文章编号: 1004-2490(2021)02-0168-08

健跳港上游湾区牡蛎潮间带 分带格局和资源补充研究

陈丽芝¹,姜 伟^{2,3},施文静^{2,3},祁拥华¹, 叶春宇⁴,范瑞良²,李楠楠²,全为民²

(1. 三门县水产技术推广站,浙江三门 317100; 2. 中国水产科学研究院东海水产研究所,农业农村部东海渔业资源开发利用重点实验室,上海 200090; 3. 上海海洋大学水产与生命学院,上海 201306; 4. 三门县农业农村局,浙江三门 317100)

摘 要:为了解牡蛎在潮间带的生态特性及资源分布情况,调查了浙江三门健跳港上游湾区牡蛎潮间带分带格局,并检验附苗器类型和地点对牡蛎资源补充的影响。结果显示:潮间带定量调查共记录到3种牡蛎,即熊本牡蛎(Crassostrea sikamea)、近江牡蛎(C. ariakensis)和香港牡蛎(C. hongkongensis),首次在浙江海域记录到香港牡蛎的自然分布。熊本牡蛎在调查的5个潮区(1.4 m、2.2 m、3.0 m、3.8 m、4.6 m)均有分布,其平均密度沿增加的高程梯度呈现上升趋势,其中4.6 m潮区熊本牡蛎密度显著高于1.4 m和2.2 m潮区(P<0.05)。近江牡蛎和香港牡蛎仅分布于最底层的1.4 m和2.2 m潮区。牡蛎资源补充实验结果表明,该湾区具有很高的熊本牡蛎资源补充量,采苗地点(P<0.05)和附苗器类型(P<0.05)均显著影响牡蛎苗的密度和壳高,总体上水泥片的附苗效果要好于塑胶轮胎,上游 S1 点附苗效果优于下游 S2 点,推荐上游 S1 点作为熊本牡蛎附苗场。

关键词:近江牡蛎;熊本牡蛎;香港牡蛎;牡蛎礁;补充;密度;贝类中图分类号:S931 文献标志码:A

牡蛎是中国乃至全球产量最高的贝类,广泛分布于亚热带和温带的潮间带和潮下带浅水区。除了经济价值外,牡蛎也是重要的海岸带"生态系统工程师(ecosystem engineer)"之一,具有净化水体、营造生境、防护岸线、固碳等生态系统服务功能^[1-3]。牡蛎的生活史分为浮游幼体阶段和底栖固着阶段,成年牡蛎释放的卵子完成受精孵化后,经过14~20 d 左右的浮游生活发育到具足面盘幼体阶段时,就选择硬底物附着开始营固着生活^[4-6]。

健跳港是浙江中部三门湾内的一条狭长而 弯曲的内港,是典型的海湾型淤泥质潮汐汊道, 上游开阔、下游窄深,整个港域地形呈壶形,全长 约17 km,总面积16.7 km²,其中水域面积8.7 km²^[7]。健跳港的上游湾区水质较好、初级生产力较高、贝类资源丰富,是三门县牡蛎、菲律宾蛤仔(Ruditapes philippinarum)和缢蛏(Sinonovacula constricta)的重要增养殖基地和采苗场。该湾尤以盛产"铁强牡蛎"(生物学名为熊本牡蛎Crassostrea sikamea)和近江牡蛎(C. ariakensis)而闻名,被三门县列为牡蛎种质资源保护基地。但近几十年来,由于流域开发和过度采捕等多重干扰,健跳港上游湾区牡蛎的栖息生境减少、资源量下降、种群衰退,影响了当地牡蛎种质保护与利用。

为掌握当地牡蛎资源分布状况,本研究采用

收稿日期: 2020 - 12 - 01

基金项目: 国家重点研发计划(2020YFD0900805)

作者简介: 陈丽芝(1983—),女,高级工程师,从事贝类资源增殖技术研究。E-mail: 80079745@qq.com

通信作者: 全为民,研究员。E-mail:quanweim@163.com

定量方法调查健跳港上游湾区牡蛎沿潮间带高程梯度的垂直分带(zonation)格局、并运用野外生态实验检验附苗器类型和采苗地点对牡蛎资源补充的影响,推荐适宜的附苗器类型和采苗地点,以期对阐明牡蛎的生物生态特性以及资源保护利用提供指导。

