

## 气候变化下西北太平洋大海洋生态系海表面温度特征分析

王雅萌, 陈芃, 陈新军

### Characteristics of sea surface temperature for large marine major ecosystems in the northwest Pacific under climate change

WANG Yameng, CHEN Peng, CHEN Xinjun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20200603074>

#### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### 不同气候模态下西北太平洋秋刀鱼海况特征分析

Characteristic analysis of fishing condition of saury in Northwest Pacific under different climate regimes

南方水产科学. 2018, 14(3): 20 <https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-0780.2018.03.003>

#### 不同气候模态下西北太平洋柔鱼渔场环境特征分析

Analysis of variations in the environmental conditions on the fishing ground of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwestern Pacific Ocean under different climate modes

水产学报. 2017, 41(4): 525 <https://doi.org/10.11964/jfc.20150810010>

#### 不同气候模态下西北太平洋柔鱼冬春生群资源时空分布变化研究

Spatio-temporal variation of *Ommastrephes bartramii* resources (winter & spring groups) in Northwest Pacific under different climate modes

南方水产科学. 2020, 16(2): 62 <https://doi.org/10.12131/20190175>

#### 基于海表温度和光合有效辐射的西北太平洋柔鱼冬春生群体栖息地热点预测

Predicting the habitat hot spots of winter-spring cohort of *Ommastrephes bartramii* in the northwest Pacific Ocean based on the sea surface temperature and photosynthetically active radiation

上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 456 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181102442>

#### 表温和黑潮年间变化对西北太平洋柔鱼渔场分布的影响

Effect of inter-annual change in sea surface water temperature and Kuroshio on fishing ground of squid *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific

大连海洋大学学报. 2010, 25(2): 119 <https://doi.org/10.11964/jfc.20100201119>

#### 西北太平洋公海秋刀鱼渔场分布与海表温度锋的相关关系

Relationship between *Cololabis saira* fishery distribution patterns and sea surface temperature front in the Northwestern Pacific Ocean

水产学报. 2018, 42(12): 1916 <https://doi.org/10.11964/jfc.20180211189>

文章编号: 1674-5566(2021)05-0874-10

DOI:10.12024/jso.20200603074

## 气候变化下西北太平洋大海洋生态系海表面温度特征分析

王雅萌<sup>1</sup>, 陈 芃<sup>1</sup>, 陈新军<sup>1,2,3,4,5</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266071; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 5. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306)

**摘 要:** 以西北太平洋 5 个大海洋生态系 (large marine ecosystem, LME, 包括西白令海、鄂霍茨克海、黑潮、亲潮以及日本海) 的海表面温度 (sea surface temperature, SST) 为研究对象, 分析 SST 随时空变化趋势及其与太平洋年代际振荡 (Pacific decadal oscillation, PDO) 和厄尔尼诺、拉尼娜事件的关系。研究发现, 除了西白令海外, 其他 4 个大海洋生态系的 SST 都在 1987 年左右发生了急剧的上升, 呈现出 2 个变化模态; 将 SST 的长期变化趋势去除后可以发现, 5 个 LME 的 SST 随着时间上下波动, 并没有固定的周期性变化存在, 但是与厄尔尼诺和拉尼娜事件有着密切联系。从空间分布上看, 各区域的 SST 都呈现由北向南逐渐增高的趋势, 但是增温趋势不尽相同, 整个西白令海区域的 SST 都在升高, 降温区域则围绕在库页岛和日本的北海道附近。

**关键词:** 西北太平洋; 大海洋生态系; 太平洋年代际振荡; 厄尔尼诺; 拉尼娜; 气候变化; 海表面温度

**中图分类号:** P 73 **文献标志码:** A

西北太平洋海域广阔, 具有极丰富的海洋生物资源, 包含了西白令海、鄂霍茨克海、黑潮、亲潮以及日本海等不同的大海洋生态系 (large marine ecosystem, LME)<sup>[1]</sup>。LME 的概念是在 20 世纪 80 年代中期由 SHERMAN<sup>[2]</sup> 提出, 指 20 万 km<sup>2</sup> 或更大的海洋空间的广泛区域, 是控制生物群落结构与功能的关键过程的生态学概念, 每个大海洋生态系都有着自己独特的海洋环境和生物群落<sup>[3]</sup>。

气候事件也对海洋环境的时空变化有着重要的影响, 例如太平洋年代际振荡 (Pacific decadal oscillation, PDO) 是北太平洋海温异常的年代际振荡现象<sup>[4]</sup>, 会造成整个太平洋区域的环境的模式变化, YEH 等<sup>[5]</sup> 对 1958—2009 年北太平洋冬季海表面温度 (sea surface temperature, SST) 距平进行分析发现, SST 存在 2 个不同的主要模态, 在 1956—1988 年为 PDO 型, 而在 1977—2009 年则表现为北太平洋涡旋振荡 (NPGO) 型。此外, 厄尔尼诺 (El Niño) 和拉尼娜 (La Niña) 事

件同样对海洋环境有着重要影响, DI LORENZO 等<sup>[6-7]</sup> 认为北太平洋海温模态的改变与赤道太平洋中部型 ENSO 事件频率的增加有密切关系。

SST 表征了海洋热力、动力过程和海洋与大气相互作用的综合结果, 是反映海-气热量、动力和水汽交换的重要参量<sup>[8]</sup>。目前已有较多学者对近几十年西北太平洋海表面温度时空动态进行研究, 如徐文玲等<sup>[9]</sup> 分析了西北太平洋 SST 的季节变化特征。但各 LME 因为有着自己不同的海洋环境特征, 目前还没有针对西北太平洋不同 LME 的 SST 受气候变化影响的研究报道。此外, 西白令海、鄂霍茨克海、黑潮、亲潮及日本海等 5 个大海洋生态系都存在着丰富的生物资源, 根据 FAO 的捕捞统计数据 (<http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/en>), 2010—2018 年间, 西北太平洋的渔获年平均产量占世界首位, 关于一些重要的渔获物如秋刀鱼 (*Cololabis saira*)<sup>[10]</sup> 和狭鳕 (*Theragra chalcogramma*)<sup>[11]</sup> 等的研究都发现, 其资源时空

