

文章编号: 1000-0615(2019)09-1900-14

DOI: 10.11964/jfc.20190611831

## 褐菖鲉幼鱼对贻贝养殖生境的利用规律初探

汪振华, 钟佳明, 章守宇\*, 王凯, 林军, 张健, 沈慧

(上海海洋大学海洋生态与环境学院, 上海 201306)

**摘要:** 嵊泗海域规模庞大的贻贝养殖生境发挥着养护幼鱼的海洋牧场功能, 而探查当地趋礁鱼类在幼体阶段对该生境的利用规律可为当地海洋牧场的设计提供重要参考, 为此2018年5—7月对舟山北部枸杞岛贻贝场的褐菖鲉幼鱼、附着生物进行了逐月调查, 使用自制网具采集目标生物样品, 应用相对密度指数和相关分析法分析了褐菖鲉幼鱼在该生境中的栖息密度、栖息方式和空间分布特征, 采用胃含物分析法确定其食性特征, 并结合耳石轮纹探究其利用该生境的生长周期。结果显示, 褐菖鲉幼鱼的栖息密度时空特征上, 5—7月在养殖区贻贝串上的栖息密度分别为(10±6)、(7±5)和(5±5)个/串, 时间上呈现逐月递减趋势, 随时间的推移养殖区外侧幼体逐渐迁移至内侧近岸区直至消失。栖息方式选择上, 褐菖鲉幼鱼栖息数量与贻贝串孔隙大小和附着海藻生物量之间皆呈正相关, 但并不显著。饵料利用上, 养殖区褐菖鲉幼鱼总体维持较高的摄食强度, 各月份平均摄食强度皆高于对照区, 主要摄食对象为麦秆虫和钩虾, 重量百分比为70.9%和28.3%。栖息周期上, 养殖区内褐菖鲉幼鱼耳石平均轮纹数为(57±12)个, 其利用养殖贻贝串的周期一般约为2~3月, 且该生境中幼鱼耳石纹路间距均匀性和条纹清晰度均明显优于岩礁生境。研究表明, 枸杞岛的贻贝养殖生境成为褐菖鲉幼鱼额外的栖息环境, 在增殖养护褐菖鲉资源方面发挥了积极作用, 因此嵊泗海域在建设海洋牧场时可依据贻贝养殖生境的资源养护原理, 通过设置浮体结构强化海洋牧场的饵料场和庇护功能, 以提高褐菖鲉种群的补充量, 为当地休闲海钓的持续发展提供部分保障。

**关键词:** 褐菖鲉; 幼鱼; 贻贝养殖; 轮纹特征; 海洋牧场; 生境利用

**中图分类号:** S 931

**文献标志码:** A

褐菖鲉(*Sebastes marmoratus*)隶属于鲈形目(Perciformes)、平鲈科(Sebastes)、菖鲉属(*Sebastes*), 是东海近岸岛礁海域典型的暖温性底层恋礁鱼类<sup>[1]</sup>。近年来其资源量相对稳定, 经济价值高, 是生产和休闲渔业的主捕对象, 也是舟山海域人工鱼礁建设和海洋牧场规划的首要增殖鱼种。每年的休渔季节, 褐菖鲉成为地方小型鱼市的重要海产, 支撑着一定规模的海鲜市场需求。除了经济上的重要地位外, 该物种也是岛礁海域岩礁和天然藻场的优势种(生境指示种)<sup>[2-4]</sup>, 在维持岛礁海域鱼类群落结构特

征及稳定性上, 起着重要的作用, 同时也对岩礁区海藻场生态系统的能量流动和物质循环起着十分重要的下行控制作用(是岩礁生境生物群落的调控者)<sup>[5-7]</sup>。鉴于其在经济和生态方面的重要价值, 我们有必要对其关键生活史阶段的生境选择和利用机制进行探索, 以实现褐菖鲉资源的合理利用和科学管理。

当前, 国内针对褐菖鲉的研究主要集中在生物学<sup>[8-11]</sup>、生理学<sup>[12-15]</sup>、行为学<sup>[16-17]</sup>、摄食生态<sup>[18-20]</sup>、实验生态学<sup>[21-22]</sup>以及资源保护和利用<sup>[23]</sup>方面。在国外, 围绕该物种的研究主要是生物

收稿日期: 2019-06-08 修回日期: 2019-07-28

资助项目: 国家自然科学基金(41876191, 41406153, 41606146); 国家重点研发计划(2018YFD0900905); 现代农业产业技术体系专项(CARS-50)

通信作者: 章守宇, E-mail: syzhang@shou.edu.cn

学<sup>[24-26]</sup>、生理学<sup>[27-30]</sup>、实验生态学<sup>[31-33]</sup>、摄食生态<sup>[34-35]</sup>等方面。虽然已有的研究体系相对较为完整, 但对该物种在岛礁海域天然和人工生境利用环境中的探讨依然少见<sup>[18]</sup>, 这在一定程度上给褐菖鲉资源的保护和管理带来不确定性, 而在解释近年来捕捞强度增加, 褐菖鲉资源仍然能维持一定量的现象上, 难以从机制上予以答案。另一方面, 近年来东海区海洋牧场建设力度和规模不断增大, 其养护的对象主要是以褐菖鲉为代表的趋礁鱼类, 但是目前针对其不同生活史的生境利用和选择规律研究未能跟上海洋牧场的建设步伐, 由此形成的认知局限性在一定程度上增加该区域海洋牧场建设的盲目性。

随着岛礁海域浮筏养殖活动的规模化开展, 我们发现贻贝养殖区的漂流藻类和养殖贻贝串上存在大量的褐菖鲉幼体(体长2~6 cm, 单串贻贝最多能采集到数十尾), 这种现象可以持续数月(通常为4—7月), 而进入夏季后却很难在筏架的各种结构物上找到褐菖鲉幼鱼的踪影, 这和贻贝养殖形成的特殊生境结构及其生态功能紧密相关。海洋贝类养殖活动在水体表层数米深的范围内所敷设的大量人工构造物会不同程度增加海洋表层水体的空间异质性, 为各种附着和游泳生物提供阶段乃至永久性的栖息、摄食和避敌等生活场所<sup>[36]</sup>。当贻贝养殖活动的时空尺度达到一定规模时, 对局部区域的流态也会产生显著影响<sup>[37]</sup>, 因此该生境起到的作用就不仅仅局限于聚集鱼类, 而且具备增殖各种鱼类资源的海洋牧场功能<sup>[38-40]</sup>。基于上述现象积累和已有研究结果, 我们认为褐菖鲉幼鱼会利用各种载体进入筏架养殖区寻求庇护, 而生长到一定阶段就会重新回到周边的岩礁生境中, 从而有效增加该种群的自然补充量。为了验证该假设, 我们于2018年5—7月, 对枸杞岛贻贝养殖生境的褐菖鲉幼鱼进行了逐月采样, 以其栖息密度和生物学数据为基础, 结合环境参数, 分析其利用贻贝养殖生境的规律, 以期为岛礁海域海洋牧场目标种的选择和养护策略的制定提供参考, 同时为将来系统开展该物种的栖息地生态学研究积累基础数据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区域与站点设置

于2018年5月30—31日, 6月26—28日以及

7月17—18日对浙江嵊泗枸杞岛西北侧的贻贝场进行了褐菖鲉幼鱼和环境数据的逐月调查。以岸线为基准, 在向外辐射的方向上共设置了3个采样断面, 每个断面上设置5个平行站点, 采用系统随机采样法对研究区域15个站点的目标生物和环境数据进行采集, 同步完成周边黄石洞、羊宫礁和磨礁3个对照点的数据采集工作(图1), 将2017年5月26—27日于浪岗礁(30°26'34"N, 122°55'53"E)所采集的褐菖鲉耳石作为远离养殖生境的对照区样本。

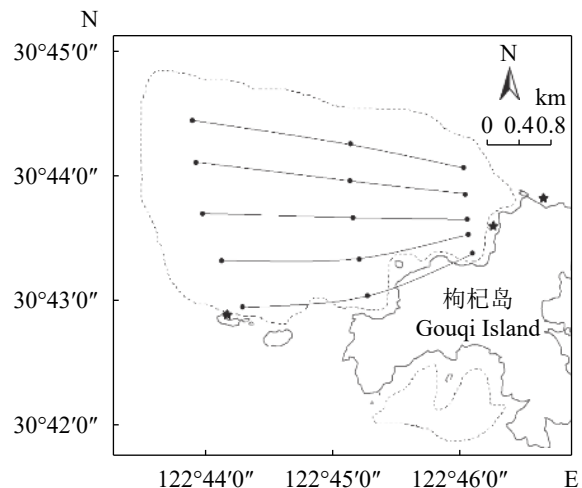


图1 枸杞岛贻贝养殖和岩礁生境调查站点分布  
图中●代表贻贝养殖生境采样站点, ★代表岩礁生境的对照站点

Fig. 1 Distribution of sampling sites in mussel farming and rocky reef habitats around Gouqi Island

