

引用格式:徐策, 张力, 余静, 等. 气候变化对中国近海捕捞渔业的影响: 以太平洋年代际涛动为例[J]. 资源科学, 2022, 44(2): 386–400. [Xu C, Zhang L, Yu J, et al. Impact of climate change on China's offshore fishing: Taking the Pacific Decadal Oscillation as an example[J]. Resources Science, 2022, 44(2): 386–400.] DOI: 10.18402/resci.2022.02.14

气候变化对中国近海捕捞渔业的影响 ——以太平洋年代际涛动为例

徐策¹, 张力^{2,3,4}, 余静¹, 张瑛⁵

(1. 中国海洋大学海洋与大气学院, 青岛 266100; 2. 中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室, 青岛 266100; 3. 中国海洋大学深海圈层与地球系统前沿科学中心, 青岛 266100; 4. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 青岛 266237; 5. 中国海洋大学管理学院, 青岛 266100)

摘要:太平洋年代际涛动(Pacific Decadal Oscillation, PDO)是气候年代际变化的主要模态之一, 不仅对欧亚及北美大陆气候有重要的调节作用, 对海洋生态系统及渔业资源也产生重要影响。本文以影响中国近海环境最主要的气候年代际事件PDO为切入点, 采用经验正交函数分解(EOF)、超前滞后相关、一元回归分析和经验模态分解(EMD)等方法, 分析了1950—2018年中国近海4种主要经济鱼种(小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、带鱼(*Trichiurus lepturus*)、银鲳(*Pampus argenteus*)及蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*))渔获量波动与PDO变化的关系。结果表明:①渤海黄海4种渔获量与PDO的关系变化一致, 存在显著的同期负相关; 而南海4种渔获量与其他海区不同, 与PDO相关性较差。②PDO变化对渔获量的影响主要集中在年代际尺度, 并且在PDO位相转换期间的影响更为显著。③PDO变化通过引起渤海黄海的海温和初级生产力(以叶绿素为表征)显著变化, 对渔获量波动产生影响。具体表现为当PDO处于负位相时, 中国近海会出现海水增暖、叶绿素增加现象, 适宜海温和初级生产力提升, 使得渔获量增加。本文结合中国海洋渔业发展现状和特点, 对中国海洋渔业发展方面提出相应对策建议, 以期气候变化背景下中国渔业资源的开发利用提供理论指导。

关键词:气候变化; 太平洋年代际涛动; 渔获量; 海洋经济; 海表温度; 叶绿素浓度; 海气CO₂通量

DOI: 10.18402/resci.2022.02.14

1 引言

中国自改革开放以来, 经济快速发展, 饮食结构升级, 人民从解决温饱的需求逐渐转变为对优质蛋白的追求。海洋渔业资源因含有较多优质蛋白、丰富的维生素及矿物质元素, 以其极高的营养价值走上大众餐桌。快速发展的海洋捕捞渔业逐步解决了中国水产品短缺问题, 同时增加了渔民的收入, 进一步带动经济发展, 在中国食品及经济领域扮演重要角色^[1]。

海洋捕捞业是海洋渔业开发中最古老的产业

之一, 在中国已有近3000年的发展历程^[2]。作为世界第一捕捞大国, 2020年中国海洋捕捞产量达947.4万t, 占全球海洋捕捞产量的64.6%。就中国海洋捕捞渔业而言, 近海捕捞渔业占比约70%。而中国近海捕捞总量中, 鱼类捕捞量约占总量的70%^[3], 因此可以说近海捕捞渔业是中国海洋渔业资源开发利用中最为重要的支柱之一。小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、带鱼(*Trichiurus lepturus*)、银鲳(*Pampus argenteus*)及蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)广泛分布于中国近海, 是中国重要经济鱼

收稿日期: 2021-08-23; 修订日期: 2021-11-06

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(42176218); 中国科学院战略性先导科技专项(B类)资助项目(XDB40000000)。

作者简介: 徐策, 女, 山东青岛人, 博士研究生, 主要研究方向为气候变化与海洋资源综合管理。E-mail: 962610246@qq.com

通讯作者: 张瑛, 女, 北京人, 教授, 主要研究方向为气候变化与渔业资源。E-mail: 736482119@qq.com

2022年2月

种,具有极高的经济价值。

近10年,中国近海捕捞渔业发展迅速,也导致其与资源环境冲突问题愈来愈激烈,两者之间无法协调平衡^[4]。一方面,由于人为影响,随着捕捞技术提升和捕捞政策的开放,捕捞强度快速上升;而捕捞强度增加导致近海渔业资源衰退严重,近海主要经济鱼类资源大幅衰减^[5]。另一方面,气候变化对渔业产量也影响深远。大量研究表明,气候变化主要通过调整海水温度、上层洋流、海洋密度层结等过程,影响海水pH值、营养盐分布等变化,进一步对渔业资源的多时空尺度变化产生影响^[6]。不同海域渔业资源受气候变化调控因子影响存在差异显著。在南大洋和印度洋,渔业资源波动分别受到南半球环状模(Southern Annular Mode, SAM)和印度洋偶极子(Indian Ocean Dipole, IOD)显著影响。SAM和IOD通过调制海表面风场及海冰的变化,对上层海洋垂向混合和水平平流等过程产生影响,进而调制营养物质的水平和垂直输运,最终对上层海洋初级生产力产生调制作用^[8]。在太平洋,以厄尔尼诺事件(El Nino-Southern Oscillation, ENSO)和太平洋年代际涛动(Pacific Decadal Oscillation, PDO)为主,分别对渔获量年际和年代际波动有显著影响。实际上,最早发现并研究太平洋海温年代际变化的工作,正是始于美国渔业科学家 Mantua 等^[9]关于鲑鱼产量的研究。他们发现太平洋海温在1925、1947和1977年发生了3次振幅巨大的涛动事件,而这种变化与北太平洋鲑鱼产量波动一致;进一步研究揭示了PDO变化对阿拉斯加和加州海域海温有显著影响,且会引起当地鲑鱼产量的年代际波动。

中国近海位于西太平洋边缘海,因其独特的海洋区位、地形和海洋环流结构,受到复杂的气候变化因素影响,中国近海环境也呈现了季节到年代际的显著变化。季节尺度上,以季风、海洋平流输运、海洋垂直混合等过程的季节变化影响为主导^[10];年际尺度上,以ENSO相关非局地海气相互作用影响为主^[11,12];在年代际尺度上,以PDO调控下海洋平流输运和局地海气热通量变化影响为主^[13]。气候变化在不同海洋资源开发利用的研究中越来越受到重视,其中利用气候变化表征因子指导管理渔业是重

要方向之一^[14]。为保障中国渔业捕捞发展的长期稳定、合理平衡和可持续发展,必须重点考虑气候变化扮演的重要角色。PDO作为影响中国近海环境变化的最主要年代际气候事件,其变化对中国渔获量波动影响的研究尚不完善。为此,本文选取中国近海4种主要经济鱼种(小黄鱼、带鱼、银鲳、蓝点马鲛),探究PDO变化对中国近海渔获量波动的影响,为未来中国海洋渔业的可持续发展提出政策建议。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

2.1.1 渔获量

中国渔业捕捞海区总渔获量数据来自 Sea Around Us 计划(<http://www.seaaroundus.org/>),数据包括1950—2018年的渤海、东海、南海渔获量时间序列。本文分别选取了生活在不同水深的4种暖温性鱼类,小黄鱼(下层)、带鱼(中下层)、银鲳(中下层)及蓝点马鲛(中上层)。

2.1.2 海表温度

海表温度(sea surface temperature, SST)直接受PDO变化调制,对鱼类产卵、摄食和发育等有显著影响^[15]。SST数据来自Met Office Marine Data Band (MDB)提供的HadISST(Hadley Centre Global Sea Ice and Sea Surface Temperature)月平均数据集:①水平覆盖范围:179.5°W—179.5°E, 89.5°S—89.5°N;②水平分辨率采用了1°×1°;③覆盖时段:1870年1月—2021年12月。参照PDO经典定义方法,通过对北太平洋(20°N以北)SST异常进行经验模态分解,获得的第一模态即为PDO,具体方法详见2.2.1小节。

2.1.3 叶绿素a浓度

叶绿素a浓度(chlorophyll concentration, *Chl-a*)是浮游植物生物量的一个良好指标,可以表征初级生产力,同时也是藻类光合作用的常用色素,可用于评估藻类的生长状况。PDO通过对海表风场调制使得海洋混合层深度发生变化,对营养盐的垂向输运产生影响,进而对初级生产力的年代际变化有显著影响^[16]。*Chl-a*数据来自欧洲航天局GlobColour提供的月平均卫星数据集,用于表征海洋初级生产力。本文关注中国近海,数据集水平分辨率为

