

陈征兰,陈燕丽,莫伟华,等. 1961—2021 年广西红树林生态区极端降雨事件时空变化特征[J]. 气象研究与应用,2023,44(3):09–14.
CHEN Zhenglan, CHEN Yanli, MO Weihua, et al. Temporal and spatial variations of extreme rainfall events in mangrove biome of Guangxi from 1961 to 2021[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2023, 44(3): 09–14.

1961—2021 年广西红树林生态区极端降雨事件时空变化特征

陈征兰^{1,2}, 陈燕丽^{1,3*}, 莫伟华³, 孙 明³, 何启玄²

(1.北海国家气候观测台开放实验室, 南宁 530022; 2.北海市气象局, 广西 北海 536000;

3.广西壮族自治区气象科学研究所, 南宁 530022)

摘要: 基于 1961—2021 年大气环流指数及广西沿海地区 3 个城市 10 个国家气象观测站日降水数据, 研究广西红树林生态区极端降雨事件时空变化特征。结果表明: (1) 近 61a, 广西红树林生态区降水强度、湿日总降水量、大雨和暴雨日数显著上升, 说明极端降雨的强度及频率明显增加。 (2) 降水强度、大雨和暴雨日数突变年依次在 1979—1980 年、1971—1972 年、1972—1978 年之间, 突变时间段相差不大。 (3) 防城港南部降雨的强度及频率较大, 持续时间较长, 防城港市北部相反, 北海市降雨强度显著上升, 防城港市东南部连续干日数减少趋势较明显, 与红树林生态区整体增加趋势不同。 (4) 连续干日数、降雨强度均与亚洲极涡面积指数显著负偏相关。

关键词: 红树林生态区; 极端降雨事件; 时空变化

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2023.3.02

红树林对促淤保滩、净化空气等方面起重要作用^[1], 北海、防城港、钦州海岸线广泛分布着广西滨海红树林湿地^[2], 而降雨会影响红树林的虫害^[3–7]和其生长环境的盐度^[8], 进而影响红树林生长发育。

国内外对极端降水指数都有所研究。国内研究发现: 1961—2016 年广东省除连续湿日数外, 其它极端降水指数基本上不显著上升^[9]; 1951—2019 年黄河流域极端降水指数东南部、东部下降, 中部、南部上升^[10]; 1951—2017 年丽江极端强降水量显著上升, 大雨日数、连续干日数、强降水量、1 日最大降水量和降水强度不显著上升, 中雨日数、连续湿日数、5 日最大降水量和湿日总降水量不显著减少^[11]; 1956—2017 年华南沿海地区临海地带集中分布着降水强度高值区及 5 日最大降水量高值区^[12]。1961—2019 年北海市区、合浦县连续无降雨日数上升, 钦州市区、防城港市、防城区、东兴县变化趋势则不明显^[13]。国外研究发现: 1983—2016 年埃塞俄比亚阿瓦什盆地平均降雨趋势在总体上明显下降,

在空间上其东部降雨增加^[14]。由此可见, 极端降水指数变化具有空间差异。而广西红树林生态区极端降水指数变化特征的研究文献较少, 因此, 本次将采用世界气象组织推广使用的 11 个极端降水指数, 通过 RCLimDex 模型^[15]计算广西滨海地区的国家气象观测站降水相关指数, 从而研究广西红树林生态区极端降水事件时空变化特征及其与大气环流的关系, 为红树林保护及修复提供科学参考。

1 资料与方法

1.1 研究区域

地面气象观测记录有代表性, 不仅可以反映测点的气象状况, 且还可以代表观测点周围一定范围的平均气象状况。自动气候观测站获得的观测数据代表着周边 100 km 内的平均状况, 而且其观测环境 50a 要不受破坏。本研究选取北海、防城港和钦州 3 市 10 个国家气象观测站的日降水量, 研究广西红树林生态区极端降雨事件时空变化特征。北海、防城

收稿日期: 2023-01-10

基金项目: 北海国家气候观测台开放实验室专项研究项目“北部湾及周边地区气候变化对生态环境影响”(BNC0-2023S04)

