

文章编号: 1000-0615(2019)04-0935-11

DOI: 10.11964/jfc.20170410821

不同时空尺度下近海日本鲭栖息地模型比较

李英雪^{1,2}, 陈新军^{1,3,4,5*}, 郭爱⁶, 周为峰²

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090;

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;

6. 浙江省海洋水产研究所, 浙江舟山 316021)

摘要: 根据2003—2011年7—9月近海日本鲭生产数据, 结合海洋遥感获取的海表温度(SST)和海面高度数据(SSH), 利用作业网次与SST和SSH的关系建立适应性指数(SI)模型, 将时间和空间尺度分别划分为3个级别, 建立9个不同时空尺度下的栖息地适应性指数(HSI)模型, 分析比较得出不同时空尺度下近海日本鲭栖息地适应性指数最优模型, 并对最优模型进行验证。结果显示, 时间尺度为月, 空间尺度为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 是建立近海日本鲭栖息地适应性指数模型的最适时空尺度, 当HSI大于0.6时, 作业网次比重为75.42%, 当HSI小于0.4时, 作业网次比重为12.93%。利用2012年7—9月生产数据对最优模型进行验证, 结果显示, 当HSI大于0.6时, 作业网次比重为60.89%, 当HSI小于0.4时, 作业网次比重为13.88%。研究表明, 在建立鱼类栖息地适应性指数模型时, 需要考虑海洋环境因子的时空尺度, 以便更好地预测中心渔场。

关键词: 日本鲭; 栖息地适应性指数模型; 时空尺度; 海表面温度; 海表面高度

中图分类号: S 934

文献标志码: A

日本鲭(*Scomber japonicus*)为暖水性中上层鱼类, 其资源主要由韩国、日本和中国(包括台湾省)的灯光围网渔船所捕获^[1]。东、黄海鲭可分为东海西部群、五岛西部群和闽南—粤东地方群3个种群, 不同种群的鲭具有明显的生长差异^[2]。已有研究表明, 海表温度(SST)和海面高度数据(SSH)是影响鲭栖息地分布的主要环境因子^[1, 3]。栖息地适应性指数模型(HSI)最初是一种评价野生生物生境适宜程度的指数模型, 该模型也被广泛应用于鱼类分布、中心渔场的预报等方面, 已成为渔业科学研究的重要手段之一^[4-8]。在已有的研究中, 很多学者对鱼类栖息地适应性指数模型进行了特定时空尺度的分析, 陈新军等^[9]

利用栖息地适应性指数模型算数平均法和几何平均法在空间分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 和时间分辨率为月的时空尺度下预测西北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)渔场, 胡贯宇等^[10]在空间分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 和时间分辨率为月的时空尺度下建立了基于不同权重的栖息地适应性指数模型预报阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)中心渔场, 但少有学者对鱼类栖息地适应性指数模型进行不同时空尺度的分析比较。为此, 本实验根据2003—2011年7—9月近海日本鲭生产数据, 建立9个不同时空尺度的栖息地适应性指数模型, 并用2012年7—9月生产数据进行验证, 对比分析得出最优模型, 以期为后期研究提供参考。

收稿日期: 2017-04-28 修回日期: 2017-10-24

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(14DZ1205000); “十二五”国家科技支撑计划(2013BAD13B01)

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

1 材料与方法

1.1 数据来源

渔业资源数据 近海日本鲭渔获数据来源于上海海洋大学大型围网技术组, 时间为2003—2012年7—9月, 作业海域为20°~40°N, 121°~128°E。渔获数据包括作业位置、作业日期、渔获量、作业网次等, 作业海域如图1, 图中点状为作业网次, 每个点状代表渔船在此区域作业1次。

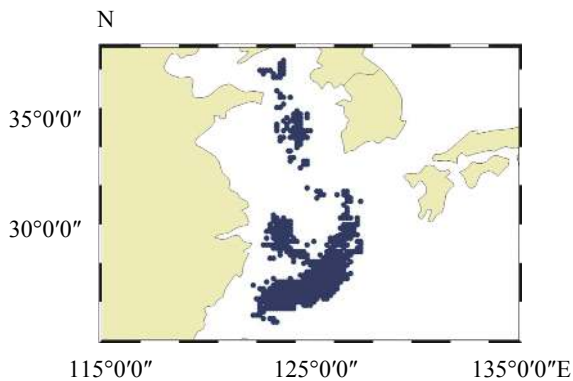


图1 2003—2012年7—9月近海日本鲭围网渔业作业海域

Fig. 1 The fishing waters of *S. japonicus* fishery from July to September in 2003—2012

海洋环境数据 选取的海洋环境数据包括海面表温数据(sea surface temperature, SST), 海面高度数据(sea surface height, SSH)。其中, SST数据来源于美国海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)的OceanWatch网站(<http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/>), 原始时间分辨率为周, 空间分辨率为0.1°×0.1°。SSH数据来源于AVISO网站(<http://www.avisio.altimetry.fr/en/data.html>), 原始时间分辨率为天, 空间分辨率为0.25°×0.25°。为了研究不同时空尺度的近海日本鲭中心渔场, 利用Arcgis将SST和SSH处理为所需的空间尺度。

1.2 数据处理

时空尺度设置 为了比较不同时空尺度的近海日本鲭栖息地适应性指数模型, 将渔业数据和海洋环境数据处理为3个级别的空间尺度, 分别为0.25°×0.25°、0.5°×0.5°、1°×1°, 3个

级别的时间尺度为周、旬、月。将渔业数据处理后匹配时空数据, 不同时间尺度和空间尺度的环境数据均是由原始时间数据和空间数据尺度转换而成。本研究的时空尺度数据处理利用Arcgis处理所得。

