

雅鲁藏布江中游近40年异常初终霜冻分析

杜 军^{1,2} 宁 斌³

(1. 西藏自治区气候中心, 拉萨 850000; 2. 西藏自治区生态与农业气象中心;
3. 西藏自治区气象台)

提 要: 以 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 最低气温作为霜冻指标, 利用雅鲁藏布江中游4个气象站点1961—2000年的逐日最低气温资料, 采用现代气候诊断分析方法, 分析了该流域近40年初、终霜冻异常的气候变化。结果表明: 近40年, 流域东段表现为初霜来得迟、终霜结束得早、无霜期延长的显著趋势; 江孜则表现为终霜日推迟、无霜期缩短的不显著趋势。20世纪70、90年代终霜日提早结束、初霜日推迟来临, 使得流域东段生长季延长, 以90年代最为明显; 流域西段的江孜, 终霜日则表现为逐年推迟的趋势。流域特早初霜日频数为2~3次, 以泽当最多; 特晚终霜日发生频数为1~4次, 江孜最多。流域内只有泽当初、终霜日发生了气候突变。

关键词: 初终霜冻日异常 年代际变化 气候突变 雅鲁藏布江中游

Analysis of Anomalous First/Last Frost over Middle Reaches of the Yarlung Zangbo River in Tibet from 1961 to 2000

Du Jun Ning Bin

(1. Tibet Climate Center, Lhasa 850000; 2. The Ecological & Agricultural Meteorology Center of Tibet;
3. Tibet Meteorological Observatory)

Abstract: According to the frost index defined by the minimum air temperature $\leq 0^{\circ}\text{C}$, based on the method of modern times climate diagnosis, the climatic change of the anomalous first and last date of frost are analyzed with 4 meteorological stations' data of daily minimum temperature over the middle reaches of the Yarlung Zangbo River in Tibet from 1961 to 2000.

资助项目: 西藏自治区科技厅重点科研项目(2002-43)“西藏农业气候资源区划”资助

收稿日期: 2006年4月11日; 修定稿日期: 2006年5月9日

The results show that the first frost appeared late, while the last frost ended early, so that the frostless period was extended significantly in the eastern part of Yarlung Zangbo River basin in the past 40 years, but the tendency in Gyantse was on the contrary. In 1970s and 1990s, because the first frost appeared late and the last frost ended early made the growth season in the eastern part of Brahmaputra basin prolong, especially in 1990s. On the other hand, ending frost date in Gyantse presented prolonged tendency per decade in the west of Yarlung Zangbo River basin. In addition, it is found that the frequency of exceptional first frost date was 2 or 3 times, especially it was the most in Tesdang, meanwhile the frequency of anomalous ending frost date was 1 or 4 times, it was the most in Gyantse. The abrupt change of the first date and the ending date of frost only occurred in Tesdang.

Key Words: anomalous first and ending frost inter-decadal variation climate abrupt change

引言

全球气候变暖已成为科学家和公众共同关心的环境问题,从19世纪末到20世纪80年代,全球平均气温大约上升 $0.6^{\circ}\text{C}^{[1]}$ 。近百年来中国气候变化趋势与全球总趋势基本一致,全国气温上升了 $0.4\sim 0.5^{\circ}\text{C}$,略低于全球平均的 $0.6^{\circ}\text{C}^{[2-4]}$ 。韦志刚等^[5]利用青藏高原上72个台站1962—1999年的资料,分析得出近38年来,青藏高原呈升温趋势,高原的升温是普遍性的。西藏气象工作者对高原温度的气候变化也做了大量的分析^[6-10],认为西藏高原平均气温呈较为明显的增高趋势。

