

青海湖流域及周边地区浅层地温对全球变化的响应

李岳坦¹, 李小雁¹, 崔步礼¹, 孙久虎²

(1. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 山东省国土测绘院, 济南 250013)

摘要: 利用青海湖流域及周边8个气象站1961—2007年的0~20 cm浅层地温资料, 采用气候倾向率等气候统计学分析方法, 对青海湖流域及周边地区近47 a来年、季平均地温的变化趋势及气候突变进行了研究。结果表明, 区域内0 cm、5 cm、10 cm、15 cm和20 cm浅层地温均呈现升高的趋势, 升幅分别为 $0.30\sim 0.60^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.22\sim 0.51^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.28\sim 0.58^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.30\sim 0.59^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 和 $0.32\sim 0.59^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$; 近47 a来四季平均浅层地温整体均呈现升高趋势, 升幅为 $0.35\sim 0.52^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, 以冬季升幅最小, 春季和夏季升幅最大, 平均浅层地温升温幅度有增大的趋势; 绝大部分站点的年、季平均浅层地温均呈现显著的升高趋势, 升幅接近甚至高于同时期的平均气温增温幅度; 年平均浅层地温除都兰站在20世纪60—80年代呈现出波动性的升高趋势以外, 其他各站点均呈逐年代升高的趋势, 20世纪60和70年代的平均浅层地温明显偏低, 80年代相对正常, 90年代偏高, 进入21世纪初后, 各站的平均浅层地温均偏高 0.6°C 以上; 天峻、都兰和海晏的年、季平均地温均没有发生突变, 其他各站浅层年、季平均地温的突变时间绝大部分站点都发生在El Niño年或La Niña年, 说明青海湖流域及周边地区浅层地温的变化受ENSO事件的影响比较明显。

关键词: 青海湖流域; 浅层地温; 变化趋势; 气候突变; 全球变化

中图分类号: P467 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2010)03-0219-07

Response of shallow geotemperature to global change over Qinghai Lake basin from 1961 to 2007

LI Yue-tan¹, LI Xiao-yan¹, CUI Bu-li¹, SUN Jiu-hu²

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes, Beijing 100875, China;

2. Shandong Provincial Land Surveying and Mapping Institute, Ji'nan 250013, China)

Abstract: The changing tendency and abrupt change of annual and seasonal shallow geotemperature over Qinghai lake basin were investigated in this paper with the observational data from 8 meteorological stations during the period of 1961—2007 using modern statistical diagnostic methods, such as the linear trend analysis. The results show that the increasing tendency of mean geotemperature at different depth can be seen in all the stations over Qinghai lake basin, with the increasing rate of $0.30\sim 0.60^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, $0.22\sim 0.51^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, $0.28\sim 0.58^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, $0.30\sim 0.59^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ and $0.32\sim 0.59^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ respectively. In terms of average over Qinghai lake basin, the annual shallow geotemperature increased significantly during the last 47 years, with an increasing rate of $0.35\sim 0.52^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, the increasing rate had a minimum in winter and a maximum in spring and summer, and the increasing tendency of the increasing rate can also be found in the region, the seasonal and annual mean shallow geotemperature of most stations over Qinghai lake basin increased significantly, the seasonal and annual geotemperature was equal to and even larger than the air temperature of the same period. The annual mean geotemperature of Dulan station had and fluctuant increasing tendency from 1960s to 1980s, while all of the other station had the decadal

收稿日期: 2010-11-15

基金项目: 国家科技支撑计划(2007BAC30B02); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-08-0056)

通讯作者: 李岳坦, E-mail: liyuetan@sohu.com

increase; the geotemperature was lower in the 1960s and 1970s, normal in the 1980s, and higher in the 1990s and especially after the year of 2000. The annual and seasonal shallow mean geotemperature had no abrupt change in Tianjun, Dulan and Haiyan, but the abrupt change occurred in other stations in the year of El Niño or La Niña happened, and this means the changing of the shallow geotemperature over Qinghai lake basin was significantly affected by ENSO.

