

殷明, 肖子牛, 李崇银, 等. 2016. 2015 年西北太平洋热带气旋活动特征及强 El Niño 现象对其影响的初步分析. 气象, 42(9): 1069-1078.

2015 年西北太平洋热带气旋活动特征及 强 El Niño 现象对其影响的初步分析^{* 1}

殷 明^{1,2} 肖子牛³ 李崇银^{2,3} 葛耀明⁴ 贾亦君⁴

1 中国人民解放军 61936 部队, 海口 571100

2 解放军理工大学气象海洋学院, 南京 211101

3 中国科学院大气物理研究所 LASG 国家重点实验室, 北京 100029

4 中国人民解放军 66199 部队, 北京 100144

提 要: 通过统计分析, 本文研究了强 El Niño 年西北太平洋及南海热带气旋 (TC) 的活动特征并详细分析了造成 2015 年 TC 活动的大气环流特征。强 El Niño 年上半年 TC 生成偏多, 台风活跃季 (6—10 月) TC 生成偏少, 登陆我国 TC 偏少, TC 的生成位置较偏东南, 并且台风路径多发生向东北的偏转。2015 年生成的 TC 符合这一规律。El Niño 成熟前赤道西太平洋存在大面积的西风异常, 同时 El Niño 使得西北太平洋地区对流活动受到抑制, 而副热带高压位置偏南, 导致热带辐合带 (ITCZ) 位置偏南, 这些因素综合作用导致了 2015 年台风季 TC 数量偏少。强 El Niño 年台风不但整体强度偏强, 个体台风的强度也偏强, 这是由于强 El Niño 年的副热带高压面积和强度偏小, 有利于 TC 活动的加强。强 El Niño 年西北太平洋东南部生成的 TC 偏多, 并且强度偏大; 东北部生成的 TC 偏少。2015 年的 TC 活动特征符合上述规律, 生成于我国南海的 TC 个数少、强度偏小。从路径上来看, 2015 年台风路径多呈抛物线型, 发生了向东北方向的转向, 进入我国南海的 TC 明显偏少, 这与副热带高压西伸脊点偏东, 西北太平洋上空 500 hPa 异常的西北气流有关。

关键词: 2015 年, 西北太平洋, 热带气旋, 强 El Niño, 热带辐合带 (ITCZ)

中图分类号: P466

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.09.004

Analysis on Features of Tropical Cyclone Activities over the Western North Pacific in 2015 and Their Variations Associated with Strong El Niño

YIN Ming^{1,2} XIAO Ziniu³ LI Chongyin^{2,3} GE Yaoming⁴ JIA Yijun⁴

1 No. 61936 Troops of PLA, Haikou 571100

2 Institute of Meteorology and Oceanography, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101

3 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

4 No. 66199 Troops of PLA, Beijing 100144

Abstract: Based on the CMA-STI tropical cyclone best track data from 1951 to 2015, the tropical cyclones activities over the Western North Pacific (including the South China Sea) in strong El Niño years are analyzed. The features of tropical cyclones in 2015 and their corresponding atmospheric circulation characteristics are discussed as well, for the year 2015 is the strongest El Niño year since 1997. The results show that

* 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (2013CB956200)、国家自然科学基金项目 (41490642 和 41375069) 共同资助

2016 年 1 月 15 日收稿; 2016 年 6 月 26 日收修定稿

第一作者: 殷明, 主要从事中纬度海气相互作用研究. Email: ymefie@foxmail.com

通信作者: 肖子牛, 主要从事天气气候学研究. Email: xiaozn@lasg.iap.ac.cn

in strong El Niño years, there are a larger number of TCs in the first half of the year and smaller number of TCs from June to October, and fewer TCs land in the whole year. The TC genesis is to the southeast of its normal and they tend to recurve from northwestward to northeastward. TC activity in 2015 is in accordance with the laws above. There is a large-scale anomalous westerly over the western equatorial Pacific before El Niño gets mature, and a strong El Niño weakens the Walker circulation. Both of them suppress the convection. Besides, the subtropical high is located further south, making the ITCZ move southward. All these factors result in fewer TCs in 2015. In strong El Niño year, the strength of all the TCs is stronger, and this is due to the weaker intensity and smaller area of the subtropical high. There are more TCs forming in the southeast part of the WNP with stronger intensity, and the number and intensity of TCs in the northeast part is in the opposite condition; TCs generating in the SCS is fewer and weaker than normal as well. The TC activity characteristics in 2015 accord with the above rules and they are attributed to the eastward western ridge point of subtropical high and an anomalous northwesterly over the WNP at 500 hPa.

Key words: 2015, Western North Pacific (WNP), tropical cyclone, strong El Niño, intertropical convergence zone (ITCZ)

引 言

热带气旋(tropical cyclone, TC)活动所带来的灾害性天气破坏性非常大,而西北太平洋不仅是世界上 TC 生成数量最多的海盆,也是唯一一个一年四季都能观测到 TC 活动的海盆,对其中 TC 生成规律和变化机制的研究能够帮助人们预测 TC 的活动,进而做好防范、减少损失。TC 的活动具有显著的年际变化(Landsea, 2000; Chan et al, 2004),在西北太平洋,大量的研究已经达成共识:这一信号与 ENSO 的暖位相(即 El Niño 现象)有关(Chan, 1985; Dong, 1988; Lander, 1993; 1994; 曹智露等, 2013),但是由于研究方法、所用资料以及对 El Niño 强弱定义的不同,这些结论都是定性的,并且存在着争议。比如有研究认为,在 El Niño 发展年,西北太平洋上热带风暴的数量较往常偏少(Atkinson, 1997; Chan, 1985; 2000; Dong, 1988; Li, 1988; Wu et al, 1992; 赖芬芬等, 2012; 李德琳等, 2015; 孙冷等, 2011),而同样有学者认为(Lander, 1993; Ramage et al, 1981; Bell et al, 2000)认为两者不存在相关性,因此有必要对每一个 El Niño 年的 TC 情况都进行分析来验证已有的结论。大多数研究认为,El Niño 事件对西北太平洋 TC 活动的影响主要是通过沃克环流上升和下沉支的异常移动来实现的,如 Chan(1985)认为在 El Niño 年,沃克环

