

张云雷, 徐宾铎, 张崇良, 等. 基于 Tweedie-GAM 模型研究海州湾小黄鱼资源丰度与栖息环境的关系[J]. 海洋学报, 2019, 41(12): 78–89, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2019.12.008

Zhang Yunlei, Xu Binduo, Zhang Chongliang, et al. Relationship between the habitat factors and the abundance of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in Haizhou Bay based on the Tweedie-GAM model[J]. Haiyang Xuebao, 2019, 41(12): 78–89, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2019.12.008

基于 Tweedie-GAM 模型研究海州湾小黄鱼 资源丰度与栖息环境的关系

张云雷¹, 徐宾铎¹, 张崇良¹, 任一平^{1,2}, 薛莹^{1*}

(1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 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: 本研究根据 2011 年及 2013—2016 年春季和秋季在海州湾及其邻近海域进行的底拖网调查数据, 结合同步采集的底层海水温度、底层海水盐度、水深、底质类型, 以及脊腹褐虾 (*Crangon affinis*)、细螯虾 (*Leptochela gracilis*)、鳀 (*Engraulis japonicus*)、赤鼻棱鳀 (*Thrissa kammalensis*) 等小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 主要饵料生物的资源丰度数据, 采用条件数 κ 和方差膨胀因子 (VIF) 度量多重共线性的程度, 选取关键环境因子, 再应用基于 Tweedie 分布的广义可加模型 (GAM) 研究不同季节和不同生长阶段的小黄鱼资源丰度与环境因子的关系。多重共线性的检验表明, 所有初始变量之间没有显著的多重共线性, 均可作为解释变量代入模型。结果表明: 不同季节和生长阶段, 影响小黄鱼资源分布的主要因子及其偏差解释率各不相同, 各变量所对应的适宜范围也不同。例如: 影响春季小黄鱼幼体资源分布的主要因子有底层海水温度、底层海水盐度、水深和脊腹褐虾的分布, 其中偏差解释率最大的因子为水深 (16.09%); 而影响春季成体资源分布的因子为底层海水温度、底层海水盐度、水深及脊腹褐虾和鳀的分布, 其中偏差解释率最大的因子为底层海水盐度 (13.56%)。本研究表明, 海州湾及其邻近海域不同季节和不同生长阶段小黄鱼资源分布与其自身的生态习性、海洋环境以及饵料生物的分布密切相关。

关键词: Tweedie 分布; 广义可加模型; 饵料生物; 多重共线性; 资源分布

中图分类号: S931.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2019)12-0078-12

1 引言

小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 隶属鲈形目、石首鱼科、黄鱼属, 系暖温性底层鱼类^[1]。广泛分布于黄海、渤海、东海及朝鲜半岛西岸海域, 主要集中在 28°00'N 以北、125°30'E 以西, 水深不超过 100 m 的海域^[2]。近年来, 受捕捞压力和气候变化的影响, 小黄

鱼的种群数量及其生物学特征发生较大的变化^[3]。尽管实行了伏季休渔制度, 补充群体得到了保护, 资源有所恢复, 但渔获物仍呈现小型化、低龄化、性成熟提前等特点^[4]。另外, 小黄鱼摄食生态学的研究表明^[5-6], 不同海域其优势饵料种类也有所不同, 但主要饵料生物均为甲壳类。小黄鱼的食物组成随生长阶段而变化^[7], 随着体长的增大, 鱼类、虾类等饵料生物

收稿日期: 2018-10-09; 修订日期: 2018-12-21。

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFE0104400); 国家自然科学基金项目 (31772852); 中央高校基本科研业务费专项 (201562030, 201612004)。

作者简介: 张云雷 (1994—), 男, 河南省永城市人, 研究方向为渔业生态学。E-mail: 583578675@qq.com

* 通信作者: 薛莹, 教授, 主要从事渔业生态学研究。E-mail: xueying@ouc.edu.cn

的比例增大。在体长达 100 mm 之后, 营养生态位宽度明显增加^[8]。

广义可加模型 (Generalized Additive Model, GAM) 采用平滑函数研究高维数据中响应变量与解释变量之间的非线性关系^[9], 在渔业中常被用来分析渔业资源数量分布与环境因子之间的关系^[10], 以及每个因子的重要程度^[11]。例如, 陈新军和田思泉^[12]应用 GAM 模型分析海水表面温度对西北太平洋褶柔鱼 (*Todarodes pacificus*) 资源状况的影响; 李敏等^[13]利用 GAM 模型分析时空和环境因子对海州湾方氏云鲷 (*Pholis fangi*) 资源丰度分布的影响。然而, 常规 GAM 模型的概率密度函数常使用对数正态分布或者伽马分布, 这些概率密度函数不允许存在 0 值的数据。但实际调查中资源丰度数据存在大量 0 值数据, 使得资源丰度呈偏态分布 (主要是正偏态分布)。因此必须对资源丰度为 0 的数据进行相应的处理, 而 Tweedie 分布较适合拟合资源丰度存在较多 0 值的情况, 能够处理包含 0 值的数据^[14]。有关研究也表明, 在分析存在 0 值的 CPUE 数据时, Tweedie 分布要优于其他方法^[15], 因此基于 Tweedie 分布的 GAM (Tweedie-GAM) 更加适用上述数据的分析。

海州湾位于在山东省与江苏省交界处, 毗邻黄海, 宽 42 km, 海岸线长 96.81 km, 面积约 876.39 km², 为新月形海湾^[16-17]。湾内水质肥沃, 饵料生物丰富, 曾是我国著名的渔场之一, 也是小黄鱼的产卵场、育幼场和索饵场^[18]。然而, 由于过度捕捞、气候变化以及环境污染的影响, 海州湾小黄鱼的生物学特征发生

较大的变化。另外, 在不同季节和不同生长阶段鱼类对各种环境因子的适应能力是不同的, 其最为适宜的环境条件也会随之出现差异^[19-20]。因此, 在此背景下研究该海域不同季节和不同生长阶段小黄鱼的资源分布与环境因子的关系, 有助于深入了解其渔业资源状况及其资源分布对环境因子的响应。

本研究根据 2011 年及 2013—2016 年春季 (5 月) 和秋季 (9—10 月) 在海州湾及其邻近海域进行的渔业资源和环境调查数据, 研究了小黄鱼资源丰度的分布, 并应用 Tweedie-GAM 模型分析其与环境因子和饵料生物之间的关系, 探讨生物和非生物因子对不同生长阶段和不同季节小黄鱼资源分布的影响, 以期合理预测海州湾小黄鱼资源的时空变动以及生态系统模型的构建提供科学依据。

2 材料和方法

2.1 数据来源

小黄鱼样品采自海州湾及其邻近海域 (34°20'~35°40'N, 119°20'~121°10'E) 2011 年及 2013—2016 年春季和秋季开展的底拖网调查。采用分层随机取样的方法设计调查站位^[21], 根据水深、底质、纬度等差异将调查海域分为 5 个区域 (图 1), 每个航次在各个区域中随机选取一定数量的站位。2011 年每个航次设置 24 个站位, 2013 年以后对站位设置进行了优化, 将站位数设置为 18 个。

