

刺参对不同生境中沉积物粒度的选择

赵 鹏^{1,2}, 杨红生¹

(1.中国科学院 海洋研究所 海洋生态与环境重点实验室, 山东 青岛 266071; 2.中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 2009年5月26日~6月16日采集日照前三岛海域(90.67 g±23.542 g)、青岛胶州湾海域(53.96 g±14.742 g)、烟台养殖围堰(82.99 g±32.942 g)的刺参(*Apostichopus japonicus*)。使用CILAS 940L型激光粒度仪对刺参肠道内含物及自然沉积物的粒度进行分析。结果表明,野外调查中,刺参肠道内含物与表层沉积物的粒度有显著差异。刺参摄食的颗粒中,90%以上的颗粒粒径为1~80 μm。刺参对沉积物颗粒粒度的选择在不同养殖系统中没有差异。正常生长阶段,刺参成体摄食的颗粒大小与刺参的体质量呈负相关。

关键词: 刺参(*Apostichopus japonicus*); 粒度选择性; 分布; 摄食

中图分类号: Q959.269

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2010)04-0011-06

仿刺参(*Apostichopus japonicus*), 也称刺参, 属棘皮动物门(Echinodermata), 海参纲(Holothuroidea), 楯手目(Aspidochirotida), 刺参科(Stichopodidae)。主要分布于北太平洋沿岸浅海, 多栖息于岩礁、乱石或沙泥底, 伴有大型藻类丛生和大叶藻繁茂的平静海区^[1]。在东亚地区, 刺参是经济价值很高的海水养殖对象^[2]。

楯手目海参摄食沉积物, 食物主要由无机物、有机碎屑、微生物、粪便组成^[3]。这些物质主要以微粒的形式被摄食。相关研究表明, 海参纲部分生物对食物的粒度具有选择性。某些海参倾向于摄食粒度较小的沉积物^[4], 而另一些种类选择摄食较大颗粒的沉积物, 也有报道指出某些种类的摄食无粒度选择性^[5, 6]。此外海参在沉积物上的斑块分布也与沉积物粒度有关。国内外对刺参粒度选择性的相关研究较少。研究刺参对沉积物粒度的选择性, 有助于进一步认识刺参摄食和分布机制, 寻找适合的养殖场所、设计合理的养殖模式。

刺参也被认为是一种潜在的生物修复物种^[7]。生物修复是指利用自然界中某些生物对污染物的吸收、积累、降解、转移和转化等作用, 减少或消除环境污染, 恢复或重建受损生态系统的过程^[7]。刺参的摄食和排粪影响微生物群落结构, 进而降低沉积物粒度和有机物含量^[8]。研究刺参对沉积物的粒度选择性有助于了解刺参在底栖生态系统物质循环中的作用, 建立合理有效的生境修复模式。

本研究选择养殖池塘、外海岛屿和浅海海湾的刺参, 比较肠道内含物及自然沉积物的粒度, 研究刺参摄食对沉积物粒度的选择性。同时比较自然海区中有、无刺参分布的沉积物斑块的粒度, 揭示刺参分布与沉积物粒度之间的关系。

1 材料与方法

1.1 肠道内含物及沉积物粒度分析

2009年5月26日~6月16日, 分别采集日照前三岛海域、青岛胶州湾海域、烟台养殖围堰等不同地点刺参及沉积物样品(图1)。日照前三岛海域是外海岛屿刺参自然分布区; 青岛胶州湾海域是淤泥质浅海海湾, 目前底播养殖刺参; 烟台围堰属海岸带滩涂围堰, 目前底播养殖刺参。每个地点不同站位采集4组刺参, 每组3头, 称湿质量, 结果见表1; 使用直径2 cm的柱状采泥器采集每头刺参口下方1 cm厚的表层沉积物。在日照前三岛海域无刺参分布的区域内使用柱状采泥器采集6个站位表层自然沉积物样品。

收稿日期: 2009-08-23; 修回日期: 2009-11-22

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD09A02); 国家 863 计划项目(2006AA10A411); 国家海洋局海洋公益性重点项目(200805069); 创新研究群体科学基金项目(40821004)

