

近 60 年永兴岛热带气旋降水的气候特征分析

周宇^{1,2} 凌芬曼^{1,2} 施晨晓^{2,3}

(1 海南省三沙市气象局, 三沙 573199; 2 海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海口 570203;
3 海南省气象信息中心, 海口 570203)

摘要 对 1958—2019 年期间, 进入永兴岛及附近区域(11.5°~21.5°N, 101.2°~117.5°E)范围内的热带气旋(Tropical Cyclone, TC)的气候特征进行分析, 结果表明:①永兴岛平均每年受 9.4 个 TC 影响, TC 有显著的下降趋势, 以 0.68 个/10a 逐渐减少, 趋势系数为-0.406;②永兴岛 TC 路径分为 5 类:向西直行偏北类(A类)、向西直行偏南类(B类)、转向东北类(C类)、转向西南类(D类)、从西向东北类(E类), 其中 A 类占比最大, 占 52.0%;③TC 年均降水有显著的下降趋势, 其回归系数为-61.76 mm/10a, 趋势系数为-0.270;④TC 活动对永兴岛强降雨贡献最多, 达到 67.8%, 其他天气系统对永兴岛强降雨的贡献仅为 32.2%, 年均 TC 强降雨日数为 4.1 d, 非 TC 强降雨日数为 2.8 d, TC 强降雨对总强降雨的贡献率无明显的趋势变化, 其回归系数为 0.57/10a, 趋势系数为 0.055, 而 TC 强降雨日数的贡献率则呈现下降趋势, 其回归系数为-4.7/10a, 趋势系数为-0.335, 通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验。

关键词 永兴岛; 气候特征; 趋势分析; 台风降水; 台风路径

中图分类号: P466 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20200052 **文献标识码:** A

引言

我国是受台风灾害影响最严重的国家之一, 平均每年有 7~8 个左右的台风在我国登陆^[1-2]。目前, 关于台风的气候特征已有大量研究^[3-5], 乐群等^[6]分析了西北太平洋台风活动和我国沿海登陆台风暴雨及大风的气候特征, 结果显示华南沿海登陆台风主要集中在 6—11 月, 8—9 月的降水量和风速最大。王咏梅等^[7-8]分析了影响中国台风的气候特征, 并指出近 10 年是影响台风频数最少的时期, 台风降水在时空分布特征上是自东南沿海向西北内陆逐渐减少。蔡义勇等^[9]对比分析了热带气旋(TC)登陆福建前后暴雨突然增幅的特征, 发现登陆中部的热带气旋个数最多、暴雨突增次数也最多; 热带气旋登陆后暴雨突增次数明显比登陆前多。王坚红等^[10]利用热带气旋降水客观分析和统计分析, 揭示了浙闽沿海登陆的热带气旋降水精细化分布特征与演变规律。杨慧等^[11]利用全国台站资料分析了不同强度热带气旋对中国降水变化的影响, 研究结果

显示, 强 TC 降水表现出显著减少趋势。吴慧^[12]的研究显示影响和登陆海南的台风最早出现在 4 月, 最晚到 12 月, 其中 6—10 月为主要影响和登陆月份, 登陆点集中在海南岛东部沿海, 文昌最多。海南岛台风降水平均占年总降水量的 30%, 呈 3%/10a 的下降趋势^[13]。张凯荣等^[14]对登陆海南岛东部台风的基本变化特征进行了分析, 结果表明, 近 50 年来, 登陆海南岛东部的台风频数年际和月际变化明显, 台风的登陆地点分布不均匀。张丽杰等^[15]的研究结果显示 1971—2010 年间, 影响海南岛热带气旋的数量在减少, 同时发生月份更加集中。永兴岛位于海南岛东南方 180 海里的南海西北部的海面上^[16], 是三沙市政府驻地和渔民生活的地方, 同时也是我国遭受热带气旋灾害最严重的地区之一, 热带气旋常常最先影响永兴岛, 而后影响海南岛及周边其他区域, 目前没有关于永兴岛热带气旋气候特征的研究, 因此, 分析影响永兴岛的台风气候特征和路径对于做好台风预报、减少台风灾害具有重要的意义。永兴岛建站至今, 已积累了 62 年地面观测资

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

海南省气象局青年基金项目(HNQXQN201806)资助

作者简介: 周宇, 男, 1989 年生, 硕士, 主要从事短时临近天气预报及其相关方法研究, Email: zhouyuniust@yeah.net

收稿日期: 2020 年 2 月 24 日; 定稿日期: 2020 年 7 月 10 日

料,是南中国海上建设规模最大、业务最齐全的海洋岛屿站,也是具有较长时间序列历史资料的国家基准气候站,对于研究永兴岛的台风气候特征具有一定的代表意义。本文利用 1958—2019 年 CMA-STITC 热带气旋(TC)最佳路径数据集和永兴岛 62 年地面观测资料对进入研究区域的 TC 频数、路径、强度和降水等活动特征进行统计分析,以期对永兴岛的热带气旋气候特征规律有初步认识。

