

文章编号:1000-0615(2007)06-0798-07

基于分位数回归的大西洋中部公海 大眼金枪鱼栖息环境综合指数

宋利明, 高攀峰, 周应祺, 张禹
(上海水产大学海洋学院, 上海 200090)

摘要:2001年7月4日-10月27日,中国水产总公司所属的3艘大洋性超低温金枪鱼延绳钓渔船对大西洋中部公海海域进行金枪鱼渔业调查。本文根据所获得的渔场环境、作业参数、渔获统计等数据,应用分位数回归分析方法分别对有关水层(60 m为一层)及总渔获率与温度、盐度和相对流速等环境因素的关系并考虑其不同的影响权重及交互作用建立了数值模型,根据该模型计算大眼金枪鱼的栖息环境综合指数(HEII),利用 Marine Explore 4.0 软件绘制大眼金枪鱼 HEII 指数等值线分布图。结果显示:(1)180~240 m 水层中,中部海区的 HEII_{D_y} 指数分布较高(高于0.6),其他海区分布较低(小于0.6);(2)240~300 m 水层中,6°N 以南的海区 HEII_{D_y} 分布较高(高于0.6),以北的海区分布较低(10°N 以北,29°W 以西除外);(3)300~360 m 水层中,仅东南部一部分海区(3°N 以南,22°W 以东) HEII_{D_y} 较低(低于0.4),其他大部分海区分布较高(高于0.5);(4)6°N 以南的大部分海区 HEII 指数分布较高(高于0.6),仅在部分较小海区(5°N,22°W、3°N,17°~18°W 的附近)内 HEII 指数分布低于0.5。

关键词:大眼金枪鱼;栖息环境综合指数;分位数回归;大西洋中部公海

中图分类号:S 931

文献标识码:A

Habitat environment integration index of *Thunnus obesus* in the high seas of the Central Atlantic Ocean based on the quantile regression

SONG Li-ming, GAO Pan-feng, ZHOU Ying-qi, ZHANG Yu

(College of Marine Science & Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: A survey on tuna fishing ground has been carried out on board of 3 longliners owned by China National Fisheries Cooperation, in the high seas of the Central Atlantic Ocean from July 4th to October 27th, 2001. The relationship models between the catch rate of the different water layers (with a depth interval of 60 m), nominal catch rate and the environmental factors, i.e. temperature, salinity and relative current velocity, were developed based on the field measured data, i.e. environmental factors of the fishing ground, fishing parameter and fisheries statistical data. They were developed by applying the quantile regression considering the different weight of the different environmental factors and the interaction among them. Habitat environment integration index (HEII) of bigeye tuna were estimated by these models. HEII maps of bigeye tuna were also built using the GIS software Marine Explore 4.0. The results suggest (1) From 180 m to 240 m, HEII_{D_y} was relatively lower (<0.6) except the central area (>0.6); (2) From 240 to 300 m,

收稿日期:2006-11-22

资助项目:上海市重点学科建设项目资助(T1101)

作者简介:宋利明(1968-),男,江苏昆山人,教授,博士研究生,主要从事金枪鱼渔业、深海底层延绳钓渔业和网箱养殖工程的研究。E-mail: lmsong@shfu.edu.cn

通讯作者:周应祺, E-mail: yqzhou@shfu.edu.cn

$HEII_{D_{ij}}$ was relatively higher (>0.6) in the south of the $6^{\circ}N$, otherwise, relatively lower in the north of the $6^{\circ}N$ (except the area north of the $10^{\circ}N$ and west of the $29^{\circ}W$); (3) From 300 to 360 m, the $HEII_{D_{ij}}$ was lower only in small part of the southeastern area (south of $3^{\circ}N$, east of $22^{\circ}W$), which is less than 0.4, the other parts was higher (>0.5); (4) In the south of the $6^{\circ}N$, \overline{HEII} was higher (>0.6) except a part of area (around $5^{\circ}N, 22^{\circ}W$; $3^{\circ}N, 17^{\circ}-18^{\circ}W$, <0.5).