栖息地适应性指数模型构建 通常认为作业网次能很好地代表鱼类出现和鱼类被利用情况的指标^[11], SST和SSH是近海日本鲭中心渔场形成的主要环境因子。因而, 采用作业网次作为适应性指数(suitability index, SI)模型的指标, 建立其与SST和SSH本身关的栖息地适应性指数模型(habitat suitability index, HSI)。适应性指数的取值范围为0~1, 假定适应性指数为1时, 代表近海日本鲭资源分布最多海域, 适应性指数为0时, 代表近海日本鲭资源分布最少海域^[12]。SI计算公式:

$$SI_{i,NET} = \frac{NET_{i,j}}{NET_{i,max}}$$

式中, $SI_{i,NET}$ 为单位时间单位空间内以作业网次为基础获得的适应性指数, $NET_{i,max}$ 为单位时间单位空间内作业网次的最大次数。

已有研究表明^[13], 基于算数平均法的HSI模型是较有效的栖息地适应性指数模型。利用算数平均法(arithmetic mean, AM)计算栖息地适应性指数HSI, HSI的值在0~1之间变化, 0代表最适宜近海日本鲭的海洋环境, 1代表最适宜近海日本鲭的海洋环境, 计算公式:

$$HSI = \frac{1}{2} (SI_{SST} + SI_{SSH})$$

式中, SI_{SST} 和 SI_{SSH} 分别为SST和SSH对应的适应性指数。

1.3 模型验证

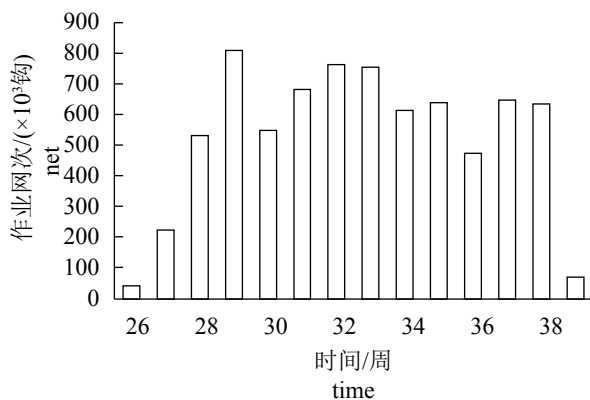
本研究根据2003—2011年7—9月近海日本鲭生产统计数据和环境数据建立不同时空尺度的9个栖息地适应性指数模型, 为0.25°×0.25°与周、0.25°×0.25°与旬、0.25°×0.25°与月、0.5°×0.5°与周、0.5°×0.5°与旬、0.5°×0.5°与月、1°×1°与周、1°×1°与旬和1°×1°与月, 而后利用2012年7—9月的实际生产统计数据对建立的9个HSI模型进行验证和比较。以HSI大于0.6的海域作为近海日本鲭最适宜栖息地, 计算HSI大于0.6海域的作业网次占总作业网次的比重, 该比重越大, 说

明模型效果越好^[9-10]。

2 结果

2.1 不同时空尺度作业网次分布

2003—2011年7月作业次数为1 994次, 8月



为2 846次, 9月为2 604次, 8月作业次数最高; 按旬来计算, 7月下旬作业次数最高, 为1 378次, 占7月总作业次数的69.11%; 按周来计算, 全年第29周作业次数最高, 为810次, 占总作业次数的10.88%(图2)。

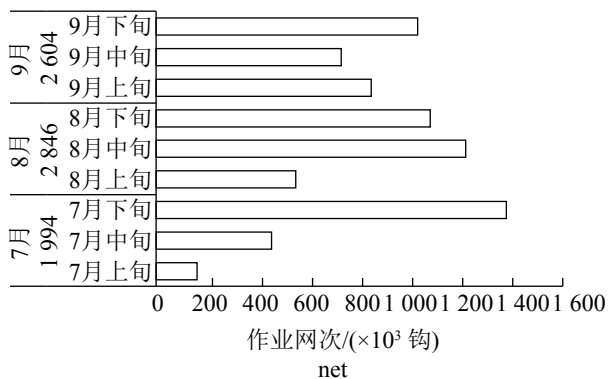


图2 2003—2011年7—9月近海日本鲭围网渔业作业次数统计

Fig. 2 Fishing effort of *S. japonicus* fishery from July to September in 2003—2011

2.2 作业网次与海洋环境因子的关系

与 SST 的关系 不同时间尺度作业网次对应的最适 SST 有所差异, 不同空间尺度作业次数对应的 SST 基本相同。7月和8月3种空间尺度下近海日本鲭最适温度为29~30℃, 9月最适温度为28~29℃; 7月上旬和中旬最适温度为28~29℃, 7月下旬最适温度为29~30℃; 8月上旬空间尺度为0.25°×0.25°的最适温度为28~29℃, 空间尺度为0.5°×0.5°和1°×1°的最适温度为29~30℃, 8月中旬和下旬最适温度为29~30℃; 9月上旬最适温度为28~29℃, 9月中旬和下旬最适温度为27~28℃(图3)。

与 SSH 的关系 7—9月不同空间尺度近海日本鲭最适 SSH 相同, 7月上旬—9月下旬不同空间尺度对应的最适 SSH 有所差异。7月和8月最适海面高度为70~75 cm, 9月最适海面高度为55~60 cm。7月上旬空间尺度为0.25°×0.25°时, 最适海面高度为70~75 cm, 空间尺度为0.5°×0.5°和1°×1°时, 最适海面高度为65~70 cm; 7月下旬空间尺度为0.25°×0.25°时, 最适海面高度为65~70 cm, 空间尺度为0.5°×0.5°和1°×1°时, 最适海面高度为70~75 cm。8月中旬空间尺度为0.25°×0.25°时, 最适海面高度为70~75 cm, 空间尺度为0.5°×0.5°和1°×1°时, 最适海面高度为65~70 cm;

8月下旬空间尺度为0.25°×0.25°时, 最适海面高度为60~65 cm, 空间尺度为0.5°×0.5°和1°×1°时, 最适海面高度为70~75 cm。9月上旬空间尺度为0.25°×0.25°时, 最适海面高度为70~75 cm, 空间尺度为0.5°×0.5°时, 最适海面高度为70~75 cm, 空间尺度为1°×1°时, 最适海面高度为55~60 cm; 9月中旬空间尺度为0.25°×0.25°时, 最适海面高度为60~65 cm, 空间尺度为0.5°×0.5°时和1°×1°时, 最适海面高度为55~60 cm; 9月下旬空间尺度为0.25°×0.25°和0.5°×0.5°时, 最适海面高度为55~60 cm, 空间尺度为1°×1°时, 最适海面高度为50~55 cm(图4)。

