

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.140330

时空和环境因子对海州湾方氏云鳚资源丰度分布的影响

李敏, 李增光, 徐宾铎, 王小荟, 师琪

中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003

摘要: 根据 2011 年 3 月、5 月、7 月、9 月和 12 月在海州湾及邻近海域进行的渔业资源底拖网调查数据, 研究了该海域方氏云鳚(*Pholis fangi*)资源丰度的分布特征, 并用广义可加模型(GAM)分析了其资源丰度分布与时空和环境因子之间的关系。结果表明, 海州湾及邻近海域方氏云鳚资源丰度呈现明显的时空变化。方氏云鳚资源丰度 7 月最高, 9 月最低; 其主要分布在海州湾东北部海域, 这与受到南黄海西侧冷中心的影响有关。GAM 分析表明, 月份、水深和离岸距离对方氏云鳚的资源丰度具有显著影响。方氏云鳚的资源丰度随水深的增加而增大, 随离岸距离的增大呈现先增加后降低的趋势。在离岸距离 70 km 左右, 水深 14~36 m 时, 方氏云鳚的资源丰度较大, 这可能与其产卵洄游和环境因子的时空差异有关。

关键词: 方氏云鳚; 海州湾; 广义可加模型; 时空分布

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)04-0812-08

方氏云鳚(*Pholis fangi*)属硬骨鱼纲(Osteichthyes), 鲈形目(Perciformes), 绵鳚亚目(Zoarcoidei), 锦鳚科(Pholididae), 云鳚属(*Pholis*)^[1], 主要分布于黄渤海区^[2]。方氏云鳚为近岸集群性小型底层冷温性鱼类^[3], 常年栖息于近岸岩礁、海藻和石砾间, 有季节性洄游的习性^[2]。由于方氏云鳚的个体较小, 且数量丰富, 常作为大型经济鱼类的饵料, 在食物链中起着承上启下的关键作用^[3], 对于鱼类群落结构的稳定性至关重要。目前国内有关方氏云鳚的研究主要集中在生物学方面^[4-6], 而有关方氏云鳚时空分布及其与环境因子之间关系的研究尚未见报道。

渔业资源数据的处理与分析方法有基于调查设计的方法^[7-9](design-based method)和基于模型的方法^[10-11](model-based method)。国内的研究多采用传统的、基于调查设计的方法处理渔业资源数据, 基于模型的方法使用较少^[12-13]。目前, 广

义可加模型 GAM^[14]广泛应用于渔业资源数量分布与环境因子之间关系的研究。例如, 官文江等^[15]利用 GAM 模型分析了海洋环境对鲈(*Scomber japonicus*)捕捞率的影响; 林龙山等^[16]根据小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)主要产卵季节的多年调查数据, 分析了黄海南部和东海小黄鱼产卵场分布及其环境特征; 陈新军等^[17]则使用 GAM 模型分析表温对西北太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)资源状况的影响。

海州湾渔场曾是我国著名的渔场之一, 也是众多渔业生物的产卵场、育幼场和索饵场。近年来, 由于受到过度捕捞、气候变化以及环境污染等多重因素的影响, 许多重要经济鱼类资源衰退。因此, 在此背景下研究该海域方氏云鳚的资源丰度分布与时空和环境因子的关系, 有助于深入了解其渔业资源状况及其对环境变化的响应。

本研究根据在 2011 年 3 月、5 月、7 月、9 月

收稿日期: 2014-08-06; 修订日期: 2014-10-04.

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目(201305030); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(201262004, 201022001); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20120132130001).

