

宋敏红, 马耀明, 张宇, 等. 2011. 雅鲁藏布江流域气温变化特征及趋势分析 [J]. 气候与环境研究, 16 (6): 760–766. Song Minhong, Ma Yaoming, Zhang Yu, et al. 2011. Analyses of characteristics and trend of air temperature variation along the Brahmaputra valley [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (6): 760–766.

## 雅鲁藏布江流域气温变化特征及趋势分析

宋敏红<sup>1,2</sup> 马耀明<sup>3</sup> 张宇<sup>1,2</sup> 李茂善<sup>1,2</sup> 马伟强<sup>1,2</sup> 孙方林<sup>1,2</sup>

1 中国科学院寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室, 兰州 730000

2 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000

3 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085

**摘 要** 通过分析 1980~2005 年间雅鲁藏布江流域 7 个气象台站平均的气温变化趋势和气候系数变化, 并进一步分析了 1960~2005 年间该流域中游日喀则站和下游林芝站气温的变化趋势, 研究了该流域气温变化对全球变暖的响应。结果表明, 1980~2005 年间雅鲁藏布江流域的气温呈现逐渐升高的趋势, 尤其是夜间气温和冬、春季气温的升高更显著, 而且该流域变暖幅度高于整个高原的平均增幅, 因此该流域对全球变暖的响应程度也较整个高原更为显著; 而该流域中游地区的增温幅度要明显高于下游地区的, 即该流域中游地区的增暖较下游地区的更为显著。

**关键词** 雅鲁藏布江流域 气候变化趋势 全球变暖

**文章编号** 1006-9585 (2011) 06-0760-07 **中图分类号** P423 **文献标识码** A

## Analyses of Characteristics and Trend of Air Temperature Variation along the Brahmaputra Valley

SONG Minhong<sup>1,2</sup>, MA Yaoming<sup>3</sup>, ZHANG Yu<sup>1,2</sup>, LI Maoshan<sup>1,2</sup>,  
MA Weiqiang<sup>1,2</sup>, and SUN Fanglin<sup>1,2</sup>

1 Key Laboratory of Land Surface Process and Climate Change in Cold and Arid Regions, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000

2 Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000

3 Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085

**Abstract** By analyzing the changes of averaged temperature along the Brahmaputra valley from 1980 to 2005 and the change trend of temperature at Xigazê and Nyingchi stations from 1960 to 2005, the response of the temperature change over the Brahmaputra valley to the global warming had been analyzed. The results show that the temperature over the Brahmaputra valley became warmer from 1980 to 2005, especially the temperature increased at night time and in winter or spring time. And its change magnitude is higher than that over the whole Tibetan Plateau. Therefore, the response of the temperature change over the Brahmaputra valley to the global warming is more evident than that of the whole Tibetan Plateau during the period. Meanwhile, the change trend of temperature at Xigazê station

**收稿日期** 2010-06-03 收到, 2011-07-12 收到修定稿

**资助项目** 国家自然科学基金项目 41075053、40825015, 欧盟第六框架项目 FP6-036952, 欧盟第七框架项目 212912

**作者简介** 宋敏红, 女, 1973 年出生, 博士, 副研, 主要从事气候变化和数值模拟研究。E-mail: lzhsongmh@hotmail.com

of the mid-reach Brahmaputra valley has increased more than that at Nyingchi station of its lower-reach region.

**Key words** the Brahmaputra valley, climate change trend, global warming

## 1 引言

青藏高原以其特殊的地理位置和对我国及东亚乃至全球气候的重要影响一直是科学家们研究的热点地区之一，尤其是在全球变暖背景下，青藏高原的气候如何变化再度成为气象学家关注的焦点。许多研究（刘晓东等，1998；郑度，1999；郑度和李炳元，1999；李双成等，2008）表明，青藏高原的气候变化与全球环境变化密切相关，是全球气候变化的敏感区，近 50 年来其变暖幅度超过北半球和同纬度的其他地区，被认为是“全球气候变化的驱动机和放大器”（潘保田和李吉均，1996；冯松等，1998）。