2.3 不同时空尺度下 HSI 模型建立与比较

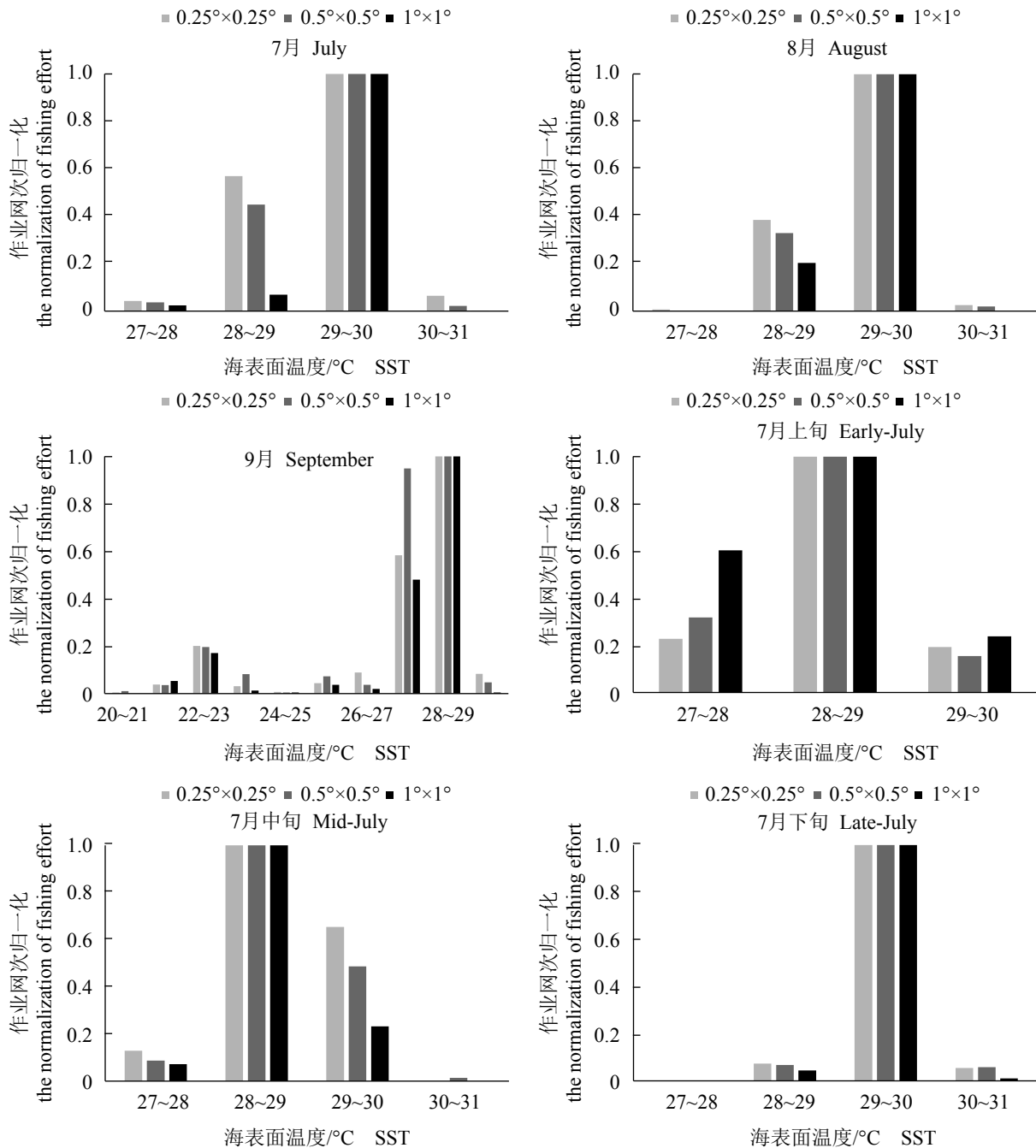
利用2003—2011年7—9月近海日本鲭生产数据以作业网次为适应性指数建立不同时空尺度下的栖息地指数模型, 根据 HSI>0.6 和 HSI<0.4 对应的作业网次比重和方差来选择最优模型, 以2012年7—9月生产数据进行验证。研究表明, 时间尺度为月时, 空间尺度为0.25°×0.25°, HSI>0.6 的作业网次平均比重为62.92%, 方差为0.014 33; 空间尺度为0.5°×0.5°, HSI>0.6 的作业网次平均比重为64.95%, 方差为0.029 60; 空间尺度为1°×1°, HSI>0.6 的作业网次平均比重为75.42%, 方差为0.001 95。时间尺度为旬时, 空间尺度为

0.25°×0.25°，HSI>0.6的作业网次平均比重为56.82%，方差为0.017 81；空间尺度为0.5°×0.5°，HSI>0.6的作业网次平均比重为64.09%，方差为0.014 05；空间尺度为1°×1°，HSI>0.6的作业网次平均比重为62.98%，方差为0.014 22(表1)。时间尺度为周时，空间尺度为0.25°×0.25°，HSI>0.6的作业网次平均比重为59.96%，方差为0.009 49；空间尺度为0.5°×0.5°，HSI>0.6的作业网次平均比重为64.63%，方差为0.012 45；空间尺度为1°×1°，HSI>0.6的作业网次平均比重为68.01%，方差为

0.021 15(表2)。分析比较得出时间尺度为月，空间尺度1°×1°为近海日本鲭栖息地指数模型建立的最适时空尺度。

2.4 HSI模型的验证

根据对9种不同时空尺度模型的建立与比较，利用时间尺度为月，空间尺度为1°×1°的2003—2011年近海日本鲭生产数据，总结近海日本鲭各环境因子的适应性指数(表3)，对2012年7—9月近海日本鲭生产数据进行验证。验证