作者简介: 赵鹏(1983-), 男, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 主要从事养殖环境的生物修复研究, 电话: 0532-82898705, E-mail: zp-zp@163.com; 杨红生, 通信作者, E-mail: hshyang@126.com

-45℃冷冻干燥刺参肠道内容物和沉积物样品。使用 CILAS 940L 型激光粒度仪分析沉积物粒度, 获得-1~12 ϕ (0.3~2 000 μm)范围内 0.25 ϕ 间隔的粒度

分布。测样前向样品中加入 0.5 mol/L 的六偏磷酸钠 $[\text{NaPO}_3]_6$ 分散剂 5 mL 并超声波振荡分散。对粒径大于 1 430 μm 的颗粒称质量, 计算其百分比。

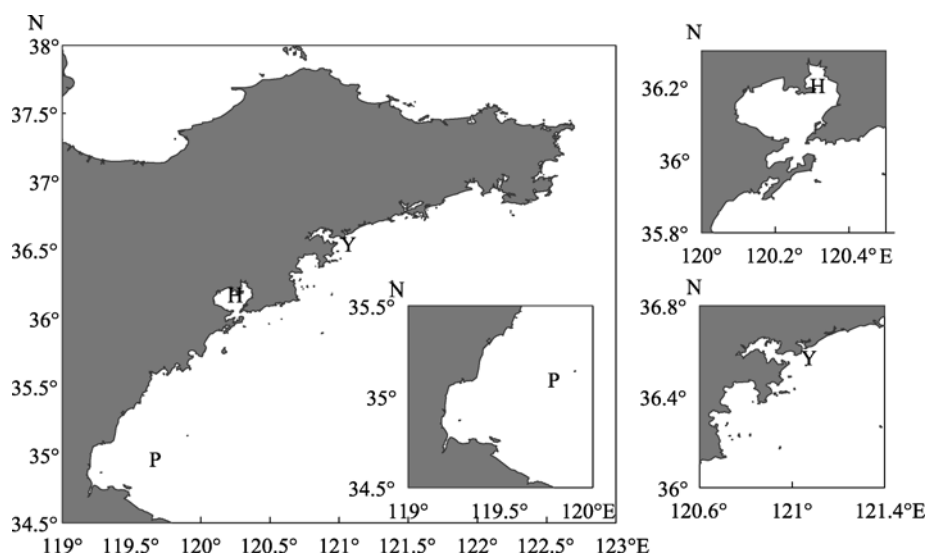


图 1 采样点位置图

Fig.1 The map of study sites

P. 日照前三岛(35°08.268'N, 119°54.389'E); H. 青岛胶州湾(36°10.956'N, 120°18.785'E); Y. 烟台养殖围堰(36°35.315'N, 120°57.845'E)

P. Qiansandao Island in Rizhao(35°08.268'N, 119°54.389'E); H. Jiaozhou Bay in Qingdao(36°10.956'N, 120°18.785'E); Y. a Culture pond in Yantai(36°35.315'N, 120°57.845'E)

表 1 刺参的湿体质量

Tab.1 Wet weights and sampling numbers of sea cucumbers

采样点	湿体质量 (g)	采样数量(头)
日照前三岛	90.67±23.542	12
青岛胶州湾	53.96±14.742	12
烟台养殖围堰	82.99±32.942	12
统计	75.87±28.99(平均)	36(总计)

1.2 数据分析

使用 SPSS 16 统计软件对肠道内容物与沉积物粒度百分含量进行 *t* 检验, 对肠道内容物、有或无刺参分布的沉积物粒度进行单因素方差分析, 对刺参体质量、不同养殖系统的沉积物粒度和肠道内容物粒度进行 Pearson 相关性检验。以 0.05 作为差异显著性水平。数据以平均数±标准差表示。

2 结果

2.1 肠道内含物与沉积物之间粒径分布的比较

在青岛胶州湾海域(图 2), 肠道内含物与自然沉

积物的相比, 相同粒径范围在肠道内含物和沉积物之间的差异均不显著($P>0.05$), 粒度分布的趋势一致。肠道内含物中, 粒径 1~5 μm 之间的颗粒所占比例最大, 为 40.57%; 1~40 μm 颗粒占总体的 92.89%。

