

崂山湾人工鱼礁区浮游植物群落结构 与环境因子的关系*

王 欣 盛化香 唐衍力 黄六一 万 荣

(中国海洋大学水产学院 青岛 266003)

摘要 为研究崂山湾人工鱼礁区浮游植物群落结构与环境因子的关系,于 2011 年 3、6、9、12 月对崂山湾 3 个人工鱼礁区(峰山区、仰口区、港东区)进行取样调查。4 次采样共鉴定浮游植物 69 种,其中 3、9、12 月优势种都为甲藻门中的中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*),并且 9 月鱼礁区浮游植物密度远大于其他月份浮游植物密度。应用 Canoco for Windows 4.5 软件对获得的浮游植物数据和环境因子数据进行典范对应分析(Canonical correspondence analysis),作出物种与环境因子关系的二维排序图。结果表明,影响礁区浮游植物分布的主要环境因子依次为磷酸盐、温度、硅酸盐。

关键词 浮游植物;人工鱼礁;环境因子;典范对应分析

中图分类号 S931 文献标识码 A 文章编号 1000-7075(2014)04-0007-06

浮游植物不仅是水域生态系统中最重要的高级生产者,而且是水中溶解氧的主要供应者,它启动了水域生态系统中的食物网,在水域生态系统的能量流动、物质循环和信息传递中起着至关重要的作用。虽然细胞构造简单,但却支撑了从浮游植物到鱼、虾、贝类等的庞杂食物链(孙军等,2013;孙雪梅等,2013)。与其他水生生物相比,浮游植物由于其生长周期短,对环境变化敏感,所以其生物量及群落结构动态变化能很好地反映海区现状及变化,特别是营养水平的变化;反之,环境条件的改变也直接或间接地影响到浮游植物的群落结构(王朝晖等,2001)。

目前,我国浮游植物的研究多数是针对内陆淡水湖泊,也有一部分为海洋中的浮游植物,但是关于人工鱼礁区浮游植物的研究很少。本研究通过对崂山湾 3 个人工鱼礁区(峰山区、仰口区、港东区)浮游植物和水质的取样调查,分析了该人工鱼礁区浮游植物的群落结构特征,并且进一步探究了该区浮游植物与环境因子的关系,从而为人工鱼礁建设以及评估提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究海区

山东省青岛崂山湾人工鱼礁区于 2008 年投放建成,礁区水深 7-8 m,分为峰山、仰口、港东 3 个礁区(图 1)。其中,峰山礁区有 20 个礁堆、港东礁区有 16 个礁堆、仰口礁区有 15 个礁堆,每个礁堆都是由石块堆积而成,长约 100 m,宽约 30 m,高约 1.5 m。

1.2 样品采集及处理

分别在峰山、仰口、港东 3 个人工鱼礁区采样,每个礁区随机设 3 个取样点(图 1)。调查时间为 2011 年 3、6、9、12 月,共分 4 次取样。采集浮游植物用国际标准 20 号(孔径 0.076 mm)筛绢制成的浅水型浮游生物网(网口直径为 37 cm,网长 1.4 m),将网放至海底(约 5 m),然后将网垂直拖起,采集到的样品装到实验瓶中,加注 2-3 滴浓度为 40%的甲醛,盖好盖子带回实验室进行计数观察。

