

赖晟,陈思蓉,陆甲,等. 2021 年 6—9 月广西异常高温成因分析[J]. 气象研究与应用,2021,42(4):111–117.

Lai Sheng, Chen Sirong, Lu Jia, et al. Cause analysis of abnormal high temperature in Guangxi from June to September 2021[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2021, 42(4): 111–117.

2021 年 6—9 月广西异常高温成因分析

赖 晟, 陈思蓉, 陆 甲, 陆 虹*

(广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022)

摘要: 2021 年 6—9 月广西经历了 1951 年以来最高的月平均气温, 大范围高温天气频发。利用 1961—2021 年广西国家地面气象观测站日平均气温和日最高气温观测资料、1991—2021 年 ERA5 再分析资料和西太平洋副热带高压指数资料, 对此次广西异常高温的特征和成因进行了研究分析。结果表明, 气候变暖是导致此次高温事件的重要气候背景, 西太平洋副热带高压异常偏强位置偏西偏北、中纬度西风带扰动影响偏北以及热带气旋影响偏弱是造成广西气温异常偏高的主要原因。

关键词: 异常高温; 区域性高温过程; 西太平洋副热带高压

中图分类号: P423

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2021.4.20

OSID:

引言

政府间气候变化专门委员会(IPCC)的《气候变化 2021: 自然科学基础》工作报告以及世界气象组织(WMO)最新发布的气候报告中均指出, 人类活动影响已造成大气、海洋和陆地变暖, 在这种全球显著增暖的大背景下, 高温、暴雨、洪涝和干旱等极端天气气候事件成为新常态, 出现频次更多而且强度更强^[1-4]。近年来全球和我国多地高温热浪天气频发造成了严重影响, 极端高温天气越来越受到人们的重视, 已有不少研究从西太平洋副热带高压、热带系统环流和人类活动等角度, 对一些异常高温事件的成因进行了分析^[5-10]。广西地处华南地区西部, 不仅气温有增暖趋势, 极端最高气温和高温日数也存在增强增多的趋势, 易受到高温热浪天气的影响^[11-17]。2021 年 6—9 月广西出现多次高温热浪天气, 全区平均气温为 1951 年以来最高, 导致广西部分地区发生严重的高温干旱事件, 对生产生活造成了严重影响。本文利用实况和再分析资料, 对 2021 年 6—9 月广西异常高温的状况特征进行了分析, 从西太平洋

副热带高压和欧亚中高纬度环流特点入手, 初步研究分析此次异常高温的成因, 为气候变暖背景下的气候预测和决策服务提供相关理论依据。

1 资料和方法

1.1 资料

使用的资料包括: (1) 1961—2021 年 6—9 月广西 91 个国家地面气象观测站的逐日平均气温和日最高气温观测数据; (2) ECMWF 提供的 1991—2021 年全球大气再分析 ERA5 资料^[18], 水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 气象要素包括水平风场和位势高度等; (3) 国家气候中心提供的西太平洋副热带高压逐日指数。常年气候平均值为 1981—2010 年值的平均。单站高温是指单站日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$; 当广西 91 个国家地面气象观测站逐日高温站数有 20 站及以上, 持续 3d 及以上, 并且其中至少 1d 的高温站数超过 40 站时, 则定义为一次广西高温天气过程。

1.2 方法

首先使用站点实况资料对 1961—2021 年 6—9 月广西高温特征进行了分析, 利用回归分析、非参数

收稿日期: 2021-11-12

基金项目: 广西科技计划项目(桂科 AB21075008)、广西自然科学基金项目(2020GXNSFAA159092)

作者简介: 赖晟(1994—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 极端天气气候变化与预测。E-mail: laish12@lzu.edu.cn

通讯作者: 陆虹(1966—), 女, 硕士, 正研级高级工程师, 主要研究方向: 气候预测与气候变化研究。E-mail: luhong0908@163.com

Mann-Kendall 趋势检验等数理统计方法分析高温天气发生的气候变化背景,使用副高相关指数和扰动能量指标诊断分析西太平洋副热带高压以及中高纬度环流的活动特征,探究高温天气的成因。

中高纬度地区天气尺度的槽脊活动主要是由瞬变扰动所引起^[19],本文使用经过 0~8d 高通滤波后的水平风场计算得到的瞬变扰动能量大小,又称为高频瞬变涡动能^[20]来表征天气尺度槽脊活动的强弱:

$$HFEKE=\frac{1}{2}(u'^2+v'^2)$$

(1)