● represents sampling sites in mussel farming habitat, and ★ represents control sites in rock reef habitat

贻贝养殖区和对照区的环境差异显著, 因幼鱼栖息方式不同, 故针对性的采样方法不同, 所得对照区的数据仅用在饵料组成和耳石生长纹路的比较上。

### 1.2 褐菖鲉幼鱼采集方法

褐菖鲉幼鱼所栖息的贻贝养殖构件如贻贝串和浮绳等纵横交错, 限制了主动性网具的采集功能; 另一方面大部分褐菖鲉幼鱼的体长范围在2~5 cm, 传统的被动性网具(如刺网、陷阱网和地笼等)很难对其完成定量采集。团队在过去的数十年中尝试了各种现有网具的采样应用, 均未达到预期效果。为此, 我们专门针对这种栖息环境复杂而个体较小的褐菖鲉幼鱼设计了灵活轻便的柔性主动采集网具——提拉式

兜网,效果良好,能最大化采集浮筏养殖主体结构上的褐菖鲉幼鱼。自制网具主体由聚乙烯网片包裹一系列直径为50 cm的不锈钢圆框所构成,网具自然伸展高度为4 m,顶部为圆柱形开口,两端各系1根长6 m的活动牵引绳,底部为锥形集鱼网囊,操作时还需悬挂5 kg左右的配重以实现网具的快速拉伸。包裹网衣分内外2层:内层为固定框架位置的大网目网衣,目大为2 cm;外层为限制幼鱼穿越的小网目网衣,目大为2 mm。

操作时,由2人各执一根牵引绳将提网置于水中直至网口低于贻贝串底部,从下往上将贻贝串缓缓兜住,待网口露出水面后将其两端固定在船舷,然后将裹挟于其中的贻贝串提至甲板,分别记录进入网兜、留在贻贝串以及掉落甲板的幼鱼数量,同时对贻贝串上褐菖鲉幼鱼躲藏的孔隙大小进行随机测量(孔隙长、宽、深度和贻贝串周径等)。在难以进行提网操作的急流站位,采用直接将贻贝串快速提上甲板的方式进行采样。此时所得渔获量将通过逃逸率校准。对照区褐菖鲉幼鱼采用自行改装的地笼(包裹网衣目大为0.4 cm)进行采集。将所得褐菖鲉幼鱼样品置于保温箱暂存,带回实验室后放入-20℃冰柜冷冻保存。

虽然贻贝串是养殖生境的主体结构,但调查过程中发现浮球、绳索以及漂流藻中也栖息着褐菖鲉幼鱼,但其数量较少,且无将其定量采集的适宜方法,所以本实验所关注的贻贝养殖结构以贻贝串为主,其他构件上的褐菖鲉幼鱼信息将在将来的研究中逐步跟进和补充完善。

完成褐菖鲉幼鱼采集的基础上,将贻贝串等分成上、中、下3段,在每段上随机采集20 cm的垂直柱面上的所有附着生物(包括大型海藻以及附生动物,本实验统一称为附着生物,下同)。所采集附着生物分站点存放于保温箱并带回实验室分类、鉴定和计数。

### 1.3 样品生物学实验

贻贝养殖生境中采集到的鱼类和附着生物皆鉴定至物种种名。以门和纲为单位进行种类组成信息的汇总。褐菖鲉幼鱼解冻后先进行常规生物学测量,包括体长、体质量、摄食等级及胃含物组成等,并采集肌肉和矢耳石,其中耳石样品装入1.5 mL离心管并用酒精浸泡保存。附着生物样品解冻后洗净并擦干,对其中的海

藻、海绵等样品分种类称重,其他附着生物样品进行计数并称重处理。以上操作皆按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)进行。

通过耳石生长轮纹特征获取其栖息地利用时间周期的信息。耳石研磨按照包埋—粗磨—细磨—抛光的顺序进行<sup>[41]</sup>。在耳石平躺状态下,切片方向与纵轴相差45°范围内的切面效果较好<sup>[25]</sup>。将研磨好的耳石置于接有CCD的奥林巴斯(Olympus)光学显微镜下观察并拍照,使用Photoshop 11.2软件对所各部位图片进行拼接,得到完整的耳石切片图。轮纹信息读取时,采用由2人对每一张图片上的生长纹分别计数的方法,以两者的平均值为准,当两者所数的生长纹数量与平均值之差高于平均值10%时则需重新计数<sup>[42]</sup>。

### 1.4 数据处理与统计分析

以褐菖鲉幼鱼在单位贻贝串上的数量表征其相对栖息密度(单位:个/串) 对于非网具采集的栖息密度数据,则需计算逃逸率,从而得出接近于实测值的密度数据。假设褐菖鲉幼鱼在网具上提直至进入甲板的过程中,存在3种行为方式:因扰动而离开贻贝串进入网兜、因扰动而钻入养殖贻贝孔隙、因扰动躲藏于贻贝串表面的周丛生物中。当徒手拉贻贝串时,离开贻贝串的那部分即代表了逃逸部分。基于此,每航次确定逃逸率EP(escaping percentage)时,在急流区域随机提取10串贻贝,记录每串贻贝中进入网兜的褐菖鲉幼鱼数量 $N_i$ ,并查清该串上其他两种行为方式下的幼鱼数量 $T_i$ ,对其求加权平均,所得即为该航次褐菖鲉幼鱼的逃逸率,计算公式为:

$$EP = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{10} \frac{N_i}{N_i + T_i}}{10} \right] \times 100\%$$

由此得出调查航次褐菖鲉幼鱼的平均栖息密度:

$$I = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n T_i \left( 1 + \frac{EP}{1 - EP} \right) \right]}{n}$$

式中, $I$ 为调查航次褐菖鲉幼鱼的理论栖息密度(ind/串), $n$ 为当航次所采集的贻贝串数量(串)。

对孔隙大小和褐菖鲉幼鱼的栖息密度间进行相关分析,探查其对孔隙环境的依赖强度

对褐菖鲉幼鱼栖息密度与附生生物的相对生

物量进行相关分析, 解析其对周丛生物的依赖度。由于贻贝串体孔隙入口截面多为不规则多边形, 本研究将实测所得的截面长、截面宽和孔隙深度作为基本参数, 以其乘积的三分之一作为考量孔隙大小的相对值, 估算公式为:

$$V = \frac{1}{3} a \times b \times c;$$

式中,  $V$ 为孔隙大小 ( $\text{cm}^3$ ),  $a$ 为截面宽 ( $\text{cm}$ ),  $b$ 为截面长 ( $\text{cm}$ ),  $c$ 为孔隙深 ( $\text{cm}$ )。

**褐菖鲉幼鱼的饵料选择方面** 采用摄食等级和空胃率表征其摄食强度。摄食等级分0~4级(依调查规范), 空胃率(%)=(空胃数/总胃数) $\times 100\%$ ; 采用数量百分比 $N\%$ 、重量百分比 $W\%$ 、出现率 $F$ 这三个指标对褐菖鲉幼鱼食物成分进行分析: 数量百分比 $N\%$ =(某成分的个数/所有成分的个体数) $\times 100\%$ , 重量百分比 $W\%$ =(某成分的湿重/所有成分的总湿重) $\times 100\%$ , 出现率 $F\%$ =(某成分出现的次数/总胃数) $\times 100\%$ 。

**通过褐菖鲉幼鱼矢耳石的轮纹特征表征其利用贻贝养殖生境的时间周期** 鱼类在相对稳定的栖息环境中生长时, 呈现在耳石上的轮纹亦规律有致, 当期栖息环境发生改变时, 因为空间生态位和营养生态位的调整, 原来稳定的生长特性会被打乱, 这个过程就可以通过耳石轮纹的疏密变化加以判断, 由此估算褐菖鲉幼鱼利用贻贝养殖生境的生长周期。

采用ArcGIS 10.2绘制褐菖鲉幼鱼的密度空间分布图, 使用Excel 2007相关指标进行相关性分析。显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 褐菖鲉幼鱼栖息密度时空变化

