

肖潺, 原韦华, 李建, 等. 2013. 南海秋雨气候特征分析 [J]. 气候与环境研究, 18 (6): 693–700, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12163. Xiao Chan, Yuan Weihua, Li Jian, et al. 2013. Preliminary study of autumn rain in the South China Sea [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (6): 693–700.

## 南海秋雨气候特征分析

肖潺<sup>1,2,3</sup> 原韦华<sup>1</sup> 李建<sup>4</sup> 宇如聪<sup>1,4</sup>

1 中国科学院大气物理所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 中国气象局, 北京 100081

3 中国科学院大学, 北京 100049

4 中国气象科学研究院, 北京 100081

**摘 要** 用台站观测逐日降水资料和热带测雨卫星观测降水资料, 对我国南海地区降水季节演变特征分析发现, 与我国大部分地区不同, 南海地区降水季节峰值是在秋季, 主要集中在 8~10 月, 且降水量年际变化大。环流场的合成分析表明, 南海地区秋季中层 500 hPa 有利的副高位置和底层低压系统的活动和维持是形成这一地区显著秋雨的主要原因。而由于副高的位置受热带太平洋海温影响较大, 分析发现 Niño3.4 的海温指数对该区域降水有很好的指示意义。8~10 月 Niño3.4 指数和同期海南岛站点平均降水量之间的相关能够达到−0.47, 超前 3 个月 (即 5~7 月) 的 Niño3.4 指数与 8~10 月海南岛站点平均降水量的相关亦能达到−0.43。从跨季度气候预测的角度来考虑, 5~7 月的 Niño3.4 指数可以作为预测 8~10 月南海秋雨的重要参考指标。

**关键词** 南海秋雨 降水 季节变化

**文章编号** 1006-9585 (2013) 06-0693-08

**中图分类号** P426.6

**文献标识码** A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12163

## Preliminary Study of Autumn Rain in the South China Sea

XIAO Chan<sup>1,2,3</sup>, YUAN Weihua<sup>1</sup>, LI Jian<sup>4</sup>, and YU Rucong<sup>1,4</sup>

1 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 China Meteorological Administration, Beijing 100081

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

4 Chinese Academy of Meteorological Sciences, China Meteorological Administration, Beijing 100081

**Abstract** The precipitation characteristics over the South China Sea are analyzed by using daily station rain gauge data and the Tropical Rainfall Measuring Mission 3B42 product. It is found that rainfall over the South China Sea is at the maximum seasonal level in autumn, particularly from August to October, which is different from rainfall over most of the other regions in mainland China. Further analyses show that a subtropical high of 500 hPa and sustained low-level depression systems are key factors in the formation of autumn rainfall over the South China Sea. In addition, the location of the subtropical high is greatly influenced by sea surface temperature over the tropical Pacific Ocean. The rainfall amount over Hainan Island from August to October is highly correlated with the simultaneous and lead Niño3.4 indexes and the correlation coefficients between them can reach −0.47 and −0.43, respectively. As a result, the Niño3.4 index can be used for rainfall climate prediction during the August to October period over Hainan Island.

**Keywords** Autumn rain in the South China Sea, Precipitation, Seasonal variation

**收稿日期** 2012-09-25 收到, 2013-02-07 收到修定稿

**资助课题** 国家重点基础研究发展计划 2010CB951900, 国家自然科学基金创新研究群体科学基金 41221064

**作者简介** 肖潺, 男, 1981 年出生, 博士, 工程师, 主要从事气候分析与诊断工作。E-mail: xiaochan@cma.gov.cn

## 1 引言

我国地处欧亚大陆东侧，东临太平洋，西部是有世界屋脊之称的青藏高原，季风特点十分明显。降水在时间和空间上分布不均匀。从季节性降水的气候特征来看，我国大部分地区降水主要集中在夏季，即夏季是一年中降水最多的季节。因此，在我国气象业务中，将夏季 6~8 月作为主汛期来对待。在其他季节里，我国区域性大范围降水气候事件广为人熟悉的还有“江南春雨”、“华西秋雨”等。包括海南岛在内的我国南海地区，是我国年降水量十分充沛的地区，也是我国东南部地区降水的重要水汽来源地。与我国其他大部分地区不同的是，这一地区季节性降水的峰值发生在秋季。根据中国气象灾害大典（温克刚，2008）对海南省 1950~2000 年的洪涝灾害统计，其间造成重大损失的洪涝灾害共 14 次，而有 10 次均发生在秋季。近两年，2010 年 9 月 30 日至 10 月 8 日和 10 月 12~18 日（闵爱荣等，2011）、2011 年 9 月 28 日至 10 月 7 日（<http://www.weather.com.cn/zt/tqzt/589534.shtml> [2011-10-10]）的持续暴雨过程，不仅造成了海口、三亚等城市严重内涝，也使海南的旅游和海洋渔业遭受重创，影响极大。