Key words: *Thunnus obesus*; habitat environment integration index ($HEII$); quantile regression; high seas of Central Atlantic Ocean

研究金枪鱼类的分布形式时,主要研究栖息环境的变化对其活动的影响,但是目前大多数的研究仅考虑单个环境因子对金枪鱼类分布的影响^[1-8],而现实中是多因子共同产生影响。如果对影响金枪鱼类分布的主要因子以及它们所产生的综合影响有所了解,将有利于认识栖息环境与金枪鱼活动和分布的关系。Bigelow 等^[9]应用“栖息地模型”综合考虑了各水层温度和溶解氧(大尺度卫星遥感数据)的影响,由此对太平洋大眼金枪鱼的分布进行相关分析,但其在考虑了海洋环境的综合影响时却未能考虑不同海洋环境对金枪鱼类分布的影响程度不同。Nishida 等^[10]应用“广义线性——栖息地综合模型 (GLM/HBM)”,结合渔具的作业深度和黄鳍金枪鱼的垂直分布,对印度洋黄鳍金枪鱼的 CPUE 进行标准化研究。Terrell 等^[11]利用分位数回归模型对河流流域类种群与河流环境之间的关系进行了评价研究;Dunham 等^[12]利用分位数回归模型对山鳟 (*Salmo clarki*) 资源的时空分布进行了研究;Eastwood 等^[1]利用分位数回归的模型对英吉利海峡东部和北海南部水域的欧洲鳎 (*Solea solea*) 产卵活动与环境因子之间的关系进行了研究。本文根据 2001 年在大西洋中部公海海域测定的温

度、盐度的垂直变化,以及大眼金枪鱼的渔获率统计资料,应用分位数回归的方法 (quantile regression),并考虑温度、盐度对于大眼金枪鱼分布的影响权重的不同条件及其交互作用,建立大西洋公海海域大眼金枪鱼的栖息环境综合指数 (habitat environment integration index, $HEII$) 模型,以提高预测大眼金枪鱼垂直、水平分布的精度,并有利于今后根据实测的海洋环境数据来估算大眼金枪鱼各水层的栖息环境综合指数 $HEII_{D_{ij}}$ 和各水层综合的栖息环境综合指数 \overline{HEII} ,从而预测其垂直分布和水平分布,供今后渔情预报作参考。

1 材料

1.1 调查船、调查海域和时间

执行本次海上调查任务的渔船为 3 艘大洋性超低温金枪鱼延绳钓渔船(顺昌 4 号、金丰 2 号和丰顺 3 号),国际总吨在 740 t 左右,总长约 56 m。

调查时间为 2001 年 7 月 4 日至 10 月 27 日。调查海域范围为 $12^{\circ}26'N \sim 04^{\circ}11'S, 32^{\circ}02'W \sim 16^{\circ}50'W$,具体调查情况见表 1。实际测定温度、盐度等数据的各站点分布见图 1。

表 1 调查船、调查时间及调查海域

Tab. 1 Information of research vessel, time and areas

调查船 research vessels	调查时间 research time	调查海区 research areas
顺昌 4 号 Shunchang No. 4	2001-07-04 ~ 2001-08-22	$03^{\circ}21'N \sim 12^{\circ}26'N; 18^{\circ}46'W \sim 32^{\circ}02'W$
金丰 2 号 Jinfeng No. 2	2001-08-23 ~ 2001-09-07	$02^{\circ}44'N \sim 05^{\circ}32'N; 16^{\circ}50'W \sim 22^{\circ}41'W$
丰顺 3 号 Fengshun No. 3	2001-10-14 ~ 2001-10-27	$01^{\circ}55'N \sim 04^{\circ}11'S; 22^{\circ}52'W \sim 24^{\circ}47'W$

