

Niño海区海表温度与1949—2022年登陆中国热带气旋的相关性分析研究

陈世发, 全春焕, 杨林, 毛兰花, 刘文

(韶关学院旅游与地理学院, 广东 韶关 512005)

摘要: 为研究 Niño 海区海表温度与登陆中国的热带气旋(TC)的相关性, 利用 1949—2022 年登陆我国的 TC 数据, 在探讨登陆 TC 时空分布的基础上, 分析海温对登陆 TC 的影响。结果表明: 登陆我国的 TC 年际波动大, 总体呈下降趋势; 受海温影响, 台风级及以上级别的 TC 登陆频数在 9 月最大, 其余级别均在 8 月最大; TC 的源地位置、纬度与海岸线走向是影响登陆我国 TC 空间分布差异的重要因素; Niño 各海区海温及海温距平值与登陆我国的 TC 均呈现极显著的相关关系, 但存在 2 个月的滞后期。

关键词: 热带气旋; 时空变化; 海温; 登陆; Niño

中图分类号: P731.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2024)06-0062-09

0 引言

热带气旋(Tropical Cyclone, TC)是发源于距赤道 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 的低纬度地区的一种强烈漩涡, 具有中心气压低的特征。不同地区对 TC 的称谓不一, 西北太平洋沿岸国家和地区多称为台风。台风与海洋的相互作用是典型的强海气作用, 海洋是台风生成和发展的环境, 台风的热量取决于整个海洋上层的热容量, 海洋表面的温度变化会对台风的发生、发展与路径产生显著影响^[1-2]。

国内外学者对 TC 的时空变化及影响因素进行了大量研究。不同学者对不同尺度 TC 的特征进行研究。西北太平洋是全球 TC 发生频率最高的区域, 是国内外学者研究的热点。从 TC 的时空特征来看, 有学者分析了单个年份西北太平洋 TC 的活动特征^[3-5], 结果表明近年来西北太平洋 TC 的年均最大强度与平均强度总体呈明显下降趋势, 但 TC 频数的长期变化趋势不明显^[6]。我国是受 TC 影响

较严重的国家, 但从时间规律来看, 登陆我国 TC 的变化趋势不显著^[7-9]。也有学者认为登陆我国的 TC 数量呈平缓下降趋势, 但强度方面表现为强增多、弱减少的态势^[10]。登陆我国 TC 频数的年际变化显著, 最多年份的频数为最少年份的 4 倍, 从登陆强度看, 强热带风暴最多, 台风次之^[11]。从省级尺度来看, 登陆广东省与海南省的 TC 频数呈下降趋势, 7—9 月是 TC 登陆的高频期^[12-14]; 欧阳婧怡等^[15]认为 7—8 月影响山东省的 TC 最多, 强度为台风级及以下等级; 登陆福建省的 TC 频数年际分布呈现“增—减—增”的变化趋势^[16]。

海温是影响 TC 生成的重要因子, 并通过海气遥相关影响登陆我国的 TC。温暖的海水会使 TC 显著增强, 并在 TC 运动中获得更多能量^[17]。北大西洋的 TC 生成频数与其局地海表温度异常具有相关性^[18-20]。西北太平洋的 TC 频数变化与中太平洋的热含量呈正相关关系^[21], 海温是影响西北太平洋台风季(5—11 月)的重要因子^[22]。夏季热带北大西洋

收稿日期: 2024-01-12。

基金项目: 国家自然科学基金(42101008); 广东省教育科学规划课题(2024GXJK301); 广东省大学生创新创业训练项目(S202310576043); 韶关市哲学社科项目(Z2021014; J2022016); 广东省质量工程项目(自然地理教研室); 韶关学院质量工程项目(自然地理教研室); 2021 年度广东省课程思政建设改革示范项目/课程思政示范课程《气象学与气候学》(202122082)。

作者简介: 陈世发(1984-), 男, 副教授, 博士, 主要从事水土保持与气候变化研究。E-mail: sgxycsf@163.com

海温异常与西北太平洋TC生成频次之间存在显著的负相关关系^[23]。热带印度洋和西太平洋海温是影响登陆我国TC的重要因子^[24]。海温影响西北太平洋TC的强度和路径,当赤道中东太平洋海表增(降)温,华南TC活动减少(增多)^[25]。

以上研究多集中于西北太平洋地区的TC活动和登陆我国不同地区的TC时空特征分析及成因剖析。但对于登陆我国的TC时空演变规律的研究相对偏少,对各Niño海区的海面温度和距平值如何影响登陆我国的TC也有待进一步探讨。为此,本研究基于1949—2022年西北太平洋与南海的TC数据,找出登陆我国的TC,分析其登陆时间、强度、等级及地点,探讨各Niño海区的海温及距平值对登陆我国的TC的影响,以期对登陆我国的TC预测与预报提供一定的参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

登陆我国的TC数据来自于中国气象局上海台风研究所TC最佳路径资料(网址: <https://tcdata.typhoon.org.cn/>),包括TC名称、路径、经纬度位置、中心最低气压、最大风速、登陆地点、登陆强度等信息。

1949—2022年分月Niño3.4区($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$, $170^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{W}$)、Niño3区($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$, $150^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$)、Niño4区($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$, $160^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{W}$)和Niño1+2区($0^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{S}$, $90^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{W}$)的海温资料来源于美国国家气象局气候预测中心(网址: <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>)。

1.2 研究方法

本文统计的是拥有TC编号并在移动过程中登陆到我国的TC。在统计1949—2022年登陆我国的TC的时间变化规律时,部分TC出现二次登陆,如登陆台湾岛的TC横跨台湾海峡后又登陆福建,则统计为二次登陆。

