

廖胜石, 陆甲, 刘璐, 等. 2023年7月广西持续性高温天气成因及前兆信号分析[J]. 气象研究与应用, 2024, 45(2): 88-94.
LIAO Shengshi, LU Jia, LIU Lu, et al. Analysis of causes and precursor signals of persistent heat waves in Guangxi in July 2023[J].
Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(2): 88-94.

2023年7月广西持续性高温天气成因及前兆信号分析

廖胜石, 陆甲, 刘璐, 李广桃

(广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022)

摘要: 利用广西91个国家气象观测站最高气温逐日资料和NCEP/NCAR再分析资料、NOAA向外长波辐射资料, 国家气候中心130项气候系统监测指数资料, 分析2023年7月广西持续性高温天气的成因, 探寻其前兆信号。结果表明, 7月9—16日和22—29日, 广西出现2次大范围高温天气过程, 全区平均高温日数12 d, 为1951年以来同期第3多。两个高温天气过程中, 广西受台风西侧外围下沉气流控制, 副热带高压强度偏强, 位置偏北偏西、南亚高压异常东扩。深厚高压系统控制下的异常下沉增温作用导致广西2023年7月高温天气的发生发展。前期3—4月热带西太平洋暖池海温特征量与当年7月广西高温日数呈显著正相关, 此因子可作为7月广西高温天气一个可靠的前兆信号。

关键词: 高温; 副热带高压; 热带西太平洋暖池; 海温

中图分类号: P457.3 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.2.15

在气候变暖背景下, 极端高温变化尤为明显。极端高温事件除了导致热病和死亡的增加, 还会给电力、林业以及农业等方面带来严重影响。华南区域性持续高温过程跨越季节最长, 从5月中旬至10月初均可能出现, 高温指数存在显著的线性增长趋势^[1]。华南地区极端高温日数于20世纪90年代后期进入快速增长期^[2]。李芷卉、胡娅敏^[3]发现广东省群发性高温事件呈显著增长趋势, 且在1990年代发生一次年代际突变, 其中以7月为最盛月。方宇凌等^[4]则认为2003年华南大范围持续高温天气不仅与副热带高压有关, 还和大陆高压以及台风外围下沉气流有密切联系。另一方面, 太平洋、印度洋和大西洋的海温异常通过影响热带地区对流活动和全球大气环流变化, 进而影响全球不同区域高温事件的发生。研究表明, ENSO、赤道印度洋和西太平洋暖池海温, 可以通过影响西太平洋和东亚地区大气环流从而影响我国夏季高温日数^[5]。热带西大西洋暖海温异常能够导致江南地区高温事件的发生与发展^[6]。上一年秋季和当年春季的热带中东太

平洋和热带印度洋异常海温分布均有利于西太平洋副高的加强西伸, 控制海南岛区域, 形成海南岛春季高温天气^[7]。何慧根等^[8]针对重庆地区的高温干旱与拉尼娜事件的关联进行深入研究, 发现弱拉尼娜事件倾向于引发高温, 而中等强度拉尼娜事件更易导致干旱。

广西地处低纬, 夏天出现日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的炎热天气较多。广西高温天气主要是由于副热带高压、热带气旋、西南暖低压等天气系统影响造成^[9]。年高温日数的地域分布由河谷向丘陵山区递减, 具有明显的局地性特征^[10]。在气候变暖背景下, 广西6—9月平均气温有逐渐增高的变化趋势^[11], 高温日数具有12~14 a和10 a周期变化特征^[12]。广西沿海高温天气主要集中在7—8月, 并且呈北多南少的特点^[13]。

2023年7月, 我国东部、南部地区出现4次大范围高温天气过程, 其中广西分别在7月9—16日和22—29日出现2次持续8 d的大范围高温天气过程, 综合强度均达到强等级^[14]。目前, 对于异常的高温

收稿日期: 2024-03-25

基金项目: 中国气象局复盘总结专项(FPZJ2024-101)和广西气象科研计划项目(桂气科2024M04)