0.25°×0.25°,覆盖时段为1997年9月—2016年12月。上述数据根据不同的需要分别插值到模式网格和相应的观测数据网格上。

2.1.4 海气CO₂通量

$f\text{CO}_2$ 是海洋吸收或释放CO₂指标,已被广泛用于海洋碳汇的年际和年代际变化研究。海气CO₂通量($f\text{CO}_2$)数据来自于Landschütze等^[17]所构建的1982—2015年月平均格点化数据,水平分辨率为1°×1°。该数据所使用的海表CO₂分压($p\text{CO}_2$)基于SOCATv4 (Surface Ocean CO₂ Atlas version 4)^[18]所收集的走航和潜标观测数据。然后采用两步自组织映射神经网络技术将SOCATv4中的 $p\text{CO}_2$ 数据重构到标准1°×1°网格上。进一步,采用标准气体交换块体公式和高分辨率风速资料计算得到 $f\text{CO}_2$ 。PDO影响下局地风场的变化可以调制海洋吸收和释放碳的能力,并对海水pH值有显著影响,这不仅直接影响和破坏鱼类感官系统,还会引起海水密度变化,对细胞渗透压产生影响^[19]。

2.2 研究方法

2.2.1 经验正交函数分解(EOF)方法

经验正交函数分解(Empirical Orthogonal Function, EOF)是气候学分析中被广泛使用的经典统计方法^[20]。本文通过EOF方法分别提取了历史情景(1871—2018年)和未来情景(21世纪)下的PDO空间特征场和指数。EOF获得的空间模态部分概括了要素场的空间分布特征,不随时间变化;时间系数则由空间点的线性组合构成,称为主成分(Principal Component, PC)。

设一个变量场 \mathbf{X} ,其中包含了 m 个空间格点,每个格点上有 n 次观测。本文中变量场 \mathbf{X} 为海表温度距平场,即去除逐月的气候平均场(即去除年循环)获得,同时去除全球变暖和长期趋势的影响。进行EOF分析步骤如下:

(1)计算海表温度 \mathbf{X} 的协方差矩阵 \mathbf{R} ,求解 \mathbf{R} 的特征值和特征向量:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{X}^T \mathbf{X} \quad (2)$$

式中:元素 x_{mn} 表示任意空间点 m 在任意时刻 n 的观测值。协方差矩阵 \mathbf{R} 通过正交转换,转化为非对角线元素均为零的矩阵:

$$\mathbf{R} = \mathbf{X}^T \mathbf{X} \xrightarrow{P^{(1)}, P^{(2)}, \dots, P^{(m)}} \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_m \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中: $P^{(1)}, P^{(2)}, \dots, P^{(m)}$ 为特征向量; $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ 为特征值,满足 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m \geq 0$ 。

(2)求空间模态 Φ 和时间系数矩阵 \mathbf{E} :

$$\Phi = P^{(1)} \times P^{(2)} \times \cdots \times P^{(m)} = \begin{pmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1n} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{m1} & \phi_{m2} & \cdots & \phi_{mn} \end{pmatrix} \\ = [\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_m] \quad (4)$$

$$\mathbf{E} = \mathbf{X}\Phi = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{m1} & e_{m2} & \cdots & e_{mn} \end{pmatrix} = [\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2, \dots, \mathbf{E}_m] \quad (5)$$

在本文中, Φ 和 \mathbf{E} 分别为PDO的空间特征场和指数(即 PC_i)。

2.2.2 超前滞后相关

超前滞后相关是对两个时间序列(x, y)的相关性分析基础上,按特定时间间隔(t)进行超前或滞后滑动,以检验两个时间序列在时间前后($x-t$ 与 $y+t$, $x+t$ 与 $y-t$)的相关性。 $t=0$ 时,即为同期相关检验。本文通过超前滞后相关检验了PDO对不同海区渔获量同期和超前的相关性,对相关系数信度进行了 T 检验。

采用超前滞后相关、而非同期相关,是出于两个重要因素考虑:①PDO对中国近海的影响过程复杂且深远,若以海气相互作用为主要过程影响,由于大气过程对物理信号的“记忆”一般不超过3个月^[21],中国近海的响应时间往往在一年内,本文采用的年平均数据进行同期相关即可诊断;若以海洋动力过程为主,由于海洋过程对物理信号的“记忆”可以维持几年以上,中国近海多要素的响应会存在滞后特征,因此可以通过超前相关诊断;②渤海、东海和南海3个海区虽在空间上连贯,属中国近海,但

2022年2月

又有各自独特的变化特征,受到来自南海季风、局地环流、黑潮入侵等多因素复杂作用^[22];同时,各海区的生物资源结构、生态动力学过程也存在差异。超前滞后相关可以通过时间滑动,获得相关系数随时间变化曲线,据此来研究不同海区与PDO之间的相关性差异。

2.2.3 一元回归分析

一元回归主要是将一个时间序列(y)往另外一个时间序列(x)上投影,从而来检验这两个时间序列之间的联系。本文用于研究渔获量与海温回归空间型,对回归系数信度进行了 F 检验。

2.2.4 经验模态分解(EMD)

经验模态分解(Empirical Mode Decomposition, EMD)是一种循环迭代算法,旨在对时间序列实现分解:

$$X(t) = \sum_{i=1}^n imf_i(t) + r_n(t) \quad (6)$$

EMD方法将原始时间序列 $X(t)$ 逐级分解为由高频到低频的不同尺度波动,余项为趋势分量 $r_n(t)$,即生成一系列本征模态函数 $imf_i(t)$ (即 IMF 分

量)。本文通过EMD提取了PDO和渔获量年际和年际以上的波动信号, IMF 编号从小到大分别表征从高频到低频,最后一项 IMF 表征原始序列趋势。

2.2.5 合成分析

合成分析是气候学诊断中被广泛应用,旨在参照两种或多种特定状态,将研究对象进行分类和平均计算,进一步分析不同状态的差异特征^[23]。考虑到 $Chl-a$ 和 fCO_2 数据在时间和空间分辨率差异,分别为<1997—2016年, $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ >和<1982—2015年, $1^\circ \times 1^\circ$ >,本文对PDO负位相期间 $Chl-a$ 和 fCO_2 进行合成分析,选取PDO标准化时间序列大于/小于1(代表正位相/负位相),在不同的时间内进行相同的集合平均。

3 结果与分析

3.1 中国近海渔获量和PDO的主要变化特征

3.1.1 渔获量特征

从渔获量趋势来看(图1),1950—1980年间整体非常低,且上升趋势缓慢;较前30年,1980—2000年主要经济鱼种渔获总量呈显著增长趋势;而在

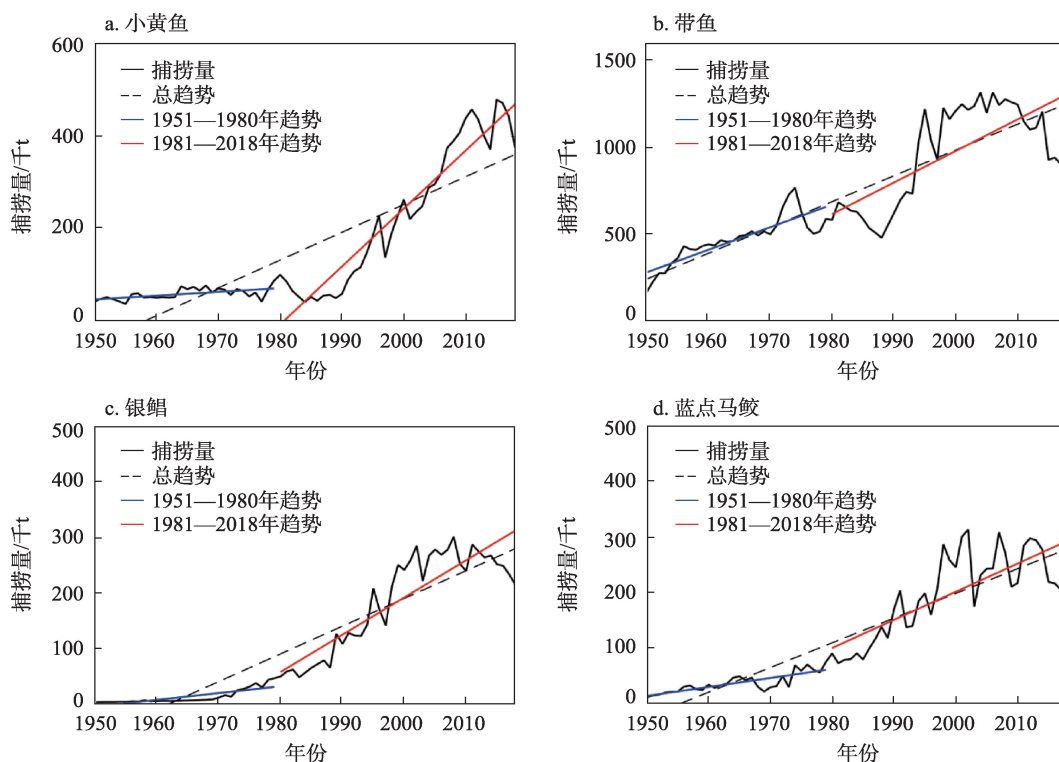


图1 1950—2018年中国近海4种经济鱼种渔获量

Figure 1 Catches of four economic fishes species in China's exclusive economic zone, 1950-2018

