

文章编号: 1674-5566(2025)02-0403-10

DOI: 10.12024/jsou.20240704604

中西太平洋鲣鱼不同鱼群资源丰度的影响因子比较

朱若雅¹, 陈新军^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学 海洋生物资源与管理学院, 上海 201306; 2. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306;
3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 农业农村部大洋渔业可持续利用重点实验室, 上海 201306)

摘要:为了探究鲣鱼(*Katsuwonus pelamis*)自由鱼群和随附鱼群资源丰度受环境与其他种群因子影响的差异。采用2011—2020年中西太平洋鲣鱼的生产统计数据,结合同时期海洋环境数据:海表面温度(Sea surface temperature, SST)、海表面盐度(Sea surface salinity, SSS)和叶绿素a质量浓度(Chlorophyll-a mass concentration, Chl.a),以中西太平洋海域的黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)和大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)的资源丰度作为其他种群因子,基于广义加性模型(Generalized additive models, GAM)对两种鱼群的影响因素进行分析,并通过赤池信息准则进行模型比较。结果显示,其他种群因子是对两种鱼群影响最大的因子,解释偏差率分别达到了31.40%和67.00%。对于自由鱼群而言,除其他种群因子之外,经度和月份影响较大,其解释偏差率分别为4.15%和4.14%;环境因子中SST最为重要,解释偏差率为3.90%,其次是SSS,解释偏差率为3.78%,Chl.a的影响相对较低,解释偏差率为1.40%;对于随附鱼群而言,除其他种群因子之外,月份和经度影响较大,其解释偏差率分别为20.70%和10.60%;环境因子中SSS影响较大,解释偏差率为8.37%,Chl.a和SST影响较低,解释偏差率为1.13%和0.19%。研究认为,未来的渔情预报模型中需要考虑其他种群因子的影响,以期为今后金枪鱼围网渔场学研究和科学寻找渔场提供参考依据。

关键词: 鲣鱼; 自由鱼群; 随附鱼群; 资源丰度; 中西太平洋

中图分类号: S 931.1 文献标志码: A

鲣鱼(*Katsuwonus pelamis*)属鲈形总目(*Percomorpha*)金枪鱼亚目(*Thunnioidei*)金枪鱼科(*Thunnidae*)鲣属(*Katsuwonus*),是一种暖水性上层洄游鱼类,具有很高的经济价值,在太平洋、大西洋、印度洋的热带及亚热带海域均有分布^[1]。中西太平洋是鲣鱼的主要生产海域之一,世界上65%以上的鲣鱼捕获量均来自该海域,而其中又以围网渔业得到的产量为主^[2-3]。鲣鱼按集群特点一般可分为根据自然习性进行迁徙和觅食的自由集结的鱼群(以下简称自由鱼群)、随附于天然漂流物或人工集鱼装置的鱼群和随附于鲸豚类的鱼群;其中自由鱼群和漂流物随附群(以下简称随附鱼群)是围网渔业的主要对象^[3]。近年来,随着渔民大量投放人工集鱼装置,鲣鱼幼鱼及副渔获物[主要是黄鳍金枪鱼(*Thunnus albacares*)与大眼金枪鱼(*Thunnus*

obesus)]的捕捞死亡率持续增加,中西太平洋金枪鱼资源状况愈加严峻,尤其是黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼,目前已处于过度捕捞状态^[4]。已有研究^[5-6]表明,海洋环境的变化会显著影响鲣鱼的资源空间分布。此外,鲣鱼渔获量会因为作业方式不同而受到一定影响,且不同作业方式得到的鲣鱼渔获物生物学特征存在差异^[7-8]。目前国内外对于鲣鱼的研究主要集中于探究自由鱼群时空分布与环境因子之间的关系以及对中心渔场的位置进行预测,而加入同海域其他种群作为影响因子的研究较少。本研究拟解决两个科学问题:一是探究哪些因子会对鲣鱼的集群行为产生影响,并比较这些因子在自由鱼群和随附鱼群之间的作用是否存在显著差异;二是评估其他种群因子在两种不同鱼群集群行为中的重要性,并探讨其潜在的影响机制和作用规

收稿日期: 2024-07-24 修回日期: 2024-10-24

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFD2401303)

作者简介: 朱若雅(1999—),女,硕士研究生,研究方向为渔业资源。E-mail:ruoyazhu@163.com

通信作者: 陈新军,E-mail:xjchen@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydxxb.com>

律。为此,本研究根据2011—2020年中西太平洋鲣鱼生产统计数据,结合时空因子(年、月、经纬度)、环境因子(海表面温度、海表面盐度、叶绿素a质量浓度)和其他种群因子(黄鳍金枪鱼资源丰度和大眼金枪鱼资源丰度),通过构建广义加性模型(Generalized additive models, GAM),比较鲣鱼不同鱼群资源丰度与不同因子之间的关系,以期为今后金枪鱼围网渔场学研究和科学寻找渔场提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 渔业和环境数据

渔业生产统计数据来自中西太平洋渔业委员会网站(<https://www.wcpfc.int/scientificdatadissemination>),由中西太平洋渔业委员会统计得到,数据具有代表性和准确性。本研究所使用的数据为围网数据,时间为2011—2020年;研究海域为15°S~15°N,140°E~180°E,145°W~180°W;空间分辨率为1°×1°;时间分辨率为月。数据内容包括作业时间、作业经纬度、自由鱼群投放网次、随附鱼群投放网次、鲣鱼自由鱼群和随附鱼群的渔获产量以及同海域黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼自由鱼群和随附鱼群的渔获产量。

环境数据包括海表面温度(Sea surface temperature, SST)、海表面盐度(Sea surface salinity, SSS)和叶绿素a质量浓度(Chlorophyll-a mass concentration, Chl.a)。其中SST和Chl.a来自美国俄勒冈州立大学环境数据库(<http://sites.science.oregonstate.edu/ocean/productivity/site.php>),时间尺度为2011—2020年,空间分辨率为0.167°×0.167°,时间分辨率为月。SSS数据来自哥白尼海洋环境观测服务中心(The Copernicus Marine Environment Monitoring Service, CMEMS)官方网站(<https://marine.copernicus.eu/>),空间分辨率为0.083°×0.083°,时间分辨率为月。

