

贻贝养殖海域表底层的鱼类组成比较*

汪振华 梁金玲 章守宇**

(上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

摘要 为了解贻贝养殖生境表底层水体的鱼类组成差异,利用2013年11月和2014年2月在枸杞岛贻贝养殖海域采集的鱼类数据,采用多样性和相对渔获率指标结合聚类和排序方法,对表底层的鱼类组成、多样性、密度以及群落格局差异进行了分析。结果表明:鲮(*Mugil cephalus*)和斑鲮(*Konosirus punctatus*)为秋冬季贻贝养殖区表层水体的优势鱼类,而褐菖鲉(*Sebastiscus marmoratus*)和小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、龙头鱼(*Harpadon nehereus*)和皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*)分别为底层水体秋季和冬季的优势种;其中小黄鱼在养殖区的表底层皆有较大数量的分布;渔获率上,两季皆呈现表层高于底层的特征,除冬季的丰度渔获率外,其余皆有显著差异;鱼类在养殖区表层水体的平均丰度和生物量皆高于底层;多元分析显示,无论秋冬,表底层的鱼类群落格局皆有显著差异。可见,贻贝养殖设施相当于规模庞大的浮鱼礁系统,在泥质海域建设海洋牧场时,可结合类似浮体结构以增加海域立体养护能力;另一方面,可在养殖区底部增设人工鱼礁,以进一步发挥其海洋牧场效应。

关键词 贻贝养殖; 鱼类组成; 海洋牧场; 人工生境

中图分类号 Q178.1, S932.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2015)3-0753-07

Comparison of pelagic and benthic fish assemblages in mussel farming habitat. WANG Zhen-hua, LIANG Jin-ling, ZHANG Shou-yu** (College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(3): 753–759.

Abstract: Investigations on fish communities at the pelagic and bottom levels of mussel farming habitat were conducted in November of 2013 and February of 2014 respectively, in order to study fish assemblage differences at the two water levels. Sampling stations were located at Gouqi Island of Ma'an Archipelago, Zhejiang Province. Species composition, diversity, relative abundance, biomass and community patterns of fish at the pelagic and benthic waters of mussel farming habitat were analyzed by using diversity indices, relative fishing efficiency indices and multivariate analysis. The results showed that *Mugil cephalus* and *Konosirus punctatus* were the dominant species in pelagic waters during autumn and winter, whereas in bottom waters *Sebastiscus marmoratus* and *Larimichthys polyactis* were the dominant species during autumn, and *Harpadon nehereus* and *Johnius belangerii* were the dominant species during winter. *L. polyactis* was found with high abundance both in pelagic and benthic waters during both seasons. The relative catch rates in pelagic waters were higher than in benthic waters during both seasons. Higher abundance and biomass of fish were recorded in pelagic waters than in benthic waters during both seasons. The results of multivariate analysis revealed two significantly different fish composition patterns from the pelagic and benthic waters regardless of seasons. It is concluded that the mussel farming habitat can act as a floating artificial reef system. Therefore, we suggest that the floating artificial reefs can be deployed in the design of marine ranching to achieve three-dimension conservation effects. Besides, artificial reefs can be set at the bottom of mussel farming area to enhance marine ranching effects.

Key words: mussel farming; fish composition; marine ranching; artificial habitat.

* 上海高校青年教师培养计划项目(ZZhy12009)、公益性行业(农业)科研专项(201303047)和国家自然科学基金项目(41176110)资助。

** 通讯作者 E-mail: syzhang@shou.edu.cn

收稿日期: 2014-06-14 接受日期: 2014-11-06

海洋贝类养殖往往会在水体表层数米深的范围内敷设大量的人工构造物(如浮绳和筏架等),从而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(Morrissey *et al.*, 2006)。对于海洋鱼类而言,这种结构类似于大洋中常见的集鱼装置(Fréon *et al.*, 2000)。当贻贝养殖活动的时空尺度达到一定规模时,它起到的作用应不仅仅局限于聚集鱼类,而可能具备增养殖各种鱼类资源的海洋牧场功能(Morrissey *et al.*, 2006)。

