

郭玉婷,李文韬,吴名杰,等. 海南岛高温日数时空分布特征及其对双季稻的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(20):308-312,332.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.20.056

海南岛高温日数时空分布特征及其对双季稻的影响

郭玉婷^{1,4}, 李文韬^{2,4}, 吴名杰^{3,4}, 陈小敏^{4,5}

(1. 海南省文昌市气象局,海南文昌 571300; 2. 海南省气象探测中心,海南海口 570203; 3. 海南省气象信息中心,海南海口 570203;
4. 海南省南海气象防灾减灾重点实验室,海南海口 570203; 5. 海南省气象科学研究所,海南海口 570203)

摘要:选取 1961—2018 年海南岛 18 个气象站逐日最高气温数据和最近 10 年双季稻关键生育期的资料,分析高温日数变化的时空分布特征及其对双季稻的影响。结果表明:(1)月高温日数主要集中在 4—8 月,10 月至次年翌年 2 月最少;高值区域主要集中在北部、西北部和西部等地,低值区域主要集中在东南部、中部和南部等地。(2)大部分地区抽穗始期—成熟期等水稻关键生育期均在 4—7 月之间,其中海口市和儋州市早稻抽穗期—成熟期都极大可能在 5—6 月遇到 6.0~7.4 d 的高温天气,乐东黎族自治县和琼中也有可能 5 月遇到高温天气,陵水黎族自治县、琼海县早稻收割较早,几乎不会遇到高温天气;但是琼海县晚稻关键生育期可能会在 8 月遇到高温天气。(3)近 58 年,海南岛月高温日数和年高温日数呈现上升趋势,大部分地区 6—8 月高温日数和年高温日数呈显著或极为显著上升趋势。(4)在高温天气的显著性上升的大背景下,建议海南岛稻作栽培应选用耐高温和抗干旱的品种,早稻可适当提前播种,晚稻可适当延迟播种,有利于避开关键生育期的高温热害。

关键词:高温日数;最高气温;时空分布;双季稻;海南岛

中图分类号: S511 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)20-0308-05

全球气候变暖对农作物生长及农产品产量和品质的影响,一直都是大家关注的课题之一。近年来,我国一些地区和省份极端高温事件愈发频繁,关于极端高温日数、高温热浪等研究成为了热门课题^[1-7],Liao 等发现中国海岸地区显著的温度变化速率致使极端热的时间快速延长^[8];邢彩盈等分析了海南岛高温日数等时空分布特征,发现部分地区的年高温日数等延长趋势显著^[9]。已有研究表明,气象上利用日最高气温 35℃ 作为双季早稻开花结实期受害的临界温度指标^[10],认为水稻高温主要影响结实率、产量和品质^[11-12],因此,研究气候变化背景下水稻高温热害显得十分重要。

近 10 年来,人们对水稻高温热害时空分布规

律,尤其是不同地区一季稻高温热害的影响规律进行了研究,分别有江苏省^[14-15]、江西省^[16]、安徽省^[17]、四川省^[18]等地水稻抽穗扬花期、灌浆结实期高温热害时空分布特征和综合区划。但针对热带地区的双季稻研究较少,王斌等分析了海南水稻生育期的时空分布特征,以及气候变暖对海南水稻生育期的影响^[19]。因此,本研究利用最新气象数据资料研究海南岛高温天气时空分布规律,并分析高温天气对海南双季稻的影响情况,以为海南热带地区水稻种植、农业生产和气象防灾减灾提供依据,有利于保障粮食生产安全,促进农业的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 资料来源

选取海南岛上的 18 个气象站 1961—2018 年逐日最高气温数据,这些数据来自于海南省气象信息中心。中央气象台发布高温预警时定义日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 为高温日,本研究沿用这一定义,即 1 个月中日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$ 的时间(d)为当月的高温日数。

2009—2019 年双季稻关键生育期资料来自海南省气象局农业气象观测站(海口市、儋州市、乐东黎族自治县、琼中县、琼海市、陵水黎族自治县),包括早稻和晚稻的抽穗、乳熟和成熟日期。

收稿日期:2020-02-26

基金项目:海南省南海气象防灾减灾重点实验室开放基金(编号:SCSF201808);国家自然科学基金(编号:41765007、41465005、41675113);海南省基础与应用基础研究计划(自然科学领域)高层次人才项目(编号:2019RC359)。