2006年国家颁布的《热带气旋等级》(GB/T 19201-2006)将TC分为热带低压(最大平均风速达 $10.8\sim 17.1\text{ m/s}$)、热带风暴(最大平均风速达 $17.2\sim 24.4\text{ m/s}$)、强热带风暴(最大平均风速达 $24.5\sim$

32.6 m/s)、台风(最大平均风速达 $32.7\sim 41.4\text{ m/s}$)、强台风(最大平均风速达 $41.5\sim 50.9\text{ m/s}$)以及超强台风(最大平均风速 $\geq 51.0\text{ m/s}$)6类。利用Origin对登陆TC的年际变化与月变化进行制图,并分析动态变化规律。

2 登陆我国热带气旋时空分布规律

2.1 时间分布规律

2.1.1 年际变化规律

1949—2022年登陆我国的TC共计667个,年均登陆频数为9.01个。从图1可以看出登陆我国TC的波动较大,总体呈下降趋势。这其中,1952年登陆TC的频数最多(16个),登陆最少的为1982年(4个),1978年前后存在明显差异,之前年均登陆频数为9.58个,之后为8.60个(见图1)。

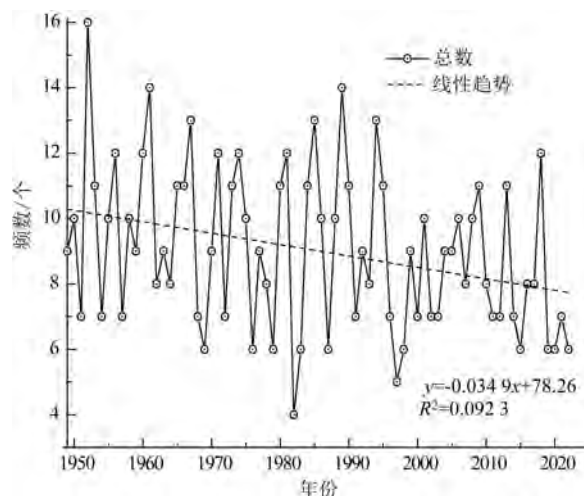


图1 1949—2022年登陆我国的TC年频数的变化

Fig.1 Annual frequency of tropical cyclones landed in China from 1949 to 2022

统计期间年均登陆我国的热带低压频数为2.03个,其中1977年前年均登陆2.90个,特别是1949—1961年间年均登陆高达4.23个;1978—2022年间年均登陆仅为1.80个。整个研究时段内登陆我国的热带低压下降趋势明显(见图2a)。

热带风暴年均登陆频数为1.88个,其中1977年前年均登陆1.52个,之后为1.64个,特别是2003—2022年的年均登陆频数为2.70个,在各强度TC中唯一呈现增加趋势(见图2b)。

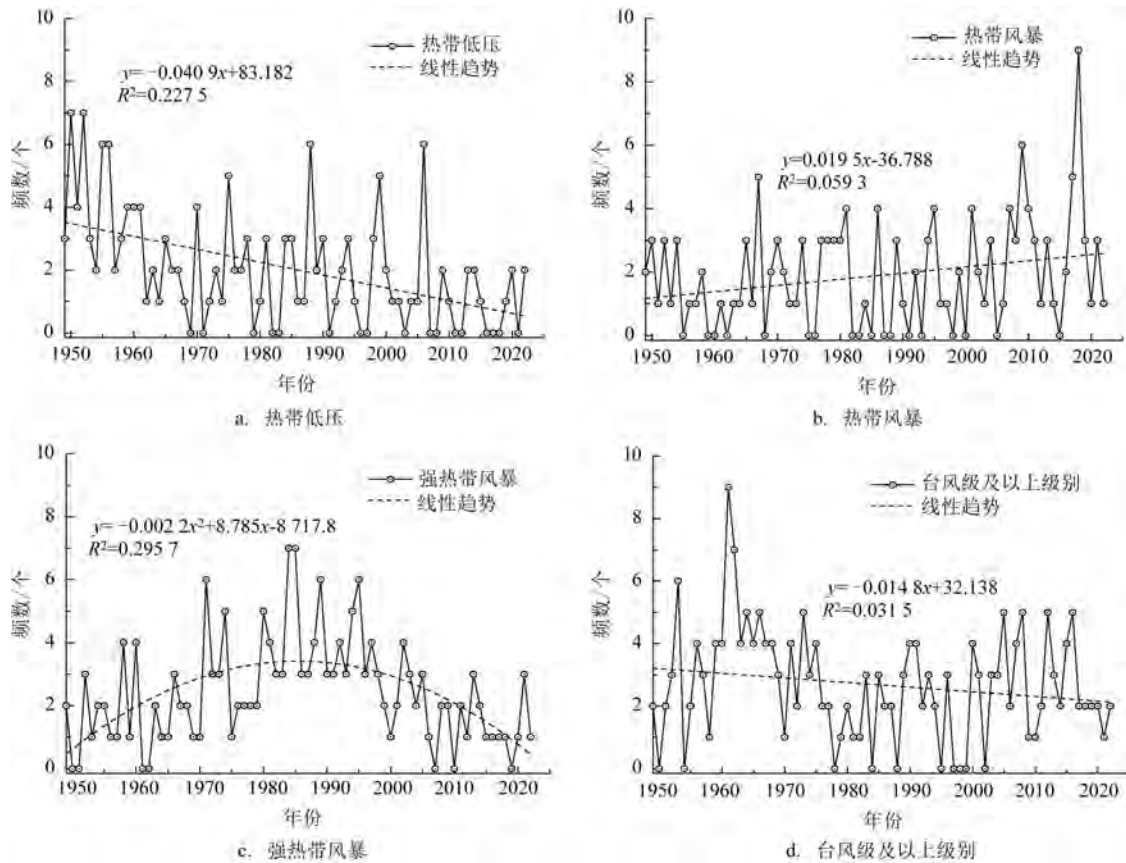


图2 1949—2022年各强度TC登陆我国年频数的变化

Fig.2 Annual frequency of tropical cyclones landed in China categorized by cyclone intensity from 1949 to 2022

