烟台港海域水生生态污染研究*

孙万龙[1] 高昊东[1] 孙志高[2,3]

(1 中国农业大学，烟台 264670；2 中国科学院烟台海岸带研究所 滨海湿地生态实验室，烟台 264003；3 厦门大学 近海海洋环境科学国家重点实验室，厦门 361005)

摘要 通过海水采样和底泥采样，研究烟台港内外的海水和底泥中水生生物的种类和数量变化，以评价烟台港海域水生生物受人类活动影响的程度。本次调查共得到浮游植物20种；浮游动物17种；生物多样性方面，港内（1.3）低于港外（1.6），另外，在均匀度、丰富度等方面，港内水质和港外水质相比也有所差距。这些表明近年来烟台港的快速发展，已对此处海域生态系统产生了一定影响。

关键词 烟台港 浮游生物 水质 污染调查

烟台港地理坐标为（121°23'46.9" E，37°32'51.8" N），位于山东半岛北侧芝罘湾内，隔海与辽东半岛相望。港北有芝罘岛与市区相连，相成天然屏障。港区水域面积867.4 km^2，水深域阔，不冻不淤。自然条件的优越性使烟台港成为我国沿海主要港口。

浮游生物和底栖动物是海洋生态系统的重要组成部分、食物链的基础环节，其组成与多样性变化将直接影响生态系统的结构和功能，其群落的种类组成、数量分布和多样性等群落结构特征是评价水环境质量的重要标准，可以反映环境污染状况。因此，利用生物监测评

*基金项目：中国科学院烟台海岸带所前沿领域项目（HJ0810BX-047）；中国科学院知识创新工程重要方向项目（KZCX2-YW223）；厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室高级访问学者基金（MELRS0918）和国家自然科学基金项目（40803023）资助。

收稿日期：2010-05-11

3.3 鱼苗池塘中间培育效果

棕点石斑鱼苗中间培育多选用陆上水泥池。陆上水泥池标粗鱼苗，具有管理操作方便，容易采取措施预防病害等优点。但是，池塘网箱标粗鱼苗与陆上水泥池相比，具有如下优点：1）水温较高且波动小适宜幼鱼生长；2）饵料营养丰富，除人工投喂的饵料之外，幼鱼早期还可摄食水体中的桡足类；3）幼鱼适应性强，幼鱼生长于池塘大水体的生态环境中，对环境变化适应性强，培育出的鱼苗非常适合作为池塘养殖和海上网箱养殖的苗种。

3.4 育苗过程中的3个危险期及其应对措施

棕点石斑鱼在池塘育苗过程中存在3个危险期，第1个危险期：初孵仔鱼从内源性营养向外源性营养的转变时期，该期很短，仅2～3天。此期初孵仔鱼死亡率高。第2个危险期：主要发生在后期仔鱼的变态期，此期仔鱼的内部器官和外部形态进一步发育。从18日龄开始死亡率逐渐增加，到22日龄死亡率达到高峰。第3个危险期：主要发生在体长4～5 cm幼鱼段时期，此期的主要特征是鱼苗个体大小相差较大时，出现大苗吃小苗和相近规格的鱼苗因相互吞食而同归于尽的现象。应对措施：第1个危险期购买优质和精选上浮的受精卵，投喂与其个体大小相适应和营养丰富的开口饵料。第2个危险期应保持良好水质并提供数量充足和营养丰富的动物性饵料。第3个危险期：应投喂数量充足的饵料，避免出现饥饿状态；及时筛苗，使培育网箱中鱼苗规格较为一致，从而减少相互残杀造成死亡。

