

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.140426

黄河口及邻近水域矛尾虾虎鱼资源丰度的时空分布

刘潇, 张崇良, 任一平, 徐宾铎

中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003

摘要: 根据2013年6月、8月、10月以及2014年2月、4月、5月在黄河口及邻近水域获取的6个航次的渔业资源和环境调查数据, 研究了黄河口及邻近水域优势种矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)资源丰度的时空分布, 并利用广义可加模型分析了其与时空和环境因子之间的关系。结果表明: 矛尾虾虎鱼主要集中分布于37.80°N-38.20°N, 119.00°E-119.40°E的水域。矛尾虾虎鱼资源丰度月变化明显, 8月最大为862 g/h, 其次6月资源丰度为521 g/h, 5月最小。底层水温和底层盐度对矛尾虾虎鱼资源丰度的时空分布有显著影响。黄河口及邻近水域矛尾虾虎鱼分布的底层水温适宜范围为17~22℃, 底层盐度适宜范围为18~27。水温、盐度在河口区变化范围较大, 矛尾虾虎鱼能较好地适应河口区底层温度、盐度等环境因子的变化, 成为河口定居性主要优势种。

关键词: 黄河口; 矛尾虾虎鱼; 环境因子; 空间分布

中图分类号: S 931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)04-0791-08

鱼类资源与海洋环境要素之间存在着极为复杂的相关关系^[1], 国内外众多学者对鱼类的时空分布及其与环境因子的关系进行了研究, 如对鳀鱼(*Engraulis japonicus*)、鲱(*Miichthys miuuy*)、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)和鳊鱼(*Gadous macrocephalus*)等种类的研究^[2-5]。广义可加模型(generalized additive model, GAM)是广义线性模型(Generalized Linear Model, GLM)的非参数化扩展, 其优点是能够处理高维数据中响应变量与解释变量间的非线性关系^[6]。近年来 GAM 模型广泛地应用在渔业研究上, 它能更加深入地分析渔业资源和环境变量之间的关系^[7-11]。

矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)属硬骨鱼纲(*Osteichthyes*), 鲈形目(*Perciformes*), 虾虎鱼科(*Gobiidae*), 矛尾虾虎鱼属(*Chaeturichthys*)^[12], 是一种暖温性鱼类, 常栖息于近岸及河口区, 在中国沿海分布极广^[13]。矛尾虾虎鱼是黄河口及邻近水域的优势鱼种, 在该河口生态系统和地方渔业中均占有一定地位^[14]。

本研究根据2013年6月、8月、10月和2014年2月、4月、5月在黄河口及邻近水域进行的渔业资源底拖网调查数据, 对矛尾虾虎鱼资源分布特征进行研究, 并运用GAM模型分析了时空和环境因子对黄河口水域矛尾虾虎鱼资源丰度分布的影响, 以期更好地了解矛尾虾虎鱼的生态习性, 为黄河口水域矛尾虾虎鱼资源的合理利用和养护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

矛尾虾虎鱼资源丰度数据来源于2013年6月、8月、10月以及2014年2月、4月、5月在黄河口及邻近水域进行的6个航次的渔业资源和环境调查。调查范围为37.75°N-38.20°N, 118.85°E-119.68°E的黄河口及其邻近水域, 以黄河入海口为中心, 向外呈辐射状设置5条断面, 中间3条断面各有4个站位, 两侧断面各设置3个站位, 河口附近的调查站位较密集(图1)。调查船只功率260 kW,

收稿日期: 2014-10-11; 修订日期: 2014-11-21.

