

文章编号 :1000 - 0615(2006)04 - 0475 - 06

海州湾人工鱼礁海域生态环境的变化

章守宇¹, 张焕君¹, 焦俊鹏¹, 李曰嵩¹, 朱孔文²

(1. 上海水产大学海洋学院, 上海 200090;
2. 连云港市海洋与渔业局, 江苏 连云港 222001)

摘要 根据 2003 - 2004 年对海州湾人工鱼礁海域进行 4 个航次的调查结果, 运用对比方法, 分析了该海域的水质、底泥和浮游生物等在人工鱼礁投放前后的变化。结果表明, 人工鱼礁投放所产生的上升流将沉积于底泥的氮营养盐携带至上层, 使得鱼礁区的海水特性由氮限制转变为磷限制, 鱼礁区与对照区点的浮游植物组成相似度由投礁前极高的 0.963 下降到投礁后 3 个月的 0.863 和 7 个月后的 0.685, 群落结构发生了较大变化; 同时, 鱼礁区的浮游动物个体增重率明显, 达到了对照区的 5 倍之多, 十分有利于渔业资源的增殖, 人工鱼礁对于海域生态环境的改善作用得到了确认。

关键词 人工鱼礁; 生态环境; 海州湾

中图分类号 S 931.3 文献标识码 A

Change of ecological environment of artificial reef waters in Haizhou Bay

ZHANG Shou-yu¹, ZHANG Huang-jun¹, JIAO Jun-peng¹, LI Yue-song¹, ZHU Kong-wen²

(1. College of Marine Science & Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;
2. Lianyungang Ocean & Fisheries Bureau, Lianyungang 222001, China)

Abstract: Haizhou Bay, an open bay in the west coast of Yellow Sea, is of an area of 900 km², with hundreds of species (such as fish, shrimp, crab etc.) colonizing in the waters. As one of the 8 greatest fishing grounds in history, Haizhou Bay had even seen the maximum fishery catches of 50 000 t during the period of 1980s. However, due to the over-fishing and destruction of spawning grounds and other habitats, fishery resources in Haizhou Bay have been declining from 1990s, with traditional economic species, such as hairtail, snapper sea bream, large yellow croaker, small yellow croaker as well as slender shad etc, not forming their regular fishing seasons. In order to improve fish habitat environment, and conserve fishery resources, the local government carried out a project of "Artificial Reef Construction in Haizhou Bay" from the beginning of 2002. As the first phase of the project, different types of concrete artificial reefs and vessel-reefs with a total volume of 13 000 cubic meters were deployed in the middle part of Haizhou Bay (119°28' - 119°29'14"E, 34°55' - 34°57'N) during the middle term of July, 2003, resulting in a fishing ground of about 10 km² area. So far, most studies on the habitat improvement function of artificial reefs have been qualitative, and very few quantitative researches have been reported. How to establish a certain quantitative relationship between building size of ARs and improvement degree of habitat is not only needed in evaluating artificial reef construction quantitatively, but also is one of the basic theories to decide scientifically the building size of artificial reefs in certain waters. As a trial of quantitative study on ecological benefits of artificial reefs, the variations of water quality, bottom mud as well as plankton etc was discussed. Between artificial reef area and near waters before and after the deployment of artificial reefs in comparative ways, according to the results of 4 surveys carried out in Haizhou Bay artificial reef area and near waters in 2003 - 2004. The survey result reveals that the upwelling produced by the deployment of ARs will bring nutritive salt such as nitrogen to upper levels, with the nitrogen content in bed mud in artificial reef area dropping to 85.7%

收稿日期 2005-08-17

资助项目 国家自然科学基金(30471332);上海市重点学科建设项目(T1101);上海市教委重点项目(05ZZ51)