流发生异常,上升支在赤道太平洋中部而下沉支在西部,抑制了西部的对流,不利于 TC 在西北太平洋生成;Wu 等(1992)认为印度尼西亚群岛上空的下沉气流抑制了西北太平洋季风槽和与之相关联的西风,减少了西北太平洋上的热带风暴。El Niño 期间大尺度环流模态的变化也同样对 TC 活动有着重要影响,如 Lander(1994)和 Chen 等(1998)把 TC 源地的东移归因于西北太平洋上季风槽的向东延伸;Li(1988)认为 El Niño 年热带辐合带(ITCZ)强度偏弱、位置偏南,垂直风切变偏大,这样的环流配置不利于西北太平洋海域台风的生成。

1997 年出现了 20 世纪最强的一次 El Niño 现象,许多学者对这一年热带气旋的活动及其与 El Niño 的关系进行了研究,如杨淑瑞(1998)认为 1997 年西北太平洋 TC 活动特征为:上半年生成偏多,登陆我国沿海个数少,生成源地偏东偏南,影响南海次数少,偏北和转向路径多等。这些特征与 1997 年 El Niño 现象的发生有密切关系,是海气相互作用的结果(杨淑瑞, 1998; 王璋贵等, 1998)。观测显示,自 2015 年 2 月开始, Niño3.4 区 SSTA 连续高于 0.5°C , 达到 El Niño 现象出现的标准,截止 11 月(2014 年 5 月至 2015 年 11 月),这次 El Niño 事件的累计海温指数已达 23°C , 成为历史上最强的 El Niño 事件(司东等, 2016; 顾薇, 2016; 任宏利等, 2016),引起了世界学者以及政府的高度关注。Wang 等(2002)认为强 El Niño 年的 SSTA 对

热带风暴生成的影响更为明显,那么 2015 年西北太平洋的 TC 活动在这一超强 El Niño 事件的影响下是否存在异常? 因此本文重点关注强 El Niño 现象与 TC 活动的关系,并结合大尺度环流异常,对 2015 年 TC 的活动特征进行了详细分析。

1 资料与方法

本文所使用的 TC 数据有:中国气象局上海台风研究所提供的 1951—2015 年 CMA-STI 热带气旋最佳路径数据集(下载地址为 <http://tcdata.typhoon.gov.cn>),范围为西北太平洋(含中国南海,赤道以北,180°E 以西)海域;由于该数据集没有提供登陆台风数据,就以使用 1951—2015 年国家气候中心提供的 74 项环流指数中的登陆台风数据作为补充。本文取 6—10 月为台风活跃季,对这期间的 TC 活动予以重点关注。多年平均值采用的是 1951—2014 年的平均值。

所用的其他数据有:美国国家海洋大气局(NOAA)1982—2015 年逐月的第二版本最优插值海表温度数据,水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$;美国国家环境预报中心和国家大气研究中心(NCEP/NCAR)1951—2015 年逐月的水平风场、高度场和垂直速度场再分析资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。国家气候中心

1951—2015 年逐月的 74 项环流指数中西太平洋副热带高压(以下简称副高)的各项特征指数。

本文采用 TC 的累积气旋能量(accumulative cyclone energy, ACE)作为表征 TC 强度的指标。Bell 等(2000)将其定义为 TC 强度达到热带风暴及以上强度时 TC 中心附近 6 h 最大风速的累积平方和:

$$ACE = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n u_{ij}^2$$

式中, n 表示每一个 TC 的记录次数; m 表示 TC 的个数; u_{ij} 为 TC 中心附近 6 h 最大风速,单位为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。ACE 指数综合考虑了 TC 的生命期和强度,在 TC 研究中有广泛的应用(Webster et al, 2005; Klotzbach, 2006; 赖芬芬等, 2012; 曹智露等, 2013)。根据中国气象局 2006 年 6 月发布的热带气旋等级划分标准,TC 按照 6 h 中心最大风速分为热带低压(TD, $10.8 \sim 17.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)、热带风暴(TS, $17.2 \sim 24.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)、强热带风暴(STS, $24.5 \sim 32.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)、台风(TY, $32.7 \sim 41.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)、强台风(STY, $41.5 \sim 50.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)和超级台风(superTY, $\geq 51.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)共 6 个等级。本文取中心最大风速 $> 17.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的 TC 为强度达到热带风暴及以上的 TC。

图 1 给出了 1951—2015 年 TC 活跃季平均的 Niño3.4 区 SSTA 以及同时期内编号 TC 频数的演变,可以看到,两者均具有显著的年际变化,15 个

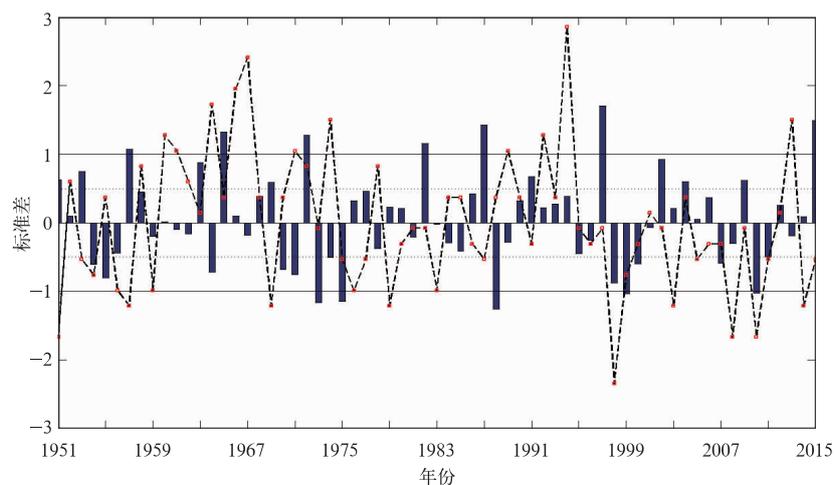


图 1 1951—2015 年 TC 活跃季 Niño3.4 区 SSTA(直方图)

