

1960年以来青藏高原气温变化研究进展

宋 辞,裴 韬,周成虎

(中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘 要:青藏高原是中国最大、世界海拔最高的高原,它对全球气候系统存在显著影响。本文对青藏高原自1960年以来的气温变化特征及其影响因素的研究进行了概述与总结。近50年来,青藏高原气温明显上升,经历了一个冷期和一个暖期,气温在20世纪80年代发生突变,整体呈现前低后高波动上升的趋势;最低气温和最高气温呈不对称的线性增温趋势,最低气温的上升速率要比最高气温快得多;而极端事件频率、强度也有所变化,其中低温事件大大减少,高温事件则明显增加;各类界限温度的积温以及持续日数等生物温度指标也都显著增加。在空间分布上,青藏高原气温呈现出整体一致增暖,并且有西高东低、南北反相的变化形态。影响青藏高原气温变化的因素有很多,主要包括天文因素、高原内部气象要素以及外部环流影响等。

关 键 词:青藏高原;气温特征;界限温度;生物温度指标

1 引言

近百年来,随着自然气候波动和人类活动的逐渐加剧,全球平均地表温度上升了 $(0.74 \pm 0.18)^\circ\text{C}$ ^[1],气候变暖已经成了不争的事实。而青藏高原作为全球变化的敏感区,其升温现象尤为突出^[2-4]。一些研究表明,20世纪青藏高原气候变暖在北半球和中国都是近千年来最显著的,且与北半球的变温过程有着趋势上的一致性和突变时间上的差异性^[5]。青藏高原不仅是天气变化的“启动区”,而且也可能是我国百年尺度气候变化的“启动区”^[6],更可能是“全球气候变化的驱动机和放大器”^[7]。毫无疑问,享有“全球变化与地球系统科学统一研究的最佳天然实验室”之称的青藏高原已成为全球关注的热点。青藏高原在全球气候变化中,到底扮演怎样的角色,如何通过对青藏高原气候变化各方面的分析来指导、预测全球气候变化情况,是当前需要重点关注的问题。

近年来在青藏高原开展的一系列全球变化研究,集中在历史时期气候变化的自然过程、现代气候变化及其环境效应,以及未来气候变化趋势与对策上。气温是研究气候变化最主要、最直接的指

标,平均气温升高将导致高原地区冻土退化,对水文循环、寒区湖沼湿地、生态环境及工程建设等造成不利影响,从而引发生态破坏、土地荒漠化等问题;极端气温变化,更易对人类的生产生活造成严重影响,甚至引发灾难性事件;生物气温指标变化则与农业生产息息相关,不容忽视。目前关于青藏高原气温变化问题,已经有了很多研究成果^[8-13]。基于这些研究成果,本文根据青藏高原不同的气温变化特征进行了总结和概括,对平均气温、极端气温和生物气温3个指标的不同变化规律进行了系统综述,并分析了影响气温变化的因素。

2 青藏高原平均气温变化特征

2.1 气温变化的趋势特征以及年、季特征

青藏高原(以下简称“高原”)范围广阔,地形复杂,气候类型复杂多变。自1960年以来,高原在整体呈一致增暖的同时,又表现出西高东低的增暖趋势和南北反相的变化形态^[14]。近50年来高原的气温倾向率达到 $0.37^\circ\text{C}/10\text{a}$,远高于全国的增暖水平($0.16^\circ\text{C}/10\text{a}$),且研究时段距今越近,气温倾向率越大,表明近期增暖更为明显^[15-18]。高原年平均气温

收稿日期:2012-02; 修订日期:2012-08.

基金项目:国家自然科学基金项目(40830529);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-QN303);中国科学院地理资源所自主部署创新项目(200905004);863项目(2009AA12Z227)。

作者简介:宋辞(1986-),男,博士研究生,主要研究方向为水热时空数据挖掘。E-mail: songc@lreis.ac.cn

通讯作者:裴韬(1972-),男,副研究员,主要研究方向为空间数据挖掘和空间信息统计等。E-mail: peit@lreis.ac.cn

呈现波动上升趋势,在20世纪50年代较暖,60-70年代则经历了一个相对较冷的时期,80年代中期气温开始加速升高,90年代升温更加剧烈,1998年是高原近50年来最暖的一年。总体来讲,高原近50年气温变化可以分为3个时段,20世纪60年代初为暖期,60年代中期至80年代初为气候较冷期^[17],80年代中后期以来为气温持续升高期^[19],整体呈现前低后高波动上升的趋势^[20]。