Key words: Qinghai lake basin; shallow temperature; changing tendency; climate abrupt change; global change

土壤作为一个天气变化的能量调节器, 它的能量储放可以对长期天气变化产生重要影响(戴加洗, 1990)。研究表明, 土壤温度等地表状况的变化对大气环流有很大的影响(刘晓东等, 1989; 李崇银, 1995; 杜军等, 2007, 2008)。

青海湖流域位于青海省东北部, 地处北纬 $36^{\circ}15' \sim 38^{\circ}20'$, 东经 $97^{\circ}50' \sim 101^{\circ}20'$, 是一个四周群山环绕的封闭式内陆盆地, 南傍青海南山, 北依大通山, 东靠日月山、西临阿木尼尼库山, 海拔范围 $3194 \sim 5174$ m, 总面积 29661 km²。青海湖流域平均海拔高度较高, 地势也较为复杂, 流域内土壤温度的变化对整个流域的大气环流和天气变化具有重要的影响。近年来, 人们对青海湖流域及周边地区的研究主要集中在气温及气候的变化方面(李林等, 2002; 时兴合等, 2005; 王艳姣等, 2003; 孙永亮等, 2007; 许何也等, 2007), 而对地温变

化的研究尚不多见, 为了全面了解青海湖流域地温的变化特征, 本文采用气候倾向率、信噪比等气候统计学分析方法对青海湖流域及周边地区近 47 a 来浅层地温对气候变化的响应进行分析和研究。

1 资料与研究方法

1.1 资料来源

《地面气象观测规范》中规定下垫面温度和不同深度的土壤温度统称为地温, 浅层地温包括离地面 5 cm、10 cm、15 cm、20 cm 深度的地中温度; 深层地温包括离地面 40 cm、80 cm、160 cm、320 cm 深度的地中温度(中国气象局, 2003)。本文采用青海湖流域内部及周边 8 个气象站(包括刚察、天峻、祁连、乌兰、都兰、海晏、湟源、共和等, 其中刚察和天峻两站为流域内气象站点, 图 1) 的 1961—2007 年 0 cm、5 cm、10 cm、15 cm 和 20 cm 的逐月

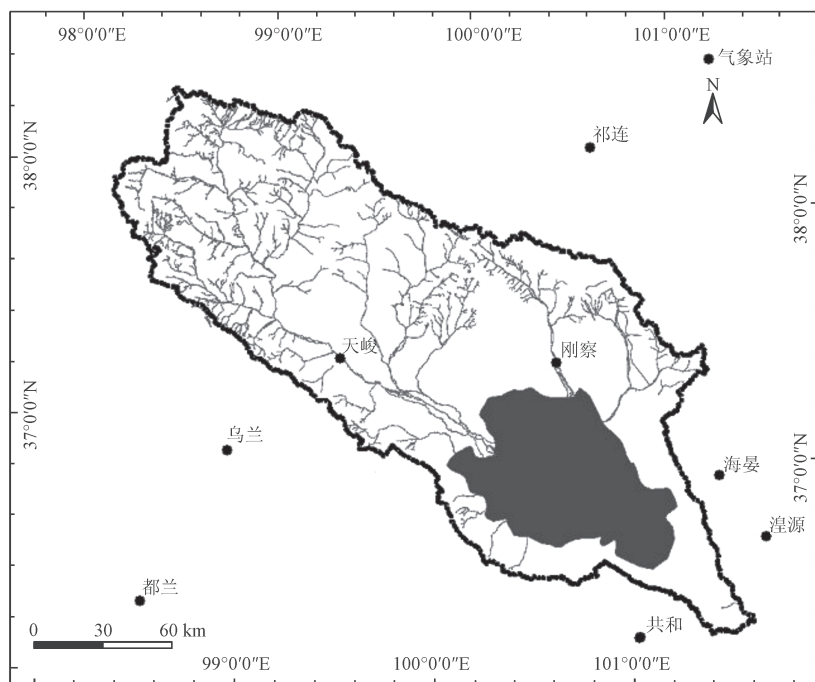


图 1 青海湖流域及周边浅层地温观测站

Fig.1 The distribution of meteorological station over Qinghai lake basin

地温观测资料来分析青海湖流域及周边地区近 47 a 来浅层地温的变化特征。对于缺测 2 年以上的站点, 利用同期相关性最好的临近站通过插补延长法进行订正; 对于缺测 1 年的站点采用本站多年平均值进行订正。按当年 12 月至翌年 2 月为冬季, 3—5 月为春季, 6—8 月为夏季, 9—11 月为秋季生成逐季和逐年序列。同时, 对各站浅层 5 个层次平均地温作算术平均, 得到各站平均浅层地温序列; 此外, 采用面积加权平均法, 计算出青海湖流域 0~20 cm 浅层地温的平均值, 进而分析青海湖流域年、季平均地温的年际、年代变化以及突变等气候特征。