第一作者简介: 陈征兰(1997—), 女, 助理工程师, 主要从事大气科学研究。E-mail: 1628795189@qq.com

* 通讯作者: 陈燕丽(1982—), 女, 博士, 正研级高级工程师, 主要从事生态遥感应用研究。E-mail: cyl0505@sina.com

港、钦州 3 个城市海岸线广泛分布着广西滨海红树林湿地,有上思、东兴、防城、防城港、钦州、灵山、浦北、合浦、北海和涠洲岛 10 个国家气象观测站,其中东兴、防城、防城港、钦州、合浦、北海 6 个国家气象站离红树林比较近,上思、灵山、浦北、涠洲 4 个国家气象站离红树林比较远,这些站周边 100km 内均有红树林分布且均具有 61a 气象观测数据。

1.2 数据来源与研究方法

上述 10 个国家气象观测站的日降水量数据来自气象大数据云平台“天擎”,其中防城港站、防港站分别为 1992—2021、1982—2021 年气象观测数据,

其他 8 个站点均为 1961—2021 年气象观测数据。10 个站点逐日气象数据代入 RClimDex 模型计算得到各个站点 11 个极端降水指数^[15-17](表 1)。对 10 个站点的指数求区域平均,得到代表研究区域的单点指数,用于单点的“线性趋势分析”及“MK 突变检验”。对 10 个站点的指数求时间平均,得到代表各个站点的气候指数,用于指数空间分布分析。各个站点 11 个极端降水指数,用于指数趋势空间分布分析。另外,利用“偏相关分析”研究极端降水指数与大气环流之间的关系。

表 1 极端降水指数

分类	极端气候指数	指数名称	解释
强度指数	<i>RX1day</i>	1 日最大降水量	最大日降雨量
	<i>RX5day</i>	5 日最大降水量	最大连续 5d 降雨量
	<i>SDII</i>	降水强度	降水量与降水日数的比值
	<i>R95p</i>	强降水量	大于基准期内 95%分位点的日降水量的总和
	<i>R99p</i>	极端强降水量	大于基准期内 99%分位点的日降水量的总和
	<i>PRCPTOT</i>	湿日总降水量	≥1mm 的日降水量总和
频率指数	<i>R10 mm</i>	中雨日数	日降水量≥10 mm 天数
	<i>R20 mm</i>	大雨日数	日降水量≥20 mm 天数
	<i>R50 mm</i>	暴雨日数	日降水量≥50 mm 天数
持续时间指数	<i>CWD</i>	连续湿日数	日降水量≥1 mm 的最长连续日数
	<i>CDD</i>	连续干日数	日降水量<1 mm 的最长连续日数

大气环流指数源自国家气候中心(<http://cmdp.ncc-cma.net/cn/download.htm>),本文根据文献[12]研究成果,选取西太平洋副高强度指数 *WPHI*、亚洲极涡面积指数 *APVA*、欧亚纬向环流指数 *EAZ*、欧亚经向环流指数 *EAM* 以及冷空气指数 *CA* 共 5 个大气环流指数进行广西红树林生态区极端降水指数变化机制的分析,其中 *WPHI*、*APVA*、*EAZ* 及 *EAM* 取自 1961—2021 年数据,*CA* 取自 1961—2016 年数据。

