

海表温度变化时近海日本鲭栖息地时空分布预测

陈爽¹, 郭爱^{1,2}, 陈新军^{1,2,3,4,5*}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 浙江海洋水产研究所, 浙江舟山 316021;

3. 上海海洋大学, 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306;

4. 上海海洋大学, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

5. 上海海洋大学, 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306)

摘要: 海表水温变化影响着中上层鱼类栖息地分布。本研究根据2003—2012年7—12月的近海日本鲭生产统计数据, 结合海表温度(SST)数据, 利用正态函数分布的方法, 分别以作业次数和单位捕捞努力量渔获量(CPUE)为指标建立基于水温的适应性指数(SI), 取二者平均值作为栖息地适应性指数(HSI)。在气候变化背景下, 假设SST上升或下降0.5、1、2 °C时, 对各月近海日本鲭最适宜栖息地(HSI>0.8)空间和面积变化情况进行预测。结果显示, SST上升时, 近海日本鲭适宜栖息地有明显的北移现象, 7—12月最适宜栖息地面积增减比重为-73.1%~44.7%; SST下降时, 有明显的南移现象, 7—12月最适宜栖息地面积增减比重为-54.9%~123.4%。该研究结果可用于在SST上升等气候变化背景下, 以及近海海况发生变化等情况下, 对日本鲭栖息地和作业渔场时空分布进行预测。

关键词: 日本鲭; 栖息地; 海表温度变化; 捕捞努力量; 气候变化

中图分类号: S 932

文献标志码: A

日本鲭(*Scomber japonicus*)是一种中上层暖水性鱼类, 广泛分布于西北太平洋沿岸的各个海域, 是灯光围网作业的主要捕捞对象^[1-3], 关于日本鲭资源的研究主要集中于海洋环境因素的变化对渔业资源^[4-8]、渔场^[9-13]的影响等。栖息地一直是渔业资源与渔场学研究的重要内容, 栖息地的变化往往会影响鱼类的生命活动^[14]。海洋环境因子对鱼类适宜栖息地的分布变化起着决定性作用, 二者之间的关系可以作为研究鱼类资源量波动和空间分布变化的参考依据^[15-17]。适宜栖息地的环境因素很复杂, 已有研究表明, 过低的海表温度影响了东、黄海日本鲭产卵成功率, 从而导致资源补充量下降^[8]; 东、黄海南部渔场的日本鲭资源量与当年产卵场的海表温度存在显著的负相关关系^[18]; 浙江近海的日本鲭资源丰度(单位捕捞努力量渔获量, CPUE)与海

表温度呈正相关, 东海北部日本鲭资源量与海表温度呈负相关^[4], 大量研究表明, 海表温度是日本鲭栖息地变化最主要的影响因素。为此, 本实验利用2003—2012年我国近海日本鲭灯光围网作业生产统计数据, 结合相应的海表温度数据, 通过栖息地适应性指数(HSI)模型研究在全球气候背景下海表温度变化对近海日本鲭适宜栖息地时空分布的影响, 旨在为今后渔业资源的管理和科学开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

中国近海日本鲭灯光围网渔获生产统计数据来源于中国远洋渔业协会上海海洋大学鱿钓技术组, 时间为2003—2012年的各年7—12月,

收稿日期: 2017-05-06 修回日期: 2017-06-28

资助项目: 海洋局公益性行业专项(20155014); 上海市科技创新行动计划(15DZ1202200); 海洋二号卫星地面应用系统项目(HY2A-HT-YWY-006)

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

数据包括作业时间、作业地点的经纬度、渔获量(t)和作业网次,时间分辨率为月,空间分辨率为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 。

近海海域海表温度数据(SST)来源于NOAA Ocean Watch,来源网址:http://pifsc-oceanwatch.irc.noaa.gov/erddap/griddap/OceanWatch_pf5_sst_monthly.html。空间分辨率为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$,时间分辨率为月,空间范围为 $25^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$, $121^{\circ} \sim 128^{\circ} \text{E}$ 。

1.2 数据处理

研究区域划分 黄海区的日本鲭大型灯光围网作业的渔汛期主要是7—12月,由于东、黄海的日本鲭种群渔汛期形成机制不同,7、8、9月作业对象是以南部的日本鲭东海西部群为主,作业渔区大多分布于 32°N 线以南;10、11、12月作业对象以北部日本五岛的日本鲭群为主,作业渔区则大多分布于 32°N 线以北^[8-9]。因此根据研究需要,本研究将中国近海 $25^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$ 的纬度跨度以 32°N 线划分为南部和北部2个渔场,南部渔场于7、8、9月开展研究,北部渔场于10、11、12月开展研究(图1)。

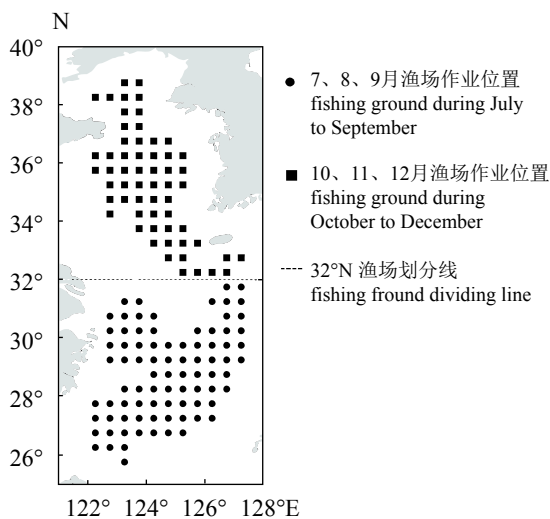


图1 南、北部渔场划分图

Fig. 1 The map of south and north fishing grounds

HSI模型的建立 将渔业统计数据与海表温度数据处理成时间分辨率为月,空间分辨率为 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 的格式,之后分别计算单位捕捞努力量渔获量(CPUE),计算公式:

$$CPUE = \frac{\sum \text{Catch}}{\sum \text{Net}} \quad (1)$$

通常认为,捕捞努力量(effort)即对应本研究

中的作业网次(net),可以反映某一区域渔业资源的集中程度^[19],而CPUE可以作为资源密度的指标^[20],考虑到渔船作业存在竞争机制,仅仅利用作业网次或CPUE单个因素来表征某一区域的资源丰度会受到特殊情况的干扰^[21]。因此,本研究分别利用作业网次和CPUE与SST分别建立适应性指数(SI)模型,结合基于作业网次和CPUE的适应性指数建立一个算术平均模型HSI^[16],并通过比较选取最合理的模型。

