

何莉阳,周秀华,赖晟,等. 2022 年广西最强“龙舟水”气候成因分析[J]. 气象研究与应用,2023,44(1):70–75.

He Liyang,Zhou Xiuhua,Lai Sheng,et al. Analysis on the cause of the strongest dragon-boat precipitation in Guangxi in 2022 [J]. Journal of Meteorological Research and Application,2023,44(1):70–75.

2022 年广西最强“龙舟水”气候成因分析

何莉阳,周秀华,赖 晟,何 慧

(广西壮族自治区气候中心,南宁 530022)

摘要: 基于广西 91 个国家地面气象观测站降水数据和 ERA5 逐日再分析资料,分析 2022 年 5 月 21 日至 6 月 21 日广西“龙舟水”过程的天气气候成因。结果表明:(1)“龙舟水”期间冷空气南下活跃,西太平洋副热带高压位置偏西,南支槽伸至孟加拉湾,水汽条件充沛,冷暖空气交汇导致锋面降水频繁。(2)南海夏季风提前爆发,前期偏强后期减弱,利于雨带滞留广西。(3)200hPa 西风急流偏强位置偏南,利于上升运动的维持和加强。(4)基于结构化自组织神经网络聚类的延伸期降水过程预测模型,较好预测出“龙舟水”期间暴雨过程的空间类型和出现时段。

关键词: “龙舟水”;气候成因;合成分析;持续性降水

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2023.1.12

引言

华南前汛期是持续性暴雨多发期,暴雨日数达全年暴雨日数 50%以上,降水量占比接近全年的 50%,是大范围洪涝灾害发生的主要时段^[1-2]。华南前汛期降水受到锋面降水和季风降水的共同影响,南海夏季风爆发对华南锋前暖区暴雨有重要作用,季风环流也会影响华南地区产生季风降水^[3-4]。“龙舟水”发生在 5 月下旬至 6 月中旬,是华南前汛期的降水集中期,该时期雨量充沛,江河水位上升,因正值端午节龙舟竞渡之时,被称为“龙舟水”^[5]。适宜的“龙舟水”利于早稻等农作物生长,异常强盛则会伴随暴雨、大暴雨甚至特大暴雨天气,极易诱发洪涝灾害及山洪、泥石流等次生地质灾害^[6-9]。

伍红雨等^[8]指出广东前汛期 30%~50%的降水出现在“龙舟水”期间。王娟怀等^[10]指出全球变暖背景下广东“龙舟水”雨量、雨日明显增多。“龙舟水”与夏季风、冬季风交替密切相关,降水成因复杂,既受西太平洋副热带高压、东亚大槽、南支槽、南海夏季

风等大气环流因子影响,也受海温、积雪、大气遥相关等外强迫因子作用影响^[11-17]。

2022 年广西出现 1951 年以来最强“龙舟水”,各地累计降雨量 115.5~1618.3mm,大部地区较常年同期偏多,三江、龙胜、桂林、贺州等 17 个站累积降雨量达到历史同期最多,全区 9 市 58 县(市、区)出现严重的洪涝、山洪及地质灾害。文章通过探讨海温、高原积雪等前期气候背景,结合大尺度环流系统进行研究,分析 2022 年广西异常强盛“龙舟水”的气候成因,以加深对广西“龙舟水”的认识。

1 资料与方法

所用观测资料为 1951—2022 年广西 91 个国家地面气象观测站降水数据,资料来自广西壮族自治区气象信息中心大数据云平台;青藏高原积雪面积距平指数和南海夏季风强度指数来自国家气候中心;再分析资料为欧洲中期天气预报中心提供的 ERA5,空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$,时间分辨率为 1d。

采用气候学分析、合成分析等方法对“龙舟水”

收稿日期:2022-11-25

基金项目:国家自然科学基金项目(42065004)、广西重点研发计划项目(桂科 AB21075008)和广西气象科研计划项目(桂气科 2022M17)

