

文章编号: 1674-5566(2010)04-0505-09

海州湾人工鱼礁海域鱼类和大型无脊椎动物群落组成及结构特征

孙习武¹, 张 硕^{1,2}, 赵裕青³, 张 虎⁴

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306

2. 上海海洋大学大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306

3. 上海科技管理学校, 上海 200200 4. 江苏省海洋水产研究所, 江苏 南通 226007)

摘要: 为了解人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物的数量变动及群落扰动情况, 于 2003、2004、2005 和 2007 年采用底拖网对人工鱼礁区及邻近对照区进行了调查。结果表明: 海州湾人工鱼礁区调查共鉴定鱼类和大型无脊椎动物 96 种, 其中鱼类和节肢类是人工鱼礁区游泳生物的主要种类, 分别占 55.21% 和 35.42%, 而软体类与棘皮类则分别占 7.29% 和 2.08%。鱼礁区的生物种类数、生物量、丰富度和多样性指数除了呈现明显的季节变化外, 年平均生物种类数、生物量、丰富度和多样性均高于对照区, 鱼礁增殖效果明显。此外, 通过 ABC 曲线分析发现: 除投礁后第 4 年的鱼礁区春季和秋季外, 投礁前和投礁后第 1 年、第 2 年的鱼礁区以及对照区各季节的鱼类和大型无脊椎动物群落结构都处于一个扰动状态。

关键词: 人工鱼礁; 大型无脊椎动物; 多样性; 海州湾

中图分类号: S932.4 **文献标识码:** A

Community structure of fish and macroinvertebrates in the artificial reef sea area of Haizhou Bay

SUN Xiwu¹, ZHANG Shuo^{1,2}, ZHAO Yuqing³, ZHANG Hu⁴

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education,

Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Shanghai Science and Technology Management School, Shanghai 200200, China;

4. Marine Fisheries Research Institute of Jiangsu, Nantong 226007, China)

Abstract: The artificial reefs had been deployed for five years in Haizhou Bay. The resources of fish and macroinvertebrates were investigated in the artificial reefs and adjacent control areas in Haizhou Bay by bottom trawls in 2003, 2004, 2005 and 2007, with the aim of finding out the changes of community structure of the fish and macroinvertebrates. 96 kinds of fish and macroinvertebrates were found, including 53 kinds of fish, 34 kinds of arthropods, 7 kinds of Mollusca and 2 kinds of echinoderms, which accounted for 55.21%, 35.42%, and 7.29% of the total number respectively. The fish and arthropods accounted for 90.63% of the

收稿日期: 2009-12-10

基金项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2006AA100303); 上海市教委创新项目(09YZ272); 农业部转产专业项目(技 07-31); 上海市高校第五期海洋环境工程重点学科(J50702)

作者简介: 孙习武(1985-), 男, 硕士研究生, 专业方向为人工鱼礁及其资源增殖效果. E-mail: sunbo200337@163.com

通讯作者: 张 硕, E-mail: s.zhang@shou.edu.cn

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

total number and were the major species in artificial reef sea area. Besides, the results showed that the artificial reefs had obvious improvement on resource protection and restoration. The species composition, biomass, richness and diversity index of the fish and macroinvertebrates were quite different between seasons in artificial reef area and the annual average number of species, biomass, richness and diversity were higher than those of the control area. In addition, ABC curve indicated that the community structure of the fish and macroinvertebrates was unstable without the artificial reefs or with the reefs for one or two years. However, the community structure were stable in spring and autumn of the 4th year with the artificial reefs in the ecosystem.

Key words: artificial reefs; macroinvertebrates; diversity of community; Hai Zhou Bay

海州湾位于江苏北部海域,北起绣针河口,南抵灌河口,面积约 20 000 km²,是海床平缓、开放型的浅海性水域,湾内有 20 座岛礁,为海洋生物提供了良好的栖息环境^[1]。海州湾渔场是江苏省 4 大渔场之一^[2],是中国对虾及小黄鱼、鲷、带鱼等多种经济鱼类的索饵、产卵场^[1]。但是,由于长期的过度捕捞造成了渔场资源的严重衰退。为了修复受损的渔场,养护和增殖渔业资源,自 2003 年起每年都进行人工鱼礁建设。为了解人工鱼礁资源养护效果及鱼礁投放后对鱼类及大型无脊椎动物群落结构的影响,从 2003 年起对人工鱼礁投放海域进行了不同季节的渔业资源调查。本文以 2003 年度人工鱼礁建设(投放单体大礁 250 个,小礁体 750 个,船礁 30 只,共计 13 530 m³)形成的 15 km² 人工鱼礁渔场作为研究对象,根据 2003—2007 年间的调查数据,分析鱼礁投放前后鱼礁海域和附近对照海域鱼类和大型无脊椎动物种类、生物量和群落结构的变动情况,以期为该海域人工鱼礁建设以来的渔业资源养护效果的评价提供参考。

1 材料与方 法

1.1 调查时间、站点

2003 年、2004 年、2005 年和 2007 年,每年 5 月(春季)、8 月(夏季)、11 月(秋季),在海州湾人工鱼礁投放海域及对照海域进行 3 个航次的渔业资源调查。参考相关文献^[3]对人工鱼礁影响范围的界定,本研究中鱼礁海域选择为鱼礁投放区(34°54'N~34°57'N,119°27'45"E~119°29'58"E)周围 1 km 以内的环形区域(实际采样控制在距离礁址 500 m 以内的区域)。在对照区的选择上则主要考虑了环境要素(潮流、水深、底质状况)与鱼礁区相似,选定一个距离鱼礁区 4 海里外的区域(34°53'40"N~34°55'40"N,