1.2 研究方法

1.2.1 气候倾向率

平均地温的气候倾向率采用一次线性方程表示, 即:

$$Y = \beta + \alpha \times t \quad (1)$$

式中, Y 表示平均地温; t 表示时间; α 表示线性趋势项; $\alpha \times 10$ 表示平均地温每 10 a 的气候倾向率。

1.2.2 累积距平和信噪比

气候突变是气象要素变化过程中存在的某种不连续现象, 通常可以用累积距平曲线来确定它, 其计算指标为:

$$C(t) = \sum_{i=1}^t (X_i - \bar{X}) \quad (2)$$

式中, X_i 为平均地温历年值; $\bar{X}$ 为平均地温多年平均值; 当指标 $C(t)$ 的绝对值达到最大时, 所对应的 t 为可能突变年份。

为了检验转折是否达到气候突变的标准, 对转折年份计算它们的信噪比 (黄嘉佑, 1995), 计算公式如下:

$$S/N = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{S_1 - S_2} \quad (3)$$

式中, $\bar{X}_1$ 、 $\bar{X}_2$ 和 S_1 、 S_2 分别为转折年份前后两个阶段平均地温的平均值和标准差。当 $S/N > 1.0$ 时认为存在气候突变, 最大信噪比的时间定义为气候突变出现的时间。

2 结果与分析

2.1 浅层地温的年际变化趋势

根据各气象站点近 47 a 来 0~20 cm 平均浅层地温的气候倾向率分析发现, 流域及周边地区的地表年平均气温均呈现出显著的升高趋势, 升幅为

0.30~0.60 °C·(10a)⁻¹ (均通过 99% 显著性检验); 以乌兰升幅最大, 其次是天峻, 为 0.57 °C·(10a)⁻¹。在春季, 各站点都表现出不同程度的升高趋势, 平均每 10 a 升高 0.20~0.63 °C (均通过 90% 以上显著性检验), 其中乌兰站增温幅度最大, 尤其是 1970 年之后, 增幅达 1 °C·(10a)⁻¹ (通过 99% 显著性检验)。在夏季, 祁连和都兰两站没有变化, 其他各站呈现出显著的升高趋势, 升幅为 0.18~0.64 °C·(10a)⁻¹ (均通过 90% 以上显著性检验)。在秋季, 各站的地表年平均地温均呈现出显著的升高趋势, 升幅为 0.35~0.59 °C·(10a)⁻¹ (均通过 99% 显著性检验)。冬季的变化趋势的空间分布与秋季类似, 只是增温幅度略高于秋季, 平均每 10 a 升高 0.42~0.83 °C·(10a)⁻¹ (均通过 99% 显著性检验)。

各站的 5 cm 年平均地温亦同时呈现出显著的升高趋势, 升幅为 0.22~0.51 °C·(10a)⁻¹ (通过 99% 显著性检验), 以乌兰升幅最大, 其次是天峻和共和, 为 0.46 °C·(10a)⁻¹ (通过 99% 显著性检验)。春季、夏季和秋季的 5 cm 年平均地温, 各站均呈现出增高趋势, 升幅分别为 0.19~0.90 °C·(10a)⁻¹ (通过 95% 显著性检验)、0.18~0.68 °C·(10a)⁻¹ (通过 99% 显著性检验) 和 0.24~0.56 °C·(10a)⁻¹ (均通过 99% 显著性检验)。冬季, 祁连、乌兰、海晏和共和 4 站的 5 cm 年平均地温没有明显变化, 天峻、都兰、湟源和刚察 4 站的升幅分别为 0.46 °C·(10a)⁻¹ (通过 99% 显著性检验)、0.28 °C·(10a)⁻¹ (通过 95% 显著性检验)、0.20 °C·(10a)⁻¹ (通过 99% 显著性检验) 和 0.26 °C·(10a)⁻¹ (通过 95% 显著性检验)。

