

珠穆朗玛峰地区近 34 年来气候变化

杨续超^{1,2}, 张懿铨^{1,3}, 张 玮^{1,2}, 阎宇平⁴, 王兆锋^{1,2}, 丁明军^{1,2}, 陈 多⁵

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;

3. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085;

4. 中国气象局国家气候中心气候研究开放实验室, 北京 100081;

5. 西藏高原大气环境科学研究所, 拉萨 850000)

摘要: 利用珠穆朗玛峰地区中国境内 5 个气象站 1971~2004 年月平均气温、月平均最高、最低气温、月降水资料, 采用气候线性趋势分析、滑动平均、低通滤波、累积距平等方法对珠峰地区近 34 年气候变化的时空分布特征进行了分析。结果表明: (1) 1971~2004 年珠峰地区气温呈现出明显的上升趋势, 其中海拔最高的定日站增幅最高, 且以冬半年非生长季气温增长更为显著; (2) 近 34 年珠峰地区的变暖要明显早于中国及全球, 且升温幅度更大; (3) 珠峰南、北翼降水变化趋势明显不同, 北翼 4 站降水以增加趋势为主, 但是总体显著性水平不高, 而珠峰南翼的聂拉木降水以减少趋势为主, 从 90 年代初开始降水以较大幅度减少; (4) 与已有研究结果比较发现: 珠峰高海拔地区是中国同期升温最显著的区域。设立在海拔 5032 m 珠峰大本营的世界上海拔最高的无人值守实时自动气象站将会在全球变化监测中发挥重要的作用。

关键词: 珠穆朗玛峰地区; 气候变化; 气温; 降水

气候变化对全球的自然生态系统以及社会经济体系具有深远的影响, 是当今各国政府和科学界乃至普通民众广泛关注的热点问题。近百年来, 全球的平均地面气温呈现明显的上升趋势^[1]。占我国陆地面积约 1/4 的青藏高原是地球上地势最高的地区, 具有独特而又复杂的高原气候, 不仅是气候变化的敏感区和启动区^[2], 还被认为是全球气候变化的驱动力与放大器^[3], 在气候变化研究中占有重要地位, 也是全球所关注的热点地区。已有的研究表明^[4-6], 青藏高原年平均气温的变化具有总体一致性, 从 20 世纪 60 年代以来一直是逐渐升温的, 而且气候变暖与海拔高度密切相关, 增温率随着海拔高度的升高而增大。与气温变化相比, 青藏高原降水的变化要复杂得多, 其变化趋势还存在争议, 如 50 年代至 90 年代初期青藏高原平均降水呈减少趋势, 主要分布在沿雅鲁藏布江一带, 而藏东南、藏南、藏北地势较高地区及青海北部降水增加^[7]; 1971~2000 年西藏大部分地区年降水量变化为正趋势, 而阿里地区呈较为明显的减少趋势^[8]; 近 30 年青藏高原降水大体上以增加的趋势为主, 但总体显著性水平不高^[9]。

珠穆朗玛峰地区 (以下简称珠峰地区) 位于我国青藏高原南部、喜马拉雅山脉的中段。珠峰地区山体巨大, 地势高亢。该区独特而多样的地理条件, 敏感而脆弱的自然环境使其成为在全球环境变化背景下研究地气系统相互作用及生态系统格局与过程变化的理想场所, 成为国内外科学家研究的热点地区。2005 年适逢 1975 年珠峰登山科考 30 周

收稿日期: 2006-02-16; 修订日期: 2006-03-23

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2005CB422006); 中国气象局气候变化专项 (CCSF2005-2-QH38); 中国科学院知识创新工程 (KZCX3-SW-339) [Foundation: The National Basic Research Program of China, No. 2005CB422006; Climate Change Programme of The China Meteorological Administration (CMA), No. CCSF2005-2-QH38; Knowledge Innovation Project of CAS, No.KZCX3-SW-339]

作者简介: 杨续超 (1980-), 男, 河南信阳人, 博士研究生, 主要从事土地覆被与气候变化的关系研究。

通讯作者: 张懿铨, 研究员, 中国地理学会会员。E-mail: zhangyl@igsrr.ac.cn

年之际,中国科学院再次组织以“珠穆朗玛峰地区对全球变化的响应”为主题的综合科学考察活动,对珠峰地区开展大气物理、大气化学、冰川与水文、生态、环境以及珠峰高度变化历史的观测研究,本次考察获得的样品和资料将为深入研究珠峰地区的环境变化提供可靠的科学依据。

珠峰地区气候条件与东部同纬度低海拔地区迥然不同,而作用于本区的大气环流和喜马拉雅山脉的屏障又使南、北两翼产生明显的区域分异^[10]。作为地球上海拔最高的区域,对珠峰地区近几十年来的气候变化状况却缺乏较为系统的报道。本文利用珠峰地区5个气象站1971~2004年的气温和降水资料,对其近34年来气候变化进行深入系统的分析,研究珠峰地区在全球变化大背景下的响应。

1 研究区范围

珠峰自然保护区包括定日、定结、聂拉木和吉隆4县,其中定日和聂拉木设有气象站。为了更为准确的反映珠峰地区的气候变化状况,本文中研究区范围设定为:东起江孜,西致吉隆,南达国界,北及雅鲁藏布江的区域,包括定日、聂拉木、日喀则、江孜、拉孜5个气象站(图1)。