强热带风暴年均登陆频数为2.41个,线性变化趋势不明显,但二次变化趋势呈现向下开口抛物线型,1977年前与2003年后强热带风暴登陆频数分别为1.93个与1.50个,1978—2002年年均登陆3.68个(见图2c)。

台风级及以上级别的TC年均登陆频数为2.68个,其中1977年前年均登陆3.62个,1978—2002年为1.72个,2003—2022年为2.80个。在整个统计期间,台风级及以上级别的TC呈现略微下降的趋势,但2003年以来呈现增加趋势(见图2d)。

发源于西北太平洋^[6]、南海^[26]以及登陆海南省的TC^[27]均呈现递减的趋势,而登陆我国的TC也呈现波动下降趋势,这与张春艳等^[9]、王振康等^[10]、黄昌兴等^[11]学者认为的登陆我国的TC数量呈减少态势的结论相一致,且TC年际变化与各强度TC的变化也与本研究结果类似。登陆我国的TC发源于西北太平洋及南海,其变化趋势受两个地区生成的TC

影响。

2.1.2 月分布特征

从不同月份登陆的各强度TC来看(见图3),除1—3月外均有TC登陆,其中4月和12月仅有3个和2个TC登陆;8月登陆的TC最多,占全部登陆TC频数的32.7%,其次为9月和7月,分别占24.3%和21.2%。

对不同强度TC的月分布特征进行统计,热带风暴在4—12月均有分布,强热带风暴则分布于4—11月,而热带低压与台风级及以上级别分布于5—11月。4—5月无强台风与超强台风登陆;9月台风级及以上级别的TC登陆频数最多,高达66个,占该月全部登陆TC的31.1%,特别是强台风与超强台风占该强度所有月份全部登陆比重的59.3%,因此要特别注意防范9月登陆我国的TC,由于其强度大,势力强,易造成较严重的灾害。

从1949—2022年我国各强度TC登陆月份的统

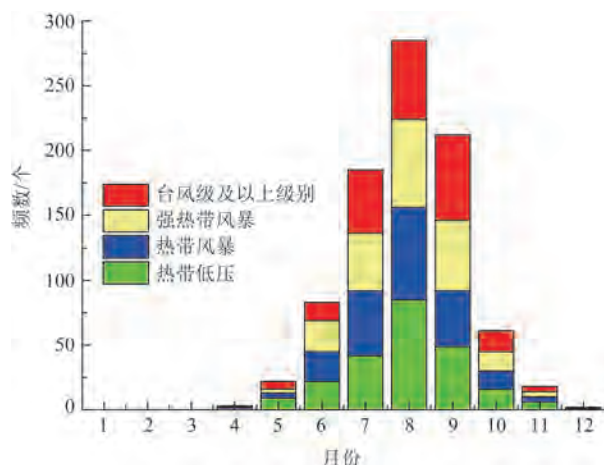


图3 1949—2022年登陆我国各强度TC分月频数的变化
Fig.3 Monthly frequency of tropical cyclones landed in China categorized by cyclone intensity from 1949 to 2022

计图可以看出(见图4),台风级及以上级别的TC在9月登陆频数最大,其余各类TC则8月最大。台风

级及以上级别的TC集中度最高,即7—9月的登陆比重超80%,其余各类TC的登陆频数在7—9月均低于80%;11月—次年5月登陆的TC均不足全年登陆比重的7%。

之前的研究成果中,登陆我国的TC集中于7—9月,其中8月登陆频数最大^[9-11],其次为7月与9月^[10],这与本研究结果相同。1—3月由于海温最低,海洋提供给大气的热通量不足,难以满足TC所需的热量条件,无TC登陆;7—9月登陆的TC占78.3%,其中8月最集中,这是由于8月海洋温度最高,能量最为充足,极易形成TC,7月与9月的洋面温度仅次于8月,外加季风槽的影响,因此7—9月登陆我国的TC数最多。