作者简介:何莉阳(1994—),女,硕士,助理工程师,主要从事气候变化研究。E-mail:717080438@qq.com

* 通讯作者:周秀华(1987—),女,硕士,工程师,主要从事气候分析与短期气候预测。E-mail:xiuxiu000945@163.com

气候成因进行研究。本文以 5 月 21 日—6 月 21 日作为广西“龙舟水”时期, 常年值指 1991—2020 年同一时段气象要素的平均值。

2 广西“龙舟水”气候特征

1951 年以来广西“龙舟水”期间累计雨量气候倾向率为 $6.9\text{mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$, 呈显著增加趋势, 通过 95% 置信水平的显著性检验(图 1)。广西“龙舟水”年际变化大, 年代际振荡明显。20 世纪 50 年代降水偏多, 80 年代偏少, 21 世纪 00 年代偏多, 10 年代偏少, 历史前 3 位的“龙舟水”均出现在 21 世纪以后, 依次为 2022、2005 及 2008 年。2022 年“龙舟水”期间, 广西全区平均降雨量 490.8mm, 是全区常年同期(303.8mm)的 1.6 倍, 其中广西东部大部地区是常年同期的 1.7 至 2.3 倍。“龙舟水”期间广西共发生 4 次暴雨持续性过程, 时段分别为 5 月 23—31 日、6 月 3—8 日、10—14 日和 17—21 日, 具有空间分布不均匀, 暴雨落区重叠, 极端性强等特点。

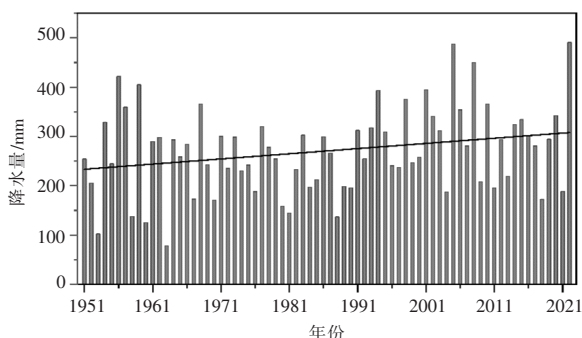


图 1 1951—2022 年 5 月 21 日—6 月 21 日广西平均降水量

3 前期外强迫因子特征

3.1 拉尼娜影响

根据国家气候中心热带太平洋海表温度监测, 2020 年拉尼娜事件发生后, 2021 年 7 月赤道中、东太平洋海温持续下降, 一次新的拉尼娜事件形成发展并持续至 2022 年秋季^[18]。拉尼娜年事件背景下, 中、东太平洋海水持续异常偏冷, 海-气相互作用使得中低纬大气出现异常变化, 为 2022 年广西异常强盛“龙舟水”提供重要气候背景。

3.2 青藏高原积雪

积雪主要通过反照率效应及水文效应对气候产生影响。青藏高原积雪异常偏多时, 反照率增大、土

壤湿度高, 高原热源偏弱, 进而影响东亚夏季风环流^[19-20]。研究表明高原冬春季积雪与华南前汛期关系紧密^[21-22], 冬、春季青藏高原积雪偏多(少), 华南前汛期降水偏多(少)。高原冬春季积雪与华南 5、6 月降水呈显著正相关^[23]。Wang 等^[24]指出冬春季高原西部积雪偏多(少), 中国南部夏季降水偏(少)。2021—2022 年冬春季青藏高原积雪在西部明显偏多。根据青藏高原积雪面积距平指数, 2021 年冬季至 2022 年春季积雪面积较常年明显偏多, 2022 年 2 月高原积雪面积距平指数达到 0.93, 为近年最高, 超过 2008 年的 0.83。2021 年冬季至 2022 年春季高原积雪偏多背景利于广西“龙舟水”期间降水偏多。

4 成因分析

4.1 500hPa 位势高度

2022 年“龙舟水”期间, 500hPa 位势高度距平场上(图 2), 乌拉尔山为位势高度负异常, 巴尔喀什湖附近为正异常, 中国东北地区至日本一带为负异常控制, 欧亚中高纬度从北大西洋至东亚地区为“+ - + -”波列活动。这与夏季北大西洋三极子(NAT)正位相所激发的遥相关波列类似, 2022 年 4—6 月 NAT 为持续正位相, 东亚大槽可能受这一波列调制的影响进一步增强^[25], 大气环流径向度增加, 强冷空气易南下影响华南地区。中低纬度地区伊朗高原至青藏高原地区为位势高度负异常, “龙舟水”期间南支槽活跃, 强度偏强, 槽底伸至孟加拉湾海面, 广西位于南支槽前, 受槽前暖湿气流控制。西太平洋副热带高压强度接近常年, 脊点位置偏西, 脊线位置位于在 20°N 附近, 南支槽前及副热带高压外围的暖湿气流交汇并向内陆输送。该环流配置下, 冷空气与暖湿气流频繁交汇, 为“龙舟水”期间持续期异常降水提供有利形势。