119°19'30"~119°20'36")为对照区,调查站位如图 1 所示。由于鱼礁实际建设完成为 2003 年 8 月—12 月,因此以 2003 年度鱼礁海域调查视为本底调查。

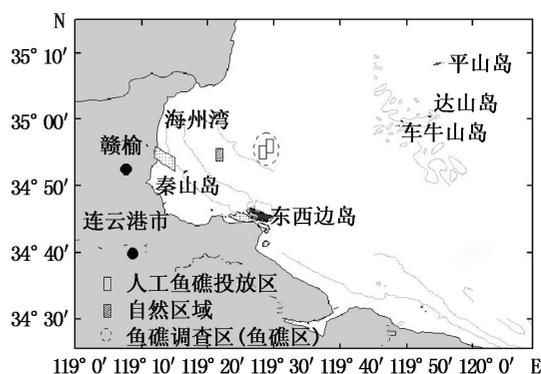


图 1 调查区域设置图

Fig 1 Survey sites in Hai Zhou bay

1.2 调查方法

调查船为“苏赣渔 758”号(功率为 110 kW,长 24 m,宽 4.0 m);调查渔具采用有翼单囊拖网:125.32 m×59.00 m(上纲长度 80 m),其中囊网网目大小 10 mm。每次拖网时间为 1 h 拖速 2.5 kn 左右;每网捕捞渔获物称其总重量,然后在其中随机取一部分(渔获数量少时则全部取样)作为样本,用甲醛溶液浸泡带回实验室分析。在实验室内进行种类鉴定,并分别对每个种类进行计数和称重。样品的保存、分离、鉴定和分析按照《海洋调查规范》^[4]进行操作。

1.3 数据分析方法

(1) 渔获量分析:渔获量变动分析中,对每一种类(鱼类、节肢类、软体类和棘皮类)进行称重和计数,换算为每小时的体质量用生物量 W 表示,单位 kg/h

(2) 生物多样性及丰度分析:以各航次鱼礁

区、对照区生物调查站位所有的渔业资源生物的种类数和个体数计算多样性指数和丰度,公式如下^[5]

生物多样性 (Shannon) 指数 H'

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (i=1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

式中: H' 为多样性指数; S 为样品中的种类总数; P_i 为第 i 种的个体数 (n_i)与总个体数 (N)的比值 (n_i/N)。

种类丰富度指数 d (Margalef 1958):

$$d = (S - 1) / \log_2 N \quad (2)$$

式中: d 为表示丰富度指数; S 为样品中的种类总数; N 为样品中的生物总个体数。

(3) 优势种组成:

采用 Pinkas 相对重要性指数来确定优势种类,公式如下^[6]

$$k_i = \frac{\left\{ \frac{n_i}{N} + \frac{w_i}{W} \right\}}{F} = F(N' + W') \quad (3)$$

式中: k_i 为相对重要性指数; N' 为某一种类的尾数占总尾数的百分比; W 为某一种类的重量占总重量的百分比; n_i 为某一种类出现的站数占调查总站数的百分比, F 为某一种类在各站位出现的频率。当站位只有 1 个时,取值 100。

(4) 群落扰动状况分析:采用 ABC 曲线对生物群落扰动状况进行评价,丰度生物量比较曲线 (abundance biomass comparison curve, ABC 曲线) 方法是在同一坐标系中比较生物量优势度曲线和丰度优势度曲线,通过两条曲线的分布情况分析群落不同干扰状况下的特征^[7-9]。

(5) 数据处理及图件绘制主要采用 ArcGIS、DPS 和 Excel 软件。

2 结果

2.1 种类变动情况

海州湾人工鱼礁区调查共鉴定鱼类和大型无脊椎动物 96 种,其中鱼类 53 种占 55.21%, 节肢类 34 种占 35.42%, 软体类 7 种占 7.29%, 棘皮类 2 种占 2.08%, 鱼类和节肢类是构成人工鱼礁区游泳生物的主要类群,两者占总种类数的 90.63%。

如图 2 所示鱼礁投放前后鱼礁区各类群资源种类数季节变化相异。在鱼礁投放前 (2003 年) 鱼礁区本底调查夏季鱼类和大型无脊椎动物

最多共有 28 种,秋季次之共有 24 种、春季最少共有 23 种,但总体而言种类数季节变化较小;投礁后第 1 年 (2004 年) 以夏季最多共有 30 种,秋季次之共有 20 种,春季最少共有 16 种;与投礁后第一年变化相似,投礁后第 2 年 (2005 年) 也是以夏季最多共有 37 种,秋季次之,共有 27 种,春季最少共有 16 种;投礁后第 4 年 (2007 年) 与前两年变化略有差异,3 个季节调查夏季依然是最多共有 26 种,而春季居其次共有 22 种,秋季最少 16 种。

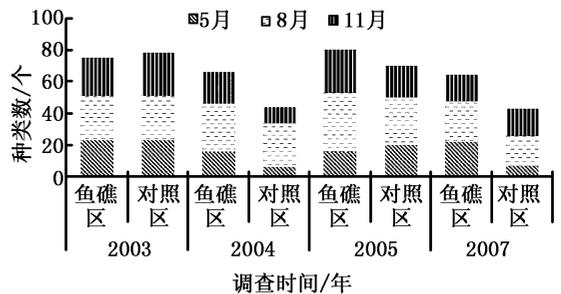


图 2 鱼礁区与对照区各季节种类数变化

Figure 2 Number of species of various resources in reef and control areas

对鱼礁投放前后对照区各类群资源种类数季节变化发现:投礁前 (2003 年) 和投礁后第 1 年都以夏季最多分别为 28 和 28 种,秋季次之分别为 27 和 10 种,春季最少分别为 28 和 23 种;投礁后第 2 年 (2005 年), 以夏季 30 种最多,春季和秋季一样 20 种;投礁后第 4 年也是以夏季 23 种最多,秋季 17 种次之,春季 7 种最少。

