

文章编号: 1673-1719 (2009) 05-0249-06



## 青海省气候变化的区域性差异及其成因研究

陈晓光<sup>1</sup>, 李林<sup>1,2</sup>, 朱西德<sup>1,2</sup>, 王振宇<sup>1,2</sup>(1 青海省防灾减灾重点实验室, 西宁 810001;  
2 青海省气候中心, 西宁 810001)

**摘要:** 利用1961—2006年青海不同区域气象资料, 分析了年平均气温, 年平均最低、最高气温和降水量等气候要素的变化趋势、年代际变化和气候突变前后的差异性, 分析了气候显著变化并存在明显区域性差异的可能归因。结果表明: 近46 a来青海不同区域年平均气温均呈现出显著上升趋势, 其中以柴达木盆地增暖最为明显, 气候倾向率达 $0.44\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ; 降水量变化表现出明显的区域性差异, 柴达木盆地年降水量显著增多, 气候倾向率为 $6.67\text{ mm}/10\text{a}$ , 而东部农业区年降水量则呈现出减少趋势。温室气体浓度的显著增加、云量变化、高空水汽输送的变化以及下垫面状况差异等因素是造成青海气候显著变化并具有明显区域性特征的可能成因。

**关键词:** 气温; 降水; 气候变化; 区域性差异; 成因; 青海省

**中图分类号:** P467 **文献标识码:** A

### 引言

青海是我国生物物种形成、演化的中心之一, 也是气候变化的“敏感区”和生态环境变化的“脆弱区”。研究表明, 青海气候及生态环境的变化不仅直接影响当地的资源开发利用和经济建设, 而且对全国乃至全球气候变化及生态平衡均起着极其重要的作用。近几十年来, 在全球气候变暖的背景下, 青海气候发生了显著变化, 出现了气温升高、干燥度增大的气候变化趋势。同时, 在气候变化和人类活动的共同影响下, 青海草场退化、土地沙化、冻土退化、冰川萎缩、湖泊水位下降和河流流量减少等生态环境退化现象, 对当地乃至下游经济社会的可持续发展带来了负面影响, 引起了全社会和学术界的普遍关注。虽然有关青海特别是三江源地区

气候变化及其影响的研究比较多, 对青海不同区域的气候变化趋势及其影响、成因等也有了一定的科学认识<sup>[1-5]</sup>, 但是目前尚未见到对于青海不同生态功能区气候变化差异的对比分析及其可能成因的研究。本文重点研究了青海不同区域的气候变化及其可能成因。

### 1 资料

采用1961—2006年青海省34个地面气象台站、7个高空气象站与中国大气本底观象台的气象资料进行了统计分析。根据青海省的自然地理状况和当地的习惯, 将青海省分为东部农业区、环青海湖地区、三江源地区和柴达木盆地4个区, 其中西宁、民和、乐都、湟源、贵德、化隆、循化、同仁、尖扎

收稿日期: 2008-12-30; 修订日期: 2009-04-30

基金项目: 中国气象局气候变化专项 (CCSF-2008-1-QH) 资助

作者简介: 陈晓光 (1955—), 男, 研究员, 主要从事天气气候和气候变化方面的研究。E-mail: chenxg11@126.com

通讯作者: 李林, E-mail: qhxnll@sohu.com

等9站代表东部农业区；门源、刚察、祁连、共和、贵南等5站代表环青海湖地区；兴海、泽库、玛沁、达日、久治、玛多、玉树、囊谦、清水河、曲麻莱、杂多、五道梁、沱沱河等13站代表三江源地区；德令哈、都兰、诺木洪、大柴旦、格尔木、冷湖等6站代表柴达木盆地。

## 2 结果分析

### 2.1 气温变化的区域性特征

#### 2.1.1 气温变化趋势

图1给出了1961—2006年青海省不同区域年平均气温变化曲线。青海不同区域均呈显著增暖趋势，近46 a来柴达木盆地、环青海湖地区、东部农业区及三江源地区年平均气温气候倾向率分别为0.44、0.34、0.24和0.32 °C/10a，柴达木盆地增暖最为明显，其增幅明显高于全省乃至全国。分析不同区域年平均最高、最低气温的变化趋势可以得出，柴达木盆