采集浮游植物的同时,监测鱼礁区水温、盐度、

*山东省科技发展计划项目(2011GHY11524)和国际合作项目(TEK1060)共同资助。王 欣, E-mail: wx8866@yahoo.cn

通讯作者: 唐衍力, 教授, E-mail: tangyanli@ouc.edu.cn

收稿日期: 2013-08-17, 收修改稿日期: 2013-11-19

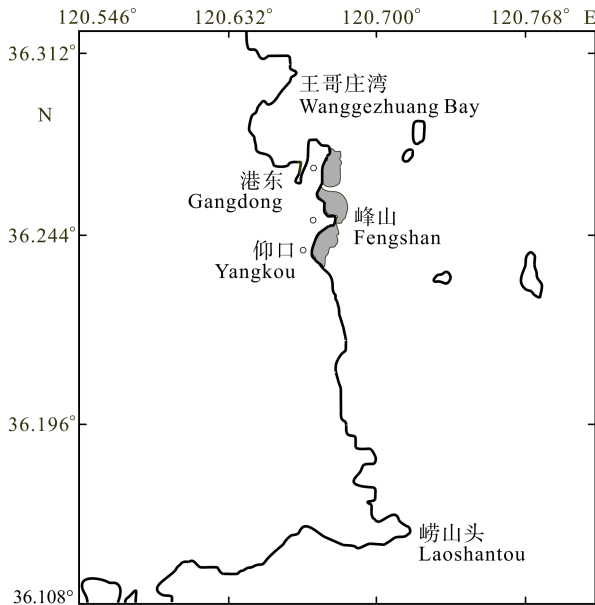


图1 崂山湾3个人工鱼礁区位置

Fig.1 The geographic location of three artificial reef areas of Laoshan Bay

透明度、溶解氧、氨氮、硝酸氮、亚硝酸氮、磷酸盐、硅酸盐、COD、BOD₅、pH值等环境因子。样品的采集、保存及分析方法按《海洋监测规范》(GB17378-2007)和《海洋调查规范》(GB/T12763-2007)进行。

1.3 数据处理

1.3.1 群落多样性确定 采用 Primer 5.0 软件对崂山湾人工鱼礁区浮游植物群落的多样性指数(Shannon-Wiener)、丰富度指数(Margalef)、均匀度指数(Pielou)进行计算。并应用聚类分析(Cluster)研究浮游植物群落结构的季度变化格局(Clarke *et al.*, 2001)。

1.3.2 浮游植物与环境因子关系确定 浮游植物和环境因子关系采用 Canoco for Windows 4.5 软件进行典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)。根据浮游植物出现频度和相对密度(该物种在各样点出现的频度 > 12.5%, 该物种在至少一个样点的相对密度 > 1%), 选取了 37 种浮游植物用于 CCA 分析(Muylaert *et al.*, 2000; Lopes *et al.*, 2005)。物种矩阵和环境数据需要进行 $\lg(x+1)$ 转换(Flores *et al.*, 1998), 最后应用 Canoco for Windows 4.5 进行运算, 并将生成的数据在 Canodraw for Windows 4.5 中作图, 排序结果用物种-环境因子关系的双序图表示。

2 结果与分析

2.1 环境因子

崂山湾人工鱼礁区各次调查环境因子的平均值

变化如表 1 所示。其中, 水温、盐度、BOD₅、透明度、叶绿素 9 月份达到最大值; 总无机氮变化范围为 50.46–73.73 $\mu\text{g/L}$, 硅酸盐变化范围为 51.60–97.95 $\mu\text{g/L}$, 磷酸盐变化范围为 3.10–11.61 $\mu\text{g/L}$, 溶解氧变化范围为 6.8–9.6 mg/L, 这些营养盐都是在 12 月份达到最大值; pH 在 3 月份达到最大值; COD 在 6 月达到最大值, 为 2.98 mg/L。

表 1 崂山湾人工鱼礁区环境因子
Tab. 1 Variations of environmental factors in the artificial reef areas of Laoshan Bay

项目 Items	时间 Time(Y-M)			
	2011-03	2011-06	2011-09	2011-12
水温 Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	6.4	17.1	25.0	6.5
盐度 Salinity	33.04	33.42	34.60	32.92
pH	8.22	7.82	7.82	7.83
COD (mg/L)	1.80	2.98	2.49	1.95
BOD ₅ (mg/L)	2.35	2.35	2.95	1.99
总无机氮 Total inorganic nitrogen ($\mu\text{g/L}$)	50.64	56.87	68.24	73.73
硅酸盐 Silicate ($\mu\text{g/L}$)	67.57	51.60	60.24	97.95
磷酸 Phosphate ($\mu\text{g/L}$)	11.61	7.27	3.10	11.07
溶解氧 Dissolved oxygen (mg/L)	7.6	6.8	7.7	9.6
透明度 Transparency (m)	2.13	1.17	3.20	1.27
叶绿素 Chlorophyll ($\mu\text{g/L}$)	6.5	8.1	9.2	3.3