在天气预报业务服务中，预报员对海南秋季强降水已有足够认识，并且有一些分析和研究。涂小萍和姚日升（1999）、赵付竹等（2011）对海南岛秋季暴雨特性进行了分析，发现秋季暴雨的发生、维持和消失主要与大陆冷高、南海低值系统、热带云团活动密切相关，暴雨一般与华南沿海的低空偏东风急流相伴。吴春娃等（2010）还对秋季强降水个例进行了天气学分析，发现南海低压活动及其与冷空气相互作用与暴雨的发生密切相关。然而，由于台站观测资料的缺乏，对这一地区特别是海上的降水特征研究较少，并且已有研究大多从天气过程影响的角度来考虑，缺乏对于该地区秋雨的气候性系统研究。本文将从气候的角度，针对 8~10 月这个降水最为集中的时段，对南海秋雨的气候特征进行分析。

## 2 资料介绍

本文用到的降水资料包括：国家气象信息中心

整编的 1951~2007 年全国 2467 站逐日降水资料以及 1998~2006 年的热带测雨卫星（Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM）观测的降水产品 TRMM 3B42 (Huffman et al., 2007)。考虑到记录的完整性，本文仅选取了 1961~2007 年期间南海附近地区有完整降水记录的 15 个台站（分布如图 1

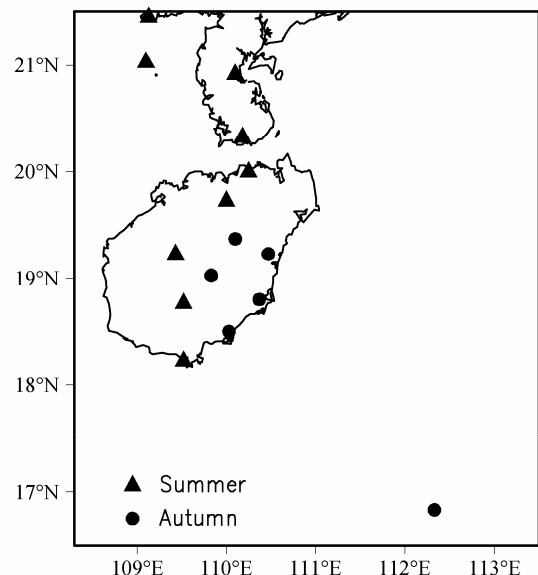


图 1 南海地区 15 个台站的位置分布（圆点和三角形分别表示 1961~2007 年平均的最大降水量出现在秋季和夏季的站点）

Fig. 1 Locations of the 15 stations over the South China Sea (dots and triangles denote the stations with maximum seasonal rainfall in autumn and summer during 1961–2007, respectively)

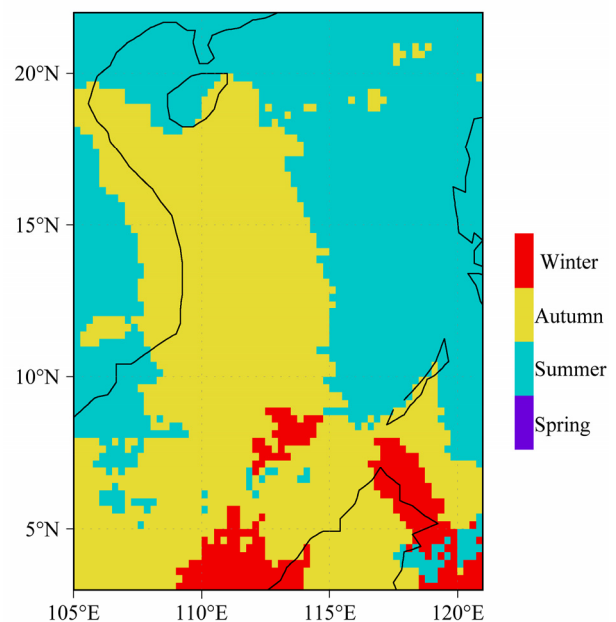


图 2 1998~2006 年平均的 TRMM 3B42 降水资料得到的最大降水出现季节的空间分布

Fig. 2 The distribution of the season of the most precipitation in TRMM 3B42 data averaged during 1998–2006

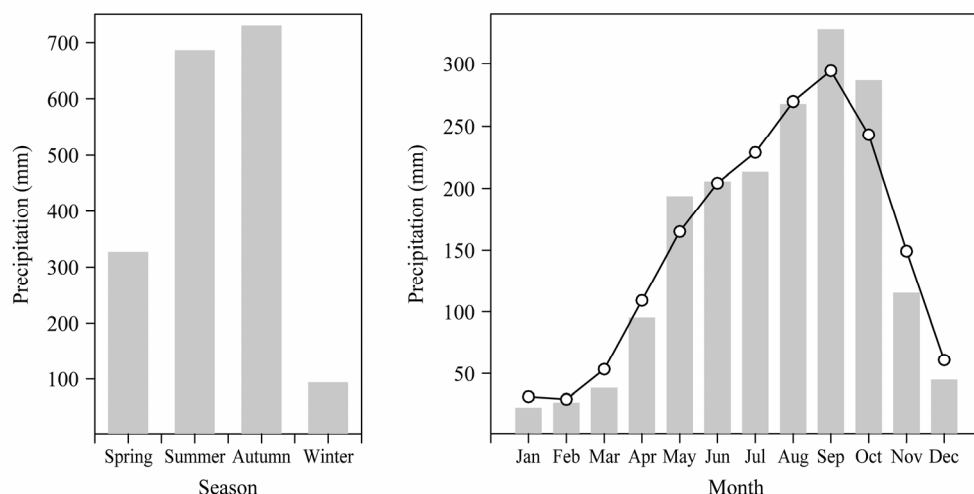


图3 海南岛站点观测的1961~2007年平均的(a)四季的降水量、(b)月平均降水量(柱形)及其3个月滑动平均(曲线)