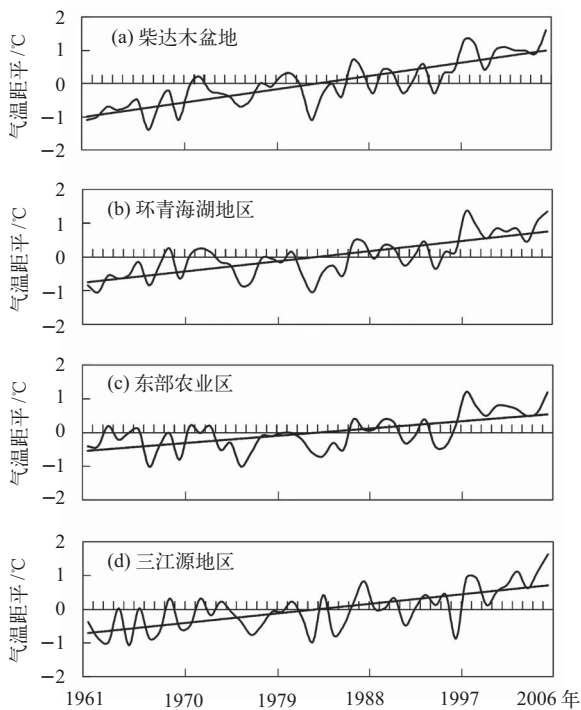


图1 1961—2006年青海省不同区域年平均气温距平曲线  
Fig. 1 Annual mean temperature anomalies for Qaidam Basin (a), circum-Qinghai Lake region (b), eastern agricultural region (c), and three-river headwater region (d) of Qinghai Province in 1961—2006

地年平均最高、最低气温的气候倾向率分别为0.31、0.70 °C/10a，增幅亦最为明显，其中平均最低温度尤为显著，增幅是全省其他区域的近2倍。

#### 2.1.2 气温的年代际变化

图2以1961—1970年为基准给出了青海不同区域年平均气温，年平均最高、最低气温年代距平变化情况。由图可见其年代际增暖特点十分显著，尤以柴达木盆地最为明显，东部农业区年代距平变化最小，这与气候倾向率的区域性差异是一致的。平均最高气温的年代际增暖在1970和1980年代不甚明显，特别是柴达木盆地，其平均最高气温在1970年代甚至较1960年代下降了0.5 °C，而进入21世纪以后则呈现出显著增暖趋势。平均最低气温的年代

