

池塘网箱投放不同附着基对附着生物演替及刺参保苗效果的影响

吴艳庆¹, 赵奎峰², 刘立明¹, 张玉祥¹, 杜荣斌¹

(1. 烟台大学 海洋学院, 山东 烟台 264005; 2. 山东东方海洋科技股份有限公司, 山东 烟台 264005)

摘要: 通过设置在刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)养殖池塘中的9个2 m³保苗网箱(2 m×1 m×1 m)进行现场实验, 比较研究了波形网(CU)、地笼(地笼网 CN+地笼板 CP)、尼龙网片(NM)等3种类型附着基(共4种附着基材料)在投苗状态下表面附着生物的发生与演替, 及其在刺参苗种中间培育过程中对刺参生长、存活和产量的影响。结果表明: 不同附着基表面的附着生物群落具有相似的演替过程。地笼板(CP)上附着生物的干质量、无灰分干质量显著高于其他3种附着基材料($P<0.05$), 而 CU、CN 和 NM 之间差异不显著($P>0.05$); 4种附着基材料表面附着生物的叶绿素 *a* 含量表现为 CU>CP>NM>CN, 且相互间差异显著($P<0.05$); 参苗培育12周时, 采用波形网附着基的网箱苗种产量显著高于地笼($P<0.05$), 波形网成活率最高, 且显著高于其他2种附着基($P<0.05$)。参苗培育17周后, 采用波形网附着基的网箱, 苗种产量显著高于地笼和尼龙网片($P<0.05$), 波形网的苗种成活率和特定增长率显著高于尼龙网片($P<0.05$), 地笼与其他两者之间差异不显著($P>0.05$)。上述结果显示, 附着基类型对刺参中间培育过程中苗种产量、成活率、增长率有显著影响。通过对刺参保苗效果的综合分析, 推荐采用波形网作为刺参室外池塘保苗的附着基。

关键词: 刺参; 保苗; 生长; 成活率; 附着基; 附着生物

中图分类号: S917.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)04-0022-10

doi: 10.11759/hyxx20151201001

刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)隶属棘皮动物门(Echinodermata)、海参纲(Holothuroidea), 楯手目(Aspidochirota), 刺参科(Stichopodidae), 仿刺参属(*Apostichopus*), 是一种营底栖碎屑食性的海洋无脊椎动物^[1-2]。近年来, 随着刺参养殖规模的不断扩大, 市场对优质刺参苗种的需求量日益增多^[3], 传统的刺参室内中间培育方式, 因其生产成本低、周期长、直接投放池塘养殖幼参成活率较低等问题^[4-5], 已难以满足刺参养殖产业发展的需要, 随着近年来参苗价格的逐年走低, 一种成本低、效果好的中间培育方式—室外池塘网箱保苗方式日渐兴起。

刺参在自然海域中一般栖息在底栖生物较为丰富的基质上^[6], 基质不仅能够为其提供庇护所, 还可以为其提供天然饵料^[7-8]。人工附着基作为刺参养殖中的附着设施, 扮演着天然基质的角色, 在刺参生长过程中发挥重要的作用^[9]。在室外池塘保苗中, 为方便参苗集中回捕, 通常采用网箱保苗的方式^[10]。目前关于人工附着基对刺参养成过程中生长存活^[11-12]及趋向性^[13]的影响已有一些报道, 而

关于人工附着基对池塘网箱中附着生物发育过程及刺参保苗效果影响的研究较少。为了探寻能够提高刺参苗种质量、降低生产成本和提高生产效益的较佳保苗模式, 有必要对投放不同附着基的池塘网箱中附着生物演替及保苗效果开展研究。本研究通过现场实验, 比较了池塘网箱保苗过程中波形网、地笼(地笼网+地笼板)、尼龙网片等3种类型的附着基(共4种附着基材料)表面附着生物的干质量、叶绿素 *a* 和附着生物的种类与数量变化, 以及刺参苗种在投放不同附着基网箱中的生长率、成活率及产量变化, 以期能为室外池塘网箱刺参保苗附着基的选择提供理论依据。

收稿日期: 2015-11-21; 修回日期: 2016-02-23

基金项目: 东营市科技发展计划项目(2013GG22003); 山东省科技发展计划项目(2010GHY10505, 2014GSF117010)

[Foundation: Science and Technology Development Project of Dongying, No. 2013GG22003; Science and Technology Development Project of Shandong Province, No. 2010GHY10505, No. 2014GSF117010]

作者简介: 吴艳庆(1989-), 男, 山东临沂人, 硕士研究生, 主要从事水产动物繁育与养殖技术, 电话: 1886553225, E-mail: wuyanqing0961@163.com; 杜荣斌, 通信作者, 教授, 从事海洋生物学及水产养殖教学与科研工作, E-mail: rbdu62@163.com

1 材料与方 法

1.1 实验池塘与网箱设置

实验在山东东方海洋科技股份有限公司莱州养殖基地进行,池塘为沙泥底质,面积 2 hm²,水深 1.17~2.00 m。网箱规格为 2 m³ (2 m×1 m×1 m),底部为聚乙烯纱网,以供脱落的稚参附着。网箱框架采用扇贝养殖用圆球形浮子、粗尼龙绳和竹竿制成,两头分别固定于池塘岸边并使骨架保持伸直舒展状。网箱为上口敞开式,四周和底面全部用聚乙烯网制成,根据投放苗种的规格与生长速度,保苗初期采用筛网孔径为 375 μm (40 目)聚乙烯网,8 周后改用筛网孔径为 750 μm (20 目)网,网箱上面覆盖黑色遮阳网以防夏季水温过高,遮阳网距离水面约 20 cm。

1.2 附着基规格与设置

实验选用了 3 种附着基,分别是:(1)尼龙网片(Nylon mesh, NM);(2)波形网(Curvimurate net, CU);(3)地笼(含网衣 Cage net, CN 和网板 Cage plate, CP)。详见图 1。

