

DOI: 10.12264/JFSC2020-0288

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

李迎冬¹, 张崇良^{1, 2, 3}, 纪毓鹏^{1, 3}, 薛莹^{1, 2, 3}, 徐宾铎^{1, 2, 3}, 任一平^{1, 2, 3}

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 266237;
3. 海州湾渔业生态系统教育部野外科学观测研究站, 山东 青岛 266003

摘要: 小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)是山东半岛南部海域重要的渔业种类之一。本研究根据 2016 年 10 月及 2017 年 1 月、5 月、8 月在山东半岛南部海域(35°N~37°N, 119.5°E~124°E)开展的底拖网渔业资源调查和环境观测数据, 分析了该海域小黄鱼相对资源量的时空分布特征, 并运用广义可加模型(GAM 模型)探究了影响其时空分布的环境因子。结果表明, 小黄鱼的相对资源量具有较明显的季节变化, 夏季相对资源量最高, 冬季最低。GAM 分析表明, 该海域小黄鱼相对资源量分布的主要环境影响因子为水深和底层水温。随着水深增加, 小黄鱼相对资源量呈现先增加后减少的趋势, 在水深为 50 m 附近时其相对资源量最高; 在一定水温范围内, 小黄鱼相对资源量随底层水温升高而增加, 但不同季节最适底温有所差异。山东半岛南部海域水深和底层水温的季节变化对小黄鱼资源量的分布具有较大的影响, 这可能与小黄鱼的洄游习性相关。

关键词: 广义可加模型; 小黄鱼; 山东半岛南部近海; 相对资源量; 环境因子

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)04-0442-09

渔业资源变动及可持续利用是当前渔业研究领域的热点问题^[1]。物种分布模型(species distribution models, SDMs)能够建立起物种资源分布与环境因子之间的关系, 以此来预测物种资源分布及其变化情况, 目前在渔业科学研究中得到广泛应用。其中, 广义可加模型(generalized additive model, GAM)能够很好地预测多个自变量与因变量之间的关系, 是渔业资源评估中应用最广泛的物种分布模型之一^[2]。迄今为止, 国内外已有许多基于 GAM 模型分析鱼类种群时空分布的研究, 例如, 朱国平^[3]使用 GAM 模型探究南极半岛北部南极磷虾(*Euphausia superba*)时空分布受环境因子影响的变动; Murase 等^[4]使用 GAM 模型分析了日本仙台湾湾附近多种经济鱼类的空间分布与环境因子的关系; 林龙山等^[5]基于小黄鱼(*Larimi-*

chthys polyactis)产卵场分布数据, 利用 GAM 模型分析了其分布海域的环境特征。

小黄鱼属硬骨鱼纲(Osteichthyes)、鲈形目(Perciformes)、石首鱼科(Sciaenidae)、黄鱼属(*Larimichthys*), 是西北太平洋特有的暖温性、近底层的集群性鱼类, 喜栖息于软泥质或泥沙底质海区^[6]。小黄鱼在食物链中处于较高营养级, 在黄海生态系统以及渔业经济中均占据重要地位^[7]。对于小黄鱼的生活史及时空分布的研究在中国沿海已得到广泛开展, 研究海域包括黄海中部^[8]、黄海南部^[9]、江苏近岸^[10]、东海^[9, 11]等海域。

山东半岛南部近海属典型陆缘浅海, 因其独特的地理环境和水文因素而形成了许多优良的渔场, 是黄海多种生物种类的产卵场、索饵场和传统渔场^[12], 小黄鱼是该海域的重要的经济渔业种

收稿日期: 2020-09-04; 修订日期: 2020-09-22.

基金项目: 山东省支持青岛海洋科学与技术试点国家实验室重大科技专项(2018SDKJ0501-2); 国家重点研发计划项目(2018YFD0900906).