在增暖背景下,全球许多地区受到低温冷害的侵袭。霜冻是一个与农业有重要关系的一种自然现象,它的发生主要受温度变化的控制,因而温度的变化势必影响到霜冻的时空变化。Heino等^[11]发现,20世纪北欧的霜冻日数减少;Bonsal等^[12]发现加拿大也有类似特征。Easterling^[13]的研究结果表明,美国地区霜冻日数的变化趋势有明显的区域差异。在中国北方地区,近50年来霜冻日数有明显减少的趋势,变率的大小存在明显的区域差异,华北、西北东部和东北西南部是变率较大的地区^[14]。杜军等^[15]利用

1954—1996年的白霜资料分析得出,拉萨1954—1988年总的趋势是初霜日提早、终霜日推迟、无霜期缩短;1989年后表现为无霜期延长、初霜推迟、终霜提早的特点。

初霜冻异常提早,或终霜冻显著推迟,对农作物造成的危害最为严重。雅鲁藏布江中游是西藏粮、油主要产区,霜冻经常造成较为严重的经济损失。如1997年流域内大部分高寒农区初霜冻来得早,此时青稞还处在灌浆—乳熟期,霜冻致使作物灌浆受阻,减产较为严重。由此可见,分析和研究该流域霜冻异常特征,尤其是特早、偏早初霜冻或特晚、偏晚终霜冻变化规律,将有助于提高该地区对异常霜冻灾害的预测能力,为有效防御提供科学依据。

1 资料和方法

(1) 定量指标的确定

世界气象组织对气候异常事件提出两种判别标准,一是与多年平均值的差异超过标准差的2倍以上,二是它出现的几率为25年以上一遇。由于霜冻是因为大气温度降低而引起农作物受冻的一种灾害,因此它同气温一样具有正态分布特征。所以,挑选特早初霜冻和特晚终霜冻的概率值都以0.05较为合适,因为它反映了霜冻气候的异常小概

率事件的特征。根据正态分布原理,其关系式^[16]为:

$$p(-1.65\sigma < x - \mu < 1.65\sigma) = 0.90 \quad (1)$$

$$\frac{1 - p(-1.65\sigma < x - \mu < 1.65\sigma)}{2} = 0.05 \quad (2)$$

同理,挑选偏早和偏晚霜冻的概率值为0.11,即:

$$[p(1.65\sigma > x - \mu > \sigma) + p(-1.65\sigma < x - \mu < -\sigma)]/2 = 0.11 \quad (3)$$

式中 p 为概率值(%), x 为初(终)霜冻日, μ 为多年平均值, σ 为标准差。

由上式可知,“异常”初、终霜冻日的标准为, $< -1.65\sigma$ 和在 $-1.65\sigma \sim -\sigma$ 之间者分别称为特早初霜冻和偏早初霜冻, $> 1.65\sigma$ 和在 $1.65\sigma \sim \sigma$ 之间者分别称为特晚终霜冻和偏晚终霜冻。

(2) 气候突变

目前常见的气候突变检验方法有低通滤波方法、滑动的 t -检验法(Mtt)、Cramer法、Yamamoto法和Mann-Kendall法,其中Cramer法、Yamamoto法的原理与Mtt相同。气候突变分析的方法较多,文中使用信噪比^[17],计算公式如下:

$$S/N = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{S_1 + S_2} \quad (4)$$

式中 \bar{X}_1 、 \bar{X}_2 为两气候阶段内的平均值, S_1 、 S_2 为两气候阶段内的标准差。当 S/N 大于1.0时认为存在气候突变。

(3) 资料及站点

以日最低气温 $\leq 0^\circ\text{C}$ 作为霜冻指标,选取雅鲁藏布江中游农作物种植面积较大、资料年限长的拉萨、泽当、日喀则、江孜4个测站1961—2000年的日最低气温资料。初(终)霜冻的年际变化趋势采用线性趋势分析方法。多年平均值采用国际惯用的1961—1990年的平均值。