2 结果与分析

2.1 极端降雨事件时空变化

2.1.1 长期线性趋势变化

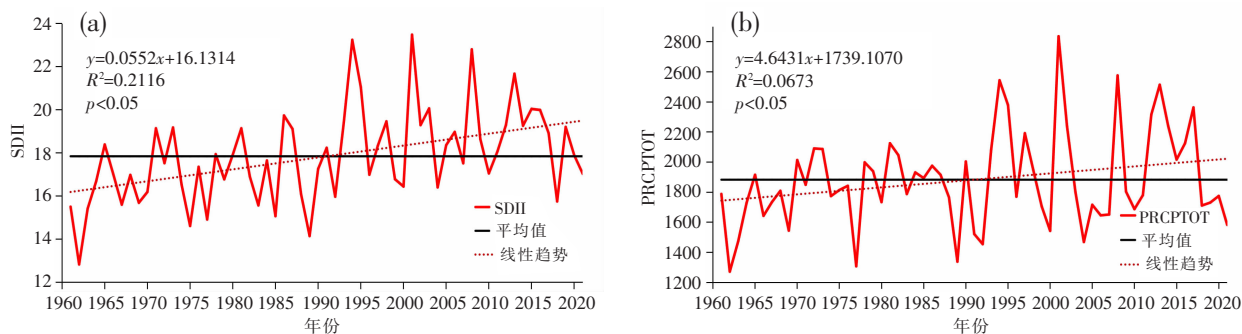
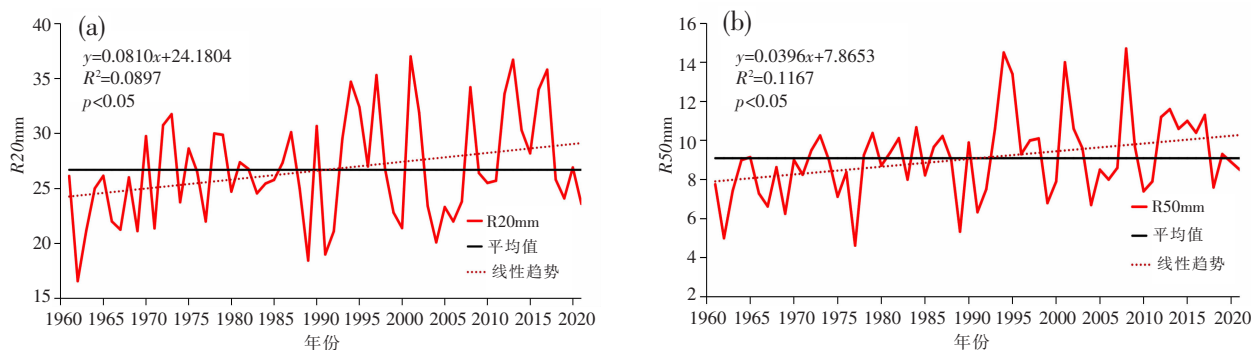
1961—2021 年,在 $\alpha=0.05$ 显著性水平下, *RX1day*、*RX5day*、*R95p*、*R99p* 呈不显著上升趋势,变化速度依次为 $2.832\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $6.435\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $16.541\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $1.247\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$; *SDII*、*PRCPTOT*

呈显著上升趋势,变化速度依次为 $0.552\text{ (mm}\cdot\text{d}^{-1})\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $46.431\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。也就是说,极端降雨强度明显增加(图 1)。

R10 mm 呈不显著上升趋势,变化速度为 $0.736\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$; *R20 mm*、*R50 mm* 呈显著上升趋势,变化速度依次为 $0.810\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.396\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。可见极端降雨频率明显增加,极端降水概率增多(图 2)。

CWD、*CDD* 呈不显著上升趋势,变化速度依次为 $0.132\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.388\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。可见日降水量大于或等于 1 mm 的最长连续日数不显著增多,日降水量小于 1 mm 的最长连续日数不显著增多,降雨持续时间有所增加,干旱概率也有所增加。

通过对比以上分析可知:11 个极端降水指数长期线性趋势都呈上升趋势,其中 *SDII*、*PRCPTOT*、*R20 mm* 和 *R50 mm* 上升显著。

图 1 $P < 0.05$ 的强度指数趋势变化图(a) $SDII$; (b) $PRCPTOT$ 图 2 $P < 0.05$ 的频率指数趋势变化图(a) $R20mm$; (b) $R50mm$

2.1.2 MK 突变检验

在 $\alpha=0.05$ 显著性水平下, $SDII$ 有突变年, 突变为 1979—1980 年之间, 1964 年之前不显著下降, 1964 年开始稳定上升, 其中 1995—2021 年显著上升。在 $\alpha=0.001$ 显著性水平下, 其中 2001—2021 年 $SDII$ 显著上升。 $RX1day$ 、 $RX5day$ 、 $R95p$ 、 $R99p$ 、 $PRCPTOT$ 突变趋势不明显(图 3)。

