

热带海洋变异对东亚季风的影响^①

张人禾¹ 李 强^{2,3}

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 中国科学院大气物理研究所;
3. 中国科学院研究生院)

提 要

季风主要是由于海陆热力差异随季节的变化所造成。热带海洋温度具有显著的年际异常, 热带海温的变异不仅可以通过改变海陆热力差异, 而且也通过热带地区强烈的海气相互作用, 对季风系统产生重要影响, 造成季风区天气和气候的异常。回顾了发生在热带东太平洋(ENSO 现象)、热带西太平洋暖池和热带印度洋海温的变异对东亚季风的影响及其影响的物理过程, 并指出东亚季风与这些热带区域的海温变异是一个有机的整体, 只有对它们进行综合的研究, 才能真正认识它们之中任一部分的变化。

关键词: 东亚季风 ENSO 海表温度

引 言

地球表面海陆分布的不同造成的海洋和陆地对大气加热的热力差异随季节的变化, 是季风产生的主要原因。亚洲季风系统是全球大气环流系统中的一个重要成员^[1,2], 季风的变异在全球热带大气环流的季节和年际变化中起着重要的作用^[3], 季风也是东亚大气环流一个非常重要的特征, 是影响我国天气和气候变化的一个重要因素。对亚洲季风各子系统的分析表明^[4,5], 亚洲季风是由印度季风和东亚季风两个子系统构成, 二者之间既有区别, 又有联系。印度地区的季风系统与东亚地区的季风系统不仅组成的成员不同, 其变化特征也存在着明显的差异^[6,7]。东亚地区是全球最显著的季风区域。对于东亚地区来说, 北半球冬季东亚大陆上为冷源, 东亚大陆以东和以南的太平洋上为热源, 热带西太平洋上空的巨大热源和华北—西伯利亚上空的强烈冷源之间的巨大温度差异是东亚冬季风的主要驱动力。夏季海陆之间的热力差异正好与冬季相反, 东亚大陆上为热源,

东亚大陆以东和以南的太平洋上为冷源, 这种热力差异导致了东亚夏季风的产生。

海洋覆盖了约三分之二的地球表面, 到达地球的大部分太阳辐射落在海洋上并被海洋吸收。由于海洋的质量和比热很大, 它们构成了一个巨大的能量存贮器。海洋巨大的热惯性使得海面温度的变化比陆面温度的变化小得多, 它对大气温度的变化起着缓冲器和调节器的作用。在热带地区, 由于存在着更强的直接太阳辐射, 在海洋中形成了能量的盈余, 除了海流把贮存的一部分能量从热带输送到较冷的中高纬度外, 热带海洋也以感热和潜热的形式向大气释放能量, 并向大气提供大量的水汽。因此, 热带海洋在调节大气环流和气候变化中起着非常重要的作用。亚洲夏季风从热带海洋带来大量的水汽到达季风区, 对亚洲夏季风期间降水的形成具有重要的作用。因此, 热带海洋热状况不仅可以影响到夏季风的强弱, 也通过影响季风气流, 对季风区的水汽输送产生影响, 进而影响到季风区的降水, 造成旱涝等气候灾害

^① 国家自然科学基金项目资助(编号:40225012)

的发生。

1 ENSO 对东亚季风的影响

厄尔尼诺(El Niño)是指赤道中东太平洋表面海水的强烈增暖现象,其持续的时间可达一年左右^[8,9]。由于与厄尔尼诺相伴随的海面温度的空间和时间分布与发生在赤道附近的南方涛动(Southern Oscillation)现象有密切的联系,因此将热带大气-海洋耦合系统的这种缓慢振荡现象称之为 ENSO^[10]。ENSO 具有明显的年际变化特征,是年际气候变化中的最强信号,其周期大约为 2~7 年。

ENSO 现象虽然发生在热带,许多观测资料分析和数值模拟研究都表明,它的发生会在全球的许多地区引起严重的气候异常^[11~13]。早在 70 年代,我国学者就研究了 ENSO 对东亚季风的影响^[14,15],指出 ENSO 期间副热带高压的西伸可以引起我国的降水异常。李崇银^[16,17]指出由于 ENSO 年西太平洋海水温度偏冷,发生在西太平洋和南海的台风数以及登陆中国大陆的台风数都偏少。黄荣辉等^[18]指出 ENSO 循环对东亚夏季风降水的影响取决于 ENSO 循环的阶段。当 ENSO 处于发展阶段,我国夏季江淮流域降水偏多,而黄河流域、华北地区的降水偏少,但当 ENSO 处于衰减阶段时,江淮流域降水偏少,黄河流域、华北地区及江南和华南地区降水偏多。对于造成这种降水异常分布的物理机制,则是由于当 ENSO 处于发展阶段时,西太平洋菲律宾附近的海面温度偏低,对流不活跃,而当 ENSO 处于衰减阶段时,菲律宾附近的海面温度偏高,对流活跃。与 ENSO 相联系的菲律宾附近的热源异常会激发出准定常行星波的传播,由此形成了东亚/太平洋型遥相关,造成我国降水的异常分布。

