

南海夏季风监测预测研究与业务现状评述

郑彬¹ 李春晖¹ 谷德军¹ 林爱兰¹ 魏红成^{1,2}

(1 中国气象局广州热带海洋气象研究所/中国气象局热带季风重点开放实验室, 广州 510080;

2 南京信息工程大学, 南京 210044)

摘要: 南海夏季风是影响中国降水的重要系统, 它的爆发预示着东亚夏季环流的发展。南海夏季风爆发前后的大气环流有明显的变化, 包括西太平洋副热带高压撤出南海, 南海地区低层西南风盛行, 高层偏东风控制等。目前南海夏季风指数的定义基本上都是利用南海局地的变量, 也许从更大尺度考虑南海夏季风指数的定义会避免一些天气过程的影响。影响南海夏季风爆发的因素包含了海洋和陆地与大气的相互作用过程, 气候模式(包括全球和区域)在季风区关于这方面的描述还有缺陷, 而且人为因素的影响加大了气候模式对南海夏季风的模拟和预测的不确定性。

关键词: 南海夏季风, 监测, 预测

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2012.06.004

Monitoring and Forecasting for the Onset of South China Sea Summer Monsoon

Zheng Bin¹, Li Chunhui¹, Gu Dejun¹, Lin Ailan¹, Wei Hongcheng^{1,2}

(1 Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology / Key Open Laboratory for Tropical Monsoon, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080

2 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044)

Abstract: South China Sea summer monsoon (SCSSM) is an important system to affect the rainfall over China, and the onset represents the development of summer circulations over East Asia. The evident circulation changes (including the western Pacific subtropical high shifting off from South China Sea, prevailing low-level southwesterly wind and high-level leaning east wind over South China Sea, etc.) occur from pre-onset to onset. Local variations are often adopted to define SCSSM indices, while a SCSSM index taking large-scale circulations into account can avoid some effects from synoptic-scale processes. Air-sea and air-land interactions are main factors impacting on the SCSSM onset, descriptions of which are defective in GCMs (global and regional). Moreover, artificial effects increase the uncertainty of GCM's SCSSM simulation and forecast.

Keywords: South China Sea summer monsoon, monitor, forecast

1 引言

南海夏季风是东亚季风的重要组成部分, 南海夏季风的爆发标志着冬季环流向夏季环流的转变, 也预示着东亚夏季风的来临和中国雨季的开始。它的活动不仅会对亚洲季风系统, 而且会对北半球的环流和天气产生重要影响^[1]。此外, 南海西南季风爆发还是广东省(华南)雨季(前汛期)进入盛期的标志^[2, 3]。因此, 南海夏季风爆发日期成为每年全国/华南“汛期气候趋势会商”重点关注的内容之一, 而且随着经济、农业的发展, 南海夏季风也越来越受到世界各国, 特别是南海周边国家和地区的高度重视。

2 南海夏季风爆发的监测

2.1 南海夏季风爆发的大气环流特征

南海夏季风爆发的最主要环流特征包括: 南海地区对流发展^[4, 5]、湿度增大^[6, 7]和大尺度风压特征^[8, 9](图1)。李崇银等^[10]用NCEP/NCAR再分析资料比较系统地揭示了南海夏季风爆发的大气环流特征形势, 其主要结果可归纳如下几点: (1) 控制南海的副热带高压脊(反气旋环流)迅速撤出南海, 南海地区迅速为西南气流控制是南海夏季风爆发在850hPa环流形势变化上的最重要特征; (2) 东亚大槽的减弱以及北太平洋低压槽的减弱东移; (3) 南亚到西太平洋近赤道地区有两个涡旋对的活动; (4) 南海地区明显增湿, 大气垂直上升运动也有明显增强。1998年南海季风试验取得了大量的可用于基础验证的实验数据以及大量的成果, 对南海夏季风的爆发特征有了更加

收稿日期: 2011年11月29日; 修回日期: 2012年3月5日
第一作者: 郑彬(1976—), Email: zbin@grmc.gov.cn
资助信息: 全球变化研究国家重大科学研究计划项目
(2010CB950304)

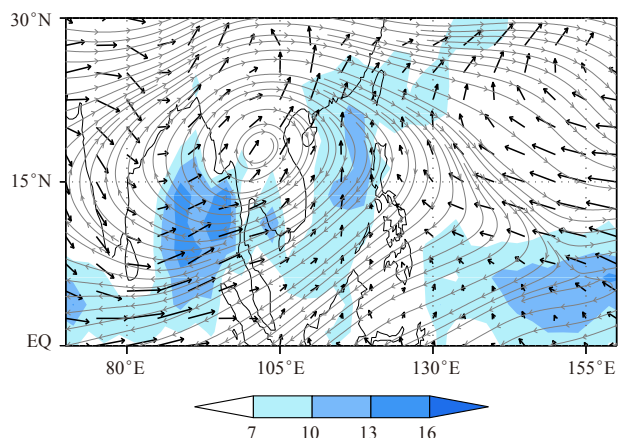


图1 南海夏季风爆发（5月4候）的大气环流特征，阴影区为CMAP降水（单位：mm），矢量和流线分别为NCEP/NCAR再分析的850和200hPa水平风场（单位：m/s）