在烟台养殖围堰(图 3), 肠道内含物与沉积物的相比, 除 20~40 μm 的颗粒外, 相同粒度的颗粒占总体的比例在肠道内含物和沉积物之间的差异显著($P<0.05$), 其中 10~20 μm 和大于 80 μm 颗粒的粒度占总体的比例差异极显著($P<0.01$)。肠道内含物中, 粒径小于 40 μm 的颗粒所占的比例高于自然沉积物, 粒径大于 40 μm 的颗粒所占的比例低于自然沉积物。肠道内含物中, 粒径在 1~5 μm 的颗粒占 22.54%; 40~80 μm 的颗粒占 33.06%。

在日照前三岛海域(图 4), 除 40~100 μm 的颗粒外, 相同粒度的颗粒占总体的比例在肠道内含物和自然沉积物之间差异极显著($P<0.01$)。肠道内含物中, 粒径小于 80 μm 的颗粒所占的比例高于自然沉积物, 粒径大于 80 μm 所占的颗粒的比例低于自然沉积物。肠道内含物中, 粒径为 1~5 μm 的颗粒所占的比例最大, 为 27.93%; 1~80 μm 的颗粒占 91.28%; 140~250 μm 的颗粒占 0.28%。

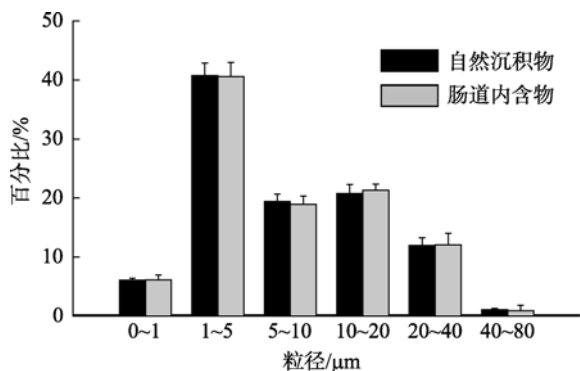


图 2 青岛胶州湾海域刺参肠道内含物与自然沉积物粒度的比较

Fig. 2 Particle size comparison between sea cucumber gut contents and the natural sediments from the Jiaozhou Bay, Qingdao

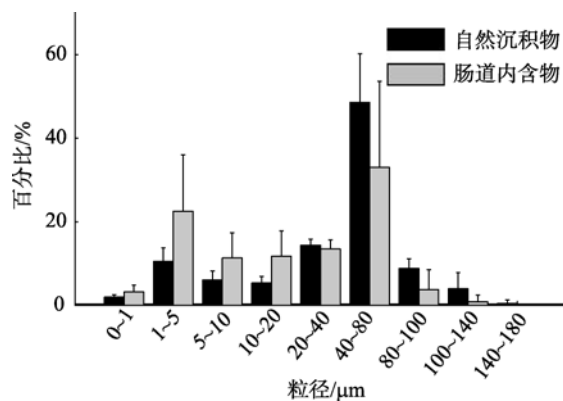


图 3 烟台养殖围堰刺参肠道内含物与自然沉积物粒度的比较

Fig.3 Particle size comparison between sea cucumber gut contents and the natural sediments from a culture pond at Yantai

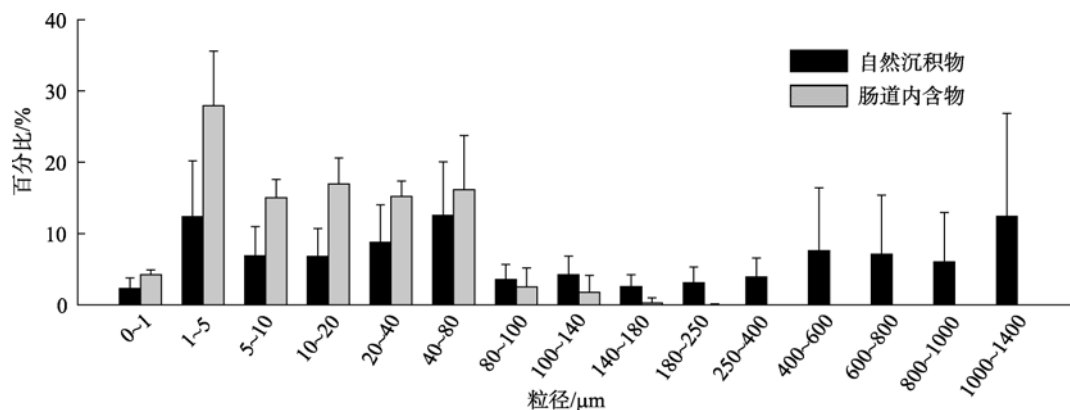


图 4 日照前三岛刺参肠道内含物与自然沉积物的粒度比较

Fig. 4 Particle size comparison between sea cucumber gut contents and the natural sediments from Qiansandao Island at Rihao