第一作者: 廖胜石(1976-), 硕士, 高级工程师, 主要从事气候监测与评价研究。E-mail: lss0218@126.com

天气的预报、预测难度较大,对于高温天气的影响机理机制尚未完全弄清,特别是如何找到其中的前兆信号,提前更长时间预测出后期的高温天气,以便政府部门和人民群众提前做出生活和生产安排,仍然是个挑战。本文将通过分析 2023 年 7 月广西高温天气主要影响系统(副热带高、南亚高压等)的演变特征和海温变化特征,寻找高温预测的前兆信号,为提高高温天气预报预测技术提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料

所用资料包括:①广西 91 个国家气象观测站最高气温逐日资料;② NCEP/NCAR 逐日再分析资料,水平分辨率 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,包括位势高度、垂直速度等要素,垂直方向共 17 层;③ NOAA 提供的向外长波辐射(Outgoing Longwave Radiation, OLR)日平均资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$;④ 国家气候中心网站(<http://www.ncc-cma.net/>)下载的 130 项气候系统监测指数资料,其中包含 1951 年 1 月以来逐月的西太平洋副高特征量资料(包括脊线位置、西伸脊点、面积指数、强度指数等)和西太平洋暖池特征量资料(面积指数、强度指数);⑤ 国家气候中心 CIPAS 网站(<http://www.cipas.com>)下载的逐日西太平洋副高特征量资料(包括脊线位置、西伸脊点、面积指数、强度指数)。

1.2 方法

单站高温即某气象台站最高气温日观测值(北京时间 20—20 时) $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的天气现象^[14]。全区平均高温日数是指某个时段内广西 91 个国家地面气象观测站的单站高温日总数的算术平均;高温过程指广西区域性高温过程,定义为全区有 20 个及以上的国家级地面气象观测站出现高温的当日为广西高温日;达到连续 3 d 及以上广西高温日为一个广西区域性高温过程,持续时间从满足第一个广西高温日开始为过程第一天,至不满足广西高温日条件的前一天结束,且期间至少有一天高温站数达到或超过 40 个国家级地面气象观测站。采用 1991—2020 年多年平均作为气候态。

2 结果与分析

2.1 2023 年 7 月广西高温天气特征

2023 年 7 月,广西出现大范围持续性高温天气,高温过程持续时间长,覆盖范围大。全区平均高温

日数 12 d,比常年同期偏多 6 d,为 1951 年以来同期第 3 多。大部地区高温日数较常年同期偏多 3~19 d,有 22 个县(市、区)高温日数历史为同期最多。月内出现 2 次大范围高温天气过程,分别在 9—16 日和 22—29 日,综合强度均达到强等级(图 1)。其中第 1 次高温过程(7 月 9—16 日)持续 8 d。全区平均日最高气温较历史同期偏高 1.5°C ,过程逐日高温县(市、区)数在 40~67 个之间,过程极端最高气温出现在恭城 38.8°C (7 月 15 日)。第 2 次高温过程(7 月 22—29 日)同样持续 8 d。全区平均日最高气温较历史同期偏高 1.5°C ,过程逐日高温县(市、区)数在 38~77 个之间,过程极端最高气温出现在平果 39.3°C (7 月 28 日)。防城站日最高气温(37.8°C ,7 月 28 日)与建站以来最高记录持平,平果站日最高气温(39.3°C ,7 月 28 日)打破当地建站以来 7 月历史记录。