2 结果分析

2.1 初(终)霜冻的基本气候特征

雅鲁藏布江中游平均初霜日,流域东段(拉萨、泽当)出现在10月中旬,最早可提前到9月下旬—10月上旬,此时大部分冬小麦还未播种,对粮食作物无影响,对露天蔬菜的生长有影响。日喀则出现在10月上旬,最早可提前到9月中旬,这时作物已成熟或已收割,对其无影响。江孜高寒农区出现在9月底,最早可提前到7月上旬,此时大部分青稞处于抽穗开花期或灌浆初期,遇霜冻,籽粒灌浆将受阻,影响干物质的积累,造成千粒重下降,若低温持续几天,减产严重。

平均终霜日拉萨出现在4月中旬,最迟出现在5月上旬,此时越冬作物处于拔节期,遇霜对其影响较大,同时也会使喜温作物(玉米)、蔬菜幼苗受冻,造成损失。泽当出现在5月上旬,最晚可推迟到5月下旬,这时冬小麦正处于拔节孕穗期,抵抗低温的能力低,遇霜将造成冻害。日喀则、江孜出现在5月中、下旬,最迟出现在5月下旬—6月中旬,对正值拔节孕穗期的青稞不利。

流域平均无霜期为123~185d,最长可达161~207d,以拉萨最大;最短可缩至54~160d,海拔为4040m的江孜最小。80%保证率的无霜期在110~174d之间。

2.2 初(终)霜冻的年际变化趋势

根据近40年(1961—2000)雅鲁藏布江中游初(终)霜冻的年际变化趋势分析(表1),流域东段表现为初霜来得迟、终霜结束得早、无霜期延长的显著趋势,其中泽当表现得最为显著(图1),平均每10年初霜日推迟2.6d、终霜日提早4.7d、无霜期延长7.3d。拉萨初霜日呈显著的推迟趋势,平均每10年初霜晚降1.7d;无霜期以2.5d/10a的速度延长(通过0.05的检验水平)。日喀则表现为不显著的初霜日推迟、终霜日提早、无霜期延长的趋势,而江孜则

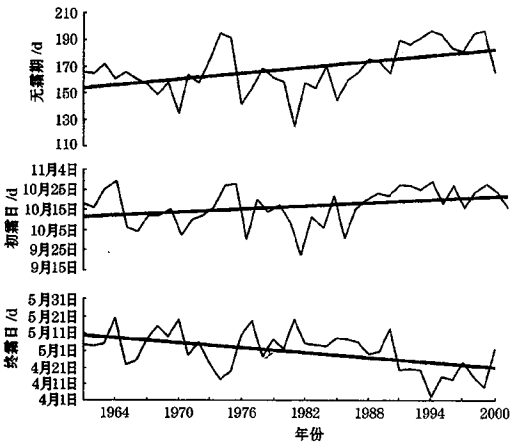


图 1 西藏泽当站初霜日、终霜日和
无霜期的变化曲线
(折线：历年值，粗斜线：线性趋势值)

表 1 西藏雅鲁藏布江中游初(终)霜日、无霜期的变化趋势
(单位: d/10a)

站名	1961—2000			1981—2000		
	初霜日	终霜日	无霜期	初霜日	终霜日	无霜期
拉萨	1.7**	-0.8	2.5*	5.1**	-3.7	8.7**
泽当	2.6*	-4.7**	7.3**	10.0***	-14.8***	24.8***
日喀则	0.4	-0.6	1.0	7.4**	-2.4	9.8**
江孜	0.4	2.0	-1.6	1.6	-2.5	4.1

注：*表示达到 0.10 的较显著水平，**表示达到 0.05 的显著水平，***表示达到 0.01 的极显著水平，“-”代表初(终)霜提前，正数代表初(终)霜推后

表现为初霜略推迟、终霜推迟、无霜期缩短的不显著趋势。

从近 20 年(1981—2000)初(终)霜冻的变化趋势来看(表 1)，流域各站均表现为初霜来得迟、终霜结束得早、无霜期延长的趋势，其中泽当表现得极为显著，平均每 10 年初霜晚降 10.0d、终霜早结束 14.8d、无霜期延长 24.8d。其次是日喀则，初霜日推迟、无霜期延长的幅度，分别达到了 7.4d/10a 和 9.8d/10a。

