

DOI: 10.5846/stxb201405221059

曲辉辉, 姜丽霞, 王冬冬. 气候变化对黑龙江省水稻障碍型冷害的影响. 生态学报, 2016, 36(3): - .

Qu H H, Jiang L X, Wang D D. Influence of climate change on sterile-type cooling injury in rice in Heilongjiang Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(3): - .

气候变化对黑龙江省水稻障碍型冷害的影响

曲辉辉¹, 姜丽霞^{1,*}, 王冬冬²

¹ 黑龙江省气象科学研究所, 哈尔滨 150030

² 黑龙江省气象局后勤服务中心, 哈尔滨 150030

摘要:明确气候变化对黑龙江省水稻孕穗期和抽穗期障碍型冷害的影响, 可为水稻生产提供科学依据。本研究基于黑龙江省 70 个台站 1971—2012 年的气象资料和 10 个台站 1980—2011 年水稻生育期数据, 结合水稻障碍型冷害指标, 分析了气候变化对黑龙江省水稻障碍型冷害的影响。结果表明: (1) 水稻孕穗期障碍型冷害 1990s 发生频率最低, 2000s 发生频率最高; 抽穗期障碍型冷害 1970s 和 1980s 发生频率高, 1990s 和 2000s 发生频率低。 (2) 抽穗期障碍型冷害发生程度大于孕穗期障碍型冷害。 (3) 不同熟型水稻品种可种植北界逐渐北移东扩, 极早熟、早熟和中熟品种可种植范围分别缩小了 5、21 和 11 个县(市), 中晚熟和晚熟品种可种植范围分别扩大了 14 和 23 个县(市)。 (4) 随着水稻种植格局的变化, 不同熟型水稻障碍型冷害均在 1990s 发生频率最低, 2000s 发生频率最高。

关键词:气候变化; 黑龙江省; 水稻; 障碍型冷害

Influence of climate change on sterile-type cooling injury in rice in Heilongjiang Province, China

QU Huihui¹, JIANG Lixia^{1,*}, WANG Dongdong²

¹ Heilongjiang Province Institute of Meteorological Sciences, Harbin 150030, China

² Logistic Service Center, Heilongjiang Provincial Meteorology Bureau, Harbin 150030, China

Abstract: Climate change and its effects are the major concerns among researchers in a variety of fields. A large quantity of rice is produced in Heilongjiang Province, China; however, the yield and quality can be adversely affected by low temperatures. Heilongjiang Province shows obvious signs of climate warming. Therefore, in the context of climate change, understanding the causes cold damage of rice at booting and heading stages leading to sterility could provide scientific basis for reliable rice production in Heilongjiang Province. We analyzed the influences of climate change cold-damage induced sterility in rice in Heilongjiang Province. Using meteorological data from 70 weather stations during the period between 1971 and 2012 and rice phenology data from 10 of these stations between 1980 and 2011, rice phenological parameters for the other 60 stations were estimated. This was done by applying the phenology law proposed by A. D. Hopkins combined with indices of cold-damage induced sterility in rice (following meteorological standard QX/T101-2009: degrees of cooling injury of rice and maize, Chinese Meteorological Administration, 2009). (1) The frequency of cold-damage induced sterility at booting stage of rice was highest in the 2000s, followed by the 1970s and 1980s, and was the lowest in the 1990s. The widest distribution of cold-damage induced sterility at booting stage (approximately 5—20 counties) happened in 1971, 1986, 1990, 1991, 2001, 2006, and 2009. The frequency of cold-damage induced sterility at heading stage was higher during the 1970s and 1980s, and lower during from the 1990s to 2000s. The widest distribution of cold-damage induced

基金项目:公益性行业(气象)科研专项经费项目(GYHY201306036)

收稿日期:2014-05-22; 网络出版日期:2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hljlxl@163.com

sterility at heading stage (more than 20 counties) occurred in 1971, 1972, 1977, 1981, 1990, 1992, and 2012. (2) Both the frequency and geographical extent of cold-damage induced sterility at booting stage were higher than that at heading stage. (3) Rice planting patterns, which are determined based on accumulated temperature, changed with changes in climate. The potential area of cultivation of each variety extended northward and eastward gradually. The potential areas of cultivation for very-early-maturing, early-maturing and middle-maturing varieties were reduced to 5, 21, and 11 counties, respectively. However, the potential areas of cultivation of middle-late-maturing and late-maturing varieties expanded to 14 and 23 counties, respectively. Therefore, the change in potential cultivation area for late-maturing varieties was the most significant. (4) With the changes in planting distributions of rice, the frequency of cold-damage induced sterility in rice was variable, with the lowest occurrence in the 1990s and the highest occurrence in the 2000s.