Fig. 3 The averaged rainfall amount in (a) four seasons, (b) each month (bars) and the 3-month running averaged rainfall amount (curve) at stations over Hainan Island during 1961–2007

所示)。TRMM 3B42 的空间分辨率为  $0.25^\circ$  (纬度)  $\times 0.25^\circ$  (经度), 空间范围为南北纬  $50^\circ$ 。本文还用到了 NCEP/NCAR 再分析数据集环流场资料 (Kalnay et al., 1996), 以及 NOAA OI SST v.2 (Optimal Interpolation SST version 2) 逐日海温资料 (Reynolds et al., 2002), 水平分辨率为  $0.25^\circ$  (纬度)  $\times 0.25^\circ$  (经度)。

### 3 南海地区秋季降水的显著特征

在我国大部分地区, 夏季(6~8月)是全年降水最多的季节, 而我国南海地区的秋季(9~11月)降水很大。在南海的部分台站, 其秋季降水甚至超过夏季, 成为降水最多的季节。我们将南海地区这种全年最大降水量出现在秋天的现象定义为南海秋雨。图1给出了1961~2007年各台站平均最大降水量出现的季节。从图1可以看出, 南海秋雨主要出现在海南岛的东南部以及南海北部, 南海海上代表站点是位于西沙群岛的永兴岛气象站 ( $16^\circ50'N$ ,  $112^\circ20'E$ , 区站号 59981)。

由于海上观测站点较少, 台站观测无法反映完整的南海海上的降水状况。我们借助卫星观测降水资料进一步分析海上的降水特征。由图2可见, 除雷州半岛及海南岛的西北部年降水的最大值出现在夏季, 海南岛东南部及南海大部分地区的最大季节降水峰值出现在秋季。

为了进一步找出南海地区降水最集中的时间, 本文采用了3个月滑动平均降水这个指标。

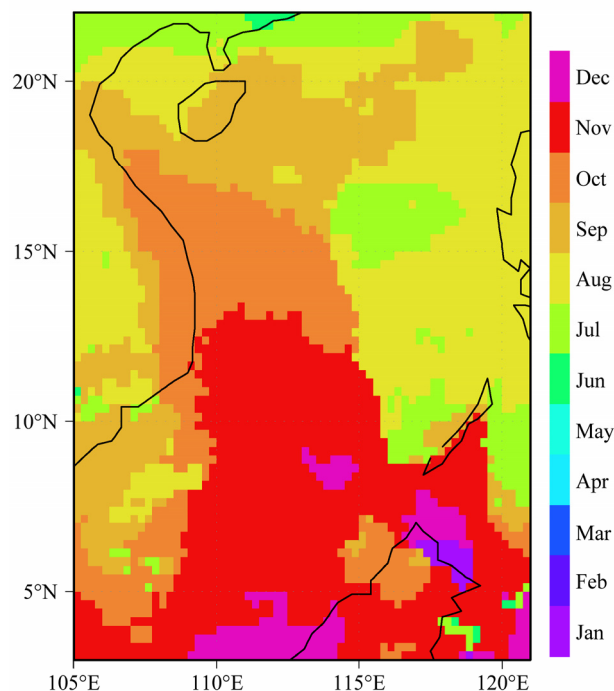


图4 1998~2006年平均的TRMM 3B42中滑动3个月平均最大降水量出现的月份

Fig. 4 The month when the maximum 3-month running average rainfall amount occurring from TRMM 3B42 data during 1998–2006

图3a给出了海南11个台站观测的1961~2007年平均季节降水量变化情况, 图3b给出的是这一地区平均月降水量及其滑动3个月平均降水量变化情况。从图3a可以看出, 这一地区秋季降水大于夏季, 即为显著的秋雨。然而, 从图3b可以看出, 降水从8月便开始迅速增加, 而在11月开始迅速减小, 降水集中在8~10月。用同样的方法, 图4给出TRMM资料中南海地区滑动3个月平均降水

最多月份的分布情况。虽然  $115^{\circ}\text{E}$  以西的我国广大南海地区都是秋季降水最多 (图 2), 但是通过图 4 就可以发现: 南海地区从北到南降水最集中的时间还是有所差异, 峰值降水季节出现时间呈现出由北向南滞后的特征。

