

浙江沿岸日本鳀幼鱼数量分布及其与环境因子的关系

朱文斌¹, 朱海晨^{1,2}, 张亚洲¹, 王晶², 蒋日进¹, 卢占晖¹, 崔国辰^{1,2}, 戴乾¹

1. 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;

2. 浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山 316021

摘要: 日本鳀(*Engraulis japonicus*)是浙江沿岸海域常见的中上层小型鱼类。本研究根据 2019 年 4—6 月科学观察员对日本鳀幼鱼专项特许捕捞活动记录的渔获数据与采集的环境数据, 分析了浙江沿岸日本鳀幼鱼资源密度的分布特征, 并通过广义相加模型(GAM)研究了影响其分布的环境因子。结果表明, 浙江沿岸日本鳀幼鱼的资源密度具有较明显的月份变化, 5 月最高, 4 月最低; 影响其资源密度的主要环境因子为纬度、0.5 m 水深的盐度、0.5 m 水深的叶绿素、溶解氧; 纬度、0.5 m 水深盐度、0.5 m 水深溶解氧与日本鳀幼鱼的资源密度之间呈现多波峰的非线性关系, 0.5 m 水深的叶绿素与日本鳀幼鱼的资源密度之间呈现正相关线性关系。研究结果可以为浙江沿岸日本鳀专项特许捕捞时间、空间管理和减少副渔获物提供依据, 也可以结合日本鳀成鱼研究为其资源评估提供参考。

关键词: 浙江沿岸; 日本鳀幼鱼; 资源密度; 广义相加模型(GAM); 环境因子

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)09-1175-09

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, 探讨研究鱼类的数量分布及其与相关环境因子的关系, 可为渔况分析、渔场探测和渔业资源合理利用提供参考^[1]。随着计算机技术以及数理统计等交叉学科的快速发展, 基于渔业数据对鱼类数量及其与环境因子的关系研究也越来越多, 但多数集中在大洋公海海域^[2-4], 对于沿岸海域的研究还相对较少。

日本鳀(*Engraulis japonicus*)属鲱形目(Clupeiformes)、鳀科(Engraulidae), 是一种集群性强、生命周期短的中上层小型鱼类, 广泛分布于我国的东海、黄海和渤海^[5]。由于日本鳀的易腐性质, 长期以来绝大部分用于制作饲料^[6], 但日本鳀幼鱼可以通过烘干制成美味营养的食物, 提高其市场价值^[7]。每年 4—6 月日本鳀产卵后, 浙江沿岸的渔民都会用张网、围网等来捕捞日本鳀幼鱼。由于东海区伏季休渔开始时间由原来的 6 月 1 日提

前至 5 月 1 日^[8], 对日本鳀幼鱼捕捞传统作业造成了较大的冲击。为合理开发利用渔业资源, 农业农村部对日本鳀幼鱼捕捞作业实施了专项特许捕捞, 要求实施限额捕捞, 并引进科学观察员制度。从全球范围来看, 科学观察员制度是渔业监测的重要手段之一^[9], 能够有效对渔船作业位置、捕捞活动、渔获生物学和海洋环境等信息进行记录^[10]。

国内外均有学者对日本鳀进行了相关研究, Yu 等^[11]研究了黄海海域日本鳀补充群体的潜在环境驱动因子, 认为水温与饵料影响了日本鳀补充群体的早期生长过程。薛利建等^[5]对东海日本鳀的数量分布与生物学特征进行了研究。日本学者 Takasuka 等^[12]研究了日本鳀幼鱼生长的动态机制。本研究根据笔者作为科学观察员在海上收集和记录的渔获、生物学与环境数据, 分析了日本鳀幼鱼数量分布的特征, 并运用 GAM 模型^[13]

收稿日期: 2020-11-16; 修订日期: 2021-01-18.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0901505); 浙江省重点研发计划项目(2018C02026); 浙江省自然科学基金项目(LGN21C190005).

作者简介: 朱文斌(1982-), 男, 高级工程师, 主要从事渔业资源研究. E-mail: foolse@126.com

探究了影响日本鳀幼鱼分布的环境因子, 可对日本鳀幼鱼分布的环境驱动机制进行补充, 并为日本鳀幼鱼的资源评估和管理策略优化提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据源自 2019 年 4—6 月伏季休渔专项特许捕捞“华盛渔加 2 号”的捕捞和加工船队(图 1), 其中捕捞渔船 16 艘, 勾网船 4 艘, 加工船 1 艘。作业区域如图 2 所示。船队采用编组作业方式生产: 每个作业组由 4 艘捕捞渔船(C)和一艘勾网渔船(T)组成,

勾网渔船负责将捕捞的渔获物转载至加工船(P)进行加工。捕捞渔船作业位置分布在加工船周围 2 nm 以内, 船队捕捞作业区域为浙江沿岸。科学观察员在加工船收集和记录的数据主要包括: 生物学信息、每日的捕捞产量、作业时间以及作业位置, 同时使用多功能水质仪采集水温、盐度、叶绿素、溶解氧等环境数据。捕捞渔具为双船有囊围网, 网衣上下纲长度均为 300 m, 网口网目 1.8 m, 囊网长度 40 m, 最小网目 5 mm。日本鳀幼鱼产量数据根据渔船的作业时间以及渔获占比进行标准化, 获得各个捕捞区域的资源密度(kg/h)。