从年际的变化来看投礁前鱼礁区的生物种类比对照区的种类少;投礁后鱼礁区的生物种类数都比对照区要多。投礁前 (2003 年) 鱼礁区生物种类比对照区少 3 种,而投礁后第 1 年 (2004 年) 鱼礁区比对照区生物种类多了 22 种,投礁第 2 年 (2005 年) 和投礁第 4 年 (2007 年) 鱼礁区比对照区生物种类分别多了 10 和 11 种。

总体而言,鱼礁区和对照区资源种类数变化呈夏季最高,秋季次之,春秋最低的季节性变动。与本底调查 (2003 年) 相比较,鱼礁投放后夏季种类增加比较明显,而且也高于同期对照区。但年际统计总的种类数与本底调查相比较除投礁后第 2 年 (2005 年) 共有 80 种,高于本底调查 75 种,其他两年度均低于本底调查种类数。鱼礁投放后与对照区相比均高于对照区。

2.2 单位捕捞努力量渔获量 (CPUE)变动情况

从鱼礁区和对照区投礁前后年均单位时间捕捞努力量渔获量 CPUE (Catch Per Unit Effort) 比较 (见图 3) 可以看出, 投礁前年平均 CPUE 对照区高于鱼礁区。其中鱼礁区的年平均 CPUE 为 35.01 kg/h 而对照区年平均 CPUE 为 38.42 kg/h 鱼礁区比对照区少 3.41 kg/h。投礁后, 与对照区相比鱼礁区的生物量均有所增加, 其中投礁后第 1 年、第 2 和第 4 鱼礁区的生物量与对照区相比分别增加 8.92 kg/h、8.67 kg/h、7.42 kg/h 但投礁前鱼礁区和对照区的年均 CPUE 都高于投礁后的 CPUE。

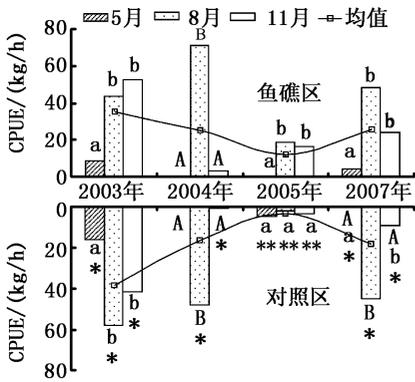


图 3 人工鱼礁区和对照区 CPUE 的季节变动
Fig. 3 Seasonal varieties of CPUE in reef and control area

注: 完全不同的大写字母表示鱼礁区或对照区不同季节之间 CPUE 差异极显著 ($P < 0.01$); 完全不同的小写字母表示鱼礁区或对照区不同季节之间 CPUE 差异显著 ($P < 0.05$); * 表示相同季节鱼礁区和对照区 CPUE 比较差异显著 ($P < 0.05$); ** 表示相同季节鱼礁区和对照区 CPUE 比较差异极显著 ($P < 0.05$).

从鱼礁区和对照区的各季节 CPUE 比较可以看出 (图 3), 鱼礁区各季节 CPUE 具有明显的季节变化, 除投礁前 (2003 年) 外, 夏季 > 秋季 > 春季。对照区各季节 CPUE 也呈现了明显的季节变化, 夏秋较高, 春季较低。投礁前春夏两季对照区的 CPUE 高于鱼礁区, 秋季对照区与鱼礁区相比少 11.32 kg/h 而投礁后第 1 年、第 2 年和第 4 年的调查表明鱼礁区春、夏、秋 3 季平均 CPUE 均高于对照区。投礁后第 1 年鱼礁区夏季的 CPUE 为 71.61 kg/h 比投礁前夏季的 CPUE (43.94 kg/h) 高 62.97%。投礁后第 2 年鱼礁区夏季、秋季也分别比对照区高 16.78 kg/h 和 13.15 kg/h 投礁后第 1 年、第 2 年和第 4 年对鱼礁区及对照

区的生物量调查发现: 春季的生物量明显低于比夏季、秋季。说明鱼礁区和对照区的生物量呈明显的季节变化, 夏、秋生物量较高, 春季较低。

另外经统计分析进一步说明了鱼礁区和对照区 CPUE 显著的季节性变化。投礁前后鱼礁区, 春季 CPUE 与夏、秋季比较除投礁后第 1 年 (2004 年) 之外, 均存在显著性差异 ($P < 0.05$)。其中 2004 年春季 CPUE 与夏季比较差异极显著 ($P < 0.01$), 与秋季比较不存在显著性差异 ($P > 0.05$); 对照区在投礁前及投礁后第 1 年 (2004 年) 2 个季节 CPUE 变化与鱼礁区一致。投礁后第 2 年 (2005 年) 3 个季节 CPUE 比较不存在显著性差异 ($P > 0.05$); 投礁后第四年春季 CPUE 与夏季比较差异极显著 ($P < 0.01$), 与秋季比较差异显著 ($P < 0.05$)。

