,气候变化敏感。施雅风等^[2-3]对包括天山北麓在内的整个西北地区气候变化研究指出,西北气候 20 世纪末由暖干向暖湿逐渐转变。万瑜等^[17]基于中天山北坡近 30 a 的逐月气候资料,对其气候变化特征进行分析,指出中天山北坡 2001 年发生增

温突变。研究区地表覆被类型复杂,自南向北依次为中高山带、前山带、绿洲区、沙漠区及绿洲荒漠过渡带等地理景观类型^[22],以荒漠、绿洲、草原为主,地表覆被类型与气候变化之间存在明显的响应。陈曦等^[23]基于遥感和 GIS 技术,分析了天山北坡气候的变化趋势及其生态响应,指出近 40 a 来天山北坡气温、降水总体上呈增加趋势,特别是北麓 1990 年代以后,气温、降水和径流量增幅明显。研究区资源丰富,人口密度较大,其雄厚的资源优势和地缘优势是新疆科技、经济和社会发展的核心,也是全疆、全国最具发展潜力的地区之一。

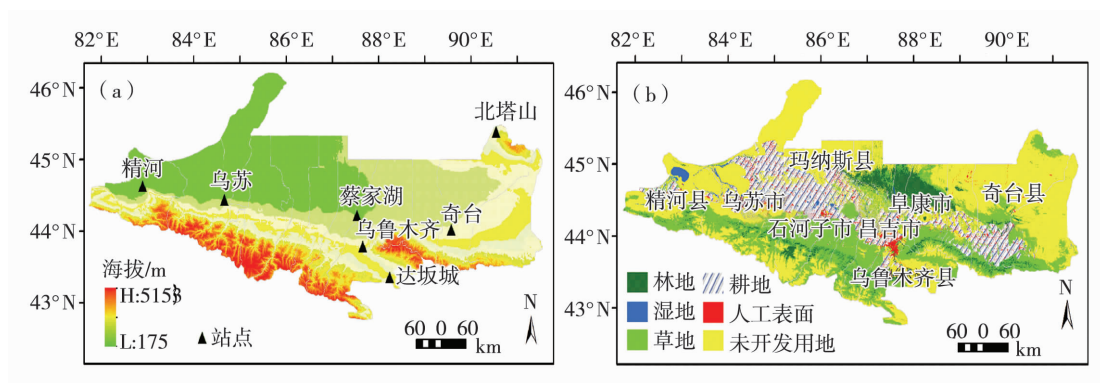


图 1 研究区地形高度(a)与土地利用类型(b)分布

Fig. 1 The elevation (a) and land use (b) in study area

2 资料与方法

2.1 资料来源

选用中国气象科学数据共享网和新疆与中亚科学数据共享平台的 1963 ~ 2010 年平均日最高地温及最低地温(以下简称“最高地温”与“最低地温”)等资料,资料均经过完整的质量控制。其中,去除因台站资料缺失以及部分台站搬迁造成的资料不连续,最后选出天山北麓 7 个气象观测站(图 1)进行分析。为便于分析,以 12 月至翌年 2 月为冬季、3 ~ 5 月为春季、6 ~ 8 月为夏季、9 ~ 11 月为秋季生成序列。

2.2 研究方法

2.2.1 气候倾向率分析

通过线性回归分析方法对最高地温及最低地温的气候倾向率进行分析,公式如下:

$$T = a_0 + a_1 t \quad (1)$$

式中, T 为地温, a_0 为常数, a_1 为线性趋势项, t 为年份数,其中 $a_1 \times 10$ 表示为每 10 a 地温变化的气候倾向率。

2.2.2 气候突变分析

利用 Mann - Kendall 法(以下简称 M - K)对气候进行突变检验^[24-25]。对统计量按时间计算 UB

的序列,逆时间计算 UF 的统计量,当 $UF > 0$ 时,表征统计要素呈上升趋势,反之表示下降趋势。当超过信度线范围时 ($UF_{0.01} = \pm 2.56$),表征着统计要素趋势变化显著,突变的时间区域为突破信度线的范围。为检查统计要素是否发生突变,对各转折年份计算信噪比 S/N ,计算公式如下:

$$S/N = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{S_1 + S_2} \quad (2)$$