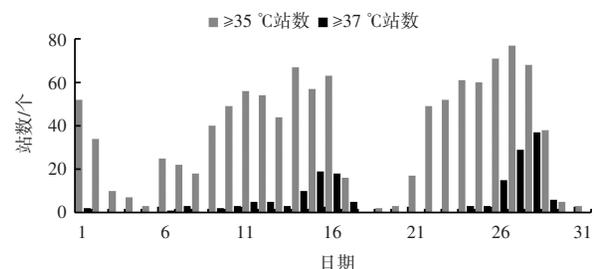


图 1 2023 年 7 月广西逐日高温站数

2.2 成因分析

2.2.1 台风外围下沉气流的影响

当台风位于我国东部、南部沿海时,受其西侧外围下沉气流影响,广西常常出现晴朗高温天气^[12]。2023 年 7 月,我国南海及西太平洋地区先后有 2304 号“泰利”、2305 号“杜苏芮”和 2306 号“卡努”台风生成发展。其中 2304 号“泰利”于 7 月 14 日 11 时在菲律宾北部洋面生成,然后向华南沿海地区移动,先后于 17 日在湛江市和 18 日在北海市两次登陆,18 日 20 时在广西崇左市减弱。在 7 月 9—16 日期间,广西出现 7 月第 1 次高温过程,其中 14—16 日每日高温站数为 57~67 站。2305 号“杜苏芮”于 7 月 21 日 08 时在菲律宾以东洋面生成,之后向华东沿海地区移动,28 日在福建晋江市沿海登陆,29 日在安徽安庆境内减弱。在 7 月 22—29 日期间,广西出现 7 月第 2 次高温过程,其中 26—28 日每日高温站数位 68~77 站。图 2 是 2023 年 7 月 13 日和 26 日 500hPa 垂直速度 ω 分布情况。在两个台风影响期

间,在其西侧外围为强盛的下沉气流。广西刚好受到其下沉气流所控制,尤其是在“泰利”登陆之前,广西区域为垂直速度 ω 正的大值中心(下沉气流)。

可见,由于受副热带高压影响,天气晴好,台风西北象限外围下沉气流的加热增温作用促使广西 2023 年 7 月出现大范围高温天气。

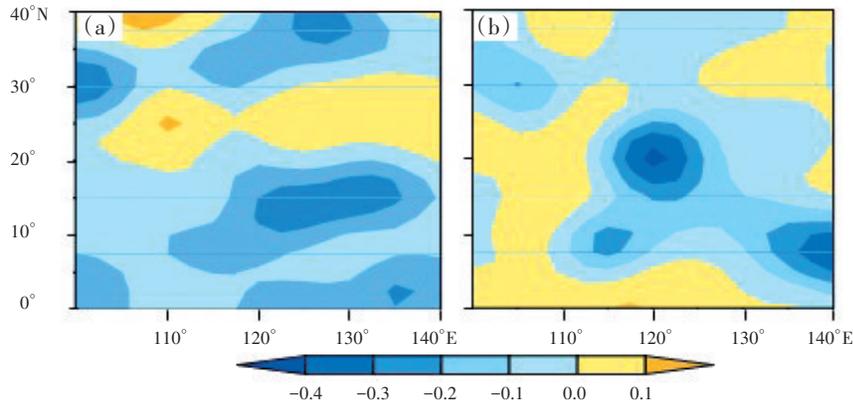


图2 500hPa垂直速度 ω 分布图(单位: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)
(a)7月13日;(b)7月26日

2.2.2 高空影响系统分析

图 3 给出 2023 年 7 月 9—16 日、7 月 22—29 日 500 hPa 和 200 hPa 位势高度及其距平场。从图 3 可看出,2023 年 7 月东亚地区 500 hPa 和 200 hPa 上,我国大部分地区为位势高度正距平区,正距平中心位

于巴尔喀什湖到我国新疆一带,我国东北地区到鄂霍茨克海一带为位势高度负距平区。由 500 hPa 位势高度场的结果分析看出(图 3(a)、3(c)),同气候平均态比较可见,588 dagpm 等高线(图 3 中黑实线)呈东西向带状分布,西脊点位置由常年的 120°E 附

