



史风梅,裴占江,王粟,等.黑龙江省低温冷害和风雹近36年的变化特征[J].黑龙江农业科学,2019(6):36-39,46.

# 黑龙江省低温冷害和风雹近36年的变化特征

史风梅<sup>1</sup>,裴占江<sup>1,2</sup>,王粟<sup>1</sup>,高亚冰<sup>1</sup>,卢玢宇<sup>1,2</sup>,刘杰<sup>1</sup>,董雪莲<sup>3</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 农村能源与环保研究所/农业部种养殖循环重点实验室/黑龙江省秸秆能源化重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086;2. 黑龙江省农业科学院 博士后科研工作站,黑龙江 哈尔滨 150086;3. 富裕县友谊乡政府农业中心,黑龙江 齐齐哈尔 161200)

**摘要:**为促进农业灾害预防和减灾工作的开展,利用 Mann-kendall 检验和 Morlet 小波法研究了黑龙江省 1980-2015 年农业低温冷害和风雹受灾率的时间变化特征。结果表明:在 1980-2015 年,低温冷害受灾率呈下降趋势,风雹灾害受灾率呈上升趋势,但二者均未通过 0.1 水平上的显著性检验。通过 Morlet 小波分析可知,低温冷害和风雹受灾率的变化主周期分别为 7 和 19 a,通过变化周期小波系数拟合可知,二者受灾率在 2017-2019 年处于正相位。

**关键词:**低温冷害;风雹;时间变化特征;M-K 法;Morlet 小波法;黑龙江省

低温冷害和风雹是导致农作物减产的两种主要农业气象灾害<sup>[1]</sup>。因黑龙江省所处的地理位置,低温冷害和风雹发生较为频繁<sup>[2-4]</sup>。许多研究表明低温冷害和风雹影响黑龙江省粮食生产安全和国民经济发展<sup>[5-7]</sup>。黑龙江省低温冷害主要发生在黑龙江北部地区,且主要发生在 19 世纪 70 年代、80 年代和 90 年代<sup>[8-9]</sup>。1969、1972 和 1976 年,黑龙江省因为低温早霜,粮豆薯总产量分别比 1968、1971 和 1975 年减少 28%、25% 和 20%<sup>[8]</sup>。因 5-9 月是农作物的生长发育期,所以该时间段的低温冷害对农业生产影响较大。在 2018 年 9 月 9 日夜至 10 日凌晨,黑龙江西北部地区大豆低温霜冻面积约为 98.57 万  $\text{hm}^2$ ,约占全省种植面积的 29.9%;产量损失预计为 2.75 亿 kg 左右,约占全省总产的 4.45%。而冰雹发生的时间多集中于 5 月上旬至 7 月上旬以及 9 月中旬,在黑龙江省的中北部如大、小兴安岭山麓、小兴安岭山脉迎风坡和松花江、兴凯湖沿岸发生冰雹的概率较多<sup>[9-10]</sup>。据记载,在 2011 年,黑龙江省在 6-8 月有 32 个县遭受风雹,导致 253.5 万人和 51.9 万  $\text{hm}^2$  农作物受灾,有 5.7 万  $\text{hm}^2$  农作物绝收,造成 41.5 亿元的经济损失<sup>[11]</sup>。为全面了解黑龙江省低温冷害和风雹的发生规律,本文利用黑龙江省 1980-2015 年低温冷害和风雹

数据,采用 Mann-Kendall 法(M-K 法)和 Morlet 小波法对其进行了详细研究,为黑龙江省的农业低温冷害和风雹的预防及减灾工作提供支持。

## 1 数据与方法

本文所用 1980-2015 年的黑龙江省低温冷害和风雹灾害数据来源于中华人民共和国农业部种植业管理司的数据库<sup>[12]</sup>。农作物产量比正常年份减少 1 成以上的面积称为受灾面积,减产 3 成以上的为成灾面积<sup>[13]</sup>。农作物受灾面积和成灾面积与播种面积的比值被定义为受灾率和成灾率<sup>[13]</sup>。受灾率可避免历年播种面积大小的影响,使其能较为客观地反映出低温冷害和风雹灾情轻重程度<sup>[14]</sup>。因此,本文利用 M-K 法和 Morlet 小波法<sup>[15-16]</sup>对 1980-2015 年黑龙江省的农业数据进行分析,研究低温冷害和风雹导致农业受灾率的时间变化趋势和特征。