作者简介: 李敏(1990-), 女, 硕士研究生, 主要从事渔业资源生物学的研究. E-mail: haimi0609@163.com

通信作者: 徐宾铎. E-mail: bdxu@ouc.edu.cn

和 12 月在海州湾进行的渔业资源和环境调查数据,研究了方氏云鳎资源丰度的时空分布,并应用 GAM 模型分析了其与相关因子之间的关系,探讨了环境变化对方氏云鳎资源丰度分布的影响,以期合理预测海州湾方氏云鳎资源的时空变动以及资源的可持续利用和科学管理提供依据。

1 材料和方法

1.1 调查海域和采样方法

方氏云鳎资源丰度(单位网次的渔获量)数据来源于2011年3月、5月、7月、9月和12月在海州湾及其邻近海域进行的渔业资源与环境调查,调查海域为119°20'E-121°10'E、34°20'N-35°40'N。本次调查采用分层随机取样^[18]的方法设计调查站位:首先按经纬度设置均匀分布的网格状采样小区,以每经度10'、纬度10'为一个采样小区,全海域共设置76个小区;其次根据水深、纬度方向、海流等因素的差异,将调查海域分为A、B、C、D、E共5个区域(图1),每个航次在各个区域内均随机选取一定数量的站位进行调查,其中A区3个, B区5个, C区3个, D区9个, E区4个,共24个调查站位(由于天气问题,7月只完成了15个站位)。调查船为220 kW的单拖渔船,拖速为2~3 kn。每站拖网时间约为1 h,调查网具的扩张网口宽度约为25 m,扩张网口高度约6 m,囊网网目17 mm。在每个调查站位,捕获渔获物的同时,同步进行相关环境参数的测定,包括水深、叶绿素a、底层水温、底层盐度和溶解氧等参数。其中样品的采集和分析参考《海洋调查规范》^[19]和《海洋监测规范》^[20],底层水温、底层盐度和溶解氧由CTD温盐深仪测定。在数据进一步分析前,为便于比较,将网获质量换算成拖速为2.0 kn和拖网时间1.0 h的单位网次渔获量作为资源丰度的指标。

1.2 数据处理和分析

利用 GAM 模型对方氏云鳎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^[14]:

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

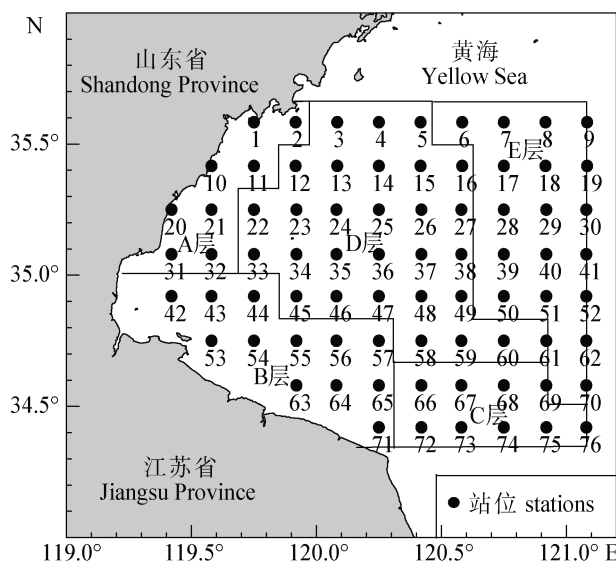


图1 海州湾及邻近海域渔业资源与环境调查区域图

Fig. 1 Map of bottom trawl survey areas in Haizhou Bay and adjacent waters

其中, Y 是资源丰度(g/h), 即各调查站位拖网时间1 h及拖速2 kn时的渔获质量; 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, $f_i(x_j)$ 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^[21]。

本研究选出了月份(month)1个时间因子, 经度(longitude)、纬度(latitude)和离岸距离(distance)3个空间因子, 水深(depth)、底层水温(bottom water temperature)、底层盐度(bottom salinity)、底层溶解氧(bottom dissolved oxygen)和叶绿素a (Chlorophyll a)5个环境因子, 共9个因子进行分析。这里定义离岸距离为采样点到岸边的水平距离。将这些环境因子代入模型前, 首先对因子进行 Pearson 相关性分析, 显著相关的两个因子原则上不同时加入模型。月份作为分类变量, 不参与相关性分析。将无显著相关性的因子依次代入 GAM 模型, 进一步从中选出对方氏云鳎资源丰度分布影响显著的因子。