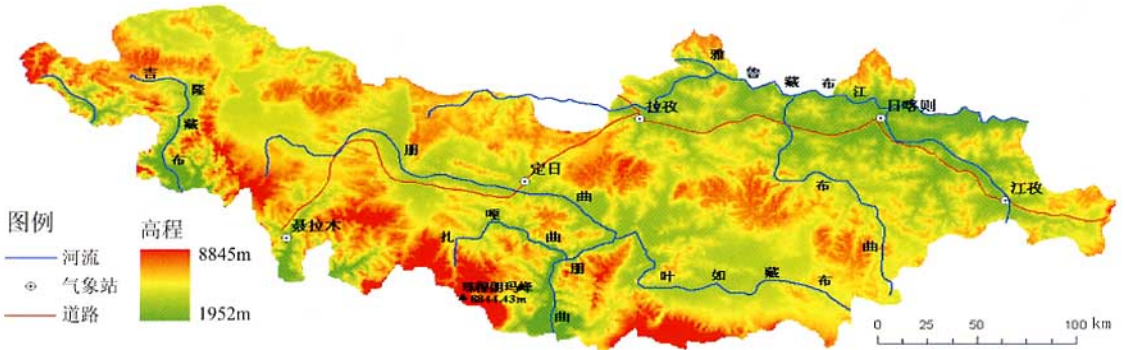


图1 珠穆朗玛峰地区位置图
Fig. 1 Location of the study area

2 数据与方法

数据处理 本文选用定日、聂拉木、江孜和日喀则4个气象站1971~2004年及拉孜站1978~2004年的月平均气温、月平均最高、最低气温和逐月降水资料;鉴于拉孜站气候变化与日喀则站有很高的相关(气温相关系数为0.91,降水相关系数为0.89,通过99.9%的置信度检验),故本研究将拉孜站与日喀则站数据用最小二乘法进行线性回归,使其延伸到1971年。

气候变化趋势分析主要采用线性趋势法^[11]分析气象要素序列的变化,且对趋势系数进行了显著性检验。气候突变分析通过累积距平曲线法^[12]分析气象要素序列变化的突变。

3 结果与分析

珠峰地区是气候变化的敏感地区,喜马拉雅山复杂的地形和强烈的太阳辐射形成了该地区独特的气候和环境特征。在全球变化的大背景下,珠峰地区也产生了气温升高、冰川消融等一系列的响应。

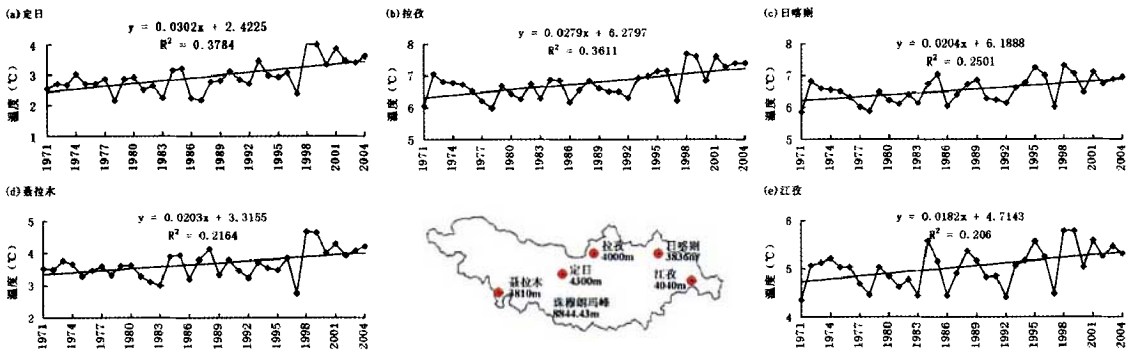


图 2 1971~2004 年珠穆朗玛峰地区各站年平均气温变化

Fig. 2 Trends of annual average temperature change at each station in Mt. Qomolangma region, 1971-2004

3.1 珠峰地区气温变化

3.1.1 气温年际变化 珠峰地区山体巨大, 地势高亢, 整个山体占据对流层 1/3~1/2 的高度, 由于海拔高, 气温较低。1971~2004 年珠峰地区 5 站年平均气温在 3~6.8 °C 之间, 区域近 34 年年平均气温约为 5 °C, 远低于我国东部同纬度低海拔地区。

1971 年以来, 珠峰地区 5 站年平均气温均呈明显上升趋势 (图 2), 与已有报道^[6-9, 12-17] 的青藏高原从 20 世纪 60 年代以来一直是逐渐升温的态势一致, 但升温更显著, 5 站平均线性升温率为 0.234 °C/10a (置信度为 99.9%)。其中海拔最高的定日站年平均气温增幅最高, 达到 0.302 °C/10a (置信度为 99.9%)。

定日、聂拉木、江孜、日喀则、拉孜 5 站年平均气温的年代际变化 (表 1) 表明, 珠峰地区 20 世纪 70 年代到 80 年代升温幅度较小, 其中定日站的气温甚至有所降低, 但是 90 年代以后气温开始显著上升, 2000 年以来的气温比 70 年代升高了 0.4~0.8 °C。

近 34 年来, 珠峰地区年平均气温、年平均最低、最高气温在年际波动中都呈现出明显的上升趋势 (图 3a、c、e), 其线性升温率分别为 0.234 °C/10a、0.306 °C/10a、0.201 °C/10a (置信度分别为 99.9%、99.9%、99.0%), 足见增暖趋势是十分显著的。从升温率来看, 平均最低气温的升幅要明显高于平均气温和平均最高气温, 因此可以认为气温升高受最低气温升高的影响更为显著。另外, 从累积距平变化曲线看 (图 3b、d、f), 珠峰地区年平均气温、平均最低、最高气温均在 1992 年发生突变, 1992 年以前升温幅度较为缓慢, 而此后呈现出显著的升高趋势。

