

于波, 林永辉, 陈菊英, 等. 2014. 华南地区 5 月降水的水汽特征分析 [J]. 气候与环境研究, 19 (4): 507–514, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2014.12195.
Yu Bo, Lin Yonghui, Chen Juying, et al. 2014. Vapor source characteristics of precipitation in South China during May [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 19 (4): 507–514.

华南地区 5 月降水的水汽特征分析

于波¹ 林永辉² 陈菊英² 乔林¹ 翟亮¹ 冯立成³

¹ 北京市气象台, 北京 100089

² 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081

³ 国家海洋环境预报中心, 北京 100081

摘 要 利用国家气候中心的降水资料及 NCEP/NCAR 再分析资料、NOAA 海温资料分析了华南地区 5 月降水的主要水汽通道及变异机制。发现异常多雨年的水汽主要来自南海、孟加拉湾和青藏高原南侧; 异常少雨年则因西太平洋副热带高压 (简称副高) 偏东, 来自南海的水汽缺失, 只有来自孟加拉湾和高原南侧的两股水汽, 因而南海的水汽是影响华南地区 5 月降水的重要因素。分析发现当北太平洋的准东西向海温异常是“负正负”分布时, 南海地区为异常的反气旋性环流, 有利于副高西伸加强; 北太平洋海温距平为“正负正”异常分布时, 南海地区为异常的气旋性环流, 副高东退减弱。此外, 北方南下冷空气的阻挡使得季风北界位置偏南, 冷空气和季风在华南地区交汇导致 5 月降水异常增多。

文章编号 1006-9585 (2014) 04-0507-08

中图分类号 P426.6

文献标识码 A

关键词 华南 5 月降水 水汽来源 水汽输送差异 冷空气

doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2014.12195

Vapor Source Characteristics of Precipitation in South China during May

YU Bo¹, LIN Yonghui², CHEN Juying², QIAO Lin¹, ZHAI Liang¹, and FENG Licheng³

¹ Beijing Municipal Meteorological Observatory, Beijing 100089

² State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

³ National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081

Abstract Precipitation data from the National Climate Center, China Meteorological Administration, NCEP/NCAR reanalysis data, and Sea Surface Temperature (SST) data from NOAA are used to study the climatological characters of vapor transportation route and the differences in transport mechanism for the month of May in abnormally rainy and rainless years in South China. The results show that, in rainy years, moisture comes from the South China Sea (SCS), the Bay of Bengal, and south of the Tibet Plateau. In rainless years the West Pacific Subtropical High (WPSH) is more eastern, and so vapor from the SCS, which is significant for the precipitation during May, cannot reach South China. When the SST anomalies in North Pacific have a quasi east-west “-+-” pattern, anticyclones can be triggered in the SCS and WPSH can be enhanced and stretched westward. When the SST anomalies in North Pacific are “+-+”, cyclones can be triggered in the SCS, causing eastward weakening of the WPSH. The front of the southwest monsoon will be further south because of the barrier of cold air, and the intersection of the monsoon and cold air in South China will cause more

收稿日期 2012-11-19 收到, 2014-01-23 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展计划 2012CB417200, 公益性行业 (气象) 科研专项 GYHY201306004, 中国气象局行业专项 GYHYQX2007-6-20, 灾害天气国家重点实验室自主研究专项 2008LASWZ103, 北京市气象局科技研发专项 2013BMBKYZX10

作者简介 于波, 女, 1979 年出生, 博士, 高工, 从事天气动力学和气候变化研究。E-mail: yubo_0@126.com

通讯作者 林永辉, E-mail: linyh@cma.gov.cn

precipitation anomalies.

Keywords Precipitation in South China during May, Vapor moisture source, Vapor moisture transportation difference, Cold air

1 引言

华南是我国暴雨灾害最为频繁的地区,其汛期可分前汛期(4~6月)和后汛期(7~9月)。华南前汛期降水与东亚季风变化密切相关(陈红和赵思雄,2000),因此华南前汛期一直是研究中关注的重点(杨红梅等,2002;韩晋平等,2006;张炎等,2008;李宏毅等,2010,2012;杨辉等,2011)。从多年平均特征来看,华南前汛期降水从4月上旬开始逐渐增大,5~6月是降水的盛期,5月下旬至6月上中旬是极盛期,雨峰出现在6月上旬(陈菊英,1991)。

水汽供应是降水的必要条件,降水异常与水汽输送有着重要联系。沈如桂和黄更生(1981)、陈世训和高绍风(1982)、金祖辉(1981)的研究表明孟加拉湾、西太平洋和南海是我国中东部及华南地区降水的重要水汽供应源地;陈长胜等(2004)指出南海是华南降水异常的关键区;东亚南支偏西气流和热带西太平洋海区是华南地区春季降水的主要水汽源地(李秀珍等,2010)。迄今为止,针对华南地区的水汽输送研究多集中在整个前汛期,常越等(2006)将4月和6月影响华南降水的水汽输送特征区分研究。考虑到气候上南海夏季风在5月爆发,华南地区6月的降水已经开始受热带风暴和台风活动的影响,而5月热带风暴和台风活动相对较少,目前有关华南5月降水的水汽分析较少,因此本文重点研究华南地区5月降水的主要水汽来源。

