



马鞍列岛东部海域小黄鱼时空分布特征

汪振华, 沈慧, 林军*, 章守宇,
钟佳明, 陈奕帆, 刘章彬
(上海海洋大学海洋生态与环境学院, 上海 201306)

摘要: 鱼类在不同生活史阶段往往表现出不同的生境偏好, 对这种规律的全面认知是进行资源保护、海洋牧场增殖目标种选择以及增殖技术研发的前提。实验基于 2016 年夏季(8 月)、秋季(12 月)和 2017 年冬季(3 月)、春季(5 月)在马鞍列岛东部海域 19 个站点的底拖网调查数据, 应用资源密度、相对重要性指数以及 GIS 空间分析方法, 对 3496 种小黄鱼样品年龄、性别、性成熟度和饵料组成等生物学参数及其时空分布进行了统计分析, 并结合回归分析探讨了小黄鱼生物学指标与环境因子之间的关系。结果显示, 研究海域小黄鱼种群存在较强的季节变动和空间差异: 平均资源密度夏季最高, 冬季最低; 夏季资源密度岛礁内水域远高于岛礁外围。年龄结构上除了夏季以幼鱼为主(75.7%)外, 其他季节皆以 1 龄鱼为主。岛礁内部水域夏季小黄鱼饵料生物丰富度显著高于岛礁外, 春秋季节相反。与环境因子的回归分析结果显示, 岛礁外最显著的影响因子为浮游植物丰度, 该值越高则小黄鱼资源密度越高, 但岛礁内部分布上并未显示出与任一环境因子的显著相关性。研究表明, 岛礁繁多且规模化人工生境的存在使马鞍列岛东部海域成为小黄鱼优良的索饵避敌与栖息繁殖场所。除了饵料因素外, 岛礁内的小黄鱼并未对具体的环境因子产生明显趋向性, 但对岛礁内各环境要素构成的生境却显示出一定的偏好。

关键词: 小黄鱼; 分布特征; 空间分析; 马鞍列岛

中图分类号: S 931

文献标志码: A

马鞍列岛位于舟山群岛北部, 受长江冲淡水 and 台湾暖流北上分支的影响^[1], 海域渔业资源丰富, 至今仍盛产小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)和带鱼(*Trichiurus lepturus*)等重要的经济鱼类。该海域天然岛礁遍布, 加之海洋特别保护区内贻贝养殖、人工鱼礁和网箱养殖等人工生境的规模化发展, 使得过去 20 年的生境格局发生了较大的变化。据统计, 2000—2009 年, 马鞍列岛逐步形成了共计 13.4 km² 的贻贝养殖区, 1.6 hm² 网箱养殖区以及 385 hm² 的人工鱼礁区^[2], 人工生境初具规模。近年来, 当地政府不断推进该区域海洋牧场

的建设, 通过投放人工鱼、藻礁和增殖藻类营造适宜的海洋生物栖息场所^[3]。天然岛礁生境和规模不断扩大的人工生境对小黄鱼等经济鱼类(尤其是幼小鱼类)^[4-5]的影响, 成为当前需要关注的重要科学问题。

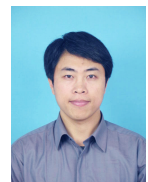
小黄鱼是暖温性底层结群性洄游鱼类, 广泛分布于西北太平洋海域, 包括我国的渤海、黄海南部和东海^[6]。作为我国近海四大鱼产之一, 小黄鱼是除带鱼以外在马鞍列岛依然有较大产量的重要鱼种, 对东海区经济鱼类产量的贡献很大, 但其个体小型化、种群结构低龄化和性成熟年龄

收稿日期: 2020-09-28 修回日期: 2021-01-21

资助项目: 国家重点研发计划(2018YFD0900905, 2019YFD0901303); 上海海洋大学科技发展专项基金(A2-2006-20-200212)

第一作者: 汪振华(照片), 从事海洋牧场研究, E-mail: zh_wang@shou.edu.cn

通信作者: 林军, 从事海洋生态研究, E-mail: jlin@shou.edu.cn



提前等衰退现象至今没有得到遏制^[7]。2016年,我国东海小黄鱼捕捞产量14.23万t,其中浙江省10.29万t^[8];至2017年,其产量下降至13.59万t,浙江省亦下降至9.74万t^[9],且渔获个体中当年幼鱼和1龄鱼的占比依然最高。面对居高不下的捕捞压力,在强化管护的基础上,浙江省正积极尝试通过规模化人工繁育和增殖放流来维系并提升小黄鱼的资源量。事实上,小黄鱼资源保护工作的实效性很大程度上依赖于我们对其区域种群生活史特征的了解程度。

以往我国针对小黄鱼的研究主要包括资源评估^[7,10]、摄食生态^[11-12]、适宜生境分布^[13-14]、区系特征及种群划分^[15-16]、种群动态及分布^[17-18]和鱼卵的空间分布特征^[19-20]等,多数是从各个海区或渔场的大尺度上呈现的,而在围绕岛礁区域中小尺度下小黄鱼分布特征和生境选择规律方面的研究依然少见。从资源保护、合理利用以及通过海洋牧场增殖部分小黄鱼资源的角度上考虑,当前极有必要对典型岛礁海域的小黄鱼种群分布特征及其生境偏好进行系统研究。韩国学者对小黄鱼的资源时空分布^[21]和繁殖习性^[22]等进行了多方面研究,其中部分案例可归结为对鱼类关键生境的探索。国外对鱼类关键生境的研究已成系统化^[23-25],在鱼类生境选择方面的研究也较为丰富^[26-27]。为研究岛礁区域尺度下,小黄鱼的生长参数、摄食习性及其与环境之间的相关性,查清小黄鱼在岛礁海域资源分布格局及其生境偏好,从而促进整个种群的补充、生长,实验以2016—2017年马鞍列岛东部海域底拖网采样所得的小黄鱼样本为基础,分析其资源密度和生物学参数的时空差异,初步探讨其在该海域的生境选择偏好,以期小黄鱼区域种群的资源保护和岛礁海域海洋牧场选址规划及目标种的选择与增殖提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域和站点分布

2016年8月(夏季)、12月(秋季)、2017年3月(冬季)和5月(春季)分4个季度对马鞍列岛东部海域(30°25′~31°00′N, 122°35′~123°30′E)进行渔业资源的单囊网板底拖网采样。拖网的浮子纲和底纲长度分别为33.0和34.8 m,网具全长30.0 m,网袖网目尺寸16.0 cm,网囊网目尺寸2.5 cm。作业时网口的平均扩张高度和宽度分别为2.5和

6.0 m(取TDR差值)。研究区域内共设置19个站点,其中N1-N11代表岛礁内站点,W1~W8为岛礁外站点(图1)。采用系统随机采样法,将设定的两个区域站点各分为2组,在4个采样工作日内依次完成岛礁内1号组(N1~N6),岛礁外2号组(W1~W4)和3号组(W5~W8)以及岛礁内4号组(N7~N11)站点的采样。每个站点的平均采样时间控制在20 min,拖速3 kt。每航次所得各站点的拖网数据皆按照1 h时间和3 kt拖速进行标准化。

1.2 样本处理和生物学实验

所得渔获物先在船上进行冰鲜保存,上岸后集中放置在当地的冷库进行暂存,于2周内按照《海洋生物生态调查技术规程》^[28]完成常规的生物学实验。实验过程中,记录各个站点小黄鱼样品的体长、体质量、性别、性腺成熟度、胃含物组成等信息。

1.3 数据处理和统计分析

资源密度 采用资源密度指数 ρ 考量小黄鱼在研究区域的分布密度^[29]。各季节各站点小黄鱼资源密度的计算公式:

$$\rho = c / (S \times q); S = L \times K / 1000; L = vt;$$

式中, ρ 为每个站点的资源密度(kg/km²); c 为每个站点的渔获量(kg); q 为捕捞系数,实验取 $q=0.5$; S 为扫海面积(km²), L 为实际拖距(km), K 为网口宽度(m); v 为实际拖速(km/h), t 为拖时(h)。