高原的气温变化也存在季节性差异。高原四季气温普遍上升,其中秋冬增暖最为显著^[21-22],尤其是在高海拔地区^[16]。而春夏增温并不明显,局部地区夏季表现出微弱降温趋势^[16,18,22]。低海拔地区则表现为春冬升温明显,夏秋不明显^[23]。这与高原日照、云量以及太平洋海温变化等因素密切相关^[24-26]。

2.2 气温变化的空间分布特征

高原上拥有山脉、冰川、河流、湖泊等丰富的自然景观,自然植被水平分布也极不均匀,各地区受不同天气系统控制,其气温变化空间分布十分复杂。

20世纪60年代以来,高原整体呈现一致升温的趋势,东北部地区和西南部地区升温较强,东南部较弱。以唐古拉山脉为界,冬春西藏区升温强烈,汛期青海升温强烈,具有南北反相关系^[27-29]。青海北部区特别是柴达木盆地是明显升温中心^[15,30],而青海南部区气温的季节性变化显著不同于其他地区,该地区秋季气温升温最显著^[31],其他地区冬季增温最为明显。西藏地区四季都表现出升温趋势,其气温增长率显著高于全国和全球水平,温度呈现出纬向变化,表现为升温率以30°~31°N地区为中心,分别向高纬和低纬递增^[32]。高原边缘地区气候变暖要明显高于高原腹地,高原的青海北部边缘,特别是柴达木盆地是青藏高原气候变化的敏感区^[18],高原南部边缘喜马拉雅山脉气温升温也十分明显,其中珠峰地区是中国升温趋势最明显的地区之一,其变暖时间早于全球,幅度大于全球^[33]。由此可见,高原气温区域性差异性不仅与纬度相关,而且与高原上各大山脉构成的局部地形密切相关。

此外,海拔也是影响气温变化的重要因素。许多学者都对高原各站升温趋势与海拔的关系进行了研究,但结论却各有不同,这可能是由于研究区、数据集以及研究时段不同造成的。1959-1996年青海气温观测数据表明,高海拔区(3000 m以上)气温变化趋势普遍比低海拔区(3000 m以下)弱^[34]。然而

青藏高原及其邻近区165个站1961-1990年的数据则表现出明显的升温随海拔升高而增大的效应,一些低海拔地区气温几乎都没有上升^[16]。此外,过去10万年、过去2000年和现代几个时段内也分别呈现出高海拔地区气候变化幅度更敏感的现象^[35],这可能与高原冰川退化有关。

2.3 气温突变特征

高原气温突变一直是研究的热点问题,据观测高原气温的变化与北半球基本一致,但突变时间比中国东部同纬度的地区要提前,变幅也大于中国东部^[10,36-38]。对比高原和中国其他6区(东北、华北、淮河、长江中下游、华南、西北)1961-2006年的气温突变时间,高原气温在20世纪80年代中期开始变暖,但显著突变发生在90年代中期(1996-1998年),比东北(1987-1988年)、华北(1986-1993年)和淮河地区(1992-1993年)气温突变时间都晚,与西北、长江中下游和华南地区(1995-1997年)接近。由此可见,中国东部陆地地区气温突变时间具有北早南晚的经向差异特征,高纬地区的气温突变时间早于低纬地区^[11]。

高原内部各地区气温突变时间也有所差异,最早发生气温突变的地区是柴达木盆地(1973年),而后直到20世纪80年代初高原南部、川西北和高原中、东部地区才分别于1982、1983、1986年先后发生气温突变,这些突变时间都早于北半球的气温突变时间(1988年)^[27]。不同季节的气温突变时间也各有不同,青海区冬春气温突变在1981年,汛期突变在1987年;而西藏区冬春突变时间则在1980年,汛期突变时间在1983年,可见汛期气温突变时间要略晚于冬春季^[28]。总体而言,高原主体大致在1987年出现气温暖突变,这种变化趋势在空间分布上表现为由东南向西北,变暖逐步趋向于明显的特点^[18]。