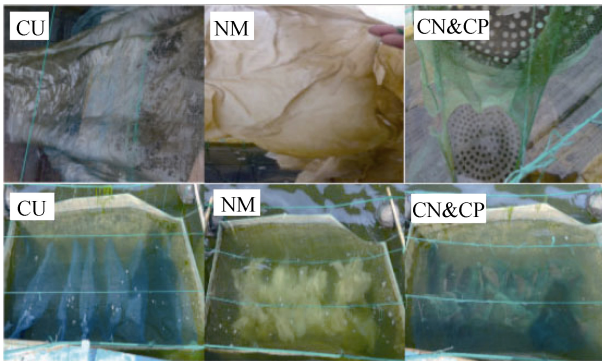


图 1 实验网箱中附着基的设置

Fig. 1 Experimental substrate set in net cage

CU. 波形网; NM. 尼龙网片; CN & CP. 地笼网和地笼板
CU: curvimurate net; NM: nylon mesh; CN & CP: cage net and cage plate

(1) 尼龙网片为大小 50 cm×35 cm,网目为 20 目的室内育苗用附着基,以细绳串联使用,每串 8 片,下系坠石,每个网箱放置 7 串。

(2) 波形网为大小 10 m×1 m,网目为 14 目的聚乙烯网片,每隔 50 cm 依次交替系上细尼龙绳和坠石,细绳系于网箱框架上,坠石放于网箱内,使网片呈“波浪形”悬挂于网箱中,每个网箱放置 1 个波形网。

(3) 地笼网和地笼板取自地笼网具,每个网箱内放置长 7.5 m 的地笼网和 15 个地笼板(带孔硬塑料板),用细绳将板悬挂于网箱内,板间距为 25 cm。

1.3 实验设计

2014 年 6 月 28 日,在网箱投苗之前 1 周,在池塘保苗网箱中投放 3 种不同类型的附着基,每种附着基设置 3 个网箱,共设置 9 个保苗网箱。刺参苗种于 2014 年 7 月 5 日投放,投放附着基与参苗后每 1~2 周取样一次,每次取样时测定池塘水环境因子,每个网箱每种附着基取 9 块分别测定其表面附着生物的干质量、叶绿素 *a*、脱镁叶绿素和生物种类组成,每项指标设 3 个重复,同时观察刺参苗种的附着及分布情况,实验于投苗后 12 周(倒箱)和 17 周(收获)分别测定参苗的平均体质量、参苗产量与成活率。

1.4 参苗放养与保苗管理

参苗放养规格为 0.10 g/个±0.09 g/个,共计放苗 4.5 kg,均匀投放于 9 个网箱内,平均放养密度约为 2700 个/m³。

每天晚间 18:00 投喂,饵料采用幼稚参专用人工配合饵料、鼠尾藻、马尾藻、螺旋藻、酵母、海带粉和海藻混合而成,饵料配制好后充气混合放置 12 h 以上,日投喂量按幼参体质量的 8.0%~23.7% 计算,视幼参摄食情况酌情增减,各网箱投饵量保持一致,投苗后最初一周和高温期间均未投饵。利用潮汐每天给池塘定量换水 10%~20%。

1.5 实验样品测定

1.5.1 池塘水环境因子变化的测定

每天 08:00 测定池塘水温,每次取样的时候测定盐度、溶解氧和 pH,各指标均用 HACH[®] sension[™]156 水质分析仪进行测定。

1.5.2 附着生物种类分析

采样时在每个网箱的上、中、下 3 层,分别随机剪取 1 块大小为 5 cm×5 cm 的尼龙网片、地笼网、地笼板或波浪网,用干净牙刷将表面附着物刷于培养皿中,制成悬浮液,加入 4% 福尔马林和 1.5% 鲁哥氏液固定后保存于 100 mL 塑料标本瓶中待测。在实验室内用吸管吸取 0.1 mL 样品置入 0.1 mL 微型浮游生物计数框内,于 Olympus BX51 生物显微镜 400× 下鉴定计数硅藻等小型生物,丝状藻类与无脊椎动物等较大生物用肉眼或实体显微镜进行鉴定^[14-20]。

1.5.3 附着生物干质量测定

按照前法刷取附着基表面硅藻等小型生物,丝状藻类与无脊椎动物等较大生物,经预先 450℃ 灼烧 6 h 并称质量的 0.45 μm 孔径的玻璃纤维微孔滤膜抽滤,电热恒温干燥箱 60℃ 烘干至恒质量,0.01 g 电子

天平称量并计算记录干质量。再置于 450℃ 马福炉中灼烧 6 h 后称量并计算得无灰分干质量, 并换算出单位面积附着基表面附着生物的干质量 $W_D(\text{mg}/\text{cm}^2)$ 与无灰分干质量 $W_{AFD}(\text{mg}/\text{cm}^2)$ 。

1.5.4 附着生物叶绿素 *a* 和脱镁叶绿素测定

按照前法刷取附着基表面附着物, 以 0.45 μm 孔径的玻璃纤维微孔滤膜抽滤后, 以 90% 丙酮于冰箱 4℃ 暗提取 18~24 h, 分光光度计测定 665 nm 和 750 nm 处的光密度, 加 1 滴盐酸溶液到比色皿中, 在 5~10 min 内再次测定 750 nm 和 665 nm 处的光密度值, 计算叶绿素 *a* 和脱镁叶绿素的浓度^[21], 并换算出二者在附着基上的含量($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)。

1.5.5 参苗生长、总产量与成活率测定

育苗时记录每网箱投苗重量与苗种初始体质量规格, 参苗培育 12 周(更换网箱)和 17 周(收获)时分别测定每网箱中参苗平均体质量(g)和总产量(g)。测定平均体质量时随机取 30~300 个参苗放于培养皿中, 将参苗表面的海水用吸水纸吸干后用精度 0.01 g 电子天平称量参苗总质量, 计算每头平均体质量 $W_a(\text{g})$, 并换算出参苗特定增长率 $R_{SG}(\%/d)$ 。总产量以精度 0.1 g 电子天平测定, 总产量除以平均体质量即得每

箱参苗数量, 同时计算参苗成活率 $S_t(\%)$ 。

$W_a(\text{g})=m/N$, N : 参苗的数量; m : N 个参苗的总质量(g)

$R_{SG}(\%/d)=100 \times (\ln W_t - \ln W_0)/t$, W_0 : 初始体质量(g); W_t : t 时刻参苗的体质量(g), t : 实验持续时间(d)