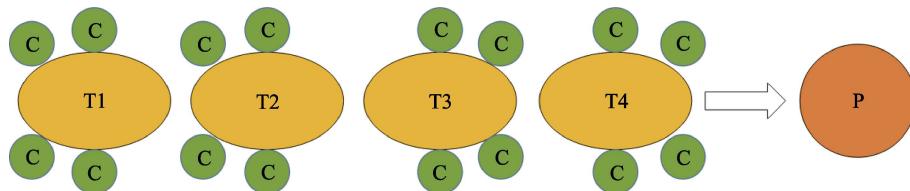


图 1 捕捞和加工船队结构示意图

C: 捕捞渔船; T: 勾网渔船; P: 加工渔船

Fig. 1 Schematic diagram of the fishing and processing fleet structure
C: catching boat; T: transporting boat; P: processing boat

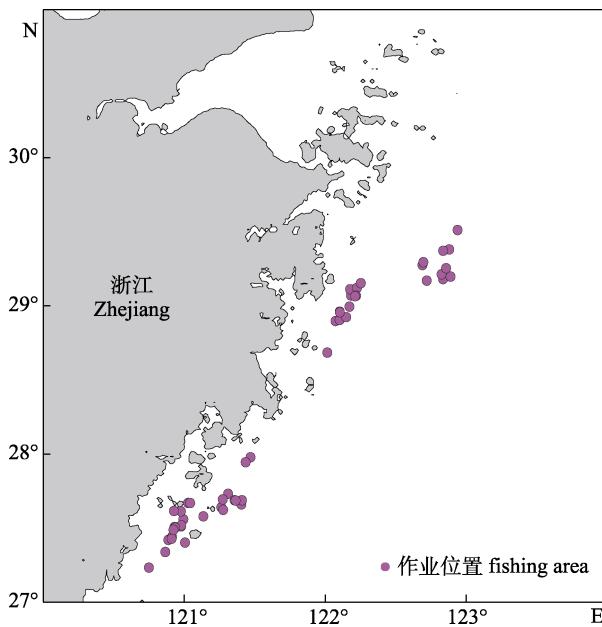


图 2 捕捞作业位置图

Fig. 2 Maps of fishing area

1.2 数据处理

对采集的环境因子进行相关性分析, 选取其显著性环境因子进行建模。本研究以日本鳀幼鱼

的资源密度为响应变量, 以筛选的相关因子作为解释变量, 利用 GAM 模型对日本鳀幼鱼的资源密度的分布及相关环境因子进行回归分析。GAM 模型的表达式^[14]为:

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

式中, Y 为日本鳀幼鱼的资源密度(kg/h); α 是适合函数的截距; ε 是随机误差项; x_j 表示解释变量, 即影响因子; $f_i(x_j)$ 是各环境变量 x_j 的任意单变量函数, 通过样条平滑函数来估计。将筛选出的环境因子代入 GAM 模型, 进一步筛选出影响日本鳀幼鱼分布的主要因子。

根据赤池信息准则(AIC), 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 AIC 值达到最小为止, 所得 AIC 值最小的模型即为拟合效果最好的模型。

使用 R 语言软件^[15]“vegan”“ggplot2”程序包来进行相关性可视化分析, “mgcv”程序包进行

GAM 模型的构建;利用 Surfer 软件绘制捕捞区域图与资源密度时空分布图。

2 结果与分析

2.1 日本鳀幼鱼的数量分布

科学观察期间,科学观察员记录“华盛渔加 2

号”加工日本鳀幼鱼 1588.78 t。浙江沿岸日本鳀幼鱼资源密度月份变化相对明显,5 月平均资源密度最大,为 3987.39 kg/h,4 月最小,为 1386.67 kg/h,6 月为 3248.67 kg/h。从时空变化来看,4 月主要集中在浙江南部海域,5 月中上旬在浙江中南部海域,5 月下旬及 6 月主要集中在浙江偏北部海域(图 3)。