而雅鲁藏布江发源于青藏高原的东南部、喜马拉雅山脉北麓的杰马央宗冰川，流经 2057 km 最后注入印度洋，它蕴藏着丰沛的水能资源，多年平均年径流量高达  $1.66 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，仅少于长江和珠江，居我国各大河流的第三位，是我国在水资源方面重要的江河之一（杨逸畴，2003），而且其下游地区的年降水量一般在 600~800 mm，是青藏高原地区最大的降水中心，也是我国第二大多雨中心。由于该流域地处青藏高原的南部，紧靠喜马拉雅山，如果将该流域的气候单独进行研究，将有助于进一步认识喜马拉雅山北麓的气候变化。

周立波等（2010）利用 2006 年夏季喜马拉雅山北侧绒布河谷地区的大气观测资料并结合同期的大气环流资料，对绒布河谷地区地气间的物质交换进行了研究。马舒坡等（2008）也利用绒布河谷中平均地面风场资料研究了该河谷中地面风场的日变化结构特征。但对雅鲁藏布江的研究还不多。姚檀栋等（2000）指出气候变暖与海拔高度密切相关，变暖的幅度一般随海拔升高而增大，那么雅鲁藏布江流域位于海拔较高的青藏高原南部地区，它的气候变化是否较高原北部及其他地区更为敏感？换言之，该流域对全球变化的响应是否更为显著？本文旨在利用该流域沿岸的气象观测数据，对其近 30 年的气温变化趋势进行较深

入的分析，为揭示该流域对全球变暖的响应程度提供科学依据。

## 2 资料及研究方法

### 2.1 资料

沿雅鲁藏布江流域自上而下较均匀选取了 7 个气象站，即拉孜、日喀则、尼木、贡嘎、加查、林芝和米林（表 1），它们基本覆盖了雅鲁藏布江流域的中、下游（上游基本没有气象观测站）。由于各测站建站时间不同，如日喀则站建站较早，资料序列从 1957~2005 年；而米林站建站较晚，资料序列仅为 1980~2005 年。因此，当把这些测站作为整体来分析区域气温变化时，时段统一选取为 1980 年~2005 年（共 26 年）；然后用日喀则站和林芝站分别作为雅江流域中游和下游的代表站，进行 1960~2005 年（共 46 年）长时间序列的气温演变分析。

表 1 雅鲁藏布江流域 7 个气象站的地理位置、海拔及资料年份

Table 1 Location, elevation, and period of data availability for seven stations along the Brahmaputra valley

站名	纬度	经度	海拔/m	资料年份
拉孜	29.05°N	87.38°E	4001.1	1978~2005 年
日喀则	29.15°N	88.53°E	3837.0	1957~2005 年
尼木	29.26°N	90.10°E	3810.9	1974~2005 年
贡嘎	29.18°N	90.59°E	3556.0	1978~2005 年
加查	29.09°N	92.35°E	3260.9	1978~2005 年
林芝	29.34°N	94.28°E	3001.0	1960~2005 年
米林	29.13°N	94.13°E	2952.0	1980~2005 年

对于资料分析而言，资料的质量非常关键，往往直接影响分析的结果。因此，本文在计算之前，首先对所用资料进行了筛选。对不可信的日气温资料定义如下：日最高气温小于日最低气温；日气温值大于该日多年平均值标准偏差的 3 倍；而且有时个别测站由于仪器的问题也出现奇异值，不过这样的情况很少。在下面的分析计算中，把这些不可信的资料均作为缺测值进行处理。

## 2.2 研究方法

首先通过对雅鲁藏布江流域日平均气温、日最高气温、日最低气温及日较差的年变化及季节变化的分析,了解近 30 年雅鲁藏布江流域气温演变趋势及幅度;然后分别在该流域中、下游各取一个代表站,进一步分析中、下游气温演变趋势及变化幅度的差异;最后,试图从大气环流的角度来探讨大气环流对该流域气温变化的影响。

本文采用了气候变化检测和指标专家组 (the Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices, ETCCDMI) 所提供的一系列气候系数的计算程序 ClimDex (<http://www.climver.org/organization/etccdm> [2007-01-22])。该程序包的优点在于只需要输入逐日最高、最低温度和逐日降水量及纬度等基本量,通过统计计算得到 27 个气候系数,其中气温系数为 16 个,降水系数为 11 个。因为气候系数的计算对缺测值非常敏感,因此该程序中设定当一个月中出现 3 d 以上或一年中出现 15 d 以上缺测值时,则对该月或该年的气候系数不进行计算,均设为缺测值。