其中 u' 和 v' 为经过 0~8d 高通滤波后的纬向和经向风场,HFEKE 的值越大说明瞬变扰动的能量越强,天气尺度的槽脊越活跃^[21]。

2 结果与分析

2.1 6—9 月高温特征

2021 年 6—9 月广西各站点平均气温为 23.3~29.8℃,大部地区平均气温在 28℃以上,桂西北山区平均气温 23.3~26.4℃(图 1a),全区 6—9 月平均气温为 28.2℃。各地平均气温偏高 0.1~2.5℃,桂北大

部地区偏高 1℃以上,其中右江河谷、桂东北偏高 1.5℃以上,最高偏高为桂林 2.5℃(图 1b);全区 6—9 月平均气温比常年同期偏高 1.1℃,为 1961 年以来同期最高,全州、资源、兴安等 49 站为当地建站以来同期最高,大部地区为历史记录同期前 3 高。2021 年 6—9 月广西全区平均逐月平均气温平均气温分别为 27.6℃、28.9℃、28.4℃和 27.8℃,较常年同期分别偏高 0.7℃、1.0℃、0.7℃和 2.0℃;9 月的全区平均气温为 1951 年来同期排位第一(表 1),各站平均气温偏高 0.1~5.1℃,全区有 16 站偏高 3℃以上,主要集中在桂东北地区,最高偏高为全州 5.1℃,有 39 站为历史同期最高。

表 1 广西 2021 年 6—9 月气温概况

	6 月	7 月	8 月	9 月	6—9 月
平均气温(℃)	27.6	28.9	28.4	27.8	28.2
气温距平(℃)	0.7	1.0	0.7	2.0	1.1
平均气温历史排位	8	6	7	1	1
平均高温日数(d)	4	14	8	10	36
区域性高温过程次数(次)	1	3	1	3	8

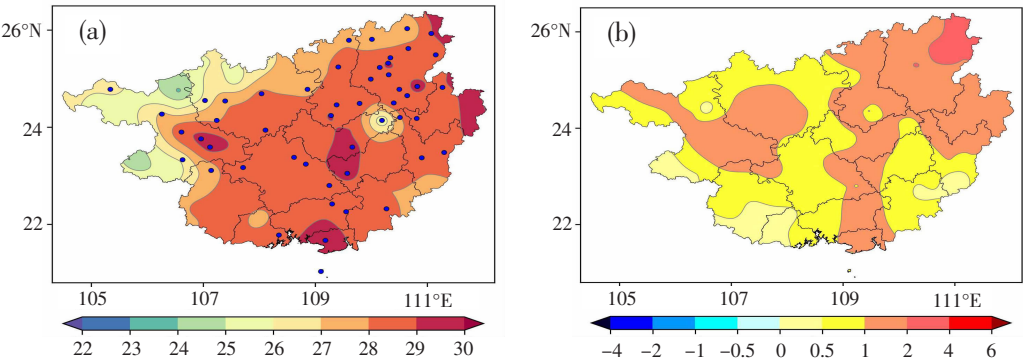


图 1 2021 年 6—9 月广西平均气温(a)及其距平(b)的空间分布(单位:℃)
(a)小点为当地同期平均气温历史排位第一的站点位置

2021 年 6—9 月广西的高温天气过程频次和平均高温日数偏多(表 2),期间大范围高温天气过程共 8 次,为 1961 年以来最多;7 月和 9 月全区平均高温日数分别为 14d 和 10d,均较常年偏多 8d,为 1961 年以来同期最多;整个 6—9 月期间,全区平均高温日数为 36d,较常年偏多 20d,同样为 1961 年以来同期最多。2021 年 6—9 月广西的高温过程影响范围广而且强度强,各次过程的高温站数均在 60 个以上,8 月 2—8 日高温过程的高温站数为 86 个,其中 56 站的过程最高气温超过了 37℃,最高出现在三江为 39.7℃,三江、沙塘、东兰、巴马、凤山和南丹

打破当地历史极端最高气温纪录。在 9 月 9—14 日的异常高温过程中,高温影响站数为 83 个,全区有 45 个站点的过程最高气温超过 37℃,富川、雁山、东兰、凤山和德保最高气温突破 9 月当地历史最高气温纪录,9—14 日这次高温过程无论是高温综合强度、持续天数还是过程覆盖范围,都是 9 月历史同期罕见的。

