

文章编号:1673-8411(2019)02-0056-06

广西早稻高温热害变化特征及其对产量的影响

廖雪萍¹, 史彩霞², 黄梅丽², 覃峥嵘¹, 李玉红¹, 黄祎萱³(1. 广西气象科学研究所, 南宁 530022; 2. 广西区气象服务中心, 南宁 530022;
3. 广西气象信息中心, 南宁 530022)

摘要: 利用广西双季稻区 1961–2016 年逐日气象资料和 1986–2016 年水稻物候观测资料, 运用气候倾向率等方法研究广西早稻生育期高温热害时空分布规律及其对产量的影响, 进一步探明气候变暖对广西早稻高温热害及其产量的影响。结果表明, (1) 广西早稻关键生育期发生高温热害平均频率为 35.4%, 高值区主要分布在桂南稻区的左右江河谷以及桂东南梧州市。(2) 高温热害变化趋势各有差异, 桂南稻区早稻高温热害总次数、总天数、强度均呈微弱增加的趋势, 而桂中、桂北稻区高温热害总次数、总天数呈微弱减少的趋势或者基本不变, 强度则均呈微弱增加的趋势。(3) 广西早稻关键生育期发生高温热害平均总天数为 124.9d, 平均总次数为 28 次, 平均强度为 4.5d/次。三个稻区高温热害总次数、总天数和强度桂南>桂中>桂北。(4) 桂南、桂中和桂北稻区的年代产量波动变化大, 尤其是桂南、桂中稻区进入 21 世纪以后产量波动更明显。大多数稻区高温热害多的年份, 其早稻产量就低。研究结果可为广西合理调整早稻播期及品种属性搭配、稳产高产提供决策参考依据。

关键词: 广西; 早稻; 气候变暖; 热害; 产量; 影响

中图分类号: P49

文献标识码: A

High temperature stress characteristics of early rice in Guangxi and its influence on yield

Liao Xueping¹, Shi Caixia², Huang Meili², Qin Zhengrong¹, Li Yuhong¹, Huang Yixuan³

(1. Guangxi Meteorological Research Institute, Nanning 530022;

2. Guangxi Meteorological Service Center, Nanning 530022;

3. Guangxi Meteorological Information Center, Nanning 530022)

Abstract: Based on daily meteorological data from 1961 to 2016 and rice phenological observation data from 1986 to 2016 in double-season rice region of Guangxi, the temporal and spatial distribution of high temperature stress in early rice growing period and its effect on yield were studied by means of climatic tendency rate, and the effect of global warming on high temperature stress and yield of early rice in Guangxi was further explored. The results show that: (1) The average frequency of high temperature stress during the critical growth period of early rice in Guangxi is 35.4%. The high value areas mainly distribute in the left and right river valleys of southern Guangxi rice region and Wuzhou City. (2) The change trends of high temperature stress are different. The total number of times and days, as well as the intensity in southern Guangxi show a slight increasing trend, while the total number of times and days in central and northern Guangxi show a slight decreasing trend or are basically unchanged, only the intensity showed a slight increasing trend. (3) The average total number of days in the key growth period of early rice in Guangxi is 124.9 days, the average total number of times is 28, and the average intensity is 4.5 d/time. The total number of times, total number of days, and intensity of high temperature stress are south Guangxi> central Guangxi> north Guangxi. (4) The the annual output of south, central and north Guangxi fluctuate greatly, especially in southern and central Guangxi, the output fluctuations are more obvious after entering the 21st century. In most years that have high temperature stress, the rice yields are low. To sum up, the research results can provide a basis for the rational adjustment of early rice sowing date, variety attribute matching, and enhancing the yield of early rice in Guangxi.