2000年后,增幅趋于平缓。中国近海渔获量随时间变化的信度呈现在表1,该计划也对中国近海渔获量数据进行了系统的评估和校正。考虑信度等级和年代际研究需要,本文优先选取了信度>1.5的渔获量数据进行统计分析,对应时间段位1971—2018

表1 1950—2018年中国近海4种经济鱼种渔获量数据信度
Table 1 Reliability scores on catches of four economic fishes in China's exclusive economic zone, 1950-2018

年代	数据信度
1950s	1.07/1.10
1960s	1.11/1.14/1.16
1970s	2.02/2.08
1980s	2.10/2.15/2.20
1990s	2.27/2.44
2000s	2.53/2.52/2.53
2010s	1.58/1.57

注:4=最高可信度,1=最低可信度。

年。同时,结合中国国情,对1980—2010年(信度>2)时间段也进行了同样的分析诊断,得到与本文完全一致的结果(因篇幅所限未作展示),这也支持了本文结果不存在数据时间选取的敏感性。

3.1.2 PDO时空演变特征

PDO是太平洋最主要的年代际变化模态。图2a为PDO的空间特征场,表现为北太平洋海温异常马蹄状分布;图2b中柱图为对应PDO模态的第一主成分 PC_1 ,用以表征PDO指数时间变化特征。具体来看,当PDO指数为正值/负值时,北太平洋中西部的海表温度呈现冷/暖异常,环东太平洋北美沿岸的海表温度呈现暖/冷异常,热带太平洋呈现暖/冷异常,称为PDO正/负位相。上述PDO时空特征与前人研究结果一致^[9]。

从PDO时间演变来看,其最主要特征是存在年代际位相转换,具体表现在1977—1978年和1997—

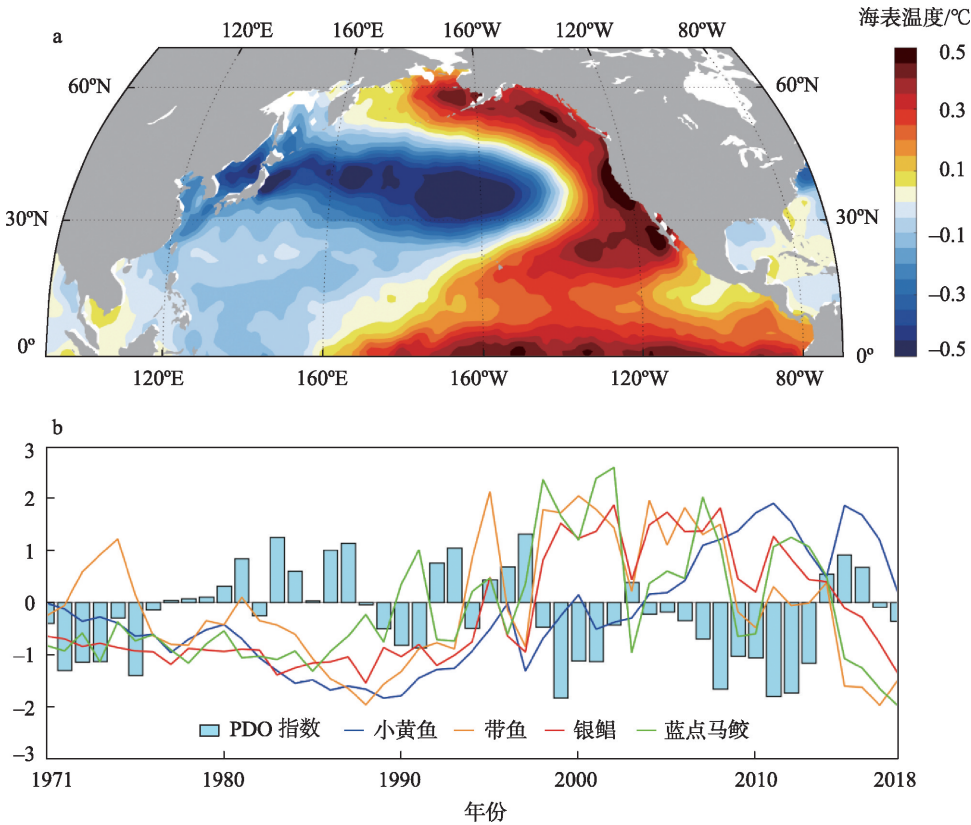


图2 1870—2018年PDO空间特征场(a)和1971—2018年PDO指数与中国近海4种经济鱼种获量变化(b)

Figure 2 Pacific Decadal Oscillation (PDO) pattern in 1870-2018 (a); and PDO index and catches of four economic fish species in China's exclusive economic zone in 1971-2018 (b)

注:图b蓝色柱图表示PDO时间特征序列第一主成分 PC_1 ,4条彩色曲线表示标准化和去除线性趋势的4种渔获量变化。

1998年PDO分别由负转向正位相和正转向负位相。图2b中其他曲线代表了去除线性趋势和标准化后的小黄鱼、带鱼、银鲳和蓝点马鲛捕获量波动情况,可以发现渔获量也存在着与PDO位相变化相反、规律一致的年代际变化,具体表现为:在1977年后,渔获量向负位相转变、振幅增大;1995年后,渔获量逐渐由负位相转向正位相。此外,在年际尺度上也存在较好关系,在PDO指数出现较大振幅的年份,如1986—1987年、1996—1997年、1999—2002年和2011—2012年等,4种渔获量也对应出现振幅较大、位相变化相反的波动。渔获量受到人为因素和自然变率共同而复杂的影响,在去除渔获量增长趋势后,仍能得到两者变化存在一致负相关,表明了PDO对渔业资源变化的显著影响,两者的相关性需要在后文进一步诊断分析。

3.2 PDO变化影响下4种经济鱼种渔获量波动

3.2.1 PDO与渔获量相关诊断

本文首先通过超前滞后相关对PDO变化和渔获量波动的关系进行分析。图3呈现了1971—2018年PDO指数与4种渔获量在不同海区的超前和同期相关系数,横轴表示了PDO超前渔获量的年份,

同期相关时横轴为0年,以1年为单位滑动至超前8年。在同期相关时,参考95%置信度检验线,PDO指数与渤海和东海4种渔获量均呈现了显著的同期负相关,相关系数分别为小黄鱼-0.58、-0.55,带鱼-0.42、-0.42,银鲳-0.52、-0.49,和蓝点马鲛-0.46、-0.45;而与南海4种渔获量的相关系数较低,同期相关均未通过95%置信度。对同期相关比较,随着PDO超前1年到8年,PDO指数与渤海和东海4种渔获量的相关系数整体降低,除小黄鱼(PDO超前1~6年)外其他鱼种未能通过95%置信度;南海则仍维持在较低相关系数,未出现显著相关。从不同海区来看,渤海和东海与PDO指数呈现了几乎完全一致的相关系数随时间变化特征,即同期呈现最高的负相关、滞后时相关性减弱;南海表现的规律则完全不同,同期和滞后相关性都较差。同期的显著相关性也一定程度上表明了海气相互作用扮演了重要物理过程^[13]。后文将渤海与东海合并为一个新的单独渔获量时间序列。

