中国北方初霜冻日期变化及其对农业的影响

韩荣青, 李维京, 艾婉秀, 宋艳玲, 叶殿秀, 侯 威
(国家气候中心，北京 100081)

摘要：我国北方地区初霜冻出现的早晚对秋粮产量影响极大，但目前我国关于初霜冻日期的气候研究及其气候预测业务存在定义要素不统一、同一要素定义多样化和业务预测、服务产品参考标准不统一的问题，严重阻碍了研究和预测业务的发展，也给农业部门在使用相关气象信息产品时带来了困难。本文针对以上问题作了3方面的工作：第一，将国家气候中心原有北方地区 (30ºN以北) 初霜冻预测业务代表站由65个增加到233个，空间精细度达到行政县级，并且分析了233个测站分别用地面0 cm日最低温度和百叶箱观测日最低气温定义的初霜冻日期与气象观测日期的差异，结果表明在北方地区用地温定义的初霜冻日期普遍要更接近于初霜冻观测日期；第二，本文整理分析了1961-2008年北方地区233个站地面0 cm日最低温度定义的初霜冻日期的年际/年代际气候变化特征,结果表明2000年以来各地初霜冻日期推迟最为明显，而且黑龙江东部地区初霜冻日期推迟到了9月30日以后，另外在北方许多地区初霜冻日期在20世纪80年代较90年代偏晚；第三，分析了黑龙江省初霜冻日期早晚对秋粮产量的影响，结果表明，成熟期之前若无持续性异常低温时段，初霜冻日期早晚变化对水稻和玉米单产有显著影响, 但其影响大小还受到作物成熟前各生长阶段的气候条件和气候条件的年代际背景调控。

关键词：初霜冻日期；地面温度；代表站；气候特征；产量影响；中国北方

初霜冻出现的早晚对东北和内蒙古地区秋收的水稻和玉米产量影响极大，农业部种植部门的多年经验认为①，在东北地区初霜冻日期异常年份里，平均偏早1天可以造成水稻减产1亿斤；在内蒙古玉米秋收地区，对于玉米单产而言，若在9月10日前出现初霜冻会造成减产20%，若在9月15日前出现初霜冻会造减产10%，若初霜冻日期较常年偏晚1天会增产10%。在新疆、甘肃和宁夏等地，初霜冻较常年异常偏早会严重威胁到玉米、马铃薯和棉花等秋收作物的产量。

由于片面追求农作物产量与农业适应气候变化措施滞后的矛盾日益突出[1-4]，加之我国国民经济多个环节对粮食产量的敏感度提高，农业决策部门对初霜冻预测服务的要求也随之提高，在20多年前国家气候中心已开展了初霜冻日期专项短期气候预测业务，但原有初霜冻预测业务已不能适应需求，精细化、客观定量化已成为未来初霜冻日期预测业务的发展方向。国家气候中心原有北方地区 (30ºN以北) 初霜冻日期预测业务[5]的预报对象空间分辨率低 (65个代表站)，涉及到的18个省/自治区，平均每一省/自治区不到4个测站；预测方法主要以经验外推为主，提供定性的预测产品，缺乏针对性的、客观定量化短期气候预测方法；另外，原有业务初霜冻日期要素选用中国气象局信息中心提供的初霜冻观测日期，预测业务经常因站点缺测或资料上报不及时导致分析困难。

① 2009年9月2日农业部种植司与中国气象局减灾司初霜冻日期预测会商会

收稿日期：2010-01-08; **修订日期：**2010-02-10

基金项目：气象行业专项 (GYHY200906019); 国家科技支撑计划项目 (2008BAK50B02; 2007BAC29B04) [**Foundation:** National Non-profit Research Project to Serve the Public Interest, No.GYHY200906019; The Projects of the Ministry of Science and Technology of China, No.2008BAK50B02; No.2007BAC29B04]

作者简介：韩荣青 (1970-), 男, 陕西澄城人, 博士, 副研究员, 主要从事大气低频振荡和气候预测研究。E-mail: hrq@cma.gov.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

