中国生态农业学报 2014 年 5 月 第 22 卷 第 5 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, May 2014, 22(5): 594−601

DOI: 10.3724/SP.J.1011.2014.40113

气候变化下东北水稻冷害时空分布变化*

余会康[1,2] 郭建平[2]

(1. 福建省宁德市气象局 宁德 352100; 2. 中国气象科学研究院 北京 100081)

摘 要 东北水稻生产对我国粮食安全保障具有重要的作用和意义, 加强气候变化下灾害的研究有利于趋利避害。本文通过对 1961—2010 年各年代东北水稻生长季节(5—9 月)的月平均气温、月平均气温之和以及近 30 年(1981—2010 年)月平均气温之和距平 3 个指标变化的分析, 研究了气候变化背景下, 东北地区水稻生长季热量资源及冷害发生的变化规律。采用 1961—2010 年中国地面气温 0.5º×0.5º格点数据, 提取东北三省 359 个格点的年代气温数值, 根据东北水稻延迟低温冷害气象行业标准(QX/T182—2013), 运用 Arcgis 地理信息技术和概率统计学方法, 对 1981—2010 年东北水稻冷害年代际时空分布及发生概率进行区划, 并结合 1981—2010 年中国气象灾害大典和时事报道中有关东北冷害记载进行对照分析。研究结果表明: 1960s—2000s 东北水稻生长季 5—9 月年代际平均气温($T_{5—9}$)明显升高, 平均气温之和($\sum T_{5—9}$)明显增加, $T_{5—9}$≥15 ℃、≥20 ℃和$\sum T_{5—9}$≥83 ℃的区域面积扩大显著。平均气温之和距平($\Delta T_{5—9}$)随年代由负值转为正值, 说明气候增温效应显著, 水稻冷害发生也随年代由多到少。受气候变暖影响, 东北水稻轻度、中度和严重冷害发生年份、分布区域和发生频率随年代发展都呈现显著减少趋势, 到 2000s, 冷害集中到黑龙江北部、东南部局部地区和吉林东南部局部地区, 年频率也降低到 0.1~0.2; 冷害发生年份和区域能够与历史冷害记载大体相符; 冷害的显著减少为东北近 10 年来的水稻丰产增收创造了十分有利条件, 但也需进一步提高对局部地区冷害防御的关注。

关键词 气候变化 东北 水稻 冷害 时空分布

中图分类号: S162.3; P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2014)05-0594-08

Variation in spatial and temporal distribution of chilling injury of rice under climate change in Northeast China

YU Huikang[1,2], GUO Jianping[2]

(1. Meteorological Bureau of Ningde City, Ningde 352100, China; 2. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract Rice production in Northeast China is critical especially for ensuring long-term food safety in our country. Thus strengthening research on agricultural meteorological disasters under climate change background is needed to avert the disadvantage of future climate change. This study analyzed the trend of change in heat resources based on three meteorological indicators during the May-September rice growth season under climate change. The indicators used included monthly mean temperature, total monthly mean temperature of May to September during 1961−2010 and anomaly of total mean temperature of May to September during 1981−2010 in Northeast China. By using 0.5ºE × 0.5ºN lattice data for ground temperature during 1961−2010, 359 grid points of temperature were extracted in the three provinces of Northeastern China. Based on meteorology industry standards of delayed chilling injury of rice in Northeast China (QX/T182—2013), ArcGIS platform and statistical methods were used to regionalize temporal and spatial distributions of rice chilling injury and probability of occurrence of rice chilling injury during 1981−2010 in Northeast China. Comparative analysis was also conducted on the results of chilling injury of rice with records from China Meteorological Disaster Authority (Heilongjiang, Jilin and Liaoning Volume) during 1981−2000 and on news report from the internet period after 2000. The results showed monthly mena temperature ($T_{5—9}$) and total monthly mean temperature ($\sum T_{5—9}$) of May to September from 1960s to 2000s increased markedly, and the areas with $T_{5—9}$≥15 ℃ and≥20 ℃, $\sum T_{5—9}$≥83 ℃ enlarged too. The anomaly of total mean temperature of May to September ($\Delta T_{5—9}$) changed to positive gradually from negative. Climate change had significantly improved the quality of heat needed for crop growth, creating favorable conditions for rice production in Northeast

* 中国气象局业务建设项目“农业应对气候变化”资助
余会康, 主要研究方向为农业气象。E-mail: hikan@163.com
收稿日期: 2014−01−23 接受日期: 2014−03−07

China. The analyses showed that under the influence of climate warming, the regional distribution and occurrence frequency of mild, moderate and severe rice chilling injury exhibited significant decreasing trend during 1981−2000. In the 2000s, the mainly areas of rice chilling injury were concentrated in north and southeast Heilongjiang Province and southeast Jilin Province, with occurrence frequency range of 0.1−0.2. The occurrence years and regions of rice chilling injury in Northeast China during 1981−2010 were broadly in line with historical records. Significantly reduction in rice chilling injury induced very favorable conditions for abundant rice harvest in Northeast China in the recent decade. Irrespectively, there was need to pay further attention to rice chilling injury occurrence in localized areas of Northeast China in order to improve local defense measures.