2.2 浮游植物种类组成与数量分布

调查期间, 共检测到浮游植物 4 门, 69 种。其中, 硅藻门最多, 共 49 种, 占 71.01%; 其次为甲藻门, 18 种, 占 26.09%; 隐藻门和裸藻门各 1 种。3 月份优势种为中肋骨条藻, 亚优势种为新月菱形藻(*Nitzschia closterium*); 6 月份优势种为舟形藻(*Navicula* spp.), 亚优势种为斯氏几内亚藻(*Guinardia striata*); 9 月份优势种为中肋骨条藻, 亚优势种为裸甲藻(*Gymnodinium* sp.); 12 月份优势种为中肋骨条藻, 亚优势种为舟形藻。3 个人工鱼礁区的浮游植物密度变化趋势一致, 并且 9 月份鱼礁区浮游植物密度远大于其他月份浮游植物密度。图 3 显示了 3 个礁区浮

游植物密度平均值及温度的季节变化,从图 3 中可以看出,浮游植物密度均值与温度变化趋势一致,温度升高浮游植物密度增加,温度降低浮游植物密度减少,并且在温度最高的 9 月份,浮游植物密度均值达到了最大值。

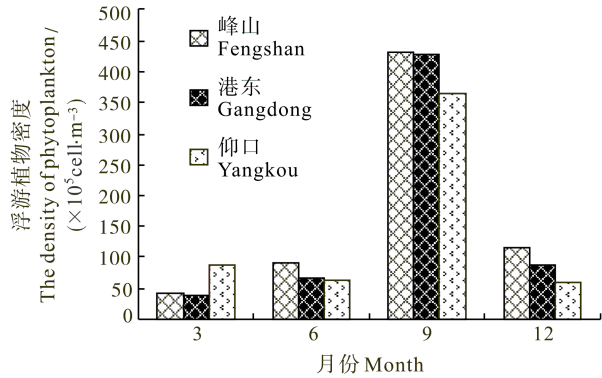


图 2 崂山湾 3 个人工鱼礁区浮游植物密度的季度变化
Fig.2 The seasonal variation of phytoplankton density of the three artificial reef areas of Laoshan Bay

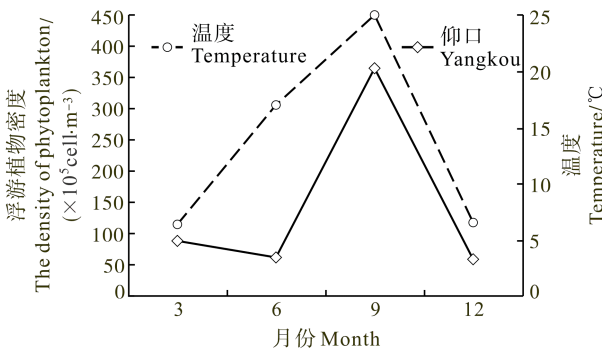


图 3 崂山湾 3 个人工鱼礁区浮游植物密度均值及温度的季节变化

Fig.3 The seasonal variation of average phytoplankton density and temperature of the three artificial reef areas of Laoshan Bay

2.3 群落物种多样性

4 个月份的群落多样性如图 4 所示, Shannon-Wiener 多样性指数(H')范围为 2.034–2.83,12 月份指数较低,9 月份最高。Margalef 丰富度指数(d)范围为 5.27–7.25, 其变化规律与 Shannon-Wiener 指数相同。Pielou 均匀度指数(J')变幅为 0.58–0.78, 12 月份最低, 6 月份最高。