1 资料与方法

本文所用资料为 1958—2019 年三沙市永兴岛国家基准气候站(图 1)逐日降水资料、中国气象局编写的 1958—2019 年西北太平洋热带气旋资料。资料为北京时 02:00、08:00、14:00、20:00 4 个时次的 TC 中心位置。

本文以永兴岛及附近区域(11.5°~21.5°N, 107.2°~117.2°E)为研究区域,热带气旋中心进入此范围定义为热带气旋对永兴岛产生影响,热带气旋强度按照其在 10°×10°经纬网格中达到最强的强度来定义。热带气旋等级参照国家标准(GB/T 1901—2006)划分为热带低压(TD)、热带风暴(TS)、强热带风暴(STS)、台风(TY)、强台风(STY)、超强台风(SSTY)6 个等级。降水强度分为 6 个等级:小雨日降水量为 0.0~9.9 mm,中雨日降水量为 10.0~24.9 mm,大雨日降水量为 25.0~49.9 mm,暴雨日降水量 50.0~99.9 mm,大暴雨日降水量 100~249.9 mm,特大暴雨日降水量大于 250 mm。雨日定义为日降水量大于 0.0 mm 的日数。热带气旋的降水判断:结合常规观测的探空资料所获得的天气形势和台风路径等资料主观判断 TC 降水或非 TC 降水。维持时间定义为热带气旋从第一次进入研究区域(图 1 矩形框)到离开研究区域的时间。历史上,1 次热带气旋过程均存在多次进入研究区域的情形,为便于讨论,对于进入研究区域 2 次或以上的热带气旋,则其第 2 次(含)以后的不再考虑,即对于 1 次热带气旋过程,它只允许最多 1 次进入研究区域。

本文利用一元线性回归系数和趋势系数^[17],计算了不同强度、不同路径、不同季/月 TC 的频数、降水量、雨日及其贡献率的长期趋势变化。

$$x_t = a_0 + a_1 t \quad (1)$$

式中, t 为时间($t=1,2,\dots,n$); x_t 为要素逐年值; a_1

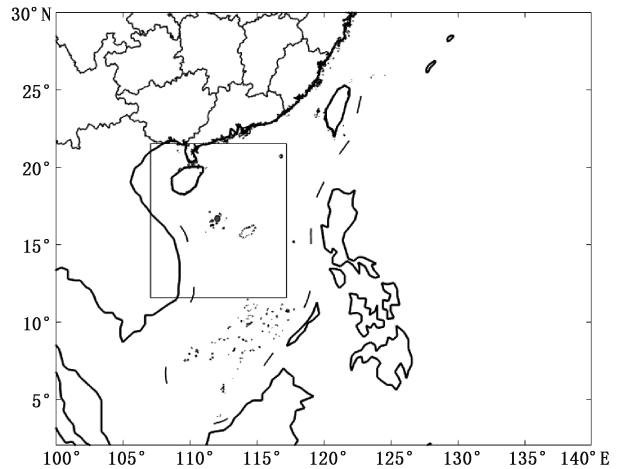


图 1 海南省三沙市永兴岛国家基准气候站地理分布及研究区域

(图中圆点为气候站所在,矩形框内为研究区域)

$= dx_t/dt$,为回归系数(倾向率); a_0 为常数。

x_t 与自然数列 1,2,⋯, n 的相关系数定义为要素的趋势系数 r_{xt} 。

$$r_{xt} = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})(t - \frac{n+1}{2})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 \sum_{t=1}^n (t - \frac{n+1}{2})^2}} \quad (2)$$

式中, \bar{x} 为样本均值; $-1 \leq r_{xt} \leq 1$, $r_{xt} < 0$ 时,说明气候要素随时间 t 的增加呈下降趋势,越接近 -1 下降趋势越明显; $r_{xt} > 0$ 时,说明气候要素随时间 t 的增加呈上升趋势,越接近 1 上升趋势越明显。趋势系数 r_{xt} 的显著性检验: $r_{xt} \sqrt{n-2} / \sqrt{1-r_{xt}^2}$ 符合自由度 $(n-2)$ 的 t 分布。

2 结果分析

2.1 永兴岛的热带气旋基本气候特征

2.1.1 永兴岛 TC 的年际及年代际变化

分析 1958—2019 年影响永兴岛的 TC 个数(图 2)可知,62 年间,影响永兴岛的 TC 共 581 个,平均每年 9.4 个,最多为 16 个(1970 年),最少为 3 个(2015 年)。通过分析永兴岛的 TC 年际变化特征可知,永兴岛的 TC 有显著的下降趋势(通过 $\alpha = 0.01$ 显著性检验),0.68 个/10a 逐渐减少,趋势系数为 -0.406,TC 活动的高峰期出现在 20 世纪 60—70 年代,20 世纪 90 年代后,出现明显减少的趋势,21 世纪后开始有增长的趋势。

