

近海台风对中国东部夏季降水的贡献*

申茜[†] 张世轩 赵俊虎 汪栩加

(兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

(2013年5月11日收到; 2013年6月15日收到修改稿)

目前汛期预测主要针对季风系统形成的降水, 而对台风等热带系统的影响并未考虑, 其主要原因是台风是一个剧烈的天气尺度过程, 与短期气候预测尺度并不匹配, 因而无法进行考虑. 这也成为提升汛期预测技巧的一个制约因素. 针对这样的问题, 本文从气候的角度, 提出一个能较为客观地衡量台风对夏季降水影响强弱的指数——台风影响指数. 利用 1960—2011 年中国东部站点降水资料及中国气象局上海台风所整理的热带气旋资料, 从月、季尺度对中国夏季台风影响强弱变化特征进行分析, 探讨台风对东部地区夏季降水的贡献. 结果表明: 1) 台风从 6 月至 8 月呈增强的趋势, 6 月份最弱, 7 月份居中, 8 月份最强; 2) 从台风降水及占总降水的比例分布来看, 纬向呈东部高西部低, 经向呈从东北地区至华南地区依次增大的趋势, 长江以南地区台风降水量占夏季降水量的比重可达 10% 以上, 7, 8 月份东南沿海地区的台风降水量最大可达 100 mm 以上, 可达当月总降水量的 40%; 3) 台风影响指数与夏季降水的相关表明, 台风对中国东部降水的影响具有时、空差异性, 6 月份与华南地区呈负相关, 7 月份与东南沿海地区呈正相关, 而与长江中下游地区呈负相关; 8 月份与华南、华北地区呈正相关、与长江中下游地区呈负相关. 这主要是由台风、夏季风和西北太平洋副热带高压共同影响的.

关键词: 台风影响, 东部, 夏季降水, 贡献

PACS: 92.60.jf, 92.60.Ox, 92.70.Cp

DOI: 10.7498/aps.62.189201

1 引言

西北太平洋 (Northwest Pacific, NWP) 是全球热带气旋 (tropical cyclone, TC) 生成的主要源地之一, 全球约 1/3 的热带气旋在此海域形成^[1]. 由于受东风带和西太平洋副热带高压的影响, 很多在 NWP 生成的热带气旋发展成台风并登陆中国, 在台风移动过程中, 其一方面向中纬度地区输送水汽和热量, 促使中纬度环流系统的强烈发展, 引发该地区许多严重的灾害性天气, 如暴雨洪涝等, 造成巨大的经济损失和重大人员伤亡; 另一方面, 它有时也能切断低纬环流系统向中纬度地区的水汽和能量输送, 例如强台风移近梅雨锋时, 可使江淮梅雨中断甚至结束^[2,3]. 从降水的角度而言, 台风能直接造成局地短时强降水过程, 形成大量的降水, 如相关研究发现台风经过的地区可形成大约 150—300 mm 的降

雨, 少数台风能够引发 1000 mm 以上的大暴雨; 除此之外则主要是台风与中纬度环流系统的相互作用会对梅雨锋等中尺度天气系统产生间接影响, 进而影响大范围的降水过程.

为叙述方便, 本文将热带气旋统称为台风. 近年来, 国内外关于台风降水的气候研究越来越受到广泛的重视. Rodgers 等^[4] 利用卫星资料对北大西洋热带气旋降水的贡献做了定量的研究, 他们所使用的分离热带气旋降水的客观方法为围绕热带气旋中心的一个半径为 444 km 的固定圆; Shuman 等^[5] 以 1000, 550 和 800 km 为半径的固定圆定义台风降水, 研究了美国东部热带气旋残余所造成的暴雨事件; Englehart 和 Douglas^[6] 以及 Hasegawa^[7] 分别从观测和模拟的角度探讨了 TC 降水. 韩晖^[8] 和王咏梅等^[9] 分别对中国台风暴雨和中国台风降水的气候特征做了相关分析, 指出中国台风降水总体上呈减少趋势, 建军和余锦华^[10] 以及卓嘎等^[11]

* 国家自然科学基金 (批准号: 40930952, 41175067, 41205040)、国家重点基础研究发展计划 (批准号: 2012CB955902, 2013CB430204) 和公益性行业科研专项 (批准号: GYHY201106016) 资助的课题.

[†] 通讯作者. E-mail: shenq12@lzu.edu.cn

探讨了台风对内陆地区降水的影响,发现台风与华西、辽宁、黑龙江和青藏高原等地的降水有不同程度的联系,而华北中部和东部夏季降水量与登陆我国台风频数存在着显著的正相关.此外,雷小途和陈联寿^[2,3]还通过研究热带气旋与中纬度环流系统相互作用,发现热带气旋对梅雨有显著的影响.

然而,上述研究大多都是注重从台风降水的角度分析其气候特征变化,而台风降水对整个季节降水的贡献和影响方面并未做全面深入的分析.从整个季节来讲,尤其是夏季为台风频发时段,其一方面直接造成局地强降水,另一方面也通过与中纬度环流系统发生作用,影响到水汽等的输送,进而影响到大范围的降水过程.多次台风过程从两个方面累积或者叠加,对中国尤其是东部地区的夏季降水有着不可忽视的影响.目前的汛期降水预测并未实现其与台风分离基础上的针对性研究,一定程度上也成为制约夏季降水预测准确性的一个因素.如何从气候学的角度来描述台风降水,一直是一个值得关注的科学问题.本文针对以上问题,对夏季台风对中国东部汛期降水的影响及相关方面进行了探讨,旨在建立台风影响季节降水的初步概念,为提高汛期降水预测准确性提供可能的参考.

2 资料和方法

2.1 资料

研究资料包括中国气象局国家气候中心(National Climate Center, NCC)提供的74项环流指数.中国气象局上海台风研究所整理的西北太平洋(含南海,赤道以北,东经180°E以西)海域热带气旋资料. NCEP/NCAR 1948—2012年垂直方向1000 hPa—10 hPa共17层等压面的风场(u, v 分量)、高度场(H),水平空间分辨率均为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的全球格点再分析月平均资料.中国气象局气象信息中心资料室提供的中国740站1960—2011年逐日降水资料.研究时段为夏季6月1日到8月31日共92 d.降水研究主要针对105°E以东受台风影响显著的中国东部地区,因而从上述资料中选取位于此区域的站点,对资料连续缺测2 d以上的站点进行剔除,对缺测1 d的站点用前后两天的资料进行线性插补,最终挑选出442个站点,其分布如图1所示.需要说明的是,由于所选研究时段为夏季,资料

缺测较少,因此插补对结果影响很小,且图1中站点分布均匀,因而符合研究要求.

