

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20190410004

http://www.yykxjz.cn/

孟珊, 房景辉, 蒋增杰, 许越, 董世鹏, 于伟松, 侯兴, 高亚平, 杜美荣, 蔺凡. 双齿围沙蚕对潮间带不同类型底质选择行为的研究. 渔业科学进展, 2020, 40(4): 110–116

Meng S, Fang JH, Jiang ZJ, Xu Y, Dong SP, Yu WS, Hou X, Gao YP, Du MR, Lin F. Experimental study of the choice behavior of *Perinereis aibuhitensis* Grube among different sediment types. Progress in Fishery Sciences, 2020, 40(4): 110–116

双齿围沙蚕对潮间带不同类型底质 选择行为的研究*

孟珊^{1,2} 房景辉^{2①} 蒋增杰² 许越^{1,2} 董世鹏^{1,2}
于伟松³ 侯兴^{1,2} 高亚平² 杜美荣² 蔺凡²

(1. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心 海洋动物系统分类与进化上海高校重点实验室 上海水产养殖工程技术研究中心 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 青岛 266071; 3. 山东蓝色海洋科技股份有限公司 烟台 261413)

摘要 利用行为学实验装置研究了双齿围沙蚕(*Perinereis aibuhitensis*)对低潮区、中潮区和高潮区沉积物表层为 10、60 cm 深以下的沉积物的选择行为。3 个潮区表层为 10 cm 的沉积物编号分别为 1#、2#、3#, 3 个潮区 60 cm 以下的沉积物编号分别为 4#、5#、6#。结果显示, 在实验装置一中, 不同沉积物的有机物含量无显著差异($P>0.05$), 1#和 4#沉积物中, C 含量显著高于 2#沉积物($P<0.05$), 4#沉积物中, N 含量显著高于 2#和 6#沉积物, 不同沉积物的 H_2S 含量均差异显著($P<0.05$); 1#沉积物间隙水中, H_2S 含量显著高于其他各组($P<0.05$)。规格和底质类型对双齿围沙蚕的选择行为无显著影响($P>0.05$); 规格对双齿围沙蚕搜寻时间影响显著($P<0.05$), 而底质类型则对搜寻时间无显著影响($P>0.05$)。在实验装置二中, 6#沉积物中有机物含量显著高于 1#和 2#沉积物($P<0.05$), C、N 含量均显著高于其他沉积物($P<0.05$), 2#沉积物中, H_2S 含量显著高于其他沉积物($P<0.05$); 各个沉积物间隙水中 H_2S 含量均差异显著($P<0.05$)。底质类型和规格对双齿围沙蚕的移动距离均有显著影响($P<0.05$)。研究表明, 小规格双齿围沙蚕比较活跃和敏感, 倾向于选择 H_2S 含量较低的底质; 在底质内部钻蚀时, 双齿围沙蚕倾向于选择物质含量较低的底质。总体来看, 双齿围沙蚕对自然栖息地底质类型选择性不强。

关键词 双齿围沙蚕; 选择行为; 底质

中图分类号 Q178.1 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2020)04-0110-07

动物行为是生物学的基础学科之一, 而我国在动物行为研究领域尚处于起步阶段。相比陆地动物行为

* 国家自然科学基金面上项目(41876185)、科技部政府间国际科技创新合作重点专项(2017YFE0118300)、国家贝类产业技术体系养殖容量评估与管理岗位(CARS-49)和青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室开放课题(2016LMFS-A18)共同资助 [This work was supported by General Programme of National Natural Science Foundation of China (41876185), Technological Innovation, Ministry of Science and Technology (2017YFE0118300), Modern Agro-Industry Technology Research System (CARS-49), and Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao) (2016LMFS-A18)]. 孟珊, E-mail: 937460862@qq.com

① 通讯作者: 房景辉, 副研究员, E-mail: hui861@163.com

收稿日期: 2019-04-10, 收修改稿日期: 2019-05-16

的研究,水生动物行为的研究则更加缺乏,主要是因为水生环境比陆地环境更加复杂,不可控因素较多,观察难度较大。作为水生动物中较难观察的是底内动物,相关研究主要集中于沉积物扰动作用的结果(高丽, 2008; 张弛等, 2010; 孙刚等, 2013; 孙思志等, 2010),而与生物扰动作用直接相关的行为学特征研究相对缺乏。

