

DOI: 10.12264/JFSC2022-0235

辽宁海域大泷六线鱼的生物学特征、资源丰度时空分布及与环境因子的关系

刘修泽, 吉光, 王小林, 董婧, 王爱勇, 王彬, 胥延钊

辽宁省海洋水产科学研究院, 辽宁省海洋生物资源与生态学重点实验室, 大连市渔业资源养护重点实验室, 辽宁大连 116023

摘要: 为了给大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)在辽宁海域增殖放流的开展提供科学依据, 本研究根据春季(2020年5月)、夏季(2019年6月、7月和2020年8月)和秋季(2019年9月和2020年10月)共计6个航次的底拖网调查, 研究了辽宁海域大泷六线鱼的资源丰度及生物学特征变化, 并基于广义加性模型(GAM)分析了资源丰度的时空分布与环境因子的关系。结果表明, 大泷六线鱼资源丰度的季节变化表现为夏秋季高于春季, 资源丰度在不同站位的差异较大, 空间异质性较高。大泷六线鱼的体长、体重在5月至10月均表现为逐月增大, 肥满度也表现为夏季较春、秋季高, 且体长、体重和肥满度均具有月份间的显著差异。资源丰度的时空分布表明大泷六线鱼具有对岩礁底、砂底这两种底质生境类型和较低水温的偏好性, 黄海北部海域的资源丰度高于辽东湾海域。GAM模型显示水深、盐度、水温、底质类型、月份和年份是影响大泷六线鱼资源丰度分布的因素, 大泷六线鱼的资源丰度与水深在55 m内具有显著的正相关性, 资源丰度高值区分布在底层盐度低于31.5和底层水温区间为12~22.5 °C的环境条件下, GAM的分析结果与大泷六线鱼的生态习性相符。本研究通过上述分析初步建议具有较多岩礁、砂底质生境类型和较低水温的黄海北部海域可作为辽宁海域大泷六线鱼的适宜放流区域, 水温升高至12 °C以上的5—6月可作为适宜放流时间, 选择以上放流地点和时间, 可对放流群体的成活率及品质提供较好的保障。

关键词: 大泷六线鱼; 时空分布; 环境因子; 广义加性模型(GAM); 辽宁海域; 增殖放流

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)12-1704-10

大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)隶属于鲉形目(Scorpaeniformes)六线鱼科(Hexagrammiidae)六线鱼属(*Hexagrammos*)^[1], 俗称“黄鱼”, 为近海冷温性底栖鱼类, 周年栖息在大陆架和岛屿周围的岩礁地带及其附近的泥沙底水域, 在我国渤海、黄海、东海、朝鲜及日本近海均有分布^[2]。大泷六线鱼不进行长距离洄游^[2], 为地方性渔业资源, 是我国北部沿海重要的岩礁性经济鱼种, 其肉质鲜美, 素有“北方石斑”之称^[3]。因大泷六线鱼的经济价值、营养价值和恋礁性, 该物种除了具有一

定规模的野生资源外^[4], 也成为我国北方海水增殖^[5-6]和人工鱼礁建设具有显著集鱼效果的物种之一^[7-8], 且深受海钓爱好者欢迎。

渔业生物资源特征及其与环境因子关系的研究是渔业资源养护包括增殖放流的重要内容之一, 对于增殖放流策略建立、优化及效果评价具有重要的意义。辽宁海域地处我国海域最北端, 曾孕育了“辽东湾渔场”和“海洋岛渔场”, 20世纪80年代以来由于过度捕捞和环境胁迫, 渔业资源量减少, 资源结构也发生了变化, 大泷六线鱼的生物

收稿日期: 2022-06-21; 修订日期: 2022-08-03.

基金项目: 辽宁省兴辽英才项目(XLYC2007068); 大连市创新基金项目(2021JJ11CG001, 2021JJ13SN089); 辽宁省百千万人才资助项目(2020921064); 国家农业科学渔业资源环境沙河口观测实验站项目(NAES063FS09).

作者简介: 刘修泽(1981-), 男, 研究员, 从事渔业资源研究. E-mail: 303588859@qq.com

通信作者: 董婧, 研究员, 从事渔业资源研究. E-mail: dj660228@tom.com

学特征也出现了小型化低龄化的趋势^[9-11]。为养护和持续利用该种资源, 山东海域于 2017 年始开展了大泷六线鱼的大规模增殖放流^[5], 辽宁海域也在积极探索养护这种本地性的经济物种, 并于 2022 年在大连海域开展了首次大泷六线鱼的增殖放流^[12]。目前关于大泷六线鱼的研究主要集中在渔业生物学^[9-11,13]、形态学^[14]、遗传学^[15]、摄食生态^[16]及其与环境因子关系^[17-19]等方面。上述研究结果虽然明确了大泷六线鱼的部分生物学特征, 也探究了环境因子对其资源分布的影响, 但未见针对辽宁海域大泷六线鱼生物学特征、时空分布及环境因素对其资源丰度影响的系统性研究。本研究根据 2019—2020 年共计 6 个航次的调查数据, 探究了大泷六线鱼的生物学特征、资源时空分布及环境因子影响, 以期为该物种在辽宁海域的增殖放流策略的建立及优化等提供依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据来源于 2019 年 6 月、7 月、9 月和 2020 年 5 月、8 月和 10 月共计 6 个航次的底拖网调查数据, 调查站位如图 1 所示, 共计 41 个站位。调查船为 350 马力的渔船, 网具为单囊有翼拖网, 网口宽约 10 m, 每站拖网时间为 0.5 h, 拖速保持在 3 kn。