作者简介: 李迎冬(1997-), 女, 硕士研究生, 从事渔业资源生态学研究. E-mail: liydvv@163.com

通信作者: 徐宾铎, 副教授, 从事渔业资源生态学研究. E-mail: bdxu@ouc.edu.cn

高, 为 1561 g/h; 秋季平均相对资源量与春季相近; 冬季的平均相对资源量为 301 g/h, 为全年最低(表 1), 各个季节均存在无小黄鱼渔获的调查站位。

表 1 山东南部近海小黄鱼相对资源量变化
Tab. 1 Variations in resource abundance of *Larimichthys polyactis* in the southern waters off Shandong Peninsula

项目 item	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter
相对资源量平均值	856	1561	894	301
相对资源量范围	30–1748	20–19341	11–25120	14–2436

注: 表中最小值指出现小黄鱼的站位最小值。
Note: The minimum value indicates the minimum relative abundance for stations where *Larimichthys polyactis* is present.

小黄鱼相对资源量的空间分布具有一定的季节变化(图 2)。春季, 小黄鱼分布范围较为集中, 调查海域南部相对资源量较高, 集中分布于 35°N~35.5°N 及北部近岸 30 m 以浅的水域; 夏季, 调查海域小黄鱼相对资源量最高, 分布范围广, 主要分布于 50 m 等深线以浅海域, 大于 50 m 水深的较深海域出现的次数较少; 秋季, 小黄鱼多分布于 36°N 以北的近岸、及 50 m 等深线附近的海域, 呈现北多南少的分布特点; 冬季, 小黄鱼相对资源量降低, 但在四个季节中分布范围最广, 整个调查海域基本都有分布, 30 m 等深线附近、及 50 m 以深的海域均有较高的相对资源量分布。