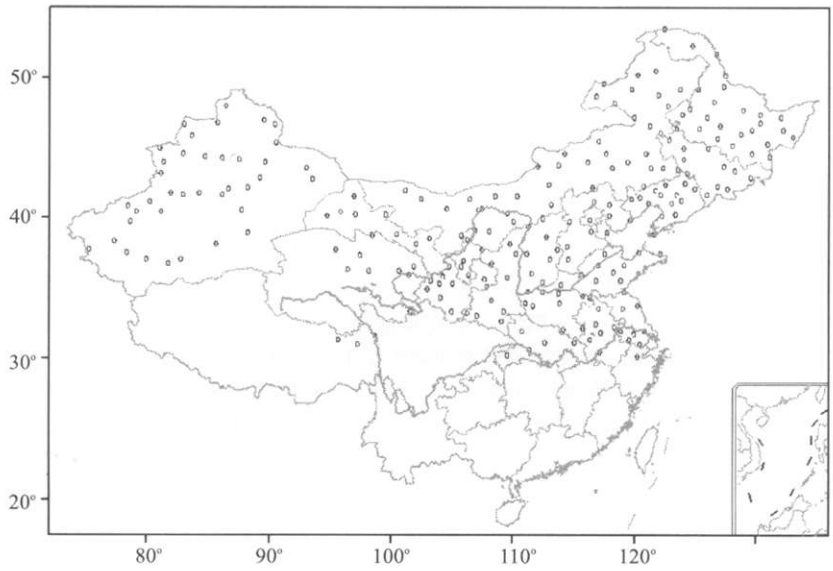


图1 中国北方地区初霜冻的233个气象观测代表站分布图

Fig. 1 Distribution of 233 representative meteorological observation stations of first frost in northern China

本文使用我国北方地区 (30ºN以北，以下同) 233个气象地面观测站在1961-2008年的地面0 cm逐日最低温度、百叶箱逐日最低气温和初霜冻观测日期3种气象数据，以及国家统计局公布的黑龙江省1971-2007年水稻和玉米亩产数据，做了3个方面的分析。在文章的第1部分对前3种资料定义[6-10]的初霜冻日期作了对比分析；第2部分分析了1961-2008年我国北方地区初霜冻日期的年际和年代际变化特征；第3部分，以黑龙江省为例，分析了初霜冻日期出现早晚对水稻和玉米产量的可能影响。

1 不同初霜冻日期资料的对比分析

为了满足精细化预测服务的社会需求，本工作将国家气候中心原有北方地区初霜冻预测业务中的65个气象观测站扩展到233个气象观测站 (图1)，代表站点的选取考虑了站点资料的连续性和区域的代表性，涵盖了北方秋粮主产区所有的县级气象观测站。

由于霜冻日期不是气象观测站的必测要素，因此资料常因各种原因缺测，如在2005和2007年北方大部分测站初霜冻日期观测缺测，因此初霜冻观测日期难以在预测业务中应用，需要用合适的其他要素来代替。在已有的研究中通常将下半年地面0 cm日最低温度≤ 0 ℃的第一天定为初霜冻日期[6-9]，或将下半年百叶箱日最低气温≤ 2 ℃的第一天定为初霜冻日期[10]，但也有研究将日平均气温≤ 0 ℃定义为初霜冻日期[11, 12]；目前各省/自治区级气候中心相关业务对初霜冻日期的定义也不统一，用初霜冻观测日期、或用地面温度定义，或用气温定义3类情况并存，如黑龙江省气候中心等单位用地面温度定义初霜冻日期，吉林省气候中心等单位用气温定义初霜冻日期。由于不同要素定义的初霜冻日期有一定差异，给研究、预测业务和服务产品使用带来了诸多不便，因此有必要统一初霜冻日期定义标准，挑选并固定使用能代表主要农业区初霜冻发生状况的代表站及其资料，这样才能更好地展开研究和业务预测会商，更好地为农业决策等相关部门做好服务。

由于初霜冻观测日期资料在1979-2004年期间的连续性好，下面就这一时段将前述3种气象资料作一对比分析。图2是北方地区233个测站在1979-2004年期间用地温定义的初霜冻日期 (地面0 cm日最低温度≤ 0 ℃的第一天) 和用气温定义的初霜冻日期 (日最低气