对渔业生产统计和海洋环境数据进行按月和1°×1°空间分辨率的预处理,使得环境数据与渔业数据一一对应。

1.2 方法

1.2.1 渔业数据预处理

资源丰度的指标用单位捕捞努力量渔获量(Catch per unit effort, CPUE)表示^[9],计算公式:

$$C_{\text{CPUE}} = \frac{C_{ij}}{E_{ij}} \quad (1)$$

式中: C_{CPUE} 为单位捕捞努力量渔获量CPUE,t/网; C_{ij} 为经度为*i*、纬度为*j*处的渔获量,t; E_{ij} 为经度为*i*、纬度为*j*处的捕捞努力量,网。计算鲣鱼自由鱼群和随附鱼群的CPUE时剔除了大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼的数值。

1.2.2 广义加性模型的构建

以时空因子(年、月、经纬度)、环境因子(SST、SSS、Chl.a)和其他种群因子(黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼自由鱼群及随附鱼群资源丰度CPUE)为解释变量,先分别以鲣鱼自由鱼群和随附鱼群CPUE为响应变量构建单因子GAM模型,分析得到各影响因子重要性排序。再在GAM模型中逐步加入解释变量,得到最佳模型。GAM模型的基本表达式如下:

$$\ln(C_{\text{CPUE}} + 0.1) = \text{factor}(X_{\text{Year}}) + \text{factor}(X_{\text{Month}}) + s(X_{\text{Lon}}) + s(X_{\text{Lat}}) + s(X_{\text{SST}}) + s(X_{\text{SSS}}) + s(X_{\text{Chl.a}}) + s(X_{\text{YFTCPUE}}) + s(X_{\text{BETCPUE}}) \quad (2)$$

式中:为了防止响应变量出现零值,在CPUE值后加0.1,再进行对数化处理;factor为分类变量函数;s为连续变量的自然立方样条平滑函数(Natural cubic spline smoother); X_{Year} 为年效应; X_{Month} 为月效应; X_{Lon} 为经度效应; X_{Lat} 为纬度效应; X_{SST} 为海表面温度效应; X_{SSS} 为表层盐度效应; $X_{\text{Chl.a}}$ 为叶绿素a质量浓度效应; X_{YFTCPUE} 为黄鳍金枪鱼资源效应因子; X_{BETCPUE} 为大眼金枪鱼资源效应因子。

由赤池信息准则(Akaike information criterion, AIC)筛选最适模型。分别对鲣鱼自由鱼群和随附鱼群建立GAM模型,在2个GAM模型中逐步加入解释变量,得到AIC值最小的多因子模型,再通过偏差解释率检验模型的拟合效果。偏差解释率越高说明模型拟合效果越好^[10]。

GAM模型在R Studio中使用“mgcv”包分析。

2 结果

2.1 中西太平洋海域鲣鱼CPUE分析

2011—2020年,中西太平洋海域的鲣鱼自由鱼群和随附鱼群的年际变化趋势相似。2011—2015年,CPUE呈上升趋势,随后开始下降,2017年达到最低值后再次回升,2019年达到第二个峰值,至2020年再次出现下降。相比之下,自由鱼群的CPUE月际变化不显著,而随附鱼群的月际变化较为明显,尤其在6月和7月出现显著下降(图1)。

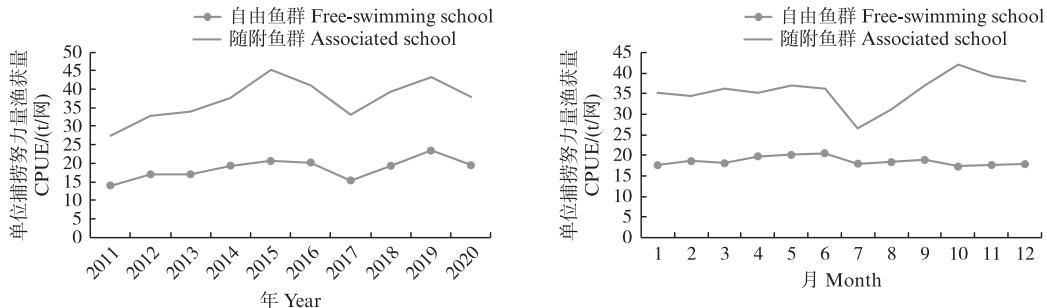


图1 中西太平洋鲣鱼自由鱼群和随附鱼群渔获量年间和月间变化

Fig. 1 Annual and monthly variation of catches of free-swimming school and associated school of *Katsuwonus pelamis* in the Western and Central Pacific Ocean

图2为中西太平洋鲣鱼不同鱼群CPUE热点区域分布图。由图2可知,自由鱼群(图2a)CPUE热点区域主要集中于 $140^{\circ}\text{E} \sim 160^{\circ}\text{E}$,随附

鱼群(图2b)CPUE热点区域则更偏东,主要集中于 $165^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}$ 。总体来看,太平洋海域鲣鱼CPUE主要集中于中部海域(图2c)。

