

# 黑龙江不同积温带水稻品种对不同时段低温冷害的适应性研究

张巍巍 柴永山\* 孙玉友 魏才强 李洪亮 解忠 刘丹 程杜鹃

(黑龙江省农业科学院牡丹江分院, 黑龙江 牡丹江 157041; 第一作者: wwzhang-ok@163.com; \* 通讯作者)

**摘 要:**以覆盖黑龙江省三个积温带的 123 个水稻品种(品系)为试材, 将 6 月 30 日-7 月 29 日每 10 天为 1 段分 3 个时段对水稻进行低温处理, 以研究冷害发生规律。结果发现, 水稻在 6 月 30 日-7 月 19 日受低温易发生延迟型冷害, 7 月 10 日-7 月 19 日受低温易发生障碍型冷害, 证实了低温对水稻冷害的时段效应; 第一积温带水稻在 7 月 10 日-7 月 19 日受低温易发生延迟型冷害, 第一积温带水稻在 6 月 30 日-7 月 9 日受低温易发生障碍型冷害, 第二、三积温带水稻在 6 月 30 日-7 月 19 日受低温易发生延迟型冷害, 第二、三积温带水稻在 7 月 10 日-7 月 19 日受低温易发生障碍型冷害, 体现了水稻应对低温的生态区效应。这对黑龙江省抗寒水稻品种的选育以及抗寒措施的提出具有指导意义。

**关键词:**水稻; 低温; 抽穗期; 结实率; 延迟型冷害; 障碍型冷害

**中图分类号:**S511 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2016)05-0038-04

黑龙江省是我国重要的稻谷供应基地<sup>[1-2]</sup>。黑龙江地处寒冷地带, 分为 6 个积温区划带, 以种植早熟粳型水稻为主。在全球气温变暖的趋势下, 黑龙江省平均气温亦逐渐提高, 但众多资料显示不同年代的平均气温异常各有其特点<sup>[3]</sup>, 年际间的积温波动幅度并未减小<sup>[4]</sup>。在东北地区, 黑龙江省水稻低温冷害出现小灾和轻灾年份较吉林和辽宁多<sup>[5]</sup>。全球气温变暖过程中, 黑龙江省第一和第二积温带积温升幅最大, 黑河地区到大兴安岭积温等值线已达 2 100℃, 证实黑龙江省北部较寒冷地区也可以种植水稻<sup>[6]</sup>, 而低温冷害的影响随着纬度的升高也不断增大<sup>[7]</sup>。水稻延迟型轻度和中度冷害以 2 年和 9 年左右周期振荡, 严重冷害以 21 年左右周期振荡<sup>[8]</sup>。黑龙江水稻孕穗期障碍型冷害多发趋势将维持到 2016 年前后<sup>[9]</sup>。众多专家<sup>[10-11]</sup>从气候多年变化角度证实了黑龙江省水稻低温冷害的问题仍然存在, 并且全球气候变暖造成黑龙江省农业热量资源和水稻生产呈现出许多新的特征, 而与之相适应的低温与冷害之间的新规律并未被发现。有学者通过分子生物学、植物生理学、遗传生物学分析了水稻冷害的生理基础、遗传机理、鉴定方法及预防措施等<sup>[12-15]</sup>, 而将黑龙江省同一生长季节内不同时段低温与不同积温带品种联系起来研究的较少。本文以此为切入点, 首次提出了水稻与低温之间的时段效应和生态区效应, 试验材料覆盖黑龙江省 3 个积温带, 具有针对性和广泛性, 试验数据结果可靠, 能为水稻冷害诊断、监测预警、抗冷品种选育、抗寒

栽培技术的研究等提供重要的理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为黑龙江省农业科学院牡丹江分院水稻育种研究所 2009-2010 年育成的稳定水稻品系 117 个, 以及黑龙江省第一、二、三积温带 6 个对照水稻品种, 以抽穗期在 7 月 20 日-7 月 26 日、7 月 27 日-8 月 1 日和 8 月 1 日-8 月 6 日界定各积温带品种, 第一、二、三积温带品种(品系)个数分别为 34 个、54 个和 33 个, 所有品种(品系)结实率均在 80%以上。