5—7月在贻贝养殖区共采集褐菖鲉幼鱼156条, 278.11 g。其中5月采集褐菖鲉幼鱼92个

(28个采集于10串紫贻贝, 64个采集于18串厚壳贻贝), 6月采集36个(其中2个采集于1串紫贻贝, 34个采集于28串厚壳贻贝), 7月采集28个(紫贻贝串上未采集到幼体, 样品全部采集于26串厚壳贻贝)(表1)。对照区岩礁生境共采集褐菖鲉幼鱼87个。

各月的平均理论栖息密度分别为5月的(10 $\pm$ 6)个/串, 6月的(7 $\pm$ 5)个/串和7月的(5 $\pm$ 5)个/串, 总体上随着月份的增加呈现下降的趋势。空间分布上(图2), 5月栖息密度最高的区域出现在贻贝养殖生境西南近岸侧, 中间区域最低, 而最外侧又有所增加; 6月栖息密度最高的区域出现在贻贝养殖生境东部近岸侧, 而中部和外侧数量相对要少得多, 表明幼体呈现向岩礁生境迁移的趋势; 7月栖息密度最高的区域出现在贻贝养殖生境南侧近岸站点, 而中部数量极少, 外侧海域则未能采集到样品, 表明幼体已经基本迁移在近岸侧, 即将结束在贻贝养殖串上的阶段性生长周期。

### 2.2 褐菖鲉幼鱼在贻贝养殖串表层的栖息选择

根据5—7月调查所获数据对贻贝串平均孔隙大小与对应的幼鱼采集数量进行相关性分析, 相关系数CORRE1=0.59, 呈现中等强度的相关性, 但并没有达到显著性水平, 可见贻贝串表面孔隙的大小在一定程度上会影响褐菖鲉幼鱼对其选择性栖息, 但这尚不足以成为影响其利用贻贝串的决定因素。

随着褐菖鲉幼鱼体长的增加, 其选择更大孔隙贻贝串的趋势也在增加(图3), 这一定程度上可以反应幼鱼选择适宜孔隙进行栖息庇护的生境选择行为, 但这种关系并非特别显著。总体上, 10~20  $\text{cm}^3$ 孔隙范围的褐菖鲉幼鱼的体长分布最广泛, 栖息密度也最高, 达到为13个/串, 且呈现偏态分布。

表1 5—7月贻贝养殖生境中采集的贻贝串数、褐菖鲉幼鱼数量和栖息密度

Tab. 1 Number of strings samples, juvenile richness and inhabitant density of target fish from May to July

月份 month	采集串数 number of string	采集尾数 number of samples	逃逸率/% escaping percentage	理论尾数 number of theoretical samples	理论栖息密度/(个/串) theoretical inhabitant density	平均体长/mm average length	平均体质量/g average weight
5月 May	28	92	40.55	155	10 $\pm$ 6	28.57 $\pm$ 5.12	0.87 $\pm$ 0.40
6月 June	29	36	64.29	101	7 $\pm$ 5	45.92 $\pm$ 6.73	3.07 $\pm$ 1.26
7月 July	27	28	56.67	65	5 $\pm$ 5	51.96 $\pm$ 5.86	4.08 $\pm$ 1.57
总计 total	84	156	54.84	321	7 $\pm$ 6	36.77 $\pm$ 11.68	1.78 $\pm$ 1.75

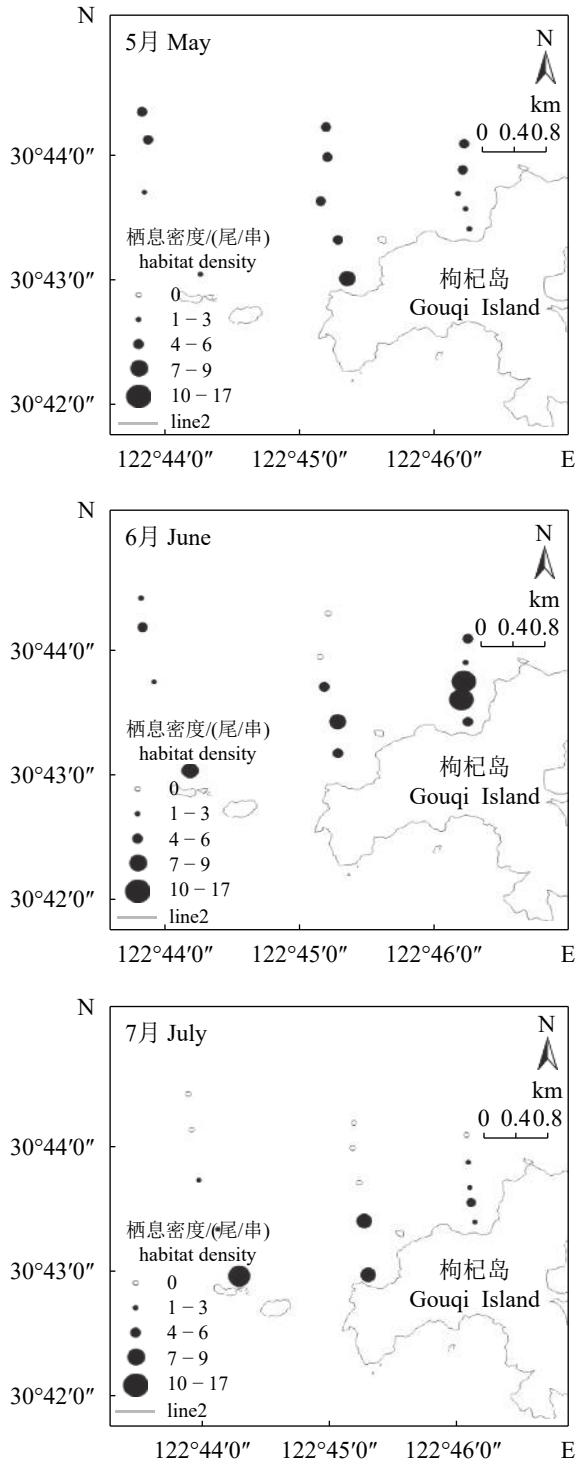


图2 枸杞岛北部贻贝养殖生境褐菟鲍幼鱼栖息密度时空分布

Fig. 2 Spatial and temporal distribution of inhabitant density for juvenile *S. marmoratus* in mussel farming habitat off the north of Gouqi Island

除了贻贝串表面的空间异质性，其上附着的大型海藻也必然成为其重要的物理栖息环境。利用5—7月调查所获数据对大型海藻生物

量与褐菟鲍幼鱼栖息密度进行相关分析，相关系数CORRE1=0.45，呈正相关性，但未达到显著水平(图4)，关系式为 $y = 0.0069x + 3.483 (R^2 = 0.20)$ 。总体上，附着大型海藻生物量越高，褐菟鲍的栖息密度也越高，因此贻贝养殖串上附着的大型海藻对褐菟鲍幼鱼栖息空间的利用发挥了积极作用，但这种作用的强度和范围如何，需要在将来的研究中进一步探索。

### 2.3 褐菟鲍幼鱼的胃含物组成

在贻贝养殖生境采集的褐菟鲍幼鱼样品中，摄食等级为1的占7.05%，摄食等级为2的占30.13%，摄食等级为3的占53.85%，摄食等级为4的占8.97%，空胃率为0，摄食强度总体上呈现出较高的状态。经过镜检分析，褐菟鲍幼鱼胃含物中共鉴定出3类，分别是麦秆虫、钩虾和孔石莼(*Ulva pertusa*)，对应的数量百分比、重量百分比和出现率分别为： $N_{\text{麦秆虫}}=75.4\%$ 、 $W_{\text{麦秆虫}}=70.9\%$ 、 $F_{\text{麦秆虫}}=65.2\%$ ； $N_{\text{钩虾}}=24.6\%$ 、 $W_{\text{钩虾}}=28.3\%$ 、 $F_{\text{钩虾}}=49.6\%$ ； $W_{\text{孔石莼}}=0.786\%$ 、 $F_{\text{孔石莼}}=1.6\%$ 。

