

# 黄河口泥螺种群夏季分布特性及其与底质环境的关系

吴文广<sup>1,2</sup> 冷宇<sup>3</sup> 张继红<sup>2\*</sup> 张守本<sup>4</sup> 杜美荣<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 上海海洋大学水产与生命学院, 201306)

(<sup>2</sup> 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(<sup>3</sup> 国家海洋局北海环境监测中心, 青岛 266033)

(<sup>4</sup> 山东省潍坊市海洋环境监测中心站, 261041)

**摘要** 2011年8月对黄河口潮间带泥螺 *Bullacta exarata* 种群及底质环境条件进行了调查, 以期了解泥螺与底质环境的相互作用关系。调查结果显示, 1) 泥螺主要分布于中值粒径  $Md\phi$  为 3.73~5.25 范围的中潮带, 底质类型主要由砂、粉砂质砂和砂质粉砂组成; 2) 黄河口以南滩涂表层泥有机质含量和底质叶绿素 a 含量均值分别为 1.39%、2.65%, 总体水平高于北岸表层泥有机质含量和底质叶绿素 a 含量, 均值分别为 0.54%、1.48%, 方差分析结果显示, 差异显著 ( $P < 0.05$ ); 3) 黄河口南岸滩涂泥螺密度均值为 16.7 ind/m<sup>2</sup>, 明显高于北岸的 0.6 ind/m<sup>2</sup>, 经方差分析, 差异显著 ( $P < 0.05$ )。各断面泥螺密度 ( $x$ ) 与泥螺个体的平均壳长 ( $y$ ) 变化趋势相反, 其关系式为:  $y = -0.180 1x + 19.184$ ,  $R^2 = 0.776$ , 呈显著相关 ( $P < 0.05$ ), 泥螺的个体规格与密度成反比, 即泥螺密度越高的站位, 个体规格越小; 4) Taylor 幂法则、Iwao 聚集格局回归分析及 Morisita 指数分析结果表明, 黄河口泥螺种群空间格局属于聚集型负二项分布; 5) 泥螺种群密度与表层泥有机质含量和底质叶绿素 a 含量正相关, 回归关系显著 ( $P < 0.05$ ), 说明食物可能是影响泥螺种群分布的主要因素之一。

**关键词** 泥螺 种群 底质环境 黄河口

中图分类号 S931.3 文献识别码 A 文章编号 1000-7075(2013)03-0038-08

## Preliminary study on distribution characteristics and living environment of *Bullacta exarata* population in Yellow River Estuary, China

WU Wen-guang<sup>1,2</sup> LENG Yu<sup>3</sup> ZHANG Ji-hong<sup>2\*</sup>  
ZHANG Shou-ben<sup>4</sup> DU Mei-rong<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> College of Life Science and Technology, Shanghai Ocean University, 201306)

(<sup>2</sup> Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(<sup>3</sup> North China Sea Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration, Qingdao 266033)

(<sup>4</sup> Shandong Province Weifang City Marine Environment Monitoring Center Station, 261041)

**ABSTRACT** In order to understand the interaction between *Bullacta exarata* and sedimental environment, population of *B. exarata* and sediment characteristics were investigated at the typ-

“海洋外来物种生态安全评价方法研究”(DOME (MEA)-01-01-D)和国家贝类产业技术体系(CARS-48-03A)共同资助

\* 通讯作者。E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2012-07-02; 接受日期: 2013-03-28

作者简介: 吴文广(1987-), 男, 硕士, 主要从事海洋生物生态研究。E-mail: peng1234562008@126.com

ical distribution area of the Yellow River estuary in August, 2011. The results were as follows: (1) *B. exarata* was mainly distributed in mudflats with median particle diameter  $\varphi$  ( $Md\varphi$ ) ranging from 3.73~5.25; and the sediment types were composed of silt, salt-sand and sand-salt. (2) The average organic content and Chl-a concentration in surface sediment of the south intertidal zone was 1.39% and 2.65 $\mu\text{g/g}$ , which was significantly higher than in the north of the estuary with an average organic content of 0.54% and Chl-a concentration of 1.48 $\mu\text{g/g}$ . (3) The average population density was 16.7 ind/ $\text{m}^2$ , which was significantly higher in the south intertidal zone than in the north of the estuary with the average population densities of 0.6 ind/ $\text{m}^2$ . The relationship between population density ( $x$ ) and average shell length ( $y$ ) could best be expressed as the linear equation:  $y = -0.1801x + 19.184$ ,  $R^2 = 0.776$ . *B. exarata* body size and population density was inversely proportional; the higher the population density, the smaller the body size. (4) Taylor's power law, Iwao's patch regression and Morisita index analysis results showed that the spatial pattern of *B. exarata* population in the estuary belonged to the clumped and negative binomial distribution theoretically. (5) There were positive relationships between the density of *B. exarata* and organic content or Chl-a, suggesting that food source might be one of the main limiting factors for the distribution of *B. exarata* population.