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201303050)资助。

作者简介: 刘潇(1991-), 女, 硕士研究生, 主要从事渔业资源与生态学研究. E-mail: liuxiao1991118@163.com

通信作者: 徐宾铎. E-mail: bdxu@ouc.edu.cn

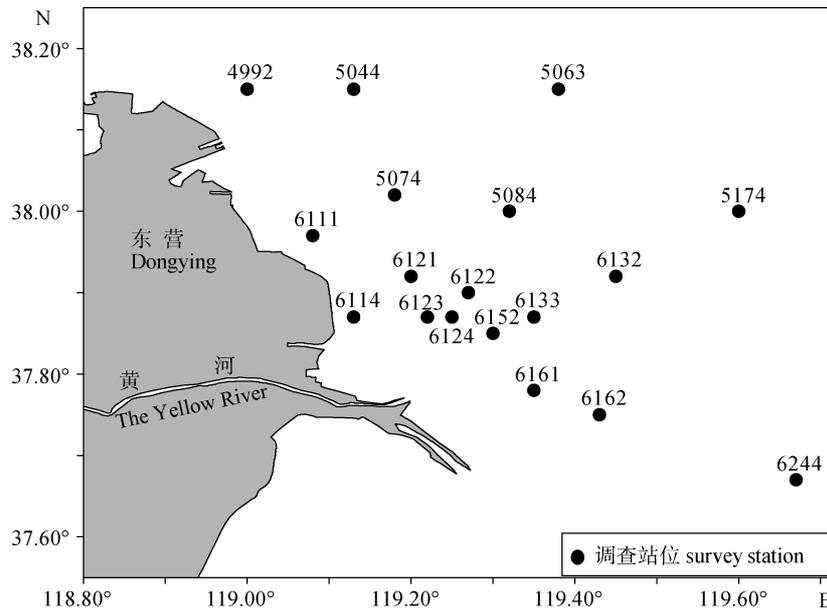


图 1 黄河口及邻近水域渔业资源底拖网调查站位

Fig. 1 Bottom trawl survey stations in the Yellow River estuary and its adjacent waters

网口周长 30.6 m, 囊网网目 20 mm, 拖曳时网口宽度约 8 m。每站拖曳 20~50 min, 拖速 2~3.5 kn。每站起网后用 CTD 仪测量该调查站位的水深、表、底层的盐度、水温等环境因子。渔获物包括矛尾虾虎鱼全部带回实验室, 参照《海洋调查规范》进行生物学测定和分析处理。为便于描述, 以各站位的拖速 2.0 kn 与拖网时间 1.0 h 的单位网次渔获量(g/h)作为资源丰度指标。

1.2 数据分析

本研究以矛尾虾虎鱼资源丰度(单位网次渔获质量)作为响应变量, 月份、经度、纬度、底层水温、水深以及底层盐度等时空和环境因子作为解释变量, 引入 GAM 模型中进行分析。利用非参数的方法对数据结构进行检测, 从而获得更好的预测结果, 其一般表达式为^[6]:

$$g(\mu) = \beta_0 + \sum_{i=1}^k f_i(x_i) + \varepsilon$$

$$\mu = E[Y|X]$$

式中, 函数 $g(\mu)$ 为连接函数; μ 为自然对数处理后的资源丰度(g/h); β_0 为常数截距项; $f_i(x_i)$ 为解释变量关系的非参数函数; ε 为服从正态分布的随机误差项, 与解释变量 x_i 无关。模型采用样条平滑法, 对数据图进行平滑化处理^[6]。模型的误差分

布估计为高斯分布^[15]。

利用 AIC (Akaike Information Criterion) 准则检验模型的拟合程度, 其值越小, 模型的拟合效果越好^[16]。利用 F 检验和卡方检验, 分别评估因子的显著性和因子对非参数效果的非线性贡献率。AIC 的计算公式如下^[6]:

$$AIC = D + 2df\phi$$

式中, D 为偏差(残差平方和); df 为有效自由度; ϕ 为离差参数(方差)。

利用 R 2.13.0 软件完成 GAM 模型的构建及检验^[17]。

2 结果与分析

2.1 资源丰度的时空分布

矛尾虾虎鱼主要集中分布于 37.80°N~38.20°N, 119.00°E~119.40°E 的黄河口及其邻近水域。矛尾虾虎鱼资源丰度的空间分布随月份不同有明显变化, 其中 6 月主要分布在黄河口沿岸的北部海域; 8 月、10 月主要分布在近岸的邻近水域; 2 月矛尾虾虎鱼资源丰度在黄河口近岸水域较低, 远岸水域较高; 4 月主要分布在黄河口近岸及北部沿岸海域; 5 月只在黄河口附近 3 个站位有明显分布(图 2)。