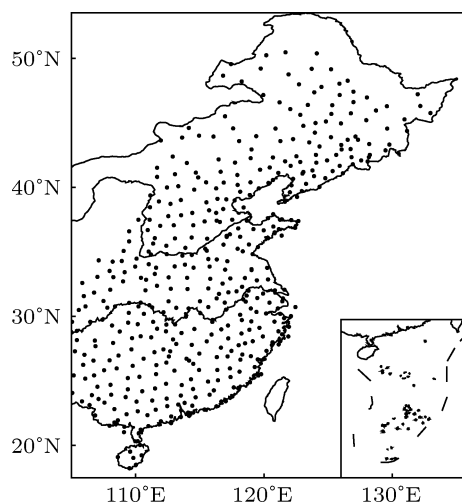


图1 站点分布图

2.2 方法

现有的衡量台风强弱年的依据大多是台风的生成个数或登陆个数,考虑到有的年份台风生成个数偏多但登陆个数不多,抑或是有的年份台风登陆个数偏多,但台风维持时间不长.此种情况下,台风个数多少虽然能反映出其整体的强弱,但并不能十分客观地反映出其对降水的影响大小.事实上,台风的降水影响主要是由台风在近海或登陆后维持的时间长短及台风的强度所决定,而台风的强度又反映在其维持时间上.因此,本文从更为宏观的角度出发,提出台风影响时间(TAT)这个有别于台风个数的指标来讨论台风的降水影响.

首先,利用任福民^[12]、王咏梅^[13]等提出的方法,第一步是进行自然雨带分离,从降水场的结构分析入手,将降水场划分为多个独立的雨带以及一些零星降水台站;第二步是进行台风雨带识别,根据这些雨带与台风中心之间以及各降水台站与台风中心之间的距离关系来确定台风降水.需要说明的是,其中的两个重要参数: D_0 为绝对台风降水控制距离,所有与台风中心距离小于此值的降水均被定义为台风降水, D_1 为可能台风降水控制距离, D_0 和 D_1 为可变参数,取值随台风强度等级而变化.

其次,基于上述判断,针对具体的某一年份,认为当某一台风接近中国地区,致使陆地有至少一个站点出现台风降水时,这一天为台风影响日,因为该日东部地区的大部分台站降水会受到台风的直

接或间接影响. 统计 6—8 月满足以上条件的日数, 其总和即为当年夏季台风影响时间.

最后, 将 1960—2011 年 52 年夏季台风影响时间序列进行标准化, 这一标准化序列称之为夏季“台风影响指数”(typhoon affect time index, TATI). 将同样的标准分别应用于 6, 7, 8 三个月, 亦可以得到单个月份的 TATI.

以下研究基于提出的这一指标, 一方面探讨其合理性以及年代际变化特征, 另一方面探讨台风降水与整个东部夏季降水之间的关系, 以此建立台风影响季节尺度降水的初步概念.

3 TATI 的合理性分析和年代际变化特征

图 2 为 TATI 和台风个数的时间演变图. 可以看到, TATI 变化具有明显的年际振荡特征, 且自 1960—2011 年以来, 夏季 TATI 无论在单个月份或是平均而言, 都有线性减弱趋势, 特别是自 1995 年

至 2011 年, 减弱趋势更为明显. 此外, 对整个夏季而言其减弱趋势要比 6, 7, 8 月份的更为明显. 这与王咏梅等^[9]研究发现 1951—2004 年台风总体频数变化呈减少趋势, 1970 年代后期明显减少, 1995—2004 年为台风频数最少时期的相关结论一致. 在大气环流方面, 郭其蕴等^[14]研究发现东亚夏季风在 70 年代中期有明显的自强变弱的转折, 李艳等^[15]发现 1950—2008 年, 三个地区总的、乌拉尔山和贝加尔湖地区的阻塞高压次数和天数有明显的线性增加趋势, 东亚夏季风越强, 对应西南暖湿气流越强, 易于低纬地区对流活动和低压扰动的发生、发展, 而阻塞高压越弱, 对应经向气流偏弱, 不利于冷空气南下, 使得西太副高偏北, 利于台风的生成; 在海温方面, 根据王咏梅等^[16]发现 70 年代中期 PDO 指数由冷位相转入暖位相, 而 PDO 冷位相对应台风影响频数偏多, PDO 暖位相对应台风影响频数偏少. 因此, 有可能是因为近年来东亚夏季风偏弱, 阻塞高压偏强以及 PDO 暖位相导致台风影响有线性减弱的趋势.

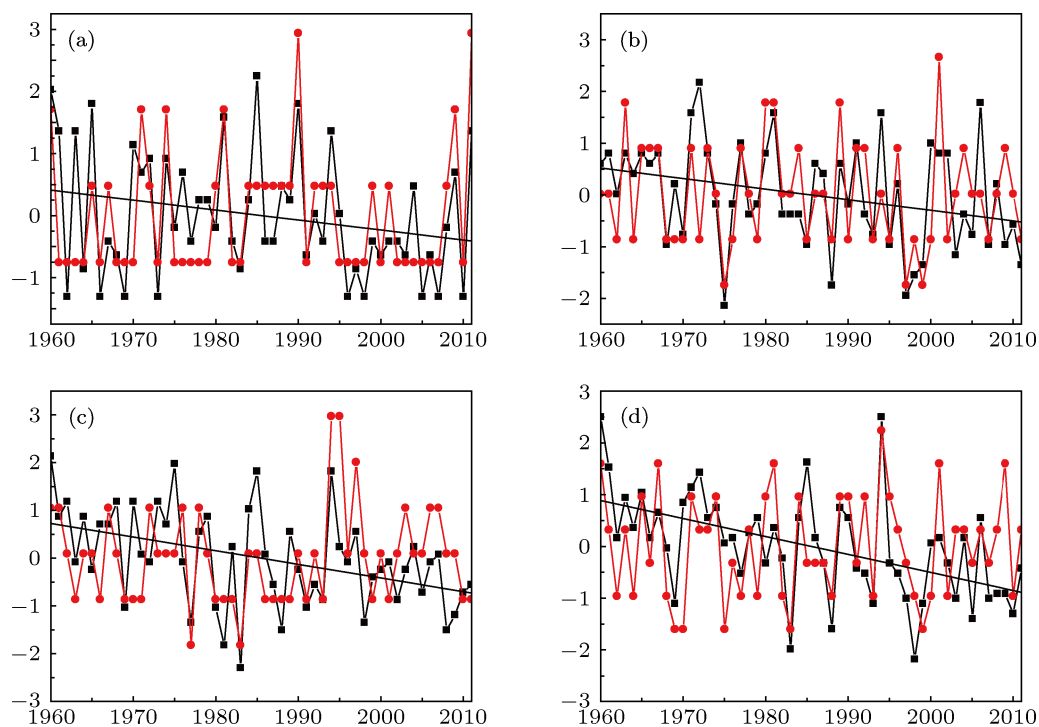


图 2 1960—2011 夏季 TATI 和标准化登陆台风个数的年际变化 (a) 6 月; (b) 7 月; (c) 8 月; (d) 夏季; 黑线代表夏季 TATI, 红线代表登陆标准化台风个数

