

# 1981–2010年西藏霜冻日数的变化特征

拉巴次仁, 索朗加措, 白 玛

(西藏自治区气象信息与网络中心, 拉萨 850001)

**摘要:** 利用西藏38个气象站点1981–2010年的逐日最低气温资料, 采用气候倾向率、累积距平、信噪比和R/S分析等气候统计方法, 分析了霜冻日数的年际、年代际、异常、突变等气候变化特征。结果表明: 西藏霜冻日数都表现为不同程度的减少趋势, 减幅为3.3~14.6 d/10a (37个站  $P < 0.01$ ); 随着海拔高度的升高, 霜冻日数减幅在增大。在10a年际变化尺度上, 大部分站点霜冻日数20世纪80年代为正距平、21世纪初为负距平; 90年代霜冻日数以正距平居多。有8个站点霜冻日数存在突变点, 发生在20世纪90年代, 以1997年居多。特多霜冻日数发生频数为0~3次, 多发生在20世纪80年代; 特少霜冻日数频数介于0~4次, 以21世纪初居多。特多霜冻日数发生频次与经度、纬度和海拔高度的关系不密切, 而特少霜冻日数发生频次与海拔高度呈极显著的负相关。

**关键词:** 霜冻日数; 年际和年代际变化; 异常; 突变; 西藏

DOI: 10.11821/dlxb201405012

## 1 引言

近100a (1906–2005) 全球平均地表温度上升了0.74 °C, 1850年以来最暖的12个年份有11个出现在近期的1995–2006年, 过去50a升温率几乎是过去100a的2倍<sup>[1]</sup>。中国近百年来气温上升了0.4~0.5 °C, 1951年以来气温明显升高, 冬季增温更加明显, 从1986/1987年冬季开始, 已连续经历了19个暖冬<sup>[2]</sup>。青藏高原自20世纪60年代以来气温普遍呈上升趋势<sup>[3–12]</sup>, 特别是在冬季更明显。

在全球变暖的气候背景下, 极端温度变化特征的区域性和季节性存在差异<sup>[13]</sup>, 霜冻的一些气候特征也会发生变化。研究表明: 在北欧、加拿大、美国过去几十年霜冻日数都有减少趋势<sup>[14–16]</sup>。我国学者采用不同的指标对各地的霜冻气候特征进行了分析, 翟盘茂等<sup>[17]</sup>认为1951–1999年我国北方最低气温小于0 °C的日数显著减少。马柱国<sup>[18]</sup>用日平均气温对我国北方地区霜冻日数的变化进行研究, 结果显示: 1951–2000年霜冻日数有明显减少趋势。此外, 一些学者用最低气温资料分析了霜冻的变化<sup>[19–22]</sup>, 认为霜冻日数在近几十年来有明显减少的趋势。

目前针对西藏霜冻的研究<sup>[23–25]</sup>也较多, 但主要局限于站点少且分析资料截止年份较早。为此, 本文利用1981–2010年38个气象站逐日最低气温的最新资料, 以日最低气温 $\leq 0$  °C作为霜冻指标, 揭示近30a青藏高原霜冻日数的年际、年代际、异常、突变等气候变化特征, 这有助于进一步加深对全球持续变暖背景下西藏气象灾害变化规律的认识, 以期提高对异常霜冻灾害的预测、服务能力和有效利用农业气候资源提供参考。

收稿日期: 2014-02-20; 修订日期: 2014-03-30

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41165011) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41165011]