式中: \bar{X}_1, \bar{X}_2 为转折年份前后 2 时段要素的均值; S_1 与 S_2 为转折年份前后要素的标准差;当 $S/N > 1$ 时,表示统计要素存在突变,而当 $S/N < 1$ 时,表征统计要素没有突变或者不明显。

2.2.3 地温异常分析

根据世界气象组织(World Meteorological Organization, 简称 WMO)以气象要素距平超过标准差 2 倍以上作为气候异常年份的判断标准,对研究区地温异常进行分析。当 $1.5 \leq |T| \leq 2.0$ 时,表征该年份地温为异常状态;当 $1.0 \leq |T| \leq 1.5$ 时,表征该年份地温接近异常,其中 T 为地温距平与标准差的商。

通过 ArcGIS 中 IDW (Inverse Distance Weighted,

简称 IDW) 模块对地温空间分布进行插值处理; 采用 SPSS 20 软件对地温趋势系数(地温与年份的相关系数)进行显著性检验; 使用 IDL 小波功率谱模块 Morlet 小波函数, 对研究区地温的周期与波动特征进行分析。

3 结果分析

3.1 地温空间分布

图 2 是 1963~2010 年天山北麓年均地温的空间分布。可以看出, 研究区最高地温大体上呈自西向东递减的空间分布特征, 以精河、达坂城为中心,

分别为 30.9 °C 和 29.2 °C, 低值中心出现在东北部的北塔山地区, 最高地温为 20 °C 左右(图 2a)。最低地温以乌苏、乌鲁木齐等为中心的中西部地区普遍较高, 分别达 0.16 °C、-0.3 °C, 而低值区仍出现在北塔山附近, 约为 -6.4 °C。海拔及下垫面状况可能是引起区域内地温差异的重要成因^[10], 研究区地势东高西低, 尤其是北塔山地区海拔较高, 山上部分地区积雪覆盖全年达到 200 d 以上, 地温普遍较低, 而西部精河等地地势较低, 且分布着大片的荒漠, 特殊的地表热力性质可能是引起精河及周边地区地温普遍较高的主要原因。

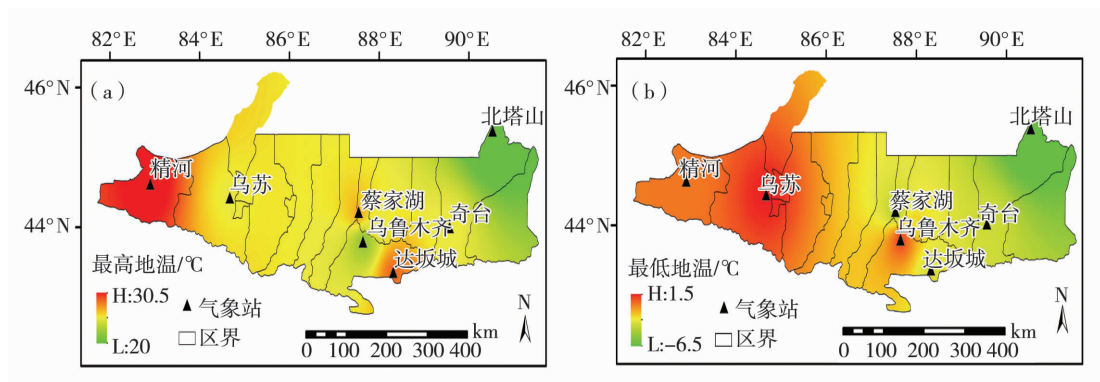


图 2 1963~2010 年天山北麓年均最高地温(a)和最低地温(b)的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of annual averaged maximum (a) and minimum (b) ground surface temperature in northern piedmont of Tianshan Mountains during 1963–2010

3.2 地温时间分布

3.2.1 地温的年际及年代际特征

图 3 是 1963~2010 年天山北麓最高与最低地温年变化曲线。可以看出, 近 48 a 来, 天山北麓最高与最低地温整体均呈显著波动增长趋势, 气候倾向率分别达 0.46 °C/10 a、0.87 °C/10 a(通过了 0.