双齿围沙蚕(*Perinereis aibuhitensis*)是重要的潮间带底内动物,主要摄取沉积物和其中的动植物碎片(Fish *et al.*, 1989),栖息于沉积物间隙中、管中或穴中,其日常活动过程引起的扰动使沉积物表层结构重组,影响沉积物的微地貌和排水条件(徐姗楠等, 2010),同时,能将小颗粒整合集集成团块,通过“生物淋洗”把水泵进、泵出,改变沉积物的含水率。另外,双齿围沙蚕还会分泌黏液对沉积物进行包装,在沉积物上有规律地伸展它们的虹吸管,使沉积物出现褐色氧化带(Hopmans *et al.*, 2004)。双齿围沙蚕摄食作用会降低沉积物中的有机物含量,同时,双齿围沙蚕掘穴、觅食等活动引起的生物扰动会增加沉积物和溶解氧的接触面积,促进沉积物的矿化分解和化学元素的迁移和再分布(邓锦松等, 2007)。以往的这些研究大多关注沙蚕对底质环境理化性质的影响,而沙蚕的行为学特征研究尚不多见。作为底栖动物的栖息地,不同的底质情况会影响底栖动物的活动。每种底质都支持着一组特定的底栖动物群落,表明底栖动物群落不是物种的随机集合,而是与底质等环境因素关系密切(Buss *et al.*, 2004)。底质适宜时,底栖动物的种类相对丰富(李少文等, 2017),底栖动物如果栖息在不适的底质上,生活就会受到抑制并逐渐死亡(何志辉, 2004),因此,底质环境与底内动物行为关系密切。本文以双齿围沙蚕为研究对象,研究其对不同类型底质的选择行为、搜寻时间以及在底质内移动的距离,探寻其中规律,以期丰富底内动物行为特征的研究资料,拓展底内动物行为学研究领域。

1 材料与方法

1.1 实验动物

实验所用双齿围沙蚕取自山东荣成市沙蚕养殖厂。先将双齿围沙蚕用吸水纸吸取表面水分后称重,再将沙蚕分为大规格沙蚕[(2.4±0.2) g]、中规格沙蚕[(1.6±0.2) g]和小规格沙蚕[(0.7±0.2) g]。每种规格实验进行3次重复,每次重复需要6条沙蚕。实验前,挑取活力好的沙蚕,置于充满海水(水温为25℃,盐度为25)的50 L聚乙烯桶中,微充气,不投喂,暂养

1 d。实验时,室内温度为25℃,采取自然光周期和室内光照。

1.2 实验沉积物获取

实验所用沉积物均取自河口潮间带的双齿围沙蚕自然栖息地,在退潮后分别取低潮区、中潮区和高潮区3个潮区表层为10和60 cm深以下同一断面的沉积物,分别放在5 L的聚乙烯桶中,密封保存。低潮区、中潮区、高潮区3个潮区表层为10 cm的沉积物编号分别为1#、2#和3#,低潮区、中潮区、高潮区为60 cm以下的沉积物编号分别为4#、5#和6#。

1.3 实验装置与方法

1.3.1 摄像装置 摄像装置(海康威视,杭州)主要包括显示器(21.5英寸)、摄像头(400万像素)和硬盘刻录机(8路)。摄像头安装于实验装置上方,调节摄像头的高度,确保整个实验装置可以完整地在显示器上出现并可清楚地观察实验动物。

1.3.2 底质类型选择实验 本研究所用实验装置为圆柱形容容器(实验装置一,图1),容器中有6个隔间,将1#、2#、3#、4#、5#和6#沉积物取出一部分,依次放入隔间中,混匀,静置7 d。实验时,将3种规格的双齿围沙蚕依次放在Ⅱ装置上,上面放置1个透明玻璃罩,防止双齿围沙蚕爬出,使其在上面静置20 min,然后,将玻璃罩移开,观察双齿围沙蚕对不同底质的选择行为,记录每1条双齿围沙蚕的搜寻时间(搜寻时间为移开玻璃罩至双齿围沙蚕开始钻洞的时间)。

1.3.3 移动距离实验 移动距离所用实验装置为1个长方形容容器(实验装置二,图2),容器有6个隔间,将6种沉积物1#、2#、3#、4#、5#和6#从左到右依次放在每个隔间中,静置7 d,将3种规格的双齿围沙蚕依次放在1#底质中,待双齿围沙蚕全部钻入1#底质后,去掉Ⅱ装置,3 d后将Ⅱ装置重新插回,挖出各个底质中的双齿围沙蚕,记录条数。然后,使用另外1个相同设置的实验装置二,将3种规格的双齿围沙蚕依次放在6#底质中,操作同上(沙蚕从1#隔间移动到2#隔间则移动距离记为1,沙蚕从1#隔间移动到3#隔间则移动距离记为2,以此类推,即每移动一个隔间则记为1。因此,移动距离为所有沙蚕从开始投放的隔间到后期挖出沙蚕的隔间的总的移动间隔数)。