从台风个数和 TATI 的对比可以发现, 虽然 TATI 与台风个数整体变化趋势具有很好的一致性, 两者的相关在 6 月为 0.61, 7 月为 0.53, 8 月为 0.47, 整个夏季为 0.50, 均可通过显著水平为 0.05

的显著性检验. 但两者之间的差异亦十分明显, 图 2(a)—(c) 中台风个数基本没有明显的年际振荡变化, 而 TATI 年际振荡明显. 图 2(d) 中整个夏季台风个数的年际振荡变化特征虽然有所凸显, 但其

与 TATI 的年际振荡特征并不一致, 如夏季台风个数在 1970, 1985, 1975, 1979, 1964, 1961, 1962, 1972 和 2000 年偏少, 但 TATI 却偏大; 夏季台风个数在 2009, 1992, 2001, 2003, 1995, 1980, 1981, 2008, 1998 和 2005 年偏多, 但 TATI 却偏小. 图 2(d) 中, 1985 年夏季登陆台风为 5 个, 仅高于平均值 0.5 个, 登陆个数偏强, 但其 TATI 为近 52 年来第二高, 从后面的分析中我们得知 1985 年为台风强降水年.

综上所述, 我们可知虽然 TATI 与台风个数有着密切的正相关关系, 但有别于台风个数, TATI 是从时间角度说明台风控制的范围, 基于这个范围, 讨论台风对降水的影响. 事实上, TATI 包含了台风个数以及台风强度两方面的内容, 因为台风发生个数偏多, 强度偏强, 其作用的时间也必然会相应地偏长, 反之则会偏短. 此外, 该指数定义时加入中国区域站点有台风降水发生这一条件, 则主要是考虑

到它对中国区域的降水影响. 因此为综合考虑夏季台风对中国东部地区降水的影响程度, 采用 TATI 这一指标来衡量台风的影响强弱可能更优于登陆台风个数. 本文接下来探讨台风对夏季降水的贡献, 然后基于 TATI, 对台风与夏季降水的相关性进行分析.

4 台风降水占夏季降水的比例

台风近海或登陆, 由于携带大量的水汽、动量和能量, 会给中国东部地区带来强降水影响. 本文提取台风影响日的台风降水, 具体提取夏季台风降水的方法采用任福民等^[12]、王咏梅^[13]等提出的方法. 然后分析 1960—2011 年夏季各月平均台风降水量及夏季各月台风降水占夏季各月降水的比例, 以此探讨台风对夏季降水的贡献.

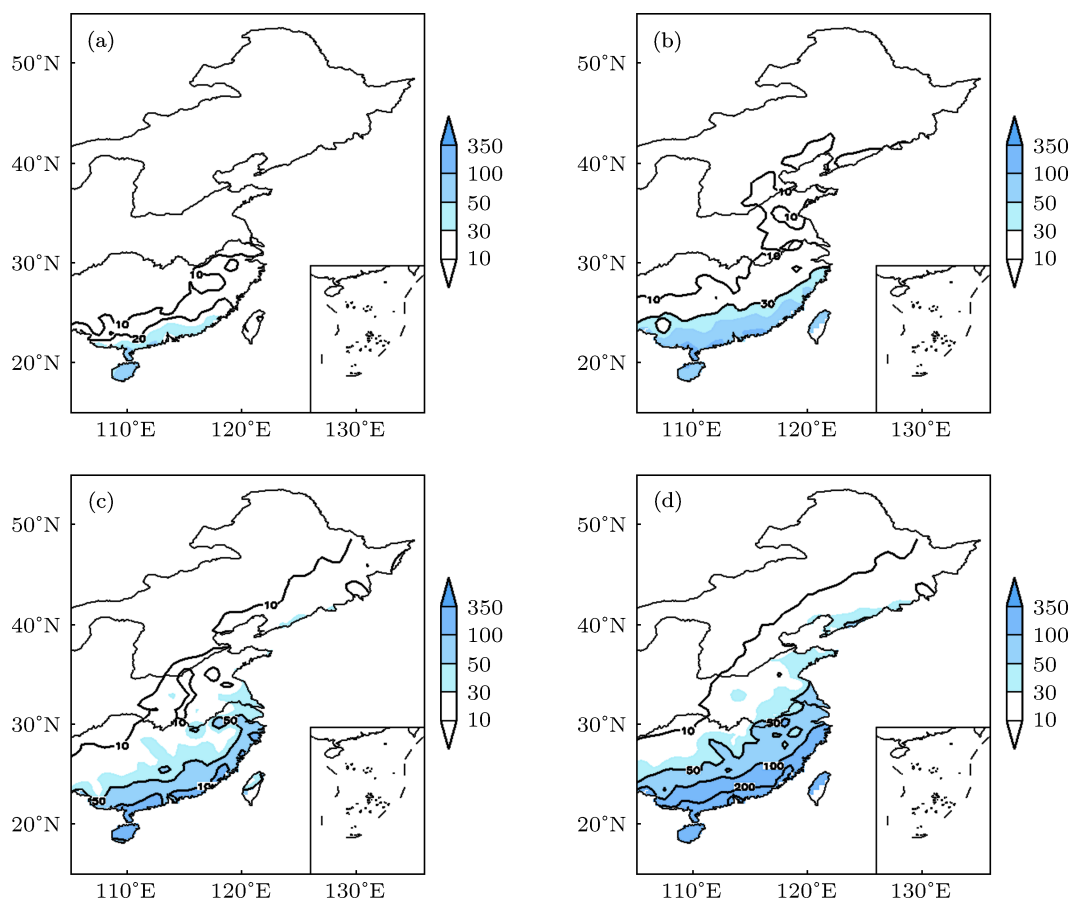


图 3 1960—2011 年平均 6, 7, 8 月和夏季的台风降水量 (单位: mm) (a) 6 月; (b) 7 月; (c) 8 月; (d) 夏季

从图 3(a) 可以看出, 6 月份的台风降水主要分布在长江以南的沿海地区, 同—经度从北向南台风降水量呈增大的趋势, 同一纬度, 自西向东台风降

水有增大的趋势. 台风降水的最大值集中在华南沿海一带, 说明 6 月份台风登陆地点集中在华南地区, 特别是海南岛, 其 6 月份平均的台风降水量在

50—100 mm 之间. 从图 3(b) 可以看出, 7 月份台风降水量较 6 月份有明显增加, 降水分布范围也有显著的北进, 整个东部沿海地区的降水都受到了台风影响, 台风降水最大值依然在华南沿海一带, 最大值在 100 mm 左右, 黄淮沿海地区和东北沿海地区的台风降水量在 10—30 mm 之间, 说明 7 月份台风登陆地点有北进趋势, 部分台风已影响到东北地区. 从图 3(c) 可以看出, 8 月份的台风降水分布范围较 7 月份进一步增大, 多集中在东南沿海, 可达到 100 mm 以上, 说明 8 月份台风登陆东南沿海地区较 6, 7 月份频繁.