1 材料与方法

1.1 研究地点

研究地点位于浙江省三门县健跳港的上游湾区(图1)。湾内潮汐特征为非正规半日潮、潮性系数为0.28,春季平均潮差为4.11 m,夏季平均潮差达4.36 m,平均涨潮历时大于平均落潮历时,历时差在15 min 以内[7]。湾内海水水温介于 $5.2 \sim 30.1$ %,盐度介于 $3.5 \sim 15.1$ 。

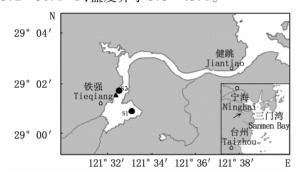


图 1 健跳港实验地点

Fig. 1 Experimental sites in Jiantiao Bay

注:▲:牡蛎潮间带分带采样点,●:牡蛎补充实验地点 Note: ▲: sampling site for intertidal zonation of oysters, ●: experimental sites for oyster recruitment

牡蛎潮间带分带调查采样地点位于上游湾区北侧、紧邻六横线的人工岩相海岸(图1),该处为利用天然大岩石护岸形成的陡峭石堤,4.6 m潮区(基准为健跳港潮位站0 m潮位)以下至水边线均有高密度的牡蛎分布,为研究牡蛎潮间带分带提供了良好的场所。牡蛎资源补充实验共设置2个实验点,S1点位于上游湾区东侧的滩涂潮沟内,S2位于上游湾区北侧的米草滩涂边缘,2个采苗点处于同样的潮区(图1)。

1.2 牡蛎潮间带分带调查

2020年10月17日14:00—17:00(大潮汛期低潮时段)进行潮间带牡蛎定量采样,沿该处岩相岸线由南至北平行设置3条断面,相邻断面间相距不小于20m;基于牡蛎分布的潮区范围(1.4~4.6m),沿降低的高程梯度在每条断面上按

0.8 m间隔设置 5 个潮区,分别标记为 4.6 m(牡蛎聚集分布的上界)、3.8 m、3.0 m、2.2 m 和 1.4 m(水边线处),每个潮区采集 1 个 15 cm×15 cm 样方内的所有活体牡蛎,装于密封袋内带回实验室分析。

室内分析每个样品中活体牡蛎的种类、数量 和大小。采用形态和分子生物学方法鉴定牡蛎 种类[6,8-9],大部分熊本牡蛎可以根据外壳形态 确定其种类,对于部分外壳形态特征较模糊的牡 蛎样本,采用线粒体 16S rDNA 基因序列分析确 定其种类。采集牡蛎闭壳肌 100 mg 于 1.5 mL 离 心管中,置于-80 ℃保存备用;使用海洋动物组 织基因组 DNA 提取试剂盒(天根)提取牡蛎基因 组 DNA. 参照 PALUMBI 等^[10]设计的引物(16Sar. 5'-CGCCTGTTTATCAAAAACAT-3', 16Sbr: 5'-CCGGTCTGAACTCAGATCACGT-3'), 以基因组 DNA 为模板,扩增牡蛎 16S rDNA 片段;PCR 扩增 产物用含 EB 的 1% 琼脂糖凝胶电泳检测,经凝胶 成像系统拍照记录;PCR产物经纯化后送至上海 生工生物工程有限公司进行测序;测序结果在 NCBI 数据库中进行同源序列比对,确定牡蛎物 种。牡蛎密度(个・ m^{-2})表示为每 1 m^2 内牡蛎 的数量。使用游标卡尺测量每个牡蛎样品的壳 高(mm),精确至0.1 mm。