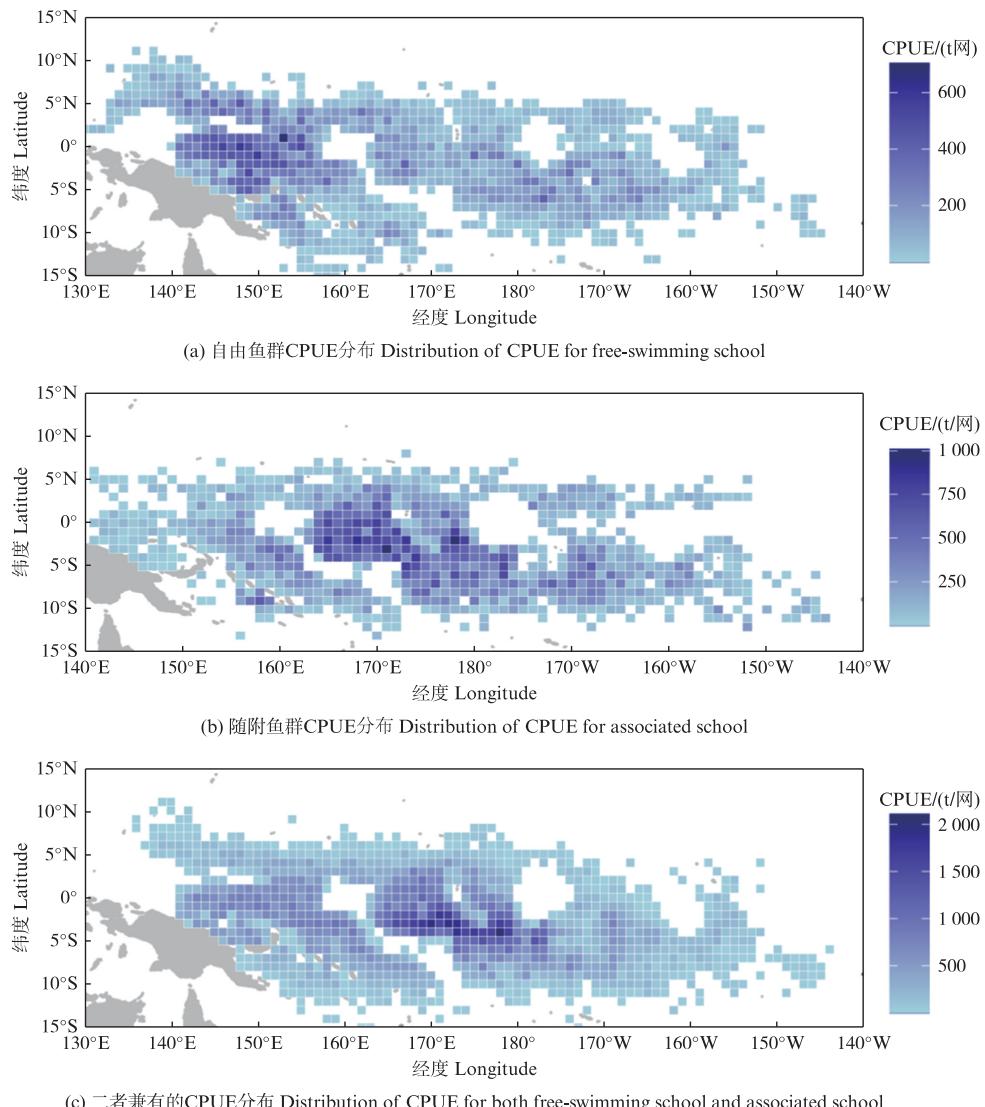


图2 中西太平洋鲣鱼自由鱼群、随附鱼群和二者兼有的CPUE分布

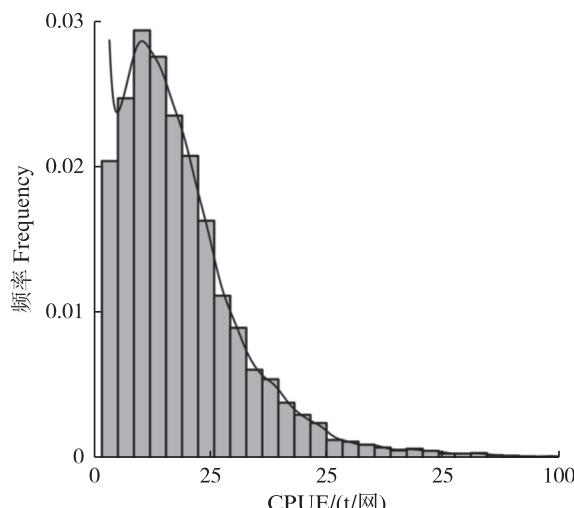
Fig. 2 Distribution of CPUE of *Katsuwonus pelamis* in the Western and Central Pacific Ocean free-swimming school, associated school and both kinds school

2.2 模型效果分析

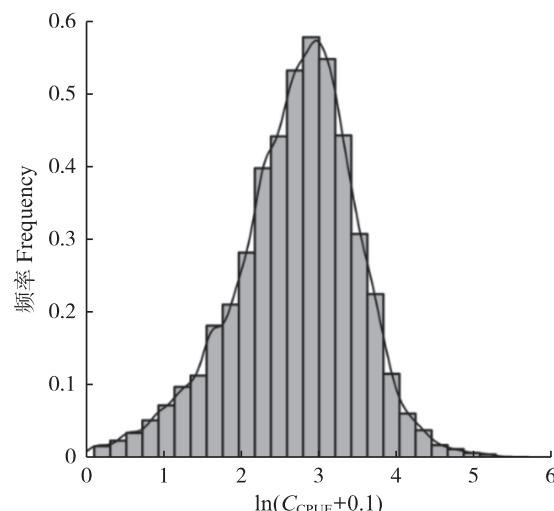
广义加性模型(GAM)要求因变量符合正态分布^[11]。图3分别为中西太平洋鲣鱼自由鱼群和随附鱼群CPUE取对数前后的分布情况。取对数前, CPUE呈偏正态分布, 通过对数运算后, CPUE的分布由偏正态转换为正态分布, 可以用GAM的分析。

通过对单因子GAM模型结果进行分析, 发现对于鲣鱼自由鱼群而言, 其他种群因子对其CPUE影响最大, 黄鳍金枪鱼CPUE和大眼金枪鱼CPUE的解释偏差率分别为31.40%和18.60%; 其余因子