3 青藏高原极端气温变化

随着全球变暖逐渐加剧,高原气温明显呈现升温趋势,而极端气温也呈现出不同的变化。许多学者认为在全球变暖的背景下,极端气候将比气候的平均状态更为敏感,其变化幅度更大。

3.1 最高、最低气温变化

在全球气候变化的背景下,高原的最高、最低气温变化也各有不同。研究表明,高原近50年来

的增温呈现不对称的线性变化趋势——最低气温升温趋势是最高气温升温趋势的1~3倍^[34,39-42],平均气温升温率则介于最低气温升温率和最高气温升温率之间。最高气温在20世纪50年代较高,60年代开始下降,随后稳定慢升至今;最低气温在1950-1962年呈下降趋势,1963-1968年较稳定,20世纪70年代开始气温持续上升到2000年达到最高。由此,可见,最高、最低气温冷期都在20世纪60年代,最暖期则在90年代,70年代后二者均稳定升温^[43]。高原最高、最低升温呈季节性变化,增暖主要在冬季,春夏季不是很显著,春季最高气温在局部地区甚至有下降趋势,这可能与日照条件和西风指数的变化有关^[44]。最低气温四季都呈现升温趋势,夏季最弱,这可能与大气水汽含量有关^[42]。

最高、最低气温同样体现出与平均气温类似的区域差异性。从全国范围来看,高原地区是我国极端最高(最低)气温的冷中心,以这个冷中心为基点,极端最高(最低)气温向四周均匀递增^[45]。而在高原上,最高气温的增温中心则是在柴达木盆地以及三江源谷地的高海拔区^[46],最低气温的冷中心也是在35°N的高海拔地区。由此可见,极端气温变化在高海拔地区更为显著。高原最高气温与总云量、日照时数密切相关,尤其在夏季;最低温度只在春夏季与云量和日照时数相关,秋冬季则不明显^[24]。

3.2 高原极端气温天气事件变化

在全球变暖的大背景下,极端事件发生的频率、强度等都会有一定程度的变化,与气候平均态相比,极端气温天气事件对气候更为敏感^[47]。而这些事件发生的频率或强度的任何变化都有可能对自然和社会产生重大影响。高原地区地貌复杂,存在大量冰川、冻土,生态环境也十分敏感,极端事件的出现更易对其产生巨大影响。

近50年来高原极端低温事件大大减少,而高温事件则明显增加。平均每年的霜日(最低气温<0℃)天数减少了17天,暖日天数增加了9天(最高气温≥15℃)^[48];高温日数增加主要发生在冬季和夏季,低温日数减少则主要发生在春季和秋季,而夜间极端低温日数减少趋势最为明显,这也是高原气温不对称变暖的侧面体现^[49]。另外50年一遇和100年一遇的极端气温也变化显著,50年一遇的极端高温和常年接近,而极端低温在安多和拉萨偏低(-2.1~-1.6℃),其他站都偏高(0.7~3.6℃);百年一遇的极端高温比常年高0.1~1.5℃,极端低温比常年低

1.6~2.9℃^[50],可见极端气温不仅在频率上有所变化,其强度也发生了改变。各地区的极端气温事件不仅受地形影响,而且与季风年际振荡、厄尔尼诺事件以及高原积雪等因素也密切相关^[51]。总体而言,在全球变暖背景下,高原极端天气气候事件变化表现出极端高温事件变多、极端低温事件变少、高海拔地区变化比低海拔地区更为明显的特征^[52]。

4 青藏高原生物气温指标的变化

温度是与生物生长密切相关的因素,其变化必然对该地区的生态环境产生很大的影响,特别是一些对农业生产有指示意义或临界意义的温度——农业指标温度^[9]。该温度的出现日期、持续日数和持续时期中积温的多少,对一个地区的作物布局、耕作制度、品种搭配和季节安排等,都具有十分重要的指示意义。青藏高原不仅是气候变化的敏感区,同样也是生态环境变化的脆弱带,气候较小的变化就可能导致植被结构破坏和功能变化,甚至是植被带的变迁,因此高原的生物气温指标变化情况值得关注。