利用基于 AIC (Akaike Information Criterion) 准则的逐步回归法(step. wise)检验模型的拟合程度, 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不会减小 AIC 值为止,所得到的 AIC 值最小的模型即为最优模型^[22]。利用 F 检验评估预测变量的显著性^[23-24]。

AIC 由以下公式计算:

$$AIC=2k-2\ln L$$

其中, k 是参数的个数, L 是似然函数。

模型构建过程均在 R 统计软件(version: 2.15)的 gam 软件包中实现^[25],并利用 ArcGIS 9.3 软件绘制方氏云鳚资源丰度的空间分布。

2 结果与分析

2.1 方氏云鳚资源丰度的时空变化

方氏云鳚资源丰度具有显著的月变化。其中,7月份最高,为3 539.4 g/h;5月份次之,为1 935.2 g/h;9月份最低,仅为125.3 g/h(表1)。方氏云鳚资源丰度的空间分布在不同月份呈现出不同的分布规律;其中,3月份在20 m以深海域较大;5月份在30 m水深附近海域较大;7月份和9月份方氏云鳚主要分布在35°N以北海域;而12月份则主要分布在20 m以深海域(图2)。

表 1 海州湾方氏云鳚资源丰度的月变化
Tab. 1 Monthly variations in resource abundance of *Pholis fangi* in Haizhou Bay

$\bar{x} \pm SD$					
月份 month	3 月 March	5 月 May	7 月 July	9 月 September	12 月 December
资源丰度/(g·h ⁻¹) catch per haul	908.2±136.7	1935.2±151.6	3539.4±116.3	125.3±26.7	1179.7±104.6

2.2 不同因子对方氏云鳚资源丰度分布的影响

由于时间因子月份(month)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2列出了方氏云鳚资源丰度分布的影响因子的 GAM 筛选过程。根据 AIC 原则,筛选后的 GAM 最优模型最终表达式如下:

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

其中, Y 表示资源丰度, X_1 、 X_2 依次表示水深(depth)和离岸距离(distance), X_3 表示月份。

GAM 模型的方差分析表明,水深和离岸距离对方氏云鳚资源丰度的分布影响显著($P<0.05$) (表3)。

图3表明了方氏云鳚资源丰度随水深、离岸距离和月份的变化情况。方氏云鳚资源丰度随离岸距离增加呈先升后降的趋势,整体变化不明显。在0~70 km时方氏云鳚资源丰度随离岸距离的增大而增加,在离岸距离为70 km左右出现峰值;随后其随离岸距离的增大缓慢降低,但幅度不大。方氏云鳚资源丰度随水深的增加变化较明显,在水深为14~36 m时方氏云鳚资源生物量随水深的增加而增加,随后变化趋势较为平缓,在水深40 m时基本稳定。海州湾方氏云鳚在不同的月份资源丰度有明显变化,春、夏、冬季月份资

表 2 海州湾方氏云鳚资源丰度分布的影响因子的 GAM 模型筛选过程

Tab. 2 Forward-selection procedure of generalized additive models (GAM) for affecting factors on spatio-temporal distribution of abundance for *Pholis fangi* in Haizhou Bay

模型 model	残偏差 residual deviance	AIC
M		
M+BSS	674.87	472.06
M+BST	773.59	484.89
M+La	552.03	452.83
M+Lo	846.08	493.37
M+De	404.05	423.84
M+Di	848.36	493.56
M+De+BSS	396.16	429.98
M+De+BST	378.09	425.59
M+De+La	349.44	418.18
M+De+Lo	380.79	420.26
M+De+Di	348.81	418.01
M+De+Di+BSS	344.43	424.83
M+De+Di+BST	327.58	420.11
M+De+Di+La	312.92	418.81
M+De+Di+Lo	346.48	425.39

注: M 表示调查月份; BST 表示底层海水温度; BSS 表示底层海水盐度; De 为水深; Di 为离岸距离; Lo 为采样点的经度; La 为采样点的纬度。

Note: M means month; BST means the bottom water temperature; BSS means the bottom salinity; De means depth; Di means distance; Lo means longitude; La means latitude.