幼鱼密度 通过比较各站点幼鱼的密度判断小黄鱼在幼体阶段的分布特征。将耳石轮纹没有出现冬轮且性腺不超过Ⅲ期的小黄鱼个体判断为当龄幼鱼。不同季节各站点幼鱼的密度通过下列计算公式获得:

$$\rho_j = Y / S \times q$$

式中, ρ_j 为幼鱼的密度(个/km²); Y 为取样数; S 为网具扫海面积(km²); q 为捕捞系数,实验取 $q=0.5$ 。

小黄鱼的年龄组成 采用年龄组判断不同生活史阶段个体的相对比例。基于不同体长组的小黄鱼耳石研磨结果,结合体长和年龄关系综合判断小黄鱼的年龄^[30],实验将小黄鱼样品的年龄分为0 a(当龄幼鱼,未出现完整的过冬轮)、1 a(有1个完整的冬轮)、2 a(有2个冬轮)、3 a(有3个冬轮)和4 a(有4个冬轮)。

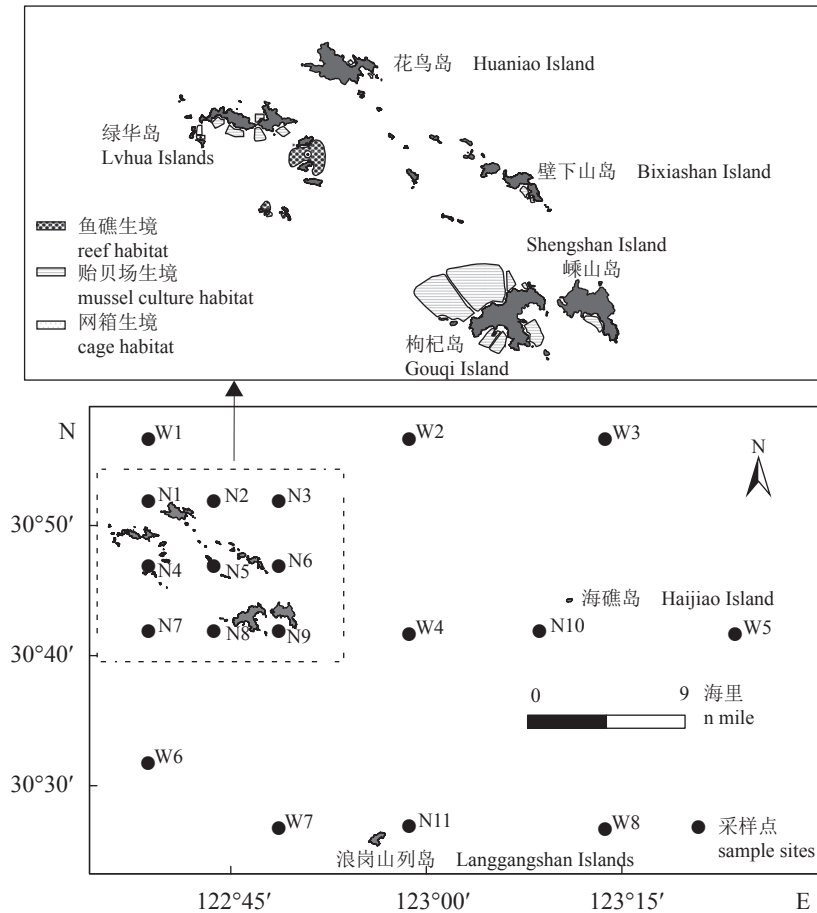


图 1 马鞍列岛东部海域小黄鱼资源调查站点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites for small yellow croaker in Eastern Ma'an Archipelago

性成熟度判定 通过生物学上的性成熟度判定其繁殖阶段, 从而区分繁殖群体和非繁殖群体及两者的比例, 以说明小黄鱼对产卵地的选择偏好。依据小黄鱼性腺的发育程度, 共将其分为 6 期^[28], 其中, I 和 II 期小黄鱼未达到性成熟, III 期及以上为性成熟个体。

胃含物饵料组成 通过胃含物的组成确定小黄鱼的摄食生境需求。鉴定胃含物组成时先用吸水纸吸取饵料生物上的水分, 然后用电子秤 (精度 0.001g) 对胃中每种饵料生物称重并计数^[31]。采用相对重要性指数百分比 (IRI%) 来判断小黄鱼不同饵料生物的重要性:

$$IRI = (W\% + N\%) \times F\% \times 10^4;$$

$$IRI\% = (IRI / \sum IRI) \times 100\%;$$

式中, $W\%$ 为饵料重量百分比; $N\%$ 为饵料数量百分比; $F\%$ 为饵料出现频率^[12]。

统计分析方法 采用 IBM Statistics SPSS 26 和 Microsoft Excel 2013 进行数据分析, 应用 ArcMap 10.6 和 Adobe Illustrator CC 2019 绘制空间

分布图。采用 T 检验和 Mann-Whitney U 检验对组间数据差异的显著性水平进行判断, 对小黄鱼生物学指标和环境因子进行线性回归分析。

2 结果

2.1 小黄鱼资源密度时空分布

季节变化上, 马鞍列岛海域小黄鱼资源密度夏季>冬季>春季>秋季, 夏季显著大于其他季节 ($P<0.05$)。空间分布上, 岛礁内小黄鱼平均资源密度大于岛礁外, 但二者差异并不显著。资源密度极值和均值上, 夏季在岛礁内出现最大值 3430.1 kg/km², 岛礁外最大值 1565.4 kg/km², 平均资源密度岛礁内 [(1220.3±1262.1) kg/km²] 远大于岛礁外 [(608.2±673.2) kg/km²], 但区域间差异尚不显著; 其他季节的极大值皆出现在岛礁外, 而极小值岛礁内外皆有。春、秋和冬季的平均资源密度皆显著低于夏季, 3 季的平均资源密度皆呈现岛礁内小于岛礁外的特点, 但内外差异并不显著 (图 2)。