及编号 TC 频数(折线)标准化分布

(虚直线为 0.5 倍标准差线,实线为 1 倍标准差线)

Fig. 1 Time series of normalized SSTA in Niño3.4 in TC active season

(bar) and number of TCs (line) from 1951—2015

(Dashed straight lines denote 0.5 standard deviation and solid lines denote 1.0 standard deviation)

SSTA 标准差 >0.5 的年份(即 El Niño 年)中,有 11 年的编号 TC 频数低于平均值。为研究西北太平洋台风与强 El Niño 现象的关系,本文采用 Wang 等(2002)提出的一种划分 ENSO 年的方法,将 TC 活跃季(6—10 月)平均的 Niño3.4 区 SSTA >1.0 的年份定义为强 El Niño 年,由此得到 1957、1965、1972、1982、1987、1997 和 2015 年共 7 个强 El Niño 年,对每个强 El Niño 年的 TC 活动情况进行了统计分析。文中强 El Niño 年平均值为去除了 2015 年后 6 个强 El Niño 年的平均情况。

2 2015 年及强 El Niño 年西北太平洋和南海 TC 活动特征

2.1 TC 生成及登陆数量

表 1 给出了强 El Niño 年西北太平洋编号 TC 个数及强度,可以看到强 El Niño 年西北太平洋平均的编号 TC 个数为 26.8 个,与多年平均值持平;强 El Niño 年台风活跃季的编号 TC 为 19.6 个,少于多年平均的 20.4 个,可见台风活跃季的 TC 生成较常年偏少。强 El Niño 年 1—5 月的编号 TC 为 3.8 个,多于多年平均的 2.8 个,而 6 月的编号 TC 数量同样偏多,所以强 El Niño 年上半年的 TC 生成较常年偏多。统计结果还显示强 El Niño 年平均登陆我国 TC 为 5.3 个,少于多年平均的 7.0 个,且登陆 TC 占编号 TC 个数的 19.8%,远小于多年平均的 26.1%。Wang 等(2002)认为强 El Niño 年热带风暴的生成位置偏东南,并且在 28°N 、 135°E 发生了由西北向东北的偏转,这很有可能是造成登陆

台风偏少的原因。在下文还将对强 El Niño 年尤其是 2015 年台风的特征进行更加具体的讨论。

2015 年全年在西北太平洋和南海共生成编号 TC 27 个,略多于强 El Niño 年平均和多年平均个数。登陆的 TC 个数为 6 个,占编号 TC 的 22.2%,高于强 El Niño 年的情况,少于多年平均值,台风活跃季共生成 18 个编号 TC,少于强 El Niño 年平均和多年平均个数。这表明 2015 年符合强 El Niño 年台风的的活动特征,即台风活跃季生成的 TC 数偏少,登陆的 TC 数偏少。2015 年 1—5 月共生成 7 个编号 TC,6 月生成 2 个编号 TC,均多于多年平均值,这表明 2015 年上半年生成的 TC 偏多,同样符合强 El Niño 年台风的的活动规律。

2.2 TC 强度

就台风强度而言,虽然强 El Niño 年编号台风活跃季 TC 个数偏少,但 ACE 指数却比多年平均值要大,这表明强 El Niño 年的台风不但整体强度较常年偏强,而且个体台风的强度也是偏强的。因此本文统计了强 El Niño 年 6—10 月 TY 以上强度 TC 个数及强度(表 2),可以看到,强 El Niño 年平均生成 TY 及以上强度的 TC 14.1 个,多于多年平均的 12.9 个,TY 及以上占同期编号 TC 的比例为 71.9%,远高于多年平均的 63.2%,ACE 指数也较多年平均偏大。

2015 年台风活跃季编号 TC 的 ACE 指数为 $783164.0 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$,较多年平均偏高,符合强 El Niño 年的一般规律;比强 El Niño 年平均略偏大,造成这一现象的原因可以从表 2 中看出,2015 年生成的 TY 以上 TC 的个数为 14 个,略少于强 El Niño

表 1 强 El Niño 年西北太平洋编号 TC 频数及强度
Table 1 Number and intensity of TCs over the WNP in strong El Niño years

	全年		1—5 月		TC 活跃季 (6—10 月)		编号 TC 个数/个						
	编号 TC 个数/个	ACE 指数/ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	登陆 TC 个数/个	登陆 TC 占 编号 TC 比例/%	编号 TC 个数/个	ACE 指数/ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	编号 TC 个数/个	ACE 指数/ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
1957 年	22	1286575.0	5	22.7	4	222750.0	15	768950.0	1	1	4	5	4
1965 年	32	1083236.0	8	25.0	8	72600.0	22	919511.0	2	5	6	7	2
1972 年	31	999050.0	6	19.4	2	45050.0	24	804350.0	3	7	5	6	3
1982 年	26	839113.0	4	15.4	4	96550.0	20	688063.0	3	4	5	5	3
1987 年	24	815650.0	5	20.8	2	20050.0	18	714125.0	2	4	4	6	2
1997 年	26	837844.0	4	15.4	3	67809.0	20	681687.0	3	4	6	4	3
强 El Niño 年平均	26.8	976911.3	5.3	19.8	3.8	87468.2	19.6	761889.3	2.3	4.1	4.7	5.4	3.0
多年平均	26.8	718412.2	7.0	26.1	2.8	66960.4	20.4	548561.8	1.8	4.0	5.6	5.0	3.8
2015 年	27	1089728.0	6	22.2	7	226946.0	18	783164.0	2	4	3	5	4

年平均的 14.1 个,但是占编号 TC 的比例却大大偏高, TY 以上 TC 的强度 ($761300.0 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$) 也较强 El Niño 年平均偏大。

热带气旋的强度偏大会对我国人民群众的生命财产安全造成重大影响, 2015 年台风登陆强度为 1973 年以来最强, 全年 6 个登陆我国的台风中, 有 4 个首次登陆强度达到强台风级别, 台风登陆我国时