这样,无形中对资料又进行了一次筛选。该程序已被广泛地应用到世界各地,如 Vincent et al. (2005) 和 Haylock et al. (2006) 利用该程序分别做了南美的气温及降水的气候分析,New et al. (2006) 做了非洲南部及西部的气候极端事件的变化分析。

## 3 结果分析

### 3.1 整个流域气温的变化趋势

在全球变暖的背景下,雅鲁藏布江流域的温度也有着较明显的变暖趋势。1980~2005 年间雅鲁藏布江流域日平均气温距平在 20 世纪 80 年代初至 90 年代初基本为负距平,1992 年后上升较明显,2000 年后基本为正距平,表明近 10 年雅鲁藏布江流域增温明显,其升温率为每年上升  $0.03^{\circ}\text{C}$ ,这与近几十年青藏高原地区气温变化呈上升趋势的结论相一致(蔡英等,2003;韦志刚等,2003;林振耀和赵昕奕,2006)(图略)。

从图 1 可以看到,该流域最大日最高气温上

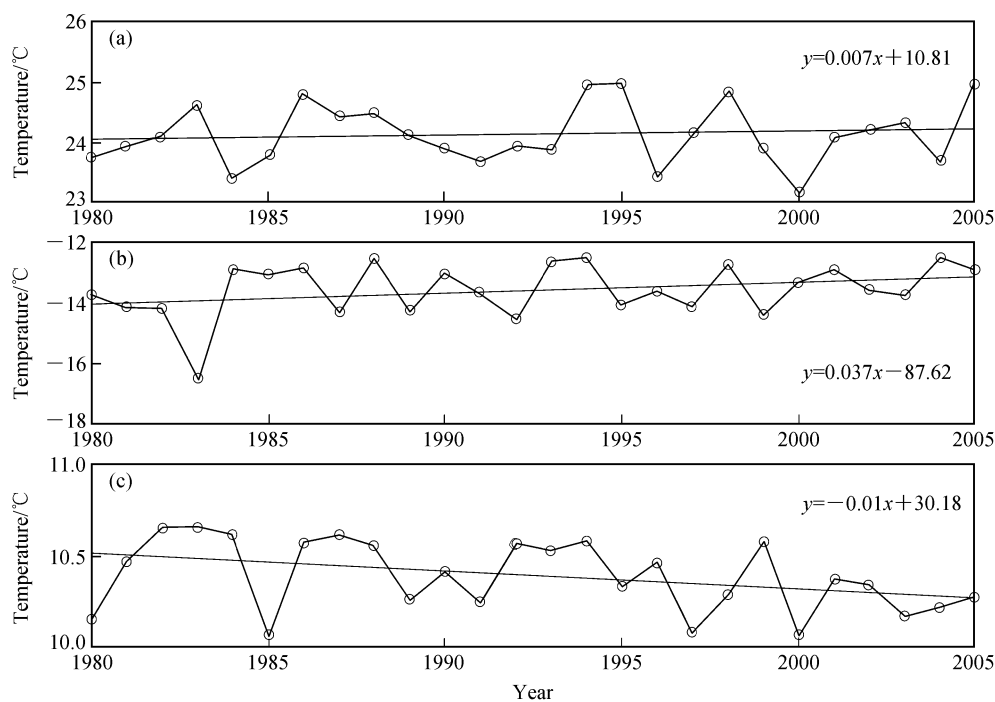


图 1 1980~2005 年间雅鲁藏布江流域 (a) 最大日最高气温、(b) 最小日最低气温以及 (c) 日较差距平的年变化(曲线)及趋势(直线)

Fig. 1 Annual variation (curve) and trend (linear) of (a) maximum of maximum diurnal temperature, (b) minimum of diurnal minimum temperature, and (c) diurnal temperature range for the Brahmaputra valley from 1980 to 2005