在对照区采集的褐菟鲍幼鱼样品中，摄食等级为1的占24.14%，摄食等级为2的占41.38%，摄食等级为3的占17.24%，空胃率为17.24%，摄食强度低于贻贝养殖生境所采集样品，褐菟鲍幼鱼胃含物中共鉴定出5类，分别是麦秆虫、钩虾、螺、多毛类、孔石莼，对应的数量百分比、重量百分比和出现率分别为： $N_{\text{麦秆虫}}=37.41\%$ 、 $W_{\text{麦秆虫}}=51.55\%$ 、 $F_{\text{麦秆虫}}=43.24\%$ ； $N_{\text{钩虾}}=61.22\%$ 、 $W_{\text{钩虾}}=77.94\%$ 、 $F_{\text{钩虾}}=48.65\%$ ； $N_{\text{螺}}=0.68\%$ 、 $W_{\text{螺}}=0.63\%$ 、 $F_{\text{螺}}=2.7\%$ ； $N_{\text{多毛类}}=0.68\%$ 、 $W_{\text{多毛类}}=0.51\%$ 、 $F_{\text{多毛类}}=2.7\%$ ； $W_{\text{孔石莼}}=6.58\%$ 、 $F_{\text{孔石莼}}=2.7\%$ 。

对2种生境褐菟鲍幼鱼胃含物的分析结果表明，2种生境的褐菟鲍主要食物为麦秆虫类与钩虾类，栖息于贻贝养殖生境的褐菟鲍幼鱼都能充分进食，各月份褐菟鲍摄食强度均高于对照区，因此贻贝养殖生境为其幼体阶段的生长提供了稳定的饵料保障。

### 2.4 褐菟鲍幼鱼对贻贝养殖生境的利用周期

5月采集的样本耳石轮纹数量范围为33~88个，平均轮纹数为 $(51 \pm 14)$ 个；6月耳石轮纹数量范围为48~74个，平均轮纹数为 $(58 \pm 7)$ 个；7月耳石轮纹数量范围为49~79个，平均轮纹数为 $(64 \pm 8)$ 个。对照区岩礁生境采集的耳石样本

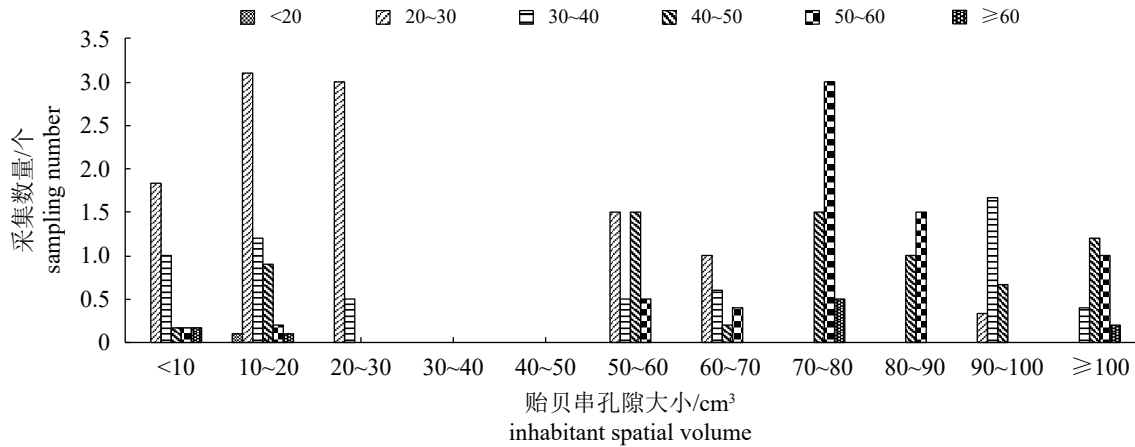


图 3 不同体长组的褐菖鲉幼鱼在不同孔隙大小的贻贝串上的采集数量分布

Fig. 3 Distribution of inhabitant density of juvenile rock fish among different length groups associated to different mussel spatial volume

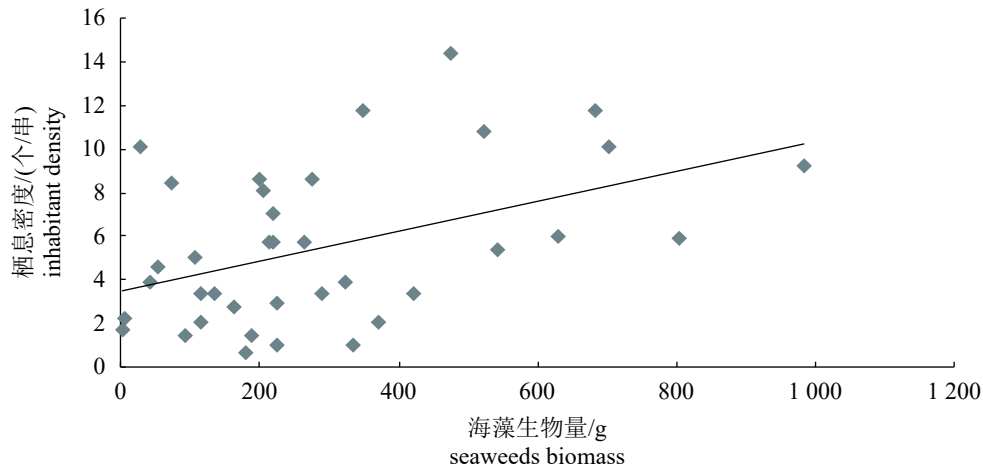


图 4 海藻生物量与褐菖鲉幼鱼栖息密度关系

Fig. 4 Relationship between seaweeds biomass and inhabitant density of juvenile rock fish

轮纹数量范围为 54~153 个, 平均轮纹数为 (92±25) 个。所采集的不同体长组褐菖鲉幼鱼耳石磨片纹路形态如图 5。

对比 2 种生境采集的褐菖鲉幼鱼的耳石纹路, 发现栖息于贻贝养殖串的褐菖鲉幼鱼生长纹明暗交替规律, 纹路清晰可见, 轮纹间距均匀(图 5 左侧和图 6-A); 而采集于岩礁区的褐菖鲉幼鱼的耳石纹路略显杂乱, 生长不均匀且标记轮较多, 部分采集于靠近贻贝养殖区的岩礁生境的褐菖鲉幼鱼耳石纹路初期呈现清晰的规则纹路, 自某一标记纹路以后开始呈现杂乱纹路(图 6-B, C), 而于远离养殖区(浪岗海域)所采集的褐菖鲉耳石轮纹则无此现象。

靠近贻贝养殖区的岩礁生境采集的样品

中, 87.5% 的耳石样品的标记纹出现前, 耳石生长规则, 标记纹出现后耳石纹路线条复杂, 由此可推断多数幼鱼的早期生活史在贻贝养殖生境(或者类似于养殖生境的稳定环境中)完成, 到一定阶段迁移至岩礁生境(图 6-B), 而其余 12.5% 的褐菖鲉幼鱼则可初步判定一直栖息在岩礁生境(图 6-C)。

### 3 讨论

#### 3.1 褐菖鲉幼鱼栖息密度的时空变化特征

研究发现, 5—7 月褐菖鲉幼鱼在整个贻贝养殖生境的栖息密度呈下降趋势; 而在空间上, 大部分出现高栖息密度的站点都靠近东、西和南侧的近岸区, 而离岸越远的外侧海域,