2.4 底栖藻类群落结构季节性变化的聚类分析

聚类分析结果表明, 4 个月份的样本分成两组, 其中, 3 月和 6 月样本较为相似, 相似程度为 43.02%,

9 月和 12 月样本为 42.38%(图 5)。

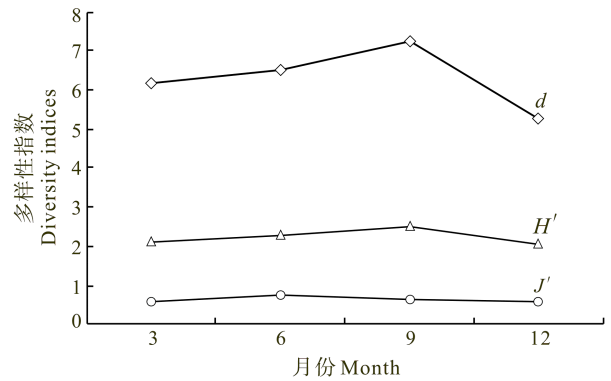


图 4 崂山湾人工鱼礁区浮游植物多样性指数的季度变化
Fig.4 The seasonal diversity indices of phytoplankton community of artificial reef areas of Laoshan Bay

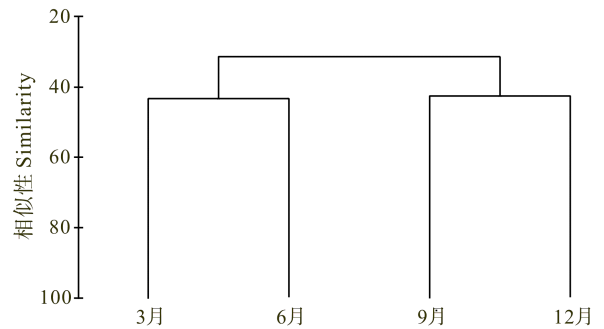


图 5 崂山湾人工鱼礁区浮游植物群落结构季节变化聚类分析

Fig.5 Cluster analysis dendrogram for phytoplankton community in the artificial reef areas of Laoshan Bay

2.5 浮游植物群落结构与环境因子的关系

图 6 为浮游植物和环境因子关系的双序图, 图 6 中带箭头的线段表示的是环境因子, 小三角形代表浮游植物。其中, 为了作图方便, 将筛选出的浮游植物名称替换成代码(表 2)。将小三角形代表的点垂直投影到带箭头的线段上, 通过投影点在线段上的位置可以得出该浮游植物与该环境因子的相关性, 投影点离箭头越近, 表示正相关性越大(Habib *et al*, 1997; 沈会涛等, 2008), 处于另一端的则表示负相关性越大。在图 6 中, 对于环境因子来讲, 第一、第二排序轴间的相关系数都为 0, 说明排序结果是可信的(郝占庆等, 2003)。从图 6 中可以看出, 磷酸盐、温度、硅酸盐 3 个环境因子周围浮游植物最多, 说明这 3 个环境因子影响的浮游植物最多, 为浮游植物的主要影响因素。其中, 优势种新月菱形藻、舟形藻、斯氏几内亚藻的主要影响因素为磷酸盐, 中肋骨条藻的主要影响因素为 COD, 裸甲藻的主要影响因素为水温。