## 2 黑龙江省低温冷害和风雹的时间变化特征

### 2.1 黑龙江省低温冷害和风雹时序变化

由图 1 可知,1980-2015 年,低温冷害和风雹的受灾率均呈波动变化。低温冷害受灾率以  $0.11\% \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  的速率下降,下降趋势不明显,在 1990-2005 年的波动幅度较大。风雹受灾率以  $0.29\% \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  的速率增加,上升趋势亦不明显,除 2002 年受灾率较高外,其他年份波动幅度比较稳定。

收稿日期:2019-01-02

基金项目:中国清洁发展机制基金赠款项目(2014101)。

第一作者简介:史风梅(1972-),女,博士,助理研究员,从事气候变化研究。E-mail:ocean-water@126.com。

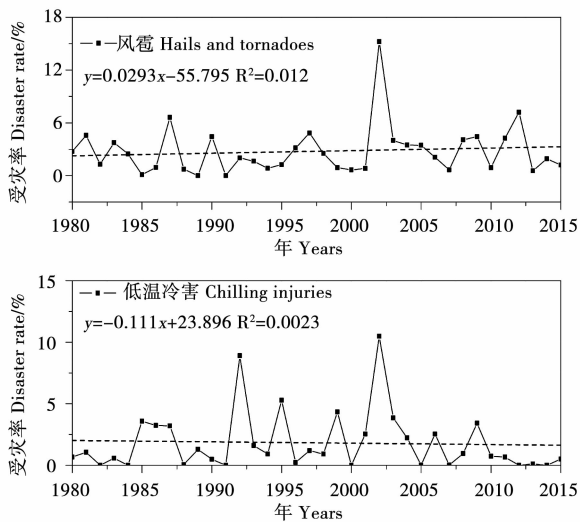


图 1 1980-2015 年黑龙江省低温冷害和风雹受灾率年际变化  
Fig. 1 Disaster rate interannual variation of chilling injuries and hails & tornadoes in Heilongjiang Province during 1980-2015

### 2.2 黑龙江省农业气象灾害的 Mann-Kendall 趋势和突变检验

利用 Mann-kendall 法对黑龙江省 1980-2015 年的低温冷害和风雹灾害数据进行了分析,得到农业低温冷害受灾率的 Mann-kendall 统计

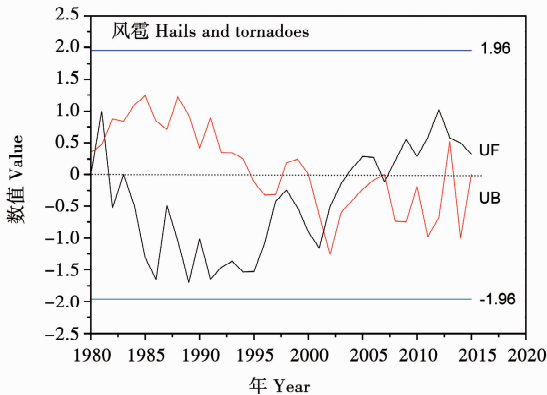
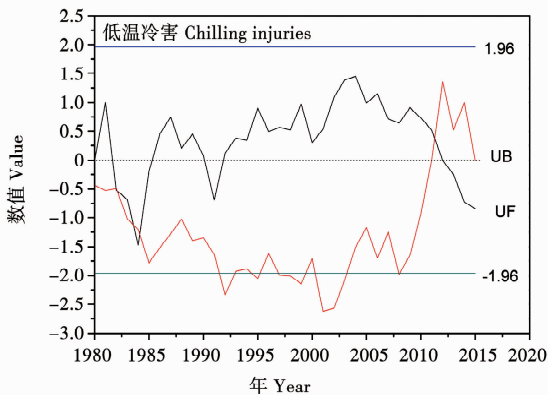


图 2 农业低温冷害和风雹的 M-K 突变检验结果

Fig. 2 M-K analysis on the abrupt change points of chilling injuries, hails & tornadoes in Heilongjiang Province during 1980-2015