3.1.2 气温季节变化 珠峰地区气候表现出明显的季风特征, 冬半年为西风带所控制, 气温较低, 夏半年受暖湿气流的影响, 气温较高。从珠峰地区月平均气温的年代际变化来看, 2000 年以来冬半年 (10 月~3 月) 的月平均气温比 70 年代升高了将近 1 °C, 而夏半年 (4 月~9 月) 的月平均气温的升高则较弱 (图 4)。因此, 珠峰地区的升温在冬半年尤其强烈。根据实地考察的结果, 珠峰地区植被生长期一般在 6~9 月, 由图 4 可以看出 6~7

表 1 珠穆朗玛峰地区各站年平均气温的年代际变化 (°C)

Tab. 1 Interdecadal variations of air temperature at each station in Mt. Qomolangma region

站名	海拔 (m)	1971~2004年 平均气温	气温距平/°C			
			1970年代	1980年代	1990年代	2000-04年
定日	4300	2.95	-0.25	-0.27	0.20	0.59
聂拉木	3810	3.67	-0.15	-0.14	0.05	0.44
江孜	4040	5.02	-0.14	-0.09	0.10	0.30
日喀则	3836	6.55	-0.21	-0.08	0.12	0.29
拉孜	4000	6.77	-0.23	-0.20	0.14	0.54
5站平均	3997	4.99	-0.19	-0.16	0.12	0.43

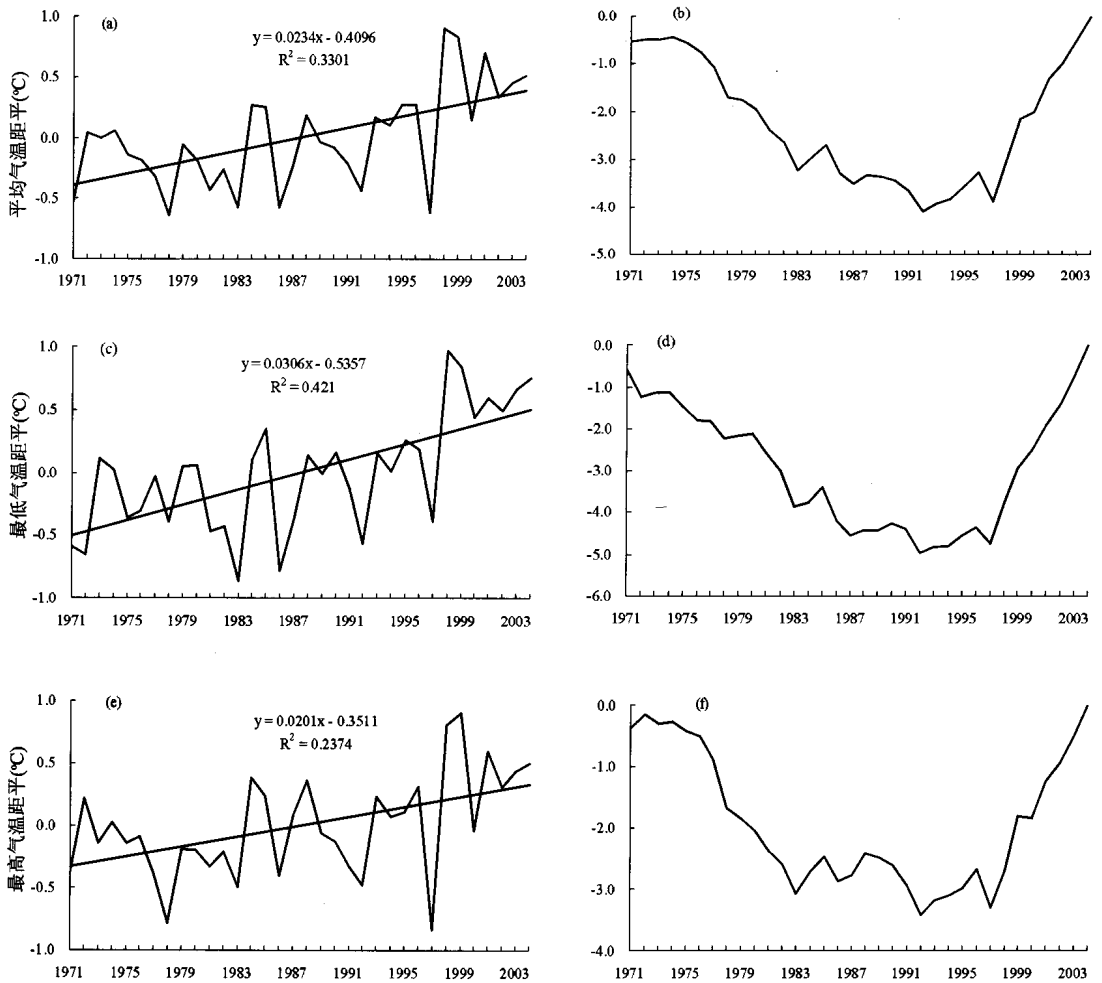


图3 珠穆朗玛峰地区年平均气温 (a、b)、平均最低 (c、d) 和最高气温 (e、f) 距平及累积距平变化曲线
 Fig. 3 Anomalies and accumulated variance of annual mean (a,b), maximum (c,d) and minimum (e,f) air temperature in Mt. Qomolangma region

月气温变化不明显, 8~9 月气温虽然也有较明显升高, 但总体来看非生长期 10~5 月气温升高更加明显。

3.1.3 气温变化的对比分析 Shrestha (1999) 分析了位于珠峰南坡的尼泊尔 1971~1994 年年平均最高气温的变化趋势^[18] (图 5), 对比图 3e 中珠峰北坡最高气温的变化趋势可以看到珠峰南北两侧气温变化较为一致, 都呈现出较明显的升温趋势, 而且南北两侧都是从 1978 年开始了比较显著的升温。