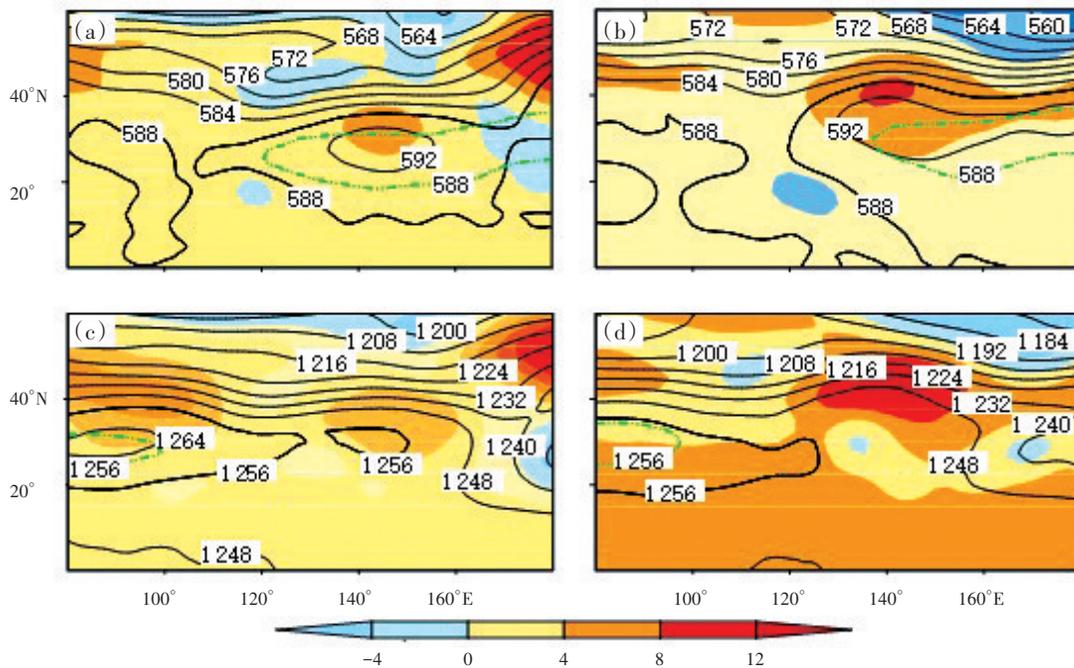


图3 两个高温过程位势高度场(等值线)及距平场(阴影)(单位:dagpm)
(绿虚线分别为 588 dagpm 和 1256 dagpm 气候态)

(a)7月9—16日 500 hPa;(b)7月9—16日 200 hPa;(c)7月22—29日 500 hPa;(d)7月22—29日 200 hPa

近西进到 105°E 附近, 副高的北界北推到 35°N 附近, 日本以东洋面存在一个位势高度正异常中心, 可见副高面积远远大于常年, 且强度偏强。虽然 2 次高温过程都因为洋面上分别有“泰利”和“杜苏芮”台风, 造成副高分别在云南东部、广东西部发生断裂, 但 2 次过程中广西都是在东段或者西段副高主体控制之下, 非常有利于晴热少雨天气出现。另外, 在 2 次高温过程中, 中高纬度欧亚地区高度场为正距平, 环流较为平直, 以纬向环流为主, 表明在这期间高空槽以及冷空气活动较弱, 没有明显低槽或者冷空气南下影响广西, 降水较少, 有利于高温天气维持。如图 3(b)、3(d) 所示, 由 200 hPa 位势高度场的结果分析看出, 南亚高压 ($1\ 256\ \text{dagpm}$) 范围明显扩大, $1\ 256\ \text{dagpm}$ 偏东到 120°E 以东, 强度显

著增强。在华南地区上空, 南亚高压和副热带高压几乎重叠。深厚的高压系统控制华南地区, 有利于广西高温天气的出现和发展。

为更深入地研究副热带高压的逐日演变, 分析 2023 年 7 月副高各项特征量的逐日变化特征(图 4)。2023 年 7 月, 除“泰利”直接影响广西期间外副高的面积、强度、西脊点位置和脊线位置大部分时间都是强于气候态, 表现出副高明显偏强的特征。其中从副高西脊点指数看, 2023 年 7 月副高较常年明显西伸(图 4(c)), 向西扩展的区域显著偏大, 长时间稳定在广西地区 (100°E 以西) 上空。尤其在 7 月 6—16 日、19—27 日明显西伸增强, 西伸脊点甚至到达 90°E , 广西处在强大的西太平洋副热带副高主体控制下, 先后出现 2 次明显的高温天气过程。