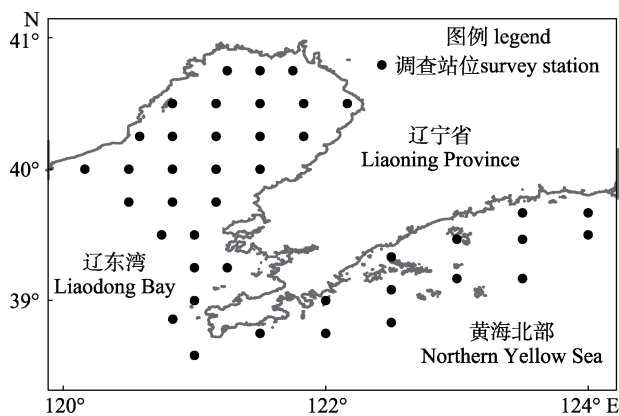


图 1 本研究调查站位图
Fig. 1 Sampling stations in this study

大泷六线鱼样本的保存及生物学测定参考《海洋调查规范》^[20], 其中体长精确至 1 mm, 体重精确至 0.1 g, 资源丰度数据根据渔获记录及生

物学测定数据标准化为每小时渔获量(kg/h)。海上开展资源调查时同步用多参数水质仪记录每个采样站位的水深、水温、盐度、酸碱度、溶解氧和叶绿素 a 等环境数据。

1.2 数据处理

大泷六线鱼个体肥满度根据公式 $K=(W/L^3) \times 100$ 计算, 其中 K 为肥满度, W 为体重(g), L 为体长(cm)。大泷六线鱼体长、体重及肥满度在月份间的差异通过单因素方差分析, 若有显著性差异采用 HSD 检验进行多重检验。

采用广义加性模型(GAM)分析环境因子等解释变量对大泷六线鱼资源丰度变化及分布的影响。以资源丰度(g/h)作为 GAM 模型的响应变量, 在响应变量的处理上, 给响应变量加上一个常量(本研究选为 1), 并对其进对数转换^[21-22]作为本研究 GAM 模型的响应变量。在解释变量的选择上, 因大泷六线鱼为底层鱼类, 故选择底层环境因子作为解释变量, 包括水深(depth)、盐度(salinity, Sal)、水温(temperature, T)、溶解氧(dissolved oxygen, Do)、酸碱度(pH)和叶绿素 a (chlorophyll-a, Chl a); 同时该物种具有恋礁性, 底质类型对其的资源分布有较大影响, 拟将底质类型(sediment type, ST)纳入解释变量。根据文献[2]记载, 将底质类型分为黏泥、泥、砂、岩礁 4 类, 模型中分别以 1~4 表示各类底质生境。月份(month)和年份(year)作为时间因子也拟纳入解释变量。经度和纬度作为空间因子, 不直接影响渔业生物的资源分布, 而是通过环境因子来间接影响其资源分布^[23], 因此本模型构建中未将经度和纬度纳入解释变量。

GAM 模型表达式为:

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

式中, α 为截距; x_j 为解释变量, 即影响因子; $f_j(x_j)$ 为各个解释变量的变量函数, 通过样条平滑函数来估计, ε 为误差项。本模型假设误差服从高斯分布, 采用 identical 链接函数。

初步建立的模型, 先根据方差膨胀因子(VIF)对解释变量间进行共线性检测, 以 $VIF=3$ 作为判

别标准,即 $VIF>3$ 的解释变量在模型中剔除^[24],将通过共线性检测的解释变量纳入模型。利用 R 语言软件的“gam”程序包的 step.Gam 函数自动筛选最佳解释变量组合,然后将最佳解释变量在“mgcv”程序包进行 GAM 拟合并进行 F 检验及图形绘制等。资源时空分布图利用 arcGIS 10.8 实现,其他数据可视化及方差分析、多重检验等在 R 4.1.3 中实现。

2 结果与分析

2.1 资源丰度变化和生物学特征

5—10 月,大泷六线鱼的资源丰度在 0.77~3.34 kg/h,月平均为 2.21 kg/h。月际变化上,大泷六线鱼资源丰度表现为 10 月>7 月>8 月>9 月>6 月>5 月,总体上春末夏初(5—6 月)资源丰度相对较低,月平均资源丰度低于 1.5 kg/h;夏季和秋季(7—10 月)资源丰度相对较高,月平均值均高于 1.5 kg/h (图 2)。由图 2 可见,各个月份资源丰度的标准差均高于均值,表明大泷六线鱼的资源丰度在不同站位的变化较大,具有一定的空间异质性。资源丰度的变异系数(CV)从高至低分别为 9 月(3.39)、8 月(3.37)、10 月(3.31)、7 月(2.46)、5 月(2.27)、6 月(1.19),表明夏、秋季(7—10 月)大泷六线鱼资源分布的空间异质性高于春末夏初(5—6 月)。

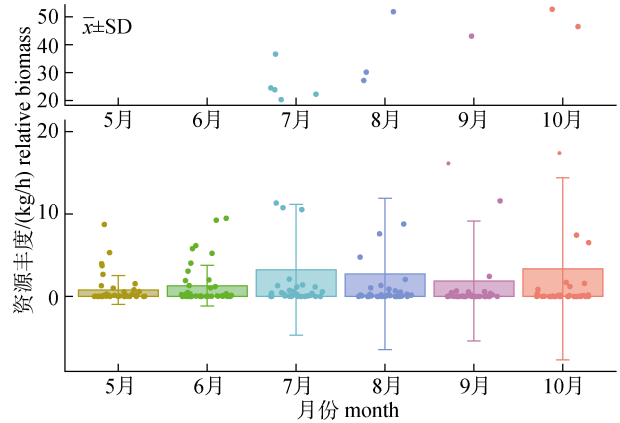


图 2 辽宁海域大泷六线鱼资源丰度的变化

Fig. 2 Variation in relative biomass of *Hexagrammos otakii* in Liaoning offshore

表 1 为 5—10 月大泷六线鱼的体长、体重与肥满度。大泷六线鱼的体长与体重均表现为 5—10 月逐渐增大,其个体体长、体重均值在 5 月最小,分别为 72.3 mm 和 10.0 g,而后逐渐增大,10 月体长、体重均值达到 136.5 mm 和 62.3 g。肥满度表现为 5—7 月逐渐增大,7—10 月有减小的趋势。

单因素方差分析表明体长、体重和肥满度均有月间差异($P<0.05$),HSD 多重检验表明体长相邻月份间的差异表现在 5—6 月、6—7 月和 7—8 月($P<0.05$),体重相邻月份间的差异表现在 6—7 月和 7—8 月($P<0.05$),肥满度相邻月份间的差异表现在 5—6 月、6—7 月、7—8 月($P<0.05$)。