$S_t(\%)=100 \times N_f/N_0$, N_f 和 N_0 : 最终和初始参苗数量

1.6 数据分析

实验数据使用 SPSS16.0 进行单因子方差分析及 Duncan's 多重比较, 以 $P<0.05$ 作为差异显著的水平。

2 结果

2.1 池塘主要水质指标变化

在苗种培育期间, 主要水质指标变化见图 2。池塘水清澈见底, 透明度较高, 水温呈先升高后降低的趋势, 8 月 22 日水温最高为 29.9℃, 池塘水温变化范围为 16.8~29.9℃, 其中 7 月 19 日~8 月 30 日水温变化范围为 25.8~29.9℃, 此时为刺参保苗过程中的高温期, 9 月水温开始明显下降。整个实验期间 pH 值波动较小, 为 7.46~8.28, 溶解氧为 7.72~11.92 mg/L, 整个实验期间盐度为 25.51~32.48, 雨季最低降至 25.51。

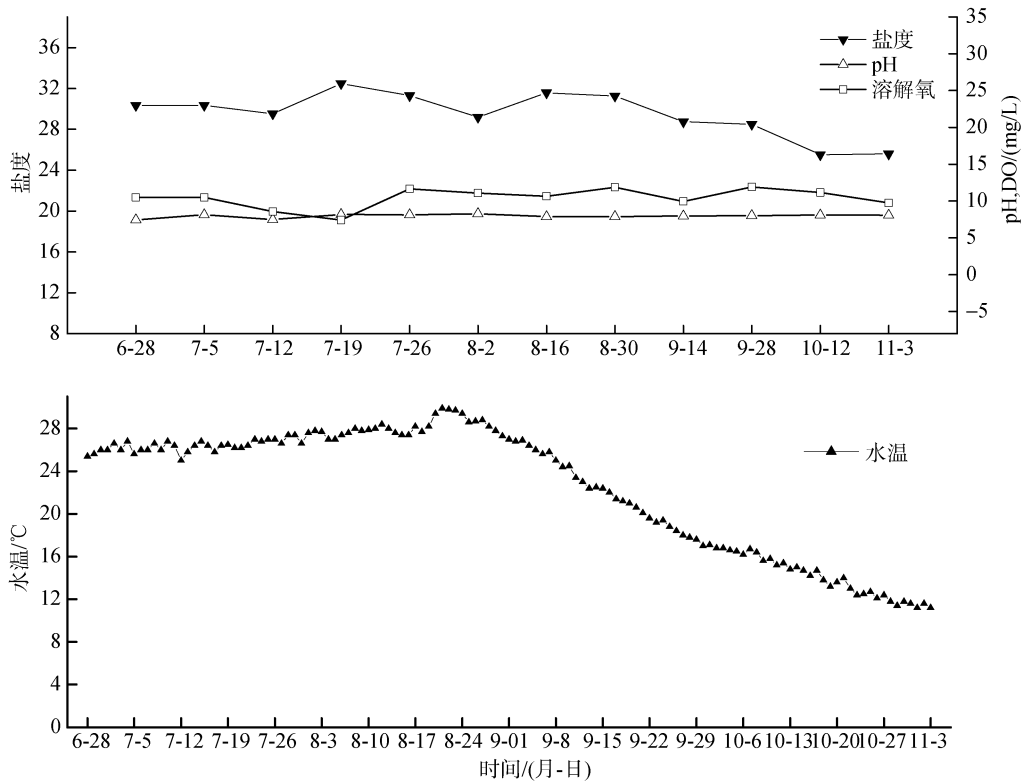


图 2 实验期间盐度、溶解氧、pH 和水温变化

Fig. 2 Changes in salinity, DO, pH, and temperature during the culture period

2.2 不同附着基表面附着生物种类组成

刺参保苗网箱中各种附着基表面共鉴定出 7 门 22 属 31 种附着生物, 其中硅藻门 19 种, 绿藻门 4 种, 甲藻门、金藻门和脊索动物门各 2 种, 蓝藻门、环节动物门各 1 种(表 1)。尼龙网片附着基共鉴定出 24 种藻类, 占全部种类的 77.4%; 地笼网材料鉴定出 24

种藻类, 地笼板材料比地笼网多 2 种藻类, 分别是膜状舟形藻 (*Navicula membranacea*) 和小伪菱形藻 (*Pseudo-Nitzschia sicula*); 波形网附着基藻类种类最多, 达到 28 种。4 种材料在第 9 周之后均出现了柄海鞘 (*Styela claud*) 和玻璃海鞘 (*Ciona intestinalis*), 12 周时波形网附着基表面柄海鞘和玻璃海鞘的密度明显高于其他 3 种附着基材料。

表 1 刺参保苗网箱中不同附着基表面的附着生物种类

Tab. 1 Species recorded in periphyton on different substrates in net cage for sea cucumber seedling culture

分类地位	种类	附着基类别			
		NM	CN	CP	CU
硅藻门 Bacillariophyta	曲壳藻 <i>Achnantheaceae</i> sp.	+	+	+	+
	羽纹藻 <i>Pinnularia</i> sp.	+	+	+	+
	针杆藻 <i>Synedra</i> sp.	+	+	+	+
	曲舟藻 <i>Pleurosigma</i> sp.	+	+	+	+
	圆筛藻 <i>Coscinodiscus</i> sp.	+	+	+	+
	奇异菱形藻 <i>Nitzschia paradoxa</i>	+	+	+	+
	长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>	+	+	+	+
	菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp.	+	+	+	+
	脆杆藻 <i>Fragilaria</i> sp.	-	+	+	+
	短楔形藻 <i>Licmophora abbreviata</i>	-	+	+	+
	舟形藻 <i>Navicula</i> sp.	+	+	+	+
	膜状舟形藻 <i>Navicula membranacea</i>	+	-	+	+
	弯菱形藻 <i>Nitzschia sigma</i>	+	+	+	+
	洛伦菱形藻 <i>Nitzschia lorenziana</i>	+	+	+	+
	小伪菱形藻 <i>Pseudo-Nitzschia sicula</i>	+	-	+	+
	新月菱形藻 <i>Nitzschia closterium</i>	+	+	+	+
	短柄曲壳藻 <i>Achnanthes brevipes</i>	+	+	+	+
	卵形藻 <i>Cocconeis</i> sp.	+	+	+	+
	双壁藻 <i>Diploneis</i> sp.	+	+	+	+
甲藻门 Pyrrophyta	多甲藻 <i>Peridinium</i> sp.	-	-	-	+
	亚历山大藻 <i>Alexandrium</i> sp.	-	-	-	+
蓝藻门 Cyanophyta	针状蓝纤维藻 <i>Dactylococcopsis acicularis</i>	+	+	+	+
	小球藻 <i>Chlorella</i> sp.	+	+	+	+
绿藻门 Chlorophyta	刚毛藻 <i>Cladophorales</i> sp.	+	+	+	+
	丝藻 <i>Ulothrix</i> sp.	+	+	+	+
	浒苔 <i>Ulva</i> sp.	+	+	+	+
金藻门 Chrysophyta	单鞭金藻 <i>Chromulina</i> sp.	+	+	+	+
	等鞭金藻 <i>Isochrysis</i> sp.	+	+	+	+
脊索动物门 Chordata	柄海鞘 <i>Styela claud</i>	+	+	+	+
	玻璃海鞘 <i>Ciona intestinalis</i>	+	+	+	+
环节动物门 Annelida	石灰虫 <i>Hydroides ezoensis</i>	+	+	+	+

