

黑龙江水稻冷害 Ⅴ 冷害的空间分布规律

姜丽霞¹, 李 帅¹, 闫 平¹, 纪仰慧¹, 王 铭¹, 宫丽娟¹, 王秋京¹, 朱海霞¹, 王连敏²

(1. 黑龙江省气象科学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要: 基于黑龙江省稻作区 1961~2006 年每年 7 月 10 日~8 月 10 日逐日平均气温、5~9 月逐月平均气温资料, 采用气候统计方法, 分析了延迟型冷害和障碍型冷害发生的规律和空间变化特征。结果表明: 1961~2006 年间, 在黑龙江省稻作区, 延迟型冷害发生频率由北向南减少, 北部地区为延迟型冷害最易发生的地区, 牡丹江半山区为延迟型冷害较易发生的地区, 三江平原地区为延迟型冷害易发生的地区, 松嫩平原地区为延迟型冷害轻发生地区。黑龙江省北部稻作区、东部稻作区和中部稻作区为障碍型冷害重发区, 南部稻作区为中等发生区, 西部稻作区为轻发区。

关键词: 延迟型冷害; 障碍型冷害; 空间特征; 黑龙江省

中图分类号: S511 文献标识码: A 文章编号: 1002-2767(2009)06-0012-04

Rice Cooling Injury In Heilongjiang Province Ⅴ Spatial Distribution of Chilling Injury

JIANG Li-xia¹, LI Shuai¹, YAN Ping¹, JI Yang-hui¹, WANG Ming¹, GONG Li-juan¹, WANG Qiu-jing¹, ZHU Hai-xia¹, WANG Lian-min²

(1. Heilongjiang Province Institute of Meteorological Science, Harbin, Heilongjiang 150030; 2. Crop Tillage and Cultivation Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences Harbin Heilongjiang 150030)

Abstract: Based on the average daily temperature from July 10 to August 10, the monthly average temperature from May to September from rice planting area in Heilongjiang province during 1961 to 2006, by the use of statistical methods of climate analysis, spatial characteristics of delayed-type chilling injury and sterile-type chilling injury were analyzed under low air temperature of natural state. The results showed that frequency of delayed-type chilling injury reduced from north to south in rice planting area in Heilongjiang province from 1961 to 2006, the northern region was one of the areas which the delayed-type chilling injury occurred most frequently, the second area was Mudanjiang region, the third was Sanjiang Plain and the last was Songnen Plain areas. Frequency of sterile-type chilling injury was most in North, East and Middle, frequency of sterile-type chilling injury was less in South, and it was least in West.

Key words: delayed-type chilling injury; sterile-type chilling injury; spatial characteristics; Heilongjiang province

水稻是喜温作物, 热量条件是影响水稻产量高低的最关键的气候因素。低温冷害是影响黑龙江省水稻生产的主要气象灾害之一。低温冷害对水稻的主要影响表现在生长季温度低, 使水稻生长缓慢, 发育期延迟而在霜前不能正常成熟, 造成产量降低, 品质下降; 或者在生殖生长时期遭受短期异常低温, 使生殖器官生

理机能遭到破坏, 致使颖花不育, 籽粒空瘪, 产量降低。目前全球变暖已形成基本共识^[1], 近 20 a 黑龙江省大部分地区的气温保持正常略偏高的水平, 低温冷害出现的频率和强度确实较 20 世纪 50~70 年代明显降低^[2,3], 但 2002、2004 年夏季均发生了阶段性低温, 部分地区水稻形成冷害, 尤其 2002 年低温冷害使水稻平均减产 20%^[4,9], 由此可见, 气候变暖大背景下低温冷害的发生仍具有不确定性, 在未来任何年份发生的可能性依然存在, 并且对水稻产量影响较大。

国内外对水稻冷害进行了大量研究, 以产量损失评估、冷害防御、冷害机理、障碍型冷害最敏感阶段、障碍型冷害引起的不育性、模型研究、遥感监测等为

主^[5-13]。王连敏等^[14]通过低温处理试验发现粳稻结实率随低温强度的加大和持续时间的延长而降低。马树庆等^[15]研究了日冷积温及其与水稻空壳率的关系,建立了水稻在生殖生长关键期内因低温影响而导致空壳率及减产率评估、预测模式。迄今为止,黑龙江省基于自然气象观测数据对低温冷害发生规律、发生区域的系统研究仍然较少,因此,利用气候统计方法,基于气象观测数据计算冷害发生频率,分析冷害的空间分布规律和特征,为水稻种植结构调整和防灾减灾提供参考,这在保障黑龙江省粮食安全生产以及推进千亿斤粮食工程建设具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 资料及研究站点