调查船为单拖渔船, 功率为 220 kW, 拖速在 2~3 kn 之间, 在每站拖曳时间约 1 h, 调查网具网口高度

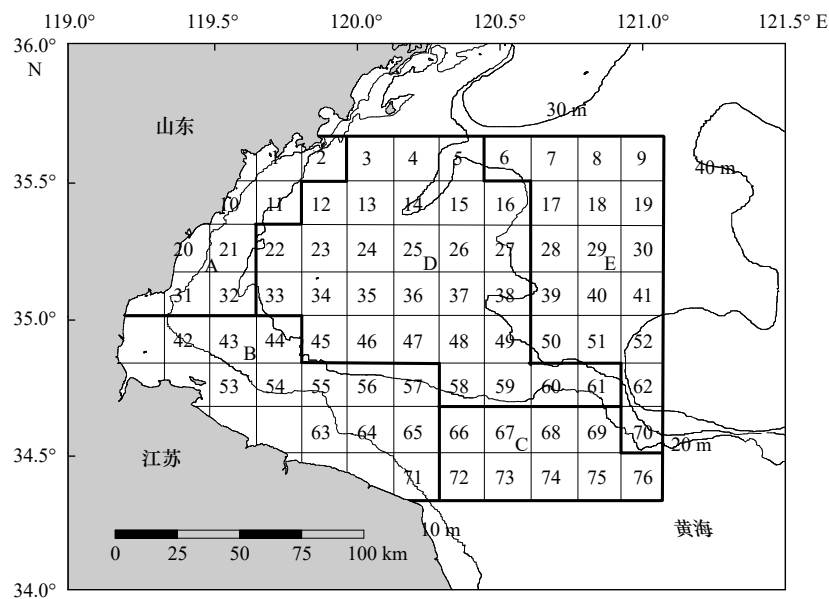


图 1 海州湾调查区域图

Fig. 1 Sampling areas in Haizhou Bay

约 6 m, 网囊网目约 17 mm。在每一调查站位使用 CTD 同步测定水深、水温、盐度等环境数据。根据《海洋调查规范》^[22] 进行样品的采集、处理和分析。根据 50% 性成熟体长, 小黄鱼成体和幼体的临界体长为 103.55 mm^[23]。在进行数据分析前对调查数据进行拖速 2 kn 和拖曳时间 1 h 的标准化处理, 采用单位面积内的渔获尾数 (ind./km²) 作为相对资源丰度。

2.2 初始因子筛选

选取小黄鱼的资源丰度作为响应变量。根据前期小黄鱼空间分布的相关研究^[7, 24], 针对小黄鱼的幼体, 选取底层海水温度、底层海水盐度、水深、底质类型 4 个环境因子和细螯虾 (*Leptochela gracilis*)、脊腹褐虾 (*Crangon affinis*) 2 个饵料因子的分布, 共 6 个因子作为初始解释变量; 针对成体, 选取底层海水温度、底层海水盐度、水深、底质类型 4 个环境因子和细螯虾、脊腹褐虾、鳀 (*Engraulis japonicus*)、赤鼻棱鳀 (*Thrissa kammalensis*) 4 个饵料因子的分布, 共 8 个因子作为初始解释变量。本研究采用条件数 κ ^[9]和方差膨胀因子 (VIF)^[25] 度量多重共线性的程度, 并对选取的初始因子进行多重共线性检验, 筛选得到可以加入模型的因子。

设 $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(p)}$ 是初始因子, X_1, X_2, \dots, X_p 是经过中心化和标准化得到的向量, 记 $X = (x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(p)})$, 设 λ 为 $X^T X$ 的一个特征值, φ 为对应的特征向量, 其长度为 1, 即 $\varphi^T \varphi = 1$ 。度量多重共线性严重程度的一个重要指标是矩阵 $X^T X$ 的条件数, 即

$$\kappa(X^T X) = \|X^T X\| \cdot \|(X^T X)^{-1}\| = \frac{\lambda_{\max}(X^T X)}{\lambda_{\min}(X^T X)}, \quad (1)$$

式中, $\lambda_{\max}(X^T X)$ 、 $\lambda_{\min}(X^T X)$ 分别表示矩阵 $X^T X$ 的最大、最小特征值。条件数表征了 $X^T X$ 的特征值差异的大小, 若 $\kappa < 100$, 则认为多重共线性程度很小; 若 $100 \leq \kappa < 1000$, 则认为存在中等程度或较强的多重共线性; 若 $\kappa > 1000$, 则认为存在严重的多重共线性^[9]。

VIF 的平方根表示变量回归参数的置信区间能膨胀与模型无关的预测变量的程度。通过使用 R 语言中的 car 包中的 vif 函数确定 VIF 值。一般认为, $\sqrt{\text{vif}} > 2$ 即存在多重共线性问题^[25]。

2.3 Tweedie-GAM 模型的构建

Tweedie 分布是指指数散布族分布中一类特殊的概率分布, 由英国统计学家 Tweedie 在 1984 年首次提出^[26]。一般用 $T_{w,p}(\theta, \phi)$ 来表示, 并由方差函数 $V_{w,p} = \mu^p$ 完全确定。Tweedie 类分布中包含了几个常见的重要分布, $p=0, 1, 2, 3$ 分别对应于正态分布、泊松分布、伽玛分布和逆高斯分布^[26-27]。在 $1 < p < 2$ 时, 相应的

$T_{w,p}(\theta, \phi)$ 是一个复合泊松分布。其概率密度方程为^[17]:

$$f(y; \theta, \phi, p) = \alpha(y; \phi, p) \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} d(y; \theta, p)\right\}, \quad (2)$$

式中, θ 为 Tweedie 类分布的规范参数, ϕ 为分散参数, p 为能效参数, $p \in (-\infty, 0] \cup [1, +\infty)$, $d(y; \theta, p)$ 为单位偏差, σ 为标准差。

GAM 模型的一般表达式如下^[10]:

$$g(Y) = \alpha + \sum_{i=1}^n f_i(x_i) + \varepsilon, \quad (3)$$

式中, Y 是小黄鱼资源丰度 (ind./km²), 即各调查站位的渔获数量; 函数 $g(Y)$ 为联系函数, 本文采用的联系函数为自然对数^[28]; x_i 表示解释变量, 即各站位的环境和饵料生物因子; α 是适合函数的截距, ε 表示残差, $f_i(x_i)$ 为用来描述 $g(Y)$ 与第 i 个解释变量关系的平滑函数, 可通过局部加权回归平滑或样条平滑得到, 本研究采用样条平滑法。

建立的 Tweedie-GAM 模型为^[14, 27]:

$$\begin{cases} Y \sim T_{w,p}(\theta, \phi) \\ \mu = E(Y) \\ \ln(\mu) = X\alpha + s(\text{factors}) \end{cases}, \quad (4)$$

式中, $\mu = E(Y)$ 为小黄鱼资源丰度的期望值; 解释变量中 X 为线性部分的影响因子的指示变量, 向量 $\alpha = (\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n)$ 为模型截距项和各变量的系数等 n 个待估参数; s 为自然样条平滑; factors 为因子变量。

首先要通过调用 R 3.5.1 统计软件中 Tweedie 软件包里相应的 tweedie.profile 函数确定能效参数 p ^[15, 29], 进而确定小黄鱼的资源丰度数据服从 Tweedie 类中的哪种分布。

2.4 模型效果评价

依照赤池信息准则 (Akaike Information Criterion, AIC), 在 AIC 值最小的因子预测函数上依次加入其他因子, 进而得到 AIC 值最小的多因子预测模型^[13, 30]。当模型的 AIC 值不再变化, 构建过程结束, 即得到最适模型。通过 AIC^[31]、方差解释率、残差偏差等检验模型的拟合效果。其中, AIC 值越低, 模型的拟合效果越好^[32]; 方差解释率越高, 模型拟合效果越好。

AIC 由以下公式计算:

$$AIC = 2k - 2\ln L, \quad (5)$$

式中, k 是参数的个数, L 是似然函数。

3 结果与分析

3.1 小黄鱼的资源分布特征

海州湾小黄鱼的资源分布在不同季节和不同生长阶段呈现出不同的分布规律 (图 2)。其中, 秋季的资源丰度高于春季, 成体的资源丰度高于幼体。春季, 小黄鱼幼体的分布范围较小, 主要集中于 35°N 以

