

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.17078

时空及环境因子对黄河口及邻近水域斑鲆资源丰度的影响

李敏¹, 徐宾铎¹, 麻秋云¹, 张崇良¹, 任一平¹, 万荣^{2, 3, 4}, 纪毓鹏¹

1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003;
2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306;
3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;
4. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266071

摘要: 斑鲆(*Konosirus punctatus*)作为黄河口及邻近海域近年来的优势种, 其在生态系统中的作用日趋重要, 为研究其资源丰度的变动对生态系统中多种生物的影响, 本研究根据 2013 年 6 月、8 月、10 月在黄河口及邻近海域进行的渔业资源和环境调查数据, 利用广义可加模型(GAM)分析了该海域夏、秋季斑鲆资源丰度分布特征及其与时空和环境因子的关系。结果表明, 黄河口及邻近海域斑鲆资源丰度呈现明显的季节变化, 斑鲆资源丰度秋季较高, 夏季较低; 其主要分布在黄河入海口以北的近岸海域。GAM 分析表明, 月份、水深、海水表层盐度和浮游植物丰度对斑鲆资源丰度分布具有显著影响。斑鲆资源丰度随浮游植物丰度的增大而增大; 在 10 m 水深范围内随水深增加呈下降趋势; 一定盐度范围内, 斑鲆资源丰度随表层盐度的增加而增大, 当盐度达到 17 时其丰度达到最大。因此, 在浮游植物丰度较高的低盐河口水域, 斑鲆资源丰度较大, 这与斑鲆的洄游习性、河口区受到淡水径流和海水运动共同作用所形成的环境因子的变动有关。

关键词: 斑鲆; 黄河口; GAM 模型; 资源丰度

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)05-0963-07

河口区作为咸淡水交汇处, 有机质和营养盐含量丰富, 海域初级生产力水平高, 通常是众多鱼类产卵、育幼和索饵的良好场所。河口区与人类生活关系最为密切, 易受到人类活动的强烈影响^[1]。黄河口及邻近海域是渤海重要的渔业生物种类繁殖、育幼场所。该水域有丰富的生物资源, 其中季节性洄游种类繁多, 形成黄河口海域的春、秋季的渔汛^[2-3]。

20 世纪 60 年代以来, 黄河径流锐减和断流天数的剧增对渔业生物产卵场和栖息地造成负面影响^[4]。20 世纪 80 年代以来, 由于受到岸线开发利用、海洋污染和过度捕捞等多种因素的影响, 黄河口水域渔业资源的生产潜力严重下降^[5]。渔业资源结构也发生很大变化, 无脊椎类和低值小型

鱼类所占比重提升^[6], 作为传统捕捞对象的底层鱼类如带鱼、小黄鱼、鲆鲽类等日益衰退, 斑鲆等小型中上层鱼类成为优势种^[7]。

斑鲆(*Konosirus punctatus*)属硬骨鱼纲(Osteichthyes)、鲱形目(Clupeiformes)、鲱科(Clupeidae)、鲆属, 是我国沿海重要的经济鱼种, 在黄海、渤海、东海及南海均有分布^[8-9]。斑鲆是河口区暖温性小型中上层鱼类^[10-11], 多栖息于软沙质泥环境。斑鲆属季节性洄游鱼类^[12], 春季洄游至河口海湾或河口一带的低盐水域^[13-14]。斑鲆是杂食性鱼类, 主要摄食有机碎屑和浮游动植物等^[12, 15], 对于生态系统有机碎屑再利用, 促进生态系统物质循环和能量流动具有重要意义。

作为黄河口及邻近海域生态系统中的优势种

收稿日期: 2017-03-06; 修订日期: 2017-05-08

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201303050).