总体而言, 与本底调查 (2003 年) 相比, 投礁后第 1 年 (2004 年) 和第 4 年 (2007 年) 夏季鱼礁区 CPUE 有所增加, 而且以投礁后第 1 年增幅最大达 62.97%; 同时也高于同期对照区。其他两季除投礁后第 4 年 (2007 年) 春季之外, 均低于本底调查结果。另外, 经统计分析, 鱼礁区和对照区 CPUE 在鱼礁投放前后比较, 除投礁第 1 年 (2004 年) 春季之外, 春、夏、秋 3 个季节均存在显著性差异 ($P < 0.05$)。其中, 投礁后第 2 年 (2005 年) 夏季和秋季鱼礁区和对照区 CPUE 比较差异极显著 ($P < 0.01$)。

2.3 优势种变化

利用 Pinkas 相对重要性指数计算各个采样站位的优势种, 由于每个站位取样一次, 因此公式中的 F 值为 100。本研究采用 $k \geq 20$ 时, 该种类为优势种。不同季节鱼礁区和对照区的优势种类如表 1 所示。

口虾蛄是鱼礁区和对照区各季节出现频率最高的优势种, 是鱼礁区和对照区最主要的优势种。虾虎鱼科也是鱼礁区和对照区的高频率出现的优势种。各季节鱼礁区和对照区的优势种都处于变动中, 这可能与鱼礁区和对照区的游泳生物群落都处于扰动中有关。

2.4 群落多样性变化

从表 2 可知: 总体而言投礁前后鱼礁区生物群落的生物多样性指数 (H') 均高于对照区 (除投礁后第 2 年)。鱼礁区多样性指数最高值出现在投礁后第 4 年 (2007 年) 春季为 3.54, 最低值出

现投礁后第2年(2005年)春季为2.30。投礁前后鱼礁区各年的平均多样性指数分别为:2.78、2.94、2.51、2.85。对照区各年的分别平均多样性指数为:2.56、2.54、2.54、2.51。鱼礁区和对照区生物群落的生物多样性指数(H')多样性呈现一定得季节变化:夏秋较高,春季较低。

丰富度指数(d)的统计结果表明(表2):鱼礁投放前后,鱼礁区年均丰富度指数均高于对照

区。投礁后第2年(2005年),鱼礁区平均丰富度指数值3.57为历次调查年均最大值。对照区丰富度指数年均最大值也是出现在投礁后第2年,为3.49。鱼礁区和对照区的丰富度(d)呈现与多样性指数(H')一样的变化规律,夏秋较高,春季较低。其中鱼礁区季节变化特别明显,投放后各年丰富度(d)都以夏季最高。

表1 人工鱼礁区及对照区游泳生物优势种

Tab 1 The dominant species of communities of the fish and macroinvertebrates in reef and control areas

时间	鱼礁区	对照区
2003年	5月 皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i> (Cuvier) (27.84), 口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (28.47), 双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i> (34.79)	口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (20.73), 皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i> (Cuvier) (37.29), 赤鼻棱鯧 <i>Thrissa kammalensis</i> (47.84)
	8月 戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalesii</i> (Rathbun) (29.58), 口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (23.4), 矛尾虾虎鱼 <i>Chaeurichthys signatias</i> (91.92)	戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalesii</i> (Rathbun) (43.58), 六丝矛尾虾虎鱼 <i>Chaeurichthys signatias</i> (74.28)
	11月 戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalesii</i> (Rathbun) (28.46), 火枪乌贼 <i>Loligo beka</i> (Sasaki) (30.35), 六丝矛尾虾虎鱼 <i>Chaeurichthys signatias</i> (31.42), 口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (43.16)	火枪乌贼 <i>Loligo beka</i> (Sasaki) (23.35), 六丝矛尾虾虎鱼 <i>Chaeurichthys signatias</i> (33.2), 戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalesii</i> (Rathbun) (40.38), 口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (70.14)
2004年	5月 海蜷虾 <i>Lauretes anoplonyx</i> (41.95), 长蛸 <i>Octopus varjabilis</i> (Sasaki) (71.76)	海蜷虾 <i>Lauretes anoplonyx</i> (77.64), 双喙耳乌贼 <i>Sepiola birostris</i> (82.82)
	8月 口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (63.52), 小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i> (Bleeker) (75.59)	银鲳 <i>Strumateoides argenteus</i> (23.57), 火枪乌贼 <i>Loligo beka</i> (Sasaki) (29.44), 口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (54.35)
	11月 日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i> (Mier) (30.32), 细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenejla</i> (Bate) (30.92), 六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeurichthys hexanema</i> (63.47)	六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeurichthys hexanema</i> (33.97), 尖海龙 <i>Syngnathus acus</i> (Linnaeus) (56.76), 口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (86.3)
2005年	5月 双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i> (26.99), 细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenejla</i> (Bate) (41.82), 口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (59.74)	口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (28.78), 双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i> (37.88), 戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalesii</i> (Rathbun) (91.76)
	8月 口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (33.91), 小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i> (Bleeker) (92.24)	火枪乌贼 <i>Loligo beka</i> (Sasaki) (25.3), 长蛸 <i>Octopus varjabilis</i> (Sasaki) (30.62), 小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i> (Bleeker) (30.66), 海蜷虾 <i>Lauretes anoplonyx</i> (34.57)
	11月 长蛸 <i>Octopus varjabilis</i> (Sasaki) (21.67), 口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (33.63), 日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i> (Mier) (42.68), 细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenejla</i> (Bate) (44.15)	鹰爪糙对虾 <i>Trachypenaeus curvirostris</i> (27.61), 赤鼻棱鯧 <i>Thrissa kammalensis</i> (30.73), 矛尾虾虎鱼 <i>Chaeurichthys signatias</i> (43.89)
2007年	5月 口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (20.16), 日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i> (Mier) (27.12), 皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i> (Cuvier) (65.7)	口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (30.63), 矛尾虾虎鱼 <i>Chaeurichthys signatias</i> (61.26), 尖海龙 <i>Syngnathus acus</i> (Linnaeus) (73.78)
	8月 六丝矛尾虾虎鱼 <i>Chaeurichthys signatias</i> (53.08), 口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (60.42)	口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (70.27), 六丝矛尾虾虎鱼 <i>Chaeurichthys signatias</i> (81.44)
	11月 矛尾虾虎鱼 <i>Chaeurichthys signatias</i> (29.84), 口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (113.32)	火枪乌贼 <i>Loligo beka</i> (Sasaki) (22.68), 小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i> (Bleeker) (26.1), 口虾蛄 <i>Ostodiscus oratoria</i> (de Haan) (26.47), 矛尾虾虎鱼 <i>Chaeurichthys signatias</i> (40.65), 细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenejla</i> (Bate) (45.69)