作者简介: 拉巴次仁 (1970–), 男, 西藏拉萨人, 学士, 工程师, 主要从事数据质量控制和气候变化分析。

E-mail: 623668717@qq.com

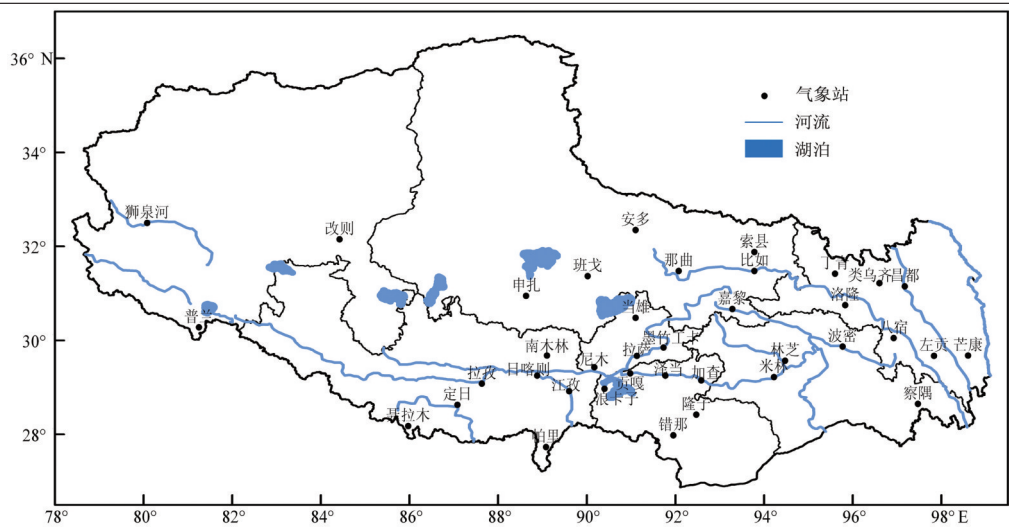


图1 西藏气象站点分布图

Fig. 1 Geographical distribution of the meteorological stations over Tibet

2 资料和方法

2.1 资料

本文利用1981-2010年38个气象站(图1)逐日最低气温资料,分别统计各地近30a霜冻日数。西藏平均霜冻日数为38个站的算术平均值。多年平均值采用1981-2010年的平均值。

2.2 霜冻日数指标

由温暖季节向寒冷季节过渡期间第一次出现霜冻的日期为初霜日,由寒冷季节向温暖季节过渡期间最后一次出现霜冻的日期为终霜日,初霜日到翌年终霜日的日数,为霜冻日数。本文以百叶箱内日最低气温 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 霜冻指标,来统计各地的霜冻日数。霜冻日数实行跨年度统计(7月1日至翌年6月30日)。

2.3 方法

采用气候倾向率、累积距平与信噪比<sup>[26]</sup>、概率值<sup>[27]</sup>等现代气候诊断分析方法,分别统计分析霜冻的变化趋势、年代际、突变、异常和持续性等气候变化特征。各要素的空间分布图采用地理信息制图8.0软件(Golden Software Surfer 8)中的普通克里金(Kriging)插值法绘制。

3 结果分析

3.1 空间分布特征

从1981-2010年平均霜冻日数的空间分布(图2)来看,西藏霜冻日数介于50~266 d之间,呈自东南向西北递增,以察隅最少、安多最多。其中,林芝地区大部霜冻日数低于150 d,昌都地区、沿雅鲁藏布江一线为150~200 d,其他绝大部分地方在200 d以上。

分析霜冻日数与地理位置的关系,结果表明:霜冻日数与海拔高度呈极显著的正相关( $P < 0.001$ ),海拔平均每升高100 m,霜冻日数增加8.7 d。与纬度呈显著的正相关( $P < 0.01$ ),纬度每增加1 $^{\circ}\text{N}$ ,霜冻日数增加16.7 d。与经度呈显著的负相关( $P < 0.05$ ),经度每增加1 $^{\circ}\text{E}$ ,霜冻日数减少5.3 d。