作者简介:郭玉婷(1976—)女,海南文昌人,工程师,从事气象预报服务、气象观测、气候分析研究。E-mail:2210355251@qq.com。

通信作者:李文韬,硕士,工程师,从事气象资料分析应用、综合气象观测、气象探测设备运行监控、气候分析研究。E-mail:1507813107@qq.com。

1.2 分析方法

气候倾向率^[20]采用一次线性方程表示,即:

$$T_i = a + bt_i。$$

式中: T_i 为高温日数,d; t_i 为时间; a 为线性趋势项; $b \times 10$ 表示平均高温日数每 10 年的气候倾向率。计算方法是按积差方法计算,即 2 个变量与各自平均值的离差为基础,通过 2 个离差相乘来反映两变量之间相关程度。

1.3 数据处理

采用 Excel 2013 和 ArcGIS 9.3 对数据进行计算和作图。

2 结果与分析

2.1 月高温日数的气候特征

统计海南岛 18 县(市)的月高温日数分布气候特征(图 1),可见,高温天气主要出现在 4—8 月,为 1.8~4.6 d,5、6、7 月较多;10 月至翌年 2 月,全岛月高温日数不足 0.2 d,12 月无高温天气;3、9 月分别为 0.9、0.4 d。因此,本研究主要分析 4—8 月的海南岛高温日数变化特征。

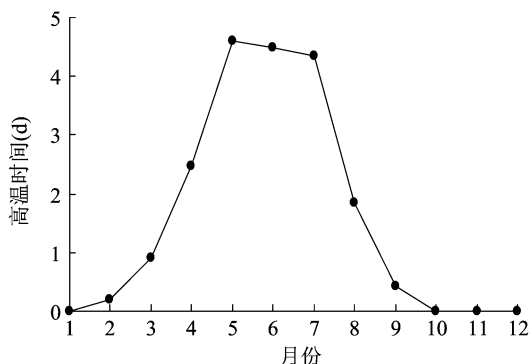


图1 海南岛月高温的气候特征

2.2 4—8 月和全年高温日数空间分布特征

分析海南岛 4—8 月和全年高温日数空间分布情况,由图 2 可知,4 月高温日数为 0~8.6 d,其中昌江黎族自治县、白沙黎族自治县、儋州市和澄迈县均大于 5 d,而东部和南部地区均没有出现高温天气。5 月高温日数为 0.2~11.4 d,其中昌江黎族自治县和澄迈县高温天气最多均在 9 d 以上;其次是海口市、临高县、儋州市、白沙黎族自治县、定安县、屯昌县和乐东黎族自治县,高温日数均大于 5 d;而文昌市、万宁市、陵水黎族自治县、五指山市、东方市和三亚市等地高温日数不足 1 d。6—7 月高温日数在 0~10.4 d,其中昌江黎族自治县、澄迈县、定安县、屯昌县、临高县等地出现的高温天气最多;而

东方市、万宁市、陵水黎族自治县、五指山市、三亚市均不足 1 d。8 月高温日数为 0.1~4.7 d,高温区域由西北部转移到北部地区,其中澄迈县、定安县、屯昌县和琼海县最多。全年高温日数为 0.6~44.4 d,其中昌江黎族自治县和澄迈县最多,分别为 43.1、44.4 d,而东方市、五指山市、陵水黎族自治县、三亚市不足 3 d。

全岛高温日数高值区域主要集中在北部澄迈县、定安县、屯昌县等以及西北部儋州市和西部昌江黎族自治县等地区,均超过 30 d;低值区域主要集中在东南部万宁市、中部五指山市、南部陵水黎族自治县和三亚市、西部东方市等地,均未超过 3 d;其他的为中值区域,年高温日数在 3~30 d。

2.3 双季稻关键生育期空间分布

由表 1 可知,不同地区间双季稻关键生育期时间差异巨大:(1)东部的琼海市和陵水黎族自治县的早稻抽穗始期均为 3 月下旬,而西部儋州市最晚,为 5 月中下旬,二者相差 50~56 d;成熟期也属陵水黎族自治县最早(5 月上旬),儋州市最迟(7 月上旬),二者相差 60 d 左右;其他地区早稻关键生育期均在 4—7 月之间。晚稻抽穗始期和成熟期的日期均以琼海市最早(7 月下旬、9 月中旬),儋州市、海口市和乐东黎族自治县最晚(9 月下旬、11 上中旬),其他地区晚稻关键生育期均在 9—11 月之间。

