

林美静, 范可. 2013. DEMETER 耦合气候模式对西北太平洋纬向风垂直切变的预测能力研究 [J]. 气候与环境研究, 18 (6): 793–803, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2012.12089. Lin Meijing, Fan Ke. 2013. Prediction capability of coupled ocean-atmosphere models in the DEMETER program to the magnitude of vertical zonal wind shear in the western North Pacific [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (6): 793–803.

DEMETER 耦合气候模式对西北太平洋纬向风垂直切变的预测能力研究

林美静^{1,2} 范可^{2,3}

1 广东省中山市气象局, 中山 528400

2 中国科学院大气物理研究所竺可桢—南森国际研究中心, 北京 100029

3 中国科学院气候变化研究中心, 北京 100029

摘要 文章评估耦合气候模式预测台风季节(6~10月)西北太平洋纬向风垂直切变幅度(MWS)的年际变化能力, 分析显示欧洲多模式集合气候预测系统计划(DEMETER)中耦合模式数据基本具有回报MWS基本空间分布特征的能力, 而回报MWS空间能力的不足区域与模式回报MWS与西北太平洋年台风数(WNPTF)的虚假显著相关区域相一致。过程中还显示西北太平洋低纬海区MWS与WNPTF正(负)相关, 而强El Niño年时该海区MWS对应正(负)异常, 强La Niña年时则相反; 这意味着在台风季节, 强El Niño年的WNPTF容易比强La Niña年的WNPTF偏多。在考察MWS的时间变异特征时, 将MWS区域平均时间序列(MWS_T)和MWS的EOF第一特征向量对应的时间系数(MWS_PC1)定义为纬向风垂直切变指数, 讨论指数与WNPTF、强ENSO间的关系。分析显示, MWS_T(MWS_PC1)分别与Niño3.4指数、WNPTF显著相关, 模式集合较好地再现了这种特征; 但对强ENSO信号的响应, 两个指数在ERA-40数据中是相反的, 而在模式集合中却是一致的。

关键词 纬向风垂直切变幅度 DEMETER 回报 西北太平洋 ENSO

文章编号 1006-9585 (2013) 06-0793-11

中图分类号 P434

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.12089

Prediction Capability of Coupled Ocean-Atmosphere Models in the DEMETER Program to the Magnitude of Vertical Zonal Wind Shear in the Western North Pacific

LIN Meijing^{1,2} and FAN Ke^{2,3}

1 Zhongshan Meteorological Office, Zhongshan 528400

2 Nansen-Zhu International Research Centre, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

3 Climate Change Research Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract This study investigates the capability of coupled climate models to predict the interannual variability of the magnitude of vertical zonal wind shear (MWS) in “typhoon season” (from June to October). Seven coupled ocean-atmosphere models used in the DEMETER program have reasonable ability to predict the spatial pattern of the MWS anomalies; however, prediction of false significantly correlated regions between MWS and western North Pacific Typhoon frequency (WNPTF) appears to be their major drawback. MWS has been shown to be positively (negatively) correlated with WNPTF in the low-latitude western North Pacific where significant positive (negative) anomaly of MWS

收稿日期 2012-05-14 收到, 2012-10-10 收到修定稿

资助项目 公益性行业(气象)科研专项 GYHY200906018, 国家自然科学基金 41175071, 中山市科技计划项目 20114A203

作者简介 林美静, 女, 1982年出生, 博士, 主要从事气候诊断研究。E-mail: lmj@mail.iap.ac.cn

is observed in strong El Niño years, implying that WNPTF in strong El Niño years is more than that in strong La Niña years. The trend is opposite in strong La Niña years. For studying the temporal characteristics, time series of regional average MWS (MWS_T) and time coefficient of the first mode from EOF analysis of MWS (MWS_PC1) are defined as MWS indexes. Analyses show that MWS_T and MWS_PC1 are positively correlated with Niño 3.4 index and WNPTF, respectively. A multimodel ensemble (MME) shows significant potential to capture this temporal characteristic. However, the responses of the two MWS indexes to the impact of ENSO are opposite, which cannot be predicted completely by the MME.

Keywords Magnitude of vertical zonal wind shear, DEMETER, Hindcast, Western North Pacific, ENSO

1 引言

西北太平洋热带气旋每年频繁登陆中国沿海地区，其强度大小将决定受影响地区的损失大小，而热带气旋的发生和发展受到大气环流条件、海表温度的影响和制约。有研究指出，热带气旋的形成与海面温度和暖水层厚度、对流不稳定性、对流层中间层相对湿度、低层绝对湿度（与低层相对湿度有关）、水平风的垂直切变、高空辐散场、低空或在边界层中有辐合（陈联寿和丁一汇，1979；李崇银，1985；Chan and Shi, 1996；李英等，2004；丁一汇，2005；Emanuel, 2005；Landsea, 2005；Pielke, 2005；Webster et al., 2005；Wu et al., 2005；曹楚等，2006；王凌等，2006；杨玉华等，2009）等环境参数有关。因此研究与热带气旋有关环流场的特征，对深入了解以及预测热带气旋活动有现实意义。

有研究表明，纬向风垂直切变本身是热带气旋发生发展的一个重要环境条件(Ramage, 1959; Gray, 1968; 陈联寿和丁一汇, 1979); 何敏等(2007)还指出，热带太平洋地区高低层纬向风异常表征了沃克环流(Walker Circulation)异常，而且高低层纬向风距平差值场与西北太平洋热带气旋生成年频数在热带太平洋地区存在东正西负的相关关系，可见，热带太平洋地区高低层纬向风异常对热带气旋活动的年际变化有作用。此外，中高纬大气环流(如南极涛动、北太平洋涛动以及北太平洋海冰面积)可通过大气遥相关改变西北太平洋纬向风垂直切变幅度(Magnitude of Vertical Zonal Wind Shear, MWS)进而影响西北太平洋台风生成频次(Fan, 2007a; Wang and Fan, 2007; Wang et al., 2007)。

基于纬向风垂直切变对热带气旋活动的作用，纬向风垂直切变被用于热带气旋活动的统计预测研究中，得到了较好的结果(Gray et al., 1994; Fan, 2007b; Fan and Wang, 2009)。近年来，随着气候

模式在天气气候预测研究中的应用，有学者利用中国科学院大气物理研究所的气候模式较好地模拟、预测了西太平洋纬向风垂直切变等影响热带气旋发生发展的环流因子，从而预测西太平洋台风生成频次(王会军等, 2006; Lang and Wang, 2008)；但由于各个独立的气候模式的预测结果不一致，因此近年来国际间的多模式(各个模式相互独立)比较计划得到越来越快的发展，其中包括 PROVOST、DEMETER 以及 WCRP CMIP3 等。PROVOST (Prediction of Climate Variations on Seasonal to Interannual Timescales) 的结果表明，多模式集合更可能产生最可靠的短期气候预测结果(Palmer and Shukla, 2000)。DEMETER (Development of a European Multimodel Ensemble System for Seasonal to Interannual Prediction) 是欧洲多模式集合气候预测系统计划，该计划主要致力于季节到年际气候预测的研究(Palmer et al., 2004)。WCRP CMIP3 (World Climate Research Program, Coupled Model Intercomparison Project) 多模式数据集(Meehl et al., 2007)是关于多种气候背景下的气候模拟试验结果。

