

文章编号: 1674-7054(2023)01-0077-05



海南两系杂交稻制种关键 发育期气候风险区划

吕润^{1,2}, 车秀芬^{1,2}, 吴慧^{1,2}, 陈小敏^{1,2}, 张亚杰^{1,2}, 邹海平^{1,2}, 白蕤^{1,2}

(1. 海南省气候中心, 海口 570203; 2. 海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海口 570203)

摘要: 为了对海南两系杂交稻制种关键发育期进行精细化气候风险区划, 对海南两系杂交稻制种产业区域布局提供指导, 利用 2006—2020 年海南岛南部 8 个市县 144 个区域气象站的资料, 在数据质量控制的基础上, 根据两系杂交稻制种的气候风险等级指标, 制定海南岛两系杂交稻制种关键发育期气候风险区划。结果表明, 不育临界温度 22℃ 时, 两系杂交稻制种综合气候低风险区分布于昌江、东方、乐东、三亚、保亭、陵水和万宁; 不育临界温度 23℃ 时, 两系杂交稻制种综合气候低风险区分布于东方、乐东、三亚、保亭和陵水大部分地区; 不育临界温度 23.5℃ 时, 两系杂交稻制种综合气候低风险区分布于乐东、三亚和陵水大部分地区; 不育临界温度 24℃ 时, 两系杂交稻制种综合气候低风险区分布于乐东、三亚和陵水沿海地区。所构建的气候风险区划可为海南两系杂交稻制种种植规划提供有效借鉴, 对南繁扩种具有一定的指导意义。

关键词: 两系杂交水稻; 制种; 气候风险区划; 精细化; 海南

中图分类号: S 162.2 **文献标志码:** A

引用格式: 吕润, 车秀芬, 吴慧, 等. 海南两系杂交稻制种关键发育期气候风险区划 [J]. 热带生物学报, 2023, 14(1): 77-81. DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2023.01.010

相比于三系法水稻, 两系杂交稻具有简化繁殖、杂种优势更明显、降低种子生产成本等优势^[1-2], 但由于两系杂交水稻制种的育性转换受光温条件的影响较大, 光温条件的变化容易导致杂交稻不育系自交结实, 从而对制种产量造成严重的影响^[3], 海南两系杂交稻制种对气候条件有着极为严格的要求^[4-6], 气候条件对制种产量和杂交种子的纯度均有一定的制约^[7]。开展两系杂交稻制种气候风险区划将为海南岛南繁水稻制种布局的优化提供重要依据^[8]。国内对两系杂交水稻育种区划研究颇多, 主要集中在气候条件、气象安全和资源利用等方面。殷剑敏等^[9]、汪扩军等^[10]、帅细强等^[11]均通过对气候资料的系统分析, 分别制作了江西省、湖南省杂交稻制种气候风险区划图。

海南作为我国重要的南繁制种基地, 在杂交

水稻种子生产中起着重要的作用。但是影响海南水稻南繁制种的气象灾害复杂^[12-13], 制约着南繁制种面积的扩大。目前大多风险区划研究所使用的气象站数据主要为国家气象观测站数据, 站点较少、气象资料稀疏, 随着地面区域自动气象观测站在全国的建设和发展, 海南岛全部乡镇均已覆盖区域自动气象观测站, 相比只利用国家气象站进行插值, 区域气象站插值具有高精准、高空间分辨率等优势^[14]。因此, 本研究使用海南岛南部 8 个市县的 144 个区域自动气象观测站点历史资料, 在数据质量控制的基础上, 利用农业气候区划技术与方法^[15-17], 对海南两系杂交稻制种关键发育期进行精细化气候风险区划技术研究, 旨在为海南两系杂交稻制种产业区域布局提供参考依据。

收稿日期: 2022-09-16

修回日期: 2022-10-31

基金项目: 海南省气象局基金项目(HNQXSJ202123); 海南省南海气象防灾减灾重点实验室开放基金(SCSF202107); 海南省自然科学基金(422MS149); 海南省自然基金项目(721MS102)