深入和全面的了解。何金海等^[11]将南海夏季风建立的一般特征概括为：南亚高压移动到了中南半岛北部，西太平洋副热带高压脊连续东撤；热带西风向东扩张进入南海，南海海域高层盛行东风，低层盛行西南风，澳大利亚以及索马里的越赤道气流建立，南海季风槽形成，伴随着对流降水的发展和温湿等要素的突变以及南海地区经圈环流的建立。

2.2 南海夏季风爆发的监测指标

一般来说南海夏季风的监测指标要满足两个基本条件：首先该指标包含的要素必须能反映南海夏季风爆发前后的环流变化（图2）；其次，该指标的计算所包含的资料常规化。反映南海夏季风爆发前后的环流变化的因子有很多，由于季风最显著的特征是低层风场的季节转变和降水量的突变，因此利用南海地区低层（如850hPa）风场和（或）降水（对流）的变化来确定南海夏季风爆发日期的方法被较多地采用^[12]。

风场指标：梁建茵等^[13]认为南海地区（5°—20°N，110°—120°E）850hPa平均纬向风大于零，西风主要源于热带低纬并持续5d以上即标志着南海夏季风的爆发；简茂球等^[14]分析了南海夏季风爆发前后的大气环流突变特征，指出高层风场的突变最后完成，因此郑彬等^[15]认为高层风场完成转变标志着南海夏季风环流形势完全建立；中国气象局广州热带海洋气象研究所最近使用了风场垂直切变指标^①，也有很好的指示意义。

对流指标：何有海等^[16]将云顶黑体温度（TBB）距平 $\leq -8\text{K}$ 出现的时间定为南海夏季风的爆发日期；而李崇银等^[10]则利用对流层上下层散度差来判定南海夏季风的爆发，事实上上下层散度差也反映了对流情况，与

TBB或OLR的结果基本相同，前后相差不超过1d。

风场+温湿、风场+对流指标：林建恒等^[17]指出某候南海地区（5°—20°N，105°—120°E）的西南风 $>2\text{m/s}$ 和 $\theta_{se}>335\text{K}$ 的面积占南海总面积的百分比（简称南海夏季风面积指数）首次 $>40\%$ 时为当年南海夏季风建立候；国家气候中心采用（10°—20°N，110°—120°E）平均纬向风和假相当位温为监测指标^②。当监测区内（10°—20°N，110°—120°E）平均纬向风由东风稳定转为西风以及假相当位温稳定地 $>340\text{K}$ 的时间，为南海夏季风爆发的主要指标，同时参考200，850和500hPa位势高度场的演变。谢安等^[18]、张秀芝等^[19]都是同时采用对流和风场来确定南海夏季风的爆发日期。

其他指数：姚永红等^[20]针对南海西南季风爆发特征，提出了用区域平均并标准化的850hPa湿位势涡度定义季风指数，当指数从负值变为正值时标志着南海季风的爆发。还有一些研究表明，海面辐射和感热潜热