升并不显著(图 1a), 而最小日最低气温上升确是显著的(图 1b), 其升温率约为  $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ , 几乎是最大日最高气温升温率的 6 倍, 即雅鲁藏布江流域的夜间气温升高较白天显著。同时, Liu et al. (2004) 用全国 305 个气象站资料作 1955~2000 年间的日最高、日最低气温升温率分别为  $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$  和  $0.03\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ ; 吴绍洪等 (2005) 认为青藏高原 1971~2000 年的年平均气温为  $3.39\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 整体的变化趋势是平均每年升高  $0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 各站的变幅在  $-0.07\sim 0.11\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$  之间, 显然雅鲁藏布江的升温幅度要大于全国的升温幅度, 也略高于高原整体平均值, 表明雅鲁藏布江流域对全球变暖的响应程度较整个高原更为显著。

正因为夜间气温升高要远远大于白天气温的升高幅度, 导致日较差变小, 雅鲁藏布江流域的日较差距平总体在  $-0.2\sim 0.2$  之间变化, 近年呈微弱的下降, 日较差以每年  $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$  的速率在减少(图 1c), 这进一步表明雅鲁藏布江流域的气温正在升高。Folland et al. (2001) 对气温变化的研究表明, 夜间气温增高更显著, 甚至在过去 50 年里陆地上夜间气温的增温速率是白天的两倍。正是由于夜间气温的显著升高, 导致了日较差的减小, 因此日较差的减小也是气候变暖的表现形式之一。

选取了 ETCCDMI 定义的暖白天、暖夜间、冷白天、冷夜间所占百分比等 4 种温度气候系数, 用这些气候系数能更进一步地明确雅鲁藏布江流域的变暖时段。这里暖(冷)白天所占百分比被定义为日最高气温大于(小于)该日气候值的 90%(10%) 的天数占全年天数的百分比; 相应

地, 暖(冷)夜间所占百分比被定义为日最低气温大于(小于)该日气候值的 90%(10%) 的天数占全年天数的百分比。

从图 2 可以清楚地看到, 雅鲁藏布江流域的冷白天和冷夜间所占百分比均在下降, 1980 年雅鲁藏布江流域冷白天约为 12% 且冷夜间约为 14%, 2005 年则分别降到 7% 和 5% 左右, 其减少率分别为每年减少 0.20 和 0.32 个百分点; 而暖白天和暖夜间所占百分比却在上升, 已由 1980 年的 8% 和 5% 分别上升到 2005 年的 14% 和 15% 左右, 其增加率分别为每年增加 0.22 和 0.36 个百分点。这进一步说明了雅鲁藏布江流域无论是白天还是夜间气温升高天数的比例都在增加, 也就是明显增温, 而且暖夜间的增加率更高, 这与前面分析所得的结论一致。

气候变化不仅体现为年平均要素值的变化, 而且还有着强烈的季节变化。从季节趋势的变化(见表 2)可见, 雅鲁藏布江流域的日平均气温在冬、春季的升温较高, 大约为  $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ , 而夏季增温较低, 仅  $0.002\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 。日最高气温与日平均气温的季节变化趋势相一致, 也是冬、春季升温较高, 夏季较低, 甚至出现降温。但日最低气温则是秋季升温最大, 甚至达到  $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 。这与韦志刚等 (2003) 得出近 40 年来高原冬、春季升温普遍的结论相一致。由于雅鲁藏布江流域位于喜马拉雅山北麓, 其冬、春季显著的升温将对该地区的积雪产生怎样的影响还有待进一步的研究。