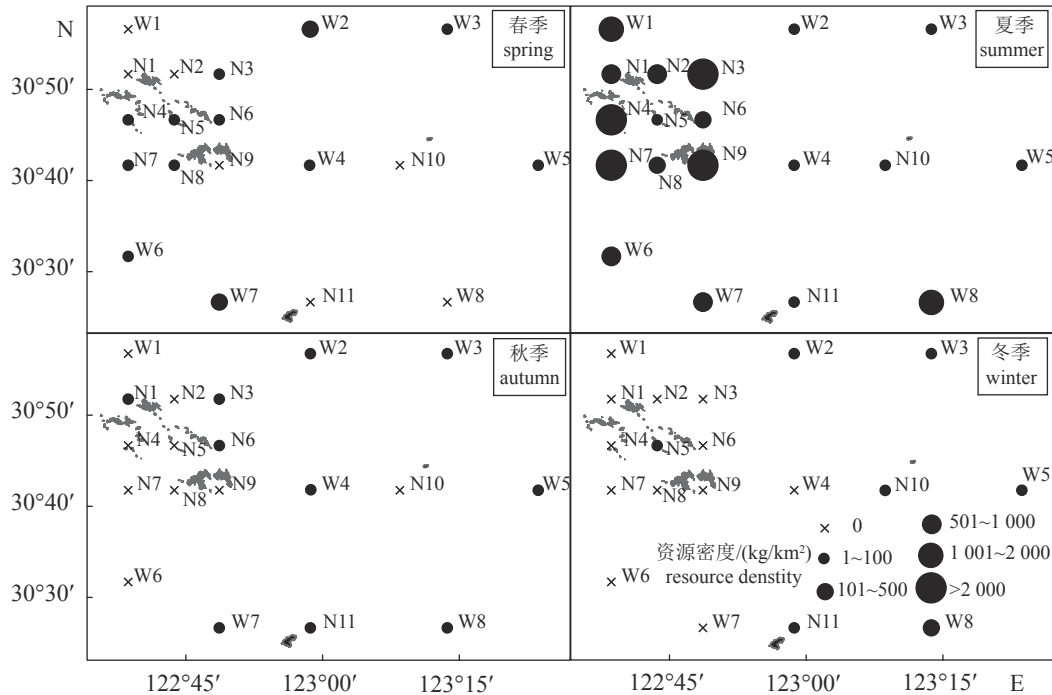


图2 马鞍列岛东部海域小黄鱼资源密度

Fig. 2 Population density of small yellow croaker in Eastern Ma'an Archipelago

在幼鱼的分布特征上，夏季的高密度群体更多的出现在岛礁内(图3)。春季在马鞍列岛海域未采集到小黄鱼幼鱼，其他季节小黄鱼幼鱼密度均值：夏季 [(5 535.9±2 542.7) 个/km²]->冬季>秋季，

夏季和秋、冬季差异显著 ($P<0.05$)。区域上，岛礁内小黄鱼幼鱼密度 [(1 597.8±2 731.6) 个/km²] 大于外围海域 [(1 104.8±2 712.5) 个/km²]，但二者差异不显著。该差异的贡献都主要来自于夏季，最

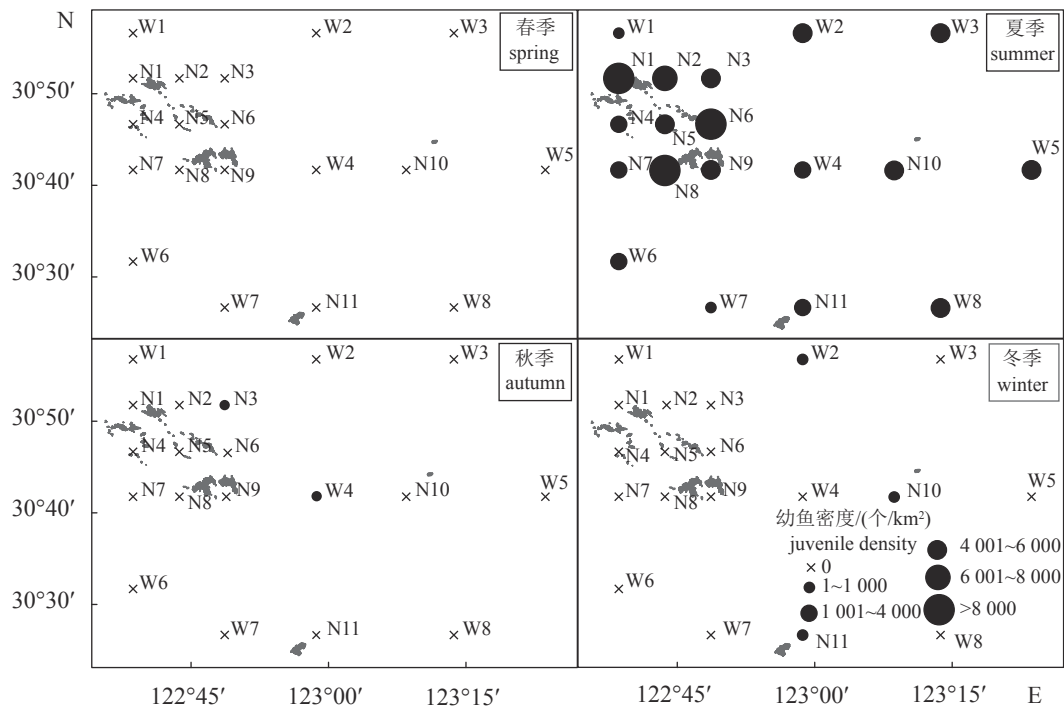


图3 马鞍列岛东部海域小黄鱼幼鱼密度分布

Fig. 3 Population density of juvenile small yellow croaker in Eastern Ma'an Archipelago

大值为岛礁内的 12 149 个/km²。

2.2 小黄鱼年龄结构分布

马鞍列岛海域小黄鱼平均年龄秋季>春季=冬

季>夏季。春季岛礁内外皆未采集到当龄幼鱼, 主要为 1 龄鱼; 夏季海域近 76% 的个体皆为当龄幼鱼, 其中岛礁内的幼鱼比例明显大于岛礁外。秋冬季皆以 1 龄鱼和 2 龄鱼为主 (表 1)。

表 1 马鞍列岛东部各季节小黄鱼的年龄结构

Tab. 1 Age structure of small yellow croaker in Eastern Ma'an Archipelago

| 季节 season | 区域 region | 各季节年龄占比/% age ratio in different seasons | | | | | 合计/% total |
|--------------|----------------------------------|---|------|------|-----|-----|---------------|
| | | 0 a | 1 a | 2 a | 3 a | 4 a | |
| 春季 spring | 岛礁内 areas adjacent to islands | 0.0 | 5.0 | 5.0 | 1.0 | 0.0 | 100 |
| | 岛礁外 areas off islands | 0.0 | 83.0 | 6.0 | 0.0 | 0.0 | |
| 夏季 summer | 岛礁内 areas adjacent to islands | 45.3 | 9.4 | 2.0 | 0.2 | 0.2 | 100 |
| | 岛礁外 areas off islands | 30.4 | 10.7 | 1.7 | 0.2 | 0.0 | |
| 秋季 autumn | 岛礁内 areas adjacent to islands | 0.0 | 18.2 | 15.2 | 0.0 | 0.0 | 100 |
| | 岛礁外 areas off islands | 0.0 | 45.5 | 15.2 | 3.0 | 3.0 | |
| 冬季 winter | 岛礁内 areas adjacent to islands | 2.3 | 4.6 | 0.0 | 2.3 | 0.0 | 100 |
| | 岛礁外 areas off islands | 0.0 | 86.4 | 2.3 | 2.3 | 0.0 | |

2.3 雌雄比和性成熟度时空变化

基于成鱼的性腺发育情况, 马鞍列岛海域小黄鱼雌雄性比为夏季>春季>秋季>冬季, 总体上岛礁内为 1.9 : 1, 岛礁外接近 1 : 1 (图 4)。

研究海域达到性成熟的小黄鱼占比冬季>春季>秋季>夏季 (图 5), 其中冬季处于性成熟的小黄鱼占比达到 60%。

2.4 小黄鱼主要饵料组成及区域差异

研究海域小黄鱼胃含物中共鉴定饵料生物 15 种, 其中鱼类 4 种, 占 25.0%; 虾类 8 种, 占 50.0%; 蟹类 1 种, 占 6.3%; 等足类 1 种, 占 6.3%; 多毛类 1 种, 占 6.3%; 头足类 1 种, 占 6.3% (表 2)。马鞍列岛岛礁海域小黄鱼优势饵料种生物是中国毛虾 ($IRI\%=93.79\%$)、龙头鱼 ($IRI\%=2.79\%$)、细巧仿对虾 ($IRI\%=0.45\%$) 和矛尾虾虎鱼 ($IRI\%=0.45\%$) (表 2)。

比较研究海域小黄鱼各季节的摄食选择, 发现春秋两季的个体在岛礁外的饵料丰富度明显高于岛礁内。冬季的差异不甚明显, 但同春夏季一样, 六丝矛尾虾虎鱼成为岛礁内小黄鱼的重要选择对象。夏季岛礁内是小黄鱼的优良饵料场, 其在岛礁内的饵料丰富度远大于岛礁外 (表 3)。