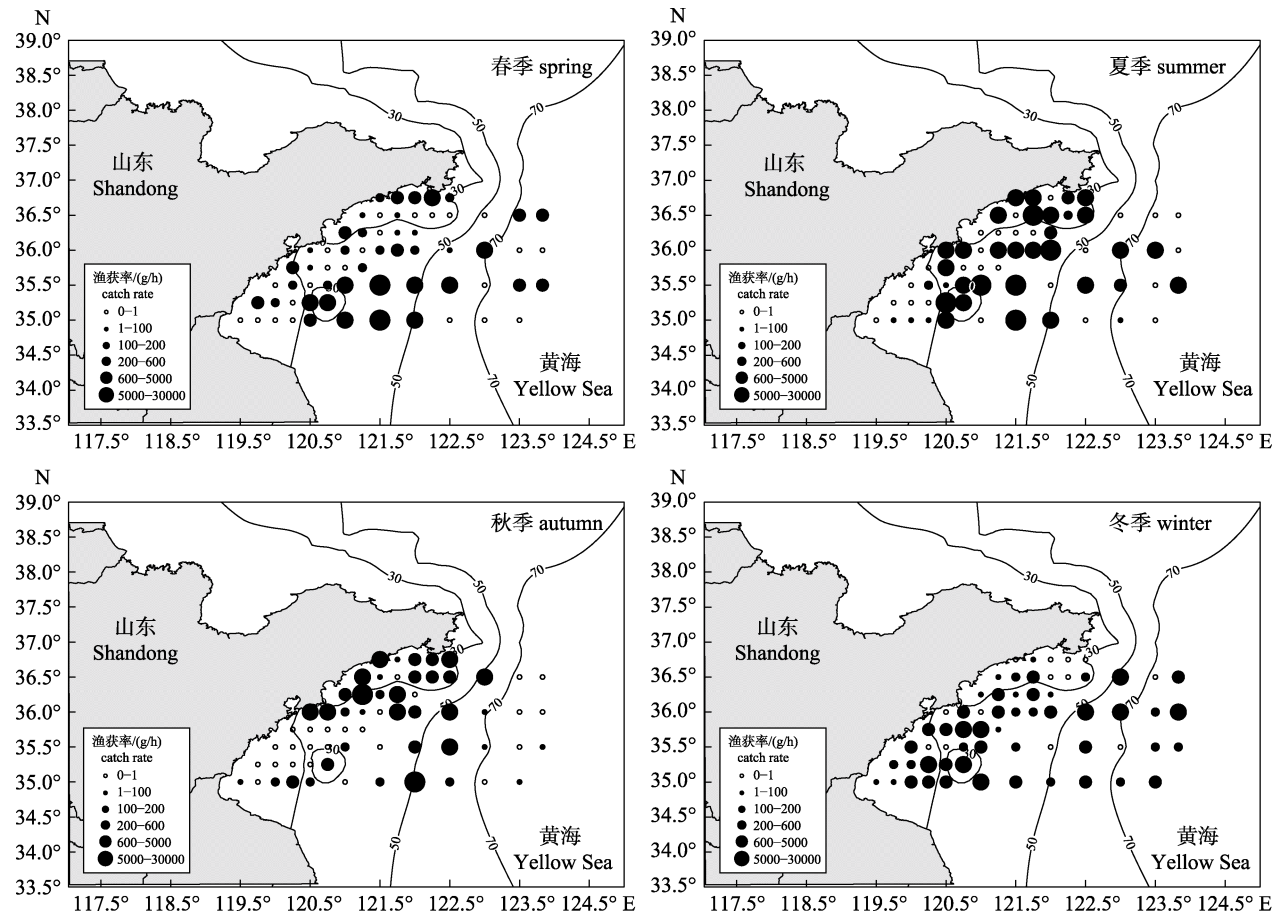


图 2 山东半岛南部海域不同季节小黄鱼相对资源量的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of relative abundance of *Larimichthys polyactis* in the southern waters off Shandong Peninsula by seasons

2.2 不同因子对小黄鱼相对资源量分布的影响

通过 GAM 模型拟合小黄鱼相对资源量分布与各影响因子间的关系, 利用 AIC 准则进行因子筛选, 筛选过程如表 2 所示。

根据 AIC 最小原则得到最优 GAM 模型, 模型的最终表达式为:

$$\lg(Y+1)=\alpha+\text{season}+s(\text{depth})+s(\text{SBT})$$

式中, Y 为小黄鱼相对资源量, α 为截距, season 为

表 2 GAM 模型变量筛选及影响因子的参数分析
Tab. 2 The variable screening process for GAM and parameters analysis

环境因子 environmental factor	残偏差 deviance	AIC
初始 null model	587.66	—
s+lat	471.13	653.38
s+depth	414.33	632.17
s+SBS	465.00	651.20
s+SBT	468.69	652.51
s+depth+lat	400.79	634.69
s+depth+SBS	409.70	638.32
s+depth+SBT	383.88	627.57
s+depth+SBT+lat	374.74	631.60
s+depth+SBT+SBS	379.32	633.60

注: depth 表示水深; lat 表示纬度; s 表示季节; SBS 表示海水底层盐度; SBT 表示底层水温。
Note: depth indicates water depth; lat indicates latitude; s represents seasons; SBS indicates sea bottom salinity; SBT indicates sea bottom temperature.

季节因子, $s(\text{depth})$ 为水深效应, $s(\text{SBT})$ 为底层水温效应。GAM 模型偏差分析表明, 所选建模因子的累计偏差解释率为 34.68%, 除季节这一时间因子影响外, 贡献最大的环境因子为水深, 水深对小黄鱼相对资源量分布变化的影响极显著 ($P<$

0.001) (表 3)。
季节、水深、底层水温对于小黄鱼分布的影响如图 3 所示。山东南部近海小黄鱼相对资源量的季节变化较大, 夏季小黄鱼的相对资源量较高, 秋季、春季相差不大, 冬季该海域小黄鱼相对资源量最低。
其他环境因子中, 水深对于小黄鱼相对资源量影响最大, 相对资源量随水深增加, 呈现先增大后减少的趋势。在水深 0~50 m 范围内, 小黄鱼相对资源量随水深增加呈明显增大趋势, 水深在 50 m 左右时, 小黄鱼相对资源量达到最大, 之后随着水深增加呈现下降趋势。当水深达到 75 m 时, 再随着水深增加, 小黄鱼相对资源量下降趋势减缓, 基本保持不变。

底层水温对于小黄鱼相对资源量的影响小于水深的影响, 随着底层水温增加, 小黄鱼相对资源量整体呈现先上升后下降趋势。在 0~20 °C 范围内, 小黄鱼相对资源量随底层水温的增加呈现不断增加的趋势, 在 20 °C 时相对资源量达到最高峰, 随后, 当底层水温超过 20 °C 之后, 随着底层温度继续升高, 小黄鱼相对资源量呈现明显的下降趋势。