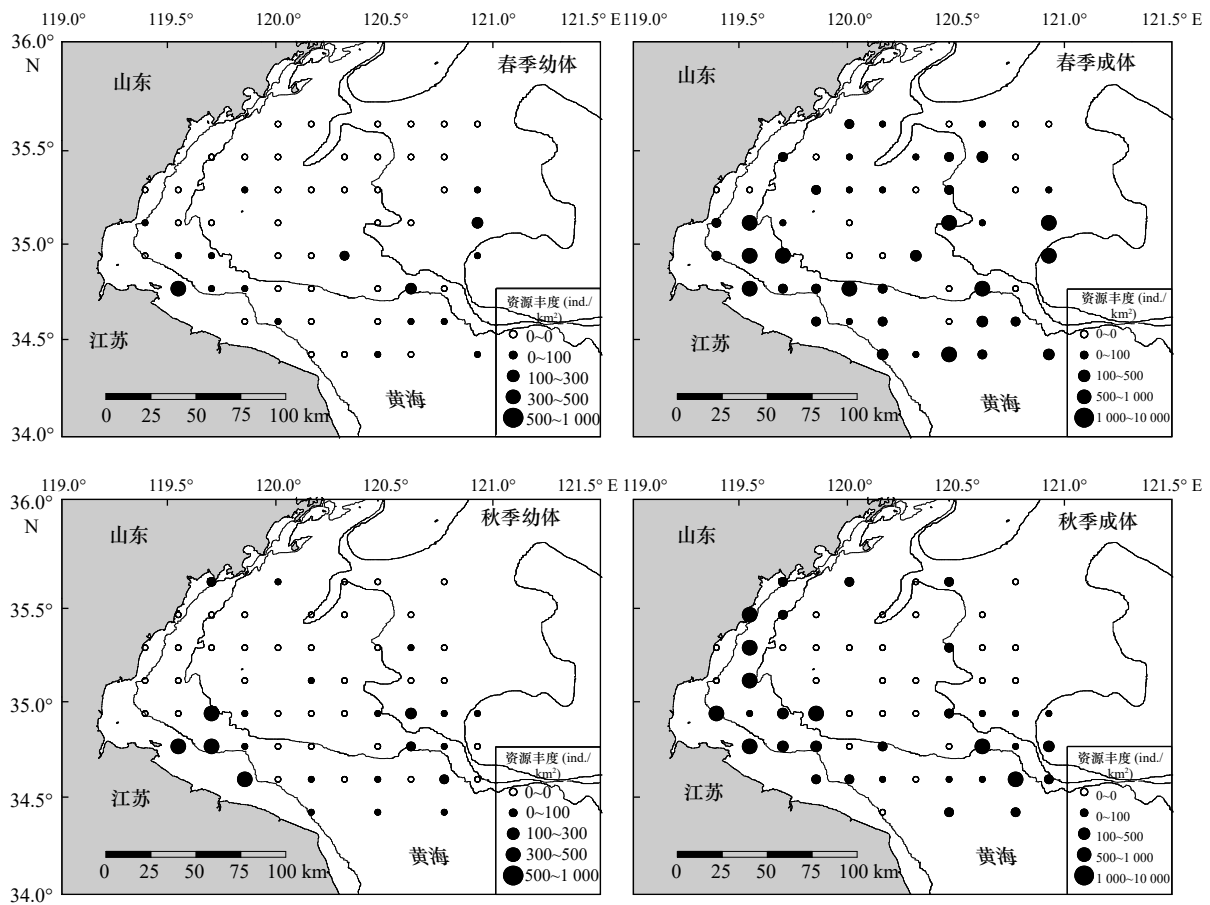


图2 2011年及2013-2016年春季和秋季海州湾小黄鱼幼体和成体的资源分布

Fig. 2 Spatial distribution of small yellow croaker abundance in Haizhou Bay in 2011 and 2013-2016

南的沿岸海域和 120.8°E 附近海域; 小黄鱼成体的分布范围较幼体的明显扩大, 主要分布在 35°N 以北的沿岸海域和 35°N 以南的全部海域。秋季, 小黄鱼幼体的空间分布范围与春季大致相同, 但资源丰度值较春季高; 小黄鱼成体的空间分布范围与春季大致相同, 主要分布在 30 m 以浅的海域(图2)。

3.2 影响因子的筛选

通过条件数 κ 和 VIF 度量多重共线性的程度, 对选取的初始因子进行多重共线性检验(表1)。小黄鱼 4 个类群(春季幼体、春季成体、秋季幼体、秋季成体)的条件数 κ 均小于 100, 且 4 个分类组的候选变量的 \sqrt{vif} 值均小于 2。故表 1 中的因子均可作为本研究的初始变量, 即春季幼体和秋季幼体选取底层海水温度、底层海水盐度、水深、底质类型、细螯虾的分布和脊腹褐虾的分布共 6 个影响因子; 春季成体和秋季成体选取底层海水温度、底层海水盐度、水深、底质类型、细螯虾的分布、脊腹褐虾的分布、鳀的分布和赤鼻棱鳀的分布共 8 个影响因子。

3.3 最优模型的选择

通过计算得出小黄鱼 4 个类群 Tweedie 分布中的

表 1 影响因子的多重共线性检验及各因子的共线性程度

Tab. 1 Test and degree of multicollinearity of factors

度量变量	春季幼体	春季成体	秋季幼体	秋季成体
条件数 κ	11.009	11.806	2.250	2.986
初始变量				
底层海水温度	1.815	1.853	1.017	1.030
底层海水盐度	1.264	1.303	1.062	1.062
水深	1.666	1.676	1.143	1.168
底质类型	1.606	1.715	1.218	1.295
细螯虾的分布	1.082	1.098	1.087	1.126
脊腹褐虾的分布	1.353	1.360	1.066	1.070
鳀的分布		1.065		1.062
赤鼻棱鳀的分布		1.079		1.137

注: 初始变量中的数字代表 \sqrt{vif} 根号下方差膨胀因子。

能效参数 p 分别为 1.614、1.655、1.578 和 1.600。 $1 < p < 2$, 相应的 4 个类群 $T_{w_p}(\theta, \phi)$ 均服从复合泊松分布。利用 AIC 最小原则, 通过逐步向前法, 筛选后的

GAM 最优模型依次为:

a. 春季幼体: $\lg(Y+1) = \alpha + S_1(\text{底层海水温度}) + S_2(\text{底层海水盐度}) + S_3(\text{水深}) + S_4(\text{脊腹褐虾丰度}) + \varepsilon$,

b. 春季成体: $\lg(Y+1) = \alpha + S_1(\text{底层海水温度}) + S_2(\text{底层海水盐度}) + S_3(\text{水深}) + S_4(\text{脊腹褐虾丰度}) + S_5(\text{鳀丰度}) + \varepsilon$,

c. 秋季幼体: $\lg(Y+1) = \alpha + S_1(\text{底层海水温度}) + S_2(\text{底层海水盐度}) + S_3(\text{水深}) + S_4(\text{细螯虾丰度}) + \varepsilon$,

d. 秋季成体: $\lg(Y+1) = \alpha + S_1(\text{底层海水温度}) + S_2(\text{底层海水盐度}) + S_3(\text{水深}) + S_4(\text{脊腹褐虾丰度}) + S_5(\text{细螯虾丰度}) + S_6(\text{赤鼻棱鳀丰度}) + \text{底质类型} + \varepsilon$,