2 资料和方法说明

文中利用华南地区14个代表站的1951~2012年的国家气候中心月降水资料、NCEP/NCAR逐月的再分析资料及NOAA的逐月海温资料进行分析。选取桂林、柳州、梅县、厦门、百色、梧州、广州、河源、汕头、南宁、北海、湛江、阳江、海口等14站为华南地区的代表站。华南5月的旱涝特征采用旱涝指数 A 表示:

$$A=(R-r)/r, \quad (1)$$

其中, R 为各年雨量, r 为各年雨量的平均值(常越等,2006)。本文中 $A \geq 0.36$,定义为华南5月异常多雨年; $A \leq -0.36$,定义为华南5月异常少雨年。根据以上标准,多雨年为1953年(336 mm)、1957年(366 mm)、1973年(369 mm)、1975年(377 mm)、1978年(323 mm)、2006年(332 mm);少雨年为1958年(118 mm)、1961年(150 mm)、1963年(92 mm)、1966年(128 mm)、1991年(111 mm)、1995年(103 mm)。

5月最多雨年(1975年)比常年同期偏多6.5成,5月最少雨年(1963年)较常年同期偏少近6成,5月最多雨年比最少雨年偏多3倍多,可见华南地区5月降水量的年际变化幅度非常大。由图1可见,华南地区5月降水量的正距平(正异常)年占47%(29/62),负距平(负异常)年占53%(33/62);华南5月降水的年际变化特征是:1970年代早期华南5月降水发生转折,由降水偏少转为降水偏多;1990年代中期,又由降水多年转为降水少年。

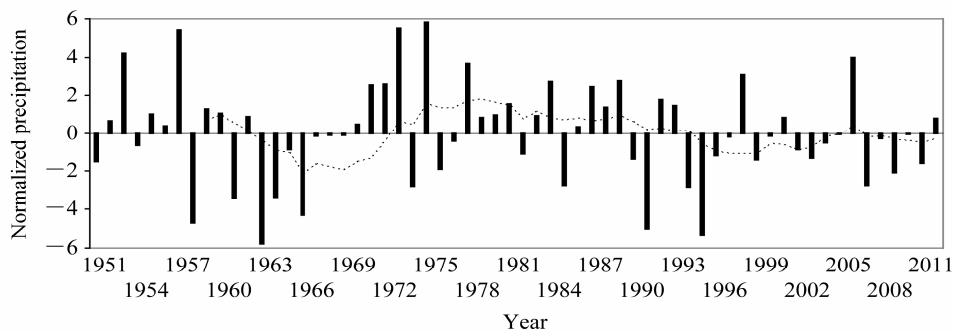


图1 1951~2012年5月华南地区的标准化降水(虚线为9年滑动平均值)

Fig. 1 Normalized mean precipitation in May during 1951–2012 of the South China (dashed line denotes moving average for nine years)

3 5 月降水的主要水汽来源

3.1 水汽的计算公式和资料来源

计算水汽输送所用的资料为 1951~2012 年 NCEP/NCAR 逐月的再分析资料, 空间分辨率为 2.5° (纬度) $\times 2.5^\circ$ (经度)。单位气柱整层水汽输送通量的计算公式为

$$\mathbf{Q} = Q_\lambda \mathbf{i} + Q_\phi \mathbf{j}, \quad (2)$$

$$Q_\lambda = \frac{1}{g} \int_{300}^{p_s} q u dp, \quad (3)$$

$$Q_\phi = \frac{1}{g} \int_{300}^{p_s} q v dp, \quad (4)$$

其中, λ 是经度, ϕ 是纬度, Q_λ 为纬向水汽输送通量, Q_ϕ 为经向水汽输送通量, g 为重力加速度, p 为气压, p_s 为地面气压, q 为比湿, u 、 v 分别为纬向风和经向风。

3.2 5 月异常多雨年与异常少雨年的水汽输送特征

华南 5 月异常多雨年 (1953 年、1957 年、1973 年、1975 年、1978 年、2006 年) 平均的降水量分布特征如图 2a 所示, 相应的年平均水汽分布来源如图 2b 所示。在华南 5 月异常多雨年, 降水量主要集中在长江以南, 华南大部地区降水量有 400~500 mm, 降水中心在华南至江南南部地区, 最大降水中心与整层水汽通量的大值中心位置较一致。在华南 5 月异常多雨年, 有 3 股水汽向华南地区输送: 1) 明显偏西的西太平洋副热带高压 (以下简称副高) 将南海的水汽, 沿着其南侧和西北侧呈顺时针方向输送到我国华南上空; 2) 偏强的南支槽将强劲的孟加拉湾水汽向东北方向输送到华南地区; 3) 从高原南侧而来的西路水汽经我国西南地区进入华南上空。