第一作者: 吕润(1993-), 男, 工程师. 研究方向: 应用气象. E-mail: 5851014@qq.com

通信作者: 吴慧(1970-), 女, 研究员级高级工程师. 研究方向: 气候预测、气候资源评估研究. E-mail: wuhui06@163.com

1 研究区域、数据与方法

1.1 研究区域 海南岛南部地区,包括昌江县、保亭县、乐东县、东方市、五指山市、三亚市、陵水县和万宁市。

1.2 气象资料 气象资料为海南岛南部地区144个区域自动气象观测站2006—2020年逐日降水量资料、最低气温、最高气温、平均气温;地理信息资料为海拔高度、经度和纬度等数据。

1.3 地理信息资料 1:25万海南岛地理数据由国家基础地理信息中心提供;数字高程模型数据(DEM)、海南岛行政边界等资料,空间分辨率30 m。

1.4 区域自动气象观测站气象数据质量控制方法 为筛选检测区域自动气象观测数据中隐藏的错误数据,从而保证气象资料的可靠性,采用数据质量控制方法^[18]。(1)内部一致性检查:检查不同要素之间的物理联系是否符合,如是否符合日最大风速>日平均风速;(2)时间一致性检查:检查气象要素随时间的变化是否符合一定的规律;(3)空间一致性检查:检查气象参数在空间上的分布特点是否满足一定的相关性,本研究采用Madsen-Allerupt方法、空间极值比较法和空间平均值比较法;(4)界限值检查:包括区域界限值、气候学界限值及台站界限值检查。

1.5 精细化气候风险区划指标与方法 海南岛南部地区光照充足,两系杂交稻制种的气象限制性因素主要为温度和降水,参考杂交稻制种国家标准^[19],如雷东阳等^[20]、汪扩军等^[21]、左钦月等^[22]提出的两系杂交水稻制种气候适宜性判断标准,并通过咨询海南当地两系杂交稻制种专家^[23],结合海南岛的气象条件和生产实际,将两系杂交稻南繁分为育性敏感期和扬花授粉期2个关键时期,育性敏感期大部分在4月上旬至4月中旬,扬花授粉期大部分在4月下旬至5月上旬,制定安全性与适宜性判断标准(表1)。

育性转换气候风险由不育系育性敏感期间出现超过临界温度指标气象事件的概率确定。

$$P = N/L \quad (1)$$

式中, P 为育性敏感期期间出现超过不育临界温度气象事件的概率; N 为育性敏感期期间出现超过不育临界温度气象事件的天数; L 为气候资料总天数。

表1 两系法杂交稻南繁育性敏感期和扬花授粉期气候风险等级

安全性等级	安全性类别	指标	
		育性敏感期	扬花授粉期
一级	极低风险区	$P \leq 1$	$H \leq 2$
二级	较低风险区	$1 \leq P < 3$	$2 \leq H < 4$
三级	中度风险区	$3 \leq P < 5$	$4 \leq H < 9$
四级	较高风险区	$5 \leq P < 7$	$9 \leq H < 12$
五级	极高风险区	$P \geq 7$	$H \geq 12$

扬花授粉期气候风险由气候风险指数确定。

$$H = \frac{1}{L} \left(\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M H_{ij} \right) \quad (2)$$

式中, H 为扬花授粉期气候风险指数; L 为气象资料总天数; i 为第*i*个年份($i=1,2,\dots,L$); M 为气象灾害种类的数量; j 为第*j*种气象灾害($j=1,2,\dots,M$); H_{ij} 为第*i*年第*j*种气象灾害的强度。在扬花授粉期内,第*i*年第*j*种灾害的持续时间不足3 d时,认为灾害没有发生,记 $H_{ij}=0$;当持续时间等于3 d时,记 $H_{ij}=1$;当持续时间大于3 d时,每超过1 d则 H_{ij} 加上1;如果多个灾害同时发生,则先分别用上述方法计算各自的强度值,再累加求得 H_{ij} 值。本研究为扬花授粉期,主要气象灾害指标为连续3 d日平均气温 $\leq 24^\circ\text{C}$ 、3 d日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 和连续3 d阴雨天。