Keywords: Guangxi; early rice; climate warming; heat damage; yield; impact

收稿日期: 2019-03-28

基金项目: 广西区气象局重点攻关项目“气候变暖背景下广西双季稻安全生产适应性研究”(桂气科 201505)

作者简介: 廖雪萍(1967-), 女, 广西北流人, 硕士, 高级工程师, 主要从事农业生态与气候变化关系、编辑出版等研究。

E-mail:785835336@qq.com

引言

水稻是耐高温作物,但其生长发育仍然受到过高温度的制约,高温热害已经成为水稻主要自然灾害之一^[1-3],严重影响了水稻安全生产。水稻生长发育受高温影响主要体现在两方面过程:一方面高温伤害水稻开花受精过程,导致空粒率增加;另一方面,高温伤害水稻的灌浆过程,导致秕粒率增加和千粒重下降^[4]。水稻在抽穗扬花期前后遇到 35℃ 以上高温时,极易导致空粒率大幅度提高,结实率大幅度下降,造成严重减产^[5-6]。而灌浆期遇到高温将导致子粒灌浆加速,有效灌浆期缩短,子粒充实度降低,影响到子粒千粒重及米质的形成^[7]。抽穗期和乳熟期剑叶、籽粒显著受损的日最高温度分别为 38℃、35℃,而 35℃ 以上高温使蜡熟期和黄熟期剑叶光合能力显著降低^[8]。因此,在全球气候变暖背景下,我国水稻高温热害问题受到广泛关注,李勇^[9]、张倩^[4]等对长江中下游地区水稻高温热害及其对产量的影响分别进行了风险分析及 WOFOST 作物模型模拟,认为该地区双季早稻、晚稻和单季稻在不同生育阶段的高温灾害次数大多呈增加趋势,在高温热害典型年份,早稻和中稻产量都有明显减少,产量损失最高均达 30% 以上。包云轩^[10]、万素琴^[11]等分别研究了近几十年江苏、湖北省水稻热害发生规律及其对产量的影响,结果表明水稻热害 80 年代发生次数最少,21 世纪前 10a 发生次数最多有加重的趋势,其中江苏热害发生频次与年平均气温及 7-8 月平均气温有着显著的正相关关系。杨炳玉等^[12]对江西省水稻高温热害发生规律研究表明,1961-1982 年江西省高温热害总发生次数呈下降趋势,1983-2010 年则呈极显著上升趋势。熊洪等^[13]从鉴定耐热品种、农艺技术和植物调节剂等方面开展西南高温常发区杂交水稻高温缓解技术研究,为水稻生产提供防灾减灾技术支撑。杨舒畅^[14]、骆宗强^[15]等评述了水稻高温热害预警监测及其定量评估、风险评估的主要研究方法。宋艳玲等^[16]研究认为,1961-2009 年期间,我国南方稻区夏季高温日数明显增多,早稻灌浆期热害日益突出。熊伟等^[17]研究分析了 RCP2.6 和 RCP8.5 气候情景下 2021-2050 年我国水稻高温敏感期(孕穗期—乳熟期)高温事件的变化趋势,结果显示,2021-2050 年我国水稻发生高温热害概率增加较大的地区,主要集中在长江流域单季稻区的湖北和安徽的大部分地区,华南双季稻区的广东、广西、海南省的大部分地区以及东北单季稻区的南部。

何洁琳等^[18]对广西近 55a 气候变化趋势研

究指出,广西气温明显升高,年平均温度升高速率为 $0.143^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,春、夏、秋季的升温显著;高温热浪明显增多,高温日数增加速率为 $1.3\text{d} \cdot (10\text{a})^{-1}$,20 世纪 80 年代后期以来,全区性高温天气过程次数占 55a 来严重高温天气过程前 10 位的 70%。何慧等^[19]对广西高温日数时空特征的研究表明,广西年高温日数分布由河谷向丘陵山区递减,大部分地区的高温主要发生在夏季,高温日数高值区在 16d/a 以上,大部分地区为 7~15d/a。广西是我国双季稻主产区之一,历年水稻种植面积和产量位居广西粮食作物的首位,截止 2014 年,其播种面积达到了 2026.22km^2 ,产量达到了 1166.1 万 t,在广西农业产业中占据了重要地位。前人研究结果显示,近几十年广西高温热害呈增多趋势,且未来出现的概率还要增大,而广西早稻的抽穗—灌浆期刚好在 6-7 月,期间出现的高温热害会伤害早稻开花受精以及灌浆过程,从而引起产量和质量下降。但关于广西早稻生育期的高温热害发生规律及其对产量影响的研究鲜有报道。因此,本研究基于 GIS 技术,分析 1961-2016 年广西早稻关键生育期高温热害精细化分布特征以及其对产量的影响,揭示气候变暖背景下广西早稻高温热害演变规律以及产量对气候变化的响应特征,以期为全球变化环境下广西早稻品种改良与搭配、调整播种期等生产管理方式,减少关键生育期高温热害影响、确保产量稳定提供重要理论依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

