

# 青藏高原气温变化的研究进展

王楠,李栋梁,张杰

(南京信息工程大学大气科学学院,江苏 南京 210044)

**摘要:**青藏高原(简称高原,下文同)是全球气候系统的重要组成部分,其气候因子、动力及热力作用对全球气候系统的变化有着深刻的影响。本文就近代高原地表气温不同年代际的变化、空间分布及其与我国其它区域同期气温变化的关系等方面的研究进展进行回顾和总结。经过研究分析表明,高原的气温变化呈明显的年代际特征。近百年来高原的气温可分2个冷期2个暖期,其间有3次突变,即1920年代以前偏冷,1920~1950年代气温回升,1950~1980年代气温下降,1980年代至今气温持续偏高。各次气温突变时间中高原均提前于我国其它地区,且全国有北方提前于南方,高纬提前于低纬的现象;高原上大多数区域日最低气温增温幅度是日最高温度的增温幅度的1~3倍,日较差变小,4季中冬季增温最为明显;由于地域辽阔,地形复杂,就高原本身主体而言,各区域的温度变化也存在差异。已有的研究成果表明,高原主体的气温变化最先出现在高原东南部和海拔较高的区域。

**关键词:**青藏高原;气温突变;特征;区域差异

**中图分类号:**P462.5

**文献标识码:**A

## 引言

青藏高原介于我国昆仑山、阿尔金山、祁连山与喜马拉雅山之间,是世界上海拔最高的高原,被人们称作世界的“第三极”<sup>[1]</sup>。高原有纬度低、空气密度小、太阳辐射强、日照时间长、体积偏大等特点,使其形成了冬季不太寒冷,夏季温凉,气温年较差不大、日较差大,复杂而又独特的高原气候<sup>[2-3]</sup>,在全球气候系统变化的研究中占有重要地位。

大暖期期间<sup>[4]</sup>,在同纬度上中国的温度升高值是最大的,特别在高原上显得尤为突出<sup>[5]</sup>。丁一汇等<sup>[6]</sup>指出,20世纪的变暖在全球(北半球)和中国都是近千年来最显著的,近50a中国增温更为显著,明显高于北半球同期平均增温速率。这场1980年左右全球暖突变在高原明显存在<sup>[7-10]</sup>。高原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,表现出了明显的区域特色<sup>[11]</sup>。这就给我们以极大的启示,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”之称的高原,在1980年代这次全球大变暖的事实中,到底起到怎样重要的作用。通过分析高原气温变化的各方面因

素,是否可以对今后全球的气候变化起到指导预报的作用。基于此背景和研究目的,研究高原不同时间尺度的气温特征,及其与我国其它区域气温变化之间的关系,对我国气候变化具有重要的现实意义和理论价值。

由于青藏高原的热力作用对周边地区及全球气候产生一定影响,因此,在全球变暖的环境下,高原热力因子气温特征、变化趋势及其与其它区域温度变化的关系一直是关注的重要因子。吴国雄等<sup>[12]</sup>总结了高原气候动力学研究的近期进展,丁一汇等<sup>[13]</sup>计算了高原的热状况,杨鉴初等<sup>[14]</sup>、叶笃正等<sup>[3]</sup>、戴加洗等<sup>[15]</sup>着重描述了高原气温场的平均分布特征。基于以上研究,科研人员又针对高原的气温变化问题的研究取得了丰硕的成果,至此本文针对高原气温变化、空间分布及其与我国其它地区气温变化的关系等问题的研究成果和进展进行概括。

