太平洋金枪鱼延绳钓渔业小吻四鳍旗鱼兼捕 特征及影响因素分析



杨艺玮1, 田思泉1, 2, 3, 吴峰1, 2, 3, 王学昉1, 2, 3, 王家启1, 2, 3

- 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

简介:

小吻四鳍旗鱼(Tetrapturus angustirostris) 是大型中上层鱼类,广泛分布于太平洋和 印度洋的热带和温带水域。尽管小吻四鳍 旗鱼是延绳钓渔业的主要兼捕对象之一, 但关于其兼捕特征的了解相对匮乏。

目的:

为明确小吻四鳍旗鱼的生物学特征及其在 延绳钓渔业中的兼捕状况,本研究基于 2010-2021年中国太平洋金枪鱼延绳钓渔业 观测数据,对小吻四鳍旗鱼兼捕特征(包 括兼捕率和上甲板死亡率)和种群结构特 征(包括叉长、性别和性成熟度等)做综 合分析;并采用Tweedie-GAM解析时空因 子、环境因子以及作业因素对小吻四鳍旗 鱼兼捕率(BPUE,bycatch per unit effort) 的影响。

结果显示:小吻四鳍旗鱼的年均BPUE为 0.21尾/千钩; 上甲板死亡率较高为56.43%; 雌雄性别比例接近1:1(0.97:1),优势叉 长区间均为150-170cm; 雄性平均叉长显 著大于雌性(p<0.01)。Tweedie-GAM模 型的累积解释率为39.07%,其中偏差解释 率最大的是海表面温度SST(27.65%), 其次是纬度(4.94%)、盐度(1.90%)、 年(1.20%)和单筐钩数(1.35%),其余 均小于1%。小吻四鳍旗鱼高兼捕率区域主 要集中在东南太平洋的亚热带、盐度相对 较高、叶绿素a浓度和混合层深度较低、离 岸距离相对较近的暖温水域。兼捕热点集 中在100°W-130°W,10°S-20°S的海 域,170°E-180°W,20°S附近以及 170° E-170° W,15° N-25° N为潜在热 点区域。本研究解析了太平洋小吻四鳍旗 鱼种群结构特征和兼捕特征,对其资源动 态的监测和养护管理措施的制定具有重要 参考价值。

材料与方法:

			变量(缩写)	单位	空间分辨率	时间分辨率
			Variables (Abbreviation)	Units	Spatial	Temporal
	影响因素:				resolution	resolution
•	彩門凶系:		年 Year (Year)	-	-	-
		ctors	月 Month (Month)	=	-	-
			经度 Longitude (Long)	度	-	-
		ors	纬度 Latitude (Lati)	度	-	-
			下钩开始时间 Setting times (Time)	-	-	-
		ictors	单筐钩数 Hooks per basket (HPB)	-	-	-
			海表层水温 Sea surface temperature (SST)	$^{\circ}\mathrm{C}$	0.25°	Monthly
		ıtal factors	海表层盐度 Sea surface salinity (SSS)	psu	0.25°	Monthly
			海面高度 Sea surface height (SSH)	m	0.25°	Monthly
			混合层深度 Mixed layer thickness (MLT)	m	0.25°	Monthly
			叶绿素 a 浓度 Chlorophyll-a (Chl)	mg/m^3	0.25°	Monthly
			溶解氧浓度 Oxygen concentration (DO)	$mmol/m^3$	0.25°	Monthly
			海底深度 Depth(Depth)	m	5 arc-minute	Monthly
			离岸距离 Distance to the nearest land (Land_dis)	Km×1000	5 arc-minute	Monthly

· 兼捕率影响因素分析:

采用Tweedie-GAM量化兼捕率与作业因素、环境变 量、空间变量以及时间变量之间的统计关系。GAM 的一般结构如下: $g(Y) = \alpha + \sum_{i=1}^{n} f_i(x_i) + \varepsilon$