收稿日期: 2020-06-08 修回日期: 2020-09-07

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD0901404); 国家自然科学基金(NSFC41876141); 上海市科技创新行动计划(10DZ1207500)

作者简介: 王雅萌(1996—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源。E-mail: 1055466034@qq.com

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

变动和 SST 有着密切的联系。因此,本文提取西北太平洋 5 个 LME 的 SST 数据,分别研究其时空变化趋势及其与 PDO、El Niño 和 La Niña 事件的关系,研究可为西北太平洋不同 LME 应对全球变暖下气候变化对其的影响提供一定的参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

研究数据为 1950—2018 年的 SST 数据,来源

于英国大气数据中心网站 (<https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst/data/download.html>),空间分辨率为  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ,时间分辨率为月。按照 LME 的边界<sup>[1]</sup>,分别提取西白令海 (West Bering Sea)、鄂霍茨克海 (Sea of Okhotsk)、黑潮 (Kuroshio Current)、亲潮 (Oyashio Current) 和日本海 (Sea of Japan) 等 5 个大海洋生态系的 SST 数据进行后续分析(图 1)。

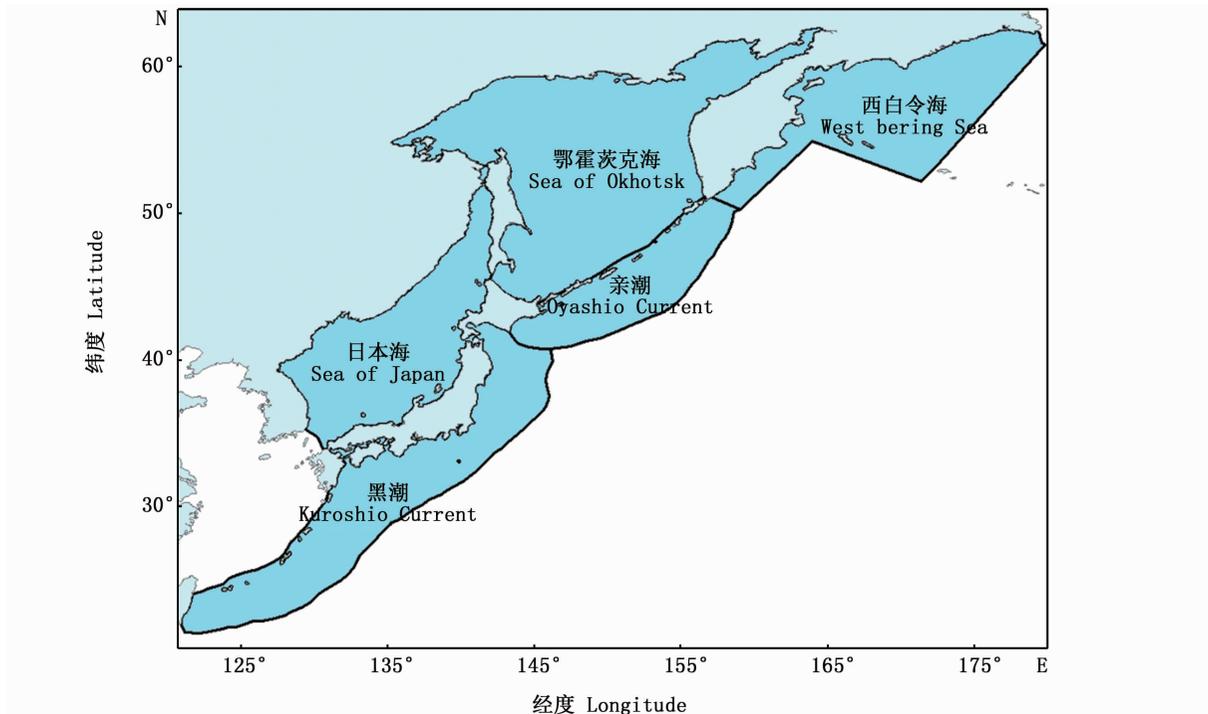


图 1 西北太平洋 5 个 LME 分布图

Fig.1 Five LMEs distribution maps in the northwest Pacific

### 1.2 方法

#### 1.2.1 数据的预处理

将各 LME 的 SST 数据首先平均成时间分辨率为年的数据,以便后续分析使用。

#### 1.2.2 时间分析

(1) 突变分析。BAI 等<sup>[12]</sup>的研究中描述的算法已用于实现同时估计多个断点,BAI<sup>[13]</sup>还给出了用于断点置信区间的分布函数。利用突变分析的方法确定各 LME 的 SST 随时间变化的总体趋势。具体做法为,将各年的数据跟时间建立时间序列回归模型,在该模型中会假设 SST 随时间变动时存在一个或多个突变年份,由此建立多段时间序列回归模型,通过建立多种不同模型,利

用贝叶斯信息量 (BIC) 最小原则<sup>[14]</sup> 确定突变年份个数及发生时间。

贝叶斯信息准则公式:

$$BIC(D) = \hat{l}_j(D) - \frac{p_j}{2} \times \log R \quad (1)$$

式中:  $R$  表示在数据集  $D$  中的节点总数;  $\hat{l}_j(D)$  表示数据按照第  $j$  个分布的对数似然值;  $p_j$  表示第  $j$  个分布中参数的数量。

(2) HP 滤波分析。利用 HODRICK 等<sup>[15]</sup> 提出的 HP 滤波分析的办法,将各 LME 的 SST 分解成长期趋势和循环波动趋势,观察去除长期趋势后的 SST 的循环波动趋势与厄尔尼诺和拉尼娜事件的关系。

(3) 方差分析。将各年份按照 PDO (冷暖期) 和厄尔尼诺、拉尼娜事件 (冷期、暖期和正常年份) 进行分类, 分类标准参照佛罗里达大学大气海洋预测中心网站 (<https://www.coaps.fsu.edu/jma>)。对不同 LME 利用方差分析检验不同气候事件发生情况下 SST 是否存在显著差异, 对于存在显著影响的结果, 利用 Tukey-HSD 检验进行多重比较, 以此比较不同气候事件发生情况下 SST 的高低。