2.5 环境因子与小黄鱼分布和主要生物学参数间的关系

马鞍列岛海域夏季温度高于春、秋、冬季,

春、夏季岛礁内平均温度略高于岛礁外。盐度季节差异不大, 岛礁内外相差亦不大。岛礁内水深低于岛礁外。夏季浮游植物丰度明显高于其余季节, 春季岛礁内浮游植物丰度高于岛礁外。浮游动物丰度夏季明显高于其他季节, 春季、夏季和秋季岛礁内皆高于岛礁外。浊度夏季岛礁内明显高于岛礁外, 其余季节岛礁内外相差不大 (表 4)。

回归分析显示, 马鞍列岛海域岛礁内小黄鱼资源密度与温度、盐度、深度、浮游植物丰度、浮游动物丰度、浊度均无显著相关关系, 岛礁外小黄鱼资源密度仅与浮游植物丰度有显著的相关关系 ($P<0.05$), 与其他环境因子并无显著相关关系; 无论是岛礁内还是岛礁外, 幼鱼比例均与温度、盐度深度、浮游植物丰度、浮游动物丰度、浊度无显著相关关系; 无论是岛礁内还是岛礁外, 性成熟度比例与温度呈现显著的负相关关系 ($P<0.05$), 除此之外, 岛礁外性成熟度还与浊度呈现显著负相关性 ($P<0.05$), 而岛礁内性成熟度比例与盐度、深度、浮游植物丰度、浮游动物丰度、浊度无显著相关关系 (表 5)。

二项 Logistic 模型显示, 小黄鱼雌性是否多于雄性与时间、站点及环境因子无明显相关关系 (表 6)。

3 讨论

3.1 马鞍列岛海域小黄鱼资源分布的时空特征

从时间上看, 马鞍列岛海域小黄鱼大量出现

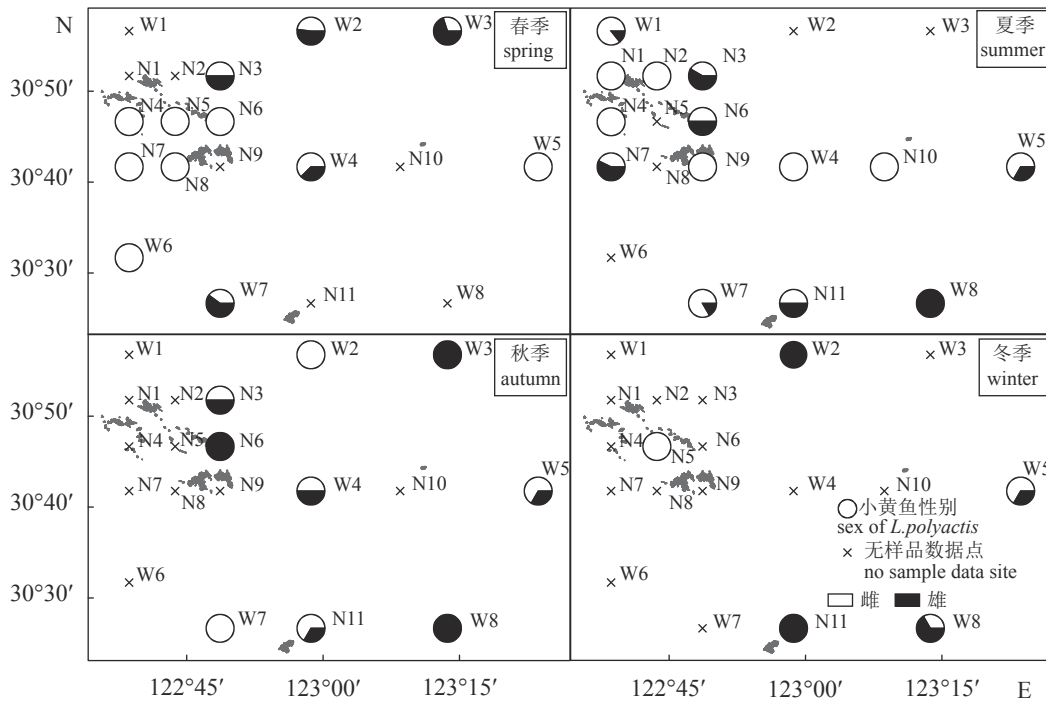


图 4 马鞍列岛东部海域小黄鱼雌雄比例

Fig. 4 Seasonal variation of sex ratio of small yellow croaker in Eastern Ma'an Archipelago

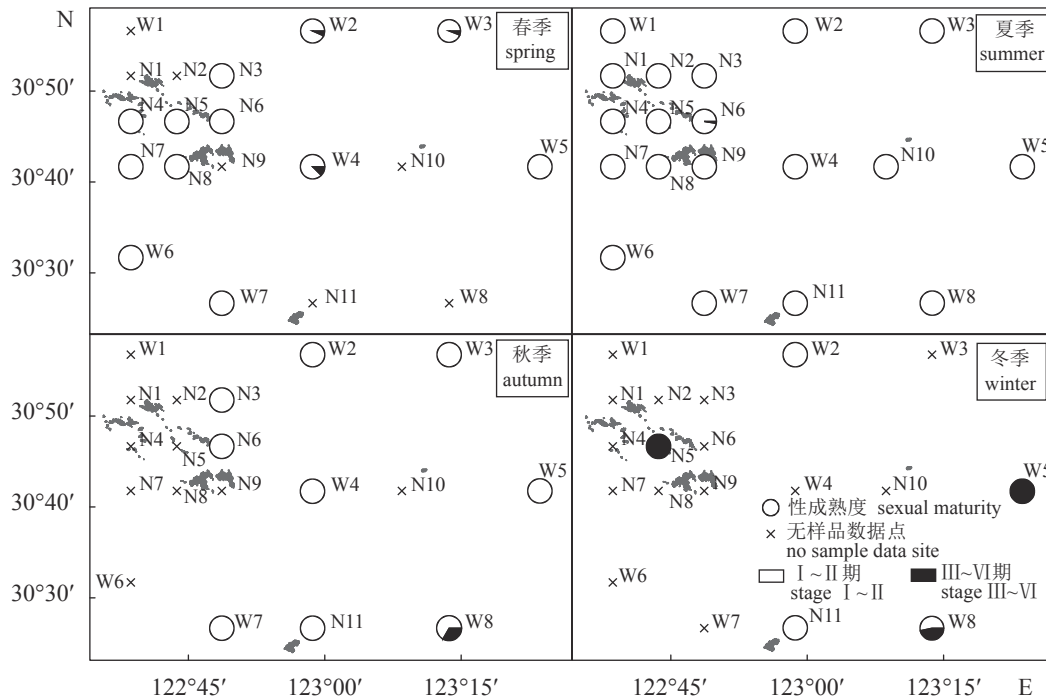


图 5 马鞍列岛东部海域小黄鱼性成熟度分布

Fig. 5 Distribution of sexual maturity index for small yellow croaker in Eastern Ma'an Archipelago

在夏季，夏季幼鱼密度远高于其他季节。小黄鱼是典型的近海洄游性鱼类，自身有阶段性利用近岸各种生境的生活史特征^[32]。马鞍列岛夏季岛礁内平均水温为 24.4 °C，适宜小黄鱼幼鱼生长^[33]。

徐兆礼等^[34]通过对小黄鱼捕捞统计资料的研究发现，东海小黄鱼鱼群 1 月出现在外海，3 月洄游至长江口以东的舟山近海产卵，7、8 月集群性最强，9—11 月逐渐减少。夏季小黄鱼的资源密度