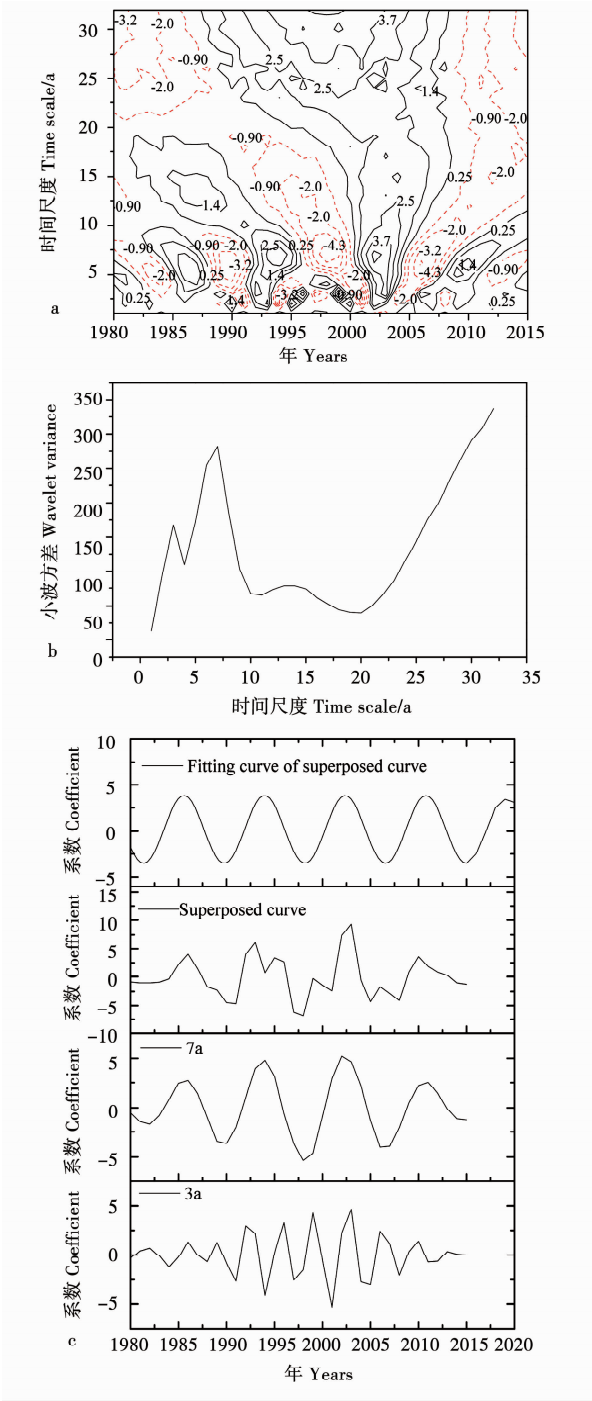
### 2.3 黑龙江省低温冷害和风雹小波分析

由图 3a 可知,低温冷害受灾率的变化存在着 13~32 a, 5~12 a 和 0~4 a 时间尺度的周期性震荡变化。其中,在 13~32 a 尺度上经历了减-增的准 1 次震荡,2006 年至今仍处在减少阶段;在 5~12 a 尺度上经历了减-增的准 4 次震荡,2014 年以后处在减少阶段。受灾率在这两个时间尺度上的变化非常稳定。受灾率在 0~4 a 时

量  $S$  为  $-47$ , 标准统计量  $Z$  为  $-0.63$ , 均小于  $0$ , 但  $Z$  绝对值小于  $1.28$ 。因此,低温冷害受灾率呈下降趋势,但下降趋势未通过  $0.1$  水平上的显著性检验。风雹受灾率的 Mann-kendall 统计量  $S$  为  $25$ , 标准统计量  $Z$  值为  $0.33$ , 均大于  $0$ , 且  $Z$  的绝对值小于  $1.28$ 。因此,风雹呈上升趋势,但上升趋势亦未通过  $0.1$  水平上的显著性检验。