Keywords　Climate change; Northeast China; Rice; Chilling injury; Spatial and temporal distribution

(Received Jan. 23, 2014; accepted Mar. 7, 2014)

水稻是我国第一大口粮作物，也是中国最重要的粮食作物，其生产状况直接关系到我国粮食安全[1]。东北地区(黑龙江、吉林和辽宁3省)是我国重要的水稻主产区，水稻种植面积和产量均占全国15%左右，尤其是粳稻，其种植面积占全国的46%、产量占50%以上，2012年东北三省水稻种植面积为443.3万hm^2(占全国14.7%)，总产量达3 211万t(占全国15.7%)[2]。东北三省全年≥10 ℃有效积温为2 000~3 600 ℃，日照时数2 400~3 100 h，降雨量320~1 000 mm，热量条件可满足一季水稻生长，东北土壤肥沃，水肥条件好，7、8月份降雨集中，温度较高，昼夜温差大，雨热同季，正在成为我国的“水稻黄金带”。近10年来，东北水稻种植面积不断扩大，单产大幅提高，为国家粮食安全发挥了重要作用[3]。

通过近50年来气温资料统计分析，东北地区水稻生产季节(5—9月)平均温度明显升高，积温增加、热量改善为东北水稻扩种增产创造了良好的条件，但是气候变暖也给水稻的气象灾害发生带来不确定性，低温冷害是东北水稻最主要农业气象灾害之一。尽管近30年东北低温冷害明显减少，但区域性和阶段性的低温冷害仍然时有发生[4]，其年代际时空分布也发生很大的变化，因此，防御水稻低温冷害，保障粮食丰产增收仍然是东北各地农业生产的重要工作内容之一。关于东北低温冷害研究文献较多，有从年代尺度分析东北冷害的发生规律，如周立宏等[5]分析了1950—1995年东北冷害发生年份(严重冷害年和轻微冷害年)等；有从空间尺度分析东北冷害的发生规律，如郭晓丽等[6]采用GIS技术建立冷害指标的空间分析模型等；也有从时空尺度分析东北冷害的分布和发生频率，如姚佩珍[7]研究了近40年东北夏季低温冷害的气候特征，毛飞等[8]研究了近40年东北低温冷害发生规律等。综合以上文献发现，前人研究中东北水稻冷害确定的指标不同，采用的站点数和年代气候资料处理方法也不相同，则低温冷害发生时空分布、频率也不尽相同。2000年以后，随着东北气候变暖趋势更加明显，自动气象站布设加密和气候资料标准化处理能力提高，东北水稻冷害评估技术规范出台，为时空尺度更精细地分析东北水稻冷害创造了更好条件。为此，本文根据东北气候变化特点，采用更加规范的年代格点气候资料和水稻冷害行业标准以及地理信息技术(Arcgis)，对东北水稻延迟低温冷害(轻度、中度和严重)时空分布进行精细分析研究，以进一步认识东北水稻低温冷害的发生规律，为东北水稻生产灾害防御、优化布局提供科学的参考依据。

1　资料与方法

本文所使用的基础资料为中国地面气温0.5°×0.5°格点数据集，是基于国家气象信息中心2013年新整编的中国2 472个国家级地面气象站基本气象要素资料，利用薄盘样条法(Thin Plate Spline, TPS)结合三维地理信息空间信息进行空间插值，建立1961年以来中国地面水平分辨率0.5°×0.5°的日、月值气温格点数据，提取东北三省359个格点的各年代气温数值。

东北水稻延迟低温冷害标准采用2013年1月由中国气象局发布的《水稻冷害评估技术规范(QX/T182—2013)》行业标准中东北地区不同热量区域的水稻延迟型冷害年5—9月平均气温之和距平的气象指标[9](表1)。运用Arcgis地理信息技术和概率统计学方法分析1980s—2000s 3个年代水稻轻度、中度、严重冷害发生区域和频率，结合1981—2010年东北历史冷害发生情况，对水稻冷害时空变化进行对比分析。

按照水稻冷害评估技术规范，本文主要采用1961—2010年5个年代(1961—1970年、1971—1980年、1981—1990年、1991—2000年、2001—2010年，以下分别简称为1960s、1970s、1980s、1990s、2000s)5—9月平均气温(T_{5-9})及其月平均气温之和($\sum T_{5-9}$)，1981—2010年3个年代(1980s、1990s、2000s)5—9月平均气温之和距平ΔT_{5-9} [本年代5—9月平均气温之和减去近30年(1981—2010年)5—9月平均气温之和]3个特征值进行分析。这3个特征值既能够反映气候变化(气温)状况，又能表示水稻生长季热量状况

表 1 东北地区不同热量区域的水稻冷害年气象指标(ΔT_{5-9})

Table 1 Meteorological indexes of the chilling injury of rice in different heat regions of Northeastern China ℃

冷害级别 Level chilling injury	$\sum T_{5-9}$ (℃)					
	≤83	83.1~88.0	88.1~93.0	93.1~98.0	98.1~103.0	>103.0
轻度 Mild	−1.0~−1.5	−1.1~−1.8	−1.3~−2.0	−1.7~−2.5	−2.4~−3.0	−2.8~−3.5
中度 Moderate	−1.5~−2.0	−1.8~−2.2	−2.0~−2.6	−2.5~−3.2	−3.0~−3.8	−3.5~−4.2
严重 Severe	<−2.0	<−2.2	<−2.6	<−3.2	<−3.8	<−4.2

$\sum T_{5-9}$: 5—9 月平均气温之和的多年平均值，以此划分热量区域; ΔT_{5-9}: 当年 5—9 月平均气温之和的距平值，水稻不同级别冷害年气象指标。$\sum T_{5-9}$: long-time annual average of sum of monthly mean temperature from May to September, according to which the rice heat region is zoned. ΔT_{5-9}: anomaly of sum of mean temperature from May to September in current year, which is the meteorological index of rice chilling injury.

