

顾成林, 康建成, 闫国东, 等. 1951–2015年登陆中国热带气旋的时空变化特征及与 ENSO 的关系[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 129–134, 140. [GU Chenglin, KANG Jiancheng, Yan Guodong, et al. Variation characteristics of tropical cyclones making landfall over China during 1951–2015 and its relationship with the ENSO[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(4): 129–134, 140. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.04.022.]

1951–2015 年登陆中国热带气旋的时空变化特征及与 ENSO 的关系*

顾成林^{1,2}, 康建成¹, 闫国东³, 陈志伟¹

(1. 上海师范大学 环境与地理科学院, 上海 200234; 2. 佳木斯大学 理学院 资源与环境科学系, 黑龙江 佳木斯 154007; 3. 上海工程技术大学, 上海 200234)

摘 要: 以美国联合台风中心的热带气旋资料为基础, 对 1951–2015 年 65 年间登陆中国的强热带气旋的变化特征以及与 ENSO 的关系进行分析。结论如下: ①1951–2015 年登陆频数有着很强的年际、年代际变化特征, 在 1988 年发生向增多期的越变过程。但是, 从长期变化趋势看, 1980 年代末期至 2015 年登陆频数呈缓慢下降趋势。登陆强度在 1950 年代末期至 1960 年代初期年为快速增强期, 强跃变年份在 1966 年, 1960 年代末至 2015 年有一明显下降又回升的趋势; ②登陆频数与 ENSO–3.4 区海表温度呈显著负相关, 显著负相关集中发生在 1990 年代, 两者滑动相关系数年际变化几乎都为负值, 1977 年发生强跃变过程, 以前为弱的负相关, 之后快速过度为较强的负相关; ③登陆强度与 ENSO–3.4 区海表温度没有发现显著相关, 滑动相关系数的年代际变化表现为正相关与负相关交替出现, 阶段性非常明显。显著负相关集中发生在 2000 年代。1950 年代末期至 1970 年代末期它基本上一直处于较弱的正相关期。1981 年发生强跃变过程, 由较弱的正相关期跃变为较强的负相关期④厄尔尼诺年登陆中国的热带气旋的源地向东南移动, 拉妮娜年向东北方向移动; ⑤在厄尔尼诺年影响中国大陆海岸线附近的热带气旋频数偏少, 而影响日本的频数增多。拉妮娜年影响日本及周边海域、中国黄海、渤海、南海的热带气旋的频数增加, 而台湾省的频数减少。

关键词: 热带气旋; ENSO; 海洋表层温度; 时空变化特征; 登陆活动

中图分类号: X43; P444; P732 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2018)04–0129–07

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.04.022

强热带气旋(简称 TC), 在东南亚称为台风, 是灾害性天气系统之一, 活动过程中常伴有强风、暴雨、风暴潮, 山洪爆发、滑坡、泥石流, 可导致人员伤亡、社会财产的损失。例如, 在 2004 年 10 个热带气旋给日本带来极大的破坏, 而相反在菲律宾、中国南方产生干旱^[1–4]。世界气象组织台风委员会(ESCAP/WMO)评估, 1995–1999 年在西北太平洋上产生的台风所造成的经济损失高达 362 亿美元, 死亡超过千人(ESCAP/WMO, 2001)。因此, 强热带气旋事件的变化特征, 例如, 它的强度、频数、持续时间、路径, 全球变暖对热带气旋强度的影响, 以及与之有关的大尺度环流的变化, 吸引了众多气象、水文专家及沿海国家政府的关注^[5–15]。

一些学者尝试着确定热带气旋活动与气候信

号厄尔尼诺–南方涛动(ENSO)之间的关系^[16–22]。也有学者研究 ENSO 准两年震荡和季节内震荡对西北太平洋热带气旋活动的影响^[23–24]。Pudov 等^[25–26]发现在厄尔尼诺年热带气旋的强度是增加的。但不同学者分析西北太平洋热带气旋的频数与 ENSO 的关系, 其结果的差异较大, 可能的原因是数据和方法的不同^[27–28]。Li 等^[29]认为 ENSO 会对大尺度大气环流产生影响, 从而进一步影响西北太平洋热带气旋活动。