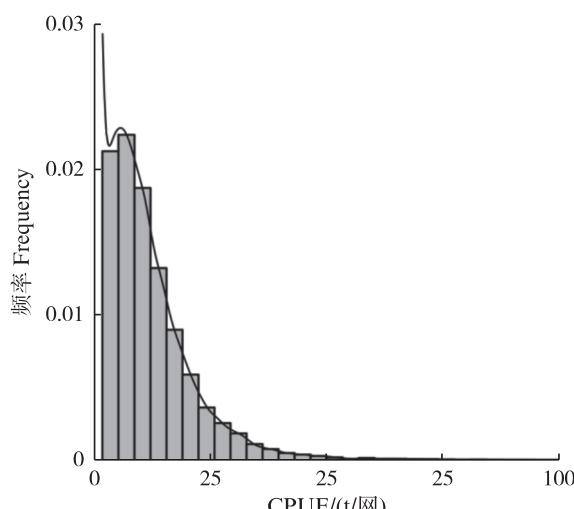
对鲣鱼CPUE影响由大到小分别为经度(4.15%)、月(4.14%)、SST(3.90%)、SSS(3.78%)、年(3.31%)、纬度(1.86%)和Chl.a(1.42%)。对于随附鱼群而言, 其他种群因子对其CPUE影响最大, 黄鳍金枪鱼CPUE和大眼金枪鱼CPUE的解释偏差率分别为67.00%和56.30%; 相比自由鱼群而言, 月份、经度和SSS对随附鱼群CPUE的影响更大, 解释偏差率分别增加了16.56%、6.45%和4.59%, Chl.a和纬度对两种鱼群的影响基本持平, 而年和SST对随附鱼群CPUE的影响则有显著下降(表1)。



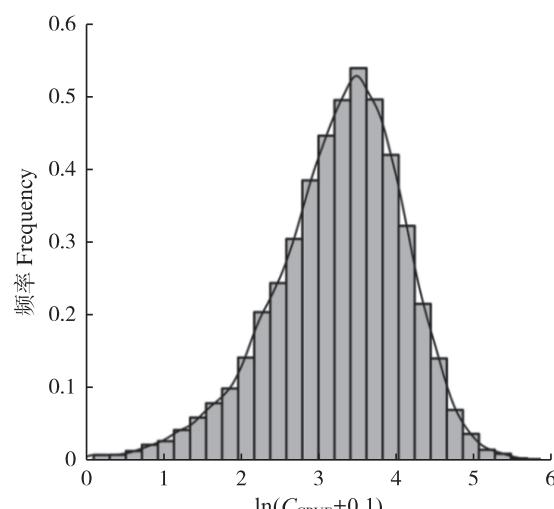
(a) 自由鱼群CPUE分布
Distribution of CPUE for free-swimming school



(b) 自由鱼群ln(C_PUET+0.1)分布
Distribution of ln(C_PUET+0.1) for free-swimming school



(c) 随附鱼群CPUE分布
Distribution of CPUE for associated school



(d) 随附鱼群ln(C_PUET+0.1)分布
Distribution of ln(C_PUET+0.1) for associated school

图3 中西太平洋鲣鱼自由鱼群和随附鱼群CPUE取对数前后的分布

Fig. 3 Distribution of log-transformed and untransformed CPUE for free-swimming and associated schools of *Katsuwonus pelamis* in the Western and Central Pacific Ocean

根据赤池信息准则,采用逐步加入因子的方法,通过AIC值判断因子的取舍确认最终模型。GAM模型的统计结果见表2。从表中可以看出,该模型对鲣鱼自由鱼群CPUE的累计解释偏差率为52.10%,对随附鱼群CPUE的累计解释偏差率为56.30%。

为90.20%。由于所有因子均与两种不同鱼群的CPUE呈现显著相关关系($P<0.001$),且随着影响因子的逐步加入,模型AIC值持续减小,表明模型的拟合程度有所提高,因此模型最终保留了所有影响因子(表2)。

表1 单因子GAM模型结果
Tab. 1 Single-factor GAM model results

模型 Model	自由鱼群 Free-swimming school			随附鱼群 Associated school		
	<i>P</i>	解释偏差率 Interpretation deviation rate/%		<i>P</i>	解释偏差率 Interpretation deviation rate/%	
年 Year	<0.001	3.31		<0.001	0.26	
月 Month	<0.001	4.14		<0.001	20.70	
经度 Lon	<0.001	4.15		<0.001	10.60	
纬度 Lat	<0.001	1.86		<0.001	1.89	
温度 SST	<0.001	3.90		<0.001	0.19	
盐度 SSS	<0.001	3.78		<0.001	8.37	
叶绿素a质量浓度 Chlorophyll-a mass concentration	<0.001	1.42		<0.001	1.13	
黄鳍金枪鱼CPUE YFTCPUE	<0.001	31.40		<0.001	67.00	
大眼金枪鱼CPUE BETCPUE	<0.001	18.60		<0.001	56.30	

表2 中西太平洋鲣鱼自由鱼群及随附鱼群GAM拟合结果及最适模型
Tab. 2 GAM fitting results and optimal models for free-swimming and associated school of *Katsuwonus pelamis* in the Western and Central Pacific Ocean

模型 Model	自由鱼群 Free-swimming school					随附鱼群 Associated school				
	估计自由 度 Estimated df	参考自由 度 Referred df	<i>P</i>	赤池 信息 准则 AIC	累计解释偏 差率 Accumulation of deviance explanation/%	估计自由度 Estimated df	参考自由 度 Referred df	<i>P</i>	赤池信 息准则 AIC	累计解释偏 差率 Accumulation of deviance explanation/%
NULL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+factor (X_{Year})	-	-	-	99 609	3.31	-	-	-	105 174	0.28
+factor (X_{Month})	-	-	-	98 648	7.48	-	-	-	99 703	22.00
+s(X_{Lon})	8.643	8.956	<0.001	97 392	12.60	8.641	8.956	<0.001	96 476	32.60
+s(X_{Lat})	8.145	8.738	<0.001	97 225	13.30	7.923	8.604	<0.001	962 206	33.40
+s(X_{SST})	7.687	8.571	<0.001	96 716	15.30	6.671	7.825	<0.001	96 099	33.80
+s(X_{SSS})	6.892	7.995	0.002	96 698	15.50	7.711	8.386	<0.001	95 894	34.40
+s($X_{Chl.a}$)	7.152	8.210	<0.001	96 675	15.60	8.174	8.638	<0.001	95 676	35.10
+s($X_{YFTCPUE}$)	8.990	9.000	<0.001	84 828	50.40	8.995	9.000	<0.001	55 805	89.10
+s($X_{BETCPUE}$)	8.940	8.998	<0.001	84 041	52.10	8.975	9.000	<0.001	53 540	90.20