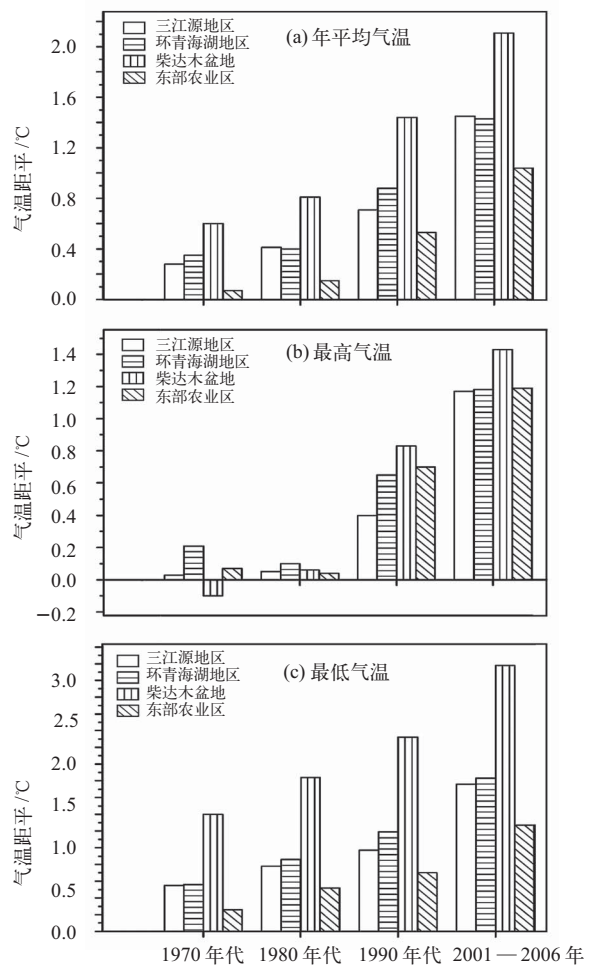


图2 青海省不同区域年平均气温，年平均最高、最低气温年代距平变化（相对于1960年代）  
Fig. 2 Decadal anomalies of annual mean temperature (a), and annual mean maximum (b) and minimum (c) temperatures for four regions of Qinghai Province relative to 1961—1970

际增暖同样十分显著, 21 世纪以来的均值较 1960 年代的柴达木盆地、环青海湖地区、东部农业区及三江源地区分别升高了 3.1、1.8、1.7 和 1.3 °C, 明显高于年平均气温和年平均最高气温的增幅。

### 2.1.3 气候突变前后的温差

突变检验研究表明, 青海地区温度在 1987 年发生了由低到高的突变。以往相关的研究侧重于年、季尺度上平均气温在气候突变前后的差异。为凸现月尺度上平均气温在气候突变前后的温差分布情况, 图 3 给出了青海不同区域 1987 年前后逐月平均气温, 平均最高、最低气温差值。由图可见: 1) 柴达木盆地在 1987 年前后逐月温差明显高于其他区域, 表明该地区气候变暖在月尺度上的普遍显著性; 2) 4、5 月气候突变前后温差普遍偏小, 特别是三江源地区 4 月、环青海湖地区和东部农业区 5 月气候突变前后气温差值较小, 甚至出现负值, 显现出青海在 4、5 月季节转换时期气候变暖的不显著性, 甚至出

现了某些变冷迹象; 3) 2 月和 11 月气候突变前后温差普遍偏大, 特别是柴达木盆地 2 月和三江源地区 11 月平均气温, 平均最高、最低气温气候突变前后的差值均为一年中最高的, 表明了青海在秋后冬末时期气候变暖的显著性。

## 2.2 降水变化的区域性特征

### 2.2.1 降水变化趋势

由图 4 给出的 1961—2006 年青海不同区域年降水量变化曲线来看, 青海年降水量变化的空间差异较为明显, 其中柴达木盆地年降水量呈现增多趋势, 其气候倾向率 6.67 mm/10a, 通过了 0.02 的显著性检验; 东部农业区年降水量则呈现减少趋势, 气候倾向率为 -5.23 mm/10a, 环青海湖地区与三江源地区年降水量变化呈微弱的增加趋势。表明在青海普遍变暖的前提下, 除东部农业区以外的大部分地区出现了降水增多趋势。