2.4 高温日数气候变化特征及其对双季稻的影响

由表 2 可知,高温日数出现最多的月份主要在 5—7 月。海口市和儋州市早稻抽穗期—成熟期都极大可能遇到高温天气,5—6 月平均每月可达 6.0~7.4 d;乐东黎族自治县和琼中县在 5 月也有可能遇到 3.6~5.5 d 的高温天气;陵水黎族自治县和琼海市地区早稻成熟主要在 5 月上旬,几乎不会遇到高温天气(琼海市 4 月为 0.4 d),但是琼海市晚稻关键生育期 8 月有可能会遇到 3.8 d 的高温天气。除琼海市外,其他地区晚稻关键生育期(9—11 月)期间几乎不会有高温天气影响。在生产实践中,双季早稻在抽穗开花—灌浆结实期和双季晚稻在抽穗开花期易受高温危害,导致产量明显下降^[10],因为开花期高温天气会抑制双季稻花药开裂,降低花粉活力,阻碍花粉管伸长,授粉受精受阻,降低结实率^[21~22],而且双季稻生殖生长期平均气温升高 2℃将导致其抽穗—乳熟期和抽穗—成熟期日数平均缩短约 6 d^[23]。近 58 年来,高温日数呈现上升趋势,其中,海口地区 6 月和全年高温日