Key Words: climate change; Heilongjiang Province; rice; sterile-type cooling injury

黑龙江省生产的稻米因颗粒饱满、色泽清白、香味浓郁、口感极佳而广受国内消费者欢迎。2003—2012 年 10 a 时间内,黑龙江省水稻播种面积从 $1.295 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 直线上升至 $3.82 \times 10^6 \text{ hm}^2$,总产量从 $8.428 \times 10^9 \text{ kg}$ 快速增加至 $2.171 \times 10^{10} \text{ kg}$ ^[1],均增加近 2 倍。同时,黑龙江省水稻的播种面积和产量近 5 a 来均居全国前列^[2-5],对保障国内优质稻米供应至关重要。

近年来,气候变化已得到学术界广泛关注,IPCC 第 4 次评估报告^[6]指出,气候变化会增加农业生产不稳定性、改变种植布局 and 结构,并加剧局部地区农业气象灾害。黑龙江省是我国纬度最高的省份,低温冷害是主要农业气象灾害之一,低温冷害的频繁发生导致粮食产量不稳定、年际波动大^[7];同时,黑龙江省也是我国受气候变化影响最显著的地区之一^[8],1961 年以来平均每 10 a 气温上升 $0.38 \text{ }^\circ\text{C}$,降水增加 0.49% ^[9]。

研究结果表明,气候变化导致水稻种植面积、生育期和产量均发生较大变化^[10-16],水稻障碍型冷害的时空分布特征同样受气候变化影响^[17-20],这些成果在合理指导水稻生产、有效规避冷害等方面的研究中具有重大意义。然而,随着气候变暖,理论上低温事件发生频率降低,水稻遭受障碍型冷害的影响也应相应减小,但由于极端气候事件趋于频繁,水稻生长季内温度变幅增大^[21],同时人类对变暖做出了适应行为,一定程度上选取了更长生育期的水稻品种进行播种,以求获得更大的经济效益,最终导致水稻障碍型冷害呈现频繁的趋势^[17],对水稻产量及品质影响严重。可见,在气候变暖的大背景下,黑龙江省水稻生产仍面临严峻形势,因此,亟待加强本方面研究。本文基于黑龙江省逐日气象数据及水稻生育期资料,结合水稻障碍型冷害指标,分析气候变化情景下黑龙江省水稻障碍型冷害变化特征,以实现为黑龙江省水稻安全生产及合理布局提供理论依据的目的。

1 数据与方法

1.1 资料来源

本文使用的黑龙江省 70 个台站 1971—2012 年逐日气象观测数据来源为黑龙江省气象局整编资料,水稻发育期为 10 个农业气象试验站 1980—2011 年的观测资料。

1.2 水稻发育期推算

由于黑龙江省水稻发育期观测台站仅有 10 个,其余 60 个气象台站无水稻发育期观测数据,为解决这一问题,本文根据美国森林昆虫学家 A. D. Hopkins 的物候定律^[22]推算无观测数据站点的水稻发育期,该物候定律主要内容为:在北美洲温带内,当其他条件相同的情况下,每向北移动 1° ,向东移动 5° 或上升 121.92 m ,植物的发育期在春天和初夏将延迟 4 d,在秋天则相反,提早 4 d。

1.3 水稻障碍型冷害指标

水稻孕穗期和抽穗期对低温敏感,在这两个时期出现一定强度低温会严重影响生殖器官的形成、发育和结实,出现障碍型冷害。本研究所使用水稻障碍型冷害指标采用中国气象局 2009 年发布的气象行业标准

《QX/T101-2009 水稻、玉米冷害等级》^[23],具体内容见表 1。

1.4 黑龙江省水稻不同熟型品种积温指标及积温计算

关于黑龙江省水稻不同熟型品种积温指标的研究比较少见,本文采用南瑞等人提出的 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温指标^[24],详细内容见表 2。

表 1 水稻障碍型冷害指标		
Table 1 Rice sterile-type cooling injury indexes		
致灾因子 Disaster-inducing factors	时段 Times	致灾指标 Disaster-inducing indexes
日平均气温 Average daily temperature	孕穗期	日平均气温连续 2 d 以上低于 17 $^{\circ}\text{C}$
	抽穗期	日平均气温连续 2 d 以上低于 19 $^{\circ}\text{C}$

表 2 黑龙江省不同熟型水稻品种积温指标($^{\circ}\text{C d}$)	
Table 2 The accumulated temperature for different maturing-type varieties of rice varieties in Heilongjiang province	
品种熟型 Maturing-type	$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温($^{\circ}\text{C d}$) $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ Accumulated temperature ($^{\circ}\text{C d}$)
极早熟 Especial-early-maturing	<2200
早熟 Early-maturing	2200—2400
中熟 Midseason-maturing	2400—2700
中晚熟 Middle-late-maturing	2700—2800
晚熟 Late-maturing	>2800

本研究采用 5 日滑动平均法^[25]判定 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度的起止日期,即从一年中最长的一段 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 5 日滑动平均温度序列中,选取第一个 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 5 日滑动平均组中的第 1 个 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的日期作为起始日期,选取最后一个 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 5 日滑动平均组中的最后一个 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的日期作为终止日期。 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温为起止日期时段内 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的日平均气温的总和。采用经验频率法^[23]计算得到的 80%保证率下积温判定播种品种熟型。

1.5 时段划分、数据处理及结果表达

本文研究时段为 1971—2012 年,并通过逐年代比较的方式分析障碍型冷害和种植格局的变化特征,文中划为 4 个时段:1971—1980 年、1981—1990 年、1991—2000 年及 2001—2012 年,并分别用 1970s、1980s、1990s 及 2000s 表示。

本文通过 ArcGIS 软件 10.0 版本的画图功能,采用反距离权重法插值,并按掩膜提取,实现计算结果的空间表达。

2 结果分析

2.1 水稻孕穗期障碍型冷害时空分布特征

根据 A. D. Hopkins 物候定律对黑龙江省水稻孕穗期的推算结果,结合水稻孕穗期障碍型冷害指标,逐年判定黑龙江省 70 个台站水稻孕穗期障碍型冷害的发生情况;利用 ArcGIS 软件 10.0 版本分别绘制 1970s、1980s、1990s 及 2000s 4 个时段孕穗期障碍型冷害分布图(图 3、图 5 和图 6 绘图方法同)。