参考文献

1 王建钢，乔振国，何启惠．棕点石斑鱼人工育苗技术研究[J]．科学养鱼，2008(7)：25～26

2 朱海，陈傅晓．棕点石斑鱼水泥池标粗技术[J]．科学养鱼，2009(1)：22～24

3 王胜，刘永坚等．斜带石斑仔鱼不同饵料的营养分析及其对生长和鱼体脂肪酸组成的影响[J]．中山大学学报(自然科学版)，2003，12(42)：210～213

4 谢忠明．牙鲆、石斑鱼养殖技术[M]．北京：中国农业出版社，1999

5 史海东，辛俭，毛国民等．斜带石斑鱼人工育苗技术的初步研究[J]．浙江海洋学院学报，2004，23(1)：19～23

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

价水质污染已在国内外被广泛采用并卓有成效。为了研究港口建设给近岸海域水生生态环境带来的影响，2009年7月选择了港口内5个有代表性的地点，研究距离海岸不同处海水和底泥中水生生物的种类和数量的差异。

1 采样点的设置

在烟台港港内及港外选择5个水生生物监测样点，港内3个点，分别在近岸处、港内中部、出港处，这3个点可以从不同的位置反映港内水质的情况，最后平均起来可以在空间上得到港内的总体水质水平；另外2个点设在港外，分别距烟台港500 m和1 000 m，这2个点的设置是为了得到数据以便和港内的水质进行比较，从而从另一个角度反映烟台港的水质生态状况。

2 研究方法

2.1 浮游植物

浮游植物采用浅水Ⅲ型浮游生物网（网口直径42 cm，网长140 cm，JP80号筛绢），采集水面以下9 m的植物样品，采集到的水样立即加入5%甲醛，用量为水样量的1.5%。水样带回实验室后，经24小时沉淀，用虹吸法吸去上清液，浓缩至30 ml，用于定性和定量样品。

浮游植物的定量计算采用显微镜视野法进行计数，用0.1 ml计数框，面积为20 mm×20 mm，计数时将样品摇匀，用吸管在样品中央部位吸出样品注入计数框内，盖上盖玻片，然后在200倍显微镜视野面积计数浮游植物细胞数，每片计数100个视野，每个样品计数2次取平均值，每次计数结果与其平均值之差应不大于±15%，计数结果按下式换算成每升水中浮游植物的数量：

$$N=(A/Ac)\times(Vw/V)/n$$

式中，N为水中浮游植物数量（L^{-1}）；A为计数框面积（mm^2）；Ac为计算面积（mm^2），即视野面积×视野数；Vw为每升水样经沉淀浓缩后的样品体积（ml）；V为计数框的体积（mm^3）；n为计数所得浮游植物个体数或细胞数（L^{-1}）。

2.2 浮游动物

浮游动物采用浅水II型浮游生物网（网口直径31 cm，网长140 cm，JP36号筛绢），于各站位自海底至水面垂直拖网，标本用5%甲醛固定带回实验室。原生动物和轮虫的计数方法是将样品摇匀，吸取0.1 ml样品，置于0.1 ml计数框内，盖上盖玻片在200倍显微镜下进行全片计数，每个样品计数2次取平均值，再换算成每升水样中的数量。桡足类及浮游动物幼虫幼体计数采用40倍放大镜进行全部计数，乘以浓缩倍数即为每升水样的个体数目。

2.3 底栖动物

大型底栖生物调查与浮游生物站位相同，设5个站位，调查时以2浬/小时的均匀船速带动阿氏拖网取样15分钟（网口宽度1.5 m），同时采底泥进行底内生物分析。标本处理依据《海洋调查规范》之底栖生物标本处理，从而推算出水底每平方米内的底栖动物数量（个）和生物量（g）。

应用Shannon-Winner多样性指数公式计算出海区底栖生物、浮游动物；

多样性指数（H）：$H=-\sum_{i=1}^{S}\frac{N_i}{N}\log_2\frac{N_i}{N}$

其中：H—多样性指数；N_i—第i种的个数；N—总个体数；S—样品中动物的种数。

均匀度指数（J）：$J=H/\log_2 S$

式中：H为shannon-winner多样性指数；S为种数。

3 结果与分析

3.1 浮游植物

3.1.1 浮游植物种类组成及数量分布 1号站点，共鉴定出浮游藻类13种，分别隶属硅藻门、甲藻门。浮游植物总量为1 369.2×10^5个/m^3，其中以中肋骨条藻（*Skeletonema costatum*）为优势种，生物量为1 265.7×10^5个/m^3，占总生物量的92.4%。其次为丹麦细柱藻，其生物量94.0×10^5个/m^3，占浮游植物总量的6.9%。