1.2 调查仪器

调查仪器为美国 SeaBird 公司 SBE37SM 温

盐深仪 (STD)。该仪器能根据设定要求测定水深 0 ~ 350 m 水层的温度和盐度。

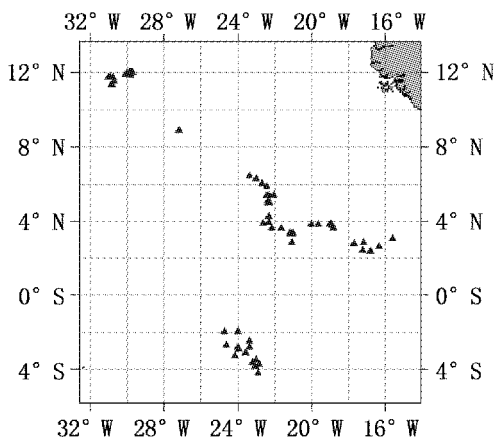


图1 STD测定位置

Fig.1 STD measured positions

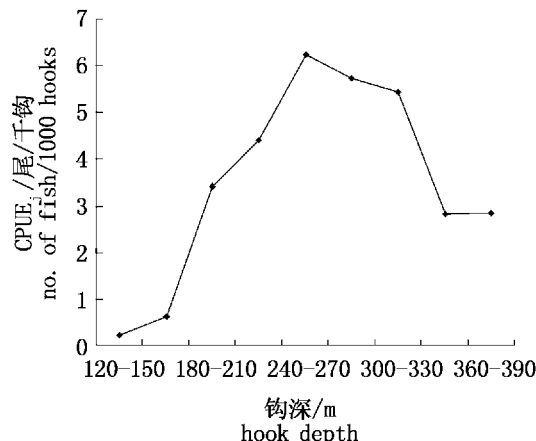


图2 不同水层的渔获率

Fig.2 CPUE_j in different depth range

1.3 调查的方法及内容

由于调查期间不得妨碍渔船的正常生产,调查属生产性调查,不设具体调查站点,调查的海区也只能根据生产渔船以往的生产经验,根据其所掌握的渔期和渔场进行调查。每天放钩后或起绳前测定水深0~350 m水层的温度、盐度数据,得出温度、盐度垂直变化曲线图,因水深较深而没有测得的温度和盐度数据则添加趋势线估算得出。记录每天的投绳位置、投绳时间、起绳时间、船速、出绳速度、钓具的漂流速度(相对流速)、两浮子间的钩数、两钩间的时间间隔和投钩数;并记录大眼金枪鱼的上钩钩号、捕获位置。

2 方法

2.1 数据预处理

不同水层的大眼金枪鱼渔获率(CPUE_j)的计算水深为120~420 m,每60 m为一层,共分为5层。其定义为:

$$CPUE_j = \frac{U_j}{f_j} \times 1000 \quad (1)$$

式中, U_j 表示钓获的大眼金枪鱼的尾数; f_j 表示相应投放的钓钩数, $j=1,2,3,\dots,5$,下同。

不同水层渔获率计算的方法:由理论公式推算出每次作业时各钩号的理论深度;根据大眼金枪鱼的取样数据,推算出调查期间不同水层的渔获率^[8]。不同水层的渔获率见图2。

每天不同水层渔获率的计算方法见式(2)和(3):

$$N_{ij} = \frac{N_j}{N} \times N_i \quad (2)$$

其中, N_{ij} 表示第*i*天第*j*层内捕获的大眼金枪鱼尾数, N_j 表示整个调查期间第*j*层内取样大眼金枪鱼的实际总尾数, N 表示调查期间取样鱼的总尾数, N_i 表示第*i*天大眼金枪鱼总捕获尾数。式中, $i=1,2,3,\dots,65$,下同。

$$CPUE_{ij} = \frac{N_{ij}}{H_{ij}} \times 1000 \quad (3)$$

其中, $CPUE_{ij}$ 表示第*i*天第*j*层内大眼金枪鱼的渔获率, H_{ij} 表示第*i*天第*j*层内投放的钓钩数量。

基于各水层渔获率为权重的环境因素值的计算环境因素值包括:温度、盐度。计算公式为:

$$V_i = \sum CPUE_j V_{ij} / \sum CPUE_j \quad (4)$$

其中, V_i 为第*i*次作业所处的环境因素值(T_i 和 S_i), $CPUE_j$ 表示第*j*个水层的大眼金枪鱼的渔获率, V_{ij} 表示第*i*次作业环境参数(T_{ij} 和 S_{ij})在第*j*个水层(120~180 m、180~240 m、240~300 m、300~360 m和360~420 m)的值(为STD测得的该水层内的算术平均值)。

2.2 分位数回归

分位数回归模型最早由 Koenker 和 Basset^[13]提出。其采用最小绝对偏差的概念,而传统的相关和回归统计理论采用的是最小平方差的概念。定义以下问题的解决称为 θ -回归分位数:

$$\min \left[\sum_{(y_i \geq x'_i \beta)} \theta |y_i - x'_i \beta| + \sum_{(y_i < x'_i \beta)} (1 - \theta) |y_i - x'_i \beta| \right] \quad (5)$$

