

# 光裸方格星虫(*Sipunculus nudus*) 对3种不同底质的适应能力\*

李俊伟 朱长波 郭永坚 颀晓勇<sup>①</sup> 陈素文 张文文

(中国水产科学研究院南海水产研究所 农业部南海渔业资源开发利用重点试验室 广州 510300)

**摘要** 在室内养殖系统中开展光裸方格星虫(*Sipunculus nudus*)对3种不同底质适应能力的研究。3个底质处理组分别为海沙组(S-s)、对虾池塘底质组(S-sp)和鱼塘底质组(S-fp),各设5个重复;方格星虫[(2.58±0.23)g]的养殖密度为5条/缸。结果显示,3个处理组中,方格星虫的存活率均高于90%;3个处理组中,方格星虫的排泄物主要由粒径( $R$ )小于0.4 mm的物质组成,其中 $R<0.224$  mm的物质占较大比例,在S-s、S-sp和S-fp组中分别达到47.70%、85.95%和69.99%。试验结束时,S-fp组的方格星虫表现出一定程度的生长,而S-s和S-sp组体重稍有下降。研究结果表明,方格星虫成体对于底质的还原状态具有较大的耐受范围,而对于较小粒径( $R<0.224$  mm)的物质具有较高摄食需求;同时,底质中的有机质含量也是影响其生长的因素之一。

**关键词** 方格星虫;底质;存活率;适应能力

**中图分类号** S958 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)06-0095-05

光裸方格星虫(*Sipunculus nudus*)隶属于星虫动物门,是一种营穴居生活的大型底栖动物,多栖息于以沙质为主的滩涂区域,广泛分布于中国近海沿岸(李凤鲁等,1992;张琴等,2011;李俊伟等,2014)。方格星虫具有重要的食用和药用价值,现代医学研究表明,方格星虫含有多种活性物质,具有一定的提高免疫力、抗疲劳及延缓衰老等效果(蒋定文等,2004;沈先荣等,2003、2004),同时在其体内提取的多糖物质也表现出一定的抗菌作用(夏乾峰等,2007)。

方格星虫在生态系统中也具有较为重要的生态意义(Li *et al.*, 2015; 李俊伟等, 2015)。由于方格星虫摄食和利用表层沉积物中的营养物质,并将粪便排泄在洞穴深处,实现了将表层沉积物向底层的搬运和封埋,属于下行搬运者(孙刚等, 2013; Li *et al.*, 2015)。星虫类动物对沉积物中有机质的摄食利用可以减少

有机质在沉积物表层的积累,对改善沉积物的理化特征具有重要作用(Shields *et al.*, 2009; 郑忠明, 2009<sup>1)</sup>; Wang *et al.*, 2012)。

目前,方格星虫的增养殖主要集中于平坦、细沙质的潮间带区域,且产量较低。底部为沙质的池塘中曾有丰富的方格星虫资源,但近年来的高密度养殖引起的池塘底质环境恶化及清塘等因素导致沙质池塘中方格星虫资源的急剧减少。中国沿海的沙底池塘或滩涂养殖面积颇为广阔,而方格星虫具有较广的耐盐和耐温性能(曾志南等, 2008、2010),因此,在具有沙底的池塘或滩涂中,在养殖适宜品种的基础上,进行方格星虫的增养或搭配养殖具有较好的应用前景。方格星虫不能直接对饵料进行摄取,其营养物质的获取主要依赖对适宜粒径沙粒摄入时产生的附带效果。因此,生长环境中底质的粒径组成对其摄食和生长具

\* 广东省自然科学基金博士启动项目(2015A030310260)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院南海水产研究所)(2014TS03; 2014ZD01)共同资助。李俊伟, E-mail: lijunwei303@163.com

<sup>①</sup> 通讯作者: 颀晓勇, 副研究员, E-mail: xiexiaoyongsh@sina.com

收稿日期: 2015-01-28, 收修改稿日期: 2015-03-11

1) 郑忠明. 刺参养殖池塘沉积物-水界面营养盐通量的研究. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2009, 105-111

有重要作用。不同养殖环境中的有机质含量、细沙所占比例以及其他理化因子间的差别较大,会在不同程度上影响方格星虫的生存、摄食及生长。因此,对方格星虫在不同底质中的适应能力展开研究,对其在池塘或滩涂中增养殖的推广具有重要意义。