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

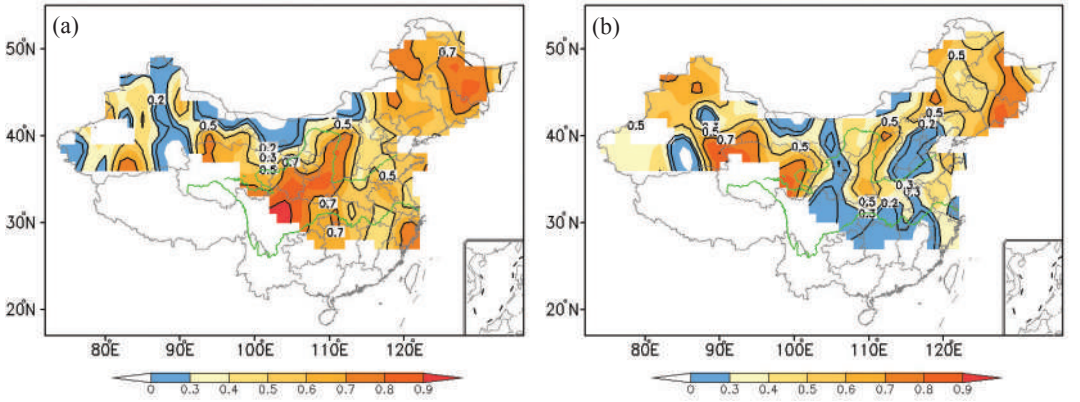


图2　1979-2004年中国两种不同要素定义的初霜冻日期分别与初霜冻观测日期的相关分布

(a) 以地面0 cm日最低温度定义的初霜冻日期与初霜冻观测日期相关；

(b) 以百叶箱日最低气温定义的初霜冻日期与初霜冻观测日期相关

Fig. 2　Correlation distributions of two kinds of the first frost date definitions and the observed first frost dates respectively (1979-2004) (a) the correlation between the first frost dates defined by surface ground temperature and the observed first frost dates; (b) the correlation between the first frost dates defined by air temperature from instrument shelter and the observed first frost dates

温 ≤ 2 ℃的第一天) 分别与初霜冻观测日期的相关系数分布，可以看出，除新疆和青海北部地区的局部地区而外，在北方大部用地温定义的初霜冻日期与初霜冻观测日期呈显著性地正相关 (图2a)，其中包括东北、内蒙古中部、河套地区、黄河、长江流域以及两个流域之间的地区，其相关程度超过气温定义的初霜冻日期与初霜冻观测日期的相关 (图2b)。

基于前述北方233个测站以及用地温和气温定义的初霜冻日期，分别做相对于初霜冻观测日期的差值分析 (1979-2004年平均)。在内蒙古大部、陕西北部、宁夏、甘肃大部和新疆地区(图3a)，地温定义的初霜冻日期较观测日期偏早，大部地区差异较小，约偏早0~5天左右，而在内蒙古西部、甘肃北部差异较大，约偏早15~30天不等；在东北、华北大部、陕西南部、甘肃东南部、青海的部分地区，以及黄河以南诸省区，地温定义的初霜冻日期较观测日期偏晚，偏差也较小一般偏晚0~5天，个别地区偏晚5~10天左右。图3b表

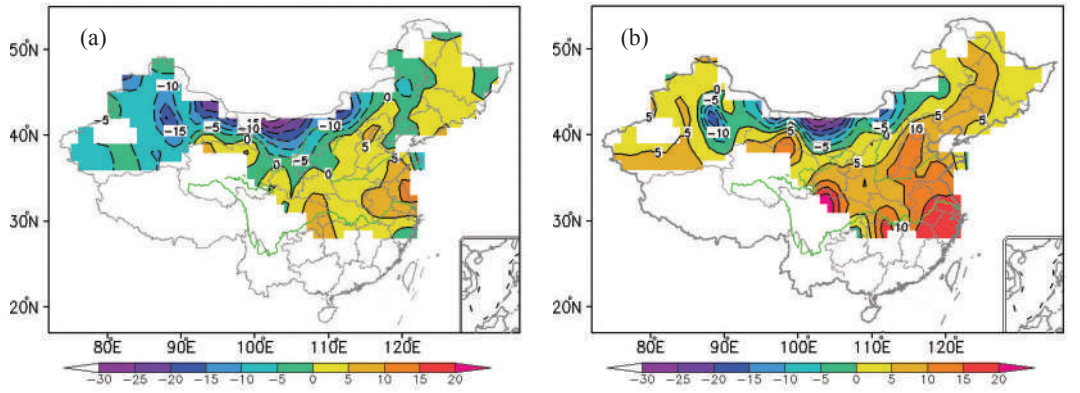


图3　两种不同要素定义的初霜冻日期分别与初霜冻观测日期的差值 (1979-2004年平均；单位：天)

(a) 以地面0 cm日最低温度定义的初霜冻日期减初霜冻观测日期；

(b) 以百叶箱日最低气温定义的初霜冻日期减初霜冻观测日期

Fig. 3　The differences by the first frost dates defined by surface ground temperature minus the observed first frost date as (a) and the first frost dates defined by air temperature from instrument shelter minus the observed first frost dates as (b)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://ww