综上所述，研究西北太平洋热带气旋频发季节(尤其是台风频发季节，本文中的分析时段选择6~10月)与热带气旋发生发展有关的西北太平洋的纬向风垂直切变(MWS)变化特征及其可预测性非常重要。由于 DEMETER 计划中耦合气候模式均是欧洲的比较先进的耦合气候模式，具有有效地应用于我国气候预测的潜在价值。所以，科学评估这些耦合模式回报 MWS 年际变化的能力，可以为今后预测热带气旋活动环境场的变异以及台风活动提供科学依据和预测思路。

2 资料和方法

2.1 资料介绍

DEMETER 计划是由欧盟(European Union, the

Fifth Framework Programme) 支持的, 致力于开发出一个有效可靠的季节到年际气候预测的欧洲多模式集合预报系统, 另一方面也为农业、公共卫生等提供实用的信息 (Palmer et al., 2004)。DEMETER 提供的回报数据集是由安装在欧洲中期天气预报中心 (ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 的 7 个全球海气耦合气候模式运行产生的 (Palmer et al., 2004)。

以每个模式的月平均数据来说, 每年进行 4 次回报试验, 试验分别从每年的 2 月、5 月、8 月、11 月出发, 积分 6 个月, 每次回报试验包含 9 个初始场积分的 9 个结果 (Palmer et al., 2004)。预测的数据集产品中大气部分的水平分辨率为 2.5° (纬度) $\times 2.5^{\circ}$ (经度), 海洋部分的水平分辨率为 1.0° (纬度) $\times 1.0^{\circ}$ (经度) (<http://www.ecmwf.int/research/demeter/> [2010-05-01])。

由于各个耦合模式的起始回报时间不一致, 最早的起始回报时间从 1958 年 2 月开始 (模式 ECMWF), 最晚的起始回报时间从 1980 年 2 月开始 (模式 INGV), 因此在选取时间段时, 选择所有模式时间段的交集, 即 1980~2001 年, 每年从 5 月开始积分的台风季节 6~10 月 (JJASO) 回报

数据。讨论的西北太平洋区域选择 ($0^{\circ} \sim 35^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}$)。文章中使用 ERA-40 大气再分析数据 (Uppala et al., 2005) 作为观测的代用数据与 DEMETER 耦合模式预测结果对比。

文章中使用的月平均结果均为 9 个初始场积分结果的集合, 而 DEMETER 耦合模式集合 (Multi-Model Ensemble, MME) 是该计划中 7 个模式相应预测结果的平均值。

西北太平洋年台风数 (WNPTF) 是指西北太平洋一年里达到台风或台风以上级别的热带气旋个数, 数据来自美国联合台风预警中心 ([http://weather.unis-ys.com/hurricane/\[2010-05-01\]](http://weather.unis-ys.com/hurricane/[2010-05-01]))。Niño3.4 指数的数据来自美国气候预测中心 (Climate Prediction Center), 其定义是 ($5^{\circ}\text{N} \sim 5^{\circ}\text{S}$, $170^{\circ}\text{W} \sim 120^{\circ}\text{W}$) 区域的海温距平。文章中使用的观测或代用数据的时间段均为 1980~2001 年台风季节 6~10 月 (JJASO) 的月平均数据。

2.2 方法介绍

使用 Taylor 图 (Taylor, 2001) 考察模式数据与 ERA-40 再分析数据的吻合程度。如图 1 所示 (数据均经过标准化处理, 参考点的标准差为 1.0), 设点 A、B 分别代表 DEMETER 中的两个模

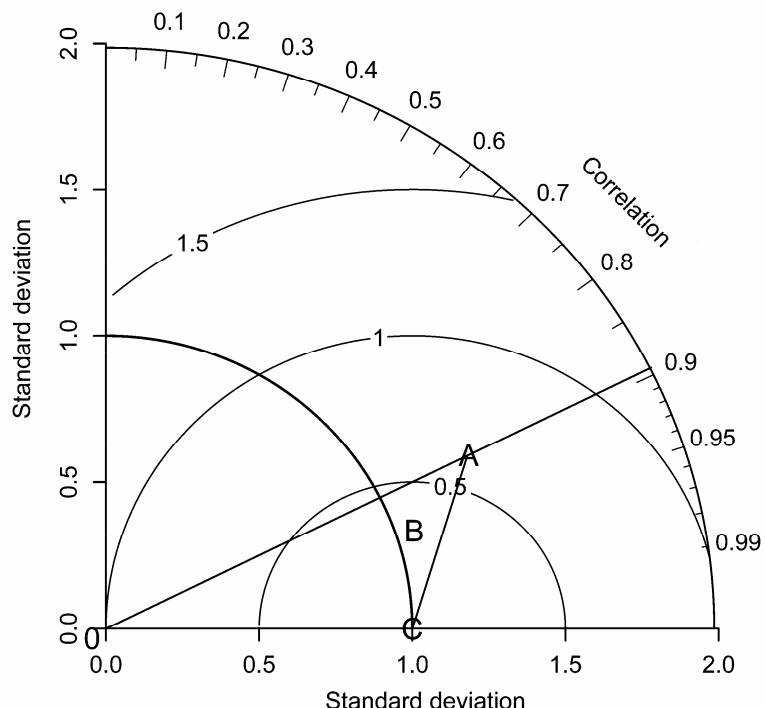


图 1 模式数据与 ERA-40 再分析数据的 Taylor 图 (线段 OA 的长代表模式 A 的标准差; 线段 OA 延长线对应于圆弧的值代表模式 A 与 ERA-40 之间的相关系数; 线段 AC 的长代表模式 A 与 ERA-40 之间的均方根误差)

Fig. 1 Taylor diagram from model data and ERA-40 data (the length of OA is standard deviation of model A; the point which extended line of OA and the circular arc intersect at tells the correlation coefficient value between model A and ERA-40; the length of AC is root-mean-square difference between model A and ERA-40)

式数据, 点 C 代表 ERA-40 数据, 评价模式与 ERA-40 的吻合程度, 主要通过 3 个参数来衡量: 模式的标准差 (线段 OA、OB 的长), 模式数据相对于 ERA-40 的中心化均方根误差 (线段 AC、BC 的长), 模式与 ERA-40 的相关系数 (线段 OA、OB 延长线对应于圆弧的值)。模式标准差与 ERA-40 的越接近, 均方根误差越小, 相关系数越大, 说明模式与 ERA-40 的匹配程度越高, 模式模拟得越好。综上所述, 图 1 中模式 B 与 ERA-40 的匹配程度比模式 A 的要高。