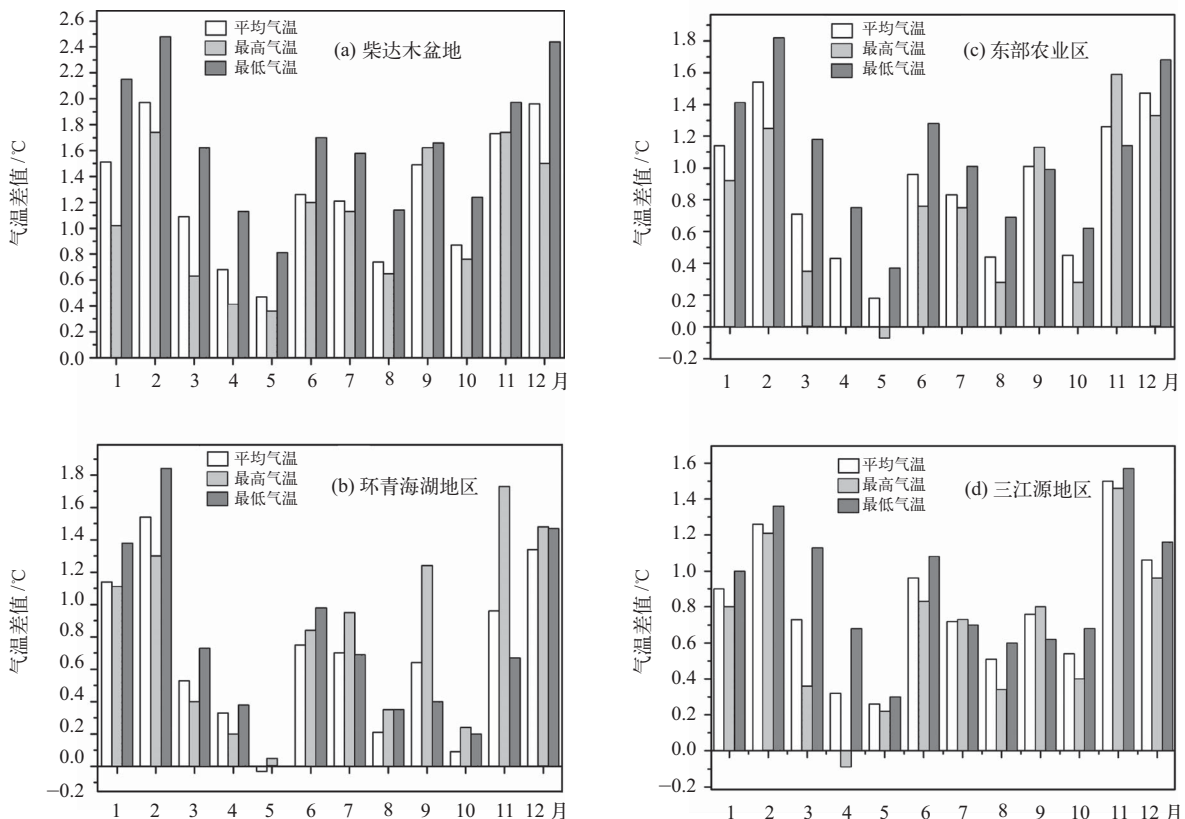


图 3 1961—2006 年青海不同区域气候突变 (1987 年) 前后年平均气温, 平均最高、最低气温差值

Fig. 3 Differences in annual mean temperature and annual mean maximum and minimum temperatures before and after the abrupt climate warming of 1987 for four regions of Qinghai in 1961—2006

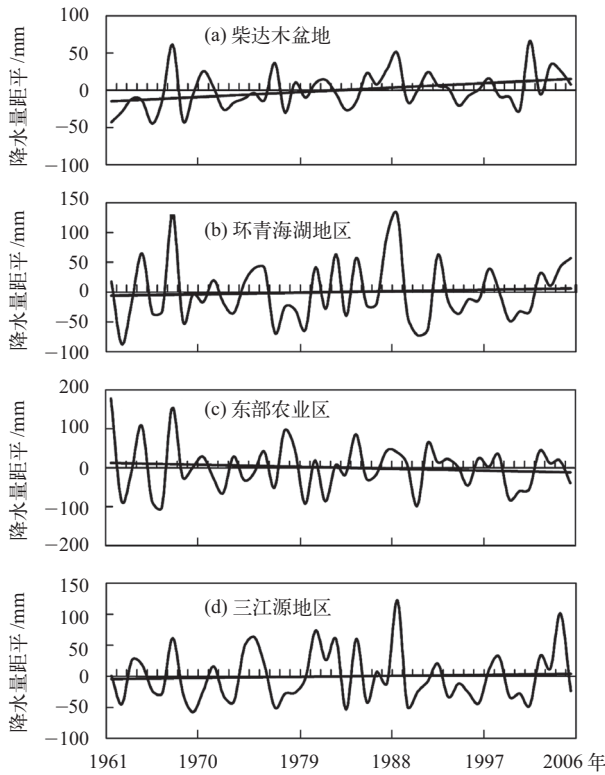


图4 1961—2006年青海不同区域年降水量距平曲线  
Fig. 4 Yearly precipitation anomalies for four regions of Qinghai from 1961 to 2006