本研究采用3种不同类型的底质(海边细沙、对虾池塘底质以及罗非鱼池塘底质)作为方格星虫的生长环境,基于方格星虫在不同底质中的存活状态和生长情况,确定方格星虫对不同底质的适应能力,为推广方格星虫的增养殖提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验在中国水产科学研究院南海水产研究所深圳养殖基地进行,试验时间为35 d。试验共3个处理组,包括海沙组(S-s)、对虾池塘底质组(S-sp)以及罗非鱼池塘底质组(S-fp),每个处理组分别设5个重复。3种底质均经过曝晒以除掉其中的大型底栖动物,在养殖箱(31 cm × 20 cm × 30 cm)底部铺设相同厚度(10 cm)的底质,并注入等量海水,测定底质中的初始氧化还原电位( $Eh$ )。在每个养殖箱中放入5条方格星虫[(2.58 ± 0.23) g]。

### 1.2 日常管理

试验期间,投喂粉碎过筛的马尾藻粉( $R < 0.28$  mm),投喂量为1 g/d。采用充气石进行连续充氧,养殖期间DO浓度高于6 mg/L,养殖期间不换水。

### 1.3 样品的收集及测定

初始沉积物样品先进行粒径组成测定。分别于初始和结束时,采集沉积物和方格星虫样品,于60℃烘干保存后用于有机质的测定。水体的温度、盐度、

pH以及溶解氧采用YSI(556, YSI Incorporated, Yellow Springs, 美国)进行现场测定。采用氧化还原电位仪(SX-630, 上海)测定试验初始和结束时3种底质表层和底层间隙水中的氧化还原电位。

试验结束时,将方格星虫取出,置于盛水烧杯中(4 h),观察其排泄过程并收集排泄物质。排泄结束后,记录终末重量,并将收集到的排泄物质烘干保存,测定其中的有机质含量和粒径组成。沉积物、排泄物以及生物样品的有机质含量均采用马弗炉灼烧法(550℃)进行测定。

海沙、对虾池塘底质以及罗非鱼池塘底质的初始有机质含量分别为1.08%、2.12%和3.49%。3种底质在烘干后经过多级样品筛进行粒径组成的分析(表1)。

由于该试验结果侧重的是方格星虫对不同底质的耐受情况,并且由于方格星虫放养数量较少,其对于底质的粒径组成影响不大,且投入的饵料(有机质)相对于养殖箱内的底质重量(有机质)影响较小。

### 1.4 计算公式

试验期间,对方格星虫的成活率(Survival rate)和特定生长率(Specific growth rate)进行计算和分析。

$$\text{存活率}(\%) = N_1 \times 100 / N_2$$

$$\text{特定生长率}(\%) = 100 (\ln W_2 - \ln W_1) / T$$

式中, $N_1$ (条)和 $N_2$ (条)分别为试验初始和结束时方格星虫的数量; $W_1$ (g)和 $W_2$ (g)分别为方格星虫的初始重量和终末重量; $T$ 为试验进行的时间(d)。

### 1.5 数据分析

采用SPSS 17.0进行数据统计和分析。百分数值均进行数据转换后进行方差分析。不同处理组间的数据差异采用One-way ANOVA进行分析,显著度为 $P < 0.05$ 。

表1 不同底质的有机质含量及粒径组成

Tab.1 The organic content and grain composition of the different sediments (Mean ± SD)

组别 Treatment	有机质含量 Organic content (%)	粒径组成比例 Grain composition (%)			
		$R > 0.4$ mm	$0.28$ mm $< R < 0.4$ mm	$0.224$ mm $< R < 0.28$ mm	$R < 0.224$ mm
S-s	1.08 ± 0.05	7.69 ± 0.08	21.64 ± 0.12	38.36 ± 0.26	32.31 ± 0.23
S-sp	2.12 ± 0.04	81.92 ± 0.21	5.40 ± 0.10	4.20 ± 0.09	8.48 ± 0.16
S-fp	3.49 ± 0.09	66.88 ± 0.25	8.77 ± 0.08	0.03 ± 0.00	24.31 ± 0.20