一般也写为:

$$\min_{\beta \in R^k} \sum_i \rho_\theta(y_i - x'_i \beta) \quad (6)$$

其中, $\rho\theta(\varepsilon)$ 称为“检验函数”, 定义为:

$$\rho\theta(\varepsilon) = \begin{cases} \theta\varepsilon & \varepsilon \geq 0 \\ (\theta-1)\varepsilon & \varepsilon \leq 0 \end{cases} \quad (7)$$

在此模型下, 给定 x 的 θ 条件分位数即为:

$$Q_y(\theta/x) = x'\beta, \theta \in (0, 1) \quad (8)$$

在不同的 θ 下, 可以得到不同的分位数, 随着 θ 在 $[0, 1]$ 区间的变化, 可以得到整个 y 在 x 处的条件分布的轨迹。

本文采用美国地理调查局中陆生态科学研究中心 (Midcontinent Ecological Science Center, U. S. Geological Survey) 开发的 Blossom 统计学软件^[14] 进行分位数回归。

本文分位数回归模型中考虑的自变量包括温度、盐度和相对流速以及这 3 个自变量之间交互作用所产生的变量, 共 6 个变量。同时选择 21 个分位数, 即 0.01、0.05 ~ 0.95 (每隔 0.05 为 1 个) 和 0.99 进行模型计算, 用秩得分检验 (rank-score test) 来计算 P 值的大小^[13]。当参数检验值 $P > 0.05$ 时, 在模型中剔除该变量, 一直循环计算, 直到所入选的所有自变量的 P 值都小于或等于 0.05, 从而得到最佳的模型方程。

2.3 基于分位数回归的不同水层 $HEII_{D_{ij}}$ 指数模型 由于 360 ~ 420 m 内钓钩数及钓获大眼金枪鱼的尾数较少, 用该层数据进行分析处理得出的结果可能会产生较大的误差, 因此本文仅讨论 120 ~ 180 m、180 ~ 240 m、240 ~ 300 m 和 300 ~ 360 m 四个水层的 $HEII_{D_{ij}}$ 。

根据得到的每天不同水层的渔获率 $CPUE_{ij}$ 与该水层内温度 T_{ij} 、盐度 S_{ij} 的最佳模型方程, 利用自变量的值来修正因变量 $CPUE_{ij}$ 的值, 称为潜在渔获率, 记作 $CPUE_{ijp}$, 利用 $CPUE_{ijp}$ 来计算各自 $HEII_{D_{ij}}$ 指数, 公式如下:

$$HEII_{D_{ij}} = \frac{CPUE_{ijp}}{CPUE_{ijpmax}} \quad (9)$$

其中, $CPUE_{ijpmax}$ 指所有第 j 个水层 $CPUE_{ijp}$ 中的最大值。

2.4 基于分位数回归的 \overline{HEII} 指数模型

根据观测得到的每天总渔获率 ($CPUE_i$) 与对应站点的平均温度 T_i 、盐度 S_i (见式 4) 和测得的相对流速的最佳模型方程, 利用自变量的值来修正因变量 $CPUE_{ip}$ 的值, 利用 $CPUE_{ip}$ 来计算各自 \overline{HEII} 指数, 公式如下:

$$\overline{HEII} = \frac{CPUE_{ip}}{CPUE_{ipmax}} \quad (10)$$

其中, $CPUE_{ipmax}$ 指所有 $CPUE_{ip}$ 中的最大值。

2.5 $HEII$ 分布显示

本文利用 Marine Explorer 4.0 软件绘制大眼金枪鱼 $HEII$ 指数等值线分布图。

3 结果

3.1 不同水层 $HEII_{D_{ij}}$ 指数

应用分位数回归得出的每天不同水层渔获率 ($CPUE_{ijp}$) 与不同水层温度 T_{ij} 和盐度 S_{ij} 之间的最佳模拟方程的一般形式为:

$$CPUE_{ijp} = C_j + a_j T_{ij} + b_j S_{ij} + C_j T S_{ij} \quad (11)$$

模型中考虑的自变量参数包括温度 T_{ij} 、盐度 S_{ij} 两个变量及其交互作用所产生的变量, 其中参数 $T S_{ij}$ 表示温度和盐度之间的交互作用变量。不同水层方程的各参数见表 2。