作者简介: 李敏(1990-), 女, 博士研究生, 主要从事渔业资源与生态学研究. E-mail: haimi0609@163.com

通信作者: 纪毓鹏, 实验师. E-mail: cherish@ouc.edu.cn

类,斑鲮资源丰度的时空变动可能会对生态系统中多种生物产生重要影响。基于对斑鲮生态习性的了解,本研究初步筛选出影响斑鲮资源丰度时空分布的相关因子,通过建立广义可加模型研究黄河口及邻近水域夏、秋季斑鲮资源丰度时空变化与环境因子之间的关系,以期为黄河口及邻近海域斑鲮的养护和可持续利用提供参考。

1 材料和方法

1.1 数据来源和调查方法

本文中斑鲮资源丰度数据来自 2013 年 6 月、8 月、10 月在黄河口及邻近海域进行的渔业资源底拖网和环境调查资料。调查范围为 37.60°~38.20°N, 119.00°~119.80°E 的海域,调查站位的设计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 2 条断面各设置 3 个站位,河口附近的站位较密集,调查站位设置 18 个站点(图 1)。调查船为单拖渔船,船只功率为 260 kw,每站平均拖网时间为 1 h,拖速为 2.0~3.0 kn,网口宽度为 8 m,网囊囊目为 20 mm。依据《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)^[16]取样并带回实验室进行分析处理,各站渔获种类鉴定到种^[17-18],并对每种鱼类进行称量(精确到 0.1 g)和尾数统计。同步调查的环境因子包括水温、盐度、深度、pH 等,其中温度、盐度、深度采用 CTD 温盐深仪(XR-420)测定。样品的采集和测定参考《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)^[16]进行。在数据分析前对原始调查数据进行

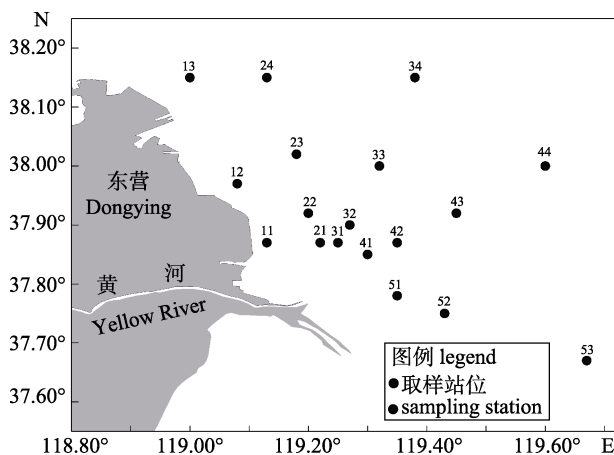


图 1 黄河口及邻近海域渔业资源与环境调查站位

Fig. 1 Sampling stations of fishery resources and environment survey in the Yellow River estuary and adjacent waters

标准化处理,将 18 个站位的斑鲮的渔获质量和尾数均标准化成拖网时间 1 h、拖速 2.0 kn 的渔获数值。

1.2 数据处理与分析

利用 GAM 模型对黄河口斑鲮资源丰度和选取的因子进行分析,GAM 模型的一般表达式如下^[19]:

$$Y = \alpha + \sum_{j=1}^n f_j(x_j) + \varepsilon$$

式中, Y 是斑鲮资源丰度指数(g/h),即各调查站位拖网时间 1 h 及拖速 2 kn/h 的渔获质量; x_j 表示解释变量,即各站位的时空和环境因子; α 是适合函数的截距; ε 表示残差; $f_j(x_j)$ 表示各自变量的任意单变量函数,为样条平滑函数(spline smoothing)。模型分析的误差函数均为正态分布,连接函数为自然对数^[20]。

时间因子对鱼类资源丰度变化起着至关重要的作用,因此本研究将月份选作模型的首要影响因素^[21]。另外,本研究还选出了经度、纬度作为空间因子;表层水温、表层盐度、底层溶解氧、叶绿素 a、水深以及浮游植物丰度作为环境因子进行分析。在分析斑鲮资源丰度时空变化与环境因子的关系前,首先对因子进行 Pearson 相关性分析,显著相关的两个因子之间选择其一。月份作为分类变量,不参与相关性分析。初步筛选出 6 个因子,其中包括经度、纬度、表层水温、表层盐度、水深和浮游植物丰度。根据 AIC(赤池信息量准则),在 AIC 最小的单因子预测函数的基础上按顺序加入其他因子,进而得到 AIC 值最小的双因子预测模型,再依照上面的过程不断重复,直到继续添加新的因子 AIC 值不再减小为止,所得到的 AIC 值最小的模型即为拟合效果最好的模型^[20]。将筛选出的 6 个因子代入 GAM 模型,进行进一步筛选。