和条件，作为东北水稻热量变化和气候变化指标，具有很好的代表性和指示意义。

2 结果与分析

2.1 东北三省近 50 年热量变化与冷害

首先，从东北近50年5个年代5—9月平均气温T_{5-9}变化来看(图1a)，T_{5-9}随年代逐步升高，主要表现为低温区(图中线段下端点)到高温区(图中线段上端点)都有不同程度的增加，T_{5-9}增加趋势明显(图中点划斜线)。从1960s的平均8.5~20.5 ℃升高到2000s的10.0~22.0 ℃，平均温度升高了1.5 ℃，年代际T_{5-9}增温趋势明显。从地域分布来看，T_{5-9}≥10 ℃区域随年代发展逐渐扩大，而T_{5-9}<10 ℃区域在缩小，其中T_{5-9}≥15 ℃区域增加明显，到2000s，除黑龙江大兴安岭、吉林白山市南部和其他零星小区域外，大部分区域T_{5-9}≥15 ℃，T_{5-9}≥20 ℃区域也从1960s的辽宁锦州市扩大到2000s的辽宁西北、西部、南部，吉林西部白城、松原，黑龙江齐齐哈尔和大庆南边区域，说明东北T_{5-9}随年代升高明显，升温区域也在不断扩大。

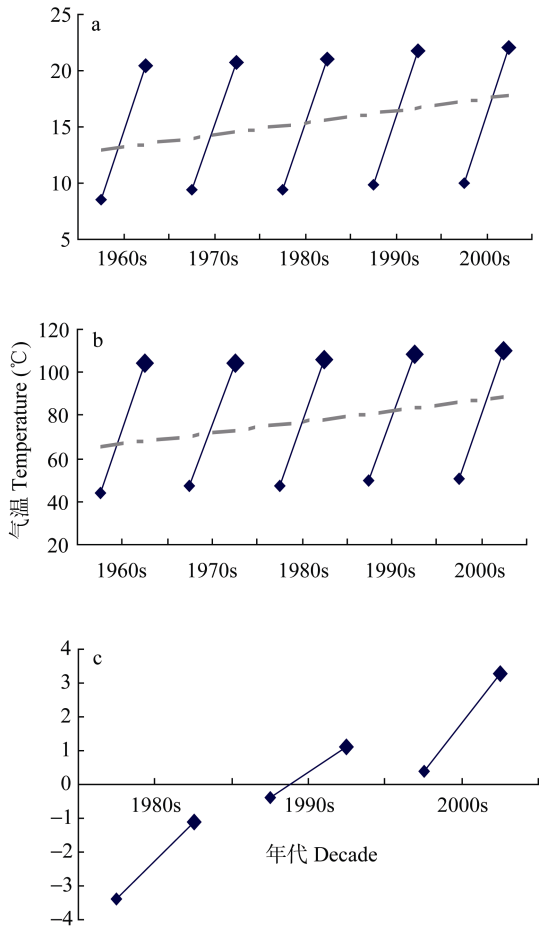

图 1 东北地区 1961—2010 年各年代 5—9 月平均气温(a)、平均气温之和(b)及 1981—2010 年各年代 5—9 月平均气温之和距平(c)变化

Fig. 1 Changes of monthly mean temperature (a), total monthly mean temperature (b) from May to September during 1961−2010 and anomaly of total monthly mean temperature from May to September during 1981−2010 (c)

从东北近50年5个年代5—9月平均气温之和($\sum T_{5-9}$)变化来看(图1b)，与上述T_{5-9}有着相似的变化特征，$\sum T_{5-9}$随年代呈现递增趋势(图中点划斜线)，主要表现为低值区(图中线段下端点)到高值区(图中线段上端点)都有不同程度的增加，从1960s的平均44.2~103.9 ℃增加到2000s的50.2~110.1 ℃，增加6 ℃左右，年代际$\sum T_{5-9}$增加趋势明显。$\sum T_{5-9}$<83 ℃地区为东北水稻热量分级中最小的区域，但其面积又最大，包括黑龙江北部、中部和吉林中部、东部地区，其变化对东北水稻种植面积影响大。从5个年代$\sum T_{5-9}$地域分布来看，$\sum T_{5-9}$<83 ℃地区随年代在缩小，相反$\sum T_{5-9}$≥83 ℃区域随年代发展在扩大，主要在除大兴安岭外东北的西部大部分地区和黑龙江东部地区，呈现由中西部向东扩，东部(黑龙江东部)向西拓趋势，1980s以后，$\sum T_{5-9}$≥83 ℃区域扩大更加明显，说明随气候变暖，$\sum T_{5-9}$增加显著。

从近30年(1981—2010年)5—9月平均气温之和距平ΔT_{5-9}变化来看(图1c),1980sΔT_{5-9}<−1，呈现负距平；1990s前期，ΔT_{5-9}也为负距平，后期转为正距平；2000sΔT_{5-9}>0 ℃，都为正距平。变化趋势由负距平变为正距平，说明气温和热量值增加。根据历史年鉴统计，1980s东北水稻冷害发生频次高，基本每年都有不同程度的冷害发生；1990s前期水稻冷害多于其后期；2000s水稻冷害发生年份少。通过3个年代比较，5—9月平均气温之和距平ΔT_{5-9}也能反映出生长季节热量变化情况，按照东北水稻冷害标准，