表 2 人工鱼礁及对照区游泳生物群落特征值

Tab 2 The characteristic values of communities of Necton in reef and control areas

特征值	时间	区域	5月	8月	11月	平均
多样性指数 (H')	投礁前 (2003)	鱼礁区	3.48	1.87	2.98	2.78
		对照区	3.19	1.99	2.49	2.56
	投礁后第 1 年 (2004)	鱼礁区	2.98	3.05	2.79	2.94
		对照区	1.68	3.49	2.44	2.54
	投礁后第 2 年 (2005)	鱼礁区	2.30	2.70	2.53	2.51
		对照区	1.17	3.20	3.26	2.54
	投礁后第 4 年 (2007)	鱼礁区	2.43	2.58	3.54	2.85
		对照区	2.02	1.95	2.47	2.15
丰富度 (d)	投礁前 (2003)	鱼礁区	3.86	2.21	2.37	2.81
		对照区	2.71	2.57	2.75	2.68
	投礁后第 1 年 (2004)	鱼礁区	3.58	4.08	2.10	3.25
		对照区	2.12	3.19	2.23	2.51
	投礁后第 2 年 (2005)	鱼礁区	3.07	4.51	3.13	3.57
		对照区	2.54	3.56	4.39	3.49
	投礁后第 4 年 (2007)	鱼礁区	2.38	2.70	2.58	2.55
		对照区	1.49	1.65	2.37	1.84

2.5 群落扰动状况分析

在稳定的海洋环境中生物群落结构近似平衡,群落的生物量由一个或者几个大个体的物种占优势,且每个种有几个个体。当群落出现扰动失去平衡时,在数量上占优势的种是随机的、较小的种^[7-9]。稳定的群落:丰度生物量复合 k 优势度曲线图显示整条的生物量曲线始终位于丰度曲线上方,丰度比生物量具有更高的多样性。中度扰动:大个体优势种消失且丰度与生物量曲线间的差异不存在、或相互交叉、重叠。严重扰动:生物群落的个体数由一个或者几个个体非常小的物种占优势,整条的丰度曲线位于生物量上方,生物量比丰度具有更高的多样性^[7-9]。

应用丰度生物量比较法对人工鱼礁海区投礁前后各年生物群落扰动进行分析(图 4),春季:鱼礁区的生物群落在投礁前(2003年)、投礁后第 1 年(2004年)、投礁后第 2 年(2005年)都处于严重扰动状态,而到投礁后第 4 年(2007年)开始处于一个相对稳定的状态;夏季:鱼礁区不论是投礁前还是投礁后都处于中度扰动状态;秋季:投礁前(2003年)、投礁后第 1 年(2004年)处于中度扰动状态,投礁后第 2 年(2005年)都处于严重扰动状态处于严重扰动状态,投礁后第 4 年(2007年)开始处于一个相对稳定的状态。

应用丰度生物量比较法对对照区投礁前后各年生物群落扰动进行分析(图 5),对照区不论是投礁前还是投礁后,各个季节的生群落都是处

于中度扰动或者严重扰动状态。

鱼礁区在鱼礁投放后第 4 年,春季和夏季开始出现相对稳定状态,群落结构开始出现由不稳定群落向稳定群落转变的趋势;而对照区一直处于中度或者严重扰动状态。

3 讨论

3.1 种类和生物量变动分析

海州湾人工鱼礁区及邻近对照区鱼类和大型无脊椎动物的种类、CPUE除了正常的季节性变化之外,从本研究的调查结果来看,种类数在人工鱼礁投放后与本底调查(2003年)相比除投礁后第 2 年(2005年)高于本底调查,其他两年度总种类数均低于本底调查。CPUE变化与之相似,除投礁后第 1 年(2004年)和第 4 年(2007年)春、夏季高于本底调查结果外,其余各年季调查 CPUE均低于本底调查(含平均 CPUE)。出现这种现象究其原因,一方面可能与使用的网具与调查区域有关,由于鱼礁投放以后使礁区内部不能进行拖网作业,拖网调查只能在鱼礁区外围进行,而在本底调查时整个投礁区域均可以进行拖网大面调查,这个可能是影响鱼礁投放以后调查种类、CPUE与本底调查相比减少的主要原因。另外,从 2008 年度海州湾人工鱼礁区的潜水摄像调查结果(后续的研究将进一步报道)来看,已经发现了数量较多的许氏平鲷(*Sebastes schlegelii*)