利用 F 检验评估预测变量的显著性^[22-23]。

模型构建过程均在 R 统计软件(version: 2.15)的 GAM 软件包中实现^[22],并利用 Sufer11 软件绘制黄河口及邻近海域斑鲮资源丰度的空间分布图。

2 结果与分析

2.1 黄河口盐度变化及斑鲮资源丰度指数的时空变化

不同月份黄河口及邻近海域盐度变化呈现不

同规律, 6 月河口东北部存在一个低盐区, 低盐区附近盐度趋于稳定; 8 月河口北部出现 3 个低盐区, 且低盐区盐度变化较大; 10 月河口北部和东部共分布有 3 个低盐区, 低盐区以外其他海域盐度变化趋于稳定。斑鲮资源丰度指数也具有显著的月变化, 其中, 在调查海域 2 月和 4 月所获渔获物样本中无斑鲮出现。10 月份斑鲮资源丰度指数最高, 为 227.74 g/h; 6 月份次之, 为 95.60 g/h; 8 月份最低, 仅为 54.15 g/h。斑鲮资源丰度指数的空间分布在不同月份呈现出不同的分布规律, 8 月斑鲮空间分布最为集中, 密集区在河口以北低盐中心; 6 月相对 8 月较为分散, 除北部低盐中心外, 河口以东也有少量分布; 10 月分布最广, 密集区主要围绕低盐中心分布, 东北部海域也有分布(图 2)。

2.2 不同因子对黄河口斑鲮资源丰度分布的影响

由于时间因子月份是分类变量, 在模型构建时作为单独变量, 和其他无显著相关性的因子一同代入模型。表 1 列出了 GAM 筛选斑鲮资源丰度分布影响因子的过程。根据 AIC 原则筛选后的 GAM 最优模型最终表达式如下:

$$\lg(Y+1) = \alpha + S_1(X_1) + S_2(X_2) + S_3(X_3) + X_4 + \varepsilon$$

式中, Y 是资源丰度, X_1 、 X_2 、 X_3 依次是表层盐度、水深、浮游植物丰度, X_4 是月份。各因子的偏差解释率为 7.41%、10.31%、21.04% 和 18.2%, 所选因子对斑鲮资源丰度的累计解释偏差为 56.96%。其中贡献最大的因子为浮游植物丰度, 其次为月份和水深, 对响应变量影响程度最小的是盐度。GAM 方差分析结果表明, 水深对斑鲮资源丰度变化的影响极显著, 表层盐度和浮游植物丰度对斑鲮资源丰度变化的影响显著(表 2)。

图 3 表明了黄河口斑鲮资源丰度随浮游植物丰度、水深、表层盐度和月份的变化情况。GAM 分析结果显示, 斑鲮资源丰度随浮游植物丰度的增大呈明显上升趋势, 说明调查范围内, 浮游植物丰度的增大对斑鲮资源丰度的升高有促进作用。斑鲮资源丰度随水深增加呈下降趋势, 水深 10 m 以内, 斑鲮资源丰度随水深增加基本呈线性下降趋势; 水深达到 10 m 以上时, 斑鲮资源丰度较小且较稳定。斑鲮资源丰度在一定盐度范围内, 随表层盐度的增加而增大, 随后变化趋于平缓; 当盐度达到 17 时, 资源丰度最大。黄河口斑鲮在