生物气温相关指标通常指一些界限温度及其出现和结束的时间,重要的界限温度有0℃、5℃、10℃、15℃等,此外最暖、最冷月平均气温也与生物生长息息相关^[53]。近50年来,高原大部分地区的≥0℃积温及其日数、≥5℃积温及其日数和≥10℃积温及其日数一致呈现显著增大的情况,≥10℃积温、≥5℃积温和≥0℃积温增幅依次变大;其日数的变化为:≥5℃积温日数增幅最大,≥10℃积温日数次之,≥0℃积温日数最小^[13]。高原最热月均温与最冷月均温呈现非对称的上升趋势,最冷月均温的上升幅度明显大于最热月均温的上升幅度。根据上述这些指标,可以定义气候学农作物的生长期。而在近40年来,气候生长期在全国范围内都有增加,而青藏高原北部是增加最大的地区,尤其是青海西北部^[54]。

高原上生物气温指标的区域差异性也十分显著。≥10℃的日数在高原的西藏东南部地区以及青海北部地区明显增多,而其他地区变化不显著。最暖月平均气温在藏北及青南部分地区以及高原东缘部分地区有下降趋势,藏南及青海东北区有升高趋势,其他地区稳定不变;最冷月平均气温在整个高原都呈升高趋势,尤其是柴达木盆地^[55]。此

外,柴达木盆地南缘 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的界限温度的初日、终日、积温和持续期等地区分布都不一致,东西差异较大,均表现为初日由东向西推迟、终日由东向西提前;积温中部和东部高于西部;持续时间呈现由西向东增加的空间分布特点,各界限温度呈现初日提前,终日推迟以及积温和持续期增加的趋势,各区变化幅度不一样^[56]。

5 青藏高原气温变化影响因素

高原气温变化的原因一直都是气象界研究的重点和热点,气温变化的影响因子除人类活动造成的温室气体和气溶胶等之外^[40,50],还包括地球自转和太阳黑子周期、高原总云量变化、高原积雪变化情况、高原地形、高原季风、大气环流以及海温振荡等。

5.1 天文因素

影响高原气温变化的天文因素主要指地球自转和太阳黑子周期。研究表明,高原气温年代际变化和地球自转速度与太阳黑子周期长度的变化曲线有关。高原气温变化的相对冷(暖)段对应于地球自转慢(快)段,而近百年地球自转速度的变化又与太阳黑子周期长度曲线变化一致^[57]。可见地球自转和太阳黑子周期长度的变化对高原及北半球20世纪气候的突变和阶段性变化起着重要作用,而这其中具体的关系还有待进一步研究。

5.2 高原内部因素

影响高原气温变化的内部因素包括高原其他气象要素和高原本身的地形、海拔等环境因素。高原上气候类型十分复杂,影响气温变化的因子众多,与太阳辐射密切相关的日照时间和云量变化是最直接的气温影响因素。高原春、夏季平均气温与云量呈显著的反相关系,云量多时,日照时数短,温度低;而云量少时,日照时数长,温度高。秋、冬季云量和日照与最高、最低气温有明显的正相关,与平均气温关系则不显著^[24]。

除了日照时间和云量对辐射有显著影响外,通过太阳辐射影响气温变化的因子还包括海拔高度、积雪及其下垫面状况等。由于融雪效应及地表反射率变化,积雪的增加(减少)将会加强高原冰雪陆面过程变化的反馈作用,从而在不同时期缓解(加剧)高原区域变暖趋势^[11,16]。此外,高原积雪增加也可能会导致亚洲夏季风减弱或爆发推迟,它作为一种重要的陆面强迫因子,对副高、阻高、冬夏季风、

ENSO、海温等天气气候相关因子产生很大的影响^[58]。另外,高空水汽输送的增强以及下垫面差异等因素也是可能造成高原气候显著变化并具有明显区域性特征的原因^[30]。

5.3 高原外部环流影响

高原外部环流对高原的气温变化情况更为显著。高原地处中纬度地区,冬季受西风急流影响显著,而夏季高原西南季风、太平洋副高以及伊朗副高对高原影响也十分明显。西风指数对高原北侧的持续的异常高温影响显著,当西风指数由高调整为低并维持时,高温天气出现并持续;当西风指数由低调整为高时,高温天气结束^[44]。高原季风、厄尔尼诺事件与三江源地区的极端气温事件变化频次波动明显相关^[51]。热带西太平洋海温异常变化则是高原东侧川渝地区呈现变冷趋势的主要原因之一^[59]。此外,西太平洋海温也对高原中部地区各季气温影响显著^[26]。由此可见,高原外部天气系统也是影响高原气温变化的重要因素。