图 1 为黑龙江省水稻孕穗期障碍型冷害各年代发生频率。可以看出,黑龙江省水稻孕穗期障碍型冷害发生频率多为 1%—10%,个别地区达 10%以上;其中 1970s 水稻孕穗期障碍型冷害主要发生在黑龙江省北部及东南部地区;1980s 水稻孕穗期障碍型冷害主要发生在北部地区,与 1970s 相比,发生区域有向西向北移动的趋势;1990s 水稻孕穗期障碍型冷害主要发生在西北部地区,2000s 全省水稻普遍发生孕穗期障碍型冷害。结合表 3 可见,1970s 和 1980s 水稻孕穗期障碍型冷害的发生范围虽然从图中直观略有变化,但经检验无显著差异,1990s 水稻孕穗期障碍型冷害发生频率显著减小,2000s 较 1990s 水稻孕穗期障碍型冷害发生频率极显著增大。

为进一步确定冷害大面积发生的年份,下文对黑龙江省水稻孕穗期障碍型冷害发生县(市)个数进行了逐年统计。

从图 2 可以看出,在 1971—2012 年 42 a 间,2006 年水稻孕穗期障碍型冷害发生范围最广,共有 34 个县(市)发生,约占研究区域的 50%;5—20 个县(市)发生孕穗期障碍型冷害的年份有 1971、1986、1990、1991、2001 和 2009 年;有 3—4 个县(市)发生孕穗期障碍型冷害的年份有 1972、1981、1982、1983、1992、2003 和

2012 年;1978、1984、1985、1989 和 1996 年发生孕穗期障碍型冷害的县(市)为 1—2 个;其余年份未发生孕穗期障碍型冷害。

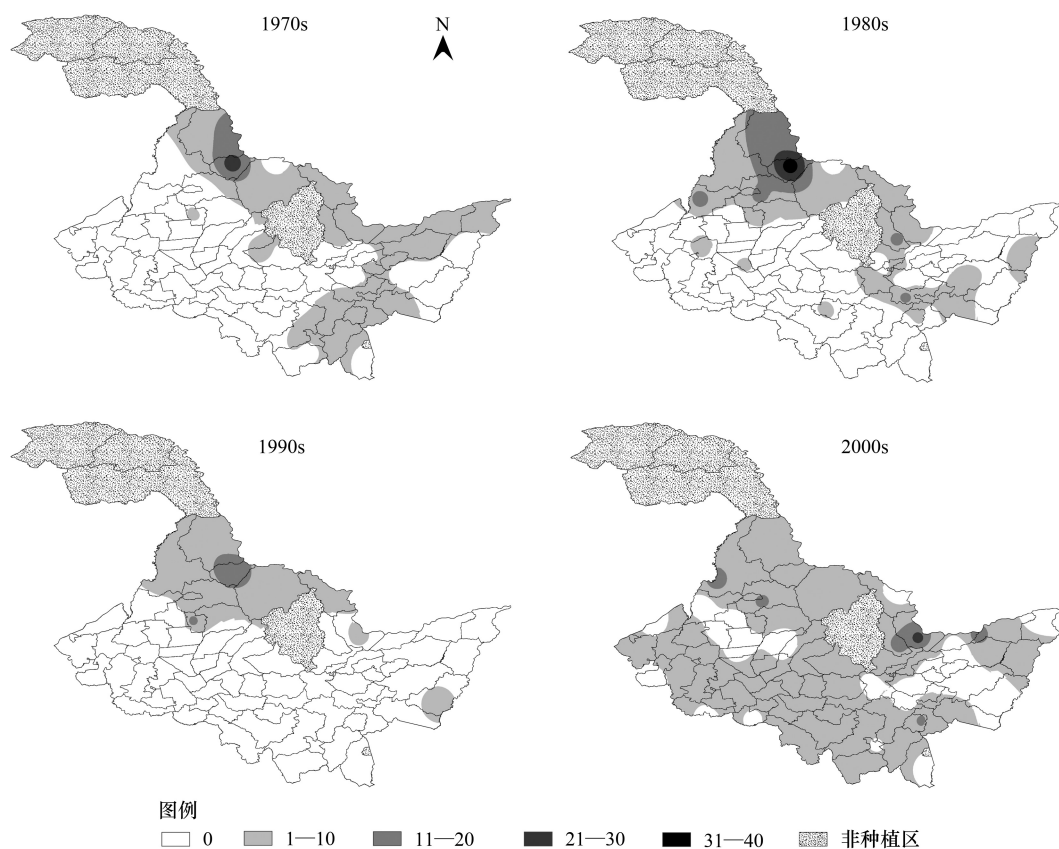


图 1 黑龙江省水稻孕穗期障碍型冷害发生频率

Fig. 1 Frequency of sterile-type cooling injury at booting stage of rice during each decade (1970s, 1980s, 1990s, and 2000s) in Heilongjiang province