2.2 成因分析

2.2.1 气候变暖的影响

工业革命以来,人类活动排放的二氧化碳等温室气体加强了温室效应,引起明显的全球变暖,根据

表 2 广西 2021 年 6—9 月区域性高温过程概况

起止日期	持续天数 (d)	≥35 (37) °C 站点数(站)	过程最高气温 (°C)	最高气温突破 历史极值的台站
6 月 17 日—6 月 20 日	4	73 (16)	40.1 (龙州)	无
7 月 5 日—7 月 7 日	3	60 (1)	37.2 (三江)	无
7 月 10 日—7 月 20 日	11	78 (33)	38.8 (田东)	无
7 月 23 日—7 月 31 日	9	81 (45)	39.1 (荔浦、田东)	无
8 月 2 日—8 月 8 日	7	86 (56)	39.7 (三江)	三江、沙塘、东兰 巴马、凤山、南丹
9 月 2 日—9 月 6 日	5	60 (21)	38.2 (贺州)	无
9 月 9 日—9 月 14 日	6	83 (45)	39.2 (三江)	富川、雁山 东兰、凤山、德保
9 月 26 日—10 月 2 日	7	61 (17)	38.1 (田阳)	无

《广西气候变化监测报告(1961—2015 年)》^[11], 广西夏季气温也存在 $0.09^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的显著升温趋势。图 2 是 1961—2021 年广西 6—9 月平均气温及其距平的变化, 从序列的线性回归可以看到平均气温为上升趋势, 增温速率为 $0.11^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, 相较夏季(6—8 月)的增温速率更快; 序列通过了 99% 显著性水平的非参数 Mann-Kendall 趋势检验, 也说明广西 6—9 月的平均气温存在非常显著的增暖趋势。同时, 广西 6—9 月平均气温序列还存在明显的年际和年代际变化特征, 21 世纪之前属于偏冷时期, 1997 年 6—9 月是历年中最凉的, 平均气温 26.1°C , 较常年同期偏低 1.0°C 。滑动 t 检验和 M-K 突变检验均表明广西 6—9 月平均气温在 2003 年前后发生显著突变, 2003 年之后以显著的准 2~3a 周期波动上升进入偏暖时期, 2003 年之后偏低年仅有 4a(2004、2006、2008 和 2012 年), 平均气温最高、偏高最大的 2021 年就处在这一显著偏暖时期当中。所以综上所述, 气候变暖使得广西 2021 年 6—9 月平均气温异

常偏高的可能性增大, 是极端高温天气频发的重要气候背景。

2.2.2 西太平洋副热带高压异常偏强

西太平洋副热带高压(简称西太副高)是夏季气温变化的重要影响系统之一^[5-10], 当西太副高偏强偏西控制时广西气温常出现偏高^[19-21]。从 2021 年 6—9 月 500hPa 位势高度场及其距平的特征(图 3a)可以看到, 西太副高脊线位置正常, 但西伸脊点异常偏西约 20 个经度至 115°E 附近, 面积也明显偏大。再从西太副高的逐月演变(图 3b-e)进行分析: 6 月西太副高脊线较常年同期略偏南, 西伸脊点偏西; 7 月西太副高的西伸脊点略偏东, 脊线位置正常; 进入 8 月之后西太副高脊线略偏南, 西伸脊点偏西约 15 个经度, 且面积偏大、强度偏强; 9 月西太副高进一步异常西伸至 90°E 附近, 其 5880gpm 特征线覆盖了整个华南地区, 致使 9 月广西气温异常偏高。

进一步分析西太副高逐日的活动状况, 图 4 是西太平洋副热带高压指数的逐日演变。可以看到 6 月上旬西太副高西伸脊点异常偏西但开始东退, 脊线位置略偏北; 中旬西伸脊点位于 110°E 附近, 脊线略有南撤, 而强度迅速增强, 这恰与 6 月 17—20 日的区域性高温过程有较好对应; 下旬西太副高重新西伸, 脊线逐渐北抬至常年位置附近, 强度持续偏强。7 月, 上旬西太副高维持偏强状态, 西伸脊点继续西伸至 90°E , 脊线稍有北抬; 中旬西太副高强度恢复到正常状态, 但脊线位置异常北抬至 40°N , 西伸脊点偏西且开始东退; 7 月下旬至 8 月上旬初, 由于第 6 号台风“烟花”和第 9 号台风“卢碧”连续影响, 西太副高暂时东退南撤。8 月上旬开始西太副高