式中, S 为自然样条平滑。

小黄鱼最优 GAM 模型及各影响因子的相关参数表明(表 2), 春季影响幼体资源分布的变量为底层海水温度、底层海水盐度、水深和脊腹褐虾的分布, 累积偏差解释率为 45.53%, 其中偏差解释率最大的因

子为水深(16.09%), 最小的是底层海水温度(8.03%); 影响成体资源丰度分布的变量为底层海水温度、底层海水盐度、水深、脊腹褐虾的分布和鳀的分布, 累积偏差解释率为 35.42%, 其中偏差解释率最大的因子为底层海水盐度(13.56%), 最小的是水深(3.76%)。

秋季, 影响幼体资源分布的变量为底层海水温度、底层海水盐度、水深和细螯虾的分布, 累积偏差解释率为 54.35%, 其中偏差解释率最大的因子为水深(25.11%), 最小的是底层海水盐度(5.69%); 影响成体资源分布的变量为底层海水温度、底层海水盐度、水深、底质类型、脊腹褐虾的分布、细螯虾的分布和赤鼻棱鳀的分布, 累积偏差解释率为 52.89%, 其中偏差解释率最大的因子为水深(20.82%), 最小的是底层海水温度(1.96%)。

3.4 环境因子对小黄鱼资源分布的影响

底层海水温度、底层海水盐度、水深和脊腹褐虾

表 2 海州湾小黄鱼最优 GAM 模型中各影响因子的相关参数

Tab. 2 Parameters of each factors in the optimal GAM model of four small yellow croaker groups

模型	赤池信息准则(AIC)	Δ AIC	残偏差	累积解释偏差/%	偏差解释率/%
春季幼体					
底层海水盐度	212.43		438.55	9.82	9.82
+水深	208.44	-3.99	399.09	25.91	16.09
+脊腹褐虾的分布	206.48	-1.95	323.47	35.50	9.58
+底层海水温度	204.88	-1.60	290.34	43.53	8.03
春季成体					
水深	451.05		147.11	3.76	3.76
+底层海水盐度	449.50	-1.55	150.81	17.32	13.56
+底层海水温度	446.38	-3.12	143.27	22.57	5.25
+脊腹褐虾的分布	445.59	-0.79	134.94	28.84	6.27
+鳀的分布	445.07	-0.52	127.56	35.42	6.58
秋季幼体					
水深	360.54		379.10	25.11	25.11
+底层海水温度	352.30	-8.23	274.99	41.47	16.36
+底层海水盐度	350.42	-1.88	215.57	47.16	5.69
+细螯虾的分布	347.18	-3.24	144.13	54.35	7.19
秋季成体					
水深	791.82		189.29	20.82	20.82
+沉积物类型	786.27	-5.55	212.45	36.77	15.95
+底层海水盐度	781.15	-5.12	196.49	41.97	5.21
+赤鼻棱鳀的分布	776.39	-4.76	191.00	46.64	4.67
+细螯虾的分布	775.09	-1.30	192.36	48.82	2.18
+脊腹褐虾的分布	773.81	-1.28	184.15	50.93	2.11
+底层海水温度	771.30	-2.51	175.81	52.89	1.96

注:“+”表示添加变量。

的分布对海州湾春季小黄鱼幼体资源分布的影响如图 3 所示。春季小黄鱼幼体的资源丰度随底层海水温度的升高呈先增大后降低再增大的趋势, 在底层海水温度大于 18°C 时出现峰值; 随底层海水盐度的增大而增大, 盐度对资源丰度具有正的效应; 随水深的增加呈先增加后下降的趋势, 在约 15 m 水深处资源丰度最大; 脊腹褐虾资源丰度对小黄鱼幼体资源分布的影响呈波动状, 在其资源丰度大于 $8 \text{ 个}/\text{km}^2$ (自然对数转换后) 时, 小黄鱼幼体的资源丰度呈增加的趋势(图 3)。

底层海水温度、底层海水盐度、水深、脊腹褐虾的分布和鳀的分布对海州湾春季小黄鱼成体资源丰度的影响如图 4 所示。春季小黄鱼成体的资源丰度随底层海水温度的增大而增大; 随底层海水盐度的增大先减小后增大, 盐度值在 30.3 时出现资源丰度最小值, 盐度值在 31.3~32 时具有明显的正效应; 随水深的增加呈逐渐下降的趋势; 脊腹褐虾资源丰度对春季小黄鱼成体资源丰度的影响呈波动上升趋势; 鳀资源丰度(自然对数转换后)在大于 $5 \text{ ind.}/\text{km}^2$ 时春季小黄鱼成体的资源丰度呈上升趋势(图 4)。

底层海水温度、底层海水盐度、水深和细螯虾分布对海州湾秋季小黄鱼幼体资源丰度的影响如图 5

所示。秋季小黄鱼幼体的资源丰度随底层海水温度的升高呈平缓增大的趋势; 随底层海水盐度的增大呈先平缓增大后下降的趋势, 盐度值在 30 时资源丰度最大; 随水深的增加呈先下降后增大的趋势, 在水深约 20 m 处资源丰度最小; 随细螯虾的资源丰度增加呈平缓增大的趋势(图 5)。

底层海水温度、底层海水盐度、水深、脊腹褐虾的分布、细螯虾的分布、赤鼻棱鳀的分布以及底质类型对海州湾秋季小黄鱼成体资源丰度的影响如图 6 所示。秋季小黄鱼成体的资源丰度随底层海水温度的增大而平缓增大; 随底层海水盐度的增大逐渐增大, 盐度值在 30~32 时资源丰度最高; 随着水深的增大, 资源丰度呈逐渐下降的趋势, 在 23~40 m 水深时资源丰度基本保持不变; 脊腹褐虾资源丰度对秋季小黄鱼成体资源丰度的影响呈先下降后增加的趋势; 小黄鱼成体资源丰度随细螯虾和赤鼻棱鳀资源丰度的增加基本呈增大的趋势; 小黄鱼成体资源丰度较高的底质类型主要为粗砂、砂质粉砂、粉砂质黏土和黏土质砂(图 6)。

4 讨论

4.1 海州湾小黄鱼空间分布特征

有学者曾提出西北太平洋区系小黄鱼种群学说,

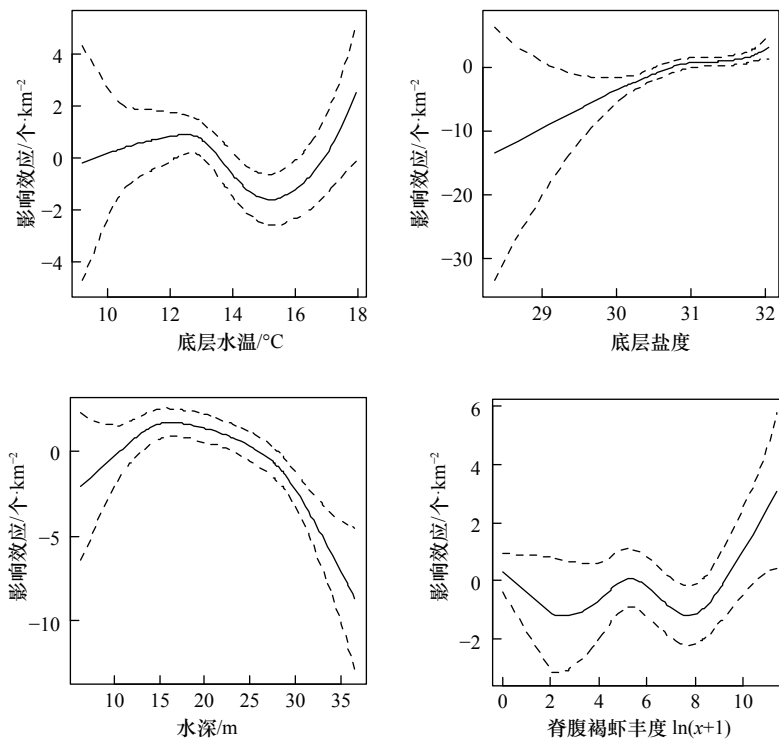


图 3 环境因子及饵料生物对海州湾春季小黄鱼幼体资源丰度分布的影响

Fig. 3 Effects of different environmental and prey factors on small yellow croaker juveniles' abundance from the GAM analysis in the Haizhou Bay during spring