ΔT_{5-9}值的增加就意味着冷害的减少，这与实际1980s冷害年份多，1990s次之，2000s冷害年份少相一致。

综合上述，在东北水稻生长季5—9月，1960s—2000s的年代际平均气温T_{5-9}明显升高，平均气温之和$\sum T_{5-9}$明显增加，$T_{5-9}\geqslant 15$ ℃、$\geqslant 20$ ℃和$\sum T_{5-9}\geqslant 83$ ℃随年代区域面积扩大显著；根据平均气温之和距平ΔT_{5-9}分析表明，ΔT_{5-9}随年代由负值转为正值，说明气候增温效应显著，水稻冷害发生也随年代由多到少，历史也显示1980s冷害频繁，1990s减少，2000s最少。

2.2　东北三省近 30 年水稻冷害时空变化

2.2.1　轻度冷害分布及频率

按照表1中东北6个不同热量区的水稻轻度冷害气象指标，对1980s—2000s东北三省3个年代逐年轻度冷害分布进行分析(图2)。

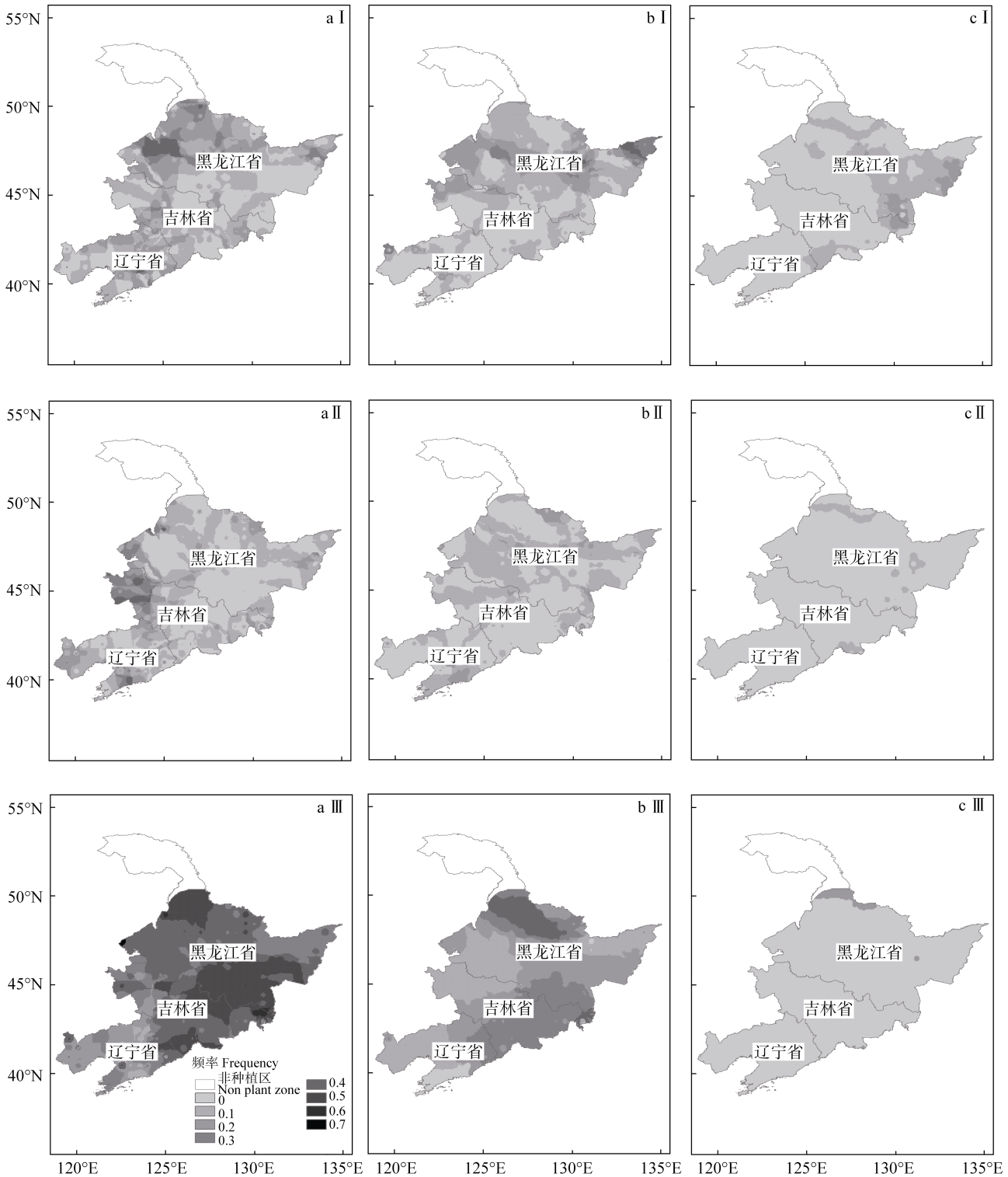

图 2　1980s(a)、1990s(b)和 2000s(c)东北三省水稻轻度(Ⅰ)、中度(Ⅱ)和严重(Ⅲ)冷害发生区域与频率

Fig. 2　Regional distribution and occurrence frequency of rice mild (Ⅰ), moderate (Ⅱ) and severe (Ⅲ) chilling injury in 1980s (a), 1990s (b) and 2010s (c) in three provinces of Northeastern China