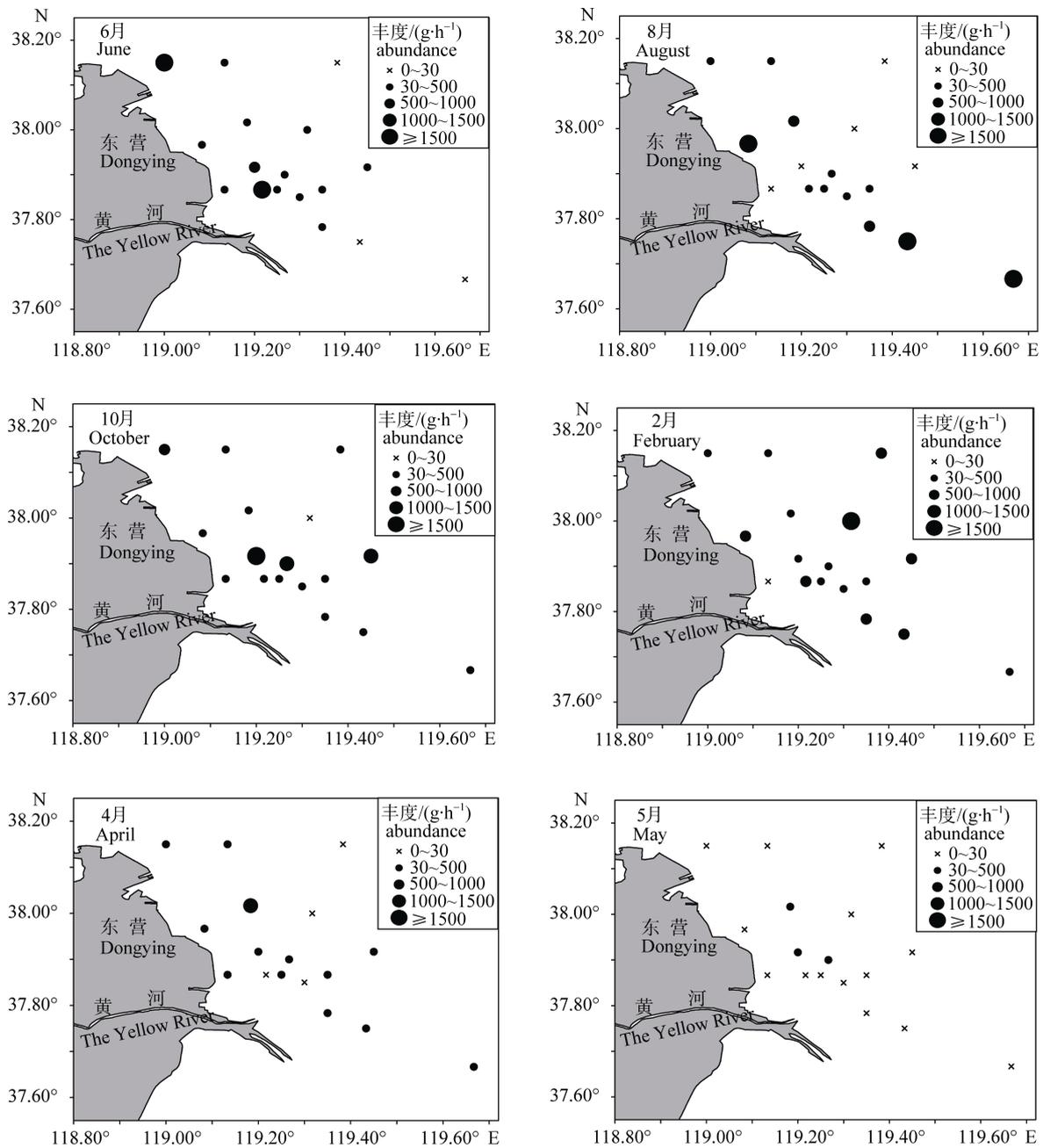


图 2 黄河口及邻近水域矛尾虾虎鱼资源丰度的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of resource abundance of *Chaeturichthys stigmatias* in the Yellow River estuary and its adjacent waters

矛尾虾虎鱼资源丰度月变化明显。其中, 8月资源丰度最大为 862 g/h, 其次 6月资源丰度为 521 g/h, 5月资源丰度最小。6月、8月、10月的资源丰度高于 2月、4月、5月, 其中 5月最大值仅为 93 g/h。

矛尾虾虎鱼资源丰度(自然对数)箱线图分析表明, 10月、2月、4月出现异常值点, 各月数据分布范围较大, 5月数据水平明显小于其他各月。

2月、8月的上四分位数最大, 其次为 6月、10月和 4月, 5月最小。2月中位数最大, 6月、8月、10月和 4月中位数相近, 但由于异常值点的影响以及缺少较大数据, 2月的资源丰度低于 6月、8月和 10月, 4月和 5月资源丰度最小(图 3)。