表 3 GAM 模型拟合结果的偏差分析
Tab. 3 The analysis of deviance for GAM

环境因子 environmental factor	残偏差 deviance	偏差变化量 Δ deviance	AIC	累计偏差解释率/% percentage of explained deviance	F 检验 F test
初始 null model	587.66	—	—	—	—
季节 season	481.43	106.23	673.78	18.08	<0.001
水深 depth	414.33	67.1	632.17	29.50	<0.001
底层水温 SBT	383.88	30.45	627.57	34.68	0.3862

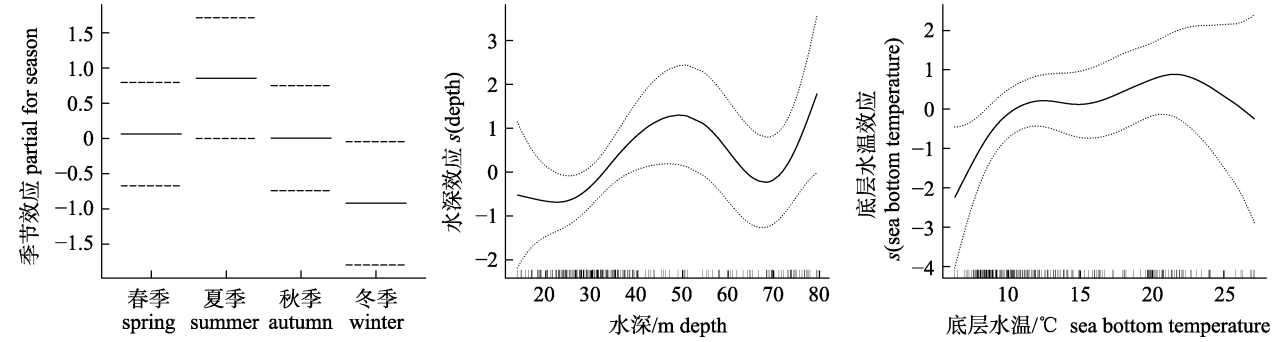


图 3 不同因子对山东半岛南部海域小黄鱼相对资源量的影响

Fig. 3 Effects of influential factors on relative abundance of *Larimichthys polyactis* in the southern waters off Shandong Peninsula

由于该海域不同季节的水温变化较大,因此分季节分析了水温对小黄鱼相对资源量的影响(图 4)。山东南部近海夏、秋季底层水温最高值较春、冬季高,温度变化范围较广。春季,小黄鱼相对资源量随着底层水温增加呈现先下降再升高后下降趋势,峰值出现在 10℃及 14℃附近,底层水温在 12℃时小黄鱼的相对资源量出现了一个低谷,随后又随底层水温增高而增大,但超过 14℃之后,相对资源量呈现明显下降趋势;夏季,随着底层水温升高,小黄鱼相对资源量呈现随温

度升高的趋势,最适水温在 13℃附近,随着底层水温继续升高,相对资源量则呈现波动下降趋势;秋季,随着底层水温升高,小黄鱼相对资源量呈现先下降后增加趋势,当底层水温在 16~22℃时,相对资源量较高;冬季,该海域底层水温整体小于 12℃,小黄鱼相对资源量呈现整体上升趋势,在 8~12℃范围内相对资源量随底层水温的升高而缓慢增加,超过 11℃后有较小的下降。综合而言,在秋季小黄鱼的适宜水温较高,为 18~22℃;冬季的最适水温最低,在 8~12℃。