2.1.3 月际变化规律

对1949—2022年登陆我国的TC的月际变化规律进行统计,结果见图5。由于4月和12月登陆TC的频数共为5个,且多年月际变化特征不明显,故未

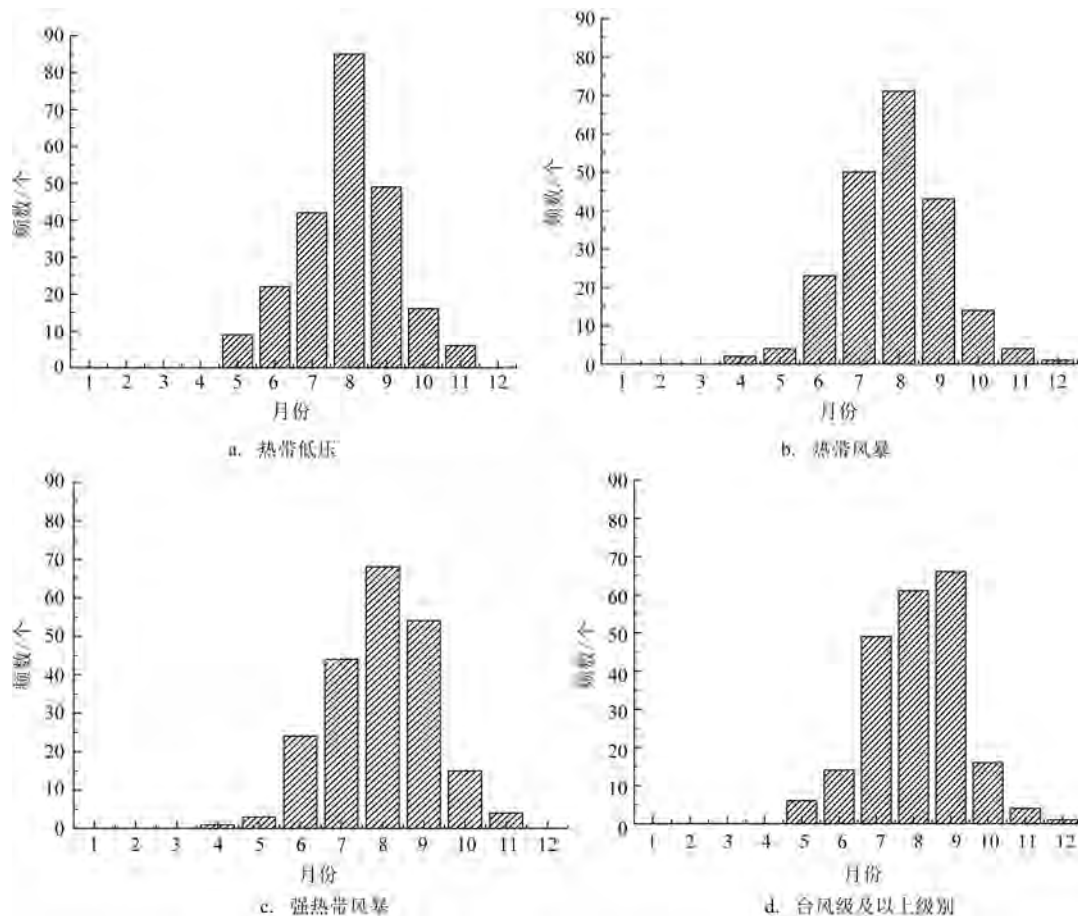


图4 1949—2022年我国各强度TC登陆月频数的变化

Fig.4 Monthly frequency of tropical cyclones landed in China from 1949 to 2022

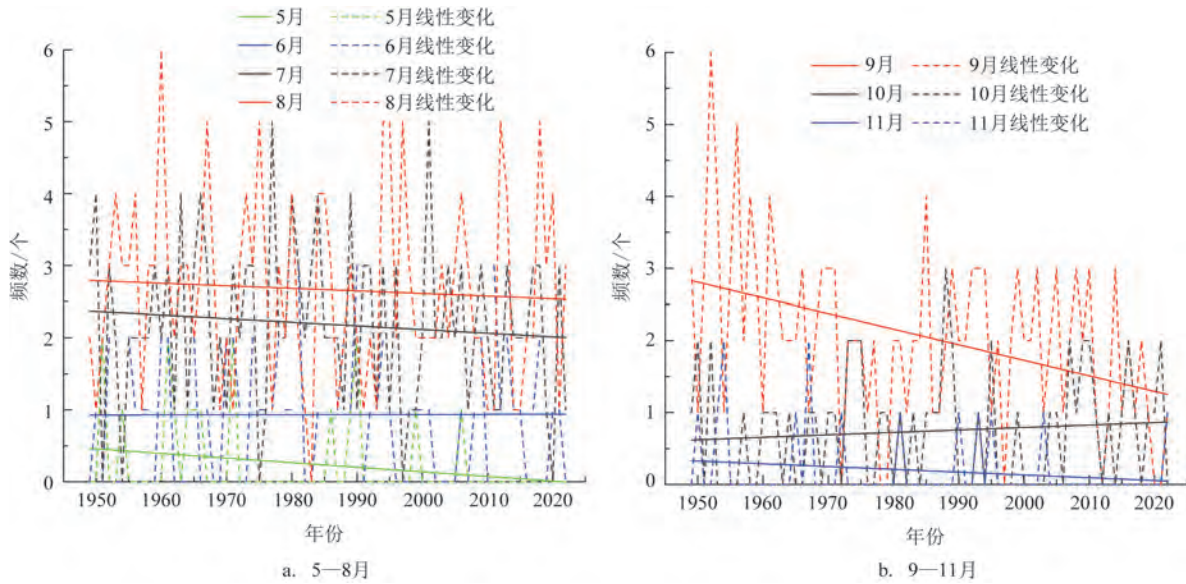


图5 1949—2022年登陆我国TC月分布的多年频数变化

Fig.5 Variations of tropical cyclones landed in China categorized by landing month from 1949 to 2022

统计这两个月的登陆TC频数。由图5可以看出,各月登陆的TC频数年际变化较大,其中10月呈现上升趋势,6月与8月无明显变化趋势,其余各月均呈现不同程度的下降趋势,尤其是9月和5月较为明显。本研究与张春艳等^[9]提出的8月登陆TC频数无明显变化、9—10月呈现弱下降趋势、10月呈现上升趋势一致,而“7月呈现增加趋势”这一结论与本研究存在差异。

2.2 空间分布规律

2.2.1 总体分布规律

登陆我国的TC空间分布差异显著,呈现出南多北少的特征。广东省是我国TC登陆最多的省份,占登陆总TC的30.30%,其次为海南省、台湾省和福建省(见图6),分别占18.94%、16.13%和14.61%,以上4个省份的登陆TC共占79.98%。上海市、江苏省、山东省、河北省、天津市和辽宁省的登陆TC均出现在6—9月,其中8月和7月的登陆TC占这些省份登陆TC的55.56%和33.33%,6月仅有1个TC登陆。