01 的显著性检验), 远高于同期区域平均气温的增温速率(0.26 °C/10 a^[26])。相比最高地温的变化, 最低地温的年际波动更为剧烈, 大致经历了 3 个阶段: 1970 年代以前的降温阶段, 1970 年代至 2005 年期间的缓慢增温阶段, 以及 2006 年以后的急剧增温阶段。

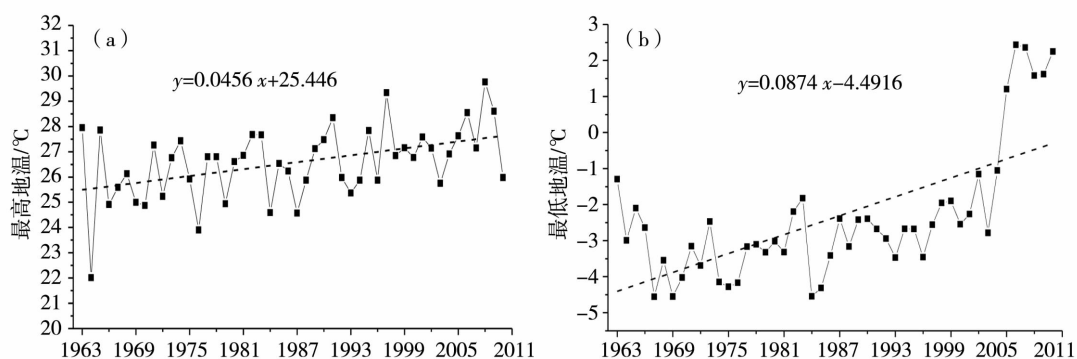


图 3 1963~2010 年天山北麓最高地温(a)和最低地温(b)的年变化

Fig. 3 Annual changes of the maximum (a) and minimum (b) ground surface temperature in northern piedmont of Tianshan Mountains during 1963–2010

另外各站的地温变化趋势显示(表1),除乌鲁木齐站外,其他站点最高地温均表现为增温趋势,但仅北塔山、蔡家湖、达坂城、奇台4站增温趋势显著。可见,天山北麓不同地区最高地温的变化趋势不尽一致。而各站最低地温的变化趋势较一致,均表现出显著增温趋势,其中蔡家湖的气候倾向率最高,为 $1.33\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

表1 1963~2010年天山北麓各站点
年均地温的气候倾向率(单位: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)

Tab.1 The linear climatic tendency rate of
ground surface temperature in different
meteorological stations in northern piedmont of
Tianshan Mountains during 1963–2010 (Unit: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)

站点	最高地温	最低地温
北塔山	0.46**	1.06**
蔡家湖	0.50**	1.33**
达坂城	0.62**	0.56**
精河	0.19	0.80**
奇台	0.47**	0.88**
乌鲁木齐	-0.18	0.84**
乌苏	0.18	0.65**

注:*通过了0.05的显著性检验,**通过了0.01的显著性检验

就地温的年代际变化而言(表2),1980年代以前最高地温的年代距平为负,1990年代以后为正距平,且距平值呈逐年代升高的趋势。最低地温,1990年代以前距平为负,2000年代距平为正,其中1970年代负距平最大,呈现出先降低后增加的年代际变

化趋势。可见,最高地温与最低地温的变化特征不尽相同。

表2 天山北麓地温的年代际距平(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Tab.2 Decadal anomaly of ground surface temperature
in northern piedmont of Tianshan Mountains (Unit: $^{\circ}\text{C}$)

时段	最高地温	最低地温
1963~1970	-1.02	-0.86
1971~1980	-0.40	-1.10
1981~1990	-0.10	-0.65
1991~2000	0.38	-0.33
2001~2010	0.94	2.77

3.2.2 地温的季节性特征

近48a来,天山北麓各季地温同样呈波动性增长趋势,除春季最高地温外,各季地温增长都通过了0.01的显著性检验,增温趋势显著。从春季至冬季,最高地温的气候倾向率依次为0.09、0.44、0.43、0.68 $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,最低地温的气候倾向率依次为0.53、0.32、0.64、2.0 $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,冬季最高与最低地温增幅最大(图4)。秋、冬季地温增温幅度明显高于春、夏季,与同期气温变化趋势较一致^[26]。除夏季外,其他季节最低地温的增幅都高于最高地温,这反映了最低地温变化是研究区地温整体增长的主要动力。