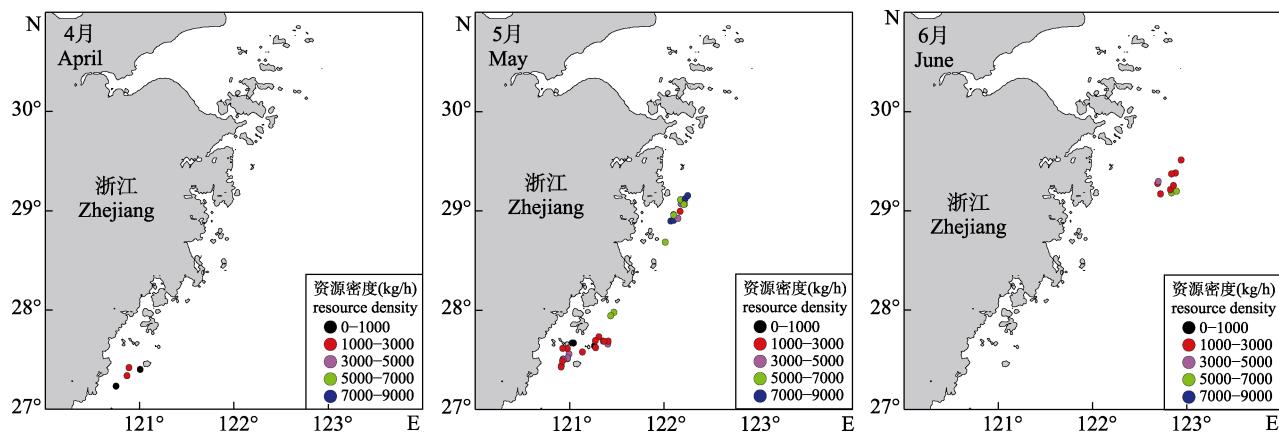


图 3 浙江沿岸日本鳀幼鱼资源密度空间分布的月变化

Fig. 3 Monthly variation of resource density of juvenile *Engraulis japonicus* along Zhejiang coast

2.2 日本鳀幼鱼资源密度与环境因子相关性

日本鳀幼鱼属于中上层暖温性鱼类,捕捞渔船的渔具平均网口高度约为 10 m,鱼群深度一般不超过 10 m,因此选取 0.5 m 与 10 m 水深的溶解氧、盐度、叶绿素、温度、浑浊度进行相关性分析。根据相关性分析可视化结果(图 4),Pearson's r 为各个环境因子之间的相关系数,色块越大,相关性越大,色块的颜色代表系数大小。Mantel's r 表示日本鳀幼鱼的资源密度与环境因子之间的相关系数,Mantel's P 为日本鳀幼鱼资源密度与环境因子之间的相关程度的显著性。0.5 m 水深的溶解氧与日本鳀幼鱼的资源密度极显著相关($P<0.01$),0.5 m 水深的盐度、0.5 m 水深的叶绿素与日本鳀幼鱼的资源密度有显著相关关系($P<0.05$),又因日本鳀属于中上层暖温性鱼类,故本研究选取 0.5 m 水深与 10 m 水深的溶解氧、盐度、叶绿素、温度作为主要影响环境因子,纬度作为空间因子,日本鳀幼鱼资源密度作为响应变量进行 GAM 建模。

2.3 不同因子对日本鳀幼鱼分布的影响

通过 AIC 来对模型拟合的日本鳀幼鱼的资源

密度与各影响因子间的关系进行筛选(表 1)。根据 AIC 最小原则筛选后的 GAM 模型表达式为:

$$\lg(Y) = \alpha + s(\text{Lat}) + s(\text{Chl-a}) + s(\text{Sal}) + s(\text{DO})$$

式中, Y 为日本鳀幼鱼的资源密度(kg/h), α 为截距, $s(\text{Lat})$ 为纬度效应, $s(\text{Chl-a})$ 为叶绿素效应, $s(\text{Sal})$ 为盐度效应, $s(\text{DO})$ 为溶解氧效应。GAM 模型残偏差分析表明(表 2),所选建模因子的累计残偏差解释率为 62.5%,其中纬度对模型影响因子最大($P<0.01$)。

图 5 显示了纬度、0.5 m 水深叶绿素、0.5 m 水深盐度、0.5 m 水深溶解氧对于日本鳀幼鱼资源量的分布。纬度、0.5 m 水深盐度、0.5 m 水深溶解氧与日本鳀幼鱼的资源密度之间呈现多波峰的非线性关系,在北纬 27°30' 以南海域,日本鳀资源密度随着纬度增加而增加,在 27°30'~30°00'N 海域之间,资源密度短暂下降之后又随着纬度增加而增加。0.5 m 水深溶解氧与日本鳀幼鱼的资源密度之间呈现正相关的非线性关系,日本鳀幼鱼的资源密度随着溶解氧含量的增高而增加。随着盐度的增加,资源密度会增加,盐度达到 28 后,

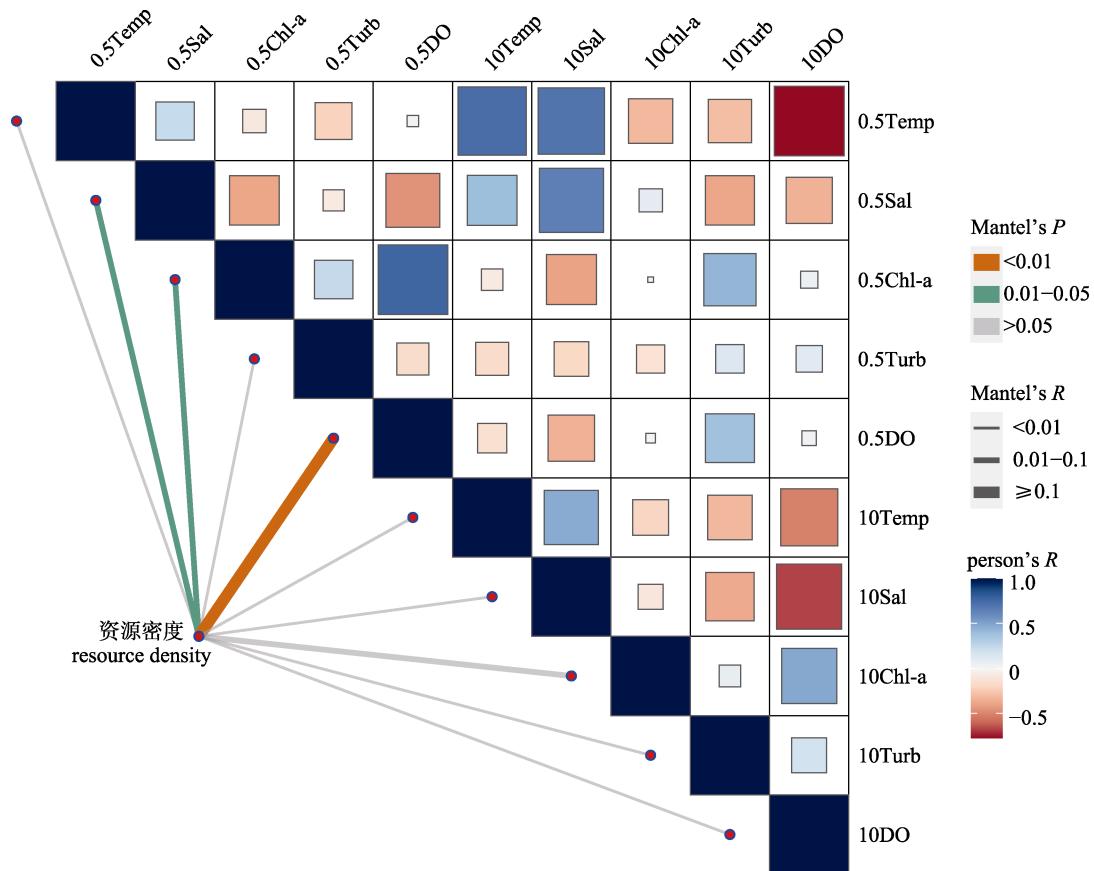


图 4 日本鳀幼鱼资源密度与不同环境因子相关性

Temp: 温度; Sal: 盐度; Chl-a: 叶绿素 a; Turb: 混浊度; DO: 溶解氧. 0.5 表示 0.5 m 水深, 10 表示 10 m 水深.

Fig. 4 Correlation analysis of relative abundance of juvenile *Engraulis japonicus* and environmental factors

Temp: temperature; Sal: salinity; Chl-a: chlorophyll-a; Turb: turbidity; DO: dissolved oxygen.

0.5 means 0.5 m water depth, 10 means 10 m water depth.

表 1 基于 GAM 模型对日本鳀幼鱼资源密度影响因子的筛选过程

Tab. 1 The variable screening process for influential factors on relative abundance of juvenile *Engraulis japonicus* with GAM model

影响因子 factor	残偏差 deviance	赤池信息准则 AIC
水温 0.5Temp	26.78	121.06
盐度 0.5Sal	28.01	125.78
叶绿素 0.5Chl-a	31.25	125.75
纬度 Lat	25.05	120.87
溶解氧 0.5DO	31.86	126.74
纬度+水温 Lat+0.5Temp	21.38	110.25
纬度+盐度 Lat+0.5Sal	14.51	101.58
纬度+叶绿素 Lat+0.5Chl-a	14.35	101.32
纬度+溶解氧 Lat+0.5DO	14.30	101.35
纬度+叶绿素+水温 Lat+0.5Chl-a+0.5Temp	20.63	108.57
纬度+叶绿素+盐度 Lat+0.5Chl-a+0.5Sal	13.92	102.10
纬度+叶绿素+溶解氧 Lat+0.5Chl-a+0.5DO	14.11	102.64
纬度+叶绿素+盐度+水温 Lat+0.5Chl-a+0.5Sal+0.5Temp	14.46	104.20
纬度+叶绿素+盐度+溶解氧 Lat+0.5Chl-a+0.5Sal+0.5DO	12.63	98.96

表2 GAM模型拟合结果分析
Tab. 2 Analysis of deviance for GAM

环境因子 factor	残偏差 deviance	累计残偏差解释率 deviance explained/%	赤池信息准则 AIC
纬度 Lat	15.05	55.2	120.87
叶绿素 0.5Chl-a	14.35	57.3	101.32
盐度 0.5Sal	13.92	58.4	102.10
溶解氧 0.5DO	12.63	62.5	98.96

会出现短暂降低后继续增加,在盐度达到30时,日本鳀幼鱼的资源密度达到最大。0.5 m水深叶绿素与日本鳀幼鱼资源密度之间呈现正相关的线性关系。

3 讨论

3.1 日本鳀幼鱼数量的时空变化

浙江沿岸日本鳀幼鱼资源密度的时空变化较大,以5月浙江中部海域的资源密度最高,主要分布在浙江中南部近岸海域。其资源密度的变化主要是受产卵群体的洄游产卵习性所影响,从11月中下旬开始,日本鳀洄游至舟山外海、浙江中南部外海70~80 m等深线附近海域进行越冬,受