1.4 沉积物成分分析

根据房景辉等(2017)对双齿围沙蚕自然栖息地环境特征的研究,选取了部分沉积物指标(C、N、

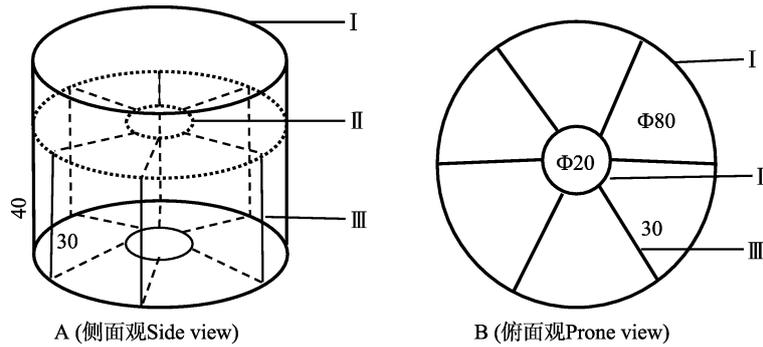


图1 实验装置一示意(cm)

Fig. 1 Experimental device for choice behavior of *P. aibuhitensis* (cm)

- I: 装置为圆柱形容器, 直径为 80 cm, 高为 40 cm, 底部中心为与之相连的圆柱形 II 装置; II: 装置直径为 20 cm, 高为 30 cm, 顶部为略凹陷的圆盘形结构; III: 装置为长形隔板, 长为 30 cm, 将 I 装置均匀分成 6 个部分
- I: Device is a cylindrical container with diameter of 80 cm, a height of 40 cm and the bottom center connected with device II;
- II: Device has diameter of 20 cm, height of 30 cm and a slightly depressed disc structure at the top;
- III: Device is a rectangular partition with a length of 30 cm, which divides device I into six compartments evenly

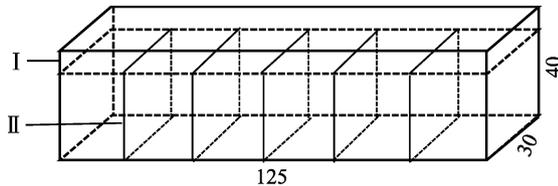


图2 实验装置二示意(cm)

Fig. 2 Experimental device for measuring the moving distance of *P. aibuhitensis* (cm)

- I: 装置为长方形结构的容器, 规格为 125 cm×30 cm×40 cm, 中间设置 5 排卡槽以固定 II 装置; II: 装置为长方形隔板, 边长为 30 cm, 能够恰好卡入卡槽内

- I: Device is a rectangular container with a size of 125 cm x 30 cm x 40 cm. Five rows of clamping grooves are arranged in the middle to fix the device II; II: Device is a rectangular separator with a side length of 30 cm, which can be just clamped into the clamping groove

有机物和 H_2S 等化学特征)表征本研究所使用的沉积物特点。使用微电极(Unisense, 丹麦)插入沉积物的相同深度, 测定沉积物中 H_2S 的含量, 然后, 采集相同位置的沉积物于 10 ml 的离心管中, 在离心管中充氮气并封口, 在离心机(L-550, 长沙)内 4000 r/min 离心 10 min, 使用微电极测定间隙水中的 H_2S 的含量。取小块沉积物使用电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9240A, 上海)70℃条件下烘 72 h 至恒重, 烘干样品采用研磨仪磨碎, 取 1.0 g 左右置于坩埚中, 放入马弗炉, (SX3-4-10X, 烟台)在 450℃条件下煅烧 6 h 后称重, 测定沉积物中有机物的含量。采用元素分析仪(Vario Elementar, 德国)测定烘干样品的 C、N 含量。

1.5 数据处理与分析

采用 SPSS 23.0 统计分析软件分析数据, 采用双因素方差(Two-way ANOVA)分析规格和底质类型对双齿围沙蚕在不同底质中的数量、对底质的搜寻时间及在底质内移动距离的影响, $P<0.05$ 为差异显著水平。采用单因素方差(One-way ANOVA)分析规格对双齿围沙蚕在各个底质中数量、搜寻时间和移动距离的影响, 底质类型对双齿围沙蚕在各个底质中数量、搜寻时间和移动距离的影响, 底质类型对底质中有机物含量、C 含量、N 含量、间隙水中 H_2S 含量和沉积物中 H_2S 含量的影响, $P<0.05$ 为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 双齿围沙蚕对不同底质类型的选择行为

2.1.1 底质的有机质、碳、氮和 H_2S 含量 单因素方差分析显示, 不同底质类型的有机物含量差异不显著($F=0.96$, $P>0.05$)。C 含量差异显著($F=3.75$, $P<0.05$), 1#和 4#底质中, C 含量显著高于 2#底质($P<0.05$), 1#和 4#底质中的 C 含量和其他底质的 C 含量相比无显著差异($P>0.05$)。不同底质类型的 N 含量差异不显著($F=2.36$, $P>0.05$), 4#底质中, N 含量显著高于 2#和 6#底质($P<0.05$), 4#底质的 N 含量和其他底质中的 N 含量相比无显著差异($P>0.05$)。