之前的研究结果认为,1951—2017年广东省、台湾省、海南省、福建省和浙江省是TC的主要登陆地^[9],天津市和河北省无TC登陆^[11],而本研究认为

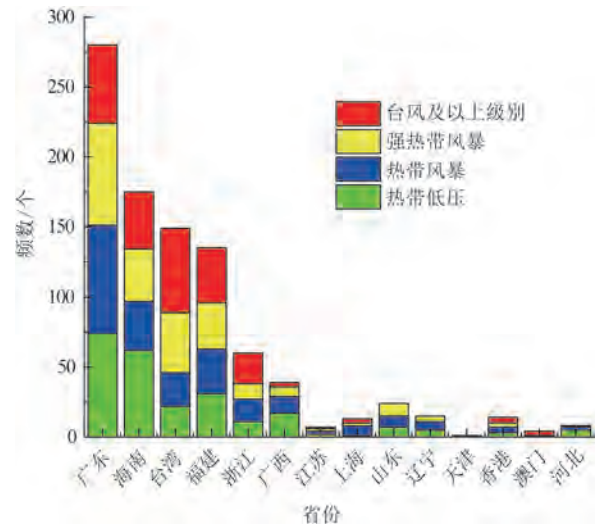


图6 1949—2022年各强度TC登陆各省柱状图

Fig.6 Histogram of tropical cyclones landing provinces categorized by cyclone intensity during 1949 to 2022

沿海各省均有TC登陆。TC登陆与其所处纬度、海岸线长度及走向、距离TC发源地远近等具有相关性,广东省纬度低,海岸线最长,且海岸线走向大多与TC移动路线垂直,TC极易登陆。

2.2.2 不同强度热带气旋的空间分布

除澳门特别行政区外,热带低压在我国沿海各

省均有登陆,其中广东省和海南省最多(见图6),分别占30.71%和25.72%。

除澳门特别行政区和天津市外,热带风暴在我国沿海各省均有登陆,其中广东省最多(见图6),为77个,占34.22%,海南省和福建省次之,但后两省的登陆合计为29.78%,仍少于广东省。

除天津市外,强热带风暴在我国沿海各省均有登陆,其中广东省最多(见图6),达73个,占32.30%,台湾省、海南省和福建省次之,这4个省份登陆的强热带风暴共占82.30%。

山东省、辽宁省、天津市和河北省无台风级及以上级别的TC登陆(见图6)。从登陆总数来看,台湾省台风级及以上级别的TC登陆总数最多,占25.86%,其次为广东省(24.14%);广东省、海南省、台湾省、福建省和浙江省登陆的该级别的TC共占93.97%,分布较为集中。

随着全球变暖,大部分海域的TC都有向极地偏移的趋势,研究表明1951—2019年西北太平洋的TC逐渐向高纬度地区迁移^[28]。杭州湾以北各省登陆的TC全部出现在7—9月(除山东省1个TC在6月登陆外),而杭州湾以南各省在4—12月均有TC登陆。7—9月是一年中海表温度最高的时期,TC登陆位置可达辽宁省。杭州湾以北各省无强台风和超强台风登陆,且仅有江苏省和上海市有台风登陆。海温越高,登陆杭州湾以北各省的TC概率越大。

3 Niño 海区海温对登陆热带气旋的影响

将1949—2022年登陆我国的TC与Niño各海区海温、距平值进行相关分析,探讨TC对Niño各海区海温及其距平值的响应值在推迟0~3个月时的相关性,结果见表1。

从表1可以看出,当响应值推迟3个月时,除Niño4海区的海温外,其余海温指标均与登陆我国的TC具有显著相关关系,但 R 值偏小;Niño3.4与Niño3海区的海温距平值和登陆我国的TC具有显著相关关系,其余无相关关系。当响应值为同步和推迟1个月时,Niño各海区的海温与登陆我国的TC均具有显著相关关系,但 R 值同样偏小;仅Niño4海区的海温距平值与登陆我国的TC具有显著相关关系。当响应值推迟2个月时具有最优的相关关系,即海温及其距平值的 P 值全部为0,其中Niño各海区海温的 R 值为0.682~0.872,具有较好的相关性。

以Niño各海区的海温为例,分析与登陆我国的TC的相关性。从图7可以看出,Niño各海区的海温与登陆我国的TC呈现极显著相关关系,其中 P 值均为0, R^2 为0.465~0.760,其中Niño3.4海区的 R^2 最大,与登陆我国的TC具有最佳的拟合特征。

赤道中东太平洋海表增(降)温,表明影响台风的活动减少(增多)^[25]。西北太平洋台风变化与中太

表1 登陆我国的TC对Niño各海区海温及距平值的响应相关性

Tab.1 Correlation between the Niño SST and their anomalies, and tropical cyclones landed in China

指标	推迟3个月		推迟2个月		推迟1个月		同步	
	P 值	R 值	P 值	R 值	P 值	R 值	P 值	R 值
Niño3.4 温度	0	0.339	0	0.872	0	0.126	0.013	0.092
Niño3.4 距平	0	0.079	0	0.448	0.071	0.067	0.044	0.091
Niño1+2 温度	0	0.319	0	0.682	0	0.370	0	0.607
Niño1+2 距平	0.256	0.056	0	0.837	0.317	0.040	0.147	0.050
Niño3 距平	0.013	0.085	0	0.859	0.112	0.058	0.074	0.069
Niño3 温度	0	0.473	0	0.840	0.018	0.080	0	0.343
Niño4 温度	0.096	0.056	0	0.814	0	0.142	0.014	0.109
Niño4 距平	0.183	0.048	0	0.138	0.037	0.076	0.012	0.098