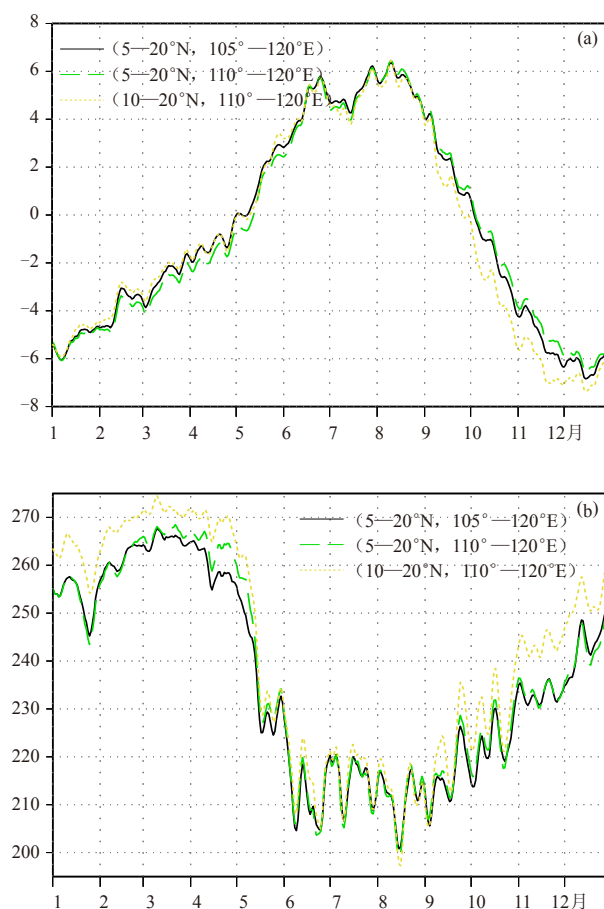


图2 NCEP/NCAR再分析计算得到的南海区域平均850hPa西南风（a，单位：m/s）和NOAA/ESRL南海区域平均的OLR（b，单位：W/m²）

① 参见中国季风网2011年5月季风监测公报<http://113.108.192.91/grapes/jcgb2011.htm>

② 参见<http://ncc.cma.gov.cn/Monitoring/monsoon.htm>

通量在南海夏季风爆发前后也有明显变化^[21-23]，但是目前通量的观测难于常规化，不适合作为监测指标。

事实上，定义的区域性指标都不能得到全部正确的爆发日期，一般还需要参考大尺度大气环流的演变。例如1984和1990年，南海地区出现短暂的伴有强对流的偏西南风过程，使得区域监测指标都达到了临界值，但这不是真正的南海夏季风爆发^[24]。Zheng等^[25]直接用大尺度经向和纬向环流来监测南海夏季风的爆发，这样可以一定程度上消除天气尺度扰动的影响，对南海夏季风的爆发有更好的指示意义。

3 南海夏季风爆发时间的预测

3.1 影响南海夏季风爆发的因子

海陆热力差异是南海夏季风爆发的大背景^[26]，但是季风的爆发还受诸多因素的影响，包括不同区域的海温异常、陆面过程、对流活动及风场和高度场异常等，而风场和高度场的异常通常都是前3个因素的结果，与季风爆发直接相关。

海洋的作用：已有研究表明^[26-28]，El Niño或类El Niño事件的下一年，南海夏季风爆发一般偏晚，反之则偏早；但是另外一些研究^[29-31]则指出，El Niño年南海夏季风建立得早。这其中的矛盾可能源于早期资料的不完全和南海夏季风爆发日期的定义。例如陈文玉等^[31]采用的南海夏季风爆发日期在1958，1970，1973，1987和1998年是正常或偏早，但是根据何金海等^[11]综合得到的最终爆发日期，这些年份都是偏迟爆发年份，有的年份，如1973和1987年，甚至是爆发最迟的年份。现在普遍认为El Niño年或类El Niño海温分布不利于南海夏季风的爆发，La Niña年则相反，它们可能是通过异常Walker环流进而影响到南海夏季风的爆发^[13, 28, 32]；此外，相应的暖池区的海温异常导致该地区对流异常，进而将抑制或诱发南海地区西南风的爆发^[33]；根据Wang等的太平洋—东亚遥相关理论，El Niño可通过海气相互作用在菲律宾海上空形成一个异常反气旋^[34]（图3），而该反气旋可以维持到初夏，因此加强了西北太平洋高压，同样不利于南海夏季风的爆发。南海局地的海温异常也是影响南海夏季风爆发的一个因素。有研究表明，当春季南海地区海表温度正异常时，南海夏季风一般早爆发，南海海温负异常同样对应南海夏季风迟爆发^[26, 35]。

陆地的作用：陆地主要通过感热及引起的对流异常影响南海夏季风的爆发。研究表明：南海夏季风爆发前，中南半岛存在持续的地面感热加热，使副热带高压带断裂，并有利于对流发展，而对流产生的凝

潜热进一步促使西太平洋副热带高压减弱东撤^[36, 37]，同时，中南半岛对流引起的陆面降温导致了中南半岛和南海的负温度差，有利于孟加拉湾的西南风进入南海^[38, 39]（图4），进而影响南海夏季风的建立。青藏高原的热力作用对南海夏季风的爆发也有很大的影响。到前冬高原积雪偏少，有利于青藏高原从冬季的冷源向夏季的热源转化^[27]，高原的暖平流^[40]改变了高原东部以南的温度梯度，进而改变了风压场的调整，最终导致南海夏季风的爆发^[41]。

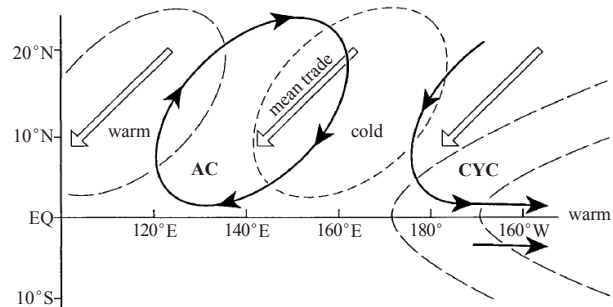


图3 El Niño与菲律宾海反气旋的维持机制示意图^[34]

