

北部湾海表面温度变化特征及其影响因素分析^{*}

Analysis of Variation Characteristics and Driving Factors of Sea Surface Temperature in Beibu Gulf

牙韩争, 高劲松, 董德信

YA Han-zheng, GAO Jing-song, DONG De-xin

(广西科学院 广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007)

(Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

摘要:【目的】了解北部湾海表面温度(SST)变化特征及其影响因素。【方法】根据 NOAA 提供的北部湾海域 1994~2013 年间 SST、海面风场、潜热通量、Nino 3.4 指数资料,采用平均值法、最小二乘法分析海域冬、夏两季 SST 分布及变化特征;采用相关系数法计算 SST 与海面风场、潜热通量及 Nino 3.4 指数间的相关系数,分析海面风场、潜热通量、厄尔尼诺效应对 SST 的影响。【结果】1994~2013 年间,北部湾海域冬季 SST 约为 19.0~24.0℃,大致呈“北冷南暖”的特点,夏季 SST 相差不大,约为 28.6~29.8℃;海域冬季以降温为主,幅度约为 -0.03℃/a,夏季则表现为小幅度升温,幅度约为 0.01℃/a;纬向风、潜热通量对 SST 影响较大,厄尔尼诺事件仅在厄尔尼诺显著年对 SST 有显著的影响。【结论】纬向风、潜热通量对北部湾 SST 影响较大,厄尔尼诺现象在厄尔尼诺显著年对 SST 有较大的影响。

关键词:北部湾 海表面温度 变化特征 影响因素

中图分类号:P732.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2015)03-0260-06

Abstract:【Objective】The sea surface temperature (SST) in Beibu Gulf was studied in order to understand its variation characteristics and their driving factors. 【Methods】Based on the SST, latent heat flux, surface wind and Nino 3.4 index data from 1994 to 2013 provided by NOAA, the distribution feature and the variation characteristics of the SST in Beibu Gulf were analyzed firstly by mean value method and least square method, respectively, and then the influence of latent heat flux, surface wind and EI Nino on the SST were estimated by correlation coefficient method. 【Results】The results show that the temperature in Beibu Gulf was about 19.0~24.0℃ in winter and about 28.6~29.8℃ in summer. In winter, the temperature in the Gulf was low in the north and high in the south, but this variation tends to coincide in summer. The temperature in Beibu Gulf was getting lower gradually in winter and vice versa in summer, with the strength of -0.03℃/a in winter and 0.01℃/a in summer, respectively. The zonal wind and the latent heat flux had significant influences on the SST, but the EI Nino event has significant affected on the SST in EI Nino significant year only. 【Conclusion】The zonal wind and the latent heat flux had significant influences on SST in the Beibu Gulf, but the EI Nino event has significant affected on SST in EI Nino significant year only.

Key words: Beibu Gulf, sea surface temperature (SST), variation characteristics, driving factors