平均最大风速为 $29.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 为 1973 年以来最大(司东等, 2016)。从单个台风来讲, 强台风彩虹是有气象记录以来 10 月登陆广东的最强台风, 也是 10 月进入广西内陆的最强台风。强台风苏迪罗深入内陆, 影响广泛, 成为 2015 年造成伤亡最多的台风(廖要明等, 2016)。2015 年全年台风造成 57 人死亡或失踪, 直接经济损失 684.1 亿元(国家气候中心, 2015)。

表 2 强 El Niño 年台风活跃季(6—10 月)西北太平洋 TY 及以上 TC 个数及强度

Table 2 Number and intensity of TCs stronger than TY over the WNP in TC active season in strong El Niño years

	TY 及以上强度 的 TC 个数/个	占编号 TC 的比例/%	ACE 指数/ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	TY 及以上强度的 TC 个数/个				
				6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
1957 年	12	80.0	757150.0	1	1	2	5	3
1965 年	14	63.6	861986.0	1	4	5	2	2
1972 年	17	70.8	776325.0	1	6	2	5	3
1982 年	15	75.0	657013.0	1	3	5	3	3
1987 年	15	83.3	698325.0	2	3	3	5	2
1997 年	14	70.0	644526.0	3	2	3	3	3
强 El Niño 年平均	14.1	71.9	732554.2	1.4	3.1	3.1	3.9	2.6
多年平均	12.9	63.2	505865.3	1.1	2.5	3.3	3.3	2.7
2015 年	14	77.8	761300.0	1	4	3	3	3

2.3 TC 生成区域及移动路径分布

在 El Niño 发展的年份, TC 的源地纬度偏低、偏东(Chan 1985; 2000; Dong 1988; Wu et al, 1992; Chen et al, 1998), 并因此能够持续更长的时间(Wang et al, 2002), 而 La Niña 发展的年份, TC 源地纬度偏高、偏西, 一般持续时间较短。就气旋路径而言, El Niño 年较多 TC 的路径会发生向东北方向的弯折, 因此进入中国南海的 TC 数量减少(Chan, 2000)。因此本文分别统计了强 El Niño 年西北太平洋东南部($0^\circ \sim 15^\circ \text{N}$, $120^\circ \text{E} \sim 180^\circ$)(表 3)、西北太平洋东北部($15^\circ \sim 30^\circ \text{N}$, $120^\circ \text{E} \sim 180^\circ$)(表 4), 以及我国南海($0^\circ \sim 23^\circ \text{N}$, $105^\circ \sim 120^\circ \text{E}$)(表 5)台风活跃季生成编号 TC 的个数及强度, 这里我们把一个 TC 首次达到热带风暴强度时中心位置的经纬度作为判断该 TC 所属区域的标准。从表 3 可以看到, 强 El Niño 年西北太平洋东南部平均生成 9 个 TC, 占同期编号 TC 的 44.4%, 1987 年这一比例甚至达到了 61.1% 之多, 远大于多年平均的 29.4%, 从各个月份来看, 除了 10 月的 1.8 个与多年平均值持平, 其他月份生成于该地区的编号 TC 均多于常年。强 El Niño 年期间这一区域的 ACE 指数也远大于多年平均值。表 4 则为西北太平洋东北部的情况, 强 El Niño 年这一海域平均生成 7.2 个 TC, 占同期整个西北太平洋编号 TC 的 36.7%, 多年平均的个数为

10.8 个, 占编号 TC 的 52.9%, 而所有强 El Niño 年的比例都没有超过 50%。强 El Niño 年我国南海平均生成 3.7 个 TC, 占同期西北太平洋编号 TC 的 18.9%, ACE 指数为 $299961.2 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$, 个数和强度与多年平均情况相近, 从 TC 各月的分布来看, 除强 El Niño 年 8 月生成于南海的 TC 较多年平均偏多 0.5 个外, 其他月份生成于南海的 TC 数均少于多年平均值。

首先, 2015 年台风的分布与强 El Niño 年的一般规律是一致的: 生成于西北太平洋东南部的编号 TC 数偏多, 强度偏大; 生成于东北部的 TC 数偏少, 强度偏小。其次, 与其他强 El Niño 年相比, 2015 年西北太平洋东南部生成 7 个编号 TC, 低于强 El Niño 年的平均值, 并且主要集中于 7、8 两月, 但 ACE 指数较强 El Niño 年平均要高, 这表明 2015 年这一区域的编号 TC 强度较大。与此对应的是, 西北太平洋东北部生成了 8 个编号 TC, 高于强 El Niño 年的平均值, 并且主要集中于 9、10 两月, 就强度而言, ACE 指数较强 El Niño 年平均要低, 表明这一区域的编号 TC 强度偏小。2015 年南海生成的 TC 较其他强 El Niño 年要偏少、偏弱。就台风的逐月演变来看, 9、10 月台风在西北太平洋东部的南北分布与 2015 年平均的情况并不一致。这两月生成于东南部的 TC 偏少, 而生成于东北部 TC 偏多, 在文章的 3.4 节中将分析出现这一现象的原因。

表 3 强 El Niño 年台风活跃季(6—10 月)西北太平洋东南部编号 TC 个数及强度

Table 3 Number and intensity of TCs in the southeast of the WNP in TC active season in strong El Niño years

	编号 TC 个数/个	占编号 TC 的比例/%	ACE 指数/ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	编号 TC 个数/个				
				6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
1957 年	5	33.3	368575.0	1	1	1	1	1
1965 年	7	31.8	401018.0	1	3	0	2	1
1972 年	11	45.8	584800.0	2	4	1	2	2
1982 年	10	50.0	428950.0	1	3	2	2	2
1987 年	11	61.1	555925.0	1	3	3	2	2
1997 年	10	50.0	497730.0	1	2	2	2	3
强 El Niño 年平均	9	44.4	472833.0	1.2	2.7	1.5	1.8	1.8
多年平均	6	29.4	269201.7	0.9	1.1	1.0	1.1	1.8
2015 年	7	38.9	482911.0	1	3	2	0	1