从 5 月异常少雨年 (1958 年、1961 年、1963 年、1966 年、1991 年、1995 年) 平均的降水量分

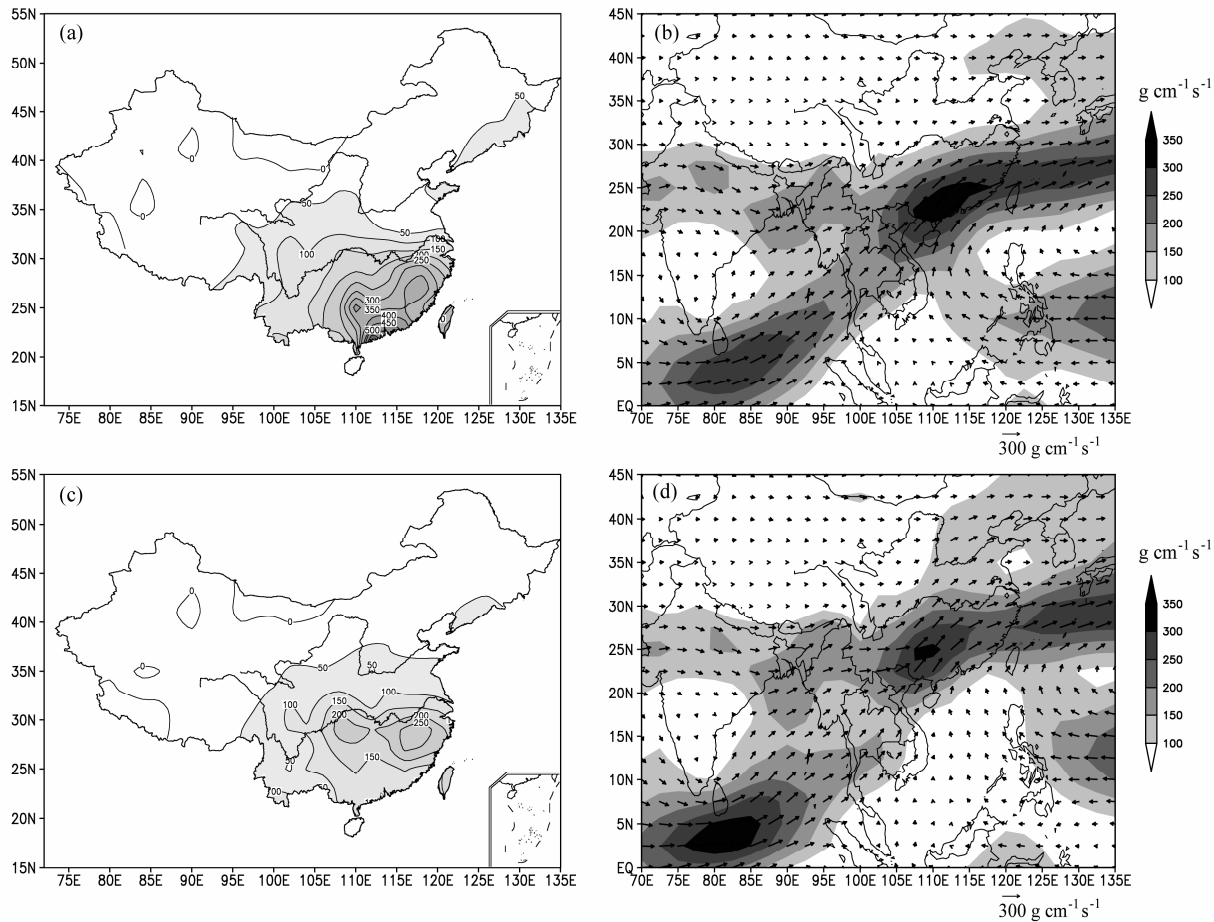


图 2 (a、b) 异常多雨年和 (c、d) 异常少雨年 5 月降水分布 (左列, 单位: mm) 及其整层水汽通量 (右列阴影, 箭头为水汽通量矢量)

Fig. 2 Average precipitation (left column, units: mm) and corresponding integrated moisture flux (right column, arrows denote water vapor flux vectors) in May of (a, b) abnormally rainy years and (c, d) abnormally rainless years

布特征(见图 2c)可以看出,华南大部地区 5 月降水量在 150 mm 以下。由图 2d 所示: 1) 明显偏东偏弱的副高不能将南海的水汽输送到我国华南上空; 2) 从高原南侧过来的西路水汽在 85°E 就与来自孟加拉湾的水汽汇合, 这两股水汽在华南上空也有交汇, 但是强度远比异常多雨年的水汽强度偏弱。

3.3 5 月异常多雨年与异常少雨年的水汽输送差异分析

5 月异常多雨年华南上空的水汽特别充足, 有来自东南、西南和高原南侧的 3 股水汽在华南上空交汇; 在 5 月异常少雨年, 只有来自孟加拉湾的西南路径水汽和来自高原南侧的西路水汽, 即只有两股水汽在华南上空交汇, 异常少雨年的水汽比异常多雨年的水汽要明显偏少。由图 3 可知, 5 月华南地区异常多雨年与异常少雨年的水汽差异, 主要是来自南海的水汽。相比之下, 来自孟加拉湾和高原南侧的两股水汽在异常多雨年和异常少雨年的差别, 比来自南海的水汽的差别要明显偏小。