8 个气象站的 10 cm 年平均地温亦呈现出显著的升高趋势, 升幅为 0.28~0.58 °C·(10a)⁻¹ (均通过 99% 显著性检验), 以乌兰升幅最大, 其次是天峻, 为 0.51 °C·(10a)⁻¹ (通过 99% 显著性检验)。在春季, 各站的 10 cm 年平均地温呈现出升高的趋势, 升幅分别为 0.21~1.04 °C·(10a)⁻¹ (均通过 95% 显著性检验)。在夏季, 各站的升幅为 0.19~0.72 °C·(10a)⁻¹ (均通过 90% 以上显著性检验)。秋季各站 10 cm 年平均地温变化趋势的空间分布与春季类似, 只是增温幅度不同, 升幅为 0.22~0.56 °C·(10a)⁻¹ (均通过 99% 显著性检验)。在冬季, 共和和海晏两站没有变化, 其他各站的升幅为 0.18~0.6 °C·(10a)⁻¹ (均通过 99% 显著性检验)。

各站的 15 cm 年平均地温亦同时呈现升高的趋势, 升幅为 0.30~0.59 °C·(10a)⁻¹ (均通过 99%

显著性检验), 以乌兰升幅最大, 天峻次之, 为 $0.53^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。在春季, 各气象站的 15 cm 年平均地温亦同时出现了升高的趋势, 升幅为 $0.24\sim 1.04^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (均通过 99% 显著性检验)。夏季和秋季各气象站的 15 cm 年平均地温变化趋势的空间分布与春季类似, 只是增温幅度略小, 分别为 $0.22\sim 0.76^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (均通过 95% 显著性检验) 和 $0.23\sim 0.56^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (均通过 99% 显著性检验)。在冬季, 共和和海晏两站没有变化, 其他各站的升幅为 $0.15\sim 0.62^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (均通过 95% 显著性检验)。

各站的 20 cm 年平均地温在亦同时呈现出升高的趋势, 升幅为 $0.32\sim 0.59^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (均通过 99% 显著性检验), 以乌兰升幅最大, 天峻和共和次之, 为 $0.50^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 。在春季、夏季和秋季, 各站 20 cm 年平均地温亦同时呈现升高的趋势, 升幅分别为 $0.27\sim 1.11^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (均通过 99% 显著性检验)、 $0.25\sim 1.11^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (均通过 99% 显著性检验) 和 $0.25\sim 0.48^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (均通过 99% 显著性检验)。在冬季, 共和和海晏两站没有变化, 其他各站也同时呈现出升高的趋势, 升幅为 $0.15\sim 0.56^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (均通过 95% 以上显著性检验)。

近 47 a 来, 区域内四季平均浅层地温均呈现升高趋势, 升幅为 $0.35\sim 0.52^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (均通过 99% 显著性检验)。以冬季升幅最小, 春季和夏季升幅最大, 特别是 1989 年之后, 升幅分别达 $0.72^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 和 $0.76^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, 这应该是与上个世纪 80 年代中期之后, 气温上升较快有关(王艳姣等, 2003)。

以上分析表明, 青海湖流域及周边绝大部分站点的年、季平均浅层地温均呈现显著的升高趋势, 升幅接近甚至高于同时期的平均气温增温幅度(王艳姣等, 2003; 孙永亮等, 2007; 许何也等, 2007), 这与中国近 100a 来中国年平均地温的变化趋势是基本一致的(任国玉等, 2005; 丁一汇等, 2006)。随着社会经济发展, 城市化进程的加快, 但该区域城市化水平与国内平均水平相比还相差甚远, 说明区域内大部分站点受城市化影响不大, 但其平均浅层地温却呈现明显的升高趋势, 说明地温升高主要是因为区域内气候变暖所致。

2.2 浅层地温的年代变化

从浅层平均地温的年代变化分析(表 1), 青海湖流域及周边地区的年平均浅层地温除都兰站在 20 世纪 60—80 年代呈现出波动性的升高趋势以外,

其他各站点均呈逐年代升高的趋势, 20 世纪 60 和 70 年代区域的平均浅层地温明显偏低, 80 年代相对正常, 90 年代偏高, 进入 21 世纪初后, 各站的平均浅层地温均偏高 0.6°C 以上, 其中祁连、天峻、乌兰、海晏和共和 5 站偏高 1°C 以上。