两系杂交稻制种综合气候风险等级由育性敏感期气候风险等级和扬花授粉期气候风险等级共同决定,当等级不一致时,取最低气候风险等级。等级指标如表2所示。

表2 两系法杂交稻南繁制种气候风险等级

安全性等级	安全性类别	指标(制种气候风险等级有交叉时,由最低制种气候风险等级决定)
一级	极低风险区	T为一级,且S低于等于二级
二级	较低风险区	T低于等于二级,且S低于等于三级
三级	中度风险区	T低于等于三级,且S低于等于四级
四级	较高风险区	T低于等于四级,且S低于等于五级
五级	极高风险区	T为五级

注:T表示育性敏感期气候风险等级,S表示扬花授粉期气候风险等级。

利用 ArcGIS 以反距离权重法(Inverse Distance Weighting, IDW)将气候风险指数进行空间插值计算,从实际情况考虑,由于海拔较高的山区不适宜大面积制种,故将海拔在 200~400 m 之间地区的气候风险值增加一倍,海拔大于 400 m 的地区则划为高风险区。最终得到两系杂交稻制种关键发育期气候风险区划。

2 结果与分析

2.1 育性转换安全期气候风险区划 当不育临界温度 22℃ 时,除部分高海拔地区,绝大部分地区均为较低风险区或极低风险区。其中极低风险区主要在东方市西南部地区,乐东县西部、南部、东北部,三亚市西部、南部、东部地区,保亭县东部、中部、南部地区,陵水县中部、南部地区。较低风险区主要在昌江县西部、中部、北部地区,东方市北部、东部地区,乐东县东部地区,三亚市北部地区,保亭县北部地区,万宁市绝大部分地区。中高风险区主要分布在海拔较高的山区,如五指山市、昌江县东南部、乐东县北部、三亚市北部、保亭县西部、陵水县北部和万宁市西部部分地区。不育临界温度 23℃ 时,极低风险区主要在乐东县西南部、三亚市南部和东部、陵水县南部,较低风险区主要在东方市西部和南部、乐东县西北部和东部、三亚市西部、保亭县中部和东部、陵水县中部、万宁市东南部。中高风险区主要分布在昌江县、东方市东北部、万宁市中北部和海拔较高的山区。当不育临界温度 23.5℃ 时,仅有乐东县和三亚市小部分地区为极低风险区,较低风险区主要在东方市西南部、乐东县西部和南部、三亚市南部和东部、陵水县中部和南部地区。昌江县、五指山市、保亭县、万宁市以及东方市、乐东县、三亚市、陵水县的高海拔山区为中高风险区。当不育临界温度 24℃ 时,仅有乐东县西部、三亚南部和东部、陵水南部为较低风险区,其余地区均为中高风险地区,因此对临界温度为 24℃ 的不育系制种,须慎重考虑,尽量选择在乐东、三亚、陵水海拔较低的地区。

2.2 扬花授粉期气候风险区划 连续 3 d 日平均气温 $\leq 24^\circ\text{C}$ 结果表明,绝大部分地区为极低风险区,中高风险区最要集中在五指山市、昌江县东南部、东方市南部、乐东县西北部和三亚市北部的高