(图3 Fig.3)

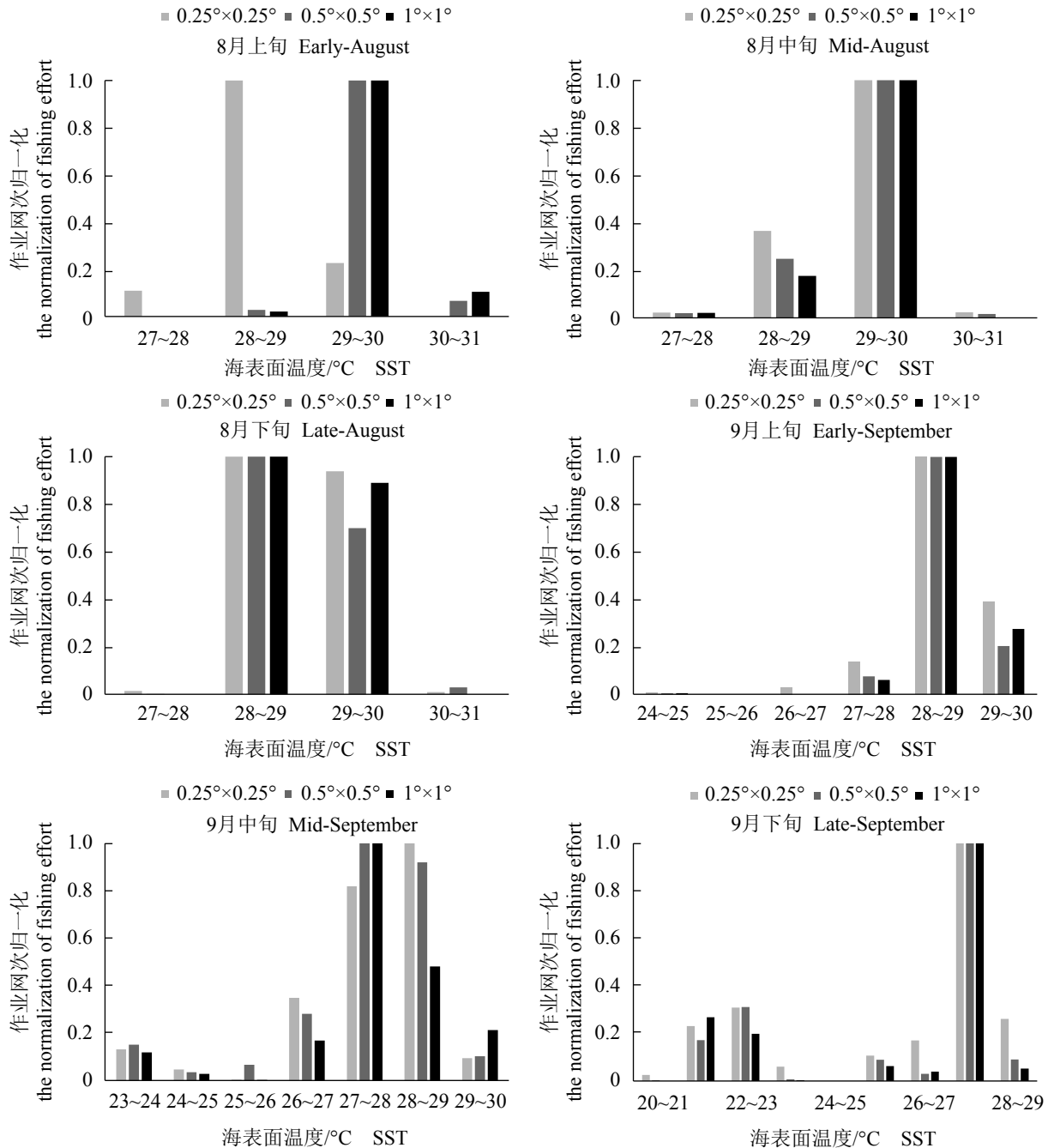


图3 近海日本鲭渔业作业次数与SST的关系

Fig. 3 Relationship between fishing net of *S. japonicus* fishery and SST

结果表明, HSI>0.6时, 7、8、9月平均作业网次比重为60.89%, HSI<0.4时, 7、8、9月平均作业网次比重为13.88%(图5)。

3 讨论

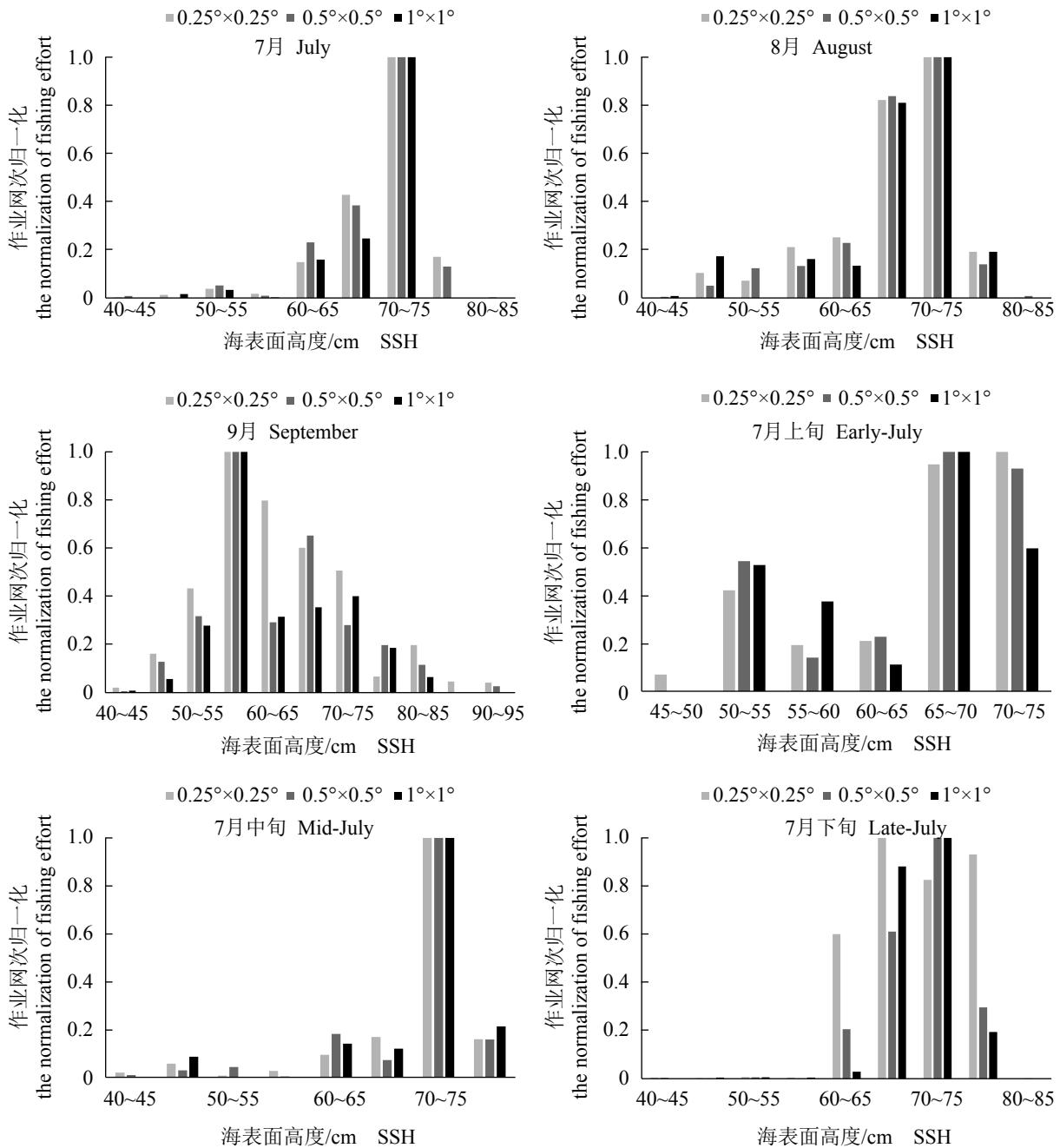
海洋渔业捕捞作业一般在不同时空尺度下进行, 鱼类的种群分布可能随着时空尺度的不同而变化^[14-15]。近海日本鲭主要分布在东、黄海

海区, 随着月份的变化, 7—9月的日本鲭有向东北方向游动的趋势, 这可能由于日本鲭的索饵和生长的需求。研究表明, 近海日本鲭的种群分布会随着时空尺度的变化而变化, 本研究在同一原始数据集基础上探讨9种不同时空尺度($0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 与月、 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 与旬、 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 与周、 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 