张人禾等^[19~21]研究了 ENSO 期间东亚气候的异常特征,指出了在 ENSO 的盛期东亚季风环流和降水都会发生显著的异常,即在 ENSO 盛期时的北半球秋、冬、春季节,东亚沿岸出现显著的西南风异常,并在我国华南地区有显著的降水正异常出现。对 ENSO 影响东亚气候物理过程的分析表明,这些异常现象的出现是与 ENSO 在其盛期时对热

带大气异常加热的分布特征所决定的。在 ENSO 盛期,热带太平洋上空异常加热场的纬向分布具有明显的偶极型分布,即在热带中东太平洋上空有对流异常加热,而在热带西太平洋海洋性大陆上空有明显的对流异常冷却,在 ENSO 的其它位相阶段不存在这种明显的对流加热异常的偶极型分布。热带西太平洋海洋性大陆上空的对流异常冷却使得热带大气在对流层低层产生 Rossby 波响应,在海洋性大陆以北产生异常反气旋性环流。与此异常反气旋性环流相伴随的水汽输送异常使得东亚沿岸附近的水汽输送增强,并在我国的华南沿岸附近产生异常辐合,使大气中的可降水量增加,导致了我国华南地区在 ENSO 盛期出现降水正异常。与此同时,海洋性大陆以北的异常反气旋环流使得东亚沿岸出现西南风异常,使得东亚冬季风减弱。Wang 等^[22]的分析也指出,在 ENSO 的极端位相时出现在海洋性大陆以北的反气旋异常环流是连接 ENSO 暖位相与弱东亚冬季风的“桥梁”,并且这个反气旋异常可以持续到夏季,对东亚夏季风产生影响。张人禾在对 ENSO 与我国夏季降水异常关系的研究中指出^[23],在 ENSO 盛期的北半球夏季,我国华北地区具有显著的降水负异常出现,这种降水负异常的出现与 ENSO 期间印度季风的减弱有关。ENSO 盛期与弱印度夏季风相联系的弱水汽输送造成了我国华北地区的水汽输送减少,使得华北地区上空大气中的可降水量产生显著负异常,由此导致了负降水异常。

2 热带西太平洋暖池对东亚季风的影响

热带西太平洋虽然只占地球表面面积的很小一部分,但这里存在着全球海面温度最高的海域,称为“暖池”(Warm Pool),该区域常年海面温度大于 28℃,温跃层的厚度可达 150~200m,表层海水和热含量也极大。在此海域的海气相互作用相当剧烈。热量的释放不仅对热带大气环流产生重大的影响,也通过影响 Hadley 环流以及激发行星波列在中高纬环流的变化中起着重要的作用。

Nitta^[24]的研究表明,菲律宾附近的海面温度及其上空的对流活动对东亚的夏季气候

有很大的影响。他指出暖池海面温度偏低时菲律宾附近的对流活动较弱,此时东亚中纬度地区常常出现冷夏,并提出太平洋/日本(PJ)型遥相关对这种现象给出了解释。黄荣辉^[25-28]根据准定常行星波列的传播理论及数值试验,提出了菲律宾附近的对流活动所形成的强大热源会激发出准定常行星波,它的传播造成了东亚/太平洋(EAP)型遥相关,菲律宾附近的对流通过这种遥相关型可以对东亚气候产生强烈的影响。他们还通过观测资料的诊断和数值模拟,指出了若热带西太平洋海水温度偏高,菲律宾附近的对流活动强,西太平洋副热带高压偏北,我国江淮流域、朝鲜半岛南部和日本的夏季风降水减少,而我国的华北和江南降水偏多。反之,若热带西太平洋海水温度偏低,则菲律宾附近的对流活动弱,西太平洋副热带高压偏南,江淮流域夏季风降水偏多,华北和江南地区降水偏少。