本文使用的西北太平洋纬向风垂直切变幅度 (MWS) 是 850 hPa 纬向风速 (u_{850}) 与 200 hPa 纬向风速 (u_{200}) 之差的绝对值 ($|u_{850} - u_{200}|$, 单位: m s^{-1})。另外, 所有数据在计算前均去除了线性趋势。

3 耦合气候模式回报 MWS 的能力评估

3.1 基本特征

以下将通过对比 ERA-40 大气再分析数据与

DEMETER 计划中耦合模式数据里关于 MWS 的基本气候特征, 从而评估 DEMETER 中耦合模式回报 MWS 基本特征的能力, 并尝试说明模式回报 MWS 特征时存在的不足对西北太平洋热带气旋活动的可能影响。

3.1.1 空间特征

台风季节多年平均的西北太平洋 MWS 显示, 在 20°N 附近存在一个低值中心, 并分别向北以及向南面的赤道递增。除此以外, $(15^\circ \text{N}, 180^\circ)$ 附近的开阔洋面上还有一个大值中心 (图 2a)。DEMETER 模式集合基本上能回报出 MWS 的这种空间分布特征 (图 2b)。由 ERA-40 与模式集合的 MWS 差值场可以看到 (图 2c), 在 20°N 附近模式集合同报的 MWS 小值中心的范围偏小, 而 $(15^\circ \text{N}, 180^\circ)$ 附近的开阔洋面上的大值中心位置偏北, 以及 30°N 附近大陆上的 MWS 值偏小。模式集合相对于 ERA-40 的均方根误差在赤道洋面、 30°N 附近地区上较大 (图 2d)。ERA-40 与模式集合两者的 MWS 空间相关系数 (图 2e) 没有通过 95% 信度检

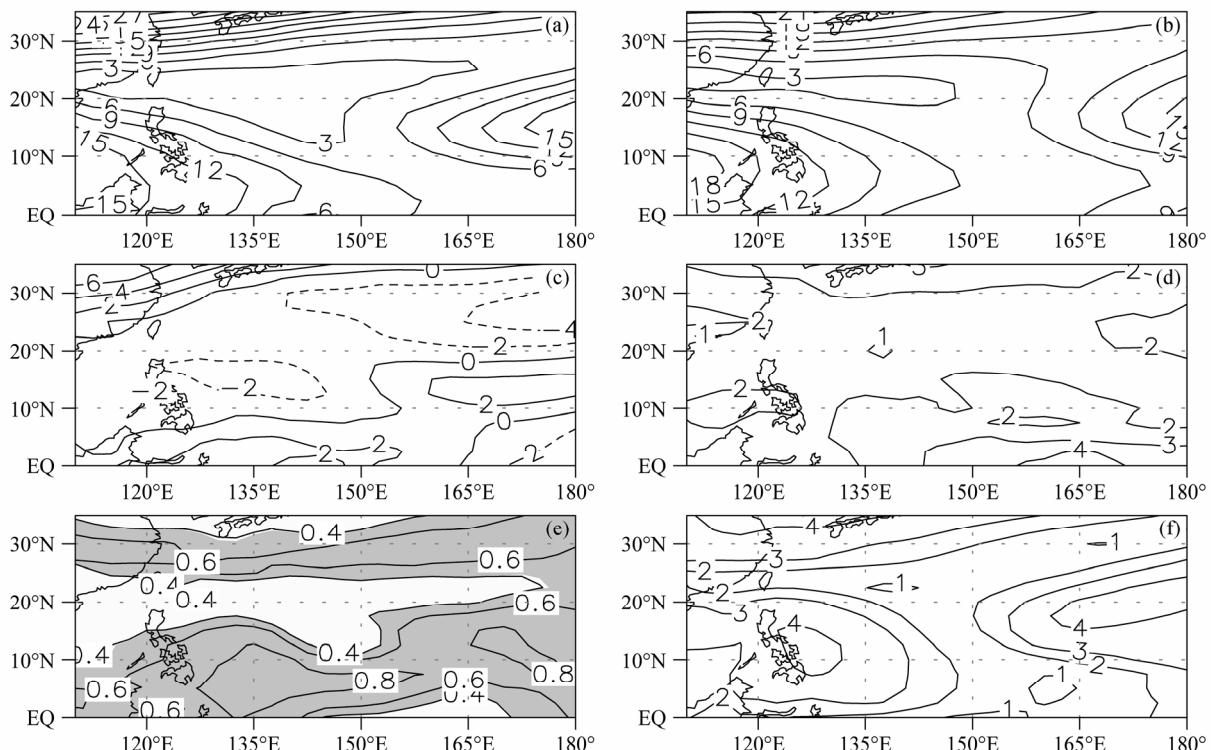


图 2 1980~2001 年 6~10 月 (JJASO) 多年多月平均的 (a) ERA-40 和 (b) DEMETER 耦合模式集合的 MWS 空间分布 (单位: m s^{-1}), 以及 ERA-40 与 DEMETER 耦合模式集合的 (c) 差异场 (单位: m s^{-1})、(d) 均方根误差场 (单位: m s^{-1}) 和 (e) 相关系数场 (阴影通过 95% 信度检验); (f) 各个 DEMETER 耦合模式之间的标准差 (单位: m s^{-1})

Fig. 2 The JJASO (Jun–Oct) averaged of magnitude of vertical zonal wind shear (MWS) (m s^{-1}) from (a) ERA-40 and (b) multimodel ensemble (MME) of DEMETER during 1980–2001 and (c) the difference (m s^{-1}), (d) the root-mean-square error (m s^{-1}), and (e) the correlation coefficients between ERA-40 MWS and MME MWS in typhoon season (shading is significant at 95% confidence level); (f) MWS standard deviation among seven models in DEMETER (m s^{-1})

验的主要区域是 30°N 附近以及赤道洋面附近的均方根误差较大区域、20°N 附近的 MWS 小值中心区。注意到 7 个模式间的空间标准差(图 2f)在研究区域内有 3 个大值中心, 可见在对 MWS 空间特征回报上, 模式间的差异还是比较大的。

考察各个模式回报 MWS 空间分布特征的能力(由图 3 可见), 各个模式与 ERA-40 这两者的空间相关系数在 0.7~0.9 之间, 各个模式的空间回报能力相当, 均方根误差值均大于 0.5(模式集合除外)。ECMWF、LODYC、Max Planck Institute

(MPI) 这 3 个模式的均方根误差较大。总体来说, 各个模式回报 MWS 空间分布特征的能力基本相当; 从模式与 ERA-40 的相关系数和均方根误差来说, 模式集合的回报能力比单个模式的回报能力有较大的改进。

3.1.2 时间特征

在时间特征上, 模式集合与 ERA-40 这两者的 MWS 标准化时间序列(MWS_T)的相关系数为 0.85, 两个时间序列正负变化不一致的年份有 1987 年、1992 年、1993 年(图 4)。由图 5 可见, 各模

