

近53年河南省初终霜日期时空变化及其对气候变化的响应

闫军辉¹, 徐新创^{2*}, 周红升^{1,3}, 赵国永¹, 傅 辉⁴, 文 琦^{5,6}

(1.信阳师范学院城市与环境科学学院, 河南 信阳 464000; 2.湖北科技学院资源环境科学与工程学院, 湖北 咸宁 437100; 3.信阳师范学院豫南岩矿宝玉石鉴定及加工中心, 河南 信阳 464000; 4.重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 400047; 5.宁夏大学资源环境学院, 宁夏 银川 750021; 6.中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要:利用1961—2013年河南省17个监测站均一化的逐日地面0 cm最低气温资料,根据霜冻气候指标计算了各站逐年的初、终霜日期,在此基础上分析了河南省初、终霜日期的时空变化特征,并探讨了初、终霜日期的变化对气候变化的敏感程度。结果表明:近53年来,河南省平均初霜日期以 $2.2 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 的速率显著推迟($P < 0.01$),推迟最为明显的地区位于河南西部山区;平均终霜日期以 $2.3 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 的速率显著提前($P < 0.01$),中、南部平原地区提前最为明显;河南省初、终霜日期的变化对季节性气温变化十分敏感,秋季气温每升高 1°C ,初霜日期推迟6.5 d;2—4月平均气温每升高 1°C ,终霜日提前3.5 d,相比较而言,初霜日期的变化对气候变化更为敏感。

关键词:日最低0 cm地温;初、终霜日期;时空变化;敏感度;气候变化

中图分类号:S162.1

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2015)05-0506-05

doi: 10.13254/j.jare.2015.0049

Temporal and Spatial Variations of the First and Last Frost Date During 1961—2013 in Henan Province and Their Responses to Climate Changes

YAN Jun-hui¹, XU Xin-chuang^{2*}, ZHOU Hong-sheng^{1,3}, ZHAO Guo-yong¹, FU Hui⁴, WEN Qi^{5,6}

(1.College of Urban and Environmental Sciences, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China; 2.The School of Resources Environment Science and Technology, Hubei University of Science and Technology, Xianning 437100, China; 3.Southern Henan Center for Mineral Rock and Gem-jade Identification and Processing, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China; 4.College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China; 5.School of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 6.Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: In this study, the annual first and last frost date for each station was defined on the basis of daily minimum ground temperature at 17 meteorological stations over the period from 1961 to 2013 in Henan Province. The spatial and temporal changes of first and last frost date, as well as their responses to seasonal temperature variations, were analyzed. The results showed that: The regional mean first frost date showed a significantly delaying trend, with a linear trend of $2.2 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ during the most recent 53 years. The strongest delaying regions occurred in western mountain areas, with the maximum value in Lushi ($4.0 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$). However, the regional mean last frost date indicated a notably advancing trend, with a linear trend of $2.3 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ over the period from 1961 to 2013. The greatest advancing regions were detected in central and southern Henan, with the maximum value in Zhumadian ($4.9 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$). The regional mean first and last frost dates were significantly correlated with seasonal mean temperatures. The regression coefficient between first (last) frost date and seasonal mean temperature was $6.5 \text{ d} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ($-3.5 \text{ d} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), representing that the first (last) frost day was delayed (advanced) by 6.5 (3.5) days if spring temperature (mean temperature of February, March, and April) increased by 1.0°C , suggesting that the first frost date was more sensitive to climate change than last frost date in the context of global warming background.