6 结论与展望

6.1 研究结论

本文在前人工作的基础上对近50年来高原气温的变化特征进行了综述,介绍了高原平均气温、极端气温、生物气温指标的变化情况及其变化原因。主要气温如下:

(1) 近50年来,高原绝大多数地区气温均呈现明显的年代际变化,总体来讲,高原经历了一个冷期(20世纪60年代中期到80年代初)和一个暖期(20世纪80年代中后期至今),气温在80年代发生突变,整体呈前低后高波动上升的趋势。高原在整体呈一致增暖的同时,又表现出西高东低的增暖趋势和南北反相的变化形态。气温升高具有季节性差异,冬季升温最强,夏季最弱。

(2) 高原上最低气温和最高气温呈不对称的线性增温趋势,最低气温的上升速率要比最高气温快得多。高原极端事件频率、强度都有所变化,其中,低温事件大大减少,而高温事件则明显增加。

(3) 高原的生物温度指标变化也十分显著,主要体现为各类界限温度的积温以及持续日数都显著增加。高原最热月均温与最冷月均温,整体呈现非对称地上升趋势,最冷月均温的上升幅度明显大于最热月均温的上升幅度,青藏高原(尤其是青海北部)生长期明显增长。

(4) 影响高原气温变化的因子有很多,目前主要包括温室气体的作用、气溶胶的作用、天文因素、高原内部因素以及外部环流。

6.2 研究展望

目前关于高原气温变化还存在许多问题,未来的研究趋势以及热点难点问题主要包括以下 4 个方面:

(1) 采用更多类型的数据源对高原气候变化进行时段更长、范围更广、采样更密集的研究。当前的研究仍然主要采用站点观测数据,但这些数据还存在问题。一方面,许多地区,如高原西部台站较为稀少,高海拔区(超过 5000 m 地区)的台站几乎没有;另一方面,台站观测数据还存在因为台站搬迁导致的非均一化问题。因此,台站数据质量控制以及同质化处理方法^[60-62]备受关注。未来的研究中,可以采用再分析数据^[63]、卫星数据以及气候模拟数据^[64]对高原气候变化进行研究。这些数据在时段长度、覆盖范围以及密集程度上都比台站观测高,但其精度没有台站观测高,存在一定偏差,因此,如何合理使用这些数据,完善对高原气候变化研究是未来需要进一步深入研究的问题。

(2) 采用气候模拟以及代理数据对百年甚至千年尺度的高原升温进行分析,从而明确高原气候变化的原因。近年来,高原变暖的主要原因也是研究的热点之一,目前许多研究采用模型模拟方式对高原升温的主要原因进行了分析,试图识别气候变化中人类活动影响的信号。而从冰芯记录^[65]、树轮记录^[66]以及其他代理数据中得到的长时间尺度的气温变化也可以反映出当前的气温升高是否在正常的自然波动范围内。如何深入分析气候信号中各要素影响情况,加强对气候变化更深层次的认识,也是今后研究的难点问题。

(3) 采用更详尽的高海拔气象资料分析高原气温变化的海拔效应。近年来,高原气温变化与海拔的关系备受争议,部分研究发现高海拔升温显著的模式^[67],但是另一些研究则无法得出这样的结论^[68-69],甚至得出完全相反的结论。这可能是因为地形特征、区域土地利用变化以及冰雪—反射率反馈机制等对升温趋势的作用更明显,从而掩盖海拔的关系。因此,在未来研究中还需要更多的高海拔气象资料,以便对高海拔地区气候特征进行深入分析。

(4) 引入新的数据挖掘的方法来分析高原更小尺度的气温变化模式,从而发现高原气候变化潜在的、隐藏的、更为精细的新知识。目前关于气温变

化研究主要还是采用年均温、季均温、月均温。虽然有大量的日气温数据,但由于日气温误差较大,鲜有人直接使用日气温记录研究更精细尺度的气温特征。因此,如何在传统的气候诊断分析方法基础上,采用数据挖掘技术对气象数据进行分析,获取更精细的气温变化规律是未来研究的难点之一。