表 4 同表 3, 但为西北太平洋东北部

Table 4 Same as Table 3, but for the northeast of the WNP

	编号 TC 个数/个	占编号 TC 的比例/%	ACE 指数/ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	编号 TC 个数/个				
				6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
1957 年	6	40.0	256800.0	0	0	2	3	1
1965 年	11	50.0	495918.0	1	1	6	2	1
1972 年	7	29.2	145500.0	0	3	1	2	1
1982 年	8	40.0	224700.0	1	2	2	2	1
1987 年	4	22.2	116475.0	0	1	0	3	0
1997 年	7	35.0	191819.0	2	1	3	1	0
强 El Niño 年平均	7.2	36.7	238535.3	0.7	1.3	2.3	2.2	0.7
多年平均	10.8	52.9	247458.4	0.5	2.3	3.6	2.9	1.4
2015 年	8	44.4	219316.0	0	0	2	4	2

表 5 同表 3, 但为南海

Table 5 Same as Table 3, but for the South China Sea

	编号 TC 个数/个	占编号 TC 的比例/%	ACE 指数/ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	编号 TC 个数/个				
				6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
1957 年	3	20.0	24025.0	0	0	1	0	2
1965 年	5	22.7	22575.0	0	2	2	1	0
1972 年	6	25.0	74050.0	1	1	2	2	0
1982 年	3	15.0	34413.0	1	0	1	1	0
1987 年	1	5.0	5425.0	1	0	0	0	0
1997 年	4	22.2	19279.0	0	1	2	1	0
强 El Niño 年平均	3.7	18.9	29961.2	0.5	0.7	1.3	0.8	0.3
多年平均	3.7	18.1	28688.6	0.6	0.8	0.8	1.0	0.5
2015 年	2	10.2	8408.0	1	0	0	1	0

图 2a 和 2b 给出了 1997 和 2015 两个强 El Niño 年 6—10 月编号 TC 的路径图, 作为对比, 同时给出了 1998 年这一 La Niña 年(图 2c)以及 1989 年(图 2d)这一非 ENSO 年的情况。可以看到, 与 1989 年相比, 1997 年与 2015 年 TC 源地偏东南, 并且台风路径多呈抛物线型, 发生了向东北方向的偏折, 进入我国南海的 TC 明显偏少; 而 1998 年, TC 的活动明显偏西。尽管这里只给出了几个典型年份的情况, 但也基本能够反映不同 ENSO 情况下西北太平洋 TC 的移动路径。

3 2015 年热带气旋活动特征的可能原因

3.1 海表温度、低层风场和垂直速度特征

图 3 给出 2015 年 6—10 月 SSTA 及 1000 hPa 风速距平, 可以看到 2015 年下半年赤道东太平洋的 El Niño 现象已经发展得非常剧烈。与东边的正 SSTA 相对应, 赤道西北太平洋为负的 SSTA, 并伴

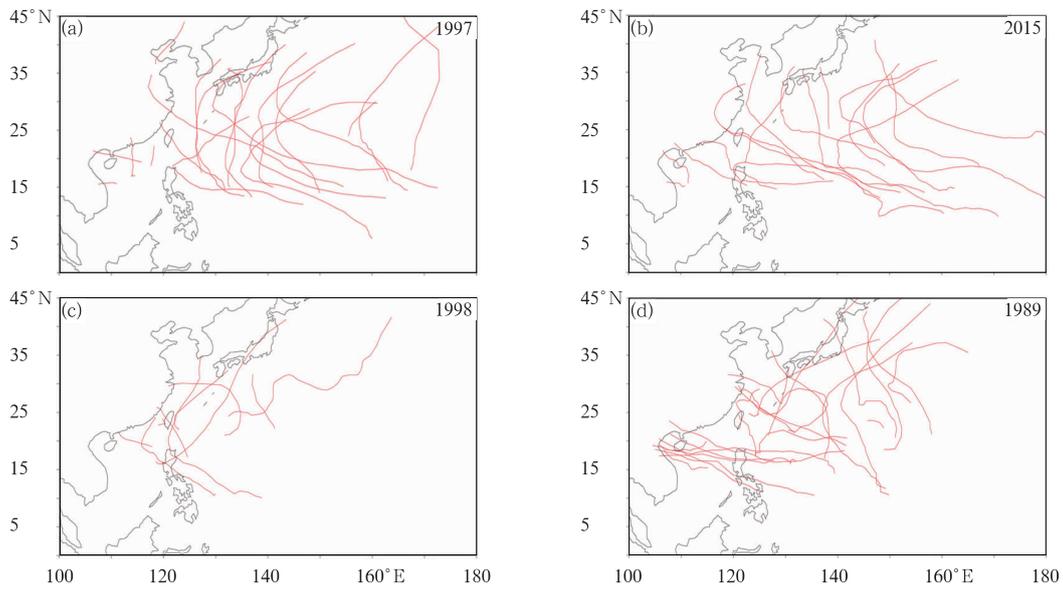


图 2 代表性年份 1997 年(a)、2015 年(b)、1998 年(c)和 1989 年(d)6—10 月编号 TC 路径

Fig. 2 TC tracks in TC active season in (a) 1997, (b) 2015, (c) 1998, (d) 1989

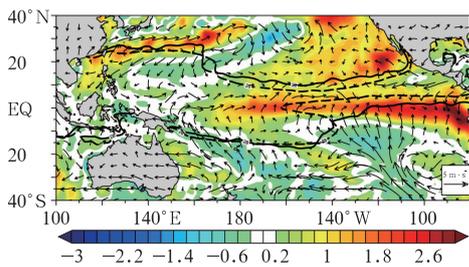


图 3 2015 年 6—10 月 SSTA(单位: $^{\circ}\text{C}$)及 1000 hPa 风场距平(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (黑实线为 2015 年 26 $^{\circ}\text{C}$ 等温线, 虚线为多年平均的 26 $^{\circ}\text{C}$ 等温线)

Fig. 3 SSTA (unit: $^{\circ}\text{C}$) and wind field anomaly (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) at 1000 hPa in TC active season in 2015 (Solid lines denote 26 $^{\circ}\text{C}$ isotherm in 2015, and dash lines denote the climatological 26 $^{\circ}\text{C}$ isotherm)