表 2 CCA 分析中浮游植物种类代码
Tab. 2 Codes of phytoplankton species for CCA

代码 Code	种类 Species	代码 Code	种类 Species
P1	加拉星平藻(<i>Asteroplanus karianus</i>)	P20	窄隙角毛藻(<i>Chaetoceros affinis</i>)
P2	扭链角毛藻(<i>Chaetoceros torttissimus</i>)	P21	劳氏角毛藻(<i>Chaetoceros lorenzianus</i>)
P3	辐射圆筛藻(<i>Coscinodiscus radiatus</i>)	P22	旋链角毛藻(<i>Chaetoceros curvisetus</i>)
P4	圆筛藻(<i>Coscinodiscus</i> sp.)	P23	角毛藻(<i>Chaetoceros</i> spp.)
P5	柔弱几内亚藻(<i>Guinardia delicatula</i>)	P24	菱形海线藻(<i>Thalassionema nitzschioides</i>)
P6	膜状缪氏藻(<i>Meuniera membranacea</i>)	P25	圆海链藻(<i>Thalassiosira rotula</i>)
P7	舟形藻(<i>Navicula</i> spp.)	P26	亚历山大藻(<i>Alexandrium</i> sp.)
P8	新月菱形藻(<i>Nitzschia closterium</i>)	P27	前沟藻(<i>Amphidinium</i> sp.)
P9	尖刺拟菱形藻(<i>Pseudonitzschia pungens</i>)	P28	短楔形藻(<i>Licmophora abbreviata</i>)
P10	中肋骨条藻(<i>Skeletonema costatum</i>)	P29	三角棘原甲藻(<i>Prorocentrum triestinum</i>)
P11	裸甲藻(<i>Gymnodinium</i> sp.)	P30	小等刺硅鞭藻(<i>Dictyocha fibula</i>)
P12	隐藻(<i>Cryptophyceae</i> spp.)	P31	派格棍形藻(<i>Bacillaria paxillifera</i>)
P13	斯氏几内亚藻(<i>Guinardia striata</i>)	P32	密连角毛藻(<i>Chaetoceros densus</i>)
P14	长菱形藻(<i>Nitzschia longissima</i>)	P33	丹麦细柱藻(<i>Leptocylindrus danicus</i>)
P15	长菱形藻弯端变种(<i>Nitzschia longissima</i> var. <i>reversa</i>)	P34	膜状缪氏藻(<i>Meuniera membranacea</i>)
P16	近缘曲舟藻(<i>Pleurosigma affine</i>)	P35	直舟形藻(<i>Navicula directa</i>)
P17	曲舟藻(<i>Pleurosigma</i> spp.)	P36	菱形藻(<i>Nitzschia</i> spp.)
P18	刚毛根管藻(<i>Rhizosolenia setigera</i>)	P37	叉状角藻(<i>Ceratium furca</i>)
P19	裸藻(<i>Eutreptia</i> sp.)		

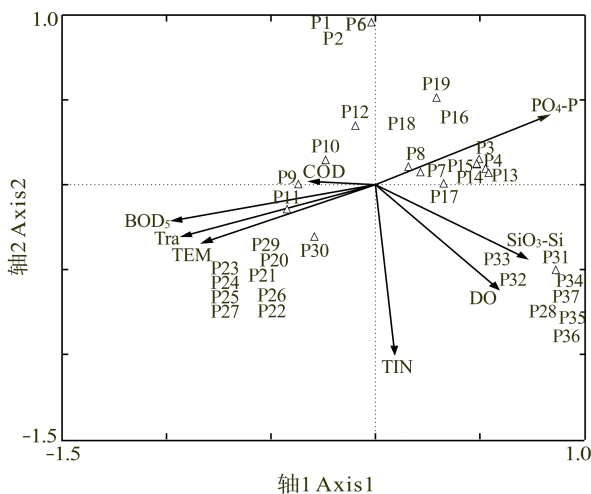


图 6 崂山湾人工鱼礁区浮游植物物种与环境关系的 CCA 排序

Fig.6 CCA biplot of phytoplankton species and environmental variables in the artificial reef areas of Laoshan Bay

3 讨论

通过 2011 年对崂山湾人工鱼礁区的 4 次采样，共观察到 69 种浮游植物，9 月份浮游植物密度达到 $408.65 \times 10^5 \text{ cell/m}^3$ ，远高于其他月份，同时，水温、盐度、BOD₅、透明度、叶绿素 a 都在 9 月份达到最大值，通过 CCA 排序图(图 5)也可以看出，劳氏角毛