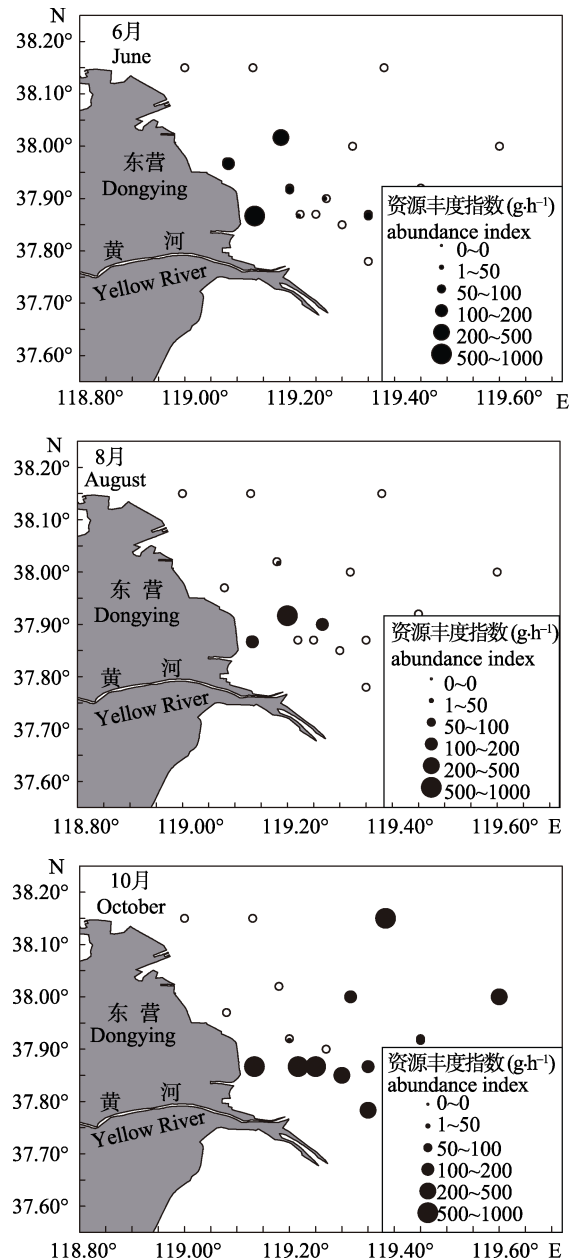


图 2 黄河口及邻近海域斑鲮资源丰度的空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of resource abundance of *Konosirus punctatus* in the Yellow River estuary and adjacent waters

不同月份资源丰度有明显变化, 10 月资源丰度最大, 6、8 月份资源丰度较小。综上所述, 黄河口斑鲮的资源丰度随环境因子的变化呈现明显的月间变化, 浮游植物丰度对斑鲮资源丰度的增大具有积极影响, 斑鲮资源丰度高值主要出现在盐度 16~20、水深 10 m 以浅的水域。

3 讨论

斑鲮资源丰度在不同月份的空间分布不同,

表 1 黄河口及邻近水域斑鲈资源丰度分布的影响因子的 GAM 模型筛选过程

Tab. 1 Forward-selection procedure of Generalized Additive Models (GAM) for affecting factors on spatio-temporal distribution of resource abundance for *Konosirus punctatus* in the Yellow River estuary and adjacent waters

模型 model	AIC 值 AIC	残差 residual	模型 model	AIC 值 AIC	残差 residual
month	255.5718	309.7516	month+phy+depth	245.4704	191.0258
month+st	259.1986	285.6558	month+phy+depth+st	249.6936	179.0132
month+ss	257.4852	276.7319	month+phy+depth+ss	244.8960	162.9794
month+lat	255.0733	264.6446	month+phy+depth+lat	248.6756	174.7954
month+lon	256.4822	271.6422	month+phy+depth+lon	249.4815	177.4829
month+depth	252.9307	254.3529	month+phy+depth+ss+st	250.9410	157.1828
month+phy	247.5153	230.0798	month+phy+depth+ss+lat	248.2731	149.6071
month+phy+ss	252.6832	218.3220	month+phy+depth+ss+lon	250.1172	154.8038
month+phy+st	248.9497	203.7389	month+phy+depth+ss+lat+st	252.1131	138.5134
month+phy+lat	251.5556	213.8120	month+phy+depth+ss+lat+lon	254.9018	145.8551
month+phy+lon	248.1018	200.5645			

注: month 表示调查时间; st 表示表层海水温度; ss 表示表层海水盐度; depth 为水深; phy 表示浮游植物丰度; lon 为采样点的经度; lat 为采样点的纬度。

Note: month indicates the survey time, st indicates surface water temperature, ss indicates surface water salinity, phy indicates phytoplankton abundance, lon indicates longitude, lat indicates latitude.