利用的气象资料包括 1961~2006 年每年 7 月 10 日~8 月 10 日逐日平均气温、5~9 月逐月平均气温资料,均为黑龙江省气象局整编的气象数据。

黑龙江省北部大兴安岭地区基本无水稻种植,因此以黑河市以南水稻种植地区为主,分析延迟型冷害时,把水稻种植区域划分为北部地区、松嫩平原地区、三江平原地和牡丹江半山区,主要选取了北安、泰来、五常、佳木斯等气象站作为研究站点,所选取的站点均匀分布在稻作区,具有一定的代表性,能够较好地反映出稻作区的气候特征和生产特点(见表 1)。

表 1 延迟型冷害研究站点相关信息

划分区域	站点	纬度	经度	隶属行政区
北部地区	黑河	50°25′	127°45′	黑河市
	逊克	49°57′	128°47′	黑河市
	孙吴	49°43′	127°35′	黑河市
	北安	48°28′	126°52′	黑河市
	明水	47°18′	125°09′	绥化市
松嫩平原地区	讷河	48°48′	124°85′	齐齐哈尔市
	龙江	47°33′	123°18′	齐齐哈尔市
	泰来	46°40′	123°42′	齐齐哈尔市
	绥化	46°62′	126°97′	绥化市
	庆安	46°88′	127°48′	绥化市
	肇东	46°07′	125°97′	绥化市
	海伦	47°43′	126°97′	绥化市
	五常	44°90′	127°15′	哈尔滨市
	佳木斯	46°82′	130°28′	佳木斯市
	富锦	47°23′	131°98′	佳木斯市
三江平原地区	集贤	46°73′	131°12′	双鸭山市
	勃利	45°75′	130°58′	七台河市
	虎林	45°77′	132°97′	鸡西市
	密山	45°55′	131°87′	鸡西市
	宁安	44°33′	129°47′	牡丹江市
牡丹江半山区	穆棱	44°93′	130°55′	牡丹江市
	牡丹江	44°57′	129°06′	牡丹江市
	林口	45°27′	130°23′	牡丹江市

为了方便准确地分析水稻障碍型冷害易发区及其空间变化特征,主要选取了泰来、五常、佳木斯等气

象站作为研究站点,并将其划分为北部稻作区、西部稻作区、中部稻作区、南部稻作区和东部稻作区 5 个区域(见表 2)。

表 2 障碍型冷害研究站点相关信息

划分区域	站点	纬度	经度	隶属行政区
北部稻作区	讷河	48°48′	124°85′	齐齐哈尔市
	海伦	47°43′	126°97′	绥化市
西部稻作区	龙江	47°33′	123°18′	齐齐哈尔
	泰来	46°40′	123°42′	齐齐哈尔
东部稻作区	佳木斯	46°82′	130°28′	佳木斯市
	富锦	47°23′	131°98′	佳木斯市
	密山	45°55′	131°87′	鸡西市
	宁安	44°33′	129°47′	牡丹江市
中部稻作区	绥化	46°62′	126°97′	绥化市
	庆安	46°88′	127°48′	绥化市
南部稻作区	肇东	46°07′	125°97′	绥化市
	五常	44°90′	127°15′	哈尔滨市

1.2 低温冷害指标及计算方法

参照已有的研究成果^[16-18],以 1961~2006 年 5~9 月的月平均温度和的距平作为延迟型冷害指标,以 7~8 月内连续 3 d 以上日均气温≤18℃为判定障碍型冷害的指标。

低温冷害对农业生产的危害较为严重,许多专家开展了大量的相关研究,在低温冷害判定指标上有多种方法^[16,19-21]。研究表明,粮食产量与生长季 5~9 月的月平均温度和呈高度正相关,因此,可将 5~9 月的月平均温度和的距平(ΔT₅₋₉)作为低温冷害指标。在黑龙江省,南北跨越约 10 个纬度,各地海拔高度相差较大,热量条件明显不同,因此采用如下公式判定延迟型低温冷害^[18]:

$$CDY = \Delta T_{5-9} + 8.6116 - 0.1482(X + 0.0109H) \tag{1}$$

$$CDW = \Delta T_{5-9} + 18.3029 - 0.3270(X + 0.0109H) \tag{2}$$

式中 X 为纬度(°);H 为海拔高度(m),CDY 和 CDW 分别为一般低温冷害临界指标值和严重低温冷害临界指标值,当 CDY≤0 时,则出现一般低温冷害,当 CDW≤0 时,则出现严重低温冷害。发生延迟型冷害的年数与资料序列总年数的比值即为延迟型冷害发生频率。