## 1 高原不同年限的气温变化形势

高原地势广袤、地形独特、自然景观丰富、气候类型复杂多变。所以在研究高原气候问题时,能否

收稿日期:2010-04-20;改回日期:2010-07-14

基金项目:国家自然科学基金(40805009)及2010气象行业专项(GYHY201006038)共同资助

作者简介:王楠(1986-),女,吉林延边人,硕士研究生,主要从事气候变化及其预测研究. E-mail:wangnan1986yang@163.com

将高原看成一个整体来研究,是需首要明确和解决的问题。蔡英等<sup>[16]</sup>选用高原主体上 64 个站 1961 ~ 1990 年间的年平均地面气温资料,对每个站点的资料进行了距平标准化处理,然后再进行经验正交函数分解,结果显示第一主成分的方差贡献达 54.29%,这说明高原虽然地域辽阔,地形复杂,但温度的收敛性很快,在大尺度变化上,高原作为一个整体的变化是一致的。针对于高原不同季节的温度变化,李生辰<sup>[17]</sup>经旋转正交分解后将高原冬季气温异常敏感区分为北部型、东南部型、边缘型、中部型和西部型。夏季分为东北型、东部型、南部型、柴达木型和西部型。分析表明高原的气温无论是冬季还是夏季都具有收敛速度快的特点。由此可见,在研究高原气温问题时可以将高原看成一个整体。基于此前提,众多学者对不同年限的高原地面温度资料进行了分析研究。

采用近年来我国拥有的冰芯、树木年轮资料、湖泊沉积等记录,王绍武等<sup>[18]</sup>对新疆、西藏、西北等气象缺测值较多的地域做了资料补充,建立了一个比较完整的近百年中国气温序列,结果发现,我国大部分地区在 20 世纪 80 年代全球增温的大背景下,也出现了不同程度的增温现象<sup>[19]</sup>。李潮流等<sup>[20]</sup>从地质尺度上也证实了王绍武等的观点,指出高原近 50 a 来气候变化的研究涉及到了由于季节和海拔不同所造成的差异。总体来讲高原 1960 年代初为暖期,1960 年代中期至 1980 年代初气候转冷,1980 年代中后期以来高原各区域先后进入一个气温持续升高的时期<sup>[21-22]</sup>。但陈隆勋等<sup>[23]</sup>提出 1950 ~ 1990 年以来,高原东坡以东地区为变冷区,并不是全面增温,其原因还需进一步探究。总的来说,1969 ~ 1999 年高原温度呈前低后高波动上升趋势<sup>[24]</sup>,且存在 3 次气温突变<sup>[25]</sup>。其中第 1 次和第 3 次为从冷变到暖,称为“暖突变”;第 2 次是从暖变到冷,称为“冷突变”,1918 年和 1971 年为“暖突变年”,1952 年为“冷突变年”。这与蔡英等<sup>[16]</sup>、王堰等<sup>[26]</sup>、林振耀等<sup>[27]</sup>所得结论相一致。

研究者们还针对高原的日最低、日最高气温及不同季节高原的温度变化情况进行了分析。翟盘茂等<sup>[28]</sup>指出高原最低、最高温度变化线性趋势表现出非常明显的不对称性,最高温度的变化与日照条件的变化以及西风指数的变化<sup>[29]</sup>具有较好的一致性,而最低温度的变化与大气水汽含量具有较好的关系。因此,提出日较差变小趋势与大气水汽的增加

有关。如此说来,高原日较差的变化就必定与高原积雪、高原隆升等因素有着密切的关系,这个问题需要进一步的深入研究。

除此以外,高原四季的温度增长率也不尽相同。同一高度范围内,从春、夏到秋、冬,增温率依次递增,冬季温度增幅为最大<sup>[30-31]</sup>,春季的增温幅度与太平洋海温有关<sup>[32-33]</sup>;而在同一季节或年平均上,增温率又随海拔高度上升而增大,且在冬季表现更显著<sup>[34]</sup>。如果再综合降水量、相对湿度的变化特征,则在理论上可以初步判断,20 世纪 80 年代中后期高原气候年代际变化实现了由暖干型向暖湿型的突变<sup>[31,35]</sup>。

## 2 高原气温突变的时段和我国其它地区突变时段的关系

高原温度突变与我国其它地区的温度突变在时间先后上有着密切的关系,即高原温度变化与北半球温度变化基本一致,但变幅大于中国东部,且比中国东部提前发生<sup>[27,20,36]</sup>。揭示这种关系,会进一步明确高原在我国气候系统中的重要地位,对今后的预报起到指导作用。