表 2 马鞍列岛海域小黄鱼饵料组成

| 饵料种类 prey items | N% | W% | F% | IR1% |
|--|-------|-------|------|-------|
| 鱼类 Pisces | | | | |
| 七星底灯鱼 <i>Benthoosema pterotum</i> | 0.05 | 1.03 | 0.27 | 0.03 |
| 六丝矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i> | 0.10 | 5.58 | 0.54 | 0.31 |
| 矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i> | 0.18 | 6.42 | 0.68 | 0.45 |
| 龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i> | 0.74 | 15.06 | 1.76 | 2.79 |
| 不可辨认鱼类 unidentified pisces | 0.05 | 1.34 | 0.27 | 0.04 |
| 虾类 Shrimps | | | | |
| 葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i> | 0.10 | 1.81 | 0.54 | 0.10 |
| 太平洋磷虾 <i>Euphausia pacifica</i> | 0.15 | 3.50 | 0.27 | 0.10 |
| 中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i> | 96.56 | 41.56 | 6.76 | 93.79 |
| 日本鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i> | 0.08 | 2.21 | 0.41 | 0.09 |
| 细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i> | 0.54 | 0.35 | 0.68 | 0.06 |
| 细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i> | 0.33 | 2.99 | 1.35 | 0.45 |
| 中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i> | 0.23 | 5.70 | 0.68 | 0.40 |
| 水母虾 <i>Latreutes mucronatus</i> | 0.23 | 0.81 | 0.81 | 0.08 |
| 不可辨认虾类 unidentified shrimps | 0.13 | 2.70 | 0.68 | 0.19 |
| 蟹类 Crabs | | | | |
| 日本蟳 <i>Charybdis japonica</i> | 0.03 | 0.03 | 0.14 | <0.01 |
| 等足类 Isopoda | | | | |
| 水虱 Isopoda sp. | 0.05 | 0.03 | 0.14 | <0.01 |
| 多毛类 Polychaete | | | | |
| 沙蚕 <i>Succinea</i> sp. | 0.03 | 0.20 | 0.14 | <0.01 |
| 头足类 Cephalopoda | | | | |
| 双喙耳乌贼 <i>Sepioteuthis birostrata</i> | 0.03 | 0.34 | 0.14 | <0.01 |
| 不可辨认头足类 unidentified cephalopoda | 0.03 | 0.47 | 0.14 | 0.01 |
| 肉糜 meat paste | 0.36 | 7.87 | 1.89 | 1.56 |

达到高峰, 进入秋季和冬季大幅降低, 春季回升, 可见马鞍列岛海域是小黄鱼的重要产卵场之一; 夏季小黄鱼在马鞍列岛海域产卵育幼索饵, 冬季返回深海越冬场所。

空间分布方面, 总体上岛礁内和岛礁外小黄鱼的平均资源密度差异并不显著。但是在夏季, 整个海域都成为小黄鱼的重要生境, 其资源密度表现出岛礁内显著高于岛礁外的特征 ($P<0.05$), 幼鱼呈现夏季集中出现在岛礁内的时空分布特点。有研究指出进入夏季整个长江口海域都会成为小黄鱼重要的育肥场^[35], 本实验结果进一步凸显出长江口区域的岛礁海域对小黄鱼幼鱼种群的分布起着重要影响。这可能与岛礁内部水域复杂的生境格局有关。岛礁内生境类型丰富, 包含岩礁、

表 3 马鞍列岛岛礁内和岛礁外小黄鱼的摄食饵料种类

| 季节 season | 区域 region | 饵料生物 prey items |
|--------------|----------------------------------|---|
| 春季 spring | 岛礁内 areas adjacent to islands | 六丝矛尾虾虎鱼 |
| | 岛礁外 areas off islands | 中国毛虾、七星底灯鱼、矛尾虾虎鱼、龙头鱼、双喙耳乌贼 |
| 夏季 summer | 岛礁内 areas adjacent to islands | 细螯虾、葛氏长臂虾、中国毛虾、细巧仿对虾、水母虾、中华管鞭虾、太平洋磷虾、龙头鱼、矛尾虾虎鱼、六丝矛尾虾虎鱼、头足类SP、水虱SP、沙蚕SP. |
| | 岛礁外 areas off islands | 细巧仿对虾、中华管鞭虾、六丝矛尾虾虎鱼 |
| 秋季 autumn | 岛礁内 areas adjacent to islands | 未检出 |
| | 岛礁外 areas off islands | 细巧仿对虾、中国毛虾、日本鼓虾、七星底灯鱼 |
| 冬季 winter | 岛礁内 areas adjacent to islands | 日本鼓虾、六丝矛尾虾虎鱼 |
| | 岛礁外 areas off islands | 日本鼓虾 |

沙地、泥地、沙石泥等多种天然生境^[2], 且分布于天然岩礁生境潮下带的大型底栖海藻种类繁多^[36]。马鞍列岛逐步形成并扩大的贻贝、网箱养殖区和人工鱼礁区^[2], 其人工构造物上往往附着多种海藻, 这些藻类和人工生境增加了海水的空间异质性, 降低了小黄鱼被其他肉食性鱼类或海洋动物捕食的几率, 同时也减少了捕捞干扰, 在一定程度上养护了诸如小黄鱼、褐菖鲉等渔业资源^[37-38]。在天然和人工生境的协同作用下, 马鞍列岛的岛礁多元化生境为小黄鱼局域种群的阶段性养护发挥了积极的作用, 这很可能是夏季小黄鱼种群对特定生活史需求的响应。

3.2 岛礁生境海域小黄鱼种群的生物学特征

春、夏季马鞍列岛海域小黄鱼雌性个体多于雄性, 岛礁内雌性个体多于岛礁外, 其性别比与时间、站点、温度等因子并无显著关系, 因此必然与区域的生境格局或者综合效应有关。章守宇等^[39]研究发现大型海藻为鱼类等大个体海洋动物繁殖提供了保障。马鞍列岛岛礁内大型海藻繁茂, 其错综复杂的枝茎可能为雌性小黄鱼提供良好的产卵空间。印瑞等^[40]2018年在马鞍列岛调查发现, 春季鱼卵的优势种为小黄鱼, 占春季鱼卵总丰度的 62.91%。由此初步推断, 马鞍列岛海域岛礁内

表 4 马鞍列岛东部海域环境因子的季节变化

Tab. 4 Seasonal variation of environmental factors in Eastern Ma'an Archipelago

| 环境因子 environment factor | 区域 region | 季节 season | | | |
|--|----------------------------------|-----------------|-------------------|--------------|--------------|
| | | 春季 spring | 夏季 summer | 秋季 autumn | 冬季 winter |
| 温度/°C temperature | 岛礁内 areas adjacent to islands | 19.8±0.2 | 24.4±4.0 | 18.4±1.0 | 12.0±1.5 |
| | 岛礁外 areas off islands | 19.5±0.3 | 22.9±4.0 | 19.2±1.0 | 13.4±1.5 |
| 盐度 salinity | 岛礁内 areas adjacent to islands | 32.2±1.4 | 31.7±2.0 | 30.9±3.1 | 31.6±2.3 |
| | 岛礁外 areas off islands | 33.9±1.3 | 31.7±2.2 | 33.1±2.9 | 33.5±2.1 |
| 水深/m depth | 岛礁内 areas adjacent to islands | 35.3±2.1 | 34.2±11.0 | 34.2±11.0 | 34.9±11.6 |
| | 岛礁外 areas off islands | 45.3±13.5 | 45.3±13.5 | 45.3±13.5 | 46.1±13.7 |
| 浮游植物丰度/ (×10 ³ 个/m ³) phytoplankton abundance | 岛礁内 areas adjacent to islands | 1 009.8±1 418.6 | 11 911.3±31 916.6 | 28.7±28.2 | 21.6±28.4 |
| | 岛礁外 areas off islands | 1 029.2±1 314.4 | 12 863.9±28 801.9 | 28.7±25.9 | 22.0±25.7 |
| 浮游动物丰度/(×10 ³ 个/m ³) zooplankton abundance | 岛礁内 areas adjacent to islands | 373.9±264.6 | 1 348.5±697.9 | 30.4±10.8 | 125.9±251.2 |
| | 岛礁外 areas off islands | 368.7±259.4 | 1 317.5±696.2 | 29.4±30.2 | 131.9±260.6 |
| 浊度/NTU turbidity | 岛礁内 areas adjacent to islands | 5.3±2.8 | 143.3±153.0 | 48.0±28.3 | 31.6±7.6 |
| | 岛礁外 areas off islands | 7.2±4.7 | 32.3±145.0 | 24.7±26.9 | 31.6±7.0 |