利用广西气象信息中心提供的 1961-2016 年双季稻区 72 个站(见图 1)逐日平均气温、最高气温资料,以及对缺测资料少于 5% 的站点数据用临近站点相同时间的数据进行插值。桂南、桂中、桂北三个双季稻稻区的早稻物候观测站:桂南稻区包括玉林、苍梧、钦州、南宁、灵山、天等、桂平、合浦,桂中稻区包括柳州市沙塘、蒙山,桂北稻区包括融安、雁山、兴安。早稻物候期观测资料除天等、桂平、合浦为 1990-2016 年,蒙山为 1989-2016 年外,其余站点为 1986-2016 年。研究广西三个稻区早稻热害特征和产量时,分别从上述 13 个农业气象观测台站中选择水稻观测数据较完整、资料年限较长的玉林(1981-2016 年)、沙塘(1994-2016 年)、雁山(1986-2016 年)3 站作为对应稻区的典型台站来分析。

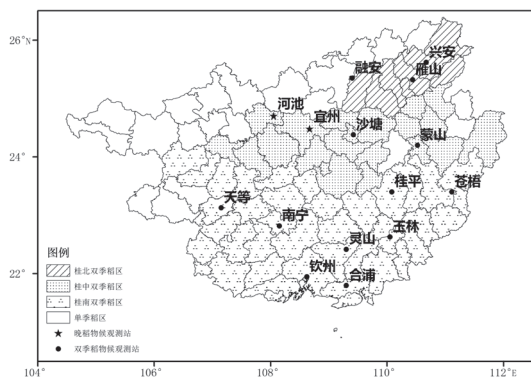


图1 广西水稻和物候观测站分布图

1.2 计算方法

(1) 高温热害指标确定

主要参考李勇^[9]、高素华^[20]、田俊^[21]等前人研究水稻高温热害所采用的对应指标,即日最高气温(简称 T_{\max}) $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 并持续3d以上的高温天气为高温热害过程。根据广西气候特征及早稻生产实际,把广西早稻抽穗-乳熟期内每出现日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 并持续3d以上的天气记为一次高温热害过程。

(2) 高温热害特征计算方法

高温热害发生次数:指所统计的生育期时段出现高温热害过程的总次数。

高温热害发生频率: $f = n/N \times 100\%$

其中, f 为发生频率(%), n 为统计时段内高温热害发生的总年数, N 为统计总年数, 即为56a。

灾害强度: $D = d/c \times 100\%$

其中, D 为灾害强度($d/\text{次}$), d 、 c 分别为高温热害在所统计的生育期时段出现的总天数、总次数。

(3) 气候倾向率

用 X_i 表示样本量为 n 的某一气候变量,用 t 表示 X_i 所对应的时间,建立 X_i 与 t 之间的一元线性回归方程:

$$x_i = a + bt_i \quad i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中, a 为回归常数; b 为回归系数, a 和 b 可以用最小二乘法进行估计。以 b 的10倍作为气候要素的气候倾向率^[22]。

(4) 水稻产量处理

为了消除水稻本身因素(水稻品质、栽培技术及管理水平等)引起的产量增长趋势以及低温冷害影响引起的产量波动,用产量构成要素之一“千粒重”来分析高温热害对产量的影响。采用去倾处理法,就是将后一年的千粒重减去前一年千粒重的差值作为高温热害对水稻产量的影响值^[10]。