胶州湾海域采集的刺参肠道内含物中没有粒径大于 1 430 μm 的颗粒。在烟台养殖围堰中只有一头刺参肠道内含物有 0.3% 的颗粒粒径大于 1 430 μm 。在日照前三岛海域, 粒径大于 1 430 μm 的颗粒刺参肠道内含物占 1.71%。

野外调查表明, 刺参肠道内含物与表层沉积物的粒度有明显差异。刺参肠道内含物中 90% 以上的颗粒的粒径为 1~80 μm (图 5)。随着自然沉积物粒度在不同生境中逐渐变粗, 刺参肠道内含物与表层沉积物粒度的差异逐渐显著。所调查的刺参肠道内含

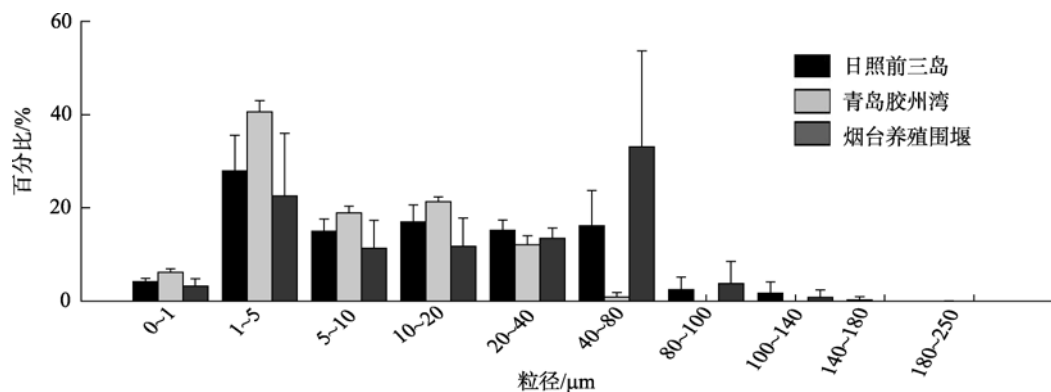


图 5 不同生境刺参肠道内含物粒度的比较

Fig. 5 Particle size comparison among the gut contents of sea cucumbers from different habitats

物中未发现粒径大于 2 000 μm 的颗粒。

2.2 自然沉积物粒度与刺参分布

日照前三岛海域(表 2), 有刺参栖息的沉积物斑块上, 沉积物以极粗砂和砾石、粉砂为主, 所占比例为 38.91%和 22.92%; 细砂和粗砂的比例为 12.68%和 12.48%。而无刺参栖息的沉积物斑块上, 沉积物以粉砂、细砂、中砂为主, 所占比例分别为 40.72%、26.37%和 15.09%。有刺参分布的沉积物斑块上的粉砂、细砂、中砂的比例显著小于无刺参分布的沉积物斑块($P<0.05$); 而粗砂、极粗砂和砾石的比例显著高于无刺参分布的沉积物斑块($P<0.05$)。

对比刺参肠道内含物与两种沉积物, 刺参肠道内含物主要由粉砂和粗黏土组成, 所占比例分别为 61.88%和 23.40%。刺参肠道内含物中细黏土、粗黏土和粉砂的比例显著高于有刺参分布的沉积物斑块($P<0.05$), 而细砂、中砂、粗砂、极粗砂和砾石的比例显著低于有刺参分布的沉积物斑块($P<0.05$)。刺参肠道内含物中细黏土、粗黏土和粉砂的比例显著高于无刺参分布的沉积物斑块($P<0.05$); 细砂、中砂的比例显著低于无刺参分布的沉积物斑块($P<0.05$); 粗砂、极粗砂和砾石的比例与无刺参分布的沉积物斑块没有显著差异($P>0.05$)。