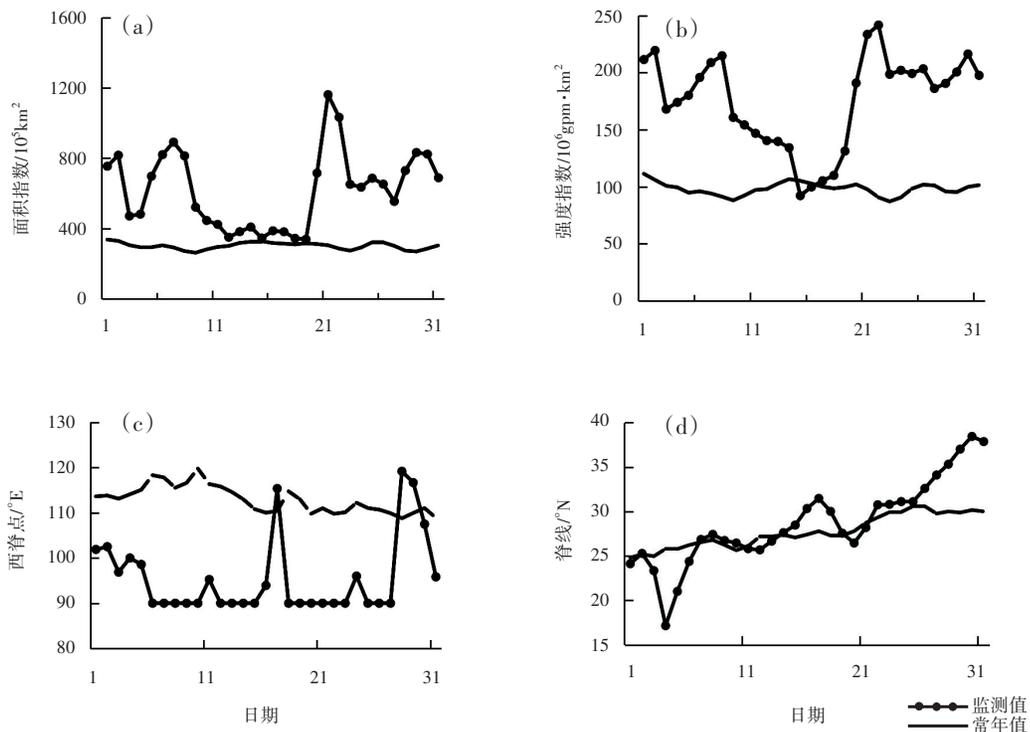


图 4 2023 年 7 月副热带高压指数逐日演变(黑色虚线为各要素气候平均值)

(a) 面积指数; (b) 强度指数; (c) 西伸脊点经度; (d) 脊线位置纬度

向外长波辐射(OLR)反映对流云的辐射, 能很好反映大气中大规模上升与下沉(对流)运动的状况^[15]。OLR 值越小, 表明对流强度越大, 上升运动活跃, OLR 值越大, 表明对流强度越弱, 下沉运动活跃。通过分析 OLR 资料, 可以发现该地区上升下沉活动特征。图 5(a) 为 2023 年 7 月 OLR 及其距平分布。可以看出, 有一条 $240\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 的 OLR 等值线从

西太平洋向福建—广东—广西及其沿海地区伸展, 表明华南及其沿海地区是 OLR 的高值区, 同时, 华南地区尤其是北部湾周围地区为 OLR 值的正距平中心, 即该地区上空对流活动较常年偏弱, 下沉运动偏强。2023 年 7 月华南地区对流活动偏弱, 有利于副高稳定维持在华南地区上空, 其下沉增温作用可导致广西大范围高温天气发生发展。图 5(b) 为