2 分析结果

2.1 广西早稻生育期高温热害时空变化特征

2.1.1 广西早稻生育期高温热害发生频率

1961-2016年广西早稻生育期发生高温热害的平均频率为35.4%(图2),其中桂南稻区为37.7%,桂中稻区为37.3%,桂北稻区为18.1%。早稻生育期高温热害发生频率超过50%地区:桂南稻区的藤县、苍梧、岑溪、梧州辖区、平南、武鸣、扶绥、崇左、宁明、龙州、凭祥、上思、百色、田东、平果等15个县区,以及桂中稻区的象州、贺州、恭城等3个县,崇左高温热害发生频率最高,为85.7%;桂北稻区的早稻生育期高温热害发生频率均在30%以下,沿海地区、天等、蒙山和兴安等县的早稻生育期高温热害发生频率不到10%,其中沿海的东兴、防港、北海、涠洲岛早稻生育期无高温热害发生。可见,广西早稻生育期高温热害发生频率高值区主要分布在桂南稻区的左右江河谷以及桂东南梧州市,低值区主要分布在沿海地区。

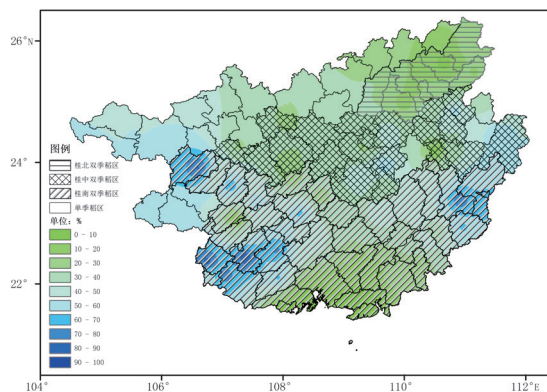


图2 广西早稻生育期高温热害发生频率

2.1.2 广西早稻生育期高温热害次数、天数和强度的年际和年代际变化

由图3可见,1961-2016年广西三个稻区早稻生育期高温热害出现总次数、总天数和强度的变化趋势各有差异,其中桂北、桂中、桂南稻区的高温热害强度以及桂南稻区的高温热害总次数、总天数均呈现出微弱增加的气候变化趋势,而桂北、桂中稻区的高温热害总天数以及桂中稻区的高温热害总次数均呈现出微弱减少的气候变化趋势,桂北稻区的高温热害总次数则基本不变。三个稻区高温热害强度每10a增加的幅度桂北>桂中>桂南。

桂北、桂中、桂南三个双季稻稻区高温热害总次数、总天数和强度的变化趋势经纬向分布规律不明显,其中高温热害总次数微弱增加趋势灵川

通过了0.001信度的检验,武鸣、苍梧、龙州、凭祥通过了0.01信度的检验,桂平、崇左、上思、博白和岑溪通过0.05信度的检验,而灌阳、来宾、柳江微弱减少趋势则通过0.05信度的检验。武鸣每10a增加的幅度最大,约为0.3次/10a。从图4a可见,桂南、桂北稻区高温热害总次数最多为21世纪以来的近几年,分别为1次/年、0.3次/a,桂中稻区则是70年代出现最多,为0.6次/a;三个稻区高温热害总次数最少均出现在90年代。

高温热害总天数气候变化趋势中,灵川微弱增加趋势通过0.001信度的检验,武鸣、苍梧、上思、岑溪通过0.01信度的检验,桂平、凭祥通过0.05信度的检验;而全州、灌阳、荔浦、柳江微弱减少趋势则通过0.05信度的检验。武鸣每10a增加的幅度最大,约为1.0d/10a,来宾每10a减少的幅度最大,约为-0.6d/10a。从图4b可见,桂南、桂北稻区高温热害总天数最多均出现在近几年,分别为4.3d/a、1.3d/a,桂中稻区则出现在70年代,为2.6d/a;三个稻区高温热害总天数最少均出现在90年代。