目前, 多数研究关注的是西北太平洋热带气旋活动与 ENSO 的关系。而对登陆中国热带气旋的登陆频数、强度、源地、路径、观测强度与 ENSO 的关系研究相对较少, 并存在分歧。

本文以美国联合台风中心发布的热带气旋资

* 收稿日期: 2018–01–09 修回日期: 2018–04–17

基金项目: 国家自然科学基金项目(41340045; 41301034); 上海市教委重点学科建设项目“地理学与城市环境(J50402); 佳木斯大学自然科学基金项目(13Z1201584)

第一作者简介: 顾成林(1978–), 男, 黑龙江佳木斯人, 博士研究生, 主要从事台风风险评估. E-mail: 562856392@qq.com

通讯作者: 康建成(1957–), 男, 甘肃武山人, 教授, 博士, 主要从事全球气候环境演化过程及其影响研究。

E-mail: kangjc@126.com

料为基础,对 1951–2015 年 65 年间影响中国的热带气旋频数、登陆强度的年际、年代际变化趋势进行研究,揭示热带气旋频数、强度与 ENSO 的统计学关系,并且探讨热带气旋的源地、路径、观测强度的空间变化特征。研究结果可为登陆中国热带气旋的短期气候预测提供科学依据。

1 数据来源与方法

热带气旋数据来源于美国联合台风警报中心(JTWC)(<https://metoc.ndbc.noaa.gov/en/web/guest/jtwc/products-and-services-notice>)1951–2015 年热带气旋最佳路径资料集。该资料集主要包括每隔 6 h 热带气旋中心的空间位置、中心气压、最大风速(1 min 中心观测)等。Wu 等^[30]指出,在西北太平洋上,美国联合台风警报中心的台风最佳路径资料比其它数据集更加可靠;Chan^[31]也认为,关于强度的记录,联合台风资料更加可靠。本文中热带气旋是指,包括热带风暴(依据 JMA 对‘热带气旋’的分级标准,近中心最大风速 $> 17 \text{ m/s}$)和热带风暴强度以上的全部热带气旋。热带气旋登陆活动主要发生在一年当中的 5 月至 11 月(图 1),所以本文所统计的登陆热带气旋指数为 5–11 月份。

1951–2015 年的海表温度(SST)观测资料来源于英国气象局哈德莱中心(Met Office Hadley Centre)(<http://hadobs.metoffice.com/hadisst/data/download.html>) $1^\circ \times 1^\circ$ 的全球逐月海表温度–海冰密集度合并观测数据 HadSST1^[32]。

为进一步探究 1951–2015 年登陆热带气旋活动与海洋表层温度异常(ENSO)的关系。Niño–3.4 区($5^\circ\text{North} \sim 5^\circ\text{South}$, $170 \sim 120^\circ\text{West}$)温度异常指数对于定义 ENSO 事件是一个十分有意义的指标,因为在这个区域赤道东海洋表层温度梯度是最大的^[33]。此外这个区域与西北太平洋热带气旋活动有着较好的相关性^[34]。因此,本文选择 Niño–3.4 区海洋表层的温度变化特征代表 ENSO 的变化。

为确保西北太平洋热带气旋登陆活动多发季节(5–11 月)的 ENSO 信号更加明显。所以,选择 Niño–3.4 区 5–11 月海洋表层温度异常值(SSTA)的均值确定 ENSO 变化,阈值为 0.5°C (-0.5°C)^[34–35]。月海表温度异常值来自美国气象局气候预测中心(<http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/>)ERSSTv4 扩展的重建海表温度资料^[36–37]。

在 65 年中,将 Niño–3.4 区 SSTA 均值大于 0.5 的年份定义为厄尔尼诺(El Niño)年,即 1951, 1953, 1957, 1958, 1963, 1965, 1969, 1972, 1982, 1987, 1991, 1997, 2002, 2004, 2009, 2015; 小于 -0.5 定义为拉妮娜(La Niña)年,即为 1954, 1955, 1964, 1970, 1971, 1973, 1974, 1975, 1988, 1998, 1999, 2000, 2007, 2010, 2011; 其它的 35 年定义为正常年份(Neutral), 1952, 1956, 1959, 1960, 1961, 1962, 1966,