在养护表层生物资源的同时,由于养殖设施的存在,也使得原来作为开放水域时一些破坏性较大的捕捞干扰(如拖网、张网和定置延绳钓等)逐渐消失,从而也为底层鱼类提供了休养生息的良好条件。这种三维立体养殖模式在整个水层上对鱼类的影响如何,一直是个不得而知的问题(Morrissey *et al.*, 2006)。国内外关于贝类养殖生态效应的已有研究主要关注对象是底栖生物(Grant *et al.*, 1995; Stenton-Dozey *et al.*, 1999; da Costa *et al.*, 2006)、其次是浮游生物(Ogilvie *et al.*, 2000; Trottet *et al.*, 2008; 刘邦平等, 2011)和鱼类等(Roycroft *et al.*, 2004; Morrissey *et al.*, 2006; Clynick *et al.*, 2008)。而少数针对贻贝养殖区鱼类群落的研究案例关注的分别是养殖筏周围(Morrissey *et al.*, 2006)和底层的情况(Clynick *et al.*, 2008)。

针对该问题,本研究设定了相应的调查方案,以枸杞岛贻贝养殖海域为对象,分表底层对鱼类进行同步采样。本文推测,鱼类在贻贝养殖海域表层、底层水体的聚集程度和方式因栖息地结构的差异会表现出不同的特征。本文的目的是探讨贻贝养殖海域表层和底层水体中的鱼类群聚特征及其间差异,验证上述假设,从而为海洋牧场建设中如何增加表底层水体综合养护效能这一重要科学问题提供思路。

表 1 贻贝养殖区各站位的经纬度、水深和样带长度

Table 1 Longitude and latitude, average depth and length of transect for the selected 7 stations

站点	采样时间	采样次数	中心经度 (E)	中心纬度 (N)	平均水深 (m)	样带长度 (m)
MF1	2013-11-03-04, 2014-02-17-19	3	122°47'25.69"	30°42'23.72"	15.5±1.2	150
MF2	2013-11-03-04, 2014-02-17-18	2	122°45'45.09"	30°42'22.57"	11.7±2.4	120
MF3	2013-11-05-06, 2014-02-20-21	2	122°46'55.48"	30°43'56.81"	7.8±0.9	115
MF4	2013-11-05-06, 2014-02-20-21	2	122°45'41.78"	30°43'27.46"	13.3±1.3	135
MF5	2013-11-07-09, 2014-02-22-24	4	122°45'57.68"	30°44'02.53"	16.4±1.5	160
MF6	2013-11-08-10, 2014-02-25-26	3	122°44'45.62"	30°44'11.98"	24.7±2.7	185
MF7	2013-11-11-12, 2014-02-25-26	2	122°44'37.57"	30°43'04.26"	18.9±2.1	135

采样次数超过 2 次时,多出的次数是由于采样失败所致。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域和站位选择

本文研究区域为浙江嵊泗县枸杞岛周边的浮绳贻贝养殖区(图 1)。截至 2012 年 12 月底,岛周围的浮绳贻贝养殖面积已达 1800 hm²,成为东海区规模最大的贻贝养殖地。2006—2010 年在枸杞岛周围的不连续调查发现春夏季养殖区的表层可以观察到大量幼鱼。养殖贻贝分布在大小不等的 4 个片区,在这些片区共设置 7 个站位,其中枸杞岛南部 2 个,记为 MF1 和 MF2;枸杞岛北面 5 个,记为 MF3—MF7(图 1)。各站位的中心经纬度、水深和样带长度(即网具总拦截长度)信息见表 1。

1.2 采样方法和样本处理

春夏季贻贝养殖区聚集有各种难以采集的幼鱼;同期海水能见度较高,中上层鱼类较易发现各类网具;再加上大量漂流藻的存在影响到网具效率,使得春夏季表层鱼类样本的采集效果降低,有限的样本无法揭示贻贝养殖表层水体的鱼类组成情况。鉴于上述问题,本文选择秋冬季进行采样,因为这 2 个