有大面积西风异常,均不利于 TC 的生成。海温场异常造成了西北太平洋海域垂直运动的异常,从 TC 生成源地垂直速度异常的经向分布可以看到(图 4),180°以西大部分海域被下沉气流所控制,不利于低层扰动的形成,西北太平洋的对流活动受到抑制,所以这一年台风季 TC 数量偏少。图 5 给出了 2015 年 6—10 月 850 hPa 流场距平及相应的涡度距平,可以看到 2015 年,大范围的西风异常出现在 10°N 以南的地区,与 1000 hPa 的西风异常一致,这是 El Niño 成熟的前兆,它在 120°E 以东的区域

引起了大面积的正涡度异常,有利于 TC 在这一地区的活动,所以 2015 年生成于西北太平洋东南部的 TC 较常年偏多,强度也较强。McBride(1995)指出 TC 的源地分布由两个因素决定,一是台风生成所需要的海温条件($>26^{\circ}\text{C}$),二是季风槽的位置。但是研究发现海温的年际变化并不是主要的(Reynolds, 1988; Reynolds et al, 1993),所以虽然我国南海存在着正的海温异常,但是由于负的涡度异常更加不利于气旋的生成(图 5),两者综合作用的结果造成了我国南海的 TC 在 2015 年偏少。

3.2 副热带高压的特征

为探究强 El Niño 年西太副高对 TC 活动的影响,表 6 给出了强 El Niño 年台风活跃季西太副高各特征指数,可以看到强 El Niño 年平均的副高脊线和副高北界较常年偏南,这将造成 ITCZ 位置偏南而不利于 TC 的生成(Li, 1988);另一方面,计算表明强 El Niño 年副高面积、强度指数均小于多年平均值,这是有利于 TC 生成的环流条件,副高面积和强度的异常与其脊线和北界的异常是否存在冲突呢? 我们注意到,强 El Niño 年 6—10 月的 TC 个数仅比多年平均少 0.8 个(表 1),而同期的 TY 以上强度的 TC 个数却比多年平均多 1.2 个,TY 以上 TC 占编号 TC 的比例也较常年偏多(表 2),这表明强 El Niño 年副高的面积和强度偏小,有利于增强的是 TC 的活动强度,与 TC 生成数量的减少并不

矛盾。副热带高压的外围气流对 TC 的运动有引导作用(Chan et al, 1982), 强 El Niño 年西伸脊点偏东, 有利于 TC 运动较早发生转向, 所以强 El Niño 年 TC 活动路径多发生向东北的偏折(图 2a 和 2b), 登陆台风的比例偏低。

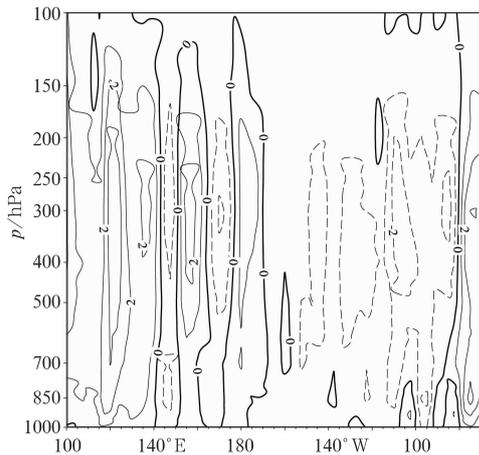


图 4 2015 年 6—10 月 5°~25°N 平均的垂直速度距平气压-经度剖面(单位: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)
Fig. 4 Pressure-longitude section of ω anomaly (unit: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) averaged over the equatorial Pacific (5°—25°N) in TC active season in 2015

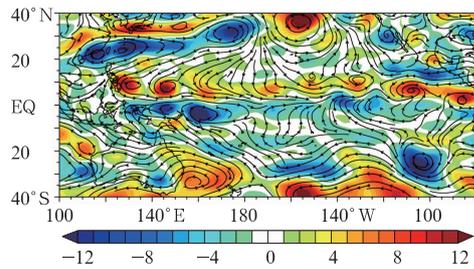


图 5 2015 年 6—10 月 850 hPa 流场距平(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)及相对涡度距平(单位: 10^6 s^{-1})
Fig. 5 Wind field anomaly (streamline, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and relative vorticity anomaly (unit: 10^6 s^{-1}) at 850 hPa in TC active season in 2015

与常年相比, 2015 年 6—10 月副高脊线及北界偏南, 副高面积及强度偏小, 西伸脊点偏东, 500 hPa 上西北太平洋为异常的西北气流(图略), 不利于 TC 西行进入我国近海, TC 的移动路径偏东偏南(图 2b), 同样符合强 El Niño 年的一般规律。从图 6 可以清楚地看到, 10°N 以南为异常上升气流,

有利于对流活动的发展; 而 10°N 以北至 25°N 附近为异常的下沉气流, 对流活动的发展受到抑制, 对比图 5 可以看出, 上升与下沉气流活动的位置分别与低层气旋和反气旋异常相对应, 进一步说明了这样垂直速度分布使得西北太平洋东南部对流活动加强, 有利于低层扰动的产生, TC 生成偏多, 而东北部对流活动受到抑制, 不利于低层扰动的产生, TC 生成减少。总体而言, 2015 年的 TC 活动与副高的特征是紧密联系的。

表 6 强 El Niño 年台风活跃季(6—10 月) 西太副高各特征指数

Table 6 Characteristic index of the subtropical high in TC active season in strong El Niño years

	副高脊线 /°N	副高北界 /°N	西伸脊点 /°E	面积指数 / 10^5 km^2	强度指数 / $10^6 \text{ km}^2 \cdot \text{dagpm}$
1957 年	24	30	126	17	36
1965 年	22	27	110	13	23
1972 年	23	28	124	15	22
1982 年	22	28	118	19	31
1987 年	21	27	104	30	65
1997 年	23	27	108	26	36
强 El Niño 年平均	22.5	27.8	115.0	20.0	35.5
多年平均	24.1	29.1	116.3	21.3	39.9
2015 年	24	29	113	21	39