1967, 1968, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1983, 1984, 1985, 1986, 1989, 1990, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 2001, 2003, 2005, 2006, 2008, 2012, 2013, 2014(图 2)。本文研究中所定义的 El Niño 和 La Niña 年与 Zhao et al^[38]以 Niño–3.4 区 SSTA 指数值前 25% 定义为 El Niño 年,后 25% 为 La Niña 年的方法得到的结果基本上一致。还有一些其它的传统定义方法与本文定义的 ENSO 略有不同^[39–41]。

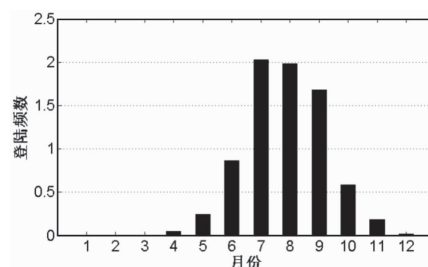


图 1 1951–2015 年登陆中国的热带气旋月平均频数的变化

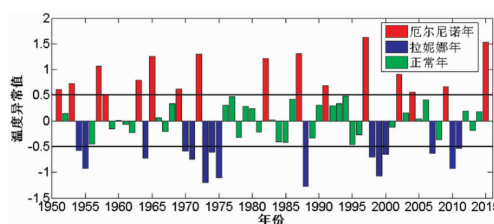


图 2 1951–2015 年 5–11 月 ENSO–3.4 区海洋表层温度异常值指数($^\circ\text{C}$)时间变化。

2 热带气旋活动强度的多年变化特征

1951–2015 年在西北太平洋上(包括中国南海)生成的热带气旋中(不包括热带低压),共有 498 个热带气旋登陆中国。其中,包括台湾省、海南省(统计中,直接通过或贴着本岛擦身的情况,只进行一次登陆统计)。平均每年登陆 7.7 例,最低年在 1958 年为 2 例,最高年份在 1974 年 14 例。在图 3a 反应了 1951 年至 2015 年登陆频数存在着很强的年际、年代际变化特征。1950 年代初期至 1960 年代初期年为减弱期,1960 年代中期至 1980 年代初期为增多期,1980 年代末至 2015 为增多期。对登陆频数时间序列进行滑动 t 检验,在图 3b 中可以看出在 1988 年 T 值的统计量超过了 0.05 的显著水平检验($T_{0.05} = 2.101$),说明登陆频数在 1988 年存在跃变,1988 年以后登陆频数向增多期转变。但是,从长期变化趋势看,1980 年代末期至 2015 年登陆频数呈缓慢下降趋势。

热带气旋的登陆强度,取热带气旋中心距离海岸线最近一次统计的近中心每隔 6 h 的最大平均风速^[42]。1951 年至 2015 年,登陆强度在 1958 年达历史最大值、为 67.76 m/s ,在 1978 年为最小、仅为 24.11 m/s ,平均值为 33.07 m/s 。在图 3c 中,表现出 1950 年代末期至 1960 年代初期年为快速增强期,

1960 年代末期至 2015 年有一明显下降又回升的趋势。对登陆强度时间序列进行滑动 t 检验, 在图 3d 中可以看出在 1966、1987 年 T 统计量超过了 0.01 的显著水平检验 ($T_{0.01} = 2.878$), 表明登陆强度很可能在 1966 年、1987 年前后存在明显跃变。