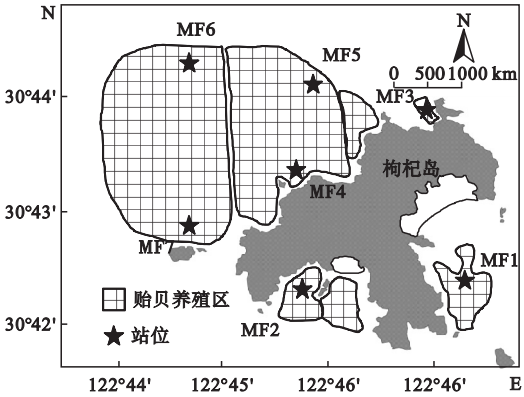


图 1 贻贝养殖区鱼类样本采集站位分布示意图
Fig.1 Location of fish sampling stations in mussel farming habitat

季节鱼类个体往往较大,而且海水透明度低,可大大增加刺网的渔获效率。于2013年11月3—12日(秋季)和2014年2月17—26日(冬季)采用多网目三重组合刺网对所选站位进行鱼类样本的采集。海况适宜时每天采集1~2个站位的样本,一些站位的刺网因潮流冲刷而缠绕在养殖结构体上,如网具破损率超过20%则更换网具后在偏离原站位一定距离处重新采样。根据现场潮况选择放网时间,平均每组刺网的采样累积时间为24 h左右。每一组刺网由横向缩节长度皆为15 m的26、34、43、50、60、70和80 mm共7种目大的网衣随机连接而成,每片网衣的缩节高度皆为1.8 m,该网具的其他详细信息同文献(汪振华等,2013)。在贻贝养殖区底层放置该刺网时,因底部分布着纵横交错的锚绳,故将其分为2段错开平行放置;在表层放置时,每隔2 m在浮子纲上增加一个直径为8 cm的白色塑料浮子,以保证其能浮于水体上方离水面2~3 m的深度范围内。增加浮子后的组合刺网整组设置在平行养殖筏的中间,两端固定在养殖浮绳上。

对获取的鱼类样本不作任何预处理,直接在枸杞岛实验基地完成基础生物学指标的测量,包括体长、体重、性别和性腺成熟度等参数的收集。所有种类鉴定至其分类最低阶元。

1.3 数据处理

为比较表底层的鱼类组成区系差异,根据其适温性将鱼类分为暖水种和暖温种(郑元甲等,2003)。将丰度渔获率(A-CPUE,即每个站位表层或底层24 h的渔获总尾数,单位 ind·d⁻¹)和生物量渔获率(B-CPUE,即每个站位表层或底层24 h的渔获总重量,单位 g·d⁻¹)作为考量表底层鱼类总体密度和生物量的指标。

优势种的确定采用优势度公式

$$Y = (n_i/N) \times f_i$$

式中, n_i 为第*i*个种的个体数, f_i 为该种在各站位出现的频率(即 $f_i = (a_i/S) \times 100\%$, a_i 为第*i*种出现的次数, S 为总的站位数)。 N 为所有种的总个体数。

为更好地区分优势种和一般种类,本文将 $Y \geq 0.1$ 作为判断优势种的依据。

采用Margalef种类丰富度指数 D 、Shannon 种类多样性指数 H' 和Pielou 均匀度指数 J' 比较表底层鱼类多样性的差异:

$$D = (S-1)/\ln N;$$

$$H' = - \sum_{i=1}^s (n_i/N) \ln(n_i/N)$$

$$J' = H'/\ln S$$

式中, S 为总种类数, n_i 为第*i*种生物的数量, N 为鱼类总个体数。

应用多元分析方法中的等级聚类(UPGMA)和二维排序(nMDS)结合种类贡献度相似性百分比(SIMPER)和相似性分析(ANOSIM),比较表底层鱼类群落组成的差异(Clarke *et al.*, 2006)。上述分析皆利用PRIMER 5.0软件包完成。

采用单因素方差分析检验表底层鱼类的相对渔获率和多样性指标差异。利用Excel 2007的“数据分析”模块完成该检验,显著性水平为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 表底层的种类组成差异

秋冬两季在养殖区共采集鱼类25种(表2),隶属7目18科23属。其中秋季表层为4目10科11属共计11种,底层为7目12科12属12种;冬季表层为3目5科6属6种,底层为5目7科9属10种。从种类数量来看,秋季表底层的差异不大,但冬季在养殖浮绳周围活动的鱼类物种数没有养殖区底层水体丰富。