Keywords: daily minimum ground temperature; first and last frost date; spatial and temporal variation; sensitivity; climate change

收稿日期:2015-03-03

基金项目:国家自然科学基金项目(41501051,41101549,41271124);全球变化研究国家重大科学研究计划项目(2010CB950101);中国科学院战略性先导科技专项项目(XDA05090101,XDA05090104);科技基础性工作专项项目(2011FY120300);信阳师范学院博士科研启动基金(0201403);教育部人文社科项目(14YJCZH028);2014教育厅人文社科项目(2014-ZC-026);2013年度信阳师范学院青年基金项目(2013-QN-070)

作者简介:闫军辉(1983—),男,河北定州人,博士,讲师,主要研究方向为全球变化。E-mail: yanjh2015@126.com

*通信作者:徐新创 E-mail: xxch8009@163.com

IPCC 最新评估报告指出,1880—2012 年期间,全球平均陆地和海洋表面温度升高了 0.85℃,全球几乎所有的地区都经历了地表增暖过程,过去 3 个十年的地表已连续偏暖于 1850 年以来的任何一个十年^[1]。20 世纪后半叶,中国也经历了类似的气候变暖过程,1951—2009 年,中国陆地表面平均温度升高 1.38℃,变暖速率为 0.23℃·10 a⁻¹^[2]。在全球变暖的背景下,全球许多地区遭受低温冷害和高温热浪的侵扰,一些极端气候事件发生的频率和强度也显著增加^[1-3]。

霜冻是我国常见的农业气象灾害之一,其发生范围广、危害作物种类多、造成的经济损失大^[4]。它的发生主要受温度变化的控制。随着全球持续变暖,势必会影响到霜冻的时空分布。目前国内很多学者采用不同的霜冻气候指标分析了全国及区域初、终霜日期的时空变化特征,发现中国大部分地区的初霜在推迟,终霜在提前^[5-9]。也有部分学者探讨了霜冻的变化对农业的影响及与区域增暖的关系^[10-11],指出初霜冻日期的早晚对水稻和玉米单产有显著影响,区域增暖主要体现在霜冻日温度的变化。相对而言,初、终霜冻日期对气候变化的敏感程度的研究较少。本文拟选取位于我国南北过渡带上的河南省这一典型区域为研究对象,采用 1961—2013 年 17 个监测站均一化的逐日地面 0 cm 最低气温资料,较全面地分析近 53 年来河南省初、终霜日期的时空变化特征及其对气候变化的响应程度。研究结果可为农业防灾减灾及区域作物结构调整提供参考依据和科学基础。

1 资料和方法

1.1 资料来源

霜是水汽在地面和近地面物体上凝华而成的白色松脆的冰晶或由露冻结而成的冰珠^[12]。它不是气象观测站的必测要素,资料常因各种原因而缺测^[13],因此很难获得某一区域连续的霜冻观测资料。若分析初、终霜日期的变化,需要用其他合适的要素来代替。目前,在已有的研究中,通常用地面 0 cm 日最低温度≤0℃来定义初、终霜日期^[9,14],但也有学者用百叶箱日最低气温≤2℃^[7-8]或日平均气温≤0℃^[11]来定义。韩荣青等^[10]通过比较 1974—2004 年(此段时间初霜冻观测资料连续性较好)北方地区的初霜冻观测资料和用地温、百叶箱气温定义的初霜日期后发现:用地温定义的日期更加接近于观测日期。因此,本文用 1961—2013 年间河南省资料连续性较好且分布比较均匀的 17 个代表监测站地面 0 cm 日最低温度来定

义初、终霜日期(图 1)。秋季地面日最低温度≤0℃的初日定义为初霜日,次年春季地面日最低温度≤0℃的终日为终霜日。地温和月平均气温数据来源于《中国地面气象资料月报》,该资料经过严格的质量控制,因此可靠性较高。