由以上的分析得出, 近年来雅鲁藏布江流域

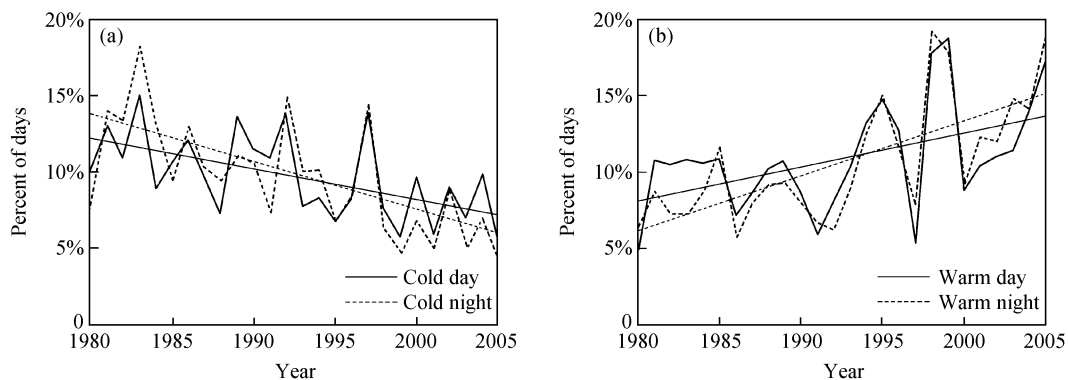


图 2 1980~2005 年间雅鲁藏布江流域 (a) 冷白天/夜间和 (b) 暖白天/夜间所占比例的变化(曲线)及其趋势(直线)

Fig. 2 Variations (curve) and trends (linear) of the percent of days in (a) cold days/nights and (b) warm days/nights along the Brahmaputra valley from 1980 to 2005

表 2 雅鲁藏布江流域和日喀则、林芝两个代表站日平均气温、日最低气温、日最高气温及气温日较差的季节变率  
Table 2 Seasonal change rates of diurnal mean temperature, diurnal minimum temperature, diurnal maximum temperature, and temperature daily range along the Brahmaputra valley and at Xigazê and Nyingchi stations  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$

	日平均气温			日最低气温			日最高气温			气温日较差		
	流域	日喀则	林芝	流域	日喀则	林芝	流域	日喀则	林芝	流域	日喀则	林芝
冬季	0.05	0.03	0.12	0.04	0.03	0.13	0.06	0.01	0.12	0.02	-0.03	-0.002
春季	0.04	0.05	0.07	0.05	0.10	0.09	0.04	0.02	0.06	-0.01	-0.08	-0.04
夏季	0.002	0.08	0.10	0.02	0.12	0.10	-0.01	0.03	0.08	-0.03	-0.08	-0.02
秋季	0.04	0.02	0.02	0.05	-0.02	0.01	0.04	-0.02	0.04	-0.02	-0.004	0.02

注：流域和两个代表站的计算时段分别为 1980~2005 年和 1995~2005 年。

的气温存在明显的升高趋势，尤其是夜间气温升高显著，而且对气温的升高存在季节差异，往往是冬、春季增温更显著些。

### 3.2 流域中、下游气温的变化趋势

雅鲁藏布江流域的气温整体呈现上升的趋势，那么中、下游地区气温的上升幅度是否一致？为此，在雅鲁藏布江中、下游分别取了一个代表站，即日喀则站代表中游地区，林芝站代表下游地区。由于这两站建站较早，因此分析时段选为 1960~2005 年（共 46 年），用上述方法来进行同样的分

析。从图 3 可以看出，下游林芝站无论是最大日最高气温还是最小日最低气温均比中游日喀则站的偏高，甚至高出  $10^{\circ}\text{C}$  以上，表明雅鲁藏布江流域的下游地区要比中游地区偏暖，这与下游地区海拔较低，更接近我国西南地区，受季风影响更大有关。将两站的趋势变化分成 1960~1995 年和 1996~2005 年两个时段，这样可以将近 10 年的趋势变化和前 36 年的进行对比分析。由图 3a 可以看出，1960~1995 年间两站的最大日最高气温均以  $0.02^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$  的速率上升，而近 10 年（1996~