假定同一个月中最高作业网次(Net_{max})和最高CPUE值($CPUE_{max}$)的区域为日本鲭最适宜的栖息地,设其适应性指数SI为1,相对的作业网次和CPUE为0的区域为不适宜的日本鲭栖息地,设定适应性指数为0^[22-23]。以作业网次和CPUE为基础分别建立对应的SI模型,SI和栖息地指数模型(HSI)的公式如下:

$$SI_{i,Net} = \frac{Net_{i,j}}{Net_{i,max}} \quad (2)$$

$$SI_{i,CPUE} = \frac{CPUE_{i,j}}{CPUE_{i,max}} \quad (3)$$

$$HSI_{i,j} = \frac{SI_{i,Net} + SI_{i,CPUE}}{2} \quad (4)$$

式中, $SI_{i,Net}$ 为*i*月基于作业网次的适应性指数, $Net_{i,j}$ 是*i*月温度变化范围内第*j*个温度区间的作业网次, $Net_{i,max}$ 是*i*月所有温度区间内最大的作业网次; $SI_{i,CPUE}$ 为*i*月基于CPUE的适应性指数, $CPUE_{i,j}$ 是*i*月温度变化范围内第*j*个温度区间的CPUE, $CPUE_{i,max}$ 是*i*月所有温度区间内最大的CPUE。

利用正态函数分布模型分别进行 $SI_{i,Net}$ 和 $SI_{i,j}$ 与SST的曲线拟合^[23]。利用Excel规划求解功能对该正态函数进行参数求解,并利用回归分析对该模型进行显著性检验。

HSI模型比较验证 对结合基于作业网次和CPUE的栖息地适应性指数 $HSI_{i,j}$ 和基于作业网次的 $HSI_{i,Net}$ 进行比较,统计设定 $HSI > 0.8$ 的区域是日本鲭最适宜的栖息地。统计 $HSI > 0.8$ 栖息地内的累计网次和累计产量,并分别计算在该月内的网次比重和产量比重,利用Excel的*t*检验功能对结果进行量化分析,确定最佳的栖息地适宜指数模型。

海表温度变化情况下栖息地变化 以2003—2012年各月平均SST为基准,利用海表水温异常(SSTA)分析在基准SST的情况下,SST分别上升和下降0.5、1和2℃时近海日本鲭最适宜

栖息地(HSI>0.8)的时空分布及其面积变化情况。该分析过程利用Arcgis10.2进行SST变化模拟, 并利用面积统计功能反映面积变化情况。SSTA计算公式如下:

$$SSTA_i = SST_i - \overline{SST} \quad (5)$$

式中, $SSTA_i$ 为第*i*年的海表水温异常值, SST_i 为第*i*年的海表水温, \overline{SST} 为2003—2012年的平均水温。

2 结果

2.1 近海日本鲭适宜SST分析

由基于作业网次的HSI模型 (图2), 可知近海日本鲭最适宜的栖息地温度范围: 7月27.4~28.3 °C, 8月27.3~28.1 °C, 9月26.0~27.3 °C, 10月18.2~20.2 °C, 11月14.3~17.6 °C, 12月12.0~