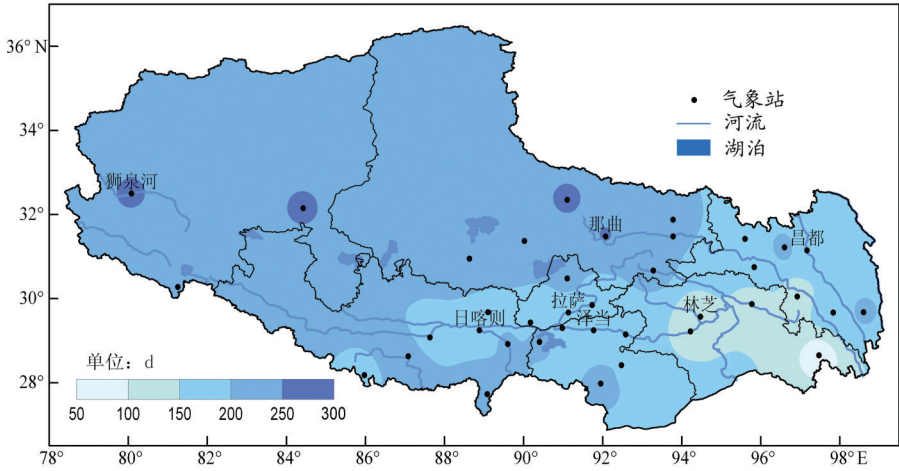


图2 1981-2010年西藏平均霜冻日数的空间分布  
Fig. 2 Geographical distribution of the frost days over Tibet during 1981-2010

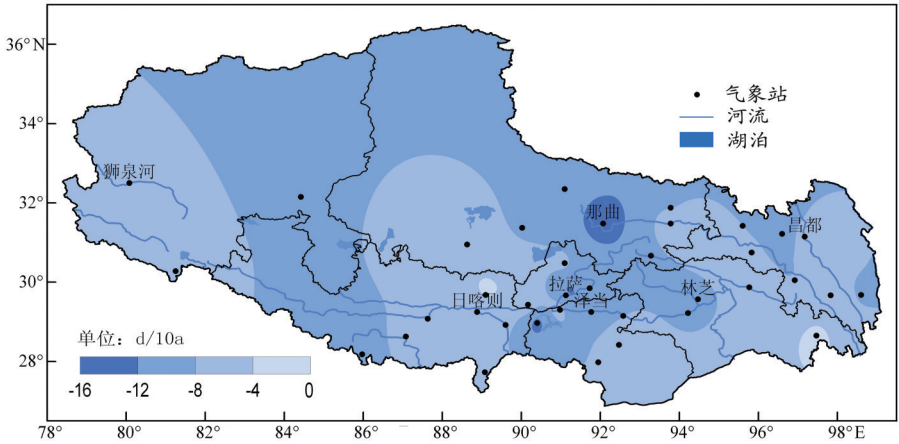


图3 西藏霜冻日数变化趋势的空间分布  
Fig. 3 Geographical distribution of the linear trend of the frost days over Tibet

3.2 变化趋势

由近30a (1981-2010年) 西藏霜冻日数的变化趋势来看 (图3), 霜冻日数表现为明显的减少趋势, 减幅为3.3~14.6 d/10a, 除察隅不显著外, 其他各站均通过0.01显著性检验水平, 其中那曲减幅最大, 拉萨次之 (14.0 d/10a), 最小减幅出现在南木林。

从不同海拔高度区域来看 (表1), 随着海拔高度的升高, 各地霜冻日数减幅在增大, 以4000 m以上地区减幅最大。霜冻日数的减幅与纬度、经度的相关系数都很小。

就西藏平均而言, 近30a霜冻日数以7.98 d/10a的速度显著减少 (图4,  $P < 0.01$ ), 尤其是近20a (1991-2010年) 减幅更明显, 达9.85 d/10a。图4还显示, 20世纪80年代至90年代中后期, 西藏霜冻日数以偏多为主; 进入21世纪最初的10a, 霜冻日数明显偏少, 2010年降至174 d, 为近30a的最小值。

3.3 年代际变化

根据西藏各站近30a霜冻日数的年代际变化分析 (图5), 20世纪80年代除察隅偏少1.7 d外, 其他各站

表1 西藏不同海拔高度上霜冻日数的变化趋势		
Tab. 1 Linear trend of the frost days at different altitudes over Tibet		
海拔高度 (m)	变化趋势 (d/10a)	站点数
2000~3000	-7.23	4
3000~4000	-7.55	20
4000~5000	-8.55	14

偏多2.2~13.8 d,以拉萨偏多最明显。90年代阿里地区大部、昌都地区、山南地区大部、拉萨、尼木和聂拉木等地为负距平,偏少0.1~2.5 d;其他各地为正距平,偏多0.1~7.6 d。21世纪最初的10a各站霜冻日数均偏少,较平均值偏少2.9~16.1 d(浪卡子最大、隆子最小)。