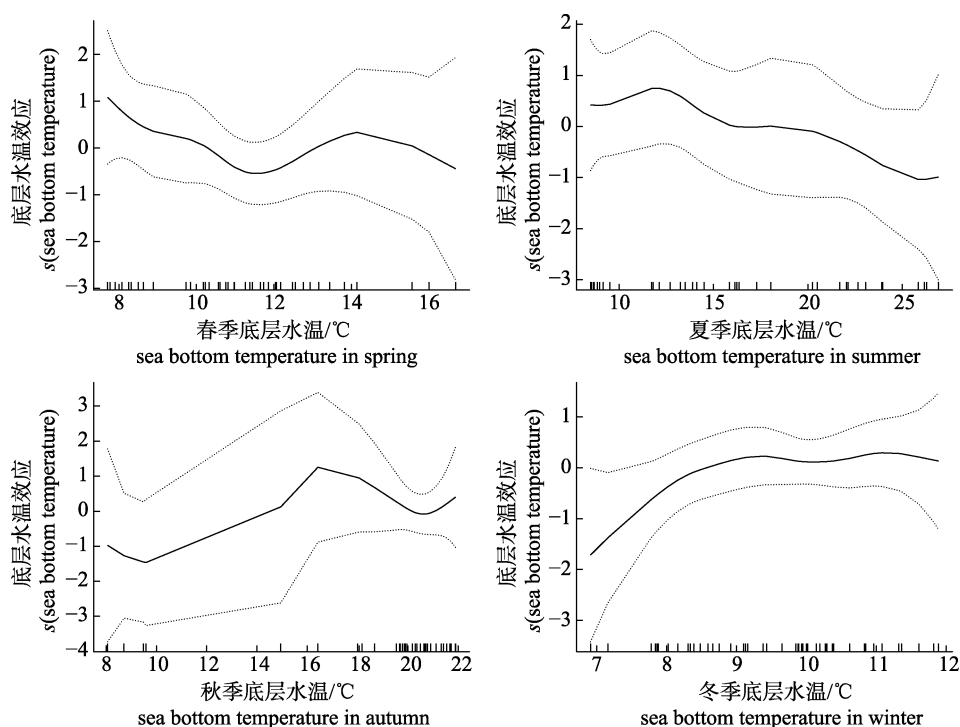


图 4 不同季节底温对山东南部近海小黄鱼相对资源量的影响

Fig. 4 Influence of sea bottom temperature in different seasons on relative abundance of *Larimichthys polyactis* in the southern waters of Shandong Peninsula

3 讨论

3.1 小黄鱼数量分布的季节变化

山东半岛南部海域小黄鱼相对资源量的季节变化较大。以夏季的资源量为最高,冬季最低,春、秋两季相对资源量接近。小黄鱼的空间分布区域因季节不同而有所差异。冬、春季,小黄鱼分布范围较广,有向离岸较远的深水区域扩散的趋势;夏季,小黄鱼在各站位的相对资源量都较高,主要分布于 50 m 以浅的近岸,超过 50 m 的较

深海域也有少量分布,但随深度增加,小黄鱼相对资源量逐渐减少;秋季分布范围缩减,分布主要集中在北部近海海域及 50 m 等深线附近。

小黄鱼数量分布的季节变化主要与其洄游习性有关。小黄鱼在黄渤海海域存在着黄渤海群和南黄海群两个群体^[12],山东半岛南部海域的小黄鱼属于黄渤海群,其资源量分布的时空变化与其产卵、索饵和越冬洄游有关^[19-21]。该群体在黄海中南部越冬,在黄海北部和渤海沿岸水域生殖和索饵^[12],在本次研究海域中即表现为冬季分布范

围比较广,远岸深水区也有较多数量分布的情况。随后,该群体约于每年3月从越冬场按体长集群沿50 m等深线向北洄游至各产卵场,产卵后分散索饵。本研究春季样本的采样时间为5月,此时山东半岛南部近海已呈现出近岸浅水区小黄鱼分布较多的情况;秋季,该群体基本上沿春季北上洄游路线返回越冬场^[19],在空间分布上呈现北多南少的特点。

3.2 环境因子对小黄鱼资源量分布的影响

由GAM建模结果可知,除季节影响外,山东南部近海小黄鱼的数量分布主要受水深、底层水温这两个环境因子的影响。

首先,水深对山东半岛南部海域小黄鱼资源量分布的影响最为显著。GAM模型分析表明,随着深度增加,小黄鱼相对资源量呈现明显的先增加后减少的趋势,在50 m左右水深相对资源量最高,在40~70 m水深范围内,小黄鱼相对资源量均保持较高水平。历史研究表明黄海小黄鱼群体主要在50 m等深线附近水域分布^[5]。水深可以直接影响温度、压强等因素,进而对鱼类生活习性和分布情况造成影响。黄海中部海域平均水深在70 m左右,夏季,水深10~30 m处水温变化较大^[22],因此水深会通过影响水温等因素间接地影响小黄鱼的空间分布。此外,水深对于海洋初级生产力有较大影响,早期研究表明,黄海海域初级生产力高值区主要集中于中上层水域,且不同深度的生产力变化具有季节性差异^[23]。因此,初级生产力高低可能也在一定程度上也影响着小黄鱼的空间分布情况。