2号站点，共鉴定出浮游藻类15种，分别隶属于硅藻门、甲藻门。浮游植物总量为341.2×10^5个/m^3，其中以中肋骨条藻为优势种，生物量在266.1×10^5个/m^3，占总生物量的78.0%。其次为丹麦细柱藻，其生物量68.6×10^5个/m^3，占浮游植物生物总量的20.1%。

3号站点，共鉴定出浮游藻类15种，分别隶属于硅藻门、甲藻门。浮游植物总量为945.3×10^5个/m^3，其中以中肋骨条藻为优势种，生物量在657.6×10^5个/m^3，占总生物量的69.6%。其次为丹麦细柱藻（*Loptocylindrus danicus*），其生物量为240.0×10^5个/m^3，占浮游植物生物总量的25.4%。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4号站点，共鉴定出浮游藻类12种，分别隶属于硅藻门、甲藻门。浮游植物总量为187.7×10^5个/m^3，其中以中肋骨条藻为优势种，生物量在144.0×10^5个/m^3，占总生物量的76.7%，其次为丹麦细柱藻，其生物量为37.0×10^5个/m^3，占浮游植物生物总量的19.7%。

5号站点，共鉴定出浮游藻类14种，分别隶属于硅藻门、甲藻门。浮游植物总量为261.2×10^5个/m^3，其中以中肋骨条藻为优势种，生物量在202.3×10^5个/m^3，占总生物量的77.5%。其次为丹麦细柱藻，其生物量为52.4×10^5个/m^3，占浮游植物生物总量的20.1%。（详见图1）

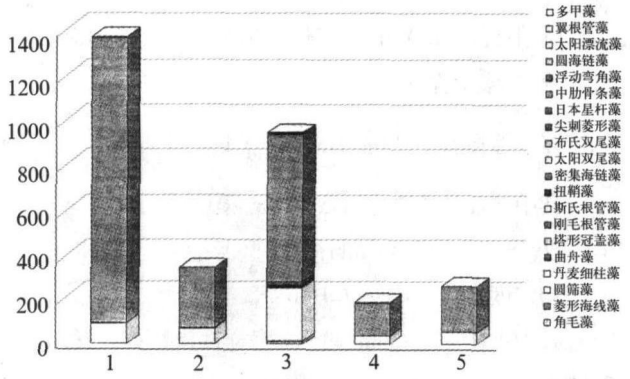

图1 烟台港不同站点浮游植物的种类和数量（$\times10^5$个/m^3）

监测结果表明，烟台港外海域的浮游植物总量在$187.7\times10^5\sim261.2\times10^5$个/m^{3}之间，明显低于港内$341.2\times10^5\sim1\ 369.2\times10^5$个/m^3。由此可知，由于港内人为活动的影响以及海水不能充分运动使港内海水受到污染，促使港内浮游植物数量大增，特别是船只停靠的港内近岸处（1、3号），浮游植物的数量远远超过其他点位，继续下去将有可能引发赤潮，这与相关文献的研究结果一致。

另外，港外的浮游植物物种数和港内浮游物种相比也有所减少，港内除了常见的几种赤潮种类外，还有根管藻、海线藻、菱形藻等，其主要原因是港内海水受到了污染，导致海洋中耐污染种类浮游植物大量增长所致。

3.1.2 浮游植物综合性指标指数分析 生物多样性指数、均匀度、丰富度、优势度等参数分析，是反映调查海域浮游植物群落结构特点的一些重要参考指标，同时也可反映出调查海域生态环境状况的优劣。若样品多样性指数高、均匀度大、丰度值高、优势度低，表明调查海域环境质量好，否则环境质量差。