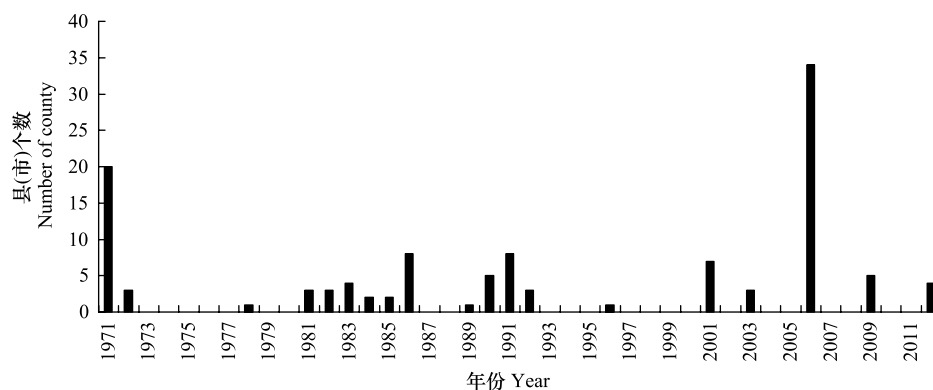


图 2 黑龙江省水稻孕穗期障碍型冷害发生范围年际变化

Fig. 2 Annual series of the numbers of counties with sterile-type cooling injury at booting stage of rice in Heilongjiang province

2.2 水稻抽穗期障碍型冷害时空分布特征

基于对水稻抽穗期的推算结果和抽穗期障碍型冷害指标,逐年判定黑龙江省 70 个台站水稻抽穗期障碍型冷害的发生情况,并对其时空分布特征进行进一步分析。

图 3 为黑龙江省水稻抽穗期障碍型冷害各年代发生频率。从图中可见,黑龙江省大部水稻种植区均不同

频率发生抽穗期障碍型冷害。1970s 除西南部部分县(市)外,其他大部地区均发生抽穗期障碍型冷害,发生频率多在 10%以上,东北部地区发生频率高于 30%,个别县(市)发生频率高于 50%;1980s 水稻抽穗期障碍型冷害分布更为广泛,全省约 90%县(市)水稻发生抽穗期障碍型冷害,西北部地区及小兴安岭东侧地区发生频率达 20%以上,其他大部地区发生频率低于 20%;1990s 南部部分地区水稻未发生抽穗期障碍型冷害,其余约 80%地区均有发生,且大部地区发生频率高于 10%;2000s 抽穗期障碍型冷害发生范围较 1990s 有所缩小,西北部地区发生频率高于 20%,其他地区发生频率低于 20%。结合表 3 可见,1970s 至 1980s 水稻抽穗期障碍型冷害发生频率无显著变化,至 1990s 水稻抽穗期障碍型冷害发生频率极显著减小,2000s 与 1990s 水稻抽穗期障碍型冷害发生频率无显著差异。

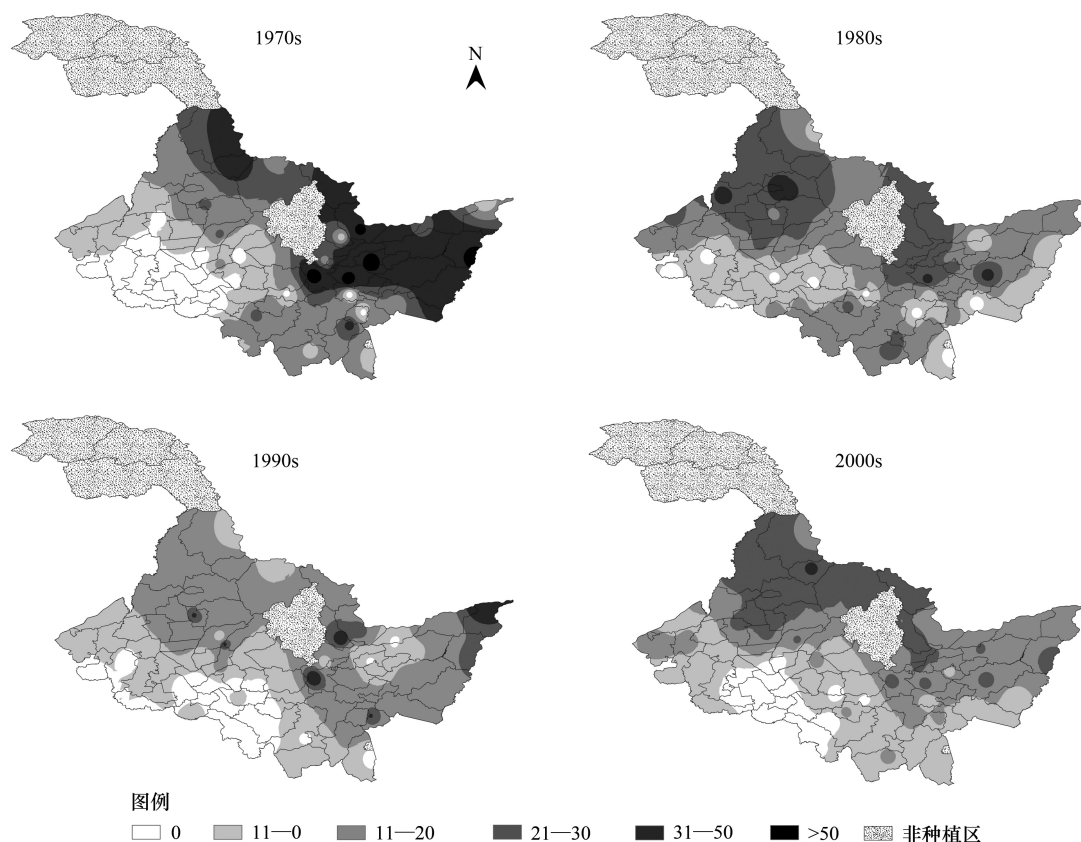


图 3 黑龙江省各年代抽穗期障碍型冷害发生频率

Fig. 3 Frequency of sterile-type cooling injury at heading stage of rice during each decade (1970s, 1980s, 1990s, and 2000s) in Heilongjiang province