3 热带气旋活动与 ENSO 的关系

3.1 登陆热带气旋的频数、强度与 ENSO 的统计学关系

在图 4a 表示的是登陆频数与太平洋海表温度 (1–12 月) 相关系数的分布, 红 (浅蓝) 色阴影表示超过 95% (90%) 置信水平。可见在 ENSO -3.4 区 (绿色矩形区) 海表温度呈显著负相关, 相关系数最高值达到了 -0.3 (红色阴影区)。也就是说在厄尔尼诺 (El Ni-

no) 年有较少的热带气旋登陆, 拉尼娜 (La Nina) 年相反, 这与一些学者的研究结果一致^[43]。为了弄清登陆频数与 ENSO 之间关系的长期变化规律, 我们采用滑动相关方法进行分析。图 4b 表示的是相关系数的年际变化, 整体上看滑动相关系数几乎都为负值, 其中, 1990 年代滑动相关系数值在信度线 ($R_{0.05} = 0.602$) 上下波动, 即显著负相关集中发生在 1990 年代。对滑动相关系数进行滑动 T 检验, 在图 4c 中可以看出在 1977、1991、2000 年 T 值的统计量超过了 0.05 的显著水平检验 ($T_{0.05} = 2.101$)。可以判定两者的相关性在 1977、1991、2000 年前后发生跃变。1977 年发生强跃变过程, 以前为弱的负相关, 之后快速过度为较强的负相关。但是到 2000 年代表现为较弱的正、负相关交替出现。