注: “+”代表出现, “-”代表未出现

附着基上硅藻密度变化大体呈现先增大、后减小、再增大的趋势(图 3)。第 9 周(8 月 30 日)硅藻密

度几乎降到最低值, 此时正是夏季水温最高的时期, 硅藻死亡可能与水温较高有关。进入 9 月份, 随着大

型藻类的衰败、池塘换水等措施,硅藻再次较快繁殖,第 13 周时附着基表面硅藻密度表现为:波形网>地笼板>尼龙网片>地笼网。

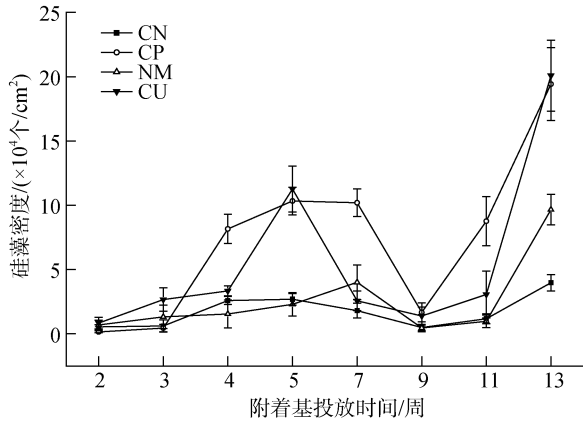


图 3 不同附着基表面硅藻密度的变化

Fig. 3 Variations in the diatom density on different substrates
数值采用平均值±标准差(n=3)表示
Values are given as means ± SD (n=3)

附着基表面硅藻群落中优势种和亚优势种所占百分比见图 4。在地笼网上,前 9 周菱形藻(*Nitzschia* sp.)优势种占比较大,第 11 周曲舟藻(*Pleurosigma* sp.)

占比 47.14%替代菱形藻成为优势种,13 周舟形藻(*Navicula* sp.)占比 33.38%替代曲舟藻成为优势种。而地笼板均以菱形藻占绝对优势,其中第 4 周时占比达到 72.66%。尼龙网片前 5 周优势种为菱形藻,第 7 周时羽纹藻(*Pinnularia* sp.)占优势,第 9~13 周菱形藻又占据优势种的地位,菱形藻优势种比例大体呈增大趋势。在波形网上,前 2 周的优势种是菱形藻,第 3 周优势种变成羽纹藻,第 4~5 周菱形藻为优势种,第 7 周羽纹藻为优势种,第 9~11 周菱形藻又占据优势种地位,第 13 周时舟形藻(*Navicula* sp.)占据优势种地位,在波形网附着基上优势种与亚优势种所占比例大致相当。

2.3 不同附着基表面附着生物干质量变化

在刺参中间培育过程中,不同类型附着基附着生物干质量变化见图 5。3 种附着基材料表面附着生物干质量和无灰分干质量均呈增大趋势,实验的前 3 周不同附着基上附着生物干质量和无灰分干质量均无显著差异($P>0.05$),第 4 周开始地笼板与其他 3 种附着基材料均表现出显著差异($P<0.05$)(第 5 周除外),地笼网、尼龙网片、波形网这 3 种附着基之间始终差异不显著($P>0.05$)。