从各季平均地温的年代变化来看, 春季 20 世纪 60 年代都兰和海晏偏低的幅度较小, 分别为 0.13°C 和 0.35°C , 其他各站的平均浅层地温偏低 $0.63\sim 1.66^{\circ}\text{C}$; 70 年代天峻、刚察较为正常, 其他各站偏低 $0.43\sim 0.92^{\circ}\text{C}$; 80 年代天峻正常, 但是其他各站偏低的幅度也不是很大, 为 $0.19\sim 0.64^{\circ}\text{C}$; 90 年代除天峻比较正常外, 其他各站地温偏高, 幅度为 $0.55\sim 1.50^{\circ}\text{C}$, 仅有乌兰偏高的幅度大于 1°C ; 进入 20 世纪以后, 各站地温明显偏高, 偏高的幅度为 $0.27\sim 1.62^{\circ}\text{C}$, 其中祁连、海晏、湟源和湟源 4 站偏高的幅度都在 1°C 以上。

在夏季, 20 世纪 60 年代祁连和都兰的平均浅层地温正常, 其他各站明显偏低, 温差大于 0.7°C ; 70 年代各站的地温都偏低, 偏低的幅度为 $0.33\sim 0.90^{\circ}\text{C}$; 80 年代天峻正常, 其他各站偏低 $0.18\sim 0.70^{\circ}\text{C}$, 仅有祁连和刚察两站偏低 0.50°C 以上; 90 年代的地温相对于 80 年代略有升高, 刚察、海晏和共和三站的地温偏高 0.7°C 以上, 其他各站偏高的幅度低于 0.5°C ; 进入 21 世纪后, 各站的地温明显较高, 都兰的平均地温偏高 0.65°C , 其他各站更是偏高 1.1°C 以上。

在秋季, 20 世纪 60 年代各站的地温明显偏低, 幅度为 $0.30\sim 1.03^{\circ}\text{C}$, 除湟源外, 其他各站都偏低 0.5°C 以上; 70 年代都兰正常, 其他各站都偏低 $0.12\sim 0.51^{\circ}\text{C}$; 80 年代天峻、刚察、海晏和湟源正常, 祁连偏高 0.11°C , 其他各站偏低 $0.27\sim 0.40^{\circ}\text{C}$; 90 年代, 各站的平均地温偏高 $0.32\sim 0.64^{\circ}\text{C}$; 进入 21 世纪后, 各站平均地温偏高的幅度明显变大, 为 $0.47\sim 1.03^{\circ}\text{C}$ 。

在冬季, 20 世纪 60 年代各站平均地温明显偏低, 偏低的幅度为 $0.17\sim 1.14^{\circ}\text{C}$; 70 年代, 祁连和都兰正常, 天峻、刚察、乌兰和湟源 4 站偏低 $0.16\sim 0.42^{\circ}\text{C}$, 海晏和共和分别偏高 0.12°C 和 0.22°C ; 80 年代祁连和海晏较为正常, 天峻、都兰和共和偏低 $0.14\sim 0.66^{\circ}\text{C}$, 刚察、乌兰和湟源偏高 $0.14\sim 0.27^{\circ}\text{C}$; 90 年代祁连和湟源较为正常, 天峻、刚察、乌兰和都兰偏高 $0.21\sim 0.59^{\circ}\text{C}$, 海晏和

表1 青海湖流域及周边各气象站不同年代浅层年、季平均地温距平(°C)

Table 1 The anomaly of decadal mean annual and seasonal shallow geotemperatures over Qinghai lake basin from 1961 to 2007