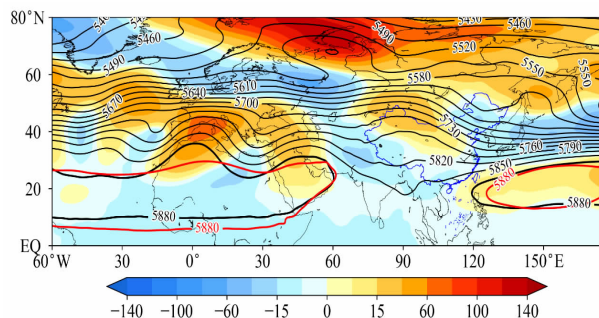


图 2 2022 年 5 月 21 日—6 月 21 日 500hPa 位势高度(等值线, 红色 5880 线为 1991—2020 年平均值, 单位: gpm)和气候态距平(填色)

4.2 南海夏季风

南海夏季风爆发和演变对应着我国雨季的开始,对华南地区、江淮流域等地的汛期降水有重要影响^[25-26]。黄荣辉等^[27]指出拉尼娜年中、东太平洋东风异常,西太平洋海温持续异常偏高,菲律宾周围对流活动偏强,利于南海夏季风提前爆发。2022 年南海夏季风于 5 月第 3 候爆发,较常年偏早 1 候。王婷等^[28]指出南海夏季风爆发偏早年,华南地区 6 月降水偏多。根据南海夏季风强度指数(图 3),2022 年“龙舟水”期间南海夏季风平均强度为 $1.54\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,较常年平均($1.73\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)偏弱。5 月下旬至 6 月上旬南海夏季风阶段性略偏强,南海夏季风环流引导西南水汽向南输送造成降水,于此同时冷空气活跃,沿东亚大槽不断南伸(图 3),冷暖空气在华南地区交汇形成锋面降水;6 月中旬,南海夏季风由强转弱,强度指数明显低于常年值,南海夏季风强度迅速减弱,季风环流难以继续北推至江淮流域,而是滞留华南,水汽和不稳定能量持续向华南地区输送。在季风降水和锋面强降水的共同影响下,2022 年广西“龙舟水”期间强降水过程频繁。

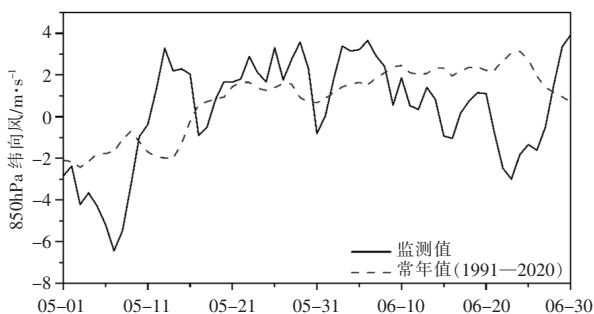


图 3 2022 年 5 月至 6 月南海夏季风强度指数

4.3 水汽条件

“龙舟水”期间对流层整层水汽通量距平场上(图 4)阿拉伯海、印度半岛、青藏高原南侧、中南半岛至华南沿海受偏西气流控制,存在一条西南水汽输送带。水汽通量散度距平场上孟加拉湾、南海至西太平洋一带为 2 个水汽通量辐散中心。孟加拉湾上方呈反气旋环流,南海夏季风强度整体偏弱,水汽输送带偏南。南海至西太平洋存在异常强盛的反气旋式距平环流,副高外围偏南气流强盛,经南海进入华南地区。两条水汽输送带携带来自孟加拉湾、南海及西太平洋的暖湿水汽在华南沿海交汇,为广西“龙舟水”提供充足的水汽条件。对流层整层水汽通量散

度正距平沿西南、华南至华东呈带状分布。水汽通量辐合中心在广东、福建及广西北部。广西“龙舟水”期间累积降雨量大值中心位于桂林、柳州一带,水汽整层通量辐合区与降水落区吻合。

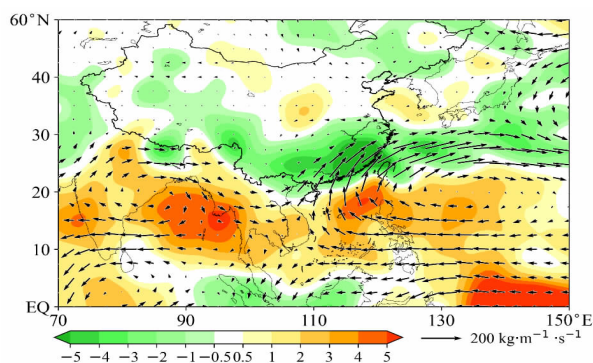


图 4 2022 年 5 月 21 日—6 月 21 日对流层(1000~300hPa)整层积分水汽通量距平(箭头)及水汽通量散度距平(填色)