3 热带印度洋和南海对东亚季风的影响

热带印度洋与热带太平洋不同,其洋流和海温的变化受季风的影响很大,具有明显的季节变化特征。在年际时间尺度上,热带印度洋的海温变化主要表现为全区海温异常一致型的单极分布和东西部海温异常反相的偶极型分布^[29]。在东亚夏季风期间,印度夏季风的季风环流不仅能够直接影响东亚季风流场,而且从印度洋上空将大量的水汽输送到东亚季风区,是东亚季风区夏季降水的一个主要水汽来源^[7]。

金祖辉和沈如桂^[30]分析了长江中下游梅雨期降水与印度洋和南海海面温度的关系,发现在涝年,南海海面温度为正距平,而印度洋西部沿岸为负距平区,而对于旱年则纬向温度梯度反相,在南海海面温度为负距平,印度洋西部为正距平,指出了西印度洋与南海的纬向热力差异对我国长江中下游梅雨的可能影响。陈烈庭^[31]对这种联系给出了可能的物理解释,即当南海海温偏高,西印度洋海温偏低时,印度洋 Walker 环流发展,印度西南季风偏强,南海热带辐合带活跃并使得经向 Hadley 环流发展,造成了西太平洋副热带高压脊加强并西伸,由此形成了长江中

下游梅雨期的多雨。

Saji 等^[32]根据海温距平的分析,指出了印度洋海面温度在纬向上存在着一种偶级型振荡。Anderson^[33]指出热带印度洋偶极型变化在次表层海水中也有表现。实际上,金祖辉和沈如桂发现的热带印度洋海温的纬向差异与这种偶极子可能具有内在的联系,因此,这种海温的偶极子型分布对东亚季风应该具有一定的影响。李崇银和穆明权^[34]利用实际资料的分析表明,赤道印度洋海温偶极子可以通过影响对流层低层流场直接对亚洲夏季风产生明显影响。对应海温偶极子的正位相,有较强南海夏季风和印度夏季风;对应海温偶极子的负位相,南海夏季风将偏弱,而印度南部地区夏季风偏强。赤道印度洋海温偶极子还可以通过影响对流层上层青藏高原反气旋以及西太平洋副热带高压,也对亚洲夏季风产生明显影响。对应海温偶极子的正(负)位相,青藏高原反气旋偏弱(强),而西太平洋副热带高压也将偏弱(强)。

4 东亚季风对热带海洋的影响

李崇银^[35,36]通过资料分析,发现在 ENSO 发生的前一年冬季,东亚及西北太平洋地区的 500hPa 高度距平为负值,冬半年有强而频繁的东亚大槽活动,提出了东亚冬季风的持续强异常可能是激发厄尔尼诺的重要机制。强东亚冬季风可以造成赤道西太平洋地区西风 and 积云对流的持续强异常,引起大气季节内振荡的异常并激发海洋 Kelvin 波,由此可导致 ENSO 的发生。他们还进一步利用海气耦合模式,研究了东亚冬季风异常在 ENSO 循环中的作用^[37,38],结果表明,持续强东亚冬季风可以激发出厄尔尼诺事件,持续弱东亚冬季风可以激发出拉尼娜事件。黄荣辉等^[39-41]的研究也表明,对 ENSO 的发生起重要作用的赤道西太平洋上空的西风异常不仅可以来自南亚地区,而且也可以来自东亚季风区。东亚季风区的西风异常通过 EU 型遥相关波列,从东亚季风区对流层低层向东南方向传播,导致了西太平洋的西风异常,对 ENSO 循环可以产生重要的影响。

5 结束语

已有的研究主要集中在暖池、ENSO 或

印度洋海温异常分别与东亚季风之间单独的影响,实际上,这些系统之间存在着内在的联系。由于暖池上空强烈的对流活动,该地区成为热带纬圈环流的上升分支所在,其西侧的纬圈环流成为西太平洋和印度洋热带大气的桥梁,因此,暖池的热状况与热带印度洋的海气相互作用以及印度季风的变化具有内在的联系。另外,在暖池东侧的纬圈环流,即 Walker 环流,可横跨至东南太平洋,并和东南信风发源地的高压相联系。暖池热状态的改变将会引起 Walker 环流的异常,由此可导致信风的异常,进而影响到热带太平洋的海气相互作用,对 ENSO 循环产生影响。同时,信风的异常也会引起表面洋流的变化,导致热量输送的异常,使得暖池热状况发生变化。