轻度冷害发生年代特点。1980s东北轻度冷害每年都有不同区域、不同程度(面积)发生，其中黑龙江1982年、1984—1986年、1988—1990年，吉林除1986年和1989年外其余年份，辽宁1981年、1982年、1985年、1989年和1990年为发生年，发生年份多。1990s有7年发生轻度冷害(1991—1993年、1995—1997年、1999年)，年代前半期多于后半期，其中黑龙江1991年、1993年、1995年、1996年、1997年和1999年，吉林1991年、1993年、1995年和1996年，辽宁1991年、1992年、1993年和1996年为发生年，发生年份较多。2000s只有3年发生轻度冷害(2002年、2003年、2009年)，其中黑龙江2002年、2003年和2009年、吉林2002年和2009年，辽宁2009年为发生年，相比1980s和1990s，发生年份显著减少。

轻度冷害发生区域与频率。1980s的轻度冷害发生面积最大、区域多(图2aⅠ)，主要在黑龙江的中北部、北部和西部，占据黑龙江大部分地区；吉林的西南部、中部和辽宁的中部、东部地区。轻度冷害发生频率高的区域为黑龙江西部的齐齐哈尔、北部的黑河地区和辽宁的辽阳、本溪、沈阳三地接壤处，频率为0.4~0.5(10年中有4—5年发生)，平均为2年1遇；黑龙江中南部、吉林中北部和辽宁的西部轻度冷害发生频率低(0~0.1)。1990s的轻度冷害发生区域比1980s明显减少，主要在黑龙江大部分地区，吉林的西北部、东南部和辽宁的中部、西北少部分地区(图2bⅠ)。吉林中部以南和辽宁大部分地区轻度冷害发生显著减少，也是发生频率最低的地区(0~0.1)，而黑龙江中部、东北部(齐齐哈尔、绥化和佳木斯)轻度冷害发生频率高，为0.3~0.4。2000s东北轻度冷害发生区域范围显著减少，主要在黑龙江中部和东南部、吉林南部(通化、白山)和辽宁东北部(本溪东部)地区(图2cⅠ)，发生频率较高的地区为黑龙江东南部(双鸭山、鸡西、牡丹江、延边部分地区)和伊春局部地区。

2.2.2 中度冷害分布及频率

中度冷害发生年代特点。1980s中东北三省每年都有不同程度的中度冷害发生，其中黑龙江1984年、1985—1990年，吉林1981—1983年、1985—1990年，辽宁1981—1982年、1985—1987年、1989—1990年为发生年，发生年份多；1990s中黑龙江1991—1993年、1995—1997年、1999年，吉林1993年、1995年、1996年，辽宁1992年、1993年、1995年为发生年；2000s中黑龙江2002年、2003年、2009年，吉林2009年为发生年，辽宁没有出现中度冷害。通过1980s—2000s年代际比较，中度冷害发生年份数也呈明显递减趋势。

中度冷害发生区域与频率。1980s东北三省中度冷害主要发生区域在黑龙江中北部、西南部，吉林西部、辽宁东北部、南部、西部等地(图2aⅡ)，其中，黑龙江西南部、吉林西部和辽宁南部局部区域发生频率大，可达0.4~0.5，黑龙江中南部和吉林中部中度冷害发生少，频率低(0~0.1)。1990s主要发生区域在黑龙江北部、中部和中西部、吉林中西部和辽宁南部地区(图2bⅡ)，发生区域相对集中，呈现连片带状分布，其中黑龙江黑河地区东部、绥化、伊春和辽宁南部(鞍山、丹东)局部地区中度冷害发生频率较高，达0.2~0.3，相比1980s，中度冷害发生频率减小。2000s中度冷害发生区域和频率显著减小(图2cⅡ)，主要集中在黑龙江北部和东南部，吉林东南部局部地区，分布地区散落、稀少，且发生频率低(0.1)，绝大部分地区没有中度冷害发生。1980s—2000s东北水稻中度冷害发生区域、频率也呈现显著递减趋势。

2.2.3 严重冷害分布及频率

严重冷害发生年代特点。1980s中东北三省每年都有不同程度的严重冷害发生，其中黑龙江1981年、1983—1990年，吉林1981—1983年、1986—1990年，辽宁1981—1982年、1985—1987年、1989—1990年为发生年，其中1981年、1983年、1986年、1987年和1989年严重冷害发生区域面积超过大半个东北地区，严重冷害影响范围广；1990s中黑龙江1991—1993年、1995—1996年，吉林1992—1993年、1995—1996年，辽宁1992—1993年、1995年为发生年，其中1992年、1993年、1995年严重冷害连片发生区域面积超过大半个东北地区；2000s中，黑龙江2002—2003年，吉林2009年为发生年，辽宁无发生年份，严重冷害发生区域面积小，只在东北局部地区发生。严重冷害也随年代演进，发生年份明显减少，发生面积显著减小。

