

DOI: 10.5846/stxb201401270199

余为, 陈新军. 西北太平洋柔鱼栖息地环境因子分析及其对资源丰度的影响. 生态学报, 2015, 35(15): 5032-5039.

Yu W, Chen X J. Analysis of environmental conditions and their influence on the abundance of neon flying squid in the Northwest Pacific Ocean. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(15): 5032-5039.

西北太平洋柔鱼栖息地环境因子分析及其对资源丰度的影响

余 为^{1,4}, 陈新军^{1,2,3,4,*}

1 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306

2 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306

3 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306

4 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306

摘要: 柔鱼 (*Ommastrephes bartramii*) 是西北太平洋海域重要的经济头足类, 短生命周期的生活史特征决定其资源丰度易受海洋环境变化影响。根据 1998—2010 年我国鱿钓船生产统计资料和环境资料, 包括海表温度 (SST) 和叶绿素浓度 (Chl-a) 数据, 结合 Niño 3.4 区海表温距平值 (SSTA), 分析了 SST 和 Chl-a 浓度的季节和年际变化特征, 并分别探讨了 SST 和 Chl-a 浓度距平值与 Niño 3.4 区 SSTA 及柔鱼资源丰度之间的关系。结果表明, 产卵场海域 Chl-a 浓度冬季高夏季低, SST 则夏季高冬季低; 育肥场 Chl-a 和 SST 均呈夏季高冬季低变化, 但 6—12 月份 Chl-a 浓度波动明显。产卵场和育肥场 SST 及 Chl-a 浓度年际变化明显。同时研究发现, 厄尔尼诺、拉尼娜和正常年份时 Niño 3.4 区 SSTA 对柔鱼产卵场和育肥场环境的调控机制不同: 拉尼娜和正常年份产卵场和育肥场温度上升, 叶绿素浓度变化幅度小, 有利于资源量补充, 产量较高; 厄尔尼诺年份温度和叶绿素均降低, 尤其育肥场叶绿素浓度, 对资源量产生不利影响, 产量锐减。研究利用多元线性回归分别建立了基于温度和叶绿素的柔鱼资源丰度的预测模型, 两者均能很好的预测柔鱼资源丰度 ($P < 0.05$), 但基于叶绿素的预测模型优于温度模型。

关键词: 柔鱼; 资源丰度; 海表温度; 叶绿素 a; 预报模型

Analysis of environmental conditions and their influence on the abundance of neon flying squid in the Northwest Pacific Ocean

YU Wei^{1,4}, CHEN Xinjun^{1,2,3,4,*}

1 College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

2 National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

3 Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

4 Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries, Shanghai 201306, China

Abstract: The neon flying squid, *Ommastrephes bartramii*, is a species of economically important cephalopods distributed in the Northwest Pacific Ocean that has become the fishing target of Chinese squid-jigging fleets. *O. bartramii* has a short lifespan, which determines vulnerability of the species abundance caused by the changes in environmental conditions at the spawning and feeding grounds. In this study, the fishery data collected by the Chinese squid-jigging fleets and environmental data including sea surface temperature (SST) and chlorophyll a (Chl-a) concentration were used to analyze the seasonal and interannual variability of SST and Chl-a concentration at the spawning and feeding grounds of *O. bartramii*. The

基金项目: 国家 863 计划 (2012AA092303); 国家发改委产业化专项 (2159999); 上海市科技创新行动计划 (12231203900); 国家科技支撑计划 (2013BAD13B01); 上海海洋大学研究生创新能力培养-优秀研究生论文培育计划资助

收稿日期: 2014-01-27; **网络出版日期:** 2014-09-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xjchen@shou.edu.cn

relationship between environmental variability and sea surface temperature anomaly (SSTA) in the Niño 3.4 region and the influences of environmental conditions on the abundance of *O. bartramii* were also discussed. The results showed that Chl-a concentration was high in the winter and low in the summer, while SST was high in the summer and low in the winter at the spawning ground of the species. At the feeding ground of *O. bartramii*, the environmental conditions varied seasonally from high SST and Chl-a concentration in the summer to low SST and Chl-a concentration in the winter. Moreover, Chl-a concentration dramatically fluctuated between June and December. The interannual variability of SST and Chl-a concentration at the spawning and feeding grounds were also detected. Furthermore, the mechanism of the SSTA in the Niño 3.4 region that affected the environment at the spawning and fishing grounds of the neon flying squid varied in different abnormal years. The SST at the spawning and fishing grounds increased and variability of Chl-a concentration decreased during the La Niña and normal years, during which period the marine environmental conditions were favorable for the recruitment of *O. bartramii* and its catch increased. During the El Niño year, the SST and especially Chl-a concentration decreased at the fishing ground, and marine environmental conditions were unfavorable for the recruitment of *O. bartramii*, resulting in a dramatic decline in the catch of the neon flying squid. Forecasting models of the abundance of neon flying squid based on SSTA and Chl-a concentration anomaly were developed by using the multivariate linear regression. The analyses suggested that the two models could be used to accurately predict the abundance index of *O. bartramii*; however, the forecasting model based on Chl-a concentration anomaly was better than the SST-based model.