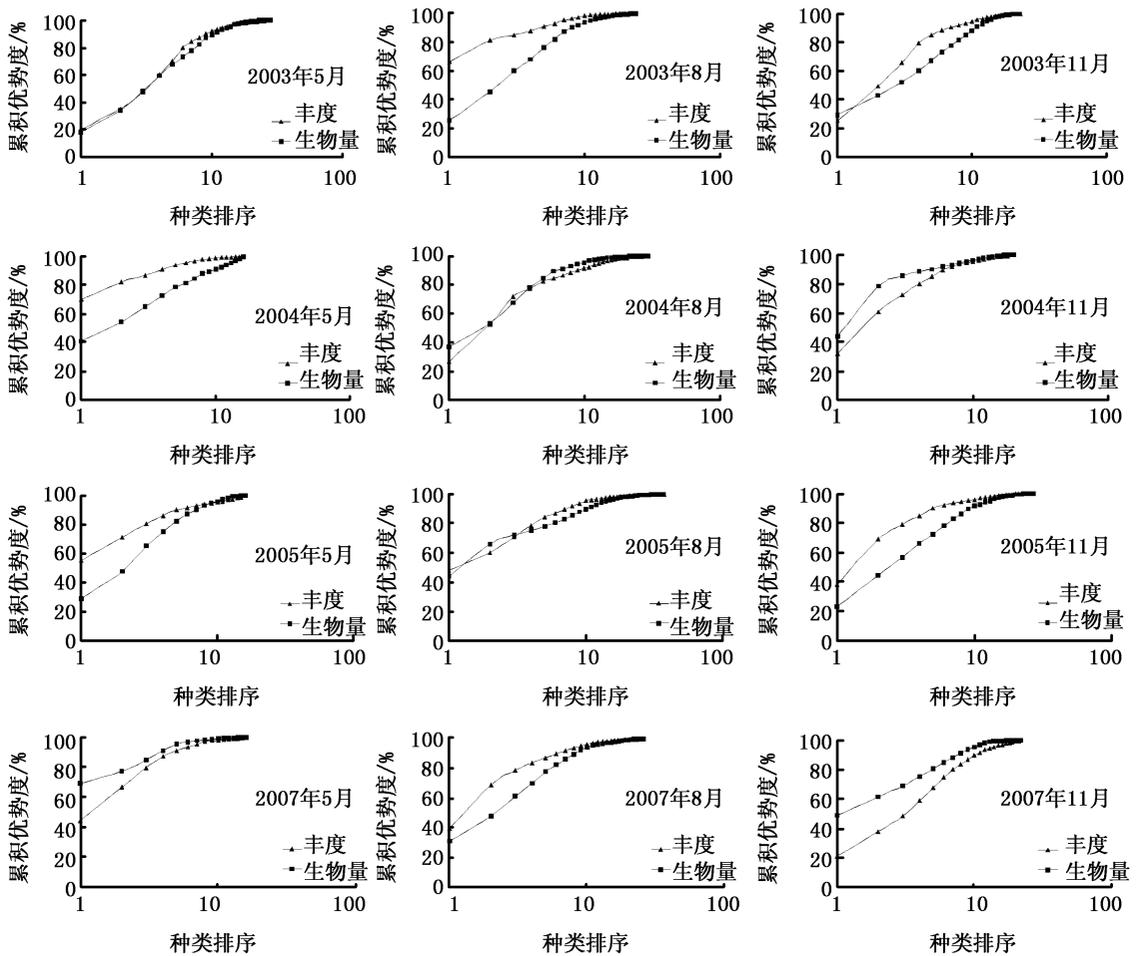


图4 鱼礁区的 ABC曲线图

Fig 4 ABC curves of reef area

Higendorfi和褐菖鲉 (*Sebastes marmoratus* Cuvier) 等典型的岩礁性鱼类在礁体内部栖息,这在近几年调查包括本底调查中一直未出现,这也进一步佐证了单一网具及调查方式对影响人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物资源养护效果的评价。另一方面鱼类和大型无脊椎动物 CPUE 年季变化还与水温等环境指标变化有关。李雪渡^[10]等研究表明鱼类对海水温度的适应性最为敏感,当水温变化在 $0.1 \sim 0.2^{\circ}\text{C}$ 之间时,都会引起鱼类行动的变化。如小黄鱼 (*Pseudoscapha polyactis* Bleeker) 在黄海越冬场时期适温范围为 $8.0 \sim 12.0^{\circ}\text{C}$, 春汛生殖洄游停留在烟威渔场适温范围为 $5.0 \sim 6.5^{\circ}\text{C}$ 到达渤海莱州湾产卵场时,进入渔场的温度为 8.0°C 以上。从本研究的调查结果来看,投礁后第 1 年 (2004 年) 春季和秋季 CPUE 均小于本底调查及其他两年度,分析原因可能与同期调查海水温度较低有关。2004 年调

查春季和秋季调查时海水温度与往年相比偏低。其中春季温度为 $7 \sim 8^{\circ}\text{C}$, 而 2003 年、2005 年和 2007 年同期水温均在 $12 \sim 14^{\circ}\text{C}$ 。2004 年秋季水温为 $14 \sim 15^{\circ}\text{C}$, 低于其他年份秋季调查时的 $17 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 。可见水温高低在一定程度上对调查结果也会产生影响。

人工鱼礁投放后与同期对照区相比,生物种类和 CPUE 均有不同程度的增加,而且从鱼礁投放前后鱼礁区和对照区 CPUE 对比的显著性分析结果来看,除投礁第 1 年 (2004 年) 春季之外,春、夏、秋 3 个季节均存在显著性差异 ($P < 0.05$)。其中,投礁后第 2 年 (2005 年) 夏季和秋季鱼礁区和对照区 CPUE 比较差异极显著 ($P < 0.01$)。说明人工鱼礁投放后对渔业资源的增殖起到一定效果。张虎等^[11]对海州湾鱼礁区的底栖生物调查发现,鱼礁区的底栖生物种类和数量在鱼礁投放后都具有明显的增加。