明，在内蒙古西部、甘肃部分地区和新疆西部地区，气温定义的初霜冻日期较观测日期偏早，大部分地区偏早约0~5天，个别地区偏早15~30天不等。与图3(a) 相比，图3(b) 偏早区域在内蒙古、甘肃和新疆地区显著缩小，偏早地区总体偏差幅度与地温定义的初霜冻日期偏差幅度相当；在东北、华北大部、陕西、甘肃东南部、青海北部、新疆中西部，以及黄河以南诸省区(图3a, b)，相对于地温定义的初霜冻日期情况而言，气温定义的初霜冻日期较初霜冻观测日期偏晚的区域面积大，偏晚幅度高。由此也可见用前述2种要素定义的初霜冻日期差别较大，而用地温定义的初霜冻日期普遍要更接近于观测日期，气象业务上统一使用地温来定义初霜冻日期更为合理 (在地温定义的初霜冻日期替代性较差的新疆地区，可以用多年平均差值来校正)，也有利于预测业务在同一平台上研讨会商。

2 北方233个测站初霜冻日期的气候特征

2.1 初霜冻日期气候平均态的空间分布

本文采用1961-2008年我国北方233个代表测站地面0 cm日最低温度定义的初霜冻日期数据展开分析。233个站在最近30年 (1979-2008年) 平均的初霜冻日期分布 (图4) 表明，某地初霜冻出现的早晚首先依赖于其所在纬度和海拔，纬度或海拔越高初霜冻日越早，反之初霜冻日越迟。30年平均初霜冻出现日期依次如下，在8月下旬至9月上旬期间出现初霜冻的区域主要有：内蒙古东北部和黑龙江西北部、青海柴达木盆地、新疆北部天山东侧，以及新疆西部边缘地区；9月中旬出现初霜冻的地区主要有：黑龙江北部大部分地区、内蒙古中部、甘肃张掖市以西、青海省西宁市以西柴达木盆地以东的区域、以及新疆北部大部分地区；9月下旬出现初霜冻的地区主要有：黑龙江大部、吉林大部、内蒙古的赤峰、通辽和河套地区、甘肃中部，以及新疆天山一带地区；10月上旬出现初霜冻的地区主要有：黑龙江三江平原、辽宁大部、北京市的北京以北地区、山西中部、陕西北部、甘肃东南部、宁夏、内蒙古西南部、以及新疆天山以南的大部分地区；更偏南的地区，包括太行山脉以东地区、秦岭山脉北侧附近地区以及秦岭山脉以南地区，初霜冻日期都出现在10月中旬及其以后的时段。

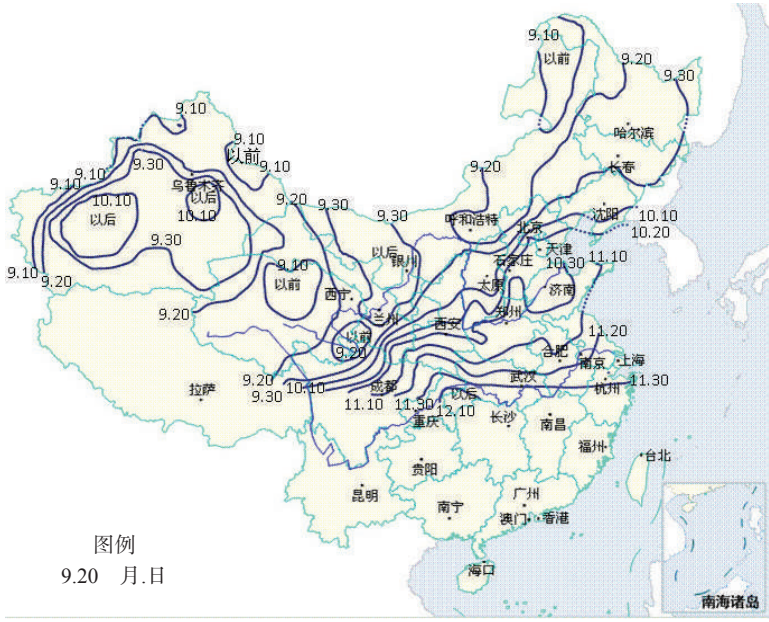


图4 北方地区233个测站1979-2008年平均初霜冻日期分布

Fig. 4 Distribution of the first frost dates at the 233 observation stations of northern China during 1979-2008