Key Words: *Ommastrephes bartramii*; abundance index; sea surface temperature; chlorophyll a; forecasting model

柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)是北太平洋海域重要的经济头足类^[1-2],我国于1993年对该资源进行探捕调查,1994年后进行大规模生产,其中柔鱼冬春生群体是我国鱿钓船重要的捕捞对象^[3]。柔鱼是一种“生态机会主义”物种,中心渔场分布与资源量大小易受海洋环境的影响^[4]。已有的研究表明,其资源量大小及其空间分布不仅与黑潮和亲潮大弯曲变化有关^[5],而且还受到厄尔尼诺南方涛动(ENSO)、拉尼娜等现象^[6],以及索饵场和产卵场的海水表层温度(SST)^[7]、叶绿素a(Chl-a)浓度^[8]、海表盐度(SSS)^[9]和海平面高度(SSH)^[10]等因素变化的影响。由于海洋环境的复杂性,短生命周期的柔鱼资源量难以准确预报。Chen等^[6]认为,Niño 3.4区水温异常对柔鱼资源丰度多少及分布影响较大,并利用索饵场和产卵场的海表温度距平值来预报柔鱼资源丰度。Cao等^[11]也利用柔鱼索饵场与产卵场最适温度范围面积对柔鱼资源丰度构建了预测模型。以往的研究都是基于温度因子对柔鱼资源丰度进行预报,但实际上柔鱼资源丰度多少还应与初级生产力(如Chl-a浓度大小)存在一定关系^[8],为此本文将对比探讨西北太平洋海表温度和叶绿素浓度对柔鱼资源丰度的影响,分析两种环境变量的季节和年际变化以及在厄尔尼诺、拉尼娜和正常年份3种不同环境条件下的变化情况,并利用柔鱼产卵场和索饵场温度及叶绿素浓度距平值构建柔鱼资源补充量的预报模型,为西北太平洋柔鱼冬春生群体的资源量预测和科学管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

(1)生产数据来自上海海洋大学鱿钓技术组,时间为1998—2010年。作业范围主要分布在35°N—50°N、150°E—175°E范围内,空间分辨率为1°×1°。数据包括日期、经度、纬度、日产量、年作业船数(表1)等。

(2)环境数据包括SST和Chl-a浓度,时间范围为1998—2010年1—12月,数据范围为西北太平洋柔鱼产卵场和育肥场海域,其中育肥场数据范围为35°N—50°N、150°E—175°E;产卵场范围为20°N—30°N、130°E—170°E^[6],环境数据空间分辨率均转化为1°×1°以匹配渔业数据。其中SST数据来源于夏威夷大学网站(<http://apdrc.soest.hawaii.edu/data/data.php>);Chl-a浓度数据来源于Ocean-Watch网站(<http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/las/servlets/dataset>)。ENSO指标采用Niño 3.4区海表温度距平值(SSTA)来表示,其数据来自

美国哥伦比亚大学环境数据库(<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.Indices/>)。

表 1 1998—2010 年各年份作业船数

Table 1 The amount of fishing vessels in each year from 1998 to 2010

年份 Year	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
作业船数/艘 Fishing vessels	304	399	446	426	362	205	212	227	327	255	258	273	262

1.2 分析方法

(1) 依据 NOAA 对 El Niño/La Niña 事件定义, Niño 3.4 区 SST(下面简称为 SST)连续 3 个月滑动平均值超过 $+0.5^{\circ}\text{C}$, 则认为发生 1 次 El Niño 事件;若连续 3 个月低于 -0.5°C , 则认为发生 1 次 La Niña 事件^[6]。本研究据此定义 1998—2010 年发生的异常环境事件。

(2) 对 1998—2010 年西北太平洋柔鱼产卵场和育肥场海域 SST(分别称为 SGSST 和 FGSST)和 Chl-a 浓度(分别称为 SGC 和 FGC)分别进行逐月和逐年平均,分析它们的季节变化和年际变化。

(3) 分别计算产卵场和育肥场 SST 和 Chl-a 浓度距平值(产卵场 SST 和 Chl-a 浓度距平值分别简称为 SGSSTA 与 SGCA, 育肥场 SST 和 Chl-a 浓度距平值分别简称为 FGSSTA 与 FGCA)。利用交相关函数分析它们变化与 Niño 3.4 区 SST 的关系^[6]。

(4) 依据 6—11 月渔获季节选取(1)中定义的异常环境年份,分析不同环境条件下产卵场和育肥场 SST 和 Chl-a 浓度距平值的变化规律。

(5) 以单位渔船每年渔获量(CPUE)表征西北太平洋柔鱼的资源丰度(图 1),利用多元线性回归分别建立基于产卵场和育肥场 SST 和 Chl-a 浓度距平值的柔鱼资源丰度预报模型,并进行预报结果的比较。