不同适温性种类组成(表2):秋季表层暖水性鱼类9种,暖温性为2种;底层暖水性鱼类为7种,暖温性为5种(主要是地方种)。冬季表层暖水种和暖温种分别为4和2种,而底层分别为4和6种。可见,两季在表层皆以暖水性鱼类为主,而秋季的底层暖水性鱼类略比暖温性种类丰富,但到了冬季则相反,以暖温性地方种类为主。这表明暖水性鱼类季节性的利用贻贝场,且聚集在表层的种类并不比底层少。

优势种组成方面:秋季表层优势种有4种,按优势度从大到小依次为小黄鱼($Y=0.25$)、赤鼻棱鲷($Y=0.19$)、斑鲷($Y=0.18$)和鲷($Y=0.14$);底层优势种仅有2种,为龙头鱼($Y=0.43$)和褐菖鲉($Y=0.13$)。冬季表层优势鱼类为小黄鱼($Y=0.36$)、鲷($Y=0.32$)和斑鲷($Y=0.11$),而底层的优势种为小黄鱼($Y=0.23$)和皮氏叫姑鱼($Y=0.18$)2种。可见,秋冬季贻贝养殖筏所在的上层水体优势种组成变化不大,群落特征较为稳定,但冬季的赤鼻棱鲷数量相对秋季要少得多;底层水体的优势种在秋冬季却截然不同,群落特征差异明显。

表 2 秋冬季贻贝养殖区域表底层的鱼类组成、出现率和丰度
Table 2 Fish composition, percentage of occurrence and abundance in pelagic and bottom area of mussel farming during autumn and winter

种名	秋季表层		秋季底层		冬季表层		冬季底层	
	出现频率 (%)	丰度 (ind)	出现频率 (%)	丰度 (ind)	出现频率 (%)	丰度 (ind)	出现频率 (%)	丰度 (ind)
海鳗 * <i>Muraenesox cinereus</i>	—	—	28.6	2	—	—	—	—
赤鼻棱鳀 * <i>Thryssa kammalensis</i>	85.7	49	14.3	2	57.1	8	42.9	5
中颌棱鳀 * <i>Thrissa mystax</i>	—	—	—	—	—	—	28.6	3
黄鲫 * <i>Setipinna taty</i>	—	—	—	—	28.6	3	—	—
日本鲭 * <i>Scomber japonicus</i>	14.3	1	—	—	—	—	—	—
竹荚鱼 * * <i>Trachurus japonicus</i>	14.3	1	—	—	—	—	—	—
高体若鲹 * <i>Carangoides equula</i>	28.6	20	—	—	—	—	—	—
斑鲹 * <i>Konosirus punctatus</i>	85.7	46	—	—	71.4	11	—	—
小黄鱼 * * <i>Larimichthys polyactis</i>	100	53	57.1	8	100	26	85.7	15
黄姑鱼 * * <i>Nibea albiflora</i>	—	—	—	—	—	—	42.9	3
皮氏叫姑鱼 * <i>Johnius belangerii</i>	—	—	—	—	—	—	85.7	12
六指马鲛 * <i>Polydactylus sexfilis</i>	—	—	57.1	17	—	—	—	—
四指马鲛 * <i>Eleutheronema tetradactylum</i>	14.3	2	—	—	—	—	—	—
绿鳍鱼 * <i>Chelidonichthys kumu</i>	14.3	1	—	—	—	—	—	—
龙头鱼 * <i>Harpadon nehereus</i>	57.1	7	100	54	—	—	42.9	4
少鳞鳢 * <i>Sillago japonica</i>	—	—	28.6	9	—	—	—	—
中国花鲈 * * <i>Lateolabrax maculatus</i>	42.9	4	—	—	14.3	1	28.6	3
细刺鱼 * <i>Microcanthus strigatus</i>	—	—	14.3	1	—	—	—	—
列牙鲷 * <i>Pelates quadrilineatus</i>	—	—	42.9	5	—	—	—	—
鲮 * <i>Mugil cephalus</i>	100	31	—	—	100	23	—	—
黑鲷 * * <i>Acanthopagrus schlegeli</i>	—	—	14.3	1	—	—	—	—
褐菖鲉 * * <i>Sebastiscus marmoratus</i>	—	—	71.4	22	—	—	42.9	6
短吻舌鲷 * * <i>Cynoglossus abbreviatus</i>	—	—	—	—	—	—	14.3	1
焦氏舌鲷 * * <i>Cynoglossus joyneri</i>	—	—	14.3	2	—	—	7.1	5
星点东方鲀 * * <i>Takifugu niphobles</i>	—	—	14.3	2	—	—	—	—