收稿日期: 2014-12-09

修回日期: 2015-01-08

作者简介: 牙韩争(1988-), 男, 硕士, 主要从事河口海岸物质运输研究。

^{*} 国家自然科学基金青年基金项目(41406044)和广西自然科学基金重大项目(2012GXNSFEA0533001)资助。

0 引言

【研究意义】海表面温度(SST)是海洋热力、动力

过程以及海洋与大气相互作用等多种因素共同作用下的结果,是影响海面水气交换和热通量的一个重要因素,也是研究海洋环流、水团、海洋锋、上升流和海水混合等问题的主要参量^[1]。近年来,随着海洋环境问题愈演愈烈,海洋环境受到广大学者的关注,作为海洋环境学的重要组成部分,SST一直是国内外学者研究的热点。【前人研究进展】国内外众多学者^[2~6]对海域 SST 变化进行大量的研究,罗琳等^[4]通过卫星遥感 SST 资料,对北部湾温度锋的季节变化与年际变化规律进行了探讨。丘福文等^[5]通过卫星遥感数据,对 2000~2008 年间南海 SST 年际及空间变异特征进行分析,结果表明南海 SST 存在 18.3 月、25.6 月、42.7 月的振荡周期。朱秀华等^[6]采用 COADS 和 OISST 海洋气象资料对南海 SST 年际模态及其与季风强迫关系进行探讨,得出南海 SST 异常存在 25.6 月、36.6 月、42.7 月变化周期的结论,并指出南海 SST 异常与厄尔尼诺(EI Nino)密切相关,同时受经向风应力、Ekman 抽吸的影响。【本研究切入点】北部湾位于我国南海西北部,东临雷州半岛、琼州海峡及海南岛,西临越南,北临广西南部,湾南与南海相连,呈典型的半封闭海湾。海湾属于亚热带气候,冬季受大陆冷空气影响,海面气温约在 20℃左右;夏季受热带海洋风影响,海面气温可高达 30℃左右,受太阳辐射、季风气候、潮汐潮流等多种作用的影响,湾内 SST 复杂多变。以往 SST 研究中,针对北部湾海域的相对较少。【拟解决的关键问题】以广西北部湾海域为研究对象,结合遥感卫星数据资料,对该海域 SST 变化特征及其影响因素进行分析,为今后海洋环境等研究提供参考依据。

1 数据与分析方法

研究范围介于 17.0°~22.5°E,105.0°~110.5°N 间的整个北部湾海域。采用美国国家海洋和大气管理局(NOAA)提供的 1994 年 1 月至 2013 年 12 月 20 年间的卫星遥感资料。其中,SST 采用 NOAA 提供的 OISST(The optimum interpolation sea surface temperature)资料,空间分辨率为 0.25°×0.25°,时间分辨率为 1 d;海面风场、潜热通量采用 NOAA 提供的 NCEP/NCAR 再分析数据,空间分辨率为 2.5°×2.5°,时间分辨率为 1 个月;Nino 3.4 为 NOAA 提供的气候指数,时间分辨率为 1 个月。

对各网格点月 SST 进行平均,得到 20 年逐月 SST 时间序列。将每年的 6~8 月作为夏季,每年的 12 月至次年的 2 月作为冬季,对海域 20 年间冬、夏两季 SST 进行平均,得出冬、夏两季海域 SST 分布

特征。采用最小二乘法对各网格点冬、夏两季 SST 时间序列进行拟合,得出海域冬、夏两季 SST 变化特征。采用傅立叶变换的方法对 SST 逐月时间序列进行变换,分析其显著变化周期。对 SST、海面风场及潜热通量时间序列进行矩平处理,计算各变量与 SST 间的相关系数,分析各变量对 SST 的影响。为分析 EI Nino 对北部湾海域 SST 的影响,将逐月平均的 SST 时间序列减去其平均值,得到北部湾海面温度异常(SSTA)时间序列,对 SSTA、Nino 3.4 指数时间序列的相关关系进行分析。

2 结果与分析

2.1 SST 季节分布特征

由图 1a 可知,北部湾海域冬季 SST 基本呈 N—S—SE 向分布,大致形成“北冷南暖”的特点。湾北部温度较低,最小值位于湾最北部的广西沿岸处,仅为 19.0℃左右,温度等温线基本与纬线平行,并由北向南逐渐升高。湾中部以南温度变化梯度向东南方向