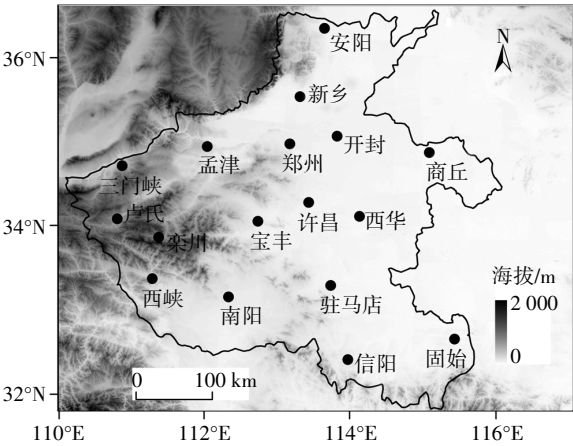


图 1 研究区及气象台站分布图

Figure 1 Study area and distribution of the meteorological stations

1.2 敏感度计算

初(终)霜日期变化对气候变化的敏感度是指初(终)霜日对假定的气候变化背景的响应程度。本文采用一元线性回归方程通过计算气候趋势系数来分析河南省区域平均及每个站点的初(终)霜日变化对气候变化的敏感度^[15]。首先建立每个站点的初(终)霜日期距平序列和月平均气温距平序列。需要指出的是,为保证资料的完整性和连续性,本文选取 1961—1990 年作为参考时段;然后以这些站点的距平序列为基础,建立河南省初(终)霜日期和月平均气温的平均距平序列;最后分析初(终)霜日期平均距平与月平均气温距平的关系,选取相关性最好的月份,建立二者之间的一元线性回归方程:

$$y=kx+b$$
 (1)

$$k=\frac{\sum_{i=1}^n (x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i-\bar{x})^2}$$
 (2)

式中,y 为河南省初(终)霜日期平均距平,x 为敏感月份平均气温距平,k 为初(终)霜日期变化对敏感月份气温变化的敏感度系数。同样方法利用 SPSS 软件可得每个站点的初(终)霜日期变化及其对该站点气温变化的敏感度。为分析河南省初、终霜日期的空间变化,本文采用克里格(Kriging)法进行空间插值。该方

法的基本原理是根据相邻变量的值,利用变异函数揭示的区域化变量的内在联系来估计空间变量数值。利用 ArcGIS 软件可得河南省初、终霜日期的空间变化图。

2 结果与讨论

2.1 初、终霜日期的长期变化

图 2 为 1961—2013 年河南省平均初、终霜日期随时间的变化序列。由图 2 可以看出,近 53 年河南省平均初霜日期呈显著推迟变化趋势,终霜日期呈显著提前变化趋势,其气候倾向率分别为 $2.2 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 和 $-2.3 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$,初霜推迟速率与终霜提前速率相当,并且二者均通过 0.01 的显著性检验。

从年代变化来看,20 世纪 60 年代河南省平均初霜日期与该地多年平均值(1961—1990 年平均,下同)

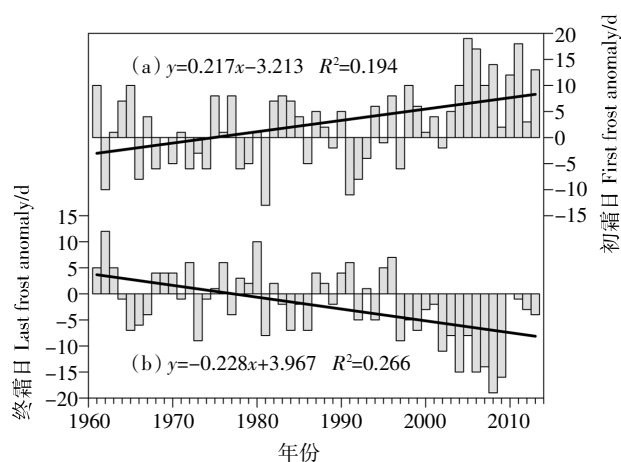


图 2 1961—2013 年河南省平均初、终霜日长期变化

Figure 2 Secular changes of regional mean first and last frost dates in Henan during 1961—2013

相同,20 世纪 70 年代较多年平均值略微提前(1 d),河南省平均初霜日期自 20 世纪 80 年代开始推迟,其中,80、90 年代推迟幅度不大(分别推迟 2 d 和 1 d),2000 年之后显著推迟,2001—2013 年间,河南省平均初霜日期较多年平均值推迟了约 9 d。就终霜而言,20 世纪 60、70 年代河南省平均终霜日期较多年平均值略微推迟(分别推迟 2 d 和 1 d),自 80 年代开始,河南省平均终霜日期开始提前,其中 80、90 年代提前幅度不大(分别提前 2 d 和 1 d),2000 年后显著提前,2001—2013 年间,河南省平均终霜日期较多年平均值提前 10 d 左右。