3.4 异常分析

利用文献 27 中  $(x - m) < -$

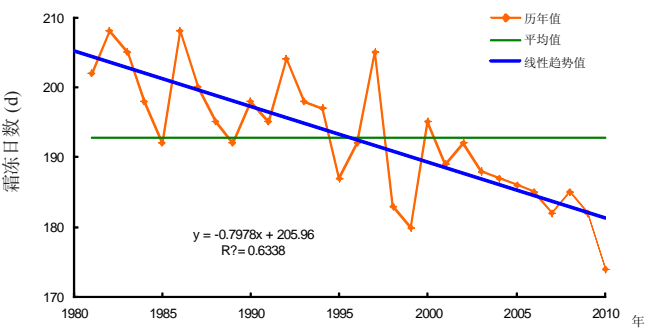


图4 1981-2010年西藏霜冻日数的年际变化  
Fig. 4 Variation of the frost days over Tibet in 1981-2010

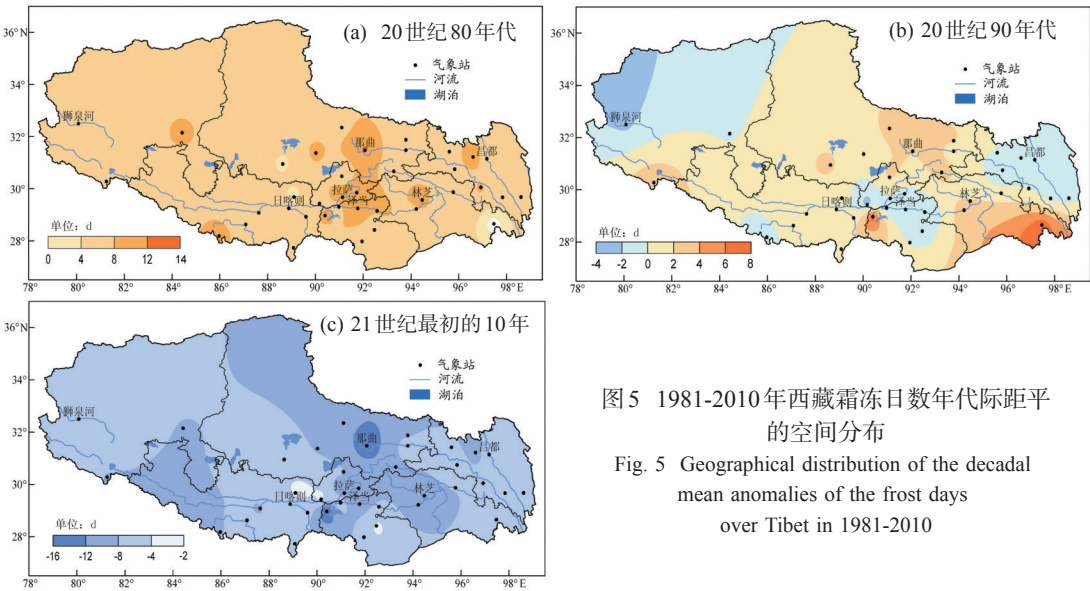


图5 1981-2010年西藏霜冻日数年代际距平的空间分布

Fig. 5 Geographical distribution of the decadal mean anomalies of the frost days over Tibet in 1981-2010

1.65σ和  $(x - m) > 1.65σ$  分别作为特少霜冻日数、特多霜冻日数的指标 (x 为霜冻日数, m 为多年平均值, σ 为标准差), 统计分析了近 30a 西藏各站霜冻日数的异常情况, 结果表明:

(1) 各站特多霜冻日数发生频数为 0~3 次, 其中南木林、浪卡子、八宿和米林 4 个站从未有过特多霜冻日数; 普兰、那曲、泽当、错那、帕里、丁青、嘉黎、左贡和察隅等 9 个站发生频数为 3 次, 以 20 世纪 80 年代居多。特少霜冻日数发生频数为 0~4 次, 其中那曲地区中西部、改则、拉萨、定日、帕里和嘉黎等 9 个站过去 30a 从未出现过特少霜冻日数; 南木林出现频数最多, 达 4 次, 分别发生在 1985 年、1999 年、2007 年和 2010 年。