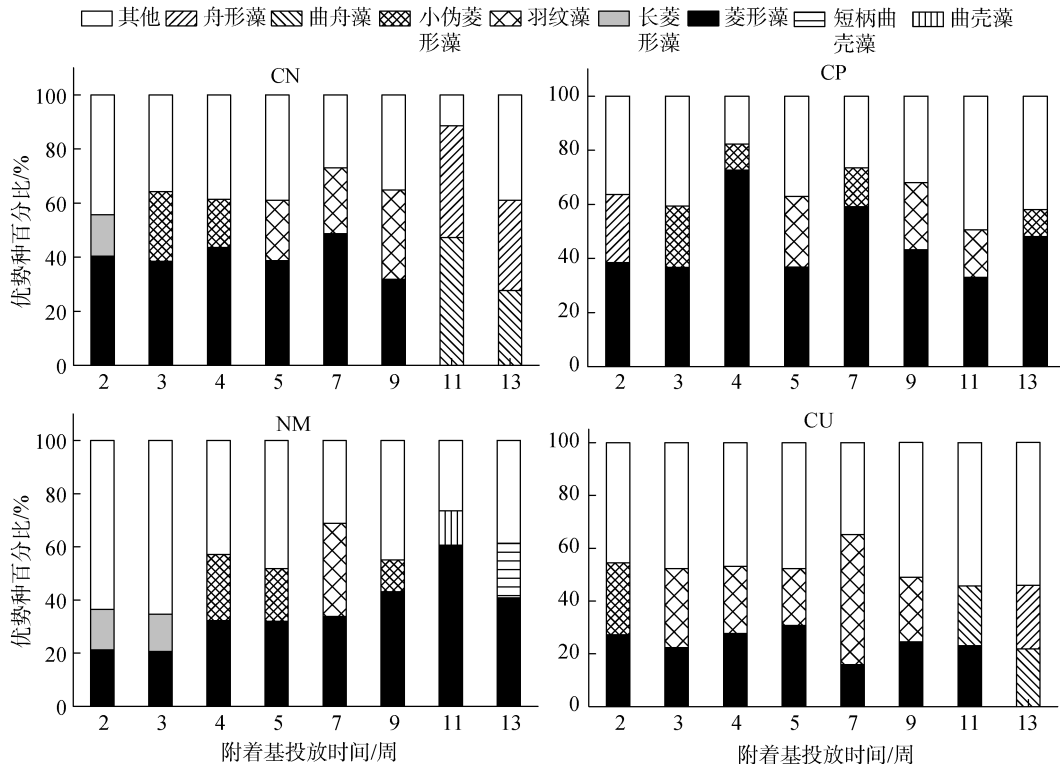


图 4 不同附着基表面硅藻优势种的变化

Fig. 4 Variations in the dominant diatom species on different substrates

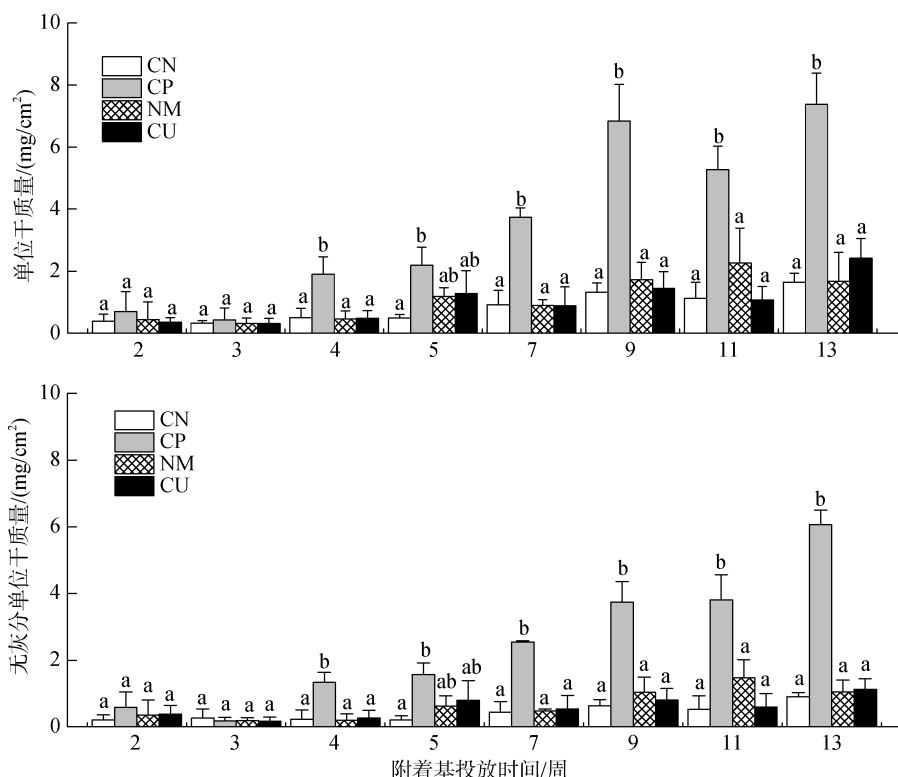


图 5 不同附着基表面附着生物干质量和无灰分干质量变化

Fig. 5 Variations in W_D (dry weight) and W_{AFD} (ash free dry weight) of the periphyton on different substrates

数值采用平均值±标准差($n=3$)表示, 同一采样日期的不同字母表示差异显著($P<0.05$)

Values are given as means \pm SD ($n=3$); bars with different letters indicate significant differences

2.4 不同附着基表面附着生物叶绿素 *a* 和脱镁叶绿素变化

在刺参中间培育过程中, 不同附着基表面附着生物叶绿素 *a* 变化见图 6。自附着基投放之后, 叶绿素 *a* 的含量随时间呈逐渐增加的趋势。实验结束时, 4 种材料表面叶绿素 *a* 含量均表现出相互间差异显著($P<0.05$), 波形网(CU)叶绿素 *a* 含量最高, 达到 $1.15 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, 其次是地笼板(CP)、尼龙网片(NM), 地笼网(CN)的叶绿素 *a* 含量最低, 为 $0.52 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, 这与不同附着基表面藻类密度的变化趋势相一致。

实验周期内脱镁叶绿素含量变化见图 6。4 种材料上附着生物脱镁叶绿素含量总体呈增加趋势, 镜检发现, 随着附着基投放时间的增加, 其表面死亡藻类的数量越来越多。实验结束时地笼网和尼龙网片无显著差异($P>0.05$), 地笼板与波形网均显著高于地笼网和尼龙网片, 且波形网显著最高($P<0.05$)。

2.5 参苗生长、产量与成活率变化

经过 12 周的培育, 使用波形网附着基参苗的平均体质量最大, 地笼次之, 尼龙网片最小, 相互间差

异不显著($P>0.05$); 使用波形网附着基的网箱苗种产量达到 $0.92 \text{ kg}/\text{m}^3$, 是初始投放量的 3.68 倍, 显著高于地笼附着基($P<0.05$); 使用波形网附着基的参苗成活率最高, 达到 33.9%, 显著高于地笼和尼龙网片附着基($P<0.05$); 波形网附着基特定增长率最大, 尼龙网片次之, 地笼最小, 相互间差异不显著($P>0.05$, 表 2)。

经过 17 周的培育后, 参苗平均体质量、产量、成活率、特定增长率变化显著, 网箱内放置波形网的参苗平均体质量、成活率、特定增长率显著高于放置尼龙网片的网箱($P<0.05$), 与地笼之间差异不显著($P>0.05$)。使用波形网的网箱产量显著高于使用地笼和尼龙网片的网箱($P<0.05$, 表 3)。

3 讨论

人工附着基在底栖水生动物养殖中具有广泛的应用。目前, 我国刺参养殖投放的附着基可分为两类: 一类是重量型不便移动式附着基, 主要有石块、瓦片、空心砖、水泥管、瓷管等; 另一类是轻便型便于移动式附着基, 主要有旧扇贝笼、旧网衣、旧编织袋、树枝、旧汽车轮胎等^[22]。在刺参网箱保苗过程