#### 4 南海地区秋雨的环流场特征

为了理解南海秋雨的环流特征, 下面对这一地区秋雨强年和弱年的 8~10 月的环流场进行合成分析。从图 5 可以看出, 南海北部地区 8~10 月降水量大, 平均降水量能达到 883 mm, 同时年际变化

也较大, 最多的年份能够达到 1500 mm, 而最少的年份却不足 400 mm; 8~10 月降水量超过均值一倍标准差分别是 1964 年、1973 年、1978 年、1995 年和 2000 年; 低于均值一倍标准差的分别是 1965 年、1966 年、1969 年、1977 年、1987 年、1992 年和 2004 年。

在分析降水强弱年合成环流场之前, 首先给出该区域 8~10 月环流场的气候态分布。从低层 (850 hPa, 图 6a) 来看, 位势高度的低值中心位于海南岛以南的南海中北部位置, 高值中心位于江淮地区, 包括海南岛在内的南海北部地区处于大陆冷高压和南海低压之间, 气压梯度大, 冷高压东南侧为

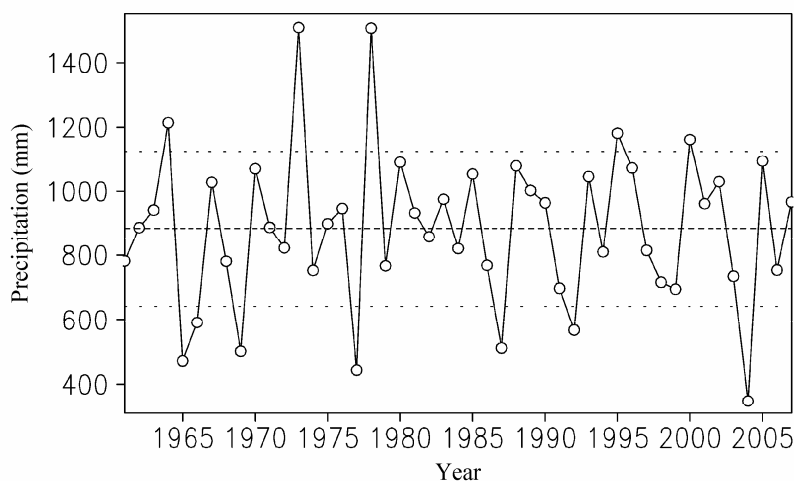


图 5 1961~2007 年海南岛站点平均 8~10 月降水的年际变化 (虚线为多年平均值, 点线为高/低于一倍标准差)

Fig. 5 The annual rainfall amount averaged during Aug-Oct at the stations over Hainan Island from 1961 to 2007 (dashed line represents the multi-year mean rainfall amount and dotted lines represent the mean value plus and minus the standard deviation)

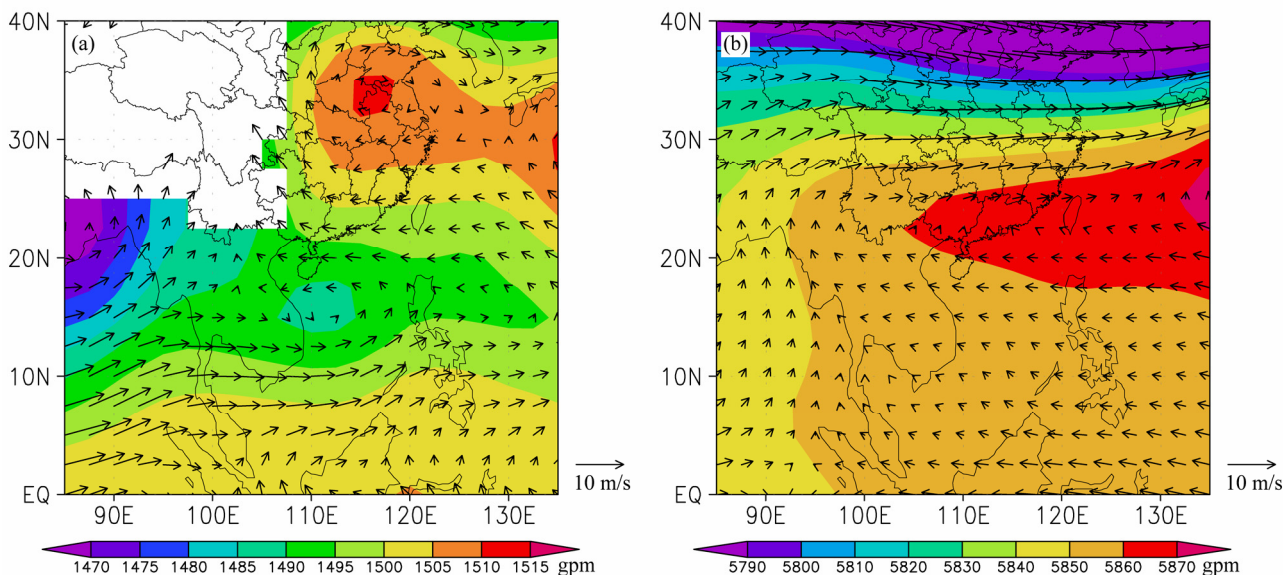


图 6 NCEP 再分析资料中 1961~2007 年 8~10 月平均的 (a) 850 hPa 和 (b) 500 hPa 环流场 (填色为位势高度, 矢量箭头为水平风场)