## 2 结果

### 2.1 水质

养殖箱内的水温变化范围为25–30℃,盐度变化范

围为29–31,pH为8.0–8.3,溶解氧含量为6.0–6.5 mg/L,3个处理组之间无显著差异( $P > 0.05$ )。

### 2.2 间隙水中氧化还原电位( $Eh$ )的变化

试验初期,海沙组(S-s)表层和底层间隙水中的

*Eh* 值分别为 105 mV 和 80 mV, 虾塘底质组(S-sp)表层和底层间隙水的 *Eh* 值分别为-170 mV 和-180 mV, 鱼塘底质组(S-fp)表层和底层间隙水中的 *Eh* 值分别为-260 mV 和-279 mV。试验结束时, S-s 组间隙水中的 *Eh* 值仍然显著高于 S-sp 和 S-fp 组( $P<0.05$ ); S-sp 和 S-fp 组间隙水的 *Eh* 值仍较低, 且两组的底层间隙水 *Eh* 值均低于相应的表层间隙水(图 1)。

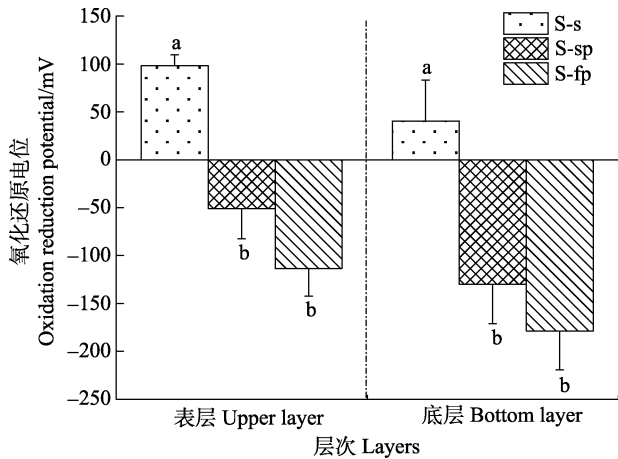


图 1 不同处理组底质表层和底层的氧化还原电位  
Fig.1 The oxidation reduction potential of the pore water in upper and bottom layers of the sediment at the end of the experiment

S-s. 海沙底质组; S-sp. 对虾池塘底质组; S-fp. 鱼塘底质组。数据为平均值±标准误差( $n=5$ )。字母 a 和 b 表示不同处理组之间的数据差异显著( $P<0.05$ )。下同

S-s, S-sp and S-fp represent the treatments of sea sand, shrimp-pond sediment and fish-pond sediment, respectively. Values were given as Mean±SD ( $n=5$ ). Different letters indicate significant difference among treatments ( $P<0.05$ ), same in the following figure

### 2.3 方格星虫的存活与生长

试验结束时, 不同处理组的方格星虫均表现出较高的成活率(图 2), S-s、S-sp 和 S-fp 组的成活率分别为 96%、92% 和 92%, 处理组之间无显著差异( $P>0.05$ )。试验期间, 仅有 S-fp 组的方格星虫表现出一定程度的增重, 而其他两组的方格星虫重量均减轻, 其中以 S-s 组的方格星虫失重最多(表 2)。

### 2.4 方格星虫的摄食和排泄

试验结束时, 将方格星虫取出放至烧杯中, 观察其排泄过程并收集排泄物质。通过观察发现, 方格星虫的吻部伸展和收缩频率为 8-12 次/min, 吻部快速向外伸展并带动前段的肠道伸展, 其星状触手接触到物质后, 吻部随即收缩。在吻部收缩的同时, 肠道末端的排泄物通过排泄孔排出体外, 每次排泄时仅有少

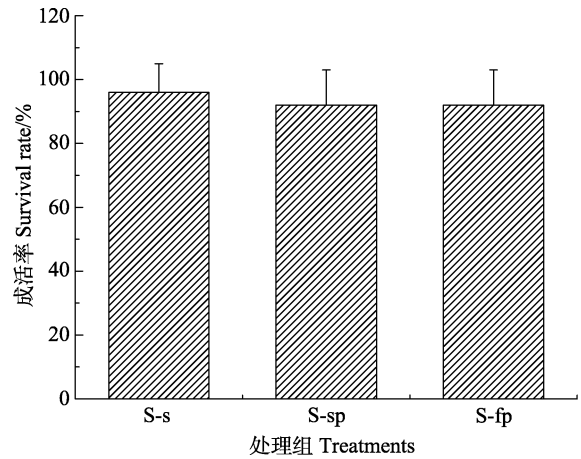


图 2 不同处理组方格星虫的成活率  
Fig.2 The survival rate of *S. nudus* in three treatments

S-s 表示海沙底质组; S-sp 表示对虾池塘底质组; S-fp 表示鱼塘底质组  
S-s, S-sp and S-fp represent the treatments of sea sand, shrimp-pond sediment and fish-pond sediment, respectively