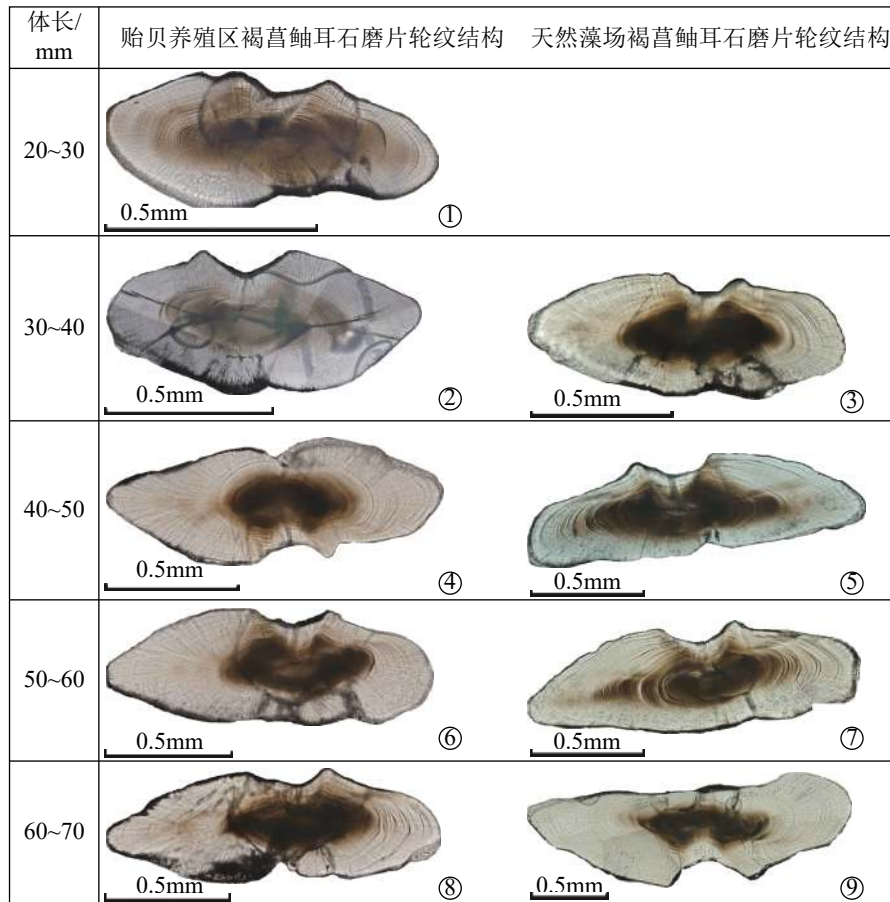


图5 贻贝养殖生境(左)与岩礁生境(右)不同体长组耳石轮纹结构

Fig. 5 Otolith rings structures from different body length groups of juvenile rock fish in mussel farming habitat(left) and rocky reef habitat(right)

从春季较高密度的栖息量慢慢过渡到夏季的低密度甚至零密度。这表明褐菟鲍补充量的发生区域依然在近岸侧,而且随着早期生活史的推进,所有个体终将离开贻贝养殖区进入内侧的岩礁生境或硬相底质区生活。褐菟鲍早期生长的生理需求可能是这些变化产生的内在驱动力。褐菟鲍的繁殖期在2—4月<sup>[1,43]</sup>,5月以后难有补充群体出现,而褐菟鲍幼鱼的生长迅速<sup>[44]</sup>,长大到特定阶段的褐菟鲍很可能会因为食性转变等因素的驱使逐渐从贻贝养殖区向天然岩礁生境转移,相应地表现出该生境外侧褐菟鲍幼鱼栖息密度由高到低的演变规律。附着海藻生物量的变化可能是控制这种转移机制的外在影响因素。5月海藻的生物量较高,因此外侧能支持较大密度的幼体量,进入6月以后,大型海藻的衰败和降解使其生物量逐渐减少,这种趋势恰好与褐菟鲍幼鱼的生物量变化方向趋同。除了以上2种因素外,褐菟鲍幼鱼的栖息密度还可能

受到潮流强度和溶氧量等因素的影响,但具体的褐菟鲍幼鱼早期生活史的选择和变迁机制还需要将来进一步的探究,这也是解释海洋牧场养护趋礁鱼类相关机制的重要研究课题。

本研究发现,枸杞岛贻贝养殖生境已经形成了一个庞大的褐菟鲍幼鱼局域种群。2018年枸杞岛海域贻贝养殖面积为927万 $\text{m}^2$ ,其中养殖厚壳贻贝约 $1.85 \times 10^6$ 串,紫贻贝约 $9.26 \times 10^5$ 串(数据由嵊泗县海洋与渔业局提供)。根据研究所得各航次栖息密度和平均体质量(表2),估算出栖息在贻贝养殖生境中的褐菟鲍幼鱼为 $1.4 \times 10^7$ 个,总重达12.95 t(5月); $1.5 \times 10^7$ 个,总重45.41 t(6月);为 $5.6 \times 10^6$ 个,总重22.67 t(7月)。本研究尚未计入浮球、养殖绳和缠绕的漂流藻上的幼鱼数量,因此整个贻贝养殖区所承载的幼鱼数量和重量规模必然大于上述估算值。从总量上来看,当地贻贝养殖支撑了该岛礁鱼类幼体生长阶段的一个庞大的局域种群,有效保障了其幼体成活

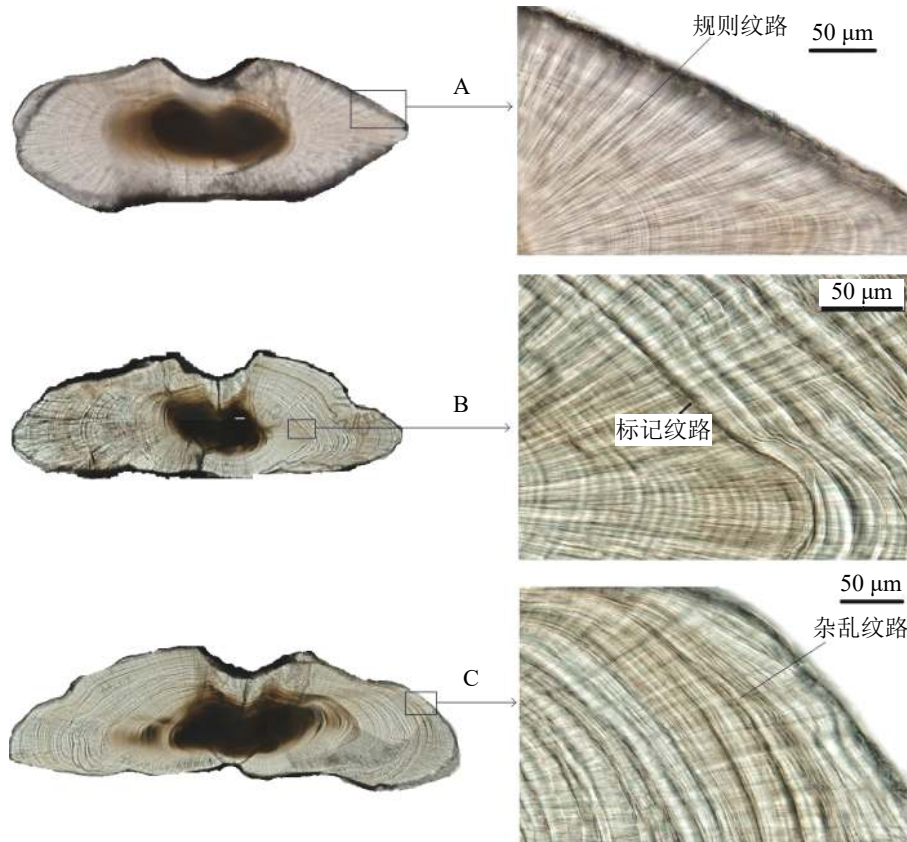


图 6 栖息于贻贝养殖生境(A), 从贻贝养殖生境过渡到岩礁生境(B)以及完全栖息在岩礁生境(C)的褐菖鲉幼鱼耳石纹路

Fig. 6 Three otolith ring structures indicate three early life histories, A indicates individuals spend their early life history only in mussel farming habitat, B indicates individuals spend part of their early life stage in mussel farming and then moved to rocky reef habitat, and C indicates individuals that spend all of their early life span in natural reef habitats

率, 从而补充周边生境的捕捞死亡量, 一定程度上维系了当地褐菖鲉种群资源的可持续利用格局, 因此, 该功能可为当地海洋牧场建设提供参考。

### 3.2 褐菖鲉幼鱼对贻贝串物理栖息空间的选择规律

通过同步的潜水观察发现, 贻贝串及表面附着的大型海藻构成了主要的物理栖息空间, 褐菖鲉幼鱼多数时间处于匍匐在贻贝壳上的状态, 在潮水的作用下时而悬浮于水中, 当其遇到危险或受到惊吓时会迅速游至贻贝串表面, 匍匐或钻入贻贝孔隙内, 抑或躲藏于海藻枝叶间。其对这两类微小生境的利用是否存在极强的依赖性是本研究关注的问题之一。通过分析褐菖鲉栖息数量和空隙大小以及贻贝串上附着大型海藻生物量的相关分析表明, 这2种小生境

都与褐菖鲉的栖息密度存在中等强度的正相关, 但都没有达到显著水平。因此可以判断驱使褐菖鲉幼鱼大量附生在贻贝串上的因素之中, 物理栖息环境可能是作为必要的庇护场所而存在, 但不是关键因素或者控制因素。已有研究表明褐菖鲉幼鱼喜栖息于海藻丛之中<sup>[18]</sup>, 海藻的遮光效果也增加了褐菖鲉幼鱼的舒适度<sup>[44]</sup>。褐菖鲉胸鳍和腹鳍发达, 多数时间匍匐在海底各种物理结构表面, 但依然保持了一些鱼类遇到敌害而钻入洞穴躲藏的本能, 就这一生理需求上, 养殖贻贝串为其幼体的栖息提供了非常适宜的环境。加之周边附着的大型海藻所形成的遮蔽效应, 强化了贻贝养殖对褐菖鲉幼鱼的庇护功能, 因此可以从幼鱼寻求庇护的角度来解析贻贝养殖生境的这一重要生态功能。