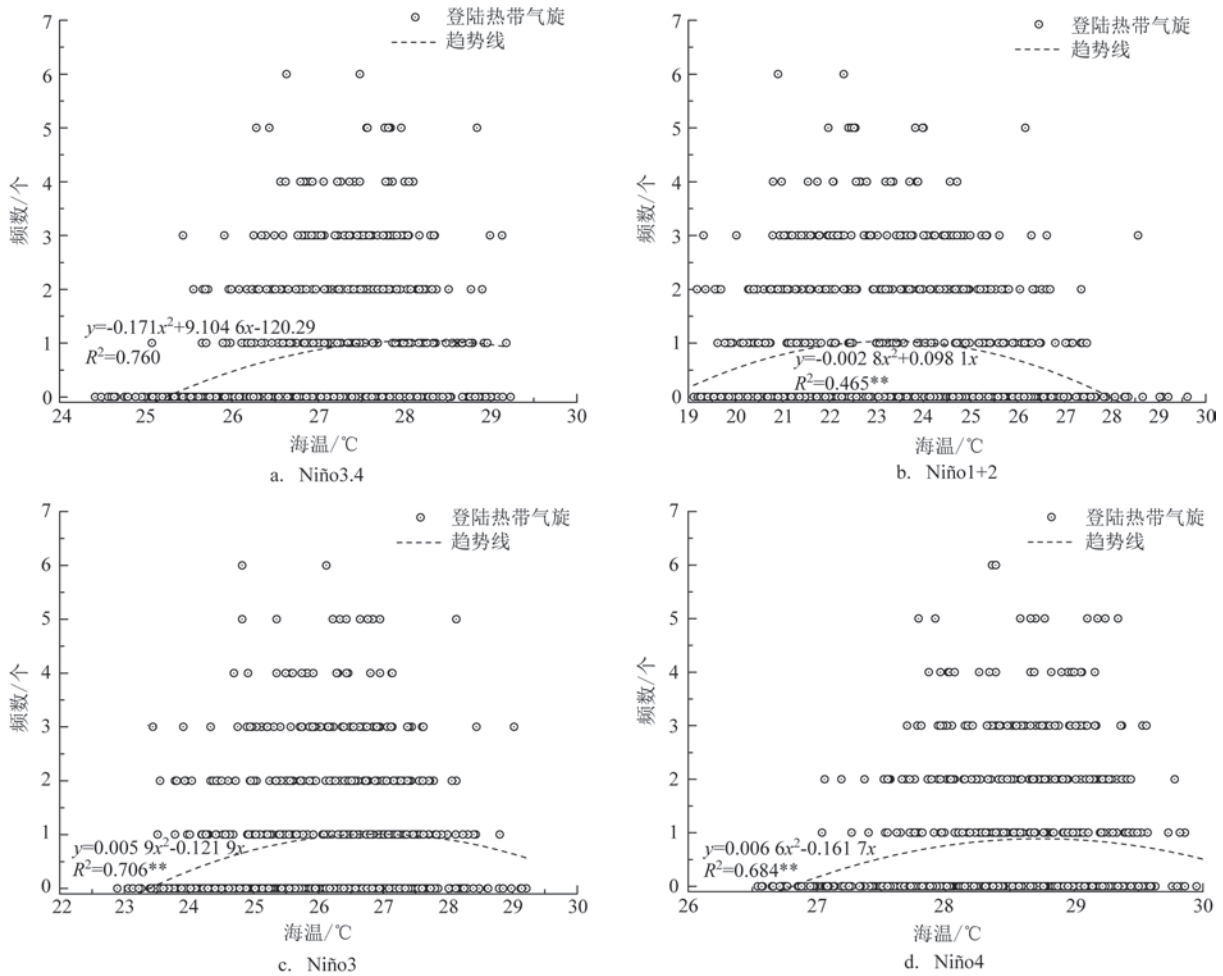


图7 Niño各海区海温与登陆我国TC的相关性

Fig.7 Correlation between the Niño SST and tropical cyclones land in China

平洋的热含量相联系并表现为正相关^[21]。偏暖海温引导气流利于秋季TC登陆广东^[29]。登陆我国的TC与Niño3.4海区的海温存在极显著相关关系,且存在2个月的滞后期,总体呈现出随着Niño3.4海区海温升高,登陆的TC频数增加。

4 结论与展望

本文利用1949—2022年登陆我国的TC数据,在探讨登陆TC时空分布的基础上,分析海温对登陆TC的影响。结论如下:

① 1949—2022年年均登陆TC为9.01个,年际变化较大,总体呈现波动下降的趋势,其中,除热带风暴外,其余级别的TC均呈现波动下降趋势。

② 4—12月均有TC登陆,其中8月登陆的TC

最多,9月登陆的强台风与超强台风占该强度全部登陆TC的59.3%。

③登陆我国的TC呈现出南多北少的特征。广东省是登陆我国TC最多的省份(30.3%),其次为海南省、台湾省和福建省,占全部登陆TC的79.98%。TC登陆与其所处纬度、海岸线长度与走向、TC发源地远近等相关。