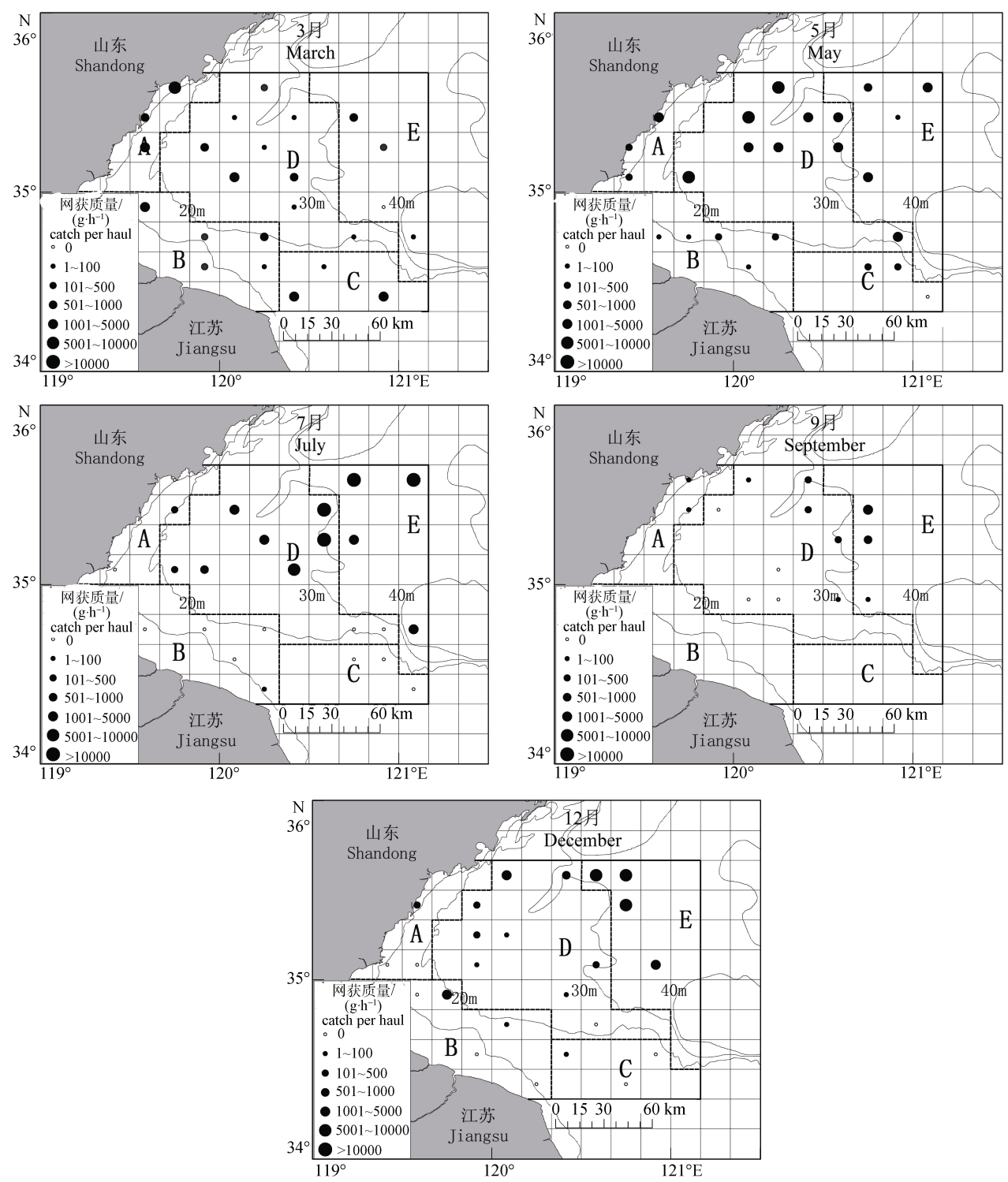


图 2 海州湾方氏云鳚资源丰度的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of abundance of *Pholis fangi* in Haizhou Bay