(2) 在过去 30a 里, 从异常霜冻日数统计来看, 霜冻日数出现特少的站次多于霜冻日数特多的站次。

此外, 分析了所有站点异常霜冻日数发生频数与经度、纬度和海拔高度的相关系数 (表 2)。表明, 特多霜冻日数发生频数与经度、纬度和海拔高度的相关系数都不大, 这主要与。特少霜冻日数发生频次与海拔高度呈极显著的负相关 ( $P < 0.01$ ), 与经度呈显著

表 2 异常霜冻日数发生频数与经度、纬度和海拔高度的相关

Tab. 2 Correlation coefficients between the frequency of anomalous frost days and longitude, latitude and altitude

地理参数	特多霜冻日数	特少霜冻日数
纬度	0.038	-0.195
经度	0.071	0.296*
海拔高度	0.134	-0.495**

注: \* $P < 0.10$ , \*\* $P < 0.01$



的正相关 ( $P < 0.10$ ), 而与纬度的关系不明显。

3.5 气候突变分析

采用累积距平和信噪比方法计算了西藏各站点霜冻日数的气候突变点, 结果表明: 西藏大部分站点的霜冻日数未出现突变, 只有改则、那曲、班戈、安多、拉萨、浪卡子、定日、拉孜等 8 个站点发现了气候突变, 从一个相对偏多期跃变为一个相对偏少期, 突变点均发生在 20 世纪 90 年代。其中, 除拉孜出现在 1994 年外, 其他各站均发生在 1997 年。就西藏地区平均而言, 霜冻日数在 1997 年发生了突变, 从一个相对偏多期跃变为一个相对偏少期 (图 6)。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 在全球变暖背景下, 近 30a 西藏各地霜冻日数表现为不同程度的减少趋势, 减幅为 3.3~14.6 d/10a (37 个站通过 0.01 显著性检验)。就西藏平均而言, 近 30a 霜冻日数以 7.98 d/10a 的速度显著减少 ( $P < 0.01$ ), 尤其是近 20a 减幅更明显。

(2) 在年代际变化特征上, 西藏绝大部分站点霜冻日数 20 世纪 80 年代为正距平、21 世纪最初的 10a 为负距平。90 年代阿里地区大部、昌都地区、山南地区大部等地偏少 0.1~2.5 d, 其他各地偏多 0.1~7.6 d。

(3) 西藏特多霜冻日数发生频数均为 0~3 次, 多发生在 20 世纪 80 年代; 特少霜冻日数频数介于 0~4 次, 以 21 世纪初居多。从异常霜冻日数统计来看, 霜冻日数出现特少的站次多于霜冻日数特多的站次。特多霜冻日数发生频次与经度、纬度和海拔高度的相关系数都不大, 特少霜冻日数发生频次与海拔高度呈极显著的负相关。

(4) 突变检测表明, 西藏霜冻日数有 8 个站点出现了气候突变, 从一个相对偏多期跃变为一个相对偏少期, 均发生在 20 世纪 90 年代, 以 1997 年居多。就西藏平均而言, 霜冻日数均在 1997 年发生了突变。

4.2 讨论

初霜冻对西藏农业生产危害最大, 特别是海拔 3800 m 以上高寒农区 7-8 月出现的霜冻, 这时春青稞正处在灌浆期, 若遇 0℃ 以下的低温, 致使籽粒停止灌浆充实, 造成千粒重下降, 严重者空壳, 造成大幅减产。在气候变暖, 霜冻日数减少的情景下, 一来有利于西藏冬小麦的安全越冬<sup>[25]</sup>, 尤其对拉萨、泽当、昌都等高原温带半干旱冬麦区小麦的越冬十分有利; 二是也有利于海拔 3800 m 以上高寒农区春青稞、油菜的成熟。

参考文献 (Reference)

[1] 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. Cambridge University Press, 2007.