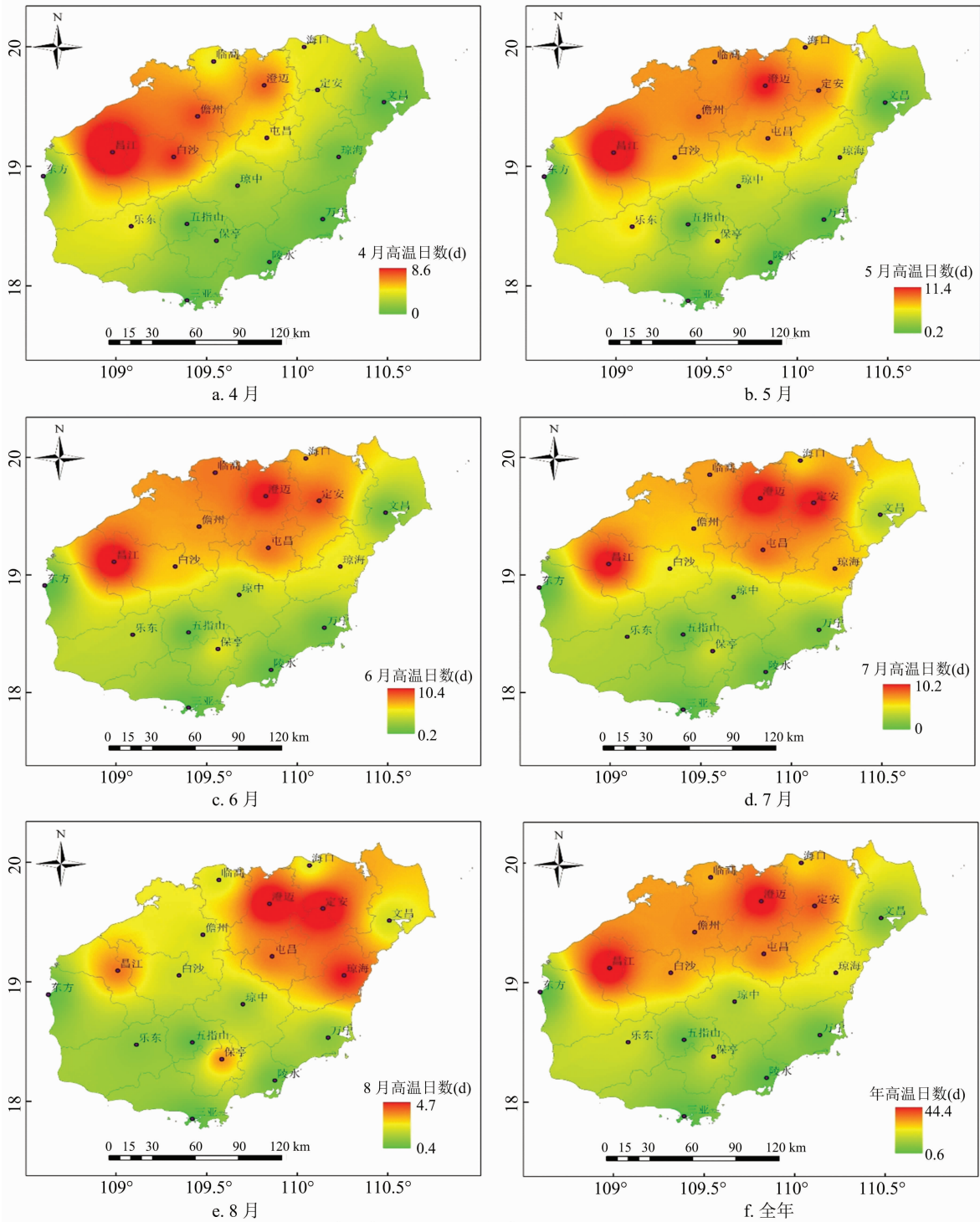


图2 海南岛 4—8 月和全年高温日数空间分布特征

数呈极显著上升趋势,通过 0.01 的显著性检验,每 10 年分别上升 1.2、3.2 d,4—5 月呈显著上升趋势;儋州市地区 6 月和全年也呈极显著上升趋势,通过 0.01 的显著性检验,每 10 年分别上升 1.4、3.9 d,5 月呈显著上升趋势;乐东黎族自治县 5 月、8 月和全年也呈极显著上升趋势,通过 0.01 的显著性检验,每 10 年分别上升 1.3、0.4、4.0 d,其他月份也呈显

著上升趋势;琼中地区全年呈极显著上升趋势,通过 0.01 的显著性检验,每 10 年分别上升 4.0 d,6—7 月呈显著上升趋势;琼海市 6 月、8 月和全年呈极显著上升趋势,通过 0.01 的显著性检验,每 10 年分别上升 1.6、1.0、4.5 d,7 月呈显著上升趋势;陵水黎族自治县地区 6—8 月和全年也呈极显著上升趋势,通过 0.01 的显著性检验,每 10 年分别上升

表 1 海南岛双季稻关键生育期空间分布

市(县)	早稻(月-日)			晚稻(月-日)		
	抽穗始期	乳熟期	成熟期	抽穗始期	乳熟期	成熟期
海口市	04-24	05-29	06-18	09-22	10-24	11-14
儋州市	05-20	06-20	07-09	09-26	11-01	11-16
乐东黎族自治县	04-20	05-22	06-11	09-22	10-18	11-07
琼中县	04-10	05-20	06-02	09-06	10-12	10-31
琼海市	03-31	04-21	05-12	07-27	08-23	09-12
陵水黎族自治县	03-25	04-24	05-08	09-01	10-08	10-26

1.4、0.8、1.1、4.6 d。有研究表明,气候变暖导致高温日数增多,对水稻生殖生长表现出不利影响,出现高温催熟、缩短成熟期的现象^[23-24],预计未来(2021—2050年)气候情景下中国双季稻热害发生的地区主要在华南地区的广东、广西、海南的大部分地区^[25]。

2.5 高温日数年代变化特征

分析6个农业气象观测站的年高温日数的年代变化特征(图3),结果显示,年高温日数最多出现在2015年,年高温日数出现最少的年份不尽相同。其中,海口市高温日数最多为57 d,50 d以上的出现的年份为1998、2005、2006、2015年,年高温日数最少出现在1971年(2 d);儋州市年高温日数最多为72 d,60 d及以上出现的年份为1998、2010、2015年,最少出现在1971年(4 d);乐东黎族自治县年高温日数最多为54 d,40 d及以上出现的年份为1977、2005、2015年,最少出现在1974、1997年(0 d);琼中县年高温日数最多为42 d,大于30 d的年份为1977、1983、2015、2016年,最少出现在1965年(0 d);琼海县年高温日数最多为63 d,≥50 d的年份为2010、2014、2015年,最少出现在1965年(1 d);陵水黎族自治县年高温日数最多为13 d,大于10 d的年份为2006、2015年,最少为0 d,有26年。

可见,海南岛年高温日数出现最少的为20世纪60年代至70年代,而年高温日数主要出现在2000年以后。这与邢彩盈等的研究结果^[9]一致,认为海南岛2003年以后年高温日数和热浪频次大多处在偏多、偏强年景。2000年以后高温天气的增多,对水稻高温热害的影响,在全国范围也出现很多报道,例如刘佳等分析四川地区抽穗扬花期和灌浆结实期水稻高温热害的时空分布规律,发现1961—2014年高温热害总次数呈上升趋势,尤以2000年后增幅显著,不同等级高温热害发生站数自2000年以来均呈显著增多趋势,其中抽穗扬花期以轻度热