### 1.2.3 空间分析

在 ArcGIS 软件中处理 1950—2018 年各 LME 的 SST 平均值数据, 制作各 LME 的平均海温分布图, 并用 2008—2018 与 1950—1960 年 SST 的差值表示增温情况, 对各 LME 增温数据进行克里金插值处理, 绘制 1950—2018 年各 LME 的 SST 增温分布图。

## 2 结果

### 2.1 SST 随时间变化的趋势

由图 2a 可知, 西白令海的 SST 在 1977 年左右剧烈下降达到谷值, 之后升高到 4.4 °C 左右, 总体呈现上升趋势, 增温速度为 0.008 8 °C/a。鄂霍茨克海在 1950—1980 年 SST 不断波动且逐渐降低到谷值, 增温速度为 -0.006 7 °C/a, 随后经过 1987 年拐点, 进入 SST 较高的波动周期且具有缓慢降低趋势 (图 2b), 增温速度为 -0.001 9 °C/a。日本海在 1950—1987 年的 SST 持续波动且具有下降趋势, 1987 年达到谷值, 增温速度为 -0.001 6 °C/a, 随后在 1990 年以后迅速升高, 2010 年达到水温的峰值 (图 2c), 增温速度为 0.016 2 °C/a。黑潮流域在 1950—1987 年 SST 剧

烈波动且有下降趋势, 1977 年达到谷值, 增温速度为 -0.008 3 °C/a, 随后温度在 1990 年达到较高值, 具有缓慢上升的趋势 (图 2d), 增温速度为 0.012 7 °C/a。亲潮 SST 在 1960—1987 年缓慢降低, 增温速度为 -0.013 5 °C/a, 1987 年以后具有逐渐上升的趋势, 并在 2000 年达到 SST 的峰值 (图 2e), 增温速度为 0.008 7 °C/a。总体上, 除了西白令海外, 其他 4 个大海洋生态系的 SST 都在 1987 年左右发生了急剧的上升, 呈现出 2 个变化模态。

HP 滤波分析表明, 5 个 LME 的 SST 循环波动趋势与厄尔尼诺、拉尼娜事件有着密切联系 (图 3)。1987 年之前, 日本海在厄尔尼诺年份 SST 降低, 随后温度升高; 鄂霍茨克海在拉尼娜年份后为正常年份或连续拉尼娜年份时普遍 SST 升高; 黑潮流域在厄尔尼诺年份 (除 1969、1972 年外) 平均 SST 差值均为负值且后一年的 SST 大多升高, 1969 和 1972 年平均 SST 差值为正值且 1969 厄尔尼诺年的后一年水温降低 (图 3); 亲潮和西白令海在不同气候事件年份的 SST 无明显规律波动 (图 3)。

1987 年之后, 日本海在厄尔尼诺年份 (除 1986、1996 年外) 均比前一年 SST 降低, 除 1999 外其他拉尼娜年份均使 SST 比前一年升高 (图 3); 鄂霍茨克海在除 2014 年以外的厄尔尼诺年份均使 SST 比前一年升高; 黑潮在厄尔尼诺年份 (除 1991、2002 年) SST 均在后一年有明显升高, 在拉尼娜年份均在后一年 SST 明显降低 (图 3); 亲潮在拉尼娜年份 (除 2003 年) 的 SST 普遍比前一年降低 (图 3); 西白令海在不同气候年份水温无明显规律波动 (图 3)。