源丰度较大, 秋季 9 月份资源丰度最小。综上所述, 海州湾方氏云鳚的资源丰度呈现明显的季节变化, 且主要分布在离岸距离 70 km 左右、水深在 14~36 m 的海域(图 3)。

3 讨论

GAM 模型的方差分析表明, 离岸距离和水深对方氏云鳚资源丰度有显著的影响。方氏云鳚资

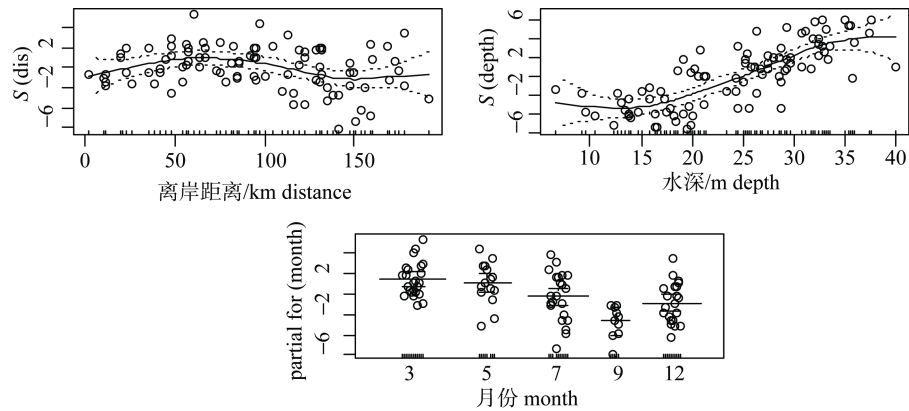


图 3 相关因子对方氏云鳚资源丰度的影响

Fig. 3 Effects of explanatory variables on abundance of *Pholis fangi*

表 3 GAM 模型的方差分析

Tab. 3 Analysis of variance table of GAM

解释变量 explanatory variables	离岸距离 distance	水深 depth
<i>F</i>	3.69	3.51
<i>P</i>	0.015*	0.018*

注: *表示差异显著($P<0.05$).

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

源丰度在不同月份的空间分布不同,表明方氏云鳚在海州湾海域存在季节性空间移动情况,这与其生殖洄游规律相吻合^[3]。方氏云鳚 11 月份进入繁殖期,开始向近岸海域洄游繁殖,近岸海域开始有少量分布;至 3 月份时,方氏云鳚集中在近岸海域产卵、索饵,其后开始向深水区移动,主要分布在海州湾东北部海域,近岸海域几乎无分布。姜志强等^[5]认为大连海域方氏云鳚的繁殖期在 10–11 月,由此可见方氏云鳚的繁殖期因海域而异。

海州湾方氏云鳚各季节内的空间变化与黄海冷水团西侧中心,即青岛冷水团有一定关系。研究表明,黄海冷水团于仲春季节形成,至春末完全成型;7–8 月是冷水团的鼎盛时期;仲秋季节冷水团处于衰消期;至 12 月,冷水团消失;且从初春至盛夏,南黄海东、西两个冷中心皆向黄海槽中心区方向推移,在冷中心位置变更的过程中,附近水体的温、盐性质也因其所处位置的不同而有所变化^[26]。GAM 模型结果表明,方氏云鳚主要分布在水深为 14~36 m 的海域(位于海州湾东北部),这基本上包含在黄海西侧冷中心即青岛冷水