所有的数据分析在 matlab 中完成。

2 研究结果

2.1 定义 El Niño 和 La Niña 事件

由图 2 可以看出,1998 年 1 月—2010 年 12 月共发生 El Niño 事件 5 次,分别是 1998 年 1—5 月、2002 年 6 月—2003 年 3 月、2004 年 7 月—2005 年 1 月、2006 年 8 月—2007 年 1 月和 2009 年 6 月—2010 年 4 月;发生 La Niña 事件 6 次,分别是 1998 年 6 月—2000 年 5 月、2000 年 10 月—2001 年 2 月、2005 年 12 月—2006 年 3 月、2007 年 8 月—2008 年 5 月、2008 年 12 月—2009 年 2 月和 2010 年 6 月—2010 年 12 月。

2.2 产卵场和育肥场 SST 和 Chl-a 浓度的季节及年际变化

对西北太平洋柔鱼产卵场和育肥场海域 1998—2010 年 SST 及 Chl-a 数据进行全场逐月和逐年平均得到季节变化和年际变化曲线(图 3)。由季节变化曲线可以看出,SGSST 在 6—11 月时较高且均大于 26.5°C , 8 月温度最高为 28.8°C , 12 月至翌年 5 月 SST 在 22.5°C — 25.5°C 之间;FGSST 在 6—11 月时较高且均大于 11.0°C ,

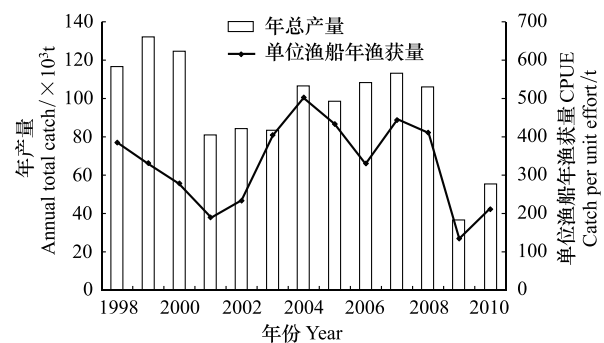


图 1 1998—2010 年西北太平洋柔鱼产量及 CPUE

Fig.1 The annual total catch and catch per unit effort (CPUE) of *Ommastrephes bartramii* from 1998 to 2010 in the Northwest Pacific Ocean

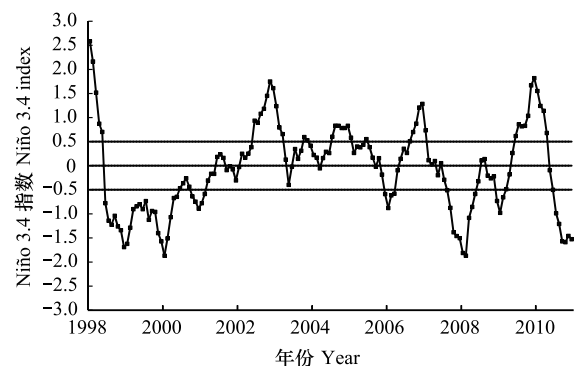


图 2 1998—2010 年 Niño 3.4 区 SST 时间序列图

Fig.2 The time series of sea surface temperature anomaly (SSTA) in the Niño 3.4 region from 1998 to 2010

最高 SST 为 9 月的 17.6°C , 12 月至翌年 5 月的 SST 低于 10°C 。由年际变化曲线可以看出, SGSST 从 1998 年到 2002 年呈递增趋势, 从 2003 年到 2009 年 SST 缓慢降低, 1999 年 SST 最低为 25.5°C , 2002 年 SST 最高为 26.5°C ; FGSST 年间波动更为明显, 如 2004 年 SST 骤降和 2001 年 SST 骤升, 2000 年 SST 最低为 10.9°C , 2002 年 SST 最高为 11.7°C (图 3)。

由 SGC 季节变化曲线可以看出 (图 3c), 1—3 月时 Chl-a 浓度较高, 且在 2 月时浓度最高为 0.110 mg/m^3 , 4—9 月 Chl-a 浓度一直递减, 到 10 月时开始上升, 9 月的 Chl-a 浓度最低为 0.045 mg/m^3 ; FGC 在 1—5 月递增, 5 月时的浓度最高为 0.593 mg/m^3 , 6—8 月浓度开始递减, 之后小幅振荡, 1 月份育肥场的 Chl-a 浓度最低为 0.294 mg/m^3 。由年际变化曲线可以看出 (图 3d), SGC 从 1998 年到 2003 年呈递增趋势, 之后几年一直递减, 2010 年 Chl-a 浓度最低为 0.060 mg/m^3 , 2003 年 Chl-a 浓度最高为 0.079 mg/m^3 ; FGC 年际振荡明显, 2009 年 Chl-a 浓度最低为 0.379 mg/m^3 , 2002 年 Chl-a 浓度最高为 0.432 mg/m^3 。