温度影响,产卵群体在第2年的3—4月相继进入沿岸浅水区产卵^[16]。本研究中,浙江南部海域水温最先达到适温范围,产卵群体最先产卵,随着中北部水温逐渐达到适温范围,南部海域产卵群体以及在中部外海的产卵群体也逐渐洄游到中部近岸产卵,这就使得5月的日本鳀资源密度达到最大。6—7月产卵群体继续向北洄游,使得浙江沿岸的日本鳀资源密度开始减少。再者,从食物链角度,其他鱼种如小黄鱼(*Larimichthys polyacanthus*)、带鱼(*Trichiurus lepturus*)的产卵群体洄游至此进行产卵,使得日本鳀幼鱼被捕食的几率增加^[17-20],有可能造成6月日本鳀幼鱼资源密度出现下降的趋势。

3.2 不同因子对日本鳀幼鱼资源密度分布的影响

深入理解日本鳀幼鱼的分布、栖息地选择是科学开发利用日本鳀幼鱼资源的基础。根据本研究结果,纬度、0.5 m水深盐度、溶解氧、叶绿素对于日本鳀幼鱼资源密度影响较大。纬度作为空间因子,对浙江沿岸日本鳀幼鱼的资源密度影响

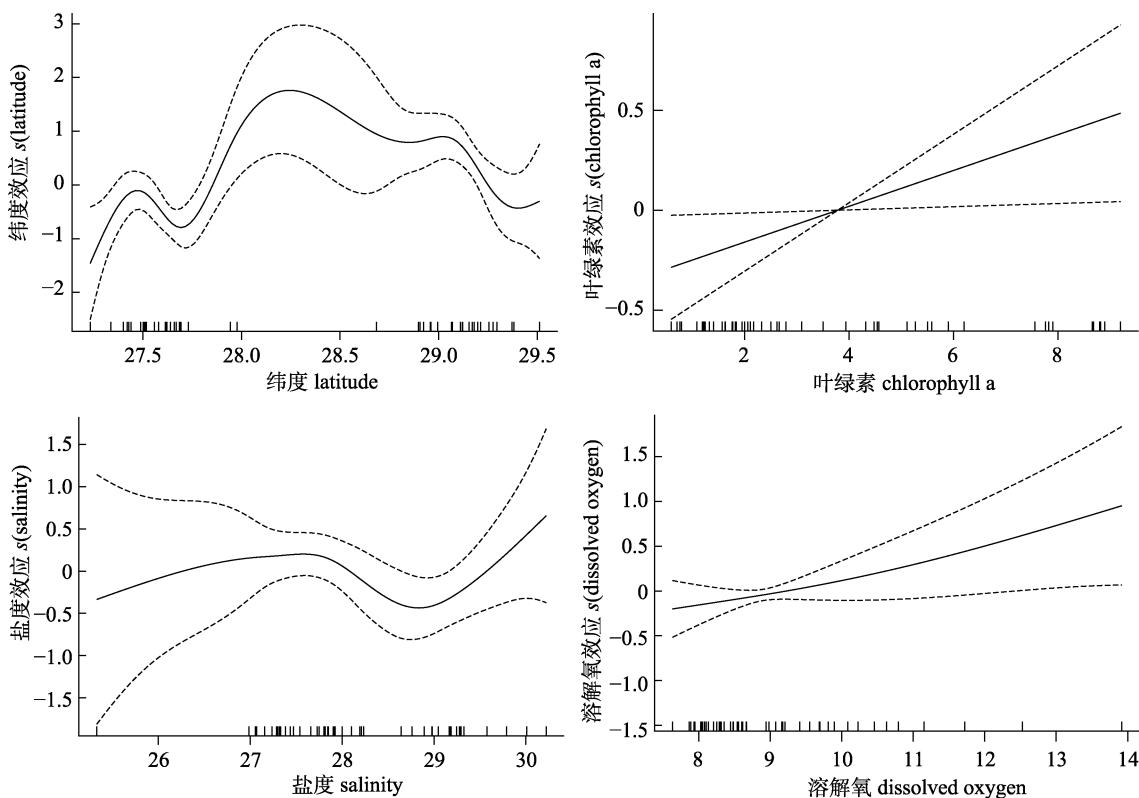


图5 不同因子对浙江沿岸日本鳀幼鱼资源密度分布的影响

Fig. 5 Effects of influential factors on relative abundance of juvenile *Engraulis japonicus* along Zhejiang coast

最为明显, 其不直接影响日本鳀幼鱼的分布, 而是通过环境因子来间接影响日本鳀幼鱼的分布^[21]。根据 GAM 模型分析结果, 随着纬度的增加, 日本鳀幼鱼的资源密度会呈现明显的先增加, 短暂下降后继续上升。纬度可以直接影响温度, 进而对日本鳀的产卵群体的产卵活动进行影响。历史研究表明^[22], 日本鳀产卵群体的适温范围较小, 本研究中, 出现日本鳀幼鱼的海域都比较聚集, 主要集中在 0.5 m 水深 18~20 °C 的海域。因此, 纬度可能通过影响温度的变化来间接影响日本鳀幼鱼的数量分布。此外, 日本鳀幼鱼具有一定的索饵能力, 一旦遇到合适的饵料, 就会停留进行索饵^[23]。根据相关研究^[16], 浙江沿岸日本鳀产卵场主要集中在河口、海湾水域。本研究发现, 浙江沿岸日本鳀幼鱼资源主要分布在 27°30'N、29°N 的近岸径流较多海域, 这为日本鳀幼鱼的生长提供了饵料基础, 在一定程度上也揭示了不同纬度的径流和沿岸流的分布对日本鳀幼鱼数量分布的影响。