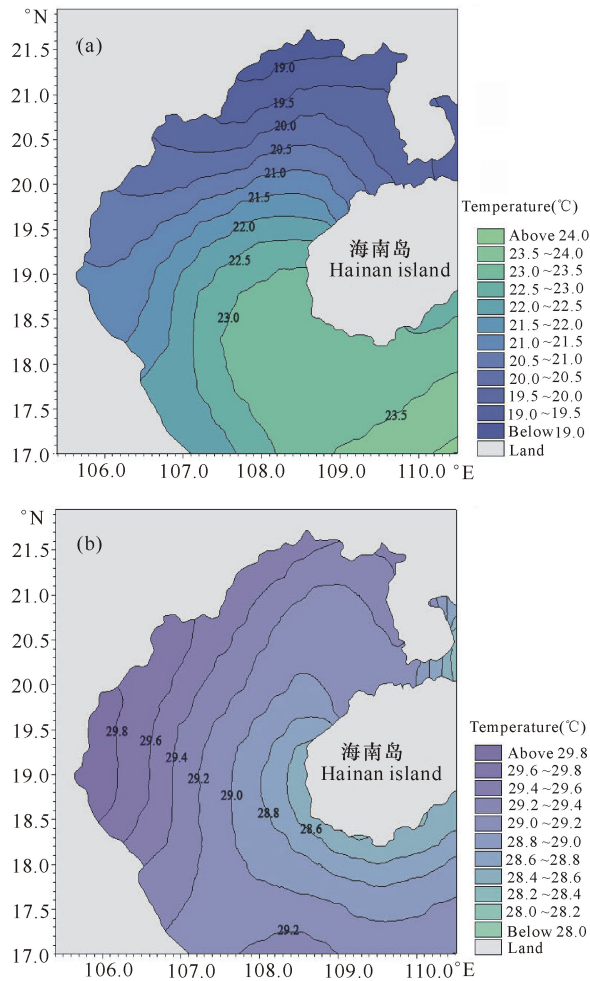


图 1 1994~2013 年间北部湾冬季(a)和夏季(b)SST 分布特征

Fig. 1 The distribution feature of SST in Beibu Gulf in winter(a) and summer(b) between 1994 and 2013

偏转,温度逐渐升高,湾南与南海交界处,温度最高值可达约 24.0℃。湾南温度相对较高的海水与湾北冷水在湾中部海南岛西南处形成一个明显的“暖水舌”。冬季,湾南北 SST 差异明显,最大温差可达 5℃左右,且南北海水交汇处温度变化梯度较大。

由图 1b 可知,夏季,由于强烈的太阳辐射使得整个海域 SST 分布趋于一致,海域内 SST 温差不到 2℃,由冬季南北温度差造成的“暖水舌”基本消失。受大陆增温及水深的影响,湾内沿岸处 SST 较高,大致呈“西高东低”的特点。最高值出现于越南沿岸处,约为 29.8℃。最低值位于琼州海峡及海南岛西南、南部附近,约为 28.6℃。总体而言,北部湾夏季 SST 区域差不大,等温线大概与岸线平行,由西面越南沿岸处向东递减,至琼州海峡及海南岛西南、南部达到最低值,等温线分布稀疏,湾内温度变化梯度较小。

2.2 SST 年际变化特征

由图 2a 可知,北部湾海域冬季 SST 主要以降温为主,同时存在一定的区域差异。降温区域占整个海湾 90%左右,仅小部分区域表现为持平或升温,下降幅度约为 -0.03℃/a。湾北部温度下降明显,大部分区域降温均超过 -0.05℃/a,其中琼州海峡附近 SST 下降最为显著,最大值超过 -0.11℃/a。湾中部, SST 下降相对缓慢,约在 -0.02℃/a。湾南, SST 基本表现为持平或者略有升高,升温区域主要在越南沿岸部分区域及湾南中部一带。总体上看,北部湾冬季 SST 下降表现为“北快南慢”的特点,下降梯度以琼州海峡为中心向湾内扩散,直至北部湾中部,湾南温度变化则表现为持平或小幅度的升温,但升温等值线变化不再呈明显的规律。