2.3 初(终)霜冻的年代际变化

根据雅鲁藏布江中游初(终)霜日、无霜期的年代际变化分析(表略)，具有以下

明显特点：(1)流域东段 20 世纪 70、90 年代初霜来得迟、终霜结束得早、无霜期长，以 90 年代最为明显，其中泽当 90 年代无霜期均长于多年平均值，偏长 4~34d。20 世纪 60、80 年代流域各站则表现为初霜来得早、终霜结束得晚、无霜期短的特点。(2)近 40 年江孜终霜日呈逐年代推迟的趋势，20 世纪 70 年代到 90 年代初霜日也表现为逐年代推迟的趋势；60 年代初霜降得最晚、终霜结束得最早、无霜期最长。(3)20 世纪 70 年代日喀则初霜来得最晚、终霜结束得最早、无霜期最长，其中 1974 年无霜期达到 183d，为 40 年最大值，较多年平均值延长了 1 个多月。80 年代，日喀则有 60% 的年份初霜降得早、终霜结束得迟，无霜期短于多年平均值。

2.4 初(终)霜冻的异常分析

2.4.1 特早(晚)初(终)霜冻

表 2 为近 40 年概率≤5%的雅鲁藏布江中游出现特早(晚)初(终)霜冻、特长(短)无霜期的频数，从表中可知，流域特早初霜冻频数为 2~3 次，以泽当最多。日喀则、泽当 20 世纪 80 年代各出现了 2 次特早初霜冻。江孜在 20 世纪 70 年代和 90 年代各出现了 1 次初霜来得特早的年份，其中 1997 年提早了 32d，致使处于灌浆期的青稞受冻，造成大面积的减产。中游地区特晚初霜冻发生的频数为 0~3 次，其中拉萨达 3 次，主要发生在 20 世纪 90 年代末；而泽当在过去 40 年里，从未出现特晚初霜冻。

概率≤5%的特晚终霜冻发生的频数为 1~4 次，泽当最少，江孜最多。其中江孜主要出现在 20 世纪 90 年代，达 3 次，1992、1993 年连续 2 年终霜冻结束得特晚，造成部分播种较晚的青稞受冻。而中游地区终霜冻结束得特早的频数除拉萨未出现外，其它各站点均出现了 2 次，以 20 世纪 90 年代居多。

中游地区概率≤5%的无霜期特长(短)发生的频数为 2~4 次，以拉萨最多，20 世

纪 60 年代多出现特短无霜期年, 特长无霜期却出现在 20 世纪 90 年代。泽当仅出现过 2 次特短无霜期的年份, 发生在 20 世纪 60 年代末和 80 年代初。江孜、日喀则均出现

过 2 次特短无霜期年, 分别发生在 20 世纪 70 年代和 80 年代; 而 20 世纪 60 年代、70 年代各出现了 1 次特长无霜期年。

表 2 雅鲁藏布江中游特早(晚)初(终)霜冻的年份

	初霜日	终霜日	无霜期
拉萨	1966, 1982(-); 1975, 1998, 2000(+)	1963, 1989(+)	1963, 1966(-); 1992, 1998(+)
泽当	1976, 1981, 1985(-)	1964(+); 1994, 1999(-)	1970, 1981(-)
日喀则	1981, 1988(-); 1997(+)	1971, 1992(+); 1974, 1996(-)	1974(+); 1981, 1982(-)
江孜	1978, 1997(-); 1992(+)	1961, 1995(-); 1984, 1992, 1993, 1996(+)	1961(+); 1971, 1978(-)