表 2 GAM 模型拟合结果的偏差分析

Tab. 2 Analysis of deviance for generalized additive models (GAM)

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 值 AIC value	F
初始	53	378.65				
月份 month	51	309.75	68.9	18.20	255.57	
浮游植物丰度 Phytoplankton abundance	47	230.08	79.67	39.24	247.52	0.001**
水深 water depth	43	191.03	39.05	49.55	245.47	0.019*
海水表层盐度 surface salinity	39	162.98	28.05	56.96	244.9	0.027*

注: *表示差异显著 ($P < 0.05$); **表示差异极显著 ($P < 0.01$).

Note: * indicates significant difference ($P < 0.05$), ** indicates extremely significant difference ($P < 0.01$).

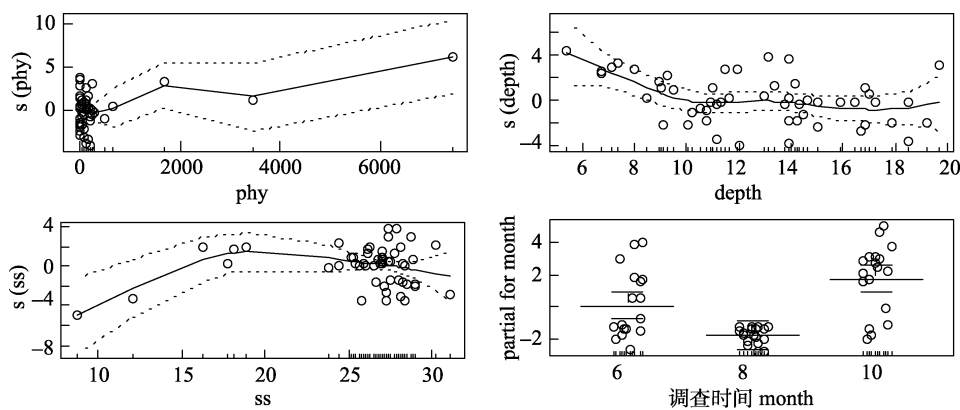


图 3 相关因子对黄河口及邻近水域斑鲈资源丰度的影响

month 表示调查时间; st 表示表层海水温度; ss 表示表层海水盐度; depth 为水深; phy 表示浮游植物丰度; lon 为采样点的经度; lat 为采样点的纬度。

Fig. 3 Effects of explanatory variables on resource abundance of *Konosirus punctatus* in the Yellow River estuary and adjacent waters month indicates the survey time, st indicates surface water temperature, ss indicates surface water salinity, phy indicates phytoplankton abundance, lon indicates longitude, lat indicates latitude.

表明斑鲆在黄河口及邻近水域存在季节性空间移动情况。该海域冬、春季节没有捕获到斑鲆样本,这可能与其每年夏、秋季节游向深海,次年春季才洄游至莱州湾附近海域有关^[13-14]。斑鲆喜食硅藻中的圆筛藻、舟形藻^[10],6月份水温上升,光照充足,水中营养盐较丰富,浮游植物大量繁殖^[24],为斑鲆提供了大量的饵料生物,有利于斑鲆产卵后在近岸海区索饵以及稚、幼鱼随潮进入内湾咸淡水域觅食育肥。6月斑鲆主要分布在河口东北部的近岸水域。而8月和10月斑鲆的分布范围东移且扩大,这与9月、10月以后,随着水温下降,斑鲆又渐渐离开近岸浅水区,向深水移动有关^[10]。但总体上,斑鲆主要分布在黄河口及邻近水域的近岸浅水海域,其资源丰度随水深的增加而降低。