* 暖水种; * * 暖温带种;—没有样本。

2.2 表底层的鱼类多样性和相对渔获率差异

从平均值来看,秋季养殖区表层水体的鱼类种类数、丰富度 D 、均匀度 J' 、多样性 H' 、丰度渔获率和生物量渔获率皆大于底层(表 3)。方差分析表明,表底层的种类数($F=2.804, P=0.12$)、丰富度 D ($F=0.312, P=0.586$)、均匀度 J' ($F=2.789, P=0.121$)和多样性 H' ($F=3.408, P=0.09$)皆无显著差异,但表层的鱼类丰度渔获率($F=7.016, P=0.021$)和生物量渔获率($F=23.911, P=0.0004$)皆显著高

于底层水体。可见,贻贝养殖区秋季表层水体的鱼类多样性总体上高于底层,尤其是数量和生物量上,都明显比底层的高。

冬季,养殖区表层水体的鱼类种类数、丰富度、均匀度和多样性平均值皆小于底层,丰度渔获率和生物量渔获率却高于底层(表 3)。表底层的鱼类多样性指标上,除了均匀度 J' ($F=2.616, P=0.132$)外,表层的种类数($F=14.7, P=0.002$)、丰富度 D ($F=71.89, P=0.00007$)和多样性 H' ($F=16.55$,

表 3 贻贝养殖区表底层秋冬季的相对渔获率和多样性指标(均值±标准误差)
Table 3 Relative catch rates and diversity indices at surface and bottom sites of MF habitat

单变量指标	秋季		冬季	
	表层	底层	表层	底层
种类数	5.6±1.1	4.1±2.0	3.7±0.5	4.7±0.5
丰富度	1.35±0.24	1.24±0.50	1.20±0.07	1.79±0.14
均匀度	0.87±0.05	0.78±0.13	0.92±0.04	0.95±0.02
多样性	1.48±0.16	1.17±0.42	1.20±0.13	1.47±0.12
丰度渔获率 A-CPUE (ind · d ⁻¹)	30.9±11.1	17.9±6.8	10.3±3.6	8.1±0.19
生物量渔获率 B-CPUE (g · d ⁻¹)	6641±3305	518±225	3327±2538	408±152

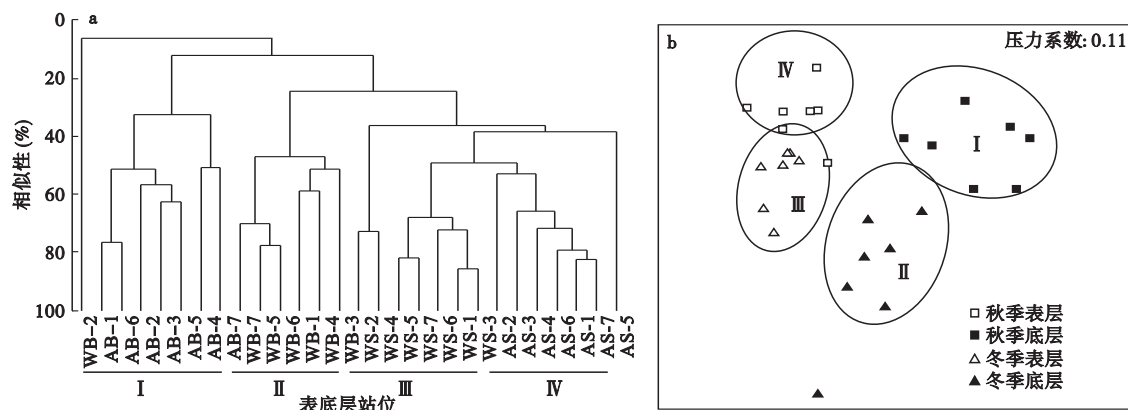


图2 贻贝养殖区表底层鱼类群落组成的聚类(a)和排序(b)

Fig.2 Bray-Curtis dendrogram (panel a) and MDS plot (panel b) of surface and bottom fish assemblages in MF habitat