高温热害强度气候变化趋势中,微弱增加趋势灵川通过0.001信度的检验,苍梧、凭祥通过0.01信度的检验,鹿寨、武鸣、桂平、岑溪通过0.05信度的检验;而微弱减少趋势全州通过0.05信度的检验。苍梧、凭祥每10a增加的幅度最大,约为0.6d/次,全州每10a减少的幅度最大,约为-0.3d/次。从图4c可见,桂北、桂中稻区高

温热害强度最大均出现近几年,分别为4.5d/次、4.0d/次,桂南强度最大则出现在80年代,为4.2d/次;桂北、桂中稻区高温热害强度最小出现在90年代,桂南稻区强度最小则出现在21世纪头10a。

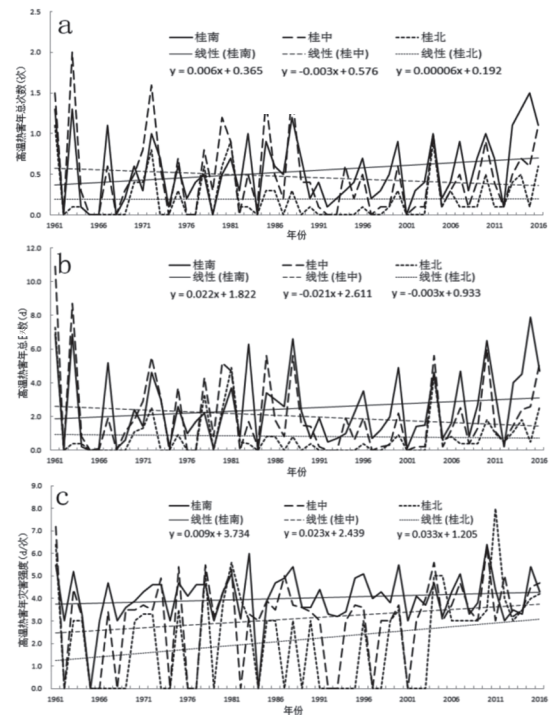


图3 1961-2016年广西早稻高温热害次数(a)、天数(b)、强度(c)的 annual 变化

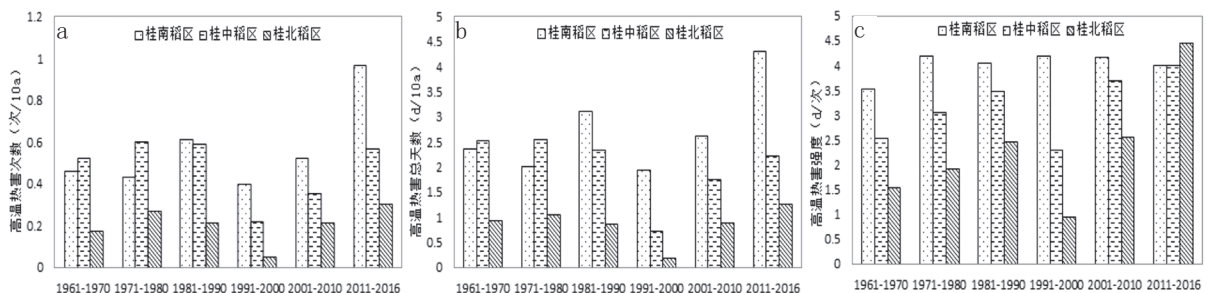


图4 1961-2016年广西早稻高温热害次数(a)、天数(b)、强度(c)的年代际变化

2.2 广西早稻生育期高温热害次数、天数和强度的空间变化特征

1961-2016年广西各地早稻生育期发生高温热害平均总天数为124.9d,平均总次数为28次,平均强度为4.5d/次。其中,桂南稻区早稻生育期发生高温热害总天数为146.3d,总次数为32次,强度为4.6d/次;桂中稻区早稻生育期发生高温热害总天数为112.2d,总次数为26.0次,强度为4.3d/次;桂北稻区早稻生育期发生高温热害总天数为45.5d,总次数为11次,强度为4.2d/