2.2 初霜冻日期的年代际变化

初霜冻日期变化具有较明显的年代际特征。图5是初霜冻日为9月30日等日期线在5个不同10年际的空间分布 (为了清晰，图5略去了其他初霜冻日期等值线)，可以看出，北方各地区在2001-2008年初霜冻发生地带较20世纪60、70、80和90年代北移明显，表明

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

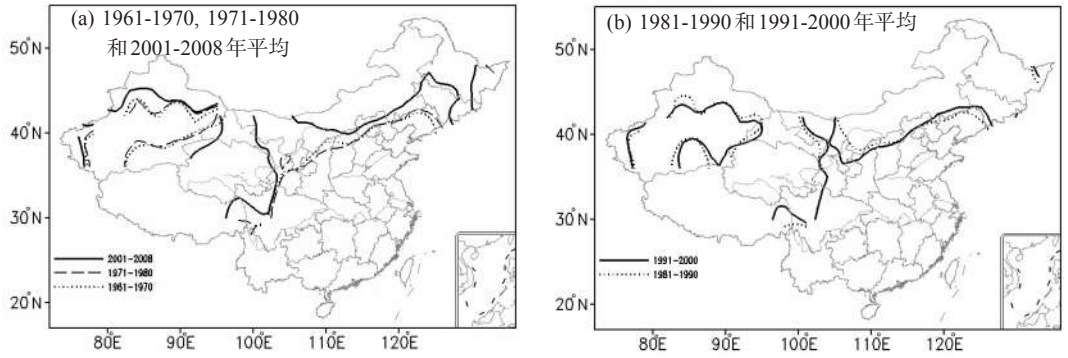


图5　初霜冻日期为9月30日地带的10年际位置变化

Fig. 5　Spatial distribution of the first frost dates on September 30 of 5 decades

2000年以后初霜冻出现日期较前4个十年明显都偏迟 (图5a)，其中20世纪60年代和70年代初霜冻发生最早。但在20世纪90年代，北方许多地区，如甘肃，内蒙古的河套地区以及黑龙江地区，初霜冻出现日期又较80年代偏早 (图5b)，文献[13]对哈尔滨地区的霜冻研究也得到类似结果。图5(a, b) 还表明，黑龙江东部秋粮产区三江平原，在2000年以后，平均初霜冻日期在9月30日以后，而在之前的几十年里，在其大部地区，初霜冻发生在9月30日以前。

2.3　初霜冻日期年际变化幅度的空间分布

最近30年北方地区初霜冻日期平均年际变化表明 (图6)，初霜冻日期发生越早的地方年际变化最小，反之年际变化最大 (对照图4)。黑龙江中南部、吉林和辽宁地区是东北玉米、水稻和大豆主产区，初霜冻日期年际变化约为6~8天，在辽宁的南部可达8~10天；内蒙古由东北向西北，初霜冻日期年际变化逐渐由4~6天向6~8天和8~10天变化；在甘肃大部、宁夏、陕西关中以北、山西、河北南部、河南东北部、安徽北部、山东，以及江苏西北部，初霜冻日期年际变化都在8~10天；河北地区中北部包括京津地区为4~6天；在新疆天山以北和新疆南部的和田地区为6~8天，新疆南部其余地区为8~10天局部甚至达10~12天；30 °N以北我国初霜冻日期年际变化最大的省份是湖北，为14~16天。

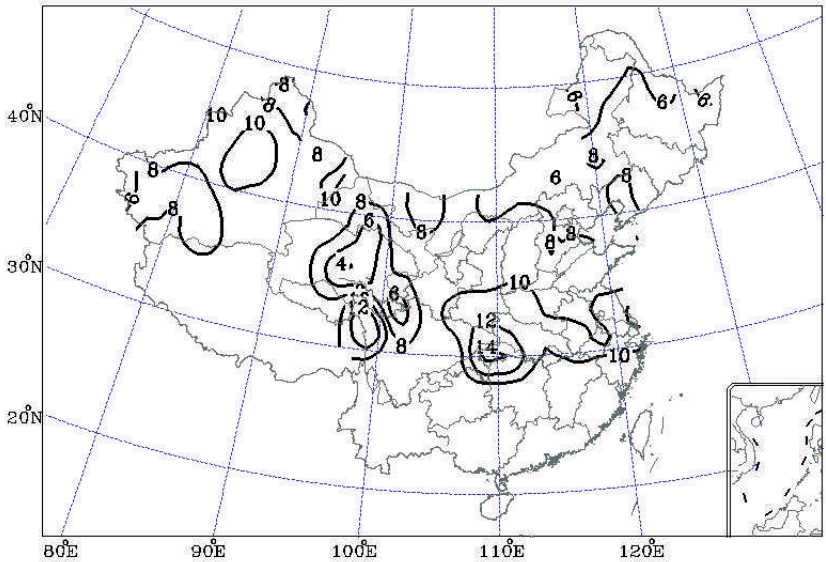


图6　最近30年 (1979-2008年) 北方地区初霜冻日期平均年际变化 (单位：天)