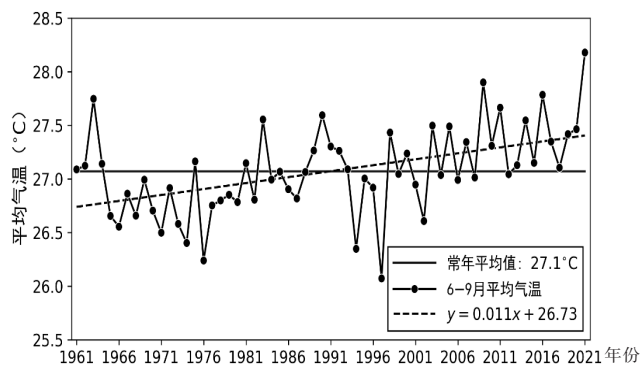


图 2 广西 1961—2021 年 6—9 月平均气温的年际变化特征(单位: $^{\circ}\text{C}$)

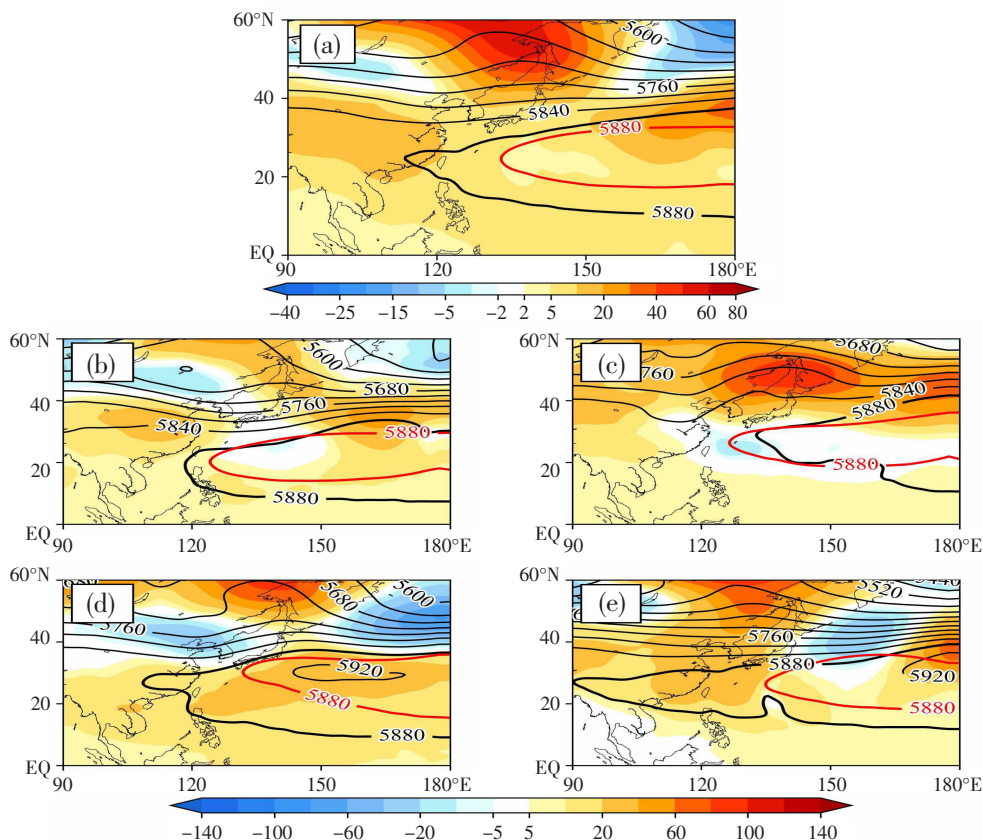


图3 2021年6—9月500hPa位势高度(黑线)及其距平(阴影)特征(单位:gpm)
(a)6—9月平均;(b-e)6—9月逐月演变;红色实线为5880gpm特征线气候平均位置

强度重新加强,西伸脊点也西伸至95°E附近摆动,脊线则北抬至27°N附近维持,这种副高强度偏强、位置偏西偏北的情况一直持续到9月末,8月2—8日和9月9—14日两次高温过程都发生在西太副高强度增强至最强的时候。