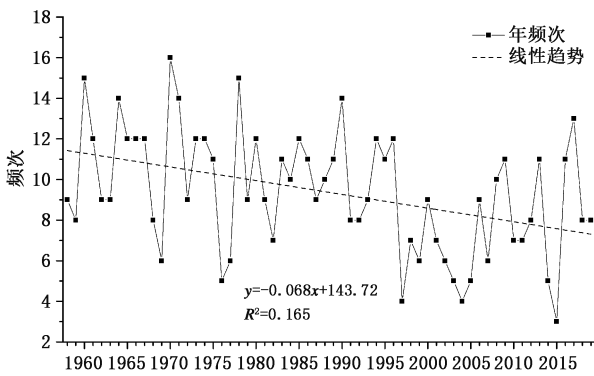


图 2 1958—2019 年永兴岛 TC 频数的年际变化

2.1.2 永兴岛 TC 的月际变化

由表 1 可知,影响永兴岛的热带气旋表现出明显的季节变化:5—12 月为 TC 活跃期,在台风季节(5—12 月),共有 566 个 TC 影响永兴岛,占全年 TC 的 97.4%,台风季节的 TC 有显著的下降趋势(通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验),以 0.67 个/10a 逐渐减少,趋势系数为 -0.410 ;5—6 月 TC 增长较快,由于 5—6 月是南海西南季风爆发和持续明显增强

的时期,南海热带气旋已经开始活跃;8—9 月为旺盛期,也是热带辐合带活动最活跃的时间,9 月出现的热带气旋最多,有 115 个;12 月热带气旋绝大多数在较低纬度区域内活动,而永兴岛正属于受此影响明显的地区。1—4 月较少产生热带气旋。

不同强度等级的 TC 个数相差很大,分布极不均匀,强度为 TD、STS 出现最多,有 150 个,强度为 SSTY 出现最少,只有 13 个。

各强度等级 TC 月分布也有较明显的差异,TD 5 月开始活跃,5—10 月出现个数最多,极值出现在 9 月(32 个);TS 6—9 月出现个数最多;STS 主要出现在下半年的 6—11 月;TY 主要在 7—10 月,最多在 9 月(24 个);STY 10 月与其它强度等级的 TC 个数较为接近,其他月份少 2~4 倍;SSTY 个数较少,一共 13 个,且只在 7—11 月出现。

由表 2 可知,9 月 TS 增加趋势最明显,0.1 个/10a 逐渐增加,趋势系数为 0.331,8 月 TD 减少趋势最明显,0.24 个/a 逐渐递减,趋势系数为 -0.560 ,均通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验。

表 1 1958—2019 年永兴岛不同强度等级台风个数

月份	热带低压 (TD)	热带风暴 (TS)	强热带风暴 (STS)	台风 (TY)	强台风 (STY)	超强台风 (SSTY)	TC
5	13	2	3	7	2	0	27
6	23	14	15	10	3	0	65
7	16	15	21	21	6	4	83
8	31	13	28	23	5	2	102
9	32	18	26	24	11	4	115
10	21	8	22	23	18	2	94
11	7	8	29	10	6	1	61
12	2	6	3	7	1	0	19
总计	145	84	147	125	52	13	566

表 2 1958—2019 年永兴岛不同强度等级 TC 变化趋势系数

月份	热带低压 (TD)	热带风暴 (TS)	强热带风暴 (STS)	台风 (TY)	强台风 (STY)	超强台风 (SSTY)
5	-0.002	0.026	-0.162	-0.201	-0.026	0.000
6	-0.315*	0.194	0.165	-0.234	-0.296*	0.000
7	-0.354**	0.300*	0.010	-0.101	-0.250	-0.061
8	-0.560**	-0.017	0.240	-0.119	0.012	-0.097
9	-0.494**	0.331**	-0.281*	-0.179	0.213	-0.026
10	0.006	-0.019	-0.047	-0.143	0.043	-0.184
11	0.073	0.066	-0.135	-0.042	-0.009	0.000
12	-0.148	0.110	-0.132	0.152	0.000	0.000

注:**表示通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验;*表示通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验,下同。