2.2.2 降水的年代际变化

图5为1970年代至2006年青海省不同区域年降水量的年代际变化情况。较之于1961—1970年的平均值，柴达木盆地1970、1980、1990年代及21世纪初均为正距平，表明降水均呈持续增多趋势，特别是21世纪初的6a，年降水量较1960年代增加了近25 mm，增多趋势十分显著；与其相反，东部农业区则表现出持续减少的趋势，特别是21世纪初，减少了近30 mm；三江源和环青海湖地区年降水量的年代际变化特点十分显著，1980年代和21世纪初的6a为多雨阶段，1990年代为少雨阶段，而在1970年代，三江源地区为正距平，环青海湖地区却为负距平，平均年降水量较1960年代偏少近10 mm。

2.2.3 气候突变前后的降水差

为深入分析气候突变前后降水量的变化特征，图6给出了1987年前后青海省不同区域1—12月降水量差值，可见：1) 总体上上半年月降水量差值为正值，下半年为负值，这表明1987年后上半年降水量呈增加趋势，下半年降水量呈减少趋势；2) 降水

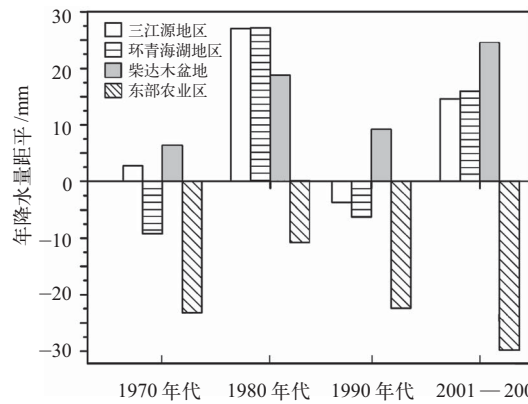


图5 青海不同区域年降水量年代际变化 (相对于1960年代)  
Fig. 5 The decadal anomalies of annual precipitation for four regions of Qinghai from 1961 to 2006 (relative to 1961-1970)

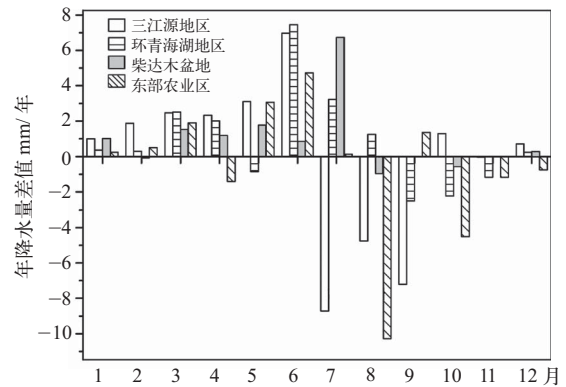


图6 1961—2006年青海不同区域气候突变前后年降水量差值  
Fig. 6 Changes in average monthly precipitation before and after the abrupt climate warming of 1987 for four regions of Qinghai in 1961-2006

量增加最多的月份除柴达木盆地出现在7月以外，其他3个区均出现在6月，4个区降水量减少最多的月份出现在7—9月；3) 柴达木盆地气候突变后降水增多的月份最多，为9个月，而环青海湖地区增加幅度最大(6月)，达7.2 mm，亦为青海降水最大增幅；4) 东部农业区气候突变后降水减少的月份最多，为5个月，且其减幅最多的8月份同样为青海降水量减幅最大的月份，达10.2 mm。

2.3 气候变化及其区域性差异的可能归因

2.3.1 全球变暖与温室气体浓度增加

IPCC第四次评估报告<sup>[6]</sup>指出：气候系统的变暖是毋庸置疑的，过去100 a (1906—2005年) 全球地表平均温度升高0.74℃，陆地大部分地区降水正