1.3 牡蛎资源补充量监测实验

本实验于 2020 年 8 月 2 日—10 月 17 日期间开展。采用双因子随机区组设计,2 个自变量为采苗地点(S1 和 S2)和附苗器类型(水泥片和塑胶轮胎)。水泥片规格为 10 cm × 10 cm × 1 cm,由混凝土制作而成;塑胶轮胎由旧自行车轮胎切割制作成的圆环状附苗器(内径 40 cm,外径 30 cm)。2020 年 8 月 2 日在每个采苗点的人工附苗筏架上吊挂 12 个水泥片和 3 个塑胶轮胎,相邻附苗器间相距不小于 5 m,且使所有附苗器处于相同潮区。2020 年 10 月 17 日回收实验附苗器,室内统计每个附苗器上活体牡蛎数量;在每个采苗点,每种附苗器上随机挑取 30 个牡蛎苗,利用分子生物学方法鉴定牡蛎种类,使用游标卡尺随机测量不少于 40 个牡蛎苗的壳高(mm)。

1.4 数据处理

牡蛎密度和壳高数据经 $\lg(x+1)$ 转换后,进行正态(normality test)和齐差性(equal variance test)检验。如通过检验,采用一维方差分析(one-

way ANOVA) 检验每种牡蛎密度沿高程梯度的垂直变化,运用 Duncan 多重比较对 5 个潮区间的差异进行检验($\alpha=0.05$);对于多种牡蛎共存的潮区,采用一维方差分析检验牡蛎种类间密度的差异($\alpha=0.05$);如未通过检验,则采用一维排序方差分析(one-way ANOVA on rank)进行统计分析。采用两维方差分析(two-way ANOVA)检验采苗地点和附苗器类型对牡蛎苗密度和壳高的影响,再运用 Duncan 多重比较进行显著性检验($\alpha=0.05$)。所有数据分析均采用 Sigmaplot 10.0 软件计算。

2 结果与分析

2.1 牡蛎的潮间带分带格局

潮间带定量调查共记录到 3 种牡蛎,即熊本牡蛎、近 江 牡 蛎 和 香 港 牡 蛎 (Crassostrea hongkongensis) (图 2)。其中,熊本牡蛎在调查的5 个潮区均有分布,近江牡蛎和香港牡蛎仅分布于最底层的 1.4 m 和 2.2 m 潮区(图 3)。

熊本牡蛎平均密度沿增加的高程梯度呈现 上升趋势(图 3-A);一维方差分析结果显示,熊本 牡蛎密度在不同潮区间具有显著性差异(图 3-A, $F_{4,10}=3.561$,P=0.047)。其中 $4.6\,\mathrm{m}$ 潮区熊本牡蛎平均密度最大[$(1\,689\pm603)\,$ 个·m⁻²],显著高于 $1.4\,\mathrm{m}[(163\pm141)\,$ 个·m⁻²]和 $2.2\,\mathrm{m}[533\pm136)\,$ 个·m⁻²]潮区(P<0.05),而在后 $2\,$ 个潮区间熊本牡蛎密度没有显著性差异(P>0.05); $3.0\,\mathrm{m}[(1\,230\pm189\,$ 个·m⁻²]和 $3.8\,\mathrm{m}[(1\,600\pm438)\,$ 个·m⁻²]潮区的熊本牡蛎密度介于中间,与其他 $3\,$ 个潮区之间均没有显著性差异(P>0.05)。

在 2.2 m 潮区,3 种牡蛎密度的大小顺序为: 熊本牡蛎 > 近江牡蛎 = 香港牡蛎(图 3),且熊本 牡蛎密度显著高于其他 2 种牡蛎的总密度(P < 0.05),表明该潮区仍然以熊本牡蛎为优势种;在 1.4 m 潮区,熊本牡蛎与其他 2 种牡蛎的总密度 之间没有显著性差异(P > 0.05),表明在 1.4 m 潮区 3 种牡蛎共存(图 3)。

