

刺参养殖池塘一种塑料人工参礁表面生态学特征初步研究

任贻超, 董双林, 王修滨, 王芳, 田相利, 高勤峰

(中国海洋大学 教育部海水养殖重点实验室, 山东 青岛 266003)

摘要: 人工参礁在中国刺参(*Apostichopus japonicus* (Selenka))养殖业中被广泛应用, 本文调查了 2008 年春、秋季刺参池塘中一种塑料人工礁表面的生物群落结构。采用沉积物捕捉器的方法调查了刺参池塘人工礁表面碳、氮、磷的循环及参礁的生态特征。结果表明, 春季礁体底栖动物生物量及生物多样性高于秋季, 底栖动物均集中在礁体外表面的缝隙内, 4 月礁体表面颗粒物, 底泥沉积物总有机碳(TOC)平均含量分别为 41.9 mg/g 和 2.45 mg/g; 总氮(TN)平均含量分别为 4.1 mg/g 和 0.2 mg/g。10 月礁体表面颗粒物, 底泥沉积物 TOC 含量分别为 27.5 mg/g 和 3.1 mg/g; TN 平均含量分别为 3.1 mg/g 和 0.3 mg/g。4 月 TOC, TN 沉积量分别达到 711.2 mg/(m²·d)和 70.7 mg/(m²·d); 10 月 TOC, TN 沉积量分别为 804.9 mg/(m²·d)和 87.3 mg/(m²·d)。4 月人工礁表面叶绿素/脱镁叶绿素(Chl *a*/Pheophytin)>1, 表明礁体活体藻类较多。10 月人工礁表面 Chl *a*/Pheophytin<1 表明礁体表面降解颗粒物较多。人工礁为刺参提供遮蔽场所, 其表面生物膜为刺参提供优质食物, 同时可增加池塘底面积, 增强养殖系统稳定性。

关键词: 刺参(*Apostichopus japonicus* (Selenka)); 人工礁; 养殖池塘; TOC; TN; TP; 叶绿素

中图分类号: S967.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2013)01-0029-06

近年来, 刺参(*Apostichopus japonicus* (Selenka))养殖业发展迅速, 并已在中国海水养殖中占据重要地位^[1]。刺参的避光行为使得养殖过程中需要一定数量的遮蔽物(参礁)为其提供庇护^[2-3]。人工参礁不仅是为刺参提供了遮蔽物, 同时其上生长的生物还是刺参的天然饵料, 也助于养殖水质的净化。目前, 石块、砖瓦作为参礁被广泛应用于刺参养殖池塘中。在一些刺参养殖场塑料参礁因其操作方便、价廉, 开始成为石块和砖瓦的代用品。

目前, 人工礁的使用对生态环境的作用尚存疑问^[4-5], 对海水养殖池塘中使用的人工礁的研究还较少。秦传新等^[6]调查了刺参养殖池塘不同类型参礁对刺参生长的影响, 但关于刺参养殖池塘人工参礁表面底栖生物群落结构及其生态学特征还知之甚少。

刺参具有夏眠和冬眠的习性, 春、秋两季是其主要的生长季节, 刺参生长季节饵料的来源, 饵料的数量和质量对刺参养殖起到至关重要的作用。本实验调查了 2008 年 4 月和 10 月刺参养殖池塘塑料参礁的底栖生物群落结构及其生态学特征, 为人们了解人工参礁的功能及新型参礁的开发和利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验地点

实验时间为 2008 年 4 月和 10 月。实验地点位于山东荣成刺参养殖池塘, 池塘面积约为 2 ha(200 m×100 m×2 m), 采用自然纳潮进行水交换。高潮期每天换水量约为池塘水量的 40%~60%。池塘内架设聚乙烯材料 0.5 cm 网目网制围隔(8 m×8 m×2.5 m), 网衣底边埋入泥下 30 cm。人工礁为塑料管制成(管径 12 cm, 长 40 cm), 四管成一组(图 1)。参礁投放时间为 2007 年 4 月。随机选取 5 个围隔, 每个围隔内平均排列人工参礁 56 组, 管口顺水流方向。刺参苗种投放时间为 2008 年 3 月 28 日, 密度 15 头/m², 刺参个体平均体质量约为 2.5 g。实验期间池塘不投饵。