表1 调查海区浮游植物综合指数统计

站位编号	多样性指数	均匀度指数	丰富度指数	优势度指数
1	0.936	0.253	1.167	0.859
2	1.472	0.371	1.629	0.636
3	1.601	0.447	1.268	0.628
4	1.782	0.456	1.508	0.549
5	1.454	0.382	1.424	0.640
平均	1.449	0.383	1.399	0.662

本评价中，生物群落多样性评价方法采用Shannon-Winner多样性指数公式计算。一般认为，在正常环境下，该指数值应大于1；环境不好或受到污染时，该指数值降低。通过计算结果（表1）可见，本次调查的浮游植物多样性指数值在0.936～1.782之间，平均值为1.449；丰富度数值平均1.399；均匀度数值平均0.383；优势度值平均0.662。总体上看，4号站位的浮游植物多样性指数高、1号站位较低，其余站位的多样性指数值均在平均值左右波动。丰富度、均匀度、优势度等3项因子都在正常范围波动，因此可认为烟台港部分区域已受到轻度污染，环境质量较脆弱。

1号站位的浮游植物多样性指数低，影响其指数偏低的原因主要是该站中肋骨条藻密度较大，生物量为$1\ 265.7\times10^5$个/m^3，占总生物量的92.4%。中肋骨条藻为赤潮指标种。2008年10月20日，烟台赤潮监控区（四十里湾）曾由中肋骨条藻引起赤潮，其面积约9.42 km^2，中肋骨条藻密度范围为$1.88\times10^6\sim2.73\times10^6$个/L。因此烟台港部分区域有潜在发生赤潮的可能。

3.2 浮游动物

3.2.1 浮游动物种类组成及数量分布 1号站点，共鉴定出浮游动物7种，分别属于原生动物门、节肢动物门（枝角类、桡足类）、软体动物门、脊索动物门（被囊动物）、毛颚动物门等无脊椎动物的幼虫，均为我国北方沿海习见种类。浮游动物总量为3.39×10^3个/m^3，其中小型拟哲水蚤（*Paracalarus Parvus*）数量较多，生物量为2.13×10^3个/m^3，占总生物量的62.8%；其次为纺锤水蚤，其生物量为0.5×10^3个/m^3，占总生物量的14.7%。

2号站点，共鉴定出浮游动物6种，分别属于原生动

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

物门、节肢动物门（枝角类、桡足类）、软体动物门、脊索动物门（被囊动物）、毛颚动物门等无脊椎动物的幼虫，均为我国北方沿海习见种类。浮游动物总量为3.00×10^3个/m^3，其中小型拟哲水蚤数量较多，生物量为2.25×10^3个/m^3，占总生物量的75.0%；其次为真刺水蚤，生物量为0.409×10^3个/m^3，占总生物量的13.7%。

3号站点，共鉴定出浮游动物11种，浮游动物总量为45.86×10^3个/m^3，其中奥氏类玲虫数量较多，生物量为22.33×10^3个/m^3，占总生物量的48.68%；其次为根状拟玲虫，生物量为18.98×10^3个/m^3，占总生物量的41.38%。

4号站点，共鉴定出浮游动物3种，浮游动物总量为0.529×10^3个/m^3，其中小型拟哲水蚤数量较多，生物量为0.49×10^3个/m^3，占总生物量的92.5%；其次为长腹剑水蚤，生物量为20个/m^3，占总生物量的3.87%。

5号站点，共鉴定出浮游动物5种，浮游动物总量为0.78×10^3个/m^3，其中小型拟哲水蚤数量较多，生物量为0.635×10^3个/m^3，占总生物量的82.05%；其次真刺水蚤，生物量为91个/m^3，占总生物量的11.67%。