表 2 试验期间方格星虫的生长性能  
Tab.2 The growth performance of *S. nudus* in the experiment

处理组 Treatments	初始重量 Initial weight (g)	终末重量 Final weight (g)	特定生长率 Specific growth rate (%)
S-s	2.52±0.12	2.32±0.31	-
S-sp	2.73±0.28	2.68±0.15	-
S-fp	2.49±0.30	2.62±0.13	0.17

S-s. 海沙底质组; S-sp. 对虾池塘底质组; S-fp. 鱼塘底质组。-表示该组方格星虫的特定生长率为负值  
S-s, S-sp and S-fp represent the treatments of sea sand, shrimp-pond sediment and fish-pond sediment, respectively. - means the SGR value of *S. nudus* is a negative change

量絮状物质排出。方格星虫的吻部, 无论是否粘附到合适的物质, 均会再次重复伸展和收缩过程。

3 个处理组中(S-s、S-sp 和 S-fp), 方格星虫排泄物的有机质含量分别是 1.81%、5.80% 和 5.87%; 各组排泄物质中的细沙均以细颗粒( $R<0.224$  mm)为主, S-s、S-sp 和 S-fp 组分别为 47.70%、85.95% 和 69.99%。

## 3 讨论

光裸方格星虫对于不同氧化还原状态和不同沙质组成的底质具有较强的耐受和适应能力。试验期间, 3 种底质的氧化还原状态存在显著差异, 并且虾塘底质和鱼塘底质均处于较强的还原状态(*Eh* 分别为 -180 和 -279 mV), 且强还原状态一直持续到试验结束。然而, 试验结束时, 3 个处理组中的方格星虫成

活率均较高(图 2), 表明方格星虫对还原性较强的底质具有较强的耐受能力。Li 等(2015)报道, 方格星虫能够在还原性较强( $Eh$ ,  $-100 - -150$  mV)的底质中生存。本研究中, 3 个处理组的底质结构和粒径组成之间存在显著差异( $P < 0.05$ ), 然而, 方格星虫的成活率(图 2)和排泄物质状况(表 3)显示, 方格星虫对于生存环境中底质的细沙比例具有广适性。3 个处理组中方格星虫的排泄物均以较小粒径( $R < 0.224$  mm)的颗粒为主要组成, 表明方格星虫的摄食器官更适宜捕获较小粒径的颗粒。吴鹏飞等(2010)对方格星虫(8–15 g)的消化道结构分析后发现, 方格星虫的咽部收缩时, 空隙约为  $0.06$  mm $\times$  $0.18$  mm, 适合摄食较小粒径的物质。

表 3 试验期间方格星虫的排泄物质组成

Tab.3 The composition of the excrement of *S. nudus* (Mean  $\pm$  SD,  $n=5$ )

组别 Treatment	有机质含量 Organic content (%)	粒径组成 Grain composition (%)			
		$R > 0.4$ mm	$0.28$ mm $<$ $R < 0.4$ mm	$0.224$ mm $<$ $R < 0.28$ mm	$R < 0.224$ mm
S-s	1.81 $\pm$ 0.23	5.23 $\pm$ 0.76	14.38 $\pm$ 1.22	32.68 $\pm$ 1.36	47.70 $\pm$ 3.56
S-sp	5.80 $\pm$ 0.73	0	0	14.05 $\pm$ 1.03	85.95 $\pm$ 4.38
S-fp	5.87 $\pm$ 0.82	8.80 $\pm$ 0.64	11.11 $\pm$ 1.12	10.10 $\pm$ 0.64	69.99 $\pm$ 4.50

3 个处理组中, 方格星虫均表现出较差的特定生长率, 仅有鱼塘底质组(S-fp)的方格星虫表现出一定程度的生长, 而其他两组的方格星虫重量均减轻, 尤以海沙组(S-s)的方格星虫失重最多。S-fp 组底质中的有机质含量为 3.49%, 而 S-s 组的有机质含量仅为 1.08%, 二者之间的有机质含量差异可能是导致方格星虫生长差异的原因之一(表 1)。蒋艳等(2010)研究发现, 在沙底中混合一定量配合饲料以提高有机质含量, 有利于方格星虫的生长和存活。本研究中, 与海沙组相比, 鱼塘底质组细沙含量较低(24.31%), 但具有较高的有机质含量(3.49%), 由此可知, 方格星虫对于沙底中细沙的组成比例具有较大的耐受范围, 但其生长对底质中的有机质含量具有较高要求。本研究中, 3 个处理组的方格星虫均生长缓慢, 可能受其饵料来源(马尾藻粉)的限制, 相关的方格星虫对大型藻粉的摄食和消化利用的研究需要进一步开展。

方格星虫的摄食器官限定了其摄食的粒径大小, 而其摄食行为决定了其生长性能。方格星虫的摄食器官主要由翻吻和星状触手构成(邓中日等, 2009; 童潼等, 2011; 吴鹏飞等, 2010), 由触手粘附合适粒径的食物, 经咽部和食道滑入肠道中(童潼等, 2011)。方格星虫对高有机质含量的物质摄取效率较低, 只能通过增加吻部伸展与收缩的次数来满足其生长需要, 因此, 摄食过程中产生的能量消耗可能导致其生长能分配较低。另外, 方格星虫缺乏专门的消化腺(邓中日等,

童潼等(2011)研究发现, 方格星虫所摄食沙质粒径主要受到其摄食器官的影响, 即便生长环境中的沙质粒径较大, 方格星虫仍可摄食较小的有机颗粒, 且生长速度未受明显影响。李雷斌等(2012)研究发现, 方格星虫(0.14–0.69 g)在粒径  $0.25 - 0.50$  mm 的沙底中生长效果优于粒径为  $0.063 - 0.25$  mm 的沙底, 分析其主要原因, 可能是粒径较大使得水通透性和溶解氧含量较高。本研究对方格星虫[( $2.58 \pm 0.23$ ) g]的排泄物研究发现, 较小粒径( $R < 0.224$  mm)的物质仍是其摄取的主体。因此, 在养殖方格星虫的沙底中, 补充适量的细沙( $R < 0.224$  mm)才能满足其摄食的基本需求, 同时需要加入较大粒径的沙粒以提高间隙水的溶解氧含量。

2009; 吴鹏飞, 2010; 童潼等, 2011), 尽管其较大的摄食量和回环盘绕的肠道在一定程度上弥补消化能力的不足(邓中日等, 2009), 但消化腺的缺乏可能造成其对一些食物消化利用率较低。

#### 4 结论

本研究发现, 光裸方格星虫可以在还原性较强的底质中生存和生长。方格星虫的摄食是通过摄入合适粒径的细沙或碎屑带入有机物质, 所以其在沙质较少、有机碎屑较多的环境中也能够摄食和生长。因此, 在养殖方格星虫的沙底中具有少量细沙( $R < 0.224$  mm)以满足其摄食需求, 同时混合较大粒径的物质( $0.28$  mm $<$  $R < 0.4$  mm)以提高间隙水的溶解氧含量。结合沙底和水质的实际情况, 可以在埋栖型贝类和鱼类养殖池塘或滩涂进行方格星虫的增养殖。

#### 参 考 文 献

- 邓中日, 黄勃. 裸体方格星虫消化道组织学研究. 海洋科学, 2009, 33(4): 40–44
- 孙刚, 房岩. 底栖动物的生物扰动效应. 北京: 科学出版社, 2013, 30–40
- 李凤鲁, 周红, 王玮. 中国沿海星虫动物门名录. 中国海洋大学学报(自然科学版), 1992, 22(2): 72–88
- 李俊伟, 朱长波, 郭永坚, 等. 光裸方格星虫(*Sipunculus nudus*)生物扰动对混养系统沉积物及间隙水中营养物质