2.1.3 永兴岛 TC 的路径分类和特征

将台风路径分为 5 类(图 3),各类路径的 TC 特

征如下:①热带气旋中心位置向西直行越过 16.5°N 或以北定义为 A 类(向西直行偏北类);②没有越过

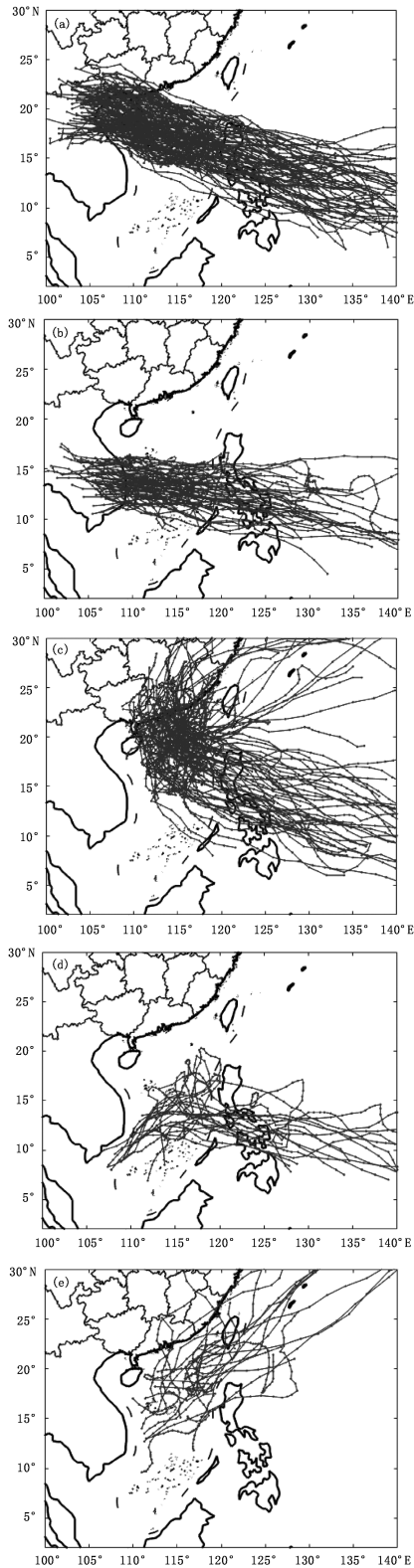


图 3 1958—2019 年影响永兴岛台风路径：
(a)A 类，(b)B 类，(c)C 类，(d)D 类，(e)E 类
(A 类：西直行偏北；B 类：西直行偏南；C 类：转向东北；
D 类：转向西南；E 类：西向东北)

16.5°N 或以南定义为 B 类(向西直行偏南类)，A 类和 B 类都是向西直行，没有转向；③热带气旋中心位置从东向西再向东北呈抛物线型定义为 C 类(转向东北类)；④热带气旋中心位置从东向西再向西南的路径定义为 D 类(转向西南类)；⑤从西向东再向东北的路径定义为 E 类(从西向东北类)，C 类和 E 类的区别是一个起点在东，一个起点在西。

由表 3 统计可知，A 类频率最高，是影响永兴岛 TC 的主要路径，占 TC 总数的 52.0%，6 月开始 A 类与 B、C、D、E 类相比出现频率高，说明这季节副热带高压所处纬度较高，脊线在 20°~30°N，6 月副热带高压已北跳至 20°N 以北，导致 TC 的移动路径偏北，TC 多以西直行偏北路径影响永兴岛，10 月开始，A 类 TC 明显减少，而 B 类 TC 开始增多，说明在 9—10 月副热带高压有季节性的南落，一般到 20°N 以南，影响永兴岛的 TC 绝大多数处于副高南侧的东风气流，受东风气流引导 TC 自东向西直行频率就会高，TC 的移动路径偏南，多以西直行偏南路径影响永兴岛，到 12 月，热带气旋绝大多数在较低纬度区域内活动，路径以 B 类、D 类进入南海南部海域为主，少有热带气旋北上。TC 的季节变化特征：A 类主要出现在 6—10 月，B 类主要出现在 10—11 月，C 类主要出现在 5—10 月，D 类主要出现在 10—12 月，E 类出现在 5—8 月，1—3 月不出现 A、C、E 类路径。

表 3 1958—2019 年永兴岛不同路径 TC 逐月分布统计

月份	A	B	C	D	E
1	0	3	0	1	0
2	0	0	0	0	0
3	0	2	0	1	0
4	2	1	5	0	0
5	7	1	9	0	10
6	34	7	18	0	6
7	62	0	17	0	4
8	71	1	24	1	5
9	79	19	13	1	3
10	36	33	20	5	0
11	11	31	7	10	2
12	0	6	4	9	0
总计	302	104	117	28	30