本次调查黄河口及邻近海域6月、8月和10月平均盐度为26.67,黄河入海口附近盐度均较低,而东北部海域盐度较高,这与河口区受淡水输入影响大有关^[25]。河口区水域盐度受淡水径流和海水运动的双重作用,不同月份盐度变化规律也有显著不同,8月和10月的低盐中心较6月份东移,且低盐中心数量增加,图2可以看出斑鲆的数量分布随低盐中心的移动而变化。另外,黄河口及邻近海域还受到沿岸流的影响。沿岸流由渤海西南部沿岸的海河、黄河径流入海形成,除渤海湾沿岸水在春季沿渤海岸向北流动外,其他季节均与莱州湾沿岸低盐水汇合^[26],对黄河口及邻近海域盐度的变化也造成一定影响。GAM模型的方差分析表明,海水表层盐度对夏秋季节黄河口斑鲆资源丰度有显著的影响,斑鲆主要分布在盐度16~20范围内,这一盐度范围与河口位置大致相符。

GAM模型大多用于解决非线性问题,在分析浮游植物丰度对斑鲆资源丰度的影响时,虽然浮游植物丰度对斑鲆资源丰度的影响极显著,斑鲆资源丰度随浮游植物的增多而增大,但模型的拟合结果并不十分理想,这与浮游植物丰度在GAM模型中的偏差解释率较大有关。另外,斑鲆主要仅摄食几种浮游植物而非全部种类也可能是造成误差的原因。

黄河口及邻近海域浮游植物大部分属于近岸类型,河口种类也占有一定比例^[24],使得黄河口

及临近水域浮游生物等饵料资源丰富,这也是造成斑鲆主要分布在河口附近的原因之一。另外,夏、秋季节气温升高,黄河径流量增大,黄河口附近沿岸海域淡水堆积较多,河流从陆上带来的泥沙和有机质的数量比较多^[27],其中携带的有机碎屑也为斑鲆提供了丰富的饵料^[9]。黄河口及其邻近海域斑鲆各月份内的空间分布除了本研究提到的上述影响因子,其他环境因子也可能对斑鲆的分布有一定影响。例如,氮磷营养盐含量的高低会影响部分浮游植物的生长,这可能会对斑鲆的饵料组成造成影响。另外,由于斑鲆有时也摄食底栖动物,且多喜栖息于软沙底质水域^[28],而黄河口入海口附近常年受到入海径流携带的泥沙堆积作用,底质多为粉砂质沙^[29],为斑鲆提供了较为理想的栖息场所,这也可能是造成黄河口河口附近斑鲆数量较高的原因之一。

参考文献:

- [1] Ma Y J, Yang J M. Mechanism of estuarine ecosystem[J]. *Modern Fisheries Information*, 1997, 12(11): 4. [马英军, 杨纪明. 河口生态系机制[J]. *现代渔业信息*, 1997, 12(11): 4.]
- [2] Jin X S. The dynamics of major fishery resources in the Bohai Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2000, 7(4): 22-26. [金显仕. 渤海主要渔业生物资源变动的研究[J]. *中国水产科学*, 2000, 7(4): 22-26.]
- [3] Zhang J M, Liu S, Yin W H, et al. Primary indication of integrated carrying capacity in the region of the Yellow River Estuary and its application[J]. *Marine Science Bulletin*, 2012, 31(5): 496-501. [张继民, 刘霜, 尹韦翰, 等. 黄河口区域综合承载力评估指标体系初步构建及应用[J]. *海洋通报*, 2012, 31(5): 496-501.]
- [4] Deng J Y, Jin X S. Study on fishery biodiversity and its conservation in Laizhou Bay and Yellow River Estuary[J]. *Zoological Research*, 2000, 2(21): 76-82. [邓景耀, 金显仕. 莱州湾及黄河口水域渔业生物多样性及其保护研究[J]. *动物学研究*, 2000, 2(21): 76-82.]
- [5] Zhu X H, Miao F, Liu D, et al. Spatio-temporal pattern and dominant component of fish community in the Yellow River Estuary and its adjacent waters[J]. *Studia Marine Sinica*, 2001, 43(6): 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(6): 141-151.]
- [6] Jin X S. Long term changes in fish community structure in the Bohai Sea[J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2004, (59): 163-171.
- [7] Chen D G. *Fisheries Ecology of Yellow Sea and Bohai Sea*[M]. Beijing: China Ocean Press, 1991. [陈大刚. *黄渤海*