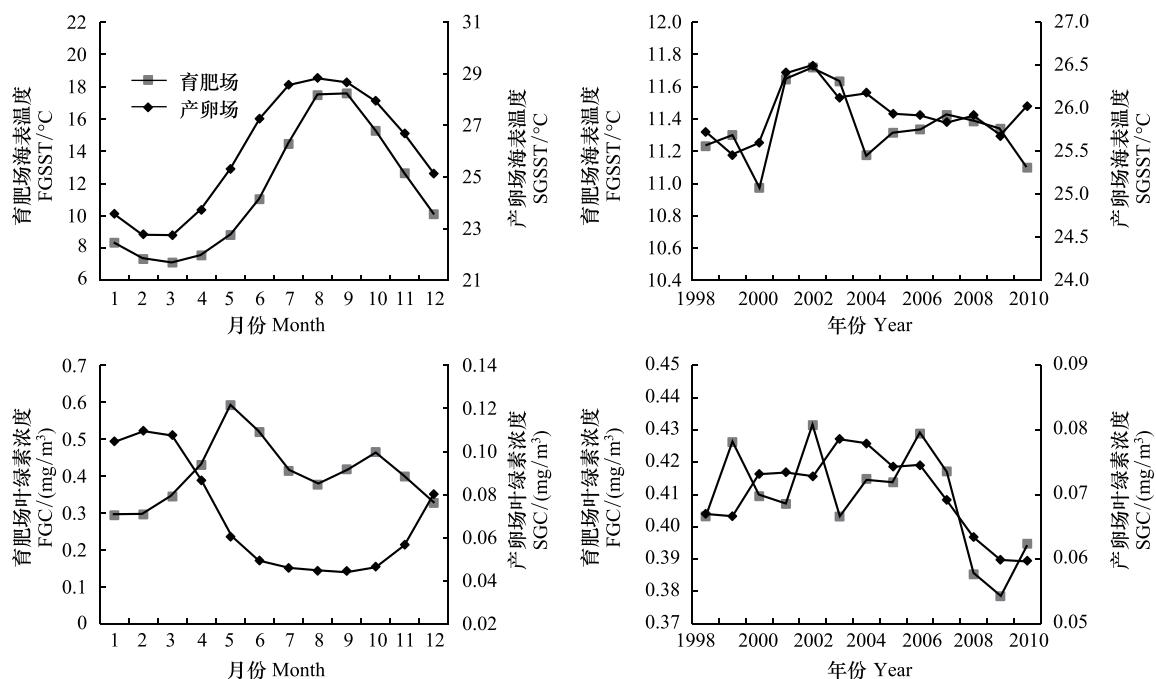


图 3 产卵场和育肥场的 SST 和 Chl-a 浓度的季节及年际变化

Fig.3 Seasonal and interannual variability of sea surface temperature (SST) and Chlorophyll a (Chl-a) concentration on the spawning and feeding grounds Seasonal and interannual variability of SST; Seasonal and interannual variability of Chl-a concentration

FGSST: Sea surface temperature on the feeding ground, SGSST: Sea surface temperature on the spawning ground, FGC: Chlorophyll a on the feeding ground, SGC: Chlorophyll a on the spawning ground

2.3 产卵场和育肥场的 SST 及 Chl-a 浓度距平与 Niño 3.4 区 SSTA 交相关分析

产卵场和育肥场的 SST 及 Chl-a 浓度距平值与 Niño 3.4 区 SSTA 的交相关分析可以看出 (图 4), SGSSTA 与 SSTA 呈负相关关系, 它们之间存在超前 12 个月至滞后 8 个月的关系, 且在超前 2 个月时产生最大负影响。交相关系数为 $-0.391 (P < 0.05)$; FGSSTA 与 SSTA 呈负相关关系, 且 FGSSTA 滞后 Niño 3.4 区 SSTA 0-11 月变化, 并在 9 月时产生最大的负影响, 交相关系数为 $-0.234 (P < 0.05)$; SGCA 与 SSTA 呈正相关, 且 SGCA 提前 Niño 3.4 区 SSTA 4—19 月变化, 并在提前 8 月时产生最大的正影响, 交相关系数为 $0.198 (P < 0.05)$; FGCA 与 SSTA 呈负相关并滞后 4 月, 交相关系数为 $-0.162 (P < 0.05)$ (图 4)。

2.4 不同环境条件下 SST 与 Chl-a 浓度距平值变化

根据 Niño 3.4 区 SSTA 定义的异常环境事件, 选取 1998 拉尼娜年、2008 正常年份和 2009 厄尔尼诺年, 分析在 3 种不同环境条件下柔鱼产卵场和育肥场 SST 与 Chl-a 浓度距平值的变化情况。由图 5 可以得出, 1998