表 2 刺参肠道、有刺参分布和无刺参分布的斑块上的沉积物粒级比较

Tab. 2 Particle classification comparison among gut contents, habitats and non-habitats

	细黏土 (%, < 1 μm)	粗黏土 (%, 1~4 μm)	粉砂 (%, 4~63 μm)	细砂 (%, 63~250 μm)	中砂 (%, 250~500 μm)	粗砂 (%, 500~1000 μm)	极粗砂和砾石 (%, > 1 000 μm)
肠道内含物	0.04 \pm 0.62 ^a	23.40 \pm 7.05 ^a	61.88 \pm 2.73 ^a	8.87 \pm 8.16 ^b	0.00 \pm 0.00 ^b	0.00 \pm 0.00 ^b	1.71 \pm 2.21 ^b
有刺参的斑块	1.59 \pm 1.15 ^b	6.95 \pm 4.98 ^b	22.92 \pm 15.61 ^c	12.68 \pm 9.81 ^b	4.47 \pm 2.76 ^b	12.48 \pm 14.54 ^a	38.91 \pm 19.15 ^a
无刺参的斑块	1.63 \pm 0.58 ^b	12.13 \pm 1.98 ^b	40.72 \pm 2.23 ^b	26.37 \pm 14.38 ^a	15.10 \pm 11.36 ^a	0.00 \pm 0.00 ^b	4.04 \pm 2.37 ^b

注: 不同字母表示处理间的差异显著($P<0.05$); 粒级分类引自 GB/T 12763.8-2007

2.3 粒度的中值与刺参体质量、环境的相关性

对 3 个海区刺参肠道内含物中值粒度与刺参体质量、养殖系统沉积物粒度中值所做的相关性分析表明, 肠道内含物中值粒度与刺参体质量呈明显的负相关($P=0.017$), Pearson 相关系数为 -0.395; 与不同养殖系统沉积物粒度中值的相关性不显著($P=0.247$)。

3 讨论

3.1 刺参对沉积物粒度的选择

野外调查表明, 刺参摄食的沉积物的粒度与自然沉积物存在明显差异。刺参倾向于选择 1~80 μm 的颗粒, 刺参对大于 80 μm 的颗粒倾向于不选择, 刺参不选择大于 2 000 μm 的颗粒。在粒度小于 63 μm 的胶州湾淤泥质海区, 由于自然沉积物颗粒较小, 刺参肠道内含物与沉积物的粒度分布一致, 刺参对沉积物粒度的选择性不明显。而在养殖围堰内和日照前三岛周围, 随着沉积物的粒度变粗, 刺参对沉积物的粒度的选择性逐渐明显。刺参肠道内含物粒度的最大值受自然沉积物粒度的影响, 随自然沉积物变粗而增大。但从相关性分析看, 刺参肠道内含物

与自然沉积物的粒度中值并相关性不显著。这一方面可能是由于刺参对沉积物粒度具有选择性, 选择能力不易受生境的沉积物粒度的影响; 另一方面可能是由于海参更容易获得某一粒度的沉积物。一些学者通过野外调查认为海参纲生物存在着粒度选择性。对刺参科的研究表明, 大多数种类对沉积物粒度或有机物组成有选择性, 有的种类对二者均有选择性^[6]。如生活在泥沙底的 *Stichopus tremulus* 选择摄食较大颗粒的沉积物^[10]; *S. variegatus* 与和它共处同一生境的其他 3 种海参相比对粒度具有选择性^[11]; *S. chloronotus* 选择粒径在 250 μm 左右的颗粒。辛那参科海参 *Mesothuria intestinalis* 倾向于摄食较细沉积物^[12]。其他一些种类如 *Isostichopus badionotus* 和许多海参科海参如 *Holothuria mexicana* 等的摄食没有粒度选择性^[7]。同为棘皮动物的海胆也存在着对食物粒度的选择。

3.2 沉积物粒度与刺参分布

生境选择性是指生物主动从异质环境中选择适宜的沉积物斑块。海参在自然海区经常呈斑块分布。沉积物的粒度差异产生不同的生态位和食物斑块, 海参对沉积物粒度的选择性实际上反映出其对特定微生境的斑块选择性, 刺参科的 *S. chloronotus* 和