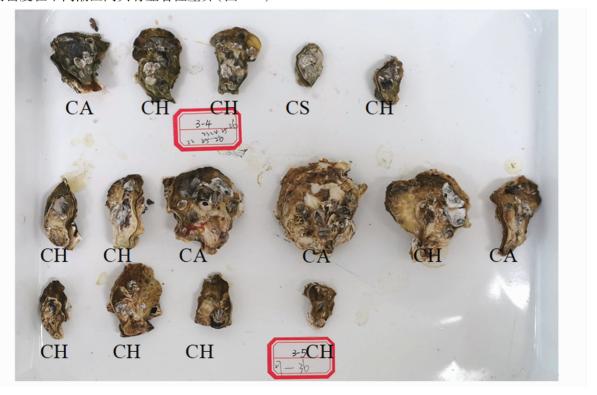


图 2 熊本牡蛎(CS)、近江牡蛎(CA)和香港牡蛎(CH)的原色图

Fig. 2 Color images of Crassostrea sikamea (CS), C. ariakensis (CA) and C. hongkongensis (CH)

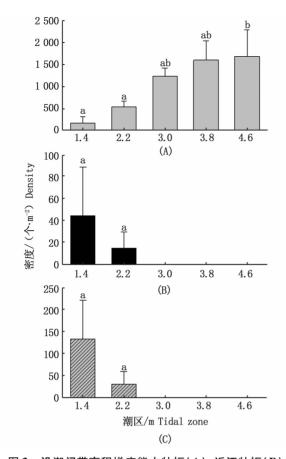


图 3 沿潮间带高程梯度熊本牡蛎(A)、近江牡蛎(B) 和香港牡蛎(C)密度(平均值 ±标准误)的变化 Fig. 3 Changes in densities (mean ± SE) of Crasssostrea sikamea (A), C. ariakensis (B) and C. hongkongensis (C) along the tidal elevation gradient 注:不同小写字母表示同种不同潮区梯度间有显著性差异 Note: Different lowercase letters indicate significant differences in different tidal elevation gradients of the same species

一维排序方差分析结果显示,牡蛎壳高在各潮区间没有显著性差异(图4,P=0.172)。

2.2 牡蛎资源补充量的变化

在2个实验点附着的牡蛎苗均为熊本牡蛎, 并未检测到近江牡蛎和香港牡蛎。

二维方差分析结果显示,采苗地点($F_{1,26}$ = 52.285, P < 0.001)和附苗器类型($F_{1,26}$ = 10.658, P = 0.003)均显著影响牡蛎苗密度,2因子之间存在互作效应($F_{1,26}$ = 76.673, P < 0.001)。在S1采苗点,2种附苗器间牡蛎苗密度没有差异(图5,q = 1.526, P > 0.05);在S2采苗点,牡蛎苗密度大小顺序为:水泥片>塑胶轮胎(图5,q = 15.987, P < 0.05)。在2个采苗点间水泥片上牡蛎苗密度的大小顺序为:S1 < S2(图5-A,P < 0.05);而塑胶轮胎上牡蛎苗密度的大小顺序为:S1 > S2(图5-B,P < 0.05)。

二维方差分析结果显示,采苗地点($F_{1,186}$ = 29.568, P < 0.001) 和附苗器类型($F_{1,186}$ = 125.082, P < 0.001) 均显著影响着牡蛎苗壳高,2因子之间没有互作效应($F_{1,186}$ = 3.103, P = 0.080)。在每个采苗点,牡蛎苗平均壳高的大小顺序均为:水泥片>塑胶轮胎(图 6,S1:q = 6.996, P < 0.05; S2:q = 3.789, P < 0.05)。2个采苗点间每种附苗器上牡蛎苗平均壳高的大小顺序均为:S1>S2(图 6, P < 0.05)。

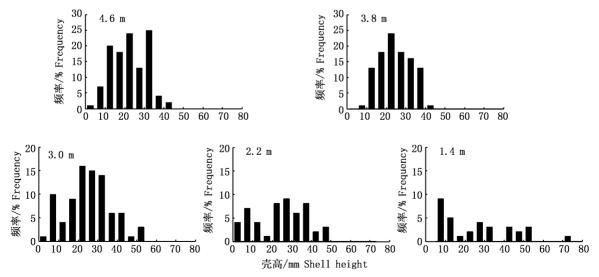


图 4 沿潮间带高程梯度牡蛎壳高(SH)的频率分布

Fig. 4 Frequency distribution in shell height (SH) of oysters along the tidal elevation gradient