由图 2b 可知,夏季,北部湾海域 SST 变化总体上表现为小幅度的升温,升温区域约占整个海域的 70%,升高幅度约为 0.01℃/a。SST 上升区主要分布在湾北部及西部一带,湾北部 SST 上升较为明显,广西沿岸处升温最大幅度约为 0.03℃/a。湾北升温幅度随纬度的下降逐渐减小,同时在琼州海峡附近升温梯度减小较快,至琼州海峡已基本无升温现象。湾中部, SST 上升幅度相对平缓,大部分区域表面为微小的升温或无变化。湾西部越南沿岸处有较长的升温带,升温幅度约为 0.01~0.02℃/a。海南岛西南部有小区域的降温区,降温幅度均不大,最大值仅约为 -0.01℃/a。整体而言, SST 升温幅度在湾北部基本随纬度的降低而减小,呈现出“北高南低”的特点,至湾中部以南则表现为“西高东低”,且在海南岛西南部转为小幅度的下降。

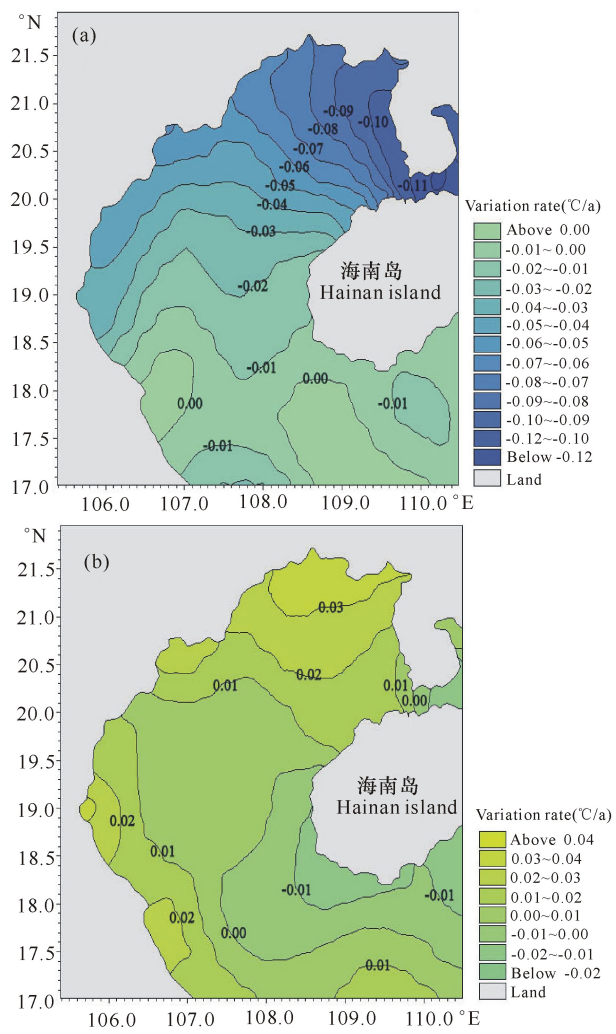


图 2 1994~2013 年间北部湾冬季(a)和夏季(b) SST 变化特征

Fig. 2 The variation tendency of SST in Beibu Gulf in winter(a) and summer(b) between 1994 and 2013

2.3 SST 变化显著周期

由图 3 可知,1994~2013 年间,海域月均 SST 约为 20.3~29.9℃,具有明显的周期性, SST 最高值出现于 2008 年 9 月,为 29.9℃;最低值出现于 2011 年 2 月,为 20.3℃。为分析海域 SST 变化显著周期,对月均 SST 时间序列进行傅立叶变换,其结果如图 4 所示,北部湾海域 SST 变化具有显著的年、半年周期,同时有 36.6 个月、64.0 个月的低频振荡周期,可见,海域 SST 变化中季节变化占绝对优势。

