

祁如英, 李应业, 汪青春. 2011. 青海近 30 年来霜对气温、降水变化的响应 [J]. 气候与环境研究, 16 (3): 347–352. Qi Ruying, Li Yingye, Wang Qingchun. 2011. Response of frost to temperature and precipitation changes in recent 30 years in Qinghai Province [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (3): 347–352.

青海近 30 年来霜对气温、降水变化的响应

祁如英^{1,2} 李应业² 汪青春²

1 中国气象局成都高原气象研究所, 成都 610071

2 青海气候中心, 西宁 810001

摘 要 用线性趋势和单相关法分析了青海高原 33 个气象站的霜物候期及气象资料, 结果表明: 青海高原 1978~2007 年初霜、终霜变化趋势存在明显推迟、提早的区域性特征。在年代际尺度上, 初霜大部分地区明显推迟, 终霜大部分地区明显提早, 无霜期绝大部分地区明显延长。少部分地区终霜对气温负相关显著, 对降水正相关显著。部分地区初霜对气温正相关显著, 绝大部分地区初霜对降水略呈增多变化响应不明显。大部分地区无霜期对气温为正相关显著, 且对气温的响应比对降水的明显; 初霜、终霜对气候变化的综合响应表现在无霜期的延长变化趋势存在明显的区域性差异。

关键词 霜 物候现象 变化特征 气候响应

文章编号 1006-9585 (2011) 03-0347-06 **中图分类号** P517 **文献标识码** A

Response of Frost to Temperature and Precipitation Changes in Recent 30 Years in Qinghai Province

QI Ruying^{1,2}, LI Yingye², and WANG Qingchun²

1 *Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu 610071*

2 *Qinghai Province Climate Center, Xining 810001*

Abstract The frost phenophase was analysed with linear trend and single correlation method by using meteorological data from 33 weather stations in Qinghai Plateau. Results show that the variation trends of first frost and latest frost present regional features of delay and ahead of schedule, respectively. On the interdecadal scale, first frost was delayed while latest frost was advanced and frost-free period was extended obviously in most regions. In a few areas, a negative correlation existed between latest frost with air temperature, and a positive correlation with precipitation. In some areas, a positive correlation existed between first frost with air temperature, and had no obvious responses to precipitation. In most areas, a positive correlation existed between frost-free period with air temperature and precipitation. The comprehensive response of first frost and latest frost to climate change showed that the extended variation trends have obvious regional differences.

Key words frost, phenological phenomena, variation characteristic, climate response

收稿日期 2009-09-02 收到, 2011-01-19 收到修定稿

资助项目 中国气象局成都高原气象开放实验室基金 LPM2008008

作者简介 祁如英, 女, 高级工程师, 主要从事农业、生态气象应用研究。E-mail: qrying@sina.com

1 引言

自然物候“霜”是指自然界中在某一地区一年中特定时间出现的水汽在地面和近地面物体上凝华形成的白色松脆冰晶（或由露冻结成的冰珠现象）。这种气象物候现象是水汽与环境条件的综合反映。从气象条件来说，它不仅反映当时的天气现象，而且也反映了过去一个时期气象条件的影响积累情况。

近 20 多年来，气候变化中对“霜冻”的有关研究很多，但对“霜”的自然物候现象规律及其对气候变化的响应研究很少见，又因“霜”现象可以预告农牧事活动，对作物（蔬菜）引种及布局、园林花草建设、农业气候专题分析及区域气候和古气候的变化研究等方面具有特别重要的参考意义（冯松等，1998；施雅风等，2003；汪青春等，2005；张立杰等，2009）。

对我国近 40 年气候变化的分析表明，中国气候变化的趋势与全球气候变化的趋势基本一致，但有自身的特点（马晓波和胡泽勇，2005）。青海高原占青藏高原面积的 1/3，又是长江、黄河、澜沧江的发源地。近年来有关青藏高原及青海气温、降水方面的研究结果表明，气温、降水变化存在明显的区域性特征（黄玉霞等，2004；史军等，