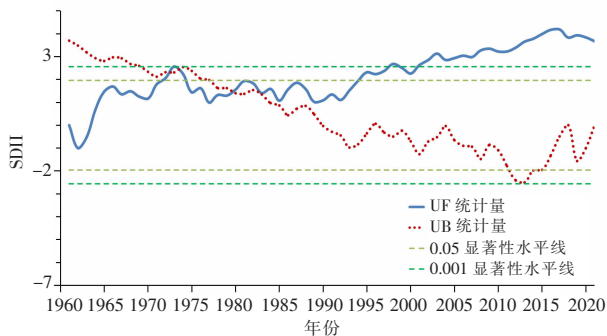


图 3 突变趋势明显的强度指数 MK 突变检验图

在 $\alpha=0.05$ 显著性水平下 $R20mm$ 、 $R50mm$ 都有突变年, 依次为 1971—1972 年、1972—1978 年之间, $R20mm$ 在 1962—1963 年不显著下降, 1965 年

开始上升, 1969 年不显著下降, 1970 年开始稳定上升, 2014—2021 年显著上升。 $R50mm$ 在 1970 年之前不显著下降和不显著上升趋势交替出现不少于 2 次, 1970 年开始稳定上升, 2012—2021 年显著上升。 $R10mm$ 突变趋势不明显(图 4)。

在 $\alpha=0.05$ 显著性水平下, CWD 、 CDD 突变趋势不明显。

因此, $SDII$ 、 $R20mm$ 、 $R50mm$ 突变年依次在 1979—1980 年、1971—1972 年、1972—1978 年之间, 突变时间段相差不大。

2.1.3 空间变化特征

极端降水指数及其长期变化趋势空间分布特点如下所示(表 2)。总体而言, 防城港南部降水强度及频率较大, 持续时间较长, 防城港市北部强度及频率较小, 持续时间较短。北海市和防城港市北部干日降水量小于 1 mm 的最长连续日数比较长、干旱概率增加。

由于在 $\alpha=0.05$ 显著性水平下, 仅 $SDII$ 和 CDD 具有显著变化的站点, $SDII$ 显著上升, CDD 显著下降, 故详细分析这 2 个极端降水指数的空间变化特征。