2.2 初、终霜日期变化的空间分布

从空间分布来看,近 53 年来河南省 17 个站点的初霜日期除固始外均有推迟的趋势,且随着海拔升高,初霜日期推迟的速率逐渐增大,呈现出明显的区域差异。其中东部地区推迟幅度最小,推迟速率一般在 $1.5 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 以下,固始甚至呈现出微弱提前趋势($-0.3 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$)。中部地区推迟幅度在 $1.5 \sim 2.5 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 之间。东部地区推迟速率最大,一般在 $2.5 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 以上,推迟幅度最大的地区出现在卢氏地区,推迟幅度为 $4.0 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ (图 3a)。

过去 53 年河南省 17 个站点的终霜日期均呈提前的趋势,其中东部平原地区、西北地区提前幅度相对较小,一般在 $2.0 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 以下,中部和西南地区提前幅度相对较大,为 $2 \sim 4 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$,南部地区提前幅度最大,多在 $4 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 以上,提前幅度最大的地区出现在驻马店,提前速率为 $4.9 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ (图 3b)。

2.3 初、终霜日变化对温度变化的敏感度

从气候成因看,我国初霜日期的提前与终霜日期

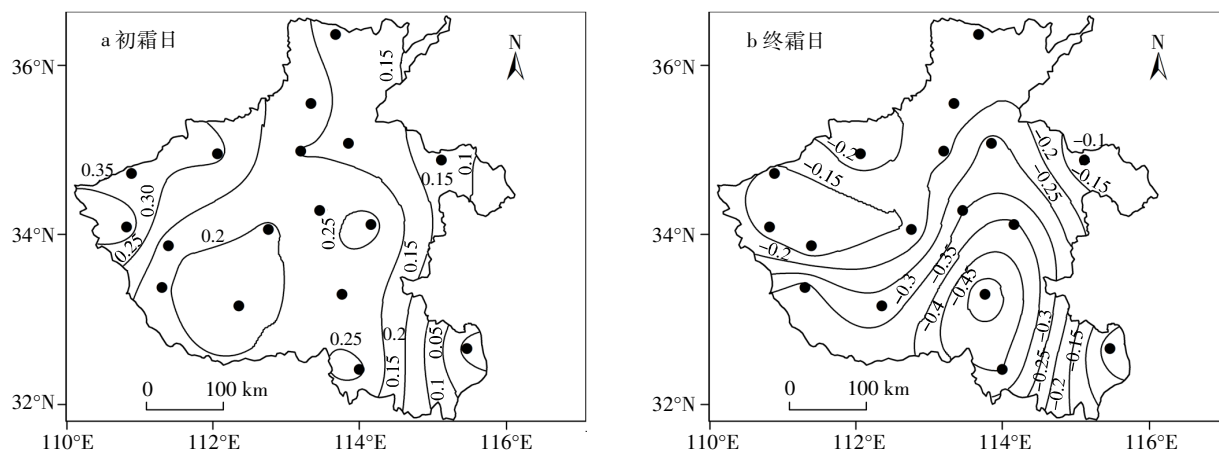


图 3 1961—2013 年河南省初霜日(a)、终霜日(b)变化趋势的空间分布($^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$)

Figure 3 Spatial trend map of first(a) and last(b) frost dates in Henan during 1961—2013 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$)