图中实线表示影响效应, 虚线表示影响效应的 95% 置信区间

The solid line in the figure represents the effect, and the dotted line represents the 95% confidence interval of the effect

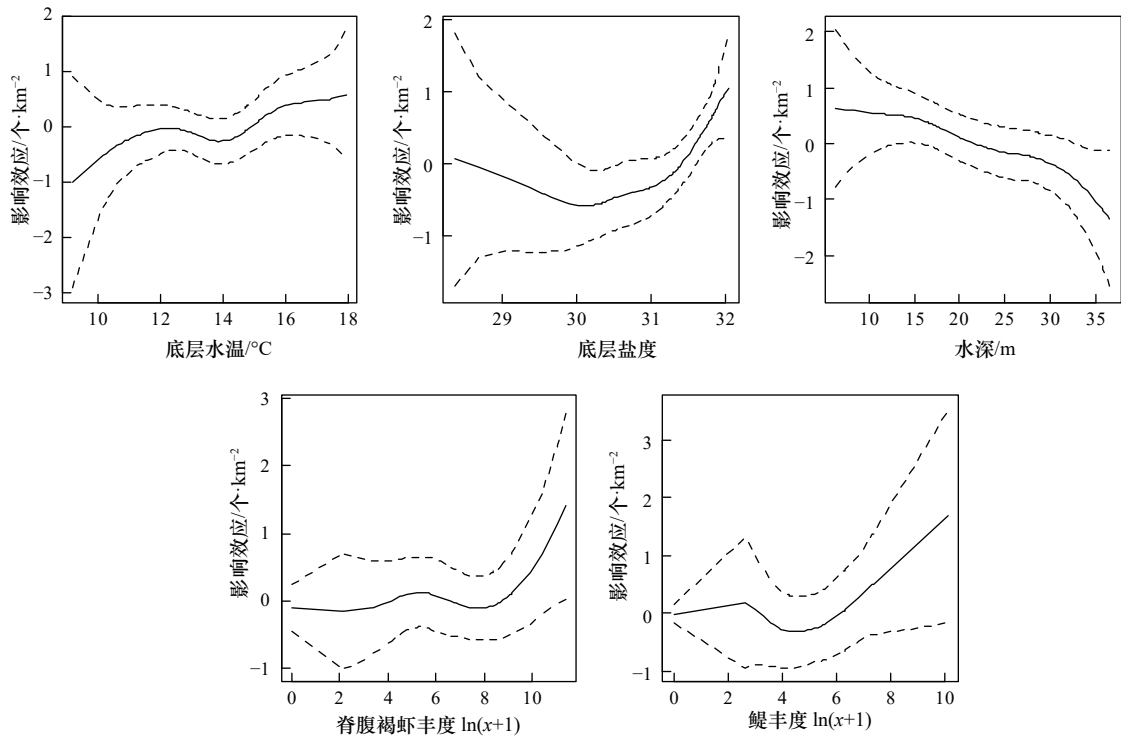


图4 环境因子及饵料生物对海州湾春季小黄鱼成体资源丰度分布的影响

Fig. 4 Effects of different environmental and prey factors on small yellow croaker adults' abundance from the GAM analysis in the Haizhou Bay during spring

图中实线表示影响效应, 虚线表示影响效应的95%置信区间

The solid line in the figure represents the effect, and the dotted line represents the 95% confidence interval of the effect

他们认为小黄鱼群体可以分为3个地理种群, 即黄海和渤海群、南黄海群和东海群^[33-35]。仲霞铭等^[36]在研究江苏近海小黄鱼时空分布时, 基于种群学说, 通过分析小黄鱼3个地理种群的栖息范围和洄游路径, 推断出江苏近岸海域的小黄鱼资源主要受南黄海群支配, 另外, 也受黄海和渤海群以及东海群的影响^[37]。海州湾位于黄海中南部, 是小黄鱼的产卵场之一^[18], 按照3个地理种群学说理论, 该海域的小黄鱼主要涉及到南黄海群、黄海和渤海群。

本研究表明, 海州湾小黄鱼幼体集中分布在35°N以南的近岸海域, 而成体主要分布在35°N以南的江苏近岸海域, 35°N以北的海域也有零星分布。金显仕等^[38]研究发现黄、渤海小黄鱼主要产卵期为4—5月, 由南向北略有推迟, 产卵区一般分布在河口区和入海径流较大的沿海区。结合本研究春季幼体和成体小黄鱼的资源分布可推测, 达到性成熟的小黄鱼群体陆续洄游至35°N以南、10 m等深线处的江苏沿岸海域进行产卵、孵化, 这与邹易阳等^[39]在海州湾小黄鱼栖息地适宜性研究中的得出的小黄鱼产卵群体的适宜分布区范围大致相同。

本研究发现, 春季小黄鱼主要分布在该海域35°N

以南, 35°N以北海域分布较少; 而秋季小黄鱼密集分布在黄海东南部的深水区域^[40], 分布范围较春季出现向北延伸的趋势。秋季调查月份主要为10月下旬, 小黄鱼洄游至深水区为越冬洄游做准备^[38]。另外, 结合黄海和渤海群越冬海域所处位置及生殖洄游路线等^[33-34]分析, 黄海和渤海群进入江苏近岸海域进行产卵的群体数量十分有限, 对江苏近岸海域的影响较小^[36]。

4.2 影响小黄鱼资源分布的主要因子

鱼类对各种环境因子的适应能力受到季节及生长阶段的影响, 在不同的季节和生长阶段, 其最为适宜的环境条件会发生变化^[19-20]。本研究表明, 底层海水温度、底层海水盐度、水深这3个环境因子均影响小黄鱼4个组群(春季幼体、春季成体、秋季幼体、秋季成体)资源分布的主要因子。除春季成体外, 其余3个组群中对小黄鱼资源丰度空间分布影响较大的环境因子为水深, 是因为水深直接影响水体的温度、盐度、水色、光照、透明度和含氧量等, 从而能够间接地影响鱼类及其饵料的生存, 使鱼类分布受到限制^[41]。水温是影响鱼类生存、生长和繁殖的重要环境因子之一, 它能够影响渔汛期长短、渔期早晚、中心渔场分布和鱼群的集群行为, 还能通过影响饵料生物