海拔山区。连续 3 d 日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 结果表明,极低风险区主要分布在乐东县南部、保亭县中部、三亚市大部、陵水县大部和万宁市大部,较低风险区主要分布在昌江县西部、东方市西部和东部、乐东县东北部,中高风险区主要分布在昌江县大部、东方市大部、乐东县北部、五指山市、保亭县西部和海拔较高的山区。连续 3 d 阴雨天结果表明,极低风险区主要分布在昌江县西部、东方市西部、乐东县西部和南部、三亚市大部、陵水县南部,较低风险区主要分布在昌江县中部、东方市东部、乐东县东北部、保亭县东部、陵水县北部、万宁市大部,中高风险区主要分布在五指山市、昌江县东部、东方市东部和南部、乐东县北部和东部、三亚市北部、保亭县西部和北部、陵水县北部和海拔较高的山区。综合所得区划的结果表明,极低风险区主要分布在乐东县南部、三亚市南部和东部、陵水县南部,较低风险区主要分布在昌江县西部、东方市西北部、乐东县西北部和东北部、保亭县东部、陵水县北部、万宁市部分地区,中高风险区主要分布在五指山市、昌江县中部和东部、东方市大部、乐东县北部和东部、三亚市北部、保亭县西部、陵水县北部、万宁市北部和中部。

2.3 两系杂交稻制种综合气候风险区划 当不育临界温度 22℃ 时,极低风险区主要在乐东县大部、三亚市大部、保亭县大部和陵水县中南部地区,面积约为区划区域的 26%。较低风险区主要在昌江县大部、东方市大部、乐东县东部、三亚市北部、保亭县北部和万宁市绝大部分地区,面积约为区划区域的 39%。中高风险区主要分布在海拔较高的山区,如五指山市、昌江县东南部、乐东县北部、三亚市北部、保亭县西部、陵水县北部和万宁市西部部分地区,面积约为区划区域的 35%。不育临界温度 23℃ 时,极低风险区主要在乐东县西南部、三亚市东南部、陵水县南部,面积约为区划区域的 9%,较低风险区主要在东方市西南部、乐东县西北部和东部、三亚市西部、保亭县中东部、陵水县中部、万宁市东南部,面积约为区划区域的 33%。中高风险区主要分布在昌江县、东方市东北部、万宁市中北部和海拔较高的山区,面积约为区划区域的 58%。当不育临界温度 23.5℃ 时,仅有乐东县、三亚市小部分地区为极低风险区,面积约为区划区域的 2%,较低风险区主要在

东方市西南部、乐东县西南部、三亚市东南部、陵水县中南部地区,面积约为区划区域的24%。昌江县、五指山市、保亭县、万宁市及东方市、乐东县、三亚市、陵水县的高海拔山区为中高风险区,面积约为区划区域的74%。当不育临界温度 24°C 时,仅有乐东县西部、三亚东南部、陵水南部为较低风险区,面积约为区划区域的14%,其余地区均为中高风险地区。

3 讨论

根据两系杂交稻制种关键发育期对气象条件的要求,采用海南岛南部地区区域自动气象观测站的观测资料,开展两系杂交稻制种关键发育期气候风险区划,结果表明,两系杂交稻制种综合气候风险随不育临界温度的升高而增加。不育临界温度 22°C 时,两系杂交稻制种综合气候低风险区分布于昌江、东方、乐东、三亚、保亭、陵水和万宁;不育临界温度 23°C 时,两系杂交稻制种综合气候低风险区分布于东方、乐东、三亚、保亭和陵水大部分地区;不育临界温度 23.5°C 时,两系杂交稻制种综合气候低风险区分布于乐东、三亚和陵水大部分地区;不育临界温度 24°C 时,两系杂交稻制种综合气候低风险区分布于乐东、三亚和陵水沿海地区。目前,在杂交稻制种上广泛使用的两系不育系中起点温度大多数在 23.5°C 左右,不育起点温度低于 23°C 的较少。从上述分析结果可知,海南两系杂交水稻制种育性转换安全期的最适宜地区主要在东方市西部、乐东县西部南部东北部、三亚市西南部东部、陵水县南部中部地区。据资料^[24-25]显示,目前海南南繁制种水稻主要分布于三亚、陵水、乐东和东方地区,李东秀等^[26]通过在三亚、乐东、昌江、临高进行试制试验,结果表明三亚、乐东的产量较高,由此可见,本区划结果与实际水稻制种情况较吻合。