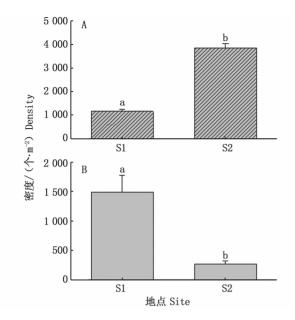


图 5 2 个采苗点中水泥片(A)和塑胶轮胎(B) 上牡蛎苗密度(平均值±标准误)的比较

Fig. 5 Comparison in mean densities (mean ± SE) of oyster spats settled on the concrete tiles (A) and plastic rings (B) at two experimental sites

注:不同小写字母表示不同采苗点间有显著性差异
Note: Different lowercase letters indicate significant differences between two experimental sites

3 讨论

3.1 牡蛎物种多样性

中国沿海牡蛎种类繁多,且由于牡蛎表型变 化大,导致牡蛎物种鉴定及系统分类十分困 难[11-12]。现代分子生物学技术的发展为牡蛎物 种鉴定提供了可靠的方法途径[11-12]。本研究从 健跳港上游湾区潮间带定量采样中鉴定出熊本 牡蛎、近江牡蛎和香港牡蛎,再加上定性采样中 发现的福建牡蛎(C. angulata)^①,可以确定该湾 区分布有4种牡蛎,在浙江和福建两省常见的4 种巨蛎属(Crassostrea)牡蛎在该湾内均有发 现[13-14]。近江牡蛎在浙江沿海虽有分布记录, 但采集到的样本有限,且缺乏较大种群分布的记 载。本研究首次发现近江牡蛎在三门县健跳港 上游湾区集中分布,是当地传统牡蛎石条养殖的 主要种类之一,表明该湾区近江牡蛎的种质资源 状况较好。但近几十年来,上游建库引水等流域 开发活动使健跳港上游湾区潮间带牡蛎栖息地淤

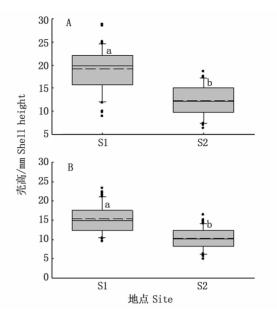


图 6 2 个采苗点中水泥片(A)和塑胶轮胎(B) 上牡蛎苗壳高(SH)的箱形图

Fig. 6 Box plots of shell height (SH) of oyster spats settled on the concrete tiles (a) and plastic rings (b) at two experimental sites

注:实线和虚线分别代表壳高的中值和平均值,不同小写字母表示不同采苗点间有显著性差异,黑点表示异常值Note:The solid line and short-dash line represent the median and mean shell height respectively. Different lowercase letters indicate significant differences between two experimental sites. The black circle represents outlier points

积严重,适合牡蛎附着生长的栖息地面积减少、栖息地质量下降;另外过度采捕等行为若不加以规范可能会进一步加剧健跳港上游湾区牡蛎资源量下降和种群衰退,因此关于牡蛎种质资源保护的研究亟待加强。

香港牡蛎广泛分布于广东、广西及海南沿海低潮线至 10 m 水深的浅海,前期研究显示其最北分布区位于福建九龙江口的海门岛和白礁^[14]。本研究首次在浙江海域发现了香港牡蛎的自然分布,是该种目前在我国分布的最北记录。近年来,"生蚝"(学名为香港牡蛎)养殖在健跳港发展迅速,从南方移植而来的香港牡蛎苗在健跳港内养殖育肥后即可自然繁育,进而在湾内潮间带定殖建群,形成当地种群。香港牡蛎生长速率快、比本地的近江牡蛎更能耐受低盐胁迫,具有更强的竞争优势,且与近江牡蛎占据相同的潮区;因