单因素方差分析显示, 不同底质类型的 H_2S 含量差异显著($F=529.54$, $P<0.05$), H_2S 含量由高到低依次是 2#、5#、3#、6#、4#、1#。不同底质类型间隙水中的 H_2S 含量差异显著($F=121.36$, $P<0.05$), 1#底质

间隙水中 H₂S 含量最高, 为 14.00 μmol/L; 2#底质间隙水中 H₂S 含量最低, 为 6.72 μmol/L; 3#和 5#底质间

隙水中 H₂S 的含量显著低于 4#和 6#底质间隙水中 H₂S 的含量($P<0.05$)(表 1)。

表 1 实验装置一中不同底质有机物、碳、氮和 H₂S 含量(平均值±标准差)

Tab.1 The contents organic matter, carbon, nitrogen and hydrogen sulfide of different sediments in device I (Mean±SD)

底质 Sediment	有机物 Organic matter (%)	碳 Carbon (%)	氮 Nitrogen (%)	沉积物中 H ₂ S H ₂ S in sediment (μmol/L)	间隙水中 H ₂ S H ₂ S in pore water (μmol/L)
1#	2.94±0.64 ^a	0.89±0.09 ^b	0.08±0.01 ^{ab}	1.39±0.08 ^a	14.00±0.08 ^d
2#	3.00±0.50 ^a	0.50±0.06 ^a	0.05±0.00 ^a	8.66±0.08 ^f	6.72±0.07 ^a
3#	3.75±0.54 ^a	0.66±0.00 ^{ab}	0.07±0.00 ^{ab}	3.10±0.08 ^{ab}	8.76±0.06 ^b
4#	4.23±0.16 ^a	1.03±0.21 ^b	0.09±0.02 ^b	1.90±0.09 ^b	10.95±0.14 ^c
5#	4.49±0.99 ^a	0.60±0.02 ^{ab}	0.07±0.00 ^{ab}	5.07±0.23 ^c	8.50±0.07 ^b
6#	4.67±1.25 ^a	0.64±0.05 ^{ab}	0.05±0.02 ^a	2.29±0.08 ^c	10.95±0.14 ^c

注: 表中同一栏内带有不同字母的数据互相之间差异显著($P<0.05$)。下同

Note: Data with different letters were significantly different among different sediments in the same tidal zone ($P<0.05$). The same as below

2.1.2 不同底质中双齿围沙蚕的数量 双因素方差分析显示, 规格和底质对双齿围沙蚕在不同底质中的数量无显著影响(规格: $F=0.00, P>0.05$; 底质: $F=2.17, P>0.05$), 但二者的交互作用显著($F=2.47, P<0.05$)。

简单效应分析显示, 在 6#底质中, 中规格双齿围沙蚕比小规格双齿围沙蚕表现出更加显著的底质选择性($P<0.05$)。

由相关性分析可知, 沉积物间隙水中 H₂S 含量和大规格双齿围沙蚕的钻洞数量具有相关性($P<0.05$), 有机物含量和小规格双齿围沙蚕的钻洞数量具有相关性($P<0.05$), 其他物质含量和双齿围沙蚕的钻洞条数均无显著相关性($P>0.05$)(图 3)。

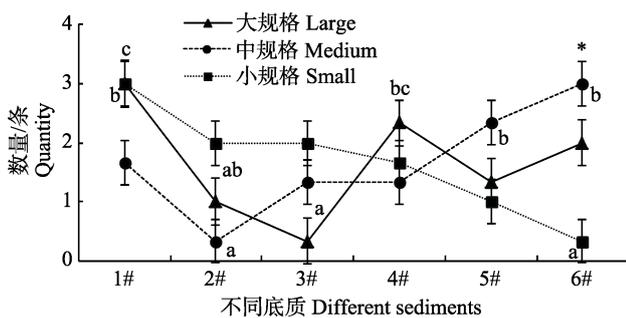


图 3 不同底质中各个规格的双齿围沙蚕的数量
Fig.3 The quantity of *P. aibuhitensis* of different sizes in different sediments

图中字母为相同规格不同底质中的数据差异显著($P<0.05$)
*为不同规格相同底质中的数据差异显著($P<0.05$)。下同

Data with different letters were significantly different among the same size in different sediments

Data with different letters were significantly different among different sizes in the same sediment.