Fig. 6　Inter-annual changes of the first frost dates in northern China (averaged by 1979-2008, units: days)

3　初霜冻出现早晚对秋粮产量的影响

本文以黑龙江省为例，来说明初霜冻出现早晚对秋粮产量有怎样的影响。黑龙江省水稻成熟期在9月初至9月26日期间[14]，玉米成熟期在10月份，而黑龙江主要

(C)1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://ww

秋粮产区多年平均的初霜冻日期是9月中旬至下旬 (图4)，因此一般情况，初霜冻出现早晚都会对水稻和玉米生长产生影响。图7(a, b)分别是1971-2007年黑龙江省水稻和玉米逐年亩产与20站平均初霜日期点聚图，首先通过线性趋势线可以看出，多数年份水稻和玉米亩产的高 (低) 与初霜冻日期晚 (早) 相对应，其中初霜冻日期与水稻单产的相关达0.40，与玉米单产的相关达0.36，分别通过98%和95%信度t检验。图7(a, b) 还显示出，在趋势线下方向上依次分布着20世纪70、80年代的年份，趋势线上方向上依次分布着20世纪90年代和2000年以来的年份，表明水稻和玉米亩产随4个10年变化都呈现明显的台阶式上升特征，而且两种作物产量随初霜冻日期的推迟 (X坐标值增大方向) 缓慢上升。然而在图7(a, b) 中，有些年份水稻和玉米产量几乎不受初霜冻出现早晚的影响。比较突出的年份如1971年初霜冻日期偏晚，以及1972年初霜冻日期并不显著偏早，但这两年水稻和玉米单产都明显偏低，这种例外不难理解，因为1971和1972年夏季东北地区尤其是黑龙江中东部秋粮产区发生了严重的持续性低温冷害天气[15]，20世纪70年代北方气温处于相对偏低阶段，作物生长期气候条件相对较差，前期冷害容易造成产量损失[14]，因此初霜冻日期的早晚已对产量影响不大。再如1992，1995，1997，1999，和2001年，初霜冻日期都偏早 (9月22日之前)，但水稻和玉米单产都较高，首先是因为这些年份都处于相对的气候暖期，气候背景有利于秋粮产量提高，具体原因还参杂着作物在生长期受到的复杂的自然和人为因素影响，需要今后作进一步分析。总之，对于水稻和玉米，若成熟期之前无持续性异常低温时段，初霜冻日期早晚变化的影响是显著的，但其影响大小还受到作物成熟前各生长阶段的气候条件和气候条件的年代际背景调控。