参考文献

- [1] Bernstein L, Bosch P, Canziani O, et al. Climate Change 2007: Synthesis Report. Geneva, Switzerland: IPCC, 2008.
- [2] 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 近 54 年中国地面气温变化. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 717-727.
- [3] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告 (I): 中国气候变化的历史和未来趋势. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8, 50.
- [4] 丁一汇, 孙颖. 国际气候变化研究进展. 气候变化研究进展, 2006, 2(4): 161-167.
- [5] 刘晓东, 张敏锋, 惠晓英, 等. 青藏高原当代气候变化特征及其对温室效应的响应. 地理科学, 1998, 18(2): 113-121.
- [6] 冯松, 汤懋苍, 王冬梅. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据. 科学通报, 1998, 43(6): 633-636.
- [7] 潘保田, 李吉均. 青藏高原: 全球气候变化的驱动力与放大器 (Ⅲ): 青藏高原隆起对气候变化的影响. 兰州大学学报, 1996, 32(1): 108-115.
- [8] 徐亮, 李生辰, 郭英香, 等. 青藏高原及周边地区极端天气事件的选取与分析. 青海科技, 2006(3): 49-52.
- [9] 林振耀, 吴祥定. 青藏高原气候区划. 地理学报, 1981, 36(1): 22-32.
- [10] 李潮流, 康世昌. 青藏高原不同时段气候变化的研究综述. 地理学报, 2006, 61(3): 327-335.
- [11] 丁一汇, 张莉. 青藏高原与中国其他地区气候突变时间的比较. 大气科学, 2008, 32(4): 794-805.
- [12] 范思睿, 范广洲, 赖欣, 等. 青藏高原近 47 年四季开始日期的变化趋势分析//第 28 届中国气象学会年会. 北京: 中国气象学会, 2011.
- [13] 赵东升, 吴绍洪. 近 40 年青藏高原主要生物温度指标的变化趋势. 地理研究, 2010, 29(3): 431-439.
- [14] 李林, 朱西德, 秦宁生, 等. 青藏高原气温变化及其异常类型的研究. 高原气象, 2003, 22(5): 524-530.
- [15] 康兴成. 青藏高原地区近 40 年来气候变化的特征. 冰川冻土, 1996, 18(S1): 281-288.
- [16] 刘晓东, 侯萍. 青藏高原及其邻近地区近 30 年气候变暖与海拔高度的关系. 高原气象, 1998, 17(3): 245-249.
- [17] 蔡英, 李栋梁, 汤懋苍, 等. 青藏高原近 50 年来气温的年代际变化. 高原气象, 2003, 22(5): 464-470.
- [18] 李林, 陈晓光, 王振宇, 等. 青藏高原区域气候变化及其