从图 3(d) 可以看出, 整个夏季, 台风降水量自东南沿海向西北方向逐渐减少, 东南沿海夏季平均台风降水量最大可达 200 mm 以上.

图 4 为 6, 7, 8 月和夏季台风降水量占当月及夏季总降水的比例, 其空间分布类似于台风降水量的空间分布, 即同一纬度自西向东、同一经度自北

向南, 台风降水量占夏季降水的比例呈增大的趋势.

图 4(a) 显示, 6 月份, 同一经度自北向南台风降水比例呈依次增多的分布, 在海南岛附近达到最大值, 约占 6 月份降水的 40%. 结合图 3(a) 可以得出, 6 月份的海南岛降水中约半数为台风降水. 图 4(b) 显示, 7 月份, 台风降水比例在整个长江以南地区达 10% 以上, 在东南沿海区域可达 40% 以上. 总体来看, 7 月份台风降水比例在整个东部地区明显高于 6 月份. 图 4(c) 显示, 8 月份的台风降水比例的大小和范围较 7 月份在东南沿海地区、黄淮地区明显增大, 在东南沿海地区台风降水占 8 月份降水比例大致在 40% 以上.

图 4(d) 显示, 从夏季平均台风降水比例来看, 台风降水比例最大处在海南岛及东南沿海的部分区域, 可达到 30% 以上. 台风降水占夏季降水的比例从东南沿海和华南地区、长江中下游地区、黄淮东部和东北东部呈现依次减小的分布.