表 1 辽宁海域大泷六线鱼体长、体重的月变化

Tab. 1 Monthly variation of body length and weight of *Hexagrammos otakii* in Liaoning offshore

月份 month	样本数 number	体长/mm body length		体重/g body weight		肥满度 fatness	
		范围 range	均值($\bar{x}\pm SD$) mean	范围 range	均值($\bar{x}\pm SD$) mean	范围 range	均值($\bar{x}\pm SD$) mean
5 月 May	470	50–209	72.3±27.0 ^e	1.4–154.7	10.0±19.9 ^d	0.97–2.18	1.51±0.25 ^d
6 月 June	485	50–275	79.2±30.8 ^d	2.0–437.1	14.4±31.1 ^d	1.06–2.51	1.67±0.27 ^c
7 月 July	416	59–275	114.1±33.9 ^c	2.6–446.2	37.7±46.0 ^c	1.24–2.69	1.85±0.25 ^a
8 月 August	325	69–305	124.9±38.3 ^b	4.8–581.0	48.1±59.4 ^b	1.21–2.54	1.76±0.24 ^b
9 月 September	153	74–262	132.4±39.2 ^{ab}	5.2–394.2	58.1±68.6 ^{ab}	1.25–2.42	1.78±0.25 ^{ab}
10 月 October	197	80–309	136.5±41.9 ^a	6.9–490.4	62.3±80.4 ^a	1.14–2.59	1.75±0.22 ^b

注: 同列数据上标字母不同表示月份间存在显著差异($P<0.05$)。

Note: Values in each column with different superscript letters are significantly different ($P<0.05$).

图 3 为大泷六线鱼 5—10 月的体长、体重组成。大泷六线鱼的体长、体重均值分别为 100.3 mm、29.8 g。大部分大泷六线鱼的体长<150 mm, 占总数量的 88.17%, 体长<90 mm 的个

体占总数量的 48.29%; 体重<60 g 的个体占总数量的 86.90%, 体重<20 g 的个体占比 59.53%。

2.2 时空分布

图 4 为大泷六线鱼资源丰度 5—10 月的空间

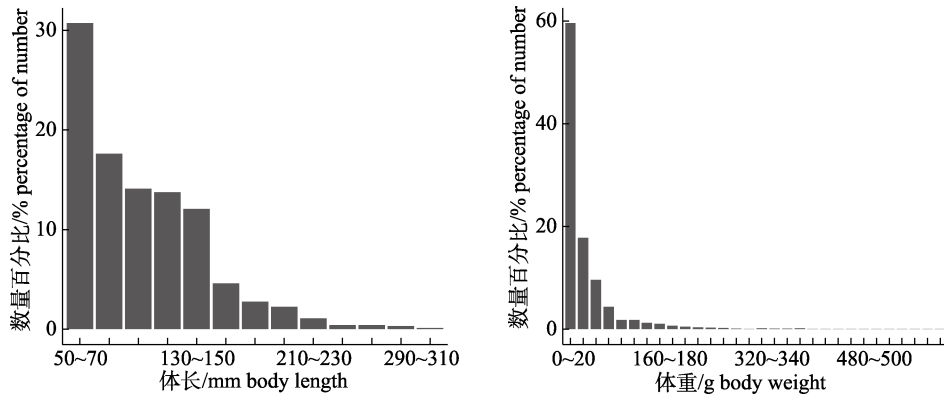


图 3 辽宁海域大泷六线鱼的体长和体重组成

Fig. 3 Distribution of body length and weight of *Hexagrammos otakii* in Liaoning offshore