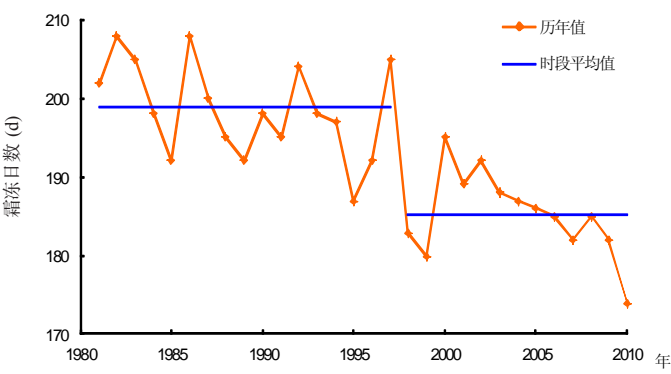


图 6 西藏霜冻日数的气候突变分析  
Fig. 6 The curve of climate abrupt for the frost days over Tibet from 1981 to 2010

- [2] China Meteorological Administration. Climate and Environment in China. Beijing: China Meteorological Press, 2006. [中国气象局. 中国气候与环境演变. 北京: 气象出版社, 2006.]
- [3] 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.]
- [4] 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.]
- [5] Xu Zongxue, Zhang Ling, Huang Junxiong et al. Long term trend of temperature, precipitation and relative humidity in the Tibetan region. Meteorological Monthly, 2007, 33(7): 82-88. [徐宗学, 张玲, 黄俊雄 等. 西藏地区气温、降水及相对湿度的趋势分析. 气象, 2007, 33(7): 82-88.]
- [6] 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.]
- [7] 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.]
- [8] Zhang Shunli. The characteristics of temperature change in Tibet in 1961-1990. Meteorological Monthly, 1997, 23(2): 21-24. [张顺利. 西藏30年温度变化的气候特征. 气象, 1997, 23(2): 21-24.]
- [9] Du Jun. Change of temperature in Tibet plateau from 1961 to 2000. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(6): 682-690. [杜军. 青藏高原近40年的气温变化. 地理学报, 2001, 56(6): 682-690.]
- [10] Tan Chunping, Yang Jisping, Mi Rui. Analysis of the climatic change characteristics in the southern Tibetan Plateau from 1971 to 2007. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 32(6): 1111-1120. [谭春萍, 杨建平, 米睿. 1971-2007年青藏高原南部气候变化特征分析. 冰川冻土, 2010, 32(6): 1111-1120.]
- [11] Du Jun. Asymmetric change of maximum and minimum temperature in Tibetan Plateau from 1971 to 2000. Journal of Applied Meteorological Science, 2003, 14(4): 437-443. [杜军. 青藏高原最高、最低气温的非对称变化. 应用气象学报, 2003, 14(4): 437-443.]
- [12] You Yuanlong, Kang Shichang, Yan Yuping et al. Trends in daily temperature and precipitation extremes over the Yarlung Zangbo River basin during 1961-2005. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(5): 592-600. [游庆龙, 康世昌, 闫宇平等. 近45年雅鲁藏布江流域极端气候事件趋势分析. 地理学报, 2009, 64(5): 592-600.]
- [13] Zhai Panmao, Ren Fumin. On changes of China's maximum and minimum temperatures in the recent 40 years. Acta Meteorologica Sinica, 1997, 55(4): 418-529. [翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化. 气象学报, 1997, 55(4): 418-529.]
- [14] Heino R, Coauthors. Progress in the study of climate extremes in northern and central Europe. Climatic Change, 1999, 42: 151-181.
- [15] Bonsal B R, Zhang X, Vincent L A et al. Characteristics of daily and extreme temperature over Canada. J. Climate, 2001, 14: 1959-1976.
- [16] Easterling D R. Recent changes in frost days and the frost-free season in the United States. Bull. Amer. Mete. Soc., 2002: 1327-1332.
- [17] Zhai Panmao, Pan Xiaohua. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of the 20th century. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(9): 1-10. [翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近50年温度和降水极端事件变化. 地理学报, 2003, 58(9): 1-10.]
- [18] Ma Guozhu. Variation of frost days and its relationship to regional warming in northern China. Acta Geographica Sinica, 2003, 9(Suppl.): 31-37. [马柱国. 中国北方地区霜冻日的变化与区域变暖相互关系. 地理学报, 2003, 9(增刊): 31-37.]
- [19] Ye Dianxiu, Zhang Yong. Characteristics of frost changes from 1961 to 2007 over China. Journal of Applied Meteorological Science, 2008, 19(6): 661-665. [叶殿秀, 张勇. 1961-2007年我国霜冻变化特征. 应用气象学报, 2008, 19(6): 661-665.]
- [20] Han Rongqing, Li Weijing, Ai Wanxiu et al. The climatic variability and influence of first frost dates in northern China. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(5): 525-532. [韩荣青, 李维京, 艾婉秀 等. 中国北方初霜冻日期变化及其对农业的影响. 地理学报, 2010, 65(5): 525-532.]
- [21] Li Fen, Zhang Jianxin, Wu Yongli et al. Spatial and temporal distribution and its impact factors of the last frost over Shanxi Province from 1961 to 2010. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(11): 1472-1480. [李芬, 张建新, 武永利 等. 近50年山西终霜冻的时空分布及其影响因素. 地理学报, 2013, 68(11): 1472-1480.]