与月、 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 与旬、 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 与周、 $1^\circ \times 1^\circ$ 与月、 $1^\circ \times 1^\circ$ 与旬和 $1^\circ \times 1^\circ$ 与周)对栖

息地适应性指数模型的影响，它们有着不同规模的数据样本集^[16]，模型预报的准确度也有一定的差异。时间尺度为月时，比较在不同空间尺度下近海日本鲭的最适栖息地(HSI>0.6)对应的作业网次比重，空间尺度为1°×1°时均高于其他2种空间尺度，7—9月的最适栖息地作业网次比重为72%以上(图5)。时间尺度为旬时，7月上旬—9月下旬的最适栖息地作业网次比重在不同空间尺度下存在一定的波动，但空间尺度为1°×1°仍表现出相对高的比重，7月下旬1°×1°的最适栖

息地作业网次比重低于其他2种空间尺度，主要是由于7月下旬生产数据较少(图6)；时间尺度为周时，全年第26周—第39周的最适栖息地作业网次比重在不同空间尺度下也存在一定的波动，但同样空间尺度为1°×1°仍表现出相对高的比重(图7)。在同种时间尺度下，空间尺度为0.5°×0.5°时对应的最适栖息地作业网次比重高于空间尺度为0.25°×0.25°对应的比重(图5，图6，图7)。

比较不同时空尺度下近海日本鲭最适栖息地指数模型，在时间尺度分别为月、旬、周时，最



(图4 Fig. 4)