的推迟通常与冷性气团从西伯利亚源地南下的时间有关。秋季冷性气团南下的时间提前,初霜日期也提前;同样冬季结束后,冷性气团活动减弱,当减弱缓慢时,在天气上表现为终霜日推迟^[6]。因此,初、终霜日的变化与冷暖交替时期的季节性温度关系密切。相关分析表明,1961—2013 年河南省平均初霜日期变化与秋季平均气温之间呈强烈的正相关($r=0.606, P<0.001$),平均终霜日期与 2—4 月平均气温呈显著的负相关($r=-0.593, P<0.001$)。一元线性回归分析显示:秋季气温每升高 1°C , 河南省平均初霜日期推迟 6.5 d;2—4 月平均气温每升高 1°C ,终霜日提前 3.5 d。在相同气候背景下,初霜日期推迟幅度大于终霜日提前幅度,表明初霜日期的变化对气候变化更为敏感。

就空间变化而言,1961—2013 年间,河南省 17 个站点的初霜日变化对秋季气温变化的敏感度呈明显的区域差异。其中中部平原地区最为敏感,敏感度系数一般在 $7.0\text{ d}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ 以上,西华敏感度系数最大,为 $8.4\text{ d}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。河南省北部和西北部地区初霜日期对秋季气温的敏感度较小,敏感度系数多在 $4.0\text{ d}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ 以下,其中最小值出现在北部的安阳,敏感度系数为 $2.5\text{ d}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ (图 4a);就终霜而言,终霜日变化对 2—4 月平均气温变化的敏感度呈近似带状的分布格局,敏感度系数由北向南逐渐减小,最为敏感的地区出现在西峡,敏感度系数为 $-5.5\text{ d}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ (负号表示终霜日变化与温度变化呈负相关,下同),最不敏感的地区同样出现在安阳,敏感度系数仅为 $-1.6\text{ d}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$ (图 4b)。

与前人工作相比,本文选取我国南北过渡带上的河南省这一典型区域为研究对象,研究区域典型。在分析河南省初、终霜时空变化的基础上,探讨了初、终

霜冻日期对气候变化的响应。河南省初、终霜变化与其他地区相比,变化趋势基本一致,但变化速率有别。区域平均初霜日期以 $2.2\text{ d}\cdot 10\text{ a}^{-1}$ 的速率显著推迟,终霜日期以 $2.3\text{ d}\cdot 10\text{ a}^{-1}$ 的速率显著提前,初霜推迟速率与终霜提前速率均大于全国平均初(终)霜推迟(提前)速率^[5-7];初霜日期的变化对气候变化较终霜日期更为敏感,且不同区域初、终霜日期变化对气温的敏感性差异也很大,这可能与极端温度在全球增暖背景下变化特征的区域性和季节差异有关^[7];同时,中、南部平原地区的初、终霜日期对气候变化的响应较西部山区更为敏感,敏感程度是否与海拔高度及下垫面性质有关是本文需要进一步研究的内容。

3 结论

本文利用 1961—2013 年河南省 17 个监测站均一化的逐日地面 0 cm 最低气温资料,通过分析近 53 年来河南省初、终霜日期的时空变化特征及其对气候变化的敏感程度,得出以下结论:

(1)近 53 年来,河南省平均初霜日期以 $2.2\text{ d}\cdot 10\text{ a}^{-1}$ 的速率显著推迟($P<0.01$),推迟最为明显的地区位于河南西部山区,推迟幅度一般在 $2.5\text{ d}\cdot 10\text{ a}^{-1}$ 以上,其中推迟幅度最大的地区出现在卢氏地区(倾向率为 $4.0\text{ d}\cdot 10\text{ a}^{-1}$);平均终霜日期以 $2.3\text{ d}\cdot 10\text{ a}^{-1}$ 的速率显著提前($P<0.01$),南部平原地区提前趋势最为明显,提前幅度多在 $4\text{ d}\cdot 10\text{ a}^{-1}$ 以上,提前幅度最大的地区出现在驻马店(倾向率为 $4.9\text{ d}\cdot 10\text{ a}^{-1}$);