The same as below

1#和 4#底质中, 大规格双齿围沙蚕的数量显著高于 3#底质中的数量($P<0.05$), 其他底质中大规格双齿围沙蚕的数量无显著差异($P>0.05$); 中规格双齿围沙蚕在底质中的数量从 2#底质开始逐渐上升, 5#和 6#底质的中规格双齿围沙蚕的数量显著多于 2#底质中的数量($P<0.05$), 其他底质的中规格双齿围沙蚕的数量无显著差异($P>0.05$); 小规格双齿围沙蚕在各个底质中的数量呈逐渐下降趋势, 1#底质中小规格双齿围沙蚕的数量显著多于 6#底质中的数量($P<0.05$), 其他底质中小规格双齿围沙蚕的数量无显著差异($P>0.05$)。

2.1.3 不同规格双齿围沙蚕在不同底质中的搜寻时间 双因素方差分析显示, 双齿围沙蚕的规格对其搜寻时间影响显著($F=25.93, P<0.05$), 底质类型对其搜寻时间无显著影响($F=0.25, P>0.05$), 二者的交互作用无显著影响($F=0.45, P>0.05$)。

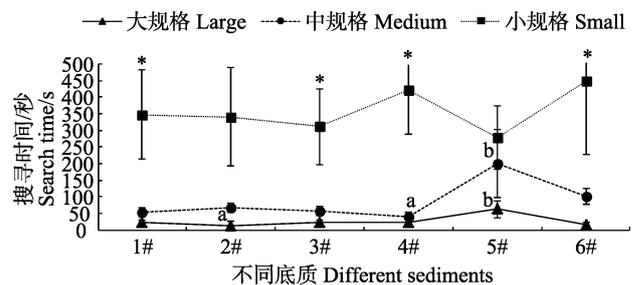


图 4 不同底质中不同规格的双齿围沙蚕搜寻时间
Fig.4 Search time of *P. aibuhitensis* with different sizes in different sediments

单因素方差分析显示, 2#底质中, 大规格双齿围沙蚕的搜寻时间显著低于 5#底质中的搜寻时间($P<0.05$); 2#和 5#底质中, 大规格双齿围沙蚕的搜寻时间和其他底质的搜寻时间相比均无显著差异($P>0.05$); 5#底质中, 中规格双齿围沙蚕的搜寻时间显著多于 4#底质中

的搜寻时间($P<0.05$); 4#和 5#底质中, 中规格双齿围沙蚕的搜寻时间和其他底质相比无显著差异($P>0.05$); 小规格双齿围沙蚕的搜寻时间在各个底质中均无显著差异($P>0.05$); 1#、3#、4#和 6#底质中的小规格双齿围沙蚕的搜寻时间显著多于大规格和中规格双齿围沙蚕的搜寻时间($P<0.05$)(图 4)。

由相关性分析可知, 底质中各个成份含量和 3 种规格的双齿围沙蚕的搜寻时间均无相关性($P>0.05$)。

表 2 实验装置二中不同底质有机物、碳、氮和 H_2S 含量(平均值 \pm 标准差)

Tab.2 The content of organic matter, carbon nitrogen and H_2S of different sediments in device II (Mean \pm SD)

底质 Sediment	有机物 Organic matter (%)	碳 Carbon (%)	氮 Nitrogen (%)	沉积物中 H_2S H_2S in sediment ($\mu\text{mol/L}$)	间隙水中 H_2S H_2S in pore water ($\mu\text{mol/L}$)
1#	2.08 \pm 0.07 ^a	0.37 \pm 0.23 ^a	0.04 \pm 0.00 ^a	2.92 \pm 0.09 ^c	10.90 \pm 0.06 ^b
2#	2.50 \pm 0.67 ^a	0.34 \pm 0.01 ^a	0.04 \pm 0.00 ^a	4.85 \pm 0.14 ^c	8.67 \pm 0.10 ^a
3#	3.10 \pm 0.26 ^{ab}	0.46 \pm 0.06 ^a	0.05 \pm 0.01 ^a	2.37 \pm 0.12 ^b	12.19 \pm 0.06 ^c
4#	3.17 \pm 0.61 ^{ab}	0.78 \pm 0.56 ^b	0.09 \pm 0.02 ^b	1.39 \pm 0.09 ^a	11.56 \pm 0.05 ^c
5#	4.23 \pm 0.30 ^{ab}	0.91 \pm 0.05 ^b	0.10 \pm 0.003 ^b	3.17 \pm 0.11 ^c	13.52 \pm 0.13 ^f
6#	6.14 \pm 1.88 ^b	1.45 \pm 0.04 ^c	0.17 \pm 0.01 ^c	4.03 \pm 0.12 ^d	11.90 \pm 0.09 ^d

2.2.2 不同底质中不同规格双齿围沙蚕的移动距离

双因素方差分析显示, 底质类型和规格对双齿围沙蚕移动距离影响显著(底质类型: $F=480$, $P<0.05$; 规格: $F=206$, $P<0.05$), 规格和底质类型的交互作用对其也具有显著影响($F=104$, $P<0.05$)。

