

## 玉足海参与凡纳滨对虾的混养效果

于宗赫<sup>1</sup>, 胡超群<sup>1\*</sup>, 齐占会<sup>2</sup>, 江海英<sup>1</sup>, 任春华<sup>1</sup>, 罗鹏<sup>1</sup>

(1. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301;

2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300)

**摘要:** 在室内条件下进行了玉足海参与凡纳滨对虾的混养实验, 分析了单养与混养两种条件下养殖水体营养盐结构以及底质成分的变化, 测定了对虾与海参的存活率与生长性能。结果显示, 混养海参可以明显改变养殖系统的营养盐结构, 可使水体中的磷酸盐和硝酸盐浓度有所升高, 同时也可有效地控制系统中氨氮浓度。混养海参也可以大幅度地降低沉积物中有机质和硫化物含量, 实验结束时混养组硫化物含量为(7.71±1.33) mg/kg, 仅相当于单养组浓度的 1/3。混养海参对对虾生长及存活具有明显的促进作用, 其中混养组对虾体长特异增长率为(0.69±0.13) %/d, 显著优于单养组(0.45±0.06) %/d; 混养组对虾成活率可达 72.5%±22.9%, 显著高于对照组 55.0%±17.5%。在混养系统内, 对虾不会对海参的生存造成负面影响, 海参能够有效地选择摄食和利用沉积物中的营养物质(对食物中有机质的同化率可达 36.36%±13.79%), 并以较快的速度生长。结果表明, 在对虾养殖系统中混养玉足海参具有明显的环境与经济效益。本研究可为我国海水养殖业的可持续发展提供一定的科学依据。

**关键词:** 玉足海参; 凡纳滨对虾; 混养; 沉积物; 生物修复

**中图分类号:** Q 958.12; S 965

**文献标志码:** A

对虾养殖是带动我国沿海经济发展的支柱产业之一, 据统计2007年我国海水对虾养殖面积为 $2.1 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 产量高达 $7.1 \times 10^5 \text{ t}$ <sup>[1]</sup>。近年来, 随着对虾养殖规模的日益扩大, 养殖过程中产生的残饵、粪便等废物所带来的环境污染问题日益突出<sup>[2-6]</sup>, 如何有效地调控对虾养殖环境, 实现“清洁生产”已成为当前水产养殖领域亟待解决的科学问题。

海参属于典型的沉积食性动物, 可大量摄食沉积物中的有机物、细菌以及死亡生物碎屑等颗粒物, 养殖动物的残饵、粪便(甚至海参自己的粪便)均能为其生长提供营养<sup>[7-8]</sup>。近年来, 海参的环境调控功能受到国内外学者的普遍重视<sup>[7-13]</sup>。研究表明, 对虾养殖产生的沉积物中含有大量的营养物质, 可为海参提供良好的食物来源, 将海参与对虾混养在调控养殖环境的同时, 还能够带来

可观的经济效益<sup>[9, 14]</sup>。目前, 将对虾与海参混养的研究与实践主要集中在我国北部沿海, 所用的海参种类为仿刺参(*Apostichopus japonicus*)<sup>[14-15]</sup>。然而, 我国对虾养殖集中的南部沿海, 养殖高峰期水温偏高, 并不适合仿刺参养殖; 而一些热带经济海参种类, 如花刺参(*Stichopus variegates*)、糙海参(*Holothuria scabra*)等已濒临灭绝。因此, 利用上述种类的海参在南方与对虾进行大规模混养难度较大, 必须寻找一种习见的热带海参种类加以利用才能保证相关工作的顺利展开。

玉足海参(*Holothuria leucospilota*)广泛分布于我国南海的近岸浅水区<sup>[16-18]</sup>, 是一种具有一定经济价值的热带海参种类。研究表明, 玉足海参对沉积物具有很强的选择摄食能力, 在海底担当着泥沙搬运工和清道夫的角色<sup>[19-21]</sup>。另外, 玉足海参甚

收稿日期: 2011-12-04 修回日期: 2012-03-19

资助项目: 中科院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q07-03); 广东省渔业生态环境重点实验室开放基金(LFE-2010-12); 广东省海洋渔业科技推广专项(A201001D01; A201001E01; A201101D01; A201101D02)

通讯作者: 胡超群, E-mail: cqhu@scsio.ac.cn

至能够在38℃以上高温的环境中生存<sup>[19]</sup>；其耐盐范围也很广，在盐度为18~38的环境中成活率为100%，并表现出较强的摄食能力<sup>[22]</sup>。