表 2 最佳模拟方程的参数估计和 P 值检验
Tab. 2 Estimation parameters of optimal simulation equation and P test

水层 depth range	分位数 Q quantile	常数 C_j constant	a_j	b_j	c_j
120 ~ 180 m	/	/	/	/	/
180 ~ 240 m	0.90	-756.55	0	21.67*	0
240 ~ 300 m	0.80	-26733.15	2298.39	760.82	-65.26*
300 ~ 360 m	0.50	-6561.80	574.76	187.34	-16.40**

注: * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$

Note: * shows $P < 0.05$, ** shows $P < 0.01$

对于 120 ~ 180 m, 每个变量的 P 值均大于 0.05, 不能得出 $CPUE$ 与环境变量的关系模型; 对于 180 ~ 240 m, 模型中仅包含盐度变量, 与大眼金枪鱼渔获率表现为正相关, $Q = 0.90$ 的分位数模型是解释 $CPUE$ 与两个环境变量之间关系的最佳模型; 对于 240 ~ 300 m, 模型中包含温度、盐度和温度与盐度的交互作用, 共 3 个变量, 其中温度、盐度与大眼金枪鱼的渔获率表现为正相关, 两者交互作用表现为负相关, $Q = 0.80$ 的分位数回归模型是解释 $CPUE$ 与 3 个变量之间的最佳模型; 对于 300 ~ 360 m, 模型中包含温度、盐度和温度与盐度的交互作用, 共 3 个变量, 其中温度、盐度与大眼金枪鱼的渔获率表现为正相关, 两者交互作用表现为负相关, $Q = 0.50$ 的分位数回归模型是解释 $CPUE$ 与 3 个变量之间的最佳模型。180 ~ 240 m、240 ~ 300 m 和 300 ~ 360 m 大眼金枪鱼 $HEII_{D_{ij}}$ 指数分布分别如图 3 所示。