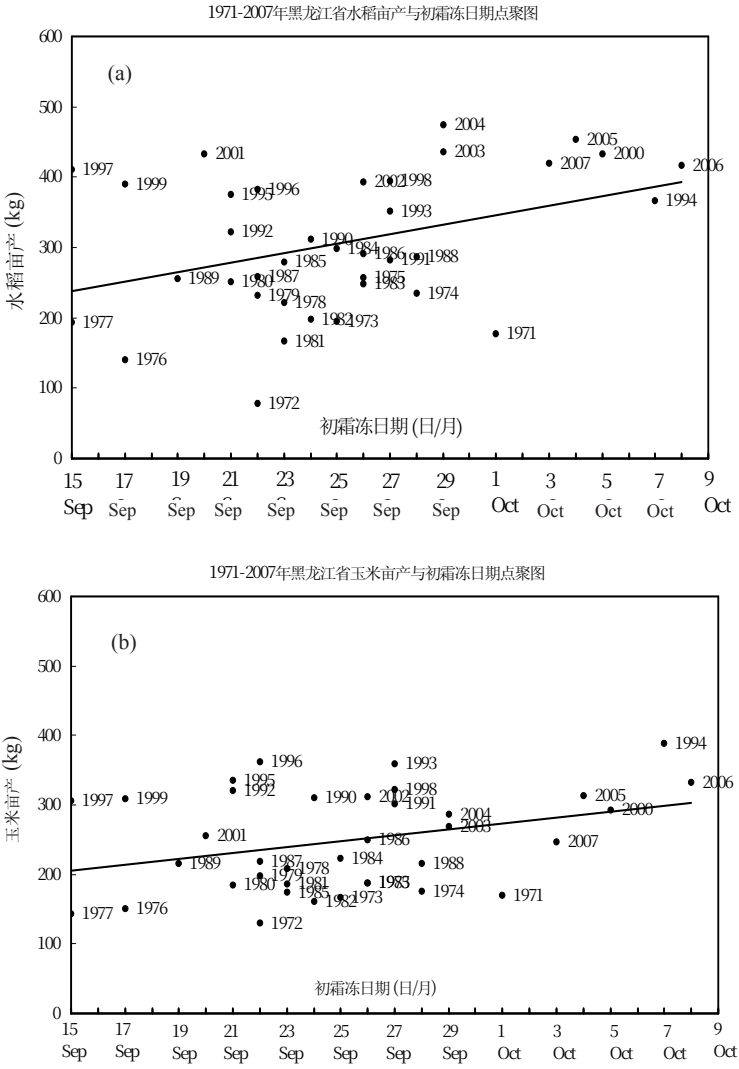


图7 1971-2007年黑龙江省水稻 (a) 和玉米 (b) 亩产与20个测站平均初霜冻日期的变化
(图中小实心圆圈右侧旁的数字表示年份)

Fig. 7 The changes of the first frost dates and the single output of the crops in Heilongjiang Province during 1971-2007. (a) The changes of rice output per unit area and the first frost dates averaged by 20 observed stations in Heilongjiang Province; The numbers on the right of small and solid circles mean the years; (b) the same as (a) but for the maize output

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

4 总结

通过分析，本文得到以下主要结论：

(1) 通过北方233个测站地面0 cm日最低温度和百叶箱气温定义的初霜冻日期与初霜冻观测日期的对比分析得到，在北方大部主要粮食产区，地面温度定义的初霜冻日期比气温定义的初霜冻日期更接近观测到的天气现象。由于初霜冻观测日期缺测资料较多，北方地区采用0 cm地面温度定义的初霜冻日期来代替初霜冻观测日期更为适合，这样可以统一初霜冻日期定义标准，并利于初霜冻日期预测研究的交流，也利于其监测和预测业务的发展，从而有利于气象信息服务于农业部门。

(2) 1961-2008年的48年以来，以20世纪60年代和70年代初霜冻出现最早，20世纪80年代偏晚，但北方许多地区在20世纪90年代较之前的80年代略偏早，2000年以来，北方地区初霜冻出现最晚，初霜冻日期向高纬度和向高海拔地区移动的特征也最明显。初霜冻日期年际变化在东北大部和内蒙古大部一般达6~8天，在辽宁的部分地区和内蒙古的西部达8~10天；新疆天山以北和南疆和田地区为6~8天，南疆其余地区为8~10天，局部甚至达10~12天；30°N以北地区初霜冻日期年际变化最大的省份是湖北，达14~16天。

(3) 对黑龙江省情况的分析表明，对于水稻和玉米，若成熟期之前，无持续性异常低温时段，初霜冻日期早晚变化对水稻和玉米单产都有显著影响，但其影响大小还受到作物成熟前各生长阶段的气候条件和气候条件的年代际背景调控。

致谢：国家气候中心应用与服务室张培群研究员、高歌研究员、肖风劲高工以及全体同事对本工作给予了极大支持和帮助，在此表示感谢！

参考文献 (References)

[1] Ding Yihui, Ren Guoyu, Shi Guangyu et al. National assessment report of climate change (1): Climate change in China and its future trend. Advances in Climate Change Research, 2006, 2(1): 3-8. [丁一汇, 任国玉, 石广玉 等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势 (简介). 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.]

[2] Ren Guoyu, Xu Mingzhi, Chu Ziying et al. Changes of surface air temperature in China during 1951-2004. Climatic and Environmental Research, 2005, 10(4): 717-727. [任国玉, 徐铭志, 初子莹 等. 近54年中国地面气温变化. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 717-727.]

[3] Tang Guoli, Ren Guoyu. Reanalysis of surface air temperature change of the last 100 years over China. Climatic and Environmental Research, 2005, 10(4): 791-798. [唐国利, 任国玉. 近百年中国地表气温变化趋势的再分析. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 791-798.]

[4] Chen Longxun, Shao Yongning, Zhang Qingfen et al. Preliminary analysis of climatic change during the last 39 years in China. Journal of Applied Meteorological Science, 1991, 2(2): 164-173. [陈隆勋, 邵永宁, 张清芬. 近40年我国气候变化初步分析. 应用气象学报，1991, 2(2): 164-173.]