$P=0.0016$)皆显著低于底层。相对渔获率上,表底层的丰度渔获率差异不明显($F=1.962, P=0.187$),但表层的生物量渔获率仍然显著高于底层($F=9.22, P=0.01$)。结合前述种区系信息,可见随着冬季水温的降低,秋季在表层有一定聚集的暖水性鱼类减少,而底层水体中因为多数为地方性种类,所以种区系较为稳定,从而形成多样性和渔获率与秋季不同的结果。

2.3 表底层的鱼类群落格局差异

聚类和排序结果显示,贻贝养殖区的鱼类群落组成可以明显分为4类(图2),即群落I,以龙头鱼、褐菖鲉和六指马鲛为优势类群的秋季底层群落,该3种鱼对群落相似性的累积贡献度达到91.6%;群落II,以小黄鱼和皮氏叫姑鱼为优势鱼种的冬季底层鱼类群落,其累积贡献度为77%;群落III,以小黄鱼、鲷和斑鲷为主要类群的冬季表层鱼类群落,其累积贡献度为93.4%;群落IV,以赤鼻棱鲷、小黄鱼、鲷和斑鲷为优势鱼种的秋季表层鱼类群落,其累积贡献度为95.9%。

SIMPER 和 ANOSIM 分析结果显示,4个群落间的总体差异达到极显著水平(Global $R=0.755, P=0.001$)。不同水层间:秋季表底层鱼类群落组成的平均相异性达到90.65%,其间存在显著差异($R=0.956, P=0.002$);冬季表底层的平均相异性达到74.2%,其间差异亦非常显著($R=0.804, P=0.002$)。不同季节间:秋季表层和冬季表层鱼类群落组成的平均相异性达到57.78%,其间存在显著差异($R=0.398, P=0.002$);秋季底层和冬季底层的平均相异性达到82.78%,两者间的差异极为显著($R=0.707, P=0.001$)。

分析上述结果,可以发现无论秋季还是冬季,由于养殖区表层水体中的优势鱼类组成和底层水体差别较大,两者间的群落特征亦有显著不同;另外由于养殖区地方种优势度的变化和洄游性暖水鱼类的季节性聚集强度的改变,导致了秋冬季表底层鱼类群落格局在时间上的显著变化。

3 讨论

3.1 贻贝养殖区表底层的鱼类组成和群落格局差异

海洋栖息地结构的类型和规模通常是影响鱼类分布和群体数量的重要物理条件之一(Anderson *et al.*, 1989)。在众多海洋栖息地类型中,人工生境所塑造出来的物理和生物环境往往能极大地增加自然海底或中上层水体的空间异质性,从而对原有的鱼类组成和分布产生影响(Seaman *et al.*, 1991)。贻贝养殖作为一种典型的人工生境,其结构的主体处在上层0~4 m的水体,在浮绳、养殖贻贝串和浮球等构件的共同影响下,使其成为各种中上层鱼类良好的聚集场所,一些底层鱼类也会阶段性的栖息在养殖结构物表面或周围(Morrissey *et al.*, 2006)。因此,我们认为,由于养殖水域表底层水体栖息环境的本质差别,表层和底层的鱼类组成会有一定差异,但目前尚未有其他类似研究对该假说作以验证(Morrissey *et al.*, 2006; Clynick *et al.*, 2008)。

本研究表明,季节不同,贻贝养殖区表底层鱼类数的差异亦不同。秋季种类数相差较小,但到了冬季,养殖区底部的鱼类组成要比表层丰富。这种差异很可能是由于不同适温性鱼类对该生境的季节性利用所造成的。由于底层以暖温性的鲷科、海鳗科和鲆鲽类为代表种,其秋冬季的组成较为稳定,而表

层水体更多地聚集了暖水性的鳀科、鲹科和鲭科鱼类,当冬季温度下降到 15℃ 以后,暖水性鱼类大多洄游至越冬场所,故形成了这种季节上的表底层差异。

此外,养殖设施大尺度长时间的存在,对若干优势种类的聚集方式和洄游习性产生了一定影响。除赤鼻棱鳀外,表层水体秋冬季的优势种基本保持不变,皆以小黄鱼、鲷和斑鲷为主;而底层水体发生了从秋季龙头鱼和褐菖鲢到冬季小黄鱼和皮氏叫姑鱼的转变。由于养殖设施的存在,近底层鱼类小黄鱼也成为表层的优势种,增加了其空间利用率和数量分布范围,而原本在冬季较少捕获的斑鲷也能在该季维持一定的数量,这些变化和养殖环境的存在必然有一定的联系。相对表层,底层鱼类生存环境的改变在物理结构上并不大,其种类区系的稳定性较强,但优势种表现自然状态下的季节更替规律。可见,贻贝养殖对自然水域鱼类区系和优势种优势度的影响更多的体现在上层水体。