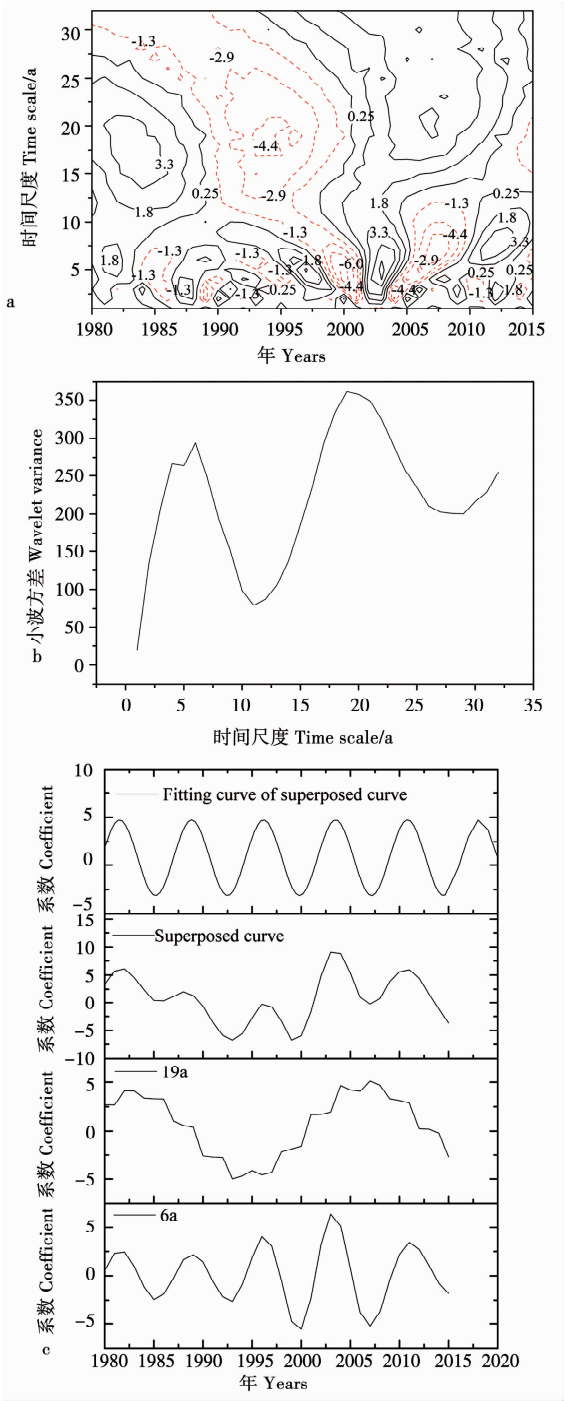
根据 Mann-Kendall 的突变检验可知低温冷害和风雹的受灾率局部变化特征和突变点的情况。如图 2 所示,在 1980-2015 年,黑龙江省的低温冷害受灾率除 1982、1983、1984、1985、1991、2013、2014 和 2015 年这 8 年的  $UF$  值在  $-1.96 \sim 0$ , 其他 28 年的  $UF$  值在  $0 \sim 1.96$ 。这解释了 M-K 趋势检验在 1980-2015 年低温冷害受灾率呈增加趋势,但增加趋势不显著的分析结果。低温冷害受灾率于 1982、1983-1984 和 2011-2012 年发生突变。风雹的受灾率  $UF$  在 1982-2003 年小于  $0$ , 绝对值小于  $1.96$ , 但自 2004 年开始,  $0 < UF < 1.96$ 。因此,风雹受灾率在 1982-2003 年呈不显著降低趋势,在 2004-2015 年间呈不显著增加趋势,其突变点位于 1981-1982、2001-2002 和 2007 年。

间尺度上的减-增周期性变化在 1990-2006 年这 17 a 期间表现稳定。经小波方差分析可知,黑龙江省的农业气象低温冷害受灾率变化周期分别为 3 a 和 7 a, 其中 7 a 为变化的主周期(图 3b)。将时间尺度 3 a 和 7 a 的小波系数进行叠加后拟合,得到拟合曲线:  $y=0.142+3.68\sin(0.75x-188.77)$  ( $Adj. R^2=0.51$ ) 由拟合公式可知,2017-2019 年黑龙江省农业低温冷害受灾率处在正相位(图 3c)。



a:小波系数等值线图;b:小波方差图;c:主周期小波系数图。  
a:Wavelet transform coefficient contour map;b:Wavelet variance diagram;c:Wavelet coefficients curve on the main time scales.

图3 1980-2015年黑龙江省低温冷害小波分析结果  
Fig.3 Wavelet analysis results of disaster rates affected by chilling injuries in Heilongjiang Province during 1980-2015



a:小波系数等值线图;b:小波方差图;c:主周期小波系数图。  
a:Wavelet transform coefficient contour map;b:Wavelet variance diagram;c:Wavelet coefficients curve on the main time scales.