(2)河南省平均初、终霜日期的变化对季节性平均气温变化十分敏感,秋季气温每升高 1°C ,初霜日期推迟 6.5 d,2—4 月平均气温每升高 1°C ,终霜日期

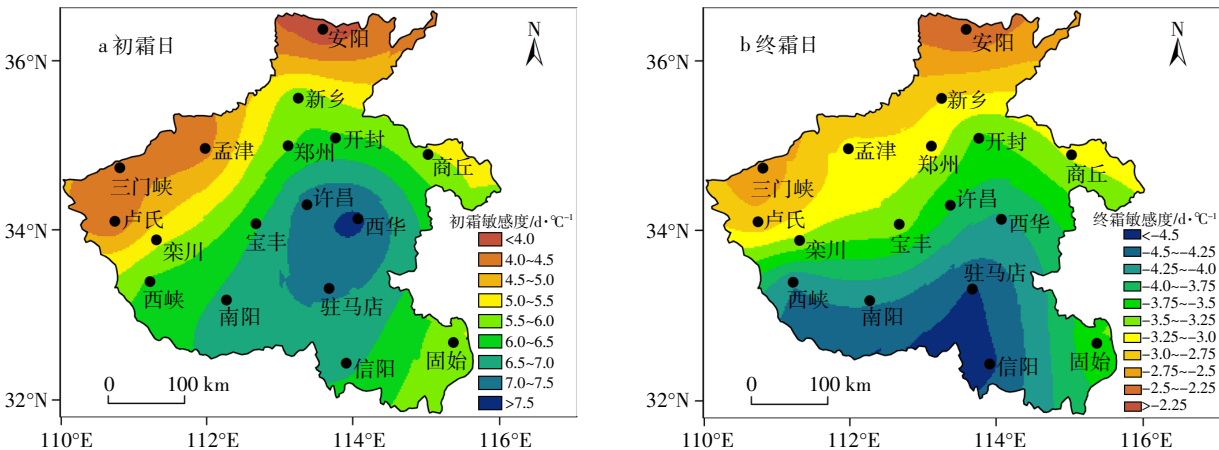


图 4 1961—2013 年河南省初霜日(a)、终霜日(b)变化对气候变化的敏感度空间分布图($\text{d}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$)

Figure 4 Spatial sensitivity map of first(a) and last(b) frost dates to climate changes in Henan during 1961—2013 ($\text{d}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$)

提前 3.5 d, 初霜日期的变化对气候变化更为敏感; 空间上, 中部平原地区初霜日变化对秋季气温变化最为敏感, 敏感度系数一般在 $7.0 \text{ d} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ 以上, 西华敏感度系数最大, 为 $8.4 \text{ d} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ 。终霜日期变化对 2—4 月平均气温变化的敏感度系数由北向南逐渐减小, 最为敏感的地区出现在西峡, 敏感度系数为 $-5.5 \text{ d} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