整体而言,2021年6—9月西太副高以西伸脊点异常偏西、强度偏强为主要特征,8—9月西副高脊线偏北尤为明显。正是西太副高长时间异常控制使得广西6—9月大范围高温过程偏多、高温持续时间较长,导致气温偏高。

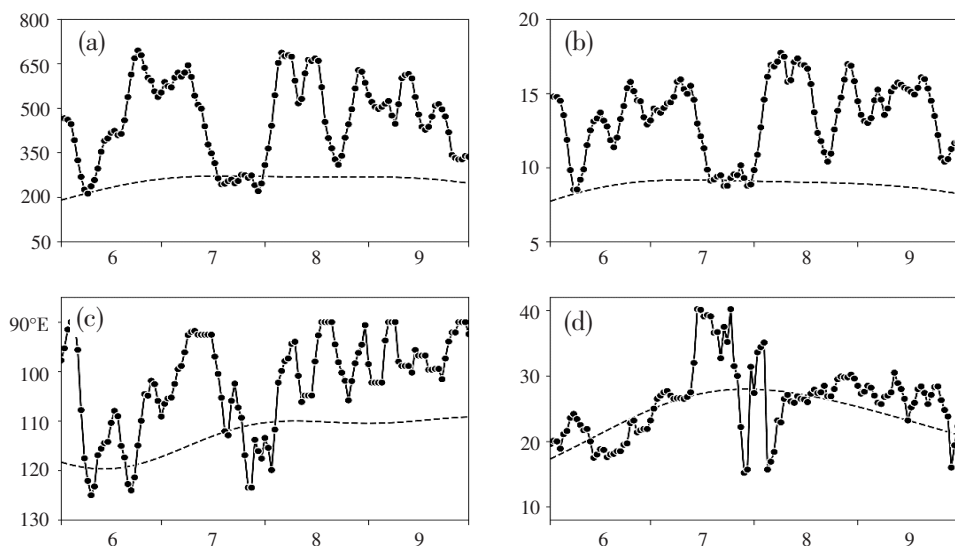


图4 2021年6—9月西太平洋副热带高压指数逐日演变
(a)强度指数;(b)面积指数;(c)西伸脊点经度;(d)脊线位置纬度。黑色虚线为各要素气候平均值

2.2.3 西风带扰动影响偏北

2021 年 6—9 月 500hPa 欧亚高纬度为“两脊一槽”形势(图 3a), 乌拉尔山和贝加尔湖以东为高脊区, 低槽为一弱槽, 位于西西伯利亚地区, 中纬度以纬向环流为主, 从巴尔喀什湖至我国东北为弱的负距平区, 表明中纬度多小槽波动东移, 这种形势不利于冷空气南下影响。为了分析中高纬度地区天气尺度槽脊和冷空气的活动特征及强度, 这里参照 Lehmann^[22]等人计算高频瞬变涡动动能 HFEKE 的做法进行诊断分析, HFEKE 为正(负)距平说明瞬变

扰动的能量越强, 天气尺度的槽脊越活跃(不活跃)^[23]。图 5a 是 2021 年 9 月 HFEKE 的距平空间分布, 从中亚地区至鄂霍兹克海一带为正距平, 孟加拉湾至朝鲜半岛为负距平分布, 说明西风带扰动影响偏北, 冷空气强度弱且路径偏东偏北, 而异常偏强的西太副高导致华南出现正距平。同时, 2021 年 9 月 200hPa 西风急流核强度偏强、范围偏大、位置偏西偏北(图 5b), 也表明期间中纬度西风带以纬向环流为主, 不利于西风带扰动南下影响低纬度地区。