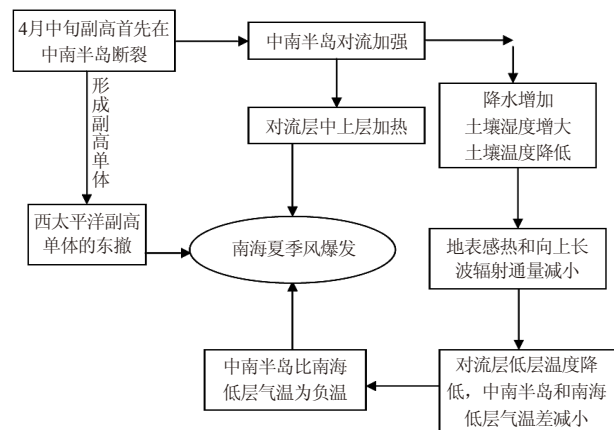


图4 南海夏季风爆发示意图^[38]

对流的活 动：前面有些工作强调了局地非绝热加热对中南半岛对流的影响，也有研究指出冬季苏门答腊上空对流中心沿“大陆桥”移动，5月初突然加速将使中南半岛的对流加强^[42]，而对流激发的Rossby波波列是西风和对流进入南海北部的直接原因^[28]。另外一些研究则强调了来自中纬度系统的影响^[43, 44]，大陆的锋面系统南压，在南海北部出现潜热加热；而南海南部洋面由于海温下降、对流区北移等原因而出现非绝热冷却^[45]，从而有利于经向闭合环流的形成。江静等^[9]研究发现阿拉伯海经向环流管的上升气流和南半球纬向环流管的上升气流在5月份同时到达南海，经向环流管低层的偏西风和纬向环流管低层的偏南风共同组成西南风，导致南海夏季风的爆发。

海洋作用、陆地作用和对流活动对南海夏季风

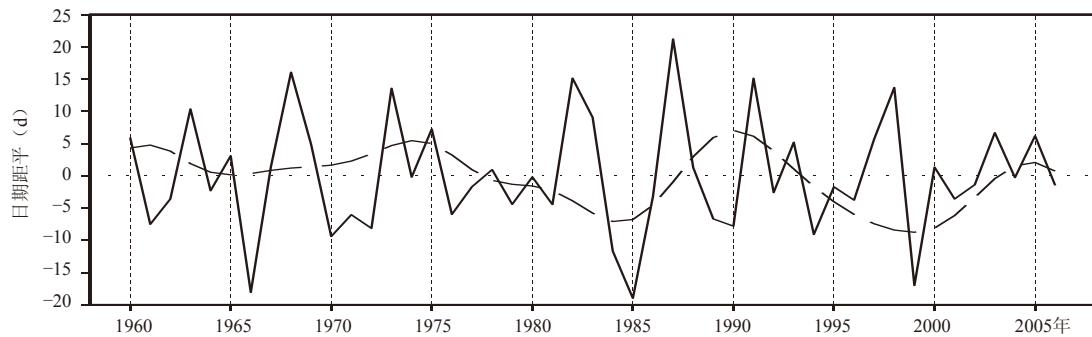


图5 南海夏季风爆发日期在年际（实线）和年代际（虚线）时间尺度上的变化^[51]

爆发都有重要影响，这里仅仅是从不同的物理过程来考虑。如果从对南海夏季风爆发影响的时间尺度来考虑，它们又有所区别。一般来说，海洋的作用在月—年际尺度上对南海夏季风的爆发都有影响，陆地的影响时间尺度为月—季，而对流活动的影响则为短期—中期天气尺度。可见，对于不同的预报时间尺度，各因子的作用有显著的差异。

3.2 南海夏季风爆发的预测

前面提到的影响因子都可以从定性上判断南海夏季风爆发的早晚，目前国内的气候会商也多是采用或部分采用这些因子进行南海夏季风爆发日期早晚的预测，在此基础上建立起来的模型^[46]，对南海夏季风爆发日期有一定的定性预报能力。在选定相关因子的基础上，通过逐步回归可以建立预报方程进行南海夏季风爆发日期定量的预报，这方面的工作也取得一定的成果^[47]。逐步回归是短期气候预测中广泛应用的方法，实践和理论上可以证明，在给定的自变量条件下，逐步回归并不能获得一个最优回归方程，而最优子集回归方程的预报效果比逐步回归好^[48-50]。此外，南海夏季风的爆发是一个多时间尺度的过程（图5），不同时间尺度对应的关键影响因素可能不同，因此多尺度的