**KEY WORDS** *Bullacta exarata* Population Sedimental environment  
Yellow River Estuary

泥螺 *Bullacta exarata* (Philippi 1848), 俗称麦螺、梅螺、黄泥螺、吐铁等, 隶属软体动物门、腹足纲、后鳃亚纲、头楯目、阿地螺科、泥螺属, 属广温、广盐性种类, 为太平洋西岸海水及咸淡水特产的贝类, 广泛分布于我国南北沿海潮间带滩涂(蔡如星 1991), 作为经济价值较高的大型滩涂贝类, 有关泥螺的生活史(尤仲杰等 1993)、生理组织(张玺等 1961; 应雪平等 2002)、繁殖特性(尤仲杰等 2003)、泥螺的抗菌肽(包坚敏等 2007)以及毒性试验(李晔等 2005)等已有许多研究报道。针对泥螺种群特征及分布格局也开展了一些研究, 包括长江口泥螺种群特征及分布格局(叶属峰等 2001a), 上海崇明东滩自然保护区泥螺生态分布的初步调查(汤呈栋等 2002), 夏季杭州湾南岸慈溪滩涂泥螺种群空间分布格局(葛宝明等 2006)等。

随着我国海水养殖业的迅猛发展, 引进新的有益物种成为当前改良苗种及渔业经济发展的重要手段之一, 同时也成为物种入侵的潜在原因之一(Vitousek *et al.* 1997; Wilcove *et al.* 1998)。泥螺、虾夷扇贝、海湾扇贝、虾夷马粪海胆、美国浪蛤等多个品种已经成功地引入我国北方海域, 进行开放性养殖。在黄河口区, 泥螺不受投苗措施的控制, 分布范围迅速扩大, 2008年的分布范围是2003年的两倍(来源于国家海洋局待发表数据)。泥螺在养殖区外的自然海域大量增殖, 成为优势种, 可能会对当地的生态环境及底栖生物产生影响。为此, 作者于2011年8月下旬对黄河口潮间带泥螺种群分布及底质环境进行了调查, 并对其空间分布格局进行了分析, 以了解泥螺在黄河口分布现状及与底质环境的相互作用关系, 为预防泥螺入侵扩散以及对其危害进行风险评估提供了科学依据。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区域

黄河口位于渤海的西南部, 渤海椭圆形长轴的下端, 莱州湾的西岸。其附近海岸线自潮河东岸起, 经黄河口至小清河北岸止, 全长约350km, 呈弧形曲线状。现代黄河三角洲面积5300  $\text{km}^2$ , 有荒地资源23余万  $\text{hm}^2$ , 滩涂面积9.3万  $\text{hm}^2$ 。黄河口海滩地与海岸线平行呈带状分布, 海滩地饵料资源丰富, 有机质含量较高, 适宜

泥螺的生存繁殖。

2011 年 8 月以黄河口为中心,在黄河口南、北潮间带各设置 3 条滩涂断面,从北向南依次记为 HC01(38°02′16″N,118°57′01″E)、HC02(37°59′57″N,118°58′37″E)、HC04(37°50′20″N,119°05′13″E)、HC07(37°40′31″N,119°02′42″E)、HC08(37°34′35″N,118°56′54″E)和 HC09(37°29′45″N,118°55′35″E)(图 1)。每条断面设置 5 个站位(高潮区 1 个:H;中潮区上、中、下各 1 个:M1,M2,M3;低潮区 1 个:L),共计 30 个站位。

## 1.2 样品采集

样品采集、处理按《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》第七篇“岸带生物调查方法”,在退大潮后进行。每个站位随机取样方 3 个(1m×1m×5cm),收集取样框内的所有泥螺,带回实验室分析。底质叶绿素取表层 0~1cm 的沉积物进行。每一站位取两个平行样,冷冻保存。粒度样品以平铲取得表层 0~1cm 的沉积物,避光冷冻保存。