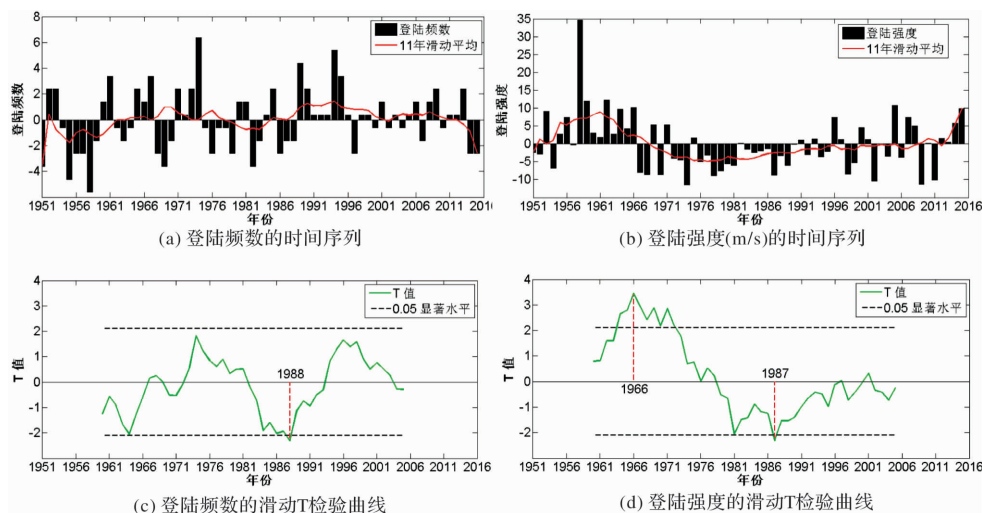


图 3 1951–2015 年 5–11 月登陆热带气旋指数的时间变化与滑动 T 检验

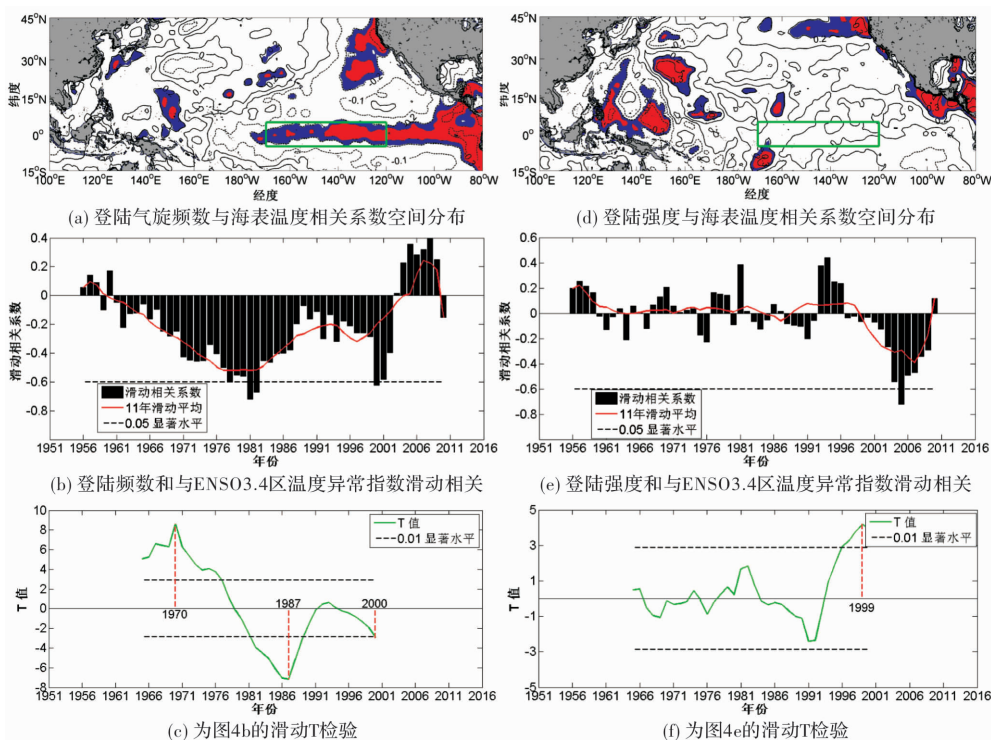


图 4 登陆热带气旋指数与 ENSO 3.4 区温度异常指数相关系数空间分布及滑动相关时间序列

系数值在信度线($R0.05 = 0.602$)上下波动,即显著负相关集中发生在 2000 年代。

3.2 源地、路径频数的空间变化特征

本文基于 $5^\circ \times 5^\circ$ 经纬度网格对登陆热带气旋源地、路径频数、观测强度三个参数进行空间统计,分析三个参数厄尔尼诺年对比正常年、拉妮娜年对比正常年、拉妮娜年对比厄尔尼诺年的空间变化特征。

(1) ENSO 与源地的关系

图 5a 描述的是热带气旋生成的位置的空间分布,“每 10 年热带气旋生成频数的地理分布”主要发生在西北太平洋 $130^\circ \sim 140^\circ\text{E}$, $10^\circ \sim 20^\circ\text{N}$ 范围内,另一区域在中国南海东北部(115°E , $15^\circ \sim 20^\circ\text{N}$)。图 5b、c、d 图中浅(深)蓝色阴影区域表示均值差异显著性检验通过了 90%(95%)t 检验。

图 5b 表明厄尔尼诺年与正常年份对比,从空间分布上看以负值为主(绿色等值线),能够反应在厄尔尼诺年,在不同的空间位置上生成的热带气旋频数以减少为主。减少最多的区域主要发生在正常年份热带气旋生成的主要位置。增加的区域发生在 150°E , $5^\circ \sim 10^\circ\text{N}$ 范围内,这能够说明生成的位置向东南移动。这一研究与杨亚新等^[44]的结论基本上一致。图 5c 为拉妮娜年与正常年份对比减少最多的区域也是发生在正常年份生成的主要位置,增加的位置在 140°E , 15°N 中心附近区域,台湾南部区域。这能够说明生成的位置向东北方向移动。图 5d 拉妮娜年与厄尔尼诺年对比与图 5b 产生相反的空间分布模式,基本上都是正值(红色等值线),说明在拉妮娜在多数区域年生成的频数偏多。减少的位置主要分布在两个区域,一个是南海东北部($110^\circ \sim 120^\circ\text{E}$, $15^\circ \sim 20^\circ\text{N}$)区域,另一个是以 150°E , 5°N 为中心的附近区域。

(2) ENSO 与路径的关系

热带气旋的路径可以通过热带气旋的出现频数来描述,出现频数是计算 $5^\circ \times 5^\circ$ 经纬度网格中通过的热带气旋数目,计算时采用的是每 6 h 的热带气旋位置资料,同一个热带气旋多次进入相同的网格只计算一次,其结果能够反应一个区域受热带气旋影响的机会多少^[45]。