2009）。因此，揭示青海近 30 年来霜对气候变化的响应，对研究青藏高原生态环境的演变和预告农牧事活动以及制定气候变化影响的对策等方面具有现实意义（中国气象局，1993；左洪超等，2004；唐红玉和翟盘茂，2005；祁如英等，2008；张建云等，2008；董海波等，2009）。

2 代表站的选择及资料

用于研究自然物候“霜”变化的资料不仅要有足够的序列长度，还应有足够的精确度。因此，所用资料具有满足均一性、代表性和比较性的特点。根据上述原则，选取青海省内的 33 个气象站（图 1）作为代表站，利用各站 1978~2007 年出现的初霜、终霜日期及同期年气温和降水量资料，研究青海高原霜对气温、降水变化的响应。

青海省面积为 72 km²，地形和气候复杂，气象台站的覆盖率较低，西部部分地区还是地面气象资料的空白区，气象台站主要集中在东部经济较发达地区。柴达木盆地、青海南部台站相对稀疏，台站所在各县、市级行政区面积相差悬殊，且面积高差很大的行政区存在着迥然不同的气候。因此，选取台站时主要考虑地形、土壤、植被的代表性，避免小气候的影响，并且站点在多年连续观测的大气候观测场内。因青海属高原高寒地



图 1 青海省 33 个代表气象站分布

Fig. 1 Distribution of 33 weather stations in Qinghai Province

区, 由于气候特殊, 据《地面气象观测规范》(中国气象局, 1979) 规定: “在挑选霜气象现象的终日和初日时, 可不受年度界限 (6 月 30 日) 的限制, 应在暖季内选一连续无霜日数最长的时期” 进行挑取。

3 霜变化的基本特征

霜一般形成在寒冷季节里晴朗、微风或无风的夜晚, 是在草叶、土块等物体上的一种白色冰晶。通常, 日出后不久霜就融化了。但在天气严寒时或者在背阴处, 霜有时也终日不消。霜本身对植物没有害处, 霜有别于通常所说的“霜害”(实际上是

在形成霜的同时产生的“冻害”, 即“霜冻”)。

3.1 终霜变化特征

终霜是指春季 (或暖季) 最后一次晚霜出现的日期。

1978~2007 年茫崖、都兰、泽库、共和、湟源的终霜出现日期呈明显提早的变化趋势 (相关系数 $r \geq 0.31$), 冷湖、兴海、河南的终霜出现日期呈明显推迟的变化趋势 ($r \geq 0.31$), 其余地区终霜出现日期变化趋势不明显 ($r < 0.31$)。

从图 2 可见, 1978~2007 年终霜前后 10 a 对气候变化响应的特征为: 1988~1997 年与 1978~1987 年相比 32% 的台站提早, 1998~2007 年与 1988~1997 年相比 62% 的台站提早。