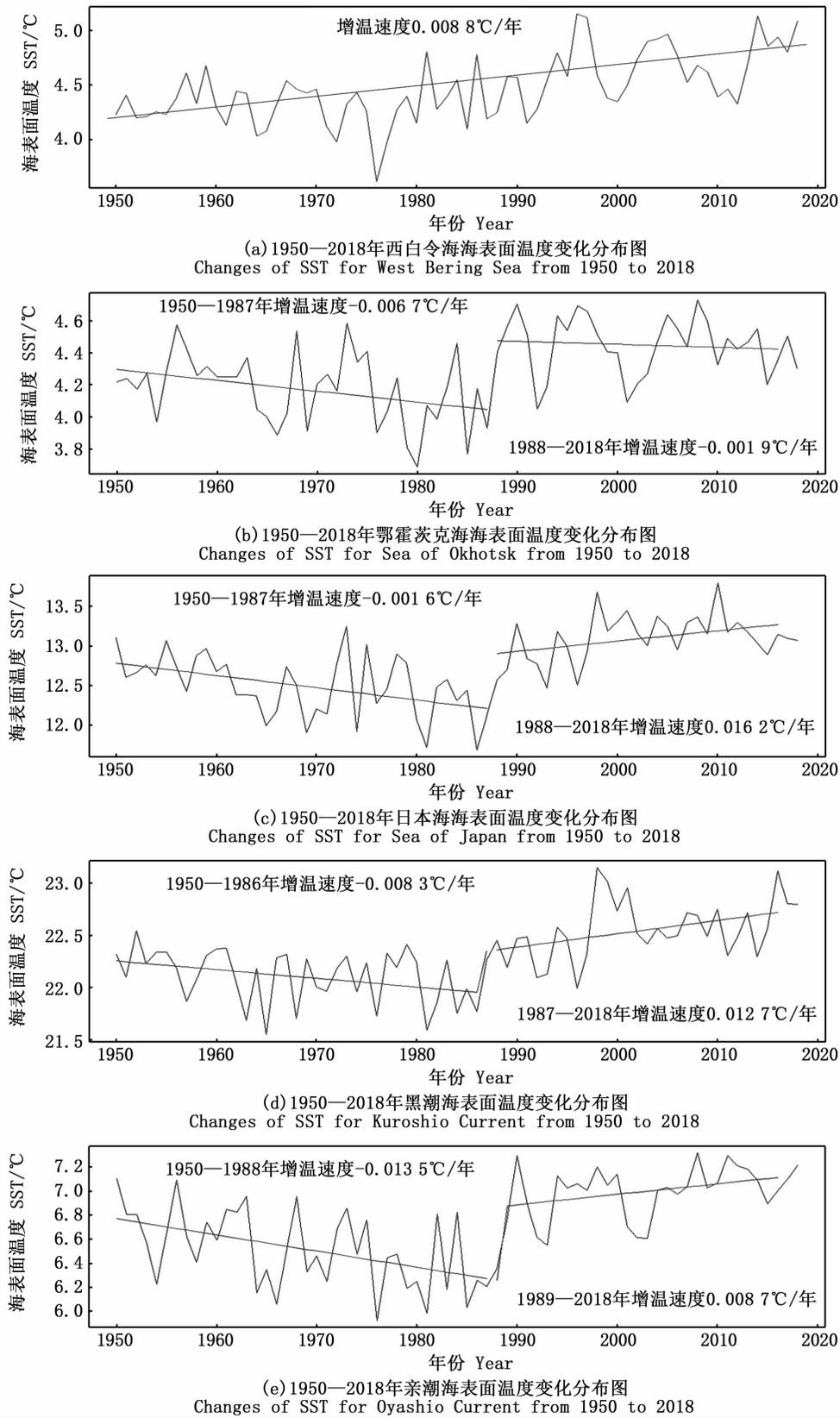
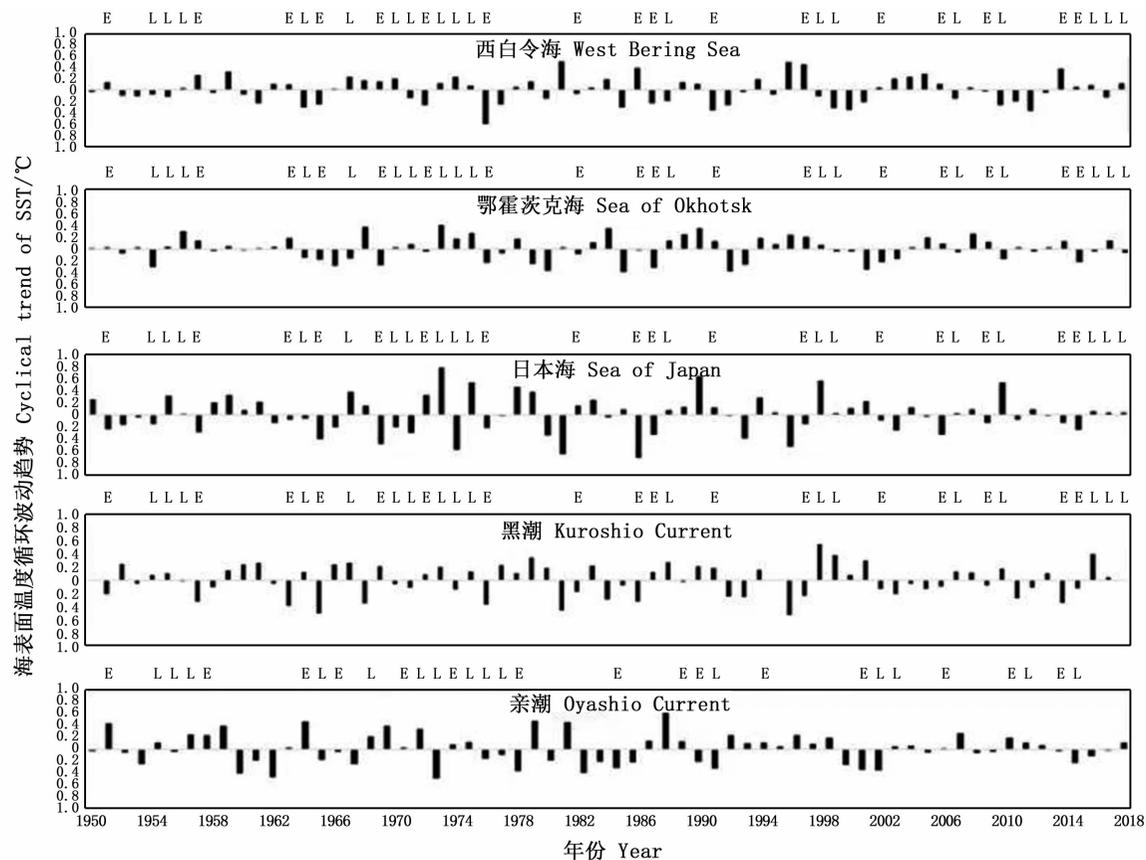


图2 1950—2018年5个大海洋生态系的海表面温度变化分布图  
Fig.2 Changes of SST for five large marine ecosystem from 1950 to 2018



E. 厄尔尼诺年份; L. 拉尼娜年份。

E. Year of El Niño; L. Year of La Niña.

图3 1950—2018年西北太平洋各大海洋生态系 SST 循环波动趋势

Fig. 3 Cyclical trend of SST in the LME of Northwest Pacific Ocean from 1950 to 2018

## 2.2 不同气候事件下 SST 比较

1950—2018年 PDO 冷暖期年份及其对应发生的厄尔尼诺、拉尼娜事件分类如表 1 所示。方差分析表明,不同气候事件对西白令海和黑潮的 SST 影响显著,对其他大海洋生态系均不显著。分析(表 2、3、4)发现:西白令海 SST 在 PDO 冷、暖期有着极显著的差异( $F = 13.218, df_1 = 1, df_2 = 63, P < 0.01$ );黑潮在厄尔尼诺、拉尼娜事件的不同时期( $F = 5.884, df_1 = 1, df_2 = 63, P < 0.01$ )及其与太平洋年代际振荡交互下的不同时期的 SST 均有着极显著的差异( $F = 6.849, df_1 = 2, df_2 = 63, P < 0.01$ );亲潮在厄尔尼诺、拉尼娜与太平洋年代际振荡交互下的不同时期的 SST 有显著的差异( $F = 3.456, df_1 = 2, df_2 = 63, P < 0.05$ );对于其他事件下的西白令海、黑潮和亲潮 SST 及各个事件下的日本海和鄂霍茨克海 SST 之间不存在显著的差异( $P > 0.05$ )。