1.2 样品采集与测定

每个围隔随机取 20 组人工礁进行底栖生物调查,

收稿日期: 2012-05-12; 修回日期: 2012-08-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(30871931); 国家 863 计划项目(2006AA10Z409)

作者简介: 任贻超(1983-), 男, 山东高密人, 博士, 从事水产养殖生态学研究; 董双林, 通信作者, 电话: 0532-66782697, E-mail: dongsl@ouc.edu.cn



图1 塑料管人工参礁及实验池塘

Fig. 1 Artificial reefs and the experimental pond

人工礁由潜水员小心取出水面。大型底栖动物用 5% 甲醛固定^[7], 计数采用单位面积湿重进行统计。小型底栖动物用 5% 甲醛固定, 虎红染色, Ludox-TM 悬浮离心后, 用 0.5 mm 和 0.05 mm 孔径网筛筛选, 计数^[8-9]。底栖藻类用甲醛固定后, 用 Olympus 光学显微镜在实验室进行浮游植物鉴定、计数^[7], 采用单位面积生物体数量进行统计。用硬毛刷将一定面积的人工基质表面颗粒物样品洗下, 在玻璃容器中定容至 400 mL。等分三份: 一份用于底栖硅藻鉴定和计数; 一份用 90% 的丙酮溶液提取, 分光光度法测定叶绿素(Chl *a*) 的含量, 具体方法参照《海洋调查规范》^[7]; 一份置于烘箱中 60°C 烘干至恒重, 冷却至室温后, 经研磨, 1 mol/L HCl 酸化除去无机碳, 用 PE-24 CHN Analyzer 测定其中的总有机碳(TOC)、总氮(TN)含量^[10]。沉降颗粒物中总磷(TP)含量测定参照扈传昱等的方法^[11]。

水体沉降颗粒物(TPM)采用有机玻璃制成的沉积物捕捉器采集。每个围隔内各设置 5 个沉积物捕捉器(直径 110 mm, 深度 550 mm)。捕捉器开口处用网片遮盖以防止大型游泳动物进入。捕捉器每 7 天回收一次。沉积物捕捉器收回实验室后静置 6 h, 虹

吸上覆海水, 蒸馏水洗盐、烘干、称质量。其中 1/2 用于叶绿素及脱镁叶绿素(pheophytin)含量测定; 另外 1/2 用于 TOC、TN 及 TP 含量测定, 方法同上。回收沉积物捕捉器的同时现场采集水样测定温度、盐度及 pH 值。水样固定后带回实验室测定溶解氧, 同时测定水样氨氮、TP、叶绿素含量及悬浮颗粒物(SPM)含量, 具体测定参照雷衍之的方法^[12]。

用内径 10 cm 采泥器于每个捕捉器下方采集底泥沉积物样品 1 个, 取表层 1 cm 样品带回实验室, 用于 TOC、TN、TP、叶绿素及脱镁叶绿素含量分析, 测定方法同上。

1.3 数据分析

数据统计分析使用 SPSS11.0 软件, 对数据进行了双因子方差分析(Two-way ANOVA), 以 $P < 0.05$ 作为差异显著的标准。

2 结果

2.1 实验池塘水质

实验期间刺参养殖池塘水温、盐度、溶解氧、pH、叶绿素、悬浮颗粒物、氨氮及 TP 平均含量见表 1。10 月份水体叶绿素、悬浮颗粒物、氨氮及总磷平均含量略高于 4 月。

2.2 养殖池塘水体颗粒物沉降通量

4 月和 10 月, 人工礁区 TPM、TOC、TN、TP、叶绿素及脱镁叶绿素平均沉积量见表 2。春季礁区 TPM、TP、Chl *a* 及脱镁叶绿素沉降通量小于秋季 ($P < 0.05$)(表 2)。