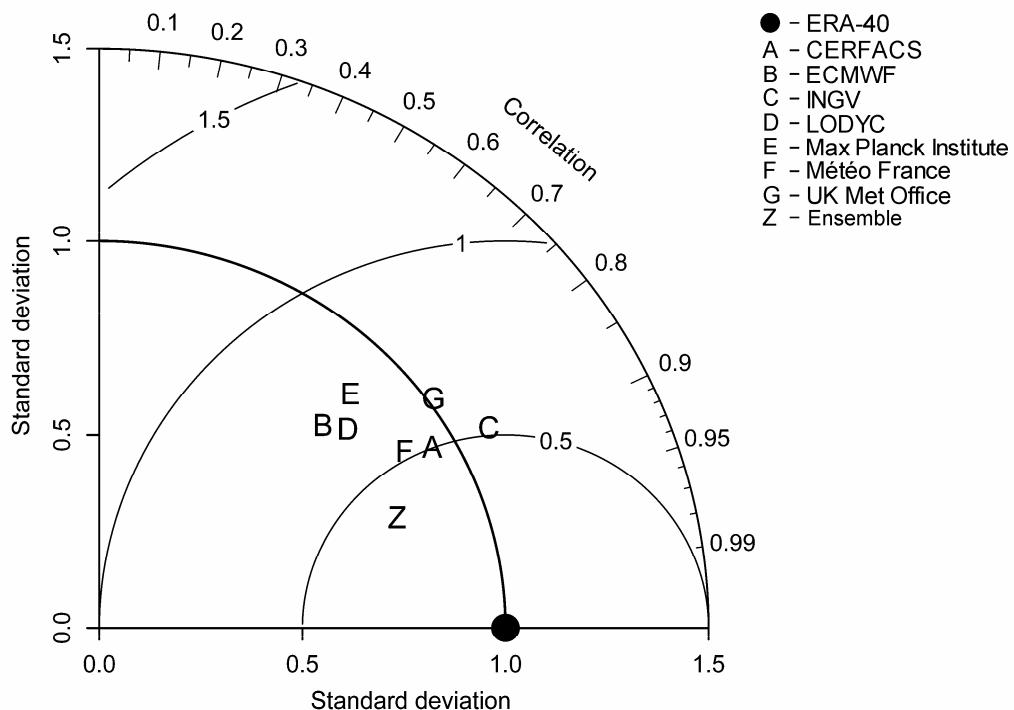


图 3 1980~2001 年的 6~10 月多年平均 DEMETER 耦合模式 MWS 与 ERA-40 MWS 的空间 Taylor 图

Fig. 3 Taylor diagram of typhoon season MWS during 1980–2001 over (0° – 35° N, 110° E– 180°) from seven models, MME, and ERA-40

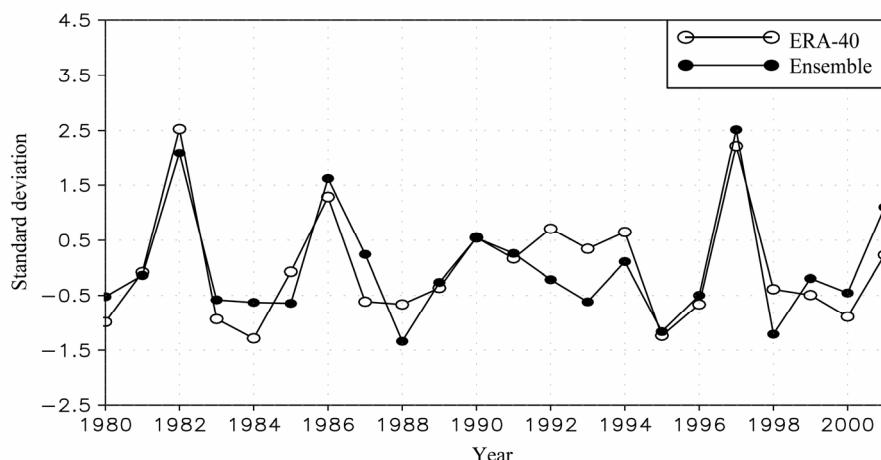


图 4 6~10 月平均 1980~2001 年 MWS 的区域平均标准化时间序列(MWS_T)

Fig. 4 MWS standardized time series (MWS_T) of typhoon season during 1980–2001 over (0° – 35° N, 110° E– 180°)

式(除模式 ECMWF 外)与 ERA-40 去线性趋势时间序列的相关系数在 0.49~0.85 之间, 均通过 95% 信度检验, 而模式 ECMWF 基本上不具备回报 ERA-40 时间变异特征的能力。还可以看到, 模式 CERFACS、INGV 和 LODYC 在 Taylor 图中相对比较集中(称为组 1), 模式 MPI、Météo-France 和 Met Office 相对集中(称为组 2), 组 1 和组 2 之间的标准差相差较大。从相关系数和均方根误差来说, 模式集合的回报能力比单个模式的回报能力有较大的改进, 这一点与模式对 MWS 空间分布特征的回报类似; 而模式集合与 ERA-40 的时间相关系数(时间的均方根误差)比它们的空间相关系数(空间的均方根误差)要小(大), 模式集合的时间标准差与其空间标准差(图 3)相比, 与 ERA-40 的标准差相差更远, 这些均说明模式集合的 MWS 时间特征的回报能力比空间特征的回报能力要差。

3.1.3 耦合模式回报 MWS 能力不足的讨论

耦合模式集合具有较好的回报 MWS 基本气候特征的能力, 但也存在着不足, 而 MWS 与西北太平洋热带气旋活动有关, 因此耦合模式回报 MWS 能力的不足将影响耦合模式回报、预测西北太平洋热带气旋活动的能力, 由 Wang and Fan (2007) 研究中全年西北太平洋台风数和 150 hPa 与 850 hPa 之间纬向风切变的相关系数分布, 下面将就图 6 做

有关方面的讨论。

图 6 显示了研究区域的空间 MWS 与 WNPTF 的相关系数分布场, 图 6a 为 ERA-40 的情况, 显示 MWS 与 WNPTF 显著相关的区域主要有 3 个; 图 6b 为 DEMETER MME 的情况, 基本能回报出 ERA-40 中 3 个显著相关区域的正负分布、位置特征。同时也注意到 ERA-40、MME 中的 MWS 与 WNPTF 的显著相关区域在赤道洋面、20°N 和 30°N 附近差异较大, 而这些区域与图 2 中 ERA-40 与模式集合在 30°N 附近以及赤道洋面附近 MWS 的均方根误差差异较大的区域、在 30°N 附近大陆上的 MWS 差值较大区域相吻合, 而且与图 2e 中 ERA-40 与模式集合的 MWS 非显著相关区域相一致; 因此有理由认为模式回报 MWS 能力不足可影响到模式回报 MWS 与 WNPTF 的显著相关区虚假扩大, 从而将影响模式预测 WNPTF 的能力。