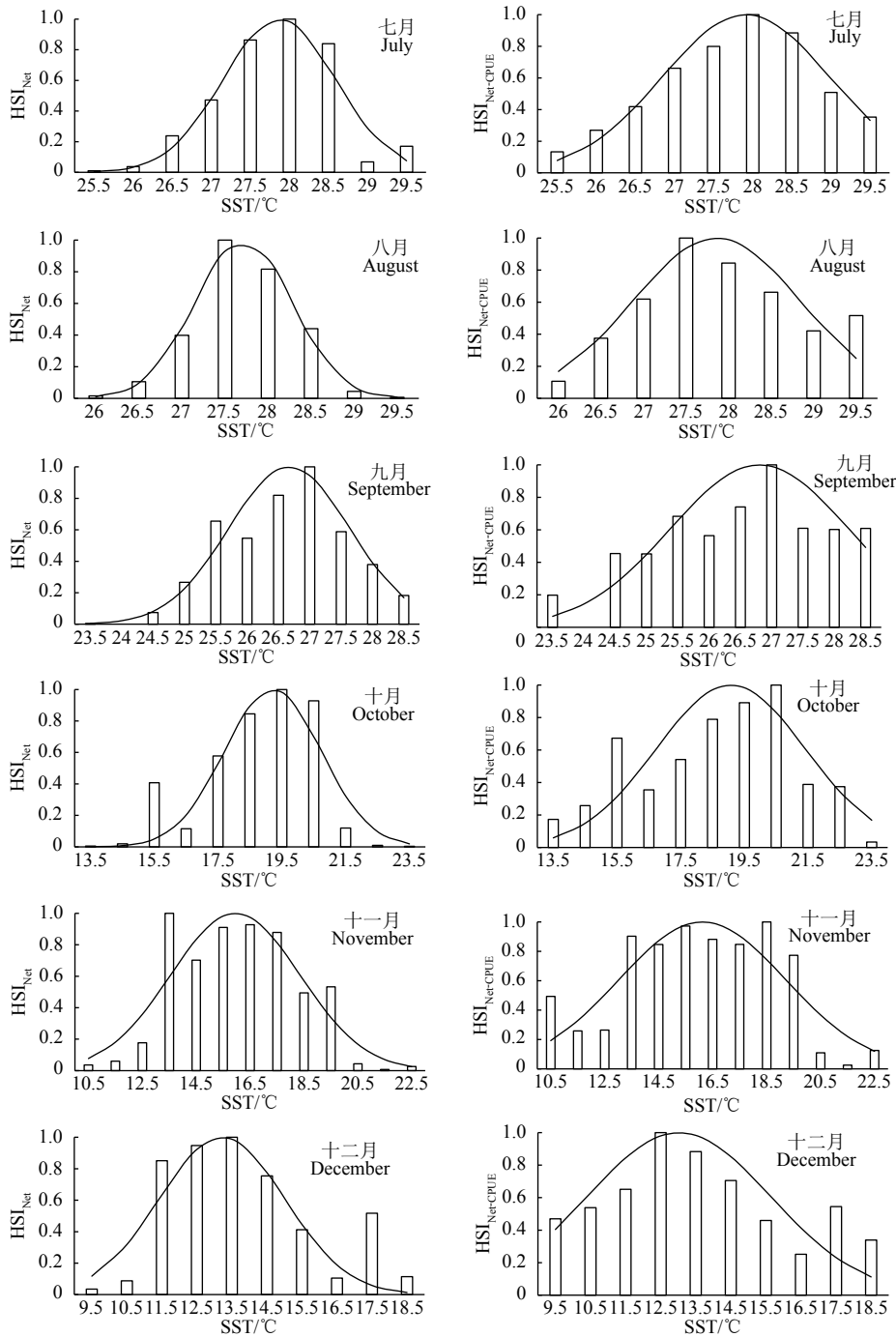


图 2 7—12月基于作业网次和Net-CPUE的HSI曲线

Fig. 2 Monthly curve of habitat suitability index based on net and Net-CPUE

14.4 °C。基于Net-CPUE的HSI算术平均模型可知,近海日本鲭最适宜的(HSI>0.8)栖息地温度范围:7月27.2~28.6 °C,8月27.2~28.5 °C,9月25.9~27.8 °C,10月17.5~20.6 °C,11月14.1~18.2 °C,12月11.3~14.8 °C。

2.2 HSI模型建立、比较与验证

建立HSI模型(表1),统计在2种HSI模型基础上的HSI>0.8的产量比重,作业网次比重和平均CPUE(表2,表3)。HSI_{Net-CPUE}模型>0.8的各月产量比重和网次比重均高于50%,2个模型的月

表1 7—12月栖息地指数模型

Tab. 1 The habitat suitability index model from July to December

月份 month	基于作业网次的HSI模型 HSI model based on fishing net	P值 P value	基于Net-CPUE的HSI算术平均模型 average model based on net and CPUE	P值 P value
7月 July	$HSI=\exp[-0.9701 \times (SST-27.8696)^2]$	0	$HSI=\exp[-0.4381 \times (SST-27.9128)^2]$	0
8月 August	$HSI=\exp[-1.5788 \times (SST-27.9128)^2]$	0	$HSI=\exp[-0.5159 \times (SST-27.8595)^2]$	0.0024
9月 September	$HSI=\exp[-0.5329 \times (SST-26.6706)^2]$	0	$HSI=\exp[-0.2467 \times (SST-26.8041)^2]$	0.0006
10月 October	$HSI=\exp[-0.2166 \times (SST-19.2152)^2]$	0	$HSI=\exp[-0.0911 \times (SST-19.0731)^2]$	0.0019
11月 November	$HSI=\exp[-0.0863 \times (SST-15.9509)^2]$	0	$HSI=\exp[-0.0522 \times (SST-16.1189)^2]$	0.0002
12月 December	$HSI=\exp[-0.1550 \times (SST-13.2185)^2]$	0.001	$HSI=\exp[-0.0730 \times (SST-13.0230)^2]$	0.0035

表2 HSI模型(HSI>0.8)的比较与验证

Tab. 2 Comparison of different HSI models (HSI>0.8)

月份 month	HSI _{(Net-CPUE)>0.8}			HSI _{Net>0.8}		
	产量比重/% percentage of catch	网次比重/% percentage of net	平均 CPUE (t/net) average CPUE	产量比重/% percentage of catch	网次比重/% percentage of net	平均 CPUE (t/net) average CPUE
7月 July	73.32	69.06	954.73	38.64	40.84	850.95
8月 August	77.21	75.25	1137.28	57.71	54.30	1178.00
9月 September	66.11	67.75	986.72	41.09	43.64	952.03
10月 October	69.20	70.92	886.05	45.33	47.85	860.25
11月 November	56.43	59.69	988.94	46.02	51.09	942.40
12月 December	74.11	70.91	1747.44	58.76	49.09	2001.48
平均 average	69.40	68.93	1116.86	47.93	47.80	1130.85

表3 7—9月近海日本鲭最适宜栖息地面积变化情况

Tab. 3 Monthly changes of most suitable habitats of *S. japonicus* from July to September

海表温度 sea surface temperature	7月 July		8月 August		9月 September	
	面积/km ² area	面积变化/% area variation	面积/km ² area	面积变化/% area variation	面积/km ² area	面积变化/% area variation
SST	382599		282158		212185	
SST+0.5 °C	245331	-35.9	323892	14.8	213831	0.8
SST+1 °C	204209	-46.6	260505	-7.7	153962	-27.4
SST+2 °C	224674	-41.3	200913	-28.8	299061	40.9
SST-0.5 °C	320842	-16.1	225073	-20.2	312913	47.5
SST-1 °C	282050	-26.3	523471	85.5	474064	123.4
SST-2 °C	172394	-54.9	343883	21.9	387473	82.6

CPUE不存在显著差异($P>0.05$),而各项占比都显著高于 HSI_{Net} 模型($P<0.01$)(表2)。综上可知,结合了Net和CPUE构建的算术平均HSI模型更符合渔业生产实际。

2.3 近海日本鲭栖息地分布变化模拟

海表温升高时近海日本鲭栖息地的变化随着SST升高0.5、1、2℃,灰色区域表示的近海日本鲭适宜栖息地逐渐向北移动(图3)。7月SST上升0.5、1、2℃时,近海日本鲭的最适宜栖息地($HSI>0.8$)北部边界从32.8°N分别北移至33.2°N、33.8°N、35°N,而面积分别减少了35.9%、46.6%、41.3%(表3,表4)。

8月SST上升0.5、1、2℃时,近海日本鲭的最适宜栖息地北部边界从34.5°N分别北移至36.2°N、36.7°N、38.8°N,而面积分别增加了14.8%和减少了7.7%、28.8%。

9月SST上升0.5、1、2℃时,近海日本鲭的最适宜栖息地北部边界从33.5°N分别北移至34°N、34.5°N、36.5°N,而面积分别增加了0.8%、减少了27.4%和增加40.9%。

10月SST上升0.5、1、2℃时,近海日本鲭的最适宜栖息地南部边界从34°N分别北移至34.4°N、34.6°N、37.5°N,而面积分别减少了22.4%、37.6%、73.1%。

11月SST上升0.5、1、2℃时,近海日本鲭的最适宜栖息地南部边界从29°N分别北移至29.5°N、30.3°N、31.8°N,而面积分别增加了12.1%、17.2%和减少了9.8%。