严重冷害发生区域与频率特点。1980s严重冷害遍及东北大部分地区，发生频率高的地区主要集中在黑龙江西北部(齐齐哈尔)、北部(黑河)、东南部(哈尔滨、牡丹江、七台河、双鸭山、鸡西)、吉林东北部(吉林、延边)和辽宁东部(通化、抚顺、白山)等地(图2aⅢ)，发生频率高(0.5~0.7)；只有辽宁中部发生严重冷害频率低(0.1~0.2)。

1990s严重冷害发生区域主要集中在东北的北部和东南部(图2bⅢ)，即黑龙江黑河、伊春、哈尔滨、牡丹江地区，吉林延边、吉林、白山等地，辽宁辽源、抚顺、本溪、通化、丹东等地，发生频率较高(0.3~0.4)，黑龙江西南部(大庆、绥化)和吉林西部(白城、松原)，辽宁中西部(阜新、锦州、盘锦、葫芦岛等)严重冷害频率低(0.1~0.2)，辽宁南部(大连)基本不发生严重冷

害(频率为0)。2000s严重冷害只在黑龙江黑河北部地区发生, 黑龙江双鸭山和吉林白山零星地区发生, 且这些地区发生频率低(0.1~0.2)。1980s—1990s严重冷害随年代发生区域和频率明显减小, 2000s严重冷害发生区域缩小到黑龙江黑河北部地区(图2cⅢ), 且发生频率显著减小(0.1), 东北大部分地区基本没有发生严重冷害(频率为0)。严重冷害发生区域和频率也是随年代呈现显著减少趋势。严重冷害发生频率最大区域为黑龙江中北部(黑河)和吉林东部(延边、长白)地区, 这与其他文献分析的东北严重冷害发生高概率区域基本一致[8,10]。

综合以上分析, 东北水稻冷害随年代发展呈现显著递减趋势。无论是轻度、中度还是严重水稻冷害, 1980s每年都有不同程度发生, 区域遍及东北大部, 发生频率高(0.1~0.7); 1990s冷害发生年份明显减少(7 a), 区域减小, 主要在北部和东部, 发生频率降低(0.1~0.4); 到2000s, 冷害发生年份少(2aⅡ), 区域有限, 发生频率低(0.1~0.2), 冷害主要集中在黑龙江北部、东南部和吉林东南部局部区域, 严重冷害发生区域小(零星), 但轻度冷害区域面积还较大, 主要在黑龙江东南部。

2.3　近 30 年东北实际冷害发生对照分析

根据《中国气象灾害大典》(黑龙江卷、吉林卷、辽宁卷)(1950—2000年)历史低温冷害记载[11−13], 1981—2000年中, 黑龙江发生年份有17年, 吉林17年, 辽宁14年, 在1980s, 10年间东北每年都有冷害发生记载, 冷害发生县份多, 区域面积大的年份有1981年、1983年、1985年、1986年、1987年、1989年, 例如1981年吉林有12个县、黑龙江4个地区(合江、牡丹江、伊春、松花江)9个县、辽宁辽东、辽北地区大部分地区都发生水稻延迟冷害, 范围大; 1983年6—7月吉林出现低温冷害, 罗子沟等4县发生严重水稻延迟冷害, 白城、镇赉等5县发生一般延迟冷害; 6月黑龙江出现全省异常低温, 缓苗期延长7~10 d, 拔节期晚5~7 d; 1987年黑龙江17个县(黑河大部分县), 吉林西北部地区、辽宁辽北、辽东和辽中大部分地区都发生冷害。历史冷害记载与本文分析的1980s东北冷害发生年份多、频率大、区域范围广相一致, 尤其是黑龙江、吉林多发。1980s冷害发生重, 本文分析出的超过大半个东北面积的严重冷害年份在历史中都有多地详细记载, 冷害年份、区域也都涵盖了实际发生的年份和地区。

1990s中, 1991年黑龙江北部(黑河)、1992年、1993年、1995年冷害区域面积大。1992年6—8月, 吉林大安、舒兰、图们、扶余、前郭遭受低温冷害影响, 黑龙江降温幅度大, 低温影响范围广, 辽宁各地气温持续偏低, 秧苗生长缓慢, 发育期普遍推迟。1993年, 黑龙江6—7月全省低温寡照, 水稻生育期偏晚, 吉林延边、和龙等6个县出现低温冷害。1995年5月吉林发生倒春寒和阶段性低温, 辽宁受倒春寒和9月初霜冻影响, 前期插秧推迟、生育期拖后(7 d), 9月后期未成熟遭受霜冻, 黑龙江3—6月都出现低温时段, 持续时间长, 作物生长缓慢, 全省生育期普遍偏晚半个月左右, 9月初霜早、强, 影响范围广, 霜冻危害大。本文分析1990s冷害发生年份减少, 区域减小, 冷害程度趋势减轻, 但黑龙江发生年份还较多, 冷害偏重; 严重冷害主要集中在黑龙江北部和吉林东部, 这与历史记载黑龙江冷害多发, 严重冷害主要发生区域大体一致。发生年份也涵盖历史记载年份。