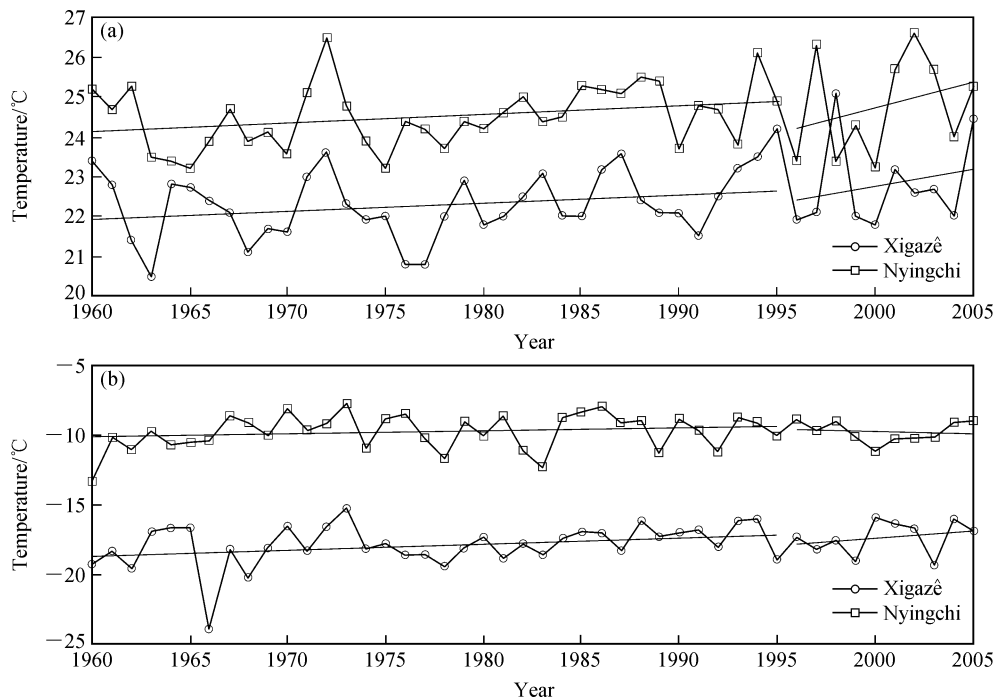


图 3 1960~2005 年间雅鲁藏布江中、下游流域 (a) 最大日最高气温和 (b) 最小日最低气温的年变化 (曲线) 及趋势 (直线)

Fig. 3 Annual variations (curve) and trends (linear) of (a) maximum of diurnal maximum temperature and (b) minimum of diurnal minimum temperature for the mid- and lower-reach of Brahmaputra valley from 1960 to 2005

2005 年间) 日喀则站气温的增幅显著, 增温率为  $0.02^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$ , 基本是 1960~1995 年间增幅的 6 倍, 而且林芝站近 10 年的增温率为  $0.08^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$ , 为前 36 年的 4 倍; 1960~1995 年间两站的最大日最低气温也在缓慢的上升中 (见图 3b), 但 1996~2005 年间日喀则站的日最低温度仍以  $0.1^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$  的速率持续上升, 而林芝站的日最低气温则以  $0.01^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$  的速率减小。当然, 我们也对两站冷、暖白天 (夜间) 的天数也做了分析 (图略), 发现两站的冷白天、冷夜间和暖白天的天数都在持续减小, 且日喀则站暖夜间的的天数仍是增加的, 而林芝站暖夜间天数却有所减少, 这再次表明日喀则站的增温要较林芝站更加显著。

同样地, 对两个代表站的冷、暖白天 (夜间) 的天数也做了分析 (图略), 发现两站的冷白天、冷夜间天数均在持续减小, 暖白天的天数都在增加, 且日喀则站暖夜间的的天数仍是增加的, 而林芝站暖夜间天数却有所减少, 这再次表明日喀则站的增温要较林芝站更加显著, 且主要体现在夜间温度的升高。

从表 2 中还可以看出两个代表站的气温变化趋势与整个流域还是比较一致的, 日平均气温、日最低气温和日最高气温都在不同程度的升高, 而日较差却呈减小趋势。但两站气温变化幅度近年来明显增大, 如近 10 年两个代表站日最低气温分别以  $0.12^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$  和  $0.10^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$  速率在增加, 是整个流域近 30 年夏季增温率的 5~6 倍。1995~2005 年间日喀则站的气温变率夏季明显高于其他季节, 而林芝站则是冬季气温变率较大。两站日较差的最大递减率均出现在春季, 这与近年青藏高原春季增温显著的结论相一致 (韦志刚等, 2003)。