为避免过拟合,减少变量之间的相关性和多重共线 性, 本研究根据皮尔逊等级相关系数筛选变量, 并 通过方差膨胀因子(VIF)分析,保留VIF小于5的

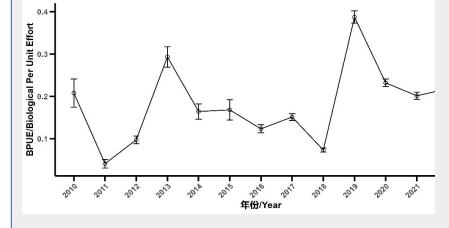
借助前向逐步选择法,以赤池信息准则(Akaike's Information Criterion, AIC)作为关键指标。通过 AIC值、方差解释率来衡量模型的拟合优度,AIC 值越低, 方差解释率越高, 模型拟合效果越好。这 一选择标准有助于在过拟合和欠拟合之间找到平衡 点。AIC公式如下:

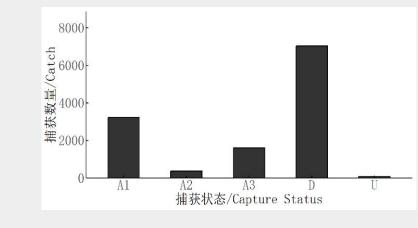
AIC = 2k-2lnL

基于Tweedie-GAM模型的预测值,将整个区域划 分为0.5°×0.5°的网格,计算每个网格内的平均 预测BPUE,并据此识别兼捕热点区域以完成空间 分布图的绘制。

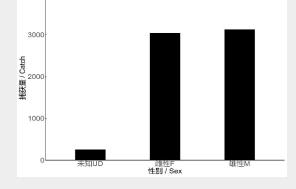
所有分析均在R-4.1.1软件中进行。

结果:





- 2010-2021年中国太平洋金枪鱼延绳钓船队小吻四鳍旗 鱼的平均BPUE为0.21 尾/千钩, 年均BPUE在 0.04 (2011年)-0.38(2019年)尾/千钩间波动,且波动极显 著(p<0.001)
- 死亡的有7034尾,占总兼捕量的56.43%。说明兼捕到的 小吻四鳍旗鱼有较高的上甲板死亡率。

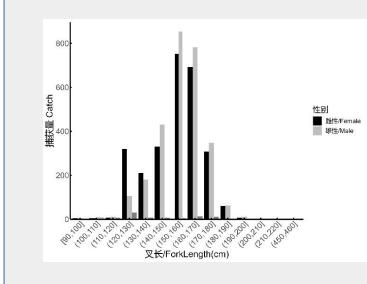


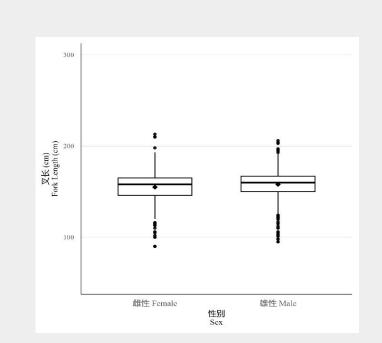
• 已记录叉长及性别的小吻四鳍 旗鱼共6400尾,性别未知的有 246尾,雌性个体3034尾,雄性 个体3120尾,雌雄比例为

3.6% (106) 46.3% (1371) 30.3% (896) 15.2% (451) 4.5% (134) 0.1% (2) 97.8% (45) 2.2% (1) - - -

雌性个体主要集中在第3期(33.3%)和第4期(29.8%) 雄性个体则集中在第2期(46.3%)最多,其次是第3期(30.3%)

结果:



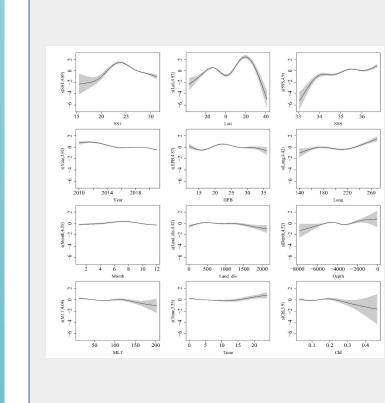


- 小吻四鳍旗鱼个体叉长范围 为103-213cm, 其中雄性个体 叉长范围为110-210cm; 雌、 雄个体优势叉长均为150-170cm,所占比例分别为 51.9%和62.2%; 优势叉长组 150-160cm中, 雌、雄个体所 占比例分别为24.5%和29.8% ; 优势叉长组160-170cm中, 雌雄个体所占比例分别为 27.4%和32.4%。
- 小吻四鳍旗鱼雌雄个体的叉 长分布存在显著差异。雄性 个体的平均叉长相较于雌性 个体的大约3cm,且差异显著 (P < 0.01)

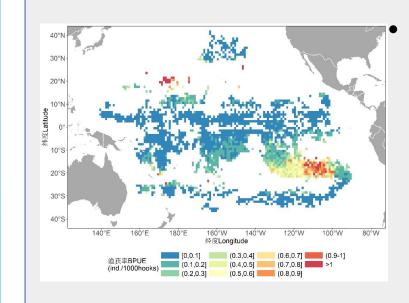
								.me	,					
		á	of the	All a	-0.16	P. Maly	SS HER	ATIME ATIME	A HAR	SS INTES	· 大	Chi HR	S WANT	30 18/19/10
	14.4	On HV	orth Chil	43.19	AND STATE OF	- KA	- 180g	AND Y	Will.	T. HAR	4	A. A	-16H:	1
年Year	/			0.30				0.22			0.29			
月Month		/												
纬度Lati			/	-0.40	0.48			-0.64		0.39	-0.41	-0.42	-0.46	
经度Long			0	/	-0.58			0.62	-0.77			0.53		0.66
海表层温度SST			0	0	/		-0.33	-0.34	0.69			-0.97	-0.27	-0.52
钩开始时间 Time						/		-0.25						
混合层深度MLT							/					0.34		
海表层盐度SSS			0	0				/	-0.27	-0.24		0.26	0.24	
海面高度SSH				-	0				/		0.31	-0.68		-0.69
叶绿素a浓度Chl										/	-0.48			
单筐钩数HPB										0	/		0.27	
溶解氧浓度DO				0	1				0			/	0.24	0.51
海底深度Depth			0										/	
岸距离Land_dis				0	9				0					/

	自由度(edf)	P值	累积偏差解释率	AIC 值
			(%)	
海表面温度(SST)	4.895	< 0.001	27.65	25085.6
纬度(Lati)	4.966	< 0.001	32.59	24192.2
盐度 (SSS)	4.896	< 0.001	34.49	23846.1
年 (Year)	3.923	< 0.001	35.69	23626.6
单筐钩数 (HPB)	4.869	< 0.001	37.04	23377.7
经度 (Long)	4.348	< 0.001	37.55	23288.5
月份(Month)	4.895	< 0.001	38.07	23197.2
离岸距离(Land_dis)	4.417	< 0.001	38.43	23136.4
海底深度(Depth)	4.516	< 0.001	38.75	23081.6
混合层深度(MLT)	4.043	< 0.001	38.96	23050.4
下钩时间 (Time)	3.527	< 0.001	39.14	23023.6
叶绿素 a 浓度 (Chl)	3.904	0.004	39.28	23006.1

- 采用皮尔逊相关性分析进行变量初筛。海面高度与经度 、海面高度与海表面温度、离岸距离、溶解氧浓度与海 表面温度、海面高度之间的皮尔逊相关系数均大于0.7 , 基于此删除海面高度和溶解氧浓度两个解释变量 多重共线性分析结果表明,剔除海面高度和溶解氧浓度 之后,解释变量的多重共线性均低于5。
- 模型总累计解释率为 39.28%, R2为 0.294, 影响因子 解释变量均显著。海表面温度SST(27.65%)是最重要 的变量, 其次是纬度(4.94%)、盐度(1.90%)、年(1.20%) 和单筐钩数(1.35%), 其余均小于1%。