作者简介 章守宇(1961 -)男,浙江长兴人,教授,主要从事海洋生态系统学研究, E-mail: syzhang@shfu.edu.cn

of that before ARs deployment, while in the control area the content remains the same during the same season; at the same time, nutritional level indexes in AR area increase after ARs deployment, with 28.1% and 15.9% larger than that of the control area in autumn and winter respectively, therefore the water quality in AR area changes from nitrogen restriction (with an average P:N value of 7.4) before to phosphorus restriction (average P:N value of 20.9) after ARs deployment. As to plankton, the similarity index decreases from highly similar 0.963 before ARs deployment to 0.863 after 3 months of ARs deployment and 0.685 after 7 months of ARs deployment in AR area and control area. Community structure as well as habitat environment have changed a lot; at the same time, the individual weight of zooplankton has increase obviously by 5 times larger in AR area than in reference area, this is very good for proliferation of fishery resources. In conclusion, the amendment benefits of artificial reefs on ecological environment in certain waters have been proved quantitatively.

Key words: artificial reef ecological environment Haizhou Bay

海州湾位于江苏与山东交界沿岸,东临黄海,宽 42 km,岸线长 87 km,面积 877 km²,最大水深 12.2 m,属开放型海湾。海州湾水质肥沃,生产力高,生物资源丰富,已检出浮游植物多达 190 余种,浮游动物 85 种,同时分布着近百个品种的鱼虾贝蟹等^[1]。历史上,海州湾曾是我国的八大渔场之一,20 世纪 80 年代捕捞量达 5 万吨,经济地位十分重要。但由于捕捞过度及产卵场等栖息地破坏,20 世纪 90 年代起渔业资源衰退日趋严重,带鱼、真鲷、大黄鱼、小黄鱼、鲷等传统经济鱼类目前已难以形成渔汛。

为改善修复海州湾海域生态环境,养护并恢复其渔业资源,农业部渔业局从 2002 年开始组织实施“海州湾人工鱼礁建设”项目。该项目一期工程于 2003 年 7 月中旬在海州湾中部 119°28' ~ 119°29'14"E, 34°55' ~ 34°57'N 海域(车牛山岛西南约 5n mile),投放大、小型钢筋混凝土鱼礁及船礁共 1 030 个,计 1 3500 空立方米,形成渔场面积约 10 平方公里。人工鱼礁投放一年多来,海州湾局部海域的生态环境和渔业资源状况都有较大的变化。本文通过海州湾人工鱼礁投放前后的水质、底泥和浮游生物等的变化,探讨人工鱼礁对该海区生态环境所产生的影响。

1 材料和方法

试验数据来源于人工鱼礁海域的海上调查,人工鱼礁海域包括人工鱼礁投放区及其周边邻接水域,其中人工鱼礁投放区简称鱼礁区(图 1)。调查分别于 2003 年 2 月 29 日、7 月 1 日、10 月 25 日和 2004 年 2 月 23 日进行。第 1 次调查时鱼礁投放位置尚未确定,故对鱼礁区所在海域进行大面积设点采样调查,本文中分别记为 St. 01、St. 02 和 St. 03。第 2 次调查时鱼礁投放位置已经确定,

但尚未投礁,属于本底调查。为便于以后比较鱼礁投放前后的变化效果,并能剔除该海区的季节变化因素,故设置了鱼礁区点和对照区点 2 个调查采样点,分别记为 St. R 和 St. C。鱼礁区点 St. R 设置在鱼礁投放区域内,对照区点 St. C 的设置原则是具有与鱼礁区点相同的海洋环境,同时又可避免鱼礁投放影响。根据理论计算结果^[2,3],实际海域由于鱼礁设置所产生的流场影响范围在水平尺度上一般不超过鱼礁规模的 50 倍,即海州湾投放鱼礁后流场的水平影响距离应小于 1 250 m,同时考虑到鱼礁所在海域的潮流具有东北—西南向主流轴的特点,如图 1 中的 St. 01 所示,故将对照区点 St. C 设置在距鱼礁区东侧约 2 n mile 处。此后进行的第 3 次(投礁后 3 个月)第 4 次(投礁后 6 个月)海上调查属于跟踪调查,均按鱼礁区点 St. R 和对照区点 St. C 进行,各次调查站点的经纬度及调查日期等如表 1 所示。