S.variegatus 对底栖微藻含量高的生境具有明显的选择性^[13]。本研究中,日照前三岛海域是刺参的自然栖息地,对这里刺参生境斑块所做的研究表明,虽然刺参选择摄食粒径在1~80 μm 的黏土、粉砂、细砂,但刺参倾向于分布粗砂、极粗砂和砾石比例高的海底,而不分布在以粉砂、细砂和中砂为主的海底。刺参食物的粒度与其分布区的粒度存在明显的差异。刺参不分布与其食物粒度相近、粒级较细的沉积物表面,而分布在粒度与其食物差异明显的较粗的沉积物上。这可能是由于刺参运动时,管足需要吸附颗粒物表面来完成运动过程,而过细的颗粒不能提供足够的表面积供管足吸附,致使刺参行动困难。其他海参也有类似的分布特征,由于在不稳定的软泥上行运动困难, *I.badionotus* 分布在底质条件稳定的岩礁区,而在软泥上没有分布^[5]。与细与中等粒度的沉积物相比,红海的 *H. atra*, *Bohadschia marmorata* 和 *H.leucospilota* 更愿意在粗糙的沉积物上摄食^[14]。

3.3 粒度选择性与刺参体质量

海参成体倾向于摄食更细的沉积物以满足生长、性腺发育和产卵的需求;而中等个体的海参则倾向于摄食较粗的沉积物。在繁殖季节,海参摄食更细的沉积物^[15]。一些海参对小颗粒沉积物的摄食偏好很可能是因为食物随粒径减小而呈指数增长^[16]。本研究中,刺参肠道内含物粒度的中值与刺参体质量呈明显的负相关。考虑到所研究刺参的体质量为75.87g \pm 28.99g,属刺参成体,这种相关性可解释为个体大的刺参为满足性腺发育和生殖的需要,倾向于摄食有机物含量丰富的细颗粒。

致谢: 中国科学院海洋研究所激光粒度室王红莉老师对样品的测定进行了指导,养殖生态与环境调控实验室王清博士研究生对数据处理和分析提供了宝贵建议,在此一并感谢。

参考文献:

- [1] 廖玉麟. 中国动物志 海参纲[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 148-150.
- [2] Yang H S, Yuan X T, Zhou Y, *et al.* Feeding and growth on bivalve biodeposits by the deposit feeder *Stichopus japonicus* Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) co-cultured in lantern nets [J]. **Aquaculture Research**, 2005, 36:1 085-1 092.
- [3] Moriarty D J. Feeding of *Holothuria atra* and *Stanhope chloronotus* on bacteria, organic carbon and organic nitrogen in sediments of the Great Barrier Reef [J]. **Australian Journal of Marine and Freshwater Resources**, 1982, 33: 255-263.
- [4] Yingst J Y. The utilization of organic matter in shallow marine sediments by an epibenthic deposit-feeding holothurian [J]. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 1976, 23: 55-69.
- [5] Sloan N A. Distribution and feeding of the sea cucumber *Isostichopus badionotus* in relation to shelter and sediment criteria of the bermuda platform [J]. **Marine Ecology Progress Series**, 1980, 2: 257-264.
- [6] Hammond L S. Analysis of grain-size selection by deposit-feeding Holothurians and Echinoids (Echinodermata) from a Shallow Reef Lagoon, Discovery Bay, Jamaica [J]. **Marine Ecology Progress Series**, 1982, 8: 25-36.
- [7] Zhou Y, Yang H S, Liu S L, *et al.* Feeding on biodeposits of bivalves by the sea cucumber *Stichopus japonicus* Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) and a suspension co-culture of filter-feeding bivalves with deposit feeders in lantern nets from long lines [J]. **Aquaculture**, 2006, 256: 510-520.
- [8] Jumars P A, Self R F. Gut-maker and gut-fullness methods for estimating field and laboratory effects of sediments transport on ingestion rates of deposit-feeders [J]. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 1986, 98(3): 293-310.
- [9] 国家海洋局. 海洋调查规范: 海洋地质地球物理调查对粒度分级[s]. GB/T12763.8-2007
- [10] Hauksson E. Feeding biology of *Stichopus tremulus*, a deposit-feeding holothurian [J]. **Sarsia**, 1979, 64: 155-160.
- [11] Roberts D. Deposit-feeding mechanisms and resource partitioning in tropical holothurians [J]. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 1979, 37: 43-56.
- [12] Ian R, Hudson Benjamin D, Wigham M S, *et al.* Feeding behaviour of deep-sea dwelling holothurians: Inferences from a laboratory investigation of shallow fjordic species [J]. **Journal of Marine Systems**, 2005, 57: 201-218.
- [13] Uthicke S, Karez R. Sediment patch selectivity in tropical sea cucumbers (Holothuroidea: Aspidochirotida) analysed with multiple choice experiments [J]. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 1999, 236(1): 69-87.
- [14] Mahmud A D. Holothurians role in the marine sediments reworking processes [J]. **Sedimentology of Egypt**, 2004, 12: 173-183.
- [15] Mahmud A D. The feeding selectivity and ecological