以上通过比较分析 1980~2001 年 JJASO 平均的 ERA-40 的 MWS 与同时段 DEMETER 耦合模式回报的 MWS 变化特征, 从而详细评估了模式对 MWS 的空间分布特征、时间变化特征的回报能力, 模式回报结果包括:

(1) 大部分模式基本具备回报西北太平洋台风季节 MWS 特征的能力, 模式集合对空间分布的回报能力要优于对时间变异的回报能力。

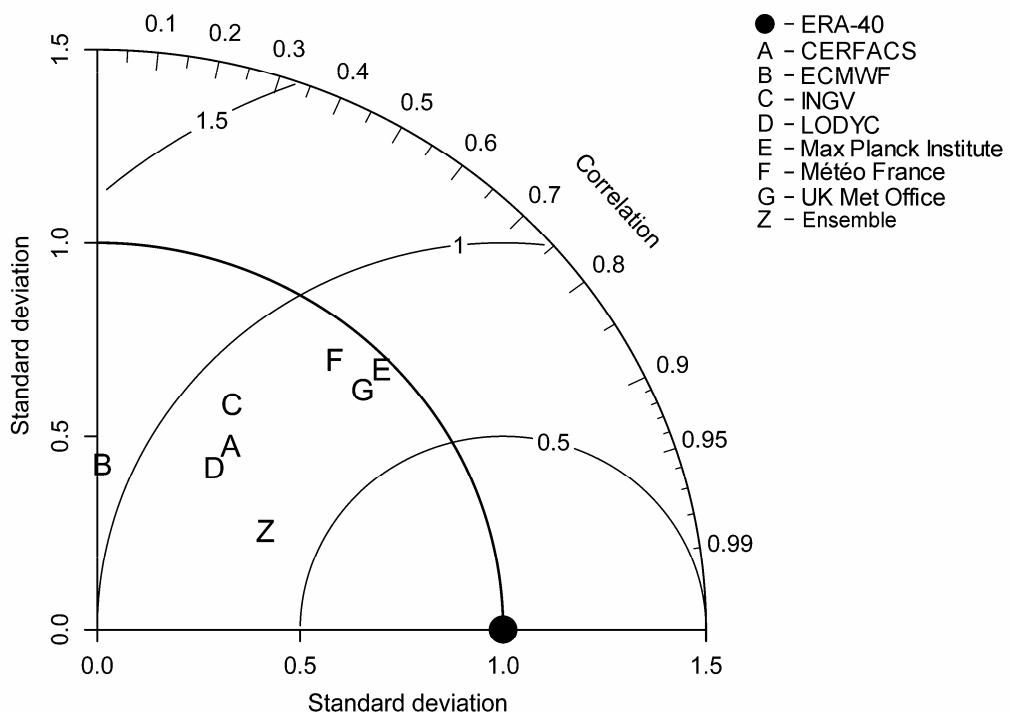


图 5 6~10 月平均 1980~2001 年 DEMETER 耦合模式与 ERA-40 的 MWS 区域平均时间序列 (MWS_T) 的 Taylor 图

Fig. 5 Taylor diagram of typhoon season MWS time series (MWS_T) during 1980–2001 over (0°–35°N, 110°E–180°) from seven models, MME, and ERA-40

(2) 在空间分布中, 模式集合对 MWS 的大小值中心的位置范围、数值大小的描述还存在着差异, 比如在 20°N 、 30°N 附近模式集合回报的 MWS 小值中心的范围偏小, 空间相关系数 (图 2e) 没有通过 95% 信度检验。

(3) 各个模式之间的标准差较大 (图 2f), 以及各个模式与 ERA-40 的均方根误差大于模式集合与 ERA-40 的均方根误差 (图 3 和图 5), 说明各个模式回报结果间的差异较大, 模式集合的回报结果要优于各单个模式的回报结果。

(4) 对比空间和时间变化特征 (图 3 和图 5), 从模式集合的相关系数、标准差和均方根误差来分析, 模式集合对空间分布的回报能力要优于对时间变异的回报能力; 另外, 模式 ECMWF 回报 MWS 年际变化特征的能力要显著差于其它模式。

耦合模式集合除了能回报 MWS 的基本特征外, 还具备回报空间 MWS 与 WNPTF 的显著相关区域的能力, 且模式集合回报 MWS 能力不足的区域与模式集合回报 MWS 与 WNPTF 之间虚假显著相关的区域有相一致的特点 (图 6b), 说明模式集合预测 MWS 空间分布特征的能力将可能影响其预测 WNPTF 的结果。

3.2 MWS 与 WNPTF 的关系讨论

文章前面初步讨论了台风季节西北太平洋 MWS 的空间分布和年际变化特征, 并讨论了 DEMETER 耦合模式相应的回报能力。下面为了进一步讨论台风季节 MWS 的变化特征, 将使用经验正交分解 (EOF) 方法分析 MWS 的空间变化以及年际变异特征及其与热带气旋的关系。

3.2.1 纬向风垂直切变指数

这部分采用 1980~2001 年台风季节 ERA-40 大气再分析数据来检验模式预测 MWS 的变异的空间结构 (通过 EOF 分析), 同时评估模式集合相对应的时间演变特征的回报能力。计算出多模式集合预

测和 ERA-40 中 MWS 的 EOF 分析第一主分量的解释方差 (即第一特征向量的方差占总方差的百分率) 分别为 51% 和 35%, 说明模式预测结果中的 MWS 变异的空间结构的第一主分量的比重较实际情况大。

注意到 1976~2005 年台风季节西北太平洋 (0° ~ 30°N , 90°E ~ 140°W) MWS (NCEP/NCAR 再分析数据) EOF 第一模态的空间分布特征是在 15°N 以南的热带西太平洋存在 MWS 东西变化相反的两个区域, 20°N 附近的热带西太平洋 MWS 的变化与其以北海区的 MWS 变化相反 (林美静等, 2010)。ERA-40 数据中 MWS 在 1980~2001 年台风季节的 EOF 分析第一特征向量的空间分布 (图略) 显示有上述相似的空间特征, 而且 ERA-40 与模式集合两者的空间相关系数为 0.78, 说明模式集合具备较好地描述这种空间分布特征的能力。

同时也看到, EOF 的这种空间分布与图 6 中 MWS 与 WNPTF 的空间相关系数分布特征相似, 但 ERA-40 与模式集合的 EOF 第一特征向量的空间分布在 30°N 附近以及赤道洋面附近的空间分布差异较大, 这也与图 6 的情况相一致。