102.5°E ~ 112.5°E(包含广西区域在内)上空南北向垂直环流剖面图。可以发现在0° ~ 30°N地区,在高空200 hPa以下到地面,均是下沉运动,同时在20°N ~ 25°N(广西上空)还存在着垂直速度(ω)正

的异常中心(ω 越大,上升运动越小),表明广西上空的下降运动远远强于气候态。对照图4(d),副高脊线绝大部分时间都处于25°N ~ 30°N,可见副高高压脊正处在下降运动区域中,有利于副高的稳定维持。

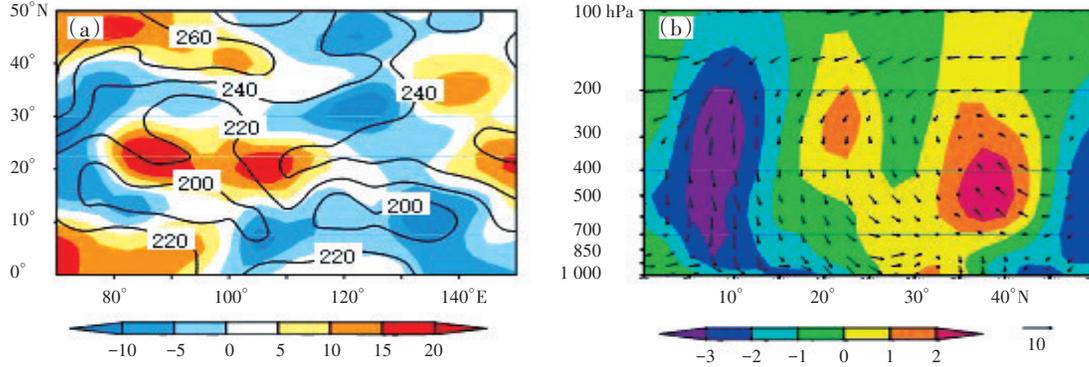


图5 2023年7月OLR(a,等值线,单位: $W \cdot m^{-2}$)及其距平场分布(阴影,单位: $W \cdot m^{-2}$)、102.5°E ~ 112.5°E平均垂直环流剖面图(b,矢量杆为 v 和 ω 合成,等值线为垂直速度距平, v 单位为 $m \cdot s^{-1}$, ω 单位为 $10^{-2} Pa \cdot s^{-1}$)

综合以上分析,“泰利”和“杜苏芮”台风生成发展,向西向北移动,其外围的下沉气流控制广西区域。西太平洋副高是广西高温的主导系统,当副高面积偏大、强度偏强、位置偏西时,导致广西高温天气的发生发展。2023年7月广西两次高温天气过程中,北半球中高纬度环流较为平直、南亚高压加强东伸、副高加强西伸和北抬,致使贝加尔湖槽底冷空气以东移为主,难以南下影响包括广西在内的南方地区。高、中、低层异常的大气环流共同影响造成广西大范围高温天气过程。

2.2.3 相似个例分析

统计分析发现,2021年7月广西平均高温日数达14 d,为1951年以来同期最多。该月出现3次大范围高温天气过程,分别出现在7月5—7日、10—20日、23—31日。这三次高温过程在对流层中高层均受强大的西太平洋副高和南亚高压影响。另外,第1个高温过程是受南海热带扰动影响,后2个高温过程则分别受2107号台风“查帕卡”和2106号台风“烟

花”影响。在热带气旋北侧(或西侧)外围的偏北气流控制下,受下沉增温作用,广西都出现高温天气,而当热带气旋直接影响广西或者西移(南落、北上)远离广西后,高温天气过程结束。从对广西7月持续高温天气过程的环流演变特征的分析可见,广西持续高温天气过程不仅直接与西太平洋副高或大陆高压的控制有关,而且与南海—菲律宾海出现的热带气旋的西移或北移路径有密切关系。