根据障碍型冷害判定指标,采用气候统计方法,对研究区 1961~2006 年 7~8 月日均气温进行统计处理,计算障碍型冷害期间平均温度。对研究站点障碍型冷害发生频率进行分年代(20 世纪 60 年代、70 年代、80 年代、90 年代和 21 世纪初)统计,可用公式表示:

$$P_{i,n} = \sum_{i=1}^m (Y_{i,n}) / m \tag{3}$$

式中, P_{i,n} 为第 i 年代第 n 研究站点障碍型冷害发生频率(%),当某年 7~8 月出现日均气温连续 3 d≤18℃的天气, Y_{i,n}=1;未出现 Y_{i,n}=0, m 为 10 或 6。

2 结果与分析

2.1 延迟型低温冷害空间分布

利用(1)和(2)式计算研究站点 1961~2006 年一般低温冷害指示值和严重低温冷害指示值。由计算结果可以看出,1961~2006 年研究区出现低温冷害的年份在 11~20 a,其中严重低温冷害的年份在 7~17 a,各地区发生低温冷害的平均年数分别为:北部地区 18 a、松嫩平原 15 a、三江平原 15 a、牡丹江半山区 16 a。1964、1969、1971、1972、1976、1981、1983 年是严重低温冷害的典型年份,表 3 数据为研究站点 7 a 的 CDW 值,CDW≤0 表示出现严重低温冷害,由表 3 可见,7 a 各研究站点的 CDW 值基本都小于零,说明出现的低温冷害为全省性,7 a 当中以 1969 年和 1972 年最严重,多数站点 CDW 值在-3.00~-8.12,并且可以看出在相同年份内,CDW 值大致呈北小南大、东小西大的趋势,其中牡丹江半山区 CDW 值小于松嫩平原和三江平原的 CDW 值,可以初步说明北部比南部易发生冷害,东部比西部易发生冷害,牡丹江半山区比平原地区易发生冷害。研究区域各站点均未出现低温冷害的年份共计 15 a。

将发生延迟型冷害的年数与资料序列总年数进行比值即得延迟型冷害发生频率,计算结果显示,近 46 a 间研究站点冷害频率分布在 23.9%~43.5%,并呈现由北向南和随海拔高度降低而减少趋势。

表 3 研究站点典型冷害年份 CDW 值

站点	1964	1969	1971	1972	1976	1981	1983
逊克	-7.51	-6.31	-1.41	-7.81	-3.41	-4.71	-2.41
黑河	-5.32	-6.02	0.28	-8.12	-3.42	-4.52	-2.92
孙吴	-6.60	-6.20	-2.20	-6.50	-5.30	-3.60	-2.30
北安	-3.42	-5.22	-1.02	-6.02	-2.42	-3.32	-2.22
龙江	-0.66	-2.76	-0.86	-4.66	-2.06	-0.56	-2.06
讷河	-2.07	-4.57	-0.97	-6.67	-2.37	-2.37	-3.57
明水	-3.62	-5.72	-1.52	-5.72	-1.32	-1.42	-2.82
海伦	-1.93	-4.03	-0.93	-6.23	-2.23	-2.13	-2.63
泰来	-0.18	-4.58	-0.48	-2.98	-0.88	0.72	-2.18
绥化	-1.92	-4.42	-1.92	-5.22	-1.82	-0.92	-1.32
庆安	-1.73	-4.33	-1.73	-5.43	-2.33	-1.93	-1.93
肇东	-0.82	-2.22	-2.12	-4.32	-0.72	-0.62	-1.62
五常	-0.08	-6.28	-2.28	-4.88	-2.18	-1.28	-0.18
富锦	-4.72	-6.12	-4.42	-2.82	-1.62	-2.92	-2.02
佳木斯	-4.24	-5.44	-4.04	-2.54	-0.34	-3.04	-1.24
集贤	-4.09	-4.99	-4.19	-2.19	0.21	-3.79	-2.09
勃利	-1.64	-5.24	-3.94	-2.84	0.26	-2.54	-2.24
密山	-0.30	-4.00	-3.80	-1.90	0.40	-1.60	-2.10
虎林	-2.91	-4.91	-4.31	-2.11	0.39	-1.91	-1.31
穆棱	-1.81	-4.51	-4.41	-4.01	-3.51	-0.31	-1.01
林口	-1.25	-4.05	-3.45	-3.75	-2.55	-1.15	-0.85
牡丹江	-2.90	-5.30	-3.00	-3.00	-1.80	0.20	-2.80
宁安	1.35	-3.65	-2.25	-2.25	-0.95	0.25	-0.35