比较经向和纬向(见图 4)的水汽输送发现: 虽然经向上的最强水汽通量中心(中心数值均为 $0.07 \text{ g m s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$)都是位于 850 hPa, 但异常少雨年水汽输送的大值中心较偏北, 位于 25°N (图 4b);

异常多雨年水汽输送的经向大值中心位于 23°N, 明显偏南(图 4a)。在异常多雨年, 纬向水汽输送的大值中心位于 109°E 附近(图 4c), 而异常少雨年的水汽中心从数值上看与异常多雨年并无较大差异, 但其位于 107°E 附近(图 4d), 较异常多雨年偏西近 2 个经度。这表明经向和纬向的水汽输送对华南 5 月的降水异常均有影响, 当水汽输送带的位置偏东、偏南时, 华南地区的降水会异常增多。

3.4 异常多雨年与异常少雨年水汽输送差异的可能成因分析

我国大雨带的位移通常与西太平洋副高、季风的变化有关。海温作为副高的重要影响因子之一, 与副高的活动有密切关系。由图 5 可见, 异常多雨年的副高异常偏西, 有利于南海的水汽通过副高边缘的西南气流向我国华南上空输送, 华南 5 月降水异常偏多; 异常少雨年时, 情况相反。

对于异常多雨年及少雨年副高差异的原因, 本文进行了初步的分析。图 6 为春季(3~5 月)太平洋地区的海温距平场, 异常多雨年时, 自日本东南洋面经北太平洋中部至赤道中东太平洋存在准东西向“负正负”的异常海温模态, 而异常少雨年则为“正负正”的异常海温模态。当北太平洋海温距平出现“负正负”模态时, 异常的海温特别是热带

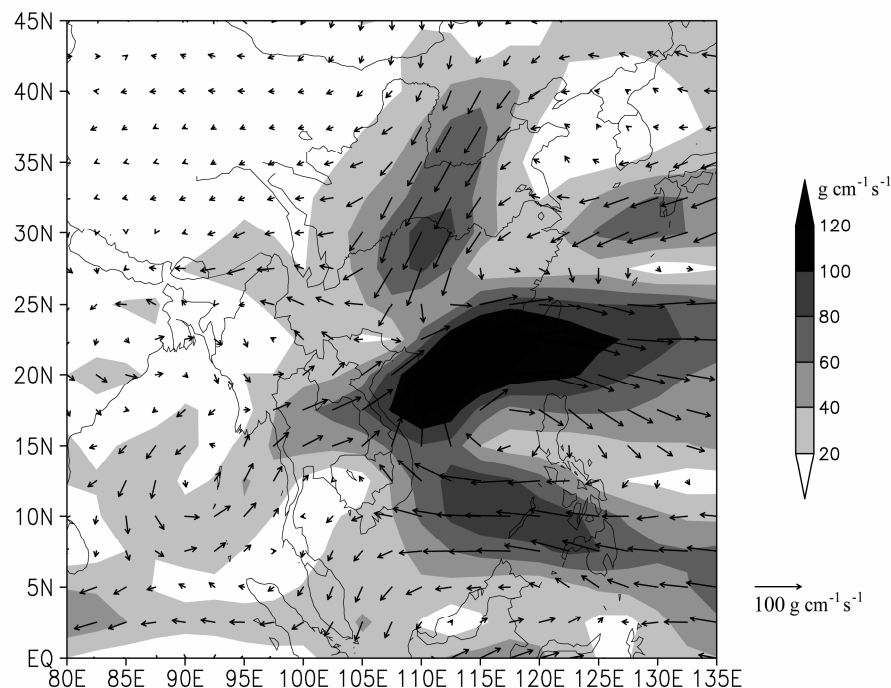


图 3 华南地区异常多雨年平均与异常少雨年平均的 5 月水汽输送差异(阴影, 箭头为水汽通量矢量)

Fig. 3 Difference of integrated moisture flux between averaged abnormally rainy years and averaged abnormally rainless years in South China during May (shadings, arrows denote water vapor flux vectors)