2000s冷害记载年份少, 根据有关报道, 2002年低温冷害主要在黑龙江中东部, 水稻单产与平常年份相比每公顷下降211.8 kg[14]; 黑龙江6—8月受降温影响, 低温时段明显, 水稻延迟型冷害及混合型冷害并发, 对水稻影响最重, 水稻减产20%, 发生地区以东部最为严重, 中部次之, 西部无冷害, 这与本文分析的2002年冷害主要在黑龙江东南大部区域大体一致; 2003年低温冷害也给黑龙江省的水稻生产带来了极大的经济损失[15−16]。2009年受东北冷涡和多雨寡照天气影响, 6—7月, 东北地区中北部持续低温阴雨, 黑龙江、吉林区域平均气温为1984年以来历史同期最低值, 出现阶段性罕见低温冷害[17]。本文分析的2000s冷害年份少, 黑龙江为主要发生区, 吉林、辽宁零星地区发生, 发生区域也与历史实际冷害区域大致相同。

综合文献、年鉴记载和报道, 1980s以来, 东北水稻冷害年主要有1982年、1983年、1986—1989年、1992—1993年、1995年、2002等年份[11−18], 也都包涵在本文分析东北冷害发生的年份当中。

3　总结与讨论

本文采用东北水稻生长季节(5—9月)热量条件的3个指标即近50年(1961—2010年)5个年代5—9月平均气温、5—9月平均气温之和和近30年(1981—2010年)5—9月平均气温之和距平分析, 随年代发展3个指标值都呈现显著升高趋势, 特别是1981—2000s中5—9月平均气温之和距平由1980s负距平变为2010s的正距平, 说明气候变化对东北地区影响明显, 积温增加, 热量条件改善, 与其他研究一致, 东北气候随年代变暖态势显著, 为其水稻生产创造了更加有利条件。

通过对近30年(1981—2010年)东北水稻冷害(轻

度、中度、严重)的时空分布分析，冷害发生的年份数随年代发展呈现显著减少趋势，3个级别的冷害在1980s中每年都有不同区域发生，1990s中有7年发生，2000s中有3年发生；黑龙江发生区域多、频率高，吉林次之，辽宁最小，大体南少北多，西少东多，但也都随年代发展而明显减少。时空表现总体冷害减少，尤其是2000s冷害少发为东北水稻丰产增收和粮食“十连增”创造了十分有利的气候条件。但也须注意防御局部地区严重冷害和部分地区中轻度冷害的发生。

本文采用的新整编的格点气温资料，利用Arcgis来分析东北水稻生长季(5—9月)热量变化和冷害时空分布，总体连续性较好，分布层次清晰，区域边界明显，但也有出现个别奇异点，与相邻值差异较大，通过修正，可以较好地显示分布的连续性。

本文采用的格点资料制作分析的水稻冷害时空分布图与其他文献分析的东北水稻冷害发生区域、频率有所差异，主要在轻度、中度冷害分布，可能依据的标准和分级不尽相同；但严重冷害分布区域、频率大抵相同，与历史实况和其他文献分析基本一致。

相对于其他文献，本文采用东北0.5º×0.5º格点气温数据达359个，相当于同数量站点数，高于以往文献分析的站点数，格点数据充足，区域覆盖全面，再通过ArcGIS插值计算，实际分辨率可达4 km左右，对冷害分布区域和发生频率时空分布具有精细分析的参考价值。

薄盘样条法结合三维地理信息空间信息进行空间插值，考虑了经纬度和海拔对气温影响，经检验，插值与观测值偏差小(±0.2 ℃)，精度较高，插值效果好。用其来分析东北水稻冷害发生区域和频率，分布图看似零碎(如1980s、1990s)，却能表现出地域差异，不同以往文献中的大片区划，更接近于实际和精细化。

致谢 国家气象中心农业气象中心庄立伟正研高工对本文给予技术指导与帮助，在此谨致谢忱!

参考文献

[1] 章秀福，王丹英，方福平，等. 中国粮食安全和水稻生产[J]. 农业现代化研究, 2005, 26(2): 85–88
Zhang X F, Wang D Y, Fang F P, et al. Food safety and rice production in China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2005, 26(2): 85–88

[2] 国家统计局. 2013 年中国统计年鉴[M]. 北京：中国统计出版社, 2013
National Bureau of Statistics. 2013 Chinese Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2013

[3] 陈温福. 东北水稻种植面积和单产 10 年来快速增加[EB/OL]. 新华网. [2013-10-03]. http://news.xinhuanet.com/fortune/2012–10/03/c_113275115.htm
Chen W F. The northeast rice planting area and yield increase rapidly in 10 years[EB/OL]. Xinhuanet.com. [2013-10-03]. http://news.xinhuanet.com/fortune/2012–10/03/c_113275115.htm

[4] 裴永燕，岳红伟. 东北地区农作物低温冷害研究[J]. 科技传播, 2009(9): 16–17
Pei Y Y, Yue H W. Study of the crop chilling injury in Northeastern China[J]. Public Communication of Science & Technology, 2009(9): 16–17

[5] 周立宏，刘新安，周育慧. 东北地区低温冷害年的环流特征及预测[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(1): 22–25
Zhou L H, Liu X A, Zhou Y H. Research of general circulation features and forecast of summer low temperature and cold damage in the Northeast of China[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2001, 32(1): 22–25

[6] 郭晓丽，王立刚，邱建军，等. 基于 GIS 的东北地区水稻低温冷害区划研究[J]. 江西农业大学学报，2009，31(3): 494–498
Guo X L, Wang L G, Qiu J J, et al. An analysis of cold damage on rice in Northeast China Based on GIS[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2009, 31(3): 494–498