- 差异性研究. 气候变化研究进展, 2010, 6(3): 181-186.
- [19] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 青藏高原近30年气候变化趋势. 地理学报, 2005, 60(1): 3-11.
- [20] 姚莉, 吴庆梅. 青藏高原气候变化特征. 气象科技, 2002, 30(3): 163-164, 143.
- [21] 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 中国气温变化研究最新进展. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 701-716.
- [22] 刘桂芳, 卢鹤立. 1961-2005年来青藏高原主要气候因子的基本特征. 地理研究, 2010, 29(12): 2281-2288.
- [23] 周宁芳, 秦宁生, 屠其璞, 等. 近50年青藏高原地面气温变化的区域特征分析. 高原气象, 2005, 24(3): 344-349.
- [24] 李跃清. 近40年青藏高原东侧地区云、日照、温度及日较差的分析. 高原气象, 2002, 21(3): 327-332.
- [25] 杜军, 边多, 胡军, 等. 西藏近35年日照时数的变化特征及其影响因素. 地理学报, 2007, 62(5): 492-500.
- [26] 刘青春, 时兴合, 汪青春, 等. 青藏高原春夏季温度与太平洋海温的关系. 干旱气象, 2008, 26(3): 29-33, 43.
- [27] 李生辰, 唐红玉, 马元仓, 等. 青藏高原冬、夏季月平均气温及异常分布研究. 高原气象, 2000, 19(4): 520-529.
- [28] 韦志刚, 黄荣辉, 董文杰. 青藏高原气温和降水的年际和年代际变化. 大气科学, 2003, 27(2): 157-170.
- [29] 李生辰, 徐亮, 郭英香, 等. 近34a青藏高原年气温变化. 中国沙漠, 2006, 26(1): 27-34.
- [30] 陈晓光, 李林, 朱西德, 等. 青海省气候变化的区域性差异及其成因研究. 气候变化研究进展, 2009, 5(5): 249-254.
- [31] 赵燕宁, 时兴合, 秦宁生, 等. 青海南部地区40多年来气候变化的特征分析. 中国沙漠, 2005, 25(4): 529-534.
- [32] 杜军. 西藏高原近40年的气温变化. 地理学报, 2001, 56(6): 682-690.
- [33] 杨续超, 张懿锂, 张玮, 等. 珠穆朗玛峰地区近34年来气候变化. 地理学报, 2006, 61(7): 687-696.
- [34] 唐红玉, 李锡福. 青海高原近40年来最高和最低温度变化趋势的初步分析. 高原气象, 1999, 18(2): 230-235.
- [35] 姚檀栋, 刘晓东, 王宁练. 青藏高原地区的气候变化幅度问题. 科学通报, 2000, 45(1): 98-106.
- [36] 汤懋苍, 许曼春. 祁连山区的气候变化. 高原气象, 1984, 3(4): 21-33.
- [37] 汤懋苍, 李存强, 张建. 青藏高原及其四周的近代气候变化. 高原气象, 1988, 7(1): 39-49.
- [38] 林振耀, 赵昕奕. 青藏高原气温降水变化的空间特征. 中国科学: D辑, 1996, 7(4): 354-358.
- [39] 马晓波, 李栋梁. 青藏高原近代气温变化趋势及突变分析. 高原气象, 2003, 22(5): 507-512.
- [40] 段安民, 吴国雄, 张琼, 等. 青藏高原气候变暖是温室气体排放加剧结果的新证据. 科学通报, 2006, 51(8): 989-992.
- [41] 李林, 朱西德, 王振宇, 等. 青藏高原气候变化趋于暖湿化的若干事实//第26届中国气象学会年会. 北京: 中国气象学会, 2009.
- [42] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化. 气象学报, 1997, 55(4): 418-429.
- [43] 王堰, 李雄, 缪启龙. 青藏高原近50年来气温变化特征的研究. 干旱区地理, 2004, 27(1): 41-46.
- [44] 刘新伟, 赵庆云, 孙国武. 青藏高原东北侧夏季异常高温的环流特征及诊断. 干旱气象, 2006, 24(3): 42-46.
- [45] 潘晓华, 翟盘茂. 气温极端值的选取与分析. 气象, 2002(10): 28-31.
- [46] 牛涛, 陈隆勋, 王文. 青藏高原冬季平均温度、湿度气候特征的 REOF 分析. 应用气象学报, 2002, 13(5): 560-570.
- [47] 胡宜昌, 董文杰, 何勇. 21世纪初极端天气气候事件研究进展. 地球科学进展, 2007, 22(10): 1066-1075.
- [48] 刘晓东, 秦宁生. 青藏高原东部极端气温的趋势与变率//2005青藏高原环境与变化研讨会. 北京: 中国科学院青藏高原研究所, 2005.
- [49] 游庆龙, 康世昌, 李潮流, 等. 三江源地区1961-2005年气温极端事件变化. 长江流域资源与环境, 2008, 17(2): 232-236.
- [50] 董安祥, 白虎志, 李栋梁, 等. 青藏铁路沿线气温和地温的极值推算. 高原气象, 2003, 22(5): 503-506.
- [51] 李林, 李凤霞, 朱西德, 等. 三江源地区极端气候事件演变事实及其成因探究. 自然资源学报, 2007, 22(4): 656-663.
- [52] 张志薇, 时兴合. 中国近55年极端高温变化分析. 青海气象, 2010(4): 2-6.
- [53] 李炳义, 佟永晶. 农业指标温度对农业生产的意义. 农民致富之友, 2009(6): 41.
- [54] 徐铭志, 任国玉. 近40年中国气候生长期的变化. 应用气象学报, 2004, 15(3): 306-312.
- [55] 赵昕奕, 张惠远, 万军. 青藏高原气候变化对气候带的影响. 地理科学, 2002, 22(2): 190-195.
- [56] 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. 干旱气象, 2009, 27(3): 227-231.
- [57] 汤懋苍, 白重瑗, 冯松, 等. 本世纪青藏高原气候的三次突变及与天文因素的相关. 高原气象, 1998, 17(3): 250-257.
- [58] 朱玉祥, 丁一汇. 青藏高原积雪对气候影响的研究进展和问题. 气象科技, 2007, 35(1): 1-8.
- [59] 李跃清, 李崇银. 近40多年四川盆地降温与热带西太平洋海温异常的关系. 气候与环境研究, 1999, 4(4): 388-395.
- [60] You Q L, Kang S C, Pepin N, et al. Relationship between temperature trend magnitude, elevation and mean temperature in the Tibetan Plateau from homogenized surface