2.3 不同因子对鲣鱼不同鱼群CPUE的影响

对于自由鱼群而言,SST在28~30 °C时,自由

鱼群CPUE随着温度的升高而上升,其余SST范围内,自由鱼群CPUE随着SST升高而下降;SSS

在30~33时,CPUE随着SSS的增加而上升,当SSS超过33时,CPUE则开始下降;自由鱼群CPUE随着Chl.a的增加呈现先增加后减少的趋势,在0~0.1 mg/m³时,随着Chl.a的增加,CPUE

也增加,Chl.a主要为0~0.3 mg/m³,大于0.3 mg/m³后偏差范围较大;鲤鱼自由鱼群CPUE随着黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼资源量的增加整体呈现先上升后下降的趋势(图4)。

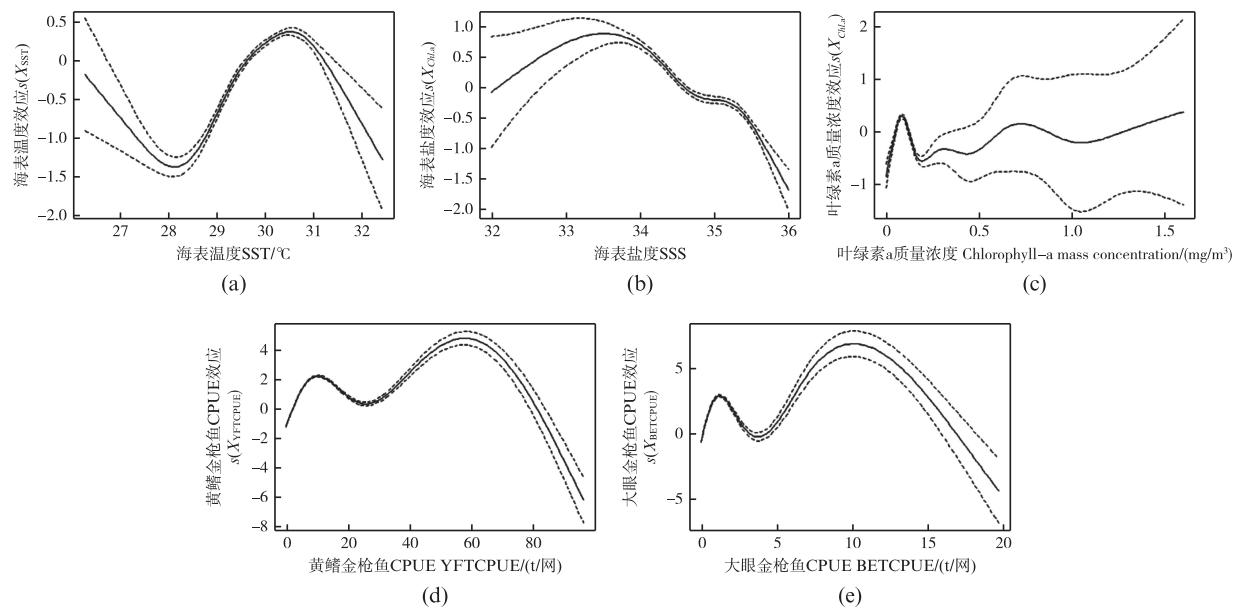


图4 基于GAM的环境因子及其他种群因子与中西太平洋鲤鱼自由鱼群CPUE之间关系的分析

Fig. 4 Effects of environment and biological factors on free-swimming school of *Katsuwonus pelamis* CPUE derived from the GAM analysis in the Western and Central Pacific Ocean

对于随附鱼群而言,与自由鱼群不同,鲤鱼CPUE随着温度的上升总体基本保持不变,当温度超过31°C时,CPUE开始呈现下降趋势;随盐度上升呈小幅下降后上升的趋势,随叶绿素a质量浓度的上升始终呈下降趋势;其他种群因子方面,与自由鱼群变化趋势相似,鲤鱼随附鱼群CPUE随黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼资源生物量上升而出现先上升后下降的趋势(图5)。

3 讨论

3.1 鱼群CPUE的年际变化影响因素

GAM模型中各变量之间不会产生相互依赖,每个变量都是相对独立的,因此在渔业中广泛应用于探究资源丰度CPUE和不同因子之间的关系^[6]。在本研究中,通过对GAM结果进行分析,可以发现中西太平洋鲤鱼不同鱼群CPUE均受到时间因子(年、月)、空间因子(经度、纬度)、环境因子(SST、SSS、Chl.a)和其他种群因子(黄鳍金枪鱼CPUE和大眼金枪鱼CPUE)等多种因子的影响。从分析结果来看,其他种群因子和月