表 1 刺参养殖池塘水质状况

Tab. 1 Water quality of the sea cucumber culture pond

月份	温度 ()	盐度	DO (mg/L)	pH	Chl <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	SPM (mg/L)	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ($\mu\text{g/L}$)	TP (mg/L)
4	14.0±1.8	31.9±0.4	6.3±0.3	8.1±0.0	1.6±0.4	22.2±2.9	99.4±13.3	0.1±0.0
10	18.5±2.0	30.1±0.8	6.4±0.4	8.1±0.1	1.9±0.3	28.2±3.7	119.1±9.1	0.2±0.0

注: 数值采用平均值±标准差($n=15$)

表 2 池塘内 TPM、TOC、TN、TP、叶绿素和脱镁叶绿素沉降通量

Tab. 2 Sedimentation rates of TPM, TOC, TN, TP, Chl *a* and pheophytin

月份	TPM ($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	TOC ($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	TN ($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	TP ($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	Chl <i>a</i> ($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	脱镁叶绿素 ($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)
4	21.0±2.2 ^a	711.2±180.2 ^a	70.7±19.8 ^a	14.6±1.7 ^a	2.1±0.2 ^a	4.3±0.7 ^a
10	29.5±1.3 ^b	804.9±34.8 ^b	87.3±8.2 ^a	17.4±1.5 ^b	3.3±0.5 ^b	10.0±1.3 ^b

注: 数值采用平均值±标准差; 不同上标字母表示同列中不同月份间数值有显著性差异($P < 0.05$)

2.3 人工礁表栖生物群落

人工礁上底栖动物集中分布在四管相接的空隙内, 刺参占绝对优势。春季底栖动物生物多样性及生物量均显著高于秋季。春季除刺参外主要有少量多毛类、双壳类、小型甲壳类、螺类、涡虫、海鞘等; 春季礁体表面还附有大型藻类浒苔。秋季有少量的多

毛类、小型甲壳类及海鞘。小型底栖动物主要有线虫和桡足类。参礁上底栖硅藻 4 月份以菱形藻属的小新月菱形藻(*Nitzschia closterium f.minutissima*)及长菱形藻(*Nitzschia longissima*)占优势, 底栖硅藻总生物量约为 1.1×10^8 个/ m^2 ; 10 月份以菱形藻属(*Nitzschia sp.*)占绝对优势, 底栖硅藻总生物量约为 8.4×10^7 个/ m^2 。4 月底栖硅藻生物量高于 10 月(表 3)。

表 3 人工礁表面栖息生物调查

Tab. 3 Investigation of benthos on artificial reefs

分类	底栖生物种类	4 月	10 月
大型底栖动物(g/m ²)	刺参 <i>Apostichopus japonicus</i> (Selenka)	28.3	73.6
	多鳃齿吻沙蚕 <i>Nephtys polybranchia</i>	0.3	0.4
	紫贻贝 <i>Mytilus edulis</i>	1.8	**
	双突拳蟹 <i>Philyra biprotubera</i>	4.2	5.1
	秀丽织纹螺 <i>Nassarius festivus</i>	0.7	**
	类鹿眼螺属 <i>Rissoina sp.</i>	0.2	**
	日本三角涡虫 <i>Dugesia japonica</i>	0.6	**
	螺旋虫 <i>Spirorbidae sp.</i>	0.5	**
	纓鳃虫科 <i>Sabellidae sp.</i>	0.1	**
	平甲虫 <i>Armadillidium vulgare</i>	1.2	**
小型底栖动物(个/m ²)	海鞘 <i>Asciacea sp.</i>	7.3	2.0
	线虫	2.1×10^4	1.1×10^4
	桡足类	1.7×10^3	1.2×10^3
底栖藻类(个/m ²)	菱形藻属 <i>Nitzschia sp.</i>	1.1×10^8	8.4×10^7