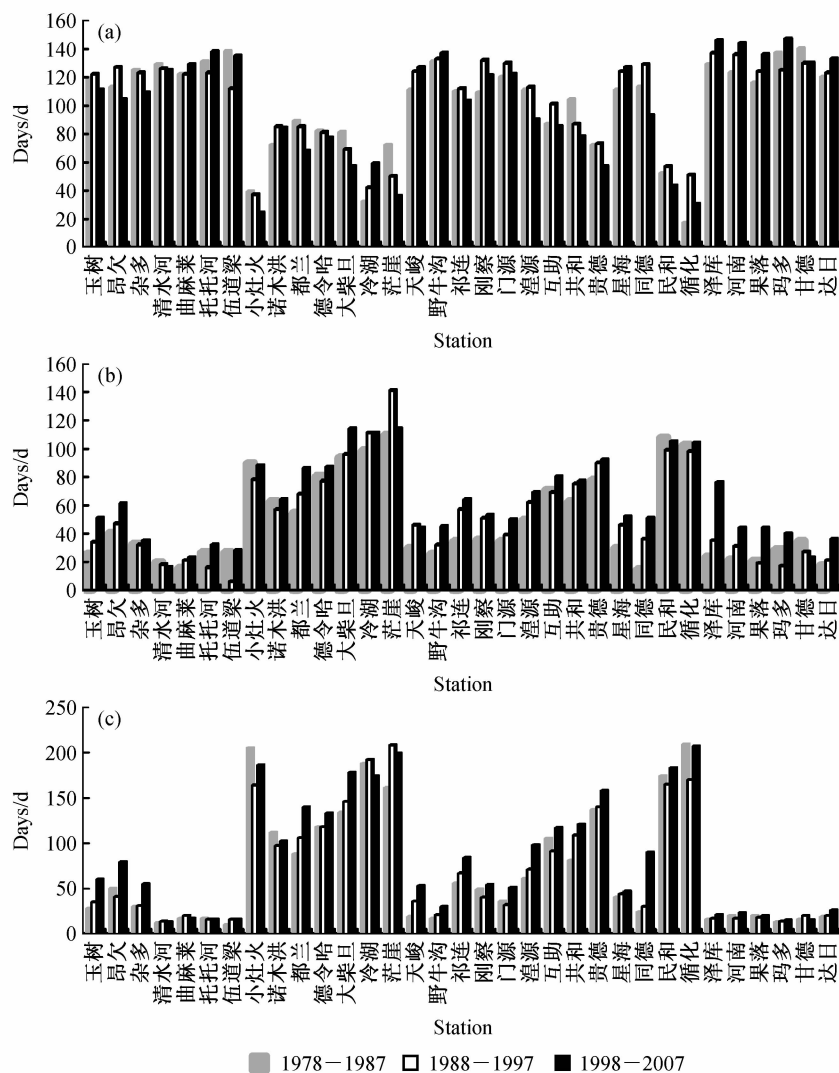


图 2 青海省 1978~2007 年 (a) 终霜、(b) 初霜及 (c) 无霜期年代际变化特征

Fig. 2 Interdecadal variations of the (a) latest frost, (b) first frost, and (c) frost-free period during 1978-2007 in Qinghai Province

3.2 初霜变化特征

初霜是指秋末初冬（或暖季）第一次霜出现的日期。

1978~2007 年初霜的基本线性变化趋势特征（图略）：在杂多—称多—甘德一线北部和甘德—果落—诺木洪—德令哈一线西部及互助—循化—线东部的地区初霜日推迟变化不明显（ $r < 0.31$ ），小灶火、野牛沟—都兰—河南一线东部和河南—贵德—门源一线西部的地区初霜日呈显著（ $r \geq 0.31$ ）推迟变化。

从图 2 可见，1978~2007 年初霜日前后 10 a 的变化特征：1988~1997 年与 1978~1987 年相比 62% 的台站推迟，1998~2007 年与 1988~1997 年相比 79% 的台站推迟。

3.3 无霜期变化特征

无霜期是指本年度终霜与初霜出现日期的间隔天数。

1978~2007 年无霜期的基本线性变化趋势特征（图略）：杂多—伍道梁—玉树一线南部地区、野牛沟—天峻—都兰一线东部和都兰—同德一线北部及湟源—同德一线西部的地区延长变化明显（ $r \geq 0.31$ ），门源—泽库一线东部和杂多—玉树一线北部及德令哈—诺木洪—玛多—果落—甘德一线西部地区变化不明显（ $r < 0.31$ ）。

从图 2 可见，1978~2007 年无霜期前后 10 a 的变化特征：1988~1997 年与 1978~1987 年相比 62% 的台站延长，1998~2007 年与 1988~1997 年相比 79% 的台站推迟。

4 霜对气候变化的响应

对青海高原近 47 年来的年平均气温、年降水量值经统计分析，平均气温呈明显上升趋势，其增温率达 $0.39\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。气候明显变暖的季节主要是冬季，同时夜间温度上升较白天明显。增温幅度青海高原北部大于南部；降水量略呈增多趋势，但降水量变化存在阶段性，全年和夏半年降水量变化趋势一致。春季降水量增加趋势明显，冬季自 20 世纪 90 年代以来降水量比多年平均值偏多 20%。秋季降水量呈减少趋势。