是对鲤鱼两种鱼群CPUE影响最大的因子。鲤鱼、黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼均栖息于中西太平洋海域且同属于顶级捕食者,食物来源较为相似,可能存在一定竞争,所以黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼的存在会在一定程度上影响鲤鱼两种鱼群CPUE^[12-13]。自由鱼群CPUE月间变化不明显,随附鱼群月间变化较大(图1),这也与唐浩等^[6]得出的结论相同。造成这一现象的原因可能是自2019年以来,为了控制围网捕捞作业、保护渔业资源,中西太平洋渔业委员会设立了FAD禁渔期,要求作业渔船在7、8、9三个月禁止使用人工集鱼装置。此外,两种鱼群CPUE年间变化趋势基本相同,均在2015年开始下降,在2017年达到CPUE最低点后开始上升,这主要与环境的大幅度变化有着密切关系,2015年和2016年均出现了不同强度的厄尔尼诺现象。陈洋洋等^[14]对中西太平洋鲤鱼CPUE与厄尔尼诺的关系进行了研究,发现厄尔尼诺事件发生时,中西太平洋鲤鱼的CPUE相对较低,拉尼娜事件期间CPUE相对较高。

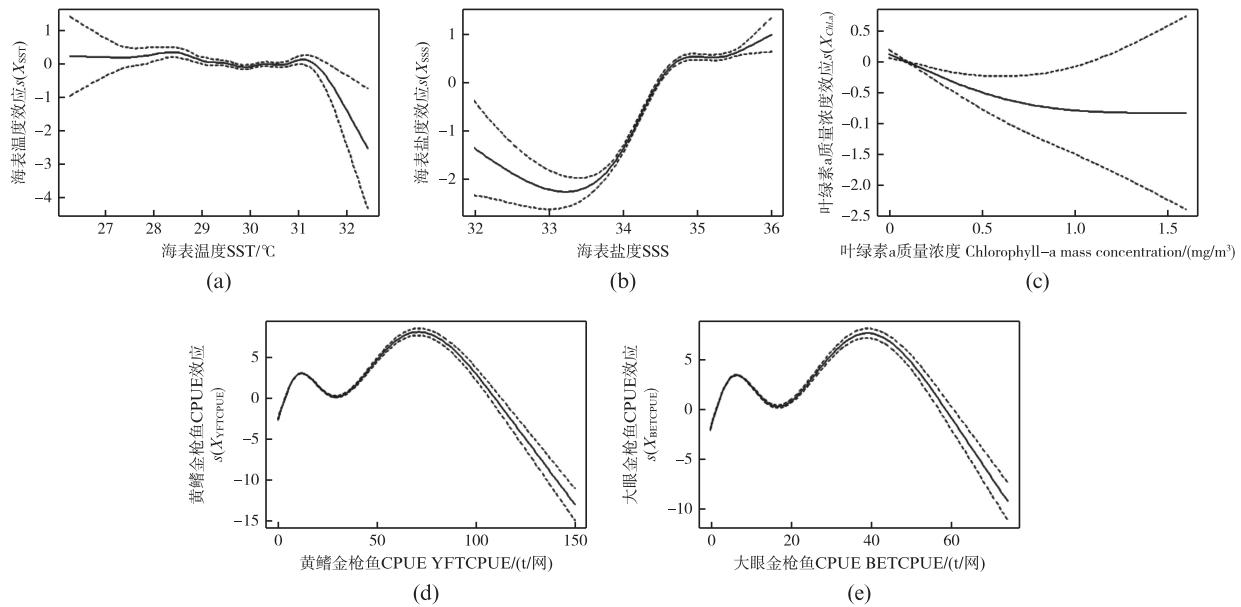


图5 基于GAM的环境因子及其他种群因子与中西太平洋鲣鱼随附鱼群CPUE之间关系的分析

Fig. 5 Effects of environment and biological factors on associated school of *Katsuwonus pelamis* CPUE derived from the GAM analysis in the Western and Central Pacific Ocean

本研究中,环境因子对鲣鱼两种鱼群的影响比例均相对较小。SST对自由鱼群的影响最大,这也与汪伟松等^[15]得出的结论相同,其次为SSS和Chl.a。这是因为鲣鱼是一种恒温性鱼类,一般栖息于28~30 °C的海域内^[16],而中西太平洋海域的年温度变化较小,因此SST的变化对CPUE的影响相对较弱,此外,在合适的鲣鱼渔场中,初级生产力也相对稳定,因此SSS和Chl.a对CPUE的影响也相对较小^[9]。而在随附鱼群中,SSS和Chl.a对CPUE的影响较高,温度的影响较低,猜测造成这种现象的原因可能是人工集鱼装置能吸引浮游生物和小鱼,从而吸引鲣鱼等大型捕食者进行捕食,这种聚集行为增加了作业区域的生物多样性,提高了渔业作业效率^[17],所以在该作业区内,SSS和Chl.a的影响相对较大。

3.2 鱼群的空间分布影响因素

由图6可知,自由鱼群(图6a)渔获量主要集中于140°E~170°E,随附鱼群(图6b)渔获量热点区域则更偏东,主要集中于165°E~175°E。两种鱼群的热点区域均分布于180°以西,其原因可能

是因为东太平洋海域存在上升流,在季风的影响下,大量营养盐随着赤道流向西流动,使得西太平洋营养更为充足。此外,该海域为赤道流和赤道逆流的交界处,初级生产力也相对较高,有利于鲣鱼的生长。

本研究根据2011—2020年中西太平洋围网鲣鱼渔业生产数据,结合时空因子、环境因子和其他种群因子,通过GAM模型进行不同鱼群资源丰度CPUE的分析。发现其他种群因子对二者的CPUE影响较大,3种环境因子对两种鱼群的影响各不相同,SST和SSS对自由鱼群影响较大,SSS和Chl.a对随附鱼群影响较大,在后续渔船预报的建模中,对于不同鱼群应该加入不同环境因子。目前本研究仅根据前人的研究选取了常见的环境因子进行分析,并未考虑更多具有潜在影响的环境变量进行研究,如海表面高度、溶解氧浓度^[15,18]、温跃层深度^[19]、涡动能^[20]等,今后的研究中可以纳入更多因子进行进一步分析。