**表示未发现

2.4 人工礁体上颗粒物及底泥沉积物营养物质含量

4 月, 人工参礁表面颗粒物中 TOC、TN 及 TP 平均含量分别为 41.9、4.1、0.6 mg/g; 10 月, 人工参礁表面沉积物 TOC 平均含量为 27.5 mg/g, TN 为 2.8 mg/g, TP 为 0.5 mg/g。4 月 TOC、TN 及 TP 在底泥沉积物中平均含量分别为 2.45、0.2、0.4 mg/g; 10 月底泥沉积物中 TOC 平均含量为 3.1 mg/g, TN 为 0.3 mg/g, TP 为 0.5 mg/g。人工参礁表面颗粒物中 TOC 及 TN 含量均显著高于他们在底泥沉积物中的含量 ($P < 0.05$)(图 2, 图 3)。4 月人工参礁表面颗粒 TP 含量略高于底泥, 而 10 月无显著差异 ($P > 0.05$)。

4 月人工礁表面颗粒物中叶绿素和脱镁叶绿素平均含量分别 190.9 $\mu\text{g/g}$ 和 102.4 $\mu\text{g/g}$, 在底泥沉积物中相应值分别为 2.0 $\mu\text{g/g}$ 和 6.2 $\mu\text{g/g}$ 。10 月, 人工参礁表面颗粒物叶绿素平均含量为 50.0 $\mu\text{g/g}$, 脱镁叶绿素为 134.7 $\mu\text{g/g}$, 底泥沉积物中叶绿素平均含量为 3.2 $\mu\text{g/g}$, 脱镁叶绿素平均含量为 12.3 $\mu\text{g/g}$ 。

4 月, 10 月人工参礁上颗粒物中叶绿素及脱镁叶绿素含量均显著高于其在底泥中的含量 ($P < 0.05$)。4 月人工参礁上颗粒物中叶绿素含量高于脱镁叶绿素

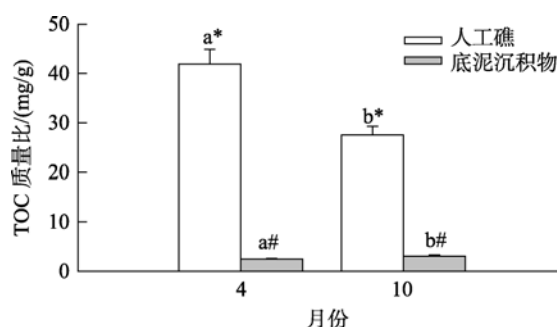


图 2 人工参礁表层颗粒物及底泥沉积物中 TOC 含量
Fig. 2 TOC contents in particles collected from surface of artificial reefs and sediment

数值采用平均值±标准差; 不同字母表示不同月份 TOC 含量差异显著 ($P < 0.05$); 不同符号表示相同月份 TOC 含量差异显著 ($P < 0.05$)

Values were given as means \pm SD. Different letters mean there were significant differences in different month and different symbols mean there were significant differences in the same month ($P < 0.05$)

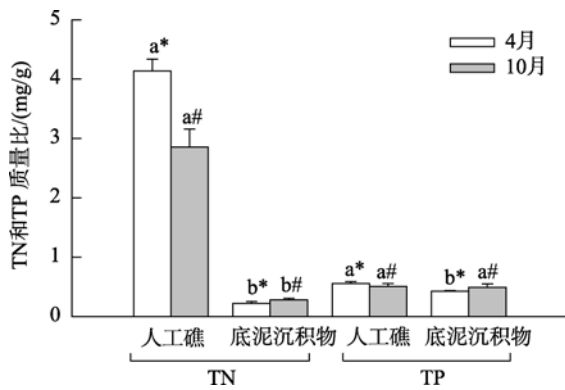


图3 人工参礁表层颗粒物中 TN 及 TP 含量

Fig. 3 TN and TP contents in particles collected from surface of artificial reefs and sediment

数值采用平均值±标准差; 不同字母表示相同月份 TN 及 TP 分别在人工礁上颗粒物和底泥沉积物中含量差异显著($P<0.05$); 不同符号表示不同月份 TN 及 TP 分别在人工礁上颗粒物和底泥沉积物中含量差异显著($P<0.05$)