### 1.2 试验设计

试验在牡丹江分院水稻育种研究所进行, 采用裂区设计, 主区为冷水灌溉(12℃恒温)时段, 副区为 123 个水稻品种(品系)。设 4 个处理: 6 月 30 日-7 月 9 日(A1)、7 月 10 日-7 月 19 日(A2)、7 月 20 日-7 月 29 日(A3), 保持水温在 18℃左右, 以及正常灌溉(A4)。2 次重复, 筑水泥池隔开各主区和副区。4 月 15 日播种, 5 月 25 日插秧, 每个品种 8 丛, 插秧规格 25 cm×15 cm, 纯 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 施用量分别为 120 kg/hm<sup>2</sup>、80 kg/hm<sup>2</sup>。

### 1.3 调查项目和方法

抽穗期: 以水稻品种(品系)抽出穗 50%当天定为

收稿日期: 2016-06-18

基金项目: 国家科技成果转化项目(2011GB2B200001)

表 1 不同时段低温处理水稻品种抽穗期延迟出现概率 (%)

积温带	低温处理	抽穗期延迟天数(d)																
		17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
第一积温带	A1	0	3.6	3.6	0	10.7	10.7	14.3	3.6	17.9	7.1	0	7.1	0	0	7.1	7.1	7.1
	A2	0	3.6	0	10.7	10.7	14.3	10.7	10.7	14.3	3.6	7.1	7.1	0	0	0	0	3.6
	A3	0	0	0	0	3.6	0	7.1	3.6	14.3	7.1	7.1	0	3.6	14.3	3.6	3.6	7.1
第二积温带	A1	0	0	0	5.4	5.4	3.6	8.9	5.4	1.8	5.4	12.5	8.9	7.1	8.9	7.1	8.9	5.4
	A2	0	0	5.4	5.4	8.9	5.4	12.5	0	5.4	5.4	7.1	10.7	8.9	8.9	3.6	1.8	1.8
	A3	0	0	0	0	1.8	0	0	0	0	1.8	7.1	5.4	5.4	10.7	8.9	19.6	5.4
第三积温带	A1	2.9	5.7	0	0	0	2.9	8.6	5.7	11.4	11.4	14.3	14.3	17.1	5.7	0	0	0
	A2	2.9	2.9	0	0	0	0	2.9	14.3	8.6	5.7	11.4	0	8.6	14.3	5.7	11.4	8.6
	A3	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	2.9	0	8.6	2.9	0	14.3	28.6	11.4

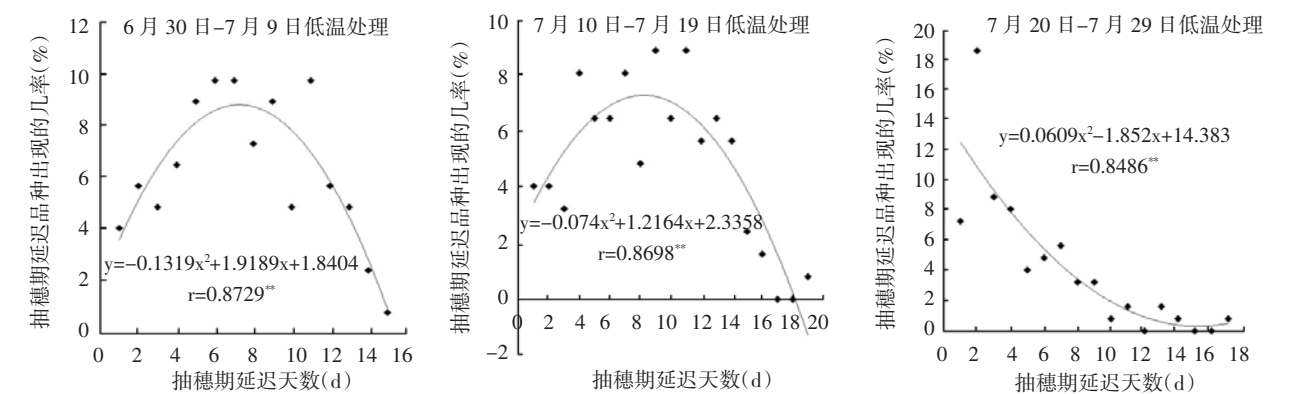


图 1 抽穗期不同延迟天数出现的概率

抽穗期,每 2 d 调查 1 次。结实率:成熟期每处理选择具有代表性的 20 穗调查结实率。  
采用 Excel 2003 及 DPSv 7.05 软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 水稻延迟型冷害的时段效应