12月SST上升0.5、1、2℃时,近海日本鲭的最适宜栖息地北部边界从36°N分别北移至36.5°N、37°N、39°N,而面积分别增加了6.6%、19.0%、44.7%。

海表温降低时近海日本鲭栖息地变化

随着SST降低0.5、1、2℃,近海日本鲭栖息地逐渐往南移动(图4)。7月SST下降0.5、1、2℃时,近海日本鲭的最适宜栖息地($HSI>0.8$)北部边界从32.8°N分别南移至32.2°N、31°N、27.5°N,而面积分别减少了16.1%、26.3%、54.9%(表3,表4)。

8月SST下降0.5、1、2℃时,近海日本鲭的最适宜栖息地北部边界从34.5°N分别南移至33.8°N、33.5°N、31°N,而面积分别减少了20.2%和增加了85.5%、21.9%。

9月SST下降0.5、1、2℃时,近海日本鲭的

最适宜栖息地北部边界从33.5°N分别南移至33.2°N、33°N、31.3°N,而面积分别增加了47.5%、123.4%、82.6%。

10月SST下降0.5、1、2℃时,近海日本鲭的最适宜栖息地南部边界从34°N分别南移至32.5°N、31.5°N、28.3°N,而面积分别增加了14.5%、11.6%、4.1%。

11月SST下降0.5、1、2℃时,近海日本鲭的最适宜栖息地南部边界从29°N分别南移至27.9°N、27.7°N、27.4°N,而面积分别减少了5.2%、14.7%、23.4%。

12月SST下降0.5、1、2℃时,近海日本鲭的最适宜栖息地北部边界从36°N分别南移至35.7°N、35.2°N、34.8°N,而面积分别减少了5.6%、25.7%、32.2%。

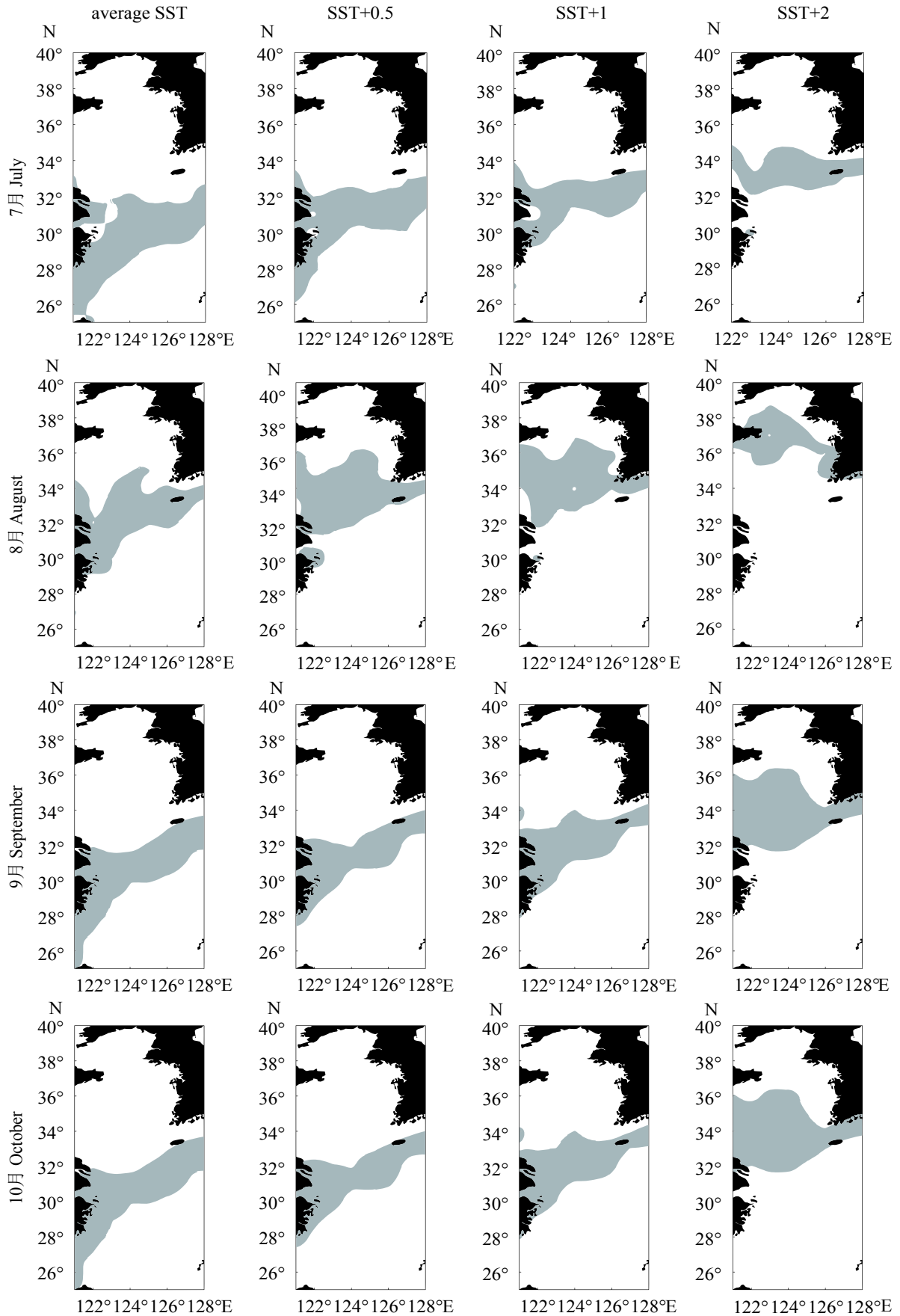
3 讨论

3.1 近海日本鲭栖息地与海表温度的关系

近海日本鲭的大型灯光围网作业具有季节性变动的特点,东、黄海海表温SST的分布状况和SST分布的季节变化决定了南、北部渔场不同的作业范围^[24]。本研究中发现,基于Net-CPUE的HSI模型能够较好地表征不同温度范围内日本鲭的资源密集程度,夏季(7、8、9月)南部渔场的最适宜温度范围是25.9~28.6℃,冬季(10、11、12月)北部渔场的最适宜温度范围是11.3~20.6℃。崔科等^[18]在东、黄海日本鲭资源丰度和SST的叠加关系中发现夏季高CPUE的温度范围是26~29℃,冬季高CPUE的温度范围是12~20℃,这与本研究所得结果具有一致性。苗振清^[24]和李纲等^[23]指出,日本鲭的分布、洄游对SST变化非常敏感。因此,本研究利用SST来预测近海日本鲭的栖息地变化具有可行性。