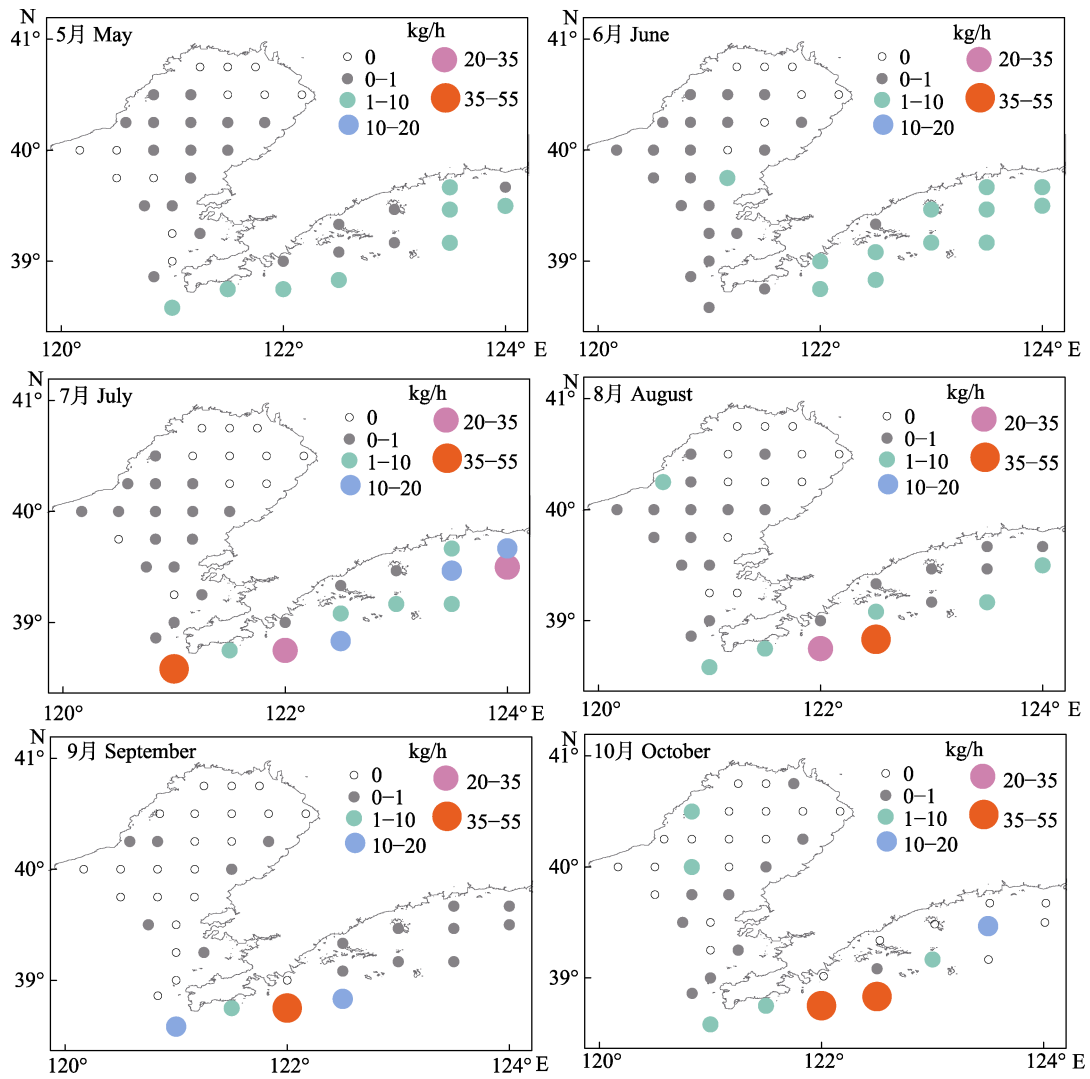


图 4 辽宁海域大泷六线鱼资源丰度的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of relative biomass of *Hexagrammos otakii* in Liaoning offshore

分布。由图 4 可见, 时间变化上, 春季(5 月)和夏季(6—8 月)大泷六线鱼的出现频率较高, 6 月最高,

为 82.9%; 秋季(9—10 月)出现频率相对较低, 10 月最低, 为 43.9%。夏季(6—8 月), 辽东湾海域的

大泷六线鱼表现为向辽东湾中南部的深水区移动的趋势。从各个站位捕获的资源丰度看,大泷六线鱼呈现一定的空间分布格局,总体上大泷六线鱼在辽东湾北部海域分布较少,其余水域均有分布;资源高值区出现在黄海北部海域,黄海北部大连海域出现高值站位的频率较其他水域高。

2.3 资源丰度与环境因子的关系

辽宁海域底层环境因子的变化如表 2 所示。温度月变幅在 12.28~23.10 °C,均值最低的月份为 5 月,最高为 8 月;盐度月变幅在 30.63~33.17,

均值最高月份为 7 月;酸碱度(pH)、溶解氧和叶绿素 a 的月变幅分别为 7.81~8.56、6.62~8.68 mg/L、3.30~4.99 µg/L。

单因素方差分析表明,除叶绿素 a 无月间显著差异,其他环境因子均存在月间差异,其中底层水温除 8—9 月无显著差异外,其余月份间均有显著差异($P<0.05$);底层盐度和底层 pH 在 6—7 月间无显著差异($P>0.05$),其余相邻月份均有显著差异($P<0.05$);底层溶解氧在 7—8 月、8—9 月无显著差异,其余相邻月份间均有显著差异($P<0.05$)(表 2)。

表 2 辽宁海域环境因子月变化

Tab. 2 Monthly variation of environmental factors in Liaoning offshore

月份 month	温度/°C T	盐度 Sal	pH	溶解氧/(mg/L) DO	叶绿素 a/(µg/L) Chl a
5 月 May	12.28±3.73 ^c	31.70±0.77 ^c	7.81±0.09 ^d	8.68±0.83 ^a	4.99±1.87 ^a
6 月 June	14.38±5.19 ^d	33.03±0.68 ^{ab}	8.54±0.25 ^{ab}	7.79±0.71 ^b	4.27±2.21 ^a
7 月 July	20.85±2.48 ^b	33.17±1.47 ^a	8.41±0.10 ^b	7.05±0.60 ^c	3.30±7.52 ^a
8 月 August	23.10±2.43 ^a	31.16±0.71 ^{cd}	7.84±0.32 ^{cd}	6.69±0.38 ^{cd}	3.63±3.38 ^a
9 月 September	22.99±1.91 ^a	32.28±1.23 ^b	8.56±0.12 ^a	6.62±0.39 ^d	4.53±3.11 ^a
10 月 October	18.15±1.49 ^c	30.63±1.92 ^d	7.95±0.14 ^c	7.72±0.47 ^b	3.56±2.94 ^a

注:同列数据上标不同表示月份间存在显著差异($P<0.05$)。

Note: Values in each column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

将大泷六线鱼资源丰度与影响因子纳入 GAM 模型进行共线性检测,所有影响因子的 VIF 均小于 3,表明所有影响因子均可作为解释变量。根据 step.Gam 函数自动筛选的最佳解释变量组合为:水深(depth)+盐度(Sal)+水温(T)+底质类型(ST)+月份(month)+年份(year),构建的 GAM 模型为: $\ln(Y+1)=a+s(\text{depth})+s(\text{Sal})+s(T)+ST+\text{month}+\text{year}$,模型的赤池信息准则(AIC)值为 1087.079,校正 R^2 为 0.585,偏差解释率(cumulative deviance explained)为 62.7%。6 个解释变量中,底层水温和年份对大泷六线鱼资源丰度有显著性影响($P<0.05$),其他解释变量包括水深、盐度、底质类型和月份均对大泷六线鱼资源丰度有极显著影响($P<0.001$)(表 3)。

图 5 显示了环境因子水深、盐度、水温及底质类型、月份、年份对大泷六线鱼资源丰度的影响。水深对大泷六线鱼资源丰度的影响表现为极其显著的正向影响,其资源丰度随着水深增加而增加,55 m 左右达到最大值后有轻微的下陷趋

势。大泷六线鱼资源丰度在盐度 31.5 以内较高,之后随着盐度的增加呈现下降的趋势。底层水温对大泷六线鱼资源丰度的影响表现为随水温升高先升高后平稳波动再降低的趋势,12~22.5 °C 的底层水温区间为大泷六线鱼资源丰度分布的高值区。由图 5 可见,大泷六线鱼资源丰度在不同月份、年份和底质类型也表现出显著差异,在底质类型为砂和岩礁的生境类型中,大泷六线鱼资源丰度较高。

表 3 GAM 模型拟合结果的 F 检验

Tab. 3 Result of F test from GAM models fitting

影响因子 factor	F	P	相对贡献率/% relative contribution rate
水深 depth	14.246	$<2\times 10^{-16}$	41.01
盐度 Sal	6.966	6.03×10^{-6}	11.05
水温 T	2.317	0.0226	21.14
底质类型 ST	11.374	5.84×10^{-7}	20.10
月份 month	17.246	2.26×10^{-14}	6.45
年份 year	6.524	0.0113	0.26