团的影响范围之内^[27–28]。另外,海州湾也受到鲁南沿岸流、苏北沿岸流以及黄海暖流等海流的影响^[29]。黄海沿岸流沿山东北部向东,到达成山角,绕过成山角后进入黄海南部,到达苏北沿岸,并继续向南延伸,途径海州湾,对海州湾的盐度和温度时空分布有重要影响。黄海暖流由南向北绕过山东半岛到达渤海,具有相对高温、冬强夏弱的特点,对冬季海州湾方氏云鳚的分布造成一定影响。本研究中离岸距离在 70 km 时方氏云鳚资源量高,这与该海域受南黄海冷水团西侧冷中心影响有关。

除了本研究中提到的上述影响因子,其他环境因子也可能对方氏云鳚的分布有一定影响。例如,黄海冷水团中心部分存在上升流^[30],这对叶绿素的垂直分布^[31]有十分重要的影响,使得方氏云鳚的主要饵料生物如沙蚕、太平洋磷虾、细长脚蚧^[2]在海州湾东北部海域生物量较大,从而对方氏云鳚的空间分布格局也产生一定的影响。另外,由于方氏云鳚多栖息于近岸沙泥底质水域底层^[1],海州湾东北部海域底质多为粉沙细沙底^[32],为方氏云鳚提供了较为理想的栖息场所,这也可能是造成海州湾东北部海域方氏云鳚数量较高的原因之一。在将来的进一步研究中,需综合考虑上述因子的影响,并分析全球变暖对海州湾方氏云鳚的时空分布的潜在影响。

参考文献:

[1] Meng Q W, Su J X, Miao X Z. The Taxonomy of Fishes[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995.[孟庆闻, 苏锦祥,