除乌鲁木齐外,其余各站地温均呈升温趋势,尤其是各站冬季最低地温气候倾向率都通过了0.01的显著性检验(表3)。乌鲁木齐春、夏季地温以负增长为主,最高地温降幅达到了-0.84、-0.62 $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,通过了0.05的显著性检验。

表3 天山北麓站点各季地温的气候倾向率(单位: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)

Tab.3 The linear climatic tendency rate of ground surface temperature in four seasons in different
meteorological stations in northern piedmont of Tianshan Mountains during 1963–2010 (Unit: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)

地温	站点	春	夏	秋	冬
最高地温	北塔山	0.27	0.99**	0.56**	0.04
	蔡家湖	0.53	0.42*	0.47*	3.51**
	达坂城	1.21**	0.92**	0.80**	0.38*
	精河	0.91	0.86**	0.36	0.43
	奇台	0.19	0.41	0.72**	0.58
	乌鲁木齐	-0.84*	-0.62*	-0.05	0.80
	乌苏	0.19	0.08	0.25	0.30
最低地温	北塔山	0.87**	0.37**	0.89**	2.10**
	蔡家湖	0.90**	0.77**	1.10**	2.56**
	达坂城	0.39**	0.57**	0.62**	0.68**
	精河	0.48**	0.54**	0.63**	1.56**
	奇台	0.57**	0.10	0.50**	2.35**
	乌鲁木齐	0.24	-0.17	0.39	2.89**
	乌苏	0.27	0.10	0.37*	1.85**