- 的影响. 渔业科学进展, 2015, 36(1): 103–110
- 李俊伟, 朱长波, 颌晓勇, 等. 方格星虫的繁育、养殖及研究开发进展. 南方水产科学, 2014, 10(5): 94–98
- 李雷斌, 林向阳, 宁岳, 等. 两种不同粒径海沙中培育裸体方格星虫中苗效果比较. 福建水产, 2012, 34(2): 147–150
- 吴鹏飞, 王嫣, 顾志峰, 等. 光裸方格星虫消化道的形态和组织学观察. 渔业科学进展, 2010, 31(1): 74–79
- 沈先荣, 蒋定义, 贾福星, 等. 方格星虫延缓衰老作用研究. 中国海洋药物, 2004, 23(1): 30–32
- 沈先荣, 蒋定义, 贾福星, 等. 海洋星虫提取物的抗疲劳作用研究. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2003, 10(2): 112–114
- 张琴, 童万平, 董兰芳, 等. 饲料中脂肪水平对方格星虫稚虫生长性能、体组成及消化酶活性的影响. 渔业科学进展, 2011, 32(6): 99–106
- 夏乾峰, 谭河林, 覃西, 等. 方格星虫多糖抗菌活性的初步研究. 中国热带医学, 2007, 7(12): 2192–2193
- 蒋定义, 沈先荣, 贾福星, 等. 海洋星虫提取物的营养分析及免疫调节作用的初步观察. 中国生化药物杂志, 2004, 25(2): 96–97
- 蒋艳, 蔡德建, 邹杰, 等. 方格星虫苗种池塘中间培育试验研究. 广西科学, 2010, 17(2): 175–177
- 童潼, 邹杰, 蔡德建, 等. 方格星虫消化道发育与摄食研究. 广西科学院学报, 2011, 27(3): 218–220
- 曾志南, 刘伟斌, 林向阳, 等. 光裸方格星虫成体对温盐耐受研究. 福建水产, 2008, 30(4): 1–6
- 曾志南, 刘伟斌, 林向阳, 等. 光裸方格星虫初期海球幼体对温度和盐度的耐受试验. 福建水产, 2010, 32(1): 14–18
- Li JW, Zhu CB, Guo YJ, *et al.* Experimental study of bioturbation by *Sipunculus nudus* in a polyculture system. *Aquaculture*, 2015, 437: 175–181
- Shields MA, Kedra M. A deep burrowing sipunculan of ecological and geochemical importance. *Deep Sea Research*, 2009, 56(11): 2057–2064
- Wang F, Wang WX, Huang XP. Spatial distribution of gut juice extractable Cu, Pb and Zn in sediments from the Pearl River Estuary, Southern China. *Mar Environ Res*, 2012, 77(6): 112–119

(编辑 冯小花)

## Adaptability of *Sipunculus nudus* to Three Types of Different Sediments

LI Junwei, ZHU Changbo, GUO Yongjian, XIE Xiaoyong<sup>①</sup>, CHEN Suwen, ZHANG Wenwen

(Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Ministry of Agriculture; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300)

**Abstract** To study the adaptive capability of *Sipunculus nudus* to three different types of sediments, we carried out a rearing experiment of *S. nudus* under the laboratory conditions. Treatments in quintuplicate were the sea sand (S-s), shrimp-pond sediment (S-sp) and fish-pond sediment (S-fp), respectively, with different oxidation reductive potential value, organic material content and different grain sizes. After sunlight exposure, all types of sediments were paved onto the bottom of the tanks (31 cm × 20 cm × 30 cm) to 10 cm thick, and the same water was put into each tank. Five individuals with mean weight of (2.58±0.23) g were stocked in each tank and cultured with a normal ration supply. DO content in the water was above 6.0 mg/L and no water change during the experiment. The results showed that the survival rate of *S. nudus* was up to 96%, 92% and 92% in S-s, S-fp and S-fp ( $P>0.05$ ), respectively. Main component of the excrement of *S. nudus* was fine particles smaller than 0.4 mm, especially the 0.224 mm particles reached 47.70%, 85.95% and 69.99% in the treatments of S-s, S-sp and S-fp, respectively. At the end of the experiment, *S. nudus* presented growth to some extent in S-fp, while a little weight loss in other two groups. These results suggest that *S. nudus* has strong adaptive capability to the reductive condition and different grain size of sediment, while it has a higher need for the smaller size of particles ( $R<0.224$  mm) for the restriction of its feeding organs. Meanwhile, the organic material of the sediment was a key factor to the growth of *S. nudus*, including the quality (source) and quantity of the food. Therefore, based on its strong adaptive capability to the different sediments, the culturing of *S. nudus* in the suitable ponds/beaches was an ecological-economical model with potential development.

**Key words** *Sipunculus nudus*; Sediments; Survival; Adaptability

① Corresponding author: XIE Xiaoyong, E-mail: xiexiaoyongsh@sina.com