2.2 环境因子对资源丰度分布的影响

构建时空和环境因子与矛尾虾虎鱼资源丰度

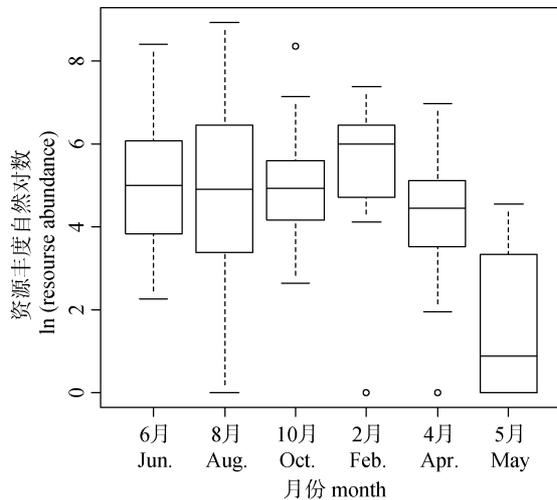


图 3 黄河口及邻近水域矛尾虾虎鱼资源丰度(自然对数)箱线图

Fig. 3 Boxplot of log-transformed resource abundance (natural logarithm) of *Chaeturichthys stigmatias* in the Yellow River estuary and its adjacent waters

的 GAM 模型, 表 1 为根据 AIC 准则逐步检验模型的拟合程度的检验过程。当环境因子海水底层

温度与海水底层盐度加入模型时, AIC 值最小, 模型拟合程度最好。

GAM 模型的方差分析得出, 底层水温对矛尾虾虎鱼资源丰度的时空分布影响极显著($P < 0.01$), 底层盐度对矛尾虾虎鱼资源丰度的时空分布影响显著($P < 0.05$)。经度、纬度、水深等其他因子均对矛尾虾虎鱼时空分布无显著性影响($P > 0.05$)(表 2)。GAM 模型的 Q-Q 残差图表明, 预测值接近正态分布, 模型拟合程度较高(图 4)。

底层水温对矛尾虾虎鱼的资源丰度分布有极显著的影响。矛尾虾虎鱼在底层水温较低(1°C)时, 有一定的分布; 但主要分布在 $8\sim 27^{\circ}\text{C}$ 的底层水温范围内, 底层水温小于 21°C 时, 资源丰度为上升趋势, 21°C 时达到最大, $21\sim 27^{\circ}\text{C}$ 时为缓慢下降趋势。矛尾虾虎鱼的资源丰度随底层盐度的增加呈上升趋势, 盐度值为 $13\sim 27$ 时, 矛尾虾虎鱼的资源丰度随盐度增加上升, 27 时达到最大, $27\sim 30$ 时呈下降趋势(图 5)。

表 1 时空和环境因子与黄河口及邻近水域矛尾虾虎鱼资源丰度的 GAM 检验过程

Tab. 1 The process of test of GAM for resource abundance of *Chaeturichthys stigmatias* in the Yellow River estuary and its adjacent waters with the corresponding model factors

	GAM 模型 GAM model	AIC
Start	$\ln(C+1)\sim s(\text{SBT})+s(\text{SBS})+\text{month}+s(\text{Longitude})+s(\text{Latitude})+s(\text{Depth})$	445.0
Step1	$\ln(C+1)\sim \text{month}+s(\text{SBT})+s(\text{Depth})+s(\text{SBS})+s(\text{Longitude})$	440.9
Step2	$\ln(C+1)\sim \text{month}+s(\text{SBT})+s(\text{Depth})+s(\text{SBS})$	438.7
Step3	$\ln(C+1)\sim s(\text{SBT})+s(\text{Depth})+s(\text{SBS})$	438.5
Step4	$\ln(C+1)\sim s(\text{SBT})+s(\text{SBS})$	437.8

注: C、SBT、SBS、month、Longitude、Latitude 和 Depth 分别表示矛尾虾虎鱼资源丰度、海水底层温度、海水底层盐度、月份、经度、纬度和水深。

Note: C, SBT, SBS, month, Longitude, Latitude and Depth indicate resource abundance, sea bottom temperature, sea bottom salinity, month, longitude, latitude and depth, respectively.