全球变暖引起的初霜推迟和终霜提前势必会导致无霜期延长。作为农业上非常重要的热量指标, 无霜期的变化与作物生长关系密切。无霜期越长, 作物生长期也越长, 同时作物遭受霜冻害的频率也越低。因此初、终霜的时空变化特征对研究区域的作物种类、农业产业布局、农作物的产量和质量等都会产生重要影响。因此, 论文的研究成果可为区域作物农业防灾减灾及作物结构调整提供参考依据和科学基础。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis, contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013: 1–12.
- [2] 《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 38–40.
Editorial Committee for Second China's National Assessment Report on Climate Change. Second China's national assessment report on climate change[M]. Beijing: Science Press, 2011: 38–40.(in Chinese)
- [3] 陈洪滨, 范学花. 2008 年极端天气和气候事件及其他相关事件的概要回顾[J]. 气候与环境研究, 2009, 14(3): 329–340.
CHEN Hong-bin, FAN Xue-hua. Some extreme events of weather, climate and related phenomena in 2008[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2009, 14(3): 329–340.(in Chinese)
- [4] 冯玉香, 何维勋. 霜冻的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1996: 1–15.
FENG Yu-xiang, HE Wei-xun. Study of the frost[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1996: 1–15.(in Chinese)
- [5] 许艳, 王国复, 王盘兴. 近 50a 中国霜期的变化特征分析[J]. 气象科学, 2009, 29(4): 427–433.
XU Yan, WANG Guo-fu, WANG Pan-xing. Climatic change of frost in China in recent 50 a[J]. *Scientia Meteorological Sinica*, 2009, 29(4): 427–433.(in Chinese)
- [6] 王国富, 许艳, 朱燕君, 等. 近 50 年我国霜期的时空分布及变化趋势分析[J]. 气象, 2009, 35(7): 61–67.
WANG Guo-fu, XU Yan, ZHU Yan-jun, et al. The spatial and temporal characteristics and trend of frost days over China for the past 50 years[J]. *Meteorological Monthly*, 2009, 35(7): 61–67.(in Chinese)
- [7] 叶殿秀, 张勇. 1961—2007 年我国霜冻变化特征[J]. 应用气象学报, 2008, 19(6): 661–665.
YE Dian-xiu, ZHANG Yong. Characteristic of frost changes from 1961 to 2007 over China[J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 2008, 19(6): 661–665.(in Chinese)
- [8] 张磊, 张晓煜, 李红英, 等. 1961—2010 年宁夏无霜期变化特征[J]. 生态环境学报, 2013, 22(5): 801–805.
ZHANG Lei, ZHANG Xiao-yi, LI Hong-ying, et al. Characteristics of frost-free days changes over Ningxia from 1961 to 2010[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, 22(5): 801–805.(in Chinese)
- [9] 李想, 陈丽娟, 张培群. 1954—2005 年长江以北地区初霜期变化趋势[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(1): 21–25.
LI Xiang, CHEN Li-juan, ZHANG Pei-qun. Characteristics of inter-decadal variations in first-frost date in Northern China during 1954–2005[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2008, 4(1): 21–25.(in Chinese)
- [10] 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[J]. 地理学报, 2010, 65(5): 525–532.
HAN Rong-qing, LI Wei-jing, AI Wan-xiu, et al. The climatic variability and influence of first frost dates in Northern China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(5): 525–532.(in Chinese)
- [11] 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.
MA Zhu-guo. Variation of frost days and its relationship to regional warming in Northern China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(Suppl): 31–37.(in Chinese)
- [12] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2013: 21.
China Meteorological Administration. The ground meteorological observation specification[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2013: 21.(in Chinese)
- [13] 李风云, 王玉山, 王荣波. 霜的出现特点与记录方法[J]. 贵州气象, 2013, 37(3): 63–64.
LI Feng-yun, WANG Yu-shan, WANG Rong-bo. The characteristic of frost occurrence and its recording method[J]. *Journal of Guizhou Meteorology*, 2013, 37(3): 63–64.(in Chinese)
- [14] 陈乾金, 夏洪兴, 张永山. 我国江淮流域近 40 年异常初终霜冻的分析[J]. 应用气象学报, 1995, 6(1): 50–55.
CHEN Qian-jin, XIA Hong-xing, ZHANG Yong-shan. Analyses of unusual first and last frost during the last 40 years in the Changjiang and Huaihe River Valley[J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1995, 6(1): 50–55.(in Chinese)
- [15] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版)[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 36–41.
WEI Feng-ying. The statistical diagnosis and prediction technology for modern climatology[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 36–41.(in Chinese)
- [16] 郑景云, 满志敏, 方修琦, 等. 魏晋南北朝时期的中国东部温度变化[J]. 第四纪研究, 2005, 25(2): 129–140.
ZHENG Jing-yun, MAN Zhi-min, FANG Xiu-qi, et al. Temperature variation in the eastern China during Wei, Jin, and South-North Dynasties[J]. *Quaternary Science*, 2005, 25(2): 129–140.(in Chinese)
- [17] ZHAI Pan-mao, SUN An-jian, REN Fu-min, et al. Changes of climate extremes in China[J]. *Climatic Change*, 1999, 42(1): 203–218.