在发生显著变化。过去 50 a 观测到的大部分全球平均温度的升高,很可能由人类活动引起,而 2005 年全球大气  $\text{CO}_2$  浓度为  $379 \text{ mL/m}^3$ , 达 65 万 a 来最高值。丁一汇等<sup>[7]</sup>认为:近百年来中国年平均气温升高了  $0.5 \sim 0.8^\circ\text{C}$ , 略高于同期全球增温水平,近 50 a 变暖尤其明显;全国年降水量变化趋势不显著,但区域降水变化波动较大。根据瓦里关中国大气本底观测台监测,青海上空  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  等温室气体浓度呈明显上升趋势,并与青海气温呈显著正相关关系,其中 1995—2006 年  $\text{CO}_2$  浓度由  $360.52 \text{ mL/m}^3$  上升到  $382.59 \text{ mL/m}^3$ , 11 a 间上升了约  $22 \text{ mL/m}^3$ ; 1992—2006 年  $\text{CH}_4$  浓度由  $1787.34 \mu\text{L/m}^3$  升到  $1832.66 \mu\text{L/m}^3$ , 15 a 间上升了约  $45 \mu\text{L/m}^3$ 。

### 2.3.2 不同下垫面的辐射强迫作用

陆气相互作用在区域气候变化中具有重要作用,对于青藏高原,各种下垫面特征改变所引起的地面热源变化可能是造成高原气候变化的一个重要原因<sup>[8]</sup>。就青海而言,一方面不同区域下垫面具有较大差异,特别是柴达木盆地地表以荒漠、戈壁和沙漠为主,其地表热容量明显较草地、农田低,有利于该区域地表的快速加热;而另一方面,由于人类活动和气候变化的共同作用,青海部分地区出现了草场退化、土地沙化、冻土退化等生态退化现象,这在一定程度上改变了原来的下垫面状况,影响了地气辐射平衡,对青海气温的升高起到了加速作用。

### 2.3.3 高空水汽输送的变化

姚檀栋等<sup>[9]</sup>利用古利雅冰芯  $\delta^{18}\text{O}$  记录所示的近 400 a 来青藏高原的气候变化得出:百年际气候类型是暖湿和冷干相伴的,降水的变化滞后于温度的变化。可见随着青海气温的不断升高,极有可能导致降水量随之增多的变化趋势。事实上这也是全球升温导致海洋蒸发和陆地上的蒸散加强,促使地气水分循环加快,导致了降水量的增加<sup>[10]</sup>。俞亚勋等<sup>[11]</sup>利用美国 NCEP/NCAR 公布的 1958—2000 年再分析格点资料,分析了西北地区水汽年代际变化趋势:1960 和 1970 年代西北地区大部分地区的水汽呈减少趋势,1980 年代显著增加,这为降水量的增加提供了条件。李栋梁等<sup>[12]</sup>计算了 1980 年代中期前、后两个时段 1 月份 500 hPa 高度及流场距平,认为 1980 年

代中期与前期比较,西北地区西风偏弱,南风偏强,有利于源自印度洋及西太平洋的南方水汽向北输送,而偏弱的西风输送的水汽也在增强,有利于水汽凝结降水,造成降水量增加。对柴达木盆地的格尔木降水增加最多的 7 月 500 hPa 07:00 和 19:00 每日两次高空探测获得的相对湿度和比湿进行分析得出,1961—2006 年 500 hPa 相对湿度和比湿呈增加趋势,均达到了 0.01 的显著性水平,说明该地区空气中水汽含量呈增加趋势。相反,地处东部农业区的西宁 1961—2006 年 500 hPa 该两时次的相对湿度和比湿均呈减少趋势,因此从水汽输送的角度揭示了东部农业区降水减少的成因。

### 2.3.4 高空云量的变化

1961—2006 年青海不同区域总云量均呈减少趋势,低云量除东部农业区外以增加趋势为主。柴达木盆地、环青海湖地区、东部农业区及三江源地区年平均总云量气候倾向率分别为  $-0.038$ 、 $-0.066$ 、 $-0.134$  和  $-0.084$  成/10a, 东部农业区和三江源地区达到了 0.001 的显著性水平;4 个区域中除东部农业区外,其他 3 个区年平均低云量呈增加趋势,其中东部农业区的减少趋势和柴达木盆地的增加趋势均通过了 0.001 显著性水平的检验。总云量的减少在一定程度上削弱了云层对太阳辐射的反射和吸收作用,有利于太阳短波辐射直接到达地表,从而促使地面温度升高;低云是造成阵性降水的主要云型,在青海阵性降水占年降水量的比重相对较高,因此低云量的增加(减少)可以直接导致年降水量的增加(减少),这亦可解释近 46 a 来柴达木盆地降水量增加和东部农业区降水量减少的趋势。进一步分析不同区域各月平均低云量的变化,发现其变化趋势与相对应的月降水量变化趋势也均具有较好的一致性。