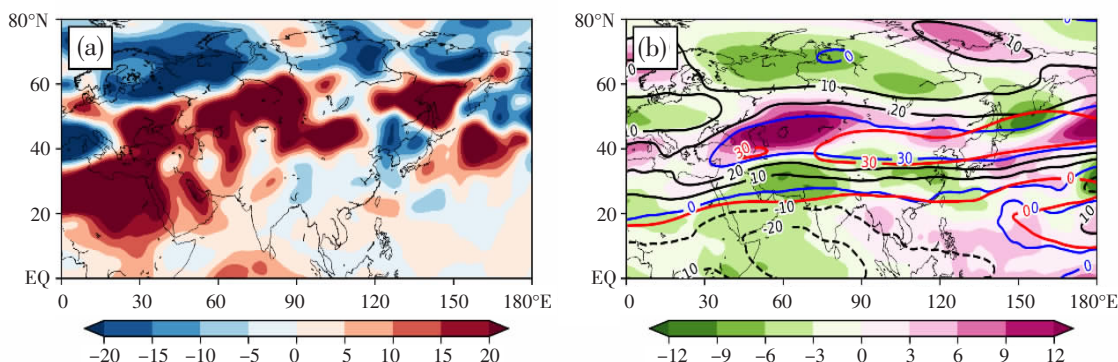


图 5 2021 年 9 月 (a)300hPa 高频瞬变涡动动能距平(单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)和 (b)200hPa 纬向风速(等值线)及其距平(阴影, 单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), (b)中红色和蓝色线分别为气候态和实况的 $0\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $30\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 线

综合以上分析可以看到, 2021 年 6—9 月欧亚西风急流偏强, 中纬度地区主要为纬向环流形势, 西风带系统对低纬度地区影响较弱, 这导致广西大范围降水的出现缺乏有利的动力扰动条件, 冷空气南下活动较弱使冷平流降温的作用也不显著, 广西高温天气难以缓解, 同时这种形势也有利于西太副高强度偏强、位置偏西偏北。

另外在 2021 年 9 月期间, 西伯利亚东部至我国华南地区为大范围的 500hPa 位势高度正距平区域, 气温正距平的分布(图略)与之基本一致, 说明这一区域存在行星尺度的正压定常波^[24], 其抑制了斜压活动, 同样为气温异常持续偏高提供了有利条件。

2.2.4 热带气旋影响弱

2021 年 6—9 月影响广西的热带气旋共 3 个, 与历年同期相比数量偏少、影响较弱, 3 个热带气旋的路径都偏南, 仅第 7 号台风“查帕卡”进入了广西境内, 但也只给桂南和沿海地区带来中等强度的风雨影响。第 4 号台风“小熊”和第 9 号台风“卢碧”并未进入广西境内, 主要为外围环流影响, 风雨影响较弱, 对广西高温天气的缓解作用较为有限。众所周知, 台风外围下沉气流会造成近地层气温上升, 容易

造成高温天气, 在第 7 号台风“查帕卡”在登陆前的 7 月 19—20 日, 其西侧的外围下沉气流致使桂西出现的高温天气过程。同样的, 第 9 号台风“卢碧”西侧的偏北下沉气流导致了 8 月上旬出现 2021 年强度最强、范围最大的高温天气过程, 桂西北多地打破当地历史极端最高气温纪录。

3 结论和讨论

(1) 广西 2021 年 6—9 月平均气温偏高 1.1°C , 居历史同期第一位, 各地平均气温偏高 $0.1\sim 2.5^\circ\text{C}$, 大部地区平均温度打破当地建站以来同期最高值; 期间高温热浪天气频发, 9 月全区平均气温、高温天气过程频次和高温日数均突破历史记录。

(2) 1961 年以来广西 6—9 月平均气温以 $0.11^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的速率上升, 这种显著变暖是 2021 年 6—9 月气温偏高、高温热浪频发的重要气候背景。而 6—9 月西太平洋副热带高压异常偏强、位置偏西偏北, 广西受其长时间异常控制, 是导致广西气温偏高、高温过程多的直接原因。同时 2021 年 6—9 月中纬度西风带以纬向环流为主、西风带扰动影响偏弱以及影响广西的热带气旋偏少偏弱也是造成气