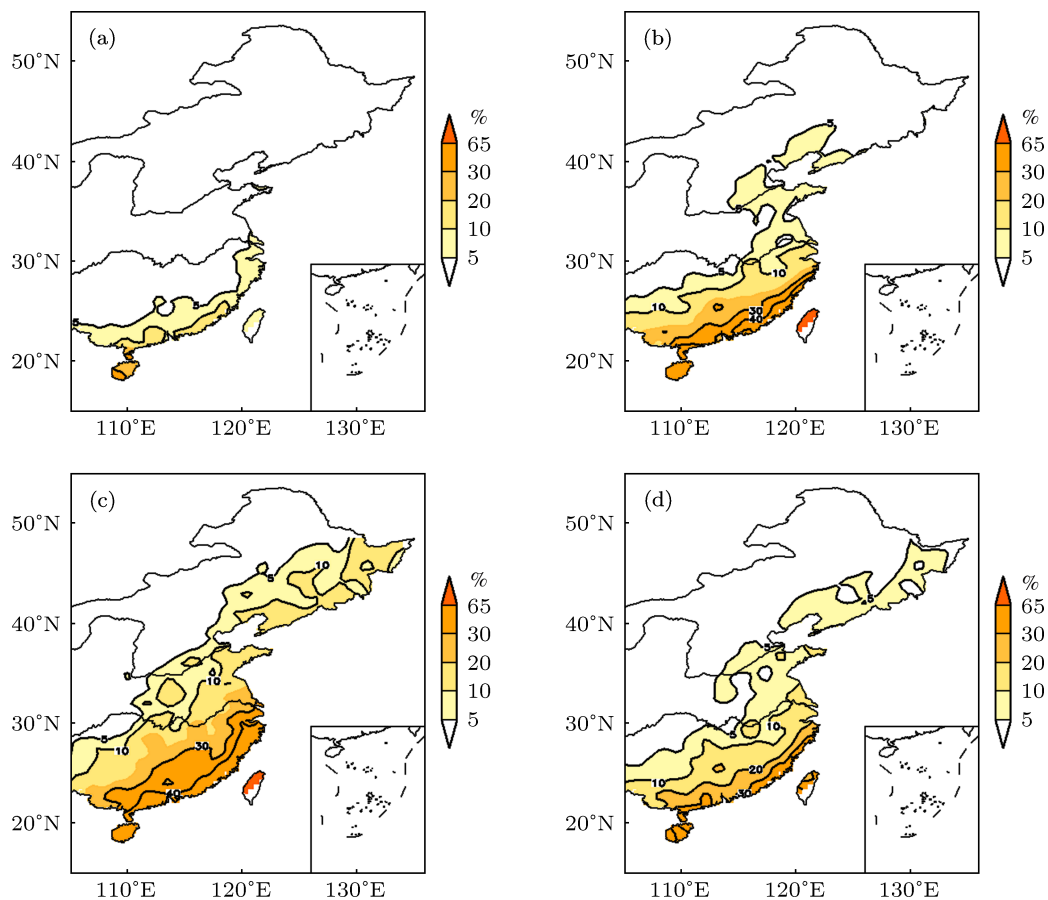


图 4 1960—2011 年平均夏季各月和夏季的台风降水量占夏季各月降水的比例 (a) 6 月; (b) 7 月; (c) 8 月; (d) 夏季

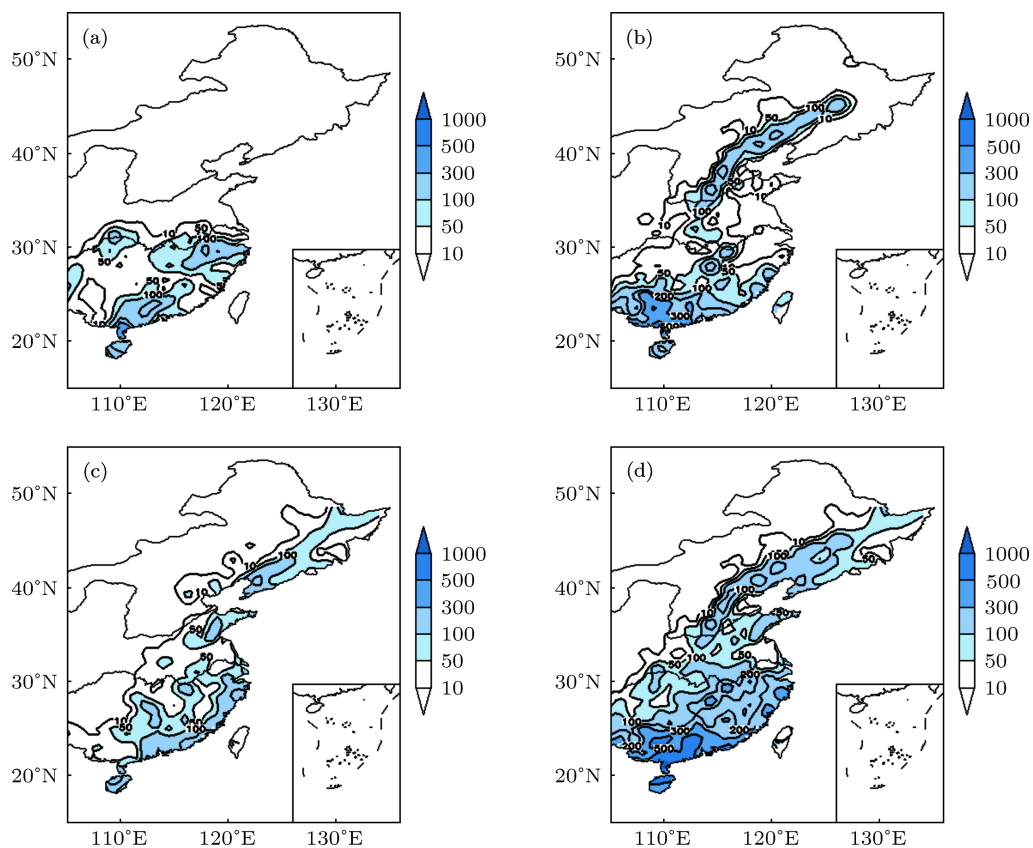


图5 1994年夏季各月及夏季台风降水量(单位: mm) (a) 6月; (b) 7月; (c) 8月; (d) 夏季

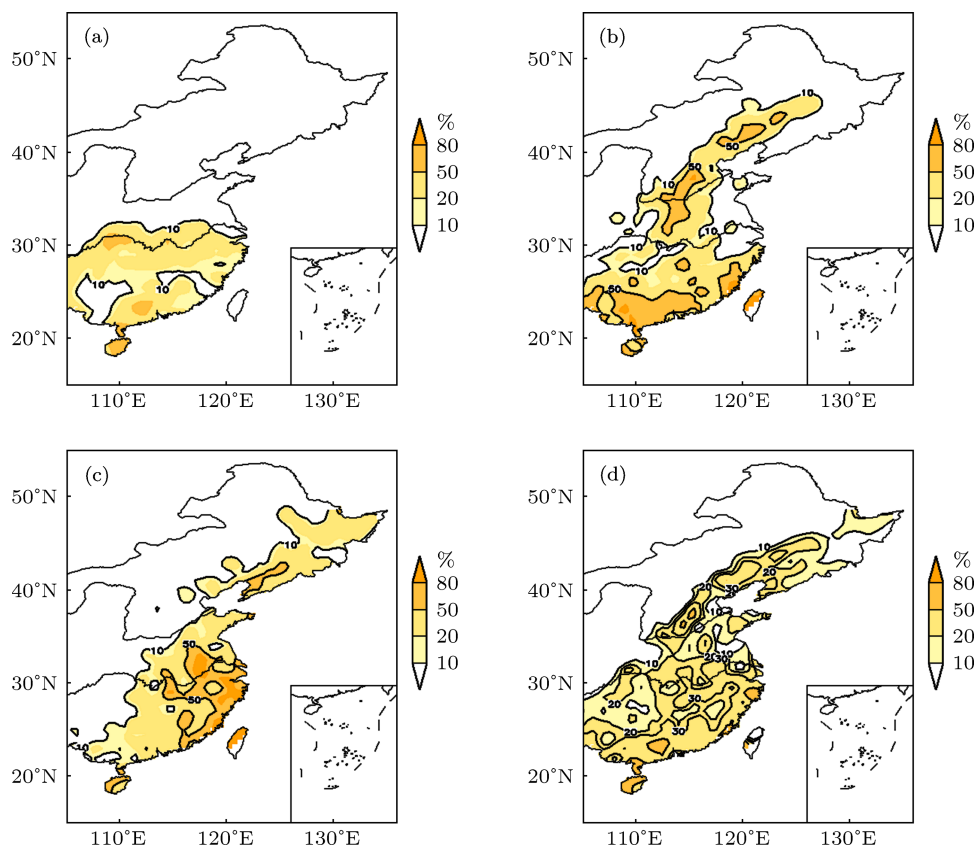


图6 1994年夏季各月台风降水占夏季各月总降水比例 (a) 6月; (b) 7月; (c) 8月; (d) 夏季

由于不同年份台风影响强弱差别很大, 本文选取 1960—2011 年 TATI 最大的 1994 年, 来说明在极端台风影响强年台风对中国东部造成的降水影响.

结合图 5 和图 6 可以看出, 1994 年 6 月份东南沿海地区台风降水量达到 100 mm, 大致整个长江以南地区的台风降水量占 6 月份降水量的 10%; 7 月份伴随台风的北上, 渤海湾和东北沿海地区的台风降水量也达到 100 mm, 此外华南沿海地区的台风降水量也增加至 300 mm, 东北南部和华北北部的局部、黄淮西部、华南大部等地区 7 月份的台风降水占当月总降水的 50%; 8 月份影响东南沿海的台风增加, 致使东南沿海的台风降水量有所增加. 1994 年夏季的台风降水量和其占夏季降水的比重是很大的, 在渤海湾和基本整个长江以南地区夏季台风降水占到了夏季总降水 20% 以上, 整个东部沿海大部地区此比例基本都达到了 30% 以上. 可见在 TATI 强年, 台风降水量及其占夏季降水比例是很大的.

通过以上分析, 台风降水及其占夏季降水的比例, 无论是在 TATI 强年或是平均年份, 值都是较大的, 特别是长江以南的沿海地区, 台风降水对汛期降水的影响不容忽视.