## 1.3 样品分析与数据处理

### 1.3.1 泥螺样品分析

泥螺样品在实验室经解冻、冲洗后,用游标卡尺测量壳高及体长(精度为 0.01mm),用电子天平(感量为 0.01g)称湿重(WW),计算每个站位及每条断面的平均密度、平均生物量、平均湿重及平均壳长。

### 1.3.2 粒度分析

取底泥样品约 1g,经超声波自动分散后,用美国产 S3500 型激光粒度分析仪进行粒度分析,获取粒度分析数据,其中中值粒径从粒度分析结果直接读出,其他粒度参数采用矩值法计算得到。

### 1.3.3 底栖叶绿素 a 测定

样品混匀后取湿泥样 3g,90%丙酮提取,荧光分光光度法测定(按照 GB/T12763.6-2007),仪器采用美国产 Trilogy 实验室荧光仪。叶绿素 a 标准来自 Turner Designs 提供的叶绿素 a 标准品,以稀释法确定其浓度。另外每个湿泥样品取两份平行样于 60℃烘干至恒重后测其含水率。叶绿素 a 含量单位 μg/g 干重。

### 1.3.4 表层泥有机质测定

有机物含量采用灰分法测定。取混匀的泥样 20g,60℃烘箱烘至恒重,称重,之后在马福炉中 450℃灼烧 4.5~5h 后,再称重,测定表层泥有机质含量。

### 1.3.5 泥螺空间分布格局分析

分别计算每个站位的泥螺平均密度( $\bar{x}$ )和方差( $S^2$ ),采用 Taylor 幂法则和 Iwao 聚集格局回归分析法分析泥螺的空间分布格局。Taylor 幂法则中方差( $S^2$ )和平均数( $\bar{x}$ )的关系由方程  $\ln S^2 = \ln a + b \ln \bar{x}$  建立。Iwao 聚集格局回归分析法中平均拥挤度( $m$ )和平均数( $\bar{x}$ )的关系由下式确立: $m = \alpha + \beta \bar{x}$ ,式中, $m = [\bar{x} + (S^2/\bar{x}) - 1]$ 。两回归方程中参数  $b(\beta)$  用来判断泥螺种群的分布型: $b(\beta) < 1$  为均匀分布; $b(\beta) = 1$  时为随机分布; $b(\beta) > 1$  时为聚集分布,利用 Morisita 指数公式计算泥螺种群个体的扩散指数(丁岩钦 1994):

$$I = n \left[ \frac{\sum_{i=1}^n x_i(x_i - 1)}{N(N - 1)} \right]$$

$$F_0 = \frac{I(\sum x_i - 1) + N - \sum x_i}{N - 1}$$

式中, $I$  为 Morisita 指数, $n$  为抽样数, $x_i$  为第  $i$  个样品中的泥螺数量, $N$  为全部样品的泥螺总数。当  $I = 1$

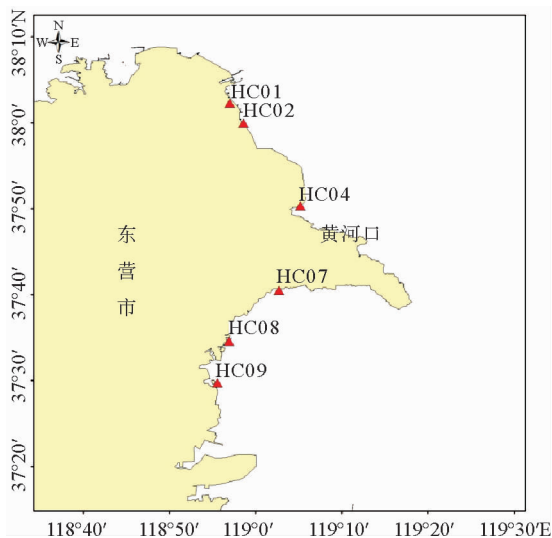


图 1 黄河口潮间带调查区域站位分布

Fig.1 Sampling stations in the intertidal area of the Yellow River estuary

时为随机分布(Poisson 分布),  $I < 1$  时为均匀分布,  $I > 1$  时为聚集分布(负二项分布)。指数  $I$  的随机分布偏离度的显著性检验采用  $F$  值进行  $F$  检验( $df_1 = N - 1, df_2 = \infty$ )。文中所有数据用 Microsoft Excel 进行数据处理和统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 泥螺生存环境特征