注:*通过了0.05的显著性检验,**通过了0.01的显著性检验

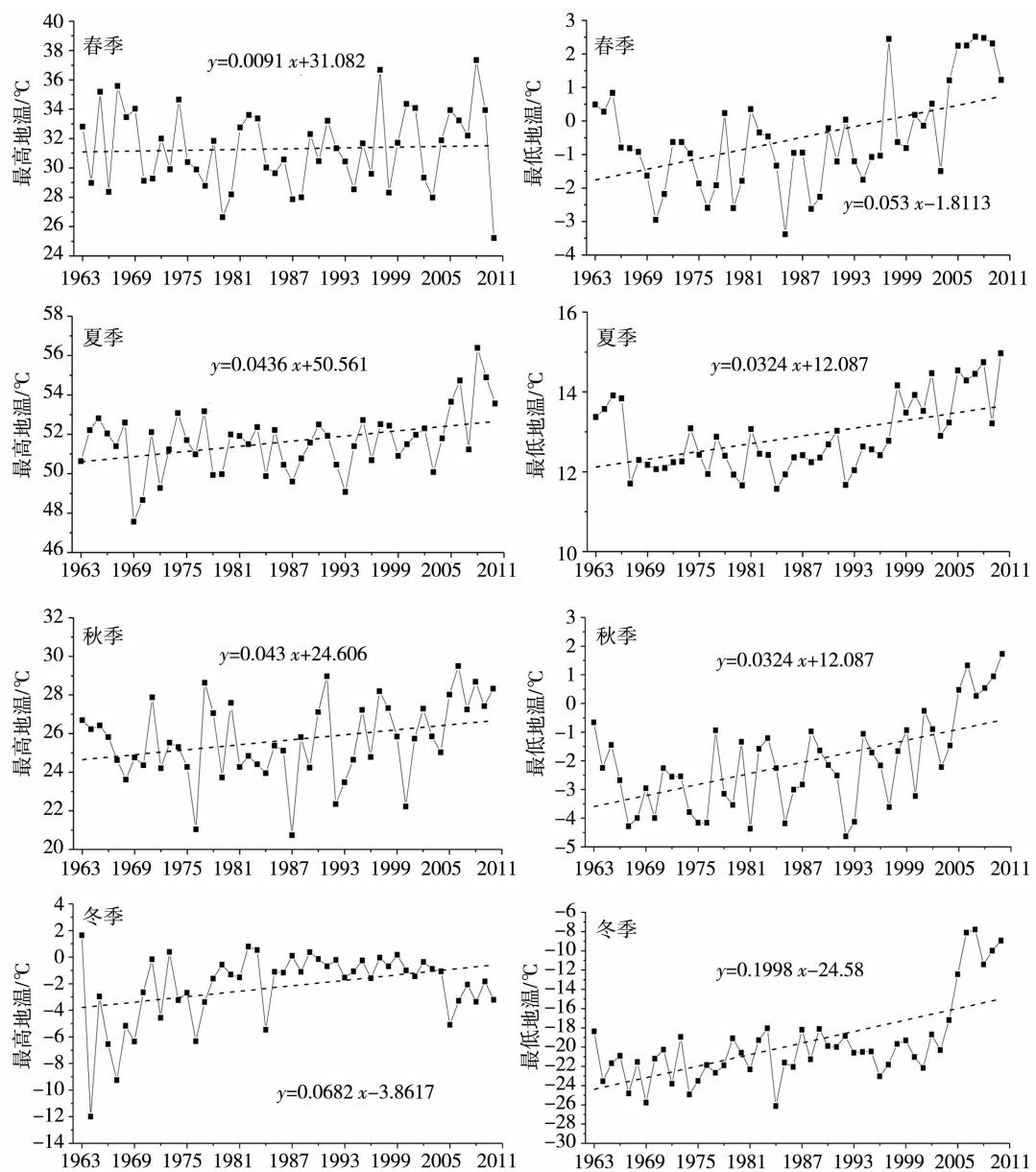


图4 1963~2010年天山北麓各季最高地温(左)、最低地温(右)的年变化

Fig. 4 Annual changes of the seasonal maximum (the left) and minimum (the right) ground surface temperature in northern piedmont of Tianshan Mountains during 1963–2010

3.2.3 地温的周期特征

图5是1963~2010年天山北麓地温的Morlet小波功率谱。Morlet小波不仅具有非正交连续性,还具有Gauss函数调制的相关特征,能够准确给出特定时间和尺度范围内的小波信号强度与位相等信息^[27-29]。由图5看出,最高地温在2~3 a、8 a尺度上存在较明显的震荡周期,其中8 a尺度因子上,1980~1993年期间地温以偏暖为主;在32 a尺度因子上,1963~1995年间小波信号较弱,地温以偏冷为主。最低地温在3~4 a、6 a尺度上震荡周期较为

明显,12 a尺度上震荡周期只发生在1973~1993年期间,自1993年以来,16~32 a尺度上的小波信号强度明显增加,最低地温增温趋势较为显著。

3.2.4 地温的突变特征

地温的M-K分析表明,天山北麓最高地温与最低地温均呈上升趋势(图6)。最高地温,在1963~1979年期间UF缓慢上升,1988年之后上升较快,2007年突破信度线($UF_{0.01} = \pm 2.56$),升温显著。UF与UB在信度线内共出现4个交点,分别出现在1995~1998年期间,经信噪比检验发现,各点

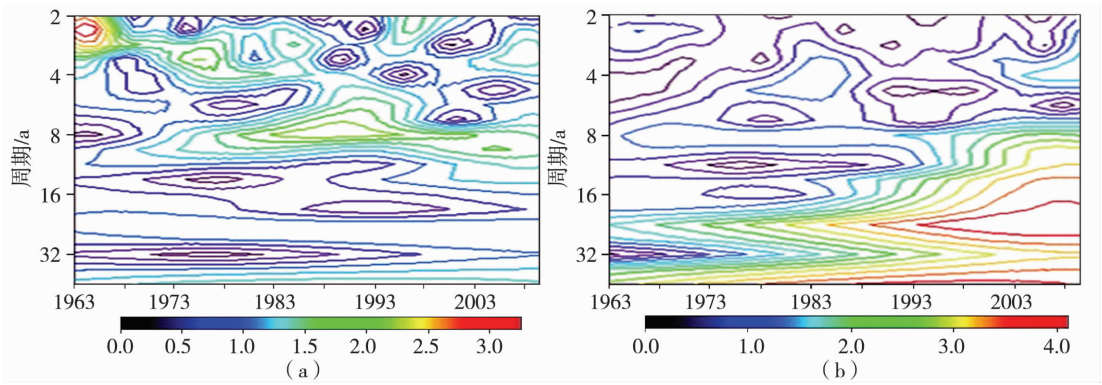


图5 天山北麓最高(a)、最低(b)地温的小波分析

Fig. 5 Wavelet analysis of the maximum (a) and minimum (b) ground surface temperature in northern piedmont of Tianshan Mountains during 1963–2010