对存在显著性影响的西白令海 SST 和黑潮 SST 进行 Tukey-HSD 检验,分析表明:(1)在西白令海(表 2),太平洋年代际振荡冷、暖期对西白令海 SST 的影响有极显著的差异( $P < 0.01$ ),平均 SST 低  $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。(2)在黑潮海域(表 3),厄尔尼诺、拉尼娜事件对黑潮 SST 的影响差异显著( $P < 0.05$ ),平均 SST 高  $0.35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。PDO 暖期下(表 4),发生厄尔尼诺事件和拉尼娜事件的 SST 差异显著( $P < 0.05$ ),平均 SST 高  $0.53\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;发生拉尼娜事件和正常年份的 SST 差异极显著( $P < 0.01$ ),平均 SST 低  $0.63\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。PDO 暖期发生拉尼娜事件和 PDO 冷期发生拉尼娜事件以及正常年份的差异显著( $P < 0.05$ ),平均 SST 分别高  $0.53\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.48\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。PDO 暖期发生拉尼娜事件和 PDO 冷期发生厄尔尼诺事件的差异极显著( $P < 0.01$ ),平均 SST 高  $0.82\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在其他条件下各大海洋生态系的 SST 受到的影响差异不显著。

表 1 1950—2018 年 PDO 冷暖期年份及其对应发生的厄尔尼诺、拉尼娜事件

Tab. 1 PDO cold and warm period years and corresponding El Niño and La Niña event from 1950 to 2018

气候事件 Climatic event	PDO 冷期 Cold PDO	PDO 暖期 Warm PDO
厄尔尼诺事件 El Niño event	1951、1957、1963、1965、1969、1972、1976、2002、2009	1982、1986、1987、1991、1997、2006、2014
正常年份 Normal Year	1950、1952、1953、1958、1959、1960、1961、1962、1966、1968、2000、2001、2008、2011、2012、2013	1977、1978、1979、1980、1981、1983、1984、1985、1989、1990、1992、1993、1994、1995、1996、2003、2004、2005
拉尼娜事件 La Niña event	1954、1955、1956、1964、1967、1970、1971、1973、1974、1975、1999、2007、2010	1988、1998、

表 2 不同 PDO 下西白令海 SST Tukey 检验法比较结果 (P)

Tab. 2 Comparison results of Tukey's test method of sea surface temperature in West Bering Sea under different PDO events (P)

气候事件 Climatic event	PDO 冷期 Cold PDO	PDO 暖期 Warm PDO
PDO 冷期 Cold PDO	1	
PDO 暖期 Warm PDO	0.000 47	1

表 3 厄尔尼诺和拉尼娜时期黑潮 SST Tukey 检验法比较结果 (P)

Tab. 3 Comparison results of Tukey's test method of sea surface temperature in Kuroshio Current during El Niño and La Niña events (P)

气候事件 Climatic event	厄尔尼诺事件 El Niño event	拉尼娜事件 La Niña event	正常年份 Normal year
厄尔尼诺事件 El Niño event	1		
拉尼娜事件 La Niña event	0.010 364 9	1	
正常年份 Normal year	0.247 387 1	0.163 943 2	1

表 4 PDO 与厄尔尼诺和拉尼娜事件交互作用下黑潮 SST Tukey 检验法比较结果 (P)

Tab. 4 Comparison results of SST Tukey's test method of sea surface temperature in Kuroshio Current under the interaction of PDO and El Niño and La Niña events (P)

气候事件 Climatic event	PDO 暖期 厄尔尼诺事件 El Niño event during warm PDO	PDO 暖期 拉尼娜事件 La Niña event during warm PDO	PDO 暖期 正常年份 Normal year during warm PDO	PDO 冷期 厄尔尼诺事件 El Niño event during cold PDO	PDO 冷期 拉尼娜事件 La Niña event during cold PDO	PDO 冷期 正常年份 Normal year during cold PDO
PDO 暖期 厄尔尼诺事件 El Niño event during warm PDO	1					
PDO 暖期 拉尼娜事件 La Niña event during warm PDO	0.010 47	1				
PDO 暖期 正常年份 Normal year during warm PDO	0.999 95	0.001 50	1			
PDO 冷期 厄尔尼诺事件 El Niño event during cold PDO	0.697 45	0.000 12	0.656 40	1		
PDO 冷期 拉尼娜事件 La Niña event during cold PDO	0.993 70	0.01758	0.941 12	0.255 01	1	
PDO 冷期 正常年份 Normal year during cold PDO	0.930 38	0.033 41	0.695 43	0.093 48	0.997 73	1

### 2.3 SST 变动空间分布图

1950—2018 年西北太平洋各大海洋生态系的平均 SST 大部分在 0 °C 以上,且呈现随纬度降低温度逐渐偏高的趋势。最北部西白令海最高 SST 为 5.72 °C,最低 SST 为 2.82 °C。西北部鄂

霍茨克海最高 SST 为 7.5 °C,最低 SST 接近 0 °C。西南部日本海最高 SST 为 19.2 °C,最低 SST 也接近 0 °C。南部黑潮最低 SST 接近 0 °C,最高 SST 为 26.86 °C。亲潮最低 SST 为 4.4 °C,最高为 11.23 °C(图 4)。