以上分析表明, 雅鲁藏布江流域中游日喀则站的增温幅度, 无论是日最高气温的最大值还是日最低气温的最小值, 要明显高于下游林芝站, 这与姚檀栋等 (2000) 关于增暖幅度与海拔高度成正比的结论相一致。

## 4 讨论

由上述分析可知, 雅鲁藏布江流域的气温近年来呈现明显的上升趋势, 特别是暖夜间天数增

加显著, 且该流域中游地区增暖较下游地区明显偏高。气温变化受多种因素的影响, 如太阳辐射、云量、降水和大气环流等。但我们认为, 该流域地处青藏高原东南部, 海拔较高, 人口稀疏, 其气温变化很可能是大气环流的影响。通过分析该流域气候变化与北大西洋涛动的关系 (Song et al., 2011) 表明, 两者之间存在较显著的相关, 即在北大西洋涛动夏季高指数年, 该流域气候偏暖干; 而在北大西洋涛动夏季低指数年, 该流域气候偏冷湿。这些都仅仅是一个初步的结果, 还有待进一步的研究。

## 5 小结

通过对雅鲁藏布江流域近 30 年气温变化的分析, 可以得到如下结论:

(1) 1980~2005 年间雅鲁藏布江流域的气温以  $0.03^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$  的速率升高, 最大日最高气温和最小日最低气温则分别以  $0.007^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$  和  $0.04^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$  的速率升高; 整个流域暖白天和暖夜间的的天数增加显著, 而且暖夜间天数的增加明显大于暖白天天数的增加, 从而表明雅鲁藏布江流域的增暖主要表现为夜间气温的升高。