除了与暖池热状况相联系的纬圈环流外,在西太平洋和东亚上空存在着一个与纬圈环流相联系的经圈环流,它把暖池上空大量的热量和动量带到副热带和中纬度,改变和加强了那里的大气环流。热带西太平洋也是与东亚季风爆发有关的海域,此海域的热状况会在一定程度上影响季风的的活动,而反过来季风的爆发又会改变海洋的热力状态和表层洋流的强度和方向。

综上所述,东亚季风、暖池、ENSO 和热带印度洋海温的异常是一个有机的整体,它们的变异存在着内在的相互联系。因此,只有对它们进行综合的研究,才能真正认识它们之中任一部分的变化。

参考文献

- Krishnamurti, T. N. Tropical East-west Circulations during the Northern Summer. *J. Atmos. Sci.*, 1971, 28: 1342—1347.
- Krishnamurti, T. N., W. J. Koss and J. D. Lee. Tropical East-west Circulations during the Northern Winter. *J. Atmos. Sci.*, 1973, 30: 780—787.
- 陶诗言. 季风研究中有待解决的问题. 现代大气科学前沿与展望. 北京: 气象出版社, 1996: 35~37.
- Lau, K. M. and M. T. Li. The Monsoon of East Asia and Its Global Association-A Survey. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1984, 65: 114—125.
- Tao, S. Y. and L. X. Chen. A Review of Recent Research on the East Asia Summer Monsoon in China. *Monsoon meteorology* (C. P. Chang and T. N. Krishnamurti, Eds.), Oxford: Oxford University Press, 1987: 60—92.
- 黄荣辉, 张振洲, 黄刚等. 夏季东亚季风区水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送的差别. *大气科学*, 1998, 22: 460~469.
- Zhang, Renhe. Relations of Water Vapor Transports from Indian Monsoon with Those over East Asia and the Summer Rainfall in China. *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, 18: 1005—1017.
- Rasmusson, E. M. and T. H. Carpenter. Variations in Tropical Sea Surface Temperature and Surface Wind Fields Associated with the Southern Oscillation/El Nino. *Mon. Wea. Rev.*, 2001, 110: 354—384.
- Deser, C. and J. M. Wallace. Large-scale Atmospheric Circulation Features of Warm and Cold Episodes in the Tropical Pacific. *J. Climate*, 1990, 3: 1254—1281.
- Philander, S. G. H. El Nino Southern Oscillation Phenomena. *Nature*, 1983, 302: 295—301.
- Wallace, J. M. and D. S. Gutzler. Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter. *Mon. Wea. Rev.*, 1983, 109: 784—812.
- Shukla, J. and J. M. Wallace. Numerical Simulation of the Atmospheric Response to Equatorial Pacific Sea Surface Temperature Anomalies. *J. Atmos. Sci.*, 1983, 40: 1613—1630.
- Lau, N. C. Modelling the Seasonal Dependence of the Atmospheric Response to Observed El Niños in 1962—1976. *Mon. Wea. Rev.*, 1985, 113: 1970—1996.
- 陈烈庭. 东太平洋赤道地区海水温度异常对热带大气环流及我国汛期降水的影响. *大气科学*, 1977, 1: 1~12.
- 符淙斌等. 热带海洋对副热带高压长期变化的影响. *科学通报*, 1977, 21: 313—317.
- 李崇银. 厄尔尼诺影响西太平洋台风活动的研究. *气象学报*, 1987, 45: 229~236.
- LI Chongyin. Actions of Typhoon over the Western Pacific (including the South China Sea) and El Nino. *Adv. Atmos. Sci.*, 1987, 5: 107—116.
- Huang Ronghui and Yifeng Wu. The Influence of ENSO on the Summer Climate Change in China and Its Mechanisms. *Adv. Atmos. Sci.*, 1987, 6: 21—32.
- Zhang Renhe, A. Sumi and M. Kimoto. Impact of El Nino on the East Asian Monsoon: A Diagnostic Study of the 86/87 and 91/92 events. *J. Met. Soc. Japan*, 1987, 74: 49—62.
- Zhang Renhe, A. Sumi and M. Kimoto. A Diagnostic Study of the Impact of El Nino on the Precipitation in China. *Adv. Atmos. Sci.*, 1999, 16: 229—241.
- Zhang, Renhe and A. Sumi. Moisture Circulation over East Asia during El Niño Episode in Northern Winter,