role of shallow water holothurians in the Red Sea [J].
SPC Beche-de-mer Information Bulletin, 2006, 24:
 11-21.

[16] Hylleberg J. Selective feeding by *Abarenicola pacifica*
 with notes on *Abarenicola vagabunda* and a concept of
 gardening in lugworms [J]. **Ophelia**, 1975, 14: 113-137.

Selectivity of particle size by sea cucumber *Apostichopus japonicus* in different culture systems

ZHAO Peng^{1,2}, YANG Hong-sheng¹

(1.Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Oceanology of Institute, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2.Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: Aug., 23, 2009

Key words: *Apostichopus japonicus*; particle selectivity; distribution; feeding

Abstract: During May 26th 2009 to June 16th 2009, *Apostichopus japonicus* were collected from the Jiaozhou Bay at Qingdao(53.96 g ±14.742 g), culture pond at Yantai(82.99 g ±32.942 g), and Qiansandao at Rizhao(90.67 g ±23.542 g). Particle sizes of the gut contents and the natural sediments were analyzed and compared by using CILAS 940L Laser Particle Size Analyzer. The results revealed that *A. japonicus* showed obvious selectivity towards different sizes of particles. Of the particles ingested by *A. japonicus*, the diameters of 90 percent of the particles were between 1~80 μm. There was no obviously different selectivity in different habitats. To adult sea cucumbers, the mid-value of particle sizes in gut contents was negatively correlated with the body weight.

(本文编辑: 梁德海)

《海洋科学》杂志 2010 年征订启事

《海洋科学》是由中国科学院海洋研究所主办、科学出版社出版的学术性期刊，是中国自然科学核心期刊、华东地区优秀期刊、山东省优秀期刊。本刊以密切联系生产实际、服务于我国现代化建设为宗旨，及时、快速报道海洋学及其分支学科的新成果、新理论、新观点、新工艺及新进展等，对重大科研和应用性研究成果特别予以优先报道。主要刊载内容有：海洋生物、海洋水产生产、海洋活性物质提取、海洋环境保护、海洋物理、物理海洋、海洋地质、海洋化学、海洋工程、海洋仪器研制等方面的学术论文、研究报告、研究简报、专题综述、学术讨论和争鸣、学术动态以及新产品介绍（有偿刊登）等。

本刊为月刊，每月 9 日出版，大 16 开本，96 页，每期定价 30 元，全年定价 360 元。本刊国内外公开发行（国际刊号：ISSN1000-3096；国内刊号：CN37-1151/P；国内邮发代码：2-655；国外发行代号：M6666）。全国各地邮局均可订阅。欢迎各科研机构、高等院校、生产厂家和从事该领域研究的科技人员踊跃订阅。邮局订阅不便者可直接向本刊编辑部订购。本刊发行量在同类期刊中名列前茅，订户遍及全国 20 多个省、市、自治区，影响面广，宣传力大，欢迎广大的广告客户在本刊刊登广告，价格优惠。

欢迎订阅《海洋科学》 欢迎广告惠顾

《海洋科学》编辑部地址：山东省青岛市南海路 7 号，266071

电话及传真：0532-82898755

E-mail：pxzhang@qdio.ac.cn