受厄尔尼诺影响,海表温变化异常对日本鲭资源量具有明显的影响^[6]。本研究选取了2003—2012年中国近海的各月平均SST作为基准,研究SST上升或者下降0.5、1、2℃对日本鲭适宜栖息地变化的影响,因此,也可以为厄尔尼诺或拉尼娜年份的渔场预报提供依据。

本研究区域划定为25°~40°N, 121°~128°E,涉及了我国的渤海、黄海以及东海的大部分海域。研究中发现SST变化过程中,其经度方向上的变化并不明显,纬度方向上的变化幅度较



(图3 Fig.3)

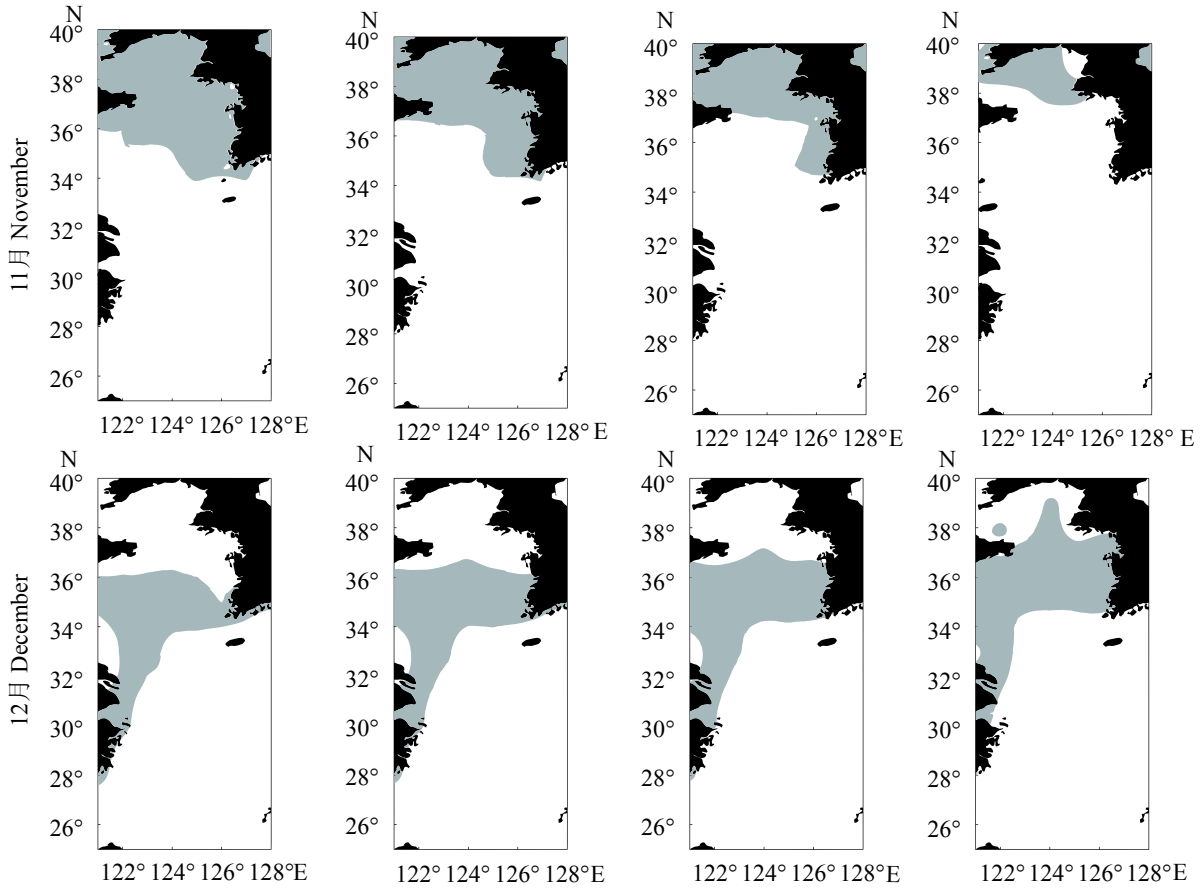


图3 海表温度升高时近海日本鲭最适宜栖息地变化情况

Fig. 3 Monthly variation of most suitable habitats of *S. japonicus* with increased sea surface temperature

大, 且相应的面积在水温上升的过程中总体呈下降趋势, 下降过程中总体呈上升趋势。当然这一研究结果只是代表在本研究区域中的一个变化趋势, 由于南、北部的范围限制, 并没有统计该范围以外的海域。