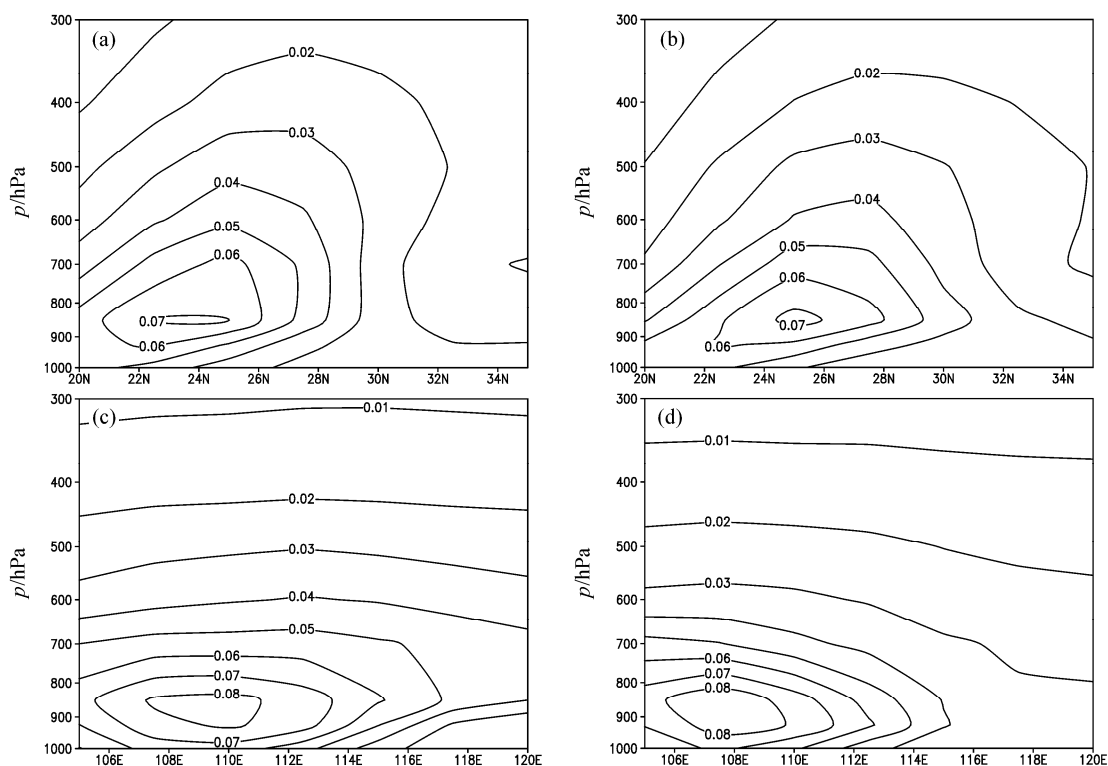


图 4 异常多雨年(左列)和异常少雨年(右列)沿(a、b) 105°E~120°E 平均的经向水汽输送和(c、d) 沿 20°N~25°N 平均的纬向水汽输送(单位: $\text{g m s}^{-1} \text{kg}^{-1}$)

Fig. 4 The moisture flux cross sections averaged over (a, b) 105°E–120°E and (c, d) 20°N–25°N in abnormally rainy years (left cloum) and abnormally rainless years (right cloum) (units: $\text{g m s}^{-1} \text{kg}^{-1}$)

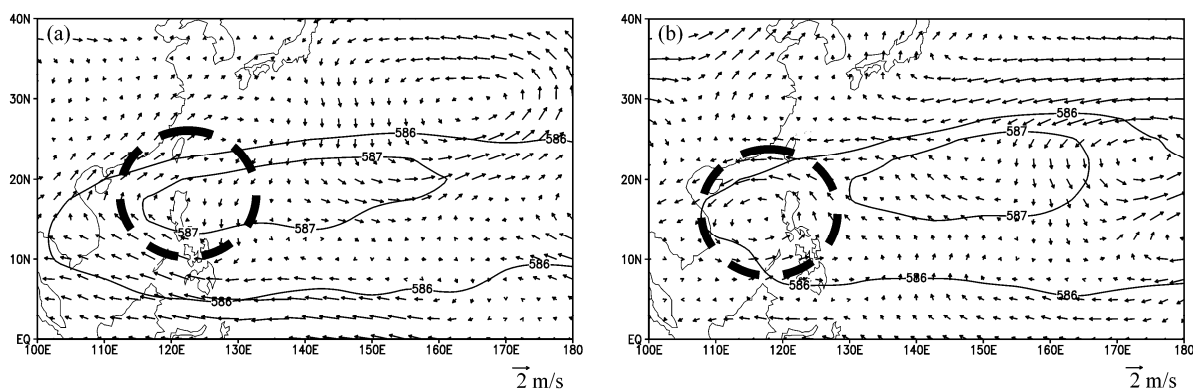


图 5 (a) 异常多雨年(圆圈表示异常的反气旋性环流)和(b) 异常少雨年(圆圈表示异常的气旋性环流) 5 月 500 hPa 风场距平及副高(实线)

Fig. 5 The 500-hPa wind anomaly and the West Pacific subtropical high (solid line) in May of (a) abnormally rainy years (circle denotes abnormally anticyclone) and (b) abnormally rainless years (circle denotes abnormally cyclone)

中太平洋海温负距平会导致该区域海平面气压升高(图7a), 南海地区出现异常反气旋性环流(图5a), 这都有利于副高的西伸加强。而当北太平洋海温距平出现“正负正”模态时, 异常的海温特别是热带中太平洋海温正距平会导致该区域海平面气压下降(图7b), 从而在南海地区激发出异常的气旋性环流(图5a), 导致副高东退减弱。