除了上述的庇护功能, 贻贝养殖生境规模



化发展所形成的“镇流效应”<sup>[37]</sup>也为褐菖鲉幼鱼的栖息提供了更为稳定的流场环境,从而节省其转移物理场的体力。这与岩礁区涨落潮所形成的强烈的往复流和冲刷效应具有很大的差别。对于幼体而言,其运动能力不足以抵抗这些强流,而进入贻贝养殖区后,相对稳定的流场使得幼体在转场或捕食时可以节省更多的体力从而加速生长,另一方面也部分解释了幼鱼可以从岸边一直扩散到3 km以外的养殖区边缘地带的原因。

综上,当地海洋牧场建设过程中,应根据目标种幼体阶段的庇护需求和对物理环境稳定性的需求,增加空间异质性并提高人工生境稳定性,强化海洋牧场的综合养护能力。

### 3.3 褐菖鲉幼鱼在贻贝养殖生境中的摄食选择

本研究发现,相对于岩礁生境,栖息在贻贝养殖生境中的褐菖鲉幼鱼总体维持较高的摄食强度,空胃率为0,而且主食麦秆虫和钩虾,占其所有饵料重量比率的99.3%。事实上,麦秆虫和钩虾在当地海域一直是成体褐菖鲉的优势饵料<sup>[5,18-19]</sup>。对于栖息在贻贝养殖生境的幼体而言,其饵料多样性非常低,食性选择颇为简单,这可能与其生存策略有关。生态学上在揭示某物种获得优势地位的条件时指出那些能充分利用栖息地优势资源的物种往往会成为优势种,而褐菖鲉很可能受这种生存策略的驱使,优先利用当地海域最为丰富的饵料。在条件适宜的情况下麦秆虫在贻贝养殖生境的发生量非常大,贻贝串、浮球、养殖绳及附着海藻上都形成高密度的麦秆虫附生群。而钩虾的大量存在与养殖区大量附着海藻的生长直接相关。养殖结构适宜大型初级生产者的附着生长,其碎屑所支撑的次级生产力又形成了强大的能流途径,共同构筑了贻贝养殖生境庞大的能流系统,而褐菖鲉幼鱼成为该生态系统中利用优势饵料生物的重要一环。这也解释了枸杞岛贻贝场可以养护几十吨褐菖鲉幼鱼资源的原因。

另一方面,褐菖鲉幼鱼选择麦秆虫和钩虾为主饵也可能与其能量代谢策略有关。褐菖鲉是一种典型的凶猛性捕食者,其成体的饵料多样性非常丰富,甚至同种相食的概率也非常高<sup>[5]</sup>,但对幼体而言,其首要目标往往就是生存下去,因此需要用尽可能短的时间和最小的能量

消耗,度过生活史中幼体阶段。这必然很大程度上通过饵料选择来实现,无论生活在贻贝养殖生境还是岩礁生境的褐菖鲉幼鱼,都优先摄食麦秆虫和钩虾,可以一定程度上说明其节省体力,充分利用易得饵料,度过死亡率较高的幼体生活史阶段后,再转移栖息地进行摄食策略的调整。

综上,相对于礁石生境,贻贝养殖生境是褐菖鲉幼鱼优良的饵料场,这是决定其补充量的一个重要因素。因此当地海洋牧场建设的过程中,可依据贻贝养殖生境的资源养护原理,增加浮体结构,为海域优势饵料的产生提供物理基质,从而支撑褐菖鲉完成其关键的幼体生活史。

### 3.4 褐菖鲉幼鱼在贻贝养殖生境的生长期及生境转变

采集于贻贝养殖区的褐菖鲉幼鱼体长范围在16~62 mm,根据生长方程<sup>[10,44]</sup>推算出其日龄约为40~95 d,这段时间恰好包含了褐菖鲉幼鱼生命史的第3个死亡高峰期,该死亡危机因鱼体快速生长缺乏饵料而自相残杀所致<sup>[11,44]</sup>。而贻贝养殖生境中大量的端足类解决了褐菖鲉幼鱼的饵料来源问题,同时贻贝串具有复杂的空间异质性,是优良的庇护所,多因素共同保障其安全度过危险期,提高了种群在幼体阶段的成活率。虽然4月未采集到样品,但是据当地养殖户提供的信息,该月份在调查区域确实出现了一定量的褐菖鲉幼鱼,所以本文认为褐菖鲉幼鱼对枸杞岛贻贝养殖生境的利用时间为4—7月。因4月份处于褐菖鲉繁殖期<sup>[43-44]</sup>,4—5月持续有幼鱼补充到贻贝养殖区,就褐菖鲉个体而言,其在贻贝养殖区的生长期约为2~3月,平均日轮为 $(57\pm 12)$  d。

贻贝养殖生境中褐菖鲉幼鱼的耳石磨片信息揭示了该物种在长达2个多月的时间里,一直维持着相对稳定的生长状态。因此相对于岩礁生境而言,外侧庞大的筏式养殖环境也构建了一个更为稳定的物理栖息空间和更为优良的饵料场,减少褐菖鲉幼鱼为寻找稳定栖息场和充足饵料场的能量消耗,整体生长呈现规律均一的模式。

耳石轮纹的生长状态会因栖息环境的变化而变化<sup>[45-46]</sup>,可见栖息在贻贝串表面的褐菖鲉幼

鱼因稳定的栖息环境呈现出均匀的生长规律, 而天然岩礁生境中的褐菖鲉幼鱼为适应周期性的潮汐变化和捕食压力, 表现出并不均一的轮纹特征。随着幼鱼的生长, 所有个体最终都离开贻贝串, 进入天然岩礁生境。这种生境转变的内在驱动力和外影响力尚不清楚。但通过本研究, 足以验证褐菖鲉幼鱼到一定阶段发生生境迁移的假设。<sup>[47]</sup>从对现场的认识来看, 褐菖鲉离开贻贝串的时间与大型海藻逐渐衰败的时间吻合, 与当地养殖活动中的定期清理行为亦有关, 但这些很可能都不是揭示其转移生境的关键因子。因为进入7月以后养殖筏架上大型海藻生物量虽然减少, 但端足类(尤其是麦秆虫)的量反而达到顶峰, 因此褐菖鲉的离开不是因为其摄食对象减少的原因。我们推测, 这很可能使因为随着鱼体的生长, 其度过危险期后对饵料生物的需求可能发生重要改变, 驱使其进入自然岩礁生境寻找更为丰富的摄食对象, 关于这方面的问题将在日后的研究中深入探索, 以便更全面的解释该幼鱼的生境选择和利用机制。

综上, 褐菖鲉幼鱼可以在浮筏区表层结构上栖息2个月左右的时间, 完成该阶段的生活史任务后, 便回归自然岩礁生境。因此当地海洋牧场在设计过程中, 要充分利用4—7月的时间, 构建褐菖鲉幼鱼的局域种群, 扩大集合种群补充量, 维持当地优势岛礁鱼类资源的持续利用。

在项目调查环节得到了当地养殖户卓小平的大力支持, 上海海洋大学周曦杰博士在现场采样环节给予了众多指导, 硕士研究生崔潇、刘章彬、刘书荣、程晓鹏、贾慧明、李训猛、刘梦影、刘攀、陈子越等在实验环节提供了大量帮助, 在此一并致谢!