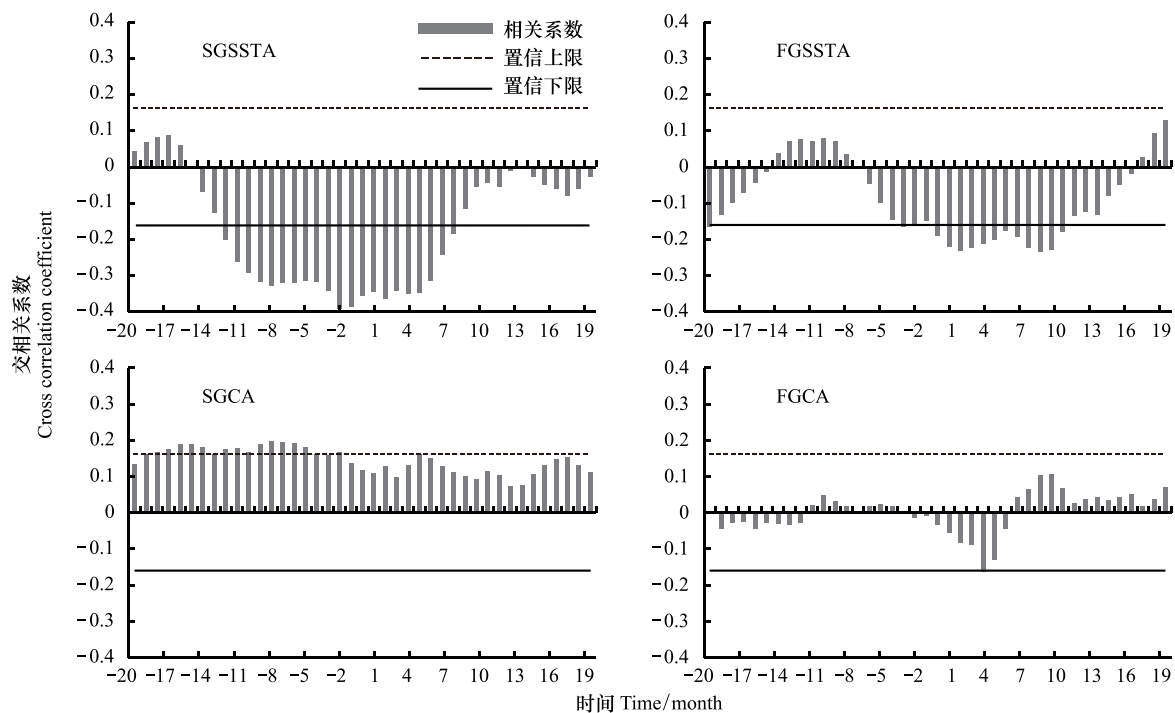


图4 Niño 3.4 区 SSTA 与 SGSSTA; FGSSTA; SGCA 及 FGCA 的交相关系数

Fig.4 Cross correlation coefficients between the SSTA in the Niño 3.4 region and SSTA on the spawning ground (SGSSTA); SSTA on the feeding ground (FGSSTA); Chl-a concentration anomaly on the spawning ground (SGCA) and Chl-a concentration anomaly on the feeding ground (FGCA)

负值表示超前,如-2 表示超前 2 个月;正值表示滞后,如 4 表示滞后 4 个月

和 2008 年 1—5 月柔鱼产卵场和 6—11 月育肥场的平均 SSTA 较高,其中 1998 年 SGSSTA 为 0.52°C 略高于 2008 年,FGSSTA 为 0.61°C 则低于 2008 年的 1.00°C ,而 2009 年 SGSSTA 和 FGSSTA 下降且明显低于前两者。由图 5 可以得出,1998、2008 与 2009 年的 Chl-a 浓度均低于平均水平,但程度存在差异。1998 年 SGCA 和 FGCA 降幅最小,分别为 0.008 和 0.022 mg/m^3 ;2009 年柔鱼 SGCA 和 FGCA 降低最多,分别为 0.012 和 0.054 mg/m^3 ;2008 年处于两者之间。结合 3a 资源量变化发现,1998 年拉尼娜年份和 2008 年正常年份温度上升较高,叶绿素浓度降低但幅度较小,有利于柔鱼资源补充,两年的产量均处于较高水平,CPUE 也很高(图 1),而 2009 年厄尔尼诺事件发生时,温度与叶绿素急剧下降,不利于柔鱼生长,2009 年的产量与 CPUE 处于历史最低水平。