简单效应分析显示, 将双齿围沙蚕放在 1#底质中, 小规格双齿围沙蚕的移动距离显著高于其他 2 个规格的移动距离($P<0.05$), 中规格双齿围沙蚕的移动距离显著高于大规格的移动距离($P<0.05$)。将双齿围沙蚕放在 6#底质中, 中规格双齿围沙蚕的移动距离显著高于其他 2 个规格的移动距离($P<0.05$), 小规格双齿围沙蚕的移动距离显著高于大规格的移动距离($P<0.05$)。

单因素方差分析显示, 将双齿围沙蚕放置在不同底质中, 放置在 6#底质中的大规格和中规格双齿围沙蚕的移动距离显著高于放置在 1#底质中的移动距离($P<0.05$), 小规格双齿围沙蚕的移动距离无显著差异($P>0.05$)(图 5)。

3 讨论

底栖动物和沉积环境是相互作用的, 沉积环境为底栖动物提供生存场所, 沉积环境中的物理、化学和生物等因素会对底栖动物的生存、生长、繁殖等过程造成一定影响(孙刚等, 2013), 同样, 底栖动物的行为也能通过改变沉积环境的物理、化学、生物等性质来进一步改变沉积环境(孙刚等, 2013)。底质作为沉积环境中重要组成部分, 是物理生境中一个复杂的

2.2 不同规格的双齿围沙蚕在不同底质中的移动距离

2.2.1 不同底质中的物质含量 单因素方差分析显示, 6#底质中有机物的含量显著高于 1#底质中有机物的含量($P<0.05$); 6#底质中 C、N 含量显著高于其他底质($P<0.05$), 4#和 5#底质中 C、N 含量显著高于 1#、2#和 3#底质($P<0.05$); 2#底质沉积物中 H_2S 的含量显著高于其他底质($P<0.05$), 5#底质间隙水中 H_2S 含量显著高于其他底质 H_2S 含量($P<0.05$)(表 2)。

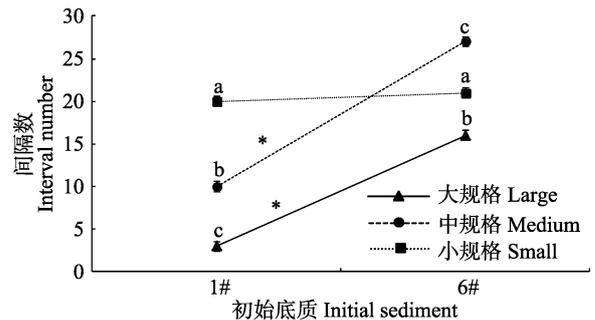


图 5 不同底质中不同规格双齿围沙蚕的移动距离
Fig.5 The movement distance of *P. aibuhitensis* with different sizes in different sediments

不同字母表示不同规格在双齿围沙蚕相同底质中数据差异显著($P<0.05$)

*为相同规格双齿围沙蚕不同底质

中数据差异显著($P<0.05$)

Data with different letters were significantly different among different sizes of *Perinereis aibuhitensis* Grube in the same sediment ($P<0.05$)

Data with * were significantly different among the same size of *P. aibuhitensis* in different sediments ($P<0.05$)

变量(Allan, 1995), 可以为底栖动物应对环境突变提供避难所(Brown, 2010), 同时, 底质还是水体营养盐的重要蓄积库或释放源, 底质中的有机物还为大型底栖动物提供了丰富的食物来源(Entrekin et al, 2007)。Beisel 等(1998)研究显示, 底栖动物的分布和物种组成在很大程度上取决于底质类型, 其性质对大型底栖动物的群落结构特征有很大的影响(段学花等, 2007)。

但不同规格的双齿围沙蚕在不同底质类型的选择实验中, 沉积物中有机物、C、N 和 H_2S 含量与 3 种规格双齿围沙蚕的搜寻时间均无显著相关性($P>0.05$), 沉积物中有机物含量会影响大规格双齿围沙蚕在不同底质中的数量($P<0.05$), 间隙水中 H_2S 的含量与不同底质中小规格双齿围沙蚕的数目具有显著相关性($P<0.05$), 可能小规格双齿围沙蚕对底质中 H_2S 的含量变化更加敏感, 倾向于选择 H_2S 含量较低的底质。但其他指标与双齿围沙蚕在不同底质中的数目均无显著影响($P>0.05$)。因此, 双齿围沙蚕对不同的底质类型未表现出显著的选择特征($P>0.05$)。动物在外界环境因子, 如光照、声音等因素影响下, 其行为特征也会发生变化。例如, 穴居的小鼠(*Mus musculus*)被放置在宽广有光的地方, 它的运动会减少并且多沿边运动(Jones *et al.*, 2001), 在黑暗的地方它的运动就会增加(Nasello *et al.*, 1998), 并随着场地的增大或减小, 小鼠的停顿次数也会增加(Eilam, 2003)。因此, 本研究中在实验室光照条件下, 双齿围沙蚕可能急于寻找、挖掘适宜的洞穴环境而降低甚至忽略对底质类型的选择。