温偏高的原因之一。

本文仅从西太平洋副热带高压和中纬度西风带环流等角度初步讨论了广西 2021 年 6—9 月气温异常偏高的原因。据有关文献分析,在拉尼娜事件影响年,广西夏季倾向于降水偏多、气温偏低^[25],2020 年秋冬季至 2021 年春季出现了一次中等偏弱强度的拉尼娜事件,为何 2021 年广西夏季气温和降水会一反常态的偏高和偏少? 高温热浪天气的季节内变化过程是怎么样的? 这些都值得我们未来深入研究。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis [R]. 2021.
- [2] WMO. WMO Provisional Report on the State of the Global Climate 2021 [R]. 2021.
- [3] WMO. State of Climate in 2021: Extreme Events and Major Impacts [R]. 2021.
- [4] WMO. WMO Provisional Statement on the State of the Global Climate in 2019 [R]. 2019.
- [5] 彭京备,刘舸,孙淑清. 2013 年我国南方持续性高温天气及副热带高压异常维持的成因分析[J]. 大气科学, 2016, 40(5):897-906.
- [6] 林汇丰,张玫,刘昌,等. 惠州市 5 月高温特征及异常高温成因分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(1):16-20.
- [7] 周后福,陈海燕,黄克慧,等. 浙江省 2003 年夏季异常高温气候及其成因分析[J]. 科技通报, 2005, 21(5):524-528.
- [8] 符式红,郑艳. 2014 年海南岛持续性异常高温成因分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(2):27-30.
- [9] 马浩,刘昌杰,钱奇峰,等. 2018 年 5 月浙江省极端高温气候特征及环流背景[J]. 干旱气象, 2020, 38(6):909-919.
- [10] 张宇,李耀辉,王劲松,等. 2013 年 7 月我国南方异常持续高温成因分析[J]. 热带气象学报, 2014, 30(6):1172-1180.
- [11] 广西壮族自治区气候中心. 广西气候变化监测报告 (1961—2015) [M]. 南宁:广西科学技术出版社, 2017: 1-2.
- [12] 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):11-15.
- [13] 覃卫坚,李耀先,覃志年. 广西气温气候变化特征研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(32):18315-18318.
- [14] 黄雪松,周惠文,黄梅丽,等. 广西近 50 年来气温、降水气候变化[J]. 广西气象, 2005(4):9-11.
- [15] 吴晓绚,杜尧东,杨永生. 1961—2012 年华南地区气温的变化特征[J]. 气象与减灾研究, 2015, 38(2):27-30.
- [16] Donat M G, Pitman A J, Seneviratne S I. Regional Warming of Hot Extremes Accelerated by Surface Energy Fluxes[J]. Geophysical Research Letters, 2017, 44(13):7011-7019.
- [17] 何林宴,简茂球. 广西贵港地区极端高温日的时间变化特征及其环流背景[J]. 热带气象学报, 2019, 35(5):694-708.
- [18] Hersbach H, Bell B, Berrisford P, et al. The ERA5 Global Reanalysis[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2020(146):1999-2049.
- [19] 李妍君,陆虹,覃卫坚,等. 2019 年广西异常暖冬的气候成因分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(1):75-78.
- [20] 周冬梅,骆炳兰,黄肖寒,等. 1959—2014 年田阳高温天气特征及成因分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(2): 35-37.
- [21] 张凌云,刘蕾,王艺,等. 近 56a 柳州高温天气的气候特征及类型分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(4):1-6.
- [22] Lehmann J, Coumou D, Frieler K, et al. Future Changes in Extratropical Storm Tracks and Baroclinicity Under Climate Change[J]. Environmental Research Letters, 2014, 9(8):1-10.
- [23] 丁一汇. 高等天气学(第二版) [M]. 北京:气象出版社, 2008:20-22.
- [24] 赵庆云,黄建平,吕萍,等. 2010 年夏季北半球气温异常偏高现象及其成因[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2011, 47(1):52-56.
- [25] 《广西天气预报技术手册》编写组. 广西天气预报技术和方法 [M]. 北京:气象出版社, 2012:375-377.

Cause analysis of abnormal high temperature in Guangxi from June to September 2021

Lai Sheng, Chen Sirong, Lu Jia, Lu Hong*

(Guangxi Climate Center, Nanning 530022, China)

Abstract: From June to September 2021, Guangxi experienced the highest monthly average temperature since 1951, with frequent high-temperature weather in a wide range. Based on the observation data of daily average temperature and daily maximum temperature of Guangxi national ground meteorological observatory from 1961 to 2021, ERA5 reanalysis data from 1991 to 2021, and Western Pacific subtropical high index data, the characteristics and causes of the abnormal high temperature in Guangxi were studied. The results show that climate warming is an important climate background leading to the high temperature event. The main reasons for the abnormally high temperature in Guangxi are the abnormally strong subtropical high in the Western Pacific, the northwest of the position, the north of the disturbance of the middle latitude westerlies and the weak influence of tropical cyclones.

Key words: abnormal high temperature; regional high temperature process; Western Pacific subtropical high