#### 2.1.1 底质粒度

通过对激光粒度仪分析结果的处理,得到沉积物中不同粒组的体积分数,采用国家海洋局 1975 年公布的海洋调查分类方法进行沉积物分类(表 1)。结果表明,黄河口潮滩沉积物主要由黏土质粉砂、粉砂、粉砂质砂和砂质粉砂 4 类组成。从底质不同粒组体积分数看,粒径为  $4 \sim 5\phi$  的粉砂粒组体积分数最高,而粒径小于  $4\phi$  的砂粒组和粒径大于  $5\phi$  的粉砂粒组的比重相对较少。具体到不同断面,底质中各粒组体积分数则表现出一定的差异。从低潮带向高潮带方向中值粒径  $\phi$  值总体上表现为增大趋势。

表 1 黄河口潮间带调查站位底质粒度参数和底质类型

Table 1 Sediment type and grain parameters in each sampling stations of Yellow River estuary, China

断面 Section	站号 Station	底质类型 Sediment type	粒度含量 Grain content				粒度系数 Sorting coefficient		
			砾 G	砂 S	粉砂 T	粘土 Y	Md <sub>φ</sub>	QD <sub>φ</sub>	SK <sub>φ</sub>
HC01	H	粉砂	—	10.9	88.1	1.0	4.85	0.67	0.13
	M1	粉砂	—	15.8	78.8	5.5	4.99	1.06	0.33
	M2	粉砂	—	9.4	88.9	1.7	5.01	0.72	0.09
	M3	粉砂	—	5.9	93.6	0.5	5.12	0.64	0.00
	L	粉砂	—	8.7	80.0	11.4	6.00	1.22	-0.01
HC02	H	岩块	—	—	—	—	—	—	—
	M1	粉砂质砂	—	63.1	36.9	—	3.73	0.60	0.10
	M2	砂质粉砂	—	37.3	62.7	—	4.24	0.55	-0.07
	M3	砂质粉砂	—	33.2	66.8	—	4.29	0.50	-0.06
	L	砂质粉砂	—	35.1	58.1	6.9	4.35	0.64	-0.04
HC04	H	岩块	—	—	—	—	—	—	—
	M1	砂质粉砂	—	20.4	78.4	1.3	4.66	0.68	0.12
	M2	砂质粉砂	—	22.7	71.3	6.0	4.75	0.90	0.21
	M3	砂质粉砂	—	21.7	71.4	6.9	4.77	0.90	0.22
	L	粉砂	—	18.4	66.9	14.7	4.86	1.29	0.61
HC07	H	粉砂	—	10.0	89.4	0.6	4.85	0.64	0.11
	M1	粉砂	—	8.6	90.1	1.3	4.97	0.70	0.12
	M2	粉砂	—	9.0	90.0	1.1	4.97	0.68	0.09
	M3	粉砂	—	7.4	92.2	0.3	4.96	0.65	0.09
	L	粉砂	—	10.3	81.2	8.6	5.48	1.10	0.16
HC08	H	粉砂质砂	—	64.5	35.5	—	3.74	0.56	0.11
	M1	砂质粉砂	—	28.9	52.8	18.3	4.98	1.71	0.55
	M2	黏土-砂-粉砂	—	37.8	42.1	20.2	4.60	1.88	0.81
	M3	粉砂	—	11.8	79.8	8.4	5.25	1.03	0.19
	L	粉砂	—	1.9	97.6	0.5	5.69	0.63	0.07
HC09	H	粉砂	—	80.6	19.4	—	3.41	0.51	-0.03
	M1	粉砂质砂	—	63.1	36.9	—	3.73	0.60	0.10
	M2	粉砂	—	10.9	88.1	1.0	4.85	0.67	0.13
	M3	粉砂	—	17.6	74.1	8.4	5.04	1.14	0.33
	L	粉砂	—	13.2	82.8	3.9	5.07	0.82	0.08

### 2.1.2 底质叶绿素 a 和有机质含量

从图2中可以看出,各断面底质叶绿素 a 含量 H 站最低, M1 站最高;由 M1 向 L 站逐渐降低,而有机质含量却逐渐升高。表层泥有机质含量(干重)最高为 3.57%,最低为 0.59%,平均为  $1.32\% \pm 0.53\%$ ;底质叶绿素 a 含量(干重)最大为  $4.44 \mu\text{g/g}$ ,最低为  $0.05 \mu\text{g/g}$ ,平均为  $1.50 \pm 0.85 \mu\text{g/g}$ 。黄河口以南滩涂表层泥有机质含量和底质叶绿素 a 含量均值分别为 1.39%、2.65%,总体水平高于北岸表层泥有机质含量和底质叶绿素 a 含量,均值分别为 0.54%、1.48%,方差分析结果显示(表2、表3)差异显著( $P < 0.05$ )。