- Spring and Autumn. J. Meteor. Soc. Japan, 2002, 80: 213—227.
- 22 Wang B., R. Wu and X. Fu. Pacific-East Asian Teleconnection: How does ENSO Affect East Asian Climate? J. Climate, 2000, 13: 1517—1536.
 - 23 张人禾. El Nino 盛期印度夏季风水汽输送在我国华北地区夏季降水异常中的作用. 高原气象, 2000, 18: 567—574.
 - 24 Nitta, T. Convective Activities in the Western Tropical Pacific and Their Impact on the Northern Hemisphere Summer Circulation. J. Met. Soc. Japan, 1987, 64: 373—390.
 - 25 Huang R. H. and W. J. Li. Influence of the Heat Source Anomaly over the Tropical Western Pacific on the Subtropical High over East Asia. Proceedings of the International Conference on the General Circulation of East Asia, 1987: 40—51.
 - 26 黄荣辉, 李维京. 夏季热带西太平洋的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制, 大气科学(特刊), 1988: 107—116.
 - 27 Huang R. H. and F. Y. Sun. Impact of the Tropical Western Pacific on the East Asian summer monsoon. J. Met. Soc. Japan, 1992, 70: 243—256.
 - 28 黄荣辉, 孙凤英. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响. 大气科学, 1994, 18: 141—151.
 - 29 谭言科, 张人禾, 何金海. 热带印度洋海温的年际异常及其海气耦合特征. 大气科学, 2003, 27: 53—66.
 - 30 金祖辉, 沈如桂. 长江中下游旱梅和涝梅年海温场及大气环流系统的特征. 气象科学技术集刊, 北京: 气象出版社, 1987, 11: 83—88.
 - 31 陈烈庭. 阿拉伯海—南海海温距平纬向差异对长江中下游降水的影响. 大气科学, 1991, 15: 33—42.
 - 32 Saji, N. H., B. N. Goswami, P. N. Viayachandrom and T. Yamagata. A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean. Nature, 1991, 401: 360—363.
 - 33 Anderson, D. Extremes in the Indian Ocean. Nature, 1999, 401: 337—339.
 - 34 李崇银, 穆明权. 赤道印度洋海温偶极子型振荡及其气候影响. 大气科学, 2001, 25: 433—443.
 - 35 李崇银. 频繁强东亚大槽活动与 El Nino 的发生. 中国科学(B), 1988, 18: 667—674.
 - 36 Li Chongyin. Interaction between Anomalous Winter Monsoon in East Asia and El Nino events. Adv. Atmos. Sci., 1990, 7: 36—46.
 - 37 李崇银, 穆明权. 异常东亚冬季风激发 ENSO 的数值模拟研究. 大气科学, 1998, 22: 481—490.
 - 38 穆明权, 李崇银. 东亚冬季风异常对 ENSO 的激发—一个 CGCM 数值模拟研究. 东亚季风和中国暴雨(中国科学院大气物理研究所编). 北京: 气象出版社, 1998: 210—219.
 - 39 黄荣辉, 吴仪芳. 关于 ENSO 循环动力学研究. 海洋环流研讨会论文集(曾庆存等编), 北京: 海洋出版社, 1992: 41—51.
 - 40 黄荣辉, 张人禾. ENSO 循环与东亚季风环流相互作用过程的诊断研究. 赵九章纪念文集(叶笃正主编), 北京: 科学出版社, 1997: 93—109.
 - 41 Huang Ronghui, Zang Xiaoyun, Zhang Renhe and Chen Jilong. The Westerly Anomies over the Tropical Pacific and Their Dynamical Effect on the ENSO Cycle. Adv. Atmos. Sci., 1998, 15: 155—151.

Impact of Sea Temperature Variability of Tropical Oceans on East Asian Monsoon

Zhang Renhe¹ Li Qiang^{2,3}

(1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081; 2. Institute of Atmospheric Physics, CAS;
3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences)

Abstract

The seasonal variation of the thermal contrast between land and sea is the most important reason for the formation of monsoon. The prominent interannual variability of sea temperature in tropical oceans can affect the monsoon both through altering the thermal contrast between land and sea and through strong air-sea interaction in the tropics. A review about the studies of influences of sea temperature in tropical eastern Pacific (ENSO), western Pacific Warm Pool and tropical Indian Ocean on the East Asian monsoon, respectively, and physical processes of such influences is given. It is pointed out that the variability of the East Asian monsoon and that of the sea temperature in these tropical oceans are coherent. A synthetic study is needed for fully understanding the variability of either the East Asian monsoon or the sea temperature in these tropical oceans.

Key Words: east Asian monsoon ENSO sea surface temperature