## 3 结论

(1) 1961—2006 年青海不同区域年平均气温均呈现出显著升高趋势,其中柴达木盆地增暖尤为明显;柴达木盆地年降水量呈现增多趋势,东部农业区则呈现减少趋势,环青海湖地区与三江源地区年降水量变化呈微弱的增加趋势。

(2) 全球变暖、青海上空 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等温室气体浓度的显著增加, 总云量和低云量的变化, 高空水汽输送的增强以及下垫面状况差异等因素是造成青海气候显著变化并具有明显区域性特征的可能成因。■

### 参考文献

- [1] 李林, 李凤霞, 郭安红, 等. 近43年来“三江源”地区气候变化趋势及其突变研究[J]. 自然资源学报, 2006, 21(1): 79-85
- [2] 汪青春, 秦宁生, 张占峰, 等. 青海高原近40年降水变化特征及其对生态环境的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 153-158
- [3] 时兴合, 赵燕宁, 戴升, 等. 柴达木盆地40多年来的气候变化[J]. 中国沙漠, 2005, 25(1): 123-128
- [4] 杨建平, 丁永建, 沈永平, 等. 近40a来江河源区生态环境变化的气候特征分析[J]. 冰川冻土, 2004, 26(1): 7-16
- [5] 李林, 王振宇, 秦宁生, 等. 环青海湖地区气候变化及其对荒漠化的影响[J]. 高原气象, 2002, 21(1): 59-65
- [6] 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, UK: Cambridge University Press, 2007
- [7] 丁一汇, 任国玉, 石广玉. 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 [J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-6
- [8] 汤懋苍, 程国栋, 林振耀. 青藏高原近代气候变化及对环境的影响 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1998: 132-135
- [9] 姚檀栋, 焦克勤, 杨志红, 等. 古里雅冰芯中小冰期以来的气候变化 [J]. 中国科学 (B辑), 1995, 25(10): 1108-1114
- [10] 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
- [11] 俞亚勋, 王劲松. 西北地区空中水汽分布特征及变化趋势分析 [J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 149-156
- [12] 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

## Regional Differences of Climate Change in Qinghai Province and Its Contributing Factors

Chen Xiaoguang<sup>1</sup>, Li Lin<sup>1,2</sup>, Zhu Xide<sup>1,2</sup>, Wang Zhenyu<sup>1,2</sup>

(1 *Qinghai Key Laboratory of Disaster Preventing and Reducing, Xining 810001, China;*

2 *Qinghai Climate Center, Xining 810001, China*)

**Abstract:** Based on the meteorological data in different regions of Qinghai Province from 1961 to 2006, tendencies and decadal changes of climatic elements, including annual temperature and precipitation, annual mean maximum and minimum temperatures, and their differences before and after the abrupt climate warming of 1987, were analyzed. In addition, the reasons for significant climate change and its regional differences were discussed. The results show that annual mean temperature increased obviously in various regions of Qinghai in the last 46 years, especially in the Qaidam Basin, the climatological warming trend was 0.44 °C/10a; the variation of precipitation exhibited distinctly regional differences, with the most significant increasing rate of annual precipitation, 6.67 mm/10a, in the Qaidam Basin, and the most distinctive declining rate, -5.23 mm/10a, in eastern agricultural region. The increase of greenhouse gases, changes in cloud amount and upper-level moisture transport, and regional difference of underlying surface might be responsible for climate change and its obvious regional differences in Qinghai in 1961-2006.

**Key words:** temperature; precipitation; climate change; regional difference; cause; Qinghai Province