- stations and reanalysis data. *Global and Planetary Change*, 2010, 71(1-2): 124-133.
- [61] Wang B, Bao Q, Hoskins B, et al. Tibetan Plateau warming and precipitation changes in East Asia. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(14): L14702.
- [62] Li Q X, Liu X N, Zhang H Z, et al. Detecting and adjusting temporal inhomogeneity in Chinese mean surface air temperature data. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2004, 21(2): 260-268.
- [63] Li Q X, Dong W J. Detection and adjustment of undocumented discontinuities in Chinese temperature series using a composite approach. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2009, 26(1): 143-153.
- [64] Li Z, Yan Z W. Homogenized daily mean/maximum/minimum temperature series for China from 1960-2008. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2009, 2(4): 237-243.
- [65] Guiot J, Nicault A, Rathgeber C, et al. Last-millennium summer-temperature variations in western Europe based on proxy data. *Holocene*. 2005, 15(4): 489-500.
- [66] Grudd H, Briffa KR, Karlen W, et al. A 7400-year tree-ring chronology in northern Swedish Lapland: natural climatic variability expressed on annual to millennial timescales. *Holocene*. 2002, 12(6): 657-665.
- [67] Liu X, Chen B. Climatic warming in the Tibetan Plateau during recent decades. *International Journal of Climatology*. 2000, 20(14): 1729-1742.
- [68] You Q L, Kang S C, Pepin N, et. al.. Relationship between temperature trend magnitude, elevation and mean temperature in the Tibetan Plateau from homogenized surface stations and reanalysis data. *Global and Planetary Change*, 2010, 71(1-2): 124-133.
- [69] Li Z X, He Y Q, Wilfred H, et al. Altitude dependency of trends of daily climate extremes in southwestern China, 1961-2008. *Journal of Geographical Sciences*, 2012 (3): 416-430.

Research Progresses of Surface Temperature Characteristic Change over Tibetan Plateau since 1960

SONG Ci, PEI Tao, ZHOU Chenghu

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Reesach, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: As the largest plateau in China and highest plateau on the earth, the Tibetan Plateau has a significant impact on global climate. This article reviews the progress of the study of the characteristics of the surface air temperature change over the Tibetan Plateau in the last 50 years and the causes for the change. The conclusions are as follows. (1) In the last 50 years, the surface air temperature over the Tibetan Plateau has clearly increased, through a cold period (mid-1960s to early 1980s) and a warm period (mid-1980s to present) with increasing fluctuations and the abrupt changes in the 1980s, showing an alternating “low and high” overall upward trend. (2) The upward trend of the lowest temperature and that of the highest temperatures are not in parallel. In other words, the lowest temperatures have increased more dramatically than the highest temperatures. In addition, the frequency and the intensity of the extreme events have also changed, with extreme low temperature events decreasing significantly and extreme high temperature events increasing slightly. (3) As the indices of the biological events, the accumulated temperatures and their time durations have increased as well. In spatial scale, the temperature in the Tibetan Plateau has shown an overall increase, with the change to a greater extent in the west than that in the east, and an opposite phase zonally. (4) Many factors affect the surface air temperature change over the Tibetan Plateau, such as sunspot cycle, various meteorological elements in the plateau and the atmospheric circulation.

Key words: Tibetan Plateau; surface temperature characteristic; accumulated temperature; biological temperature indices

本文引用格式:

宋辞, 裴韬, 周成虎. 1960 年以来青藏高原气温变化研究进展. *地理科学进展*, 2012, 31(11): 1503-1509.