注：A 类：西直行偏北；B 类：西直行偏南；C 类：转向东北；D 类：转向西南；E 类：西向东北。

2.2 影响永兴岛热带气旋降水气候特征

2.2.1 热带气旋的年降水特征

2.2.1.1 降水量

1958—2019 年，永兴岛 TC 年平均降水量为

705.2 mm,其最高年降水量出现在 1995 年,达到 2166.6 mm,最低年降水量出现在 2004 年,仅为 58.4 mm。在过去 62 年中,有 38 年的降雨量有负距平(-91.72%~-0.60%),进入 20 世纪 90 年代后,出现连续多个的负距平,永兴岛在 1991—1994 年,1997—2000 年,2002—2005 年,2007—2011 年,2014—2019 年均出现连续的降水偏少的现象,有 24 年出现正距平(5.04%~238.51%),降水量高于多年平均,最大距平(1995 年,238.51%)与最小距平(2004 年,-92.59%)之间的差异较大,即反应了在不同年份热带气旋降雨之间的差异较大。永兴岛热带气旋的降雨量有显著(通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验)下降趋势,其回归系数为 -61.76 mm/10a,趋势系数为 -0.270(图 4),原因可能是影响中国的热带气旋从 70 年代至今向东亚沿岸偏移明显,对南海的影响减少而对我国华东及东南沿海影响增多,致使影响中国的热带气旋降水发生变化。这种热带气旋降水长期变化趋势可能与全球气候变暖有关^[18]。

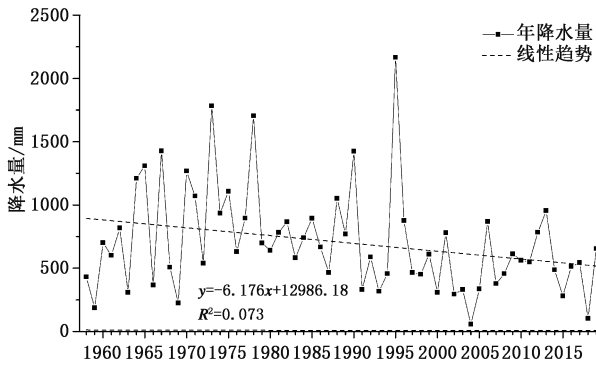


图 4 1958—2019 年永兴岛 TC 年降水量年际变化

2.2.1.2 不同量级降水变化特征

由表 4 可知,1958—2019 年,永兴岛 TC 降水量以暴雨及以上量级的强降水为主,年平均强降水为 472.8 mm,占比 67.0%,TC 强降水中大暴雨所占比例最大,达到 29.6%,大暴雨的最大值出现在 1978 年,达到 676.1 mm。特大暴雨的最大值出现在 1995 年,达到 905.8 mm。非强降水(暴雨以下量级的降水)占 33%,其中,小雨所占比例最少,仅为 5.6%。TC 不同降水量级皆是下降的趋势,其中以中雨的下降趋势最明显,回归系数为 -12.64 mm/10a,趋势系数为 -0.501,通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验。

进一步分别统计 1958—2019 年逐年永兴岛的 TC 强降水和非 TC 强降水的情况可知,TC 活动对

永兴岛强降水贡献最多,达到 67.8%,其他天气系统对永兴岛强降水(224.2 mm)的贡献仅为 32.2%,TC 强降水对总强降水的贡献率无趋势变化,其回归系数为 0.57/10a,趋势系数为 0.055(图 5)。

表 4 1958—2019 年永兴岛不同降水量级 TC 趋势系数

降水量级	占 TC 年降水量比例/%	趋势系数
特大暴雨	11.8	-0.103
大暴雨	29.6	-0.154
暴雨	25.6	-0.170
大雨	15.8	-0.126
中雨	11.6	-0.501**
小雨	5.6	-0.404**
强降水	67.0	-0.196
非强降水	33.0	-0.394**

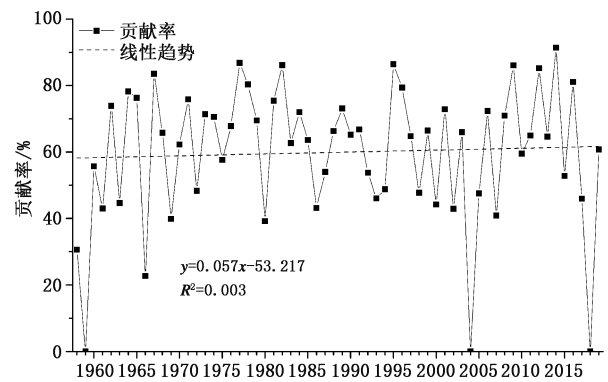


图 5 1958—2019 年永兴岛 TC 强降水贡献率年际变化

2.2.1.3 雨日

由表 5 可知,1958—2019 年,永兴岛 TC 年雨日的平均值为 24.0 d,最大值(1986、1970 年,44 d)与最小值(2004 年,2 d)之间的差异较大,趋势分析的结果显示永兴岛热带气旋雨日有显著(通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验)的下降趋势,以 -2.72d/10a 的速率递减,趋势系数为 -0.549。