#### 参考文献:

- [1] 许明海. 褐菖鲉*Sebasticus marmoratus*渔业生物学初步研究[J]. 现代渔业信息, 2000, 15(2): 17-20.  
Xu M H. Primary study on fishery biology of *Sebasticus marmoratus*[J]. Modern Fisheries Information, 2000, 15(2): 17-20(in Chinese).
- [2] 徐胜南, 汪振华, 梁金玲, 等. 不同网具在人工鱼礁水平方向上诱集效果的比较[J]. 水产学报, 2016, 40(5): 820-831.  
Xu S N, Wang Z H, Liang J L, et al. Use of different sampling tools for comparison of fish-aggregating effects along horizontal transect at two artificial reef sites in Shengsi[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(5): 820-831(in Chinese).
- [3] 赵静, 章守宇, 周曦杰, 等. 浙江嵊泗枸杞岛岩礁生境两种刺网采样网具的比较[J]. 水产学报, 2013, 37(2): 311-320.  
Zhao J, Zhang S Y, Zhou X J, et al. Comparative analysis of two sampling gillnets of rocky reef area in Gouqi Islands, Shengsi, Zhejiang[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(2): 311-320(in Chinese).
- [4] 汪振华, 王凯, 章守宇. 马鞍列岛多种生境中鱼类群落的昼夜变化[J]. 生态学报, 2011, 31(22): 6912-6925.  
Wang Z H, Wang K, Zhang S Y. Diel variations of fish assemblages in multiple habitats of Ma'an archipelago, Shengsi, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(22): 6912-6925(in Chinese).
- [5] 王凯, 章守宇, 汪振华, 等. 枸杞岛岩礁生境主要鱼类的食物组成及食物竞争[J]. 应用生态学报, 2012, 23(2): 536-544.  
Wang K, Zhang S Y, Wang Z H, et al. Dietary composition and food competition of six main fish species in rocky reef habitat off Gouqi Island[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(2): 536-544(in Chinese).
- [6] 汪振华, 章守宇, 陈清满, 等. 马鞍列岛岩礁生境鱼类群落生态学. I. 种类组成和多样性[J]. 生物多样性, 2012, 20(1): 41-50.  
Wang Z H, Zhang S Y, Chen Q M, et al. Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago. I. Species composition and diversity[J]. Biodiversity Science, 2012, 20(1): 41-50(in Chinese).
- [7] 汪振华, 赵静, 王凯, 等. 马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局[J]. 生态学报, 2013, 33(19): 6218-6226.  
Wang Z H, Zhao J, Wang K, et al. Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6218-6226(in Chinese).
- [8] 吴常文. 浙江舟山近海褐菖鲉*Sebasticus marmoratus*生物学研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 1999, 18(3): 185-190, 226.  
Wu C W. Biological studies on *Sebasticus marmoratus* off Zhoushan[J]. Journal of Zhejiang Ocean

- University (Natural Science), 1999, 18(3): 185-190, 226(in Chinese).
- [9] 吴祖立, 汪振华, 王凯, 等. 马鞍列岛趋礁鱼类褐菖鲈生物学特性初步研究[J]. 广东农业科学, 2012, 39(12): 133-137.
- Wu Z L, Wang Z H, Wang K, et al. Preliminary study on biological characteristics of reef fish *Sebasticus marmoratus* of Ma'an Archipelago[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(12): 133-137(in Chinese).
- [10] 李朝文, 王凯, 程晓鹏, 等. 马鞍列岛海洋特别保护区褐菖鲈生物学参数估算[J]. 生物学杂志, 2018, 35(3): 106-109.
- Li C W, Wang K, Cheng X P, et al. Estimation of biological parameters for *Sebasticus marmoratus* in Ma'an archipelago special protected area[J]. Journal of Biology, 2018, 35(3): 106-109(in Chinese).
- [11] 王志铮, 吴常文, 侯伟芬, 等. 褐菖鲈仔、稚鱼生长特性及其关键变态期的研究[J]. 海洋科学, 2002, 26(5): 1-4.
- Wang Z Z, Wu C W, Hou W F, et al. Study on the growth characteristics and the pivotal metamorphic period of larva and fry of *Sebasticus marmoratus* (Cuvier et Valenciennes)[J]. Marine Sciences, 2002, 26(5): 1-4(in Chinese).
- [12] 张旭光, 郭弘艺, 宋佳坤. 褐菖鲈的听觉阈值研究[J]. 水生生物学报, 2018, 42(3): 593-598.
- Zhang X G, Guo H Y, Song J K. Thresholds for the hearing of marbled rockfish *Sebasticus marmoratus*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2018, 42(3): 593-598(in Chinese).
- [13] 谢伟. 褐菖鲈的发声及发声肌的特性[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- Xie W. Characteristics of the sound production and the sonic muscle in *Sebasticus marmoratus*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015 (in Chinese).
- [14] 韦璐, 宋佳坤, 潘连德, 等. 褐菖鲈和松江鲈侧线形态的比较[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(6): 801-809.
- Wei L, Song J K, Pan L D, et al. A comparative study on the lateral line morphology of *Sebasticus marmoratus* and *Trachidermus fasciatus*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(6): 801-809(in Chinese).
- [15] 林丹军, 尤永隆. 卵胎生硬骨鱼褐菖鲈卵巢的周期发育研究[J]. 动物学研究, 2000, 21(4): 269-274.
- Lin D J, You Y L. The ovarian cyclical development of ovoviviparous teleost, *Sebasticus marmoratus*[J]. Zoological Research, 2000, 21(4): 269-274(in Chinese).
- [16] 侍炯. 声、光对褐菖鲈(*Sebasticus marmoratus*)的行为影响研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
- Shi J. The Behavior of *Sebasticus marmoratus* by using sound or light[J]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014 (in Chinese).
- [17] 侍炯, 钱卫国, 唐振朝, 等. 150 Hz矩形波断续音对褐菖鲈音响驯化的试验研究[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(5): 514-519.
- Shi J, Qian W G, Tang Z Z, et al. Acoustic taming of dusty stingfish *Sebasticus marmoratus* by 150 Hz rectangular interval sound[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2014, 29(5): 514-519(in Chinese).
- [18] 王凯, 章守宇, 汪振华, 等. 枸杞岛海藻场褐菖鲈的摄食习性[J]. 水产学报, 2010, 34(2): 227-235.
- Wang K, Zhang S Y, Wang Z H, et al. Feeding habit of *Sebasticus marmoratus* in seaweed bed around Gouqi Island[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(2): 227-235(in Chinese).
- [19] 王凯, 李朝文, 汪振华, 等. 马鞍列岛海洋牧场褐菖鲈的摄食习性[J]. 应用生态学报, 2017, 28(7): 2321-2326.
- Wang K, Li C W, Wang Z H, et al. Feeding habits of the marbled rockfish *Sebasticus marmoratus* in the marine ranching off Ma'an Archipelago, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(7): 2321-2326(in Chinese).
- [20] 薛彬, 蒋日进, 王凯, 等. 应用稳定同位素技术分析枸杞岛近岸海域褐菖鲈的食性[J]. 水产学报, 2017, 41(9): 1415-1423.
- Xue B, Jiang R J, Wang K, et al. Feeding habits of (*Sebasticus marmoratus*) in the Gouqi Island based on stable isotope analysis[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(9): 1415-1423(in Chinese).
- [21] 曾旭, 章守宇, 汪振华, 等. 马鞍列岛褐菖鲈*Sebasticus marmoratus*栖息地适宜性评价[J]. 生态学报, 2016, 36(12): 3765-3774.
- Zeng X, Zhang S Y, Wang Z H, et al. Habitat suitability assessment of *Sebasticus marmoratus* in the rocky reef region of the Ma'an Archipelago[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(12): 3765-3774(in Chinese).
- [22] 邱成功, 徐善良, 林少珍, 等. 不同温度条件下褐菖鲈幼鱼的耗氧率和排氮率[J]. 应用海洋学报, 2014,