- 缪学祖. 鱼类分类学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.]
- [2] Bi Y P. Biology and its fishery of Fang's blenny *Enedrias fangi* Wang et Wang in offshore in Liaoning Province[J]. Fisheries Science, 2005, 24(9): 27–28.[毕远溥. 方氏云鳚渔业生物学及其在辽宁沿海的渔业[J]. 水产科学, 2005, 24(9): 27–28.]
- [3] Huang X X, Zeng X Q, Zhang C. The reproductive biology of *Enedrias fangi* in the inshore waters of Qingdao[J]. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(8): 55–59.[黄晓璇, 曾晓起, 张驰. 青岛近海方氏云鳚繁殖生物学的初步研究[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2010, 40(8): 55–59.]
- [4] Meng Q J, Jiang Z Q, Qin K J. The histological characteristics and division of the stages of the ovarian development of *Enedrias fangi* in Dalian[J]. Journal of Dalian Fisheries College, 1990, 5(1): 17–21.[孟庆金, 姜志强, 秦克静. 大连地区方氏云鳚卵巢发育的组织学特征及其分期[J]. 大连水产学院学报, 1990, 5(1): 17–21.]
- [5] Jiang Z Q, Meng Q J, Miao Z O. The reproductive biology of *Enedrias fangi* in Dalian[J]. Journal of Dalian Fisheries College, 1997, 12(3): 3–8.[姜志强, 孟庆金, 苗治欧. 大连地区方氏云鳚繁殖生物学的研究[J]. 大连水产学院学报, 1997, 12(3): 3–8.]
- [6] Jiang Z Q, Qin K J. Age and growth of *Enedrias fangi* in Dalian[J]. Journal of Dalian Fisheries College, 1990, 5(1): 33–41.[姜志强, 秦克静. 大连地区方氏云鳚的年龄和生长[J]. 大连水产学院学报, 1990, 5(1): 33–41.]
- [7] Cochran W G. Sampling techniques[M]. New York: John Wiley & Sons, 1977.
- [8] Jørgensen B. The theory of dispersion models[M]. Chapman & Hall/CRC, 1997.
- [9] Gregoire T G. Design-based and model-based inference in survey sampling: appreciating the difference[J]. Can J Forest Res, 1998, 28(10): 1429–1447.
- [10] Brus D J, de Gruijter J J. Random sampling or geostatistical modelling? Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil (with discussion)[J]. Geoderma, 1997, 80(1–2): 1–44.
- [11] Baldó F, Garcí a-Isarch E, Jiménez M P, et al. Spatial and temporal distribution of the early life stages of three commercial fish species in the northeastern shelf of the Gulf of Cádiz[J]. Deep-Sea Res PT II, 2006, 53(11–13): 1391–1401.
- [12] 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.]
- [13] Li G, Chen X J, Tian S Q. CPUE standardization of chub mackerel (*Scomber japonicus*) for Chinese large lighting-purse seine fishery in the East China Sea and Yellow Sea[J]. Journal of fisheries of China, 2009, (6): 1050–1059.[李纲, 陈新军, 田思泉. 我国东、黄海鲈鱼灯光围网渔业 CPUE 标准化研究[J]. 水产学报, 2009, (6): 1050–1059.]
- [14] Hastie T J, Tibshirani R J. Generalized additive models[M]. London and New York: Chapman and Hall, 1990.
- [15] Guan W J, Chen X J, Gao F, et al. Environmental effects on fishing efficiency of *Scomber japonicas* for Chinese large lighting purse seine fishery in the Yellow and East China Seas[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(6): 949–958.[官文江, 陈新军, 高峰, 等. 海洋环境对东、黄海鲈鱼灯光围网捕捞效率的影响[J]. 中国水产科学, 2009, 16(6): 949–958.]
- [16] Lin L S, Cheng J H, Jiang Y Z, et al. Spatial distribution and environmental characteristics of the spawning grounds of small yellow croaker in the southern Yellow Sea and the East China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3485–3496.[林龙山, 程家骅, 姜亚洲, 等. 黄海南部和东海小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)产卵场分布及其环境特征[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3485–3496.]
- [17] Chen X J, Tian S Q. Effects of SST and temp-spatial factors on abundance of nylon flying squid *Ommastrephes Bartrami* in the northwestern pacific using generalized additive models[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2007(2): 104–113.[陈新军, 田思泉. 利用 GAM 模型分析表温和时空因子对西北太平洋海域柔鱼资源状况的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2007(2): 104–113.]
- [18] Chen Y, Sherman S, Wilson C, et al. A comparison of two fishery-independent survey programs used to define the population structure of American lobster (*Homarus americanus*) in the Gulf of Maine[J]. Fishery Bulletin, 2006, 104(2): 247–255.
- [19] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Specifications for oceanographic survey (Part 6): Marine biological survey (GB/T12763.3—2007)[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.[国家质量监督检验检疫总局. 海洋调查规范(第6部分): 海洋生物调查(GB/T12763.3—2007)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [20] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Specification for marine monitoring (GB17378—2007)[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.[国家质量监督检验检疫总局. 海洋监测规范(GB17378—2007)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [21] Li Z G, Ye Z J, Zhang C, et al. CPUE distribution of *Setip-*