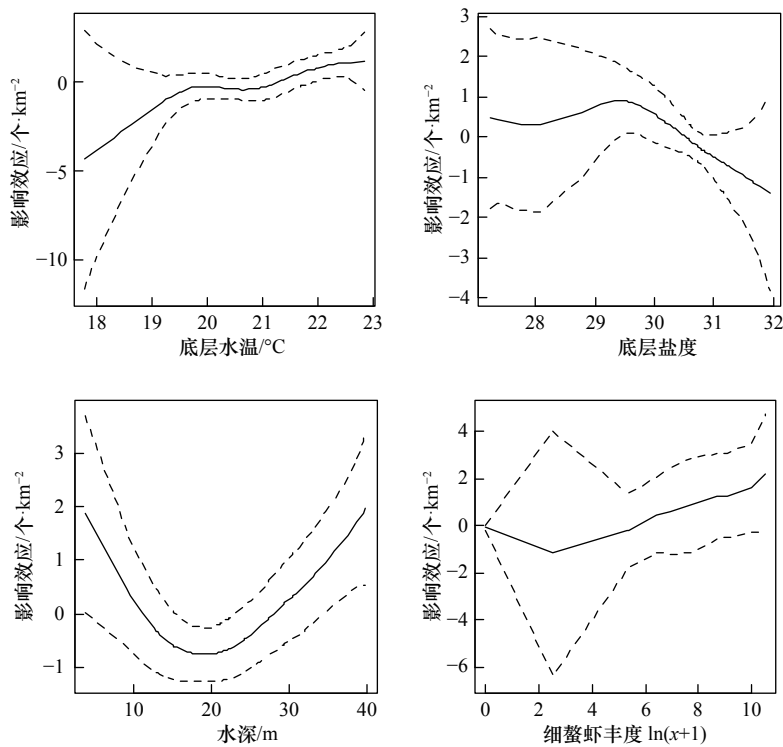


图5 环境因子及饵料生物对海州湾秋季小黄鱼幼体资源丰度分布的影响

Fig. 5 Effects of different environmental and prey factors on small yellow croaker juveniles' abundance from the GAM analysis in the Haizhou Bay during fall

图中实线表示影响效应, 虚线表示影响效应的95%置信区间

The solid line in the figure represents the effect, and the dotted line represents the 95% confidence interval of the effect

的行为和分布影响鱼类的洄游分布^[39, 19-20]。盐度能够影响鱼类的生长代谢等生理活动, 盐度一旦发生变化就会致使鱼类自身通过内部生理变化来调节体内外渗透压的平衡, 迫使其生长和摄食等活动发生相应变化^[39], 同时还能够通过水团、海流影响鱼类行为^[41], 并直接影响鱼类生长速度和初始生长时间^[42]。

有关研究表明^[34, 38-39], 春季小黄鱼主要集中分布于底层海水温度 16~17°C、底层海水盐度 31~32 的近岸或河口附近, 其产卵的适宜底层海水温度为 16~22°C, 适宜底层海水盐度是 31.59~34.65^[4]。本研究发现, 小黄鱼幼体在底层海水温度 17~18°C, 底层海水盐度 31~32 时资源丰度较大; 成体在底层海水温度 15~18°C, 底层海水盐度 31.3~32 时资源丰度较大。较高的水温和适宜的盐度为成体性腺的发育、鱼卵的孵化提供保障, 也为幼体的生长提供必要的环境条件。另外, 近岸海域受大陆径流、海流水团等因素的影响, 营养盐丰富, 既能为成体的繁殖活动提供适宜的场所, 又能为幼体的生长发育提供充足的饵料供给, 有利于孵化后的幼体进行索饵和生长^[17]。秋季小黄鱼密集分布在底层海水温度 19.2~22.9°C, 底层海水盐度 31.6~32.8 的海域^[38-39], 并有向外海移

动的趋势^[34]。本研究发现, 幼体在底层海水温度 20.5~24°C, 底层海水盐度 30 时资源丰度较大; 成体在底层海水温度 20~23°C, 底层海水盐度 32 时资源丰度较大。秋季是小黄鱼的主要索饵季节, 水温的变化直接或间接影响饵料生物的分布, 从而间接影响小黄鱼的空间分布。

小黄鱼的食物组成随着个体的生长发育, 摄食鱼类和虾类等较大个体饵料的比例开始增大, 其营养生态位也随之变宽^[8]。本研究表明, 在选取的饵料生物中, 影响小黄鱼幼体分布的仅为脊腹褐虾的分布, 而影响成体分布的除脊腹褐虾的分布外, 还有鳀的分布。这可能是由于随着体长的增大, 小黄鱼的口器、齿及鳃耙等摄食器官正在逐步发育, 故摄食饵料生物的种类和比例也随体长增加发生明显转变^[5-7]。研究表明, 对春季小黄鱼成体影响较大的饵料因子为赤鼻棱鳀的分布, 由于春季到达产卵场的小黄鱼多为繁殖群体, 充足的饵料可以保证其生殖活动的顺利进行。

4.3 Tweedie-GAM 模型的构建和应用

GAM 模型被广泛应用于研究渔业资源分布与影响因子之间的关系^[11-12]。GAM 模型的概率密度函数为对数正态分布或者伽马分布, 这些概率密度函数不

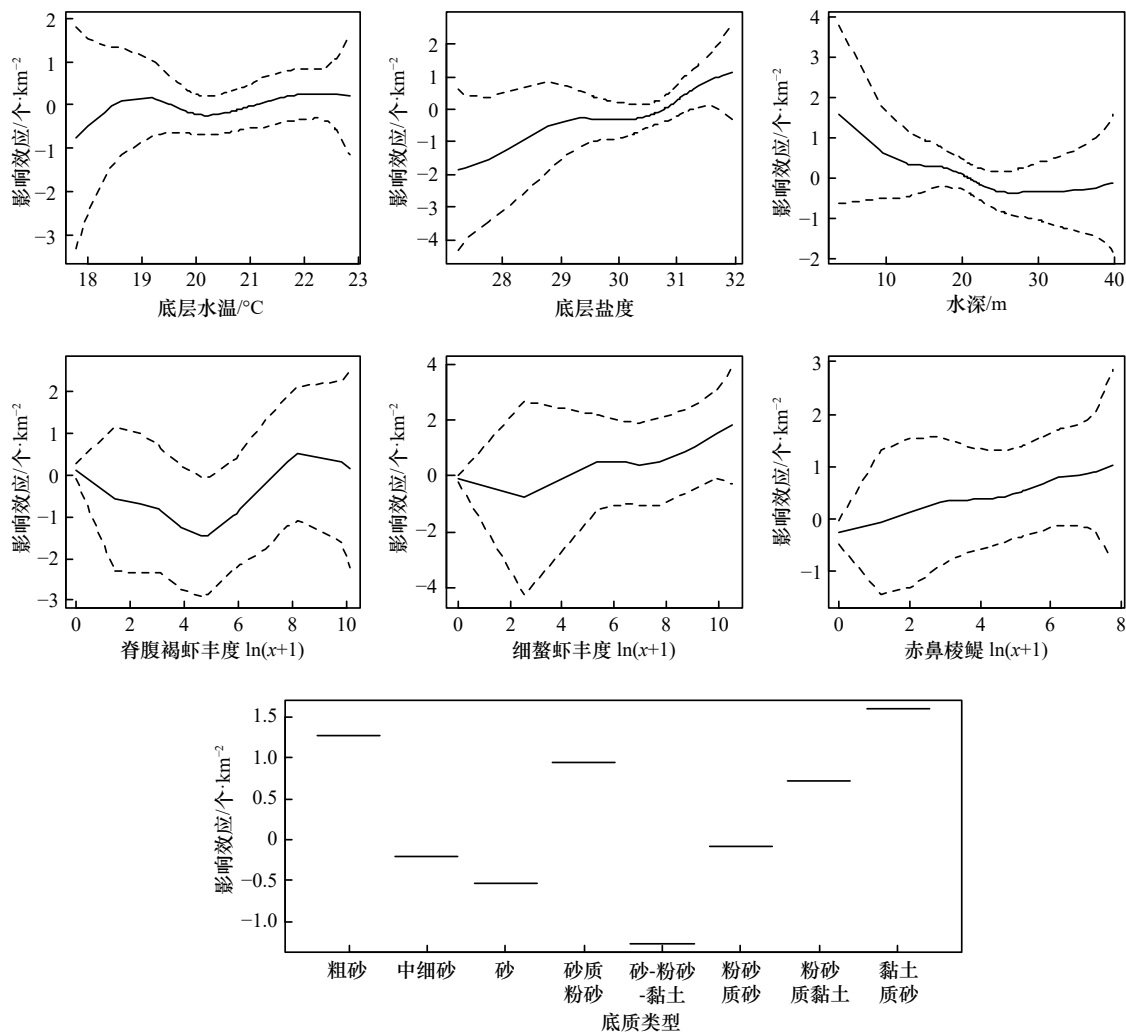


图 6 环境因子及饵料生物对海州湾秋季小黄鱼成体资源丰度分布的影响

Fig. 6 Effects of different environmental and prey factors on small yellow croaker adults' abundance from the GAM analysis in the Haizhou Bay during fall