1961—2021 年, $SDII$ 在大部分沿海地区多呈上

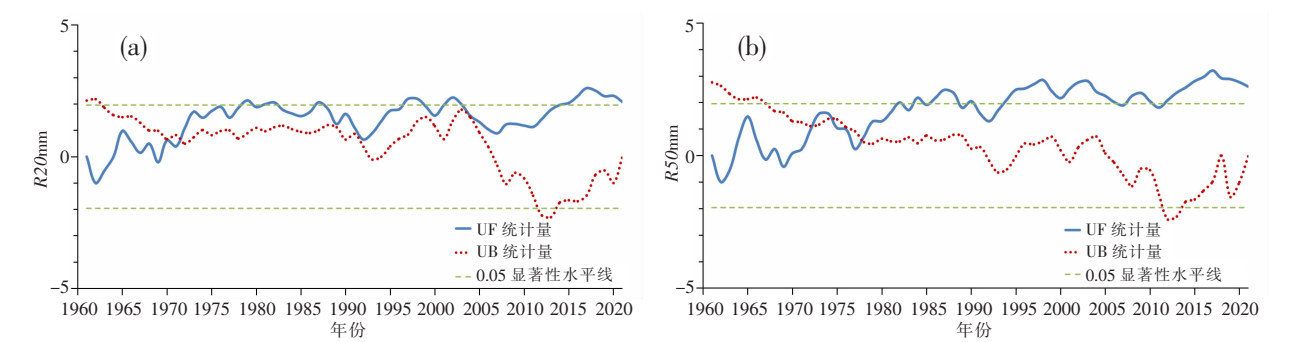


图 4 突变趋势明显的频率指数 MK 突变检验图
(a)R20mm; (b)R50mm

表 2 极端降水指数空间分布

指数	分布特点	上升站数	下降站数	显著上升站数 ($\alpha=0.05$)	显著下降个数站数 ($\alpha=0.05$)
<i>RX1day</i>	防城港市南部较大,防城港市北部和钦州市东北部较小	6	4	0	0
<i>RX5day</i>	防城港市南部较大,防城港市北部和钦州市东北部较小	6	4	0	0
<i>SDII</i>	防城港市南部较强,防城港市北部和钦州市东北部较弱	9	1	3	0
<i>R95p</i>	防城港市南部较大,防城港市北部较小	5	5	0	0
<i>R99p</i>	防城港市南部较大,防城港市北部较小	4	6	0	0
<i>PRCPTOT</i>	防城港市南部较大,防城港市北部较小	6	4	0	0
<i>R10mm</i>	防城港市南部较大,防城港市北部和涠洲岛较小	7	2	0	0
<i>R20mm</i>	防城港市南部较大,防城港市北部和涠洲岛较小	9	1	0	0
<i>R50mm</i>	防城港市南部较大,防城港市北部较小	8	1	0	0
<i>CWD</i>	防城港市南部较大,北海市和防城港市北部较小	7	3	0	0
<i>CDD</i>	北海市和防城港市北部较大	6	4	0	1

升趋势,气候倾向率为 $-0.14\sim0.78\text{ (mm}\cdot\text{d}^{-1})\cdot(10\text{a})^{-1}$ 之间,上升站点数为 9 个,其中 3 个上升站点通过 0.05 显著性水平,下降站点防城港站没有通过显著性水平,北海市 *SDII* 上升趋势较明显。*CDD* 在空间上多呈上升趋势,气候倾向率为 $-5.90\sim1.51\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$,上升站点数为 6 个,1 个下降站点通过 0.05 显著性水平,上升站点没有通过显著性水平。值得注意的是,防城港市东南部 *CDD* 减少趋势较明显,与红树林生态区整体增加趋势相反。

2.2 极端降水指数与大气环流之间的关系

根据岳祝研究^[12]选择 *CDD*、*RX5day*、*SDII* 3 个极端降水指数进行大气环流指数相关性研究,由于 *CA* 数据到 2016 年, *WPHI*、*EAM*、*EAZ* 和 *APVA* 数据到 2021 年,为使得数据年限更长,先进行 1961—2016 年所选降水指数与大气环流指数的偏相关及其显著性计算。通过研究发现, *CA* 在 $\alpha=0.05$ 时与所选降水因子的偏相关都是不显著关系,因此 *CA* 不参与偏相关的计算,计算年限可统一至 1961—

2021 年。

1961—2021 年, 在 $\alpha=0.05$ 显著性水平下, CDD , $SDII$ 都与 $APVA$ 显著负相关; 亚洲区极涡面积减少, 容易导致干旱事件, 降水强度增强(表 3)。

表 3 红树林生态区极端降水指数与大气环流之间的关系
(加粗数值表明在 $\alpha=0.05$ 时, 偏相关显著)

指标	<i>CDD</i>	<i>RX5day</i>	<i>SDII</i>
<i>WPHI</i>	-0.195	-0.111	0.028
<i>EAM</i>	-0.144	-0.164	0.018
<i>EAZ</i>	0.085	-0.198	0.051
<i>APVA</i>	-0.308	-0.241	-0.274

就空间分布而言, CDD 与 $APVA$ 在钦州大部、北海市北部普遍负相关显著, 3 个负相关站点灵山、钦州、合浦站通过 0.05 显著性水平; $SDII$ 与 $APVA$ 在北海市大部普遍负相关显著, 2 个负相关站点合浦、涠洲站通过 0.05 显著性水平(表 4)。

表 4 极端降水指数偏相关站数分布情况

$\alpha=0.05$	正相关 站数	负相关 站数	显著正 相关站数	显著负 相关站数
<i>CDD</i> & <i>WPHI</i>	1	9	0	2
<i>SDII</i> & <i>WPHI</i>	5	5	0	0
<i>RX5day</i> & <i>WPHI</i>	2	8	0	0
<i>CDD</i> & <i>EAZ</i>	8	2	0	0
<i>SDII</i> & <i>EAZ</i>	6	4	0	0
<i>RX5day</i> & <i>EAZ</i>	1	9	0	0
<i>CDD</i> & <i>EAM</i>	2	8	0	0
<i>SDII</i> & <i>EAM</i>	3	7	0	0
<i>RX5day</i> & <i>EAM</i>	1	9	0	0
<i>CDD</i> & <i>APVA</i>	0	10	0	3
<i>SDII</i> & <i>APVA</i>	3	7	0	2
<i>RX5day</i> & <i>APVA</i>	2	8	0	1