图 4 为黑龙江省水稻抽穗期障碍型冷害发生县(市)个数逐年变化情况。可以看出,2008 年和 2011 年黑龙江全省水稻未发生抽穗期障碍型冷害;1973、1980、1988、1994、1995、1998、1999、2005 和 2010 年发生抽穗期障碍型冷害的县(市)为 5 个以下;6—10 个县(市)发生抽穗期障碍型冷害的年份有 1974、1975、1978、1979、1984、1996 和 2004 年;11—20 个县(市)发生抽穗期障碍型冷害的年份有 1976、1983、1987、1989、1991、1993、2000、2003、2006、2007 和 2009 年;1971、1972、1977、1981、1990、1992 和 2012 年黑龙江省发生抽穗期障碍型冷害的县(市)多于 20 个。

2.3 水稻孕穗期与抽穗期障碍型冷害比较

图 5 为黑龙江省 1971—2012 年水稻孕穗期和抽穗期障碍型冷害发生频率。从图中可见,1971—2012 年黑龙江省 85%以上地区水稻发生孕穗期障碍型冷害,近 100%地区水稻发生抽穗期障碍型冷害。孕穗期障碍型冷害发生频率多低于 10%,而抽穗期障碍型冷害发生频率呈现自西南向东北逐渐升高的趋势,北部地区发生频率达 20%以上。经检验(表 3),黑龙江省水稻障碍型冷害发生频率抽穗期高于孕穗期,且达极显著水平。

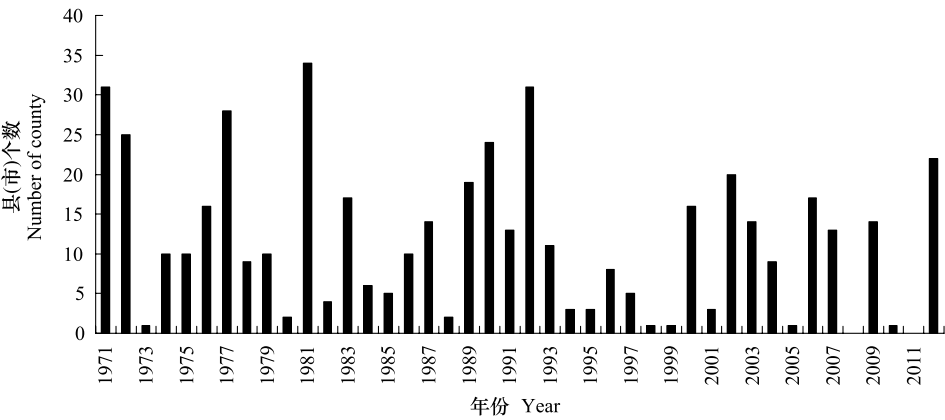


图4 黑龙江省水稻抽穗期障碍型冷害发生范围年际变化

Fig. 4 Annual series of the numbers of counties with sterile-type cooling injury at heading stage of rice in Heilongjiang province

同时,本研究的黑龙江省 70 个县(市)中,抽穗期发生障碍型冷害的县(市)数量多于孕穗期发生障碍型冷害县(市)数量,同样达极显著水平(见表 3)。可见,抽穗期障碍型冷害的发生程度明显大于孕穗期障碍型冷害。

2.4 气候变化背景下水稻种植格局变化

随着气候变暖,作物生长季 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温增加,作物生育期延长,水稻种植格局发生相应变化。依据不同熟型水稻品种所需积温指标,以 80% 保证率下的积温条件对黑龙江省水稻的种植格局做出判定。

图 6 为黑龙江省不同熟型水稻品种种植格局的年代际变化。从图中可以看出,1970s 黑龙江省 6 个县(市)适宜种植极早熟水稻品种,早熟和中熟水稻品种的种植北界分别为逊克县($\text{N}49^{\circ}34'$, $\text{E}128^{\circ}25'$)和甘南县($\text{N}47^{\circ}56'$, $\text{E}123^{\circ}3'$),适宜种植范围分别为 25 和 38 个县(市),仅泰来县($\text{N}46^{\circ}24'$, $\text{E}123^{\circ}25'$)可种植中晚熟水稻品种。1980s 早熟水稻品种可种植北界变化不明显,中熟水稻品种可种植北界北移至讷河市($\text{N}48$

表 3 显著性检验

Table 3 Significance test

对比项目 Comparison program		F	F _{0.05}	F _{0.01}
孕穗期频率	1970s 与 1980s	0.25	3.84	6.63
Frequency at booting stage	1980s 与 1990s	4.42 *	3.84	6.63
	1990s 与 2000s	28.81 **	3.84	6.63
抽穗期频率	1970s 与 1980s	0.14	3.84	6.63
Frequency at heading stage	1980s 与 1990s	8.53 **	3.84	6.63
	1990s 与 2000s	0.01	3.84	6.63
发生频率	孕穗期与抽穗期	95.91 **	3.84	6.63
Frequency				
县(市)个数	孕穗期与抽穗期	25.13 **	3.96	6.95
Number of county				