本研究采用订正后的区域自动气象观测站观测资料开展区划工作,克服了因观测站点稀疏,采用插值方法开展精细化区划工作存在准确性差、精度低等问题。海南岛三亚市、陵水县和乐东县是全国最大的南繁育种研究试验基地和制种生产基地,从区划结果来看,与目前海南岛杂交稻制种的情况基本吻合,且南繁为海南自由贸易港建设的重点工作之一,本区划将为海南两系杂交稻制

种种植规划提供及时科学的技术支撑。本研究杂交稻制种的关键期时段和气候风险指标的选择主要参考前人研究及专家经验,未经过大田对比试验及田间观测的验证,且未考虑种植技术、土地利用、土壤等因素。特别是海南水稻制种多在冬季,而海南冬季易发生干旱^[27],因此在实际水稻制种地选择过程中需要关注灌溉用水保障。今后的研究应通过田间试验更新完善制种区划指标,充分考虑上述因子对海南两系杂交稻制种的综合影响开展气候风险区划。

参考文献:

- [1] 袁隆平. 超级杂交稻研究进展[J]. 农学学报, 2018, 8(1): 71-73.
- [2] 牟同敏. 中国两系法杂交水稻研究进展和展望[J]. 科学通报, 2016, 61(35): 3761-3769.
- [3] 王芬, 亢强, 李辉, 等. 成都市两系杂交水稻制种气候适宜性区划[J]. 中国农学通报, 2019, 35(1): 95-103.
- [4] 唐文帮, 肖应辉, 邓化冰, 等. 水稻两用核不育系C815S繁殖特性研究[J]. 种子, 2010, 29(9): 7-12.
- [5] 陈汇林, 吴翠玲, 曹兵. 两系杂交水稻不育系南繁气候适应性分析[J]. 广东气象, 2002(2): 47-49.
- [6] 周世怀, 植石群. 两系法水稻制种安全期气候分析[J]. 中国农业气象, 2000, 15(4): 24-29.
- [7] 帅细强, 汪扩军, 刘富来. 临界温度双低两用不育水稻制种的气候诊断分析与区划[J]. 中国农业气象, 2004, 25(1): 30-33.
- [8] 李世奎. 中国农业气候区划研究[J]. 中国农业资源与区划, 1998(3): 49-52.
- [9] 殷剑敏, 魏丽, 王怀清. 两系杂交稻制种基地气候风险评估的研究[J]. 应用气象学报, 2001, 22(4): 469-477.
- [10] 汪扩军, 帅细强, 袁隆平. 湖南省两系杂交稻制种的适宜区域与时段[J]. 杂交水稻, 2000, 15(6): 16-19.
- [11] 帅细强, 汪扩军, 周玉, 等. 超级杂交稻制种基地气候风险的细网格分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(2): 984-986.
- [12] 李伟光, 侯美亭, 张京红, 等. 华南主产区双季水稻物候变化及其与气候条件的关系[J]. 中国农业气象, 2021, 42(12): 1020-1030.
- [13] 陈小敏, 李伟光, 梁彩红, 等. 海南岛主要农业气象灾害特征及防御措施分析[J]. 热带生物学报, 2022, 13(4): 416-421.
- [14] 张亚杰, 陈升宇, 张京红, 等. 屯昌县黄金蜜柚精细化农业气候区划[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(3): 167-172.
- [15] 郭淑敏, 陈印军, 苏永秀, 等. 广西沙田柚精细化农业气候区划与应用研究[J]. 气象与环境科学, 2010, 33(4): 16-20.
- [16] 涂方旭, 苏志, 李艳兰. 广西荔枝龙眼的冻害区划研究[J]. 广西科学, 2002(3): 225-230.