青藏高原气候变化的位相比我国东部位相提前^[2], 因此其气候变化对全国的气候变化具有指示性的意义。Liu 和 Chen 的研究^[12]也指出青藏高原的变暖先于全球变化, 且升温幅度更大。我们通过珠峰地区近 30 余年气候变化与不同空间尺度气候变化的对比分析也得出类似的结果。利用美国国家海洋和大气局 CDC (NOAA Climate Diagnostics Center) 提供的全球格点月平均气温数据, 我们得到中国及全球近 34 年气温年际变化趋势 (图 6c、d), 并与珠峰地区及西藏^[16]近 30 余年气温变化趋势进行了对比 (图 6a、b), 结果如下: 珠峰地区和西藏气温变化趋势较为一致, 近期显著的持续变暖开始于 1978 年, 中国开始于 1984 年, 而近 34 年全球有两次比较显著的升温, 一次从 1976 年开始, 最近的一

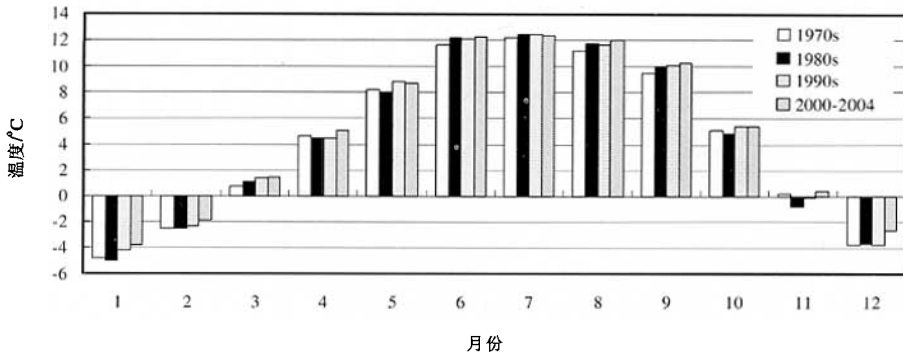


图 4 珠穆朗玛峰地区月平均气温的年代际变化

Fig. 4 Monthly mean temperature averaged for 5 stations in Mt. Qomolangma region during the recent 34 years

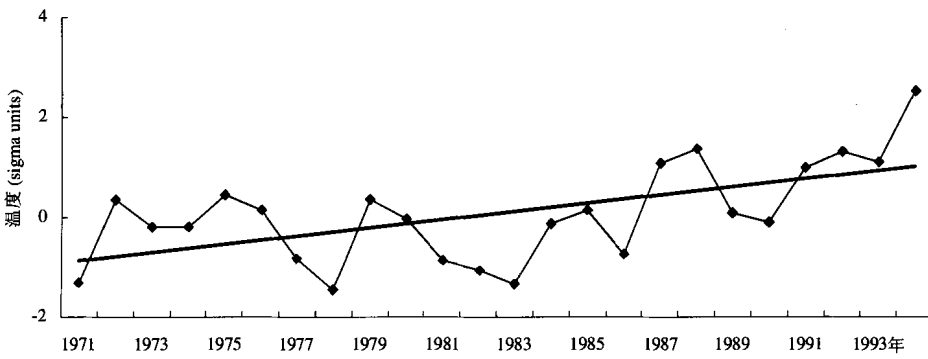


图 5 1971~1994 年尼泊尔年平均最高气温的年际变化 (引自 Shrestha, 1999)

Fig. 5 Time series of annual mean maximum temperature in Nepal from 1971 to 1994 (after Shrestha, 1999)

次则从 1993 年开始。因此，珠峰地区的近期变暖要早于中国，更早于全球平均水平。从升温幅度来看，珠峰地区近 34 年的升温率为 $0.234\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，高于同期全国的升温率 ($0.226\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)，也明显大于同期全球平均的升温率 ($0.148\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)。国内外的研究^[4, 5, 19-22]也已经表明，气候变暖具有海拔依赖性，升温幅度与海拔高度密切相关。因此，在全球变暖的大背景下，认识极高海拔的珠峰地区气候及环境变化的特点，具有重要的科学意义。

3.1.4 珠峰地区冰川对气候变化的响应 冰川作为一种动态水资源，是随着气候变化而不断变化的。20 世纪以来，随着气候变暖，全球范围内的冰川开始退缩。珠峰地区也同时由于全球变暖，冰川处于退缩状态。以珠峰北坡最大的冰川——绒布冰川为例，1966~1997 年中绒布冰川冰塔林下限退缩 270 m，东绒布冰川退缩 170 m，远东绒布冰川退缩 230 m，年平均退缩量分别为 8.7 m、5.5 m 和 7.4 m^[23]。1997~2001 年，中绒布冰川和东绒布冰川的退缩速率较前 30 年略有增大^[6]。据 2005 年珠峰科考察观察到东绒布冰川消融区的上限是海拔 6400 m，而 2002 年是 6350 m。50 m 的上升幅度非常明显，正常情况下变动幅度应该在每年 10 m 以内，说明近三年来珠峰冰川的消融非常强烈^[24]。另外，康世昌 (2005) 还提出了东绒布冰川消融的其他证据：2002 年在 5600 m 处观测到一个 20 m 至 30 m 高的冰崖，但目前这个冰崖已完全消失，同时它旁边的一个冰湖也已消失；2004 年，在 6300~6500 m 之间布设了 20 多根测量冰川物质平衡的花杆，呈网状分布，但最后只剩下 4 根，这充分说明冰川厚度在明显减少^[25]。以上都是近 30 多年来珠峰冰川消融加剧的充分证明，由于冰川对气候变化的响应具有滞后特征，那么近十多年来更为明显的气候变暖将会使珠峰冰川持续保持退缩状态。