表 2 矛尾虾虎鱼 GAM 模型的方差分析

Tab. 2 Analysis of variance table of GAM for *Chaeturichthys stigmatias*

模型因子 model factor	残差自由度 residual degree of freedom	残偏差 residual deviance	偏差变化量 deviance variation	累计解释偏差/% accumulation of deviance explanation	AIC	F 检验 Pr(F)
初始 initial status	106	476.9				
底层水温 sea bottom temperature	102	341.9	135.0	28.3%	439.9	$1.5 \times 10^{-6}^{**}$
底层盐度 sea bottom salinity	71	310.9	166.0	34.8%	437.8	0.01195*

注: *和**分别表示显著性水平 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 。

Note: * and ** indicate significance level at the $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$, respectively.

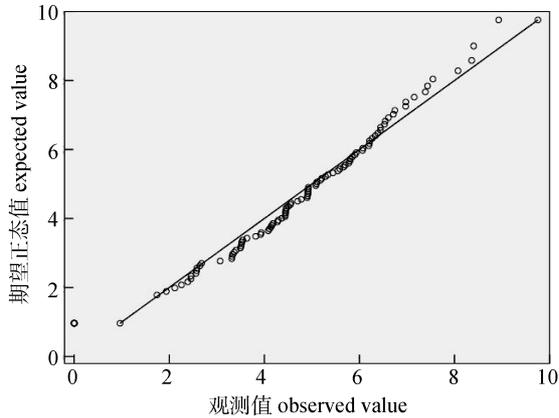


图 4 GAM 模型的 Q-Q 残差图
Fig. 4 Q-Q residual plot of GAM

3 讨论

3.1 矛尾虾虎鱼的时空分布特征

4 月、5 月的矛尾虾虎鱼资源丰度明显低于其他 4 个月份; 由于其产卵期为 4 月中下旬至 5 月, 这可能与亲体产卵后相继死亡有关^[13]。6 月、8 月资源丰度最大, 可能是由于水温较高, 饵料充足, 并且有大量当年生补充群体。

黄河口及邻近水域矛尾虾虎鱼资源丰度较高, 这可能是由于黄河口改道后其沙嘴前沿出现一个强潮流带, 将沙嘴向海中推进, 并使得潮流带进一步强化^[18], 将黄河入海径流携带的淡水, 泥沙

及营养盐充分与海洋环境相互作用, 形成了多种渔业经济种类的产卵场、育幼场和索饵场^[19]。河口生态系统位于淡水和海洋环境的交界处, 对河口性鱼类的生存和分布有着重要的生态意义^[20]。

3.2 矛尾虾虎鱼资源丰度的时空分布与环境因子的关系

底层水温对矛尾虾虎鱼资源丰度的时空分布具有极显著影响, 可能是由于温度是控制鱼类关键生理、生化和生活史过程的最主要的非生物因子, 在鱼类对河口的利用格局方面有深刻影响^[21]。本研究中, 黄河口及邻近水域底层水温变化范围为 1~27℃, 矛尾虾虎鱼的适宜底层温度范围为 17~22℃, 8 月、10 月具有适宜的底层水温, 所以其资源丰度较高。根据黄河口附近海区温度的等值线分布规律, 夏季沿岸水温高, 离岸水域温度低, 冬季则正相反^[22]。因此, 矛尾虾虎鱼在 6 月、8 月和 10 月主要分布在沿岸水域, 离岸水域资源丰度低, 而 2 月资源丰度较大值则出现在离岸区域, 与其他月有明显不同。

盐度是影响河口物种数目以及个体分布的主要因素之一^[23]。本研究中, 一方面, 黄河口及邻近水域底层盐度变化范围较大(13~30)。6 月调水调沙前盐度较高; 经过调水调沙, 黄河径流量大,