- [17] 黄帆, 徐芳. 梧州市基于 GIS 荔枝优化布局的气候区划[J]. *气象研究与应用*, 2016, 37(4): 62 – 65.
- [18] 任芝花, 张志富, 孙超, 等. 全国自动气象站实时观测资料三级质量控制系统研制[J]. *气象*, 2015, 41(10): 1268 – 1277.
- [19] 湖南省气象科学研究所. 超级杂交稻制种气候风险等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 12.
- [20] 雷东阳, 周晓娇, 肖层林, 等. 两系杂交稻制种基地气象决策支持系统[J]. *中国农业气象*, 2009, 30(1): 96 – 101.
- [21] 汪扩军, 帅细强, 刘家清, 等. 两系杂交稻制种生产的气候生态诊断技术[J]. *应用气象学报*, 2003(1): 93 – 100.
- [22] 左钦月, 李辉, 王芬, 等. 基于气象决策的四川两系杂交稻制种技术研究——以 Y58S/F1599 仁寿制种为例[J]. *杂交水稻*, 2017, 32(2): 32 – 37.
- [23] 吴慧, 陈小敏, 邢彩盈, 等. 两系杂交水稻南繁制种安全敏感期低温过程的气候特征[J]. *热带生物学报*, 2022, 13(4): 382 – 390.
- [24] 吕青, 梅子思, 陈玺中, 等. 南繁制种水稻保险现状以及对策分析[J]. *科技经济市场*, 2018(2): 156 – 158.
- [25] 彭卓, 潘燕荣, 袁龙江. 中国农业科学院海南南繁综合试验基地建设发展的思考[J]. *农业科技管理*, 2018, 37(1): 48 – 51.
- [26] 李冬秀, 夏州藩, 韦宇, 等. 超级稻杂交组合丰田优 553 在海南的制种技术[J]. *杂交水稻*, 2021, 36(2): 36 – 37.
- [27] 李伟光, 刘少军, 韩静, 等. 基于遥感蒸散量的我国干旱特征研究[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2021, 15(3): 93 – 99.

Climate risk zoning of two-line hybrid rice seed production at key growth stages in Hainan

LYU Run^{1,2}, CHE Xiufen^{1,2}, WU Hui^{1,2}, CHEN Xiaomin^{1,2}, ZHANG Yajie^{1,2}, ZOU Haiping^{1,2}, BAI Rui^{1,2}

(1. Hainan Climate Center, Haikou, Hainan 570203, China; 2. Hainan Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Mitigation in South China Sea, Haikou, Hainan 570203, China)

Abstract: In order to clarify the climate risk of two-line hybrid rice seed production in Hainan, climate risk zoning of two-line hybrid rice seed production in the key growth stages was conducted in Hainan based on the data of regional automatic meteorological observation stations with high resolution in order to provide a more scientific and reasonable reference for the promotion of two-line hybrid rice seed production in Hainan. The data of 144 regional meteorological stations in 8 cities and counties in the south of Hainan Island collected from 2006 to 2020 were used with data quality control to draw a climate risk zoning map of two-line hybrid rice seed production in the key growth stages in Hainan based on the climate risk level index of two-line hybrid rice seed production by using the spatial analysis method of geographic information system. The zoning showed that the low-risk areas of comprehensive climate for seed production of two-line hybrid rice were distributed in Changjiang, Dongfang, Ledong, Sanya, Baoting, Lingshui and Wanning when the critical sterility temperature was 22 °C, in most areas of Dongfang, Ledong, Sanya, Baoting and Lingshui at 23 °C, in Ledong, Sanya and most areas of Lingshui at 23.5 °C, and in Ledong, Sanya and Lingshui coastal areas at 24 °C. This climatic risk zoning method can provide an effective reference for the planting planning of two-line hybrid rice in Hainan, and the zoning results have important guiding significance in expansion of propagation and breeding in the south of China in winter.

Keywords: two-line hybrid rice; seed production; climate risk zoning; precise zoning; Hainan

(责任编辑: 钟云芳)