图 1 显示,水稻在 6 月 30 日-7 月 9 日和 7 月 10 日-7 月 19 日两阶段受低温后,抽穗期延迟天数与该延迟天数对应品种出现概率呈极显著抛物线关系,两阶段低温处理水稻抽穗期延迟天数多集中在 8 d 左右;而在 7 月 20 日-7 月 29 日低温处理水稻后,抽穗期延迟天数与品种出现概率呈极显著的负相关,水稻抽穗期延迟的品种多在 2 d 左右。据统计,供试品系在 6 月 30 日-7 月 9 日、7 月 10 日-7 月 19 日、7 月 20 日-7 月 29 日三阶段进行低温处理,抽穗期延迟的品种分别占参试品种总数的 97.6%、92.7%、69.9%,从水稻发生延迟型冷害的天数和延迟品种出现概率看,水稻在 6 月 30 日-7 月 19 日受低温易发生延迟型冷害,7 月 20 日-7 月 29 日受低温不易发生延迟型冷害,体现了低温对水稻延迟型冷害的时段效应。

2.2 水稻延迟型冷害的生态区效应

从表 1 可以看出,不同积温带水稻品种在同一阶段受低温抽穗期延迟天数差别较大,第三积温带水稻在 6 月 30 日-7 月 9 日受低温抽穗期延迟天数集中在 5~9 d,延迟 5 d 的品种最多,占该积温带品种的 17.1%,而第二和第一积温带水稻品种在此期低温抽穗期延迟天数比较分散,延迟 7 d 和 9 d 的品种较多;第三积温带水稻品种在 7 月 10 日-7 月 19 日受低温抽穗期延迟天数较上一时段低温延迟天数有所减少,出现了抽穗期延迟 1~3 d 的品种,第二积温带水稻品种在此期抽穗期延迟天数更加分散,第一积温带水稻品种延迟天数较上一阶段集中,延迟天数变长,大部分延迟 9~14 d。第二和第三积温带水稻品种在 7 月 20 日-7 月 29 日低温处理抽穗期延迟天数明显减少,大部分延迟 2 d,分别占该积温带品种的 19.6%和 28.6%,而第一积温带水稻品种延迟天数分散,主要集中在 4 d 和 9 d,各占 14.3%。从不同积温带水稻品种抽穗期延迟天数和出现概率证实了水稻延迟型冷害的生态区效应。

2.3 抗延迟型冷害品种的发现

通过此次试验发现,有 2 个品系在三段低温处理

表 2 低温下水稻不同范围实粒率出现概率 (%)

低温处理	实粒率范围								
	10%~20%	20%~30%	30%~40%	40%~50%	50%~60%	60%~70%	70%~80%	80%~90%	90%~100%
A1	0	1.7	5.0	11.7	7.5	12.5	24.2	29.2	8.3
A2	4.0	4.8	9.7	13.7	26.6	16.1	16.9	7.3	0.8
A3	0	0	1.6	1.6	1.6	6.5	16.9	29.8	41.9

表 3 不同时段低温处理下水稻结实率变化情况 (%)

积温带	低温处理	实粒率范围								
		10%~20%	20%~30%	30%~40%	40%~50%	50%~60%	60%~70%	70%~80%	80%~90%	90%~100%
第一积温带	A1	0	6.7	13.3	23.3	10.0	3.3	23.3	20	0
	A2	0	3.3	3.3	6.7	26.7	13.3	26.7	16.7	3.3
	A3	0	0	5.0	5.0	5.0	10.0	20.0	35.0	20.0
第二积温带	A1	0	0	0	5.6	1.9	9.3	27.8	44.4	11.1
	A2	3.6	5.4	8.9	19.6	25.0	12.5	21.4	3.6	0
	A3	0	0	1.5	0	1.5	9.2	20.0	30.8	36.9
第三积温带	A1	0	0	0	12.5	15.6	25.0	18.8	15.6	12.5
	A2	5.9	5.9	17.6	11.8	29.4	23.5	0	5.9	0
	A3	0	0	0	0	0	0	11.8	23.5	64.7

下抽穗期均未延迟,其中有 1 个品系在第二和第三阶段低温处理后抽穗期分别提前 5 d 和 7 d,这可能是低温迟钝型品系;还有 6 个水稻品系在第三阶段受低温处理,抽穗期分别提前 4~7 d,其原因有待进一步研究。

2.4 水稻障碍型冷害的时段效应

从表 2 可见,6 月 30 日-7 月 9 日低温处理水稻实粒率在 70%~90%之间的品种数占总品种(品系)数的 53.4%,此时段低温对水稻实粒率影响较大;7 月 10 日-7 月 19 日低温处理实粒率大部分集中在 50%~60%,占总品种(品系)数的 26.6%,此时段低温对水稻障碍型冷害影响最大;7 月 20 日-7 月 29 日低温处理实粒率在 80%以上的品种占总品种(品系)的 71.7%,对实粒率影响最小,体现了低温对水稻障碍型冷害的时段效应。