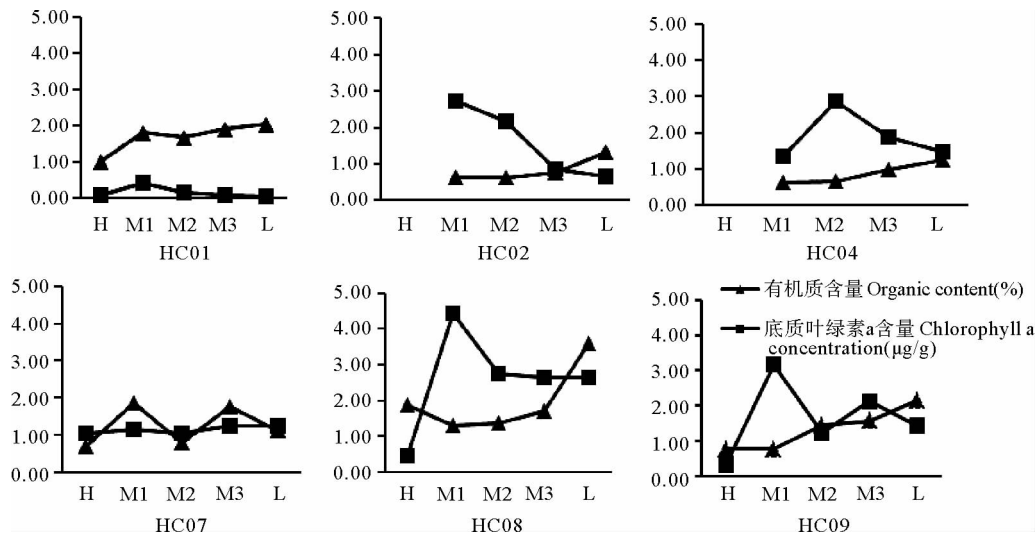


图2 黄河口各断面底质叶绿素 a 浓度与有机质含量变化

Fig. 2 Variation of chlorophyll a concentration and organic content in each section of Yellow River estuary, China

表2 黄河口南北岸有机质含量方差分析结果

Table 2 ANOVA results of organic content of south bank and north bank at Yellow River estuary

	自由度 <i>Df</i>	平方和 Sum of squares	均方差 Mean square	<i>F</i> 值	显著性概率 Sig.
组间 Between groups	1	3.294	3.294	25.686	0.000
组内 Within groups	16	2.052	0.128		
总变异 Total	17	5.345			

表3 黄河口南北岸底质叶绿素 a 含量方差分析结果

Table 3 ANOVA results of chlorophyll a concentration of south bank and north bank at Yellow River estuary

	自由度 <i>Df</i>	平方和 Sum of squares	均方差 Mean square	<i>F</i> 值	显著性概率 Sig.
组间 Between groups	1	6.108	6.108	9.915	0.006
组内 Within groups	16	9.856	6.108		
总变异 Total	17	15.964			

## 2.2 泥螺种群的空间分布特征

### 2.2.1 水平分布

从图3中可以看出,HC01、HC02断面无泥螺分布,黄河口南岸滩涂泥螺密度均值为  $0.6 \text{ ind/m}^2$ ,明显高于北岸的  $16.7 \text{ ind/m}^2$ ,经方差分析,差异显著( $P < 0.05$ )。各断面泥螺密度( $\text{ind/m}^2$ )由低至高的顺序为:

0 = HC01 = HC02 < HC09 < HC04 < HC08 < HC07, 各断面泥螺平均壳长由低至高的顺序为: HC07 < HC08 < HC04 < HC09。6 个断面间泥螺种群密度差异较大, 图中各断面生物量(g/m<sup>2</sup>): 0 = HC01 = HC02 < HC04 < HC09 < HC07 < HC08。其中, HC08 断面平均生物量高于 HC07 断面, 而密度却低于 HC07 断面, 说明泥螺密度过高, 会限制泥螺个体生长, 从而引起生物量的降低, 大个体泥螺在生物量中起主要作用。