进一步,对PDO指数与渤海和东海合并的4种渔获量进行了EMD分解。需要说明的是,前人部分研究中会对海表温度异常场进行10年滑动平

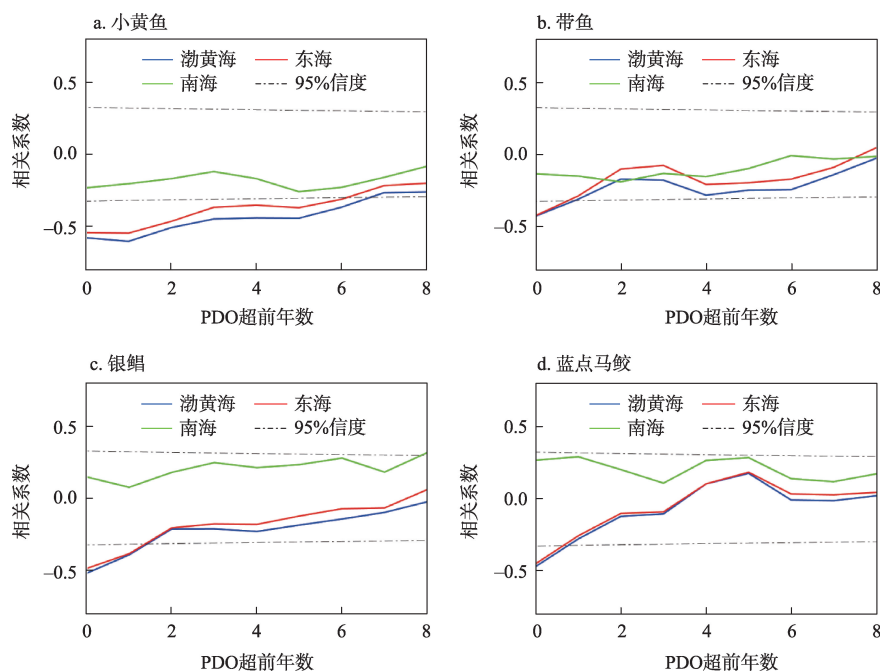


图3 1971—2018年PDO指数与4种渔获量在不同海区的超前和同期相关系数

Figure 3 Lead-lag correlation of the four catches and the Pacific Decadal Oscillation (PDO) index in different sea areas, 1971-2018

均,以集中研究 PDO 的年代际变化;本文在提取 PDO 指数时未进行上述预处理,是为了保留 PDO 各时间尺度信息。PDO 时间变化主要集中在 10~20 年以及 50~70 年。以图 4a 为例,沿纵坐标自下而上分为从高频到低频(最后一项为趋势)的 6 个本征模态函数 IMF,其中 IMF2(峰值 5.7 和 11 年)和 IMF3(峰值 18 年)代表了 10~20 年周期特征,IMF4(峰值 37 年)和 IMF5(大于 30 年)代表了 50~70 年周期调整。从渔获量 EMD 结果来看(图 4b~4e),4 种渔获量均存在与 PDO 中 10~20 年周期一致低频变化,分别为小黄鱼 IMF3,带鱼 IMF2/3,银鲳 IMF2/3 和蓝点马鲛 IMF2/3。图 4 中有两点问题值得注意:①由于渔获量的数据时间长度有限(46 年),EMD 无法提取 20

年以上的 IMF,因此也无法说明渔获量不存在类似 PDO 更低频率的年代际周期;②PDO 与 4 种渔获量,分别存在年际时间尺度的变化特征,是否 ENSO 对此也有影响? 本文 3.2.2 将对上述关于时间尺度的问题作出进一步诊断分析。

3.2.2 PDO 影响渔获量的时间特征尺度

ENSO 作为全球气候变化中最重要的年际变化模态,对北太平洋和中国近海也有深远的影响^[24],特别是在年际尺度上,ENSO 与 PDO 又存在较强相关性^[25],厘清 ENSO 在 PDO 对渔获量影响的过程中所扮演的角色尤为重要。为此,首先直接检验 ENSO 与渔获量同期相关。本文同样采用 HadISST 数据对 ENSO 时间特征序列(nino3.4 指数)进行定义,即

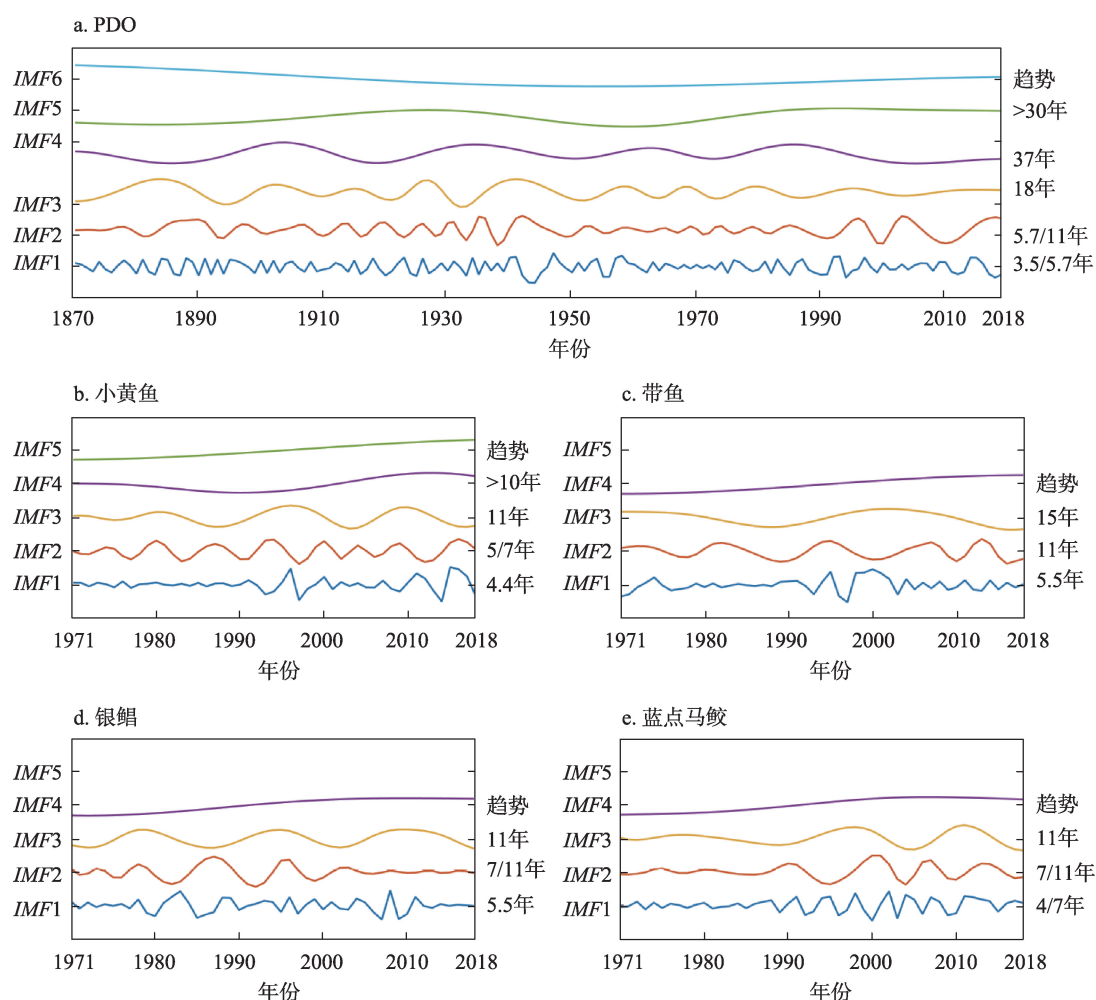


图4 对1870—2018年PDO指数(a)和1971—2018年渤海、黄海、东海渔获量(b-e)进行EMD获得的本征模态函数

Figure 4 Intrinsic mode function (IMF) components of the Pacific Decadal Oscillation (PDO) index in 1870-2018 (a) and catches in the Bohai Sea, the Yellow Sea and the East China Sea in 1971-2018 (b-e) derived from empirical mode decomposition (EMD)

2022年2月

5°N—5°S, 170°W—120°W 区域的海表温度距平。从表2左列可以看到, ENSO与渤海和东海4种渔获量相关性都非常低, 未通过置信度检验。这表明以年际变化特征为主的 ENSO 对其影响可以忽略。进一步, 对 PDO 原始序列进行了 10 年的滑动平均, 旨在去除 10 年内的年际信号, 再计算与 4 种渔获量的相关性。需要说明的是, 滑动平均后的统计置信度水平也会发生变化, 本文重新了计算滑动平均后

的有效自由度, 以此作为置信度检验的基数。从表2右列可以看到, 滑动平均后的 PDO 指数与渔获量依然保持了很高的相关系数, 分别为渤海和东海小黄鱼-0.75、-0.72, 带鱼-0.59、-0.53, 银鲳-0.67、-0.64, 和蓝点马鲛-0.60、-0.57, 均通过 95% 置信度检验。对比图3同期相关系数可以发现, 去除高频年际信号后的时间序列相关性明显提高, 这表明 PDO 对渔获量波动影响的时间尺度以年代际变化为主。实际上, 在统计分析中, 虽然 EMD 无法获取渔获量 20 年以上的年代际变化, 但是渔获量原始数据仍蕴含了完全的年代际变化规律, 随着数据资料的累计, 在未来可进行更有针对性的年代际分析。