表 5 小黄鱼生物学特征与环境因子的关系

Tab. 5 Bio-environmental relationships between small yellow croaker and environmental factors

| 环境因子 environment factor | 区域 region | 生物学指标 biological indicators | | |
|---|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | | 资源密度 resource density | 幼鱼比例 juvenile fish proportion | 性成熟度比例 sexual maturity proportion |
| 温度/°C temperature | 岛礁内 areas adjacent to islands | 0.669 | 0.661 | -1.032* |
| | 岛礁外 areas off islands | 0.072 | -0.065 | -0.756* |
| 盐度 salinity | 岛礁内 areas adjacent to islands | 1.435 | 0.637 | -0.971 |
| | 岛礁外 areas off islands | 0.028 | 0.153 | -0.363 |
| 水深/m depth | 岛礁内 areas adjacent to islands | -1.167 | 0.025 | -0.259 |
| | 岛礁外 areas off islands | -0.021 | 0.189 | 0.101 |
| 浮游植物丰度/ (×10 ³ 个/m ³) phytoplankton abundance | 岛礁内 areas adjacent to islands | -0.106 | -0.501 | 0.135 |
| | 岛礁外 areas off islands | 0.763* | 0.456 | -0.175 |
| 浮游动物丰度/ (×10 ³ 个/m ³) zooplankton abundance | 岛礁内 areas adjacent to islands | 0.243 | 0.534 | -0.528 |
| | 岛礁外 areas off islands | -0.271 | 0.454 | 0.101 |
| 浊度/NTU turbidity | 岛礁内 areas adjacent to islands | 0.639 | 0.500 | -0.740* |
| | 岛礁外 areas off islands | 0.339 | 0.203 | 0.086 |

注: *在0.05水平(双尾), 相关性显著

Notes: *.correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

可能为雌性小黄鱼提供了产卵场所, 而岛礁海域生境格局对小黄鱼雌雄分布差异及产卵场分布的影响还需进一步研究。

马鞍列岛小黄鱼摄食饵料丰富, 其中中国毛虾为优势饵料。夏季岛礁内小黄鱼的摄食饵料种类数处于优势地位。小黄鱼在岛礁内摄食包括虾类、鱼类、头足类、等足类、多毛类等多达 13 种饵料生物, 而在岛礁外仅摄食虾类等 5 种饵料生

物。在岛礁内, 人工鱼礁投放后形成的上升流, 将底层的营养盐类带到光照充足的上层, 促进了浮游生物的繁殖^[41]。马鞍列岛岛礁内浮游植物平均丰度达到 5413.6×10^3 个/m³, 而岛礁外仅为 258.0×10^3 个/m³; 贻贝养殖设施上的附着海藻, 其上附着许多端足类, 如钩虾、麦秆虫等, 为小黄鱼幼鱼提供了饵料保障^[42]。之所以夏季小黄鱼的幼鱼大量聚集在岛礁内, 很可能与岛礁内较之岛

表 6 马鞍列岛小黄鱼性比与季节及环境因子之间的关系

Tab. 6 Relationship between sex ratio of small yellow croaker and season and environmental factors in Eastern Ma'an Archipelago

| | 偏回归系数(B) partial regression coefficient | OR(95%CI) | P值 P-value |
|---|--|-----------|---------------|
| 季节 season | | | 0.769 |
| 夏季 summer | -0.937 | 0.392 | 0.594 |
| 秋季 autumn | -0.442 | 0.643 | 0.709 |
| 冬季 winter | -2.103 | 0.122 | 0.385 |
| 站点 site | | | 0.305 |
| 岛礁内 reef | 1.151 | 3.163 | 0.429 |
| 深度 depth | -0.053 | 0.948 | 0.680 |
| 温度/°C temperature | 0.109 | 1.115 | 0.306 |
| 盐度 salinity | -0.569 | 0.566 | 0.919 |
| 浊度/NTU turbidity | -0.001 | 0.999 | 0.872 |
| 浮游植物丰度($\times 10^3$ 个/ m^3) phytoplankton abundance | <0.001 | 1.000 | 0.205 |
| 浮游动物丰度($\times 10^3$ 个/ m^3) zooplankton abundance | -0.001 | 0.999 | 0.310 |

礁外更为丰富的饵料环境有关^[5]。

3.3 环境因子对小黄鱼局域种群的影响

温度、盐度、深度是影响鱼类分布及群落空间结构的重要环境因子^[43], 其他诸如浮游植物丰度、浮游动物丰度和浊度也与鱼类的时空分布有关^[44-46]。本研究发现小黄鱼的资源密度与温度、盐度、深度等环境因子之间并无显著关系, 而与浮游植物丰度呈现显著的正相关性。韩旭东等^[5]对马鞍列岛东部鱼类群落格局的研究发现, 温度、盐度和深度只能在一定程度上解释群落格局差异的形成原因, 浮游植物丰度可能对鱼类群落格局产生一定的影响。回归系数显示小黄鱼幼鱼比例与环境因子无显著关系, 而陈渊弋等^[44]对东海小黄鱼鱼卵仔稚鱼时空分布的研究发现, 小黄鱼丰度分布与盐度极显著相关, 与水温透明度显著负相关。这可能与二者调查的时空尺度不同有关, 本研究调查范围远小于后者, 同一季节温差不超过 1.5 °C, 盐度差不超过 2.2, 浊度差最高出现在夏季, 因此岛礁复杂的生境结构所形成的综合效应很可能是小黄鱼幼鱼对此产生偏好的根本原因。本研究发现, 仅有岛礁内性成熟度比例与浊度呈显著的负相关性。Akin 等^[46-47]研究发现幼鱼趋向栖息在浑浊的水域, 以达到避敌的目的。马鞍列岛岛礁内浊度高于岛礁外, 岛礁内幼鱼比例高于

岛礁外, 而整个海域所捕获的渔获物以夏季幼鱼为主, 从而增强了岛礁内性成熟度比例与浊度之间的关系。同时本研究发现小黄鱼性成熟度比例与温度呈显著的负相关关系, 而一般来说, 温度越高, 小黄鱼性腺发育的越快^[33], 可能是本次小黄鱼样品中未发育的幼鱼占比较大影响了结果。

4 结论与展望

通过一系列的比较分析表明, 马鞍列岛东部海域是小黄鱼局域种群重要的分布区域, 而岛礁内部区域更成为小黄鱼幼鱼的良好栖息场所。小黄鱼的种群密度和生物学特征皆呈现出一定的季节变化和空间差异, 但差异并不显著。在区域尺度下, 岛礁内外的小黄鱼分布特征的显著差异主要发生在夏季, 这种差异并不受制于某一种环境因子, 但是否由岛礁内外生境格局的差别所引起, 还需进一步探索。本研究结果表明, 以小黄鱼为代表的洄游性经济鱼类资源的保护和利用上可以充分借鉴岛礁生境的综合效应, 并为当地海洋牧场的规划提供参考。对于大尺度洄游的小黄鱼而言, 应用单一环境因子难以有效解释小黄鱼所呈现出的这些差异, 这很可能与岛礁水域各种环境因子构筑的综合效应有关, 但具体如何评价仍需日后进一步深入探讨。对于马鞍列岛的复杂生境格局下小黄鱼局域种群的连续动态变化, 后续需结合生态模型量化研究。

上海海洋大学程晓鹏、郭禹、向晨、李朝文和肖云松等在现场采样和生物学实验环节做了大量工作, 谨致谢忱!