各量级雨日占年雨日的比例之间差异也较大,随着降水强度的增加,雨日也随之减少,暴雨及以上量级的强降水雨日为 4.1 d,虽只占 16%,但雨量却占 67%,可见暴雨强度大、时间集中;对于小雨、中雨、大雨,永兴岛雨日多,降水量小。TC 不同等级雨日皆是下降的趋势,其中以小雨的下降趋势最明显,其回归系数为 -1.5 d/10a,趋势系数为 -0.508,通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验。

进一步分别统计 1958—2019 年逐年永兴岛的 TC 强降水和非 TC 强降水雨日的情况可知,年均台风强降水日数为 4.1 d,非 TC 强降水日数为 2.8 d。

TC 强降水雨日对总强降水雨日的贡献率呈现显著(通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验)的下降趋势,其回归系数为 $-4.7 \text{ d}/10\text{a}$,趋势系数为 -0.335 (图 6)。

表 5 1958—2019 年永兴岛 TC 不同等级雨日的趋势统计

降水量级	占 TC 年降水量比例/%	趋势系数
特大暴雨日	11.8	-0.081
大暴雨日	29.6	-0.158
暴雨日	25.6	-0.189
大雨日	15.8	-0.130
中雨日	11.6	-0.497**
小雨日	5.6	-0.508**
强降水日	67.0	-0.215
非强降水日	33.0	-0.288*

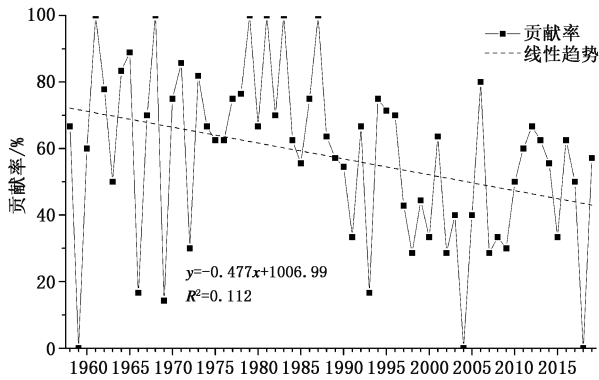


图 6 1958—2019 年永兴岛 TC 强降水雨日贡献率年际变化

表 7 1958—2019 年影响永兴岛不同路径不同强度等级的 TC 雨量对年平均 TC 雨量的贡献率 %

路径	热带低压 (TD)	热带风暴 (TS)	强热带风暴 (STS)	台风 (TY)	强台风 (STY)	超强台风 (SSTY)	TC
A	8.43	6.96	13.76	20.11	5.56	2.31	57.13
B	2.27	2.28	5.1	2.22	0.68	0.19	12.74
C	2.7	2.38	8.07	5.93	4.32	0	23.4
D	0.24	0.17	0.57	1.3	0.22	0	2.50
E	0.68	0.04	0.72	2.76	0.03	0	4.23
TC	14.32	11.83	28.22	32.32	10.81	2.50	100

2.2.2 各月热带气旋的降水特征

2.2.2.1 降水量

从表 8 可知,从 4 月开始 TC 降水量逐步增加,5 月缓慢递增,6 月突变式增多(相比 5 月增多了 67.8 mm),9 月达到最大值 147.1 mm ,降水主要集中在 7—10 月(月降水量均超过 100 mm),11 月开始突变式减少(相比 10 月减少 59.1 mm),1 月达到最小值 5.8 mm ,2、3 月无降水产生。月极值出现在 1995 年 9 月,雨量达到 633.8 mm ,9 月的 TC 个例数虽最多,但其对年降水量的贡献(58.3%)不及 7

2.2.1.4 不同路径下的降水特征

TC 降水主要受 A 类路径影响,贡献率达到 57.1% ,D 类贡献率最小,仅为 2.5% ,B 类 TC(104 个)与 C 类 TC(117 个)个数较为接近,但 C 类产生的降水是 B 类的近 2 倍,D 类与 E 类也存在近似的特征,可见 C、E 类路径的 TC 分别相较 D、B 类路径更容易在永兴岛产生更多的降水(表 6)。

表 6 1958—2019 年永兴岛不同路径 TC 雨量的趋势系数

路径	占 TC 年降水量比例/%	趋势系数
A	57.1	-0.061
B	12.7	-0.135
C	23.4	-0.245
D	2.5	-0.293*
E	4.2	-0.122
TC	100	-0.270*

进一步统计发现,影响强度达到 TY 的 A 类路径的 TC 降水贡献率最大,达到 20.11% ,各路径的不同强度等级的 TC 贡献率分布极不均匀,B 类、C 类路径中以 STS 贡献率最大(5.10% , 8.07%),D 类、E 类路径中 TY 贡献率最大(1.29% , 2.76%),影响强度达到 SSTY 以上的热带气旋当中,只有 A、B 类路径出现降水,A 类贡献率最大,占 2.30% ,其次为 B 类路径,占 0.19% (表 7)。