在图 6a 中一个主要路径是由热带太平洋向西到菲律宾海和中国南海,另一个从热带太平洋向西北到达韩国、日本,影响东亚大陆海岸附近区域;热带气旋均(通过)出现频数的最大值出现在 118°E , 18°N 为中心的附件区域。图 5b、图 5c、图 5d 图中浅(深)蓝色阴影区域表示均值差异显著性检验通过了 90%(95%)t 检验。

图 6b 表示厄尔尼诺与正常年份对比,在整个中国大陆海岸线附近、等值线多数为负值,说明在厄尔尼诺年通过频数偏少,反映了在厄尔尼诺年,登陆中国的热带气旋减少。而在日本、等值线为正值,说明在厄尔尼诺年登陆日本的热带气旋增多。图 6c 展示 La Niña 与正常年份对比,等

值线为正的区出现在日本及周边海域、中国黄海、渤海、南海,表明在中国环渤海、胶州半岛和东南沿海区域,热带气旋均通过频数增加,反映了在这些区域热带气旋登陆频数增加。而在台湾省及周边区域、中国东南沿海等值线负值,表明在这些区域登陆频数减少。图 6d 展示 La Niña 年与 El Niño 年对比,呈南北减少中间增加的分布模式,正值主要出现在两个区域,一个是中国的黄、渤海区域,另一个是中国南海,以及菲律宾周边海域;反映了在中国山东、江苏登陆的热带气旋增加,而在华南区域热带气旋登陆减少。另一个减少的区域在以 150°E , 7.5°N 为中心的附件区域。

4 结论

本文以美国联合台风中心的热带气旋资料为基础,对 1951–2015 年 65 年间影响中国的热带气旋频数、强度的年际和年代际变化趋势进行研究,揭示热带气旋频数、强度与海表温度变化的关系,并且探讨在温度异常情况下热带气旋的源地、路径、观测强度的空间变化特征。结论如下。

(1) 1951 年至 2015 年登陆频数着很强的年际、年代际变化特征,在 1988 年发生向增多期转变的越变过程。但是,从长期变化趋势看,1980 年代末期至 2015 年登陆频数呈缓慢下降趋势。登陆强度在 1950 年代末期至 1960 年代初期年为快速增强期,强跃变年份在 1966 年,1960 年代末至 2015 年有一明显下降又回升的趋势。

(2) 登录频数与 ENSO3.4 区海表温度呈显著负相关,显著负相关集中发生在 1990 年代,两者滑动相关系数年际变化几乎都为负值,1977 年发生强跃变过程,以前为弱的负相关,之后快速过度为较强的负相关。登录强度与 ENSO-3.4 区海表温度没有发现显著相关,滑动相关系数的年代际变化表现为正相关与负相关交替出现,阶段性非常明显。显著负相关集中发生在 2000 年代。1950 年代末期至 1970 年代末期它基本上一直处于较弱的正相关期。1981 年发生强跃变过程,由较弱的正相关期跃变为较强的负相关期。

(3) 与正常年份对比,厄尔尼诺年生成位置向东南移动,拉妮娜年向东北方向移动。

(4) 厄尔尼诺年通过中国大陆海岸线附近的热带气旋频数偏少,而通过日本的频数增多。拉妮娜年通过日本及周边海域、中国黄海、渤海、南海的热带气旋频数增加,而台湾省的频数减少。

参考文献:

- [1] 周俊华,史培军,范一大,等. 西北太平洋热带气旋风险分析[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(3): 146–151.
- [2] Kim J H, Ho C H, Sui C H. Circulation features associated with