### 2.2.2 垂直分布

泥螺主要分布于的黄河口潮间带的中潮带(图 4)。中潮区上部泥螺个体较小, 平均壳长为 12.95 ± 2.79mm/ind, 个体湿重为 0.94 ± 0.13g/ind; 中部泥螺个体平均壳长为 18.59 ± 3.80mm/ind, 湿重为 2.58 ± 0.32g/ind; 下部靠近低潮线处泥螺个体较大, 平均壳长为 20.59 ± 4.17mm/ind, 平均湿重为 3.37 ± 0.43g/ind。泥螺个体大小从中潮上部至中潮下部总体上有逐渐变大的趋势, 方差分析结果显示, 差异显著( $P < 0.05$ )。各断面泥螺密度( $x$ )与泥螺个体的平均壳长( $y$ )呈相反的趋势(图 5), 其关系式为:  $y = -0.1801x + 19.184$ ,  $R^2 = 0.776$ , 回归关系显著( $n = 10, P < 0.05$ ), 泥螺的个体规格与密度是成反比的, 即泥螺密度越高的站位, 个体规格越小。

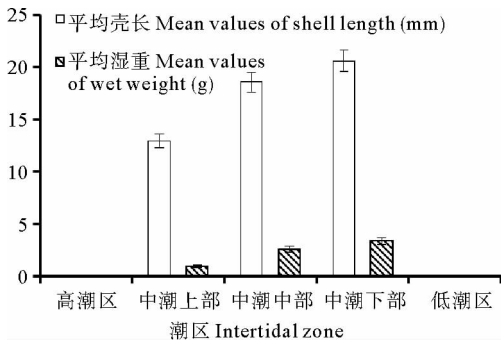


图 4 黄河口泥螺种群垂直分布特征

Fig. 4 The vertical distribution characteristics of *B. exarata* population in Yellow River estuary, China

### 2.3 泥螺种群的空间分布格局

Taylor 幂法则和 Iwao 聚集格局回归分析法分析黄河口泥螺种群空间分布格局, 4 条断面的空间分布型表明直线回归系显著。前者回归方程为  $\ln S^2 = -3.6393 + 1.9582 \ln \bar{x}$ ,  $R^2 = 0.9229$ ; 后者为  $m = -1.2336 + 1.0805 \bar{x}$ ,  $R^2 = 0.9983$ (图 6)。根据相应参数  $b(\beta) > 1$  和 Morisita 指数  $I = 3.06$ ,  $F_0 = 38.91 > F_{0.01}(3, \infty) = 2.57$ , 差异达极显著水平, 泥螺种群空间格局理论上属于聚集型负二项分布。

### 2.4 泥螺种群密度与环境因子关系分析

以泥螺主要分布区域——中潮区作为考察对象, 分别将 HC04、HC07、HC08、HC09 4 条断面的中潮区站位的种群密度( $x$ )与有机质含量( $c$ )和底质叶绿素 a 含量( $d$ )做回归分析, 得出图 7 和图 8。结果表明, 回归关系显著, 回归方程分别为:  $x = 0.0208e^{4.2147c}$ ,  $R^2 = 0.74$  ( $n = 10, P < 0.05$ ) 和  $x = 20.427d - 23.689$ ,  $R^2 = 0.7439$  ( $n = 10, P < 0.05$ )。这两个回归方程表明, 泥螺种群密度与表层泥有机质含量和底质叶绿素 a 含量正相关,

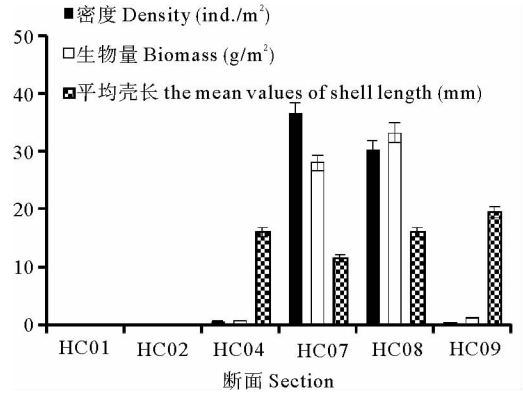


图 3 黄河口泥螺种群水平分布特征

Fig. 3 The horizontal distribution characteristics of *B. exarata* population in Yellow River Estuary, China