月的 63.7% ,汛期(5—10 月)平均雨量 621.4 mm ,占全年降水量的 88.1% 。

除 4、12 月降水量呈略增多的趋势外(未通过显著性水平检验),其余月份降水量均呈减少的趋势,11 月较明显递减,其回归系数 $-16.9 \text{ mm}/10\text{a}$,趋势系数为 -0.314 ,通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验。汛期(5—10 月)雨量也有下降趋势,其回归系数为 $-50.18 \text{ mm}/10\text{a}$,趋势系数为 -0.240 。

表 8 1958—2019 年影响永兴岛月平均 TC 雨量贡献率及趋势系数

月份	TC 雨量		TC 雨量		TC 个例数
	年贡献率 %	趋势系数	年贡献率 %		
1	0.8	-0.09	23.9	4	
2	0.0	0.00	0.0	0	
3	0.0	0.00	0.0	3	
4	1.5	0.141	19.9	8	
5	2.4	-0.103	19.1	27	
6	12.0	-0.222	52.2	65	
7	18.2	-0.102	63.7	83	
8	18.1	-0.053	56.9	102	
9	20.9	-0.096	58.3	115	
10	16.6	-0.097	46.2	94	
11	8.2	-0.314*	43.2	61	
12	1.4	0.172	18.9	19	
汛期	88.1	-0.240	52.6	486	

注:汛期为 5—10 月,下同。

2.2.2.2 雨日

6—11 月 TC 雨日基本在 2 d 以上,9 月的月均雨日最多,平均有 5.1 d,月极值出现在 1983 年 10 月,达到 15 d。

除 4、12 月雨日呈略增多的趋势外(未通过显著性水平检验),其余月份雨日均呈减少的趋势,其中 9 月较明显递减,其回归系数 $-0.94 \text{ d}/10\text{a}$,趋势系数为 -0.514 ,通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验。TC 雨日贡献率(逐月 TC 雨日/年降水日)的峰值较 TC 个例数的峰值提前 1 个月,出现在 8 月,而雨量贡献率的峰值较 TC 个例的峰值提前 2 个月,出现在 7 月。汛期(5—10 月)雨量也有下降趋势,其回归系数为 $-2.55 \text{ d}/10$,趋势系数为 -0.552 ,通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验(表 9)。

表 9 1958—2019 年影响永兴岛月平均 TC 雨日贡献率及趋势系数

月份	TC 雨日		TC 雨日		TC 个例数
	年贡献率 %	趋势系数	年贡献率 %		
1	0.4	-0.081	1.1	4	
2	0.0	0.00	0.0	0	
3	0.0	0.00	0.0	3	
4	0.8	0.087	4.7	8	
5	5.0	-0.285*	14.6	27	
6	11.3	-0.276*	25.6	65	
7	12.5	-0.158	30.3	83	
8	17.5	-0.222	34.5	102	
9	21.3	-0.514**	32.3	115	
10	17.9	-0.156	24.7	94	
11	11.3	-0.189	18.2	61	
12	2.5	0.154	4.5	19	
汛期	85.0	-0.552**	27.5	486	

3 结论与讨论

(1)1958—2019 年,共有 581 个 TC 影响永兴岛,年均 9.4 个,TC 主要在 5—12 月影响永兴岛,9 月出现的热带气旋最多,1—4 月为寂静期,较少出现热带气旋,超强台风只在 7—11 月影响永兴岛。影响永兴岛的 TC 有显著(通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验)的下降趋势,0.68 个/10a 逐渐减少,趋势系数为 -0.406 。

(2)影响永兴岛的 TC 路径分为 5 类:向西直行偏北类(A 类)、向西直行偏南类(B 类)、转向东北类(C 类)、转向西南类(D 类)、从西向东北类(E 类),其中 A 类占 TC 总数的 52.0%,A 类 TC 中各个强度所占频率均高于其他类 TC。

(3)永兴岛 TC 降水有显著(通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验)的下降趋势,回归系数为 $-61.76 \text{ mm}/10\text{a}$,趋势系数为 -0.270 。除 4、12 月降水量、雨日呈略增多的趋势外,其余月份均呈减少的趋势,雨量在 11 月递减最明显,雨日在 9 月递减最明显。

(4)TC 活动对永兴岛强降水贡献最多,达到 67.8%,其他天气系统对永兴岛强降水的贡献仅为 32.2%,而年均 TC 强降水日数为 4.1 d,非 TC 强降水日数为 2.8 d。TC 强降水对总强降水的贡献率无明显的趋势变化,其回归系数为 $0.57/10\text{a}$,趋势系数为 0.055 ;而 TC 强降水雨日的贡献率则呈现下降趋势,其回归系数为 $-4.7/10\text{a}$,趋势系数为 -0.335 ,均通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验。