5 TATI 与夏季东部降水的相关性分析

图 7 中阴影部分是通过显著性水平 5% 的显著性检验的区域. 表 1 中南海夏季风指数采用何敏^[17]提出的方法, 副热带夏季风指数采用张庆云等^[18]提出的计算方法, 西太副高指数采用刘芸芸等^[19]提出的算法. 图 7(a) 显示 6 月份 TATI 与华南地区呈明显负相关, 但与海南地区呈明显正相关, 表明 6 月份近海台风影响强时, 华南地区降水偏少, 而海南地区降水偏多. 根据卓嘎等^[11]的研究, 6 月份华南地区的降水与台风登陆个数的相关系数为负值, 这与本文的结果是一致的. 我们这样认为: 6 月份雨带大致处于长江以南地区, 其绝大多数降水过程都与冷暖空气的交绥以及低空西南急流有关, 造成降水的天气系统主要是冷锋、静止锋、切变线、西南低涡以及中尺度低值系统等, 只有少数是受台风或其他系统影响. 如表 1 所示台风与西太副高的脊线指数、西伸脊点和南海季风指数、副热带季风指数呈正相关, 即 TATI 偏强, 则为长江以南地区带来暖湿空气的副高的脊线偏北、西伸脊点

偏东, 并且夏季风偏强, 此种情况下会减弱华南地区的降水. 6 月份的 TATI 与海南地区降水呈现明显的正相关, 从图 4(a) 可以看到, 6 月份海南地区的台风降水占当月降水量 50% 以上, 陈联寿和丁一汇^[20]指出广东 (含海南) 是受 TC 影响最严重的省, 尤其以珠江口以西和海南岛地区更甚. 6 月进入南海台风季, 生成于南海的台风偏多, 影响海南地区的较多. 热带气旋是影响海南岛降水最重要的天气系统^[21].

表 1 夏季 TATI 与东亚夏季风和西太副高的相关系数

	6 月	7 月	8 月	夏季
南海夏季风指数	0.60***	0.48***	0.40***	0.42***
副热带夏季风指数	0.41***	0.38***	0.40***	0.52***
西太副高指数				
面积指数	-0.28**	-0.23*	-0.33**	-0.65***
强度指数	-0.24*	-0.16	-0.28**	-0.61***
脊线指数	0.43***	0.35**	0.57***	0.59***
西伸脊点	0.14	0.28**	0.10	0.57***

*** 表示通过 99% 信度检验; ** 表示通过 95% 信度检验; * 表示通过 90% 信度检验

图 7(b) 显示 7 月份的 TATI 与东南沿海地区呈现明显正相关, 而与江淮流域呈负相关. 7 月份西太副高北抬, 利于台风绕过副高南侧登陆. 7 月份在东南沿海地区平均的台风降水可达到 40%, 所以 7 月份的 TATI 与东南沿海地区呈现明显正相关. 7 月份的 TATI 与江淮流域呈负相关, 根据徐海明等^[22]的研究, 热带气旋的发生发展对季风会产生影响, 北上热带气旋常切断自南海的西南季风向江淮梅雨锋区的水汽输送, 导致出梅, 促使季风雨带向北推进, 这可能是对本文结果的一个合理解释.

图 7(c) 显示 8 月份的 TATI 与华南地区、华北和东北的大部呈现明显正相关、与长江中下游地区呈现明显的负相关. 8 月份为华南后汛期, 其降水以受台风、热带辐合带等热带天气系统影响为主. 8 月份副高北抬东退, 面积指数减小, 夏季风较 6, 7 月份增强, 为台风北上提供了动力, 所以是台风登陆最频繁的月份, 鉴于 TATI 与西太副高脊线和夏季风的正相关关系, 台风影响越强则副高脊线越偏北, 夏季风越强, 从而为华北、东北地区带去更多的暖湿空气, 长江中下游地区为副高控制, 西南、东南两支暖湿气流北上, 所以 8 月台风指数与华北、东北地区降水呈正相关, 与长江中下游地区呈现负相关.

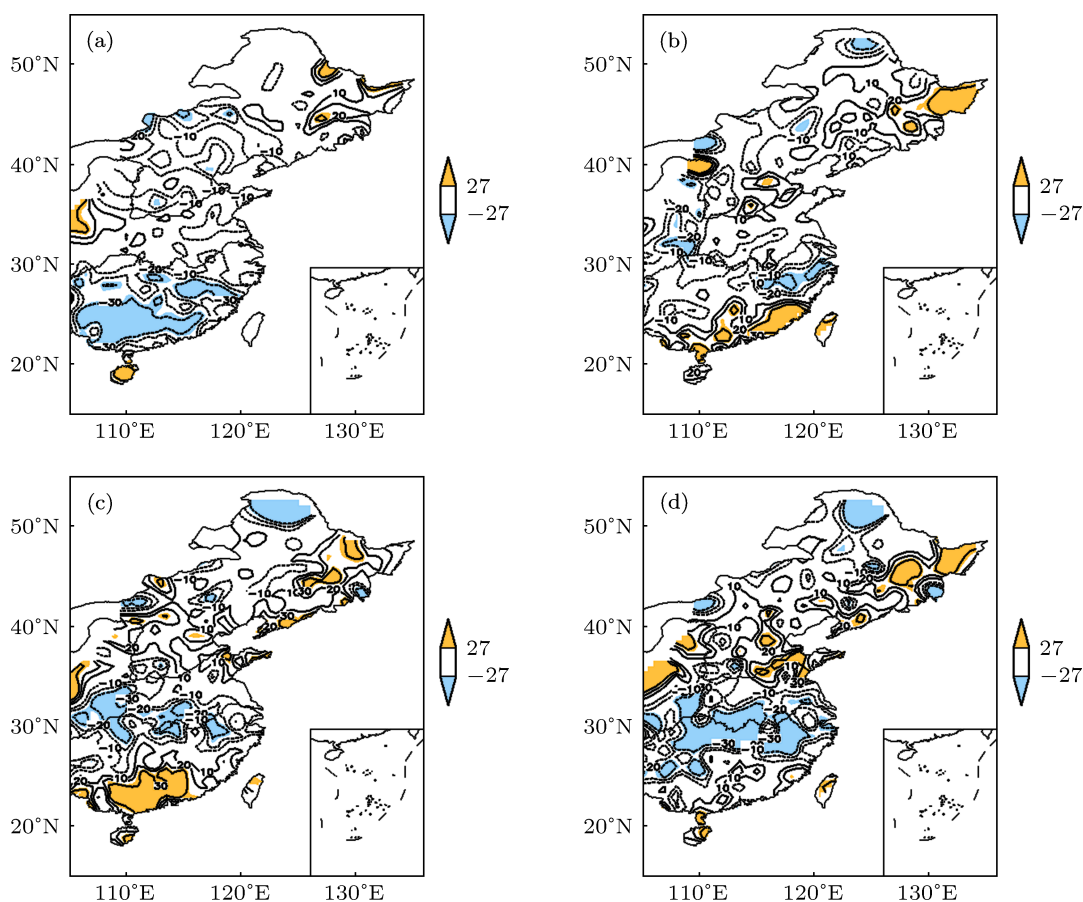


图7 1960—2011年夏季近海TATI与中国东部夏季降水相关系数($\times 100$) (a) 6月; (b) 7月; (c) 8月; (d) 夏季; 虚线, 负值; 阴影, 通过了显著性水平5%的显著性检验的区域