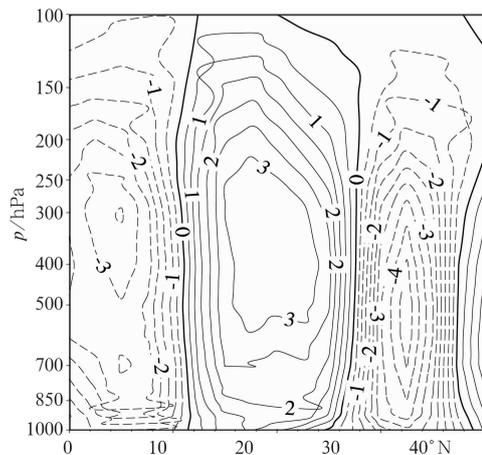


图 6 2015 年 6—10 月 120°~170°E 平均的垂直速度距平气压-纬度剖面(单位: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 6 Pressure-latitude section of ω anomaly (unit: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) averaged over the West Pacific (120°—170°E) in TC active season in 2015

3.3 对流层纬向风垂直切变的特征

当垂直风切变较小,潜热集中在有限的范围内,有利于暖心结构的形成,同时使得初始扰动气压不断降低(朱乾根等,2007;孙冷,2010;李德琳等,2015)。图 7 给出了 2015 年 6—10 月对流层纬向风垂直切变距平。可以看到,2015 年台风活跃季南海和西北太平洋东北部垂直风切变为正距平,这里较大的垂直风切变限制了 TC 暖心的发展,不利于涡旋的形成(Demaria, 1996);与之形成对比的是,西北太平洋东南部的垂直风切变偏小,有利于 TC 的形成。这样的垂直风切变使得 2015 年西北太平洋东南部生成的 TC 偏多,而东北部和我国南海生成的 TC 偏少。

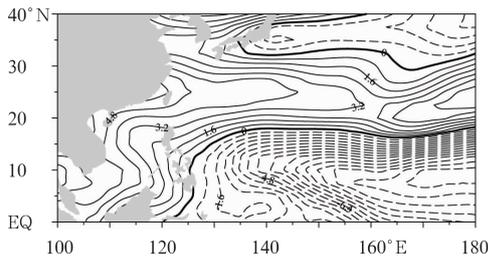


图 7 2015 年 6—10 月纬向风垂直切变距平(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 7 Vertical wind shear ($U_{200 \text{ hPa}} - U_{850 \text{ hPa}}$) anomaly (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) in TC active season in 2015

3.4 海温场和环流场的逐月演变特征

本文同样分析了 2015 年海温场和环流场的逐月演变,来深入探讨 2015 年超强的 El Niño 事件对热带气旋生成与活动的影响。就海温场和低层环流场而言,赤道太平洋西部的西风异常和海温负异常始终维持并且进一步扩张和增强,El Niño 事件持续发展(图略)。其他环流场的分布与平均状态是非常相近的,但是有一点值得指出的是,850 hPa 相对涡度场中,横跨 $130^{\circ} \sim 170^{\circ} \text{E}$ 的正涡度带(图 5)呈现自南向北移动的趋势,尤其到 10 月,正涡度带在 15°N 以北出现了极值中心(图 8),而原先位于其南部的一条负涡度带的极值中心则已越过赤道,位于西北太平洋东南部的上空。这也就解释了为什么 6—8 月的西北太平洋东南部生成的 TC 偏多,东北部生成的 TC 偏少;而 9、10 月的情况发生了倒置,生成于东南部的 TC 偏少,而生成于东北部的 TC

偏多。由此可见,TC 的生成和发展与相对涡度的变化有着非常紧密的联系,而 El Niño 事件在相对涡度的改变中发挥了重要作用。

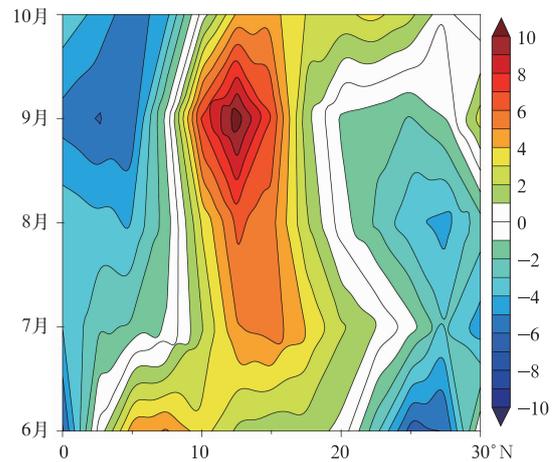


图 8 2015 年 6—10 月 $130^{\circ} \sim 170^{\circ} \text{E}$ 相对涡度距平的时间-纬度剖面(10^6 s^{-1})

Fig. 8 Time-latitude section of relative vorticity anomaly (10^6 s^{-1}) averaged over $130^{\circ} - 170^{\circ} \text{E}$ in TC active season in 2015

4 结论与讨论

通过统计分析,本文研究了强 El Niño 年 TC 的活动特征并详细分析了造成 2015 年 TC 活动的大气环流特征,得到以下结论:

(1)从生成和登陆的台风个数来看,强 El Niño 年上半年 TC 生成偏多,台风活跃季(6—10 月)TC 生成偏少,登陆我国 TC 偏少。2015 年的台风个数符合这一规律。El Niño 成熟前赤道西太平洋存在负的海表温度异常和大面积的西风异常,同时 El Niño 导致了西北太平洋地区对流活动受到抑制,而副高位置偏南,导致 ITCZ 位置偏南,这些因素综合作用,不利于 TC 的生成,导致了 2015 年台风季 TC 数量偏少。

(2)从台风强度来看,强 El Niño 年台风不但整体强度偏强,个体台风的强度也偏强,这是由于强 El Niño 年的副高面积和强度偏小,有利于 TC 活动的加强。2015 年的台风强度符合这一规律,但是较强 El Niño 年平均的 TC 强度偏小,所以当年副高的面积和强度在强 El Niño 年中也是偏大的。

(3)从台风源地来看,强 El Niño 年西北太平洋东南部生成的 TC 偏多,并且强度偏大;与之对应,东北部生成的 TC 偏少,强度偏小。2015 年的 TC

源地分布符合这一规律。西北太平洋东南部较小的纬向风垂直切变和低层 140°E 以东、15°S 以南大面积的正涡度异常使得这一区域生成的 TC 个数偏多、强度偏大；而西北太平洋东北部和我国南海较大的垂直风切变使得这两个海域生成 TC 个数偏少、强度偏小。