4.4 高空急流

高空急流异常强盛并维持是广西前汛期锋前降水的主要大尺度环流背景^[29]。“龙舟水”期间 200hPa 西风急流较常年异常偏强,西风急流位置偏南偏西(图 5)。李延等^[30]指出,高原冬春季积雪异常偏多时,夏季 200hPa 纬向风位置偏南。2022 年前冬今春高原积雪偏多背景可能是引导高空西风急流偏南的原因之一。200hPa 西风急流位置的南北移动对大气垂直上升运动有重要影响,华南位于高空西风急流入口区右侧,低空急流前方的左侧,高空急流与低空急流和地面锋面相互耦合,使得广西一带的上升运动得到增强,同时高空急流的抽气作用和通风作用有利于对流活动维持,为广西“龙舟水”发生发展和维持提供良好动力条件。

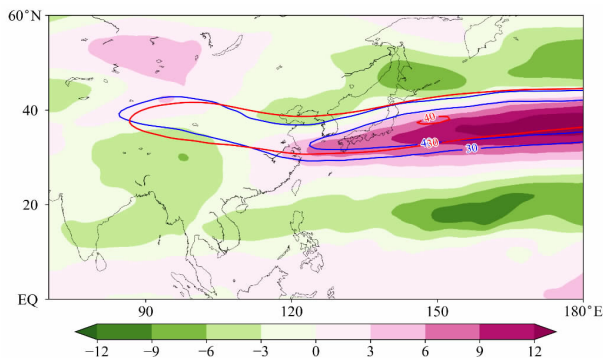


图 5 2022 年 5 月 21 日—6 月 21 日 200hPa 纬向风距平(填色)及等值线(红线:1991—2020 年平均值,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

5 智能延伸期降水过程预测模型效果检验

利用 CMA-CPS 逐日预测产品以及 CMA-RA 再分析资料, 建立基于结构化自组织神经网络聚类的延伸期降水过程预测模型, 通过聚类合成和预报投影卷积的方式, 模型可对不同空间类型暴雨可能出现的时间范围进行预测^[31-34]。将 1981—2020 年广西暴雨过程作为训练集对模型进行迭代聚类, “龙舟水”期间广西地区暴雨主要分为 3 种空间类型: 桂南 C1 型、桂西北 C2 型和桂东北 C3 型。根据 2022 年“龙舟水”各次过程实况降水量的空间分布进行模型客观聚类, 期间主要为桂南 C1 型和桂东北 C3 型暴雨过程: 6 月 3—8 日被归类为桂南 C1 型暴雨, 5 月 23—31 日为桂南 C1 型与桂东北 C3 型的复合型暴雨, 6 月 10—14 日、17—21 日和 29—30 日属于桂东北 C3 型暴雨。

基于 CMA-CPS 模式 2022 年 5 月 1 日起报的预报产品, 智能模型预测桂南 C1 型的环流投影 LMP 指数^[34]峰值出现在 5 月 22 日、5 月 30 日和 6 月 7 日, 桂东北 C3 型的 LMP 指数峰值出现在 6 月 11 日和 6 月 24 日, 桂西北 C2 型则出现在 6 月 18 日(图 6)。可以看到 LMP 峰值均出现在各次暴雨过程前后, 延伸期降水过程智能预测模型提前 40~50d 对广西 2022 年“龙舟水”期间的暴雨过程进行了较为准确预测。随着预报时效的增加, 并且 6 月中下旬处在春夏环流转换期, CMA-CPS 模式的预报性能显著下降, 智能模型的预测效果也随之明显降低, 模型在过程出现时段的预报上偏差更加明显, 并出现将 6 月 17—21 日的桂东北 C3 型错报为桂西北 C2 型的情况。

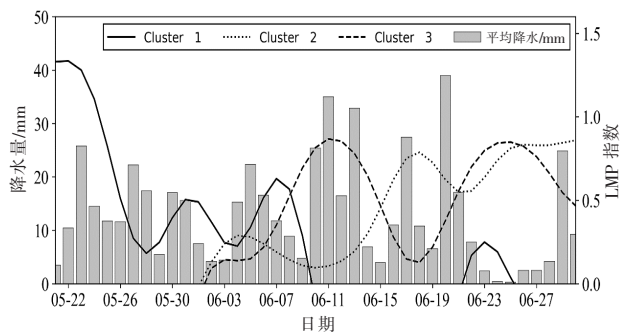


图 6 2022 年 5 月 21 日—6 月 21 日广西逐日平均降水量(柱状图)和智能模型各型暴雨的 LMP 指数逐日预报(折线图)