早在 20 世纪 80 年代,汤懋苍等<sup>[36]</sup>得出高原地区气候变化的位相比我国东部地区平均超前 15 a 的结论,近 600 a 来的 3 次冷期和 3 次暖期都是最先发生在高原上,其次是祁连山,继而是我国东部。具体而言 1955 年以来以 10 a 为尺度的温度波动及 1980 年以来开始的新暖期都是在高原东南部的林芝、波密等站最先开始出现,然后逐渐向东向北传播<sup>[37]</sup>。马晓波等<sup>[38]</sup>利用小波分析、Mann - Kendall 等方法对高原近 50 a 来气温变化的空间分布、时间变化趋势及突变进行了分析,结果表明北半球气温 1988 年有一次突变发生,高原气温突变大都早于北半球,只有青海和高原西部突变较晚。蔡英等<sup>[16]</sup>更是将研究落实到具体的台站,在高原主体上选取林芝和波密 2 站,然后向东沿 30°N 选择昌都、巴塘、理塘、康定、雅安、成都、内江、南充、重庆、恩施、宜昌、常德、钟祥、岳阳、武汉、九江、安庆、屯溪、杭州、上海、宁波等 23 站,针对 1951 ~ 2002 年的年平均气温做了分析,得到沿 30°N 气温的时空演变剖面图。结果显示 1953 ~ 2000 年以上 23 站共出现了 3 次冷期和 3 次暖期。第一次冷期由于资料所限,无法予以精确的分析,其后的 2 个冷期和 3 个暖期的冷暖中心都是先出现在高原东南部,然后向东传播,且第

3个暖期是3个暖期中强度最强,持续时间也最长。

但丁一汇等<sup>[39]</sup>提出不同观点。考虑到之前研究所用资料的序列长度相对较短,丁一汇等使用1961~2006年地面观测资料,用滑动 $t$ 检验、Yamamoto法、Mann-kendall检验3种方法,对高原地区地表气温突变进行再分析,同时分析了中国其它6个地区(东北、华北、淮河、长江中下游、华南、西北)的突变情况,并将它们进行对比,得出突变时间的关系。发现高原地区年平均地表气温1980年代中期存在变暖突变的信号,但同时还检测出1990年代中期存在快速增暖的突变,并且1980年代增暖突变的信号比1990年代中期增暖突变的信号弱,且1980年代增暖突变后又有10a左右的降温期,故丁一汇认为,对于高原来讲,真正的温度突变时间为1990年代中期。单就进入显著快速增暖的时间来看,高原比东北、华北和淮河地区晚,与长江中下游和华南地区接近。所以矛盾的重点是如何看待1980年代中期的突变问题。

### 3 高原气温变化的空间分布

高原拥有山脉、冰川、河流、湖泊等丰富的自然景观,气候类型复杂多变。因此其本身就存在着显著的区域性气候差异,明确高原主体各区域温度变化的关系,将对今后突出工作重点,提高气候预测的准确度起到重要作用。高原气候独特,在研究其气候变化之前,要将其科学的分区,这样才能有的放矢的进行有关各气候要素的分析。

蔡英等<sup>[16]</sup>依据旋转主成分分析结果对高原年平均气温变化进行分区,依据前7个空间载荷向量的分布(累积方差贡献达85%以上),把高原年平均气温场划分为6个不同变化的气候区:Ⅰ区是青海中北部;Ⅱ区是西藏西部狮泉河地区;Ⅲ区是藏北及青海西南部;Ⅳ区是青海东南部、西藏东北部、四川西北部;Ⅴ区是西藏南部;Ⅵ区是高原东缘及贵州西部、西藏东南角。各个区内气温变化具有一致的特征,但区与区之间的气温变化有着明显的空间差异。林振耀<sup>[27]</sup>指出,高原各个小区均有气温的上升趋势,但进入这个暖期的时间及暖期持续情况有着差异;最早进入暖期的地区是藏东南的波密、林芝、察隅一带,其后是雅鲁藏布江河谷及其周围地区。西藏西部的狮泉河、改则最晚开始出现气温偏高现象,1980年代末至1990年代初气温显著上升。

值得注意的是,按照旋转主成分分析方法对高

原主体进行分区,其区域边界线基本上沿祁连山、阿尔金山、昆仑山、阿尼玛卿山和巴颜喀拉山等高原主要山脉走向分布,与大地形轮廓基本相吻合,换言之,人为的分区和山脉的天然分区“不谋而合”。这也侧面反映出高原的温度变化受地形影响较大。