3.2 模型的分析

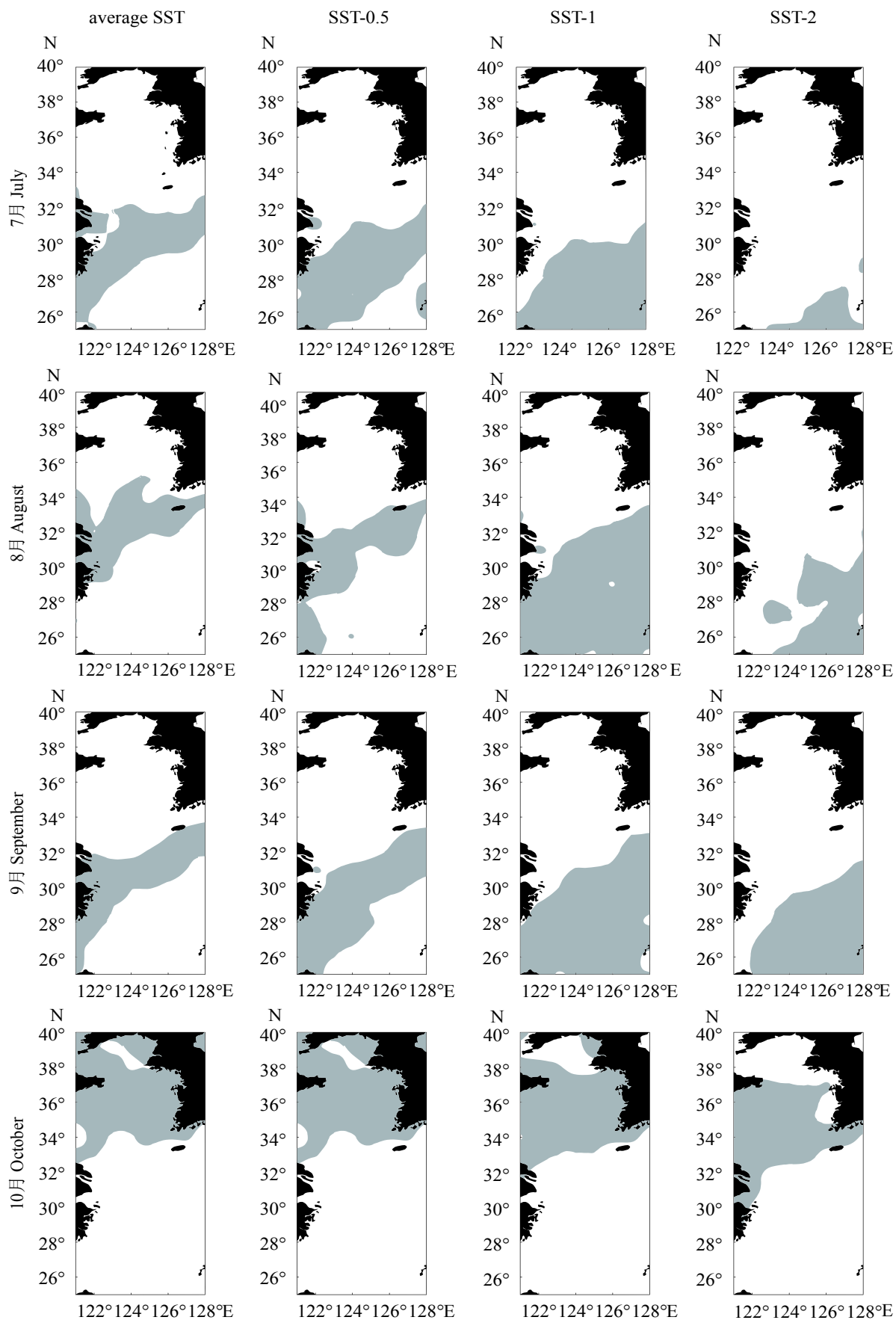
以CPUE作为衡量鱼类资源密度的指标时能取得较好的效果^[25]。苏杭等^[26]利用高CPUE区域作为最适宜栖息地来探究水温上升时东、黄海日本鲭栖息地的变化, 与本研究的结果相似。但是在前期数据处理的过程中, 每个月各温度区间的平均CPUE无明显的线性变化趋势, 且数值相差不大, 无法进行正态分布拟合, 因此放弃了选取基于CPUE的HSI模型研究。探究其原因, 本研究认为在作业渔船多的海域, 各渔船作业之间存在相互影响, 尤其是灯光围网渔业, 在这种竞争机制下, 即使是高资源密度的海域, 每网次的渔获量也会减少; 相反, 在作业渔船少的海域每网次的产量反而会变高。因

此, 本研究试图在Net和CPUE基础上, 建立算术平均HSI模型来全面反映近海日本鲭的栖息地变化情况, 这种模型被较广泛地应用于渔场分析^[27], 目前, 陈新军等^[16]已应用该模型来预测西北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)渔场并取得了较好的结果。模型比较发现, 基于作业网次和Net-CPUE的算术平均HSI模型都具有较高的正态函数分布特性($P < 0.01$), 在经过验证之后发现, 基于Net-CPUE的HSI模型能够更好地反映资源状况。

3.3 模型的研究和展望

HSI模型在渔业领域已得到较广泛的应用, 本研究构建的算术平均模型能够使表征栖息地的最终结果相对折中, 不会受到单个因素建立的HSI极值影响, 但是这种模型将各HSI值同等对待, 未考虑单因素HSI偏小或偏大的影响, 相信在未来的研究中加入不同权重的HSI值进行比较, 可以提高栖息地适应性指数模型的精度。

尽管近海日本鲭的适宜栖息地分布与海表



(图4 Fig.4)