实验装置二的结果显示, 开始投放双齿围沙蚕时, 将双齿围沙蚕放在 6#底质后, 大规格和中规格双齿围沙蚕移动距离显著高于将其放在 1#底质中的移动距离($P<0.05$), 2 种放置方式的小规格双齿围沙蚕移动距离则差异不大($P>0.05$), 但其在底质内的移动距离均大于大规格和中规格双齿围沙蚕。这说明双齿围沙蚕钻入底质后, 其在底质内部钻蚀行为特点会有所不同, 1#和 6#底质相比, 1#底质及其邻近底质中的有机物和 C、N 含量相比 6#底质及其邻近底质中含量少, H_2S 含量则相差不大。因此, 在本研究中, 双齿围沙蚕更加倾向于选择物质含量较低的底质。值得注意的是无论双齿围沙蚕在底质表面还是在底质内运动和选择, 小规格双齿围沙蚕的移动距离均大于大规格和中规格的移动距离, 即小规格双齿围沙蚕更加活跃, 这可能使其在环境变化时表现出更强的适应能力。

由于底栖动物行为学研究起步较晚, 而底内动物行为规律的直接观察难度很大, 参考资料较少, 导致本研究仍存在一些不足, 特别在底内动物研究方法上有较大提升空间, 下一步将尝试观测双齿围沙蚕在洞穴中的行为特征, 为创新和建立底内动物的行为学研究方法提供有益参考, 以期拓展动物行为学研究领域。

参 考 文 献

Allan JD. Running waters. (Book reviews: Stream ecology. Stru-

- cture and function of running waters). Science, 1995, 270
- Beisel JN, Usseglio-Polatera P, Thomas S, *et al.* Stream community structure in relation to spatial variation: The influence of mesohabitat characteristics. Hydrobiologia, 1998, 389(1-3): 73-88
- Brown BL. Spatial heterogeneity reduces temporal variability in stream insect communities. Ecology Letters, 2003, 6(4): 316-325
- Buss DF, Baptista DF, Nessimian JL, *et al.* Substrate specificity, environmental degradation and disturbance structuring macroinvertebrate assemblages in neotropical streams. Hydrobiologia, 2004, 518(1): 179-188
- Deng JS, Ma S, Niu HX, *et al.* An experiment of shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*) culture by inputting polychaetes (*Perinereis aiuhitensis*). Transactions of Oceanology and Limnology, 2007(2): 135-141 [邓锦松, 马牲, 牛化欣, 等. 投放双齿围沙蚕养殖中国明对虾实验研究. 海洋湖沼通报, 2007(2): 135-141]
- Duan XH, Wang ZY, Cheng DS. Benthic macroinvertebrates communities and biodiversity in various stream substrata. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(4): 1664-1672 [段学花, 王兆印, 程东升. 典型河床底质组成中底栖动物群落及多样性. 生态学报, 2007, 27(4): 1664-1672]
- Eilam D. Open-field behavior withstands drastic changes in arena size. Behavioural Brain Research, 2003, 142(1-2): 53-62
- Entrekin SA, Rosi-Marshall, Emma J, *et al.* Macroinvertebrate secondary production in 3 forested streams of the upper Midwest, USA. Journal of the North American Benthological Society, 2007, 26(3): 472-490
- Fang JH, Wang HQ, Fang JG, *et al.* The characteristics of the sedimentary environment in a typical habitat of *Perinereis aiuhitensis* Grube. Progress in Fishery Sciences, 2017, 38(5): 1-8 [房景辉, 王海青, 方建光, 等. 双齿围沙蚕(*Perinereis aiuhitensis* Grube)典型自然栖息地的沉积环境特征. 渔业科学进展, 2017, 38(5): 1-8]
- Fish JD, Fish SA. Students' guide to the seashore. London: Unwin Hyman Ltd, 1989
- Gao L. A laboratory study on the erosion properties of the tidal flat with bioturbation in Yellow River Estuary. Master's Thesis of Ocean University of China, 2008 [高丽. 生物扰动对黄河口潮滩沉积物侵蚀性的试验研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2008]
- He ZH. Freshwater ecology. Beijing: China Agriculture Press, 2004, 178-182 [何志辉. 淡水生态学. 北京: 中国农业出版社, 2004, 178-182]
- Hopmans EC, Weijers JWH, Schefuß E. A novel proxy for terrestrial organic matter in sediments based on branched and isoprenoid tetraether lipids. Earth and Planetary Science Letters, 2004, 224(1)
- Jones M, Mandelik Y, Dayan T. Coexistence of temporally partitioned spiny mice: Roles of habitat structure and foraging behavior. Ecology, 2001, 82(8): 2164-2176
- Li SW, Ren ZH, Wang TT. Ecological characteristics of macrobenthos at the Yellow River estuary in summer. Progress in Fishery Sciences, 2017, 38(6): 9-17 [李少文, 任中华, 王田田. 黄河口海域夏季大型底栖动物的生态学特征. 渔业科学进展, 2017, 38(6): 9-17]