季风气团由于含有丰富的水汽, 是华南地区水

汽的重要来源。本文中采用李春和韩笑(2008)、王安宇等(1999)定义的夏季风北界指数分析异常多雨年与异常少雨年的季风进退, 具体定义为: 850 hPa 上 20°N 以北 105°E~125°E 之间平均南风风速 2 m/s 所在的纬度为东亚夏季风北界指数。异常多雨年时季风北界到达 30°N 附近(图8a), 而异常少雨年时其北界可延伸至华北地区(图8b)。可以说, 季风北界在华南降水异常年具有显著差异, 华

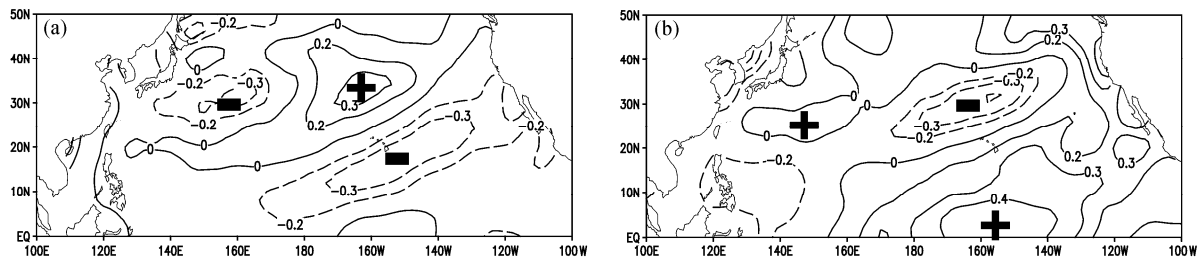


图6 (a) 异常多雨年和 (b) 异常少雨年春季海温距平 (单位: K)

Fig. 6 Sea Surface Temperature (SST) anomaly (K) in spring of (a) abnormally rainy years and (b) abnormally rainless years

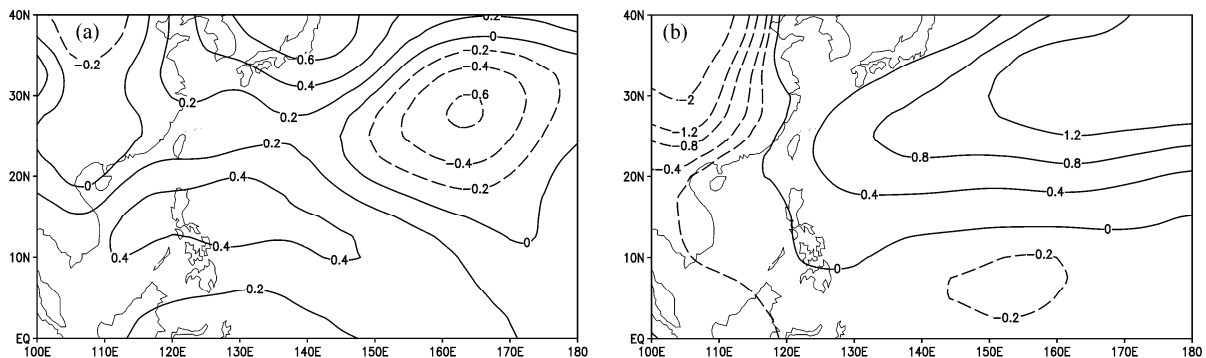


图7 (a) 异常多雨年和 (b) 异常少雨年5月海平面气压距平 (单位: hPa)

Fig. 7 Sea level pressure anomaly (hPa) in May of (a) abnormally rainy years and (b) abnormally rainless years

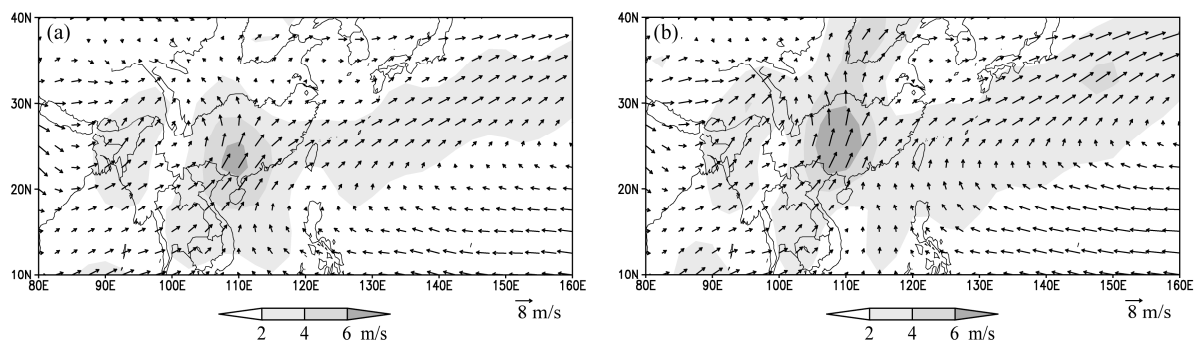


图8 (a) 异常多雨年和 (b) 异常少雨年5月850 hPa 风场 (阴影为南风风速)

Fig. 8 850-hPa wind (shadings are southerly wind velocity) in May of (a) abnormally rainy years and (b) abnormally rainless years

南5月异常多雨年时季风北上的势力偏弱, 是何种原因阻挡了季风的北上?