Fig. 6 The wind fields (vectors) and geopotential height (shaded) at (a) 850 hPa and (b) 500 hPa in NCEP reanalysis data averaged during Aug-Oct from 1961 to 2007

东北到偏东风气流, 有利于北方的干冷空气南下, 南海低压东北侧则为东南到偏东风气流, 有利于秋季偏东风急流发展向西北方向推进, 来自东北方向的干冷气流和来自东南方向的暖湿气流交汇辐合于此, 有利于形成降水。从中层 500 hPa (图 6b) 来看, 副热带高压 (副高) 位于南海以北, 海南岛正好位于副高西南侧, 在西南部边缘东风气流下, 常有台风、热带低压等东风带天气系统的活动沿着副高西南侧从南海向西北方向发展, 对应于低层的南海低压系统的维持。这种有利的高低层环流场配置, 是形成这一地区 8~10 月季节性降水显著集中的直接成因。

分别对降水最多的 5 个年份和降水最少的 7 个年份的环流场做合成。从低层 850 hPa 看, 在降水极多的年份 (图 7a), 大陆冷高压比多年平均更强, 而南海低压比多年平均要更低, 因此大陆冷高压和南海低压之间的气压梯度比平常更大, 其间的偏东风气流也更强, 更加有利于形成丰富的降水; 而降水极少的年份 (图 7c) 则反之, 大陆冷高压比多年平均弱, 南海低压也没有平常低, 高低压之间的气压梯度相应也比平常小, 偏东风气流也弱。从中层 500 hPa 看, 降水极多的年份 (图 7b) 副高位置偏东、偏北, 使得南海北部地区正好位于副高的西南侧, 形成有利的降水条件, 而在降水较少的年份 (图