表2 浮游动物的物种种类和数量 （$\times10^2$个/m^3）

	1号	2号	3号	4号	5号
小拟哲水蚤	21.31	22.5	3.73	4.91	6.35
住囊虫	2.51	0	1.633	0	0.30
长腹剑水蚤	2.51	0	0	0.20	0
双克类幼体	2.51	0	0	0	0
纺锤水蚤	5.01	0	0	0	0
强壮箭虫	0.02	0.12	0.10	0	0.05
斑芮氏水母	0.03	0.23	0	0	0.19
夜光虫	0	2.04	0	0	0
真刺水蚤	0	4.09	0.93	0	0.91
沙蚕幼体	0	1.02	0	0	0
杯水母	0	0	0.93	0.18	0
根状拟玲虫	0	0	189.8	0	0
六指幼虫	0	0	3.50	0	0
海蛇尾幼虫	0	0	0.93	0	0
布氏拟玲虫	0	0	0.23	0	0
奥氏类玲虫	0	0	223.33	0	0
网纹虫	0	0	33.50	0	0
生物量	33.9	30	458.6	5.29	7.8

由表2可见，港内和港外的各采样点的数量分布明显不同，其中，港内的浮游动物数量远远大于港外的动物数量，而港内、港外各样点之间也存在差别，这个规律同浮游植物分布相似，港内海域浮游动物的数量比港外海域的数量高。同是近岸测样点，港内靠岸点位（3号）浮游动物数量是港外点位（4号）浮游动物数量的40多倍。从浮游动物数量的增加也说明烟台港的海水受到了一定程度的污染。

3.2.2 浮游动物综合性指标指数分析 生物多样性指数、均匀度、丰富度、优势度等参数分析，是反映调查海域浮游植物群落结构特点的一些重要参考指标，同时也可反映出调查海域生态环境状况的优劣。若样品多样性指数高、均匀度大、丰度值高、优势度低，表明调查海域环境质量好，否则环境质量差。

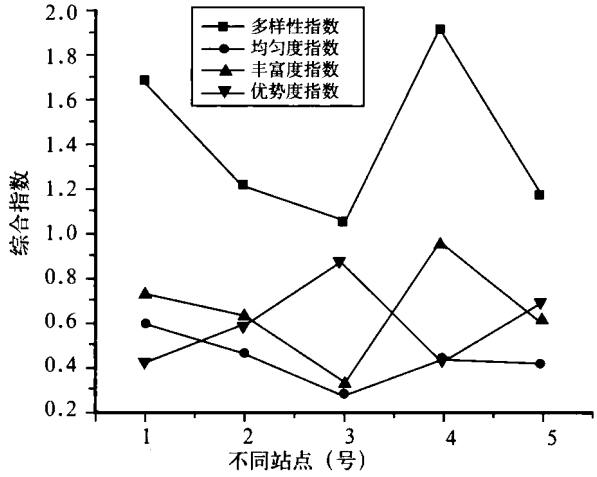

图2 浮游动物综合性指数分析

通过计算结果（图2）可见，本次调查的浮游植物多样性指数值在1.910～1.044之间，平均值为1.403；丰富度数值平均0.643；均匀度数值平均0.441；优势度值平均0.595。总体上看，4号站位的浮游植物多样性指数高、3号站点较低，其余站位的多样性指数值均在平均值左右波动，由此可知，烟台港内水体的污染程度比港外的污染严重。丰富度、均匀度、优势度等3项因子都在正常范围波动，从浮游动物生物群落多样性指数看，烟台港水生生态环境质量基本属于正常。

3.3 大型底栖生物

3.3.1 底栖动物种类及分布 本次调查为夏季，经鉴定共采到大型底栖生物（底内、底上生物）35种，其中棘皮动物7种，软体动物8种，节肢动物9种，多毛类7种，鱼类1种。称重计算平均生物量为4.86 g/m^2，生物量组成上主要为软体动物的紫贻贝和大连湾牡蛎，占总生物量的22.50%，其次为棘皮动物的罗氏海盘车、海燕、沙海星，细雕刻肋海胆等，占总生物量的45.83%，第三为多毛类，占总生物量的16.72%，节肢动物占总生物量的

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

12.92%，其它占总生物量的2.03%。烟台港夏季底栖生物平均密度为65个/m²，以棘皮动物占优势，占总生物密度的54.35%，其次为多毛类占总生物密度的24.50%，第三为软体动物，占总生物密度的15.41%，节肢动物占总生物密度的2.92%，其它占总生物密度的2.82%。

底栖动物以烟台港港外4号站的数量最大，种类也多，而港内站点的底栖动物数量相对较少。这说明烟台港外水质较好，对底栖动物影响小，而港内污水和废物入海使近岸海域受到一定污染，致使某些底栖动物生存受到威胁，不但种类减少而且数量及生物量也有所下降。

3.3.2 底栖动物多样性　根据Shannon-Winner多样性指数公式计算出烟台港夏季的生物多样性指数（见图3）。一般认为多样性指数在1以下为重度污染，1～3为中污染区，3以上为清洁区。经计算该湾生物多样性指数均大于1，在1.06～2.06之间，为中污染区，但港外的多样性明显高于港内。由此表明烟台港水质受到污染，但还不算严重，合理治理会使水质有所提高。

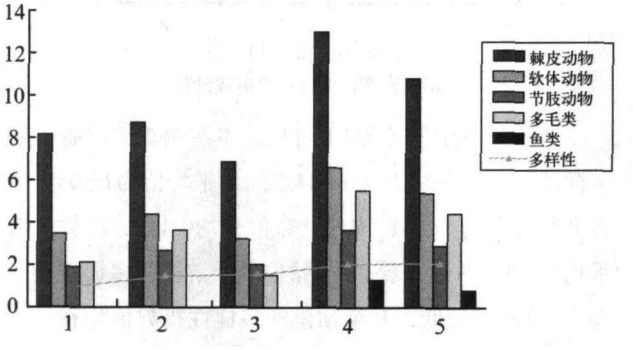

图3 调查海域不同站点底栖动物生物量（g/m²）及多样性指数

4 结 论

4.1 浮游植物

港内浮游植物在数量上远远大于港外，多样性明显偏低，这些数据特征表明港内水质已受到污染，尤其是明显的优势种的存在，使烟台港海域有发生赤潮的可能。

4.2 浮游动物

尽管从多样性、均匀度等指标来看港内水质基本正常，但港内站点监测出的浮游动物数量是港外站点的26.8倍，数量的大幅度增长表明水质受到污染。

4.3 底栖动物

从调查结果来看，底栖动物的种类和数量与相关文献数据比较都有所减少，多样性指数在1.06～2.06，为中污染区。

由于烟台港的快速发展和人类频繁的经济活动的影响，大量未加任何处理的废水及其他污染物直接排海，对烟台港海域生态系统已产生了一定影响，烟台港港内海洋生物数量增加，种类减少，生物多样性降低；特别是由于油污等含有大量有机物营养成分（如氮、磷等），导致港内外近岸海域藻类大量繁殖，在所调查的海域藻类数量均已达到或超过富营养化阀值，如遇到其他合适条件，极易爆发海水赤潮。因此，加强港区管理，采取适当措施对水质进行治理是避免烟台港海域水质污染程度进一步加深的必要举措。