刘晓东等<sup>[40]</sup>又把目光投到了高原气温变化幅度与海拔、季节之间的关系上。利用高原及其邻近地区165个站1961~1990年月平均地面气温资料,分析了气候变暖与海拔高度的关系。结果表明:近30a高原及其相邻地区的地面气候变暖与海拔高度有关,变暖的幅度一般随海拔高度升高而增大。由同一高度范围各季节的对比来看,从春、夏到秋、冬增温率是逐渐增加的;而就同一季节或年平均来看,增温率基本上是随海拔高度上升而增大,即高海拔地区的气候变化幅度大于低海拔地区<sup>[33,41]</sup>。因此认为高海拔地区比低海拔地区对全球气候变化反应更敏感。

结合众多研究者研究成果,高原主体中气候变化的“敏感区”和“大幅度区”应该处于高原东南部的高海拔区。但因高原气候的独特性和气候变化的非线性等特点,2个因素不能线性的组合在一起,所以最后的结论还需进一步探索研究。

### 4 高原气温突变及高原东南部提前突变的原因

高原温度突变的原因一直以来都是气象界研究的重点和热点,除了温室气体、气溶胶等对高原温度的影响以外,研究者们一直在积极寻求其它可能更为本质、核心的原因。

#### 4.1 天文因素——太阳黑子周期运动的作用

汤懋苍等<sup>[42]</sup>惊奇地发现高原气温的相对冷段,对应于地球自转慢段;高原气温的相对暖段,对应于地球自转快段。且有近百年来地球自转速度的变化曲线与太阳黑子周期长度的变化曲线有着几乎一直的变化趋势,即这3次突变与太阳黑子周期长度和地球自转变化有非常好的相关。据此可以说明太阳黑子活动影响了地球自转的速度,而地球自转速度又引起了高原的温度突变。

#### 4.2 地形和冷空气活动的作用

高原年平均气温、平均最高、最低气温的空间第一载荷向量线基本上沿祁连山、阿尔金山、昆仑山、巴颜喀拉山和唐古拉山等高原主要山脉走向分布<sup>[43]</sup>,虽然存在差异,但大体上与大地形轮廓基本

相吻合。该结论说明高原平均气温、平均最高、最低气温受到地形影响,与高原上主要山脉走向有着十分密切的关系。另外,冷空气的活动状况在高原气温变化中也起到了不可忽视的作用。冷空气入侵高原大体上可分为 3 条路径:北方路径、西北路径、西路路径。其中第一、二条路径影响的区域与平均最低气温的空间异常分布类型具有一定的对应关系。究其原因,主要是由于高原大部分地区海拔高,冬季漫长且严酷,夏季短暂而温凉,冷空气活动频繁且活动时间长,导致冬季气温对于气温的贡献要大于夏季气温的贡献,从而使冷空气活动对气温的影响较为明显,使冷空气活动的路径及其影响范围与气温的空间异常类型具有较好的对应关系。还有一种可能的机制就是全球变暖过程中,高原冰雪等陆面过程变化的反馈作用加强了高原区域的变暖趋势。

#### 4.3 大拐弯处其它原因作用

周国藩等<sup>[44]</sup>分析了高原不同阶数的卫星重力异常图后指出,藏东南雅鲁藏布江大拐弯处的波密和墨脱地带可能存在一个地幔热柱。汤懋苍等<sup>[45]</sup>则从地球物理、地质、地热、气候和生态环境等方面论证了此处是地球上的一个“热点”。另外,与我国气候变化紧密相关的“地热涡”的源地在西藏南部<sup>[45-47]</sup>,与地震紧密相关的“地壳塑性波”也是从高原东南部开始出现然后向东向北传播的<sup>[47]</sup>。看来从地壳方面寻求高原气候变化的原因或许可行。

## 5 小结

(1)在近百年的时间尺度的上,高原上绝大多数地区均出现了明显的温度年代际变化,大体可以将高原近百年的气温分为 2 个冷期 2 个暖期,其间有 3 次突变,暖突变发生在 1920 年代和 1980 年代,冷突变发生在 1950 年代。