[5] Li Xiang, Chen Lijuan, Zhang Peiqun. Characteristics of interdecadal variations in first-frost date in northern China during 1954-2005. Advances in Climate Change Research, 2008, 4(1): 21-25. [李想, 陈丽娟, 张培群. 1954-2005年长江以北地区初霜期变化趋势. 气候变化研究进展, 2008, 4(1): 21-25.]

[6] Huang Ronghui, Guo Qiyun, Sun Anjian et al. An Atlas of Natural Climatic Disaster Distribution in China. Beijing: China Ocean Press, 1997. [黄荣辉, 郭其蕴, 孙安健. 中国气候灾害分布图集. 北京: 海洋出版社, 1997.]

[7] 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. 华北异常初霜冻气候特征的研究.自然灾害学报, 1995, 4(3): 33-39.]

[8] Heino R, Brazdil R, Forland R et al. Progress in the study of climate extremes in Northern and Central Europe. Climatic Change, 1999, 42: 151-181.

[9] Easterling D R. Recent changes in frost days and the frost-free season in the United States. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2002, 83: 1327-1332.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

[10] 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.]

[11] Ma Zhuguo. Variation of frost days and its relationship to regional warming in northern China. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(Suppl.): 31-37. [马柱国. 中国北方地区霜冻日的变化与区域增暖相互关系. 地理学报, 2003, 58(增刊); 31-37.]

[12] Wang Xiuping, Ren Guoyu, Zhao Chunyu et al. Characteristics of first/ last frost date events and frost-free period in Dalian area during recent 46 years. Journal of Applied Meteorological Science, 2008, 19(6): 673-678. [王秀萍, 任国玉, 赵春雨 等. 近46年大连地区初、终霜冻事件和无霜冻期变化. 应用气象学报, 2008, 19(6): 673-678.]

[13] Shen Nengzhan, Liang Rongxin, Zhao Xiulan et al. Study on the characteristics of the distribution of the first and late frost dates in Harbin region. Journal of Northeast Agricultural University, 2000, 31(2): 129-136. [沈能展, 梁荣欣, 赵秀兰 等. 哈尔滨地区初、终霜冻日分布特点的研究. 东北农业大学学报, 2000, 31(2): 129-136.]

[14] Wang Ping, Li Tingquan, Yan Ping. Impacts of climate change over last 35 years on rice growing period and yield in Heilongjiang Province. Chinese Journal of Agrometeorology, 2008, 29(3): 268-271. [王萍,李廷全, 闫平. 黑龙江省近35年气候变化对粳稻发育期及产量的影响. 中国农业气象, 2008, 29(3): 268-271.]

[15] Yao Peizhen. The climate features of summer low temperature and cold damage in Northeast China during recent 40 years. Chinese Journal of Catastrophology, 1995, 10(1): 51-56. [姚佩珍. 近四十年东北夏季低温冷害的气候特征. 灾害学, 1995, 10(1): 51-56.]

The Climatic Variability and Influence of First Frost Dates in Northern China

HAN Rongqing, LI Weijing, AI Wanxiu, SONG Yanling, YE Dianxiu, HOU Wei

(*National Climate Center*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: At present, there is no uniform standard of forecasting system and serving products for first-frost date forecasting studies and operations in China's meteorological departments in spite of agricultural autumn harvests depending greatly on the first frost occurring earlier or later in northern China, which restrained the development of prediction studies and operations on the first-frost dates. Therefore the study aims at the above problems and analyzes 3 aspects of them. The first is about the discrepancy analyses of the three kinds of first frost date data, in which two of them are defined by surface ground temperature and air temperature from instrument shelter, respectively, and the other data are from observing first frost dates. And then the study enlarges the number of the representative stations in northern China (north of 30°N) of National Climate Center operation from 65 in the past to 233 at present for improving the spatial resolving power of the prediction products. The second is the analyses of the climate features of the first frost dates based on the aforementioned surface ground temperature data of the 233 stations from 1961 to 2008. Finally, the study shows that it is outstanding for the significant effects of the climatic variability of the first frost dates on single outputs of rice and maize separately in Heilongjiang Province, as long as without the continuing and lasting cold days before the autumn, whereas the effects from anomalous air temperature before the autumn, for example from cool summer, are dominant.

Key words: first frost date; surface ground temperature; representative stations; climatic features; output influence; northern China

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww