

DOI: 10.12264/JFSC2021-0114

## 基于 two-stage GAM 的舟山渔场及邻近海域小黄鱼时空分布特征

王雅丽<sup>1,2,3</sup>, 王晶<sup>2</sup>, 周永东<sup>1,3</sup>, 徐开达<sup>1,3</sup>, 蒋日进<sup>1,3</sup>, 李振华<sup>1,3</sup>,  
朱海晨<sup>1,2,3</sup>, 王静<sup>1,2,3</sup>, 崔国辰<sup>1,2,3</sup>

1. 浙江海洋大学海洋与渔业研究所, 浙江 舟山 316021;
2. 浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山 316021;
3. 浙江省海洋水产研究所, 农业农村部重点渔场渔业资源科学观测实验站, 浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 浙江 舟山 316021

**摘要:** 根据 2016—2019 年春季(4月)和秋季(11月)在舟山渔场及邻近海域底拖网渔业资源调查数据, 分析了该海域小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)生物量资源密度的时空分布特征, 运用两阶广义相加模型(two-stage GAM, generalized additive model)研究了影响其时空分布的环境因子。结果表明, 小黄鱼资源密度呈现明显的季节变化, 春季明显高于秋季; 影响该海域小黄鱼资源密度的因子主要是季节、水深和底层水温, 小黄鱼主要分布于 19~66 m 水深及 11~22 °C 范围内。随着水深的增加小黄鱼资源密度呈上升趋势, 在 60 m 水深附近资源密度最高; 在 16~20 °C 资源密度呈下降趋势, 12~16 °C 范围内资源密度较高。本研究揭示了该海域水深和底层水温的季节变化对小黄鱼资源密度分布的影响, 旨在为深入了解其空间分布、资源量化管理等措施提供基础资料。

**关键词:** 小黄鱼; 两阶广义相加模型; 时空分布; 舟山渔场; 环境因子

**中图分类号:** S931

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1005-8737-(2022)04-0633-09

鱼类对海洋环境的适应性和局限性决定了其洄游、分布和移动, 探讨研究鱼类的时空分布及其与不同环境因子的关系, 可为渔业资源合理利用提供参考。广义相加模型(generalized additive model, GAM)是最常见的物种分布模型之一<sup>[1]</sup>, 能够用其灵活处理数据间响应变量与解释变量之间的复杂关系。在渔业资源研究领域, 该模型主要应用于资源与环境因子的关系、渔业资源时空分布<sup>[2-8]</sup>及预测<sup>[9-10]</sup>等方面。在渔业资源调查中, 单一一种鱼类栖息的不均匀性使其难以出现在全部站位中, 通常会出现零值站位, 因此普通的 GAM 模型不能很好的体现鱼类时空分布及其与环境因子的关系。两阶广义相加模型(two-stage GAM)通

过对一般 GAM 模型的拓展, 可以更合理的解决生物调查数据中零值较多的问题<sup>[11-13]</sup>, 更准确地对渔业调查数据进行分析。

舟山渔场地处长江、钱塘江和甬江入海口, 水文环境优越, 为水生生物的生长、繁殖和索饵提供了良好的场所。作为暖温性底层鱼类的小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)是该海域的主要渔产之一, 历史上东海区产量最高曾达  $15.95 \times 10^4$  t<sup>[14]</sup>。国内外学者对不同海域小黄鱼的资源分布<sup>[15-18]</sup>、繁殖生物学<sup>[19-20]</sup>及摄食习性<sup>[21-22]</sup>等方面作了相关研究, 针对特定渔场的研究还鲜有报道。近年来由于过度捕捞、海洋环境污染和气候变化等原因, 小黄鱼资源衰退严重, 其生物学特征也随之发生

**收稿日期:** 2021-03-31; **修订日期:** 2021-05-21.

**基金项目:** 国家重点研发计划(2020YFD0900804, 2017YFA0604904, 2018YFD0900903); 浙江省重点研发计划(2019C02056); 浙江省科技计划项目(LGN20C190012).

**作者简介:** 王雅丽(1996-), 女, 硕士研究生, 从事渔业资源研究. E-mail: 914101537@qq.com

**通信作者:** 周永东, 教授, 从事渔业资源研究. E-mail: zyd511@126.com;

徐开达, 教授, 从事渔业资源研究. E-mail: xkd1981@163.com

变化<sup>[23]</sup>, 呈现出个体小型化、低龄化、性成熟提前等特点<sup>[18]</sup>, 因此深入了解小黄鱼群体分布与环境因子的关系对其管理和保护有十分重要的意义。本研究采用 two-stage GAM, 利用舟山渔场及邻近海域 2016—2019 年春季和秋季渔业资源调查数据, 探究小黄鱼资源时空分布及其与影响因素之间的关系, 进而掌握小黄鱼的资源变动规律, 以期小黄鱼的资源保护及管理提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

数据来源于 2016—2019 年春季(4 月)和秋季(11 月)在舟山渔场产卵场及邻近海域进行的底拖网渔业资源调查。调查范围为 29°45'00"~30°14'00"N, 122°36'00"~123°13'28"E 及周边海域, 调查海域内共设置站位 18 个(图 1), 调查网具网口拉紧周长为 25 m, 囊网网目尺寸为 3.0 cm, 拖速为 2 kn, 每个站位拖网时间为 30 min, 同时使用温盐深仪(CTD)进行温度、盐度和水深等环境因子的测定。样品带回实验室后进行生物学测定, 调查和样品的生物学测定均依照《海洋渔业资源调查规范》<sup>[24]</sup>进行。

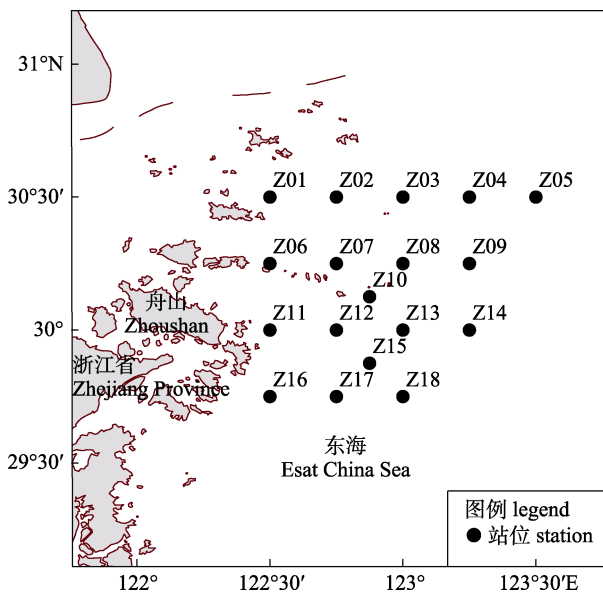


图 1 舟山渔场及邻近海域调查站位

Fig. 1 Map of survey stations in Zhoushan fishing ground and adjacent sea area

### 1.2 数据处理与分析

**1.2.1 小黄鱼资源密度估算** 小黄鱼的密度(生物量密度)估算按照以下公式<sup>[25]</sup>计算:

$$D = C/(qA)$$

式中,  $D$ —现存资源密度(重量:  $\text{kg}/\text{km}^2$ );  $C$ —每小时取样面积内的渔获量( $\text{kg}$ );  $q$ —网具渔获率, (由于小黄鱼属于底层鱼类,  $q$  取 0.5);  $A$ —网具每小时扫海面积( $\text{km}^2$ )。

**1.2.2 模型方法** 初步选择海水表层水温、底层水温、表层盐度、底层盐度和水深作为环境因子, 选择年份和月份作为两个时间因子。建模前对各环境因子作相关分析, 共线性强的两个环境因子保留一个, 其中年份和月份为时间因子不参与相关分析过程。最终选择的因子为年份、月份、水深、底层水温和底层盐度。模型拟合分两个步骤, GAM1 假设数据误差服从的是二项分布, 选择 logistic 为链接函数, 模拟小黄鱼出现概率( $P$ )与环境因子的关系; GAM2 假设数据误差服从的是高斯分布, 选择 identity 为链接函数模拟小黄鱼出现的情况下生物量资源密度  $Y$  与环境因子的关系。模型表达式为:

$$\text{GAM1: } \text{logit}(P) = \alpha + \sum_{i=1}^n s_i(x_i) + \varepsilon$$

$$\text{GAM2: } Y = \alpha + \sum_{i=1}^n s_i(x_i) + \varepsilon$$

式中,  $\alpha$  表示截距项,  $S_i$  表示样条平滑函数,  $x_i$  表示第  $i$  个解释变量,  $\varepsilon$  表示误差项。在模型拟合过程中采用逐步回归的方法将环境因子加入到模型中, 利用 AIC (akaike information criterion) 最小准则<sup>[26]</sup>筛选环境因子, AIC 值越小、偏差解释率越高表明模型拟合效果越好, 通过  $F$  检验来评估各因子的显著性<sup>[1]</sup>。two-stage GAM 模型使用 R 软件中的 gam 包进行构建, 小黄鱼生物量密度图及资源密度与底温和深度叠加图采用 ArcGIS 软件绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同因子对小黄鱼资源密度分布的影响

模型拟合过程中, 将共线性强的两个环境因子去除一个, 结合其他影响因子加入模型中, 利用 AIC 最小准则对因子进行筛选, 筛选过程如下

表 1, 最终拟合的模型表达式如下:

$$\text{GAM1: } \text{logit}(P) = \text{month} + s(\text{depth})$$

$$\text{GAM2: } Y = s(\text{depth}) + s(\text{SBT})$$

由模型拟合结果可知, 月份、水深和底温对小黄鱼资源密度有明显的影响(表 1)。GAM1 的累

计偏差解释率为 28.92%, 其中, 月份、水深的累计偏差解释率分别为 13.28%和 28.92% (表 2); GAM2 的累计偏差解释率为 44.06%, 其中, 水深和底层水温的累计偏差解释率分别为 29.17%和 44.06% (表 3)。

表 1 GAM1 和 GAM2 变量筛选及影响因子的参数分析  
Tab. 1 Variable screening process and parameters analysis for GAM1 and GAM2

GAM1: 影响因子 impact factors			GAM2: 影响因子 impact factors		
	残偏差 deviance	AIC		残偏差 deviance	AIC
year	202.22	214.57	year	235.71	361.64
month	186.22	190.22	month	256.12	361.28
depth	189.80	199.80	depth	181.79	335.74
SBT	186.37	196.37	SSS	233.79	358.89
SSS	193.25	203.25	SBS	215.38	351.34
SBS	191.76	201.76	SBT	230.75	357.68
month+year	183.17	197.17	depth+year	159.15	333.50
month+depth	154.78	166.78	depth+month	181.72	337.71
month+SBT	179.16	191.16	depth+SSS	178.51	342.07
month+SSS	171.12	183.12	depth+SBS	173.32	339.35
month+SBS	165.10	177.10	depth+SBT	165.10	322.20
month+depth+year	150.57	172.57	depth+SBT+year	138.95	329.02
month+depth+SBT	152.27	172.27	depth+SBT+month	142.18	323.13
month+depth+SSS	151.45	171.45	depth+SBT+SSS	140.16	327.81
month+depth+SBS	151.73	171.73	depth+SBT+SBS	136.79	325.58
month+depth+SSS+year	145.28	175.28	depth+SBT+month+year	138.23	330.54
month+depth+SSS+SBT	148.91	176.91	depth+SBT+month+SSS	138.69	328.84
month+depth+SSS+SBS	148.59	176.59	depth+SBT+month+SBS	134.10	325.75

注: year 为年际因子, SBT 为底层水温, SSS 为表层盐度, SBS 为底层盐度, depth 为水深。

Note: Year is the interannual factor; SBT is the sea bottom temperature; SSS is the sea surface salinity; SBS is the sea bottom salinity; depth is the depth of the water.

表 2 GAM1 模型拟合结果的偏差分析

Tab. 2 Analysis of deviance for GAM1

影响因子 impact factors	残偏差 deviance	AIC	累计偏差解释率/% percentage of explained deviance	F 检验 F test
month	186.22	190.22	13.28	<0.001
depth	154.78	166.78	28.92	<0.001

表 3 GAM2 模型拟合结果的偏差分析

Tab. 3 Analysis of deviance for GAM2

影响因子 impact factors	残偏差 deviance	AIC	累计偏差解释率/% percentage of explained deviance	F 检验 F test
depth	181.79	335.74	29.17	0.28
SBT	143.56	322.02	44.06	<0.001

## 2.2 各解释变量对资源密度的影响

本研究调查海域内, 小黄鱼出现在水深 19~66 m、底温 11~22 °C。在 GAM1 中, 由模型拟合结果来看, 时空因子月份对小黄鱼出现概率有明显影响, 2016—2019 年小黄鱼出现概率 4 月远大于 11 月, 11 月出现率很低; 本研究海域各影响因子中水深对小黄鱼出现概率的影响最为明显(模型拟合过程中加入深度因子之后 AIC 值降低幅度最大): 在 20~60 m 水深范围内, 出现概率随水深的增加而波动上升, 但当水深大于 60 m 时, 出现概率随水深的增加而下降(图 2)。

在 GAM2 中, 时空因子对小黄鱼资源密度分布的影响图可知, 水深和底层水温两个因子均影

响小黄鱼资源密度分布。具体地,在 20~30 m 水深范围内资源密度随水深的增加而下降,在 30~60 m 水深范围内,资源密度随水深的增加而上升;底层水温对资源密度影响也很大,在 12~15 °C

范围内,资源密度呈平稳的趋势,在 15~19 °C 范围内,资源密度随底层水温的增加而下降,当底层水温大于 19 °C 时,资源密度随底层水温的增加而上升(图 3)。

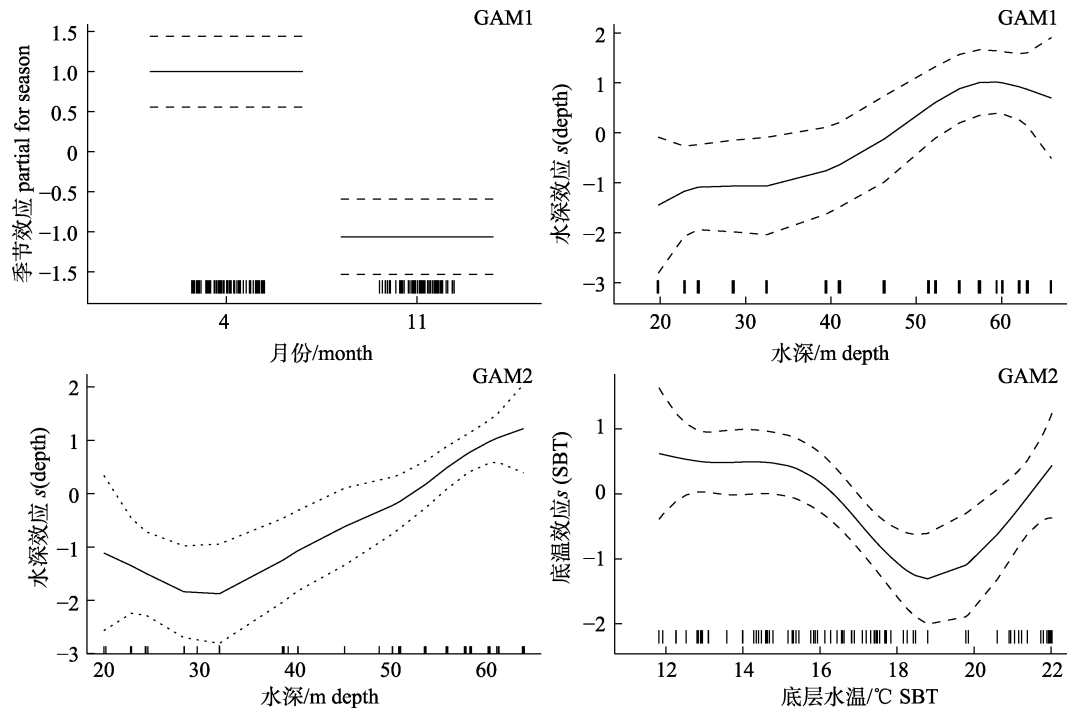


图 2 时空因子对小黄鱼资源密度分布的影响

虚线为 95%置信区间; X 轴上竖线为解释变量数据集的数据元素

Fig. 2 Effects of spatiotemporal factors on the resource density of *Larimichthys polyactis*  
Dotted curves indicate the 95% confidence intervals, and the vertical bars on the X axes indicate the data elements in data sets of the explanatory variables.

### 2.3 小黄鱼资源密度时空分布

小黄鱼资源密度季节与年际变化明显,春季明显大于秋季,且 2019 年高于其他 3 年(图 4)。春季 2016—2018 年空间分布模式大体一致,主要分布于调查区域东北部,资源密度呈东北高于西南的趋势,而 2019 年主要分布于北部,西北部资源密度高于东南部;秋季资源密度相对较低,2016—2019 年小黄鱼空间分布模式大致相同,主要分布在研究区域东部,资源密度呈东多西少的趋势(图 4)。

## 3 讨论

### 3.1 小黄鱼数量分布变化

舟山渔场及邻近海域小黄鱼资源密度季节变

化较大(图 3、图 4),其资源分布的变化与其产卵、索饵和洄游有关<sup>[27-28]</sup>。春季是小黄鱼产卵季节,其分布主要受产卵需求以及幼鱼索饵的影响,秋季小黄鱼从近岸向外海索饵及越冬洄游。本研究中春季各站位小黄鱼资源密度较高,呈东北多西南少的特点;秋季资源密度较低,呈东多西少的特点。据周永东等<sup>[29]</sup>研究,春季小黄鱼在舟山群岛附近产卵,产卵场位于浙江近海洞头洋至舟山群岛附近海域,部分北上与黄海中部来的产卵群体汇合在吕泗渔场产卵,这就可能导致舟山渔场北部的资源量高于南部。受暖流影响大部分小黄鱼每年 10 月游向外海的越冬场,小部分南下至东海中南部近海的越冬场,因此小黄鱼在空间分布上呈现东多西少的特点。此外,海礁渔场是小黄

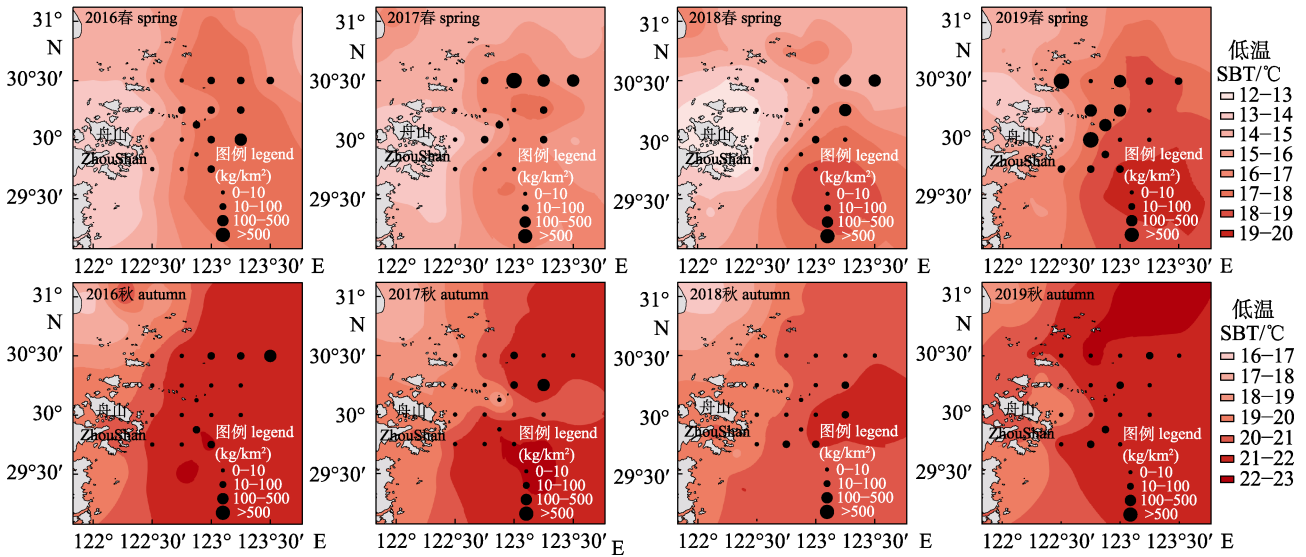


图 3 小黄鱼资源密度与底层水温分布图

Fig. 3 Resource density distribution and sea bottom temperature map of *Larimichthys polyactis*

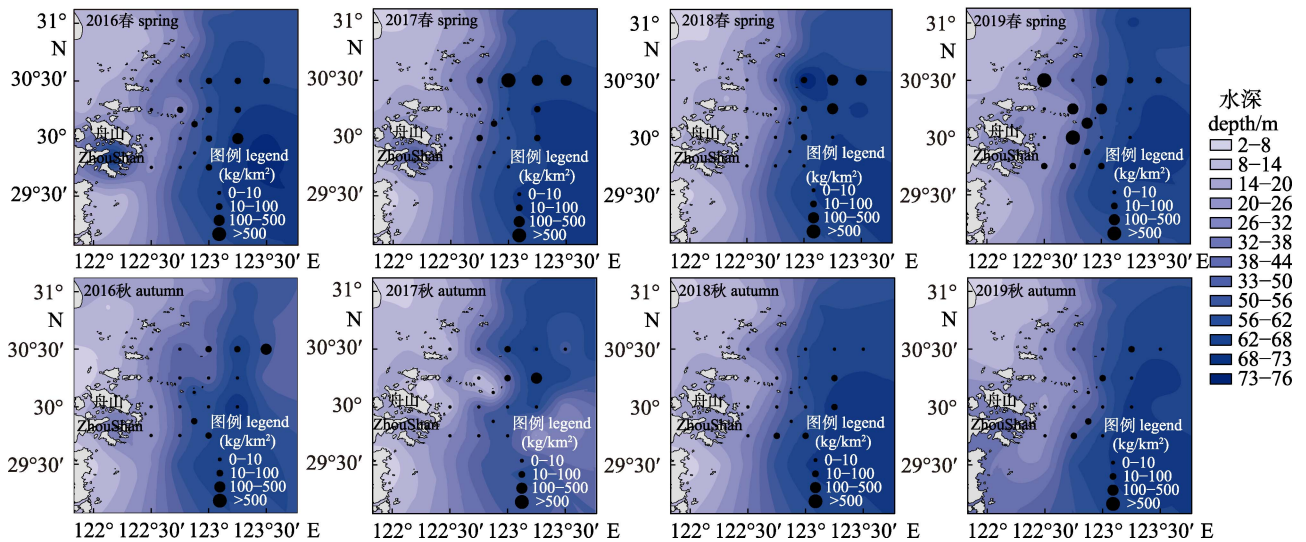


图 4 黄鱼资源密度与水深分布图

Fig. 4 Resource density distribution and sea bottom depth map of *Larimichthys polyactis*

鱼重要的产卵场和索饵场, 位于舟山渔场东北部, 地形复杂, 岛礁是幼鱼躲避敌害良好的栖息场所, 因此研究区域东北部小黄鱼密度较高, 春季空间分布上呈现东北高于西南的现象。

小黄鱼主要以磷虾 (*Euphausia*)、糠虾 (*Mysidacea*)、端足类 (*Amphipoda*)、桡足类 (*Copepods*)等浮游甲壳动物为食, 其中浮游动物占小黄鱼饵料生物种类的 61.8%<sup>[30]</sup>。研究发现东海浮游动物的丰度和生物量空间分布具有明显的季节差异, 春季近岸浮游动物生物量和丰度高于

外海, 自西向东呈逐渐减少趋势; 秋季外海的生物量和丰度高于近岸, 自西向东数量逐渐增加趋势<sup>[31]</sup>。结合资源密度与底层水温图可以看出, 底层水温的分布与浮游动物分布趋势一致, 因此小黄鱼空间分布可能受底层水温与浮游动物二者共同的影响, 致使秋季小黄鱼空间分布呈现东多西少这一现象(图 3)。

### 3.2 环境因子对小黄鱼资源分布的影响

模型拟合结果显示小黄鱼的数量分布主要受水深、底层水温两个环境因子的影响。水深会影



响温度和压强等因素,从而对鱼类生活习性和数量分布情况产生影响,因此水深通过影响水温等因素间接影响小黄鱼空间分布<sup>[32]</sup>。随着水深的增加,小黄鱼资源密度呈上升趋势(图 2)。历史研究表明,东海小黄鱼集中分布于水深 40~80 m,小于 60 m 水深资源量占 60%<sup>[33-34]</sup>,这与本研究结果一致,在水深 30~60 m,小黄鱼资源密度和出现概率都随水深的增加而上升,在 60 m 附近达到最大值,表明小黄鱼分布的最适水深为 60 m 附近。水深也会对初级生产力产生较大影响,而初级生产力在碳循环中起着重要作用,且维持着生态系统食物网各个营养阶层的生产情况,能够评估渔业资源的生产潜力<sup>[35]</sup>,据文斐<sup>[36]</sup>研究结果,东黄海不同深度的初级生产力具有季节性变化,因此初级生产力的不同也是影响小黄鱼空间分布和数量变化的原因之一。

研究发现海水温度也是影响鱼类资源分布的主要因素之一,其繁殖、生长和发育等阶段对水温有不同的要求,鱼类的洄游也会受温度的影响,从而对渔期早晚以及中心渔场位置的变动以及鱼类集群程度产生直接影响<sup>[37-38]</sup>,本研究发现小黄鱼分布的最适温度为 16 °C。据中国气象局报道,2019 年为有观测记录以来海洋温度最暖年,这主要是由于全球变暖导致地球系统能量增加,而能量的 90%以上被储存在海洋中,使得海洋热含量增加<sup>[39]</sup>。本研究 2019 年 4 月资源密度高于同期其他年份(图 3),据同期环境调查数据可知,2019 年春季底层水温明显高于 2016—2018 年,因此推测随着底层水温的升高小黄鱼洄游至舟山渔场及邻近海域进行产卵或索饵使其集中分布于渔场周围。此外,渔场及邻近海域温度的升高会刺激亲体使其性腺发育提前,加快亲体的成熟速度,使得鱼类产卵期提前,导致实际产卵的亲体数量增加<sup>[40]</sup>;调查数据显示幼鱼占总渔获物的 90%以上,因此温度的升高可能使得幼鱼提前洄游至舟山渔场附近洄游索饵,加之 2017 年在浙江沿岸设立了十个产卵场保护区,舟山渔场产卵场保护区为其中之一,因此水温升高、实际产卵群体数量增加和保护区保护效果等因素最终致使 2019 年春季资源密度高于其他年份(图 3)。本研究发现 2019

年调查月份小黄鱼生物量密度呈升高现象(图 3),但这是否表明近年的保护区建设及伏季休渔取得了非常好的效果,仍需开展持续的监测调查进行验证评估。

本研究中小黄鱼资源密度零值站位占总调查站位的 41.67%,由于零值站位所占比例较大,因此采用 two-stage GAM 来分析其资源密度分布与影响因子的关系,去除零值膨胀的数据的影响。根据模型拟合结果可知,两个阶段模型解释率有所差别,GAM1 的偏差解释率为 28.92%,GAM2 的偏差解释率为 44.06%,GAM2 的拟合效果优于 GAM1。这可能是由于小黄鱼的出现概率存在不确定性,而小黄鱼的数量分布代表着对其生存环境的适宜程度,因此 GAM2 的偏差解释率较高。另外,除环境因子和季节变化外,饵料生物与捕食者的分布也和小黄鱼的资源分布密切相关。

#### 参考文献:

- [1] Hastie T J, Tibshirani R J. Generalized Additive Models [M]. London: Chapman and Hall, 1990.
- [2] Li M K, Zhang C L, Li M, et al. Relationship between the spatiotemporal distribution of *Conger myriaster* and environmental factors in the southern waters off the Shandong Peninsula during autumn and winter[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(5): 1115-1122. [李明坤, 张崇良, 李敏, 等. 山东南部近海秋、冬季星康吉鳗分布与环境因子的关系[J]. 中国水产科学, 2018, 25(5): 1115-1122.]
- [3] Li M, Li Z G, Xu B D, 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. [李敏, 李增光, 徐宾铎, 等. 时空和环境因子对海州湾方氏云鳎资源丰度分布的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(4): 812-819.]
- [4] Xing L, Xu B D, Zhang C L, et al. Environmental influence on the distribution of *Hexagrammos otakii* inhabiting Haizhou Bay and its adjacent waters[J]. Periodical of Ocean University of China, 2015, 45(6): 45-50. [邢磊, 徐宾铎, 张崇良, 等. 环境因子对海州湾及邻近海域大龙六线鱼分布影响的分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2015, 45(6): 45-50.]
- [5] Guisan A, Edwards 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.

- [6] Gordon S, Chisheng H, Stephen K. Spatial analysis of Bering Sea groundfish survey data using generalized additive models[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1992, 49(7): 1366-1378.
- [7] Venables W N, Dichmont C M. GLMs, GAMs and GLMs: an overview of theory for applications in fisheries research[J]. Fisheries Research, 2004, 70(2): 319-337.
- [8] Barry S C, Welsh A H. Generalized additive models and zero inflated count data[J]. Ecological Modelling, 2002, 157(2-3): 179-188.
- [9] Tang Y L, Ma S Y, Liu C D, et al. Influence of spatial-temporal and environmental factors on *Larimichthys polyactis*, octopus *variabilis*, and species aggregated set-net CPUEs in Haizhou Bay, China[J]. Journal of Ocean University of China, 2018, 17(4): 973-982.
- [10] Walsh WA, Kleiber P. Generalized additive model and regression tree analyses of blue shark (*Prionace glauca*) catch rates by the Hawaii-based commercial longline fishery[J]. Fisheries Research, 2001, 53(2): 115-131.
- [11] Barry S C, Welsh A H. Generalized additive models and zero inflated count data[J]. Ecological Modelling, 2002, 157(2): 179-188.
- [12] Chang J H, Chen Y, Holland D, et al. Estimating spatial distribution of American lobster *Homarus americanus* using habitat variables[J]. Marine Ecology Progress, 2010, 420(16): 145-156.
- [13] Jensen O P, Seppelt R, Miller T J, et al. Winter distribution of blue crab *Callinectes sapidus* in Chesapeake Bay: application and cross-validation of a two-stage generalized additive model[J]. Marine Ecology Progress, 2005, 299: 239-255.
- [14] Lin L S. Analysis on extant abundance of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* in the East China Sea[J]. Marine Fisheries, 2004, 26(1): 18-23. [林龙山. 东海区小黄鱼现存资源量分析[J]. 海洋渔业, 2004, 26(1): 18-23.]
- [15] Jin X S. Ecology and population dynamics of small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis* Bleeker) in the yellow sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1996, 3(1): 32-46. [金显仕. 黄海小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*) 生态和种群动态的研究[J]. 中国水产科学, 1996, 3(1): 32-46.]
- [16] Tang J H, Zhou J. Current situation and management of small yellow croaker resources in East China Sea[J]. Marine Fisheries, 1999, 21(4): 173-174. [汤建华, 周瑾. 东海区小黄鱼资源现状及管理初探[J]. 海洋渔业, 1999, 21(4): 173-174.]
- [17] Liu Z L, Yang L L, Yuan X W, et al. Overwintering distribution and its environmental determinants of small yellow croaker based on ensemble habitat suitability modeling[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(6): 2076-2086. [刘尊雷, 杨林林, 袁兴伟, 等. 基于集成模型的小黄鱼越冬群体适宜生境及其环境影响因素[J]. 应用生态学报, 2020, 31(6): 2076-2086.]
- [18] Lin L S, Jiang Y Z, Liu Z L, et al. Analysis of the distribution difference of small yellow croaker between the southern Yellow Sea and the East China Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(3): 1-6. [林龙山, 姜亚洲, 刘尊雷, 等. 黄海南部和东海小黄鱼资源分布差异性研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2010, 40(3): 1-6.]
- [19] Liu Y, Yan L P, Cheng J H. Distribution of small yellow croaker's spawner stocks and its relationship with seawater temperature and salinity in the open sea of northern East China Sea and Yellow Sea in 2003[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(7): 89-96. [刘勇, 严利平, 程家骅. 2003年东海北部和黄海南部外海小黄鱼产卵群体的分布特征及其与水温、盐度的关系[J]. 中国水产科学, 2007, 14(7): 89-96.]
- [20] Zhang H, Yuan X W, Cheng J H. Optimizing selection and application of reproduction model of small yellow croaker in the East China sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(6): 1300-1308. [张辉, 袁兴伟, 程家骅. 东海区小黄鱼繁殖模型优化选择及其管理应用研究[J]. 中国水产科学, 2010, 17(6): 1300-1308.]
- [21] Xue Y, Jin X S, Zhang B, 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. [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.]
- [22] Wei X J, Zhang B, Shan X J, et al. Feeding habits of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in the Bohai Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(6): 1289-1298. [魏秀锦, 张波, 单秀娟, 等. 渤海小黄鱼摄食习性[J]. 中国水产科学, 2018, 25(6): 1289-1298.]
- [23] Lin L S, Cheng J H. 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. [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.]
- [24] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Specifications for Oceanographic Survey (Part 6): Marine Biological Survey (GB/T12763.6—2007)[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. [中国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/T 12763.6—2007)[S]. 北京: 中国标准出版社,

- 2007.]
- [25] Zheng Y J, Chen X Z, Cheng J H, et al. Biological Resources and Environment of the East China Sea Continental Shelf[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2003. [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.]
- [26] Burnham K P, Anderson D R. Model Selection and Inference: A Practical Information-Theoretic Approach[M]. New York: Springer, 2002: 175-196.
- [27] Xu Z L, Chen J J. Analysis on migratory routine of *Larimichthys polyactis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(6): 931-940. [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.]
- [28] Deng J Y, Zhao C Y. Marine Fishery Biology[M]. Agriculture Press, 1991: 164-198. [邓景耀, 赵传纲. 海洋渔业生物学[M]. 农业出版社, 1991: 164-198.]
- [29] Zhou Y D, Li S F. Atlas of Three Fields One Passageway and Protected Areas of Main Economic Species in East China Sea[M]. Beijing: Ocean press, 2018. [周永东, 李圣法. 东海区主要经济种类三场一通道及保护区图集[M]. 北京: 海洋出版社, 2018.]
- [30] Aquatic Bureau of Ministry of Agriculture, Animal Husbandry and Fisheries, East China Sea Fisheries Command, Ministry of Agriculture, Animal Husbandry and Fisheries. Survey and Area of Fishery Resources in East China Sea[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1987: 339-356. [农牧渔业部水产局, 农牧渔业部东海区渔业指挥部. 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: 339-356.]
- [31] Zuo T. Community structure of zooplankton in the East China Sea and the Yellow Sea[D]. Qingdao: Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences, 2003. [左涛. 东、黄海浮游动物群落结构研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2003.]
- [32] Li Y D, Zhang C L, Ji Y P, et al. Spatio-temporal distribution of *Larimichthys polyactis* and its relationship with environmental factors in the southern waters off Shandong Peninsula[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(4): 442-450. [李迎冬, 张崇良, 纪毓鹏, 等. 山东半岛南部海域小黄鱼时空分布及其与环境因子的关系. 中国水产科学, 2021, 28(4): 442-450]
- [33] Ding F Y, Lin L S, Li J S, et al. Relationship between redlip croaker (*Larimichthys polyactis*) spawning stock distribution and water masses dynamics in northern East China Sea region[J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(6): 1013-1019. [丁峰元, 林龙山, 李建生, 等. 东海区北部小黄鱼生殖群体分布及与水团关系[J]. 自然资源学报, 2007, 22(6): 1013-1019.]
- [34] Zheng Y J, Chen X Z, Cheng J H, et al. Biological Resources and Environment of the East China Sea Continental Shelf[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2003. [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.]
- [35] Ning X R, Liu Z L, Shi J X. Assessment of primary productivity and potential fishery production in the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1995, 17(3): 72-84. [宁修仁, 刘子琳, 史君贤. 渤、黄、东海初级生产力和潜在渔业生产量的评估[J]. 海洋学报(中文版), 1995, 17(3): 72-84.]
- [36] Wen F. Study on the size fractionated chlorophyll  $\alpha$  and primary productivity in spring and summer in the Yellow Sea and East China Sea[D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2012. [文斐. 黄东海春、夏季分粒级叶绿素  $\alpha$  及初级生产力研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2012.]
- [37] Zhang J S, Su F Z, Du Y Y. Relationship between pelagic fishery resources and sea surface temperature in East China Sea[J]. Resources Science, 2004, 26(5): 147-152. [张甲坤, 苏奋振, 杜云艳. 东海区中上层鱼类资源与海表温度关系[J]. 资源科学, 2004, 26(5): 147-152.]
- [38] Li X D. Studies on the correlation between the temperature of sea water and fishing grounds[J]. Acta Oceanologica Sinica (in Chinese), 1982, 4(1): 103-113. [李雪渡. 海水温度与渔场之间的关系[J]. 海洋学报(中文版), 1982, 4(1): 103-113.]
- [39] Sun N, Lin Z. Last year was the warmest year for the oceans on record[N]. China Meteorological News, 2020-01-20(003). [孙楠, 林征. 去年为有观测记录以来海洋最暖年[N]. 中国气象报, 2020-01-20(003).]
- [40] Xu H X, Liu Z P, Zhou Y D. Variation of *Trichiurus haumela* productivity and recruitment in the East China Sea. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(4): 322-327. [徐汉祥, 刘子藩, 周永东. 东海带鱼生殖和补充特征的变动[J]. 水产学报, 2003, 27(4): 322-327.]



## Spatial and temporal distribution characteristics of *Larimichthys polyactis* in Zhoushan fishing ground and the adjacent waters based on two-stage GAM

WANG Yali<sup>1,2,3</sup>, WANG Jing<sup>2</sup>, ZHOU Yongdong<sup>1,3</sup>, XU Kaida<sup>1,3</sup>, JIANG Rijin<sup>1,3</sup>, LI Zhenhua<sup>1,3</sup>, ZHU Haichen<sup>1,2,3</sup>, WANG Jing<sup>1,2,3</sup>, CUI Guochen<sup>1,2,3</sup>

1. Institute of Marine and Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316021, China;
2. School of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;
3. Zhejiang Marine Fisheries Research Institute, Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources for Key Fishing Grounds, Ministry of Agriculture and Rurae Affairs, Key Laboratory of Sustainable Utilization of Technology Research for Fishery Resources of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China

**Abstract:** Based on the survey data of bottom trawl fishery resources in Zhoushan fishing grounds and adjacent sea areas in spring (April) and autumn (November) from 2016 to 2019, we analyzed the spatial and temporal distribution characteristics of biomass resource density of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in this sea area, and used two-stage generalized additive model to study the environmental factors affecting its spatial and temporal distribution. The results showed that the density of small yellow croaker resources showed obvious seasonal changes, and it was significantly higher in spring than in autumn. The main factors affecting the resource density of small yellow croaker in this sea area are season, water depth and bottom water temperature. Small yellow croaker is mainly distributed in the range of 19 to 66 m water depth and the range of 11–22 °C. With the increase of water depth, the resource density of small yellow croaker shows an upward trend, and the resource density is the highest near the water depth of 60 m. The resource density showed a downward trend at 16 °C centigrade to 20 °C, and the resource density was high at 12–16 °C. This result reveals the influence of seasonal variation of water depth and bottom water temperature in the sea area on the density distribution of small yellow croaker resources, and provides basic data for further understanding of its spatial distribution and quantitative management of resources.

**Key words:** *Larimichthys polyactis*; two-stage GAM; spatial and temporal distribution; Zhoushan fishing ground; environmental factors

**Corresponding author:** ZHOU Yongdong. E-mail: zyd511@126.com; XU Kaida. E-mail: xkd1981@163.com