时间	年代	祁连	天峻	刚察	乌兰	都兰	海晏	湟源	共和
春季	1961—1969	-0.82	-0.70	-0.63	-1.66	-0.13	-0.35	-0.74	-1.11
	1970—1979	-0.70	-0.06	-0.03	-0.92	-0.43	-0.60	-0.83	-0.79
	1980—1989	-0.33	-0.09	-0.45	-0.38	-0.42	-0.64	-0.21	-0.19
	1990—1999	0.81	0.02	0.55	1.50	0.74	0.67	0.69	0.94
	2000—2007	1.21	0.95	0.62	1.62	0.27	1.12	1.27	1.29
夏季	1961—1969	-0.08	-1.00	-0.82	-0.99	-0.03	-1.06	-0.72	-1.07
	1970—1979	-0.64	-0.48	-0.33	-0.38	-0.56	-0.90	-0.67	-0.65
	1980—1989	-0.70	-0.01	-0.63	-0.24	-0.27	-0.35	-0.18	-0.25
	1990—1999	0.34	0.22	0.79	0.43	0.34	0.80	0.48	0.72
	2000—2007	1.35	1.46	1.14	1.36	0.65	1.75	1.27	1.44
秋季	1961—1969	-0.59	-1.03	-0.88	-0.79	-0.73	-0.56	-0.30	-0.56
	1970—1979	-0.46	-0.46	-0.35	-0.12	0.02	-0.51	-0.45	-0.45
	1980—1989	0.11	-0.04	-0.04	-0.30	-0.40	-0.08	0.02	-0.27
	1990—1999	0.32	0.61	0.64	0.53	0.45	0.46	0.32	0.42
	2000—2007	0.71	1.03	0.68	0.76	0.72	0.80	0.47	1.00
冬季	1961—1969	-0.88	-1.14	-0.90	-1.04	-0.81	-0.30	-0.45	-0.17
	1970—1979	-0.02	-0.42	-0.21	-0.20	-0.06	0.12	-0.16	0.22
	1980—1989	-0.05	-0.14	0.15	0.27	-0.27	-0.09	0.14	-0.66
	1990—1999	-0.01	0.59	0.31	0.21	0.36	-0.13	0.05	-0.16
	2000—2007	1.08	1.25	0.69	0.82	0.86	0.46	0.48	0.95
年	1961—1969	-0.59	-0.97	-0.81	-1.12	-0.42	-0.57	-0.55	-0.73
	1970—1979	-0.46	-0.35	-0.23	-0.41	-0.26	-0.47	-0.53	-0.42
	1980—1989	-0.24	-0.07	-0.24	-0.16	-0.34	-0.29	-0.06	-0.34
	1990—1999	0.36	0.36	0.57	0.67	0.47	0.45	0.38	0.48
	2000—2007	1.09	1.17	0.79	1.14	0.63	1.03	0.87	1.17

共和分别偏低 0.13°C 和 0.16°C; 进入 21 世纪后, 各站的地温明显偏高, 偏高的幅度也明显偏大, 为 0.46~1.25°C。

2.3 浅层地温的气候突变分析

利用公式(2)和(3)计算 8 个气象站平均浅层地温气候突变的年份如表 2 所示, 由表 2 可知,

表2 青海湖流域及周边各站点年、季平均地温的年份突变

Table 2 Abrupt change years of annual and seasonal mean shallow geotemperatures over Qinghai Lake basin

	春季	夏季	秋季	冬季	年
祁连	1997(El Niño 年)	2001	\	1972(El Niño 年)	2005
天峻	\	\	\	\	\
刚察	\	\	\	\	1998(La Niña 年)
乌兰	1970(La Niña 年)	\	\	\	\
都兰	\	\	\	\	\
海晏	\	\	\	\	\
湟源	1998(La Niña 年)	\	\	\	\
共和	\	\	\	\	1998(La Niña 年)

注: “\” 表示没有发生突变

近 47 a 来天峻、都兰和海晏的年、季平均地温均没有发生突变；在春季，祁连、乌兰和湟源分别在 1997 年、1979 年和 1998 年发生了突变；在夏季，仅有祁连在 2001 年发生了突变；在秋季，各站的平均浅层地温均没有发生突变；在 1998 年，刚察和共和的年平均地温发生了突变，而祁连的年平均地温突变发生在 2005 年。0~20 cm 浅层年、季平均

地温的突变时间绝大部分站点都发生在 El Niño 年或 La Niña 年（陈亚宁等，2008；Huang and Xu, 2010）（图 2~5），说明研究区内浅层地温的变化受 ENSO 事件的影响比较明显，年平均浅层地温发生突变是受全球变化影响的结果。