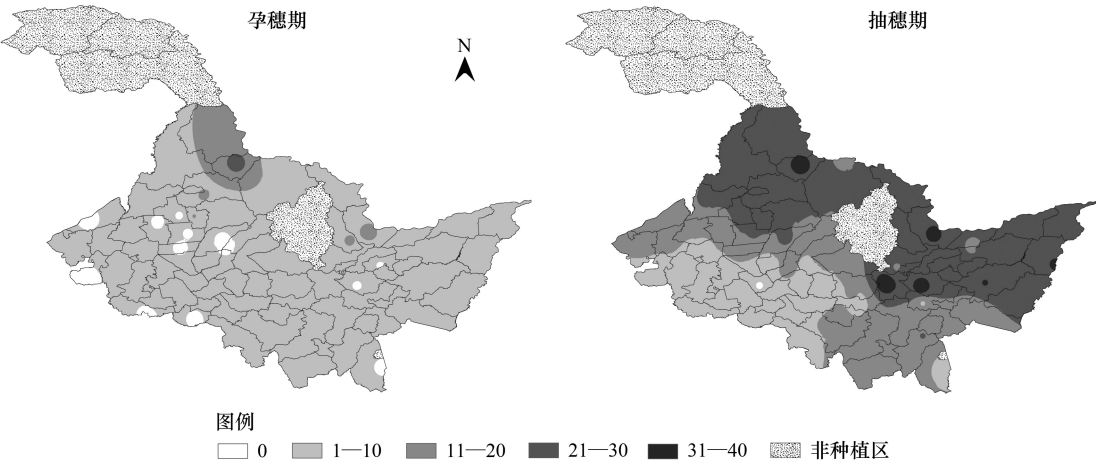


图5 1971—2012 年黑龙江省水稻障碍型冷害发生频率

Fig. 5 Frequency of sterile-type cooling injury of rice from 1971 to 2012 in Heilongjiang province

°29', E124°51'), 中晚熟水稻品种最北可种植于杜尔伯特蒙古族自治县(N46°52', E124°26'), 极早熟和早熟水稻品种适宜种植范围分别缩小为 3 和 18 个县(市), 中熟和中晚熟品种适宜种植区域分别增至 44 和 5 个县(市)。至 1990s, 早熟品种可种植北界略有南退, 中熟水稻品种可种植北界东扩至抚远县(N48°22', E134°17'), 早熟和中熟水稻品种适宜种植区域分别缩小至 11 和 42 个县(市), 极早熟和中晚熟品种种植范围分别扩大至 6 和 8 个县(市), 西南部 3 个县(市)可种植晚熟水稻品种。2000s 以来水稻种植格局发生巨大变化, 早熟品种种植北界北移至黑河市(N50°15', E127°27'), 中熟品种种植北界北移至五大连池市(N48°3', E126°11'), 西部地区北移明显, 中晚熟品种种植界限北移至甘南县(N47°56', E123°3'), 东扩至绥滨县(N47°17', E131°51'), 晚熟品种种植界限明显北移东扩, 最北可达富裕县(N47°48', E124°29'), 最东可达宝清(N46°19', E132°11'), 极早熟、早熟和中熟品种适宜种植区域分别缩小了 5、21 和 11 个县(市), 中晚熟和晚熟品种适宜种植范围分别扩大了 14 和 23 个县(市), 其中晚熟品种可种植范围变化最为显著。