注:集贤县 1976 年 CDW>0,说明未出现严重低温冷害,但其 CDY=-0.92<0,说明出现一般低温冷害,其它站点均相同。

总之,黑龙江省北部地区纬度高、海拔高、热量资源少,发生低温冷害频率在 35%以上,是延迟型冷害最易发生的地区;牡丹江半山区纬度低,但海拔高,生长季温度一般,发生低温冷害频率在 30%~36%,也属于延迟型冷害较易发生地区。三江平原地区基本处于第三农业积温带,生长季温度条件好于北部地区,低温冷害频率在 23%~36%,是延迟型冷害易发生的地区;松嫩平原地区生长季温度条件略好于三江平原地区,该区发生低温冷害频率在 28%~34%,与其它地区相比,低温冷害发生较少,尤其松嫩平原南部地区,是延迟型冷害轻发生地区。从平均结果看,黑龙江省北部地区低温冷害频率最大,松嫩平原最小,牡丹江半山区和三江平原的冷害频率介于二者之间,牡丹江半山区略多于三江平原地区。

从统计结果还可以看出,尽管不同地区之间发生频率有区别,但差距并不十分显著,说明延迟型冷害发生具有普遍性。另外,局部地区的小气候条件对水稻低温冷害也有影响,如地形和地势等。

2.2 障碍型冷害空间分布

利用 1961~2006 年 7 月 10 日~8 月 10 日逐日平均气温资料,统计分析黑龙江省主要稻作区的障碍型冷害发生情况。结果表明,近 46 a 间,研究区共有 17 a 出现障碍型冷害(1963、1964、1965、1970、1971、1977、1981、1982、1983、1984、1985、1986、1989、1990、2002、2004、2006 年),占总年数的 40%。障碍型冷害持续时间大多为 3~8 d,低温期间平均温度在 13.4~17.8℃,典型冷害年即范围大、低温持续时间长,低温期间平均温度较低的年份包括 1964、1965、1971、1977、1990 年,这些年份障碍型冷害持续时间在 4 d 以上,低温期间平均温度低于 17.4℃。

统计各稻作区 46 a 障碍型冷害发生的年数可以看出,5 个稻作区各年代以及整个 46 a 间,障碍型冷害发生的年数由多到少的顺序基本为北部>中部>东部>南部>西部,北部发生最多,46 a 发生 9.5 a,西部发生最少,发生 2.5 a(见表 4)。

表 4 近 46 a 黑龙江省稻作区障碍型冷害发生年数

年代	南部	西部	中部	北部	东部
20 世纪 60	1.5	1.5	2.0	2.5	1.5
20 世纪 70	0.5	0	2.0	1.0	1.5
20 世纪 80	0.5	0.5	1.5	4.0	2.5
20 世纪 90	0	0	0	0	0
21 世纪初	1.5	0.5	2.0	2.0	1.0
合计	4.0	2.5	7.5	9.5	6.5

从空间分布上看,研究区各区域障碍型冷害每 10 a 发生频率呈现由北向南、由中部向东部和西部减少的趋势,由图 1 可以看出,20 世纪 60 年代、70 年代、80 年代、90 年代以及 21 世纪初,各区域障碍型冷害发生均

表现为此种趋势。其中,20世纪60年代,障碍型冷害的发生北部最多,中部次之,南部、西部、东部较少;20世纪70年代,中部最高,西部最少;20世纪80年代,北部最高,西部和南部最少;20世纪90年代,研究区未发生障碍型冷害;21世纪初,北部和中部最多,西部最少(见图1)。

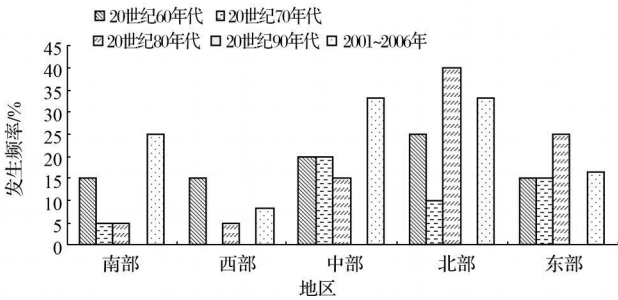


图1 20世纪至21世纪初障碍型冷害发生频率

综上所述,黑龙江省稻作区障碍型冷害的发生无明显规律,在空间分布上,黑龙江省稻作区障碍型冷害发生频率北部多于南部、东部多于西部,其中北部最多,西部最少。换言之,黑龙江省水稻障碍型冷害北部和东部为易发区,其它地区次之。