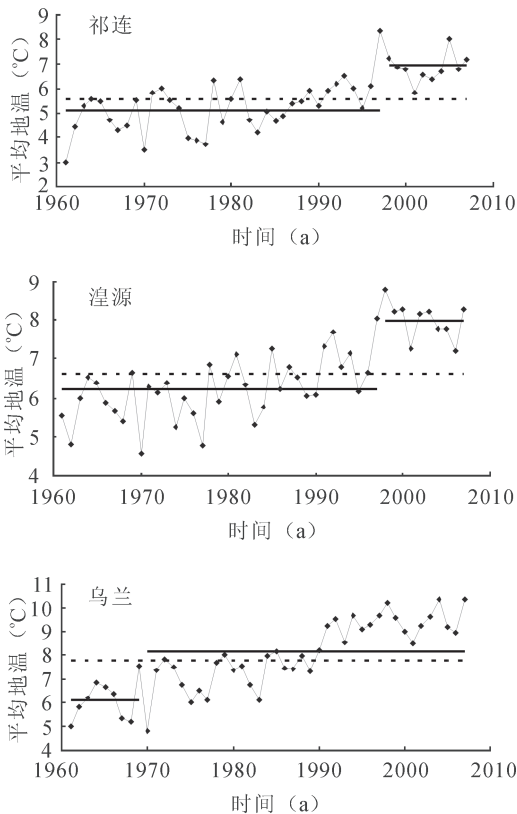


图 2 祁连、湟源和乌兰春季浅层平均地温的变化及其突变

Fig.2 The variations of spring mean shallow geotemperatures and their abrupt changes in Qilian, Wulan and Huangyuan stations

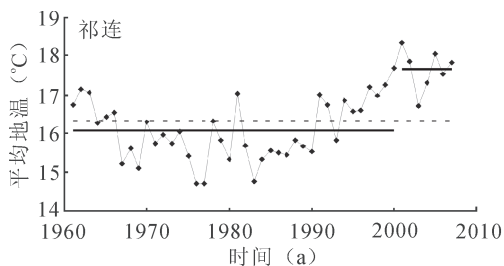


图 3 祁连夏季平均浅层地温的变化及其突变

Fig.3 The variation of summer mean shallow geotemperature and its abrupt change in Qilian station

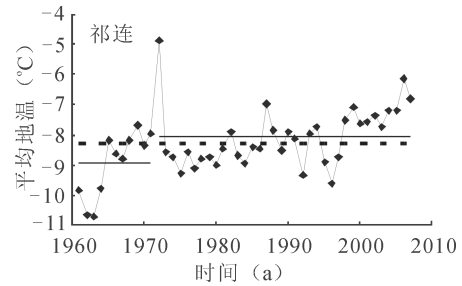


图 4 祁连冬季平均浅层地温的变化及其突变

Fig.4 The variation of winter mean shallow geotemperature and its abrupt change in Qilian station

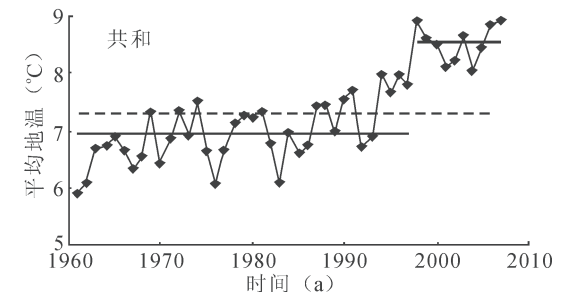
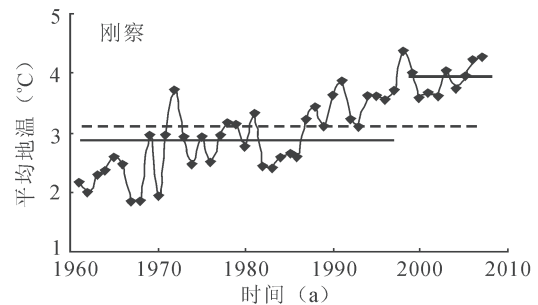
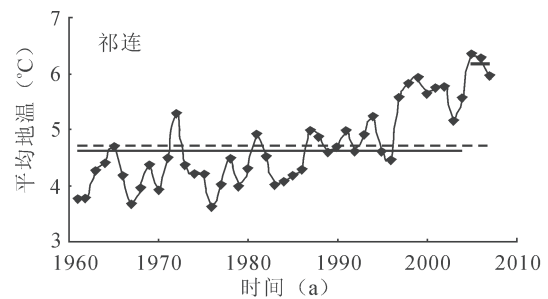


图 5 祁连、刚察和共和年平均浅层地温的变化及其突变

Fig.5 The variations of annual mean shallow geotemperatures and their abrupt changes in Qilian, Gangcha and Gonghe stations