最优子集回归在南海夏季风爆发日期的预测上有一定的优势^[51]（表1）。

对于不同的预报方法，预报因子的选取是不同的。经验统计预报的预报因子仅仅是高相关的气候变量，由此得到的预报模型一般都是高回报低预报能力；但是对于物理统计预报，预报因子不仅仅是某时刻的高相关变量，还需要高相关具有持续性或物理可发展性，这样的预报模型，至少对某一个物理影响因子而言是比较稳定的。当然，正如前面提到，预报方法如果针对的时间尺度不同，选取的预报因子也应该不同：一般而言，年以上选取海洋因子；月季尺度选取海洋和/或陆地；天气/延伸期选取对流活动等。

在数值预报方面，近年来关于季风的模拟研究表明，对平均的季风气候及其不同时间尺度上的变化进行模拟和预报还存在不足^[52-56]。当今先进的GCM模式在给定的海温条件下，不能完全模拟出南亚夏季风与东亚夏季风的主要特征^[56-58]，特别是在东亚季风的模拟中，东亚地区全年和夏季降水 and 气温的模拟结果与观测有很大的不一致性^[58]。因而，近年来利用全球海气耦合模式和高分辨率的区域气候模式对亚洲季风的季节变化和异常进行数值模拟和预报是一种趋势。例

表1 不同预测方法对1999—2008年南海夏季风爆发日期的逐年预测及误差（单位：d）^[51]

年份	实况	多尺度最优子集回归 预测/误差	最优子集回归 预测/误差	多元线性回归 预测/误差	单变量线性回归 预测/误差
1999	-26.7	-18.2/-8.5	-19.3/-7.4	-20.9/-5.8	-3.8/-22.8
2000	-7.0	-6.1/-0.9	-13.5/6.6	-13.3/6.3	-5.3/-1.7
2001	-9.8	-8.3/-1.5	-16.9/7.0	-19.8/9.9	-2.9/-6.9
2002	-4.6	2.3/-6.9	-4.2/-0.5	-7.1/2.5	0.3/-4.9
2003	6.5	0.9/5.6	-6.3/12.8	-6.4/12.9	3.3/3.2
2004	1.3	-2.0/3.3	-5.8/7.1	-5.7/7.1	0.7/0.7
2005	8.3	0.5/7.8	-2.3/10.6	-0.5/7.1	2.4/5.9
2006	-0.9	-7.6/6.7	-8.5/7.6	-11.7/10.8	-2.3/1.4
2007	2.1	-2.1/4.3	-5.4/7.6	-4.0/6.1	2.4/0.2
2008	-9.9	-7.8/-2.1	-10.3/0.4	-11.0/1.1	-5.4/-4.5
平均绝对误差		4.8	6.8	7.1	5.3

如, 澳大利亚全球海气耦合模式 (POAMA) 对2003和2004年南海夏季风爆发进行了预测, 结果表明: 该海气耦合模式对南海夏季风的爆发时间有一定预报能力, 其最大预报时效可以提前20d左右^[59]; Chan等^[60]在中国气象局国家气候中心原有区域气候模式的基础上, 对模式进行了改进, 并利用Kuo方案成功地提高了南海地区降水的模拟效果, 而且10年的模拟结果也很好地模拟出了气候学意义下南海夏季风的爆发。

4 结语

基于区域指标的南海夏季风监测, 目前仍是业务工作的主要手段。毕竟区域指标经过近几十年的研究和检验, 大体上能够反映出南海夏季风的爆发。而且区域指标计算简单, 使用方便, 这也是它们被广泛使用的重要原因之一。但是不管研究人员还是业务人员都无法回避的一个问题是, 所有的区域指标在反映南海夏季风爆发上都有一些“特殊年份”, 这些年份各区域指标定义的爆发日期有差异, 而且有时候差异还非常大^[25]。大尺度环流指数能较好地反映南海夏季风的爆发, 特别是在区域指标的“特殊年份”上。但是目前的大尺度环流指标^[25]仍存在缺陷: 首先, 平均的大尺度经向环流和纬向环流不能很好地反映南海季风的局部 (南部、北部等) 爆发, 这也是目前所有区域平均指数的通病; 此外, 由于并不是每次南海夏季风爆发都同时具有明显的经向环流和纬向环流, 因此, 如何选取它们的权重还需要进一步探讨。尽管如此, 发展大尺度环流的南海夏季风监测指标依然是一个趋势, 或者说是南海夏季风监测业务的新出路。事实上, 目前的南海夏季风爆发日期监测业务工作在参考了区域指标后, 一般都还要考虑大尺度的环流演变特征, 这正反映了大尺度环流的重要性。