作者声明本文无利益冲突。

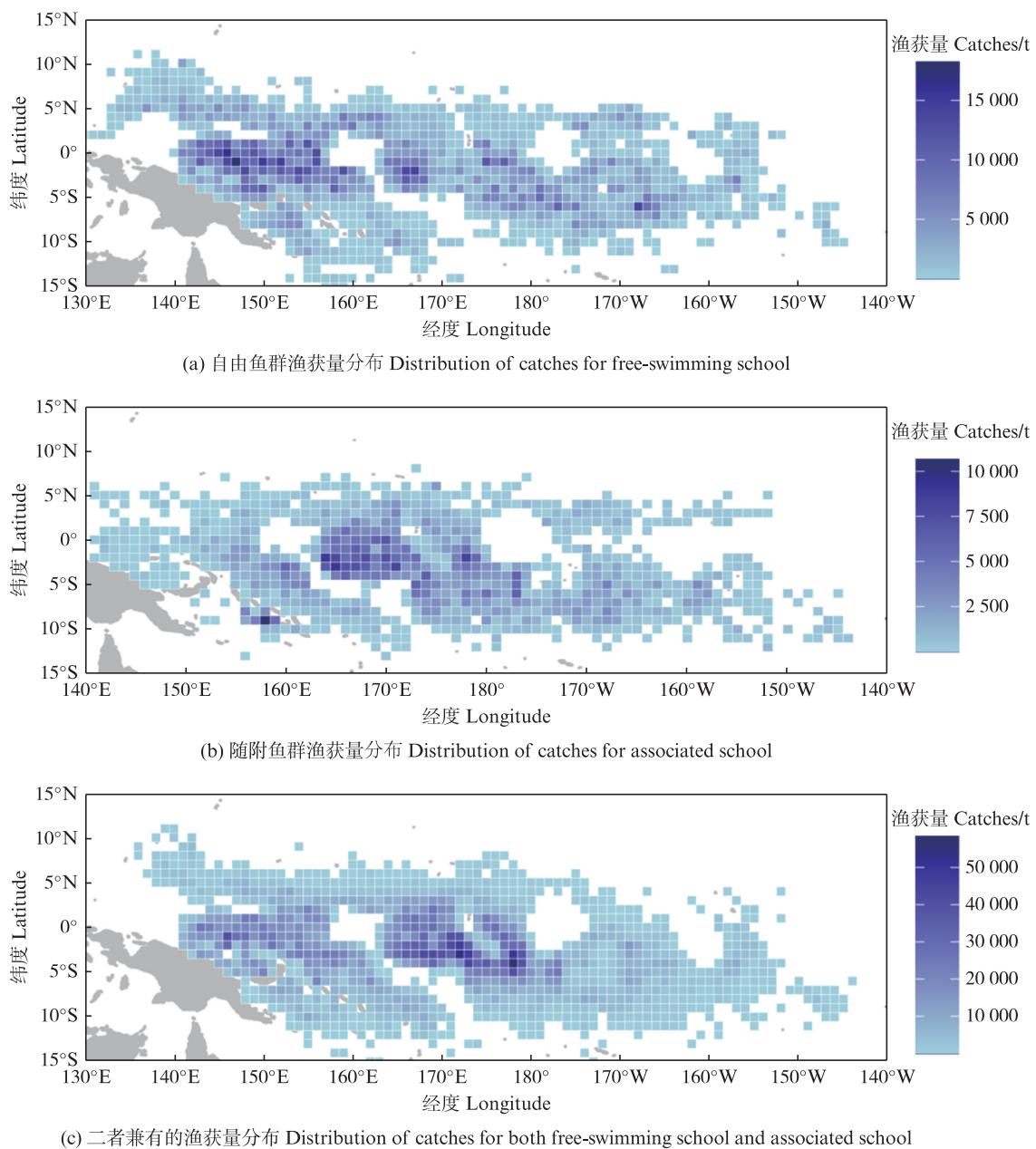


图6 中西太平洋鲣鱼自由鱼群、随附鱼群和二者兼有的渔获量分布

Fig. 6 Distribution of catches of *Katsuwonus pelamis* in the Western and Central Pacific Ocean free-swimming school, associated school and both kinds school

参考文献：

- [1] COLLETTE B, NAUEN C E. FAO species catalogue: vol. 2 scombrids of the world: an annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date [R]. Rome: FAO, 1983: 83-86.
- [2] 靳少非, 樊伟. 鲣鱼资源开发利用研究现状及未来气候变化背景下研究展望 [J]. 渔业信息与战略, 2014, 29(4): 272-279.
- JIN S F, FAN W. Review and perspectives on skipjack tuna fishery under global climate change [J]. Fishery Information & Strategy, 2014, 29(4): 272-279.
- [3] 蒋明峰, 陈新军, 许子安, 等. 中西太平洋鲣鱼空间聚类特征及其与ENSO的关系 [J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2023, 53(11): 47-54.
- JIANG M F, CHEN X J, XU Z A, et al. Spatial clustering characteristics of *Katsuwonus pelamis* in West and Central Pacific Ocean and its relationship with ENSO [J]. Periodical of Ocean University of China, 2023, 53(11): 47-54.
- [4] Western and Central Pacific Fisheries Commission (WCPFC). The Commission for the Conservation and Management of Highly Migratory Fish Stocks in the