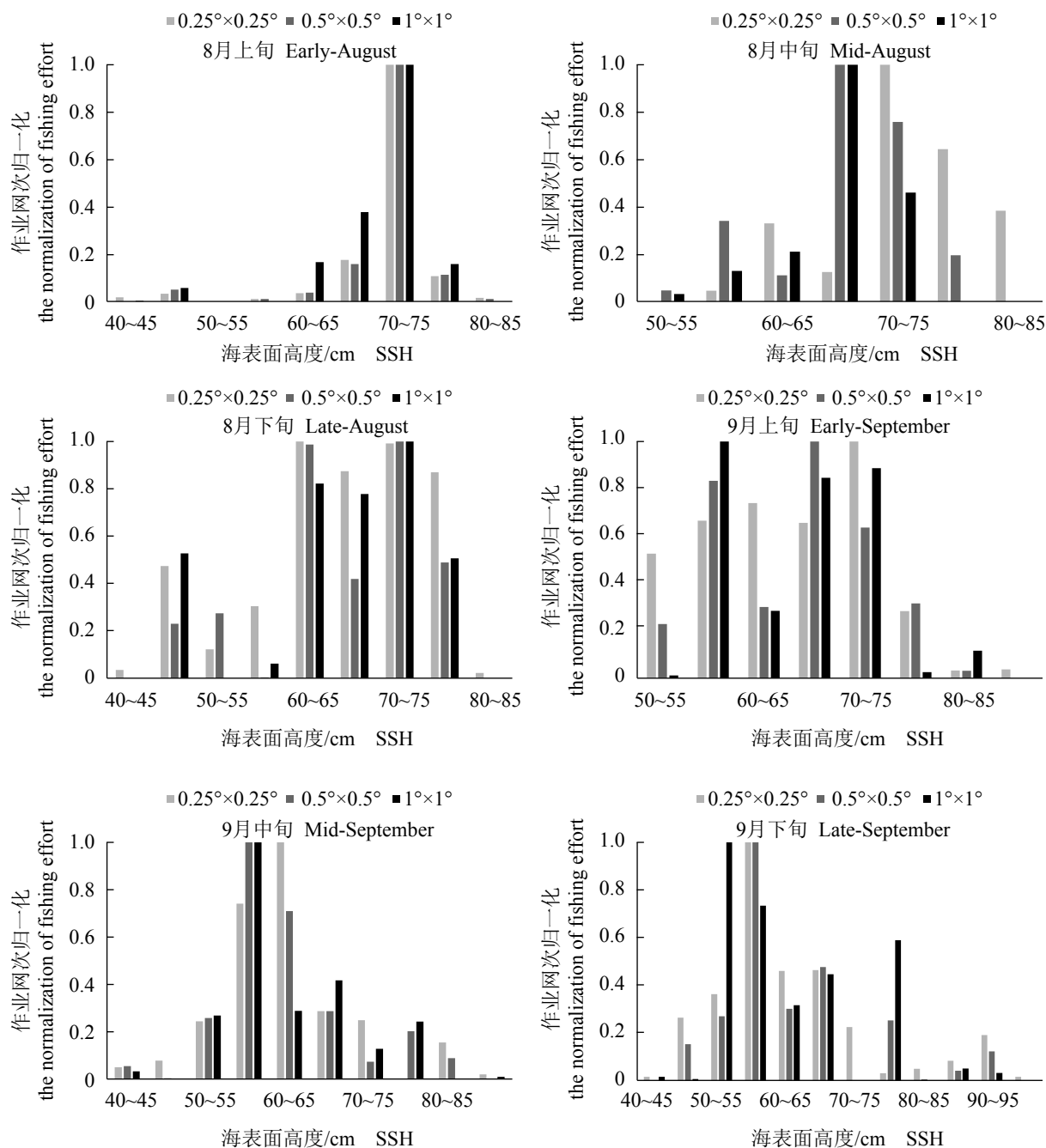


图4 近海日本鲭渔业作业次数与SSH的关系

Fig. 4 The relationship between fishing net of *S. japonicus* fishery and SSH

佳空间尺度为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$, 对应的作业网次比重均高于其他2种空间尺度。在空间尺度分别为 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ 、 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 、 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 时, 最佳时间尺度为月, 对应的作业网次比重均高于其他2种时间尺度。因此, 本研究认为近海日本鲭栖息地适应性指数模型建立的最优时间尺度为月, 最优空间尺度为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ (图8)。

本研究表明, SST和SSH是影响近海日本鲭

分布的重要海洋环境因子, 不同时间范围近海日本鲭最适SST和SSH的范围不同, 7—9月近海日本鲭最适SST为 $27\sim 30^{\circ}\text{C}$, 最适SSH为 $45\sim 75\text{cm}$ 。随着时间变化, 近海日本鲭有向低温和高海面高度运动的趋势。研究表明, 基于算数平均法的近海日本鲭栖息地适应性指数模型能较好地预报近海日本鲭栖息地, 根据该栖息地日本鲭指数模型可有效地预测近海日本鲭的渔场位置, 提

表 1 2003—2011年7—9月不同HSI值下的作业网次比重

Tab. 1 Percentage of fishing effort in different HSI from July to September in 2003—2011

HSI	7月 July			8月 August			9月 September		
	0.25°×0.25°	0.5°×0.5°	1°×1°	0.25°×0.25°	0.5°×0.5°	1°×1°	0.25°×0.25°	0.5°×0.5°	1°×1°
[0, 0.2]	5.12%	1.40%	3.71%	0.88%	0.11%	16.16%	6.18%	17.43%	13.17%
[0.2, 0.4]	7.22%	4.66%	2.56%	18.03%	18.41%	0.77%	12.25%	7.72%	2.42%
[0.4, 0.6]	13.14%	11.99%	13.24%	17.46%	16.13%	10.61%	30.95%	27.30%	11.10%
[0.6, 0.8]	44.93%	50.25%	14.39%	32.68%	27.34%	32.01%	40.55%	43.66%	63.86%
[0.8, 1.0]	29.59%	31.70%	66.10%	30.96%	38.02%	40.44%	10.06%	3.88%	9.45%

表 2 2003—2011年7—9月不同时空尺度下的HSI模型作业网次比重

Tab. 2 Percentage of fishing effort of different HSI model in different spatial-temporal scales from July to September in 2003—2011

作业网次比重 percentage of fishing effort	月 month			旬 ten days			周 week		
	0.25°×0.25°	0.5°×0.5°	1°×1°	0.25°×0.25°	0.5°×0.5°	1°×1°	0.25°×0.25°	0.5°×0.5°	1°×1°
HSI>0.6	62.92%	64.95%	75.42%	56.82%	64.09%	62.98%	59.96%	64.63%	68.01%
HSI<0.4	16.56%	16.58%	12.93%	17.13%	17.96%	13.64%	16.52%	1.25%	2.12%
方差 mean	0.014 33	0.029 60	0.001 95	0.017 81	0.014 05	0.014 22	0.009 49	0.012 45	0.021 15

表 3 时空尺度分别为月和1°×1°时近海日本鲭各环境因子适应性指数

Tab. 3 Suitability index of marine environment for *S. japonicus* in spatial-temporal scale of month and 1°×1°

时间/月 time	环境因子的适应性指数 (SI _{SST} , SI _{SSH})	海表温度/°C SST	海面高度/cm SSH
7月 July	1	29~30	70~75
	0.5	27~28	65~70
	0.1	28~29, 30~31	45~65
	0	<27, ≥31	<45, ≥75
8月 August	1	29~30	70~75
	0.5	27~28	65~70
	0.1	28~29	40~65, 75~80
	0	<27, ≥30	<40, ≥80
9月 September	1	28~29	55~60
	0.5	27~28	60~75
	0.1	21~27, 29~30	40~55, 75~85
	0	<21, ≥30	<40, ≥85