青海高原的终霜、初霜出现日期及无霜期对近 47 年来年气温呈明显上升趋势、降水量略呈增

多趋势的气候变化的响应关系如下：随气温升高的趋势终霜出现日期大部分地区提早，初霜出现日期大部分地区推迟，无霜期延长；随降水增多的趋势终霜、初霜出现日期个别地区推迟、提早各异，无霜期延长。

4.1 终霜出现日期变化响应

从图 3 可知，1978~2007 年终霜对气温显著响应的 9 个站中除冷湖、沱沱河为正相关外，其余为负相关；对降水显著响应的只有 4 个站，除都兰为负相关外，其余 3 站为正相关。

4.2 初霜出现日期变化响应

从图 3 可知，1978~2007 年初霜对气温显著响应的 14 个站均为一致的正相关；对降水显著响应的只有 3 个站，其中冷湖为负相关，野牛沟、玛多为正相关。

4.3 无霜期变化响应

从图 3 可知，1978~2007 年无霜期对气温显著响应的 16 个站均为一致的正相关；对降水显著响应的 10 个站中，除冷湖、大柴旦为负相关外，其余均为正相关。

在以上霜物候期对气温、降水变化的响应分析中，个别站与大部分站结果相反的原因分析：冷湖站近 30 年降水量呈弱（ $r = 0.20$ ）的减少变化趋势，年降水量在 $5.2 \sim 42.4\text{ mm}$ ，且少于 20.0 mm 年份为 83%，降水量极少。气温呈显著（ $r = 0.58$ ）上升变化趋势，年平均气温在 $2.0 \sim 4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。降水量减少使初霜出现日期推迟、间隔日数延长，气温升高使终霜出现日期推迟、降水量减少使终霜出现日期提早，经偏重分析终霜出现日期对气温响应比降水的响应大。沱沱河站的终霜对气温的响应为正相关，近 30 年年降水量呈弱（ $r = 0.20$ ）的增加变化趋势，年降水量在 $162.7 \sim 459.4\text{ mm}$ 。气温呈显著（ $r = 0.53$ ）上升变化趋势，年平均气温在 $-7.3 \sim -2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。气温升高使终霜出现日期推迟；都兰站的终霜与年降水量为负相关关系，近 30 年年降水量呈弱（ $r = 0.01$ ）的增加变化趋势，年降水量在 $123.6 \sim 337.6\text{ mm}$ 。气温呈显著（ $r = 0.81$ ）上升变化趋势，年平均气温在 $1.9 \sim 4.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，气温升高、降水量增加的共同作用使终霜出现日期提前；大柴旦站的无霜期对年降水量为负相关，近 30 年年降水量呈弱（ $r = 0.21$ ）的增加变化趋势，年降水量