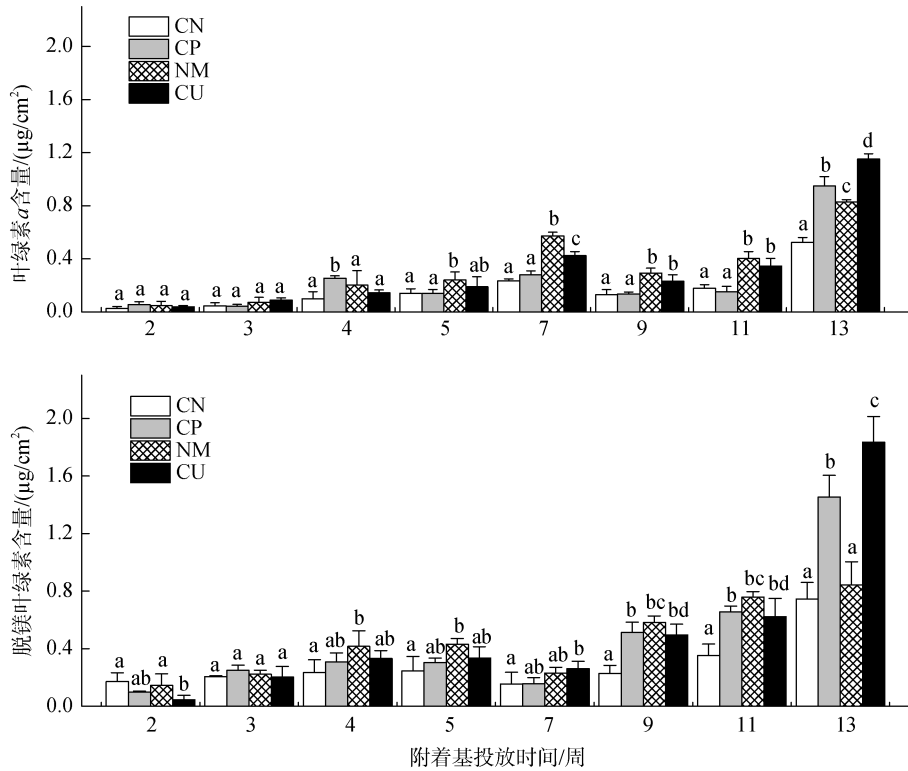


图 6 不同附着基表面附着生物叶绿素 *a* 与脱镁叶绿素含量变化

Fig. 6 Variations in chlorophyll *a* and pheophytin of the periphyton on different substrates
数值采用平均值±标准差($n=3$)表示, 同一采样日期的不同字母表示差异显著($P<0.05$).
Values are given as means ± SD ($n=3$); bars with different letters indicate significant differences

表 2 不同附着基保苗 12 周后参苗的生长与成活率

Tab. 2 Growth and survival rate of sea cucumber using different substrates after 12 weeks

附着基	平均体质量(g/个)	特定增长率(%/d)	单位产量(kg/m ³)	成活率(%)
地笼	0.933±0.141 ^a	2.735±0.187 ^a	0.59±0.02 ^a	23.8±3.8 ^a
尼龙网片	0.868±0.172 ^a	2.857±0.325 ^a	0.78±0.24 ^{ab}	22.9±4.1 ^a
波形网	1.050±0.265 ^a	3.107±0.160 ^a	0.92±0.16 ^b	33.9±3.6 ^b

注: 表中数据为 3 个网箱内数据的平均值±标准差(mean±SD, $n=3$), 具有不同字母上标的同一列数据之间有显著差异($P<0.05$)

表 3 不同附着基保苗 17 周后参苗的生长与成活率

Tab. 3 Growth and survival rate of sea cucumber using different substrates after 17 weeks

附着基	平均体质量(g/个)	特定增长率(%/d)	单位产量(kg/m ³)	成活率(%)
地笼	1.747±0.190 ^{ab}	2.615±0.100 ^{ab}	1.03±0.13 ^a	21.9±3.1 ^{ab}
尼龙网片	1.591±0.200 ^a	2.531±0.109 ^a	0.93±0.17 ^a	21.7±2.2 ^a
波形网	2.037±0.151 ^b	2.754±0.066 ^b	1.44±0.23 ^b	26.6±1.0 ^b

注: 表中数据为 3 个网箱内数据的平均值±标准差(mean±SD, $n=3$), 具有不同字母上标的同一列数据之间有显著差异($P<0.05$)

中, 因石头、水泥管较为笨重, 操作不便, 而塑料管则极易划伤网箱, 所以生产中很少使用, 而是更倾向于使用聚乙烯材质的网片或网状制品。有研究表明, 附着基对幼体和成体的生长与存活影响显著, 秦传新等^[11]研究发现, 瓦片、空心砖附着基上仿刺参的产量和平均增重率显著高于塑料管和水泥管;

Johnston 等^[23]的研究表明, 以空心砖为遮蔽物时, 龙虾稚虾生长和存活显著低于网状遮蔽物, 而对成虾的养殖效果则无明显差异。因此, 确定不同附着基种类对于刺参苗种生长与存活的影响, 以及投放不同附着基的保苗效果是刺参池塘保苗中附着基选择的一个重要研究内容。本实验所选择的 3 种附着基都

是刺参育苗、养殖生产中最常用的,其中地笼在刺参池塘养成过程中最常用到,尼龙网片在室内育苗过程中应用最广,波形网为近年来应用于保苗生产的聚乙烯材质的附着基,它们均具有取材方便,操作简便,使用寿命长等优点。

附着基不仅为刺参提供栖息的场所,其表面丰富的底栖微藻也是刺参的天然饵料。通过研究发现,4种材质的附着基上共鉴定底栖藻类5门20属28种,其中硅藻门19种,占68%,居于绝对优势,而甲藻门、金藻门、蓝藻门、绿藻门共9种,仅占32%。这与底栖硅藻本身的细胞结构和生活习性有关,特别是某些种属具有胞外多聚物所形成的胶质柄、胶质管等粘性结构,使其具有很强的附着能力^[24]。实验中发现,波形网上附着藻类种类最多、密度最大,地笼板次之,尼龙网片最少,这与4种附着基材料表面生物膜叶绿素 a 和脱镁叶绿素的含量变化是相吻合的。尼龙网片上藻类种类和密度最少,究其原因,可能与网片的布设方式有关。尼龙网片系用尼龙绳串联而成,垂直悬吊于网箱中,上层网片在水中展开后会影响到下层网片的采光,因而导致藻类生长缓慢,这一推测与管敏^[25]的实验结果基本相符。地笼板因具有较大的表面积,较网状附着基更易承接水中颗粒物,所以表面生物膜的干质量和无灰分干质量均显著大于其他附着基。实验进行到第10周时,附着基上开始出现针状蓝纤维藻,12周时,波形网和尼龙网片附着基上硅藻的优势地位已被针状蓝纤维藻所取代,此时网箱内残饵积累所引起的水质轻度富营养化可能是导致蓝纤维藻繁殖的主要原因。实验中还发现,保苗后期附着基上较易附着玻璃海鞘、柄海鞘和石灰虫等,其中海鞘数量繁多且生长繁殖迅速,它们一方面会与参苗争夺饵料,另一方面给网箱更换和收苗带来较大困难,人工清理耗时耗力,且效果不佳,目前尚无有效的防除措施。而石灰虫主要集中在地笼板上,其他附着基上则极少发现,因而不会对生产造成太大影响。