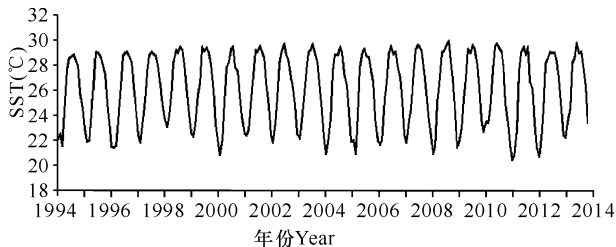


图 3 1994~2013 年间北部湾海域月均 SST 时间序列

Fig. 3 The monthly mean time series of SST in Beibu Gulf between 1994 and 2013

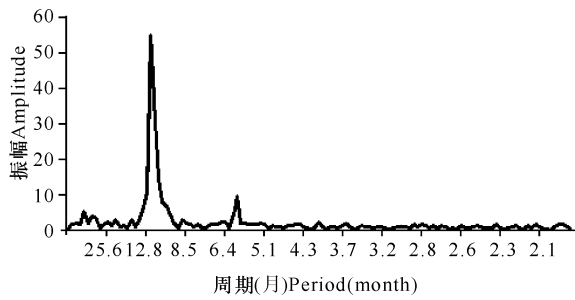


图4 SST时间序列傅立叶变换结果

Fig. 4 The Fourier transform result of SST time series 横轴采用对数坐标系。

The horizontal axis in the figure used the log coordinate system.

2.4 SST与海面风场相关性分析

热带海洋 SST 变化可能影响到整个大气环流的演变,海表风应力是大气环流的主要驱动力。海表风应力对海洋洋流的驱动造成上层海洋结构的变化,从而引起 SST 变化。已有研究表明,南海 SST 的低频变化与南海的季风异常,特别是经向风异常有密切关系^[5]。为分析北部湾风场对 SST 变化的影响,采用 NOAA 的 NCEP/NCAR 提供的风场数据,与 SST 进行对比分析。

由图 5 可知,SST 与纬向风(U-wind)变化具有很强的一致性,当纬向风正向增大时,对应的 SST 也正向增大,反之亦然。另外,SST 变化相对于纬向风变化大概有一个月左右的滞后,表明 SST 受风作用主要为单向的影响。风力可通过驱动海面洋流,形成表层海水交换、上升流等现象,从而影响 SST 的变化。对 SST 与纬向风时间序列进行相关性分析,结果表明,两者相关系数为 0.760;对纬向风矩平时间序列进行傅立叶变换,结果表明海域纬向风有显著的年、半年周期,这与 SST 的年、半年周期变化相吻合,说明海域 SST 变化受纬向风的影响显著,两者关系密切。纬向风对 SST 的影响可能通过产生离岸流,从而引起上升流等方式实现表底层海水交换而实现,至于其影响机理还有待深究。

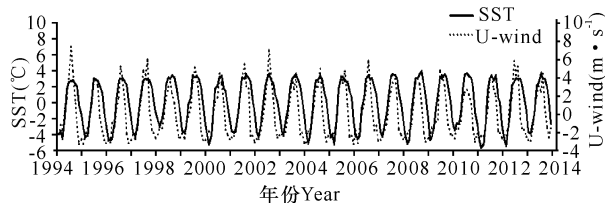


图5 矩平形式的海面月均纬向风与 SST 时间序列对比

Fig. 5 Comparison on monthly mean time series of zonal wind and SST

由图 6 可知,与纬向风相似,经向风(V-wind)与 SST 变化也具有较好的一致性,具有正相关关系,且

存在一个月的滞后现象。对经向风与 SST 时间序列进行相关性分析,结果表明,两者相关系数约为 0.467,可见,两者相关性并不明显。对经向风矩平时间序列进行傅立叶变换,结果表明海域经向风有显著的年周期,这与 SST 的年周期变化相吻合。相比纬向风,经向风对 SST 影响显然偏弱,这与文献^[7]中南海海面风经向分量在气候变化中扮演着相当主动的角色的观点有些出入,是偶然因素,还是北部湾本身的特殊性造成其 SST 受经向风影响相对偏小尚不得知,具体原因可深入研究。