2.5 水稻障碍型冷害的生态区效应

从表 3 可以看出,第三、第二积温带品种在 7 月 10 日-7 月 19 日受低温实粒率下降最多;第一积温带品种在 6 月 30 日-7 月 9 日受低温实粒率下降较多,实粒率 40%~50%的品种占该积温带品种的 23.3%,体现了水稻品种应对障碍型冷害的生态区效应。通过此次试验共筛选出抗障碍型冷害水稻 16 个,这些品种在任何时段遇低温实粒率均在 70%以上。

3 小结与讨论

低温冷害是东北三省主要农业气象灾害之一,分为延迟型冷害和障碍型冷害,本文将水稻重要生育时

期分为 3 个时段,通过分析抽穗期的延迟天数、抽穗期延迟品种出现概率、实粒率下降情况、实粒率下降品种出现概率等,阐述不同时段低温与水稻延迟型冷害和障碍型冷害之间的关系,与以往研究角度不同<sup>[6]</sup>。

研究结果显示,水稻在 6 月 30 日-7 月 9 日和 7 月 10 日-7 月 19 日两时段受低温易发生延迟型冷害,不同时段低温发生障碍型冷害程度为 7 月 10 日-7 月 19 日>6 月 30 日-7 月 9 日>7 月 20 日-7 月 29 日,体现了低温对水稻延迟型冷害和障碍型冷害的时段效应。但有资料显示,7 月 10 日-8 月 10 日为水稻障碍型冷害温度的敏感时期<sup>[7]</sup>,本研究结果与之略有不同。

不同积温带品种有较为明显的低温敏感期,第一积温带品种在 7 月 10 日-7 月 19 日遇低温抽穗期延迟天数最多,在 7 月 20 日-7 月 29 日遇低温抽穗期延迟天数有所减少,但仍较其他积温带水稻抽穗期延迟天数多,第二、第三积温带品种在 6 月 30 日-7 月 19 日遇低温抽穗期延迟天数和出现概率较多。从低温对实粒率影响看,第二和第三积温带品种差别不大,都在 7 月 10 日-7 月 19 日遇低温实粒率下降较多,第一积温带品种在 6 月 30 日-7 月 9 日遇低温实粒率下降较其他积温带品种偏多,体现了水稻障碍型冷害的生态区效应。这与王连敏等<sup>[18]</sup>研究认为的水稻抽穗前 14~18 d 进入低温敏感期较为相似,不同之处在于本文用大量品系充分印证了水稻应对低温延迟型冷害的生态区效应,对于生产中不同积温带品种跨区引进种质资源生育期延迟情况估计更有指导意义。

本试验用实粒率来衡量水稻障碍型冷害程度,与以往研究认为的水稻在孕穗期遇低温易导致颖花不育,空壳率增加发生障碍型冷害不同<sup>[19-21]</sup>。而有研究证实,水稻在受低温后籽粒灌浆充实度下降<sup>[22-23]</sup>,故笔者利用空粒和瘪粒去除后饱满成粒的比例实粒率作为障碍型冷害指标,更能体现水稻在高产角度上的抗寒性,更具有实际意义。本试验中仅利用水稻抗寒性指标鉴定和筛选抗寒水稻品系,未结合穗数、穗粒数、千粒重等产量构成因素以及其他产量指标进行综合分析,在此方面还需进一步研究。