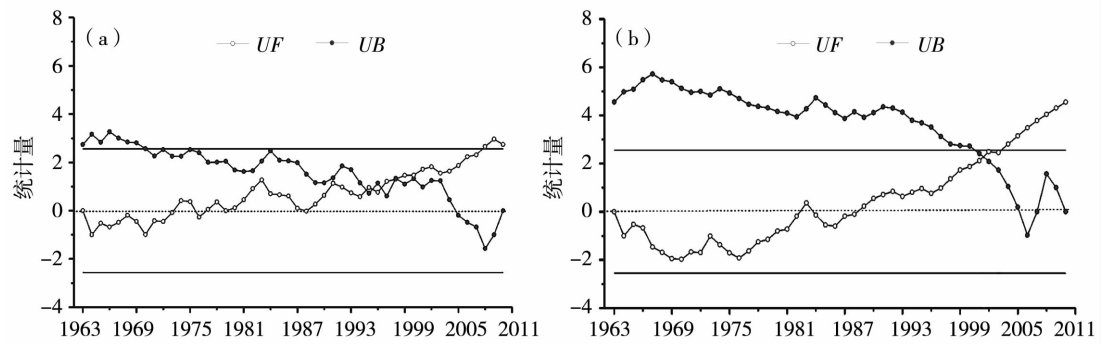


图6 天山北麓最高(a)、最低(b)地温的 Mann–Kendall 检验

Fig. 6 The Mann–Kendall test of the maximum (a) and minimum (b) ground surface temperature in northern piedmonts of Tianshan Mountains

处突变并不显著($S/N < 0$),交点可能是由最高地温年际波动引起的;最低地温,1963~1970年期间呈下降趋势,1970年代初期至1980年代后期 UF 缓慢波动上升,1988年之后快速上升,2004年突破信度线,升温显著。 UF 与 UB 相交于2002年,位于信度线范围内,且信噪比 $S/N = 1.45 > 0$,可确定2002年为最低地温的突变点,突变前后地温相差 $4.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3.3 地温的异常特征

由表4天山北麓近48 a来地温异常年份分析可知,研究区地温异常的年份主要集中在2001~2010年期间,其中最低地温出现了5次,均出现在2006年之后,反映了该期间地温异常偏暖;接近异常的年份主要集中在1990年代以后,最高地温出现了2次,最低地温发生了4次,其中最高地温以异常偏暖为主,最低地温以异常偏冷为主。据相关研究表明^[10,30–31],天山北麓地温异常可能与日照时数异常、El Niño、La Niña等气候异常事件存在一定关联。

表4 天山北麓48 a来地温异常年份

Tab. 4 The ground surface temperature anomalous years in northern piedmonts of Tianshan Mountains in recent 48 years

地温	时段	异常		接近异常	
		偏暖	偏冷	偏暖	偏冷
最高地温	1963~1970	0	1		0
	1971~1980	0	0	2	1
	1981~1990	0	0	0	0
	1991~2000	0	0	2	0
	2001~2010	1	0	0	0
最低地温	1963~1970	0	0	0	0
	1971~1980	0	0	0	0
	1981~1990	0	0	0	0
	1991~2000	0	0	0	3
	2001~2010	5	0	1	0

4 结 论

(1)天山北麓最高与最低地温具有较明显的时空分布特征。在空间上,最高地温大体上呈以精河为中心自西向东递减的分布特征,最低地温以乌苏、乌鲁木齐为中心的中西部地区普遍较高;在时间上,最高与最低地温均呈显著增温趋势,伴有一定波动特征,且最低地温波动明显大于最高地温。秋、冬季最高与最低地温的气候倾向率高于春、夏季,其中冬季最低地温增幅最为明显。

(2)天山北麓近 48 a 来,最高、最低地温具有不同的 Morlet 小波特征。最高地温在 8 a 尺度上增温趋势较明显;最低地温在 3~4 a、6 a 尺度上震荡周期较为明显,其中 1990 年代以来,最低地温在 8~32 a 尺度内的小波信号强度上升趋势较明显。

(3)天山北麓近 48 a 来,最高与最低地温均呈逐渐上升趋势,伴有一定的波动特征,其中最低地温在 2002 年发生突变,最高地温未发生突变。

(4)天山北麓 48 a 来地温异常主要出现在 2006 年之后,以最低地温异常为主,呈偏暖态势;地温接近异常的年份主要集中在 1990 年代以后,其中最高地温以偏暖为主,最低地温偏冷。