计算还显示, ERA-40 与模式集合的 MWS 的 EOF 第一特征向量对应的标准化时间系数 (MWS_PC1, 图 7) 一致性很好, 相关系数为 0.9, 这一点非常重要, 表明模式集合具有预测主分量的年际变化的能力, 而两个时间序列正负变化不一致的年份为 1989 年。此外, MWS 区域平均标准化时间序列 (MWS_T) 与标准化第一时间系数 (MWS_PC1) 这两者的变化比较一致 (图略), 对于 ERA-40 来说, MWS_T 与 MWS_PC1 的相关系数为 0.86; 对于模式集合来说, MWS_T 与 MWS_PC1 的相关系数为 0.74, 均通过 95% 的信度检验。这说明 MWS_PC1 比较好地刻画了西北太平洋区域平均 MWS 的年际变化状况, 因此把序列 MWS_T 与 MWS_PC1 定义

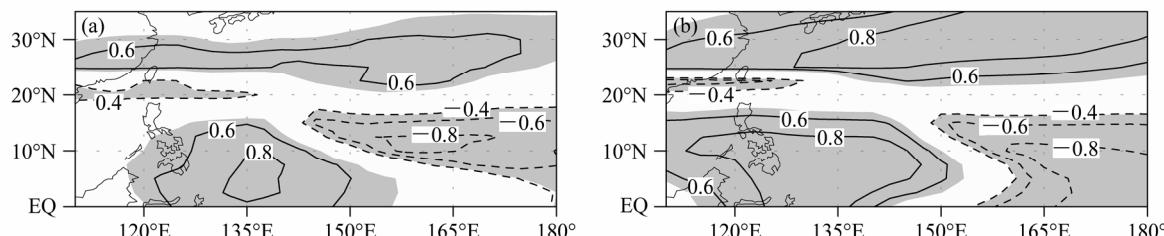


图 6 1980~2001 年 6~10 月平均的 (a) ERA-40 和 (b) DEMETER 耦合模式集合的 MWS 与 WNPTF 的相关系数 (阴影通过 95% 信度检验)

Fig. 6 Correlation coefficients of the typhoon season during 1980–2001 between MWS and western North Pacific Typhoon frequency (WNPTF) in (a) ERA-40 and (b) MME (shaded areas are above 95% confidence level)

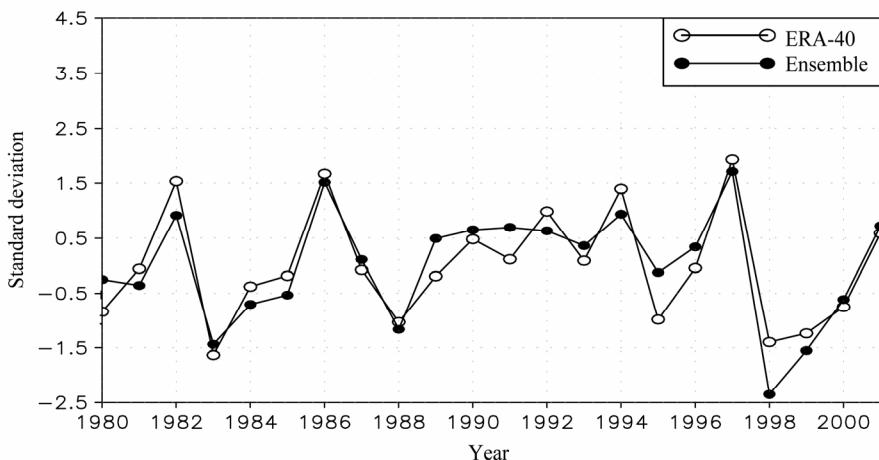


图 7 6~10月平均 1980~2001 年 MWS 的 EOF 分析标准化第一时间系数 (MWS_PC1)

Fig. 7 The first standardized temporal coefficient of EOF analysis (MWS_PC1) on typhoon season MWS during 1980–2001

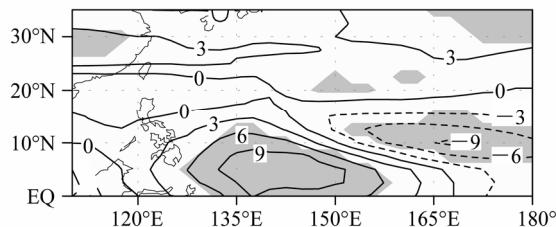


图 8 强 El Niño 年的 6~10 月平均 MWS 与强 La Niña 年的 6~10 月平均 MWS 组合差值场 (单位: $m s^{-1}$, 阴影通过 95% 信度检验)
Fig. 8 Composite difference field of typhoon season MWS (units: $m s^{-1}$) between the strong El Niño years and strong La Niña years (shaded areas are above 95% confidence level)

为两个纬向风垂直切变指数。

3.2.2 纬向风垂直切变指数的物理意义讨论

MWS 的定义 ($|u_{850} - u_{200}|$) 本身反映了 Walker 环流在西北太平洋的高低层纬向风变化, 故纬向风垂直切变指数 MWS_T 表征了 Walker 环流的年际变化。

注意到西北太平洋台风季节 MWS 的 EOF 第一特征向量的空间分布特征与 MWS 和 WNPTF 的相关系数 (图 6) 分布特征相似, 这说明 MWS 的 EOF 的第一特征向量反映了影响 WNPTF 的环流的区域分布特征。

另外在分析中发现, 强 El Niño 年台风季节的 MWS 与强 La Niña 年台风季节的 MWS 组合差值场 (图 8) 的显著异常分布区域与上述分布特征相似, 尤其是 20°N 以南区域。因此有理由认为 MWS 的 EOF 第一特征向量反映的是 ENSO 信号影响下的西北太平洋 MWS 空间分布特征; 因此纬向风垂直切变指数 MWS_PC1 可反映 ENSO 信号的强弱

情况。

由于 El Niño 与 Walker 环流存在海气相互作用 (Bjerkness, 1969), ENSO 信号异常将会对应 Walker 环流的强度异常, 可见指数 MWS_PC1 也可以描述 Walker 环流的强弱变化情况。

本文中强 El Niño 和强 La Niña 年的确定方法是将 1980~2001 年 JJASO 平均 Niño3.4 指数 (图略) 大于 (小于) 1 个标准差 (0.83°C) 的年份定义为强 El Niño (强 La Niña) 年: 1982 年、1987 年、1997 年 (1988 年、1998 年、1999 年)。

3.2.3 纬向风垂直切变指数与 WNPTF 的关系

前面的分析显示, 指数 MWS_T 与 MWS_PC1 显著正相关, 变化比较一致, 同时, 模式集合预测结果相同; 而这两个指数分别与 WNPTF 的关系是否也存在一致的变化特征, 模式集合能否回报这些特征, 都有待研究。

由于 ENSO 信号与低纬纬向风的相互联系 (李崇银, 2002), 且在台风季节对应的强 ENSO 年时, 如强 El Niño 年, 热带东太平洋海温出现正异常, 而西北太平洋低纬海区出现的正 (负) MWS 显著异常区域 (图 8) 对应出现 MWS 与 WNPTF 显著正 (负) 相关 (图 6); 强 La Niña 年则反之。这意味着强 El Niño 年的 WNPTF 比强 La Niña 年的 WNPTF 偏多。这说明强 ENSO 可以影响西北太平洋 MWS, 从而影响 WNPTF。