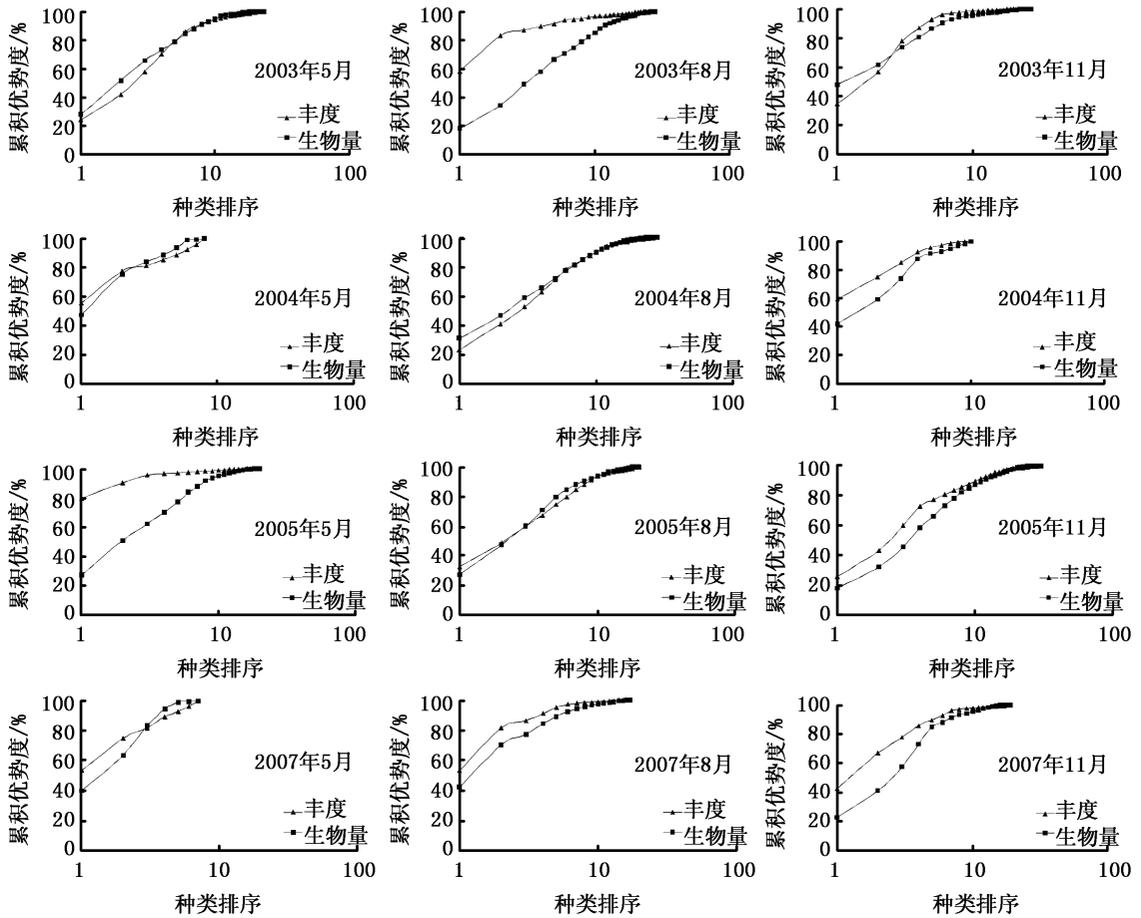


图 5 对照区 ABC 曲线图

Fig 5 ABC curves of control area

3.2 多样性变化分析

鱼礁投放后鱼礁区的生物群落的丰富度和多样性指数都比对照区要高,其原因可能是鱼礁的投放在一定程度上限制了捕捞作业。McClanahan等^[12]对东非大约 400 km²近岸 22 个珊瑚礁区域的研究发现,禁捕是影响鱼类丰度和多样性的最显著因素。海州湾人工鱼礁投放后,一方面鱼礁限制了拖网等捕捞作业,另一方面相关部门对鱼礁区进行了管理,限制了鱼礁区的捕捞船的作业,人工鱼礁区生物资源的恢复起到了较好的效果,鱼礁区的生物种类和多样性增加。王宏等^[13]对澄海莱芜海域人工鱼礁投放后资源增殖效果评价结果也显示投礁前对比区资源种类丰富度高于礁区,投礁后礁区海域游泳生物的丰富度明显高于投礁前,礁区增加较多。这说明投礁后鱼礁区游泳生物丰富度有所改善,群落结构优于投礁前和对照区。另外 Halpern^[14]对上百个海洋保护区调查发现接近 59% 的海洋

保护区内生物多样性提高,其平均多样性提高了 20% ~ 30%,而其有效性与保护区大小无关。所以尽管鱼礁投放区的范围只有 15 km²,其对鱼礁区内生物丰度和多样性的增加已经逐步显现。

3.3 群落扰动变化分析

Warwick^[8]提出用丰度生物量比较曲线方法来监测干扰(主要是污染影响)对底栖无脊椎动物群落的影响。近年来 ABC 曲线法在已被广泛的应用于生物群落的研究中^[9]。由于鱼类群落中各物种的生活史策略不同,对捕捞和环境扰乱的反应程度亦不同。应用 ABC 曲线分析人为干扰(捕捞、环境修复等)对鱼类群落或底栖无脊椎群落的影响,确定生物群落对干扰产生预期的反应,对于渔业资源的研究与开发以及渔场的修复有着重大意义。本研究通过 ABC 曲线图发现:鱼礁区鱼礁投放前、投放后在一段时间内会使生态群落结构出现扰动第 1 年(2004)、第 2 年(2005 年)和对照区各个季节鱼类和大型无脊椎