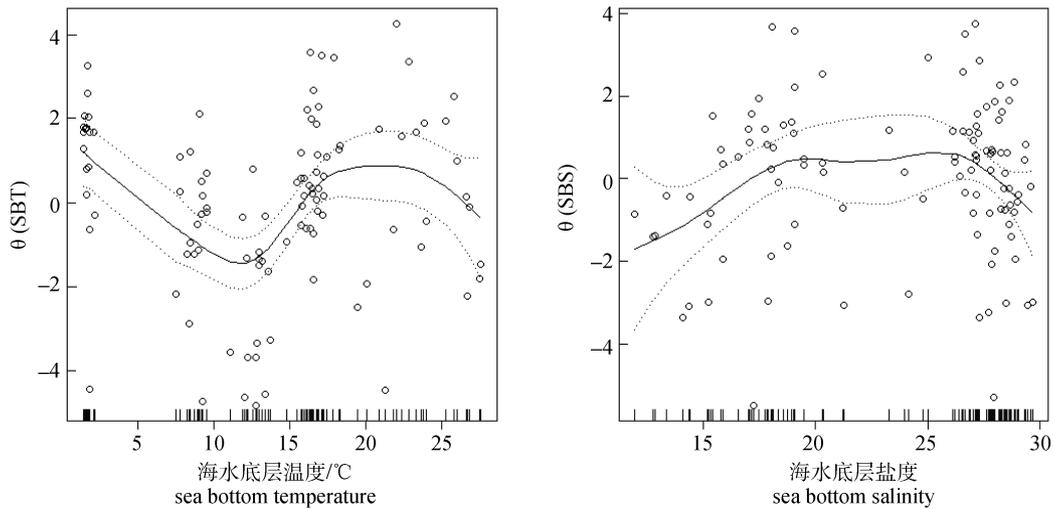


图 5 环境因子对矛尾虾虎鱼资源丰度分布的影响

Fig. 5 Effects of environmental factors on the distribution of resource abundance for *Chaeturichthys stigmatias* in the Yellow River estuary and its adjacent waters

冲淡水势力强, 8 月黄河口及邻近水域存在大片低盐区, 7 个站位盐度值低于 20, 对应图 5 右图中资源丰度在低盐度区有较大值分布; 2 月盐度值高, 是由于冬季径流减少、外海高盐水势力增强^[22]。矛尾虾虎鱼能适应较大的底层盐度变化范围, 因而成为黄河口及邻近水域主要优势种。另一方面, 本文矛尾虾虎鱼最适底层盐度为 27, 在黄河口冲淡水与海水交汇处资源丰度较高, 盐度较低的河口区和盐度较高的外海区资源丰度较低(图 2)。

相关研究表明水深等也是影响鱼类数量分布的主要因子^[24]。但本次调查范围相对小, 黄河口及邻近水域水深较浅(20 m 以内), 所以本研究中水深对矛尾虾虎鱼的分布影响不显著。

史赟荣等^[25]研究指出, 在 2010 年 5–6 月长江口渔业资源的调查中, 矛尾虾虎鱼为主要优势种, 栖息环境的底层温度在 17.9~21.2℃, 底层盐度在 19.5~32.4, 本研究结果与其结论基本一致。鱼类对海水温盐的变化非常敏感, 海水温度、盐度变化是其集群分布的重要条件^[4], 矛尾虾虎鱼能较好地适应黄河口水域底层的温度、盐度等环境因子的变化, 成为河口定居性主要优势种。

3.3 GAM 模型

GAM 模型优势在于能很好地处理连续变量的计算问题, 并能够快速处理大量的多变量数据^[9]。在 GAM 模型中, 数据误差分布可以为泊松分布、高斯分布、二项式分布及其他分布等^[26]。一般在渔业资源研究中, 数据量通常较大, 影响渔业资源的变量较多, 并且渔业数据的分布形式很难确定, 所以 GAM 模型在渔业资源研究中具有很大的优势^[27]。鱼类的空间分布受多种因素的影响, 各因子相互制约相互影响^[4], 在今后的研究中, 将获取更全面的数据, 深入分析诸如底质类型、海流等更多环境因子对矛尾虾虎鱼资源丰度空间分布的影响, 从而为其资源的养护和合理利用提供科学依据。

参考文献:

- [1] Su F Z, Zhou C H, Du Y Y, et al. Spatio-temporal problems of geographic information system in marine fishery[J]. Chinese