(4)从路径上来看,2015 年台风路径多呈抛物线型,发生了向东北方向的转向,进入我国南海的 TC 明显偏少,这与副高西伸脊点偏东以及西北太平洋上空 500 hPa 异常的西北气流的引导作用有关。

(5)El Niño 事件开始于 3—4 月,而台风活跃季开始于 6 月,这表明 El Niño 是首先作用于热带大气环流,然后通过沃克环流、东亚季风槽、西太平洋副高等桥梁影响到西北太平洋上 TC 活动(Li, 1988),这其中包括了复杂的海气相互作用过程,所以每一个 El Niño 年的 TC 活动也会存在自己的特性,对这些特性的成因还需要进一步的分析。

参考文献

- 曹智露,胡邦辉,杨修群,等. 2013. ENSO 事件对西北太平洋热带气旋影响的分级研究. *海洋学报*, 35(2): 21-34.
- 顾薇. 2016. 夏季热带西太平洋海温对厄尔尼诺发展阶段我国东部汛期降水的影响分析. *气象*, 42(5): 548-556.
- 国家气候中心. 2015. 中国气候公报.
- 赖芬芬,江静. 2012. 西北太平洋热带气旋强度的年际变化及其大气环流背景场分析. *热带气象学报*, 28(5): 609-620.
- 李德琳,肖子牛,周秀华,等. 2015. 西北太平洋热带气旋生成数在 1990 年代中期发生突变的气候环境特征分析. *热带气象学报*, 31(3): 441-450.
- 廖要明,王凌,王遵娅,等. 2016. 2015 年中国气候主要特征及主要天气气候事件. *气象*, 42(4): 472-480.
- 任宏利,刘颖,左金清,等. 2016. 国家气候中心新一代 ENSO 预测系统及其对 2014/2016 年超强厄尔尼诺事件的预测. *气象*, 42(5): 521-531.
- 司东,柳艳菊,邵颀,等. 2016. 2015 年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响. *气象*, 42(4): 481-488.
- 孙冷. 2011. 2010 年西北太平洋热带气旋活动特征及成因的初步分析. *气象*, 37(8): 929-935.
- 王璋贵,蔡怡,张丽. 1998. 1997/1998 年厄尔尼诺特征及 97 年气候异常. *海洋预报*, 15(3): 125-131.
- 杨淑瑞. 1998. 1997 年西北太平洋热带风暴、台风和厄尔尼诺. *海洋预报*, 15(1): 73-81.
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 2007. *天气学原理和方法*. 北京:气象出版社, 541-542.
- Atkinson G D. 1997. Proposed system for near real time monitoring of global tropical circulation and weather patterns//11th Tech. Conf on Hurricanes and Tropical Meteorology. Miami Beach, FL: Amer Meteor Soc, 645-652.
- Bell G D, Halpert M S. 2000. Climate assessment for 1999. *Bull Amer Meteor Soc*, 81(6): s1-s50.
- Chan J C L. 1985. Tropical cyclone activity in the northwest Pacific in relation to the El Niño/Southern Oscillation phenomenon. *Mon Wea Rev*, 113: 599-606.
- Chan J C L. 2000. Tropical cyclone activity over the western North Pacific associated with El Niño and La Niña events. *J Climate*, 13: 2960-2972.
- Chan J C L, Gray W M. 1982. Tropical cyclone movement and surrounding flow relationships. *Mon Wea Rev*, 110: 1354-1374.
- Chan J C L, Liu K S. 2004. Global warming and western North Pacific typhoon activity from an observational perspective. *J Climate*, 17(23): 4590-4602.
- Chen T, Weng S P, Yamazaki N, et al. 1998. Interannual variation in the tropical cyclone formation over the western North Pacific. *Mon Wea Rea*, 126: 1080-1090.
- Demaria M. 1996. The effect of vertical shear on tropical cyclone intensity change. *J Atmos Sci*, 53(14): 2076-2088.
- Dong K. 1988. El Niño and tropical cyclone frequency in the Australian region and the northwest Pacific. *Aust Metr Mag*, 36: 219-225.
- Klotzbach P J. 2006. Trends in global tropical cyclone activity over the past twenty years (1986 - 2005). *Geophys Res Lett*, 33: L10805.
- Lander M A. 1993. Comments on "A GCM simulation of the relationship between tropical storm formation and ENSO". *Mon Wea Rev*, 121: 2137-2143.
- Lander M A. 1994. An exploratory analysis of the relationship between tropical storm formation in the western North Pacific and ENSO. *Mon Wea Rev*, 122: 636-651.
- Landsea C W. 2000. El Niño-Southern Oscillation and the seasonal predictability of tropical cyclones// *El Niño: Impacts of Multi-scale Variability on Natural Ecosystems and Society*. London: Cambridge University Press, 149-181.
- Li C Y. 1988. Actions of typhoon over the western Pacific (including the South China Sea) and El Niño. *Adv Atmos Sci*, 5: 107-115.
- McBride J L. 1995. Tropical cyclone formation// *Global Perspective on Tropical Cyclones*, WMO/TD-No. 693, World Meteorological Organization, 63-105.
- Ramage C S, Hori A M. 1981. Meteorological aspects of El Niño. *Mon Wea Rev*, 109: 1827-1835.
- Reynolds R W. 1988. A real-time global sea surface temperature analysis. *J Climate*, 1: 75-86.
- Reynolds R W, Marsico D C. 1993. An improved real-time global sea temperature analysis. *J Climate*, 6: 114-119.
- Wang B, Chan J C L. 2002. How Strong ENSO events affect tropical storm activity over the western North Pacific? *J Climate*, 15: 1643-1658.
- Webster P J, Holland G J, Curry J A, et al. 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 309: 1844-1846.
- Wu G, Lau N C. 1992. A GCM simulation of the relationship between tropical-storm formation and ENSO. *Mon Wea Rev*, 120: 958-977.