图7(d)显示, 整个夏季, TATI与华南沿海、华北及东北的东部地区呈正相关, 而与长江中下游地区呈负相关。

TATI将天气尺度的台风与汛期联系起来分析得到, 台风降水在汛期中的影响是显著的, 并且台风与东部地区的降水存在一些较为显著的相关带。

6 讨论与结论

本文利用NCEP/NCAR提供的月平均再分析资料及中国气象局上海台风研究所提供的热带气旋资料, 定义了台风影响指数, 从月、季尺度对中国夏季近海台风强弱变化特征进行分析, 将天气尺度的台风与短期气候预测联系起来, 并以此探讨台风对东部地区夏季降水的贡献, 结论如下。

1) 从平均角度而言, 台风从6月至8月呈增强的趋势, 6月份最弱, 7月份居中, 8月份最强。7、8月份东部沿海地区的台风降水量最大可达100 mm以上, 占当月总降水量的40%。

2) 从夏季台风降水及占夏季降水的比例分布来看, 同一纬度大致东部值大西部值小, 从东北地区至华南地区夏季台风降水占夏季降水的比例呈现依次增大趋势。平均而言, 基本整个长江以南地区台风降水量占夏季降水量的比重可达10%以上。

3) 6月份的TATI与华南地区降水呈现明显的负相关, 因为6月份雨带大致处于长江以南地区, 其绝大多数降水过程都与冷暖空气的交绥以及低空西南急流有关, 只有少数是受台风或其他系统影响。鉴于台风影响指数与西太副高、夏季风的相关关系, 所以6月份的TATI与华南地区降水呈现明显的负相关; 7月份的TATI与东南沿海地区呈现明显正相关, 而与江淮流域呈负相关, 这可能是由于热带气旋的发生发展对季风会产生影响, 北上热带气旋常切断自南海的西南季风向江淮梅雨锋区的水汽输送; 8月份的TATI与华南地区、华北和东北的大部呈现明显正相关, 与长江中下游地区呈现明显的负相关, 8月份为华南后汛期, 其降水以受台风等热带天气系统影响为主, 副高北抬东退, 夏季风

增强, 为台风北上提供了动力, 而此时长江中下游地区为副高控制, 易出现晴朗天气. 总体来看, TATI 与我国东部降水的相关关系主要是由夏季风、西太副高和台风相互作用、共同影响的.

夏季这一台风频发时段, 台风通过直接和间接影响, 对夏季降水分布有着不可忽视的影响. 这种影响一方面可能是通过在短时间内形成大量降水对整个夏季降水形势产生影响, 另一方面则可能是台风本身所携带的大量水汽和扰动能量与中纬度环流产生相互作用^[2,3], 影响到水汽输送以及西太平洋副热带高压、夏季风等与季节降水密切相关的一些系统, 从而对整个夏季降水形势产生作用. 虽然近年来随着动力-统计相结合方法的应用, 短期气候预测尤其是降水预测技巧得到了一定的改进^[23-25], 但其预测仍然存在局限性, 尤其在台风等

天气尺度系统活动较频繁的年份, 预测结果往往与实际情况大相径庭^[26]. 究其原因主要是现有的气候预测手段往往未能将台风这类的天气尺度活动对季节降水的影响考虑进去, 致使预测的不确定性增大. 本文从台风对夏季降水的影响角度出发, 提出 TATI 这一概念, 探讨了夏季台风降水对整个夏季降水的贡献, 一方面为探讨台风这一天气尺度系统对季节气候的影响提供一些事实和理论依据, 另一方面为在短期气候预测中考虑台风影响提供一些可能的思路. 对于气候系统这个高度非线性、无标度、多层次、强迫耗散的复杂巨系统, 其变化是一个非平稳过程^[27-33]. 如何在短期气候预测中实现这一想法以及台风影响夏季降水的内在机理等问题, 我们将在后续的研究中进一步加以探讨.