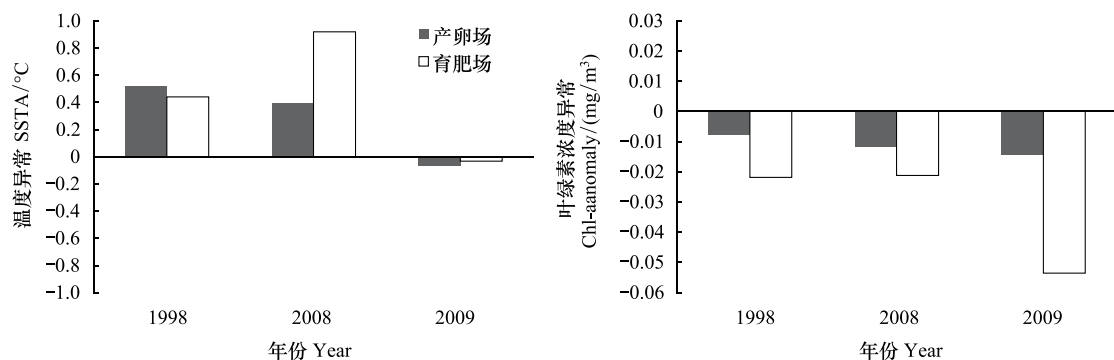


图5 1998、2008 和 2009 年 1—5 月产卵场及 6—11 月育肥场平均 SSTA 和 Chl-a 浓度距平值的变化

Fig.5 Variability of the averaged SSTA (Sea surface temperature anomaly) and Chl-a concentration anomaly on the spawning ground from January to May and feeding ground from June to November in 1998, 2008 and 2009

负值表示超前,如-2 表示超前 2 年;正值表示滞后,如 2 表示滞后 2 年

2.5 基于 SST 和 Chl-a 浓度距平值柔鱼资源丰度的预测模型

利用交相关函数分析 1998—2010 年 CPUE 与 1—5 月产卵场及 6—11 月育肥场的 SST 和 Chl-a 浓度异常平均值的关系,发现 1—5 月 SGSSTA 与 CPUE 关系不显著,未通过 95%置信水平(图 6a)。CPUE 与 FGSSTA、SGCA 及 FGCA 相关性较大,且分别滞后它们 1a、1a 和 0—1a,此结果说明了当年的 SST 和 Chl-a 浓度大小也会影响到下一年的单船年平均产量。根据以上分析,温度因子选取 FGSSTA,叶绿素则利用 SGCA 和 FGCA 分别构建多元线性回归模型预报柔鱼资源丰度。模型中 CPUE 与 FGSSTA、SGCA 和 FGCA 的偏相关系数分别为-0.602、0.649 和 0.802,均显著性相关($P<0.05$),模型结果见表 2 和图 7,根据计算均方差值 MSE 的大小比较基于温度与叶绿素因子预报柔鱼资源丰度模型的准确率,结果 $MSE_{Chl-a} = 74.973 < MSE_{SST} = 97.545$,这表明基于叶绿素因子的预报模型优于温度模型。

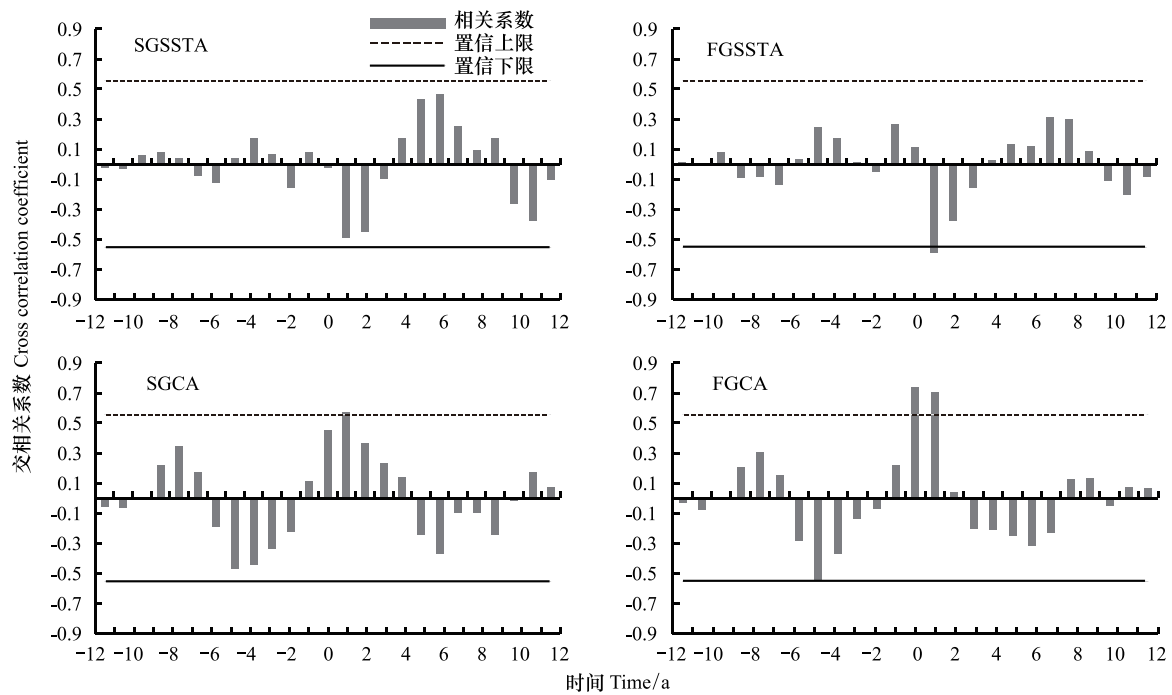


图 6 CPUE 与 SGSSTA; FGSSTA; SGCA 及 FGCA 的交相关系数

Fig.6 Cross correlation coefficients between CPUE and SGSSTA; FGSSTA; SGCA and FGCA