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 赵静, 梁金玲, 周曦杰, 等. 基于GAM模型的马鞍列岛海域优势甲壳类与环境因子的关系研究[J]. *南方水产科学*, 2017, 13(3): 26-35.
Zhao J, Liang J L, Zhou X J, et al. Research on relationship between dominant crustacean species and environmental factors based on GAM[J]. *South China Fisheries Science*, 2017, 13(3): 26-35 (in Chinese).
- [2] 汪振华. 多元生境中的鱼类群落格局: 以马鞍列岛为例 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.

- Wang Z H. Fish community patterns in meta-habitat: A case study from Ma'an Archipelago[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011 (in Chinese).
- [3] 李波. 关于中国海洋牧场建设的问题研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- Li B. A study on China's marine ranching construction[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012 (in Chinese).
- [4] 汪振华, 王凯, 赵静, 等. 贻贝养殖区底层鱼类群落结构特征分析[J]. *海洋科学*, 2015, 39(6): 21-31.
- Wang Z H, Wang K, Zhao J, *et al.* Study of benthic fish community structure in mussel farming habitat of Ma'an Archipelago[J]. *Marine Sciences*, 2015, 39(6): 21-31 (in Chinese).
- [5] 韩旭东, 章守宇, 汪振华, 等. 马鞍列岛及其东部海域鱼类群落格局与环境因子之间的关系[J]. *水产学报*, 2019, 43(6): 1483-1497.
- Han X D, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* Fish community structure and its relationship with environmental factors in the Ma'an Archipelago and its eastern waters[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(6): 1483-1497 (in Chinese).
- [6] 郭斌, 张波, 金显仕. 黄前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 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 (in Chinese).
- [7] 刘尊雷, 谢汉阳, 严利平, 等. 黄海南部和东海小黄鱼资源动态的比较[J]. *大连海洋大学学报*, 2013, 28(6): 627-632.
- Liu Z L, Xie H Y, Yan L P, *et al.* Comparative population dynamics of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in Southern Yellow Sea and East China Sea[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2013, 28(6): 627-632 (in Chinese).
- [8] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2017: 3 (in Chinese).
- [9] 农业部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2018: 3.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China Fishery Statistical Yearbook[J]. Beijing: China Agricultural Press, 2018: 3 (in Chinese).
- [10] 周永东, 徐汉祥, 潘国良, 等. 东海区鲳鱼、小黄鱼资源量及其持续渔获量的估算[J]. *浙江海洋大学学报(自然科学版)*, 2013, 32(1): 1-5.
- Zhou Y D, Xu H X, Pan G L, *et al.* Biomass Estimates and MSY of silvery pomfret, small yellow croaker calculated in the East China Sea[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2013, 32(1): 1-5 (in Chinese).
- [11] 李忠义, 戴芳群, 左涛, 等. 长江口及南黄海水域秋季小黄鱼与皮氏叫姑鱼的食物竞争[J]. *水生态学杂志*, 2009, 2(2): 67-72.
- Li Z Y, Dai F Q, Zuo T, *et al.* Studies on food competition between *Pseudosciaena polyactis* and *Johnius belengerii* from Changjian Estuary and Adjacent Southern Yellow Sea in Autumn[J]. *Journal of Hydroecology*, 2009, 2(2): 67-72 (in Chinese).
- [12] 王凯, 章守宇, 汪振华, 等. 马鞍列岛海域小黄鱼的食性[J]. *水生生物学报*, 2012, 36(6): 1188-1192.
- Wang K, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* Feeding habits of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* off Ma'an Archipelago[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, 36(6): 1188-1192 (in Chinese).
- [13] 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.
- 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 (in Chinese).
- [14] 陈红波. 基于遥感获得的环境要素与东黄海小黄鱼秋季索饵栖息指数分布研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
- Chen H B. Environmental factors in East Sea and the Yellow Sea based on remote sensing and HSI model of feeding migration of small yellow croaker[D]. Shanghai: China Water Resources Association sponsored by China Society of Fisheries

- Shanghai Ocean University, 2011 (in Chinese).
- [15] 孙琛, 王肇霖, 刘峰, 等. 小黄鱼4个地理群体形态差异分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2016, 35(3): 186-194,232.
- Sun C, Wang Z L, Liu F, *et al.* Analysis of morphological variation among four geographic populations of *Larimichthys polyactis*[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2016, 35(3): 186-194,232 (in Chinese).
- [16] 韩真, 肖永双, 高天翔. 中国近海9个小黄鱼群体的形态学比较研究[J]. 南方水产科学, 2012, 8(3): 25-33.
- Han Z, Xiao Y S, Gao T X. Comparison of morphological characteristics of 9 *Larimichthys polyactis* populations in China[J]. *South China Fisheries Science*, 2012, 8(3): 25-33 (in Chinese).
- [17] 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 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 (in Chinese).
- [18] 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 Y Y, Xue Y, Ma Q Y, *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 (in Chinese).
- [19] 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.
- 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 (in Chinese).
- [20] 刘文博, 刘鸿, 叶振江, 等. 黄海中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.
- 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 (in Chinese).
- [21] Kim J Y, Choi I S, Kim J I, *et al.* Factors affecting the wintering habitat of major fishery resources in southwestern Korean waters[J]. *Ocean Science Journal*, 2007, 42(1): 41-48.
- [22] Lim H K, Le M H, An C M, *et al.* Reproductive cycle of yellow croaker *Larimichthys polyactis* in southern waters off Korea[J]. *Fisheries Science*, 2010, 76(6): 971-980.
- [23] Froeschke B F, Stunz G W, Robillard M M R, *et al.* A modeling and field approach to identify essential fish habitat for juvenile bay whiff (*Citharichthys spilopterus*) and southern flounder (*Paralichthys lethostigma*) within the Aransas Bay Complex, TX[J]. *Estuaries and Coasts*, 2013, 36(5): 881-892.
- [24] Valavanis V D. Preface: European commission's 'scientific support to policies' action enviEFH: environmental approach to essential fish habitat designation[J]. *Hydrobiologia*, 2008, 612(1): 1-3.
- [25] Carvalho M L, Santiago S, Nunes M L. Assessment of the essential element and heavy metal content of edible fish muscle[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2005, 382(2): 426-432.
- [26] Shaffer J A, Beirne M, Ritchie T, *et al.* Erratum to: Fish habitat use response to anthropogenic induced changes of physical processes in the Elwha estuary, Washington, USA[J]. *Hydrobiologia*, 2013, 701(1): 323-324.
- [27] Saintilan N, Hossain K, Mazumder D. Linkages between seagrass, mangrove and saltmarsh as fish habitat in the Botany Bay estuary, New South Wales[J]. *Wetlands Ecology and Management*, 2007, 15(4): 277-286.
- [28] 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: 89-97.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. GB/T 12763.6-2007 Specifications for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: China Standard Press, 2008: 89-97 (in Chinese).
- [29] 蒋新花, 谢仰杰, 黄良敏, 等. 闽江口及附近海域和厦门沿岸海域软骨鱼类种类组成和数量的时空分布[J].