- [1] Wang L, Chen G H, Huang R H 2009 *J. Nanjing Inst. Meteorol.* **32** 182 (in Chinese) [王磊, 陈光华, 黄荣辉 2009 南京气象学院学报 **32** 182]
- [2] Lei X T, Chen L S 2001 *Tropical Meteorol.* **17** 452 (in Chinese) [雷小途, 陈联寿 2001 热带气象学报 **17** 452]
- [3] Lei X T, Chen L S 2001 *Acta Meteor. Sin.* **59** 602 (in Chinese) [雷小途, 陈联寿 2001 气象学报 **59** 602]
- [4] Rodgers E B, Adler R F, Pierce H F 2001 *Appl. Meteorol.* **40** 1785
- [5] Shuman P Michael, Koerner J P, Reynolds S D 2001 *The 81st Ams Annual Meeting Albuquerque*, New Mexico, 2001
- [6] Englehart P J, Douglas A V 2001 *Inter. J. Clim.* **21** 1357
- [7] Hasegawa A 2005 *The 2nd International Workshop on the Kyosei Project Hawaii* 24-26 February, 2005
- [8] Han H 2005 *M. S. Dissertation* (Beijing: Beijing Normal University) (in Chinese) [韩晖 2005 硕士学位论文 (北京: 北京师范大学)]
- [9] Wang R M, Ren F M, Li W J, Wang X L 2008 *Tropical Meteorol.* **24** 233 (in Chinese) [王咏梅, 任福民, 李维京, 王小玲 2008 热带气象学报 **24** 233]
- [10] Jian J, Yu J H 2006 *J. Nanjing Inst. Meteorol.* **29** 819 (in Chinese) [建军, 余锦华 2006 南京气象学院学报 **29** 819]
- [11] Zhuo k, Xie J N, Ma J X 2000 *Plateau Meteorol.* **19** 260 (in Chinese) [卓嘎, 谢金南, 马镜娴 2000 高原气象 **19** 260]
- [12] Ren F M, Gleason B, Easterling D 2001 *Tropical Meteorol.* **17** 308 (in Chinese) [任福民, Byron Gleason, David Easterling 2001 热带气象学报 **17** 308]
- [13] Wang Y M, Ren F M, Wang X L 2006 *Meteorol. Monthly.* **32** 6 (in Chinese) [王咏梅, 任福民, 王小玲 2006 气象 **32** 6]
- [14] Guo Q Y, Cai J N, Shao X M, Sha W Y 2003 *Acta Geo. Sin.* **58** 576 [郭其蕴, 蔡静宁, 邵雪梅, 沙万英 2003 地理学报 **58** 576]
- [15] Li Y, Jin R H, Wang S G 2010 *J. Lanzhou Univ.* **46** 47 (in Chinese) [李艳, 金荣花, 王式功 2010 兰州大学学报 **46** 47]
- [16] Wang Y M, Li W J, Ren F M, Wang X L 2007 *Tropical Meteorol.* **23** 538 (in Chinese) [王咏梅, 李维京, 任福民, 王小玲 2007 热带气象学报 **23** 538]
- [17] He M 1999 *Appl. Meteorol. Sci.* **10** 171 (in Chinese) [何敏 1999 应用气象学报 **10** 171]
- [18] Zhang Q Y, Tao S Y, Chen L T 2003 *Acta Meteorol. Sin.* **61** 560 (in Chinese) [张庆云, 陶诗言, 陈烈庭 2003 气象学报 **61** 560]
- [19] Liu Y Y, Li W J, Ai X, Li Q Q 2012 *Appl. Meteorol. Sci.* **23** 415 (in Chinese) [刘芸芸, 李维京, 艾秀, 李清泉 2012 应用气象学报 **23** 415]
- [20] Chen L S, Ding Y H 1979 *The Introduction of Northeast Typhoon* (Beijing: Science Press) pp22 (in Chinese) [陈联寿, 丁一汇 1979 西太平洋台风概论 (北京: 科学出版社) 第 22 页]
- [21] Wu Y J 2008 *Ph.D. Dissertation* (Lanzhou: Lanzhou University) (in Chinese) [吴岩峻 2008 博士学位论文 (兰州: 兰州大学)]
- [22] Xu H M, Wang Q Q, Ge Z X 1994 *Tropical Meteorol.* **10** 231 (in Chinese) [徐海明, 王谦谦, 葛朝霞 1994 热带气象学报 **10** 231]
- [23] Wang Q G, Feng G L, Zheng Z H, Zhi R 2011 *Chin. J. Atmos Sci.* **35** 288 (in Chinese) [王启光, 封国林, 郑志海, 支蓉 2011 大气科学 **35** 288]
- [24] Yang J, Wang Q G, Zhi R, Feng G L 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 029204 (in Chinese) [杨杰, 王启光, 支蓉, 封国林 2011 物理学报 **60** 029204]
- [25] Xiong K G, Feng G L, Huang J P, Chou J F 2012 *Acta Meteorol. Sin.* **70** 213 (in Chinese) [熊开国, 封国林, 黄建平, 丑纪范 2012 气象学报 **70** 213]
- [26] Zhao J H, Feng G L, Wang Q G, Yang J, Gong Z Q 2010 *Chin. J. Atmos Sci.* **35** 1071 (in Chinese) [赵俊虎, 封国林, 王启光, 杨杰, 龚志强 2010 大气科学 **35** 1071]
- [27] Feng G L, Dong W J, Gong Z Q, Hou W, Wan S Q, Zhi R 2006 *The Theory and Method about the Spatial and Temporal Distribution of the Observation Data's Nonlinear* (Beijing: China Meteorological Press) p227 (in Chinese) [封国林, 董文杰, 龚志强, 侯威, 万仕全, 支蓉 2006 观测数据非线性时空分布理论和方法 (北京: 气象出版社) 第 227 页]
- [28] Feng G L, Hou W, Dong W J 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 962 (in Chinese) [封国林, 侯威, 董文杰 2006 物理学报 **55** 962]
- [29] Gong Z Q, Feng G L, Dong W J, Li J P 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 3181 (in Chinese) [龚志强, 封国林, 董文杰, 李建平 2006 物理学报 **55** 3181]
- [30] Feng G L, Dai X G, Wang A H, Chou J F 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 606 (in Chinese) [封国林, 戴新刚, 王爱慧, 丑纪范 2001 物理学报 **50** 606]

- [31] Wang X J, Zhi R, He W P, Gong Z Q 2012 *Chin. Phys. B* **21** 029201
 [32] Gong Z Q, Feng G L, Wan S Q, Li J P 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 477 (in Chinese) [龚志强, 封国林, 万仕全, 李建平 2006 物理学报 **55** 477]

- [33] Feng G L, Dong W J, Jia X J, Cao H X 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 1181 (in Chinese) [封国林, 董文杰, 贾晓静, 曹鸿兴 2002 物理学报 **51** 1181]

Contribution of typhoon over coastal waters to summer rainfall in eastern China*

Shen Qian[†] Zhang Shi-Xuan Zhao Jun-Hu Wang Xu-Jia

(College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

(Received 11 May 2013; revised manuscript received 15 June 2013)

Abstract

Now, it is difficult to consider the typhoon rainfall in the short-term climate prediction. This is mainly because the typhoon is a strong synoptic scale system and it does not match the scale of the short-term climate forecast. It is a factor restricting the great improvement of forecast. By using station precipitation data in eastern China from 1960 to 2011 and CMA-STI Best track dataset for tropical cyclones over the western north pacific, we analyse the strength variation of typhoon influence from month and quarter scale in summer by determining the typhoon influence index, then discuss the contribution of typhoon rainfall to summer rainfall in eastern China. 1) On average, the typhoon is enhanced from June to August, it is weakest in June, and strongest in August. 2) From the distribution of typhoon rainfall and its proportion of the total precipitation in eastern China, totally, the typhoon rainfall is higher in eastern region than in the western region on the same latitude, and it is higher in southern region than in the northern region on the same longitude. The ratio of typhoon rainfall to the total precipitation could reach up to 10% in the South of the Yangtze river region. The typhoon rainfall can also reach up to 100 mm in the southeast coastal area in July and August, which can amount to 40% of the total precipitation during the month. 3) The correlation of the typhoon influence index with summer precipitation shows that the typhoon's influences on the precipitation in eastern China are different spatiotemporally. The results indicate that the negative correlation is in southern part of China in June, the positive correlation is the southeast coastal area in July, the positive correlation is in the south China in August, and the negative correlation is in the middle and lower reaches of the Yangtze river region, which are mainly due to the typhoon, summer monsoon, and high pressure in the north-east pacific subtropics respectively.

Keywords: typhoon influence, east, summer rainfall, contribution

PACS: 92.60.jf, 92.60.Ox, 92.70.Cp

DOI: 10.7498/aps.62.189201

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 40930952, 41175067, 41205040), the National Basic Research Program of China (Grant Nos. 2012CB955902, 2013CB430204), and the the Special Scientific Reserch Fund of Meteorological Public Welfare Profession, China (Grant No. GYHY201106016).

[†] Corresponding author. E-mail: shenq12@lzu.edu.cn