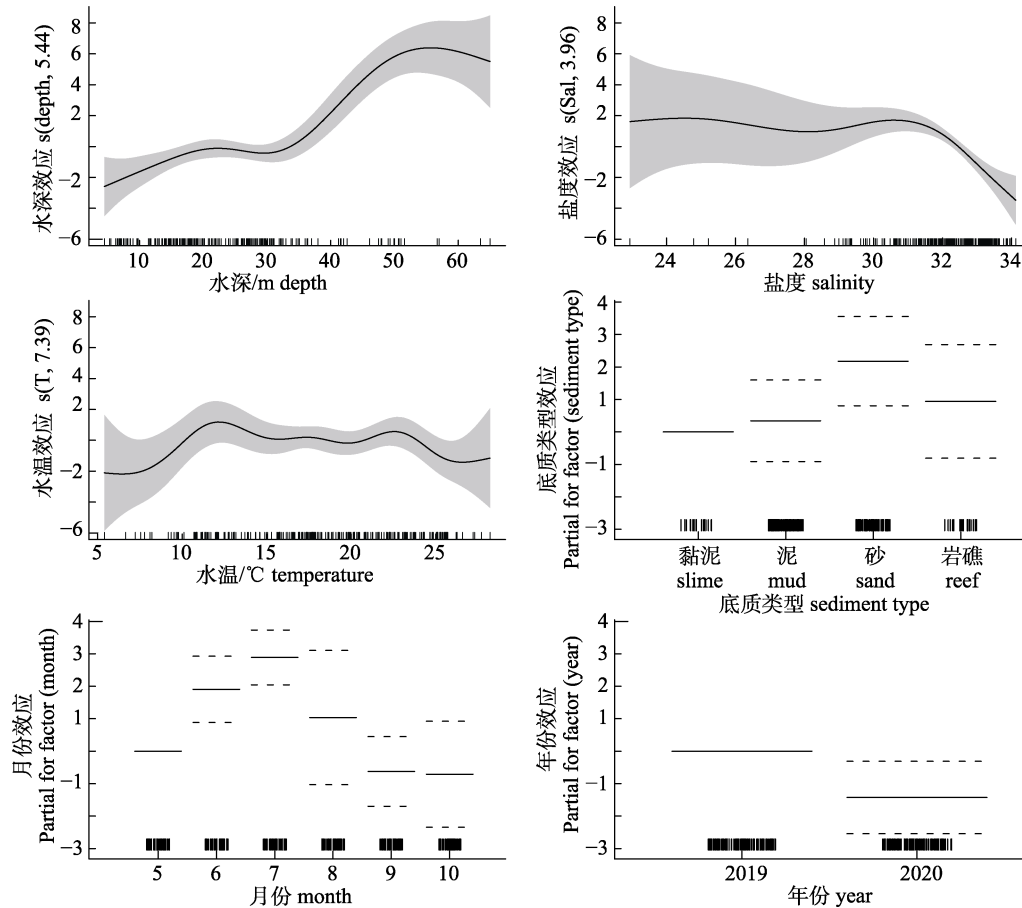


图 5 不同因子对辽宁海域大泷六线鱼资源丰度分布的影响

实线表示模型拟合的关系曲线, 阴影表示 95%置信区间, 虚线表示 95%置信区间的上限和下限。

Fig. 5 Effects of influential factors on relative biomass of *Hexagrammos otakii* in Liaoning offshore
The solid balck line represents the curve for the fitting relationship between response and predictor, shaded areas indicate 95% confidence interval, dotted line represents the upper and lower limit of the interval.

3 讨论

3.1 生物学特征及资源丰度变化

大泷六线鱼为秋冬季产卵的鱼类, 产卵期为 9—11 月^[25], 盛期在 10 月中旬至 11 月上旬^[2]。由大部分个体体长<150 mm、体重<60 g, 可见本次捕获群体中的越年幼鱼较多, 其幼鱼比例较大。造成这种现象的原因可能为: (1) 幼鱼的游泳能力较弱^[26], 被捕获的几率高于成体, 同时成体中的亲体在产卵季节会选择近岸岩礁上产卵^[3,27], 本研究的采样网具难以捕获; (2) 虽然渔业资源养护政策实施的积极作用显现, 但渔业资源仍然受到外部胁迫的压力, 大泷六线鱼小型化的趋势仍然存在^[12]。

邢磊等^[18]发现海州湾大泷六线鱼的资源丰度

由高到低依次为 7 月、5 月、9 月、3 月、12 月, 并推测与深浅水洄游、产卵习性及其岩礁底质水域调查网具捕获难易有关, 本研究大泷六线鱼的资源丰度由高到低依次为 10 月、7 月、8 月、9 月、6 月、5 月。本研究结果与该海域 2015 年调查结果相似, 其资源丰度由高到低依次为 10 月、6 月、8 月、5 月、3 月^[11]。不同时间、不同海域的资源丰度因海域生态环境、取样随机性等表现出月际变化差异, 但季节变化的趋势基本相同, 即夏秋季资源丰度高于冬春季。

体长、体重和肥满度的月际变化表明大泷六线鱼的体长、肥满度在春、夏两季的相邻月份有显著的增长, 体重在夏季的相邻月份有显著的增长。研究发现冬春季水温低, 大泷六线鱼虽然不停食^[2,16], 但饵料相对较少, 摄食强度较低, 因所

获能量较少, 还需消耗自身积累能量, 为了满足自身生存, 故春季 5 月的生长相对较慢; 而夏季水温升高, 饵料生物丰富, 摄食强度增大, 大泷六线鱼所获取的能量除用于自身生长外, 还可储存在肝脏中为繁殖和越冬做准备^[28], 故在夏季经历了一段时间的高强度摄食后, 大泷六线鱼的体长、体重和肥满度得到快速的增长, 并在 5—8 月的相邻月份间表现出不同程度的显著性差异, 其中体长在相邻月份间均差异显著, 而体重和肥满度与体长呈非线性关系, 在月份间呈现出不同的变化趋势。