- 渔业生态学[M]. 北京: 海洋出版社, 1991.]
- [8] Zhang S Y. China Fauna[M]. Beijing: Science Press, 2001. [张世义. 中国动物志[M]. 北京: 科学出版社, 2001.]
- [9] Chen D G. The spotted gizzardshad[J]. Fisheries Science & Technology Information, 1975(9): 29–30. [陈大刚. 斑鲈[J]. 水产科技情报, 1975(9): 29–30.]
- [10] Zeng H H. Study on community structure and species diversity of fish assemblage in the coastal waters of Jiaozhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012. [曾慧慧. 胶州湾近岸水域鱼类群落结构特征及多样性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.]
- [11] Jin B M. The productive biology of gizzard shad *Clupanodon punctatus* in Xipu Bay[J]. Journal of Fisheries of China, 1993, 17(2): 126–136. [金彬明. 福建省东山岛西埔湾港养斑鲈的繁殖生物学[J]. 水产学报, 1993, 17(2): 126–136.]
- [12] Jin X S, Deng J Y. Yearly variations of fishery resources and biodiversity in the Lai Zhou Bay[J]. Marine Fisheries Research, 1999, 20(1): 6–12. [金显仕, 邓景耀. 莱州湾春季资源及生物多样性的年间变化[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(1): 6–12.]
- [13] Gao Y J, Lv Z B, Yang Y Y, et al. Structure and species diversity of ichthyoplankton in spring in Laizhou Bay[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(20): 6565–6573. [高彦洁, 吕振波, 杨艳艳, 等. 莱州湾春季鱼卵仔稚鱼群落结构和物种多样性[J]. 生态学报, 2016, 36(20): 6565–6573.]
- [14] Jin X S, Deng J Y. Variations in community structure of fishery resources and biodiversity in the Laizhou Bay[J]. Biodiversity Science, 2000, 8(1): 65–72. [金显仕, 邓景耀. 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化[J]. 生物多样性, 2000, 8(1): 65–72.]
- [15] Guo B, Zhang B, Jin X S. Diet composition and ontogenetic variation in feeding habits of juvenile small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in the Yellow Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(2): 289–297. [郭斌, 张波, 金显仕. 黄海海州湾小黄鱼幼鱼的食性及其随体长的变化[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 289–297.]
- [16] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. GB/T12763.3-2007, specifications for oceanographic survey-part 6: marine biological survey[S]. Beijing: China Standards Press, 2007. [国家质量监督检验检疫总局. GB/T12763.3-2007, 海洋调查规范第 6 部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [17] Zhang C L, Cheng Q T. Fishes Survey Report in Yellow and Bohai Seas[M]. Beijing: Science Press, 1955: 298–300. [张春霖, 成庆泰. 黄渤海鱼类调查报告[M]. 北京: 科学出版社, 1955: 298–300.]
- [18] Cheng Q T, Zheng B S. China Fish Systematics Index[M]. Beijing: Science Press, 1987. [成庆泰, 郑葆珊. 中国鱼类系统索引[M]. 北京: 科学出版社, 1987.]
- [19] Hastie T J, Tibshirani R J. Generalized Additive Models[M]. London and New York: Chapman and Hall, 1990.
- [20] Li Z G, Ye Z J, Zhang C, et al. CPUE distribution of *Setipinna taty* in southern Yellow Sea and its influencing factors revealed by stow net fishing in spring[J]. Journal of Ocean University of China, 2013, 43(5): 30–36. [李增光, 叶振江, 张弛, 等. 黄海南部春季帆张网黄鲫 CPUE 分布及其影响因素分析[J]. 中国海洋大学学报, 2013, 43(5): 30–36.]
- [21] Wang X H. Spatial distribution of dominant fish species in Haizhou Bay and their relationships with environmental factors[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. [王小荟. 海州湾主要鱼种的空间分布及其与环境因子的关系[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.]
- [22] Burnham K P, Anderson D R. Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach[M]. Berlin: Springer Verlag, 2002.
- [23] Akaike H. Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle[M]. Berlin: Springer Verlag, 1973.
- [24] Tian J Y. Diversity of phytoplankton in the sea near Yellow River Delta[J]. Marine Environmental Science, 2000, 19(2): 38–42. [田家怡. 黄河三角洲附近海域浮游植物多样性[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(2): 38–42.]
- [25] Xu Z F. Hydrochemistry of surface seawater of Laizhou Bay[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2014. [徐振飞. 莱州湾表层海水水化学要素分析[D]. 北京: 中国地质大学, 2014.]
- [26] Li X C. The study on the current ecological environment situation and its development feather in off-shore area of Shandong Province (focus on Yellow Sea)[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011. [李先超. 山东近岸海域(黄海部分)生态环境现状及演变特征研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.]
- [27] Li Z G. Basic feathers 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特征基本特征[J]. 黄渤海海洋, 2000, 18(3): 20–28.]
- [28] Zhu Y D, Zhang C L. The Fishes of East China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1963. [朱元鼎, 张春霖. 东海鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 1963.]
- [29] Wang W H, Xia D X, Gao X C, et al. China's Bay[M]. Beijing: Science Press, 1993. [王文海, 夏东兴, 高兴辰, 等. 中国海湾志: 山东半岛南部和江苏省海湾. 第四分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.]