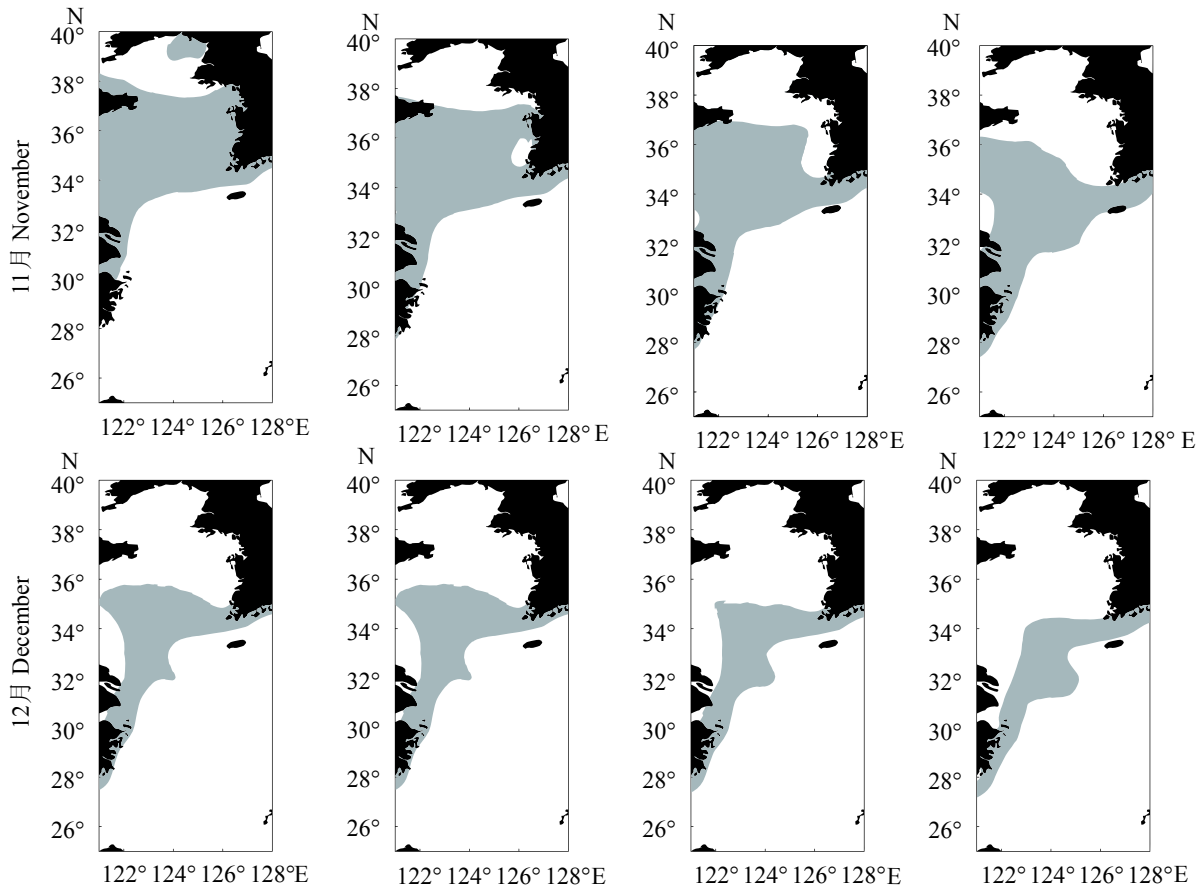


图4 海表温度降低时近海日本鲭最适宜栖息地变化情况

Fig. 4 Monthly variation of most suitable habitats of *S. japonicus* with declined temperature

表4 10—12月近海日本鲭最适宜栖息地面积变化情况

Tab. 4 Monthly area changes of most suitable habitats of *S. japonicus* from October to December

海表温 sea surface temperature	10月 October		11月 November		12月 December	
	面积/km ² area	面积变化/% area variation	面积/km ² area	面积变化/% area variation	面积/km ² area	面积变化/% area variation
SST	414 971		428 201		302 023	
SST+0.5 °C	321 877	-22.4	479 824	12.1	289 914	6.6
SST+1 °C	258 759	-37.6	501 803	17.2	323 744	19.0
SST+2 °C	111 538	-73.1	386 404	-9.8	393 712	44.7
SST-0.5 °C	474 953	14.5	405 944	-5.2	256 848	-5.6
SST-1 °C	462 931	11.6	365 164	-14.7	202 153	-25.7
SST-2 °C	431 979	4.1	328 166	-23.4	184 463	-32.2

温度存在密切关系,但是影响日本鲭栖息地分布的因子还有很多,比如叶绿素浓度、海表温度梯度、海流等。在今后的研究中可以进一步考虑更多的环境因子,对近海日本鲭栖息地分布变化进行预测分析,为渔业生产提供参考。

参考文献:

- [1] 邓景耀,赵传纲. 海洋渔业生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 413-452.
Deng J Y, Zhao C Y. Marine fishery biology[M]. Beijing: Agricultural Press, 1991: 413-452(in Chinese).

- [2] 张洪亮,周永东,姚光展. 浙江群众传统灯光围网渔业利用资源状况分析[J]. *海洋渔业*, 2007, 29(2): 174-178.
Zhang H L, Zhou Y D, Yao G Z. Analysis on the utilization of resources in small scale traditional light seining fisheries of Zhejiang province[J]. *Marine Fisheries*, 2007, 29(2): 174-178(in Chinese).
- [3] 程家骅,林龙山. 东海区鲈鱼生物学特征及其渔业现状的分析研究[J]. *海洋渔业*, 2004, 26(2): 73-78.
Cheng J H, Lin L S. Study on the biological characteristics and status of common mackerel (*Scomber japonicus* Houttuyn) fishery in the east China sea region[J]. *Marine Fisheries*, 2004, 26(2): 73-78(in Chinese).
- [4] 官文江,陈新军,李纲. 海表水温和拉尼娜事件对东海鲈鱼资源时空变动的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(1): 102-107.
Guan W J, Chen X J, Li G. Influence of sea surface temperature and La Niña event on temporal and spatial fluctuation of chub mackerel (*Scomber japonicus*) stock in the east China sea[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(1): 102-107(in Chinese).
- [5] 李纲,郑晓琼,朱国平,等. 基于水温因子的东、黄海鲈鱼剩余产量模型建立[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(1): 108-113.
Li G, Zhen X Q, Zhu G P, et al. Establishment of surplus production model for chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and Yellow Sea based on the sea surface temperature[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(1): 108-113(in Chinese).
- [6] Sun C H, Chiang F S, Tsoa E, et al. The effects of El Niño on the mackerel purse-seine fishery harvests in Taiwan: An analysis integrating the barometric readings and sea surface temperature[J]. *Ecological Economics*, 2006, 56(2): 268-279.
- [7] Yatsu A, Watanabe T, Ishida M, et al. Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management[J]. *Fisheries Oceanography*, 2005, 14(4): 263-278.
- [8] Hiyama Y, Yoda M, Ohshimo S. Stock size fluctuations in chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and the Japan/East Sea[J]. *Fisheries Oceanography*, 2002, 11(6): 347-353.
- [9] 官文江. 基于海洋遥感的东、黄海鲈鱼渔场与资源研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2008.
Guan W J. Remote-sensing-based assessment of chub mackerel (*Scomber japonicus*) fishing ground and stock dynamics in the East China Sea and Yellow Sea[D]. Shanghai: East China Normal University, 2008(in Chinese).
- [10] 李曰嵩,潘灵芝,严利平,等. 基于个体模型的东海鲈鱼渔场形成机制研究[J]. *海洋学报*, 2014, 36(6): 67-74.
Li Y S, Pan L Z, Yan L P, et al. Individual-based model study on the fishing ground of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2014, 36(6): 67-74(in Chinese).
- [11] 张晶,韩士鑫,黄. 东海鲈鱼渔场环境分析[J]. *海洋渔业*, 2004, 26(4): 321-325.
Zhang J, Han S X. Analysis on the central fishing grounds environment of common Japanese mackerel and round scad in the East China Sea[J]. *Marine Fisheries*, 2004, 26(4): 321-325(in Chinese).
- [12] Yasuda T, Yukami R, Ohshimo S. Fishing ground hotspots reveal long-term variation in chub mackerel *Scomber japonicus* habitat in the East China Sea[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2014, 501: 239-250.
- [13] Chen X J, Li G, Feng B, et al. Habitat suitability index of chub mackerel (*Scomber japonicus*) from July to September in the East China Sea[J]. *Journal of Oceanography*, 2009, 65(1): 93-102.
- [14] Morrison M L, Marcot B G, Mannan R W. Wildlife-Habitat relationships: Concepts and applications[J]. *The Condor: Ornithological Applications*, 2007, 109(4): 980-981.
- [15] 蒋瑞,陈新军,雷林,等. 秋冬季智利竹筴鱼栖息地指数模型比较[J]. *水产学报*, 2017, 41(2): 240-249.
Jiang R, Chen X J, Lei L, et al. A comparative study on habitat suitability index of *Trachurus murphyi* during autumn and winter[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(2): 240-249(in Chinese).
- [16] 陈新军,刘必林,田思泉,等. 利用基于表温因子的栖息地模型预测西北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)渔场[J]. *海洋与湖沼*, 2009, 40(6): 707-713.
Chen X J, Liu B L, Tian S Q, et al. Forecasting the fishing ground of *Ommastrephes bartramii* with SST-based habitat suitability modelling in Northwestern Pacific[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009,