本文试图通过对异常多雨年和异常少雨年的平均温度进行比较, 进而验证冷空气对华南5月降水的影响。根据热层风原理, 两层等压面之间的厚度与这两层之间的平均温度呈正比。考虑到天气主要发生在对流层的中下层, 并且850 hPa约为边界层顶的平均高度, 因此选取500 hPa和850 hPa之间的平均温度 $\bar{T}$ 进行分析:

$$Z_1 - Z_0 = \frac{R}{g} \bar{T} \ln \frac{p_0}{p_1}, \quad (5)$$

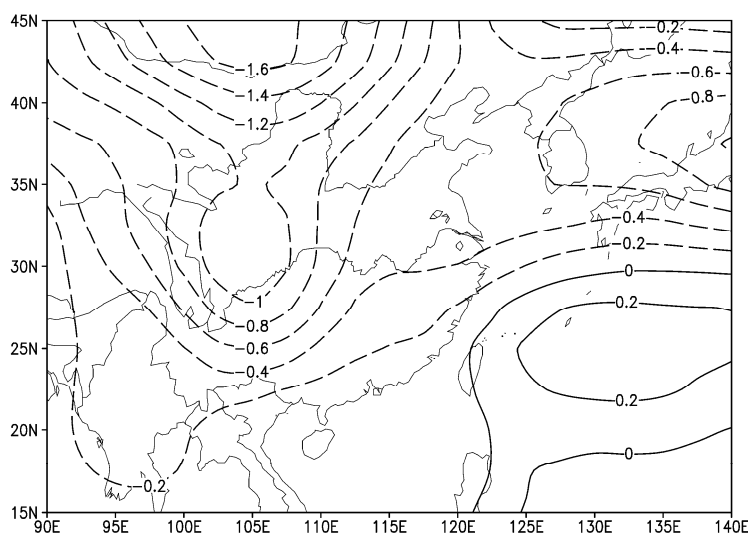
其中, Z_1 、 Z_0 为气层的厚度, p_1 、 p_0 为气压, R 为

干空气气体常数。图9为异常多雨年与异常少雨年的平均温度差异, 在异常多雨年20°N以北平均温度明显偏低, 说明冷空气活动频繁, 来自北方的冷空气与季风带来的暖湿气流交汇于华南地区, 使得华南5月降水异常增多。

4 结论

本文通过对1951~2012年华南地区14个代表站的历年5月降水量和水汽输送路径特征的分析, 得到以下结论:

(1) 华南地区5月异常多雨年的水汽来源有3

图 9 5 月异常多雨年与异常少雨年的平均温度之差 (单位: $^{\circ}\text{C}$)Fig. 9 Mean temperature difference ($^{\circ}\text{C}$) in May between abnormally rainy years and abnormally rainless years

个：沿西太平洋副热带高压边缘输送的来自南海的水汽、南支槽输送的孟加拉湾水汽和自高原南侧的西路水汽；华南地区 5 月异常少雨年的水汽来源主要为来自孟加拉湾的水汽和青藏高原南侧的西路水汽。

(2) 来自南海的水汽是影响华南地区 5 月降水的重要因素，副高东西位置的变化对华南降水有重要作用：副高异常偏西，有利于南海的水汽通过副高边缘的西南气流向我国华南上空输送，华南 5 月降水异常偏多；副高异常偏东时，华南 5 月降水异常偏少。

(3) 北太平洋海温异常呈现准东西向的“负正负”分布时，南海地区为异常的反气旋性环流，副高西伸加强；北太平洋海温距平为“正负正”异常分布时，南海地区为异常的气旋性环流，副高东退减弱。

(4) 季风北进的同时，需有北方冷空气南下配合，使得冷暖气流在华南地区交汇，导致华南 5 月降水异常增多。

参考文献 (References)

常越, 何金海, 刘芸芸, 等. 2006. 华南旱、涝年前汛期水汽输送特征的对比分析 [J]. 高原气象, 25 (6): 1064–1070. Chang Yue, He Jinhai, Liu Yunyun, et al. 2006. Features of moisture transport of in pre-summer flood season of drought and flood years over South China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 25 (6): 1064–1070.

陈长胜, 林开平, 王盘兴. 2004. 华南前汛期降水异常与水汽输送的关

系 [J]. 南京气象学院学报, 27 (6): 721–727. Chen Changsheng, Lin Kaiping, Wang Panxing. 2004. Relation between pre-flood season precipitation anomalies in South China and water vapor transportation [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 27 (6): 721–727.

陈红, 赵思雄. 2000. 第一次全球大气研究计划试验期间华南前汛期暴雨过程及其环流特征的诊断研究 [J]. 大气科学, 24 (2): 238–252.

Chen Hong, Zhao Sixiong. 2000. Heavy rainfall in South China and related circulation during first GARP global experiment period [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 24 (2): 238–252.