(2)高原上日最低气温和日最高气温均有所上升,且最低气温的上升速率要比最高气温快得多,因此高原上的气温日较差显著减小。

(3)同一高度范围内的高原地区及邻近地区平均增温率及平均温差具有明显的季节差异,从春、夏到秋、冬,增温率依次递增,冬季温度增幅为最大;同一季节或年平均的情况下,增温率随海拔高度上升而增大。

(4)高原气温突变时间先于我国其它地区,就高原主体本身而言,气温突变的“敏感区”位于高原的东南部及高海拔区。

(5)引起高原气温变化的因素很多,目前提出的有温室气体的作用<sup>[48]</sup>、气溶胶的作用<sup>[49]</sup>、太阳黑子的周期运动的作用、地形和冷空气活动的作用、大拐弯处其它原因作用等。

## 6 存在的问题和展望

高原的气候问题在全球气候系统处于无可取代的重要位置,一直受到广大科研工作者的亲睐,成为了经久不衰的科研重点、热点、难点。研究高原的气候问题,就目前的科学技术,研究者们面临的困难主要分为 2 个方面:其一,复杂多变的气候问题的局限性;其二,高原条件的局限性:高原上台站稀少,且多数分布在藏东藏南部,藏西部几乎没有台站观测,李川<sup>[50]</sup>曾尝试用 NCEP 和 ECMWF 的资料来弥补高原资料不全的问题,但结果不尽如人意,看来解决高原资料问题任重道远。除了资料稀缺不连续的问题,研究方法方面也亟待创新。针对高原很多方面的研究,目前都仅处于气候统计,以分析为主的阶段,在解析其形成机理方面进展缓慢,仍存在很多的问题。在高原积雪、降水、隆起、冰冻圈等方面的研究还存在很多问题。

但对高原的研究取得进展和成绩有目共睹,广大的科研工作者们在资料匮乏、科技不发达、工作环境艰苦的条件下取得了令人瞩目的成就,当今的工作人员要继前辈之长,发扬创新精神,结合时代特点和需求,锐意进取,力争在高原相关问题的研究中取得突破性的进展。

#### 参考文献:

- [1] 徐祥德. 高原“敏感区”对我国灾害天气气候的影响及其监测[J]. 中国工程科学, 2009, 11(10): 96-107.
- [2] 胡国喜. 高原对我国气候的影响[J]. 地理学报, 2007, 45(4): 226-232.
- [3] 叶笃正, 高由禧. 高原气象学[M]. 北京: 科学出版社, 1979. 10-18.
- [4] Houghton J T, Jenkins G J, Ephraums J J. Climate Change. The IPCC Scientific Assessment[R]. Cambridge University Press, 1990. 365.
- [5] 施雅风, 孔昭袁, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期鼎盛阶段的气候与环境[J]. 中国科学, 1993, 23(8): 865-873.
- [6] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告: 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-9.
- [7] 唐红玉, 李锡福. 青海高原近 40 年来最高和最低气温变化趋势的初步分析[J]. 高原气象, 1999, 18(2): 230-235.
- [8] 马晓波. 中国西北地区最高、最低气温的非对称变化[J]. 气象