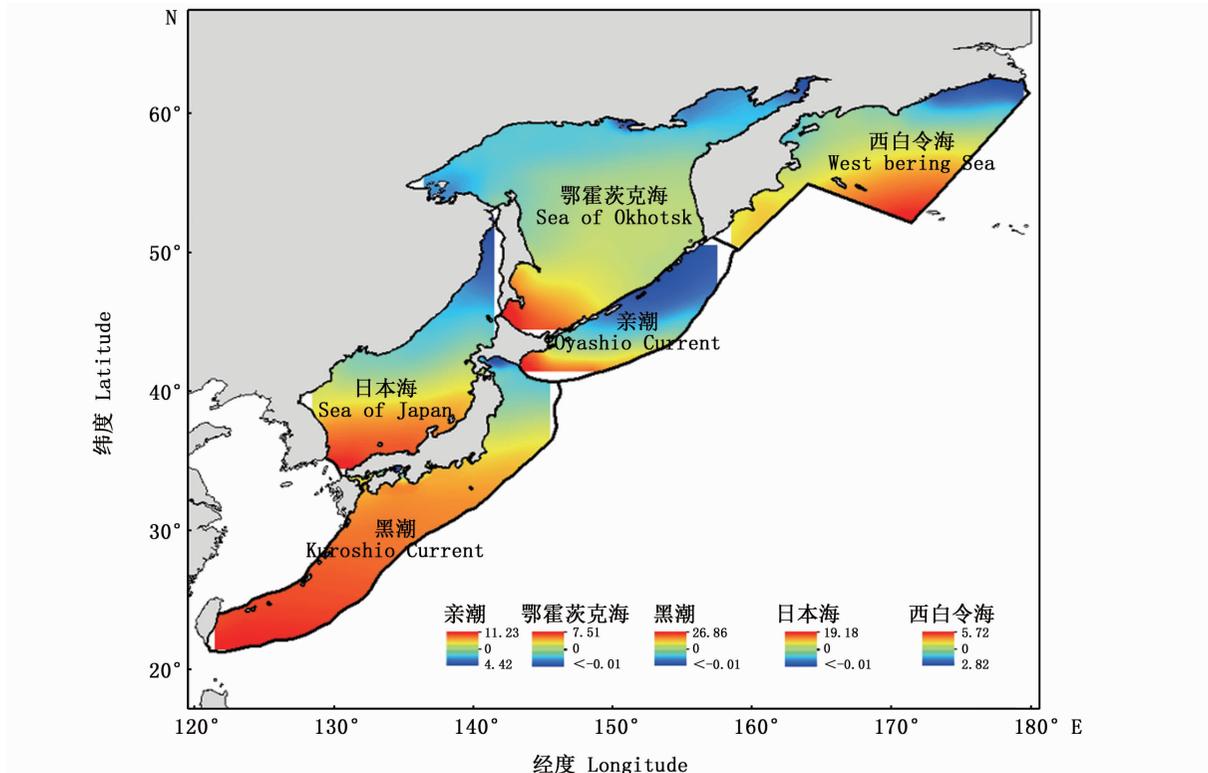


图 4 1950—2018 年各 LME 平均 SST 分布图(°C)

Fig. 4 Average sea surface temperature distribution in the LMEs from 1950 to 2018(°C)

从 SST 增温情况上看,鄂霍茨克海西北部增温最大,为 1.48 °C,且增温面积较大,仅西南部有小部分区域降温,降温幅度也较大,最大为 1.13 °C。亲潮绝大部分区域是增温状况,增温幅度为 0 ~ 0.74 °C。日本海北部区域最大增温为 1.12 °C,南部整体为降温状态,降温范围 0 ~ 0.03 °C,幅度最小。黑潮南部和中部区域为增温状态,最大增温 1.03 °C,北部小区域降温 0 ~ 0.55 °C。西白令海中大部分区域为降温状态,范围在 0 ~ 0.11 °C。西南部区域增温 0 ~ 0.67 °C。见图 5。

### 3 讨论

研究利用突变分析的方法发现,除了西白令海以外的 LME 均存在一个突变年份,且都在

1987 年前后, SST 的变动趋势发生了明显的变化。不少研究表明,北太平洋的海洋环境在 20 世纪 90 年代左右发生了明显的模态转换,例如刘凯等<sup>[16]</sup>发现,北太平洋中部和北太平洋北部海温之间的正负相关演变是北太平洋海温主模态在 1990 年前后发生调整的海温场内部原因,冬季北太平洋涛动在 1990 年之后的显著增强是北太平洋海温主模态调整的重要外部原因。北太平洋海洋环境的变化不仅体现在非生物因素的水温上,在生物量变动上也有所体现,如 CHAVEZ 等<sup>[17]</sup>发现,秘鲁鳀 (*Engraulis japonius*) 和沙丁鱼 (*Sardinops sagax*) 是 PDO 现象的指示种,而在 20 世纪 90 年代初,鳀鱼资源量在经过 20 年的低迷期以后开始增加,而沙丁鱼资源量则从最高值开始回落。相关研究在一定程度上印证了 1990 年

前后西北太平洋海洋环境发生了突变,也初步揭示了相应的原因,但是具体机制还有待后续进一步的探究。

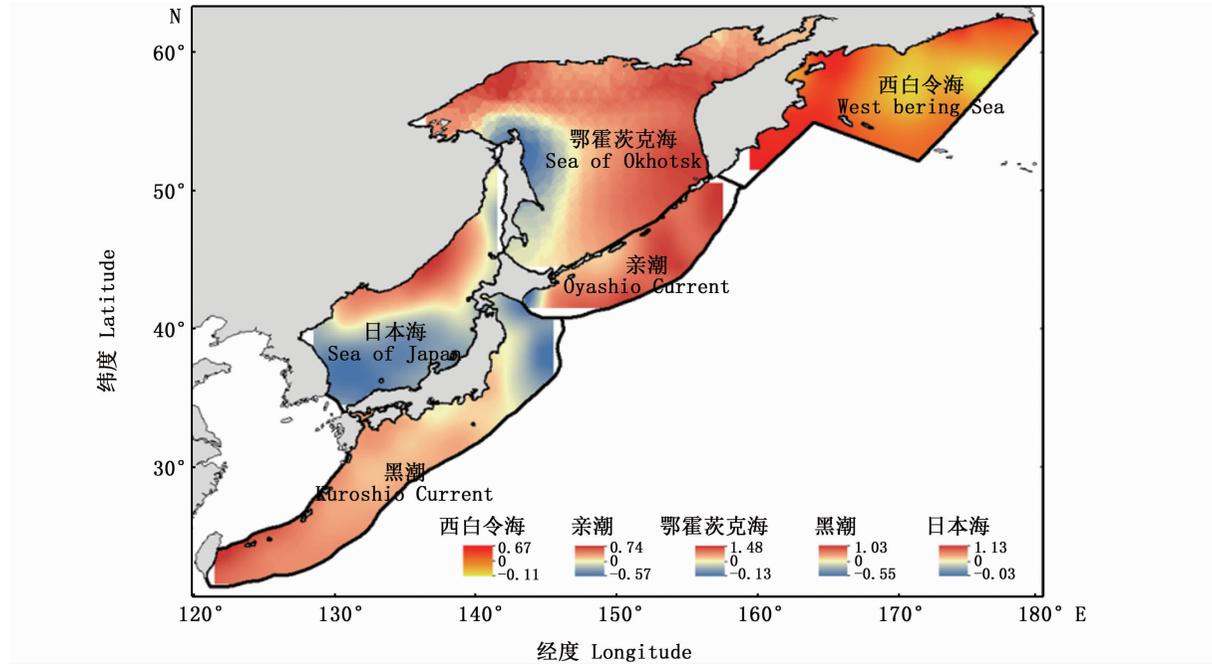


图5 2008—2018 与 1950—1960 年各 LME 平均 SST 差值分布图(°C)