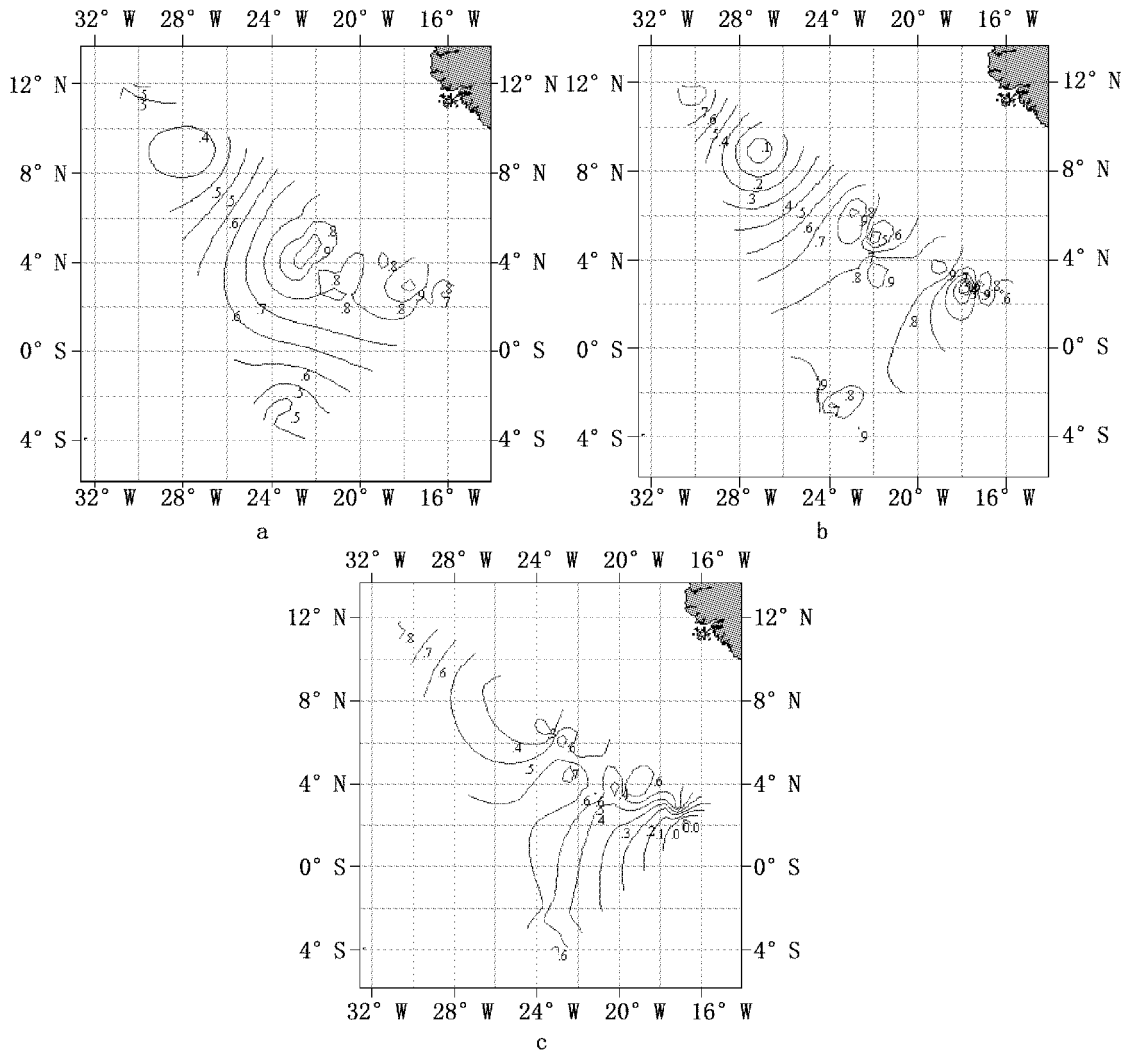


图3 不同水层 $HEII_{Dy}$ 指数分布(a: 180 ~ 240 m; b: 240 ~ 300 m; c: 300 ~ 360 m)

Fig. 3 $HEII_{Dy}$ in different depth range(a: 180 ~ 240 m; b: 240 ~ 300 m; c: 300 ~ 360 m)

180 ~ 240 m 水层中,中东部海区的 $HEII_{Dy}$ 指数较高(高于 0.6),其他海区 $HEII_{Dy}$ 较低(小于 0.6);240 ~ 300 m 水层中,6°N 以南的海区 $HEII_{Dy}$ 较高(高于 0.6),以北的海区较低(10°N 以北,29°W 以西除外);300 ~ 360 m 水层中,仅东南部一小部分海区(3°N 以南,22°W 以东) $HEII_{Dy}$ 较低(低于 0.4),其他海区的大部分较高(高于 0.5)。

3.2 $HEII$ 指数

应用分位数模型得出,总渔获率 $CPUE_i$ 与温度 T_i 、盐度 S_i 和相对流速的最佳模型方程为:

$$Q=0.70 \text{ 时, } CPUE_i = -12519.40 + 1046.25 T_i + 355.85 S_i - 29.72 TS_i \quad (12)$$

其中 TS_i 表示水温 T_i 与盐度 S_i 的交互作用。

由式 12 得,模型中包含 2 个基本变量和 1 个交互变量。图 4 显示了 $Q=0.70$ 时的大眼金枪鱼 $HEII$ 空间分布,由图可知,6°N 以南的大部分海区及 10°N 以北,29°W 以西海区 $HEII$ 指数较高(高于 0.6),仅在部分较小海区(5°N,22°W;3°N,17°~18°W 附近)内 $HEII$ 指数低于 0.5。

4 讨论

4.1 分位数模型

分位数回归模型要比传统的最小二乘回归模型具有优越性,当自变量数据的变化和因变量数据的变化不相一致时,最小二乘回归就失去了模型的假设前提,而在生物学研究中,采集的生物学数据不符合最小二乘回归模型假设前提的情况是

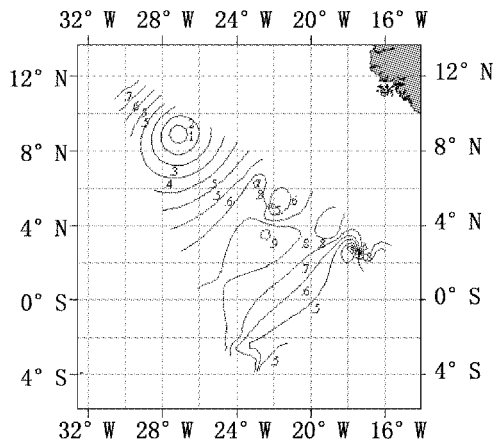


图4 基于分位数回归模型的大西洋中部海域 \overline{HEII} 指数分布

Fig. 4 \overline{HEII} in the Central Atlantic Ocean based on the quantile regression