这些影响也可以从当地捕捞作业的情况上间接反映出来:在过去没有养殖贻贝或者规模不大的时候,每年的秋冬季,很少见到近岸敷设的漂浮刺网(以捕捞鲷为主);而随着贻贝养殖的规模化发展,每年的这两个季节可以在养殖区观察到大量浮刺网。另外,春夏季海水透明度较好的时节,在养殖区经常可以看到成群的鲷鱼和其他鱼类的幼鱼。研究证明,许多鱼类在幼体或整个生活史阶段会大量聚集在养殖设施的周围(Morrissey *et al.*, 2006; Clynick *et al.*, 2008; Sanz-Lázaro *et al.*, 2011)。这些现象一定程度上说明贻贝养殖活动也起到了养护土著和中上层鱼类的海洋牧场功能。

不同区系鱼类和优势种对贻贝养殖生境的阶段性利用特征,形成了其表底层差异明显的群落格局。这种格局不仅表现出相同季节不同水层间的显著差异,也表现出同一水层不同季节间的明显不同。可见,由于养殖设置的存在,不同深度显示出不同的空间异质性(Hair *et al.*, 1994),自然水体的鱼类群落结构随之发生空间分化,从而形成了鱼类对养殖水域的立体利用模式,而这些正是我们在设计海洋牧场时希望能实现的目标。可以想象在未来的海洋牧场建设环节,综合利用上下层水体以营造立体养护模式,将成为一种趋势。

3.2 贻贝养殖区表底层的鱼类多样性和生物量差异

本研究发现,聚集在贻贝养殖筏周围的鱼类多

样性并不亚于底层,且生物量普遍高于底层。可见,贻贝养殖生境已经成为一些鱼类偏好的聚集场所。虽然目前国内外尚无类似研究可以参考以验证上述结论,但可以结合人工生境的生态功能进行解释。贻贝养殖设施的功能类似于大洋上的集鱼装置(Dempster *et al.*, 2003),但由于养殖规模巨大且常年固定等特征,一些鱼类很可能将该人工生境作为阶段性乃至整个生活史的重要栖息地(Morrissey *et al.*, 2006)。Hair 等(1994)的研究表明,不同的鱼类往往栖息在海洋的不同水体,这是自然海域鱼类长期适应环境的生态位选择结果。当海洋表层聚集大量漂流物时,可能会对各个水层不同生活史阶段的各种鱼类的摄食、趋避、繁殖等生理行为产生影响(Ingólfsson, 2000; Perkol-Finkel *et al.*, 2008),比如原本生活在底层的鱼类会栖居在养殖筏的结构物表面(Morrissey *et al.*, 2006)。但多数情况下,都是将一些原本分散的鱼类聚集成群(Fréon *et al.*, 2000)。近期研究表明,枸杞岛近岸区域具有功能多样的饵料环境(蒋日进等, 2014),而贻贝养殖筏周围的饵料生物与沿岸区域基本类似,大量漂流海藻和附着生物的存在为各种鱼类提供了潜在的食物源。因此,在贻贝养殖区的表层可以观察到大规模鱼群的现象就不难解释。正是这些影响因素的存在,使得养殖区表层聚集的鱼类数量和生物量密度达到甚至超过底部的水平。可见,养殖贻贝的同时,也对一些鱼类种群(如小黄鱼和鲷等)的养护和增殖、对特定区域鱼类多样性的维持都将起到积极的影响。

基于上述结论,本文认为,海洋牧场建设过程中,可在目标海域设置浮式养殖设施,与底部的人工鱼礁形成空间耦合,最终构建三维立体的全水层养护模式,既能达到增殖鱼类种群的目的,又能实现保护和提高鱼类多样性的生态效果。