④Niño各海区的海温及距平值与登陆我国的台风具有极显著相关关系,且存在2个月的滞后期,其中Niño3.4海区的相关性最强。

本研究利用Niño各海区的海温及其距平值分析海温对我国登陆TC的影响,虽然Niño海区的气温变化对TC登陆有重要影响,但其他海域的海温对其也有一定贡献。TC对Niño海区的海温具有2个月的响应时间,也只是按相关性最强与相关系数

最大来综合考虑的,未从响应机理方面进行分析,特别是海温变化如何影响大气变化以及如何通过海气遥相关作用影响TC登陆等问题还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 周磊, 陈大可, 雷小途, 等. 海洋与台风相互作用研究进展[J]. 科学通报, 2019, 64(1): 60-72.
ZHOU L, CHEN D K, LEI X T, et al. Progress and perspective on interactions between ocean and typhoon[J]. Chinese Science Bulletin, 2019, 64(1): 60-72.
- [2] 王桂华, 卢著敏, 孙佳. 台风-涡旋相互作用研究进展[J]. 海洋科学进展, 2022, 40(4): 755-762.
WANG G H, LU Z M, SUN J. Advances in interactions between typhoons and ocean eddies[J]. Advances in Marine Science, 2022, 40(4): 755-762.
- [3] 王海平, 董林. 2019年西北太平洋和南海台风活动概述[J]. 海洋气象学报, 2020, 40(2): 1-9.
WANG H P, DONG L. Overview of typhoon activities over western North Pacific and the South China Sea in 2019[J]. Journal of Marine Meteorology, 2020, 40(2): 1-9.
- [4] 吕心艳, 许映龙, 董林, 等. 2018年西北太平洋台风活动特征和预报难点分析[J]. 气象, 2021, 47(3): 359-372.
LYU X Y, XU Y L, DONG L, et al. Analysis of characteristics and forecast difficulties of TCs over northwestern Pacific in 2018[J]. Meteorological Monthly, 2021, 47(3): 359-372.
- [5] 武亮, 张宏杰, 冯涛, 等. 热带气旋与多尺度气候变异: 2018年西北太平洋台风季概况[J]. 中国科学: 地球科学, 2020, 50(5): 581-592.
WU L, ZHANG H J, FENG T, et al. Tropical cyclones and multiscale climate variability: The active western North Pacific Typhoon season of 2018[J]. Science China Earth Sciences, 2020, 50(5): 581-592.
- [6] 顾成林, 康建成, 闫国东, 等. 全球变暖背景下西北太平洋热带气旋活动的时空变化特征及潜在风险分析[J]. 灾害学, 2019, 34(2): 89-96.
GU C L, KANG J C, YAN G D, et al. Spatial and temporal variation characteristics and potential risk analysis of tropical cyclone activities in the northwest Pacific ocean under the background of global warming[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(2): 89-96.
- [7] XIANG B, DONG X N, LI Y H. Climate change trend and causes of tropical cyclones affecting the South China Sea during the past 50 years[J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2020, 13(4): 301-307.
- [8] 应明, 杨玉华, 陈葆德, 等. 近50年影响中国热带气旋的气候变化特征[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(9): 1352-1364.
YING M, YANG Y H, CHEN B D, et al. Climatic variation of tropical cyclones affecting China during the past 50 years[J]. Science China Earth Sciences, 2011, 41(9): 1352-1364.
- [9] 张春艳, 刘昭华, 王晓利, 等. 20世纪50年代以来登陆中国热带气旋的变化特征分析[J]. 海洋科学, 2020, 44(2): 10-21.
ZHANG C Y, LIU Z H, WANG X L, et al. Variations of landfalling tropical cyclones in China since the 1950s[J]. Marine Science, 2020, 44(2): 10-21.
- [10] 王振康, 雍斌. 中国沿海地区热带气旋变化特征分析[J]. 水电能源科学, 2023, 41(4): 22-26.
WANG Z K, YONG B. Analysis of characteristics of typhoon disasters in coastal areas of China[J]. Water Resources and Power, 2023, 41(4): 22-26.
- [11] 黄昌兴, 周国良, 郑磊, 等. 登陆我国台风的时空分布特征及其影响[J]. 水文, 2014, 34(6): 81-85.
HUANG C X, ZHOU G L, ZHENG L, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of landing typhoons in China and their influence[J]. Journal of China Hydrology, 2014, 34(6): 81-85.
- [12] 陈世发, 查轩. 1951—2016年ENSO对登陆广东省热带气旋的影响[J]. 应用海洋学学报, 2018, 37(1): 26-34.
CHEN S F, ZHA X. Impact of ENSO on the tropical cyclones landed in Guangdong during 1951—2016[J]. Journal of Applied Oceanography, 2018, 37(1): 26-34.
- [13] 徐婉明, 邓伟铸. 广东省登陆热带气旋的时空分布特征及其影响[J]. 海洋预报, 2020, 37(2): 11-18.
XU W M, DENG W Z. Characteristics of tropic cyclones landing in Guangdong province and their impacts[J]. Marine Forecasts, 2020, 37(2): 11-18.
- [14] 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.
ZHANG L J, LIU J C, ZHU H Y. Analysis on the temporal and spatial characteristics of TC in Hainan Island[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(1): 135-138.
- [15] 欧阳婧怡, 黄菲, 许士斌, 等. 1949—2019年影响山东的热带气旋时空分布及极端降水和大气环流异常[J]. 海洋气象学报, 2021, 41(4): 1-10.
OUYANG J Y, HUANG F, XU S B, et al. Spatial and temporal distribution of tropical cyclones affecting Shandong as well as the extreme precipitations and atmospheric circulation anomalies from 1949 to 2019[J]. Journal of Marine Meteorology, 2021, 41(4): 1-10.
- [16] 陈橙, 杜飞, 李梓萱, 等. 福建沿海热带气旋的时空分布特征及其影响分析[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2022, 50(3): 417-422.
CHEN C, DU F, LI Z X, et al. Temporal and spatial distribution characteristics and influence analysis of tropical cyclones along Fujian coast[J]. Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition), 2022, 50(3): 417-422.
- [17] YUN K S, CHAN J C L, HA K J. Effects of SST magnitude and gradient on typhoon tracks around East Asia: a case study for Typhoon Maemi (2003) [J]. Atmospheric Research, 2012, 109-110: 36-51.
- [18] 赵晓彤, 余锦华, 廖桢桦, 等. 北大西洋热带气旋生成频数变化对海温异常响应特征的研究[J]. 热带气象学报, 2020, 36(2):