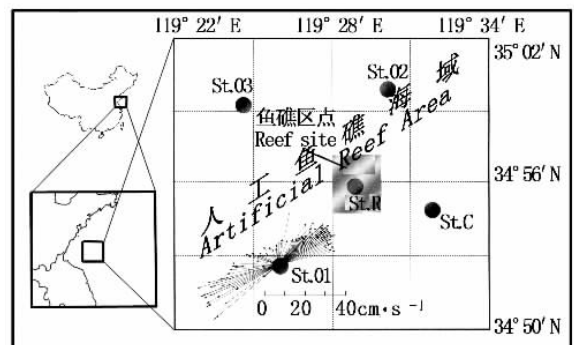


图 1 海州湾人工鱼礁海域及调查站点分布图

Fig. 1 Sketch map of artificial reef area and distribution of the survey sites in Haizhou Bay

将海上调查所采集的海水、底泥、浮游生物等各种样品带回实验室进行检测,项目包括氮、磷等营养盐及 COD 浓度,浮游植物和浮游动物的种

类、生物量等,所有样品的采集、保存及检测等均按《海洋调查规范》(GB 17378-1998)进行。

根据实验室检测所得的海水营养盐结果换算得到海州湾海水氮磷原子比 $N:P^{[3]}$,利用邹景忠的富营养化指数 $E^{[4]}$ 评估海州湾富营养化程度,当 $E > 1$ 时,判定海水处于富营养化状态。

浮游生物多样性按 Shannon-Weaver 指数 H' 计算^[5]。

各调查站点之间生物组成的相似性指数 C_λ 按 Kimoto 定义^[6]计算, C_λ 在 0 和 1 之间, $C_\lambda = 1$ 表示调查站点之间的种类组成完全相同, $C_\lambda = 0$ 则表示完全不同。

表 1 海州湾人工鱼礁海域调查站点经纬度及调查航次

Tab.1 Longitudes and latitudes of the surveying sites and survey data

调查站点 survey site	St.01	St.02	St.03	St. R	St. C	调查性质 types of investigation
经度 E longitude E	119°26.12'	119°29.87'	119°24.85'	119°28.72'	119°31.47'	/
纬度 N latitude N	34°52.98'	34°59.75'	34°59.37'	34°55.56'	34°55.00'	/
2003-2-29	✓	✓	✓			大面调查 large-area-sampling
2003-7-1				✓	✓	本底调查 background surveying
2003-7-10-20			鱼礁投放 reef deployment			
2003-10-25				✓	✓	跟踪调查 effect investigation
2004-2-23				✓	✓	跟踪调查 effect investigation

2 结果与讨论

2.1 水质

图 2 和图 3 分别为根据 4 航次海上调查采样,并通过室内实验和计算得到的海州湾调查海域的海水富营养化指数 E 和氮磷原子比值 $N:P$ 的检测结果。需要说明的是,大面调查 3 个站点 St.01、St.02 和 St.03 以及本底调查 2 个站点 St. R 和 St. C 的同期水质、底泥的检测结果显示其差异十分小,又因为本文后部分讨论显示这 2 次调查的同期各站点的浮游植物组成相似度 C_λ 都非常高,故认为海州湾调查海域的环境特征在人工鱼礁投放前基本相近,因此,在比较分析各次调查结果时,我们把 2003 年 2 月 29 日大面调查的检测结果显示即 St.01、St.02 和 St.03 的水质和底泥,视为与同期的对照区点 St. C 等价。

由图 2 可知 (1) 调查区各季节的海水富营养化指数在 0.1~0.4 范围,即 $E < 1$,说明其富营养化程度尚不发达。海州湾没有大的径流注入,主要入海河流有蔷薇河、龙王河、大浦河等^[1],总年径流量约 $7 \times 10^8 \text{ m}^3$,仅为长江的 0.05%;同时海州湾又具有较高的开放度,径流携带的陆源营养