表 2 1961—2018 年不同区域月高温日数和年高温日数平均值和气候倾向率

时间	地区	高温日数 (d)	气候倾向率 (d/10年)	相关系数 <i>r</i>
4月	海口市	3.0	0.5	0.305*
	儋州市	5.7	0.3	0.140
	乐东黎族自治县	3.1	0.5	0.290*
	琼中县	1.5	0.2	0.164
	琼海市	0.4	0.1	0.247
5月	陵水黎族自治县	0.0	0.0	0.000
	海口市	6.0	0.8	0.269*
	儋州市	7.4	0.9	0.273*
	乐东黎族自治县	5.5	1.3	0.383**
	琼中县	3.6	0.5	0.228
6月	琼海市	4.2	0.4	0.162
	陵水黎族自治县	0.5	0.5	0.185
	海口市	6.1	1.2	0.379**
	儋州市	6.6	1.4	0.451**
	乐东黎族自治县	3.4	1.0	0.295*
7月	琼中县	3.0	0.8	0.291*
	琼海市	4.7	1.6	0.519**
	陵水黎族自治县	0.6	1.4	0.406**
	海口市	5.3	0.5	0.179
	儋州市	5.5	0.6	0.208
8月	乐东黎族自治县	2.7	0.6	0.298*
	琼中县	2.3	0.5	0.314*
	琼海市	6.0	0.7	0.281*
	陵水黎族自治县	0.5	0.8	0.411**
	海口市	1.9	0.2	0.118
全年	儋州市	1.6	0.3	0.184
	乐东黎族自治县	0.7	0.4	0.405**
	琼中县	0.9	0.2	0.246
	琼海市	3.8	1.0	0.460**
	陵水黎族自治县	0.3	1.1	0.471**
全年	海口市	23.5	3.2	0.382**
	儋州市	29.9	3.9	0.419**
	乐东黎族自治县	16.0	4.0	0.507**
	琼中县	11.7	2.2	0.375**
	琼海市	20.3	4.5	0.530**
	陵水黎族自治县	2.0	4.6	0.539**

注: **、* 分别表示通过 0.01、0.05 的显著性检验。

害增幅最明显,灌浆结实期以重度热害增幅最明显^[18];郭建茂等也发现,两湖地区不同等级高温热害发生站数自2000年以来均呈显著增多趋势,其中抽穗扬花期以轻度热害增幅最明显,灌浆结实期以重度热害增幅最明显^[26]。

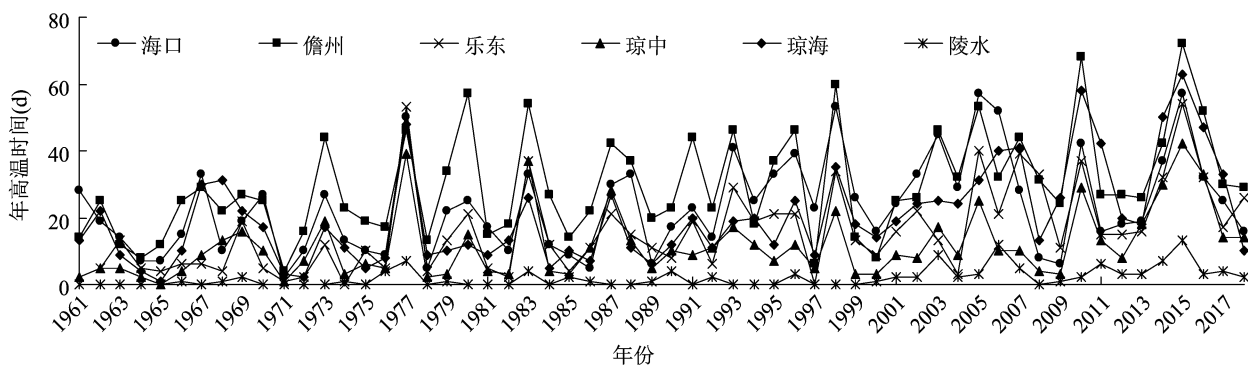


图3 1961—2018 年不同区域年高温日数变化特征

3 结论与讨论

海南岛高温日数主要出现在 4—8 月,为 1.8 ~ 4.6 d;10 月至翌年 2 月最少,其中,12 月为 0 d,即当月未有出现高温天气。海南岛年高温日数高值区域主要集中在北部澄迈县、定安县、屯昌县等以及西北部儋州市和西部昌江黎族自治县等地区,均超过 30 d;低值区域主要集中在东南部万宁市、中部五指山市、南部陵水黎族自治县和三亚市、西部东方市等地,不超过 3 d。