在发展南海夏季风监测手段的同时, 近几年关于南海夏季风预测的业务进展比较缓慢。目前南海/西北太平洋季风和东亚季风不同时间尺度的预测主要还是

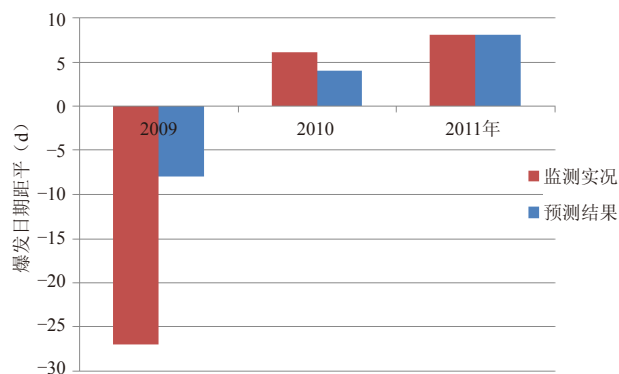


图6 基于SST的多时间尺度最优子集预测方法的预测结果与监测实况的比较

基于统计模型^[61], 其中基于SST的多时间尺度最优子集预测方法近两年在广州热带海洋气象研究所的南海季风监测预测系统中使用, 取得了比较好的效果 (图6), 但是对因子影响的物理过程的理解还不够^[62, 63]。以往的研究侧重于从热带/北半球中寻找东亚季风/南海夏季风的影响因子, 但是有研究表明南大洋的影响可能也很重要^[64], 遗憾的是关于这方面的物理过程还不能很好地理解。例如, 关于南海地区的越赤道气流对南海夏季风爆发早晚的作用, 就有两种完全不同的结果^[65, 66], 这其中的原因很可能源于南大洋对越赤道气流驱动过程的差异。

全球 (海气耦合) 气候模式对季风的预测已初显效果^[59, 60], 但是总体来说模式对季风的模拟还存在较大的偏差, 这包括季节内到年际尺度的模拟情况, 不同的气候模式对季风的模拟差异也很大。这很可能源于对不同尺度季风相关的物理过程有不同的描述; 而且在全球变化背景下, 人为因素 (例如气溶胶的影响、陆面的变化等等) 的考虑将引起季风模拟和预报更大的不确定性。

参考文献

- 李崇银, 张利平. 南海夏季风活动及其影响. 大气科学, 1999, 23(3): 257-266.
- 谢炯光, 纪忠萍, 谷德军, 等. 南海西南季风异常与广东省汛期重要天气的关系. 热带气象学报, 2008, 24(3): 209-218.
- 陈隆勋, 李薇, 赵平, 等. 东亚地区夏季风爆发过程. 气候与环境研究, 2000, 5 (4): 345-355.
- 刘霞, 谢安, 叶谦, 等. 南海夏季风爆发的气候特征. 热带气象学报, 1998, 14(1): 28-37.
- 朱亚芬, 李弋林, 钱维宏. 不同资料揭示南海夏季风爆发特征的比较. 热带气象学报, 2001, 17(1): 34-44.
- 高绍凤, 罗会邦. 1994年前汛期广东区域水汽输送分析. 中山大学学报 (自然科学版), 1998, 37(5): 101-106.
- 柳艳菊, 丁一汇. 南海季风爆发前后大气层结和混合层的演变特征. 气候与环境研究, 2000, 5(4): 459-468.
- 朱伟军, 孙照渤, 齐卫宁. 南海季风爆发及其环流特征. 南京气象学院学报, 1997, 20(4): 440-446.
- 江静, 钱永甫. 热带环流演变与南海季风爆发. 南京气象学院学报, 2001, 24(1): 83-91.
- 李崇银, 屈昕. 伴随南海夏季风爆发的大尺度大气环流演变. 大气科学, 2000, 24(1): 1-14.
- 何金海, 丁一汇, 高辉, 等. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数. 北京: 气象出版社, 2001.
- 高辉, 梁建茵. 南海夏季风建立日期的确定和东亚夏季风强度指数的选取. 热带气象学报, 2005, 21(5): 525-532.
- 梁建茵, 吴尚森. 南海西南季风爆发日期及其影响因子. 大气科学, 2002, 26(6): 829-844.
- 简茂球, 乔云亭, 罗会邦. 南海夏季风爆发前后低纬大气环流突变特征. 气候与环境研究, 2000, 5(4): 356-362.
- 郑彬, 梁建茵, 林爱兰, 等. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水 I. 划分日期的确定. 大气科学, 2006, 30(6): 1207-1216.
- 何有海, 彭楚明, 关翠华, 等. 南海夏季风爆发与大气对流低频振荡的年际变化. 大气科学, 2000, 24(6): 785-794.
- 林建恒, 王安宇, 冯瑞权, 等. 南海夏季风维持期的气候特征 I——40年平均. 热带气象学报, 2005, 21(2): 113-122.
- 谢安, 刘霞, 叶谦. 上游赤道西风在南海夏季风爆发中的重要作用. 应用气象学报, 1998, 9(2): 129-140.
- 张秀芝, 李江龙, 闫俊岳, 等. 南海夏季风爆发的环流特征及指标研究. 气候与环境研究, 2002, 7(3): 321-331.