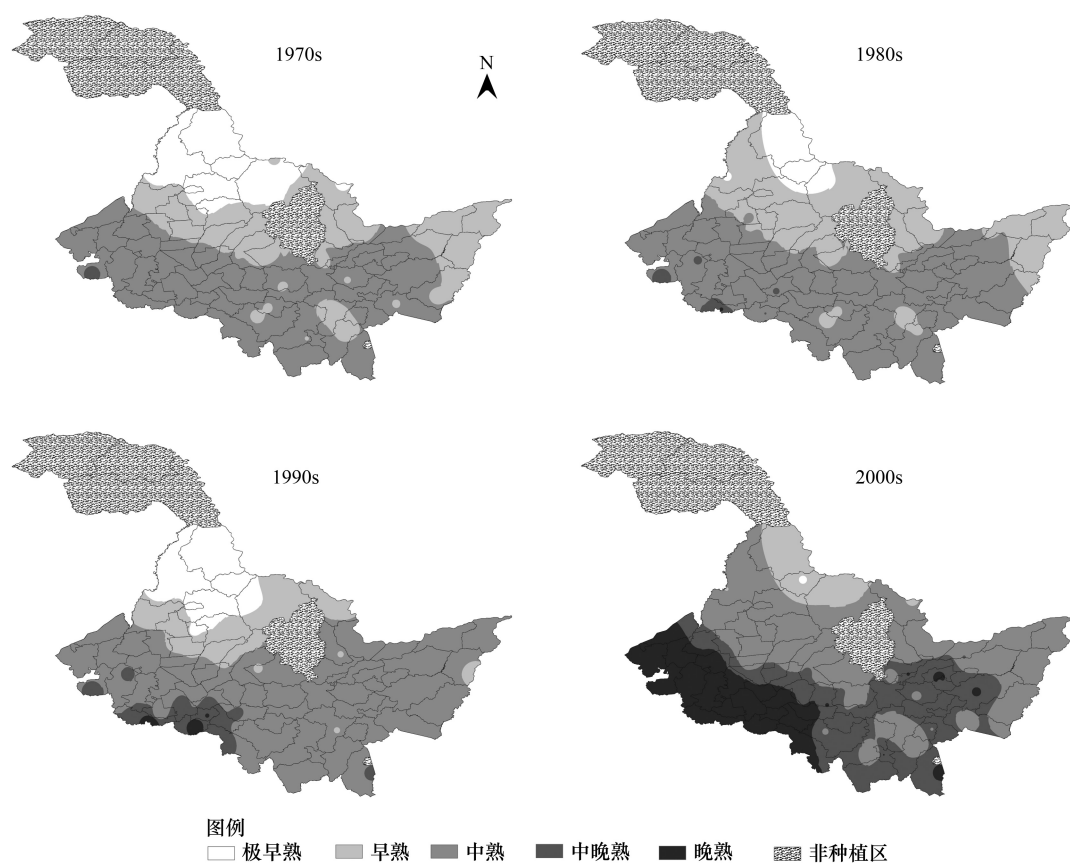


图 6 黑龙江省不同熟型水稻品种种植格局年代际变化

Fig. 6 The planting distributions for each maturing-type variety of rice during each decade in Heilongjiang province

2.5 水稻种植格局与障碍型冷害关系

黑龙江省水稻的种植北界和产量均显著地受温度条件限制, 气候显著变暖为水稻种植提供了条件^[7], 使生育期更长、产量更高的水稻品种适宜种植北界不断北移东扩, 相对于 1970s, 1980s 由于气候变暖带来的水稻单产增加量为 3.9%—4.9%; 相对于 1980s, 1990s 气候变暖使水稻单产增产 9.9%—12.3%^[20]。气候变暖在使水稻单产增加的同时, 障碍型冷害的发生频率也相应变化。

由 2.4 结果可知, 1970s—2000s 不同熟型水稻的适宜种植范围不断变化, 各年代不同熟型水稻品种适宜种植区内障碍型冷害平均发生频率统计结果如表 4 所示。从表 4 可以看出, 黑龙江省水稻极早熟、早熟、中熟和中晚熟品种自 1970s 起, 生育期内障碍型冷害的发生频率呈现出增大—减小—增大的变化趋势, 晚熟品种自 1990s 至 2000s 障碍型冷害的发生频率增大。可见, 在水稻种植格局调整和气候变化的双重作用下, 黑龙江省

水稻遭受障碍型冷害的几率呈波动趋势,且波动趋势较一致,1990s 水稻障碍型冷害的发生频率最低,2000s 年障碍型冷害发生频率最高。

2001 年以来,虽然气候变暖显著,各熟型品种水稻适宜种植北界明显北移东扩,但各熟型品种适宜种植区域内遭受障碍型冷害的频率亦达到了近 4 个时代的最高峰。可见,在气候变暖的大背景下,在通过种植格局调整获得水稻高产的同时,还面临着遭受障碍型冷害的高风险。因此,在实际生产中要慎重调整水稻种植格局,适当配比不同熟型品种进行播种,降低水稻遭受障碍型冷害的风险,在获得高产的同时还应达到稳产的目标。

3 结论与讨论

本文以黑龙江省水稻为研究对象,基于《QX/T101—2009 水稻、玉米冷害等级》^[22] 制定的北方水稻障碍型冷害指标,利用 A. D. Hopkins 物候定律,通过 Excel、ArcGIS 等技术,明确了气候变化背景下黑龙江省水稻障碍型冷害的变化特征。结果表明:

(1) 在研究时段内,黑龙江省水稻孕穗期障碍型冷害在 1990s 发生频率最低,2000s 发生频率最高,1970s 和 1980s 居中。水稻抽穗期障碍型冷害 1970s 和 1980s 发生频率高,1990s 和 2000s 发生频率低。方修琦等人 2005 年研究表明,黑龙江省水稻孕穗期、花期障碍型冷害发生频率 1970s 和 1980s 均高于 1990s^[17],与本研究结论较一致。

(2) 黑龙江省水稻孕穗期障碍型冷害发生范围较广的年份有 1971、1986、1990、1991、2001、2006 和 2009 年,此结论与姜丽霞等人^[20] 的研究结论基本一致;抽穗期障碍型冷害发生范围较广的年份有 1971、1972、1977、1981、1990、1992 和 2012 年。

(3) 在研究时段内,抽穗期障碍型冷害较孕穗期障碍型冷害更为严重发生。

(4) 气候变暖为黑龙江省种植长生育期水稻品种提供了有利条件,各熟型品种适宜种植北界在不断变化中逐渐北移东扩。极早熟、早熟和中熟品种适宜种植范围在波动中缩小,分别从 1970s 的 6、25 和 38 个县(市)缩小至 2000s 的 1、4 和 27 个县(市),中晚熟和晚熟品种可种植范围快速扩大,分别从 1970s 的 1 和 0 个县(市)增至 15 和 23 个县(市)。这一研究结论与赵俊芳等人对东北玉米的研究结果比较相似^[26]。