①本实验室未发表数据。

此,香港牡蛎的快速扩散可能会排挤近江牡蛎的 空间生态位,导致本地近江牡蛎种质资源退化, 今后应进一步研究评估香港牡蛎入侵对本地牡 蛎资源的影响。

3.2 牡蛎垂直分带格局

在潮间带生境中物种的垂直分带是很常见 的现象[15-17]。生物效应(如竞争、捕食)和物理 条件(空气暴露、失水和温度)是调控牡蛎、藤壶、 贻贝等固着型海洋无脊椎动物潮间带分带格局 的关键因子[18-20]。空气暴露通常决定着牡蛎垂 直分布的上限(upper limit),而生物作用(如竞争 和捕食)通常调控牡蛎垂直分布的下限(lower limit)。已有研究表明^[6,21],熊本牡蛎和近江牡蛎 具有明显的潮间带分带格局,总体上近江牡蛎分 布于低潮区,而熊本牡蛎占据中潮区。WANG 等[6] 首次揭示了两种牡蛎分布的最适潮区和潮 间带分带边界,即平均56%和42%空气暴露潮区 分别代表熊本牡蛎生长的最适潮区和分布下限, 42% 空气暴露是两种牡蛎分布的边界,并从生理 生态上证明了熊本牡蛎比近江牡蛎具有更强的 耐干能力。本研究结果进一步验证了上述结论, 发现熊本牡蛎、近江牡蛎和香港牡蛎具有明显的 潮间带分带格局,即近江牡蛎和香港牡蛎仅分布 于最底层的两个潮区(2.2 m 和 1.4 m),且这 2 种牡蛎的平均密度随着高程降低而逐步增加,它 们的潮间带分布上限均为 2.2 m 潮区;熊本牡蛎 最高密度出现于4.6 m 潮区, 目随着高程降低其 密度逐步下降,表明一定程度的空气暴露有利于 熊本牡蛎种群发育。

3.3 牡蛎资源补充的影响因素

牡蛎采苗场一般位于其产卵场上游,然而这种水平输送过程通常与牡蛎的行为、水动力条件、海底地形等因素有关,不同种类或地点间牡蛎空间分布格局差异较大^[3,22]。本研究发现,水泥片上牡蛎附苗量表现为:下游采苗点(S2)附苗量显著高于上游采苗点(S1),而塑胶轮胎上牡蛎附苗量却呈现相反结果,这可能与投放的牡蛎附苗器数量和附苗器周围局部流场有关,另外过于分散的牡蛎产卵场也可能导致地点间附苗量没有一致的规律。但总体上,上游采苗点牡蛎苗壳高显著大于下游采苗点,表明上游牡蛎苗的生长速率高于下游,因此本研究认为上游 S1 点是较适宜的熊本牡蛎采苗场。

底物(substrate)的化学元素组成显著影响着牡蛎幼虫的附着及变态发育,特别是底物中的钙元素是牡蛎幼虫附着的主要诱因之一,通常自然含钙底物(石灰石、贻贝壳、蛤蜊壳和石膏)附苗效果优于其他底物(如砂石、轮胎、玻璃纤维和不锈钢等)^[5,23]。本研究发现,上游采苗点中2种附苗器上牡蛎苗密度没有差异,但在下游采苗点中水泥片牡蛎苗密度显著高于塑胶轮胎,且在2个采苗点中水泥片上牡蛎苗的壳高均大于塑胶轮胎,表明水泥片总体附苗效果优于塑胶轮胎;另外从环境友好角度考虑,应优先推广使用水泥片附苗器。

参考文献:

- [1] 全为民,张锦平,平仙隐,等. 巨牡蛎对长江口环境的净化功能及其生态服务价值[J]. 应用生态学报,2007,18(4):871-876.
 QUAN W M, ZHANG J P, PING X Y, et al.
 Purification function and ecological service value of Crassostrea sp. in Yangtze River Estuary [J].
 Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(4):871-876.
- [2] QUAN W M, FAN R L, WANG Y L, et al. Long-term oyster recruitment and growth are not influenced by substrate type in China: Implications for sustainable oyster reef restoration [J]. Journal of Shellfish Research, 2017, 36(1): 79 86.
- [3] WANG T N, FAN R L, CHENG Q Q, et al.
 Intertidal zonation of the Suminoe oyster Crassostrea
 ariakensis and the Kumamoto oyster Crassostrea
 sikamea on the coast of the northern East China Sea
 [J]. Journal of Shellfish Research, 2020, 39(1):
 31-41.
- [4] DEKSHENIEKS M M, HOFMANN E E, KLINCK J M, et al. Modeling the vertical distribution of oyster larvae in response to environmental conditions [J]. Marine Ecology Progress Series, 1996 (136): 97 110.
- [5] ROEGNER G C. Transport of molluscan larvae through a shallow estuary [J]. Journal of Plankton Research, 2000, 22(9): 1779 1800.
- [6] 姜 伟, 王桃妮, 陈 帅, 等. 象山港熊本牡蛎 幼体分布、附着及生长的空间格局[J]. 应用生态 学报, 2020, 31(3): 1008 1014.