- Journal of Applied Ecology, 2003, 14(9): 1569–1572. [苏奋振, 周成虎, 杜云艳, 等. 海洋渔业资源地理信息系统应用的时间问题[J]. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1569–1572.]
- [2] Niu M X, Wang J, Yuan W, et al. Seasonal dissimilarity of *Engraulis japonicus* spatiotemporal distribution in Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(1): 114–121. [牛明香, 王俊, 袁伟, 等. 黄海鳀鱼时空分布季节差异分析[J]. 生态学杂志, 2013, 32(1): 114–121.]
- [3] Zhong X M, Tang J H, Zhang H, et al. Temporal and spatial distribution of *Michhys miuy* in Jiangsu coastal waters[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 32(3): 95–106. [仲霞铭, 汤建华, 张虎, 等. 江苏近岸海域鳀时空分布特征研究[J]. 海洋学报, 2010, 32(3): 95–106.]
- [4] Li J S, Lin L S, Cheng J H. Distribution characteristic of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis* Bleeker) and its relationship with bottom water temperature and salinity in the northern East China Sea in autumn[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(3): 348–356. [李建生, 林龙山, 程家骅. 东海北部秋季小黄鱼分布特征及其与底层温度和盐度的关系[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 348–356.]
- [5] Maravelias C D, Reid D G. Identifying the effects of oceanographic features and zooplankton on prespawning herring abundance using generalized additive models[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1997, 147: 1–9.
- [6] Hastie T J, Tibshirani R J. Generalized additive models[M]. London: Chapman and Hall, 1990.
- [7] Bigelow K A, Boggs C H, He X. Environmental effects on swordfish and blue shark catch rates in the US North Pacific longline fishery[J]. Fish Oceanogr, 1999, 8(3): 178–198.
- [8] Zheng B, Chen X J, Li G. Relationship between the resource and fishing ground of mackerel and environmental factors based on GAM and GLM models in the East China Sea and Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 水产学报, 2008, 32(3): 61–68. [郑波, 陈新军, 李纲. GLM 和 GAM 模型研究东黄海鲈资源渔场与环境因子的关系[J]. 水产学报, 2008, 32(3): 61–68.]
- [9] Chen X J, Tian S Q. Temp-spatial distribution on abundance index of nylon flying squid *Ommastrephes batrami* in the Northwestern Pacific using generalized additive models[J]. Journal of Jimei University: Natural Science, 2006, 11(4): 295–300. [陈新军, 田思泉. 西北太平洋柔鱼资源丰度时空分布的 GAM 模型分析[J]. 集美大学学报: 自然科学版, 2006, 11(4): 295–300.]
- [10] Zhou S F, Fan W, Cui X S, et al. Effects of environmental factors on catch variation of main species of stow net fisheries in East China Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(9): 1637–1640. [周甦芳, 樊伟, 崔雪森, 等. 环境

- 因子对东海区帆式张网主要渔获物渔获量影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1637–1640.]
- [11] 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. [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.]
- [12] Liu R Y. Checklist of Marine Biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008. [刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008.]
- [13] Deng W D. A preliminary study of growth and reproduction of *Chaeturichthys stigmatias*[D]. Kunming: Yunnan University, 2010. [邓维德. 矛尾虾虎鱼生长与繁殖的初步研究[D]. 昆明: 云南大学, 2010.]
- [14] Lü Z B, Li F, Qu Y B, et al. Fish community diversity in the Huanghe estuary and its adjacent area in summer, 2010[J]. Progress in Fishery Sciences, 2013, 34(2): 10–18. [吕振波, 李凡, 曲业兵, 等. 2010 年夏季黄河口及邻近海域鱼类群落多样性[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(2): 10–18.]
- [15] Swartzman G, Huang C H, Kaluzny S. Spatial analysis of Bering Sea groundfish survey data using generalized additive models[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1992, 49(7): 1366–1378.
- [16] Burnham K P, Anderson D R. Model selection and multi-model inference: a practical information theoretic approach. 2nd Ed [M]. New York: Springer, 2002: 488.
- [17] Wood S. Generalized additive models: an introduction with R[M]. Boca Raton: CRC Press, 2006.
- [18] Gu Y H, Xiu R C. On the current and storm flow in the Bohai Sea and their role in transporting deposited silt of the Yellow River [J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1996, 14(1): 1–6. [顾玉荷, 修日晨. 渤海海流概况及其输沙作用初析[J]. 黄渤海海洋, 1996, 14(1): 1–6.]
- [19] Zhu X H, Miao F, Liu D, et al. Spatiotemporal pattern and dominant component of fish community in the Yellow River estuary and its adjacent waters[J]. Studia Marina Sinica, 2001, 43: 141–151. [朱鑫华, 缪锋, 刘栋, 等. 黄河口及邻近海域鱼类群落时空格局与优势种特征研究[J]. 海洋科学集刊, 2001, 43: 141–151.]
- [20] Simier M, Lanrent C, Ecoutin J M, et al. The Gambia River estuary: A reference point for estuarine fish assemblages studies in West Africa[J]. Estuar Coast Shelf Sci, 2006, 69(3–4): 615–628.
- [21] Harrison T D, Whitfield A K. Temperature and salinity as primary determinants influencing the biogeography of fishes in South African estuaries [J]. Estuar Coast Shelf Sci, 2006, 66(1–2): 335–345.
- [22] Li Z G. Basic features of hydrologic elements in the sea area near the Yellow River estuary[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 2000, 18(3): 20–28. [李泽刚. 黄河口附近海区水文要素基本特征[J]. 黄渤海海洋, 2000, 18(3): 20–28.]
- [23] Macid S, Basset A. Composition, structural characteristics and temporal patterns of fish assemblages in non-tidal Mediterranean lagoons: a cases study[J]. Estuar Coast Shelf Sci, 2009, 83(4): 602–612.
- [24] Shen W, Cheng J H. Biomass distribution of *Champsodon snyderi* and its relationship with environmental factor in the East China Sea[J]. Marine Fisheries, 2008, 30(4): 31–38. [沈伟, 程家骅. 东海区短鳍齿鱼数量分布及其与环境因子的关系[J]. 海洋渔业, 2008, 30(4): 31–38.]
- [25] Shi Y R, Chao M, Quan W M, et al. Spatial variation in fish community of Yangtze River estuary in spring[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(5): 1141–1151. [史赞荣, 晁敏, 全为民, 等. 2010 年春季长江口鱼类群落空间分布特征[J]. 中国水产科学, 2011, 18(5): 1141–1151.]
- [26] Bellido J M, Pierce G J, Wang J J. Modelling intra-annual variation in abundance of squid *Loligo forbesi* in Scottish waters using generalized additive models[J]. Fish Res, 2001, 52: 23–29.
- [27] Tian S Q, Chen X J, Feng B, et al. Spatio-temporal distribution of abundance index for *Ommastrephes bartramii* and its relationship with habitat environment in the Northwest Pacific Ocean[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(5): 586–592. [田思泉, 陈新军, 冯波, 等. 西北太平洋柔鱼资源丰度与栖息环境的关系及其时空分布[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(5): 586–592.]