注: “-”为特早初(终)霜冻、特短无霜期, “+”为特晚初(终)霜冻、特长无霜期

2.4.2 偏早(晚)初(终)霜冻

雅鲁藏布江中游偏早初霜冻出现的频数除江孜为 2 次外, 其余各站均为 4 次, 其中拉萨、泽当主要发生在 20 世纪 60 年代, 分别出现了 2 次和 3 次。日喀则偏早初霜冻发生频数多出现在 20 世纪 80 年代, 且连续 2 年初霜冻偏早, 即 1983、1984 年。偏晚初霜冻出现的频数在 4~8 次之间, 以泽当最多, 主要出现在 20 世纪 90 年代, 占总次数的 50%。

中游地区偏晚终霜冻发生频数为 0~7 次, 以拉萨最多, 其中又以 20 世纪 80 年代居多, 70 年代未出现。日喀则发生了 3 次, 其中 2 次出现在 20 世纪 90 年代初。过去 40 年里, 江孜从未出现过终霜冻偏晚的年份。而泽当 20 世纪 90 年代未出现终霜冻偏晚的现象。偏早终霜冻发生的频数为 5~8 次, 仍以拉萨最多; 江孜出现过 4 次, 其中 3 次发生在 70 年代末, 且连续出现, 即 1978—1980 年。

偏长无霜期发生的频数以泽当最多, 达 9 次, 且以 20 世纪 90 年代最多, 为 7 次。日喀则出现了 7 次, 其中 20 世纪 70 年代和 90 年代各出现了 3 次。拉萨出现的次数最少, 仅有 2 次。偏短无霜期出现的频数为 3~5 次, 以拉萨最多。

2.5 初(终)霜冻的气候突变分析

利用式(4)计算了雅鲁藏布江中游初

霜日、终霜日、无霜期气候突变的时间, 序列的长度取 10、15 年。计算发现, 1961—2000 年大部分气候段 S/N 小于 1.0, 为了增加突变信息, 取连续 $S/N \geq 0.5$ 的峰值为突变点, 通过 t 检验, 若序列长度取 10, $S/N \geq 0.5$ 相当于 $t_0 > 1.581$, 达到 85% 信度以上的水平; 若序列长度取 15, $S/N \geq 0.5$ 相当于 $t_0 > 1.936$, 达到 90% 信度以上的水平。

通过计算, 发现雅鲁藏布江中游只有泽当霜日发生了气候突变(图 2), 即 1986 年初霜从一个相对偏早期跃变为一个相对偏晚期, 1990 年终霜日从一个相对偏晚期跃变为一个相对偏早期、无霜期却从一个相对偏短期跃变为一个相对偏长期。

3 小结

(1) 近 40 年雅鲁藏布江中游东段表现为初霜来得迟、终霜结束得早、无霜期延长的显著趋势, 使得生长季延长, 其中泽当表现得最为显著。江孜则表现为初霜略推迟、终霜推迟、无霜期缩短的趋势。但从近 20 年初(终)霜冻的变化趋势来看, 流域各站均表现为初霜来得迟、终霜结束得早、无霜期延长的趋势。

(2) 流域东段 20 世纪 70、90 年代初霜来得迟、终霜结束得早、无霜期长, 以 20

世纪90年代最为明显。近40年江孜终霜日呈逐年代推迟的趋势，20世纪70年代到90年代初霜日也表现为逐年代推迟的趋势。80年代，日喀则有60%的年份初霜降得早、终霜结束得迟，无霜期短于多年平均值。