藻、旋链角毛藻、角毛藻、菱形海线藻、圆海链藻、亚历山大藻、前沟藻、三角棘原甲藻、小等刺硅鞭藻这 9 种浮游植物与水温有很高的正相关，并且 9 月份水温为 25℃，这一水温适合许多浮游植物生长和繁殖，因此在水温最高的 9 月份这些浮游植物能够很好的生长繁殖，从而使 9 月份浮游植物密度达到最大值。中肋骨条藻为 6、9、12 月份最优势种，这可能与中肋骨条藻属于近岸广温类群有关(林更铭等，1993；康元德，1991)。

3 个人工鱼礁区浮游植物密度的年变化趋势基本一致，虽然在 6 月、9 月、12 月中，浮游植物的密度都是峰山 > 港东 > 仰口，但是它们之间的差异并不大，统计它们的平均密度，其变化范围为 $49.78 \times 10^5 \text{ cell/m}^3$ (12 月)– $408.65 \times 10^5 \text{ cell/m}^3$ (9 月)。

从聚类分析中能够看出，在相似度大约为 40% 时，3 月份与 6 月份分在一组，9 月份与 12 月份分在一组。这表明 3 月份与 6 月份有很多相同的浮游植物种类，这可能是因为从 3 月份到 6 月份环境因子不断变化，一部分浮游植物由于不适应新的环境因子而减少或死亡，另一部分浮游植物能够继续存活到 6 月份，从而使 3 月份与 6 月份相似度达到了 43.02%；9 月份与 12 月份相似度达到了 42.38% 也可能是因为同样的原因；而 6 月份与 9 月份相似度不高可能也是因

为环境因子发生变化,大部分原有的浮游植物不适应新的环境而死亡,一些适应新环境的其他浮游植物迅速生长繁殖,从而使6月与9月相似度较低。

本研究对崂山湾人工鱼礁区浮游植物群落与环境因子进行了典范对应分析,结果表明,磷酸盐、水温和硅酸盐是影响这一区域物种分布格局的重要因素。其中磷酸盐和硅酸盐都是浮游植物赖以生存的物质基础,磷酸在浮游植物密度最高的9月份达到最低值,这表明磷酸盐与该礁区浮游植物呈负相关,图5也显示出大部分浮游植物与磷酸盐呈负相关,这也与崔毅等(2000)研究的浮游植物与环境因子关系的结果一致。浮游植物都需要有适合的水温才能生长繁殖。结果表明,该礁区浮游植物与水温有很强的正相关,从而在水温最高的9月份浮游植物密度达到最大值。这也与该礁区在这次调查中并未出现异常高温有关,最高水温为25℃,没有超出该礁区9月份浮游植物优势种类生长繁殖适宜的温度(中肋骨条藻在水温0–37℃之间均可生长,最适生长温度为24–28℃,裸甲藻高密度、高频率出现的温度范围在24–26℃)¹⁾。

不同海域具有不同的主要影响因子,杨柳等(2011)阐明无机氮、水温和透明度对浮游植物群落影响较大,CCA能够很好的展现浮游植物与环境因子的关系,同时从图6中也可以看出,不同浮游植物有不同环境影响因子,这也与浮游植物自身的生活习性有关。通过对崂山湾人工鱼礁区浮游植物的调查,能够监测人工鱼礁区浮游植物和水质情况,并且通过CCA探究了该人工鱼礁区浮游植物与环境因子的关系,从而为人工鱼礁建设以及评估提供参考。

参 考 文 献

孙雪梅,夏斌,过锋,等. 青岛崂山近岸海域浮游植物群落结构及其与环境因子的关系. 渔业科学进展, 2013, 34(2):