因此, 在考察 MWS 与 WNPTF 关系的过程时, 主要根据林美静等 (2010) 的方法 (下面将做详细的叙述), 比较一般情况与去掉强 ENSO 信号后 MWS 与 WNPTF 两者关系的变化情况, 即考察强

ENSO 信号对 MWS 与 WNPTF 两者关系的影响; 同时分析 MWS_T 与 MWS_PC1 在这种关系上的异同点以及模式集合的回报情况。

本部分计算了 ERA-40、模式集合中的两个指数 MWS_T 和 MWS_PC1 分别与 WNPTF 的相关系数; 此外, 由于本文中强 ENSO 信号是通过 Niño3.4 指数来确定的, 因此也计算了台风季节的 Niño3.4 指数分别与同期 MWS_T、MWS_PC1 的相关系数(见表 1 第 2、第 3 列), 从而考察与 ENSO 信号有关的 Niño3.4 指数与 MWS 的关系, 也便于评估前文中论述过的模式对 MWS 的较好的预测能力是否源于对强 ENSO 的响应。

表 1 ERA-40 数据的 1980~2001 年 6~10 月平均 MWS 的标准化序列 MWS_T、MWS_PC1 与同时段标准化 Niño3.4 指数序列、WNPTF 的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between time series of standardized MWS_T and MWS_PC1 and standardized Niño3.4 index and standardized WNPTF for typhoon season during Jun–Oct of 1980–2001 from ERA-40 data

MWS_T	MWS_PC1	去掉强 ENSO	
		年的 MWS_T	年的 MWS_PC1
Niño3.4	0.66 (0.79)	0.72 (0.74)	0.70 (0.57)
WNPTF	0.59 (0.58)	0.83 (0.91)	0.64 (0.40)
			0.72 (0.74)

注: 括号内为 DEMETER 耦合模式集合。

去掉强 ENSO 信号的方法是(考虑到海气相互作用的复杂, 只简单地考虑强 El Niño 和强 La Niña 年): 首先去掉前文已经定义的强 El Niño (强 La Niña) 年份, 即 1982 年、1987 年、1997 年 (1988 年、1998 年、1999 年), 再重新计算指数 MWS_T (MWS_PC1) 分别与 Niño3.4 指数、WNPTF 的相关系数(见表 1 第 4、第 5 列)。

对于没有去掉强 ENSO 信号的结果来说, 无论 ERA-40 还是模式集合, MWS_T 与同时段 Niño3.4 指数、WNPTF 的相关系数均通过 95% 的信度检验, MWS_PC1 也有相同的结果。且 MWS_PC1 与 WNPTF 的相关系数大于 MWS_T 与 WNPTF 的相关系数。

对于去掉强 ENSO 的结果来说, 所有相关系数通过信度检验与否的结果与没有去掉强 ENSO 的结果相同。去掉强 ENSO 信号后, ERA-40 中的指数 MWS_T 分别与海温、WNPTF 的相关系数变大, 而模式集合预测的相关系数却变小; 而 ERA-40 中的指数 MWS_PC1 分别与海温、WNPTF 的相关系数变小, 这与林美静等(2010) 的结果相似, 而模式

集合预测的相关系数也变小。

由此可见, ERA-40 的两个 MWS 指数对强 ENSO 的响应不一致; 另外, 尽管模式集合不能回报出 MWS_T 在 1987 年的强 El Niño 信号(图 4), 模式集合预测的两个 MWS 指数仍对强 ENSO 的响应一致; 因此, ERA-40 与模式集合中 MWS_T 对强 ENSO 响应不一致的原因应该不是模式集合预测强 ENSO 信号的不足, 其原因可能是模式集合对强 ENSO 信号比较敏感。

综上所述, 台风季节两个 MWS 指数(MWS_T、MWS_PC1) 对强 ENSO 信号的响应是相反的; 模式集合预测的两个 MWS 指数对强 ENSO 信号的响应却相一致。总而言之, 指数 MWS_T 与 MWS_PC1 的年际变化存在着一致的特征, 但对强 ENSO 信号的响应却相反, 因此两个指数还是有所区别的, 两个指数之间不能完全互相代替。

此外, 由于 MWS_PC1 与 WNPTF 的相关系数大于 MWS_T 与 WNPTF 的相关系数, 且 MWS_PC1 与 MWS_T 对强 ENSO 的响应相反, 如果利用 MWS_PC1、MWS_T 来预测 WNPTF, 那么在模式集合中, 用 MWS_PC1 的结果是否就会比用 MWS_T 的结果要好? 有与没有强 ENSO 的年份相比, 模式集合用 MWS_T 的预测 WNPTF 的结果, 是否就会较好? 用 MWS_PC1 来预测, 结果是否就会变好? 这些问题都有待以后进一步讨论。

4 结论

本文通过分析 ERA-40 大气再分析资料中 MWS 的空间分布、时间变化的基本特征, 并同时考察 DEMETER 耦合模式集合回报这些特征的能力, 分析显示: 1) 模式集合基本具备回报西北太平洋台风季节 MWS 特征的能力; 2) 模式集合的回报结果要优于各单个模式的回报能力; 3) 模式集合可以较好地刻画 MWS 的空间分布特征, 也可以较合理地回报 MWS 时间变异特征, 但是模式 ECMWF 对 MWS 的年际变化特征的回报能力相对有些缺陷; 4) 对于模式回报空间 MWS 差异较大的区域, MWS 与 WNPTF 虚假显著相关。

分析过程中还显示, 在强 El Niño 年, 西北太平洋低纬海区出现的正(负) MWS 显著异常区域(图 8)将对应出现 MWS 与 WNPTF 显著正(负)相关(图 6); 强 La Niña 年则反之。即在台风季节,

强 El Niño 年的 WNPTF 容易比强 La Niña 年的 WNPTF 偏多。

另外, 文章前面已经指出两个 MWS 指数 (MWS_T、MWS_PC1) 变化比较一致, 可描述 Walker 环流的年际强弱变化, 并都分别与 Niño3.4 指数、WNPTF 显著相关, 这模式集合回报得较好; 但对于强 ENSO 信号的响应, 两个指数在 ERA-40 中是相反的(在模式集合中是一致的, 原因可能是模式集合对强 ENSO 信号比较敏感), 因此, 指数 MWS_T 与 MWS_PC1 还是有所区别的, 两个序列之间不能完全互相代替。

总体来说, 模式集合对西北太平洋台风季节 MWS 的空间分布、时间变异特征具有较好的描述能力; 另一方面, 本文部分地指出了指数 MWS_T 与 MWS_PC1 的异同点, 以及模式集合回报能力的不足之处, 这都为以后开展热带气旋活动的数值预测提供理论基础。