次。三个稻区高温热害总次数、总天数和强度桂南>桂中>桂北,其中左、右江河谷以及桂东南的梧州市为广西早稻生育期发生高温热害总天数、总次数的高值区,崇左辖区的总天数、总次数最多,分别为464d、91次,而沿海地区早稻生育期几乎没有发生高温热害;早稻生育期发生高温热害强度最大则是河池、兴安,为5.3d/次。

2.3 高温热害对广西早稻产量的影响

通过对玉林、沙塘、雁山三个观测站历年早稻千粒重进行去倾处理,从图5-7看出,三个稻

区的年代产量波动变化大, 年际间差值大, 尤其是桂南、桂中稻区进入 21 世纪以后产量波动更明显。高温热害次数年份多则早稻的产量比前一年低, 反之产量明显上升, 与包云轩等人^[10]研究结论基本一致。对千粒重差值与对应站高温热害

次数、天数、强度进行相关分析, 发现除桂南早稻产量与高温热害次数相关系数为正值外, 其他稻区两者的相关系数为负值, 表明大多数稻区高温热害次数、天数、强度多的年份, 其早稻产量则低。

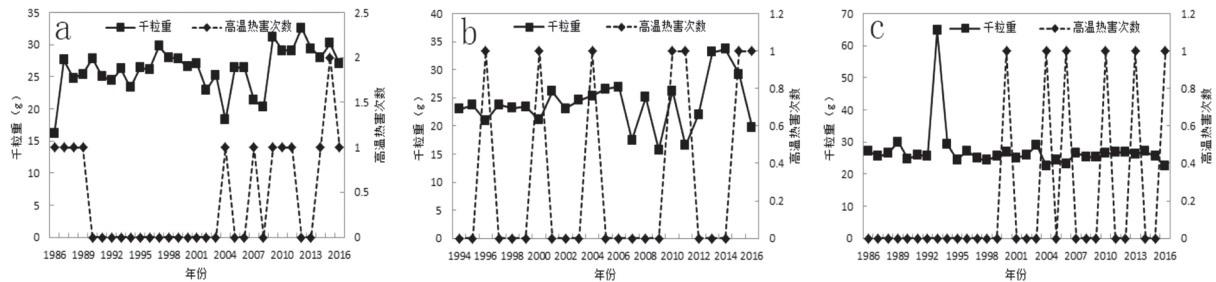


图5 1961-2016年广西早稻高温热害次数(a玉林、b沙塘、c雁山)和千粒重差值

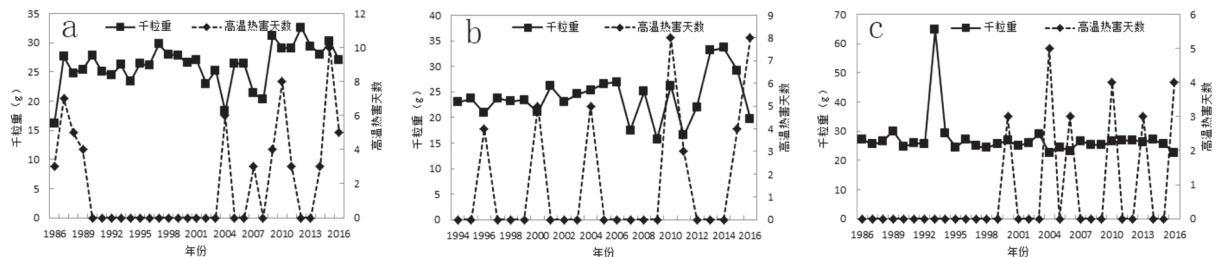


图6 1961-2016年广西早稻高温热害天数(a玉林、b沙塘、c雁山)和千粒重差值

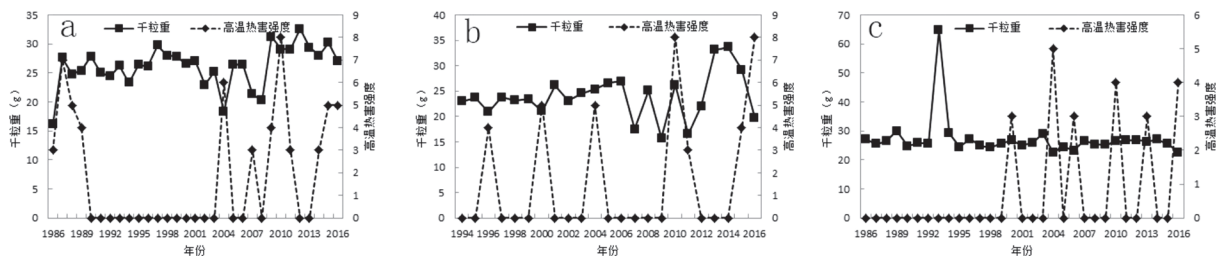


图7 1961-2016年广西早稻高温热害强度(a玉林、b沙塘、c雁山)和千粒重差值

3 结论与讨论

通过上述分析, 得到 1961-2016 年广西早稻生育期高温热害变化特征及其对产量影响的结论:

(1) 发生高温热害的平均频率为 35.4%, 高值区主要分布在桂南稻区的左右江河谷以及桂东南梧州市, 崇左高温热害发生频率最高, 为 85.7%; 低值区主要分布在沿海地区。

(2) 高温热害出现总次数、总天数和强度的变化趋势各有差异, 其中桂南稻区高温热害总次数、总天数、强度均呈微弱增加的趋势; 桂中、桂北稻区高温热害总次数、总天数呈微弱减少的趋势或者基本不变, 而强度均呈微弱增加的趋势。

(3) 发生高温热害平均总天数为 124.9d, 平均总次数为 28 次, 平均强度为 4.5d/次。三个

稻区高温热害总次数、总天数和强度桂南>桂中>桂北, 其中左、右江河谷以及桂东南的梧州市为广西早稻生育期发生高温热害总天数、总次数的高值区。