陈菊英. 1991. 中国旱涝的分析和长期预报研究 [M]. 北京: 农业出版社, 13–32. Chen Juying. 1991. Analysis and Long-Term Forecasting of Drought/Flood in China (in Chinese) [M]. Beijing: Agriculture Press, 13–32.

陈世训, 高绍风. 1982. 5~6 月我国南方降水的水汽来源及其异常 [C]// 全国热带夏季风学术会议文集. 昆明: 云南人民出版社, 97–100. Chen Shixun, Gao Shaofeng. 1982. The source of water vapor and its abnormality of precipitation in May–June in South China [C]// The Bulletin of Tropical Summer Monsoon in China (in Chinese). Kunming: Yunnan People's Publishing House, 97–100.

韩晋平, 王会军, 姜大膀. 2006. 耦合模式长期积分资料所揭示的华南春季降水及环流特征的年际变化 [J]. 气候与环境研究, 11 (2): 194–202, doi: 10.3878/j.issn.1006–9585.2006.02.07. Han Jinping, Wang Huijun, Jiang Dabang. 2006. Interannual variation of spring precipitation and circulation in South China as Simulated by a Coupled Model [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (2): 194–202.

金祖辉. 1981. 1979 年夏季南海地区水汽收支 [C]// 全国热带夏季风学术会议文集. 昆明: 云南人民出版社, 152–164. Jin Zuhui. 1981. The budget of water vapor of South China Sea in summer [C]// The Bulletin of Tropical Summer Monsoon in China (in Chinese). Kunming: Yunnan People's Publishing House, 152–164.

李春, 韩笑. 2008. 东亚夏季风北界与我国夏季降水关系的研究 [J]. 高

- 原气象, 27 (2): 325–330. Li Chun, Han Xiao. 2008. Relationship of northern boundary of East Asian summer monsoon and summer precipitation in eastern part of China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 27 (2): 325–330.
- 李宏毅, 林朝晖, 陈红. 2010. 我国华南 3 月份降水年代际变化的特征 [J]. 气候与环境研究, 15 (3): 311–321, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2010.03.11. Li Hongyi, Lin Zhaohui, Chen Hong. 2010. Interdecadal variability of precipitation in March over South China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (3): 311–321.
- 李宏毅, 林朝晖, 陈红. 2012. 我国华南 4、5 月份降水年代际变化的特征及其与中西太平洋海温的可能关系 [J]. 气候与环境研究, 17 (4): 481–494, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2011.11040. Li Hongyi, Lin Zhaohui, Chen Hong. 2012. Characteristics of the interdecadal variability of precipitation in April and May over South China and possible relationship with the mid-west Pacific SST [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 17 (4): 481–494.
- 李秀珍, 梁卫, 温之平. 2010. 华南秋、冬、春季水汽输送特征及其与降水异常的联系 [J]. 热带气象学报, 26 (5): 626–632. Li Xiuzhen, Liang Wei, Wen Zhiping. 2010. Characteristics of the atmosphere water vapor and its relationship with rainfall in South China in northern autumn, winter and spring [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 26 (5): 626–632.
- 沈如桂, 黄更生. 1981. 1980 年夏季热带季风环流与我国南方降水水汽输送关系 [C]//全国热带夏季风学术会议文集. 昆明: 云南人民出版社, 116–127. Shen Rugui, Huang Gengsheng. 1981. The relationship between summer monsoon circulation and vapor transportation of South China in 1980 [C]// The Bulletin of Tropical Summer Monsoon in China (in Chinese). Kunming: Yunnan People's Publishing House, 116–127.
- 王安宇, 吴池胜, 林文实, 等. 1999. 关于我国东部夏季风进退的定义 [J]. 高原气象, 18 (3): 400–408. Wang Anyu, Wu Chisheng, Lin Wenshi, et al. 1999. The definition of the advance and retreat of the summer monsoon in China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 18 (3): 400–408.
- 杨辉, 李崇银, 潘静. 2011. 一次引发华南大暴雨的南海季风槽异常特征及其原因分析 [J]. 气候与环境研究, 16 (1): 1–14, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2011.01.01. Yang Hui, Li Chongyin, Pan Jing. 2011. Cause and anomalous characteristics of the South China Sea monsoon trough producing heavy rainfall in South China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (1): 1–14.
- 杨红梅, 何平, 徐宝祥. 2002. 用 GPS 资料分析华南暴雨的水汽特征 [J]. 气象, 28 (5): 17–21. Yang Hongmei, He Ping, Xu Baoxiang. 2002. Analysis of water vapor characteristics of torrential rainfall in South China with GPS data [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 28 (5): 17–21.
- 张炎, 孙照渤, 白莹莹, 等. 2008. 近 47a 华南前汛期旱涝特征 [J]. 南京气象学院学报, 31 (2): 176–182. Zhang Yan, Sun Zhaobo, Bai Yingying, et al. 2008. Drought/flood characteristics of pre-flood season in South China in recent 47 years [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 31 (2): 176–182.