- 集美大学学报(自然科学版), 2010, 15(6): 406-413.
- Jiang X H, Xie Y J, Huang L M, *et al.* The distribution of species composition and quantity of cartilaginous fishes in Minjiang estuary and its neighboring waters and Xiamen coastal waters[J]. *Journal of Jimei University (Natural Science)*, 2010, 15(6): 406-413 (in Chinese).
- [30] 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 L P, Liu Z L, Zhang H, *et al.* On the evolution of biological characteristics and resources of small yellow croaker[J]. *Marine Fisheries*, 2014, 36(6): 481-488 (in Chinese).
- [31] 王凯, 章守宇, 汪振华, 等. 马鞍列岛海域皮氏叫姑鱼渔业生物学初步研究[J]. *水产学报*, 2012, 36(2): 228-237.
- Wang K, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* A preliminary study on fishery biology of *Johnius belangerii* off Ma'an Archipelago[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(2): 228-237 (in Chinese).
- [32] 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.
- Zhang Y L, Xu B D, Zhang C L, *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]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2019, 41(12): 78-89 (in Chinese).
- [33] 孙毅. 温度对小黄鱼早期生长发育和性别分化的影响[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2018.
- Sun Y. Effects of temperature on early growth and sex differentiation in little yellow croaker[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2018 (in Chinese).
- [34] 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 Z L, Chen J J. Analysis on migratory routine of *Larimichthys polyactis*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2009, 16(6): 931-940 (in Chinese).
- [35] 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 J J, Xu Z L, Chen X Z. 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 (in Chinese).
- [36] 章守宇, 梁君, 汪振华, 等. 浙江马鞍列岛海域潮间带底栖海藻分布特征[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(10): 2299-2307.
- Zhang S Y, Liang J, Wang Z H, *et al.* Distribution characteristics of benthic algae in intertidal zone of Ma'an Archipelago of Zhejiang Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(10): 2299-2307 (in Chinese).
- [37] 尹增强, 章守宇, 汪振华, 等. 浙江嵊泗人工鱼礁区小黄鱼生长特征与资源合理利用的初步研究[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(3): 588-594.
- Yin Z Q, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* Growth variation and rational utilization of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in artificial reef areas of Shengsi, Zhejiang Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(3): 588-594 (in Chinese).
- [38] 汪振华, 钟佳明, 章守宇, 等. 褐菖鲉幼鱼对贻贝养殖生境的利用规律初探[J]. *水产学报*, 2019, 43(9): 1900-1913.
- Wang Z H, Zhong J M, Zhang S Y, *et al.* Habitat use of juvenile rockfish (*Sebastes marmoratus*) in mussel farming waters: A preliminary study[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(9): 1900-1913 (in Chinese).
- [39] 章守宇, 刘书荣, 周曦杰, 等. 大型海藻生境的生态功能及其在海洋牧场应用中的探讨[J]. *水产学报*, 2019, 43(9): 2004-2014.
- Zhang S Y, Liu S R, Zhou X J, *et al.* Ecological function of seaweed-formed habitat and discussion of its application to sea ranching[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(9): 2004-2014 (in Chinese).
- [40] 印瑞, 蒋日进, 毕远新, 等. 马鞍列岛人工鱼礁区鱼卵与仔稚鱼的群落结构[J]. *水产学报*, 2019, 43(9): 1937-1951.
- Yin R, Jiang R J, Bi Y X, *et al.* Community structure of fish eggs and larvae in artificial reef area of Ma'an Archipelago[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(9): 1937-1951 (in Chinese).
- [41] 陈勇, 于长清, 张国胜, 等. 人工鱼礁的环境功能与集鱼效果[J]. *大连水产学院学报*, 2002, 17(1): 64-69.
- Chen Y, Yu C Q, Zhang G S, *et al.* The environmental function and fish gather effect of artificial reefs[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2002, 17(1): 64-69 (in Chinese).
- [42] 蒋日进. 枸杞岛近岸海域食物网结构研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- Jiang R J. Research on the food web structure in the

- coastal areas of Gouqi island[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015 (in Chinese).
- [43] 张迎秋, 钱薇薇, 李文龙. 2004和2007年春季长江口近海鱼类群落特征及其与环境因子的关系[J]. 中国海洋大学学报, 2013, 43(9): 67-74.
- Zhang Y Q, Xian W W, Li W L. Fish assemblage structure in adjacent sea of Changjiang estuary in spring of 2004 and 2007 and its association with environmental Factors[J]. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(9): 67-74 (in Chinese).
- [44] 陈渊戈, 钟俊生, 徐兆礼, 等. 春季东海有害藻华高发区仔稚鱼时空分布[J]. 海洋学报, 2015, 37(2): 44-54.
- Chen Y G, Zhong J S, Xu Z L, *et al.* Spatio-temporal distribution of larval and juvenile fishes at frequent harmful algal blooms (HABs) areas of the East China Sea in spring[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2015, 37(2): 44-54 (in Chinese).
- [45] 陈红波, 李继龙, 杨文波, 等. 东黄海小黄鱼秋季索饵环境栖息指数的研究[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(4): 348-351.
- Chen H B, Li J L, Yang W B, *et al.* The habitat suitability index of feeding migration stock of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* in the East Sea and the Yellow Sea[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2011, 26(4): 348-351 (in Chinese).
- [46] Akin S, Buhan E, Winemiller K O, *et al.* Fish assemblage structure of Koycegiz Lagoon-Estuary, Turkey: Spatial and temporal distribution patterns in relation to environmental variation[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2005, 64(4): 671-684.
- [47] Abrahams M V, Kattenfeld M G. The role of turbidity as a constraint on predator-prey interactions in aquatic environments[J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 1997, 40(3): 169-174.

Spatial and temporal distribution of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in Eastern Ma'an Archipelago

WANG Zhenhua, SHEN Hui, LIN Jun*, ZHANG Shouyu,
ZHONG Jiaming, CHEN Yifan, LIU Zhangbin

(College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Fish tends to use different habitats in different life cycle stages. A comprehensive understanding of habitat selection strategy by fish plays key roles in polulation protection, utilization, target species selection as well as on stock enhancement in marine ranching programs. Based on the bottom trawl survey in summer (August, 2016), autumn(December, 2016), winter (March, 2017) and spring (May, 2017) in Eastern Ma'an Archipelago, we examined 3496 *Larimichthys polyactis* individuals collected from 19 sites. Biological characteristics of small yellow croaker, including age structure, sex ratio, sexual maturity and the food composition were statistically analyzed using indices such as resource density, relative importance index and GIS spatial analysis. Regression analysis was performed to reveal the relationship between the biological parameters and environmental factors. Our results showed that the population of small yellow croaker in the Eastern Ma'an Archipelago expressed a strong seasonal variation and spatial difference:the population density of small yellow croaker was the highest in summer. There was a higher population density in the areas adjacent to islands than that in the areas off islands. In terms of age structure, 1-year-old small yellow croaker dominated almost all seasons except for summer, when 0-year-old small yellow croaker accounted for 75.7% of the total. Contrary to spring and autumn, the preys richness for small yellow croaker in areas adjacent to islands was significantly higher than that in areas off islands in summer. Regression analysis indicated that the primary productivity in the areas off islands was the most significant factor($p < 0.05$). Correlation analysis revealed that higher abundance of phytoplankton contributed to higher population density of small yellow croaker. However no such significant correlation was tested in the areas adjacent to islands. The research revealed that in Eastern Ma'an Archipelago, large scale of reefs and artificial habitats, provide suitable habitats for small yellow croaker as feeding, breeding and sheltering ground. Small yellow croaker in the areas adjacent to islands didn't show obvious preference for specific environmental factors except for the food factor, but showed a certain preference for the habitats constituted by various environmental factors in the areas adjacent to rocky islands.

Key words: *Larimichthys polyactis*; distribution patterns; spatial analysis; Ma'an Archipelago

Corresponding author: LIN Jun. E-mail: jlin@shou.edu.cn

Funding projects: National Key R&D Program of China (2018YFD0900905); National Key R&D Program of China (2019YFD0901303); Special fund for science and technology development of Shanghai Ocean University (A2-2006-20-200212)