图4 1980-2015年黑龙江省风雹受灾率小波分析结果  
Fig.4 Wavelet analysis results of disaster rates affected by ails and tornadoes in Heilongjiang Province during 1980-2015

由图 4a 可知,风雹灾害受灾率存在着 9~32 a,4~8 a 和 0~3 a 时间尺度的周期性震荡变化。其中,在 9~32 a 时间尺度上经历了减-增的准 1 次震荡,2002 年至今仍处于增加阶段;在 4~8 a 时间尺度上经历了减-增的准 5 次震荡,2014 年以后处于增加阶段;受灾率在这两个时间尺度上的变化比较稳定。受灾率在 0~3 a 时间尺度上的减-增周期性变化在 1980-1992 年和 1999-2014 年表现稳定。经小波方差分析可知,黑龙江省的农业气象风雹受灾率变化周期分别为 6 和 19 a,19 a 为变化的主周期。将时间尺度 6 和 19 a 的小波系数进行叠加后拟合,得到拟合曲线: $y = 0.8 + 3.91\sin(0.86x + 158.13)$  (Adj.  $R^2 = 0.38$ ) 由拟合公式可知,2017-2019 年黑龙江省农业风雹受灾率处在正相位(图 4b)。

### 3 结论

文章首先对黑龙江省 1980-2015 年的低温冷害和风雹受灾率的时间分布特征进行研究。Mann-Kendall 趋势和突变检验表明,低温冷害受灾率呈下降趋势,风雹呈上升趋势,二者均未通过 0.1 水平上的显著性检验。通过 Morlet 小波分析可知,黑龙江省的农业气象低温冷害和风雹受灾率变化主周期分别为 7 和 19 a,由拟合公式可知,二者在 2017-2019 年均处于正相位,需要采取适当的防范措施。

#### 参考文献:

[1] 卢丽萍,程从兰,刘伟东,等. 30 年来我国农业气象灾害对农业生产的影响及其空间分布特征[J]. 生态环境学报, 2009,18(4):1573-1578.

[2] 陈立亭,孙玉亭. 黑龙江省气候与农业[M]. 北京:气象出版社,2000.

[3] 孙玉亭,祖世亨,曹英,等. 黑龙江省农业气候资源及其利用[M]. 北京:气象出版社,1986.

[4] 王萍,李帅,闫平,等. 黑龙江省近年低温冷害特征再探[J]. 自然灾害学报,2010,19(1):143-146.

[5] 唐立兵,张平. 自然灾害对黑龙江省经济社会发展影响的实证分析[J]. 大庆师范学院学报,2013,33(3):108-111.

[6] 郭丽娜,张立新. 黑龙江省农业气象灾害的动态特征及其对粮食生产的影响[J]. 潍坊工程职业学院学报,2014,27(4):72-77.

[7] 周长生. 黑龙江省近 30 年农业气象灾害对粮食生产影响研究[D]. 哈尔滨:黑龙江大学,2010.

[8] 祖世亨,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.

[9] 王秋京,吕佳佳,李秀芬,等. 黑龙江省农业气象灾害分布特征及其对农业生产的影响[J]. 黑龙江水利科技,2016(4):57-61.

[10] 郑凯,王恒宇. 近 55 年来黑龙江省冰雹气候特征分析[J]. 安徽农业科学,2016,44(6):216-219.

[11] 朱红蕊,刘赫男,孙爽,等. 黑龙江省 2011 年主要气象灾害及影响[J]. 黑龙江农业科学,2012(5):37-39.

[12] 中华人民共和国农业农村部种植业管理司. 历史自然灾害数据库[D/OL][2019-01-02]. <http://zzys.agri.gov.cn/zaqing.aspx>.

[13] 黑龙江省统计局. 黑龙江统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,1994-2014.

[14] 蒋红花. 山东省干旱灾害的变化特征及相关分析[J]. 灾害学,2000,15(3):51-55.

[15] 张秀梅,杨萌,李春景. 基于 M-K、Morlet 小波分析图们江下游降水量[J]. 延边大学农学学报,2014,36(4):285-290,296.

[16] 琚彤军,石辉,胡庆. 延安市近 50 年来降水特征及趋势变化的小波分析研究[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(4):230-235.