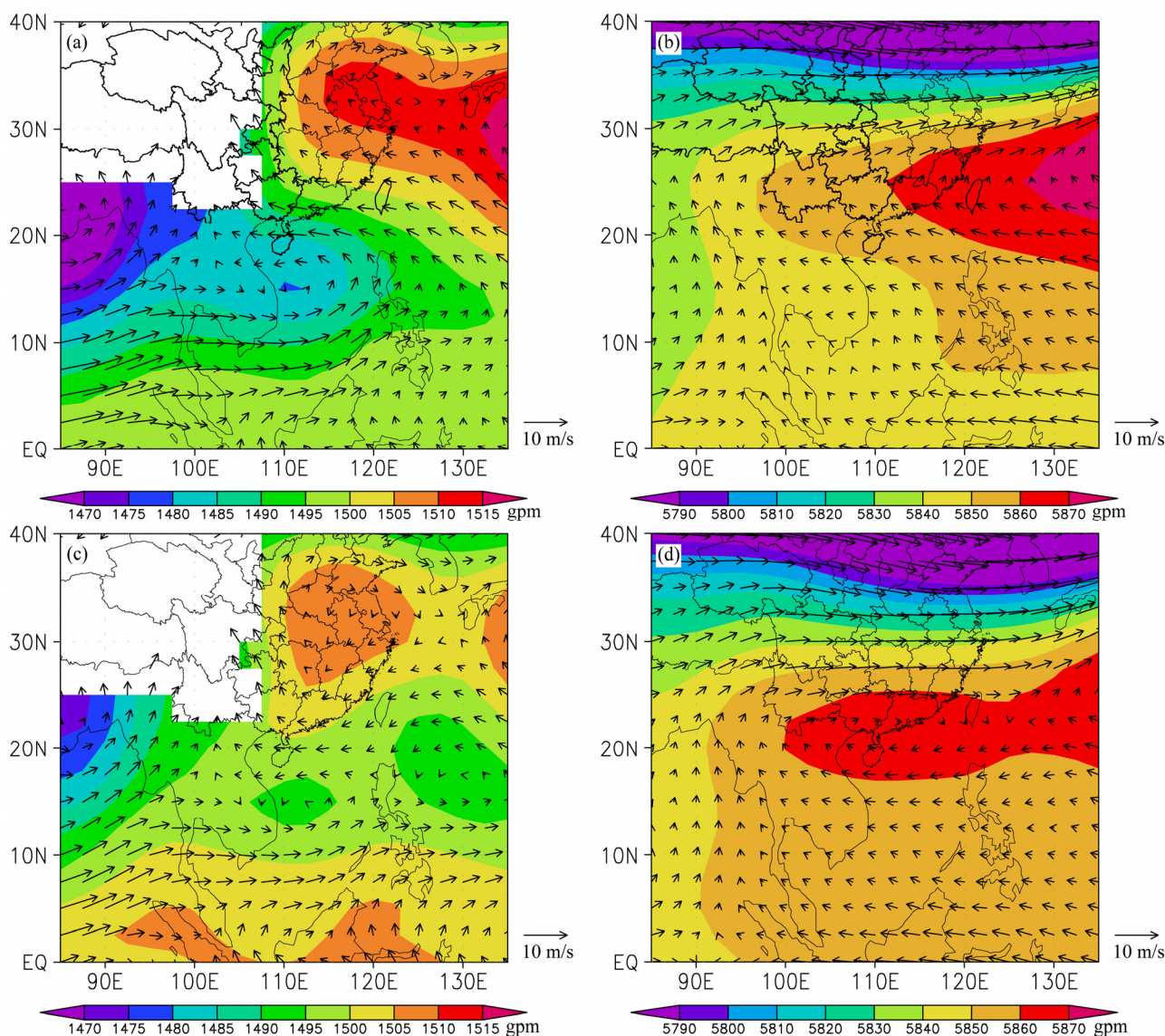


图 7 NCEP 再分资料中降水 (a、b) 极多年份和 (c、d) 极少年份 8~10 月平均的 850 hPa (左列) 和 500 hPa (右列) 环流场 (填色为位势高度, 矢量箭头为水平风场)

Fig. 7 The wind fields (vectors) and geopotential height (shaded) at 850 hPa (left panel) and 500 hPa (right panel) during Aug–Oct in (a, b) excessive rainfall years and (c, d) less rainfall year from NCEP reanalysis data

7d), 副高位置偏南、偏西, 特别是西伸比较多, 使得南海北部地区都处于副高控制区, 不利于降水的发生。

### 5 南海地区秋雨与热带太平洋海温的关系

已有的研究表明(黄荣辉, 1990; 黄荣辉和陈文, 2002; Wu et al., 2009), 副热带高压与热带太平洋海温密切相关, 热带太平洋海温的异常, 会影响其上空对流活动的强弱, 进而可以影响到副热带

高压的位置和强度。当热带东太平洋海温偏高, 其上空对流活动加强, 同时, 热带西太平洋海温偏低, 其上空对流减弱, 西太平洋副热带高压位置偏北、偏东, 反之西太平洋副热带高压位置偏南、偏西。而由上一节的分析可知, 副热带高压的强度和位置是影响南海秋雨的重要因素, 因此, 热带太平洋的海温异常可能会影响到南海秋雨的年际变化。

在业务应用中, 常常采用 Niño3.4 指数(Trenberth, 1997)表征热带东太平洋海温状况。从图 8 可以看出, 当 Niño3.4 指数偏低的时候, 即热带

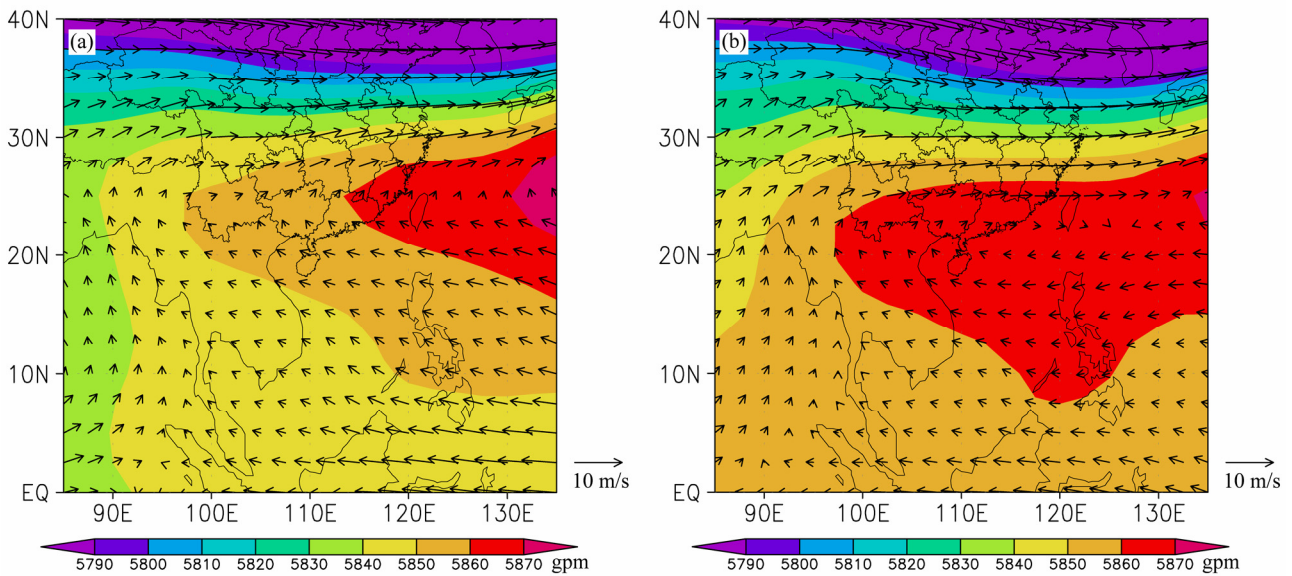


图 8 1961~2007 年 Niño3.4 指数 (a) 低于和 (b) 高于一倍标准差的年份 8~10 月平均的 500 hPa 环流场

Fig. 8 Wind fields (vectors) and geopotential height (shaded) at 500 hPa from NCEP reanalysis data during Aug–Oct averaged in the years with (a) low and (b) high Niño3.4 indices from 1961 to 2007