3.2 资源丰度时空分布与环境因子的关系

大泷六线鱼资源丰度的时空分布显示, 辽东湾海域北部基本无大泷六线鱼分布, 且夏季其资源有向深水区移动的趋势。辽东湾海域北部水深变化的基本趋势是由岸向湾的中部区, 由湾顶向湾口区逐渐加深, 且湾顶为倾斜的陆架堆积平原^[29], 底质类型基本为黏泥和泥^[2]。大泷六线鱼为岩礁性鱼类, 其对栖息的底质类型表现出一定的偏好, GAM 模型表明其资源丰度在不同底质类型间具有显著差异, 栖息于底质生境类型为黏泥和泥的大泷六线鱼资源丰度明显低于底质生境类型为砂和岩礁的。同时, 大泷六线鱼为冷温性鱼类, 有研究表明大泷六线鱼的适宜水温为 8~23 °C^[2,30]。辽东湾北部因水浅, 底层水温较高, 7 月底层平均水温高于 20 °C 以上(表 2), 大泷六线鱼为寻找最佳的栖息环境而向中南部底层水温较低的深水区移动。本研究 GAM 模型显示大泷六线鱼的最适栖息底层水温区间为 12~22.5 °C, 与上述研究结果类似。大泷六线鱼的时空分布表明, 黄海北部的资源丰度高于辽东湾, 这一现象可能与两处海域的底层水温和底质类型密切相关。黄海北部海域因受黄海冷水团的影响, 其底层水温明显低于辽东湾, 且岩礁和砂的底质类型的占比较大^[2], 其底层水温和底质类型均适合大泷六线鱼的栖息生长。已有研究表明, 大泷六线鱼是黄海北部渔业生物群落各个季节的优势种(IRI>500), 而在辽东湾仅作为主要种或者常见种出现(10<IRI<500), 其资源丰度也表现为黄海北部高于辽东湾^[10]。大

泷六线鱼因对水温和底质生境的偏好性而表现出资源丰度空间分布的差异, 这在本研究中得到了较好的体现。

已有研究表明, 大泷六线鱼栖息的水深在 50 m 以内, 适宜栖息水温为 8~23 °C, 适宜盐度为 16~32^[2]。本研究 GAM 模型显示结果基本与之相符: 大泷六线鱼资源丰度与水深在 55 m 以内呈显著正相关; 调查水域的盐度在 22.9~34.1 之间, 而盐度低于 31.5 的水域为大泷六线鱼资源丰度的高值区; 底层水温范围在 5.40~28.21 °C, 资源丰度高值区的水温区间为 12~22.5 °C。水温是鱼类栖息生长的重要环境因子, 对鱼类的新陈代谢、繁殖、生长发育及洄游分布产生重要影响^[31-32]。大泷六线鱼为冷温性鱼类, 相对较低的水温条件利于该物种的生存。水深是一个综合的环境因子, 会间接影响温度、溶氧及其他环境因子, 从而改变物种的空间分布^[33-34]; 盐度在鱼类的生长、繁殖发育和其他生理过程有着较为重要的作用, 可间接影响鱼体与环境间物质交换与能量流动^[35], 从而对洄游分布等产生影响^[36]。在适宜的盐度范围内, 大泷六线鱼不会为适应盐度的变化而消耗更多的能量, 有利于其繁殖生长, 从而使资源丰度维持在较高的数值。

本研究通过 GAM 模型较好地展现了大泷六线鱼的时空分布及其与环境因子的关系, 并分析了其生物学特征的变化, 结合已有的研究, 初步表明: 在辽宁省海域范围内, 大泷六线鱼增殖放流的适宜海域为具有较低底层水温和较多岩礁、砂等底质生境类型的黄海北部海域; 因大泷六线鱼有从夏季开始育肥为繁殖和越冬存贮能量的生理学特征, 从海域的饵料丰度、水温适宜性考量, 可在平均底层水温升高至 12 °C 以上的 5—6 月间开展大泷六线鱼放流, 放流后的大泷六线鱼可在育肥期(夏季)获得较多的食物供给和适宜的水温条件, 对放流群体的成活率及品质有较好的保障。

深入理解大泷六线鱼的分布、栖息地选择是其人工鱼礁选址、放流策略建立、优化和资源持续利用的基础, 本研究结果为辽宁海域大泷六线鱼的增殖放流策略的制定提供了参考。值得注意

的是, 增殖放流地点的选择, 除了要考虑本研究的因子以外, 还需要考虑生物因子等的影响, 包括主要的捕食者和饵料生物等, 在后续的研究及具体的增殖放流地点选划时, 也应充分考虑。增殖放流虽然可提高大泷六线鱼群体的资源量, 作为野生资源的有益补充, 但资源管理中也需要进行科学规划, 包括制定可捕规格^[11]和限额捕捞^[37]等, 以切实实现该物种的资源养护和可持续利用。

参考文献:

- [1] Liu R Y. Checklist of Marine Biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008: 952-961. [刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 952-961.]
- [2] Liu X S, Wu J N, Han G Z, et al. Investigation and Division of Fisheries Resource of Yellow and Bohai Sea[M]. Beijing: Ocean Press, 1990: 1-247. [刘效舜, 吴敬南, 韩光祖, 等. 黄渤海区渔业资源调查与区划[M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 1-247.]
- [3] Cheng Q T. Economic animals of China (Marine Fisheries)[M]. Beijing: Science Press, 1962: 135-137. [成庆泰. 中国经济动物志(海产鱼类)[M]. 北京: 科学出版社, 1962: 135-137.]
- [4] Feng Z X, Han H. Rational utilization of *Hexagrammos otakii* resources[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 1998, 13(2): 24-28. [冯昭信, 韩华. 大泷六线鱼资源合理利用的研究[J]. 大连水产学院学报, 1998, 13(2): 24-28.]
- [5] Guo T, Song N, Liu S D, et al. Comparison of genetic diversity between the released population and the wild population of *Hexagrammos otakii*[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(12): 1976-1986. [郭婷, 宋娜, 刘淑德, 等. 大泷六线鱼放流群体与野生群体遗传多样性比较[J]. 水产学报, 2020, 44(12): 1976-1986.]
- [6] Hu F W, Zhang S C, Wang X, et al. An artificial breeding technique for the fat greenling *Hexagrammos otakii*[J]. Marine Sciences, 2016, 40(3): 71-76. [胡发文, 张少春, 王雪, 等. 大泷六线鱼全人工繁育技术研究[J]. 海洋科学, 2016, 40(3): 71-76.]
- [7] Zhang R L, Liu H, Sun D Y, et al. Characteristics of benthic fishery community at natural reefs and artificial reefs located in Yantai offshore area[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2021, 52(3): 697-707. [张荣良, 刘辉, 孙东洋, 等. 烟台近岸人工鱼礁与自然岩礁底层渔业生物群落特征对比分析[J]. 海洋与湖沼, 2021, 52(3): 697-707.]
- [8] Guo D, Dong J, Fu J, et al. Artificial reef and fisheries estimation in dalu island based on dual frequency sonar[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2018, 40(2): 41-48. [郭栋, 董婧, 付杰, 等. 基于双频识别声呐的东港大鹿岛人工鱼礁调查研究[J]. 海洋湖沼通报, 2018, 40(2): 41-48.]
- [9] Dong J, Liu X Z, Wang A Y. Fishery Resources in Liaoning Coastal and Estuarine Areas[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018. [董婧, 刘修泽, 王爱勇. 辽宁近海与河口区渔业资源[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.]
- [10] Liu X Z, Dong J, Yu X G, et al. Fishery resource structure in coastal waters of Liaoning Province[J]. Marine Fisheries, 2014, 36(4): 289-299. [刘修泽, 董婧, 于旭光, 等. 辽宁省近岸海域的渔业资源结构[J]. 海洋渔业, 2014, 36(4): 289-299.]
- [11] Liu X Z, Ji G, Wang B, et al. Study on growth, mortality and rational utilization of 5 economic fish species in Dalian sea[J/OL]. Fisheries Science: 1-11. [2022-10-31]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1110.S.20211029.1834.002.html>. [刘修泽, 吉光, 王彬, 等. 大连海域 5 种经济鱼类的生长、死亡及资源合理利用研究[J/OL]. 水产科学: 1-11. [2022-10-31]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1110.S.20211029.1834.002.html>.]
- [12] Daguang News. Dalian carry out stock enhancement and conserve aquatic living resources[EB/OL]. (2022-6-10). <https://mp.weixin.qq.com/s/VxFemWlobmSyqjMyfDJEzQ>. [大 观 新 闻. 大 连 开 展 增 殖 放 流, 养 护 水 生 物 资 源[EB/OL]. (2022-6-10). <https://mp.weixin.qq.com/s/VxFemWlobmSyqjMyfDJEzQ>.]
- [13] Zhang L Y, Liu S D, Dong X Q, et al. Selectivity of gillnets with different mesh sizes for *Sebastes schlegelii* and *Hexagrammos otakii* in artificial reef area[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(10): 1519-1528. [张力友, 刘淑德, 董秀强, 等. 人工鱼礁区不同网目尺寸单片刺网对许氏平鲷和大泷六线鱼的选择性[J]. 中国水产科学, 2022, 29(10): 1519-1528.]
- [14] Liu Q, Wang L, Gao T X, et al. Comparison of biological characteristics of *Hexagrammos otakii* in the northern Yellow Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39(S1): 13-18, 24. [刘奇, 王亮, 高天翔, 等. 北黄海大泷六线鱼主要生物学特征比较研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009, 39(S1): 13-18, 24.]
- [15] Wang W, Gao W F, Zhang S S, et al. Genetic diversity analysis of six wild populations of fat greenling *Hexagrammos otakii* by mitochondrial DNA 12S rRNA partial sequence[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2017, 30(5): 7-12. [王伟, 高伟峰, 张赛赛, 等. 大泷六线鱼 6 个野生群体遗传多样性的 12S rRNA 基因分析[J]. 水产学杂志, 2017, 30(5): 7-12.]
- [16] Xu L L, Xue Y, Xu B D, et al. Feeding ecology of *Hexagrammos otakii* in Haizhou Bay[J]. Journal of Fishery