基于此, 本文进一步分析了 PDO 变化与渔获量波动的相关性是否存在年代际强弱变化, “滑动相关(Running Correlation)”是研究这个问题的有效方法。对 PDO 指数与 4 种渔获量分别作滑动相关分析, 滑动窗口长度设为 11 年, 将每次滑动的相关系数记录在窗口的中心年份, 得到图5。横轴为滑动相关中心年份, 以横轴的 1976 年为例, 它对应的数

表2 1950—2018年 ENSO 和 10 年滑动平均 PDO 与渔获量的同期相关

Table 2 Simultaneous correlation between El Nino-Southern Oscillation (ENSO) and 10-year running-mean Pacific Decadal Oscillation (PDO) and catches, 1950-2018

	ENSO 与渔获量		滑动平均 PDO 与渔获量	
	渤海	东海	渤海	东海
小黄鱼	-0.12	-0.11	-0.75*	-0.72*
带鱼	-0.14	-0.14	-0.59*	-0.53*
银鲳	-0.12	-0.11	-0.67*	-0.64*
蓝点马鲛	-0.10	-0.10	-0.60*	-0.57*

注: *表示通过 95% 置信度检验。

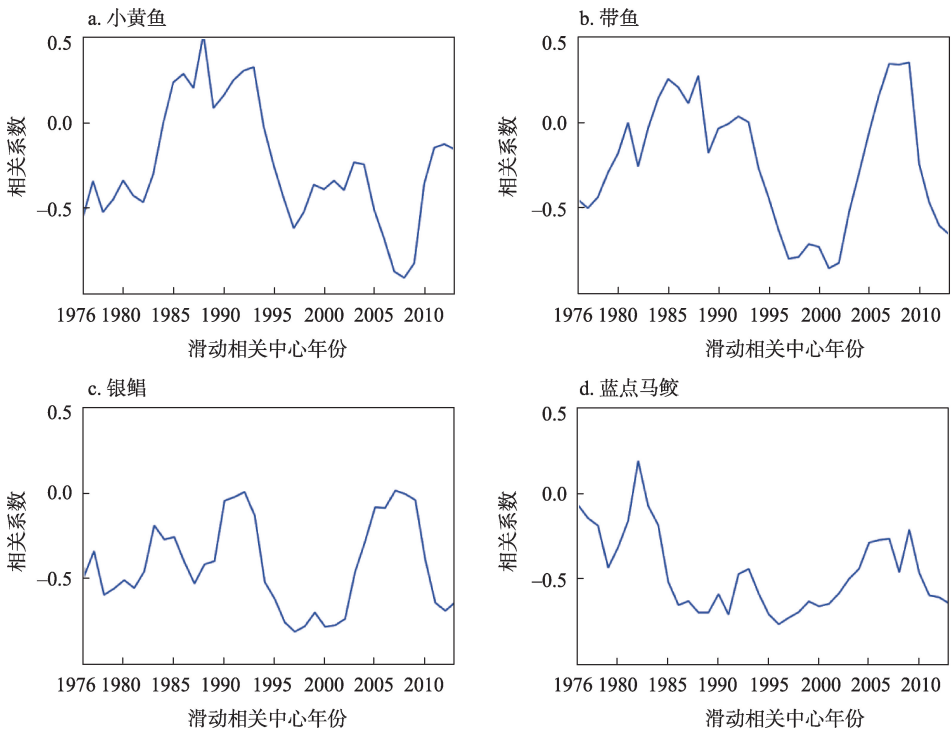


图5 1971—2018年 PDO 指数和渤海东海渔获量的 11 年滑动相关

Figure 5 11-year running correlation of the Pacific Decadal Oscillation (PDO) index and catches in the Bohai Sea, the Yellow Sea, and the East China Sea, 1971-2018

值代表了1971—1981年的PDO和渔获量相关系数。可以看到,11年滑动相关系数存在明显的年代际变化,以1976—1982年、1985—1992年、1994—2002年和2004—2010年4个时段划分来看,分别表现为:小黄鱼:强/弱/强/强^①,带鱼:强/弱/强/弱,银鲳:强/弱/强/弱,蓝点马鲛:强/强/强/弱。四者的滑动相关性最强阶段均出现在中心年份为1994—2002年(代表1989—2007年)期间,其次在中心年份为1976—1982年(代表1971—1987年)期间。这表示PDO变化在此期间的对渔获量波动影响更为显著。实际上,从图2b中可以看到,1977年后渔获量呈现负位相振幅增大,与1997—1998年渔获量负到正位相转换,都是发生在上述两个相关性较强的时间段。表明了PDO正负位相转换对渔业资源波动的影响是显著且深远的。

3.2.3 PDO影响渔获量的因子分析

本文中诊断了PDO对SST、Chl-*a*和 $f\text{CO}_2$ 的影响。

首先,为了研究4种渔获量与SST的关系,将北太平洋SST异常同期回归到4种渔获量的标准化时间序列。从图6的回归系数空间场可以看到:一方面,在中国近海的渤海和东海,即4种鱼生存的主要海域,SST回归系数呈现了振幅较大的正异常,这表明4种渔获量与局地海表温度存在很好正相关。实际上,这与前人的鱼类生物学相关研究结果一致,本文所选取的4种主要经济鱼种均属于暖温性鱼类,在适宜的温度范围内,水温增加会促进鱼类生长,产量增多,带来渔获量增加;另一方面,在北太平洋,SST回归系数表现为类PDO模态的海温异常分布(对比图2a),即北太平洋中西部为暖异常,被周边北美的冷异常所环绕。该类PDO空间型与图2a中PDO正位相的空间特征场基本一致、异常符号相反,空间相关系数达-0.90以上。本文发现中国近海和北太平洋中部呈现出回归系数符号一致的协同变化,实际上在图2a中PDO模态的空间特征场

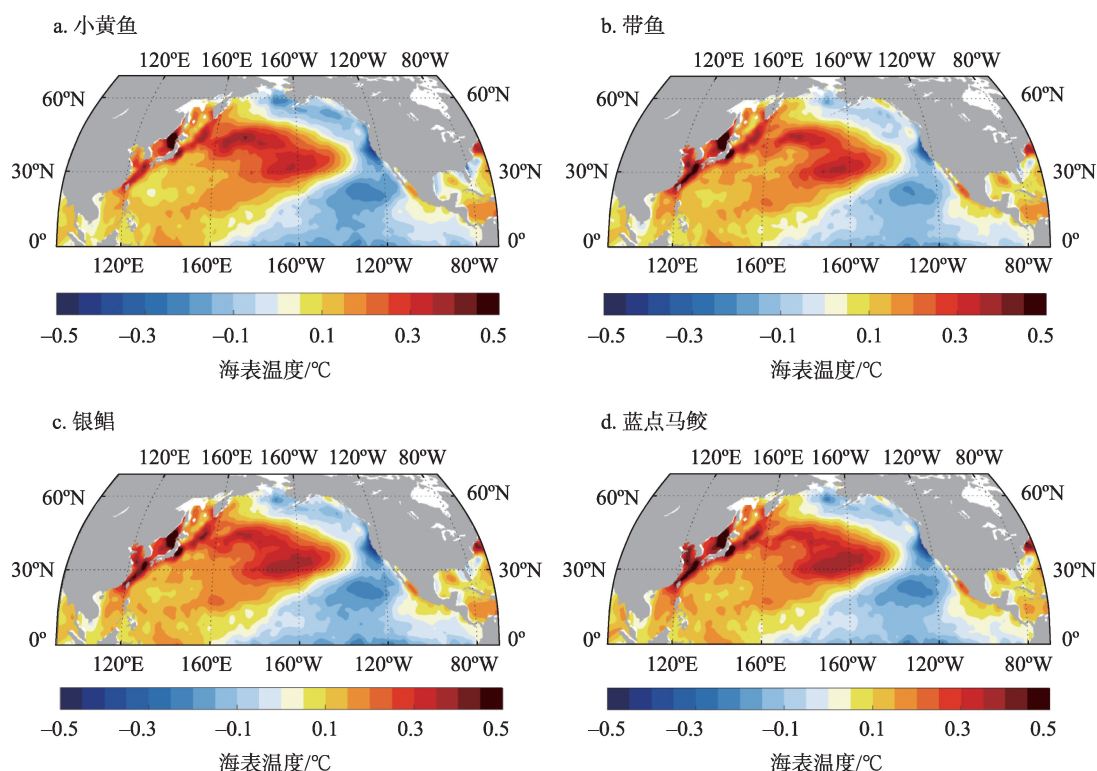


图6 1971—2018年渤黄东海区渔获量与北太平洋海表温度同期的回归系数场

Figure 6 Simultaneous regression of sea surface temperature (SST) in the North Pacific and the catches in the Bohai Sea, the Yellow Sea, and the East China Sea, 1971-2018