- the record breaking typhoon landfall on Japan in 2004[J]. *Geophys Res Lett*, 2005, 32(14): 1–5.
- [3] WU L Z, WANG B, GENG S. Growing typhoon influence on East Asia[J]. *Geophys Res Lett*, 2005, 32(18): 109–127.
- [4] Tu J Y, Chou C, Chu P S. The abrupt shift of typhoon activity in the vicinity of Taiwan and its association with Western North Pacific – East Asian climate change[J]. *J Clim*, 2009, 22(13): 3617–3628.
- [5] GU C L, KANG J C, YAN G D, et al. Spatial and temporal variability of northwest pacific tropical cyclone activity in a global warming scenario [J]. *J Trop Meteorol*, 2016(S1): 15–23.
- [6] 唐丽丽, 胡德勇, 李小娟. 1951–2006 年西北太平洋热带气旋活动时空特征[J]. *自然灾害学报*, 2012, 21(1): 031–38.
- [7] 周俊华, 史培军, 陈学文. 1949–1999 年西北太平洋热带气旋活动时空分异研究[J]. *自然灾害学报*, 2002, 11(3): 44–49.
- [8] 陈光华, 黄荣辉. 西北太平洋热带气旋和台风活动若干气候问题的研究[J]. *地球科学进展*, 2006, 21(6): 610–616.
- [9] 李雪, 任福民, 杨修群, 等. 南海和西北太平洋热带气旋活动的区域性差异分析[J]. *气候与环境研究*, 2010, 15(4): 504–510.
- [10] Emanuel K A. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years[J]. *Nature*, 2005, 436(7051): 686–688.
- [11] Kossin J P, Knapp K R, Vimont D J, et al. A globally consistent reanalysis of hurricane variability and trends[J]. *Geophys Res Lett*, 2007, 34(4): 344–356.
- [12] 欧延升, 赵景波. 广西北部湾地区 1951–2010 年间气候变化与 ENSO 事件影响[J]. *灾害学*, 2017, 32(1): 228–234.
- [13] CHU H Y, WU R S. Environmental influences on the intensity change of tropical cyclones in the western North Pacific[J]. *Acta Meteor Sinica*, 2013, 27(3): 335–343.
- [14] Murakami H, Li T, PENG M S. Changes to environmental parameters that control tropical cyclone genesis under global warming [J]. *Geophys Res Lett*, 2013, 40(10): 2265–2270.
- [15] Zhang L J, Zhu H Y, Sun X J. China's tropical cyclone disaster risk source analysis based on the gray density clustering[J]. *Nat Hazards*. 2014, 71(2): 1053–1065.
- [16] 王小玲, 宋文玲. ENSO 与登陆我国热带气旋的关系研究[J]. *热带气象学报*, 2009, 25(5): 576–580.
- [17] 许武成, 马劲松, 王文. 关于 ENSO 事件及其对中国气候影响研究的综述[J]. *气象科学*, 2005, 25(2): 212–220.
- [18] 何鹏程, 江静. PDO 对西北太平洋热带气旋活动与大尺度环流关系的影响[J]. *气象科学*, 2011, 31(3): 266–273.
- [19] 张晓玲, 李栋梁, 于文金, 等. 海温震荡对区域旱涝灾害的敏感性研究—以中国浙江省为例[J]. *灾害学*, 2017, 32(2): 129–135.
- [20] Kim H M, Webster P J, Curry J A. Modulation of North Pacific tropical cyclone activity by three phases of ENSO [J]. *J Clim*, 2011, 24(6): 1839–1849.
- [21] ZHANG W, Graf H, Leung Y, et al. Different El Niño types and tropical cyclone landfall in East Asia [J]. *J Clim*, 2012, 25(19): 6510–6523.
- [22] WANG C, WANG X. Classifying El Niño Modoki I and II by different impacts on rainfall in the southern China and typhoon tracks [J]. *J Clim*, 2013, 26(4): 1322–1338.
- [23] Liebmann B, Hendon H H, Glick J D. The relationship between tropical cyclones of the western Pacific and Indian Oceans and the Madden – Julian Oscillation [J]. *J Meteor Soc Japan*, 1994, 72(3): 401–412.
- [24] Sobel A H, Maloney E D. Effect of ENSO and MJO on the western North Pacific tropical cyclones[J]. *Geophys Res Lett*, 2000, 27(12): 1739–1742.
- [25] Pudov V D, Petrichenko S A. Relationship between the evolution of tropical cyclones in the Northwestern Pacific and El Niño[J]. *Oceanology*, 1998, 38(4): 447–452.