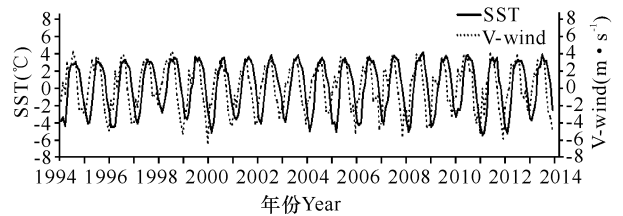


图6 矩平形式的海面月均经向风与 SST 时间序列对比

Fig. 6 Comparison on monthly mean time series of meridional wind and SST

2.5 SST与潜热通量相关性分析

海气界面潜热通量(LHF)是衡量海洋和大气能量交换的重要指标。LHF 主要以水汽相变等方式大气传输热量,从而造成 SST 的变化,同时,SST 的变化也可能造成 LHF 的变化。由图 7 可以看出,LHF 与 SST 变化较为一致,大致呈正相关的特点,且周期变化对应明显。对 LHF 及 SST 时间序列进行相关性分析,结果表明,两者的相关系数达到了 0.820,说明海域 SST 与 LHF 间关系密切。大部分时间内,SST 与 LHF 为同一变化趋势,表现出 LHF 随 SST 升高(下降)而增大(减小),个别时段表现为相反的趋势,表现出通过增加或减小 LHF,反向调节 SST 的特点。可见,SST 与 LHF 之间并不是单向的相互影响,而是两者相互影响、相互作用的过程,因此,仅从 LHF 的角度,并不能很好地解释 SST 的变化现象。

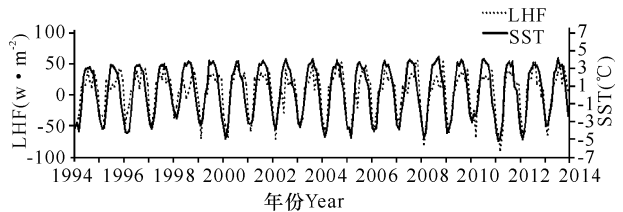


图7 矩平形式的月均潜热通量与 SST 时间序列对比

Fig. 7 Comparison on monthly mean time series of latent heat flux and SST

2.6 厄尔尼诺(EI Nino)效应的影响

EI Nino 被认为是海洋和大气年际变化的最主要信号,最初表现为赤道东太平洋海水温度大范围异

常增温,紧接改变大气环流常态,从而引起全球气候反常。EI Nino 可通过海洋环流及海气相互作用传递信号对周边海域 SST 造成影响。已有研究发现^[8],南海 SST 异常存在与 EI Nino 相呼应的异常 SST 年际变化,这种变化实质上反映了南海经向风场异常与 EI Nino 的密切关系。南海气候的年际变化主要与 EI Nino 年期间弱的季风环流驱动下较弱的海洋环流和上升流密切相关^[9-10]。南海在 EI Nino 发生年冬季和次年夏季均出现了增暖过程,前者主要由于太阳辐射异常增加所致,后者主要由于南海夏季风减弱,减弱海表潜热损失及引起越南东侧上升流减弱所致^[11]。由图 8 可知,北部湾海域 SSTA 在 EI Nino 发生年间表现为明显的异常升温,特别是 1997~1998 年及 2009~2010 年两个 EI Nino 显著年间,海域冬季 SSTA 明显偏高,约高出平均水平 1.3℃,2002~2007 年规模较小的 EI Nino 年间冬季 SSTA 同样有所升高,但升高幅度不大;夏季海域 SSTA 似乎受 EI Nino 的影响不大,SSTA 并没有明显的升高或者降低。对 Nino 3.4 指数、SSTA 进行相关性分析,结果表明,Nino 3.4 指数与 SSTA 关系并不明显,相关系数仅为 0.433,可见,通常情况下,EI Nino 对北部湾 SSTA 有一定的影响,但影响并不显著。