- 学报, 1999, 57(5): 613-620.
- [9] 杜军. 西藏高原近40年的气温变化[J]. 地理学报, 2001, 56(6): 682-690.
- [10] 韦志刚, 黄荣辉, 董文杰. 高原气温和降水的年际和年代际变化[J]. 大气科学, 2003, 27(2): 157-170.
- [11] 刘晓东, 张敏锋, 惠小英, 等. 高原当代气候变化特征及其对温室效应的响应[J]. 地理科学, 1998, 18(2): 113-121.
- [12] 吴国雄. 我国高原气候动力学研究的近期进展[J]. 第四纪研究, 2004, 24(1): 1-13.
- [13] 丁一汇, 张勤. 高原地表通量季节变化的研究[A]. 亚洲季风机制研究新进展[C]. 北京: 气象出版社, 1999. 66278.
- [14] 杨鉴初. 西藏高原气象学[M]. 北京: 科学出版社, 1960. 18-24.
- [15] 戴加洗. 高原气候[M]. 北京: 气象出版社, 1990. 125-129.
- [16] 蔡英, 李栋梁, 汤懋苍, 等. 高原近50年来气温的年代际变化[J]. 高原气象, 2003, 22(5): 464-470.
- [17] 李生辰, 唐红玉, 马元仓, 等. 高原冬、夏季月平均气温及异常分布研究[J]. 高原气象, 2000, 19(4): 520-529.
- [18] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢, 等. 近百年中国年气温序列的建立[J]. 应用气象学报, 1998, 9(4): 392-401.
- [19] Liu X, Chen B. Climatic warming in the Tibetan Plateau during recent decades[J]. Int J Climatology, 2000, 20: 1729-1742.
- [20] 李潮流, 康世昌. 高原不同时段气候变化的研究综述[J]. 地理学报, 2006, 61(3): 327-335.
- [21] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 高原近30年气候变化趋势[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 3-11.
- [22] 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.
- [23] 陈隆勋, 邵永宁, 张清芬. 近四十年我国气候变化的初步分析[J]. 应用气象学报, 1991, 2(2): 164-174.
- [24] 姚莉, 吴庆梅. 高原气候变化特征[J]. 气象科技, 2002, 30(3): 163-164.
- [25] 刘晓东. 高原气候变化原因的数值模拟分析[M]. 广州: 广东科学技术出版社, 1997.
- [26] 王堰, 李雄, 缪启龙. 高原近50年来气温变化特征的研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(1): 41-46.
- [27] 林振耀, 赵昕奕. 高原气温降水变化的空间特征[J]. 中国科学, 1996, 26(4): 354-358.
- [28] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高、最低温度变化[J]. 气象学报, 1997, 55(4): 418-429.
- [29] 刘新伟, 赵庆云, 孙国武. 高原东北侧夏季异常高温的环流特征及诊断[J]. 干旱气象, 2006, 24(3): 42-46.
- [30] 刘晓东, 侯萍. 高原及邻近地区近30年气候变暖与海拔高度的关系[J]. 高原气象, 1998, 17: 245-249.
- [31] 张强, 张存杰, 白虎志, 等. 西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响——总体暖干化, 局部出现暖湿迹象[J]. 干旱气象, 2010, 28(1): 1-6.
- [32] 刘青春, 时兴合, 汪青春, 等. 高原春夏季温度与太平洋海温的关系[J]. 干旱气象, 2008, 26(3): 29-34.
- [33] Ye D Z. Some characteristics of the summer circulation over the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and its neighborhood[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1981, 62(1): 14-19.
- [34] 姚檀栋, 刘晓东. 高原地区的气候变化幅度问题[J]. 科学通报, 2000, 45(1): 98-106.
- [35] 牛涛, 刘洪利, 宋燕. 高原气候由暖干到暖湿时期的年代际变化特征研究[J]. 应用气象学报, 2005, 16(6): 763-771.
- [36] 汤懋苍, 许曼春. 祁连山区的气候变化[J]. 高原气象, 1984, 3(4): 21-33.
- [37] 冯松, 汤懋苍, 王冬梅. 高原是我国气候变化启动区的新证据[J]. 科学通报, 1998(6): 633-636.
- [38] 马晓波, 李栋梁. 高原近代气温变化趋势及突变分析[J]. 高原气象, 2003, 22(5): 507-512.
- [39] 丁一汇, 张莉. 高原与中国其他地区气候突变时间的比较[J]. 大气科学, 2008, 32(4): 794-805.
- [40] 刘晓东, 侯萍. 高原及其邻近地区近30年气候变暖与海拔高度的关系[J]. 高原气象, 1998, 17(3): 246-250.
- [41] 朱文琴, 陈隆勋, 周自江. 现代高原气候变化的几个特征[J]. 中国科学(D辑), 2001, 31(增刊).
- [42] 汤懋苍, 白重瑗, 冯松, 等. 本世纪高原气候的三次突变及与天文因素的相关[J]. 高原气象, 1998, 17(3): 250-257.
- [43] 李林, 朱西德, 秦宁生, 等. 高原气温变化及其异常类型的研究[J]. 高原气象, 2003, 22(5): 524-530.
- [44] 周国藩, 陈建国, 张建. 高原卫星重力场及所反映的壳幔结构和深部构造特征[J]. 中国地质大学学报——地球科学, 1996, 21(2): 191-197.
- [45] 汤懋苍, 高晓清. 1980~1993年我国“地热涡”的若干统计特征——I. “地热涡”的时空分布[J]. 中国科学(B辑), 1995, 25(11): 1186-1192.
- [46] 汤懋苍, 钟大赉, 李文华, 等. 雅鲁藏布江“大峡谷”是地球“热点”的证据[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(5): 463-468.
- [47] 王绳祖. 亚洲大陆岩石圈多层构造模型和塑性流动网络[J]. 地质科学, 1993, 67(1): 1-18.
- [48] Stocker T F, Schmittner A. Influence of CO<sub>2</sub> emission rates on the stability of the thermohaline circulation[J]. Nature, 1997, 388: 862-865.
- [49] 李新周, 刘晓东. 气溶胶对高原气候变化影响的数值模拟分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(1): 1-8.
- [50] 李川, 张廷军, 陈静. 近40年高原地区的气候变化——NCEP和ECMWF地面气温及降水再分析和实测资料对比分析[J]. 高原气象, 2004, 23(增刊): 98-104.