3 结论与讨论

3.1 结论

基于 1961—2021 年大气环流指数及北海、防城港、钦州 3 个城市日降水数据, 对广西红树林生态区极端降水事件时空特征研究, 取得主要结论如下:

(1) 近 61 a, 广西红树林生态区 11 个极端降水指数均呈上升趋势, 其中降水强度、湿日总降水量、大雨和暴雨日数变化显著, 说明极端降雨的强度及频率明显增加。

(2) 降水强度、大雨和暴雨日数突变年依次在 1979—1980 年、1971—1972 年、1972—1978 年之间, 突变时间段相差不大。

(3) 防城港南部降雨的强度及频率较大, 持续时间较长, 防城港市北部相反; 北海市降雨强度指数上升趋势较明显; 防城港市东南部连续干日数减少趋势较明显, 与红树林生态区整体增加趋势相反。

(4) 连续干日数、降雨强度均与亚洲极涡面积指数显著负偏相关。

3.2 讨论

前人研究表明, 1960—2017 年中国降水强度指数增大^[18], 21 世纪后广西极端降雨事件发生率逐步增大^[19], 本文广西红树林生态区极端降雨的强度及频率明显增加的结论与这些成果基本一致。防城港十万大山为广西三大暴雨中心之一, 该暴雨中心位于防城港南部, 本文指出防城港南部降雨的强度及频率较大、持续时间较长和防城港市东南部连续干日数减少趋势较明显的结论与实际相符。

连续干日数与亚洲区极涡面积指数负相关的结论, 与极涡面积大小和中国同期降水量在我国西部广大地区、长江中下游及以南地区为负相关^[20]的结论一致。亚洲区极涡面积减小, 极地冷空气活动范围减小, 冷空气强度减弱, 降水强度增强, 与三水区只有受中等强度冷空气或弱冷空气影响时才出现大暴雨量级的降水、最大日雨量(146.4 mm)出现在弱冷空气影响期间^[21]的结论也基本一致。

强度高、持续时间长的降水对食叶害虫有较大的机械杀伤性, 可降低害虫种群密度, 减小虫害发生的面积^[7]; 一些红树林品种在较低的盐度条件下生长最快, 如降水量减少、土壤盐度增大, 红树林植株组织内部会出现盐分增多等生理问题, 组织内盐分增加会导致其生长缓慢^[8], 因此广西红树林生态区极端降雨的强度明显增加、持续时间增加、连续干日数增多的结论对红树林保护及修复有一定的指示意义。

参考文献:

[1] 耿国彪. 保护修复红树林 维护海洋生态系统[J]. 绿色中国, 2022(3): 26–31.
[2] 李畅, 赵瑞斌, 王福, 等. 广西滨海湿地现状及红树林湿地碳储量分析[J]. 华北地质, 2022, 45(3): 29–35.
[3] 刘小伟, 郑文教, 孙娟. 全球气候变化与红树林[J]. 生态学杂志, 2006(11): 1418–1420.
[4] 张悦, 陈燕丽, 黄滢, 等. 防城港 2 种红树林虫害与气象条件的关系[J]. 热带生物学报, 2022, 13(6): 634–643.