盐容易稀释,且调查站点距离陆地岸线较远等,是该海域富营养化程度较低的主要原因。(2) 二站点的富营养化指数 E 均为冬季大于夏秋季。(3) 鱼礁区点 St. R 的 E 在 2003 年 7 月与对照区点 St. C 相差无几,但在 2003 年 10 月和 2004 年 2 月 St. R 分别高出 St. C 28.1% 和 15.9%,其原因可能是前者由于鱼礁投放产生上升流而将底层营养盐携带至上层,使得海水营养盐增加,从而导致 E 增大,而冬季(2004 年 2 月)的海水上下混合为激烈,故 St. R 和 St. C 的 E 的差异有所降低。

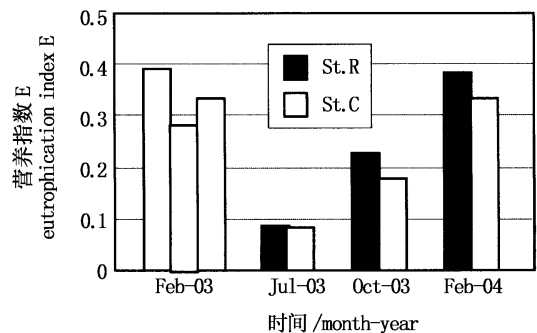


图 2 海州湾人工鱼礁海域海水营养指数的季节变化

Fig.2 Seasonal variation of the eutrophication index of sea water in the sites

图3显示,海州湾调查站点各季节的海水氮磷原子比值 N:P 在投礁前,变化范围是 5.0~9.9,低于 Redfield 比值 16,说明该海区浮游植物生长的限制性营养盐为氮,带有外洋水^[7]的特点;季节上,冬季(2月)大于夏季(7月)。但投礁后夏季至秋季,对照区点 St.C 的 N:P 由 5.0 下降至 4.4,而同期鱼礁区点 St.R 则由 6.0 升高至 7.4;此后秋季至冬季,二站点均增大,St.R 和 St.C 的升幅分别为 182.0% 和 127.5%,前者是后者的 1.43 倍。值得注意的是 St.R 的 N:P 由 7.4 猛升至 20.9,大于 Redfield 比值,由氮限制变成了磷限制,可以说海水的特性发生了变化。

2.2 底泥总氮

图4为海州湾调查海域底泥总氮含量 TN 的季节变化。2003年2月三个调查点 St.01、St.02

和 St.03 的平均值为 $373.6 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,至7月夏季,St.R 和 St.C 分别为 $432.5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $426.8 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,二者十分接近,但 St.R 略微高于 St.C。夏季人工鱼礁投放后至秋季,二者均呈下降趋势,但 St.R 的 $374.6 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 已低于 St.C 的 $384.8 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;至2004年2月继续下降,分别为 $320.2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $361.2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,二者差异增加,鱼礁区点 St.R 的底泥总氮含量更低,为 St.C 的 88.6%;并且,此时的 St.C 与上年同期平均值水平持平,而 St.R 则下降至 85.7% 相比,即 St.R 的底泥 TN 在人工鱼礁投放后减少的速度比 St.C 大。考虑到同时期内鱼礁区点 St.R 的 N:P 由氮限制变成了磷限制,且人工鱼礁海域距海岸线较远,故可以认为是人工鱼礁上升流将底泥中的氮输送到了上层,从而使 St.R 的海水氮磷相对浓度 N:P 增大。