玉足海参的生物学特征及其分布的广泛性和经济价值，表明它可以作为对虾养殖环境的修复者加以利用。但是目前还未有将玉足海参与对虾进行混养的报道。本文作者提出了利用玉足海参进行对虾养殖环境调控的设想，并在室内条件下对玉足海参与凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的混养效果进行了研究，以期为我国南方对虾养殖环境的优化及热带海参的增养殖提供一定的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

本研究于2011年8月在中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站进行。

**玉足海参** 取自大亚湾杨梅坑附近海域，实验前在水池中暂养1周以适应环境，暂养期间不间断充气，并投喂少量海泥，未见海参死亡与吐脏现象。暂养结束后挑选规格均一的健康个体用于混养实验，实验用海参平均湿重为(37.74±5.60) g。

**凡纳滨对虾** 取自实验站附近对虾养殖场，在水池中暂养4 d后用于实验，暂养期间不间断充气，并投喂对虾配合饵料(广东恒兴饲料实业有限公司；粗蛋白45.4%，粗脂肪9.3%，灰分10.6%)，暂养结束后挑选体质健壮、规格均一的个体用于混养实验，实验用虾平均体长为(9.97±0.63) cm，平均湿重为(6.37±1.26) g。

**养殖设施与海水** 利用容积为0.5 m<sup>3</sup>的平底玻璃钢桶进行相关实验。桶体为圆柱形，桶底面积为0.5 m<sup>2</sup>，消毒后底部均匀铺设2 cm厚海沙(预先冲洗干净、晒干并过2 mm筛)，所用海沙有机质含量为0.56%±0.07%，粒径在玉足海参可摄食范围之内<sup>[21]</sup>。实验用桶置于室内，桶口均用帆布遮盖约3/4面积以减少光线干扰。

实验用海水从实验站临近海域抽取，利用5 μm过滤袋过滤后用于实验。实验期间进水水温为28.5~30.3℃，盐度为28.7~32.7，pH=8.1~8.3，硝酸盐(NO<sub>3</sub>-N)未检出，亚硝酸盐(NO<sub>2</sub>-N)为0.61~0.83 μmol/L，氨氮(NH<sub>4</sub>-N)为5.00~5.43 μmol/L。

### 1.2 实验方法

**实验设计** 本研究设混养与单养(对照)两组处理：混养组每桶养殖对虾40尾，同时混养海参5头；对照组仅养殖对虾40尾，混养组和对照组均设3个重复。实验于2011年8月12日开始，到9月5日结束，共计24 d。实验开始后每日早、晚各投喂对虾饵料1次，每次投喂量均为对虾体质量的1.5%；实验期间各桶每日均换水1/4，每4天彻底换水一次；在实验初始、第12天和第24天对各桶水质和底质进行监测，样品采集均在换水之前进行。实验期间持续充气，每日检查养殖生物存活情况，及时捞除死亡个体。

实验结束时统计对虾、海参的成活率及生长率，利用特定增长率(SGR; %/d)指示对虾、海参的生长情况：

$$SGR=100 \times (\ln Y_2 - \ln Y_1) / t \quad (1)$$

式中，Y<sub>2</sub>为取样时养殖生物湿重(g)或体长(cm)；Y<sub>1</sub>为养殖生物初始湿重(g)或体长(cm)；t为生长时间(d)。

**摄食与同化** 混养实验结束后，随机抽取5头海参，称重后分别养殖于20 L塑料缸中(缸底铺0.5 cm厚对照组沉积物)，研究海参对沉积物的摄食与同化作用。各水缸均用帆布进行遮盖，以减少外界光线干扰。本实验共持续3 d，实验开始后于每日8:00和18:00利用虹吸法收集每头海参的粪便，为减少干扰，第1天收集的粪便样品弃之不用，对其余2 d的样品进行合并，并用去离子水脱盐，60℃烘干后测定其无机物含量。摄食实验期间各缸均不换水，保持微量充气。

根据海参的排粪率计算其对沉积物的摄食率，其原理是认为海参无法消化吸收沉积物中的无机物，因此，用粪便中的无机物作为惰性示踪物计算其摄食率<sup>[22]</sup>。具体计算公式如下：

$$IR=DR \times IM_f / IM_s \quad (2)$$

$$DR=D / (W \times t) \quad (3)$$

式中，IR为摄食率[g/(g·d)]；DR为排粪率[g/(g·d)]；IM<sub>f</sub>为粪便中无机物含量(%)；IM<sub>s</sub>为食物中无机物含量(%)；D为粪便干重(g)；W为海参湿重(g)；t为实验持续时间(d)。