- [20] 姚永红, 钱永甫. 用湿位涡定义的南海西南季风指数及其与我国区域降水的关系研究. 南京大学学报(自然科学), 2001, 37(6): 781-788.
- [21] 闫俊岳, 姚华栋, 李江龙, 等. 1998年南海季风爆发期间近海面层大气湍流结构和通量输送的观测研究. 气候与环境研究, 2000, 5(4): 447-458.
- [22] 蒋国荣, 沙文钰, 阎俊岳. 南海季风爆发前后辐射特征分析. 热带气象学报, 2002, 18(1): 29-37.
- [23] 闫俊岳, 姚华栋, 李江龙, 等. 2000年南海季风爆发前后西沙海域海-气热量交换特征. 海洋学报, 2003, 25(4): 18-28.
- [24] 朱艳峰. 近55年南海夏季风爆发时间的确定及对2005年南海夏季风爆发早晚的预测. 气候预测评论, 2005, 11(6): 99-104.
- [25] Zheng B, Lin A L, Gu D J, et al. Determination of onset date of the South China Sea summer monsoon in 2006 using large-scale circulations. Journal of Tropical Meteorology, 2011, 17(3): 202-208.
- [26] 陈隆勋, 刘洪庆, 王文, 等. 南海及其临近地区夏季风爆发的特征及其机制的初步研究. 气象学报, 1999, 57(1): 16-29.
- [27] 陈隽, 金祖辉. 影响南海夏季风爆发因子的诊断研究. 气候与环境研究, 2001, 6(1): 19-32.
- [28] 温敏, 何金海, 肖子牛. 中南半岛对流对南海夏季风建立过程的影响. 大气科学, 2004, 28(6): 864-875.
- [29] 梁建茵, 吴尚森, 游积平. 南海夏季风的建立及强度变化. 热带气象学报, 1999, 15(2): 97-105.
- [30] 黄海仁, 陈文玉, 郭湘平. 厄尔尼诺对南海季风爆发及热带风暴活动的影响. 气象科技, 1999, 27(4): 38-41.
- [31] 陈文玉, 金德山, 唐晓卫, 等. 厄尔尼诺、东海气旋活动及南海季风爆发的相互关系. 海洋预报, 2001, 18(3): 34-38.
- [32] 陈永利, 白学志, 赵永平. 南海夏季风爆发与热带海洋海温和大气环流异常变化关系的研究. 气候与环境研究, 2000, 5(4): 388-399.
- [33] 陈永利, 胡敦欣. 南海夏季风爆发与西太平洋暖池区热含量及对流异常. 海洋学报, 2003, 25(3): 20-31.
- [34] Wang B, Wu R, Fu X. Pacific-East Asian teleconnection: how does ENSO affect East Asian climate? J Climate, 2000, 13: 1517-1536.
- [35] 阎俊岳. 南海西南季风爆发的气候特征. 气象学报, 1997, 55(2): 174-186.
- [36] 徐海明, 何金海, 温敏, 等. 中南半岛影响南海夏季风建立的数值的数值研究. 大气科学, 2002, 26(3): 330-342.
- [37] Zhang Y C, Qian Y F. Mechanism of thermal features over the Indo-China Peninsula and possible effects on the onset of the South China Sea Monsoon. Advances in Atmospheric Sciences, 2002, 19(5): 885-900.
- [38] 郑彬, 蒙伟光. 2004年南海夏季风的爆发及中南半岛陆面过程的可能影响I: 诊断分析. 气象学报, 2006, 64(1): 72-80.
- [39] 蒙伟光, 郑彬. 2004年南海夏季风的爆发及中南半岛陆面过程的可能影响II: 数值试验. 气象学报, 2006, 64(1): 81-89.
- [40] 王世玉, 钱永甫. 1998年地面加热场的基本特征及其与南海夏季风爆发的可能联系. 气象学报, 2001, 59(1): 31-40.
- [41] 江宁波, 罗会邦. 青藏高原加热与南海季风爆发. 中山大学学报(自然科学版), 1996, 35(增刊): 194-199.
- [42] 王黎娟, 何金海, 管兆勇. 苏门答腊地区对流活动及其与南海夏季风建立的关系. 南京气象学院学报, 2004, 27(4): 451-460.
- [43] Chang C P, Chen G T. Tropical circulation associated with southwest monsoon onset and westerly surge over the South China Sea. Mon Wea Rev, 1995, 123: 3254-3267.
- [44] 郑彬, 谷德军, 李春晖, 等. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水II. 空间分布特征. 大气科学, 2007, 31(3): 495-504.
- [45] 冯志强, 黄志兴, 刘嘉玲. 非绝热加热对南海夏季风建立的作用. 热带海洋, 1994, 13(4): 17-24.
- [46] 何敏, 许力, 宋文玲. 南海夏季风爆发日期和强度的短期气候预报方法研究. 气象, 2002, 28(10): 9-14.
- [47] 周文, 温之平, 陈创买. 南海西南季风爆发的预报研究. 中山大学学报(自然科学版), 2002, 41(3): 95-98.
- [48] 俞善贤, 汪铎. 试用最优子集与岭迹分析相结合的方法确定回归方程. 大气科学, 1988, 12(4): 382-388.