图中实线表示影响效应, 虚线表示影响效应的 95% 置信区间

The solid line in the figure represents the effect, and the dotted line represents the 95% confidence interval of the effect

允许存在 0 值数据。但实际调查中, 不同物种对环境及生物变量有着不同的适宜性, 因此资源丰度的数据中常存在大量的 0 值, 使得资源丰度呈偏态分布(主要是正偏态分布)。有学者研究表明, 基于 Tweedie 分布建立的 GAM 模型对于变量的分析更加灵活准确^[15, 27, 43]。为提高 GAM 模型中资源丰度与变量间的拟合度, 需要对 0 值数据进行相应的处理, 而 Tweedie 分布较适合拟合资源丰度存在较多 0 值的情况^[14]。

Tweedie 分布既属于指数分布族, 又包含正态分布、泊松分布等常用概率分布的特殊分布族, Tweedie-GAM 模型为研究物种分布提供新的方法。但 Tweedie 分布中关于参数 p 的计算方法仍需要更加深入的研究。其次, 本研究选取的环境和饵料生物丰度因子是基于调查获得的数据, 其他因子例如海洋环流和气候因子等没有考虑, 有待在今后的研究中加以改进。

参考文献:

- [1] 孟庆闻, 缪学祖, 俞泰济, 等. 鱼类学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989.
Meng Qingwen, Miao Xuezu, Yu Taiji, et al. Ichthyology[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1989.
- [2] 郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003.
Zheng Yuanjia, Chen Xuezhong, Cheng Jiahua, et al. Biological Resources and Environment of Continental Shelf of the East China

- Sea[M]. Shanghai: Shanghai Science & Technology Publishers, 2003.
- [3] 林龙山, 程家骅. 延长东海区伏季休渔期的渔业效果分析[J]. 大连海洋大学学报, 2009, 24(1): 12–16.
Lin Longshan, Cheng Jiahua. Effects of the prolonged summer closed fishing period on fisheries in East China Sea[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2009, 24(1): 12–16.
- [4] 林龙山, 姜亚洲, 严利平, 等. 黄海南部和东海小黄鱼产卵亲体分布特征与繁殖力的研究[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(4): 453–459.
Lin Longshan, Jiang Yazhou, Yan Liping, et al. Study on the distribution characteristics and fecundity of spawning stock of *Larimichthys polyactis* in the southern Yellow Sea and the East China Sea[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2009, 18(4): 453–459.
- [5] 薛莹, 金显仕, 张波, 等. 黄海中部小黄鱼的食物组成和摄食习性的季节变化[J]. 中国水产科学, 2004, 11(3): 237–243.
Xue Ying, Jin Xianshi, Zhang Bo, et al. Diet composition and seasonal variation in feeding habits of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in the central Yellow Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11(3): 237–243.
- [6] 薛莹, 金显仕, 张波, 等. 黄海中部小黄鱼摄食习性的体长变化与昼夜变化[J]. 中国水产科学, 2004, 11(5): 420–425.
Xue Ying, Jin Xianshi, Zhang Bo, et al. Ontogenetic and diel variation in feeding habits of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in the central part of Yellow Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11(5): 420–425.
- [7] 薛莹, 金显仕, 张波, 等. 南黄海三种石首鱼类的食性[J]. 水产学报, 2005, 29(2): 178–187.
Xue Ying, Jin Xianshi, Zhang Bo, et al. Feeding habits of three sciaenid fishes in the southern Yellow Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2005, 29(2): 178–187.
- [8] 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.
Guo Bin, Zhang Bo, Jin Xianshi. 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.
- [9] 薛毅, 陈立萍. 统计建模与R软件[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
Xue Yi, Chen Liping. *Statistical Modeling and R Software*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007.
- [10] Hastie T J, Tibshirani R J. *Generalized Additive Models*[M]. London: Chapman and Hall, 1990.
- [11] 朱国平. 基于广义可加模型研究时间和环境因子对南极半岛北部南极磷虾渔场的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(12): 1863–1871.
Zhu Guoping. Effects of temporal and environmental factors on the fishing ground of Antarctic krill (*Euphausia superba*) in the northern Antarctic Peninsula based on generalized additive model[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(12): 1863–1871.
- [12] 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.
Chen Xinjun, Tian Siqun. 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.
- [13] 李敏, 李增光, 徐宾铨, 等. 时空和环境因子对海州湾方氏云鳔资源丰度分布的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(4): 812–819.
Li Min, Li Zengguang, Xu Binduo, et al. Effects of spatiotemporal and environmental factors on the distribution and abundance of *Pholis fangi* in Haizhou Bay using a generalized additive model[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(4): 812–819.
- [14] 王浩展, 戴小杰, 官文江, 等. 基于Tweedie-GAM模型的热带大西洋拟锥齿鲨单位捕捞努力量渔获量与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2017, 28(6): 2024–2032.
Wang Haozhan, Dai Xiaojie, Guan Wenjiang, et al. Relationship between the environmental factors and the CPUE (catch per unit effort) of *Pseudocarcharias kamoharai* in tropical Atlantic Ocean based on the GAM-Tweedie model[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(6): 2024–2032.
- [15] Shono H. Application of the Tweedie distribution to zero-catch data in CPUE analysis[J]. *Fisheries Research*, 2008, 93(1/2): 154–162.
- [16] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志: 第四分册——山东半岛南部和江苏省海湾[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
Editorial Board of China Bay Survey. *Survey of China Bays (Vol. 4). Southern Shandong Peninsula and Gulf of Jiangsu Province*[M]. Beijing: China Ocean Press, 1993.
- [17] 龚政, 邵佳爱, 张东生. 陆源污染物对海州湾环境影响研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2002, 30(4): 5–8.
Gong Zheng, Tai Jiaai, Zhang Dongsheng. Impacts of land pollution sources on Haizhou Bay environment[J]. *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 2002, 30(4): 5–8.
- [18] 徐兆礼, 陈佳杰. 小黄鱼洄游路线分析[J]. 中国水产科学, 2009, 16(6): 931–940.
Xu Zhaoli, Chen Jiajie. Analysis on migratory routine of *Larimichthys polyactis*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2009, 16(6): 931–940.
- [19] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
Yin Mingcheng. *Fish Ecology*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995.
- [20] 李雪渡. 海水温度与渔场之间的关系[J]. 海洋学报, 1982, 4(1): 103–113.
Li Xuedu. Studies on the correlation between the temperature of sea water and fishing grounds[J]. *Haiyang Xuebao*, 1982, 4(1): 103–113.
- [21] Jordaan A, Chen Yong, Townsend D W, et al. Identification of ecological structure and species relationships along an oceanographic gradient in the Gulf of Maine using multivariate analysis with bootstrapping[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2010, 67(4): 701–719.
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763–2007, 海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出