实验结束后，将海参解剖，取其前后肠内含物，利用去离子水反复冲洗去除粘液以及盐分，烘干后利用灰化法测定其有机质含量。最终，根据海参前后、肠内含物的有机质含量来计算同化

率<sup>[23]</sup>。具体计算公式如下:

$$AE=100\times(F-E)/[(1-E)\times F] \quad (4)$$

式中,  $AE$  为海参对沉积物有机质的同化率(%);  $F$  为海参前肠内含物有机质含量(%);  $E$  为后肠内含物有机质含量(%)。

**呼吸与排泄** 在进行海参摄食实验的同时, 另取一定数量的海参与对虾饥饿 24 h 后进行呼吸、排泄实验。实验装置为 3 L 棕色呼吸瓶, 将实验生物分别置于灌满新鲜海水的呼吸瓶中, 轻轻地加盖橡胶塞以排除气泡。随后将呼吸瓶静置 2 h 后, 利用玻璃棒小心地搅匀海水, 测定其溶解氧及营养盐含量。海参与对虾呼吸、排泄实验各设 5 组重复, 另设 3 组空白作为对照。公式如下:

$$OR=(C_0-C_t)(V_j-V_a)/(W\times t) \quad (5)$$

$$AR=(C_t-C_0)(V_j-V_a)/(W\times t) \quad (6)$$

式中,  $OR$  为呼吸率 [ $\text{mg O}_2/(\text{g}\cdot\text{h})$ ];  $AR$  为排泄率 [ $\mu\text{M}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ];  $C_0$  为实验结束时对照组溶解氧 ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) 或营养盐浓度 ( $\mu\text{mol}/\text{L}$ );  $C_t$  为实验结束时实验组溶解氧 ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ ) 或营养盐浓度 ( $\mu\text{mol}/\text{L}$ );  $V_j$  为呼吸瓶容积 ( $\text{L}$ );  $V_a$  为实验生物体积 ( $\text{L}$ );  $W$  为实验生物湿重 ( $\text{g}$ );  $t$  为实验持续时间 ( $\text{h}$ )。

**环境因子测定** 水质参数包括水温 ( $^{\circ}\text{C}$ )、盐度、pH、溶解氧 ( $\text{DO}$ ;  $\text{mg}/\text{L}$ ), 利用多参数水质测定仪 (YSI 6920) 直接测定; 海水中硝酸盐 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\mu\text{mol}/\text{L}$ )、亚硝酸盐 ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\mu\text{mol}/\text{L}$ )、氨氮 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\mu\text{mol}/\text{L}$ ) 以及磷酸盐 ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ,  $\mu\text{mol}/\text{L}$ ) 浓度测定参考海洋监测规范的方法<sup>[24]</sup>。

利用离子选择电极法直接测定沉积物硫化物 ( $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{mg}/\text{kg}$ ) 含量<sup>[24]</sup>; 将沉积物  $60^{\circ}\text{C}$  烘干后, 利用灰化法测定其有机质 ( $\text{OM}$ , %) 含量。

### 1.3 统计分析

采用 SPSS 13.0 软件对各实验数据进行统计分析, 利用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 比较同组不同期数据间的差异; 利用  $t$  检验比较同期不同组数据间的差异。其中百分比数据均经平方根反正弦转换后进行统计分析, 而在结果中仍显示为原始数据,  $P<0.05$  表示数据间有显著差异。

## 2 结果

### 2.1 环境因子

**水环境理化特征** 实验期间各组水温变化范围为  $27.6\sim 31.2^{\circ}\text{C}$ , 盐度为  $28.8\sim 32.1$ , pH 为  $7.9\sim 8.3$ , 溶解氧都为饱和或近饱和状态。同期取样时各组数据间均无明显差异。

各组水体营养盐结构如表 1, 各组营养盐浓度都随着时间延长而显著增加 ( $P<0.05$ ), 在实验结束时均达到最高值。实验开始后混养组水体的硝酸盐 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) 和磷酸浓度 ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) 均高于对照组, 其中, 两次取样硝酸盐浓度均存在显著差异 ( $P<0.05$ ), 磷酸酸盐浓度只有在实验结束时存在显著差异 ( $P<0.05$ ); 实验过程中各组亚硝酸盐 ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) 浓度差异均不显著 ( $P>0.05$ ); 混养组氨氮 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) 浓度均低于对照组 ( $P<0.05$ )。