6 结论与讨论

基于广西 91 个国家地面气象观测站降水数据和 ERA5 逐日再分析资料, 初步分析广西 1951 年以来最强“龙舟水”过程的天气气候成因, 得到以下结论:

(1)“龙舟水”期间冷空气南下活跃, 西太平洋副热带高压位置偏西, 南支槽活跃偏强, 南海夏季风提前爆发, 水汽条件充沛, 冷暖空气交汇导致锋面降水频繁。

(2)5 月下旬至 6 月上旬南海夏季风略偏强, 季风环流引导西南水汽输送造成降水。至 6 月中旬, 南海夏季风强度转弱, 雨带滞留广西, 利于“龙舟水”期间降水持续偏多。

(3)200hPa 西风急流偏强偏南, 华南位于高空西风急流入口区右侧, 抽气作用和通风作用利于上升运动的维持和加强。

(4)基于 CMA-CPS 的广西延伸期降水过程智能预测模型较为准确的预测了期间发生的 5 次暴雨过程, 但随着时效增加, 智能模型的过程预测效果随着模式预报性能的下降而出现明显的预报偏差。

文章对 2022 年广西“龙舟水”气候成因进行初步分析, 主要探讨了同期大尺度环流异常的影响, 对前期海温异常的影响并未深入展开, 未来值得在此方向做更进一步的研究。

参考文献:

- [1] 周秀骥, 薛纪善, 陶祖钰, 等. “98” 华南暴雨科学试验研究 [M]. 北京: 气象出版社, 2003: 220.
- [2] 李丽平, 杨春艳, 孔德璇. 华南前汛期典型涝年低频降水特征及其与低频水汽输送的关系 [J]. 热带气象学报, 2017, 33(3): 299-312.
- [3] 郑彬, 梁建茵, 林爱兰, 等. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水 I. 划分日期的确定 [J]. 大气科学, 2006(6): 1207-1216.
- [4] 陈翔翔, 丁治英, 刘彩虹, 等. 2000—2009 年 5、6 月华南暖区暴雨形成系统统计分析 [J]. 热带气象学报, 2012, 28(5): 707-718.
- [5] Qian W H, Ai Y, Leung J C. et al. Anomaly-based synoptic analysis and model product application for 2020 summer southern China rainfall events [J]. Atmospheric Research. 2021, 258, 105631.
- [6] 刘国忠, 周云霞, 覃月凤, 等. 2020 年广西暴雨灾害天气综述与分析 [J]. 气象研究与应用, 2021, 42(1): 101-106.
- [7] 王东海, 夏茹娣, 刘英. 2008 年华南前汛期致洪暴雨特征及其对比分析 [J]. 气象学报, 2011, 69(1): 137-148.