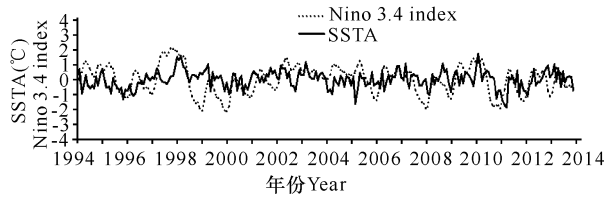


图 8 1994~2013 年间海域 Nino 3.4 指数与 SSTA 时间序列对比

Fig. 8 Comparison on monthly mean time series of Nino 3.4 index and SSTA

为分析 EI Nino 显著年对 SSTA 的影响,对 1997~1998 年、2009~2010 年两个显著年间 Nino 3.4 指数及 SSTA 进行相关性分析。由图 9 可看出,SSTA 相对于 Nino 3.4 指数有一定的滞后性,1997~1998 年及 2009~2010 年分别滞后 5 个月及 2 个月左右。由于 SSTA 对 EI Nino 的响应有一定的延迟,直接对两者进行相关性分析得到的结果必然不合理,因此,通过时间序列调整,将 SSTA 与 Nino 3.4 指数平移对应后再进行相关性分析。由相关分析可知,1997~1998 年及 2009~2010 年间,Nino 3.4 指数与 SSTA 相关系数分别为 0.730 及 0.628,说明 Nino 3.4 指数与 SSTA 间关系密切,EI Nino 对显著年间北部湾 SSTA 有显著的影响。这就很好地说明了 1997~1998 年、2009~2010 年间北部湾冬季 SST

明显偏高的原因。

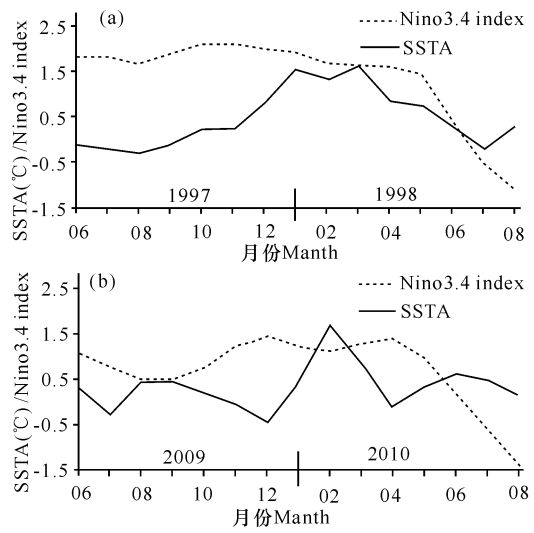


图 9 1997~1998 年(a)和 2009~2010 年(b) Nino 3.4 指数与 SSTA 时间序列对比;

Fig. 9 Comparison on Nino 3.4 index and SSTA time series in 1997~1998(a) and 2009~2010(b)

3 结论

1994~2013 年间北部湾月均 SST 约为 20.3~29.9℃,且具有显著的年、半年、36.6 个月、64.0 个月的振荡周期。冬季,SST 基本呈 N—S—SE 向分布,大致形成“北冷南暖”的温度分布特征,南北温差较大,约为 5℃;夏季,由于强烈的太阳辐射使得整个海域 SST 分布趋于一致,温差不到 2℃。海域冬季 SST 主要以降温为主,降温幅度约为 -0.03℃/a,湾北部大部分区域降温明显,超过 -0.05℃/a,湾中部以南 SST 下降缓慢,约为 -0.02℃/a;夏季以小幅度升温为主,升温幅度约为 0.01℃/a,湾北部上升趋势较为明显,最高值 0.03℃/a,升温幅度随纬度变化,从北向南递减。纬向风、经向风与 SST 间的相关系数分别为 0.760 及 0.467,纬向风对 SST 的作用相对明显。LHF 与 SST 之间的关系密切,相关系数为 0.820,LHF 与 SST 之间并不是单向的影响,而是相互影响、相互作用的过程。EI Nino 现象对海域 SSTA 有一定的影响,但通常影响并不显著,而在 EI Nino 显著年间,EI Nino 对 SSTA 具有显著影响,1997~1998 年及 2009~2010 年两个 EI Nino 显著年间 SST 冬季异常升温明显,Nino 3.4 指数与 SSTA 相关系数分别达到 0.730 及 0.628。

参考文献:

[1] 李青青,何佩东,蒋风芝,等.连云港、吕泗海域的海表温度变化及影响机制[J].科学技术与工程,2013,13(11): 2930-2937,2942.