致谢 感谢审稿专家、编辑对本文稿提出的宝贵意见, 感谢 ECMWF 提供的 ERA-40 再分析数据以及 DEMETER 数据集。

参考文献 (References)

- Bjerkness J. 1969. Atmospheric teleconnections from the Equatorial Pacific [J]. Mon. Wea. Rev., 97 (3): 163–172.
- 曹楚, 彭加毅, 余锦华. 2006. 全球气候变暖背景下登陆我国台风特征的分析 [J]. 南京气象学院学报, 29 (4): 455–461. Cao Chu, Peng Jiayi, Yu Jinhua. 2006. An analysis on the characteristics of landfalling typhoons in China under global climate warming [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 29 (4): 455–461.
- Chan J C L, Shi J E. 1996. Long-term trends and interannual variability in tropical cyclone activity over the western North Pacific [J]. Geophys. Res. Lett., 23 (20): 2765–2767.
- 陈联寿, 丁一汇. 1979. 西太平洋台风概论 [M]. 北京: 科学出版社, 491pp. Chen Lianshou, Ding Yihui. 1979. Introduction to the Western Pacific Typhoon (in Chinese) [M]. Beijing: Science Press, 491pp.
- 丁一汇. 2005. 高等天气学 [M]. 北京: 气象出版社, 585pp. Ding Yihui. 2005. Advanced Synoptic Meteorology (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 585pp.
- Emanuel K. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years [J]. Nature, 436 (7051): 686–688.
- Fan K. 2007a. North Pacific sea ice cover, a predictor for the western North Pacific typhoon frequency? [J]. Science in China (Ser. D: Earth Sciences), 50 (8): 1251–1257.
- Fan K. 2007b. New predictors and a new prediction model for the typhoon frequency over western North Pacific [J]. Science in China (Ser. D: Earth Sciences), 50 (9): 1417–1423.
- Fan K, Wang H J. 2009. A new approach to forecasting typhoon frequency over the western North Pacific [J]. Wea. Forecasting, 24 (4): 974–986.
- Gray W M. 1968. Global view of the origin of tropical disturbances and storms [J]. Mon. Wea. Rev., 96 (10): 669–700.
- Gray W M, Landsea C W, Mielke Jr P W, et al. 1994. Predicting Atlantic basin seasonal tropical cyclone activity by 1 June [J]. Wea. Forecasting, 9 (1): 103–115.
- 何敏, 龚振淞, 徐明, 等. 2007. 高低层纬向风异常与西北太平洋热带气旋生成年频数关系的研究 [J]. 热带气象学报, 23 (3): 277–283. He Min, Gong ZhenSong, Xu Ming, et al. 2007. Relationships between zonal wind anomalies in high and low troposphere and annual frequency of NW Pacific tropical cyclone [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 23 (3): 277–283.
- Landsea C W. 2005. Hurricanes and global warming [J]. Nature, 438 (7064): E11–E13.
- Lang X M, Wang H J. 2008. Can the climate background of western North Pacific typhoon activity be predicted by climate model? [J]. Chinese Science Bulletin, 53 (15): 2392–2399.
- 李崇银. 1985. 厄·尼诺与西太平洋台风活动 [J]. 科学通报, 30 (14): 1087–1089. Li Chongyin. 1985. El Niño and western Pacific typhoon activity [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 30 (14): 1087–1089.
- 李崇银. 2002. 关于 ENSO 本质的进一步研究 [J]. 气候与环境研究, 7 (2): 160–174. Li Chongyin. 2002. A further study of essence of the ENSO [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 7 (2): 160–174.
- 李英, 陈联寿, 张胜军. 2004. 登陆我国热带气旋的统计特征 [J]. 热带气象学报, 20 (1): 14–23. Li Ying, Chen Lianshou, Zhang Shengjun. 2004. Statistical characteristics of tropical cyclone making landfalls on China [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 20 (1): 14–23.
- 林美静, 范可, 王会军. 2010. 西北太平洋区域纬向风垂直切变的气候特征研究 [J]. 气象学报, 68 (3): 309–314. Lin Meijing, Fan Ke, Wang Huijun. 2010. An investigation into the climatic characteristics of vertical shear of zonal wind in the western North Pacific [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 68 (3): 309–314.
- Meehl G A, Covey C, Taylor K F, et al. 2007. The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 88 (9): 1383–1394.
- Palmer T N, Shukla J. 2000. Editorial to DSP/PROVOST special issue [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 126 (567): 1989–1990.
- Palmer T N, Doblas-Reyes F J, Hagedorn R, et al. 2004. Development of a European multimodel ensemble system for seasonal-to-interannual prediction (DEMETER) [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 85 (6): 853–872.
- Pielke R A. 2005. Meteorology: Are there trends in hurricane destruction? [J]. Nature, 438 (7071): 686–688.
- Ramage S C. 1959. Hurricane development [J]. J. Meteor., 16 (3): 227–237.
- Taylor K E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram [J]. J. Geophys. Res., 106 (D7): 7183–7192.
- Uppala S M, Källberg P W, Simmons A J, et al. 2005. The ERA-40 re-analysis [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 131 (612): 2961–3012.
- Wang H J, Fan K. 2007. Relationship between the Antarctic oscillation in the western North Pacific typhoon frequency [J]. Chinese Science Bulletin, 52 (4): 561–565.
- Wang H J, Sun J Q, Fan K. 2007. Relationships between the North Pacific

- oscillation and the typhoon/hurricane frequencies [J]. Science in China (Ser. D: Earth Sciences), 50 (9): 1409–1416.
- 王会军, 郎咸梅, 范可, 等. 2006. 关于 2006 年西太平洋台风活动频次的气候预测试验 [J]. 气候与环境研究, 11 (2): 133–137. Wang Huijun, Lang Xianmei, Fan Ke, et al. 2006. Real-time climate prediction experiment for the typhoon frequency in the western North Pacific for 2006 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (2): 133–137.
- 王凌, 罗勇, 徐良炎, 等. 2006. 近 35 年登陆我国台风的年际变化特征及灾害特点 [J]. 科技导报, 24 (11): 23–25. Wang Ling, Luo Yong, Xu Liangyan, et al. 2006. Review of typhoon and its related natural disasters over the past 35 years in China [J]. Science and Technology Review (in Chinese), 24 (11): 23–25.
- Webster P J, Holland G J, Curry J A, et al. 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment [J]. Science, 309 (5742): 1844–1846.
- Wu L G, Wang B, Geng S Q. 2005. Growing typhoon influence on East Asia [J]. Geophys. Res. Lett., 32 (18): L18703, doi: 10.1029/2005GL022937.
- 杨玉华, 应明, 陈葆德. 2009. 近 58 年来登陆中国热带气旋气候变化特征 [J]. 气象学报, 67 (5): 689–696. Yang Yuhua, Ying Ming, Chen Baode. 2009. The climatic changes of landfall tropical cyclones in China over the past 58 years [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 67 (5): 689–696.