高捕捞效率。在对近海日本鲭鱼群分布的研究中, 设定时间尺度为月, 空间尺度为1°×1°能提

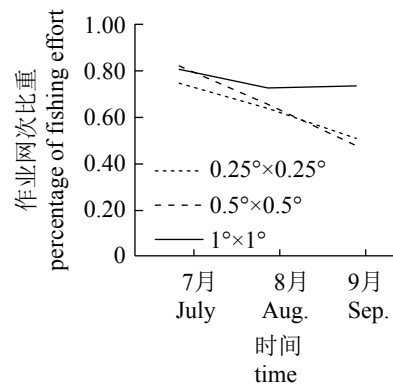


图 5 2003—2011年7—9月不同空间尺度下近海日本鲭最适栖息地作业网次比重

Fig. 5 Percentages of fishing efforts of *S. japonicus* in different spatial-temporal scales from July to September in 2003—2011

高研究的准确性。

鱼类生活的海洋环境中各种环境因子对鱼类的影响并不是相互独立的, 本研究仅考虑了SST和SSH对近海日本鲭的影响, 并把2种因子作为相互独立的2种因素, 有一定的局限性。本研究的近海日本鲭生产数据没有一定的规律性, 不同时间尺度下的生产数据的数量不相同, 生

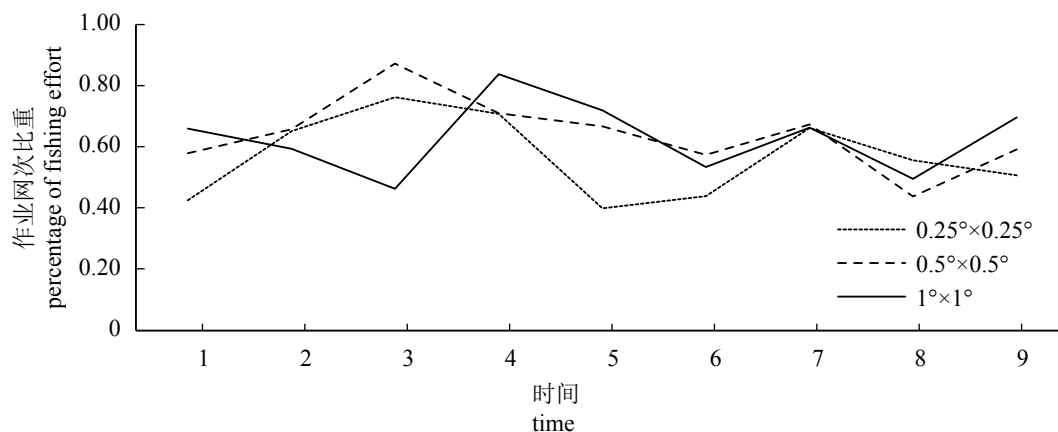


图 6 2003—2011年7月上旬—9月下旬不同空间尺度下近海日本鲭最适栖息地作业网次比重
1.7月上旬; 2.7月中旬; 3.7月下旬; 4.8月上旬; 5.8月中旬; 6.8月下旬; 7.9月上旬; 8.9月中旬; 9.9月下旬

Fig. 6 Percentages of fishing efforts of *S. japonica* on different spatial-temporal scales from early-July to late-September in 2003—2011

1. early-July; 2. mid-July; 3. late-July; 4. early-August; 5. mid-August; 5. late-August; 7. early-September; 8. mid-September; 9. late-September

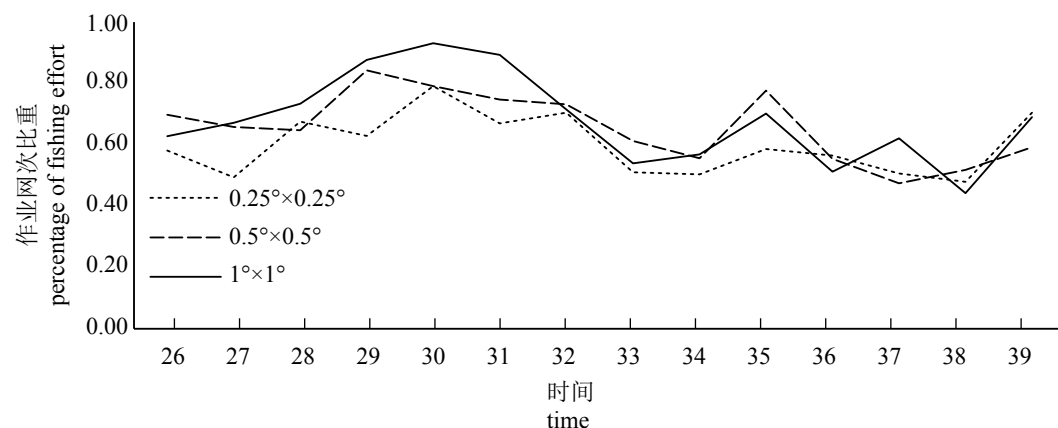


图 7 2003—2011年全年第26—39周不同空间尺度下近海日本鲭最适栖息地作业网次比重

Fig. 7 Percentages of fishing efforts of *S. japonica* on different spatial-temporal scales from 26th week to 39th week in 2003—2011

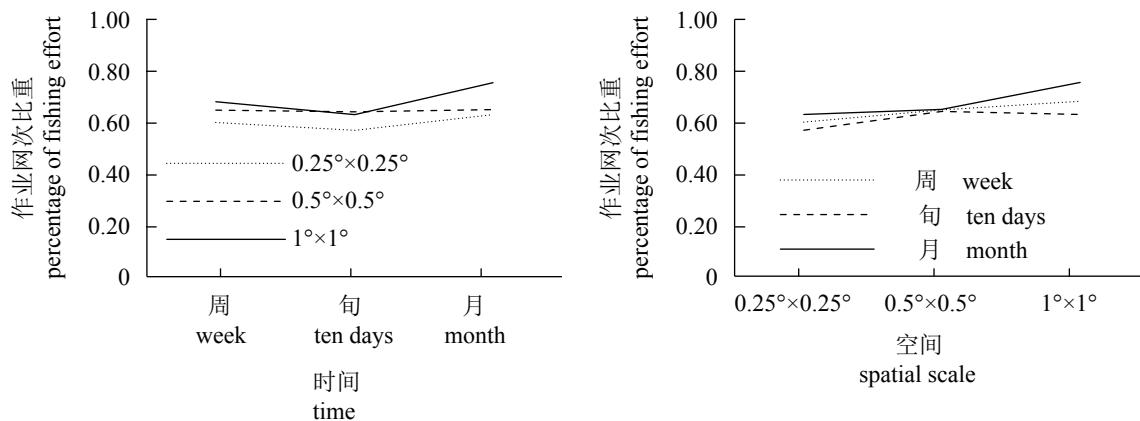


图 8 2003—2011年不同时空尺度下近海日本鲭最适栖息地作业网次比重

Fig. 8 Percentages of fishing efforts of *S. japonica* on different spatial-temporal scales from 2003—2011