 JIANG W, WANG T N, CHEN S, et al. Spatial pattern in larval distribution, settlement and growth

of Crassostrea sikamea in Xiangshan Bay, Zhejiang Province, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(3): 1008 - 1014.

唐子文,黄世昌.健跳港上游引水对海床冲淤影

响的数值模拟分析[J]. 海洋学研究, 2007, 25 (1): 23-33.TANG Z W., HUANG S C. Impacts on bed evolution by mathematic model due to diversion works

[7]

- upstream of Jiangtiao Channel [J]. Journal of Marine Sciences, 2007, 25(1): 23 - 33.
- QUAN W M, FAN R L, LI N N, et al. Seasonal [8] and temporal changes in the Kumamoto oyster Crassostrea sikamea population and associated benthic macrofaunal communities at an intertidal oyster reef in China [J]. Journal of Shellfish Research, 2020, 39(2): 207 - 214.
- [9] 王桃妮. 近江牡蛎和熊本牡蛎的垂直分带格局及 驱动机制[D].上海:上海海洋大学,2019. WANG T N. Vertical zonation pattern of Crassostrea ariakensis and C. sikameaand driving mechanisms [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [10] PALUMBI S R, MARTIN A, ROMANO S, et al. The simple fool's guide to PCR [M]. Honolulu: University of Hawaii Press, 1991.
- 阙华勇,刘 晓,王海艳,等. 中国近海牡蛎系统 $\lceil 11 \rceil$ 分类研究的现状和对策[J]. 动物学杂志, 2003, 38(4):110-113.QUE HY, LIU X, WANG HY, et al. Systematics of oysters along the coast of China: Status and countermeasures [J]. Chinese Journal of Zoology, 2003, 38(4):110-113.
- [12] 王海艳,郭希明,刘 晓,等. 中国近海"近江牡 蛎"的分类和订名[J]. 海洋科学, 2007, 31(9): 85 - 86. WANG H Y, GUO X M, LIU X, et al.
 - Classification of "Jinjiang" oysters in China [J]. Marine Sciences, 2007, 31(9): 85-86.
- [13] 王航俊, 吕宝强, 黄 丹, 等. 基于 DNA 条形码 研究浙江沿海牡蛎的种类多样性及其分布特征 [J]. 应用海洋学学报, 2019, 38(3): 365-372. WANG H J, LYU B Q, HUANG D, et al. Species diversity and distribution of oysters in coastal Zhejiang based on DNA barcoding [J]. Journal of Applied Oceanography, 2019, 38(3): 365 - 372.
- [14] 玄,郭希明,钱鲁闽. 福建沿海巨蛎属牡蛎 的主要种类及其分布[J]. 台湾海峡, 2009, 28 (3): 399 - 404.