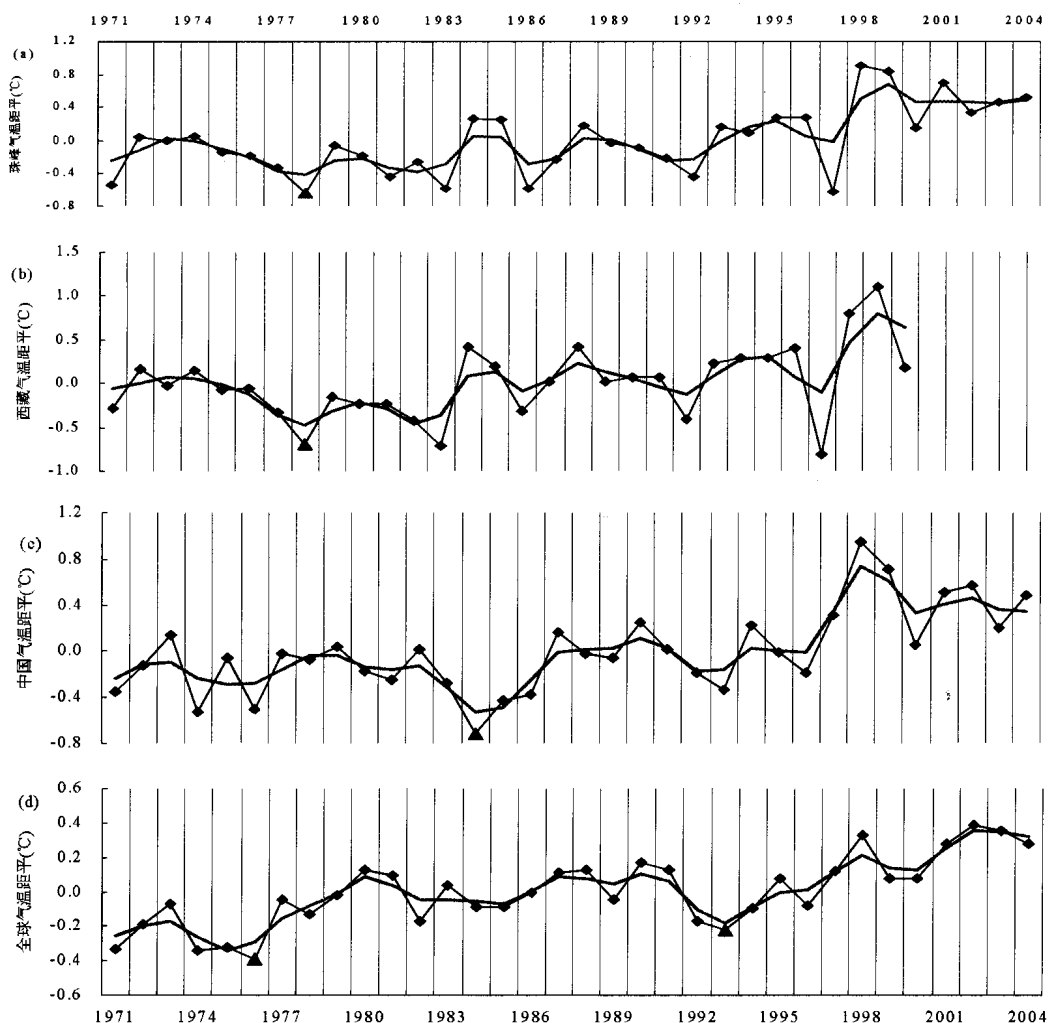


图 6 年平均气温距平的对比 (粗线表示低通滤波趋势线)

Fig. 6 Annual mean temperature anomalies of Mt. Qomolangma region, Xizang, China and global mean (The thick solid curves represent the corresponding smoothed time series using a low-pass filter)

3.2 珠峰地区降水变化

3.2.1 降水年际变化 由于喜马拉雅山脉对暖湿气流的屏障作用,使珠峰南、北翼的降水量有较大的差异。北翼的定日、拉孜、日喀则、江孜 4 站由于山脉阻碍了输入的水汽,以半干旱型气候为主,其中靠近雅鲁藏布江的拉孜和日喀则近 34 年平均年降水量分别为 327.4 mm、433.3 mm,多于定日和江孜 (分别为 296.4 mm、292.1 mm)。迎向暖湿气流的南翼聂拉木属于半湿润气候,近 34 年平均年降水量为 657.3 mm。从近 34 年 5 站降水的年际变化看 (图 7),靠近雅鲁藏布江的拉孜和日喀则降水量以每年约 3 mm 的增幅有所增加 (分别通过 95% 和 90% 的置信度检验),定日和江孜两站降水在波动中整体变化不大,而南翼的聂拉木降水呈现出明显的下降趋势,但是显著性水平都不高。

从珠峰北翼 4 站平均降水量距平的年际变化来看 (图 8a),70 年代降水量较多,到了 80 年代初降水减少,其中 1982 年降水量是近 34 年来最少的。从 80 年代末到 90 年代初降水又有所增加,90 年代中期降水量又减少,到了 1998 年降水又开始增多,其中 1998~2000 年降水量是近 34 年来最多的,2001 年开始降水又开始减少。而珠峰南翼的聂拉木降水距平呈减少趋势 (图 8b),从 70 年代到 80 年代降水在波动中以增加趋势为主,