天山北麓地理位置独特,生态环境脆弱,气候变化尤为敏感,然而目前针对最高和最低地温的研究相对粗略,地温变化的机理研究与讨论更少见,地温与气温变化具有一致性^[4],因而可以借鉴气温变化的相关研究成果作为地温变化的探讨依据。本文研究表明,天山北麓近 48 a 来,最低地温的增幅明显高于最高地温,秋、冬季的增温率高于春、夏季,这与 Karl 等^[32-33]研究结果相似。在全球陆面温度的升高过程中,尤其是北半球最低温度升幅明显高于最高温度,突出表现为最高与最低温度的非对称性变化,即日夜增暖与季节增暖的不对称性。最低地温的显著升高反映了温室效应的持续加强^[34],温室气体(如 CO₂)的大量排放及水汽的增加,降低了日照百分率,白天地表能量吸收减少,对夜间地温却具有一定的保温作用。秋、冬季最高和最低地温的升温率较春、夏季明显,可能与该地区大气环流模式及冷季普遍的燃煤取暖有关。20 世纪后半叶以来,在全球气候变暖前提下,研究区地温不断升高,西北气候开始由暖干向暖湿方向转变^[2-3],开展最高和最低地温与降水的相关性研究,深入探讨区域气候变化规律及成因将具有十分重要的理论意义,也将成为下一阶段工作的重点。

致谢:由衷感谢中国科学院新疆生态与地理研究所

“新疆与中亚科学数据共享平台”李锦老师提供基础数据。

参考文献:

- [1] 张慧智,史学正,于东升,等. 中国土壤温度的季节性变化及其区域分异研究[J]. 土壤学报,2009,46(2):227-234.
- [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] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北部气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究,2003,23(2):152-164.
- [4] 陈超,周广胜. 1961—2010 年阿拉善左旗气温和地温的变化特征分析[J]. 自然资源学报,2014,29(1):91-103.
- [5] Gilichinsky D A, Barry R G, Bykhovets S S, et al. A century of temperature observation of soil climate: Methods of analysis and longterm trends[A]. Lewkowicz A G, Allard M. Proceeding of the seventh International Conference on Permafrost [C]. Canada: Yellow Knife, 1998:313-317.
- [6] Zhang Y, Chen W J, Smith S L, et al. Soil temperature in Canada during the twentieth century: Complex responses to atmospheric climate change[J]. J Geophys Res, 2005, 110, D03112.
- [7] 陆晓波,徐海明,孙丞虎,等. 中国近 50 a 地温的变化特征[J]. 南京气象学院学报,2006,29(5):706-713.
- [8] 周晋红,张忠效. 近 45 a 山西冬季 0 cm 地温时空分布及气候分区[J]. 山西农业科学,2011,39(9):997-1000.
- [9] 李帅,王萍,陈莉,等. 黑龙江省春季浅层(0-20cm)地温变化特征及预报[J]. 冰川冻土,2014,36(1):55-62.
- [10] 刘明春,李玲萍. 石羊河流域地表 0 cm 温度的长期变化[J]. 干旱区研究,2011,28(3):478-485.
- [11] 贾金明,朱腾冉,王惠芳,等. 濮阳市 0 cm 地温变化特征及成因分析[J]. 气象科技,2009,37(3):330-335.
- [12] 建军,余锦华,达琼. 近 30 年青藏高原年均 0 cm 地温的分布和变化特征[J]. 气象,2006,32(2):64-69.
- [13] 陈成国,石慧兰,王桂兰,等. 1961-2010 年德州市地温变化特征[J]. 气象与环境学报,2012,28(1):86-89.
- [14] 王让会,丁玉华,陆志家,等. 景观规划与管理及其相关领域研究的新进展[J]. 生态环境学报,2010,19(9):2240-2245.
- [15] 王让会,周兴佳,张慧芝. 新疆土地荒漠化灾害及其对策[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2002,26(2):32-36.
- [16] 孙洪波,王让会,张慧芝,等. 新疆山地绿洲荒漠系统及其气候特征[J]. 干旱区地理,2005,28(2):199-205.
- [17] 万瑜,曹兴,崔玉玲,等. 中天山北坡山区近 30 a 气候变化特征[J]. 干旱气象,2012,30(4):575-583.
- [18] 马宁,王乃昂,朱金峰,等. 巴丹吉林沙漠周边地区近 50 a 来气候变化特征[J]. 中国沙漠,2011,31(6):1541-1548.
- [19] 刘普幸,安建科,周俊菊,等. 河套灌区五原绿洲 50 a 气候年变化特征与预测研究[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(10):106-111.
- [20] 魏文寿,袁玉江,喻树龙,等. 中国天山山区 235 a 气候变化及降水趋势预测[J]. 中国沙漠,2008,28(5):803-809.
- [21] 陈俊杰,周跃志,张燕,等. 天山北坡经济带 42 a 来气温和降水变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(10):72-78.
- [22] 胡汝骥. 中国天山自然地理[M]. 北京:中国环境科学出版社,2004. 23-37.