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

[8] 毛飞，高素华，庄立伟. 近 40 年东北地区低温冷害发生规律的研究[M]//王春乙，郭建平. 农作物低温冷害综合防御技术研究. 北京：气象出版社, 1999: 17–26
Mao F, Gao S H, Zhuang L W. Study on the regularity of chilling damage in Northeast China in recent 40 years[M]//Wang C Y, Guo J P. Study on Comprehensive Defending Technique to Chilling Damage. Beijing: Meteorological Press, 1999: 17–26

[9] 中国气象局. 水稻冷害评估技术规范(QX/T182–2013)[S]. 北京：气象出版社, 2013: 1–2
China Meteorological Administration. Technical specifications for evaluation of rice cold damage[S]. Beijing: Meteorological Press, 2013: 1–2

[10] 刘晶淼，丁裕国，张文宗，等. 农业气候资源与灾害评估及其区划研究[M]. 北京：气象出版社, 2012: 10
Liu J M, Ding Y G, Zhang W Z, et al. Research of Evaluation and Regionalization in Agricultural Climate Resources and Meteorological Disasters[M]. Beijing: Meteorological Press, 2012: 10

[11] 中国气象灾害大典编委会. 中国气象灾害大典(辽宁卷)[M]. 北京：气象出版社, 2005: 4
Chinese Meteorological Disaster Authority Committee. China Meteorological Disaster Authority (Liaoning Volume)[M]. Beijing: Meteorological Press, 2005: 4

[12] 中国气象灾害大典编委会. 中国气象灾害大典(吉林卷)[M]. 北京：气象出版社, 2008: 6
Chinese Meteorological Disaster Authority Committee. China Meteorological Disaster Authority (Jilin Volume)[M]. Beijing:

Meteorological Press, 2008: 6

[13] 中国气象灾害大典编委会. 中国气象灾害大典(黑龙江卷)[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 8
Chinese Meteorological Disaster Authority Committee. China Meteorological Disaster Authority (Heilongjiang Volume)[M]. Beijing: Meteorological Press, 2007: 8

[14] 中国天气网. 水稻低温冷害及防治[EB/OL]. [2009-07-02]. http://www.weather.com.cn/static/html/article/20090727/43258.shtml
Chinese weather net. Chilling injury of the rice and its prevention[EB/OL]. [2009-07-02]. http://www.weather.com.cn/static/html/article/20090727/43258.shtml

[15] 祖世享, 闫平. 黑龙江省 2002 年夏季低温冷害及对粮食产量的影响[J]. 黑龙江气象, 2002(4): 26–27
Zu S H, Yan P. The summer chilling damage and its affected on the output of crop in Heilongjiang Province in 2002[J]. Heilongjiang Meteorology, 2002(4): 26–27

[16] 耿立清, 张凤鸣, 许显滨, 等. 低温冷害对黑龙江水稻生产的影响及防御对策[J]. 中国稻米, 2004(5): 33–34
Geng L Q, Zhang F M, Xu X B, et al. Effects of chilling injury on rice production and countermeasures in Heilongjiang Province of China[J]. China Rice, 2004(5): 33–34

[17] 中国气象局. 2009 年天气气候及气象灾害特点[Z]. 新闻发布会. 2009-12-31
China Meteorological Administration. The characteristic of weather and climate and meteorological disasters in 2009[Z]. News Conference. 2009-12-31

[18] 马树庆, 王琪. 东北地区水稻低温冷害监测技术方法研究[C]. 第二届全国生态与农业气象业务发展与技术交流会, 2007: 305–307
Ma S Q, Wang Q. Study on rice cold damage monitoring technique in Northeast China[C]. The second session of national ecological and agricultural meteorology business development and technology exchange, 2007: 305–307

Faculty positions: Center for Agricultural Resources Research, Chinese Academy of Sciences

The Center for Agricultural Resources Research (CARR), the Institute of Genetics and Developmental Biology (IGDB), Chinese Academy of Sciences, invites applicants for several research group leader positions.

CARR is one of the research organizations in Chinese Academy of Sciences (CAS). We seek nominations and applications from individuals who have expertise and a record of accomplishment in research areas related to ecology, agro-hydrology, agro-biology, crop genetics and breeding, and agro-informatics. The successful candidates for the research group leader positions will be expected particularly to farmland water transfer and development of water saving technologies, farmland related groundwater management and hydrochemistry, hydrology, agricultural water resource management, remote sensing application in agriculture, soil microbiology, agro-ecosystems, plant physiology of drought tolerance, and molecular genetics and breeding to address fundamental and application agricultural questions.

The appointment of all positions will be at Principal Investigator (full professor) level. Candidates are expected to hold a Ph.D. degree and postdoctoral experience. Start-up package will be accompanied by either the “One-Hundred Talents Program of CAS” (minimal four-year postdoctoral required) or the “One-Thousand Youth Talents Program of China” (three-year postdoctoral required). Very compatible salary, benefits, and research funding will be provided based on the qualifications of selected candidates. More information about CARR can be found at **http://www.sjziam.cas.cn**.

Interested candidates should submit a cover letter, curriculum vitae, representative publications, a statement of research experiences and interests as well as the names and contact information of two referees to:

Dr. Yibo Han, or Chunsheng Hu, Co-Chair of the Research Committee

Center for Agricultural Resources Research

Institute of Genetics and Developmental Biology

Chinese Academy of Sciences

Shijiazhuang, Hebei 050022, China

E-mail: ybhan@genetics.ac.cn or cshu@sjziam.ac.cn