海南岛东部琼海市和陵水黎族自治县早稻抽穗始期和成熟期较早,而西部儋州市最晚;大部分地区抽穗始期—成熟期等关键生育期均在 4—7 月之间。晚稻抽穗始期和成熟期的日期均以琼海市最早,儋州市、海口市和乐东黎族自治县最晚,其他地区晚稻关键生育期均在 9—11 月之间。

海口市和儋州市早稻抽穗期—成熟期都极大可能遇到高温天气,5—6 月平均每月可达 6.0 ~ 7.4 d;乐东黎族自治县和琼中县也有可能在 5 月遇到 3.6 ~ 5.5 d 的高温天气;陵水黎族自治县和琼海地区早稻成熟主要在 5 月上旬,几乎不会遇到高温天气,但是琼海市晚稻关键生育期有可能会在 8 月遇到 3.8 d 的高温天气。除琼海市外,其他地区晚稻关键生育期(9—11 月)期间几乎不会有高温天气影响。

近 58 年来,海南岛月高温日数和年高温日数呈现上升趋势。其中,海口市地区 6 月、全年高温日数呈极显著上升趋势,每 10 年分别上升 1.2、3.2 d;儋州市地区 6 月和全年也呈极显著上升趋势,每 10 年分别上升 1.4、3.9 d;乐东黎族自治县 5 月、8 月和全年也呈极显著上升趋势,每 10 年分别上升 0.4 ~ 4.0 d;琼中地区全年呈极显著上升趋势,每 10 年分别上升 4.0 d;琼海市 6 月、8 月和全年呈极显著上

升趋势,每 10 年分别上升 1.0 ~ 4.5 d;陵水黎族自治县地区 6—8 月和全年也呈极显著上升趋势,每 10 年分别上升 0.8 ~ 4.6 d。

海南岛年高温日数出现最少的为 20 世纪 60 至 70 年代,而年高温日数主要出现在 2000 年以后。这与大部分地区不同等级高温热害发生站数的趋势均一致,其中抽穗扬花期—灌浆结实期增幅最明显^[13-19,23-26]。而海南岛在高温天气的显著性上升的大背景下,建议稻作栽培应选用耐高温和抗干旱的品种,早稻可适当提前播种,晚稻可适当延迟播种,有利于避开关键生育期的高温热害^[19]。

参考文献:

- [1] 陈颖,张灵,千怀遂. 华南地区近 53 年极端高温日数的变化特征及其区域差异[J]. 热带地理,2016,36(4):692-699,726.
- [2] 陈少勇,王劲松,郭俊庭,等. 中国西北地区 1961—2009 年极端高温事件的演变特征[J]. 自然资源学报,2012,27(5):832-844.
- [3] Ding T, Qian W H, Yan Z W. Changes in hot days and heat waves in China during 1961—2007[J]. International Journal of Climatology, 2010,30(10):1452-1462.
- [4] 郑有飞,丁雪松,吴荣军,等. 近 50 年江苏省夏季高温热浪的时空分布特征分析[J]. 自然灾害学报,2012,21(2):43-50.
- [5] 邹海平,张京红,陈小敏,等. 海南岛农业气候资源的时空变化特征[J]. 中国农业气象,2015,36(4):417-427.
- [6] 王亚伟,翟盘茂,田华. 近 40 年南方高温变化特征与 2003 年的高温事件[J]. 气象,2006,33(10):27-33.
- [7] 王春乙. 海南气候[M]. 北京:气象出版社,2014:201.
- [8] Liao E, Lu W F, Yan X H, et al. The coastal ocean response to the global warming acceleration and hiatus[J]. Scientific Reports,2015(5):16630.
- [9] 邢彤盈,张京红,吴胜安. 近 50 年海南岛高温日数和热浪的气候特征[J]. 中国农学通报,2017,33(22):107-112.
- [10] 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.