动物群落都处于一个中度扰动的状态,鱼礁投放后第4年的春季和秋季鱼类和大型无脊椎动物出现了一个低扰动近似稳定平衡的状态。刘舜斌等^[15]对崂山人工鱼礁建设效果的初步评价也表明鱼礁对资源生物的聚集作用是有一个缓冲期的,即有一个过渡期,一旦生物适应了人工鱼礁环境,礁区的资源量和生物群落便开始与对照区发生变化。Bohnsack^[16]曾报道:鱼礁投放后鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物群落结构一般会在一年到五年内达到一个新的平衡,而本研究的鱼礁区在投礁的第4年出现了近似稳定的平衡状态,值得做进一步调查研究。

此外,群落稳定性与生物多样性密切相关。Tilman等^[17]研究表明:生态系统内的群落的稳定性与多样性呈正相关性,多样性越高则群落的稳定性越高。调查发现海州湾鱼礁区的生物多样性高于对照区,鱼礁区的群落稳定性高于对照区,鱼礁投放后鱼礁区的群落逐渐趋于稳定状态。而群落的生物多样性又与扰动强度密切相关^[18-19],在诸如过度捕捞、污染、水体富营养化等引起鱼类群落结构变化的人为干扰因素中,过度捕捞的影响最大^[19]。当群落受到严重的人为干扰(例如过度捕捞)时,这种内禀的物种多样性将会丧失,生态系统的冗余性减小,甚至使某种功能群全部消失,进而对生态系统的稳定性造成巨大影响^[19]。海州湾过去一直处于过度捕捞状态(高扰动状态),从1993年开始到2007年海州湾渔场已连续14年没有形成过渔汛^[20]。2003年人工鱼礁建设后,鱼礁的投放限制了海洋捕捞作业,为鱼类和大型无脊椎动物营造了一个庇护场所,鱼类和大型无脊椎动物的种类和数量逐渐恢复到平稳的波动状态,生物多样性提高,群落结构逐渐处于一个较低扰动度状态。而对照区捕捞作业强度一直不变,扰动状态较大导致游泳生物的种类和数量波动较大,多样性指数较低,群落稳定性较差。

研究鱼类和大型无脊椎动物变动是一个长期的过程,同时由于受到调查网具的限制,本文对礁区的资源变动情况的评价还有一定的局限性。但是,通过鱼礁区和对照区鱼类和大型无脊椎动物种类、生物量、生物多样性等研究可以看出海州湾人工鱼礁在改造渔场环境和养护渔业资源方面已经发挥了一定作用。今后应进一步

增加刺网、钓具等网具调查的种类和潜水观测等调查方式,更为全面、客观的反应鱼礁对渔业资源的增殖效果。

参考文献:

- [1] 张明亮. 连云港海州湾人工鱼礁建设浅论[J]. 海洋开发与与管理, 2008, 25(5): 123-126
- [2] 谢飞, 逢勇, 庄巍, 等. 海州湾近岸物质输运规律研究[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(3): 347-353.
- [3] 杨咨, 刘同渝, 黄汝堪. 中国人工鱼礁的理论与实践[M]. 广州: 广东科技出版社, 2005: 85-87.
- [4] 国家海洋局. 海洋监测规范[S]. 北京: 海洋出版社, 1994: 654-688
- [5] 中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性得原理和方法[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 141-165.
- [6] 乔延龙, 陈作志, 林昭进. 北部湾春、秋季渔业生物群落结构的变化[J]. 中国水产科学, 2008, 15(5): 817-821
- [7] Clarke K R, Warwick R M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation[M]. 2nd ed. PRIMPER-ET Plymouth 2001
- [8] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. Marine Biology, 1986, 92(4): 557-562
- [9] 李圣法. 以数量生物量比较曲线评价东海鱼类群落的情况[J]. 中国水产科学, 2008, 15(1): 136-144
- [10] 李雪渡. 海水温度与渔场之间的关系[J]. 海洋学报, 1982, 4(1): 103-112
- [11] 张虎, 刘培廷, 汤建华, 等. 海州湾人工鱼礁大型底栖生物调查[J]. 海洋渔业, 2008, 30(2): 97-104.
- [12] McClean TR R Arthur. The effect of marine reserves and habitat on populations of east African coral reef fishes[J]. Ecological Applications, 2001, 11(2): 559-569
- [13] 王宏, 陈丕茂, 李辉权, 等. 澄海莱芜人工鱼礁集鱼效果初步评价[J]. 南方水产, 2008, 4(6): 63-69
- [14] Halpern B S. The impact of marine reserves: do reserves work and does reserve size matter[J]. Ecological Applications, 2003, 13(1): 117-137
- [15] 刘舜斌, 汪振华, 林良伟, 等. 崂山人工鱼礁建设初期效果评价[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(3): 297-302
- [16] Bohnsack J A, Sutherland D L. Artificial reef research: a review with recommendations for future priorities[J]. Bulletin of Marine Science, 1985, 37(1): 11-39.
- [17] Tilman D, Downing J A. Biodiversity and stability in grasslands[J]. Nature, 1994, 367: 363-365
- [18] Washington H G. Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems[J]. Water Research, 1984, 18(6): 653-694.
- [19] 程家骅, 姜亚洲. 捕捞对海洋鱼类群落影响的研究进展[J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 359-366
- [20] 许兵, 穆道勇. 中断14年鱼汛重回连云港海州湾[N]. 江苏经济报, 2007-12-08(A03).