本文对各类路径的 TC 的气候原因分析还较为初步,有待进一步的深入研究。

参考文献

- [1] 陈联寿,丁一汇.西太平洋台风概论[M].北京:科学出版社,1979.
- [2] 陈联寿,孟智勇.我国热带气旋研究十年进展[J].大气科学,2001,25(3):420-432.
- [3] 沈晓玲,桑明慧.2018 年登陆上海两个台风暴雨结构特征综合对比分析[J].气象科技,2020,48(2):274-283.
- [4] 胡德强,朱晶晶,吴胜安.影响海南岛的热带气旋与 MJO 的关系[J].气象科技,2019,47(2):255-261.
- [5] 郑艳,杨仁勇,程守长.地形对台风“海燕”暴雨增幅作用的观测与模拟[J].气象科技,2018,46(6):1147-1153.
- [6] 乐群,董谢琼,马开玉.西北太平洋台风活动和中国沿海登陆台风暴雨及大风的气候特征[J].南京大学学报(自然科学版),2000,36(6):741-749.

- [7] 王咏梅,李维京,任福民,等.影响中国台风的气候特征及其与环境场关系的研究[J].热带气象学报,2007,23(6):538-544.
- [8] 王咏梅,任福民,李维京,等.中国台风降水的气候特征[J].热带气象学报,2008,24(3):233-238.
- [9] 蔡义勇,王宏,郑秋萍.福建省热带气旋暴雨突然增幅特征分析[J].暴雨灾害,2015,34(1):34-40.
- [10] 王坚红,姜云雁,崔晓鹏,等.1956~2012年浙闽登陆热带气旋降水精细化观测统计分析[J].大气科学,2018,42(1):16-32.
- [11] 杨慧,任福民,杨明仁.不同强度热带气旋对中国降水变化的影响[J].地球科学进展,2019,34(7):747-756.
- [12] 吴慧.影响海南的热带气旋气候特征及其与 ENSO 的关系[J].气象,2005,31(12):61-64.
- [13] 吴胜安,郭冬艳,杨金虎.海南热带气旋降水的气候特征[J].气象科学,2007,27(3):307-311.
- [14] Zhang K R, Song C Y, Chen Y X. Records and disaster evaluation of typhoons in East Hainan Island in recent 50 years [J]. Meteorological and Environmental Research, 2010,1(7): 102-104.
- [15] 张丽杰,刘建成,朱慧云.影响海南岛台风的时空特征分析[J].灾害学,2019,34(1):135-138.
- [16] 邹发生.西沙群岛的红脚鲷鸟[J].野生动物学报,1999(5): 24-25.
- [17] 施能.北半球冬季大气环流遥相关的长期变化及其与我国气候变化的关系[J].气象学报,1996,54(6):675-683.
- [18] 刘通易,吴立广,张娇艳,等.1965—2010年7—9月影响中国的热带气旋降水变化趋势分析[J].气象学报,2013,71(1): 63-75.

Climatic Features of Rainfall Induced by Tropical Cyclones in Yongxing Island in Recent 60 Years

ZHOU Yu^{1,2} LING Fenman^{1,2} SHI Chenxiao^{2,3}

(1 Sansha Metrological Service, Hainan, Sansha 573199; 2 Key Laboratory of South China Sea

Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Haikou 570203;

3 Hainan Meteorological Information Center, Haikou 570203)

Abstract: This paper analyzes the climatic characteristics of the tropical cyclone (TC) centers that entered the range of $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ (longitude \times latitude) around Yongxing Island from 1958 to 2019. The results show that the Yongxing Island is influenced averagely by 9.4 TCs in a year, and the TCs show a significant ($\alpha=0.01$) decreasing trend in 0.67 every decade (an trend coefficient of -0.406). This paper divides the TC paths in Yongxing Island into five categories: north-westward moving (A), south-westward moving (B), northeastward turning (C), southwestward turning (D), northeastward turning from west (E), of which Type A accounts for 52.0%. The annual rainfall caused by TCs exhibits a significant ($\alpha=0.05$) decreasing trend (an regression coefficient of -61.76 , an trend coefficient of -0.27). TC activities contribute the most to the heavy rainfall of Yongxing Island, reaching 67.8%, while the contribution of other weather systems is only 32.2%. The annual average number of rain days caused by typhoon is 4.1, while that caused by the others is 2.8 days. The contribution of Typhoon Rainstorms to annual storm rainfall shows no obvious variation trend (an regression coefficient of 0.57, an trend coefficient of 0.055), but the contribution of typhoon rainstorm days to annual rainstorm days shows a significant ($\alpha=0.01$) decreasing trend (a regression coefficient of 4.7, a trend coefficient of -0.33).

Keywords: Yongxing Island; climate feature; trend analysis; typhoon rainstorm; typhoon track