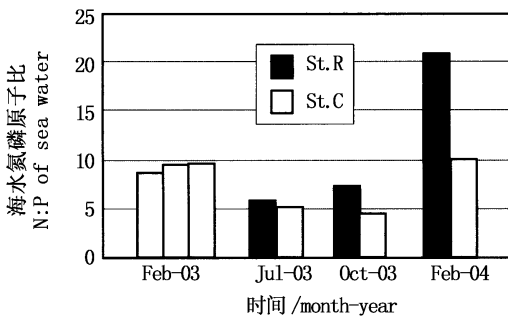


图3 海州湾人工鱼礁海域海水氮磷原子比的季节变化

Fig.3 Seasonal variation of N:P of sea water in the sites

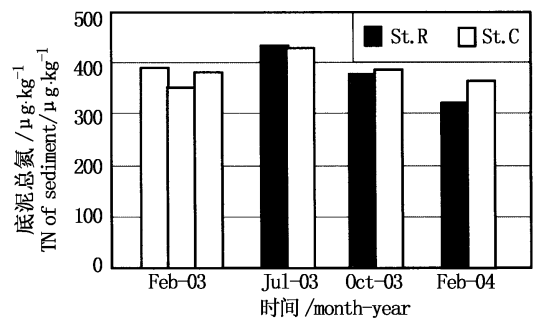


图4 海州湾人工鱼礁海域底泥总氮的季节变化

Fig.4 Seasonal variation of total nitrogen of sediment in the sites

2.3 浮游植物

4次调查共鉴定到尖刺菱形藻(*Nitzschia pungens*)、假弯角毛藻(*Chaetoceros pseudocurvisetus*)、窄隙角毛藻(*Chaetoceros affinis*)、纺锤角藻(*Ceratium fusus*)、丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*)、三角角藻(*Ceratium tripos*)、奇异菱形藻(*Nitzschia paradoxa*)、夜光藻(*Noctiluca miliaris*)等39个种,平均生物量 $2.09 \times 10^6 \text{ m}^{-3}$ (表2)。表2

显示(1)同一次调查中各站点浮游植物种类数接近,第1次大面调查的3个站点 St.01、St.02 和 St.03 相差1个种,此后3次调查中 St.R 和 St.C 的种类数差异最多也只有2个;(2)同一次调查中近岸侧站点的浮游植物生物量高于外洋侧站点,第1次调查的 St.01 和 St.03 分别高于 St.02 的 54.0% 和 44.4%,后3次调查的 St.R 分别高出 St.C 生物量的 92.2%、38.9% 和 32.9%。这与近

表2 调查站点浮游植物的种类数和生物量

Tab.2 Number of species and biomass of phytoplankton in the survey sites

调查日期 survey date	2003-2-29			2003-7-1		2003-10-25		2004-02-23	
	St.01	St.02	St.03	St.C	St.R	St.C	St.R	St.C	St.R
种类数 species	15	14	14	20	20	27	25	16	15
生物量($\times 10^6 \cdot \text{m}^{-3}$) biomass	2.88	1.87	2.70	2.21	1.15	2.57	1.85	2.06	1.55

岸侧站点海水中含有较高营养盐、有利于浮游植物生长有关。(3)鱼礁投放后的 2003 年 10 月和 2004 年 2 月, St. C 与 St. R 的浮游植物生物量差异减小了近 1/3, 原因尚不甚明了, 但可能与后叙的鱼礁投放后 St. R 的浮游动物个体增大、形成对浮游植物个体的较大摄食压力有关。

利用 Shannon-Weaver 方法得到海州湾人工鱼礁海域浮游植物多样性指数 H' (图 5), 调查海域的 H' 冬季小于夏秋季, 秋季略高于夏季, 2003 年 2 月、7 月和 10 月, 各调查站同时期的 H' 差别甚小; 2004 年 2 月 St. C 下降至上年同期水平, 为 2.74; St. R 虽也有所下降, 但维持在夏季水平, 为 3.31, 高出同期 St. C 的 17.4%。该海域浮游植物多样性指数 H' 的这种变化趋势是其生物量相对于各种类的分配比例的一种反映, 而构成这些生物量的种类组成上的差别并未反映出来。

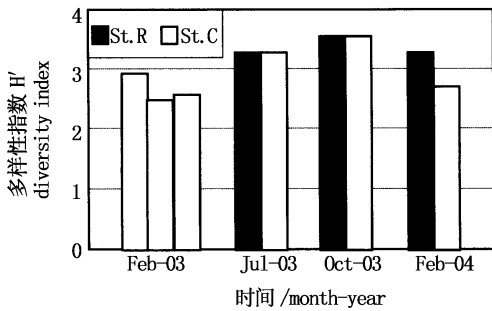


图 5 海州湾人工鱼礁海域浮游植物种类多样性指数 H' 的季节变化
Fig. 5 Seasonal variation of the diversity index H' of phytoplankton species in the sites