① 因为图5是相关系数,所以相关系数的绝对值大,就是强;绝对值小(接近于0),就是弱。

2022年2月

也是同样表现,即PDO正位相时,北太平洋中部和中国近海均呈现冷异常,反之亦然。以上结果表明了PDO型海温变化对4种渔获量具有显著影响。此外,相比于北太平洋,在热带太平洋存在的冷异常振幅很小,这意味着热带太平洋对渔获量的远程影响可以忽略,实际上这与3.2.2小节中ENSO和渔获量相关性差的结果一致。综上可知,当PDO处于负位相时,对应北太平洋中部暖异常,可以使渤海和东海海温产生一致增暖,暖温性鱼类捕捞量增加;反之亦然。

进一步,对 $Chl-a$ 和 fCO_2 进行了合成分析,选取了PDO标准化时间序列(图2b)大于/小于1的年份,依此选取对应年份的 $Chl-a$ 和 fCO_2 进行平均,代表PDO正/负位相时期的空间特征场,通过合成场与平均态的差异特征来研究对应PDO位相的 $Chl-a$ 和 fCO_2 变化。

对 $Chl-a$ 而言,由于其分布呈现近海与开阔大洋两个系统,即 $Chl-a$ 在近海比大洋内区高约1~2个量级^[26];同时数据分辨率足以清晰展示中国近海特征,故在图7中展示了中国近海而非北太平洋 $Chl-a$

合成结果。从 $Chl-a$ 气候态(图7a)和合成分析结果(图7b)可以看到, $Chl-a$ 气候态的大值区沿中国近海由渤海到南海分布,在PDO负位相时, $Chl-a$ 出现正异常,振幅较大区域集中在渤海北部、山东半岛沿海、东海西部、及江苏和浙江外海,南海变化的振幅和范围则相对较小。上述空间分布一定程度代表了在PDO负位相期间,渤海和东海的初级生产力提升,有利于渔业资源量的增加。这与前文分析结果一致,即PDO负位相时,渤海和东海渔获量增加。

对 fCO_2 而言,为了观察其整体响应特征,在图8中展示了北太平洋 fCO_2 合成分析结果。从图8a中看到,热带太平洋为海洋碳源区,北太平洋中纬度为海洋碳汇区;从图8b合成分析结果看到,在PDO负位相时,中国近海整体呈现振幅很小的 fCO_2 负异常,对照该区域气候态为负值,可以表征中国近海碳吸收能力增强,有助于近海的海水酸化。这与PDO负位相期间4种渔获量增加并不一致。进一步对照图8b可以看到,相比中国近海的负异常,在美国加州沿岸、白令海峡和阿拉斯加沿岸 fCO_2 对

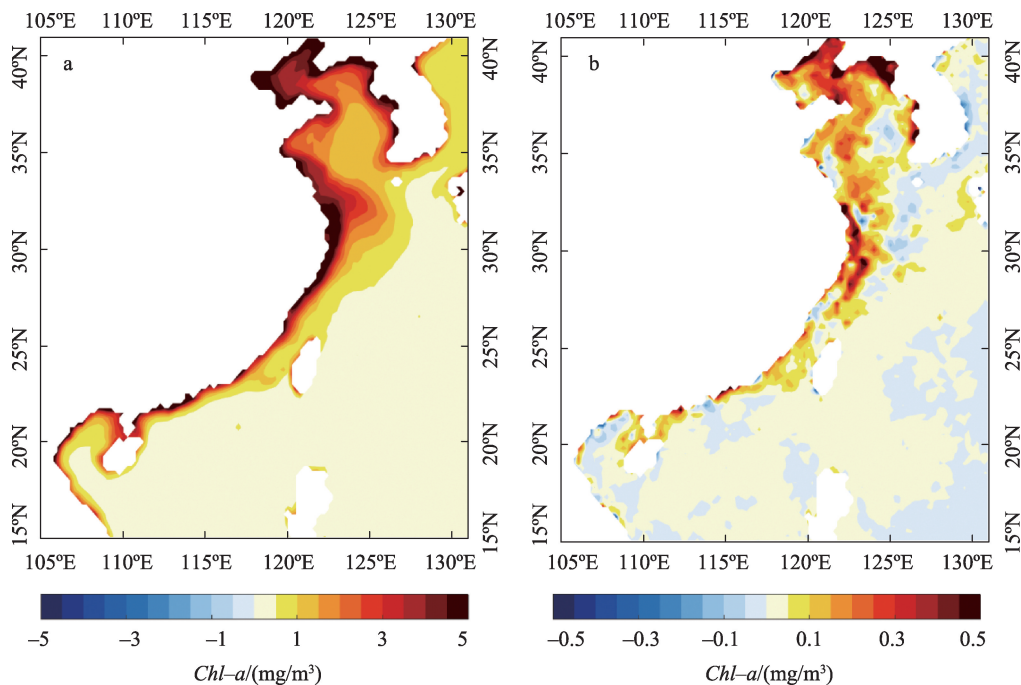


图7 1997—2016年 $Chl-a$ 气候态分布(a)与PDO负位相期间 $Chl-a$ 合成异常场(b)

Figure 7 Climatological-mean distribution of $Chl-a$ (a) and composite anomalies of $Chl-a$ for the negative phase of the Pacific Decadal Oscillation (PDO) index (b), 1997-2016

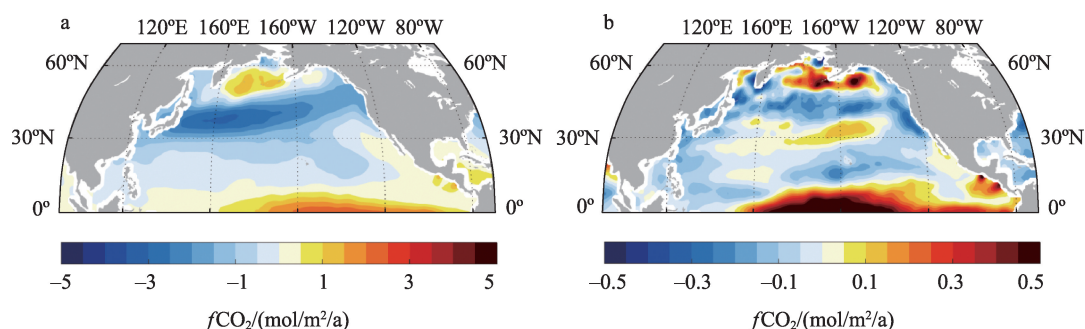


图8 1982—2015年北太平洋 $f\text{CO}_2$ 气候态平均(a)与PDO负位相期间 $f\text{CO}_2$ 合成(b)与气候态平均的差异场

Figure 8 Climatological-mean distribution of $f\text{CO}_2$ (a) and composite anomalies of $f\text{CO}_2$ for the negative phase of the Pacific Decadal Oscillation (PDO) index (b) in North Pacific, 1982-2015

PDO响应的异常振幅更为显著,这里也是世界著名渔场所在。当然,在热带太平洋和北太平洋中部 $f\text{CO}_2$ 异常振幅最大,发生在PDO核心区,不在本文研究关注范围。因此,利用现有数据分析得知,PDO对中国近海碳汇的影响较小。

4 讨论

4.1 气候变化影响渔业资源的不确定性

渔获量变化是受到人为因素和自然变率共同影响的。建国初期,中国经济水平发展较为落后,人民以解决温饱问题为主,对优质营养及蛋白的追求理念较弱,中国渔船及渔业捕捞设备和技术等较为落后^[27],渔获量增速缓慢,数量低下。随着国家改革开放,海洋捕捞技术、方式及工具等全方面得到改进;同时,人民对鱼类等优质蛋白的需求逐渐提升,渔业产业逐渐形成市场需求规模,渔获量增速迅猛。人为因素对渔获量变化趋势影响显著。本文重点去除了人为因素造成的线性趋势,对PDO指数与多要素进行相关、回归和合成分析,得到了渔获量波动与PDO变化的显著相关关系。

前人的大量研究已经揭示北太平洋物理海洋变量与海洋生态系统长期变化之间的相关性,但是物理-生物地球化学耦合机制仍不完善。这是由于,生态系统可以是同时受到多物理变量影响,对不同的物理强迫又存在时间尺度敏感性,同时生态系统本身可以产生长时间尺度上的内在变率。本文通过多种统计分析方法建立了PDO与渔获量的关系,未来仍需要借助高分辨率海洋-生物地球化学耦合模式和长期连续观测资料来进行深入的机制研究。