参 考 文 献

1 陈春福．海南省海岸带和海洋资源与环境问题及对策研究[J].海洋通报,2002,21(2):62～68

2 赵安芳,刘瑞芳．水产养殖对水环境的影响与污染控制对策[J].平顶山工学院学报,2003,12(4):15～17

3 熊代群,杜晓明,唐文浩等．海河天津段与河口海域水体氮素分布特征及其与溶解氧的关系[J].环境科学研究,2005,18(3):1～4,9

4 赵章元,孔令辉．渤海海域环境现状及保护对策[J].环境科学研究,2000,13(2):23～27

5 潘英姿,宋福等．海南省近岸海域水生生态污染研究[J].环境科学研究,2007,20(1):58～62

6 金相灿．中国湖泊环境[M].北京:海洋出版社,1995,427～433

7 苏一兵,雷坤,孟伟．陆域活动对渤海海岸带的影响[J].中国水利,2003(6):78～80

8 左涛,王克,王荣．春季南黄海浮游动物群落的多元统计分析[J].水产学报,2003,27(9):108～114

9 顾泳洁,王秀芝,廖祖荷．利用着生生物群落动态变化监测水质的研究[J].华东师范大学学报(自然科学版),4:87～94

10 国家质量技术监督局．海洋监测规范第6部分:海洋生物调查 GB/T 12763-1991[S].北京:中国标准出版社，1992

11 徐兆礼,崔雪森,黄洪亮．北太平洋柔鱼渔场浮游动物数量分布与渔场的关系[J].水产学报,2004,28(5):515～521

12 郑元甲,陈雪忠,程家骅等．东海大陆架生物资源与环境[M].上海:上海科学技术出版社,2003

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

SHANDONG FISHERIES

Vol.27 No.7 2010

ABSTRACTS AND KEY WORDS

Artificial Breeding Experiment of *Epinephelus fuscoguttatus*

Dong Yang *et al* (1)

Abstract In the present study, the fertilized eggs of *Epinephelus fuscoguttatus* were cultured in hatching cases which were set in prawn culture high level ponds. During 2007 to 2008, we had bought 5 kg fertilized eggs for five groups experiment, all together were successfully hatched, 5 935 thousand larvaes were obtained, and the average hatching rate reached to 91.5%; The population of larvae which reached 2~3 cm was 823 thousand and the average survival rate of seedling was 13.9%; 709 thousand of juveniles which reached market standard were obtianed and the average of survival rate of intermediate cultivating was 85.4%.

Key words *Epinephelus fuscoguttatus*; pond; artificial breeding

Study on the Aquatic Ecological Pollution in Inshore Area of Yantai Port

Sun Wan-long *et al* (4)

Abstract Sea water and sediment were collected in order to study the variation of species and amounts of the organisms, so as to evaluate the impact degree of human activities on the aquatic organisms in the area. The result indicated that there are 20 phytoplankton species and 17 zooplankton species. The biodeversity in the in-port area was higher than that in the out-port area. Moreover, the homogeneity and abundance of the aquatic organisms were also different in the two areas. The investigation proved that the fast development of the Yantai port have some-what affected the ecosystem in the inshore area.

Key words Yantai Port; plankton; water quality; investigation of pollution

Influence of Feed and Adhesive Base on the Artificial Seed Rearing of *Perinereis aibuhitensis.*

Chen Xiao *et al* (9)

Abstract The nectochaeta obtained from one parent were tested with different feed such as *Isochrysis galbana, Platymonas subcordiformis, Dunaliella salina, Chaetoceros, Nannochloropsis oculata,* Marine yeast and mixed algae (composed of *Platymonas subcordiformis, Dunaliella salina* and *Chaetoceros*) as well as different adhensive sand at different developmental stage. The results indicated that the larvae began feeding at late 3 setigers stage, and the best feed were *Isochrysis galbana, Dunaliella salina, Chaetoceros*, Marine yeast and the mixed algae; The optimum density of the feed whose primary component was *Isochrysis galbana* was 20×10^4 cell/ml. The sand test showed that the applying of the finer sand as the adhensive base was recommended.

Key words *Perinereis aibuhitensis*; artificial seed rearing; feed; adhensive base

Editor and Publisher: Editorial Office of Shandong Fisheries(216, Changjiang Road, Economic and Technological Development Zone, Yantai, China)

Postcode:264006

Tel: (0535) 6958905 6958903 6958902 6958901

Editor in Chief : Mu Jun

Printer: Colour Print Company of Fengcai,Yantai

Overseas Distribution: China Press Foreign Trading General Corporation (P. O. Box 782, Beijing)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net