- [49] 施能, 曹鸿兴. 基于所有可能回归的最优气候预报模型. 南京气象学院学报, 1992, 15(4): 459-466.
- [50] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预报技术. 北京: 气象出版社, 1999: 194-200.
- [51] 谷德军, 纪忠萍, 李春晖. 南海夏季风爆发日期与海温的多尺度关系及最优子集回归预测. 海洋学报, 2011, 33(6): 55-63.
- [52] Sperber K R, Palmer T N. Interannual tropical rainfall variability in general circulation model simulations associated with the Atmospheric Model Intercomparison Project. J Climate, 1996, 9: 2727-2750.
- [53] Webster P J, Magana V O, Palmer T N, et al. Monsoons: processes, predictability, and the prospects for forecast. J Geophys Res, 1998, 103: 14451-14510.
- [54] Kang I S, Jin K, Lau K M, et al. Intercomparison of atmospheric GCM simulated anomalies associated with the 1997/98 El Niño. J Climate, 2002, 15(19): 2791-2805.
- [55] Kang I S, Jin K, Wang B, et al. Intercomparison of the climatological variations of Asian summer monsoon precipitation simulated by 10 GCMs. Climate Dyn, 2002, 19: 383-395.
- [56] Waliser D E, Jin K, Kang I S, et al. AGCM simulations of intraseasonal variability associated with the Asian summer monsoon. Climate Dyn, 2003, 21: 423-446.
- [57] Gadgil S, Sajani S. Monsoon precipitation in the AMIP runs. Climate Dyn, 1998, 14: 659-689.
- [58] 罗勇, 赵宗慈. NCAR RegCM2对东亚区域气候的模拟试验. 应用气象学报, 1997, 8(增刊): 124-133.
- [59] 柳艳菊, 丁一汇, Keenan T, 等. POAMA海气耦合模式对2003和2004年南海夏季风预报能力的评估. 热带海洋学报, 2005, 24(5): 19-30.
- [60] Chan J C L, Liu Y M, Chow K C, et al. Design of a regional climate model for the simulation of South China summer monsoon rainfall. J Meteor Soc Japan, 2004, 82(6): 1645-1665.
- [61] Wu Z W, Wang B, Li J P. An empirical seasonal prediction model of the East Asian summer monsoon using ENSO and NAO. J Geophys Res. 2009, 114, D18120, doi:10.1029/2009JD011733.
- [62] Wang B, Huang F, Wu Z, et al. Multi-scale climate variability of the South China Sea monsoon: A review. Dynamics of Atmospheres and Oceans, 2009, 47: 15-37.
- [63] Li T, Wang B. A review on the western North Pacific monsoon: Synoptic-to-interannual variability. Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, 2005, 16: 285-314.
- [64] Xue F, Wang H, He J. Interannual Variability of Mascarene High and Australian High and Their Influences on East Asian Summer Monsoon. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2004, 82(4): 1173-1186.
- [65] 谢安, 刘霞, 叶谦. 上游赤道西风在南海夏季风爆发中的重要作用. 应用气象学报, 1998, 9(2): 129-140.
- [66] 高辉, 薛峰. 越赤道气流的季节变化及其对南海夏季风爆发的影响. 气候与环境研究, 2006, 11(1): 57-68.

下期要目

- ◆ 用低频天气图方法进行延伸期预报的探索
- ◆ 月动力延伸预报研究进展回顾
- ◆ 延伸期预报的思考及其应用研究进展
- ◆ MJO在延伸期预报中的应用