Values were given as means ± SD. Different letters mean there were significant differences in TN and TP contents in the same month and different symbols mean there were significant differences in different months ($P<0.05$)

含量, 而 10 月人工参礁上叶绿素含量低于脱镁叶绿素含量(图 4)。4 月, 10 月底泥中叶绿素含量均低于脱镁叶绿素含量(图 5)。

春季人工参礁上颗粒物平均干质量为 16.4 g/m^2 , 秋季为 44.1 g/m^2 , 春秋季节差异显著($P>0.05$)。春秋季节沉降颗粒及参礁上颗粒物 C/N 相近, 而底泥 C/N 稍高(表 4)。

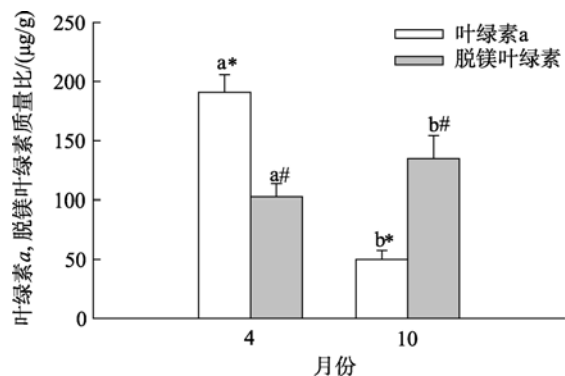


图4 人工参礁表层颗粒物质叶绿素及脱镁叶绿素含量

Fig. 4 Chl *a* and pheophytin contents in the particles collected from surface of artificial reefs

数值采用平均值±标准差; 不同字母表示不同月份间 Chl *a* 和脱镁叶绿素含量差异显著($P<0.05$); 不同符号表示相同月份 Chl *a* 和脱镁叶绿素含量差异显著($P<0.05$)

Values were given as means ± SD. Different letters mean there were significant differences in different months and different symbols mean there were significant differences in the same month ($P<0.05$)

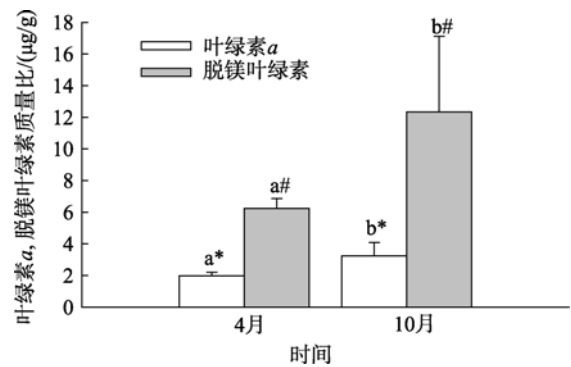


图5 底泥沉积物中叶绿素及脱镁叶绿素含量

Fig. 5 Chl *a* and Pheophytin contents in the sediment 数值采用平均值±标准差; 不同字母表示不同月份间叶绿素和脱镁叶绿素含量差异显著($P<0.05$); 不同符号表示同一月份 Chl *a* 和脱镁叶绿素含量差异显著($P<0.05$)

Values were given as means ± SD. Different letters mean there were significant differences in different months and different symbols mean there were significant differences in the same month ($P<0.05$)

表4 沉降颗粒物、人工参礁表层颗粒物及底泥沉积物中 C/N 比

Tab. 4 C/N ratio in particles collected from sedimentation, surface of sea cucumber reef and sediment

月份	水体沉降颗粒物	人工参礁表层颗粒物	底泥沉积物
4	11.8±0.5	11.8±1.0	13.3±1.8
10	10.8±0.8	11.3±0.5	12.8±0.3

注: 数值采用平均值±标准差

3 讨论

实验池塘海水中磷含量较低, 4 月池塘水体 N: P 约为 40.3, 10 月池塘水体 N: P 约为 18.9, 均高于 Redfield 比值 16, 因此, 磷是池塘初级生产力中主要限制性因子, 海洋底部的磷大部分来源于水体颗粒物沉降作用^[13]。本实验中沉降颗粒、人工礁表面沉积物及底泥中 TP 含量相近。池塘纳潮水中较低的磷含量导致池塘磷的沉积量较低, 通过经常性换水可能提高养殖系统内部磷含量。