- Sciences of China, 2018, 25(3): 608-620. [许莉莉, 薛莹, 徐宾铎, 等. 海州湾大泷六线鱼摄食生态研究[J]. 中国水产科学, 2018, 25(3): 608-620.]
- [17] Zhao W, Ren Y P, Xu B D, et al. Modeling distribution of *Hexagrammos otakii* in Haizhou Bay based on spatio-temporal species distribution models[J/OL]. Journal of Fisheries of China: 1-13. [2022-10-31]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20210603.1525.003.html>. [赵伟, 任一平, 徐宾铎, 等. 利用时空物种分布模型研究海州湾大泷六线鱼的时空分布[J/OL]. 水产学报: 1-13. [2022-10-31]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20210603.1525.003.html>.]
- [18] 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泷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.]
- [19] Liu X X, Wang J, Zhang Y L, et al. Comparison between two GAMs in quantifying the spatial distribution of *Hexagrammos otakii* in Haizhou Bay, China[J]. Fisheries Research, 2019, 218: 209-217.
- [20] General Administration of Quality Supervision, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.6-2007 Specifications for Oceanographic Survey-Part 6: Marine Biological Survey[S]. Beijing: China Standards Press, 2008: 6-17. [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 12763.6-2007 海洋调查规范第 6 部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 6-17.]
- [21] Dai L B, Tian S Q, Peng X, et al. Distribution of *Larimichthys polyactis* and its relationship with environmental factors in offshore water of southern Zhejiang[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(4): 1352-1358. [戴黎斌, 田思泉, 彭欣, 等. 浙江南部近海小黄鱼资源分布及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2018, 29(4): 1352-1358.]
- [22] Howell E A, Kobayashi D R. El Niño effects in the Palmyra Atoll region: Oceanographic changes and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) catch rate variability[J]. Fisheries Oceanography, 2006, 15(6): 477-489.
- [23] 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 twostage 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.]
- [24] Sagarese S R, Frisk M G, Cerrato R M, et al. Application of generalized additive models to examine ontogenetic and seasonal distributions of spiny dogfish (*Squalus acanthias*) in the Northeast (US) shelf large marine ecosystem[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2014, 71(6): 847-877.
- [25] Wan R J, Jiang Y W. Studies on the ecology of eggs and larvae of osteichthyes in the Yellow Sea[J]. Marine Fisheries Research, 1998, 19(1): 60-73. [万瑞景, 姜言伟. 黄海硬骨鱼类鱼卵、仔稚鱼及其生态调查研究[J]. 海洋水产研究, 1998, 19(1): 60-73.]
- [26] Shi H, Chen Y, Zhao Z Y, et al. Critical swimming speed, burst swimming speed and related physiological index in rockfish *Sebastes schlegeli* and fat greenling *Hexagrammos otakii*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2010, 25(5): 407-412. [史航, 陈勇, 赵子仪, 等. 许氏平鲷、大泷六线鱼临界游速与爆发游速及其生理指标的研究[J]. 大连海洋大学学报, 2010, 25(5): 407-412.]
- [27] Tong Y H, Guo X W. Feeding competition between two rockfish *Sebastes schlegeli* and *Hexagrammos otakii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(4): 541-549. [童玉和, 郭学武. 两种岩礁鱼类的食物竞争实验[J]. 中国水产科学, 2009, 16(4): 541-549.]
- [28] Wang S L, Jiang Z Q, Miao Z O. The biology of fat greenling *Hexagrammos otakii* Jordan et Starks at various seasons in Dalian[J]. Fisheries Science, 2005, 24(5): 1-3. [王书磊, 姜志强, 苗治欧. 大连海区大泷六线鱼生物学指标的季节变化[J]. 水产科学, 2005, 24(5): 1-3.]
- [29] Zhang Z P. Study on northern Liaodong Bay modern deposition[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013: 21-26. [张子鹏. 辽东湾北部现代沉积作用研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 21-26.]
- [30] Jiang Z Q, Wu L X, He L D, et al. Biology and Culture of Mariculture Fish[M]. Beijing: China Ocean Press, 2005: 99-105. [姜志强, 吴立新, 赫拉娣, 等. 海水养殖鱼类生物学及养殖[M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 99-105.]
- [31] Yin M C. Fish Ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 40-42. [殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 40-42.]
- [32] Chen X J, Liu B L, Tian S Q, et al. Forecasting the fishing ground of *Ommastrephes bartramii* with sst-based habitat suitability modelling in northwestern Pacific[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2009, 40(6): 707-713. [陈新军, 刘必林, 田思泉, 等. 利用基于表温因子的栖息地模型预测西北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)渔场[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(6): 707-713.]

- [33] Zhang B, Tang Q S, Jin X S. Functional groups of communities and their major species at high trophic level in the Yellow Sea ecosystem[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1099-1111. [张波, 唐启升, 金显仕. 黄海生态系统高营养层次生物群落功能群及其主要种类[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1099-1111.]
- [34] Amara R, Rima E. Fish assemblage structure in shallow waters of the Mellah Lagoon (Algeria): Seasonal and spatial distribution patterns and relation to environmental parameters[J]. Acta Ichthyologica et Piscatoria, 2017, 47(2): 133-144.
- [35] de Silva S S, Perera P A B. Studies on the young grey mullet, *Mugil cephalus* L.[J]. Aquaculture, 1976, 7(4): 327-338.
- [36] Wang Y F, Zhu X H. A review on impact of salinity on patterns of fish ecophysiology[J]. Studia Marina Sinica, 2002(1): 151-158. [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(1): 151-158.]
- [37] Tang Y, Zhao L H. Review of the pilot of marine fisheries TACs in China and suggestions for 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.]

Biological characteristics and spatio-temporal distribution of relative biomass of *Hexagrammos otakii* and relationships with the impact factors in Liaoning offshore

LIU Xiuze, JI Guang, WANG Xiaolin, DONG Jing, WANG Aiyong, WANG Bin, XU Yanzhao

Liaoning Ocean and Fishery Science Research Institute, Liaoning Key Laboratory of Marine Biological Resources and Ecology, Dalian Key Laboratory of Conservation of Fishery Resources, Dalian 116023, China

Abstract: Based on the survey data of fishery resources collected from 41 stations in June, July, and September 2019 and May, August, and October 2020 in Liaoning offshore, we analyzed the spatiotemporal distribution of the relative biomass and biological characteristics of *Hexagrammos otakii* and examined its relationship with environmental variables, including water depth, bottom salinity, bottom water temperature, bottom sediment type, month, and year using a generalized additive model (GAM). The results showed that the relative biomass of *H. otakii* was higher in summer and autumn than that in spring and varied greatly among different survey stations, and the spatial heterogeneity was high. The body length and body weight of *H. otakii* increased monthly from May to October, and fatness was higher in summer than that in spring and autumn. These biological indexes showed significant differences ($P < 0.05$) among different months. The spatiotemporal distribution of relative biomass showed that *H. otakii* preferred two sediment types, namely reef and sandy bottoms, and lower water temperature. The relative biomass of *H. otakii* in the northern Yellow Sea was higher than that in Liaodong Bay. GAM analysis indicated that water depth, bottom salinity, bottom water temperature, bottom sediment type, month, and year were the best explanatory variables affecting the distribution of the relative biomass of *H. otakii*. The relative biomass of *H. otakii* was significantly positively correlated with a water depth of 4.5–55 m, and the relative biomass in Liaoning Ocean was higher with a salinity of 22.9–31.5 and a bottom water temperature of 12–22.5 °C. The results of GAM analysis were consistent with the ecological habits of *H. otakii*. Based on the results, we suggested that the northern Yellow sea, which has a wider range of reef and sandy bottoms and lower bottom water temperature, can be used as a suitable area for the stock enhancement of *H. otakii* and that the months from May to June can be used as a suitable release time when the bottom water temperature rises to 12 °C or higher. These suggested areas and times for stock enhancement of *H. otakii* may better guarantee the survival rate and quality of the released *H. otakii* population.

Key words: *Hexagrammos otakii*; temporal and spatial distribution; environmental factors; generalized additive model (GAM); Liaoning offshore; stock enhancement

Corresponding author: DONG Jing. E-mail: dj660228@tom.com