**沉积物环境特征** 沉积物中有机质 ( $\text{OM}$ ) 与硫化物 ( $\text{S}^{2-}$ ) 含量均随时间的延长而显著增加 ( $P<0.05$ ), 且同期取样时对照组有机质与硫化物浓度均高于混养组 ( $P<0.05$ )。其中, 实验结束时混养组沉积物硫化物浓度为  $(7.71\pm 1.33) \text{ mg}/\text{kg}$ , 仅相当于对照组浓度的  $1/3$ , 甚至低于第 12 天取样时对照组水平, 表明混养海参可以有效地抑制系统中硫化物的生成 (表 2)。

表 1 各组营养盐结构随时间的变化

Tab. 1 Variations of the nutrient structures among treatments at different sampling time

指标 index	组别 group	0 d	12 d	24 d
$\text{NO}_3\text{-N}/(\mu\text{mol}/\text{L})$	对照 control	0 <sup>a</sup>	$5.92\pm 0.51\text{b}^*$	$8.46\pm 0.73\text{c}^*$
	混养 co-culture	0 <sup>A</sup>	$12.90\pm 0.41\text{B}$	$13.65\pm 1.92\text{B}$
$\text{NO}_2\text{-N}/(\mu\text{mol}/\text{L})$	对照 control	$0.70\pm 0.11\text{a}$	$2.49\pm 0.42\text{b}$	$10.69\pm 0.46\text{c}$
	混养 co-culture	$0.70\pm 0.11\text{A}$	$3.10\pm 0.17\text{b}$	$10.45\pm 0.63\text{c}$
$\text{NH}_4\text{-N}/(\mu\text{mol}/\text{L})$	对照 control	$5.21\pm 0.22\text{a}$	$18.99\pm 1.20\text{b}^*$	$34.82\pm 4.88\text{c}^*$
	混养 co-culture	$5.21\pm 0.22\text{A}$	$16.29\pm 0.58\text{B}$	$24.58\pm 2.99\text{C}$
$\text{PO}_4\text{-P}/(\mu\text{mol}/\text{L})$	对照 control	$0.51\pm 0.03\text{a}$	$1.31\pm 0.15\text{b}$	$1.54\pm 0.11\text{b}^*$
	混养 co-culture	$0.51\pm 0.03\text{A}$	$1.33\pm 0.05\text{B}$	$2.00\pm 0.13\text{C}$

注: 表中数据为平均值 $\pm$ 标准差。不同字母表示同组不同期数据间差异显著, \*表示同期不同组数据间差异显著。以下表注同此。

Notes: All values are presented as means $\pm$ SD. Different superscript letters indicate significant differences among sampling times within each treatment, \* represents significant differences between the data of the two treatments at each sampling time. The same as the following.

表 2 各组沉积物环境特征随时间的变化  
Tab. 2 Variations of the sediment characteristics among treatments at different sampling time

指标 index	组别 group	0 d	12 d	24 d
OM /%	对照 control	0.56±0.07 <sup>a</sup>	0.89±0.02 <sup>b*</sup>	1.15±0.03 <sup>c*</sup>
	混养 co-culture	0.56±0.07 <sup>A</sup>	0.71±0.03 <sup>B</sup>	1.02±0.02 <sup>C</sup>
S <sup>2-</sup> /(mg/kg)	对照 control	0 <sup>a</sup>	10.00±1.74 <sup>b*</sup>	20.03±2.29 <sup>c*</sup>
	混养 co-culture	0 <sup>A</sup>	3.62±0.73 <sup>B</sup>	7.71±1.33 <sup>C</sup>

## 2.2 生长与存活

实验过程中对照组对虾体长特定增长率为(0.45±0.06) %/d, 混养组为(0.69±0.13) %/d, 混养组生长情况要显著优于对照组( $P<0.05$ )。对照组对虾体重特定增长率为(1.27±0.29) %/d, 混养组为(1.52±0.20) %/d(图1), 混养组体重增长情况要略优于对照组, 但两者差异不显著( $P>0.05$ )。