终霜冻从一个相对偏晚期跃变为一个相对偏早期、无霜期却从一个相对偏短期跃变为一个相对偏长期。

参考文献

- 1 Houghton J T, Ding Y, Griggs J et al. Climate change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. New York: Cambridge University Press, 2001, 881.
- 2 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势 [J]. 气象, 1990, 16 (2): 11-15.
- 3 林学椿, 于淑秋. 近40年我国气候趋势 [J]. 气象, 1990, 16 (10): 16-21.
- 4 丁一汇, 戴晓苏. 中国百年来的温度变化 [J]. 气象, 1994, 20 (12): 19-26.
- 5 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 [J]. 大气科学, 2003, 27 (2): 157-170.
- 6 张顺利. 西藏30年温度变化的气候特征 [J]. 气象, 1997, 23 (2): 21-24.
- 7 杜军. 青藏高原最高最低气温的非对称变化 [J]. 应用气象学报, 2003, 14 (4): 437-443.
- 8 杜军. 青藏高原近40年的气温变化 [J]. 地理学报, 2001, 56 (6): 682-690.
- 9 顿珠次仁, 石运强. 西藏日喀则地区气候变化分析 [J]. 气象, 2000, 26 (1): 46-50.
- 10 陈克东, 建军. 近40年泽当气候变化初探 [J]. 气象, 2000, 26 (1): 51-55.
- 11 Heino R, Coauthors. Progress in the Study of Climate Extremes in Northern and Central Europe [J]. Climatic Change, 1999, 42: 151-181.
- 12 Bonsal B R, X Zhang, L A Vincent et al. Characteristics of Daily and Extreme Temperature over Canada [J]. J. Climate, 2001, 14: 1959-1976.
- 13 Easterling D R. Recent Changes in Frost Days and the Frost-free Season in the United States [J]. Bull. Amer. Mete. Soc., 2002: 1327-1332.
- 14 马柱国. 中国北方地区霜冻日的变化与区域增暖相互关系 [J]. 地理学报, 2003, 58 (增刊): 31-37.
- 15 杜军, 向毓意. 近40年拉萨霜期变化的气候特征分析 [J]. 应用气象学报, 1999, 10 (3): 379-383.
- 16 陈乾金, 张永山. 华北异常初终霜冻气候特征的研究 [J]. 自然灾害学报, 1995, 4 (2): 33-39.
- 17 黄嘉佑. 气候状态变化趋势与突变分析 [J]. 气象, 1995, 21 (7): 54-57.
- 18 丁瑞. 天津百年年平均气温变化特征的初步诊断分析 [J]. 天津气象, 1995, (3): 15-18.
- 19 符淙滨, 王强. 气候突变的定义和检测方法 [J]. 大气科学, 1992, 16 (4): 482-493.

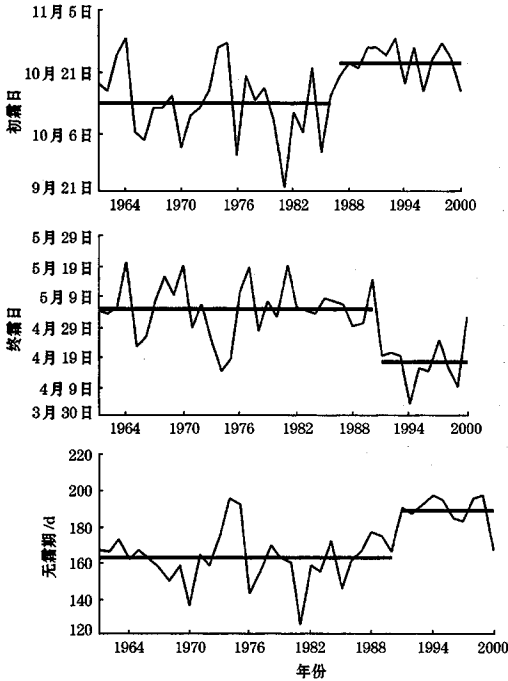


图2 泽当初日、终日和无霜期的气候突变分析曲线

(图中两段粗直线分别为突变前后时段平均值，分辨率为10)

(3) 流域特早初霜冻频数为2~3次，以泽当最多。日喀则、泽当20世纪80年代各出现了2次特早初霜冻。江孜在20世纪70年代和90年代各出现了1次初霜来得特早的年份，其中1997年提早了32d，致使处于灌浆期的春青裸受冻，造成大面积的减产。特晚终霜冻发生的频数为1~4次，泽当最少，江孜最多，其中江孜主要出现在20世纪90年代。

(4) 雅鲁藏布江中游只有泽当初终霜冻发生了气候突变，1986年初霜冻从一个相对偏早期跃变为一个相对偏晚期，1990年