46–53

- 崔毅,陈碧鹃,马绍赛. 乳山湾浮游植物与环境因子的相关关系研究. 应用生态学报, 2000, 11(6): 935–938
- 郝占庆,郭水良,叶吉. 长白山北坡木本植物分布与环境关系的典范对应分析. 植物生态学报, 2003, 27(6): 733–741
- 康元德. 渤海浮游植物的数量分布和季节变化. 海洋水产研究, 1991, (12): 31–54
- 国家技术监督局. 海洋监测规范(GB 17378), 2007, 北京: 中国标准出版社
- 国家技术监督局海洋调查规范(GB 12763), 2007, 北京: 中国标准出版社
- 林更铭,杨清良,林金美. 厦门岛周围海域浮游植物与环境因子的关系. 海洋通报, 1993, 12(6): 40–45
- 沈会涛,刘存歧. 白洋淀浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析. 湖泊科学, 2008, 20(1): 773–779
- 王朝晖,陈菊芳,徐宁,等. 大亚湾裸甲藻种群的季节变化与环境条件的关系. 生态学报, 2001, 21(11): 1825–1832
- 杨柳,张硕,孙满昌,等. 海州湾人工鱼礁区浮游植物与环境因子关系的研究. 上海海洋大学学报, 2011, 20(3): 445–450
- Clarke KR, Warwick RM. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation (2nd Edition). PRIMER - E, Plymouth, 2001, 2–15
- Flores LN, Barone R. Phytoplankton dynamics in two reservoirs with different trophic state (Lake Rosamarina and Lake Arancio, Sicily, Italy). Hydrobiologia, 1998, 369/370: 163–178
- Habib OA, Tippet R, Murphy KJ. Seasonal changes in phytoplankton community structure in relation to physico-chemical factors in Loch Lomond, Scotland. Hydrobiologia, 1997, 350: 63–79
- Lopes MRM, Bicudo CEM, Ferragut MC. Short term spatial and temporal variation of phytoplankton in a shallow tropical oligotrophic reservoir, southeast Brazil. Hydrobiologia, 2005, 542 (1): 235–247
- Muylaert K, Sabbe K, Vyverman W. Spatial and temporal dynamics of phytoplankton communities in a freshwater tidal estuary (Schelde, Belgium). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2000, 50: 673–687

(编辑 刘丛力)

1) 林学政,王能飞,郝林华,等. 中肋骨条藻. 外表海洋物种数据库. 2006

Relationships Between the Structure of Phytoplankton Community and Environmental Factors in Three Artificial Reef Areas of Laoshan Bay

WANG Xin , SHENG Huaxiang, TANG Yanli , HUANG Liuyi, WAN Rong

(College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003)

Abstract In this study, we examined the phytoplankton community in the artificial reef areas of Laoshan Bay, and analyzed the relationships between phytoplankton and environment factors. Hence we provided references for the construction and evaluation of artificial reefs. The data and water samples were collected from four surveys in three artificial reef areas (Fengshan, Yangkou and Gangdong) of Laoshan Bay from March to December in 2011. By using Primer 5.0, we calculated the Shannon-Wiener, Margalef and Pielou of the phytoplankton community. We monitored the quarterly changes of phytoplankton community with cluster analysis, and applied Canonical Correspondence Analysis (CCA) to explore the relationship between phytoplankton species and the environmental factors using Canoco 4.5. In four surveys we identified a total of 69 species with microscope. We found that the dominant species was *Skeletonema costatum* in March, September and December, and it was *Navicula spp* in June. The density of phytoplankton in December was 49.78×10^5 cell/m³, which was the lowest in this survey. The density of phytoplankton in September was up to 408.65×10^5 cell/m³, which was the highest among all months. Shannon-Wiener and Margalef varied from 2.034 to 2.83, and from 5.27 to 7.25 respectively, both of which reached the maximum in September and the minimum in December. The range of Pielou was 0.58–0.78, and it reached the maximum in June and the minimum in December. According to the cluster analysis, the degree of similarity between March and June was 43.02%, and it was up to 42.38% between September and December. The species-environment bi-plots were drawn based on the results of CCA. The results showed that phosphate, temperature and silicate were the most important factors that influenced the distribution of phytoplankton species.

Key words Phytoplankton; Artificial reef; Environmental factors; Canonical correspondence