日本鳀幼鱼的资源密度分布也会受到 0.5 m 水深盐度的影响, 盐度对幼鱼生长、新陈代谢有着重要影响作用^[24], 日本鳀幼鱼可以通过复杂的机制来调节体内渗透压平衡以维持正常生长和生理功能^[25]。根据 GAM 模型的分析, 日本鳀幼鱼主要分布在高盐区, 盐度达到 30 时, 日本鳀幼鱼的资源密度最高。相关研究表明^[26-27]该海域高温高盐的台湾暖流沿着 123°E 逐渐北上, 水平方向上, 台湾暖流的西侧为低盐的浙江沿岸流, 春季沿岸流相对较弱, 受台湾暖流影响较大, 这就使得受沿岸流影响较大的浙江南部海域日本鳀幼鱼的资源密度较小, 而浙江中部近岸海域受到台湾暖流的直接影响, 海域盐度逐渐增加, 使得日本鳀幼鱼资源密度达到最大。根据李晓等^[28]的研究, 黄海海域日本鳀越冬洄游适宜的盐度高于 30, 本研究的日本鳀幼鱼资源密度达到最大值的盐度与上述适宜盐度值基本接近。

浙江沿岸海域受径流影响, 水中营养盐较丰富^[29], 从而使海水中浮游生物更好生长, 本研究海域的 0.5 m 水深叶绿素 a 含量较高, 平均浓度为 2.5 μg/L, 为浮游生物提供了有利的生长条件。根据 GAM 模型分析结果, 日本鳀幼鱼的资源密度

与 0.5 m 水深叶绿素浓度呈现正相关的线性关系, 由此可见, 随着叶绿素浓度的增加, 日本鳀幼鱼的资源密度也会呈现增加的趋势。大量的浮游生物^[30]可以为日本鳀幼鱼提供饵料, 同时也有利于产卵群体产卵后在附近海域索饵。此外, 0.5 m 水深溶解氧对于日本鳀幼鱼的资源密度产生影响, 溶解氧作为维持鱼类生存的基本条件, 影响着鱼类的生长^[31]。在本研究中, 随着溶解氧含量增加, 日本鳀的资源密度呈现增加的趋势, 其主要集中在溶解氧高于 8 mg/L 的海域。根据相关研究, 处于生长发育过程中的幼鱼, 生理代谢过程比成鱼旺盛, 耗氧量相对较高^[32]。0.5 m 水深叶绿素与 0.5 m 水深溶解氧之间呈现正相关关系且同时出现在最优的模型之中, 溶解氧含量会随着温盐、涌流、光合作用及生物体的呼吸活动的变动而出现在时空异质性, 叶绿素只是溶解氧的来源之一, 而叶绿素与溶解氧以不同的路径影响了日本鳀幼鱼资源密度的分布。

4 小结

本研究中使用纬度和环境因子建立的 GAM 模型的累计残偏差解释率较好, 体现了科学观察员在海上连续对日本鳀幼鱼专项特许捕捞活动进行记录和样品采集的优势, 保证了数据的及时性、连续性和完整性。本研究的分析结果可以为浙江沿岸日本鳀专项特许捕捞时间、空间管理和减少副渔获物提供依据, 也可以结合日本鳀成鱼研究为其资源评估提供参考。除本研究涉及的环境因素外, 由于日本鳀幼鱼游泳能力弱, 水流等外界因素对其分布的影响有待于进一步研究^[33]。

参考文献:

- [1] Chen X J. Fishery Resources and Fishery Oceanography[M]. Beijing: China Ocean Press, 2014: 152-161. [陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2014: 152-161.]
- [2] Gong C X, Chen X J, Gao F. Modeling the potential distribution of the neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the Northwest Pacific Ocean based on a Max Ent model[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(3): 336-345. [龚彩霞, 陈新军, 高峰. 基于最大熵模型模拟西北太平洋柔鱼潜在栖息地分布[J]. 中国水产科学, 2020, 27(3): 336-345.]