Spatiotemporal variation in the distribution and abundance of *Chaeturichthys stigmatias* in the Yellow River estuary and adjacent waters

LIU Xiao, ZHANG Chongliang, REN Yiping, XU Binduo

College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

Abstract: The fine spot goby *Chaeturichthys stigmatias* is a dominant species in the fish assemblage of the Yellow River estuary and adjacent waters and is important in the estuarine ecosystem and the local fishery. Sustainable exploitation and fishery management of this species requires knowledge of its spatiotemporal distribution and the influencing environmental factors. Bottom trawl surveys were conducted and environmental factors including sea bottom temperature (SBT), sea bottom salinity (SBS), and depth were concurrently measured in June, August, and October of 2013 and in February, April, and May of 2014. A generalized additive model (GAM) was used to examine the spatial and temporal patterns of distribution of *C. stigmatias* and the relationship between its abundance and spatiotemporal variation in environmental factors. *C. stigmatias* was found to mainly inhabit waters north of 37.80°N and west of 119.00°E. The spatial distribution of *C. stigmatias* differed distinctly among months. In June, August, and October of 2013, the goby was mainly distributed in inshore areas of the Yellow River estuary, while abundance was higher in offshore waters in February 2014. The average abundance as catch per haul per hour varied monthly. At 862 g/h, abundance was highest in August, followed by June with 521 g/h, and abundance was lowest in May. The environmental variables explained 34.8% of the variation in abundance of *C. stigmatias*, and sea bottom temperature and salinity significantly influenced the spatiotemporal distribution. GAM indicated that the abundance of *C. stigmatias* was high when bottom temperature was 17–22°C; thus temperature was a major factor driving patterns of distribution and abundance of *C. stigmatias*. Abundance was highest in areas with salinity of 18–27 ppt where marine and fresh waters mixed. Abundances were low in offshore waters with high salinity and in low salinity estuarine waters. The abundance of *C. stigmatias* was not correlated with depth, likely because of the relatively shallow waters in the Yellow River estuary and the limited survey region. Water temperature and salinity in the Yellow River estuary showed large spatiotemporal variation, and *C. stigmatias* appeared well adapted to the environmental variation.

Key words: Yellow River estuary; *Chaeturichthys stigmatias*; environmental factors; spatial distribution

Corresponding author: XU Bingduo. E-mail: bdxu@ouc.edu.cn