(下转第290页)

高原气象,2004,23(1):81-89.

[12] 林振山,邓自旺. 子波气候诊断技术的研究[M]. 北京:气象出版社,1999. 1-38.

[11] 施雅风,沈永平,李栋梁. 中国西北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):151-163.

### Climatic Characteristics of Daily Precipitation from May to September in Recent 45 Years in Qilian Mountains

WEI Feng<sup>1,2</sup>, WANG Jinsong<sup>1</sup>, LI Baozi<sup>3</sup>, YANG Jinhui<sup>4</sup>, ZHANG Xiaoming<sup>4</sup>

( 1. Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 2. Jiayuguan Meteorological Bureau of Gansu Province, Jiayuguan 735100, China; 3. Weather Modification Office of Gansu Province, Lanzhou 760020, China; 4. Dingxi Meteorological Bureau of Gansu Province, Dingxi 743000, China )

**Abstract:**The different level rainy days and its homologous precipitation quantity are obtained by using the daily precipitation data from May to September (1960-2004) of 17 stations in the Qilian Mountain area, thus, we know the daily precipitation intensity of light rainfall and moderate rainfall (and more) at each station. Based on regional mean value of the different level rainy days and rainfall intensity in Qilian Mountain area, the tendency of the different level rainy days and rainfall intensity was analyzed using linear trend coefficient and 5 levels main value function. The results show that both precipitation and different level rainy days from May to September in Qilian Mountain area presented more in the west side and less in the east side in the same latitude area, and more in the east and less in the west part of Qilian Mountain. In recent 45 years, the light rainfall days was descending, but the moderate rainfall days was ascending. The precipitation intensity of light rainfall and moderate rainfall (and more) presented ascending trend too from May to September in Qilian Mountain area. The morlet wave analysis show that the light rainfall days had a period of five years, but the period of the moderate rainfall (and more) days was more complex.

**Key words:** Qilian Mountain area; rainy days; trend; wave analysis

===== (上接第 269 页)

### Research Advance of Surface Temperature Change over Tibetan Plateau

WANG Nan, LI Dongliang, ZHANG Jie

(College of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:**Tibetan Plateau is an important part of the global climate system, its dynamic effect, heat effect and climatic factors have profound impacts on the global climate system change. This article reviewed and summarized the researches on different interdecadal changes of plateau surface air temperature, and its relationship with temperature change in the same period of other regions in China. Analysis shows that the plateau temperature changed with apparent interdecadal characteristics. The plateau temperature over the past century could be divided into two cold periods and two warm periods, and there were three abrupt changes. The time of three temperature's abrupt change over Tibetan Plateau was ahead of other regions in China. The warming rate of daily minimum temperature was 1 to 3 times of the daily maximum temperature in most regions of the plateau, and the daily temperature range was becoming smaller, and temperature increase in winter was most obvious. Because of vast and varied topography, there were regional differences in temperature change over Tibetan Plateau. Existing research results indicated that plateau temperature change first appeared in the south-east region and higher elevation region.

**Key words:** Tibetan Plateau; abrupt change of temperature; characteristics; regional difference