- Western and Central Pacific Ocean [R]. WCPFC, 2020: 1-15.
- [5] LEHODEY P, BERTIGNAC M, HAMPTON J, et al. El Niño Southern Oscillation and tuna in the western Pacific [J]. Nature, 1997, 389(6652): 715-718.
- [6] 唐浩, 许柳雄, 陈新军, 等. 基于GAM模型研究时空及环境因子对中西太平洋鲣鱼渔场的影响[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(4): 518-522.
TANG H, XU L X, CHEN X J, et al. Effects of spatiotemporal and environmental factors on the fishing ground of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Western and Central Pacific Ocean based on generalized additive model [J]. Marine Environmental Science, 2013, 32(4): 518-522.
- [7] 许柳雄, 王学昉, 朱国平, 等. 中西太平洋金枪鱼围网鲣鱼起水鱼群种群结构分析[J]. 海洋湖沼通报, 2010 (2): 22-28.
XU L X, WANG X F, ZHU G P, et al. Analysis on stock structure of free swimming skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) school caught by China tuna purse seine in the Western and Central Pacific Ocean [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2010(2): 22-28.
- [8] CAO J, WANG X F, DAMIANO M D, et al. A Bayesian multilevel ordinal regression model for fish maturity data: difference in maturity ogives of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) between schools in the Western and Central Pacific Ocean [J]. Frontiers in Marine Science, 2021, 8: 736462.
- [9] 方舟, 陈洋洋, 陈新军, 等. 基于不同模型研究环境因子对中西太平洋鲣鱼资源丰度的影响[J]. 中国水产科学, 2018, 25(5): 1123-1130.
FANG Z, CHEN Y Y, CHEN X J, et al. Influence of environmental factors on the abundance of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in west-central Pacific Ocean determined using different models [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(5): 1123-1130.
- [10] ALABIA I D, SAITO SI, IGARASHI H, et al. Ensemble squid habitat model using three-dimensional ocean data [J]. ICES Journal of Marine Science, 2016, 73(7): 1863-1874.
- [11] 官文江. R语言在海洋渔业中的应用[M]. 北京: 海洋出版社, 2015.
GUAN W J. R Yu Yan Zai Hai Yang Yu Ye Zhong De Ying Yong [M]. Beijing: China Ocean Press, 2015.
- [12] MORENO G, BOYRA G, SANCRISTOBAL I, et al. Towards acoustic discrimination of tropical tuna associated with Fish Aggregating Devices [J]. PLoS One, 2019, 14(6): e0216353.
- [13] VAIHOLA S, KININMONTH S. Ecosystem management policy implications based on Tonga main tuna species catch data 2002-2018 [J]. Diversity, 2023, 15(10): 1042.
- [14] 陈洋洋, 陈新军. 厄尔尼诺/拉尼娜现象对中西太平洋鲣资源丰度的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26 (1): 113-120.
CHEN Y Y, CHEN X J. Influence of El Nino / La Nina on the abundance index of skipjack in the Western and Central Pacific Ocean [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2017, 26(1): 113-120.
- [15] 汪伟松, 唐未, 龚一赫, 等. 基于MaxEnt模型模拟中西太平洋鲣自由鱼群栖息地的研究[J]. 南方水产科学, 2023, 19(5): 11-21.
WANG W S, TANG W, GONG Y H, et al. Modeling habitat of skipjack tuna of free swimming school in Western and Central Pacific Ocean based on MaxEnt model [J]. South China Fisheries Science, 2023, 19(5): 11-21.
- [16] 冯虎年, 陆化杰, 汪金涛. 中西太平洋围网鲣鱼CPUE时空分布与环境因子关系[J]. 广东海洋大学学报, 2023, 43(1): 33-40.
FENG H N, LU H J, WANG J T. Spatial-temporal distribution of CPUE and its relation with environmental factors for skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) from purse-seine fishery in Western and Central Pacific Ocean [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2023, 43(1): 33-40.
- [17] DAGORN L, HOLLAND K N, RESTREPO V, et al. Is it good or bad to fish with FADs? What are the real impacts of the use of drifting FADs on pelagic marine ecosystems? [J]. Fish and Fisheries, 2013, 14(3): 391-415.
- [18] 刘志强, 郭绍健, 王禹程, 等. 中西太平洋金枪鱼延绳钓钩深度分布及其影响因素[J]. 上海海洋大学学报, 2024, 33(4): 1020-1030.
LIU Z Q, GUO S J, WANG Y C, et al. Hook depth distribution and influencing factors of tuna longline fishing in Western and Central Pacific Ocean [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2024, 33(4): 1020-1030.
- [19] ANDRADE H A. The relationship between the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) fishery and seasonal temperature variability in the south-western Atlantic [J]. Fisheries Oceanography, 2003, 12(1): 10-18.
- [20] LLOPIZ J K, HOBDAY A J. A global comparative analysis of the feeding dynamics and environmental conditions of larval tunas, mackerels, and billfishes [J]. Deep Sea Research Part II : Topical Studies in Oceanography, 2015, 113: 113-124.

Relationship between different factors and abundance index of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Western and Central Pacific Ocean

ZHU Ruoya¹, CHEN Xinjun^{1,2,3,4}

(1. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Sustainable Utilization of Oceanic Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: The main objective of this study is to investigate the differences in the abundance of free-swimming school and associated school of *Katsuwonus pelamis* influenced by environmental and other population factors. This study utilized the production statistics from 2011 to 2020, combined with marine environmental factors (SST, SSS, Chl.a), the CPUE data for yellowfin tuna and bigeye tuna in the Western and Central Pacific Ocean are used as other population factors. A generalized additive model (GAM) was used to analyze the two fish populations separately, and the final model was confirmed through the akaike information criterion. The results indicate that other population factors had the most significant influence on both school types, and the explanatory deviation rates were 31.40% and 67.00%. For free-swimming schools, longitude and month were significant besides other population factors, and their interpretation deviation rates were 4.15% and 4.14%. Among the environmental factors, SST was the most important, with an explanatory deviation rate of 3.90%, followed by SSS with an explanatory deviation rate of 3.78%, and Chl.a had a lesser impact, with an explanatory deviation rate of only 1.40%. For associated schools, month and longitude were significant, and their interpretation deviation rates were 20.70% and 10.60%. Among the environmental factors, SSS was the most influential, with an explanatory deviation rate of 8.37%, while Chl.a and SST had lesser impacts, with explanatory deviation rates of 1.13% and 0.19%. It is concluded that the effects of other population factors should be considered in the future fishery forecasting models. With the aim of providing a reference for future research in the field of tuna purse-seine fisheries and for the scientific identification of fishing grounds.

Key words: *Katsuwonus pelamis*; free-swimming school; associated school; abundance; Western and Central Pacific Ocean