- 208-218.
- ZHAO X T, YU J H, LIAO A H, et al. Contribution of major SSTA modes to tropical cyclone genesis frequency over the north Atlantic[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2020, 36(2): 208-218.
- [19] ELSNER J B, KOCHER B. Global tropical cyclone activity: a link to the North Atlantic Oscillation[J]. *Geophysical Research Letters*, 2000, 27(1): 129-132.
- [20] WANG R F, WU L G. Climate changes of Atlantic tropical cyclone formation derived from twentieth-century reanalysis[J]. *Journal of Climate*, 2013, 26(22): 8995-9005.
- [21] 刘钦燕, 周文. 西北太平洋台风数目与海洋热含量的年代际关系分析[J]. *热带海洋学报*, 2010, 29(6): 8-14.
- LIU Q Y, ZHOU W. Relationship between typhoon activity in the northwestern Pacific and the up-per-ocean heat content on interdecadal time scale[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2010, 29(6): 8-14.
- [22] PANDEY R S P, LIOU Y. Sea surface temperature (SST) and SST anomaly (SSTA) datasets over the last four decades (1977—2016) during typhoon season (May to November) in the entire Global Ocean, North Pacific Ocean, Philippine Sea, South China sea, and eastern China Sea[J]. *Data in Brief*, 2022, 45(9): 108646.
- [23] 霍利微, 郭品文, 张福颖. 夏季热带北大西洋海温异常对西北太平洋热带气旋生成的影响[J]. *大气科学学报*, 2016, 39(1): 55-63.
- HUO L W, GUO P W, ZHANG F Y. Impact of summer tropical Atlantic SST anomaly on western North Pacific tropical cyclone genesis[J]. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 2016, 39(1): 55-63.
- [24] WANG L, CHEN G H. Impact of the spring SST gradient between the tropical Indian Ocean and western Pacific on landfalling tropical cyclone frequency in China[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2018, 35(6): 682-688.
- [25] 贾子冰, 武亮, 王同美, 等. 华南秋季降水异常年的台风活动差异及其与海温的关系[J]. *海洋学报*, 2015, 37(1): 53-62.
- JIA Z B, WU L, WANG T M, et al. Relationship between autumn rainfall anomalies in South China and typhoons activity, and the anomalous sea surface temperature characteristics[J]. *Haiyang Xuebao*, 2015, 37(1): 53-62.
- [26] 江文, 王东海, 张春燕, 等. 近 70 年不同路径的南海热带气旋的统计特征[J]. *热带气象学报*, 2022, 38(3): 433-443.
- JIANG W, WANG D H, ZHANG C Y, et al. Statistical characteristics of tropical cyclones in the South China Sea with different tracks in the past 70 years[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2022, 38(3): 433-443.
- [27] 贺山峰, 李铮, 陈超冰, 等. 海南省登陆台风特征演变及其危险性分析[J]. *地理科学进展*, 2023, 42(7): 1355-1364.
- HE S F, LI Z, CHEN C B, et al. Evolution of landing typhoon characteristics and typhoon hazard in Hainan Province of China [J]. *Progress in Geography*, 2023, 42(7): 1355-1364.
- [28] 韩岩松, 姜伟, 肖玉雯, 等. 全球变化背景下热带气旋主要变化特征及影响因素[J]. *地球科学进展*, 2023, 38(5): 515-532.
- HAN Y S, JIANG W, XIAO Y W, et al. Main change characteristics and influencing factors of tropical cyclones under the background of global change[J]. *Advances in Earth Science*, 2023, 38(5): 515-532.
- [29] 韩鼎妍, 李敏, 胡睿, 等. 秋季登陆广东热带气旋特征变化及机制分析[J]. *热带海洋学报*, 2024, 43(1): 64-78.
- HAN D Y, LI M, HU R, et al. Variation and mechanisms of autumn tropical cyclones landed in Guangdong[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2024, 43(1): 64-78.

Correlation analysis of the Niño sea surface temperature and tropical cyclones landing in China during 1949—2022

CHEN Shifa, QUAN Chunhuan, YANG Lin, MAO Lanhua, LIU Wen

(School of Tourism and Geography, Shaoguan University, Shaoguan 512005, China)

Abstract: The correlation between the Nino SST (Sea Surface Temperature) and the tropical cyclones landed in China during 1949—2022 is studied through analyzing the temporal and spatial distribution of the landing locations. The results show that tropical cyclones landed in China have large interannual variations with a general decreasing trend. Affected by SST, tropical cyclones at typhoon class and above have the largest landing frequency in September, while those below typhoon class have the largest landing frequency in August. Original location, landing latitude and coastline shape are important factors affecting the spatial differentiation of tropical cyclones landing locations. The Niño SST and their anomalies have significant correlation with the tropical cyclones landed in China, but with obvious time lag of two months.

Key words: tropical cyclones; spatial-temporal variations; SST; landing; Niño