2.2.4 前期信号分析

从上述分析可看出,2023年7月广西高温过程与西太平洋副高的关系密切。统计分析1961—2023年7月广西高温日数与西太平洋副高的关系发现(表1),历年7月广西高温日数和同期西太平洋副高的强度、面积的相关系数分别为0.366、0.327,均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。进一步分析从上一年的8月到当年7月西太平洋副高的强度指数与当年7月广西高温日数的相关系数发现,上一年11月、12月和当年5月、6月的相关系数均超过0.325,通过 $\alpha=$

表1 1961—2023年西太平洋副高特征量和广西7月高温日数的相关系数

	当年 1月	当年 2月	当年 3月	当年 4月	当年 5月	当年 6月	当年 7月	上年 8月	上年 9月	上年 10月	上年 11月	上年 12月
强度 指数	0.221	0.193	0.152	0.190	0.337	0.358	0.366	0.315	0.208	0.290	0.353	0.343
面积 指数	0.237	0.227	0.111	0.140	0.325	0.291	0.327	0.296	0.280	0.275	0.328	0.317

注:相关系数临界值 $R_{0.05}=0.2500, R_{0.01}=0.3248, R_{0.001}=0.4078^{[16]}$

0.01 的显著性检验。同样分析从上一年的 8 月到当年 7 月西太平洋副高的面积指数分别与当年 7 月广西高温日数的相关系数发现, 上一年 11 月和当年 5 月的相关系数均超过 0.325, 均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。可见上一年 11 月和当年 5 月西太平洋副高特征量是 7 月广西高温预测的一个重要前兆信号。当前期副高面积偏大、强度偏强、位置偏西时, 意味着广西 7 月高温天气的异常发生发展。

前人研究发现大气环流的异常变化与海温异常密切相关。李万彪等研究热带西太平洋暖池和

西太平洋副高的季节性变化关系, 发现西太平洋暖池面积和副高面积指数的季节性变化趋势基本上一致^[16]。统计分析 1961—2023 年热带西太平洋暖池与广西 7 月高温日数的相关系数(表 2), 发现 3—6 月的热带西太平洋暖池强度指数和当年广西 7 月高温日数相关系数均超过 0.325, 均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验, 其中 4 月的相关系数最大, 达到 0.379。另外, 当年 1、3、4 月的热带西太平洋暖池面积指数和广西 7 月高温日数相关系数均超过 0.325, 也通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验, 其中 3 月的相关系数最大, 达到 0.349。

表 2 1961—2023 年西太平洋暖池特征量和广西 7 月高温日数的相关系数

	当年 1 月	当年 2 月	当年 3 月	当年 4 月	当年 5 月	当年 6 月	当年 7 月	上年 8 月	上年 9 月	上年 10 月	上年 11 月	上年 12 月
强度 指数	0.282	0.232	0.353	0.379	0.349	0.356	0.308	0.286	0.304	0.218	0.258	0.247
面积 指数	0.342	0.214	0.349	0.336	0.275	0.284	0.285	0.321	0.260	0.212	0.217	0.257

注: 相关系数临界值 $R_{0.05}=0.2500, R_{0.01}=0.3248, R_{0.001}=0.4078$ ^[16]

3 结论

(1) 2023 年 7 月, 广西出现 2 次大范围高温天气过程, 分别在 9—16 日和 22—29 日, 高温过程持续时间长, 覆盖范围大。全区平均高温日数 12 d, 比常年同期偏多 6 d, 为 1951 年以来同期第 3 多。防城站日最高气温与建站以来最高记录持平, 平果站日最高气温打破当地建站以来 7 月历史记录。

(2) 2 次大范围高温天气过程中, 广西均受台风西侧外围下沉气流控制。副高面积偏大、强度偏强、位置偏西、南亚高压异常东扩。在华南地区上空, 南亚高压和副热带高压几乎重叠。深厚的高压系统控制华南地区, 有利于广西高温天气的出现和发展。同时, 中高纬度地区环流较为平直, 高空槽以及冷空气活动明显偏弱, 对广西影响较小。高、中、低层异常的大气环流共同影响造成广西大范围高温天气过程。