3 结论与讨论

1961~2006年间,黑龙江省低温冷害发生频率由北向南减少,北部地区发生低温冷害频率在35%以上,是延迟型冷害最易发生的地区;牡丹江半山区为延迟型冷害较易发生的地区;三江平原地区为延迟型冷害易发生的地区;松嫩平原地区发生低温冷害频率较小,低温冷害发生较少,尤其松嫩平原南部地区,是延迟型冷害轻发地区。

近46a间,黑龙江省稻作区研究站点共有17a出现障碍型冷害,其中1964、1965、1971、1977、1990年是障碍型冷害发生较重年份。黑龙江省稻作区障碍型冷害发生频率呈现由北向南、由中部向东部和西部减少的趋势,北部障碍型冷害发生最多,西部最少。

20世纪80年代开始,盛夏障碍型冷害的发生减少,印证了从该时期以来气候变暖显著的事实,但2002、2004、2006年仍出现了障碍型冷害,说明在气候变暖的大趋势下,并不能排除未来个别年份仍将发生低温冷害的可能。因此,气候变暖虽导致总热量增加,但并不能确定热量资源的分配、分布和变化一定向有利于作物生长的方向发展,夏季低温冷害频繁发生的可能性仍然很大。

从以上延迟型冷害和障碍型冷害的变化特征和易发区域来看,低温冷害仍是影响黑龙江省水稻安全生产的主要灾害,在科学调整水稻种植结构、合理利用热量资源中应给予重要考虑,并且其对水稻实际产量的量化影响值得深入研究。

参考文献:

[1] 王绍武,龚道溢.对气候变暖问题争议的分析[J].地理研究,2001,20(2):153-160.

[2] 农业气候资源开发利用与农作物品种布局调整课题组.热量资源变化与农作物合理利用热量的研究[J].黑龙江气象,2000(1):17-18.

[3] 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[J].地理研究,2005,24(5):664-672.

[4] 姜丽霞,申双和,杜春英等.黑龙江省气候资源与灾害评价分析系统[J].南京气象学院学报,2004,27(1):121-127.

[5] 徐希德.低温冷害对黑龙江省水稻的影响及其防御对策[J].中国农学通报,2003,19(5):135-136.

[6] 矫江,许显滨,孟英.黑龙江省水稻低温冷害及对策研究[J].中国农业气象,2003,25(2):26-27.

[7] 赵洪凯.三江平原水稻低温冷害类型研究[J].中国农业气象,1996,17(4):41-46.

[8] 佟超,丁善友.黑龙江省水稻低温冷害的早期诊断及防御措施[J].垦殖与稻作,2006(3):36-38.

[9] 孟昭河,王玉菊,孙中胜等.水稻障碍型冷害及灌溉技术研究现状[J].中国农学通报,2005,21(6):197-201.

[10] Tokita H, Sasaki J, Itou O. Relation between sterility due to cool-summer damage and standing crop of rice[Oryza sativa] plant in 1993[J]. Tohoku Journal of Crop Science, 1995, 38: 13-14.

[11] 王连敏,李茜,于智深等.水稻障碍型冷害机理的研究(花粉不育原因初探)[J].黑龙江农业科学,1989(1):23-27.

[12] Hiroyuki S, Toshihiro H, Masahisa M. Modeling Spikelet Sterility Induced by Low Temperature in Rice[J]. Agronomy Journal, 2005, 97(6):1524-1536.

[13] 王连喜,秦其明,张晓煜.水稻低温冷害遥感监测技术与方法进展[J].气象,2003,29(10):3-7.

[14] 王连敏,王立志,王春艳等.花期低温对寒地水稻颖花结实的影响[J].自然灾害学报,2004,13(2):92-95.

[15] 马树庆,王琪,沈享文等.水稻障碍型冷害损失评估及预测动态模型研究[J].气象学报,2003,61(4):507-512.

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

[17] 薛桂莉,唐文俊,刘治权等.低温冷害对农作物的危害及防御措施[J].农业与技术,2004,24(1):85-92.

[18] 王春乙,郭建平.农作物低温冷害综合防御技术研究[M].北京:气象出版社,1999:9-15.

[19] 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):26-28.

[20] 刘布春,王石立,庄立伟等.基于东北玉米区域动力模型的低温冷害预报应用研究[J].应用气象学报,2003,14(5):616-625.

[21] 姜丽霞,闫平,王萍等.黑龙江省影响水稻安全生产的气象要素[J].自然灾害学报,2006(3):46-51.