- Nasello AG, Machado C, Bastos JF, *et al.* Sudden darkness induces a high activity-low anxiety state in male and female rats. *Physiology and Behavior*, 1998, 63(3): 451–454
- Sun G, Fang Y. Bioturbation effect of benthic animals. Beijing: Science Press, 2013, 27–28 [孙刚, 房岩. 底栖动物的生物扰动效应. 北京: 科学出版社, 2013, 27–28]
- Sun SZ, Zheng ZM. Effect of benthic macro-invertebrate bioturbation on sediment environment: A review. *Acta Agriculture Zhejiangensis*, 2010, 22(2): 263–268 [孙思志, 郑忠明. 大型底栖动物的生物扰动对沉积环境影响的研究进展. 浙江农业学报, 2010, 22(2): 263–268]
- Xu SN, Chen ZZ, Huang XP *et al.* Influence of benthic fauna on mangrove ecosystem and its ecological significance. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(4): 812–820 [徐姗姗, 陈作志, 黄小平, 等. 底栖动物对红树林生态系统的影响及生态学意义. 生态学杂志, 2010, 29(4): 812–820]
- Zhang C, Wang SG, Zheng YH, *et al.* The effects of roots and crabs' bioturbation on AVS migration and transformation of heavy metals in mangrove sediments. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(11): 3037–3045 [张弛, 王树功, 郑耀辉, 等. 生物扰动对红树林沉积物中 AVS 和重金属迁移转化的影响. 生态学报, 2010, 30(11): 3037–3045]

(编辑 陈 严)

Experimental Study of the Choice Behavior of *Perinereis aibuhitensis* Grube among Different Sediment Types

MENG Shan^{1,2}, FANG Jinghui^{2①}, JIANG Zengjie², XU Yue^{1,2}, DONG Shipeng^{1,2},
YU Weisong³, HOU Xing^{1,2}, GAO Yaping², DU Meirong², LIN Fan²

(1. Shanghai Ocean University, National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Universities Key Laboratory of Marine Animal Taxonomy and Evolution, Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai 201306; 2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266071; 3. Shandong Blue Ocean Science and Technology Co. Ltd., Yantai 261413)

Abstract Bioturbation is important for biogeochemical processes of sediments. The associations between bioturbation and changes in sediment environment have been well studied. However, little information is available regarding the behavior of the infauna, which is a major factor affecting sediments. In the present study, sediments at the low, middle, and high tidal zones were collected at different depths (above 10 cm: sediments 1#, 2#, and 3#; below 60 cm: sediments 4#, 5#, and 6#) from the natural habitat of *Perinereis aibuhitensis* Grube to study their choice behavior in two devices (I and II). The contents of organic matter, carbon, nitrogen, and hydrogen sulfide in different sediment types were also examined. In device I, there was no difference in organic matter contents across different sediments ($P>0.05$). Carbon contents in sediments 1# and 4# were significantly higher than those in sediment 2# ($P<0.05$). The nitrogen content in sediment 4# was significantly higher than those in sediments 2# and 6# ($P<0.05$). The contents of hydrogen sulfide significantly differed across different sediments ($P<0.05$). Hydrogen sulfide concentration in the pore water of sediment 1# was significantly higher than those of other sediments ($P<0.05$). Two-way analysis of variance showed that different *P. aibuhitensis* sizes and sediment types had no significant effects on the choice behavior of *P. aibuhitensis* ($P>0.05$). Size affected the time to search for different sediments ($P<0.05$), while sediment type showed no effect on search time ($P>0.05$). In device II, the content of organic matter in sediment 6# was significantly higher than those of sediments 1# and 2# ($P<0.05$). The contents of carbon and nitrogen in sediment 6# were significantly higher than those in other sediments ($P<0.05$). The content of hydrogen sulfide in sediment 2# was significantly higher than that in other sediments ($P<0.05$), and hydrogen sulfide concentrations in pore water significantly differed among different sediments ($P<0.05$). Two-way analysis of variance showed that different *P. aibuhitensis* sizes and sediment types significantly affected the movement distance of *P. aibuhitensis* ($P<0.05$). Moreover, small *P. aibuhitensis* were more active and sensitive and preferred sediments with lower hydrogen sulfide content. When *P. aibuhitensis* drilled inside the sediment, they tended to choose sediments with lower organic matter content. In general, *P. aibuhitensis* exhibited a slight selectivity for different natural sediment types.

Key words *Pernereis aibuhitensis*; Choice behavior; Sediment

① Corresponding author: FANG Jinghui, E-mail: hui861@163.com