- 33(1): 84-89.
- Qiu C G, Xu S L, Lin S Z, *et al.* Oxygen consumption and ammonia excretion rates of juvenile *Sebasticus marmoratus* under different temperature treatments[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2014, 33(1): 84-89(in Chinese).
- [23] 杨竞争, 包若绮, 焦海峰, 等. 浙江渔山列岛国家级海洋特别保护区(海洋公园)保护与开发现状及管理策略分析[J]. *海洋开发与管理*, 2016, 33(9): 86-89.
- Yang J Z, Bao R Q, Jiao H F, *et al.* The protection, development status quo and management strategies of national marine special reserve (Ocean Park) of Yushan islands, Zhejiang Province[J]. *Ocean Development and Management*, 2016, 33(9): 86-89(in Chinese).
- [24] Murakami T, Morita Y, Ito H. Extrinsic and intrinsic fiber connections of the telencephalon in a teleost, *Sebasticus marmoratus*[J]. *Journal of Comparative Neurology*, 1983, 216(2): 115-131.
- [25] Hayashi A, Dotsu K, Ohta M. Reliability of surface reading methods to count otolith opaque zones on aging in marbled rockfish *Sebasticus marmoratus* compared with the cutaway reading method[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1995, 61(1): 1-5.
- [26] Ng W C, Sadovy Y, Leung F C C. Mating system of the rockfish, *Sebasticus marmoratus* as revealed by DNA fingerprinting[J]. *Ichthyological Research*, 2003, 50(4): 339-348.
- [27] Murakami T, Morita Y. Morphology and distribution of the projection neurons in the cerebellum in a teleost, *Sebasticus marmoratus*[J]. *Journal of Comparative Neurology*, 1987, 256(4): 607-623.
- [28] Wang C G, Zhao Y, Zheng R H, *et al.* Effects of tributyltin, benzo[a]pyrene, and their mixture on antioxidant defense systems in *Sebasticus marmoratus*[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2006, 65(3): 381-387.
- [29] Nakanishi T. Ontogeny of the immune system in *Sebasticus marmoratus*: Histogenesis of the lymphoid organs and effects of thymectomy[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1991, 30(1-2): 135-146.
- [30] Fujita H, Kohda M. Male mating effort in the viviparous scorpionfish, *Sebasticus marmoratus*[J]. *Ichthyological Research*, 1996, 43(3): 247-255.
- [31] Kita J, Tsuchida S, Setoguma T. Temperature preference and tolerance, and oxygen consumption of the marbled rockfish, *Sebasticus marmoratus*[J]. *Marine Biology*, 1996, 125(3): 467-471.
- [32] Inoue N. Developmental changes in low-salinity tolerance in larvae and juveniles of longtooth grouper, *Epinephelus bruneus*[J]. *Aquaculture Science*, 2016, 64(4): 403-405.
- [33] Ikeda I, Shibata K, Kimura M, *et al.* The effect of feeding stimulants on growth factors of the marbled rockfish, *Sebasticus marmoratus*[J]. *Journal of the Shimonoseki University of Fisheries*, 1998, 46(4): 209-214.
- [34] Matsuo K, Miyagawa M, Kanda M, *et al.* Feeding habits of fishes of rocky shore at Ibukijima island, in the inland sea[J]. *Bulletin of Marine Science and Fisheries - Kochi University (Japan)*, 1997(17): 41-61.
- [35] Kusakabe T, Ariyama H, Ohmi H, *et al.* Comparison of feeding conditions in adult marbled rockfish *Sebasticus marmoratus* between an inclined sea wall of Kansai International Airport and a natural rocky shore[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2005, 71(4): 594-600.
- [36] Roycroft D, Kelly T C, Lewis L J. Birds, seals and the suspension culture of mussels in Bantry Bay, a non-seaduck area in Southwest Ireland[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 61(4): 703-712.
- [37] Lin J, Li C Y, Zhang S Y. Hydrodynamic effect of a large offshore mussel suspended aquaculture farm[J]. *Aquaculture*, 2016, 451: 147-155.
- [38] 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).
- [39] Wang Z H, Chen Y, Zhang S Y, *et al.* A comparative study of fish assemblages near aquaculture, artificial and natural habitats[J]. *Journal of Ocean University of China*, 2015, 14(1): 149-160.
- [40] 汪振华, 梁金玲, 章守宇. 贻贝养殖海域表底层的鱼类组成比较[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(3): 753-759.
- Wang Z H, Liang J L, Zhang S Y. Comparison of pelagic and benthic fish assemblages in mussel farming habitat[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(3): 753-759(in Chinese).

- [41] 胡贯宇, 陈新军, 刘必林, 等. 茎柔鱼耳石和角质颞微结构及轮纹判读[J]. 水产学报, 2015, 39(3): 361-370.  
Hu G Y, Chen X J, Liu B L, *et al.* Microstructure of statolith and beak for *Dosidicus gigas* and its determination of growth increments[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(3): 361-370(in Chinese).
- [42] Yatsu A, Midorikawa S, Shimada T, *et al.* Age and growth of the neon flying squid, *Ommastrephes bartrami*, in the North Pacific ocean[J]. [Fisheries Research](#), 1997, 29(3): 257-270.
- [43] Jiang R J, Zhang S Y, Wang K, *et al.* Stable isotope analysis of the offshore food web of Gouqi Island[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(4): 930-938(in Chinese).
- [44] 吴常文, 王伟洪, 李昌达. 褐菖鲉*Sebastes marmoratus*性腺、胚胎和仔鱼发育的初步研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 1999, 18(4): 310-314.  
Wu C W, Wang W H, Li C D. Preliminary study on the development of *Sebastes marmoratus* sex gland, embryo and fry[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 1999, 18(4): 310-314(in Chinese).
- [45] 邱成功, 徐善良, 齐闯, 等. 褐菖鲉(*Sebastes marmoratus*)早期生长发育与人工繁育技术研究[J]. 宁波大学学报(理工版), 2013, 26(4): 17-23.  
Qiu C G, Xu S L, Qi C, *et al.* Studies on early growth and development in *Sebastes marmoratus* with artificial breeding technology[J]. Journal of Ningbo University (Natural Science & Engineering Edition), 2013, 26(4): 17-23(in Chinese).
- [46] Gillanders B M, Kingsford M J. Elemental fingerprints of otoliths of fish may distinguish estuarine 'nursery' habitats[J]. [Marine Ecology Progress](#), 2000, 201: 273-286.
- [47] Brazner J C, Campana S E, Tanner D K. Habitat fingerprints for lake superior coastal wetlands derived from elemental analysis of yellow perch otoliths[J]. [Transactions of the American Fisheries Society](#), 2004, 133(3): 692-704.

## Habitat use of juvenile rockfish (*Sebastiscus marmoratus*) in mussel farming waters: a preliminary study

WANG Zhenhua, ZHONG Jiaming, ZHANG Shouyu\*, WANG Kai,  
LIN Jun, ZHANG Jian, SHEN Hui

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

**Abstract:** Mussel farming habitat distributed in Shengsi archipelago has been growing in scales since the last century and playing key roles as marine ranching. Fully understanding of habitat use strategies of rock fishes in mussel farming area can be important reference for design of marine ranching programs. A monthly survey targeted on juvenile rockfish *Sebastiscus marmoratus* was carried out from May to July, 2018 in the northern area of Zhoushan archipelago, in order to explore the habitat use characteristics of juvenile rockfish in mussel farming area, as well as its reference value for marine ranching projects. Self-designed nets were applied to collect juvenile rockfish. Inhabitant density and its spatial distribution characteristics, habitat selection strategies, food selection characteristics based on stomach contents analysis, and early life cycles based on otolith rings, were discussed. The inhabitant density for juvenile rockfish from May to July was respectively  $(10\pm 6)$  inds/string,  $(7\pm 5)$  inds/string and  $(5\pm 5)$  inds/string, showing a monthly decline trend. Juvenile individuals distributed widely during early month and then moved from offshore side of mussel farming area toward inshore side till its complete disappearance in offshore sites. However, sites with the greatest densities were always located beside shoreline area. Positive correlation was detected between juvenile densities and void volume as well as macroalgae biomass from hanging mussel strings based on correlation analysis, although not at significant level. High feeding intensity lasted all three months with zero rate of empty stomachs, and was revealed by stomach content analysis. The average feeding degree was higher in mussel farming area than that in the rocky reef habitat. The juvenile rockfish mainly fed on Amphipoda represented by *Caprellidae* sp. and *Gammaridea* sp., which accounted for 99.2% together by weight among its total diet composition. Its early stage inhabited in mussel farming habitat lasted about two to three months with average daily growth ring equal to  $(57\pm 12)$  d for juvenile rockfish. Comparison of homogeneousness and regularity on otolith rings revealed that individuals inhabited in mussel farming area showed much more consistence than those from rocky reef habitats. It indicated that hanging strings in mussel farming waters around Gouqi Island supplied ideal habitats to juvenile rockfish by offering much more stable physical environment and abundant food sources, which in turn made great contributions to its stock enhancement and population conservation effects in local areas. It is suggested that local government should pay close attention to habitat use strategies of dominant reef fishes such as rockfish by means of applying suspended structures on proper scales in local marine ranching programs.

**Key words:** *Sebastiscus marmoratus*; juveniles; mussel farming; characteristics of otolith pattern; marine ranching; habitat use

**Corresponding author:** ZHANG Shouyu. E-mail: syzhang@shou.edu.cn

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (41876191, 41406153, 41606146); National Key R&D Program of China(2018YFD0900905); China Agriculture Research System (CARS-50)