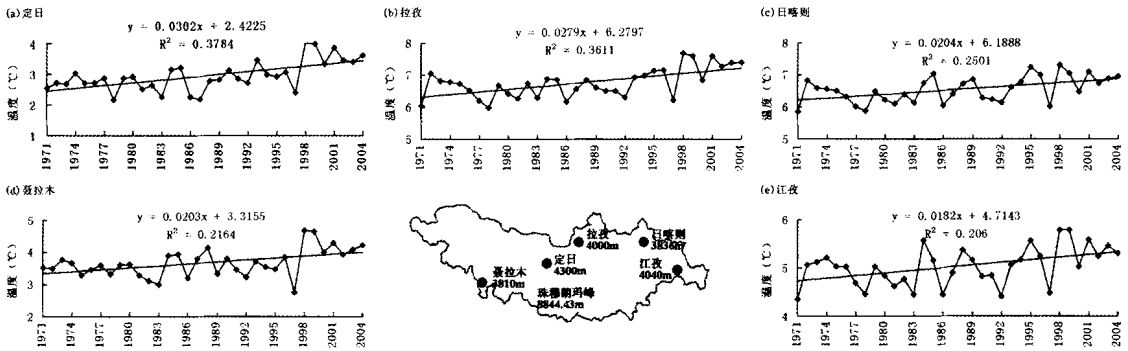


图 7 1971~2004 年珠穆朗玛峰地区各站降水变化趋势

Fig. 7 Trends of annual average precipitation change at each station in Mt. Qomolangma region, 1971-2004

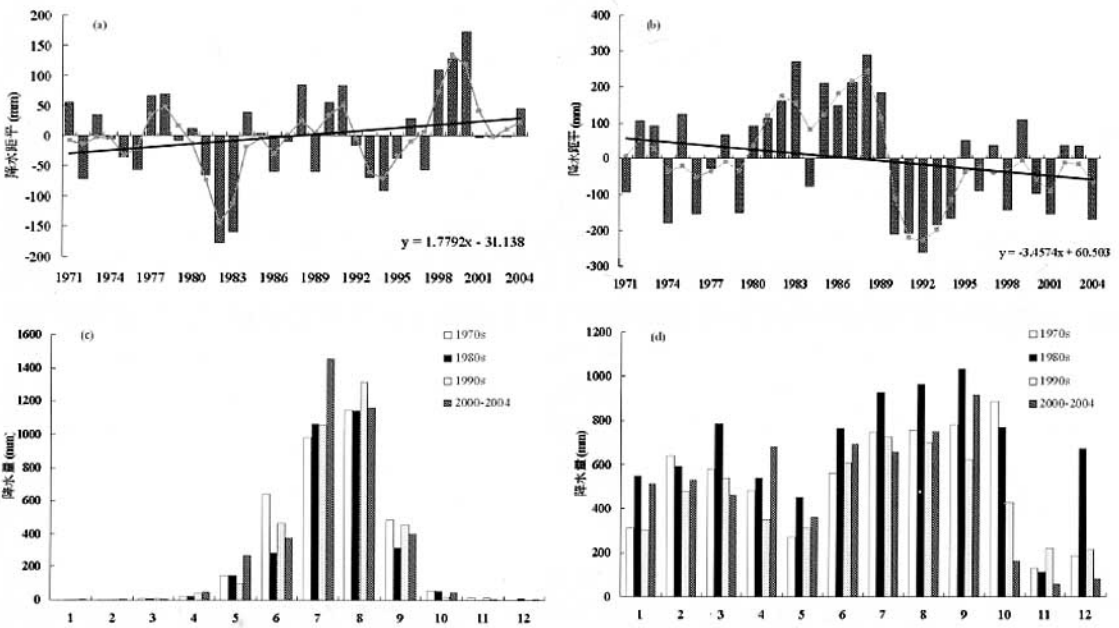


图 8 1971~2004 年珠峰北翼 (a、c) 和南翼 (b、d) 降水量距平的年际变化和月平均降水的年代际变化 (曲线为低通滤波趋势线, 粗线为线性拟合趋势线)

Fig. 8 Annual mean precipitation anomalies and histograms of monthly mean precipitation of the northern (a,c) and the southern (b,d) part of Mt. Qomolangma region during the period 1971-2004

(The curves represent the corresponding smoothed time series using a low-pass filter and the thick lines are fitted linear trends with a least-squares procedure)

特别是 80 年代中后期降水量较为丰富。到了 1990 年, 降水量突然急剧下降, 而且 90 年代的前 5 年降水都偏少, 其中 1992 年是最干旱的一年, 这在珠峰南坡的尼泊尔也有反映^[26], 随后又缓慢地有所增加。

3.2.2 降水季节变化 位于珠峰北翼 (图 8c) 的定日、江孜、日喀则和拉孜 4 站, 11~3 月为干季, 高空西风占优势, 空气干燥, 晴而少雨; 6~9 月为雨季, 暖湿气流影响显著, 多阴雨^[10]。从月降水的年代际变化上看, 北翼变化较为复杂, 6 月份降水以 70 年代为最多, 7 月份降水以 2000 年以来为最多, 而 8 月份降水则以 90 年代为最多。位于珠峰南翼 (图 8d) 的聂拉木降水在季节上的分配呈现出双峰型, 即夏季 8、9 月份的高峰和春季 2、3 月份的次高峰; 从月降水的年代际变化上看, 南翼聂拉木各月降水有较为一致的变化, 80 年代降水量普遍偏高。

4 结论与讨论

1971~2004 年, 珠峰地区气候变化主要特征为:

(1) 珠峰地区气温呈现出明显的上升趋势, 平均线性增温率为 $0.234\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 其中海拔最高的定日站年平均气温升幅最高, 达 $0.302\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。平均最低气温的升幅要明显高于平均气温和平均最高气温的升幅, 冬半年非生长季气温升高更为显著;

(2) 珠峰地区升温幅度高于全球平均的升温率 ($0.148\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)。近 34 年珠峰地区和西藏气温变化趋势较为一致, 近期的变暖开始于 1978 年, 而中国近期的变暖开始于 1984 年, 全球最近的显著升温则从 1993 年开始;

(3) 近 30 多年来随着气温升高, 珠峰地区冰川消融加剧。由于目前气候仍在变暖, 珠峰地区的冰川将继续保持退缩状态。

(4) 近 34 年珠峰南、北翼降水变化趋势明显不同, 北翼 4 站降水以增加的趋势为主, 但总体显著性水平不高。珠峰南翼的聂拉木降水以减少趋势为主, 从 90 年代初开始降水以较大幅度减少。

高海拔地区对全球气候变化反应敏感, 变暖的幅度一般随海拔高度升高而增大^[19-22]; 1954~2002 年间, 西藏中南部地区是中国升温趋势最为明显的地区之一^[27], 本研究显示距离珠峰 100 多 km 海拔 4300 m 的定日站升温幅度最高, 进而推论: 珠峰地区高海拔地段是中国同期升温最显著的区域。在全球变暖的大背景下, 认识极高海拔的珠峰地区气候及环境变化的特点, 协调自然环境变化与社会发展的关系具有重要的科学意义和现实意义, 故在海拔 5032 m 的珠峰大本营设立的世界上海拔最高的无人值守实时自动气象站将会在全球变化监测中发挥重要的作用。鉴于珠峰地区气象观测站点稀少, 气候数据缺乏, 进一步结合尼泊尔境内气象站点的观测数据, 比较分析南北坡气候变化, 将会更全面地把握珠峰地区气候变化的趋势与特征。青藏高原冰雪等陆面过程变化的反馈机制^[4]放大了气候变化的信号, 因此对极高海拔珠峰地区气候及环境变化的监测分析可以获得更早的全球变化预警信息。

致谢: 中国气象局郭亚曦研究员、巢清尘女士、罗勇先生对本研究进行了全面指导。国家气象信息中心气象资料室、定日县王志忠和普布扎西、拉萨市气象局杜军高级工程师等提供气象数据, 中国科学院地理科学与资源研究所邵雪梅研究员和张雪芹博士、中国科学院地球环境研究所刘晓东研究员提出宝贵意见, 在此特致感谢。

参考文献 (References)

- [1] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 140-165.
- [2] Feng Song, Tang Maocang, Wang Dongmei. New evidence of the Qinghai-Xizang Plateau as a pilot region of climatic fluctuation in China. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(6): 633-636. [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.]
- [3] Pan Baotian, Li Jijun. Qinghai-Tibetan Plateau: a driver and amplifier of the global climatic change. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 1996, 32(1): 108-115. [潘保田, 李吉均. 青藏高原: 全球气候变化的驱动力与放大器. 兰州大学学报 (自然科学版), 1996, 32(1): 108-115.]
- [4] Liu Xiaodong, Hou Ping. Relationship between the climatic warming over the Qinghai-Xizang Plateau and its surrounding areas in recent 30 years and the elevation. Plateau Meteorology, 1998, 17(3): 245-249. [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.]
- [5] Yao Tandong, Liu Xiaodong, Wang Ninglian. Amplitude of climatic change in Qinghai-Tibetan Plateau. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(1): 98-106. [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.]
- [6] Zhang Yili, Zheng Du et al. Regional ecosystem and environment change on the Plateau. In: Zheng Du, Yao Tandong et