- [22] Liu et al. Temporal trends and variability of daily maximum and minimum, extreme temperature events, and growing season length over the eastern and central Tibetan Plateau during 1961-2003. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111(19109), doi: 10.1029/2005JD006915.
- [23] You et al. Relationship between trends in temperature extremes and elevation in the eastern and central Tibetan Plateau, 1961-2005. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(L04704), doi: 10.1029/07GL032669.
- [24] You et al. Changes in daily climate extremes in the eastern and central Tibetan Plateau during 1961-2005. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113: D07101.
- [25] Du Jun. *Climate Characteristics and the Forecast Method Research of Frost over Tibetan Plateau*. Beijing: China Meteorological Press, 2005. [杜军. 西藏高原霜冻气候特征及预报方法研究. 北京: 气象出版社, 2005.]
- [26] Wei Fengying. *Statistics Technology of Diagnose and Forecast of Modern Climate*. Beijing: China Meteorological Press, 1999. [魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999.]
- [27] Chen Qianjin, Zhang Yongshan. Study on climatic features of unusual first and last frost in north China. *Journal of Natural Disasters*, 1995, 4(3): 33-39. [陈乾金, 张永山. 华北异常初终霜冻气候特征的研究. 自然灾害学报, 1995, 4(2): 33-39.]

## Spatial and temporal distribution of frost days over Tibet from 1981 to 2010

Labaciren, Suolangjiacuo, Baima

(*Meteorological Information and Network Center of Tibet, Lhasa 850001, China*)

**Abstract:** The annual and decadal variations, anomalous and abrupt change of the frost days are analyzed in this paper, using the daily minimum temperature of 38 stations over Tibet from 1981 to 2010 and modern statistical diagnosis methods, such as linear trend analysis, accumulative anomaly, signal noise ratio and rescaled range analysis (R/S analysis). The results showed that, (1) in recent 30 years, the frost days decreased with a rate of (3.3-14.6) d/10a ( $P < 0.01$ , at 37 stations), and the damping of frost days increased with increasing altitude. (2) In terms of decadal variations, the frost days presented a negative anomaly in the 1980s and a positive anomaly in the 2000s, the positive anomaly range of frost days was larger than the negative anomaly in the 1990s. (3) It was found with abrupt change test that frost days at eight stations had abrupt change, which occurred in the 1990s with the year 1997 having the largest number. (4) The results of R/S analysis showed that changes of frost days had the persistence with a Hurst index larger than 0.5 at most of the stations, and indicated that it will assume a continuous decrease in future and the decreasing rate will become larger. (5) In addition, it was found that the frequency of anomalous (more than normal) frost days was 0 to 3 times and occurred mainly in the 1980s, while the anomalous (less than normal) frost days occurred in the 2000s with a frequency of 0 to 4 times. There is little correlation between altitude (or latitude, longitude) and anomalous more frost days frequency, while altitude has negative correlation with anomalous less frost days frequency.

**Key words:** frost days; annual and decadal variations; anomalous; climate abrupt; Tibet