许多研究表明,池塘投放人工附着基能够促进养殖动物的生长,提高成活率和养殖产量。在投放塑料片作为附着基的罗氏沼虾 *Macrobrachium rosenbergii* 养殖池塘中,罗氏沼虾的平均体质量、池塘日产量和总产量明显高于对照组^[26]。而且附着基的类型也影响养殖生物的生长和成活率,比如雅比螯虾 *Cherax destructor*^[27]、龙虾 *Panulirus Cygnus*^[28]等。关于附着基对于海参的生长和存活的影响的研究比

较少,大部分的研究集中在海参的出现几率上^[29]。本实验分析比较了3种附着基对池塘网箱中刺参的生长和成活率的影响,结果显示,刺参在培育12周后使用波形网附着基的网箱刺参产量和成活率最大,成活率达到33.9%,这与郑志芳等^[30]附着10~40 d的稚参其培育成活率可达到30%相符,比王海涛等^[31]的刺参苗钟池塘培育成活率高。当培育至17周时,使用波形网附着基的网箱苗种产量显著高于尼龙网片和地笼附着基($P<0.05$),成活率显著高于尼龙网片附着基($P<0.05$)。以波形网为例,参苗培育12周后,平均体质量 $1.050\text{ g/个}\pm 0.265\text{ g/个}$,产量增加3.68倍,成活率达33.9%,培育至17周,参苗平均体质量增大近乎1倍,产量增加5.76倍,唯有成活率有所下降,这可能与柄海鞘和玻璃海鞘繁殖较快有关。通过对比可见,参苗培育17周可获得更高产量的大规格苗种。在实验过程中,波形网在水中呈波浪形,舒展性优于其他两种附着基,易于均匀承接水中沉积物,而且透水性较好,底栖硅藻生长旺盛(图3),其表面丰富的藻类和有机质可以作为参苗的天然饵料,在投苗初期可以不必投饵,因而能够有效地节省饲料成本。另外,刺参收获时波形网操作简便、省时省力,可以降低生产中的人工成本。

4 结论

地笼、尼龙网片和波形网3种附着基表面的附着生物群落具有相似的演替过程,即前期以底栖硅藻占绝对优势,后期则以蓝藻、绿藻和海鞘等占优势,但波形网附着基表面附着藻类种类最多、密度最大、叶绿素 a 含量最高,投放波形网附着基的网箱,刺参苗种产量、成活率均显著高于其他附着基,在所实验的3种附着基中,可优先考虑选择使用波形网。

参考文献:

- [1] 廖玉麟. 中国动物志-棘皮动物门-海参纲[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 115-117.
Liao Yulin. FAUNA SINICA-Phylum Echinodermata-Class Holothuroidea[M]. Beijing: Science Press, 1997: 115-117.
- [2] Kang K H, Kwon J Y, Kim Y M. A beneficial coculture: charm abalone *Haliotis discus* Hannai and sea cucumber *Stichopus japonicus*[J]. Aquaculture, 2003, 216: 87-93.
- [3] 沈辉, 陈静, 李华, 等. 国内外海参养殖技术研究概况[J]. 河北渔业, 2007, (6): 3-5, 13, 20.
Shen Hui, Chen Jing, Li Hua, et al. Progress of studies on the culture techniques of sea cucumber worldwide[J]. Hebei Fisheries, 2007, (6): 3-5, 13, 20.