图 6 为各调查站点之间浮游植物组成相似性指数 C_{λ} 的计算结果。相似度是反映各调查站点之间生物种类构成及其数量比例的相似程度, 是描述生物群落组成的重要指标, 与种类组成多样性指数 H' 有本质上的区别。由图可知 (1) 第 1 次大面调查中 St. 01、St. 02 和 St. 03 之间的相似度非常高, 均在 0.94 以上, 最高达到了 0.997, 平均值为 0.963, 说明该海域的群落结构及初级生产力构成具有较好的相似性。(2) 鱼礁投放前的 2003 年 7 月, St. R 和 St. C 的相似度很高, 达到 0.953, 但鱼礁投放 3 个月后的 2003 年 10 月, St. R 和 St. C 的相似度下降至 0.863, 而鱼礁投放 7 个月后的 2004 年 2 月, St. R 和 St. C 的相似度则进一步下降至 0.685, 即二者的浮游植物群落结构随着鱼礁投

放时间的推移逐渐产生了差异。(3) 比较前面营养状态指数 E、海水氮磷原子比 N:P 以及底泥总氮含量 TN 等的分析结果, 可以认为这极为可能是鱼礁投放引起的海水营养盐组成变化所致。

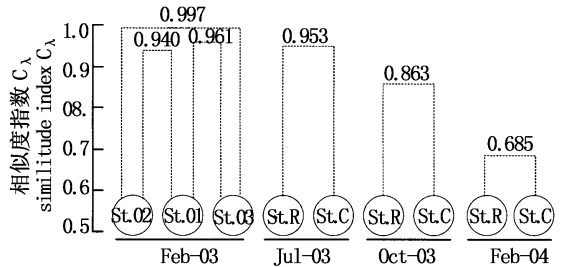


图 6 海州湾人工鱼礁海域浮游植物种类组成相似度指数 C_{λ} 的季节变化
Fig. 6 Change in the similitude index C_{λ} of phytoplankton species composition between the sites

2.4 浮游动物

海州湾浮游动物的 4 次调查结果如表 3, 共检测到种类 29 个, 主要包括强壮箭虫 (*Sagittana naga*) 中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*) 克氏纺锤水蚤 (*Acartia clausi*) 背针胸刺水蚤 (*Centropages dorsispinatus*) 五角水母 (*Muggiaea atcantica*) 针刺唇角水蚤 (*Labidocera euchaeta*) 刺糠虾 (*Acanthomysis* sp.) 等, 总体上以暖温带近岸低盐种为主(表 3)。

海州湾浮游动物生物量的季节变化如图 7 所示。由图可知 (1) 无论是数量还是重量, 鱼礁区点 St. R 的生物量均高于同期对照区点 St. C, 它们的平均值分别高出 74.1% 和 106.4%; 投礁前 2 站点浮游动物的重量差异很小。(2) St. R 和 St. C 在冬季的生物量高于夏秋季, 但不同的是秋季至夏季, 对照区点 St. C 的生物量呈减少趋势, 而鱼礁区点 St. R 却有所增加, 特别是重量由 $78 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 增加到 $114 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。海州湾以往的调查资料显示, 浮游动物生物量秋季低于夏季, 这与 St. C 的调查结果吻合。因此, 7 月中旬投放的人工鱼礁极有可能是导致 St. R 浮游动物生物量在夏季至秋季期间有所增大的主要原因。(3) 2004 年 2 月与 2003 年 7 月相比, St. R 的数量和重量分别增加了 10.9% 和 235.9%, 重量增大极为显著, 平均个体重量由 0.61 mg 增大到 1.83 mg。(4) 比较 St. R 和 St. C 的个体增重率可以发现, 从 2003 年 7 月至 2003 年 10 月和 2004 年 2 月, 分别增加

了202.3%、111.7%和24.1%、37.9% ,St.R的个体平均增重率157.0% ,竟达到了St.C 31.0%的5倍之多。即人工鱼礁投放7个月后 ,St.R的浮游