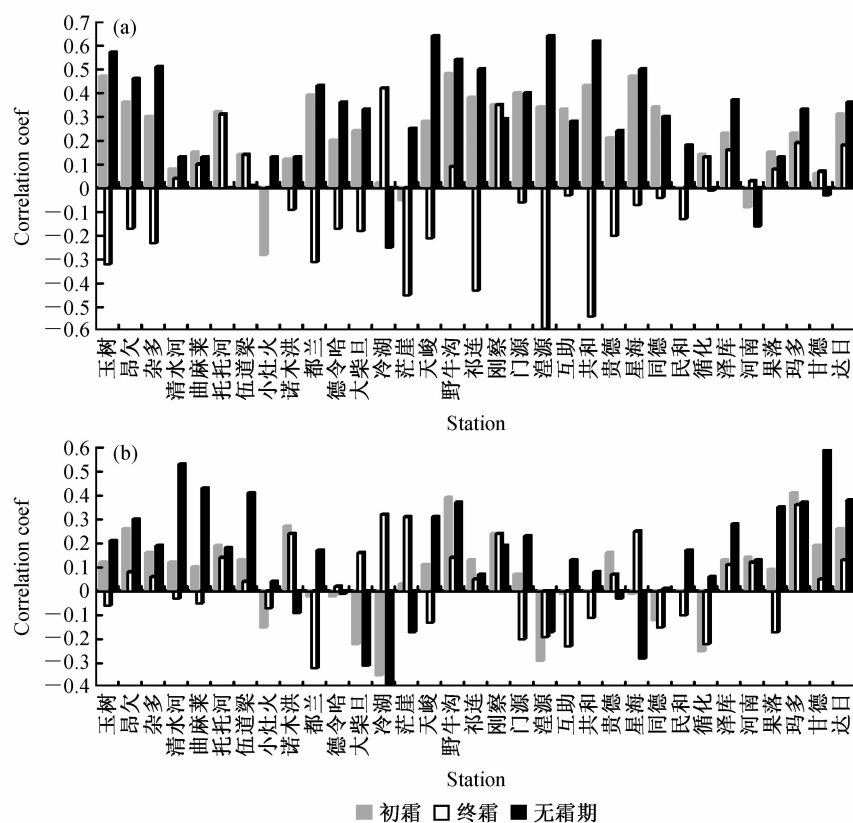


图3 1978~2007年青海省终霜、初霜及无霜期与(a)气温和(b)降水的相关系数

Fig. 3 Correlation coefficients of the latest frost, first frost, and frost-free period with (a) air temperature and (b) precipitation during 1978–2007 in Qinghai Province

在42.5~142.5 mm。气温呈显著($r=0.71$)上升变化趋势,年平均气温在0.8~3.6℃。降水量上升使无霜期缩短,气温升高使无霜期延长,经偏重分析无霜期对气温响应比对降水的响应大。

5 结论与讨论

(1) 近30年青海高原茫崖、都兰、泽库、共和、湟源地区的终霜出现日期呈明显提早变化趋势,冷湖、兴海、河南地区的终霜出现日期呈明显推迟变化趋势,其余地区终霜出现日期变化趋势不明显。小灶火、野牛沟—都兰—河南一线东部和河南—贵德—门源一线西部的地区初霜日呈显著推迟变化,其余地区初霜日推迟变化不明显。

(2) 终霜在部分地区对气温为负相关显著响应,个别地区为正相关显著响应;初霜在部分

地区对气温的响应均为正相关显著响应;无霜期部分地区对气温响应为正相关显著响应。终霜、初霜和无霜期对降水的响应,部分地区为正相关显著响应,部分地区为负相关显著响应。1978~2007年终霜逐年代提早地区增加一半,初霜逐年代推迟地区增加近60%,无霜期逐年代延长地区增加近70%。

(3) 霜对气候变化的综合响应基本变化趋势特征:无霜期在杂多—伍道梁—玉树一线南部地区、野牛沟—天峻—都兰一线东部和都兰—同德一线北部及湟源—同德一线西部的地区延长变化明显($r \geq 0.31$),门源—泽库一线东部和杂多—玉树一线北部及德令哈—诺木洪—玛多—果洛—甘德一线西部地区变化不明显。

(4) 霜的物候期变化存在明显的地域性差异,可能是青海高原的地形、土壤、植被及局地气候的不同造成的,这一点因地形、土壤、植被资料的收集量很大而有待进一步的研究。

参考文献 (References)