### 参考文献

- [1] 张德华, 姜厦, 刘慧萍. 黑龙江省粮食生产地位及潜在问题研究[J]. 农业现代化研究, 2014, 35(5): 525-530.
- [2] 虞国平, 陈惠哲, 鄂志国, 等. 黑龙江水稻生产发展及品种推广[J]. 中国稻米, 2010, 16(6): 69-71.
- [3] 顾红, 杜春英, 高永刚, 等. 黑龙江省近 48 年积温和降水的变化及其对作物种植带的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(34): 19602-19603.
- [4] 矫江, 许显斌, 卞景阳, 等. 气候变暖对黑龙江省水稻生产影响及对策研究[J]. 自然灾害学报, 2008, 6(3): 41-48.
- [5] 张海娜, 李晶, 吕志红, 等. 东北地区农业气象灾害定量评估[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(3): 24-28.
- [6] 李赢, 马世铭. 黑龙江省活动积温时空变化特征及其对水稻单产的影响[J]. 中国农业气象, 2015, 36(1): 9-16.
- [7] 马建勇, 许吟隆, 潘婕, 等. 东北地区农业气象灾害的趋势变化及其对粮食产量的影响[J]. 中国农业气象, 2012, 33(2): 283-288.
- [8] 宫丽娟, 李帅, 姜丽霞, 等. 1961-2010 年黑龙江省水稻延迟型冷害时空变化特征[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(1): 76-83.
- [9] 冯喜媛, 郭春明, 陈长胜, 等. 基于气象模型分析东北三省近 50 年水稻孕穗期障碍型低温冷害时空变化特征[J]. 中国农业气象, 2013, 34(4): 462-467.
- [10] 王连敏, 曾宪国, 王立志, 等. 黑龙江省水稻冷害[J]. 黑龙江农业科学, 2009, 16(1): 12-14.
- [11] 余会康, 郭建平. 气候变化下东北水稻冷害时空分布变化[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(5): 594-601.
- [12] 胡晓晨, 张婷, 杨圣, 等. 水稻冷胁迫响应基因 OsSADMC 功能标记的开发和利用[J]. 中国水稻科学, 2015, 29(5): 475-480.
- [13] 肖自友, 蒋建雄, 肖国樱, 等. 水稻孕穗期耐低温研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(13): 7 643-7 645.
- [14] 潘英华, 郑薇薇, 李金杰, 等. 水稻耐冷性鉴定及定位研究概况[J]. 中国农学通报, 2010, 26(17): 54-59.
- [15] 简水溶, 万勇, 罗向东, 等. 东乡野生稻苗期耐冷性的遗传分析[J]. 植物学报, 2011, 46(1): 21-27.
- [16] 崔迪, 杨春刚, 韩龙植, 等. 低温胁迫下粳稻选育品种耐冷性状的鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(5): 739-747.
- [17] 王彤彤, 王连敏. 我国寒地水稻障碍型冷害研究进展[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(4): 167-174.
- [18] 王连敏, 王立志, 王春艳, 等. 黑龙江省水稻冷害Ⅲ障碍型冷害敏感期的外部形态诊断[J]. 黑龙江农业科学, 2009, 16(3): 13-15.
- [19] 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, 2014, 20(5): 33-36.
- [20] 杨仕华, 余常水, 程本义. 孕穗期自然低温对籼型杂交水稻的影响分析[J]. 杂交水稻, 2003, 18(6): 51-54.
- [21] 李健陵, 霍治国, 吴丽姬, 等. 孕穗期低温对水稻产量的影响及其生理机制[J]. 中国水稻科学, 2014, 28(3): 277-288.
- [22] 龚金龙, 张洪程, 胡雅杰, 等. 灌浆结实期温度对水稻产量和品质形成的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(2): 482-491.
- [23] 贾琰, 沈阳, 邹德堂, 等. 孕穗期冷水灌溉对寒地粳稻籽粒灌浆及其氮素积累的影响[J]. 中国水稻科学, 2015, 29(3): 259-272.

## The Adaptability of Chilling Injury in Low Temperature at Different Times of Rice Varieties in Different Accumulated Temperature Zones in Heilongjiang

ZHANG Weiwei, CHAI Yongshan\*, SUN Yuyou, WEI Caiqiang, LI Hongliang, XIE Zhong, LIU Dan, CHENG Dujuan

(Mudanjiang Branch, Heilongjiang Academy of Agriculture Sciences, Mudanjiang, Heilongjiang 157041, China; 1st author: wwzhang-ok@163.com;

\*Corresponding author)

**Abstract:** The occurrence of chilling injury of rice were analyzed in this study, which based on ten days of three periods divided from June 30 to July 29, using 123 rice varieties from three accumulated temperature zones in Heilongjiang Province as materials. The results showed that rice prone to delay chilling injury during June 30 to July 19, and prone to sterile-type cold injury during July 10 to July 19, which confirm the time effect of low temperature chilling injury of rice. Further analysis showed that rice prone to delayed chilling injury during July 10 to July 19 in the first accumulated temperature zone, while happened during June 30 to July 19 in the second and third accumulated temperature zones. Rice prone to sterile-type cold injury during July 10 to July 19 in the second and third accumulated temperature zones, and it happened during June 30 to July 19 in the first accumulated temperature zone, which embodies the ecological effect of rice response to low temperature. It could provide some reference to breeding cold resistance rice varieties in Heilongjiang Province.

**Key words:** rice; low temperature; heading stage; filled grain rate; delayed chilling injury; sterile-type cold injury