产数据不充足(例如没有包括中国台湾省以及日本、韩国等生产统计数据)可能是造成本研究误差的主要因素之一。在以后的研究中,应在条件允许的情况下,综合考虑多种环境因子及其相互作用下对近海日本鲭鱼群分布的影响,充足的生产数据和长时间序列的生产数据也能提高预报的准确性。

参考文献:

- [1] 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).
- [2] 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).
- [3] 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).
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] Vayghan A H, Poorbagher H, Shahraiyni H T, et al. Suitability indices and habitat suitability index model of Caspian kutum (*Rutilus frisii kutum*) in the southern Caspian Sea[J]. *Aquatic Ecology*, 2013, 47(4): 441-451.
- [7] Lee P F, Chen I C, Tzeng W N. Spatial and temporal distribution patterns of bigeye Tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean[J]. *Zoological Studies*, 2005, 44(2): 260-270.
- [8] 高峰,陈新军,官文江,等.基于提升回归树的东、黄海鲈鱼渔场预报[J].*海洋学报*,2015,37(10):39-48.
Gao F, Chen X J, Guan W J, et al. Fishing ground forecasting of chub mackerel in the yellow sea and East China sea using boosted regression trees[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2015, 37(10): 39-48(in Chinese).
- [9] 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).
- [10] 胡贯宇,陈新军,汪金涛.基于不同权重的栖息地指数模型预报阿根廷滑柔鱼中心渔场[J].*海洋学报*,2015,37(8):88-95.
Hu G Y, Chen X J, Wang J T. Forecasting fishing ground of *Illex argentinus* based on different weight habitat suitability index in the southwestern Atlantic[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2015, 37(8): 88-95(in Chinese).
- [11] 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.
- [12] Mohri M, Nishida T. Seasonal changes in bigeye tuna fishing areas in relation to the oceanographic parameters in the Indian Ocean[J]. *Journal of National Fisheries University*, 1999, 47(2): 43-54.
- [13] 王震,陈新军,雷林.东太平洋长鳍枪鱼栖息地指数模型的比较[J].*广东海洋大学学报*,2017,37(1):58-64.
Wang Z, Chen X J, Lei L. Comparison of *Thunnus alalunga* in the eastern pacific based on habitat suitability index Model[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2017, 37(1): 58-64(in Chinese).
- [14] Legendre P, Fortin M J. Spatial pattern and ecological analysis[J]. *Vegetatio*, 1989, 80(2): 107-138.
- [15] Legendre P, Thrush S F, Cummings V J, et al. Spatial structure of bivalves in a sandflat: scale and generating

- processes[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1997, 216(1-2): 99-128.
- [16] 汪金涛, 高峰, 雷林, 等. 阿根廷滑柔鱼渔场预报模型最适时空尺度和环境因子分析[J]. *中国水产科学*, 2015, 22(5): 1007-1014.
- Wang J T, Gao F, Lei L, *et al.* Impacts of temporal and spatial scale as well as environmental data on fishery forecasting models for *Illex argentinus* in the southwest Atlantic[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(5): 1007-1014(in Chinese).

Comparison of habitat suitability index model for *Scomber japonicus* in different spatial and temporal scales

LI Yingxue^{1,2}, CHEN Xinjun^{1,3,4,5*}, GUO Ai⁶, ZHOU Weifeng²

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

2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

3. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, 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;

6. Marine Fisheries Research of Zhejiang, Zhoushan 316021, China)

Abstract: Marine fishery fishing operations are carried out in different spatial and temporal scales, and the distribution of fish may vary with the spatial-temporal scale. Spatial and temporal scales play a vital role in the study of marine fishery habitat, but there were few researches on the comparison of habitat suitability index models in different spatial-temporal scales. In this study, based on the statistical data of *Scomber japonicus* from July to September in 2003—2011, combined with the data of sea surface temperature (SST) and sea surface height (SSH) obtained by ocean remote sensing, using arithmetic mean model (AM) and the relationship between SST and SSH to build habitat suitability index model (HSI). The study divided the sea surface temperature (SST) and sea surface height (SSH) into different spatial and temporal scales. Spatial scales included $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ and $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, temporal scales included weekly, ten days and monthly. A total of 9 HSI models were constructed in different spatial-temporal scales. The results indicated that spatial scale of $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ and temporal scale of monthly were the most optimum spatial-temporal scales. When HSI value was greater than 0.6, the percentage of fishing effort was 75.42%, and when HSI value was less than 0.4, the percentage of fishing effort is 12.93%. According to the optimum spatial-temporal scales, using the data from July to September in 2012 to verify the optimum model, when HSI value was greater than 0.6, the percentage of fishing effort was 60.89%, and when HSI value was less than 0.4, the percentage of fishing effort is 13.88%. In summary, the spatial and temporal scales of fishing and marine environment factors should be considered during the construction of fishery habitat suitability index model.

Key words: *Scomber japonicus*; habitat suitability index model; spatial and temporal scales; sea surface temperature; sea surface height

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

Funding projects: Public Science and Technology Research Funds Project of Ocean (20155014); Shanghai Scientific and Technological Innovative Action Plan (14DZ1205000); National Science and Technology Pillar Program during the Twelfth Five-year Plan Period(2013BAD13B01)