3 结果与讨论

采用气候统计学分析方法对青海湖流域及周边地区1961—2007年浅层地温观测资料进行了分析,并对浅层地温的变化趋势、年代变化和气候突变等进行了研究,结论如下:

(1) 青海湖流域及其周边地区0 cm、5 cm、10 cm、15 cm和20 cm浅层地温均呈现升高的趋势,升幅分别为 $0.30\sim 0.60\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.22\sim 0.51\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.28\sim 0.58\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.30\sim 0.59\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 和 $0.32\sim 0.59\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$;就整个区域平均而言,近47 a来四季平均浅层地温均呈现升高趋势,升幅为 $0.35\sim 0.52\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,以冬季升幅最小,春季和夏季升幅最大;年际尺度上,区域内平均浅层地温以 $0.44\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率显著升高,特别是上个世纪80年代中期之后,升幅为 $0.66\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,这表明青海湖流域及周边地区平均浅层地温升温幅度有增大的趋势。

(2) 绝大部分站点的年、季平均浅层地温均呈现显著的升高趋势,升幅接近甚至高于同时期的平均气温增温幅度。研究区内城市化水平与国内平均水平相比还相差甚远,大部分站点受城市化影响不大,而平均浅层地温却呈现明显的升高趋势,说明地温升高主要是因为该区域内气候变暖所致。

(3) 年平均浅层地温除都兰站在20世纪60—80年代呈现出波动性的升高趋势以外,其他各站点均呈逐年代升高的趋势。20世纪60和70年代平均浅层地温明显偏低,80年代相对正常,90年代偏高,进入21世纪初后,各站的平均浅层地温均偏高 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,其中祁连、天峻、乌兰、海晏和共和5站偏高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。

(4) 近47 a来天峻、都兰和海晏的年、季平均地温均没有发生突变,其他各站浅层年、季平均地温的突变时间绝大部分站点都发生在El Niño年或La Niña年,说明青海湖流域及周边地区浅层地温的变化受ENSO事件的影响比较明显,年平均浅层地温发生突变是受全球变化影响的结果。

参考文献

- 陈亚宁,徐长春,郝兴明,等. 2008. 新疆塔里木河流域近50a气候变化及其对径流的影响[J]. *冰川冻土*, 30(6): 921-929.
- 戴加洗. 1990. 青藏高原气候[M]. 北京: 气象出版社, 142-158.
- 丁一汇,任国玉,石广玉. 2006. 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*, 2(1): 3-9.
- 杜军,李春,廖建,等. 2007. 拉萨近45年浅层地温的变化特征[J]. *干旱区地理*, 30(6): 826-831.
- 杜军,胡军,罗布次仁,等. 2008. 西藏浅层地温对气候变暖的响应[J]. *冰川冻土*, 30(5): 745-751.
- 黄嘉佑. 1995. 气候状态变化趋势与突变分析[J]. *气象*, 21(7): 54-57.
- 李崇银. 1995. 气候动力学引论[M]. 北京: 气象出版社, 290-296.
- 李林,王振宇,秦宁生,等. 2002. 环青海湖地区气候变化及其对荒漠化的影响[J]. *高原气象*, 21(2): 59-65.
- 刘晓东,罗四维,钱永莆. 1989. 青藏高原地表热状况对夏季东亚大气环流影响的数值模拟[J]. *高原气象*, 8(3): 205-215.
- 任国玉,初子莹,周雅清. 2005. 中国气温变化研究最新进展[J]. *气候与环境研究*, 10(4): 701-716.
- 时兴合,李林,汪青春,等. 2005. 环青海湖气候变化及其对湖泊水位的影响[J]. *气象科技*, 33(1): 58-62.
- 孙永亮,李小雁,许何也. 2007. 近40 a青海湖流域逐日降水和气温变化特征[J]. *干旱气象*, 25(1): 7-13.
- 王艳姣,周晓兰,倪绍祥,等. 2003. 近40 a来青海湖地区的气候变化分析[J]. *南京气象学院学报*, 26(2): 228-235.
- 许何也,李小雁,孙永亮. 2007. 近47 a来青海湖流域气候变化分析[J]. *干旱气象*, 25(2): 50-54.
- 中国气象局. 2003. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 85-89.
- Huang F, Xu S B. 2010. Super Typhoon Activity over the Western North Pacific and Its Relationship with ENSO[J]. *J Ocean Univ China*, 9(2): 123-128.