- al. Uplifting of Tibetan Plateau with Its Environmental Effects. Beijing: Science Press, 2004. 459-554. [张德铨, 郑度等. 青藏高原区域生态环境变化及其管理对策探讨. 见: 郑度, 姚檀栋等, 青藏高原隆升与环境效应. 北京: 科学出版社, 2004. 459-554.]
- [7] Lin Zhenyao, Zhao Xinyi. Spatial characters of temperature and precipitation in the Tibetan Plateau. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(4): 354-358. [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, 26(4): 354-358.]
- [8] Du Jun, Ma Yucai. Climatic trend of rainfall over Tibetan Plateau from 1971 to 2000. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(3): 375-382. [杜军, 马玉才. 西藏高原降水变化趋势的气候分析. *地理学报*, 2004, 59(3): 375-382.]
- [9] Wu Shaohong, Yin Yunhe, Zheng Du et al. Climate changes in the Tibetan Plateau during the last three decades. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 3-11. [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.]
- [10] Team of Scientific Expedition to Tibet, CAS. Dissertation of Scientific Expedition to Mt. Qomolangma Region: Physical Geography. Beijing: Science Press, 1975. 1-15. [中国科学院西藏科学考察队. 珠穆朗玛峰地区科学考察报告: 自然地理. 北京: 科学出版社, 1975. 1-15.]
- [11] Wei Fengying. Modern Climatic Statistical Diagnosis and Forecasting Technology. Beijing: China Meteorological Press, 1999. 43-47. [魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术. 北京: 气象出版社, 1999. 43-47.]
- [12] Liu Xiaodong, Chen Baode. Climatic warming in the Tibetan Plateau during recent decades. *International Journal of Climatology*, 2000, 20(14): 1729-1742.
- [13] Cai Ying, Li Dongliang, Tang Maocang et al. Decadal temperature changes over Qinghai-Xizang Plateau in recent 50 years. *Plateau Meteorology*, 2003, 22(5): 464-470. [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.]
- [14] Wei Zhigang, Huang Ronghui, Dong Wenjie. Interannual and interdecadal variations of air temperature and precipitation over the Tibetan Plateau. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2003, 27(2): 157-170. [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.]
- [15] Wang Yan, Li Xiong, Miao Qilong. Analyses on variety characteristics of temperature in Qinghai-Tibet Plateau in recent 50 years. *Arid Land Geography*, 2004, 27(1): 41-46. [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.]
- [16] Du Jun. Change of temperature in Tibetan Plateau from 1961 to 2000. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(6): 682-690. [杜军. 西藏高原近 40 年的气温变化. *地理学报*, 2001, 56(6): 682-690.]
- [17] Li Lin, Zhu Xide, Qin Ningsheng. Study on temperature variations and its anomaly pattern over Qinghai-Xizang Plateau. *Plateau Meteorology*, 2003, 22(5): 524-530. [李林, 朱西德, 秦宁生. 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.]
- [18] Arun B Shrestha, Cameron P Wake, Paul A Mayewski et al. Maximum temperature trends in the Himalaya and its vicinity: an analysis based on the temperature records from Nepal for the period 1971-94. *Journal of Climate*, 1999, 12: 2775-2786.
- [19] Beniston M, Diaz H F, Bradley R S. Climatic change at high elevation sites: an overview. *Climatic Change*, 1997, 36: 233-251.
- [20] Diaz H F, Bradley R S. Temperature variations during the last century at high elevation sites. *Climatic Change*, 1997, 36: 253-279.
- [21] Aizen V B, Aizen M, Melack J M et al. Climatic and hydrologic changes in the Tien Shan, central Asia. *Journal of Climate*, 1997, 10: 1393-1404.
- [22] Giorgi F, Hurrell J, Marinucci M R et al. Elevation dependency of the surface climate change signal: a model study. *Journal of Climate*, 1997, 10: 288-296.
- [23] Ren Jiawen, Qin Dahe, Jing Zhefan. Climatic warming causes the glacier retreat in Mt. Qomolangma. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1998, 20(2): 57-58. [任贾文, 秦大河, 井哲帆. 气候变暖使珠穆朗玛峰地区冰川处于退缩状态. *冰川冻土*, 1998, 20(2): 57-58.]
- [24] Kang Shichang (ed.). Striding into Mt. Qomolangma. Lanzhou: Gansu Scientific & Technical Press, 2005. 4-6. [康世昌主编. 走进珠穆朗玛. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2005. 4-6.]
- [25] Zhao Yahui. Scientific expedition into Mt. Qomolangma found that the glacier retreat in the north slope of Mt. Qomolangma is serious. 2005-05-11. <http://www.china.org.cn/chinese/TEC~c/863452.htm>. [赵亚辉. 珠峰科考发现: 珠峰北坡冰川退缩严重. 2005-05-11. <http://www.china.org.cn/chinese/TEC~c/863452.htm>.]
- [26] Arun B Shrestha, Cameron P Wake. Precipitation fluctuations in the Nepal Himalaya and its vicinity and relationship with some large scale climatological parameters. *International Journal of Climatology*, 2000, 20: 317-327.

- [27] Tao Bo. Preliminary study on spatio-temporal patterns of terrestrial carbon budgets driven by climatic change in China. Postdoctoral Research Report of Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, 2005. 20-25.
[陶波. 气候变化驱动的中国陆地生态系统碳收支格局初步研究. 中国科学院地理科学与资源研究所博士后研究工作报告, 2005. 20-25.]

Climate Change in Mt. Qomolangma Region in China during the Last 34 Years

YANG Xuchao^{1,2}, ZHANG Yili^{1,3}, ZHANG Wei^{1,2}, YAN Yuping⁴,
WANG Zhaofeng^{1,2}, DING Mingjun^{1,2}, CHU Duo⁵

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*

3. *Institute of Tibetan Plateau Research, CAS, Beijing 100085, China;*

4. *Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, CMA, Beijing 100081, China;*

5. *Tibet Institute of Plateau Atmospheric and Environmental Sciences, Lhasa 850000, China)*

Abstract: Using annual mean, maximum, minimum air temperature and monthly mean precipitation data from 5 weather stations in Mt. Qomolangma region from 1971 to 2004, climatic linear trend, moving mean, low-pass filter and accumulated variance analysis methods, the spatial and temporal patterns of the climatic change in this region were analyzed. The main findings can be summarized as follows: (1) There is an obvious ascending trend for the interannual variation of air temperature in Mt. Qomolangma region and the ascending trend of the highest station, Tingri, is most significant. The rate of increasing air temperature is 0.0234 °Ca⁻¹ in Mt. Qomolangma region and 0.0302 °Ca⁻¹ in Tingri. The air temperature increases more strongly in non-growing season. (2) Compared with China and the global mean, the warming of Mt. Qomolangma region occurred early. The linear rates of temperature increase in Mt. Qomolangma region exceed those for China and the global mean in the same period. This is attributed to the sensitivity of mountain regions to climate change. (3) The southern and northern parts of Mt. Qomolangma region are quite different in precipitation changes. Stations in the northern part show increasing trends but are not statistically significant. Nyalam in the southern part shows a decreasing trend and the sudden decrease of precipitation occurred in the early 1990s. (4) Compared with the previous studies, we find that the warming of Mt. Qomolangma high-elevation region is most significant in China in the same period. The highest automatic meteorological comprehensive observation station in the world that was set up at the base camp of Mt. Qomolangma with an elevation of 5032 m above sea level will play an important role in monitoring the global climate change.

Key words: Mt. Qomolangma region; climate change; temperature; precipitation