一个普遍现象。Terrell 等^[11]利用 35 个数据库的数据进行研究,发现其中 13 个数据库中的数据是不符合最小二乘回归模型的假设前提。另外,分位数回归可以模拟出任何分位数的回归模型,特别是上界分位数的回归模型,从而可以更好地了解变量之间的关系。Dunham 等^[12]在研究山鱒与河道宽深比变量之间的关系时,发现使用上界分位数回归模型可以发现两者之间存在非线性的负相关关系,而使用加权最小二乘的回归方法却发现两者之间是一条平行于坐标轴的常数关系,所以使用基于期望值的最小二乘法进行研究无法挖掘出数据间存在的内在关系。Eastwood 等^[1]在研究鳓科鱼类与环境之间的关系时指出:其中有一个月份的数据使用最小二乘法进行研究,结果显示数据之间没有相关性,而使用 $Q = 0.75$ 的分位数进行回归,可发现其中的关系。本文亦采用上界点分位数回归的方法,成功得出 180 ~ 240 m、240 ~ 300 m、300 ~ 360 m 以及总平均 \overline{HEII} 指数。

4.2 不同水层 $HEII_{D_y}$ 指数

本文根据分位数回归模型得出 180 ~ 240 m、240 ~ 300 m 和 300 ~ 360 m 的模型,但是无法得出 120 ~ 180 m 的模型,可能的原因有以下几点:该层内的渔获率与温度和盐度之间不存在相关性;其他的未知因素影响该水层的渔获率,比如饵料生物等;数据的偶然性所致(数据量较少)。

从图 3-a、b、c 的比较可得出,不同水层

$HEII_{D_y}$ 指数有很大差异。但总体上在调查海域的中东部(4°N, 22°W)附近海域 $HEII_{D_y}$ 指数始终较高,调查海域的西北部(8°N, 28°W), 180 ~ 240 m 和 240 ~ 300 m 两个水层 $HEII_{D_y}$ 指数较低,但 300 ~ 360 m 水层的 $HEII_{D_y}$ 指数较高。

各水层的 $HEII_{D_y}$ 指数存在差异,与大眼金枪鱼的垂直分布有关。Dagorn 等^[4]通过超声波遥测技术获得大眼金枪鱼一天中的垂直分布图。结果显示,大眼金枪鱼白天最深潜至 400 ~ 500 m 的水深,夜间游到 0 ~ 100 m 的水深。另外,延绳钓实际作业中,浸泡在水中的钓具白天为多,夜间较少,因此,上钩的鱼中较深水层的为多,从而从一个方面论证了运用分位数回归得出的各水层的 $HEII_{D_y}$ 指数具有一定的准确度。

4.3 $HEII_{D_y}$ 与 \overline{HEII} 的比较

180 ~ 240 m 的 $HEII_{D_y}$ 分布(图 3-a)与 \overline{HEII} 分布(图 4)在西北海区不同,其他海区基本相同。240 ~ 300 m、300 ~ 360 m 分布基本与 \overline{HEII} 分布相同,但 240 ~ 300 m 的 $HEII_{D_y}$ 分布与 \overline{HEII} 分布更接近,因此,240 ~ 300 m 的 $HEII_{D_y}$ 分布可以基本反映该海区大眼金枪鱼的分布状况,今后研究该海区的大眼金枪鱼分布时,可把 240 ~ 300 m 的大眼金枪鱼 $HEII_{D_y}$ 粗略地作为该海区大眼金枪鱼的 \overline{HEII} 。

4.4 不足及建议

由于大眼金枪鱼是高度洄游种类,栖息环境综合指数的大小仅仅能表示潜在的出现可能性大小,还不能非常准确地反映大眼金枪鱼的分布情况,得出的预测模型是一初步的模型,还需要用大量的实际生产数据进行校准和验证。