- inna taty* in southern Yellow Sea and its influencing factors revealed by stow net fishing in spring[J]. Periodical 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: 自然科学版, 2013, 43(5): 30–36.]
- [22] Chambers J M, Hastie T J. Statistical models in S[M]. New York: Chapman & Hall, 1992
- [23] Burnham K P, Anderson D R. Model selection and multi-model inference: a practical information-theoretic approach [M]. Berlin: Springer Verlag, 2002.
- [24] Akaike H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle[C]. Berlin: Springer Verlag, 1973.
- [25] Li Z G, Ye Z J, Zhang M Z, et al. Relationship between spatial distribution of ichthyoplankton and environmental factors in Haizhou Bay during summer[J]. Periodical of Ocean University of China, 2012, 42(6): 286–293.[李增光, 叶振江, 张美昭, 等. 海州湾夏季鱼卵、仔稚鱼空间分布及其与环境因子的关系[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2012, 42(6): 286–293.]
- [26] Shono H. Application of the Tweedie distribution to zero-catch data in CPUE analysis[J]. Fish Res, 2008, 93(1–2): 154–162.
- [27] Yu F, Zhang Z X, Diao X Y, et al. Analysis of evolution of the Huanghai Sea Cold Water Mass and its relationship with adjacent water masses[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2006, 28(5): 26–34.[于非, 张志欣, 刁新源, 等. 黄海冷水团演变过程及其与邻近水团关系的分析[J]. 海洋学报, 2006, 28(5): 26–34.]
- [28] Zou E M, Guo B H, Tang Y X, et al. The hydrographic features and water masses analyses of the southern Huanghai Sea in the spring of 1996[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2000, 22(1): 17–26.[邹娥梅, 郭炳火, 汤毓祥, 等. 1996 年春季南黄海水文特征和水团分析[J]. 海洋学报, 2000, 22(1): 17–26.]
- [29] Wang W H, Xia D X, Gao X C, et al. China's Bay[M]. Beijing: China Ocean Press, 1993.[王文海, 夏东兴, 高兴辰, 等. 中国海湾志·第四分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.]
- [30] Zhao B R. The fronts of the Huanghai Sea Cold Water Mass induced by tidal mixing[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 1985, 16(6): 451–460.[赵保仁. 黄海冷水团锋面与潮混合[J]. 海洋与湖沼, 1985, 16(6): 451–460.]
- [31] Zhang S W, Xia C S, Yuan Y L. Effect of the upwelling current on the vertical chlorophyll distribution in the Yellow Sea Cold Water Mass[J]. Advances in Marine Science, 2002, 20(3): 9–14.[张书文, 夏长水, 袁业立. 黄海冷水团上升流对叶绿素垂向分布的影响[J]. 海洋科学进展, 2002, 20(3): 9–14.]
- [32] Lin M H. The submarine geomorphological zones and geomorphological types in the Huanghai Sea[J]. Marine Sciences, 1989(6): 7–15.[林美华. 黄海海底地貌分区及地貌类型[J]. 海洋科学, 1989(6): 7–15.]

Effects of spatiotemporal and environmental factors on the distribution and abundance of *Pholis fangi* in Haizhou Bay using a generalized additive model

LI Min, LI Zengguang, XU Binduo, WANG Xiaohui, SHI Qi

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

Abstract: Haizhou Bay is an important spawning, nursery, and feeding ground for many commercially important fishery species. In recent years, many commercial fish populations have declined in abundance because of overfishing, climate change, environmental pollution, and multiple other factors. *Pholis fangi* plays an important role in the food web of the Haizhou Bay ecosystem. Thus, management of a sustainable fishery in Haizhou Bay requires an understanding of the spatio-temporal distribution and abundance of *Pholis fangi* and their relationship with relevant environmental factors. To determine spatio-temporal variation in the distribution and abundance of *Pholis fangi*, bottom trawl surveys were conducted in March, May, July, September, and December 2011 in Haizhou Bay. The relationships between patterns of distribution and environmental factors were analyzed using generalized additive models (GAM). Abundance of *Pholis fangi* exhibited distinct seasonal and spatial variation, with abundance highest in July and lowest in September. *Pholis fangi* was primarily distributed in the northeastern part of Haizhou Bay, which is the cold center of the southwestern Yellow Sea, suggesting a strong influence of the Yellow Sea Cold Water Mass on distribution patterns. GAM analysis also showed that month, depth, and distance from shore significantly influenced the distribution, where abundance increased with depth and distance from shore. The abundance of *Pholis fangi* was highest in the waters 14–36 m deep and roughly 70 km from the coast, which may relate to the reproductive migration of *Pholis fangi* as well as seasonal environmental variation.

Key words: *Pholis fangi*; Haizhou Bay; generalized additive model; spatio-temporal distribution

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