表 2 基于温度和叶绿素的资源丰度回归模型

Table 2 Regression models of CPUE based on SST and Chl-a

模型 Model	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	均方差 Mean square error
$CPUE_n = 338.683 - 179.520 \times FGSSTA_{n-1}$	5.670	0.039	0.602	97.545
$CPUE_n = 311.279 + 2445.678 \times FGCA_n + 2379.275 \times SGCA_{n-1}$	8.764	0.008	0.813	74.973

式中: CPUE: 资源丰度 Catch per unit effort (t/vessel); FGSSTA: 为育肥场温度距平值 Sea surface temperature anomaly on the feeding ground (°C); SGCA: 产卵场 Chl-a 浓度距平值 Chlorophyll a concentration anomaly on the spawning ground (mg/m³); FGCA: 育肥场 Chl-a 浓度距平值 Chlorophyll a concentration anomaly on the feeding ground (mg/m³); n 为年份

3 讨论与分析

柔鱼是短生命周期种类,其资源大小和时空分布与海洋环境的关系极为密切,特别是厄尔尼诺和拉尼娜现象^[12]。已有很多研究利用 Niño 3.4 区海域的水温异常研究渔业资源动态,如徐冰等^[13]利用 Niño 3.4 区 SSTA 定义厄尔尼诺和拉尼娜事件,认为秘鲁外海茎柔鱼中心渔场位置受 ENSO 现象调控;汪金涛和陈新

军^[14]研究了中西太平洋鲣鱼渔场的重心时空分布变化与 ENSO 指数的关系,并基于 Niño 3.4 区 SSTa 构建了鲣鱼渔场重心的预测模型。本文研究发现 Niño 3.4 区 SSTa 对西北太平洋柔鱼冬春生群体的产卵场和育肥场的环境要素(SST 和 Chl-a)均产生滞后性影响,滞后时间为 2—9 个月,与 Chen 等^[6]的研究结果有所差异,但差异不大,说明了 Niño 3.4 区 SSTa 变化会给西北太平洋柔鱼产卵场和育肥场海域的栖息环境带来影响,使柔鱼资源发生波动。根据 Niño 3.4 区 SSTa 定义的 1998、2008 和 2009 年 3 种不同环境条件,发现厄尔尼诺、拉尼娜和正常年份 Niño 3.4 区 SSTa 对柔鱼产卵场和育肥场环境的调控机制不同,拉尼娜和正常年份产卵场和育肥场 SST 上升,Chl-a 浓度降低但幅度较小,有利于资源补充,产量较高;厄尔尼诺年份 SST 和 Chl-a 均降低,尤其育肥场叶绿素浓度,对资源丰度产生不利影响,产量锐减。

西北太平洋柔鱼育肥场海域 Chl-a 浓度明显高于产卵场 Chl-a 浓度,而育肥场 SST 低于产卵场 SST,这与 Chen 等^[6]以及毛志华等^[15]研究的结果一致。两个海域环境因子具有显著的周期性变化特征:产卵场海域 Chl-a 浓度冬季高夏季低,SST 则夏季高冬季低;育肥场 Chl-a 和 SST 均呈夏季高冬季低变化,但 6—12 月份 Chl-a 浓度振荡明显。产卵场和育肥场 SST 及 Chl-a 浓度具有明显的年际变化,其中 SST 从 1998 到 2000 年递减,随后递增,2002 产卵场和育肥场的 SST 最高,随后几年 SST 一直降低。产卵场 Chl-a 浓度年际变化呈先升高再降低变化,育肥场 Chl-a 波动较大,总体趋势降低。此外,产卵场 Chl-a 浓度距平范围明显低于育肥场 Chl-a 浓度距平范围,且与产量存在显著的正相关关系,这可能是由于柔鱼在早期生活史阶段,仔鱼适应环境能力弱,产卵场 Chl-a 浓度的细微改变就可以导致柔鱼资源补充量产生极大变化,影响资源丰度。育肥场 Chl-a 浓度距平与 CPUE 相关性也较大,一般柔鱼成鱼渔场 Chl-a 浓度范围为 0.10—0.60 mg/m³^[16],本文中 1998—2010 年间育肥场的年平均 Chl-a 浓度均在 0.35—0.45 mg/m³之间,Chl-a 浓度的大小与柔鱼饵料密切相关,因此 2009 年柔鱼产卵场和育肥场 Chl-a 浓度降低可能是导致柔鱼资源量下降的因素之一。