动物个体粒径明显在变大 ,这种变化意味着 St.R的次级生产力的提高 ,增强了鱼类的饵料基础 ,十分有利于渔业资源的增殖。

表3 调查站点的浮游动物种类和生物量

Tab.3 Species and biomass of zooplankton in the survey sites

调查日期 survey date	2003-2-29			2003-7-1		2003-10-25		2004-02-23	
	St.01	St.02	St.03	St.C	St.R	St.C	St.R	St.C	St.R
种类数 species	11	12	13	16	14	14	10	6	9
数量(ind·m ⁻³) numbers	81	110	162	129	72	132	65	143	95
重量(mg·m ⁻³) weights	85	128	142	78	64	114	52	262	104
平均个体重(mg) aver. body weights	1.049	1.164	0.877	0.605	0.889	0.864	0.800	1.829	1.103

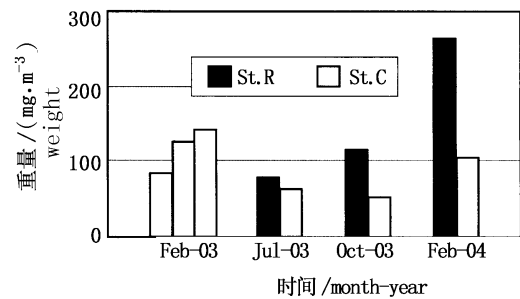
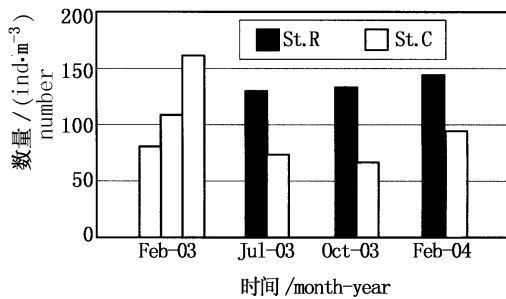


图7 海州湾人工鱼礁海域浮游动物生物量的季节变化

Fig.7 Seasonal variation of biomass of zooplankton in the sites

3 结论

通过对海州湾人工鱼礁建设海域的大面调查和设置在该海域的鱼礁区点和对照区点的本底调查及2次跟踪调查结果的分析研究,得到以下结论:①投放人工鱼礁使得鱼礁区点水域的海水特性发生了转变,从氮限制转变为磷限制,转变中所需的氮主要由人工鱼礁上升流携带底泥所提供。②人工鱼礁产生的海水特性变化,使海州湾鱼礁区点与对照区点的浮游植物组成相似度下降,浮游动物个体增大,有利于渔业资源增殖。

海州湾人工鱼礁投放试验对于该海区的水质、底泥以及浮游生物等的影响,即人工鱼礁的部分生态效应——以初级生产力为中心的低位生态系统的变化,通过本研究已经得到了初步确认。但是,这些研究本质上还是属于定性的,人工鱼礁的规模和布局与其所产生的生态效应在数量上存在怎样的关系,将是本领域今后重要的研究课题。

参考文献:

- [1] 王文海,等. 中国海湾志(第四分册)[M]. 北京:海洋出版社,1993. 354-420.
- [2] 野添学,大桥行三,藤原正幸. 铅直2次定常流れ場に設置された衝立型构造物による植物プランクトンと营养盐の変化予測に関する数值实验[J]. 水产工学,2000,36(3): 253-259.
- [3] 潘灵芝,林军,章守宇. 铅直二维定常流中人工鱼礁流场效应的数值实验[J]. 上海水产大学学报,2005,14(4): 406-412.
- [4] 邹景忠,董丽萍,秦保平. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨[J]. 海洋环境科学,1983,(2):41-54.
- [5] Patten B C. Species diversity in net plankton of Raritan Bay[J]. J Marine Research,1962,20:57-75.
- [6] 木元新作. 动物群集研究法I. 多样性と种类组成,生态学研究讲座14[M]. 日本东京:共立出版,1976.192.
- [7] Falkowski P G, Woodhead A D. Primary productivity and biogeochemical cycle in the sea[M]. New York: Plenum Press, 1992. 107-122.