(4) 桂南、桂中和桂北稻区的年代产量波动变化大, 尤其是桂南、桂中稻区进入 21 世纪以后产量波动更明显。大多数稻区高温热害次数、天数多以及强度大的年份, 其早稻产量就低。

根据广西各稻区早稻生育期发生的高温热害分布特征以及变化规律, 应合理调整早稻播期及品种属性搭配, 选育耐热抗热品种或生育期短的品种, 以避免高温热害对早稻敏感生育期的影响, 合理利用当地气候资源, 从而保障稻区双季稻的稳产高产。

(下转第 114 页)

是弱电电子设备, 综合分析原因和采取的防雷措施, 加强弱电电子设备的防护, 是防护的重点。

(1) 外部防雷要保证所有外露设备完全处在防直击雷接闪杆保护范围内;

(2) 完善内部防雷措施, 重点防护沿电源线或数据、信号线引入的过电压波和过电流; 安装与系统相匹配的电涌保护器, 使被保护设备上过压、过流幅值在设备可承受的范围内;

(3) 做好等电位连接措施和具有良好的接地系统

(4) 定期进行检测检查, 发现问题及时进行整改。

参考文献:

- [1] 《建筑物防雷设计规范》GB50057-2010[S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.

- [2] 《建筑物电子信息系统防雷技术规范》GB50343-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [3] 刘艳玲, 曾敏, 郑键雄, 等. 浅析等电位连接在建筑物防雷中的作用[J]. 气象研究与应用, 2014, 35(2): 247-248.
- [4] 杨晓东. 雷击种类及其综合防护技术浅析[J]. 气象与环境学报, 2006, 22(3): 48-50.
- [5] 吕海勇, 庄燕洵, 尹娜. 广东省雷电灾害易损性分析与风险区划[J]. 广东气象, 2016, 38(2): 50-53.
- [6] 李宁, 胡泉, 李莹, 等. 等电位连接在现代建筑物防雷中的重要性[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(4): 62-63.
- [7] 罗天龙. 电涌保护器的简易检测方法[J]. 气象研究与应用, 2013, 34(2): 92-94.
- [8] 丘志彪. 探讨计算机房防雷屏蔽的检测方法[J]. 气象研究与应用, 2012, 33(1): 87-89.