(3) 西太平洋副高是广西 7 月高温天气的主导系统之一。当年 3—4 月的热带西太平洋暖池、5—6 月西太平洋副高的强度和面积指数与广西 7 月高温日数相关系数高。副高和热带西太平洋暖池的异常变化是 7 月广西高温天气预测的重要前兆信号。

参考文献:

- [1] 林爱兰, 谷德军, 彭冬冬, 等. 近 60 年我国东部区域性持续高温过程变化特征[J]. 应用气象学报, 2021, 32(3): 302-314.
- [2] 陈颖, 张灵, 千怀遂. 华南地区近 53 a 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.
- [3] 李芷卉, 胡娅敏. 广东省群发性高温事件的气候特征研究[J]. 热带气象学报, 2023, 39(1): 37-46.
- [4] 方宇凌, 简茂球. 2003 年夏季华南持续高温天气过程及热力诊断[J]. 热带海洋学报, 2011, 30(3): 30-37.
- [5] 雷杨娜, 龚道溢, 张自银, 等. 中国夏季高温日数时空变化及环流背景[J]. 地理研究, 2009, 28(3): 653-662.
- [6] 王慧美, 刘舸, 彭京备, 等. 热带大西洋海温异常季节内演变对中国江南地区夏季持续性高温事件影响的初步研究[J]. 大气科学, 2021, 45(2): 300-314.
- [7] 邢彩盈, 吴胜安, 胡德强, 等. 2019 年春季海南岛异常高温成因分析[J]. 干旱气象, 2021, 39(6): 911-920.
- [8] 何慧根, 张驰, 吴遥, 等. 重庆夏季高温干旱特征及其对拉尼娜事件的响应[J]. 干旱气象, 2023, 41(6): 873-883.
- [9] 何如, 何洁琳, 黄晴, 等. 广西高温灾害致灾因子时空分布特征分析[J]. 气象研究与应用, 2023, 44(3): 62-66.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 覃卫坚,李耀先.2010年广西高温热浪气象灾害成因分析[J].气象研究与应用,2011,32(4):13-16.
- [13] 林文桦,莫权芳,黄滢,等.广西沿海高温概念模型建立及预报要点分析[J].中低纬山地气象,2021,45(4):56-62.
- [14] 中国气象局.区域性高温天气过程等级划分:QXT 228-2014[S].北京:气象出版社,2014.
- [15] 谢安,陈隆勋,村上多喜雄.地球向外长波辐射(OLR)资料所显示的热带环流季节特征和年际变化[J].海洋学报,1988,10(1):38-45.
- [16] 李万彪,周春平.热带西太平洋暖池和副热带高压之间的关系[J].气象学报,1998,56(5):619-626.

Analysis of causes and precursor signals of persistent heat waves in Guangxi in July 2023

LIAO Shengshi, LU Jia, LIU Lu, LI Guangtao
(Guangxi Climate Center, Nanning 530022, China)

Abstract: Based on the daily maximum temperature from 91 weather stations in Guangxi and reanalysis data from NCEP/NCAR, outgoing longwave radiation data from NOAA, and 130 circulation indexes from National Climate Center in China, the causes of high temperature weather process in Guangxi in July 2023 were analyzed, and their precursor signals were explored. The results showed that there were two widespread high-temperature weather processes in Guangxi during 9—16 and 22—29 July, 2023 in Guangxi. The average number of high-temperature days in Guangxi was 12, which is the 3rd greatest during the same period since 1951. Guangxi was controlled by the western peripheral sinking air flow of tropical cyclones. During the two processes, the western Pacific subtropical high was strong, with its position expanding north-westerly, and the South Asian High also has shown an abnormally eastward extension. The effect of anomalous subsidence and warming controlled by the deep high-pressure system led to the development of persistent heat waves in Guangxi in July 2023. The warm pool SST index in the tropical western Pacific Ocean in March–April is significantly positively correlated with the number of high temperature days in Guangxi in July, which can be used as a reliable preceding signal of persistent heat waves in July in Guangxi.

Key words: high temperature; subtropical high; tropical western Pacific warm pool; SST