- DU X, GUO X M, QIAN L M. Distribution of Crassostrea ovsters in coastal sea of Fujian [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2009, 28 (3): 399 - 404.
- [15] HELMUTH B, HARLEY C D G, HALPIN P, et al. Climate change and latitudinal patterns of intertidal thermal stress [J]. Science, 2002 (298): 1015 -1017.
- HELMUTH B, HOFMANN G E. Microhabitats, [16] thermal heterogeneity and physiological gradients of stress in the rocky intertidal zone [J]. Biological Bulletins, 2001, 201(3): 374 - 384.
- [17] STICKLE W B, CARRINGTON E, HAYFORD H. Seasonal changes in the thermal regime and gastropod tolerance to temperature and desiccation stress in the rocky intertidal zone [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2017, 488(1):83-91.
- [18] BISHOP M J, PETERSON C H. Direct effects of physical stress can be counteracted by indirect benefits: Oyster growth on a tidal elevation gradient [J]. Oecologia, 2006, 147(3): 426 - 433.
- [19] MCAFEE D, BISHOP M J, YU T N, et al. Structural traits dictate abiotic stress amelioration by intertidal oysters [J]. Functional Ecology, 2018, 32 (12): 2666 - 2677.
- [20] RIDGE J T, RODRIGUEZ A B, FODRIE F, et al. 2015. Maximizing oyster-reef growth supports green infrastructure with accelerating sea-level rise [J]. Scientific Reports, 2015(5): 14785.
- [21] QUAN W M, ZHU J X, NI Y, et al. Faunal intertidal of constructed utilization oyster (Crassostrea rivularis) reef in the Yangtze River Estuary, China[J]. Ecological Engineering, 2009, 35(10): 1466 - 1475.
- [22] 钟方杰, 黄黎明, 杨 芳, 等. 钦州茅尾海沙井采 苗区牡蛎幼体数量变动的调查分析[J]. 南方农 业学报, 2013, 44(7): 1205-1209. ZHONG F J, HUANG L M, YANG F, et al. Quantity dynamic of oyster larvae in Shajing, Maowei Sea of Qinzhou Gulf [J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(7): 1205 - 1209.
- [23] 范瑞良,李楠楠,王桃妮,等. 底物大小对牡蛎幼 虫附着的诱导效应[J]. 海洋渔业,2020,42(3): 315 - 323. FAN R L, LI N N, WANG T N, et al. Effects of
 - substrate size on the settlement of oyster larvae: Evidence from laboratory and field experiments [J].

Marine Fisheries, 2020, 42(3): 315 - 323.

Intertidal zonation and recruitment of oysters in the upstream of Jiantiao Bay, Sanmen County, Zhejiang Province

CHEN Lizhi¹, JIANG Wei^{2,3}, SHI Wenjing^{2,3}, QI Yonghua¹, YE Chunyu⁴, FAN Ruiliang², LI Nannan², QUAN Weimin²

- (1. Demonstration Center for Aquaculture Technique of Sanmen County, Sanmen Zhejiang 317100, China;
 - $2. \ \textit{Key Laboratory of East China Sea Fishery Resources Exploitation}, \ \textit{Ministry of Agriculture and Rural}$

Affairs, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

3. College of Fishery and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Sanmen County, Sanmen Zhejiang 317100, China)

Abstract: This study aims to explore the intertidal zonation pattern of oysters and examine the effect of breeding site and spat collector on oyster recruitment in the upstream of Jiantiao Bay, which is essential to understand the biology, ecology and resource conservation of oysters. The quantitative field observations identified Kumamoto oyster *Crassostrea sikamea*, Sumonie oyster *C. ariakensis* and Hongkong oyster *C. hongkongensis* by using the morphological and molecular methods. *C. hongkongensis* was first recorded on the coast of Zhejiang Province. *Crassostrea sikamea* was present at all five tidal zones (1.4 m, 2.2 m, 3.0 m, 3.8 m, 4.6 m above the standard level in Jiantao Bay hydraulic station), and its densities gradually declined along a decreasing tidal elevation gradient. The densities of *C. sikamea* were the highest at the 4.6 m tidal zone and were significantly greater than those at the 1.4 m and 2.2 m tidal zones (P < 0.05). *Crassostrea ariakensis* and *C. hongkongensis* were only present at the deepest two tidal zones (1.4 m and 2.2 m). Results from the oyster recruitment experiments indicated that both recruitment site and spat collector significantly affected the densities and shell height of oyster spat. There were high oyster recruitment in the Jiantiao Bay. The study conlcuded that concrete tiles were better spat collector than plastic ring. In general, the upstream site (S1) should be recommended as the suitable breeding ground for *C. sikamea*.

Keywords: Crassostrea sikamea; C. ariakensis; C. hongkongensis; oyster reef; recruitment; density; shellfish