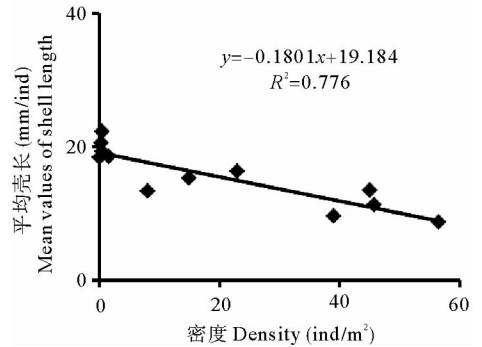
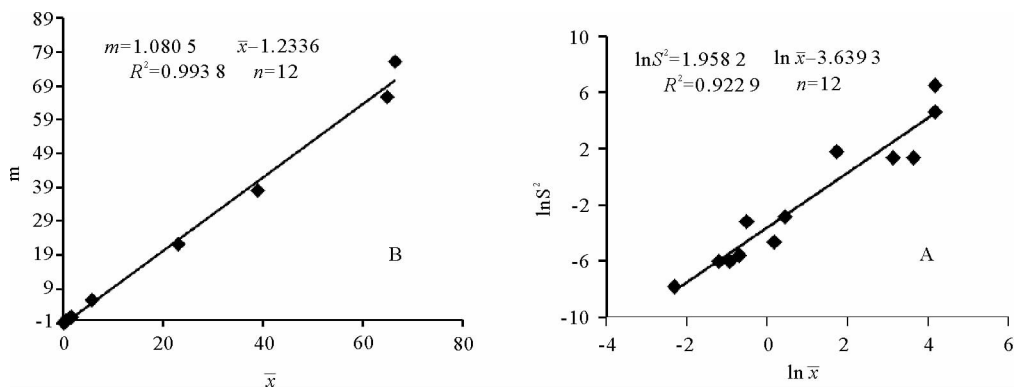


图 5 泥螺的个体规格与丰度的关系

Fig. 5 The relationship of average shell length and population density

说明食物可能是影响泥螺种群分布的主要因素之一。



A. Taylor 幂法则; B. Iwao 聚集格局回归分析法

A. Taylor's power law; B. Iwao's patch regression

图6 泥螺种群的空间分布格局

Fig. 6 Spatial distribution of the *B. exarata* population

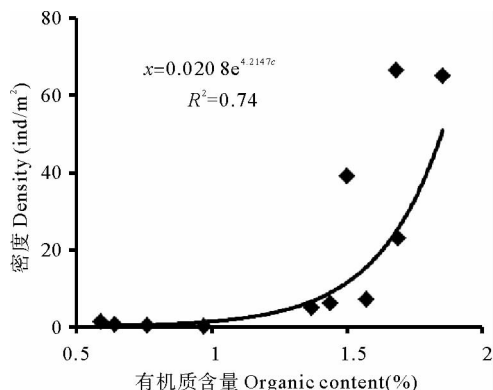


图7 泥螺密度与有机质含量的关系

Fig. 7 The relationship of population density and organic content

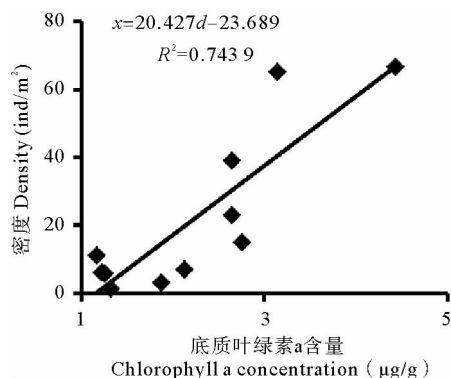


图8 泥螺密度与底质叶绿素 a 含量的关系

Fig. 8 The relationship of population density and chlorophyll a concentration

### 3 讨论

黄河口地处黄河三角洲、渤海之滨,受黄河冲淡水及渤海涨潮潮流的影响形成了河口咸淡水交错带,黄河巨大径流带来的大量泥沙和营养盐在此迅速沉积,为黄河口边滩的发育提供了巨大的物质基础,为泥螺种群的快速生长与繁殖提供了优越条件。本研究发现,除在岩块底质上未发现有泥螺外,泥螺主要分布于中值粒径  $Md_{\phi}$  为 3.73~5.25 范围的中潮带泥滩中,底质类型包括粉砂、砂质粉砂、粘土-砂、粉砂和粘砂质砂,说明底质类型对泥螺种群分布没有明显的影响,这一结论与王一农等(2003)所得结论相符合。尽管 HC01 和 HC02 断面的底质类型与其他断面的类型相似,但此次调查,未发现有泥螺分布。据国家海洋局历年调查资料显示,2006~2009 年 HC01 和 HC02 断面是有泥螺分布的(待发表数据)。HC01 和 HC02 断面泥螺消失的原因尚需要进一步研究确定,推测可能与石油污染有关,因为泥螺是一种对环境污染非常敏感的指示生物(叶属峰等 2001b; An *et al.* 2012)。