- [4] 李莉, 王晓红, 邱兆星. 刺参池塘网箱苗种中间培育技术研究[J]. 水产养殖, 2012, 33(12): 14-15.
Li Li, Wang Xiaohong, Qiu Zhaoxing. Study on the intermediate culture technology of sea cucumber seedling using net cages set in pond[J]. Journal of Aquaculture, 2012, 33(12): 14-15.
- [5] 薛清儒. 我国海参养殖技术发展状况和存在的问题[J]. 齐鲁渔业, 2007, 24(11): 14-16.
Xue Qingru. Development status and problems of sea cucumber culture technology in China[J]. Shandong Fisheries, 2007, 24(11): 14-16.
- [6] Sloan N A, Bodungen B V. Distribution and feeding of the sea cucumber *Isoechinus badionotus* in relation to shelter and sediment criteria of the bermuda platform[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1980, 22: 57-264.
- [7] Chen J. Present status and prospects of sea cucumber industry in china[J]. FAO Fisheries Technical Paper: Chen J, 2004. 1-26.
- [8] Purcell S W, Kirby D S. Restocking the sea cucumber *holothuria scabra*: Sizing no-take zones through individual-based movement modelling[J]. Fisheries Research, 2006, 80: 53-61.
- [9] 管敏, 王印庚, 陈贵平, 等. 不同类型附着基对刺参栖息趋向性的影响分析[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(4): 42-48.
Guan Min, Wang Yingeng, Chen Guiping, et al. The effect of different artificial substrates on the inhabitation taxis of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(4): 42-48.
- [10] 于建东. 自然海区网箱海参保苗方法探讨[J]. 齐鲁渔业, 2005, 22(7): 31-31.
Yu Jiandong. Discussion of sea cucumber seedling intermediate culture method using net cages set in natural sea area [J]. Shandong Fisheries, 2005, 22(7): 31-31.
- [11] 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(自然科学版), 2009, 39(3): 392-396.
Qin Chuanxin, Dong Shuanglin, Niu Yufeng, et al. Effects of shelter type on the growth and survival rate of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka, in earthen pond[J]. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39(3): 392-396.
- [12] 刘峰, 王芳, 董双林, 等. 不同类型附着基对刺参生长和氮磷收支的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, 43(1): 41-46.
Li Feng, Wang Fang, Dong Shuanglin, et al. Study on the effect of different types of shelter on sea cucumber growth and nitrogen and phosphorus budgets[J]. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(1): 41-46.
- [13] 王吉桥, 张凯, 徐振祥, 等. 不同形状的附着基对仿刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)幼参生长的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(1): 27-33.
Wang Jiqiao, Zhang Kai, Xu Zhenxiang, et al. Effects of various shelter shapes on growth in juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(1): 27-33.
- [14] 金德祥. 中国海洋浮游硅藻类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1965.
Jin Dexiang. Marine planktonic diatom species in China[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1965.
- [15] 金德祥, 程兆第, 林均民, 等. 中国海洋底栖硅藻类上卷[M]. 北京: 海洋出版社, 1982.
Jin Dexiang, Cheng Zhaodi, Lin Junmin, et al. Marine benthic diatoms in China, Volume 1[M]. Beijing: Ocean Press, 1982.
- [16] 金德祥, 程兆第, 刘师成, 等. 中国海洋底栖硅藻类下卷[M]. 北京: 海洋出版社, 1991.
Jin Dexiang, Cheng Zhaodi, Liu Shicheng, et al. Marine benthic diatoms in China, Volume 2[M]. Beijing: Ocean Press, 1991.
- [17] 小久保清治. 浮游硅藻类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1960.
Kokubo Kiyoharu. Plankton diatoms[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1960.
- [18] 杨世民, 董树刚. 中国海域常见浮游硅藻图谱[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2006.
Yang Shimin, Dong Shugang. Atlas of common planktonic diatoms in the sea area of China[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2006.
- [19] 束蕴芳, 韩茂森. 中国海洋浮游生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
Shu Yunfang, Han Maosen. Marine plankton of China illustrata[M]. Beijing: Ocean Press, 1993.
- [20] Tseng C K. Common Seaweeds of China[M]. Science Press, Beijing, China, 1983.
- [21] Lorenzen C J. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equation[J]. Limnol Oceanogr, 1967, 12(2): 343-346.
- [22] 宋宗岩, 刘政海. 刺参养殖不同材料附着基的利弊分析[J]. 科学种养, 2009, (6): 39.
Song Zongyan, Liu Zhenghai. The analysis of advantages and disadvantages of using different substrates in sea cucumber culture[J]. Ke Xue Zhong Yang, 2009, (6): 39.
- [23] Johnston D, Melville-Smith R, Hendriks B, et al. Stocking density and shelter type for the optimal growth and survival of western rock lobster *Panulirus cygnus* (George)[J]. Aquaculture, 2006, 260: 114-127.
- [24] 周凤霞, 陈剑虹. 淡水微型生物图谱[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
Zhou Fengxia, Chen Jianhong. Atlas of microorganism in fresh water[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [25] 管敏. 刺参养殖新型附着基的研制及其应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [26] Tidwell J H, Coyle S D, Schulmeister G. Effects of added substrate on the production and population characteristics of freshwater prawns *Macrobrachium rosenbergii* in ponds[J]. J World Aquac Soc, 1998, 29(1): 17-22.
- [27] Shiell G R, Knott B. Diurnal observations of sheltering behaviour in the coral reef sea cucumber *Holothuria whitmaei*[J]. Fisheries Research, 2008, 91(1): 112-117.
- [28] Singh R, MacDonald B A, Thomas M L H, et al. Pat-

- terns of sea seasonal and tidal feeding activity in the dendrochirote sea cucumber *Cucumaria frondosa* (echinodermata: Holothuroidea) in the bay of fundy, canada[J]. *Mar Ecol, Prog Ser*, 1999, 187: 133-145.
- [29] Uthicke S, Karez R. Sediment patch selectivity in tropical sea cucumbers (holothuroidea: Aspidochirotida) analysed with multiple choice experiments[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1999, 236: 69-87.
- [30] 郑志芳, 刘飞宏, 孙元虎, 等. 刺参稚幼参露天池塘中间培育的可行性研究与开发[J]. *齐鲁渔业*, 2007, 24(5): 46-48.
- [31] 王海涛, 王世党, 董伟, 等. 刺参苗池塘中间培育技术[J]. *科学养鱼*, 2011, 7: 36-37.
- Wang Haitao, Wang Shidang, Tong Wei, et al. Intermediate cultivation technique of sea cucumber seedling in pond[J]. *Scientific Fish Farming*, 2011, 7: 36-37.

Effects of substrate type on succession of periphyton and intermediate seedling culture of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka, in net cages set in an earthen pond

WU Yan-qing¹, ZHAO Kui-feng², LIU Li-ming¹, ZHANG Yu-xiang¹, DU Rong-bin¹

(1. Ocean School, Yantai University, Yantai 264005, China; 2. Shandong Oriental Ocean Science-Technology Co., Ltd., Yantai 264005, China)

Received: Nov. 21, 2015

Key words: *Apostichopus japonicus*; intermediate seedling culture; growth; survival rate; substrate; periphyton

Abstract: A field experiment was conducted in nine net cages of 2 m³ (2 m×1 m×1 m) set in an earthen pond during the intermediate seedling culture period of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka. The experiment investigated the occurrence and succession of periphyton on the surface of three different substrate types (i.e., four different substrate materials) of curvimate net (CU), ground cage [cage net (CN) & cage plate (CP)], and nylon mesh (NM). Moreover, the effects of substrate type on the growth, survival rate, and yield of *A. japonicus* were examined simultaneously. The results indicated a similar succession process in periphyton among different substrates. The dry weight (DW) and ash free dry weight (AFDW) of periphyton on CP were significantly higher than that on three other materials ($P<0.05$), while no significant differences were observed among other substrates ($P>0.05$). The contents of chlorophyll *a* on the surfaces of the four substrates in descending order were CU>CP>NM>CN, and significant differences among the four substrates were found. After 12 weeks of seedling culture, the yield of the sea cucumber was significantly higher in the net cages with CU than in those with a ground cage ($P<0.05$), and the survival rate of the sea cucumber in was significantly higher in the net cages with CU than in other net cages ($P<0.05$). After 17 weeks of seedling culture, the yield of sea cucumbers was significantly higher in net cages with CU than in the other net cages ($P<0.05$). The survival rate and special growth rate (SGR) of sea cucumbers was significantly higher in net cages with CU than in those with NM ($P<0.05$); however, no significant difference was observed between the ground cage and two others ($P>0.05$). The present results demonstrate that substrate type has a significant influence on yield, survival rate, and growth of *A. japonicus* during the intermediate culture period. On the basis of comprehensive results analysis of the present study, the substrate CU should be recommended as the better one for the intermediate culture of sea cucumber.

(本文编辑: 梁德海)