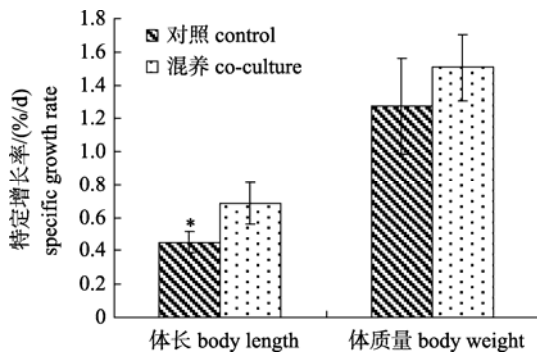


图1 对虾生长特征

\* 表示差异显著( $P<0.05$ )。

Fig.1 Growth performance of the cultured shrimp

\* represents significant differences ( $P<0.05$ ).

实验结束时混养组对虾的成活率为72.5%±22.9%, 要显著高于对照组55.0%±17.5%( $P<0.05$ )。

各混养组玉足海参的成活率均为100%, 其体质量特定增长率为(0.25±0.14) %/d。

## 2.3 摄食与同化

玉足海参对沉积物的摄食率为(0.07±0.05) g/(g·d), 相当于(2.55±1.77) g/(ind·d); 该海参对沉积物中有机质的同化率为36.36%±13.79%, 其前肠内含物有机质含量可达3.40%±0.29%, 接近实验所用沉积物有机质含量的3倍。

## 2.4 呼吸与排泄

对虾的呼吸率为(0.369±0.039) mg O<sub>2</sub>/(g·h), 而海参的呼吸率仅为(0.014±0.002) mg O<sub>2</sub>/(g·h)(表3)。对虾与海参排泄氮的主要形态为氨氮, 两者对氨氮的排泄率分别为(12.790±0.445)和(14.416±0.195) μM/(g·h); 另外, 玉足海参还排泄少量的亚硝酸盐和硝酸盐, 分别仅占其排泄氮总量的0.35%和2.83%。对虾对磷酸盐的排泄率为(0.025±0.012) μM/(g·h), 为玉足海参的2倍之多。

表3 对虾与海参的呼吸与排泄率

Tab. 3 Respiration and excretion rates of the shrimp and sea cucumber

类别 group	呼吸率/[mg O <sub>2</sub> /(g·h)] respiration rate	排泄率/[μM/(g·h)] excretion rate			
		NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P
对虾 shrimp	0.369±0.039	12.790±0.445	-	-	0.025±0.012
海参 sea cucumber	0.014±0.002	14.416±0.195	0.052±0.003	0.421±0.031	0.011±0.003

## 3 讨论

海参可以通过强大的摄食作用清除海水养殖过程中产生的残饵和粪便, 从而减少系统中污染物含量, 并可以通过埋栖作用对沉积物进行生物扰动, 这对底栖生境多样性的稳定和营养物质的循环等有着积极的意义<sup>[7, 9, 11, 23, 25-27]</sup>。目前, 国内外学者已对仿刺参、红海参(*Parastichopus californicus*)以及褐海参(*Stichopus mollis*)等对贝类养殖环境的

修复效果进行了研究<sup>[7-8, 10, 12, 23, 28-29]</sup>; 另有将糙海参用于对虾养殖环境调控的报道<sup>[9]</sup>, 而对其他种类海参的相关研究较少。玉足海参是一种具有较高经济价值的热带海参种类, 目前国际上对该种海参的研究主要涉及到其行为生态学<sup>[19, 30]</sup>与繁殖生物学<sup>[31-32]</sup>等方面; 我国科学家除了对其分类学地位有少量报道外<sup>[18, 33]</sup>, 大部分研究集中在这种海参的药用价值方面<sup>[34-35]</sup>, 未有将其应用于养殖环境调控的报道。

本研究结果表明, 在对虾养殖系统中混养玉足海参可以改善对虾养殖水体的营养盐结构, 并有效地降低沉积物中有机质和硫化物含量, 混养海参对对虾生长与存活都有积极作用。

### 3.1 水体营养盐结构

本研究中混养组海水氮、磷总浓度要高于单养组, 这是由于对虾和海参均向养殖水体中排泄氮、磷, 混养组对虾、海参的生物量大, 因此, 其向水体中排泄的营养盐量也多; 另外, 海参的摄食和埋栖等活动会对沉积物产生生物扰动作用, 也促进了底质中的营养盐向水体中释放<sup>[8, 25-26, 36]</sup>。