- Li Q Q, He P D, Jiang F Z, et al. The variation of sea surface temperature with its influencing mechanism of Lianyungang and Lüsi waters [J]. *Science Technology and Engineering*, 2013, 13(11): 2930-2937, 2942.
- [2] 武扬, 程国胜, 韩桂军, 等. 基于 CORA 资料的中国海海面温度季节和年际变化特征分析 [J]. *海洋学报*, 2013, 35(1): 44-54.
Wu Y, Cheng G S, Han G J, et al. Analysis of seasonal and interannual variability of sea surface temperature for China seas based on CORA dataset [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2013, 35(1): 44-54.
- [3] 孟庆佳, 施建伟, 刘娜, 等. 基于历史和卫星资料的中国近海海面温度长期变化趋势的综合分析 [J]. *海洋科学*, 2011, 5(12): 121-126.
Meng Q J, Shi J W, Liu N, et al. A comprehensive analysis of the long-term variation of sea surface temperature in the China seas based on historical and satellite data [J]. *Marine Sciences*, 2011, 5(12): 121-126.
- [4] 罗琳, 王东晓, 刘赞, 等. 北部湾温度锋的季节与年际变化 [J]. *热带海洋学报*, 2003, 22(4): 60-67.
Lou L, Wang D X, Liu Y, et al. Seasonal and interannual variabilities of thermal fronts in Beibu gulf, South China Sea [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2003, 22(4): 60-67.
- [5] 丘福文, 方文东, 郭朴. 2000-2008 年期间南海海面温度的年际与空间变异 [J]. *海洋学报*, 2011, 33(3): 11-18.
Qiu F W, Fang W D, Guo P. Interannual and spatial variability of the sea surface temperature in the South China Sea during 2000-2008 [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2011, 33(3): 11-18.
- [6] 朱秀华, 王卫强, 周伟东, 等. 南海海面温度的年际模态及其与季风强迫的关系 [J]. *热带海洋学报*, 2003, 22(4): 42-50.
Zu X H, Wang W Q, Zhou W D, et al. Interannual mode of sea surface temperature in relation to monsoon forcing in South China Sea [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2003, 22(4): 42-50.
- [7] 王卫强, 王东晓, 齐义泉. 南海表层水温年际变化的大尺度特征 [J]. *海洋学报*, 2000, 22(4): 8-16.
Wang W Q, Wang D X, Qi Y Q. Large scale characteristics of interannual variability of sea surface temperature in the South China Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2000, 22(4): 8-16.
- [8] 谭军, 周发琇, 胡敦欣, 等. 南海海温异常与 ENSO 的相关性 [J]. *海洋与湖沼*, 1995, 26(4): 377-382.
Tan J, Zhou F X, Hu D X, et al. The correlation between SST anomaly in the South China Sea and ENSO [J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 1995, 26(4): 377-382.
- [9] Chao S Y, Shaw P T, Wu S Y. El Niño modulation of the South China Sea circulation [J]. *Progress in Oceanography*, 1996, 38: 51-93.
- [10] Wu C R, Shaw P T, Chao S Y. Assimilating altimeter data into a South China Sea model [J]. *J Geophys Res*, 1999, 104: 29987-30005.
- [11] 黄卓, 徐海明, 杜岩, 等. 厄尔尼诺期间和后期南海海面温度的两次显著增暖过程 [J]. *热带海洋学报*, 2009, 28(5): 49-55.
Huang Z, Xu H M, Du Y, et al. Two sea-surface warming events in the South China sea during and after El Niño [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2009, 28(5): 49-55.

(责任编辑: 竺利波)