- [3] Zeng Z. Spatial-temporal distribution of the catch and relations to environment factors of tuna purse seine in western and central Pacific Ocean —A case of Shanghai Kaichuang Deep Sea Fisheries Co. Ltd[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018. [曾梓. 中西太平洋金枪鱼围网渔获物时空分布及其与环境因素的关系——以上海开创远洋渔业有限公司为例[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.]
- [4] Tang Y L, Xu Z. The spatio-temporal changes in the long-line fishing grounds of albacore (*Thunnus alalunga*) in western and central Pacific Ocean[J]. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(3): 22-29. [唐衍力, 徐湛. 中西太平洋长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)延绳钓渔场分布的时空变化[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(3): 22-29.]
- [5] Xue L J, Liu Z F. Study on the biomass distribution & biological characteristics of *Engraulis japonicus* in the East China Sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2005, 24(4): 312-317. [薛利建, 刘子藩. 东海日本鳀数量分布和生物学特性的研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2005, 24(4): 312-317.]
- [6] Wei Y, Wu Y Y, Li L H, et al. Quality and safety management in on-board processing of *Engraulis japonicus*[J]. South China Fisheries Science, 2011, 7(2): 61-67. [魏涯, 吴燕燕, 李来好, 等. 船上加工日本鳀的质量安全管理研究[J]. 南方水产科学, 2011, 7(2): 61-67.]
- [7] Jiang D W, Lin M, Shen X R, et al. Nutrient analysis and nutritive evaluation of *Engraulis japonicus*[J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2010, 29(4): 50-54. [蒋定文, 林梦, 沈先荣, 等. 鳀鱼的营养分析与评价[J]. 中国海洋药物, 2010, 29(4): 50-54.]
- [8] Notice of the Ministry of Agriculture on adjustment of the marine summer fishing moratorium[EB/OL]. (2018-02-09). http://www.yjj.moa.gov.cn/tzgg/201802/t20180209_x300772.htm. [农业部关于调整海洋伏季休渔制度的通告[EB/OL]. (2018-02-09). http://www.yjj.moa.gov.cn/tzgg/201802/t20180209_x300772.htm.]
- [9] Tang Y, Zhao L H. Review of the pilot of marine fisheries TACs in China and suggestion on the further development[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(4): 613-620. [唐议, 赵丽华. 我国海洋渔业捕捞限额制度实施试点评析与完善建议[J]. 水产学报, 2021, 45(4): 613-620.]
- [10] Porter R D. Fisheries observers as enforcement assets: Lessons from the North Pacific[J]. Marine Policy, 2010, 34(3): 583-589.
- [11] Yu H Q, Yu H M, Ito S I, et al. Potential environmental drivers of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) recruitment in the Yellow Sea[J]. Journal of Marine Systems, 2020, 212: 103431.
- [12] Takasuka A, Sakai A, Aoki I. Dynamics of growth-based survival mechanisms in Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) larvae[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2017, 74(6): 812-823.
- [13] Xiao Y S, Punt A E, Millar R B, et al. Models in fisheries research: GLMs, GAMs and GLMMs[J]. Fisheries Research, 2004, 70(2-3): 137-139.
- [14] Hastie T J, Tibshirani R J. Generalized Additive Models[M]. London and New York: Chapman and Hall, 1990.
- [15] Robert I K. R in Action: Data Analysis and Graphics with R[M]. Shelter Island: Manning Publications, 2011.
- [16] Zhou Y D, Li S F. Atlas of Spawning Grounds, Feeding Grounds, Wintering Grounds, Migration Channels and Protected Areas of Main Economic Species in the East China Sea[M]. Beijing: China 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.]
- [17] 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.]
- [18] 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.]
- [19] 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.]
- [20] Lin L S, Zhang H Y, Li H Y, et al. Study on seasonal variation of feeding habit of hairtail (*Trichiurus japonicus*) in the East China Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(6): 932-936. [林龙山, 张寒野, 李惠玉, 等. 东海带鱼食性的季节变化[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2006, 36(6): 932-936.]
- [21] Yin J, Wang J, Zhang C L, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of *Larimichthys polyactis* eggs in Haizhou Bay and adjacent regions based on two-stage GAM[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(6): 1164-1174. [尹洁, 王晶, 张崇良, 等. 利用两阶段GAM研究海州湾及其邻近海域小黄鱼鱼卵的时空分布特征[J]. 中国水