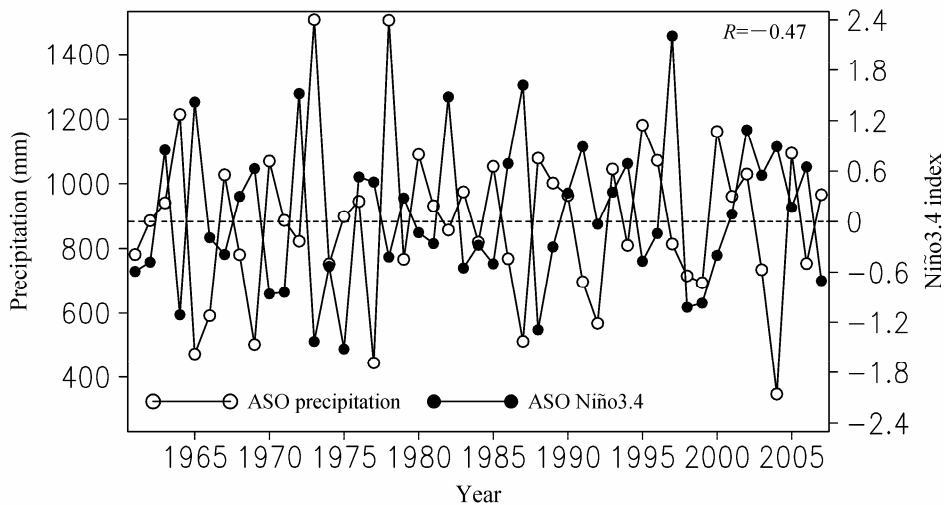


图 9 海南岛站点 8~10 月降水与同期 Niño3.4 指数的年际变化 (虚线表示多年平均降水量)

Fig. 9 The annual rainfall amount averaged during Aug–Oct at stations over Hainan Island and simultaneous Niño3.4 index (dashed line denotes averaged rainfall)

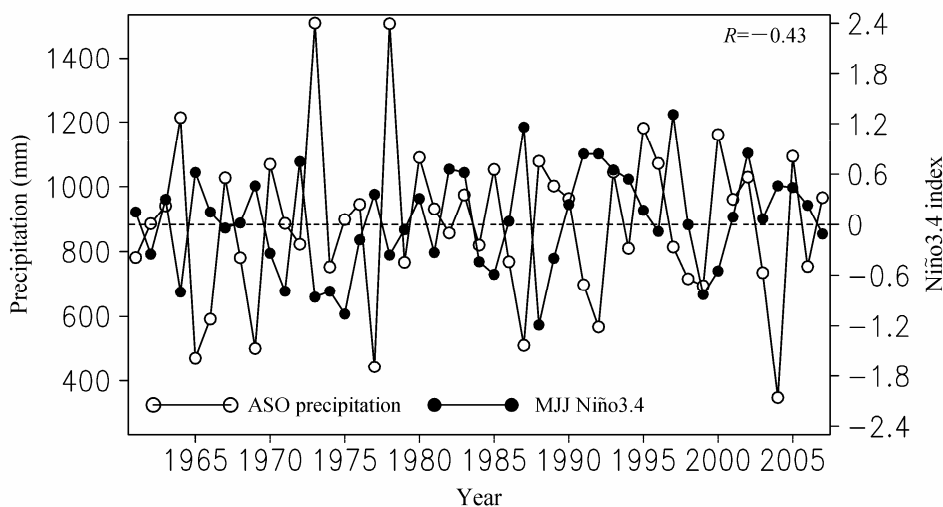


图 10 同图 9, 但为 8~10 月降水量与 5~7 月 Niño3.4 指数

Fig. 10 Same as Fig. 9, but for annual rainfall amount averaged during Aug–Oct and Niño3.4 index for May–Jul

中东太平洋海温偏低的时候, 对应于副热带高压位置偏北、偏东; 当 Niño3.4 指数偏高的时候, 即热带中东太平洋海温偏高的时候, 对应于副热带高压位置偏南、偏西。上节的分析表明, 副热带高压位置偏北、偏东的时候, 南海秋雨偏多; 副热带高压位置偏南、偏西的时候, 南海秋雨偏少。由此可见, Niño3.4 指数与南海秋雨存在负相关关系。

图 9 是 1961~2007 年海南岛台站观测 8~10 月总降水量与同期 Niño3.4 指数的变化情况。从图中可以看出, 两者具有很好的负相关关系, 相关系数达到-0.47。在 1961~2007 年的 47 年里, 海温负(正)距平对应南海秋雨偏多(少)的年份达到了 34 个。考虑到海表温度异常变化过程发展相对缓慢, 图 10 给出 1961~2007 年海南岛台站观测 8~10 月总降水量与 5~7 月 Niño3.4 指数的变化情况, 即 Niño3.4 指数超前降水 3 个月。由图 10 可以看出, 这种负相关关系仍维持得很好, 相关系数达到-0.43。因此, 在南海地区秋季降水的跨季度预测中, 热带东太平洋 5~7 月的海温状况(Niño3.4 指数)可以作为一个重要参考指标。