对虾养殖过程中氨氮主要来源于两个方面: (1) 养殖生物代谢; (2) 残饵与粪便分解<sup>[4]</sup>。由排泄实验可知, 对虾与海参主要的代谢产物都是氨氮, 因此, 实验过程中混养组生物向水体中排泄的氨氮总量必然高于对照组; 同时, 海参的摄食与同化作用能够有效地清除对虾产生的残饵、粪便, 并将其中的氮以海参生物量增长的形式进行固定, 其生物扰动作用也会提高沉积物与水界面的氧通量, 加速氨氮的氧化, 因而混养海参可减少沉积物向水体中氨氮的释放量。当后者的作用大于前者时, 整个养殖系统表现为氨氮总产生量的降低。

### 3.2 沉积物环境

本研究表明, 玉足海参对沉积物的摄食率可达 $(0.07 \pm 0.05) \text{ g}/(\text{g} \cdot \text{d})$ , 这要略高于Che<sup>[37]</sup>的研究结果。玉足海参对沉积物也有选择摄食的作用, 其消化道内含物中有机质含量为周围底质的3倍之多, 这与已有的研究结果基本一致<sup>[20-21, 38]</sup>。另外, 玉足海参对沉积物中有机质的同化率可达 $36.36\% \pm 13.79\%$ , 混养海参也可明显降低沉积物中有机物和硫化物含量。上述结果充分表明, 玉足海参可以作为虾池沉积环境的调控者加以利用。

### 3.3 生长与存活

对虾养殖水体中的无机氮主要以硝酸盐、亚硝酸盐以及氨氮的形式存在, 一般认为硝酸盐对对虾无毒害作用, 毒性主要来源于氨氮和亚硝酸盐, 其中氨氮由于极强的毒性对对虾的影响最大<sup>[5, 39]</sup>。本研究各组水体中氨氮浓度均随着时间的延长而持续增加, 其中对照组增加幅度要明显高于混养组, 因此其对对虾的生长、存活造成的危害更大。另外, 沉积物中硫化物对生物的毒性也不容忽视<sup>[4, 40]</sup>, 对虾养殖系统沉积物中的硫

化物是由于有机物耗氧, 将海水中的硫酸根还原形成的<sup>[2]</sup>, 玉足海参能够摄食和利用沉积物中的有机物, 因此混养组沉积物中硫化物含量较低。本研究表明, 混养玉足海参可以有效地降低系统中氨氮和硫化物浓度, 这对促进养殖生物的生长、提高其存活率等都均有积极意义。

本研究中混养组玉足海参成活率可达100%, 其生长速度接近甚至高于与贝类混养的海参<sup>[10-11, 23]</sup>。另外, 呼吸实验的结果显示, 玉足海参的耗氧率极低, 仅为对虾耗氧率的1/26; 同时, 玉足海参也具有很强的耐低氧能力<sup>[38]</sup>。因此, 在实际生产中只要合理控制密度与搭配, 无需担心海参对水体溶解氧的消耗问题。

### 参考文献:

- [1] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [2] 杨庆霄, 蒋岳文, 张昕阳, 等. 虾塘残饵腐解对养殖环境影响的研究 I. 虾塘底层残饵腐解对水质环境的影响[J]. 海洋环境科学, 1999, 18(2): 11-15.
- [3] 李秋芬, 袁有宪. 海水养殖环境生物修复技术研究展望[J]. 中国水产科学, 2006, 7(2): 90-92.
- [4] 王仁杰, 姜令绪, 李建. 氨氮和硫化氢对日本对虾幼体的毒性影响[J]. 海洋科学, 2007, 31(7): 51-55.
- [5] 邱德全, 周鲜娇, 邱明生. 氨氮胁迫下凡纳滨对虾抗病力和副溶血弧菌噬菌体防病效果研究[J]. 水生生物学报, 2008, 32(4): 455-461.
- [6] 张立通, 孙耀, 陈爱玲, 等. 对虾养殖中后期虾塘沉积物的硝化与反硝化作用[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(1): 67-74.
- [7] 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(1-4): 87-93.
- [8] 袁秀堂, 杨红生, 周毅, 等. 刺参对浅海筏式贝类养殖系统的修复潜力[J]. 应用生态学报, 2008, 19(4): 866-872.
- [9] Purcell S W, Patrois J, Fraisse N. Experimental evaluation of co-culture of juvenile sea cucumbers, *Holothuria scabra* (Jaeger), with juvenile blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson)[J]. Aquaculture Research, 2006, 37(5): 515-522.
- [10] Zhou Y, Yang H, Liu S, et al. Feeding and growth on bivalve biodeposits by the deposit feeder *Stichopus japonicus* Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) co-cultured in lantern nets[J]. Aquaculture, 2006, 256(1-4): 510-520.