- 40(6): 707-713(in Chinese).
- [17] 郭爱, 陈新军. 基于表温的中西太平洋鳀栖息地适应指数的研究[J]. *大连水产学院学报*, 2008, 23(6): 455-461.
- Guo A, Chen X J. The habitat suitability index of skipjack based on sea surface temperature in the western-central Pacific Ocean[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2008, 23(6): 455-461(in Chinese).
- [18] 崔科, 陈新军. 东黄海鲈鱼资源丰度与表温关系[J]. *南方水产*, 2007, 3(4): 20-25.
- Cui K, Chen X J. Study of the relationships between SST and mackerel abundances in the Yellow and East China Seas[J]. *South China Fisheries Science*, 2007, 3(4): 20-25(in Chinese).
- [19] Andrade H A, Garcia C A E. Skipjack tuna fishery in relation to sea surface temperature off the southern Brazilian coast[J]. *Fisheries Oceanography*, 1999, 8(4): 245-254.
- [20] Bertrand A, Josse E, Bach P, *et al.* Hydrological and trophic characteristics of tuna habitat: Consequences on tuna distribution and longline catchability[J]. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 2002, 59(6): 1002-1013.
- [21] Gillis D M, Peterman R M, Tyler A V. Movement dynamics in a fishery: Application of the ideal free distribution to spatial allocation of effort[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1993, 50(2): 323-333.
- [22] Yu W, Chen X J, Yi Q, *et al.* Variability of suitable habitat of western winter-spring cohort for neon flying squid in the northwest Pacific under anomalous environments[J]. *PLoS One*, 2015, 10(4): e0122997.
- [23] 李纲, 陈新军. 夏季东海渔场鲈鱼产量与海洋环境因子的关系[J]. *海洋学研究*, 2009, 27(1): 1-8.
- Li G, Chen X J. Study on the relationship between catch of mackerel and environmental factors in the East China Sea in summer[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2009, 27(1): 1-8(in Chinese).
- [24] 苗振清. 东海北部近海夏秋季鲈鱼渔场与海洋水文环境的关系[J]. *浙江水产学院学报*, 1993, 12(1): 32-39.
- Miao Z Q. Relation between chub mackerel and round scad fishing grounds in the summer-autumn and ocean hydrologic environment in the northern part of the East China Sea[J]. *Journal of Zhejiang College of Fisheries*, 1993, 12(1): 32-39(in Chinese).
- [25] 方学燕, 陈新军, 丁琪. 基于栖息地指数的智利外海茎柔鱼渔场预报模型优化[J]. *广东海洋大学学报*, 2014, 34(4): 67-73.
- Fang X Y, Chen X J, Ding Q. Optimization fishing ground prediction models of *Dosidicus gigas* in the high sea off Chile based on habitat suitability index[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2014, 34(4): 67-73(in Chinese).
- [26] 苏杭, 陈新军, 汪金涛. 海表水温变动对东、黄海鲈鱼栖息地分布的影响[J]. *海洋学报*, 2015, 37(6): 88-96.
- Su H, Chen X J, Wang J T. Influence of sea surface temperature changes on *Scomber japonicus* habitat in the Yellow Sea and East China Sea[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2015, 37(6): 88-96(in Chinese).
- [27] 龚彩霞, 陈新军, 高峰, 等. 栖息地适宜性指数在渔业科学中的应用进展[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(2): 260-269.
- Gong C X, Chen X J, Gao F, *et al.* Review on habitat suitability index in fishery science[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(2): 260-269(in Chinese).

Distribution forecasting of habitat of chub mackerel (*Scomber japonicus*) during the climate change in the coastal waters

CHEN Shuang¹, GUO Ai^{1,2}, CHEN Xinjun^{1,2,3,4,5*}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Marine Fisheries Research of Zhejiang, Zhoushan 316021, China;

3. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

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

Abstract: The change of surface water temperature affects the habitat distribution of pelagic fishes. According to the chub mackerel (*Scomber japonicus*) fishery-dependent data from July to December during 2003 to 2012 in the Chinese coastal waters, and sea surface water temperature (SST) from remote sensing the suitable index (SI) from the fishing effort and the catch per unit effort (CPUE) based on SST were established by using the method of normal distribution. The habitat suitability index (HSI) were estimated by taking the average. The latitude distribution and area change of the most suitable habitat (HSI>0.8) was analysed when the monthly SST increased and declined respectively by 0.5 °C, 1 °C and 2 °C. Results showed that the coastal chub mackerel had an obvious southward shifting tendency when the SST increased, and the most suitable habitat area changed from -73.1% to 44.7% during July to December. There was also an obvious northward shifting tendency when the SST dropped and the most suitable habitat area changed from -54.9% to 123.4% during July to December. The area also had different developing trends. The research suggests that the findings of this article can be used to predict the coastal chub mackerel habitat and its fishing ground under El Nino or La Nina, as well as changes in offshore water in the future.

Key words: *Scomber japonicus*; habitat; SST changes; fishing effort; climate change

Corresponding author: CHEN Xinjun. E-mail: xjchen@shou.edu.cn

Funding projects: Public Science and Technology Research Funds Project of Ocean (20155014); Science and Technology Innovation Program of Shanghai (15DZ1202200); HY-2 Satellite Ground Application System Project (HY2A-HT-YWY-006)