Generalized additive model reveals effects of spatiotemporal and environmental factors on the relative abundance distribution of *Konosirus punctatus* in the Yellow River estuary and its adjacent waters

LI Min¹, XU Binduo¹, MA Qiuyun¹, ZHANG Chongliang¹, REN Yiping¹, WAN Rong^{2,3,4}, JI Yupeng¹

1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

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

3. National Ocean Fishery Engineering Technology Research Center, Shanghai 201306, China;

4. Laboratory for Marine Fisheries and Aquaculture; Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China

Abstract: *Konosirus punctatus* is an important detritus-feeding fish and the prey of many high-trophic-level species in the Yellow River estuary ecosystem. Thus, *K. punctatus* has large effects on the abundance distribution of many fish species in the waters. The distribution of *K. punctatus* relative abundance in relation to spatiotemporal and environmental factors were analyzed using generalized additive models (GAM) based on bottom trawl surveys conducted during July, August, and October 2013 in the Yellow River estuary and its adjacent waters. Pearson correlation analysis was indispensable for determining whether factors introduced in the model were significantly correlated, as included variables should be independent. The relative abundance of *K. punctatus* varied noticeably with resource abundance, being high in autumn and low in summer. Additionally, *K. punctatus* was mainly distributed in the coastal waters of the northern Yellow River estuary; however, with seasonal decreases in food resources and temperature, the distribution gradually moved to the open sea. A minimum Akaike information criterion (AIC) was used to determine the best-fit GAM, via a stepwise method. Month, depth, sea-surface salinity, and phytoplankton abundance significantly affected the abundance distribution of *K. punctatus* in the Yellow River estuary and its adjacent waters. The final model explained 56.96% of the deviance, with phytoplankton abundance contributing the most (21.04%). *Konosirus punctatus* abundance generally decreased with depth and increased with increasing phytoplankton abundance and sea-surface salinity. Specifically, abundance was relatively high in phytoplankton-rich waters <10 m in depth and with a sea-surface salinity of 17. These conditions may be related to reproduction-related migration, as well as estuarine environmental variation from the combined effects of freshwater runoff and tidal movement. In a future study, more data on quantifiable social and biological factors will increase the reliability of our conclusions. Nonetheless, the results of this study should contribute to the conservation and sustainable use of *K. punctatus* in the Yellow River estuary and adjacent waters.

Key words: *Konosirus punctatus*; Yellow River estuary; generalized additive model; resource abundance

Corresponding author: JI Yupeng. E-mail: cherish@ouc.edu.cn