Fig. 5 Distribution map of average SST of the LMEs in the years of 2008 - 2018 and 1950 - 1960(°C)

PDO 和厄尔尼诺、拉尼娜事件对 5 个 LME 的 SST 有着显著的影响,不仅影响到水温的高低,也影响到了水温的周期性变化。通过 HP 滤波分析可发现,对于 5 个 LME,其 SST 的年变化并没有明显的周期性存在,但是与厄尔尼诺、拉尼娜事件有着密切关系。有研究<sup>[18]</sup>发现,对于西北太平洋,El Niño 期间海水热含量减少,La Niña 期间海水热含量增多,即西北太平洋海域上层的年际变化与 El Niño 事件相关,还有研究<sup>[19]</sup>发现在 El Niño 期间高热含量的海水减少且分布范围明显缩小。不同 LME 受到气候事件影响下的反应不同,从结果上看,在厄尔尼诺发生时水温偏低,在拉尼娜发生时水温偏高。研究表明,PDO 事件会影响到黑潮和西白令海区域的 SST,但是其他 3 个 LME 却没有检测到影响,体现了各区域的差异性。有研究<sup>[20]</sup>对黑潮 SST 的异常变化与 PDO、ENSO 进行了相关性分析,发现了显著的正相关性,尤其是与 PDO,其相关性达到了 0.67。

研究发现,5 个 LME 的 SST 变化存在着明显的差异:首先在于变化趋势(图 2~6)上,西白令海的 SST 一直处于升温状态,而其他 4 个 LME 则

在 1987 年前后存在着突变点,一个可能的原因来源于西白令海位于亚北极,还受到海冰融化的影响,对 1979—2004 年海域海冰模型模拟分析表明,海冰面积一直在缩小且一年内的无冰期在增加,海冰融化可能会带来冬季 SST 的升高,由此影响到全年海域 SST 的数值<sup>[21]</sup>;方差分析也发现,只有黑潮和西白令海的 SST 的时间变化受到了厄尔尼诺、拉尼娜事件或 PDO 的影响,这首先可能是由于 5 个 LME 处于不同的地理位置,海洋环境不同,日本海和鄂霍次克海位于日本和库页岛的西侧,为半封闭海,受到大洋中气候事件的影响可能小些;而亲潮区域的海流主要是亲潮,为冷水性海流,水文环境比较稳定;相反,黑潮区域的海水主要来源于赤道太平洋,该区域是发生厄尔尼、诺拉尼娜事件的区域,海水性质受到大洋海水的影响<sup>[22]</sup>;而西白令海区域的海水主要来源于阿拉斯加暖流,该海流起源于北太平洋暖流,跨越了整个太平洋,但是流经区域离赤道太平洋较远,因此主要受到了 PDO 的影响<sup>[23]</sup>。综上所述,各个 LME 所处不同地理位置上的海洋环境差异导致了各个 LME 的 SST 差异。

从水温的空间分布上看,各区域的 SST 都呈现由北向南逐渐增高的趋势(图 4),但是增温趋势不尽相同(图 5)。在西白令海的整个区域, SST 都在升高,而其他 4 个海域都存在着水温降低的区域,降温区域则围绕在库页岛和日本的北海道附近;鄂霍次克海的 SST 在空间上变化最为剧烈,北部区域增温高于 1 °C,而南部区域则有降温的地区;在海水温度变暖这个背景下,不同海域增温的空间趋势不同,可能来源于内在海洋动力学如海流运动、海气交换等的作用<sup>[24]</sup>,其中相关机制有待后续进一步研究。

本研究分析了各 LME 的 SST 的时空变化规律及其与气候变化的关系,水温变化同时会对海域中各种生物造成影响。已有研究<sup>[25]</sup>发现,生态系统中不同种类的生物对海水变暖的响应是不同的,但是不同种类生物的生物量减少也会造成生态系统结构的改变,因此本研究为今后预测西北太平洋不同 LME 水温变化及其影响提供一定的依据。