• 从年变化来看,小吻四鳍旗鱼 的BPUE整体处于下降的趋势; 从月间变化来看,以7月为分界 线,BPUE兼捕率呈现先增后减 的趋势: 纬度对BPUE的影响大 于经度。在纬度上呈现双峰的 模式; 高兼捕率区域主要集中 在东南太平洋的亚热带、盐度 相对较高、叶绿素a浓度和混合 层深度较低、离岸距离相对较 近的暖温水域。



基于2010-2021年数据的GAM模 型预测小吻四鳍旗鱼的兼捕率 分布如图所示, 其中兼捕热点 集中在100°W-130°W, 10° S-20° S的海域内, 该海域 为南方长鳍金枪鱼的重要渔场 ; 另外在170°E-180°W, 纬 度20°S附近水域以及 170° E - 170° W, 15° N-25° N 水域有零散兼捕热点存在,可 能为潜在的高兼捕率区域。

讨论与总结:

- ① 本研究中小吻四鳍旗鱼近两年的兼捕率相较于 2019年呈现出明显的下降趋势。小吻四鳍旗鱼 兼捕率较低的现象可能与其独特的时空分布格 局或生态行为特征有关,提示该物种在生态学 特征上可能与其他旗鱼存在显著差异。
- ② 本研究中,兼捕到的小吻四鳍旗鱼有较高的上 甲板死亡率。一方面表明被丢弃个体的存活率 较低,从而可能显著增加总体捕捞死亡率;另 一方面,也提示在未来制定养护与管理措施时, 仅依赖安全释放等手段降低兼捕影响的成效有 限,亟需探索更具针对性和有效性的保护策略。

作业因素对兼捕率的影响:

① 本研究发现,小吻四鳍旗鱼更易在单筐钩数为 25左右被捕捞,但是整体趋势显示,在单筐钩 数较低的钓次中,兼捕率普遍较高。这表明, 通过合理控制单筐钩数以减少浅层钓钩数量, 可能是降低小吻四鳍旗鱼兼捕率的潜在有效途 径之一。

兼捕率的时空分布格局及其环境驱动机制:

- ① 从空间上看, 纬度对兼捕率的影响大于经度。 兼捕率较高的区域主要集中在东太平洋热带和 亚热带地区。
- ② 在时间维度上,兼捕率呈现出明显的年际波动 与季节性变化。表明小吻四鳍旗鱼的时空分布 具有明显的动态性, 其兼捕率波动反映出其对 气候、捕捞以及环境变动的高度敏感性,进一 步表明了针对该物种实施长期监测和评估的重 要性。
- ③ 环境因子分析表明:
- a. 海表温度: 最主要因素。最适范围为 20-25℃。 因此基于温度阈值的时空避捕可能是降低兼捕 风险的有效途径。
- b. 盐度与混合层深度: 重要因子。较高的盐度 33-34和较浅的混合层深度(小于100米),表 明该物理海洋过程对旗鱼垂直分布具有重要调 节作用。
- c. 叶绿素a浓度: 重要环境指标之一。模型显示 在叶绿素a浓度较低(<0.2 mg/m³)的水域 BPUE相对较高,尽管该因子的解释率很低。其 偏好寡营养、叶绿素浓度较低的海域,可能与 其高营养级的掠食特性相关。这一特征使其活 动区与金枪鱼类资源场部分重叠,提示在基于 生态系统的渔业管理中, 应综合考虑不同营养 层物种的空间耦合关系。

管理启示:

- 从降低兼捕的角度来看,可通过调整单筐钩数等方式改变浅 钩数量来减少兼捕,特别是在兼捕率较高的水域
- 同时应兼顾目标物种的渔获效率,以平衡生态与经济效益。
- 环境驱动因子兼捕热点海域识别,使渔船能够提前规避高风 险区域,小吻四鳍旗鱼兼捕率时空分布的动态变化特征也表 明采取适应性的区域管理措施是未来对该物种实现精准管理 的潜在方向之一。