泥螺为舔食性(杂食性)贝类,摄食时翻出齿舌在泥涂表面刮取食物并将食物贮存于嗦囊中,食物主要为底栖硅藻类,如硅藻门的菱形藻属、舟形藻属、斜纹藻、布纹藻、卵形藻属、双壁藻属、羽纹藻属、圆筛藻属、双菱藻

属、小环藻属、脆杆藻属以及少量的有机碎屑、小型甲壳类和无脊椎动物的卵等,泥螺对食物没有严格的选择性(王一农等 2003)。除受底质类型和海流的影响外,泥螺分布的丰度及生物量还受饵料的影响(叶属峰等 2001b)。本研究发现黄河口以南滩涂表层泥有机质含量和底质叶绿素含量总体水平高于北岸,这与泥螺个体数量南岸多于北岸呈正相关,说明表层泥有机质含量和底质叶绿素含量的高低对泥螺种群分布产生一定影响。另外,本研究还发现,在泥螺分布区,泥螺的个体规格与丰度是成反比的,即泥螺丰度越高的站位,个体规格越小,可能是受食物竞争和空间竞争的双重影响所致。这一结果与池塘养殖泥螺的情况相一致(王一农等 2003)。

Taylor 幂法则和 Iwao 聚集格局回归分析法的结果显示,泥螺种群的分布符合统计学上的离散概率分布特性,种群内个体有明显的集聚现象,呈疏密相间的空间分布型。该结果与前人的研究结果相一致(叶属峰等 2001a)。如果能将广义负二项分布与广义线性模型进行整合,那么将为深入研究泥螺的预测模型等量化研究提供新的方向,从而预测泥螺的有无、密度等,为管理决策部门服务。

致谢:野外采样得到陈长银、刘旭东等的协助,谨致谢忱。

## 参 考 文 献

- 丁岩钦. 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社, 22-58
- 王一农, 尤仲杰, 於 宏, 王国良. 2003. 养殖泥螺生态习性研究. 宁波大学学报(理工版), 16(3): 240-244
- 尤仲杰, 王一农, 董任彭, 金红燕. 1993. 浙江沿海泥螺繁殖生物学初步观察. 浙江水产学院学报, 12(4): 233-239
- 尤仲杰, 陆彤霞, 王一农. 2003. 泥螺的繁殖生物学研究. 热带海洋学报, 2(1): 30-35
- 叶属峰, 陆健健. 2001a. 长江口泥螺的种群特征及其生态学意义. 长江流域资源与环境, 10(3): 216-222
- 叶属峰, 陆健健. 2001b. 长江口泥螺种群夏季的空间格局分析. 动物学研究, 22(2): 131-136
- 包坚敏, 王志铮, 陈启恒, 杨 阳, 袁久尧. 2007. 4 种重金属对泥螺的急性毒性和联合毒性研究. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 26(3): 252-256
- 李 晔, 苏秀榕, 李太武. 2005. 泥螺抗菌肽的初步研究. 台湾海峡, 24(2): 145-149
- 汤呈栋, 崔宝军, 赵云龙, 王 群. 2002. 上海崇明东滩自然保护区泥螺生态分布的初步调查. 上海师范大学学报(自然科学版), 增刊: 28-31
- 应雪平, 陈 鸟, 华恩宠, 付 璐, 王 娟. 2002. 泥螺生殖系统的组织学研究. 东海海洋, 20(3): 24-31
- 张 玺, 齐钟彦. 1961. 贝类学纲要. 北京: 科学出版社, 97-106
- 葛宝明, 鲍毅新, 程宏毅, 郑 祥. 2006. 夏季杭州湾南岸慈溪滩涂泥螺种群空间分布格局. 水产科学, 25(11): 545-548
- 蔡如星. 1991. 浙江动物志: 软体动物. 杭州: 浙江科学技术出版社, 116-117
- An LH, Zheng BH, Wang LJ and 8 others. 2012. Biomarker responses and genotoxicity in the mud snail (*Bullacta exarata*) as indicators of coastal contamination. Marine Pollution Bulletin 64(2): 303-309
- Vitousek PM, Mooney HA, Lubchenco J and 4 others. 1997. Human domination of the Earth's ecosystems. Science 277: 494-499
- Wilcove DS, Rothstein D, Dubow J and 5 others. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. Biological Science 48(8): 607-615