致 谢 上海海洋大学吴程宏、王家启和王坤协助进行现场调查和生物学实验,在此一并致谢。

参考文献

- 蒋日进,章守宇,王 凯,等. 2014. 枸杞岛近岸海域食物网的稳定同位素分析. 生态学杂志, **33**(4): 930-938.
- 刘邦平,杨宇峰. 2011. 大鹏澳养殖海域表底层水环境及浮游动物群落结构的比较研究. 海洋环境科学, **30**(4): 492-495.
- 汪振华,龚甫贤,吴祖立,等. 2013. 多网目单层和三重组合刺网在岩礁和沙地生境中的鱼类采集效果比较. 生态学杂志, **32**(2): 507-514.

- 郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 2003. 东海大陆架生物资源与环境. 上海: 上海科学技术出版社.
- Anderson TW, DeMartini EE, Roberts DA. 1989. The relationship between habitat structure, body size and distribution of fishes at a temperate artificial reef. *Bulletin of Marine Science*, **44**: 681–697.
- Clarke KR, Gorley RN. 2006. PRIMER v6: User Manual-Tutorial. Plymouth: Plymouth Marine Laboratory.
- Clynick BG, McKindsey CW, Archambault P. 2008. Distribution and productivity of fish and macroinvertebrates in mussel aquaculture sites in the Magdalen islands (Québec, Canada). *Aquaculture*, **283**: 203–210.
- da Costa KG, Nalesso RC. 2006. Effects of mussel farming on macrobenthic community structure in Southeastern Brazil. *Aquaculture*, **258**: 655–663.
- Dempster T, Kingsford MJ. 2003. Homing of pelagic fish to fish aggregation devices (FADs): The role of sensory cues. *Marine Ecology Progress Series*, **258**: 213–222.
- Fréon P, Dagorn L. 2000. Review of fish associative behaviour: Towards a generalization of the meeting point hypothesis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **10**: 183–207.
- Grant J, Hatcher A. 1995. A multidisciplinary approach to evaluating impacts of shellfish aquaculture on benthic communities. *Estuaries*, **18**: 124–144.
- Hair CA, Bell JD, Kingsford MJ. 1994. Effects of position in the water column, vertical movement and shade on settlement of fish to artificial habitats. *Bulletin of Marine Science*, **55**: 434–444.
- Ingólfsson A. 2000. Colonization of floating seaweed by pelagic and subtidal benthic animals in southwestern Iceland. *Hydrobiologia*, **440**: 181–189.
- Morrissey DJ, Cole RG, Davey NK, et al. 2006. Abundance and diversity of fish on mussel farms in New Zealand. *Aquaculture*, **252**: 277–288.
- Ogilvie SC, Ross AH, Schiel DR. 2000. Phytoplankton biomass associated with mussel farms in Beatrix Bay, New Zealand. *Aquaculture*, **181**: 71–80.
- Perkol-Finkel S, Zilman G, Sella I, et al. 2008. Floating and fixed artificial habitats: Spatial and temporal patterns of benthic communities in a coral reef environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **77**: 491–500.
- Roycroft D, Kelly TC, Lewis LJ. 2004. Birds, seals and the suspension culture of mussels in Bantry Bay, a non-seaduck area in Southwest Ireland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **61**: 703–712.
- Sanz-Lázaro C, Belando MD, Navarrete-Mier F, et al. 2011. Effects of wild fish and motile epibenthic invertebrates on the benthos below an open watersh farm. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **91**: 216–223.
- Seaman W, Sprague LM. 1991. Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries. California: Academic Press.
- Stenton-Dozey JME, Jackson LF, Busby AJ. 1999. Impact of mussel culture on macrobenthic community structure in Saldanha Bay, South Africa. *Marine Pollution Bulletin*, **39**: 357–366.
- Trottet A, Roy S, Tamigneaux E, et al. 2008. Impact of suspended mussels (*Mytilus edulis* L.) on plankton communities in a Magdalen Islands lagoon (Québec, Canada): A mesocosm approach. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **365**: 103–115.
-
- 作者简介 汪振华,男,1980年生,讲师,博士,研究方向为人工生境生态功能评价和鱼类群落生态学。E-mail: zh_wang@shou.edu.cn
- 责任编辑 李凤芹
-