制研究。

4.2 南海海洋环境与气候变化的独特性

通过超前滞后相关分析,本文发现渤黄东海渔获量与PDO在同期相关最显著,这揭示了PDO主要是通过海气遥相关(air-sea teleconnection)过程对中国近海产生影响^[13];而南海从超前滞后相关、SST、*Chl-a*和 $f\text{CO}_2$ 各方面均与PDO关系较差。上述海区间差异,包含了多学科的复杂机制。从海洋热力结构看,渤黄东海水深均在150 m以上,即属于海洋表层,海水在该层是垂向完全混合的,使近海热力结构和温盐呈现一致的线性变化;同时,较浅的海水对PDO引局地海气热通量响应更大,体现在海水的温度和运动响应显著。相比之下,南海水深分为混合层、温跃层和深层,海水温盐的垂向结构变化非常复杂,受到来自南海季风、黑潮入侵、厄尔尼诺、印度洋偶极子等多时空尺度气候变化影响,而对PDO的年代际变化响应较弱。未来应针对南海独特的气候背景和环流特征进行深入研究,以厘清南海渔获量波动与气候变化的密切关系。

4.3 气候年代际变化的预测预报研究

气候年代际变化极大地冲击着社会可持续发展,了解其发生机理、提高对其预测的能力是国家气候变率及可预测性计划的3个主要任务之一。目前,第五次/第六次国际耦合模式比较计划(CMIP5/CMIP6)结果显示,大多数耦合模式可以成功模拟PDO空间特征型,但对PDO时间演变的模拟仍有较大差异,特别是对PDO历史位相转换模拟。近期,由青岛海洋科学与技术试点国家实验室发布的高

2022年2月

分辨率(10 km 海洋+25 km 大气)通用地球系统模式(The Community Earth System Model, CESM)数据,是全球第一套 CESM 众核异构版本和首批地球系统模拟数据,对 PDO 时空特征变化有很好的历史模拟结果。

基于高分辨率 CESM 模拟的 21 世纪全球海表温度,图 9 展示了未来 100 年 PDO 指数变化特征通过 EMD 提取了年代际信号(IMF3)表征 PDO 的年代际变化,可以看到显著的年代际位相转换。未来 PDO 振幅有所增加,意味着 PDO 相关的极端气候事件发生频率和强度在加大,极端增暖或海洋热浪现象可能在未来频发。以海温为例,暖温性鱼类对适

宜范围的海水增温响应特征为产量提高;但是极端增暖会导致温度突破适宜阈值,这反而不利于鱼类发育生长。美国、加拿大等国家已经针对 PDO 制定了相应捕捞政策^[28],例如在 PDO 正位相时美国西海岸偏暖,对美国圣芭拉海盆沙丁鱼和鳀鱼允许适度过量捕捞、渔期加长。准确理解和预报 PDO 年代际变化,将对渔业资源捕捞政策制定等方面具有重要参考价值。重视气候变化对海洋渔业影响,不仅为海洋渔业经济发展提供科学支撑^[29],而且有利于相关部门及时发现海洋渔业发展过程中出现的问题,对及时调整渔业产业结构、引入合适市场机制具有指导意义^[30]。

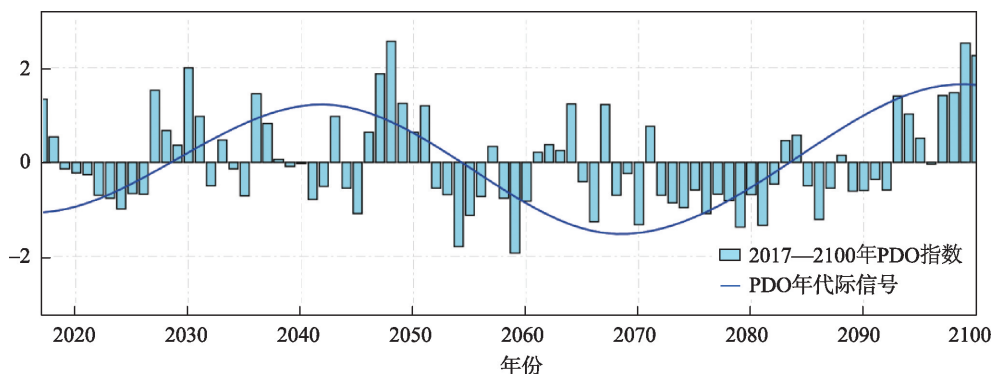


图9 2017—2100年CESM模拟的标准化PDO指数

Figure 9 Normalized Pacific Decadal Oscillation (PDO) index in community Earth system model (CESM) simulated, 2017-2100

5 结论与政策建议

5.1 结论

改革开放以来,中国近海渔获量呈现了阶梯式增长,具体表现在1950—1980年间渔获量总量低、上升趋势慢;随后20年,渔获总量大幅提高,增长趋势显著;而在2000年后,渔获量增长趋势减弱。本文重点关注渔获量波动与PDO变化的关系,将渔获量增长趋势去除后,采用EOF、超前滞后相关、一元回归和EMD等方法分析了渔获量波动对PDO变化响应的时间特征,诊断影响渔获量波动的关键环境因子。得到主要结论如下:

(1) 渤海和东海的4种主要经济鱼种(小黄鱼、带鱼、银鲳和蓝点马鲛)渔获量与PDO存在很好的同期负相关,而南海渔获量与PDO相关性较差。

PDO同期和超前的相关分析结果也表明,渤海和东海与PDO关系变化一致,即同期相关最为显著,超前时相关性下降。南海的独特气候背景和水文特征可能是造成上述差异的重要原因。

(2) PDO变化主要在年代际尺度上对渔获量有显著影响,以ENSO为代表的年际尺度变化对渔获量影响不大。PDO和渔获量均存在10~20年的显著年代际周期,10年滑动平均后PDO与渔获量相关性增强。同时,这种影响在PDO两次正负位相转换时(1977—1978年和1997—1998年)更加显著。

(3) PDO变化可以显著影响渤海和东海的海表温度和叶绿素变化,对渔获量波动产生影响。具体表现为,当PDO处于负位相时,中国近海会出现海水增暖、叶绿素增加现象,适宜海温和初级生产力提

升使得渔获量增加。相比渤海、东海、南海海表温度和叶绿素对PDO变化的响应较弱,支持了PDO变化和南海渔获量相关性较差的结果。

5.2 政策建议

基于本文研究结果,并结合中国海洋渔业发展现状,提出以下政策建议:

(1)加强气候变化预测预报对渔业资源开发的指导。①当PDO由正向负位相转换或长期处于负位相时,可以适当提高对暖温性渔业资源开发利用。同时,需要警惕过度捕捞及人类活动对海洋鱼类生长环境的干扰,保护自然规律不受破坏,维持海洋渔业捕捞量与鱼类自身产量长期的动态平衡。②当PDO由负向正位相转换或长期处于正位相时,应重视渔获量可能面临减少的趋势,适量减少渔业捕捞活动。渔业管理转移重心,积极开拓新渔场及养殖区域,适当增加渔业养殖活动,科学合理地对养殖区域进行布局,以确保海洋渔业产量满足需求。

(2)加强对灾害性天气的监测及对观测数据的分析,加强气候灾害风险评估。注意制定气候变化风险管理方法及预防措施,以应对极端气候事件发生时可能造成的严重破坏。在坚持“自然恢复为主,人工干预为辅”的原则下,在极端气候事件发生期间,适当加强人工干预对渔业资源的保护,以增强海洋鱼类适应气候变化的恢复能力。

(3)建立健全气候变化背景下中国海洋渔业发展的政策法规。在考虑气候变化影响的情景下,有效评估不同渔业种群资源的开发利用方式和规模,针对不同区域采取授权或规定捕捞配额,完善捕捞许可及补贴制度,并健全捕捞限额的配套政策,建立渔业资源调查、评估与统计体系。

参考文献(References):