(上接第 60 页)

参考文献:

- [1] 万丙良, 查中萍. 气候变暖对水稻生产的影响及水稻耐高温遗传改良[J]. 中国农学通报, 2012, 28(36): 1-7.
- [2] 江敏, 金之庆, 石春林, 等. 长江中下游地区水稻孕穗开花期高温发生规律及其对产量的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(4): 649-656.
- [3] 张桂莲, 陈立云, 雷东阳, 等. 水稻耐热性研究进展[J]. 杂交水稻, 2005, 20(1): 1-5.
- [4] 张倩, 赵艳霞, 王春乙. 长江中下游地区高温热害对水稻的影响[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 57.
- [5] 朱镇, 赵庆勇, 张亚东, 等. 抽穗扬花期极端自然高温胁迫对水稻结实率的影响[J]. 西南农业学报, 2015, 2828(1): 13.
- [6] 田小海, 松井勤, 李守华, 等. 水稻花期高温胁迫研究进展与展望[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2632-2636.
- [7] 陶龙兴, 谈惠娟, 王熹, 等. 高温胁迫对水稻6号开花结实习性的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(4): 669-674.
- [8] 李健陵, 张晓艳, 杜尧东, 等. 高温对抽穗开花期至灌浆结实期水稻源库特性的影响[J]. 中国农业气象, 2013, 34(1): 23-29.
- [9] 李勇, 杨晓光, 叶清, 等. 长江中下游地区单双季稻高低温灾害风险及其产量影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(19): 3998.
- [10] 包云轩, 刘维, 高苹, 等. 气候变暖背景下江苏省水稻热害发生规律及其对产量的影响[J]. 中国农业气象, 2012, 33(2): 289-296.
- [11] 万素琴, 陈晨, 刘志雄, 等. 气候变化背景下湖北省水稻高温热害时空分布[J]. 中国农业气象, 2009, 30(S2): 316-319.
- [12] 杨炳玉, 申双和, 陶苏林, 等. 江西省水稻高温热害发生规律研究[J]. 中国农业气象, 2012, 33(4): 615-622.
- [13] 熊洪, 徐富贤, 张林, 等. 西南稻区水稻高温缓解技术研究[J]. 中国稻米, 2016, 22(5): 15-19.
- [14] 杨舒畅, 申双和. 水稻高温热害及其风险评估的研究进展[J]. 农学学报, 2016, 6(2): 122-125.
- [15] 骆宗强, 石春林, 江敏. 水稻高温热害预警监测与定量评估研究进展[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(4): 12-15.
- [16] 宋艳玲. 气候变化对中国农业影响研究[M]. 气象出版社, 2012: 101-106.
- [17] 熊伟, 冯灵芝, 居辉, 等. 未来气候变化背景下高温热害对中国水稻产量的可能影响分析[J]. 地球科学进展, 2016, 31(5): 515.
- [18] 何洁琳, 谢敏, 黄卓, 等. 广西气候变化事实[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(3): 13.
- [19] 何慧, 陆虹, 徐圣璇. 广西高温日数的时空特征及其变化[J]. 气象研究与应用, 2010, 31(1): 46-49, 56.
- [20] 高素华, 王培娟. 长江中下游高温热害及对水稻的影响[M]. 北京: 气象出版社, 2009: 45.
- [21] 田俊, 崔海建. 江西省双季早稻灌浆乳熟期高温热害影响评估[J]. 中国农业气象, 2015, 36(1): 67-73.
- [22] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 2007.