(5) 随着种植格局的不断变化,各熟型水稻品种适宜种植区内障碍型冷害发生频率变化规律较一致,1990s 发生频率最低,2000s 发生频率最高。虽然气候变暖,但是随着种植格局改变水稻生产遭受障碍型冷害的风险并未减小,因此水稻种植格局必须与气候变化相适应,减少障碍型冷害对水稻产量造成的影响。

所得结论可为水稻生产规避障碍型冷害提供科学指导,对黑龙江省水稻播种品种选择具有重要指导意义。但是,水稻在生长发育过程中,除时常遭受障碍型冷害外,延迟型冷害或混合型冷害同样严重影响水稻产量。目前对延迟型冷害及混合型冷害的研究相对薄弱,因此在今后研究中,需综合考虑障碍型冷害与延迟型冷害对水稻生产的影响,提出更加合理的水稻生产格局,进一步提高对水稻生产指导的科学性和实用性。

参考文献 (References):

- [1] 黑龙江省统计局,国家统计局黑龙江调查总队. 黑龙江统计年鉴-2013. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴-2010. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [3] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴-2011. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [4] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴-2012. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [5] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴-2013. 北京: 中国统计出版社, 2013.

表 4 黑龙江省不同熟型水稻障碍型冷害发生频率(%)

Table 4 Frequency of sterile-type cooling injury for each maturing-type of rice during each decade in Heilongjiang province(%)

品种熟型 Maturing-type	1970s	1980s	1990s	2000s
极早熟 Especial-early-maturing	45	47	33	42
早熟 Early-maturing	28	29	23	31
中熟 Middle-maturing	17	21	14	24
中晚熟 Middle-late-maturing	0	6	1	17
晚熟 Late-maturing	-	-	3	13

- [6] IPCC. Summary for policymakers // Climate Change 2007: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 195-199.
- [7] 袭祝香, 马树庆, 王琪. 东北区低温冷害风险评估及区划. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 98-102.
- [8] 赵俊芳, 延晓冬, 贾根锁. 东北森林净第一性生产力与碳收支对气候变化的响应. 生态学报, 2008, 28(1): 92-102.
- [9] 高永刚, 温秀卿, 顾红, 姬菊芝. 黑龙江省气候变化趋势对自然植被第一性净生产力的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(6): 171-178.
- [10] 方修琦, 盛静芬. 从黑龙江省水稻种植面积的时空变化看人类对气候变化影响的适应. 自然资源学报, 2000, 15(3): 213-217.
- [11] 刘桃菊, 殷新佑, 戚昌瀚, 唐建军, 陈美球. 气候变化与水稻生长发育及产量形成关系的模拟研究. 应用生态学报, 2005, 16(3): 486-490.
- [12] 罗群英, 林而达. 区域气候变化情景下气候变率对我国水稻产量影响的模拟研究. 生态学报, 1999, 19(4): 557-559.
- [13] 张宇, 王馥棠. 气候变暖对我国水稻生产可能影响的数值模拟试验研究. 应用气象学报, 1995, 6(增刊): 19-25.
- [14] 刘晓菲, 张朝, 帅嘉冰, 王品, 史文娇, 陈一, 陶福禄. 黑龙江省冷害对水稻产量的影响. 地理学报, 2012, 67(9): 1223-1232.
- [15] 方修琦, 王媛, 徐钹, 云雅如. 近 20 年气候变暖对黑龙江省水稻增产的贡献. 地理学报, 2004, 59(6): 820-828.
- [16] 邓振镛, 王强, 张强, 倾继祖, 杨启国, 袁志鹏, 刘文婧, 徐金芳. 中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施. 生态学报, 2010, 30(22): 6278-6288.
- [17] 方修琦, 王媛, 朱晓禧. 气候变暖的适应行为与黑龙江省夏季低温冷害的变化. 地理研究, 2005, 24(5): 664-672.
- [18] 郭晓丽, 王立刚, 邱建军, 李金华, 祝必琴, 肖金香, 高懋芳. 基于 GIS 的东北地区水稻低温冷害区划研究. 江西农业大学学报, 2009, 31(3): 494-498.
- [19] 矫江, 许显滨, 孟英. 黑龙江省水稻低温冷害及对策研究. 中国农业气象, 2004, 25(2): 26-28.
- [20] 姜丽霞, 李帅, 闫平, 纪仰慧, 朱海霞, 王萍, 郭建平. 黑龙江水稻孕穗期障碍型冷害及其对产量的影响. 中国农业气象, 2009, 30(3): 463-468.
- [21] 王绍武, 马树庆, 陈莉, 王琪, 黄建斌. 低温冷害. 北京: 气象出版社, 2009.
- [22] Hopkins A D. Periodic events and natural laws as guides to agricultural research and practice. U. S. Dept. Agr. Monthly Weather Rev, 1918, 9 (Suppl): 10-12.
- [23] 霍治国, 马树庆, 柏秦凤, 贺楠. QX/T 101-2009 水稻、玉米冷害等级. 北京: 气象出版社, 2009.
- [24] 南瑞, 高永刚, 闫平, 韩俊杰. 黑龙江省水稻主栽品种热量指标鉴定及应用. 黑龙江气象, 2005, (4): 18-20.
- [25] 曲曼丽. 农业气候实习指导: 农业气候分析方法 30 例. 北京: 北京农业大学出版社, 1991.
- [26] 赵俊芳, 杨晓光, 刘志娟. 气候变暖对东北三省春玉米严重低温冷害及种植布局的影响. 生态学报, 2009, 29(12): 6544-6551.