- 版社, 2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. GB/T 12763-2007, Specifications for oceanographic survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [23] 严利平, 刘尊雷, 张辉, 等. 小黄鱼生物学特征与资源数量的演变[J]. *海洋渔业*, 2014, 36(6): 481-488.
Yan Liping, Liu Zunlei, Zhang Hui, et al. On the evolution of biological characteristics and resources of small yellow croaker[J]. *Marine Fisheries*, 2014, 36(6): 481-488.
- [24] 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.
Li Jiansheng, Lin Longshan, Cheng Jiahua. 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.
- [25] Kabacoff R. R in Action: Data Analysis and Graphics with R[M]. 2nd ed. Greenwich: Manning Publications Co., 2015.
- [26] Tweedie M C K. An index which distinguishes between some important exponential families[M]//Ghosh J K, Roy J. Proceedings of the Indian Statistical Institute Golden Jubilee International Conference. Calcutta, India: Indian Statistical Institute, 1984: 579-604.
- [27] 孙维伟. 基于Tweedie类分布的广义可加模型在车险费率厘定中的应用[J]. *天津商业大学学报*, 2014, 34(1): 60-67.
Sun Weiwei. Application of generalized additive model to automobile insurance ratemaking based on Tweedie distributions[J]. *Journal of Tianjin University of Commerce*, 2014, 34(1): 60-67.
- [28] Guisan A, Edwards Jr T C, Hastie T. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene[J]. *Ecological Modelling*, 2002, 157(2/3): 89-100.
- [29] Dunn P K. Evaluation of Tweedie exponential family models[EB/OL]. (2016-12-19)[2017-01-10]. <http://cran.stat.upd.edu.ph/web/packages/tweedie/tweedie.pdf>.
- [30] 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*, 2012, 42(S1): 286-293.
Li Zengguang, Ye Zhenjiang, Zhang Meizhao, 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(S1): 286-293.
- [31] Burnham K P, Anderson D R. Model Selection and Multimodel Inference: a Practical Information-theoretic Approach[M]. 2nd ed. New York: Springer, 2002: 181.
- [32] Chambers J M, Hastie T J. Statistical Models in S[M]. London: Chapman and Hall, 1992.
- [33] 林新濯. 中国近海三种主要经济鱼类的生物学特性与资源现状[J]. *水产学报*, 1987, 11(3): 187-194.
Lin Xinzhuo. Biological characteristics and resources status of three main commercial fishes in offshore waters of China[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1987, 11(3): 187-194.
- [34] 陈佳杰, 徐兆礼, 陈雪忠. 我国沿海小黄鱼渔场的空间格局[J]. *水产学报*, 2010, 34(2): 236-244.
Chen Jiajie, Xu Zhaoli, Chen Xuezhong. The spatial distribution pattern of fishing ground for small yellow croaker in China Seas[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(2): 236-244.
- [35] 张秋华, 程家骅, 徐汉祥, 等. 东海区渔业资源及其可持续利用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2007.
Zhang Qiuhua, Cheng Jiahua, Xu Hanxiang, et al. Fishery Resources and its Sustainable Utilization in the East China Sea Region[M]. Shanghai: Fudan University Press, 2007.
- [36] 仲霞铭, 张虎, 汤建华, 等. 江苏近岸海域小黄鱼时空分布特征[J]. *水产学报*, 2011, 35(2): 238-246.
Zhong Xiaming, Zhang Hu, Tang Jianhua, et al. Temporal and spatial distribution of *Larimichthys polyactis* Bleeker resources in offshore areas of Jiangsu Province[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(2): 238-246.
- [37] 农牧渔业部水产局. 东海区渔业资源调查和区划[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1987.
Fisheries Bureau, Ministry of Agriculture, Animal Husbandry and Fishery. Fishery Resources Investigation and Regionalization in East China Sea[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1987.
- [38] 金显仕, 赵宪勇, 孟田湘, 等. 黄、渤海生物资源与栖息环境[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
Jin Xianshi, Zhao Xianyong, Meng Tianxiang, et al. Biological Resources and Habitats of Huanghai and Bohai Seas[M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [39] 邹易阳, 薛莹, 麻秋云, 等. 应用栖息地适宜性指数研究海州湾小黄鱼的空间分布特征[J]. *中国海洋大学学报*, 2016, 46(8): 54-63.
Zou Yiyang, Xue Ying, Ma Qiuyun, et al. Spatial distribution of *Larimichthys polyactis* in Haizhou Bay based on habitat suitability index[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2016, 46(8): 54-63.
- [40] 李凡, 李显森, 赵宪勇. 底拖网调查数据的Delta-模型分析及其在黄海小黄鱼和银鲳资源评估中的应用[J]. *水产学报*, 2008, 32(1): 145-151.
Li Fan, Li Xiansen, Zhao Xianyong. Bottom trawl survey data analysis based on Delta-distribution model and its application in the estimation of small yellow croak and silver pomfret in Yellow Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2008, 32(1): 145-151.
- [41] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 2版. 北京: 海洋出版社, 2014.
Chen Xinjun. Fishery Resources and Fishing Grounds[M]. 2nd ed. Beijing: China Ocean Press, 2014.
- [42] 王云峰, 朱鑫华. 盐度对鱼类生态生理学特征的影响[J]. *海洋科学集刊*, 2002, 44(1): 151-158.

Wang Yunfeng, Zhu Xinhua. A review on impact of salinity on patterns of fish ecophysiology[J]. *Studia Marina Sinica*, 2002, 44(1): 151–158.

[43] 戴琳, 尹军辉, 吴刘仓. Tweedie类分布下广义线性联合均值与散度混合专家回归模型[J]. *应用数学*, 2018, 31(1): 168–176.

Dai Lin, Yin Junhui, Wu Liucang. Mixture of expert regression for joint mean and dispersion models based on the Tweedie distribution family[J]. *Mathematica Applicata*, 2018, 31(1): 168–176.

Relationship between the habitat factors and the abundance of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in Haizhou Bay based on the Tweedie-GAM model

Zhang Yunlei¹, Xu Binduo¹, Zhang Chongliang¹, Ren Yiping^{1,2}, Xue Ying¹

(1. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266071, China)

Abstract: According to the data collected from bottom-trawl surveys in Haizhou Bay and adjacent waters during spring and fall in 2011 and 2013–2016, generalized additive model (GAM) based on the Tweedie distribution was used to examine the relationship between the distribution of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) and environment factors in different seasons and ontogenetic stages. Combined with the bottom sea water temperature (BSWT), bottom sea water salinity (BSWS), water depth, sediment types, and abundance of prey (*Crangon affinis*, *Leptochela gracilis*, *Engraulis japonicus*, *Thrissa kammalensis*), the conditional index k and Variance Inflation Factor (VIF) were used to measure the degree of multicollinearity between these factors. The results of multicollinearity indicated that all factors can be used as explanatory variables. The results of Tweedie-GAM show that the factors affecting the distribution of small yellow croaker and their deviance explained varied greatly with seasons (spring and fall) and ontogenetic stages (juvenile and adult). For example, the factors affecting the spring-juvenile small yellow croaker distribution were BSWT, BSWS, water depth and the abundance of *C. affinis*, which depth had the largest deviance explained (16.09%). In addition, the factors affecting the spring-adultl yellow croaker distribution were BSWT, BSWS, water depth and the abundance of *C. affinis* and *E.japonicus*, which BSWS had the largest deviance explained (13.56%). The distribution of small yellow croaker in different seasons and ontogenetic stages was found to be closely related to its ecological habits, environmental factors and distribution of prey in Haizhou Bay and adjacent waters.

Key words: Tweedie distribution; GAM; prey; multicollinearity; resource distribution