## Study of Temporal Change Characteristics of Agrometeorological Chilling Injury and Hail & Tornadoe Disasters for 36 Years in Heilongjiang Province

SHI Feng-mei<sup>1</sup>, PEI Zhan-jiang<sup>1,2</sup>, WANG Su<sup>1</sup>, GAO Ya-bing<sup>1</sup>, LU Bin-yu<sup>1,2</sup>, LIU Jie<sup>1</sup>, DONG Xue-lian<sup>3</sup>

(1. Rural Energy & Environmental Protection Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Combining Farming and Animal Husbandry Ministry of Agriculture, P. R. China, Key Laboratory of Energy Utilization of Main Crop Straw Resources, Harbin 150086, China; 2. Post-doctoral Research Workstations, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 3. Youyi Rural Government Agricultural Center, Fuyu county, Qiqihar 161200, China)

(下转第 46 页)

- 动态关系的模拟研究[J]. 中国水稻科学, 2001, 15(2): 107-112.
- [5] De Datta S K. Improving nitrogen fertilizer efficiency in lowland rice in tropical fertilizer research[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1986, 9(1): 171-186.
- [6] 凌启鸿. 水稻群体质量的理论与实践[M]. 北京: 农业出版社, 1994.
- [7] 刘贞琦, 刘振业, 马达鹏, 等. 水稻叶绿素含量及其光合速率关系的研究[J]. 作物学报, 1984, 10(1): 57-64.
- [8] 李泽炳. 杂交水稻的研究与实践[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982.
- [9] Smith D L, Hamel C, Wang P, et al. Crop yield—Physiology and processes[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2001: 104-107.
- [10] 盛大海. 氮肥后移对寒地水稻群体质量及产量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008.

## Effect of Amount and Proportion of Nitrogen Application on Panicle Traits and Yield of Different Types of Rice

CHEN Shu-qiang

(Heilongjiang Academy of Agriculture Sciences, Rice Research Institute, Scientific Observing and Experimental Station of Rice Cold Damage in Cold Region, Ministry of Agriculture, Jiamusi 154026, China)

**Abstract:** In order to clarify effects of nitrogen application regime on panicle traits and yield of different types of rice, more tillers and lighter panicle variety Kongyu 131 and less tillers and heavier panicle variety Longjing 21, was used in this study, the effects of nitrogen application on rice yield and panicle traits were studied by setting three nitrogen levels and four nitrogen ratios for tiller fertilizer. The results showed that Kongyu 131, a multi-tiller spikelet variety, had the highest yield when the ratio of base tiller fertilizer to panicle fertilizer was 8:2 at  $115 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  of nitrogen fertilizer. The main reason resulting in higher yield was that the panicles number increased in the population. It was the highest yield for less tillers and heavier panicle variety Longjing 21 that the nitrogen application was up to  $138 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  and the base-spike nitrogen application ratio of 7:3. The main reason resulting in higher yield was that and grain number per panicle and the higher number of total spikelets increased in the population. Increasing nitrogen application made panicle length, spikelet number, fertilized spikelet number, grain density, and harvest index increase. At late growth stage, appropriate ratio of the spike-grain nitrogen made total spikelets, sink capacity, total filling increase, theoretical maximum filled-grain percentage; actual filled-grain percentage, normal 1000-grain weight, actual 1000-grain weight and filling rate ascend for less tillers and heavier panicle variety. Compared with more tillers and lighter panicle variety, the key to high yield of less tillers and heavier panicle variety in production is to properly increase the nitrogen amount and the ratio of nitrogen use in later stage.

**Keywords:** cold region; rice; nitrogen supply methods; yield; panicle traits

(上接第 39 页)

**Abstract:** In order to promote the prevention and mitigation of agricultural disasters, we studied temporal change characteristics of agrometeorological chilling injury disasters and hail & tornadoe disasters which affected agricultural productivity in Heilongjiang Province from 1980 to 2015 by Mann-kendall and Morlet wavelet methods. The results showed that the disaster rates of chilling injuries were in the trend of subsiding and the disaster rates of hails & tornadoes increased from 1980 to 2015 by Mann-Kendall analysis. The change trends of the two agrometeorological disaster rates did not pass the significant test at 0.1 level. The results of Morlet wavelet variance of agrometeorological disasters in Heilongjiang Province during 1980-2015 analysis showed that disaster rate of chilling injuries and hails & tornadoes changed periodically at 7 a and 19 a time scale, respectively. The disaster rate of chilling injuries and hails & tornadoes over the period 2017-2019 would remain in positive phase.

**Keywords:** chilling injuries; hails & tornadoes; temporal change characteristics; M-K method; Morlet method; Heilongjiang Province