- [26] Pudov V D, Petrichenko S A. 1997–1998 El Niño and tropical cyclone genesis in the northwestern Pacific[J]. *Izv Atmos Oceanic Phys*, 2001, 37(5): 576–583.
- [27] Lee H S, Yamashita T, Mishima T. Multi – decadal variations of ENSO, the Pacific Decadal Oscillation and tropical cyclones in the western North Pacific[J]. *Progress in Oceanography*, 2012, 105(2012): 67–80.
- [28] ZHANG H, GUAN Y. Impacts of Four Types of ENSO Events on Tropical Cyclones Making Landfall over Mainland China Based on Three Best – track Datasets[J]. *Adv Atmos Sci*, 2014, 31(1): 154–164.
- [29] LI C, WANG C. Simulated impacts of two types of ENSO events on tropical cyclone activity in the western North Pacific: large – scale atmospheric response [J]. *Climate Dyn*, 2013, 42(9): 2727–2743.
- [30] WU L G, ZHAO H K. Dynamically derived tropical cyclone intensity changes over the Western North Pacific[J]. *J Clim*, 2012, 25(1): 89–98.
- [31] CHAN J C L. Decadal variations of intense typhoon occurrence in the western North Pacific [J]. *Proc Royal Soc A*, 2008, 464(2089): 249–272.
- [32] Rayner N A, Parker D E, Horton E B. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century [J]. *J Geophys Res*, 2003, 108(D14): 4407.
- [33] WANG B. Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades[J]. *J. Clim*, 1995, 8(2): 267–285.
- [34] WANG B, CHAN J C L. How strong ENSO events affect tropical storm activity over the western North Pacific[J]. *J Clim*, 2002, 15(13): 1643–1658.
- [35] LIU K, CHAN J C. Climatological Characteristics and Seasonal Forecasting of Tropical Cyclones Making Landfall along the South China Coast[J]. *Monthly Weather Review*, 2003, 131(8): 1650–1662.
- [36] HUANG B, Banzon V F, Freeman E, et al. Extended reconstructed sea surface temperature Version 4 (ERSST. v4). Part I: upgrades and intercomparisons [J]. *J Clim*, 2015, 28(3): 911–930.
- [37] LIU W, HUANG B, Thorne P W, et al. Extended reconstructed sea surface temperature Version 4 (ERSST. v4): Part II. parametric and structural uncertainty estimations[J]. *J Clim*, 2015, 28(3): 931–951.
- [38] ZHAO H, WU L, ZHOU W. Assessing the influence of the ENSO on tropical cyclone prevailing tracks in the Western North Pacific [J]. *Adv Atmos Sci*, 2010, 27(6): 1361–1371.
- [39] WU M C, CHANG W L, Leung W M. Impacts of El Niño – Southern Oscillation events on tropical cyclone landfalling activity in the western North Pacific[J]. *J Clim*, 2004, 17(6): 1419–1428.
- [40] Trenberth K E. The definition of El Niño. *Bull Amer Meteor Soc* [J], 1997, 78(12): 2771–2777.
- [41] Goddard L, Dille M. El Niño: Catastrophe or opportunity[J]. *J Clim*, 2005, 18(5): 651–665.
- [42] ZHANG Q Z, ZHANG W, LU X, et al. Landfalling tropical cyclones activities in the south China: intensifying or weakening? [J]. *Int J Climatol*, 2011, 32(12): 1815–1824.
- [43] 林惠娟, 张耀存. 影响我国热带气旋活动的气候特征及其与太平洋海温的关系[J]. *热带气象学报*, 2004, 20(2): 118–228.
- [44] 杨亚新, 江静. 赤道中东太平洋表层水温异常与热带气旋活动的统计关系[J]. *气象科学*, 2008, 28(6): 637–643.
- [45] Ho C H, Kim J H, Kim H S, et al. Possible influence of the Antarctic Oscillation on tropical cyclone activity in the western north Pacific[J]. *J Geophys Res*, 2005, 110(19): 1–11.