- [11] Slater M J, Carton A G. Survivorship and growth of the sea cucumber *Australostichopus (Stichopus) mollis* (Hutton 1872) in polyculture trials with green-lipped mussel farms[J]. *Aquaculture*, 2007, 272(1-4): 389-398.
- [12] Maxwell K H, Gardner J P A, Heath P L. The effect of diet on the energy budget of the brown sea cucumber, *Stichopus mollis* (Hutton)[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2009, 40(2): 157-170.
- [13] Uthicke S. Sediment bioturbation and impact of feeding activity of *Holothuria (Halodeima) atra* and *Stichopus chloronotus*, two sediment feeding holothurians, at Lizard Island, Great Barrier Reef[J]. *Bulletin of Marine Science*, 1999, 64(1): 129-141.
- [14] 何振平, 王秀云, 刘艳芳, 等. 参虾池塘高效混养技术[J]. *水产科学*, 2008, 27(12): 665-667.
- [15] 王秀云, 何振平, 刘艳芳, 等. 刺参与日本对虾池塘高效混养技术. *河北渔业*[J]. *河北渔业*, 2008 ( 6): 19-21.
- [16] Xing J, Chia F S. Heavy metal accumulation in tissue/organs of a sea cucumber, *Holothuria leucospilota*[J]. *Hydrobiologia*, 1997, 352(1): 17-23.
- [17] Chen J. Present status and prospects of sea cucumber industry in China[M]//FAO:Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management. Rome, 2004: 25-38.
- [18] 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.
- [19] Bonham K, Held E E. Ecological observations on the sea cucumbers *Holothuria atra* and *H. leucospilota* at Rongelap Atoll, Marshall Islands[J]. *Pacific Science*, 1963, 17(3): 305-314.
- [20] Klinger T S, Johnson C R. Spatial and temporal distribution of feeding of *Aspidochirotida (Holothuroidea)* on Heron Island, Great Barrier Reef[C]// 9th International Echinoderms Conference, Balkema, Rotterdam, 1998. 467-471.
- [21] Dzeroski S, Drumm D. Using regression trees to identify the habitat preference of the sea cucumber (*Holothuria leucospilota*) on Rarotonga, Cook Islands[J]. *Ecological Modelling*, 2003, 170(2-3): 219-226.
- [22] Yu Z H, Qi Z H, Hu C Q, et al. Effects of salinity on ingestion, oxygen consumption and ammonium excretion rates of the sea cucumber *Holothuria leucospilota*[J]. *Aquaculture Research*, 2012, doi: 10.1111/j.1365-2109.2012.03182.x.
- [23] Paltzat D L, Pearce C M, Barnes P A, et al. Growth and production of California sea cucumbers (*Parastichopus californicus* Stimpson) co-cultured with suspended Pacific oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg)[J]. *Aquaculture*, 2008, 275(1): 124-137.
- [24] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化委员会. GB 173784-2007 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [25] Uthicke S. Interactions between sediment-feeders and microalgae on coral reefs: grazing losses versus production enhancement[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 210: 125-138.
- [26] Uthicke S. Nutrient regeneration by abundant coral reef holothurians[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2001, 265(2): 153-170.
- [27] 刘石林, 杨红生, 周毅, 等. 刺参对筏式养殖海区生物沉积物清除作用的模拟研究[J]. *海洋科学*, 2006, 30(12): 21-24.
- [28] 杨红生, 王健, 周毅, 等. 烟台浅海区不同养殖系统养殖效果的比较[J]. *水产学报*, 2000, 24(2): 140-145.
- [29] 杨红生, 周毅, 王健, 等. 烟台四十里湾栉孔扇贝、海带和刺参负荷力的模拟测定[J]. *中国水产科学*, 2001, 7(4): 27-31.
- [30] Drumm D, Purvis M, Zhou Q. Spatial ecology and artificial neural networks: modelling the habitat preference of the sea cucumber (*Holothuria leucospilota*) on Rarotonga, Cook Islands[C]// 11th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre, University of Otago, Dunedin, New Zealand, 1999.
- [31] Conand C, Morel C, Mussard R. A new study of asexual reproduction in holothurians: Fission in *Holothuria leucospilota* populations on Reunion Island in the Indian Ocean[J]. *SPC Beche-de-Mer Information Bulletin*, 1997, 9: 5-11.
- [32] Drumm D J, Loneragan N R. Reproductive biology of *Holothuria leucospilota* in the Cook Islands and the implications of traditional fishing of gonads on the population[J]. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2005, 39(1): 141-156.
- [33] 文菁, 张吕平, 胡超群, 等. 中国热带 6 种海参骨片的种类和形态研究[J]. *海洋学报*, 2009, 31(2): 139-145.
- [34] 王学锋, 王鸿利, 胡大萌, 等. 玉足海参酸性粘多糖(抗栓胶囊)抗血栓形成作用的观察[J]. *中华血液学杂志*, 1997, 18(9): 457-459.
- [35] 朱伟, 张家骊, 蒋毅, 等. 玉足海参糖胺聚糖对血液中钙离子的影响[J]. *食品与生物技术学报*, 2009, 28(4): 462-465.
- [36] Uthicke S, Klumpp D W. Microphytobenthos community production at a near-shore coral reef: seasonal variation and response to ammonium recycled by holothurians[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1998, 169: 1-11.
- [37] Che R G O. Aspects of the feeding biology of *Holothuria leucospilota* Brandt (Echinodermata: Holothuroidea) in Hong Kong[C]// *Asian Marine Biology 7*. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1990: 133-146.
- [38] Yu Z H, Hu C Q, Zhou Y, et al. Survival and growth of the sea cucumber *Holothuria leucospilota* Brandt: A