其次,底层水温对山东半岛南部近海小黄鱼的影响也较大。鱼类对于水温变化极为敏感,水温可影响到鱼类的洄游、集群以及渔场位置等多个方面^[24],不同季节的温度变化也可能对海洋生物的适应性有所影响。小黄鱼属暖温性洄游鱼类,其生活习性受温度等水文环境影响显著^[9]。黄海中部海域受几支较为稳定的海流体系共同作用,包括黄海暖流、青岛冷水团、青岛近海中尺度涡旋等^[25],这几支流系的共同作用导致了该海域复杂的水文环境,进而可能影响小黄鱼的适温分布。

由GAM分析结果可知,春季小黄鱼最适温

度出现两个峰值,分别在10℃和14℃附近,这一情况可能受青岛冷水团的影响,此时青岛冷水团最盛,中心呈现较低的底层温度^[27],不适合小黄鱼的栖息繁殖,因此,该海域小黄鱼产卵群体进入山东沿岸近海适温场所进行产卵洄游^[20],小黄鱼的数量分布呈现出围绕冷水团边缘分布的趋势;夏季,青岛冷水团逐渐汇入黄海冷水团,此时小黄鱼分布大多集中于50 m以浅的海域,最适底温仍在14℃左右;秋季,该海域冷水团消散,黄海暖流开始入侵,而此时为小黄鱼种群主要摄食季节,索饵场大部分分布于近岸浅水区水温较高的水域^[26],因此此时小黄鱼的最适底温最高,在18℃左右。随着黄海暖流的进一步入侵,水温垂直混合均匀,在黄海中部制造了温暖的越冬场所,小黄鱼群体开始向远岸越冬场进行越冬洄游^[28],这就使得小黄鱼冬季的数量分布呈现出向黄海中部扩散的趋势。

本研究中使用季节和环境因子建立的GAM模型偏差解释率不高,可能与自变量选取的覆盖范围不足有关。例如,除本研究涉及的环境因素外,天敌及饵料生物的分布与迁移也可能对小黄鱼种群的分布有影响。相关研究表明,小黄鱼摄食的食物范围较广,以虾类、磷虾类和鱼类为主,在生长过程中,小黄鱼也存在明显的食物转换现象^[29]。夏季黄海脊腹褐虾(*Crangon affinis*)为优势种,在山东半岛东南岸区域分布量较高^[30];太平洋磷虾(*Euphausia pacifica*)主要分布于中上层水域^[31];鳀(*Engraulis japonicus*)则常分布在20~40 m水深处,春季鳀等小型鱼类的分布主要在35°N附近^[32],这些饵料种的分布变动会影响到小黄鱼的索饵洄游和分布水深的季节性变化。此外,黄渤海小黄鱼群体的主要捕食者黄鮫鰈(*Lophius litulon*)为高营养级底栖鱼类^[33],蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)等其他捕食者为中上层游泳类动物,捕食者的分布与时空的迁移也可能对小黄鱼的生存空间有一定的影响。

参考文献:

- [1] Liu Z L, Yuan X W, Yang L L, et al. Stock assessment and management strategies for small yellow croaker in the East China Sea based on data-limited assessment models[J].

- Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(4): 621-635. [刘尊雷, 袁兴伟, 杨林林, 等. 有限数据渔业种群资源评估与管理——以小黄鱼为例[J]. 中国水产科学, 2019, 26(4): 621-635.]
- [2] 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.
- [3] Zhu G P. 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. [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.]
- [4] Murase H, Nagashima H, Yonezaki S, et al. Application of a generalized additive model (GAM) to reveal relationships between environmental factors and distributions of pelagic fish and krill: A case study in Sendai Bay, Japan[J]. ICES Journal of Marine Science, 2009, 66(6): 1417-1424.
- [5] 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.]
- [6] Cheng J S. Ecological Environment and Biological Community in the Coastal Waters of the Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2004: 209-244. [程济生. 黄渤海近岸水域生态环境与生物群落[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2004: 209-244.]
- [7] Zhang X W, Liu X S. Investigation of ecology of four main commercially important marine fish species in China in the past ten years[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1959, 2(4): 233-240. [张孝威, 刘效舜. 十年来我国四种主要海产经济鱼类生态的调查研究[J]. 海洋与湖沼, 1959, 2(4): 233-240.]
- [8] Liu W B, Liu H, Ye Z J, et al. A preliminary study of spatial and temporal distribution of *Scomberomorus niphonius* and *Larimichthys polyactis* eggs in the central Yellow Sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2015, 34(6): 526-531. [刘文博, 刘鸿, 叶振江, 等. 黄海中南部近岸小黄鱼与蓝点马鲛鱼卵时空分布的初步研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2015, 34(6): 526-531.]
- [9] 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): 3485-3494. [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): 3485-3494.]
- [10] Zhong X M, Zhang H, Tang J H, 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. [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.]
- [11] Li J S, Lin L S, Cheng J H. 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. [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.]
- [12] Chen D G. Fisheries Ecology in the 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.]
- [13] Fisheries Bureau of the Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fishery Headquarters of Ministry of Agriculture. Investigation and Division of the Yellow and Bohai Sea Fisheries Resources[M]. Beijing: China Ocean Press, 1990. [农业部水产局, 农业部黄海区渔业指挥部. 黄渤海区渔业资源调查与区划[M]. 北京: 海洋出版社, 1990.]
- [14] Tang Q S, Ye M Z. The Exploitation and Conservation of Nearshore Fisheries Resources of Shandong[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1990. [唐启升, 叶懋中. 山东近海渔业资源开发与保护[M]. 北京: 农业出版社, 1990.]
- [15] Jin X S, Zhao X Y, Meng T X, et al. Living Resources and Habitat Environment of Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Beijing: Science Press, 2005: 98-109. [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: 98-109.]
- [16] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. National Standard (Recommended) of the People's Republic of China: Specifications for oceanographic survey—Part 6: Marine biological survey, GB/T 12763.6-2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008. [中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国推荐性国家标准: 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, 2008.]
- [17] Hastie T J, Tibshirani R J. Generalized Additive Models[M]. London and New York: Chapman and Hall, 1990.

- [18] Burnham K P, Anderson D R. Model Selection and Multi-model Inference: A Practical Information Theoretic Approach[M]. 2nd edition. New York: Springer, 2002.
- [19] Deng J Y, Zhao C Y. Marine Fisheries Biology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1991: 164-198. [邓景耀, 赵传纲. 海洋渔业生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 164-198.]
- [20] 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.]
- [21] Guan L S, Shan X J, Jin X S, et al. The effects of diel vertical movements on the catchability of small yellow croaker in the middle and south Yellow Sea[J]. Haiyang Xuebao, 2018, 40(2): 53-60. [关丽莎, 单秀娟, 金显仕, 等. 昼夜垂直移动对黄海中南部小黄鱼可捕系数的影响[J]. 海洋学报, 2018, 40(2): 53-60.]
- [22] Hu Y Y. Seasonal and interannual variations of the water temperature in the Yellow Sea and East China Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013: 49-50. [胡莹英. 黄、东海水温季节和年际变化特征分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 49-50.]
- [23] Wen F. Study on the size fractionated chlorophyll a 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a及初级生产力研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2012.]
- [24] Li X D. Studies on the correlation between the temperature of sea water and fishing grounds[J]. Acta Oceanologica Sinica, 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, 1982, 4(1): 103-113.]
- [25] Wei Q S, Yu Z G, Ran X B, et al. Characteristics of the western coastal current of the Yellow Sea and its impacts on material transportation[J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(2): 145-156. [韦钦胜, 于志刚, 冉祥滨, 等. 黄海西部沿岸流系特征分析及其对物质输运的影响[J]. 地球科学进展, 2011, 26(2): 145-156.]
- [26] 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. 黄海小黄鱼生态和种群动态的研究[J]. 中国水产科学, 1996, 3(1): 32-46.]
- [27] Zhang Q L, Hou Y J, Cheng M H, et al. Variation features in Qingdao cold water mass strength[M]//Studia Marina Sinica. Beijing: Science Press, 2004: 13-21. [张启龙, 侯一筠, 程明华, 等. 青岛冷水团强度的变化特征[M]//海洋科学集刊. 北京: 科学出版社, 2004: 13-21.]
- [28] Hu C J, Zhang J. Probe into the relationship between the migrating routes of endemic branch tribles of *Larimichthys polyactis* in the Southern Yellow Sea and the environment[J]. Marine Fisheries, 2005, 27(2): 109-112. [胡成建, 张晶. 南海黄族小黄鱼地方支族群洄游途径与环境关系的探讨[J]. 海洋渔业, 2005, 27(2): 109-112.]
- [29] Xue Y, Jin X S, Zhang B, 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. [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.]
- [30] Wu Q, Wang J, Li Z Y, et al. Spatial variation of crustacean community structure in Yellow Sea and Bohai Sea in spring[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(11): 1685-1693. [吴强, 王俊, 李忠义, 等. 黄渤海春季甲壳类群落结构的时空变化[J]. 水产学报, 2012, 36(11): 1685-1693.]
- [31] Pang Z W, Li X S, Ying Y P, et al. Shrimp community structure and its relationships with environmental factors in the Yellow Sea in summer[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(11): 3509-3515. [逢志伟, 李显森, 应一平, 等. 黄海夏季虾类群落结构及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2015, 26(11): 3509-3515.]
- [32] Xiao H H, Zhang C L, Xu B D, et al. Spatial pattern of ichthyoplankton assemblage in the coastal waters of central and southern Yellow Sea in the spring[J]. Haiyang Xuebao, 2017, 39(8): 34-47. [肖欢欢, 张崇良, 徐宾铎, 等. 黄海中南部近岸海域春季鱼类浮游生物群落空间格局研究[J]. 海洋学报, 2017, 39(8): 34-47.]
- [33] 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two-stage 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.]