(2) 雅鲁藏布江流域的增暖主要出现在冬、春季, 而夏季的增暖则不明显。

(3) 雅鲁藏布江流域中游日喀则站增暖明显大于下游林芝站, 也就是说中游地区较下游地区的增暖更为显著。

(4) 由于雅鲁藏布江流域的气温升高幅度高于整个高原的平均增幅, 表明该流域的气候正逐渐向变暖转变, 其对全球变暖的响应程度较整个高原更为显著。

那么, 雅鲁藏布江流域在全球变暖背景下的显著增暖, 是否与大气环流异常、温室气体含量的增加以及东亚和南亚季风的影响有关, 这些还有待进一步的研究。

**致谢** 感谢加拿大气候研究所提供的计算气候系数的软件包和西藏气象局提供的气象观测数据。

## 参考文献 (References)

蔡英, 李栋梁, 汤懋苍, 等. 2003. 青藏高原近 50 年来气温的年代

- 际变化 [J]. 高原气象, 22 (5): 464-470. Cai Ying, Li Dongliang, Tang Maocang, et al. 2003. Decadal temperature changes over Qinghai-Xizang Plateau in recent 50 years [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 22 (5): 464-470.
- 冯松, 汤懋苍, 王冬梅. 1998. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据 [J]. 科学通报, 43 (6): 633-636. Feng Song, Tang Maocang, Wang Dongmei. 1998. New evidence for the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau as a pilot region of climatic fluctuation in China [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 43 (6): 633-636.
- Folland C K, Karl T R, Christy J R, et al. 2001. Observed climate variability and change [M] // Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al., Eds. Cambridge: Cambridge University Press, 99-181.
- Haylock M R, Peterson T C, Alves L M, et al. 2006. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature [J]. J. Climate, 19: 1490-1512.
- 李双成, 刘逢媛, 赵志强. 2008. 中国气候系统复杂性及其地域差异 [J]. 气候与环境研究, 13 (1): 31-38. Li Shuangcheng, Liu Fengyuan, Zhao Zhiqiang. Climate complexity and spatial variation in China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (1): 31-38.
- 林振耀, 赵昕奕. 2006. 青藏高原气温降水变化的空间特征 [J]. 中国科学 (D 辑), 26 (4): 354-358. Lin Zhenyao, Zhao Xinyi. 2006. Spatial characters of temperature and precipitation in the Tibetan Plateau [J]. Science in China (Ser. D) (in Chinese), 26 (4): 354-358.
- Liu Binhui, Ming Xu, Mark Henderson, et al. 2004. Taking China's temperature: Daily range, warming trends, and regional variations 1955-2000 [J]. J. Climate, 17: 4453-4462.
- 刘晓东, 张敏锋, 惠晓英, 等. 1998. 青藏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, 18 (2): 113-121. Liu Xiaodong, Zhang Minfeng, Hui Xiaoying, et al. 1998. Contemporary climatic change of the Qinghai-Xizang Plateau and its response to greenhouse effect [J]. Scientia Geographica Sinica (in Chinese), 18 (2): 113-121.
- 马舒坡, 周立波, 王维. 2008. 珠穆朗玛峰北坡绒布河谷地面风特征的初步分析 [J]. 气候与环境研究, 13 (3): 189-198. Ma Shupo, Zhou Libo, Wang Wei. Preliminary analysis of the surface wind in the Rongbuk valley on the northern slope of Mt. Qomolangma [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (3): 189-198.
- New M, Hewitson B, Stephenson D B, et al. 2006. Evidence of trends in daily climate extremes over southern and west Africa [J]. J. Geophys. Res., 111, D14102, doi: 10.1029/2005JD006289.
- 潘保田, 李吉均. 1996. 青藏高原: 全球气候变化的驱动机与放大器 III. 青藏高原隆起对气候变化的影响 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 32 (1): 108-115. Pan Baotian, Li Jijun. 1996. Qinghai-Tibetan Plateau: A driver and amplifier of the global climatic change III. The effects of the uplift of Qinghai-Tibetan Plateau on climatic change [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences) (in Chinese), 32 (1): 108-115.
- Song M, Ma Y, Zhang Y, et al. 2011. Climate change features along the Brahmaputra valley in the past 26 years and possible cause [J]. Climatic Change, doi: 10.1007/s10584-010-9950-2.
- Vincent L A, Peterson T C, Barros V R, et al. 2005. Observed trend in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000 [J]. J. Climate, 18 (23): 5011-5023.
- 韦志刚, 黄荣辉, 董文杰. 2003. 青藏高原气温及降水的年际及年代际变化 [J]. 大气科学, 27 (2): 157-170. Wei Zhigang, Huang Ronghui, Dong Wenjie. 2003. Interannual and interdecadal variations of air temperature and precipitation over the Tibetan Plateau [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 27 (2): 157-170.
- 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 2005. 青藏高原近 30 年气候变化趋势 [J]. 地理学报, 60 (1): 3-11. Wu Shaohong, Yin Yunhe, Zhang Du, et al. 2005. Climate changes in the Tibetan Plateau during the last three decades [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 60 (1): 3-11.
- 杨逸畴. 2003. 雅鲁藏布江: 举世瞩目的水资源 [OL]. 西藏科技报, 2003 年 7 月 30 日, 第 3 版. Yang Yichou. 2003. Brahmaputra: The water resource focused by the world [OL]. The technological newspaper in Xizang (in Chinese), July 30, 2003, Page 3.
- 姚檀栋, 刘晓东, 王宁练. 2000. 青藏高原地区的气候变化幅度问题 [J]. 科学通报, 45 (1): 98-106. Yao Tandong, Liu Xiaodong, Wang Ninglian. 2000. Amplitude of climatic changes in Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 45 (1): 98-106.
- 郑度. 1999. 青藏高原自然地域系统研究 [J]. 中国科学 (D 辑), 26 (4): 336-341. Zhang Du. 1999. A study on the physico-geographical regional system of the Tibetan Plateau [J]. Science in China (Ser. D) (in Chinese), 26 (4): 336-341.
- 郑度, 李炳元. 1999. 青藏高原地理环境研究进展 [J]. 地理科学, 19 (4): 295-302. Zheng Du, Li Bingyuan. 1999. Progress in studies on geographical environments of the Tibetan Plateau [J]. Scientia Geographica Sinica (in Chinese), 19 (4): 295-302.
- 周立波, 邹捍, 马舒坡, 等. 2010. 喜马拉雅山地区地气间物质交换及其与南亚夏季风的联系 [J]. 气候与环境研究, 15 (3): 289-291. Zhou Libo, Zou Han, Ma Shupo, et al. The air mass exchange between the surface and free atmosphere and its relationship with the South Asian summer monsoon [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (3): 289-294.