- 董海波, 郑循华, 黄耀, 等. 2009. 大气 CO₂ 浓度升高和秸秆还田对稻麦轮作农田 N₂O 排放的影响 [J]. 气候与环境研究, 14 (1): 1-8. Dong Haibo, Zheng Xunhua, Huang Yao, et al. 2009. Atmospheric CO₂ concentration and straw to the rice-based cropping farmland N₂O emissions [J]. Climate and Environmental Research (in Chinese), 14 (1): 1-8.
- 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. The evidence of Chinese climatic changes' start-up is in Qinghai Plateau [J]. Science Circular (in Chinese), 43 (6): 633-636.
- 黄玉霞, 李栋梁, 王宝鉴, 等. 2004. 西北地区近 40 年降水异常的时空特征分析 [J]. 高原气象, 23 (2): 245-252. Huang Yuxia, Li Dongliang, Wang Baojian, et al. 2004. Analysis on temporal-spatial features of annual precipitation in northwest China in 1961-2000 [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 23 (2): 245-252.
- 马晓波, 胡泽勇. 2005. 青藏高原 40 年来降水变化趋势及突变的分析 [J]. 中国沙漠, 25 (1): 137-139. Ma Xiaobo, Hu Zeyong. 2005. Precipitation variation characteristics and abrupt change over Qinghai-Xizang Plateau in recent 40 years [J]. Journal of Desert Research (in Chinese), 25 (1): 137-139.
- 祁如英, 祁永婷, 郭卫东, 等. 2008. 青海省东部大杜鹃的始绝鸣日期对气候变化的响应 [J]. 气候变化研究进展, 4 (4): 225-229. Qi Ruying, Qi Yongting, Guo Weidong, et al. 2008. Response of the Cuckoo's start and halt dates to climate change in east Qinghai [J]. Climate Change Research Progress (in Chinese), 4 (4): 225-229.
- 史军, 丁一汇, 崔林丽. 2009. 华东极端高温气候特征及成因分析 [J]. 大气科学, 33 (2): 347-357. Shi Jun, Ding Yihui, Cui Linli. 2009. Climatic characteristics of extreme maximum temperature in east China and its causes [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (2): 347-357.
- 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 2003. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨 [J]. 第四纪研究, 32 (2): 152-163. Shi Yafeng, Shen Yongping, Li Dongliang, et al. 2003. Discussion on the present climate change from warm-dry to warm-wet in northwest China [J]. Quaternary Research (in Chinese), 32 (2): 152-163.
- 唐红玉, 翟盘茂. 2005. 1951~2002 年中国东、西部地区地面气温变化对比 [J]. 地球物理学报, 48 (3): 526-534. Tong Hongyu, Zhai Panmao. 2005. Comparison of variations of surface air temperatures in eastern and western China during 1951-2002 [J]. Chinese Journal of Sinica (in Chinese), 48 (3): 526-534.
- 汪青春, 秦宁生, 张国胜, 等. 2005. 青海器测时期以来气温变化特征 [J]. 气象科技, 33 (5): 420-432. Wang Qingchun, Qin Ningsheng, Zhang Guosheng, et al. 2005. Analysis of air temperature variation characteristics in recent 42 years in Qinghai Province [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 33 (5): 420-432.
- 张建云, 王国庆, 杨扬, 等. 2008. 气候变化对中国水安全的影响研究 [J]. 气候变化研究进展, 4 (5): 290-295. Zhang Jianyun, Wang Guoqing, Yang Yang, et al. 2008. Of climate change on China's water security implications [J]. Climate Change Research Progress (in Chinese), 4 (5): 290-295.
- 张立杰, 胡天洁, 胡非. 2009. 近 30 年北京夏季降水演变的城郊对比 [J]. 气候与环境研究, 14 (1): 63-68. Zhang Jie, Hu Tianjie, Hu Fei. 2009. For nearly 30 years the evolution of summer precipitation in Beijing suburban comparison [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (1): 63-68.
- 中国气象局. 1979. 地面气象观测规范 [M]. 北京: 气象出版社, 110. China Meteorological Administration. 1979. Ground Meteorological Observation Practices [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 110.
- 中国气象局. 1993. 农业气象观测规范 (上卷) [M]. 北京: 气象出版社, 133-158. China Meteorological Administration. Agro-Meteorological Observation Practices (Vol. 1) [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 133-158.
- 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 2004. 中国近 50 年气温和降水量的变化趋势分析 [J]. 高原气象, 23 (4): 238-244. Zuo Hongchao, Lü Shihua, Hu Yinqiao, et al. 2004. Variations trend of yearly mean air temperature and precipitation in China in the last 50 years [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 23 (2): 238-244.