研究认为,西北太平洋柔鱼资源丰度与产卵场和育肥场的 SST 及 Chl-a 浓度关系密切,根据交相关分析结果,本文以 FGSSTA、SGCA 和 FGCA 作为自变量,分别构建了柔鱼资源丰度的预测模型,均通过检验,取得较好的效果。同时结果也说明了 Chl-a 比 SST 具有更好的预测效果。由于产卵场的月平均 SST 均在 21℃ 以上,分布在柔鱼的适宜产卵温度范围内^[12],产卵场的温度变化可能对柔鱼资源变化影响较小,且未通过显著性检验,因此基于温度的预测模型仅选择了 FGSSTA 作为自变量。回归模型表明 CPUE 与 FGSSTA 负相关,与产卵场和育肥场的 Chl-a 浓度呈正相关,且基于 Chl-a 的预测模型中 FGCA 的系数大于 SGCA 的系数,表明育肥场 Chl-a 的影响大于产卵场 Chl-a 浓度的影响,以上结论与交相关分析结果一致。为了进一步提高基于环境要素的预测模型精度,未来研究应考虑柔鱼资源丰度与环境因子之间的自相关性,充分掌握北太平洋柔鱼生活史研究,结合海洋生态动力学研究种群动态,建立更为完善的柔鱼资源预报系统。

参考文献 (References):

- [1] 王尧耕,陈新军. 世界大洋性经济柔鱼类资源及其渔业. 北京:海洋出版社,2005:152-153.
- [2] 陈新军,刘必林,王尧耕. 世界头足类. 北京:海洋出版社,2009:60-69.
- [3] Chen X J, Chen Y, Tian S Q, Liu B L, Qian W G. An assessment of the west winter-spring cohort of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific Ocean. *Fisheries Research*, 2008, 92(2/3): 221-230.
- [4] Rodhouse P G. Managing and forecasting squid fisheries invariable environments. *Fisheries Research*, 2001, 54(1): 3-8.
- [5] Anderson C I H, Rodhouse P G. Life cycles, oceanography and variability; *Ommastrephid* squid in variable oceanographic environments. *Fisheries*

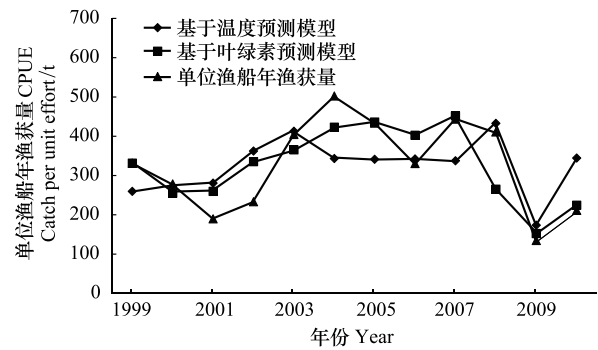


图7 基于 SST 与 Chl-a 预测模型结果与 CPUE 的比较
Fig.7 Comparison between the original CPUE and the results from forecasting models based on SST and Chl-a

- Research, 2001, 54(1): 133-143.
- [6] Chen X J, Zhao X H, Chen Y. Influence of El Niño/La Niña on the western winter-spring cohort of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the northwestern Pacific Ocean. ICES Journal of Marine Science, 2007, 64(6): 1152-1160.
- [7] 陈新军, 田思泉, 许柳雄. 西北太平洋海域柔鱼产卵场和作业渔场的水温年间比较及其与资源丰度的关系. 上海水产大学学报, 2005, 14(2): 168-175.
- [8] 沈新强, 王云龙, 袁骐, 黄洪亮, 周爱忠. 北太平洋鱿鱼渔场叶绿素 a 分布特点及其与渔场的关系. 海洋学报, 2004, 26(6): 118-123.
- [9] 程家骅, 黄洪亮. 北太平洋柔鱼渔场的环境特征. 中国水产科学, 2003, 10(6): 507-512.
- [10] Chen X J, Tian S Q, Chen Y, Liu B L. A modeling approach to identify optimal habitat and suitable fishing grounds for neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific Ocean. Fishery Bulletin, 2010, 108(1): 1-14.
- [11] Cao J, Chen X J, Chen Y. Influence of surface oceanographic variability on abundance of the western winter spring cohort of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the NW Pacific Ocean. Marine Ecology Progress Series, 2009, 381(5): 119-127.
- [12] 余为, 陈新军, 易倩, 李曰嵩. 北太平洋柔鱼早期生活史研究进展. 上海海洋大学学报, 2013, 22(5): 755-762.
- [13] 徐冰, 陈新军, 田思泉, 钱卫国, 刘必林. 厄尔尼诺和拉尼娜事件对秘鲁外海茎柔鱼渔场分布的影响. 水产学报, 2012, 36(5): 696-707.
- [14] 汪金涛, 陈新军. 中西太平洋鲣鱼渔场的重心变化及其预测模型建立. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2013, 43(8): 44-48.
- [15] 毛志华, 朱乾坤, 龚芳. 卫星遥感北太平洋渔场叶绿素 a 浓度. 水产学报, 2005, 29(2): 270-274.
- [16] 樊伟, 崔雪森, 沈新强. 西北太平洋巴特柔鱼渔场与环境因子关系研究. 高技术通讯, 2004, 14(10): 84-89.