#### 参考文献:

- [1] IOC-UNESCO, UNEP. Large marine ecosystems: status and trends (summary for policy makers) [R]. Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP), 2016.
- [2] SHERMAN K. The large marine ecosystem concept: research and management strategy for living marine resources [J]. *Ecological Applications*, 1991, 1(4): 350-360.
- [3] LONGHURST A. The symbolism of large marine ecosystems [J]. *Fisheries Research*, 2003, 61(1/3): 1-6.
- [4] MANTUA N J, HARE S R, ZHANG Y. A pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1997, 78(6): 1069-1080.
- [5] YEH S W, KANG Y J, NOH Y, et al. The North Pacific climate transitions of the winters of 1976/77 and 1988/89 [J]. *Journal of Climate*, 2011, 24(4): 1170-1183.
- [6] DI LORENZO E, COBB K M, FURTADO J C, et al. Central Pacific El Niño and decadal climate change in the north Pacific Ocean [J]. *Nature Geoscience*, 2010, 3(11): 762-765.
- [7] DI LORENZO E, SCHNEIDER N, COBB K M, et al. ENSO and the north Pacific Gyre Oscillation: an integrated view of Pacific decadal dynamics [R]. Atlanta GA: The 90th American Meteorological Society Annual Meeting, 2010.
- [8] 鲍献文, 万修全, 高郭平, 等. 渤海、黄海、东海 AVHRR 海表温度场的季节变化特征 [J]. *海洋学报*, 2002, 24(5): 125-133.  
BAO X W, WAN X Q, GAO G P, et al. The characteristics of the seasonal variability of the sea surface temperature field in the Bohai Sea, the Huanghai Sea and the East China Sea from AVHRR data [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2002, 24(5): 125-133.
- [9] 徐文玲, 苏洁. 台风对西北太平洋海表温度的影响 [J]. *中国海洋大学学报*, 2007, 37(s2): 17-22.  
XU W L, SU J. The impact of typhoons on sea surface temperature in the Western North Pacific Ocean [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2007, 37(s2): 17-22.
- [10] TSENG C T, SUN C L, YEH S Z, et al. Influence of climate-driven sea surface temperature increase on potential habitats of the Pacific saury (*Cololabis saira*) [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2011, 68(6): 1105-1113.
- [11] THORSON J T, IANELLI J N, KOTWICKI S. The relative influence of temperature and size-structure on fish distribution shifts: a case-study on Walleye pollock in the Bering Sea [J]. *Fish and Fisheries*, 2017, 18(6): 1073-1084.
- [12] BAI J S, PERRON P. Computation and analysis of multiple structural change models [J]. *Journal of Applied Econometrics*, 2003, 18(1): 1-22.
- [13] BAI J S. Estimation of a change point in multiple regression models [J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1997, 79(4): 551-563.
- [14] PELLEGG D, MOORE A. X-means: extending K-means with efficient estimation of the number of clusters [C]// Seventeenth International Conference on Machine Learning. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2000: 727-734.
- [15] HODRICK R J, PRESCOTT E C. Postwar US business cycles: an empirical investigation [J]. *Journal of Money, Credit, and Banking*, 1997, 29: 1-16.
- [16] 刘凯, 祝从文. 冬季北太平洋海温主模态在 1990 年前后调整及其成因初探 [J]. *大气科学*, 2015, 39(5): 926-940.  
LIU K, ZHU C W. Regime shift of winter north Pacific sea surface temperature after 1990 and its possible causes [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2015, 39(5): 926-940.
- [17] CHAVEZ F P, RYAN J, LLUCH-COTA S E, et al. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean [J]. *Science*, 2003, 299(5604): 217-221.
- [18] 张启龙, 蔡榕硕, 齐庆华, 等. 西北太平洋上层热含量的时空变化 [J]. *海洋科学进展*, 2009, 27(2): 121-132.  
ZHANG Q L, CAI R S, QI Q H, et al. Spatial and temporal variations in the upper layer heat content field over the northwestern Pacific Ocean [J]. *Advances in Marine Science*, 2009, 27(2): 121-132.
- [19] 林传兰. 1964-1982 年热带西北太平洋海洋上层热含量的变化特征 [J]. *热带海洋*, 1990, 9(2): 78-85.  
LIN C L. Some features of heat content changes of the oceanic upper layer in northwest Pacific during 1964-1982 [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 1990, 9(2): 78-85.

- [20] 王闪闪, 管玉平, LI Z J, 等. 黑潮及其延伸区海表温度变化特征与大气环流相关性的初步分析[J]. 物理学报, 2012, 61(16): 510-520.  
WANG S S, GUAN Y P, LI Z J, et al. Preliminary analyses on characteristics of sea surface temperatures in Kuroshio and its extension and relations to atmospheric circulations [J]. Acta Physica Sinica, 2012, 61(16): 510-520.
- [21] DANIELSON S, CURCHITSER E, HEDSTROM K, et al. On ocean and sea ice modes of variability in the Bering Sea [J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2011, 116(C12): C12034.
- [22] HURLBURT H E, WALLCRAFT A J, SCHMITZ JR W J, et al. Dynamics of the Kuroshio/Oyashio current system using eddy-resolving models of the north Pacific Ocean [J]. Journal of Geophysical Research, 1996, 101(C1): 941-976.
- [23] MÉHEUST M, FAHL K, STEIN R, et al. Variability in modern sea surface temperature, sea ice and terrigenous input in the sub-polar north Pacific and Bering Sea; reconstruction from biomarker data [J]. Organic Geochemistry, 2013, 57: 54-64.
- [24] XIE S P, DESER C, VECCHI G A, et al. Global warming pattern formation: sea surface temperature and rainfall [J]. Journal of Climate, 2010, 23(4): 966-986.
- [25] GRIFFITH G P, FULTON E A, GORTON R, et al. Predicting interactions among fishing, ocean warming, and ocean acidification in a marine system with whole-ecosystem models [J]. Conservation Biology, 2012, 26(6): 1145-1152.

## Characteristics of sea surface temperature for large marine major ecosystems in the northwest Pacific under climate change

WANG Yameng<sup>1</sup>, CHEN Peng<sup>1</sup>, CHEN Xinjun<sup>1,2,3,4,5</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, Shandong, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 5. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Climate change and climate events have significant impacts on the marine environment, and their impacts vary in time and space. The study looked at sea surface temperature (SST) in five large marine ecosystems (LME) in the northwest Pacific, including West Bering Sea, Sea of Okhotsk, Kuroshio, Oyashio, and the Sea of Japan, and the temporal and spatial trends of SST and their influences under the Pacific Decadal Oscillation (PDO) with El Niño and La Niña were analyzed. It was found that the SST of the other four large marine ecosystems, except the West Bering Sea, rose sharply around 1987, showing two changing patterns. After removing the long-term changing trend of SST, it was found that the SST of the five LMEs fluctuated up and down with time without regular periodic changes, but it was closely related to the El Niño and La Niña events. According to the spatial distribution of water temperature, the SST of each region showed a trend of increasing gradually from north to south, but the trend of increasing temperature was different. The SST of the whole region in West Bering Sea was increasing, and the cooling region was around Sakhalin and Hokkaido in Japan.

**Key words:** northwest Pacific; large marine ecosystem; Pacific decadal oscillation; El Niño; La Niña; climate change; sea surface temperature