- [23] 陈曦, 罗格平, 夏军, 等. 新疆天山北坡气候变化的生态响应研究[J]. 中国科学 D 辑, 2004, 34(12): 1166 – 1175.
- [24] 符涂斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482 – 493.
- [25] 陈亚宁, 徐长春, 杨余辉, 等. 新疆水文水资源变化及对区域气候变化的响应[J]. 地理学报, 2009, 64(11): 1331 – 1341.
- [26] 李成, 王让会, 黄进. 天山北麓近 50 a 气温和降水的变化特征[J]. 水土保持研究, 2013, 20(6): 117 – 124.
- [27] Furon A, Wagner Riddle C, Smith C R, et al. Wavelet analysis of wintertime and spring CO₂ and N₂O fluxes from agricultural fields[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2008, 148: 1305 – 1317.
- [28] Grinsted A, Jevrejeva S, Moore J. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series[J]. Nonlinear Processes in Geophysics, 2004, 11: 561 – 566.
- [29] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(1): 61 – 78.
- [30] 李晓燕, 翟盘茂. ENSO 事件指数与指标研究[J]. 气象学报, 2000, 58(1): 102 – 109.
- [31] 辛宏, 张明军, 李瑞雪. 近 50 年中国天山日照时数变化及其影响因素[J]. 干旱区地理, 2011, 28(3): 485 – 492.
- [32] Karl T R, Kukla G, Razuvayev V N, et al. Global warming evidence for asymmetric diurnal temperature change[J]. Geophys Res Lett, 1991, 18: 2253 – 2256.
- [33] Karl T R, Jones P D, Knight R W, et al. A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1993, 74(6): 1007 – 1023.
- [34] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年来最高最低温度变化[J]. 气象学报, 1997, 55(4): 418 – 429.

Variation Characteristics of Ground Surface Temperature in Northern Piedmont of Tianshan Mountains During 1963 – 2010

GUAN Yanlong, WANG Ranghui, LI Cheng, YAO Jian

(College of Environmental Science and Technology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Based on the monthly maximum and minimum ground surface temperature on 0 cm soil layer at 7 meteorological stations in northern piedmont of Tianshan Mountains during 1963 – 2010, the spatial and temporal distributions were analyzed by using the linear trend analysis, Mann – Kendall test and Morlet wavelets. The results showed that the spatial distribution of the maximum ground surface temperature decreased from west to east generally, the high value center was in Jinghe of Xinjiang. Meanwhile, the minimum ground surface temperature in central and western regions around Usu and Urumqi was higher than that in other places. In the past 48 years, the ground surface temperature showed a significantly increasing trend in the whole, and the linear climatic tendency rates of the minimum and maximum temperature was respectively 0.87 °C/10 a and 0.46 °C/10 a, but the fluctuation of the minimum ground surface temperature was much more than that of the maximum. In addition, the changes of seasonal ground surface temperature increased significantly during 1963 – 2010, and the warming trends in winter and autumn were holistically greater than in other seasons. The mutation of the minimum ground surface temperature occurred in 2002, while that of the maximum ground surface temperature didn't pass the significance test. Meanwhile, the ground surface temperature being anomalous warmer occurred since 2006.

Key words: climate change; ground surface temperature; northern piedmont of Tianshan Mountains