- 产科学, 2019, 26(6): 1164-1174.]
- [22] Niu M X, Li X S, Zhao G X. Spatial distribution of wintering *Engraulis japonicus* and its relationship with the inter-annual variations of water temperature in central and southern Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(2): 552-558. [牛明香, 李显森, 赵庚星. 黄海中南部越冬鳀鱼空间分布及其与水温年际变化的关系[J]. 应用生态学报, 2012, 23(2): 552-558.]
- [23] Wan R J, Zeng D Y, Bian X D, et al. Species composition and abundance distribution pattern of ichthyoplankton and their relationship with environmental factors in the East China Sea ecosystem[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(9): 1375-1398. [万瑞景, 曾定勇, 卞晓东, 等. 东海生态系统中鱼卵、仔稚鱼种类组成、数量分布及其与环境因素的关系[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1375-1398.]
- [24] Yan Y L, Yuan X C, Shi Y H, et al. Effects of salinity on growth, oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of juvenile marbled rockfish *Sebastiscus marmoratus*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2019, 34(4): 545-551. [严银龙, 袁新程, 施永海, 等. 盐度对褐菖鲉幼鱼生长、耗氧率和排氨率的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(4): 545-551.]
- [25] Hwang P P, Lee T H. New insights into fish ion regulation and mitochondrion-rich cells[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2007, 148(3): 479-497.
- [26] Weng X C, Wang C M. A study on Taiwan warm current water[J]. Marine Sciences, 1985, 9(1): 7-10. [翁学传, 王从敏. 台湾暖流水的研究[J]. 海洋科学, 1985, 9(1): 7-10.]
- [27] Pan Y Q, Xu D R, Xu J P. The frontal structure, changes and causes of the upwelling area along the coast of Zhejiang[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1985, 7(4): 401-411. [潘玉球, 徐端蓉, 许建平. 浙江沿岸上升流区的锋面结构、变化及其原因[J]. 海洋学报, 1985, 7(4): 401-411.]
- [28] Li Y, Zhao X Y, Zhang T, et al. Wintering migration and distribution of anchovy in the Yellow Sea and its relation to physical environment[J]. Marine Fisheries Research, 2007, 28(2): 104-112. [李晓, 赵宪勇, 张涛, 等. 黄海鳀鱼越冬洄游分布及其与物理环境的关系[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(2): 104-112.]
- [29] Guo P J, Jiang X Q, Yu C G, et al. Analysis of the fish community structure in the spring and autumn of the Zhou-shan coastal fishing grounds[J]. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(4): 1-11. [郭朋军, 江新琴, 俞存根, 等. 舟山沿岸渔场春秋季节鱼类群落结构特征分析[J]. 渔业科学进展, 2020, 41(4): 1-11.]
- [30] Jiang R J, Li P F, Liu Z J, et al. Seasonal variation in feeding habits of *Engraulis japonicus*[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2015, 34(5): 439-443. [蒋日进, 李鹏飞, 刘志坚, 等. 鳀鱼摄食习性的季节变化[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2015, 34(5): 439-443.]
- [31] Chang Z C, Wen H S, Zhang M Z, et al. Effects of dissolved oxygen levels on oxidative stress response and energy utilization of juvenile Chinese sea bass (*Lateolabrax maculatus*) and associate physiological mechanisms[J]. Periodical of Ocean University of China, 2018, 48(7): 20-28. [常志成, 温海深, 张美昭, 等. 溶解氧水平对花鲈幼鱼氧化应激与能量利用的影响及生理机制[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2018, 48(7): 20-28.]
- [32] Yang K, Fan Q X, Zhang L, et al. Effects of dissolved oxygen on feed intake, growth and respiratory metabolism of juvenile *Pelteobagrus fulvidraco* R.[J]. Freshwater Fisheries, 2010, 40(2): 24-29. [杨凯, 樊启学, 张磊, 等. 溶氧水平对黄颡鱼稚鱼摄食、生长及呼吸代谢的影响[J]. 淡水渔业, 2010, 40(2): 24-29.]
- [33] Ke S F, Gao Z, Liu G Y, et al. The analysis of fish swimming dynamics based on the Matlab[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2016, 40(5): 985-991. [柯森繁, 高柱, 刘国勇, 等. 基于 Matlab 的鱼类游泳动力学分析[J]. 水生生物学报, 2016, 40(5): 985-991.]

Quantitative distribution of juvenile *Engraulis japonicus* and the relationship with environmental factors along the Zhejiang coast

ZHU Wenbin¹, ZHU Haichen^{1,2}, ZHANG Yazhou¹, WANG Jing², JIANG Rijin¹, LU Zhanhui¹, CUI Guochen^{1,2}, DAI Qian¹

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

Abstract: *Engraulis japonicus* is a small warm-water pelagic fish commonly found along the coast of China. It is mainly distributed along the coasts of the East China Sea, the Yellow Sea, and the Bohai Sea, which are regions with abundant resources. Unlike adult *E. japonicus*, which is commonly used in the bait breeding market, juvenile *E. japonicus* can be dried and processed into a delicious and nutritious food, which has a higher market value. When *E. japonicus* spawns from April to June, fishermen along the coast of Zhejiang use nets and bag seines to catch juvenile *E. japonicus*. In 2018, the closed fishing season in the East China Sea begins from May 1 instead of June 1. In order to develop and utilize fishery resources rationally, the Ministry of Agriculture and Rural Affairs implemented special fishing concessions for this fishery, and local fishery administrative departments introduced and implemented a scientific observation system for this fishery. This study aimed to analyze the quantitative distribution of juvenile *E. japonicus* and its relationship with environmental factors. Scientific observation was conducted from April to June 2019 and the fishing activities of juvenile *E. japonicus* were recorded. The environmental factors were selected using Pearson's correlation analysis to determine whether they were significantly correlated and to verify that the variables in the model were independent. Thereafter, the best model was determined by a minimum Akaike information criterion (AIC). The results indicated that the relative abundance of juvenile *E. japonicus* exhibited monthly variations, with the highest relative abundance in May and the lowest in April. GAM analysis revealed that the main factors influencing the resource density and distribution of juvenile *E. japonicus* were latitude, salinity, chlorophyll and dissolved oxygen along the Zhejiang coast. There was a multi-peak nonlinear relationship between the resource density of juvenile *E. japonicus* and the latitude, salinity at 0.5 m water depth, and dissolved oxygen at 0.5 m water depth. There was a positive linear relationship between chlorophyll at 0.5 m water depth and the resource density of juvenile *E. japonicus*. The results of this study provide a basis for the special concession fishing management of juvenile *E. japonicus* along the Zhejiang coast, and also provide a reference for resource assessment and study of adult *E. japonicus*.

Key words: Zhejiang coast; juvenile *Engraulis japonicus*; resource density; generalized additive model (GAM); environmental factors

Corresponding author: ZHU Wenbin. E-mail: foolse@126.com