- [5] 成 榕. 贸易风险防控新机制——中俄边境地区农业合作战略对策研究[J]. 世界农业, 2014(11): 69–72.
- [6] 尹兴宽. 中国企业境外农业投资风险规避研究[J]. 农业经济, 2016(1): 115–117.
- [7] Moreira V R, Freier A, da Verga C P. A review of concepts, strategies and techniques management of market risks in agriculture and cooperatives[J]. International Business Management, 2016, 10(6): 739–750.
- [8] 王 禹, 李干琼, 李哲敏, 等. “一带一路”背景下中国和泰国农业合作研究[J]. 农业展望, 2017(1): 54–57.
- [9] 于海龙, 张 振. “一带一路”背景下我国农业对外合作的潜力、风险与对策研究[J]. 经济问题, 2018(2): 108–112, 122.
- [10] Saitone T L, Sexton R J, Malan B. Price premiums, payment delays, and default risk: understanding developing country farmers' decisions to market through a cooperative or a private trader[J]. Agricultural Economics, 2018, 49(3): 363–380.
- [11] 成 华, 王 强, 施一成. 江苏省农村产业融合发展的环境及态势分析[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(15): 72–76.
- [12] 朱春江, 古龙高. 基于 SWOT 分析的连云港市农业产业集群发展策略研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(2): 1095–1097.
- [13] 范郁尔, 胡晨浩, 李 进, 等. “一带一路”背景下连云港市开展农业国际合作的路径探索[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(1): 166–170.
- [14] 刘乃郗, 韩一军, 刘邦凡. 逆全球化背景下中国农业海外投资风险与对策[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2018, 20(1): 127–132.
- [15] 高 勇. 中国农业企业对外直接投资的风险与对策分析[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2012.
- (上接第 312 页)
- [11] 郑建初, 张 彬, 陈留根, 等. 抽穗期高温对水稻产量构成要素和稻米品质的影响及其基因型差异[J]. 江苏农业学报, 2005, 21(4): 249–254.
- [12] 黄 维, 杨沈斌, 石春林, 等. 苏皖鄂地区一季稻产量灾损的风险区划[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(3): 219–224.
- [13] 谭诗琪, 申双和. 长江中下游地区近 32 年水稻高温热害分布规律[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 97–101.
- [14] 任义方, 赵艳霞, 张旭晖, 等. 江苏水稻高温热害气象指数保险风险综合区划[J]. 中国农业气象, 2019, 40(6): 391–401.
- [15] 谭孟祥, 景元书, 曹海宁. 江苏省一季稻生长季气候适宜度及其变化趋势分析[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1): 349–353.
- [16] 杨 军, 李迎春, 刘 丹, 等. 江西一季稻花期高温热害发生规律及其对产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(19): 170–175.
- [17] 郭建茂, 李淑婷, 谢晓燕, 等. 安徽省一季稻抽穗开花期高温热害分布规律[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(5): 275–280.
- [18] 刘 佳, 陈 超, 张玉芳, 等. 四川单季稻抽穗扬花期和灌浆结实期高温热害时空特征[J]. 中国农业气象, 2018, 39(1): 46–58.
- [19] 王 斌, 陈小敏, 钟曼茜, 等. 海南水稻生育期的时空变化特征及对气候变暖的响应[J]. 热带作物学报, 2017, 38(3): 415–420.
- [20] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [21] Prasad P, Boote K J, Allen J. Adverse high temperature effects on pollen viability, seed – set, seed yield and harvest index of grain – sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] are more severe at elevated carbon dioxide due to higher tissue temperatures[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 139(3/4): 237–251.
- [22] 吕晓敏, 周广胜. 双季稻主要气象灾害研究进展[J]. 应用气象学报, 2018, 29(4): 385–395.
- [23] 曾 凯, 周 玉, 宋忠华. 气候变暖对江南双季稻灌浆期的影响及其观测规范探讨[J]. 气象, 2011, 37(4): 468–473.
- [24] 叶 清, 杨晓光, 李 勇, 等. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 VIII. 江西省双季稻各生育期热量条件变化特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(8): 2021–2030.
- [25] 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): 515–528.
- [26] 郭建茂, 白玛仁增, 梁卫敏, 等. 两湖地区水稻抽穗开花期高温热害时空分布[J]. 中国农业气象, 2019, 40(1): 51–61.