## 6 小结

我国南海地区有显著的秋雨现象, 秋季是本地区四季中降水最多的季节, 本文称之为南海秋雨。进一步分析发现, 包括海南岛在内的南海北部地区, 降水主要集中于 8~10 月。通过对环流场的分析发现, 南海北部地区 8~10 月降水丰富主要与低

层的南海低压以及中层副高的位置密切相关。进一步的合成分析研究发现, 降水极多的年份, 南海低压更低, 更有利于海上带来的水汽辐合, 同时副高的位置偏北、偏东, 使得南海北部地区正好处于副高的西南侧, 有利于台风、热带低压等东风带天气系统的活动沿着副高西南侧从南海向西北方向发展; 在降水极少的年份, 情况则相反。因此副高的有利位置对南海秋雨有十分重要的影响。结合已有的研究成果进一步分析表明热带太平洋的海温对副高位置有重要影响。Niño3.4 指数的高低合成的 500 hPa 环流场表明, 同期和前期 3 个月的 Niño3.4 指数偏低时, 副高偏北、偏东, 南海秋季降水偏多; Niño3.4 指数偏高时, 副高偏南、偏西, 南海秋季降水偏少。8~10 月 Niño3.4 指数和同期海南岛站点平均降水量之间的相关能够达到-0.47, 超前 3 个月(即 5~7 月)的相关亦能达到-0.43。从跨季度气候预测的角度来考虑, 5~7 月的 Niño3.4 指数可以作为预测 8~10 月南海秋雨的重要参考指标。

## 参考文献 (References)

- 黄荣辉. 1990. 引起我国夏季旱涝的东亚大气环流异常遥相关及其物理机制的研究 [J]. 大气科学, 14 (1): 108–117. Huang Ronghui. 1990. Studies on the teleconnections of the general circulation anomalies of East Asia causing the summer drought and flood in China and their physical mechanism [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 14 (1): 108–117.
- 黄荣辉, 陈文. 2002. 关于亚洲季风与 ENSO 循环相互作用研究最近的进展 [J]. 气候与环境研究, 7 (2): 146–159. Huang Ronghui, Chen Wen. 2002. Recent progresses in the research on the interaction between Asian

- monsoon and ENSO cycle [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 7 (2): 146–159.
- Huffman G J, Bolvin D T, Nelkin E J, et al. 2007. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales [J]. Journal of Hydrometeorology, 8: 38–55.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77: 437–471.
- 闵爱荣, 廖移山, 杨荆安. 2011. 2010 年 4~10 月我国主要暴雨天气过程简述 [J]. 暴雨灾害, 30 (1): 90–96. Min Airong, Liao Yishan, Yang Jin'an. 2011. Important heavy rain processes in China from April to October in 2010 [J]. Torrential Rain and Disasters (in Chinese), 30 (1): 90–96.
- Reynolds R W, Rayner N A, Smith T M, et al. 2002. An improved in situ and satellite SST analysis for climate [J]. J. Climate, 15: 1609–1625.
- 涂小萍, 姚日升. 1999. 海南岛秋季非热带气旋暴雨特性分析及预报 [J]. 广西气象, 20 (3): 20–22. Tu Xiaoping, Yao Risheng. 1999. An analysis on non-typhoon storm rainfall in Hainan Island in autumn and the interpretations of T106 numerical products [J]. Journal of Guangxi Meteorology (in Chinese), 20 (3): 20–22.
- Trenberth K E. 1997. The definition of El Niño [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78: 2771–2777.
- 温克刚. 2008. 中国气象灾害大典 (海南卷) [M]. 北京: 气象出版社, 284pp. Wen Kegang. 2008. Meteorological Disaster Encyclopaedia of China (Hainan Volume) (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 284pp.
- Wu B, Zhou T J, Li T. 2009. Seasonally evolving dominant interannual variability modes of East Asian climate [J]. J. Climate, 22: 2992–3005.
- 吴春娃, 赵付竹, 李勋. 2010. 2009 年 10 月海南岛一次秋季强降水过程分析 [J]. 气象与减灾研究, 33 (3): 42–48. Wu Chunwa, Zhao Fuzhu, Li Xun. 2010. Analysis of an autumn rainstorm in Hainan Island [J]. Meteorology and Disaster Reduction Research (in Chinese), 33 (3): 42–48.
- 赵付竹, 王凡, 冯文. 2011. 海南岛秋季暴雨天气的环流特征和形成机制初探 [J]. 热带农业科学, 31 (5): 50–57. Zhao Fuzhu, Wang Fan, Feng Wen. 2011. Preliminary study on circulation characteristics and mechanism of rainstorm in autumn of Hainan Island [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture (in Chinese), 31 (5): 50–57.