- [5] 朱明华,陈光玉,田茂仁,等.白背飞虱种群动态研究[J].昆虫知识,1990,32(5):257-260.
- [6] 侯婷婷,霍治国,李世奎,等.影响稻飞虱迁飞规律的气象环境成因[J].自然灾害学报,2003,12(3):142-148.
- [7] 邹全程,闫平,徐健楠,等.塞罕坝地区森林虫害暴发历史及其与气候因子的关系[J].东北林业大学学报,2020,48(7):114-119.
- [8] 徐宗焕,方柏州,陈家金,等.福建漳江口红树林生长与气象条件的关系[J].中国农学通报,2007,23(8):532-535.
- [9] 黄伟杰,张大伟,张欣,等.广东省 1961—2016 年极端气候时空变化研究[J].人民珠江,2021,42(12):1-16.
- [10] 苗书玲,曹艳萍,李晴晴.1951—2019 年黄河流域极端气候事件时空变化规律分析[J].河南大学学报(自然科学版),2022,52(4):416-429.
- [11] 吴利华,成鹏,董李勤,等.1951—2017 年丽江极端气温和降水事件的变化特征[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2022,14(3):253-266.
- [12] 岳祝. 中国大陆沿海地区极端气温和降水时空趋势及其对植被生长的影响[D].华东师范大学,2019.
- [13] 黄雪松,陈燕丽,莫伟华,等.近 60 年广西北部湾红树林生态区气候变化及其影响因素[J].生态学报,2021,41(12):5026-5033.
- [14] BRHANE H G, AMENTE G R, TURE K B, et al. Changes in daily rainfall and temperature extremes of upper Awash Basin, Ethiopia[J].Scientific African, 2022,16:1-20.
- [15] ZHANG X B, YANG F. RCLimDex (1.0) User Manual[K]. Ontario Canada; Climate Research Branch Environment Canada Downsview, 2004:1-23.
- [16] 李春兰. 蒙古高原多时空尺度极端气候变化特征及其影响研究[D].上海:华东师范大学,2019.
- [17] 倪铭,张曦月,姜超,等.中国西南部地区植被对极端气候事件的响应[J].植物生态学报,2021,45(6):626-640.
- [18] 曹晴,郝振纯,傅晓洁,等.1960—2017 年中国极端气候要素时空变化分析[J].人民黄河,2020,42(2):11-17.
- [19] 杨家桢,杨云川,杨淇淇,等.1951—2015 年广西极端降雨时空演变特征[J].南水北调与水利科技(中英文),2020,18(5):84-93.
- [20] 张恒德.极涡的活动特征与数值模拟及其对我国气候的影响[D].南京:南京信息工程大学,2005.
- [21] 余锐.三水区冷空气特征及对天气要素的影响[J].广东气象,2019,41(5):31-35.

Temporal and spatial variations of extreme rainfall events in mangrove biome of Guangxi from 1961 to 2021

CHEN Zhenglan^{1,2}, CHEN Yanli^{1,3*}, MO Weihua³, SUN Ming³, HE Qixuan²

(1.Laboratory of Beihai National Climate Observatory, Nanning 530022, China;

2.Beihai Meteorological Bureau, Guangxi Beihai 536000, China;

3.Guangxi Institute of Meteorological Sciences, Nanning 530022, China)

Abstract: Based on the atmospheric circulation index and daily precipitation of 10 national stations in three coastal cities from 1961 to 2021, we studied the temporal and spatial variations of extreme rainfall events in mangrove biome of Guangxi. The results showed that: (1) In 61 years, the trend of simple daily intensity index, annual total wet-day precipitation, heavy rain days and rainstorm days was significantly increased, which indicated that the intensity and frequency of extreme precipitation increased significantly. (2) The abrupt change years of simple daily intensity index, heavy rain days, and rainstorm days were from 1979 to 1980, from 1971 to 1972, and from 1972 to 1978, respectively, with little difference in the abrupt change period. (3) The intensity and frequency of rainfall in the southern part of Fangchenggang were relatively high, with a longer duration, while in the northern part of Fangchenggang, the opposite were true. The trend of simple daily intensity index of Beihai was significantly increased. The trend of continuous dry days in the southeast of Fangchenggang had an obvious decreasing trend, which was different from the overall increasing trend of the mangrove biome. (4) Continuous dry days were significantly negatively correlated with the Asian Polar Vortex Area Index, and simple daily intensity index was significantly negatively correlated with the Asian Polar Vortex Area Index, too.

Key words: mangrove biome; extreme rainfall events; temporal and spatial variations