本文结果是由 65 次作业数据所得,作业海域在时间及空间上都缺乏连续性;仅考虑了渔获率与 3 个海洋环境因素及其交互作用之间的关系,而其他海洋环境因素和生态要素,如含氧量、温跃层深度、浮游生物、海流、叶绿素和食物网等对鱼类分布和活动的的影响也很重要,这些要素都可能影响结果的准确性。在分析 \overline{HEII} 时,由于测得的相对流速数据在 0.005 ~ 0.545 $m \cdot s^{-1}$ 的范围内,而这一范围可能为大眼金枪鱼适宜的栖息环境,所以在回归时相对流速因子被剔除。而在分析 $HEII_{D_y}$ 时,由于缺乏各水层的海流数据,所以本文未分析各水层的海流对大眼金枪鱼栖息环境的

影响。

利用分位数回归得出的模型为一些数值之间的关系,而其真正的生物学的意义还有待进一步的研究探讨。

另外,利用生产数据来进行预测也可能存在一定的局限性,主要表现在渔场的覆盖范围、钓具的投放深度和数据的同步性的限制。因此,建议进一步收集其它海洋环境数据或进行大量的标志放流对大眼金枪鱼的分布情况展开更全面的研究。

本研究得到中国水产总公司吴湘峰总经理、姜作义、刘湛清副总经理、曹恒真主任、金丰公司项忆军经理、3艘调查船船长及全体船员、上海水产大学海洋学院硕士研究生王家樵等的大力支持,谨致谢忱。

参考文献:

- [1] Eastwood P D, Meaden G J, Carpentier A, *et al.* Estimating limits to the spatial extent and suitability of sole (*Solea solea*) nursery grounds in the Dover Strait [J]. *Journal of Sea Research*, 2003, 50: 151 - 165.
- [2] Mohri M, Nishida T. Seasonal change in bigeye tuna fisheries areas in relation to the oceanographic parameters in the Indian Ocean [J]. *Journal of National Fisheries University Shimonoseki*, 1999, 47 (2): 43 - 54.
- [3] <http://iri.columbia.edu/outreach/meeting/TWWS1999/sessions/3-9Spatiotemporal-distribution-of-yellowfin-tuna.doc>.
- [4] Dagorn L, Batch P, Josse E. Movement pattern of large bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the open ocean determined using ultrasonic telemetry [J]. *Marine Biology*, 2000, 136: 361 - 371.
- [5] <http://gis.esri.com/libray/userconf/proc99/proceed/papers/pap564/p564.htm>.
- [6] 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.
- [7] 宋利明, 陈新军, 许柳雄. 大西洋中部黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacares*) 的垂直分布与有关环境因子的关系 [J]. *海洋与湖沼*, 2004, 35(1): 64 - 68.
- [8] 宋利明, 陈新军, 许柳雄. 大西洋中部大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*) 垂直分布与温度、盐度的关系 [J]. *中国水产科学*, 2004, 11(6): 561 - 566.
- [9] Bigelow K A, Hampton J, Miyabe N. Application of a habitat-based model to estimate effective longline fishing effort and relative abundance of Pacific bigeye tuna (*Thunnus obesus*) [J]. *Fisheries Oceanography*, 2002, 11(3): 143 - 155.
- [10] Nishida T, Bigelow K A, Mohri M, *et al.* Comparative study on Japanese tuna longline CPUE standardization of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Indian Ocean based on two methods: general linear model (GLM) and habitat-based model (HBM)/GLM combined (1958 - 2001) [R]. *IOTC Proceedings 2003*, 6: 43 - 69.
- [11] Terrell J W, Cade B S, Carpenter J, *et al.* Modeling stream fish habitat limitation from wedge-shaped patterns of variation in standing stock [J]. *Trans Am Fish Soc*, 1996, 125: 104 - 117.
- [12] Dunham J B, Cade B S, Terrell J W. Influence of spatial and temporal variation on fish-habitat relationships defined by regression quantile [J]. *Trans Am Fish Soc*, 2002, 131: 86 - 98.
- [13] Koenker R, Bassett G. Regression quantiles [J]. *Econometrica*, 1978, 46: 33 - 50.
- [14] Cade B S, Richards J D. User manual for BLOSSOM statistical software [M]. Colorado: Midcontinent Ecological Science Center U. S. Geological Survey. 2001: 1 - 106.