4 月份参礁表面聚集大量螺旋虫、石灰虫等管栖生物, 投放参苗个体小, 对参礁扰动程度小, 参礁上生物量和多样性都较高且礁体表面有大量絮状物及硅藻等。随着刺参个体生长并对参礁的占据, 导致秋季礁体表面栖息底栖动物生物量较春季明显减少。礁体表面物质以沉积性颗粒及泥沙居多, 礁体上颗粒物 TOC 及 TN 含量 10 月较 4 月低, 其底栖硅藻生物量 10 月低于 4 月, 刺参扰动对参礁群落构成产生了显著影响。

本实验中, 调查期间 TPM 沉积量分别达到 21.0 和 29.5 g/(m² · d), TOC 沉积量分别达到 711.2 mg/(m² · d)和 804.9 mg/(m² · d), TN 沉积量分别达到 70.7 mg/(m² · d)和 87.3 mg/(m² · d), 表明养殖池塘每天有大量颗粒物质沉积到底部。沉降作用对人工礁生物膜形成产生重要影响。沉降颗粒 Chl *a*/Pheophytin 较低(均小于 1)而 TOC/Chl *a* 比值较高(均大于 150), 表明沉降颗粒大部分已在沉降过程中降解。研究发现, 包括沉降颗粒在内的沉积物中降解的有机物质可作为底栖动物优质的饵料来源, 而活的藻类为底栖动物摄食提供更多的食物储备^[14]。

4月礁体表面 Chl *a*/Pheophytin > 1, 且其 Chl *a* 含量显著高于沉降颗粒中叶绿素含量, 表明春季刺参池塘参礁表面颗粒物以活的藻类为主, 其表面硅藻生物量可达到 1.1 × 10⁸ 个/m²。少部分的大型藻类浒苔在礁体表面着生可能是叶绿素含量高的另一原因。10月礁体表面 Chl *a*/Pheophytin < 1, 说明秋季参礁表面颗粒物以被分解物质为主, 可能主要来源于分解的有机碎屑沉降及再悬浮作用, 少部分来源于自生的底栖藻类。人工参礁表面 Chl *a* 及脱镁叶绿素含量与沉降颗粒中 Chl *a* 及脱镁叶绿素含量相近, 人工参礁颗粒物与沉降颗粒 C/N 也相近(表 4), 说明沉降作用对参礁表面颗粒物组成影响很大。本实验中参礁表面颗粒物 TOC、TN、Chl *a* 和脱镁叶绿素含量均高于底泥的相应指标, 提示参礁表面颗粒物对刺参更具营养价值。

人工参礁不仅为刺参提供了遮蔽场所, 也是其天然料生产的重要场所。人工基质表面固着生物的存在能够增强硝化作用并有效减少水体内 NO₂-N and TAN^[15], 人工参礁表面着生的藻类有利于池塘水质改善和营养盐吸收, 有利于整个养殖系统生态环境的稳定。

参考文献:

- [1] Chen J X. Present status and prospects of sea cucumber industry in China[C]//Lovatelli A, Conand C, Purcell S, et al. Advances in sea cucumber aquaculture and management. FAO, Rome, 2004, 25-38.
- [2] Hammond L S. Patterns of feeding and activity in deposit-feeding holothurians and echinoids (Echinodermata) from a shallow back-reef lagoon, Discovery Bay, Jamaica[J]. Bull Mar Sci, 1982, 32: 549-571.
- [3] Shiell G R, Knott B. Diurnal observations of sheltering behaviour in the coral reef sea cucumber *Holothuria whitmaei*[J]. Fisheries Research, 2008, 91: 112-117.
- [4] Seaman W. Unifying trends and opportunities in global artificial reef research, including evaluation[J]. ICES J Mar Sci, 2002, 59: 14-16.
- [5] Svane I B, Petersen J K. On the problems of epibiosis, fouling and artificial reefs, a review. P.S.Z.N[J]. Mar Ecol, 2002, 33: 169-188.
- [6] 秦传新, 董双林, 牛宇峰, 等. 不同类型附着基对刺参生长和存活的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(3): 392-396.
- [7] 国家海洋局. 海洋调查规范[S]. GB/T 12763.6-2007.
- [8] Higgins R P, Thiel H. Introduction to the Study of Meiofauna[M]. Washington, D C: Smithsonian Institution Press, 1988: 488.
- [9] Zhang Z N, Li Y G, Tu L H, et al. Preliminary study on the Ecology of the Benthic Meiofauna and its Adjacent Waters[J]. Oceanologia ET Limnologia Sinica, 1989, 20(3): 197-208.
- [10] Holmer M, Marbà N, Diaz-Almela E, et al. Sedimentation of organic matter from fish farms in oligotrophic Mediterranean assessed through bulk and stable isotope (δ¹³C and δ¹⁵N) analyses[J]. Aquaculture, 2007, 262: 268-280.
- [11] 扈传昱, 王正方, 吕海燕. 海水和海洋沉积物中总磷的测定[J]. 海洋环境科学, 1999, 18(3): 48-52.
- [12] 雷衍之. 养殖水环境化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [13] Berner R A, Ruttenger K C, Ingall E D, et al. The nature of phosphorus burial in modern marine sediments[C]//Wollast R, Mackenzie FT, Chou L. Interactions of C, N, P and S Biogeochemical Cycles and Global Change. Springer-Verlag, New York, 1993: 365-378.
- [14] Hansen J LS, Josefson A B. Ingestion by deposit-feeding macro-zoobenthos in the aphotic zone does not affect the pool of live pelagic diatoms in the sediment[J]. Experimental Marine Biology and Ecology, 2004, 308: 59-84.
- [15] Asaduzzaman M, Wahab MA, Verdegem M C J, et al. C/N ratio control and substrate addition for periphyton development jointly enhance freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* production in ponds[J]. Aquaculture, 2008, 280: 117-123.

Preliminary study on ecological characteristics of one plastic artificial substrate in sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) culture pond

REN Yi-chao, DONG Shuang-lin, WANG Xiu-bin, WANG Fang, TIAN Xiang-li, GAO Qin-feng

(The Key Laboratory of Mariculture Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Received: May, 12, 2012

Key words: sea cucumber; artificial reef; culture pond; TOC; TN; TP; Chl *a*

Abstract: Artificial substrates (AR) are widely used in Chinese sea cucumber culture ponds. The ecological characteristics of substrate in sea cucumber pond were investigated in the present study. The results showed that the biomass of zoo benthos on AR in spring was higher than that in autumn. The AR in sea cucumber culture pond provided shelters for the sea cucumber, moreover, the bio-film on the surface of AR formed by organic debris aggregates and benthic diatoms supply food source for the sea cucumber. In April, average content of TOC in particles collected from AR surface was 41.9 mg/g and it was 2.45 mg/g in sediment. Mean content of TN in particles of AR surface was 4.1 mg/g and it was 0.2 mg/g in sediment. In October, average TOC content in particles from AR and sediment was 27.5 mg/g and 3.1 mg/g, respectively. Mean TN content in particles from AR and sediment was 3.1 mg/g and 0.3 mg/g, respectively. TOC and TN sedimentation rates in April were 711.2 mg/(m² · d) and 70.7 mg/(m² · d), while they were 804.9 mg/(m² · d) and 87.3 mg/(m² · d) in October, respectively. The Chl *a*/Pheo ratio of particles from AR was higher than 1 in April and it was lower than 1 in October. The AR in sea cucumber culture pond supply shelters for sea cucumber, meanwhile, it increase pond bottom area and enhance stability of culture system. In addition, the bio-film on reef was high quality food source for sea cucumber.

(本文编辑: 梁德海)