Spatio-temporal distribution of *Larimichthys polyactis* in southern waters off the Shandong Peninsula and its relationship with environmental factors

LI Yingdong¹, ZHANG Chongliang^{1,2,3}, JI Yupeng^{1,3}, XUE Ying^{1,2,3}, XU Binduo^{1,2,3}, REN Yiping^{1,2,3}

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 266237, China;
3. Field Observation and Research Station of Haizhou Bay Fishery Ecosystem, Ministry of Education, Qingdao 266003, China

Abstract: The small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) is an important fishery species in China that plays an important role in the marine ecosystem of the Yellow Sea. Species distribution models (SDMs) can be used to forecast the distribution of fishery species by establishing the relationships between the spatio-temporal distribution of a population and environmental factors. In this study, we used an SDM to analyze the spatio-temporal distribution of small yellow croaker and its relationships with environmental factors. Spatio-temporal distribution was determined based on data collected from seasonal bottom trawl surveys in southern waters off the Shandong Peninsula from 2016 to 2017. Environmental factors were initially selected based on Pearson correlation analysis to determine whether these were significantly correlated, and to ensure that the variables used in the model were independent, with the best model being determined based on a minimum Akaike information criterion (AIC). The results revealed significant seasonal variations in the spatial distribution of small yellow croaker, the highest and lowest abundances of which occurred in summer and winter, respectively. The pattern of spatial distribution showed a clear seasonal variation, with relative abundance being high in the southern area (near 35°N) during spring; contrastingly, in summer and autumn, the highest relative abundance was found in the northern coastal waters (36°N), and in winter in the shallow inshore waters of less than 50 m in depth. Generalized additive model analysis indicated that depth and sea bottom temperature have a significant influence on the distribution of small yellow croaker. Relative abundance increased with depth, with the highest abundance being located in the waters close to the 50 m isobath. Within a given temperature range, the abundance of small yellow croaker showed a seasonal correlation with sea bottom temperature, with the highest relative abundance being correlated with a temperature of approximately 18–20°C. The calculated optimal temperature ranges for small yellow croaker were 8–10°C in spring, 10–14°C in summer, 16–20°C in autumn, and 9–12°C in winter. These results conceivably reflect migration of the small yellow croaker, as well as the variable and complex hydrological environment of the Yellow Sea. Furthermore, there are certain changes in dietary preference during the life history of the small yellow croaker; thus, in addition to environmental factors, prey source and predators may represent factors contributing to the observed distribution of this species.

Key words: generalized additive model; *Larimichthys polyactis*; southern waters off the Shandong Peninsula; relative abundance; environmental factor

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