- [1] 操建华, 桑霏儿. 中国渔业70年: 政策演变与绿色高质量发展[J]. 鄱阳湖学刊, 2019, (5): 40–46. [Cao J H, Sang F E. Seven decades of China's fishery: Policy evolution and high-quality green development[J]. Journal of Poyang Lake, 2019, (5): 40–46.]
- [2] 史磊, 李泰民, 刘龙腾. 新中国成立70年以来中国捕捞渔业政策回顾与展望[J]. 农业展望, 2019, 15(12): 16–23. [Shi L, Li T M, Liu L T. Review on China's capture fisheries policy over 70 years of PRC's founding and its prospect[J]. Agricultural Outlook, 2019, 15(12): 16–23.]
- [3] 农业农村部渔业渔政管理局. 2021中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021. [Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. 2021 China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021.]
- [4] 刘曙光, 纪瑞雪. 海域环境恶化对中国海洋捕捞业发展的阻滞效应研究[J]. 资源科学, 2014, 36(8): 1695–1701. [Liu S G, Ji R X. The drag effect of marine environmental deterioration on the development of China's marine fishing industry[J]. Resources Science, 2014, 36(8): 1695–1701.]
- [5] 王炳旭. 近海捕捞渔业发展现状问题与对策[J]. 南方农业, 2020, 14(23): 114–115. [Wang B X. Present situation, problems and countermeasures of inshore fishery[J]. South China Agriculture, 2020, 14(23): 114–115.]
- [6] 张瑛, 李大海, 耿涛. 气候变化背景下我国深蓝渔业的发展战略研究[J]. 山东大学学报(哲学社会科学版), 2018, (6): 121–129. [Zhang Y, Li D H, Geng T. Research on the sustainable development strategy of China's deep blue fishery economy under climate change[J]. Journal of Shandong University (Philosophy and Social Sciences), 2018, (6): 121–129.]
- [7] Piñones A, Fedorov A V. Projected changes of Antarctic krill habitat by the end of the 21st century[J]. Geophysical Research Letters, 2016, DOI: 10.1002/2016GL069656.
- [8] Jacobs Z L, Yool A, Jebri F, et al. Key climate change stressors of marine ecosystems along the path of the East African coastal current[J]. Ocean & Coastal Management, 2021, DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2021.105627.
- [9] Mantua N J, Hare S R, Zhang Y, et al. A Pacific interdecadal Climate Oscillation with impacts on salmon production[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1997, 78(6): 1069–1079.
- [10] Wu R H, Li J M, Li B. Spatial and temporal variability of sea surface temperature in Eastern Marginal Seas of China[J]. Advances in Meteorology, 2016, (2): 1–9.
- [11] Kim S, Son H Y, Kug J S. How well do climate models simulate atmospheric teleconnections over the North Pacific and East Asia associated with ENSO?[J]. Climate Dynamics, 2017, 48(3): 971–985.
- [12] 刘琳, 徐宗学, 杨晓静. 西南地区旱涝演变与ENSO事件的关系[J]. 资源科学, 2019, 41(11): 2144–2153. [Liu L, Xu Z X, Yang X J. Relationship between drought/flood and ENSO events in Southwest China[J]. Resources Science, 2019, 41(11): 2144–2153.]
- [13] Yamazaki A, Watanabe T, Tsunogai U, et al. A 150-year variation of the Kuroshio transport inferred from coral nitrogen isotope signature: A 150-year Kuroshio transport variation[J]. Paleoceanography and Paleoclimatology, 2016, DOI: 10.1002/2015PA002880.
- [14] 肖启华, 黄硕琳. 气候变化对东南太平洋智利竹筴鱼渔获量的

2022年2月

- 影响[J]. 中国水产科学, 2021, 28(8): 1020–1029. [Xiao Q H, Hang S L. Impact of climate change on Chilean jack mackerel catch in the Southeast Pacific[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(8): 1020–1029.]
- [15] 王万良, 张忞忞, 周建设, 等. 不同水温对亚东鲑幼鱼生长及存活的影响[J]. 水产科技情报, 2019, 46(1): 24–27. [Wang W L, Zhang B B, Zhou J S, et al. Effects of different water temperatures on growth and survival of juvenile salmon trutta[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2019, 46(1): 24–27.]
- [16] Polovina J J, Mitchum G T, Graham N E, et al. Physical and biological consequences of a climate event in the central North Pacific [J]. Fisheries Oceanography, 2010, 3(1): 15–21.
- [17] Landschützer P, Gruber N, Bakker D C E. Decadal variations and trends of the global ocean carbon sink[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2016, 30(10): 1396–1417.
- [18] Bakker D C E, Pfeil B, Landa C S, et al. A multi-decade record of high-quality fCO₂ data in version 3 of the Surface Ocean CO₂ Atlas (SOCAT)[J]. Earth System Science Data, 2016, 8(2): 383–413.
- [19] 姚建平, 单秀娟, 陈云龙, 等. 海洋暖化和酸化对黄姑鱼早期生长发育的影响[J]. 渔业科学进展, 2018, 39(2): 24–33. [Yao J P, Shan X J, Chen Y L, et al. Effects of ocean warming and acidification on the growth and development of *Nibea albiflora* Richardson during its early life history[J]. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(2): 24–33.]
- [20] Zhang L, Ma H, Wu L X. Dynamics and mechanisms of decadal variability of the Pacific–South America mode over the 20th century[J]. Climate Dynamics, 2015, 46(11–12): 1–11.
- [21] Zhang L, Gan B L, Wang H, et al. Remote influence of the Midlatitude South Atlantic variability in spring on antarctic summer sea ice[J]. Geophysical Research Letters, 2021, DOI: 10.1029/2020GL090810.
- [22] Zhang L P, Wu L X, Lin X P, et al. Modes and mechanisms of sea surface temperature low-frequency variations over the coastal China seas[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2010, DOI: 10.1029/2009JC006025.
- [23] Zhang L, Gan B L, Wu L X, et al. Seasonal dependence of coupling between storm tracks and sea surface temperature in the Southern Hemisphere Midlatitudes: A statistical assessment[J]. Journal of Climate, 2018, 31(10): 4055–4074.
- [24] Cai W J, McPhaden M J, Grimm A M, et al. Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America[J]. Nature Reviews Earth & Environment, 2020, 1(4): 215–231.
- [25] Li S J, Wu L X, Yang Y, et al. The Pacific Decadal Oscillation less predictable under greenhouse warming[J]. Nature Climate Change, 2020, 10(1): 30–34.
- [26] Sarmiento J L, Gruber N. Ocean Biogeochemical Dynamics[M]. Princeton & Oxford: Princeton University Press, 2013.
- [27] 张静. 国内外远洋渔业捕捞装备与工程技术研究进展综述[J]. 科技创新导报, 2018, 15(10): 22–22. [Zhang J. Review on research progress of fishing equipment and engineering technology of pelagic fisheries at home and abroad[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2018, 15(10): 22–22.]
- [28] 王亚楠, 韩杨. 国际海洋渔业资源管理体制与主要政策: 美国、加拿大、欧盟、日本、韩国与中国比较及启示[J]. 世界农业, 2018, (3): 78–85. [Wang Y N, Han Y. On international marine fishery resources management system and major policies comparison[J]. World Agriculture, 2018, (3): 78–85.]
- [29] 邵桂兰, 董晓荣. 中国海洋渔业国际竞争力影响因素研究[J]. 中国渔业经济, 2020, 38(2): 72–83. [Shao G L, Dong X R. Study on the influencing factors of the international competitiveness of Chinese marine fisheries[J]. Chinese Fisheries Economics, 2020, 38(2): 72–83.]
- [30] 陈奕彤, 高晓. 北极海洋资源利用的国际机制及中国应对[J]. 资源科学, 2020, 42(11): 2062–2074. [Chen Y T, Gao X. International regime for the use of Arctic marine resources and China's response[J]. Resources Science, 2020, 42(11): 2062–2074.]

Impact of climate change on China's offshore fishing: Taking the Pacific Decadal Oscillation as an example

XU Ce¹, ZHANG Li^{2,3,4}, YU Jing¹, ZHANG Ying⁵

(1. College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Physical Oceanography Laboratory, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 3. Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 4. Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China; 5. College of Management, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The Pacific Decadal Oscillation (PDO) is the most prominent form of decadal variability over the North Pacific, characterized by its horseshoe-shaped sea surface temperature (SST) anomaly pattern. The PDO exerts a substantial influence on marine ecosystems, fisheries, and agriculture. Based on empirical orthogonal function, lagged correlation, regression, and empirical mode decomposition, we analyzed the relationship between the catch fluctuations of four major economic species (*Larimichthys polyactis*, *Trichiurus lepturus*, *Pampus argenteus*, and *Scomberomorus niphonius*) in China's exclusive economic zone and PDO variability in recent 50 years. The results show that the lagged-correlations between the four fish catches in the Bohai and Yellow Seas and the East China Sea and PDO are consistent, reaching the largest negative coefficient in simultaneous correlation. However, the South China Sea is different from other sea areas and has a poor correlation with PDO. The influence of PDO variability on the catch is mainly concentrated in the decadal scale with a 10-20 years decadal cycle, and the influence is more significant in the phase transition period of PDO. Further studies show that PDO variability could affect the fluctuation of fish catch by causing significant changes in SST and chlorophyll. Specifically, when PDO is in the negative (warm) phase, the SST warming and chlorophyll increase will occur in offshore China, and such suitable SST and improvement of marine primary productivity will increase the fish catch. Combined with the current situation and characteristics of China's marine fishery development, this article also puts forward suggestions for the development and utilization of fishery resources, from the aspects of research and prediction of climate change and formulation and improvement of fishery regulations and laws.

Key words: climate change; Pacific Decadal Oscillation; fishery catch; marine economics; sea surface temperature; chlorophyll concentration; sea surface and atmospheric $f\text{CO}_2$