- [8] 黎琮炜,覃卫坚,高安宁.1961—2013 年广西洪涝灾害时空分布特征及成因[J].气象研究与应用,2015,36(1):80–85.
- [9] 伍红雨,李春梅,王迪龙.近 55 年广东“龙舟水”异常特征及成因分析[J].热带气象学报,2017,33(5):608–616.
- [10] 王娟怀,杨守懋,韦智嘉,等.全球气候变暖背景下广东“龙舟水”的变化特征[J].广东气象,2018,40(1):4–8.
- [11] 郝全成,胡娅敏,罗晓玲.2014 年广东省汛期气候特征及降水异常成因分析[J].气象研究与应用,2015,36(2):48–49.
- [12] 张凌云,刘蕾.柳州 2020 年一次“龙舟水”成因及预报偏差分析[J].气象研究与应用,2022,43(3):67–71.
- [13] 覃艳秋,刘蕾.华南锋前暖区暴雨研究概述[J].气象研究与应用,2017,38(1):26–29.
- [14] 李俊杰,范伶俐,梁梅,等.不同 PDO 背景下华南前汛期锋面和季风降水的水汽输送差异[J].大气科学学报,2022,45(4):539–551.
- [15] 谷德军,纪忠萍.2008 年广东强龙舟水与准 10 天振荡[J].热带气象学报,2011,27(1):11–21.
- [16] 王红军,潘维玉.2008 年华南前汛期异常降水的大尺度环流特征及成因分析[J].热带地理,2009,29(3):219–224.
- [17] 赵俊虎,封国林,王启光,等.2010 年我国夏季降水异常气候成因分析及预测[J].大气科学,2011,35(6):1069–1078.
- [18] 高川,陈茂楠,周路,等.2020—2021 年热带太平洋持续性双拉尼娜事件的演变[J].中国科学:地球科学,2022,52(12):2353–2372.
- [19] 朱玉祥,丁一汇,徐怀刚.青藏高原大气热源和冬春积雪与中国东部降水的年代际变化关系[J].气象学报,2007,65(6):946–958.
- [20] 李春晖,何超,万齐林.青藏高原热力作用对南海及周边区域夏季气候的影响研究进展[J].热带气象学报,2019,35(2):268–280.
- [21] 李栋梁,王春学.积雪分布及其对中国气候影响的研究进展[J].大气科学学报,2011,34(5):627–636.
- [22] 陶亦为,孙照渤,李维京,等. ENSO 与青藏高原积雪的关系及其对我国夏季降水异常的影响[J].气象,2011,37(8):919–928.
- [23] 蔡学湛.青藏高原雪盖与东亚季风异常对华南前汛期降水的影响[J].应用气象学报,2001(3):358–367.
- [24] Wang C H, Yang K, Li Y L, et al. Impacts of Spatiotemporal Anomalies of Tibetan Plateau Snow Cover on Summer Precipitation in Eastern China[J]. Journal of Climate, 2017, 30(3):885–903.
- [25] 于怡秋.各季节北大西洋海温三极子及其与我国气温年际变化的联系[D].南京:南京信息工程大学,2020.
- [26] 陈永利,胡敦欣.南海夏季风爆发与西太平洋暖池区热含量及对流异常[J].海洋学报(中文版),2003(3):20–31.
- [27] 黄荣辉,顾雷,徐予红,等.东亚夏季风爆发和北进的年际变化特征及其与热带西太平洋热状态的关系[J].大气科学,2005(1):20–36.
- [28] 王婷,胡娅敏,潘蔚娟.2008 年广东“史上最强龙舟水”的气候成因[J].广东气象,2008(4):5–7.
- [29] 罗建英,廖胜石,黄归兰,等.广西前汛期锋前暖区暴雨过程的模拟与分析[J].气象,2009,35(10):50–57.
- [30] 李延.青藏高原冬春积雪对中国夏季降水频次和强度的影响[D].北京:中国气象科学研究院,2022.
- [31] 覃志年,李维京,何慧,等.广西 6 月区域性暴雨过程的延伸预测试验[J].高原气象,2009,28(3):688–693.
- [32] Cheng Z L, Xie Z, Tang W, et al. Change in Extreme Precipitation over Indochina under Climate Change from a Lagrangian Perspective of Water Vapor[J]. Frontier in Earth Science, 2021:758–644.
- [33] Gao N, BUEH C L, Xie Z W, et al. A Novel Identification of the Polar/Eurasia Pattern and Its Weather Impact in May [J]. Journal of Meteorological Research, 2019, 33(5):810–825.
- [34] 成泽伦,谢作威,布和朝鲁,等.中南半岛和华南地区极端降水时空特征[J].大气科学,2023.

Analysis on the cause of the strongest dragon–boat precipitation in Guangxi in 2022

He Liyang, Zhou Xiuhua, Lai Sheng, He Hui
(Guangxi Climate Center, Nanning 530022, China)

Abstract: Based on the observation data of daily precipitation of Guangxi national ground meteorological observatories and the ERA5 reanalysis data, the cause of the strongest dragon–boat precipitation in Guangxi from May 21 to June 21, 2022, was studied. The results show that the location of the Western Pacific subtropical high is westward and the southern branch trough extends to the Bay of Bengal with abundant warm moisture northward transporting, converged with the active cold air from the north, leading to frequent frontal precipitation. The South China Sea summer monsoon onsets early, which is stronger in the early stage and weakens in the later stage, resulting in the maintenance of the rain belt in Guangxi. The central intensity and location of the upper–level westerly jet of the 200hPa are stronger and more southerly, which is conducive to the maintenance and strengthening of the upward movement. The extended range precipitation forecasting model based on the structural Self–organizing neural network clustering can well predict the spatial type and occurrence time of heavy rainfall processes during the dragon–boat precipitation rainy season in 2022.

Key words: dragon–boat precipitation; climate cause analysis; composite analysis; persistent rainfall