- comparison between suspended and bottom cultures in a subtropical fish farm during summer[J]. *Aquaculture Research* 2011, doi:10.1111/j.1365-2109.2011.03016.x.
- [39] 孙舰军, 丁美丽. 氨氮对中国对虾抗病力的影响 [J]. *海洋与湖沼*, 1999, 30(3): 267–272.
- [40] Kinoshita K, Tamaki S, Yoshioka M, *et al.* Bioremediation of organically enriched sediment deposited below fish farms with artificially mass-cultured colonies of a deposit-feeding polychaete *Capitella* sp. I[J]. *Fisheries Science*, 2008, 74(1): 77–87.

## Co-culture of sea cucumber *Holothuria leucospilota* with the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*

YU Zong-he<sup>1</sup>, HU Chao-qun<sup>1\*</sup>, QI Zhan-hui<sup>2</sup>, JIANG Hai-ying<sup>1</sup>, REN Chun-hua<sup>1</sup>, LUO Peng<sup>1</sup>

(1. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;

2. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** An experimental study of co-culture of sea cucumber *Holothuria leucospilota* with the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* was carried out in the laboratory. Results indicated that nutrient structure of the culture system was influenced significantly by the sea cucumber: the phosphate and nitrate concentrations were enhanced more obviously in the co-culture system than the monoculture system, and by contrast, the ammonium concentration was kept low in the co-culture system. The organic and sulfide contents of the sediment were reduced in the co-culture system, the sulfide content in the co-culture system was  $(7.71 \pm 1.33)$  mg/kg, accounting for only about one-third of the value of the monoculture system. Co-culture of sea cucumbers had positive effect on the growth and survival of shrimps, the specific growth rate of the shrimps in the co-culture system was  $(0.69 \pm 0.13)$  %/d, which was significantly higher than that of the monoculture system  $[(0.45 \pm 0.06)$  %/d]; the survival rate of the shrimps in the co-culture system was  $72.5\% \pm 22.9\%$ , which was significantly higher than that of the monoculture system  $55.0\% \pm 17.5\%$ . In the co-culture system, the shrimps had no negative effect on the sea cucumbers, and the sea cucumbers could ingest and assimilate the sediment in the culture system efficiently (with an assimilation efficiency of  $36.36\% \pm 13.79\%$  for organic matter in ingested sediment). Co-culture of sea cucumber *H. leucospilota* in the shrimp culture system has both environmental and economic benefits. This co-culture method could contribute to the sustainable development of aquaculture in China.

**Key words:** *Holothuria leucospilota*; *Litopenaeus vannamei*; co-culture; sediment; bioremediation

**Corresponding author:** HU Chao-qun. E-mail: cqhu@scsio.ac.cn